(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2025년04월29일
(11) 등록번호 10-2802488
(24) 등록일자 2025년04월25일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G02B 27/01 (2006.01) *G02B 27/00* (2020.01)
(52) CPC특허분류
G02B 27/0103 (2013.01)
G02B 27/0037 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2022-0119422
(22) 출원일자 2022년09월21일
심사청구일자 2022년09월21일
(65) 공개번호 10-2023-0042584
(43) 공개일자 2023년03월28일
(30) 우선권주장
2113461.4 2021년09월21일 영국(GB)
(56) 선행기술조사문헌
JP2010533316 A*
KR1020180060199 A*
US20100271698 A1*
US20190204605 A1*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
엔비직스 엘티디
영국 엠케이1 1피티 밀튼 케인즈 6 브램리로드 아폴로하우스
(72) 발명자
제미슨 크리스마스
영국 엠케이1 1피티 밀튼 케인즈 6 브램리로드 아폴로하우스
티모시 스미튼
영국 엠케이1 1피티 밀튼 케인즈 6 브램리로드 아폴로하우스
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
이철희

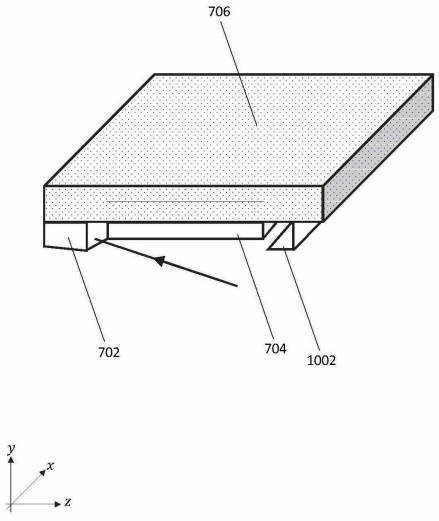
전체 청구항 수 : 총 23 항 심사관 : 김대용

(54) 발명의 명칭 **컴팩트한 헤드-업 디스플레이**

(57) 요 약

제1 동공복제기 및 제2 동공복제기를 포함하는 차량용 헤드-업 디스플레이(head-up display). 제1 동공복제기는 제1 방향으로 연장된다. 제1 동공복제기는 헤드-업 디스플레이 의 제한 개구(limiting aperture)를 정의하는 픽셀 어레이(pixel array)를 갖는 공간 광 변조기(spatial light modulator)로부터 홀로그램 광 필드(holographic light field)를 수신하도록 구성된다. 홀로그램 광 필드는 공간 광 변조기에 디스플레이되는 홀로그램에 대응하여 공간적으로 변조된 복소 광 필드(complex light field)이다. 제2 동공복제기는 제1 방향 및 제1 방향에 수직인 제2 방향으로 연장된다. 제2 동공복제기는 출력을 형성하는 제1 주면 및 제1 주면에 평행한 제2 주면을 포함한다. 제1 동공복제기는 제2 동공복제기의 제2 주면에 실질적으로 평행하는 인접한 평면 층 내에 구성된다.

대 표 도 - 도9



(52) CPC특허분류
G02B 27/0081 (2013.01)
G02B 2027/014 (2013.01)
(72) 발명자
라케시 마하르얀
영국 엠케이1 1피티 밀튼 케인즈 6 브램리로드 아폴로하우스
알렉산더 콜
영국 엠케이1 1피티 밀튼 케인즈 6 브램리로드 아폴로하우스

명 세 서

청구범위

청구항 1

광 엔진에 있어서,

동공(pupil)을 정의하는 회절 구조(diffractive structure)로부터 회절된 광 필드를 수신하도록 구성되는 제1 동공복제기를 포함하는 제1 층,

상기 제1 동공복제기는 길게 연장됨; 및

제2 동공복제기를 포함하는 제2 층을 포함하되, 상기 제2 동공복제기는 평면이고, 입력을 형성하도록 구성된 제1 주면(major surface) 및 상기 광 엔진의 출력을 형성하도록 구성된 제2 주면을 포함함,

상기 제1 층 및 상기 제2 층은 평행하고, 상기 제1 층은 상기 제1 주면에 인접하고;

상기 제2 동공복제기는 제1 방향 및 제2 방향으로 확장되는 상기 제1 층의 풋프린트(footprint)를 정의하고; 및

상기 제1 동공복제기는 상기 제1 동공복제기에 의해 출력된 광이 상기 풋프린트의 상기 제1 방향 및 상기 제2 방향 중 하나와 평행하도록 구성된, 광 엔진.

청구항 2

제1 항에 있어서,

상기 제1 동공복제기는 상기 제2 동공복제기의 상기 풋프린트 내에 구성된, 광 엔진.

청구항 3

제1 항 또는 제2 항에 있어서,

상기 제1 층은 상기 제1 동공복제기의 출력을 상기 제2 동공복제기의 상기 입력에 연결하도록 구성된 도파관 연결기(waveguide coupler)를 더 포함하는, 광 엔진.

청구항 4

제3 항에 있어서,

상기 도파관 연결기는 입력면 및 출력면을 각각 포함하는 제1 차 대향면 쌍(primary pair of opposing surfaces)을 포함하고, 상기 입력면과 상기 출력면은 서로에 대해 각을 이루는, 광 엔진.

청구항 5

제3 항에 있어서,

상기 제1 동공복제기 및 상기 도파관 연결기는 동일한 평면에 있는, 광 엔진.

청구항 6

제3 항에 있어서,

상기 제1 층의 상기 제1 동공복제기 및 상기 도파관 연결기는 상기 제2 층에 평행한 평면에서 상기 회절된 광

필드를 도파(waveguide)하도록 구성된, 광 엔진.

청구항 7

제3 항에 있어서,

상기 제2 층의 상기 제2 동공복제기는 상기 제1 층에 평행한 평면에서 상기 회절된 광 필드를 도파하도록 구성된, 광 엔진.

청구항 8

제3 항에 있어서,

상기 제1 동공복제기 및 상기 도파관 연결기는 상기 제2 동공복제기의 상기 제1 주면에 고정된, 광 엔진.

청구항 9

제3 항에 있어서,

상기 제1 동공복제기 및 상기 도파관 연결기는 대향하는 평면 쌍 내에서 상기 회절된 광 필드를 트랩(trap)하도록 구성된 각각의 제2 차 대향면 쌍(secondary pair of opposing surfaces)을 각각 포함하는, 광 엔진.

청구항 10

제9 항에 있어서,

각각의 제2 대향면 쌍의 적어도 하나의 표면은 반사형(reflective) 구성요소를 포함하고, 상기 각각의 제2 대향면 쌍의 적어도 하나의 표면은 상기 반사형 구성요소를 통해 공통 기판(common substrate)에 고정된, 광 엔진.

청구항 11

제10 항에 있어서,

상기 공통 기판은 상기 제2 동공복제기 또는 상기 광 엔진을 수용하는 차량(vehicle)의 구성요소인, 광 엔진.

청구항 12

제3 항에 있어서,

상기 제1 동공복제기와 상기 도파관 연결기는 함께 부착(bond)되는, 광 엔진.

청구항 13

제3 항에 있어서,

상기 광 엔진은 제어기를 더 포함하되, 상기 제어기는 어떤 동공 복제물들(pupil replicas)이 상기 제1 동공복제기에서 상기 제2 동공복제기로 전송(relay)되는지를 결정하도록 구성되는 복수의 독립적으로 제어되는 개구들을 포함하는, 광 엔진.

청구항 14

제1 항 또는 제2 항에 있어서,

상기 제2 층은 제1 축 및 제2 축에 의해 정의되고,

상기 제1 동공복제기의 연장된 차원(elongate dimension)은 상기 제2 층의 상기 제1 축 및 상기 제2 축 중 적어도 하나에 대해서 각도를 이루는, 광 엔진.

청구항 15

제1 항 또는 제2 항 있어서,

상기 제1 동공복제기의 연장된 차원은 상기 풋프린트의 상기 제1 방향 및 상기 제2 방향과 각각 다른 방향에 대해서 기울기를 가지도록(tilted) 구성된, 광 엔진.

청구항 16

제14 항에 있어서,

상기 제2 층의 상기 제1 축 또는 상기 제2 축에 대한 상기 제1 동공복제기의 상기 연장된 차원의 상기 각도는 상기 제1 동공복제기에 의해 수신된 상기 회절된 광의 입사각과 동일한, 광 엔진.

청구항 17

제1 항 또는 제2 항에 있어서,

상기 제2 동공복제기는 사각형인 단면 형상을 갖는, 광 엔진.

청구항 18

제1 항 또는 제2 항에 있어서,

상기 제2 동공복제기의 상기 입력은 길게 연장되고 제2 층의 제1 축에 대응하는, 광 엔진.

청구항 19

제1 항 또는 제2 항에 있어서,

상기 제2 동공복제기의 상기 제1 주면 및 상기 제2 주면은 그 사이에서 광 안내(light guiding) 및 동공 복제(pupil replication)를 제공하도록 구성된 제1 차 대향면 쌍을 형성하는, 광 엔진.

청구항 20

제1 항 또는 제2 항에 있어서,

상기 제1 동공복제기는 그 사이에서 광 안내 및 동공 복제를 제공하도록 구성된 제1 차 대향면 쌍을 포함하는, 광 엔진.

청구항 21

차량(vehicle)용 헤드-업 디스플레이(head-up display)에 있어서,

제1 방향으로 연장되고, 상기 헤드-업 디스플레이의 제한 개구(limiting aperture)를 정의하는 픽셀 어레이

(pixel array)를 갖는 공간 광 변조기(spatial light modulator)로부터 홀로그램 광 필드(holographic light field)를 수신하도록 구성된 제1 동공복제기, 상기 홀로그램 광 필드는 상기 공간 광 변조기에서 디스플레이되는 홀로그램에 대응하여 공간적으로 변조된 복소 광 필드임; 및

상기 제1 방향 및 상기 제1 방향에 수직인 제2 방향으로 연장되고, 출력을 형성하는 제1 주면 및 상기 제1 주면에 평행한 제2 주면을 포함하는 제2 동공복제기;를 포함하되,

상기 제1 동공복제기는 상기 제2 동공복제기의 상기 제2 주면에 평행하고 인접한 평면 층 내에 구성되고,

상기 제1 동공복제기는 상기 제1 동공복제기에 의해 출력되는 광이 상기 제1 방향 및 상기 제2 방향 중 하나에 평행하도록 구성된, 헤드-업 디스플레이.

청구항 22

제21 항에 있어서,

상기 제1 동공복제기는 상기 제2 동공복제기의 상기 제2 주면 또는 상기 헤드-업 디스플레이를 수용하는 상기 차량(vehicle)의 구조적 프레임워크(framework)에 부착되고; 및

선택적으로, 상기 헤드-업 디스플레이는 상기 제1 동공복제기의 상기 출력을 상기 제2 동공복제기의 입력에 광학적으로 결합하도록 구성된 도파관 연결기(waveguide coupler)를 더 포함하고, 상기 도파관 연결기는 상기 제1 동공복제기의 평면 층 내에 구성된, 헤드-업 디스플레이.

청구항 23

제21 항 또는 제22 항에 있어서,

상기 제1 동공복제기는 상기 제1 동공복제기에 의해 출력된 상기 광이 상기 제1 방향 및 상기 제2 방향 중 하나에 평행하도록 구성된, 헤드-업 디스플레이.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 개시는 동공 확장 또는 복제에 관한 것으로, 특히 발산하는 광선 번들(ray bundles)을 포함하는 회절된 광 필드(diffracted light field)에 대한 동공 확장 또는 복제에 관한 것이다. 보다 구체적으로, 본 개시는 도파관 동공확장기(waveguide pupil expander)를 포함하는 디스플레이 시스템 및 도파관을 사용한 동공 확장 방법에 관한 것이다. 일부 실시예들은 제1 및 제2 도파관 동공확장기를 사용하는 2차원 동공 확장에 관한 것이다. 일부 실시예들은 화상 생성 유닛(picture generating unit) 및 헤드-업 디스플레이(HUD, head-up display)(예를 들어, 자동차 헤드-업 디스플레이)에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0003] 객체에서 산란된 광은 진폭 및 위상 정보를 포함한다. 이러한 진폭 및 위상 정보는 간섭 줄무늬를 포함하는 홀로그래픽 레코딩 또는 "홀로그램"을 형성하도록 잘 알려진 간섭 기술에 의해, 예컨대, 감광성 플레이트 상에 캡처될 수 있다. 홀로그램은 원래의 객체를 나타내는 2차원 또는 3차원 홀로그램 재구성 또는 재생 이미지(replay image)를 형성하기에 적절한 광을 조사(illumination)함으로써 재구성될 수 있다.

[0004] 컴퓨터-생성 홀로그래피(computer-generated holography)는 간섭 프로세스를 수치적으로 시뮬레이션할 수 있다. 컴퓨터-생성 홀로그램(computer-generated hologram)은 프레넬(Fresnel) 또는 푸리에(Fourier) 변환과 같은 수학적 변환에 기초한 기술을 이용하여 계산될 수 있다. 이러한 유형의 홀로그램은 프레넬/푸리에 변환 홀로그램 혹은 간단히 프레넬/푸리에 홀로그램으로 지칭될 수 있다. 푸리에 홀로그램은 객체의 푸리에 도메인/평면 표현 또는 객체의 주파수 도메인/평면 표현으로 간주될 수 있다. 컴퓨터-생성 홀로그램은 예컨대 가간섭성 광선 추적(coherent ray tracing) 또는 포인트 클라우드 기술(point cloud technique)에 의해 계산될 수도 있다.

[0005] 컴퓨터-생성 홀로그램은 입사광의 진폭 및/또는 위상을 변조하도록 구성된 공간 광 변조기(spatial light

modulator) 상에 인코딩될 수 있다. 광 변조는, 예컨대, 전기적으로 어드레스 가능한(electrically-addressable) 액정, 광학적으로 어드레스 가능한(optically-addressable) 액정 또는 마이크로 미러를 사용하여 달성될 수 있다.

[0006] 공간 광 변조기는 셀들(cells) 또는 요소들(elements)로 지칭될 수 있는 복수의 개별적으로 어드레스 가능한 픽셀들을 일반적으로 포함할 수 있다. 광 변조 방식은 이진(binary), 다중 레벨(multilevel) 또는 연속적(continuous)일 수 있다. 이와는 달리, 장치는 연속적일 수 있으며(즉, 픽셀로 구성되지 않은), 이에 따라 광 변조는 장치 전체에 걸쳐서 연속적일 수 있다. 공간 광 변조기는 변조 광이 반사로 출력된다는 점에서 반사형(reflective)일 수 있다. 공간 광 변조기는 변조 광이 투과로 출력된다는 점에서 투과형(transmissive)일 수도 있다.

[0007] 홀로그램 프로젝터와 같은 홀로그래픽 디스플레이 장치는 여기에 설명된 시스템을 사용하여 제공될 수 있다. 이러한 프로젝터는 예를 들어 헤드-업 디스플레이, 즉 "HUD"에서의 응용 프로그램(application)에 적용될 수 있다.

발명의 내용

[0009] 본 개시의 양태들은 첨부된 독립 청구항들에서 정의된다.

[0010] 대체로, 본 개시는 이미지 프로젝션(image projection)에 관한 것이다. 이미지 프로젝션 방법 및 디스플레이 장치(display device)를 포함하는 이미지 프로젝터(image projector)에 관한 것이다. 본 개시는 또한 이미지 프로젝터 및 뷰잉 시스템(viewing system)을 포함하는 프로젝션 시스템에 관한 것으로, 여기서 이미지 프로젝터는 디스플레이 장치로부터 뷰잉 시스템으로 광을 투사(project)하거나 중계(relay)한다. 본 개시내용은 단안 및 양안 뷰잉 시스템에 동일하게 적용가능하다. 뷰잉 시스템은 뷰어의 눈 또는 눈들을 포함할 수 있다. 뷰잉 시스템은 광 파워(optical power, 예를 들어, 인간 눈의 수정체) 및 뷰잉 평면(viewing plane, 예를 들어, 인간 눈의 망막)을 갖는 광학 요소를 포함한다. 프로젝터는 '광 엔진(light engine)'이라고 할 수 있다. 디스플레이 장치와 디스플레이 장치를 이용하여 형성되는(또는 인지되는) 이미지는 공간적으로 분리되어 있다. 이미지는 디스플레이 평면에 형성되거나 뷰어에 의해 감지된다. 일부 실시예들에서, 이미지는 허상 이미지(virtual image)이고 디스플레이 평면은 허상 이미지 평면으로 지칭될 수 있다. 다른 실시예들에서, 이미지는 홀로그램 재구성에 의해 형성된 실상 이미지(real image)이고 이미지는 뷰잉 평면에 투사되거나 중계된다. 이미지는 디스플레이 장치에 표시되는 회절 패턴(예: 홀로그램)을 조사(illuminate)하여 형성된다.

[0011] 디스플레이 장치는 픽셀들을 포함한다. 디스플레이의 픽셀들은 광(light)을 회절시키는 회절 패턴 또는 구조를 표시할 수 있다. 회절된 광은 디스플레이 장치와 공간적으로 이격된 평면에 이미지를 형성할 수 있다. 광학에서 잘 알려진 바에 따르면 최대 회절 각도의 크기는 픽셀들의 크기와 광의 파장과 같은 기타 요인들에 의해 결정된다.

[0012] 실시예들에서, 디스플레이 장치는 액정-온-실리콘("LCOS", liquid crystal on silicon) 공간 광 변조기(SLM, spatial light modulator)와 같은 공간 광 변조기이다. 광은 LCOS에서 카메라 또는 눈과 같은 관찰 개체/시스템 쪽으로 회절 각도 범위(예: 0에서 최대 회절 각도까지)에 걸쳐 전파된다. 일부 실시예들에서, 확대 기술들이 LCOS의 통상적인 최대 회절각을 넘어 이용가능한 회절각의 범위를 증가시키기 위해 사용될 수 있다.

[0013] 일부 실시예들에서, (디스플레이된 홀로그램으로부터 형성된) 이미지가 눈으로 전파(propagate)된다. 예를 들어, 디스플레이 장치와 뷰어 사이의 자유 공간이나 스크린 또는 다른 수광 표면에 형성된 중간 홀로그램 재구성/이미지의 공간적으로 변조된 광은 뷰어에게 전파될 수 있다.

[0014] 일부 다른 실시예들에서, 홀로그램(홀로그램의 광) 자체가 눈으로 전파된다. 예를 들어, (아직 홀로그램 재구성, 즉 이미지로 완전히 변환되지 않은) 홀로그램의 공간적으로 변조된 광 (비공식적으로는 홀로그램으로/에 의해 "인코딩"되었다고 말할 수 있다.)은 뷰어의 눈에 직접 전파된다. 실상 또는 허상 이미지가 뷰어에게 인지될 수 있다. 이 실시예들에서, 디스플레이 장치와 뷰어 사이에 중간적인 홀로그램 재구성/이미지가 형성되지 않는다. 때때로 이러한 실시예들에서 눈의 수정체가 홀로그램에서 이미지로의 전환 또는 변환을 수행한다고 한다. 프로젝션 시스템 또는 광 엔진은 뷰어가 효과적으로 디스플레이 장치를 직접 볼 수 있도록 구성될 수 있다.

[0015] "복소 광 필드(complex light field)"인 "광 필드"가 본 명세서에서 참조된다. "광 필드"라는 용어는 단지 적어도 두 개의 직교 공간 방향(예를 들어, x와 y.)으로 유한한 크기를 갖는 광의 패턴을 나타낼 뿐이다. 여기에서 "복소(complex)"라는 단어는 단지 광 필드의 각 지점에서 광은 진폭 값과 위상 값에 의해 정의될 수 있고, 따라

서 복소수 또는 두 값의 쌍으로 표시될 수 있음을 나타내기 위해 사용되었다. 홀로그램 계산을 위해, 복소 광 필드는 복소수들의 2차원 어레이일 수 있으며, 여기서 복소수들은 광 필드 내의 복수의 개별 위치에서 광의 세기 및 위상을 정의한다. 본 명세서에 개시된 방법에 따르면, 복합 광 필드는 홀로그램 평면과 이미지 평면 사이에서 앞뒤로 전파된다(예를 들어, +z 및 -z 방향). 광 전파는 파동광학 분야의 통상의 기술자에게 익숙한 수학적 변환 또는 다양한 접근 방식 중 임의의 하나를 사용하여 시뮬레이션 또는 모델링될 수 있다.

[0016] 잘 알려진 광학 원리에 따르면, 눈 또는 다른 뷰잉 개체/시스템(viewing entity/system)에 의해 보여질 수 있는 디스플레이 장치에서 전파되는 광의 각도 범위는 디스플레이 장치와 뷰잉 개체 사이의 거리에 따라 달라진다. 예를 들어, 눈의 위치가 주어진 경우 1미터의 뷰잉 거리(viewing distance)에서 LCOS의 좁은 범위의 각도에서만 광이 눈의 동공을 통해 전파되어 망막에 이미지를 형성할 수 있다. 눈의 위치가 주어진 경우 디스플레이 장치에서 전파된 광선이 눈의 동공을 지나 성공적으로 망막에 이미지를 형성할 수 있는 광선의 각도 범위는 뷰어가 '볼 수 있는(visible)' 이미지 부분을 결정한다. 다시 말해, 뷰잉 평면의 임의의 한 지점(예를 들어, 아이-모션 박스(eye-motion box)와 같은 뷰잉 윈도우 내 어느 한 눈의 위치)에서 이미지의 모든 부분을 볼 수 있는 것은 아니다.

[0017] 일부 실시예들에서, 뷰어에 의해 인지되는 이미지는 디스플레이 장치의 업스트림(upstream)에 나타나는 허상 이미지이다. 이로 인하여, 뷰어는 이미지가 디스플레이 장치보다 그들로부터 더 멀리 있는 것으로 인식하게 된다. 따라서 개념적으로는 뷰어가 '디스플레이 장치 크기의 창'을 통해 허상 이미지를 보고 있는 것으로 간주될 수 있으며, 예를 들어 1미터와 같이 비교적 먼 거리에서 이는 직경 1cm와 같이 매우 작을 수 있다. 그리고 사용자는 눈(들)의 동공(들)을 통해 디스플레이 장치 크기의 창을 보게 될 것이며, 이는 매우 작을 수 있다. 따라서 시야(field of view)가 좁아지고, 볼 수 있는 특정 각도 범위는 주어진 시간에 눈의 위치에 크게 좌우된다.

[0018] 동공확장기는 이미지를 형성하기 위해 디스플레이 장치에서 전파된 광선이 눈의 동공을 지나 성공적으로 전파될 수 있는 광선의 각도 범위를 증가시켜야 하는 문제를 해결한다. 일반적으로 디스플레이 장치는 (상대적으로) 작고 투영 거리(projection distance)는 (상대적으로) 멀다. 일부 실시예들에서, 투영 거리는 디스플레이 장치의 입사동공(entrance pupil) 및/또는 개구의 직경 또는 너비(즉, 픽셀들의 어레이의 크기이다)보다 최소한 수십배에서 수백배는 길다. 본 개시의 실시예들은 이미지 그 자체가 아닌, 이미지의 홀로그램을 사람의 눈에 전파하는 구성에 관한 것이다. 즉, 이미지의 홀로그램에 따라 뷰어가 받는 광이 변조된다. 그러나, 본 발명의 다른 실시예는 홀로그램이 아닌 이미지가 인간의 눈에 전파되는 구성에 관한 것일 수 있다. 예를 들어, 간접보기(indirect view)라고 불리는 것으로서, 홀로그램 재구성된 광 또는 스크린에서 (또는 자유공간에서도) 형성된 "재생 이미지(replay image)"가 사람의 눈에 전파될 수 있다.

[0019] 동공확장기의 사용은 뷰잉 영역(viewing area)(즉, 사용자의 아이-박스(eye-box))을 측면으로 확장시켜서 사용자가 이미지를 계속 볼 수 있도록 하면서도 눈의 움직임을 일부 가능하게 한다. 통상의 기술자가 이해할 수 있는 바와 같이, 이미징 시스템(imaging system)에서 뷰잉 영역(사용자의 아이-박스)은 뷰어의 눈이 이미지를 인식할 수 있는 영역이다. 본 개시는 무한하지 않은 허상 이미지의 거리들, 즉 근거리 허상 이미지들에 관한 것이다.

[0020] 일반적으로 2차원 동공확장기는 각각 한 쌍의 대향하는 반사 표면을 사용하여 구성된 하나 이상의 1차원 광 도파관을 포함하며, 여기서 표면의 출력광(output light)은 뷰잉 윈도우(예를 들어, 뷰어가 보기 위한 아이-박스 또는 아이 모션 박스(eye motion box))를 형성한다. 디스플레이 장치로부터 수신된 광(예를 들어, LCOS에서 방출되는 공간적으로 변조된 광)은 적어도 하나의 차원에서 시야(또는 뷰잉 영역)를 증가시키기 위해 각각의 도파관에서 복제된다. 특히, 도파관은 입사 파면의 진폭을 분할하여 여분의 광선 또는 "복제물(replicas)"을 생성함으로써 뷰잉 윈도우를 확대한다.

[0021] 디스플레이 장치는 제1 치수가 10cms 미만(예컨대 5cms 미만 또는 2cms 미만)일 수 있는 액티브 영역(active area) 또는 디스플레이 영역을 가질 수 있다. 디스플레이 장치와 뷰잉 시스템 사이의 전파 거리는 1m 초과 (예컨대 1.5m 초과 또는 2m 초과)일 수 있다. 도파관 내의 광 전파 거리는 최대 2m(예컨대 최대 1.5m 또는 최대 1m)일 수 있다. 본 개시에 따른 방법으로 20ms 미만(예컨대 15ms 미만 또는 10ms 미만)에 이미지를 수신하고 이미지에 대응하는 충분한 품질의 홀로그램을 결정할 수 있다.

[0022] 일부 실시예들은 본 개시에 따른 회절 또는 홀로그램 광 필드의 예시로서만 설명되며, 일부 실시예들에서 홀로그램은 광을 복수의 채널로 전송(route)하도록 구성되며, 각각의 채널은 이미지의 서로 다른 부분(즉, 하위 영역, sub-area)에 대응한다. 홀로그램은 공간 광 변조기와 같은 디스플레이 장치에 디스플레이되는 등으로 표시될 수 있다. 적합한 디스플레이 장치에서 디스플레이될 때 홀로그램은 광을 뷰잉 시스템에 의해 이미지로 변환

가능하도록 공간적으로 변조할 수 있다. 회절 구조에 의해 형성된 채널들은 단지 이미지 정보를 포함하는 홀로그램에 의해서 인코딩된 광의 채널들이라는 것을 나타내기 위해 여기에서 "홀로그램 채널(hologram channels)"이라고 지칭한다. 각 채널의 광은 이미지 도메인 또는 공간 도메인이 아닌 홀로그램 도메인에 있다고 할 수 있다. 일부 실시예들에서, 홀로그램은 푸리에(Fourier) 또는 푸리에 변환 홀로그램(Fourier transform hologram)이고 따라서 홀로그램 도메인은 푸리에 도메인 또는 주파수 도메인이다. 홀로그램은 프레넬(Fresnel) 또는 프레넬 변환 홀로그램(Fresnel transform hologram)일 수 있다. 단지 홀로그램으로부터 재구성될 수 있는 이미지가 유한한 크기를 갖고 복수의 하위 영역으로 임의로 분할될 수 있다는 것을 나타내기 위해 홀로그램은 광을 복수의 홀로그램 채널로 전송(routing)하는 것으로 여기에서 설명되며, 여기서 각각의 홀로그램 채널은 각각의 이미지 하위 영역에 해당한다. 중요한 점은 본 실시예의 홀로그램은 조사(illuminate)될 때 이미지 콘텐츠(image content)를 분배하는 방식에 특징이 있다는 점이다. 특히 홀로그램은 이미지 콘텐츠를 각도에 따라서 나눈다. 즉, 이미지의 각 점은 홀로그램에 의해 형성되는 공간적으로 변조된 광이 조사될 때 고유한 광선 각도와 관련이 있다. 홀로그램이 2차원이기 때문에 최소한 두 개의 고유한 각도를 가진다. 의심을 피하기 위해 말하자면 본 홀로그램의 동작은 일반적이지 않다. 이 특별한 유형의 홀로그램에 의해 형성된 공간적으로 변조된 광은 조사될 때 복수의 홀로그램 채널들로 임의로 분할될 수 있으며, 여기서 각각의 홀로그램 채널은 (2차원에서) 광선 각도들의 범위에 의해 정의된다. 공간적으로 변조된 광에서 고려될 수 있는 임의의 홀로그램 채널(즉, 광선 각도의 하위 범위)은 이미지의 각 부분 또는 하위 영역과 연관될 것이라는 점을 상술한 내용으로부터 이해할 수 있다. 즉, 이미지의 해당 부분 또는 하위 영역을 재구성하는 데 필요한 모든 정보는 이미지의 홀로그램에서 형성된 공간적으로 변조된 광의 하위 각도 범위 내에 포함되어 있다. 공간적으로 변조된 광이 전체적으로 관찰될 때, 반드시 복수의 개별 광 채널에 대한 어떠한 단서가 존재하는 것은 아니다. 그러나, 일부 구성들에서는, 복수의 공간적으로 분리된 홀로그램 채널은 홀로그램이 계산되는 대상 이미지(target image)의 영역을 의도적으로 빈칸 또는 공백(즉, 이미지 콘텐츠가 존재하지 않는다.)으로 남겨둠으로써 형성된다.

[0023] 그럼에도 불구하고 홀로그램은 여전히 식별될 수 있다. 예를 들어, 홀로그램에 의해 형성된 공간적으로 변조된 광의 연속적인 부분 또는 하위 영역만 재구성되는 경우에는 오직 이미지의 하위 영역만 보여야 한다. 공간적으로 변조된 광의 다른 연속적인 부분 또는 하위 영역이 재구성되는 경우에는 이미지의 다른 하위 영역이 표시되어야 한다. 이러한 유형의 홀로그램의 추가적인 식별 가능한 특징은 홀로그램이 계산되는 평면이 정확하게 평면이라면 홀로그램 채널의 단면적 모양과 입사동(entrance pupil)의 모양이 크기가 다를 수 있어도 실질적으로 일치한다는 점이다(즉, 실질적으로 동일하다). 각각의 광/홀로그램 채널은 다른 각도 또는 각도 범위에서 홀로그램으로부터 전파된다. 이들은 이러한 유형의 홀로그램을 특징짓거나 식별하는 예시적인 방법들이며, 다른 방법이 사용될 수 있다. 요약하면, 본 명세서에 개시된 홀로그램은 이미지 콘텐츠가 홀로그램에 의해 인코딩된 광 내에서 어떻게 분배되는지에 따라 특징지어지며 식별가능하게 된다. 의심의 여지를 피하기 위해, 다시 언급하자면, 복수의 홀로그램 채널로 광을 안내하거나 이미지를 각도에 따라 분할하도록 구성된 홀로그램에 대한 본 개시의 내용은 단지 예로서 이루어지며 본 개시는 모든 유형의 홀로그램 광 필드 또는 나아가 모든 유형의 회절 가능하거나 회절된 광 필드의 동공 확장에 동일하게 적용될 수 있다.

[0024] 입력광 필드에 대한 동공 확장을 제공하는 시스템이 본 명세서에서 광범위하게 개시되며, 여기서 입력광 필드는 발산하는 광선 번들을 포함하는 회절된 광 필드 또는 홀로그램 광 필드이다. 상술한 바와 같이, 동공 확장("이미지 복제" 또는 "복제" 또는 "동공 복제"라고 지칭되기도 한다.)은 하나 이상의 입력광(또는 광 번들)의 복제물을 만들어서 뷰어가 이미지를 볼 수 있는(또는 뷰어의 눈이 이미지를 형성하는 홀로그램 광을 수신할 수 있는) 영역의 크기를 확장할 수 있도록 한다. 동공 확장은 하나 이상의 차원으로 제공될 수 있다. 예를 들어, 2차원 동공 확장이 제공될 수 있으며, 각 차원은 서로에 대해 실질적으로 직교한다.

[0025] 시스템은 간결하고 단순한 물리적 형태로 제공될 수 있다. 이를 통해 공간이 제한적이고 공간적 비용이 높은 경우를 포함하는 광범위한 실제 적용들에 본 시스템이 사용 적합해질 수 있게 된다. 예를 들어, 차량이나 자동차의 HUD와 같은 헤드-업 디스플레이(HUD, head-up display)에 구현될 수 있다.

[0026] 본 개시에 따르면, 발산하는 광선 번들을 포함할 수 있는 회절된 광 또는 회절광에 대해 동공 확장이 제공된다. 회절된 광 또는 회절광은 홀로그램과 같은 회절 구조를 디스플레이하도록 구성된 공간 광 변조기(SLM)와 같은 픽셀화된(pixelated) 디스플레이 장치 같은 디스플레이 장치에 의해 출력될 수 있다. 회절된 광 필드는 "광원뿔(light cone)"로 정의될 수 있다. 따라서, (2차원 평면에서 정의되는) 회절된 광 필드의 크기는 대응하는 회절 구조(즉, 디스플레이 장치)로부터의 전파 거리에 따라 증가한다.

[0027] 공간 광 변조기는 홀로그램을 디스플레이하도록 구성될 수 있다. 회절된 또는 발산하는 광은 이미지 또는 홀로그램 재구성의 광과는 대조적으로 홀로그램으로/홀로그램에 의해 인코딩된 광을 포함할 수 있다. 따라서 이러한

실시예들에서 뷰어에게 전달되는 광이 이미지 자체가 아니라 이미지의 홀로그램에 따라 공간적으로 변조되도록 동공확장기는 홀로그램을 복제하거나 적어도 하나의 홀로그램 복제물을 형성한다고 말할 수 있다. 즉, 회절된 광 필드가 뷰어에게 전파된다.

[0028] 일부 실시예에서, 2개의 1차원 도파관 동공확장기가 제공되며, 각각의 1차원 도파관 동공확장기는 공간 광 변조기의 사출동공(또는 사출동공의 광)의 복수의 복제물 또는 복제물을 형성해서 효과적으로 사출동공의 크기를 확장할 수 있도록 구성된다. 사출동공은 시스템에 의해서 광이 출력되는 물리적 영역으로 이해될 수 있다. 또한 각 도파관 동공확장기는 시스템의 사출동공의 크기를 확장하도록 구성된다고 말할 수 있다. 또한 각 도파관 동공확장기는 시스템에서 출력되는 광을 보고/수신하기 위해 뷰어의 눈이 위치할 수 있는 아이-박스의 크기를 확장/확대하도록 구성된다고 말할 수 있다

[0029] 본 개시에서, "복제"라는 용어는 단지 공간적으로 변조된 광이 분할되어 복소 광 필드가 복수의 상이한 광학적 경로를 따라 안내되는 것을 나타내는 데 사용된다. "복제"라는 단어는 동공확장기에 의한 부분 반사-전파와 같은 복제 이벤트 후에 각각의 복소 광 필드의 발생 또는 그 객체(instance)를 나타내는 데 사용된다. 각 복제물은 서로 다른 광학적 경로를 따라 이동한다. 본 개시의 일부 실시예들은 이미지가 아닌 홀로그램으로 인코딩된 광의 전파에 관한 것이다. 즉, 이미지 자체가 아니라 이미지의 홀로그램으로 공간적으로 변조된 광이다. 홀로그래피 기술 분야의 통상의 기술자는 홀로그램으로 인코딩된 광의 전파와 관련된 복소 광 필드가 전파 거리에 따라 변한다는 것을 이해할 것이다. 여기에서 "복제물"이라는 용어의 사용은 전파 거리와 무관하므로 복제 이벤트와 관련된 광의 두 분기(branch) 또는 경로(path)는 복소 광 필드가 각 경로를 따라 다르게 진행하는 것과 같이 분기의 길이가 다른 경우에도 여전히 서로 "복제물"이라고 지칭한다. 즉, 두 개의 복소 광 필드가 동일한 복제 이벤트 또는 일련의 복제 이벤트에서 발생하는 경우에는 서로 다른 전파 거리와 관련되더라도 본 개시에 따라 여전히 "복제물"으로 간주된다.

[0030] 본 개시의 첫번째 실시예로, 제1 도파관 동공확장기를 포함하는 디스플레이 시스템이 제공된다. 제1 도파관 동공확장기는 입력 포트, 출력 포트, 제1 평행면 쌍 및 제2 평행면 쌍을 포함한다. 제1 평행면 쌍은 제2 평행면 쌍에 직교한다. 제1 평행면 쌍은 회절 또는 발산하는(예: 홀로그래픽) 광 필드를 그 사이의 내부 반사에 의해 입력 포트로부터 출력 포트로 안내하도록 구성된다. 제1 평행면 쌍의 제1 표면은 부분적으로 투과형-반사형(transmissive-reflective)이므로, 광 필드는 각각의 내부 반사를 통해 분할되고 광 필드의 복수의 복제물은 출력 포트를 형성하는 제1 표면의 영역을 통해 출력된다. 제2 평행면 쌍 또한 적어도 1회의 내부 반사에 의해 광 필드를 입력 포트로부터 출력 포트로 안내하도록 구성된다. 입력 포트는 제1 평행면 쌍의 제1 표면 상에 또는 제2 표면 상에 형성될 수 있다.

[0031] 본 개시에 따른 "회절된 광 필드(diffracted light field)" 또는 "회절광 필드(diffractive light field)"는 회절에 의해 형성된 광 필드이다. 회절된 광 필드는 그에 대응하는 회절 패턴을 조사(illuminate)함으로써 형성될 수 있다. 본 개시에 따르면, 회절 패턴의 예는 홀로그램이고, 회절된 광 필드의 예는 홀로그램 광 필드 또는 이미지의 홀로그램 재구성을 형성하는 광 필드이다. 홀로그램 광 필드는 재생 평면(replay plane)에 이미지의 (홀로그램) 재구성을 형성한다. 홀로그램에서 재생 평면으로 전파되는 홀로그램 광 필드는 홀로그램으로 인코딩된 광 또는 홀로그램 도메인의 광을 포함한다고 말할 수 있다. 회절된 광 필드는 회절 구조의 가장 작은 피처 사이즈(feature size)와 (회절된 광 필드의) 광의 파장에 의해 결정되는 회절 각도를 특징으로 가진다. 본 개시에 따르면, "회절된 광 필드"는 또한 그에 대응하는 회절 구조로부터 공간적으로 분리된 평면 상에서 재구성을 형성하는 광 필드라고 말할 수 있다. 회절 구조로부터 뷰어에게 회절된 광 필드를 전파하기 위한 광학 시스템이 여기에서 개시된다. 회절된 광 필드는 이미지를 형성할 수 있다. 일부 실시예들에서, 회절된 광 필드는 발산하는 광선 번들을 포함한다. 일부 실시예들에서, 회절된 광 필드에 의해 형성된 이미지는 허상 이미지이다.

[0032] 일부 실시예들에서, 평행한/상보적인 제1 표면 쌍은 기다랗거나 연장된 표면들로서, 제1 차원을 따라서는 상대적으로 길고 제2 차원을 따라서는 상대적으로 짧다, 예를 들어 각각 서로에 대해 실질적으로 직교하는 차원에 대해서 2개의 각기 다른 차원을 따라서는 상대적으로 짧다. 제1 평행면 쌍 사이의/로부터의 광의 반사/투과 프로세스는 광이 제1 도파관 동공확장기 내에서 전파되도록 구성되며, 광 전파의 일반적인 방향은 제1 도파관 동공확장기에서 상대적으로 긴 방향이다(즉, "연장된" 방향이다).

[0033] 일부 실시예들에서, 제2 평행면 쌍은 연장된 표면들로서, 제1 차원을 따라서는 상대적으로 길고 제2 차원을 따라서는 상대적으로 짧다, 예를 들어 각각 서로에 대해 실질적으로 직교하는 차원에 대해서 2개의 각기 다른 차원을 따라서는 상대적으로 짧다.

[0034] 제2 평행면 쌍 또한 적어도 한 번의 내부 반사에 의해 입력 포트에서 출력 포트로 광 필드를 광 안내하도록 구

성된 결과, 제1 도파관 동공확장기는 제1 도파관 동공확장기 내에서 광이 전파되는 동안 제2 평행면 쌍을 통해서 회절된 광 필드의 광이 손실되지 않도록 보장한다. 이는 특히 제1 도파관 동공확장기가 상대적으로 얇은 경우에 유리할 수 있으며, 특히 제1 도파관 동공확장기를 통해 광이 전파될 때 제1 도파관 동공확장기에서 상대적으로 짧은 치수들 중 하나 또는 둘 모두의 크기가 회절되거나 발산하는 광에 의해 정의되는 광 필드의 크기와 같거나 그보다 작은 경우에 유리할 수 있다.

[0035] 회절된 광을 사용하여 이미지를 형성하고 실제 적용(예를 들어, 헤드-업 디스플레이로서 자동차 산업)에 적합한 아이-박스 크기 및 시야를 제공하는 시스템이 본 명세서에 개시된다. 회절된 광은 회절 구조로부터 이미지의 홀로그램 재구성(예를 들어, 푸리에(Fourier) 또는 프레넬(Fresnel) 홀로그램과 같은 홀로그램)을 형성하는 광이다. 회절 및 회절 구조를 사용하려면 고밀도의 매우 작은 픽셀들(예: 1마이크로미터)을 가지는 디스플레이 장치가 필요하다. - 이는 실제 사용에서는 작은 디스플레이 장치(예: 1cm)를 의미한다. 본 발명의 발명자들은 회절된 광 필드(예를 들어, 발산하는(시준되지 않은) 광선 번들을 포함하는 회절된 광)를 갖는 2D 동공 확장을 제공하는 방법에 관한 문제를 해결하였다.

[0036] 실시예들에서, 디스플레이 시스템은 회절 또는 발산하는 광을 제공하거나 형성하도록 구성된, 예를 들어 공간 광 변조기(SLM) 또는 액정 온 실리콘(LCoS) SLM과 같이 픽셀화된 디스플레이 장치와 같은 디스플레이 장치를 포함한다. 그러한 실시예들에서, 공간 광 변조기(SLM)의 개구는 시스템의 제한 개구(limiting aperture)이다. 즉, 공간 광 변조기의 개구 - 보다 구체적으로 SLM 내에 포함된 광 변조 픽셀의 어레이를 구분하는 영역의 크기 - 는 시스템에서 나갈 수 있는 광선 번들의 크기(예: 공간 범위)를 결정한다. 본 개시에 따르면, 시스템의 사출동(exit pupil, 광의 회절을 위한 픽셀 크기를 갖는 작은 디스플레이 장치로 인해 그 크기가 제한된다.)은 적어도 하나의 동공확장기를 사용하여 공간 범위에서 더 넓거나, 더 크게 또는 더 확장되게 만들어진다는 점을 반영하기 위해 시스템의 사출동이 확장된다고 서술된다.

[0037] 회절 또는 발산하는 광 필드는 광 필드의 전파 방향과 실질적으로 직교하는 방향으로 정의되는 "광 필드 크기(light field size)"를 갖는다고 말할 수 있다. 광이 회절/발산하기 때문에 광 필드 크기는 전파 거리에 따라 증가한다. 일부 실시예들에서, 제1 도파관 동공확장기 내의 광 필드 크기는 제1 도파관 동공확장기의 크기를 초과한다. 즉, 광 필드 크기는 적어도 하나의 차원에서 제1 도파관 동공확장기의 크기보다 크다. 다시 말해서, 광 필드 크기는 다음 중 적어도 하나와 실질적으로 같거나 더 클 수 있다: 제1 평행면 쌍의 제1 표면과 제2 표면 사이로 정의된 "제1 간격 크기(first spacing size)"; 및 제1 도파관 동공확장기 내에서 광 필드의 내부 반사 동안 제2 평행면 쌍의 제1 표면과 제2 표면 사이로 정의된 "제2 간격 크기(second spacing size)"를 포함한다. 다시 말해, 광 필드의 크기는 적어도 1차원에서 제1 도파관 동공확장기의 두께와 같거나 더 클 수 있다. 본 개시에 따르면, 제2 평행면 쌍은 광 필드의 반사를 제공하고, 이를 제1 도파관 동공확장기 내에서 유지하며, 제1 평행면 쌍의 표면 사이에서의 내부 반사의 결과로 광 필드가 출력 포트를 통해서만 제1 도파관 동공확장기에서 나가는 것을 보장하도록 구성된다.

[0038] 일부 실시예들에서, 회절된 광 필드는 홀로그램에 따라 공간적으로 변조된다. 다시 말해서, 그러한 실시예들에서, 회절광 필드는 "홀로그램 광 필드(holographic light field)"를 포함한다. 홀로그램은 픽셀화된 디스플레이 장치에 디스플레이될 수 있다. 홀로그램은 컴퓨터-생성 홀로그램(CGH, Computer-Generated Hologram)일 수 있다. 홀로그램은 푸리에 홀로그램(Fourier hologram) 또는 프레넬 홀로그램(Fresnel hologram) 또는 포인트-클라우드 홀로그램(point-cloud hologram) 또는 기타 적합한 유형의 홀로그램일 수 있다. 홀로그램은 선택적으로 홀로그램 광의 채널들을 형성하도록 계산될 수 있으며, 각 채널은 뷰어에 의해 보여지도록 (또는 허상 이미지인 경우에는 지각되도록) 의도된 이미지의 서로 다른 각 부분에 대응한다. 픽셀화된 디스플레이 장치는 복수의 상이한 홀로그램을 연속적으로 또는 순차적으로 디스플레이하도록 구성될 수 있다. 여기에 개시된 각각의 실시예들은 다중 홀로그램의 디스플레이에 적용될 수 있다.

[0039] 제1 도파관 동공확장기의 출력 포트는 제2 도파관 동공확장기의 입력 포트에 연결될 수 있다. 제2 도파관 동공확장기는 (제1 도파관 동공확장기에 의해 출력되는 광 필드의 복제물의 일부를, 바람직하게는 대부분을, 바람직하게는 전부를 포함하는) 회절된 광 필드를 제2 도파관 동공확장기의 제3 평행면 쌍 사이의 내부 반사에 의해 입력 포트에서 각각의 출력 포트로 안내하도록 구성될 수 있다. 제3 평행면 쌍의 제1 표면은 부분적으로 투과적/반사적일 수 있어, 광 필드는 각각의 내부 반사에서 분할되고 광 필드의 복수의 복제물은 제2 도파관 동공확장기 상의 제1 표면의 영역을 통해 투과된다. 이는 제2 도파관 동공확장기의 출력 포트를 형성한다.

[0040] 제1 도파관 동공확장기는 제1 방향으로 동공 확장 또는 복제를 제공하도록 구성될 수 있고, 제2 도파관 동공확장기는 다른 제2 방향으로 동공 확장 또는 복제를 제공하도록 구성될 수 있다. 제2 방향은 제1 방향과 실질적으

로 직교할 수 있다. 제2 도파관 동공확장기는 제1 도파관 동공확장기가 제1 방향으로 제공한 동공 확장을 보존하고 제1 도파관 동공확장기로부터 수신하는 복제물의 일부, 바람직하게는 대부분, 바람직하게는 전부를 다른 제2 방향으로 확장(또는 복제)하도록 구성될 수 있다. 제2 도파관 동공확장기는 제1 도파관 동공확장기로부터 직접적 또는 간접적으로 광 필드를 수신하도록 구성될 수 있다. 제1 및 제2 도파관 동공확장기 사이의 광 필드의 전파 경로를 따라 하나 이상의 다른 구성요소가 제공될 수 있다.

[0041] 제1 도파관 동공확장기는 실질적으로 기다란 형태일 수 있고 제2 도파관 동공확장기는 실질적으로 평면일 수 있다. 제1 도파관 동공확장기의 기다란 형상은 제1 차원 방향으로의 길이에 의해 정의될 수 있다. 제2 도파관 동공확장기의 평면 또는 직사각형 형상은 제1 차원 방향으로의 길이 및 제1 차원과 실질적으로 직교하는 제2 차원 방향으로의 너비 또는 폭에 의해 정의될 수 있다. 제1 도파관 동공확장기의 제1 차원 방향으로의 크기 또는 길이는 제2 도파관 동공확장기의 제1 또는 제2 차원으로의 길이 또는 폭에 각각 대응하도록 만든다. 입력 포트를 포함하는 제2 도파관 동공확장기의 제3 평행면 쌍의 제1 표면은 제1 도파관 동공확장기의 제1 평행면 쌍의 제1 표면 상의 출력 포트에 의해 정의된 영역에 대응하도록 형태, 크기, 및/또는 위치가 결정될 수 있다. 이로써 제2 도파관 동공확장기는 제1 도파관 동공확장기에 의해 출력된 각각의 복제물들을 전달받도록 구성된다.

[0042] 제1 및 제2 도파관 동공확장기는 제1 방향 및 제1 방향에 수직인 제2 방향으로 통합적으로 동공 확장을 제공할 수 있고, 선택적으로, 여기서 제1 및 제2 방향을 포함하는 평면은 제2 도파관 동공확장기의 평면과 실질적으로 평행하다. 다시 말해서, 제2 도파관 동공확장기의 길이 및 너비를 각각 정의하는 제1 및 제2 차원은 각각 도파관 동공확장기가 동공 확장을 제공하는 제1 및 제2 방향 (또는 제2 및 제1 방향)에 평행할 수 있다. 제1 도파관 동공확장기와 제2 도파관 동공확장기의 조합은 일반적으로 "동공확장기(pupil expander)"로 지칭될 수 있다.

[0043] 제1 및 제2 도파관 확장기에 의해 제공되는 확장/복제는 디스플레이 시스템의 사출동공을 두 방향 각각으로 확장시키는 효과가 있다고 말할 수 있다. 확장된 사출동공에 의해 정의된 영역은 결과적으로 확장된 아이-박스 영역(eye-box area)을 정의할 수 있으며, 여기서 뷰어는 회절된 또는 발산하는 광 필드의 입력 광을 수신할 수 있다. 아이-박스 영역은 뷰잉 평면(viewing plane)에 위치하거나 뷰잉 평면을 정의한다고 말할 수 있다.

[0044] 사출동공이 확장되는 2개의 방향은 제1 및 제2 도파관 동공확장기가 복제/확장을 제공하는 제1 및 제2 방향과 동일 평면 상에 있거나 평행할 수 있다. 대안적으로, 광학 결합기(optical combiner, 예를 들어 차량의 윈드스크린(windscreen) (또는 윈드쉴드(windshield)))와 같은 다른 구성요소를 포함하는 구성들에서, 사출동공은 윈드스크린과 같은 다른 구성요소로부터의 사출동공으로 간주될 수 있다. 그러한 구성에서, 사출동공은 제1 및 제2 도파관 동공확장기가 복제/확장을 제공하는 제1 및 제2 방향과 동일 평면 상에 있지 않고 평행하지 않을 수 있다. 예를 들어, 사출동공은 제1 및 제2 도파관 동공확장기가 복제/확장을 제공하는 제1 및 제2 방향에 실질적으로 수직일 수 있다.

[0045] 뷰잉 평면 및/또는 아이-박스 영역은 제1 및 제2 도파관 동공확장기가 복제/확장을 제공하는 제1 및 제2 방향과 동일 평면 상에 있지 않거나 평행하지 않을 수 있다. 예를 들어, 뷰잉 평면은 제1 및 제2 도파관 동공확장기가 복제/확장을 제공하는 제1 및 제2 방향에 실질적으로 수직일 수 있다.

[0046] 일부 실시예들에서, 도파관 연결기(waveguide coupler)가 제1 및 제2 도파관 동공확장기 사이에 제공될 수 있다. 도파관 연결기는 제1 도파관 동공확장기에 의해 출력되는 광 필드의 복수의 복제물 중 일부 또는 전부를 직접적 또는 간접적으로 수신하도록 구성될 수 있다. 추가적으로 도파관 연결기는 복수의 복제물 중 일부 또는 전부를 출력하고 직접적 또는 간접적으로 제2 도파관 동공확장기를 향해 전송하도록 구성될 수 있다.

[0047] 도파관 연결기는 제1 도파관 동공확장기에 의해 출력된 광 필드의 복수의 복제물 중 일부, 바람직하게는 대부분, 바람직하게는 전부를 수신하도록 구성된 입력 포트를 포함하는 수신면(receiving face)을 가질 수 있다. 도파관 연결기의 수신면은 제1 도파관 동공확장기의 제1 평행면 쌍에 평행하도록 구성될 수 있지만, 이는 필수적인 것은 아니다. 하나 이상의 다른 구성요소가 도파관 연결기로 향하는 광 필드 복제물들의 적절한 입사각을 보장하기 위해 제공될 수 있다. 추가적으로 도파관 연결기는 제2 도파관 동공확장기를 향하여 광 필드의 복수의 복제물의 일부, 바람직하게는 대부분, 바람직하게는 전부를 전송하도록 구성된 출력 포트를 포함하는 전송면(transmitting face)을 포함할 수 있다.

[0048] 도파관 연결기는 제4 평행한 반사면 쌍을 더 포함할 수 있고, 제4 평행면 쌍은 적어도 한 번의 내부 반사에 의해 도파관 연결기의 수신면으로부터 전송면을 향해 광 필드를 안내하도록 구성된다. 제4 평행면 쌍은 제1 도파관 동공확장기의 제2 평행면 쌍에 실질적으로 대응할 수 있다. 예를 들어, 제4 평행면 쌍 내의 제1 표면은 제2 평행면 쌍 내의 제1 표면과 동일한 평면 상에 있을 수 있고/있거나 제4 평행면 쌍 내의 제2 표면은 제2 평행면

쌍 내의 제2 표면과 동일한 평면 상에 있을 수 있다.

[0049] 제2 평행면 쌍의 두 표면 사이의 간격의 크기를 포함하는 제2 간격 크기는 제4 평행면 쌍의 두 표면 사이의 간격 크기와 실질적으로 동일할 수 있다. 따라서, 제4 평행면 쌍과 제2 평행면 쌍 사이의 대응이 제1 도파관 동공확장기와 도파관 연결기가 동일한 평면 또는 층(layer)을 점유하는지를 결정할 수 있다.

[0050] 제1 도파관 동공확장기 및 선택적으로 도파관 연결기는 제1 평면 또는 층을 점유하도록 구성될 수 있다. 제2 도파관 동공확장기는 상이한 제2 평면 또는 층을 점유하도록 구성될 수 있다. 제2 층은 제1 층에 실질적으로 평행할 수 있다. 제2 도파관 동공확장기의 형태 및 크기는 제2 층 상의/내에서의 영역 또는 "풋프린트(footprint)"를 정의한다고 말할 수 있다. 제1 층과 제 2층은 실질적으로 평행하므로, 제2 도파관 복제기의 "풋프린트" 또한 제1 층 상에서 정의된다고 설명될 수 있다. 제1 도파관 동공확장기 및 선택적으로 도파관 연결기는 제2 층 내에서의 제2 도파관 동공확장기의 풋프린트의 크기보다 작거나 동일한 제1 층의 영역 내에 구성될 수 있다. 예를 들어 거울과 같은 하나 이상의 추가적인 구성요소가 또한 제1 층의 해당 영역 내에 구성될 수 있다.

[0051] 제1 및 제2 층은 제2 층 상의 제2 도파관 동공확장기의 풋프린트가 제1 도파관 동공확장기 및 선택적으로 또한 도파관 연결기가 구성되는 제1 층의 영역을 오버레이(overlay)하도록 서로에 대해 구성될 수 있다. 다시 말해서, 상기 구성에서, 제2 층 상의 제2 도파관 동공확장기의 "평면(plan)" 또는 "오버헤드(overhead)" 시점에서 바라보면 뷰어가 제1 도파관 동공확장기가 차지하는, 선택적으로 또한 도파관 연결기 및/또는 하나 이상의 추가적인 구성요소가 차지하는, 제1 층의 영역을 볼 수 없다.

[0052] 도파관 연결기는 제1 및 제2 도파관 동공확장기 사이의 공간 또는 틈을 실질적으로 채우는 형상을 가질 수 있다. 예를 들어, 도파관 연결기는 실질적으로 삼각형인 형상을 가질 수 있다.

[0053] 제1 및 제2 도파관 동공확장기 내에서 내부 반사를 달성하기 위한 적절한 전송조건을 제공하기 위해, 제1 도파관 동공확장기의 긴 차원이 제2 도파관 동공확장기의 제1 및 제2 차원에 대해 기울어질 수 있다. 이러한 기울임은 본질적으로 삼각형 모양의 틈을 생성할 수 있으며, 도파관 연결기는 적어도 부분적으로 상기 틈을 점유하도록 구성될 수 있다.

[0054] 디스플레이 시스템은 제1 및 제2 도파관 동공확장기 사이, 예를 들어 도파관 연결기와 제2 도파관 동공확장기 사이에서 광 필드의 복제물의 광학적 경로를 꺾도록(fold) 구성된 구성요소를 더 포함할 수 있다. 상기 구성요소는 폴드미러(fold mirror)를 포함할 수 있다. 폴드미러는 제1 도파관 동공확장기 및 선택적으로 또한 도파관 연결기가 차지하는 제1 층을 점유하도록 구성될 수 있다. 폴드미러는 제1 층으로부터 제2 층을 향하여 광을 지향시키도록 구성될 수 있다. 폴드미러는 제2 도파관 동공확장기 내에서 내부 반사를 달성하기 위한 적절한 전송조건을 제공하도록 구성될 수 있다. 폴드미러의 사용은 제2 층을 제1 층에 오버레이할 수 있게 하여 컴팩트하고 감소된 부피의 시스템을 가능하게 할 수 있다.

[0055] 제2 층 상의 제2 도파관 동공확장기의 풋프린트가 제1 도파관 동공확장기 및 선택적으로 또한 도파관 연결기가 구성되는 제1 층의 영역을 오버레이하는 실시예들에서, 제2 도파관 동공확장기는 풋프린트의 각각 제1 및 제2 차원 또는 축을 정의한다고 말할 수 있다. 제1 도파관 동공확장기에 의해 출력된 광은 풋프린트의 상기 제1 및 제2 차원 중 하나에 평행하도록 구성될 수 있다. 제1 도파관 동공확장기의 긴 차원은 풋프린트의 상기 제1 및 제2 차원 각각에 대해 기울어지도록 구성될 수 있다.

[0056] 일부 실시예들에 따르면, 제어기는 디스플레이 시스템 내에 배치될 수 있다. 예를 들어, 그것은 제1 도파관 동공확장기와 제2 도파관 동공확장기 사이와 같이 제1 도파관 동공확장기의 후속위치(downstream)에 배치될 수 있으며, 여기서 제어기는 개구 어레이(array of apertures)를 포함하며, 각각의 개구는 투과 상태와 비투과 상태 사이에서 선택적으로 동작한다.

[0057] 따라서 제어기는 제1 도파관 동공확장기와 제2 도파관 동공확장기 사이에서 동적인 기반으로 어느 광이 투과되고 어느 광이 투과되지 않는지를 선택적으로 제어하도록 구성될 수 있다. 일부 실시예들에서, 제어기는 제1 도파관 동공확장기로부터 출력된 회절 광 필드의 복제물들 중 일부가 제2 도파관 동공확장기를 향해 전송되는 것을 허용하고 특정한 다른 복제물들은 그렇지 않도록 방지하는 제어가 가능하다. 제어기는 주어진 회절된 광 필드의 모든 복제물이 제2 도파관 동공확장기로 전송되지만 모든 복제물이 정확히 동시에 전송되지는 않도록 제어할 수 있다. 예를 들어, 복제물의 전송은 시간 차이를 두거나 순서가 지정되거나 그 밖의 방식으로 시간이 제어될 수 있다. 예를 들어, 이는 따라서 제어기 및 디스플레이 시스템이 뷰어의 머리의 움직임과 그에 따른 아이-박스의 움직임을 허용하는 것을 가능하게 한다. 대안적으로 또는 추가적으로, 이는 뷰어가 거의 확실하게 복수의 뷰잉 개구(즉, 두 눈)를 갖고 있다는 사실을 허용하는데 유용할 수 있으며, 따라서 두 눈이 정확히 동시에

동일한 이미지 콘텐츠에 해당하는 홀로그램 광을 받지 않도록 보장한다. 이는 눈들은 물리적으로 서로 다르게 위치하고 각각의 고유한 시야가 다르기 때문에 인간의 뇌는 본질적으로 각 눈에 대해 적어도 약간씩 다른 보기를 기대하기 때문이다.

[0058] 제어기의 개구 어레이는 제1 도파관 동공확장기의 긴 방향으로 연장될 수 있다. 개구들은 물리적으로 분리된 개구들이거나 제어기의 소프트웨어로 제어되는 부분들일 수 있다. 이와 같이, 제어기 내에서 개구의 크기, 수 및 위치는 동적으로 변할 수 있다. 제어기는 투과 상태와 비투과 상태 사이에서 독립적으로 전환 가능한 복수의 액정 셀들 또는 영역들을 포함할 수 있다.

[0059] 제어기는 제1 도파관 동공확장기와 도파관 연결기 사이, 또는 도파관 연결기와 제2 도파관 동공확장기 사이, 또는 폴드미러와 제2 도파관 동공확장기 사이에 배치될 수 있다.

[0060] 일부 실시예들에서, 제1 도파관 동공확장기 및 도파관 연결기는 함께 접합(bonded)될 수 있다. 일부 실시예들에서, 제1 도파관 동공확장기, 도파관 연결기 및 제어기는 함께 접합될 수 있다. 임의의 그러한 실시예에서, 접합은 각각의 구성요소들 사이에 임의의 적합한 유형의 결합을 포함할 수 있다. 디스플레이 시스템의 구성요소를 함께 결합하면 디스플레이 시스템의 전반적인 기계적 및 열적 안정성을 향상시킬 수 있다. 또한 구성요소 사이에서 광학적 정렬을 강화하고 확보하여 시스템과 뷰어에게 정확한 광의 전파를 보장할 수 있다.

[0061] 각 "도파관 동공확장기"는 동공의 광을 복제하여 동공 확장을 수행한다.

[0062] 두번째 실시예에 따르면, 광 엔진은 제1 층 및 제2 층을 포함하는 층상형 또는 적층형 구성으로 구성된다. 제1 층은 제1 동공복제기 및 도파관 연결기를 포함한다. 제1 동공복제기는 동공을 갖는 회절 구조로부터 회절된 광 필드를 수신하도록 구성된다. 제1 동공복제기는 실질적으로 연장된다. 제2 층은 제2 동공복제기를 포함한다. 제2 동공복제기는 실질적으로 평면이다. 제2 동공복제기는 광 엔진의 입력을 형성하도록 구성된 제1 주면 및 출력을 형성하도록 구성된 제2 주면을 포함한다. 도파관 연결기는 제1 동공복제기의 출력을 제2 동공복제기의 입력에 연결하도록 구성된다. 제1 층 및 제2 층은 실질적으로 평행하고 서로 인접한다.

[0063] 제1 동공복제기는 제1 방향으로 회절 구조의 동공을 복제하도록 구성될 수 있고, 제2 동공복제기는 제2 방향으로 회절 구조의 동공을 복제하도록 구성될 수 있다. 제1 방향은 제2 방향에 실질적으로 수직일 수 있다.

[0064] 제1 동공복제기 및 도파관 연결기는 제2 동공복제기의 풋프린트 내에 구성될 수 있고, 여기서 풋프린트는 각 층에 실질적으로 수직인 방향에서 볼 때 각각의 층이 차지하는 영역을 포함한다.

[0065] 제1 동공복제기는 그 사이에서 광 안내 및 동공 복제를 제공하도록 구성된 대향면의 주된 쌍을 포함할 수 있다.

[0066] 도파관 연결기는 입력면 및 출력면을 각각 포함하는 대향면의 주된 쌍을 포함할 수 있고, 여기서 입력면과 출력면은 서로에 대해 각을 이룬다.

[0067] 제1 동공복제기 및 도파관 연결기는 실질적으로 동일한 평면에 있을 수 있다.

[0068] 제1 층의 제1 동공복제기 및 도파관 연결기는 제2 층에 실질적으로 평행한 평면에서 회절된 광 필드를 안내하도록 구성될 수 있으며, 여기서 "도파관(waveguide)"은 내부 반사에 의해 광을 전파하는 것을 의미한다.

[0069] 제2 층은 제1 및 제2 축에 의해 정의될 수 있고, 여기서 제1 동공복제기의 긴 차원는 제2 층의 제1 및 제2 축 중 적어도 하나에 대해 각을 이룬다. 제2 층의 제1 축 또는 제2 축에 대한 제1 동공복제기의 긴 차원의 각도는 제1 동공복제기에 의해 수신된 회절된 광의 입사각과 실질적으로 동일할 수 있다.

[0070] 제2 동공복제기는 실질적으로 사각형인 단면 형상을 가질 수 있다.

[0071] 제2 동공복제기의 입력은 연장될 수 있고 제2 층의 제1 축에 대응할 수 있다.

[0072] 제2 동공복제기의 제1 및 제2 주면은 그 사이에서 광 안내 및 동공 복제를 제공하도록 구성된 대향하는 표면의 주된 쌍을 형성할 수 있다.

[0073] 제2 층의 제2 동공복제기는 제1 층에 실질적으로 평행한 평면에서 회절된 광 필드를 안내하도록 구성될 수 있다.

[0074] 제1 동공복제기 및 도파관 연결기는 제2 동공복제기의 제1 주면에 고정될 수 있다.

[0075] 제1 동공복제기 및 도파관 연결기는 평면 내에서 회절된 광 필드를 트래핑하도록 구성된 제2 대향면 쌍을 각각 포함할 수 있으며, 여기서 "트랩(trap)"은 회절된 광이 이를 통해 나가는 것을 방지하는 것을 의미한다. 각각의

제2 대향면 쌍의 적어도 하나의 표면은 반사형 구성요소(예를 들어, 거울 코팅)를 포함할 수 있고 각각의 제2 대향면 쌍의 적어도 하나의 표면은 반사형 구성요소를 통해 동일한 층에 고정될 수 있다. 상기 동일한 층은 제2 동공복제기 또는 광 엔진을 수용하는 차량의 구성요소일 수 있다.

[0076] 제1 동공복제기와 도파관 연결기는 함께 부착될 수 있다.

[0077] 광 엔진은 제어기를 더 포함할 수 있다. 제어기는 제1 동공복제기로부터 제2 동공복제기로 전파되는 동공 복제물들을 결정하도록 구성된 복수의 독립적으로 제어되는 개구들을 포함할 수 있다. 제1 동공복제기, 도파관 연결기 및/또는 제어기는 함께 본딩될 수 있다.

[0078] 세번째 실시예에 따르면, 차량용 헤드-업 디스플레이(head-up display)는 제1 동공복제기, 제2 동공복제기 및 도파관 연결기를 포함한다. 제1 동공복제기는 제1 방향으로 연장된다. 제1 동공복제기는 헤드-업 디스플레이의 제한 개구(limiting aperture)를 정의하는 픽셀 어레이를 갖는 공간 광 변조기로부터 홀로그래픽 광 필드를 수신하도록 구성된다. 홀로그램 광 필드는 공간 광 변조기에 디스플레이되는 홀로그램에 따라 공간적으로 변조된 복소 광 필드이다. 제2 동공복제기는 제1 방향 및 제1 방향에 수직인 제2 방향으로 연장된다. 제2 동공복제기는 출력을 형성하는 제1 주면 및 제1 주면에 평행한 제2 주 표면을 포함한다. 도파관 연결기는 제1 동공복제기의 출력을 제2 동공복제기의 입력에 광학적으로 연결하도록 구성된다. 제1 동공복제기 및 도파관 연결기는 제2 동공복제기의 제2 주면에 실질적으로 평행하고 이에 인접한 평면 층 내에 구성된다. 선택적으로, 제1 동공복제기 및 도파관 연결기는 제2 동공복제기의 제2 주면 또는 헤드-업 디스플레이를 수용하는 차량의 구조적 프레임워크(framework)에 부착될 수 있다.

[0079] 제1 동공복제기를 포함하는 제1 층을 포함하는 광 엔진이 또한 제공되며, 여기서 제1 동공복제기는 실질적으로 평면이고 입력을 형성하도록 구성된 제1 주면 및 출력을 형성하도록 구성된 제2 주면을 포함한다. 광 엔진은 제2 동공복제기 및 제2 동공복제기의 출력을 제1 동공복제기의 입력에 연결하도록 구성된 도파관 연결기를 포함하는 제2 층을 더 포함하고, 여기서 제2 동공복제기는 실질적으로 길게 연장되고 도파관 연결기는 실질적으로 평면이며, 여기서 제1 층은 제1 및 제2 축에 의해 정의되고, 여기서 제2 층의 광 풋프린트가 제1 층의 광 풋프린트 내에 포함되도록 제2 동공복제기의 긴 차원은 상기 제1 및 제2 축 중 적어도 하나에 대해 각을 이룬다.

[0080] 제1 층의 표면적은 제1 동공복제기의 주면 각각의 표면적과 실질적으로 같거나 더(예를 들어, 약간 더) 클 수 있다. 다시 말해서, 제1 층은 제1 동공복제기만을 포함할 수 있거나, 제1 동공복제기를 포함하는 것에 더해서 다른 물질, 및/또는 하나 이상의 다른 구성요소를 또한 포함할 수 있다.

[0081] 제1 동공복제기의 형상은 사각형일 수 있다. 사각형의 각각의 길이 및 너비는 광 엔진의 제1 층을 정의하는 제1 및 제2 축에 실질적으로 평행할 수 있다.

[0082] 제1 층 및 제2 층은 실질적으로 평행하고 인접할 수 있다. 따라서, 제1 및 제2 층은 컴팩트하고 공간 절약적인 형태로 제공될 수 있다.

[0083] 제1 동공복제기는 제1 방향으로 복제하도록 구성될 수 있고, 제2 동공복제기는 제2 방향으로 복제하도록 구성될 수 있으며, 여기서 제2 동공복제기는 제2 층에 대해서 각을 이룬다.

[0084] 각 층의 광 풋프린트는 제1 층과 제2 층에 수직인 방향에서 볼 때 층이 차지하는 풋프린트 또는 면적으로 정의될 수 있다. 제2 동공복제기는 제2 층의 광 풋프린트가 제1 층의 광 풋프린트 내에 포함되도록 제2 층 상에 각을 이룰 수 있다. 따라서, 두 개의 층은 제1 층의 단면적을 초과하지 않는 단면적을 갖는 형태로 함께 제공될 수 있다.

[0085] 또한, 제1 방향 및 제1 방향에 수직인 제2 방향으로 연장된 제1 동공복제기를 포함하는 광 엔진이 제공되며, 여기서 제1 동공복제기는 출력을 형성하는 제1 주면 및 제1 주면에 평행한 제2 주면을 포함한다. 광 엔진은 제1 방향으로 연장되고 공간 광 변조기로부터 회절된 광 필드를 수신하도록 구성된 제2 동공복제기, 및 제1 동공복제기와 제2 동공복제기 사이의 도파관 연결기를 더 포함하고, 여기서 제2 동공복제기와 도파관 연결기는 제1 동공복제기의 제2 주면에 실질적으로 평행하며 인접한 평면 상에 배치된다.

[0086] 제2 동공복제기("동공확장기(pupil expander)"로 대신하여 지칭될 수 있다.)는 제1 방향으로 그 사이에서 광 안내 및 동공 복제를 제공하도록 구성된 대향하는 표면의 주된 쌍을 포함할 수 있다. 도파관 연결기는 각각 입력 및 출력을 형성하는 대향하는 표면의 주된 쌍을 포함할 수 있으며, 여기서 입력면과 출력면은 서로에 대해 각을 이룬다. 입력면과 출력면은 꼭지점 또는 모서리에서 서로 만나거나 접촉할 수 있다.

[0087] 제2 동공복제기 및 도파관 연결기는 각각 그 평면 내에서 회절된 광 필드를 트랩하도록 구성된 제2 대향면 쌍을

각각 포함할 수 있다. 따라서, 회절 또는 발산하는 광이 제2 동공복제기 또는 도파관에 입력될 때 제2 대향면 쌍에서 광이 빠져나가는 것을 방지하도록 구성된다. 제2 동공복제기 및 도파관 연결기 각각에 대해, 제2 대향면 쌍은 대응하는 제1 대향면 쌍에 대하여 실질적으로 수직으로 구성될 수 있다.

[0088] 제1 동공확장기는 제2 방향으로 그 사이에서 광 안내 및 동공 복제를 제공하도록 구성된 대향하는 표면의 주된 쌍을 포함할 수 있다.

[0089] 제2 동공복제기 및 도파관 연결기는 제1 동공복제기의 제2 주면에 고정될 수 있다.

[0090] (제2 동공복제기 및 도파관 연결기의) 각 제2 대향면 쌍의 적어도 하나의 표면은 동일한 층에 고정될 수 있다. 상기 동일한 층은 제2 동공복제기일 수 있다.

[0091] 광 엔진은 차량 HUD와 같은 헤드-업 디스플레이(HUD)의 일부를 형성할 수 있다. 각 제2 대향면 쌍의 적어도 하나의 표면은 HUD가 제공되는 차량의 다른 구성요소 또는 부품에 부착될 수 있다. 따라서 상기 동일한 층은 광 엔진을 수용하는 차량의 구성요소일 수 있다. 예를 들어, 자동차의 섀시(chassis)일 수 있다.

[0092] 제2 동공복제기와 도파관 연결기를 동일한 층에 부착하는 것은 제조 비용을 낮추고, 예를 들어 컴팩트한 형태로 (예를 들어, 상대적으로 평평하고 유선형인 형태) 제공되도록 하여, 광 엔진의 견고함을 보장하는 데 도움이 된다.

[0093] 제2 동공복제기 및 도파관 연결기는 제1 동공복제기의 풋프린트 내에 구성될 수 있다. 광 엔진은 제1 층 및 제2 층을 포함하는 층상/적층 구조로 구성될 수 있으며, 여기서 제1 층은 제1 동공복제기 및 도파관 연결기를 포함하고 제2 층은 제2 동공복제기를 포함하며, 그 반대의 경우도 마찬가지이다.

[0094] 제1 층 및 제2 층은 실질적으로 평행하며 인접할 수 있다.

[0095] 제2 동공복제기 및 도파관 연결기는 제1 동공복제기의 평면과 실질적으로 평행한 평면에서 광을 전파하도록 구성될 수 있다.

[0096] 제2 동공복제기는 제1 방향으로 회절된 광 필드를 복제하도록 구성될 수 있고, 제1 동공복제기는 제2 방향으로 회절된 광 필드를 복제하도록 구성될 수 있다.

[0097] 제2 동공복제기는 제1 동공확장기의 평면에 평행한 평면에서 파동을 안내하도록 구성된 제1 대향면 쌍을 포함할 수 있다.

[0098] 제2 동공확장기는 회절된 광 필드가 제2 대향면 쌍을 통해 제1 동공확장기를 탈출하는 것을 방지하도록 구성된 제2 대향면 쌍을 포함할 수 있다.

[0099] 제2 대향면 쌍은 제1 대향면 쌍에 수직일 수 있다. 제2 대향면 쌍의 적어도 하나의 표면은 제2 동공복제기 내에서 내부 반사를 제공하도록 구성된 반사 코팅을 포함할 수 있다.

[0100] 제1 방향으로 연장되고 공간 광 변조기(SLM)로부터 회절된 광 필드를 수신하도록 구성된 제1 동공복제기, 제1 방향 및 제1 방향에 수직인 제2 방향으로 연장된 제2 동공복제기를 포함하는 광 엔진이 또한 제공된다. 여기서, 제2 동공복제기는 출력을 형성하는 제1 주면 및 제1 주면에 평행한 제2 주면, 및 제1 동공복제기의 출력을 제2 동공복제기의 입력에 광학적으로 연결하도록 구성된 도파관 연결기를 포함한다. 여기서, 제1 동공복제기 및 도파관 연결기는 제2 동공복제기의 제2 주면에 고정된다.

[0101] 제2 동공복제기의 제2 주면에 고정된 제1 동공복제기 및 도파관 연결기를 제공함으로써, 광 엔진은 컴팩트하고 유선형이며 견고한 형태로 제공될 수 있다. 예를 들어, 구성요소를 서로 고정하는 것은, 예를 들어 차량과 같이 움직이거나 진동하는 환경과 같은 불안정한 환경에서 광 엔진이 제공될 때 발생할 수 있는 잠재적인 손상으로부터 광 엔진을 보호할 수 있다.

[0102] 제1 동공복제기 및 도파관 연결기는 동일한 평면 또는 동일한 층 내에 제공될 수 있다. SLM 및 선택적으로 광원도 또한 해당 동일한 층 내에 제공될 수 있다. 제2 동공복제기는 상이한 제2 층 내에 제공될 수 있다.

[0103] 또한, 상술한 실시예들 중 어느 하나의 디스플레이 장치를 포함하는 헤드-업 디스플레이(HUD) 시스템이 제공된다. HUD 시스템은 차량에 구현될 수 있으며, 차량은 자동차를 포함하지만 이에 제한되는 것은 아니다. HUD 시스템은 윈드스크린(windscreen) 또는 윈드쉴드(windshield)와 같은 광학 결합기를 더 포함할 수 있다. 일부 실시예들에서, 디스플레이 시스템은 광학 결합기를 향해 출력광을 지향시키도록 구성될 수 있고 광학 결합기는 의도된 뷰어의 아이박스를 향해 출력광을 지향(또는 재지향)하도록 구성될 수 있다. 아이박스는 제2 도파관 동공확

장기에 의해 정의된 평면에 실질적으로 직교할 수 있다.

[0104] 회절된 광 필드에 대한 동공 확장을 제공하는 방법이 또한 제공되며, 상기 방법은 회절된 광 필드를 제1 도파관 동공확장기로 지향시키는 단계를 포함하고, 여기서 제1 도파관 동공확장기는 입력 포트, 출력 포트, 제1 평행면 쌍 및 제2 평행면 쌍을 포함한다. 여기서 제1 평행면 쌍은 제2 평행면 쌍에 직교하며, 상기 방법은 제1 평행면 쌍 사이의 내부 반사에 의해 입력 포트로부터 출력 포트로 회절된 광 필드를 안내하는 과정를 더 포함하고, 여기서 제1 평행면 쌍의 제1 표면은 광 필드가 각각의 내부 반사에서 분할되며 광 필드의 복수의 복제물이 출력 포트를 형성하는 제1 표면의 영역을 통해 투과되도록 부분적으로 투과형-반사형이다. 그리고 여기서 제2 평행면 쌍은 또한 적어도 하나의 내부 반사에 의해 입력 포트로부터 출력 포트로 광 필드를 도광하도록 구성된다.

[0105] 용어 "홀로그램(hologram)"은 객체에 대한 진폭 정보 혹은 위상 정보 또는 이들의 일부 조합을 포함하는 레코딩(recoding)을 지칭하는데 사용된다. 용어 "홀로그램 재구성(holographic reconstruction)"은 홀로그램을 조사하여 형성된 객체의 광학적 재구성을 지칭하는데 사용된다. 본 명세서에 개시된 시스템은, 홀로그램 재구성이 실제 이미지이고 홀로그램으로부터 공간적으로 분리되기 때문에, "홀로그래픽 프로젝터(holographic projector)"로서 설명된다. 용어 "재생 필드(replay field)"는 홀로그램 재구성이 형성되고 완전히 포커스되는 2D 영역(2D area)을 지칭하는데 사용된다. 홀로그램이 픽셀들을 포함하는 공간 광 변조기 상에 표시되면, 재생 필드는 복수의 회절 차수(diffracted order)의 형태로 반복될 것이며, 여기서 각각의 회절된 차수는 0차 재생 필드(zeroth-order replay field)의 복제물이다. 0차 재생 필드는 가장 밝은 재생 필드이기 때문에 선호 혹은 일차적인 재생 필드에 일반적으로 해당한다. 달리 명시되지 않는 한, "재생 필드"라는 용어는 0차 재생 필드를 가리키는 것으로 간주되어야 한다. 용어 "재생 평면(replay plane)" 는 모든 재생 필드들을 포함하는 공간의 평면을 지칭하는 데 사용된다. 용어 "이미지(image)", "재생 이미지(replay image)" 및 "이미지 영역(image region)"은 홀로그램 재구성의 광(light)에 의해 비춰지는 재생 필드의 영역들을 지칭한다. 일부 실시예에서, "이미지"는 "이미지 스팟들(image spots)" 또는 편의상 "이미지 픽셀들(image pixels)"로 지칭될 수 있는 개별적인 스팟들을 포함할 수 있다.

[0106] 용어 "인코딩(encoding)", "쓰기(writing)" 또는 "어드레싱(addressing)"은 각각의 픽셀의 변조 레벨을 결정하는 각각의 복수의 제어 값들을 SLM의 복수의 픽셀들에게 제공하는 프로세스를 기술하는 데 사용된다. SLM의 픽셀은 복수의 제어 값을 수신하는 것에 응답하여 광 변조 분포를 "표시(display)"하도록 구성된다고 말할 수 있다. 따라서, SLM은 홀로그램을 "표시"한다고 말할 수 있고 홀로그램은 광 변조 값들 혹은 레벨들의 어레이로 간주될 수 있다.

[0107] 수용 가능한 품질의 홀로그램 재구성은 원래의 객체(즉, 재구성을 위한 타겟 이미지)와 관련된 위상 정보만을 포함하는 "홀로그램"으로부터 형성될 수 있음이 밝혀졌다. 이러한 홀로그래픽 레코딩은 위상-한정 홀로그램(phase-only hologram)으로 지칭될 수 있다. 실시예들은 위상-한정 홀로그램에 관한 것이지만, 본 개시는 진폭-한정 홀로그래피(amplitude-only holography)에도 동일하게 적용될 수 있다.

[0108] 본 개시는 또한 원본 객체의 푸리에 변환과 관련된 진폭 및 위상 정보를 사용하여 홀로그램 재구성을 형성하는 데에도 동일하게 적용될 수 있다. 일부 실시예들에서, 이것은 원래의 객체와 관련된 진폭 및 위상 정보를 모두 포함하는 소위 완전-복소 홀로그램(fully complex hologram)을 이용하는 복소 변조에 의해 달성된다. 이러한 홀로그램은 홀로그램의 각 픽셀에 할당된 값(그레이 레벨)이 진폭 및 위상 성분을 갖기 때문에 완전-복소 홀로그램이라고 지칭될 수 있다. 각 픽셀에 할당된 값(그레이 레벨)은 진폭 및 위상 성분을 모두 갖는 복소수로 표현될 수 있다. 일부 실시예들에서, 완전-복소 컴퓨터-생성 홀로그램(fully-complex computer-generated hologram)이 계산된다.

[0109] 컴퓨터-생성 홀로그램 또는 공간 광 변조기의 픽셀들의 위상 값, 위상 성분, 위상 정보 또는, 단순히, 위상이 "위상-지연(phase-delay)"의 약어로 참조될 수 있다. 즉, 설명된 모든 위상 값은, 실제로는, 해당 픽셀이 제공하는 위상-지연(phase retardation)의 양을 나타내는 (예컨대, 0 내지 2π 범위의) 숫자이다. 예를 들어, 위상 값이 π/2인 것으로 설명된 공간 광 변조기의 픽셀은 수신된 광의 위상을 π/2 라디안만큼 지연시킨다. 일부 실시예에서, 공간 광 변조기의 각 픽셀은 복수의 가능한 변조 값들(예를 들어, 위상 지연 값들) 중 하나로 작동 가능하다. 용어 "그레이 레벨(grey level)"은 복수의 이용 가능한 변조 레벨들을 지칭하기 위해 사용될 수 있다. 예를 들어, 용어 "그레이 레벨"은 상이한 위상 레벨들이 상이한 그레이 음영들을 제공하지 않더라도 위상-한정 변조기에서 복수의 이용 가능한 위상 레벨들을 지칭하기 위해 편의상 사용될 수 있다. 용어 "그레이 레벨"은 또한 복소 변조기에서 이용 가능한 복수의 복소 변조 레벨들을 지칭하기 위해 편의상 사용될 수 있다.

[0110] 따라서 홀로그램은 그레이 레벨들의 어레이를 - 즉, 위상-지연 값들 또는 복소 변조 값들의 어레이와 같은 광

변조 값들의 어레이를 - 포함한다. 또한 홀로그램은, 공간 광 변조기에 디스플레이될 때 그리고 공간 광 변조기의 픽셀 피치(pixel pitch)에 필적하는, - 일반적으로 그보다는 작은 - 파장을 갖는 광으로 조사될 때, 회절을 유발하는 패턴이기 때문에, 회절 패턴으로 간주된다. 홀로그램을 렌즈 또는 그레이팅(grating)으로 기능하는 회절 패턴들과 같은 다른 회절 패턴들과 결합하는 것이 본 명세서에 참조된다. 예를 들어, 그레이팅(grating)으로 기능하는 회절 패턴이 재생 평면 상에 재생 필드를 변환하도록 홀로그램과 결합되거나, 렌즈로 기능하는 회절 패턴이 근거리 필드(near field)의 재생 평면 상에 홀로그램 재구성을 포커스하도록 홀로그램과 결합될 수 있다.

[0111] 다양한 실시예들 및 실시예들의 그룹이 후술되는 상세한 설명에서 개별적으로 개시될 수 있지만, 임의의 실시예 또는 실시예들의 그룹의 임의의 특징은 임의의 실시예 또는 실시예들의 그룹의 임의의 다른 특징 또는 특징들의 조합(combination)과 결합될 수 있다. 즉, 본 개시에 개시된 특징의 모든 가능한 조합 및 순열(permutation)이 고려된다.

도면의 간단한 설명

[0113] 특정 실시예는 다음 도면을 참조하여 단지 예로서 설명된다:

도 1은 스크린 상에 홀로그램 재구성을 생성하는 반사 SLM을 도시하는 개략도이다.

도 2a는 예시적인 Gerchberg-Saxton 유형 알고리즘의 첫번째 반복을 도시한다.

도 2b는 예시적인 Gerchberg-Saxton 유형 알고리즘의 두번째 및 후속 반복들을 도시한다.

도 2c는 예시적인 Gerchberg-Saxton 유형 알고리즘의 대안적인 두번째 및 후속 반복을 도시한다.

도 3은 반사형 LCOS SLM의 개략도이다.

도 4a는 복수의 이미지 영역들(아래 부분) 및 복수의 홀로그램 구성요소를 포함하는 대응하는 홀로그램(위 부분)을 포함하는 이미지를 도시한다.

도 4b는 홀로그램으로 인코딩된 광을 복수의 개별 홀로그램 채널로 안내하거나 채널링하는 것을 특징으로 하는 홀로그램을 도시한다.

도 5는 도 4b의 각 홀로그램 채널의 광 콘텐츠를 상이한 광학적 경로를 통해 눈으로 안내하도록 구성된 시스템을 도시한다.

도 6은 광선을 2차원으로 확장하도록 구성된 한 쌍의 적층 이미지 복제기의 사시도를 도시한다.

도 7은 2차원 동공확장기를 포함하는 개선된 디스플레이 시스템을 도시한다.

도 8은 회절 구조에 의한 회절광 광원추 출력을 도시한다.

도 9는 복층 동공확장기를 도시한다.

도 10은 도 9의 복층 동공확장기의 확대도를 도시한다.

도 11은 공간 광 변조기(SLM)를 더 포함하는 도 10의 복층 동공확장기의 평면도를 도시한다.

도면 12는 동공확장기를 포함하는 헤드-업 디스플레이 시스템을 보여준다.

도면 전체에 걸쳐 동일하거나 유사한 부분을 지칭하기 위해 동일한 참조 번호가 사용된다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0114] 본 발명은 다음에 설명되는 실시예들에 제한되지 않으며, 첨부된 청구 범위의 전체 범위로 연장한다. 즉, 본 발명은 다른 형태들로 실시될 수 있으며 설명의 목적으로 제시된 기재된 실시예들에 한정되는 것으로 해석되어서는 안 된다.

[0115] 단수형의 용어는 달리 명시되지 않는 한 복수형을 포함할 수 있다.

[0116] 다른 구조물의 상부/하부 또는 상/하에 형성된 구조물이라고 기술된 경우, 구조물들이 서로 접촉하는 경우 및 제3의 구조물이 그 사이에 배치되는 경우를 포함하는 것으로 해석되어야 한다.

[0117] 시간 관계를 기술함에 있어서, 사건의 시간 순서가 예를 들어 "후(after)", "후속(subsequent)", "다음

(next)", "전(before)" 등으로 기술될 때, 본 개시는 별도로 규정하지 않는 한 연속적 및 비연속적인 사건을 포함하는 것으로 간주되어야 한다. 예를 들어, "막(just)", "바로(immediate)" 또는 "직접(direct)"이라는 기재가 사용되지 않는 한, 그 기재는 비연속적 경우를 포함하는 것으로 간주되어야 한다.

[0118] 본 명세서에서 "제1", "제2" 등의 용어는 다양한 구성요소를 설명하기 위해 사용될 수 있지만, 이러한 구성요소는 이러한 용어에 의해 제한되지 않는다. 이러한 용어는 한 요소를 다른 요소와 구별하는 데만 사용된다. 예를 들어, 첨부된 특허청구범위의 권리 범위를 벗어나지 않으면서 제1 구성요소는 제2 구성요소로 명명될 수 있고, 유사하게 제2 구성요소도 제1 구성요소로 명명될 수 있다.

[0119] 상이한 실시예들의 특징들은 부분적으로 또는 전체적으로 서로 연결되거나 결합될 수 있으며, 다양한 형태로 서로 상호 작용할 수 있다. 일부 실시예들은 서로 독립적으로 수행될 수도 있고, 서로 연계되어 함께 수행될 수도 있다.

[0121] 광학 구성

[0122] 도 1은 컴퓨터-생성 홀로그램이 단일 공간 광 변조기에서 인코딩되는 실시예를 도시한다. 컴퓨터-생성 홀로그램은 재구성을 위한 객체의 푸리에 변환이다. 따라서 홀로그램은 객체의 푸리에 도메인 또는 주파수 도메인 또는 스펙트럼 도메인 표현이라고 할 수 있다. 본 실시예에서, 공간 광 변조기는 반사형의 액정-온-실리콘 (liquid crystal on silicon: "LCOS") 장치이다. 홀로그램은 공간 광 변조기에서 인코딩되고 홀로그램 재구성은 재생 필드, 예컨대 스크린 또는 디퓨저(diffuser)와 같은 수광 표면(light receiving surface)에 형성된다.

[0123] 예컨대 레이저나 레이저 다이오드 같은 광원(110)은 콜리메이팅 렌즈(collimating lens, 111)를 통해 SLM(140)을 조사하도록 배치된다. 콜리메이팅 렌즈는 광이 SLM 상에 전체적으로 평면 파면으로 입사되도록 만든다. 도 1에서, 파면의 방향은 (예컨대, 투과층의 평면에 대해 완전 수직으로부터 2도 또는 3도 정도 떨어진) 비수직(off-normal)하다. 그러나, 다른 실시예들에서, 전체적으로 평면인 파면은 법선 방향으로 입사되고, 입력 및 출력 광경로들을 분리하기 위한 빔 스플리터 배치(beam splitter arrangement)가 이용된다. 도 1에 도시된 실시예에서, 이러한 배치는, 광원으로부터 오는 광이 SLM의 미러형 후방 표면(mirrored rear surface)에 반사되며 출사 파면(exiting wavefront, 112)을 형성하기 위해 광 변조층과 상호작용하게 한다. 출사 파면(112)은 스크린(125)에 초점이 맞춰진 푸리에 변환 렌즈(120)를 포함하는 광학계에 적용된다. 더욱 상세하게, 푸리에 변환 렌즈(120)는 SLM(140)으로부터 출사되는 변조된 광의 빔을 전달 받아 스크린(125)에 홀로그램 재구성을 생성하기 위해 주파수-공간 변환(frequency-space transformation)을 수행한다.

[0124] 특히, 이러한 유형의 홀로그래피에서 홀로그램의 각 픽셀은 전체 재구성에 관여한다. 재생 필드의 특정 지점들(또는 이미지 픽셀들)과 특정 광-변조 요소들 (또는 홀로그램 픽셀들) 사이에는 일대일 상관 관계가 없다. 다시 말해, 광-변조 층을 나가는 변조된 광은 재생 필드에 분포된다.

[0125] 이러한 실시예들에서, 공간에서 홀로그램 재구성의 위치는 푸리에 변환 렌즈의 굴절(포커싱) 파워(dioptric(focusing) power)에 의해 결정된다. 도 1에 도시된 실시예에서, 푸리에 변환 렌즈는 물리적 렌즈이다. 즉, 푸리에 변환 렌즈는 광학적 푸리에 변환 렌즈이며, 푸리에 변환은 광학적으로 수행된다. 어떤 렌즈라도 푸리에 변환 렌즈 역할을 할 수 있지만, 수행되는 푸리에 변환의 정확도는 렌즈의 성능에 좌우된다. 통상의 기술자라면 렌즈를 사용하여 광학적 푸리에 변환을 수행하는 방법을 이해할 수 있다.

[0127] 홀로그램 계산

[0128] 일부 실시예에서, 컴퓨터-생성 홀로그램은 푸리에 변환 홀로그램, 또는 단순히 푸리에 홀로그램 또는 푸리에-기반 홀로그램이며, 여기서 이미지는 포지티브 렌즈의 푸리에 변환 특성을 이용하여 원거리 장(far field)에서 재구성된다. 푸리에 홀로그램은 재생 평면에서 원하는 광 필드(light field)를 푸리에 변환하여 렌즈 평면에 오도록 계산된다. 컴퓨터-생성 푸리에 홀로그램은 푸리에 변환을 이용하여 계산될 수 있다.

[0129] 푸리에 변환 홀로그램은 Gerchberg-Saxton 알고리즘과 같은 알고리즘을 사용하여 계산될 수 있다. 더욱이, Gerchberg-Saxton 알고리즘은 공간 도메인(예컨대, 사진)의 진폭-한정 정보로부터 푸리에 도메인의 홀로그램(즉, 푸리에 변환 홀로그램)을 계산하는 데 사용될 수 있다. 객체와 관련된 위상 정보는 공간 도메인에서 진폭-한정 정보로부터 효과적으로 "얻어질(retrieved)" 수 있다. 일부 실시예들에서, 컴퓨터-생성 홀로그램은 Gerchberg-Saxton 알고리즘 또는 그 변형 알고리즘을 이용해 진폭-한정 정보로부터 계산된다.

[0130] Gerchberg Saxton 알고리즘은 평면 A와 B에서 각각의 광선(light beam)의 단면적 강도 $I_A(x, y)$ 및 $I_B(x, y)$ 가 알려져 있고 $I_A(x, y)$ 및 $I_B(x, y)$가 단일 푸리에 변환과 연관되는 상황을 고려한다. 주어진 단면적 강도에 대해

평면 A 및 B에서의 각각의 위상 분포에 대한 근사치인 $\Psi_A(x, y)$ 및 $\Psi_B(x, y)$가 구해진다. Gerchberg-Saxton 알고리즘은 반복 프로세스를 따름으로써 이 문제에 대한 솔루션을 찾는다. 더 구체적으로, Gerchberg-Saxton 알고리즘은 공간 도메인과 푸리에(스펙트럼 또는 주파수) 도메인 사이에서 $I_A(x, y)$ 및 $I_B(x, y)$를 나타내는 데이터 세트(진폭 및 위상)를 반복적으로 전달하면서 공간 제한(constraint) 및 스펙트럼 제한을 반복적으로 적용한다. 스펙트럼 영역에서 상응하는 컴퓨터-생성 홀로그램은 알고리즘의 적어도 1회 이상의 반복을 통해 얻어진다. 알고리즘은 입력 이미지를 나타내는 홀로그램을 생성하도록 설정되고 수렴된다. 홀로그램은 진폭 전용 홀로그램(amplitude-only hologram), 위상 전용 홀로그램(phase-only hologram) 또는 완전 복소 홀로그램(a fully complex hologram)일 수 있다.

[0131] 일부 실시예에서, 위상 전용 홀로그램은 영국 특허 제2,498,170호 또는 제2,501,112호에 기술된 것과 같은 Gerchberg-Saxton 알고리즘에 기초한 알고리즘을 이용하여 계산되며, 이 특허들은 그 전체로서 원용되어 본 명세서에 통합된다. 그러나, 본 명세서에 개시된 실시예는 단지 예시로서 위상 전용 홀로그램을 계산하는 것을 설명한다. 이들 실시예에서, Gerchberg-Saxton 알고리즘은 알려진 진폭 정보 T[x, y]를 발생시키는 데이터 세트의 푸리에 변환의 위상 정보 Ψ[u, v]를 검색하는데, 여기서 진폭 정보 T[x, y]는 대상 이미지(예컨대, 사진)를 나타낸다. 진폭과 위상은 푸리에 변환에서 본질적으로 결합하므로, 변환된 진폭과 위상에는 계산된 데이터 세트의 정확도에 대한 유용한 정보가 포함된다. 따라서 알고리즘은 진폭 및 위상 정보 모두에 대한 피드백과 함께 반복적으로 사용될 수 있다. 그러나, 이들 실시예에서, 위상 정보 Ψ[u, v]만이 이미지 평면에서 대상 이미지의 홀로그래픽 표현을 형성하기 위한 홀로그램으로 사용된다. 홀로그램은 위상 값의 데이터 세트(예를 들어, 2D 어레이)이다.

[0132] 다른 실시예에서, Gerchberg-Saxton 알고리즘에 기초한 알고리즘은 완전 복소(fully-complex) 홀로그램을 계산하기 위해 이용된다. 완전 복소 홀로그램은 크기 성분과 위상 성분을 갖는 홀로그램이다. 홀로그램은 복소 데이터 값들의 어레이를 포함하는 데이터 세트(예를 들어, 2D 어레이)이고, 각각의 복소 데이터 값은 크기 성분 및 위상 성분을 포함한다.

[0133] 일부 실시예에서, 알고리즘은 복소 데이터를 처리하고, 푸리에 변환은 복소 푸리에 변환이다. 복소 데이터는 (i) 실수 성분 및 허수 성분 또는 (ii) 크기 성분 및 위상 성분을 포함하는 것으로 간주될 수 있다. 일부 실시예에서, 복소 데이터의 2개의 성분은 알고리즘의 다양한 과정에서 상이하게 처리된다.

[0134] 도 2a는 위상 전용 홀로그램을 계산하기 위한 일부 실시예에 따른 알고리즘의 제1 반복을 도시한다. 알고리즘에 대한 입력은 픽셀 또는 데이터 값의 2D 어레이를 포함하는 입력 이미지(210)이며, 여기서 각 픽셀 또는 데이터 값은 크기 또는 진폭 값이다. 즉, 입력 이미지(210)의 각 픽셀 또는 데이터 값은 위상 성분을 갖지 않는다. 따라서, 입력 이미지(210)는 크기 전용 또는 진폭 전용 또는 강도 전용 분포로 간주될 수 있다. 이러한 입력 이미지(210)의 일례는 프레임의 시간적 시퀀스를 포함하는 사진 또는 비디오의 한 프레임이다. 알고리즘의 제1 반복은 랜덤 위상 분포(또는 랜덤 위상 시드)(230)를 이용하여, 초기 복소 데이터 세트(starting complex data set)의 각각의 데이터 요소가 크기 및 위상을 포함하도록, 입력 이미지의 각 픽셀에 랜덤 위상 값을 할당하는 과정을 포함하는 데이터 형성 과정(202a)에서 시작한다. 초기 복소 데이터 세트는 공간 도메인에서의 입력 이미지를 나타낸다고 말할 수 있다.

[0135] 제1 프로세싱 블록(250)은 초기 복소 데이터 세트를 수신하고 복소 푸리에 변환을 수행하여 푸리에 변환된 복소 데이터 세트를 형성한다. 제2 프로세싱 블록(253)은 푸리에 변환된 복소 데이터 세트를 수신하고 홀로그램(280a)을 출력한다. 일부 실시예에서, 홀로그램(280a)은 위상 전용 홀로그램이다. 이들 실시예에서, 제2 프로세싱 블록(253)은 각각의 위상 값을 양자화하고 홀로그램(280a)을 형성하기 위해 각 진폭 값을 1로 설정한다. 각 위상 값은 위상 전용 홀로그램을 "표시(display)"하는데 이용되는 공간 광 변조기의 픽셀 상에 표현될 수 있는 위상 레벨에 따라 양자화(quantized)된다. 예를 들어, 공간 광 변조기의 각 픽셀이 256개의 서로 다른 위상 레벨을 제공하면 홀로그램의 각 위상 값은 256개의 가능한 위상 레벨 중 하나의 위상 레벨로 양자화된다. 홀로그램(280a)은 입력 이미지를 나타내는 위상 전용 푸리에 홀로그램이다. 다른 실시예에서, 홀로그램(280a)은 수신된 푸리에 변환된 복소 데이터 세트로부터 유도된 복소 데이터 값(각각 진폭 성분 및 위상 성분을 포함함)의 어레이를 포함하는 완전 복소 홀로그램이다. 일부 실시예에서, 제2 프로세싱 블록(253)은 복수의 허용 가능한 복소 변조 레벨 중 하나로 각각의 복소 데이터 값을 제한하여 홀로그램(280a)을 형성한다. 제한하는 과정은 복소 평면에서 각 복소 데이터 값을 가장 가까운 허용 가능한 복소 변조 레벨로 설정하는 과정을 포함할 수 있다. 홀로그램(280a)은 스펙트럼 또는 푸리에 또는 주파수 영역에서 입력 이미지를 나타낸다고 말할 수 있다. 일부 실시예에서, 알고리즘은 이 시점에서 정지한다.

[0136] 그러나, 다른 실시예에서, 알고리즘은 도 2a의 점선 화살표로 나타낸 바와 같이 계속된다. 즉, 도 2a에서 점선 화살표를 따르는 과정은 선택적이다(즉, 모든 실시예에 필수적인 것은 아니다).

[0137] 프로세싱 블록(256)은 제2 프로세싱 블록(253)으로부터 수정된 복소 데이터 세트를 수신하고 역 푸리에 변환을 수행하여 역 푸리에 변환된 복소 데이터 세트를 형성한다. 역 푸리에 변환된 복소 데이터 세트는 공간 도메인에서 입력 이미지를 나타낸다고 말할 수 있다.

[0138] 제4 프로세싱 블록(259)은 역 푸리에 변환된 복소수 데이터 세트를 수신하고 진폭 값(211a)의 분포 및 위상 값(213a)의 분포를 추출한다. 선택적으로, 제4 프로세싱 블록(259)은 진폭 값(211a)의 분포를 평가(assess)한다. 구체적으로, 제4 프로세싱 블록(259)은 역 푸리에 변환된 복소 데이터 세트의 진폭 값(211a)의 분포를 당연히 진폭 값의 분포인 입력 이미지(510)와 비교할 수 있다. 진폭 값(211a)의 분포와 입력 이미지(210)의 분포 사이의 차이가 충분히 작으면, 제4 프로세싱 블록(259)은 홀로그램(280a)이 허용 가능한 것으로 결정할 수 있다. 즉, 진폭 값(211a)의 분포와 입력 이미지(210)의 차이가 충분히 작으면, 제4 프로세싱 블록(259)은 홀로그램(280a)이 입력 이미지(210)를 충분히 정확하게 나타내는 것으로 결정할 수 있다. 일부 실시예들에서, 비교 과정에서 역 푸리에 변환된 복소 데이터 세트의 위상 값(213a)의 분포는 무시된다. 진폭 값(211a)과 입력 이미지(210)의 분포를 비교하기 위한 임의의 수의 상이한 방법들이 이용될 수 있으며, 본 개시는 임의의 특정 방법에 제한되지 않음을 이해할 것이다. 일부 실시예에서, 평균 제곱 차이가 계산되고, 평균 제곱 차이가 임계값보다 작은 경우, 홀로그램(280a)은 수용 가능한 것으로 간주된다. 제4 프로세싱 블록(259)이 홀로그램(280a)이 수용 가능하지 않다고 결정하면, 알고리즘의 추가 반복이 수행될 수 있다. 그러나, 이러한 비교 과정은 필수적인 것은 아니며, 다른 실시예에서 수행되는 알고리즘의 반복 횟수는 미리 결정되거나 미리 설정되거나 사용자 정의된다.

[0139] 도 2b는 알고리즘의 두번째 반복 및 알고리즘의 임의의 추가 후속 반복을 나타낸다. 선행 반복의 위상 값(213a)의 분포는 알고리즘의 프로세싱 블록을 통해 피드백된다. 진폭 값(211a)의 분포는 입력 이미지(210)의 크기 값의 분포를 위해 소거된다. 첫번째 반복에서, 데이터 형성 과정(202a)은 입력 이미지(210)의 진폭 값의 분포를 랜덤 위상 분포(230)와 결합하여 제1 복소 데이터 세트를 형성한다. 그러나, 두번째 및 후속 반복에서, 데이터 형성 과정(202b)은 (i) 알고리즘의 이전 반복으로부터의 위상 값(213a)의 분포와, (ii) 입력 이미지(210)의 진폭 값의 분포를 합하여 복소 데이터 세트를 형성하는 과정을 포함한다.

[0140] 도 2b의 데이터 형성 과정(202b)에 의해 형성된 복소 데이터 세트는 도 2a를 참조하여 기술된 것과 동일한 방식으로 처리되어 제2 반복 홀로그램(280b)을 형성한다. 따라서 프로세스에 대한 설명은 여기에서 반복되지 않는다. 알고리즘은 제2 반복 홀로그램(280b)이 계산되면 중단될 수 있다. 그러나 알고리즘의 임의의 수의 추가 반복이 수행될 수 있다. 제3 프로세싱 블록(256)은 제4 프로세싱 블록(259)이 요구되거나 더 많은 박복이 요구되는 경우에만 요구된다는 것을 이해할 것이다. 출력 홀로그램(280b)은 일반적으로 반복할 때마다 개선된다. 그러나 실제로는 일반적으로 측정 가능한 개선이 관찰되지 않거나 처리 사간의 증가라는 부정적 효과가 추가 반복을 수행하는 긍정적인 이점보다 커지는 시점이 도달한다. 따라서 알고리즘은 반복적이고 수렴적으로 기술된다.

[0141] 도 2c는 두번째 및 후속 반복의 대안적인 실시예를 나타낸다. 선행 반복의 위상 값(213a)의 분포는 알고리즘의 프로세싱 블록을 통해 피드백된다. 진폭 값(211a)의 분포는 대안적인 진폭 값의 분포를 위해 소거된다. 이 대안적인 실시예에서, 대안적인 진폭 값의 분포는 이전 반복의 진폭 값(211)의 분포로부터 도출된다. 특히, 프로세싱 블록(258)은 선행 반복의 진폭 값(211)의 분포로부터 입력 이미지(210)의 진폭 값의 분포를 감산하고, 그 차이를 이득 인자 α만큼 스케일링하고, 입력 이미지(210)로부터 스케일링된 차분을 감한다. 이는 다음의 방정식에 의해 수학적으로 표현되며, 아래 첨자 텍스트와 숫자는 반복 횟수를 나타낸다.

[0142] [수학식 1]

$$R_{n+1}[x,y] = F'\{\exp(i\psi_n[u,v])\}$$

$$\psi_n[u,v] = \angle F\{\eta \cdot \exp(i\angle R_n[x,y])\}$$

$$\eta = T[x,y] - \alpha(|R_n[x,y]| - T[x,y])$$

[0143]

[0144] 여기서:

[0145] F'는 역 푸리에 변환이고;

[0146] F는 순방향 푸리에 변환이고;

[0147] R[x, y]는 제3 처리 블록(256)에 의해 출력된 복소 데이터 세트이고;

[0148] T[x, y]는 입력 또는 타겟 이미지고;

[0149] ∠는 위상 성분이고;

[0150] Ψ는 위상 전용 홀로그램(280b)이고;

[0151] η은 진폭 값(211b)의 새로운 분포이며;

[0152] α는 이득 계수이다.

[0153] 이득 계수 α는 고정되거나 가변적일 수 있다. 일부 실시예에서, 이득 계수 α는 입력 목표 이미지 데이터의 크기 및 속도(rate)에 기초하여 결정된다. 일부 실시예에서, 이득 계수 α는 반복 횟수에 의존한다. 일부 실시예에서, 이득 계수 α는 단지 반복 횟수의 함수이다.

[0154] 도 2c의 실시예는 다른 모든 면에서 도 2a 및 도 2b의 실시예와 동일하다. 위상 전용 홀로그램 Ψ(u, v)는 주파수 또는 푸리에 도메인에서의 위상 분포를 포함한다고 말할 수 있다.

[0155] 일부 실시예에서, 푸리에 변환은 공간 광 변조기를 이용하여 수행된다. 구체적으로, 홀로그램 데이터는 광 파워를 제공하는 제2 데이터와 결합된다. 즉, 공간 광 변조기로 기록되는 데이터는 객체를 나타내는 홀로그램 데이터뿐만 아니라 렌즈를 나타내는 렌즈 데이터를 포함한다. 공간 광 변조기에 표시되면서 광이 조사될 때, 렌즈 데이터(lens data)는 물리적인 렌즈를 모방(emulate)하는데, 즉, 렌즈 데이터는 이에 상응하는 물리적인 광학장치와 동일한 방식으로 광의 초점을 맞춘다. 따라서 렌즈 데이터는 광 파워 또는 포커싱(focusing)된 파워를 제공한다. 이러한 실시예에서, 도 1의 물리적 푸리에 변환 렌즈(120)는 생략될 수 있다. 렌즈를 나타내는 데이터를 계산하는 방법이 알려져 있다. 렌즈를 나타내는 데이터는 소프트웨어 렌즈로 지칭될 수 있다. 예를 들어, 위상 전용 홀로그래픽 렌즈는 그 굴절률 및 공간적으로 변하는 광 경로 길이로 인해 렌즈의 각각의 포인트에 의해 야기되는 위상 지연을 계산함으로써 형성될 수 있다. 예를 들어, 볼록 렌즈 중심에서의 광경로 길이는 렌즈 가장자리에서의 광경로 길이보다 길다. 진폭 전용 렌즈는 프레넬 존 플레이트(Fresnel zone plate)에 의해 형성될 수 있다. 또한, 컴퓨터-생성 홀로그램의 기술 분야에서, 렌즈를 나타내는 데이터를 홀로그램과 결합함으로써 상기 홀로그램의 푸리에 변환이 물리적 푸리에 렌즈의 필요없이 수행될 수 있는 방법이 알려져 있다. 일부 실시예에서, 렌즈 데이터는 간단한 벡터 합산과 같은 단순 합산에 의해 홀로그램과 결합된다. 일부 실시예에서, 푸리에 변환을 수행하기 위해 소프트웨어 렌즈와 함께 물리적 렌즈가 이용된다. 대안적으로, 다른 실시예들에서, 홀로그램 재구성이 원거리-필드(far-field)에서 발생하도록 푸리에 변환 렌즈는 모두 생략된다. 또 다른 실시예에서, 홀로그램은 그레이팅(grating) 데이터, 즉 이미지 스티어링(image steering)과 같은 그레이팅의 기능을 수행하도록 형성된 데이터와 결합될 수 있다. 다시, 해당 기술 분야에서 그러한 데이터를 계산하는 방법은 알려져 있다. 예를 들어, 위상 전용 그레이팅은 블레이즈된(blazed) 그레이팅의 표면 상의 각 포인트에 의해 야기된 위상 지연을 모델링함으로써 형성될 수 있다. 진폭-한정 그레이팅은 진폭 전용 홀로그램에 간단히 중첩(superimposed)되어 홀로그램 재구성의 각도 스티어링(angular steering)을 제공할 수 있다. 렌즈 및/또는 조향을 제공하는 제2 데이터는 이미지 형성 기능 또는 이미지 형성 패턴으로 지칭될 수 있는 홀로그램 데이터와 구별하기 위해 광 처리 기능 또는 광 처리 패턴으로 지칭될 수 있다.

[0156] 일부 실시예에서, 푸리에 변환은 물리적 푸리에 변환 렌즈 및 소프트웨어 렌즈에 의해 공동으로 수행된다. 즉, 푸리에 변환에 기여하는 일부 광 파워는 소프트웨어 렌즈에 의해 제공되고, 푸리에 변환에 기여하는 나머지 광 파워는 물리적 광학 장치 또는 광학 장치들에 의해 제공된다.

[0157] 일부 실시예에서, 이미지 데이터를 수신하고 알고리즘을 사용하여 실시간으로 홀로그램을 계산하도록 구성된 실시간 엔진이 제공된다. 일부 실시예에서, 이미지 데이터는 일련의 이미지 프레임을 포함하는 비디오이다. 다른 실시예에서, 홀로그램은 사전 계산되고, 컴퓨터 메모리에 저장되며, SLM 상에 디스플레이하기 위해 필요에 따라 호출된다. 즉, 일부 실시예에서, 소정의 홀로그램의 저장소가 제공된다.

[0158] 실시예들은 단지 예시로서 푸리에 홀로그래피 및 Gerchberg-Saxton 유형의 알고리즘들에 관한 것이다. 본 개시는 유사한 방법으로 계산될 수 있는 프레넬 홀로그래피 및 프레넬 홀로그램에 동일하게 적용가능하다. 본 개시는 포인트 클라우드 방법에 기초한 것과 같은 다른 기술에 의해 계산된 홀로그램에도 동등하게 적용 가능하다.

[0160] 광 변조

[0161] 공간 광 변조기는 컴퓨터-생성 홀로그램을 포함하는 회절 패턴(diffractive pattern)을 표시하는데 이용될 수 있다. 홀로그램이 위상 전용 홀로그램인 경우, 위상을 변조하는 공간 광 변조기가 필요하다. 홀로그램이 완전 복소 홀로그램인 경우, 위상 및 진폭을 변조하는 공간 광 변조기가 이용될 수 있거나 위상을 변조하는 제1 공간 광 변조기 및 진폭을 변조하는 제2 공간 광 변조기가 이용될 수 있다.

[0162] 일부 실시예에서, 공간 광 변조기의 광 변조 소자(즉, 픽셀)는 액정을 포함하는 셀이다. 즉, 일부 실시예에서, 공간 광 변조기는 광학 능동 소자가 액정인 액정 장치이다. 각각의 액정 셀은 복수의 광 변조 레벨을 선택적으로 제공하도록 구성된다. 즉, 각각의 액정 셀은 어느 한 시점에서 복수의 가능한 광 변조 레벨들로부터 선택된 하나의 광 변조 레벨에서 동작하도록 구성된다. 각각의 액정 셀은 복수의 광 변조 레벨 중에서 다른 광 변조 레벨로 동적으로 재구성 가능하다. 일부 실시예들에서, 공간 광 변조기는 실리콘 공간 광 변조기 상의 반사형 액정(LCOS)이지만, 본 개시는 이 유형의 공간 광 변조기에 한정되는 것은 아니다.

[0163] LCOS 장치는 작은 개구(aperture,예를 들어, 폭이 수 센티미터) 내의 조밀한 광 변조 소자 또는 픽셀 어레이들을 제공한다. 픽셀은 통상 약 10미크론 이하이어서 수 도 수준의 회절각을 가지며, 이는 광학 시스템이 콤팩트할 수 있다는 것을 의미한다. LCOS SLM의 작은 개구를 적절하게 조광(illuminate)하는 것은 다른 액정 장치의 큰 개구를 조광하는 것보다 용이하다. LCOS 장치는 통상 반사형이므로 LCOS SLM의 픽셀을 구동하는 회로를 반사 표면 아래에 묻을 수 있다. 결과적으로 개구율이 높아진다. 즉, 픽셀은 밀집되어 있어 픽셀 간에 낭비되는 공간(dead space)이 거의 없음을 의미한다. 이는 재생 필드에서의 광학 노이즈를 감소시키므로 유리하다. LCOS SLM은 픽셀이 광학적으로 편평하다는 이점을 갖는 실리콘 후면을 사용한다. 이 점은 위상 변조 장치에서 특히 중요하다.

[0164] 단지 예시로서, 적합한 LCOS SLM이 도 3을 참조하여 아래와 같이 기술된다. LCOS 장치는 단결정 실리콘 기판(302)을 이용하여 형성된다. 이는 간극(301a)에 의해 이격되며 기판의 상부 표면에 배치된 사각 평면형 알루미늄 전극(301)의 2차원 어레이를 가진다. 전극(301) 각각은 기판(302)에 매설된 회로(302a)를 통해 형성될 수 있다. 각각의 전극들은 각각의 평면 미러를 형성한다. 배향층(Alignment Layer, 303)이 전극 어레이 상에 배치되고, 액정층(304)은 배향층(303)에 배치된다. 제2배향층(305)은 액정층(304)에 배치되고, 예컨대, 유리로 된 평면 투명층(306)은 제2배향층(305)에 배치된다. 예컨대 ITO로 된 단일 투명 전극(307)은 투명층(306)과 제2 배향층(305) 사이에 배치된다.

[0165] 정사각형 전극(301) 각각은, 투명전극(307) 영역 상부와 중간에 개재되는 액정물질과 함께, 종종 픽셀로 지칭되는 제어 가능한 위상 변조 소자(308)를 형성한다. 유효 픽셀 영역, 즉 충진율(fill factor)은 픽셀(301a) 사이의 공간까지 고려하여 광학적으로 활성인 총 픽셀의 비율이다. 각각의 전극(301)에 인가된 투명전극(307)에 대한 전압을 제어함으로써, 위상 변조 소자의 액정 물질의 특성은 변화될 수 있고, 따라서 그에 입사되는 입사광에 가변 지연을 제공한다. 이렇게 함으로써 파면(wavefront)에 위상 전용 변조가 가해지는 한편 어떤 진폭 효과도 발생하지 않는다.

[0166] 전술한 LCOS SLM은 공간적으로 변조된 광을 반사에 의해 출력한다. 반사형 LCOS SLM은 신호 라인, 게이트 라인 및 트랜지스터가 미러 면 아래에 있으며, 높은 충진율(일반적으로 90% 이상) 및 고해상도를 얻을 수 있는 이점이 있다. 반사형 LCOS 공간 광 변조기를 이용하는 또 다른 이점은 투과형 장치가 사용되는 경우에 필요한 것보다 요구되는 액정 층 두께가 절반일 수 있다는 것이다. 이것은 액정의 스위칭 속도를 크게 향상시킨다(움직이는 비디오 이미지의 투영을 위한 주요 이점). 그러나, 본 발명의 개시 내용은 투과형 LCOS SLM을 사용하여 동일하게 구현될 수 있다.

[0168] 라이트 채널링

[0169] 본 명세서에 개시된 광학 시스템은 임의의 회절된 광 필드를 갖는 동공 확장에 적용가능하다. 일부 실시예들에서, 회절된 광 필드는 홀로그램 광 필드, 즉 이미지 자체가 아니라 이미지의 홀로그램에 대응하여 공간적으로 변조된 복소 광 필드이다. 일부 실시예들에서, 홀로그램은 이미지 콘텐츠(image content)를 각도에 따라 분할/채널화하는 특수한 유형의 홀로그램이다. 이러한 유형의 홀로그램은 단지 본 개시가 적용될 수 있는 회절된 광 필드의 예로서 여기에서 추가적으로 설명된다. 다른 유형의 홀로그램이 여기에 개시된 디스플레이 시스템 및 광 엔진과 함께 사용될 수 있다.

[0170] 도파관 동공확장기를 포함하는 디스플레이 시스템 및 방법이 이하에서 개시되며, 이는 도 7 이하 도면의 개시로부터 깊이 이해될 수 있다. 통상의 기술자인 독자에게 익숙한 바와 같이 도파관은 '동공확장기(pupil

expander)'로 간주될 수 있다. 도파관은 다음과 같이 비교적 작은 발광체(light emitter, 예를 들어, 본 명세서에서 개시하는 구성들에서 사용되는 상대적으로 작은 SLM 또는 그 밖의 픽셀화된 디스플레이 장치 등)에 의해 방출되는 (발광체로부터 떨어져서 상대적으로 긴 거리와 같은 거리에 위치한 사람인 뷰어 또는 그 밖의 뷰잉 시스템에 의해 보여지는) 광의 면적을 늘리는 데 사용할 수 있기 때문이다. 도파관은 뷰어를 향해 광이 출력되는 투과점(transmission point)의 수를 증가시켜 이를 달성한다. 그 결과, 광은 복수의 다른 뷰어 위치에서 보일 수 있으며, 예를 들어 뷰어는 머리를 움직일 수 있고 따라서 시선을 움직일 수 있으면서 여전히 발광체로부터의 광을 볼 수 있다. 따라서 도파관 동공확장기를 사용하면 뷰어의 '아이-박스' 또는 '아이-모션 박스'가 확대된다고 할 수 있다. 이는 수많은 유용한 응용을 가지며, 예를 들어 헤드-업 디스플레이에만 국한되지 않고, 예를 들어 자동차 헤드-업 디스플레이에 만 국한되지도 않는다.

[0171] 본 명세서에 개시된 바와 같은 디스플레이 시스템은 적어도 1차원 이상, 예를 들어 2차원에서 동공 확장을 제공하기 위해 도파관 동공확장기를 통해 회절된 광 필드와 같은 광을 안내하도록 구성될 수 있다. 회절된 광 필드는 LCOS SLM과 같은 공간 광 변조기(SLM)에 의해 출력되는 광을 포함할 수 있다. 예를 들어, 이러한 회절된 광 필드는 SLM에 의해 디스플레이되는 홀로그램에 의해 인코딩된 광을 포함할 수 있다. 예를 들어, 회절된 광 필드는 SLM에 의해 디스플레이되는 홀로그램에 대응하여 홀로그램으로 재구성된 이미지의 광을 포함할 수 있다. 홀로그램은 컴퓨터-생성 홀로그램을 포함할 수 있으며, 그러나 포인트-클라우드 홀로그램, 프레넬 홀로그램 또는 푸리에 홀로그램에 국한되지 않는다. 홀로그램은 '회절 구조(diffractive structure)' 또는 '변조 패턴(modulation pattern)'으로 지칭될 수 있다. SLM 또는 그 밖의 디스플레이 장치가 통상의 기술자인 독자에게 익숙한 방식으로 홀로그램 및 소프트웨어 렌즈 또는 회절 격자와 같은 하나 이상의 다른 구성요소를 포함하는 회절 패턴(또는 변조 패턴)을 표시하도록 구성될 수 있다.

[0172] 홀로그램은 회절된 광 필드의 채널링을 제공하도록 고안될 수 있다. 이것은 영국 특허출원 제 GB2101666.2호, 제 GB2101667.0호 및 제 GB2112213.0호 각각에 자세히 설명되어 있으며, 이들 모두는 본 명세서에 참조로 포함된다. 일반적으로, 홀로그램은 홀로그램으로 재구성될 이미지에 대응하도록 고안될 수 있다. 홀로그램에 대응하는 이미지를 '입력 이미지(input image)' 또는 '타겟 이미지(target image)'라고 할 수 있다. 홀로그램은 SLM에 디스플레이되고 적절하게 조사(illuminate)될 때 공간적으로 변조된 광의 원뿔(cone)을 포함하는 광 필드(이는 SLM에 의해 출력된다.)를 형성하도록 고안될 수 있다. 일부 실시예들에서 광원뿔은 이미지의 각각의 연속적인 영역에 대응하는 공간적으로 변조된 광의 복수의 연속적인 광 채널을 포함한다. 그러나, 본 개시는 이러한 형태의 홀로그램에 한정되지 않는다.

[0173] 본 명세서에서는 '홀로그램' 또는 '컴퓨터-생성 홀로그램(CGH)'을 언급하지만, SLM가 복수의 상이한 홀로그램을 연속적으로 또는 순서에 따라서 동적으로 디스플레이하도록 구성될 수 있음이 이해될 수 있을 것이다. 본 명세서에 개시된 시스템들 및 방법들은 복수의 상이한 홀로그램의 동적 디스플레이에 적용가능하다.

[0174] 도 4a 내지 도 5는 본 명세서에 개시된 동공확장기와 함께 사용될 수 있는, SLM과 같은 디스플레이 장치 상에 디스플레이될 수 있는 홀로그램 유형의 실시예를 도시한다. 그러나, 본 실시예가 본 개시와 관련하여 발명을 제한하는 것으로 간주되어서는 안 된다.

[0175] 도 4a는 8개의 이미지 영역들/구성요소들(V1 내지 V8)을 포함하는 프로젝션을 위한 이미지(452)를 도시한다. 도 4a는 단지 예로서 8개의 이미지 구성요소들을 도시할 뿐이며 이미지(452)는 임의의 수의 구성요소로 분할될 수 있다. 도 4a는 또한 예를 들어 적절한 뷰잉 시스템의 렌즈에 의해 변환될 때 이미지(452)를 재구성할 수 있는 인코딩된 광 패턴(454, 즉, 홀로그램)을 도시한다. 인코딩된 광 패턴(454)은 제1 내지 제8 이미지 구성요소들/영역들(V1 내지 V8)에 대응하는 제1 내지 제8 하위 홀로그램들 또는 구성요소들(H1 내지 H8)을 포함한다. 도 4a는 홀로그램이 각도별로 이미지 콘텐츠를 분해할 수 있는 방법을 추가로 보여준다. 따라서 홀로그램은 이를 수행하는 광의 채널링에 의해 특징지어질 수 있다. 이는 도 4b에 도시되어 있다. 특히, 본 실시예에서 홀로그램은 광을 복수의 구분된 영역들(discrete areas)로 향하게 한다. 구분된 영역들은 도시된 실시예에서 원판(disc)이지만 그 밖의 형상도 예상된다. 최적의 원판의 크기 및 형상은 도파관을 통해 전파된 후 뷰잉 시스템의 입사동공의 크기 및 형상과 관련될 수 있다.

[0176] 도 5는 도 4a 및 4b에 도시된 바와 같이 고안된 홀로그램을 디스플레이하는 디스플레이 장치를 포함하는 뷰잉 시스템(500)을 도시한다.

[0177] 뷰잉 시스템(500)은 본 구성에서 LCOS(502)를 포함하는 디스플레이 장치를 포함한다. LCOS(502)는 홀로그램을 포함하는 변조 패턴(또는 '회절 패턴')을 디스플레이하고 눈(505)을 향해 홀로그램으로 인코딩된 광을 조사하도록 구성되며, 눈(505)은 개구(504)의 역할을 하는 동공, 렌즈(509), 및 뷰잉 평면의 역할을 하는 망막(미도시)

을 포함한다. LCOS(502)를 조사하도록 구성된 광원(미도시)이 존재한다. 눈(505)의 렌즈(509)는 홀로그램-이미지 변환을 수행한다. 광원은 임의의 적합한 종류일 수 있다. 예를 들어, 레이저 광원을 포함할 수 있다.

[0178] 뷰잉 시스템(500)은 LCOS(502)와 눈(505) 사이에 위치된 도파관(508)을 더 포함한다. 도파관(508)의 존재는 본 도면에 도시된 상대적으로 긴 투영 거리에서도 LCOS(502)로부터의 모든 각도의 콘텐츠가 눈으로 수신될 수 있게 한다. 이는 도파관(508)이 동공확장기(pupil expander)로서 작용하기 때문인 것으로 잘 알려져 있으므로 본 명세서에서는 간략하게만 설명한다.

[0179] 간단히 말해서, 도 5에 도시된 도파관(508)은 실질적으로 기다란 형태를 포함한다. 본 실시예에서, 도파관(508)은 굴절 물질의 광학 슬래브(optical slab)를 포함하지만, 그 밖의 유형의 도파관도 잘 알려져 있으며 사용될 수 있다. 도파관(508)은 LCOS(502)로부터 조사된 광원뿔(즉, 회절된 광 필드)을 교차하도록 위치되며, 예를 들어 비스듬한 각도로 교차한다. 본 실시예에서, 도파관(508)의 크기, 위치 및 배치는 광원뿔 내에서 8개의 광선 번들 각각으로부터의 광이 도파관(508)으로 들어가는 것을 보장하도록 구성된다. (LCOS(502)에 가장 가깝게 위치하는) 제1 평면을 통해서 광원뿔로부터의 광이 도파관(508)에 들어가며, 제1 평면과 실질적으로 반대인 (눈에 가장 가깝게 위치하는) 제2 평면을 통해 방출되기 전에 적어도 부분적으로 도파관(508)의 길이를 따라서 안내된다. 명확히 이해되는 바와 같이, 제2 평면은 부분적으로 반사적이며 부분적으로 투과적이다. 다시 말해서, 각각의 광의 광선이 제1 평면을 통해 도파관(508) 내에서 이동하고 제2 평면에 부딪힐 때 광의 일부는 도파관(508) 밖으로 투과되고 일부는 제2 평면에 의해 반사되어 다시 제1 평면으로 향한다. 제1 평면은 반사성이어서, 도파관(508) 내에서 제1 평면에 부딪치는 모든 광은 제2 평면 표면을 향해 다시 반사된다. 따라서, 광의 일부는 투과되기 전에 도파관(508)의 두 평면 사이에서 단순히 굴절될 수 있는 반면, 다른 광은 반사될 수 있으고, 따라서 투과되기 전에 도파관(508)의 평면 표면 사이에서 1회 이상의 반사(또는 '산란(bounce)')를 겪을 수 있다.

[0180] 도 5는 도파관(508)의 길이를 따라서 총 9개의 "산란(bounce)" 지점(B0 내지 B8)을 도시한다. 도 4a에 도시된 바와 같이 이미지(V1 내지 V8)의 모든 지점과 관련된 광은 도파관(508)의 제2 평면에서의 각각의 "산란"에 도파관 밖으로 투과되지만 이미지의 한 각도 부분으로부터의 광(예를 들어, V1에서 V8 중 하나의 광)만이 각각의 "산란" 지점(B0 내지 B8)에서 눈(505)에 도달할 수 있는 궤적을 가지고 있다. 더해서, 이미지의 다른 각도 부분(V1 내지 V8)으로부터의 광은 각각의 "산란" 지점에서 눈(505)에 도달한다. 따라서, 도 5의 실시예에서 인코딩된 광의 각 채널은 도파관(508)으로부터 한 번만 눈에 도달한다.

[0181] 상술한 방법들 및 구성들은 여러가지 상이한 응용들 및 뷰잉 시스템들에서 구현될 수 있다. 예를 들어, 헤드-업 디스플레이(HUD) 또는 증강현실(AR) HMD와 같은 헤드 또는 헬멧 장착 장치(HMD, head or helmet mounted device)에 구현될 수 있다.

[0182] 인지되는 이미지를 형성하기 위해 눈이 전달받은 변조된 광을 변환해야 하는 허상 이미지가 본 명세서에서 일반적으로 논의되었지만, 여기에 설명된 방법들 및 구성들은 실상 이미지에 적용될 수 있다.

[0184] 2차원 동공 확장

[0185] 도 5에 도시된 구성은 1차원에서 동공 확장을 제공하는 단일 도파관을 포함하지만, 동공 확장은 1차원 이상으로, 예를 들어 2차원으로 제공될 수 있다. 더욱이, 도 5의 실시예는 이미지의 각기 다른 부분에 대응하는 광의 채널을 생성하도록 고안된 홀로그램을 사용하지만, 본 개시 및 이하에서 설명되는 시스템들은 이러한 홀로그램 유형으로 제한되지 않는다.

[0186] 도 6은 광선(602)을 2차원으로 확장하도록 구성된 2개의 복제기(604, 606, replicator)를 포함하는 시스템(600)의 사시도를 도시한다.

[0187] 도 6의 시스템(600)에서, 제1 복제기(604)는 서로 평행하게 적층되고 도 5의 도파관(508)과 유사한 방식으로 복제(또는 동공 확장)를 제공하도록 구성된 제1 표면 쌍을 포함한다. 제1 표면 쌍은 서로 비슷한(일부 경우에는 동일한) 크기 및 모양을 가지고 동일하고 실질적으로 한 방향으로 연장되어 있다. 평행광선(602)은 제1 복제기(604)의 입력을 향한다. 통상의 기술자인 독자에게 친숙할, 두 표면 사이의 내부 반사 과정, 및 표면 중 하나(도 6에서 보여지는, 상부 표면)에 있는 복수의 출력 지점 각각에서 광의 부분 투과로 인해, 광선(602)의 광은 제1 복제기(604)의 길이를 따라 제1 방향으로 복제된다. 따라서, 제1 복수의 복제 광선들(608)이 제1 복제기(604)로부터 제2 복제기(606)를 향해 방출된다.

[0188] 제2 복제기(606)는 서로 평행하게 적층된 제2 표면 쌍을 포함하며, 제1의 복수의 광선들(608)의 평행광선 각각을 수신하도록 구성되고, 추가적으로 제1 방향에 실질적으로 직교하는 제2 방향으로 각각의 광선을 확장함으로써 복제(또는 동공 확장)를 제공하도록 구성된다. 제1 표명 쌍은 서로 비슷한(일부 경우에는 동일한) 크기 및

형상을 가지며 실질적으로 직사각형이다. 제2 복제기는 제1 복수의 광선들(608)을 수신하기 위해 제1 방향을 따라서 길이를 갖고, 제2 방향으로 복제를 제공하기 위해 제1 방향과 직교하는 제2 방향을 따라서 길이를 가지는 직사각형 모양이 제2 복제기에 구현된다. 두 표면 사이의 내부 반사 과정과 표면 중 하나(도 6에서 보여지는, 상부 표면)에 있는 복수의 출력 지점 각각에서 광의 부분 투과로 인해 제1의 복수의 광선들(608)은 제2 방향으로 복제된다. 따라서, 제2 복수의 광선들(610)이 제2 복제기(606)로부터 방출되고, 여기서 제2 복수의 광선들(610)은 제1 방향 및 제2 방향 각각을 따라서 입력 광선(602)의 복제물을 포함한다. 따라서, 제2 복수의 광선들(610)은 복제 광선들의 2차원 그리드(grid) 또는 어레이(array)를 포함하는 것으로 간주될 수 있다.

[0189] 따라서, 도 6의 제1 및 제2 복제기(604, 605)가 결합하여 2차원 복제기(또는 "2차원 동공확장기(two-dimensional pupil expander)")를 제공한다고 말할 수 있다.

[0191] 개선된 2차원 동공확장기

[0192] 본 발명의 발명자들은 실제 적용들에서 동공확장기들의 유용성과 효율성의 한계를 확인했다. 예를 들어, 통상의 기술자인 독자는 동공 확장의 사용을 필요로 하는 많은 실제 적용들에 물리적인 공간의 제약이 있음을 인식할 것이다. 예를 들어, 자동차 헤드-업 디스플레이에서 동공확장기는 차량의 대시보드 아래와 같이 제한된 공간에 제공되는 것이 바람직할 수 있다. 또한, 이러한 공간들은 보통 이동하거나 진동하는 불안정한 환경이며, 이는 수많은 기존의 동공확장기들에서 문제가 된다. 더욱이, 동공확장기는 일반적으로 한정된 공간에서 물리적으로 제한되어야 하는 다른 광학적 요소를 포함하는 더 큰 디스플레이 시스템 또는 뷰잉 시스템의 일부로 제공된다. 그러나 기존의 동공확장기들은 일반적으로 제공되는 동공 확장의 정도(또는 범위)와 공간의 물리적 부피, 및 2차원 동공확장기가 차지하는 주변 환경에 대한 적합성 사이에서 최적이 아닌 타협점을 필요로 한다.

[0193] 이에 더해서, 본 발명의 발명자들은 광 필드가 소형 디스플레이 장치로부터의 홀로그램 광 필드와 같은 회절된 광 필드일 때 동공을 복제/확장하기 위해 도파관을 사용하는 것과 관련된 기술적 문제를 확인했다. 홀로그래피는 기존의 이미징과 달리 회절을 포함하며 눈에서 홀로그램 재구성에 의해 이미지가 형성될 때 평행광(collimated light)보다는 도파관 내에서 회절되거나/발산하는 광을 전파하는 것이 유리하다. 중요한 문제점은 회절에 필요한 작은 픽셀 크기로 인해 필요한 디스플레이 장치가 너무 작기 때문에, 투영 거리가 (상대적으로) 커야 하고 광 필드의 크기 또한 (단면적 차원에서) 커져야 한다는 것이다. 특히, 본 발명의 발명자들은 기다란 도파관의 두 개의 상보적인 표면(즉, 동공 복제/확장에 관여하지 않는 다른 두 개의 기다란 표면)으로부터의 간단한 내부 반사를 이용하여 단면적 차원에서 홀로그램 광 필드를 효과적으로 "꺾고(fold)" 모든 이미지 콘텐츠를 (비록 홀로그램 도메인에 존재하나) 유지하는 것이 가능하다는 것을 알아냈다. 이에 더해서, 본 발명의 발명자들은 홀로그래픽 광 필드를 추가로 꺾음으로써 최적의(즉, 작은 부피) 패키징을 용이하게 하기 위해 도파관 연결기를 이용하는 컴팩트한 적층 구성을 고안했다.

[0194] 본 발명의 발명자들은 효율성, 견고성 및 소형화 사이의 균형점을 향상시키는 홀로그램용 2차원 동공확장기를 제공하는 것이 가능하다는 점을 인식하였다. 본 명세서에 개시된 2차원 동공확장기는 사용자가 2차원 동공확장기에 함께 사용되는 발광체(예: SLM 또는 그 밖의 픽셀화된 장치)로부터의 광 출력 전부(또는, 최소한 요구되는 양)를 수신할 수 있도록 하여 사용자에게 넓은 시야를 제공할 수 있고, 또한 사용자에게 기존에 달성할 수 있는 것보다 더 큰 아이-박스를 제공하여 사용자가 머리를 움직여도 필요한 광을 볼 수 있도록 한다. 이 모든 것이 컴팩트하고 견고하며 공간 효율적인 방식으로 제공된다. 이는 도 7 이하의 도면들로부터 더 깊히 이해될 수 있다.

[0195] 도 7은 제1 도파관 동공확장기(702), 도파관 연결기(704)(일부 실시예들에서는 선택적이다) 및 제2 도파관 동공확장기(706)를 포함하는 개선된 시스템(700)을 도시한다.

[0196] 제1 도파관 동공확장기(702)는 3차원적 요소를 포함한다. 제1 도파관 동공확장기(702)는 3쌍의 서로 직교하는 면을 갖는 실질적으로 입방체 형상이며, 제1 도파관 동공확장기(702)는 한 차원을 따라 상대적으로 길고 각기 다른 두 차원을 따라서는 상대적으로 짧다. 그러나, 본 개시는 도 7에 도시된 제1 도파관 동공확장기(702)의 특정 크기 또는 형상으로 제한되지 않는다.

[0197] 제1 도파관 동공확장기(702)는 기다란 제1 평행면 쌍(708a, 708b)을 포함하며, 이는 각각 도 7에 도시된 특정 구성의 상부면 및 하부면인 것으로 도시되어 있다. 제1 도파관 동공확장기(702)는 제2 쌍을 더 포함한다. 제1 도파관 동공확장기(702)는 기다란 제2 평행면 쌍(710a, 710b)을 더 포함하며, 도7에 도시된 특정 구성의 측면들로 도시되어 있다. 제1 도파관 동공확장기(702)는 상대적으로 작은 종단면 쌍(712a, 712b)을 더 포함하며, 이 또한 서로 평행하다. 도 7의 설명에서 상대적인 용어들 '상부(upper)', '하부(lower)', '측면(side)' 및 '종단

(end)'은 이해를 용이하게 하고 편의를 위해 본 명세서에서 사용되지만, 본 개시는 이러한 상대적인 용어들에 제한되지 않는며 시스템(700)은 본 명세서에 개시된 바와 같이 여전히 기능하면서 임의의 적절한 방식으로 이동, 회전 또는 변형될 수 있다는 것이 이해될 수 있다.

[0198] 기다란 상부면(708a) 상의 입력 포트는 입력광(714)을 수신하도록 구성된다. 기다란 상부면(708a)은 또한 입력 포트에 대한 기다란 상부면(708a)의 실질적으로 반대 단부에 출력 포트(도 7에 구체적으로 도시되지는 않았음)를 포함한다 여기서 출력 포트는 기다란 상부면(708a)을 따라 정의된 복수의 투과점들 중 마지막 투과점이다.

[0199] 도 7에서 입력광(714)이 단일한 선으로 도시되어 있지만, 본 발명의 발명자들은 입력광(714)이 시준되지 않으며 및/또는 발산하는 광선 번들을 포함할 필요/요구를 인지하고 있다. 따라서, 실시예들에서, 입력광(714)은 회절되거나 발산하는 광을 포함한다. 입력광(714)은 SLM으로부터 직접적 또는 간접적으로 수신될 수 있다. 예를 들어, SLM과 제1 도파관 동공확장기(702) 사이에 하나 이상의 다른 광학 요소가 있을 수 있다.

[0200] 기다란 제1 평행면 쌍(708a, 708b)은 도 5 및 6과 관련하여 상술한 것과 유사한 방식으로 도파관 동공확장기(또는 복제기)로서 기능하도록 구성된다. 하부면(708b)의 내부 표면은 반사형이고 상부면(708a)은 부분적으로 투과형-반사형이다. 따라서, 기다란 제1 평행면 쌍(708a, 708b)은 그 사이에서 제1 도파관 동공확장기(702)의 기다란 방향을 따라 광을 내부적으로 반사하거나 '산란(bounce)'하도록 구성되고, 입력 포트와 출력 포트 사이의 상부면(708a) 상의 복수의 투과점 각각으로부터 일부 광을 투과시키도록 구성된다. 따라서 홀로그램의 광은 제1 방향으로 복제되거나 확장된다. 간단하게 홀로그램이 복제되었다고도 할 수 있다.

[0201] 그러나, 본 발명의 발명자들은 입력광(714)이 회절되거나 발산하는 광(즉, 발산하는 광선 번들을 포함하는 광)인 경우, 입력광(714)이 (평행광에 포함된 하나 이상의 평행한 광선이 아니라) 팽창하는 광원뿔을 포함할 것이라는 것을 인지하고 있으며, 광원뿔의 크기(즉, 도 8에 도시된 바와 같이, 광원뿔의 단부 또는 입구로 정의되는 회절 광 필드의 크기 'L')가 광 경로를 따라서 광이 전파됨에 따라 증가한다. 이는 회절/발산하는 광의 명확하게 정립된 원리이며, 예를 들어, 도 8의 SLM(804)에서 방출되는 것으로 도시된 광원뿔(802)로부터 이해될 수 있다. 도 8에 도시된 바와 같이, 광원뿔(802)은 회절각 Θ로 방출되며, 회절각 Θ는 광축 'A'(광이 방출되는 SLM(804)의 표면의 중심점에서 실질적으로 수직하게 연장된다.)와 해당 축 'A'에 대해, 양(positive) 또는 음(negative)의 방향에 대한(즉, 도 8에 도시된 예시에서 광축 'A'의 위 또는 아래), 광원뿔(802)의 가장 바깥쪽 부분 또는 경계 사이에서 정의된 각도이다. 회절광 필드의 크기 'L'은 명확히 정립된 삼각법 원리에 따르면 회절각 Θ와 크기 'L'이 측정되는 SLM(804)으로부터의 거리 'd'에 기초하여 알아낼 수 있다.

[0202] 따라서 본 발명의 발명자들은 회절된/발산하는 광이 기존의 구성들에서 제1 이미지 복제기의 긴 면에 입력되면 광원뿔의 크기(즉, 원뿔의 단부 또는 입구로 정의된 회절 광 필드의 크기 'L')가 동공복제기의 더 짧은 치수들 중 하나의 크기를 초과할 것이라는 점을 추가로 인식하였다. 다시 말해서, 도 7에 도시된 제1 도파관 동공확장기(702)가 기존의 구성인 경우, 회절된 광 필드의 크기 'L'이 상부면(708a)과 하부면(708b) 사이의 전파 경로상에 있는 어떠한 지점에서 제1 도파관 동공확장기(702)의 양쪽 면의 두께를 초과할 위험이 있다. 그러한 일이 발생하면 기존의 동공확장기에서는 입력광원추(714, input light cone)로부터의 광의 적어도 일부가 하나의 측면 또는 양 측면을 통해 빠져나갈 것이고, 따라서 의도한 뷰어에게 올바르게 도달하지 못할 수 있다.

[0203] 따라서, 본 발명의 발명자들은 개선된 제1 도파관 동공확장기(702)를 제공했으며, 여기서 제2 평행면 쌍(도 7의 실시예에서, 한 쌍의 긴 측면(710a, 710b)) 또한 적어도 하나의 내부 반사에 의해 입력 포트로부터 출력 포트쪽으로 광 필드를 안내하도록 구성된다. 그러한 내부 반사는 하나 이상의 차원에서 회절광 필드의 크기가 제1 도파관 동공확장기(702)의 크기를 초과하는 크기로 확장된 때에도 공간적으로 변조된 광원뿔의 광이 제1 도파관 동공확장기 내에 갇힌 상태로 유지될 수 있게 하며, 동공 확장을 위해 특별히 의도된 긴 면(도 7에 도시된 실시예에서 긴 상부면(708a))에서 정의된 복수의 투과점을 통해서만 광이 투과되도록 한다. 따라서, 원하는 이미지 관련 정보(예를 들어, 이미지에 대응하는 홀로그램의 인코딩된 광)와 같은 정보를 포함하는 광이 제1 도파관 동공확장기(702)의 제2 표면들을 통해 손실되지 않는다. 요약하면, 본 발명의 발명자들은 눈에서 좋은 품질의 이미지로 재구성하기 위해 필요한 모든 회절된/홀로그램 광 콘텐츠를 유지하기 위해서 (다른 대향하는 표면들에서의 추가적인 반사를 이용하여) 효과적으로 회전된/홀로그램 광 필드를 광 필드의 방향으로 "꺾기(fold)"가 가능하다는 점을 알아냈다.

[0204] 본 발명의 발명자들은 적어도 일부 실시예들에서, 제1 도파관 동공확장기(702) 내의 광이, 제1 대향면 쌍에 의해 반사/투과되는 것에 더해서, 내부적으로 반사되는 제2 대향면 쌍으로부터 내부적으로 반사되어 나가도록 광 방출 조건들(the light launch conditions)이 능동적으로 제어되어야 한다는 것을 인식했다. 예를 들어, 도 7의 실시예로부터 알 수 있듯이 입력광(714)은 입사하는 면(708a)의 법선에 의해 정의된 바와 같은 입사각(AOI,

angle of incidence)으로 제1 도파관 동공확장기(702)에 입사해야 한다. 이러한 각도는 적어도 제1 대향면 쌍 사이에서 전파가 수행되기 위해 요구된다.

[0205] 본 발명의 발명자들은 제1 도파관 동공확장기(702)의 상대적으로 얇은 두께와 입사각(AOI)의 조합이 제1 도파관 동공확장기(702)가 제1 방향으로 고품질의 동공 확장(예를 들어, 어떠한 수직의 어두운/흰색 띠들이 없는 것)을 제공할 수 있게 한다는 것을 알아냈다.

[0206] 제1 도파관 연결기(702)는 본 명세서에 개시된 바와 같은 도파관으로서 기능하기 위해 임의의 적절한 물질로 형성될 수 있다. 실시예들에서, 제1 도파관 연결기(702)의 굴절률 'n'과 공기 사이의 고유한 차이는 제2 평행면 쌍이 내부 반사(예를 들어, 내부 전반사)를 제공할 수 있게 하고, 따라서 제1 평행면 쌍의 반사/투과형 표면에 있는 출력 포트에서 제어되는 방식으로 투과되는 경우는 제외하고는 제1 도파관 연결기(702) 내부에 회절광을 유지한다. 다른 실시예들에서, 요구되는 내부 반사 및 광 트래핑(light trapping)을 달성하기 위해 제2 평행면 쌍의 적어도 하나의 표면이, 다른 물질로, 코팅되거나 그렇지 않으면 추가될 수 있다. 이는 이어지는 도면과 관련하여 이하에서 더 논의된다.

[0207] 제1 도파관 동공확장기(702)로부터 출력된 광은 복수의 복제 광선을 포함하며, 이는 긴 상부면(708a) 상에서 대응하는 복수의 투과점(도 7에 구체적으로 도시되지 않음)으로부터 출력된다. 출력광은 특정한 각도(도 7에 구체적으로 나타내지 않음)로 투과점으로부터 방출되며, 여기서 각각의 출력 광선은 서로에 대해 각기 실질적으로 평행하다. 이는 도 10에 도시된 광 경로로부터 알 수 있는데, 도 10은 본 명세서에 개시된 개선된 시스템의 실시예를 도시하며 이하에서 더 논의된다. 도면 7로 돌아오면, 일부 실시예들에서, 도 7에 도시된 도파관 연결기(704) 및 제2 도파관 동공확장기(706)가 필요하지 않도록 동공 확장은 한 방향으로만 제공된다.

[0208] 따라서, 입력 포트, 출력 포트, 제1 평행면 쌍 및 제2 평행면 쌍을 포함하는 제1 도파관 동공확장기를 포함하는 디스플레이 시스템이 제공되며, 여기서 제1 평행면 쌍은 제2 쌍의 평행면에 직교한다. 여기서 제1 평행면 쌍은 그 사이의 내부 반사에 의해 입력 포트로부터 출력 포트로 회절된 광 필드를 안내하도록 구성되고, 제1 평행면 쌍의 제1 면은 광 필드는 각각의 내부 반사에서 분할되고 광 필드의 복수의 복제물은 출력 포트를 형성하는 제1 표면의 영역을 통해 투과되며, 여기서 제2 평행면 쌍은 또한 적어도 하나의 내부 반사에 의해 입력 포트로부터 출력 포트로 광 필드를 안내하도록 구성된다. 제2 평행면 쌍은 부분적인 투과를 허용하여 동공 복제를 제공하도록 구성되지 않으며, 선택적으로 양쪽 면은 출력 포트로의 완전한 광 안내를 위해 구성될 수 있다(즉, 100%(또는 거의 100%인) 반사).

[0209] 본 명세서에 개시된 개선된 제1 도파관 동공확장기(702)는 회절된 광 필드가 이를 통해 전파되도록 하고, 따라서 제1 차원에서 확장될 수 있도록 한다. 따라서 예를 들어 홀로그램의 광(즉 SLM 또는 기타 디스플레이 장치에 디스플레이되는 홀로그램에 의해 공간적으로 변조되었지만 홀로그램으로 재구성된 이미지를 형성하도록 변환되지는 않은 광)은 개선된 제1 도파관 동공확장기(702)를 통해 전파 및 확장될 수 있다. 제1 도파관 동공확장기에 의해 형성된 각각의 "복제물" 또는 출력 광선은 광이 홀로그램에 따라 공간적으로 변조되기 때문에 사실상 홀로그램의 복제물이다. 비공식적으로는 광이 홀로그램으로 "인코딩(encoded)"되어 있다고 말할 수 있다.

[0210] 본 명세서의 도 7 내지 도 11에 도시된 비교적 얇고 긴 형태와 같이 제1 도파관 동공확장기가 컴팩트한 형태로 제공되는 실시예들에서, 그러한 제1 도파관 동공확장기가 이를 구비한 전체적인 디스플레이 시스템의 크기 및 중량을 감소시키기 때문에 유리하다.

[0211] 2차원으로 동공 확장이 필요한 실시예들에서, 제1 도파관 동공확장기(702)는 복수의 출력 광선이 제1 방향에 실질적으로 수직인 제2 방향으로 동공 확장을 제공하도록 구성된 제2 도파관 동공확장기(706)의 수신면(716b)을 향하도록 (후술하는 바와 같이, 예를 들어 하나 이상의 다른 구성요소를 통해 직접 또는 간접적으로) 배향된다.

[0212] 도 7의 실시예에서, 제2 도파관 동공확장기(706)는 3차원의 구성요소를 포함한다. 제2 도파관 동공확장기(706)는 3쌍의 상호 직교하는 면을 가지는 형상이 실질적으로 평면이며, 제2 도파관 동공확장기(706)는 두 차원을 따라서는 상대적으로 길고 그 세번째 차원을 따라서는 상대적으로 짧다. 그러나, 본 개시는 도 7에 도시된 제2 도파관 동공확장기(706)의 특정 크기 또는 형상으로 제한되지 않는다.

[0213] 제2 도파관 동공확장기(706)는 직사각형(또는 사변형, 또는 평면형)인 제1 평행면 쌍(716a, 716b)을 포함하며, 이는 각각 도 7에 도시된 특정 구성에서 상부면 및 하부면인 것으로 도시되어 있다. 이들은 제2 도파관 동공확장기의 "주면(major faces)" 또는 "주표면(major surfaces)"이라고 지칭될 수 있다. 평행한 직사각형 면(716a, 716b) 각각은 상대적으로 큰 표면적을 가지며, 직사각형의 길이와 너비는 제2 도파관 동공확장기(706)의 연장된 제1 및 제2 차원를 따라 정의된다. 제2 도파관 동공확장기(706)는 한 쌍의 평행하고 긴 측면(718) 및 한 쌍

의 평행하고 긴 단부면(720)을 포함하며, 이들 모두는 상대적으로 작은 표면적을 갖는다.

[0214] 제1 도파관 동공확장기(702) 및 제2 도파관 동공확장기(706)는 제1 도파관 동공확장기(706)로부터의 복수의 출력 광선이 제2 도파관 동공확장기(706)의 수신면(716b, 비제한적인 본 예시에서, 하부면이다.)을 향하도록 하는 방식으로 서로에 대해 배향된다. 바람직하게는, 복수의 입력 포트가 하부 면(716b)의 단부를 따라/그 단부에 가깝게 결정되도록, 하부 면(716b)의 일단을 향해 지향되고, 여기서 그러한 입력 포트들은 제1 도파관 동공확장기(706)로부터 복수의 출력 광선을 수신한다. 시스템(700)은 하부면(716b)의 수직 표면에 대해 비스듬한 각도로 광선이 입력 포트를 통하여 제2 도파관 동공확장기(706)에 들어가도록 구성된다. 이에 더해서, 제2 도파관 동공확장기(706)는 바람직하게는 제1 도파관 동공확장기(706)가 한 방향으로 제공한 동공 확장을 유지하기 위해 제1 도파관 동공확장기로부터의 출력 광선의 각각을 수신하기 위한 크기 및 방향을 가진다. 그리고 나서 제2 도파관 동공확장기(706)의 기다란 제2 차원에 의해 정의되는 실질적으로 직교하는 제2 방향으로 각각의 이들 광선을 확장한다.

[0215] 하부면(716b)의 내부 표면은 반사형이며 (투과형인) 상부면(716a)은 부분적으로 투과형-반사형이다. 따라서, 두 표면 사이의 내부 반사 과정과, 상부면(716a)의 복수의 출력점 각각으로부터의 광의 부분적인 투과로 인해, 제2 도파관 동공확장기(706)의 입력 포트를 통해 수신된 각 광선의 광은 제2 방향으로 확장(또는 복제)된다. 따라서, 제2 복수의 광선들은 도파관 동공확장기(706)로부터 방출되고, 여기서 제2 복수의 광선들은 제1 방향 및 제2 방향 각각을 따라 입력광선들(714)의 복수의 복제물들을 포함한다. 따라서, 제2 복수의 광선들은 복제 광선의 2차원 그리드 또는 어레이를 포함하는 것으로 간주될 수 있다. 회절된/발산하는 입력광이 홀로그램의 광인 실시예들에서, (즉, 홀로그램에 따라 공간적으로 변조되었으며 아직 홀로그램으로 재구성된 이미지를 형성하도록 변환되지는 않은 광) 각 복제물은 사실상 홀로그램의 복제물이다.

[0216] 통상의 기술자는, 예를 들어 복제물들이 완벽하게 하나로 결합(stitched)되는, (즉, 인접하게 되는) 최적의 2차원 동공 확장을 위해 제2 도파관 동공확장기의 두께와 입사각(AOI)이 어떻게 결정될 수 있는지 이해할 것이다.

[0217] 추가적인 기술적 개선으로, 도파관 연결기(704)가 제1 도파관 동공확장기(702)와 제2 도파관 동공확장기(706) 사이에 제공된다. 도파관 연결기(704)는 제1 도파관 동공확장기(702)와 제2 도파관 동공확장기(706) 사이에서 광을 연결하거나 채널링하도록 구성된다. 도파관 연결기(704)의 형상은 임의의 주어진 디스플레이 시스템의 물리적 구성 및/또는 제약에 따라 변할 수 있지만, 도 7 내지 11의 실시예 구성들에서 도파관 연결기(704)는 단면이 실질적으로 삼각형이다. 도파관 연결기(704)는 상대적으로 큰 표면적을 갖고 도파관 연결기(704)의 "주면(major faces)"을 형성한다고 할 수 있는 두 개의 삼각형 모양의 평행한 면(722)을 포함한다. 본 실시예에서, 그 두 면은 직각삼각형 모양이지만, 면의 모양을 제한하는 것으로 간주되어서는 안된다. 도파관 연결기(704)는 또한 2개의 삼각형 면(722) 사이에서 이음벽 또는 측면을 형성하며 도파관 연결기(704)의 "보조면(minor face)"을 형성한다고 말할 수 있는 상대적으로 작은 표면적을 갖는 3개의 실질적으로 직사각형인 면들(724)을 갖는다.

[0218] 도파관 연결기(704)는 제1 도파관 동공확장기(702)로부터 출력된 복수의 복제 광선들을 입력받고 제2 도파관 동공확장기(706)를 향해 출력하도록 구성된다. 도 7에서 알 수 있는 바와 같이, 본 실시예 구성에서 복수의 복제 광선들은 제1 보조면(724)에 의해 수신되고 다른 제2 보조면(724)에 의해 출력되며, 이는 복수의 복제 광선이 제2 도파관 동공확장기(706)의 하부면(716b)을 향하도록 한다. 도파관 연결기(704)는 제1 및 제2 도파관 동공확장기(702, 706)에서 요구되는 또는 필요한 상대적인 위치에 따라 임의의 적절한 형상을 가질 수 있다. 도 7에 도시된 특정 구성에서, 요구되는 내부 반사 및 동공 확장을 달성하기 위하여 각각의 도파관 동공확장기(702, 706)에 광을 입력하기 위한 각도 요구사항들과 같은 요인들은 본질적으로 2개의 도파관 동공확장기(702, 706) 사이에 존재하는 삼각형 형상의 간격과 관련있다. 도파관 연결기(704)는 그 간격을 점유하며 2개의 도파관 동공확장기(702, 706) 사이에서 광을 결합하거나 채널링하도록 구성되고, 따라서 2개의 도파관 동공확장기(702, 706) 사이에서 전파되는 동안 광이 손실되지 않도록 한다.

[0219] 입력광(714)이 회절 또는 발산하는 광을 포함하는 실시예에서, 제1 도파관 동공확장기(702)에 의해 출력되는 각각의 복제물은 또한 회절 또는 발산하는 광을 포함할 것이다. 따라서 각각의 복제물은 시준되지 않은 광의 원뿔을 포함하며, 광원뿔의 입구에서 정의된 광 필드는 광의 전파 거리가 증가함에 따라 크기가 증가한다. 그 결과, 광이 제1 및 제2 도파관 동공확장기(706) 사이에서 제어되지 않고 이동하는 경우 해당 광의 일부가 제2 도파관 동공확장기(706)의 입력 포트에 의해 정의된 영역에서 멀어질 위험이 있고 따라서 해당 광의 일부가 손실되거나 적어도 최종 뷰어에게 올바르게 도달하지 못할 것이다. 물리적인 소형화가 보통 요구되기 때문에 제2 도파관 동공확장기(706)의 표면적을 증가시키는 것은 많은 적용들(예를 들어, 헤드-업 디스플레이(HUD) 시스템들 및 특히

차량 헤드-업 디스플레이(HUD) 시스템들)에서 바람직하지 않다.

[0220] 따라서, 본 발명의 발명자들은 2개의 도파관 동공확장기(702, 706) 사이에 도파관 연결기(704)를 제공하는 것이 효율적이고 유리한 해결책이라는 것을 알아냈는데, 이는 도파관 연결기(704)가 두 도파관 동공확장기(702, 706) 사이에 필요한 간격에 맞도록 임의로 적절하게 형성되거나, 형상 및 크기를 가질 수 있고, 그 간격 내에서 두 개의 도파관 동공확장기가 매우 유용하고 중요한 광 제어 기능을 제공할 수 있기 때문이다. 본 발명의 발명자들은 동공확장기 시스템 내에 추가적인 구성요소를 포함하는 것이 직관적이지 않을 수 있지만, 특히 소형화 및/또는 중량 감소가 유리한 환경에 시스템을 통합하려는 목적이라면, 도파관 연결기의 존재, 및 본 명세서에 개시된 바와 같이 그것이 가져오는 이점이 추가적인 구성요소를 도입할 때의 잠재적인 단점을 능가할 수 있다는 것을 알아냈다. 뿐만 아니라, 적어도 일부 실시예들에서, 도파관 연결기가 제1 및 제2 도파관 동공확장기 사이에 본질적으로 존재할 필요가 있는 간격 사이에 들어맞도록 형성될 수 있다는 것을 알아냈다. 즉, 도파관 연결기가 존재하더라도 이는 시스템의 전체 크기를 크게 증가시키지 않는다.

[0221] 예를 들어, 도파관 연결기(704)의 표면은 제1 도파관 동공확장기(702)의 출력 면에 대응하거나 적어도 제1 도파관 동공확장기(702)로부터의 복수의 출력 광선에 대응하도록 크기 및 형상이 정해질 수 있다. 이로써 해당 복제물의 일부 또는 전체를 수신할 수 있다. 이는 본 명세서의 도 10 및 11의 구성들로부터 가장 명확하게 알 수 있다. 본 구성들에서, 도 7의 경우와 마찬가지로, 도파관 연결기(704)의 단면 형상은 실질적으로 직각삼각형이다. 도파관 연결기(704)의 제1 보조면(724, 삼각법 용어로는, 본 실시예에서 '빗변' 쪽에 있는 보조면)은 제1 도파관 동공확장기(702)로부터 광을 수신하도록 구성된다. 광은 도파관 연결기(704)를 통해 이동하고 제2 보조면(724)으로부터 제2 도파관 동공확장기를 향해서 출력된다. 도 10 및 도 11의 실시예 구성에서, 도파관 연결기(704)로부터 출력된 광은 이하에서 더 논의되는 거울(1002)을 거쳐서 제2 도파관 동공확장기(706)를 향해 간접적으로 안내된다. 그러나, 도파관 연결기(704)로부터 제2 도파관 동공확장기(706)로의 광의 직접적인 이동, 및 임의의 적절한 다른 구성요소 또는 구성요소들을 통한 그 사이에서의 광의 간접적인 이동도 본 개시에서 고려된다.

[0222] 도파관 연결기(704)는 내부에 광을 보유하고 이를 제2 도파관 동공확장기(706) 쪽으로 향하게 하는 임의의 적절한 물질 또는 물질들로 형성된다. 입력광(714)이 회절 또는 발산 광을 포함하고, 따라서 제1 도파관 동공확장기(702)에 의해 복수의 복제물들이 출력되는 실시예들에서, 도파관 연결기(704)의 하나 이상의 면은 지정된 영역(예를 들어, 제2 도파관 연결기(706)를 향해서 광을 채널링하도록 의도된 출력포트들)을 제외하고는 도파관 연결기(704) 외부로 발산하는 광의 이탈을 방지하기 위한 내부 반사를 제공하도록 구성될 수 있다. 따라서, 도 10 및 11의 실시예 구성에서, 삼각형의 주면(722) 및/또는 출력 포트를 포함하지 않는 하나 이상의 보조면(724)은 내부 반사를 제공하도록 구성될 수 있고, 따라서 광이 제2 도파관 동공확장기(706)를 향해 이동하도록 의도된 다른 보조면(이는 "출력면(output face)"이라고 지칭될 수 있다.)을 제외하고는 광이 방출되지 않는다. 광이 제2 도파관 동공확장기(706)를 향해 이동하도록 의도된 출력면은 투과면을 포함할 수 있다.

[0223] 도파관 연결기(704)의 출력면은 제2 도파관 연결기(706) 상의 입력 포트에 대응하도록 하는 위치, 크기 및/또는 형상을 가질 수 있다. 제2 방향으로의 동공 확장을 위해 제2 도파관 동공확장기(706)를 향해서 복수의 복제 광선을 적절하게 지향시키기 위한 목적으로 도파관 연결기(704)와 제2 도파관 동공확장기 사이에 하나 이상의 다른 구성요소가 또한 사용될 수 있다. 다시 말하지만, 이는 도파관 연결기(704)에서 출력된 광선이 거울(1002)을 향해 지향되는 도 10 및 도 11에서 가장 명확하게 알 수 있다. 여기서 거울(1002)은 제2 도파관 동공확장기(706)의 수신면(본 실시예들에서 아랫면)의 한 단부에 가까이 위치한 영역을 향해서 광을 반사한다. 여기서 광선은 2차원 동공 확장을 달성하기 위해 상술한 반사 및 투과를 거친다. 도파관 연결기(704)는 복제 광선이 제2 도파관 동공확장기(706)에 도달하는 것을 보장할 뿐만 아니라, 원하는 각도로 도달하는 것을 보장할 수 있다. 이는 제2 도파관 동공확장기(706)에서 내부 반사가 이루어질 수 있고 제2 도파관 동공확장기(706)의 출력이 대응하여 정확하게 배향되는 것을 보장할 수 있다. 이는 디스플레이 시스템의 전반적인 보정 기능을 보장하고, 예를 들어 원하는 뷰어 아이-박스의 정확한 위치를 보장하는 데 도움을 준다. 본 발명의 발명자들은 도파관 연결기가 2D 동공 확장에서 수평의 흑색/백색 띠들을 최소화하는 데 크게 도움이 된다는 것을 알아냈다.

[0224] 상술한 바와 같이, 수많은 실제 적용들에서 동공 확장 시스템이 예를 들어 차량과 같은 더 큰 시스템으로 구현되도록 하기 위해 컴팩트하며 공간 효율적인 구성으로 동공 확장을 제공하는 것이 바람직하고 어떤 경우에는 필요하다. 또한 동공 확장 시스템이 제공되는 환경이 예를 들어 차량과 같이 움직이거나, 진동하거나, 그 밖의 불안정한 환경인 경우 컴팩트함이 유리할 수 있다. 본 발명의 발명자들은 상술한 하나 이상의 도파관 동공확장기, 및 선택적으로 도파관 연결기 또한, 매우 컴팩트하고 효율적인 방식으로 구성될 수 있음을 인식하였다. 예를 들어, 회절/발산하는 입력광선에 대해서도 본 명세서에 개시된 2차원 동공확장기의 효율성 및 효과를 제공하도록

제2 도파관 동공확장기(제1 방향으로는 동공 확장을 유지하고 실질적으로 직교하는 제2 방향으로는 동공 확장을 추가하도록 구성되기 때문에 제1 도파관 동공확장기보다 반드시 더 커야한다.)의 "풋프린트(footprint)"에 의해 정의된 물리적 영역 내에서 제1 도파관 동공확장기 및 도파관 연결기, 선택적으로 포함되는 턴 미러(turn mirror, 또는 "폴드미러(fold mirror)")와 같은 다른 적절한 광학적 구성요소를 구성하는 것이 가능하다는 것을 알아냈다.

[0225] 따라서, 적어도 일부 경우들에, 본 발명의 발명자들에 의해 이루어진 인식에 따라 디스플레이 시스템(또는 광 엔진)이 제공될 수 있으며, 여기서 제1 도파관 동공확장기, 도파관 연결기 및 선택적으로 하나 이상의 다른 구성요소는 컴팩트한 2차원 동공 확장 시스템의 제1 층(예를 들어, 하부층) 내에 제공될 수 있고, 제2 도파관 동공확장기는 제2 층(예를 들어, 상부층) 내에 제공될 수 있다. 컴팩트한 2차원 동공 확장 시스템은 제2 도파관 동공확장기의 주면의 단면적과 동일하거나 실질적으로 동일한 단면적을 가질 수 있다. 일부 경우들에서, 컴팩트한 2차원 동공 확장 시스템은 제2 도파관 동공 확장기의 주면의 단면적보다 약간 더 큰, 예를 들어 미리 결정된 임계값 또는 허용 오차 수준 내보다 더 큰 단면적을 가질 수 있다.

[0226] 컴팩트한 2차원 동공 확장 시스템은 뷰잉 시스템, 광 엔진 또는 디스플레이 시스템(예를 들어, 이미지 또는 홀로그램이 디스플레이될 SLM 또는 다른 디스플레이 장치를 포함하는 헤드-업 디스플레이(HUD) 시스템)의 일부를 형성할 수 있다. 적어도 일부 경우들에서, SLM 또는 그 밖의 디스플레이 장치는 제2 도파관 동공확장기의 풋프린트(footprint) 내에 있도록 위치될 수 있다. 예를 들어, 제1 도파관 동공확장기 및 도파관 연결기 및 선택적으로 하나 이상의 다른 광학적 구성요소와 함께 하부층 내에 제공될 수 있으며, 제2 도파관 동공확장기는 제2 상부층(의 적어도 일부)을 형성한다. 제1 도파관 동공확장기, 도파관 연결기 및 그 밖에 제공되는 임의의 광학적 구성요소를 통해서 디스플레이 장치에서 제2 도파관 동공확장기로 이동하는 광의 광학적 경로는 제2 도파관 동공확장기의 단면적에 의해 정의되는 물리적 풋프린트 내에 도달하거나 또는 적어도 제2 도파관 동공확장기가 포함된 층에 의해 정의된 물리적 풋프린트 내에 속하도록 위치될 수도 있다. 제1 도파관 동공확장기 및 도파관 연결기가 포함되는 제1 층은 제2 도파관 동공확장기가 포함되는 제2 층과 근접할 수 있다. 예를 들어, 제1 및 제2 층은 서로 인접(abut)할 수 있다. 예를 들어, 제1 및 제2 층은 서로 결합(attached)될 수 있다. 예를 들어, 제1 및 제2 층은 서로 접합(bonded)될 수 있다. 접합은 콤팩트하고 효율적인 2차원 동공 확장을 제공하기 위해 2차원 동공 확장 시스템에서 광 전파가 본 명세서에 개시된 바와 같이 발생하도록 하는 임의의 적절한 물질을 통해 제공될 수 있다. 이는 본 명세서의 도 9 내지 도 12로부터 추가로 이해될 수 있다.

[0227] 도 10은 도 7에 도시된 유사한 구성과 관련하여 상세히 상술한 것과 유사한 방식으로 기능하는 제1 도파관 동공확장기(702), 도파관 연결기(704), 및 제2 도파관 동공확장기(706)를 포함하는 예시적인 구성을 도시한다. 따라서, 도 10의 구성은 상술한 바와 같이 본 발명의 발명자들에 의해 이루어진 인식을 구현한다. 도 10(및 도 7)에서, (상술한 바와 같이) 제1 도파관 동공확장기(702) 내에 광을 가두고 따라서 제1 도파관 동공확장기(702)의 기다란 제1 평행면 쌍(708a, 708b)의 다른 쪽의 한 면에서 정의된 출력 포트를 통하여만 방출하도록 보장하는 내부 반사를 제공하기 위해서 도파관 연결기(704)의 주면(722)은 제1 도파관 동공확장기(702)의 기다란 제1 평행면(708a, 708b)과 동일 평면 상에 존재한다. 결국, 광이 들어오고 나가는, 제1 도파관 동공확장기의 기다란 제1 평행면 쌍(708a, 708b)은 제1 도파관 동공확장기(702)로부터 복수의 복제 광선을 수신하도록 구성된 도파관 결합장치(704)의 보조 "입력"면(724, minor “input” face)과 실질적으로 평행하도록 구성된다. 삼각법 용어로는, 이 보조면(724)은 본 실시예에서 도파관 연결기의 주면에 의해 정의된 실질적으로 직각인 삼각형의 '빗변'이다. 이러한 구성은 제1 도파관 동공확장기(702) 및 도파관 연결기(704)가 상대적으로 얇은 제1 층의 일부로서 제공될 수 있게 한다. 또한 도 10의 상대적으로 얇은 제1 층 내에 거울(1002)이 제공되며, 이는 '턴 미러(turn mirror)'라고 지칭될 수 있다. 거울(1002)은 도파관 연결기(702)로부터 출력되는 광의 방향을 변경하도록 구성된다. 거울(1002)은 도시된 방식으로 광을 재지향할 수 있는 광학적 구성요소의 한 예시이고, 하나 이상의 다른 구성요소가 본 작업을 수행하기 위해 대신 사용될 수 있다.

[0228] 도 10에 도시된 구성에서, 거울(1002)은 제1 도파관 동공확장기(702) 및 도파관 연결기(704)가 위치하는 층/평면으로부터 멀어지게 광을 지향시키고 대신에 제1 층과 실질적으로 평행한 제2 층을 향하도록 구성된다. 여기서 제2 도파관 동공확장기(706)는 제2 층 내에 위치된다. 거울(1002)은 제1 층 내에 적절하게 위치하고 제2 층을 향해 광을 지향시키도록 기울어져 있다. 거울(1002)이 도시된 실시예에서는 제1 층 위에 위치하지만, 이러한 상대적인 위치는 본 개시의 내용을 제한하는 것으로 간주되어서는 안 된다. 도 11에 도시된 평면도에서 보다 더 명확하게 알 수 있는 바와 같이, 제1 층 내에 포함된 제1 도파관 동공확장기(702), 도파관 연결기(704) 및 거울(1002)은 본 실시예 구성에서 모두 제2 도파관 동공확장기(706)의 주면의 단면적에 의해 정의된 제2 층의 물리적 풋프린트 범위에 포함된다. 도 11은 또한 동일한 풋프린트 내에서 제1 층 내에 제공된 SLM(1102)을

도시한다. 도 11에서 SLM(1102)에 의해 출력된 광은 하나 이상의 적절한 광학적 구성요소에 의해 제1 도파관 동공확장기(702)의 입력 포트를 향하여 지향되며, 이는 도시되지 않았지만 바람직하게는 동일한 풋프린트 내에 속한다.

[0229] 거울(1002)이 도 10 및 도 11에 도시되어 있지만, 제1 도파관 동공확장기(702) 및 도파관 연결기(704)가 위치한 제1 층으로부터 제2 도파관 동공확장기(706)가 위치하는 바람직하게는 제1층과 평행한 제2 층에 광 복제물들을 지향시키기 위해 거울 또는 다른 광학적 구성요소가 필요하지 않은 대안적인 구성이 고려된다. 예를 들어, 도파관 연결기(704)의 하나 이상의 표면이 제1 층과 동일 평면에 있지 않은 방향으로 광이 도파관 연결기(704)에 의해 직접적으로 출력되도록 형성 또는 코팅되거나 구성될 수 있다. 여기서 광은 제2 도파관 동공확장기(706)의 적절한 입력 포트 영역를 향해서 배향된다.

[0230] 또한 도 11로부터, 도파관 동공확장기(702, 706)에 대한 알맞은 입력 및 출력 각도를 보장하기 위해, 예를 들어 그 안에서 내부 반사를 달성하기 위해, 제1 도파관 동공확장기(702)의 긴 차원이 제2 도파관 동공확장기(706)의 주면을 정의하는 각각의 차원에 대해서 상대적으로 기울어져 있음을 알 수 있다. 본 발명의 발명자들은 제1 도파관 동공확장기(702)가 이러한 방식으로 기울어져 있을 때, 제2 도파관 동공확장기의 주면의 물리적 풋프린트 내에 이를 위치시키는 것이 가능하다는 것을 인식하였다. 대조적으로, 제1 도파관 동공확장기(702)가 이 평면에서 기울어지지 않은 경우, 도 10 및 도 11에서 대신에 제2 도파관 동공(706)이 평면 상에서 기울어질 필요가 있음을 알 수 있다. 그렇지 않으면 광학 성능이 저하될 수 있다. 따라서, 하부층 상의 제1 도파관 동공확장기(702)의 기울기는 패키징 최적화(즉, 하부층의 구성요소들이 상부층의 구성요소들의 풋프린트에 포함되도록 하여 부피를 최소화 하는 것)의 기술적 진보를 제공한다. 이러한 기울기는 자연스럽게 제1 도파관 동공확장기와 제2 도파관 동공확장기의 풋프린트의 둘레 사이에 실질적으로 삼각형인 간격을 생성한다. 따라서 이러한 고유한 삼각형 간격 형상은 도 11에 도시되고 상세히 상술한 바와 같이 실질적으로 삼각형인 도파관 연결기(704)에 적합하다.

[0231] 본 명세서의 도 9에 도시된 바와 같이, 제1 도파관 동공확장기(702) 및 도파관 연결기(704), 및 선택적인 거울(1002)를 포함하는 제1 층은 제2 도파관 동공확장기(706)를 포함하는 제2 층에 직접적으로 인접하거나 결합하여 제공될 수 있다. 선택적으로, 제2 층과 접하는 제1 층 내의 임의의 표면(들)이 반사 코팅되어 제공될 수 있다. 일부 실시예들에서, 제1 도파관 동공확장기(702)의 제2 평행면 쌍(710a, 710b)과 도파관 연결기(704)의 삼각형 주면(722)은 굴절률 차이 및 적절한 입사각에 기초하여 내부 전반사로 인한 광 안내를 제공한다.(당업계의 통상의 기술자에게 친숙할 것이다.) 그러나, 다른 실시예들에서, 제1 도파관 동공확장기(702) 및 도파관 연결기(704) 내에서 내부 반사를 제공하기 위해 적절한 거울 코팅이 제1 도파관 동공확장기(702)의 제2 평행면 쌍(710a, 710b) 및/또는 도파관 연결기(704)의 삼각형 주표면(722)에 제공될 수 있다. 이는 각각 회절된 광의 회절 각도를 보상한다.

[0232] 본 명세서의 도 12에 도시된 바와 같이, 본 발명의 발명자들에 의해 이루어진 인식들은 본 명세서에 기재된 바와 같은 2차원 동공 확장 시스템을 포함하거나 구성하는 시스템이 매우 컴팩트하고 안정적인 형태로 제공될 수 있게 한다. 예를 들어, 도 12는 서로 인접하는 복수의 실질적으로 사변형 층을 포함하는 HUD 패키지(1202, HUD package)로서 제공되는 헤드-업 디스플레이(HUD) 시스템을 도시하며, 예를 들어, 이는 임의의 적절한 방식으로 서로 접합될 수 있다. HUD 패키지(1202)는 도 11에 도시되고 제1 및 제2 층과 관련하여 상술한 구성요소를 포함한다. 이는 또한 상기 층들 및/또는 HUD 패키지(1202) 내의 하나 이상의 각기 다른 층(들)과 접하는 실질적으로 평행하고 비교적 얇은 제3(또는 후속) (평면)층 내에 추가적인 구성요소를 포함할 수 있다. 그 결과, HUD 패키지(1202)는 다양한 상이한 환경에 통합될 수 있는 컴팩트하고 균일한 형태로 형성된다. 예를 들어, 도 12의 실시예에서는 자동차의 대시보드(1203) 아래에 위치하는 것으로 도시되어 있지만, 이는 본 개시의 내용을 제한하는 것으로 간주되어서는 안 된다. HUD 패키지(1202)의 균일한 형태의 층상 구성으로 인해, 사용자(예를 들어, 제조업체)가 원하는 방향 및 위치로 이를 주변 환경에 통합하는 것이 비교적 간단하다. 예를 들어, 도 12에서 HUD 패키지(1202)는 그 층들의 주면들이 실질적으로 수평이 되도록 배향되며, 그 결과 광이 적절한 각도로 차량의 윈드스크린(1204, windscreen)를 향해 지향되어 광이 윈드스크린(1204)으로부터 실질적으로 수직인 평면에 정의된 뷰어의 아이박스(1206, eyebox)를 향해 반사되거나 아니면 재지향되도록 보장한다. 하지만, 그러나 다른 실시예들에서, HUD 패키지(1202)는 최적의 패키징(예를 들어, 최소 부피)을 제공하기 위해 수평면에 대해서 기울어져 있다.

[0233] 본 명세서에 개시된 2차원 동공 확장(또는 동공 복제) 시스템의 컴팩트한 형태(예를 들어, 정확한 광 전파 각도를 보장하면서도 구성요소들이 가능한한 서로 가까이 위치하는 균일한 형상으로 된 컴팩트한 형태)로의 제공은 정확한 광 전파 각도는 재정적인 제조비용을 단순화하고 줄이는 측면에서 더욱 유리하다. 다시 말해서, 제1 및

제2 도파관 동공확장기 및 적용 가능하다면 도파관 연결기를 개별적으로 제조하고 나중에 함께 구성하는 것보다, 함께 제조하는 것(예를 들어, 단일한 층 구성요소)이 더 간단하고 비용 효율적이다. 이에 더해서, 제1 도파관 동공확장기를 가늘고 긴 형태로 만드는 것과 같이 도파관 동공확장기들의 물리적 크기를 줄이는 것이 제조 효율성 관점과 재정적 비용 관점에서 모두 유리하다. 이는 결국, 종래의 덜 컴팩트하고 및/또는 더 불균일한 시스템 구성으로 가능했던 것보다 더 높은 품질의 광학 표면들 또는 광학 물질들이 사용되는 것을 가능하게 할 수 있다. 게다가, 본 명세서에 개시된 2차원 동공 확장 시스템의 균일하고 컴팩트한 형상은 예를 들어 차량과 같은 까다로운 환경에 설치되었을 때 기존의 2차원 동공 확장 시스템에서 일반적으로 달성할 수 있는 것보다 물리적으로 더 안정적이고 견고할 수 있다.

[0234] 본 명세서에 개시된 개선된 시스템들은 회절 또는 발산하는 광이 하나 이상의 도파관 동공확장기를 통해 적어도 1차원으로 복제될 수 있게 하며, 이는 기존의 뷰잉 시스템들로는 달성할 수 없었다. 결과적으로, 홀로그램에 의해 인코딩된 광을 포함하지만 이에 제한되지 않는, 회절 구조에 의한 광 출력은 뷰어에게 전송되기 전에 하나 이상의 차원으로 복제되거나 확장될 수 있다. 이러한 확장은 뷰어가 필요한 광을 포착하는 동안 뷰어의 눈(들)이 위치할 수 있는 더 큰 아이-박스를 가질 수 있게 하고, 따라서 뷰어가 더 많은 수의 다양한 눈 위치에서 이미지(예를 들어, 홀로그램에 해당하는 이미지)를 보거나 인식할 수 있게 한다.

[0235]

[0236] 도파관 개구

[0237] 본 명세서에 개시된 구성들 및 방법들은 단일 뷰잉 개구(viewing aperture) 또는 단일 입사동공이 있는 뷰잉 시스템 및 복수의 입사동공이 있는 뷰잉 시스템(예를 들어, 그리고 가장 일반적으로 두 눈을 가진 사람인 뷰어, 다만 이에 국한되지는 않는다.)에 적용될 수 있다.

[0238] 본 발명의 발명자들은 적어도 일부 경우들에서, 뷰잉 시스템이 복수의 입사동공을 가질 때 가능한 효과를 고려해야 한다는 것을 인식하였다. 다르게 말해서, 그들은 일반적인 회절 광 필드의 복수의 복제물들이 뷰어 또는 다른 뷰잉 시스템에 도달하는 방법 및 시기에 대한 제어를 제공하는 것이 적합할 수 있음을 인식했다. 예를 들어, 적어도 어떤 경우들에는, 사람의 눈은 물리적으로 서로 이동하는 점을 감안할 때 사람의 뇌는 동일한 콘텐츠를 동시에 두 눈이 수신하는 것을 예상하지 않기 때문에 동일한 회절광 필드의 두 복제물이 뷰어의 왼쪽 눈과 오른쪽 눈 모두에 동시에 도달하는 것을 방지하는 것이 적절할 수 있다. 본 발명의 발명자들은 뷰어의 두 눈의 상이한 각각의 위치(및, 마찬가지로, 임의의 복수의 입사동공 뷰잉 시스템 내에서 2개 이상의 입사동공의 상이한 각각의 위치)가 동일한 이미지 또는 이미지의 일부(또는 동일한 이미지 또는 이미지의 일부에 속하는 홀로그램 광)가 실질적으로 동시에 양쪽 눈에 수신되지 않도록 보장하기 위해서 뷰어의 두 분의 서로 다른 각각의 위치를 설명하기 위한 제어가 제공될 수 있음을 인식하고,. 이는 본 명세서의 도 4a 내지 도 5와 관련하여 개시된 홀로그램의 유형과 관련하여 특히 더 자세히 설명되어 있으며, 이는 그 전체가 본 명세서에 참조로 포함되는 동시계류 중인 영국(GB) 특허출원 제 GB2108456.1호를 참조하면 알 수 있다. 그러나, 이하에서 추가로 개시되는 도파관 개구의 사용을 포함하는 본 개시는 임의의 유형의 회절 또는 발산하는 광 필드에 대한 동공 확장에 적용할 수 있다. 임의의 유형의 회절 또는 발산하는 광 필드는 임의의 유형의 홀로그램에 의해 변조되는 회절된 광 필드를 포함하지만 이에 제한되지는 않는다. 임의의 유형의 홀로그램은 푸리에 홀로그램, 포인트-클라우드 홀로그램 또는 프레넬 홀로그램을 포함하되 이에 국한되지 않는다.

[0239] 따라서, 일부 실시예들에서, 제어기(control device)가 디스플레이 시스템 내에 제공되고 시스템 내에서 회절된 광의 복제물들 중 적어도 일부의 투과를 제어하도록 구성된다. 제어기는 "개구(aperture)" 또는 "도파관 개구(waveguide aperture)"이라고 지칭될 수 있다. 이는 시스템이 출력하도록 구성된 하나 이상의 구성요소로 구성된 개구(또는 특정 광 경로들의 선택적 차단 및 투과)를 제공하도록 구성될 수 있기 때문이다. 광을 투과하는 하나 이상의 "개방 영역(open zone)" 및 광을 차단하는(즉, 비투과성인) 하나 이상의 "폐쇄 영역(closed zone)"을 선택적으로 가짐으로써 상기 제어가 구성된다. "영역(zones)"은 "개구(apertures)"로 지칭될 수 있지만 물리적으로 구별되거나 별개의 구조물이 아니라, 소프트웨어로 제어될 수 있으므로 위치와 형태가 동적으로 변할 수 있다고 이해되어야 한다. 예를 들어, 개방 영역들과 폐쇄 영역들의 비율은 임의의 주어진 영역의 크기 및 위치에 따라 동적으로 변할 수 있다. 제어기의 개방 영역 및 폐쇄 영역의 특정 구성이 선택되는 기간을 "단계(phase)"라고 지칭할 수 있다. 제어기는 동적인, 보통 매우 빠른, 기준으로 각 단계들 사이를 순환하거나 변경하도록 제어될 수 있다.

[0240] 일부 실시예들에서, 제어기는 제1 도파관 동공확장기에, 바로 뒤에 후속하는 것을 포함하여, 후속으로 제공된다. 예를 들어, 제어기는 제1 도파관 동공확장기와 (존재하는 경우) 도파관 연결기 사이에 제공될 수 있

고, 보다 일반적으로는 제1 도파관 동공확장기와 제2 도파관 동공확장기 사이에 제공될 수 있다. 일부 실시예들에서, 제어기는 제1 및 제2 도파관 동공확장기 사이에 제어기를 제공하는 대신 또는 이에 더하여 제2 도파관 동공확장기에 후속으로 제공될 수 있다.

[0241] 본 명세서의 도 10 및 도 11에 도시된 실시예로 돌아와서, 제어기는 제1 도파관 동공확장기(702) 및 (존재하는 경우) 도파관 연결기(704)와 실질적으로 동일한 층 내에 제공될 수 있다. 예를 들어, 제어기는 제1 도파관 동공확장기(702) 및/또는 도파관 연결기(702)에 고정(예: 부착)될 수 있다.

[0242] 예를 들어, 제어기는 제1 도파관 동공확장기(702)와 도파관 연결기(704) 사이에 위치할 수 있는 기다란 구조를 포함할 수 있다. 이는 제1 도파관 동공확장기(702)에 실질적으로 평행하게 구성될 수 있고 및/또는 제1 도파관 동공확장기(704)가 출력하도록 구성된 회절된 광 필드의 복제물들의 일부, 바람직하게는 대부분, 바람직하게는 모두를 가로채도록 기다란 크기를 가질 수 있다. 제어기는 뷰어에게 도달하는 홀로그램 콘텐츠를 동적인 기준으로 제어하기 위해(예를 들어, 뷰어의 각 눈에 도달하는 홀로그램 콘텐츠를 제어하기 위해) 이러한 복제물들 중 적어도 일부의 향후 전송을 선택적으로 전송하거나 차단하도록 제어될 수 있다. 제어기는 이를 통해 전송되는 복제물을 전혀 허용하지 않거나, 또는 모두 허용하거나 , 또는 선택적인 수만 허용하는 것 사이에서 전환할 수 있다.

[0243] 일부 실시예들에서, 제어기는 뷰어의 눈 위치에 기반해서 특정 복제물을 선택적으로 통과시키는 맞춤형 광 셔터링(shuttering)을 제공하도록 구성된 실질적으로 평평한 액정 디스플레이 패널을 포함한다. 눈 위치는 임의의 적절한 센서 및/또는 피드백 수단을 통해 제어기의 컨트롤러에 알려질 수 있다. 제어기는 제어기가 동작하도록 구성된 도파관 동공확장기와 실질적으로 동일한 평면에 있을 수 있다.

[0244] 실시예들에서, 제어기는 또한 입력 회절광 필드의 개별 복제 내에서 회절 광 필드의 어느 부분이 임의의 주어진 시간에 뷰어에 도달할지 선택적으로 제어하도록 구성될 수 있다. 예를 들어, 회절된 광에 의해 정의된 광원뿔 내에서, 어떤 범위 또는 범위들의 회절각이 투과되고 차단되는지를 동적인 기반으로 제어하도록 구성될 수 있다.

[0245] 제어기는 위에서 "도파관 개구(waveguide aperture)"로 지칭되지만, 본 명세서에 개시된 기능을 제공하기 위해 임의의 적절한 제어기가 사용될 수 있다. 도파관 개구와 같은 제어기는 임의의 적절한 물질로 형성될 수 있다. 예를 들어, 이는 액정 장치 또는 불투명형과 투과형 사이를 각각 전환할 수 있는 어레이와 같은 복수의 액정 장치들 포함할 수 있다. 예를 들어, 제어기는 전압, 광 또는 열이 인가될 때 광 투과 특성이 변경될 수 있는 "스마트 글래스(smart glass)" 또는 "전환 가능한 유리(switchable glass)"를 포함할 수 있다. 제어기는 임의의 적절한 프로세서 또는 컨트롤러에 의해 제어될 수 있다. 예를 들어, 서로 다른 각각의 타겟 이미지들(target images)에 대응하는 홀로그램 광을 전송하고 및/또는 뷰어 또는 뷰잉 시스템의 이동을 허용하기 위해, 디스플레이 장치에서 여러 개의 서로 다른 홀로그램의 동적 디스플레이를 조정 또는 동기화하기 위해 구성이 빠르게 변경될 수 있다.

[0246] 본 명세서에 개시된 제어기는 임의의 수의 상이한 형태를 가질 수 있다. 일부 실시예들에서, 제어기는 복수(예를 들어, 2D 어레이)의 개별적으로 제어 가능한 광 수신/처리 요소들(예를 들어, 픽셀들)을 포함한다. 일부 실시예들에서, 제어기는 픽셀화된 액정 장치 또는 디스플레이를 포함한다. 일부 실시예들에서, 요소들 또는 픽셀들은 투과 및 비투과 "셔터 영역(shutter zones)"을 형성하기 위해 인접한 그룹들로 동작 가능하다. 각각의 픽셀들의 그룹은 제1 모드(예를 들어, 투과형) 및 제2 모드(예를 들어, 반사형) 사이에서 전환가능할 수 있다. 당업계의 통상의 기술자는 픽셀 그룹 또는 영역의 크기 및 위치(각 영역은 광에 대해 서로 다른 응답을 가진다.)가 작동 중에(예를 들어, 실시간으로) 변경될 수 있도록 픽셀화된 디스플레이 장치가 제어될 수 있는 방법에 대해 잘 알고 있다. 실시예들에서, 각 영역은 제어기의 픽셀 크기보다 크다. 따라서 각 구역은 복수의 픽셀들을 포함할 수 있다. 당업계의 통상의 기술자는 편광판(polarisers) 및 파장판(waveplates)과 같은 광학적 구성요소가 재구성 가능한 광 셔터(light shutter)를 제공하기 위해 픽셀화된 액정 장치와 함께 구현될 수 있는 방법에 마찬가지로 익숙하다. 단지 실시예로서, 제어기는 편광 선택(polarization selection)을 활용할 수 있지만, 광의 다른 특징적인 성질에 기초한 다른 방식도 동일하게 적용 가능하다. 일부 실시예들에서, 제어기는, 선택적으로, 제1 편광을 갖는 광을 투과하고 제2 편광을 갖는 광을 흡수 또는 반사하도록 종합적으로 구성된 픽셀화된 액정 디스플레이 및, 선택적으로, 다른 광학적 구성요소를 포함하며, 여기서 제1 편광 및 제2 편광은 반대되거나 또는 보완적이다. 의심의 여지를 피하기 위해서 말하자면, 이미지를 형성하는 광의 편광 및 파장과 같은 특성들에 따라 제어기를 형성하기 위해 임의의 수의 상이한 광학 시스템들이 사용될 수 있으며, 따라서 본 개시의 내용은 제어기의 구성에 의해 제한되지 않는다. 따라서, 본 명세서에 개시된 제어기는 그 구조보다는 기능에 의

해 정의된다는 것이 이해될 것이다.

[0247] 제어기는 동적으로 재구성할 수 있다. 독자는 차단/비투과성(blocked/non-transmissive) 또는 비차단/투과성(unblocked/transmissive)인 제어기의 전체 영역이 일반적으로 작동 중에 일정하지 않다는 것을 이해할 수 있어야 한다. 일부 실시예들에서, 제어기는 픽셀화된다. 즉, 제어기는 개별적으로 제어 가능한 픽셀들의 어레이를 포함한다. 각 픽셀은 예를 들어 투과 상태와 비투과 상태 사이에서 설정 가능한 액정을 포함할 수 있다. 픽셀의 가장자리와 이상적인 개구 영역 가장자리 사이의 정렬에 있어 불완전함은 너무 과하거나 너무 적은 광을 통과시킴으로써 처리될 수 있다.

[0248] 상술한 실시예들은 제한적인 것으로 간주되어서는 안 된다. 예를 들어, 뷰잉 시스템은 2개 이상의 뷰잉 개구들 또는 입사동공들을 가질 수 있다. 예를 들어, 제어기의 동작은 임의의 적절한 "위상 시퀀스(phase sequence)" 또는 타이밍 방식에 따라 제어될 수 있다. 예를 들어, 제어기는 선택적으로 휴지 상태일 수 있다.

[0249] 실시예들에서, 2개 이상의 홀로그램, 또는 2개 이상의 다른 회절 패턴이 서로 인터레이스(interlace)될 수 있다. 즉, 두 개의 홀로그램이 교대로 빠르게 연속적으로 디스플레이되어 뷰어가 두 개의 해당 이미지가 실질적으로 동시에 형성되는 것으로 인식할 수 있다.

[0250] 제어기의 일부 위상들은 각각의 다른 단계들보다 광 콘텐츠를 더 전달할 수 있다. 유사하게, 제어기의 여러 위상들이 서로 인터레이스될 때, 양쪽 눈은 각 위상에서 또는 전체적으로 서로 동일한 양의 광 콘텐츠를 받을 필요가 없다. 예를 들어, 상대적인 위치 및/또는 다른 요인들에 따라 한쪽 눈이 다른 쪽 눈보다 더 많은 광 콘텐츠를 보는 것이 가능할 수 있다.

[0251] 본 명세서에 개시된 바와 같이 도파관 개구와 같은 제어기를 포함하는 디스플레이 시스템은 복수의 상이한 회절 패턴들을 디스플레이하고, 복수의 대응하는 상이한 회절 또는 발산하는 광 필드들을 차례로 및/또는 상이한 시간에 출력하도록 구성될 수 있다. 따라서, 그러한 시스템 내의 디스플레이 장치는 상이한 각각의 홀로그램들을, 때때로 빠르게 연속적으로, 디스플레이하도록 구성될 수 있다. 제어기는 회절된 광 필드의 변화 및/또는 뷰잉 요구사항들의 변화를 수용하기 위해 동적으로 조정 가능하도록 구성될 수 있다.

[0252] 시스템은 이미지들의 비디오 레이트 시퀀스(video rate sequence)와 같은 이미지들의 시퀀스에 대응하는 회절 패턴을 디스플레이하도록 구성될 수 있다. 각각의 이미지는 50Hz 또는 60Hz와 같은 프레임율(frame rate)을 갖는 프레임들의 시퀀스에서 프레임에 대응할 수 있다. 각각의 프레임은 복수의 서브프레임들(sub-frames)을 포함할 수 있다. 서브프레임율은 예를 들어 프레임율의 4배 또는 8배일 수 있다. 디스플레이되는 홀로그램은 각각의 연속되는 서브프레임마다 변경될 수 있다. 각 서브프레임은 개별 디스플레이 이벤트로 간주될 수 있다. 각각의 서브 프레임은 이미지 또는 적어도 이미지의 일부에 대응할 수 있다. 실시예들에서는 각각의 디스플레이 이벤트에서 양쪽 눈으로 전달되는 광을 개시하였지만, 본 개시는 이에 제한되지 않는다. 예를 들어, 광 엔진은 디스플레이 이벤트당 하나의 눈/입사동공에만 광을 전달하도록 구성될 수 있다. 도파관 개구의 구성(즉, 개방 및 폐쇄 개구/입구들의 크기 및/또는 분포)은 모든 디스플레이 이벤트 또는 모든 n개의 디스플레이 이벤트를 변경할 수 있으며, 여기서 n은 정수이다. 일부 실시예들에서, 디스플레이 이벤트/개구 구성마다 하나의 눈에 오직 한 각도 범위의 광만이 전달된다. 일부 실시예들에서, 제어 시스템은 차례로 각각의 눈/입사동공에 광을 전달하도록 구성된다.

[0253] 일부 실시예들에서, 타겟 이미지의 홀로그램은 뷰잉 개구의 특정 크기 및 위치에 대해(예를 들어, 뷰어 눈의 입사동공의 특정 크기 및 위치)에 대해 계산될 수 있다. 입사동공의 직경 또는 위치와 같은 제약 조건이 변경되면 해당 시점에 재구성할 타겟 이미지(및 그에 따라 뷰어가 보거나 인식할 이미지 콘텐츠)가 그대로 유지되더라도 홀로그램이 다시 계산될 수 있다. 두 개의 홀로그램이 동일한 타겟 이미지를 나타내는 경우에도 각 홀로그램은 동일한 수의 영역 또는 동일한 크기의 영역을 가질 필요가 없다.

[0255] 추가적인 특징들

[0256] 실시예들은 단지 예로서 전기적으로 활성화되는 LCOS 공간 광 변조기를 언급한다. 본 개시의 교시는 임의의 전기적으로 활성화되는 SLM, 광학적으로 활성화되는 SLM, 디지털 마이크로미러 장치 또는 마이크로전자기계 장치와 같은 본 개시에 따라 컴퓨터-생성 홀로그램을 표시할 수 있는 임의의 공간 광 변조기에 동일하게 구현될 수 있다.

[0257] 일부 실시예들에서, 광원은 레이저 다이오드와 같은 레이저이다. 일부 실시예들에서, 검출기는 포토다이오드와 같은 광검출기이다. 일부 실시예들에서, 수광 표면은 디퓨저 표면(diffuser surface) 또는 디퓨저(diffuser)와 같은 스크린이다. 본 개시에서 홀로그래픽 프로젝션 시스템은 개선된 헤드-업 디스플레이(HUD)를 제공하기 위해

사용될 수 있다. 일부 실시예들에서는, HUD를 제공하기 위해 디스플레이 시스템이 설치된 차량이 제공된다. 차량은 자동차, 트럭, 밴, 화물차, 오토바이, 기차, 비행기, 보트 또는 선박과 같은 자동 운송 수단일 수 있다.

[0258] 홀로그램 재구성의 품질은 픽셀화된 공간 광 변조기를 사용하는 회절 특성이 가지는 소위 0차 문제(zero order problem)에 의해 영향을 받을 수 있다. 이러한 0차 광(zero-order light)은 "노이즈"로 간주될 수 있으며, 예를 들어 정반사되는 광 및 SLM에서의 다른 원치 않는 광 등이 포함된다.

[0259] 푸리에 홀로그래피의 예에서 이 "노이즈"는 푸리에 렌즈의 초점에 포커스되어 홀로그램 재구성의 중심에 밝은 점을 형성한다. 0차 광은 간단히 차단될 수 있지만 이는 밝은 부분을 어두운 부분으로 대체하는 것을 의미한다. 일부 실시예들은 0차 광에서 평행광선만을 제거하기 위하여 각도 선택적 필터(angularly selective filter)를 포함한다. 실시예들은 또한 유럽 특허 제2,030,072호에 기술된 0차 광를 관리하는 방법을 포함하며, 이는 전체 내용이 참조되어 본 명세서에 포함된다.

[0260] 일부 실시예들에서, 홀로그램의 크기(각 방향으로의 픽셀들의 수)는 홀로그램이 공간 광 변조기를 채우도록 공간 광 변조기의 크기와 동일하다. 즉, 홀로그램은 공간 광 변조기의 모든 픽셀들을 사용한다. 다른 실시예들에서, 홀로그램은 공간 광 변조기보다 작다. 보다 구체적으로, 홀로그램 픽셀들의 수는 공간 광 변조기에서 사용 가능한 광 변조 픽셀들의 수보다 적다. 이러한 다른 실시예들의 일부에서, 홀로그램의 일부(즉, 홀로그램의 픽셀들의 연속적인 서브세트(subset))는 사용되지 않은 픽셀들에서 반복된다. 본 기술은 공간 광 변조기의 표면적이 다수의 "타일들(tiles)"로 분할되는 "타일링(tiling)"으로 지칭될 수 있으며, 각각의 타일은 적어도 홀로그램의 서브세트를 나타낸다. 따라서 각 타일은 공간 광 변조기보다 작은 크기이다. 일부 실시예들에서, "타일링"의 기술은 이미지 품질을 증가시키기 위해 구현된다. 특히, 일부 실시예들은 홀로그램 재구성을 시작하는 신호 콘텐츠(signal content)의 양을 최대화하면서 이미지 픽셀들의 크기를 최소화하기 위한 타일링 기술을 구현한다. 일부 실시예들에서, 공간 광 변조기에 기록된 홀로그램 패턴은 적어도 하나의 전체 타일(즉, 완전한 홀로그램) 및 타일의 적어도 한 부분(즉, 홀로그램의 픽셀들의 연속적인 서브세트)을 포함한다.

[0261] 실시예들에서, 1차 재생 필드만이 이용되고 시스템은 시스템에서 고차 재생 필드의 전파를 제한하도록 구성된 배플들(baffles)과 같은 물리적 블록들을 포함한다.

[0262] 실시예들에서, 홀로그램 재구성은 색상을 가진다. 일부 실시예들에서는, 공간-분리 색상(spatially-separated colours, “SSC”)으로 알려진 접근 방식은 색상 홀로그램 재구성을 제공하는 데 사용된다. 다른 실시예들에서는, 프레임 순차 컬러(frame sequential colour, “FSC”)로 알려진 접근 방식이 사용된다.

[0263] SSC 방식은 3개의 단색 홀로그램에 대해서 공간적으로 분리된 3개의 광 변조 픽셀 어레이들을 사용한다. SSC 방식의 장점은 세 가지 홀로그램 재구성이 동시에 형성될 수 있기 때문에 이미지가 매우 밝다는 것이다. 그러나 공간적인 제약으로 인해 공간적으로 분리된 3개의 광 변조 픽셀 어레이가 하나의 SLM에 제공되는 경우 각각의 색상에는 사용 가능한 광 변조 픽셀들의 일부만이 사용되기 때문에 단색 이미지의 품질이 최적인 경우보다 낮다. 이에 따라 비교적 저해상도의 컬러 이미지가 제공된다.

[0264] FSC 방식은 3개의 단색 홀로그램을 순서대로 표시하기 때문에 동일한 공간 광 변조기의 모든 픽셀들을 사용할 수 있다. 사람인 뷰어가 세 단색 이미지가 합성된 이미지를 다색 이미지로 인식할 수 있을 만큼 단색 재구성은 충분히 빠르게 반복된다(예: 빨강, 녹색, 파랑, 빨강, 녹색, 파랑 등). FSC의 장점은 SLM 전부가 각 색상에 사용된다는 것이다. 이는 SLM의 모든 픽셀들이 각 컬러 이미지에 사용되기 때문에 생성된 3가지 색상의 이미지 품질이 최적임을 의미한다. 그러나 FSC 방식의 단점은 각각 단색 조사(illumination event)가 프레임 시간의 1/3 동안만 일어나기 때문에 합성 컬러 이미지의 밝기가 SSC 방식보다 약 3배 정도 낮다는 것이다. 이 결점은 잠정적으로 레이저들을 과도하게 구동하거나 더 강력한 레이저들을 사용하여 해결할 수 있지만 더 많은 전력이 필요하므로 비용이 증가하고 시스템 크기가 증가한다.

[0265] 예는 가시광으로 SLM을 조명하는 것을 설명하지만, 통상의 기술자는 광원 및 SLM이 예를 들어 본 명세서에 개시된 바와 같이 적외선 또는 자외선을 지향시키기 위해 동등하게 사용될 수 있음을 이해할 것이다. 예를 들어, 통상의 기술자는 정보를 사용자에게 제공할 목적으로 적외선 및 자외선을 가시광으로 변환하는 기술을 알고 있을 것이다. 예를 들어, 본 개시는 이러한 목적을 위해 형광체 및/또는 양자점 기술을 사용하는 것으로 확장된다.

[0266] 일부 장치는 단지 예로서 2D 홀로그램 재구성을 설명한다. 다른 구성에서, 홀로그램 재구성은 3D 홀로그램 재구성이다. 즉, 일부 구성에서 각각의 컴퓨터 생성 홀로그램은 3D 홀로그램 재구성을 형성한다.

[0267] 본 명세서에 설명된 방법 및 프로세스는 컴퓨터 판독가능 매체 상에 구현될 수 있다. 용어 "컴퓨터 판독가능 매체"는 랜덤 액세스 메모리(RAM), 판독 전용 메모리(ROM), 버퍼 메모리, 플래시 메모리 및 캐시 메모리와 같이

데이터를 일시적으로 또는 영구적으로 저장하도록 구성된 매체를 포함한다. 또한, "컴퓨터 판독가능 매체"라는 용어는 하나 이상의 프로세서에 의해 실행될 때, 기계가 여기에 기재된 방법론 중 하나 이상을 전체적으로 또는 부분적으로 수행하게 하는 명령들을 기계의 수행 지령으로서 저장할 수 있는 어떤 매체 혹은 다중의 매체의 조합을 포함하는 것으로 간주되어야 한다.

[0268] "컴퓨터 판독가능 매체"라는 용어는 또한 클라우드 기반 스토리지 시스템을 포함한다. "컴퓨터 판독가능 매체"라는 용어는 솔리드-스테이트 메모리 칩(solid-state memory chip), 광학 디스크, 자기(magnetic) 메모리의 예시적인 형태의 하나 이상의 유형 및 비 일시적 데이터 저장소(예를 들어, 데이터 볼륨)를 포함하지만, 이에 국한되지 않으며, 디스크 또는 이들의 임의의 적절한 조합을 포함할 수 있다. 일부 예시적인 실시예에서, 실행을 위한 명령어는 캐리어 매체에 의해 전달될 수 있다. 이러한 캐리어 매체의 예는 일시적인 매체(예를 들어, 명령을 전달하는 전파 신호)를 포함한다.

[0269] 첨부된 청구범위의 범주를 벗어나지 않으면서 다양한 수정 및 변형이 이루어질 수 있음은 통상의 기술자에게 명백할 것이다. 본 개시는 첨부된 청구범위 및 그 균등물의 범위 내의 모든 변경 및 변형을 포함한다.

[0271] 번호가 매겨진 이하의 항목들 또한 개시된다.

[0272] 항목 1.

[0273] 다음을 포함하는 광 엔진:

[0274] 동공(pupil)을 정의하는 회절 구조(diffractive structure)로부터 회절된 광 필드를 수신하도록 구성된 제1 동공복제기(pupil replicator); 및 제1 동공복제기는 실질적으로 길게 연장된 도파관 연결기(waveguide coupler)를 포함하는 제1 층(layer);

[0275] 도파관 연결기 및 제2 동공복제기를 포함하는 제2 층, 여기서 제2 동공복제기는 실질적으로 평면이고 입력을 형성하도록 구성된 제1 주면 및 상기 광 엔진의 출력을 형성하도록 구성된 제2 주면을 포함하며, 도파관 연결기는 제1 동공복제기의 출력을 제2 동공복제기의 입력에 연결하도록 구성된다.

[0276] 여기서 제1 층 및 제2 층은 실질적으로 평행하고 서로 인접한다.

[0277] 항목 2.

[0278] 임의의 선행 항목에 있어서, 제1 동공복제기 및 도파관 연결기가 제2 동공복제기의 풋프린트(footprint) 내에 구성되는, 광 엔진.

[0279] 항목 3.

[0280] 임의의 선행 항목에 있어서, 제1 동공복제기는 그 사이에서 광 안내(light guiding) 및 동공 복제(pupil replication)를 제공하도록 구성된 제1 차 대향면의 쌍을 포함하는 광 엔진.

[0281] 항목 4.

[0282] 임의의 선행 항목에 있어서, 도파관 연결기는 입력면(input surface) 및 출력면(output surface)을 각각 포함하는 제1 차 대향면 쌍을 포함하고, 입력면 및 출력면은 서로에 대해 각을 이루는 광 엔진.

[0283] 항목 5.

[0284] 임의의 선행 항목에 있어서, 제1 동공복제기 및 도파관 연결기는 실질적으로 동일한 평면에 있는 광 엔진.

[0285] 항목 6.

[0286] 임의의 선행 항목에 있어서, 제1 층의 제1 동공복제기 및 도파관 연결기는 제2 층에 실질적으로 평행한 평면에서 회절된 광 필드를 안내(waveguide)하도록 구성되는 광 엔진.

[0287] 항목 7.

[0288] 임의의 선행 항목에 있어서, 제2 층이 제1 축 및 제2 축에 의해 정의되고, 제1 동공복제기의 연장된 차원이 제2 층의 제1 축 및 제2 축 중 적어도 하나에 대해 각을 이루는 광 엔진.

[0289] 항목 8.

[0290] 항목 7에 있어서, 제2 층의 제1 축 또는 제2 축에 대한 제1 동공복제기의 연장된 차원의 각도는 제1 동공복제기

에 의해 수신된 회절된 광의 입사각과 실질적으로 동일한 광 엔진.

[0291] 항목 9.

[0292] 임의의 선행 항목에 있어서, 제2 동공복제기는 실질적으로 사각형인 단면 형상을 갖는 광 엔진.

[0293] 항목 10.

[0294] 임의의 선행 항목에 있어서, 제2 동공복제기의 입력은 길게 연장되고 제2 층의 제1 축에 대응하는 광 엔진.

[0295] 항목 11.

[0296] 임의의 선행 항목에 있어서, 제2 동공복제기의 제1 주면 및 제2 주면은 그 사이에서 광 안내(light guiding) 및 동공 복제(pupil replication)를 제공하도록 구성된 제1 차 대향면 쌍을 형성하는 광 엔진.

[0297] 항목 12.

[0298] 임의의 선행 항목에 있어서, 제2 층의 제2 동공복제기는 제1 층에 실질적으로 평행한 평면에서 회절된 광 필드를 안내하도록 구성된 광 엔진.

[0299] 항목 13.

[0300] 임의의 선행 항목에 있어서, 제1 동공복제기 및 도파관 연결기는 제2 동공복제기의 제2 주면에 고정되는 광 엔진.

[0301] 항목 14.

[0302] 임의의 선행 항목에 있어서, 제1 동공복제기 및 도파관 연결기는 각각 대향면 쌍 내에 회절된 광 필드를 트랩(trap)하도록 구성된 제2 대향면 쌍을 포함하는 광 엔진.

[0303] 항목 15.

[0304] 항목 14에 있어서, 각각의 제2 대향면 쌍의 적어도 하나의 표면은 반사형 구성요소(reflective component)를 포함하고 각각의 제2 대향면 쌍의 적어도 하나의 표면은 반사형 구성요소를 통해 공통 기판(common substrate)에 고정된 광 엔진.

[0305] 항목 16.

[0306] 항목 15에 있어서, 공통 기판은 제2 동공복제기 또는 광 엔진을 수용하는 차량(vehicle)의 구성요소인 광 엔진.

[0307] 항목 17.

[0308] 임의의 선행 항목에 있어서, 제1 동공복제기 및 도파관 연결기가 함께 부착(bond)되는 광 엔진.

[0309] 항목 18.

[0310] 임의의 선행 항목에 있어서, 광 엔진은 제어기를 더 포함하고, 여기서 제어기는 어느 동공 복제물들이 제1 동공복제기로부터 제2 동공복제기로 중계되는지를 결정하도록 구성된 복수의 독립적으로 제어되는 개구들(apertures)을 포함한다. 선택적으로, 여기서 제1 동공복제기, 도파관 연결기 및 제어기는 함께 부착된다.

[0311] 항목 19.

[0312] 차량(vehicle)용 헤드-업 디스플레이(head-up display)로서, 상기 헤드-업 디스플레이는 다음을 포함한다:

[0313] 제1 방향으로 연장되고, 헤드-업 디스플레이의 제한 개구(limiting aperture)를 정의하는 픽셀 어레이(pixel array)를 갖는 공간 광 변조기(spatial light modulator)로부터 홀로그램 광 필드(holographic light field)를 수신하도록 구성된 제1 동공복제기, 여기서 홀로그램 광 필드는 공간 광 변조기에 디스플레이되는 홀로그램에 따라 공간적으로 변조된 복소 광 필드이다;

[0314] 제1 방향 및 제1 방향에 수직인 제2 방향으로 연장하는 제2 동공복제기, 여기서 제2 동공복제기는 출력을 형성하는 제1 주면 및 상기 제1 주면에 평행한 제2 주면을 포함한다;

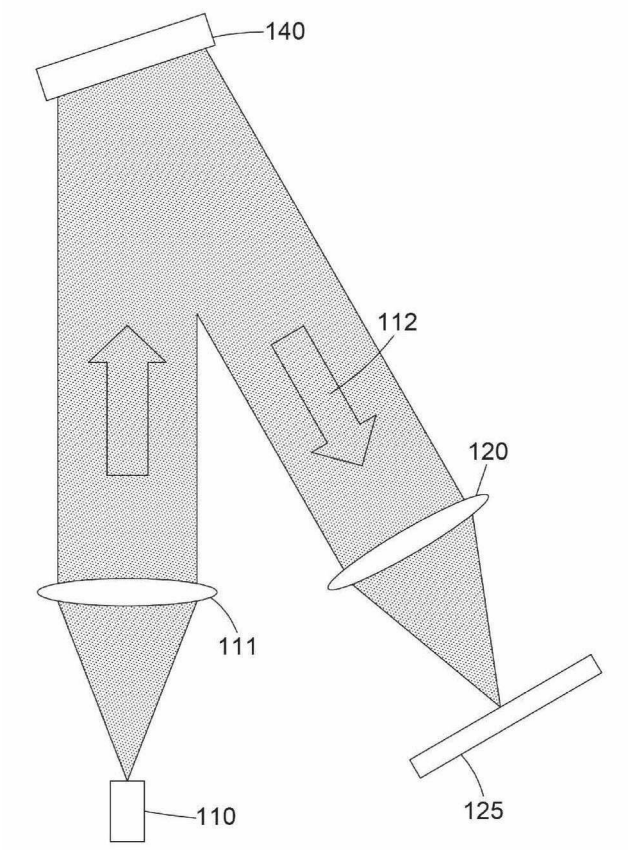
[0315] 제1 동공복제기의 출력을 제2 동공복제기의 입력에 광학적으로 연결하도록 구성된 도파관 연결기, 여기서 제1 동공복제기 및 도파관 연결기는 제2 동공복제기의 제2 주면에 실질적으로 평행하고 이에 인접한 평면층 내에 구성된다.

[0316] 항목 20.

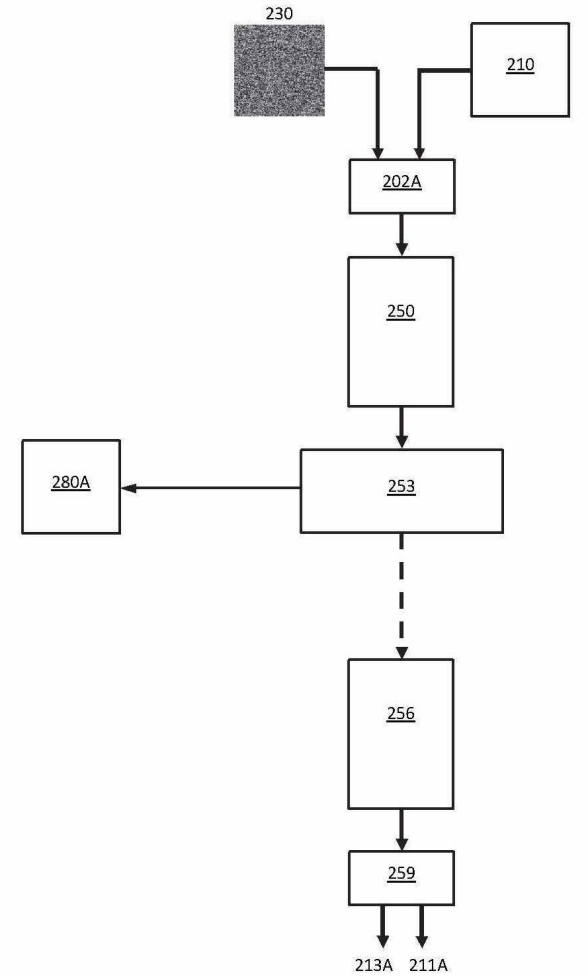
[0317] 항목 19에 있어서, 디스플레이되는 헤드-업으로서, 제1 동공복제기 및 도파관 연결기는 제2 동공복제기의 제2 주면 또는 헤드-업 디스플레이를 수용하는 차량(vehicle)의 구조적 프레임워크(framework)에 부착된다.

도면

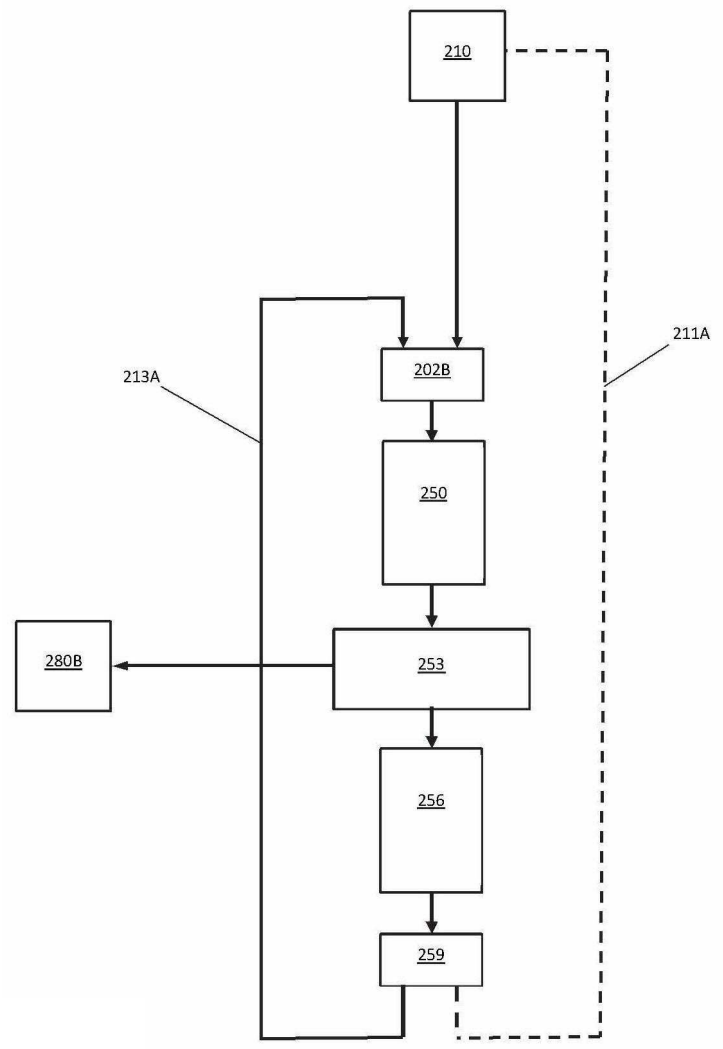
도면1



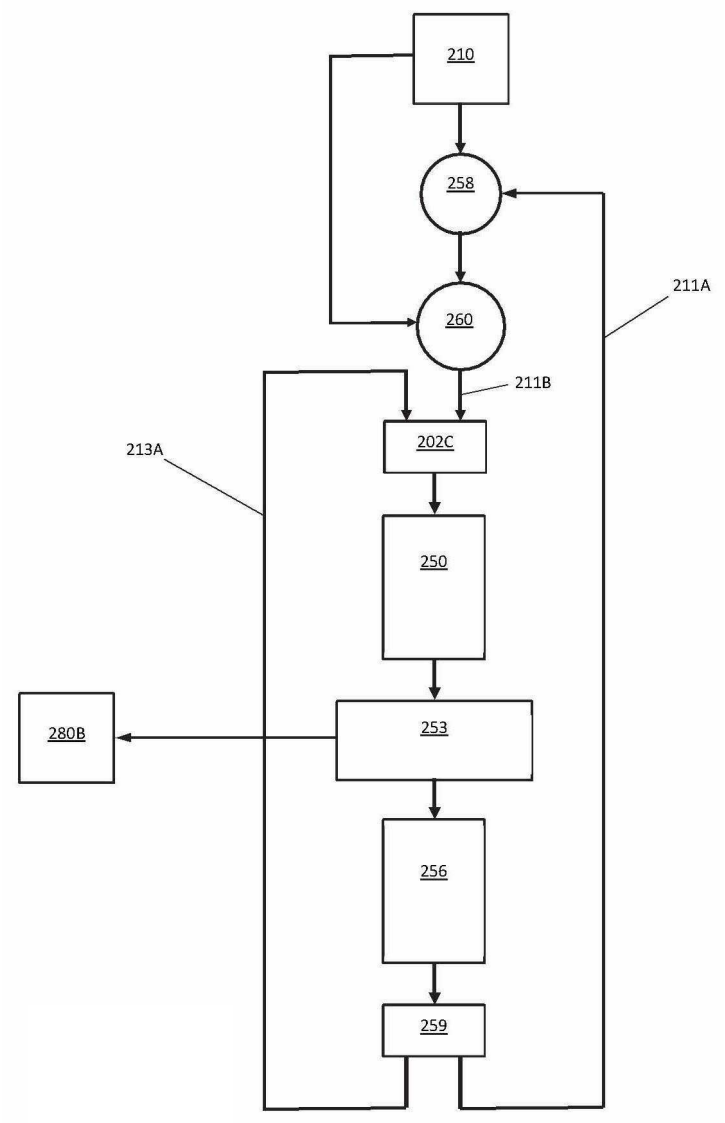
도면2a



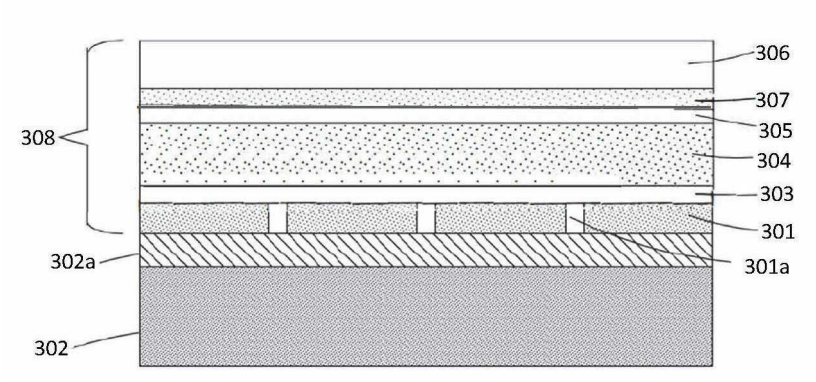
도면2b



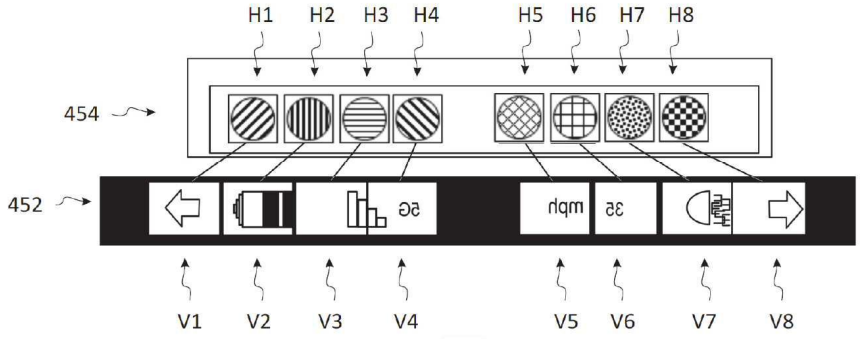
도면2c


210
258
260
211A
211B
202C
213A
250
280B
253
256
259

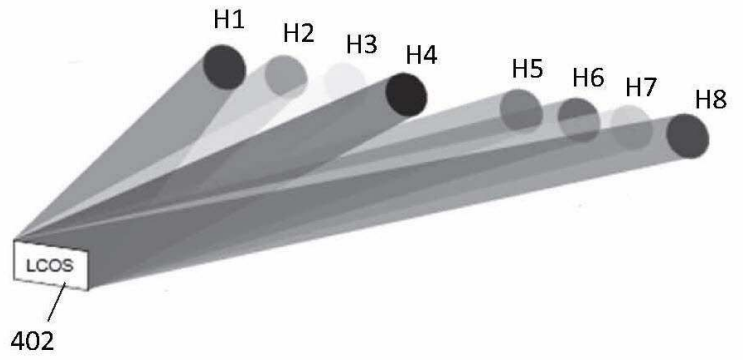
도면3


306
307
308
305
304
303
301
302a
301a
302

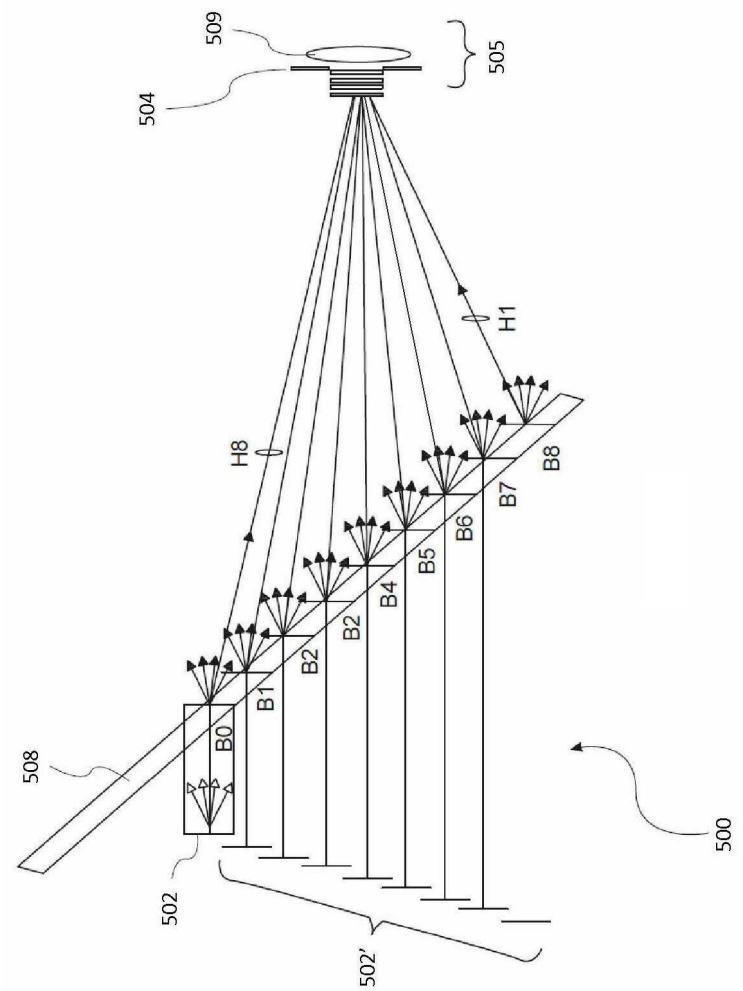
도면4a


H1
H2
H3
H4
H5
H6
H7
H8
454
452
V1
V2
V3
V4
V5
V6
V7
V8

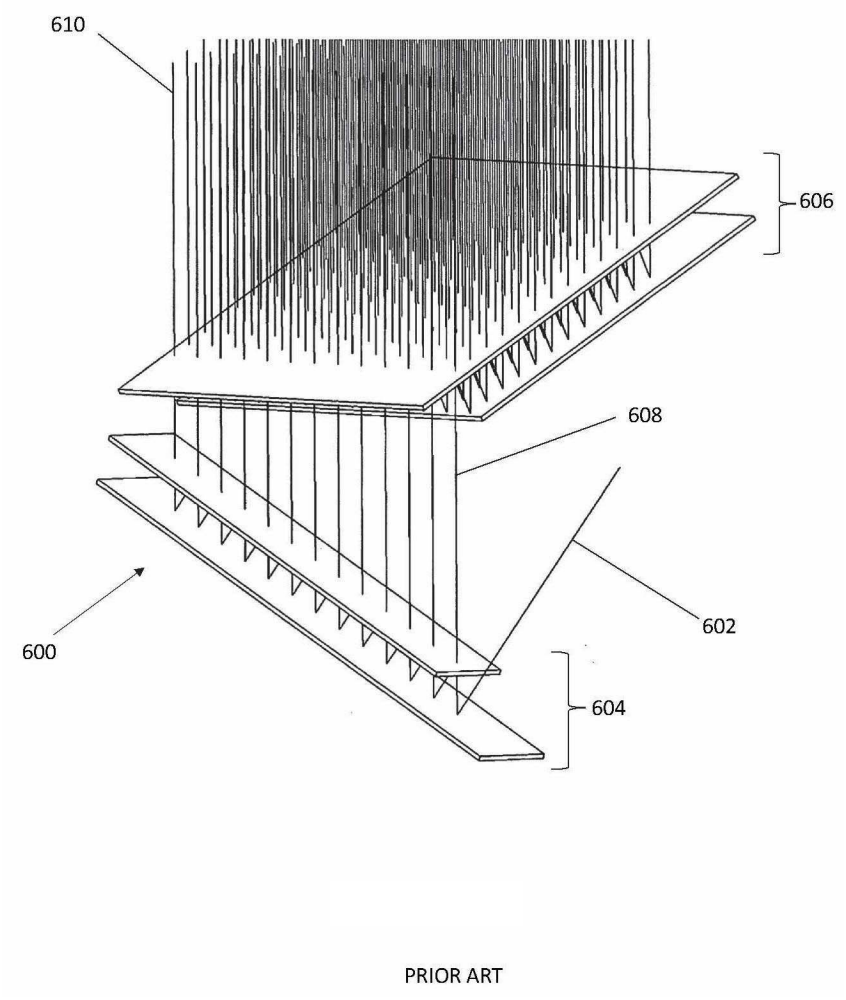
도면4b


H1
H2
H3
H4
H5
H6
H7
H8
LCOS
402

도면5

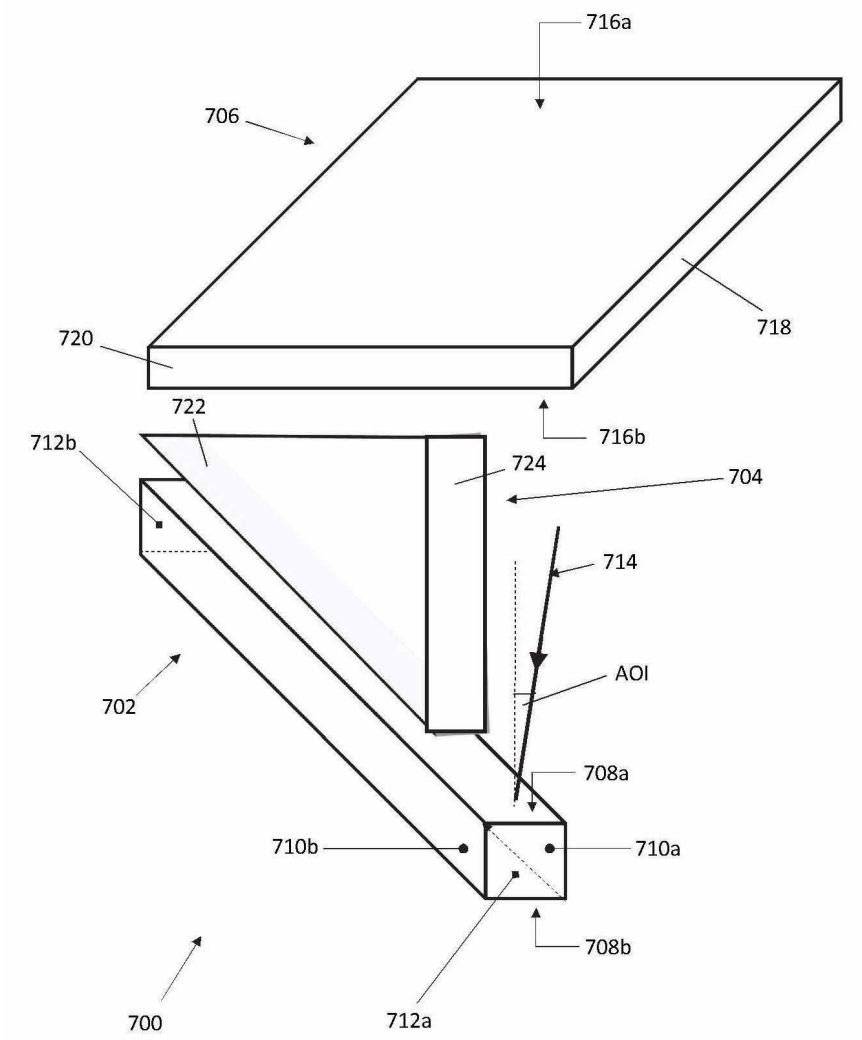


도면6

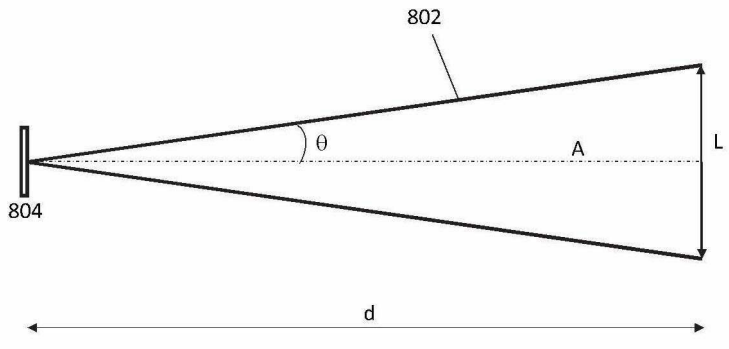


PRIOR ART

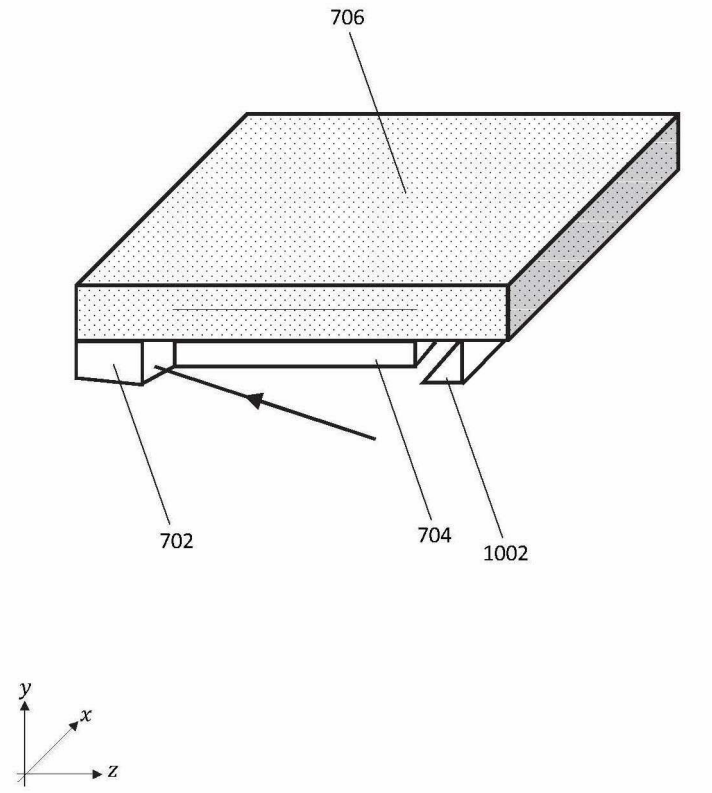
도면7


716a
706
718
720
722
716b
712b
724
704
714
AOI
702
708a
710b
710a
708b
700
712a

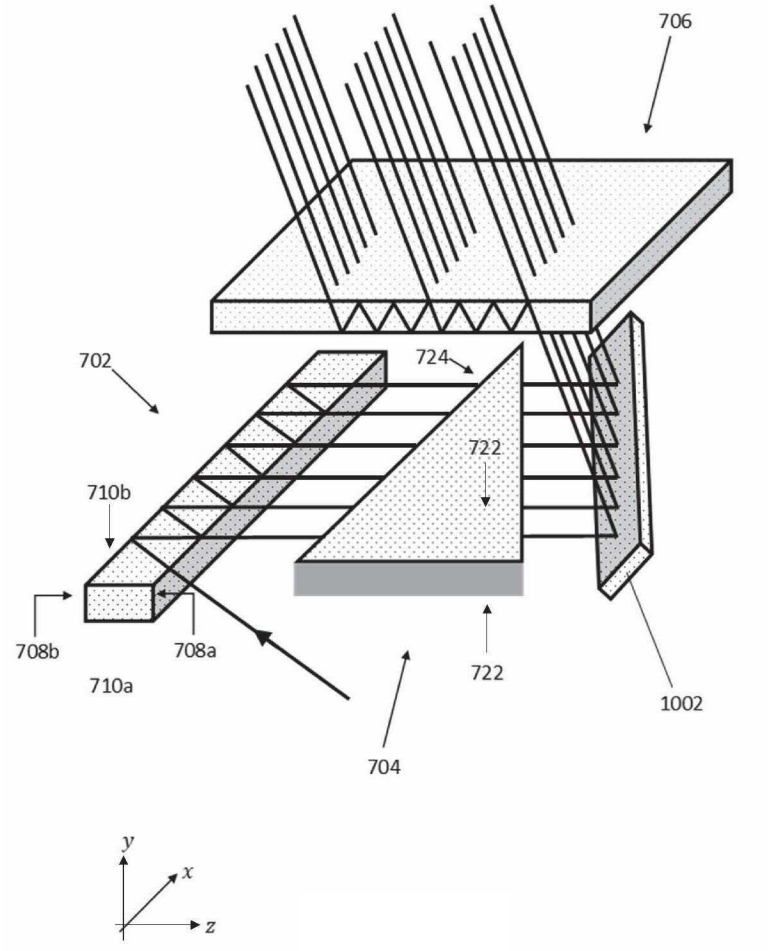
도면8


802
θ
A
L
804
d

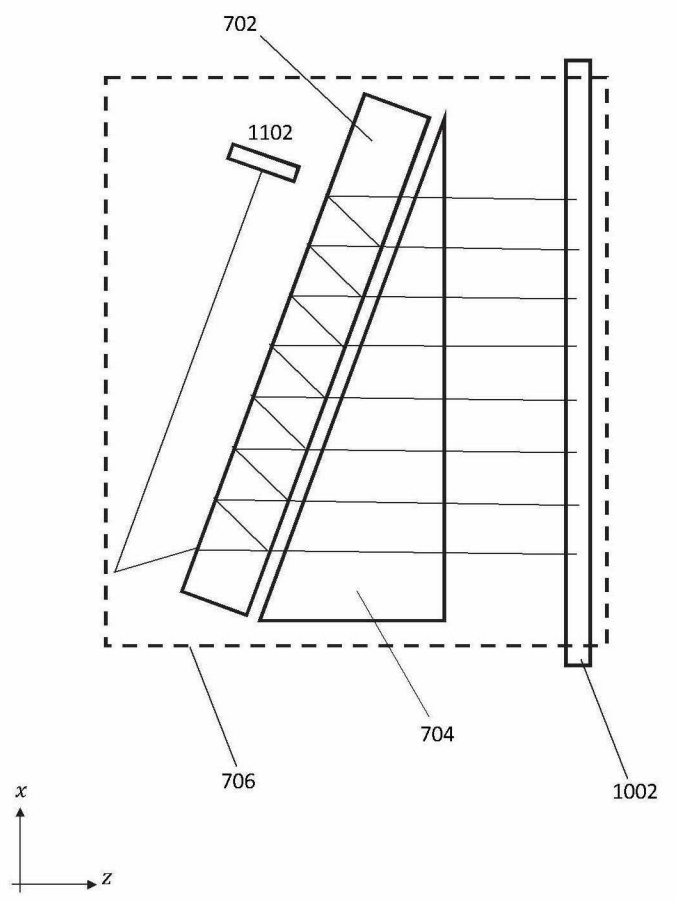
도면9



도면10



도면11



도면12

