



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2023-0068433
(43) 공개일자 2023년05월17일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G02B 30/56 (2020.01) G02B 30/33 (2020.01)
G02B 5/20 (2022.01) G02B 5/30 (2022.01)
G02B 5/32 (2022.01) G03H 1/04 (2006.01)
G03H 1/08 (2006.01) G03H 1/22 (2006.01)
G03H 1/30 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G02B 30/56 (2020.01)
G02B 30/33 (2020.01)
(21) 출원번호 10-2023-7013064
(22) 출원일자(국제) 2021년09월14일
심사청구일자 없음
(85) 번역문제출일자 2023년04월17일
(86) 국제출원번호 PCT/US2021/050271
(87) 국제공개번호 WO 2022/060733
국제공개일자 2022년03월24일
(30) 우선권주장
63/079,707 2020년09월17일 미국(US)
63/149,964 2021년02월16일 미국(US)

(71) 출원인
퍼시픽 라이트 앤드 홀로그램 인크.
미국 캘리포니아 91030 사우스 파사데나 미션 스트리트 601
(72) 발명자
카테리, 캄란
미국 91106 캘리포니아 파사데나 이스트 빌라 에스티 샷4 1120
하트, 스테판 존
미국 92675-2227 캘리포니아 산 주안 카피스트라노 파세오 아마폴라 31192
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
양영준, 김연송, 백만기

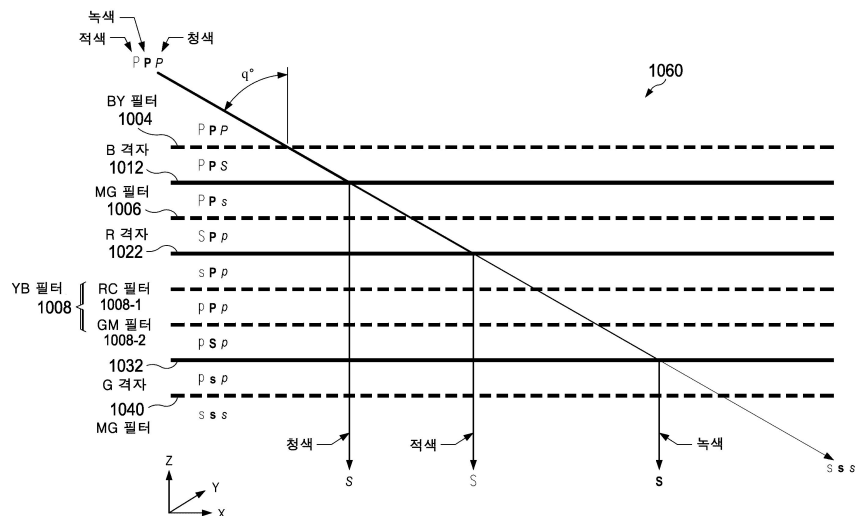
전체 청구항 수 : 총 76 항

(54) 발명의 명칭 3차원 객체의 디스플레이

(57) 요약

상이한 색상의 광을 개별적으로 회절시켜 3 차원 객체를 디스플레이하기 위한 방법, 장치 및 시스템이 제공된다. 일 양태에서, 광 회절 장치는, 제1 및 제2 회절 컴포넌트 및 그들 사이의 색상 선택 편광기를 포함한다. 제1 광 회절 컴포넌트는 제1 입사각으로 입사하는 제1 편광 상태의 제1 색상의 광을 제1 회절각의 제1 회절 효율로 회절시키고, 제2 편광 상태의 제2 색상의 광을 실질적으로 제1 회절 효율보다 작은 회절 효율로 회절시키도록 구성된다. 편광기는 제2 색상의 광의 제2 편광 상태를 제1 편광 상태로 회전시키도록 구성된다. 제2 회절 컴포넌트는 제1 회절각과 실질적으로 동일한 제2 회절각으로 제2 회절 효율로 제1 편광 상태에서 제2 색상의 광을 회절시키도록 구성된다.

대표도



(52) CPC특허분류

G02B 5/203 (2013.01)
G02B 5/3083 (2013.01)
G02B 5/32 (2013.01)
G03H 1/0408 (2013.01)
G03H 1/0808 (2013.01)
G03H 1/2205 (2013.01)
G03H 1/2294 (2013.01)
G03H 2001/0439 (2013.01)
G03H 2001/2284 (2013.01)

(72) 발명자

헤스, 로버트 알란

미국 85201-3849 아리조나 메사 노스 로저스 스트리트 827

블랙리, 조나단 시무스

미국 91030 캘리포니아 사우스 파사데나 옛지우드 드라이브 2044

명세서

청구범위

청구항 1

광학 장치에 있어서,

제1 광 회절 컴포넌트;

제2 광 회절 컴포넌트; 및

상기 제1 및 제2 광 회절 컴포넌트들 사이의 색상 선택 편광기를 포함하며,

제1 편광 상태에서 제1 색상의 광을 포함하는 제1 광 빔이 상기 제1 광 회절 컴포넌트에 입사될 때, 상기 제1 광 회절 컴포넌트는 상기 제1 편광 상태에서 상기 제1 색상의 광을 회절시키고;

제2 편광 상태에서 제2 색상의 광을 포함하는 제2 광 빔이 상기 색상 선택 편광기에 입사될 때, 상기 색상 선택 편광기는 상기 제2 광 빔을 상기 제1 편광 상태의 상기 제2 색상의 광을 포함하는 제3 광 빔으로 변환시키되, 상기 제2 색상은 상기 제1 색상과 다르고, 상기 제2 편광 상태는 상기 제1 편광 상태와 다르며;

상기 제3 광 빔이 상기 제2 광 회절 컴포넌트에 입사될 때, 상기 제2 광 회절 컴포넌트는 상기 제1 편광 상태에서 상기 제2 색상의 광을 회절시키고,

상기 제1 광 회절 컴포넌트가 상기 제2 편광 상태에서 상기 제2 색상의 광을 회절시키는 회절 효율은 상기 제1 광 회절 컴포넌트가 상기 제1 편광 상태에서 상기 제1 색상의 광을 회절시키는 회절 효율보다 실질적으로 작은, 광학 장치.

청구항 2

광학 장치에 있어서,

제1 광 회절 컴포넌트;

제2 광 회절 컴포넌트; 및

상기 제1 및 제2 광 회절 컴포넌트들 사이의 색상 선택 편광기를 포함하며,

제1 색상의 광이 제1 입사각으로 제1 편광 상태에서 상기 제1 광 회절 컴포넌트 상에 입사될 때, 상기 제1 광 회절 컴포넌트는 제1 회절각의 제1 색상의 광을 제1 회절 효율로 회절시키고;

상기 제1 색상의 광과 다른 제2 색상의 광이 상기 제1 편광 상태와 다른 제2 편광 상태에서 제2 입사각으로 상기 제1 광 회절 컴포넌트에 입사될 때, 상기 제1 광 회절 컴포넌트는 상기 제1 회절 효율보다 실질적으로 작은 회절 효율로 상기 제2 색상의 광을 회절시키고;

상기 제2 편광 상태의 상기 제2 색상의 광이 상기 색상 선택 편광기에 입사될 때, 상기 색상 선택 편광기는 상기 제2 색상의 광의 편광 상태를 상기 제2 편광 상태에서 상기 제1 편광 상태로 회전시키고;

상기 제2 색상의 광이 상기 제2 입사각으로 상기 제1 편광 상태에서 상기 제2 광 회절 컴포넌트 상에 입사될 때, 상기 제2 광 회절 컴포넌트는 제2 회절각의 상기 제2 색상의 광을 제2 회절 효율로 회절시키는, 광학 장치.

청구항 3

광학 장치에 있어서,

i) 제1 입사각으로 입사하는 제1 편광 상태의 제1 색상의 광을 제1 회절각의 제1 회절 효율로 회절시키고; ii) 제2 입사각으로 입사하는 제2 편광 상태의 제2 색상의 광을 실질적으로 상기 제1 회절 효율보다 작은 회절 효율로 회절시키도록 구성된 제1 광 회절 컴포넌트;

색상 선택 편광기에 입사하는 상기 제2 편광 상태의 상기 제2 색상의 편광 상태를 상기 제2 편광 상태에서 상기 제1 편광 상태로 회전시키도록 구성된 상기 색상 선택 편광기; 및

상기 제2 입사각으로 입사하는 상기 제1 편광 상태의 상기 제2 색상의 광을 상기 제2 회절각의 제2 회절 효율로 회절시키도록 구성된 제2 광 회절 컴포넌트를 포함하며,

상기 색상 선택 편광기는 상기 제1 및 제2 광 회절 컴포넌트들 사이에 있는, 광학 장치.

청구항 4

제1항 내지 제3항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 제2 광 회절 컴포넌트는 상기 제2 회절 효율보다 실질적으로 작은 회절 효율로 상기 제1 입사각의 상기 제2 편광 상태에서 상기 제1 색상의 광을 회절시키도록 구성되며,

선택적으로는 상기 제1 광 회절 컴포넌트, 상기 색상 선택 편광기 및 상기 제2 광 회절 컴포넌트는 순차적으로 적층되어 있어서, 상기 제1 색상의 광 및 상기 제2 색상의 광이 상기 제2 광 회절 컴포넌트 앞의 상기 제1 광 회절 컴포넌트에 입사되도록 하는, 광학 장치.

청구항 5

제4항에 있어서,

제3 광 회절 컴포넌트; 및

상기 제2 및 제3 광 회절 컴포넌트들 사이의 제2 색상 선택 편광기를 더 포함하며,

상기 제2 색상 선택 편광기는, 상기 제3 색상의 광이 상기 제2 색상 선택 편광기에 상기 제2 편광 상태에서 입사될 때, 상기 제3 색상의 광의 편광 상태를 상기 제2 편광 상태에서 상기 제1 편광 상태로 회전시키도록 구성되고, 상기 제3 광 회절 컴포넌트는 상기 제3 색상의 광이 제3 입사각으로 상기 제1 편광 상태에서 상기 제3 광 회절 컴포넌트에 입사될 때, 상기 제3 색상의 광을 상기 제3 회절각으로 제3 회절 효율로 회절시키도록 구성되고,

선택적으로는 상기 색상 선택 편광기는 상기 제1 색상의 광의 편광 상태를 상기 제1 편광 상태에서 상기 제2 편광 상태로 회전시키도록 구성되고, 상기 제2 색상 선택 편광기는 상기 제1 색상의 광의 편광 상태의 회전 없이, 상기 제2 색상의 광의 편광 상태를 상기 제1 편광 상태에서 상기 제2 편광 상태로 회전시키도록 구성되고,

선택적으로는 상기 제3 색상의 광의 편광 상태의 회전 없이, 상기 제1 및 제2 색상의 광 각각의 편광 상태를 상기 제2 편광 상태에서 상기 제1 편광 상태로 회전시키도록 구성된 제3 색상 선택 편광기를 더 포함하며, 상기 제3 광 회절 컴포넌트는 상기 제2 및 제3 색상 선택 편광기 사이에 있고,

선택적으로는 상기 제3 광 회절 컴포넌트는 상기 제2 편광 상태에서 입사하는 상기 제1 및 제2 색상의 광 각각을 상기 제3 회절 효율보다 실질적으로 작은 회절 효율로 회절시키도록 구성되며, 상기 제1 광 회절 컴포넌트는 제1 회절 효율보다 실질적으로 작은 회절 효율로 상기 제2 편광 상태에서 입사되는 상기 제3 색상의 광을 회절시키도록 구성되며, 상기 제2 광 회절 컴포넌트는 상기 제2 편광 상태에서 입사되는 상기 제1 및 제3 색상의 광 각각을 상기 제2 회절 효율보다 실질적으로 작은 회절 효율로 회절시키도록 구성되고,

상기 제2 색상 선택 편광기는 제1 서브 편광기 및 제2 서브 편광기 쌍을 포함하며, 상기 제1 서브 편광기는 상기 제1 및 제3 색상의 광 각각의 편광 상태의 회전 없이, 상기 제2 색상의 광의 편광 상태를 상기 제1 편광 상태에서 상기 제2 편광 상태로 회전시키도록 구성되고, 상기 제2 서브 편광기는 상기 제1 및 제2 색상의 광 각각의 편광 상태의 회전 없이, 상기 제3 색상의 광의 편광 상태를 상기 제2 편광 상태에서 상기 제1 편광 상태로 회전시키도록 구성되고,

선택적으로는 상기 제2 및 제3 색상의 광 각각의 편광 상태의 회전 없이, 상기 제1 색상의 광의 편광 상태를 상기 제2 편광 상태에서 상기 제1 편광 상태로 회전시키도록 구성된 제4 색상 선택 편광기를 더 포함하며, 상기 제1 광 회절 컴포넌트는 상기 제4 색상 선택 편광기와 상기 색상 선택 편광기 사이에 있는, 광학 장치.

청구항 6

제5항에 있어서, 상기 제1, 제2 및 제3 광 회절 컴포넌트 각각은 기록 매체에 형성된 각각의 홀로그래픽 격자를 포함하며,

선택적으로는 상기 기록 매체는 감광성 중합체를 포함하고,

선택적으로는 상기 기록 매체는 광학적으로 투명하고,

선택적으로는 상기 각각의 홀로그래픽 격자는 상기 기록 매체에 고정되고,

선택적으로는 상기 제1, 제2 및 제3 광 회절 컴포넌트 각각은 상기 기록 매체의 일 면에 부착된 캐리어 필름을 포함하고,

선택적으로는 상기 제1, 제2 및 제3 광 회절 컴포넌트 각각은 상기 캐리어 필름 대향측에 있는 상기 기록 매체의 다른 면에 부착된 회절 기판을 포함하며, 선택적으로는 상기 제1 광 회절 컴포넌트의 상기 캐리어 필름은 상기 색상 선택 편광기의 제1 면에 부착되고, 상기 제2 광 회절 컴포넌트의 상기 회절 기판은 상기 색상 선택 편광기의 대향측인 제2 면에 부착되며, 상기 제2 광 회절 컴포넌트의 상기 캐리어 필름은 상기 제2 색상 선택 편광기의 제1 면에 부착되고, 상기 제2 광 회절 컴포넌트의 상기 회절 기판은 상기 제2 색상 선택 편광기의 대향측인 제2 면에 부착되는, 광학 장치.

청구항 7

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서, 기판을 더 포함하며,

상기 제1 광 회절 컴포넌트는 상기 기판과 상기 색상 선택 편광기 사이에 있고,

선택적으로는 상기 광학 장치는 상기 기판 표면 상에 반사 방지 코팅을 더 포함하고,

선택적으로는 상기 광학 장치는 전면 및 후면을 더 포함하고,

선택적으로는 상기 제1 색상의 광 및 상기 제2 색상의 광은 상기 전면 상에 입사되고, 상기 광학 장치는 상기 후면에 반사 방지 코팅을 더 포함하는, 광학 장치.

청구항 8

제1항 내지 제7항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 제1 광 회절 컴포넌트, 상기 색상 선택 편광기, 및 상기 제2 광 회절 컴포넌트를 포함하는 복수의 광학 컴포넌트를 포함하며,

상기 복수의 컴포넌트 중 인접한 2개의 광학 컴포넌트는 굴절률 정합 재료를 통해 함께 부착되는, 광학 장치.

청구항 9

제1항 내지 제8항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 제1 및 제2 광 회절 컴포넌트 각각은 상기 기록 매체에 형성된 각각의 브래그 격자를 포함하며,

상기 각각의 브래그 격자는 프린지 경사각(θ_i) 및 상기 기록 매체의 체적에서 프린지 평면에 수직인 프린지 간격(Λ)을 갖는 복수의 프린지 평면을 포함하고,

선택적으로는 상기 각각의 브래그 격자는 상기 기록 매체의 입사각이 브래그 입사각이 되도록 구성되며, 각각의 회절각(θ_m)은 브래그 방정식 $m\lambda = 2 n \Lambda \sin(\theta_m - \theta_i)$ 로 충족되며, 여기서 λ 는 진공에서 한 색상의 광의 각각의 파장을 나타내고, n 은 상기 기록 매체의 굴절률을 나타내고, θ_m 은 상기 기록 매체의 m 차 회절 차수의 브래그 각도를 나타내고, θ_i 는 상기 기록 매체의 프린지 기울기를 나타내며,

선택적으로는 상기 제1 및 제2 입사각 각각은 온-브래그 각도와 실질적으로 동일하고, 상기 제1 및 제2 회절각 각각은 상기 1차 브래그 각도와 실질적으로 동일하고,

선택적으로는 상기 각각의 브래그 격자의 사익 프린지 기울기 각도는 실질적으로 45도와 동일하고,

선택적으로는 상기 기록 매체의 두께는 상기 프린지 간격보다 10배 이상 크고,

선택적으로는 상기 기록 매체의 두께는 상기 프린지 간격보다 약 30배 이상 크고,

선택적으로는 상기 제1 회절각과 상기 제2 회절각은 서로 실질적으로 동일하고,

선택적으로는 상기 제1 및 제2 회절각 각각은 -10도 내지 10도 범위에 있고,

선택적으로는 상기 제1 및 제2 회절각 각각은 실질적으로 0도와 동일하고,

선택적으로는 상기 제1 및 제2 회절각 각각은 -7도 내지 7도 범위에 있고,

선택적으로는 상기 제1 및 제2 회절각 각각은 실질적으로 6도와 동일하고,
 선택적으로는 상기 제1 및 제2 입사각 각각은 70도 내지 90도 범위에 있고,
 선택적으로는 상기 제1 입사각과 제2 입사각은 서로 실질적으로 동일한, 광학 장치.

청구항 10

제1항 내지 제9항 중 어느 한 항에 있어서, 다음 중 적어도 하나는,

상기 제1 편광 상태는 s 편광이고, 상기 제2 편광 상태는 p 편광이고;

상기 제1 광 회절 컴포넌트는 상기 제1 회절 효율보다 적어도 10배 작은 회절 효율로 상기 제2 편광 상태에서 입사하는 상기 제2 색상의 광을 회절시키도록 구성되며; 상기 색상 선택 편광기는 상기 제1 색상의 광의 편광 상태를 회전시키지 않도록 구성되고;

상기 광학 장치는, 상기 제2 색상의 광의 편광 상태의 회전 없이, 상기 제1 색상의 광의 편광 상태를 상기 제2 편광 상태에서 상기 제1 편광 상태로 회전시키도록 구성된 제2 색상 선택 편광기를 더 포함하며, 상기 제1 광 회절 컴포넌트는 상기 제2 색상 선택 편광기와 상기 색상 선택 편광기 사이에 있도록 유지하는, 광학 장치.

청구항 11

제1항 내지 제10항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 제1 광 회절 컴포넌트는 제1 회절 구조를 포함하고, 상기 제2 광 회절 컴포넌트는 제2 회절 구조를 포함하며,

상기 광학 장치는 제1 반사층 및 제2 반사층을 포함하고, 상기 제1 반사층은 상기 제1 및 제2 회절 구조 사이에 있고, 상기 제2 회절 구조는 상기 제1 및 제2 반사층 사이에 있으며,

상기 제1 회절 구조는 i) 상기 제1 회절 구조에 상기 제1 입사각으로 입사되는 상기 제1 색상의 광의 1차 및 0차를 회절시키되, 상기 1차는 상기 제1 회절각으로 회절되고, 상기 0차는 상기 제1 입사각으로 투과되고; ii) 상기 제1 회절 구조에서 상기 제2 입사각으로 입사된 상기 제2 색상의 광을 투과시키도록 구성되고,

상기 제1 반사층은 i) 상기 제1 입사각으로 상기 제1 반사층에 입사된 상기 제1 색상의 광을 전반사시키고 ii) 상기 제2 입사각으로 상기 제1 반사층에 입사된 상기 제2 색상의 광을 투과시키도록 구성되고,

상기 제2 회절 구조는 상기 제2 회절 구조에 상기 제2 입사각으로 입사되는 상기 제2 색상의 광의 1차 및 0차를 회절시키도록 구성되며, 상기 1차는 상기 제2 회절각으로 회절되고, 상기 0차는 상기 제2 입사각으로 투과되고;

상기 제2 반사층은 상기 제2 입사각으로 상기 제2 반사층에 입사되는 상기 제2 색상의 광을 전반사시키도록 구성되는, 광학 장치.

청구항 12

광학 장치에 있어서,

제1 회절 구조를 포함하는 제1 광 회절 컴포넌트;

제2 회절 구조를 포함하는 제2 광 회절 컴포넌트;

제1 반사층; 및

제2 반사층을 포함하며,

상기 제1 반사층은 상기 제1 및 제2 회절 구조 사이에 있고;

상기 제2 회절 구조는 상기 제1 및 제2 반사층 사이에 있고;

제1 색상의 광이 상기 제1 회절 구조에 제1 입사각으로 입사될 때, 상기 제1 회절 구조는 상기 제1 색상의 1차 및 0차를 회절시키고, 상기 1차는 제1 회절각으로 회절되고, 상기 0차는 제1 입사각으로 투과되며;

제2 색상의 광이 상기 제1 회절 구조에 제2 입사각으로 입사될 때, 상기 제1 회절 구조는 상기 제2 입사각으로 상기 제2 색상의 광을 투과시키며;

상기 제1 색상의 광이 상기 제1 입사각으로 상기 제1 반사층에 입사될 때, 상기 제1 반사층은 상기 제1 색상의

광을 전반사시키고;

상기 제2 색상의 광이 상기 제2 입사각으로 상기 제1 반사층에 입사될 때, 상기 반사층은 상기 제2 입사각으로 상기 제2 색상의 광을 투과시키고;

상기 제2 색상의 광이 상기 제2 회절 구조에 상기 제2 입사각으로 입사될 때, 상기 제2 회절 구조는 상기 제2 색상의 광의 1차 및 0차를 회절시키고, 상기 1차는 상기 제2 회절각으로 회절되고, 상기 0차는 상기 제2 입사각으로 투과되며;

상기 제2 색상의 광이 상기 제2 입사각으로 상기 제2 반사층에 입사될 때, 상기 제2 반사층은 상기 제2 색상의 광을 전반사시키는, 광학 장치.

청구항 13

광학 장치에 있어서,

제1 회절 구조를 포함하는 제1 광 회절 컴포넌트로서, i) 제1 회절 구조에 제1 입사각으로 입사되는 제1 색상의 광의 1차 및 0차를 회절시키되, 상기 1차는 제1 회절각으로 회절되고, 상기 0차는 제1 입사각으로 투과되고; ii) 상기 제1 회절 구조에서 제2 입사각으로 입사된 상기 제2 색상의 광을 투과시키도록 구성된, 상기 제1 회절 컴포넌트;

제1 반사층으로서, i) 상기 제1 입사각으로 상기 제1 반사층에 입사된 상기 제1 색상의 광을 전반사시키고 ii) 상기 제2 입사각으로 상기 제1 반사층에 입사된 상기 제2 색상의 광을 투과시키도록 구성된, 상기 제1 반사층;

제2 회절 구조를 포함하는 제2 광 회절 컴포넌트로서, 상기 제2 회절 구조에 상기 제2 입사각으로 입사되는 상기 제2 색상의 광의 1차 및 0차를 회절시키도록 구성되며, 상기 1차는 제2 회절각으로 회절되고, 상기 0차는 상기 제2 입사각으로 투과되는, 상기 제2 광 회절 컴포넌트; 및

제2 반사층으로서, 상기 제2 입사각으로 상기 제2 반사층에 입사되는 상기 제2 색상의 광을 전반사시키도록 구성되는, 상기 제2 반사층을 포함하며,

상기 제1 반사층은 상기 제1 및 제2 회절 구조 사이에 있고, 상기 제2 회절 구조는 제1 및 제2 반사층 사이에 있는, 광학 장치.

청구항 14

광학 장치에 있어서,

제1 회절각으로 제1 입사각을 갖는 제1 색상의 광을 회절시키도록 구성된 제1 회절 구조를 포함하는 제1 광 회절 컴포넌트;

제2 회절각으로 제2 입사각을 갖는 제2 색상의 광을 회절시키도록 구성된 제2 회절 구조를 포함하는 제2 광 회절 컴포넌트;

상기 제1 입사각을 갖는 상기 제1 색상의 광을 전반사시키고 상기 제2 입사각을 갖는 상기 제2 색상의 광을 투과시키도록 구성된 제1 반사층; 및

상기 제2 입사각을 갖는 상기 제2 색상의 광을 전반사시키도록 구성된 제2 반사층을 포함하며,

상기 제1 반사층은 상기 제1 및 제2 회절 구조 사이에 있고, 상기 제2 회절 구조는 제1 및 제2 반사층 사이에 있는, 광학 장치.

청구항 15

제12항 내지 제14항 중 어느 한 항에 있어서, 다음 중 적어도 하나는,

상기 광학 장치는 상기 제1 및 제2 회절 구조 사이의 색상 선택 편광기를 더 포함하며, 상기 제1 회절 구조는 i) 상기 제1 입사각으로 입사하는 제1 편광 상태의 상기 제1 색상의 광을 제1 회절 효율로 회절시키고; ii) 상기 제2 입사각으로 입사하는 제2 편광 상태의 제2 색상의 광을 상기 제1 회절 효율보다 실질적으로 작은 회절 효율로 회절시키도록 구성되며, 상기 색상 선택 편광기는 상기 색상 선택 편광기에 입사하는 상기 제2 편광 상태의 상기 제2 색상의 편광 상태를 상기 제2 편광 상태에서 상기 제1 편광 상태로 회전시키도록 구성되고, 상기 제2 회절 구조는 제2 입사각으로 입사하는 상기 제1 편광 상태의 상기 제2 색상의 광을 제2 회절 효율로 회절시

키도록 구성되고;

상기 광학 장치는 측면 및 상기 측면에 부착되고 상기 제1 및 제2 색상의 전반사광을 흡수하도록 구성된 광학 흡수체를 더 포함하고;

상기 제1 반사층은 상기 제1 반사층에 바로 인접한 상기 제1 광 회절 컴포넌트 층의 굴절률보다 작은 굴절률을 가져, 상기 제2 입사각을 갖는 상기 제2 색상의 광을 전반사하지 않고, 상기 제1 입사각을 갖는 상기 제1 색상의 광이 상기 제1 반사층과 상기 제1 광 회절 컴포넌트 층 사이의 경계에 의해 전반사되도록 구성되고;

상기 제1 광 회절 컴포넌트는 제1 캐리어 필름 및 상기 제1 회절 구조의 대향면에 부착된 제1 회절 기관을 포함하고, 상기 제1 캐리어 필름은 상기 제1 회절 기관보다 상기 제2 회절 구조에 더 가깝고, 상기 제1 캐리어 필름은 상기 제1 반사층을 포함하고;

상기 제2 광 회절 컴포넌트는 제2 캐리어 필름 및 상기 제2 회절 구조의 대향면에 부착된 제2 회절 기관을 포함하고, 상기 제2 회절 기관은 상기 제2 캐리어 필름보다 상기 제1 회절 구조에 더 가깝고, 상기 제2 반사층은 상기 제2 캐리어 필름에 부착되는 것을 유지하는, 광학 장치.

청구항 16

제12항 내지 제15항 중 어느 한 항에 있어서, 제3 회절 구조를 포함하는 제3 광 회절 컴포넌트로서, 상기 제3 회절 구조에 제3 입사각으로 입사되는 제3 색상의 광의 1차 및 0차를 회절시키도록 구성되며, 상기 1차는 제3 회절각으로 회절되고, 상기 0차는 상기 제3 입사각으로 투과되며, 상기 제2 반사층은 상기 제2 회절 구조와 상기 제3 회절 구조 사이에 있는, 상기 제3 광 회절 컴포넌트를 더 포함하며,

선택적으로는 상기 제1 및 제2 반사층들 각각은 상기 제3 입사각으로 입사하는 상기 제3 색상의 광을 투과시키도록 구성되고;

선택적으로는 상기 광학 장치는 제3 반사층으로서, 상기 제3 반사층에 상기 제3 입사각으로 입사된 상기 제3 색상의 광을 전반사시키도록 구성되는, 상기 제3 반사층을 더 포함하며, 상기 제3 회절 구조는 상기 제2 및 제3 반사층 사이에 있고;

선택적으로는 상기 제2 광 회절 컴포넌트는 제2 회절 기관 및 상기 제2 회절 구조의 대향면에 배열된 제2 캐리어 필름을 포함하며, 상기 제3 광 회절 컴포넌트는 제3 캐리어 필름 및 상기 제3 회절 구조의 대향면에 위치한 제3 회절 기관을 포함하며, 상기 제2 반사층은 상기 제2 및 제3 캐리어 필름 사이에 있는, 광학 장치.

청구항 17

제12항 내지 제16항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 제1 및 제2 광 회절 구조 각각은 기록 매체에 형성된 각각의 홀로그래픽 격자를 포함하며,

선택적으로는 상기 기록 매체는 감광성 중합체를 포함하고,

선택적으로는 상기 기록 매체는 광학적으로 투명하고,

선택적으로는 상기 제1 및 제2 광 회절 컴포넌트 각각은 상기 기록 매체에 형성된 각각의 브래그 격자를 포함하고, 상기 각각의 브래그 격자는 프린지 경사각(θ_i) 및 상기 기록 매체의 체적에서 상기 프린지 평면에 수직인 프린지 간격(Λ)를 갖는 복수의 프린지 평면을 포함하며,

선택적으로는 상기 각각의 브래그 격자는 상기 기록 매체의 입사각이 브래그 입사각이 되도록 구성되며, 각각의 회절각(θ_m)은 브래그 방정식 $m\lambda = 2 n \Lambda \sin(\theta_m - \theta_i)$ 로 충족되며, 여기서 λ 는 진공에서 한 색상의 광의 각각의 파장을 나타내고, n 은 상기 기록 매체의 굴절률을 나타내고, θ_m 은 상기 기록 매체의 m 차 회절 차수의 브래그 각도를 나타내고, θ_i 는 상기 기록 매체의 프린지 기울기를 나타내며, 상기 제1 및 제2 입사각 각각은 각각의 온-브래그 각도와 실질적으로 동일하고, 상기 제1 및 제2 회절각 각각은 각각의 1차 브래그 각도와 실질적으로 동일하며;

선택적으로는 상기 기록 매체의 두께는 상기 프린지 간격보다 10배 이상 크고,

선택적으로는 상기 기록 매체의 두께는 상기 프린지 간격보다 약 30배 이상 크고,

선택적으로는 상기 제1 회절각과 상기 제2 회절각은 서로 실질적으로 동일하고,
 선택적으로는 상기 제1 및 제2 회절각 각각은 -10° 내지 10° 범위에 있고,
 선택적으로는 상기 제1 및 제2 회절각 각각은 실질적으로 0° 와 동일하고,
 선택적으로는 상기 제1 및 제2 회절각 각각은 실질적으로 6° 와 동일한, 광학 장치.

청구항 18

제12항 내지 제17항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 제1 입사각은 상기 제3 입사각과 다르며,
 선택적으로는 상기 제1 색상의 광은 상기 제2 색상의 광보다 작은 파장을 가지며, 상기 제1 색상의 광의 상기 제1 입사각은 상기 제2 색상의 광의 상기 제2 입사각보다 크고,
 선택적으로는 상기 제1 및 제2 입사각 각각은 70° 내지 90° 범위에 있는, 광학 장치.

청구항 19

제12항 내지 제18항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 제1 광 회절 컴포넌트 및 상기 제2 광 회절 컴포넌트를 포함하는 복수의 컴포넌트를 포함하며, 상기 복수의 컴포넌트 중 인접한 2개의 컴포넌트는 굴절률 정합 재료, OCA, UV 경화 또는 열 경화 광학 접착제 또는 광학 접착 재료 중 적어도 하나를 포함하는 중간층에 의해 함께 부착되며,
 선택적으로는 상기 제2 반사층은 상기 중간층을 포함하는, 광학 장치.

청구항 20

제12항 내지 제19항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 제1 광 회절 컴포넌트의 전면에 부착된 후면을 갖는 기판을 더 포함하며,
 선택적으로는 상기 기판은 상기 후면에 대해 각을 이루는 측면을 포함하고, 상기 측면에서 복수의 상이한 색상의 광을 수용하도록 구성되고,
 선택적으로는 상기 기판의 상기 측면과 상기 후면 사이의 각도는 90° 이상이고,
 선택적으로는 상기 기판은 상기 복수의 상이한 색상의 광이 실질적으로 0° 와 동일한 입사각으로 상기 측면에 입사하도록 구성되고,
 선택적으로는 상기 기판은 쉐기형이고 기울어진 전면을 포함하며, 상기 전면과 상기 측면 사이의 각도는 90° 미만인, 광학 장치.

청구항 21

시스템에 있어서,
 복수의 색상의 광을 제공하도록 구성된 조명기; 및
 제1항 내지 제20항 중 어느 한 항에 따른 광학 장치를 포함하며,
 상기 광학 장치는 상기 조명기에 인접하게 배열되고, 상기 조명기로부터 상기 복수의 상이한 색상의 광을 수용하고 상기 복수의 상이한 색상의 광을 회절시키도록 구성되는, 시스템.

청구항 22

제21항에 있어서, 상기 광학 장치는 서로 실질적으로 동일한 각각의 회절각으로 복수의 상이한 색상의 광을 회절시키도록 구성되며, 선택적으로는 상기 각각의 회절각 각각은 -10° 내지 10° 의 범위에 있는, 시스템.

청구항 23

제21항 또는 제22항에 있어서,
 상기 조명기에 결합되고 상기 조명기를 제어하여 상기 복수의 상이한 색상의 광 각각을 제공하도록 구성된 컨트롤러를 더 포함하며,.

선택적으로는 상기 시스템은 상기 복수의 디스플레이 요소를 포함하는 디스플레이를 더 포함하며, 상기 광학 장치는 상기 복수의 색상의 광을 디스플레이로 회절시키도록 구성되고,

선택적으로는 상기 컨트롤러는 상기 디스플레이에 결합되며, 상기 디스플레이 요소의 적어도 하나의 속성의 변조를 위해 상기 복수의 디스플레이 요소 각각에 각각의 제어 신호를 전송하도록 구성되고,

선택적으로는 상기 컨트롤러는 3차원 공간에서 객체에 대응하는 복수의 프리미티브에 대한 각각의 프리미티브 데이터를 포함하는 그래픽 데이터를 획득하고; 상기 복수의 프리미티브 각각에 대해, 상기 디스플레이의 상기 복수의 디스플레이 요소들 각각에 대한 전자기(EM) 필드 기여도를 결정하고; 상기 복수의 디스플레이 요소 각각에 대해, 상기 복수의 프리미티브로부터 상기 디스플레이 요소까지의 EM 필드 기여도의 합을 생성하고; 상기 복수의 디스플레이 요소들 각각에 대해, 상기 디스플레이 요소에 대한 EM 필드 기여도의 합에 기초하여 상기 각각의 제어 신호를 생성하도록 구성되는, 시스템.

청구항 24

시스템에 있어서,

복수의 디스플레이 요소를 포함하는 디스플레이; 및

제1항 내지 제20항 중 어느 한 항에 따른 광학 장치를 포함하며,

상기 광학 장치는 복수의 상이한 색상의 광을 상기 디스플레이로 회절시키도록 구성되는, 시스템.

청구항 25

제24항에 있어서, 상기 광학 장치 및 상기 디스플레이는 방향을 따라 배열되며, 상기 광학 장치는 상기 방향을 따라 전면 및 후면을 포함하고, 상기 디스플레이는 상기 방향을 따라 전면 및 후면을 포함하며, 상기 디스플레이의 전면은 상기 광학 장치의 후면으로부터 이격되며,

선택적으로는 상기 디스플레이의 전면은 상기 광학 장치의 후면으로부터 갭만큼 이격되고,

선택적으로는 상기 디스플레이의 전면 또는 상기 광학 장치의 후면 중 적어도 하나는 반사 방지 코팅으로 처리되고,

선택적으로 상기 시스템은 상기 광학 장치의 후면에 투명 보호층을 더 포함하고,

선택적으로는 상기 디스플레이의 전면 및 상기 광학 장치의 후면은 중간층에 의해 함께 부착되고,

선택적으로는 상기 중간층은 상기 광학 장치 층의 굴절률보다 낮은 굴절율을 갖도록 구성되어, 상기 광학 장치에 의해 0차로 투과된 상기 복수의 상이한 색상의 광 각각이 상기 중간층과 상기 광학 장치 층 사이의 경계에서 전반사되도록 하고,

선택적으로는 상기 시스템은 상기 디스플레이의 전면에 커버를 더 포함하며, 상기 광학 장치는 상기 커버 유리 위에 형성되고,

선택적으로는 상기 광학 장치는 상기 광학 장치의 전면에서 상기 복수의 색상의 광을 수용하도록 구성되는, 시스템.

청구항 26

제24항 또는 제25항에 있어서, 상기 광학 장치는 상기 광학 장치의 전면의 기관을 포함하고, 상기 기관의 적어도 하나의 측면으로부터 상기 복수의 색상의 광을 수용하도록 구성되며,

선택적으로는 상기 광학 장치는 상기 기관에 의해 지지되고 상기 복수의 상이한 색상의 광을 상기 디스플레이 쪽으로 회절시키도록 구성된 적어도 하나의 회절 격자를 포함하고,

선택적으로는 상기 기관은 상기 회절 격자의 기록 매체보다 작은 굴절률을 갖는 액체로 채워진 용기를 포함하고,

선택적으로는 상기 기관은 쉘기형이며 타이틀이 붙은 전면을 포함하며,

상기 측면과 상기 후면 사이의 각도는 90도 미만이고,

선택적으로는 상기 광학 장치는 상기 기관의 상이한 광학 경로를 따라 상기 복수의 상이한 색상의 광의 상이한 부분을 수용하고 상기 상이한 부분을 회절시켜 상기 디스플레이의 상이한 대응 영역을 조명하도록 구성되고,

선택적으로는 상기 상이한 영역은 상기 디스플레이의 하부 영역, 상부 영역, 좌측 영역 및 우측 영역 중 2개 이상을 포함하고,

선택적으로는 상기 복수의 상이한 색상의 광의 상이한 부분은 상이한 대응하는 조명기에 의해 제공되고,

선택적으로는 상기 광학 장치는 상기 기관의 상이한 대응하는 측면으로부터 상기 복수의 상이한 색상의 광의 상이한 부분을 수용하도록 구성되고,

선택적으로는 상기 광학 장치는, 상기 기관의 제1 측면으로부터 상기 광학 장치의 후면으로 상기 복수의 상이한 색상의 광의 제1 부분을 수용하고 상기 제1 부분을 회절시켜 상기 디스플레이의 제1 영역을 조명하고; 상기 기관의 제2 측면으로부터 상기 광학 장치의 전면으로 상기 복수의 상이한 색상의 광의 제2 부분을 수용하고, 상기 광학 장치의 후면으로 다시 상기 제2 부분을 반사시키고, 상기 제2 부분을 회절시켜 상기 디스플레이의 제2 영역을 조명하도록 구성되고,

선택적으로는 상기 제1 측면과 상기 제2 측면은 동일한 측면이고,

선택적으로는 상기 복수의 상이한 색상의 광의 상기 제2 부분은 상기 광학 장치에서 내부 전반사 또는 반사형 격자에 의해 반사되고,

선택적으로는 상기 기관은 입력 광을 상기 제1 부분과 상기 제2 부분으로 분리하도록 구성된 부분 반사 표면을 포함하는, 시스템.

청구항 27

제24항 내지 제26항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 광학 장치는 상기 광학 장치의 후면에 배열된 적어도 하나의 회절 격자를 포함하며,

선택적으로는 상기 회절 격자는 상이한 대응하는 회절 효율을 갖는 상이한 서브 영역을 포함하고,

선택적으로는 상기 회절 격자는, 상기 디스플레이의 제1 영역을 조명하기 위해 상기 회절 격자의 제1 서브 영역에 입사하는 상기 복수의 상이한 색상의 광의 제1 부분을 회절시키고, 상기 광학 장치의 후면으로 추가로 다시 반사되고 상기 회절 격자의 제2 서브 영역에 입사하는 상기 광학 장치의 전면으로 상기 복수의 상이한 색상의 광의 제2 부분을 반사시키고, 상기 제2 부분을 회절시켜 상기 디스플레이의 제2의, 상이한 영역을 조명하도록 구성되고,

선택적으로는 상기 회절 격자는 상기 디스플레이의 상기 제1 영역 및 상기 제2 영역 상의 상기 회절된 제1 부분 및 상기 회절된 제2 부분이 실질적으로 동일한 광 전력을 갖도록 구성되고,

선택적으로는 상기 디스플레이의 상기 제1 및 제2 영역은 상기 회절 격자의 상기 제1 및 제2 서브 영역의 상기 제1 및 제2 상이한 회절 효율과 연관된 상이한 반사율을 갖는, 시스템.

청구항 28

제27항에 있어서, 상기 회절 격자는 함께 타일링되는 복수의 서브 영역을 포함하며,

선택적으로는 상기 서브 영역은 수평 방향을 따라 타일링되고,

선택적으로는 상기 상이한 서브 영역의 에지는 광학적으로 심리스한 방식으로 서로 인접하도록 구성되고,

선택적으로는 상기 상이한 서브 영역은 기록 매체에 각 서브 영역을 기록하는 동안 기록 빔 또는 대상체 빔 중 적어도 하나의 광학 경로에 하나 이상의 에지-정의 요소를 포함함으로써 형성되며, 상기 하나 이상의 에지-정의 요소는 정사각형 개구, 직사각형 개구 또는 평면 타일링 개구를 포함하고,

선택적으로는 상기 회절 격자의 2개의 인접한 서브 영역은 겹과 맞닿아 있고,

선택적으로는 상기 디스플레이는 다수의 타일형 디스플레이 장치를 포함하며, 상기 회절 격자의 상기 인접한 서브 영역 사이의 상기 겹은 상기 디스플레이의 인접한 타일형 디스플레이 장치 사이의 겹과 정렬되고,

선택적으로는 상기 인접한 두 개의 상이한 서브 영역들이 중첩되는, 시스템.

청구항 29

제27항 또는 제28항에 있어서, 다음 중 적어도 하나는,

상기 회절 격자는 엠보싱, 나노 임프린트 또는 자기 조립 구조를 사용하여 기계적으로 형성되고;

상기 디스플레이는 수평 방향에 따른 폭과 수직 방향에 따른 높이를 가지며, 상기 수평 방향과 상기 수직 방향 모두 상기 방향에 수직이고, 상기 폭과 상기 높이 사이의 종횡비는 16:9보다 큰, 시스템.

청구항 30

제24항 내지 제29항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 광학 장치는 서로 실질적으로 동일한 각각의 회절각으로 상기 복수의 상이한 색상의 광을 회절시키도록 구성되며,

선택적으로는 상기 각각의 회절각 각각은 -10도 내지 10도 범위에 있고,

선택적으로는 상기 디스플레이는 상기 광학 장치를 통해 다시 상기 회절된 색상의 광을 회절시키도록 구성되고;

선택적으로는 상기 광학 장치의 영역은 상기 디스플레이의 영역을 덮는, 시스템.

청구항 31

제24항 내지 제30항 중 어느 한 항에 있어서, 광학 장치에 인접하여 배열되고 상기 광학 장치에 상기 복수의 색상의 광을 제공하도록 구성된 조명기를 더 포함하며,

조명기는 각각이 각각의 색상의 광을 방출하도록 구성된 복수의 발광 요소를 포함하고,

선택적으로는 상기 복수의 발광 요소로부터의 빔의 중심은 서로에 대해 오프셋되고,

조명기는 타원형 빔 프로파일 또는 직사각형 빔 프로파일을 갖는 광 빔을 제공하도록 구성되고,

조명기는 특정 편광 배향을 갖는 광 빔을 제공하도록 구성되고,

조명기는 상기 복수의 상이한 색상의 광 각각의 타원을 및 편광 배향을 독립적으로 제어하도록 구성된 하나 이상의 광학 컴포넌트를 포함하고,

선택적으로는 상기 조명기는 상기 복수의 상이한 색상의 광의 균일성을 제어하도록 구성된 하나 이상의 광학 컴포넌트를 포함하고, 하나 이상의 광학 컴포넌트는 아포다이징 광학 요소 또는 프로파일 변환기를 포함하고,

선택적으로는 상기 시스템은 상기 복수의 상이한 색상의 광의 폭을 증가시키도록 구성된 하나 이상의 애너모픽 또는 원통형 광학 요소를 포함하는, 시스템.

청구항 32

제31항에 있어서,

상기 조명기와 상기 광학 장치 사이의 프리즘 요소로서, 상기 프리즘 요소의 입력 표면으로부터 상기 복수의 상이한 색상의 광을 수용하도록 구성된 상기 프리즘 요소를 더 포함하며,

하나 이상의 확장 격자로서, 상기 하나 이상의 확장 격자 각각은 적어도 하나의 차원에서 팩터로 상이한 대응하는 색상의 광의 빔 프로파일을 확장시키도록 구성되고,

선택적으로는 상기 시스템은 상기 하나 이상의 확장 회절 격자의 하류에 하나 이상의 반사기를 더 포함하며, 상기 하나 이상의 반사기 각각은 각각의 색상의 광을 상기 광학 장치로 반사하도록 구성되고,

하나 이상의 반사기 각각의 경사각은 상기 광학 장치에서 상기 디스플레이로 회절의 균일성을 야기하도록 독립적으로 조정 가능하고,

시스템은 상기 시스템에 의해 형성된 홀로그래픽 광 필드의 하나 이상의 광학적 특성을 검출하도록 구성된 색상 센서 또는 밝기 센서 중 적어도 하나를 더 포함하며, 상기 하나 이상의 반사기의 상기 경사각은 상기 홀로그래픽 광 필드의 상기 검출된 광학적 특성에 기초하여 조정 가능하고,

하나 이상의 광학적 특성들은 밝기 균일성, 색상 균일성 또는 화이트 포인트를 포함하고, 선택적으로는 상기 하나 이상의 반사기는 상기 시스템 컴포넌트의 정렬 변경을 수정하기 위해 조정 가능하고,

선택적으로는 상기 하나 이상의 반사기와 상기 광학 장치 사이의 광학 거리는 상기 복수의 상이한 색상의 광 각이 하나 이상의 다른 반사기를 투과하지 않고 대응하는 반사기에 의해 반사되도록 구성되고,

선택적으로는 상기 하나 이상의 반사기는 상기 하나 이상의 반사기 각각에서 조명되는 광이 실질적으로 상이한 방향에서 나오도록 구성되고,

선택적으로는 상기 프리즘 요소와 상기 광학 장치의 기관 사이의 각도는 상기 시스템에 의해 형성된 홀로그래픽 광 필드의 위치를 기울이도록 조정 가능하고,

선택적으로는 상기 하나 이상의 확장 격자는 하나 또는 두 개의 횡단 방향에서 상기 복수의 상이한 색상의 광을 적어도 부분적으로 시준하도록 구성되는, 시스템.

청구항 33

제31항 또는 제32항에 있어서,

상기 조명기에 결합되고 상기 조명기를 제어하여 상기 복수의 상이한 색상의 광 각각을 제공하도록 구성된 컨트롤러를 더 포함하며,

선택적으로는 상기 컨트롤러는 상기 디스플레이에 결합되며, 상기 디스플레이 요소의 적어도 하나의 속성의 변조를 위해 상기 복수의 디스플레이 요소 각각에 각각의 제어 신호를 전송하도록 구성되고,

선택적으로는 상기 컨트롤러는 3차원 공간에서 객체에 대응하는 복수의 프리미티브에 대한 각각의 프리미티브 데이터를 포함하는 그래픽 데이터를 획득하고; 상기 복수의 프리미티브 각각에 대해, 상기 디스플레이의 상기 복수의 디스플레이 요소들 각각에 대한 전자기(EM) 필드 기여도를 결정하고; 상기 복수의 디스플레이 요소 각각에 대해, 상기 복수의 프리미티브로부터 상기 디스플레이 요소까지의 EM 필드 기여도의 합을 생성하고; 상기 복수의 디스플레이 요소들 각각에 대해, 상기 디스플레이 요소에 대한 EM 필드 기여도의 합에 기초하여 상기 각각의 제어 신호를 생성하도록 구성되고,

는, 일련의 시간 기간에서 상기 복수의 색상의 광과 연관된 정보로 상기 디스플레이를 순차적으로 변조하고, 상기 일련의 시간 기간의 각각의 시간 기간 동안 상기 광학 장치로 상기 복수의 색상의 광 각각을 순차적으로 방출하여, 상기 복수의 색상의 광 각각이 상기 광학 장치에 의해 상기 디스플레이로 회절되고 상기 디스플레이의 변조된 디스플레이 요소에 의해 반사되어 상기 각각의 시간 기간 동안 상기 객체에 대응하는 각각의 색상의 3차원 광 필드를 형성하도록 상기 조명기를 제어하도록 구성되고,

선택적으로는 상기 컨트롤러는 상기 각각의 색상의 3차원 광 필드가 상기 디스플레이의 앞에 완전히 나타나거나; ii) 상기 디스플레이의 뒤에 완전히 나타나거나, 또는 iii) 상기 디스플레이 앞에 부분적으로 나타나고 상기 디스플레이 뒤에 부분적으로 나타나도록 상기 디스플레이를 변조하도록 구성되는, 시스템.

청구항 34

제24항 내지 제33항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 디스플레이는 디지털 마이크로-미러 장치(DMD) 또는 실리콘 액정(LCOS) 장치를 포함하는 공간 광 변조기(SLM)를 포함하며,

선택적으로는 시스템은 상기 디스플레이와 상기 광학 장치 사이에 배열된 광학 편광기를 더 포함하며, 상기 광학 편광기는 상기 복수의 상이한 색상의 광의 편광 상태를 변경하도록 구성되는, 시스템.

청구항 35

제24항 내지 제34항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 광학 장치는 상기 복수의 상이한 색상의 광을 포함하는 광을 상기 디스플레이 요소를 조명하는 상기 광의 일부를 회절시키도록 구성된 상기 디스플레이로 회절시키도록 구성된 광 회절 컴포넌트를 포함하며,

선택적으로는 상기 광학 장치는 상기 광의 일부를 투과시켜 홀로그래픽 장면을 형성하고 3차원(3D) 공간에서 상기 홀로그래픽 장면으로부터 멀리 디스플레이 0차 광을 방향 전환시키도록 구성된 광 방향 전환 컴포넌트를 더 포함하며, 상기 디스플레이 0차 광은 상기 디스플레이로부터의 반사광을 포함하고,

선택적으로는 상기 광 방향 전환 컴포넌트는 상기 복수의 상이한 색상의 광의 상기 디스플레이 0차 광에 대한 복수의 방향 전환 홀로그래픽 격자를 포함하며, 상기 복수의 방향 전환 홀로그래픽 격자 각각은 상기 3D 공간에서 각각의 방향 쪽으로 각각의 회절각으로 상기 복수의 상이한 색상의 광의 각각의 색상의 광의 디스플레이 0차

광을 회절시키도록 구성되고,

선택적으로는 상기 광 회절 컴포넌트는 약 0° 의 각도로 상기 디스플레이를 조명하기 위해 상기 복수의 상이한 색상의 광을 회절시키도록 구성되어, 상기 광 회절 컴포넌트가 상기 홀로그래픽 장면으로부터 멀리 상기 디스플레이로부터 반사된 상기 디스플레이 0차 광을 방향 전환시키고,

선택적으로는 상기 광 회절 컴포넌트 및 상기 광 방향 전환 컴포넌트가 억제된 상기 홀로그래픽 장면에서 상기 디스플레이 0차 광의 양과 억제가 없는 상기 홀로그래픽 장면에서 상기 디스플레이 0차 광의 양 사이의 비율은 2% 미만이고,

선택적으로는 상기 광 방향 전환 컴포넌트는 1-차원 억제 격자를 포함하고, 상기 홀로그래픽 장면은 상기 디스플레이 0차 광의 억제에 대응하는 대역을 포함하며, 상기 시스템은 상기 대역이 뷰어의 시야 밖에 있도록 구성되는, 시스템.

청구항 36

시스템에 있어서,

복수의 디스플레이 요소를 포함하는 디스플레이; 및

상기 디스플레이 인접하여 배열되고 상기 디스플레이로 광을 회절시키도록 구성된 광학 장치; 및

상기 디스플레이에 결합되고,

3차원 공간에서 객체에 대응하는 복수의 프리미티브에 대한 각각의 프리미티브 데이터를 포함하는 그래픽 데이터를 획득하고;

복수의 프리미티브 각각에 대해, 3차원 WHKVRP에서, 상기 프리미티브로부터 상기 디스플레이 요소까지의 전자기(EM) 필드 전파를 계산함으로써 상기 디스플레이의 상기 복수의 디스플레이 요소 각각에 대한 EM 필드 기여도를 결정하고;

복수의 디스플레이 요소 각각에 대해, 상기 복수의 프리미티브로부터 상기 디스플레이 요소까지의 상기 EM 필드 기여도의 합을 생성하고;

상기 복수의 디스플레이 요소 각각에 대해, 상기 디스플레이 요소의 적어도 하나의 속성의 변조를 위해 상기 디스플레이 요소에 대한 상기 EM 필드 기여도의 합에 기초하여 각각의 제어 신호를 전송하도록 구성된 컨트롤러를 포함하는, 시스템.

청구항 37

제36항에 있어서, 다음 중 적어도 하나는,

상기 광학 장치는 제1항 내지 제11항 중 어느 한 항의 광학 장치를 포함하고;

상기 광학 장치는 제12항 내지 제20항 중 어느 한 항의 광학 장치를 포함하는 것을 유지하는, 시스템.

청구항 38

제36항 또는 제37항에 있어서, 다음 중 적어도 하나는,

상기 광학 장치는 기록 매체에 형성된 홀로그래픽 격자를 포함하고;

상기 광학 장치는 기록 매체에 형성된 복수의 홀로그래픽 격자를 포함하고, 상기 복수의 홀로그래픽 격자 각각은 상기 디스플레이에 대해 각각의 입사각을 갖는 각각의 색상으로 광을 회절시키도록 구성되고,

상기 광학 장치는 상기 디스플레이 앞에 배열되고, 상기 디스플레이는 상기 객체에 대응하는 3차원 광 필드를 형성하기 위해 상기 광학 장치를 통해 회절된 광을 다시 회절시키도록 구성되고,

상기 광학 장치는 상기 광학 장치에 인접하여 배열되고 상기 광학 장치에 광을 제공하도록 구성된 조명기를 더 포함하는 것을 유지하는, 시스템.

청구항 39

제38항에 있어서, 상기 커트roller는,

일련의 시간 기간에서 복수의 색상의 광에 대응하는 복수의 색상과 연관된 정보로 상기 디스플레이를 순차적으로 변조하고,

상기 일련의 시간 기간의 각각의 시간 기간 동안 상기 복수의 색상의 광 각각을 상기 광학 장치로 순차적으로 방출하여, 상기 복수의 색상의 광 각각이 상기 광학 장치에 의해 상기 디스플레이로 회절되고 상기 디스플레이의 변조된 디스플레이 요소에 의해 반사되어 상기 각각의 시간 기간 동안 상기 객체에 대응하는 각각의 색상의 3차원 광 필드를 형성하도록 조명기를 제어하도록 구성되는, 시스템.

청구항 40

방법에 있어서,

제1항 내지 제20항 중 어느 한 항에 따른 광학 장치를 제조하는 방법.

청구항 41

제1항 내지 제11항 중 어느 한 항에 따른 광학 장치를 제조하는 방법에 있어서, 상기 방법은,

상기 제1 광 회절 컴포넌트를 형성하는 단계;

상기 제2 광 회절 컴포넌트를 형성하는 단계; 및

상기 제1 광 회절 컴포넌트와 상기제2 광 회절 컴포넌트들 사이에 상기 색상 선택 편광기를 배열하는 단계를 포함하는, 방법.

청구항 42

제41항에 있어서, 상기 제1 광 회절 컴포넌트를 형성하는 단계는 기록 매체에 제1 회절 구조를 형성하는 단계를 포함하며,

선택적으로는 상기 기록 매체에 상기 제1 회절 구조를 형성하는 단계는 제1 기록 대상체 각도의 제1 기록 대상체 빔과 제1 기록 기준각의 제1 기록 기준 빔을 상기 기록 매체에 조명하여 상기 기록 매체에 제1 홀로그래픽 격자를 기록하는 단계를 포함하며, 상기 제1 기록 대상체 빔 및 상기 제1 기록 기준 빔은 동일한 파장 및 동일한 제1 편광 상태를 가지며,

선택적으로는 상기 제1 색상의 광은 상기 제1 기록 기준 빔 또는 상기 제1 기록 대상체 빔의 파장 범위보다 더 넓거나 동일한 파장 범위를 포함하고,

선택적으로는 상기 제1 기록 기준 빔은 상기 제1 색상의 제1 색상의 광과 다른 색상에 대응하고,

선택적으로는 상기 제1 색상의 광의 상기 제1 입사각은 상기 제1 기록 기준각과 실질적으로 동일하고, 상기 제1 회절각은 상기 제1 기록 대상체 각도와 실질적으로 동일하고,

선택적으로는 상기 제1 기록 기준각은 70도 내지 90도 범위에 있고,

선택적으로는 상기 제1 기록 기준각은 80도 내지 90도 범위에 있고,

선택적으로는 상기 제1 기록 대상체 각도는 -10도 내지 10도 범위에 있고,

선택적으로는 상기 제1 기록 대상체 각도는 실질적으로 6° 와 동일하고,

선택적으로는 상기, 제1 기록 대상체 각도는 실질적으로 0° 와 동일하고,

선택적으로는 상기 제1 기록 기준각과 상기 제1 기록 대상체 각도의 합은 실질적으로 90도와 동일하고,

선택적으로는 상기 기록 매체의 두께는 상기 제1 기록 대상체 빔의 파장보다 10배 이상 크고,

선택적으로는 상기 기록 매체의 두께는 상기 제1 기록 대상체 빔의 파장보다 약 30배 이상 크고,

선택적으로는 상기 기록 매체에 상기 제1 회절 구조를 형성하는 단계는 상기 기록 매체에 상기 제1 회절 구조를 고정하는 단계를 포함하며, 선택적으로는 상기 기록 매체는 캐리어 필름과 회절 구조 사이에 있고,

선택적으로는 상기 제1 회절각과 상기 제2 회절각은 서로 실질적으로 동일하고,

선택적으로는 상기 제1 입사각과 제2 입사각은 서로 실질적으로 동일한, 방법.

청구항 43

제42항에 있어서, 상기 제1 광 회절 컴포넌트와 상기 제2 광 회절 컴포넌트 사이에 상기 색상 선택 편광기를 배열하는 단계는,

상기 제1 광 회절 컴포넌트, 상기 색상 선택 편광기 및 상기 제2 광 회절 컴포넌트를 순차적으로 적층시켜, 상기 제1 색상의 광 및 상기 제2 색상의 광이 상기 제2 광 회절 컴포넌트 앞의 상기 제1 광 회절 컴포넌트에 입사되도록 하는 단계를 포함하며,

선택적으로는 상기 제1 광 회절 컴포넌트, 상기 색상 선택 편광기 및 상기 제2 광 회절 컴포넌트를 순차적으로 적층시키는 단계는 상기 제1 광 회절 컴포넌트, 상기 색상 선택 편광기 및 상기 제2 광 회절 컴포넌트를 상기 제1 광 회절 컴포넌트 앞에 있는 기판 상에 순차적으로 배열시키는 단계를 포함하고,

선택적으로는 상기 제1 광 회절 컴포넌트, 상기 색상 선택 편광기 및 상기 제2 광 회절 컴포넌트를 순차적으로 적층시키는 단계는, 상기 색상 선택 편광기를 제1 중간층을 통해 상기 제1 광 회절 컴포넌트에 부착하는 단계; 및 상기 제2 광 회절 컴포넌트를 제2 중간층을 통해 상기 색상 선택 편광기에 부착하는 단계를 포함하며, 상기 제1 및 제2 중간층 각각은 각각의 굴절률 정합 재료를 포함하는, 방법.

청구항 44

제41항 내지 제43항 중 어느 한 항에 있어서,

제3 회절 효율로 제3 회절 각도로 상기 제1 편광 상태 및 제3 입사각을 갖는 제3 색상의 광을 회절시키도록 구성된 제3 광학 회절 컴포넌트를 형성하는 단계; 및

상기 제2 및 제3 광 회절 컴포넌트 사이에 제2 색상 선택 편광기를 배열하는 단계로서, 상기 제2 색상 선택 편광기는 상기 제3 색상의 광의 편광 상태를 상기 제2 편광 상태에서 상기 제1 편광 상태로 회전시키도록 구성되는, 상기 배열하는 단계를 더 포함하며,

선택적으로는 상기 색상 선택 편광기는 상기 제1 색상의 광의 편광 상태를 상기 제1 편광 상태에서 상기 제2 편광 상태로 회전시키도록 구성되고, 상기 제2 색상 선택 편광기는 상기 제1 색상의 광의 편광 상태의 회전 없이, 상기 제2 색상의 광의 편광 상태를 상기 제1 편광 상태에서 상기 제2 편광 상태로 회전시키도록 구성되고,

선택적으로는 상기 방법은 상기 제3 광 회절 컴포넌트가 상기 제2 및 제3 색상 선택 편광기 사이에 있도록 상기 제3 광 회절 컴포넌트에 순차적으로 제3 색상 선택 편광기를 배열하는 단계를 더 포함하며, 상기 제3 색상 선택 편광기는 상기 제3 색상의 광의 편광 상태의 회전 없이, 상기 제1 및 제2 색상의 광 각각의 편광 상태를 상기 제2 편광 상태에서 상기 제1 편광 상태로 회전시키도록 구성되고,

선택적으로는 상기 방법은, 상기 제3 광 회절 컴포넌트가 제4 색상 선택 편광기와 상기 색상 선택 편광기 사이에 있도록 상기 제1 광 회절 컴포넌트에 앞에 상기 제4 색상 선택 편광기를 배열하는 단계를 더 포함하며, 상기 제4 색상 선택 편광기는 상기 제2 및 제3 색상의 광 각각의 편광 상태의 회전 없이, 상기 제1 색상의 광의 편광 상태를 상기 제2 편광 상태에서 상기 제1 편광 상태로 회전시키도록 구성되는, 방법.

청구항 45

제41항 내지 제44항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 제1 편광 상태는 s 편광이고, 상기 제2 편광 상태는 p 편광인, 방법.

청구항 46

제12항 내지 제20항 중 어느 한 항에 따른 광학 장치를 제조하는 방법에 있어서, 상기 방법은,

상기 제1 회절 구조를 포함하는 상기 제1 광 회절 컴포넌트를 형성하는 단계;

상기 제2 회절 구조를 포함하는 상기 제2 광 회절 컴포넌트를 형성하는 단계;

상기 제1 회절 곳과 상기 제2 회절 구조 사이에 상기 제1 반사층을 배열하는 단계로서, 상기 제2 회절 구조는 방향을 따라 상기 제1 회절 구조에 순차적인, 상기 배열하는 단계: 및

상기 방향을 따라 상기 제2 회절 구조에 순차적으로 상기 제2 반사층을 배열하는 단계를 포함하는, 방법.

청구항 47

제46항에 있어서, 상기 광학 장치의 측면에 광학 흡수체를 형성하는 단계를 더 포함하며, 상기 광학 흡수체는 상기 제1 및 제2 색상의 전반사광을 흡수하도록 구성되고,

선택적으로는 상기 제1 반사층은 상기 제1 반사층에 바로 인접한 상기 제1 광 회절 컴포넌트 층의 굴절률보다 작은 굴절률을 가져, 상기 제2 입사각을 갖는 상기 제2 색상의 광을 전반사하지 않고, 상기 제1 입사각을 갖는 상기 제1 색상의 광이 상기 제1 반사층과 상기 제1 광 회절 컴포넌트 층 사이의 경계에 의해 전반사되도록 구성되고;

선택적으로는 상기 방법은 제3 입사각을 갖는 제3 색상의 광을 회절시키도록 구성된 제3 회절 구조를 포함하는 제3 광 회절 컴포넌트를 형성하는 단계를 더 포함하고, 상기 제2 반사층을 상기 방향을 따라 상기 제2 회절 구조에 순차적으로 배열하는 단계는 상기 방향을 따라 상기 제2 회절 구조와 상기 제3 회절 구조 사이에 상기 제2 반사층을 배열하는 단계를 포함하며, 상기 제1 반사층 및 상기 제2 반사층 각각은 상기 제3 입사각을 갖는 상기 제3 색상의 광을 투과시키도록 구성되고, .

선택적으로는 상기 방법은 상기 방향을 따라 상기 제3 회절 구조에 순차적으로 제3 반사층을 배열하는 단계를 더 포함하며, 상기 제3 반사층은 상기 제3 입사각을 갖는 상기 제3 색상의 광을 전반사하도록 구성되고,

선택적으로는 상기 제1, 제2 및 제3 광 회절 컴포넌트 각각은 각각의 캐리어 필름 및 각각의 회절 기관을 포함하고, 상기 제1 반사층은 상기 제1 광 회절 컴포넌트의 제1 캐리어 필름을 포함하고, 상기 제1 회절 구조와 상기 제2 회절 구조 사이에 상기 제1 반사층을 배열하는 단계는, 제1 중간층에 의해 상기 제1 광 회절 컴포넌트의 상기 제1 캐리어 필름에 상기 제2 광 회절 컴포넌트의 제2 회절 기관을 부착하는 단계를 포함하고, 상기 방향을 따라 상기 제2 회절 구조와 상기 제3 회절 구조 사이에 상기 제2 반사층을 배열하는 단계는, 제2 중간층에 의해 상기 제3 광 회절 컴포넌트의 제3 캐리어 필름에 상기 제2 광 회절 컴포넌트의 제2 캐리어 필름을 부착하는 단계를 포함하고, 상기 제2 반사층은 상기 제2 광 중간층을 포함하고, 상기 제3 반사층은 상기 제3 광 회절 컴포넌트의 제3 회절 기관에 부착되는, 방법.

청구항 48

제47항에 있어서,

상기 방향을 따라 상기 제1 광 회절 컴포넌트 앞에 있는 기관 상에 상기 제1 광 회절 컴포넌트를 배열하는 단계를 더 포함하며, 상기 기관은 전면 및 후면을 포함하고,

선택적으로는 상기 기관 상에 상기 제1 광 회절 컴포넌트를 배열하는 단계는 굴절률 정합 재료를 통해 상기 제1 광 회절 컴포넌트의 전면을 상기 기관의 후면에 부착하는 단계를 포함하고,

선택적으로는 상기 기관은 상기 기관의 후면에 대해 각을 이루는 측면을 포함하며, 상기 기관은 상기 측면에서 복수의 상이한 색상의 광을 수용하도록 구성되고,

선택적으로는 상기 기관은 상기 복수의 상이한 색상의 광이 실질적으로 0도와 동일한 입사각으로 상기 측면에 입사하도록 구성되는, 방법.

청구항 49

제46항 내지 제48항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 제1 회절 구조를 포함하는 상기 제1 광 회절 컴포넌트를 형성하는 단계는 기록 매체에 상기 제1 회절 구조를 형성하는 단계를 포함하고,

선택적으로는 상기 기록 매체에 상기 제1 회절 구조를 형성하는 단계는 제1 기록 대상체 각도의 제1 기록 대상체 빔과 제1 기록 기준각의 제1 기록 기준 빔을 주입하여 상기 기록 매체에 제1 홀로그래프 격자를 기록하는 단계를 포함하며, 상기 제1 기록 대상체 빔 및 상기 제1 기록 기준 빔은 동일한 파장 및 동일한 편광 상태를 가지며,

선택적으로는 상기 제1 색상의 광은 상기 제1 기록 기준 빔의 파장 범위보다 더 넓거나 동일한 파장 범위를 포함하고,

선택적으로는 상기 제1 기록 기준 빔은 상기 제1 색상의 제1 색상의 광과 다른 색상에 대응하고,
 선택적으로는 상기 제1 색상의 광의 상기 제1 입사각은 상기 제1 기록 기준각과 실질적으로 동일하고, 상기 제1 회절각은 상기 제1 기록 대상체 각도와 실질적으로 동일하고,
 선택적으로는 상기 제1 기록 기준각은 70도 내지 90도 범위에 있고,
 선택적으로는 상기 제1 기록 기준각은 70도 내지 80도 범위에 있고,
 선택적으로는 상기 제1 기록 기준각은 -10도 내지 10도 범위에 있고,
 선택적으로는 상기 기록 매체의 두께는 상기 제1 기록 대상체 빔의 파장보다 10배 이상 크고,
 선택적으로는 상기 기록 매체의 두께는 상기 제1 기록 대상체 빔의 파장보다 약 30배 이상 크고,
 선택적으로는 상기 기록 매체에서 상기 제1 회절 구조를 형성하는 단계는 상기 기록 매체에 상기 제1 회절 구조를 고정하는 단계를 포함하는, 방법.

청구항 50

제46항 내지 제49항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 제1 입사각은 상기 제2 입사각과 다르며,
 선택적으로는 상기 제1 색상의 광은 상기 제2 색상의 광보다 작은 파장을 가지며, 상기 제1 입사각은 상기 제2 입사각보다 큰, 방법.

청구항 51

방법에 있어서,
 제40항 내지 제50항 중 어느 한 항의 방법에 따른 광학 장치를 형성하는 단계; 및
 상기 광학 장치 및 복수의 디스플레이 요소를 포함하는 디스플레이를 배열하여, 상기 광학 장치가 복수의 상이한 색상의 광을 상기 디스플레이로 회절시키도록 구성되도록 하는 단계를 포함하는, 방법.

청구항 52

제51항에 있어서, 다음 중 적어도 하나는,
 상기 광학 장치 및 상기 디스플레이를 배열하는 단계는 상기 디스플레이의 전면으로부터 상기 광학 장치의 후면을 갭만큼 이격시키는 단계를 포함하며, 선택적으로는 상기 방법은 상기 디스플레이의 전면 또는 상기 광학 장치의 후면 중 적어도 하나에 반사 방지 코팅을 형성하는 단계를 더 포함하며;
 상기 광학 장치 및 상기 디스플레이를 배열하는 단계는 중간층을 통해 상기 디스플레이의 전면에서 상기 광학 장치의 후면을 부착하는 단계를 포함하며, 선택적으로는 상기 중간층은 상기 광학 장치 층의 굴절률보다 낮은 굴절률을 갖도록 구성되어, 상기 광학 장치에 의해 0차로 투과된 상기 복수의 상이한 색상의 광 각각이 상기 중간층과 상기 광학 장치 층 사이의 경계에서 전반사되도록 하고;
 상기 광학 장치는 서로 실질적으로 동일한 각각의 회절각으로 상기 복수의 상이한 색상의 광을 회절시키도록 구성되며, 선택적으로는 상기 각각의 회절각 각각은 -10도 내지 10도의 범위에 있고;
 상기 디스플레이는 상기 광학 장치를 통해 다시 상기 회절된 색상의 광을 회절시키도록 구성되고;
 상기 광학 장치의 영역은 상기 디스플레이의 영역을 덮고,
 상기 광학 장치는 상기 광학 장치의 전면의 기판을 포함하고, 상기 기판의 후면에 대해 각을 이루는 상기 기판의 측면에서 상기 복수의 상이한 색상의 광을 수용하도록 구성되는 것을 유지하는, 방법.

청구항 53

방법에 있어서,
 광학 장치를 사용하여 복수의 상이한 색상의 광을 포함하는 입사 빔을 개별적으로 회절된 색상의 광으로 변환하는 단계를 포함하며,

상기 광학 장치는 제1항 내지 제20항 중 어느 한 항에 따른 광학 장치를 포함하는, 방법.

청구항 54

방법에 있어서,

복수의 상이한 색상의 광을 광학 장치 상에 방출하도록 조명기를 활성화하기 위해 상기 조명기에 적어도 하나의 타이밍 제어 신호를 전송하여, 상기 광학 장치가 복수의 상이한 색상의 광을 개별적으로 회절된 색상의 광으로 변환시켜 복수의 디스플레이 요소를 포함하는 디스플레이를 조명하는 단계로서, 상기 광학 장치는 제1항 내지 제20항 중 어느 한 항에 따른 광학 장치를 포함하는, 상기 조명하는 단계; 및

상기 디스플레이의 상기 복수의 디스플레이 요소 각각에 대해, 상기 디스플레이 요소를 변조하기 위한 적어도 하나의 각각의 제어 신호를 전송하여, 상기 개별적으로 회절된 색상의 광이 상기 변조된 디스플레이 요소에 의해 반사되어 상기 각각의 제어 신호에 대응하는 다중 색상의 3차원 광 필드를 형성하는 단계를 포함하는, 방법.

청구항 55

제54항에 있어서,

3차원 공간에서 객체에 대응하는 복수의 프리미티브에 대한 각각의 프리미티브 데이터를 포함하는 그래픽 데이터를 획득하는 단계;

상기 복수의 프리미티브 각각에 대해, 3차원 좌표계에서, 상기 프리미티브로부터 상기 디스플레이 요소까지의 EM 필드 전파를 계산함으로써 상기 디스플레이의 상기 복수의 디스플레이 요소 각각에 대한 전자기(EM) 필드 기여도를 결정하는 단계; 및

상기 복수의 디스플레이 요소 각각에 대해, 상기 복수의 프리미티브로부터 상기 디스플레이 요소까지의 상기 EM 필드 기여도의 합을 생성하는 단계; 및

상기 복수의 디스플레이 요소 각각에 대해, 상기 프리미티브로부터 상기 디스플레이 요소까지의 상기 EM 필드 기여도의 합에 기초하여 상기 각각의 제어 신호를 생성하는 단계를 더 포함하며,

상기 다중 색상의 3차원 광 필드는 객체에 대응하고,

선택적으로는 상기 방법은, 일련의 시간 기간에서 상기 복수의 상이한 색상과 연관된 정보로 상기 디스플레이를 순차적으로 변조하는 단계, 및 상기 일련의 시간 기간의 각각의 시간 기간 동안 상기 광학 장치로 상기 복수의 상이한 색상의 광 각각을 순차적으로 방출하여, 상기 복수의 상이한 색상의 광 각각이 상기 광학 장치에 의해 상기 디스플레이로 회절되고 상기 디스플레이의 상기 변조된 디스플레이 요소에 의해 반사되어 상기 각각의 시간 기간 동안 상기 객체에 대응하는 각각의 색상의 3차원 광 필드를 형성하도록 상기 조명기를 제어하는 단계를 포함하고,

선택적으로는 상기 복수의 상이한 색상의 광은 상기 디스플레이에 대해 실질적으로 동일한 회절각으로 상기 광학 장치에 의해 회절되고, .

선택적으로는 상기 회절각은 -10도 내지 10도 범위에 있고,

선택적으로는 상기 조명기 및 상기 광학 장치는 상기 복수의 상이한 색상의 광이 각각의 입사각으로 상기 광학 장치의 상기 제1 광 회절 컴포넌트에 입사되도록 구성되고,

선택적으로는 상기 각각의 입사각은 서로 다르고,

선택적으로는 상기 각각의 입사각은 서로 실질적으로 동일하고,

선택적으로는 상기 각각의 입사각 각각은 70도 내지 90도 범위에 있는, 방법.

청구항 56

광학 장치에 있어서,

적어도 두 개의 광 회절 컴포넌트; 및

적어도 하나의 색상 선택 편광기를 포함하며,

상기 광학 장치는, 상이한 색상의 광이 상기 광학 장치에 입사될 때, 상기 광학 장치는 상기 상이한 색상 간의 누화를 억제하면서 상기 상이한 색상 중 개별 색상의 광을 분리시키도록 구성되는, 광학 장치.

청구항 57

제56항에 있어서, 상기 광학 장치는 상기 상이한 색상의 광이 상기 광학 장치에 입사될 때, 상기 광 회절 컴포넌트 각각이 상기 상이한 색상 중 각각의 색상의 광을 회절시키도록 구성되고,

선택적으로는 상기 광학 장치는 상기 광학 장치에 의해 회절된 출력 광 빔에서, 상기 상이한 색상 중 특정 색상의 광의 출력이 상기 상이한 색상 중 하나 이상의 다른 색상의 광의 출력보다 적어도 10배 더 높도록 구성되고,

선택적으로는 상기 적어도 하나의 색상 선택 편광기는 상기 상이한 색상들 중 적어도 하나의 색상의 광의 편광 상태를 회전시켜, 상기 상이한 색상들 중 특정 색상의 광이 상기 광 회절 컴포넌트 중 각각의 광 회절 컴포넌트 상에 제1 편광 상태로 입사되도록 하는 반면, 상기 상이한 색상들 중 하나 이상의 다른 색상의 광이 상기 광 회절 컴포넌트 중 각각의 광 회절 컴포넌트 상에 상기 제1 편광 상태와 다른 제2 편광 상태로 입사되도록 구성되는, 광학 장치.

청구항 58

광학 장치에 있어서,

적어도 두 개의 광 회절 컴포넌트; 및

적어도 하나의 반사층을 포함하며,

상기 광학 장치는 상이한 색상의 광이 상기 광학 장치에 입사될 때, 상기 광학 장치가 상기 상이한 색상 간의 누화를 억제하면서 상기 상이한 색상 중 개별 색상의 광을 분리시키도록 구성되고,

상기 적어도 하나의 반사층은 상기 상이한 색상 중 적어도 하나의 색상의 광의 내부 전반사를 위해 구성되는, 광학 장치.

청구항 59

제58항에 있어서, 상기 광학 장치는 상기 광학 장치에 의해 회절된 출력 광 빔이 상기 상이한 색상 중 하나 이상의 다른 색상으로부터의 누화 없이 상기 상이한 색상 중 특정 색상의 광만을 포함하도록 구성되고,

선택적으로는 상기 적어도 하나의 반사층은 각각의 상기 광 회절 컴포넌트에 의해 투과된 상기 상이한 색상 중 특정 색상의 0차 광을 전반사시키면서, 상기 상이한 색상 중 하나 이상의 다른 색상을 투과시키도록 구성되고,

선택적으로는 상기 광학 장치는 상이한 색상의 광이 상기 광학 장치에 입사될 때, 상기 광 회절 컴포넌트 각각이 상기 상이한 색상 중 각각의 색상의 광을 회절시키도록 구성되는, 광학 장치.

청구항 60

시스템에 있어서,

디스플레이; 및

제56항 내지 제59항 중 어느 한 항에 따른 광학 장치를 포함하며,

상기 광학 장치는 복수의 상이한 색상의 광을 상기 디스플레이로 회절시키도록 구성되는, 시스템.

청구항 61

시스템에 있어서,

복수의 상이한 색상의 광을 제공하도록 구성된 조명기; 및

제56항 내지 제59항 중 어느 한 항에 따른 광학 장치를 포함하며,

상기 광학 장치는 상기 복수의 상이한 색상의 광을 상기 조명기로 회절시키도록 구성되는, 시스템.

청구항 62

시스템에 있어서,

디스플레이; 및

광을 상기 디스플레이로 회절시키기 위한 하나 이상의 투과성 회절 구조를 포함하는 광학 장치를 포함하는, 시스템.

청구항 63

제62항에 있어서, 상기 디스플레이는 상기 광학 장치를 통해 다시 상기 광을 회절시키도록 구성된 반사형 디스플레이이고,

선택적으로는 상기 시스템은 상기 광을 상기 광학 장치에 제공하도록 구성된 조명기를 더 포함하며, 상기 조명기는 상기 광학 장치의 상기 투과성 회절 구조의 전면에 배열되는, 시스템.

청구항 64

제62항에 있어서, 상기 디스플레이는 상기 광학 장치를 통하지 않고 전방으로 상기 광을 회절시키도록 구성된 투과성 디스플레이이고,

선택적으로는 상기 시스템은 상기 광을 상기 광학 장치에 제공하도록 구성된 조명기를 더 포함하며, 상기 조명기는 상기 광학 장치의 상기 투과성 회절 구조의 후면에 배열되는, 시스템.

청구항 65

제62항 내지 제64항 중 어느 한 항에 있어서, 다음 중 적어도 하나는,

상기 하나 이상의 투과성 회절 구조 각각은 복수의 상이한 색상 중 각각의 색상을 회절시키도록 구성되고;

상기 광학 장치는 상기 하나 이상의 반사형 회절 구조를 더 포함하며, 상기 하나 이상의 투과성 회절 구조 및 상기 하나 이상의 반사형 회절 구조 각각은 복수의 상이한 색상 중 각각의 색상을 회절시키도록 구성되는 것을 유지하는, 시스템.

청구항 66

시스템에 있어서,

디스플레이; 및

광을 상기 디스플레이로 회절시키기 위한 하나 이상의 반사형 회절 구조를 포함하는 광학 장치를 포함하는, 시스템.

청구항 67

제66항에 있어서, 상기 디스플레이는 상기 광학 장치를 통해 다시 상기 광을 회절시키도록 구성된 반사형 디스플레이이고,

선택적으로는 상기 시스템은 상기 광학 장치에 상기 광을 제공하도록 구성된 조명기를 더 포함하며, 상기 조명기는 상기 광학 장치의 상기 반사형 회절 구조의 후면에 배열되는, 시스템.

청구항 68

제66항에 있어서, 상기 디스플레이는 상기 광학 장치를 통하지 않고 광을 전방으로 회절시키도록 구성된 투과성 디스플레이이고,

선택적으로는 상기 시스템은 상기 광학 장치에 상기 광을 제공하도록 구성된 조명기를 더 포함하며, 상기 조명기는 상기 광학 장치의 상기 반사형 회절 구조의 전면에 배열되는, 시스템.

청구항 69

제66항 내지 제68항 중 어느 한 항에 있어서, 다음 중 적어도 하나는,

상기 하나 이상의 투과성 회절 구조 각각은 복수의 상이한 색상 중 각각의 색상을 회절시키도록 구성되고;

상기 광학 장치는 상기 하나 이상의 투과형 회절 구조를 더 포함하며, 상기 하나 이상의 투과형 회절 구조 및 상기 하나 이상의 반사형 회절 구조 각각은 복수의 상이한 색상 중 각각의 색상을 회절시키도록 구성되는 것을 유지하는, 시스템.

청구항 70

광학 장치에 있어서,

적어도 하나의 투과형 회절 구조 및 적어도 하나의 반사형 회절 구조를 포함하는 복수의 광 회절 컴포넌트를 포함하며,

상기 광학 장치는, 상이한 색상의 광이 상기 광학 장치에 입사될 때, 상기 광학 장치는 상기 상이한 색상 간의 누화를 억제하면서 상기 상이한 색상 중 개별 색상의 광을 분리시키도록 구성되는, 광학 장치.

청구항 71

제70항에 있어서, 상기 투과형 회절 구조 및 상기 반사형 회절 구조 각각은 상기 상이한 색상 중 각각의 색상의 광을 비추도록 구성되며,

선택적으로는 상기 광학 장치는 상기 상이한 색상 중 적어도 하나의 색상의 광의 내부 전반사를 위해 구성된 적어도 하나의 반사층을 더 포함하고,

선택적으로는 상기 광학 장치는 상기 상이한 색상들 중 적어도 하나의 색상의 광의 편광 상태를 회전시켜, 상기 상이한 색상들 중 특정 색상의 광이 상기 광 회절 컴포넌트 중 각각의 광 회절 컴포넌트 상에 제1 편광 상태로 입사되도록 하는 반면, 상기 상이한 색상들 중 하나 이상의 다른 색상의 광이 상기 광 회절 컴포넌트 중 각각의 광 회절 컴포넌트 상에 상기 제1 편광 상태와 다른 제2 편광 상태로 입사되도록 구성된 적어도 하나의 색상 선택 편광기를 더 포함하는, 광학 장치.

청구항 72

시스템에 있어서,

디스플레이; 및

제70항 또는 제71항에 따른 광학 장치를 포함하며,

상기 광학 장치는 복수의 상이한 색상의 광을 상기 디스플레이로 회절시키도록 구성되는, 시스템.

청구항 73

시스템에 있어서,

복수의 상이한 색상의 광을 제공하도록 구성된 조명기; 및

제70항 또는 제71항에 따른 광학 장치를 포함하며,

상기 광학 장치는 상기 복수의 상이한 색상의 광을 상기 조명기로 회절시키도록 구성되는, 시스템.

청구항 74

광학 장치에 있어서,

입력 광 빔을 회절시켜 상기 입력 광 빔의 빔 크기를 적어도 두 개의 차원에서 조정함으로써 출력 광 빔을 생성하도록 적어도 두 개의 차원에서 상기 입력 광 빔을 확장하도록 구성된 적어도 2개의 빔 익스팬더를 포함하는, 광학 장치.

청구항 75

제74항에 있어서, 상기 빔 크기는 폭 및 높이를 포함하며,

선택적으로는 상기 적어도 2개의 빔 익스팬더 각각은 각각의 광 회절 장치를 포함하고,

선택적으로는 상기 입력 광 빔은 복수의 상이한 색상의 광을 포함하며, 상기 각각의 광 회절 장치는 실질적으로

서로 동일한 각각의 회절각으로 상기 복수의 상이한 색상의 광을 회절시키도록 구성되고,

선택적으로는 상기 각각의 광 회절 장치는 상기 상이한 색상의 광이 상기 각각의 광 회절 장치에 입사될 때, 상기 각각의 광 회절 장치가 상기 상이한 색상 간의 누화를 억제하면서 상기 상이한 색상 중 개별 색상의 광을 분리시키도록 구성되고,

선택적으로는 상기 각각의 광 회절 장치는 적어도 2개의 광 회절 컴포넌트; 및 적어도 하나의 색상 선택 편광기를 포함하고,

선택적으로는 상기 각각의 광 회절 장치는, 적어도 두 개의 광 회절 컴포넌트; 및 적어도 하나의 반사층을 포함하며, 상기 적어도 하나의 반사층은 적어도 하나의 색상의 광의 내부 전반사를 위해 구성되고,

선택적으로는 상기 각각의 광 회절 장치는, 하나 이상의 투과형 회절 구조 또는 하나 이상의 반사형 회절 구조 중 적어도 하나를 포함하는, 광학 장치.

청구항 76

제74항 또는 제75항에 있어서, 상기 적어도 두 개의 빔 익스팬더는,

상기 적어도 두 개의 차원 중 제1 차원으로 상기 입력 광 빔을 확장하여 중간 광 빔을 생성하도록 구성된 제1 1-차원 빔 익스팬더; 및

상기 적어도 두 개의 차원 중 제2 차원으로 상기 중간 광 빔을 확장하여 상기 출력 광 빔을 생성하도록 구성된 제2 1-차원 빔 익스팬더를 포함하며,

상기 중간 광 빔은 상기 제1 차원의 상기 입력 광 빔보다 큰 빔 크기 및 상기 제2 차원의 상기 입력 광 빔과 동일한 빔 크기를 가지며, 상기 출력 광 빔은 상기 제2 차원의 상기 중간 광 빔보다 더 큰 빔 크기 및 상기 제1 차원의 상기 중간 광 빔과 동일한 빔 크기를 가지며,

선택적으로는 상기 광학 장치는 자유 공간 공중 기하학적 형상; 모놀리식 또는 세그먼트화된 기관; 또는 하나 이상의 결합 요소 중 적어도 하나를 사용하여 상기 제1 1-차원 빔 익스팬더에서 상기 제2 1-차원 빔 익스팬더로 상기 중간 광 빔을 결합시키도록 구성되고,

선택적으로는 상기 중간 입력 빔은 둘 이상의 색상의 동일선상의 시준된 광을 포함하며, 상기 하나 이상의 결합 요소는 상기 둘 이상의 색상의 동일선상의 시준된 광을 상기 둘 이상의 색상 중 대응하는 색상을 갖는 시준되었지만 동일선상에 있지 않은 둘 이상의 독립적인 광 빔으로 변환하도록 구성되는, 광학 장치.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 참조에 의한 통합

[0002] 본 출원은 35 U.S.C. § 119 하에서 2020년 9월 17일자로 출원된 "DISPLAYING THREE-DIMENSIONAL OBJECTS"이라는 명칭의 미국 특허 출원 일련번호 제63/079,707호 및 2021년 2월 16일자로 출원된 "RECONSTRUCTING OBJECTS WITH DISPLAY ZERO ORDER LIGHT SUPPRESSION"이라는 명칭의 미국 특허 출원 일련번호 제63/149,964호에 대한 우선권을 주장하며, 그 전체 내용은 본원에 참조로서 통합된다.

[0003] 기술분야

[0004] 본 개시는 3차원(three-dimensional; 3D) 디스플레이에 관한 것으로, 보다 구체적으로는 객체 재구성(object reconstruction)을 갖는 3D 디스플레이에 관한 것이다.

배경 기술

[0005] 전통적인 2차원(2D) 투영 및 3D 렌더링의 발전은 가상 현실(virtual reality; VR), 증강 현실(augmented reality; AR), 혼합 현실(mixed reality; MR)을 위한 기존 디스플레이 장치들과 헤드 및 아이 추적(head and eye tracking)을 혼합한 수많은 하이브리드 기술을 포함하여, 3D 디스플레이에 대한 새로운 접근 방식으로 이어졌다. 이러한 기술은 추적 및 측정 기반 계산과 결합된 홀로그램 이미지의 경험을 복제하여 실제 홀로그램으로 나타낼 수 있는 스테레오 또는 눈 안의(in-eye) 광 필드를 시뮬레이션한다.

발명의 내용

해결하려는 과제

과제의 해결 수단

- [0006] 본 발명은 특히 디스플레이 0차 광 억제(display zero order light suppression)를 사용하여 (예를 들어, 2D 또는 3D)를 재구성하기 위한 방법, 장치, 및 시스템을 설명한다. 본 개시는 홀로그래픽 장면의 효과 및 그에 따른 디스플레이 시스템의 성능을 개선하기 위해 재구성된 홀로그래픽 장면(또는 홀로그래픽 콘텐츠)의 디스플레이로부터 디스플레이 0차 광(display zero order light)(예를 들어, 반사, 회절 또는 투과)을 효율적으로 억제할 수 있는 기술을 제공한다. 일 예로서, 광이 홀로그램 재구성을 위해 디스플레이를 비추면, 원하는 홀로그래픽 장면을 형성하기 위해 홀로그램으로 변조되는 디스플레이 요소에 의해 광의 일부가 입사되고 회절된다. 광의 다른 부분은 디스플레이의 디스플레이 요소 사이의 갭에서 입사되고 반사된다. 광의 반사된 다른 부분은 홀로그래픽 장면에서 바람직하지 않게 제시될 수 있는 디스플레이 0차 광의 적어도 일부(예를 들어, 주요 차수)로 간주될 수 있다. 디스플레이 0차 광은 또한 디스플레이로부터의 임의의 다른 원하지 않는 광, 예를 들어 갭에서의 회절 광, 디스플레이 요소로부터의 반사 광, 또는 디스플레이 상의 디스플레이 커버로부터의 반사 광을 포함할 수 있다. 본 개시의 실시예들은 이러한 디스플레이 0차 광을 억제할 수 있다.
- [0007] 일부 구현들에서, 홀로그램은 디스플레이의 디스플레이 요소 상에 조명되는 광의 제1 부분이 홀로그램에 의해 변조된 디스플레이 요소에 의해 회절되어 디스플레이로부터의 반사광을 포함하는 디스플레이 0차 광의 특징과 상이한 적어도 하나의 특징을 갖도록 구성된다. 디스플레이 0차 광은 디스플레이 요소들 사이의 갭에서 조명되고 홀로그램의 변조 없이 갭에서 반사되는 광의 제2 부분을 포함할 수 있다. 기술은 광의 회절된 제1 부분과 디스플레이 0차 광(예를 들어, 광의 반사된 제2 부분) 사이의 차이를 이용하여 디스플레이 0차 광이 광의 회절된 제1 부분에 의해 형성된 홀로그래픽 장면에서 억제되게 할 수 있다. 기술은 개별적으로 또는 이들의 조합으로 적용될 수 있다. 이 기술은 원하는 광으로부터 원하지 않는 광을 억제하거나 제거하는 임의의 다른 디스플레이 시스템에 적용될 수 있다.
- [0008] 일부 예들에서, 디스플레이는 예를 들어 상이한 크기를 갖는 불규칙하거나 불균일한 디스플레이 요소를 포함함으로써 고차의 디스플레이 0차 광을 억제하도록 구성된다. 디스플레이 요소는 주기성을 가질 수 없으며, 보로노이(Voronoi) 패턴을 형성할 수 있다. 일부 예들에서, 홀로그래픽 장면에서, 디스플레이 0차 광은 광의 회절된 제1 부분보다 훨씬 더 작은 전력 밀도를 가질 수 있다. 즉, 디스플레이 0차 광은 홀로그래픽 장면의 신호 대 잡음비를 증가시킴으로써, 예를 들어 광의 회절된 제1 부분의 발산(divergence) 없이 디스플레이 0차 광을 발산함으로써, 또는 $[0, 2\delta]$ 또는 둘 다와 같은 미리 결정된 위상 범위 내에서 디스플레이 요소들의 각각의 위상을 조정함으로써 억제된다. 일부 예들에서, 디스플레이 0차 광은 디스플레이 0차 광을 광의 회절된 제1 부분으로부터 멀리 향하게 함으로써, 예를 들어 디스플레이 상의 광을 입사각으로 조명하고 광의 회절된 제1 부분이 여전히 수직 축 주위로 전파되고 디스플레이 0차 광이 반사각으로 전파되도록 홀로그램을 미리 구성함으로써 억제된다. 디스플레이 0차 광은, 예를 들어 디스플레이 0차 광을 홀로그래픽 장면으로부터 멀리 더 향하도록 하기 위해 추가적인 광 회절 격자 구조를 추가함으로써, 광의 회절된 제1 부분에 의해 형성된 홀로그래픽 장면 외부로 방향 전환될 수 있다. 디스플레이 0차 광은 홀로그래픽 장면으로부터 멀리 다시 반사될 수 있다. 디스플레이 0차 광은 또한 홀로그래픽 장면 전에 흡수될 수 있다.
- [0009] 본 개시에서, "0차(zero order)" 및 "0-차(zero-order)"라는 용어는 교환적으로 사용되며, "1차(first order)" 및 "1-차(first-order)"라는 용어는 같은 교환적으로 사용된다.
- [0010] 본 개시에서, "0차(zero order)" 및 "0-차(zero-order)"라는 용어는 교환적으로 사용되며, "1차(first order)" 및 "1-차(first-order)"라는 용어는 같은 교환적으로 사용된다.
- [0011] 본 개시의 일 양태는, 광으로 디스플레이를 조명하는 단계로서, 광의 제1 부분은 디스플레이의 디스플레이 요소를 조명하는, 상기 조명하는 단계; 및 디스플레이의 디스플레이 요소를 홀로그래픽 데이터에 대응하는 홀로그램으로 변조하여 i) 광의 제1 부분을 회절시켜 홀로그래픽 데이터에 대응하는 홀로그래픽 장면을 형성하고, ii) 홀로그래픽 장면에서 디스플레이 0차 광을 억제하되, 디스플레이 0차 광은 디스플레이로부터의 반사 광을 포함하는 단계를 포함하는 방법을 특징으로 한다.

- [0012] 일부 예들에서, 광으로 디스플레이를 조명하는 단계는 광의 제2 부분이 인접 디스플레이 요소들 사이의 갭을 조명하는 것을 포함한다. 디스플레이 0차 광은, 디스플레이의 갭에서 반사된 광의 제2 부분, 디스플레이의 갭에서 회절된 광의 제2 부분, 디스플레이 요소로부터의 반사된 광, 또는 디스플레이를 덮는 디스플레이 커버로부터의 반사된 광 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.
- [0013] 디스플레이로부터의 반사된 광은 디스플레이 0차 광의 메인 차수를 형성하고, 디스플레이는 디스플레이 0차 광의 하나 이상의 고차수를 억제하도록 구성될 수 있으며, 디스플레이 요소는 불규칙하거나 불균일하다. 일부 예들에서, 디스플레이 요소는 보로노이 패턴을 형성한다.
- [0014] 일부 구현들에서, 방법은, 광의 회절된 제1 부분이 디스플레이 0차 광의 특성과 다른 적어도 하나의 특성을 갖도록 홀로그래프를 구성하는 단계를 더 포함한다. 적어도 하나의 특성은 전력 밀도; 빔 발산; 디스플레이로부터 멀어지는 전파 방향; 또는 분극 상태 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.
- [0015] 일부 구현들에서, 디스플레이 0차 광은 광 억제 효율로 홀로그래픽 장면에서 억제된다. 광 억제 효율은 억제를 사용한 홀로그래픽 장면에서의 디스플레이 0차 광의 양과 억제가 없는 홀로그래픽 장면에서의 디스플레이 0차 광의 양 사이의 비율을 1에서 뺀 값으로 정의된다. 일부 경우에, 광 억제 효율은 50%, 60%, 70%, 80%, 90% 또는 99% 중 하나인 미리 결정된 백분율보다 크다. 일부 경우에, 광 억제 효율은 100%이다.
- [0016] 일부 구현들에서, 방법은, 객체에 대응하는 복수의 프리미티브 각각에 대해, 전역 3차원(3D) 좌표계에서 프리미티브로부터 디스플레이 요소까지의 EM 필드 전파를 계산함으로써 디스플레이의 디스플레이 요소 각각에 대한 전자기(EM) 필드 기여도를 결정하는 단계; 및 디스플레이 요소 각각에 대해, 복수의 프리미티브로부터 디스플레이 요소까지의 EM 필드 기여도의 합을 생성하는 단계를 더 포함한다. 홀로그래픽 데이터는 객체의 복수의 프리미티브로부터 디스플레이의 디스플레이 요소에 대한 EM 필드 기여도의 합을 포함할 수 있다. 홀로그래픽 장면은 객체에 대응하는 재구성된 객체를 포함할 수 있다.
- [0017] 일부 구현들에서, 홀로그래픽 데이터는 디스플레이의 디스플레이 요소에 대한 각각의 위상을 포함하며, 방법은 미리 결정된 위상 범위를 갖도록 디스플레이 요소에 대한 각각의 위상을 조정함으로써 홀로그래프를 구성하는 단계를 더 포함한다. 미리 결정된 위상 범위는 $[0, 2\pi]$ 일 수 있다.
- [0018] 일부 구현들에서, 디스플레이 요소에 대한 각각의 위상을 조정하는 단계는 다음 식에 따라 각각의 위상을 조정하는 단계를 포함한다:
- [0019]
$$\theta_a = A\theta_i + B$$
,
- [0020] 여기서 θ_i 는 각각의 위상의 초기 위상값을 나타내고, θ_a 는 각각의 위상의 조정된 위상값을 나타내며, A와 B는 상수이다.
- [0021] 일부 구현들에서, 각각의 위상을 조정하는 단계는 홀로그래픽 장면에 대한 광 억제 효율이 최대화되도록 상수 A 및 B를 조정하는 단계를 포함한다. 광 억제 효율은 50%, 60%, 70%, 80%, 90% 또는 99%보다 클 수 있다. 일부 경우에, 상수 A 및 B를 조정하는 단계는 기계 비전 알고리즘 또는 기계 학습 알고리즘에 의해 상수 A 및 B를 조정하는 단계를 포함한다.
- [0022] 일부 구현들에서, 방법은 광의 회절된 제1 부분을 발산시켜 홀로그래픽 장면을 형성하는 단계; 및 홀로그래픽 장면 내에서 또는 그에 인접하여 디스플레이 0차 광을 발산시키는 단계를 더 포함한다. 일부 예들에서, 광의 회절된 제1 부분을 발산시키는 것은 디스플레이 하부에 배열된 광 발산 컴포넌트를 통해 광의 회절된 제1 부분을 안내하는 것을 포함하며, 디스플레이 0차 광을 발산시키는 것은 광 발산 컴포넌트를 통해 디스플레이 0차 광을 안내하는 것을 포함한다.
- [0023] 일부 예들에서, 디스플레이를 조명하는 광은 시준된 광이다. 디스플레이 0차 광은 광 발산 컴포넌트에 도달하기 전에 시준되고, 방법은 광의 회절된 제1 부분이 광 발산 컴포넌트에 도달하기 전에 수렴하도록 홀로그래프를 구성하는 단계를 더 포함할 수 있다.
- [0024] 일부 구현들에서, 홀로그래픽 데이터는 디스플레이 요소 각각에 대한 각각의 위상을 포함한다. 방법은 디스플레이 요소 각각에 대한 각각의 위상에 대응하는 위상을 추가함으로써 홀로그래프를 구성하는 단계를 더 포함할 수 있으며, 디스플레이 요소에 대한 대응하는 위상은 홀로그래픽 장면이 디스플레이 요소에 대한 각각의 위상에 대응하도록 광 발산 컴포넌트에 의해 보상될 수 있다. 디스플레이 요소 각각에 대한 대응하는 위상은 다음과 같이

표현될 수 있다:

$$\phi = \frac{\pi}{\lambda f}(ax^2 + by^2)$$

[0025]

[0026]

여기서 ϕ 는 디스플레이 요소에 대한 대응하는 위상을 나타내고, λ 는 광의 파장을 나타내며, f 는 광 발산 컴포넌트의 초점 길이를 나타내고, x 및 y 는 좌표계의 디스플레이 요소의 좌표를 나타내고, a 및 b 는 상수를 나타낸다.

[0027]

일부 구현들에서, 홀로그래픽 장면은 시야각을 갖는 재구성 콘에 대응한다. 방법은 광 발산 컴포넌트의 초점 거리에 대응하는 거리만큼 디스플레이에 수직인 방향을 따라 전역 3D 좌표계에 대해 디스플레이에 대한 구성 콘을 이동시킴으로써 홀로그램을 구성하는 단계로서, 상기 구성 콘은 재구성 콘에 대응하고 시야각과 동일한 꼭지각을 갖는, 상기 구성하는 단계, 및 전역 3D 좌표계에서 이동된 구성 콘에 기초하여 홀로그래픽 데이터를 생성하는 단계를 더 포함할 수 있다. 객체의 복수의 프리미티브는 이동된 구성 콘에 있을 수 있다.

[0028]

일부 구현들에서, 광 발산 컴포넌트는 홀로그래픽 장면 외부에서 디스플레이 0차 광을 회절시키도록 구성된 홀로그래픽 광학 요소(HOE) 또는 오목 렌즈 중 적어도 하나를 포함하는 디포커싱 요소이다.

[0029]

일부 구현들에서, 광 발산 컴포넌트는 홀로그래픽 장면 외부에서 디스플레이 0차 광을 회절시키도록 구성된 홀로그래픽 광학 요소(HOE) 또는 오목 렌즈 중 적어도 하나를 포함하는 포커싱 요소이다.

[0030]

일부 구현들에서, 방법은 디스플레이에 수직인 방향을 따라 디스플레이로부터 이격된 2차원(2D) 스크린 상에 홀로그래픽 장면을 디스플레이하는 단계를 더 포함한다. 방법은 2D 스크린 상에 홀로그래픽 장면의 서로 다른 슬라이스를 얻기 위해 2D 스크린을 이동시키는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0031]

일부 구현들에서, 방법은 디스플레이를 조명하도록 광을 안내하는 단계를 더 포함한다. 일부 예들에서, 디스플레이를 조명하도록 광을 안내하는 단계는 빔 스플리터에 의해 광을 안내하는 단계를 포함하며, 광의 회절된 제1 부분 및 디스플레이 0차 광은 빔 스플리터를 통해 투과한다.

[0032]

일부 구현들에서, 광으로 디스플레이를 조명하는 것은 수직 입사 시 광으로 디스플레이를 조명하는 것을 포함한다.

[0033]

일부 구현들에서, 광의 회절된 제1 부분은 시야각으로 재구성 콘을 형성하고, 광으로 디스플레이를 조명하는 것은 시야각의 절반보다 큰 입사각의 광으로 디스플레이를 조명하는 것을 포함한다. 일부 예들에서, 방법은 광의 회절된 제1 부분이 광이 디스플레이에 수직으로 입사하는 경우 광의 회절된 제1 부분에 의해 형성될 재구성 콘과 동일한 재구성 콘을 형성하도록 홀로그램을 구성하는 단계를 더 포함한다.

[0034]

일부 예들에서, 홀로그래픽 데이터는 디스플레이 요소 각각에 대한 각각의 위상을 포함한다. 방법은 디스플레이 요소 각각에 대한 각각의 위상에 대응하는 위상을 추가함으로써 홀로그램을 구성하는 단계를 더 포함할 수 있으며, 디스플레이 요소에 대한 대응하는 위상은 홀로그래픽 장면이 디스플레이 요소에 대한 각각의 위상에 대응하도록 입사각에 의해 보상될 수 있다.

[0035]

일부 예들에서, 디스플레이 요소 각각에 대한 대응하는 위상은 다음과 같이 표현될 수 있다:

$$\phi = \frac{2\pi}{\lambda}(x\cos + y\cos\theta)$$

[0036]

[0037]

여기서 ϕ 는 디스플레이 요소에 대한 해당 위상을 나타내고, λ 는 광의 파장을 나타내며, x 및 y 는 전역 3D 좌표계에서 디스플레이 요소의 좌표를 나타내고, θ 는 입사각에 대응하는 각도를 나타낸다.

[0038]

일부 예들에서, 홀로그램을 구성하는 것은 전역 3D 좌표계에 대해 디스플레이에 관한 구성 콘을 이동시키는 단계로서, 구성 콘은 재구성 콘에 대응하고 재구성 콘의 시야각에 대응하는 꼭지각을 갖는, 상기 이동시키는 단계, 및 전역 3D 좌표계에서 이동된 구성 콘에 기초하여 홀로그래픽 데이터를 생성하는 단계를 포함한다.

[0039]

일부 예들에서, 전역 3D 좌표계에서 디스플레이에 대해 구성 콘을 이동시키는 단계는 구성 콘을 전역 3D 좌표계에 대해 디스플레이 표면에 대한 회전각만큼 회전시키는 단계를 포함하며, 회전각은 입사각에 대응한다.

[0040]

일부 구현들에서, 방법은 디스플레이 0차 광이 홀로그래픽 장면에 나타나는 것을 차단하는 단계를 더 포함한다. 홀로그래픽 장면에 대한 광 억제 효율은 100%일 수 있다. 일부 예들에서, 디스플레이 0차 광을 차단하는 것은

디스플레이 0차 광을 디스플레이 하류에 배열된 광 차단 컴포넌트 쪽으로 안내하는 단계를 포함한다. 이 방법은 투과 효율로 광 차단 컴포넌트를 투과하도록 광의 회절된 제1 부분을 안내하여 홀로그래픽 장면을 형성하는 단계를 더 포함할 수 있다. 투과 효율은 미리 결정된 비율 이상일 수 있다. 미리 결정된 비율은 50%, 60%, 70%, 80%, 90% 또는 99%일 수 있다.

- [0041] 일부 구현들에서, 광 차단 컴포넌트는 미리 결정된 각도보다 작은 각도를 갖는 제1 광 빔을 투과시키고 미리 결정된 각도보다 큰 각도를 갖는 제2 광 빔을 차단시키도록 구성되며, 미리 결정된 각도는 입사각보다 작고 시야각의 절반보다 크다. 광 차단 컴포넌트는 복수의 마이크로구조, 메타물질 층 또는 광학 이방성 필름을 포함할 수 있다.
- [0042] 일부 구현들에서, 방법은 광을 입사각으로 회절시키도록 구성된 기관 상의 광 회절 컴포넌트를 통해 광을 안내함으로써 디스플레이를 조명하도록 광을 안내하는 단계를 더 포함한다. 디스플레이를 조명하기 위해 광을 안내하는 단계는, 도파관 커플러를 통해 광을 광 회절 컴포넌트로 안내하는 단계, 결합 프리즘을 통해 광을 광 회절 컴포넌트로 안내하는 단계, 또는 기관의 웨지형 기관을 통해 광을 광 회절 컴포넌트로 안내하는 단계 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.
- [0043] 일부 구현들에서, 광 회절 컴포넌트는 디스플레이에 대면하는 기관의 제1 표면 상에 형성되고, 광 차단 컴포넌트는 제1 표면에 대향하는 기관의 제2 표면 상에 형성된다.
- [0044] 일부 구현들에서, 방법은 디스플레이 0차 광을 홀로그래픽 장면으로부터 멀리 방향 전환시키는 단계를 더 포함한다. 홀로그래픽 장면에 대한 광 억제 효율은 100%일 수 있다.
- [0045] 일부 구현들에서, 디스플레이 0차 광을 홀로그래픽 장면으로부터 멀리 방향 전환시키는 것은 디스플레이 하류에 배열된 광 방향 전환 컴포넌트에 의해 홀로그래픽 장면으로부터 멀어지도록 디스플레이 0차 광을 회절시키는 것을 포함한다. 광 방향 전환 컴포넌트는 광의 회절된 제1 부분을 투과시켜 홀로그래픽 장면을 형성하도록 구성될 수 있다.
- [0046] 일부 구현들에서, 광 방향 전환 컴포넌트는 디스플레이 0차 광이 상향 방향, 하향 방향, 좌측 방향, 우측 방향 또는 이들의 조합 중 적어도 하나를 따라 3차원(3D) 공간에서 홀로그래픽 장면 외부로 회절되도록 구성된다.
- [0047] 일부 구현들에서, 광 방향전환 컴포넌트는 미리 결정된 각도와 동일한 각도를 갖는 제1 광 빔을 미리 결정된 각도와 다른 각도를 갖는 제2 광 빔보다 실질적으로 더 큰 회절 효율을 갖는 미리 결정된 각도로 회절시키도록 구성되며, 미리 결정된 각도는 입사각과 실질적으로 동일하다. 광 방향 전환 컴포넌트는 브래그 격자를 포함할 수 있다.
- [0048] 일부 구현들에서, 광 회절 컴포넌트는 디스플레이에 대면하는 기관의 제1 표면 상에 형성되고, 광 방향 전환 컴포넌트는 제1 표면에 대향하는 기관의 제2 표면 상에 형성된다.
- [0049] 일부 경우에, 광의 입사각은 음수이고, 광 방향 전환 컴포넌트에 의해 회절된 디스플레이 0차 광의 회절각은 음수이다. 일부 경우에, 광의 입사각은 양수이고, 광 방향 전환 컴포넌트에 의해 회절된 디스플레이 0차 광의 회절각은 양수이다. 일부 경우에, 광의 입사각은 음수이고, 광 방향 전환 컴포넌트에 의해 회절된 디스플레이 0차 광의 회절각은 양수이다. 일부 경우에, 광의 입사각은 양수이고, 광 방향 전환 컴포넌트에 의해 회절된 디스플레이 0차 광의 회절각은 음수이다.
- [0050] 일부 구현들에서, 광 방향 전환 컴포넌트는 제2 기관에 의해 덮인다. 방법은 제2 기관의 측면 또는 기관의 표면 중 적어도 하나 상에 형성된 광학 흡수체에 의해, 광 방향 전환 컴포넌트에 의해 방향 전환되고 제2 기관과 주변 매질 사이의 경계에 의해 반사되는 디스플레이 0차 광을 흡수하는 단계를 더 포함할 수 있다.
- [0051] 일부 구현들에서, 제2 기관은 광 방향 전환 컴포넌트에 대향하는 제2 기관의 표면 상에 반사 방지 코팅을 포함하고, 반사 방지 코팅은 디스플레이 0차 광을 투과시키도록 구성된다.
- [0052] 일부 구현들에서, 디스플레이 0차 광은 제2 기관에 도달하기 전에 p 편광되며, 광 방향 전환 컴포넌트는 디스플레이 0차 광이 제2 기관을 통해 완전히 투과하도록 제2 기관과 주변 매질 사이의 경계 상에 브루스터 각도로 입사되도록 디스플레이 0차 광을 회절시키도록 구성된다.
- [0053] 일부 구현들에서, 방법은 디스플레이 0차 광이 제2 기관에 도달하기 전에 디스플레이 0차 광의 편광 상태를 s 편광에서 p 편광으로 변환시키는 단계를 더 포함한다. 일부 경우에, 디스플레이 0차 광의 편광 상태를 변환시키는 단계는 디스플레이에 대해 광 방향 전환 컴포넌트의 상류에 배열된 광학 편광 장치에 의해 디스플레이 0차

광의 편광 상태를 변환시키는 단계를 포함한다.

- [0054] 일부 경우에, 디스플레이 0차 광의 편광 상태를 변환시키는 단계는 디스플레이에 대해 광 방향 전환 컴포넌트의 하류에 배열된 광학 편광 장치에 의해 디스플레이 0차 광의 편광 상태를 변환시키는 단계를 포함한다. 광학 편광 장치는 광 방향 전환 컴포넌트의 하류에 순차적으로 배열되는 광학 리타더 및 광학 편광기를 포함할 수 있으며, 광학 리타더는 광 방향 전환 컴포넌트에 대향하는 제2 기관의 일 면 상에 형성될 수 있으며, 광학 편광기는 제3 기관에 의해 덮인다. 일부 예들에서, 광학 리타더는 광대역 반파장 플레이트를 포함하고 광학 편광기는 선형 편광기를 포함한다.
- [0055] 일부 구현들에서, 제2 기관은 광 방향 전환 컴포넌트의 상부에 있는 제1 면 및 제1 면에 대향하는 제2 면을 포함한다. 광 차단 컴포넌트는 제2 기관의 제2 면에 형성되며, 광의 회절된 제1 부분을 투과시키고 광 방향 전환 컴포넌트에 의해 회절된 디스플레이 0차 광을 흡수하도록 구성될 수 있다.
- [0056] 일부 구현들에서, 광 차단 컴포넌트는 미리 결정된 각도보다 작은 각도로 제1 광 빔을 투과시키고, 미리 결정된 각도보다 큰 각도로 제2 광 빔을 흡수하도록 구성된 광학 이방성 트랜스미터를 포함한다. 미리 결정된 각도는 시야각의 절반보다 크고 디스플레이 0차 광이 광 방향 전환 컴포넌트에 의해 회절되는 회절각도보다 작을 수 있다.
- [0057] 일부 구현들에서, 광 방향 전환 컴포넌트는 광 회절 컴포넌트에 의해 회절된 디스플레이 0차 광이 경계에서 전 반사되도록, 제2 기관과 주변 매질 사이의 경계 상에 입계 각도보다 큰 각도로 입사되도록 디스플레이 0차 광을 회절시키도록 구성된다. 광학 흡수체는 기관 및 제2 기관의 측면에 형성될 수 있고 전반사된 디스플레이 영차 광을 흡수하도록 구성될 수 있다.
- [0058] 일부 구현들에서, 광은 복수의 상이한 색상의 광을 포함하며, 광 회절 컴포넌트는 디스플레이 상에서 입사각으로 복수의 상이한 색상의 광을 회절시키도록 구성된다.
- [0059] 일부 구현들에서, 광 방향 전환 컴포넌트는 복수의 상이한 색상의 광 각각에 대한 각각의 광 방향 전환 서브컴포넌트를 포함한다. 일부 예들에서, 복수의 상이한 색상의 광에 대한 각각의 광 방향 전환 서브컴포넌트는 동일한 기록 구조에 기록될 수 있다. 일부 예들에서, 복수의 상이한 색상의 광에 대한 각각의 광 방향 전환 서브컴포넌트는 서로 다른 대응하는 기록 구조에 기록될 수 있다.
- [0060] 일부 구현들에서, 광 방향 전환 컴포넌트는 3D 공간에서 서로 다른 방향을 향해 서로 다른 회절각으로 복수의 상이한 색상의 광을 회절시키도록 구성된다. 광 방향 전환 컴포넌트는 경계에서 적어도 하나의 브루스터 각도로 입사되도록 복수의 상이한 색상의 광 중 적어도 하나를 회절시키도록 구성될 수 있다. 경계는 상부 기관과 주변 매질 사이의 경계 또는 2개의 인접한 기관 사이의 경계 중 하나를 포함할 수 있다.
- [0061] 일부 구현들에서, 광 방향 전환 컴포넌트는 평면 내에서 제1 색상의 광 및 제2 색상의 광, 및 평면에 직교하는 제3 색상의 광을 회절시키도록 구성된다. 일부 구현들에서, 광 방향 전환 컴포넌트는 복수의 상이한 색상의 광 중 동일한 색상의 광을 회절시키도록 구성된 적어도 2개의 상이한 광 방향 전환 서브컴포넌트를 포함한다. 2개의 상이한 광 방향 전환 서브컴포넌트는 광 방향 전환 컴포넌트에 순차적으로 배열될 수 있다.
- [0062] 일부 구현들에서, 디스플레이를 조명하기 위해 광을 안내하는 것은 일련의 시간 기간에서 디스플레이를 조명하기 위해 복수의 상이한 색상의 광을 순차적으로 안내하는 것을 포함할 수 있다. 일부 구현들에서, 광 방향 전환 컴포넌트는 제1 시간 기간 동안 제1 상태에서 제1 색상의 광을 회절시키고, 제2 시간 기간 동안 제2 상태에서 제2 색상의 광을 투과시키도록 구성된 전환 가능한 광 방향 전환 서브컴포넌트를 포함한다. 일부 구현들에서, 광 방향 전환 컴포넌트는 제1 시간 기간 동안 제1 상태에서 제1 색상의 광을 회절시키고, 제2 시간 기간 동안 제2 상태에서 제2 색상의 광을 회절시키도록 구성된 전환 가능한 광 방향 전환 서브컴포넌트를 포함한다.
- [0063] 일부 구현들에서, 복수의 상이한 색상의 광은 제1 색상의 광 및 제2 색상의 광을 포함하고, 제1 색상의 광은 제2 색상의 광보다 더 짧은 파장을 가지며, 광 방향 전환 컴포넌트에서, 제1 색상의 광에 대한 제1 광 방향 전환 서브컴포넌트는 제2 색상의 광에 대한 제2 광 방향 전환 서브컴포넌트보다 디스플레이에 더 가깝게 배열된다.
- [0064] 일부 구현들에서, 적어도 2개의 상이한 색상의 광에 대한 적어도 2개의 광 방향 전환 서브컴포넌트의 프린지 평면은 실질적으로 다르게 배향된다.
- [0065] 일부 구현들에서, 광 방향 전환 컴포넌트는, 제1 색상의 광을 회절시키도록 구성된 제1 광 방향 전환 서브컴포넌트, 제2 색상의 광을 회절시키도록 구성된 제2 광 방향 전환 서브컴포넌트, 및 제1 및 제2 광 방향 전환 서브컴포넌트 사이에 배열되고 제1 색상의 광이 제2 광 방향 전환 서브컴포넌트를 투과하도록 제1 색상의 광의 편광

상태를 변환시키도록 구성된 적어도 하나의 광학 편광 장치를 포함한다. 적어도 하나의 광학 편광 장치는 제1 광 방향 전환 서브컴포넌트의 하류에 순차적으로 배열되는 광학 리타더 및 광학 편광기를 포함할 수 있다.

- [0066] 일부 경우에, 시야각(θ_a)의 절반은 -10° 내지 10° 의 범위 또는 -5° 내지 5° 내에 있다. 일부 경우에, 입사각은 -6° 또는 6° 이다.
- [0067] 본 개시의 또 다른 양태는, 광으로 디스플레이를 조명하는 단계로서, 광의 일부는 디스플레이의 디스플레이 요소를 조명하는, 상기 조명하는 단계; 및 홀로그래픽 장면에 존재하는 디스플레이 0차 광을 억제하면서 광의 일부를 회절시킴으로써 홀로그래픽 장면을 생성하는 단계로서, 디스플레이 0차 광은 디스플레이로부터의 반사광을 포함하는, 상기 생성하는 단계를 포함하는 방법을 특징으로 한다.
- [0068] 일부 구현들에서, 홀로그래픽 장면에 존재하는 디스플레이 0차 광을 억제하는 것은 디스플레이 0차 광을 발산시키는 것을 포함한다.
- [0069] 일부 구현들에서, 광의 일부를 회절시켜 홀로그래픽 장면을 생성하는 것은 디스플레이 요소를 홀로그램으로 변조하는 것을 포함한다. 홀로그래픽 장면에 존재하는 디스플레이 0차 광을 억제하는 것은 홀로그램의 위상 범위를 조정하는 것을 포함할 수 있다.
- [0070] 일부 구현들에서, 광으로 디스플레이를 조명하는 것은 입사각의 광으로 디스플레이를 조명하는 것을 포함하며, 홀로그래픽 장면에 존재하는 디스플레이 0차 광을 억제하는 것은 광의 일부가 반사광이 반사되는 반사각과 다른 회절각으로 디스플레이 요소에 의해 회절되도록 구성된 홀로그램으로 광의 일부를 변조시키는 것을 포함할 수 있다. 일부 경우에, 홀로그래픽 장면에 존재하는 디스플레이 0차 광을 억제하는 것은 입사각 종속 재료에 의해 디스플레이 0차 광을 차단하는 것을 포함한다. 입사각 종속 재료는 메타물질 또는 광학 이방성 재료를 포함할 수 있다.
- [0071] 일부 구현들에서, 홀로그래픽 장면에 존재하는 디스플레이 0차 광을 억제하는 것은 디스플레이 0차 광을 방향 전환시키는 것을 포함한다. 디스플레이 0차 광을 방향 전환시키는 것은 광 회절 컴포넌트에 의해 디스플레이 0차 광을 회절시키는 것을 포함할 수 있다. 광은 상이한 색상의 광을 포함할 수 있고, 디스플레이 0차 광을 방향 전환시키는 것은 3차원(3D) 공간에서 상이한 방향으로 상이한 색상의 광을 회절시키는 것을 포함할 수 있다.
- [0072] 일부 구현들에서, 홀로그래픽 장면에 존재하는 디스플레이 0차 광을 억제하는 것은 미리 결정된 비율 이상의 광 억제 효율로 디스플레이 0차 광을 억제하는 것을 포함한다. 광 억제 효율은 억제를 사용한 홀로그래픽 장면에서의 디스플레이 0차 광의 양과 억제가 없는 디스플레이 0차 광의 양 사이의 비율을 1에서 뺀 값으로 정의된다. 미리 결정된 비율은 50%, 60%, 70%, 80%, 90% 또는 100%일 수 있다.
- [0073] 본 개시의 다른 특징은 광 회절 컴포넌트 및 광 차단 컴포넌트를 포함하는 광학 장치를 특징으로 한다. 광 회절 컴포넌트는 디스플레이의 광 조명 디스플레이 요소의 일부로 디스플레이를 조명하기 위해 입사각으로 광을 회절시키도록 구성되고, 광 차단 컴포넌트는 디스플레이 요소에 의해 회절된 광의 일부에 의해 형성된 홀로그래픽 장면에서 디스플레이 0차 광을 차단하도록 구성되며, 디스플레이 0차 광은 디스플레이로부터의 반사광을 포함한다.
- [0074] 일부 구현들에서, 광학 장치는 상기에 설명된 바와 같은 방법을 수행하도록 구성된다.
- [0075] 일부 구현들에서, 디스플레이는 광의 일부를 회절시켜 홀로그래픽 장면을 형성하기 위해 홀로그래픽 데이터에 대응하는 홀로그램으로 변조되도록 구성되며, 광 차단 컴포넌트는 광의 회절된 부분을 투과시켜 홀로그래픽 장면을 형성하도록 구성된다. 광의 회절된 부분은 시야각이 있는 재구성 콘을 형성할 수 있으며, 입사각은 시야각의 절반보다 클 수 있다.
- [0076] 광 차단 컴포넌트는 미리 결정된 각도보다 작은 각도를 갖는 제1 광 빔을 투과시키고 미리 결정된 각도보다 큰 각도를 갖는 제2 광 빔을 차단시키도록 구성될 수 있으며, 미리 결정된 각도는 입사각보다 작고 시야각의 절반보다 클 수 있다.
- [0077] 일부 구현들에서, 광 차단 컴포넌트는 메타물질 층 또는 광학 이방성 필름을 포함한다. 일부 구현들에서, 광 차단 컴포넌트는 복수의 마이크로구조 또는 나노구조를 포함한다.
- [0078] 일부 구현들에서, 광학 장치는 대향면들을 갖는 기판을 더 포함한다. 광 회절 컴포넌트 및 광 차단 컴포넌트는 기판의 대향면들에 형성될 수 있다.
- [0079] 본 개시의 또 다른 양태는 기판의 제1 면 상에 광 회절 컴포넌트를 형성하는 단계 및 제1 면과 대향하는 기판의

제2 면 상에 광 차단 컴포넌트를 형성하는 단계를 포함하는, 상기에 설명된 바와 같은 광학 장치를 제조하는 방법을 특징으로 한다.

- [0080] 본 개시의 또 다른 양태는 광 회절 컴포넌트 및 광 방향 전환 컴포넌트를 포함하는 광학 장치를 특징으로 한다. 광 회절 컴포넌트는 디스플레이 상에 갭을 두고 이격된 복수의 디스플레이 요소를 포함하는 디스플레이 상으로 광을 입사각으로 회절시키도록 구성된다. 디스플레이는 디스플레이 요소를 조명하는 광의 일부를 회절시키도록 구성된다. 광 방향 전환 컴포넌트는 광의 일부를 투과시켜 홀로그래픽 장면을 형성하고 3차원(3D) 공간에서 홀로그래픽 장면으로부터 멀리 디스플레이 0차 광을 방향 전환시키도록 구성되며, 디스플레이 0차 광은 디스플레이로부터의 반사광을 포함한다.
- [0081] 일부 예들에서, 광 방향 전환 컴포넌트는 브래그 격자를 포함한다.
- [0082] 일부 구현들에서, 광 회절 컴포넌트는 디스플레이에 대면하는 기관의 제1 면 상에 형성되고, 광 방향 전환 컴포넌트는 제1 면에 대향하는 기관의 제2 면 상에 형성된다.
- [0083] 일부 구현들에서, 광학 장치는 광 방향 전환 컴포넌트를 덮는 제2 기관을 더 포함한다. 일부 구현들에서, 광학 장치는 제2 기관의 측면 또는 기관의 측면 중 적어도 하나 상에 형성된 광학 흡수체를 더 포함하며, 광학 흡수체는 광 방향 전환 컴포넌트에 의해 방향 전환되고 제2 기관과 주변 매질 사이의 경계에 의해 반사되는 디스플레이 0차 광을 흡수하도록 구성된다.
- [0084] 일부 구현들에서, 광학 장치는 제2 기관 상에 형성되고 광 방향 전환 컴포넌트에 대향하는 반사 방지 코팅을 더 포함하며, 반사 방지 코팅은 광 방향 전환 컴포넌트에 의해 방향 전환된 디스플레이 0차 광을 투과시키도록 구성된다.
- [0085] 일부 구현들에서, 광학 장치는 디스플레이 0차 광이 제2 기관에 도달하기 전에 디스플레이 0차 광의 편광 상태를 s 편광에서 p 편광으로 변환시키도록 구성된 광학 편광 장치를 더 포함하며, 광 방향 전환 컴포넌트는 디스플레이 0차 광이 제2 기관을 통해 완전히 투과하도록 제2 기관과 주변 매질 사이의 경계 상에 브루스터 각도로 입사되도록 디스플레이 0차 광을 회절시키도록 구성된다. 광학 편광 장치는 순차적으로 함께 배열된 광학 리타더 및 선형 편광기를 포함할 수 있다.
- [0086] 일부 구현들에서, 광학 편광 장치는 디스플레이에 대해 광 방향 전환 컴포넌트의 상류에 배열된다. 일부 구현들에서, 광학 편광 장치는 광 방향 전환 컴포넌트에 대향하는 제2 기관의 일 면에 형성되며, 광학 편광 장치는 제3 기관에 의해 덮인다.
- [0087] 일부 구현들에서, 광학 장치는 광 방향 전환 컴포넌트에 대향하는 제2 기관의 일 면에 형성된 광 차단 컴포넌트를 더 포함하며, 광 차단 컴포넌트는 광의 일부를 투과시키고 광 방향 전환 컴포넌트에 의해 회절된 디스플레이 0차 광을 흡수하도록 구성된다. 광 차단 컴포넌트는 광학 이방성 트랜스미터를 포함할 수 있다.
- [0088] 일부 구현들에서, 광 방향 전환 컴포넌트는 광 회절 컴포넌트에 의해 회절된 디스플레이 0차 광이 경계에서 전 반사되도록, 제2 기관과 주변 매질 사이의 경계 상에 임계 각도보다 큰 각도로 입사되도록 디스플레이 0차 광을 회절시키도록 구성된다.
- [0089] 일부 구현들에서, 광은 복수의 상이한 색상의 광을 포함한다. 광 회절 컴포넌트는 디스플레이 상에 입사각으로 복수의 상이한 색상의 광을 회절시키도록 구성되며, 광 방향 전환 컴포넌트는 3D 공간에서 상이한 방향 쪽으로 상이한 회절각으로 디스플레이에 의해 반사된 복수의 상이한 색상의 광의 디스플레이 0차 광을 회절시키도록 구성될 수 있으며, 디스플레이 0차 광은 디스플레이에 의해 복수의 상이한 색상의 광의 반사광을 포함한다.
- [0090] 일부 구현들에서, 광 회절 컴포넌트는 복수의 상이한 색상의 광에 대한 복수의 홀로그래픽 격자를 포함하고, 복수의 홀로그래픽 격자 각각은 디스플레이 상에 입사각으로 복수의 상이한 색상의 광의 각각의 색상의 광을 회절시키도록 구성된다.
- [0091] 일부 구현들에서, 광 방향 전환 컴포넌트는 복수의 상이한 색상의 광의 디스플레이 0차 광에 대한 복수의 방향 전환 홀로그래픽 격자를 포함하며, 복수의 방향 전환 홀로그래픽 격자 각각은 3D 공간에서 각각의 방향 쪽으로 각각의 회절각으로 복수의 상이한 색상의 광의 각각의 색상의 광의 디스플레이 0차 광을 회절시키도록 구성된다.
- [0092] 일부 구현들에서, 광 방향 전환 컴포넌트는 복수의 상이한 색상의 광 중 동일한 색상의 광의 디스플레이 0차 광을 회절시키도록 구성된 적어도 2개의 상이한 방향 전환 홀로그래픽 격자를 포함한다.

- [0093] 일부 구현들에서, 광 방향 전환 컴포넌트는 제1 시간 기간 동안 제1 상태에서 제1 색상의 광을 회절시키고, 제2 시간 기간 동안 제2 상태에서 제2 색상의 광을 투과시키도록 구성된 전환 가능한 방향 전환 홀로그래픽 격자를 포함한다.
- [0094] 일부 구현들에서, 광 방향 전환 컴포넌트는 제1 시간 기간 동안 제1 상태에서 제1 색상의 광을 회절시키고, 제2 시간 기간 동안 제2 상태에서 제2 색상의 광을 회절시키도록 구성된 전환 가능한 방향 전환 홀로그래픽 격자를 포함한다.
- [0095] 일부 구현들에서, 복수의 상이한 색상의 광은 제1 색상의 광 및 제2 색상의 광을 포함하고, 제1 색상의 광은 제2 색상의 광보다 더 짧은 파장을 가지며, 광 방향 전환 컴포넌트에서, 제1 색상의 광에 대한 제1 광 방향 전환 홀로그래픽 격자는 제2 색상의 광에 대한 제2 광 방향 전환 홀로그래픽 격자보다 디스플레이에 더 가깝게 배열된다.
- [0096] 일부 구현들에서, 적어도 2개의 상이한 색상의 광에 대한 적어도 2개의 방향 전환 홀로그래픽 격자의 프린지 패턴은 실질적으로 다르게 배열된다.
- [0097] 일부 구현들에서, 광 방향 전환 컴포넌트는, 제1 색상의 광을 회절시키도록 구성된 제1 광 방향 전환 홀로그래픽 격자; 제2 색상의 광을 회절시키도록 구성된 제2 광 방향 전환 홀로그래픽 격자; 및 제1 및 제2 광 방향 전환 홀로그래픽 격자 사이에 배열되고 제1 색상의 광이 제2 광 방향 전환 홀로그래픽 격자를 투과시키도록 제1 색상의 광의 편광 상태를 변환시키도록 구성된 적어도 하나의 광학 편광 장치를 포함한다.
- [0098] 일부 구현들에서, 광학 장치는 상기에 설명된 방법을 수행하도록 구성된다.
- [0099] 본 개시의 또 다른 양태는 기관의 제1 면 상에 광 회절 컴포넌트를 형성하는 단계; 및 제1 면과 대향하는 기관의 제2 면 상에 광 방향 전환 컴포넌트를 형성하는 단계를 포함하는, 상기에 설명된 바와 같은 광학 장치를 제조하는 방법을 특징으로 한다.
- [0100] 본 개시의 다른 양태는 디스플레이 상에 겹으로 분리된 디스플레이 요소를 포함하는 디스플레이 및 디스플레이를 광으로 조명하도록 구성된 광학 장치를 포함하는 시스템을 특징으로 하며, 광의 일부는 디스플레이 요소 상에 조명된다. 시스템은 홀로그래픽 장면에서 디스플레이 0차 광을 억제하면서 광의 일부를 회절시켜 홀로그래픽 장면을 형성하도록 구성된다. 디스플레이 0차 광은 겹에서의 반사광, 겹에서의 회절광, 디스플레이 요소에서의 반사광, 또는 디스플레이를 덮는 디스플레이 커버에서의 반사광 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.
- [0101] 일부 구현들에서, 시스템은 디스플레이에 결합되고, 홀로그래픽 데이터에 대응하는 홀로그램으로 디스플레이의 디스플레이 요소를 변조시켜 홀로그래픽 데이터에 대응하는 홀로그래픽 장면을 형성하도록 광의 일부를 회절시키도록 구성되는 컨트롤러를 더 포함한다. 홀로그램은 디스플레이 0차 광이 홀로그래픽 장면에서 억제되도록 구성될 수 있다.
- [0102] 일부 구현들에서, 시스템은 홀로그래픽 장면에 대응하는 하나 이상의 객체의 프리미티브를 생성하도록 구성된 컴퓨팅 장치를 더 포함한다. 시스템은 상기에 설명된 바와 같은 방법을 수행하도록 구성될 수 있다. 광학 장치는 상기에 설명된 바와 같은 광학 장치 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.
- [0103] 일부 구현들에서, 시스템은 광학 장치 하류에 배열되고 홀로그래픽 장면에서 디스플레이 0차 광을 발산시키도록 구성된 광 발산 장치를 더 포함한다. 디스플레이를 조명하는 광은 시준된 광이다. 디스플레이 0차 광은 광 발산 장치에 도달하기 전에 시준되며, 홀로그램은 광의 회절된 제1 부분이 광 발산 컴포넌트에 도달하기 전에 수렴되도록 구성된다. 광 발산 장치는 상기에 설명된 바와 같은 광 발산 컴포넌트를 포함할 수 있다.
- [0104] 일부 구현들에서, 시스템은 디스플레이 하류에 배열된 2차원(2D) 스크린을 더 포함한다. 일부 구현들에서, 광학 장치는 빔 스플리터를 포함한다. 일부 구현들에서, 광학 장치는 인커플러 및 아웃커플러를 갖는 도파관을 포함한다. 일부 구현들에서, 광학 장치는 광 커플러 및 광 회절 컴포넌트를 포함하는 광 가이드를 포함한다. 광 커플러는 결합 프리즘을 포함할 수 있다. 광 커플러는 또한 웨지형 기관을 포함할 수 있다.
- [0105] 본 개시의 또 다른 양태는 상기에 설명된 바와 같은 시스템을 제조하는 방법을 특징으로 한다.
- [0106] 본 개시의 또 다른 양태는 입력 광 빔을 회절시켜 입력 광 빔의 빔 크기를 적어도 두 개의 차원에서 조정함으로써 출력 광 빔을 생성하도록 적어도 두 개의 차원에서 입력 광 빔을 확장하도록 구성된 적어도 2개의 빔 익스팬더를 포함하는 광학 장치를 특징으로 한다. 빔 크기는 폭 및 높이를 포함할 수 있다.
- [0107] 일부 구현들에서, 적어도 2개의 빔 익스팬더 각각은 각각의 광 회절 장치를 포함한다. 입력 광 빔은 복수의 상

이한 색상의 광을 포함할 수 있고, 각각의 광 회절 장치는 실질적으로 서로 동일한 각각의 회절각으로 복수의 상이한 색상의 광을 회절시키도록 구성될 수 있다.

- [0108] 일부 예들에서, 각각의 광 회절 장치는 상이한 색상의 광이 각각의 광 회절 장치에 입사될 때, 각각의 광 회절 장치가 상이한 색상 간의 누화를 억제하면서 상이한 색상 중 개별 색상의 광을 분리시키도록 구성된다.
- [0109] 일부 구현들에서, 각각의 광 회절 장치는 적어도 2개의 광 회절 컴포넌트 및 적어도 하나의 색상 선택 편광기를 포함한다.
- [0110] 일부 구현들에서, 각각의 광 회절 장치는 적어도 2개의 광 회절 컴포넌트 및 적어도 하나의 반사층을 포함한다. 적어도 하나의 반사층은 적어도 하나의 색상의 광의 내부 전반사를 위해 구성될 수 있다.
- [0111] 일부 구현들에서, 각각의 광 회절 장치는 하나 이상의 투과형 회절 구조 또는 하나 이상의 반사형 회절 구조 중 적어도 하나를 포함한다.
- [0112] 일부 구현들에서, 적어도 하나의 두 개의 빔 익스팬더는, 적어도 두 개의 차원 중 제1 차원으로 입력 광 빔을 확장시켜 중간 광 빔을 생성하도록 구성된 제1 1-차원 빔 익스팬더; 및 적어도 두 개의 차원은 제2 차원으로 중간 광 빔을 확장시켜 출력 광 빔을 생성하도록 구성된 제2 1-차원 빔 익스팬더를 포함한다. 중간 광 빔은 제1 차원의 입력 광 빔보다 큰 빔 크기 및 제2 차원의 입력 광 빔과 동일한 빔 크기를 가지며, 출력 광 빔은 제2 차원의 중간 광 빔보다 더 큰 빔 크기 및 제1 차원의 중간 광 빔과 동일한 빔 크기를 갖는다.
- [0113] 일부 구현들에서, 광학 장치는 자유 공간 공중 기하학적 형상, 모놀리식 또는 세그먼트화된 기관, 또는 하나 이상의 결합 요소 중 적어도 하나를 사용하여 제1 1-차원 빔 익스팬더에서 제2 1-차원 빔 익스팬더로 중간 광 빔을 결합시키도록 구성된다.
- [0114] 일부 구현들에서, 중간 입력 빔은 둘 이상의 색상의 동일선상의 시준된 광을 포함하며, 하나 이상의 결합 요소는 둘 이상의 색상의 동일선상의 시준된 광을 둘 이상의 색상 중 대응하는 색상을 갖는 시준되었지만 동일선상에 있지 않은 둘 이상의 독립적인 광 빔으로 변환시키도록 구성된다.
- [0115] 본 개시는 또한 특히 상이한 색상의 광을 개별적으로 회절함으로써, 3차원(3D) 객체를 디스플레이하기 위한 방법, 장치, 기기 및 시스템을 기술한다. 본 개시는 서로 다른 색상 또는 파장의 광을 효율적으로 분리하여 색상 또는 파장 간의 누화를 억제(예를 들어, 감소 또는 제거)할 수 있는 기술을 제공한다. 기술은 또한 광 회절 장치를 통해 회절 없이 전파되고 원하지 않는 각도로 디스플레이에 부딪히는 광을 억제하여, 고스트 이미지와 같은 원하지 않는 효과를 억제할 수 있다. 이 기술은 누화가 없거나 거의 없는 다색의 3차원 광 필드 또는 이미지를 순차적으로 또는 동시에 재구성하도록 할 수 있다. 기술은 상대적으로 큰 입사각으로 여러 다양한 색상의 거의 수직 편광 광 빔을 제공하는 조명 시스템을 구현하도록 할 수 있다. 따라서, 기술은 조명기를 방해하지 않고 디스플레이 앞에 있는 뷰어(예를 들어, 관찰자 또는 사용자)에게 광 필드 또는 이미지를 제시하고, 예를 들어 반사, 회절 및/또는 산란으로 인한 전력 손실을 줄일 수 있도록 한다. 기술은 또한 3차원 객체를 디스플레이하기 위한 컴팩트 광학 시스템을 구현하도록 할 수 있다.
- [0116] 본 개시는 공지 기술에 존재하는 한계를 극복할 수 있는 기술을 제공한다. 일 예로서, 본원에 개시된 기술은 "3D 안경"과 같은 번거로운 웨어러블 장치를 사용하지 않고 구현될 수 있다. 다른 예로서, 본원에 개시된 기술은 추적 메커니즘의 정확도, 디스플레이 장치의 품질, 상대적으로 긴 처리 시간 및/또는 상대적으로 높은 계산 요구에 의해, 및/또는 다수의 뷰어에게 객체를 동시에 디스플레이할 수 없는 능력에 의해 제한되지 않고 선택적으로 구현될 수 있다. 추가 예로서, 기술은 기존의 3D 콘텐츠 생성에 사용되는 툴과 소프트웨어를 뛰어넘어 확장되는 콘텐츠를 개발하기 위해 전문적인 툴과 소프트웨어 없이 구현될 수 있다. 다양한 실시예들은 상술한 이점 중 하나 이상을 나타낼 수 있다. 예를 들어, 본 개시의 특정 구현은 세계에서 실제 3D 객체로 나타나고 서로 다른 지점에서 동시에 다수의 뷰어가 방해 없이 볼 수 있는 실시간, 풀 컬러, 진정한 3D 이미지를 생성할 수 있다.
- [0117] 일부 구현들에서, 방법은, 객체에 대응하는 복수의 프리미티브 각각에 대해, 전역 3차원(3D) 좌표계에서 프리미티브로부터 디스플레이 요소까지의 EM 필드 전파를 계산함으로써 디스플레이의 디스플레이 요소 각각에 대한 전자기(EM) 필드 기여도를 결정하는 단계; 및 디스플레이 요소 각각에 대해, 복수의 프리미티브로부터 디스플레이 요소까지의 EM 필드 기여도의 합을 생성하는 단계를 더 포함한다.
- [0118] EM 필드 기여도는 위상 기여도 또는 진폭 기여도 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 프리미티브는 점 프리미티브, 선 프리미티브 또는 다각형 프리미티브 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 프리미티브는 그래데이션 색상,

텍스처 색상 또는 임의의 표면 셰이딩 효과 중 적어도 하나를 포함하는 선 프리미티브를 포함할 수 있다. 프리미티브는 또한 그라데이션 색상, 텍스처 색상 또는 임의의 표면 셰이딩 효과 중 적어도 하나를 포함하는 다각형 프리미티브를 포함할 수 있다. 복수의 프리미티브는 특정 차수로 굴절될 수 있다.

[0119] 일부 구현들에서, 방법은 복수의 프리미티브 각각에 대한 각각의 프리미티브 데이터를 획득하는 단계를 더 포함한다. 각각의 복수의 프리미티브의 각각의 프리미티브 데이터는 프리미티브의 각각의 색상 정보를 포함하며, 요소 각각에 대한 결정된 EM 필드 기여도는 프리미티브의 각각의 색상 정보에 대응하는 정보를 포함한다. 색상 정보는 텍스처 색상 또는 그라데이션 색상 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 각각의 복수의 프리미티브의 각각의 프리미티브 데이터는 프리미티브의 텍스처 정보를 포함할 수 있다. 각각의 복수의 프리미티브의 각각의 프리미티브 데이터는 프리미티브의 하나 이상의 표면에 대한 셰이딩 정보를 포함할 수 있다. 셰이딩 정보는 프리미티브의 하나 이상의 표면에 대한 색상 또는 밝기 중 적어도 하나에 대한 변조를 포함할 수 있다.

[0120] 일부 구현들에서, 각각의 복수의 프리미티브의 각각의 프리미티브 데이터는 3D 좌표계에서 프리미티브의 각각의 좌표 정보를 포함한다. 3차원 좌표계에서 각각의 복수의 요소의 각각의 좌표 정보는 3D 좌표계에서 프리미티브 목록의 각각의 좌표 정보에 기초하여 결정될 수 있다. 각각의 요소의 각각의 좌표 정보는 메모리에 저장된 요소에 대한 논리적 메모리 주소에 대응할 수 있다.

[0121] 각각의 복수의 프리미티브에 대한 복수의 요소 각각에 대한 EM 필드 기여도를 결정하는 단계는, 3D 좌표계에서, 요소의 각각의 좌표 정보 및 프리미티브의 각각의 좌표 정보에 기초하여 요소와 프리미티브 사이의 적어도 하나의 거리를 결정하는 단계를 포함할 수 있다. 일부 예들에서, 복수의 프리미티브 각각에 대한 복수의 요소 각각에 대한 EM 필드 기여도를 결정하는 것은, 제1 프리미티브의 각각의 좌표 정보 및 제1 요소의 각각의 좌표 정보에 기초하여 프리미티브의 제1 프리미티브와 디스플레이 요소의 제1 요소 사이의 제1 거리를 결정하고, 제1 거리 및 제1 요소와 제2 요소 사이의 거리에 기초하여 제1 프리미티브와 요소의 제2 요소 사이의 제2 거리를 결정하는 것을 포함한다. 제1 요소와 제2 요소 사이의 거리는 디스플레이의 복수의 요소의 피치에 기초하여 미리 결정될 수 있다.

[0122] 일부 예들에서, 복수의 프리미티브 중 적어도 하나는 제1 및 제2 엔드포인트를 포함하는 선 프리미티브이고, 요소와 프리미티브 사이의 적어도 하나의 거리를 결정하는 단계는, 요소와 선 프리미티브의 제1 엔드포인트 사이의 제1 거리를 결정하는 단계; 및 요소와 선 프리미티브의 제2 엔드포인트 사이의 제2 거리를 결정하는 단계를 포함한다. 일부 예들에서, 복수의 프리미티브 중 적어도 하나는 제1, 제2 및 제3 엔드포인트를 포함하는 삼각형 프리미티브이고, 요소와 프리미티브 사이의 적어도 하나의 거리를 결정하는 단계는, 요소와 삼각형 프리미티브의 제1 엔드포인트 사이의 제1 거리를 결정하는 단계; 요소와 삼각형 프리미티브의 제2 엔드포인트 사이의 제2 거리를 결정하는 단계; 및 요소와 삼각형 프리미티브의 제3 지점 사이의 제3 거리를 결정하는 단계를 포함한다.

[0123] 일부 구현들에서, 복수의 프리미티브 각각에 대한 복수의 요소 각각에 대한 EM 필드 기여도를 결정하는 단계는 프리미티브 및 적어도 하나의 거리에 대한 미리 결정된 표현에 기초하여 프리미티브로부터 요소에 대한 EM 필드 기여도를 결정하는 단계를 포함한다. 일부 경우에, 미리 결정된 표현은 프리미티브에서 요소까지의 EM 필드 전과를 분석적으로 계산하여 결정된다. 일부 경우에, 미리 결정된 표현은 맥스웰 방정식을 풀어 결정된다. 맥스웰 방정식은 디스플레이 표면에 정의된 경계 조건을 제공하여 풀 수 있다. 경계 조건은 디리클레 경계 조건 또는 코오시 경계 조건을 포함할 수 있다. 복수의 프리미티브와 복수의 요소는 3D 공간에 있을 수 있고, 디스플레이의 표면은 3D 공간의 경계 표면의 일부를 형성할 수 있다. 일부 경우에, 미리 결정된 표현식은 사인 함수, 코사인 함수 또는 지수 함수를 포함하는 함수 중 적어도 하나를 포함하며, EM 필드 기여를 결정하는 것은 메모리에 저장된 테이블에서 함수 중 적어도 하나의 값을 식별하는 것을 포함한다.

[0124] 일부 구현들에서, 복수의 프리미티브 각각에 대하여나 복수의 요소 각각에 대한 EM 필드 기여도를 결정하는 단계 및 복수의 요소 각각에 대한 필드 기여도의 합을 생성하는 단계는, 복수의 요소 중 제1 요소에 대한 복수의 프리미티브로부터의 제1 EM 필드 기여도를 결정하고 제1 요소에 대한 제1 EM 필드 기여도를 합산하는 단계; 및 복수의 요소 중 제2 요소에 대한 복수의 프리미티브로부터의 제2 EM 필드 기여도를 결정하고 제2 요소에 대한 제2 EM 필드 기여도를 합산하는 단계를 포함한다. 복수의 프리미티브로부터 제1 요소까지의 제1 EM 필드 기여도를 결정하는 단계는, 복수의 프리미티브 중 제1 프리미티브로부터 제1 요소까지의 EM 필드 기여도를 결정하는 것과 병렬로 복수의 프리미티브 중 제2 프리미티브로부터 제1 요소까지의 EM 필드 기여도를 결정하는 단계를 포함할 수 있다.

[0125] 일부 구현들에서, 복수의 프리미티브 각각에 대한 복수의 요소 각각에 대한 EM 필드 기여도를 결정하는 단계는, 복수의 프리미티브 중 제1 프리미티브로부터 각각의 복수의 요소까지의 제1 각각의 EM 필드 기여도를 결정하는

단계; 및 복수의 프리미티브 중 제2 프리미티브로부터 각각의 복수의 요소까지의 제2 각각의 EM 필드 기여도를 결정하는 단계를 포함하며, 복수의 요소 각각에 대한 필드 기여도의 합산을 생성하는 단계는, 요소에 대한 제1 각각의 EM 필드 기여도에 제2 각각의 EM 필드 기여도를 추가하여 요소에 대한 EM 필드 기여도를 축적하는 단계를 포함할 수 있다. 제1 프리미티브로부터 각각의 복수의 요소까지의 제1 각각의 EM 필드 기여도를 결정하는 단계는 제2 프리미티브로부터 각각의 복수의 요소까지의 제2 각각의 EM 필드 기여도를 결정하는 것과 병렬로 수행될 수 있다.

[0126] 복수의 프리미티브 각각에 대한 복수의 요소 각각에 대한 EM 필드 기여도를 결정하는 단계는, 복수의 프리미티브 중 제2 프리미티브로부터 제1 요소까지의 제2 EM 필드 기여도를 결정하는 것과 병렬로 복수의 프리미티브 중 제1 프리미티브로부터 복수의 요소 중 제1 요소까지의 제1 EM 필드 기여도를 결정하는 단계를 포함할 수 있다.

[0127] 일부 구현들에서, 방법은, 복수의 요소들 각각에 대해, 복수의 프리미티브로부터 요소까지의 EM 필드 기여도의 합에 기초하여 각각의 제어 신호를 생성하는 단계를 더 포함하며, 각각의 제어 신호는 복수의 프리미티브로부터 요소까지의 EM 필드 기여도의 합산에 기초하여 요소의 적어도 하나의 소성을 변조하기 위한 것이다. 요소의 적어도 하나의 속성은 굴절률, 진폭 지수, 복굴절 또는 지연도 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 각각의 제어 신호는 전기 신호, 광 신호, 자기 신호 또는 음향 신호를 포함할 수 있다. 일부 경우에, 방법은, 필드 기여도의 스케일링된 합을 얻기 위해 각각의 요소에 대한 필드 기여도의 합에 스케일 팩터를 곱하는 것을 더 포함하며, 요소에 대한 필드 기여도의 스케일링된 합에 기초하여 각각의 제어 신호가 생성된다. 일부 경우에, 방법은, 요소 각각에 대한 필드 기여도의 합을 정규화하는 단계를 더 포함하며, 각각의 제어 신호는 요소에 대한 필드 기여도의 정규화된 합계에 기초한다. 방법은 또한 각각의 제어 신호를 요소로 전송하는 단계를 포함한다.

[0128] 일부 구현들에서, 방법은 조명기에 제어 신호를 전송하는 단계를 더 포함하며, 제어 신호는 조명이 디스플레이에서 광을 방출하도록 조명을 활성화하도록 지시한다. 제어 신호는 복수의 요소 각각에 대한 필드 기여도의 합 획득 완료를 결정한 것에 응답하여 전송될 수 있다. 디스플레이의 변조된 요소는 광이 다른 방향으로 전파되어 3D 공간의 객체에 해당하는 체적 광 필드를 형성하도록 할 수 있다. 결과적인 체적 광 필드는 디스플레이의 변조된 요소에 의해 정의된 경계 조건을 갖는 맥스웰 방정식의 해에 해당할 수 있다. 광은 백색광을 포함할 수 있고, 디스플레이는 백색광을 상이한 색상을 갖는 광으로 회절시키도록 구성될 수 있다.

[0129] 일부 구현들에서, 이 방법은 계산 중에 고정 소수점 수 표현을 사용하여 값을 표현하는 단계를 더 포함한다. 값은 암시적 스케일 팩터가 있는 정수로 표현될 수 있다.

[0130] 일부 구현들에서, 방법은 고정 소수점 수 표현을 사용하여 수학 함수를 수행하는 단계를 더 포함한다. 수학 함수는 사인, 코사인 및 아크 탄젠트 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 수학 함수를 수행하는 단계는 제1 고정 소수점 형식으로 식을 수신하는 단계, 및 제1 고정 소수점 형식과 다른 정확도 수준을 갖는 제2 고정 소수점 형식으로 값을 출력하는 단계를 포함할 수 있다. 수학 함수를 수행하는 단계는 수학 함수의 계산을 위한 테이블을 조회하는 단계를 포함할 수 있으며, 테이블은 완전 열거된 룩업 테이블, 보간된 테이블, 세미 테이블 기반 다항식 함수 및 세미 테이블 기반 완전 미니맥스 다항식 중 적어도 하나를 포함한다. 수학 함수를 수행하는 단계는 입력에 대해 특수 범위 축소를 적용하는 단계를 포함할 수 있다. 수학 함수를 수행하는 단계는 범위 $[-\delta, \delta]$ 의 삼각법 계산을 범위 $[-1, 1]$ 의 부호 있는 2의 보수 표현으로 변환시키는 단계를 포함할 수 있다.

[0131] 본 개시의 또 다른 양태는, 3차원(3D) 공간에서 객체에 대응하는 복수의 프리미티브의 각각의 프리미티브 데이터를 획득하는 단계; 복수의 프리미티브 중 제1 프리미티브로부터 디스플레이의 각각의 복수의 요소까지의 제1 각각의 전자기(EM) 필드 기여도를 계산하는 단계; 및 프리미티브 중 제2 프리미티브로부터 디스플레이의 각각의 복수의 요소까지의 제2 각각의 EM 필드 기여도를 계산하는 단계를 포함하는 방법을 특징으로 한다. 제1 프리미티브로부터 제1 각각의 EM 필드 기여도를 계산하는 단계는 적어도 부분적으로는 제2 프리미티브로부터 제2 각각의 EM 필드 기여도를 계산하는 단계와 병행한다.

[0132] 일부 구현들에서, 제1 프리미티브로부터 복수의 요소 중 제1 요소까지의 제1 EM 필드 기여도를 계산하는 단계는 복수의 프리미티브 중 제2 프리미티브로부터 제1 요소까지의 제2 EM 필드 기여도를 계산하는 단계와 병행된다. 방법은 각각의 복수의 요소로부터 각각의 복수의 요소까지의 각각의 EM 필드 기여도를 계산하는 단계를 포함할 수 있다. 각각의 EM 필드 기여도의 계산은 객체의 기하학적 형상을 복수의 요소로 확장하는 단계; 파면을 패킹하기 전에 가시성 테스트를 적용하는 단계; 및 다른 프리미티브에 대한 병렬 계산 간의 의사 결정 또는 통신 중 적어도 하나가 없을 수 있다. 각각의 EM 필드 기여도의 계산은 속도, 비용, 크기 또는 에너지 최적화에 대한 서로 다른 프리미티브에 대한 병렬 계산을 조정하는 단계; 추첨 시작과 결과 표시 준비 사이의 레이턴시를 감소시키는 단계; 고정 소수점 수 표현을 사용하여 정확도를 향상시키는 단계; 및 수학 함수를 최적화하여 계산 속도

를 최적화하는 단계 중 적어도 하나를 유발하도록 구성될 수 있다.

- [0133] 일부 구현들에서, 이 방법은 계산 중에 고정 소수점 수 표현을 사용하여 값을 표현하는 단계를 더 포함한다. 고정 소수점 수 표현을 사용하여 값을 표현하는 단계는, 점진적인 언더플로를 위한 소수점을 비정규화하는 단계; 0으로 나눗기를 포함한 연산의 NaN 결과를 처리하는 단계; 부동 소수점 반올림 모드를 변경하는 단계; 및 운영 체제에 부동 소수점 예외를 제기하는 단계 중 적어도 하나 없이 진행할 수 있다.
- [0134] 일부 구현들에서, 방법은, 복수의 요소들 각각에 대해, 요소에 대한 각각의 제1 EM 필드 기여도에 요소에 대한 각각의 제2 EM 필드 기여도를 추가함으로써 요소에 대한 EM 필드 기여도를 누적하는 단계를 더 포함한다.
- [0135] 일부 구현들에서, 방법은, 복수의 요소들 각각에 대해, 복수의 프리미티브로부터 요소까지의 EM 필드 기여도의 합에 기초하여 각각의 제어 신호를 생성하는 단계를 더 포함하며, 각각의 제어 신호는 복수의 프리미티브로부터 요소까지의 EM 필드 기여도의 합산에 기초하여 요소의 적어도 하나의 소성을 변조하기 위한 것이다.
- [0136] 일부 구현들에서, 방법은 제1 프리미티브의 재구성이 제2 프리미티브의 재구성과 겹치지 않도록 제2 프리미티브에 인접한 제1 프리미티브를 미리 결정된 팩터로 스케일링하는 단계를 더 포함한다. 미리 결정된 팩터는 디스플레이의 해상도에 적어도 부분적으로 기초하여 결정될 수 있다. 방법은, 복수의 프리미티브 각각에 대한 각각의 프리미티브 데이터를 획득하는 단계로서, 각각의 복수의 프리미티브의 각각의 프리미티브 데이터는 3차원 좌표계에서 프리미티브의 각각의 좌표 정보를 포함하는, 상기 획득하는 단계; 및 제1 프리미티브의 각각의 좌표 정보 및 미리 결정된 팩터에 기초하여 제1 프리미티브의 새로운 각각의 좌표 정보를 결정하는 단계를 더 포함할 수 있다. 방법은 제1 프리미티브의 새로운 각각의 좌표 정보에 기초하여 제1 프리미티브로부터 각각의 복수의 요소까지의 EM 필드 기여도를 결정하는 단계를 더 포함할 수 있다. 방법은 미리 결정된 팩터로 제2 프리미티브를 스케일링하는 단계를 더 포함할 수 있다. 제1 프리미티브와 제2 프리미티브는 공통 부분을 공유할 수 있으며, 여기서 제1 프리미티브를 스케일링하는 것은 제1 프리미티브의 공통 부분을 스케일링하는 것을 포함한다. 제1 프리미티브를 스케일링하는 것은 미리 결정된 방향으로 제1 프리미티브를 스케일링하는 것을 포함할 수 있다.
- [0137] 본 개시의 또 다른 양태는, 3차원(3D) 공간에서 객체에 대응하는 복수의 프리미티브의 각각의 프리미티브 데이터를 획득하는 단계; 제1 프리미티브 및 제2 프리미티브에 대한 각각의 프리미티브 데이터를 사용하여 미리 결정된 팩터로 제2 프리미티브에 인접한 제1 프리미티브를 스케일링하는 단계; 및 스케일링의 결과에 기초하여 제1 프리미티브에 대한 각각의 프리미티브 데이터를 업데이트하는 단계를 포함하는 방법을 특징으로 한다.
- [0138] 일부 구현들에서, 각각의 복수의 프리미티브의 각각의 프리미티브 데이터는 3D 좌표계에서 프리미티브의 각각의 좌표 정보를 포함하며, 각각의 프리미티브 데이터를 업데이트하는 단계는 제1 프리미티브의 각각의 좌표 정보 및 미리 결정된 팩터에 기초하여 제1 프리미티브의 새로운 각각의 좌표 정보를 결정하는 단계를 포함한다.
- [0139] 일부 구현들에서, 미리 결정된 팩터는 제1 프리미티브의 재구성이 3D 공간에서 제2 프리미티브의 재구성과 겹치지 않도록 결정된다.
- [0140] 일부 구현들에서, 스케일링은 3D 공간에서 제1 프리미티브와 제2 프리미티브의 재구성 사이의 갭이 중첩 효과를 최소화하기 위해 제1 프리미티브와 제2 프리미티브를 분리할 수 있을 만큼 충분히 크고 재구성이 원활하게 보이도록 충분히 작도록 수행된다.
- [0141] 일부 구현들에서, 미리 결정된 팩터는 디스플레이의 해상도, 또는 뷰어로부터 디스플레이까지 또는 디스플레이의 3D 공간 내 프리미티브의 z-깊이까지의 실제 또는 가정된 거리에 기초하여 적어도 부분적으로 결정된다.
- [0142] 일부 구현들에서, 방법은 제1 프리미티브에 대한 업데이트된 프리미티브 데이터를 버퍼에 저장하는 단계를 더 포함한다.
- [0143] 일부 구현들에서, 스케일링은 복수의 프리미티브의 각각의 프리미티브 데이터를 획득하기 위해 객체의 렌더링 프로세스 동안 수행된다.
- [0144] 일부 구현들에서, 방법은 복수의 프리미티브에 대한 업데이트된 프리미티브 데이터를 컨트롤러로 전송하는 단계를 더 포함하며, 컨트롤러는 복수의 프리미티브에 대한 업데이트된 프리미티브 데이터에 기초하여 각각의 복수의 프리미티브로부터 디스플레이의 각각의 복수의 요소까지의 각각의 전자기(EM) 필드 기여도를 결정하도록 구성된다.
- [0145] 일부 구현들에서, 방법은 제1 프리미티브의 업데이트된 프리미티브 데이터에 기초하여 제1 프리미티브로부터

각각의 복수의 요소까지의 EM 필드 기여도를 결정하는 단계를 더 포함한다.

- [0146] 일부 구현들에서, 방법은 미리 결정된 팩터로 제2 프리미티브를 스케일링하는 단계를 더 포함한다.
- [0147] 일부 구현들에서, 제1 프리미티브와 제2 프리미티브는 공통 부분을 공유하며, 제1 프리미티브를 스케일링하는 것은 제1 프리미티브의 공통 부분을 스케일링하는 것을 포함한다.
- [0148] 일부 구현들에서, 제1 프리미티브를 스케일링하는 것은 미리 결정된 방향으로 제1 프리미티브를 스케일링하는 것을 포함한다.
- [0149] 일부 구현들에서, 제1 프리미티브를 스케일링하는 것은 제1 프리미티브의 제1 부분을 미리 결정된 제1 팩터로 스케일링하는 것과, 제2 프리미티브의 제2 부분을 미리 결정된 제2 팩터로 스케일링하는 것을 포함하며, 여기서 제1 미리 결정된 팩터는 제2 미리 결정된 팩터와 상이하다.
- [0150] 본 개시의 또 다른 양태는, 3차원(3D) 공간에서 객체에 대응하는 복수의 프리미티브 중 특정 프리미티브의 특정 표면에 매핑될 이미지의 복수의 DCT(Discrete Cosine Transform) 가중치를 획득하는 단계; 및 이미지의 복수의 DCT 가중치의 효과를 고려함으로써 특정 프리미티브로부터 디스플레이의 각각의 복수의 요소까지의 각각의 EM 필드 기여도를 결정하는 단계를 포함하는 방법을 특징으로 한다.
- [0151] 일부 구현들에서, 방법은 특정 프리미티브의 지정된 표면에 매핑될 이미지에 대한 해상도를 결정하는 단계; 및 해상도에 기초하여 이미지의 복수의 DCT 가중치를 결정하는 단계를 더 포함한다.
- [0152] 일부 구현들에서, 방법은 이미지의 각 픽셀에 대한 각각의 DCT 진폭을 획득하기 위해 이미지의 DCT 가중치를 디코딩하는 단계를 더 포함한다.
- [0153] 일부 구현들에서, 방법은 특정 프리미티브의 프리미티브 데이터와 함께 이미지의 픽셀의 각각의 DCT 진폭과 관련된 값을 저장하는 단계를 더 포함한다. 각각의 EM 필드 기여도를 결정하는 단계는 이미지의 픽셀의 각각의 DCT 진폭과 관련된 값으로 특정 프리미티브로부터 각각의 복수의 요소까지의 각각의 EM 필드 기여도를 계산하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0154] 일부 구현들에서, 방법은 각각의 EM 필드 기여도의 결정에 포함될 특정 DCT 항을 선택하는 단계를 더 포함하고, 특정 DCT 항 각각은 미리 결정된 임계값보다 높은 각각의 DCT 가중치를 갖는다.
- [0155] 본 개시의 또 다른 양태는, 주어진 프리미티브의 정보 및 주어진 프리미티브의 폐색기를 획득하는 단계로서, 주어진 프리미티브는 3차원(3D) 공간에서 객체에 대응하는 복수의 프리미티브 내에 있는, 상기 획득하는 단계; 및 폐색기의 효과로서 주어진 프리미티브의 재구성에 기여하지 않는 디스플레이의 복수의 요소 중 하나 이상의 특정 요소를 결정하는 단계를 포함하는 방법을 특징으로 한다.
- [0156] 일부 구현들에서, 방법은 주어진 프리미티브 및 폐색기의 정보와 함께 특정 요소의 정보를 저장하는 단계를 더 포함한다.
- [0157] 일부 구현들에서, 결정하는 단계는 복수의 프리미티브의 각각의 프리미티브 데이터를 획득하기 위해 객체의 렌더링 프로세스 동안 수행된다.
- [0158] 일부 구현들에서, 방법은 디스플레이의 복수의 요소에 대한 복수의 프리미티브에 대한 전자기(EM) 기여도를 계산하도록 구성된 컨트롤러에 주어진 프리미티브 및 폐색기의 정보와 함께 특정 요소의 저장된 정보를 전송하는 단계를 더 포함한다.
- [0159] 일부 구현들에서, 방법은, 특정 요소 중 각각의 특정 요소에 대해, 주어진 프리미티브로부터 특정 요소 중 하나의 특정 요소까지의 전자기(EM) 필드 기여도를 제외함으로써 복수의 프리미티브로부터 특정 요소 중 하나의 특정 요소까지의 EM 필드 기여도의 합을 생성하는 단계를 더 포함한다.
- [0160] 일부 구현들에서, 방법은 특정 요소 이외의 복수의 요소 각각에 대해, 복수의 프리미티브로부터 요소까지의 EM 필드 기여도의 각각의 합을 생성하는 단계를 더 포함한다.
- [0161] 일부 구현들에서, 방법은 주어진 프리미티브에 대한 특정 요소의 EM 필드 기여도를 마스킹하는 단계를 더 포함한다.
- [0162] 일부 구현들에서, 하나 이상의 특정 요소를 결정하는 단계는, 주어진 프리미티브를 폐색기의 엔드포인트에 연결하는 단계; 연결과 디스플레이 간의 교차점을 결정하기 위해 연결을 디스플레이로 확장하는 단계; 및 폐색기의 효과에서 주어진 프리미티브의 재구성에 기여하지 않는 특정 요소가 되도록 교차점에 의해 정의된 특정 범위를

결정하는 단계를 포함한다.

- [0163] 본 발명의 또 다른 양태는, 주어진 프리미티브의 정보 및 주어진 프리미티브의 폐색기를 획득하는 단계로서, 주어진 프리미티브는 3차원(3D) 공간에서 객체에 대응하는 복수의 프리미티브 내에 있는, 상기 획득하는 단계; 및 디스플레이의 복수의 요소 각각에 대해, 폐색기의 효과로서 요소에 대한 전자기(EM) 필드 기여도를 만들지 않는 주어진 프리미티브의 각 일부를 결정하는 단계를 포함하는 방법을 특징으로 한다.
- [0164] 일부 구현들에서, 방법은 주어진 프리미티브 및 폐색기의 정보와 함께 주어진 프리미티브의 각 부분의 정보를 저장하는 단계를 더 포함한다.
- [0165] 일부 구현들에서, 결정하는 단계는 복수의 프리미티브의 각각의 프리미티브 데이터를 획득하기 위해 객체의 렌더링 프로세스 동안 수행된다.
- [0166] 일부 구현들에서, 방법은 디스플레이의 복수의 요소에 대한 복수의 프리미티브에 대한 전자기(EM) 기여도를 계산하도록 구성된 컨트롤러에 주어진 프리미티브 및 폐색기의 정보와 함께 주어진 정보의 각 부분의 저장된 정보를 전송하는 단계를 더 포함한다.
- [0167] 일부 구현들에서, 방법은 주어진 프리미티브의 각 부분에 대한 복수의 요소 각각의 EM 필드 기여도를 마스킹하는 단계를 더 포함한다.
- [0168] 일부 구현들에서, 방법은, 복수의 요소 각각에 대해, 주어진 프리미티브의 각 부분으로부터 요소까지의 EM 필드 기여도를 제외함으로써 복수의 프리미티브로부터 요소까지의 EM 필드 기여도의 합을 생성하는 단계를 더 포함한다. 복수의 프리미티브로부터 요소까지의 EM 필드 기여도의 합을 생성하는 단계는 폐색기의 효과 없이 복수의 프리미티브로부터 요소까지의 EM 필드 기여도의 합에서 주어진 프리미티브의 각 부분의 EM 기여도를 빼는 단계를 포함할 수 있다. 복수의 프리미티브로부터 요소까지의 EM 필드 기여도의 합을 생성하는 단계는 주어진 프리미티브의 하나 이상의 다른 부분으로부터 요소까지의 EM 필드 기여도를 합산하는 단계를 포함하며, 각 부분 및 하나 이상의 다른 부분은 주어진 프리미티브를 형성한다.
- [0169] 일부 구현들에서, 폐색기의 효과로서 요소에 EM 필드 기여도를 만들지 않는 주어진 프리미티브의 각 부분을 결정하는 단계는, 폐색기의 엔드포인트에 요소를 연결하는 단계; 연결과 주어진 프리미티브 사이의 교차점을 결정하는 단계; 및 폐색기의 효과에서 요소에 대한 EM 필드 기여도를 만들지 않는 주어진 프리미티브의 각 부분이 되도록 교차점에 의해 둘러싸이는 주어진 프리미티브의 특정 부분을 결정하는 단계를 포함한다.
- [0170] 본 개시의 다른 양태는 3차원(3D) 공간에서 객체에 대응하는 각각의 복수의 프리미티브의 각각의 프리미티브 데이터를 획득하는 단계; 복수의 프리미티브 각각에 대한 각각의 기하학적 스펙클러 정보를 획득하는 단계; 및 복수의 프리미티브 각각에 대한 각각의 프리미티브 데이터와 함께 각각의 기하학적 스펙클러 정보를 저장하는 단계를 포함하는 방법을 특징으로 한다.
- [0171] 일부 구현들에서, 복수의 프리미티브 각각에 대한 각각의 기하학적 스펙클러 정보는 시야각에 따른 프리미티브 표면의 반사율을 포함한다.
- [0172] 일부 구현들에서, 방법은 프리미티브에 대한 각각의 기하학적 스펙클러 정보를 고려함으로써 복수의 프리미티브 각각으로부터 디스플레이의 복수의 요소 각각까지의 각각의 EM 필드 기여도를 결정하는 단계를 더 포함한다.
- [0173] 본 개시의 또 다른 양태는, 3차원(3D) 공간에서 객체에 대응하는 복수의 프리미티브에 대한 각각의 프리미티브 데이터를 포함하는 그래픽 데이터를 획득하는 단계; 복수의 프리미티브 각각에 대해, 3D 좌표계에서, 프리미티브로부터 요소까지의 EM 필드 전파를 계산함으로써 디스플레이의 복수의 요소 각각에 대한 전자기(EM) 필드 기여도를 결정하는 단계; 및 복수의 요소 각각에 대해, 복수의 프리미티브로부터 요소까지의 EM 필드 기여도의 합을 생성하는 단계; 복수의 요소 각각에 대해, 각각의 제어 신호를 요소로 전송하는 단계로서, 제어 신호는 요소에 대한 EM 필드 기여도의 합에 기초하여 요소의 적어도 하나의 속성을 변조하기 위한 것인, 상기 전송하는 단계; 및 조명기가 디스플레이 상에 광을 조명하도록 하여 광이 디스플레이의 변조된 요소들에 의해 야기되어 객체에 대응하는 체적 광 필드를 형성하도록 조명기에 타이밍 제어 신호를 전송하는 단계를 포함하는 방법을 특징으로 한다.
- [0174] 본 개시의 또 다른 양태는, 디스플레이의 복수의 요소 각각에 대해, 각각의 제어 신호를 미리 결정된 교정 값으로 변경하는 단계; 변경된 각각의 제어 신호를 디스플레이의 복수의 요소에 인가하는 단계; 디스플레이에 입사되는 광의 출력을 측정하는 단계; 및 광의 출력 측정에 기초하여 미리 결정된 교정 값을 평가하는 단계를 포함

하는 방법을 특징으로 한다.

- [0175] 일부 구현들에서, 미리 결정된 교정 값은 복수의 요소 각각에 대해 동일하다.
- [0176] 일부 구현들에서, 방법은 디지털-아날로그 변환기(DAC)에 의해 복수의 요소의 각각의 제어 신호를 변환시키는 단계를 더 포함하며, 복수의 요소에 대한 각각의 제어 신호를 변경하는 단계는 미리 결정된 교정 값으로 각각의 제어 신호의 디지털 신호를 변경하는 단계를 포함한다.
- [0177] 일부 구현들에서, 미리 결정된 값은 복수의 비트를 포함한다.
- [0178] 일부 구현들에서, 방법은 평가 결과에 기초하여 미리 결정된 교정 값을 조정하는 단계를 더 포함한다. 미리 결정된 교정 값을 조정하는 단계는 복수의 비트의 하나 이상의 값을 수정하는 단계를 포함할 수 있다. 미리 결정된 교정 값을 조정하는 단계는 미리 결정된 교정 값 및 이전 평가로부터 결정된 다른 교정 값에 기초하여 복수의 비트 값의 조합을 결정하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0179] 일부 구현들에서, 광의 출력은 광의 위상 변화 또는 광의 출력과 배경 사이의 세기 차이를 포함한다.
- [0180] 일부 구현들에서, 요소의 각각의 제어 신호는 객체에 대응하는 복수의 프리미티브로부터 3D 공간의 요소까지의 전자기(EM) 필드 기여도의 합에 기초하여 결정된다.
- [0181] 본 개시의 또 다른 양태는, 디스플레이의 복수의 요소 각각에 대해, 3차원(3D) 공간에서 복수의 프리미티브로부터 전자기(EM) 필드 기여도의 각각의 합을 획득하는 단계로서, 복수의 프리미티브는 3D 공간에서 객체에 대응하는, 상기 획득하는 단계; 요소에 대한 EM 필드 기여도의 각각의 변환된 합을 획득하기 위해 요소에 대한 EM 필드 기여도의 각각의 합에 각각의 수학적 변환을 적용하는 단계; 요소에 대한 EM 필드 기여도의 각각의 변환된 합에 기초하여 각각의 제어 신호를 결정하는 단계; 및 요소에 대한 결정된 각각의 제어 신호에 기초하여 요소의 속성을 변조하는 단계를 포함하는 방법을 특징으로 한다.
- [0182] 일부 구현들에서, 방법은, 디스플레이의 복수의 요소에 입사되는 광을 도입하는 단계; 광의 제1 출력을 측정하는 단계; 및 광의 제1 출력의 측정 결과에 기초하여 복수의 요소의 각각의 수학적 변환의 하나 이상의 계수를 조정하는 단계를 더 포함한다. 방법은, 디스플레이 관점에서 객체에 대응하는 홀로그래픽 패턴의 깊이를 변경하는 단계; 광의 제2 출력을 측정하는 단계; 및 제1 및 제2 출력에 기초하여 각각의 수학적 변환의 하나 이상의 계수를 조정하는 단계를 더 포함할 수 있다. 방법은, 제1 홀로그래픽 패턴에 대응하는 복수의 프리미티브를 제2 홀로그래픽 패턴에 대응하는 제2 복수의 프리미티브로 변경하는 단계; 광의 제2 출력을 측정하는 단계; 및 제1 및 제2 출력에 기초하여 각각의 수학적 변환의 하나 이상의 계수를 조정하는 단계를 더 포함할 수 있다. 제1 홀로그램 패턴과 제2 홀로그램 패턴은 객체에 대응될 수 있다. 제2 홀로그래픽 패턴은 제1 홀로그래픽 패턴과 관련된 객체와 다른 제2 객체에 대응할 수 있다. 광의 제1 출력은 이미징 센서(예를 들어, 포인트 센서 또는 공간 통합 센서 또는 광 필드 센서와 같은 3차원 센서)에 의해 측정될 수 있다. 이미징 센서는 기계 비전 알고리즘을 사용하여 디스플레이되는 것을 결정하고 피트니스 파라미터를 계산하도록 구성할 수 있다. 제1 및 제2 홀로그래픽 패턴 각각은 도트 그리드 또는 다른 기점(fiducial) 요소를 포함할 수 있으며, 피트니스 파라미터는 도트 또는 기타 기점 요소가 함께 있는 정도; 도트 또는 기타 기점 요소가 의도한 위치, 색상 및 세기에 가까운 정도; 도트 또는 기타 기점 요소가 의도한 위치에 대해 중앙에 잘 배치된 정도, 도트 또는 기타 기점 요소가 왜곡된 정도 중 적어도 하나이다.
- [0183] 일부 구현들에서, 수학적 변환은 제르니케 다항식으로부터 도출된다.
- [0184] 일부 구현들에서, 복수의 요소에 대한 수학적 변환은 요소별로 다르다.
- [0185] 일부 구현들에서, 방법은, 디스플레이를 조명하여 알려진 색상 및 세기의 샘플 세트를 재현하는 단계; CIE 표준 관찰자 곡선으로 교정될 수 있는 색도계 장치를 사용하여 출력 광을 측정하는 단계; 및 CIE 색상 공간과 같은 색상 공간에서 디스플레이의 출력 광을 정의하는 단계를 더 포함한다. 방법은, 알려진 표준 값으로부터 정의된 출력 광의 값의 편차를 결정하는 단계; 및 디스플레이에 조명을 적응시키거나 디스플레이에 의해 출력 색상 및 세기를 생성하여 정렬(예를 들어, 표준 또는 원하는 값과의 일치) 상태로 되돌리는 단계를 더 포함할 수 있다.
- [0186] 본 개시의 또 다른 양태는 액정(LC) 디스플레이의 디스플레이 요소의 피치에 기초하여 LC 디스플레이의 셀 갭을 결정하는 단계; 및 셀 갭 및 LC 디스플레이에 대한 미리 결정된 지연에 기초하여 LC 혼합물의 복굴절의 최소값을 계산하는 단계를 포함하는 방법을 특징으로 한다.
- [0187] 일부 구현들에서, 방법은 LC 혼합물의 복굴절을 최소값 이상으로 유지함으로써 LC 디스플레이의 스위칭 속도를

향상시키는 단계를 더 포함한다. 스위칭 속도를 개선하는 단계는, LC 혼합물의 유전율 이방성을 증가시키는 단계; 및 LC 혼합물의 회전 점도를 감소시키는 단계 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.

- [0188] 일부 구현들에서, LC 디스플레이는 실리콘 백플레인을 갖는 실리콘 액정 표시 장치(liquid crystal on silicon; LCOS 또는 LCoS) 장치를 포함한다.
- [0189] 일부 구현들에서, LC 디스플레이는 액정층; 공통 전극으로서 액정층 상부의 투명 도전층; 및 액정층의 하부에 또는 하부에 전기적으로 인접한 복수의 금속 전극을 포함하는 백플레인을 포함하며, 복수의 금속 전극 각각은 서로 이격되고, 백플레인은 복수의 금속 전극 각각의 전압을 제어하도록 구성된다.
- [0190] 본 개시의 다른 양태는 백플레인; 및 백플레인 상의 복수의 디스플레이 요소를 포함하는 디스플레이를 특징으로 하며, 복수의 디스플레이 요소 중 적어도 2개는 서로 다른 크기를 갖는다.
- [0191] 일부 구현들에서, 적어도 2개의 디스플레이 요소 중 더 큰 것은 버퍼를 포함하고, 적어도 2개의 디스플레이 요소 중 더 작은 것은 버퍼를 포함하지 않는다. 더 큰 디스플레이 요소는 전도성 라인에 의해 제1 복수의 디스플레이 요소와 연결될 수 있으며, 버퍼는 전압이 제1 복수의 디스플레이 요소 내의 제2 복수의 디스플레이 요소에 만 인가되도록 전도성 라인 상에 인가된 전압을 버퍼링하도록 구성되고, 제2 복수의 디스플레이 요소의 수는 제1 복수의 디스플레이 요소의 수보다 작다.
- [0192] 일부 구현들에서, 버퍼는 트랜지스터 형태의 아날로그 회로 또는 논리 게이트 형태의 디지털 회로를 포함한다.
- [0193] 일부 구현들에서, 복수의 디스플레이 요소의 크기 분포는 적어도 2개의 디스플레이 요소 중 더 작은 것의 크기와 실질적으로 동일하다.
- [0194] 일부 구현들에서, 디스플레이는 실리콘 장치의 액정으로 구성된다.
- [0195] 본 개시의 다른 양태는 백플레인; 및 백플레인 상의 복수의 디스플레이 요소를 포함하는 디스플레이를 특징으로 하며, 복수의 디스플레이 요소 중 적어도 2개는 서로 다른 형태를 갖는다.
- [0196] 일부 구현들에서, 백플레인은 디스플레이 요소 각각에 대한 각각의 회로를 포함하며, 적어도 2개의 디스플레이 요소에 대한 각각의 회로는 적어도 2개의 디스플레이 요소의 상이한 형상에 대응하는 형상을 갖는다.
- [0197] 일부 구현들에서, 복수의 디스플레이 요소의 크기 분포는 미리 결정된 크기와 실질적으로 동일하다.
- [0198] 일부 구현들에서, 디스플레이는 실리콘 장치의 액정으로 구성된다.
- [0199] 본 개시의 또 다른 양태는, 3차원(3D) 공간에서 객체에 대응하는 복수의 프리미티브에 대한 각각의 프리미티브 데이터를 포함하는 그래픽 데이터를 획득하는 단계; 복수의 프리미티브 각각에 대해, 3D 좌표계에서, 프리미티브로부터 요소까지의 EM 필드 전파를 계산함으로써 디스플레이의 복수의 요소 각각에 대한 전자기(EM) 필드 기여도를 결정하는 단계; 및 복수의 요소 각각에 대해, 복수의 프리미티브로부터 요소까지의 EM 필드 기여도의 합을 생성하는 단계; 복수의 요소 각각에 대해, 각각의 제어 신호를 요소로 전송하는 단계로서, 제어 신호는 요소에 대한 EM 필드 기여도의 합에 기초하여 요소의 적어도 하나의 속성을 변조하기 위한 것인, 상기 전송하는 단계; 및 조명기가 디스플레이 상에 광을 조명하도록 하여 광이 디스플레이의 변조된 요소들에 의해 야기되어 객체에 대응하는 체적 광 필드를 형성하도록 조명기에 타이밍 제어 신호를 전송하는 단계를 포함하는 방법을 특징으로 한다.
- [0200] 양태의 다른 실시예는 대응하는 컴퓨터 시스템, 장치 및 하나 이상의 컴퓨터 저장 장치에 기록된 컴퓨터 프로그램을 포함하며, 각각은 방법의 동작을 수행하도록 구성된다. 하나 이상의 컴퓨터로 구성된 시스템이 특정 동작 또는 작업을 수행하도록 구성되어 있다는 것은 시스템이 소프트웨어, 펌웨어, 하드웨어 또는 이들의 조합에 설치되어 시스템이 동작 또는 작업을 수행하도록 한다는 것을 의미한다. 하나 이상의 컴퓨터 프로그램이 특정 동작 또는 작업을 수행하도록 구성된다는 것은 하나 이상의 프로그램이 데이터 처리 장치에 의해 실행될 때 장치가 동작 또는 작업을 수행하도록 하는 명령어들을 포함한다는 것을 의미한다.
- [0201] 본 개시의 또 다른 양태는 하나 이상의 프로세서; 및 하나 이상의 프로세서와 통신하고 하나 이상의 프로세서에 의해 실행 가능한 명령어들을 저장하고 이러한 실행 시에 하나 이상의 프로세서가 본원에 개시된 방법 중 하나 이상을 수행하도록 하는 비일시적 컴퓨터 판독 가능 저장 매체를 포함하는 장치를 특징으로 한다.
- [0202] 본 개시의 또 다른 양태는 하나 이상의 프로세서에 의해 실행 가능한 명령어들을 저장하고 이러한 실행 시에 하

나 이상의 프로세서가 본원에 개시된 방법 중 하나 이상에 따른 방법을 수행하도록 하는 비밀시적 컴퓨터 판독 가능 저장 매체를 특징으로 한다.

- [0203] 본 개시의 또 다른 양태는 복수의 요소를 포함하는 디스플레이; 및 디스플레이에 결합되고 본원에 개시된 방법 중 하나 이상을 수행하도록 구성된 컨트롤러를 특징으로 한다. 컨트롤러는 복수의 컴퓨팅 유닛을 포함할 수 있으며, 컴퓨팅 유닛 각각은 3차원(3D) 공간에서 객체에 대응하는 복수의 프리미티브 중 하나 이상의 프리미티브에 대한 동작을 수행하도록 구성된다. 일부 구현들에서, 컨트롤러는 디스플레이에 국부적으로 결합되고, 컴퓨팅 유닛 각각은 디스플레이의 하나 이상의 개별 요소에 결합되고, 각각의 제어 신호를 하나 이상의 개별 요소 각각에 전송하도록 구성된다. 컴퓨팅 유닛은 병렬로 동작하도록 구성될 수 있다.
- [0204] 컨트롤러는 ASIC(Application-Specific Integrated Circuit), FPGA(Field Programmable Gate Array), PGA(Programmable Gate Array), CPU(Central Processing Unit), GPU(Graphic Processing Unit) 또는 표준 또는 맞춤형 컴퓨팅 셀 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 디스플레이는 디지털 마이크로-미러 장치(DMD) 또는 실리콘 액정 표시(LCOS 또는 LCOS) 장치를 포함하는 공간 광 변조기(spatial light modulator; SLM)를 포함할 수 있다. 디스플레이는 위상 변조, 진폭 변조 또는 위상 및 진폭 변조로 구성될 수 있다. 컨트롤러는 메모리 버퍼를 통해 디스플레이에 결합될 수 있다.
- [0205] 일부 구현들에서, 시스템은 디스플레이에 인접하여 배열된 조명기를 포함하고, 디스플레이에 광을 방출하도록 구성된다. 조명기는 컨트롤러에 결합되고 컨트롤러로부터의 제어 신호에 기초하여 턴 온/턴 오프되도록 구성될 수 있다.
- [0206] 일부 경우에, 조명기는 조명기에서 하나 이상의 발광 요소의 진폭 또는 밝기를 제어하도록 구성된 메모리 버퍼를 통해 컨트롤러에 결합된다. 조명기용 메모리 버퍼는 디스플레이용 메모리 버퍼보다 작은 크기를 가질 수 있다. 조명기의 발광 요소의 수는 디스플레이의 요소의 수보다 작을 수 있다. 컨트롤러는 조명기의 하나 이상의 발광 요소를 동시에 또는 순차적으로 활성화하도록 구성될 수 있다.
- [0207] 조명기는 간섭성 광원, 비간섭성 광원 또는 비간섭성 광원일 수 있다. 일부 구현들에서, 조명기는 백색광을 방출하도록 구성되며, 디스플레이는 백색광을 상이한 색상을 갖는 광으로 회절시키도록 구성된다. 일부 구현들에서, 조명기는 서로 다른 색상을 갖는 광을 방출하도록 각각 구성된 둘 이상의 발광 요소를 포함한다. 컨트롤러는 제1 시간 기간 동안 제1 색상과 연관된 정보로 디스플레이를 순차적으로 변조하고, 제2의 순차적인 시간 기간 동안 제2 색상과 연관된 정보로 디스플레이를 변조하도록 구성될 수 있으며, 컨트롤러는 순차적으로 제1 발광 요소를 턴 온시켜 제1 시간 기간 동안 제1 색상을 갖는 광을 방출하고 제2 발광 요소를 턴 온시켜 제2 시간 기간 동안 제2 색상을 갖는 광을 방출하도록 조명기를 제어하도록 구성될 수 있다.
- [0208] 일부 구현들에서, 조명기는 디스플레이의 전면에 배열되고 0도 내지 90도 범위 내의 입사각으로 디스플레이의 표면에 광을 방출하도록 구성되며, 방출된 광은 디스플레이로부터 회절된다. 일부 경우에, 조명기로부터의 방출된 광은 시준된 광을 포함한다. 일부 경우에, 조명기로부터의 방출된 광은 발산된 광을 포함한다. 일부 경우에, 조명기로부터의 방출된 광은 수렴된 광을 포함한다. 일부 경우에, 조명기로부터의 방출된 광은 반시준된 광을 포함한다.
- [0209] 일부 구현들에서, 조명기는 디스플레이의 후면 뒤에 배열되고 디스플레이의 후면에서 발산형 시준되거나, 반시준되거나 수렴된 광을 방출하도록 구성되며, 방출된 광은 디스플레이를 통해 투과되어 디스플레이의 전면으로부터 디스플레이 외부로 회절된다.
- [0210] 일부 구현들에서, 조명기는 광을 방출시키도록 구성된 광원; 및 광원과 결합되고 디스플레이에 인접하여 배열된 도파관으로서, 도파관은 광원으로부터 방출된 광을 수용하고 디스플레이로 방출된 광을 안내하도록 구성되는, 상기 도파관을 포함한다. 일부 경우에, 광원으로부터의 광은 광 커플러를 통해 도파관의 측면면으로부터 도파관에 결합될 수 있다. 일부 경우에, 광원과 도파관은 평면 형태로 통합되어 디스플레이 표면에 위치된다. 도파관은 디스플레이를 균일하게 조명하도록 광을 안내하도록 구성될 수 있다.
- [0211] 일부 경우에, 도파관은 디스플레이의 후면 상에 또는 광학적으로 근접하게 위치되고, 광은 디스플레이 내로 투과하고 디스플레이의 전면으로부터 디스플레이 밖으로 투과 및 회절되도록 안내된다. 컨트롤러는 도파관의 후면에 위치될 수 있다. 일부 경우에, 도파관 또는 광가이드는 디스플레이의 전면 상에 또는 광학적으로 근접하게 위치되며, 광은 디스플레이의 전면 상에 입사되고 전면을 통해 밖으로 다시 반사 및 회절되도록 안내된다.
- [0212] 본 개시의 또 다른 양태는, 요소 어레이를 포함하는 디스플레이; 컴퓨팅 유닛 어레이를 포함하는 집적 회로로서, 컴퓨팅 유닛 각각은 디스플레이의 하나 이상의 각각의 요소에 결합되고, 복수의 프리미티브 중 적어도 하나

의 프리미티브로부터 각각의 요소 어레이까지의 전자기(EM) 필드 기여도를 계산하고; 하나 이상의 각각의 요소들 각각에 대해, 복수의 프리미티브로부터 요소까지의 EM 필드 기여도의 각각의 합을 생성하도록 구성되는, 상기 집적 회로를 포함하는 시스템을 특징으로 한다.

- [0213] 컴퓨팅 유닛 각각은, 컴퓨팅 유닛 어레이의 다른 컴퓨팅 유닛으로부터, 복수의 프리미티브 중 다른 프리미티브로부터 각각의 하나 이상의 개별 요소까지의 계산된 EM 필드 기여도를 수신하고; 하나 이상의 개별 요소 각각에 대해, 다른 프리미티브로부터 요소까지의 수신된 계산된 EM 필드 기여도를 추가하여 EM 필드 기여도의 각각의 합을 생성하도록 구성될 수 있다.
- [0214] 컴퓨팅 유닛 각각은, 하나 이상의 개별 요소 각각에 대해, 각각의 제어 신호를 생성하여 요소에 대한 EM 필드 기여도의 각각의 합에 기초하여 요소의 적어도 하나의 속성을 변조하도록 구성될 수 있다.
- [0215] 일부 구현들에서, 집적 회로는 복수의 프리미티브로부터 디스플레이의 각각의 요소까지의 계산된 EM 필드 기여도의 누적 결과를 저장하도록 구성된 각각의 누산기를 포함한다. 집적 회로는 계산 작업 시작 시 누산기를 소거하도록 구성될 수 있다. 일부 예들에서, 집적 회로는 요소 각각에 대한 각각의 메모리 버퍼를 포함하며, 집적 회로는 복수의 프리미티브로부터 요소까지의 계산된 EM 필드 기여도를 누산하여 각각의 누산기에서의 최종 누산 결과로서 EM 필드 기여도의 각각의 합을 획득하고 각각의 누산기로부터의 최종 누산 결과를 요소에 대한 각각의 메모리 버퍼에 전달하도록 구성될 수 있다.
- [0216] 일부 구현들에서, 시스템은 집적 회로와 디스플레이 사이에 위치되고, 집적 회로로부터 제어 신호를 수신하고 제어 신호에 기초하여 디스플레이 상에 광을 조명하도록 구성된 조명기를 더 포함하며, 집적 회로, 조명기 및 디스플레이는 단일 유닛으로 통합될 수 있다.
- [0217] 본 개시의 다른 측면은, 3차원 공간 상의 객체에 대응하는 복수의 프리미티브 각각의 프리미티브 데이터를 포함하는 데이터를 생성하도록 구성된 컴퓨팅 장치; 및 본원에 개시된 바와 같은 시스템을 포함하는 시스템을 특징으로 한다. 시스템은 컴퓨팅 장치로부터 그래픽 데이터를 수신하고 3D 공간에서 객체를 제시하기 위해 그래픽 데이터를 처리하도록 구성된다. 컴퓨팅 장치는 객체의 컴퓨터 생성(CG) 모델을 렌더링함으로써 각각의 프리미티브 데이터로 프리미티브를 생성하도록 구성된 애플리케이션 프로그래밍 인터페이스(API)를 포함할 수 있다.
- [0218] 본 개시의 또 다른 양태는, 제1 광 회절 컴포넌트; 제2 광 회절 컴포넌트; 및 제1 및 제2 광 회절 컴포넌트 사이의 색상 선택 편광기를 포함하는 광학 장치를 특징으로 한다. 제1 편광 상태에서 제1 색상의 광을 포함하는 제1 광 빔이 제1 광 회절 컴포넌트에 입사될 때, 제1 광 회절 컴포넌트는 제1 편광 상태에서 제1 색상의 광을 회절시키며; 제2 편광 상태에서 제2 색상의 광을 포함하는 제2 광 빔이 색상 선택 편광기에 입사될 때, 색상 선택 편광기는 제2 광 빔을 제1 편광 상태의 제2 색상의 광을 포함하는 제3 광 빔으로 변환시키되, 제2 색상은 제1 색상과 다르고, 제2 편광 상태는 제1 편광 상태와 다르며; 제3 광 빔이 제2 광 회절 컴포넌트 상에 입사될 때, 제2 광 회절 컴포넌트는 제1 편광 상태에서 제2 색상의 광을 회절시키며, 제1 광 회절 컴포넌트가 제2 편광 상태에서 제2 색상의 광을 회절시키는 회절 효율은 제1 광 회절 컴포넌트가 제1 편광 상태에서 제1 색상의 광을 회절시키는 회절 효율보다 실질적으로 작다.
- [0219] 본 개시의 또 다른 양태는, 제1 광 회절 컴포넌트; 제2 광 회절 컴포넌트; 및 제1 및 제2 광 회절 컴포넌트 사이의 색상 선택 편광기를 포함하는 광학 장치를 특징으로 한다. 제1 색상의 광이 제1 입사각으로 제1 편광 상태에서 제1 광 회절 컴포넌트 상에 입사될 때, 제1 광 회절 컴포넌트는 제1 회절각의 제1 색상의 광을 제1 회절 효율로 회절시키고; 제1 색상의 광과 다른 제2 색상의 광이 제1 편광 상태와 다른 제2 편광 상태에서 제2 입사각으로 제1 광 회절 컴포넌트에 입사될 때, 제1 광 회절 컴포넌트는 제1 회절 효율보다 실질적으로 작은 회절 효율로 제2 색상의 광을 회절시키고; 제2 편광 상태의 제2 색상의 광이 색상 선택 편광기에 입사될 때, 색상 선택 편광기는 제2 색상의 광의 편광 상태를 제2 편광 상태에서 제1 편광 상태로 회전시키도록 구성된 색상 선택 편광기; 및 제2 입사각으로 입사하는 제1 편광 상태의 제2 색상의 광을 제2 회절각의 제2 회절 효율로 회절시키도록 구성된 제2 광 회절 컴포넌트를 포함하는 광학 장치를 특징으로 하며, 색상 선택 편광기는 제1 및 제2 광 회절
- [0220] 본 개시의 또 다른 양태는, i) 제1 입사각으로 입사하는 제1 편광 상태의 제1 색상의 광을 제1 회절각의 제1 회절 효율로 회절시키고; ii) 제2 입사각으로 입사하는 제2 편광 상태의 제2 색상의 광을 실질적으로 제1 회절 효율보다 작은 회절 효율로 회절시키도록 구성된 제1 광 회절 컴포넌트; 색상 선택 편광기에 입사하는 제2 편광 상태의 제2 색상의 편광 상태를 제2 편광 상태에서 제1 편광 상태로 회전시키도록 구성된 색상 선택 편광기; 및 제2 입사각으로 입사하는 제1 편광 상태의 제2 색상의 광을 제2 회절각의 제2 회절 효율로 회절시키도록 구성된 제2 광 회절 컴포넌트를 포함하는 광학 장치를 특징으로 하며, 색상 선택 편광기는 제1 및 제2 광 회절

컴포넌트 사이에 있다.

- [0221] 일부 구현들에서, 제2 광 회절 컴포넌트는 제2 회절 효율보다 실질적으로 작은 회절 효율로 제1 입사각의 제2 편광 상태에서 제1 색상의 광을 회절시키도록 구성된다.
- [0222] 일부 구현들에서, 제1 광 회절 컴포넌트, 색상 선택 편광기 및 제2 광 회절 컴포넌트는 순차적으로 적층되어 있어서, 제1 색상의 광 및 제2 색상의 광이 제2 광 회절 컴포넌트 앞의 제1 광 회절 컴포넌트에 입사되도록 한다.
- [0223] 일부 구현들에서, 광학 장치는 제3 광 회절 컴포넌트; 및 제2 및 제3 광 회절 컴포넌트 사이에 있는 제2 색상 선택 편광기를 더 포함한다. 제2 색상 선택 편광기는, 제3 색상의 광이 제2 색상 선택 편광기에 제2 편광 상태로 입사될 때, 제3 색상의 광의 편광 상태를 제2 편광 상태에서 제1 편광으로 회전시키도록 구성된다. 제3 광 회절 컴포넌트는, 제3 색상의 광이 제3 입사각으로 제1 편광 상태에서 제3 광 회절 컴포넌트에 입사될 때, 제3 회절 효율로 제3 회절각으로 제3 색상의 광을 회절시키도록 구성된다.
- [0224] 일부 구현들에서, 색상 선택 편광기는 제1 색상의 광의 편광 상태를 제1 편광 상태에서 제2 편광 상태로 회전시키도록 구성되고, 제2 색상 선택 편광기는 제1 색상의 광의 편광 상태의 회전 없이, 제2 색상의 광의 편광 상태를 제1 편광 상태에서 제2 편광 상태로 회전시키도록 구성된다.
- [0225] 일부 구현들에서, 광학 장치는, 제3 색상의 광의 편광 상태의 회전 없이, 제1 및 제2 색상의 광 각각의 편광 상태를 제2 편광 상태에서 제1 편광 상태로 회전시키도록 구성된 제3 색상 선택 편광기를 더 포함한다. 제3 광 회절 컴포넌트는 제1 및 제3 색상 선택 편광기 사이에 있다.
- [0226] 일부 구현들에서, 제3 광 회절 컴포넌트는 제3 회절 효율보다 실질적으로 작은 회절 효율로 제2 편광 상태에서 입사하는 제1 및 제2 색상의 광 각각을 회절시키도록 구성된다. 제1 광 회절 컴포넌트는 제1 회절 효율보다 실질적으로 작은 회절 효율로 제2 편광 상태에서 입사되는 제3 색상의 광을 회절시키도록 구성되며, 제2 광 회절 컴포넌트는 제2 편광 상태에서 입사되는 제1 및 제3 색상의 광 각각을 제2 회절 효율보다 실질적으로 작은 회절 효율로 회절시키도록 구성된다.
- [0227] 일부 구현들에서, 제2 색상 선택 편광기는 제1 서브 편광기 및 제2 서브 편광기 쌍을 포함한다. 제1 서브 편광기는 제1 및 제3 색상의 광 각각의 편광 상태의 회전 없이, 제2 색상의 광의 편광 상태를 제1 편광 상태에서 제2 편광 상태로 회전시키도록 구성되고, 제2 서브 편광기는 제1 및 제2 색상의 광 각각의 편광 상태의 회전 없이, 제3 색상의 광의 편광 상태를 제2 편광 상태에서 제1 편광 상태로 회전시키도록 구성된다.
- [0228] 일부 구현들에서, 광학 장치는, 제2 및 제3 색상의 광 각각의 편광 상태의 회전 없이, 제1 색상의 광의 편광 상태를 제2 편광 상태에서 제1 편광 상태로 회전시키도록 구성된 제4 색상 선택 편광기를 더 포함하며, 제1 광 회절 컴포넌트는 제4 색상 선택 편광기와 색상 선택 편광기 사이에 있다.
- [0229] 일부 구현들에서, 제1, 제2 및 제3 광 회절 컴포넌트 각각은 기록 매체에 형성된 각각의 홀로그래픽 격자를 포함한다. 기록 매체는 감광성 중합체를 포함할 수 있다. 기록 매체는 광학적으로 투명할 수 있다. 각각의 홀로그래픽 격자는 기록 매체에 고정될 수 있다.
- [0230] 일부 구현들에서, 제1, 제2 및 제3 광 회절 컴포넌트 각각은 기록 매체의 일 면에 부착된 캐리어 필름을 포함한다. 제1, 제2 및 제3 광 회절 컴포넌트 각각은 캐리어 필름의 대향측에 있는 기록 매체의 또 다른 면에 부착된 회절 기판을 포함할 수 있다.
- [0231] 일부 경우에, 제1 광 회절 컴포넌트의 캐리어 필름은 색상 선택 편광기의 제1 면에 부착되고, 제2 광 회절 컴포넌트의 회절 기판은 색상 선택 편광기의 대향측인 제2 면에 부착되며, 제2 광 회절 컴포넌트의 캐리어 필름은 제2 색상 선택 편광기의 제1 면에 부착되고, 제2 광 회절 컴포넌트의 회절 기판은 제2 색상 선택 편광기의 대향측인 제2 면에 부착된다.
- [0232] 일부 구현들에서, 광학 장치는 기판을 더 포함하며, 제1 광 회절 컴포넌트는 기판과 색상 선택 편광기 사이에 있다. 일부 구현들에서, 광학 장치는 기판 표면 상에 반사 방지 코팅을 더 포함한다. 일부 구현들에서, 광학 장치는 전면 및 후면을 포함하고, 여기서 제1 색상의 광 및 제2 색상의 광은 전면에 입사하고, 광학 장치는 후면에 반사 방지 코팅을 더 포함한다.
- [0233] 일부 구현들에서, 광학 장치는 제1 광 회절 컴포넌트, 색상 선택 편광기 및 제2 광 회절 컴포넌트를 포함하는 복수의 광학 컴포넌트들 포함하며, 복수의 컴포넌트 중 두 개의 인접한 광학 컴포넌트는 굴절률 정합 재료를 통해 함께 부착된다.

- [0234] 일부 구현들에서, 제1 및 제2 광 회절 컴포넌트 각각은 기록 매체에 형성된 각각의 브래그 격자를 포함하고, 각각의 브래그 격자는 프린지 경사각(θ_t) 및 기록 매체의 체적에서 프린지 평면에 수직인 프린지 간격(Λ)를 갖는 복수의 프린지 평면을 포함한다.
- [0235] 일부 경우에, 각각의 브래그 격자는 기록 매체에 대한 입사각이 온-브래그 각도일 때, 각각의 회절각(θ_m)이 아래와 같은 브래그 방정식이 충족되도록 구성된다:
- [0236]
$$m\lambda = 2n\Lambda \sin(\theta_m - \theta_t)$$
- [0237] 여기서 λ 는 진공에서 어느 한 색상의 광의 각각의 파장을 나타내고, n 은 기록 매체의 굴절률을 나타내며, θ_m 은 기록 매체의 m 차 회절 차수 브래그 각도를 나타내고, θ_t 는 기록 매체의 프린지 기울기를 나타낸다.
- [0238] 일부 경우에, 제1 및 제2 입사각 각각은 온-브래그 각도와 실질적으로 동일하고, 제1 및 제2 회절각 각각은 1차 브래그 각도와 실질적으로 동일하다.
- [0239] 일부 경우에, 각각의 브래그 격자의 프린지 경사각은 실질적으로 45도와 동일하다.
- [0240] 일부 경우에, 기록 매체의 두께는 프린지 간격보다 10배 이상 크다. 기록 매체의 두께는 프린지 간격보다 약 30배 이상 클 수 있다.
- [0241] 일부 경우에, 제1 회절각과 제2 회절각은 서로 실질적으로 동일하다.
- [0242] 일부 경우에, 제1 및 제2 회절각 각각은 -10도 내지 10도 범위에 있다. 제1 및 제2 회절각은 실질적으로 0도와 동일할 수 있다. 제1 및 제2 회절각 각각은 -7도 내지 7도 범위에 있을 수 있다. 제1 및 제2 회절각 각각은 실질적으로 6도와 동일할 수 있다.
- [0243] 일부 경우에, 제1 및 제2 각각의 입사각 각각은 70도 내지 90도 범위에 있다. 제1 입사각과 제2 입사각은 서로 실질적으로 동일할 수 있다.
- [0244] 일부 경우에, 제1 편광 상태는 s 편광이고, 제2 편광 상태는 p 편광이다.
- [0245] 일부 구현들에서, 제1 광 회절 컴포넌트는 제1 회절 효율보다 적어도 10배 작은 회절 효율로 제2 편광 상태에서 입사하는 제2 색상의 광을 회절시키도록 구성된다.
- [0246] 일부 구현들에서, 색상 선택 편광기는 제1 색상의 광의 편광 상태를 회전시키지 않도록 구성된다.
- [0247] 일부 구현들에서, 광학 장치는, 제2 색상의 광의 편광 상태의 회전 없이, 제1 색상의 광의 편광 상태를 제2 편광 상태에서 제1 편광 상태로 회전시키도록 구성된 제2 색상 선택 편광기를 더 포함하며, 제1 광 회절 컴포넌트는 제2 색상 선택 편광기와 색상 선택 편광기 사이에 있다.
- [0248] 일부 구현들에서, 제1 광 회절 컴포넌트는 제1 회절 구조를 포함하고, 제2 광 회절 컴포넌트는 제2 회절 구조를 포함하며, 광학 장치는 제1 반사층 및 제2 반사층을 포함하고, 제1 반사층은 제1 및 제2 회절 구조 사이에 있고, 제2 회절 구조는 제1 및 제2 반사층 사이에 있으며, 제1 회절 구조는, i) 제1 회절 구조에 제1 입사각으로 입사되는 제1 색상의 광의 1차 및 0차를 회절시키되, 1차는 제1 회절각으로 회절되고, 0차는 제1 입사각으로 투과되고; 제1 회절 구조에 제2 입사각으로 입사되는 제2 색상의 광을 투과시키도록 구성되며, 제1 반사층은, ii) 제1 입사각으로 제1 반사층에 입사되는 제1 색상의 광을 전반사시키고; ii) 제2 입사각으로 제1 반사층에 입사되는 제2 색상의 광을 투과시키도록 구성되며, 제2 회절 구조는 제2 회절 구조에 제2 입사각으로 입사되는 제2 색상의 광의 1차 및 0차를 회절시키도록 구성되며, 1차는 제2 회절각으로 회절되고, 0차는 제2 입사각으로 투과되고; 제2 반사층은 제2 입사각으로 제2 반사층에 입사되는 제2 색상의 광을 전반사시키도록 구성된다.
- [0249] 본 개시의 다른 양태는 제1 회절 구조를 포함하는 제1 광 회절 컴포넌트; 제2 회절 구조를 포함하는 제2 광 회절 컴포넌트; 제1 반사층; 및 제2 반사층을 포함하는 광학 장치를 특징으로 한다. 제1 반사층은 제1 및 제2 회절 구조 사이에 있고; 제2 회절 구조는 제1 및 제2 반사층 사이에 있고; 제1 색상의 광이 제1 회절 구조에 제1 입사각으로 입사될 때, 제1 회절 구조는 제1 색상의 1차 및 0차를 회절시키고, 1차는 제1 회절각으로 회절되고, 0차는 제1 입사각으로 투과되며; 제2 색상의 광이 제1 회절 구조에 제2 입사각으로 입사될 때, 제1 회절 구조는 제2 입사각으로 제2 색상의 광을 투과시키며; 제1 색상의 광이 제1 입사각으로 제1 반사층에 입사될 때, 제1 반사층은 제1 색상의 광을 전반사시키며; 제2 색상의 광이 제2 입사각으로 제1 반사층에 입사될 때, 반사층은 제2 입사각으로 제2 색상의 광을 투과시키며; 제2 색상의 광이 제2 회절 구조에 제2 입사각으로 입사될 때, 제2 회

절 구조는 제2 색상의 광의 1차 및 0차를 회절시키고, 1차는 제2 회절각으로 회절되고, 0차는 제2 입사각으로 투과되며; 제2 색상의 광이 제2 입사각으로 제2 반사층에 입사될 때, 제2 반사층은 제2 색상의 광을 전반사시킨다.

[0250] 본 개시의 또 다른 양태는, 제1 회절 구조를 포함하는 제1 광 회절 컴포넌트로서, ii) 제1 회절 구조에 제1 입사각으로 입사되는 제1 색상의 광의 1차 및 0차를 회절시키되, 1차는 제1 회절각으로 회절되고, 0차는 제1 입사각으로 투과되고; ii) 제1 회절 구조에 제2 입사각으로 입사되는 제2 색상의 광을 투과시키도록 구성되는, 상기 제1 광 회절 컴포넌트; 제1 반사층으로서, i) 제1 입사각으로 제1 반사층에 입사된 제1 색상의 광을 전반사시키고 ii) 제2 입사각으로 제1 반사층에 입사된 제2 색상의 광을 투과시키도록 구성된, 상기 제1 반사층; 제2 회절 구조에 제2 입사각으로 입사되는 제2 색상의 광의 1차 및 0차를 회절시키도록 구성되며, 1차는 제2 회절각으로 회절되고, 0차는 제2 입사각으로 투과되는 제2 회절 구조를 포함하는 제2 광 회절 컴포넌트; 및 제2 입사각으로 제2 반사층에 입사된 제2 색상의 광을 전반사시키도록 구성된 제2 반사층을 포함하는 광학 장치를 특징으로 하며, 제1 반사층은 제1 및 제2 회절 구조 사이에 있고, 제2 회절 구조는 제1 및 제2 반사층 사이에 있다.

[0251] 본 개시의 또 다른 양태는, 제1 회절각으로 제1 입사각을 갖는 제1 색상의 광을 회절시키도록 구성된 제1 회절 구조를 포함하는 제1 광 회절 컴포넌트; 제2 회절각으로 제2 입사각을 갖는 제2 색상의 광을 회절시키도록 구성된 제2 회절 구조를 포함하는 제2 광 회절 컴포넌트; 제1 입사각을 갖는 제1 색상의 광을 전반사시키고 제2 입사각을 갖는 제2 색상의 광을 투과시키도록 구성된 제1 반사층; 및 제2 입사각을 갖는 제2 색상의 광을 전반사시키도록 구성된 제2 반사층을 포함하는 광학 장치를 특징으로 하며, 제1 반사층은 제1 및 제2 회절 구조 사이에 있고, 제2 회절 구조는 제1 및 제2 반사층 사이에 있다. 일부 구현들에서, 광학 장치는 제1 및 제2 회절 구조 사이의 색상 선택 편광기를 더 포함한다. 제1 회절 구조는, i) 제1 입사각으로 입사하는 제1 편광 상태의 제1 색상의 광을 제1 회절 효율로 회절시키고; ii) 제2 입사각으로 입사하는 제2 편광 상태의 제2 색상의 광을 실질적으로 제1 회절 효율 미만의 회절 효율로 회절시키도록 구성될 수 있다. 색상 선택 편광기는 색상 선택 편광기에 입사하는 제2 편광 상태의 제2 색상의 편광 상태를 제2 편광 상태에서 제1 편광 상태로 회전시키도록 구성될 수 있다. 제2 회절 구조는 제2 입사각으로 입사하는 제1 편광 상태의 제2 색상의 광을 제2 회절 효율로 회절시키도록 구성될 수 있다.

[0252] 일부 구현들에서, 광학 장치는 측면 및 측면에 부착되고 제1 및 제2 색상의 전반사광을 흡수하도록 구성된 광학 흡수체를 더 포함한다.

[0253] 일부 구현들에서, 제1 반사층은 제1 반사층에 바로 인접한 제1 광 회절 컴포넌트 층의 굴절률보다 작은 굴절률을 가져, 제2 입사각을 갖는 제2 색상의 광을 전반사하지 않고, 제1 입사각을 갖는 제1 색상의 광이 제1 반사층과 제1 광 회절 컴포넌트 층 사이의 경계에 의해 전반사되도록 구성된다.

[0254] 일부 구현들에서, 제1 광 회절 컴포넌트는 제1 캐리어 필름 및 제1 회절 구조의 대향면에 부착된 제1 회절 기관을 포함하고, 제1 캐리어 필름은 제1 회절 기관보다 제2 회절 구조에 더 가깝고, 제1 캐리어 필름은 제1 반사층을 포함할 수 있다.

[0255] 일부 구현들에서, 제2 광 회절 컴포넌트는 제2 캐리어 필름 및 제2 회절 구조의 대향면에 부착된 제2 회절 기관을 포함하고, 제2 회절 기관은 제2 캐리어 필름보다 제1 회절 구조에 더 가깝고, 제2 반사층은 제2 캐리어 필름에 부착된다.

[0256] 일부 구현들에서, 광학 장치는, 제3 회절 구조에 제3 입사각으로 입사되는 제3 색상의 광의 1차 및 0차를 회절시키도록 구성되며, 1차는 제3 회절각으로 회절되고, 0차는 제3 입사각으로 투과되는 제3 회절 구조를 포함하는 제3 광 회절 컴포넌트를 더 포함하며, 제2 반사층은 제2 회절 구조와 제3 회절 구조 사이에 있다.

[0257] 일부 경우, 제1 및 제2 반사층들 각각은 제3 입사각으로 입사하는 제3 색상의 광을 투과시키도록 구성된다.

[0258] 일부 구현들에서, 광학 장치는 제3 반사층에 제3 입사각으로 입사된 제3 색상의 광을 전반사시키도록 구성되는 제3 반사층을 더 포함하며, 제3 회절 구조는 제2 반사층과 제3 반사층 사이에 있다.

[0259] 일부 구현들에서, 제2 광 회절 컴포넌트는 제2 회절 기관 및 제2 회절 구조의 대향면에 배열된 제2 캐리어 필름을 포함하고, 제3 광 회절 컴포넌트는 제3 캐리어 필름 및 제3 회절 구조의 대향면에 위치한 제3 회절 기관을 포함하며, 제2 반사층은 제2 및 제3 캐리어 필름 사이에 있다.

[0260] 일부 구현들에서, 제1 및 제2 회절 구조 각각은 기록 매체에 형성된 각각의 홀로그래픽 격자를 포함한다. 기록 매체는 감광성 중합체를 포함할 수 있다. 기록 매체는 광학적으로 투명할 수 있다.

- [0261] 일부 구현들에서, 제1 및 제2 광 회절 컴포넌트 각각은 기록 매체에 형성된 각각의 브래그 격자를 포함하고, 각각의 브래그 격자는 프린지 경사각(θ_t) 및 기록 매체의 체적에서 프린지 평면에 수직인 프린지 간격(Λ)를 갖는 복수의 프린지 평면을 포함한다.
- [0262] 일부 구현들에서, 각각의 브래그 격자는 기록 매체에 대한 입사각이 온-브래그 각도일 때, 각각의 회절각(θ_m)이 아래와 같은 브래그 방정식이 충족되도록 구성된다:
- [0263]
$$m\lambda = 2n\Lambda \sin(\theta_m - \theta_t)$$
- [0264] 여기서 λ 는 진공에서 어느 한 색상의 광의 각각의 파장을 나타내고, n 은 기록 매체의 굴절률을 나타내며, θ_m 은 기록 매체의 m 차 회절 차수 브래그 각도를 나타내고, θ_t 는 기록 매체의 프린지 기울기를 나타낸다.
- [0265] 제1 및 제2 입사각 각각은 각각의 온-브래그 각도와 실질적으로 동일할 수 있고, 제1 및 제2 회절각 각각은 각각의 1차 브래그 각도와 실질적으로 동일할 수 있다.
- [0266] 일부 구현들에서, 기록 매체의 두께는 프린지 간격보다 10배 이상 크다. 기록 매체의 두께는 프린지 간격보다 약 30배 이상 클 수 있다.
- [0267] 일부 경우에, 제1 회절각과 제2 회절각은 서로 실질적으로 동일하다. 일부 예들에서, 제1 및 제2 회절각 각각은 -10도 내지 10도 범위에 있다. 일부 예들에서, 제1 및 제2 회절각 각각은 실질적으로 0도와 동일할 수 있다. 일부 예들에서, 제1 및 제2 회절각 각각은 실질적으로 6도와 동일할 수 있다.
- [0268] 일부 경우에, 제1 입사각은 제2 입사각과 다르다. 일부 경우에, 제1 색상의 광은 제2 색상의 광보다 작은(또는 더 짧은) 파장을 가지며, 제1 색상의 광의 제1 입사각은 제2 색상의 광의 제2 입사각보다 크다(또는 더 길다). 일부 경우에, 제1 및 제2 각각의 입사각 각각은 70도 내지 90도 범위에 있다.
- [0269] 일부 구현들에서, 광학 장치는 제1 광 회절 컴포넌트 및 제2 광 회절 컴포넌트를 포함하는 복수의 컴포넌트를 포함하고, 복수의 컴포넌트 중 인접한 2개의 컴포넌트는 굴절률 정합 재료, OCA, UV 경화 또는 열 경화 광학 접착제 또는 광학 접촉 재료 중 적어도 하나를 포함하는 중간층에 의해 함께 부착된다.
- [0270] 일부 구현들에서, 제2 반사층은 중간층을 포함한다.
- [0271] 일부 구현들에서, 광학 장치는 제1 광 회절 컴포넌트의 전면에 부착된 후면을 갖는 기판을 더 포함한다. 기판은 후면에 대해 각을 이루는 측면을 포함할 수 있으며, 측면에서 복수의 상이한 색상의 광을 수용하도록 구성된다. 기판의 측면과 후면 사이의 각도는 90도 이상일 수 있다. 기판은 복수의 상이한 색상의 광이 실질적으로 0도와 동일한 입사각으로 측면에 입사하도록 구성될 수 있다. 일부 경우에, 기판은 쉘기형이고 기울어진 전면을 포함하며, 전면과 측면 사이의 각도는 90도 미만이다.
- [0272] 본 개시의 또 다른 양태는, 복수의 상이한 색상의 광을 제공하도록 구성된 조명기 및 본원에 설명된 바와 같은 광학 장치 중 어느 하나를 포함하는 시스템을 특징으로 한다. 광학 장치는 조명기에 인접하게 배열되고, 조명기로부터 복수의 상이한 색상의 광을 수용하고 복수의 상이한 색상의 광을 회절시키도록 구성된다.
- [0273] 일부 구현들에서, 광학 장치는 서로 실질적으로 동일한 각각의 회절각으로 복수의 상이한 색상의 광을 회절시키도록 구성된다.
- [0274] 일부 예들에서, 각각의 회절각 각각은 -10도 내지 10도 범위에 있다.
- [0275] 일부 구현들에서, 시스템은 조명기에 결합되고 조명기를 제어하여 복수의 상이한 색상의 광 각각을 제공하도록 구성된 컨트롤러를 더 포함한다.
- [0276] 일부 구현들에서, 시스템은 복수의 디스플레이 요소를 포함하는 디스플레이를 더 포함하며, 광학 장치는 복수의 색상의 광을 디스플레이로 회절시키도록 구성된다.
- [0277] 일부 구현들에서, 컨트롤러는 디스플레이에 결합될 수 있고, 디스플레이 요소의 적어도 하나의 속성의 변조를 위해 복수의 디스플레이 요소 각각에 각각의 제어 신호를 전송하도록 구성된다.
- [0278] 일부 구현들에서, 컨트롤러는 3차원 공간에서 객체에 대응하는 복수의 프리미티브에 대한 각각의 프리미티브 데이터를 포함하는 그래픽 데이터를 획득하고; 복수의 프리미티브 각각에 대해, 디스플레이의 복수의 디스플레이 요소들 각각에 대한 전자기(EM) 필드 기여도를 결정하고; 복수의 디스플레이 요소 각각에 대해, 복수의 프리미

티브로부터 디스플레이 요소까지의 EM 필드 기여도의 합을 생성하고; 복수의 디스플레이 요소들 각각에 대해, 디스플레이 요소에 대한 EM 필드 기여도의 합에 기초하여 각각의 제어 신호를 생성하도록 구성된다.

- [0279] 본 개시의 또 다른 양태는 복수의 디스플레이 요소를 포함하는 디스플레이 및 본원에 설명된 바와 같은 광학 장치 중 어느 하나를 포함하는 시스템을 특징으로 하며, 광학 장치는 복수의 상이한 색상의 광을 디스플레이로 회절시키도록 구성된다.
- [0280] 일부 구현들에서, 광학 장치 및 디스플레이는 방향을 따라 배열된다. 광학 장치는 방향을 따라 전면 및 후면을 포함하고, 디스플레이는 방향을 따라 전면 및 후면을 포함하며, 디스플레이의 전면은 광학 장치의 후면으로부터 이격된다.
- [0281] 일부 구현들에서, 디스플레이의 전면은 광학 장치의 후면으로부터 갭만큼 이격된다. 디스플레이의 전면 또는 광학 장치의 후면 중 적어도 하나는 반사 방지 코팅으로 처리될 수 있다.
- [0282] 일부 구현들에서, 시스템은 광학 장치의 후면에 투명 보호층을 더 포함한다.
- [0283] 일부 구현들에서, 디스플레이의 전면 및 광학 장치의 후면은 중간층에 의해 함께 부착된다. 중간층은 광학 장치 층의 굴절률보다 낮은 굴절율을 갖도록 구성되며, 광학 장치에 의해 0차로 투과된 복수의 색상의 광 각각이 중간층과 광학 장치 층 사이의 경계에서 전반사되도록 할 수 있다.
- [0284] 일부 구현들에서, 시스템은 디스플레이의 전면에 커버(예를 들어, 커버 유리)를 더 포함하고, 여기서 광학 장치는 커버 유리에 형성된다.
- [0285] 일부 구현들에서, 광학 장치는 광학 장치의 전면에서 복수의 색상의 광을 수용하도록 구성된다.
- [0286] 일부 구현들에서, 광학 장치는 광학 장치의 전면의 기관을 포함하고, 기관의 후면에 대해 각을 이루는 기관의 측면에서 복수의 색상의 광을 수용하도록 구성된다.
- [0287] 일부 구현들에서, 광학 장치는 기관에 의해 지지되고 복수의 상이한 색상의 광을 디스플레이 쪽으로 회절시키도록 구성된 적어도 하나의 회절 격자를 포함한다.
- [0288] 일부 구현들에서, 기관은 회절 격자의 기록 매체보다 작은 굴절률을 갖는 액체로 채워진 용기를 포함한다.
- [0289] 일부 구현들에서, 기관은 쉘기형이며 타이틀이 붙은 전면을 포함한다. 측면과 후면 사이의 각도는 90도 미만일 수 있다.
- [0290] 일부 구현들에서, 광학 장치는 기관의 상이한 광학 경로를 따라 복수의 상이한 색상의 광의 상이한 부분을 수용하고 상이한 부분을 회절시켜 디스플레이의 상이한 대응 영역을 조명하도록 구성된다. 상이한 영역은 디스플레이의 하부 영역, 상부 영역, 좌측 영역 및 우측 영역 중 2개 이상을 포함할 수 있다. 복수의 상이한 색상의 광의 상이한 부분은 상이한 대응하는 조명기에 의해 제공될 수 있다. 광학 장치는 기관의 상이한 대응하는 측면으로부터 복수의 상이한 색상의 광의 상이한 부분을 수용하도록 구성될 수 있다.
- [0291] 일부 예들에서, 광학 장치는, 기관의 제1 측면으로부터 광학 장치의 후면으로 복수의 상이한 색상의 광의 제1 부분을 수용하고 제1 부분을 회절시켜 디스플레이의 제1 영역을 조명하고, 기관의 제2 측면으로부터 광학 장치의 전면으로 복수의 상이한 색상의 광의 제2 부분을 수용하고, 광학 장치의 후면으로 다시 제2 부분을 반사시키고, 제2 부분을 회절시켜 디스플레이의 제2 영역을 조명하도록 구성된다. 제1 측면과 제2 측면은 동일한 측면일 수 있다. 복수의 상이한 색상의 광의 제2 부분은 광학 장치에서 내부 전반사 또는 반사형 격자에 의해 반사될 수 있다. 기관은 또한 입력 광을 제1 부분과 제2 부분으로 분리하도록 구성된 부분 반사 표면을 포함할 수 있다.
- [0292] 일부 구현들에서, 광학 장치는 광학 장치의 후면에 배열된 적어도 하나의 회절 격자를 포함한다. 회절 격자는 상이한 대응하는 회절 효율을 갖는 상이한 서브 영역을 포함할 수 있다. 회절 격자는, 디스플레이의 제1 영역을 조명하기 위해 회절 격자의 제1 서브 영역에 입사하는 복수의 상이한 색상의 광의 제1 부분을 회절시키고, 광학 장치의 후면으로 추가로 다시 반사되고 회절 격자의 제2 서브 영역에 입사하는 광학 장치의 앞뒤로 복수의 상이한 색상의 광의 제2 부분을 반사시키고, 제2 부분을 회절시켜 디스플레이의 제2의, 상이한 영역을 조명하도록 구성될 수 있다.
- [0293] 일부 예들에서, 회절 격자는 디스플레이의 제1 영역 및 제2 영역 상의 회절된 제1 부분 및 회절된 제2 부분이 실질적으로 동일한 광 전력을 갖도록 구성된다. 디스플레이의 제1 및 제2 영역은 회절 격자의 제1 및 제2 서브

영역의 제1 및 제2 상이한 회절 효율과 연관된 상이한 반사율을 가질 수 있다.

- [0294] 일부 구현들에서, 회절 격자는 함께 타일링되는 복수의 서브 영역을 포함한다. 서브 영역은 수평 방향을 따라 타일링될 수 있다.
- [0295] 일부 경우에, 상이한 서브 영역의 에지는 광학적으로 심리스한 방식으로 서로 인접하도록 구성된다. 상이한 서브 영역은 기록 매체에 각 서브 영역을 기록하는 동안 기록 빔 또는 대상체 빔 중 적어도 하나의 광학 경로에 하나 이상의 에지 정의 요소를 포함함으로써 형성될 수 있으며, 하나 이상의 에지-정의 요소는 정사각형 개구, 직사각형 개구 또는 평면 타일링 개구를 포함할 수 있다.
- [0296] 일부 경우에, 회절 격자의 2개의 인접한 서브 영역은 겹과 맞닿아 있다. 디스플레이는 다수의 타일형 디스플레이 장치를 포함할 수 있고, 회절 격자의 인접한 서브 영역 사이의 겹은 디스플레이의 인접한 타일형 디스플레이 장치 사이의 겹과 정렬된다.
- [0297] 일부 경우에, 인접한 두 개의 상이한 서브 영역들이 중첩된다.
- [0298] 일부 구현들에서, 회절 격자는 엠보싱, 나노 임프린트 또는 자기 조립 구조를 사용하여 기계적으로 형성된다.
- [0299] 일부 구현들에서, 디스플레이는 수평 방향에 따른 폭과 수직 방향에 따른 높이를 가지며, 수평 방향과 수직 방향 모두 방향에 수직이고, 폭과 높이 사이의 중형비는 16:9보다 클 수 있다.
- [0300] 일부 구현들에서, 광학 장치는 서로 실질적으로 동일한 각각의 회절각으로 복수의 상이한 색상의 광을 회절시키도록 구성된다. 일부 예들에서, 각각의 회절각 각각은 -10도 내지 10도 범위에 있다.
- [0301] 일부 구현들에서, 디스플레이는 광학 장치를 통해 다시 회절된 색상의 광을 회절시키도록 구성된다.
- [0302] 일부 구현들에서, 광학 장치의 영역은 디스플레이의 영역을 덮는다.
- [0303] 일부 구현들에서, 시스템은 광학 장치에 인접하여 배열되고 광학 장치에 복수의 상이한 색상의 광을 제공하도록 구성된 조명기를 더 포함한다. 조명기는 각각이 각각의 색상의 광을 방출하도록 구성된 복수의 발광 요소를 포함할 수 있다.
- [0304] 일부 구현들에서, 복수의 발광 요소로부터의 빔의 중심은 서로에 대해 오프셋될 수 있다. 조명기는 타원형 빔 프로파일 또는 직사각형 빔 프로파일을 가진 광 빔을 제공하도록 구성될 수 있다. 조명기는 특정 편광 배향을 갖는 광 빔을 제공하도록 구성될 수 있다. 조명기는 복수의 상이한 색상의 광 각각의 타원율 및 편광 배향을 독립적으로 제어하도록 구성된 하나 이상의 광학 컴포넌트를 포함할 수 있다.
- [0305] 일부 구현들에서, 조명기는 복수의 상이한 색상의 광의 균일성을 제어하도록 구성된 하나 이상의 광학 컴포넌트를 포함한다. 하나 이상의 광학 컴포넌트는 아포다이징 광학 요소 또는 프로파일 변환기를 포함한다.
- [0306] 일부 구현들에서, 시스템은 복수의 상이한 색상의 광의 폭을 증가시키도록 구성된 하나 이상의 애너모픽 또는 원통형 광학 요소를 포함한다.
- [0307] 일부 구현들에서, 시스템은, 조명기와 광학 장치 사이에 있고 프리즘 요소의 입력 표면으로부터 복수의 상이한 색상의 광을 수용하도록 구성된 프리즘 요소; 및 프리즘 요소의 출구 표면에 인접한 하나 이상의 확장 격자로서, 하나 이상의 확장 격자 각각은 적어도 하나의 차원에서 팩터로 상이한 대응하는 색상의 광의 빔 프로파일을 확장시키도록 구성되는, 상기 하나 이상의 확장 격자를 더 포함할 수 있다.
- [0308] 일부 구현들에서, 시스템은 하나 이상의 확장 회절 격자의 하류에 하나 이상의 반사기를 더 포함할 수 있으며, 하나 이상의 반사기 각각은 각각의 색상의 광을 광학 장치로 반사하도록 구성된다. 하나 이상의 반사기 각각의 경사각은 광학 장치에서 디스플레이로 회절의 균일성을 야기하도록 독립적으로 조정될 수 있다.
- [0309] 시스템은 시스템에 의해 형성된 홀로그래픽 광 필드의 하나 이상의 광학적 특성을 검출하도록 구성된 색상 센서 또는 밝기 센서 중 적어도 하나를 더 포함할 수 있으며, 하나 이상의 반사기의 경사각은 홀로그래픽 광 필드의 검출된 광학적 특성에 기초하여 조정 가능하다. 하나 이상의 광학적 특성들은 밝기 균일성, 색상 균일성 또는 화이트 포인트를 포함할 수 있다.
- [0310] 일부 구현들에서, 하나 이상의 반사기는 시스템 컴포넌트의 정렬 변경을 수정하기 위해 조정 가능하다.
- [0311] 일부 구현들에서, 하나 이상의 반사기와 광학 장치 사이의 광학 거리는 복수의 상이한 색상의 광 각각이 하나 이상의 다른 반사기를 투과하지 않고 대응하는 반사기에 의해 반사되도록 구성된다.

- [0312] 일부 구현들에서, 하나 이상의 반사기는 하나 이상의 반사기 각각에서 조명되는 광이 실질적으로 상이한 방향에서 나오도록 구성된다.
- [0313] 일부 구현들에서, 프리즘 요소와 광학 장치의 기관 사이의 각도는 시스템에 의해 형성된 홀로그래픽 광 필드의 위치를 기울이도록 조정 가능하다.
- [0314] 일부 구현들에서, 하나 이상의 확장 격자는 하나 또는 두 개의 횡단 방향에서 복수의 상이한 색상의 광을 적어도 부분적으로 시준하도록 구성된다.
- [0315] 일부 구현들에서, 시스템은 조명기에 결합되고 조명기를 제어하여 복수의 색상의 광 각각을 제공하도록 구성된 컨트롤러를 더 포함한다. 컨트롤러는 디스플레이에 결합될 수 있고, 디스플레이 요소의 적어도 하나의 속성의 변조를 위해 복수의 디스플레이 요소 각각에 각각의 제어 신호를 전송하도록 구성될 수 있다.
- [0316] 일부 구현들에서, 컨트롤러는 3차원 공간에서 객체에 대응하는 복수의 프리미티브에 대한 각각의 프리미티브 데이터를 포함하는 그래픽 데이터를 획득하고; 복수의 프리미티브 각각에 대해, 디스플레이의 복수의 디스플레이 요소들 각각에 대한 전자기(EM) 필드 기여도를 결정하고; 복수의 디스플레이 요소 각각에 대해, 복수의 프리미티브로부터 디스플레이 요소까지의 EM 필드 기여도의 합을 생성하고; 복수의 디스플레이 요소들 각각에 대해, 디스플레이 요소에 대한 EM 필드 기여도의 합에 기초하여 각각의 제어 신호를 생성하도록 구성된다.
- [0317] 일부 구현들에서, 컨트롤러는, 일련의 시간 기간에서 복수의 색상의 광과 연관된 정보로 디스플레이를 순차적으로 변조하고, 일련의 시간 기간의 각각의 시간 기간 동안 광학 장치로 복수의 색상의 광 각각을 순차적으로 방출하여, 복수의 색상의 광 각각이 광학 장치에 의해 디스플레이로 회절되고 디스플레이의 변조된 디스플레이 요소에 의해 반사되어 각각의 시간 기간 동안 객체에 대응하는 각각의 색상의 3차원 광 필드를 형성하도록 조명기를 제어하도록 구성된다.
- [0318] 일부 구현들에서, 컨트롤러는 각각의 색상의 3차원 광 필드가 디스플레이의 앞에 완전히 나타나거나, 디스플레이의 뒤에 완전히 나타나거나, 또는 디스플레이 앞에 부분적으로 나타나고 디스플레이 뒤에 부분적으로 나타나도록 디스플레이를 변조하도록 구성된다.
- [0319] 일부 경우에, 디스플레이는 디지털 마이크로-미러 장치(DMD) 또는 실리콘 액정 표시(LCOS) 장치를 포함하는 공간 광 변조기(SLM)를 포함한다.
- [0320] 일부 구현들에서, 시스템은 디스플레이와 광학 장치 사이에 배열된 광학 편광기를 더 포함하며, 광학 편광기는 복수의 상이한 색상의 광의 편광 상태를 변경하도록 구성된다.
- [0321] 일부 구현들에서, 광학 장치는 복수의 상이한 색상의 광을 포함하는 광을 디스플레이 요소를 조명하는 광의 일부를 회절시키도록 구성된 디스플레이로 회절시키도록 구성된 광 회절 컴포넌트를 포함한다.
- [0322] 일부 구현들에서, 광학 장치는, 광의 일부를 투과시켜 홀로그래픽 장면을 형성하고 3차원(3D) 공간에서 홀로그래픽 장면으로부터 멀리 디스플레이 0차 광을 방향 전환시키도록 구성된 광 방향 전환 컴포넌트를 더 포함하며, 디스플레이 0차 광은 디스플레이로부터의 반사광을 포함한다.
- [0323] 일부 구현들에서, 광 방향 전환 컴포넌트는 복수의 상이한 색상의 광의 디스플레이 0차 광에 대한 복수의 방향 전환 홀로그래픽 격자를 포함하며, 복수의 방향 전환 홀로그래픽 격자 각각은 3D 공간에서 각각의 방향 쪽으로 각각의 회절각으로 복수의 상이한 색상의 광의 각각의 색상의 광의 디스플레이 0차 광을 회절시키도록 구성된다.
- [0324] 일부 구현들에서, 광 회절 컴포넌트는 약 0° 의 각도로 디스플레이를 조명하기 위해 복수의 상이한 색상의 광을 회절시키도록 구성되어, 광 회절 컴포넌트가 홀로그래픽 장면으로부터 멀리 디스플레이로부터 반사된 디스플레이 0차 광을 방향 전환시킨다.
- [0325] 일부 구현들에서, 광 회절 컴포넌트 및 광 방향 전환 컴포넌트가 억제된 홀로그래픽 장면에서 디스플레이 0차 광의 양과 억제가 없는 홀로그래픽 장면에서 디스플레이 0차 광의 양 사이의 비율은 2% 미만이다.
- [0326] 일부 구현들에서, 광 방향 전환 컴포넌트는 1-차원 억제 격자를 포함하고, 홀로그래픽 장면은 디스플레이 0차 광의 억제에 대응하는 대역을 포함하며, 시스템은 대역이 뷰어의 시야 밖에 있도록 구성될 수 있다.
- [0327] 본 개시의 또 다른 양태는 복수의 디스플레이 요소를 포함하는 디스플레이; 디스플레이에 인접하여 배열되고 광을 디스플레이로 회절시키도록 구성된 광학 장치; 및 디스플레이에 결합되고, 3차원 공간에서 객체에 대응하는

복수의 프리미티브에 대한 각각의 프리미티브 데이터를 포함하는 그래픽 데이터를 획득하고; 복수의 프리미티브 각각에 대해, 3차원 좌표계에서 프리미티브로부터 디스플레이 요소까지의 EM 필드 전파를 계산함으로써 디스플레이의 복수의 디스플레이 요소들 각각에 대한 전자기(EM) 필드 기여도를 결정하고; 복수의 디스플레이 요소 각각에 대해, 복수의 프리미티브로부터 디스플레이 요소까지의 EM 필드 기여도의 합을 생성하고; 복수의 디스플레이 요소들 각각에 대해, 디스플레이 요소의 적어도 하나의 속성의 변조를 위해 디스플레이 요소에 대한 EM 필드 기여도의 합에 기초하여 각각의 제어 신호를 전송하도록 구성된 컨트롤러를 포함하는 시스템을 특징으로 한다.

- [0328] 일부 구현들에서, 광학 장치는 본원에 설명된 바와 같은 적어도 하나의 색상 선택 편광기를 포함하는 광학 장치 중 어느 하나를 포함할 수 있다.
- [0329] 일부 구현들에서, 광학 장치는 본원에 설명된 바와 같은 적어도 하나의 반사층을 포함하는 광학 장치 중 어느 하나를 포함한다.
- [0330] 일부 구현들에서, 광학 장치는 기록 매체에 형성된 홀로그래픽 격자를 포함한다.
- [0331] 일부 구현들에서, 광학 장치는 기록 매체 상에 형성된 복수의 홀로그래픽 격자를 포함하고, 복수의 홀로그래픽 격자 각각은 디스플레이에 대해 각각의 입사각을 갖는 각각의 색상으로 광을 회절시키도록 구성된다.
- [0332] 일부 구현들에서, 광학 장치는 디스플레이 앞에 배열되고, 디스플레이는 객체에 대응하는 3차원 광 필드를 형성하기 위해 광학 장치를 통해 회절된 광을 다시 회절시키도록 구성된다.
- [0333] 일부 구현들에서, 시스템은 광학 장치에 인접하여 배열되고 광학 장치에 광을 제공하도록 구성된 조명기를 더 포함한다.
- [0334] 일부 구현들에서, 컨트롤러는, 일련의 시간 기간에서 복수의 색상의 광에 대응하는 복수의 색상과 연관된 정보로 디스플레이를 순차적으로 변조하고, 일련의 시간 기간의 각각의 시간 기간 동안 광학 장치로 복수의 색상의 광 각각을 순차적으로 방출하여, 복수의 색상의 광 각각이 광학 장치에 의해 디스플레이로 회절되고 디스플레이의 변조된 디스플레이 요소에 의해 반사되어 각각의 시간 기간 동안 객체에 대응하는 각각의 색상의 3차원 광 필드를 형성하도록 조명기를 제어하도록 구성된다.
- [0335] 본 개시의 또 다른 양태는 본원에 설명된 광학 장치 중 어느 하나를 제조하는 단계를 포함하는 방법을 특징으로 한다.
- [0336] 본 개시의 또 다른 양태는 적어도 하나의 색상 선택 편광기를 포함하는 광학 장치 중 어느 하나를 제조하는 방법을 특징으로 하며, 이 방법은 제1 광 회절 컴포넌트를 형성하는 단계; 제2 광 회절 컴포넌트를 형성하는 단계; 및 제1 광 회절 컴포넌트와 제2 광 회절 컴포넌트 사이에 색상 선택 편광기를 배열하는 단계를 포함한다.
- [0337] 일부 구현들에서, 제1 광 회절 구조를 형성하는 단계는 기록 매체에 제1 회절 구조를 형성하는 단계를 포함한다.
- [0338] 일부 구현들에서, 기록 매체에 제1 회절 구조를 형성하는 단계는 제1 기록 대상체 각도의 제1 기록 대상체 빔과 제1 기록 기준각의 제1 기록 기준 빔을 기록 매체에 조명하여 기록 매체에 제1 홀로그래픽 격자를 기록하는 단계를 포함하며, 제1 기록 대상체 빔 및 제1 기록 기준 빔은 동일한 파장 및 동일한 제1 편광 상태를 갖는다.
- [0339] 일부 구현들에서, 제1 색상의 광은 제1 기록 기준 빔 또는 제1 기록 대상체 빔의 파장 범위보다 더 넓거나 동일한 파장 범위를 포함한다. 일부 구현들에서, 제1 기록 기준 빔은 제1 색상의 제1 색상의 광과 다른 색상에 대응할 수 있다.
- [0340] 일부 예들에서, 제1 색상의 광의 제1 입사각은 제1 기록 기준각과 실질적으로 동일하고, 제1 회절각은 제1 기록 대상체 각도와 실질적으로 동일하다.
- [0341] 일부 예들에서, 제1 기록 기준각은 70도 내지 90도 범위에 있다. 일부 예들에서, 제1 기록 기준각은 80도 내지 90도 범위에 있다. 일부 예들에서, 제1 기록 대상체 각도는 -10도 내지 10도 범위에 있다. 일부 예들에서, 제1 기록 대상체 각도는 실질적으로 6° 와 동일하다. 일부 예들에서, 제1 기록 대상체 각도는 실질적으로 0° 와 동일하다. 일부 예들에서, 제1 기록 기준각과 제1 기록 대상체 각도의 합은 실질적으로 90도와 동일하다.
- [0342] 일부 구현들에서, 기록 매체의 두께는 제1 기록 대상체 빔의 파장보다 10배 이상 크다. 기록 매체의 두께는 제1 기록 대상체 빔의 파장보다 약 30배 이상 클 수 있다.

- [0343] 일부 구현들에서, 기록 매체에서 제1 회절 구조를 형성하는 것은 기록 매체에 제1 회절 구조를 고정하는 것을 포함한다.
- [0344] 일부 구현들에서, 기록 매체는 캐리어 필름과 회절 기관 사이에 있다.
- [0345] 일부 예들에서, 제1 회절각과 제2 회절각은 서로 실질적으로 동일하다. 일부 예들에서, 제1 입사각과 제2 입사각은 서로 실질적으로 동일하다.
- [0346] 일부 구현들에서, 제1 광 회절 컴포넌트와 제2 광 회절 컴포넌트 사이에 색상 선택 편광기를 배열하는 단계는, 제1 색상의 광 및 제2 색상의 광이 제2 광 회절 컴포넌트 앞의 제1 광 회절 컴포넌트에 입사되도록, 제1 광 회절 컴포넌트, 색상 선택 편광기 및 제2 광 회절 컴포넌트를 순차적으로 적층시키는 단계를 포함한다.
- [0347] 제1 광 회절 컴포넌트, 색상 선택 편광기 및 제2 광 회절 컴포넌트를 순차적으로 적층시키는 단계는 제1 광 회절 컴포넌트, 색상 선택 편광기 및 제2 광 회절 컴포넌트를 제1 광 회절 컴포넌트 앞에 있는 기관 상에 순차적으로 배열시키는 단계를 포함한다.
- [0348] 일부 구현들에서, 제1 광 회절 컴포넌트, 색상 선택 편광기 및 제2 광 회절 컴포넌트를 순차적으로 적층시키는 단계는, 색상 선택 편광기를 제1 중간층을 통해 제1 광 회절 컴포넌트에 부착하는 단계; 및 제2 광 회절 컴포넌트를 제2 중간층을 통해 색상 선택 편광기에 부착하는 단계를 포함하며, 여기서 제1 및 제2 중간층 각각은 각각의 굴절률 정합 재료를 포함한다.
- [0349] 일부 구현들에서, 방법은, 제3 회절 효율로 제3 회절각으로 제1 편광 상태 및 제3 입사각을 갖는 제3 색상의 광을 회절시키도록 구성된 제3 광 회절 컴포넌트를 형성하는 단계; 및 제2 및 제3 광 회절 컴포넌트 사이에 제2 색상 선택 편광기를 배열시키는 단계를 더 포함하며, 여기서 제2 색상 선택 편광기는 제3 색상의 광의 편광 상태를 제2 편광 상태에서 제1 편광 상태로 회전시키도록 구성된다.
- [0350] 일부 구현들에서, 색상 선택 편광기는 제1 색상의 광의 편광 상태를 제1 편광 상태에서 제2 편광 상태로 회전시키도록 구성되고, 제2 색상 선택 편광기는 제1 색상의 광의 편광 상태의 회전 없이, 제2 색상의 광의 편광 상태를 제1 편광 상태에서 제2 편광 상태로 회전시키도록 구성된다.
- [0351] 일부 구현들에서, 방법은, 제3 광 회절 컴포넌트가 제2 및 제3 색상 선택 편광기 사이에 있도록 제3 광 회절 컴포넌트에 순차적으로 제3 색상 선택 편광기를 배열하는 단계를 더 포함하며, 여기서 제3 색상 선택 편광기는 제3 색상의 광의 편광 상태의 회전 없이, 제1 및 제2 색상의 광 각각의 편광 상태를 제2 편광 상태에서 제1 편광 상태로 회전시키도록 구성된다.
- [0352] 일부 구현들에서, 방법은, 제3 광 회절 컴포넌트가 제4 색상 선택 편광기와 색상 선택 편광기 사이에 있도록 제1 광 회절 컴포넌트에 앞에 제4 색상 선택 편광기를 배열하는 단계를 더 포함하며, 여기서 제4 색상 선택 편광기는 제2 및 제3 색상의 광 각각의 편광 상태의 회전 없이, 제1 색상의 광의 편광 상태를 제2 편광 상태에서 제1 편광 상태로 회전시키도록 구성된다.
- [0353] 일부 구현들에서, 제1 편광 상태는 s 편광이고, 제2 편광 상태는 p 편광이다.
- [0354] 본 개시의 또 다른 양태는 적어도 하나의 반사층을 포함하는 광학 장치 중 어느 하나를 제고하는 방법을 특징으로 하며, 이 방법은, 제1 회절 구조를 포함하는 제1 광 회절 컴포넌트를 형성하는 단계; 제2 회절 구조를 포함하는 제2 광 회절 컴포넌트를 형성하는 단계; 제1 회절 구조와 제2 회절 구조 사이에 제1 반사층을 배열하는 단계로서, 제2 회절 구조는 방향을 따라 제1 회절 구조에 순차적인, 상기 배열하는 단계; 및 방향을 따라 제2 회절 구조에 순차적으로 제2 반사층을 배열하는 단계를 포함한다.
- [0355] 일부 구현들에서, 방법은 광학 장치의 측면에 광학 흡수체를 형성하는 단계를 더 포함하며, 광학 흡수체는 제1 및 제2 색상의 전반사광을 흡수하도록 구성된다.
- [0356] 일부 구현들에서, 제1 반사층은 제1 반사층에 바로 인접한 제1 광 회절 컴포넌트 층의 굴절률보다 작은 굴절률을 가져, 제2 입사각을 갖는 제2 색상의 광을 전반사하지 않고, 제1 입사각을 갖는 제1 색상의 광이 제1 반사층과 제1 광 회절 컴포넌트 층 사이의 경계에 의해 전반사되도록 구성된다.
- [0357] 일부 구현들에서, 방법은 제3 입사각을 갖는 제3 색상의 광을 회절시키도록 구성된 제3 회절 구조를 포함하는 제3 광 회절 컴포넌트를 형성하는 단계를 더 포함하고, 여기서 제2 반사층을 방향을 따라 제2 회절 구조에 순차적으로 배열하는 단계는 방향을 따라 제2 회절 구조와 제3 회절 구조 사이에 제2 반사층을 배열하는 단계를 포

함한다. 제1 반사층과 제2 반사층 각각은 제3 입사각을 갖는 제3 색상의 광을 투과시키도록 구성될 수 있다.

- [0358] 일부 구현들에서, 방법은 방향을 따라 제3 회절 구조에 순차적으로 제3 반사층을 배열하는 단계를 더 포함하며, 제3 반사층은 제3 입사각을 갖는 제3 색상의 광을 전반사하도록 구성된다.
- [0359] 일부 구현들에서, 제1, 제2 및 제3 광 회절 컴포넌트 각각은 각각의 캐리어 필름 및 각각의 회절 기관을 포함하며, 제1 반사층은 제1 광 회절 컴포넌트의 제1 캐리어 필름을 포함한다. 제1 회절 구조와 제2 회절 구조 사이에 제1 반사층을 배열하는 단계는, 제1 중간층에 의해 제1 광 회절 컴포넌트의 제1 캐리어 필름에 제2 광 회절 컴포넌트의 제2 회절 기관을 부착하는 단계를 포함할 수 있다. 방향을 따라 제2 회절 구조와 제3 회절 구조 사이에 제2 반사층을 배열하는 단계는, 제2 중간층에 의해 제3 광 회절 컴포넌트의 제3 캐리어 필름에 제2 광 회절 컴포넌트의 제2 캐리어 필름을 부착하는 단계를 포함할 수 있다. 제1 반사층은 제2 중간층을 포함할 수 있다. 제3 반사층은 제3 광 회절 컴포넌트의 제3 회절 기관에 부착될 수 있다.
- [0360] 일부 구현들에서, 방법은 방향을 따라 제1 광 회절 컴포넌트 앞에 있는 기관 상에 제1 광 회절 컴포넌트를 배열하는 단계를 더 포함하며, 기관은 전면 및 후면을 포함한다.
- [0361] 일부 구현들에서, 기관 상에 제1 광 회절 컴포넌트를 배열하는 것은 굴절률 정합 재료를 통해 제1 광 회절 컴포넌트의 전면을 기관의 후면에 부착하는 것을 포함한다.
- [0362] 일부 구현들에서, 기관은 기관의 후면에 대해 각을 이루는 측면을 포함하며, 기관은 측면에서 복수의 상이한 색상의 광을 수용하도록 구성된다. 기관은 복수의 상이한 색상의 광이 실질적으로 0도와 동일한 입사각으로 측면에 입사하도록 구성될 수 있다.
- [0363] 일부 구현들에서, 제1 회절 구조를 포함하는 제1 광 회절 컴포넌트를 형성하는 것은 기록 매체에 제1 회절 구조를 형성하는 것을 포함한다.
- [0364] 일부 구현들에서, 기록 매체에 제1 회절 구조를 형성하는 것은 제1 기록 대상체 각도의 제1 기록 대상체 빔과 제1 기록 기준각의 제1 기록 기준 빔을 주입하여 기록 매체에 제1 홀로그램 격자를 기록하는 것을 포함하며, 제1 기록 대상체 빔 및 제1 기록 기준 빔은 동일한 파장 및 동일한 편광 상태를 갖는다.
- [0365] 일부 구현들에서, 제1 색상의 광은 제1 기록 기준 빔의 파장 범위보다 더 넓거나 동일한 파장 범위를 포함한다.
- [0366] 일부 구현들에서, 제1 기록 기준 빔은 제1 색상의 제1 색상의 광과 다른 색상에 대응할 수 있다.
- [0367] 일부 구현들에서, 제1 색상의 광의 제1 입사각은 제1 기록 기준각과 실질적으로 동일하고, 제1 회절각은 제1 기록 대상체 각도와 실질적으로 동일하다.
- [0368] 일부 예들에서, 제1 기록 기준각은 70도 내지 90도 범위에 있다. 일부 예들에서, 제1 기록 기준각은 70도 내지 80도 범위에 있다. 일부 예들에서, 제1 기록 대상체 각도는 -10도 내지 10도 범위에 있다.
- [0369] 일부 구현들에서, 기록 매체의 두께는 제1 기록 대상체 빔의 파장보다 10배 이상 크다. 기록 매체의 두께는 제1 기록 대상체 빔의 파장보다 약 30배 이상 클 수 있다.
- [0370] 일부 구현들에서, 기록 매체에서 제1 회절 구조를 형성하는 것은 기록 매체에 제1 회절 구조를 고정하는 것을 포함한다.
- [0371] 일부 구현들에서, 제1 입사각은 제2 입사각과 다르다. 일부 예들에서, 제1 색상의 광은 제2 색상의 광보다 작은 (또는 더 짧은) 파장을 가지며, 제1 입사각은 제2 입사각보다 크다(또는 더 길다).
- [0372] 본 개시의 또 다른 양태는 상기에 설명된 바와 같은 방법 중 어느 하나에 따른 본원에 설명된 바와 같은 광학 장치 중 어느 하나를 형성하는 단계, 및 광학 장치 및 복수의 디스플레이 요소를 포함하는 디스플레이를 배열하는 단계를 포함하여, 광학 장치가 복수의 상이한 색상의 광을 디스플레이로 회절시키도록 구성되도록 하는 단계를 포함하는 방법을 특징으로 한다.
- [0373] 일부 구현들에서, 광학 장치 및 디스플레이를 배열시키는 단계는 디스플레이의 전면으로부터 광학 장치의 후면을 갭만큼 이격시키는 단계를 포함한다.
- [0374] 일부 구현들에서, 방법은 디스플레이의 전면 또는 광학 장치의 후면 중 적어도 하나 상에 반사 방지 코팅을 형성하는 단계를 더 포함한다.
- [0375] 일부 구현들에서, 광학 장치 및 디스플레이를 배열시키는 단계는 광학 장치의 후면을 중간층을 통해 디스플레이

의 전면에 부착하는 단계를 포함한다.

- [0376] 일부 경우에, 중간층은 광학 장치 층의 굴절률보다 낮은 굴절율을 갖도록 구성되어, 광학 장치에 의해 0차로 투과된 복수의 상이한 색상의 광 각각이 중간층과 광학 장치 층 사이의 경계에서 전반사되도록 한다.
- [0377] 일부 구현들에서, 광학 장치는 서로 실질적으로 동일한 각각의 회절각으로 복수의 상이한 색상의 광을 회절시키도록 구성된다.
- [0378] 일부 예들에서, 각각의 회절각 각각은 -10도 내지 10도 범위에 있다.
- [0379] 일부 구현들에서, 디스플레이는 광학 장치를 통해 다시 회절된 색상의 광을 회절시키도록 구성된다.
- [0380] 일부 구현들에서, 광학 장치의 영역은 디스플레이의 영역을 덮는다.
- [0381] 일부 구현들에서, 광학 장치는 광학 장치의 전면의 기관을 포함하고, 기관의 후면에 대해 각을 이루는 기관의 측면에서 복수의 상이한 색상의 광을 수용하도록 구성된다.
- [0382] 본 개시의 또 다른 양태는 광학 장치를 사용하여 복수의 상이한 색상의 광을 포함하는 입사 빔을 개별적으로 회절된 색상의 광으로 변환시키는 단계를 포함하는 방법을 특징으로 한다. 광학 장치는 본원 설명된 바와 같은 광학 장치 중 어느 하나일 수 있다.
- [0383] 본 개시의 또 다른 양태는, 적어도 하나의 타이밍 제어 신호를 조명기에 전송하여 조명기가 광 회절 장치 상에서 복수의 상이한 색상의 광을 방출하도록 하여, 광 회절 장치가 복수의 상이한 색상의 광을 개별적으로 회절된 색상의 광으로 변환시켜 복수의 디스플레이 요소를 포함하는 디스플레이를 조명하도록 하는 단계로서, 광학 장치는 본원에 설명된 바와 같은 광학 장치 중 어느 하나인, 상기 조명하도록 하는 단계 및 디스플레이의 복수의 디스플레이 요소 각각에 대해, 적어도 하나의 각각의 제어 신호를 전송하여 디스플레이 요소를 변조시켜, 개별적으로 회절된 색상의 광이 변조된 디스플레이 요소에 의해 반사되어 각각의 제어 신호에 대응하는 다중 색상의 3차원 광 필드를 형성하도록 하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0384] 일부 구현들에서, 방법은, 3차원 공간에서 객체에 대응하는 복수의 프리미티브에 대한 각각의 프리미티브 데이터를 포함하는 그래픽 데이터를 획득하는 단계, 복수의 프리미티브 각각에 대해, 3차원 좌표계에서 프리미티브로부터 디스플레이 요소까지의 EM 필드 전파를 계산함으로써 디스플레이의 복수의 디스플레이 요소들 각각에 대한 전자기(EM) 필드 기여도를 결정하는 단계, 복수의 디스플레이 요소 각각에 대해, 복수의 프리미티브로부터 디스플레이 요소까지의 EM 필드 기여도의 합을 생성하는 단계, 및 복수의 디스플레이 요소들 각각에 대해, 디스플레이 요소의 적어도 하나의 특성의 변조를 위해 디스플레이 요소에 대한 EM 필드 기여도의 합에 기초하여 각각의 제어 신호를 생성하는 단계를 더 포함하며, 여기서 다중 색상 3차원 광 필드는 객체에 대응한다.
- [0385] 일부 구현들에서, 방법은, 일련의 시간 기간에서 복수의 상이한 색상과 관련된 정보로 디스플레이를 순차적으로 변조하는 단계, 및 일련의 시간 기간의 각각의 시간 기간 동안 광학 장치로 복수의 상이한 색상의 광 각각을 순차적으로 방출하도록 조명기를 제어하여, 복수의 상이한 색상의 광 각각이 광학 장치에 의해 디스플레이로 회절되고 디스플레이의 변조된 디스플레이 요소에 의해 반사되어 각각의 시간 기간 동안 객체에 대응되는 각각의 색상의 3차원 광 필드를 형성하는 단계를 포함한다.
- [0386] 일부 구현들에서, 복수의 상이한 색상의 광은 디스플레이에 대해 실질적으로 동일한 회절각으로 광학 장치에 의해 회절된다. 일부 예들에서, 회절각은 -10도 내지 10도 범위 내에 있다.
- [0387] 일부 구현들에서, 조명기 및 광학 장치는 복수의 상이한 색상의 광이 각각의 입사각으로 광학 장치의 제1 광 회절 컴포넌트에 입사되도록 구성된다. 일부 예들에서, 각각의 입사각은 서로 다르다. 일부 예들에서, 각각의 입사각은 서로 실질적으로 동일하다. 일부 예들에서, 각각의 입사각 각각은 70도 내지 90도 범위에 있다.
- [0388] 본 개시의 또 다른 양태는, 적어도 2개의 광 회절 컴포넌트 및 적어도 하나의 색상 선택 편광기를 포함하는 광학 장치를 특징으로 하며, 여기서 광학 장치는 상이한 색상의 광이 광학 장치에 입사될 때, 광학 장치가 상이한 색상 간의 누화를 억제하면서 상이한 색상 중 개별 색상의 광을 분리하도록 구성된다.
- [0389] 일부 구현들에서, 광학 장치는 상이한 색상의 광이 광학 장치에 입사될 때, 광 회절 컴포넌트 각각이 상이한 색상 중 각각의 색상의 광을 회절시키도록 구성된다.
- [0390] 일부 구현들에서, 광학 장치는 광학 장치에 의해 회절된 출력 광 빔에서, 상이한 색상 중 특정 색상의 광의 출력이 상이한 색상 중 하나 이상의 다른 색상의 광의 출력보다 적어도 10배 더 높도록 구성된다.

- [0391] 일부 구현들에서, 적어도 하나의 색상 선택 편광기는 상이한 색상들 중 적어도 하나의 색상의 광의 편광 상태를 회전시켜, 상이한 색상들 중 특정 색상의 광이 광 회절 컴포넌트 중 각각의 광 회절 컴포넌트 상에 제1 편광 상태로 입사되도록 하는 반면, 상이한 색상들 중 하나 이상의 다른 색상의 광이 광 회절 컴포넌트 중 각각의 광 회절 컴포넌트 상에 제1 편광 상태와 다른 제2 편광 상태로 입사되도록 구성된다.
- [0392] 본 개시의 또 다른 양태는, 적어도 2개의 광 회절 컴포넌트 및 적어도 하나의 반사층을 포함하는 광학 장치를 특징으로 하며, 여기서 광학 장치는 상이한 색상의 광이 광학 장치에 입사될 때, 광학 장치가 적어도 상이한 색상 간 누화를 억제하면서 상이한 색상 중 개별 색상의 광을 분리하도록 구성되며, 적어도 하나의 반사층은 상이한 색상 중 적어도 하나의 광의 내부 전반사하도록 구성된다.
- [0393] 일부 구현들에서, 광학 장치는 광학 장치에 의해 회절된 출력 광 빔이 상이한 색상 중 하나 이상의 다른 색상으로부터의 누화 없이 상이한 색상 중 특정 색상의 광만을 포함하도록 구성된다.
- [0394] 일부 구현들에서, 적어도 하나의 반사층은 각각의 광 회절 컴포넌트에 의해 투과된 상이한 색상 중 특정 색상의 0차 광을 전반사시키면서, 상이한 색상 중 하나 이상의 다른 색상을 투과시키도록 구성된다.
- [0395] 일부 구현들에서, 광학 장치는 상이한 색상의 광이 광학 장치에 입사될 때, 광 회절 컴포넌트 각각이 상이한 색상 중 각각의 색상의 광을 회절시키도록 구성된다.
- [0396] 본 개시의 또 다른 양태는 디스플레이 및 본원에 설명된 바와 같은 광학 장치 중 어느 하나를 특징으로 하며, 광학 장치는 복수의 상이한 색상의 광을 디스플레이로 회절시키도록 구성된다.
- [0397] 본 개시의 또 다른 양태는 복수의 상이한 색상의 광을 제공하도록 구성된 조명기 및 본원에 설명된 바와 같은 광학 장치 중 어느 하나를 특징으로 하며, 광학 장치는 조명기로부터 복수의 상이한 색상의 광을 회절시키도록 구성된다.
- [0398] 본 개시의 다른 양태는 디스플레이 및 광을 디스플레이로 회절시키기 위한 하나 이상의 투과형 회절 구조를 포함하는 광학 장치를 포함하는 시스템을 특징으로 한다.
- [0399] 일부 구현들에서, 디스플레이는 광학 장치를 통해 다시 광을 회절시키도록 구성된 반사형 디스플레이이다. 일부 구현들에서, 시스템은 광학 장치에 광을 제공하도록 구성된 조명기를 더 포함하며, 여기서 조명기는 광학 장치의 투과형 회절 구조의 전면에 배열된다.
- [0400] 일부 구현들에서, 디스플레이는 광학 장치를 통해 전방으로 광을 회절시키도록 구성된 투과형 디스플레이이다. 일부 구현들에서, 시스템은 광학 장치에 광을 제공하도록 구성된 조명기를 더 포함하며, 여기서 조명기는 광학 장치의 투과형 회절 구조의 후면에 배열된다.
- [0401] 일부 구현들에서, 하나 이상의 투과형 회절 구조 각각은 복수의 상이한 색상 중 각각의 색상을 회절시키도록 구성된다.
- [0402] 일부 구현들에서, 광학 장치는 하나 이상의 반사형 회절 구조를 더 포함하며, 하나 이상의 투과형 회절 구조 및 하나 이상의 반사형 회절 구조 각각은 복수의 상이한 색상 중 각각의 색상을 회절시키도록 구성된다.
- [0403] 본 개시의 다른 양태는 디스플레이 및 광을 디스플레이로 회절시키기 위한 하나 이상의 반사형 회절 구조를 포함하는 광학 장치를 포함하는 시스템을 특징으로 한다.
- [0404] 일부 구현들에서, 디스플레이는 광학 장치를 통해 다시 광을 회절시키도록 구성된 반사형 디스플레이이다. 일부 구현들에서, 시스템은 광학 장치에 광을 제공하도록 구성된 조명기를 더 포함하며, 여기서 조명기는 광학 장치의 반사형 회절 구조의 후면에 배열된다.
- [0405] 일부 구현들에서, 디스플레이는 광학 장치를 통해 전방으로 광을 회절시키도록 구성된 투과형 디스플레이이다. 일부 구현들에서, 시스템은 광학 장치에 광을 제공하도록 구성된 조명기를 더 포함하며, 여기서 조명기는 광학 장치의 반사형 회절 구조의 전면에 배열된다.
- [0406] 일부 구현들에서, 하나 이상의 반사형 회절 구조 각각은 복수의 상이한 색상 중 각각의 색상을 회절시키도록 구성된다.
- [0407] 일부 구현들에서, 광학 장치는 하나 이상의 투과형 회절 구조를 더 포함하며, 하나 이상의 투과형 회절 구조 및 하나 이상의 반사형 회절 구조 각각은 복수의 상이한 색상 중 각각의 색상을 회절시키도록 구성된다.

- [0408] 본 개시의 또 다른 양태는, 적어도 하나의 투과형 회절 구조 및 적어도 하나의 반사형 회절 구조를 포함하는 복수의 광 회절 컴포넌트를 포함하는 광학 장치를 특징으로 하며, 여기서 광학 장치는 상이한 색상의 광이 광학 장치에 입사될 때, 광학 장치가 상이한 색상 간의 누화를 억제하면서 상이한 색상 중 개별 색상의 광을 분리시키도록 구성된다.
- [0409] 일부 구현들에서, 투과형 회절 구조 및 반사형 회절 구조 각각은 상이한 색상 중 각각의 색상의 광을 회절시키도록 구성된다.
- [0410] 일부 구현들에서, 광학 장치는 상이한 색상 중 적어도 하나의 색상의 광의 내부 전반사를 위해 구성된 적어도 하나의 반사층을 더 포함한다.
- [0411] 일부 구현들에서, 광학 장치는 상이한 색상들 중 적어도 하나의 색상의 광의 편광 상태를 회전시켜, 상이한 색상들 중 특정 색상의 광이 광 회절 컴포넌트 중 각각의 광 회절 컴포넌트 상에 제1 편광 상태로 입사되도록 하는 반면, 상이한 색상들 중 하나 이상의 다른 색상의 광이 광 회절 컴포넌트 중 각각의 광 회절 컴포넌트 상에 제1 편광 상태와 다른 제2 편광 상태로 입사되도록 구성된 적어도 하나의 색상 선택 편광기를 더 포함한다.
- [0412] 본 개시의 또 다른 양태는 디스플레이 및 본원에 설명된 바와 같은 광학 장치 중 어느 하나에 따른 광학 장치를 포함하는 시스템을 특징으로 하며, 광학 장치는 복수의 상이한 색상의 광을 디스플레이로 회절시키도록 구성된다.
- [0413] 본 개시의 또 다른 양태는 복수의 상이한 색상의 광을 제공하도록 구성된 조명기 및 본원에 설명된 바와 같은 광학 장치 중 어느 하나에 따른 광학 장치를 포함하는 시스템을 특징으로 하며, 광학 장치는 조명기로부터 복수의 상이한 색상의 광을 회절시키도록 구성된다.
- [0414] 본 개시에서, "프리티미티브(primitive)"라는 용어는 컴퓨팅 시스템 내에서 입력 또는 출력을 위한 기본적인 분할 불가능한 요소를 의미한다. 요소는 기하학적 요소 또는 그래픽 요소일 수 있다. "홀로그램"이라는 용어는 객체에 관한 진폭 정보 또는 위상 정보 또는 이들의 일부 조합을 포함하는 디스플레이에 의해 디스플레이되는(또는 그에 업로드되는) 패턴을 말한다. "홀로그래픽 재구성"이라는 용어는 조명을 받았을 때 디스플레이의 체적 광 필드(volumetric light field)(예를 들어, 홀로그램 광 필드)를 말한다.
- [0415] 본 명세서의 주제의 하나 이상의 구현에 대한 세부 사항은 첨부된 도면 및 관련 설명에 제시되어 있다. 본 주제의 다른 특징, 양태 및 이점은 설명, 도면 및 청구범위로부터 명백해질 것이다.
- [0416] 구현들의 다양한 양태들이 상이한 방식으로 조합될 수 있음을 이해해야 한다. 일 예로서, 특정 방법, 장치 또는 시스템의 특징은 다른 방법, 장치 또는 시스템의 특징과 결합될 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0417] 도 1a는 홀로그래픽 디스플레이를 포함하는 예시적인 시스템의 개략도를 예시한다.
- 도 1b는 예시적인 홀로그래픽 디스플레이의 개략도를 예시한다.
- 도 1c는 3D 디스플레이를 위한 예시적인 시스템을 예시한다.
- 도 2는 전자기(EM) 전파 계산을 위한 예시적인 구성을 예시한다.
- 도 3a는 디스플레이의 요소와 관련된 점 프리미티브에 대한 예시적인 EM 전파를 예시한다.
- 도 3b는 디스플레이의 요소와 관련된 선 프리미티브에 대한 예시적인 EM 전파를 예시한다.
- 도 3c는 디스플레이의 요소와 관련된 삼각형 프리미티브에 대한 예시적인 EM 전파를 예시한다.
- 도 3d는 페색기로서 선 프리미티브를 갖는 점 프리미티브에 대한 맥스웰 홀로그래픽 페색의 예시적인 구현을 예시한다.
- 도 3e는 페색기로서 또 다른 선 프리미티브를 갖는 선 프리미티브에 대한 맥스웰 홀로그래픽 페색의 예시적인 구현을 예시한다.
- 도 3f는 페색기로서 선 프리미티브를 갖는 삼각형 프리미티브에 대한 맥스웰 홀로그래픽 페색의 예시적인 구현을 예시한다.
- 도 3g는 맥스웰 홀로그래픽 스티칭의 예시적인 구현을 예시한다.

도 4는 객체를 3D로 디스플레이하는 예시적인 프로세스의 흐름도이다.

도 5a는 전면 조명을 갖는 반사형 디스플레이를 포함하는 3D 디스플레이를 위한 예시적인 시스템을 예시한다.

도 5b는 전면 조명을 갖는 반사형 디스플레이를 포함하는 3D 디스플레이를 위한 또 다른 예시적인 시스템을 예시한다.

도 5c는 배면 조명을 갖는 투과형 디스플레이를 포함하는 3D 디스플레이를 위한 또 다른 예시적인 시스템을 예시한다.

도 5d는 도파관 조명을 갖는 투과형 디스플레이를 포함하는 3D 디스플레이를 위한 또 다른 예시적인 시스템을 예시한다.

도 5e는 도파관 조명을 갖는 투과형 디스플레이를 포함하는 3D 디스플레이를 위한 또 다른 예시적인 시스템을 예시한다.

도 5f는 도파관 조명을 갖는 반사형 디스플레이를 포함하는 3D 디스플레이를 위한 또 다른 예시적인 시스템을 예시한다.

도 5g는 도파관 조명을 갖는 반사형 디스플레이를 포함하는 3D 디스플레이를 위한 또 다른 예시적인 시스템을 예시한다.

도 5h는 투과형 필드 격자 기반 구조를 사용한 광 회절 조명을 갖는 반사형 디스플레이를 포함하는 3D 디스플레이를 위한 또 다른 예시적인 시스템을 예시한다.

도 5i는 반사형 필드 격자 기반 구조를 사용한 광 회절 조명을 갖는 반사형 디스플레이를 포함하는 3D 디스플레이를 위한 또 다른 예시적인 시스템을 예시한다.

도 5j는 반사형 필드 격자 기반 구조를 사용한 광 회절 조명을 갖는 투과형 디스플레이를 포함하는 3D 디스플레이를 위한 또 다른 예시적인 시스템을 예시한다.

도 5k는 투과형 필드 격자 기반 구조를 사용한 광 회절 조명을 갖는 투과형 디스플레이를 포함하는 3D 디스플레이를 위한 또 다른 예시적인 시스템을 예시한다.

도 6a는 불균일한 형상을 갖는 디스플레이 요소를 갖는 예시적인 디스플레이를 예시한다.

도 6b는 상이한 크기를 갖는 디스플레이 요소를 갖는 예시적인 디스플레이를 예시한다.

도 7a는 기록 매체에 격자를 기록하는 일 예를 예시한다.

도 7b는 도 7a의 격자에 의해 재생 기준 빔을 회절시키는 일 예를 예시한다.

도 7c는 서로 다른 색상의 광을 이용하여 기록 매체에 서로 다른 색상의 격자를 기록하는 일 예를 예시한다.

도 7d는 동일한 색상의 광을 이용하여 기록 매체에 서로 다른 색상에 대한 격자를 기록하는 일 예를 예시한다.

도 7e는 상이한 색상에 대한 격자에 의해 상이한 색상의 재생 기준 빔을 회절시키는 일 예를 예시한다.

도 7f는 서로 다른 색상의 회절 빔 사이의 누화의 일 예를 예시한다.

도 8은 기록 매체에 기준각이 큰 회절 격자를 기록하는 일 예를 예시한다.

도 9a는 두 가지 색상에 대한 회절 격자 및 해당 색상 선택 편광기를 포함하여, 두 가지 색상의 광을 개별적으로 회절시키기 위한 예시적인 광학 장치를 예시한다.

도 9b는 도 9a의 광학 장치에 의해 2 가지 색상의 광을 회절시키는 일 예를 예시한다.

도 10a는 3 가지 색상에 대한 회절 격자 및 해당 색상 선택 편광기를 포함하여, 3 가지 색상의 광을 개별적으로 회절시키기 위한 예시적인 광학 장치를 예시한다.

도 10b는 도 10a의 광학 장치에 의해 3 가지 색상의 광을 회절시키는 일 예를 예시한다.

도 11은 2 가지 색상에 대한 회절 격자 및 해당 반사층을 포함하여, 2 가지 색상의 광을 개별적으로 회절시키기 위한 예시적인 광학 장치를 예시한다.

도 12a는 3 가지 색상에 대한 회절 격자 및 해당 반사층을 포함하여, 3 가지 색상의 광을 개별적으로 회절시키

기 위한 예시적인 광학 장치를 예시한다.

도 12b는 3 가지 색상에 대한 회절 격자 및 웨지형 기판을 갖는 해당 반사층을 포함하는 또 다른 예시적인 광학 장치를 예시한다.

도 12c는 3 가지 색상에 대한 회절 격자 및 웨지형 입력면을 갖는 해당 반사층을 포함하는 추가의 예시적인 광학 장치를 예시한다.

도 13a 내지 13c는 청색 광(도 13a), 녹색 광(도 13b) 및 적색 광(도 13c)에 대해 상이한 입사각을 갖는 회절 빔 전력과 반사 빔 전력 사이의 관계를 예시한다.

도 14a는 홀로그래픽 격자 및 해당 색상 선택 편광기를 포함한 광학 장치를 제조하는 예시적인 프로세스(1400)의 흐름도이다.

도 14b는 홀로그래픽 격자 및 해당 반사층을 포함한 광학 장치를 제조하는 예시적인 프로세스의 흐름도이다.

도 15는 투과형 및 반사형 회절 격자의 조합을 포함하는 예시적인 광학 장치를 예시한다.

도 16은 입사 광이 디스플레이의 디스플레이 요자에 의해 회절되고 디스플레이 상의 디스플레이 요자 사이의 갭에서 반사되는 일 예를 예시한다.

도 17a는 프로젝션 스크린 상에 디스플레이되는 홀로그래픽 장면 내의 디스플레이 0차 광의 일 예를 예시한다.

도 17b는 뷰어의 눈 상에 디스플레이되는 홀로그래픽 장면 내의 디스플레이 0차 광의 일 예를 예시한다.

도 18은 디스플레이 0차 광을 발산시킴으로써 프로젝션 스크린 상에 디스플레이되는 홀로그래픽 장면에서 디스플레이 0차 광을 억제하는 일 예를 예시한다.

도 19a는 디스플레이가 수직 입사 시 광으로 조명될 때 홀로그래픽 장면에서 디스플레이 0차 광의 일 예를 예시한다.

도 19b는 디스플레이가 입사각의 광으로 조명될 때 디스플레이 0차 광을 홀로그래픽 장면으로부터 멀리 향하게 함으로써 프로젝션 스크린 상에 디스플레이되는 홀로그래픽 장면에서 디스플레이 0차 광을 억제하는 일 예를 예시한다.

도 19c는 디스플레이가 입사각의 광으로 조명될 때 디스플레이 0차 광을 홀로그래픽 장면으로부터 멀리 향하게 함으로써 뷰어의 눈 상에 디스플레이되는 홀로그래픽 장면에서 디스플레이 0차 광을 억제하는 일 예를 예시한다.

도 20a는 3D 좌표계의 디스플레이에 대한 홀로그래픽 장면에 대응하는 구성 콘 및 재구성 콘의 일 예를 예시한다.

도 20b는 3D 좌표계의 홀로그래픽 장면에 대응하는 홀로그램을 구성하기 위해 도 20a의 구성 콘을 조정하는 일 예를 예시한다.

도 21은 홀로그래픽 장면에서 디스플레이 0차 광을 억제하기 위한 입사각으로 디스플레이를 조명하기 위해 결합 프리즘을 통해 광 회절 장치에 광을 결합시키는 일 예를 예시한다.

도 22는 홀로그래픽 장면에서 디스플레이 0차 광을 억제하기 위한 입사각으로 디스플레이를 조명하기 위해 웨지형 기판을 통해 광 회절 장치에 광을 결합시키는 일 예를 예시한다.

도 23a는 메타물질 층으로 디스플레이로부터 반사된 디스플레이 0차 광을 흡수시킴으로써 프로젝션 스크린 상에 디스플레이되는 홀로그래픽 장면에서 디스플레이 0차 광을 억제하는 일 예를 예시한다.

도 23b는 메타물질 층으로 디스플레이로부터 반사된 디스플레이 0차 광을 차단(또는 흡수)시킴으로써 뷰어의 눈 상에 디스플레이되는 홀로그래픽 장면에서 디스플레이 0차 광을 억제하는 일 예를 예시한다.

도 24는 광 방향 전환 구조를 통해 홀로그래픽 장면으로부터 멀리 디스플레이 0차 광을 방향 전환함으로써 홀로그래픽 장면에서 디스플레이 0차 광을 억제하는 시스템을 예시한다.

도 25a 내지 25c는 광 방향 전환 구조를 통해 공간에서 상이한 방향으로 디스플레이 0차 광을 방향 전환시키는 예들을 예시한다.

도 26a 내지 26e는 광이 광 방향 전환 구조를 통해 공간에서 서로 다른 방향으로 서로 다른 입사각으로 입력될

때 디스플레이 0차 광을 방향 전환시키는 예를 예시한다.

도 27a는 p 편광을 갖는 디스플레이 0차 광을 방향 전환시켜 브루스터 각도로 투과시키는 일 예를 예시한다.

도 27b 내지 27c는 브루스터 각도로 투과하기 위한 광학 리타더를 사용하여 s 편광으로 디스플레이 0차 광을 방향 전환시키는 예를 예시한다.

도 28은 디스플레이 0차 광을 흡수하기 위해 디스플레이 0차 광을 이방성 트랜스미터로 방향 전환시키는 일 예를 예시한다.

도 29는 디스플레이 0차 광을 전반사시키도록 디스플레이 0차 광을 방향 전환시키는 일 예를 예시한다.

도 30a 내지 30b는 두 가지 상이한 색상의 디스플레이 0차 광을 홀로그래픽 장면으로부터 멀어지는 상이한 방향으로 방향 전환시키는 예를 예시한다.

도 31a 내지 31b는 두 가지 상이한 색상의 디스플레이 0차 광을 동일한 평면에서 홀로그래픽 장면으로부터 멀어지는 상이한 방향으로 방향 전환시키는 예를 예시한다.

도 32는 세 가지 상이한 색상의 디스플레이 0차 광을 공간에서 홀로그래픽 장면으로부터 멀어지는 상이한 방향으로 방향 전환시키는 일 예를 예시한다.

도 33은 세 가지 상이한 색상의 디스플레이 0차 광을 색상들 중 하나에 대한 전환 가능한 격자를 사용하여 홀로그래픽 장면으로부터 멀어지는 상이한 방향으로 방향 전환시키는 일 예를 예시한다.

도 34는 홀로그래픽 장면에서 디스플레이 0차 광을 억제하는 예시적인 프로세스의 흐름도이다.

도 35a 내지 35c는 재구성된 3D 객체를 디스플레이하기 위한 시스템의 일 예를 예시한다.

도 36a 내지 36c는 세 가지 색상의 광이 시스템에서 전파되는 것을 제외하면, 도 35a 내지 36c의 시스템과 동일한 도면을 예시한다.

다양한 도면에서 유사한 참조 부호 및 명칭은 유사한 요소를 나타낸다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0418] 본 개시의 구현은 진정한 홀로그램으로서 복잡한 컴퓨터 생성 장면의 3D 디스플레이를 가능하게 하는 기술을 특징으로 한다. 이 기술은 맥스웰(Maxwell) 홀로그래피로 나타낼 수 있는 전자기장에 대한 맥스웰 방정식을 기반으로 하는 실시간 동적 계산 홀로그래피에 대한 새롭고 결정론적인 솔루션을 제공한다. 맥스웰 홀로그래피에서의 계산(calculation)(또는 계산(computation))은 맥스웰 홀로그래픽 계산(또는 맥스웰 홀로그래픽 계산)으로 나타낼 수 있다. 실시예들에서, 본 개시는 홀로그램을 레거시 홀로그래픽 시스템의 제한 없이 실시간으로 홀로그램을 풀 수 있게 하는, 필드 이론, 토폴로지, 분석 연속 및/또는 대칭 그룹을 포함하는 틀을 활용하여, 일반 전기장에 대한 디리클레(Dirichlet) 또는 코오시(Cauchy) 경계 조건 문제로 접근한다. 실시예들에서, 이 기술은 공간 광 변조기(spatial light modulator; SLM) 또는 임의의 기타 홀로그래픽 장치를 활용하여, 위상 전용, 진폭 전용 또는 위상 및 진폭 홀로그램을 만드는 데 사용될 수 있다.

[0419] 본 개시의 구현은, 1) 고전 광학 대신, 필드 이론과 접촉 기하학을 사용하여 전자기 경계 조건으로 홀로그램을 근사화하는 메커니즘; 2) 계산 홀로그래피에 대한 전자기 경계 조건 접근 방식의 컴퓨터 코드 및 애플리케이션 프로그래밍 인터페이스(application programming interface; API)로의 유도 및 구현, 즉 홀로그램의 평면에서 2D 분석 함수로서 홀로그램 계산의 구현 및 병렬 알고리즘으로의 후속 이산화; 및/또는 3) 표준 기존 컴퓨터 그래픽 툴 및 기술과 완전히 호환될 수 있는 표준 컴퓨터 그래픽 프리미티브(예를 들어, 점, 선, 삼각형 및 텍스처 삼각형)의 완전한 3D 홀로그램 버전의 구현을 제공할 수 있다. 이 기술을 통해 장치가 홀로그래피를 위해 특별히 생성되지 않은 일반적인 기존 콘텐츠를 디스플레이하도록 할 수 있으며, 동시에 기존 콘텐츠 제작자가 특수 기술을 배우거나 특수 툴을 사용하지 않고 홀로그래픽 작업을 만들도록 할 수 있다.

[0420] 특히, 본원에 공개된 기술은 계산 홀로그래피에서 일반적으로 사용되는 고전 광학의 수학적 공식(예를 들어, G-S(Gerchberg-Saxton) 알고리즘 대신에 광의 수학적 공식(또는 표현)을 전자기(EM) 현상으로 사용하는 것을 포함할 수 있다. 본원에 개시된 수학적 공식은 맥스웰 방정식으로부터 도출된다. 실시예들에서, 본원에 개시된 기술은 디스플레이된 이미지를 전자기장으로 처리하고 홀로그램을 전자기장을 생성하는 경계 값 조건(예를 들어, 디리클레 문제)으로 처리하는 것을 포함한다. 추가로, 원하는 이미지는 컴퓨터 그래픽에서 프리미티브 패러다임을 사용하여 구성될 수 있으며, 예를 들어, 기술이 임의의 3D 이미지를 홀로그래픽 재구성, 예를 들어 2D 스크린

상에 투사형 이미지 대신 홀로그래픽 조명 필드로 디스플레이하는 데 사용되도록 한다. 대역폭 제한으로 어려움을 겪는 심도점 클라우드 기술(depth point clouds technologies)과 비교하여, 기술은 이러한 한계를 피하고 임의의 적절한 유형의 프리미티브, 예를 들어 점 프리미티브, 선 프리미티브 또는 삼각형 프리미티브와 같은 다각형 프리미티브를 사용할 수 있다. 또한, 프리미티브는 색상 정보, 텍스처 정보 및/또는 셰이딩 정보로 렌더링될 수 있다. 이를 통해 홀로그래픽 비디오를 포함한 CG 홀로그래픽 콘텐츠에 대한 기록 및 압축 체계를 달성하는 데 도움이 될 수 있다.

[0421] 실시예들에서, 본원에 개시된 기술은 맥스웰 방정식을 사용하여 생성된 홀로그램을 고속 푸리에 변환(FFT)과 그 고유 한계에 대한 의존성을 제거할 수 있는 전자기장을 모델링하기 위한 경계 조건 문제로 계산하여, 레이저 또는 발광 다이오드(LED)와 같은 시준된 광원에 대한 의존성을 제거하고/하거나 계산 홀로그램 및 비결정론적 솔루션에 대한 이전 접근 방식의 한계를 제거한다.

[0422] 실시예들에서, 본원에 개시된 기술은 장면을 구축하는 데 필요한 컴퓨터 생성(CG) 프리미티브의 파라미터에 따라, 독립적인 입력을 홀로그램 표면으로 제한하는 수학적 최적화 프로세스를 통해 계산 단순성 및 속도에 최적화될 수 있다. 이를 통해 컴퓨팅 아키텍처, 예를 들어 애플리케이션별 집적 회로(ASIC) 및 멀티 코어 아키텍처에서 작업이 고도로 병렬적이고 고도의 최적 방식으로 수행되도록 할 수 있다. 홀로그램을 계산하는 프로세스는 컴퓨터 생성 이미지(CGI) 장면의 형태로 입력 데이터에서 실행되는 단일 명령어로 간주될 수 있으며, CGI 프리미티브당 단일 클럭 사이클로 이론적으로 완료될 수 있다.

[0423] 실시예들에서, 본원에 개시된 기술은 예를 들어 비디오 게임, 영화, 텔레비전, 컴퓨터 디스플레이 또는 임의의 다른 디스플레이 기술에서 사용되는 종래의 3D 그래픽의 표준 프리미티브와 기능적으로 호환 가능한 완전 3D 홀로그래픽 프리미티브 애퍼처(aperture) 어셈블리로서 홀로그래픽 장면을 취급한다. 이 기술은 컴퓨팅 홀로그래피의 표준 구현에 내재된 제한 없이 하드웨어 및 소프트웨어에서 이러한 애퍼처 프리미티브의 효율적 구현을 가능하게 할 수 있다. 프리미티브의 진폭과 색상은 자동으로 계산될 수 있다. 계산 복잡성은 표준 계산 홀로그래피의 n^2 또는 $n \cdot \log(n)$ 과 비교하여 위상 요소 번호 n 에 따라 선형적으로 증가할 수 있다. 생성된 이미지는 평면 이미지의 집합체가 아닌 완전한 3D이며, 이 기술은 알 수 없는 단계 수의 반복 진폭 보정을 필요로 하지 않는다. 또한 생성된 홀로그램에는 홀로그래픽 장치에서 공간을 차지하는 "공액(conjugate)" 상(image)이 없다.

[0424] 홀로그래픽 프리미티브는 수학적 객체의 특수 콜렉션의 일부이므로, 비교적 간단하고 비교적 빠르게 계산할 수 있으며, 병렬 분산 컴퓨팅 접근 방식에 고유하게 적합할 수 있다. 계산 가능성 및 병렬성은 홀로그래픽 컴퓨터 디스플레이, 전화 디스플레이, 홈 시어터 및 홀로그래픽 룸으로서 작동할 수 있는 이론적으로 무제한 크기의 넓은 영역 홀로그래픽 장치를 설계하기 위해 대형 홀로그램의 대화형(interactive) 계산을 허용할 수 있다. 또한 홀로그램은 요소가 단색 대신 윤곽선으로 나타날 수 있는 기존의 홀로그래픽 계산 방법과 관련된 제한 없이, 예를 들어 큰 셰이딩 영역을 3D로 렌더링하는 식으로 넓은 영역을 광으로 채울 수 있다. 또한 상대적으로 간단하고 상대적으로 빠른 계산을 통해 n^2 계산 부하 및 반복 진폭 보정에 의해 제한되지 않는 대화형 속도로 실시간 홀로그램을 디스플레이할 수 있다.

[0425] 실시예들에서, 이 기술은 최신 ASIC 및 멀티코어 아키텍처에서 자연 발생적 계산 가능성을 실현할 수 있으며 최신 그래픽 하드웨어, 최신 그래픽 소프트웨어 및/또는 최신 그래픽 툴 및 툴 체인의 완벽한 호환성을 실현할 수 있다. 예를 들어, 이 기술은 API를 통해 명확하고 간단한 홀로그램 API를 구현하고 기존 3D 콘텐츠 생성 툴(예를 들어, 3ds Max®, SOLIDWORKS®, Maya® 또는 Unity)을 사용하여 임의의 CG 모델의 고성능 렌더링을 가능하게 할 수 있다. API는 개발자 또는 사용자가 홀로그래픽 장치(예를 들어, 광 변조기 또는 홀로그래픽 시스템)와 상호 작용하도록 할 수 있다. 홀로그래픽 API는 컴퓨터 그래픽 프리미티브를 개별 홀로그래픽 장면 프리미티브로 생성할 수 있으므로, 범용 및 특수 설계된 홀로그래픽 계산 하드웨어를 활용하여 풍부한 홀로그래픽 콘텐츠 생성이 가능하다. 수학적 및 계산 아키텍처를 생성하면 기존 3D 콘텐츠 및 소프트웨어 애플리케이션을 만드는 데 사용되는 툴과 기술을 사용하여 홀로그램이 렌더링되도록 할 수 있다. 수학적 및 계산적 아키텍처의 최적화는 종래의 그래픽 및 렌더링의 성능 실시예들이 홀로그래픽 재구성으로서 디스플레이되도록 할 수 있다.

[0426] 본원에 개시된 기술의 알고리즘은 하드웨어에서 구현하기에 비교적 간단하다. 이는 사용자가 기대하는 고품질 렌더링에 필요한 계산 속도를 허용할 뿐만 아니라 홀로그래픽 장치의 일부로 ASIC 게이트 구조와 같은 비교적 간단한 회로에서 알고리즘이 구현되도록 할 수도 있다. 따라서, 고밀도 디스플레이를 피할 수 있는 대역폭 문제는 장면 계산이 원격으로 계산된 다음 콘텐츠의 각 프레임에 대해 디스플레이의 각 디스플레이 요소(또는 디스플레이 픽셀)에 기록되는 대신 디스플레이 장치에 내장된 컴퓨팅 아키텍처(예를 들어, 내장 계산) 전체에 걸쳐 분산될 수 있기 때문에 무관해질 수 있다. 이는 또한 디스플레이 요소의 수, 및 이에 따른 홀로그래픽 디스

플레이의 크기가 다른 기술을 심각하게 제한하는 제약 조건에 의해 상대적으로 제한되지 않을 수 있음을 의미한다.

- [0427] 본원에 개시된 기술은 구조화된 광을 사용하는 다수의 대화형 기술이 예를 들어 라이다(solid-state light detection and ranging; LIDAR) 장치, 3D 인쇄 및 기계 가공, 스마트 조명기, 스마트 마이크로디스플레이, 광학 스위칭, 광학 핀셋 또는 구조화된 조명을 요구하는 임의의 기타 애플리케이션을 포함하여, 서로 다른 애플리케이션에서 비교적 간단하고 비교적 저렴하게 구현되도록 할 수 있다. 본원에 개시된 기술은 또한 광학 시뮬레이션(예를 들어, 격자 시뮬레이션)을 위해 사용될 수 있다.
- [0428] 도 1a는 3D 디스플레이용의 예시적인 시스템(100)의 개략도를 예시한다. 시스템(100)은 컴퓨팅 장치(102) 및 홀로그래픽 디스플레이 장치(또는 맥스웰 홀로그래픽 디스플레이 장치)(110)를 포함한다. 컴퓨팅 장치(102)는 객체(예를 들어, 3D 객체)에 대응하는 프리미티브 목록에 대한 데이터를 준비하고, 유선 또는 무선 연결(예를 들어, USB-C 연결 또는 임의의 기타 고속 직렬 연결)을 통해 홀로그래픽 디스플레이 장치(110)에 데이터를 전송하도록 구성된다. 홀로그래픽 디스플레이 장치(110)는 홀로그래픽 디스플레이 장치(110)에서 디스플레이(예를 들어, 변조기)의 요소를 디스플레이하기 위한 프리미티브 목록으로부터 전자기(EM) 필드 기여도를 계산하고, 디스플레이 요소를 디스플레이의 계산된 EM 필드 기여도에 기초하여 패턴(예를 들어, 홀로그램)으로 변조하고, 조명 시 객체에 대응되는 광 필드를 3D(예를 들어, 홀로그래픽 재구성)로 디스플레이한다. 본원에서, 홀로그램은 객체에 대한 진폭 정보 또는 위상 정보, 또는 이들의 조합을 포함하는 디스플레이에 디스플레이되는 패턴을 말한다. 홀로그래픽 재구성이란 조명을 받았을 때 디스플레이로부터의 체적 광 필드(예를 들어, 홀로그래픽 광 필드)를 말한다.
- [0429] 컴퓨팅 장치(102)는 임의의 적절한 유형의 장치, 예를 들어 데스크탑 컴퓨터, 개인용 컴퓨터, 노트북, 태블릿 컴퓨팅 장치, 개인 정보 단말기(Personal Digital Assistant; PDA), 네트워크 기기, 스마트 모바일폰, 스마트 워치, EGPRS(Enhanced General Packet Radio Service) 모바일폰, 미디어 플레이어, 내비게이션 장치, 이메일 장치, 게임 콘솔 또는 이러한 컴퓨팅 장치나 기타 컴퓨팅 장치 중 둘 이상의 임의의 적절한 조합일 수 있다.
- [0430] 컴퓨팅 장치(102)는 그래픽 엔진으로서 다수의 애플리케이션(106)을 포함할 수 있는 운영 체제(operating system; OS)(104)를 포함한다. 애플리케이션(106)은 표준 3D 콘텐츠 생성 툴(예를 들어, 3ds Max[®], SOLIDWORKS[®], Maya[®] 또는 Unity)을 사용하여 장면(예를 들어, 임의의 CG 모델)을 처리하거나 렌더링할 수 있다. 장면은 하나 이상의 실제 또는 가상 3D 객체 또는 객체의 표현에 해당할 수 있다. 애플리케이션(106)은 추가 처리를 위해 그래픽 처리 장치(GPU)(108)에 제공될 수 있는 OS 그래픽 추상화(101)를 얻기 위해 장면을 렌더링하도록 병렬로 동작할 수 있다. 일부 구현들에서, OS 그래픽 추상화(101)는 추가 처리를 위해 홀로그래픽 디스플레이 장치(110)에 제공된다.
- [0431] GPU(108)는 컴퓨터 그래픽 및 이미지 처리의 신속한 조작을 위해 설계된 특수 전자 회로를 포함할 수 있다. GPU(108)는 장면의 그래픽 추상화(101)를 처리하여 예를 들어 특정 순서로 인덱싱된 프리미티브 목록(105)을 얻는 데 사용될 수 있는 처리된 장면 데이터(103)를 얻을 수 있다. 프리미티브는 점 프리미티브, 선 프리미티브 또는 다각형 프리미티브 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 일부 구현들에서, GPU(108)는 처리된 장면 데이터(103) 및 프리미티브 목록(105)을 생성하도록 구성된 비디오 드라이버를 포함한다.
- [0432] 일부 구현들에서, GPU(108)는 기존 렌더러(120)를 포함하고, 이에 의해 프리미티브 목록(105)은 기존 렌더링 기술(예를 들어, 컬링(culling) 및 클리핑(clipping))에 의해 기존 모니터(124)(예를 들어, 2D 디스플레이 스크린) 상에 그릴 아이템 목록으로 렌더링될 수 있다. 아이템 목록은 스크린 버퍼(122)를 통해 기존 모니터(124)로 전송될 수 있다.
- [0433] 일부 구현들에서, GPU(108)는 프리미티브 목록(105)을 홀로그래픽 디스플레이 장치(110)에 의해 표시될 그래픽 데이터로 렌더링하기 위한 홀로그래픽 렌더러(130)를 포함한다. 그래픽 데이터는 프리미티브 목록 및 해당 프리미티브 데이터를 포함할 수 있다. 예를 들어, 그래픽 데이터는 각 프리미티브에 대한 16진수 코드(hex code)를 포함할 수 있다.
- [0434] 일부 구현들에서, GPU(108)는 기존 렌더러(120) 및 홀로그래픽 렌더러(130)를 모두 포함한다. 일부 구현들에서, GPU(108)는 기존 렌더러(120) 및 홀로그래픽 렌더러(130)를 포함하는 홀로그래픽 디스플레이 장치(110)를 포함한다.

- [0435] 프리미티브에 대한 해당 프리미티브 데이터는 색상 정보(예를 들어, 텍스처 색상, 그라데이션 색상 또는 둘 다), 텍스처 정보 및/또는 셰이딩 정보를 포함할 수도 있다. 셰이딩 정보는 프리미티브 표면의 색상 또는 밝기를 변조하는 것을 포함하는 일반적인 CGI 표면 셰이딩 방법으로 얻을 수 있다.
- [0436] 프리미티브의 프리미티브 데이터는 예를 들어, 직교 좌표계 XYZ, 극좌표계, 원통 좌표계 및 구면 좌표계 등의 3D 좌표계에서의 프리미티브의 좌표 정보를 포함할 수 있다. 아래에 더 상세하게 논의되는 바와 같이, 홀로그래픽 디스플레이 장치(110)의 디스플레이 요소는 또한 3D 좌표계에서 대응하는 좌표 정보를 가질 수 있다. 좌표 위치에서의 프리미티브는 디스플레이 요소에 인접한, 예를 들어 디스플레이 요소 앞에, 디스플레이 요소 뒤에 또는 디스플레이 요소에 걸쳐 있는 3D 객체를 나타낼 수 있다.
- [0437] 일 예로서, 프리미티브는 셰이딩 처리된 선, 예를 들어 그 범위에 걸쳐 한 색상에서 다른 색상으로 부드럽게 변하는 직선이다. 프리미티브는 렌더링할 데이터의 네 가지 요소가 필요하다: 두 개의 엔드 포인트, 및 각 엔드 포인트에서의 색상 정보(예를 들어, RGB 색상 값). 선에 대한 16진수 코드가 a0이며, 선은 3D 좌표계에서 제1 엔드 포인트(0.1, 0.1, 0.1)에서 제2 엔드 포인트(0.2, 0.2, 0.2)까지 확장되며, 제1 엔드 포인트에서 색상 1/2 블루: RGB = (0,0,128)이고 제2 엔드 포인트에서 색상 전체 레드: RGB = (255,0,0)임을 가정한다. 홀로그래픽 렌더러는 각 프리미티브에 대해 예상되는 데이터의 양과 종류를 결정한다. 선의 경우, 프리미티브 스트림의 셰이딩 선에 대한 프리미티브 데이터는 다음과 같은 명령어 세트일 수 있다:
- [0438] 0xa0 // 셰이딩 선에 대한 16진 코드
- [0439] 0x3dcccccd //(0.1, 0.1, 0.1) 플로드 (단일)에서 제1 정점
- [0440] 0x3dcccccd
- [0441] 0x3dcccccd
- [0442] 0x000080 // 제1 정점 색상은 (0, 0, 128)임
- [0443] 0x3e4ccccd // (0.2, 0.2, 0.2) 플로드 (단일)에서 제2 정점
- [0444] 0x3e4ccccd
- [0445] 0x3e4ccccd
- [0446] 0xff0000 // 제2 정점 색상은 (255, 0, 0)임
- [0447] 셰이딩 선 프리미티브에 대한 프리미티브 데이터에는 총 31개의 16진수 단어가 있다.
- [0448] 이는 복잡한 장면을 전송하는 데 매우 효율적인 방법이 될 수 있으며, 프리미티브 데이터는 더 압축될 수 있다. 각 프리미티브는 결정론적 튜링 단계이므로, 명암 경계선(terminator)이 필요하지 않다. 이러한 선 프리미티브가 2D 디스플레이 스크린에 단순히 그려지는 전통적인 모델과 달리, 선에 대한 프리미티브 데이터는 홀로그램을 계산할 수 있고 공간에 떠 있는 선을 나타내는 해당 홀로그래픽 재구성을 디스플레이할 수 있는 홀로그래픽 디스플레이 장치(110)로 전송된다.
- [0449] 일부 구현들에서, 컴퓨팅 장치(102)는 프리미티브 기반이 아닌 데이터, 예를 들어 기록된 광 필드 비디오를 홀로그래픽 디스플레이 장치(110)에 전송한다. 홀로그래픽 디스플레이 장치(110)는 공간에서 순차적인 홀로그래픽 재구성으로서 비디오를 디스플레이하기 위해 순차적인 홀로그램을 계산할 수 있다. 일부 구현들에서, 컴퓨팅 장치(102)는 라이브 홀로그래픽 콘텐츠와 동시에 CG 홀로그래픽 콘텐츠를 홀로그래픽 디스플레이 장치(110)로 전송한다. 홀로그램 디스플레이 장치(110)는 또한 콘텐츠를 대응되는 홀로그래픽 재구성으로 디스플레이하기 위해 대응되는 홀로그램을 계산할 수 있다.
- [0450] 도 1a에 예시된 바와 같이, 홀로그램 디스플레이 장치(110)는 컨트롤러(112) 및 디스플레이(114)를 포함한다. 컨트롤러(112)는 다수의 컴퓨팅 유닛 또는 처리 유닛을 포함할 수 있다. 일부 구현들에서, 컨트롤러(112)는 ASIC, FPGA(field programmable gate array) 또는 GPU 유닛, 또는 이들의 임의의 조합을 포함한다. 일부 구현들에서, 컨트롤러(112)는 프리미티브 목록(105)을 컴퓨팅 유닛에 의해 계산될 그래픽 데이터로 렌더링하기 위한 홀로그래픽 렌더러(130)를 포함한다. 일부 구현들에서, 컨트롤러(112)는 추가 처리를 위해 컴퓨팅 장치(102)로부터 OS 그래픽 추상화(101)를 수신한다. 디스플레이(114)는 여러 디스플레이 요소를 포함할 수 있다. 일부 구현들에서, 디스플레이(114)는 공간 광 변조기(SLM)를 포함한다. SLM은 위상 SLM, 진폭 SLM 또는 위상 및 진폭 SLM일 수 있다. 일부 예들에서, 디스플레이(114)는 디지털 마이크로-미러 장치(DMD) 또는 실리콘 액정 표시

(LCOS) 장치이다. 일부 구현들에서, 홀로그래픽 디스플레이 장치(110)는 디스플레이 (114)에 인접한 조명기(116)를 포함하고 디스플레이(114)를 향해 광을 방출하도록 구성된다. 조명기(116)는 하나 이상의 간섭성 광원(coherent light source)(예를 들어, 레이저), 하나 이상의 반-간섭성 광원(semi-coherent light source)(예를 들어, LED(발광 다이오드) 또는 고휘도 발광 다이오드(superluminescent diode; SLED)), 하나 이상의 비간섭성 광원 또는 이러한 광원들의 조합을 포함할 수 있다.

[0451] 3D 장면을 취하고 이를 2D 디스플레이 장치로 렌더링하는 기존의 3D 그래픽 시스템과는 달리, 홀로그래픽 디스플레이 장치(110)는 조명 필드 형태(예를 들어, 3D 체적의 광)로 홀로그래픽 재구성(117)과 같은 3D 출력을 생성하도록 구성된다. 홀로그램에서, 각 디스플레이 요소는 장면의 홀로그래픽 재구성의 모든 부분에 기여할 수 있다. 따라서, 홀로그래픽 디스플레이 장치(110)의 경우, 각 디스플레이 요소는 장면의 완전한 홀로그래픽 재생을 위해, 장면의 모든 부분(예를 들어, GPU(108)에 의해 생성된 프리미티브 목록의 각 프리미티브)에 대해 잠재적으로 변조되어야 한다. 일부 구현들에서, 예를 들어 재생된 장면에서 또는 장면의 일부 영역에서 허용 가능한 정확도 레벨에 기초하여 특정 요소의 변조가 생략되거나 단순화될 수 있다.

[0452] 일부 구현들에서, 컨트롤러(112)는 각 프리미티브로부터 각 디스플레이 요소까지의 EM 필드 기여도(예를 들어, 위상, 진폭 또는 둘 모두)를 계산하고, 각 디스플레이 요소에 대해, 프리미티브 목록으로부터 디스플레이 요소까지의 EM 필드 기여도의 합을 생성하도록 구성된다. 이는 모든 프리미티브를 통해 실행하고 주어진 디스플레이 요소에 대한 기여도를 누적하거나, 또는 각 프리미티브에 대한 각 디스플레이 요소를 통해 실행하거나, 또는 이 두 기술의 하이브리드 혼합에 의해 수행될 수 있다.

[0453] 컨트롤러(112)는 프리미티브에 대한 미리 결정된 표현에 기초하여 각 프리미티브로부터 각 디스플레이 요소까지의 EM 필드 기여도를 계산할 수 있다. 다른 프리미티브는 해당 표현을 가질 수 있다. 일부 경우에, 미리 결정된 표현은, 도 3a 내지 3c와 관련하여 아래에서 더 상세히 논의된 바와 같은, 분석적 표현이다. 일부 경우에, 미리 결정된 표현은 디스플레이(114)에서 정의된 경계 조건으로 맥스웰 방정식을 풀어서 결정된다. 경계 조건은 디리클레 경계 조건 또는 코오시 경계 조건을 포함할 수 있다. 그런 다음, 디스플레이 요소는 예를 들어, 디스플레이 요소의 굴절률, 진폭 지수, 복굴절 또는 지연 중 적어도 하나를 변조함으로써, EM 필드 기여도의 합에 기초하여 변조될 수 있다.

[0454] EM 필드의 값(예를 들어, 맥스웰 방정식의 해)가 필드를 경계로 하는 표면의 각 지점에서 알려진 경우, 경계면으로 경계가 지정된 체적 내부의 EM 필드의 정확하고 고유한 구성이 결정될 수 있다. 프리미티브 목록(또는 해당 홀로그램의 홀로그래픽 재구성) 및 디스플레이(114)는 3D 공간을 정의하고, 디스플레이(114)의 표면은 3D 공간의 경계 표면의 일부를 형성한다. 디스플레이(114)의 표면 상에 EM 필드 상태(예를 들어, 위상 또는 진폭 또는 위상 및 진폭 상태)를 설정함으로써, 예를 들어 디스플레이 표면 상에 광을 조명함으로써, EM 필드의 경계 조건이 결정될 수 있다. 맥스웰 방정식의 시간 대칭으로 인해, 디스플레이 요소가 홀로그램에 해당하는 프리미티브의 EM 필드 기여도에 기초하여 변조되므로, 홀로그램에 해당하는 체적 광 필드를 홀로그래픽 재구성으로 얻을 수 있다.

[0455] 예를 들어, 디스플레이(114) 앞에 특정 색상의 조명의 선 프리미티브가 설정될 수 있다. 도 3b와 관련하여 아래에 더 상세히 논의되는 바와 같이, 선형 애퍼처에 대한 분석적 표현은 공간의 함수로 작성될 수 있다. 그런 다음 디스플레이(114)를 포함하는 경계 표면 상의 선 프리미티브로부터의 EM 필드 기여도가 결정될 수 있다. 계산된 EM 필드 기여도에 해당하는 EM 필드 값이 맥스웰 방정식의 시간 대칭으로 인해 디스플레이(114)에 설정된 경우, 계산에 사용된 동일한 선형 애퍼처가 해당 위치, 예를 들어, 3D 좌표계 및 특정 색상의 선형 프리미티브의 좌표 위치에 나타날 수 있다.

[0456] 일부 예들에서, 도 3b와 관련하여 아래에 더 상세히 논의되는 바와 같이, 3D 공간에서 두 점 A와 B 사이에 광의 선이 있다고 가정한다. 광은 고르게 빛나고 라인 거리(1)당 세기(I)를 갖는다. A에서 B까지의 선을 따라 각 극소량($d1$)으로, $I \cdot d1$ 에 비례하는 광의 양이 방출된다. 극소량($d1$)은 델타(점) 소스로 작용하고, 극소량($d1$)에서 프리미티브 목록에 해당하는 장면 주변의 경계 표면에 있는 임의의 지점까지의 EM 필드 기여도가 결정될 수 있다. 따라서, 디스플레이(114)의 임의의 디스플레이 요소의 경우, 선의 극소 세그먼트로부터 디스플레이 요소의 EM 필드 기여도를 나타내는 분석 방정식이 결정될 수 있다. 선을 따라 진행하고 디스플레이의 디스플레이 요소에서 EM 필드에 대한 전체 라인의 EM 필드 기여도를 누적하는 특별한 종류의 합/적분은 표현식으로 결정될 수 있다. 표현식에 해당하는 값은 예를 들어 디스플레이 요소를 변조하고 디스플레이 요소를 조명함으로써 디스플레이 요소에서 설정될 수 있다. 그런 다음, 시간 반전과 보정 상수를 통해, 3D 공간에서 점 A와 B로 정의된 동일한 위치에 라인이 생성될 수 있다.

- [0457] 일부 구현들에서, 컨트롤러(112)는 메모리 버퍼를 통해 디스플레이(114)에 결합된다. 컨트롤러(112)는 디스플레이 요소 각각에 대한 EM 필드 기여도의 합에 기초하여 각각의 제어 신호를 생성할 수 있다. 제어 신호는 EM 필드 기여도의 합에 기초하여 디스플레이 요소를 변조하기 위한 것이다. 각각의 제어 신호는 메모리 버퍼를 통해 해당 디스플레이 요소로 전송된다.
- [0458] 일부 구현들에서, 컨트롤러(112)는 디스플레이(114)와 통합되고 디스플레이(114)에 국부적으로 결합된다. 도 1b와 관련하여 더 상세하게 논의되는 바와 같이, 컨트롤러(112)는 하나 이상의 개별 디스플레이 요소에 각각 결합되고 하나 이상의 개별 디스플레이 요소 각각에 각각의 제어 신호를 전송하도록 구성된 다수의 컴퓨팅 유닛을 포함할 수 있다. 각 컴퓨팅 유닛은 프리미티브 목록의 하나 이상의 프리미티브에 대한 계산을 수행하도록 구성될 수 있다. 컴퓨팅 유닛은 병렬로 동작될 수 있다.
- [0459] 일부 구현들에서, 조명기(116)는 컨트롤러(112)에 결합되고 컨트롤러(112)로부터의 제어 신호에 기초하여 턴 온/턴 오프되도록 구성된다. 예를 들어, 컨트롤러(112)는 컨트롤러(112)가 계산을 완료하는 것에 응답하여 조명기(116)를 턴 온하도록 활성화할 수 있는데, 예를 들어 디스플레이 요소에 대한 EM 필드 기여도의 모든 합이 획득된다. 상기에 언급된 바와 같이, 조명기(116)가 디스플레이(114)에서 광을 방출할 때, 디스플레이의 변조된 요소는 광이 다른 방향으로 전파되도록 하여 3D 객체에 해당하는 프리미티브 목록에 해당하는 체적 광 필드를 형성하도록 한다. 결과적인 체적 광 필드는 디스플레이(114)의 변조된 요소에 의해 정의된 경계 조건을 갖는 맥스웰 방정식의 해에 해당한다.
- [0460] 일부 구현들에서, 컨트롤러(112)는 메모리 버퍼를 통해 조명기(116)에 결합된다. 메모리 버퍼는 조명기에서 발광 요소의 진폭 또는 밝기를 제어하도록 구성될 수 있다. 조명기(116)용 메모리 버퍼는 디스플레이(114)용 메모리 버퍼보다 작은 크기를 가질 수 있다. 조명기(116)의 발광 요소의 수는 발광 요소로부터의 광이 디스플레이(114)의 실질적으로 전체 표면에 걸쳐 조명될 수 있는 한, 디스플레이(114)의 디스플레이 요소의 수보다 작을 수 있다. 예를 들어, 64 x 64 OLED(유기 발광 다이오드)를 갖는 조명기는 1024 x 1024 요소를 갖는 디스플레이에 사용될 수 있다. 컨트롤러(112)는 조명기(116)의 다수의 조명 요소를 동시에 활성화하도록 구성될 수 있다.
- [0461] 일부 구현들에서, 조명기(116)는 실질적으로 단색광(예를 들어, 적색광, 녹색광, 황색광 또는 청색광)을 방출하도록 구성된 단색 광원이다. 일부 구현들에서, 조명기(116)는 둘 이상의 발광 요소(예를 들어 레이저 또는 발광 다이오드(LED))를 포함하며, 각각은 상이한 색상을 갖는 광을 방출하도록 구성된다. 예를 들어, 조명기(116)는 적색, 녹색, 및 청색 조명 요소를 포함할 수 있다. 풀 컬러 3D 객체를 디스플레이하기 위해, 적어도 적색, 녹색 및 청을 포함하는 색상에 대해 세 개 이상의 개별 홀로그램이 계산될 수 있다. 즉, 디스플레이 요소에 대한 대응되는 프리미티브로부터 적어도 세 개의 EM 필드 기여도가 얻어질 수 있다. 디스플레이 요소는 적어도 세 개의 EM 필드 기여도에 기초하여 순차적으로 변조될 수 있고, 조명기(116)는 순차적으로 적어도 적색, 녹색 및 청색 조명 요소를 순차적으로 턴 온시키도록 제어될 수 있다. 예를 들어, 컨트롤러(112)는 먼저 청색 조명 요소를 턴 온시키기 위한 제1 타이밍 신호를 전송하고 청색 홀로그램에 대응하는 제1 제어 신호를 디스플레이(114)의 디스플레이 요소로 전송할 수 있다. 디스플레이(114) 상의 청색 홀로그램이 제1 시간 기간 동안 청색광으로 조명된 후, 컨트롤러(112)는 녹색 조명 요소를 턴 온시키기 위한 제2 타이밍 신호를 전송하고 녹색 홀로그램에 대응하는 제2 제어 신호를 디스플레이(114)의 디스플레이 요소로 전송할 수 있다. 디스플레이(114) 상의 녹색 홀로그램이 제2 시간 기간 동안 녹색광으로 조명된 후, 컨트롤러(112)는 적색 조명 요소를 턴 온시키기 위한 제3 타이밍 신호를 전송하고 적색 홀로그램에 대응하는 제3 제어 신호를 디스플레이(114)의 디스플레이 요소로 전송할 수 있다. 디스플레이(114) 상의 적색 홀로그램이 제3 시간 기간 동안 적색광으로 조명된 후, 컨트롤러(112)는 상기 단계를 반복할 수 있다. 뷰어의 눈에서의 시간적 간섭성 시각 효과에 따라, 세 가지 색상이 눈에서 혼합되어 풀 컬러로 보일 수 있다. 일부 경우에, 조명기(116)는 디스플레이 이미지(또는 홀로그래픽 재구성)의 상태 변경 동안 스위치 오프되고 유효 이미지(또는 홀로그래픽 재구성)가 일정 시간 기간 동안 제시될 때 스위치 온된다. 이는 또한 이미지(또는 홀로그램 재구성)가 안정적으로 나타나도록 하기 위한 시각의 시간적 간섭성에 따라 달라질 수 있다.
- [0462] 일부 구현들에서, 디스플레이(114)는 예를 들어 0.5 μ m 이하 정도의 가시광선을 회절시키기에 충분히 작은 해상도를 갖는다. 조명기(116)는 단일 백색 광원을 포함할 수 있고, 방출된 백색광은 홀로그래픽 재구성을 위해 디스플레이(114)에 의해 상이한 색상으로 회절될 수 있다.
- [0463] 도 5a 내지 5k와 관련하여 아래에 더 상세하게 논의된 바와 같이, 시스템(100)에 대한 상이한 구성이 있을 수 있다. 디스플레이(114)는 반사형 또는 투과형일 수 있다. 디스플레이(114)는 작은 크기(예를 들어, 한 변이 1-10cm)에서 큰 크기(예를 들어, 한 변이 100-1000cm)까지 다양한 크기를 가질 수 있다. 조명기(116)로부터의 조

명은 디스플레이(114)의 전면(예를 들어, 반사형 또는 투과형 디스플레이용)으로부터 또는 디스플레이(114)의 후면(예를 들어, 투과형 디스플레이용)으로부터 나올 수 있다. 홀로그래픽 디스플레이 장치(110)는 디스플레이(114)에 걸쳐 균일한 조명을 제공할 수 있다. 일부 구현들에서, 도 5d 내지 5g에 예시된 바와 같은 광 도파관은 디스플레이(114)의 표면을 고르게 조명하는 데 사용될 수 있다. 일부 예들에서, 컨트롤러(112), 조명기(116) 및 디스플레이(114)는 단일 유닛으로서 함께 통합될 수 있다. 통합된 단일 유닛은 예를 들어 컨트롤러(112)에 홀로그래픽 렌더러(130)를 포함할 수 있다.

[0464] 일부 구현들에서, 광 회절 장치(예를 들어, 도 5h 내지 5k에 예시된 바와 같은 필드 격자 장치 또는 도광 장치는 조명기(116)로부터 디스플레이(114)로 광을 회절시키도록 구성될 수 있고, 그런 다음 디스플레이(114)는 광을 뷰어의 눈으로 회절시킬 수 있다. 일부 예들에서, 조명기(116)로부터의 광은 조명기(116)가 디스플레이(114)의 뷰어의 시야를 가리지 않도록 일 면으로부터 큰 입사각으로 광 회절 장치에 입사될 수 있다. 일부 예들에서, 광 회절 장치로부터의 회절된 광은 거의 수직인 입사각으로 디스플레이로 회절될 수 있어서, 광은 상대적으로 균일하게 디스플레이를 조명하고 감소된(예를 들어, 최소화된) 손실로 뷰어의 눈으로 회절될 수 있다.

[0465] 도 1b는 예시적인 홀로그래픽 디스플레이 장치(150)의 개략도를 예시한다. 홀로그래픽 디스플레이 장치(150)는 도 1a의 홀로그래픽 디스플레이 장치(110)와 유사할 수 있다. 홀로그래픽 디스플레이 장치(150)는 컴퓨팅 아키텍처(152) 및 디스플레이(156)를 포함한다. 컴퓨팅 아키텍처(152)는 도 1a의 컨트롤러(112)와 유사할 수 있다. 컴퓨팅 아키텍처(152)는 병렬 컴퓨팅 코어(154)의 어레이를 포함할 수 있다. 컴퓨팅 코어는 통신 연결(159), 예를 들어 USB-C 연결 또는 임의의 다른 고속 직렬(또는 병렬) 연결을 통해 인접한 컴퓨팅 코어에 연결될 수 있다. 연결(159)은 장면 데이터(151)(예를 들어, 장면 프리미티브)가 컴퓨팅 코어(154) 사이에 분배될 수 있는 데이터 분배 네트워크에 포함될 수 있다.

[0466] 디스플레이(156)는 도 1a의 디스플레이(114)와 유사할 수 있고, 백플레인(158) 상에 배치된 디스플레이 요소(160)의 어레이를 포함할 수 있다. 디스플레이 요소(160)는 백플레인(158)의 전면에 배열될 수 있고 컴퓨팅 코어(154)는 백플레인(158)의 후면에 배열될 수 있다. 백플레인(158)은 기관(예를 들어, 웨이퍼)일 수 있다. 컴퓨팅 코어(154)는 디스플레이(156)와 동일한 기관 상에 있거나 디스플레이(156)의 후면에 접합될 수 있다.

[0467] 각 컴퓨팅 코어(154)는 디스플레이 요소(160)의 각각의 타일(tile)(또는 어레이)에 연결될 수 있다. 각 컴퓨팅 코어(154)는 하나 이상의 다른 컴퓨팅 코어와 병렬로 장면 데이터(151)의 다수의 프리미티브의 각각의 프리미티브에 대한 계산을 수행하도록 구성될 수 있다. 일부 예들에서, 컴퓨팅 코어(154)는 디스플레이 요소(160)의 어레이 각각에 대한 프리미티브 각각으로부터의 EM 필드 기여도를 계산하고 디스플레이 요소(160)의 개별 타일 각각에 대한 프리미티브의 수로부터 EM 필드 기여도의 합을 생성하도록 구성된다. . 컴퓨팅 코어(154)는 컴퓨팅 코어(154)의 어레이의 다른 컴퓨팅 코어로부터, 디스플레이 요소(160)의 개별 타일 각각에 대한 프리미티브의 수의 다른 프리미티브로부터 계산된 EM 필드 기여도를 수신하고, 수신된 계산된 EM 필드 기여도에 기초하여 EM 필드 기여도의 합을 생성할 수 있다. 컴퓨팅 코어(154)는 디스플레이 요소에 대한 EM 필드 기여도의 합에 기초하여 디스플레이 요소(160)의 개별 타일 각각의 적어도 하나의 속성을 변조하기 위해 디스플레이 요소의 개별 타일 각각에 대한 제어 신호를 생성할 수 있다.

[0468] 상기에 언급된 바와 같이, 컴퓨팅 아키텍처(152)는 또한 예를 들어 디스플레이 요소 각각에 대한 프리미티브의 수로부터의 EM 필드 기여도의 합의 계산이 완료되었다는 결정에 응답하여 조명기(162)에 대한 제어 신호를 생성할 수 있다. 조명기(162)는 입력 광(153)을 방출하여 변조된 디스플레이 요소(160)를 조명하고 입력 광(153)은 변조된 디스플레이 요소(160)에 의해 회절되어 체적 광 필드, 예를 들어 장면 데이터(151)에 대응하는 홀로그래픽 광 필드(155)를 형성한다.

[0469] 도 1b에 예시된 바와 같이, 디스플레이 요소(160)의 타일은 더 큰 디스플레이로 상호연결될 수 있다. 상응하게, 컴퓨팅 코어(154)는 데이터 통신 및 분배를 위해 상호연결될 수 있다. 임의의 주어진 두 디스플레이 요소 사이의 홀로그래픽 계산에서 변경되는 파라미터는 그 물리적 위치임에 유의한다. 따라서, 홀로그램을 계산하는 작업은 해당 컴퓨팅 코어(154) 간에 동등하게 공유될 수 있으며, 전체 디스플레이(150)는 타일 수에 관계없이 단일 타일과 동일한 속도로 동작할 수 있다.

[0470] 도 1c는 3D 공간에 객체를 디스플레이하기 위한 예시적인 시스템(170)을 예시한다. 시스템(170)은 컴퓨팅 장치(예를 들어 도 1a의 컴퓨팅 장치(102)) 및 홀로그래픽 디스플레이 장치(172)(예를 들어, 도 1a의 홀로그래픽 디스플레이(110) 또는 도 1b의 홀로그래픽 디스플레이(150))를 포함할 수 있다. 사용자는 입력 장치, 예를 들어 키보드(174) 및/또는 마우스(176)를 사용하여 시스템(170)을 동작시킬 수 있다. 예를 들어, 사용자는 컴퓨팅 장치를 통해 2D 객체(178) 및 3D 객체(180)에 대한 CG 모델을 생성할 수 있다. 컴퓨팅 장치 또는 홀로그래픽 디스

플레이 장치(172)는 CG 모델을 렌더링하여 2D 객체(178) 및 3D 객체(180)에 대한 대응하는 그래픽 데이터를 생성하는 홀로그래픽 렌더러(예를 들어, 도 1a의 홀로그래픽 렌더러(130))를 포함할 수 있다. 그래픽 데이터는 객체(178 및 180)에 대응하는 프리미티브 목록에 대한 각각의 프리미티브 데이터를 포함할 수 있다.

[0471] 홀로그래픽 디스플레이 장치(172)는 컨트롤러(예를 들어, 도 1a의 컨트롤러(112) 또는 도 1b의 152), 및 디스플레이(173)(예를 들어, 도 1a의 디스플레이(114) 또는 도 1b의 디스플레이(156))를 포함할 수 있다. 컨트롤러는 프리미티브로부터 디스플레이(173)의 각 디스플레이 요소까지의 각각의 EM 필드 기여도의 합을 계산할 수 있고 각각의 EM 필드 기여도의 합에 기초하여 각 디스플레이 요소를 변조하기 위한 제어 신호를 생성할 수 있다. 홀로그래픽 디스플레이 장치(172)는 조명기(예를 들어, 도 1a의 조명기(116) 또는 도 1b의 조명기(162))를 더 포함할 수 있다. 컨트롤러는 타이밍 제어 신호를 생성하여 조명기를 활성화시킬 수 있다. 조명기로부터의 광이 디스플레이(173)의 표면을 조명할 때, 변조된 디스플레이 요소는 광이 3D 공간에서 전파되도록 하여 객체(178)의 2D 뷰에 대한 홀로그래픽 재구성 및 3D 객체(180)에 대한 홀로그래픽 재구성에 대응되는 체적 광 필드를 형성할 수 있다. 따라서, 객체(178)의 2D 뷰 및 객체(180)의 3D 홀로그래픽 재구성은 디스플레이(173) 전방, 후방 또는 가로 놓인 3D 공간에 떠 있는 각각의 홀로그래픽 재구성으로서 디스플레이된다.

[0472] 일부 구현들에서, 컴퓨팅 장치는 프리미티브 기반이 아닌 데이터, 예를 들어 기록된 광 필드 비디오를 홀로그래픽 디스플레이 장치(172)에 전송한다. 홀로그래픽 디스플레이 장치(172)는 3D 공간에서 대응되는 홀로그래픽 재구성으로서 디스플레이하기 위해, 대응되는 홀로그램(예를 들어, 일련의 순차적 홀로그램)을 계산 및 생성할 수 있다. 일부 구현들에서, 컴퓨팅 장치는 라이브 홀로그래픽 콘텐츠와 동시에 CG 홀로그래픽 콘텐츠를 홀로그래픽 디스플레이 장치(172)로 전송한다. 홀로그래픽 디스플레이 장치(172)는 또한 콘텐츠를 3D 공간에서 대응되는 홀로그래픽 재구성으로서 디스플레이하기 위해 대응되는 홀로그램을 계산 및 생성할 수 있다.

[0473] 도 2는 전자기(EM) 필드 계산을 위한 예시적인 구성(200)을 예시한다. 점 프리미티브(206)를 포함하는 프리미티브 목록 및 요소들(204)의 어레이를 포함하는 디스플레이(202)(예를 들어, LCOS 장치)는 3D 공간(208)에 있다. 3D 공간(208)은 경계 표면(210)을 포함한다. 3D 좌표계 XYZ에서, 점 프리미티브(206)는 좌표 정보(x, y, z)를 갖는다. 각 디스플레이 요소(204)는 다른 디스플레이 요소(204)에 대해 평평한 평면에 놓이고 2D 위치(u, v)를 갖는다. 디스플레이 요소(204)는 또한 3D 공간에 위치를 갖는다. 수학적 점 변환에 의해, 2D 위치(u, v)는 3D 좌표계에서 6개의 좌표(250)로 옮겨질 수 있다. 즉, 디스플레이(202)의 표면은 경계 표면(210)의 일부를 형성한다. 따라서, 디스플레이(202)의 표면에서 경계 조건을 정의함으로써 계산된 프리미티브 목록으로부터 디스플레이 요소까지의 EM 필드 기여도는 프리미티브로부터 디스플레이 요소까지의 총 EM 필드 기여도의 일부를 나타낸다. 필드 기여도의 스케일링된 합을 얻기 위해 디스플레이 요소 각각에 대한 EM 필드 기여도의 합에 스케일 팩터(예를 들어, 6)가 곱해질 수 있으며, 디스플레이 요소는 필드 기여도의 스케일링된 합에 기초하여 변조될 수 있다.

[0474] 프리미티브에 대한 예시적인 EM 필드 기여도

[0475] 프리미티브는 컴퓨터 그래픽 렌더링에 사용될 수 있다. 컴퓨터 그래픽의 각 유형의 프리미티브는 홀로그램에 추가된 그래픽 요소에 대한 단일 홀로그래픽 프리미티브를 정의하는 이산 수학 함수에 본원에 개시된 기술의 공식에 대응한다. 각 유형의 프리미티브는 디스플레이 요소에 대한 EM 필드 기여도를 계산하기 위한 표현식에 해당할 수 있다. 프리미티브는 점 프리미티브, 선 프리미티브 또는 다각형(예를 들어, 삼각형) 프리미티브일 수 있다. 아래에 예시되는 바와 같이, 해당 프리미티브로부터 디스플레이의 디스플레이 요소까지의 EM 필드 전파를 계산하여 분석적 표현식이 도출될 수 있다.

[0476] 도 3a는 점 프리미티브(304)로부터 디스플레이(300)의 소자(302)까지의 예시적인 EM 전파를 예시한다. 3D 좌표계 XYZ에서, 디스플레이(300)에 걸쳐 z 좌표가 0이라고 가정하며, 이는 음수 z 값이 디스플레이(300) 뒤에 있고 양수 z 값이 디스플레이(300) 앞에 있음을 의미한다. 점 프리미티브(304)는 좌표(x, y, z)를 가지며, 디스플레이 요소(302)는 좌표(u, v, 0)를 갖는다. 점 프리미티브(304)와 디스플레이 요소(302) 사이의 거리(d_{uv})는 그들의 좌표에 기초하여 결정될 수 있다.

[0477] 점 프리미티브(304)는 진폭이 시변하는 점전하(point charge)로 간주될 수 있다. 전자기 이론에 따르면, 이러한 점전하에 의해 생성된 전기장 E는 다음과 같이 표현될 수 있다:

[0478]
$$|E| \propto \frac{\exp(i2\pi d/\lambda)}{d^2} \quad (1).$$

[0479] 여기서 λ 는 EM파의 파장을 나타내고, d 는 점전하로부터의 거리를 나타낸다.

[0480] 따라서, 디스플레이 요소(u, v)에서 전기장($E_{u,v}$)은 다음과 같이 표현될 수 있다:

$$|E_{u,v}| \propto \frac{I}{d_{in}^2} \exp(j2\pi d_{in} / \lambda) \quad (2),$$

[0482] 여기서 I 는 점 프리미티브(304)로부터 제공되는 디스플레이 요소에서 홀로그래픽 프리미티브 전기장의 상대적 강도를 나타낸다.

[0483] 도 2와 관련하여 상기에 논의된 바와 같이, 디스플레이(300)의 표면은 EM 필드에 대한 경계 표면의 일부만을 형성한다. 다음과 같이 부분 경계에 대해 조정되는 디스플레이 요소에서 스케일링된 전기장 $E_{\varphi}(u, v)$ 을 얻기 위해 스케일 팩터가 전기장($E_{u,v}$)에 적용될 수 있다:

$$E_{\varphi}(u, v) \propto \frac{\delta I}{d_{in}^2} \exp(j2\pi d_{in} / \lambda) \quad (3),$$

[0484]

[0485] 여기서 $\delta \equiv [6 + \varepsilon], 0 < \varepsilon \leq 1$ 이다.

[0486] 도 3b는 3D 좌표계 XYZ에서 선 프리미티브(306)로부터 디스플레이(300)의 디스플레이 요소(302)까지의 EM 전파의 일 예를 예시한다. 상기에 언급된 바와 같이, 디스플레이 요소(302)는 좌표($u, v, 0$)를 가질 수 있으며, 여기서 $z = 0$ 이다. 선 프리미티브(306)는 좌표(x_0, y_0, z_0)의 P_0 및 좌표(x_1, y_1, z_1)의 P_1 인 두 개의 엔드포인트를 갖는다. 엔드포인트 P_0 와 디스플레이 요소 사이의 거리 d_0 는 그들의 좌표에 기초하여 결정될 수 있다. 마찬가지로, 엔드포인트 P_1 와 디스플레이 요소 사이의 거리 d_1 은 그들의 좌표에 기초하여 결정될 수 있다. 두 엔드포인트 P_0 와 P_1 사이의 거리 d_{01} 도 결정될 수 있다(예를 들어, $d_{01} = d_1 - d_0$).

[0487] 상기에 논의된 바와 같이, 선 프리미티브는 중첩 또는 선형 변형으로 취급될 수 있으며, 선형 애퍼처로서 선 프리미티브에 대한 해당 분석적 표현식은 공간에서의 분포 델타 함수로 얻을 수 있다. 이 분석적 표현식은 홀로그램으로서 연속 3D 선 세그먼트에 대한 폐쇄된 표현식일 수 있다.

[0488] 도 3c는 3D 좌표계 XYZ에서 삼각형 프리미티브(308)로부터 디스플레이(300)의 디스플레이 요소(302)까지의 예시적인 EM 전파를 예시한다. 상기에 언급된 바와 같이, 디스플레이 요소(302)는 좌표($u, v, 0$)를 가질 수 있으며, 여기서 $z = 0$ 이다. 삼각형 프리미티브(308)는 세 개의 엔드포인트, 즉 $P_0(x_0, y_0, z_0)$, $P_1(x_1, y_1, z_1)$, 및 $P_2(x_2, y_2, z_2)$ 를 갖는다. 디스플레이 요소와 엔드포인트 P_0 , P_1 및 P_2 사이의 거리 d_0 , d_1 및 d_2 는 이들의 좌표에 기초하여 각각 결정될 수 있다.

[0489] 도 3b의 라인 프리미티브와 마찬가지로, 삼각형 프리미티브는 공간에서 연속 애퍼처로 취급될 수 있으며, 삼각형 프리미티브로부터 디스플레이 요소까지의 EM 필드 기여도에 대한 분석적 표현식은 적분에 의해 얻어질 수 있다. 이는 효율적인 계산을 위한 표현식을 얻기 위해 단순화될 수 있다.

[0490] 프리미티브에 대한 예시적인 계산

[0491] 상기에 논의된 바와 같이, 컨트롤러(예를 들어, 도 1a의 컨트롤러(112))는 상기에 나타난 바와 같이 결정될 수 있는 분석적 표현식에 기초하여 프리미티브로부터 디스플레이 요소까지의 EM 필드 기여도를 계산할 수 있다. 일 예로서, 선 프리미티브에 대한 EM 필드 기여도는 하기와 같이 계산된다.

[0492] 디스플레이의 각 디스플레이 요소는 공간에서 물리적 위치를 가지며, 각 디스플레이 요소는 다른 디스플레이 요소에 대해 평평한 평면에 놓여 있다. 디스플레이 요소와 해당 컨트롤러가 디스플레이 및 메모리 장치에서 관습적으로 배치된다고 가정하면, 간단한 수학적 점 변환은 프로세서의 디스플레이 요소의 논리적 메모리 주소에 기초하여 주어진 디스플레이 요소의 논리적 위치를 공간에서의 디스플레이 요소의 실제 물리적 위치로 변환시키는데 사용될 수 있다. 따라서, 디스플레이 요소의 논리적 메모리 주소가 프로세서의 논리적 메모리 공간에서 루프 오버(looped over)되므로, 디스플레이 표면 전반에 걸쳐 공간에서 해당 실제 물리적 위치가 식별될 수 있다.

[0493] 일 예로서, 디스플레이가 x 와 y 모두에서 $5\mu\text{m}$ 피치(pitch)를 갖는 경우, 각 논리적 주소 증분은 x 방향으로 5

μm 이동할 수 있으며, 디스플레이의 x 해상도 제한에 도달하면, 다음 증분은 초기 x 물리적 위치로 다시 이동하고 y 물리적 위치를 $5\ \mu\text{m}$ 씩 증가시킬 것이다. 제3 공간 좌표 z 는 디스플레이 표면 전반에 걸쳐 0이라고 가정할 수 있으며, 이는 음수 z 값은 디스플레이 뒤에 있고, 양수 z 값은 디스플레이 앞에 있음을 의미한다.

[0494] 선 계산을 시작하기 위해, 현재 디스플레이 요소와 선 프리미티브의 두 지점 각각 사이의 일종의 스케일링된 물리적 거리는 d_0 및 d_1 로 결정될 수 있다. 실제로, d_0 및 d_1 은 프리미티브당 한 번만 계산될 수 있는데, 디스플레이 요소 전반에 걸친 거리의 모든 후속 계산은 초기 값의 작은 섭동이기 때문이다. 이러한 방식으로, 이 계산은 1차원에서 수행된다.

[0495] 각 프리미티브에 대한 예시적인 계산 프로세스는 다음의 계산 코드를 포함할 수 있다:

[0496] $DD = f(d_1, d_0),$

[0497] $iscale = SS*COLOR*Alpha_1,$

[0498] $C1 = -2*iscale*\sin(DD/2)*\sin(Alpha_2)*\cos(Alpha_3),$

[0499] $C2 = -2*iscale*\sin(DD/2)*\sin(Alpha_2)*\sin(Alpha_4),$

[0500] 여기서 SS , $Alpha_1$, $Alpha_2$, $Alpha_3$ 및 $Alpha_4$ 는 미리 계산된 상수이고, $COLOR$ 는 프리미티브와 함께 전달된 RGB 색상 값이며, 모든 값은 스칼라, 단일 정밀도 부동 소수이다. 사인 및 코사인 함수는 계산 효율성을 향상시키기 위해 컨트롤러에 저장된 표에서 조회될 수 있다.

[0501] $C1$ 및 $C2$ 의 결과는 예를 들어 디스플레이 요소에 대한 누산기에서 각 디스플레이 요소에서 각 프리미티브에 대해 누적되고, 디스플레이 요소에 대한 계산의 끝에서 한 번 정규화될 수 있다. 이 시점에서, 위에서 언급된 바와 같이, 컨트롤러는 제1 제어 신호를 디스플레이 요소에 전송하여 계산된 결과에 기초하여 디스플레이 요소를 변조하고, 제2 제어 신호를 조명기에 전송하여 턴 온하도록 하여 광을 방출할 수 있다. 따라서, 홀로그래픽 재구성(또는 홀로그래픽 광 필드)을 뷰어가 볼 수 있다. 조명을 받으면, 변조된 디스플레이 요소로 인해 광이 3차원 공간에서 선명하고 연속적인 색상 라인을 생성할 수 있다.

[0502] 일부 구현들에서, 계산 코드는 예를 들어 코드의 시작 부분에 누산기의 이전 누적을 지우기 위한 16진수 코드를 포함한다. 계산 코드는 또한 예를 들어 코드의 끝에 각 디스플레이 요소에 대한 각각의 메모리 버퍼에 누산기 결과를 저장하기 위한 16진수 코드를 포함할 수 있다. 일부 구현들에서, 컴퓨팅 장치(예를 들어, 도 1a의 컴퓨팅 장치(102))는 애플리케이션 시작 시 또는 일차 디스플레이 프레임 속도에 영향을 미치지 않는 디스플레이 프레임 사이의 간격으로 다수의 배경 또는 정적 프리미티브 16진수 코드를 컨트롤러로 전송한다. 그런 다음 컴퓨팅 장치는 디스플레이의 디스플레이 요소를 변조하기 위해 대응되는 제어 신호를 형성할 수 있는 컨트롤러에 훨씬 더 높은 속도로 다른 전경 또는 동적 프리미티브와 함께 잠재적으로 16진수 코드의 하나 이상의 조합을 전송할 수 있다.

[0503] 계산 프로세스는 기존의 2D 디스플레이 기술에서 가장 효율적인 선 그리기 루틴보다 훨씬 간단하고 빠를 수 있다. 더욱이, 이 계산 알고리즘은 디스플레이 요소의 수에 따라 선형적으로 확장된다. 따라서, 컨트롤러의 컴퓨팅 유닛을 2D 네트워크 처리 시스템으로 확장하면 디스플레이의 증가하는 표면적에 대한 계산 요구를 따라잡을 수 있다.

[0504] 예시적인 계산 구현

[0505] 맥스웰 홀로그래픽 컨트롤러(예를 들어, 도 1a의 컨트롤러(112))는 상기에 나타낸 바와 같이 결정될 수 있는 분석적 표현식에 기초하여 프리미티브로부터 디스플레이 요소까지의 EM 필드 기여도를 계산할 수 있다. 컨트롤러는 예를 들어 ASIC, FPGA 또는 GPU 또는 이들의 임의의 조합으로 구현될 수 있다.

[0506] 최신 GPU 파이프라인에서, GPU는 하나 이상의 출력 이미지 표면(렌더링 대상이라고 함)에 대한 색상 및 깊이 픽셀 출력을 생성하기 위해 기하학적 형상뿐만 아니라 버텍스 및 프래그먼트 셰이더 프로그램(vertex and fragment shader program)에 대한 설명을 취한다. 이 프로세스에는 기하학적 형상이 셰이딩 프래그먼트로 확장되는 정보의 폭발적인 팬아웃(fan-out)이 수반되며, 이러한 프래그먼트 각각에서 작업이 수행되어야 하는지 여부를 선택하기 위한 가시성 테스트가 뒤따른다. 프래그먼트는 해당 샘플 포인트를 셰이딩하는 데 관련된 모든 정보(예를 들어, 삼각형의 무게중심좌표(barycentric coordinate), 색상 또는 텍스처 좌표와 같은 보간된 값, 표면 도함수(surface derivative) 등))가 포함된 레코드이다. 이러한 레코드를 만든 다음 최종 이미지에 기여하지 않는 레코드를 거부하는 프로세스가 가시성 테스트이다. 가시성 테스트를 통과한 프래그먼트는 셰이더 엔진

에 의해 병렬로 실행되는 파면(wavefront) 또는 워프(warp)라는 작업 그룹으로 패킹(packed)될 수 있다. 이들은 메모리에 픽셀 값으로 다시 기록되거나, 디스플레이할 준비가 되거나, 추후 렌더링 패스를 위한 입력 텍스처로 사용되는 출력 값을 생성한다.

[0507] 맥스웰 홀로그래피에서는, 렌더링 프로세스가 크게 단순화될 수 있다. 맥스웰 홀로그래픽 계산에서, 모든 프리미티브는 모든 디스플레이 요소에 기여할 수 있다. 기하학적 형상을 픽셀로 확장할 필요가 없으며, 파면을 패킹하기 전에 가시성 테스트를 적용할 필요가 없다. 이는 또한 맥스웰 홀로그래픽 파이프라인 간의 의사 결정 또는 통신의 필요성을 제거하고, 계산이 각각 속도, 비용, 크기 또는 에너지 최적화에 맞게 조정된 여러 가능한 솔루션과 병렬 문제가 되도록 할 수 있다. 그래픽 파이프라인은 상당히 중간 단계가 적고, 데이터 복사 또는 이동이 없으며, 더 적은 결정으로 인해 그리기 시작과 결과를 디스플레이할 준비 사이의 레이턴시가 줄어든다. 이를 통해 맥스웰 홀로그래픽 렌더링에서 레이턴시가 매우 짧은 디스플레이를 생성할 수 있다. 아래에 논의되는 바와 같이, 이를 통해 맥스웰 홀로그래픽 계산은 예를 들어 맥스웰 홀로그래픽 파이프라인에서 고정 소수점 수를 사용하여 정확도를 높이고, 예를 들어 수학 함수를 최적화하여 계산 속도를 최적화할 수 있다.

[0508] 고정 소수점 수 사용

[0509] 각 디스플레이 요소(또는 "위상")에서 각 프리미티브의 EM 기여도를 계산할 때, 중간 계산에는 매우 큰 수를 생성하는 것이 수반된다. 이러한 큰 수는 계산 중에 소수 부분(fractional parts)도 유지해야 하므로 특수 처리가 수반된다.

[0510] 부동 소수점 값은 원점(수직선 상의 0)에 가까운 곳에서 가장 정확하고, 원점에서 멀어지면 2의 거듭제곱마다 1비트의 정확도가 떨어진다는 단점이 있다. $[-1, 1]$ 범위에 가까운 숫자의 경우, 부동 소수점 값의 정확도가 정교할 수 있지만, 일단 수천만의 수에 도달(예를 들어 단일 정밀도 32비트 IEEE-754 부동 소수점 값이 남아 있는 소수 자릿수가 없는 지점에 도달)하면, 전체 유효 숫자(일명 가수(mantissa))가 값의 정수 부분을 나타내는 데 사용된다. 그러나, 맥스웰 홀로그래피가 특히 유지하는 데 관심이 있는 것은 큰 수의 소수 부분이다.

[0511] 일부 경우에, 고정 소수점 수는 맥스웰 홀로그래픽 계산에 사용된다. 고정 소수점 수 표현식은 사례별로 경우에 따라 소수점(decimal point)이 변경되지 않는 수이다. 숫자의 정수 부분과 소수 부분에 대해 올바른 비트 수를 선택함으로써, 숫자의 크기에 관계없이 동일한 수의 소수 비트가 얻어질 수 있다. 고정 소수점 수는 암시적 스케일 팩터가 있는 정수로 표현되며, 예를 들어, 14.375는 8개의 소수 비트가 있는 16-비트 고정 소수점 값에서 숫자 3680(0000111001100000 base-2)으로 표현될 수 있다. 이는 또한 "부호 없는 16.8" 고정 소수점 수 또는 줄여서 u16.8로 표현될 수 있다. 음수는 하나의 추가 부호 비트를 가질 수 있으며 "2의 보수(two's complement)" 형식으로 저장된다. 이러한 방식으로, 계산의 정확도를 크게 높일 수 있다.

[0512] 수학 함수에 대한 최적화

[0513] 상기에 도시된 바와 같이, 맥스웰 홀로그래픽 계산에는 예를 들어 사인, 코사인, 아크 탄젠트 등과 같은 초월 수학 함수의 사용이 수반된다. CPU에서, 이러한 함수는 특수 CPU 명령어들을 사용할 수 있는 부동 소수점 라이브러리 함수로 구현되거나, GPU의 부동 소수점 단위로 GPU에서 구현된다. 이러한 함수는 인수를 부동 소수점 수로 사용하도록 작성되며 결과는 동일한 부동 소수점 표현으로 반환된다. 이러한 함수는 일반적인 경우, 부동 소수점이 정확한 경우 정확하도록 하고, 정확하게 반올림되도록 하며, 부동 소수점 수 표현(+/-무한대, NaN, 부호 있는 0 및 비정규 부동 소수점)의 모든 예외 케이스에 대처하도록 구축된다.

[0514] 고정 소수점 표현을 사용하는 맥스웰 홀로그래픽 계산에서는, 점진적 언더플로우를 위해 비정규 부동 소수점을 사용할 필요가 없고, 0으로 나누기와 같은 연산의 NaN 결과를 처리할 필요가 없으며, 부동 소수점 반올림 모드를 변경할 필요가 없고, 운영 체제에 부동 소수점 예외를 제기할 필요가 없다. 이들 모두는 예를 들어 아래에서 논의되는 바와 같이 초월 수학 함수를 단순화(및/또는 최적화)할 수 있다.

[0515] 일부 경우에, 하나의 고정 소수점 형식으로 인수를 취하고 값을 다른 수준의 정확도(예를 들어, 입력 s28.12 및 출력 s15.14)로 반환하도록 최적화할 수 있다. 이는 수천만 단위의 큰 값의 사인을 계산할 때 특히 바람직할 수 있으며, 입력 인수는 클 수 있지만 출력은 값 범위 $[-1, 1]$ 또는 모든 값을 취하지만 범위 $[-\delta/2, \delta/2]$ 의 값을 반환하는 아크탄젠트만 나타내면 된다.

[0516] 일부 경우에, 관련된 입력 범위에 따라, 완전히 열거된 룩업 테이블, 보간된 테이블, 세미-테이블(semi-table) 기반 다항식 함수 또는 세미-테이블 기반 전체 미니맥스 다항식으로 초월 함수를 자유롭게 구현하도록 최적화가 이루어질 수 있다. 또한 범용 GPU 파이프라인 계산이 속도를 위해 스킵될 수 있는 큰 입력에 대처하는 특수한

범위 축소 방법을 적용할 수 있다.

- [0517] 일부 경우에, 또 다른 최적화는 범위 $[-\delta, \delta]$ 의 삼각법 계산을 범위 $[-1, 1]$ 의 부호 있는 2의 보수 표현으로 변환시키는 것일 수 있는데, 이는 값비싼 모듈로 2π 나누기 연산을 필요로 하지 않는다는 장점이 있다.
- [0518] 폐색에 대한 예시적인 구현
- [0519] 폐색(occlusion)은 종종 컴퓨터 그래픽에서 어렵고 중요한 주제로 간주되며, 계산 홀로그래피에서는 더욱 그렇다. 이는 적어도 일부 경우에, 투영 CGI의 폐색 문제가 정적이지만, 홀로그래픽 시스템에서 무엇이 숨겨져 있고 무엇이 보이는지는 뷰어의 위치, 방향 및 방향에 따라 달라지기 때문이다. G-S 홀로그래피 또는 그 파생물의 파동 접근 방식은 홀로그래픽 폐색기를 해결하기 위해 개발되었다. 그러나, 장면의 다른 부분 뒤에 있는 장면 부분의 기여도를 마스킹하거나 차단하는 것은 G-S 방법론에서 매우 복잡하고 계산 비용이 많이 들 수 있다.
- [0520] 맥스웰 홀로그래피에서, 폐색 문제는 비교적 쉽게 해결될 수 있는데, 왜냐하면 어떤 디스플레이 요소(예를 들어, s)가 어떤 프리미티브에 해당하는지가 완전히 결정론적이고 사소하기 때문이다. 예를 들어, 주어진 디스플레이 요소가 주어진 프리미티브의 재구성에 기여하는지 여부는 주어진 프리미티브에 대한 계산이 수행됨에 따라 결정될 수 있다. 다수의 디스플레이 요소가 폐색으로 인해 주어진 프리미티브에 기여하지 않는다고 판단한 후, 다수의 디스플레이 요소 중 하나에 대한 EM 기여도의 합을 계산할 때, 주어진 프리미티브로부터의 EM 기여도는 다수의 디스플레이 요소 중 하나에 대한 EM 기여도의 합계 계산에서 생략된다.
- [0521] 단지 설명을 위해, 도 3d-3f는 선 프리미티브를 폐색기로 하여 주어진 프리미티브(도 3d의 점, 도 3e의 선, 및 도 3f의 삼각형)에 기여하지 않는 디스플레이 요소의 결정을 도시한다. 선 프리미티브는 시작 지점(O1) 및 종료 지점(O2)을 갖는다.
- [0522] 도 3d에 예시된 바와 같이, 점 프리미티브(P0)는 폐색기 뒤에 있고 디스플레이에 더 가깝다. O1-P0 및 O2-P0을 연결하는 선을 연장함으로써, 디스플레이의 D1에서 D2까지의 디스플레이 요소 범위가 결정되며, 이는 점 프리미티브(P0)의 재구성에 기여하지 않는다.
- [0523] 일부 예들에서, O1, O2 및 P0의 좌표 정보는 알려져 있으며, 예를 들어 장면이 맥스웰 홀로그래픽 컨트롤러(예를 들어, 도 1a의 컨트롤러(112))에 전달되기 전에 GPU(예를 들어, 도 1a의 GPU(108))에 의해 계산된 "Z" 버퍼에 저장된다. 예를 들어, $y=0$ 인 XZ 평면에서, 좌표 정보는 O1($Ox1, Oz1$), O2($Ox2, Oz2$) 및 P0(Px, Pz)일 수 있으며, $Oz1=Oz2=Oz$ 이다. 좌표 정보에 기초하여, D1과 D2의 좌표 정보는 다음과 같이 결정될 수 있다.
- [0524]
$$Dx1 = Px + \rho (Px - Ox2), Dx2 = Dx1 + \rho (Ox2 - Ox1) \quad (4),$$
- [0525] 여기서 $\rho = Pz/(Oz-Pz)$ 이고, $Dz1=Dz2=Oz$ 이다.
- [0526] D1과 D2의 정보는 점 프리미티브(P0)에 대한 Z 버퍼의 정보 외에, 맥스웰 홀로그래픽 컨트롤러의 "S" 버퍼에 추가 정보로 저장될 수 있다. 이러한 방식으로, 추가 정보는 인덱싱된 프리미티브 목록의 특정 프리미티브(P0)에 대한 특정 디스플레이 요소(D1에서 D2 범위 내)의 기여도를 사소하게 마스킹하는 데 사용될 수 있다.
- [0527] 도 3e는 특정 디스플레이 요소가 선 프리미티브 이전(또는 앞)의 폐색기를 갖는 선 프리미티브에 어떻게 기여하는지의 결정을 예시한다. 특정 디스플레이 요소(D0)를 폐색기의 시작점(O1)과 엔트 포인트(O2)에 연결함으로써, 선 프리미티브 상의 두 점 프리미티브(P1과 P2)가 교차점으로서 결정된다. 따라서, 특정 디스플레이 요소(D0)는 선 프리미티브에서 P1에서 P2로 선 프리미티브 부분의 재구성에 기여하지 않는다. 따라서, 특정 디스플레이 요소(D0)에 대한 EM 기여도의 합을 계산할 때, 선 프리미티브의 부분(P1-P2)으로부터의 EM 기여도는 계산되지 않는다.
- [0528] 이는 두 가지 방법으로 구현될 수 있다. 제1 방법으로, 특정 디스플레이 요소(D0)에 대한 부분(P0-P1) 및 부분(P2-Pn)으로부터의 EM 기여도는 폐색기로부터의 폐색을 고려함으로써 특정 디스플레이 요소(D0)에 대한 선 프리미티브의 EM 기여도로서 합산된다. 제2 방법으로, 부분(P1-P2)의 EM 기여도와 함께 전체 선 프리미티브(P0-Pn)의 EM 기여도가 계산되고, 계산된 두 EM 기여도 간의 차이는 폐색기로부터의 폐색을 고려하여 특정 디스플레이 요소(D0)에 대한 선 프리미티브의 EM 기여도로 간주될 수 있다. P1과 P2 또는 부분(P1-P2)의 좌표 정보는 폐색기의 정보와 GPU의 "Z" 버퍼에 있는 기타 정보와 함께, 특정 디스플레이 요소(D0)에 기여하지 않는 선 프리미티브의 부분으로서 맥스웰 홀로그래픽 컨트롤러의 "S" 버퍼에 저장될 수 있다.
- [0529] 도 3f는 특정 디스플레이 요소가 삼각형 프리미티브 이전에 폐색기를 갖는 삼각형 프리미티브에 어떻게 기여하는지의 결정을 예시한다. 특정 디스플레이 요소(D0)를 폐색기의 시작점(O1)과 엔트 포인트(O2)에 연결함으로써,

삼각형 프리미티브의 변에 있는 네 개의 점 프리미티브(P1, P2, P3 및 P4)가 교차점으로 결정된다. 따라서, 특정 디스플레이 요소(D0)는 점(P1, P2, P3, P4, P_C)로 둘러싸인 삼각형 프리미티브 부분의 재구성에 기여하지 않는다. 따라서, 특정 디스플레이 요소(D0)에 대한 EM 기여도의 합을 계산할 때, 삼각형 프리미티브의 부분(P1-P2-P3-P4-P_C)으로부터의 EM 기여도는 계산되지 않는다. 즉, 점 PA, P1 및 P2로 형성된 제1 삼각형과 점 PB, P3 및 P4로 형성된 제2 삼각형으로부터의 EM 기여도만이 폐색기의 폐색을 고려하여 삼각형 프리미티브(PA-PB-P_C)의 EM 기여도로 합산한다. P1, P2, P3 및 P4 또는 삼각형 프리미티브(P_A-P1-P2 및 P_B-P3-P4)의 좌표 정보는 폐색기의 정보와 GPU의 "Z" 버퍼에 있는 기타 정보와 함께, 특정 디스플레이 요소(D0)에 기여하지 않는 삼각형 프리미티브(P_A-P_B-P_C)의 부분으로서 맥스웰 홀로그래픽 컨트롤러의 "S" 버퍼에 저장될 수 있다.

[0530] 맥스웰 홀로그래피의 폐색 구현을 통해 GPU의 "Z" 버퍼를 맥스웰 홀로그래픽 컨트롤러의 "S" 버퍼로 변환할 수 있으며, 특정 디스플레이 요소에 대한 굴절된 프리미티브 목록에서 특정 프리미티브(또는 프리미티브의 특정 부분)의 기여도를 마스킹할 수 있다. 이는 정확하고, 물리적으로 올바른 폐색을 제공할 뿐만 아니라, 주어진 디스플레이 요소에 기여하지 않는 프리미티브가 무시될 수 있고 계산이 다음 디스플레이 요소에 대한 계산으로 넘어갈 수 있기 때문에 계산 시간도 절약한다. "S" 버퍼는 디스플레이의 회절 효율과 관련된 추가 정보를 포함할 수 있다.

[0531] "S" 버퍼에는 표면의 반사율이 시야각에 따라 달라지는 홀로그래픽 스펙큘라 하이라이트와 같은 렌더링 특징들도 포함될 수 있다. 기존 CGI에서, 스펙큘라 하이라이트는 렌더링된 객체의 방향에 따라서는 달라지는 반면, 맥스웰 홀로그래픽 컨텍스트에서는 객체가 보여지는 방향도 일부 역할을 한다. 따라서, 기하학적 스펙큘라 정보는 "S" 버퍼에서 차감(폐색) 기여도가 아닌 추가(스펙큘라)로 인코딩될 수 있다. 맥스웰 홀로그래피에서, 홀로그래픽 스펙큘라 하이라이트에 대한 수학은 홀로그래픽 폐색에 대한 수학과 실질적으로 동일할 수 있다.

[0532] 스티칭에 대한 예시적인 구현

[0533] 광이 3D 객체의 프리미티브 목록으로부터 EM 기여도로 변조된 디스플레이를 비추면, 변조된 디스플레이는 프리미티브에 해당하는 체적 광 필드를 형성하기 위해 광이 다른 방향으로 전파되도록 한다. 체적 광 필드는 맥스웰 홀로그래픽 재구성이다. 3D 객체에서 두 개의 인접한 프리미티브, 예를 들어 두 개의 삼각형 프리미티브는 공유 변(예를 들어, 에지 또는 표면)을 갖는다. 재구성하는 동안, 스티칭 문제가 발생할 수 있으며, 여기서 인접한 두 프리미티브를 개별적으로 재구성으로 인해 공유 변의 광도가 두 배가 될 수 있다. 이는 재구성된 3D 객체의 모양에 영향을 줄 수 있다.

[0534] 맥스웰 홀로그래피의 스티칭 문제를 해결하기 위해, 도 3g에 예시된 바와 같이, 인접한 프리미티브들 사이에 갭이 형성될 수 있도록, 인접한 프리미티브들은 미리 결정된 팩터만큼 축소될 수 있다. 일부 경우에, 두 개의 인접한 프리미티브를 축소하는 대신, 하나의 프리미티브 또는 프리미티브의 일부만 축소된다. 예를 들어, 삼각형 프리미티브의 선은 축소되어 다른 삼각형 프리미티브와 분리될 수 있다. 일부 경우에, 스케일링은 서로 다른 미리 결정된 팩터로 프리미티브의 서로 다른 부분을 스케일링하는 것을 포함할 수 있다. 스케일링은 스티칭 문제를 최소화하기 위해 인접한 프리미티브를 분리할 수 있을 만큼 갭이 충분히 크고 재구성된 3D 객체가 원활하게 보이도록 충분히 작도록 설계될 수 있다. 미리 결정된 팩터는 디스플레이 및 뷰어의 정보, 예를 들어 홀로그래픽 광 필드의 최대 공간 해상도 및 디스플레이 뒤에 전체적으로 또는 부분적으로 나타나는 프리미티브 부분의 경우에, 뷰어에서 프리미티브의 해당 부분까지의 최소 거리에 기초하여 결정될 수 있다.

[0535] 일부 경우에, 스케일링 연산은 홀로그래픽 렌더러, 예를 들어 도 1a의 홀로그래픽 렌더러(130)로부터 획득된 프리미티브의 프리미티브 데이터에 적용될 수 있고, 프리미티브의 스케일링된 프리미티브 데이터는 맥스웰 홀로그래픽 컨트롤러, 예를 들어 도 1a의 컨트롤러(112)로 전송된다. 일부 경우에, 컨트롤러는 디스플레이의 디스플레이 요소에 대한 프리미티브의 EM 기여도를 계산하기 전에, 홀로그래픽 렌더러로부터 획득된 프리미티브 데이터에 대해 스케일링 연산을 수행할 수 있다.

[0536] 텍스처 매핑에 대한 예시적인 구현

[0537] 텍스처 매핑은 컴퓨터 그래픽에서 개발된 기술이다. 기본 아이디어는 소스 이미지를 가져와 CGI 시스템의 표면에 데칼(decals)로 적용하여, 복잡한 기하학적 형상을 추가하지 않고도 세부 사항을 장면에 렌더링되도록 하는 것이다. 텍스처 매핑에는 CGI 시스템에서 사실적인 조명 및 표면 효과를 생성하는 기술이 포함될 수 있으며, 표면 데이터를 삼각형 메시에 적용하는 것을 보편적으로 참조할 수 있다.

[0538] 맥스웰 홀로그래피에서는, 공간의 임의 삼각형과 홀로그래픽 장치의 위상 맵 사이의 분석 관계를 사용하여 평면

셰이딩 및 보간된 삼각형 메시가 진정한 3D로 렌더링될 수 있다. 그러나, 최신 렌더링 엔진과 호환되려면, 이러한 삼각형의 표면에 정보를 매핑하는 기능이 바람직하다. 이는 방법의 속도가 데이터 기반 진폭 변경을 허용하지 않는 분석 매핑의 존재에서 도출된다는 점에서 실제 문제를 나타낼 수 있다.

[0539] 이산 코사인 변환(Discrete Cosine Transform; DCT)은 이미지 압축 기술이며 FFT(고속 푸리에 변환(Fast Fourier transform))의 실제 값 버전으로 간주될 수 있다. DCT는 주어진 이미지의 코사인 고조파에 가중치를 할당하는 인코딩-디코딩 프로세스에 따라 달라진다. 인코딩 결과는 원본 이미지의 픽셀 수와 수가 동일한 가중치 집합이며 가중치 세트이며, 이미지를 재구성하는 데 모든 가중치가 사용되는 경우, 정보 손실이 없을 것이다. 그러나, 많은 이미지에서, 가중치의 작은 서브셋으로부터 허용 가능한 재구성이 이루어져, 큰 압축률을 사용할 수 있다.

[0540] 2차원에서 DCT의 디코딩(렌더링) 프로세스에는 모든 DCT 가중치 및 모든 목적지 픽셀에 대한 가중치 이중 합이 포함된다. 이는 텍스처 매핑을 위한 맥스웰 홀로그래피에 적용될 수 있다. 맥스웰 홀로그래피에서, 삼각형 렌더링은 해당 삼각형에 대한 개별 phase1의 위상 기여도를 결정하기 위해, 위상 공간에서, "스파이크(spiked)" 이중 적분을 포함한다. 적분은 DCT 재구성에서 하나를 미리링하는 이중 합으로 풀당된 다음 DCT 가중치 측면에서 분석 삼각형 표현을 다시 도출할 수 있다. 맥스웰 홀로그래피 계산에서 이 DCT 기술을 구현하면 전체 텍스처 매핑 삼각형을 그릴 수 있고, 렌더링된 텍스처 삼각형의 데이터에 이미지 압축을 사용할 수 있고, JPEG와 같은 DCT를 사용하여 텍스처 및 이미지 데이터를 자동으로 압축하는 기존 툴 세트를 활용할 수 있다.

[0541] 일부 구현들에서, 맥스웰 홀로그램 텍스처 삼각형을 그리기 위해, 지정된 표면의 매핑에 필요한 공간 해상도가 먼저 계산된다. 그런 다음 해상도가 있는 텍스처가 제공되고, 삼각형에 올바르게 방향을 지정하기 위해 각도 및 원시 정보(origin information)로 압축된 DCT를 얻는다. 그런 다음, 삼각형 코너와 DCT 가중치 목록은 인덱싱된 프리미티브 목록에 포함되며 맥스웰 홀로그래피 컨트롤러로 전송된다. DCT 가중치는 각 디스플레이 요소에 대한 삼각형 프리미티브의 EM 기여도에 포함될 수 있다. 텍스처 삼각형은 평평한 삼각형보다 n배 느릴 수 있으며, 여기서 n은 프리미티브와 함께 전송되는 (0이 아닌) DCT 가중치의 수이다. "프래그먼트 셰이딩"을 위한 최신 기술은 맥스웰 홀로그래피 시스템에서 구현될 수 있으며, DCT 인코딩 단계는 기존의 투영 렌더링을 위한 필터 단계를 대체한다.

[0542] 일 예로서, 다음 표현식은 이미지에 대한 DCT 가중치(B_{pq})를 보여준다:

$$B_{pq} \equiv \sigma_p \sigma_q \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} A_{mn} \cos \left[\frac{\pi(2m+1)p}{2M} \right] \cos \left[\frac{\pi(2n+1)q}{2N} \right] \quad (5),$$

$$\sigma_p = \begin{cases} 1/\sqrt{M} & p = 0 \\ \sqrt{2/M} & \text{else} \end{cases}, \quad \sigma_q = \begin{cases} 1/\sqrt{N} & q = 0 \\ \sqrt{2/N} & \text{else} \end{cases}$$

[0544] 여기서, M과 N은 직사각형 이미지의 코너이고, (p, q)는 DCT 항이다.

[0545] 디코딩함으로써, 진폭 값(A_{mn})은 다음과 같이 얻어질 수 있다:

$$A_{mn} = \sum_{p=0}^{M-1} \sum_{q=0}^{N-1} \sigma_p \sigma_q A_{mn}^* \quad (6),$$

$$A_{mn}^* = B_{pq} \cos \left[\frac{\pi(2m+1)p}{2M} \right] \cos \left[\frac{\pi(2n+1)q}{2N} \right]$$

[0547] 여기서, 이다.

[0548] 디스플레이 요소(예를 들어, phase1)에 대한 텍스처 삼각형 프리미티브의 EM 기여도를 계산할 때, 해당 DCT 가중치(A_{mn}^*)가 있는 DCT 항은 다음과 같이 계산에 포함될 수 있다:

$$\varphi_{pq} = \sum_{y=0}^Y \sum_{x=0}^X A_{mn}^* T \quad (7),$$

[0550] 여기서 X, Y는 좌표계에서 삼각형의 코너이고, T는 디스플레이 요소에 대한 삼각형 프리미티브의 EM 기여도에 해당하며, φ_{pq} 는 DCT에서 0이 아닌 항(B_{pq})에 대한 부분 기여도이다. (p,q) DCT 항의 수는 재구성 시 정보 손실과 정보 압축을 모두 고려하여 선택될 수 있다.

- [0551] 예시적인 프로세스
- [0552] 도 4는 객체를 3D로 디스플레이하는 예시적인 프로세스(400)의 흐름도이다. 프로세스(400)는 디스플레이용 컨트롤러에 의해 수행될 수 있다. 컨트롤러는 도 1a의 컨트롤러(112) 또는 도 1b의 152일 수 있다. 디스플레이는 도 1a의 디스플레이(112) 또는 도 1b의 156일 수 있다.
- [0553] 3차원 공간의 객체에 해당하는 프리미티브에 대한 각각의 프리미티브 데이터를 포함하는 데이터가 획득된다(402). 데이터는 컴퓨팅 장치, 예를 들어 도 1a의 컴퓨팅 장치(102)로부터 획득될 수 있다. 컴퓨팅 장치는 장면을 처리하여 객체에 대응하는 프리미티브를 생성할 수 있다. 컴퓨팅 장치는 프리미티브에 대한 프리미티브 데이터를 생성하기 위해 렌더러를 포함할 수 있다. 일부 구현들에서, 컨트롤러는 예를 들어 장면을 렌더링함으로써 데이터 자체를 생성한다.
- [0554] 프리미티브는 점 프리미티브, 선 프리미티브 또는 다각형 프리미티브 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 프리미티브 목록은 예를 들어 객체가 재구성될 수 있는 특정 순서로 인덱싱된다. 프리미티브 데이터는 텍스처 색상, 그라데이션 색상 또는 상수 색상 중 적어도 하나를 갖는 색상 정보를 포함할 수 있다. 예를 들어, 선 프리미티브는 그라데이션 색상, 텍스처 색상 또는 상수 색상 중 적어도 하나를 가질 수 있다. 다각형 프리미티브는 그라데이션 색상, 텍스처 색상 또는 상수 색상 중 적어도 하나를 가질 수도 있다. 프리미티브 데이터는 또한 프리미티브의 텍스처 정보 및/또는 프리미티브의 하나 이상의 표면(예를 들어, 삼각형)에 대한 셰이딩 정보를 포함할 수 있다. 셰이딩 정보는 프리미티브의 하나 이상의 표면에 대한 색상 또는 밝기 중 적어도 하나에 대한 변조를 포함할 수 있다. 프리미티브 데이터는 3차원 좌표계에서 프리미티브 각각의 좌표 정보를 포함할 수도 있다.
- [0555] 디스플레이는 다수의 디스플레이 요소를 포함할 수 있고, 컨트롤러는 다수의 컴퓨팅 유닛을 포함할 수 있다. 3차원 좌표계에서 각각의 디스플레이 요소의 각각의 좌표 정보는 3차원 좌표계에서 프리미티브 목록의 각각의 좌표 정보에 기초하여 결정될 수 있다. 예를 들어, 프리미티브에 대응하는 객체와 디스플레이 사이의 거리는 미리 결정될 수 있다. 미리 결정된 거리와 프리미티브의 좌표 정보에 기초하여, 디스플레이 요소의 좌표 정보가 결정될 수 있다. 각각의 디스플레이 요소의 각각의 좌표 정보는 메모리에 저장된 요소에 대한 논리적 메모리 주소에 대응할 수 있다. 이러한 방식으로, 컨트롤러가 컨트롤러의 논리적 메모리 공간에서 디스플레이 요소에 대한 논리적 메모리 주소에서 루프를 돌 때, 공간에서 디스플레이 요소에 대한 대응하는 실제 물리적 위치가 식별될 수 있다.
- [0556] 각각의 프리미티브로부터 각각의 디스플레이 요소까지의 EM 필드 기여도는 프리미티브로부터 3D 좌표계의 요소까지의 EM 필드 전파를 계산함으로써 결정된다(404). EM 필드 기여도는 위상 기여도 또는 진폭 기여도 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.
- [0557] 도 3a 내지 3c와 관련하여 상기에 예시된 바와 같이, 프리미티브와 디스플레이 요소 사이의 적어도 하나의 거리는 디스플레이 요소의 각각의 좌표 정보 및 프리미티브의 각각의 좌표 정보에 기초하여 결정될 수 있다. 일부 경우에, 각 프리미티브의 경우, 적어도 하나의 거리는 한 번만 계산되거나 컴퓨팅될 수 있다. 예를 들어, 컨트롤러는 제1 프리미티브의 각각의 좌표 정보 및 제1 요소의 각각의 좌표 정보에 기초하여 프리미티브의 제1 프리미티브와 디스플레이 요소의 제1 요소 사이의 제1 거리를 결정하고, 제1 거리 및 제1 요소와 제2 요소 사이의 거리에 기초하여 제1 프리미티브와 요소의 제2 요소 사이의 제2 거리를 결정할 수 있다. 제1 요소와 제2 요소 사이의 거리는 디스플레이의 복수의 요소의 피치에 기초하여 미리 결정될 수 있다.
- [0558] 컨트롤러는 프리미티브 및 적어도 하나의 거리에 대한 미리 결정된 표현에 기초하여 프리미티브로부터 디스플레이 요소에 대한 EM 필드 기여도를 결정할 수 있다. 일부 경우에, 도 3a 내지 3c와 관련하여 상기에 예시된 바와 같이, 미리 결정된 표현은 프리미티브로부터 요소까지의 EM 필드 전파를 분석적으로 계산함으로써 결정될 수 있다. 일부 경우에, 미리 결정된 표현은 맥스웰 방정식을 풀어서 결정된다. 특히 맥스웰 방정식은 디스플레이 표면에 정의된 경계 조건을 제공하여 풀 수 있다. 경계 조건은 디리클레 경계 조건 또는 코오시 경계 조건을 포함할 수 있다. 프리미티브와 디스플레이 요소는 3D 공간에 있고, 디스플레이의 표면은 3D 공간의 경계 표면의 일부를 형성한다. 미리 결정된 표현식은 사인 함수, 코사인 함수 및 지수 함수를 포함하는 함수 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 계산하는 동안, 컨트롤러는 메모리에 저장된 테이블의 함수 중 적어도 하나의 값을 식별할 수 있으며, 이는 계산 속도를 향상시킬 수 있다. 컨트롤러는 제2 프리미티브로부터 디스플레이 요소까지의 제2 EM 필드 기여도를 결정하는 것과 병렬로 제1 프리미티브로부터 디스플레이 요소까지의 제1 EM 필드 기여도를 결정함으로써 프리미티브 각각에 대한 디스플레이 요소 각각에 대한 EM 필드 기여도를 결정할 수 있다.
- [0559] 디스플레이 요소 각각에 대해, 프리미티브 목록로부터 디스플레이 요소까지의 EM 필드 기여도의 합이 생성된다

(406).

- [0560] 일부 구현들에서, 컨트롤러는 프리미티브로부터 제1 디스플레이 요소까지의 제1 EM 필드 기여도를 결정하고 제1 요소에 대한 제1 EM 필드 기여도를 합산하며, 프리미티브로부터 제2 디스플레이 요소까지의 제2 EM 필드 기여도를 결정하고 제2 디스플레이 요소에 대한 제2 EM 필드 기여도를 합산한다. 컨트롤러는 다수의 컴퓨팅 유닛을 포함할 수 있다. 컨트롤러는 제2 컴퓨팅 유닛에 의해 제2 프리미티브로부터 제1 요소까지의 EM 필드 기여도를 결정하는 것과 병렬로 제1 컴퓨팅 유닛에 의해 제1 프리미티브로부터 제1 요소까지의 EM 필드 기여도를 결정할 수 있다.
- [0561] 일부 구현들에서, 컨트롤러는 제1 프리미티브로부터 각각의 디스플레이 요소까지의 제1 개별 EM 필드 기여도를 결정하고, 제2 프리미티브로부터 각각의 디스플레이 요소까지의 제2 개별 EM 필드 기여도를 결정한다. 그런 다음 컨트롤러는 디스플레이 요소에 대한 각각의 제1 EM 필드 기여도에 각각의 제2 EM 필드 기여도를 추가함으로써 디스플레이 요소에 대한 EM 필드 기여도를 누적한다. 특히, 컨트롤러는 제2 컴퓨팅 유닛을 사용하여 제2 프리미티브로부터 각각의 디스플레이 요소까지의 각각의 제2 EM 필드 기여도를 결정하는 것과 병렬로 제1 컴퓨팅 유닛을 사용하여 제1 프리미티브로부터 각각의 디스플레이 요소까지의 각각의 제1 EM 필드 기여도를 결정할 수 있다.
- [0562] 제1 제어 신호가 디스플레이로 전송되며, 제1 제어 신호는 디스플레이 요소에 대한 필드 분포의 합에 기초하여 각 디스플레이 요소의 적어도 하나의 속성을 변조하기 위한 것이다(408). 요소의 적어도 하나의 속성은 굴절률, 진폭 지수, 복굴절 또는 지연도 중 적어도 하나를 포함한다.
- [0563] 컨트롤러는, 디스플레이 요소 각각에 대해, 프리미티브로부터 요소까지의 EM 필드 기여도의 합에 기초하여 각각의 제어 신호를 생성할 수 있다. 각각의 제어 신호는 프리미티브로부터 요소까지의 EM 필드 기여도의 합에 기초하여 요소의 적어도 하나의 속성을 변조하기 위한 것이다. 즉, 제1 제어 신호는 디스플레이 요소에 대한 각각의 제어 신호를 포함한다.
- [0564] 일부 예들에서, 디스플레이는 전기 신호에 의해 제어된다. 그런 다음 각각의 제어 신호는 전기 신호일 수 있다. 예를 들어, LCOS 디스플레이는 전압이 요소 강도로 개별적으로 제어되는 작은 전극 어레이를 포함한다. LCOS 디스플레이는 적용된 전압 변화에 따라 굴절률이 변하는 복굴절 액정(LC) 제형으로 채워질 수 있다. 따라서, 컨트롤러로부터의 각각의 제어 신호는 디스플레이 요소에 걸친 상대적인 굴절률 및 그에 따라 디스플레이를 통과하거나 디스플레이에 의해 반사되는 광의 상대적인 위상을 제어할 수 있다.
- [0565] 상기에 논의된 바와 같이, 디스플레이 표면은 경계 표면의 일부를 형성한다. 컨트롤러는 필드 기여도의 스케일링된 합을 얻기 위해 각각의 요소에 대한 필드 기여도의 합에 스케일 팩터를 곱할 수 있고, 요소에 대한 필드 기여도의 스케일링된 합에 기초하여 각각의 제어 신호를 생성할 수 있다. 일부 경우에, 컨트롤러는 예를 들어 모든 요소 중에서 요소 각각에 대한 필드 기여도의 합을 정규화하고, 요소에 대한 필드 기여도의 정규화된 합계에 기초하여 각각의 제어 신호를 생성할 수 있다.
- [0566] 조명기를 턴 온하여 변조된 디스플레이에 광을 비추기 위한 제어 신호로서 제2 제어 신호가 조명기로 전송된다(410). 컨트롤러는 디스플레이 요소 각각에 대한 필드 기여도의 합 획득 완료를 결정한 것에 응답하여 제2 제어 신호를 생성 및 전송할 수 있다. 시간 대칭(또는 에너지 보존)으로 인해, 디스플레이의 변조된 요소는 광이 다른 방향으로 전파되어 3D 공간의 객체에 해당하는 체적 광 필드를 형성하도록 할 수 있다. 결과적인 체적 광 필드는 디스플레이의 변조된 요소에 의해 정의된 경계 조건을 갖는 맥스웰 방정식의 해에 해당할 수 있다.
- [0567] 일부 구현들에서, 조명기는 조명기에서 하나 이상의 발광 요소의 진폭 또는 밝기를 제어하도록 구성된 메모리 버퍼를 통해 컨트롤러에 결합된다. 조명기용 메모리 버퍼는 디스플레이용 메모리 버퍼보다 작은 크기를 가질 수 있다. 조명기의 발광 요소의 수는 디스플레이의 요소의 수보다 작을 수 있다. 컨트롤러는 조명기의 하나 이상의 발광 요소를 동시에 활성화하도록 구성될 수 있다.
- [0568] 일부 예들에서, 조명기는 서로 다른 색상을 갖는 광을 방출하도록 각각 구성된 둘 이상의 발광 요소를 포함한다. 컨트롤러는 제1 시간 기간 동안 제1 색상과 연관된 정보로 디스플레이를 순차적으로 변조하고, 제2의 순차적인 시간 기간 동안 제2 색상과 연관된 정보로 디스플레이를 변조하고, 순차적으로 제1 발광 요소를 턴 온시켜 제1 시간 기간 동안 제1 색상을 갖는 광을 방출하고 제2 발광 요소를 턴 온시켜 제2 시간 기간 동안 제2 색상을 갖는 광을 방출하도록 조명기를 제어하도록 구성될 수 있다. 이러한 방식으로, 다중 색상 객체는 3D 공간에 디스플레이될 수 있다.
- [0569] 일부 예들에서, 디스플레이는 광을 회절시키기에 충분히 작은 해상도를 갖는다. 조명기는 백색광을 디스플레이

로 방출하여 백색광을 다른 색상의 광으로 회절시켜 다중 색상 객체를 디스플레이할 수 있다.

[0570] 예시적인 시스템

[0571] 도 5a 내지 5k는 3D 디스플레이용 예시적인 시스템의 구현을 도시한다. 시스템들 중 어느 하나는 예를 들어 도 1a의 시스템(100)에 대응할 수 있다. 도 5a 및 5b는 전면 조명을 갖는 반사형 디스플레이를 갖는 예시적인 시스템을 도시한다. 도 5c는 배면 조명을 갖는 투과형 디스플레이를 갖는 예시적인 시스템을 도시한다. 도 5d 및 5e는 도파관 조명을 갖는 투과형 디스플레이를 갖는 예시적인 시스템을 도시한다. 도 5f 및 5g는 도파관 조명을 갖는 반사형 디스플레이를 갖는 예시적인 시스템을 도시한다. 도 5h 및 5i는 투과형 격자 구조(도 5h) 및 반사형 격자 구조(도 5i)를 사용하는 광 회절 조명을 갖는 반사형 디스플레이를 갖는 예시적인 시스템을 도시한다. 도 5j 및 5k는 반사형 격자 구조(도 5j) 및 투과형 격자 구조(도 5k)를 사용하는 광 회절 조명을 갖는 투과형 디스플레이를 갖는 예시적인 시스템을 도시한다.

[0572] 도 5a는 전면 조명을 갖는 반사형 디스플레이를 갖는 시스템(500)을 예시한다. 시스템(500)은 컴퓨터(502), 컨트롤러(510)(예를 들어, ASIC), 디스플레이(512)(예를 들어, LCOS 장치) 및 조명기(514)를 포함한다. 컴퓨터(502)는 도 1a의 컴퓨팅 장치(102)일 수 있고, 컨트롤러(510)는 도 1a의 컨트롤러(112)일 수 있으며, 디스플레이(512)는 도 1a의 디스플레이(114)일 수 있고, 조명기(514)는 도 1a의 조명기(116)일 수 있다.

[0573] 도 5a에 예시된 바와 같이, 컴퓨터(502)는 객체의 장면을 렌더링하기 위한 렌더러(503)를 갖는 애플리케이션(504)을 포함한다. 렌더링된 장면 데이터는 비디오 드라이버(505)에 의해 처리된 다음 GPU(506)에 의해 처리된다. GPU(506)는 도 1a의 GPU(108)일 수 있으며 장면 및 각각의 프리미티브 데이터에 해당하는 프리미티브 목록을 생성하도록 구성될 수 있다. 예를 들어, 비디오 드라이버(505)는 렌더링된 장면 데이터를 처리하고 프리미티브 목록을 생성하도록 구성될 수 있다. 상기에 언급된 바와 같이, GPU(506)는 프리미티브를 2D 디스플레이(508)에 그릴 항목 목록으로 렌더링하기 위한, 종래의 2D 렌더러, 예를 들어 도 1a의 종래의 2D 렌더러(120)를 포함할 수 있다. GPU(506) 또는 컨트롤러(510)는 프리미티브 목록을 디스플레이(512)에 의해 디스플레이될 그래픽 데이터로 렌더링하기 위한 홀로그래픽 렌더러, 예를 들어 도 1a의 홀로그래픽 렌더러(130)를 포함할 수 있다.

[0574] 컨트롤러(510)는 컴퓨터(502)로부터 그래픽 데이터를 수신하고, 디스플레이(512)의 요소 각각에 대한 프리미티브 목록으로부터의 EM 필드 기여도를 계산하고, 프리미티브로부터 요소 각각까지의 EM 필드 기여도의 각각의 합을 생성하도록 구성된다. 컨트롤러(510)는 디스플레이 요소의 적어도 하나의 속성을 변조하기 위해 디스플레이 요소 각각에 대한 각각의 제어 신호를 생성할 수 있다. 컨트롤러는 디스플레이(512)용 메모리 버퍼(511)를 통해 디스플레이(512)의 디스플레이 요소에 각각의 제어 신호를 전송할 수 있다.

[0575] 컨트롤러(510)는 또한 조명기(514)를 활성화하기 위해 제어 신호, 예를 들어 조명 타이밍 신호를 생성 및 전송할 수 있다. 예를 들어, 컨트롤러(510)는 프리미티브로부터 디스플레이 요소까지의 EM 필드 기여도의 합이 완료되었다는 결정에 응답하여 제어 신호를 생성 및 전송할 수 있다. 상기에 언급된 바와 같이, 컨트롤러(510)는 메모리 버퍼를 통해 조명기(514)에 제어 신호를 전송할 수 있다. 메모리 버퍼는 조명기(514)의 발광 요소의 진폭 또는 밝기를 제어하고 발광 요소를 동시에 또는 순차적으로 활성화하도록 구성될 수 있다.

[0576] 도 5a에 예시된 바와 같이, 조명기(514)는 0도 내지 거의 ± 90 도 사이의 범위의 입사각으로 디스플레이(512)의 전면면에 입사하는 시준된 광 빔(516)을 방출할 수 있다. 방출된 광빔은 디스플레이(512)로부터 회절되어 뷰어가 볼 수 있는 객체에 대응하는 홀로그래픽 광 필드(518)를 형성한다.

[0577] 도 5b는 전면 조명을 갖는 또 다른 반사형 디스플레이(524)를 갖는 또 다른 시스템(520)을 예시한다. 도 5a의 시스템(500)과 비교하여, 시스템(520)은 더 큰 반사형 디스플레이(524)를 갖는다. 이를 수용하기 위해, 또는 다른 패키징 또는 미적 이유 때문에, 디스플레이 컨트롤러(522)는 조명기(526)를 위한 지지체 또는 인클로저일 수 있는 하우징에 포함된다. 컨트롤러(522)는 도 5a의 컨트롤러(510)와 유사하며, 컴퓨터(521)로부터 그래픽 데이터를 수신하고, 디스플레이(524)의 디스플레이 요소 각각에 대한 프리미티브로부터의 EM 필드 기여도를 계산하고, 프리미티브로부터 디스플레이 요소 각각까지의 EM 필드 기여도의 각각의 합을 생성하도록 구성될 수 있다. 그런 다음 컨트롤러(522)는 디스플레이 요소의 적어도 하나의 속성을 변조하기 위해 디스플레이 요소 각각에 각각의 제어 신호를 생성하고 각각의 제어 신호를 디스플레이(524)용 메모리 버퍼(523)를 통해 디스플레이(524)의 디스플레이 요소에 전송한다.

[0578] 컨트롤러(522)는 또한 조명기(526)를 활성화하기 위해 조명기(526)에 제어 신호를 전송한다. 조명기(526)는 디스플레이(524)의 전체 표면을 덮기 위해 발산 또는 반시준 광 빔(divergent or semi-collimated light

beam)(527)을 방출한다. 광 빔(527)은 변조된 디스플레이(524)에 의해 회절되어 홀로그래픽 광 필드(528)를 형성한다.

[0579] 도 5c는 후면 조명을 갖는 투과형 디스플레이(534)를 갖는 시스템(530)을 예시한다. 예를 들어, 투과형 디스플레이(534)는 대규모 디스플레이일 수 있다. 시스템(530)은 도 5a의 컨트롤러(510)와 유사할 수 있는 컨트롤러(532)를 포함한다. 컨트롤러(532)는 컴퓨터(531)로부터 그래픽 데이터를 수신하고, 디스플레이(534)의 디스플레이 요소 각각에 대한 프리미티브로부터의 EM 필드 기여도를 계산하고, 프리미티브로부터 디스플레이 요소 각각까지의 EM 필드 기여도의 각각의 합을 생성하도록 구성될 수 있다. 그런 다음 컨트롤러(532)는 디스플레이 요소의 적어도 하나의 속성을 변조하기 위해 디스플레이 요소 각각에 각각의 제어 신호를 생성하고 각각의 제어 신호를 디스플레이(534)용 메모리 버퍼(533)를 통해 디스플레이(534)의 디스플레이 요소에 전송한다.

[0580] 컨트롤러(532)는 또한 조명기(536)를 활성화하기 위해 조명기(536)에 제어 신호를 전송한다. 도 5a의 시스템(500) 및 5b의 시스템(520)과 달리, 시스템(530)의 조명기(536)는 디스플레이(534)의 후면 뒤에 위치된다. 디스플레이(534)의 넓은 표면을 덮기 위해, 조명기(536)는 디스플레이(534)의 후면에 발산 또는 반사된 광 빔(535)을 방출한다. 광 빔(535)은 변조된 디스플레이(534)를 통해 전송되고 이에 의해 회절되어 홀로그래픽 광 필드(538)를 형성한다.

[0581] 도 5d는 도파관 조명을 갖는 투과형 디스플레이(544)를 갖는 또 다른 시스템(540)을 예시한다. 시스템(540)은 또한 컨트롤러(542) 및 조명기(546)를 포함한다. 컨트롤러(542)는 도 5a의 컨트롤러(510)와 유사할 수 있으며, 컴퓨터(541)로부터 그래픽 데이터를 수신하고, 그래픽 데이터에 대한 계산을 수행하고, 변조를 위한 제어 신호를 생성 및 디스플레이(544)로 전송하고, 조명기(546)를 활성화하기 위한 타이밍 신호를 생성 및 전송하도록 구성될 수 있다.

[0582] 조명기(546)는 광원(545)을 포함할 수 있고 도파관(547)을 포함하거나 이에 광학적으로 부착될 수 있다. 광원(545)으로부터 방출된 광은 예를 들어 도파관의 측단면으로부터 도파관(547)에 결합될 수 있다. 도파관(547)은 디스플레이(544)의 표면을 균일하게 조명하도록 광을 안내하도록 구성된다. 도파관(547)에 의해 안내된 광은 디스플레이(544)의 후면으로 입사되어 디스플레이(544)를 통해 투과되고 이에 의해 회절되어 홀로그래픽 광 필드(548)를 형성한다.

[0583] 도 5a의 시스템(500), 도 5b의 520, 도 5c의 530과 달리, 시스템(540)에서, 컨트롤러(542), 디스플레이(544) 및 도파관(547)은 단일 유닛(550)으로 함께 통합된다. 일부 경우에, 도파관(547)과 광원(545)은 평면 형태의 능동 도파관 조명기로 통합될 수 있으며, 이는 단일 유닛(550)의 집적도를 더욱 높일 수 있다. 상기에 논의된 바와 같이, 단일 유닛(550)은 더 큰 홀로그래픽 디스플레이 장치를 형성하기 위해 다른 유사한 유닛(550)과 연결되거나 타일링(tiled)될 수 있다.

[0584] 도 5e는 도파관 조명을 갖는 또 다른 투과형 디스플레이(564)를 갖는 또 다른 시스템(560)을 예시한다. 시스템(540)과 비교하여, 투과형 디스플레이(564)는 투과형 디스플레이(544)보다 더 큰 디스플레이를 잠재적으로 구현할 수 있다. 예를 들어, 투과형 디스플레이(564)는 컨트롤러(562)보다 더 큰 영역을 가질 수 있고, 이를 수용하기 위해, 컨트롤러(562)는 디스플레이(564)로부터 멀리 위치될 수 있다. 시스템(560)은 광원(565) 및 도파관(567)을 갖는 조명기(566)를 포함한다. 도파관(567)은 디스플레이(564)와 통합되며, 예를 들어 디스플레이(564)의 후면에 광학적으로 부착된다. 일부 구현들에서, 디스플레이(564)는 기관의 전면에서 제조되고 도파관(567)은 기관의 후면에 제조될 수 있다.

[0585] 컨트롤러(562)는 도 1a의 컨트롤러(510)와 유사할 수 있으며, 컴퓨터(561)로부터 그래픽 데이터를 수신하고, 그래픽 데이터에 대한 계산을 수행하고, 메모리 버퍼(563)를 통해 변조를 위한 제어 신호를 생성 및 디스플레이(564)로 전송하고, 광원(565)을 활성화하기 위한 타이밍 신호를 생성 및 전송하도록 구성될 수 있다. 광원(565)으로부터 방출된 광은 도파관(567)에서 안내되어 디스플레이(564)의 후면을 조명하고 디스플레이(564)를 통해 투과 및 회절되어 홀로그래픽 광 필드(568)를 형성한다.

[0586] 도 5f는 도파관 조명을 갖는 반사형 디스플레이(574)를 갖는 또 다른 시스템(570)을 예시한다. 예를 들어, 반사형 디스플레이(574)는 대규모 디스플레이일 수 있다. 조명기(576)의 도파관(577)은 반사형 디스플레이(574)의 전면에서 위치된다. 도 5a의 컨트롤러(510)와 유사한 컨트롤러(572)는 컴퓨터(571)로부터 그래픽 데이터를 수신하고, 그래픽 데이터에 대한 계산을 수행하고, 메모리 버퍼(573)를 통해 변조를 위한 제어 신호를 생성 및 디스플레이(574)로 전송하고, 조명기(576)의 광원(575)을 활성화하기 위한 타이밍 신호를 생성 및 전송하도록 구성될 수 있다. 조명기(576)의 도파관(577)으로부터 결합된 광은 디스플레이(574)의 전면으로 입사되도록 안내되고 디

스플레이(574)에 의해 회절되어 홀로그래픽 광 필드(578)를 형성한다.

[0587] 도 5g는 도파관 장치(588)를 사용하는 다른 유형의 도파관 조명을 갖는 반사형 디스플레이(584)를 갖는 또 다른 시스템(580)을 예시한다. 도 5a의 컨트롤러(510)와 유사한 컨트롤러(582)는 디스플레이(584)의 변조를 위한 홀로그래픽 데이터(이미지 및/또는 비디오)에 대응하는 제어 신호를 생성 및 전송하고 조명기(586)를 활성화하기 위한 타이밍 신호를 전송하도록 구성된다. 조명기(586)는 시준될 수 있는 하나 이상의 색상의 광을 제공할 수 있다. 도파관 장치(588)는 조명기(586) 및 디스플레이(584) 앞에 위치된다. 도파관 장치(588)는 입력 커플러(588-1), 도파관(588-2) 및 출력 커플러(588-3)를 포함할 수 있다. 입력 커플러(588-1)는 조명기(586)로부터의 시준된 광을 도파관(588-2)으로 결합하도록 구성된다. 그런 다음 광은 내부 전반사를 통해 도파관(588-2) 내부를 이동하고 출력 커플러(588-3) 상의 도파관(588-2)의 단부에 입사된다. 출력 커플러(588-3)는 광을 디스플레이(584)에 결합 해제하도록 구성된다. 그런 다음 광은 대응하는 제어 신호로 변조되고 반사형 디스플레이(584)에 의해 회절되며 도파관 장치(588)(예를 들어, 출력 커플러(588-3))를 통해 (예를 들어, 디스플레이(584)의 백미러에 의해) 다시 반사되는 디스플레이(584)의 디스플레이 요소를 조명하여 뷰어 앞에서 홀로그래픽 데이터에 대응하는 홀로그래픽 광 필드를 형성한다.

[0588] 일부 예들에서, 광은 도파관 장치(588) 및/또는 반사형 디스플레이(584)의 전면에 수직인 각도로 출력 커플러(588-3)에 의해 결합 해제된다. 일부 예들에서, 입력 커플러(588-1) 및 출력 커플러(588-2) 각각은 격자 구조, 예를 들어 브래그(Bragg) 격자를 포함할 수 있다. 입력 커플러(588-1) 및 출력 커플러(588-2)는 상이한 프린지 경사각을 갖는 유사한 회절 격자를 포함할 수 있다. 일부 예들에서, 조명기(586)는 단일 색상의 광을 제공하고, 입력 커플러(588-1) 및 출력 커플러(588-2)는 색상 상에 대한 회절 격자를 포함한다. 일부 예들에서, 조명기(586)는 여러 색상의 광, 예를 들어 적색, 녹색 및 청색 광 빔을 제공하며, 입력 커플러(588-1) 및 출력 커플러(588-2)는 서로 다른 색상의 광 빔을 각각 결합하거나 결합 해제하는 세 개의 대응하는 회절 격자의 다층 스택(또는 세 개의 대응하는 회절 격자를 갖는 단일 층)을 포함할 수 있다.

[0589] 도 5h는 광 회절 장치(598)를 사용하는 광 회절 조명을 갖는 반사형 디스플레이(594)를 갖는 또 다른 시스템(590)을 예시한다. 광 회절 장치(598)는 광을 안내하기 위한 도파관 장치로 간주될 수 있다. 광 회절 장치(598)는 하나 이상의 투과형 홀로그래픽 격자를 포함할 수 있는 투과형 필드 격자 기반 구조일 수 있다. 반사형 디스플레이(594)는 반사형 LCOS 장치일 수 있다. 도 5a의 컨트롤러(510)와 유사한 컨트롤러(592)는 컴퓨터(591)로부터 하나 이상의 객체에 대응하는 그래픽 데이터를 수신하고, 그래픽 데이터에 대한 계산을 수행하고, 메모리 버퍼(593)를 통해 변조를 위한 제어 신호를 생성 및 디스플레이(594)로 전송하도록 구성될 수 있다. 컨트롤러(592)는 또한 조명기(596)에 결합될 수 있고 조명기(596)를 활성화하여 광을 제공하기 위한 타이밍 신호를 제공하도록 구성될 수 있다. 그런 다음 광은 광 회절 장치(598)에 의해 회절되어 디스플레이(594)에 입사되도록 한 다음 디스플레이(594)에 의해 회절되어 하나 이상의 객체에 대응하는 홀로그래픽 광 필드(599)를 형성한다. 디스플레이(594)는 디스플레이(594)의 후면에 백미러를 포함할 수 있고 뷰어를 향해 광을 반사시킬 수 있다. 광 회절 장치(598)는 광학적으로 투명할 수 있다. 조명기(596)는, 조명기(596)가 시스템(590)의 다른 컴포넌트들과 함께 장착되거나 수용되도록 하고 뷰어의 시선 아래에 있게 할 수 있는, 디스플레이(594) 아래에 위치될 수 있다.

[0590] 아래의 추가 세부 사항에서 논의된 바와 같이, 브래그 선택성은 축외 조명 광이 광 회절 장치(598)로부터 디스플레이(594)를 향해 회절되도록 하는 반면, 디스플레이(594)로부터 회절된 복귀광은 축에 근접할 수 있으며 따라서 광 회절 장치(598)의 격자에 대해 오프-브래그(off-Bragg)가 될 수 있고, 따라서 광 회절 장치(598)의 격자에 의해 다시 회절되지 않고 뷰어에게 거의 완벽하게 광 회절 장치(598)를 통과할 수 있다. 일부 구현들에서, 조명기(596)로부터의 광은 조명기(596)가 뷰어의 시야를 가리지 않고 홀로그래픽 광 필드(599)로 간섭하지 않도록, 디스플레이(594)의 일 면으로부터 큰 입사각으로 광 회절 장치(598)에 입사될 수 있다. 입사각은 디스플레이(594)의 법선에 대해 양각 또는 음각일 수 있다. 예시를 위해, 입사각은 양의 각도로 제시된다. 예를 들어, 입사각은 70도 내지 90도 범위, 예를 들어 80도 내지 90도 범위일 수 있다. 특정 예에서, 입사각은 84도이다. 광 회절 장치(598)로부터의 회절된 광은, 광이 디스플레이(594)를 균일하게 조명할 수 있도록 하고 광 회절 장치(598)의 표면에서 또는 표면 내에서의 바람직하지 않은 반사, 회절 및/또는 산란으로 인한 전력 손실을 최소화하면서 광 회절 장치(598)를 통해 뷰어의 눈에 거의 수직으로 다시 회절될 수 있도록, 디스플레이(594)로의 수직 입사에 근접하게 회절될 수 있다. 일부 예들에서, 광 회절 장치(598)로부터 반사형 디스플레이(594)까지의 회절각은 -10° (또는 10°) 내지 10° (또는 10°)의 범위, 예를 들어, -7° 내지 7° , 또는 5° 내지 7° 의 범위일 수 있다. 특정 예에서, 회절각은 6° 이다. 다른 예에서, 회절각은 0° 이다.

[0591] 일부 구현들에서, 도 5h에 예시된 바와 같이, 광 회절 장치(598)는 예를 들어 뷰어 쪽으로 Z 방향을 따라 반사형 디스플레이(594) 앞에 배열된다. 광 회절 장치(598)는 기판(598-2) 상에 배치된 필드 격자 구조(598-1)를 포

합할 수 있다. 필드 격자 구조(598-1)의 후면은 반사형 디스플레이(594)의 전면과 대향하고, 필드 격자 구조(598-1)의 전면은 기관(598-2)에 부착된다. 조명기(596)로부터의 광은 예를 들어 기관(598-2)의 측면으로부터 기관(598-2)을 통해 필드 격자 구조(598-1)의 전면에 입사될 수 있다. 예를 들어, 기관(598-2)은 예를 들어 도 12c에 더 상세하게 예시된 바와 같이, 웨지형(wedged) 측면을 가질 수 있으므로, 입사각이 큰 광은 반사 손실이 적을 수 있다.

[0592] 아래에 추가 세부 사항에서 논의되는 바와 같이, 홀로그래픽 격자와 같은 회절 구조의 회절 효율이 100% 미만인 경우, 소정 입사각으로 입사된 광이 회절 구조에 의해 0차 및 1차로 회절될 수 있다. 1차의 광(또는 1차 광)은 디스플레이 쪽으로 회절각으로 회절 구조에 의해 회절되어 내부에서 다시 회절되어 홀로그램 광 필드(599)를 재구성한다. 1차는 1차 회절 차수라고도 할 수 있다. 0차의 광(또는 0차 광, 회절되지 않은 광, 또는 회절되지 않은 차수)은 회절 구조에 의해 회절되지 않고(또는 편향되지 않고) 입사각에 해당하는 각도로 회절 구조에 의해 투과된다. 0차 광은 예를 들어 0차 광이 반사형 디스플레이(594)에 직접 입사하거나 광 회절 장치(598) 내의 표면으로부터의 반사 이후에 입사할 때, 고스트 이미지와 같은 바람직하지 않은 효과를 유발할 수 있다.

[0593] 바람직하지 않은 효과를 제거하기 위해, 필드 격자 구조(598-1)는 디스플레이(594)로부터 이격될 수 있다. 일부 구현들에서, 필드 격자 구조(598-1)의 후면은 디스플레이(594)의 전면으로부터 갭만큼 이격된다. 갭은 임의의 적절한 거리, 예를 들어 1mm를 가질 수 있다. 경계에서 내부 전반사(total internal reflection; TIR)를 충족시키기 위해 갭이 공기 또는 임의의 저굴절률 재료로 채워질 수 있다. 예를 들어, 공기는 필드 격자 구조(598-1)의 후면층의 굴절률(예를 들어, $n \approx 1.5$)보다 훨씬 작은 굴절률(예를 들어, $n \approx 1.0$)을 가지며, 따라서 입사각(예를 들어, $> 70^\circ$)에서 임의의 잔광(residual light)은 입사각이 임계각(예를 들어, $n \approx 1.5$ 의 경우 $\approx 41.8^\circ$)보다 클 때 필드 격자 구조(598-1)의 후면에 의해 내부 전반사될 수 있다. 즉, 입사각의 잔광이 반사형 디스플레이(594)에 도달하지 못하여 바람직하지 않은 효과를 야기할 수 있다. 일부 예들에서, 반사형 디스플레이(594)의 전면 또는 필드 격자 구조(598-1)의 후면 중 적어도 하나는 반사 방지(anti-reflection) 코팅으로 처리되며, 이는 필드 격자 구조(598-1)의 후방으로부터 다시 반사형 디스플레이(594)를 향하여 반사형 디스플레이(594)로부터 반사되는 홀로그래픽 광 필드의 일부를 실질적으로 감소시킬 수 있으며 그렇지 않으면 추가 고스트 이미지를 야기할 수 있다. 일부 예들에서, 필드 격자 구조(598-1)의 후면은 추가층(예를 들어, 유리층)에 의해 보호될 수 있다.

[0594] 일부 구현들에서, 갭으로 이격되는 대신에, 필드 격자 구조(598-1)의 후면은 중간층을 사용하여 반사형 디스플레이(594)의 전면에 부착될 수 있다. 중간층은, 내부 전반사(TIR)가 발생할 수 있고 잔류 0차 광이 필드 격자 구조(598-1)의 중간층과 후면층 사이의 경계에서 전반사되어 광 회절 구조(598)로 되돌아갈 수 있도록, 필드 격자 구조(598-1)의 후면층의 굴절률보다 실질적으로 낮은 굴절률을 갖는 광 투명 접착(optically clear adhesive; OCA) 층일 수 있다.

[0595] 일부 구현들에서, 필드 격자 구조(598-1)와 디스플레이(594)는 어떤 잔광도 디스플레이(594)에 도달할 수 없도록 갭을 두고 분리될 수 있다. 갭은 적절한 투명 재료, 굴절률 정합 유체(index-matching fluid) 또는 OCA로 채워질 수 있다. 일부 구현들에서, 필드 격자 구조(598-1)는 디스플레이(594)의 커버층(예를 들어, 커버 유리)에 형성될 수 있다.

[0596] 일부 경우에, 필드 격자 구조(598-1)의 활성 영역으로부터 회절된 광에 의해 반사형 디스플레이(594)의 전체 표면을 조명하기 위해, 필드 격자 구조(598-1)의 활성 영역은 반사형 디스플레이(594)의 전체 표면의 영역 이상일 수 있다. 일부 구현들에서, 필드 격자 구조(598-1) 및 반사형 디스플레이(594)는 X 방향을 따른 높이 및 Y 방향을 따른 폭을 갖는 직사각형 형상을 갖는다. 필드 격자 구조(598-1)의 활성 영역은 반사형 디스플레이(594)의 높이 이상의 높이와 반사형 디스플레이(594)의 폭 이상의 폭을 가질 수 있다. 필드 격자 구조(598-1)와 반사형 디스플레이(594) 사이에 상당한 갭이 있는 경우, 필드 격자 구조(598-1)와 기관(598-2)은 더 확대될 수 있어서, 반사형 디스플레이(594), 예를 들어 홀로그래픽 광 필드(599)로부터의 광의 확장 콘(또는 절두체)은 홀로그래픽 광 필드(599)의 전체 수직 및 수평 시야(+Z 축 주위)에 걸쳐 광 회절 장치(598)의 전면을 통해 볼 수 있다. 기관(598-2)은 필드 격자 구조(598-1)보다 약간 더 넓고 더 높을 수 있다.

[0597] 광이 차원, 예를 들어 Z 방향에서 필드 격자 구조(598-1) 상에 실질적으로 축외 각도로 입사함에 따라, 광은 해당 차원에서 입사각의 코사인만큼 좁아질 수 있다. 조명기(596)로부터의 광은 필드 격자 구조(598-1)로 입사하는 좁은 직사각형 형태를 가질 수 있으며, 이는 반사형 디스플레이(594)로 입사하는 큰 직사각형 형태로 광을 확장할 수 있다. 하나 이상의 광학 컴포넌트, 예를 들어 미러, 프리즘, 광학 슬래브 및/또는 광학 필러는 조명

기(596), 광 회절 구조(598) 및 반사형 디스플레이(594) 사이 및 내부에 배열되어 광을 추가로 확장하고 그 대역폭을 필터링할 수 있다. 일부 예들에서, 확장된 광은, 반사형 디스플레이(594)의 조명된 영역의 에지 및 주변 영역이 뷰어를 향한 반사 또는 산란 시 눈에 띄지 않도록, 반사형 디스플레이(594)의 활성 영역보다 약간 더 작은 빔 영역을 가질 수 있다. 일부 예들에서, 확장된 광은, 확장된 광의 에지가 예를 들어, 마스킹 에지의 회절로 인해 균일하지 않은 경우에도 반사형 디스플레이(594)의 조명된 영역의 에지가 완전히 조명되도록, 반사형 디스플레이(594)의 활성 영역보다 약간 더 큰 빔 영역을 가질 수 있다.

[0598] 일부 구현들에서, 컨트롤러(592)는 3차원 공간에서 객체에 대응하는 복수의 프리미티브에 대한 각각의 프리미티브 데이터를 포함하는 그래픽 데이터를 획득하고, 복수의 프리미티브 각각에 대해, 반사형 디스플레이(594)의 복수의 디스플레이 요소들 각각에 대한 전자기(EM) 필드 기여도를 결정하고, 복수의 디스플레이 요소 각각에 대해, 복수의 프리미티브로부터 디스플레이 요소까지의 EM 필드 기여도의 합을 생성하고, 복수의 디스플레이 요소들 각각에 대해, 디스플레이 요소에 대한 EM 필드 기여도의 합에 기초하여 각각의 제어 신호를 생성할 수 있다.

[0599] 일부 구현들에서, 조명기(596)는 대응하는 색상의 광을 방출하도록 구성된 하나 이상의 색상 발광 요소, 예를 들어 적색, 청색 또는 녹색 색상 레이저(또는 LED)를 포함할 수 있다. 광 회절 장치(598)는 서로 실질적으로 동일한 각각의 회절각으로 복수의 상이한 색상의 광을 회절시키도록 구성될 수 있다. 각각의 회절각은 0° 내지 $\pm 10^\circ$ 의 범위, 예를 들어 0° , + 또는 -1° , + 또는 -2° , + 또는 -3° , + 또는 -4° , + 또는 -5° , + 또는 -6° , + 또는 -7° , + 또는 -8° , + 또는 -9° 또는 + 또는 -10° 와 실질적으로 동일할 수 있다.

[0600] 일부 구현들에서, 컨트롤러(592)는 일련의 시간 기간에서 복수의 색상의 광과 연관된 정보로 디스플레이(594)를 순차적으로 변조하도록 구성된다. 예를 들어, 정보는 일련의 색상 홀로그램 또는 색상 이미지를 포함할 수 있다. 컨트롤러(592)는 조명기(596)를 제어하여 일련의 시간 기간 중 각각의 시간 기간 동안 광 회절 장치(598)로 복수의 색상의 광 각각을 순차적으로 방출하여, 복수의 색상의 광 각각이 광 회절 장치(598)에 의해 반사형 디스플레이(594)로 회절되고 반사형 디스플레이(594)의 변조된 디스플레이 요소에 의해 회절되어 각각의 시간 기간 동안 객체에 대응하는 각각의 색상 3차원 홀로그래픽 광 필드(599)를 형성하도록 할 수 있다. 뷰어의 눈에 보이는 시간적 간섭성 시각 효과에 따라, 복수의 색상이 눈에서 혼합되어 풀 컬러로 보일 수 있다. 일부 경우에, 조명기(596)는 색상 서브프레임 사이의 블랙 삽입 서브프레임 동안 또는 비디오 소스의 블랭킹 또는 귀선 기간(retrace periods) 동안 또는 LC 상승, 하강 동안 또는 DC-밸런싱 반전 전환 동안, 또는 시스템 예열 동안, 또는 의도된 홀로그래픽 광 필드가 완전히 블랙일 때, 또는 보정 절차 동안과 같은 디스플레이 이미지(또는 홀로그래픽 재구성)의 상태 변화 동안 서로 다른 발광 요소들 중에서 스위치 오프되며, 유효한 이미지(또는 홀로그래픽 재구성)가 일정 시간 기간 동안 제시될 때 스위치 온된다. 이는 또한 이미지(또는 홀로그래픽 재구성)가 안정적인고 깜박임 없는 것처럼 보이게 하는 시력의 지속성에 의존할 수 있다.

[0601] 홀로그래픽 광 필드(599)의 일부가 도 5h의 광 필드(599-1)로 예시된 바와 같이 디스플레이(594) 앞에 나타나는 경우, 홀로그래픽 광 필드(599)의 해당 부분은 재구성된 이미지 또는 홀로그래픽 재구성(실제 이미지 또는 실제 홀로그래픽 재구성이라고도 함)의 실제 부분이다. 뷰어가 디스플레이(594) 앞의 광점(point of light)을 볼 때, 디스플레이(594)로부터 그 점으로 반사되는 광이 실제로 존재한다. 홀로그래픽 광 필드(599)의 일부가 도 5h의 광 필드(599-1)에 의해 예시된 바와 같이 디스플레이(594) 뒤에 있는 것으로 뷰어에게 나타나는 경우, 홀로그래픽 광 필드(599)의 해당 부분은 재구성된 이미지 또는 홀로그래픽 재구성(가상 이미지 또는 가상 홀로그래픽 재구성이라고도 함)의 가상 부분이다. 뷰어가 디스플레이(594) 뒤 또는 내부에 있는 것처럼 보이는 광점을 볼 때, 실제로 디스플레이(594)로부터 해당 가상 지점으로 회절되는 광은 없다: 오히려 디스플레이(594)로부터 회절되는 광의 일부가 해당 가상 지점에서 발생한 것처럼 보인다.

[0602] 컴퓨터(591) 및/또는 컨트롤러(592)는 디스플레이(594)에서 변조될 정보(예를 들어, 2차원 홀로그램, 이미지 또는 패턴)의 계산(예를 들어, 방정식에 의해)을 조정하여 재구성된 홀로그래픽 광 필드(599)를 디스플레이(594)에 수직인 방향(예를 들어, Z 방향)을 따라 앞뒤로 움직이도록 구성될 수 있다. 계산은 예를 들어, 도 2 및 도 3a 내지 3g에 예시된 바와 같이, 홀로그래픽 렌더링 프로세스에 기초할 수 있다. 일부 경우에, 홀로그래픽 광 필드(599)는 디스플레이(594)의 앞에 완전히 있을 수 있다. 일부 경우에, 홀로그래픽 광 필드(599)는 모두 디스플레이(594)의 뒤에 있는 것으로 보일 수 있다. 일부 경우에, 도 5h에 예시된 바와 같이, 홀로그래픽 광 필드는 디스플레이(594) 앞의 한 부분, 예를 들어 실제 부분(599-1) 및 디스플레이 뒤에 있는 것처럼 보이는 다른 부분, 예를 들어 가상 부분(599-2)을 가질 수 있다. 즉, 광 필드(599)는 디스플레이(594)의 표면에 걸쳐 있는 것처럼 보일 수 있으며, 이를 이미지 계획(image planning)이라고 부를 수 있다.

[0603] 광 회절 장치(598)는 상이한 구성으로 구현될 수 있다. 일부 구현들에서, 광 회절 장치(598)는 예를 들어 도

7a, 7b 및 8에 예시된 바와 같이, 특정 색상에 대한 홀로그래픽 격자, 예를 들어 브래그 격자를 포함하며, 홀로그래픽 광 필드(599)는 특정 색상에 대응할 수 있다. 일부 구현들에서, 광 회절 장치(598)는 예를 들어 도 7c, 7d 및 e에 예시된 바와 같이, 단일 기록층에서 서로 다른 색상에 대한 다수의 홀로그래픽 격자를 포함한다.

[0604] 일부 구현들에서, 광 회절 장치(598)는 예를 들어 도 9a 내지 12c에 예시된 바와 같이, 서로 다른 기록층에서 서로 다른 색상에 대한 다수의 홀로그래픽 격자를 포함한다. 도 7f에 예시된 바와 같이, 특정 색상에 대한 격자는 특정 색상의 광뿐만 아니라 다른 색상의 광도 회절시킬 수 있으며, 이는 서로 다른 색상 사이의 누화를 유발할 수 있다. 일부 예들에서, 도 9a 내지 10b와 관련하여 아래의 추가 세부사항에서 설명된 바와 같이, 광 회절 장치(598)는 색상 누화를 억제(예를 들어, 제거 또는 최소화)하기 위해 하나 이상의 색상 선택 편광기를 갖는 다수의 홀로그래픽 격자를 포함할 수 있다. 일부 예들에서, 도 11 내지 12c와 관련하여 아래의 추가 세부사항에서 설명된 바와 같이, 광 회절 장치(598)는 색상 누화 및 0차 광을 억제하기 위해 각각의 입사각으로 입사된 서로 다른 색상의 광을 위한 하나 이상의 반사층을 갖는 다수의 홀로그래픽 격자를 포함할 수 있다. 일부 예들에서, 광 회절 장치(598)는 색상 누화 및 0차 회절을 억제하기 위해 예를 들어 도 9a 내지 10b에 예시된 바와 같은, 하나 이상의 색상 선택 편광기를 갖는 다수의 홀로그래픽 격자 및 예를 들어 도 11 내지 12c에 예시된 바와 같은, 하나 이상의 반사층을 갖는 다수의 홀로그래픽 격자를 포함할 수 있다. 단일 색상 또는 다수 색상을 위한 색상 선택 편광기 각각이 구성될 수 있다. 단일 색상 또는 다수 색상을 위한 반사층 각각이 구성될 수 있다.

[0605] 도 5i는 광 회절 장치(598A)를 사용하는 광 회절 조명을 갖는 반사형 디스플레이(594A)를 갖는 또 다른 시스템(590A)을 예시한다. 반사형 디스플레이(594A)는 도 5h의 반사형 디스플레이(594)와 동일할 수 있다. 도 5h의 시스템(590)의 광 회절 장치(598)와 달리, 시스템(590A)의 광 회절 장치(598A)는 반사형 필드 격자 구조(598-1A) 및 기관(598-2A)을 포함할 수 있는 반사형 필드 격자 기반 구조를 갖는다. 기관(598-2A)은 유리 기관일 수 있다. 반사형 필드 격자 구조(598-1A)는 하나 이상의 상이한 색상을 위한 하나 이상의 반사형 홀로그래픽 격자를 포함할 수 있다. 반사형 필드 격자 구조(598-1A)는 예를 들어 Z 방향을 따라 기관(598-2A)의 전면면에 배열된다. 조명기(596)는 반사형 필드 격자 구조(598-1A) 뒤에 배열되며, 큰 입사각으로 반사형 필드 격자 구조(598-1A) 상에 광을 조명하도록 구성된다. 광은 홀로그래픽 광 필드(599)를 형성하기 위해 광 회절 장치(598A)를 통해 광을 다시 추가로 회절시키는 반사형 디스플레이(594A)로 (-Z 방향을 따라) 다시 회절된다.

[0606] 도 5j는 광 회절 장치(598B)를 사용하는 광 회절 조명을 갖는 투과형 디스플레이(594B)를 갖는 또 다른 시스템(590B)을 예시한다. 투과형 디스플레이(594B)는 도 5c의 투과형 디스플레이(534), 도 5d의 544, 또는 도 5e의 564와 동일할 수 있다. 도 5i의 광 회절 구조(598A)와 마찬가지로, 광 회절 구조(598B)는 반사형 필드 격자 구조(598-1B) 및 기관(598-2B)을 포함할 수 있는 반사형 필드 격자 기반 구조일 수 있다. 기관(598-2B)은 유리 기관일 수 있다. 반사형 필드 격자 구조(598-1B)는 하나 이상의 상이한 색상을 위한 하나 이상의 반사형 홀로그래픽 격자를 포함할 수 있다. 도 5i의 광 회절 구조(598A)와 달리, 광 회절 구조(598B)의 반사형 필드 격자 구조(598-1B)는 기관(598-2B)의 후면 상에 배열된다. 조명기(596)는 반사형 필드 격자 구조(598-1B) 앞에 배열되며, 큰 입사각으로 반사형 필드 격자 구조(598-1B) 상에 광을 조명하도록 구성된다. 광은 홀로그래픽 광 필드(599)를 형성하기 위해 광을 추가로 회절시키는 투과형 디스플레이(594B)로 (-Z 방향을 따라) 다시 회절된다.

[0607] 도 5k는 광 회절 장치(598C)를 사용하는 광 회절 조명을 갖는 투과형 디스플레이(594C)를 갖는 또 다른 시스템(590C)을 예시한다. 반사형 디스플레이(594C)는 도 5j의 투과형 디스플레이(594C)와 동일할 수 있다. 도 5h의 광 회절 구조(598)와 마찬가지로, 광 회절 구조(598C)는 투과형 필드 격자 구조(598-1C) 및 기관(598-2C)을 포함할 수 있는 투과형 필드 격자 기반 구조일 수 있다. 기관(598-2C)은 유리 기관일 수 있다. 투과형 필드 격자 구조(598-1C)는 하나 이상의 상이한 색상을 위한 하나 이상의 투과형 홀로그래픽 격자를 포함할 수 있다. 도 5h의 광 회절 구조(598)와 달리, 광 회절 구조(598C)의 투과형 필드 격자 구조(598-1C)는 기관(598-2C)의 전면 상에 배열된다. 조명기(596)는 투과형 필드 격자 구조(598-1C) 뒤에 배열되며, 큰 입사각으로 투과형 필드 격자 구조(598-1C) 상에 광을 조명하도록 구성된다. 광은 홀로그래픽 광 필드(599)를 형성하기 위해 광을 추가로 회절시키는 투과형 디스플레이(594C)로 (+Z 방향을 따라) 전방으로 회절된다.

[0608] 상기에 논의된 바와 같이, 도 5h 내지 5k는 반사형/투과형 디스플레이 및 반사형/투과형 필드 격자 기반 광 회절 장치의 상이한 조합을 도시한다. 일부 경우에, 광 회절 장치를 디스플레이 후면에 배치하면 광중합체가 고유 구조나 추가 유리층으로 아직 보호되지 않은 경우 광중합체를 더 잘 보호할 수 있다. 일부 경우에, 투과형 격자는 기계적으로나 광학적으로 디스플레이에 더 가까울 수 있으며, 투과형 격자로부터 디스플레이까지의 광은 반사형 격자에서 나오는 것보다 더 짧은 거리를 이동할 수 있으며, 이는 정렬, 커버리지, 분산 및/또는 산란 문제를 줄일 수 있다. 일부 경우에, 투과형 격자는 반사형 격자보다 더 큰 파장 공차와 더 작은 각도 공차를 가질 수 있다. 일부 경우에, 투과형 격자는 예를 들어 천장 조명 및 조명 키보드와 같이 뷰어를 향해 주변 조명을 미

러링할 가능성이 적을 수 있다. 일부 경우에, 투과형 디스플레이를 사용하여, 뷰어가 디스플레이에 더 가까이 다가갈 수 있으며, 홀로그래픽 광 필드가 디스플레이에 더 가깝게 투영될 수 있다. 일부 경우에, 투과형 디스플레이의 경우, 투과형 디스플레이용 유리 기판은 영화 및 건축 크기에 대해 거의 심리스한 타일링으로 대각선이 최대 100인치 이상인 입증된 제조 능력을 가질 수 있다. 일부 경우에, 반사형 및 반투과형 디스플레이는 컨트롤러(예를 들어, 맥스웰 홀로그래피 회로)를 디스플레이 요소 뒤에 임베딩될 수 있으며, 투과형 디스플레이는 픽셀 간(또는 위상 간) 갭 뒤에 컨트롤러 또는 회로부를 통합할 수 있다. 일부 경우에, 반사형 및 반투과형 디스플레이는 광이 디스플레이 요소(예를 들어, 액정 재료)를 이중 통과하도록 할 수 있으며, 액정 재료를 통해 단일 통과를 사용하는 투과형 디스플레이의 굴절률 변화를 두 배로 가질 수 있다. 반투과형 디스플레이는 투과광을 반사시키는 광학층이 있는 디스플레이를 나타낼 수 있다.

[0609] 예시적인 디스플레이 구현

[0610] 상기에 언급된 바와 같이, 맥스웰 홀로그래피의 디스플레이는 위상 변조 장치일 수 있다. 디스플레이의 위상 요소(또는 디스플레이 요소)는 phase1로서 나타낼 수 있다. 단지 예시를 위해, 위상 변조 장치로서 기능하는 LCOS(liquid crystal on silicon) 장치가 아래에서 논의된다. LCOS 장치는 실리콘 백플레인 위에 액정(LC) 층을 사용한 디스플레이이다. LCOS 장치는 가능한 최소 페이젤 피치, 페이젤 간 최소 누화 및/또는 사용 가능한 큰 위상 변조 또는 지연(예를 들어, 적어도 2π)을 달성하도록 최적화될 수 있다.

[0611] LC 혼합물의 복굴절(Δn), 셀 갭(d), LC 혼합물의 유전율 이방성($\Delta \epsilon$), LC 혼합물의 회전 점도(η) 및 실리콘 백플레인 및 LC 층 상단의 공통 전극 사이의 최대 인가 전압(V)을 포함하여, LCOS 장치의 성능을 최적화하기 위해 파라미터 목록이 제어될 수 있다.

[0612] 액정 재료와 구조의 파라미터 사이에 존재하는 근본적인 트레이드 오프가 있을 수 있다. 예를 들어, 기본 경계 파라미터는 사용 가능한 위상 변조 또는 지연(Re)이며, 이는 다음과 같이 표현될 수 있다:

$$Re = 4\pi \cdot \Delta n \cdot d / \lambda \quad (8),$$

[0614] 여기서 λ 는 입력광의 파장이다. 파장이 약 $0.633 \mu m$ 인 적색광에 대해 지연도(Re)가 적어도 2π 이어야 하는 경우, 다음과 같다.

$$\Delta n \cdot d \geq 0.317 \mu m \quad (9).$$

[0616] 위의 표현은 임의의 주어진 파장(λ)에 대한 LC 혼합물의 셀 갭(d)과 복굴절(Δn) 사이에 직접적인 트레이드 오프가 있음을 암시한다.

[0617] 또 다른 경계 파라미터는 스위칭 속도 또는 전압이 적용된 후 LC 층의 액정(LC) 분자가 원하는 방향에 도달하는 데 걸리는 스위칭 시간(T)이다. 예를 들어, 3색 필드 순차 색상 시스템을 사용하는 실시간 비디오($\sim 60Hz$)의 경우, LC 층의 최소 180Hz 변조가 관련되며, 이는 5.6밀리초(ms)의 LC 스위칭 속도에 대한 상한선을 지정한다. 스위칭 시간(T)은 액정 혼합물, 셀 갭, 동작 온도 및 인가 전압을 포함한 다수의 파라미터와 관련이 있다. 첫째, T 는 d^2 에 비례한다. 셀 갭(d)이 감소함에 따라, 스위칭 시간은 제곱으로 감소한다. 둘째, 스위칭 시간은 또한 액정(LC) 혼합물의 유전 이방성($\Delta \epsilon$)과 관련이 있으며, 유전 이방성이 높을수록 스위칭 시간이 짧아지고, 점도(이는 온도에 따라 달라질 수 있음)가 낮을수록 스위칭 시간이 짧아진다.

[0618] 제3 경계 파라미터는 프링징 필드(fringing field)일 수 있다. 결정질 실리콘의 높은 전자 이동도 때문에, LCOS 장치는 매우 작은 페이젤 크기(예를 들어, $10 \mu m$ 미만) 및 서브마이크론 위상간 갭으로 제조될 수 있다. 인접한 페이젤이 다른 전압에서 동작할 때, 페이젤 에지 근처의 LC 디렉터는 프링징 필드의 측면 컴포넌트에 의해 왜곡되며, 이는 장치의 전기 광학 성능을 크게 저하시킨다. 또한, 페이젤 갭이 입사광 파장과 비슷해짐에 따라, 회절 효과로 인해 심각한 광 손실이 발생할 수 있다. 위상 노이즈를 허용 가능한 레벨 내로 유지하기 위해 페이젤 갭을 페이젤 피치 이하로 유지해야 할 수 있다.

[0619] 일부 예들에서, LCOS 장치는 프링징 필드 경계 조건이 관찰되는 경우 $2 \mu m$ 의 페이젤 피치 및 약 $2 \mu m$ 의 셀 갭을 갖도록 설계된다. 위의 식에 $\Delta n \cdot d \geq 0.317 \mu m$ 에 따라, Δn 은 0.1585 이상이 되어야 하며, 이는 현재의 액정 기술을 사용하여 달성할 수 있다. 주어진 페이젤 피치에 대한 최소 복굴절이 결정되면, LC는 예를 들어 유전 이방성을 증가시키거나 및/또는 회전 점도를 감소시킴으로써, 스위칭 속도에 대해 최적화될 수 있다.

[0620] 디스플레이를 위한 비균일 페이젤 구현

- [0621] LCOS 장치에서, 회로 칩, 예를 들어 CMOS(Complementary Metal-Oxide-Semiconductor) 칩 또는 등가물은 칩 표면 아래 묻힌 반사형 금속 전극의 전압을 제어하며, 각각은 하나의 phase를 제어한다. 모든 페이지셀에 대한 공통 전극은 LCOS 커버 유리의 인듐 주석 산화물로 만들어진 투명 전도층에 의해 공급된다. 페이지셀은 동일한 크기와 동일한 모양(예를 들어, 정사각형)을 가질 수 있다. 예를 들어, 칩은 1024×768(또는 4096×2160) 페이지셀을 가질 수 있으며, 각각은 독립적으로 주소 지정 가능한 전압이 있다. 상기에 언급된 바와 같이, 페이지셀 간 갭이 입사광 파장과 비슷해지면, LCOS 장치의 주기적 구조로 인해 회절 효과가 나타날 수 있으며, 이는 회절된 광에서 심한 광 손실과 강한 주기적 구조를 유발할 수 있다.
- [0622] 맥스웰 홀로그래픽 계산에서, 각 페이지셀은 각 프리미티브로부터 EM 기여도의 합을 수신하고 상대적으로 서로 독립적이다. 따라서, 맥스웰 홀로그래피에서 LCOS 장치의 페이지셀은 서로 다르게 설계될 수 있다. 예를 들어, 도 6a에 예시된 바와 같이, LCOS 장치(600)는 다수의 불균일한(또는 불규칙한) 페이지셀(602)로 만들어질 수 있다. 적어도 두 개의 페이지셀(602)은 상이한 형상을 갖는다. 페이지셀(602)의 불균일한 형상은 다른 효과 중에서 회절 수차(예를 들어, 회절광의 주기적인 구조로 인한)를 크게 감소시키거나 제거하며, 따라서 이미지 품질을 향상시킬 수 있다. 페이지셀은 불균일한 형상을 가질 수 있지만, 페이지셀은 원하는 공간 분해능을 충족하는 평균(예를 들어, 약 3 μ m)의 크기 분포를 갖도록 설계될 수 있다. 실리콘 백플레인용 페이지셀의 형상에 따라 페이지셀 각각에 대한 개별 회로(예를 들어, 금속 전극 포함)를 제공하도록 구성될 수 있다.
- [0623] LCOS 장치의 페이지셀 배열에서, 특정 페이지셀을 선택하기 위해, 특정 페이지셀을 포함하는 페이지셀 행을 연결하는 워드 라인에 제1 전압을 인가되며, 특정 페이지셀을 포함하는 페이지셀 열을 연결하는 비트 라인에 제2 전압이 인가된다. 각 페이지셀에는 저항 및/또는 커패시턴스가 있으므로, LCOS 장치의 동작 속도는 이러한 전압의 스위칭(또는 상승 및 하강 시간)에 의해 제한될 수 있다.
- [0624] 상기에 언급된 바와 같이, 맥스웰 홀로그래피에서, 페이지셀은 서로 다른 크기를 가질 수 있다. 도 6b에 예시된 바와 같이, LCOS 장치(650)는 다른 페이지셀들(652)보다 큰 크기를 갖는 하나 이상의 페이지셀들(654)을 갖도록 설계된다. 모든 페이지셀은 여전히 원하는 해상도를 충족하는 크기 분포를 가질 수 있다. 예를 들어, 페이지셀의 99%는 3 μ m의 크기를 가지며, 페이지셀의 1%만이 6 μ m의 크기를 갖는다. 더 큰 크기의 페이지셀(654)은 페이지셀(652)에 서와 동일한 다른 회로부 외에 페이지셀(654)에 적어도 하나의 버퍼(660)를 배열하도록 한다. 버퍼(660)는 인가된 전압을 버퍼링하여 전압이 위상의 페이지셀 행 또는 열 내의 더 적은 수의 페이지셀에만 인가되도록 구성된다. 버퍼(660)는 예를 들어, 트랜지스터로 만들어진 아날로그 회로, 또는 예를 들어, 다수의 논리 게이트로 만들어진 디지털 회로, 또는 이들의 조합일 수 있다.
- [0625] 예를 들어, 도 6b에 예시된 바와 같이, 전압이 워드 라인(651)에 인가되고 또 다른 전압이 비트 라인(653)에 인가되어 특정 페이지셀(652*)을 선택한다. 페이지셀(652*)은 버퍼(660)를 포함하는 더 큰 페이지셀(654)과 동일한 행에 있다. 전압은 주로 더 큰 페이지셀(654) 이전의 행에서 제1 개수의 페이지셀에 인가되고 더 큰 페이지셀(654) 내의 버퍼(660)에 의해 차단된다. 이러한 방식으로, LCOS 장치(650)의 동작 속도가 향상될 수 있다. 더 큰 크기의 페이지셀(654)로, 다른 회로부도 LCOS 장치(650)에 배열되어 LCOS 장치(650)의 성능을 더욱 향상시킬 수 있다. 도 6b의 페이지셀(654) 및 페이지셀(652)은 정사각형 모양을 갖지만, 페이지셀은 다른 페이지셀(652)보다 더 큰 크기를 갖는 하나 이상의 페이지셀(654)이 있는 한 도 6a에 예시된 바와 같이 서로 다른 모양을 가질 수도 있다.
- [0626] 예시적인 교정
- [0627] 본 개시의 맥스웰 홀로그래피의 고유한 특성은 고품질 디스플레이의 실제 생산 시 상당한 경쟁 우위를 창출할 수 있는 교정 기술의 보호를 허용한다. 다수의 교정 기술은,
- [0628] 디리클레(Dirichlet) 경계 조건 변조기와 함께 및/또는 기계 및 소프트웨어 회절 및 비회절 교정 기술과 함께 이미지 센서 또는 광 필드 센서 사용;;
- [0629] 개별 색상 교정 및 디리클레 경계 조건 변조기와와 정렬을 포함한 소프트웨어 정렬 및 소프트웨어 교정; 및
- [0630] 맥스웰 홀로그래피와 결합할 때 제조 교정 프로세스를 단순화하는 강력하고 고유한 접근 방식을 생성하는 광 검출(전력 및 색상 포함) 및/또는 온도 측정이 변조기에 직접 구축되도록 하는 경계 조건 변조기에 실리콘 기능을 임베딩을 포함하는, 맥스웰 홀로그래픽 계산 기술과 결합하여 구현될 수 있다.
- [0631] 다음에서는, 단지 설명을 위해, 위상 기반 디스플레이(예를 들어, LCOS 디스플레이)에 대해 세 가지 유형의 교정이 구현된다. 각 위상 요소는 페이지셀로 표현될 수 있다.
- [0632] 위상 교정

- [0633] LCOS 위상 요소(또는 페이젤)에 충돌하는 광에 추가된 위상의 양은 LCOS 페이젤에 인가된 전압에 의해 직접 알 수 있다. 이는 복굴절 액정(LC)이 전기장이 있는 상태에서 회전되고 따라서 굴절률이 변경되며 광을 감속시켜 그 위상을 변경하기 때문이다. 변경된 위상은 액정(LC) 및 LC가 상주하는 실리콘 장치의 전기적 특성에 따라 달라질 수 있다. LCOS로 전송되는 디지털 신호는 고품질 홀로그래픽 이미지를 얻기 위해 올바른 아날로그 전압으로 변환되어야 한다. 위상 교정은 LCOS 장치가 디지털 신호가 LC에 적용되는 아날로그 신호로 적절하게 변환되어 가장 많은 양의 위상 범위를 생성하도록 하는 것이 수반된다. 이 변환은 선형 동작으로 이어질 것으로 예상된다. 즉, 전압이 고정 증분씩 변하기 때문에, 위상도 시작 전압값과 상관없이 고정 증분씩 변한다.
- [0634] 일부 경우에, LCOS 장치는 사용자가 디지털 입력 신호가 주어진 아날로그 전압 출력의 양을 제어할 수 있도록 사용자가 디지털-아날로그 변환기(DAC)를 변경하도록 할 수 있다. 디지털 전위차계가 각 입력 비트에 적용될 수 있다. 예를 들어, 8개의 입력 비트가 있는 경우, 각 입력 비트에 해당하는 8개의 디지털 전위차계가 있을 수 있다. 디지털 전위차계의 동일한 디지털 입력이 LCOS 장치의 모든 페이젤에 적용될 수 있다. "1"로 설정된 비트는 전압을 활성화하고, "0"으로 설정된 비트는 전압을 활성화하지 않는다. 이러한 "1" 비트의 모든 전압은 함께 합산되어 각 페이젤로 전송되는 최종 전압을 얻는다. 또한 모든 "0" 비트가 0이 아닌 베이스라인 전압이 되도록 모든 경우에 DC 전압이 적용될 수 있다. 따라서, LCOS 장치의 위상 교정은 LCOS 장치의 디지털 전위차계 값을 설정하여 구현될 수 있다. 예를 들어, 상기에 언급된 바와 같이, 컨트롤러는 프리미티브 목록으로부터 디스플레이의 각각의 페이젤까지의 EM 필드 기여도를 계산하고, 프리미티브로부터 각각의 페이젤까지의 EM 필드 기여도의 각각의 합을 생성하고, 페이젤의 위상을 변조를 위해 각각의 페이젤에 대한 각각의 제어 신호를 생성할 수 있다. 디지털 전위차계의 동일한 디지털 입력이 적용되어 LCOS 장치의 모든 페이젤에 대한 각각의 제어 신호를 조정할 수 있으며, 이는 페이젤별 위상 교정과 다르다. 디지털 입력은 예를 들어 홀로그램을 디스플레이하기 위해 LCOS 장치의 동작 기간 동안 한 번 설정될 수 있다.
- [0635] 디지털 입력에 대한 최적의 위상 교정 값 세트를 결정하기 위해, 위상 범위 또는 홀로그래픽 이미지 대비와 같은 하나의 출력 값으로 이어지는 많은 입력 값이 있는 유전 알고리즘이 적용될 수 있다. 이 출력 값은 적합도로 알려진 하나의 수로 감소될 수 있다. 유전 알고리즘은 적합도가 가장 높은 출력을 얻을 때까지 입력 값의 다양한 조합을 탐색하도록 구성될 수 있다. 일부 경우에, 알고리즘은 두 개 이상의 가장 적합한 입력을 취하고 여러 구성 요소 값을 함께 결합하여 취득된 입력의 특성을 갖지만 취득된 입력 각각과 다른 새 입력을 생성할 수 있다. 일부 경우에, 알고리즘은 이러한 구성 값 중 하나를 취득된 적합 입력 중 하나가 아닌 것으로 변경할 수 있으며, 이는 "돌연변이(mutation)"로 표현되며 사용 가능한 적합 입력에 다양성을 추가할 수 있다. 일부 경우에, 하나 이상의 최적 값은 최적 값이 로컬 최대값에 제한되지 않도록 새로운 값을 시도하면서 좋은 결과로 이전 측정에서 얻은 지식을 활용하여 찾을 수 있다.
- [0636] 적합도 출력 값을 계산하기 위한 여러 방법들이 있을 수 있다. 한 가지 방법은 LCOS의 모든 페이젤에 적용되는 디지털 입력 세트가 주어지면 광의 위상 변화를 계산하는 것이다. 이 방식에서는, 입사광이 편광될 수 있다. LCOS에 충돌 시, 입사광의 편광이 LC의 회전에 따라 변할 수 있다. 입사광은 원래 편광과 동일한 편광 또는 90도 다른 편광으로 설정된 다른 편광기를 통해 다시 회전된 다음 광 검출기로 들어갈 수 있다. 따라서, LC 회전이 변경되면, 광 검출기에서 보이는 세기가 변할 수 있다. 따라서, 광의 위상 변화는 세기 변화를 통해 간접적으로 감지될 수 있다. 위상 변화를 계산하는 또 다른 방법은 백그라운드에서 맥스웰 홀로그래픽 재구성의 세기 차이를 측정하는 것이다. 이는 투사형 디스플레이에서 가장 효과적이다. 이러한 인스턴스에서 세기를 측정하려면 컴퓨터 비전 알고리즘을 사용하여 맥스웰 홀로그래픽 재구성을 식별하고 세기를 측정해야 할 수 있다. 위상 변화를 결정하는 또 다른 방법은 간접계 광학 기하학적 형상에서 현미경으로 위상 변화를 측정하거나 이미지화하는 것이다.
- [0637] 정렬 교정
- [0638] 광원 및 기타 광학 요소는 홀로그래픽 장치 내에서 적절하게 정렬되지 않을 수 있으며 따라서 정렬되어야 할 수 있다. 상이한 액정(LC) 및 광 회절 요소 또는 회절 광학 요소는 또한 광원의 상이한 파장에 대해 다르게 동작할 수 있다. 또한, 특히 LC, 회절 및 광원은 장치마다 그리고 시간 경과에 따라(에이징 및 번-인(burn-in)) 그리고 동작 온도와 열적 또는 기계적 스트레스로 인한 기계적으로 유도된 변형과 같은 동작 환경의 변화의 결과로서 변할 수 있어, 다른 기본 색상 또는 다른 시간 또는 다른 환경에서 나타낼 때 동일한 입력 홀로그램에 서로 다른 특성(예를 들어, 객체 스케일링)을 제공한다. 또한, 특정 하드웨어 특징은 이러한 상황에서 보정이 필요할 수도 있는 출력 광에 다양한 광학 효과(예를 들어, 렌징(lensing))를 적용할 수 있다.
- [0639] 일부 구현들에서, 위에서 설명된 문제는 기계적 변형, 변형 및 회전을 하나 이상의 광학 요소에 적용하여 해결

될 수 있다. 일부 구현들에서, 위에서 설명된 문제는 디스플레이의 페이젤에 대해 계산된 위상에 수학적 변환을 적용하여 해결될 수 있다. 위상은 프리미티브 목록으로부터 페이젤까지의 EM 필드 기여도의 각각의 합이다. 수학적 변환은 예를 들어 제르니케(Zernike) 다항식과 같은 수학적 표현으로부터 도출될 수 있고, 다항식 계수 또는 기타 다양한 입력 값을 변경함으로써 변경될 수 있다. 수학적 변환은 색상뿐만 아니라 페이젤별로 다를 수 있다. 예를 들어, 광이 디스플레이에서 회절된 후 광에 적용되는 기울기 양에 해당하는 제르니케 다항식 계수가 있다.

[0640] 이러한 계수/입력 값을 결정하기 위해, 2D 카메라, 광도계, 광 필드 카메라 및/또는 기타 측광 또는 비색 측측이 투사형 디스플레이의 경우 LCOS에 의해 조명되는 반사형 또는 확산 투과형 표면을 가리키거나 직접-보기 디스플레이의 경우 LCOS를 가리키는 하드웨어 및 소프트웨어 설정이 생성될 수 있다. 하나 이상의 홀로그래픽 테스트 패턴 및 객체가 디스플레이로 전송되며 측정 장비 또는 장비들로 측정될 수 있다. 2D 카메라 또는 3D(광 필드) 카메라 또는 카메라 어레이는 머신 비전 알고리즘을 사용하여 디스플레이되는 항목을 결정한 다음 그 적합도를 계산할 수 있다. 예를 들어, 도트 그리드가 테스트 패턴인 경우, 적합도는 도트가 서로 얼마나 가까운지, 의도한 위치에 얼마나 중앙에 있는지, 얼마나 많은 왜곡이 나타나는지(예를 들어, 스케일 또는 핀쿠션) 등의 통계적 측정에 의해 결정될 수 있다. 서로 다른 성능 특성에 대해 서로 다른 적합도 값이 있을 수 있다. 이러한 값에 따라, 적합도가 미리 결정된 만족스러운 수준에 도달하거나 시각적 또는 작업 지향 A/B 테스트를 통과할 때까지 제르니케 다항식에 계수를 변경하는 형태로 보정이 적용될 수 있다. 이러한 테스트 패턴은 특히 하나의 3D 지점이나 평면뿐만 아니라, 서로 다른 거리에 있는 객체들에 대해 정렬이 일관되도록 서로 다른 거리에서 렌더링될 수 있다. 이러한 깊이 기반 교정은 홀로그래픽 테스트 패턴 또는 그 안의 요소의 깊이 변경뿐만 아니라, 반사형 또는 확산 투과형 표면의 위치를 변경하는 반복 프로세스가 수반될 수 있으며, 여기서 여러 깊이에서 작동하는 솔루션에 수렴될 때까지 이전 교정을 반복될 수 있다. 마지막으로, 흰색 도트가 디스플레이되어 교정의 효율성을 나타낼 수 있다.

[0641] 색상 교정

[0642] 디스플레이에서, 홀로그래픽 또는 기타 다른 방식으로, 두 유닛이 동일한 이미지를 렌더링할 때, 디스플레이 간에 색상이 일치하고 추가로 고화질 TV(HDTV) 또는 컴퓨터 모니터의 sRGB 색 공간에 대한 Rec.709 표준과 같은 텔레비전(TV) 및 컴퓨터 디스플레이 표준에 의해 정의된 색상이 일치하는 것이 중요하다. 하드웨어 컴포넌트(예를 들어 LED 및 레이저 다이오드)의 서로 다른 배치(batch)는 동일한 입력에 대해 서로 다른 동작을 나타낼 수 있으며, 육안으로 인식할 때 서로 다른 색상을 출력할 수 있다. 따라서, 모든 디스플레이 유닛이 교정될 수 있는 색상 표준을 갖는 것이 중요하다.

[0643] 일부 구현들에서, 강도 및 색도 측정에 의해 지정된 색상의 객관적인 측정값은 CIE(Commission Internationale de l'eclairage) 표준 관찰자 곡선에 대한 색상 강도를 측정함으로써 획득될 수 있다. 각 디스플레이가 알려진 색상 및 강도의 샘플 세트를 재생하도록 요청한 다음, CIE 표준 관찰자 곡선으로 교정된 색도계 장치를 사용하여 출력 광을 측정함으로써, 선택된 CIE 색 공간에서 장치의 색상 출력이 객관적으로 정의될 수 있다. 알려진 양호한 값으로부터 측정된 값의 편차는 디스플레이의 출력 색상을 조정하여 정렬 또는 부합성을 되찾는 데 사용될 수 있으며, 이는 반복적인 측정-적응-측정 피드백 루프를 사용하여 구현될 수 있다. 맥스웰 홀로그래픽 장치가 주어진 입력 세트에 대해 정확한 출력을 생성하면, 최종 적응은 입력 값을 출력 강도에 매핑하는 조명기 및 입력 색상을 출력 색상 공간 값으로 변환시키는 색상 매트릭스 변환에 대한 룩업 테이블로 인코딩될 수 있다. 이러한 교정 테이블은 신뢰할 수 있는 객관적인 출력 색상을 생성하기 위해 장치 자체에 이베딩될 수 있다. 다수의 동작 온도 범위 각각에 대해 다수의 테이블이 제공될 수 있다. LCOS의 활성 표면의 다수의 서로 다른 영역 각각에 대해 이러한 다수의 테이블이 제공될 수 있다. 교정 값은 인접한 온도 범위 및/또는 인접한 표면 영역에 대한 테이블 간에 보간될 수 있다.

[0644] 추가로, 서브 파장 정확도로 회절을 제어하기에 충분히 미세한 기능을 갖춘 LCOS 장치가 주어지면, 3자극 조명(예를 들어, 적색, 녹색 및 청색의 선형 혼합)이 필요하지 않을 수 있고, LCOS 장치는 단일의 넓은 스펙트럼 광원으로 조명될 수 있으며, 페이젤 출력을 선택적으로 조정하여 공통 3자극 근사치보다는 색상의 보다 완전한 스펙트럼 출력을 재현할 수 있는 공간 디더링 패턴과 결합된 3중, 4중, 심지어 N중-자극 출력 색상을 생성할 수 있다. 충분히 넓은 스펙트럼 조명기가 주어지면, 이는 맥스웰 홀로그래피가 인간 시각 시스템의 스펙트럼 초점 내부 또는 적외선(IR) 또는 자외선(UV) 구조광의 스펙트럼 초점 외부에 있는 임의의 반사된 색상을 생성하도록 할 수 있다.

[0645] 예시적인 홀로그래픽 격자

- [0646] 도 7a 내지 7f는 광 회절 장치(또는 도광 장치)(예를 들어, 도 5h의 광 회절 장치(598), 도 5i의 598A, 도 5j의 598B 또는 도 5k의 598C)에 포함될 수 있는 예시적인 홀로그래픽 격자의 구현을 예시한다. 도 7a 및 7b는 단색의 기록 매체에 홀로그래픽 격자를 기록 및 재생하는 것을 예시한다. 도 7c 및 7d는 3가지 서로 다른 색상의 광으로 기록 매체에 3가지 다른 색상의 홀로그래픽 격자를 기록(도 7c)하고, 단일 색상의 광으로 이들을 재생(도 7d)하는 것을 예시한다. 도 7e 및 7f는 세 가지 다른 색상의 광으로 기록 매체에서 세 가지 다른 색상의 홀로그래픽 격자를 재생하는 것을 예시하고, 도 7f는 서로 다른 색상의 회절광 사이의 색상 누화를 예시한다. 기록 기준 광 빔, 기록 객체 광 빔, 재생 기준 광 빔 및 회절 광 빔 중 어느 하나는 s 편광 또는 p 편광될 수 있는 편광 광 빔이다.
- [0647] 도 7a는 기록 매체에 홀로그래픽 격자를 기록하는 일 예를 예시한다. 기록 매체는 감광성 재료, 예를 들어 감광성 중합체 또는 광중합체, 할로겐화은, 또는 임의의 다른 적합한 재료일 수 있다. 기록 매체는 기판(예를 들어, 유리 기판) 상에 배열될 수 있다. 기판은 기록 중에 투명하거나 투명하지 않을 수 있다. 일부 구현들에서, 감광성 재료는 캐리어 필름, 예를 들어 TAC(셀룰로오스 트리아세테이트) 필름에 접착될 수 있다. 캐리어 필름을 갖는 감광성 재료는 캐리어 필름과 기판 사이에 감광성 재료로, 기판 상에 적층될 수 있다.
- [0648] 투과 홀로그래피에서, 기록 기준 빔과 기록 대상체 빔은 각각 기록 기준 각도(θ_r)와 기록 대상체 각도(θ_o)로 기록 매체의 동일한 영역에 동일한 측면으로부터 입사된다. 기준 빔과 대상체 빔 각각은 공중에서 시작하여, 감광성 재료를 통과한 다음, 기판 안팎으로 통과하여 공중으로 나갈 수 있다. 기록 기준 빔과 기록 대상체 빔은 동일한 색상(예를 들어, 녹색)과 동일한 편광 상태(예를 들어, s 편광)를 갖는다. 두 빔 모두 빔이 겹치는 스태딩 패턴을 형성하기 위해 빔이 강하게 간섭하도록 공간적 및 시간적 일관성이 높은 레이저원에서 발생할 수 있다. 기록 매체 내에서, 패턴은 다음 식을 충족하는 프린지 경사각(θ_t)에서, 도 7a에서 기울어진 실선으로 예시된 바와 같은, 다수의 평행한 간섭 평면을 포함하는 프린지 패턴(예를 들어, 격자)으로서 기록된다:
- [0649]
$$\theta_t = (\theta_o + \theta_r) / 2 \quad (10),$$
- [0650] 여기서 θ_t 는 기록 동안 기록 매체에서 프린지 경사각을 나타내고, θ_o 는 기록 동안 기록 매체에서 대상체 각도를 나타내며, θ_r 는 기록 동안 기록 매체에서 기준 각도를 나타낸다.
- [0651] 기록 매체 표면의 프린지 간격(또는 프린지 기간)(d)은 다음과 같이 표현될 수 있다:
- [0652]
$$d = \lambda_{\text{record}} / (n \sin \theta_{\text{record}}) \quad (11),$$
- [0653] 여기서 λ_{record} 는 기록 파장(진공에서)을 나타내고, n은 격자를 둘러싼 매질의 굴절률을 나타내며(예를 들어, n = 1.0인 공기), θ_{record} 는 기록 동안 빔 간 각도를 나타내고 $|\theta_o - \theta_r|$ 와 동일하며, 여기서 θ_o 는 기록 동안 기록 매체 표면에서의 객체 입사각을 나타내고, θ_r 는 기록 동안 기록 매체 표면에서의 기준 입사각을 나타낸다. 일부 경우에, 프린지 간격(d)은 기록 광의 파장, 예를 들어, $0.5\mu\text{m}$ 과 유사한 크기를 갖는다. 따라서, 프린지 패턴은 주파수 $f = 1/d$ (예를 들어, mm당 약 2,000개의 프린지)를 가질 수 있다. 기록 매체의 두께(D)는 기록 광의 파장보다 10배 이상 클 수 있다. 일부 예들에서, 기록 매체의 두께(D)는 파장의 약 30배, 예를 들어 약 $16.0 \pm 2.0\mu\text{m}$ 이다. 캐리어 필름은 기록 매체보다 두꺼운 두께, 예를 들어 $60\mu\text{m}$ 를 가질 수 있다. 기판은 기록 매체보다 수십 배 더 큰 두께, 예를 들어 약 1.0mm를 가질 수 있다.
- [0654] 프린지 패턴 또는 격자가 기록 매체에 기록된 후, 프린지 패턴은 예를 들어, 프린지를 제자리에 동결시킬 수 있고 프린지의 굴절률 차이를 향상시킬 수 있는 질은 청색 또는 자외선(UV) 광의 노출에 의한 광중합체의 예의 경우 기록 매체에 고정될 수 있다. 기록 매체는 고정하는 동안 줄어들 수 있다. 기록 매체는 고정하는 동안 수축률이 낮도록(예를 들어, 2% 미만) 선택하거나 이러한 수축률이 보상될 수 있다.
- [0655] 각 빔이 굴절률이 다른 재료 사이의 경계를 통과할 때, 빔의 일부는 각 전환에서 반사되는 전력의 백분율을 제공하는 프레넬(Fresnel)의 법칙에 따라 반사된다. 반사는 편광에 따라 다르다. 더 작은 입사각(예를 들어, 30°)의 광의 경우, 프레넬 반사가 더 약할 수 있다. 더 큰 입사각(예를 들어, 80°)의 광과 s-편광된 광의 경우, 프레넬 반사가 더 강할 수 있다. 입사각이 임계각에 도달하거나 초과하면, 내부전반사(TIR)가 발생한다. 즉, 반사율은 100%이다. 예를 들어, 유리(n = 1.5)에서 공기(n = 1.0)로의 전환으로부터, 임계각은 약 41.8° 이다. 굴절률은 편광에 의존하고 파장에 약하게 의존하기 때문에, 큰 입사각에서 반사된 전력은 약하게 파장에 의존할 수 있고, 강하게 편광에 의존할 수 있다.

[0656] 도 7b는 도 7a의 격자에 의해 재생(replay) 기준 빔을 회절시키는 일 예를 예시한다. 전송 홀로그래피의 경우, 재생 동안 기판은 투명하다. 기판은 또한 TAC 또는 일부 다른 낮은 복굴절 플라스틱과 같은 광학적으로 투명한 플라스틱일 수 있다. 기록 매체에 기록된 격자가 재생 기준 빔의 파장에 비해 얇을 때, 예를 들어 기록 매체의 두께가 재생 파장보다 큰 10배 미만인 경우, 격자의 회절각은 아래와 같은 격자 방정식에 의해 설명될 수 있다:

$$[0657] \quad m \lambda_{\text{replay}} = n d (\sin \theta_{\text{in}} - \sin \theta_{\text{out}}) \quad (12),$$

[0658] 여기서 m 은 회절 차수(정수)를 나타내고, n 은 격자를 둘러싼 매질의 굴절률을 나타내며, d 는 기록 매체 표면의 프린지 간격을 나타내고, θ_{in} 은 주변 매질에서 격자로의 입사각을 나타내며, θ_{out} 은 격자에서 다시 주변 매질로의 m 차에 대한 출력각을 나타내고, λ_{replay} 는 진공에서의 재생 파장을 나타낸다.

[0659] 기록된 격자가 비교적 두꺼운 경우, 예를 들어 기록 매체의 두께가 재생 파장보다 10배 이상(예를 들어, 30배) 큰 경우, 격자는 체적 격자 또는 브래그 격자라고 부를 수 있다. 체적 격자의 경우, 브래그 선택성은 브래그 각도에서 회절 효율을 크게 향상시킬 수 있다. 브래그 각도는 예를 들어 엄격한 결합과 솔루션 및/또는 실험 및 반복과 같은 수치 솔루션을 기반으로 결정될 수 있다. 오프 브래그 각도에서, 회절 효율이 실질적으로 감소될 수 있다.

[0660] 브래그 조건은 프린지 평면에 대한 입사각이 프린지 평면을 포함한 매질 내 프린지 평면으로부터의 회절각과 같을 때 충족될 수 있다. 그런 다음 격자 방정식(12)이 브래그 방정식이 될 수 있다:

$$[0661] \quad m \lambda_{\text{replay}} = 2 n_{\text{replay}} \Lambda_{\text{replay}} \sin(\theta_m - \theta_t) \quad (13),$$

[0662] 여기서 m 은 회절 차수(또는 브래그 차수)를 나타내고, n_{replay} 는 매질의 굴절률을 나타내며, Λ_{replay} 는 기록 매체의 프린지 간격을 나타내고, θ_m 은 기록 매체의 m 차 브래그 각도를 나타내며, θ_t 는 기록 매체의 프린지 기울기를 나타내고, Λ_{replay} 는 $d \cos \theta_t$ 와 동일할 수 있다.

[0663] 브래그 조건은 동일한 각도와 파장으로 기록되고 재생되는 체적 격자에 대해 자동으로 충족될 수 있다(처리 중 수축이 없다고 가정). 예를 들어, 도 7b에 예시된 바와 같이, 체적 격자는 동일한 파장(예를 들어, 녹색) 및 기준 각도(예를 들어, θ_r)로 기록 및 재생되며, 격자는 기록 대상체 빔의 각도에서 1차 재생 빔을 회절시킬 수 있다. 입사 광 빔의 일부는 편향되지 않거나 회절되지 않은 0차 광 빔으로 격자를 통과할 수 있다. 0차 광 빔이 반사형 LCOS 장치와 같은 디스플레이에 도달하는 경우, 광 빔은 바람직하지 않은 효과(예를 들어, 고스트 이미지)를 유발할 수 있다.

[0664] 재생 기준 각도는 변경되지 않지만 재생 기준 파장만 변경되는 경우, 기록 매체 내 브래그 격자의 회절 효율(η)은 다음과 같이 표현될 수 있다:

$$[0665] \quad \eta \propto 2 D_{\text{replay}} \sin^2 \theta_{\text{Bragg}} \delta \lambda \cos \theta_{\text{tilt.replay}} / (\lambda_{\text{Bragg}}^2 \cos \theta_{\text{Bragg}}) \quad (14),$$

[0666] 여기서 η 는 회절 효율을 나타내고, D_{replay} 는 재생 동안 기록 매체의 두께(수축 후)를 나타내며, θ_{Bragg} 는 의도된 재생 파장(λ_{Bragg})에 대한 브래그에서의 재생 기준 각도(수축 후)를 나타내고, $\delta \lambda$ 는 재생 파장의 오차, 즉 $\delta \lambda = |\lambda_{\text{replay}} - \lambda_{\text{Bragg}}|$ 를 나타내며, $\theta_{\text{tilt.replay}}$ 는 재생 동안 기록 매체의 프린지 기울기(수축 후)를 나타낸다. 모든 λ 는 진공에서의 값이다.

[0667] 도 7c는 서로 다른 색상의 광을 이용하여 기록 매체에 서로 다른 색상의 격자를 기록하는 일 예를 예시한다. 예시된 바와 같이, 3개의 프린지 패턴(또는 격자)이 예를 들어 순차적으로 또는 동시에 단일 기록 매체에 기록될 수 있다. 프린지 패턴은 재생 색상(예를 들어, 적색, 녹색 또는 청색)에 해당하며 서로 다른 파장으로 기록될 수 있다. 기록 기준 빔과 기록 대상체 빔은 동일한 편광 상태를 갖는다. 가가 빔은 s 편광일 수 있다. 각 색상에 대한 기록 기준 빔은 동일한 기준 빔 각도(θ_r)(예를 들어, $+30^\circ$)로 단일 기록 매체에 입사될 수 있다. 각 색상에 대한 기록 기준 빔은 동일한 대상체 빔 각도(θ_o)(예를 들어, -20°)로 단일 기록 매체에 입사될 수 있다.

[0668] 기록 동안 각 격자에 대한 프린지 평면 기울기(θ_t)는 θ_t 가 파장과 무관하기 때문에 동일할 수 있다(예를

들어, $\theta_t = (\theta_o + \theta_i)/2$. 기록 동안 프린지 평면에 수직인 프린지 간격(d)은 d가 파장에 따라 달라지므로 각 격자마다 다를 수 있다. 일부 예들에서, 도 7c에 예시된 바와 같이, 프린지 간격은 640 nm : 520 nm : 460 nm의 예시적인 파장에 해당하는 적색:녹색:청색 $\approx$ 123%:100%:89% 비율이다.

[0669] 도 7d는 동일한 색상의 광을 이용하여 기록 매체에 서로 다른 색상에 대한 격자를 기록하는 일 예를 예시한다. 도 7c와 마찬가지로, 3개의 프린지 패턴이 단일 광중합체에 기록되며, 각 재생 색상에 대해 하나의 프린지 패턴이 기록된다. 도 7c와 달리, 도 7d의 3개의 프린지 패턴은 동일한 파장(예를 들어, 녹색광)을 사용하여 기록될 수 있다. 이를 달성하기 위해, 각각의 재생 색상에 대한 기록 대상체 빔은 상이한 대상체 빔 각도로 단일 기록 매체에 입사될 수 있고, 각각의 재생 색상에 대한 기록 기준 빔은 상이한 기준 빔 각도로 단일 기록 광중합체에 입사될 수 있다. 재생 색상에 대한 도 7d의 프린지 기울기 및 프린지 간격은 도 7c의 동일한 재생 색상에 대한 프린지 기울기 및 프린지 간격과 일치할 수 있다.

[0670] 도 7e는 상이한 색상에 대한 격자에 의해 상이한 색상의 재생 기준 빔을 회절시키는 일 예를 예시한다. 격자는 도 7c 또는 7d에 예시된 바와 같이 기록될 수 있다. 도 7b와 마찬가지로, 재생 색상에 대해, 기록 파장이 재생 파장과 동일하고 재생 기준 각도가 재생 색상에 대한 격자의 제1 브래그 각도일 때, 격자는 기록 대상체 각도와 동일한 회절각으로 재생 기준 빔의 1차수를 회절시키고, 재생 기준 각도로 재생 기준 빔의 0 차수를 전송한다. 브래그 선택성으로 인해, 1차수에서의 재생 기준 빔의 전력은 0차수에서의 재생 기준 빔의 전력보다 실질적으로 더 클 수 있다. 3개의 재생 기준 빔은 동일한 입사각(예를 들어 30°)을 가질 수 있고, 1차 회절 빔은 동일한 회절각(예를 들어 20°)을 가질 수 있다.

[0671] 각 색상의 재생 기준 각도는 서로 같을 수도 없고, 기록 동안 사용된 색상의 각도와도 같지 않다. 예를 들어, 녹색의 경우, 격자는 예를 들어 주파수 배가 다이오드 펌핑 YAG 레이저(frequency-doubled diode-pumped YAG laser)와 같은 고전력 고간섭 녹색 레이저를 사용하여 532nm에서 기록될 수 있으며, 그런 다음 녹색 레이저 다이오드를 사용하여 520±10nm에서 재생될 수 있다. 일부 경우에, 532nm의 파장을 갖는 녹색 레이저는 640±10nm에서 저렴한 적색 레이저 다이오드를 사용하여 재생에 필요한 프린지 패턴을 기록하는 데에도 사용될 수 있다. 청색의 경우, 격자는 HeCd 레이저를 사용하여 442nm에서 기록될 수 있으며, 460±2nm 청색 레이저 다이오드를 사용하여 재생될 수 있다.

[0672] 도 7f는 서로 다른 색상의 회절 빔 사이의 누화의 일 예를 예시한다. 브래그 선택성에도 불구하고, 각 색상은 서로 다른 색상에 대해 기록된 격자에서 약간 회절될 수 있으며, 이로 인해 이러한 색상 간에 누화가 발생할 수 있다. 해당 색상에 대해 1차 회절만을 제공하는 도 7e와 비교하여, 도 7f는 각 격자로부터 각 색상의 1차 회절을 제공한다.

[0673] 예를 들어, 도 7f에 예시된 바와 같이, 적색, 녹색 및 청색을 위한 적색 격자, 녹색 격자 및 청색 격자가 각각 기록된다. 적색광이 적색 격자에 동일한 기준각 30°로 입사할 때, 적색광의 1차 회절각은 20°이다; 그러나 적색광이 녹색 격자에 동일한 기준각 30°로 입사할 때, 1차수에서 적색광의 회절각은 32°이며; 적색광이 청색 격자에 동일한 기준각 30°로 입사할 때, 1차수에서 적색광의 회절각은 42°이다. 따라서, 회절된 광은 의도하지 않은 각도로 존재할 수 있으며, 색상 누화가 발생한다. 마찬가지로, 녹색광이 녹색 격자에 기준각 30°로 입사할 때, 1차수에서 녹색광의 회절각은 20°이다; 그러나 녹색광이 적색 격자에 동일한 기준각 30°로 입사할 때, 1차수에서 녹색광의 회절각은 11°이며; 녹색광이 청색 격자에 동일한 기준각 30°로 입사할 때, 1차수에서 녹색광의 회절각은 27°이다. 따라서, 회절된 광은 의도하지 않은 각도로 존재할 수 있으며, 색상 누화가 발생한다. 마찬가지로, 청색광이 청색 격자에 기준각 30°로 입사할 때, 1차수에서 청색광의 회절각은 20°이다; 그러나 청색광이 적색 격자에 동일한 기준각 30°로 입사할 때, 1차수에서 청색광의 회절각은 6°이며; 청색광이 녹색 격자에 동일한 기준각 30°로 입사할 때, 1차수에서 청색광의 회절각은 14°이다. 따라서, 회절된 광은 의도하지 않은 각도로 존재할 수 있으며, 색상 누화가 발생한다. 따라서, 기록 매체 내의 3개의 격자에 단일 색상의 광(예를 들어, 녹색광)이 입사되면, 3개의 격자는 단일 색상의 광을 회절시켜 20°의 회절각에서 제1 회절된 녹색광, 27°의 회절각에서 제2 회절된 녹색광, 및 11°의 회절각에서 제3 회절된 녹색광을 갖는다. 회절된 광의 각 색상의 의도하지 않은 두 각도는 원하지 않는 효과를 생성할 수 있다.

[0674] 일부 경우에, 단일 기록층에 3개의 서로 다른 색상에 대한 3개의 서로 다른 격자를 기록하는 대신에, 3개의 서로 다른 격자는 함께 적층된 3개의 분리된 기록층에 대신 저장될 수 있다. 도 7f와 마찬가지로, 세 가지 색상의 광이 격자 중 어느 하나에 동일한 입사각으로 입사할 때 색상 누화가 발생할 수 있다. 본 개시의 구현은 도 9a 내지 12c에 더 상세하게 예시된 바와 같이, 다수의 격자 스택에서 색상 누화를 억제하기 위한 방법 및 장치들

제공한다.

- [0675] 도 8은 기록 매체에 기준각이 큰 홀로그래픽 격자를 기록하는 일 예를 예시한다. 큰 재생 기준 빔 각도를 사용하면 얇은 재생 시스템을 가능하게 한다. 또한, 재생 출력 빔, 즉 1차수에서의 회절각은 디스플레이에 수직일 수 있다. 따라서, 기록 대상체 빔은 도 8에 예시된 바와 같이, 수직 입사에 가까울 수 있다.
- [0676] 브래그 회절의 경우, p편광 및 s편광에 대한 프레넬 반사는 둘 모두 각 프린지 평면에서 낮지만, 45° 의 입사각에서, s편광은 p편광보다 몇배는 더 강하게 반사될 수 있다. 따라서, 기록 매체의 프린지에 대한 재생 기준의 입사각이 45° 에 가까운 경우, 프린지에서 벗어난 브래그 공진은 편광에 매우 민감하여 s-편광을 강하게 선호할 수 있다. 기록 대상체 빔은 재구성된 대상체 빔 또는 회절된 재생 빔이 디스플레이에서 거의 수직 입사에 있을 수 있도록 기록 매체에 거의 수직 입사할 수 있다. 기록 매체의 프린지 기울기는 매체 내 기록 대상체와 기준각의 평균이므로, 재생 시 45° 에 가까운 프린지에 대한 입사각을 달성하여 높은 편광 선택성을 달성하기 위해, 기록 매체에서 90° 에 근접하는 기록 기준각이 사용될 수 있다. 기록 대상체 빔과 기록 기준 빔 사이의 빔간 각도는 90° 에 가까울 수 있다. 예를 들어, 빔간 각도는 도 8에 예시된 바와 같이 84° 이고, 기록 빔에서 프린지 평면의 프린지 기울기는 42° 이며, 프린지 평면에 대한 재생 기준 빔의 입사각은 48° 이고, 이는 약 90:1의 편광 감도에 해당한다.
- [0677] 일부 경우에, 재생 출력(또는 1차) 회절각이 0° 가 되도록 하려면, 기록 대상체 빔이 0° 와 동일하지 않지만 0° 에 가까울 수 있으며, 이는 그 처리 동안 기록 매체의 수축과 기록 파장과 재생 파장 사이의 약간의 파장 차이의 조합을 고려하여 달성될 수 있다. 예를 들어, 기록 대상체 각도는 -10° 내지 10° 의 범위, 예를 들어 -7° 내지 7° 또는 5° 내지 7° 의 범위일 수 있다. 일부 예들에서, 기록 대상체 각도는 0° 이다. 일부 예들에서, 기록 대상체 각도는 6° 이다.
- [0678] 일부 구현들에서, 충분히 큰 빔간 각도(예를 들어, 90° 에 가까움)를 달성하기 위해, 기록하는 동안, 프리즘으로의 입사각이 프리즘 면의 법선에 가까운 프리즘 면을 통해 각 기록 빔이 프리즘에 들어가도록 프리즘이 적용되며, 따라서 굴절 및 프레넬 손실은 모두 무시할 수 있다. 프리즘은 경계에서 기록 매체의 커버 필름 또는 기판에 굴절을 정합될 수 있으므로, 굴절을 부정합은 경계에서 무시할 수 있고, 굴절 및 프레넬 손실도 경계에서 무시할 수 있다.
- [0679] 예시적인 광 회절 장치
- [0680] 도 9a 내지 12c는 예시적인 광 회절 장치의 구현을 도시한다. 장치들 중 어느 하나는 예를 들어, 도 5h의 광 회절 장치(598) 또는 도 5k의 598C에 대응할 수 있다. 광 회절 장치는 회절된 광 사이의 색상 누화를 억제(예를 들어, 감소 또는 제거)하기 위해 및/또는 0차 비회절 광을 억제하기 위해 복수의 색상을 갖는 광을 개별적으로 회절시키도록 구성된다. 도 9a 내지 10b는 색상 선택 편광기를 포함하는 예시적인 광 회절 장치를 도시한다. 색상 선택 편광기는 선택된 색상의 편광을 선택적으로 변경할 수 있으므로, 단일 색상의 광이 s 편광을 가져 1차수에서 높은 회절 효율을 얻을 수 있는 반면 다른 색상의 광은 p 편광을 가져 1차수에서 낮은 회절 효율을 갖는다. 도 11 내지 12c는 반사층을 포함하는 예시적인 광 회절 장치를 도시한다. 반사층은 다른 색상의 광을 투과시키면서 0차수의 단일 색상의 광을 선택적으로 전반사시킬 수 있다.
- [0681] 색상 선택 편광기가 있는 광 회절 장치
- [0682] 도 9a는 2가지 색상에 대한 홀로그래픽 격자 및 대응하는 색상 선택 편광기를 포함하는 예시적인 광 회절 장치(900)를 예시하고, 도 9b는 도 9a의 광 회절 장치(900)에 의해 두 가지 색상의 광을 회절시키는 일 예(950)를 예시한다. 예시를 위해, 녹색 및 청색의 광에 대한 장치(900)가 구성된다.
- [0683] 광 회절 장치(900)는 광의 청색에 대한 제1 회절 격자(B 격자)(912)를 갖는 제1 광 회절 컴포넌트(910) 및 광의 녹색에 대한 제2 회절 격자(G 격자)(922)를 갖는 제2 광 회절 컴포넌트(920)를 포함한다. 각각의 회절 격자는 캐리어 필름(예를 들어, TAC 필름)과 기판(예를 들어, 유리 기판) 사이에 있을 수 있다. 캐리어 필름은 회절 격자 뒤에 있을 수 있고, 기판은 Z 방향을 따라 회절 격자 앞에 있을 수 있으며, 그 반대도 가능하다. 도 9a에 예시된 바와 같이, 제1 광 회절 컴포넌트(910)는 기판(914) 및 B 격자(912)의 대향면에 있는 캐리어 필름(916)을 포함하고, 제2 광 회절 컴포넌트(920)는 기판(924) 및 G 격자(922)의 대향면에 있는 캐리어 필름(926)을 포함한다. 광 회절 장치(900)는 제1 및 제2 광 회절 컴포넌트(910 및 920)가 적층된 필드 격자 기판(902)을 포함할 수 있다. 반사 방지(AR) 코팅(901)은 필드 격자 기판(902)의 표면에 부착되거나 도포되어 표면에서의 반사를 감소시킬 수 있다.
- [0684] 광 회절 장치(900)는 또한 광학적으로 투명한 굴절을 정합 접착제(OCA), UV 경화 또는 열 경화 광학 접착제, 광

학 접촉 또는 굴절률 정합 유체 중 하나 이상을 포함하여 인접 층 또는 컴포넌트(예를 들어, 필드 격자 기관(902) 및 BY 필터(904), BY 필터(904) 및 제1 회절 컴포넌트(910)(또는 기관(914)), 제1 회절 컴포넌트(910)(또는 캐리어 필름(916)) 및 GM 필터(906), 및 /또는 GM 필터(906) 및 제2 회절 컴포넌트(920)(또는 기관(924)))를 함께 부착 또는 접착할 수 있다. 캐리어 필름(914 또는 924), 기관(916 또는 926) 및 OCA 층의 순서는 재생 광의 파장에서의 굴절률에 기초하여 결정되어 경계에서의 굴절률 불일치를 줄이고 이에 따라 경계에서의 프레넬 반사를 감소시킬 수 있다.

[0685] 제1 및 제2 회절 격자 각각은 기록 매체(예를 들어, 감광성 중합체)에 독립적으로 기록 및 고정(예를 들어, 경화)된 홀로그래픽 격자(예를 들어, 체적 격자 또는 브래그 격자)일 수 있다. 기록 매체의 두께는 기록 파장보다 10배 이상(예를 들어, 약 30배) 클 수 있다. 도 7a 또는 도 8에 예시된 것과 마찬가지로, 기록 매체에 기록 기준각으로 입사하는 기록 기준 광 빔과 기록 매체에 기록 대상체 각도로 입사하는 기록 객체 광 빔은 기록 매체에서 간섭하여 회절 격자를 형성할 수 있다. 그런 다음, 도 7b에 예시된 것과 마찬가지로, 재생 기준 광 빔은 기록된 회절 격자에 의해 1차수 및 0차수로 회절될 수 있다. 기록 광 빔과 재생 광 빔은 동일한 s 편광 상태를 가질 수 있다. 재생 광 빔의 재생 파장은 기록 광 빔의 기록 파장과 실질적으로 동일할 수 있다.

[0686] 일부 예들에서, 재생 입사각은 기록 기준각(또는 브래그 각도)과 실질적으로 동일할 수 있으며, 브래그 조건을 충족할 수 있다. 1차수의 광(또는 1차 광)은 기록 대상체 각도에 거의 근접한 회절각으로 회절되고, 0차수의 광(또는 0차 광)은 회절되지 않고 재생 입사각으로 투과된다. 브래그 선택성으로 인해, 1차 광의 전력은 0차 광의 전력보다 상당히 높을 수 있다. 0차 광(예를 들어, 잔광 또는 감쇠광)의 전력은 회절 격자의 회절 효율에 따라 달라진다. 회절 효율이 높을수록 0차광의 전력은 낮아진다. 일부 예들에서, 기록 기준각, 기록 대상체 각도, 재생 입사각, 기록 파장 및 재생 파장은 재생 출력 각도(또는 1차수에서의 회절각)가 실질적으로 0°에 가깝거나 격자에 수직이 되도록 구성될 수 있다. 회절각은 -10° 내지 10°의 범위, 예를 들어 -7° 내지 7°, 0° 내지 10°, 또는 5° 내지 7°의 범위일 수 있다. 특정 예에서, 회절각은 6°이다.

[0687] 또한, 편광 감도로 인해, 재생 기준각으로 입사하고 회절각으로 1차수로 회절되는 제1 색상(예를 들어, 청색)의 s 편광된 광에 대한 회절 효율은 재생 기준각으로 입사되고 회절각으로 1차수로 회절된 동일한 색상의 p 편광된 광에 대한 회절 효율보다 실질적으로 더 높을 수 있다. 도 7f에 예시된 바와 같이, 제1 색상의 광과 동일한 재생 입사각으로 입사하는 제2 색상의 광(예를 들어, 녹색)은 제1 색상의 광의 회절각과 다른 회절각으로 회절된다. 따라서, 브래그 감도와 편광 감도 둘 모두로 인해, 재생 입사각으로 s 편광 상태로 입사하고 1차수로 회절된 광의 제1 색상에 대한 회절 효율은 동일한 재생 입사각 또는 서로 다른 재생 입사각으로 p 편광 상태로 입사한 광의 제2 색상에 대한 회절 효율보다 실질적으로 높을 수 있다.

[0688] 광 회절 장치(900)는 청색 및 녹색의 회절 광 빔 사이의 누화를 억제하도록 구성될 수 있다. 예를 들어, B 격자(912)가 Z 방향을 따라 장치(900)의 G 격자(922) 앞에 위치될 때, 광은 G 격자(922)에 입사되기 전에 B 격자(912)에 입사된다. 광 회절 장치(900)는 청색 광이 s 편광 상태로 B 격자(912)에 입사하고 녹색 광이 p 편광 상태로 B 격자(912)에 입사하고 녹색 광이 s 편광 상태로 G 격자(922)에 입사하도록 구성될 수 있다. 일부 경우에, 광 회절 장치(900)는 또한 청색 잔광이 p 편광 상태로 G 격자(922)에 입사하도록 구성될 수 있다.

[0689] 일부 구현들에서, 도 9a 및 9b에 도시된 바와 같이, 광 회절 장치(900)는 제1 회절 격자(912)와 제2 회절 격자(922) 사이에(또는 제1 회절 컴포넌트(910)와 제2 회절 컴포넌트(920) 사이에) 색상 선택 편광기(906)(색상 선택 리타더 또는 필터라고도 함)를 포함할 수 있다. 색상 선택 편광기(906)는 녹색 광의 편광 상태를 예를 들어 p 편광 상태에서 s 편광 상태로 90도 회전시키지만, 청색 광의 편광 상태는 회전시키지 않도록 구성된 GM 필터를 포함할 수 있다.

[0690] 일부 구현들에서, 도 9a 및 9b에 도시된 바와 같이, 광 회절 장치(900)는 Z 방향을 따라 제1 회절 격자(912) 및 제2 회절 격자(922) 앞에 또 다른 색상 선택 편광기(904)를 포함할 수 있다. 색상 선택 편광기(904)는 청색 광의 편광 상태를 p 편광 상태에서 s 편광 상태로 90도 회전시키지만, 녹색 광의 편광 상태는 회전시키지 않도록 구성된 BY 필터를 포함할 수 있다.

[0691] 도 9a 및 9b에 도시된 바와 같이, 청색 광(952) 및 녹색 광(954) 모두 p 편광 상태에서 동시에 또는 순차적으로 광 회절 장치(900)에 입사될 수 있다. 두 가지 색상의 광은 동일한 입사각(θ°)을 가질 수 있다. 청색 광(952)과 녹색 광(954)이 BY 필터(904)에 처음 입사되면, 색상 선택 편광기(904)는 녹색 광의 편광 상태의 회전 없이 청색 광의 p 편광 상태를 s 편광 상태로 회전시켜, 청색 광이 s 편광 상태로 B 격자(912)에 입사하고, 녹색 광이 p 편광 상태로 B 격자(912)에 입사되도록 한다. B 격자(912)는 s 편광 상태의 청색 광을 제1 회절 효율을

갖는 회절각으로 1차 청색 광(952')으로 회절시키고 입사각으로 0차 청색 광(952'')을 투과시킨다. 편광 감도 및 브래그 감도로 인해, B 격자(912)는 제1 회절 효율보다 실질적으로 작은 회절 효율로 p 편광 상태의 녹색 광(954)을 회절시키고, p 편광 상태의 녹색 광(954)의 대부분은 B 격자(912)를 통해 투과한다. 색상 선택 편광기(906)는 청색 광의 s 편광 상태의 회전 없이, 녹색 광의 p 편광 상태를 s 편광 상태로 회전시켜, G 격자(922)가 s 편광의 녹색 광을 제2 회절 효율을 갖는 회절각으로 1차 녹색 광(954')으로 회절시키고 입사각으로 0차 녹색 광(954'')을 투과시키도록 한다. 따라서, 회절된 청색 광(952') 및 녹색 광(954')은 동일한 s 편광 상태 및 동일한 회절각(예를 들어, -10° 내지 10° 또는 -7° 내지 7° 의 범위, 또는 실질적으로 0° 에 가깝거나 장치(900)에 수직)을 갖는 광 회절 장치(900)로부터 빠져나간다.

[0692] 도 5h에 도시된 바와 같이, 광 회절 장치(900)는 Z 방향을 따라 디스플레이(예를 들어, 도 5h의 디스플레이(594))의 커버 유리(930) 앞에 위치될 수 있다. 도 5h에서 상기에 논의된 바와 같이, 광 회절 장치(900)는 OCA 층 또는 굴절률 정합 오일로 커버 유리(930)에 부착되거나 에어 갭과 같은 갭으로 이격될 수 있다. 회절된 청색 광(952') 및 녹색 광(954')은 동일한 s 편광 상태 및 동일한 입사각(예를 들어, 실질적으로 수직 입사)으로 디스플레이로 입사될 수 있다. 디스플레이는 청색 광(952') 및 녹색 광(954')을 광 회절 장치(900)로 그리고 이를 통해 다시 회절시킬 수 있다. 디스플레이로부터 회절된 청색 광 및 녹색 광은 이들이 오프 브래그에서 멀리 떨어진 각도로 회절 격자(912 및 922)에 입사하기 때문에 광 회절 장치(950)에 의해 더 이상 회절될 수 없다.

[0693] 디스플레이(594)는 디스플레이의 정렬층 방향 또는 디스플레이의 정렬층에 수직인 방향으로 편광된 광에 의해 조명될 수 있다. 디스플레이는 수평 방향과 수직 방향 사이의 자체 평면에서 회전될 수 있으며, 따라서 필요한 편광은 디스플레이가 어느 방향에 있는지에 따라 달라진다. 일부 구현들에서, 디스플레이는 p 편광된 광으로 조명될 수 있다. 광 회절 장치(900)로부터 회절된 청색 광 및 녹색 광은 디스플레이 상에 동일한 p 편광 상태로 입사될 수 있다. 광 회절 장치(900)는 청색 광(952') 및 녹색 광(954') 각각의 s 편광 상태를 p 편광 상태로 회전시키기 위해 G 격자(922) 뒤에 추가적인 색상 선택 편광기를 포함할 수 있다.

[0694] 일부 구현들에서, 청색 광은 s 편광 상태로 입사하고 녹색 광은 p 편광 상태로 광 회절 장치(900)에 입사하고, 광 회절 장치(900)는 청색 광의 편광 상태를 회전시키기 위해 B 격자(912) 전에 BY 필터(904)를 포함하지 않을 수 있다.

[0695] 일부 구현들에서, 0차 회절되지 않은(또는 투과된) 청색 광 및/또는 0차 회절되지 않은(또는 투과된) 녹색 광은 도 11 내지 12c에 더 상세하게 논의된 바와 같이, 광 회절 장치(900)에 배열된 하나 이상의 반사층에 의해 내부 전반사될 수 있다.

[0696] 도 10a는 3가지 색상의 광을 개별적으로 회절시키기 위한, 3가지 색상에 대한 홀로그래픽 격자 및 대응하는 색상 선택 편광기를 포함하는, 예시적인 광 회절 장치(1000)를 예시한다. 도 10b는 도 10a의 광학 장치에 의해 3가지 색상의 광을 회절시키는 일 예를 예시한다. 도 9a 및 9b와 비교하여, 광 회절 장치(1000)는 추가 색상을 위한 추가 회절 컴포넌트와 세 가지 색상을 위한 서로 다른 색상 선택 편광기를 포함한다. 예시를 위해, 청색, 적색 및 녹색의 광에 대한 장치(1000)가 구성된다.

[0697] 도 10a에 예시된 바와 같이, 광 회절 장치(1000)는 Z 방향을 따라 디스플레이(예를 들어, 도 5h의 디스플레이(594))의 커버 유리(1050) 앞에 배열될 수 있다. 광 회절 장치(1000)는 Z 방향을 따라 필드 격자 기관(1002) 상에 함께 순차적으로 적층될 수 있는 제1 회절 컴포넌트(1010), 제2 회절 컴포넌트(1020) 및 제3 회절 컴포넌트(1030)를 포함한다. AR 필름(1001)은 광의 반사를 줄이기 위해 필드 격자 기관(1002)의 전면에 적용되거나 코팅될 수 있다. 제1, 제2 및 제3 회절 컴포넌트(1010, 1020, 1030) 각각은 각각의 기관(1014, 1024, 1034), 각각의 회절 격자(1012, 1022, 1032) 및 각각의 캐리어 필름(1016, 1026, 1036)을 포함할 수 있다. 각각의 회절 격자(1012, 1022, 1032)는 각각의 기관(1014, 1024, 1034)과 각각의 캐리어 필름(1016, 1026, 1036) 사이에 있다. 일부 경우에, 각각의 기관(1014, 1024, 1034)은 Z 방향을 따라 각각의 캐리어 필름(1016, 1026, 1036) 앞에 있다. 일부 경우에, 각각의 캐리어 필름(1016, 1026, 1036)은 Z 방향을 따라 각각의 기관(1014, 1024, 1034) 앞에 있다.

[0698] 제1, 제2 및 제3 회절 격자(1012, 1022, 1032) 각각은, 입사각으로 입사하는 s 편광 상태의 단일 색상의 광을 회절 격자가 동일하거나 서로 다른 입사각으로 입사하는 p 편광 상태의 다른 색상의 광을 회절시키는 회절 효율보다 실질적으로 더 높은 회절 효율(예를 들어, 10배 이상, 100배 이상 또는 1000배 이상)로 회절시키도록 구성될 수 있다. 제1, 제2 및 제3 회절 격자(1012, 1022 및 1032) 각각은 홀로그래픽 격자(예를 들어, 체적 격자 또는 브래그 격자)일 수 있다. 제1, 제2 및 제3 회절 격자(1012, 1022 및 1032) 각각은 기록 매체(예를 들어, 감광성 중합체 또는 광중합체)에 개별적으로 기록 및 고정될 수 있다.

- [0699] 광 회절 장치(1000)는 세 가지 색상의 광에 대한 다수의 색상 선택 편광기를 포함할 수 있다. 일부 구현들에서, BY 필터(1004)는 필드 격자 기관(1002)과 제1 회절 컴포넌트(1010)의 제1 회절 격자(1012) 사이에 있고, 적색 및 녹색 광 각각의 편광 상태의 회전 없이, 청색 광의 편광 상태를 회전시키도록 구성된다. MG 필터(1006)는 제1 및 제2 회절 격자(1012 및 1022) 사이(또는 제1 및 제2 회절 컴포넌트(1010 및 1020) 사이)에 있고, 녹색 광의 편광 상태의 회전 없이, 청색 및 적색 광 각각의 편광 상태를 회전시키도록 구성된다. YB 필터(1008)는 제2 및 제3 회절 격자(1022 및 1032) 사이(또는 제2 및 제3 회절 컴포넌트(1020 및 1030) 사이)에 있고, 청색 광의 편광 상태의 회전 없이, 적색 및 녹색 광 각각의 편광 상태를 회전시키도록 구성된다. MG 필터(1040)는 제3 회절 격자(1032)(또는 제3 회절 컴포넌트(1030)) 뒤에 있으며, 녹색 광의 편광 상태의 회전 없이, 적색 및 청색 광 각각의 편광 상태를 회전시키도록 구성된다.
- [0700] 일부 구현들에서, 색상 선택 편광기는 두 개 이상의 서브 편광기로 구성된다. 서브 편광기는 임의의 원하는 차수로 배열될 수 있다. 예를 들어, YB 필터(1008)는 RC 필터(1008-1)와 GM 필터(1008-2)로 구성될 수 있다. RC 필터(1008-1)는 GM 필터(1008-2) 앞에 배치될 수 있으며, 그 반대도 가능하다. RC 필터(1008-1)는 녹색 및 청색 광 각각의 편광 상태의 회전 없이, 적색 광의 편광 상태를 회전시키도록 구성되며, GM 필터(1008-2)는 적색 및 청색 광 각각의 편광 상태의 회전 없이, 녹색 광의 편광 상태를 회전시키도록 구성된다.
- [0701] 광 회절 장치(1000)의 인접한 층 또는 컴포넌트는 OCA, UV 경화 또는 열 경화 광학 접착제, 광학 접촉 또는 굴절률 정합 유체 중 하나 이상의 중간 층을 사용하여 함께 부착될 수 있다. 도 5h에서 논의된 바와 같이, 광 회절 장치(1000)는 중간 층을 통해 디스플레이 커버 유리(1050)에 부착되거나 갭(예를 들어, 에어 갭)으로 이격될 수 있다.
- [0702] 광 회절 장치(1000)는 디스플레이를 향해 동일한 편광 상태(예를 들어, s 또는 p)를 갖는 동일한 회절각(예를 들어, 실질적으로 수직 입사)으로 출력된 3가지 색상의 광(적색, 녹색 및 청색)을 회절시키도록 구성된다. 3가지 색상의 광은 동일한 입사각(θ°)(예를 들어, 실질적으로 브래그 각도와 동일함)으로 광 회절 장치(1000)에 입력될 수 있다. 일부 경우에, 3가지 색상의 광은 각 색상의 격자의 브래그 각도와 일치하도록 서로 다른 각도로 입사될 수 있다. 3가지 색상의 광은 격자의 전체 영역을 조명하기에 충분히 큰 빔에 있을 수 있다. 3가지 색상의 광은 동일한 편광 상태(예를 들어, s 또는 p)로 광 회절 장치(1000)에 입력될 수 있다. 일부 경우에, 어느 한 색상의 광은 대향면(예를 들어, $-\theta^\circ$) 또는 Y 방향으로부터 입사한다. 각 색상 격자는 해당 색상 재생 기준 광의 방향과 일치하도록 회절될 수 있다. 해당 색상 선택 편광기는 색상 격자의 회절과 무관할 수 있다.
- [0703] 도 10b는 도 10a의 광 회절 장치(1000)에 의해 3가지 색상의 광(청색, 적색, 녹색)을 회절시키는 일 예(1060)를 예시한다. 3가지 색상의 광은 동일한 입사각(θ°) 및 동일한 p 편광 상태로 광 회절 장치(1000)에 입사된다.
- [0704] 도 10b에 도시된 바와 같이, BY 필터(1004)는 적색 및 녹색 광 각각의 p 편광 상태의 회전 없이, 청색 광의 p 편광 상태를 s 편광 상태로 회전시킨다. B 격자(1012)는 s 편광 상태의 청색 광을 회절각으로 1차수로 회절시키고, 입사각으로 0차수로 회절시킨다. 입사각으로 p 편광 상태로 입사된 녹색 및 적색 광은 B 격자(1012)를 투과한다.
- [0705] MG 필터(1006)는 녹색 광의 p 편광 상태의 회전 없이, 청색 광의 S 편광 상태를 p 편광 상태로 회전시키고, 적색 광의 p 편광 상태를 s 편광 상태로 회전시킨다. R 격자(1022)는 s 편광 상태의 적색 광을 회절각으로 1차수로 회절시키고, 입사각으로 0차수로 회절시킨다. 0차수의 청색 잔광 및 입사각으로 p 편광 상태에서 입사하는 녹색 광은 R 격자(1022)를 투과한다.
- [0706] YB 필터(1008)의 RC 필터(1008-1)는 녹색 광 및 청색 광 각각의 p 편광 상태의 회전 없이, 적색 광의 s 편광 상태를 p 편광 상태로 회전시킨다. YB 필터(1008)의 GM 필터(1008-2)는 적색 광 및 청색 광 각각의 p 편광의 회전 없이, 녹색 광의 p 편광 상태를 s 편광 상태로 회전시킨다. 0차수의 청색 잔광, 0차수의 적색 잔광 및 녹색 광은 RC 필터(1008-1) 및 GM 필터(1008-2)를 투과한다.
- [0707] G 격자(1032)는 s 편광 상태의 녹색 광을 회절각으로 1차수로 회절시키고, 입사각으로 0차수로 회절시킨다. 입사각으로 p 편광 상태에서 입사된 청색 잔광 및 적색 잔광은 G 격자(1032)를 투과한다.
- [0708] MG 필터(1040)는 녹색 광의 s 편광 상태의 회전 없이, 적색 및 청색 광의 P 편광 상태를 s 편광 상태로 회전시킨다. 동일한 회절각으로 S 편광 상태로 회절된 청색, 적색 및 녹색 광은 광 회절 장치(1000) 밖으로 전파된다. 0차수의 청색 잔광, 적색 잔광 및 녹색 잔광은 또한 s 편광 상태 및 입사각에 있으며 MG 필터(1040)를 투과한다.

- [0709] 일부 구현들에서, 광 회절 장치(1000)는 디스플레이보다 더 큰 크기를 가질 수 있다. 0차수의 청색, 적색, 녹색 잔상은 큰 각도로 장치(1000)에서 공중으로 전파될 수 있다. 일부 구현들에서, 도 11 내지 12c에서 하기에 더욱 상세하게 논의된 바와 같이, 광 회절 장치(1000)는 0차에서 대응하는 색상의 전체 내부 반사를 위한 회절 격자 사이에 또는 회절 격자 뒤에 하나 이상의 반사층을 포함할 수 있다.
- [0710] 반사층을 갖는 예시적인 광 회절 장치
- [0711] 도 11 내지 12c는 반사층을 포함하는 예시적인 광 회절 장치를 도시한다. 반사층은 다른 색상의 광을 투과시키면서 0차수의 단일 색상의 광을 선택적으로 완전히 반사시킬 수 있다. 광 회절 장치들 각각은 서로 다른 색상의 광에 대한 다수의 격자들을 포함한다. 각 색상의 광은 해당 격자에서 서로 다른 재생 기준각으로 입사될 수 있어서, 0차에서 격자에 의해 굴절되지 않은(또는 투과된) 각 색상의 광이 동일한 회절각(예를 들어, 실질적으로 수직)으로 1차수로 색상의 광으로부터 회절시키는 격자 이후이지만, 장치의 후속 격자(있는 경우) 이전의 경계로부터 내부 전반사(TIR)를 겪는다. 다른 색상의 광은 격자를 통해 대응하는 재생 기준각으로 투과될 수 있다.
- [0712] 도 11은 2 가지 색상에 대한 회절 격자 및 해당 반사층을 포함하여, 2 가지 색상의 광을 개별적으로 회절시키기 위한 예시적인 광 회절 장치(1100)를 예시한다. 예시를 위해, 녹색 및 청색의 광에 대한 장치(1100)가 구성된다.
- [0713] 광 회절 장치(1100)는 청색용 제1 회절 격자(1112)를 갖는 제1 회절 컴포넌트(1110)와 녹색용 제2 회절 격자(1122)를 갖는 제2 회절 컴포넌트(1120)를 포함한다. 제1 및 제2 회절 격자(1112, 1122) 각각은 홀로그래픽 격자(예를 들어, 브래그 격자 또는 체적 격자)일 수 있다. 제1 및 제2 회절 격자(1112 및 1122) 각각은 기록 매체(예를 들어, 광중합체와 같은 감광성 재료)에 개별적으로 기록 및 고정될 수 있다.
- [0714] 제1 회절 컴포넌트(1110) 및 제2 회절 컴포넌트(1120)는 방향(예를 들어, Z 방향)을 따라 필드 격자 기관(1102) 상에 함께 적층될 수 있다. 필드 격자 기관(1102)은 광학적으로 투명한 기관(예를 들어, 유리 기관)일 수 있다. 광 회절 장치(1100)는 LCOS와 같은 디스플레이(예를 들어, 도 5h의 디스플레이(594)) 앞에 배치될 수 있다. 예를 들어, 광 회절 장치(1100)는 중간층을 통해 디스플레이의 커버 유리(1130) 상에 배열될 수 있거나 갭(예를 들어, 에어 갭)에 의해 이격될 수 있다.
- [0715] 도 9a 및 9b의 제1 및 제2 회절 컴포넌트(910, 920)와 마찬가지로, 제1, 제2 회절 컴포넌트(1110 및 1120) 각각은 각각의 회절 격자(1112, 1122)의 양측에 각각의 기관(1114, 1124) 및 각각의 캐리어 필름(1116, 1126)을 포함할 수 있다. 각각의 회절 격자(1112, 1122)는 각각의 기관(1114, 1124)과 각각의 캐리어 필름(1116, 1126) 사이에 있다. 각각의 기관(1114, 1124) 및 각각의 캐리어 필름(1116, 1126)은 굴절률 불일치 및 따라서 바람직하지 않은 프레넬 반사를 감소시키도록 배열될 수 있다. 각각의 기관(1114, 1124)은 필드 격자 기관(1102)의 굴절률과 같거나 그에 가까운 굴절률을 가질 수 있는 유리 기관일 수 있다. 각각의 캐리어 필름(1116, 1126)은 TAC 필름일 수 있다. TAC 필름은 회절 격자(1112 및 1122)를 기록하는데 사용되는 감광성 중합체보다 낮은 굴절률을 가질 수 있다. 일부 예들에서, 각각의 기관(1114, 1124)은 캐리어 필름(1116, 1126)보다 앞에 배열된다.
- [0716] 광 회절 장치(1100)의 인접한 층 또는 컴포넌트는 OCA, UV 경화 또는 열 경화 광학 접착제, 광학 접촉 또는 굴절률 정합 유체 중 하나 이상의 중간 층을 사용하여 함께 부착될 수 있다. 예를 들어, 제1 회절 컴포넌트(1110)(예를 들어, 기관(1114))은 중간층(1101)(예를 들어, OCA층)을 통해 필드 격자 기관(1102)에 부착될 수 있다. 제1 및 제2 회절 컴포넌트(1110 및 1120)(예를 들어, 캐리어 필름(1116) 및 기관(1124))은 다른 중간층(1103)(예를 들어, OCA 층)을 통해 함께 부착될 수 있다. 광 회절 장치(1100)(예를 들어, 캐리어 필름(1126))은 중간층(1105)(예를 들어, OCA 층)을 통해 디스플레이의 커버 유리(1130)에 부착될 수 있다.
- [0717] 도 11에 도시된 바와 같이, 제1 및 제2 회절 격자(1112, 1122)는 각각의 회절각으로 1차수로 각각의 입사각으로 입사된 해당 색상의 광을 회절시키고 예를 들어, 브래그 선택성으로 인해, 서로 다른 입사각으로 또 다른 색상의 광을 투과시키도록 구성된다. 따라서, 해당 회절 격자에서 개별적으로 회절되는 서로 다른 색상의 광 사이에 누화가 없을 수 있다. 각 색상의 광은 편광될 수 있다. 제1 차수로 회절된 서로 다른 색상의 광의 편광 상태는 동일(예를 들어, s 또는 p)할 수 있다. 서로 다른 색상의 광에 대한 각각의 회절각은 동일(예를 들어, 실질적으로 수직)할 수 있다.
- [0718] 광 회절 장치(1100)는 제1 격자(1112)와 제2 격자(1122) 사이에 제1 반사층(또는 차단층)을 포함할 수 있다. 제1 격자(1112)는 제1 입사각(θ_b)(예를 들어, 78.4°)으로 입사하는 청색 광을 회절각(예를 들어, 0°)으로 1차수로 그리고 제1 입사각으로 0차수로 회절시키도록 구성된다. 제1 반사층(예를 들어, 제1 반사층의 굴절률)은

제1 입사각으로 회절된 청색 광을 완전히 반사시키되, 제2 입사각(θ_g)(예를 들어, 76.5°)으로 입사된 녹색 광을 투과시키도록 구성된다. 예를 들어, 제1 반사층의 굴절률은 제1 반사층(예를 들어, 제1 격자(1112)) 직전의 층의 굴절률보다 낮다. 제1 반사층은 제1 격자(1112)와 제2 격자(1122) 사이에 적합한 층일 수 있다. 일부 예들에서, 제1 반사층은 도 11에 도시된 바와 같은 캐리어 필름(1116)이다.

[0719] 마찬가지로, 광 회절 장치(1100)는 제2 격자(1122) 이후 및 디스플레이 커버 유리(1130) 이전에 제2 반사층을 포함할 수 있다. 제2 격자(1122)는 제2 입사각(θ_g)(예를 들어, 76.5°)으로 입사하는 녹색 광을 회절각(예를 들어, 0°)으로 1차수로 그리고 제1 입사각으로 0차수로 회절시키도록 구성된다. 제2 반사층(예를 들어, 제2 반사층의 굴절률)은 제2 입사각으로 회절된 녹색 광을 완전히 반사시키도록 구성된다. 제2 반사층은 제2 격자(1122)와 커버 유리(1130) 사이에 적합한 층일 수 있다. 일부 예들에서, 제2 반사층은 도 11에 도시된 바와 같은 중간층(1105)이다.

[0720] 해당 반사층에 의해 완전히 반사된 청색 및 녹색 광은 광 회절 장치(1100)의 일 면으로 광 회절 장치(1100)로 다시 반사된다. 도 11에 예시된 바와 같이, 일 면의 표면은 해당 회절 격자에 의해 0차로 회절된 광의 전체 반사된 청색 및 녹색 광을 흡수하기 위한 광학 흡수체(1104)(예를 들어, 블랙 코팅)로 코팅될 수 있다.

[0721] 필드 격자 기관(1102)은 서로 다른 색상의 재생 기준 광 빔이 필드 격자 기관(1102)의 에지에서 진입할 수 있을 정도로 충분히 두꺼울 수 있다. 필드 격자 기관(1102)은 또한, 뷰어 또는 관찰자가 손가락 또는 다른 객체를 재생 기준 광 빔들에 삽입할 수 없도록 재생 기준 광 빔들을 완전히 포함하도록 구성될 수 있다. 따라서 부어는 재생 기준 광 빔을 방해할 수 없으며, 이는 뷰어가 최대 전력 재생 기준 광 빔에 눈(또는 반사 또는 포커싱 요소)을 넣을 수 없기 때문에 레이저 안전성을 향상시킬 수 있다. 필드 격자 기관(1102)을 갖는 광 회절 장치(1100)는 재생 기준 광 빔이 공중으로부터 광 회절 장치(1100)의 전면에서 입사되는 경우보다 훨씬 더 콤팩트할 수 있다.

[0722] 청색 및 녹색 광은 상대적으로 큰 재생 기준각(또는 입사각)(예를 들어 70° 이상)으로 입사되기 때문에, 프레넬 반사는 (P와 S 분극 모두에 대해) 층 경계로부터 중요할 수 있으며, 재생 기준각이 증가함에 따라 빠르게 증가할 수 있다. 광 회절 장치(1100)는 서로 다른 굴절률을 갖는 재료들 사이의 다수의 경계들을 포함하기 때문에, 이러한 각 경계들로부터의 프레넬 반사 손실들은 재생 출력 광을 실질적으로 감소시켜, 각 회절 격자들, 특히 디스플레이에 가장 가까운 격자들(예를 들어, G 격자(1122))에서 실질적으로 감소된 재생 광 전력을 야기할 수 있다. 일부 예들에서, 특정 색상의 광에 대한 재생 기준각(또는 입사각)은 TIR을 안정적으로 수행할 수 있을 만큼은 충분히 크지만, 프레넬 손실이 감소될 수 있을 정도로 크게 크지 않도록 선택될 수 있다.

[0723] 도 13a 내지 13c는 회절된(실선) 그리고 반사되거나 차단된(점선) 재생 기준 빔 파워 사이의 관계를, 청색광(도 13a), 녹색광(도 13b) 및 적색광(도 13c)에 대해 서로 다른 입사각을 갖는 것으로 예시한다. 회절된 재생 기준 빔 파워는 광 회절 장치(예를 들어, 도 5h의 광 회절 장치(598))와 인접한 디스플레이(예를 들어, 도 5h의 디스플레이(594))의 커버 유리로 들어가는 조명 빔일 수 있다.

[0724] 도 13a에 예시된 바와 같이, 청색 광의 경우, 플롯(1302)은 재생 기준 빔 각도(예를 들어, 유리에서의 입사각)가 증가함에 따라 회절된 재생 기준 빔 전력(또는 디스플레이의 청색 조명 전력)을 도시하고, 플롯(1304)은 재생 기준 빔 각도가 증가함에 따라 해당 반사층으로부터 반사된 재생 기준 빔 전력을 도시한다. 도 13b에 예시된 바와 같이, 녹색 광의 경우, 플롯(1312)은 재생 기준 빔 각도(예를 들어, 유리에서의 입사각)가 증가함에 따라 회절된 재생 기준 빔 전력(또는 디스플레이의 녹색 조명 전력)을 도시하고, 플롯(1314)은 재생 기준 빔 각도가 증가함에 따라 해당 반사층으로부터 반사된 재생 기준 빔 전력을 도시한다. 도 13c에 예시된 바와 같이, 적색 광의 경우, 플롯(1322)은 재생 기준 빔 각도(예를 들어, 유리에서의 입사각)가 증가함에 따라 회절된 재생 기준 빔 전력(또는 디스플레이의 적색 조명 전력)을 도시하고, 플롯(1324)은 재생 기준 빔 각도가 증가함에 따라 해당 반사층으로부터 반사된 재생 기준 빔 전력을 도시한다.

[0725] 다른 색상의 광에 대한 재생 기준 각도는 각 색상의 광 대해, 해당 반사층이 100%의 반사로 색상의 광을 완전히 반사할 수 있도록 충분히 클 수 있는 반면, 재생 기준각은 프레넬 손실이 회절된 재생 기준 빔 또는 디스플레이 커버 유리에서의 조명을 실질적으로 제거하지 않을 정도로 충분히 작을 수 있다. 일 예로서, 각 격자의 회절 효율은 청색색의 경우 50%, 녹색의 경우 60%, 그리고 적색의 경우 70%이다. 광 회절 장치의 바닥층은 디스플레이의 커버 유리와 평행하다. 각 색상에 대한 재생 대상체 빔의 회절각은 -6° 이다. 도 13a, 13b, 13c에 도시된 바와 같이, 디스플레이 커버 유리 내부의 순(net) 대상체 빔 전력은 재생 기준각이 460nm의 청색 광의 경우 78.4° 이고, 520nm의 녹색 광의 경우 76.5° 이고, 640nm의 적색 광의 경우 73.5° 일 때, 청색의 경우 46.8%,

녹색의 경우 33.1%, 리고 적색의 경우 43.0%이다.

- [0726] 도 12a는 3 가지 색상에 대한 회절 격자 및 해당 반사층을 포함하여, 3 가지 색상의 광을 개별적으로 회절시키기 위한 예시적인 광 회절 장치(1200)를 예시한다. 예시를 위해, 장치(1200)는 청색, 녹색 및 적색 광으로 구성된다.
- [0727] 광 회절 장치(1200)는 청색용 제1 회절 격자(1212)를 갖는 제1 회절 컴포넌트(1210), 녹색용 제2 회절 격자(1222)를 갖는 제2 회절 컴포넌트(1220), 및 적색용 제3 회절 격자(1232)를 갖는 제3 회절 컴포넌트(1230)를 포함한다. 제1, 제2 및 제3 회절 격자(1212, 1222, 1232) 각각은 홀로그래픽 격자(예를 들어, 브래그 격자 또는 체적 격자)일 수 있다. 제1, 제2 및 제3 회절 격자(1212, 1222 및 1232) 각각은 기록 매체(예를 들어, 광중합체와 같은 감광성 재료)에 개별적으로 기록 및 고정될 수 있다.
- [0728] 제1, 제2 및 제3 회절 컴포넌트(1210, 1220 및 1230)는 방향(예를 들어, Z 방향)을 따라 필드 격자 기관(1202) 상에 함께 적층될 수 있다. 필드 격자 기관(1202)은 광학적으로 투명한 기관(예를 들어, 유리 기관)일 수 있다. 광 회절 장치(1210)는 LCOS와 같은 디스플레이(예를 들어, 도 5h의 디스플레이(594)) 앞에 배치될 수 있다. 예를 들어, 광 회절 장치(1200)는 중간층을 통해 디스플레이의 커버 유리(1240) 상에 배열될 수 있거나 겹(예를 들어, 에어 겹)에 의해 이격될 수 있다.
- [0729] 도 10a 및 10b의 제1, 제2 및 제2 회절 컴포넌트(1010, 1020, 1030)와 마찬가지로, 제1, 제2 및 제3 회절 컴포넌트(1210, 1220, 1230) 각각은 각각의 회절 격자(1212, 1222, 132)의 양측 상에 각각의 기관(1214, 1224, 1234) 및 각각의 캐리어 필름(1216, 1226, 1236)을 포함할 수 있다. 각각의 회절격자(1212, 1222, 1232)는 각각의 기관(1214, 1224, 1234)과 각각의 캐리어 필름(1216, 1226, 1236) 사이에 있다. 각각의 기관(1214, 1224, 1234) 및 각각의 캐리어 필름(1216, 1226, 1236)은 굴절률 불일치 및 따라서 바람직하지 않은 프레넬 반사를 감소시키도록 배열될 수 있다. 각각의 기관(1214, 1224, 1234)은 필드 격자 기관(1202)의 굴절률과 같거나 그에 가까운 굴절률을 가질 수 있는 유리 기관일 수 있다. 각각의 캐리어 필름(1216, 1226, 1236)은 TAC 필름일 수 있다. TAC 필름은 감광성 중합체보다 낮은 굴절률을 가질 수 있다. 일부 예들에서, 각각의 기관(1214, 1224)은 캐리어 필름(1216, 1226)보다 앞에 배열된다. 기관(1234)은 캐리어 필름(1236) 뒤에 배열된다.
- [0730] 광 회절 장치(1100)의 인접한 층 또는 컴포넌트는 OCA, UV 경화 또는 열 경화 광학 접착제, 광학 접촉 또는 굴절률 정합 유체 중 하나 이상의 중간 층을 사용하여 함께 부착될 수 있다. 예를 들어, 제1 회절 컴포넌트(1210)(예를 들어, 기관(1214))은 중간층(1201)(예를 들어, OCA 층)을 통해 필드 격자 기관(1202)에 부착될 수 있다. 제1 및 제2 회절 컴포넌트(1210 및 1220)(예를 들어, 캐리어 필름(1216) 및 기관(1224))는 다른 중간층(1203)(예를 들어, OCA 층)을 통해 함께 부착될 수 있다. 제2 및 제3 회절 컴포넌트(1220 및 1230)(예를 들어, 캐리어 필름(1226) 및 캐리어 필름(1236))는 다른 중간층(1205)(예를 들어, OCA 층)을 통해 함께 부착될 수 있다. 광 회절 장치(1200)(예를 들어, 기관(1234))는 중간층(1207)(예를 들어, OCA 층)을 통해 디스플레이의 커버 유리(1240)에 부착될 수 있다.
- [0731] 도 12a에 도시된 바와 같이, 제1, 제2 및 제3 회절 격자(1212, 1222, 1232)는 각각의 회절각으로 1차수로 각각의 입사각으로 입사된 해당 색상의 광을 회절시키고 예를 들어, 브래그 선택성으로 인해, 서로 다른 입사각으로 또 다른 색상의 광을 투과시키도록 구성된다. 따라서, 해당 회절 격자에서 개별적으로 회절되는 서로 다른 색상의 광 사이에 누화가 없거나 거의 없을 수 있다. 각 색상의 광은 편광될 수 있다. 제1 차수로 회절된 서로 다른 색상의 광의 편광 상태는 동일(예를 들어, s 또는 p)할 수 있다. 서로 다른 색상의 광에 대한 각각의 회절각은 동일(예를 들어, 실질적으로 수직)할 수 있다.
- [0732] 도 13a, 13b, 13c에서 위에 논의된 바와 같이, 서로 다른 색상의 광(청색, 녹색 및 적색)에 대한 서로 다른 입사각(θ_b , θ_g , θ_r)(또는 재생 기준각)은 예를 들어 78.4°, 76.5° 및 73.5°가 되도록 선택될 수 있다. 광 회절 장치(1200)는 제1 격자(1212)와 제2 격자(1222) 사이에 제1 반사층(또는 차단층)을 포함할 수 있다. 제1 격자(1212)는 제1 입사각(θ_b)으로 입사하는 청색 광을 회절각(예를 들어, 0°)으로 1차수로 그리고 제1 입사각으로 0차수로 회절시키도록 구성된다. 제1 반사층(예를 들어, 제1 반사층의 굴절률)은 제1 입사각으로 회절된 청색 광을 완전히 반사하되, 제2 입사각(θ_g)으로 입사된 녹색 광 및 제3 입사각(θ_r)으로 입사된 적색 광을 투과시키도록 구성된다. 예를 들어, 제1 반사층의 굴절률은 제1 반사층(예를 들어, 제1 격자(1212)) 직전의 층의 굴절률보다 낮다. 제1 반사층은 제1 격자(1212)와 제2 격자(1222) 사이에 적합한 층일 수 있다. 일부 예들에서, 제1 반사층은 도 12a에 도시된 바와 같은 캐리어 필름(1216)이다. 제1 격자(1212)와 캐리어 필름(1216) 사이의 경계에서 내부 전반사가 발생한다. 0차수로 회절되지 않은(또는 투과된) 전반사된 청색 광은 제1 반사층 위의

층들로 다시 반사되어 광 회절 장치(1200)의 일 면에 코팅된 광학 흡수체(1204)에 의해 흡수될 수 있다.

[0733] 광 회절 장치(1200)는 제2 격자(1222)와 제3 격자(1232) 사이에 제2 반사층(또는 차단층)을 포함할 수 있다. 제2 격자(1222)는 제2 입사각(θ_g)으로 입사하는 녹색 광을 회절각(예를 들어, 0°)으로 1차수로 그리고 제2 입사각으로 0차수로 회절시키도록 구성된다. 제2 반사층(예를 들어, 제2 반사층의 굴절률)은 제2 입사각으로 회절된 녹색 광을 완전히 반사하되, 제3 입사각(θ_r)으로 입사된 적색 광을 투과시키도록 구성된다. 예를 들어, 제2 반사층의 굴절률은 제2 반사층 직전의 층의 굴절률보다 낮다. 제2 반사층은 제2 격자(1222)와 제3 격자(1232) 사이에 적합한 층일 수 있다. 일부 예들에서, 제2 반사층은 도 12a에 도시된 바와 같은 중간층(1205)이다. 캐리어 필름(1226)과 중간층(1205) 사이의 경계에서 내부 전반사가 발생한다. 0차수로 회절되지 않은(또는 투과된) 전반사된 녹색 광은 제2 반사층 위의 층들로 다시 반사되어 광학 흡수체(1204)에 의해 흡수될 수 있다.

[0734] 광 회절 장치(1200)는 제3 격자(1232) 이후 및 디스플레이 커버 유리(1240) 이전에 제3 반사층을 포함할 수 있다. 제3 격자(1232)는 제3 입사각(θ_r)으로 입사하는 적색 광을 회절각(예를 들어, 0°)으로 1차수로 그리고 제3 입사각으로 0차수로 회절시키도록 구성된다. 제3 반사층(예를 들어, 제3 반사층의 굴절률)은 제3 입사각으로 회절된 적색 광을 완전히 반사시키도록 구성된다. 제3 반사층은 제3 격자(1232)와 커버 유리(1240) 사이에 적합한 층일 수 있다. 일부 예들에서, 제3 반사층은 도 12a에 도시된 바와 같이, 기관(1234)과 커버 유리(1240) 사이의 중간층(1207)이다. 0차수로 회절되지 않은(또는 투과된) 전반사된 적색 광은 제2 반사층 위의 층들로 다시 반사되어 광학 흡수체(1204)에 의해 흡수될 수 있다.

[0735] 필드 격자 기관(1202)은 서로 다른 색상의 재생 기준 광 빔이 필드 격자 기관(1202)의 에지에서 진입할 수 있을 정도로 충분히 두꺼울 수 있다. 필드 격자 기관(1202)은 또한, 뷰어 또는 관찰자가 손가락 또는 다른 객체를 재생 기준 광 빔들에 삽입할 수 없도록 재생 기준 광 빔들을 완전히 포함하도록 구성될 수 있다. 따라서 부어는 재생 기준 광 빔을 방해할 수 없으며, 이는 뷰어가 최대 전력 재생 기준 광 빔에 눈(또는 반사 또는 포커싱 요소)을 넣을 수 없기 때문에 레이저 안전성을 향상시킬 수 있다. 필드 격자 기관(1202)을 갖는 광 회절 장치(1200)는 재생 기준 광 빔이 공중으로부터 광 회절 장치(1200)의 전면에서 입사되는 경우보다 훨씬 더 콤팩트할 수 있다.

[0736] 도 12a에 도시된 바와 같이, 필드 격자 기관(1202)은 XZ 평면에서 직사각형 다면을 가질 수 있다. 서로 다른 색상의 광은 필드 격자 기관(1202)의 일 면으로부터 입사된다. 도 12b는 웨지형 필드 격자 기관(1252)을 포함하는 또 다른 예시적인 광 회절 장치(1250)를 예시한다. 기관(1252)의 일 면(또는 광 빔을 위한 입력면)(1251)과 기관(1252)의 최상층(1253) 사이의 웨지각이 선택될 수 있고/있거나 일 면이 AR 코팅될 수 있어서, 광 회절 장치(1250) 및 디스플레이로부터 필드 격자 기관(1252)으로 돌아오는 임의의 광 빔에 의해 선택된 광 경로는 광 회절 장치(1250) 및 디스플레이로 되돌아오는 반사를 감소시키거나 제거하기 위해 편리하게 차단 또는 감쇠되거나 방향 지정될 수 있다. 광 회절 장치(1250)는 대향면 표면에 코팅된 대응하는 광학 흡수체(1254)를 포함할 수 있으며, 이는 도 12a의 광학 흡수체(1204)보다 짧을 수 있다.

[0737] 도 12c는 웨지형 입력면(1271)을 갖는 필드 격자 기관(1272)을 포함하는 추가의 예시적인 광 회절 장치(1270)를 예시한다. 웨지형 입력면(1271)은 서로 다른 색상의 입력 광의 프레넬 손실을 감소시키도록 구성될 수 있다. 웨지형 입력면(1271)은 서로 다른 색상의 입력광이 실질적으로 수직 입사로 입력면(1271)에 입사하고 서로 다른 입사각(또는 재생 기준각)으로 해당 회절 격자에 입사하도록 구성될 수 있다. 웨지형 입력면(1271)은 회절 장치 내부의 각 색상의 원하는 각도로 그리고 공중에서 편리한 방향 및 각도로부터 서로 다른 색상의 입력광을 굴절시키도록 구성될 수 있다. 예를 들어, 웨지형 입력면(1271)은 공중의 각도에서 입력 빔이 회절 장치의 전면에서 또는 회절 장치의 전면 뒤의 공간으로부터 평행하게 이동하도록 웨지형 각도를 가질 수 있다.

[0738] AR 코팅은 필드 격자 기관(1272)의 전면(1273)에 형성되어 뷰어로 다시 향하는 주변 광의 반사를 감소시키거나 제거할 수 있다. AR 코팅이 또한 디스플레이에서 가장 가까운 광 회절 장치(1270)의 후면에 형성되어 디스플레이로부터 뷰어를 향해 반사 및/또는 회절된 바람직하지 않은 광의 반사를 감소시키거나 제거할 수 있다.

[0739] 일부 구현들에서, 광 회절 장치(예를 들어, 도 11의 광 회절 장치(1100), 도 12a의 1200, 도 12b의 1250 또는 도 12c의 1270)의 하나 이상의 층은 약간 웨지될 수 있으며, 이는 각 층에서 TIR 및 프레넬 반사의 미세한 튜닝이 가능할 수 있다. 층들은 또한 협대역 광원(예를 들어, 레이저 다이오드)을 사용할 때 광 회절 장치 내에서 실질적으로 평행한 표면의 임의의 쌍 사이에서 발생할 수 있는 뉴턴의 링 또는 간섭 프린지의 가시성을 감소하거나 제거하도록 구성될 수 있다.

- [0740] 예시적인 제조 프로세스
- [0741] 도 14a는 회절 구조 및 해당 색상 선택 편광기를 포함한 광 회절 장치를 제조하는 예시적인 프로세스(1400)의 흐름도이다. 광 회절 장치는, 도 5h의 광 회절 장치(598), 도 5i의 598A, 도 5j의 598B, 또는 도 5k의 598C, 도 9a 및 9b의 광 회절 장치(900), 또는 도 10a 및 10b의 광 회절 장치(1000)일 수 있다.
- [0742] 제1 색상에 대한 제1 회절 컴포넌트가 제조된다(1402). 제1 회절 컴포넌트는 도 9a 및 도 9b의 제1 회절 컴포넌트(910) 또는 도 10a 및 도 10b의 1010일 수 있다. 제1 회절 컴포넌트는 기록 매체에 형성된 제1 회절 구조(예를 들어, 도 9a 및 도 9b의 B 격자(912) 또는 도 10a 및 도 10b의 B 격자(1012))를 포함한다. 제1 회절 구조는 제1 회절 구조 상에서 제1 입사각으로 제1 편광 상태로 입사되는 제1 색상의 재생 기준 광(또는 제1 색상의 광)을 제1 회절 효율로 제1 회절각으로 회절시키도록 구성된다. 제1 회절 효율은 예를 들어, 편광 선택성으로 인해, 제1 회절 구조가 제1 입사각으로 제1 편광 상태와 다른 제2 편광 상태로 입사하는 제1 색상의 광 또는 또 다른 색상의 광을 회절시키는 회절 효율보다 실질적으로 높을 수 있다. 제1 편광 상태는 s 편광일 수 있고, 제2 편광 상태는 p 편광일 수 있다.
- [0743] 제1 회절 구조는 홀로그래픽 격자(예를 들어, 체적 격자 또는 브래그 격자)일 수 있다. 기록 매체의 두께는 기록 대상체 빔의 파장보다 10배 이상(예를 들어, 30배) 클 수 있다. 일부 예들에서, 제1 입사각은 브래그 각도일 수 있다. 제1 회절 효율은 예를 들어, 브래그 선택성으로 인해, 제1 회절 구조가 제1 입사각과 다른 입사각으로 제1 또는 제2 편광 상태로 입사하는 제1 색상의 광 또는 또 다른 색상의 광을 회절시키는 회절 효율보다 실질적으로 높을 수 있다.
- [0744] 기록 매체는 감광성 재료(예를 들어, 감광성 중합체 또는 광중합체)를 포함할 수 있다. 제1 회절 구조는 제1 기록 대상체 각도로 제1 기록 대상체 빔에 감광성 재료를 노출시키고, 동시에 제1 기록 기준각으로 제1 기록 기준 빔에 노출시킴으로써 형성될 수 있다. 제1 기록 대상체 빔과 제1 기록 기준 빔은, 예를 들어, 동일한 광원으로 부터의 동일한 파장 및 동일한 제1 편광 상태를 가질 수 있다.
- [0745] 일부 경우에, 재생에 사용되는 제1 색상의 광은 제1 기록 기준 빔 또는 제1 기록 대상체 빔의 파장 범위보다 더 넓은 파장 범위를 포함할 수 있다. 예를 들어, 제1 기록 기준 빔 및 제1 기록 대상체 빔은 레이저의 광 빔일 수 있으며, 재생을 위한 제1 색상의 광은 레이저 다이오드의 광 빔일 수 있다. 일부 경우에, 제1 기록 기준 빔 및 제1 기록 대상체 빔은 제1 색상의 광의 제1 색상과 다른 색상에 대응할 수 있다. 예를 들어, 녹색 레이저 광은 적색에 대한 회절 격자를 기록하는 데 사용될 수 있다.
- [0746] 제1 색상의 광의 제1 입사각은 제1 기록 기준각과 실질적으로 동일할 수 있고, 제1 회절각은 제1 기록 대상체 각도와 실질적으로 동일할 수 있다. 일부 예들에서, 제1 기록 기준각은 70도 내지 90도 범위(예를 들어, 80도 내지 90도 범위)에 있다. 일부 예들에서, 제1 기록 대상체 각도는 -10도 내지 10도 범위(예를 들어, -7도 내지 7도 범위, 0도 또는 6도)에 있다. 일부 예들에서, 감광성 재료 내의 제1 기록 기준각과 제1 기록 대상체 각도의 합은 실질적으로 90도와 동일하다.
- [0747] 제1 회절 구조는 기록 매체 내에(예를 들어, UV 경화 또는 열 경화에 의해) 고정될 수 있다. 일부 예들에서, 제1 회절 컴포넌트는 기록 매체 상에 캐리어 필름(예를 들어, TAC 필름)을 포함한다. 일부 예들에서, 제1 회절 컴포넌트는 회절 기판(예를 들어, 유리 기판)을 포함한다. 기록 매체는 캐리어 필름과 회절 기판 사이에 있을 수 있다.
- [0748] 제2 색상에 대한 제2 회절 컴포넌트가 제조된다(1404). 제2 회절 컴포넌트는 도 9a 및 도 9b의 제2 회절 컴포넌트(920) 또는 도 10a 및 도 10b의 1020일 수 있다. 제2 회절 컴포넌트는 제2 기록 매체에 형성된 제2 회절 구조(예를 들어, 도 9a 및 도 9b의 B 격자(922) 또는 도 10a 및 도 10b의 R 격자(1022))를 포함한다. 제2 회절 구조는 제2 회절 구조 상에서 제2 입사각으로 제1 편광 상태로 입사되는 제2 색상의 재생 기준 광(또는 제2 색상의 광)을 제2 회절 효율로 제2 회절각으로 회절시키도록 구성된다. 제2 회절 효율은 제2 회절 구조가 제2 입사각으로 또는 제2 입사각과 다른 입사각으로 제2 편광 상태로 입사하는 제2 색상의 광 또는 또 다른 색상의 광을 회절시키는 회절 효율보다 실질적으로 높을 수 있다.
- [0749] 제2 회절 구조는 상기에 설명된 바와 같이 제1 회절 구조와 유사한 방식으로 제작될 수 있다. 제1 회절 구조 및 제2 회절 구조는 독립적으로 제작될 수 있다. 제2 회절 컴포넌트는 또한 캐리어 필름 및 회절 기판을 포함할 수 있다.
- [0750] 제1 및 제2 회절 컴포넌트들은 제1 회절각과 제2 회절각이 서로 실질적으로 동일하도록(예를 들어, 실질적으로

수직이도록) 구성될 수 있다. 제1 입사각과 제2 입사각은 서로 실질적으로 동일할 수 있다.

- [0751] 색상 선택 편광기는 제1 및 제2 광 회절 컴포넌트들(1406) 사이에 배열된다. 색상 선택 편광기는 도 9a 및 9b의 GM 필터(906), 또는 도 10a 및 10b의 MG 필터(1006)일 수 있다. 광 회절 구조는 필드 격자 기관(예를 들어, 도 9a 및 도 9b의 기관(902) 또는 도 10a 및 도 10b의 기관(1002))을 포함할 수 있다. 제1 광 회절 컴포넌트, 색상 선택 편광기 및 제2 광 회절 컴포넌트는 필드 격자 기관 상에 순차적으로 적층될 수 있어서, 제1 색상의 광 및 제2 색상의 광이 제2 광 회절 컴포넌트 앞의 제1 광 회절 컴포넌트에 입사되도록 한다. 색상 선택 편광기는 제2 색상의 광의 편광 상태를 예를 들어, 제2 편광 상태에서 제1 편광 상태로 회전시켜, 제2 색상의 광이 제2 회절 구조 상에서 제1 편광 상태로 입사되도록 구성될 수 있다. 일부 경우에, 색상 선택 편광기는 제1 색상의 광의 편광 상태를 회전시킬 수 있다. 일부 경우에, 색상 선택 편광기는 제1 색상의 광의 편광 상태를 회전시키지 않도록 구성된다.
- [0752] 일부 구현들에서, 제1 회절 컴포넌트의 앞에 추가의 색상 선택 편광기가 배열된다. 예를 들어, 추가의 색상 선택 편광기는 필드 격자 기관과 제1 회절 컴포넌트 사이에 있을 수 있다. 추가의 색상 선택 편광기는 도 9a 및 9b의 BY 필터(904), 또는 도 10a 및 10b의 BY 필터(1004)일 수 있다. 추가의 색상 선택 편광기는 제1 색상의 광의 편광 상태를 예를 들어, 제2 편광 상태에서 제1 편광 상태로 회전시켜, 제1 색상의 광이 제1 회절 구조 상에서 제1 편광 상태로 입사되도록 구성된다. 일부 경우에, 추가의 색상 선택 편광기는 제2 색상의 광의 편광 상태를 예를 들어, 제1 편광 상태에서 제2 편광 상태로 회전시켜, 제2 색상의 광이 제1 회절 구조 상에서 제2 편광 상태로 입사되도록 한다. 일부 경우에, 추가의 색상 선택 편광기는 제2 색상의 광의 편광 상태를 회전시켜, 제2 색상의 광이 제1 회절 구조 상에서 제2 편광 상태로 입사되도록 한다.
- [0753] 광 회절 장치의 인접 컴포넌트는 중간층을 통해 함께 부착될 수 있다. 중간층은 OCA 층, UV 경화 또는 열 경화된 광학 접착제, 광학 접촉 또는 굴절을 정합 유체일 수 있다.
- [0754] 일부 구현들에서, 프로세스(1400)는 제3 광 회절 컴포넌트를 형성하는 단계를 더 포함할 수 있다. 제3 회절 컴포넌트는 제3 기록 매체에 형성된 제3 회절 구조(예를 들어, 도 10a 및 10b의 G격자(1032))를 포함한다. 제3 회절 구조는 제3 회절 구조 상에서 제3 입사각으로 제1 편광 상태로 입사되는 제3 색상의 재생 기준 광(또는 제3 색상의 광)을 제3 회절 효율로 제2 회절각으로 회절시키도록 구성된다. 제3 회절 효율은 제3 회절 구조가 제2 입사각으로 또는 제3 입사각과 다른 입사각으로 제3 편광 상태로 입사하는 제3 색상의 광 또는 또 다른 색상의 광을 회절시키는 회절 효율보다 실질적으로 높을 수 있다.
- [0755] 제3 회절 구조는 상기에 설명된 바와 같이 제1 회절 구조와 유사한 방식으로 제작될 수 있다. 제1, 제2 및 제3 회절 구조는 독립적으로 제작될 수 있다. 제3 회절 컴포넌트는 또한 캐리어 필름 및 회절 기관을 포함할 수 있다. 제1, 제2 및 제3 회절 컴포넌트들은 제1, 제2 및 제3 회절각이 서로 실질적으로 동일하도록(예를 들어, 실질적으로 수직이도록) 구성될 수 있다. 제1, 제2 및 제3 입사각은 서로 실질적으로 동일할 수 있다.
- [0756] 제2 색상 선택 편광기는 제2 및 제3 광 회절 컴포넌트들 사이에 배열될 수 있다. 제2 색상 선택 편광기는 도 10a 및 10b의 YG 필터일 수 있다. 제2 색상 선택 편광기는 둘 이상의 서브 편광기(예를 들어, 도 10a 및 10b의 RC 필터(1008-1) 및 GM 필터(1008-2))로 구성될 수 있다. 일부 예들에서, 제2 색상 선택 편광기가 제3 회절 컴포넌트 상에 먼저 부착된 후, 제2 색상 선택 편광기가 제2 회절 컴포넌트 상에 부착될 수 있다. 일부 예들에서, 제2 색상 선택 편광기가 제2 회절 컴포넌트에 먼저 부착된 후, 제3 회절 컴포넌트가 제2 색상 선택 편광기에 부착될 수 있다. 제2 색상 선택 편광기는 제3 색상의 광의 편광 상태를 제2 편광 상태에서 제1 편광 상태로 회전시켜, 제3 색상의 광이 제3 회절 구조 상에서 제1 편광 상태로 입사되도록 구성될 수 있다. 제2 색상 선택 편광기는 제1 색상의 광의 편광 상태의 회전 없이, 제2 색상의 광의 편광 상태를 예를 들어, 제1 편광 상태에서 제2 편광 상태로 회전시키도록 구성될 수 있다.
- [0757] 제3 색상 선택 편광기는 제3 광 회절 컴포넌트가 제2 및 제3 색상 선택 편광기 사이에 있도록 제3 광 회절 컴포넌트에 순차적으로 배열될 수 있다. 제3 색상 선택 편광기는 도 10a 및 10b의 MG 필터(1040)일 수 있다. 제3 색상 선택 편광기는 제3 색상의 광의 제1 편광 상태의 회전 없이, 제1 및 제2 색상의 광 각각의 편광 상태를, 예를 들어 제2 편광 상태에서 제1 편광 상태로 회전시켜, 회절된 제1, 제2 및 제3 색상의 광이 동일한 편광 상태를 갖도록 구성될 수 있다.
- [0758] 도 14b는 회절 구조 및 대응하는 반사층을 포함하는 광 회절 장치를 제조하는 예시적인 프로세스(1450)의 흐름도이다. 광 회절 장치는, 도 5h의 광 회절 장치(598), 도 5i의 598A, 도 5j의 598B, 또는 도 5k의 598C, 도 11의 광 회절 장치(1100), 또는 도 12a의 광 회절 장치(1200), 도 12b의 1250 또는 도 12c의 1270일 수 있다.

- [0759] 제1 광 회절 컴포넌트가 형성된다(1452). 제1 회절 컴포넌트는, 도 11의 제1 회절 컴포넌트(1110), 도 12a, 12b 또는 12c의 1210일 수 있다. 제1 회절 컴포넌트는 제1 기록 매체에 저장된 제1 회절 구조를 포함한다. 제1 회절 구조는 제1 입사각으로 입사하는 제1 색상의 광을 제1 회절각으로 1차수로 그리고 제1 입사각으로 0차수로 회절 시키도록 구성된다. 제1 차수로 제1 색상의 광의 전력은 0차수로 제1 색상의 광의 전력보다 실질적으로 높을 수 있다.
- [0760] 제1 회절 구조는 홀로그래픽 격자(예를 들어, 체적 격자 또는 브래그 격자)일 수 있다. 기록 매체의 두께는 기록 대상체 빔의 파장보다 10배 이상(예를 들어, 30배) 클 수 있다. 일부 예들에서, 제1 입사각은 브래그 각도일 수 있다. 제1 회절 효율은 예를 들어, 브래그 선택성으로 인해, 제1 회절 구조가 제1 입사각과 다른 입사각으로 제1 색상의 광 또는 다른 색상의 광을 회절시키는 회절 효율보다 실질적으로 높을 수 있다. 서로 다른 입사각으로 입사하는 광은 제1 회절 구조를 투과할 수 있다.
- [0761] 기록 매체는 감광성 재료(예를 들어, 감광성 중합체 또는 광중합체)를 포함할 수 있다. 제1 회절 구조는 예를 들어, 제1 기록 대상체 각도로 제1 기록 대상체 빔에 감광성 재료를 노출시키고, 동시에 제1 기록 기준각으로 제1 기록 기준 빔에 노출시킴으로써, 도 14a의 단계(1402)와 유사하게 형성될 수 있다. 제1 기록 대상체 빔과 제1 기록 기준 빔은, 예를 들어, 동일한 광원으로부터의 동일한 파장 및 동일한 편광 상태를 가질 수 있다. 제1 색상의 광의 제1 입사각은 제1 기록 기준각과 실질적으로 동일할 수 있고, 제1 회절각은 제1 기록 대상체 각도와 실질적으로 동일할 수 있다. 일부 예들에서, 제1 기록 기준각은 70도 내지 90도 범위(예를 들어, 70도 내지 80도 범위)에 있다. 일부 예들에서, 제1 기록 대상체 각도는 -10도 내지 10도 범위(예를 들어, -7도 내지 7도 범위, 0도 또는 6도)에 있다. 제1 회절 구조는 기록 매체 내에(예를 들어, UV 경화 또는 열 경화에 의해) 고정될 수 있다. 일부 예들에서, 제1 회절 컴포넌트는 기록 매체 상에 캐리어 필름(예를 들어, TAC 필름)을 포함한다. 일부 예들에서, 제1 회절 컴포넌트는 회절 기관(예를 들어, 유리 기관)을 포함한다. 기록 매체는 캐리어 필름과 회절 기관 사이에 있을 수 있다.
- [0762] 제2 광 회절 컴포넌트가 형성된다(1454). 제2 회절 컴포넌트는, 도 11의 제2 회절 컴포넌트(1120), 도 12a, 12b 또는 12c의 1220일 수 있다. 제2 회절 컴포넌트는 제2 기록 매체에 저장된 제2 회절 구조를 포함한다. 제2 회절 구조는 제2 입사각으로 입사하는 제2 색상의 광을 제2 회절각으로 1차수로 그리고 제2 입사각으로 0차수로 회절 시키도록 구성된다. 제1 차수로 제2 색상의 광의 전력은 0차수로 제2 색상의 광의 전력보다 실질적으로 높을 수 있다.
- [0763] 제2 회절 구조는 단계(1452)의 제1 회절 구조와 유사한 방식으로 제작될 수 있다. 제1 회절 구조 및 제2 회절 구조는 독립적으로 제작될 수 있다. 제2 회절 컴포넌트는 또한 캐리어 필름 및 회절 기관을 포함할 수 있다.
- [0764] 제1 및 제2 회절 컴포넌트들은 제1 회절각과 제2 회절각이 서로 실질적으로 동일하도록(예를 들어, 실질적으로 수직이도록) 구성될 수 있다. 제1 입사각과 제2 입사각은 서로 다르다. 제1 및 제2 입사각은, 예를 들어, 도 13a 내지 13c에 설명된 바에 따라 결정될 수 있다. 일부 예들에서, 제1 색상의 광은 제2 색상의 광보다 작은 파장을 가지며, 제1 입사각은 제2 입사각보다 크다.
- [0765] 제1 반사층은 제1 및 제2 회절 구조 사이에 배열된다(1456). 제1 반사층은 도 11의 반사층(1116) 또는 도 12a, 12b 또는 12c의 1216일 수 있다. 제1 반사층은 제1 입사각으로 입사하는 제1 색상의 광을 전반사시켜, 0차수로 회절되지 않은(또는 투과된) 제1 색상의 광이 광 회절 장치 뒤의 디스플레이로 전파되지 않고 제1 반사층 이전의 층들로 다시 반사되도록 구성될 수 있다. 제1 반사층은 제1 반사층에 바로 인접한 제1 회절 컴포넌트 층의 굴절률보다 작은 굴절률을 가져, 제2 입사각을 갖는 제2 색상의 광을 전반사하지 않고, 제1 입사각을 갖는 제1 색상의 광이 제1 반사층과 제1 광 회절 컴포넌트 층 사이의 경계에 의해 전반사되도록 구성될 수 있다. 제1 반사층은 제1 및 제2 회절 구조 사이에 임의의 적합한 층일 수 있다. 예를 들어, 제1 반사층은 제1 회절 컴포넌트의 캐리어 필름일 수 있다.
- [0766] 제2 반사층은 제2 회절 구조 뒤에 배열된다(1458). 제2 반사층은 도 11의 반사층(1105) 또는 도 12a, 12b 또는 12c의 1205일 수 있다. 제2 반사층은 제2 입사각으로 입사하는 제2 색상의 광을 전반사시켜, 0차수로 회절되지 않은(또는 투과된) 제2 색상의 광이 광 회절 장치 뒤의 디스플레이로 전파되지 않고 제2 반사층 이전의 층들로 다시 반사되도록 구성될 수 있다.
- [0767] 광학 흡수체는 광 회절 장치의 일 면에 형성될 수 있다. 광학 흡수체는, 도 11의 광학 흡수체(1104), 도 12a, 12c의 1204, 또는 도 12c의 1254일 수 있다. 광학 흡수체는 제1 및 제2 색상의 전반사된 광을 흡수하도록 구성된다.

- [0768] 일부 구현들에서, 제3 회절 구조를 포함하는 제3 광 회절 컴포넌트가 형성된다. 제3 회절 컴포넌트는 도 12a, 12b 또는 12c의 제3 회절 컴포넌트(1230)일 수 있다. 제3 회절 구조는 도 12a, 12b 또는 12c의 제3 회절 구조(1232)일 수 있다. 제3 회절 구조는 제3 입사각으로 입사하는 제3 색상의 광을 제3 회절각으로 1차수로 그리고 제3 입사각으로 0차수로 회절시키도록 구성된다. 제1 차수로 제3 색상의 광의 전력은 0차수로 제3 색상의 광의 전력보다 실질적으로 높을 수 있다. 제1, 제2 및 제3 회절각은 서로 실질적으로 동일할 수 있다. 제3 입사각은 제1 및 제2 입사각과 상이할 수 있다. 제1 및 제2 반사층들 각각은 제3 입사각을 갖는 제3 색상의 광을 투과시키도록 구성될 수 있다. 제2 반사층은 제2 및 제3 회절 구조 사이에 배열될 수 있다. 제3 회절 구조는 단계(1452)의 제1 회절 구조와 유사한 방식으로 제작될 수 있다. 제1, 제2 및 제3 회절 구조는 독립적으로 제작될 수 있다. 제3 회절 컴포넌트는 또한 캐리어 필름 및 회절 기관을 포함할 수 있다.
- [0769] 제3 반사층이 제3 회절 구조의 뒤에 배열될 수 있다. 제3 반사층은 도 12a, 12b 또는 12c의 제3 반사층(1207)일 수 있다. 제3 반사층이 제3 입사각을 갖는 제3 색상의 광을 전반사시켜, 0차수로 회절되지 않은(또는 투과된) 제3 색상의 광이 제3 반사층 이전의 층들로 다시 반사되어 광 회절 장치의 일 면에 코팅된 광학 흡수체에 의해 흡수될 수 있도록 구성된다.
- [0770] 일부 구현들에서, 제1 반사층은 제1 광 회절 컴포넌트의 제1 캐리어 필름을 포함한다. 제2 회절 컴포넌트의 제2 회절 기관은 제1 중간층(예를 들어, OCA 층)에 의해 제1 회절 컴포넌트의 제1 캐리어 필름에 부착된다. 제2 회절 컴포넌트의 제2 캐리어 필름은 제2 중간층에 의해 제3 광 회절 컴포넌트의 제3 캐리어 필름에 부착되며, 제2 반사층은 제2 중간층을 포함할 수 있다. 제3 반사층은 제3 회절 컴포넌트의 제3 회절 기관에 부착될 수 있다.
- [0771] 프로세스(1450)는 제1 회절 컴포넌트보다 앞선 기관 상에 제1 회절 컴포넌트를 배열하는 단계를 포함할 수 있다. 기관은 도 11의 필드 격자 기관(1102), 도 12a의 1202, 도 12b의 1252 또는 도 12c의 1272일 수 있다. 기관은 전면 및 후면을 포함할 수 있다. 제1 회절 컴포넌트의 전면은 굴절률 정합 재료 또는 OCA 층을 통해 기관의 후면에 부착될 수 있다.
- [0772] 일부 예들에서, 기관은 기관의 후면에 대해 각을 이루는 측면을 포함하며, 기관은 측면에서 복수의 상이한 색상의 광을 수용하도록 구성된다. 기관은 복수의 상이한 색상의 광이 실질적으로 0도와 동일한 입사각으로 측면에 입사하고 각각의 재생 기준각으로 후면에 입사하도록 구성될 수 있다.
- [0773] 본 개시의 구현들은 광 회절 장치 및 디스플레이를 포함하는 장치를 제조 방법을 제공할 수 있다. 디스플레이는 도 5h의 디스플레이(594), 도 5i의 594A, 도 5j의 594B 또는 도 5k의 594C일 수 있다. 광 회절 장치는 도 5h의 광 회절 장치(598), 도 5i의 598A, 도 5j의 598B, 또는 도 9a 및 9b의 광 회절 장치(900), 도 10a 및 10b의 광 회절 장치(1000), 도 11의 광 회절 장치(1100), 또는 도 12a의 광 회절 장치(1200), 도 12b의 1250 또는 도 12c의 1270일 수 있다.
- [0774] 방법은 도 14a의 프로세스(1400) 또는 도 14b의 프로세스(1450)에 따라 광 회절 장치를 형성하는 단계를 포함할 수 있다. 일부 구현들에서, 광 회절 장치는 하나 이상의 색상 선택 편광기 및 복수의 상이한 색상의 광에 대한 하나 이상의 반사층을 포함할 수 있다. 광 회절 장치는 프로세스(1400)와 프로세스(1450)의 조합에 따라 제조될 수 있다.
- [0775] 방법은 광 회절 장치 및 디스플레이를 배열하는 단계를 더 포함하여, 광 회절 장치가 복수의 상이한 색상의 광을 디스플레이로 회절시키도록 구성될 수 있다.
- [0776] 일부 구현들에서, 광 회절 장치 및 디스플레이는 광학 장치의 후면이 디스플레이의 전면으로부터 갭(예를 들어, 에어 갭)에 의해 이격되도록 배열될 수 있다. 방법은 디스플레이의 전면 또는 광 회절 장치의 후면 중 적어도 하나에 반사 방지 코팅을 형성하는 단계를 더 포함할 수 있다.
- [0777] 일부 구현들에서, 광 회절 장치와 디스플레이는 광 회절 장치의 후면을 중간층을 통해 디스플레이 전면부에 부착시킴으로써 배열된다. 중간층은 광 회절 장치 층의 굴절률보다 낮은 굴절률을 갖도록 구성될 수 있어서, 광 회절 장치에 의해 0차로 회절된 복수의 상이한 색상의 광 각각이 광 회절 장치 층과 중간층과 사이의 경계에서 전 반사되도록 한다.
- [0778] 광 회절 장치는 서로 실질적으로 동일한 각각의 회절각으로 복수의 상이한 색상의 광을 회절시키도록 구성된다. 각각의 회절각 각각은 -10도 내지 10도의 범위(예를 들어, -7도 내지 7도의 범위, 0도 또는 6도)에 있을 수 있다. 디스플레이는 광 회절 장치를 통해 다시 회절된 색상의 광을 다시 회절시키도록 구성될 수 있다. 광 회절 장치의 영역은 디스플레이의 영역을 덮을 수 있다. 광 회절 장치는 기관의 후면에 대해 각을 이루는 기관의 측

면에서 복수의 상이한 색상의 광을 수용하도록 구성될 수 있는 광학 장치 앞의 기관을 포함할 수 있다.

- [0779] 본 개시의 구현들은 광 회절 장치를 동작시키는 방법을 제공할 수 있다. 광 회절 장치는 도 5h의 광 회절 장치(598), 도 5i의 598A, 도 5j의 598B, 또는 도 9a 및 9b의 광 회절 장치(900), 도 10a 및 10b의 광 회절 장치(1000), 도 11의 광 회절 장치(1100), 또는 도 12a의 광 회절 장치(1200), 도 12b의 1250 또는 도 12c의 1270일 수 있다. 광 회절 장치는 복수의 상이한 색상의 광을 포함하는 입사 빔을 개별적으로 회절된 색상의 광으로 변환시키도록 동작될 수 있다.
- [0780] 본 개시의 구현들은 광 회절 장치 및 디스플레이를 포함하는 시스템을 동작시키는 방법을 제공할 수 있다. 광 회절 장치는 도 5h의 광 회절 장치(598), 도 5i의 598A, 도 5j의 598B, 또는 도 9a 및 9b의 광 회절 장치(900), 도 10a 및 10b의 광 회절 장치(1000), 도 11의 광 회절 장치(1100), 또는 도 12a의 광 회절 장치(1200), 도 12b의 1250 또는 도 12c의 1270일 수 있다. 디스플레이는 복수의 디스플레이 요소를 포함한다. 디스플레이는 도 5h의 디스플레이(594), 도 5i의 594A, 도 5j의 594B 또는 도 5k의 594C일 수 있다. 방법은 컨트롤러(예를 들어, 도 1a의 컨트롤러(112) 또는 도 5h의 592)에 의해 수행될 수 있다.
- [0781] 방법은, 적어도 하나의 타이밍 제어 신호를 조명기에 전송하여 조명기가 광 회절 장치 상에서 복수의 상이한 색상의 광을 방출하도록 하여, 광 회절 장치가 복수의 상이한 색상의 광을 개별적으로 회절된 색상의 광으로 변환시켜 디스플레이를 조명하도록 하는 단계 및 디스플레이의 복수의 디스플레이 요소 각각에 대해, 적어도 하나의 각각의 제어 신호를 전송하여 디스플레이 요소를 변조시켜, 개별적으로 회절된 색상의 광이 변조된 디스플레이 요소에 의해 반사되어 각각의 제어 신호에 대응하는 다중 색상의 3차원 광 필드를 형성하도록 하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0782] 일부 구현들에서, 방법은, 3차원 공간에서 객체에 대응하는 복수의 프리미티브에 대한 각각의 프리미티브 데이터를 포함하는 그래픽 데이터를 획득하는 단계, 복수의 프리미티브 각각에 대해, 3차원 좌표계에서 프리미티브로부터 디스플레이 요소까지의 EM 필드 전파를 계산함으로써 디스플레이의 복수의 디스플레이 요소들 각각에 대한 전자기(EM) 필드 기여도를 결정하는 단계, 복수의 디스플레이 요소 각각에 대해, 복수의 프리미티브로부터 디스플레이 요소까지의 EM 필드 기여도의 합을 생성하는 단계, 및 복수의 디스플레이 요소들 각각에 대해, 디스플레이 요소의 적어도 하나의 특성의 변조를 위해 디스플레이 요소에 대한 EM 필드 기여도의 합에 기초하여 각각의 제어 신호를 생성하는 단계를 더 포함할 수 있다. 다중 색상의 3차원 광 필드는 객체에 대응한다.
- [0783] 일부 구현들에서, 방법은, 일련의 시간 기간에서 복수의 상이한 색상과 연관된 정보로 디스플레이를 순차적으로 변조하는 단계, 및 일련의 시간 기간의 각각의 시간 기간 동안 광학 장치로 복수의 상이한 색상의 광 각각을 순차적으로 방출하여, 복수의 상이한 색상의 광 각각이 광학 장치에 의해 디스플레이로 회절되고 디스플레이의 변조된 디스플레이 요소에 의해 반사되어 각각의 시간 기간 동안 객체에 대응하는 각각의 색상의 3차원 광 필드를 형성하도록 조명기를 제어하는 단계를 포함한다.
- [0784] 복수의 상이한 색상의 광은 디스플레이에 대해 실질적으로 동일한 회절각으로 광학 장치에 의해 회절될 수 있다. 회절각은 0도 내지 10도 범위 내에 있을 수 있다.
- [0785] 조명기 및 광 회절 장치는 복수의 상이한 색상의 광이 각각의 입사각으로 광 회절 장치의 제1 광 회절 컴포넌트에 입사되도록 구성될 수 있다. 각각의 입사각 각각은 70도 내지 90도 범위에 있다. 일부 경우에, 각각의 입사각은 서로 다르다. 일부 경우에, 각각의 입사각은 서로 실질적으로 동일하다.
- [0786] 광 회절 장치는 복수의 상이한 색상에 대한 복수의 회절 격자를 포함할 수 있다. 격자는 투과형 격자, 반사형 격자, 또는 이들의 조합을 포함할 수 있다. 예를 들어, 도 9a 내지 12c에 도시된 광 회절 장치 각각은 상이한 색상에 대한 대응하는 투과형 격자를 포함한다. 일부 구현들에서, 광 회절 장치는 상이한 색상에 대해 구성될 수 있는 투과형 격자 및 반사형 격자의 조합을 포함할 수 있다. 광 회절 장치는 들어오는 광을 같은 방향으로 회절시키거나, 다시 반대 방향으로 회절시키도록 구성될 수 있다.
- [0787] 도 15는 2 가지 각각의 색상에 대한 투과형 및 반사형 회절 격자 및 해당 반사층을 포함하여, 2 가지 색상의 광을 개별적으로 회절시키기 위한 예시적인 광학 장치(1500)를 예시한다. 광학 장치(1500)는 청색용 제1 회절 격자(1512)를 갖는 제1 회절 컴포넌트(1510)와 녹색용 제2 회절 격자(1522)를 갖는 제2 회절 컴포넌트(1520)를 포함할 수 있다. 제1 및 제2 회절 격자(1512, 1522) 각각은 홀로그래픽 격자(예를 들어, 브래그 격자 또는 체적 격자)일 수 있다. 그러나, 청색용 제1 회절 격자(1512)는 격자(1512)에 입사되는 청색광에 대하여 청색광을 전방으로 회절시키는 투과형 격자로 구성되는 반면, 녹색용 제2 회절 격자(1522)는 격자(1522)에 입사하는 녹색광에 대하여 녹색광을 후방으로 반사시키는 반사형 격자로 구성된다. 제1 및 제2 회절 격자(1512 및 1522) 각각

은 기록 매체(예를 들어, 광중합체와 같은 감광성 재료)에 개별적으로 기록 및 고정될 수 있다.

- [0788] 제1 회절 컴포넌트(1510) 및 제2 회절 컴포넌트(1520)는 방향(예를 들어, Z 방향)을 따라 필드 격자 기관(1502) 상에 함께 적층될 수 있다. 필드 격자 기관(1502)은 광학적으로 투명한 기관(예를 들어, 유리 기관)일 수 있다. 광 회절 장치(1500)는 LCOS와 같은 디스플레이(예를 들어, 도 5h의 디스플레이(594), 도 5i의 594A, 도 5j의 594B 또는 도 5k의 594C)의 앞에 있을 수 있다. 예를 들어, 광 회절 장치(1500)는 중간층을 통해 디스플레이의 커버 유리(1530) 상에 배열될 수 있거나 갭(예를 들어, 에어 갭)에 의해 이격될 수 있다.
- [0789] 도 11의 제1 및 제2 회절 컴포넌트(1110, 1120)와 마찬가지로, 제1 및 제2 회절 컴포넌트(1510 및 1520) 각각은 각각의 회절 격자(1512, 1522)의 양측에 각각의 기관(1514, 1524) 및 각각의 캐리어 필름(1516, 1526)을 포함할 수 있다. 각각의 회절 격자(1512, 1522)는 각각의 기관(1514, 1524)과 각각의 캐리어 필름(1516, 1526) 사이에 있다. 각각의 기관(1514, 1524)은 필드 격자 기관(1502)의 굴절률과 같거나 그에 가까운 굴절률을 가질 수 있는 유리 기관일 수 있다. 각각의 캐리어 필름(1516, 1526)은 TAC 필름일 수 있다. TAC 필름은 회절 격자(1512 및 1522)를 기록하는데 사용되는 감광성 중합체보다 낮은 굴절률을 가질 수 있다. 광 회절 장치(1500)의 인접한 층 또는 컴포넌트는 OCA, UV 경화 또는 열 경화 광학 접착제, 광학 접착 또는 굴절률 정합 유체 중 하나 이상의 중간 층을 사용하여 함께 부착될 수 있다. 예를 들어, 제1 회절 컴포넌트(1510)(예를 들어, 기관(1514))은 중간층(1501)(예를 들어, OCA 층)을 통해 필드 격자 기관(1502)에 부착될 수 있다. 제1 및 제2 회절 컴포넌트(1510 및 1520)(예를 들어, 캐리어 필름(1516) 및 기관(1524))는 다른 중간층(1503)(예를 들어, OCA 층)을 통해 함께 부착될 수 있다. 광 회절 장치(1500)(예를 들어, 캐리어 필름(1526))은 중간층(1505)(예를 들어, OCA 층)을 통해 디스플레이의 커버 유리(1530)에 부착될 수 있다.
- [0790] 도 15에 도시된 바와 같이, 제1 회절 격자(1512)는 각각의 회절각으로 1차수로 제1 입사각(θ_b)(예를 들어, 78.4°)으로 입사된 청색 광을 회절시키고 예를 들어, 브래그 선택성으로 인해, 서로 다른 입사각으로 녹색 광을 투과시키도록 구성된다. 따라서, 해당 회절 격자에서 개별적으로 회절되는 서로 다른 색상의 광 사이에 누화가 없을 수 있다. 각 색상의 광은 편광될 수 있다. 제1 차수로 회절된 서로 다른 색상의 광의 편광 상태는 동일(예를 들어, s 또는 p)할 수 있다.
- [0791] 광 회절 장치(1500)는 제1 격자(1512)와 제2 격자(1522) 사이에 제1 반사층(또는 차단층)을 포함할 수 있다. 제1 격자(1512)는 제1 입사각(θ_b)(예를 들어, 78.4°)으로 입사하는 청색 광을 회절각(예를 들어, 0°)으로 1차수로 그리고 제1 입사각으로 0차수로 회절시키도록 구성된다. 제1 반사층(예를 들어, 제1 반사층의 굴절률)은 제1 입사각으로 회절된 청색 광을 완전히 반사하되, 제2 입사각으로 입사된 녹색 광을 투과시키도록 구성된다. 예를 들어, 제1 반사층의 굴절률은 제1 반사층(예를 들어, 제1 격자(1512)) 직전의 층의 굴절률보다 낮다. 제1 반사층은 제1 격자(1512)와 제2 격자(1522) 사이에 적합한 층일 수 있다. 일부 예들에서, 제1 반사층은 도 15에 도시된 바와 같은 캐리어 필름(1516)이다.
- [0792] 광 회절 장치(1500)는 제2 격자(1512) 이후 및 디스플레이 커버 유리(1530) 이전에 제2 반사층을 포함할 수 있다. 제2 반사층은 중간층(1505)일 수 있고 예를 들어 녹색 광을 다시 제2 격자(1512)로 전반사시키도록 구성될 수 있다. 그런 다음 제2 격자(1512)는 제2 입사각(θ_g)(예를 들어, 76.5°)으로 입사하는 녹색 광을 다시 디스플레이를 향해 회절시키고 제2 입사각으로 0차수로 다시 광 회절 장치(1500)으로 회절시키도록 구성된다.
- [0793] 반사층(1516)에 의해 전반사된 청색 광 및 0차 투과된 녹색 광은 광 회절 장치(1500)의 일 면으로 다시 광 회절 장치(1500)로 다시 들어간다. 도 15에 예시된 바와 같이, 일 면의 표면은 해당 투과형 및 반사형 회절 격자(1512 및 1522)에 의해 0차수로 청색 및 녹색 광을 흡수하기 위한 광학 흡수체(1504)(예를 들어, 블랙 코팅)로 코팅될 수 있다.
- [0794] 색상 선택 편광기를 갖는 광 회절 장치(예를 들어, 도 9a 내지 10b에 예시된 바와 같음) 및 반사층을 갖는 광 회절 장치(예를 들어, 도 11 내지 12c 및 15에 예시된 바와 같음) 각각은 1차원 빔 익스팬더(one-dimensional beam expander)로 하나의 장치로 간주될 수 있다. 1차원 빔 익스팬더는 예를 들어, 하나 이상의 회절각으로 입력 빔을 회절시킴으로써, 폭과 높이가 있는 입력 빔을 동일한 폭과 더 큰 높이 또는 동일한 높이와 더 큰 폭을 갖는 출력 빔으로 확장하도록 구성될 수 있다.
- [0795] 본원에 설명된 기술은 입력 빔을, 예를 들어 2차원 빔 확장으로, 입력 빔보다 더 넓고 더 높은 출력 빔으로 확장하는 데에도 사용될 수 있다. 2차원 빔 확장은 적어도 2개의 1차원 빔 익스팬더를 직렬로 갖는 2차원 빔 익스팬더(또는 이중 빔 익스팬더)를 사용하여 달성될 수 있다. 예를 들어, 제1 1차원 빔 익스팬더는 폭 또는 높이의

제1 치수로 입력 빔을 확장하여, 제1 치수의 입력 빔보다 더 넓거나 더 높은 중간 빔을 생성하도록 구성될 수 있다. 제2 1차원 빔 익스팬더는 높이 또는 폭의 제2 치수로 중간 빔을 확장하여, 제2 치수의 중간 빔보다 더 넓거나 더 넓은 출력 빔을 생성하도록 구성될 수 있다. 따라서, 출력 빔은 제1 치수 및 제2 치수의 입력 빔보다 더 넓고 더 높을 수 있다.

[0796] 이러한 2차원 빔 익스팬더 구성에서, 1차원 빔 익스팬더 중 하나 또는 둘 모두는 색상 선택 기술을 사용할 수 있고, 1차원 빔 익스팬더 중 하나 또는 둘 모두는 반사층 기술을 사용할 수 있다. 각 1차원 익스팬더는 반사형 또는 굴절형 회절 요소 또는 반사형 및 굴절형 회절 요소의 조합을 포함하는 본원의 상세한 실시예들 중 어느 하나를 사용할 수 있다. 1차원 빔 익스팬더는 임의의 적합한 배열 또는 구성으로 순차적인 순서로 배치될 수 있다.

[0797] 일부 구현들에서, 이러한 2개의 1차원 익스팬더 사이의 중간 빔은 예를 들어 유리 또는 아크릴로 만들어지고 두 익스팬더의 기관의 기하학적 형상 및 기능을 구현하는 모놀리식 또는 세그먼트형 기관을 통해 또는 자유 공간 공중 기하학적 형상을 사용하거나 제1 1차원 익스팬더로부터 제2 1차원 익스팬더로 결합될 수 있다. 이 결합은 2개의 1차원 익스팬더 사이에 하나 이상의 결합 요소를 사용하여 달성될 수 있다. 결합 요소는 미러, 미러들 또는 미러와 빔 분할 다이크로익 컴포넌트 또는 추가 회절 요소의 박막 요소를 포함할 수 있다. 결합 요소는 제1 1차원 익스팬더로부터 둘 이상의 색상의 시준된 출력 광을 취하고, 색상 중 하나에 대해 각각, 제2 1차원 익스팬더의 색상 종속 각도 입력 요구사항(있는 경우)을 충족하기 위해, 둘 이상의 색상의 동일 시준된 출력 광을 둘 이상의 독립적인 시준형이지만 공동 선상의 중간 빔으로 변환할 수 있다. 마찬가지로, 제1 1차원 익스팬더는, 다른 색상으로 각각, 둘 이상의 광원(예를 들어, 레이저 다이오드)의 동일 선상의 시준된 출력을 입력으로서 가질 수 있거나, 또는 둘 이상의 광원으로부터 하나의 색상에 대해 각각, 둘 이상의 독립적인 시준형이지만 동일선상에 있지 않은 중간 빔을 그 입력으로 가질 수 있다.

[0798] 0차 광 억제 디스플레이

[0799] 디스플레이(예를 들어, LCoS)는 디스플레이 요소(예를 들어, 픽셀 또는 페이지셀) 어레이를 포함한다. 디스플레이 상의 디스플레이 요소 사이에 갭이 있다. 갭은 디스플레이 영역의 일부, 예를 들어 5% 내지 10% 범위를 차지한다. 갭은 이러한 갭의 디스플레이 재료(예를 들어, 액정)이 입력 제어 신호에 의해 제어되지 않아 홀로그래픽 정보가 이러한 갭에 입력될 수 없기 때문에 데드 갭(dead gap)으로 간주될 수 있다. 대조적으로, 홀로그래픽 정보는 홀로그래픽 정보에 대응하는 홀로그래픽 장면을 재구성하기 위해 광을 회절시키도록 제어(또는 변조)되는 디스플레이 요소에 입력될 수 있다.

[0800] 도 16은 디스플레이(1610)에 입사하는 입사광(1620)의 일 예(1600)를 예시한다. 디스플레이(1610)는 도 1a의 디스플레이(114), 도 1b의 디스플레이(156), 도 5a의 디스플레이(512), 도 5b의 디스플레이(524), 도 5c의 디스플레이(534), 도 5d의 디스플레이(544), 도 5e의 디스플레이(564), 도 5f의 디스플레이(574), 도 5g의 디스플레이(584), 도 5h의 디스플레이(594), 도 5i의 디스플레이(594A), 도 5j의 디스플레이(594B), 도 5k의 디스플레이(594C), 도 6a의 디스플레이(600) 또는 도 6b의 디스플레이(650)일 수 있다. 다른 디스플레이 배열도 가능하다.

[0801] 일 예로서, 디스플레이(1610)는 액정으로 만들어진 LCoS일 수 있다. 디스플레이(1610)는 갭(1614)만큼 이격된 디스플레이 요소(1612)(예를 들어, 도 1b의 디스플레이 요소(160))의 어레이를 포함한다. 각 디스플레이 요소(1612)는 요소 폭(1613)(예를 들어, $5\mu\text{m}$)을 갖는 정사각형(또는 직사각형 또는 임의의 다른 적절한) 형상을 가질 수 있다. 디스플레이 요소(1612)는 또한 임의의 다른 적합한 형상(예를 들어, 다각형)일 수 있다. 인접한 디스플레이 요소(1612)는 예를 들어 $0.5\mu\text{m}$ 미만의 갭 크기(1615)를 갖는 갭(1614)에 의해 분리된다.

[0802] 입사광(1620)은 입사광(1620)이 디스플레이(1610)의 전체 영역을 조명할 수 있도록, 디스플레이(1610)의 전체 영역보다 큰 빔 크기를 가질 수 있는 시준된 광 빔일 수 있다. 입사광(1620)이 입사각(θ_i)으로 디스플레이(1610)에 입사될 때, 입사광(1620)의 제1 부분(예를 들어, 광(1620)의 90% 내지 95%)은 디스플레이 요소(1612)를 조명하고 입사광(1620)의 제2 부분(예를 들어, 광(1620)의 5% 내지 10%)은 갭(1614)을 조명한다. 디스플레이 요소(1612)가 홀로그래픽 정보(예를 들어, 홀로그래픽 데이터에 대응하는 홀로그램)로(예를 들어 전압에 의해) 변조될 때, 입사광(1620)의 제1 부분은 회절 각도(θ_d)로 1차수로 변조된 디스플레이 요소(1612)에 의해 회절되어 회절된 제1차 광(1622)이 될 수 있다.

[0803] 회절된 1차 광(1622)은 시야각(θ_a)을 갖는 재구성 콘(또는 절두체)(1630)일 수 있는 홀로그래픽 광 필드를 형성한다. 시야각(θ_a)은 디스플레이(1610)의 하나 이상의 특성(예를 들어, 요소 피치(1613)) 및 입사광(1620)의

하나 이상의 파장에 따라 달라진다. 일부 예들에서, 시야각(Θ_a)의 절반은 3° 내지 10° 의 범위 내(예를 들어 5°)에 있다. 예를 들어, 피치 $d = 3.7 \mu\text{m}$ 의 경우, 시야각(Θ_a)은 청색광($\lambda = 460\text{nm}$)의 경우 공중에서 약 7° 이고 적색광($\lambda = 640\text{nm}$)의 경우 공중에서 약 10° 이다. 더 큰 파장을 가진 광은 더 큰 시야각에 해당한다.

[0804] 디스플레이(1610)의 갭(1614)이 임의의 홀로그래픽 정보에 의해 변조되지 않기 때문에, 갭(1614)에서의 디스플레이(1610)는 반사형 미러처럼 작용한다. 입사광(1620)의 제2 부분이 갭(1614)에 입사될 때, 입사광(1620)의 제2 부분은 입사각(Θ_i)의 절대값과 동일한 절대값을 갖는 반사각(Θ_r)을 갖는 갭(1614)에서 반사될 수 있다. 본원의 본 개시에서, "A는 B와 동일하다"는 A의 절대값이 B의 절대값과 동일한 것을 의미하며, A의 방향은 B의 방향과 같거나 다를 수 있다. 입사광(1620)의 반사된 제2 부분은 디스플레이 0차 광(1624)의 적어도 일부로 간주될 수 있다. 입사각(Θ_i)이 꼭지각(Θ_a)의 절반(예를 들어, $\Theta_i = 0^\circ$) 미만인 경우, 디스플레이 0차 광(1624)이 재구성 콘에 바람직하지 않게 나타날 수 있고, 이는 홀로그래픽 장면의 효과에 영향을 미칠 수 있다.

[0805] 디스플레이 0차 광은 또한 디스플레이로부터의 임의의 다른 원하지 않는 광, 예를 들어 갭에서의 회절 광, 디스플레이 요소로부터의 반사 광, 또는 디스플레이 상의 디스플레이 커버로부터의 반사 광을 포함할 수 있다. 고차의 디스플레이 0차 광(1624)은 갭에서 회절된 광을 포함할 수 있다. 일부 구현들에서, 디스플레이(1610)는 예를 들어 상이한 크기를 갖는 불규칙하거나 불균일한 디스플레이 요소를 포함함으로써 고차의 디스플레이 0차 광을 억제하도록 구성된다. 디스플레이 요소는 주기성을 가질 수 없으며, 예를 들어 도 6a에 예시된 바와 같은 боро노이 패턴을 형성할 수 있다.

[0806] 본원의 본 개시에서, 예시 목적으로만, 입사광의 반사된 제2 부분은 디스플레이 0차 광을 대표하는 것으로 간주된다.

[0807] 도 17a 내지 17b는 투사 스크린(도 17a) 및 뷰어의 눈(도 17b) 상에 디스플레이되는 홀로그래픽 장면 내의 디스플레이 0차 광의 예(1700, 1750)를 예시한다. 시준된 입력 광(1720)은 수직 입사, 즉 $\Theta_i = 0^\circ$ 에서 디스플레이(1610)를 조명하기 위해 광학 장치(1710)에 의해 결합된다. 광학 장치(1710)는 도파관, 빔 스플리터 또는 광 회절 장치일 수 있다. 예시를 위해, 광학 장치(1710)는 기관(1712) 상에 형성된 격자(1714)를 포함하는 광 회절 장치(예를 들어, 도 5h의 장치(598))이다. 그러나, 상기에 언급된 바와 같이, 반사형 광학 장치가 사용될 수 있다.

[0808] 입력 광(1720)의 제1 부분은 홀로그래픽 정보로 변조되는 디스플레이(1610)의 디스플레이 요소(1612)에 입사하고, 디스플레이 요소(1612)에 의해 회절되어 회절된 1차 광(1722)이 된다. 입력 광(1720)의 제2 부분은 디스플레이(1610)의 갭(1614)에 입사하고 갭(1614)에서 반사되어 디스플레이 0차 광(1724)의 적어도 일부가 된다. 회절된 1차 광(1722)은 공간에서 전파되어 시야각(예를 들어 10°)을 갖는 재구성 콘을 형성한다. 입사각(예를 들어, 0°)이 시야각의 절반(예를 들어, 5°) 미만이므로, 입사각과 동일한 반사각(예를 들어, 0°)으로 전파하는 디스플레이 0차 광(1724)은 재구성 콘 내에 있다.

[0809] 도 17a에 예시된 바와 같이, 회절된 1차 광(1722)은 디스플레이(1610)에 수인인 방향을 따라 디스플레이(1610)로부터 이격된 2차원(2D) 프로젝션 스크린(1730) 상에서 관찰될 수 있는 2차원 단면(1732)인 3차원 홀로그래픽 장면을 형성한다. 디스플레이 0차 광(1724)은 홀로그래픽 장면(1732) 내에서 (예를 들어, 직사각형 형상을 갖는) 원하지 않는 이미지로서 시준된 0차 광(1734)인 것으로 보인다. 도 17b에 예시된 바와 같이, 회절된 1차 광(1722)은 뷰어(1760)의 눈에 홀로그래픽 장면(1762)을 형성한다. 디스플레이 0차 광(1724)은 뷰어(1760)의 눈의 렌즈에 의해 포커싱되고 홀로그래픽 장면(1762) 내의 원하지 않는 스폿(spot)으로서 포커싱된 0차 광(1764)인 것처럼 보인다.

[0810] 재구성된 홀로그래픽 장면의 효과 및 그에 따른 디스플레이 시스템의 성능을 향상시키기 위해, 재구성된 홀로그래픽 장면에서 디스플레이 0차 광을 억제(또는 심지어 제거)하는 것이 바람직하다. 본 개시의 구현은 재구성된 홀로그래픽 장면에서 디스플레이 0차 광을 억제(또는 심지어 제거)하기 위해, 다수의 기술, 예를 들어, 아래에 설명된 바와 같은 5개의 기술을 제공한다. 기술은 개별적으로 또는 이들의 조합으로 적용될 수 있다.

[0811] 디스플레이 0차 광은 재구성된 홀로그래픽 장면에서 광 억제 효율로 을 억제될 수 있다. 광 억제 효율은 본원에 설명된 기술을 사용한 억제된 홀로그래픽 장면에서의 디스플레이 0차 광의 양과 억제가 없는 홀로그래픽 장면에서의 디스플레이 0차 광의 양 사이의 비율을 1에서 뺀 값으로 정의된다. 일부 예들에서, 광 억제 효율은 미리 결정된 백분율, 예를 들어 50%, 60%, 70%, 80%, 90% 또는 99%보다 크다. 일부 예들에서, 광 억제 효율은 100%이다. 즉, 모든 디스플레이 0차 광은 홀로그래픽 장면에서 제거된다.

- [0812] "위상 교정"이라고 하는 제1 기술에서, 디스플레이의 디스플레이 요소의 위상은 미리 결정된 위상 범위(예를 들어, $[0, 2\pi]$)를 갖도록 조정될 수 있다. 이러한 방식으로, 교정된 위상에 기초하여 형성된 홀로그래픽 장면과 디스플레이 0차 광 사이의 신호 대 잡음비(S/N)가 증가될 수 있다.
- [0813] 도 18에 예시된 바와 같이, "0차 빔 발산"으로 지칭되는 제2 기술에서, 디스플레이 0차 광 빔은 낮은 출력 밀도를 갖도록 광학적 디포커싱 장치(예를 들어, 오목 렌즈)에 의해 발산된다. 대조적으로, 홀로그램은 홀로그램에 의해 변조된 디스플레이 요소에 입사되는 시준된 광 빔이 회절되어 수렴된 광 빔이 되도록 미리 구성된다. 수렴된 광 빔은 더 높은 전력 밀도를 가진 홀로그래픽 장면을 형성하기 위해 광학적 디포커싱 장치에 의해 다시 포커싱된다. 따라서, 디스플레이 0차 광 빔은 홀로그래픽 장면에서 회절되거나 억제된다.
- [0814] 도 19a 내지 19c, 20a 내지 20b, 21 및 22에 예시된 바와 같이 "0차 광 편차"로 지칭되는 제3 기술에서, 디스플레이 0차 광은 홀로그래픽 장면으로부터 멀리 편향된다. 광학 장치는 홀로그래픽 장면을 형성하는 재구성된 콘의 시야각의 절반보다 큰 입사각으로 디스플레이를 조명하기 위해 입력 광을 결합하도록 구성된다. 디스플레이 0차 광은 입사각과 동일한 반사각으로 디스플레이에서 멀리 전파된다. 홀로그래픽 장면에 해당하는 홀로그램은 입사각이 0° 일 때와 동일한 방식으로 회절된 1차 광이 디스플레이로부터 멀어지도록 전파되어 재구성 콘을 형성하도록 미리 구성된다. 따라서, 디스플레이 0차 광은 재구성 콘 및 그에 따른 홀로그래픽 장면으로부터 편향된다.
- [0815] 도 23a 내지 23b에 예시된 바와 같이 "0차 광 차단"으로 지칭되는 제4 기술에서, 디스플레이 0차 광은 먼저 제3 기술에 따라 회절된 1차 광으로부터 편향된 다음 광 차단 컴포넌트(예를 들어, 메타물질 층 또는 루버 필름과 같은 이방성 광학 요소)에 의해 차단(또는 흡수)된다. 광 차단 컴포넌트는 미리 결정된 각도보다 작은 각도를 갖는 광 빔을 투과시키고 미리 결정된 각도보다 큰 각도를 갖는 광 빔을 차단하도록 구성된다. 미리 결정된 각도는 입력광의 입사각보다 작고 재구성 콘의 시야각의 절반보다 클 수 있다.
- [0816] 도 24 내지 33에 예시된 바와 같이 "0차 광 방향전환"으로 지칭되는 제5 기술에서, 디스플레이 0차 광은 먼저 제3 기술에 따라 회절된 1차 광으로부터 편향된 다음 광 회절 컴포넌트(예를 들어, 회절 격자)에 의해 회절된 1차 광으로부터 훨씬 더 멀리 방향 재지정된다. 입사광이 도 30a 내지 30b, 31a 내지 31b 및 33에 예시된 바와 같이, 동시에 또는 순차적으로 서로 다른 색상의 광을 포함할 때, 광 회절 컴포넌트는 서로 다른 색상의 광 사이에서 색상 누화를 감소시키기 위해 평면에서 또는 공간에서 서로 다른 방향을 향해 서로 다른 색상의 광을 회절시키도록 구성되는 하나 이상의 대응하는 회절 격자를 포함할 수 있다.
- [0817] 위의 다섯 가지 기술은 주로 전체 디스플레이 0차 광의 주요 반사 0차를 억제하는 데 사용된다. 제6 기술에서, 디스플레이는 예를 들어 상이한 크기 또는 형상 또는 둘 모두를 갖는 불규칙하거나 불균일한 디스플레이 요소를 사용함으로써 고차의 전체 디스플레이 0차 광을 억제하도록 구성된다. 디스플레이 요소는 주기성을 가질 수 없으며, 브로노이 패턴을 형성하거나 브로노이 패턴 디스플레이 요소일 수 있다. 일부 구현들에서, 디스플레이는 도 6a의 디스플레이(600)일 수 있거나 도 6b의 디스플레이(650)일 수 있다.
- [0818] 아래에서, 처음 다섯 가지 기술이 더 자세히 설명된다.
- [0819] 제1 기술 - 위상 교정
- [0820] 위상 교정은 예를 들어 계산된 홀로그램 출력의 직류(DC) 항을 빼냄으로써 디스플레이의 대비를 증가시킬 수 있는 기술로서, 이는 소프트웨어 또는 프로그램 명령어로 구현될 수 있다. 위상 교정은 불량하거나 알 수 없는 장치 교정 이상의 정확도를 달성할 수 있다.
- [0821] 일부 구현들에서, 홀로그램은 디스플레이의 디스플레이 요소에 대한 각각의 위상을 포함한다. 상기에 설명된 바와 같이, 각각의 위상은 각 디스플레이 요소에 대한 하나 이상의 대응하는 객체로부터 계산된 EM 기여도일 수 있다. 위상 교정 기술에 따라, 홀로그램은 디스플레이에서 더 높은 대비를 얻기 위해, 미리 결정된 위상 범위(예를 들어, $[0, 2\pi]$)를 갖도록 디스플레이 요소에 대한 각각의 위상을 조정(예를 들어, 스케일링 및/또는 시프팅)함으로써 구성된다.
- [0822] 각각의 위상은 다음의 표면에 따라 조정될 수 있다:
- [0823]
$$\phi_a = A\phi_i + B \quad (15),$$
- [0824] 여기서, ϕ_i 는 각각의 위상의 초기 위상을 나타내고, ϕ_a 는 각각의 위상의 조정된 위상값을 나타내고, A 및 B는

각각의 위상에 대한 상수이며, A는 $[0, 1]$ 에 있고 B는 $[0, 2\pi]$ 이다. 일부 예들에서, A는 모든 디스플레이 요소에 대해 동일하다. 일부 예들에서, B는 모든 디스플레이 요소에 대해 동일하다. 일부 예들에서, A는 서로 다른 디스플레이 요소에 대해 다르다. 일부 예들에서, B는 서로 다른 디스플레이 요소에 대해 다르다.

[0825] 완벽하게 교정되고 선형화된 디스플레이 시스템에서, (A, B)에 대한 값들의 쌍(1, 0)은 입력 홀로그램에 대해 가장 높은 회절 효율을 입증하여 최상의 대비를 제공하는 데 가장 잘 작동한다. 그러나, 디스플레이의 비선형 LC 곡선과 부정확한 교정으로 인해, 디스플레이 요소의 각각의 위상은 일반적으로 $[0, 2\pi]$ 범위에 있지 않으므로 디스플레이 대비가 저하된다. 입력 광이 동일하므로, 디스플레이 0차 광이 동일할 것이다. 홀로그램의 회절 효율이 증가되면, 디스플레이 대비가 높아지고 홀로그래픽 장면의 S/N 비율이 높아질 수 있다.

[0826] 위상 교정 기술에 따르면, 디스플레이 대비는 위상 좌표계에서 각각의 위상을 스케일링 및 쉬프팅하여, 각각의 위상이 범위(예를 들어, $[0, 2\pi]$)를 갖도록 조정되도록 함으로써 개선될 수 있다. 일부 경우에, 조정된 각각의 위상의 범위는 작업 LC의 교정 및 최대 위상 시프트에 따라 2π 범위보다 작거나 클 수 있다. 따라서, 각 디스플레이의 경우, 가장 높은 회절 효율을 생성하여 가장 높은 S/N비를 생성하는 한 쌍의 (A, B)가 있을 수 있다.

[0827] 홀로그래픽 장면에 대한 광 억제 효율이 최대화되도록 상수 A 및 B를 조정함으로써 디스플레이 요소에 대한 각각의 위상이 조정될 수 있다. 광 억제 효율은 미리 결정된 백분율, 예를 들어 50%, 60%, 70%, 80%, 90% 또는 99%보다 클 수 있다.

[0828] 일부 구현들에서, 상수 A 및 B는 기계 비전 알고리즘 또는 인공 지능(AI) 알고리즘과 같은 기계 학습 알고리즘에 의해 조정된다. 기계 비전 알고리즘에서, 홀로그램은 디스플레이로부터 특정 거리에 있는 평면의 투과형 확산 스크린에 포커싱된 유사 랜덤 포인트를 생성하도록 설계된다. 그런 다음, 홀로그램은 RGB 재구성된 포인트가 해당 평면에 완벽하게 정렬되는 방식으로 적색, 녹색 및 청색(RGB)의 세 가지 기본 색상 각각에 대해 계산된다. 그런 다음 알고리즘은 디스플레이 대비가 허용 가능한 레벨이 되도록 각 색상에 대한 값들의 쌍(A, B)을 찾도록 설정된다. 값들의 쌍(A, B)(예를 들어, $[1, 0]$)의 시작 부분에서, 특정 거리에 있는 카메라가 스크린의 패턴 사진을 찍는다. 촬영된 사진에서, 모든 점(X)의 밝기를 평균화하고, 백그라운드 노이즈에 작은 영역(Y)도 측정된다. X/Y 비율이 계산되어 특정 값보다 큰지 확인된다. 그렇지 않은 경우, 값들의 쌍(A, B)이 변경되고 허용 가능한 값들의 쌍(A, B)이 결정될 때까지 프로세스가 자동으로 반복된다.

[0829] 제2 기술 - 0차 빔 발산

[0830] 도 18은 디스플레이 0차 광 빔을 발산함으로써 프로젝션 스크린(1830) 상에 디스플레이되는 홀로그래픽 장면에서 디스플레이 0차 광을 억제하는 예시적인 시스템(1800)을 예시한다. 빔 스플리터(1810)는 디스플레이(1610) 앞에 위치되고 수직 입사로 디스플레이(1610)를 조명하기 위해 시준된 입력 광 빔(1820)을 결합한다. 광 빔(1820)의 제1 부분은 회절된 1차 광 빔(1822)이 되도록 홀로그램에 의해 변조된 디스플레이 요소에 의해 회절되고, 광 빔(1820)의 제2 부분은 디스플레이 0차 광 빔(1824)이 되도록 디스플레이(1610)의 겹에 의해 반사된다. 광 발산 컴포넌트(예를 들어, 오목 렌즈(1802))는 빔 스플리터(1810)의 하류 및 프로젝션 스크린(1830) 앞에 배열된다. 일부 예들에서, 광 발산 컴포넌트는 오목 렌즈(1802)보다 프로젝션 스크린(1830)으로부터 더 멀리 떨어진 위치에 배열된 볼록 렌즈를 포함하여, 시준된 광 빔이 먼저 포커싱된 다음 프로젝션 스크린(1830)을 향해 발산된다.

[0831] 디스플레이 0차 광 빔(1824)이 디스플레이(1610)로부터 나올 때, 디스플레이 0차 광 빔(1824)이 시준된다. 따라서, 디스플레이 0차 광 빔(1824)이 오목 렌즈(1802)를 통해 투과할 때, 디스플레이 0차 광 빔(1824)은 도 18에 예시된 바와 같이 오목 렌즈(1802)에 의해 발산된다. 따라서, 발산형 디스플레이 0차 광 빔(1824)의 전력 밀도는 원래 시준된 입력 광 빔(1820)의 출력 밀도와 비교하여 발산된 빔 영역에 걸쳐 감소되거나 희석된다.

[0832] 제2 기술에 따르면, 디스플레이(1610)의 홀로그램(또는 각각의 위상) 변조 디스플레이 요소는 회절된 1차 광 빔(1822)이 디스플레이(1610)로부터 벗어날 때 수렴되도록 미리 구성될 수 있다. 수렴도는 오목 렌즈(1802)의 발산도에 대응하도록 구성된다. 즉, 오목 렌즈의 발산은 구성된 수렴에 의해 보상된다. 따라서, 수렴된 회절된 1차 광 빔(1822)이 오목 렌즈(1802)를 투과할 때, 회절된 1차 광 빔(1822)은 프로젝션 스크린(1830) 상에 재구성된 홀로그래픽 장면(1832)을 형성하기 위해 시준되며, 이는 홀로그램 및 오목 렌즈(1802)의 사전 구성이 없는 것과 동일하다. 따라서, 재구성된 홀로그래픽 장면(1832)은 시준된 입력 광 빔(1820)의 전력 밀도와 동일한 전력 밀도를 갖는다. 대조적으로, 디스플레이 0차 광 빔(1834)은 감소된 전력 밀도로 프로젝션 스크린(1830)에 걸쳐 발산되고 스미어링(또는 희석)된다. 프로젝션 스크린(1830)은 지정된 거리(예를 들어, 50cm)로 디스플레이(1610)로부터 멀리 이격된다. 디스플레이 0차 광 빔(1834)은 희미하게 될 수 있고, 홀로그래픽 장면(1832)에서

백그라운드 노이즈처럼 보일 수 있다. 이러한 방식으로, 광 억제 효율이 예를 들어 99% 이상으로 증가될 수 있고, 홀로그래픽 장면(1832)의 S/N 비율이 증가될 수 있다.

- [0833] 일부 구현들에서, 홀로그램은 디스플레이(1610)의 디스플레이 요소에 대한 각각의 위상에 대응하는 위상을 추가함으로써 미리 구성된다. 디스플레이 요소의 각각의 위상은 제1 기술 - 위상 교정에 따라 조정된 각각의 위상일 수 있다. 디스플레이 요소 각각에 대한 대응하는 위상은 다음과 같이 표현된다:

$$\phi = \frac{\pi}{\lambda f} (ax^2 + by^2) \quad (16),$$

- [0834] 여기서 ϕ 는 디스플레이 요소에 대한 해당 위상을 나타내고, λ 는 입력 광(1820)의 파장을 나타내며, f 는 광 발산 컴포넌트(예를 들어, 오목 렌즈(1802))의 초점 거리를 나타내고, x 및 y 는 2D 디스플레이 좌표계의 디스플레이 요소의 좌표를 나타내고, a 및 b 는 상수를 나타낸다. 값들의 쌍값(a , b)은 예를 들어 난시로 고통받는 눈을 가진 사람들을 위해 난시를 도입하기 위해, 애플리케이션에 기초하여 조정될 수 있다. a 가 b 와 동일한 경우, 예를 들어 $a=1$ 및 $b=1$ 인 경우, 해당 위상의 디포커싱 효과는 원형이고; a 가 b 와 다른 경우, 예를 들어 $a=1$ 및 $b=0.5$ 인 경우, 디포커싱 효과는 타원형이며 2:1 애너모픽(anamorphic) 포커싱 렌즈와 일치할 수 있다. $a=0$ 또는 $b=0$ 중 하나(둘 다는 아님)인 경우, 디포커싱 효과는 영역 포커스가 아닌 라인 포커스를 생성할 수 있으며 원통형 포커싱 렌즈와 일치할 수 있다.

- [0836] 일부 구현들에서, 홀로그램은 유틸리티와 같은 3D 소프트웨어 애플리케이션(예를 들어, 도 1a의 애플리케이션 (106))에서 홀로그래픽 장면을 설계(또는 시뮬레이션)할 때 구성 콘에 대한 가상 렌즈를 추가함으로써 미리 구성된다. 구성 콘은 도 20a 내지 20b에서 더 상세하게 설명된다. 회절된 1차 광 빔(1822)은 시야각을 갖는 재구성 콘을 형성하고, 구성 콘은 재구성 콘에 대응하고 시야각과 동일한 꼭지각을 갖는다. 시뮬레이션 시, 구성 콘은 광 발산 컴포넌트의 초점 거리에 해당하는 거리로 디스플레이에 수직인 방향을 따라 전체 3D 좌표계에서 디스플레이에 대해 이동될 수 있다. 구성 콘은 재구성 콘의 모든 객체에 대해 한 번만 이동될 수 있다. 그런 다음 객체의 프리미티브 목록과 같은 홀로그램 데이터는 전역 3D 좌표계에서 이동된 구성 콘에 기초하여 생성된다.

[0837] 제3 기술 - 0차 광 편차

- [0838] 도 16 및 17a 내지 17b에서 상기에 설명된 바와 같이, 홀로그래픽 장면(또는 홀로그래픽 콘텐츠)의 재구성 콘은 디스플레이와 입력 광 빔의 파장에 따라 달라지는 시야각을 갖는다. 디스플레이 0차 광이 재구성 콘 외부로 편향될 수 있는 경우, 디스플레이 0차 광 없이 홀로그래픽 장면이 관찰될 수 있다.

- [0839] 도 19a는 디스플레이(1610)가 수직 입사, 즉 $\theta_i = 0^\circ$ 의 시준된 입력 광(1920)으로 조명될 때 홀로그래픽 장면에서 디스플레이 0차 광의 예시적인 시스템(1900)을 예시한다. 광학 장치(1910)는 수직 입사로 디스플레이(1610)를 조명하기 위해 시준된 입력 광(1920)을 결합한다. 일부 구현들에서, 도 19a에 예시된 바와 같이, 광학 장치(1910)는 기관(1912) 상에 형성된 인커플러(incoupler)(1916) 및 아웃커플러(outcoupler)(1914)를 포함하는 도파관 장치(예를 들어, 도 5g의 도파관 장치(588))이다.

- [0840] 입력 광(1920)의 제1 부분은 홀로그램으로 변조되는 디스플레이(1610)의 디스플레이 요소에 입사하고, 디스플레이 요소에 의해 회절되어 회절된 1차 광(1922)이 된다. 입력 광(1920)의 제2 부분은 디스플레이(1610)의 껍에 입사하고, 껍에서 반사되어 디스플레이 0차 광(1924)의 적어도 일부가 된다. 회절된 1차 광(1922)은 공간에서 전파되어 시야각(예를 들어 10°)을 갖는 재구성 콘을 형성한다. 입사각(예를 들어, 0°)이 시야각의 절반(예를 들어, 5°) 미만이므로, 입사각과 동일한 반사각(예를 들어, 0°)으로 전파하는 디스플레이 0차 광(1924)은 재구성 콘 내에 있다. 도 19a에 예시된 바와 같이, 회절된 1차 광(1922)은 2차원(2D) 프로젝션 스크린(1930) 상에 홀로그래픽 장면(1932)을 형성한다. 디스플레이 0차 광(1924)은 홀로그래픽 장면(1932) 내에서 원하지 않는 이미지로서 시준된 0차 광(1934)인 것으로 보인다.

- [0841] 도 19b는 디스플레이 0차 광을 홀로그래픽 장면으로부터 멀리 향하게 함(또는 편향시킴)으로써 프로젝션 스크린(1930) 상에 디스플레이되는 홀로그래픽 장면에서 디스플레이 0차 광을 억제하는 일 예(1950)를 예시한다. 광학 장치(1910)와 달리, 기관(1962) 상에 형성된 인커플러(1966) 및 아웃커플러(1964)를 포함하는 광학 장치(1960)는 시준된 입력 광(1920)을 결합하여 0° 보다 큰 입사각(θ_i)에서 디스플레이(1610)를 조명하도록 구성된다. 반사로 인해, 디스플레이 0차 광(1974)은 입사각(θ_i)과 동일한 반사각(θ_r)으로 디스플레이(1610)로부터 나온다.

- [0842] 제3 기술에 따르면, 디스플레이(1610)의 홀로그램(또는 각각의 위상) 변조 디스플레이 요소는 회절된 1차 광

(1972)이 수직 입사로 디스플레이(1610)로부터 나오도록 미리 구성될 수 있다. 즉, 입사각의 편차는 구성된 홀로그램에 의해 보상된다. 따라서, 회절된 1차 광 빔(1972)은 입사각이 수직 입사일 때와 동일하게, 프로젝션 스크린(1930) 상에 재구성된 홀로그래픽 장면(1976)으로서 나타나는 재구성 콘을 형성한다. 입사각(예를 들어, 6°)이 재구성 콘의 시야각의 절반(예를 들어, 5°)보다 클 경우, 디스플레이 0차 광(1974)은 재구성 콘으로부터 벗어나거나 멀리 시프트될 수 있다. 따라서, 도 19b에 예시된 바와 같이, 디스플레이 0차 광(1974)에 의해 형성된 시프트된 디스플레이 0차 이미지(1978)는 프로젝션 스크린(1930) 상의 홀로그래픽 장면(1976) 외부에 있을 수 있다. 마찬가지로, 도 19c에 예시된 바와 같이, 뷰어(1990)가 볼 때, 디스플레이 0차 광(1974)에 의해 형성된 디스플레이 0차 스폿(1994)은 뷰어(1990)의 눈에서 회절된 1차 광(1972)에 의해 형성된 홀로그래픽 장면(1992) 외부에 있을 수 있다. 입사각의 방향을 설정함으로써, 디스플레이 0차 광은 공간에서 상하 또는 일 면으로 편향될 수 있다.

[0843] 일부 구현들에서, 홀로그램은 디스플레이(1610)의 디스플레이 요소에 대한 각각의 위상에 대응하는 위상을 추가함으로써 미리 구성된다. 디스플레이 요소의 각각의 위상은 제1 기술 - 위상 교정에 따라 조정된 각각의 위상일 수 있다. 디스플레이 요소 각각의 해당 위상은 다음과 같이 표현된다:

$$\phi = \frac{2\pi}{\lambda} (x\cos\theta + y\cos\theta) \quad (17),$$

[0844] 여기서 ϕ 는 디스플레이 요소에 대한 해당 위상을 나타내고, λ 는 입력 광(1920)의 파장을 나타내며, x 및 y 는 2D 디스플레이 좌표계(또는 3D 좌표계)에서 디스플레이 요소의 좌표를 나타내고, θ 는 입사각(θ_i)에 대응하는 각도(예를 들어, $\theta = \theta_i$)를 나타낸다.

[0846] 일부 구현들에서, 홀로그램은 유틸리티와 같은 3D 소프트웨어 애플리케이션(예를 들어, 도 1a의 애플리케이션 (106))에서 홀로그래픽 장면을 설계(또는 시뮬레이션)할 때 구성 콘에 대한 가상 프리즘을 추가함으로써 미리 구성된다.

[0847] 도 20a는 3D 소프트웨어 애플리케이션의 3D 좌표계에서 디스플레이(2002) 및 광학 장치(2010)에 대한 구성 콘(2020) 및 재구성 콘(2030)의 일 예(2000)를 예시한다. 광학 장치(2010)는 기판(2012) 상에 형성된 격자(2014)를 포함하는 도광 장치(예를 들어, 도 5h의 광 회절 장치(598))일 수 있다.

[0848] 도 20a에 예시된 바와 같이, 광학 장치(2010)는 수직 입사가 아닌 0° 보다 큰 입사각으로 디스플레이(2002)를 조명하기 위해 입력 광(2040)을 결합하며, 이는 3D 좌표계에 대한 입사각의 반사각에 대응하는(예를 들어, 동일한) 각도로(구성 콘(2020) 내의 객체(2022)를 포함하는 모든 객체와 함께) 구성 콘(2020)을 회전시키는 것과 사실상 동일하다. 일부 구현들에서, 구성 콘(2020)은 원래의 3D 좌표계에서 회전된다. 일부 구현들에서, 원래의 3D 좌표계는 회전되지만 구성 콘(2020)은 회전되지 않는다. 3D 좌표계의 구성 콘(2020)이 설정되면, 객체가 프리미티브의 정점을 개별적으로 변경하지 않고도 구성 콘(2020)에 배치될 수 있다. 따라서, 시뮬레이션된 재구성 콘(2030)(재구성된 객체(2032)를 포함하는 모든 재구성된 객체를 가짐) 및 디스플레이 0차 광(2042)은 3D 좌표계에 대해 동일한 반사각으로 디스플레이(2002)에 대해 회전된다. 즉, 디스플레이 0차 광(2042)은 뷰어가 볼 때 홀로그래픽 장면에 나타날 수 있다.

[0849] 도 20b는 3D 소프트웨어 애플리케이션에서 3D 좌표계의 홀로그래픽 장면에 대응하는 홀로그램을 구성하기 위해 도 20a의 구성 콘(2020)을 조정하는 일 예(2050)를 예시한다. 구성 콘(2020)(객체(2022)를 포함하는 설계된 객체와 함께)은 3D 좌표계에서 디스플레이(2002)의 표면에 대해 회전 각도로 회전될 수 있다. 회전 각도는 조정된 구성 콘(2060)(조정된 객체(2062)를 포함하는 조정된 설계 객체를 가짐)이 디스플레이(2002)에 대해 수직 입사하도록 입사각에 대응(예를 들어, 동일)한다. 구성 콘(2020)은 모든 설계된 객체에 대해 단 한번만 조정될 수 있다. 그런 다음 객체에 대한 프리미티브 목록과 같은 홀로그래픽 데이터는 전역 3D 좌표계에서 조정된 구성 콘(2060)에 기초하여 생성된다. 그런 다음 홀로그램은 홀로그래픽 데이터에 기초하여 생성된다.

[0850] 따라서, 광학 장치(2010)가 입사각으로 디스플레이(2002)를 조명하기 위해 입력 광(2040)을 결합할 때, 입력 광(2040)의 제1 부분은 미리 구성된 홀로그램으로 변조된 디스플레이 요소에 의해 회절된다. 회절된 1차 광은 디스플레이(2002)에 수직인 재구성된 콘(2070)(설계된 객체(2062)의 재구성된 객체(2072)를 포함하는 재구성된 객체를 가짐)을 형성한다. 재구성 콘(2070)은 시야각(θ_v)을 갖는다. 대조적으로, 입력 광(2040)의 제2 부분은 미리 구성된 홀로그램의 변조 없이 겹에서 반사되어 입사각(θ_i)과 동일한 반사각(θ_r)으로 디스플레이로부터 나오는 디스플레이 0차 광(2042)이 된다. 따라서, 입사각(θ_i)이 시야각의 절반보다 큰 경우, 즉, $\theta_i > \theta_v/2$ 인 경

우, 디스플레이 0차 광(2042)은 재구성 콘(2070) 외부에 있고, 따라서 뷰어가 볼 때 홀로그래픽 장면 외부에 있다.

[0851] 입력 광(2040)은 임의의 적절한 방식으로, 예를 들어 도 19b의 인커플러(1966)와 같은 인커플러에 의해, 도 21에 예시된 바와 같은 프리즘에 의해, 또는 도 22에 예시된 바와 같은 웨지형 기관에 의해 광학 장치(2010)에 결합될 수 있다.

[0852] 도 21은 홀로그래픽 장면에서 디스플레이 0차 광을 억제하기 위한 입사각으로 디스플레이(1610)를 조명하기 위해 결합 프리즘(2111)을 통해 광학 장치(2110)에 시준된 입력 광(2120)을 결합시키는 일 예(2100)를 예시한다. 광학 장치(2110)는 기관(2112) 상의 격자(2114)를 포함한다. 결합 프리즘(2111)은 입력 광(2120)을 격자(2114) 쪽으로 안내하는 기관(2112)에 입력 광(2120)을 결합시킨다. 격자(2114)는 입사각으로 디스플레이(1610)를 향해 입력 광(2120)을 회절시킨다. 홀로그램은 회절 1차 광(2122)이 수직 입사를 둘러싸는 디스플레이(1610)로부터 나와 재구성 콘을 형성하는 반면, 디스플레이 0차 광(2124)이 입사각과 동일한 반사각으로 디스플레이(1610)에서 나오도록 미리 구성된다. 입사각이 재구성 콘의 시야각의 절반보다 클 때, 디스플레이 0차 광(2124)은 뷰어(2130)가 볼 때 홀로그래픽 장면(2132) 외부에서 시프트된 0차 스폿(2134)을 형성한다.

[0853] 도 22는 홀로그래픽 장면에서 디스플레이 0차 광을 억제하기 위한 입사각으로 디스플레이(1610)를 조명하기 위해 광학 장치(2210)의 웨지형 기관(2212)을 통해 광을 결합시키는 예시적인 시스템(2200)을 예시한다. 광학 장치(2210)는 웨지형 기관(2212) 상에 격자(2214)를 포함한다. 웨지형 기관(2212)은 입력 광(2120)을 격자(2214) 쪽으로 안내하는 기관(2212)에 입력 광(2220)을 결합시킨다. 격자(2214)는 입사각으로 디스플레이(1610)를 향해 입력 광(2120)을 회절시킨다. 홀로그램은 회절 1차 광(2222)이 수직 입사를 둘러싸는 디스플레이(1610)로부터 나와 재구성 콘을 형성하는 반면, 디스플레이 0차 광(2224)이 입사각과 동일한 반사각으로 디스플레이(1610)에서 나오도록 미리 구성된다. 입사각이 재구성 콘의 시야각의 절반보다 클 때, 디스플레이 0차 광(2224)은 뷰어(2230)가 볼 때 홀로그래픽 장면(2232) 외부에서 시프트된 0차 스폿(2234)을 형성한다.

[0854] 제3 기술에 따르면, 디스플레이에서 나오는 디스플레이 0차 광은 디스플레이에서 나오는 회절된 1차 광보다 더 큰 편차 각도를 갖는다. 따라서, 디스플레이 0차 광은 예를 들어 제4 기술 "0차 광 차단" 및 제5 기술 "0차 광 방향전환"에서 추가로 설명된 바와 같이, 각도 차에 기초하여 홀로그래픽 장면에서 억제(또는 제거)될 수 있다.

[0855] 제4 기술 - 0차 광 차단

[0856] 도 23a 내지 23b는 광 차단 컴포넌트에 의해 디스플레이로부터 반사된 디스플레이 0차 광을 차단하거나 흡수함으로써 홀로그래픽 장면에서 디스플레이 0차 광을 억제하는 예시적인 시스템(2300, 2350)을 예시한다. 광 차단 컴포넌트는 임의의 적합한 구조, 예를 들어 루버 층, 메타물질 층, 메타물질 구조, 메타표면, 또는 차단 속성을 나타낼 수 있는 임의의 다른 종류의 가공된 미세구조 또는 나노구조와 같은 인공 구조일 수 있다.

[0857] 예시를 위해, 도 21과 유사하게, 결합 프리즘(2311)은 시준된 입력 광(2320)을 기관(2312) 상에 형성된 격자(2314)를 갖는 광학 장치(2310)에 결합시킨다. 격자(2314)는 예를 들어 재구성 콘의 시야각의 절반보다 큰 입사각으로 디스플레이(1610)를 조명하기 위해 입력 광(2320)을 회절시키도록 구성된다. 제3 기술을 적용함으로써, 홀로그램은 회절된 1차 광(2322)이 입력 광이 수직 입사로 디스플레이에 입사할 때와 동일한 방식으로 디스플레이(1610)에서 나오도록 미리 구성되는 반면, 디스플레이 0차 광(2324)은 입사각과 동일한 반사각으로 디스플레이(1610)로부터 멀리 전파한다.

[0858] 광 차단 컴포넌트의 일 예로서 메타물질 층(2316)이 기관(2312) 상에 형성(예를 들어, 증착 또는 부착)된다. 도 23a 내지 23b에 예시된 바와 같이, 메타물질 층(2316) 및 격자(2314)는 기관(2312)의 대향면에 형성될 수 있다. 메타물질 층(2316)은 관심 파장보다 작은 마이크로구조 또는 나노구조의 어레이로 만들어질 수 있다. 마이크로구조 또는 나노구조의 기하학적 형상을 개별적으로 및 집합적으로 구성함으로써, 메타물질 층(2316)은 원하는 방식으로 광과 상호작용하도록 설계될 수 있다. 본 개시에서, 메타물질 층(2316)은 미리 결정된 각도보다 작은 각도를 갖는 광 빔을 투과시키고 미리 결정된 각도보다 큰 각도를 갖는 광 빔을 차단하도록 구성된다. 미리 결정된 각도는 입사각보다 작고 회절된 1차 광(2322)에 의해 형성되는 재구성 콘의 시야각의 절반보다 크도록 설정될 수 있다. 따라서, 회절된 1차 광(2322)은 전송 효율, 예를 들어 50%, 60%, 70%, 80%, 90% 또는 99%와 같은 미리 결정된 비율 이상으로 메타물질 층(2316)을 통해 투과될 수 있다. 대조적으로, 디스플레이 0차 광은 예를 들어 100%의 차단 효율로 메타물질 층(2316)에 의해 차단되거나 흡수될 수 있다.

[0859] 홀로그래픽 장면에서 디스플레이 0차 광의 광 억제 효율은 100%일 수 있다. 도 23a에 예시된 바와 같이, 회절된 1차 광(2322)은 디스플레이 0차 광(2324) 없이 프로젝션 스크린(2330) 상에 홀로그래픽 장면(2332)을 형성할 수

있다. 도 23b에 예시된 바와 같이, 뷰어(2360)가 볼 때, 회절된 1차 광(2322)은 디스플레이 0차 광(2324) 없이, 뷰어(2360)의 눈 상에 홀로그래픽 장면(2362)을 형성할 수 있다.

[0860] 제5 기술 - 0차 광 방향전환

[0861] 도 24는 광 방향 전환 구조를 통해 홀로그래픽 장면으로부터 멀리 디스플레이 0차 광을 방향 전환함으로써 홀로그래픽 장면에서 디스플레이 0차 광을 억제하는 시스템(2400)을 예시한다. 광 방향 전환 구조는 격자, 예를 들어 브래그 격자와 같은 홀로그래픽 격자 또는 임의의 다른 적합한 방향 전환 구조일 수 있다.

[0862] 도 5h의 시스템(590)과 유사하게, 시스템(2400)은 컴퓨터(2401)(예를 들어, 도 5h의 컴퓨터(591)), 컨트롤러(2402)(예를 들어, 도 5h의 컨트롤러(592)), 반사형 디스플레이(2404)(예를 들어, 도 5h의 반사형 디스플레이(594)), 및 조명기(2406)(예를 들어, 도 5h의 조명기(596))를 포함한다. 시스템(2400)은 또한 도 5h의 광 회절 장치(598), 예를 들어 도 5h의 광 회절 장치(598), 도 5i의 598A, 도 5j의 598B, 또는 도 5k의 598C, 도 9a 및 9b의 광 회절 장치(900), 도 10a 및 10b의 1000, 도 11의 1100, 도 12a의 1200, 도 12b의 1250, 또는 도 12c의 1270, 또는 도 15의 1500을 포함할 수 있는 광학 장치(2410)를 포함한다. 일부 구현들에서, 도 24에 예시된 바와 같이, 광학 장치(2410)는 기관(2412)(예를 들어, 도 5h의 기관(598-2)) 상의 광 회절 장치로서 투과형 필드 격자 구조(2414)를 포함한다. 투과형 필드 격자 구조(2414)는 도 5h의 필드 격자 구조(598-1)일 수 있다. 투과형 필드 격자 구조(2414)는 하나 이상의 상이한 색상의 광에 대한 하나 이상의 격자를 포함할 수 있다. 기관(2412)은 투명 유리 기관일 수 있다.

[0863] 전술한 것과 유사하게, 광학 장치(2410)는 디스플레이(2404)의 전면에 인접하게 배열될 수 있다. 일부 구현들에서, 광학 장치(2410)의 상부 표면(예를 들어, 필드 격자 구조(2414)의 표면)은 예를 들어 굴절을 정합 재료를 통해 디스플레이(2404)의 전면에 부착된다. 일부 구현들에서, 에어 갭은 광학 장치(2410)의 상부 표면과 디스플레이(2404) 사이에 있다. 일부 구현들에서, 스페이서(예를 들어, 유리)는 광학 장치(2410)의 상부 표면과 디스플레이(2404) 사이의 에어 갭에 삽입된다. 광 전파를 더 잘 설명하기 위해, 에어 갭이 도 24 및 아래의 도 26a 내지 33에서 일 예로서 사용된다.

[0864] 컨트롤러(2402)는 (예를 들어, 유니티와 같은 3D 소프트웨어 애플리케이션을 사용하여) 컴퓨터(591)로부터 하나 이상의 객체에 대응하는 그래픽 데이터를 수신하고, 그래픽 데이터에 대한 계산을 수행하고, 변조를 위한 제어 신호를 생성하여 메모리 버퍼(2403)를 통해 디스플레이(2404)로 전송하도록 구성된다. 컨트롤러(2402)는 또한 조명기(2406)에 결합될 수 있고, 조명기(2406)를 활성화하여 입력 광(2420)을 제공하기 위한 타이밍 신호(2405)를 제공하도록 구성될 수 있다. 그런 다음 입력 광(2420)은 디스플레이(2404)를 조명하기 위해 광학 장치(2410)의 투과형 필드 격자(2414)에 의해 회절된다. 디스플레이(2404)의 디스플레이 요소에 입사하는 입력 광(2420)의 제1 부분은 디스플레이(2404)에 의해 회절되고, 회절된 1차 광(2421)은 뷰어를 향해 홀로그래픽 광 필드(2422)를 형성한다. 홀로그래픽 광 필드(2422)는 시야각을 갖는 재구성 콘(또는 절두체)에 대응할 수 있다. 디스플레이(2404)는 디스플레이(2404)의 후면에 백미러를 포함할 수 있고 뷰어를 향해 광을 반사시킬 수 있다. 디스플레이(2404)의 갭에 입사하는 입력 광(2420)의 제2 부분은 디스플레이(2404)(예를 들어, 백미러에 의해) 반사되어 디스플레이 0차 광(2424)이 된다.

[0865] 상기에 설명된 바와 같이, 투과형 필드 격자(2414)는 조명기(2406)로부터의 입력 광(2420)을 회절시켜 예를 들어, 디스플레이(2404)를 재구성 콘(또는 절두체)의 시야각의 절반보다 큰 입사각으로 축외 조명하도록 구성될 수 있다. 제3 기술을 적용함으로써, 회절된 1차 광(2421)은 입력 광(2420)이 수직 입사로 축외 입사할 때와 동일한 방식으로 디스플레이(2404)에서 나오는 반면, 디스플레이 0차 광(2424)은 재구성 콘 외부에 있는 입사각과 동일한 반사각으로 나온다.

[0866] 도 24에 예시된 바와 같이, 시스템(2400)은 미리 결정된 각도와 동일한 각도를 갖는 제1 광 빔을 미리 결정된 각도와 다른 각도를 갖는 제2 광 빔보다 회절각의 실질적으로 더 큰 회절 효율로 회절시키도록 구성된 광 방향 전환 구조(2416)를 포함할 수 있다. 광 방향 전환 구조(2416)는 브래그 격자와 같은 홀로그래픽 격자일 수 있다. 회절각은 미리 결정된 각도보다 실질적으로 클 수 있다. 일부 구현들에서, 광 방향 전환 구조(2416)는 도 30a 내지 33에서 더 예시된 바와 같이, 광의 하나 이상의 상이한 색상에 대한 하나 이상의 격자를 포함한다. 일부 구현들에서, 광 방향 전환 구조(2416)는 디스플레이(2404)로부터 떨어진 광학 장치(2410)의 하부에 배열된다. 일부 구현들에서, 도 24에 예시된 바와 같이, 광 방향 전환 구조(2416)는 투과형 필드 격자 구조(2414)에 대향하는 기관(2412)의 일 면 상에 형성된다.

[0867] 제5 기술에 따르면, 광 방향 전환 구조(2416)는 디스플레이 0차 광(2424)의 반사각 또는 디스플레이(2404)에서

의 입력 광(2420)의 입사각과 동일한 미리 결정된 각도를 갖도록 구성될 수 있다. 디스플레이 0차 광(2424)이 반사각으로 전파되므로, 광 방향 전환 구조(2416)는 디스플레이 0차 광(2424)을 회절된 1차 광(2421)보다 회절각의 실질적으로 더 큰 회절 효율로 회절시킬 수 있는 반면, 회절된 1차 광(2421)은 광 방향 전환 구조(2416)를 통해 투과하여 홀로그래픽 광 필드(2422)를 형성할 수 있다. 이러한 방식으로, 광 방향 전환 구조(2416)는 홀로그래픽 광 필드(2422)로부터 더 멀리 디스플레이 0차 광(2424)을 방향전환시킬 수 있다.

[0868] 도 25a 내지 25c는 도 25a, 25b, 25c의 0차 방향 전환 격자(2500, 2530, 2550)를 통해 디스플레이 0차 광을 공간에서 서로 다른 방향으로 방향 전환시키는 예들을 예시한다. 0차 방향 전환 격자(2500, 2530, 2550)는 도 24의 광 방향 전환 격자 구조(2416)에 있을 수 있다. 방향 전환 격자(2500, 2530, 2550)는 도 7a에 예시된 방법에 따라 제조될 수 있다.

[0869] 비교를 위해, 디스플레이 0차 광(2502)은 방향 전환 격자(2500, 2530, 2550)에 대한 미리 결정된 각도인 입사각 -6.0°로 0차 방향 전환 격자(2500, 2530, 2550)에 입사한다. 방향 전환 격자(2500, 2530, 2550)는 디스플레이 0차 광(2502)의 입사각보다 실질적으로 더 큰 회절각의 높은 회절 효율로 디스플레이 0차 광(2502)을 회절시키도록 구성된다. 방향 전환 격자(2500, 2530, 2550)는 상이한 회절 각도, 예를 들어 도 25a에 도시된 격자(2500)의 경우 60°, 도 25b에 도시된 격자(2530)의 경우 56°, 및 도 25c의 격자(2550)의 경우 -56°로 디스플레이 0차 광(2502)을 회절시키도록 구성될 수 있다.

[0870] 도 26a 내지 26e는 광이 광 방향 전환 구조(예를 들어, 0차 방향 전환 격자)를 통해 공간에서 서로 다른 방향으로 서로 다른 입사각으로 입력될 때 디스플레이 0차 광을 방향 전환시키는 예들 예시한다. 입사각(예를 들어, 공중에서 -6° 또는 6°) 각각은 홀로그래픽 광 필드에 해당하는 재구성 콘의 시야각의 절반(예를 들어, 공중에서 중 5°)보다 크도록 구성된다.

[0871] 도 26a에 예시된 바와 같이, 시스템(2600)은 도 24의 광학 장치(2410)일 수 있는 광학 장치(2610)를 포함한다. 광학 장치(2610)는 기관(2612)(예를 들어, 도 24의 기관(2412)), 투과형 필드 격자 구조(2614)(예를 들어, 도 24의 투과형 필드 격자 구조(2414)), 및 0차 방향 전환 격자 구조(2616)(예를 들어, 도 24의 0차 방향 전환 격자 구조(2416))를 포함한다. 광학 장치(2610)는 0차 방향 전환 격자 구조(2616) 상의 커버 유리(2618)를 포함할 수 있다.

[0872] 조명기(2406)로부터의 입력 광(2620)은 입사각 -6°(공중에서)로 디스플레이(2404)를 조명하기 위해 투과형 필드 격자 구조(2614)에 의해 회절된다. 디스플레이(2404)의 변조된 디스플레이 요소 상에서 조명하는 입력 광(2620)의 제1 부분은 홀로그래픽 광 필드(2622)를 형성하는 회절된 1차 광(2621)이 되도록 광학 장치(2610)(0차 방향전환 격자 구조(2616) 포함)를 통해 투과하도록 회절된다. 디스플레이(2404)의 갭에서 조명하는 입력 광(2620)의 제2 부분은 디스플레이 0차 광(2624)으로서 디스플레이(2404)로부터 나오도록 반사된다. 디스플레이 0차 광(2624)은 0차 방향전환 격자 구조(2616)에 의해 입사각보다 실질적으로 더 큰 회절각(예를 들어, 유리에서 -28°)으로 방향전환된다. 프레넬 반사로 인해, 방향 전환된 디스플레이 0차 광의 일부는 커버 유리(2618)와 공기 사이의 경계에 의해 광학 장치(2610)로 다시 반사되고, 반사된 디스플레이 0차 광(예를 들어, 0차 광(2625)의 프레넬 반사)는 광학 장치(2610)의 에지에 형성된 광학 흡수체(2619)에 의해 흡수될 수 있다. 광학 흡수체(2619)는, 도 11의 광학 흡수체(1104), 도 12a, 12c의 1204, 또는 12b의 1254일 수 있다. 방향전환된 디스플레이 0차 광의 다른 부분은 -45°의 방향전환 각도(예를 들어, 홀로그래픽 광 필드(2622)로부터 멀리 떨어져 있는 방향전환된 0차 광(2626))로 하향 공중으로 경계를 통해 투과된다.

[0873] 도 26b에 예시된 바와 같이, 시스템(2630)은 도 24의 광학 장치(2410)일 수 있는 광학 장치(2640)를 포함한다. 광학 장치(2640)는 기관(2642)(예를 들어, 도 24의 기관(2412)), 투과형 필드 격자 구조(2644)(예를 들어, 도 24의 투과형 필드 격자 구조(2414)), 및 0차 방향전환 격자 구조(2646)(예를 들어, 도 24의 0차 방향 전환 격자 구조(2416))를 포함한다. 광학 장치(2640)는 0차 방향전환 격자 구조(2646) 상의 커버 유리(2648)를 포함할 수 있다.

[0874] 도 26a의 광학 장치(2610)의 투과형 필드 격자 구조(2614)와 달리, 광학 장치(2640)의 투과형 필드 격자 구조(2644)는 조명기(2406)로부터의 입력 광(2620)을 회절시켜 입사각 +6°(공중에서)로 디스플레이(2404)를 조명한다. 디스플레이(2404)의 변조된 디스플레이 요소 상에서 조명하는 입력 광(2620)의 제1 부분은 홀로그래픽 광 필드(2632)를 형성하는 회절된 1차 광(2631)이 되도록 광학 장치(2640)(0차 방향전환 격자 구조(2646) 포함)를 통해 투과하도록 회절된다. 디스플레이(2404)의 갭에서 조명하는 입력 광(2620)의 제2 부분은 디스플레이 0차 광(2634)으로서 디스플레이(2404)로부터 나오도록 반사된다. 도 26a의 0차 방향전환 격자 구조(2616)와 달리, 0차 방향전환 격자 구조(2646)는 입사각보다 실질적으로 더 큰 회절각(예를 들어, 유리에서 +28°)으로 디스플레이

이 0차 광(2624)을 방향전환(또는 회절)시킨다. 프레넬 반사로 인해, 방향 전환된 디스플레이 0차 광의 일부는 커버 유리(2618)와 공기 사이의 경계에 의해 광학 장치(2610)로 다시 반사되고, 반사된 디스플레이 0차 광(예를 들어, 0차 광(2635)의 프레넬 반사)는 광학 장치(2640)의 에지에 형성된 광학 흡수체(2649)에 의해 흡수될 수 있다. 광학 흡수체(2649)는 도 26a의 광학 흡수체(2619)와 유사할 수 있다. 방향전환된 디스플레이 0차 광의 다른 부분은 $+45^\circ$ 의 방향전환 각도(예를 들어, 홀로그래픽 광 필드(2622)로부터 멀리 떨어져 있는 방향전환된 0차 광(2636))로 하향 공중으로 경계를 통해 투과된다.

[0875] 도 26c에 예시된 바와 같이, 시스템(2650)은 도 24의 광학 장치(2410)일 수 있는 광학 장치(2660)를 포함한다. 광학 장치(2660)는 기관(2662)(예를 들어, 도 24의 기관(2412)), 투과형 필드 격자 구조(2664)(예를 들어, 도 24의 투과형 필드 격자 구조(2414)), 및 0차 방향전환 격자 구조(2666)(예를 들어, 도 24의 0차 방향 전환 격자 구조(2416))를 포함한다. 광학 장치(2660)는 0차 방향전환 격자 구조(2666) 상의 커버 유리(2668)를 포함할 수 있다.

[0876] 도 26a의 광학 장치(2610)의 투과형 필드 격자 구조(2614)와 동일하게, 광학 장치(2660)의 투과형 필드 격자 구조(2664)는 조명기(2406)로부터의 입력 광(2620)을 회절시켜 입사각 -6° (공중에서)로 디스플레이(2404)를 조명한다. 디스플레이(2404)의 변조된 디스플레이 요소 상에서 조명하는 입력 광(2620)의 제1 부분은 홀로그래픽 광 필드(2632)를 형성하는 회절된 1차 광(2631)이 되도록 광학 장치(2660)(0차 방향전환 격자 구조(2666) 포함)를 통해 투과하도록 회절된다. 디스플레이(2404)의 겹에서 조명하는 입력 광(2620)의 제2 부분은 디스플레이 0차 광(2654)의 적어도 일부가 되도록 디스플레이(2404)로부터 나오도록 반사된다. 도 26a의 0차 방향전환 격자 구조(2616)와 달리, 0차 방향전환 격자 구조(2666)는 입사각보다 실질적으로 더 큰 회절각(예를 들어, 유리에서 $+28^\circ$)으로 디스플레이 0차 광(2654)을 방향전환(또는 회절)시킨다. 프레넬 반사로 인해, 방향 전환된 디스플레이 0차 광의 일부는 커버 유리(2668)와 공기 사이의 경계에 의해 광학 장치(2660)로 다시 반사되고, 반사된 디스플레이 0차 광(예를 들어, 0차 광(2655)의 프레넬 반사)는 광학 장치(2640)의 에지에 형성된 광학 흡수체(2649)에 의해 흡수될 수 있다. 광학 흡수체(2669)는 도 26a의 광학 흡수체(2619)와 유사할 수 있다. 방향전환된 디스플레이 0차 광의 다른 부분은 $+45^\circ$ 의 방향전환 각도(예를 들어, 홀로그래픽 광 필드(2622)로부터 멀리 떨어져 있는 방향전환된 0차 광(2656))로 하향 공중으로 경계를 통해 투과된다.

[0877] 커버 유리의 표면과 공기 사이의 경계에서 방향전환된 디스플레이 0차 광에 대한 프레넬 반사 효과를 제거하기 위해, 반사 방지(AR) 코팅이 커버 유리(2668)의 표면에 형성될 수 있어서, 방향전환된 디스플레이 0차 광은 높은 투과율로 공중으로 투과될 수 있지만 다시 광학 장치로의 반사는 거의 또는 전혀 없다.

[0878] 도 26d에 예시된 바와 같이, 시스템(2670)은 광학 장치(2680)를 포함한다. 도 26c의 광학 장치(2660)와 유사하게, 광학 장치(2680)는 입력 광(2620)을 회절시켜 입사각 -6° (공중에서)로 디스플레이(2404)를 조명하고 디스플레이 0차 광(2654)을 $+45^\circ$ 의 방향전환 각도로 상향 공중으로 방향전환시키도록 구성된다. 그러나, 도 26c의 광학 장치(2660)와 달리, 광학 장치(2680)는 커버 유리(2668)의 외부 표면 상에 형성된 AR 코팅층(2682)을 포함하여, 방향전환된 디스플레이 0차 광이 예를 들어 $+45^\circ$ 의 방향전환 각도(예를 들어, 방향전환된 0차 광(2672))로 공중으로 커버 유리(2668)를 통해 실질적으로 투과된다. 이러한 방식으로, 광학 장치(2680)로 다시 방향 전환된 0차 광의 프레넬 반사가 거의 또는 전혀 없다.

[0879] 도 26e는 훨씬 더 큰 방향전환 각도(예를 들어, 공중에서 $+75^\circ$ 또는 유리에서 대략 $+40^\circ$)로 디스플레이 0차 광을 방향 전환시키는 또 다른 예를 도시한다. 도 26e에 예시된 바와 같이, 시스템(2690)은 광학 장치(2692)를 포함한다. 도 26c의 광학 장치(2660)와 유사하게, 광학 장치(2692)는 입력 광(2620)을 회절시켜 입사각 -6° (공중에서)로 디스플레이(2404)를 조명한다. 그러나, 도 26c의 광학 장치(2660)와 달리, 광학 장치(2692)는 디스플레이 0차 광(2654)을 $+75^\circ$ 의 방향전환 각도(예를 들어, 방향전환된 0차 광(2696))으로 상향 공중으로 방향전환 하도록 구성된 0차 방향전환 격자 구조(2694)를 포함한다. 따라서, 다시 광학 장치(2692)로의 0차 광(2698)의 더 큰 프레넬 반사가 있으며, 이는 광학 흡수체(2669)에 의해 흡수될 수 있다.

[0880] 굴절률이 큰 매질과 굴절률이 작은 매질 사이의 경계에서 p편광을 갖는 광이 브루스터(Brewster) 각도로 입사하면, p편광을 갖는 광에 대한 프레넬 반사가 없다.

[0881] 도 27a는 p 편광을 갖는 디스플레이 0차 광을 방향전환시켜 브루스터 각도로 공중으로 투과시키는 예시적인 시스템(2700)을 예시한다. 시스템(2700)은 도 24의 광학 장치(2410)일 수 있는 광학 장치(2710)를 포함한다. 광학 장치(2710)는 기관(2712)(예를 들어, 도 24의 기관(2412)), 투과형 필드 격자 구조(2714)(예를 들어, 도 24의 투과형 필드 격자 구조(2414)), 및 0차 방향전환 격자 구조(2716)(예를 들어, 도 24의 0차 방향 전환 격자 구조(2416))를 포함한다. 광학 장치(2710)는 0차 방향전환 격자 구조(2716) 상의 커버 유리(2718)를 포함할 수

있다.

- [0882] 도 26a의 광학 장치(2610)의 투과형 필드 격자 구조(2614)와 동일하게, 광학 장치(2710)의 투과형 필드 격자 구조(2714)는 조명기(2406)로부터의 입력 광(2620)을 회절시켜 입사각 -6° (공중에서)로 디스플레이(2404)를 조명한다. 디스플레이(2404)의 변조된 디스플레이 요소 상에서 조명하는 입력 광(2620)의 제1 부분은 홀로그래픽 광 필드(2702)를 형성하는 회절된 1차 광(2701)이 되도록 광학 장치(2710)(0차 방향전환 격자 구조(2716) 포함)를 통해 투과하도록 회절된다. 디스플레이(2404)의 겹에서 조명하는 입력 광(2620)의 제2 부분은 디스플레이 0차 광(2704)으로서 디스플레이(2404)로부터 나오도록 반사된다. 디스플레이 0차 광(2704)은 p 편광 상태를 가질 수 있다. 일부 경우에, 조명기(2406)로부터의 입력 광(2620)은 p 편광 상태를 갖는다. 일부 경우에, 광학 장치(2710)는 회절된 입력 광(2620)의 편광 상태를 p 편광이 되도록 제어하도록 구성된 하나 이상의 광학 편광 장치(예를 들어, 편광기, 리타더, 파장판, 또는 이들의 조합)를 포함한다. 일부 구현들에서, 광학 장치(2710)는 광학 리타더(예를 들어, 광대역 반파장 리타더)에 이어서 광학 편광기(예를 들어, 선형 편광기)를 포함한다. 광학 리타더는 예를 들어 상응하는 효율로 각 색상의 광을 s 편광에서 p 편광으로 회전시키도록 구성되고, 광학 편광기는 s 편광에서 p 편광으로 회전되지 않은 각 색상의 광의 얼마간의 백분율을 흡수하도록 구성된다.
- [0883] 도 26a의 0차 방향전환 격자 구조(2616)와 달리, 0차 방향전환 격자 구조(2716)는 커버 유리(2718)와 공기 사이의 경계에서 브루스터 각도(예를 들어, 유리에서 대략 -37°)로 디스플레이 0차 광(2654)를 방향전환(또는 회절)시킨다. 따라서, 다시 광학 장치(2710)로 방향전환된 디스플레이 0차 광의 프레넬 반사가 없으며, 거의 모든 방향전환된 디스플레이 0차 광이 약 -57° 의 브루스터 각도(예를 들어, 방향전환된 0차 광(2706))로 공중으로 투과된다.
- [0884] 도 27b 내지 27c는 브루스터 각도로 투과하기 위한 광학 리타더와 같은 광학 편광 장치를 사용하여 s 편광으로 디스플레이 0차 광을 방향전환시키는 예들을 예시한다. 디스플레이 0차 광이 s 편광으로 디스플레이(2404)에서 나올 때, 광학 장치는 공중으로의 경계 전에 광학 리타더를 포함할 수 있다. 광학 리타더는 프레넬 반사 없이 공중 경계에서 브루스터 각도로 투과하기 위해 디스플레이 0차 광의 편광 상태를 s 편광 상태에서 p 편광 상태로 변환할 수 있다.
- [0885] 도 27b에 예시된 바와 같이, 시스템(2730)은 도 24의 광학 장치(2410)일 수 있는 광학 장치(2740)를 포함한다. 광학 장치(2740)는 기관(2742)(예를 들어, 도 24의 기관(2412)), 투과형 필드 격자 구조(2744)(예를 들어, 도 24의 투과형 필드 격자 구조(2414)), 및 0차 방향전환 격자 구조(2746)(예를 들어, 도 24의 0차 방향전환 격자 구조(2416))를 포함한다. 광학 장치(2740)는 0차 방향전환 격자 구조(2746) 상의 커버 유리(2748)를 포함할 수 있다.
- [0886] 도 27a의 광학 장치(2710)의 투과형 필드 격자 구조(2714)와 동일하게, 광학 장치(2740)의 투과형 필드 격자 구조(2744)는 조명기(2406)로부터의 입력 광(2620)을 회절시켜 입사각 -6° (공중에서)로 디스플레이(2404)를 조명한다. 디스플레이(2404)의 변조된 디스플레이 요소 상에서 조명하는 입력 광(2620)의 제1 부분은 홀로그래픽 광 필드(2732)를 형성하는 회절된 1차 광(2731)이 되도록 광학 장치(2740)(0차 방향전환 격자 구조(2746) 포함)를 통해 투과하도록 회절된다. 디스플레이(2404)의 겹에서 조명하는 입력 광(2620)의 제2 부분은 디스플레이 0차 광(2734)으로서 디스플레이(2404)로부터 나오도록 반사된다. 도 27a의 디스플레이 0차 광(2704)과 달리, 디스플레이 0차 광(2734)은 s 편광을 가질 수 있다. 일부 경우에, 조명기(2406)로부터의 입력 광(2620)은 s 편광 상태를 갖는다. 일부 경우에, 광학 장치(2740)는 회절된 입력 광(2620)의 편광 상태가 s 편광이 되도록 제어하도록 구성된 하나 이상의 광학 편광 장치를 포함한다.
- [0887] 도 27a의 광학 장치(2710)와 달리, 광학 장치(2740)는 디스플레이 0차 광(2734)의 편광 상태를 s 편광에서 p 편광으로 변환시키도록 구성되는 광학 리타더(2747)를 포함한다. 일부 예들에서, 편광 변환은 광대역 반파 리타더를 사용하여 달성될 수 있으며, 이는 각 색상에 대해 서로 다른 효율로 각 색상의 광을 s 편광에서 p 편광으로 회전시킬 수 있다. 반파 리타더는 s 편광에서 p 편광으로 회전되지 않은 각 색상의 광의 백분율을 흡수하기 위해 "클린업" 선형 편광기가 뒤따를 수 있다. 이러한 방식으로, 리타더는 광학 장치(2740)로부터 나오는 광의 편광을 디스플레이(2404)의 최상의 성능에 더 적합한 다른 편광으로 회전시킬 수 있고, 선형 편광기는 디스플레이(2404)의 최상의 성능에 덜 적합한 편광으로 디스플레이(2404)에 입사하는 광을 제거할 수 있다.
- [0888] 일부 구현들에서, 도 27b에 예시된 바와 같이, 광학 리타더(2747)(및 선택적으로 선형 편광기)는 기관(2742) 상의 0차 방향전환 격자 구조(2746) 앞에 배열된다. 도 27a의 0차 방향전환 격자 구조(2716)와 동일하게, 0차 방향전환 격자 구조(2746)는 커버 유리(2748)와 공기 사이의 경계에서 브루스터 각도(예를 들어, 유리에서 대략 -37°)로 P 편광으로 디스플레이 0차 광(2734)을 방향전환(또는 회절)시킨다. 따라서, 다시 광학 장치(2740)로

방향전환된 디스플레이 0차 광의 프레넬 반사가 없거나 무시할 수 있으며, 거의 모든 방향전환된 디스플레이 0차 광이 약 -57° 의 브루스터 각도(예를 들어, 방향전환된 0차 광(2736))로 공중으로 투과된다.

[0889] 일부 구현들에서, 도 27c에 예시된 바와 같이, 시스템(2750)의 광학 장치(2760)에서, 광학 리타더(2747)는 기관(2742)에 대해 0차 방향전환 격자 구조(2746) 뒤에 배열된다. 0차 방향전환 격자 구조(2746)는 기관(2742)과 격자 커버 유리(2748) 사이에 배열된다. 광학 리타더(2747)는 격자 커버 유리(2748)와 리타더 커버 유리(2762) 사이에 배열될 수 있다. 도 27a의 0차 방향전환 격자 구조(2716)와 동일하게, 0차 방향전환 격자 구조(2746)는 리타더 커버 유리(2762)와 공기 사이의 경계에서 브루스터 각도(예를 들어, 유리에서 대략 -37°)로 디스플레이 0차 광(2734)을 방향전환(또는 회절)시킨다. 따라서, 다시 광학 장치(2760)로 방향전환된 디스플레이 0차 광의 프레넬 반사가 없거나 무시할 수 있으며, 거의 모든 방향전환된 디스플레이 0차 광이 약 -57° 의 브루스터 각도(예를 들어, 방향전환된 0차 광(2752))로 공중으로 투과된다.

[0890] 도 28은 방향전환된 디스플레이 0차 광을 흡수하기 위해 디스플레이 0차 광을 이방성 트랜스미터(2820)로 방향전환시키는 예시적인 시스템(2800)을 예시한다. 이방성 트랜스미터(2820)는 미리 결정된 각도보다 작은 각도(예를 들어, 재구성 콘의 시야각의 절반 미만)를 갖는 제1 광 빔(예를 들어, 회절된 1차 광)을 투과시키고, 미리 결정된 각도보다 큰 각도(예를 들어, 방향전환 각도)를 갖는 제2 광 빔(예를 들어, 방향전환된 디스플레이 0차 광)을 흡수하도록 구성된다. 미리 결정된 각도는 시야각의 절반보다 크고 디스플레이 0차 광이 광 방향 전환 컴포넌트에 의해 회절되는 방향 전환 각도보다 작도록 구성된다.

[0891] 시스템(2800)은 도 24의 광학 장치(2410)를 포함할 수 있는 광학 장치(2810)를 포함한다. 광학 장치(2810)는 기관(2812)(예를 들어, 도 24의 기관(2412)), 투과형 필드 격자 구조(2814)(예를 들어, 도 24의 투과형 필드 격자 구조(2414)), 및 0차 방향 전환 격자 구조(2816)(예를 들어, 도 24의 0차 방향 전환 격자 구조(2416))를 포함한다. 광학 장치(2810)는 0차 방향 전환 격자 구조(2816) 상의 커버 유리(2818)를 포함할 수 있다.

[0892] 도 24의 광학 장치(2410)의 투과형 필드 격자 구조(2414)와 동일하게, 광학 장치(2810)의 투과형 필드 격자 구조(2814)는 조명기(2406)로부터의 입력 광(2620)을 회절시켜 입사각(예를 들어, 공중에서 -6°)으로 디스플레이(2404)를 조명한다. 디스플레이(2404)의 변조된 디스플레이 요소 상에서 조명하는 입력 광(2620)의 제1 부분은 홀로그래픽 광 필드(2802)를 형성하는 회절된 1차 광(2801)이 되도록 광학 장치(2810)(0차 방향전환 격자 구조(2816) 포함)를 통해 투과하도록 회절된다. 입사각은 홀로그래픽 광 필드(2802)에 대응하는 재구성 콘의 시야각의 절반보다 크도록 구성된다. 디스플레이(2404)의 갭에서 조명하는 입력 광(2620)의 제2 부분은 디스플레이 0차 광(2804)의 적어도 일부로서 디스플레이(2404)로부터 나오도록 반사된다. 도 24의 0차 방향전환 격자 구조(2416)와 유사하게, 0차 방향전환 격자 구조(2816)는 입사각보다 실질적으로 더 큰 회절각(예를 들어, 공중에서 약 75° 에 대응하는 각도)으로 디스플레이 0차 광(2804)을 방향전환(또는 회절)시킨다.

[0893] 도 24의 광학 장치(2410)와 달리, 광학 장치(2810)는 회절된 1차 광(2801)을 투과시키고 디스플레이 0차 광(2804)을 흡수하도록 구성된 이방성 트랜스미터(2820)를 포함할 수 있다. 일부 예들에서, 이방성 트랜스미터(2820)는 공중에서 대략 $\pm 30^\circ$ 또는 아크릴에서 대략 $\pm 20^\circ$ 의 미리 결정된 각도(또는 통과 각도)를 갖도록 구성된 루버 필름을 포함한다. 이방성 트랜스미터(2820)는 실질적으로 회절된 1차 광(2801)을 예를 들어 공중에서 대략 $\pm 5^\circ$ (아크릴에서 대략 $\pm 3^\circ$)로 투과시키고, 디스플레이 0차 광(2804)을 예를 들어 공중에서 대략 75° 로 흡수한다. 이방성 트랜스미터(2820)는 커버 유리(2818)와 굴절을 정합될 수 있으므로, s-편광 또는 p-편광을 갖는 디스플레이 0차 광(2804)을 위해 이방성 트랜스미터(2820)의 표면으로부터 다시 광학 장치(2810)로의 상당한 프레넬 반사가 없다. 루버 필름의 루버는 또한 루버에서 프레넬 반사를 제거하기 위해 루버 필름의 투과성 재료와 굴절을 정합될 수 있다.

[0894] 도 26a 내지 26e, 도 27a 내지 27b 및 도 28에 도시된 이전 예들에서, 영차 방향전환 격자 구조는 경계에서 내부 전반사를 위한 임계각보다 작은 방향전환 각도로 디스플레이 0차 광을 공중으로 회절시키도록 구성된다.

[0895] 도 29는 디스플레이 0차 광을 전반사시키도록 디스플레이 0차 광을 방향전환시키는 예시적인 시스템(2900)을 예시한다. 도 26a의 광학 장치(2610)와 유사하게, 시스템(2900)의 광학 장치(2910)는 기관(2912) 상에 형성되고 입력 광(2620)을 회절시켜 디스플레이(2404)를 입사각(예를 들어, 공중에서 -6° 및 유리에서 대략 -4°)으로 조명하도록 구성된 투과형 필드 격자 구조(2914)를 포함한다.

[0896] 그러나, 도 26a의 광학 장치(2610)와 달리, 광학 장치(2910)는 디스플레이 0차 광(2904)을 유리에서 내부 전반사에 대한 임계 각도(커버 유리(2918)로부터 하이-로우 굴절을 경계의 공중으로의 전이를 위해 대략 41°)보다 큰 방향 전환 각도(예를 들어, 유리에서 대략 $+60^\circ$)로 방향 전환시키도록 구성된 0차 방향전환 격자 구조

(2916)를 포함한다. 따라서, 디스플레이 0차 광(2904)은 인터페이스(2919)에서 다시 전반사되며, 디스플레이 0차 광(2906)의 프레넬 반사는 광학 장치(2910)의 에지에 형성된 광학 흡수체(2920)(예를 들어, 도 26a의 광학 흡수체(2619))에 의해 흡수될 수 있다. 대조적으로, 디스플레이(2404)의 변조된 디스플레이 요소 상에서 조명하는 입력 광(2620)의 부분은 디스플레이 0차 광(2904) 없이, 홀로그래픽 광 필드(2902)를 형성하는 회절된 1차 광(2901)이 되도록 광학 장치(2910)(0차 방향전환 격자 구조(2916) 포함)를 통해 투과하도록 회절된다.

[0897] 디스플레이를 비추는 입력 광은 예를 들어 적색, 녹색 및 청색과 같은 다양한 색상의 광을 포함할 수 있다. 상이한 색상의 광이 디스플레이에 순차적으로 입사될 수 있고, 대응하는 상이한 색상의 홀로그래픽 데이터(또는 홀로그램)는 디스플레이의 디스플레이 요소를 순차적으로 변조할 수 있다. 상기에 설명된 바와 같이, 광 회절 장치(예를 들어, 도 5h의 광 회절 장치(598))는 디스플레이를 조명하기 위해 상이한 색상의 광을 회절시키도록 구성될 수 있고, 또한 상이한 색상의 광 사이에서 색상 누화를 감소시키도록 구성될 수 있다. 예를 들어, 광 회절 장치(598)는 예를 들어 도 9a 내지 12c에 예시된 바와 같이, 서로 다른 기록층에서 서로 다른 색상에 대한 다수의 홀로그래픽 격자를 포함한다. 일부 예들에서, 도 9a 내지 10b와 관련하여 상기에 설명된 바와 같이, 광 회절 장치는 색상 누화를 억제(예를 들어, 제거 또는 최소화)하기 위해 하나 이상의 색상 선택 편광기를 갖는 다수의 홀로그래픽 격자를 포함할 수 있다. 일부 예들에서, 도 11 내지 12c 및 15와 관련하여, 광 회절 장치는 색상 누화 및 0차 광을 억제하기 위해 각각의 입사각으로 입사된 서로 다른 색상의 광을 위한 하나 이상의 반사층을 갖는 다수의 홀로그래픽 격자를 포함할 수 있다.

[0898] 마찬가지로, 광 방향 전환 장치는 또한 대응하는 홀로그래픽 장면 밖으로 서로 다른 색상의 디스플레이 0차 광을 방향 전환시키도록 구성될 수 있으며, 또한 서로 다른 색상의 디스플레이 0차 광을 예를 들어 평면에서 및/또는 공간에서 홀로그래픽 장면으로부터 멀리 서로 다른 방향으로 방향 전환시킴으로써, 서로 다른 색상의 디스플레이 0차 광 사이에서 색상 누화를 감소시키도록 구성될 수 있다. 이하에서, 도 30a 내지 30b, 31a 내지 31b, 32 및 33은 서로 다른 구현 예들을 예시한다.

[0899] 도 30a 내지 30b는 디스플레이 0차 광의 2개의 상이한 색상(예를 들어, 청색 및 적색)을 홀로그래픽 장면으로부터 멀어지는 상이한 방향으로 방향전환시키는 예들을 예시한다.

[0900] 도 30a에 예시된 바와 같이, 도 24의 시스템(2400)과 유사하게, 시스템(3000)은 컴퓨터(2401)(예를 들어, 도 24의 컴퓨터(2401)), 컨트롤러(3002)(예를 들어, 도 24의 컨트롤러(2402)), 반사형 디스플레이(3004)(예를 들어, 도 24의 반사형 디스플레이(2404)) 및 조명기(3006)(예를 들어, 도 24의 조명기(2406))를 포함한다. 시스템(3000)은 또한 광 회절 장치(예를 들어, 도 9a 및 9b의 광 회절 장치(900) 또는 도 11의 1100)를 포함할 수 있는 광학 장치(3010)를 포함한다. 일부 구현들에서, 도 30a에 예시된 바와 같이, 광학 장치(3010)는 기관(3012)(예를 들어, 도 24의 기관(2412)) 상의 투과형 필드 격자 구조(3014)를 포함한다. 투과형 필드 격자 구조(3014)는 2개의 상이한 색상의 광에 대해 2개의 대응하는 상이한 격자를 포함할 수 있다.

[0901] 컨트롤러(3002)는 (예를 들어, 유니티와 같은 3D 소프트웨어 애플리케이션을 사용하여) 컴퓨터(3001)로부터 하나 이상의 객체에 대응하는 그래픽 데이터를 수신하고, 그래픽 데이터에 대한 계산을 수행하고, 변조를 위한 제어 신호를 생성하여 메모리 버퍼(3003)를 통해 디스플레이(3004)로 전송하도록 구성된다. 컨트롤러(3002)는 또한 조명기(3006)에 결합될 수 있고, 조명기(3006)를 활성화하여 입력 광(3020)을 제공하기 위한 타이밍 신호(3005)를 제공하도록 구성될 수 있다. 그런 다음 입력 광(3020)은 디스플레이(3004)를 조명하기 위해 광학 장치(3010)의 투과형 필드 격자(3014)에 의해 회절된다. 디스플레이(3004)의 디스플레이 요소에 입사하는 입력 광(3020)의 제1 부분은 디스플레이(3004)에 의해 회절되고, 회절된 1차 광(3021)은 뷰어를 향해 홀로그래픽 광 필드(3022)를 형성한다. 홀로그래픽 광 필드(3022)는 시야각을 갖는 재구성 콘(또는 절두체)에 대응할 수 있다. 디스플레이(3004)의 겹에 입사된 입력 광(3020)의 제2 부분은 디스플레이(3004)에 의해 반사되어 디스플레이 0차 광(3024)의 적어도 일부가 된다.

[0902] 투과형 필드 격자 구조(3014)는 조명기(3006)로부터의 서로 다른 색상의 입력 광(3020)을 회절시켜 디스플레이(3004)를 재구성 콘(또는 절두체)의 시야각의 절반보다 큰 입사각(예를 들어, 공중에서 -6° 또는 유리에서 대략 -4°)으로 축외 조명하도록 구성된다. 제3 기술을 적용함으로써, 회절된 1차 광(3021)은 입력 광(3020)이 수직 입사로 축에 입사할 때와 동일한 방식으로 디스플레이(3004)에서 나오는 반면, 디스플레이 0차 광(3024)은 재구성 콘 외부에 있는 입사각과 동일한 반사각으로 나온다.

[0903] 도 30a에 예시된 바와 같이, 시스템(3000)은 서로 다른 색상(청색 및 적색)의 광에 대해 대응하는 0차 방향 전환 격자(3016 및 3018)를 갖는 광 방향 전환 구조를 포함할 수 있다. 각 0차 방향 전환 격자(3016, 3018)는 도 24의 방향 전환 격자(2416)와 유사할 수 있으며, 미리 결정된 각도와 동일한 각도를 갖는 제1 광 빔을 미리 결

정된 각도와 다른 각도를 갖는 제2 광 빔보다 회절각의 실질적으로 더 큰 회절 효율로 회절시키도록 구성될 수 있다. 각 0차 방향 전환 격자(3016, 3018)는 대응하는 색상의 광에 대한 브래그 격자와 같은 홀로그래픽 격자일 수 있다.

[0904] 도 30a에 예시된 바와 같이, 0차 방향 전환 격자(3016)는 공중에서 $+45^\circ$ 의 회절각(유리에서 대략 $+28^\circ$)(예를 들어 방향 전환된 청색 디스플레이 0차 광(3026))의 반사각(입사각과 동일)으로 청색 디스플레이 0차 광을 회절시키도록 구성된다. 0차 방향 전환 격자(3018)는 적색 디스플레이 0차 광을 공중에서 약 -6° (유리에서 약 -4°)에서 약 -45° (유리에서 약 -28°)(예를 들어, 방향 전환된 적색 디스플레이 0차 광(3028))로 회절시키도록 구성된다.

[0905] 0차 방향 전환 격자(3016, 3018)는 투과형 필드 격자 구조(3014)의 대향면에 있는 기관(3012) 상에 순차적으로 배열될 수 있다. 더 짧은 파장을 갖는 광은 더 긴 파장을 위해 의도된 격자로부터 더 강하게 누화되는 경향이 있으므로, 청색 광에 대한 0차 방향 전환 격자(3016)는 적색에 대한 0차 방향 전환 격자(3018)보다 디스플레이에 더 가깝게 배열될 수 있다. 2개의 0차 방향 전환 격자(3016, 3018)는 실질적으로 다른 프린지-평면 기울기를 가질 수 있으며, 이는 색상 누화를 감소시킬 수 있다.

[0906] 일부 구현들에서, 도 30a에 예시된 바와 같이, 상이한 색상의 광에 대한 각 0차 방향 전환 격자(3016, 3018)는 대응하는 기록 재료(예를 들어, 감광성 중합체)에 기록되고, 대응하는 커버 유리(3017, 3019)에 의해 보호된다.

[0907] 일부 구현들에서, 도 30b에 예시된 바와 같이, 상이한 색상의 광에 대한 시스템(3030) 내 광학 장치(3040)의 각 0차 방향 전환 격자(3046, 3048)는 대응하는 기록 재료(예를 들어, 감광성 중합체)에 기록되고, 커버 유리(3047)에 의해 보호된다. 0차 방향 전환 격자(3046)는 0차 방향 전환 격자(3016)과 동일할 수 있으며, 청색 디스플레이 0차 광을 공중에서 약 -6° (유리에서 약 -4°)에서 약 -45° (유리에서 약 -28°)(예를 들어, 방향 전환된 청색 디스플레이 0차 광(3036))로 회절시키도록 구성될 수 있다. 0차 방향 전환 격자(3048)는 0차 방향 전환 격자(3018)과 동일할 수 있으며, 적색 디스플레이 0차 광을 공중에서 약 -6° (유리에서 약 -4°)에서 약 -45° (유리에서 약 -28°)(예를 들어, 방향 전환된 적색 디스플레이 0차 광(3038))로 회절시키도록 구성될 수 있다.

[0908] 광학 장치(3010, 3040)는 커버 유리와 공중 사이의 경계에서 프레넬 반사를 감소시키기 위해 광학 장치(3010, 3040)의 예지에 광학 흡수체(예를 들어, 도 26a의 광학 흡수체(2619))를 포함할 수 있다.

[0909] 도 31a 내지 31b는 디스플레이 0차 광의 3개의 상이한 색상(예를 들어, 청색, 녹색 및 적색)을 동일한 평면의 홀로그래픽 장면으로부터 멀어지는 상이한 방향으로 방향전환시키는 예시적인 시스템들(3100 및 3150)을 예시한다. 예를 들어, 도 30a 또는 30b에 예시된 바와 같이, 2개의 상이한 색상의 광에 대한 시스템과 비교하면, 3가지 다른 색상의 광을 위한 시스템은 동일한 입사각으로 디스플레이를 조명하기 위해 3가지 색상의 입력 광을 회절시키기 위한 3개의 서로 다른 회절 격자를 포함하는 광 회절 구조 및 서로 다른 방향을 향해 서로 다른 회절각으로 3가지 색상의 디스플레이 0차 광의 세 가지 색상을 회절시키기 위한 3가지 서로 다른 0차 방향전환 격자를 포함하는 광학 방향전환 구조를 포함한다.

[0910] 도 31a에 예시된 바와 같이, 도 30a의 시스템(3000)과 유사하게, 시스템(3100)은 컴퓨터(3101)(예를 들어, 도 30a의 컴퓨터(3101)), 컨트롤러(3102)(예를 들어, 도 30a의 컨트롤러(3002)), 반사형 디스플레이(3104)(예를 들어, 도 30a의 반사형 디스플레이(3004)) 및 조명기(3106)(예를 들어, 도 30a의 조명기(3006))를 포함한다. 시스템(3100)은 또한 광 회절 장치(예를 들어, 도 10a 및 10b의 광 회절 장치(1000), 도 12a의 1200, 도 12b의 1250, 또는 도 12c의 1270 또는 도 15의 1500)를 포함할 수 있는 광학 장치(3110)를 포함한다. 일부 구현들에서, 도 31a에 예시된 바와 같이, 광학 장치(3110)는 기관(3111) 상의 투과형 필드 격자 구조(3112)를 포함한다. 투과형 필드 격자 구조(3112)는 3개의 상이한 색상의 광에 대해 3개의 대응하는 상이한 격자를 포함할 수 있다.

[0911] 컨트롤러(3102)는 (예를 들어, 유니티와 같은 3D 소프트웨어 애플리케이션을 사용하여) 컴퓨터(3101)로부터 하나 이상의 객체에 대응하는 그래픽 데이터를 수신하고, 그래픽 데이터에 대한 계산을 수행하고, 변조를 위한 제어 신호를 생성하여 메모리 버퍼(3003)를 통해 디스플레이(3104)로 전송하도록 구성된다. 컨트롤러(3102)는 또한 조명기(3106)에 결합될 수 있고, 조명기(3106)를 활성화하여 입력 광(3120)을 제공하기 위한 타이밍 신호(3105)를 제공하도록 구성될 수 있다. 그런 다음 입력 광(3120)은 디스플레이(3104)를 조명하기 위해 광학 장치(3110)의 투과형 필드 격자(3112)에 의해 회절된다. 디스플레이(3104)의 디스플레이 요소에 입사하는 입력 광(3120)의 제1 부분은 디스플레이(3104)에 의해 회절되고, 회절된 1차 광(3121)은 뷰어를 향해 홀로그래픽 광 필

드(3122)를 형성한다. 홀로그래픽 광 필드(3122)는 시야각을 갖는 재구성 콘(또는 절두체)에 대응할 수 있다. 디스플레이(3104)의 겹에 입사된 입력 광(3120)의 제2 부분은 디스플레이(3104)에 의해 반사되어 디스플레이 0차 광(3123)이 된다.

[0912] 투과형 필드 격자 구조(3112)는 조명기(3106)로부터의 서로 다른 색상의 입력 광(3120)을 회절시켜 디스플레이(3104)를 재구성 콘(또는 절두체)의 시야각의 절반보다 큰 입사각(예를 들어, 공중에서 -6° 또는 유리에서 대략 -4°)으로 축외 조명하도록 구성된다. 제3 기술을 적용함으로써, 회절된 1차 광(3121)은 입력 광(3120)이 수직 입사로 축외 입사할 때와 동일한 방식으로 디스플레이(3104)에서 나오는 반면, 디스플레이 0차 광(3123)은 재구성 콘 외부에 있는 입사각과 동일한 반사각으로 나온다.

[0913] 도 31a에 예시된 바와 같이, 시스템(3100)은 서로 다른 색상(청색, 녹색 및 적색)의 광에 대해 3개의 대응하는 0차 방향전환 격자(3114, 3116 및 3018)를 갖는 광 방향 전환 구조를 포함할 수 있다. 각 0차 방향 전환 격자(3114, 3116, 3118)는 도 24의 방향 전환 격자(2416)와 유사할 수 있다. 각 0차 방향 전환 격자(3114, 3116, 3118)는 대응하는 색상의 광에 대한 브래그 격자와 같은 홀로그래픽 격자일 수 있다.

[0914] 0차 방향 전환 격자(3114, 3116, 3118)는 투과형 필드 격자 구조(3112)의 대향면에 있는 기관(3111) 상에 순차적으로 배열될 수 있다. 일부 구현들에서, 도 31a에 예시된 바와 같이, 상이한 색상의 광(청색, 녹색, 적색)에 대한 각 0차 방향전환 격자(3114, 3116, 3118)는 대응하는 기록 재료(예를 들어, 감광성 중합체)에 기록되고, 대응하는 커버 유리(3113, 3115, 3117)에 의해 보호된다. 전술한 바와 같이, 3개의 서로 다른 색상의 광에 대한 0차 방향전환 격자(3114, 3116, 3118)는 동일한 기록 재료(예를 들어, 감광성 중합체)에 기록될 수 있고, 커버 유리에 의해 보호될 수 있다. 3개의 0차 방향전환 격자(3114, 3116, 3118)는 실질적으로 다른 프린지-평면 기울기를 가질 수 있으며, 이는 색상 누화를 감소시킬 수 있다.

[0915] 도 31a에 예시된 바와 같이, 청색 0차 방향전환 격자(3114)는 청색 디스플레이 0차 광을 공중에서 약 -6° (유리에서 약 -4°)에서 약 -45° (유리에서 약 -28°) (예를 들어, 방향전환된 청색 디스플레이 0차 광(3124))로 회절시키도록 구성될 수 있다. 녹색 0차 방향전환 격자(3116)는 녹색 디스플레이 0차 광을 공중에서 약 -6° (유리에서 약 -4°)에서 약 -45° (유리에서 약 -28°) (예를 들어, 방향전환된 녹색 디스플레이 0차 광(3126))로 회절시키도록 구성된다. 적색 0차 방향전환 격자(3118)는 적색 디스플레이 0차 광을 공중에서 약 -6° (유리에서 약 -4°)에서 브루스터 각도 약 -57° (유리에서 약 -37°) (예를 들어, 방향전환된 적색 디스플레이 0차 광(3128))로 회절시키도록 구성된다. 적색 디스플레이 0차 광이 p편광 상태를 갖는 경우, 적색 디스플레이 0차 광은 공중으로 완전히 투과될 수 있다. 광학 장치(3110)는 광학 장치(3110)의 하나 이상의 예지에 하나 이상의 광학 흡수체(예를 들어, 도 26a의 광학 흡수체(2619))를 포함하여 커버 유리과 공중 사이의 경계에서 청색 및 녹색의 디스플레이 0차 광의 프레넬 반사를 감소시킬 수 있다.

[0916] 디스플레이 0차 광의 3가지 색상 모두가 p 편광 상태를 갖는 경우, 예를 들어 입력 광이 p 편광일 때, 광학 방향전환 장치는 3가지 서로 다른 색상의 디스플레이 0차 광을 프레넬 반사를 감소시킬 수 있는 브루스터 각도로 공중으로 모두 회절시키도록 구성된 3가지 색상의 디스플레이 0차 광에 대한 0차 방향전환 격자를 포함할 수 있다. 하나 이상의 회절 격자는 특정 색상의 광을 방향전환시키는 데 함께 사용될 수 있다.

[0917] 도 31b에 예시된 바와 같이, 시스템(3150)의 광학 장치(3160)는 청색 방향전환 격자(3164), 한 쌍의 녹색 방향전환 격자(3166-1, 3166-2) 및 적색 방향전환 격자(3168)를 포함하며, 이들은 대응하는 기록 매체에 기록되며, 대응하는 커버 유리(3163, 3165-1 및 3165-2 및 3167)에 의해 보호된다. 청색 0차 방향전환 격자(3164)는 청색 디스플레이 0차 광을 공중에서 약 -6° (유리에서 약 -4°)에서 공중에서 약 -57° (유리에서 약 -37°)의 브루스터 각도(예를 들어, 방향전환된 청색 디스플레이 0차 광(3154))로 회절시키도록 구성된다. 녹색 디스플레이 0차 광은 먼저 제1 녹색 0차 방향전환 격자(3166-1)에 의해 공중에서 약 $+6^{\circ}$ (유리에서 약 $+4^{\circ}$)에서 약 $+70^{\circ}$ (유리에서 약 $+38^{\circ}$)으로 회절된 다음, 제2 녹색 0차 방향전환 격자(3166-2)에 의해 공중에서 약 -57° (유리에서 약 -37°)의 브루스터 각도(예를 들어, 방향전환된 녹색 디스플레이 0차 광(3156))로 회절된다. 적색 0차 방향전환 격자(3168)는 적색 디스플레이 0차 광을 공중에서 약 -6° (유리에서 약 -4°)에서 공중에서 약 $+57^{\circ}$ (유리에서 약 $+37^{\circ}$)의 브루스터 각도(예를 들어, 방향전환된 적색 디스플레이 0차 광(3158))로 회절시키도록 구성된다. 4개의 0차 방향전환 격자(3164, 3166-1, 3166-2 및 3168)는 실질적으로 다른 프린지-평면 기울기를 가질 수 있으며, 이는 색상 누화를 감소시킬 수 있다.

[0918] 서로 다른 색상의 디스플레이 0차 광 사이에서 색상 누화를 감소시키기 위해, 광학 방향전환 장치는 도 30a 내지 30b 및 31a 내지 31b에 예시된 바와 같이, 샘플 평면에서 서로 다른 방향을 향해 서로 다른 색상의 디스플레이 0차 광을 방향전환시키도록 구성될 수 있다. 광학 방향전환 장치는 또한 아래의 도 32에 예시된 바와 같이,

공간에서 서로 다른 평면을 향해 서로 다른 색상의 디스플레이 0차 광을 방향전환시키도록 구성될 수 있다.

- [0919] 도 32는 3가지 서로 다른 색상(예를 들어, 청색, 녹색 및 적색)의 디스플레이 0차 광을 공간에서 홀로그래픽 장면으로부터 멀어지는 서로 다른 방향으로 방향전환시키는 광학 장치(3210)를 포함하는 예시적인 시스템(3200)을 예시한다.
- [0920] 도 31a의 광학 장치(3110)와 유사하게, 광학 장치(3210)는 도 31a의 투과형 필드 격자 구조(3112)와 동일하고, 각 색상의 입력 광을 회절시켜 디스플레이(3104)를 재구성 콘(또는 절두체)의 시야각의 절반보다 큰 입사각(예를 들어, 공중에서 -6° 또는 유리에서 약 -4°)으로 축외 조명하도록 구성된 투과형 필드 격자 구조(3212)를 포함한다. 제3 기술을 적용함으로써, 회절된 1차 광은 입력 광이 수직 입사로 축에 입사할 때와 동일한 방식으로 디스플레이(3104)에서 나온다. 상기에 언급된 바와 같이, 더 큰 파장을 가진 광은 더 큰 시야각에 해당한다. 도 32에 예시된 바와 같이, 청색 회절된 1차 광은 청색 홀로그래픽 광 필드(3220)를 형성하고, 녹색 회절된 1차 광은 녹색 홀로그래픽 광 필드(3222)를 형성하며, 적색 회절된 1차 광은 적색 홀로그래픽 광 필드(3224)를 형성한다.
- [0921] 도 31a의 광학 장치(3110)와 유사하게, 광학 장치(3210)는 서로 다른 기록 매체에 기록된 청색, 녹색, 적색 방향전환 격자(3214, 3216, 3218)를 포함하며, 투과형 필드 격자 구조(3212)에 대해 기관(3211)의 대향면에 순차적으로 배열된다. 청색, 녹색, 적색 방향전환 격자(3214, 3216, 3218)는 대응하는 청색, 녹색, 적색 커버 유리(3213, 3215, 3217)에 의해 보호된다. 그러나, 도 31a의 방향전환 격자(3114, 3116, 3118)와는 달리, 방향전환 격자(3214, 3216, 3218)는 대응하는 색상의 디스플레이 0차 광을 서로 다른 평면으로 방향전환시킨다.
- [0922] 예를 들어, 도 32에 예시된 바와 같이, 청색 방향 전환 격자(3214)는 청색 디스플레이 0차 광을 공중에서 약 -6° (유리에서 약 -4°)에서 공중에서 약 $+57^\circ$ (유리에서 약 $+37^\circ$)의 브루스터 각도(예를 들어, 상향 방향 전환된 청색 0차 광(3230))로 회절시킨다. 적색 방향 전환 격자(3218)는 적색 디스플레이 0차 광을 공중에서 약 -6° (유리에서 약 -4°)에서 공중에서 약 -57° (유리에서 약 -37°)의 브루스터 각도(예를 들어, 하향 방향 전환된 적색 0차 광(3234))로 방향 전환시킨다. 녹색 방향 전환 격자(3216)는 녹색 디스플레이 0차 광을 공중에서 약 -6° (유리에서 약 -4°)에서 우측 브루스터 각도(공중에서 약 $+57^\circ$, 유리에서 약 $+37^\circ$)(예를 들어, 상향 방향 전환된 청색 0차 광(3230) 및 하향 방향 전환된 적색 0차 광(3234)의 평면에 수직인 우측 방향 전환된 녹색 0차 광(3232))로 회절시킨다. 청색 및 적색 방향 전환 격자(3214, 3218)는 색상 누화를 억제할 수 있는 녹색 방향 전환 격자(3216)와 상이한 프린지-평면 기울기 및/또는 방향을 갖는다는 점에 유의한다.
- [0923] 도 33은 적어도 하나의 대응하는 색상 디스플레이 0차 광에 대해 적어도 하나의 전환 가능 격자를 사용하여 홀로그래픽 장면으로부터 멀어지는 상이한 방향으로 3가지 서로 다른 색상의 디스플레이 0차 광을 방향 전환시키는 또 다른 예시적인 시스템(3300)을 예시한다.
- [0924] 도 31a의 광학 장치(3110)와 유사하게, 시스템(3300)의 광학 장치(3310)는 투과형 필드 격자 구조(3112)에 대해 기관(3111)의 대향면에 순차적으로 배열된 청색, 녹색, 적색 방향 전환 격자(3314, 3316, 3318)를 포함한다. 청색, 녹색, 적색 방향 전환 격자(3314, 3316, 3318)는 대응하는 청색, 녹색, 적색 커버 유리(3313, 3315, 3317)에 의해 보호된다. 도 31a의 청색 및 적색 방향 전환 격자(3114, 3118)와 유사하게, 청색 및 적색 방향 전환 격자(3314, 3318)는 대응하는 기록 매체에 영구 저장된다.
- [0925] 그러나, 대응하는 기록 매체에 영구 저장되는 도 31a의 녹색 방향 전환 격자(3116)과 달리, 녹색 방향 전환 격자(3316)는 기록 재료(예를 들어, 전기적 전환 가능 HPDLC(Holographic Polymer Dispersed Liquid Crystal) 재료)에 기록되고, 서로 다른 상태 간에 전환 가능하도록 구성된다. 예를 들어, 녹색 방향 전환 격자(3316)는 녹색 광만이 존재할 때 FSC(field-sequential color) 조명 시퀀스의 제1 간격 동안 제1 상태로 전환될 수 있다. 제1 녹색 전용 간격 동안, 제1 상태의 전환 가능한 적색 방향 전환 격자(3316)는 녹색 디스플레이 0차 광을 공중에서 약 -6° (유리에서 약 -4°)에서 공중에서 약 -45° (유리에서 약 -28°)의 하향 각도(예를 들어, 방향 전환된 녹색 디스플레이 0차 광(3338))로 회절시킨다.
- [0926] FSC 색상 조명 시퀀스의 다른 간격 동안, 적색 또는 청색 광만 존재할 때, 전환 가능한 녹색 방향 전환 격자(3316)는 전환 가능한 녹색 방향 전환 격자가 적색 또는 청색 광을 회절시키지 않는 제2 상태로 전환된다. 도 32에 예시된 바와 같이, 청색 방향 전환 격자(3314)는 청색 디스플레이 0차 광을 공중에서 약 -6° (유리에서 약 -4°)에서 공중에서 약 $+45^\circ$ (유리에서 약 $+28^\circ$)의 상향 각도(예를 들어, 상향 방향 전환된 청색 0차 광(3336))로 회절시킨다. 적색 방향 전환 격자(3318)는 적색 디스플레이 0차 광을 공중에서 약 -6° (유리에서 약 -4°)에서 공중에서 약 -45° (유리에서 약 -28°)의 하향 각도(예를 들어, 하향 방향 전환된 적색 0차 광

(3340))로 방향 전환시킨다. 방향 전환된 적색 0차 광(3340)이 방향 전환된 녹색 0차 조명등(3338)과 동일한 방향을 갖지만, 전환 가능한 녹색 방향 전환 격자(3316)는 녹색 광을 방향 전환시키기 위해 제1 간격의 전부, 부분 또는 부분들 동안의 제1 상태 사이와 색상 누화를 억제할 수 있는 적색 및 청색 광을 투과시키기 위해 다른 간격의 전부, 부분 또는 부분들 동안의 제2 상태 사이에서 전환된다.

[0927] 일부 구현들에서, 2개 이상의 개별 전환 가능 격자는 2개 이상의 해당 색상에 대해 사용할 수 있으며, 영구적으로 기록된 격자가 적거나 전혀 없어 색상 누화를 더욱 억제할 수 있습니다. 일부 구현들에서, 바이너리(온/오프) 전환 가능 격자는 제1 전환 상태가 제1 색상을 회절시키고, 제2 전환 상태가 제2 색상을 회절시키는 전환 가능 격자로 대체될 수 있으며, 이는 영구 기록된 격자를 더 적게 사용하거나 전혀 사용하지 않도록 할 수 있다.

[0928] 도 34는 홀로그래픽 장면에서 디스플레이 0차 광을 억제하는 예시적인 프로세스(3400)의 흐름도이다. 프로세스(3400)는 2D 또는 3D 객체를 재구성하기 위한 시스템으로 구현될 수 있다. 시스템은 임의의 적절한 시스템, 예를 들어 도 5a의 시스템(500), 도 5b의 520, 도 5c의 530, 도 5d의 540, 도 5e의 560, 도 5f의 570, 도 5g의 580, 도 5h의 590, 도 5i의 590A, 도 5j의 590B, 도 5k의 590C, 도 18의 1800, 도 19b의 1950, 도 19c의 1980, 도 21의 2100, 도 22의 2200, 도 23a의 2300, 도 23b의 2350, 도 24의 2400, 도 26a의 2600, 도 26b의 2630, 도 26c의 2650, 도 26d의 2670, 도 26e의 2690, 도 27a의 2700, 도 27b의 2730, 도 27c의 2750, 도 28의 2800, 도 29의 2900, 도 30a의 3000, 도 30b의 3030, 도 31a의 3100, 도 31b의 3150, 도 32의 3200, 또는 도 33의 3300일 수 있다.

[0929] 3402에서, 디스플레이는 광으로 조명된다. 광의 제1 부분은 디스플레이의 디스플레이 요소를 조명한다. 일부 경우에, 광의 제2 부분은 인접 디스플레이 요소들 사이의 갭을 조명한다. 디스플레이는 도 16의 디스플레이(1610)일 수 있고, 디스플레이 요소는 도 16의 디스플레이 요소(1612)일 수 있으며, 갭은 도 16의 갭(1614)일 수 있다.

[0930] 3404에서, 디스플레이의 디스플레이 요소는 홀로그래픽 데이터에 대응하는 홀로그래픽 장면을 형성하고 홀로그래픽 장면에서 디스플레이 0차 광을 억제하기 위해 광의 제1 부분을 회절시키기 위해 홀로그래픽 데이터에 대응하는 홀로그램으로 변조된다. 디스플레이 0차 광은 디스플레이로부터 반사된 광, 예를 들어 갭에서 반사된 광의 제2 부분을 포함할 수 있다. 디스플레이로부터의 반사광은 디스플레이 0차 광의 메인 차수일 수 있다. 디스플레이 0차 광은 또한 임의의 원하지 않거나 바람직하지 않은 광, 예를 들어 갭에서의 회절 광, 디스플레이 요소의 표면에서의 반사 광, 및 디스플레이를 덮는 디스플레이 커버 표면에서의 반사 광을 포함할 수 있다. 홀로그래픽 장면은 시야각을 갖는 재구성 콘(또는 절두체)에 대응한다. 홀로그램은 디스플레이 0차 광이 홀로그래픽 장면에서 억제되도록 구성된다. 홀로그램은 광의 회절된 제1 부분이 디스플레이 0차 광의 특성과 다른 적어도 하나의 특성을 갖도록 구성될 수 있다. 적어도 하나의 특성은 전력 밀도(예를 들어, 도 18에 예시된 바와 같음), 빔 발산(예를 들어, 도 18에 예시된 바와 같음), 디스플레이로부터 멀어지는 전파 방향(예를 들어, 도 19b, 19c, 20b, 및 21 내지 33에 예시됨) 또는 편광 상태를 포함할 수 있다.

[0931] 디스플레이 0차 광은 광 억제 효율로 홀로그래픽 장면에서 억제된다. 광 억제 효율은 억제를 사용한 홀로그래픽 장면에서의 디스플레이 0차 광의 양과 어떠한 억제도 없는 홀로그래픽 장면에서의 디스플레이 0차 광의 양 사이의 비율을 1에서 백 분율로 정의된다. 일부 예들에서, 광 억제 효율은 50%, 60%, 70%, 80%, 90% 또는 99% 중 하나인 미리 결정된 백분율보다 크다. 일부 예들에서, 광 억제 효율은 100%이다.

[0932] 일부 구현들에서, 프로세스(3400)는 객체에 대응하는 복수의 프리미티브 각각에 대해, 전역 3차원(3D) 좌표계에서 프리미티브로부터 디스플레이 요소까지의 EM 필드 전파를 계산함으로써 디스플레이의 디스플레이 요소 각각에 대한 전자기(EM) 필드 기여도를 결정하는 단계, 및 디스플레이 요소 각각에 대해, 복수의 프리미티브로부터 디스플레이 요소까지의 EM 필드 기여도의 합을 생성하는 단계를 더 포함한다. 홀로그래픽 데이터는 객체의 복수의 프리미티브로부터 디스플레이의 디스플레이 요소에 대한 EM 필드 기여도의 합을 포함할 수 있다. 디스플레이가 위상 변조되면, 홀로그래픽 데이터는 디스플레이의 디스플레이 요소에 대한 각각의 위상을 포함할 수 있다. 홀로그래픽 장면은 객체에 대응하는 재구성된 객체를 포함할 수 있다. 홀로그래픽 데이터는 둘 이상의 객체의 정보를 포함할 수 있다.

[0933] 일부 구현들에서, 제1 기술인 "위상 교정"에 대해 상기에 논의된 바와 같이, 홀로그램은 미리 결정된 위상 범위(예를 들어, $[0, 2\pi]$)를 갖도록 디스플레이 요소에 대한 각각의 위상을 조정함으로써 구성될 수 있다. 일부 구현들에서, 각각의 위상은 아래의 표현식(15)에 따라 조정될 수 있다:

$$\phi_a = A\phi_i + B$$

[0934]

ϕ_i 는 각각의 위상의 초기 위상값을 나타내고, ϕ_a 는 각각의 위상의 조정된 위상값을 나타내며, A 및 B는 각각의 위상에 대한 상수이다. 상수 A 및 B는 홀로그래픽 장면에 대한 광 억제 효율이 최대가 되거나 미리 결정된 임계값(예를 들어, 50%, 60%, 70%, 80%, 90% 또는 99%)보다 크도록 조정될 수 있다. 일부 구현들에서, 상수 A 및 B는 기계 비전 알고리즘 또는 기계 학습 알고리즘에 따라 조정된다.

[0936]

일부 구현들에서, 제2 기술인 "0차 빔 발산"과 관련하여 상기에 논의된 바와 같이, 광 발산 컴포넌트는 디스플레이 하류에 배열된다. 광 발산 컴포넌트는 오목 렌즈(예를 들어, 도 18의 오목 렌즈(1802))를 포함하는 디포커싱 요소일 수 있다. 광 발산 컴포넌트는 오목 렌즈를 포함하는 디포커싱 요소일 수 있다. 광의 회절된 제1 부분은 홀로그래픽 장면을 형성하기 위해 광 발산 컴포넌트를 통해 안내되는 반면, 디스플레이 0차 광은 홀로그래픽 장면에서 발산된다. 디스플레이를 조명하는 광이 시준될 수 있고, 디스플레이 0차 광은 광 발산 컴포넌트에 도달하기 전에 시준될 수 있으며, 홀로그램은 광의 회절된 제1 부분이 광 발산 컴포넌트에 도달하기 전에 수렴하도록 구성된다. 광 발산 컴포넌트는 원통형 렌즈를 포함하는 디포커싱 요소일 수 있다. 광 발산 컴포넌트는 오목 렌즈, 볼록 렌즈 또는 원통형 렌즈 또는 이들의 조합을 포함하는 렌즈렛 어레이(lenslet array)일 수 있다. 광 발산 컴포넌트는 광학 장치에 추가되거나, 광학 장치의 다른 회절 층 중 하나 이상 내에 통합된 하나 이상의 홀로그래픽 광학 요소(HOE)일 수 있다. 하나 이상의 HOE는 광을 수렴, 발산 또는 선형으로 포커싱시키거나, 디스플레이 0차 광을 홀로그래픽 장면의 재구성 콘 외부의 영역 또는 영역들로 향하게 하는 것과 같이 광 발산 컴포넌트에 더 복잡한 전달 함수를 부과하도록 구성될 수 있다. 영역은 환형 또는 주변 영역 또는 환형이나 주변 영역의 일부를 포함할 수 있다. 디스플레이를 조명하는 광이 시준될 수 있고, 홀로그램은 광의 회절된 제1 부분이 광 발산 컴포넌트에 도달하기 전에 셰이핑 효과로 형상화되어 광의 제1 부분에 대한 광 발산 컴포넌트의 효과가 셰이핑 효과를 보상하도록 구성될 수 있다.

[0937]

일부 예들에서, 홀로그램은 가상 렌즈를 추가함으로써, 예를 들어 디스플레이 요소 각각에 대한 각각의 위상에 대응하는 위상을 추가함으로써 구성되고, 디스플레이 요소에 대한 대응하는 위상은 홀로그래픽 장면이 디스플레이 요소에 대한 각각의 위상에 대응하도록 광 발산 컴포넌트에 의해 보상된다. 디스플레이 요소 각각에 대한 대응하는 위상은 아래 표현식(16)으로 표현될 수 있다:

$$\phi = \frac{\pi}{\lambda f} (ax^2 + by^2)$$

[0938]

여기서 ϕ 는 디스플레이 요소에 대한 대응하는 위상을 나타내고, λ 는 광의 파장을 나타내며, f는 광 발산 컴포넌트의 초점 거리를 나타내고, x 및 y는 좌표계의 디스플레이 요소의 좌표를 나타내고, a 및 b는 상수를 나타낸다.

[0940]

일부 예들에서, 홀로그램은 3D 소프트웨어 애플리케이션(예를 들어, 유니티)에서 광 발산 컴포넌트의 초점 거리에 해당하는 거리로 디스플레이에 수직인 방향을 따라 전역 3D 좌표계에 대해 디스플레이에 대한 구성 콘을 이동시킴으로써 구성된다. 구성 콘은 재구성 콘에 해당하며 시야각과 동일한 정점 각도를 갖는다. 소프트웨어 애플리케이션은 전역 3D 좌표계에서 이동된 구성 콘에 기초하여 객체에 대한 프리미티브를 생성할 수 있다.

[0941]

프로세스(3400)는 2차원(2D) 디스플레이에 대해 수직 방향을 따라 디스플레이로부터 이격된, 스크린(예를 들어, 도 18의 프로젝션 스크린(1830)) 상에 홀로그래픽 장면을 디스플레이하는 것을 포함할 수 있다. . 2D 스크린은 2D 스크린 상에 홀로그래픽 장면의 서로 다른 슬라이스를 얻기 위해 방향을 따라 이동될 수 있다.

[0942]

프로세스(3400)는 디스플레이를 조명하도록 광을 안내하는 단계를 더 포함할 수 있다. 일부 예들에서, 광은 빔 스플리터(예를 들어, 도 18의 빔 스플리터(1810))에 의해 안내되어 디스플레이를 조명하고, 광의 회절된 제1 부분 및 디스플레이 0차 광은 빔 스플리터를 통해 투과한다.

[0943]

일부 구현들에서, 디스플레이는 예를 들어 도 18 또는 19a에 예시된 바와 같이 수직 입사 시 광으로 조명된다. 일부 구현들에서, 디스플레이는 도 19b 또는 19c에 예시된 바와 같이, 시야각의 절반보다 클 수 있는 입사각의 광으로 조명된다.

[0944]

일부 구현들에서, 제3 기술인, "0차 광 편차"와 관련하여 상기에 논의된 바와 같이, 홀로그램은 도 19b 또는 19c에 예시된 바와 같이, 광의 회절된 제1 부분이 광이 디스플레이에 수직으로 입사하는 경우 광의 회절된 제1 부분에 의해 형성될 재구성 콘과 동일한 재구성 콘을 형성하하는 반면, 광의 반사된 제2 부분은 입사각과 동일

한 반사각으로 디스플레이에서 나온다.

[0945] 일부 예들에서, 홀로그램은 가상 프리즘을 추가함으로써, 예를 들어 디스플레이 요소 각각에 대한 각각의 위상에 대응하는 위상을 추가함으로써 구성되고, 디스플레이 요소에 대한 대응하는 위상은 홀로그래픽 장면이 디스플레이 요소에 대한 각각의 위상에 대응하도록 입사각에 의해 보상된다. 디스플레이 요소 각각에 대한 대응하는 위상은 아래 표현식(17)으로 표현될 수 있다:

$$\phi = \frac{2\pi}{\lambda} (x \cos \theta + y \cos \theta)$$

[0946] ,

[0947] 여기서 ϕ 는 디스플레이 요소에 대한 해당 위상을 나타내고, λ 는 광의 파장을 나타내며, x 및 y 는 전역 3D 좌표계에서 디스플레이 요소의 좌표를 나타내고, θ 는 입사각에 대응하는 각도를 나타낸다.

[0948] 일부 예들에서, 홀로그램은 전역 3D 좌표계에 대해 디스플레이에 대해 구성 콘을 이동시킴으로써, 예를 들어 도 20b의 예시된 바와 같이, 구성 콘을 전역 3D 좌표계에 대해 디스플레이 표면에 대한 회전각만큼 회전시킴으로써 구성되며, 회전각은 입사각에 대응한다.

[0949] 일부 구현들에서, 제4 기술인, "0차 광 차단"과 관련하여 상기에 논의된 바와 같이, 디스플레이 0차 광이 홀로그래픽 장면에 나타나도록 차단된다. 홀로그래픽 장면에 대한 광 억제 효율은 100%일 수 있다.

[0950] 일부 예들에서, 광 차단 컴포넌트는 디스플레이 하류에 배열된다. 광 차단 컴포넌트는 복수의 마이크로구조 또는 나노구조를 포함할 수 있다. 광 차단 컴포넌트는 메타물질 층(예를 들어, 도 23a 내지 23b의 메타물질 층(2316)), 또는 루버 필름(예를 들어, 도 28의 이방성 트랜스미터)를 포함할 수 있다. 광 차단 컴포넌트는 미리 결정된 각도보다 작은 각도를 갖는 제1 광 빔을 투과시키고 미리 결정된 각도보다 큰 각도를 갖는 제2 광 빔을 차단시키도록 구성되며, 미리 결정된 각도는 입사각보다 작고 시야각의 절반보다 크다. 따라서, 도 23a 내지 23b에 예시된 바와 같이, 디스플레이 0차 광은 광 차단 컴포넌트에 의해 차단되고, 광의 회절된 제1 부분은 투과 효율로 광 차단 컴포넌트를 투과하여 홀로그래픽 장면을 형성한다. 투과 효율은 미리 결정된 비율, 예를 들어 50%, 60%, 70%, 80%, 90% 또는 99% 이상이다.

[0951] 일부 구현들에서, 프로세스(3400)는 광을 입사각으로 회절시키도록 구성된 기관 상의 광 회절 컴포넌트를 통해 광을 안내함으로써 디스플레이를 조명하도록 광을 안내하는 단계를 더 포함한다. 광 회절 컴포넌트는 도 19a의 아웃커플러(1914), 도 19b 또는 19c의 1964, 또는 도 24의 투과형 필드 격자 구조(2414)일 수 있다. 일부 예들에서, 광이 도파관 커플러(예를 들어, 도 19a의 인커플러(1916), 또는 도 19b 또는 19c의 1966)를 통해 광 회절 컴포넌트로 안내된다. 일부 예들에서, 광이 결합 프리즘(예를 들어, 도 21의 결합 프리즘(2111) 또는 도 23a 또는 23b의 2311)를 통해 광 회절 컴포넌트로 안내된다. 일부 예들에서, 광은 예를 들어 도 22에 예시된 바와 같이, 기관의 웨지형 표면을 통해 광 회절 컴포넌트로 안내된다.

[0952] 도 23a 또는 23b에 예시된 바와 같이, 광 회절 컴포넌트는 디스플레이에 대면하는 기관의 제1 표면 상에 형성되고, 광 차단 컴포넌트는 제1 표면에 대향하는 기관의 제2 표면 상에 형성된다.

[0953] 일부 구현들에서, 제5 기술인, "0차 광 방향 전환"과 관련하여 상기에 논의된 바와 같이, 광 방향 전환 컴포넌트가 디스플레이 하류에 배열되고, 광의 회절된 제1 부분을 투과시켜 홀로그래픽 장면을 형성하고, 홀로그래픽 장면으로부터 멀리 디스플레이 0차 광을 방향 전환시키도록 구성된다. 광 회절 컴포넌트는 도 24의 0차 방향 전환 격자 구조(2416), 도 26a의 2616, 도 26b의 2646, 도 26c 또는 26d의 2666, 도 26e의 2694, 도 27a의 2716, 도 27b 또는 27c의 2746, 도 28의 2816, 도 29의 2916, 도 30a의 3016 및 3018, 도 30b의 3046 및 3048, 도 31a의 3114, 3116, 및 3118, 도 31b의 3164, 3166-1, 3166-2, 및 3168, 또는 도 32의 3214, 3216, 및 3218, 또는 도 33의 3314, 3316 및 3318일 수 있다.

[0954] 광 방향전환 컴포넌트는 미리 결정된 각도와 동일한 각도를 갖는 제1 광 빔을 미리 결정된 각도와 다른 각도를 갖는 제2 광 빔보다 실질적으로 더 큰 회절 효율을 갖는 미리 결정된 각도로 회절시키도록 구성될 수 있으며, 미리 결정된 각도는 입사각과 실질적으로 동일하다. 광 방향 전환 컴포넌트는 브래그 격자와 같은 하나 이상의 홀로그래픽 격자를 포함할 수 있다.

[0955] 일부 구현들에서, 광 회절 컴포넌트는 디스플레이를 쪽으로 대면하는 기관의 제1 표면 상에 형성되며, 광 방향 전환 컴포넌트는 도 24 내지 33에 예시된 바와 같이, 제1 표면에 대향하는 기관의 제2 표면 상에 형성된다.

[0956] 광 방향 전환 컴포넌트는 디스플레이 0차 광이 상향 방향, 하향 방향, 좌측 방향, 우측 방향 또는 이들의 조합

중 적어도 하나를 따라 3차원(3D) 공간에서 홀로그래픽 장면 외부로 회절되도록 구성된다. 홀로그래픽 장면에 대한 광 억제 효율은 100%일 수 있다. 일부 예들에서, 도 26a에 예시된 바와 같이, 광의 입사각은 음수(예를 들어 공중에서 -6°)이고, 광 방향 전환 컴포넌트에 의해 회절된 디스플레이 0차 광의 회절각은 음수(예를 들어, 공중에서 -45°)이다. 일부 예들에서, 도 26b에 예시된 바와 같이, 광의 입사각은 양수(예를 들어 공중에서 $+6^\circ$)이고, 광 방향 전환 컴포넌트에 의해 회절된 디스플레이 0차 광의 회절각은 양수(예를 들어, 공중에서 $+45^\circ$)이다. 일부 예들에서, 도 26c 또는 26d에 예시된 바와 같이, 광의 입사각은 음수(예를 들어 공중에서 -6°)이고, 광 방향 전환 컴포넌트에 의해 회절된 디스플레이 0차 광의 회절각은 양수(예를 들어, 공중에서 $+45^\circ$)이다. 일부 예들에서, 광의 입사각은 양수(예를 들어 공중에서 $+6^\circ$)이고, 광 방향 전환 컴포넌트에 의해 회절된 디스플레이 0차 광의 회절각은 음수(예를 들어, 공중에서 -45°)이다.

[0957] 광 방향 전환 컴포넌트는 제2 기관(예를 들어, 도 26a의 커버 유리(2618))에 의해 덮일 수 있다. 광 방향 전환 컴포넌트는 디스플레이 0차 광을, 제2 기관의 측면 또는 기관의 측면 중 적어도 하나에 형성된, 광학 흡수체(예를 들어, 도 26a의 광학 흡수체(2619) 또는 도 26b의 2649)로 방향 전환시키도록 구성될 수 있다. 제2 기관은 광 방향 전환 컴포넌트에 대항하는 제2 기관의 표면 상의 반사 방지(AR) 코팅(예를 들어, 도 26d의 AR 코팅(2682))을 포함할 수 있다. 반사 방지 코팅은 디스플레이 0차 광의 프레넬 반사를 방지하기 위해 디스플레이 0차 광을 투과시키도록 구성된다. 반사 방지 코팅은 또한 뷰어로부터의 주변 광의 반사 및 제2 기관의 뷰어 대면 전면(예를 들어 도 26d의 AR 코팅(2682))으로부터 반사된 환경을 제거하거나 감소시키도록 구성될 수 있다. 최종 AR 코팅은 뷰어 측 공중으로의 최종 전이의 특성에 따라 달라지는 본원에 설명된 제5 기술의 코팅을 방해하지 않도록 설계될 수 있다. 전면으로부터의 프레넬 반사를 방지하면 뷰어가 자신 및 전면에 의해 미러링된 실내 조명을 볼 수 없도록 한다. 광학 장치 내의 더 깊은 표면은 상대적으로 작은 굴절률 변화 및 이에 따른 관찰자 및 뷰어로 다시 향하는 실내 조명의 최소한의 프레넬 반사만을 포함하거나, 표면은 또한 AR 코팅될 수 있거나, 디스플레이의 후방 반사기의 경우에서와 같이, 표면은 주변 조명이 이중 통과하여 감쇠될 수 있는 선형 편광기와 같은 다수의 흡수층 뒤에 있으며, 이러한 효과는 0.2 내지 1.0의 누적 광학 밀도를 갖는 재료층을 장치 내에 추가하거나 통합함으로써 향상될 수 있다.

[0958] 일부 구현들에서, 디스플레이 0차 광은 제2 기관에 도달하기 전에 p 편광된다. 도 27a에 예시된 바와 같이, 광 방향 전환 컴포넌트는 디스플레이 0차 광이 제2 기관을 통해 완전히 투과하도록 제2 기관과 주변 매질(예를 들어, 공기) 사이의 경계 상에 브루스터 각도로 입사되도록 디스플레이 0차 광을 회절시키도록 구성될 수 있다.

[0959] 일부 구현들에서, 디스플레이 0차 광은 제2 기관에 도달하기 전에 p 편광된다. 프로세스(3400)는 디스플레이 0차 광의 편광 상태를 s 편광에서 p 편광으로 변환시키는 단계를 더 포함할 수 있다. 일부 예들에서, 디스플레이 0차 광의 편광 상태를 변환시키는 것은 디스플레이에 대해 광 방향 전환 컴포넌트의 상류에 배열된 광학 리타더(예를 들어, 도 27b의 광학 리타더(2747))(및 선택적으로는 선형 편광기)에 의한 것이다. 일부 예들에서, 디스플레이 0차 광의 편광 상태를 변환시키는 것은 디스플레이에 대해 광 방향 전환 컴포넌트의 하류에 배열된 광학 리타더(예를 들어, 도 27c의 광학 리타더(2747))(및 선택적으로는 선형 편광기)에 의한 것이다. 광학 리타더는 광 방향 전환 컴포넌트의 대향면에 있는 제2 기관의 일면 상에 형성될 수 있으며, 광학 리타더는 제3 기관(예를 들어, 도 27c의 리타더 커버 유리(2762))에 의해 덮일 수 있다.

[0960] 일부 구현들에서, 도 28에 예시된 바와 같이, 광 차단 컴포넌트는 광 방향 전환 컴포넌트에 대항하는 제2 기관의 일 면 상에 형성된다. 광 차단 컴포넌트는 광의 회절된 제1 부분을 투과시키고 광 방향 전환 컴포넌트에 의해 회절된 디스플레이 0차 광을 흡수하도록 구성된다. 일부 예들에서, 광 차단 컴포넌트는 미리 결정된 각도보다 작은 각도로 제1 광 빔을 투과시키고 미리 결정된 각도보다 큰 각도로 제2 광 빔을 흡수하도록 구성된 이방성 트랜스미터(예를 들어, 도 28의 이방성 트랜스미터(2820))를 포함한다. . 미리 결정된 각도는 시야각의 절반보다 크고 디스플레이 0차 광이 광 방향 전환 컴포넌트에 의해 회절되는 회절각도보다 작다.

[0961] 일부 구현들에서, 도 29에 예시된 바와 같이, 광 방향 전환 컴포넌트는 광 회절 컴포넌트에 의해 회절된 디스플레이 0차 광이 경계에서 전반사되도록, 제2 기관과 주변 매질 사이의 경계 상에 입계 각도보다 큰 각도로 입사되도록 디스플레이 0차 광을 회절시키도록 구성된다. 광학 흡수체(예를 들어, 도 29의 광학 흡수체(2920))는 기관 및 제2 기관의 측면에 형성될 수 있고 전반사된 디스플레이 영차 광을 흡수하도록 구성될 수 있다.

[0962] 일부 구현들에서, 도 30a 내지 33에 예시된 바와 같이, 광은 복수의 상이한 색상의 광을 포함하며, 광 회절 컴포넌트는 디스플레이 상에서 입사각으로 복수의 상이한 색상의 광을 회절시키도록 구성된다. 광 방향 전환 컴포넌트는 복수의 상이한 색상의 광 각각에 대한 각각의 광 방향 전환 서브컴포넌트를 포함한다.

[0963] 일부 구현들에서, 도 30b에 예시된 바와 같이, 복수의 상이한 색상의 광에 대한 각각의 광 방향 전환 서브컴포

넛트는 동일한 기록 구조에 기록되거나, 박막 광학 굴절, 접촉 또는 접촉층에 의해서만 인접 및 분리되는 기록 구조에 기록된다. 일부 구현들에서, 도 30a, 31a, 31b, 32, 33에 예시된 바와 같이, 복수의 상이한 색상의 광에 대한 각각의 광 방향 전환 서브컴포넌트는 커버 유리에 의해 분리될 수 있는 상이한 대응하는 기록 구조에 기록된다.

[0964] 광 방향 전환 컴포넌트는 3D 공간에서 서로 다른 방향을 향해 서로 다른 회절각으로 복수의 상이한 색상의 광을 회절시키도록 구성될 수 있다. 일부 예들에서, 도 31a 내지 31b에 예시된 바와 같이, 광 방향 전환 컴포넌트는 경계에서 적어도 하나의 브루스터 각도로 입사되도록 복수의 상이한 색상의 광 중 적어도 하나를 회절시키도록 구성된다. 경계는 상부 기관과 주변 매질 사이의 경계 또는 2개의 인접한 기관 사이의 경계 중 하나를 포함할 수 있다.

[0965] 일부 구현들에서, 도 32에 예시된 바와 같이, 광 방향 전환 컴포넌트는 평면 내에서 제1 색상의 광(예를 들어, 청색) 및 제2 색상의 광(예를 들어, 적색), 및 평면에 직교하는 제3 색상의 광(예를 들어, 녹색)을 회절시키도록 구성된다.

[0966] 일부 구현들에서, 도 31b에 예시된 바와 같이, 광 방향 전환 컴포넌트는 복수의 상이한 색상의 광 중 동일한 색상의 광을 회절시키도록 구성된 적어도 2개의 상이한 광 방향 전환 서브컴포넌트(예를 들어, 도 31b의 방향 전환 격자(3166-1, 3166-2))를 포함한다. 2개의 상이한 광 방향 전환 서브컴포넌트는 광 방향 전환 컴포넌트에 순차적으로 배열될 수 있다.

[0967] 디스플레이를 조명하기 위해 광을 안내하는 것은 일련의 시간 기간에서 디스플레이를 조명하기 위해 복수의 상이한 색상의 광을 순차적으로 안내하는 것을 포함할 수 있다. 일부 구현들에서, 도 33에 예시된 바와 같이, 광 방향 전환 컴포넌트는 제1 시간 기간의 전부, 부분 또는 부분들 동안 제1 상태에서 제1 색상의 광을 회절시키도록 구성된 전환 가능한 광 방향 전환 서브컴포넌트(예를 들어, 도 33의 전환 가능한 녹색 방향 전환 격자(3316))를 포함할 수 있으며, 제2 시간 기간의 전부, 부분 또는 부분들 동안 제2 상태에서 제2 색상의 광을 투과시킨다.

[0968] 일부 구현들에서, 전환 가능한 광 방향 전환 서브컴포넌트는 제1 시간 기간의 전부, 부분 또는 부분들 동안 제1 상태에서 제1 색상의 광을 회절시키고, 제2 시간 기간의 전부, 부분 또는 부분들 동안 제2 상태에서 제2 색상의 광을 회절시키도록 구성된다.

[0969] 복수의 상이한 색상의 광은 제1 색상의 광 및 제2 색상의 광을 포함할 수 있으며, 제1 색상의 광은 제2 색상의 광보다 더 짧은 파장을 갖는다. 광 방향 전환 컴포넌트에서, 도 30a 내지 33에 예시된 바와 같이, 제1 색상의 광에 대한 제1 광 방향 전환 서브컴포넌트는 제2 색상의 광에 대한 제2 광 방향 전환 서브컴포넌트보다 디스플레이에 더 가깝게 배열될 수 있다.

[0970] 일부 구현들에서, 적어도 2개의 상이한 색상의 광에 대한 적어도 2개의 광 방향 전환 서브컴포넌트의 프린지 평면은 실질적으로 다르게 배향된다.

[0971] 일부 구현들에서, 광 방향 전환 컴포넌트는, 제1 색상의 광을 회절시키도록 구성된 제1 광 방향 전환 컴포넌트, 제2 색상의 광을 회절시키도록 구성된 제2 광 방향 전환 컴포넌트, 및 제1 및 제2 광 방향 전환 서브컴포넌트 사이에 배열되고 제1 색상의 광이 제2 광 방향 전환 컴포넌트를 투과하도록 제1 색상의 광의 편광 상태를 변환시키도록 구성된 적어도 하나의 광학 리타더(및 선택적으로는 선형 편광기)를 포함한다.

[0972] 광의 반사된 제2 부분은 입사각과 동일한 반사각을 가지며 홀로그래픽 장면 외부로 전파된다. 일부 예들에서, 시야각(θ_a)의 절반은 -10° 내지 10° 의 범위 또는 -5° 내지 5° 범위 내에 있다. 일부 예들에서, 입사각은 -6° 또는 6° 이다.

[0973] 일부 구현들에서, 광 방향 전환 컴포넌트는 디스플레이 0차 광이 변경되지 않고 통과하도록 허용하고, 광의 회절된 제1 부분을 방향 전환시켜 디스플레이 0차 광으로부터 떨어져 있는 미리 결정된 각도를 갖는 콘 또는 절두체에 대응하는 홀로그래픽 장면을 형성하도록 구성된다.

[0974] 일부 구현들에서, 광 방향 전환 컴포넌트는 디스플레이 0차 광을 제1 방향으로 방향 전환시키고 광의 회절된 제1 부분을 제1 방향으로부터 떨어진 제2 방향으로 방향 전환시키도록 구성된다. 예를 들어, 광의 회절된 제1 부분은 기관의 췌기형 표면에 수직하도록 방향 전환될 수 있고, 디스플레이 0차 광은 임계각 이상으로 췌기형 표면에 충돌하여 다시 기관으로 내부 전반사(TIR)를 겪을 수 있다.

[0975] 재구성된 3차원 객체 디스플레이하는 추가 양태

[0976] 본 개시의 구현은 홀로그래픽 광 필드(예를 들어, 도 5a의 홀로그래픽 광 필드(518), 도 5b의 528, 도 5c의 538, 도 5d의 548, 도 5e의 568, 도 5f의 578, 도 5h, 5i, 5j 또는 5k의 599-1 또는 599-2, 도 24의 2422, 도 26a의 2622, 도 26b의 2632, 도 26c, 26d 또는 26e의 2652, 도 27a의 2702, 도 27b 또는 27c의 2732, 도 28의 2802, 도 29의 2902, 도 30a 또는 30b의 3022, 도 31a 또는 31b의 3122, 또는 도 32의 3220, 3222, 3224)에서 재구성된 3차원(3D) 객체를 디스플레이하기 위한 디스플레이 시스템을 제공한다. 본원에 설명된 기술은 홀로그래픽 광 필드의 하나 이상의 특성(예를 들어, 크기 또는 0차 역제)을 개선하여, 예를 들어 더 큰 반사형 디스플레이를 사용하고, 더 큰 격자를 사용하고 및/또는 입력 광을 제어함으로써 디스플레이 시스템의 성능을 향상시킬 수 있다. 예시 목적으로만, 기술은 도 31a의 시스템(3100)을 참조하여 논의된다.

[0977] 제1 예시적인 방법 - 더 큰 반사형 디스플레이 사용

[0978] 도 31a의 홀로그래픽 광 필드(3122)의 크기를 증가시키는 한 가지 방법은 더 큰 반사형 디스플레이(3104) 및 빔 각도가 변경되지 않은 비례적으로 더 큰 기관(3111)을 사용하여 동일한 광학 기하학적 형상을 구축하는 것이다.

[0979] 반사형 디스플레이(3104)의 선형 범위가 증가함에 따라, 기관(3111)의 전면 영역은 반사형 디스플레이(3104)의 선형 범위 증가분의 제공으로 증가한다. 빔 각도 및 빔 분포가 변경되지 않는 경우, 기관(3111)의 두께는 반사형 디스플레이(3104)의 선형 범위가 증가함에 따라 증가한다. 결과적으로, 기관(3111)의 체적은 반사형 디스플레이(3104)의 선형 범위 증가의 세제곱으로 증가할 수 있다. 예를 들어, 반사형 디스플레이(3104)의 너비 대 높이 종횡비 및 기관(3111)의 비례적 두께를 동일하게 유지하면서 반사형 디스플레이(3104)의 폭을 두 배로 하고, 기관(3111)의 전면 영역을 4배로 늘리고 기관(3111)의 체적을 8배로 증가시킨다. 결국 기관(3111)의 큰 두께와 높은 비용은 바람직하지 않게 될 수 있는데, 예를 들어 기관(3111)이 상당한 내포물, 흡수, 산란, 복굴절 및/또는 기타 눈에 보이는 광학 결함 또는 결점이 실질적으로 없는 광학 등급 투명도를 유지하는 것이 바람직할 수 있기 때문이다.

[0980] 기관(3111)의 무게 또한 바람직하지 않게 될 수 있다. 예를 들어, 기관(3111)은 반사형 디스플레이(3104) 높이의 약 20%의 두께를 가질 수 있다. 일 예로서, 종횡비가 16:9(컴퓨터 모니터의 경우 일반적인 치수)인 686mm(27") 대각선 반사형 디스플레이(3104)의 경우, 기관(3111)은 598mm x 336mm x 68mm 이상의 치수를 가질 수 있다. 이러한 기관(3111)이 1.17 내지 1.20g/cm³의 밀도를 갖는 아크릴의 고체 블록으로 제조된 경우, 기관(3111)의 무게는 적어도 16kg(35파운드)이 될 수 있다. 16:9 종횡비를 갖는 유사한 1,650mm(65") 대각선 반사형 디스플레이(3104)의 경우, 기관(3111)은 두께가 최소 165mm이고 무게는 최소 225kg(495파운드)일 수 있으며, 이는 배송, 설치 및 이동이 어려울 수 있다. 이러한 아크릴 블록의 장착 및 지지 구조도 크고 무거울 수 있다.

[0981] 또한, 홀로그래픽 광 필드(3122)의 전부 또는 일부가 최종 커버 유리(3113) 앞의 시야 공간으로 투사되는 경우, 홀로그래픽 광 필드(3122)가 전면 커버 유리(3113)(예를 들어, 대각선이 1,650mm인 반사형 디스플레이(3104) 앞에서 165mm 이상)보다 더 앞쪽에 비례적으로 위치하는 것이 바람직할 수 있다. 이는 시야와 해상도를 감소시킬 수 있다. 더 작은, 0 또는 음의 z축 변환이 적용되는 경우, 홀로그래픽 광 필드(3122)는 전면 커버 유리(3113)의 전면 뒤에 더 깊게 나타날 수 있다.

[0982] 위의 문제를 해결하기 위해, 기관(3111)은 더 얇게 만들 수 있으며, 이는 질량, 비용을 줄이고, 기관이 z 위치 및 시야에 대한 제약을 덜 받게 할 수 있다.

[0983] 일부 실시예들에서, 기관(3111)은 더 낮은 밀도 및/또는 기관(3111)에 들어가고, 내부에 들어가고, 나가는 빔에 대해 보다 극단적인 각도 및 빔 각도 변화를 허용하는 굴절률을 갖는 재료로 만들어질 수 있다. 예를 들어, 액체로 채워진 기관(3111)은 아크릴의 굴절률보다 더 작을 수 있는(예를 들어, 17% 내지 20% 더 작을 수 있는) 굴절률을 갖는 액체(예를 들어, 물 또는 오일)과 함께 사용될 수 있다. 액체는 탱크에 동봉될 수 있으며, 이는 탱크를 비운 상태로 운반한 다음 현장에서 채울 수 있기 때문에 특정 잠재적 배송 및 설치 문제를 해결하는 데 도움이 될 수 있다.

[0984] 특정 실시예들에서, 기관(3111)로 굴절되는 입력 광(3120)의 각도는 입력 광(3120)의 하나 이상의 파장에 대해 증가될 수 있다. 이는 예를 들어 반사형 디스플레이(3104)의 동일한 영역을 조명하기 위해 입력 광(3120)을 위한 비교적 얇은 기관(3111)의 사용을 허용할 수 있다. 일부 경우에, 특정 회절 효율을 달성하기 위해 및/또는 원하는 임계각 특성을 충족시키기 위해 각도(들)를 선택하는 것이 바람직할 수 있다.

[0985] 일부 실시예들에서, 기관(3111)은 예를 들어 도 12b의 기관(1252) 및 도 12c의 기관(1272)과 유사하게 웨지될

수 있어서, 필드 격자(3112)에 대한 입력 광(3120)의 입사각이 상대적으로 클 수 있다.

[0986] 특정 실시예들에서, 2개 이상의 조명기가 반사형 디스플레이(3104)의 상이한 영역을 예를 들어 각각 상부 및 하부 방향으로부터 조명하는 데 사용될 수 있다. 예를 들어, 기관(3111)의 제1 에지면(예를 들어, 기관(3111)의 하부 에지면)에 제1 입력 광(3120)을 제공하는 제1 조명기(3106)는 반사형 디스플레이(3104)의 제1 영역(예를 들어, 하반부)만을 조명하는 데 사용될 수 있다. 제2 입력광(제1 입력광(3120)과 유사할 수 있음)을 기관(3111)의 제2 에지면(예를 들어, 기관(3111)의 상부 에지면)에 제공하는 제2 조명기(제1 조명기(3106)와 유사할 수 있음)는 반사형 디스플레이(3104)의 제2 영역(예를 들어, 상반부)만 조명하는 데 사용될 수 있다. 이러한 배열은 기관(3111)이 상대적으로 얇아지도록 하면서(예를 들어, 기관(3111)의 두께가 절반이 되도록 하면서) 반사형 디스플레이(3104)가 완전히 조명되도록 할 수 있다. 선택적으로, 기관(3111)의 서로 다른 대응 에지면(예를 들어, 기관(3111)의 왼쪽 및 오른쪽 에지면)을 통해 각각 들어가는 3개, 4개 이상의 입력 광은 각각 반사형 디스플레이(3104)의 영역들(예를 들어, 각각 좌측 영역 및 우측 영역)을 조명하는 데 사용될 수 있다.

[0987] 일부 실시예들에서, 입력 광은 상이한 광학 경로를 따라 반사형 디스플레이(3104)의 상이한 영역을 조명할 수 있다. 예를 들어, 기관(3111)의 에지면(예를 들어, 기관(3111)의 하부 에지면)에 제1 입력 광(3120)을 제공하고 투과형 필드 격자(3112)를 직접 조명하는 제1 조명기(3106)는 기관(3111)의 에지면(이는 제1 입력 광에 의해 사용된 것과 동일한 에지면일 수 있음)에 제2 입력 광을 제공하는 제2 조명기와 조합하여 사용될 수 있지만, 제2 입력 광은 처음에 방향 전환 격자(3114)를 향해 전방으로 향하고 이후 투과형 필드 격자(3112)를 향해 다시 반사되어 제1 입력 광이 반사형 디스플레이(3104)의 제1 영역(예를 들어, 상반부)을 조명하고 제2 입력 광은 반사형 디스플레이(3104)의 제2 인접 영역(예를 들어, 하반부)을 조명하도록 한다. 제2 입력 광의 이러한 반사는 (예를 들어, 기관(3111)과 방향 전환 격자(3114) 사이의 경계에 의해) 방향 전환 격자(3114)의 표면에서 또는 그 이전의 내부 전반사(TIR) 또는 반사형 격자를 사용함으로써 달성될 수 있다. 대안으로, 부분 반사 표면(예를 들어, 50:50 또는 경사 또는 패턴 빔 스플리터)은 기관(3111) 내의 단일 입력 광(3120)을, 예를 들어, TIR 또는 방향 전환 격자(3114) 이전의 표면에 있는 반사 격자에 의해, 감소된 광 출력으로 투과형 필드 격자(3112)로 직접 진행하는 제1 빔 및 투과형 필드 격자(3112)로부터 초기에 진행하고 이어서 투과 필드 격자(3112)를 향해 다시 향하는 제2 빔을 포함하는, 두 개의 빔으로 분할하기 위해 기관(3111)에 통합될 수 있다.

[0988] 특정 실시예들에서, 투과형 필드 격자(3112)의 회절 효율은 입력 광(3120)이 투과형 필드 격자(3112)의 서브 영역을 처음 만날 때, 입력 광(3120)의 선택된 백분율만이 반사형 디스플레이(3104) 쪽으로 회절되는 반면, 나머지 입력 광(3120)의 전부 또는 일부가 기관(3111)으로 다시 반사되도록 패턴될 수 있다. 기관(3111)에서 반사된 입력 광(3120)은 TIR 오프에 의해 추가로 반사되며, 예를 들어 기관(3111)의 전면은 반사형 디스플레이(3104) 쪽으로 제2 부분을 결합하는 투과형 필드 격자(3112)의 제2 서브 영역 쪽으로 다시 반사되어 투과형 필드 격자(3112)의 이러한 두 영역이 반사형 디스플레이(3104)의 대응하는 두 서브 영역을 실질적으로 유사한 광 출력으로 조명하도록 회절 효율이 조정된다. 위의 프로세스는 투과형 필드 격자(3112)의 3개 이상의 서브 영역 및 이에 따라 반사형 디스플레이(3104)의 3개 이상의 해당 서브 영역으로 확장될 수 있다.

[0989] 일부 실시예들에서, 처음에 반사형 디스플레이로 회절되지 않은 광은 반사형 디스플레이를 조명하기 위해 재순환된다. 예를 들어, 투과형 필드 격자(3112)의 회절 효율은 입력 광(3120)이 투과형 필드 격자(3112)의 제1 서브 영역을 처음 만날 때, 이러한 입력 광(3120)의 선택된 백분율만이 반사형 디스플레이(3104) 쪽으로 회절되는 반면, 나머지 입력 광(3120)의 전부 또는 일부가 기관(3111)으로 다시 반사되도록 패턴될 수 있다. 반사된 입력 광(3120)은 결국 (예를 들어, 기관(3111) 내의 TIR에 의해 또는 직접 경로를 통해) 기관(3111)의 에지면에 부착되거나 그에 후속하는 반사형 요소(예를 들어, 도 12b의 흡수체(1203) 대신에 미러 또는 반사형 격자)로 나아갈 수 있으며, 기관(3111)을 통해 다시 반사되어 투과형 필드 격자(3112)의 제1 서브 영역 또는 투과형 필드 격자(3112)의 제2 서브 영역을 (직접 또는 추가 TIR 또는 회절 방향 전환 후) 재조명하되, 투과형 필드 격자(3112)의 서브 영역이 반사형 디스플레이(3104) 쪽으로 이를 회절시킨다.

[0990] 일부 실시예들에서, 반사형 디스플레이(3104)의 서브 영역 각각은 개별 디스플레이 장치(예를 들어, LCoS) 또는 임의의 다른 반사형 디스플레이 장치로 구성되며, 반사형 디스플레이(3104)는 더 작은 디스플레이 장치의 타일형 어레이로 형성된다. 이는 회절 효율의 차이, 이에 따른 투과형 필드 격자(3112)의 각 서브 영역에 대한 장치 조명의 차이가 다른 반사율을 갖는 이러한 더 작은 디스플레이 장치를 동작시킴으로써 보상되도록 할 수 있다.

[0991] 특정 실시예들에서, 반사형 디스플레이의 너비 대 높이의 상대적으로 높은 종횡비는 홀로그래픽 광 필드의 크기를 증가시키는 데 사용된다. 기관(3111)의 두께는 일반적으로 반사형 디스플레이(3104)의 조명 높이에 따라 달라지지만 반사형 디스플레이(3104)의 조명 폭에 따라서는 달라지지 않기 때문에, 기관(3111)의 두께는 반사형

디스플레이(3104)의 종횡비가 증가되어 그 폭이 그에 상응하는 높이 증가 없이 증가되는 경우 증가할 필요가 없다. 예를 들어, 너비:높이의 16:9 종횡비 대신, 20:9 종횡비를 사용될 수 있다. 이러한 방식으로 반사형 디스플레이(3104)의 종횡비를 증가시키면 홀로그래픽 광 필드의 크기가 증가할 수 있는데, 그 이유는 뷰어가 일반적으로 주로 수평 배열로 두 개의 눈을 가지고 있어 입체영상(stereopsis)를 제공하기 때문이다.

[0992] 일부 경우에, 여러 뷰어들이 홀로그래픽 광 필드 디스플레이를 동시에 관찰할 때, 뷰어는 나란히 위치될 가능성이 높으므로(한 사람이 다른 사람의 머리 너머로 보는 대신), 높은 종횡비로 제공되는 더 넓은 시야는 그룹 시청에 적합할 수 있다. 또한, 경험적으로 홀로그래픽 광 필드의 대부분의 뷰어(예를 들어, 캐주얼 뷰어)는 머리를 위아래보다는 좌우로 움직일 가능성이 더 높으므로, 다시 더 넓은 폭으로 더 높은 종횡비를 구현하여 시스템의 성능을 향상시킬 수 있다.

[0993] 일부 경우에, 유용하고 만족스러운 홀로그래픽 광 필드 디스플레이는 매우 높은 종횡비(스트립 또는 슬릿 디스플레이)를 가질 수 있다. 예를 들어 격자(3112, 3114, 3116, 3118)가 수평 방향으로 타일링되는 경우, 더 넓은 종횡비는 비교적 얇은 기관(3111)으로 달성될 수 있다.

[0994] 일반적으로, 반사형 디스플레이(3104)(따라서 기관(3111) 및 격자(3112, 3114, 3116 및 3118))의 종횡비에 관계없이, 입력 광(3120)의 폭이 반사형 디스플레이(3104)의 폭 (및 기관(3111) 및 격자(3112, 3114, 3116 및 3118)의 폭)을 조명하기에 충분한 것이 바람직하다. 반사형 디스플레이(3104)의 낮은 종횡비의 경우, 입력 광(3120)은 조명기(3106)로부터 충분히 큰 원형 또는 타원형 빔 프로파일을 마스킹하거나 아니면 잘라냄으로써 구현될 수 있는, 약간 확장된 직사각형 프로파일 또는 단면(또는 심지어 정사각형 프로파일 또는 단면)을 가질 수 있다.

[0995] 제2 예시적인 방법 - 더 큰 격자 사용

[0996] 반사형 디스플레이(3104) 및 기관(3111)이 확대되는 경우, 투과형 필드 격자(3112) 및 디스플레이 0차 방향 전환 격자(3114, 3116 및 3118)도 일치하도록 확대될 수 있다.

[0997] 일부 실시예들에서, 투과형 필드 격자(3112)는 두 개 이상의 영역으로 분할될 수 있으며, 각각은 위에서 언급된 바와 같이 기관(3111)의 서로 다른 예지면을 통해 기관(3111)에 들어가는 입력 광을 활용한다.

[0998] 특정 실시예들에서, 더 큰 격자(3112, 3114, 3116 및 3118)는 각각의 생산 시스템의 해당 광학 요소 및 기록 재료를 확대하여 생산될 수 있다.

[0999] 일부 실시예들에서, 더 큰 격자(3112, 3114, 3116 및 3118)는 타일 광학 기록에 의해 생성될 수 있으며, 격자 각각의 서브 영역은 단계별 반복 프로세스에서 더 작은 광학 요소 및 전체 크기 기록 재료를 사용하여 순차적으로 기록될 수 있다. 이는 종종 상대적으로 저렴한 더 작은 광학 컴포넌트의 사용을 허용할 수 있다. 추가로 또는 대안으로, 이는 상대적으로 저렴한 기록 레이저 소스 및/또는 이러한 소스를 제공할 수 있는 상대적으로 넓은 범위의 레이저 기술, 파장 및 벤더를 사용할 수 있는 낮은 기록 전력의 사용을 허용할 수 있다. 이러한 타일형 격자는 또한 다수의 입력 광을 사용하여 투과형 필드 격자(3112)를 확대하기 위한 다수의 영역을 제공하는 데 사용될 수 있다.

[1000] 격자의 타일형 서브 영역의 예지는 격자의 서브 영역 사이에 약간의 간격을 두고 서로 접할 수 있다. 선택적으로, 서브 영역은 매끄럽게 결합되거나, 서브 영역이 약간 또는 상당히 중첩될 수 있다. 이러한 접근 방식의 조합이 가능하다. 일부 경우에, 약간의 겹은 보이지 않거나 뷰어에게 낮은 가시성을 가질 수 있다. 예를 들어, 홀로그래픽 광 필드(3122)가 뷰어로부터 격자의 광학적 거리를 포함하지 않는 뷰어로부터의 광학적 거리를 점유할 때, 뷰어의 눈이 홀로그래픽 광 필드(3122)에 포커싱될 때 겹은 초점이 맞지 않을 수 있다. 특정 경우에, 약간의 중첩은 뷰어에게 거의 또는 전혀 가시성을 갖지 않을 수 있다. 격자의 2개의 서브-영역 사이의 상당한 중첩(예를 들어, 50% 중첩)은 타일링의 가시성을 완화 및/또는 감소시키고 및/또는 중첩된 격자의 순 균일성을 향상시키도록 구현될 수 있다.

[1001] 일부 경우에, 격자의 타일 서브 영역 사이의 이러한 약간의 겹 또는 중첩의 가시성을 줄이기 위해, 격자의 서브 영역은 더 작은 디스플레이 장치의 타일형 어레이로서 반사형 디스플레이(3104)를 형성하는 더 작은 디스플레이 장치 사이의 겹과 정렬될 수 있다.

[1002] 일부 경우에, 큰 틈이나 겹치는 부분이 없는 효과적으로 이음새가 없는 격자는 서브 영역에 대한 격자를 기록할 때 기록 기준 및/또는 대상해 빔의 광학계에 하나 이상의 예지 정의 요소(예를 들어, 정사각형, 직사각형 또는 평면 타일링 개구)를 포함함으로써 그리고 격자 또는 격자들의 기록 동안 기록 재료 내에서 예지가 실질적으로

예리한 초점에 있도록 형성된 예지 또는 예지들을 투사 또는 제이미징함으로써 구현될 수 있다. 선명하게 잘 정의된 예지는 또한 예를 들어, 서브 영역에 대한 격자를 기록할 때 기록 기준 및/또는 대상체 빔의 광학계에서 반사형 또는 투과형 위상 마스크를 사용하여 달성될 수 있다.

[1003] 일부 실시예들에서, 더 큰 격자(3112, 3114, 3116 및 3118)는 광학적 수단이 아닌 기계적 수단(예를 들어, 엠보싱, 나노 임프린트 또는 자기 조립 구조)를 사용하여 생성될 수 있으며, 이러한 기계적으로 생성된 격자는 또한 예를 들어 롤투롤(roll-to-roll) 시스템의 롤러 엠보싱을 사용하여 하나 이상의 차원으로 타일링될 수 있다.

[1004] 제3 예시적인 방법 - 입력 광 제어

[1005] 상기에 논의된 바와 같이, 반사형 디스플레이(3104)의 종횡비가 증가됨에 따라, 입력 광(3120)에 대한 더 확장된 직사각형 프로파일이 바람직할 수 있고, 조명기(3106)로부터의 더 타원형 빔 프로파일도 바람직할 수 있다. 많은 레이저 다이오드가 타원형 빔을 생성하기 때문에, 일부 경우에, 조명기(3106)로부터의 원하는 빔 프로파일은 조명기(3106) 내의 레이저 다이오드 소스의 타원율을 회전시킴으로써(예를 들어, 조명기(3106) 내의 레이저 다이오드 소스를 기계적으로 또는 광학적으로 회전시킴으로써) 구현될 수 있다.

[1006] 많은 레이저 다이오드가 실질적으로 편광된 광을 방출하고 광학 장치(3110(의 특정 다른 컴포넌트가 특정 편광 방향에 대해 더 잘 수행할 수 있기 때문에(예를 들어, 특정 편광 방향이 필요할 수 있기 때문에)), 조명기(3106) 내에서 광원의 타원율 및 편광 방향을 독립적으로, 광과장 대역 반과 리타더를 사용하여 모든 입력 광(3120)의 편광을 회전시키거나 개별 광과장 대역 반과 리타더를 사용하여 입력 광(3120)의 각 색상의 편광을 개별적으로 회전시킴으로써, 회전시키는 것이 바람직할 수 있다. 입력 광(3120)의 프로파일 또는 단면은 폭과 높이 모두 상당히 광범위할 수 있으므로, 중합체 과장판 또는 액정 과장판과 같은 저가형 반과장판이 예를 들어 석영으로 제조된 고가형 반과장판보다 더 적합할 수 있다.

[1007] 일부 실시예들에서, 입력 광(3120)의 균일성은 광학 요소 또는 프로파일 변환기의 아포다이징(예를 들어, 렌즈 또는 홀로그램 광학 요소(HOE)와 같은 광학 요소의 배열 또는 실시를 위한 로드(rod) 통합, 예를 들어, 가우시안에서 탭헛으로 및/또는 원형에서 직사각형으로의 변환)을 사용하여, 또는 편광 재순환 요소를 사용하여 개선될 수 있다.

[1008] 특정 실시예들에서, 애너모픽 광학계가 구현될 수 있다. 반사형 디스플레이(3104)의 종횡비는 입력 광(3120)의 원하는 애너모피시티(anamorphicity) 정도가 조명기(3106)의 비용 효율적인 광원에 의해 마스크 오프 없이 편리하게 제공될 수 있는 임계 정도를 초과하여 따라서 허용할 수 없는 비율의 광원 전력을 낭비할 수 있는 정도로 증가될 수 있다. 이러한 경우에, 입력 광(3120)의 폭은 애너모픽 광학계, 예를 들어 애너모픽 렌즈 또는 원통형 렌즈, 또는 애너모픽 또는 원통형 렌즈 또는 미러로서 기능하는 HOE의 사용에 의해 더 증가될 수 있다.

[1009] 예시적인 시스템

[1010] 도 35a 내지 35c는 재구성된 3D 객체를 디스플레이하기 위한 예시적인 시스템을 예시한다. 도 36a 내지 36c는 세 가지 색상의 광(예를 들어, 적색, 녹색, 청색)이 시스템(3500)을 통해 전파되는 것을 제외하면, 각각 도 35a 내지 35c와 동일한 시스템(3500)의 동일한 도면을 도시한다.

[1011] 조명기(3501S)(예를 들어, 적색, 녹색 및 청색과 같은 3가지 상이한 색상을 위한 3개의 레이저 다이오드로 제조됨)로부터의 실질적으로 동축인 타원형 빔(3501)(도 36a에 예시된 바와 같음)의 직사각형 섹션은 미러(3502)로부터 반사된 다음 프리즘 요소(3504)의 제1 면(3503)으로 굴절된다. 빔(3501)은 도 36a에 예시된 바와 같이, 상부 빔과 하부 빔 사이에 정의된 폭을 갖는다. 프리즘 요소(3504)로 굴절된 상이한 색상의 광 빔은 제1 방향(예를 들어, 도 36a에 예시된 바와 같음)을 따라 함께 적층될 수 있고, 제2 방향(예를 들어, 도 36a에 예시된 바와 같음)을 따라 서로 이격(또는 중첩)될 수 있다. 프리즘 요소(3504)의 제2 표면(3505)은 하나 이상의 투과형 확장 격자(3507)가 광학적으로 적층된(일반적으로, 색상당 하나의 격자) 프리즘 요소(3504)의 제3 표면(3506)으로 빔을 반사시킨다. 각각의 확장 격자는 프리즘 요소(3504) 내에서 상대적으로 높은 입사각(예를 들어, 68°)으로 대응하는 색으로 조명되고, 일련의 반사기(3508) 쪽으로 조명 광의 일부를 회절시키도록 구성된다. 실제로, 격자(3507)는 레이저 다이오드로부터의 광 빔(3501)의 원래의 직사각형 단면을 한 차원(예를 들어, 도 36a에 예시된 바와 같은 폭)에서 상당한 팩터(예를 들어, 대략 6의 팩터)만큼 확장한다. 프리즘 요소(3504)로 다시 제3 표면(3506) 및/또는 확장 격자(3507) 및/또는 확장 격자(3507)에 적용된 커버층에 의해 반사된 광 빔은 프리즘 요소(3504)(예를 들어, 도 36a에 예시된 바와 같음)의 표면에 적용된 흡수층(3504A)에 의해 흡수될 수 있다.

[1012] 격자(3507)에 입사하는 광이 높은 각도로 입사하기 때문에, 프리즘 요소(3504)의 깊이(예를 들어, 그 일부가 적어도 반사되는 면(3505)의 길이)는 비교적 작을 수 있다. 입사각은 광이 공기(굴절률 1.0)로부터 이러한 큰 각

도로 격자(3507)에 입사하여 모든 입사광이 격자로부터 멀리 반사되는 경우 임계를 초과할 수 있다. 시스템(3500)에서, 광은 예를 들어 높은 굴절률(예를 들어, ~ 1.5)을 갖는 유리 또는 아크릴로 만들어질 수 있는 프리즘 요소(3504)로부터 입사하고, 따라서 입사각은 임계각을 초과하지 않는다.

[1013] 일부 실시예들에서, 반사기(3508)는 3개의 이색성 반사기(색상당 1개), 또는 2개의 이색성 및 1색용 미러, 또는 2색용 1개의 이색성 반사기 및 1색용 미러를 포함할 수 있으며, 이들은 확장 격자(3507)에 의해 회절된 빔(모든 3색)(3509)에 배열되어 각 색상을 성형 기관(3511)에 부착된 커버 플레이트(3510)로 반사한다. 각각의 색상의 광은 커버 플레이트(3510)의 서로 다른 영역에 걸쳐 상이한 각도로 커버 플레이트(3510)에 입사하고, 이어서 커버 플레이트(3510) 내로(그 후에 성형 기관(3511) 내로) 색상의 광이 예를 들어 성형 기관(3511)의 전면(3512)에 형성된 저굴절률 층에서 반사된 다음, 성형 기관(3511)의 후면(3514)에 부착된 3개의 적층된 필드 격자(색상당 하나) 밖으로 회절된다. 모든 3가지 색상의 광은 각각의 색상에 대해 실질적으로 동일한 각도로 반사형 디스플레이 장치(3515)의 어레이에 입사하고, 각 색상은 하나 이상의 반사형 디스플레이 장치(3515)에 의해 형성된 반사 영역 전체를 실질적으로 조명한다. 반사형 디스플레이 장치는 필드 격자(3513)를 통해, 성형 기관(3511)을 통해, 그리고 기관(3511)의 전면(3512)에 부착된 3개의 적층된 디스플레이(예를 들어, LCoS) 0차 억제(LZOS) 격자(3516)(색상당 하나)(본원의 다른 곳에서는 방향 전환 격자(예를 들어, 도 31a의 방향 전환 격자(3114, 3116 및 3118)라고 함)의 스택으로 각각의 색상을 반사 및 회절시킨다.

[1014] 반사형 디스플레이 장치(3515)에 입사되는 각 색상의 비율은 디스플레이 0차 빔(3521)으로 반사되고, 각 디스플레이 장치(예를 들어, LCoS)에 입사되는 각 색상의 비율은 각 디스플레이 장치에 의해 뷰어가 볼 수 있는 대응하는 홀로그래픽 광 필드(3522)(예를 들어, 도 32의 홀로그래픽 광 필드(3220, 3222, 3224))로 회절된다. 본원의 다른 곳에서 논의된 바와 같이, 디스플레이 0차 억제 격자(또는 방향 전환 격자)(3516)는 디스플레이 0차 각도에서 그들에 입사하는 광을 실질적으로 회절시키지만 실질적으로 더 크거나 더 작은 각도로 그들에 입사하는 광을 투과시켜, 반사된 디스플레이 0차 광을 회절된 홀로그래픽 광 필드에서 분리한다. 거절된 디스플레이 0차 광(3523)은 도 36b에 도시된 바와 같이 상당한 각도로 방향 전환 격자의 전면을 빠져나갈 수 있거나 TIR에 의해 또는 본원의 다른 곳에서 설명된 바와 같은 반사 격자에 의해 성형 기관(3511)으로 다시 반사될 수 있다.

[1015] 일부 실시예들에서, 반사형 요소(3508)의 경사각은 (예를 들어, 투과형 필드 격자(3513)가 그들의 재생 브래그 각도로 또는 그에 가깝게 조명되게 함으로써) 투과형 필드 격자(3513)로부터 회절의 더 큰 균일성을 달성하고, 및/또는 (예를 들어, 투과형 필드 격자(3513)가 그들의 재생 브래그 각도에서 또는 그에 가깝게 조명되게 함으로써) 투과형 필드 격자(3513)로부터 회절의 더 큰 밝기를 달성하도록 조정될 수 있다. 이러한 조정은 반사형 요소(3508)의 각각의 반사형 용소의 경사각을 조정함으로써 각 색상에 대해 실질적으로 독립적으로 이루어질 수 있다.

[1016] 일부 실시예들에서, 조정은 제조 또는 어셈블리 동안 일회성 조정으로 이루어질 수 있다. 선택적으로, 조정은 현장에서 사용자 또는 설치자에 의해 이루어질 수 있다. 특정 실시예들에서, 조정은 예를 들어 밝기, 균일성, 색상 균일성 또는 화이트 포인트와 같은 홀로그래픽 광 필드의 광학적 특성을 검출하고 최적화하기 위해 색상 및/또는 밝기 센서를 사용하는 피드백 루프의 일부로서 자동으로 수행될 수 있다. 일부 경우에, 도 35b에 도시된 경사각에 직각인 반사형 요소(3508)의 경사각은 디스플레이 시스템(3500)의 성능을 최적화하도록 조정된다. 이러한 접근 방식은 적절하게 결합될 수 있다.

[1017] 일부 경우에, 반사형 요소(3508)의 기울기 조정은 예를 들어 제조 및 어셈블리 공차, 선적, 보관 및 사용 중 진동 및 충격, 열팽창 및 수축, 격자, 레이저 다이오드 또는 기타 파장 종속 컴포넌트의 노화, 및 노화, 동작 온도, 동작 듀티 사이클 및/또는 부품 간 변동으로 인한 레이저 다이오드의 파장 편이와 같은 팩터들에 의해 야기되는 디스플레이 시스템의 컴포넌트의 정렬의 변경 또는 오류를 수정하는 데 사용될 수 있다.

[1018] 일부 경우에, 반사형 요소(3508)의 실질적으로 더 크거나 실질적으로 더 작은 기울기 조정은 확장 프리즘(3504)과 성형 기관(3511) 사이의 각도가 예를 들어 홀로그래픽 광 필드를 각각 위아래로 기울이도록 성형 기관(3511)을 앞뒤로 틸팅 또는 회전시킴으로써 실질적으로 90° (도 35b에 도시된 바와 같음)로부터 변경되더라도 정렬을 유지하는 데 사용될 수 있다.

[1019] 반사형 디스플레이(3515) 상에서 비교적 균일한 조명을 달성하기 위해, 레이저 다이오드로부터의 빔의 중심이 오프셋될 수 있으며, 이는 또한 홀로그래픽 광 필드에서 색상 균일성을 유지할 수 있다. 예를 들어 프리즘 요소(3504)로 진입할 때와 같이 디스플레이 장치(3515)로 및로부터 각 색상별로 이동되는 경로의 작은 차이(일반적으로, 주로 빔의 색 분산으로 인해)는 그렇지 않으면 세 가지 색상의 농도를 약간 잘못 정렬할 수 있다. 이는 또한 공간적으로 다양한 방식(예를 들어, 1차원 또는 2차원)으로 반사형 디스플레이 장치(3515)의 회절 효율을

조정함으로써 보정될 수 있다. 이러한 조정은 회절 효율이 컴퓨터 생성 홀로그램(CGH)의 함수이기 때문에 즉석에서 이루어질 수 있거나, 또는 일정하거나 조정 가능한 공간적으로 변화하는 투과율 또는 흡수율을 갖는 디스플레이 장치(3515) 전후의 요소를 이용함으로써(예를 들어, 1차원 또는 2차원에서) 이루어질 수 있다.

[1020] 일부 경우에, 기관(3511)으로의 입력 광(3517)(예를 들어, 도 36b에 예시된 바와 같음)은 기관(3511)의 에지 표면에서 p-편광될 수 있으며, 여기서 입력 광(3517)은 기관(3511)(또는 사용되는 경우 커버 유리(3510))에 입사하여 표면에서의 프레넬 손실을 감소시키거나, 또는 표면을 기울이거나 반사 방지 코팅하여 이러한 프레넬 손실을 감소시킬 수 있다. s-편광 광이 투과형 필드 격자(3513)에 대해 요구되거나 원하는 편광인 경우 표면에 부착되거나 표면에 후속하는 광대역 파장 대역 반파 리타더는 이러한 p-편광을 s-편광으로 변환할 수 있다.

[1021] 일부 경우에, 투과형 필드 격자(3513)와 반사형 디스플레이 장치(3515) 사이에 위치한 광대역 파장 대역 리타더는 반사형 디스플레이 장치(3515)에 대한 조명 광의 편광을 추가로 조정하여 반사형 디스플레이 장치(3515)에 대해 필요하거나 원하거나 최적의 편광 상태를 제공하는 데 사용될 수 있다. 이러한 리타더는 필드 격자(3513)의 출구 면에, 또는 반사형 디스플레이 장치(3515)의 외부 표면에, 또는 둘 모두에 부착될 수 있으며, p 편광 또는 s 편광을 제공하기 위한 반파장 플레이트일 수 있거나 원형 파장을 제공하기 위한 1/4 파장 플레이트일 수 있거나 각 색상에 대한 반사형 디스플레이 장치(3515) 상의 모든 지점에서 최적의 편광을 제공하기 위해 공간적으로 및/또는 시간적으로 및/또는 파장에 따라 변할 수도 있는 또 다른 값의 지연을 가질 수 있다. 이러한 파장판이 반사형 디스플레이 장치(3515)로부터 반사된 홀로그래픽 광 필드에 대해 편광 상태를 제공하는 한, 이는 후속 편광 종속 요소, 예를 들어 방향 전환 격자(3516)에 대해 원하는 또는 최적의 편광 상태가 아닐 수 있다. 일부 경우에, 하나 이상의 추가 파장판은 요소 또는 요소들을 충족시키기 위해 편광을 추가로 조정하기 위해 고정된 또는 공간적 또는 시간적 또는 색채적으로 변하는 지연을 갖는 이러한 요소 또는 요소들 이전에 제공될 수 있다.

[1022] 일부 경우에, 기관(3511)과 결합 반사형 요소(3508) 사이의 광학적 거리는 3가지 색상의 광이 반사형 요소(3508)의 반사에서 더 분리될 수 있도록 비례적으로 커질 수 있으므로 각 색상은 하나 또는 두 개의 다른 반사형 요소를 통해 투과될 필요 없이 해당 반사형 요소에 의해 반사될 수 있거나, 3 가지 색상의 광이 충분히 분리되어 다른 반사형 요소를 통해 전달되지 않는 세 개의 미러를 사용하여 반사될 수 있도록 크게 만들 수도 있다.

[1023] 특정 실시예들에서, 결합 반사형 요소(3508)는 각각의 반사형 요소(3508)의 조명이 실질적으로 광학적으로 동축인 레이저 빔으로부터가 아니라 실질적으로 다른 방향으로부터 나오도록 위치되고 기울어질 수 있다. 이는 조명기(3501S)가 3개의 조명 색상 중 하나 또는 2개를 각각 제공하는 2개 또는 3개의 개별 조명기로 분할되도록 할 수 있으며, 이는 3개의 레이저 다이오드로부터의 광을 입력 광(3501)을 제공하는 결합된 화이트 입력 광으로 결합하기 위해 조명기(3501S) 내의 광학계를 사용하는 것보다 더 저렴하고 및/또는 더 효율적일 수 있다.

[1024] 일부 실시예들에서, 성형 기관(3511)은 예를 들어 더 큰 재료 블록으로부터 가공된 컴퓨터 수치 제어(CNC)에 의해 모놀리식으로 형으로 형성될 수 있거나, 2개 이상의 더 단순한(따라서 보다 제조 가능한) 형상을 광학적으로 결합 또는 굴절시킴으로써 형성될 수 있거나, 또는 가산 또는 감산 제조 기술에 의해 형성될 수 있다.

[1025] 특정 실시예들에서, 더 큰 수직 범위를 갖는 반사형 디스플레이(3515)(또는 반사형 디스플레이 장치(3515)의 어레이)는 디스플레이 조명을 위한 제1 하부 컷오프를 형성하는 성형 기관(3511)의 팁(tip)에서 커버 유리(3510)(이는 생략될 수 있음)로 실제로 들어가는 입력 광(3517)의 대상이 되고, 디스플레이 조명을 위한 상부 컷오프 및 제2 하부 컷오프를 형성하는 성형 기관(3511)의 코너(3518)를 누락하는 입력 광(3517)의 대상이 되는 입력 광(3517)의 높이를 증가시킴으로써 조명될 수 있다.

[1026] 일부 실시예들에서, 반사형 디스플레이(3515)의 조명은 약 6°의 각도에 있으며, 이는 투과형 필드 격자(3513)가 또한 방향 전환 격자(3516)와 유사하게 0차 억제 요소로서 작용할 수도 있기 때문에 대략 0°로 변경될 수 있다. 이러한 실시예들에서, 필드 격자(3513)는 반사형 기관(3511) 내의 반사형 디스플레이(3515)로부터 정반사된 0차 광을 투과시키기보다는 반사시킬 수 있으며, 여기서 TIR은 이를 성형 기관(3511)의 상부 밖으로 또는 그 위에 형성된 흡수체(3524)로 안내할 수 있다. 방향 전환 격자(10016)와 조합하여 0° 또는 그 부근에서 필드 격자(3513)를 사용하면 디스플레이 0차 잔광을 매우 높은 정도로, 예를 들어 2% 미만의 디스플레이 0차 잔광 또는 심지어 < 1%까지 감소시킬 수 있다.

[1027] 특정 실시예들에서, 1차원 억제 격자가 사용될 때, 디스플레이 0차 억제는 점이 아닌 반사형 디스플레이(3515)에 걸쳐 어두운 대역으로서 나타나며, 각 조명 색상의 0차는 이 어두운 대역 내에서 단지 그 색상의 점으로서 보일뿐이다. 뷰어가 반사형 디스플레이(3515)에 대한 법선 위에서 반사형 디스플레이(3515)를 들여다볼 가능성

이 더 높은 경우, 일반적으로 책상 또는 테이블 디스플레이의 경우에서와 같이, 시스템은 대역이 홀로그래픽 광 필드의 아래나 양쪽에 있는 것보다 눈에 띄거나 바람직하지 못할 가능성이 적은 홀로그래픽 광 필드 위에(그러나 각도 공간에서, 그에 가깝도록) 배열하도록 구성될 수 있다. 마찬가지로, 뷰어가 반사형 디스플레이(3515)에 대한 법선 아래에서 디스플레이를 들여다볼 가능성이 더 높은 경우, 시스템은 대역이 홀로그래픽 광 필드 아래에 배열하도록 구성될 수 있다. 대부분의 뷰어가 주로 수평으로 분포된 두 눈을 사용하여 디스플레이를 들여다보는 경우, 대역은 홀로그래픽 광 필드의 왼쪽이나 오른쪽이 아니라 위나 아래에 배열될 수 있다.

[1028] 조명기(3501S)가 수 nm 또는 수십 nm 정도의 스펙트럼 대역폭을 갖는 광원으로부터 유도되는 일부 실시예들에서, 확장 격자(3505) 및 필드 격자(3507)에서의 회절은 반사형 디스플레이(3515)에 입사하는 조명 광을 스펙트럼적으로 분산시킬 수 있다. 그런 다음 조명 광은 스펙트럼 다양성(레이저 다이오드의 스펙트럼 대역폭으로부터의)과 공간적 다양성(이러한 격자에 의한 레이저 다이오드에서 나오는 광의 분산으로부터의, 그리고 정도는 덜하지만 레이저 다이오드의 소스 크기로부터의)을 나타낼 수 있다. 이러한 다수의 직교 다양성은 레이저 다이오드 자체의 스펙트럼 및 공간 다양성에 의해 제공되는 것과 비교하여, 홀로그래픽 광 필드에서 가시 레이저 스펙클을 크게 감소시킬 수 있다.

[1029] 일부 실시예들에서, 확장 격자(3505)는 확장 격자(3505)가 하나 또는 두 개의 횡방향으로 입력 광(3501)을 완전히 또는 부분적으로 시준할 수 있도록 광 출력으로 형성되어, 조명기(3501S)에서 레이저-다이오드 시준의 필요성을 줄이거나 제거할 수 있다.

[1030] 커버 플레이트(3510)에 대한 입력 광(3517)의 입사각은 2개 이상의 이러한 입사각이 실질적으로 동일하도록 선택될 수 있으며, 이 경우 반사형 요소(3508)의 수는 이러한 단일 반사형 요소가 두 가지 이상의 색상을 반사시키는 데 충분할 수 있기 때문에 감소될 수 있다. 또한, 3508의 최종 반사형 요소는 이전 반사형 요소의 표면에 또는이의 기관 내부에 반사형 코팅으로 제공될 수 있으며, 이 기관은 이 최종 반사기에 대해 상이한 반사각을 제공하기 위해 웨지될 수 있다.

[1031] 본 명세서에 설명된 주제 및 기능적 동작의 구현은 디지털 전자 회로부, 유형적으로 구현된 컴퓨터 소프트웨어 또는 펌웨어로, 본 명세서에 개시된 구조 및 이들의 구조적 등가물을 포함하는 컴퓨터 하드웨어로, 또는 이들 중 하나의 조합으로 구현될 수 있다. 본 명세서에 기술된 주제의 구현은 데이터 처리 장치에 의해 실행되거나 그 동작을 제어하기 위해 유형의 비일시적 컴퓨터 저장 매체에 인코딩된 컴퓨터 프로그램 명령어의 하나 이상의 모듈과 같은 하나 이상의 컴퓨터 프로그램으로 구현될 수 있다. 대안적으로 또는 추가로, 프로그램 명령어는 데이터 처리에 의한 실행을 위해 적합한 수신기 장치로의 전송을 위해 정보를 인코딩하기 위해 생성되는 기계 생성 전기, 광학 또는 전자기 신호와 같은 인위적으로 생성된 전파 신호 상에 인코딩될 수 있다. 컴퓨터 저장 매체는 기계 판독 가능 저장 장치, 기계 판독 가능 저장 기관, 랜덤 또는 직렬 액세스 메모리 장치 또는 이들 중 하나 이상의 조합일 수 있다.

[1032] "데이터 처리 장치", "컴퓨터" 또는 "전자 컴퓨터 장치"(또는 당업자가 이해하는 등가물)라는 용어는 데이터 처리 하드웨어를 말하며, 예를 들어 프로그래밍 가능한 프로세서, 컴퓨터 또는 다중 프로세서나 컴퓨터를 포함하는 데이터를 처리를 위한 모든 종류의 장치, 기기 및 기계를 포함한다. 장치는 또한 예를 들어 중앙 처리 장치(central processing unit; CPU), FPGA(field programmable gate array) 또는 ASIC(application specific integrated circuit)과 같은 특수 목적 논리 회로부이거나 이를 더 포함할 수 있다. 일부 구현들에서, 데이터 처리 장치 및 특수 목적 논리 회로부는 하드웨어 기반 및 소프트웨어 기반일 수 있다. 장치는 선택적으로는 컴퓨터 프로그램을 위한 실행 환경을 생성하는 코드(예를 들어, 프로세서 펌웨어, 프로토콜 스택, 데이터베이스 관리 시스템, 운영 체제 또는 이들 중 하나 이상의 조합을 구성하는 코드)를 포함할 수 있다. 본 명세서에서는 종래의 운영 체제를 갖거나 갖지 않는 데이터 처리 장치의 사용을 고려한다.

[1033] 컴퓨터 프로그램(이는 프로그램, 소프트웨어, 소프트웨어 애플리케이션, 모듈, 소프트웨어 모듈, 스크립트 또는 코드라고도 함)은 컴파일링된 또는 해석된 언어, 또는 선언적 또는 절차적 언어를 포함한 모든 형태의 프로그래밍 언어로 작성될 수 있으며, 이는 독립형 프로그램 또는 모듈, 컴포넌트, 서브루틴, 또는 컴퓨팅 환경에서 사용하기에 적합한 기타 유닛을 포함한, 모든 형식으로 배포될 수 있다. 컴퓨터 프로그램은 파일 시스템의 파일에 대응할 수 있지만, 반드시 그런 것은 아니다. 프로그램은 다른 프로그램들이나 데이터(예를 들어, 마크업 언어 문서에 저장된 하나 이상의 스크립트), 해당 프로그램 전용 단일 파일 또는 여러 조정된 파일들(예를 들어, 하나 이상의 모듈, 서브 프로그램 또는 코드의 부분을 저장하는 파일들)을 보유한 파일의 일부에 저장될 수 있다. 컴퓨터 프로그램은 하나의 컴퓨터에서 또는 한 사이트에 위치되거나 여러 사이트에 분산되어 있고 통신 네트워크로 상호 연결된 여러 컴퓨터들에서 실행되도록 배포될 수 있다. 다양한 도면에 예시된 프로그램의 일부는 다

양한 객체, 방법 또는 기타 프로세스를 통해 다양한 특징과 기능을 구현하는 개별 모듈로 도시되어 있지만, 프로그램은 대신 적절한 경우 여러 서브 모듈, 제3자 서비스, 컴포넌트, 라이브러리 등 을 포함할 수 있다. 반대로, 다양한 컴포넌트의 특징과 기능이 적절하게 단일 컴포넌트로 결합될 수 있다.

[1034] 본 명세서에 기술된 프로세스 및 논리 흐름은 입력 데이터를 동작시키고 출력을 생성함으로써 기능을 수행하기 위해 하나 이상의 컴퓨터 프로그램을 실행하는 하나 이상의 프로그래밍 가능 컴퓨터에 의해 수행될 수 있다. 프로세스 및 논리 흐름은 또한 CPU, GPU, FPGA 또는 ASIC과 같은 특수 목적 논리 회로부에 의해 수행될 수 있으며 장치가 이러한 회로부로 구현될 수도 있다.

[1035] 컴퓨터 프로그램 실행에 적합한 컴퓨터는 범용 또는 특수 목적의 마이크로프로세서, 둘 모두 또는 다른 종류의 CPU를 기반으로 할 수 있다. 일반적으로, CPU는 읽기 전용 메모리(read-only memory; ROM)이나 랜덤 액세스 메모리(Random Access Memory; RAM) 또는 둘 다에서 명령어 및 데이터를 수신할 것이다. 컴퓨터의 주요 요소에는 명령어를 수행하거나 실행하는 CPU와, 명령어 및 데이터를 저장하는 하나 이상의 메모리 장치가 있다. 일반적으로, 컴퓨터는 또한 데이터를 저장하기 위한 하나 이상의 대용량 저장 장치(예를 들어 자기, 광자기 디스크 또는 광 디스크)를 포함하거나, 또는 이들로부터 데이터를 수신하거나 데이터를 전송하거나, 둘 모두를 하도록 동작 가능하게 결합될 것이다. 그러나, 컴퓨터는 이러한 장치를 가질 필요가 없다. 또한, 컴퓨터는 몇 가지 예를 들어서 다른 장치(예를 들어, 휴대폰, PDA(Personal Digital Assistant), 모바일 오디오 또는 비디오 플레이어, 게임 콘솔, GPS(Global Positioning System) 수신기 또는 휴대용 저장 장치(예를 들어, 범용 직렬 버스(USB) 플래시 드라이브))에 임베디드될 수 있다.

[1036] 컴퓨터 프로그램 명령어 및 데이터를 저장하기에 적합한 컴퓨터 판독 가능 매체(적절한 경우, 일시적 또는 비일시적)는 예를 들어 반도체 메모리 장치(예를 들어, 소거 가능 프로그래밍 가능 읽기 전용 메모리((EPROM), 전기적으로 소거 가능 프로그래밍 가능 읽기 전용 메모리(EEPROM), 및 플래시 메모리 장치); 자기 디스크(예를 들어, 내부 하드 디스크 또는 이동식 디스크); 광자기 디스크; 및 CD-ROM, DVD-R, DVD-RAM 및 DVD-ROM 디스크를 포함하여, 모든 형태의 비휘발성 메모리, 매체 및 메모리 장치를 포함한다. 메모리는 캐시, 조회 테이블, 클래스, 프레임워크, 애플리케이션, 백업 데이터, 작업, 웹 페이지, 웹 페이지 템플릿, 데이터베이스 테이블, 비즈니스 및 동적 정보를 저장하는 저장소, 및 임의의 파라미터, 변수, 알고리즘, 지침, 규칙, 제약 조건 또는 이에 대한 참조를 포함하거나 적절한 정보를 포함하여, 다양한 객체 또는 데이터를 저장할 수 있다. 추가로, 메모리에는 로그, 정책, 보안 또는 액세스 데이터, 보고 파일 등과 같은 임의의 기타 적절한 데이터가 포함될 수 있다. 프로세서 및 메모리는 특수 목적 논리 회로부에 의해 보완되거나 그에 통합될 수 있다.

[1037] 사용자와의 상호작용을 제공하기 위해, 본 명세서에 설명된 주제의 구현들은 사용자에게 정보를 디스플레이하기 위한 디스플레이 장치(예를 들어 음극선관(CRT), 액정 디스플레이(LCD), 발광 다이오드(LED), 홀로그래픽 또는 광 필드 디스플레이, 또는 플라즈마 모니터) 및 사용자가 컴퓨터에 입력을 제공할 수 있는 키보드 및 포인팅 장치(예를 들어, 마우스, 트랙볼(trackball) 또는 트랙패드)를 갖는 컴퓨터에서 구현될 수 있다. 압력 감도가 있는 태블릿 컴퓨터 표면, 정전식 또는 전기 감지를 사용하는 멀티 터치 스크린 또는 기타 유형의 터치스크린과 같은 터치스크린을 사용하여 컴퓨터에 입력을 제공할 수도 있다. 다른 종류의 장치들은 사용자와의 상호 작용도 제공하는 데 사용될 수 있고; 예를 들어, 사용자에게 제공되는 피드백은 예를 들어, 시각적 피드백, 청각적 피드백 또는 촉각적 피드백과 같은 감각적 피드백의 모든 형태일 수 있으며; 사용자로부터의 입력은 음향, 음성 또는 촉각 입력을 포함한 모든 형태로 수신될 수 있다. 추가로, 컴퓨터는 사용자에게 의해 사용되는 장치에 문서를 보내고 이로부터 문서를 수신하여, 예를 들어, 웹 브라우저로부터 수신된 요청들에 대한 응답으로 사용자의 클라이언트 장치의 웹 브라우저에 웹 페이지들을 전송하여 사용자와 상호 작용할 수 있다.

[1038] "그래픽 사용자 인터페이스" 또는 "GUI"라는 용어는 하나 이상의 그래픽 사용자 인터페이스 및 특정 그래픽 사용자 인터페이스의 각각의 디스플레이를 설명하기 위해 단수형 또는 복수형으로 사용될 수 있다. 따라서, GUI는, 이에 제한되는 것은 아니나, 정보를 처리하고 정보 결과를 사용자에게 효율적으로 제시하는 웹 브라우저, 터치 스크린 또는 명령 라인 인터페이스(command line interface; CLI)를 포함하는 임의의 그래픽 사용자 인터페이스를 나타낼 수 있다. 일반적으로, GUI는 대화형 필드, 풀다운 목록 및 비즈니스 제품군 사용자가 조작할 수 있는 버튼과 같은 웹 브라우저와 관련된 일부 또는 전부의 여러 사용자 인터페이스(UI) 요소를 포함할 수 있다. 이들 및 기타 UI 요소는 웹 브라우저의 기능과 관련되거나 이를 나타낼 수 있다.

[1039] 본 명세서에 설명된 주제의 구현들은 예를 들어, 데이터 서버로서 백 엔드(back end) 컴포넌트를 포함하거나, 또는 예를 들어, 애플리케이션 서버와 같은 미들웨어 컴포넌트를 포함하거나, 또는 예를 들어, 사용자가 본 명세서에서 설명된 주제의 구현과 상호작용할 수 있는 그래픽 사용자 인터페이스 또는 웹 브라우저를 갖는 클라이언트

언트 컴퓨터와 같은 프론트 엔드(front end) 컴포넌트를 포함하는 컴퓨팅 시스템, 또는 하나 이상의 이러한 백 엔드, 미들웨어 또는 프론트 엔드 컴포넌트들의 임의의 조합에서 구현될 수 있다. 시스템의 컴포넌트들은 예를 들어, 통신 네트워크와 같은 유선 또는 무선 디지털 데이터 통신의 모든 형태 또는 매체에 의해 상호 연결될 수 있다. 통신 네트워크의 예로는 LAN(Local Area Network), RAN(Radio Access Network), MAN(Metropolitan Area Network), WAN(Wide Area Network), WIMAX(Worldwide Interoperability for Microwave Access), 예를 들어 902.11 a/b/g/n 및 902.20을 사용하는 WLAN(Wireless Local Area Network), 인터넷의 전체 또는 일부, 및 하나 이상의 위치에 있는 다른 통신 시스템 또는 시스템을 포함한다. 네트워크는 예를 들어 인터넷 프로토콜(IP) 패킷, 프레임 릴레이 프레임, 비동기식 전송 모드(ATM) 셀, 음성, 비디오, 데이터 또는 네트워크 주소 사이의 기타 적절한 정보와 통신할 수 있다.

[1040] 컴퓨팅 시스템은 클라이언트들 및 서버들을 포함할 수 있다. 클라이언트와 서버는 일반적으로 서로 멀리 떨어져 있으며 통신 네트워크를 통해 상호 작용한다. 클라이언트와 서버의 관계는 각각의 컴퓨터들에서 실행되고 서로 클라이언트-서버 관계를 갖는 컴퓨터 프로그램들에 의해 발생한다.

[1041] 일부 구현들에서, 컴퓨팅 시스템의 일부 또는 모든 컴포넌트(하드웨어 및 소프트웨어 모두)는 애플리케이션 프로그래밍 인터페이스(API) 또는 서비스 계층을 사용하여 서로 또는 인터페이스와 인터페이스할 수 있다. API에는 루틴, 데이터 구조 및 객체 클래스에 대한 사양이 포함될 수 있다. API는 컴퓨터 언어에 독립적이거나 종속적일 수 있으며, 완전한 인터페이스, 단일 기능 또는 심지어 API 세트를 참조할 수 있다. 서비스 계층은 컴퓨팅 시스템에 소프트웨어 서비스를 제공한다. 컴퓨팅 시스템의 다양한 컴포넌트의 기능은 이 서비스 계층을 통해 모든 서비스 소비자가 액세스할 수 있다. 소프트웨어 서비스는 정의된 인터페이스를 통해 재사용 가능하고 정의된 비즈니스 기능을 제공한다. 예를 들어, 인터페이스는 임의의 적절한 형식으로 데이터를 제공하는 임의의 적절한 언어로 작성된 소프트웨어일 수 있다. API 및 서비스 계층은 컴퓨팅 시스템의 다른 컴포넌트와 관련하여 일체형 또는 독립형 컴포넌트일 수 있다. 또한, 서비스 계층의 일부 또는 전부는 본 명세서의 범위를 벗어나지 않고 다른 소프트웨어 모듈, 엔터프라이즈 애플리케이션 또는 하드웨어 모듈의 하위 또는 서브 모듈로 구현될 수 있다.

[1042] 이 명세서에는 많은 특정 구현 세부 사항이 포함되어 있지만, 이러한 세부 사항은 발명의 범위 또는 청구 범위에 대한 제한으로 해석되어서는 안 되며, 오히려 특정 발명의 특정 구현에 특정될 수 있는 기능에 대한 설명으로 해석되어야 한다. 개별 구현의 맥락에서 본 명세서에 설명된 특정 기능은 단일 구현에서 조합하여 구현될 수도 있다. 반대로, 단일 구현의 맥락에서 설명된 다양한 기능은 여러 구현에서 개별적으로 또는 임의의 적합한 하위 조합으로 구현될 수도 있다. 더욱이, 특징들이 특정 조합에서 작용하는 것으로 설명될 수 있고 심지어 초기에 그렇게 주장될 수도 있지만, 경우에 따라, 청구된 조합으로부터 하나 이상의 특징들이 조합으로부터 제거될 수 있고, 청구된 조합은 서브 조합 또는 서브 조합의 변형에 관한 것일 수도 있다.

[1043] 주제의 특정 구현이 설명되었다. 설명된 구현의 다른 구현, 변경 및 순열은 당업자에게 명백한 바와 같이 다음 청구 범위 내에 있다. 동작이 특정 순서로 도면 또는 청구범위에 설명되어 있지만, 이는 이러한 동작이 원하는 결과를 얻기 위해 도시된 특정 순서 또는 순차적인 순서로 수행되거나 모든 설명된 동작이 수행될 것을 요구하는 것으로 이해되어서는 안 된다(일부 동작은 선택 사항으로 간주될 수 있음). 특정 상황에서는, 멀티태스킹 또는 병렬 처리가 유리할 수 있으며 적절하다고 판단되는 경우 수행될 수 있다.

[1044] 간결함을 위해, 홀로그래픽 격자, LCOS 장치 및 기타 광학 구조 및 시스템의 구성, 사용 등에 대한 종래 기술은 본원에서 상세히 설명하지 않을 수 있다. 또한, 본원에 포함된 다양한 도면에 도시된 연결 라인은 예시적인 기능적 관계, 신호 또는 광학 경로, 및/또는 다양한 요소 간의 물리적 결합을 나타내도록 의도된다. 예시적인 홀로그래픽 격자, LCOS, 또는 다른 광학 구조나 시스템, 및/또는 그 구성요소에 많은 대안적 또는 추가적 기능적 관계, 신호 또는 광학 경로 또는 물리적 연결이 존재할 수 있다는 점에 유의해야 한다.

[1045] 본원의 다양한 예시적인 실시예에 대한 상세한 설명은 첨부된 도면 및 그림을 참조하며, 이는 다양한 실시예들을 예시로 도시한다. 이러한 다양한 예시적인 실시예들은 당업자가 이 개시를 실시할 수 있도록 충분히 상세하게 설명되어 있지만, 다른 예시적인 실시예들이 실현될 수 있고 본 개시의 사상 및 범위를 벗어나지 않고 논리적, 광학적 및 기계적 변경이 이루어질 수 있음을 이해해야 한다. 따라서, 본원의 상세한 설명은 예시의 목적으로 제공될 뿐 제한하기 위한 것은 아니다. 예를 들어, 임의의 방법 또는 프로세스 설명에 인용된 단계는 임의의 적절한 순서로 실행될 수 있으며 명시적으로 언급되지 않는 한 제시된 순서로 제한되지는 않는다. 또한, 모든 기능 또는 단계는 하나 이상의 제3자에게 아웃소싱되거나 수행될 수 있다. 본 발명의 범위를 벗어나지 않고 본원에 기술된 시스템, 장치 및 방법에 수정, 추가 또는 생략이 이루어질 수 있다. 예를 들어, 시스템 및 장치의 컴포넌트들은 통합되거나 분리될 수 있다. 또한, 본원에 개시된 시스템 및 장치의 동작은 더 많거나 더 적은 또

는 다른 컴포넌트들에 의해 수행될 수 있으며, 설명된 방법은 더 많거나 더 적은 또는 다른 단계들을 포함할 수 있다.

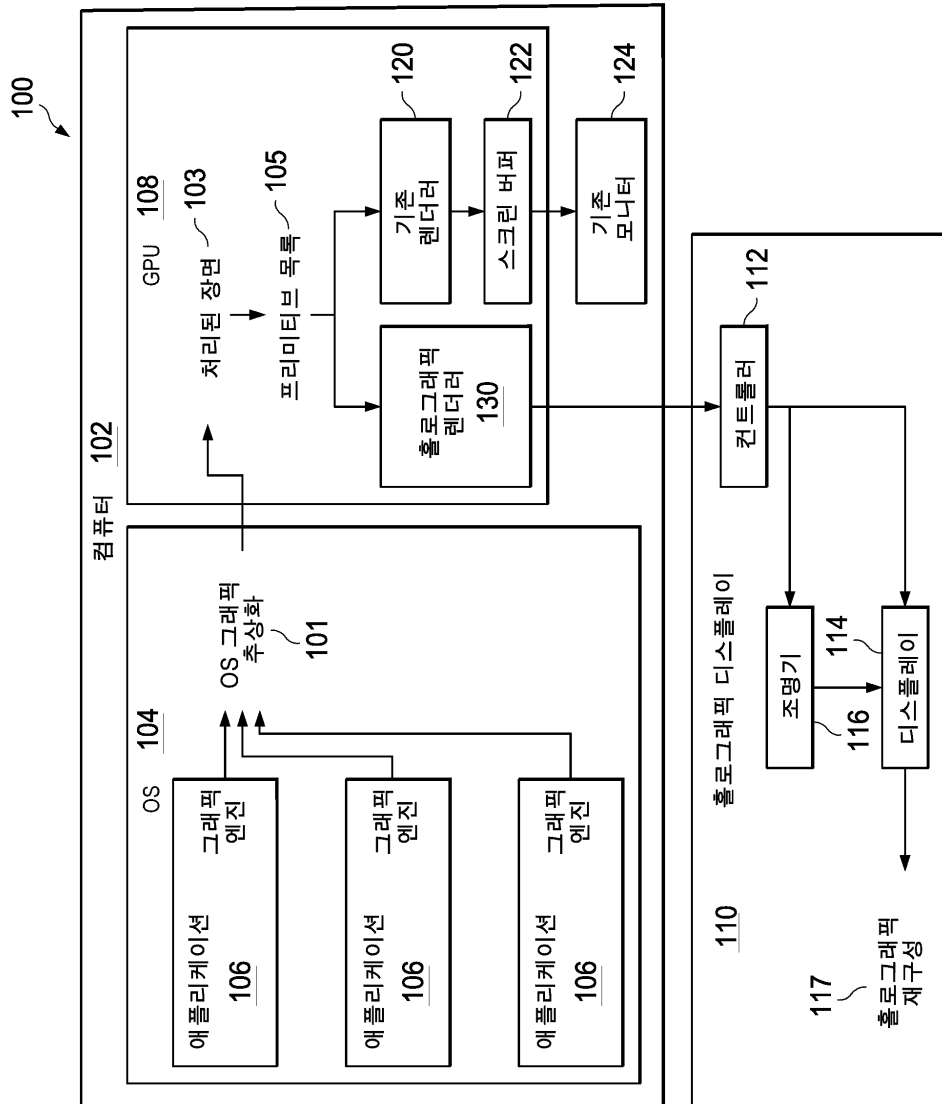
[1046] 이 문서에서 사용된 바와 같이, "각각"은 세트의 각 구성원 또는 세트의 서브셋의 각 구성원을 나타낸다. 또한, 단일형에 대한 언급은 복수의 예시적인 실시예를 포함하며, 둘 이상의 컴포넌트에 대한 언급은 단일의 예시적인 실시예를 포함할 수 있다. 특정 이점이 본원에서 열거되었지만, 다양한 예시적인 실시예들은 열거된 이점의 일부, 없음 또는 전부를 포함할 수 있다.

[1047] 이점, 다른 장점 및 문제에 대한 해결책이 특정 예시적인 실시예와 관련하여 본원에서 설명되었다. 그러나, 이점, 장점, 문제에 대한 해결책 및 모든 이점, 장점 또는 해결책을 발생시키거나 더 뚜렷하게 만들 수 있는 요소는 본 개시의 중요하거나, 필요하거나, 필수적인 특징 또는 요소로 해석되어서는 안된다. 따라서 본 개시의 범위는 첨부된 청구범위 이외의 것에 의해 제한되지 않으며, 여기에서 단수의 요소에 대한 언급은 명시적으로 언급되지 않는 한 "하나뿐인"을 의미하는 것이 아니라 오히려 "하나 이상"을 의미하는 것으로 의도된다. 또한, 청구범위 또는 명세서에서 'A, B 및 C 중 적어도 하나' 또는 'A, B 또는 C 중 적어도 하나'와 유사한 문구가 사용된 경우, 이는 예시적 실시예에서 A 단독이 존재할 수 있고, 예시적 실시예에서 B 단독이 존재할 수 있으며, 예시적 실시예에서 C 단독이 존재할 수 있거나, 또는 요소 A, B 및 C의 임의의 조합이 단일의 예시적인 실시예에서 존재할 수 있음(예를 들어, A와 B, A와 C, B와 C, 또는 A와 B와 C)을 의미하는 것으로 해석되는 것으로 의도된다.

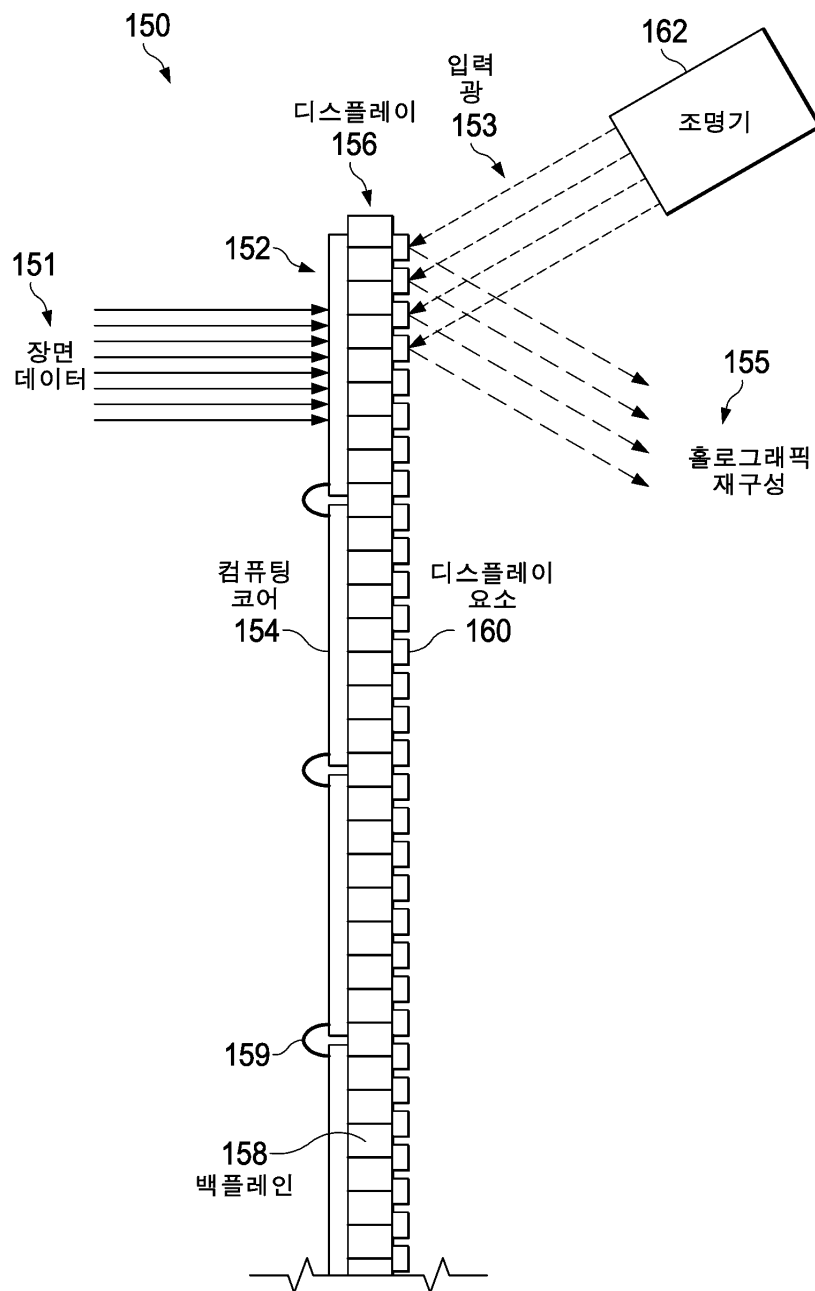
[1048] 따라서, 앞서 제공된 예시적인 구현의 설명은 이 명세서를 정의하거나 제한하지 않는다. 본 명세서의 사상 및 범위를 벗어나지 않는 범위 내에서 다른 변경, 대체 및 변경도 가능하다.

도면

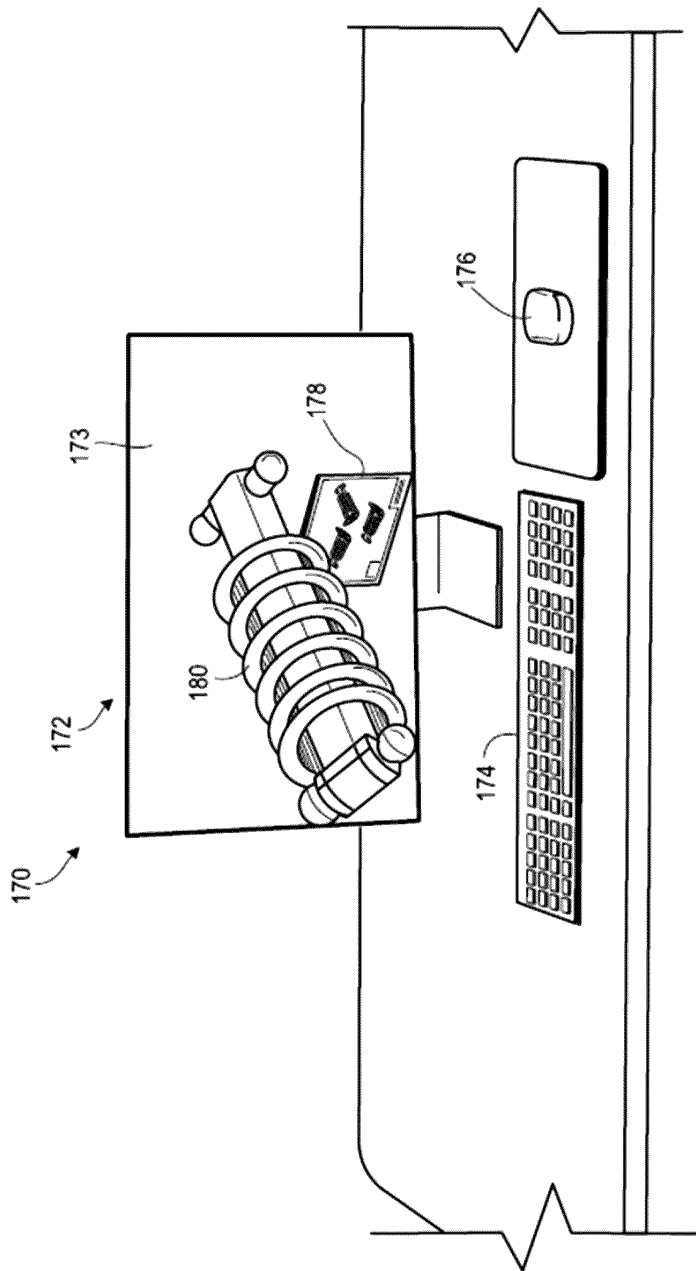
도면1a



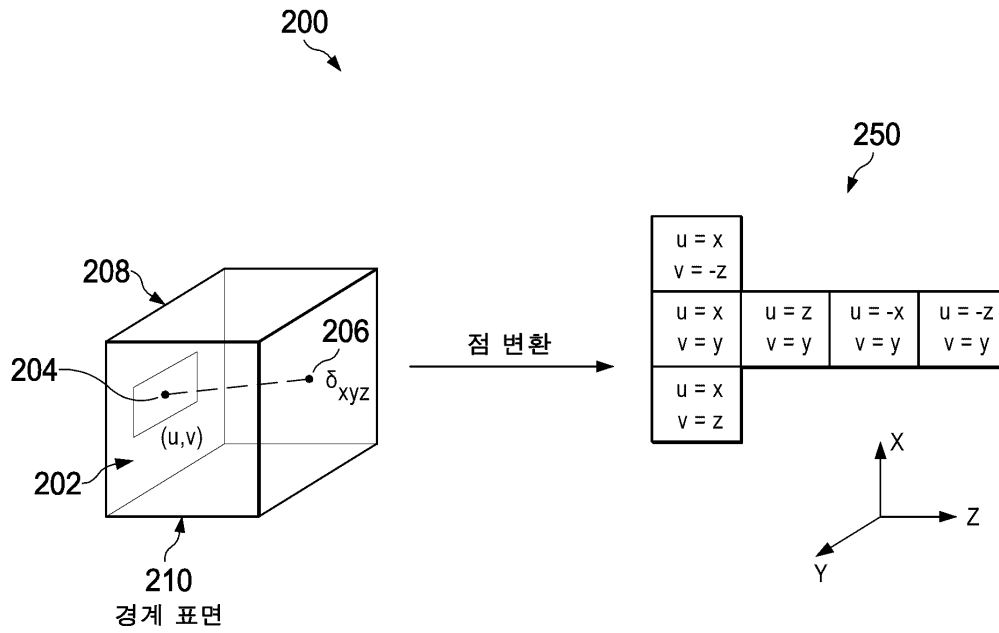
도면 1b



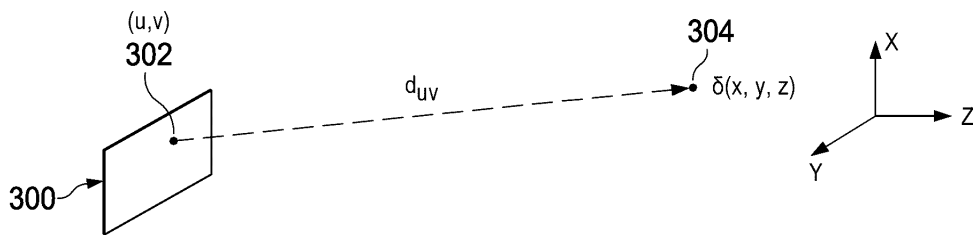
도면 1c



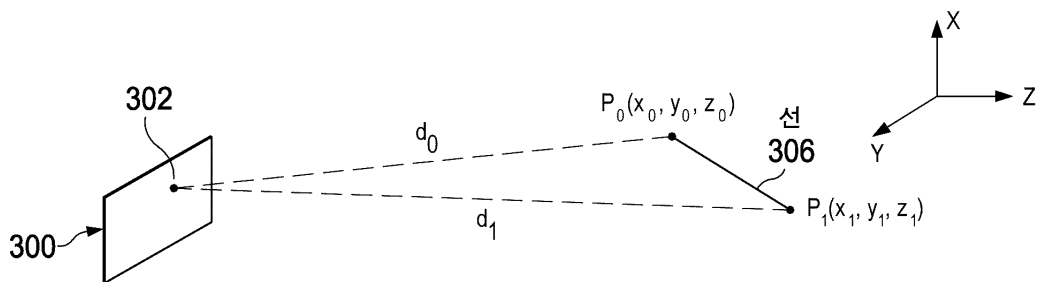
도면2



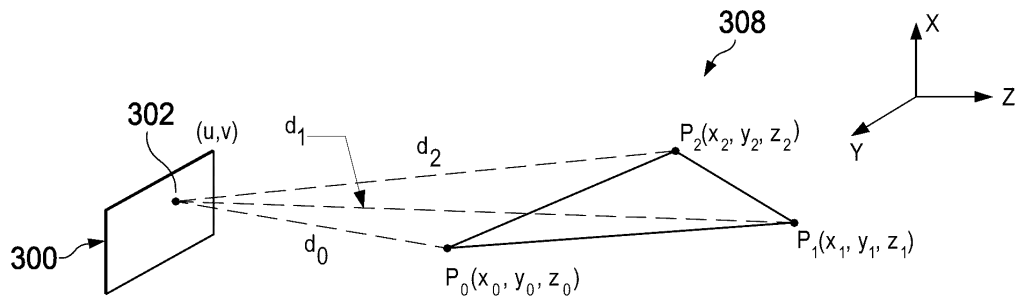
도면3a



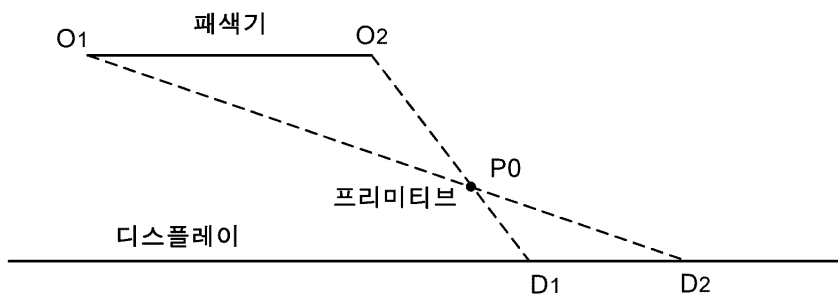
도면3b



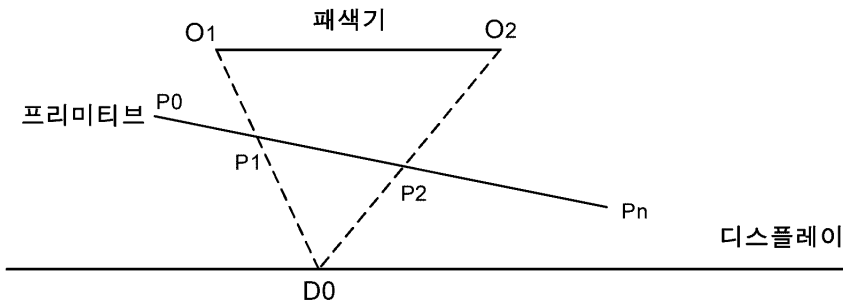
도면3c



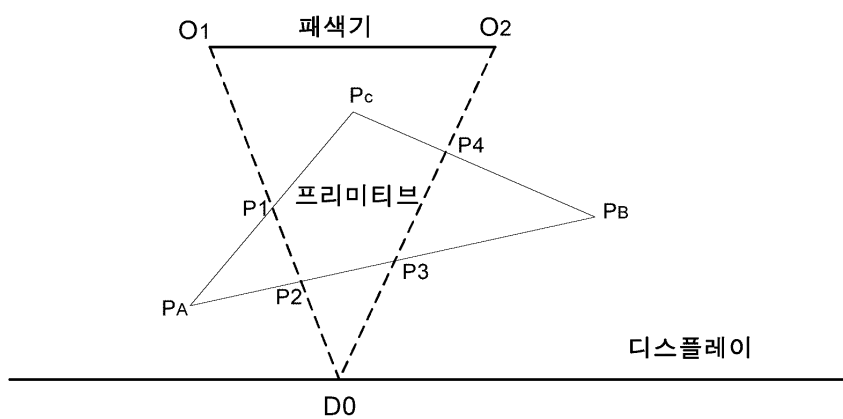
도면3d



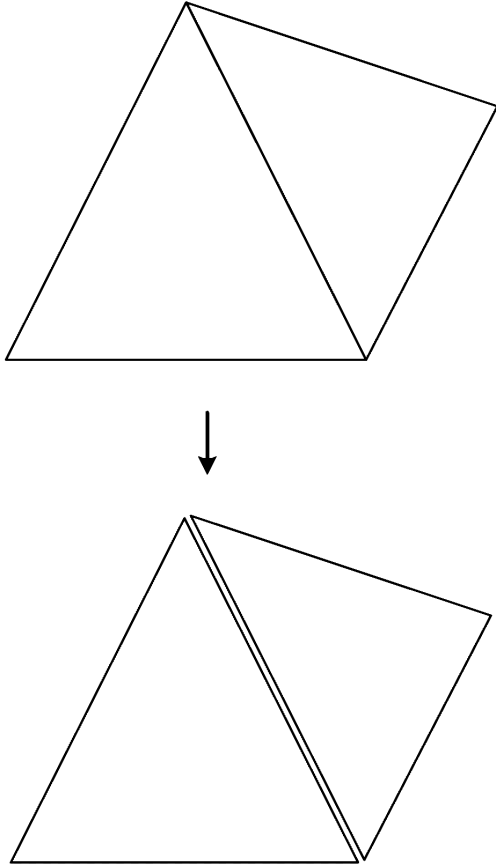
도면3e



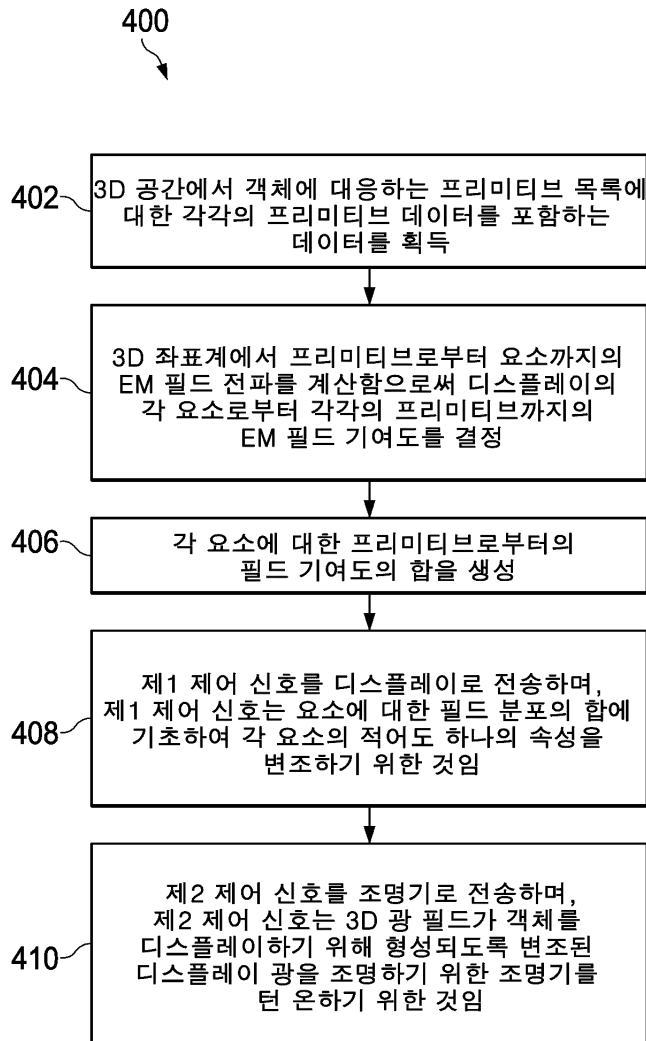
도면3f



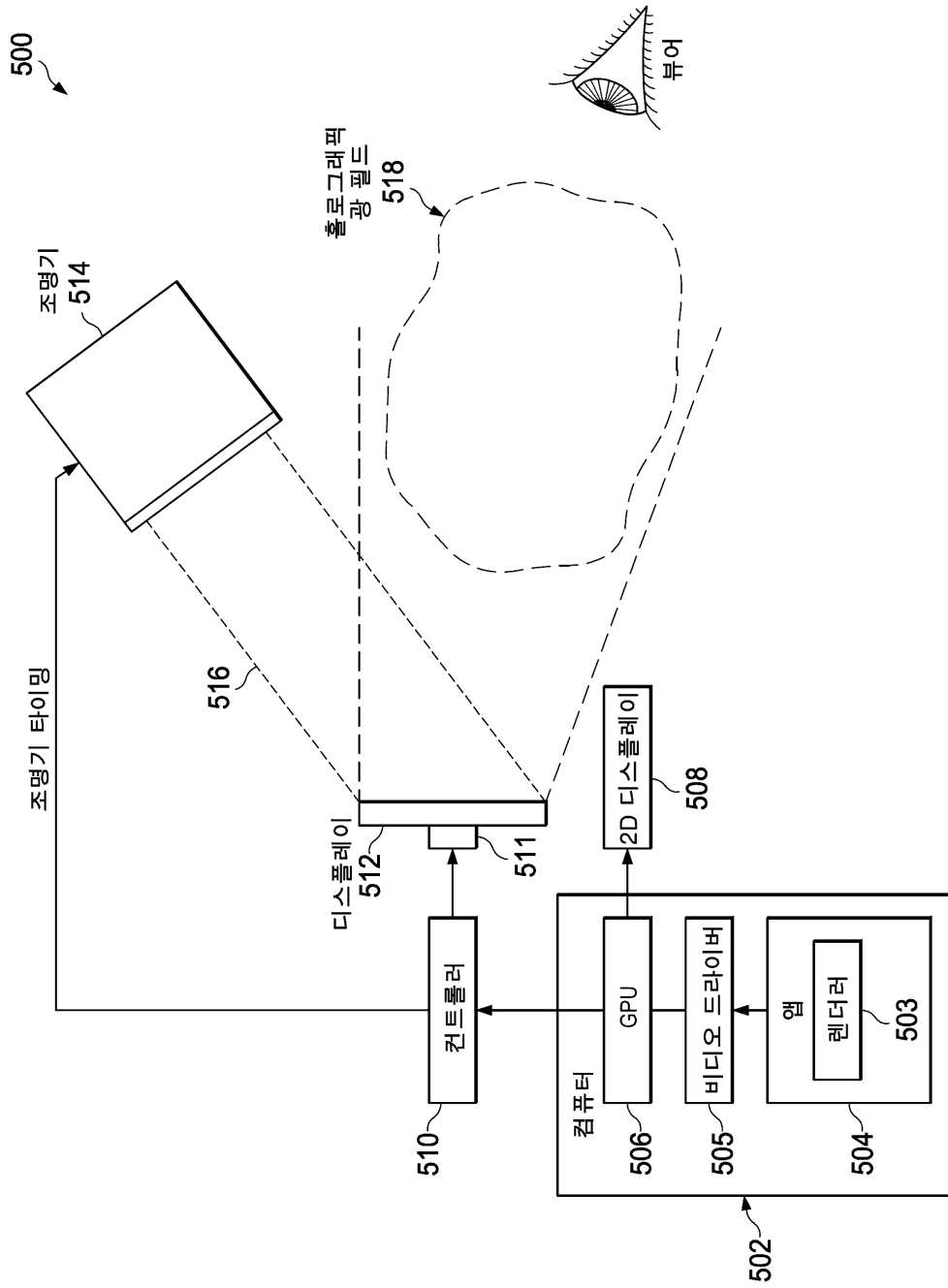
도면 3g



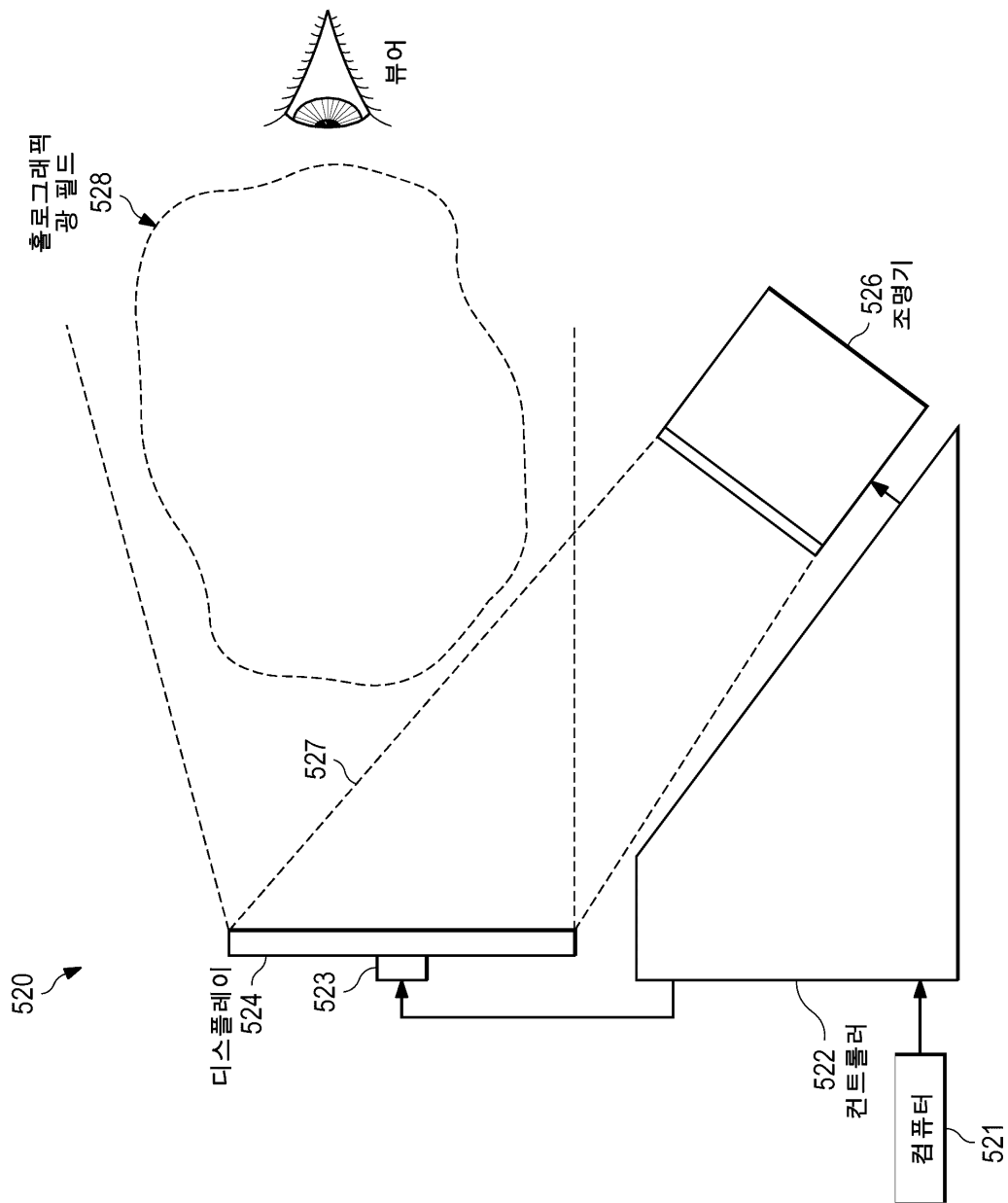
도면4



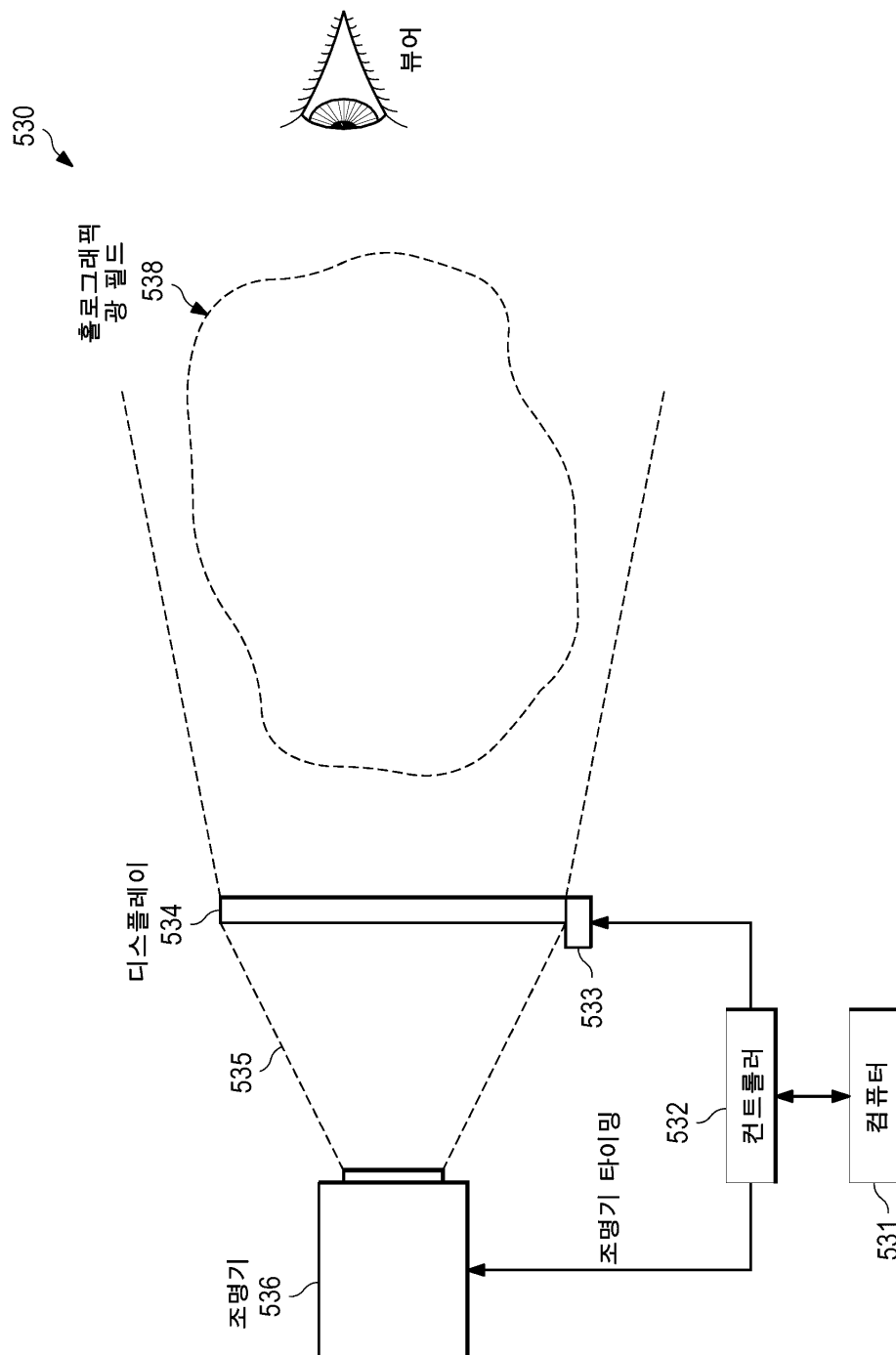
도면5a



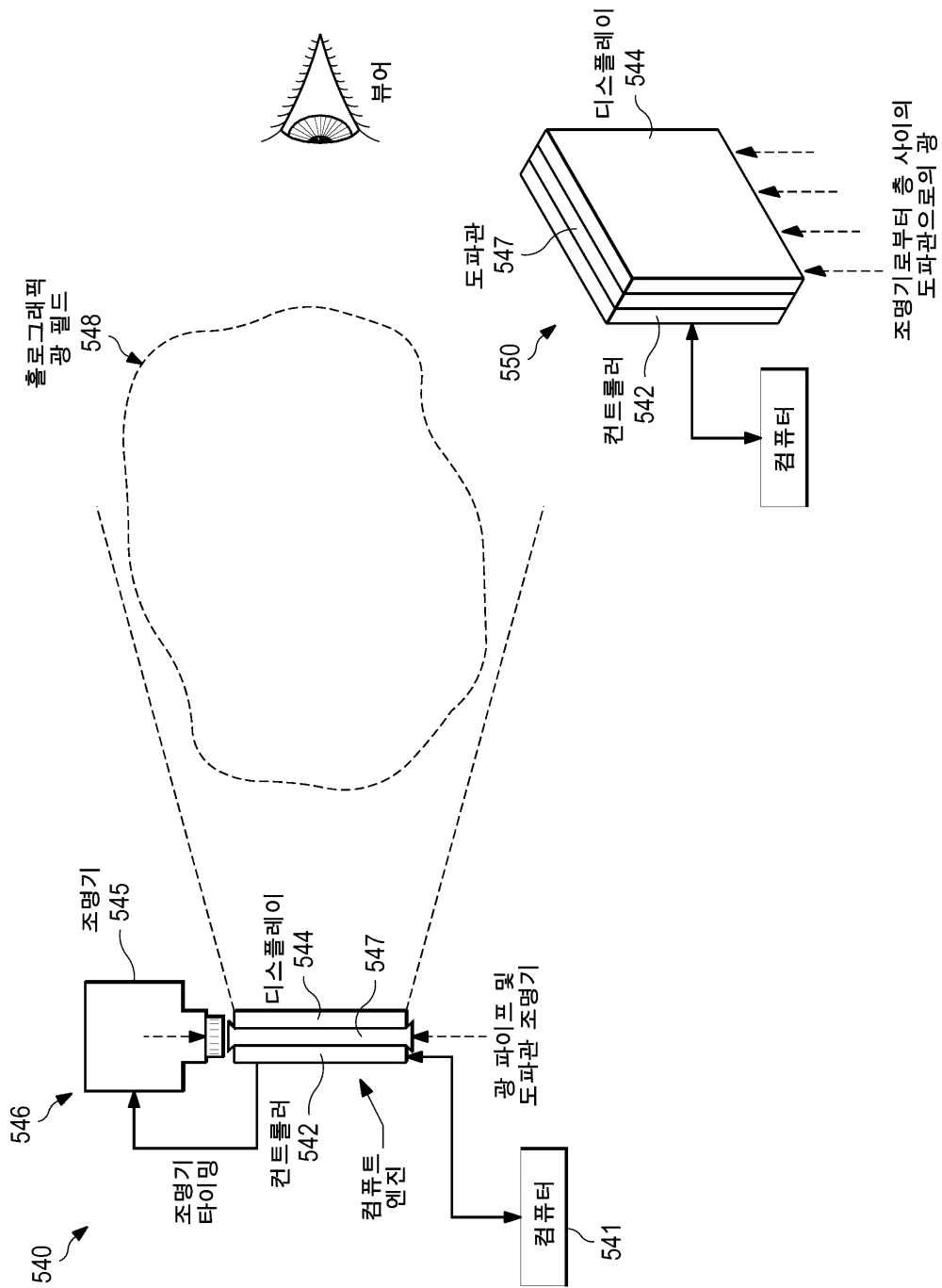
도면5b



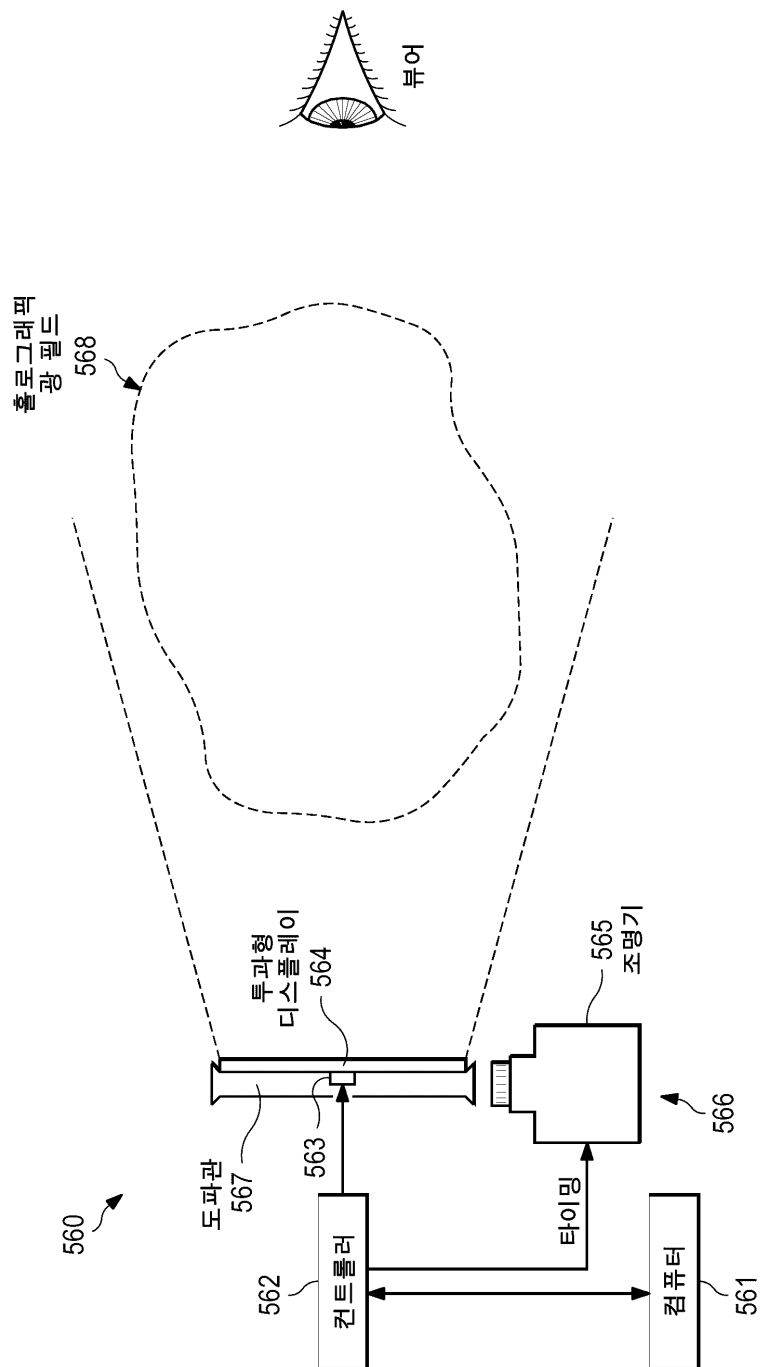
도면5c



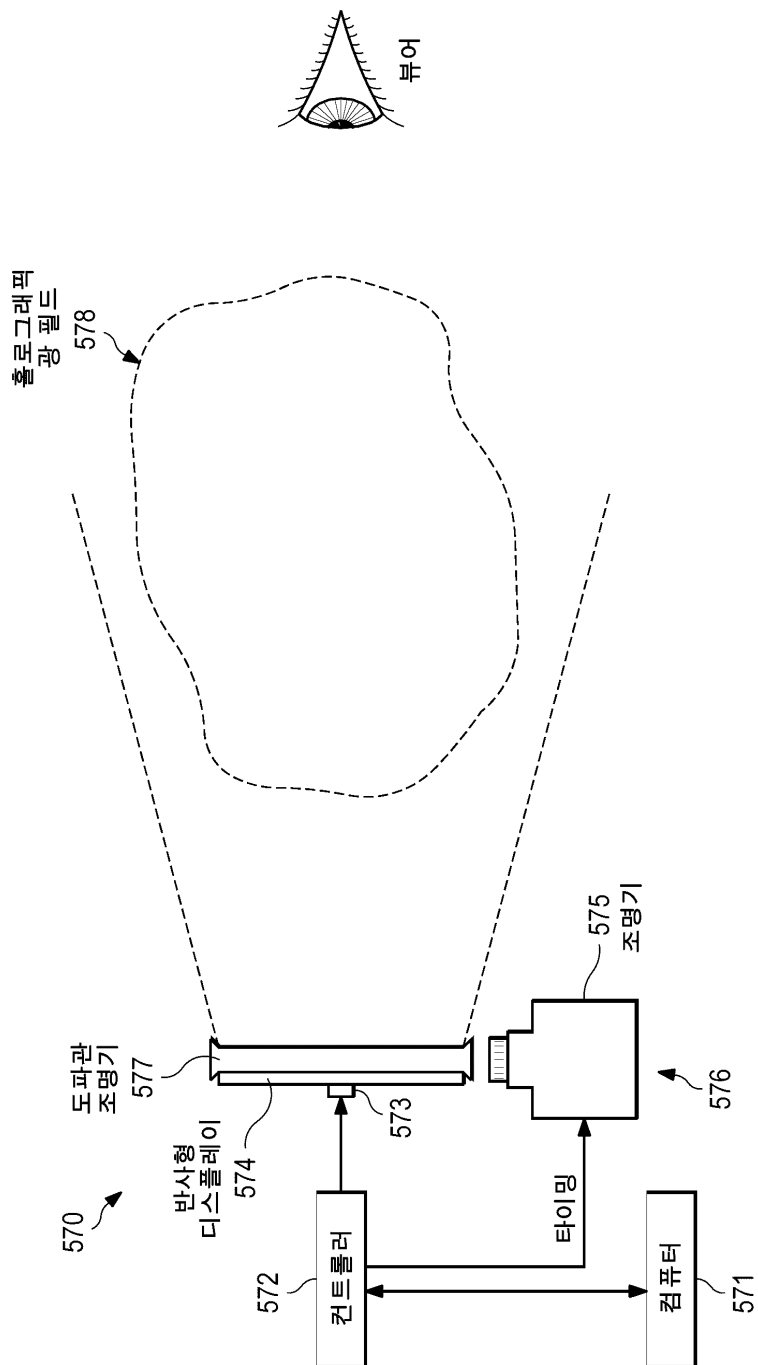
도면 5d



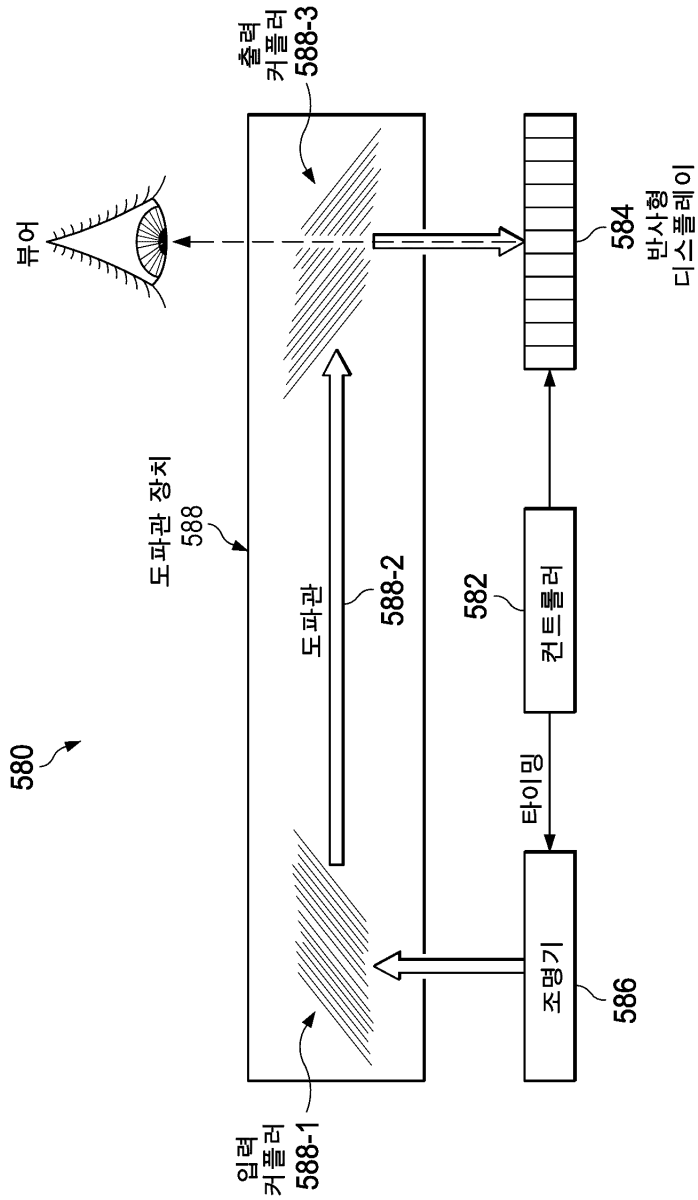
도면5e



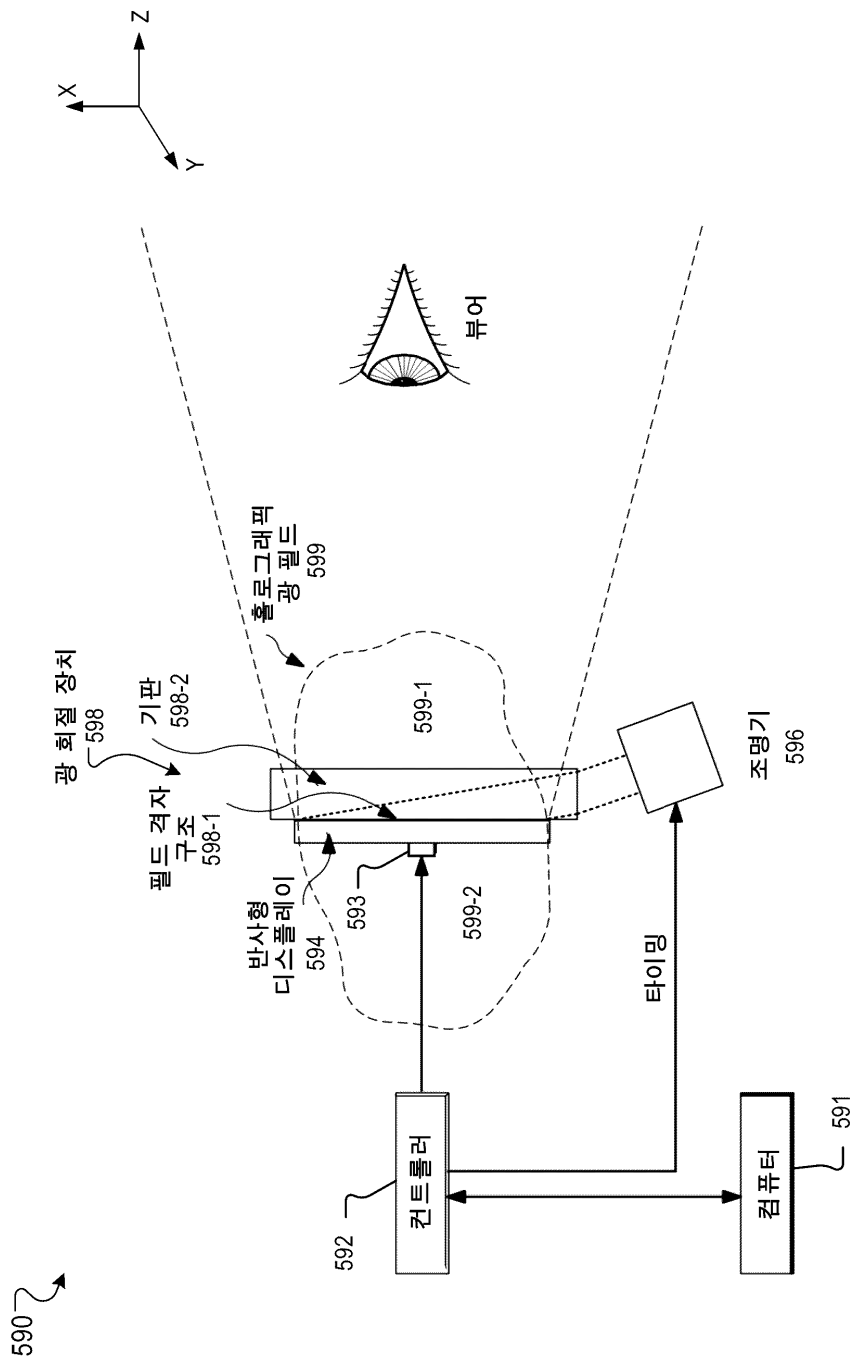
도면5f



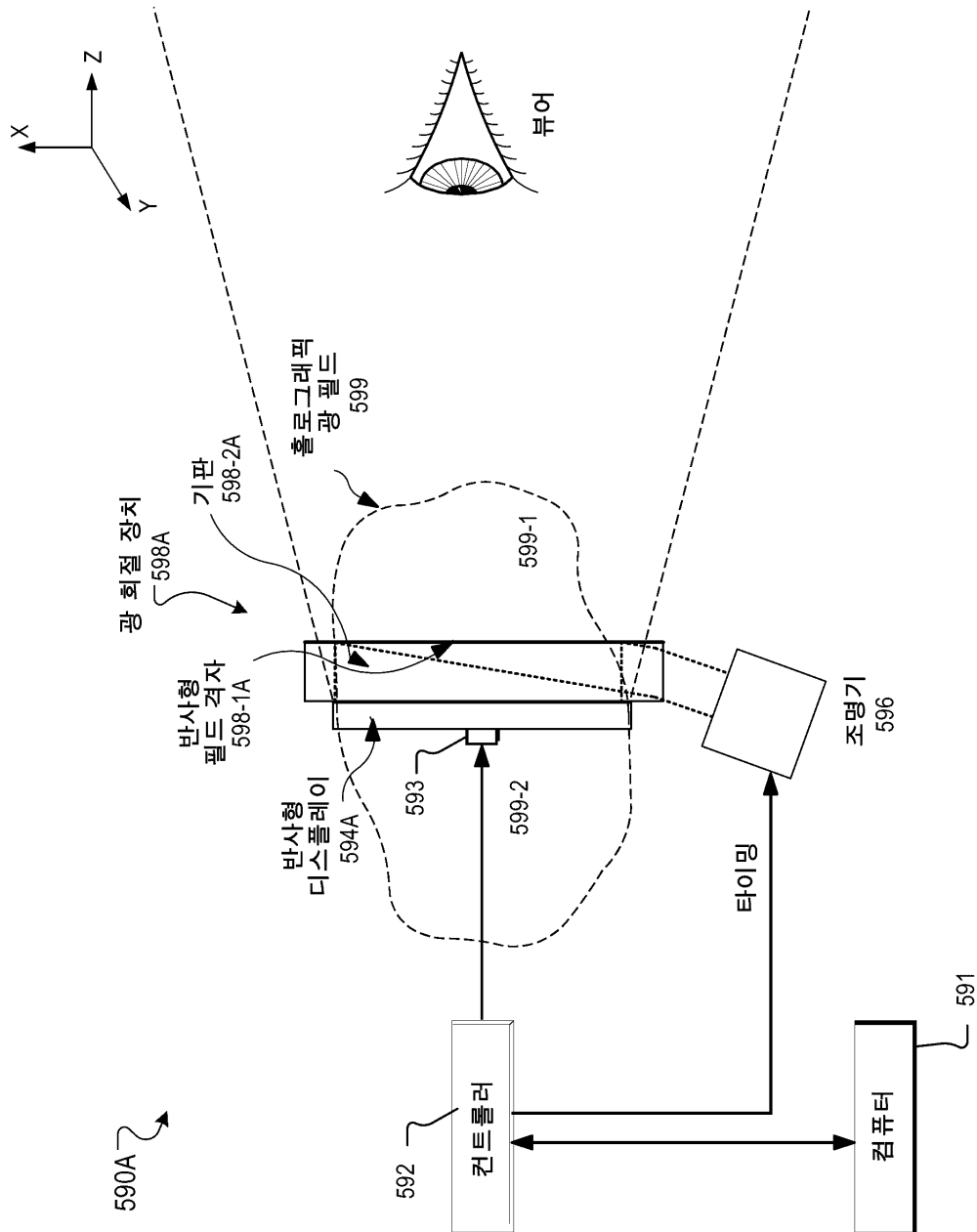
도면5g



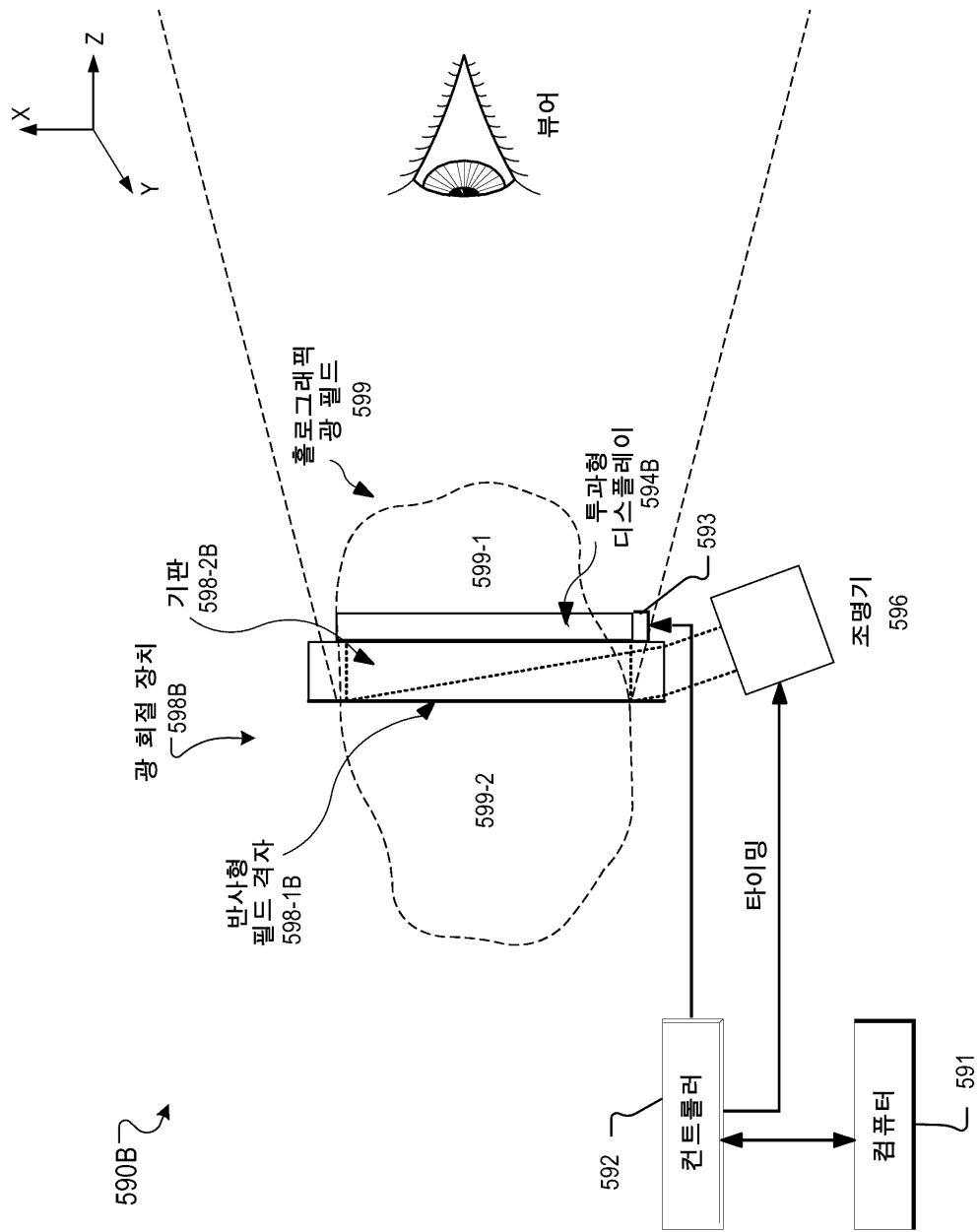
도면 5h



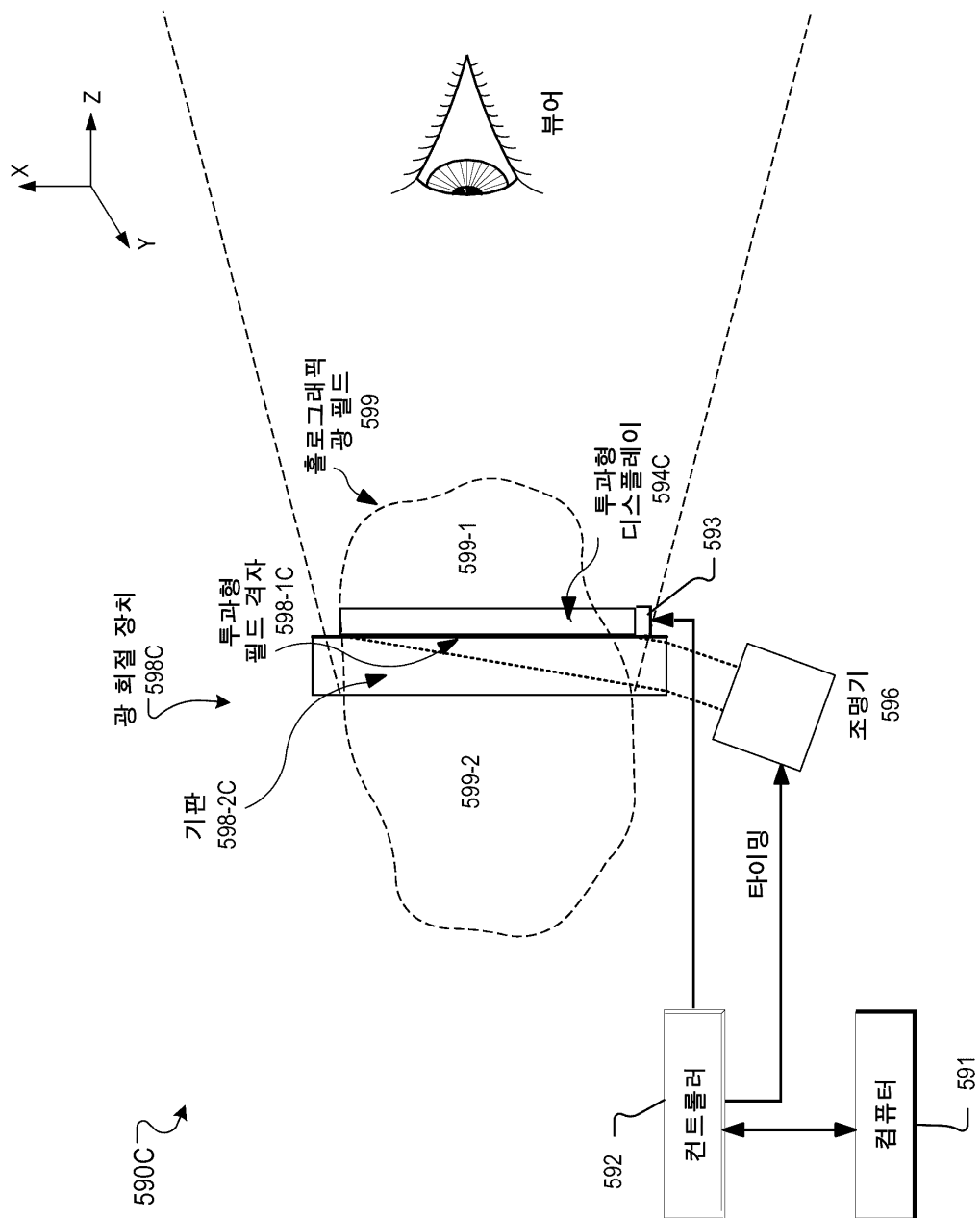
도면5i



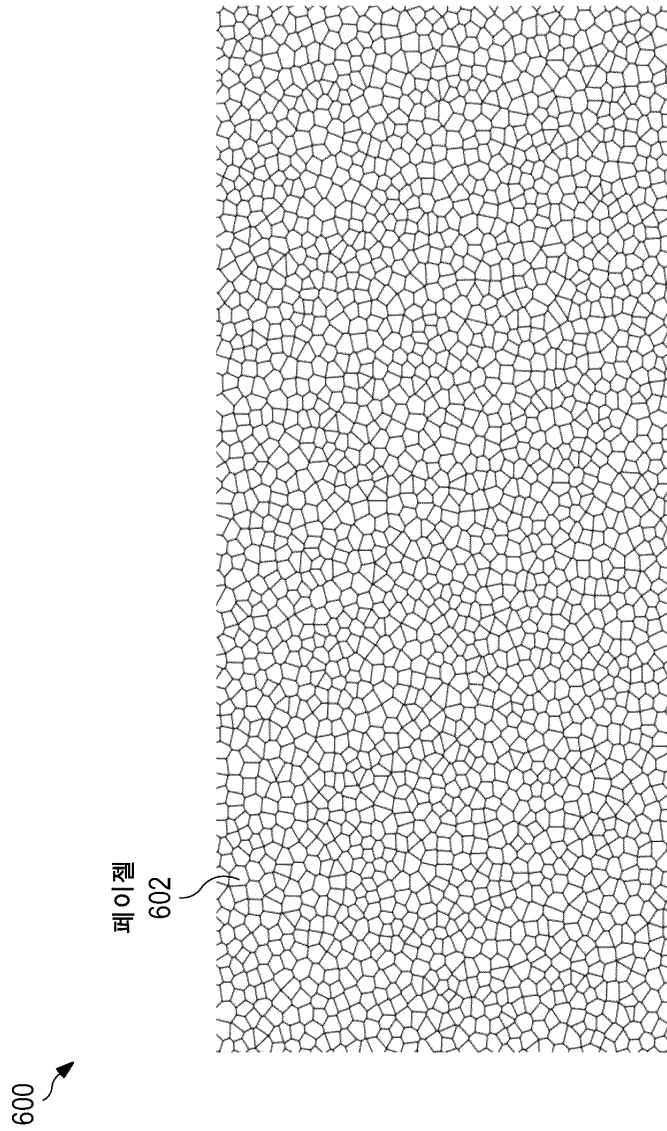
도면5j



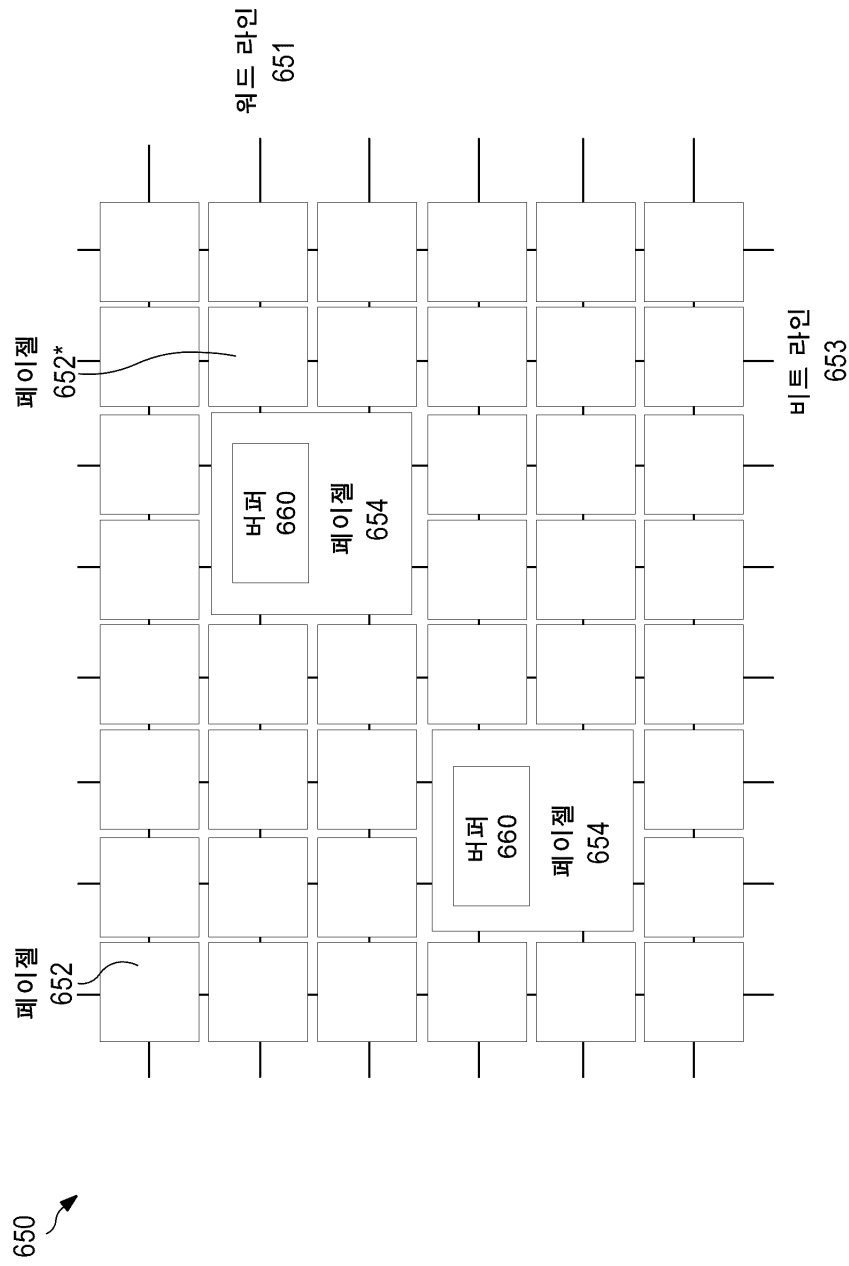
도면 5k



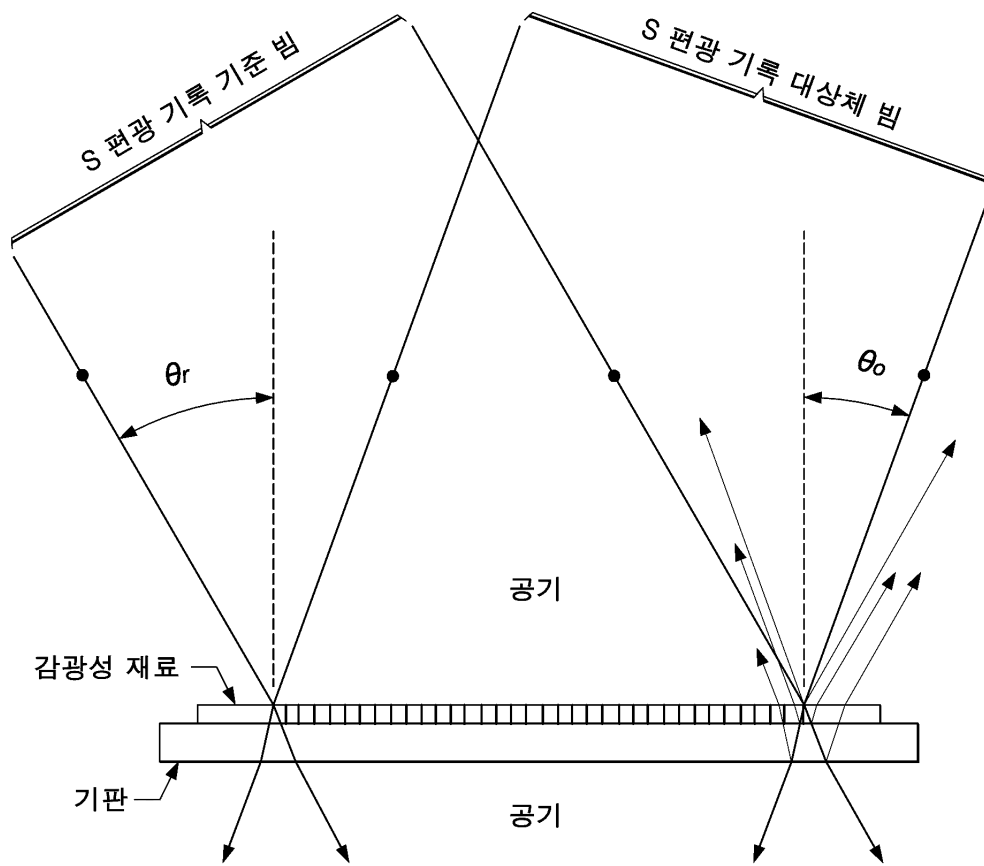
도면6a



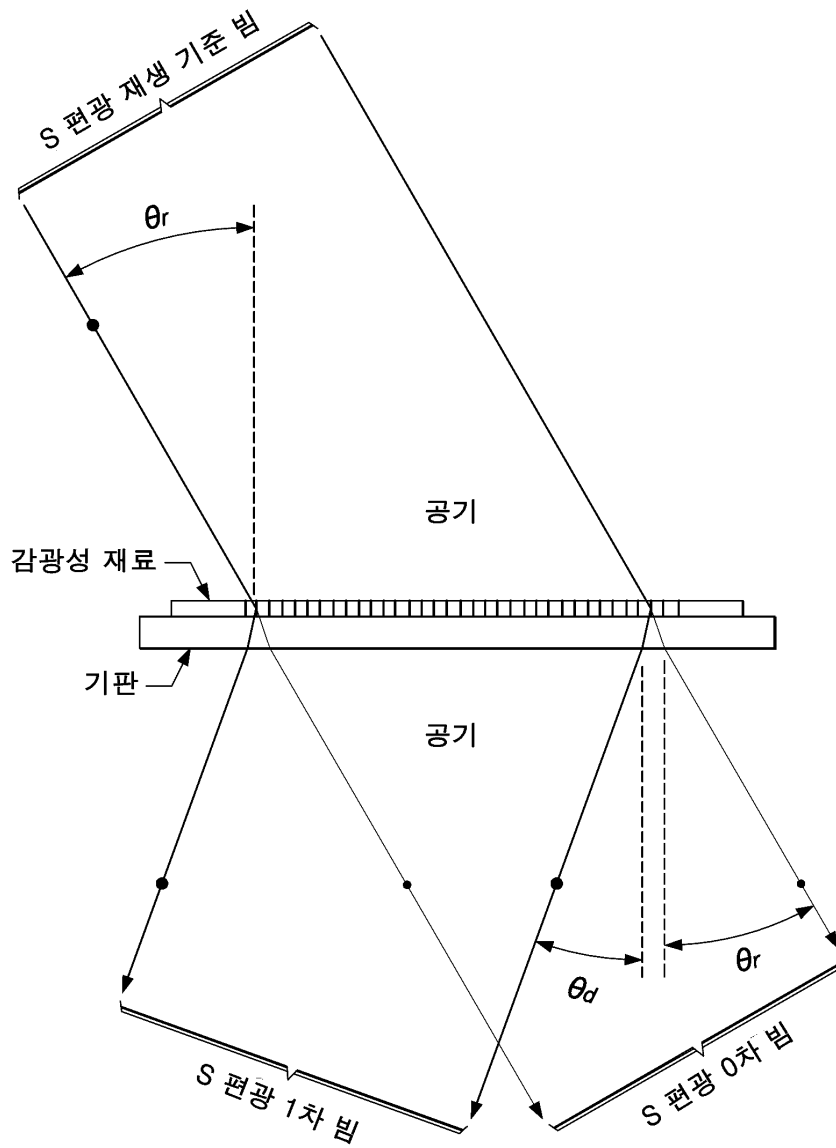
도면6b



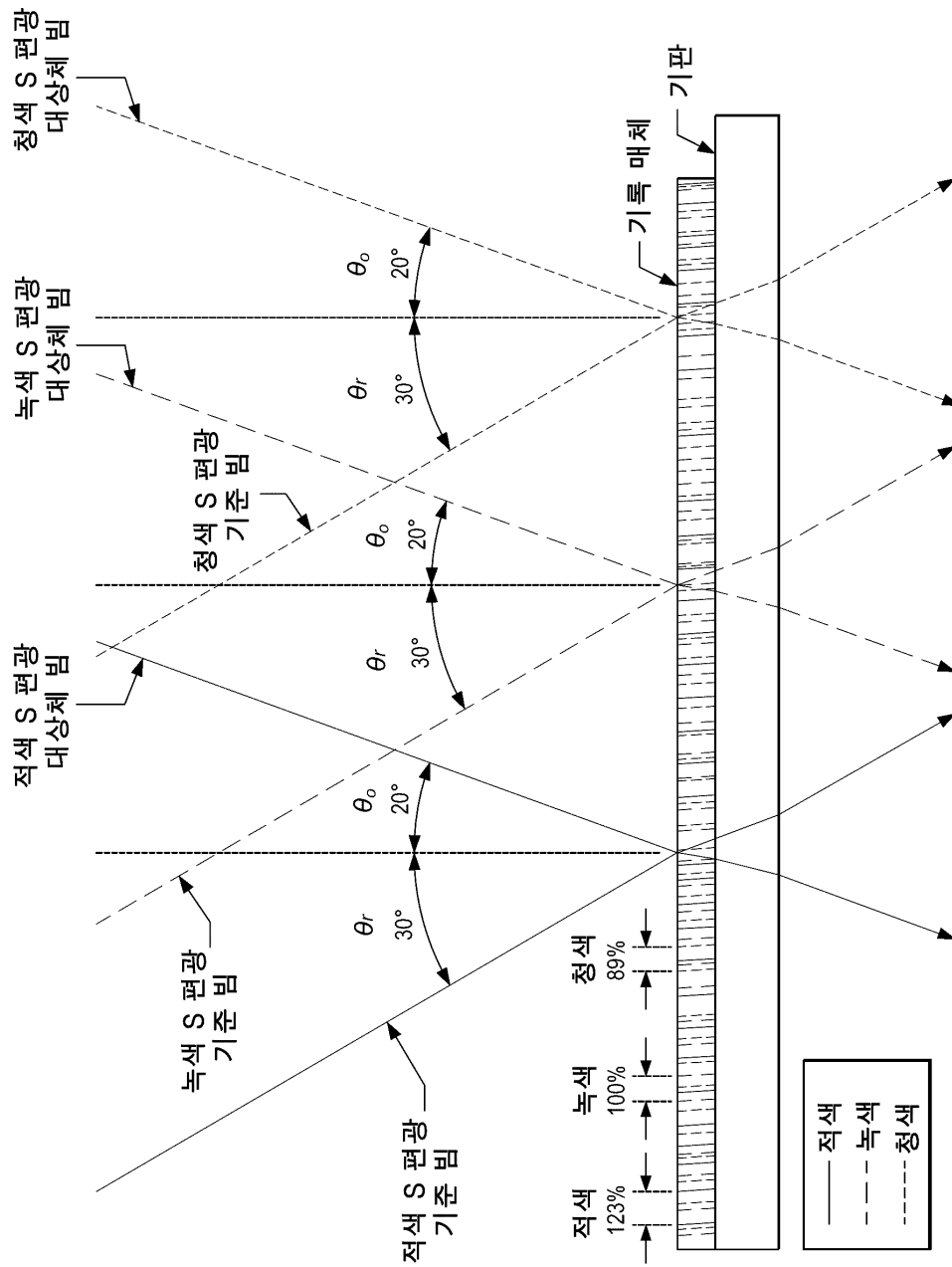
도면7a



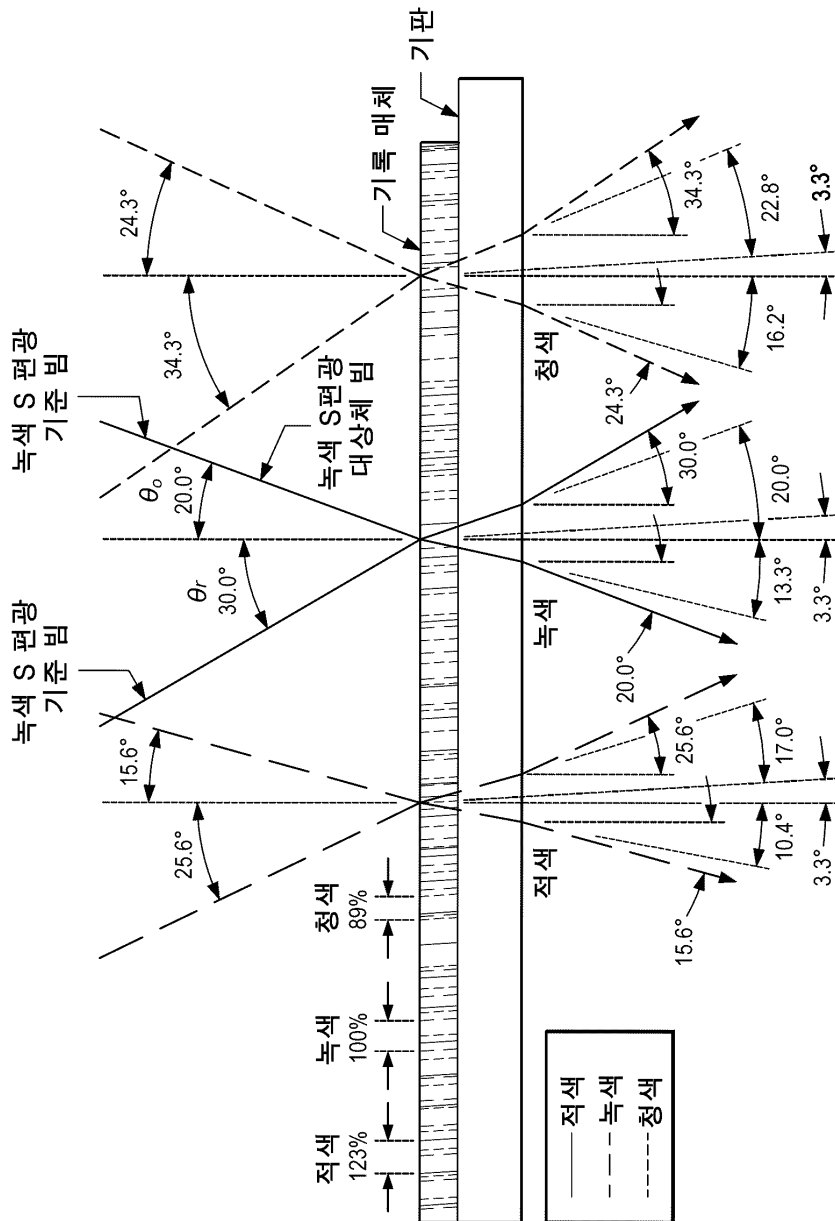
도면7b



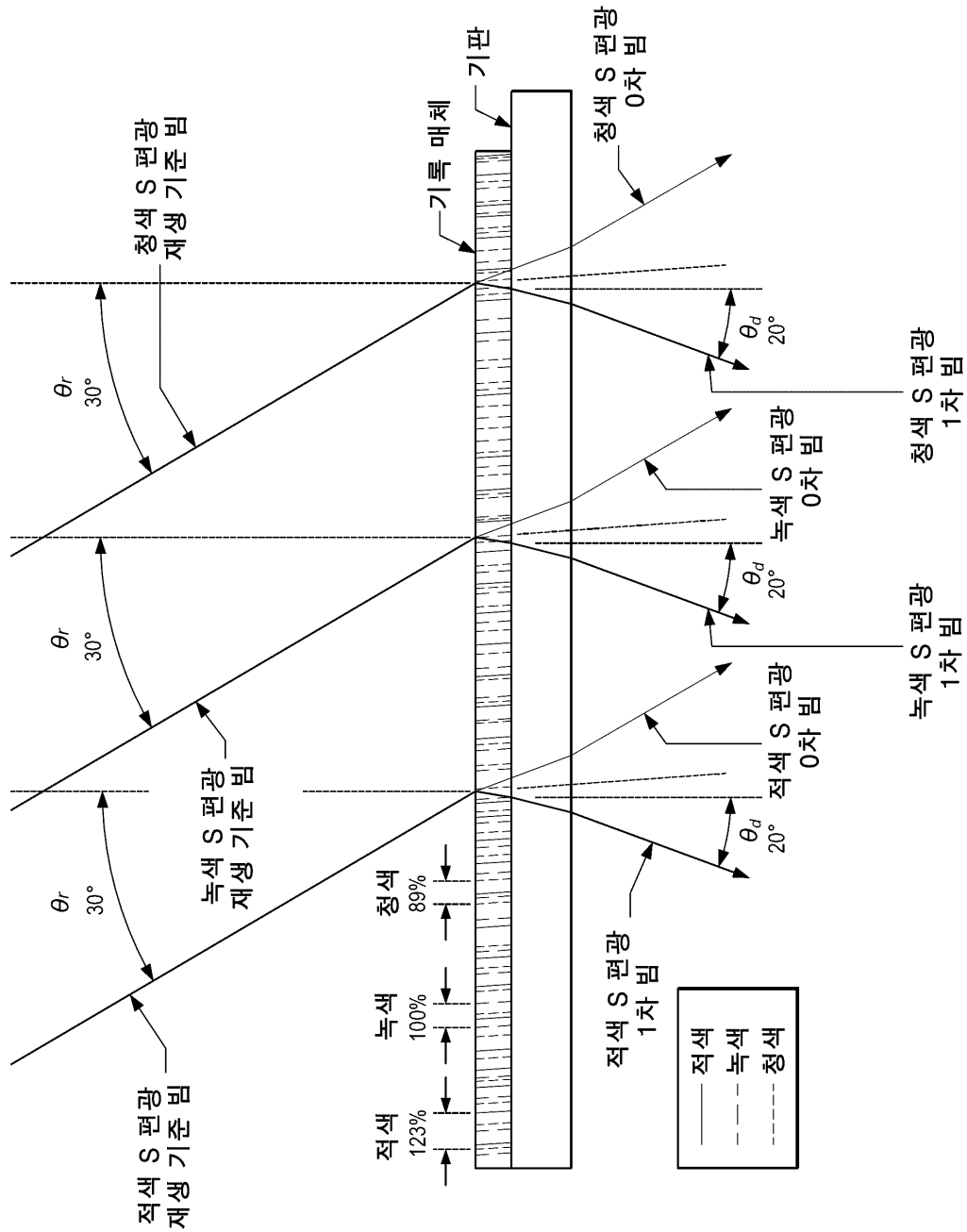
도면7c



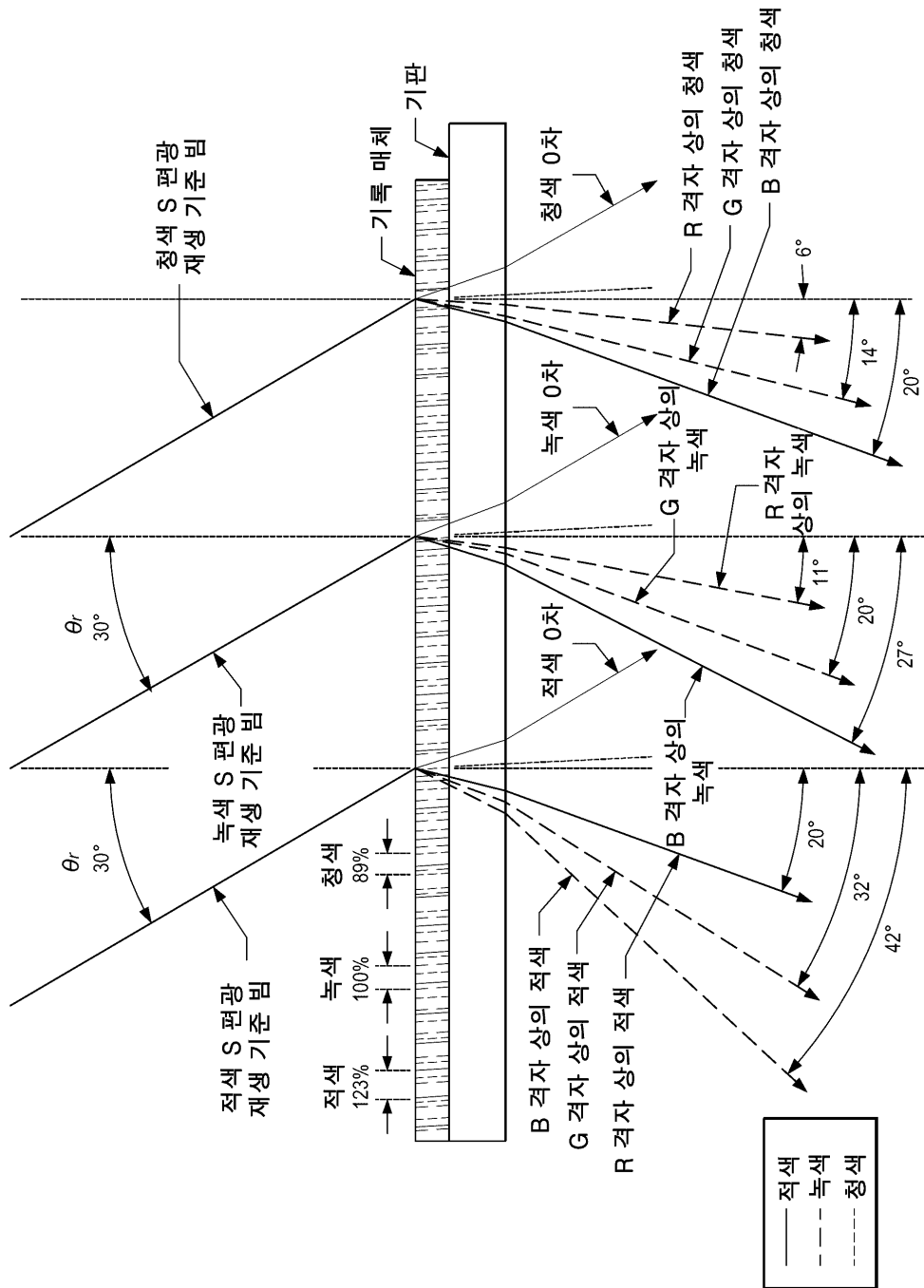
도면7d



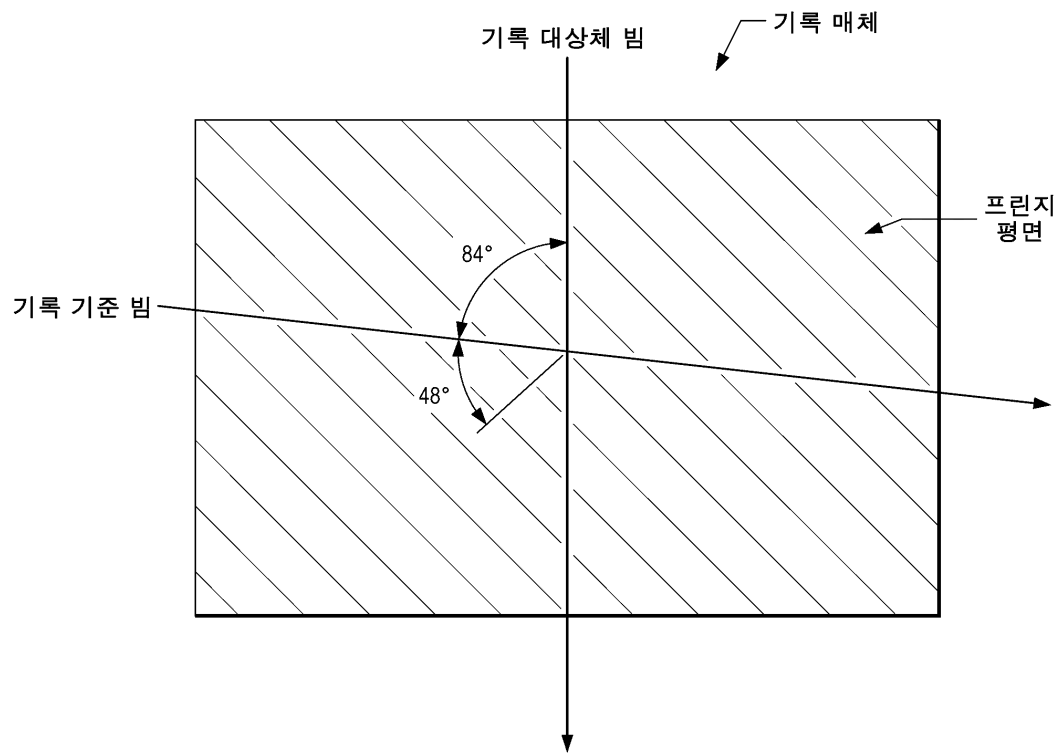
도면7e



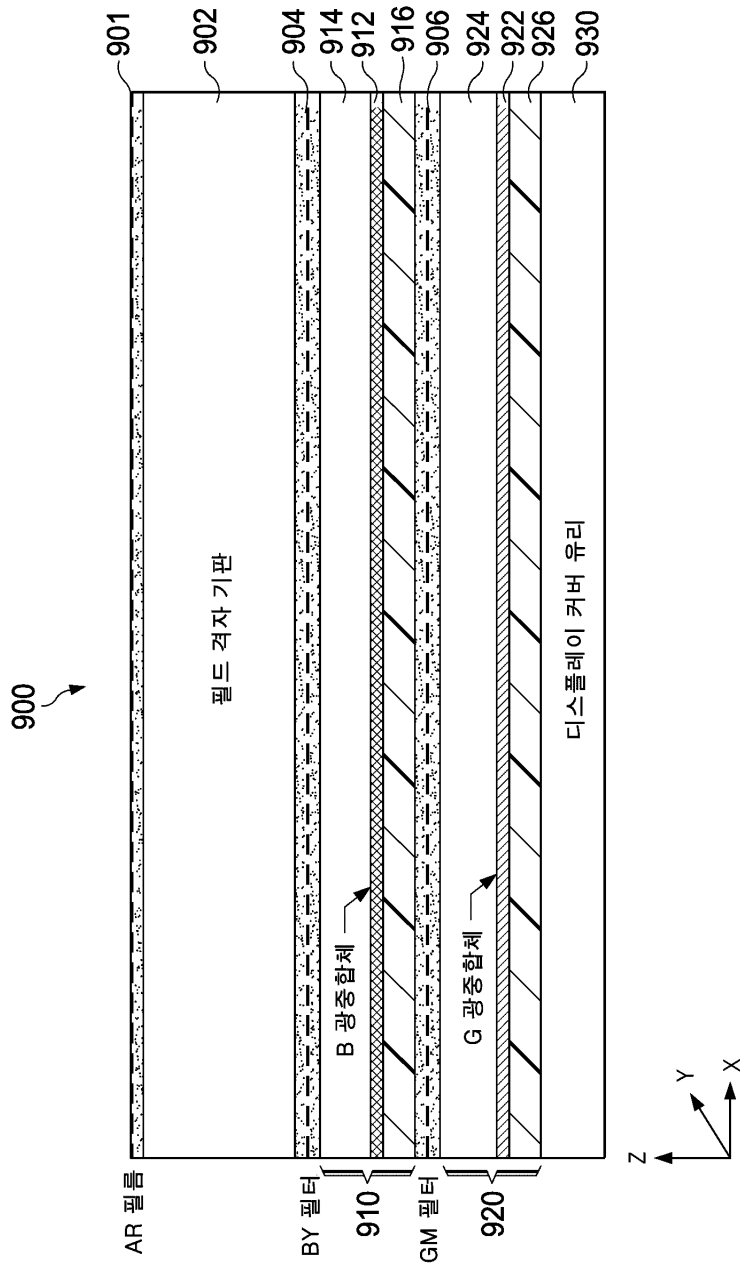
도면7f



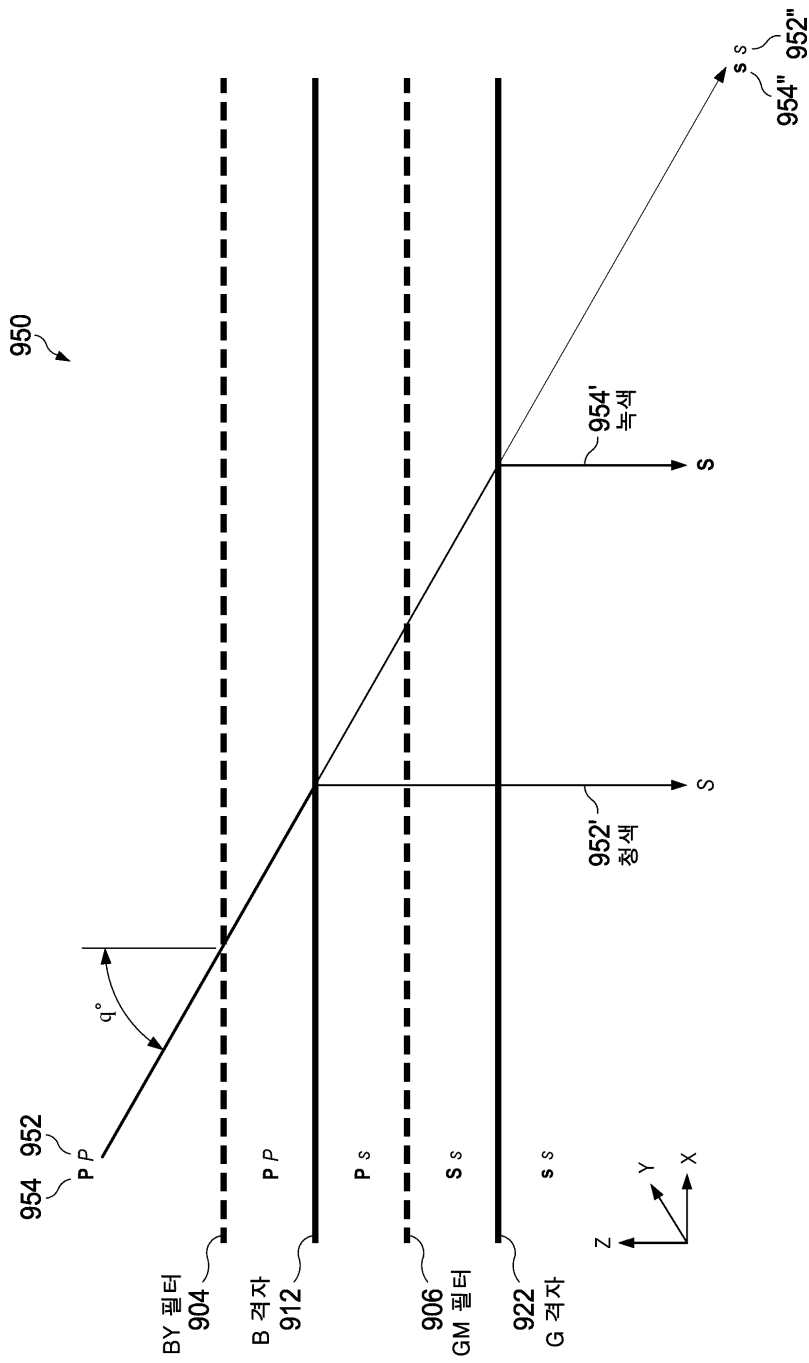
도면8



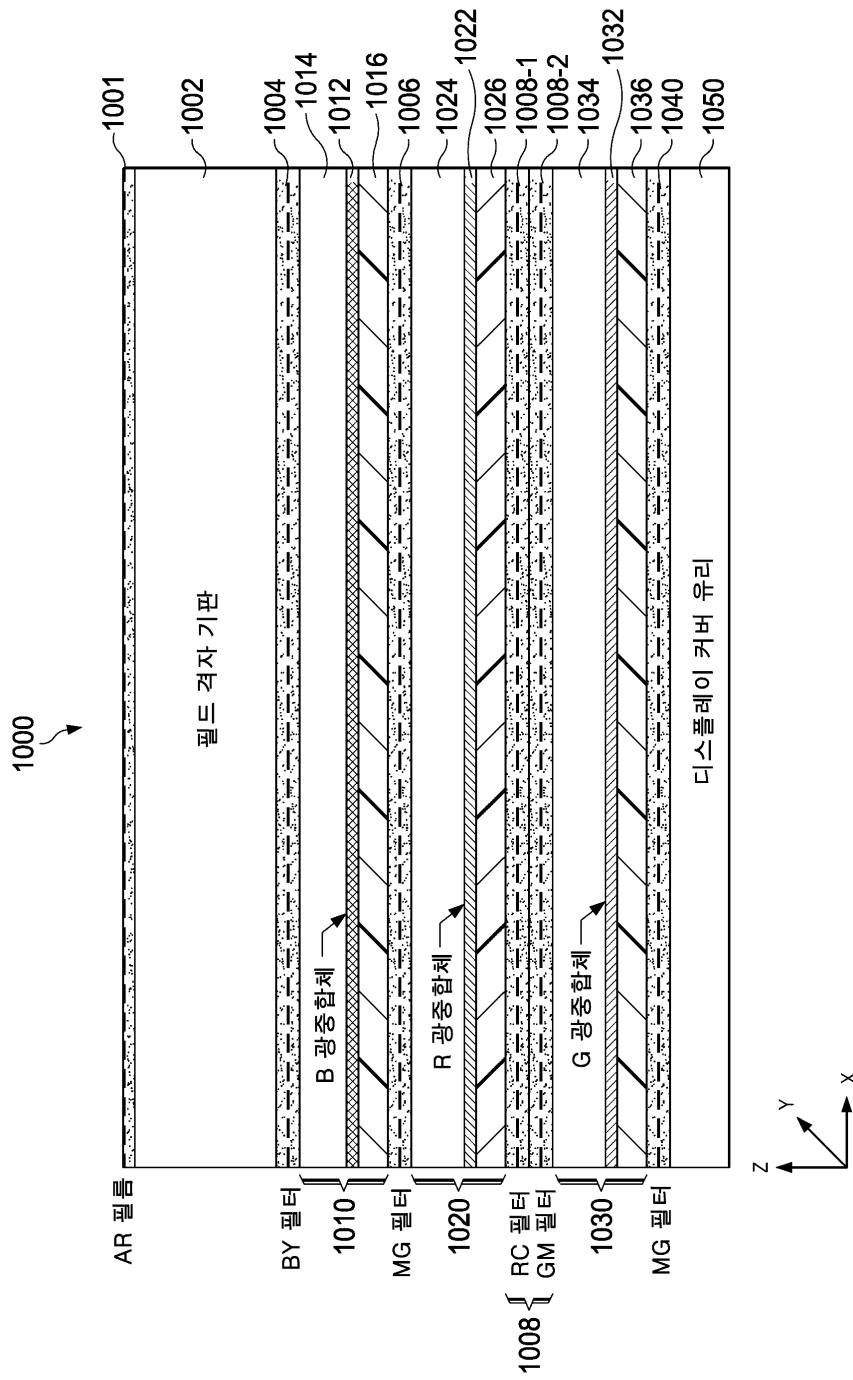
도면9a



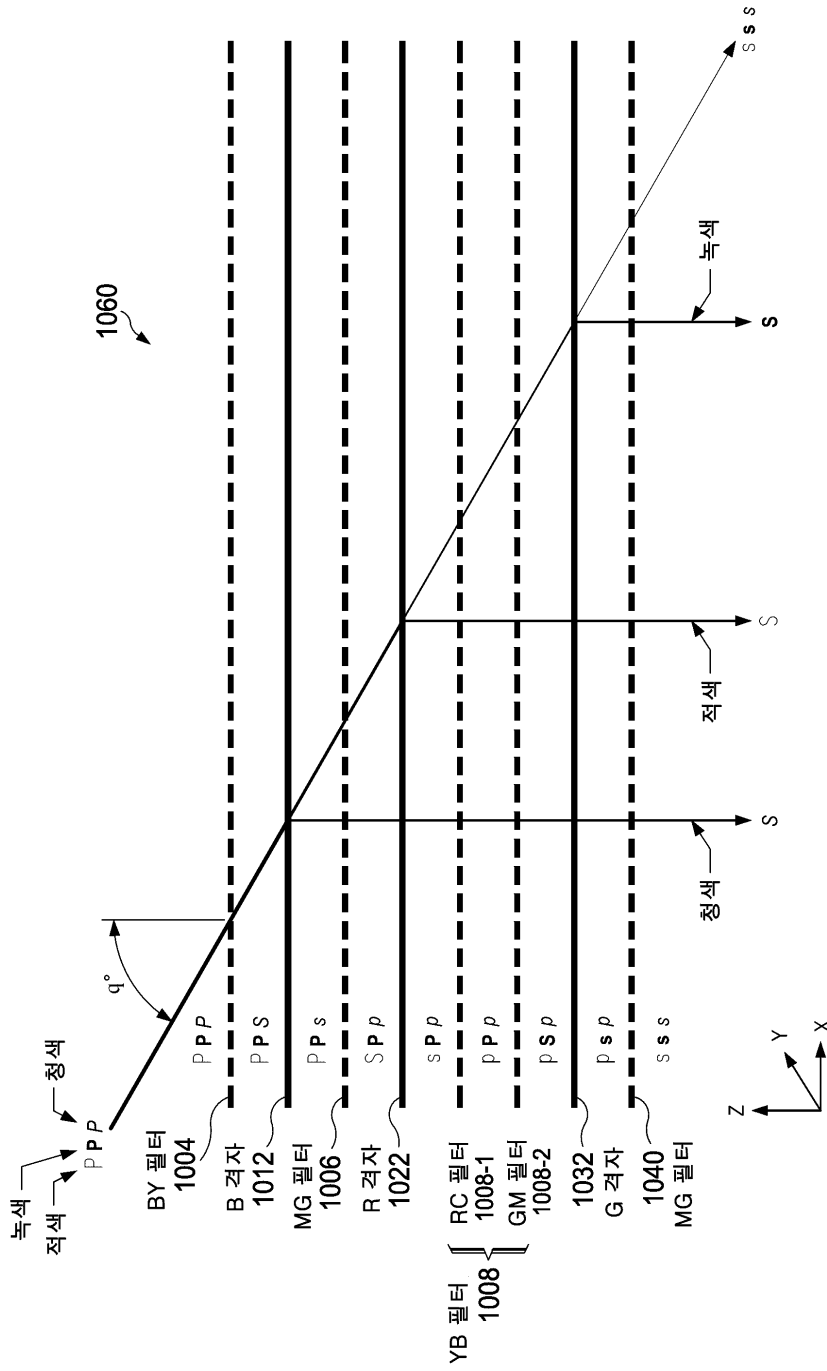
도면9b



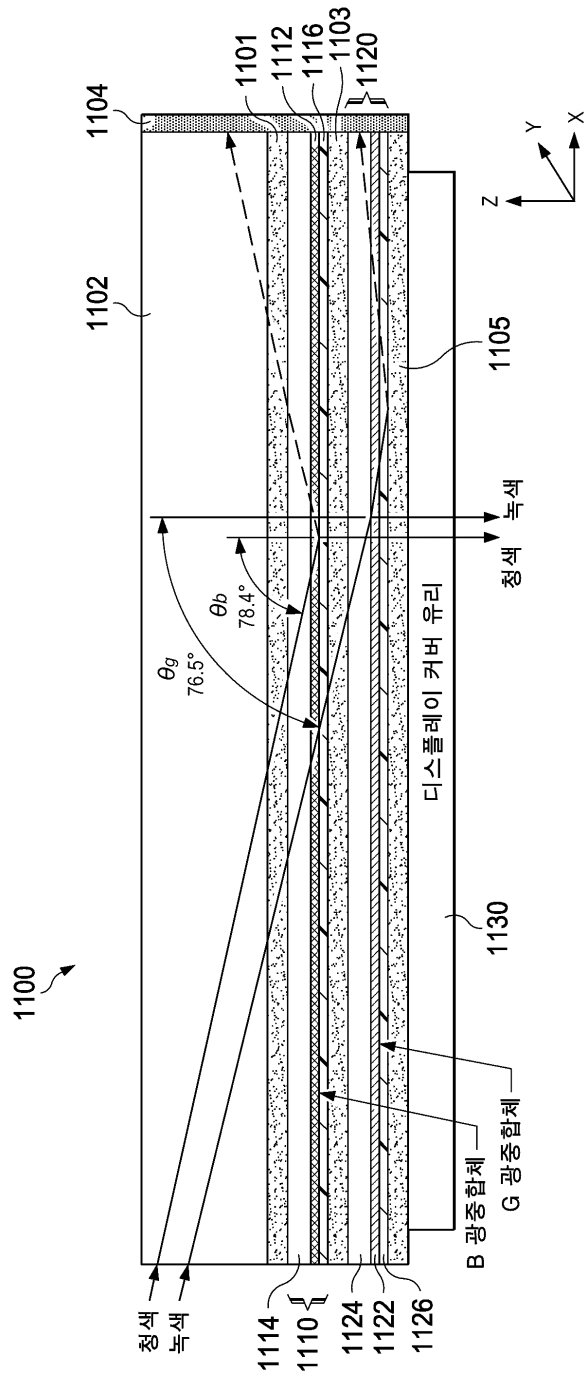
도면10a



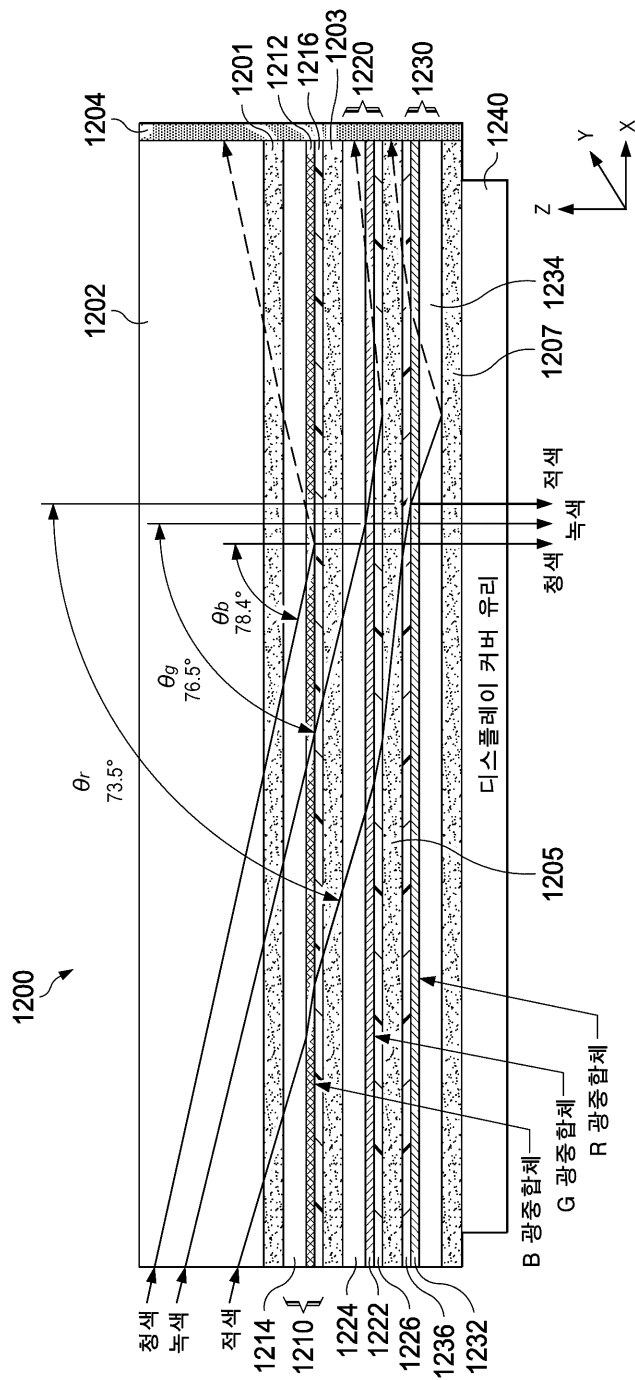
도면10b



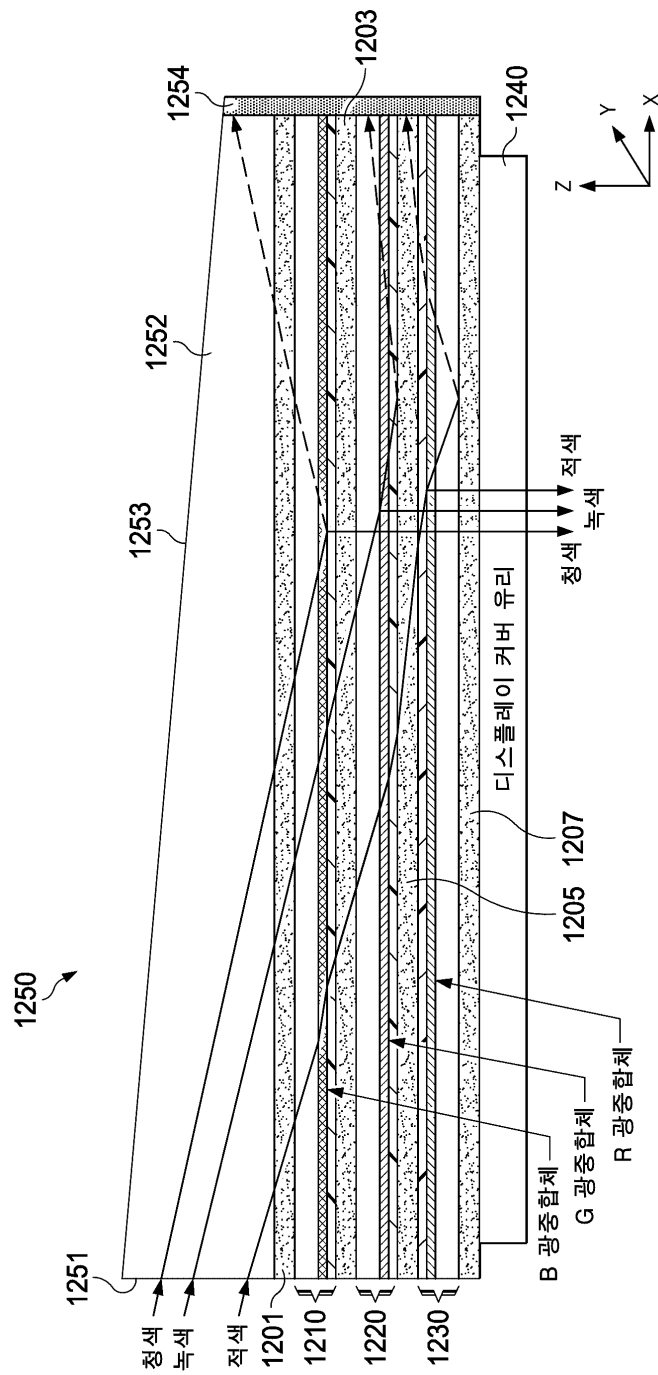
도면11



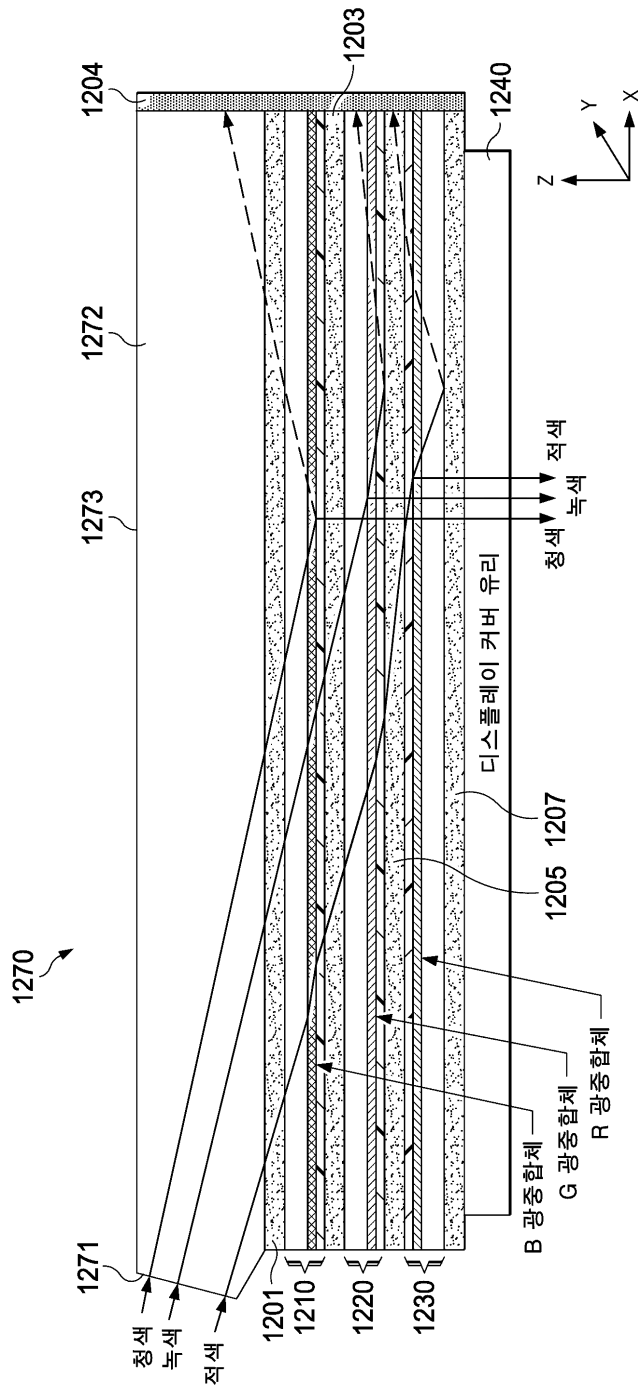
도면 12a



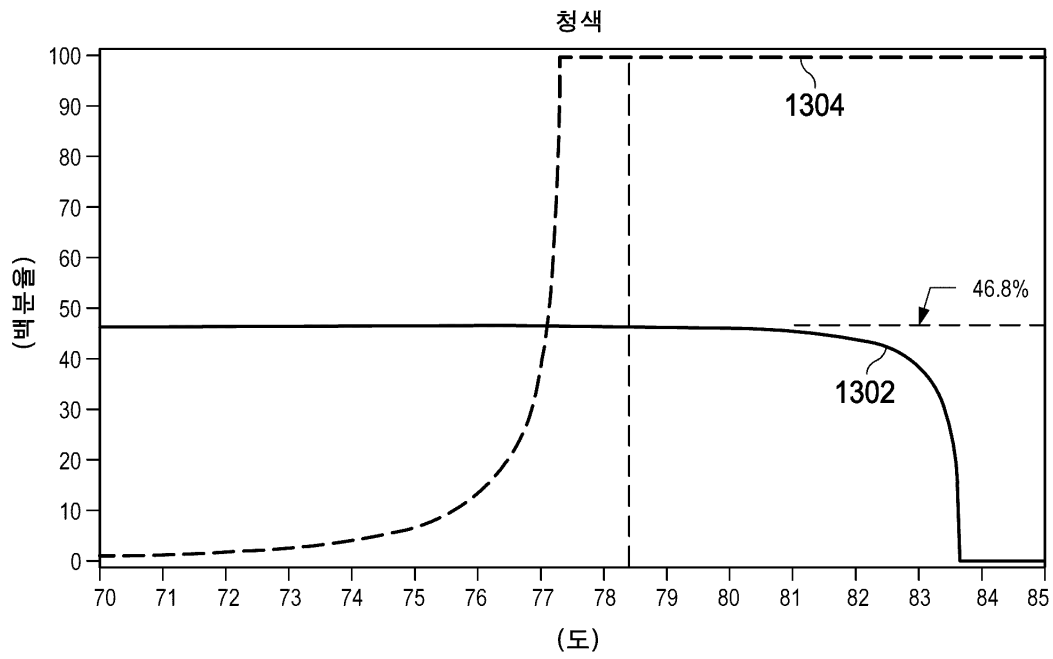
도면 12b



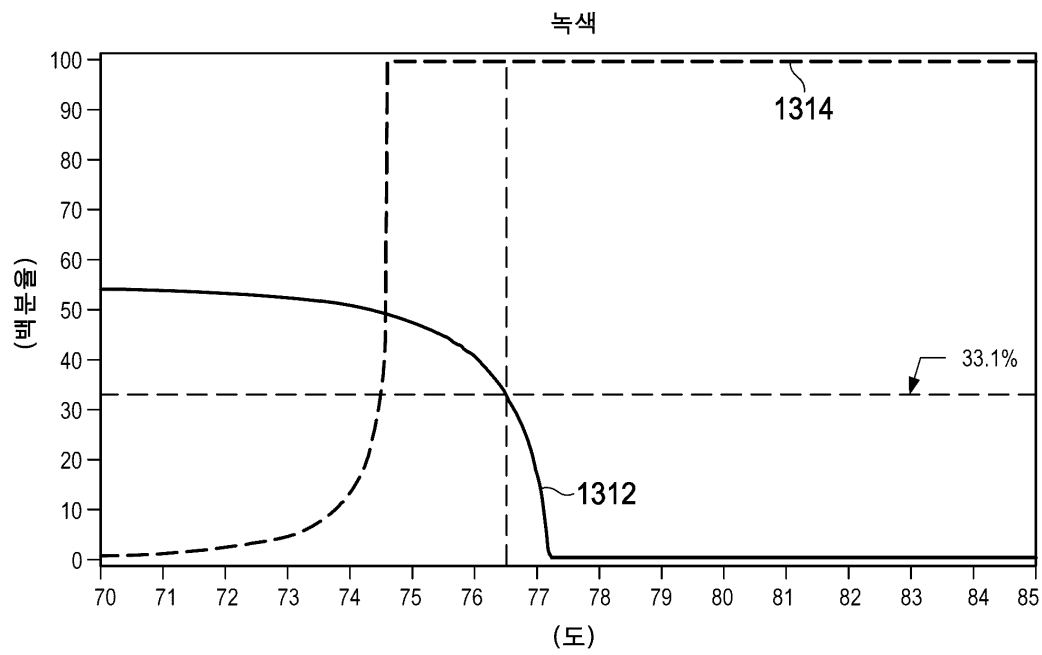
도면12c



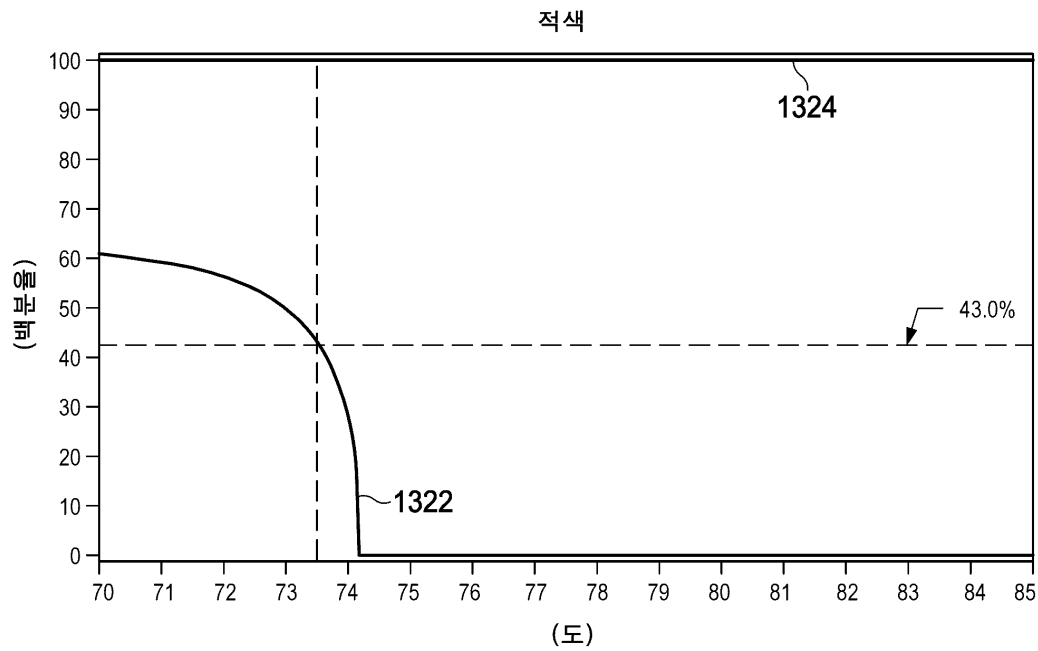
도면13a



도면13b

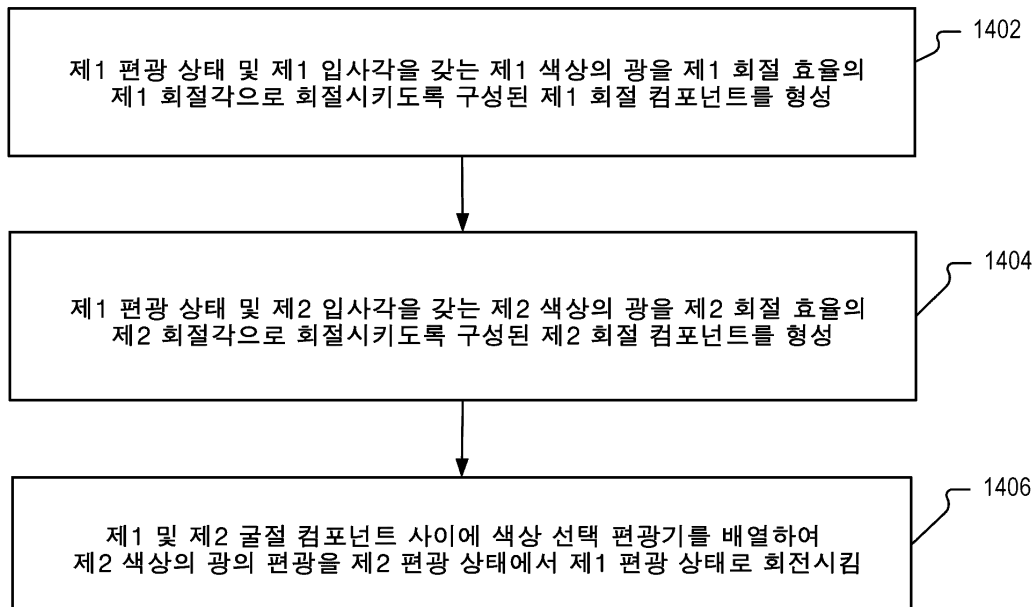


도면13c

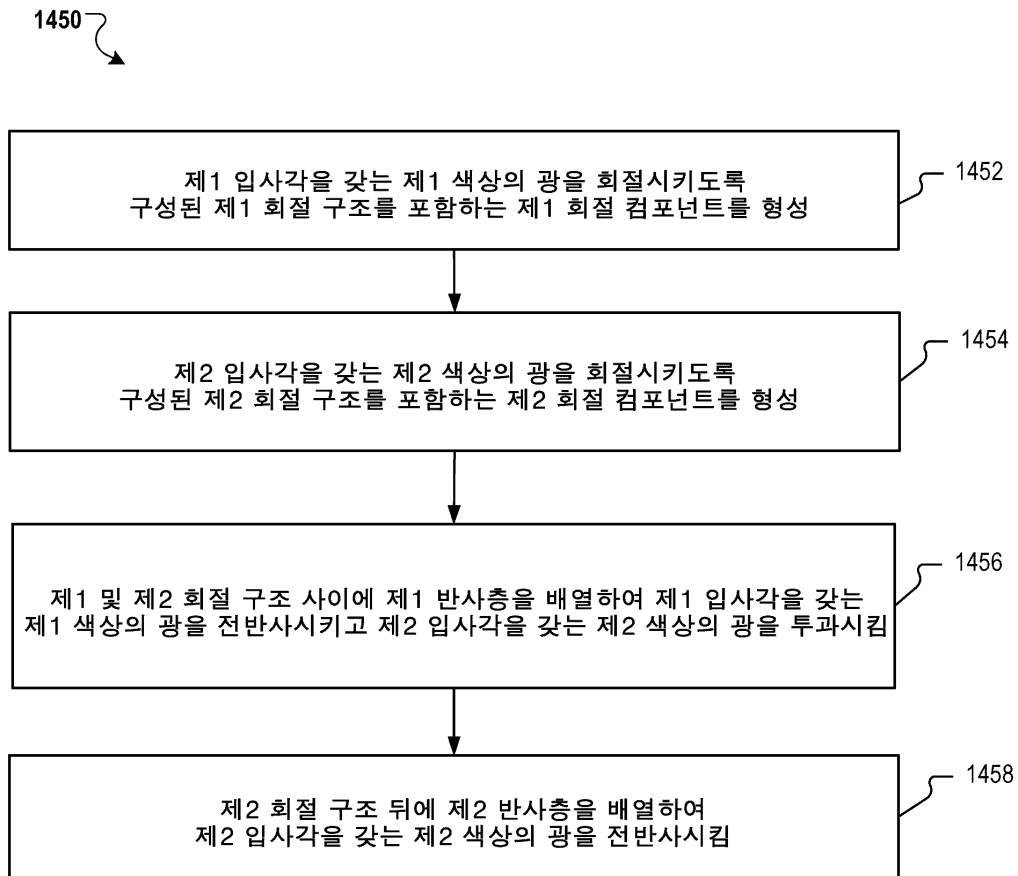


도면14a

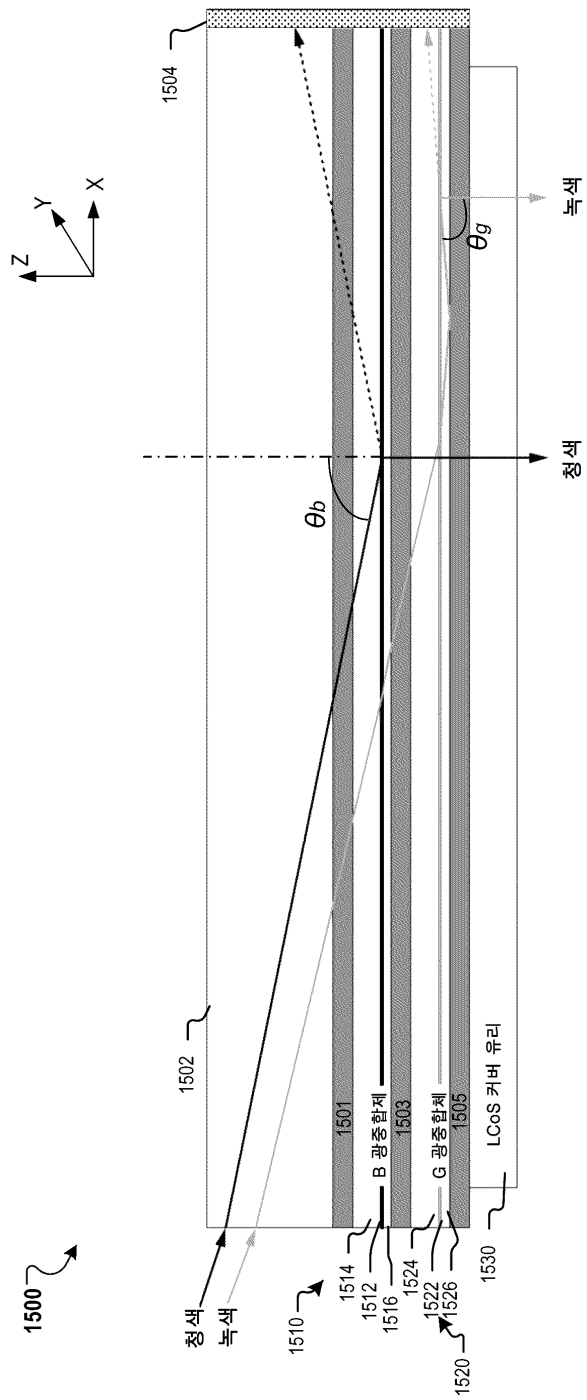
1400



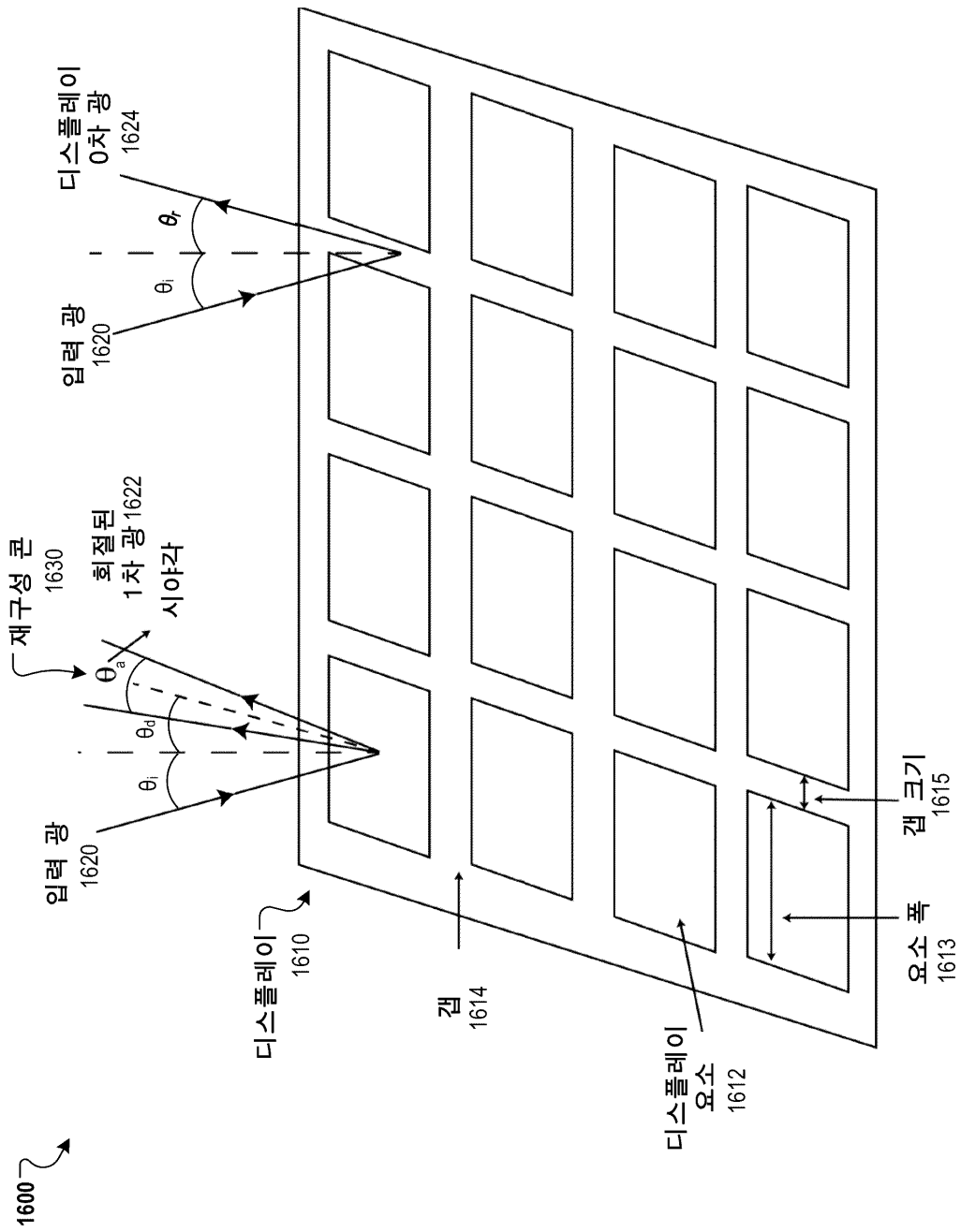
도면14b



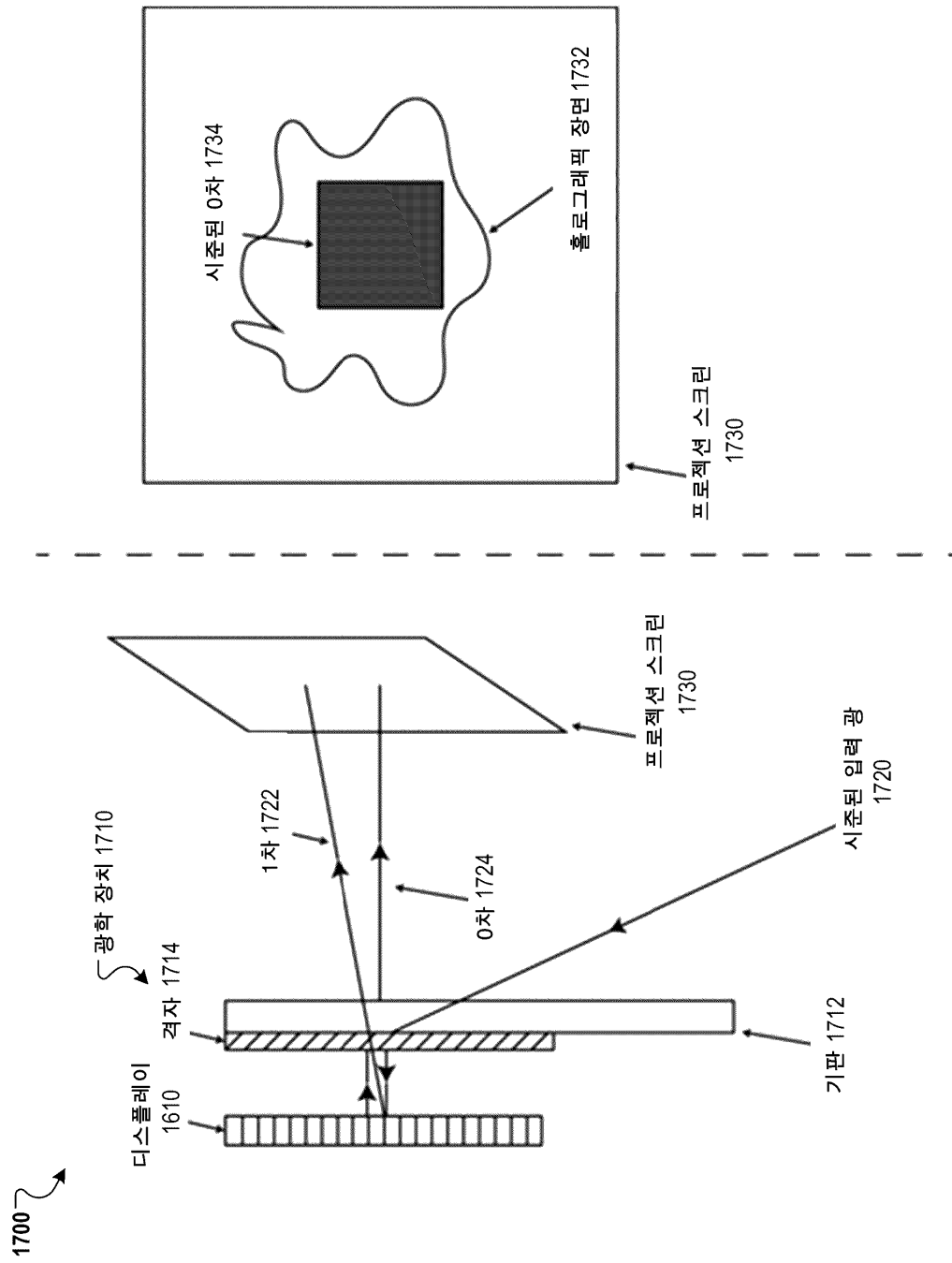
도면15



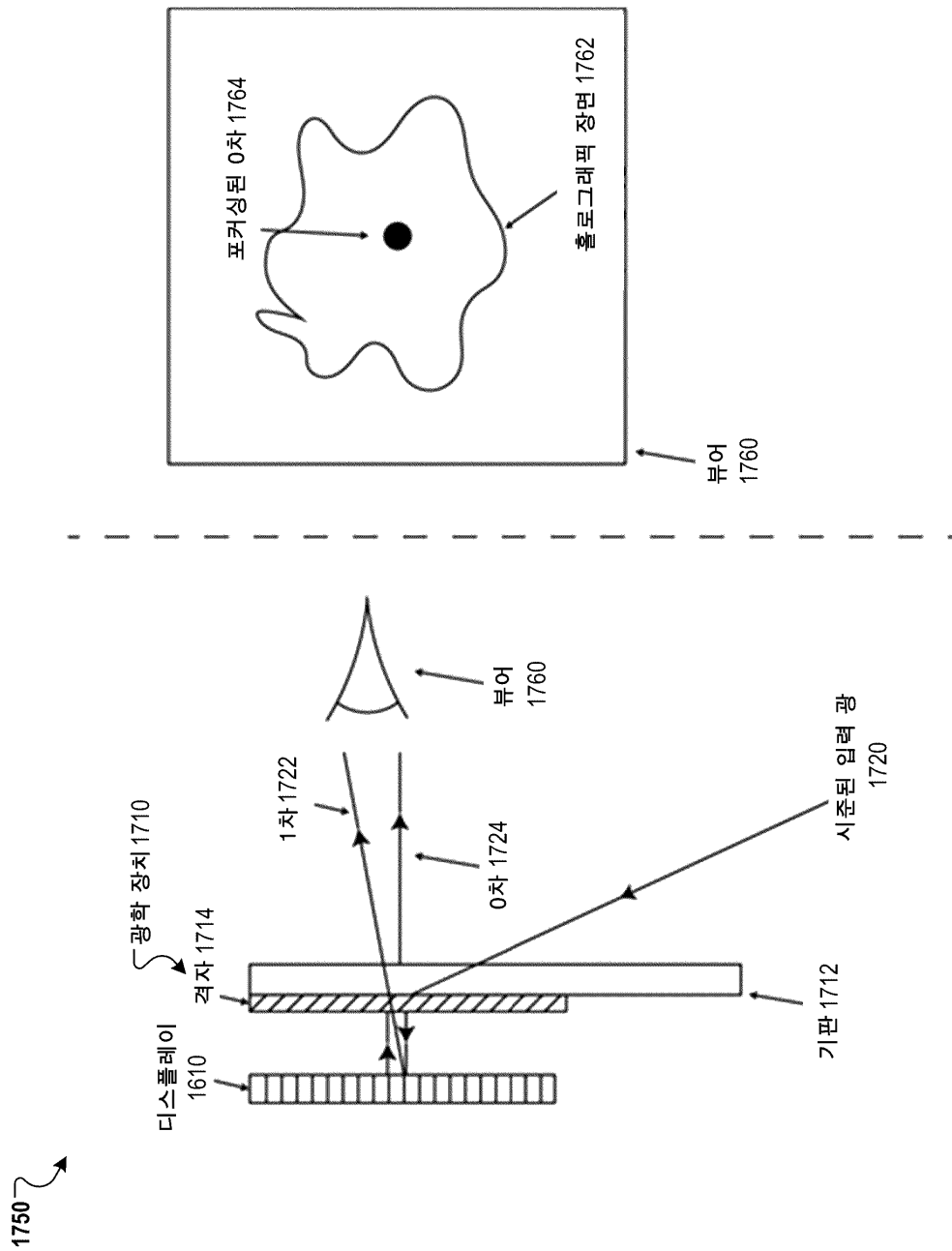
도면16



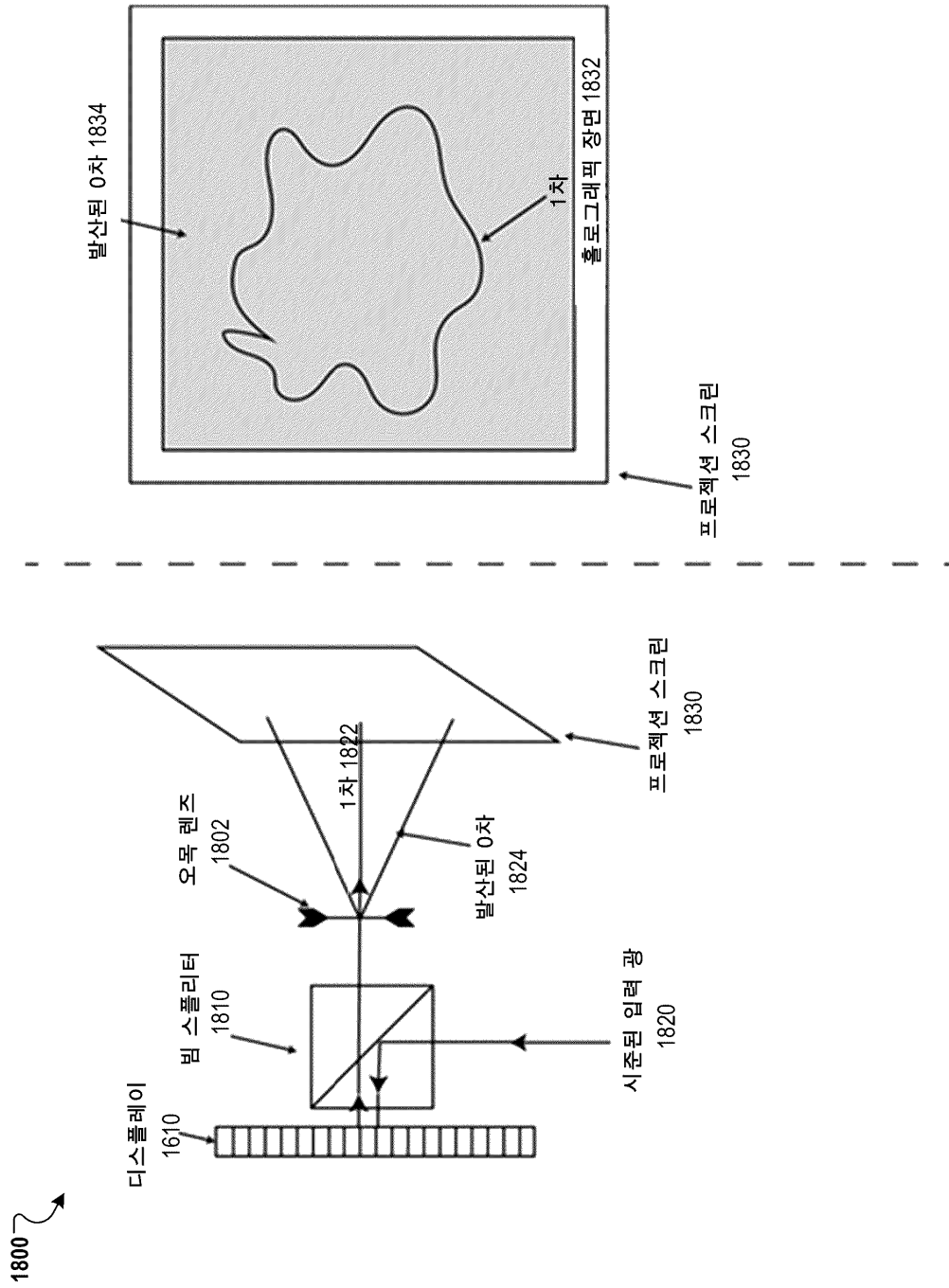
도면17a



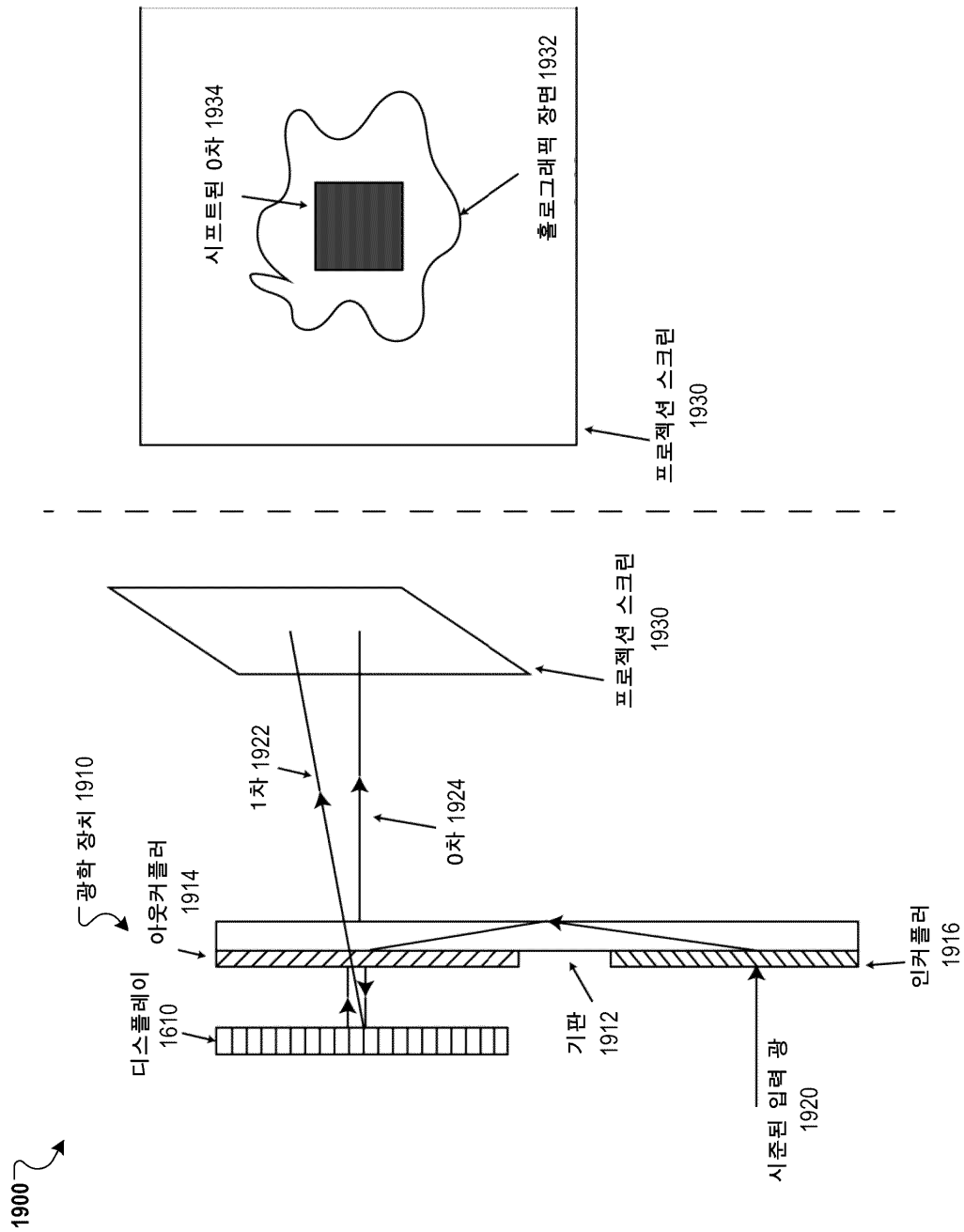
도면17b



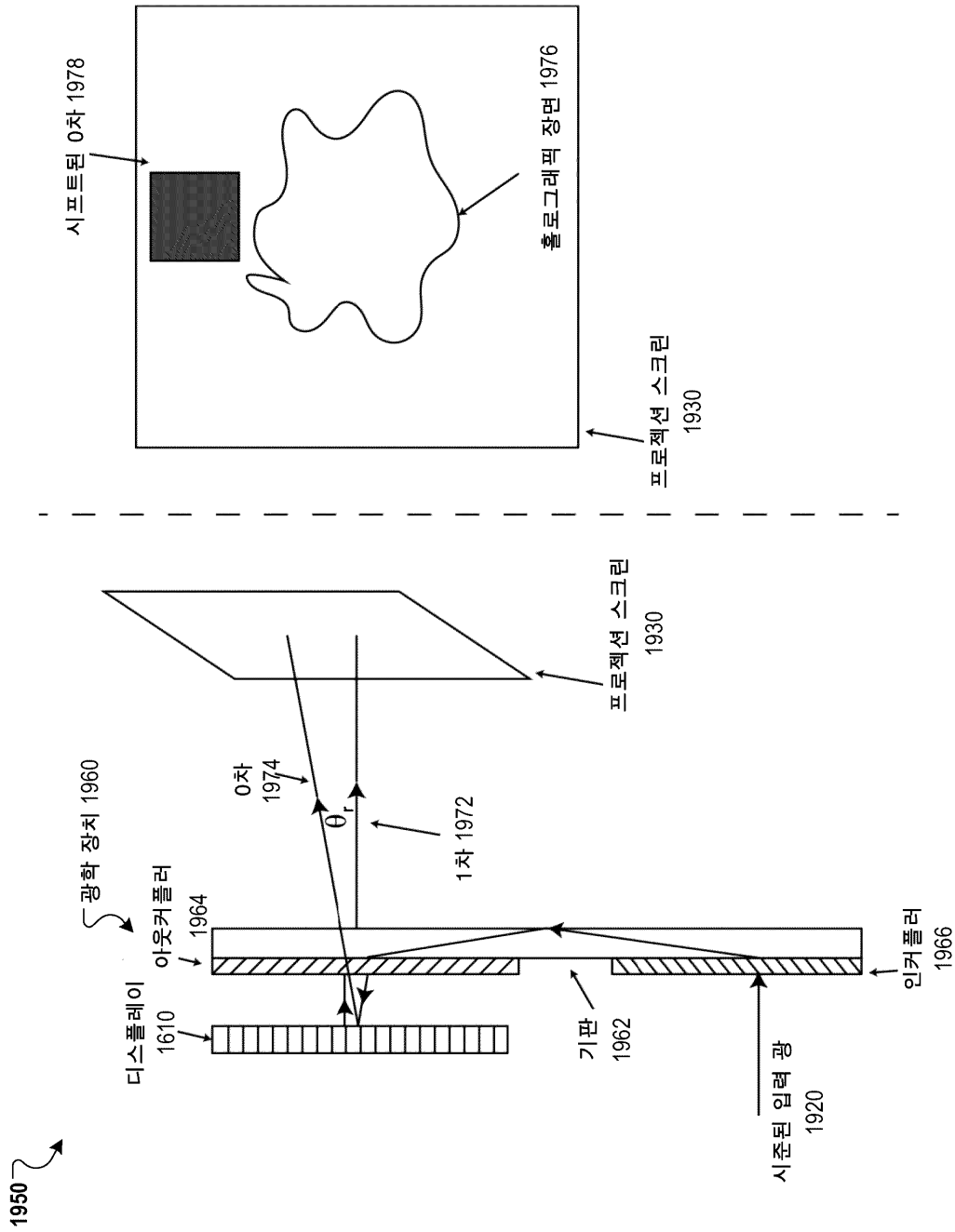
도면18



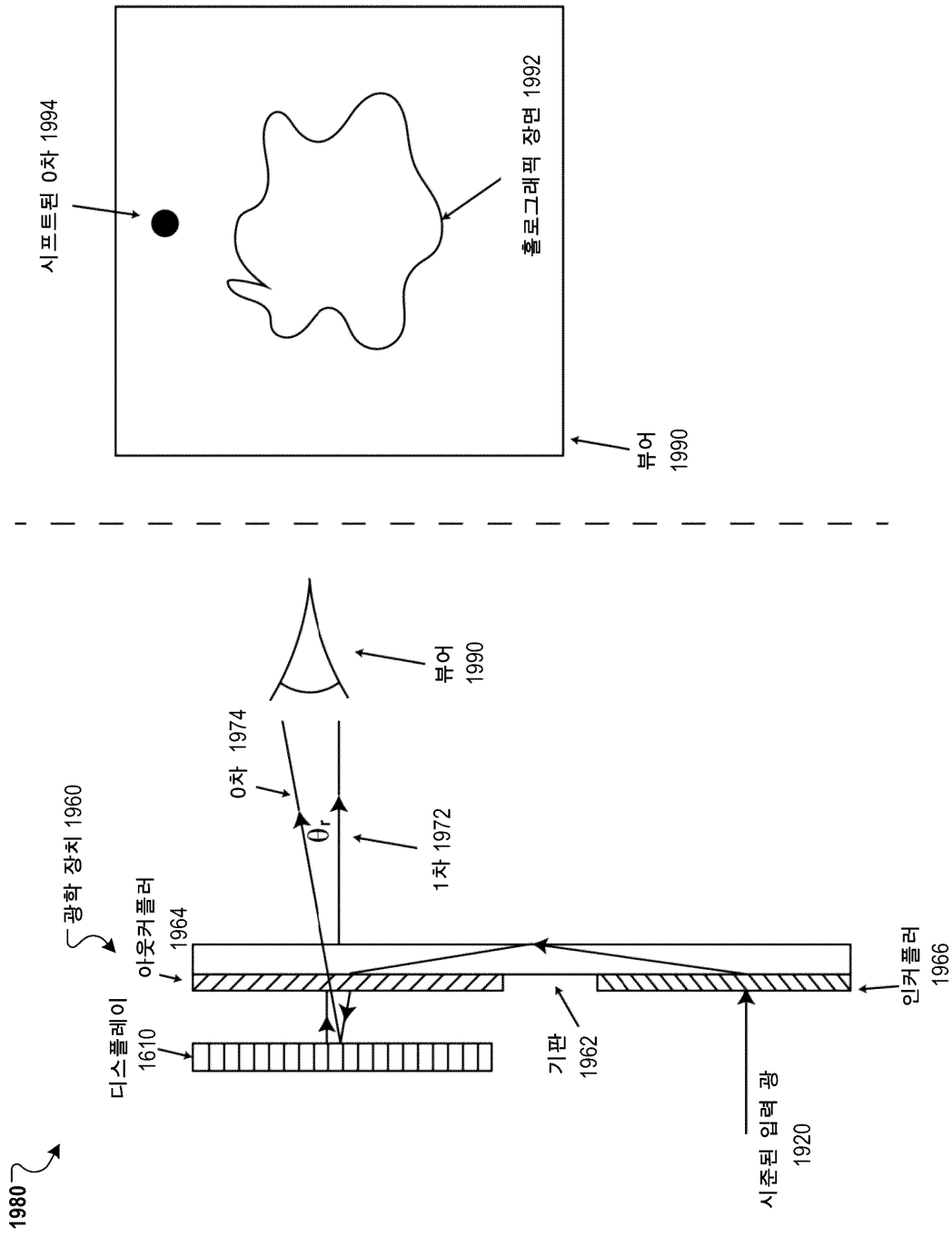
도면19a



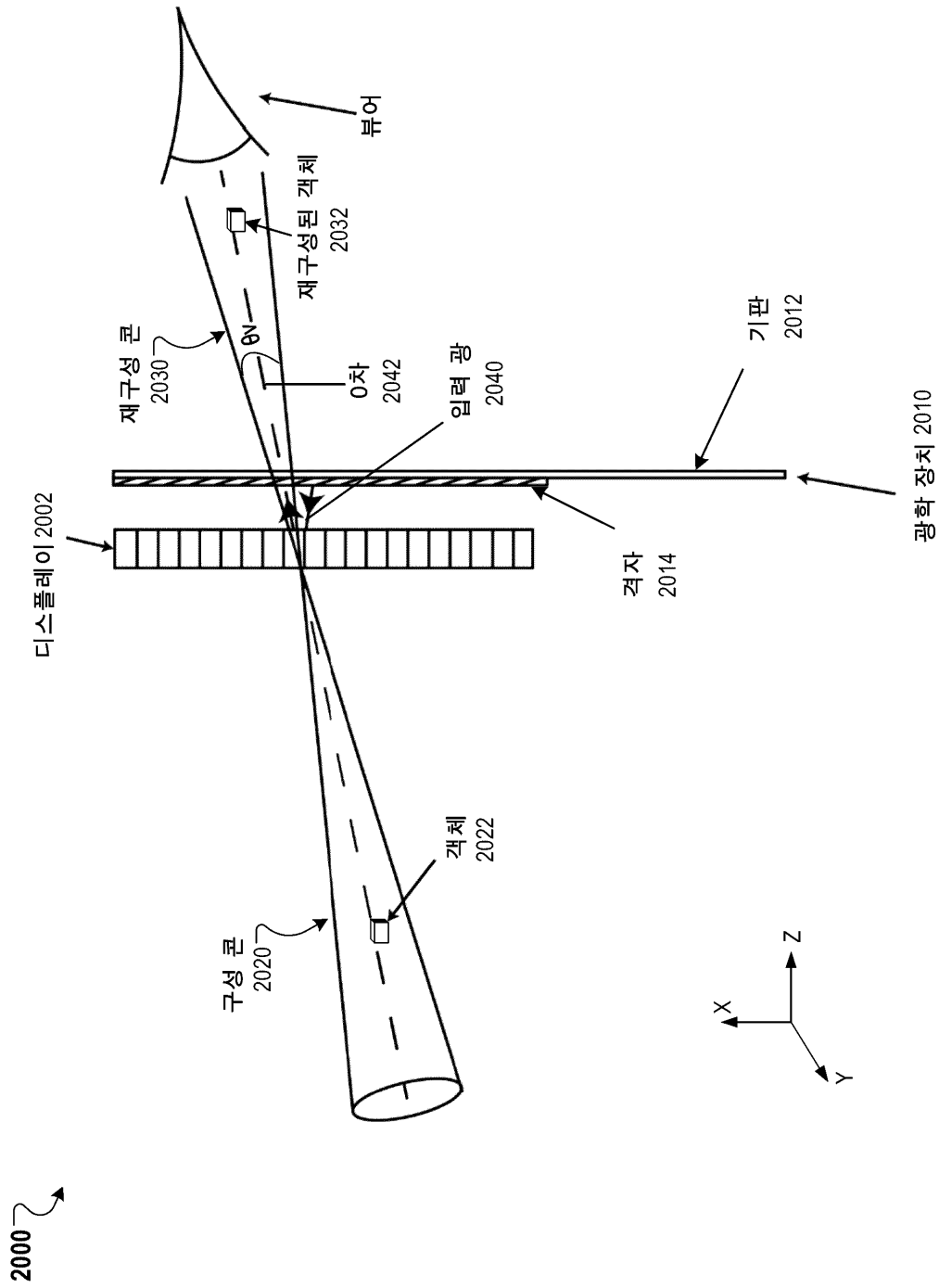
도면19b



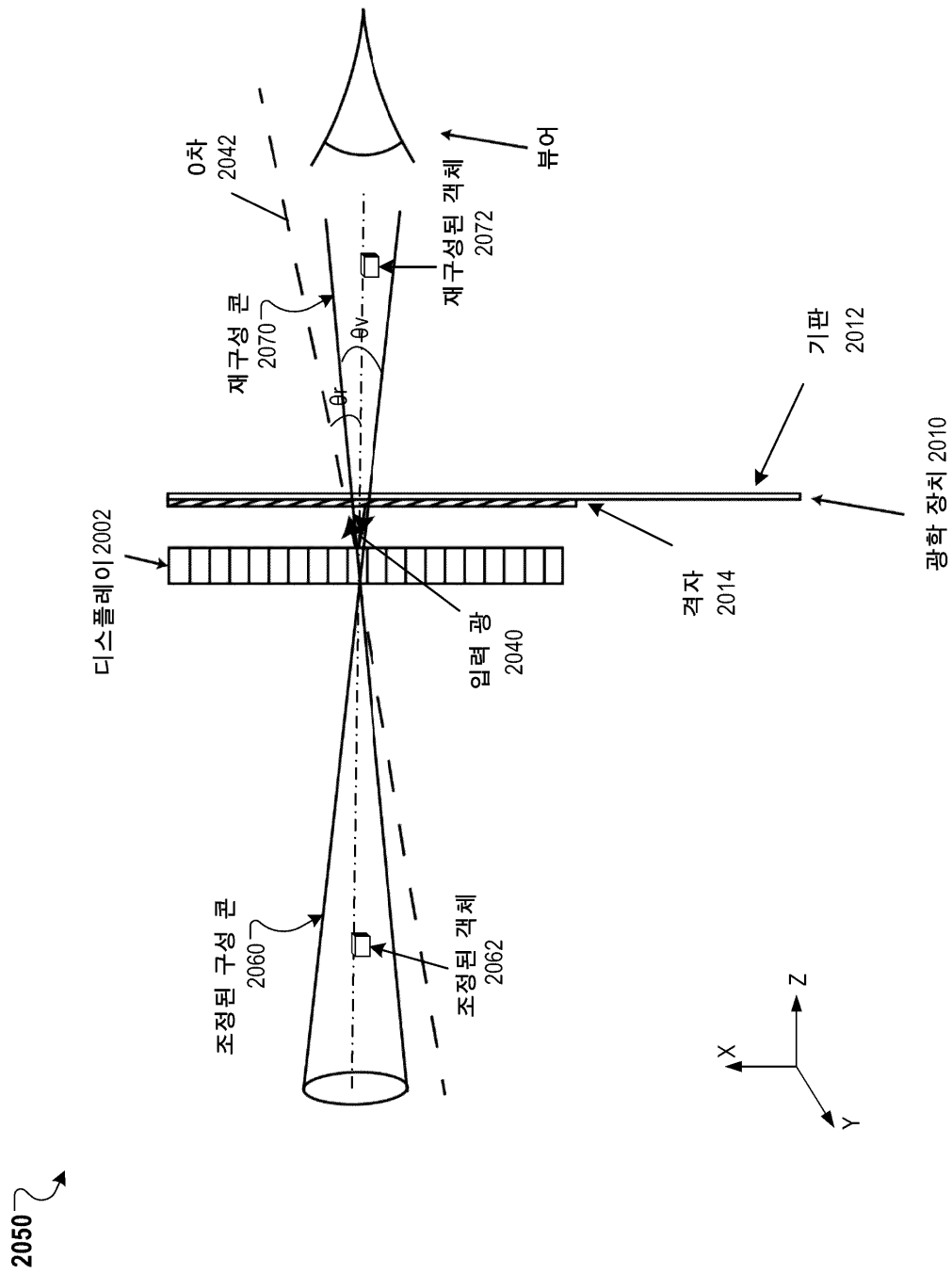
도면19c



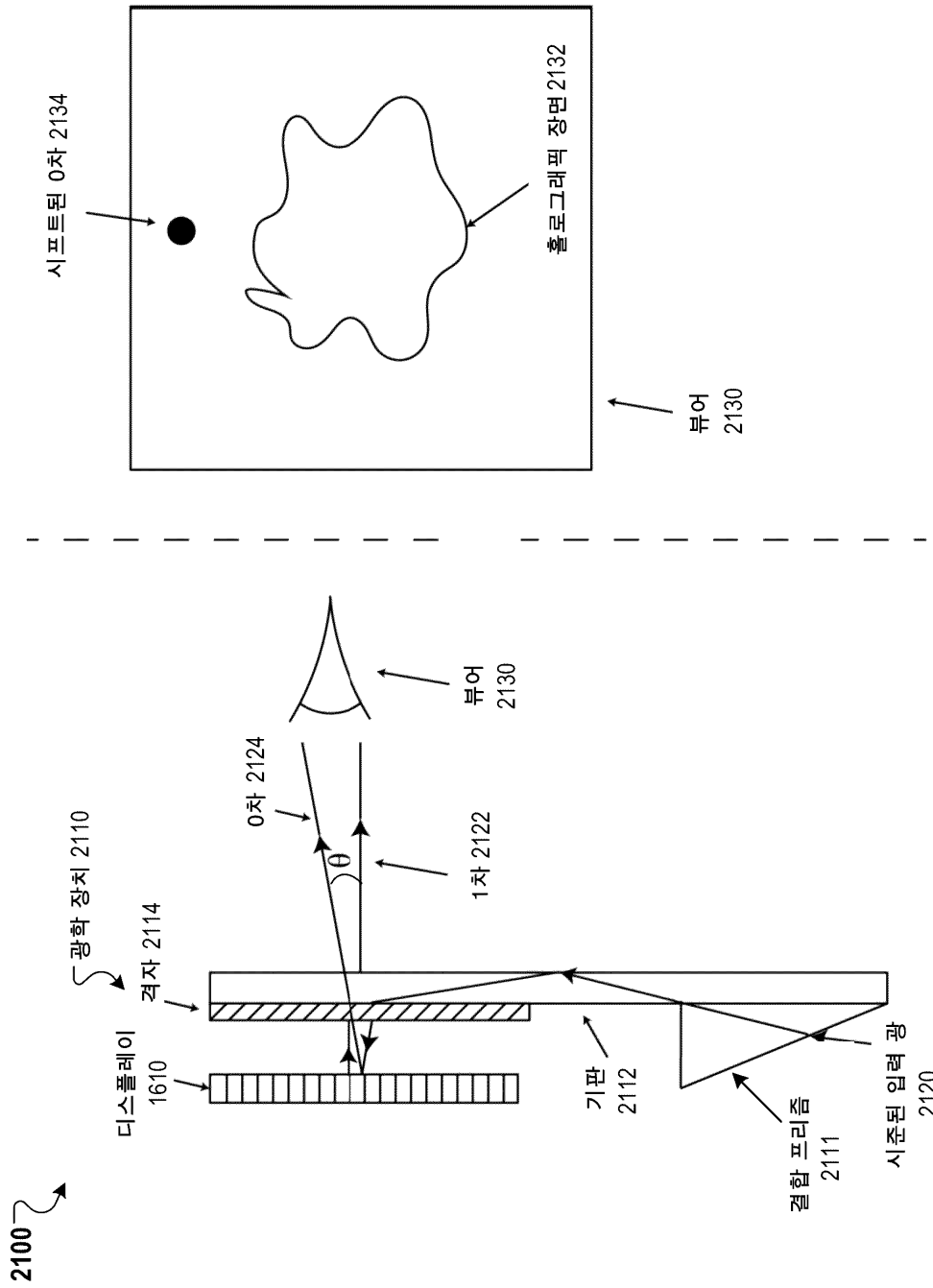
도면20a



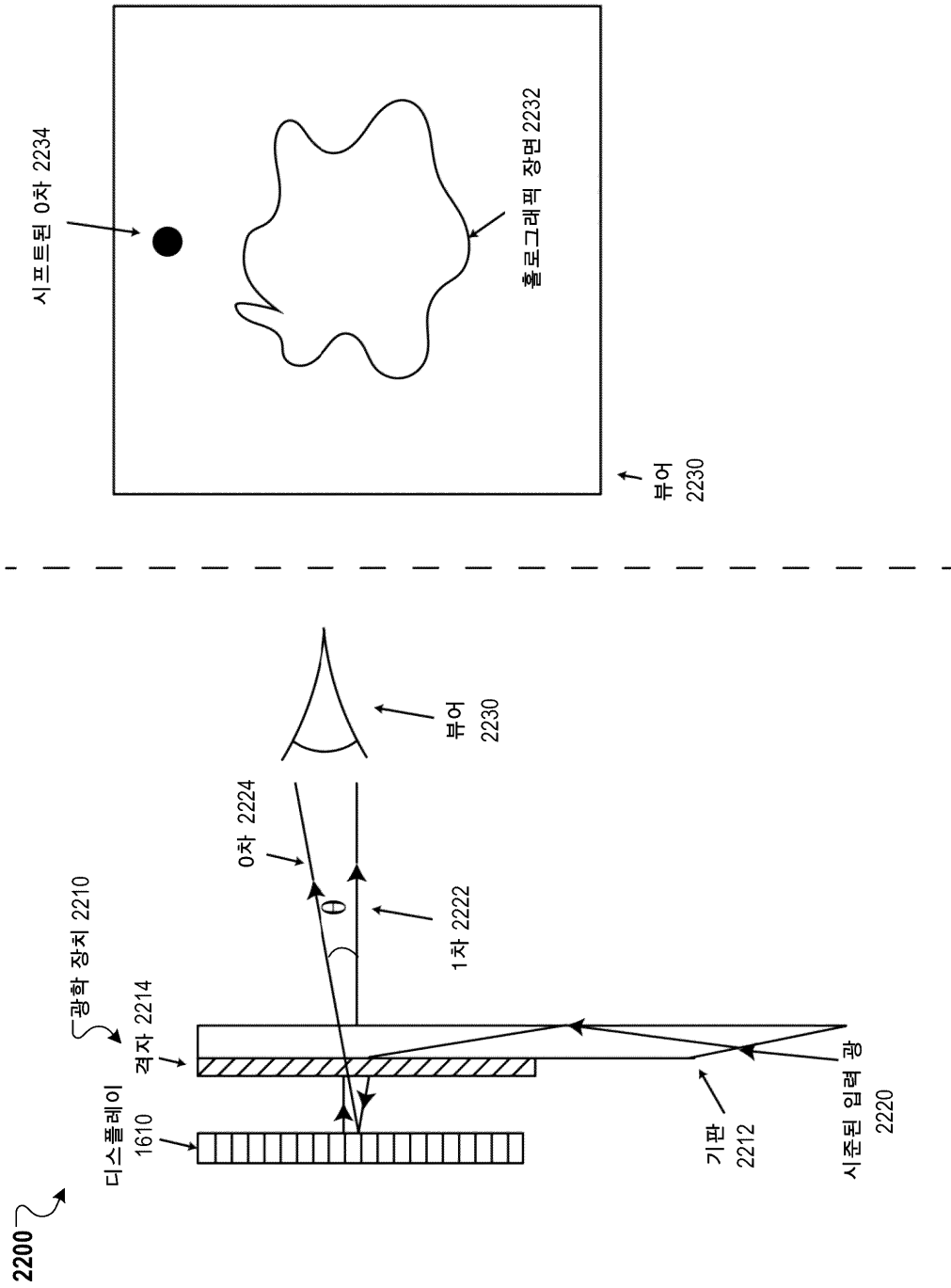
도면 20b



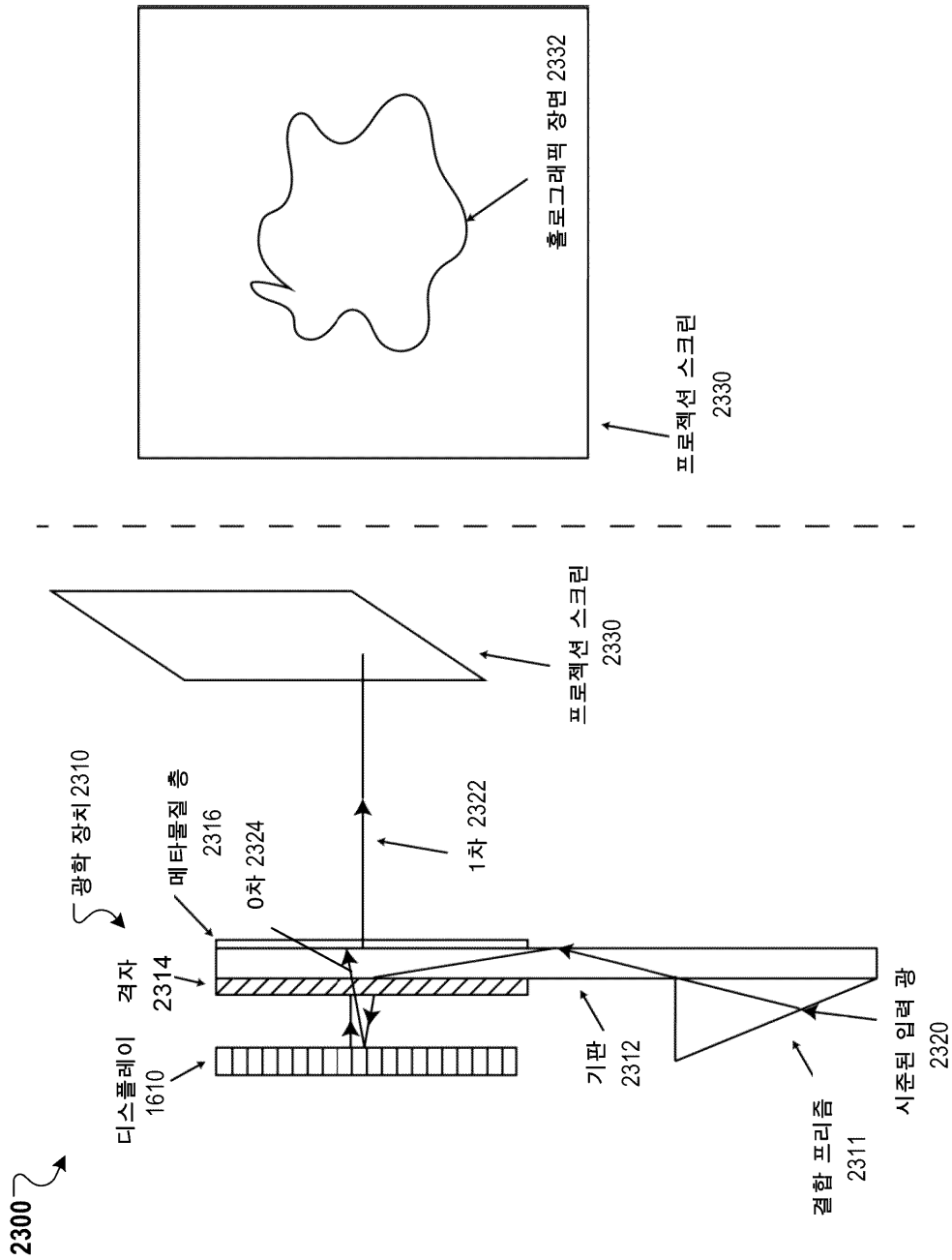
도면21



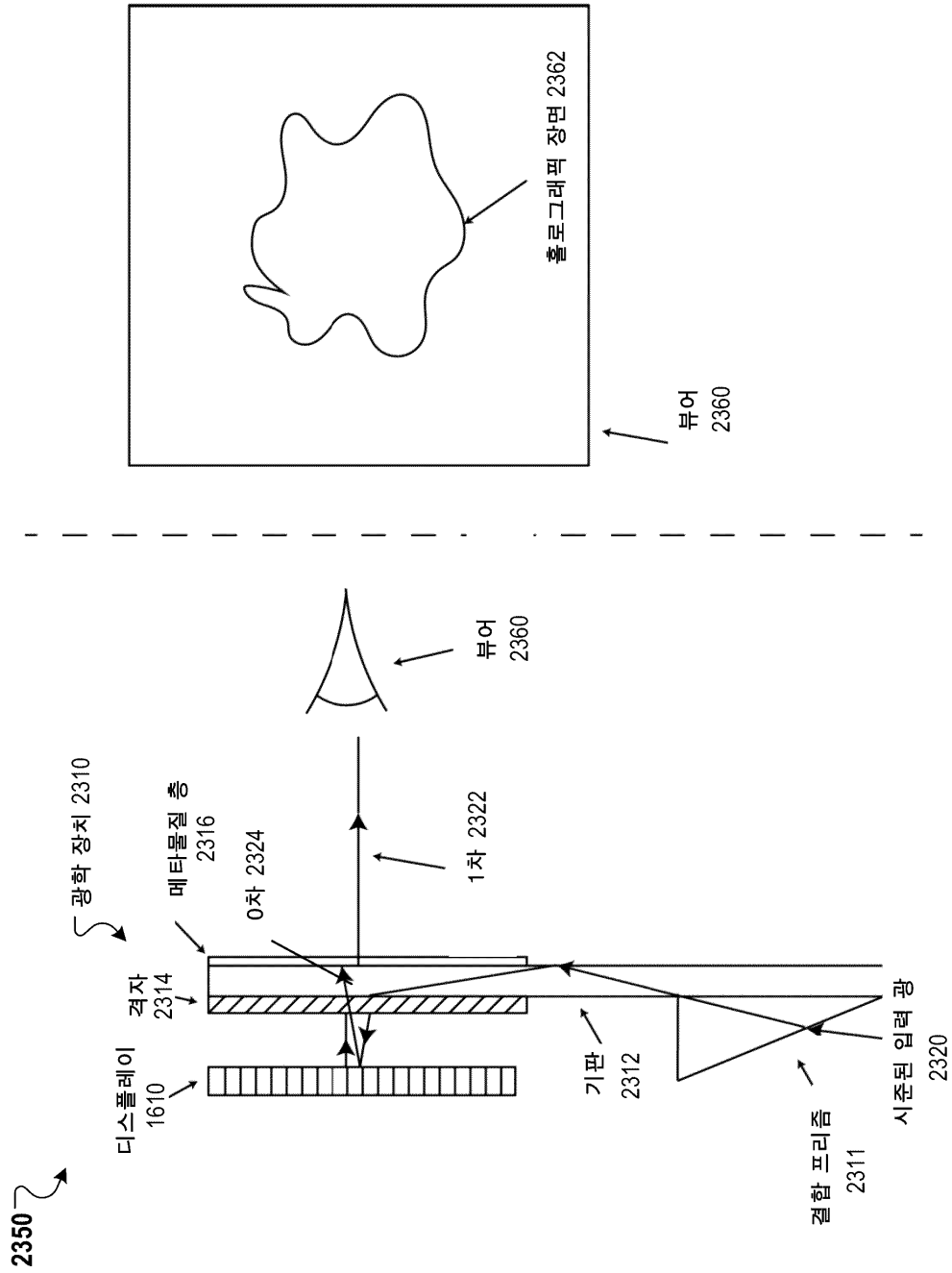
도면22



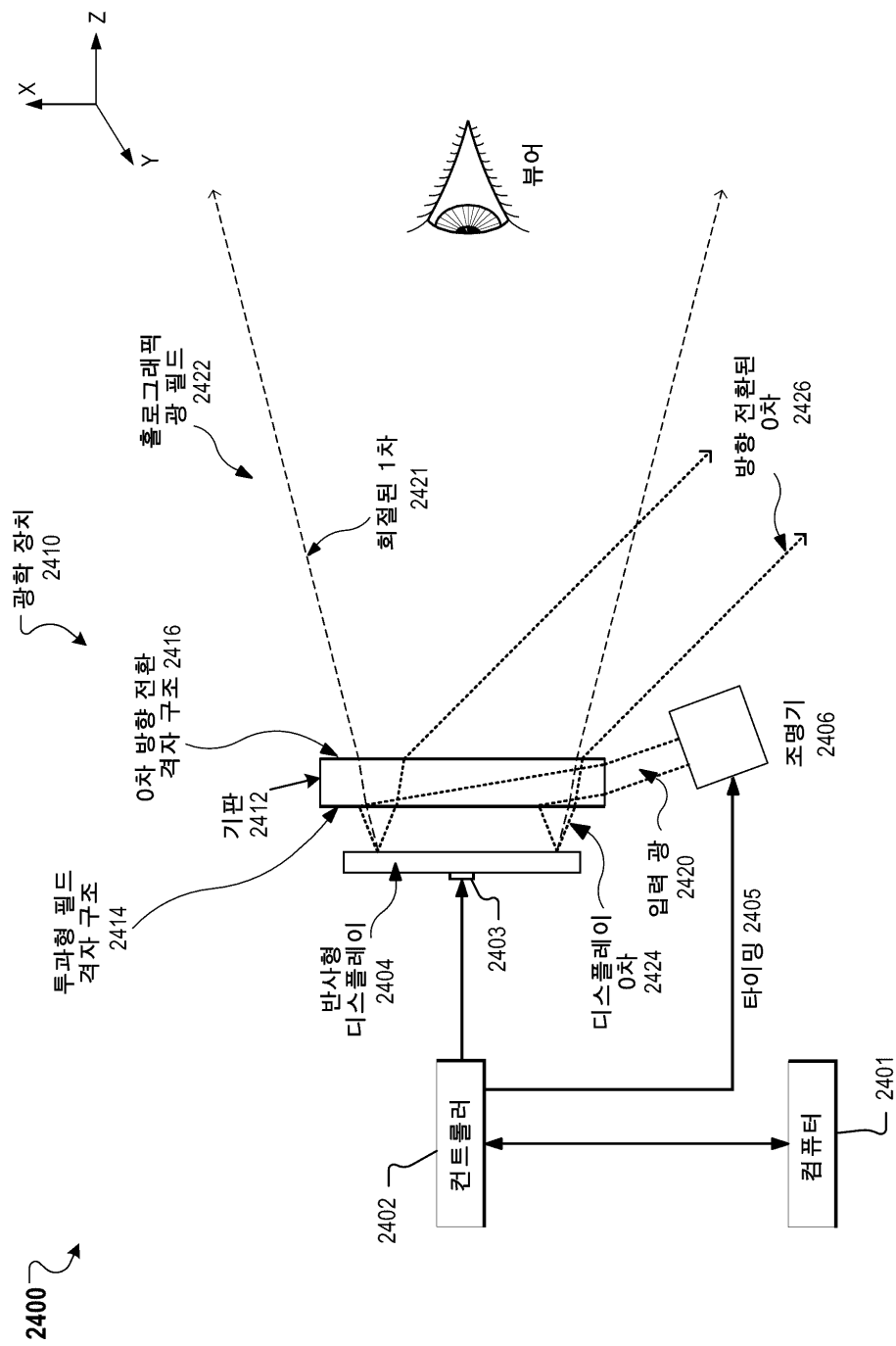
도면23a



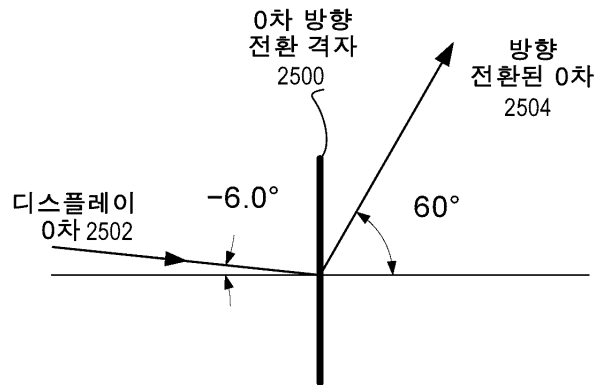
도면23b



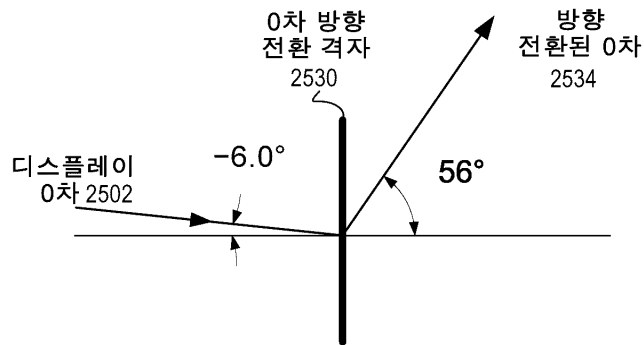
도면24



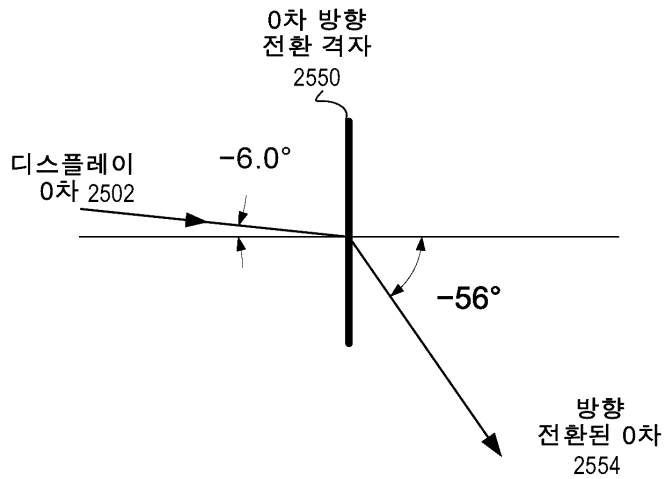
도면25a



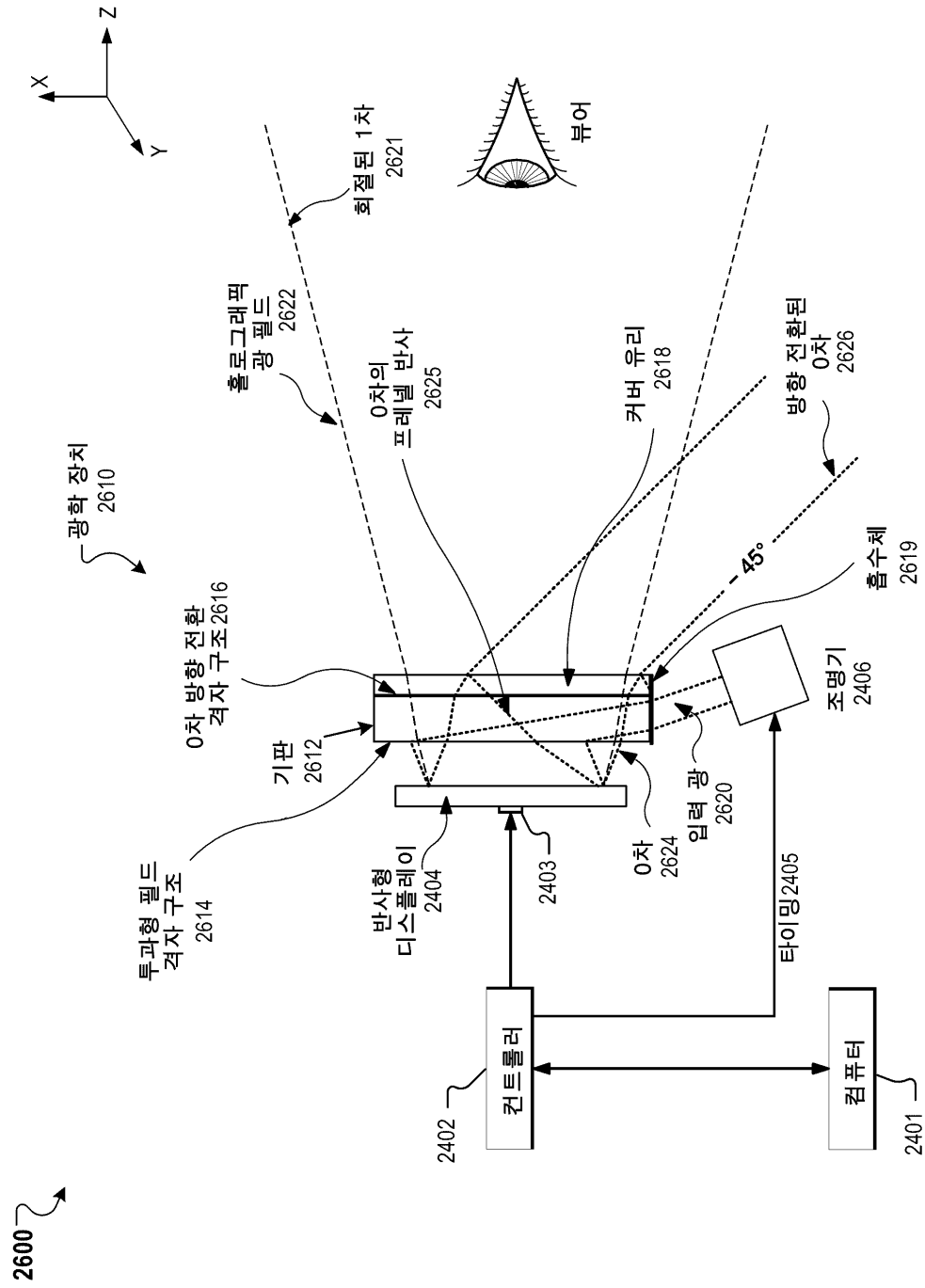
도면25b



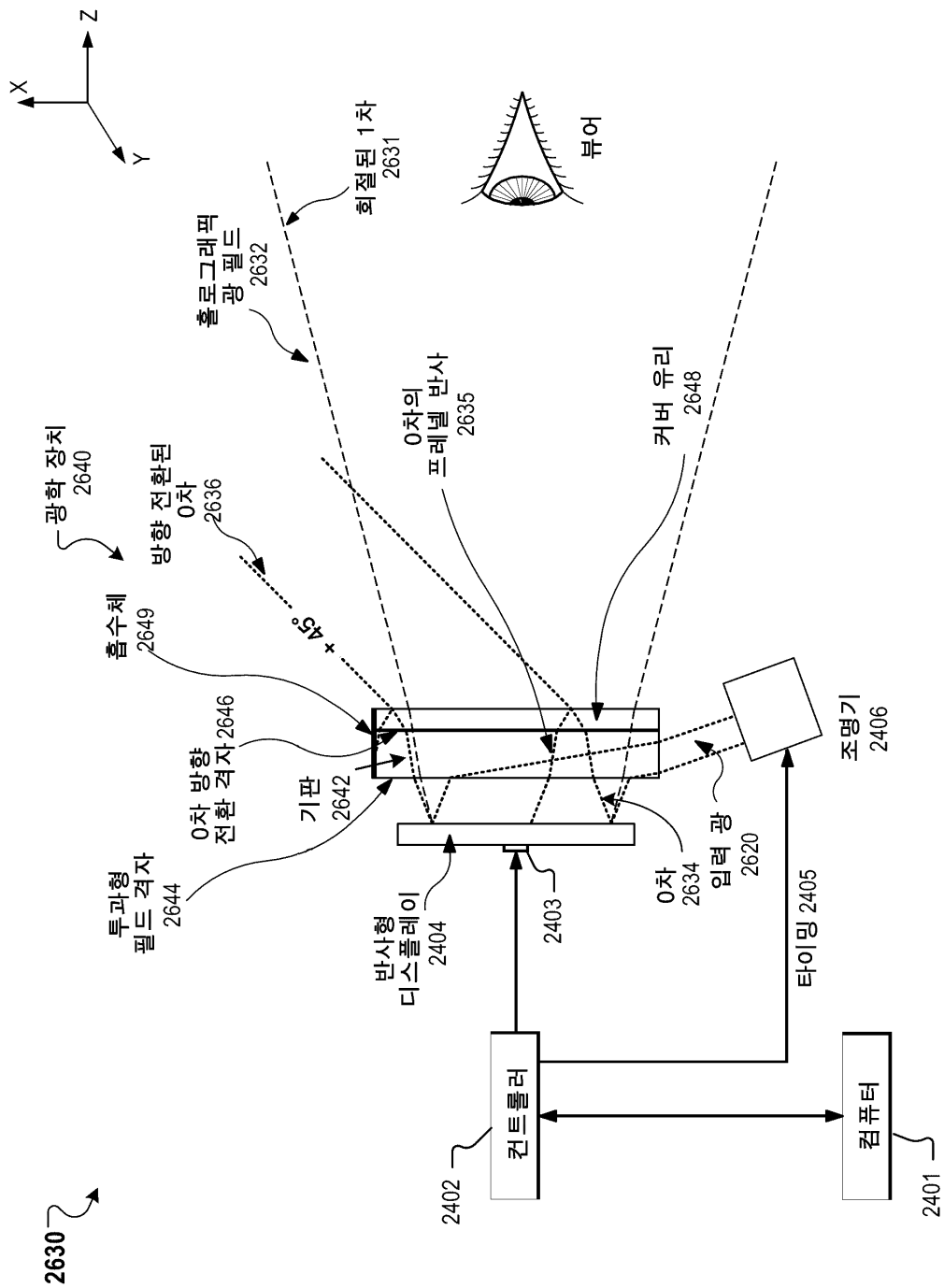
도면25c



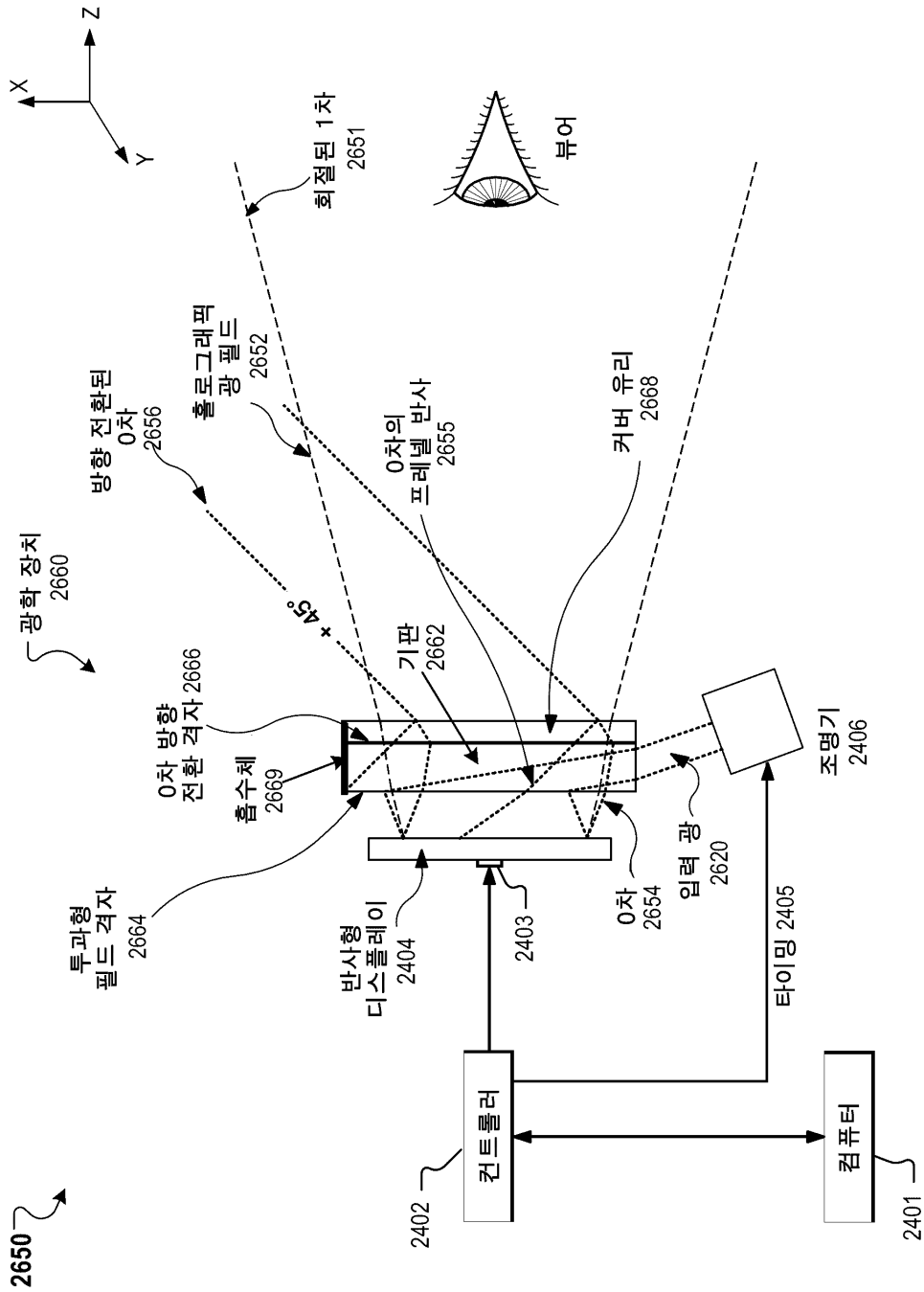
도면26a



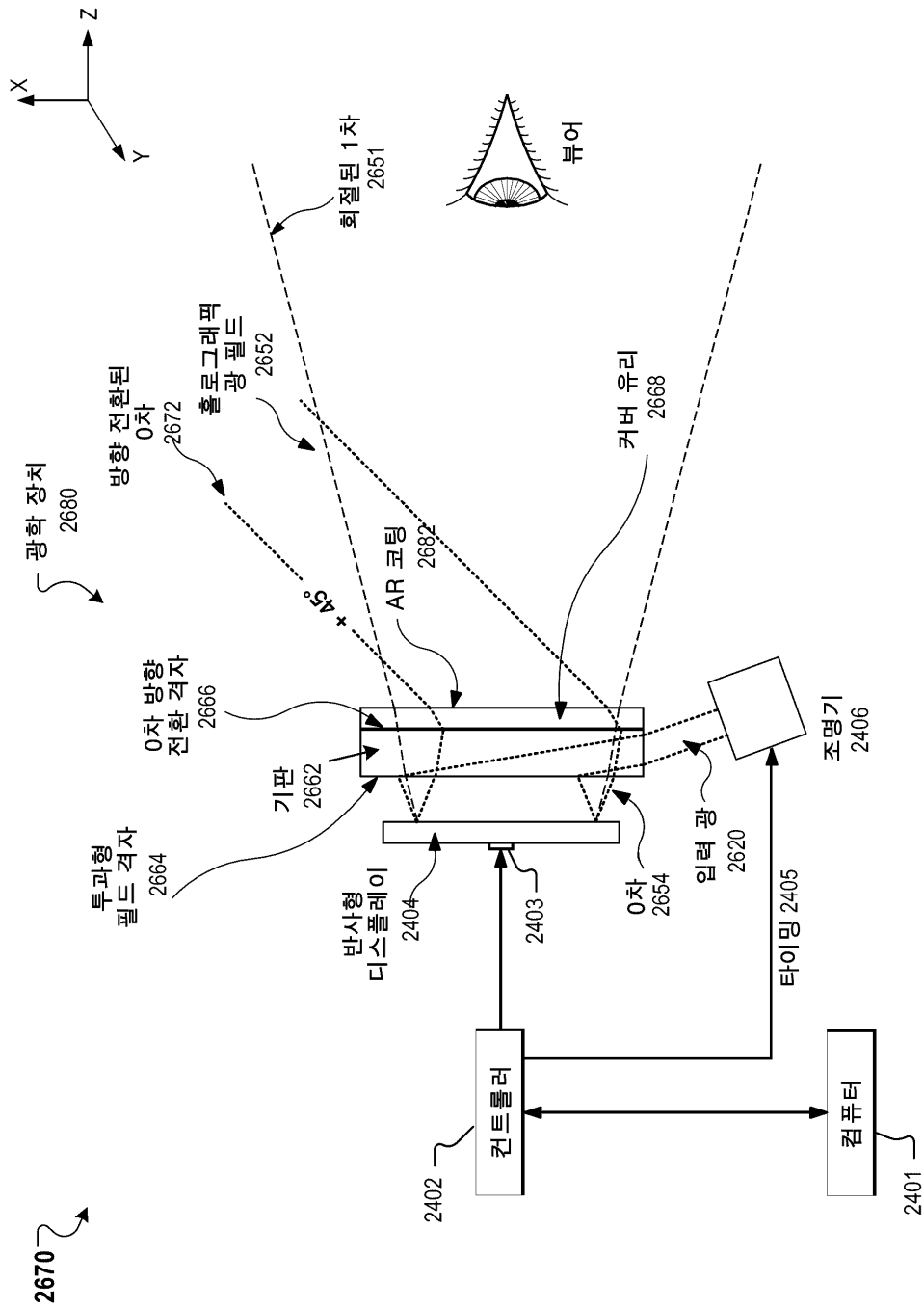
도면 26b



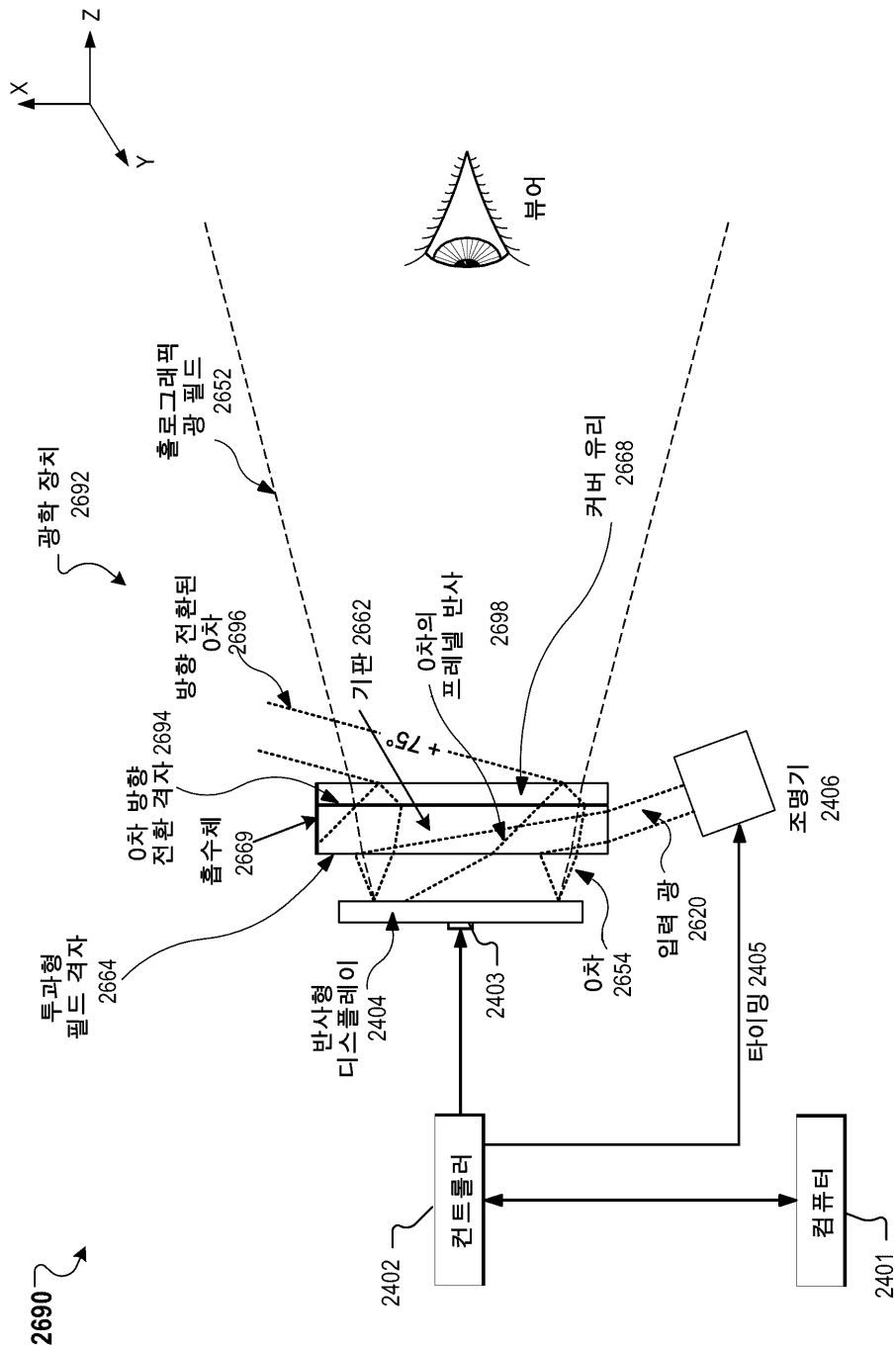
도면 26c



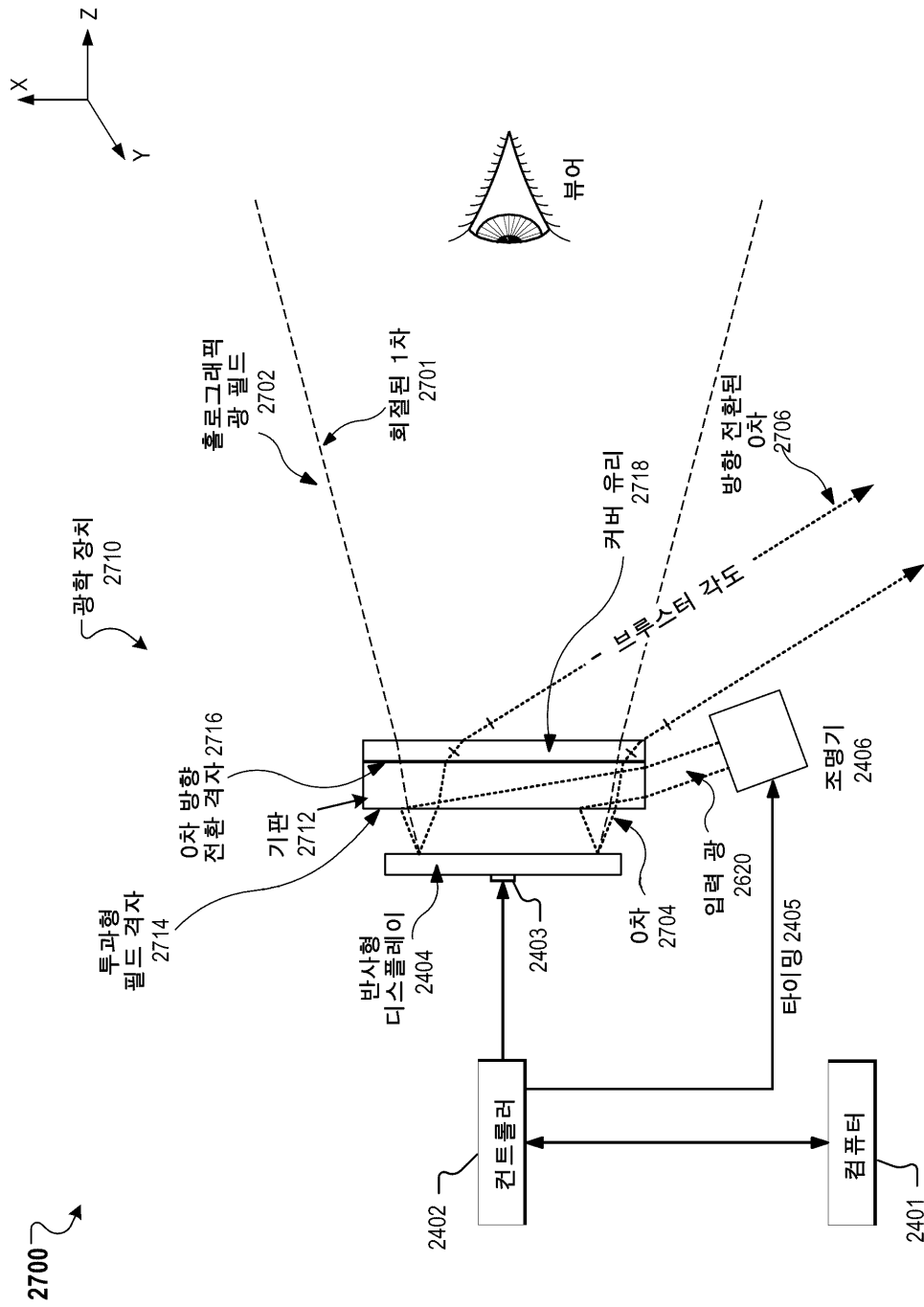
도면26d



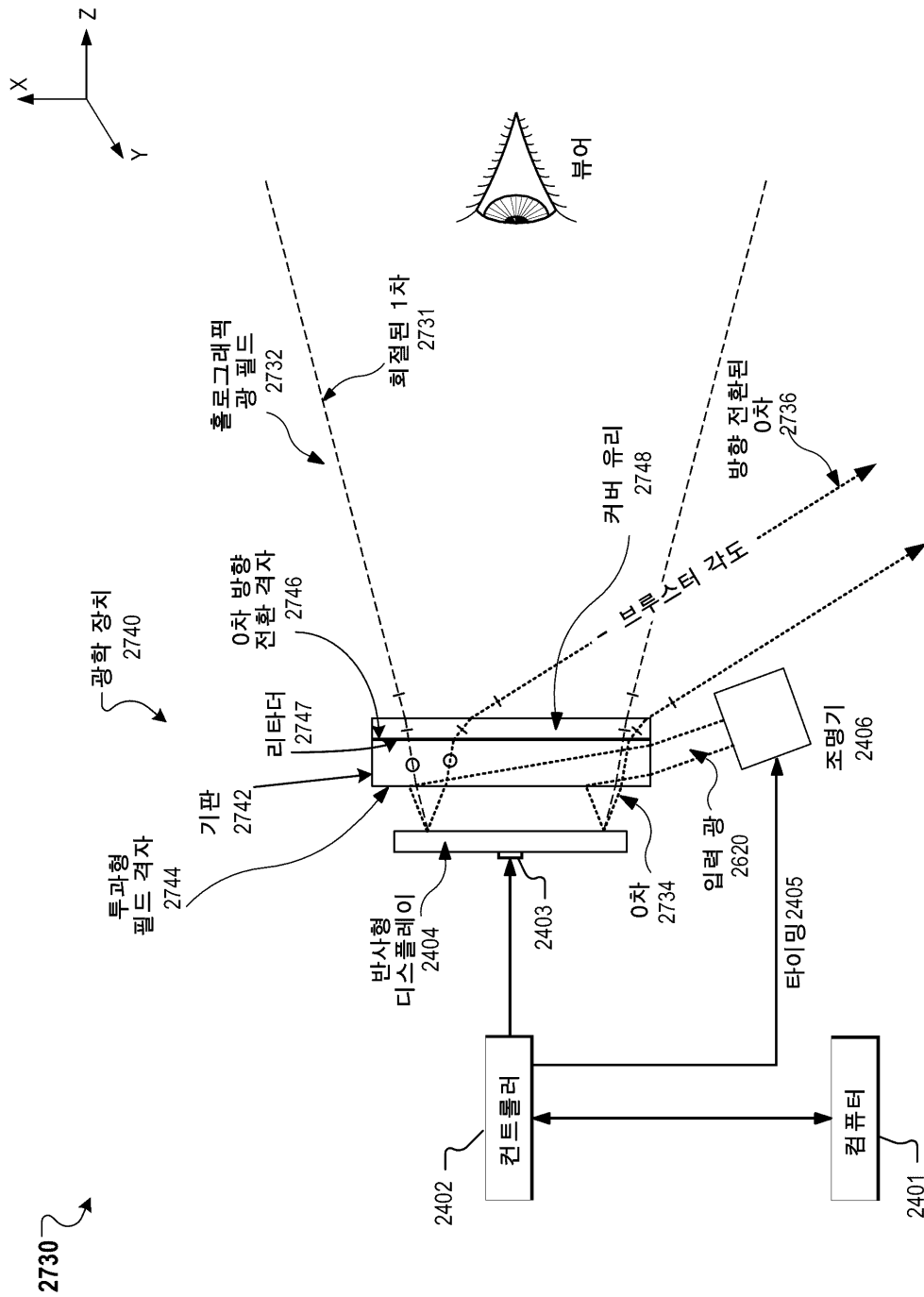
도면 26e



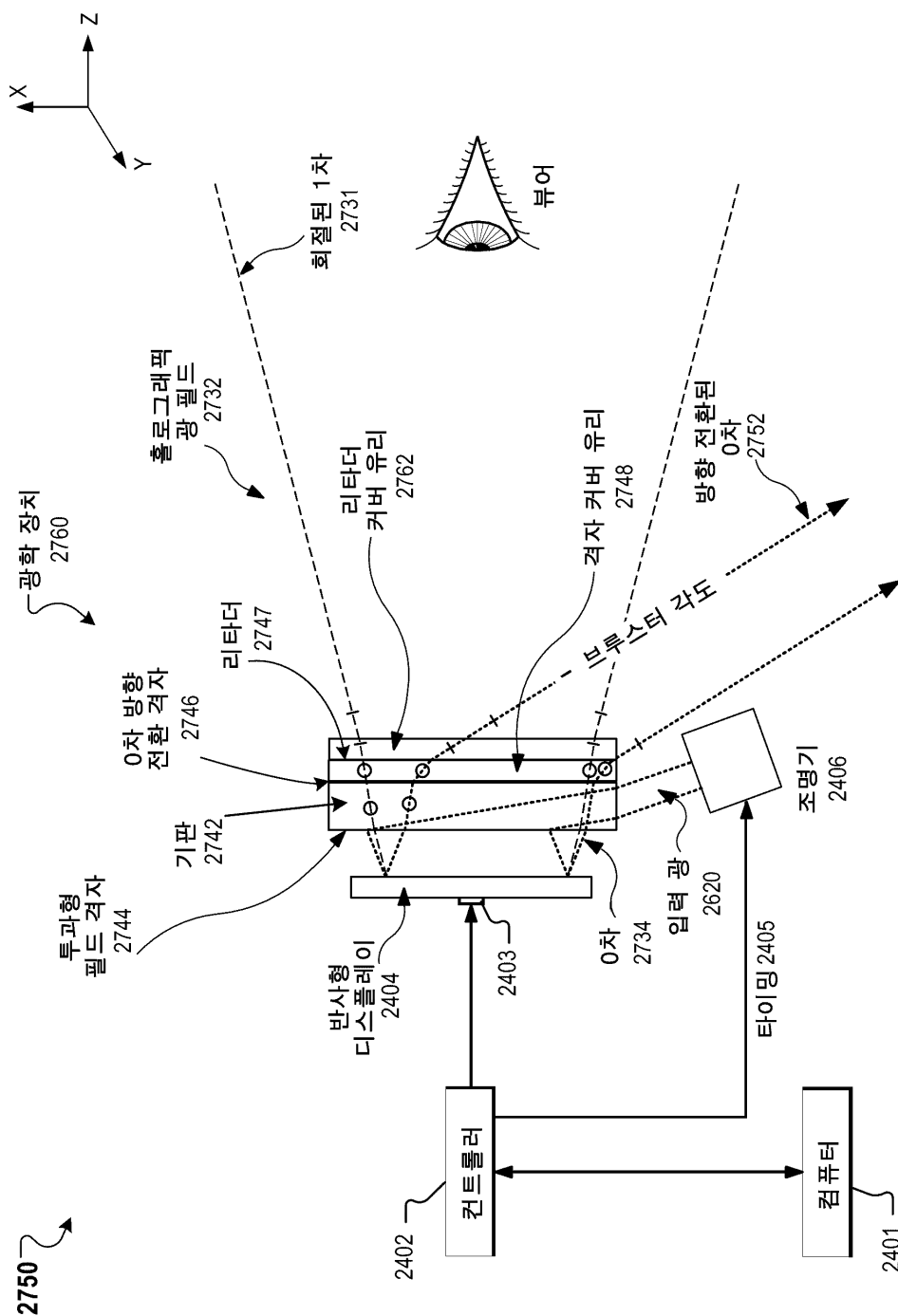
도면27a



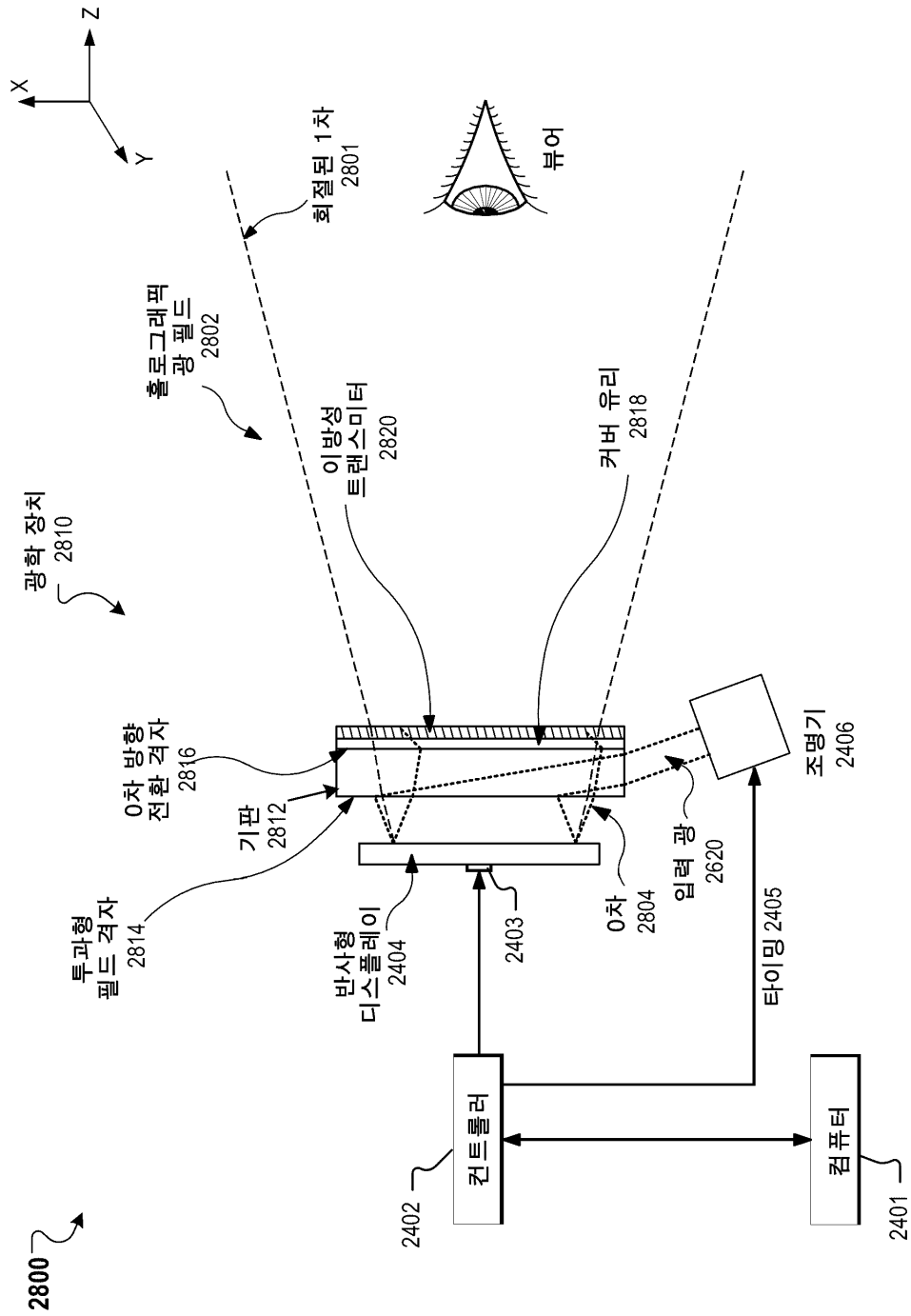
도면27b



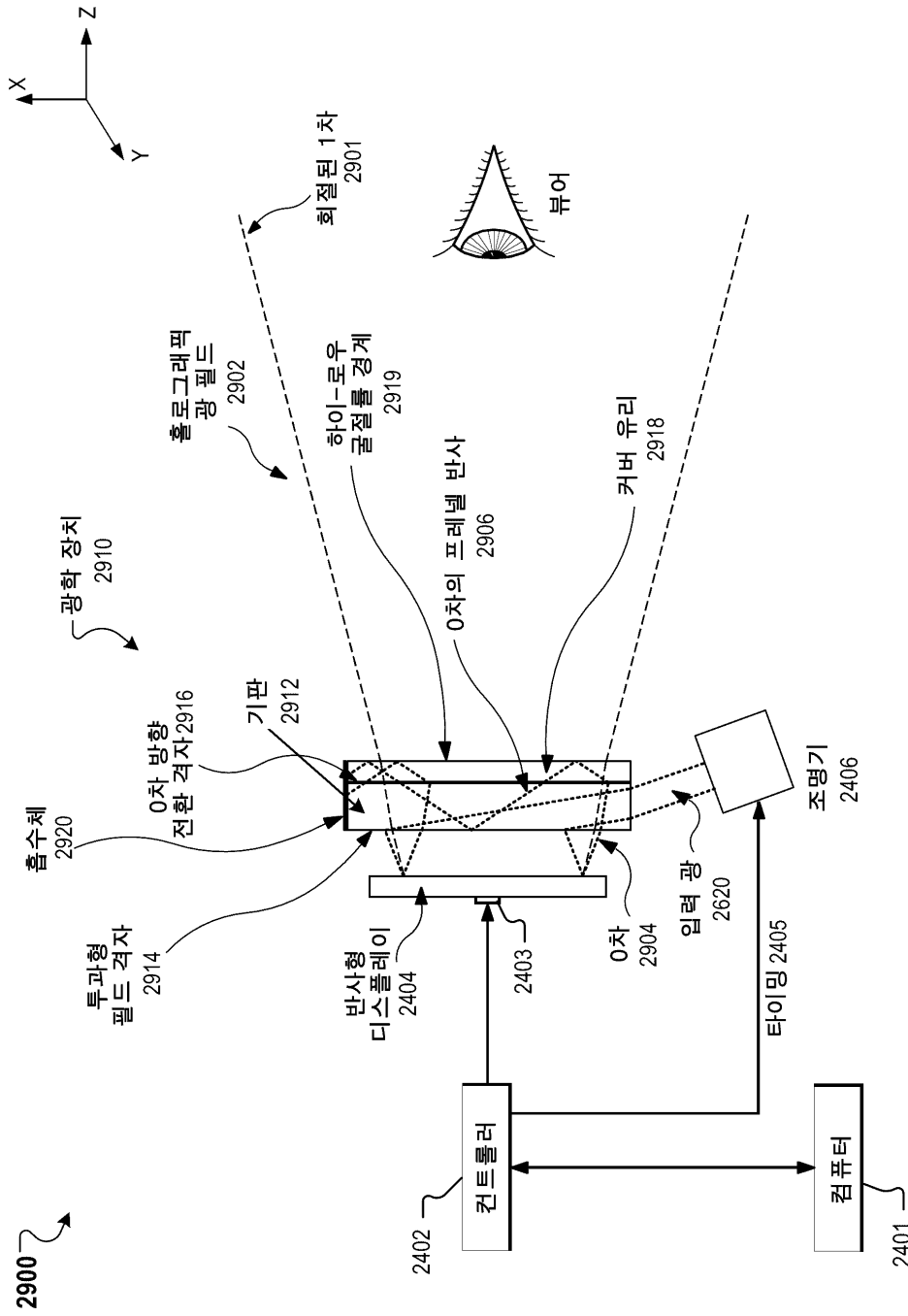
도면27c



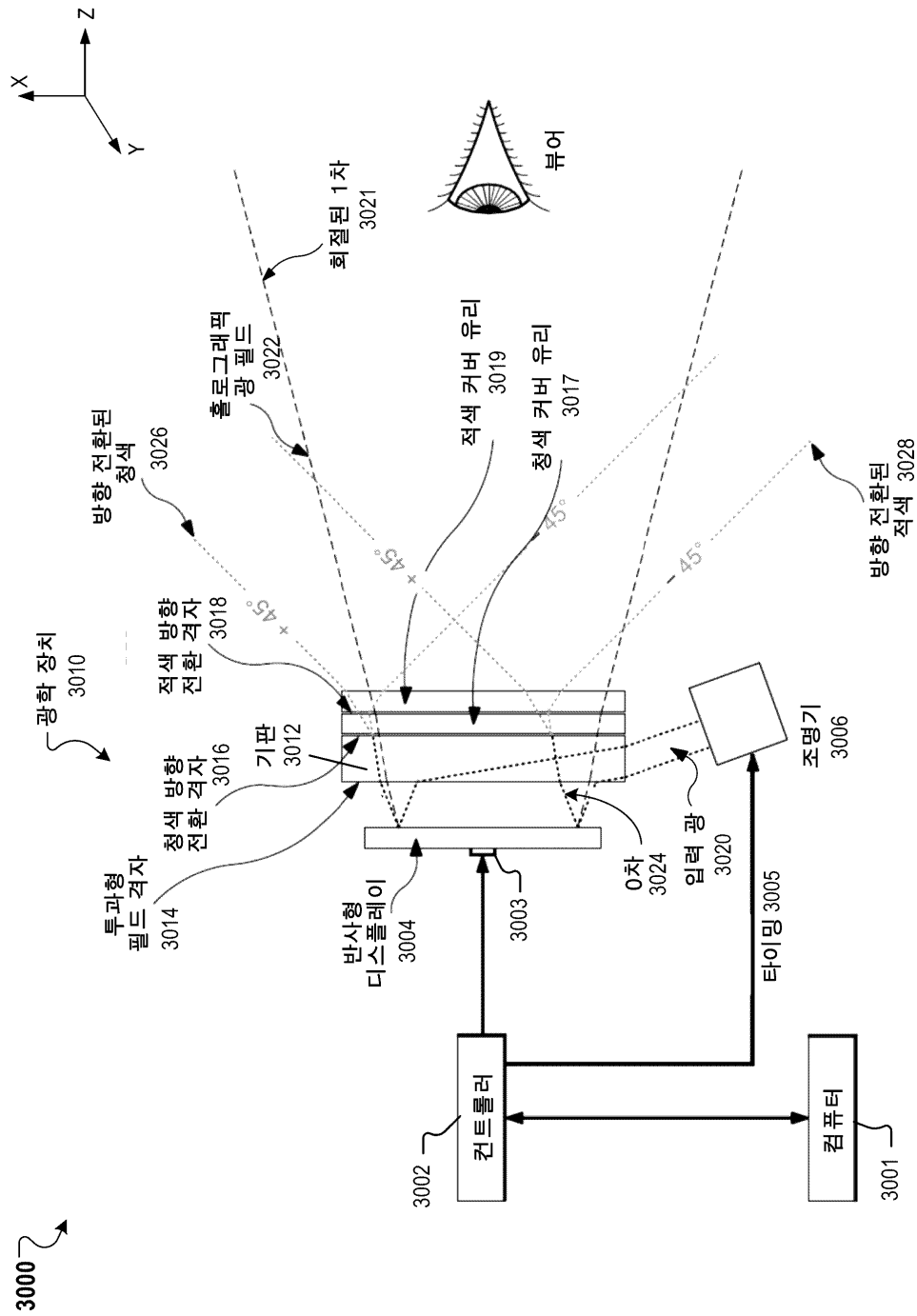
도면28



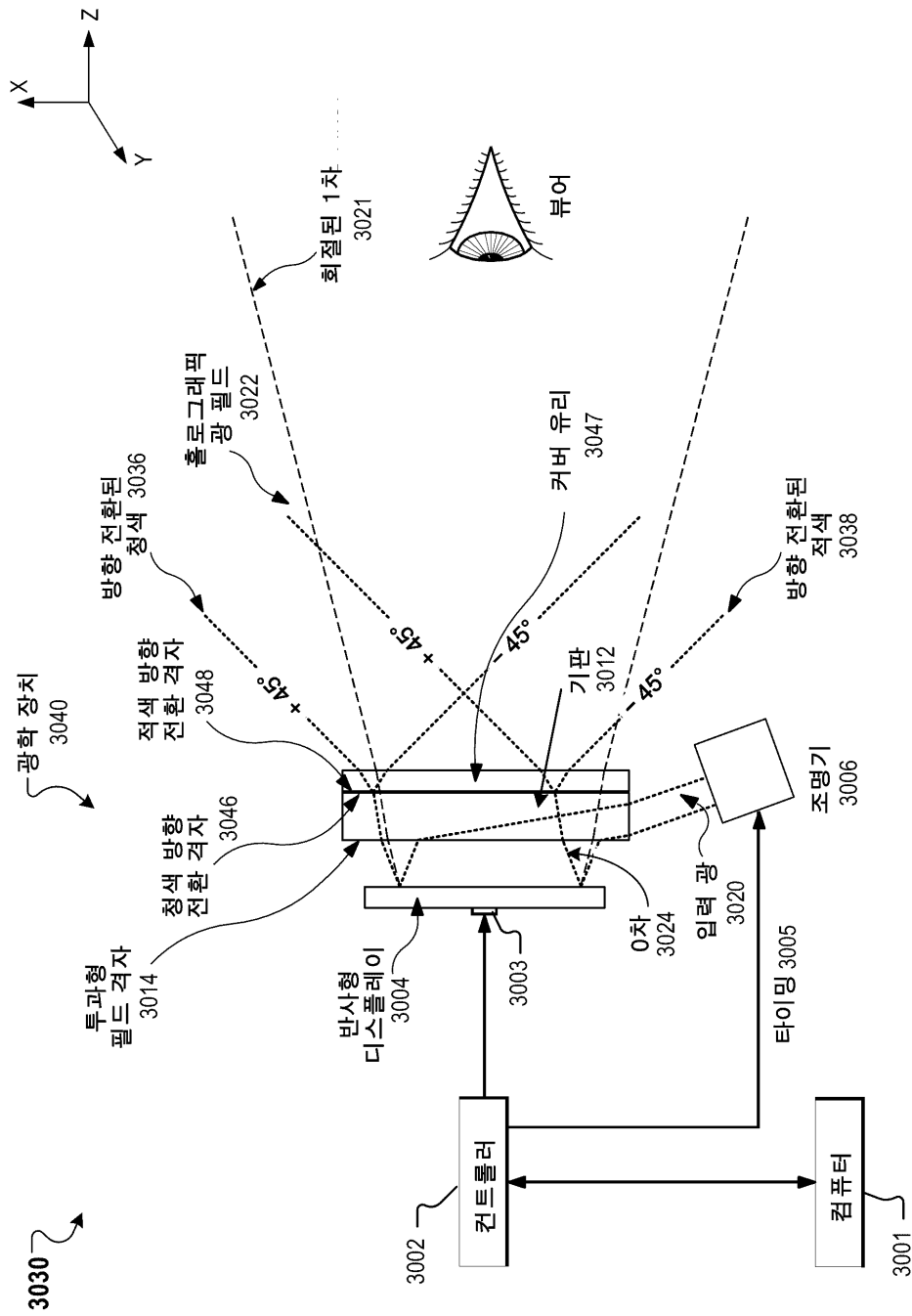
도면29



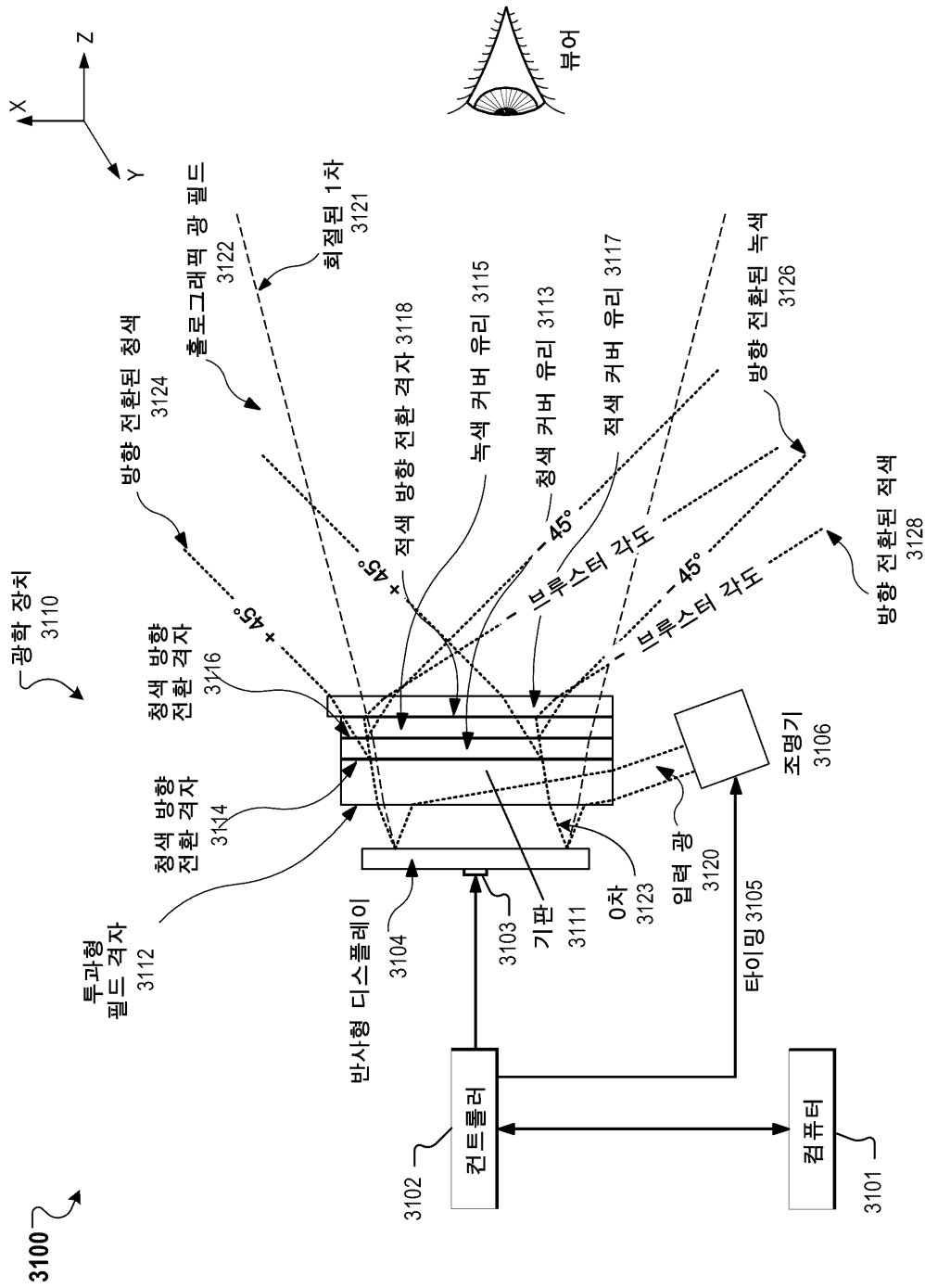
도면 30a



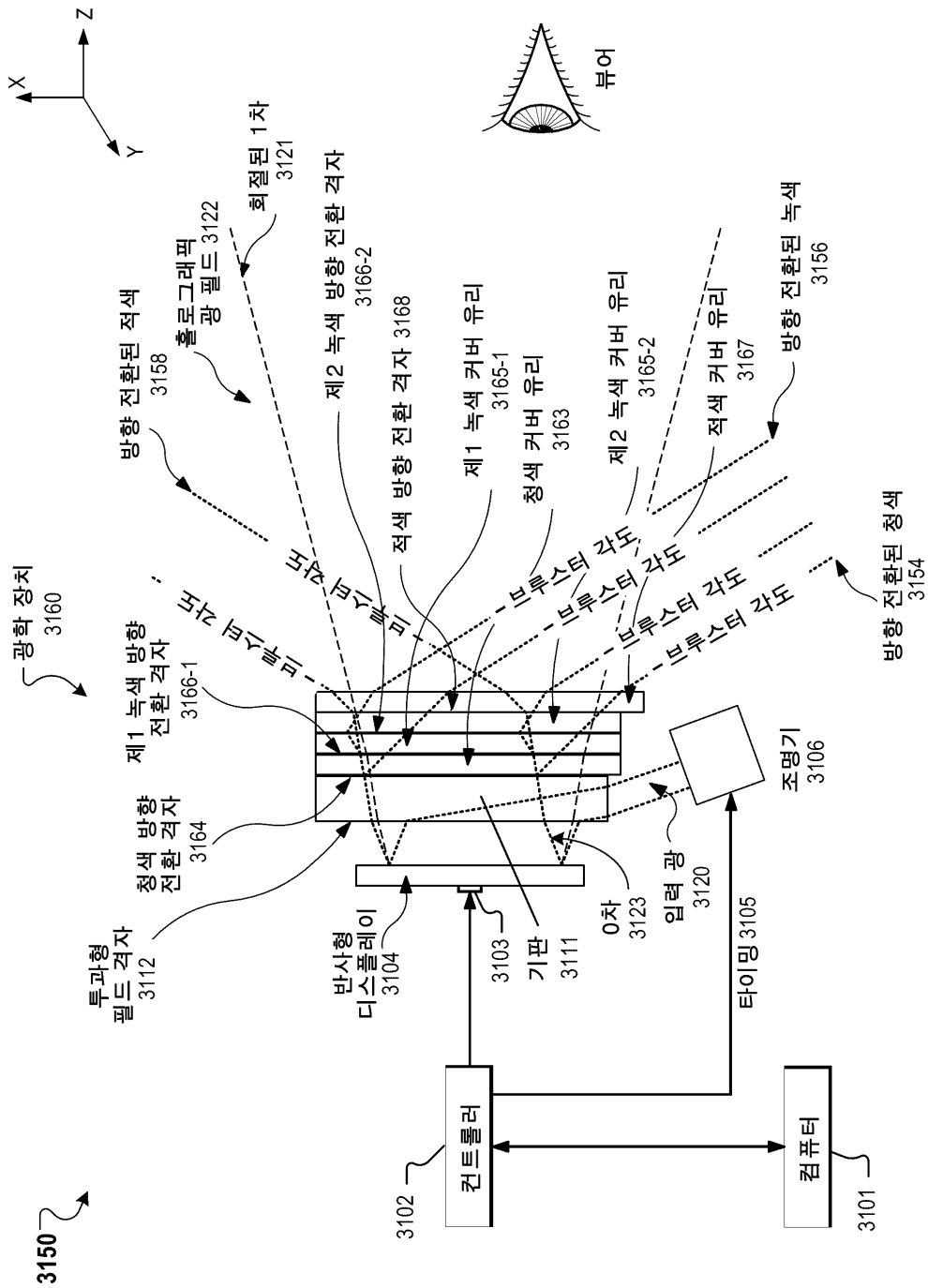
도면30b



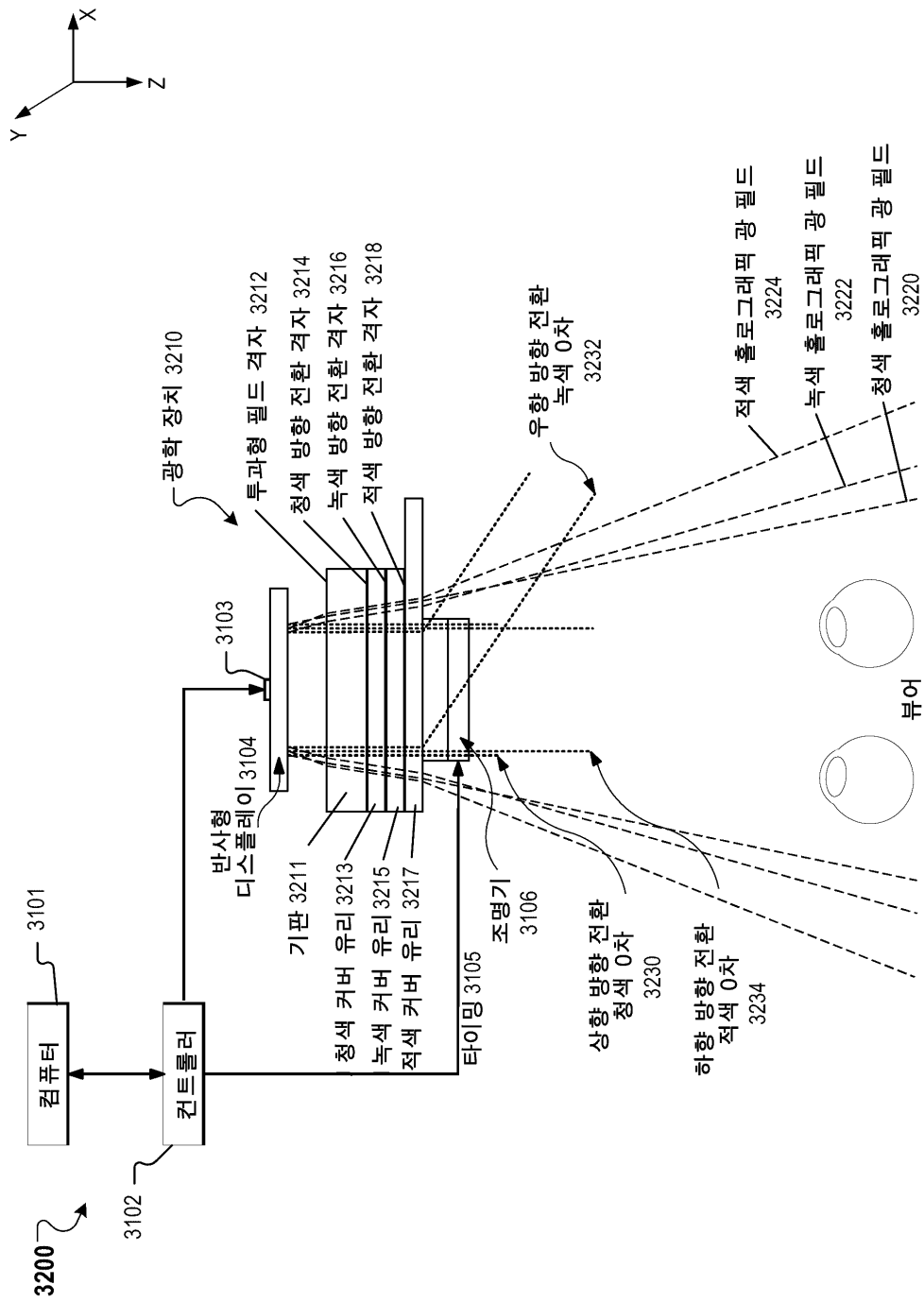
도면31a



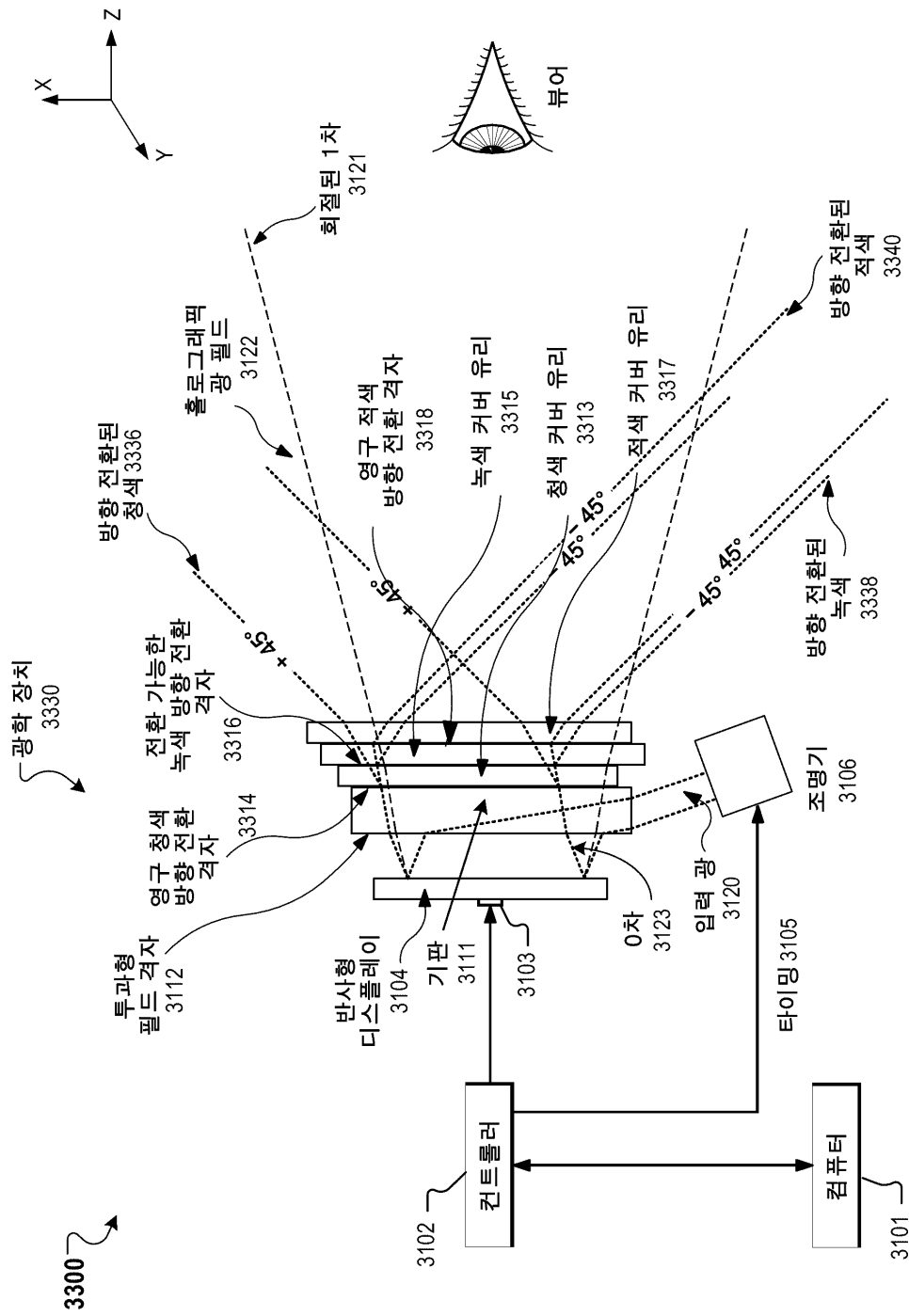
도면31b



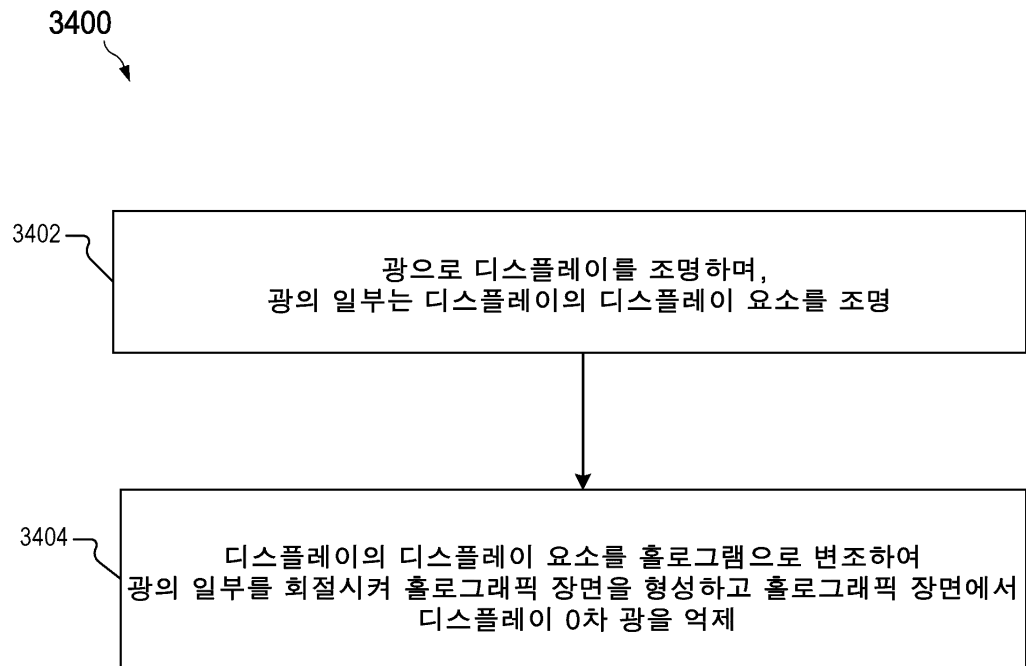
도면32



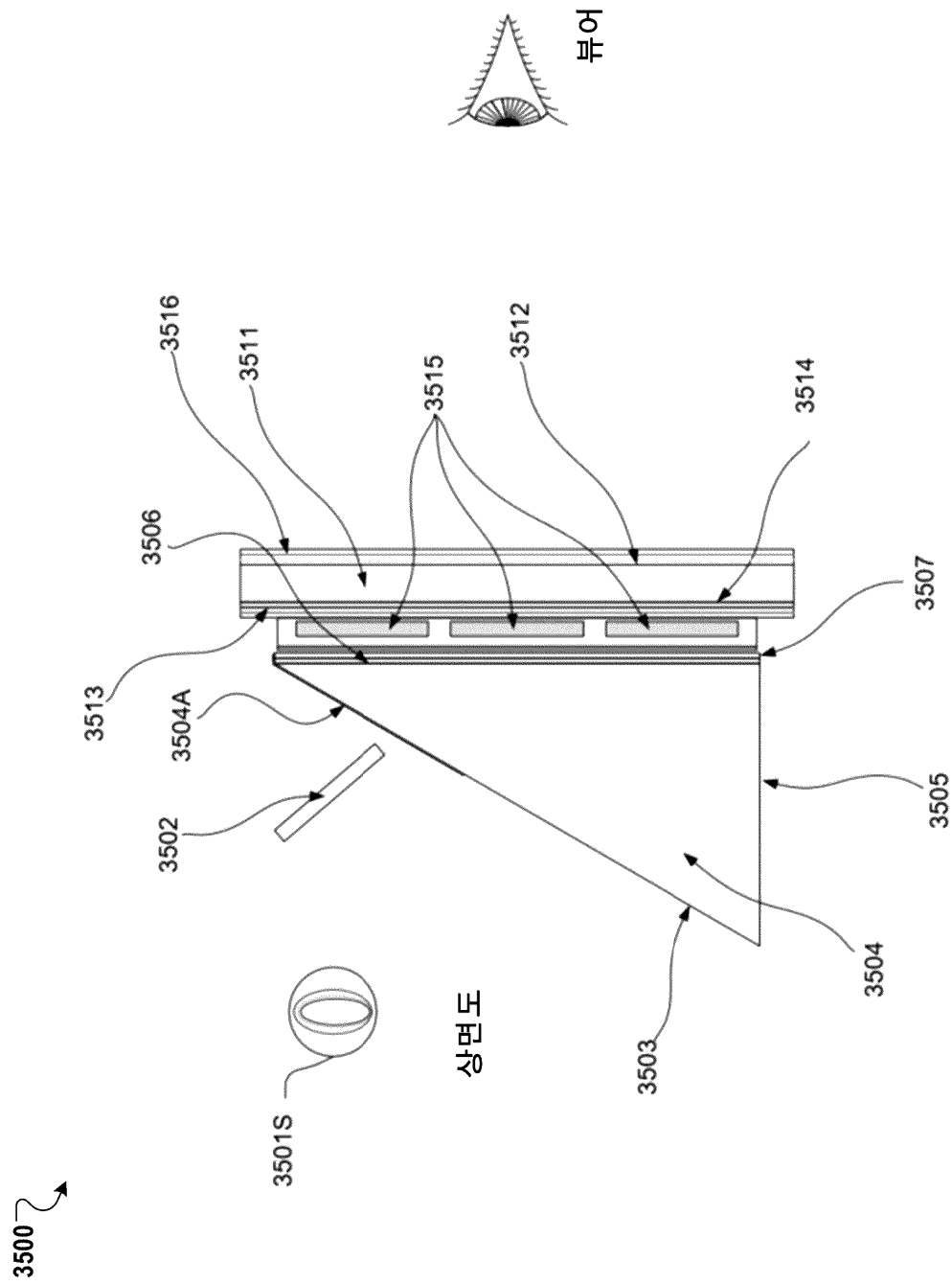
도면33



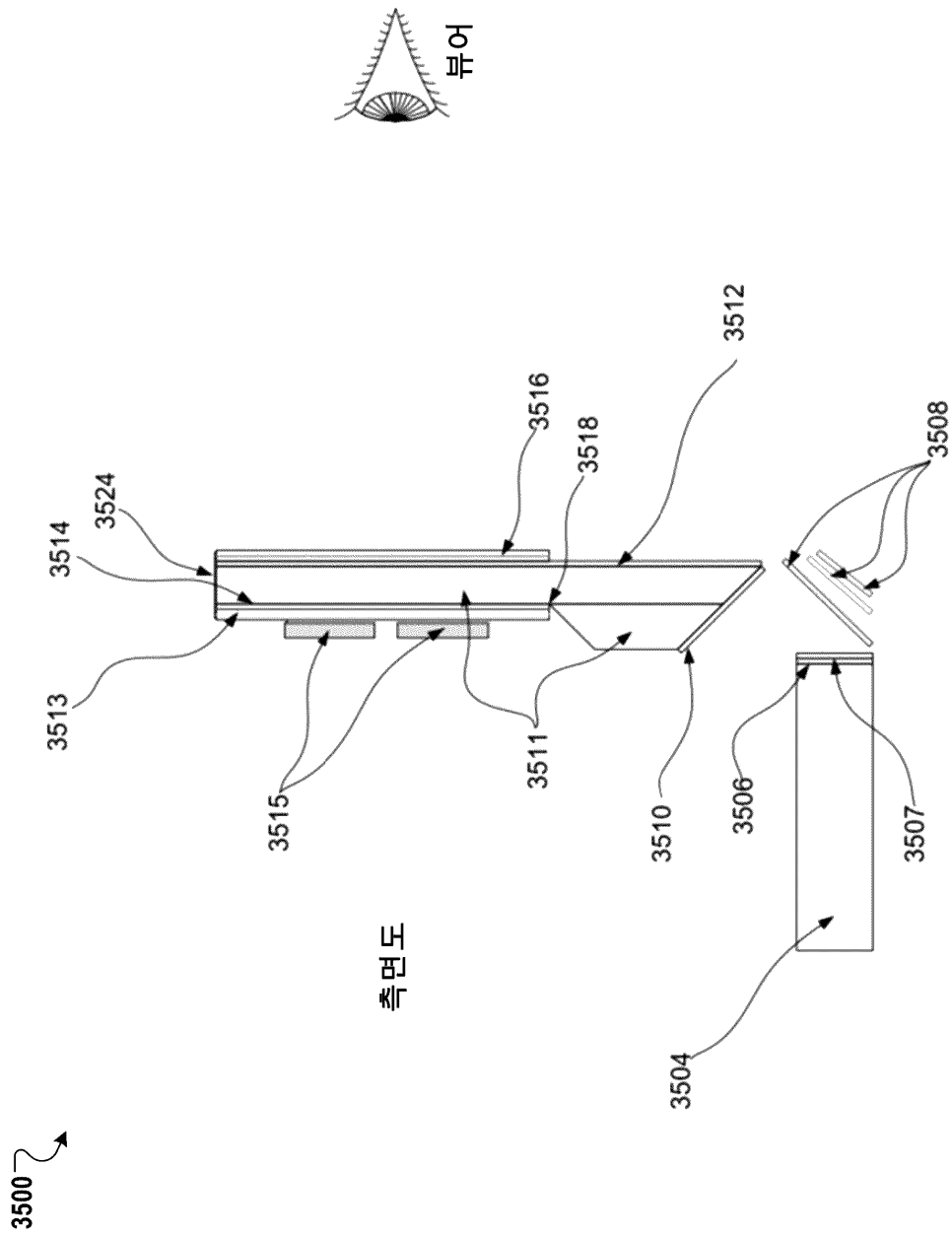
도면34



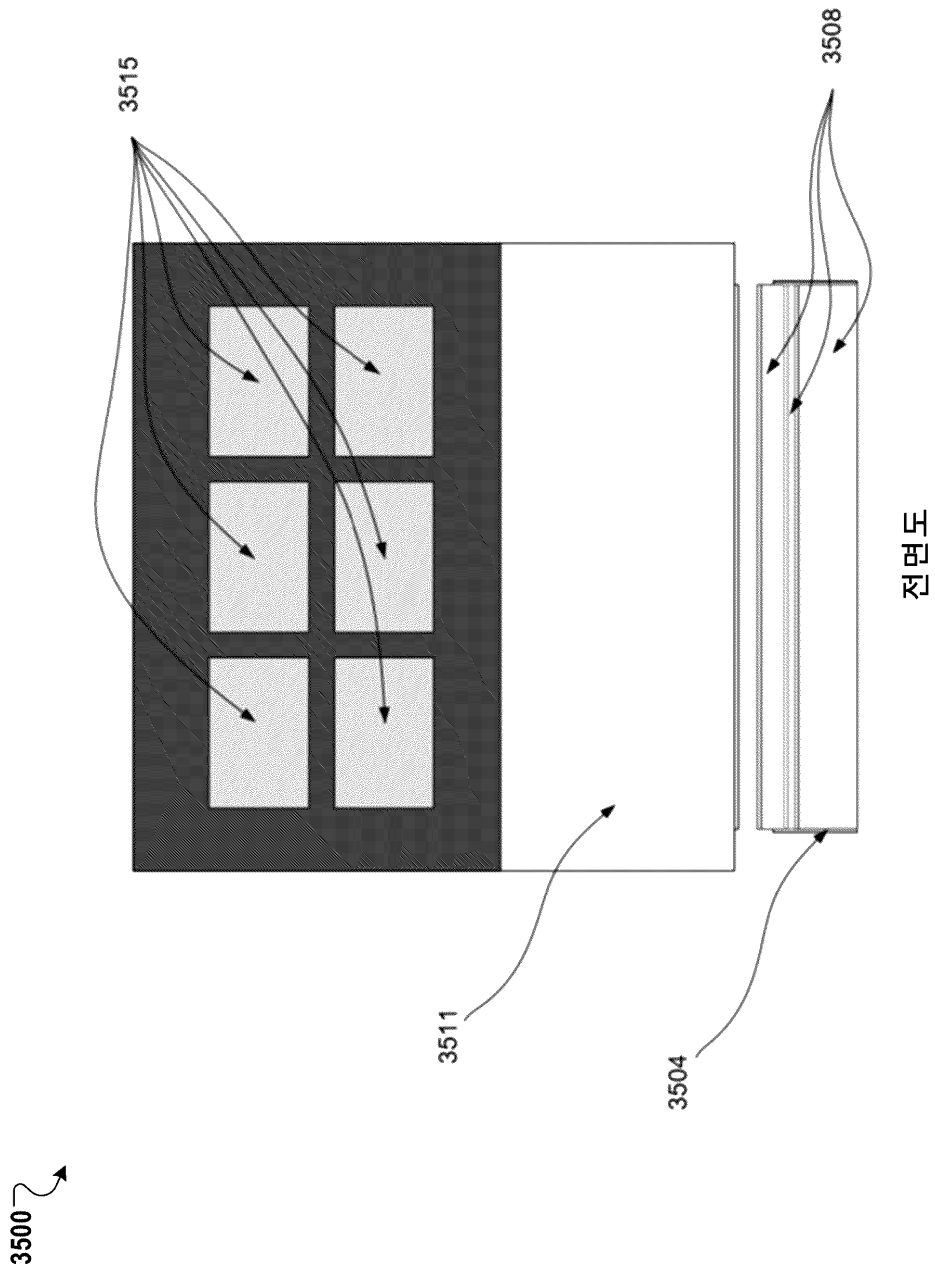
도면 35a



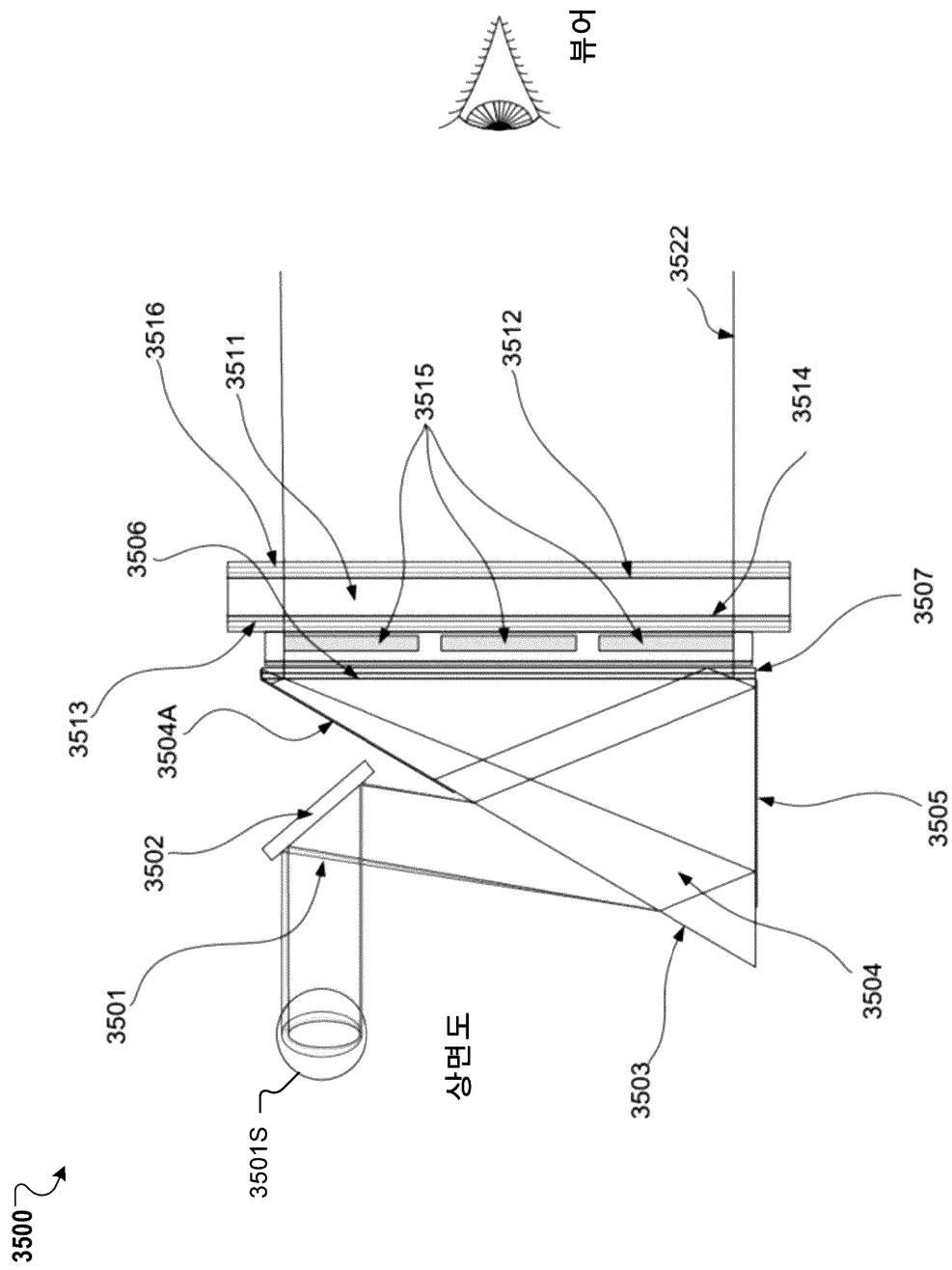
도면35b



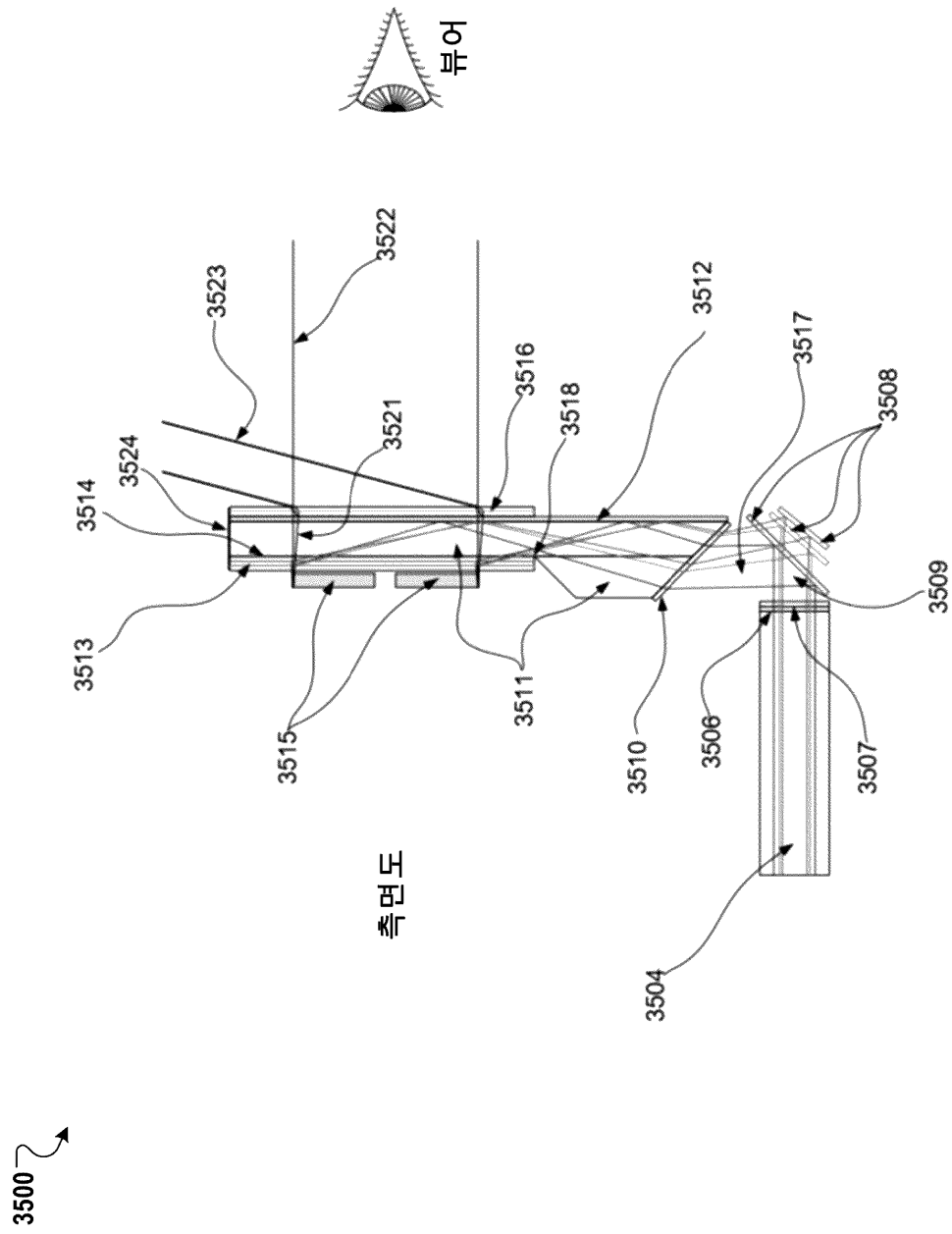
도면35c



도면36a



도면36b



도면36c

