



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2024년05월03일

(11) 등록번호 10-2663100

(24) 등록일자 2024년04월29일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G02B 1/00 (2022.01) G02B 1/111 (2015.01)

G02B 27/00 (2020.01) G02B 27/01 (2006.01)

G02B 27/42 (2006.01) G02B 5/18 (2006.01)

(52) CPC특허분류

G02B 1/002 (2013.01)

G02B 1/111 (2020.05)

(21) 출원번호 10-2023-7022019(분할)

(22) 출원일자(국제) 2018년01월24일

심사청구일자 2023년06월29일

(85) 번역문제출일자 2023년06월29일

(65) 공개번호 10-2023-0104996

(43) 공개일자 2023년07월11일

(62) 원출원 특허 10-2019-7024534

원출원일자(국제) 2018년01월24일

심사청구일자 2021년01월08일

(86) 국제출원번호 PCT/US2018/015057

(87) 국제공개번호 WO 2018/140502

국제공개일자 2018년08월02일

(30) 우선권주장

62/451,587 2017년01월27일 미국(US)

(56) 선행기술조사문헌

JP2005018061 A

(뒷면에 계속)

전체 청구항 수 : 총 15 항

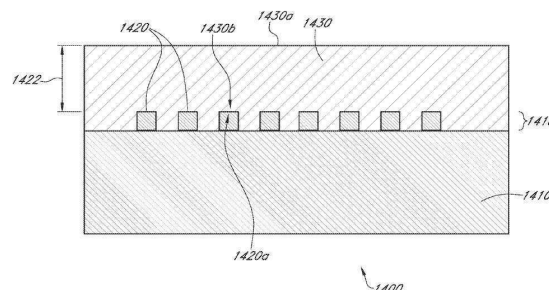
심사관 : 신영교

(54) 발명의 명칭 메타표면들을 위한 반사 방지 코팅들

## (57) 요약

메타표면들을 위한 반사 방지 코팅들이 본원에 설명된다. 일부 실시예들에서, 메타표면은 기판, 그 위의 복수의 나노구조물들, 및 나노구조물들 위에 배치된 반사 방지 코팅을 포함할 수 있다. 반사 방지 코팅은 투명한 중합체, 예컨대, 포토레지스트 층일 수 있고, 나노구조물들의 굴절률보다 더 낮고 상부 매질(예컨대, 에어)의 굴절률보다 더 높은 굴절률을 가질 수 있다. 유리하게도, 반사 방지 코팅은, 메타표면이 통합된 증강 현실 디스플레이에서 고스트 이미지들을 감소 또는 제거할 수 있다.

대표도 - 도10



(52) CPC특허분류

*G02B 27/0093* (2013.01)  
*G02B 27/0172* (2013.01)  
*G02B 27/4205* (2013.01)  
*G02B 27/4272* (2013.01)  
*G02B 5/1847* (2013.01)  
*G02B 2027/014* (2013.01)  
*G02B 2027/0178* (2013.01)  
*G02B 2027/0185* (2013.01)  
*G02B 2207/101* (2013.01)

(72) 발명자

**세인트 힐러리, 피에르**

미국 33322 플로리다 플랜테이션 웨스트 선라이즈  
 불러바드7500

**멜리, 마우로**

미국 33322 플로리다 플랜테이션 웨스트 선라이즈  
 불러바드7500

**페로즈, 크리스토프**

미국 33322 플로리다 플랜테이션 웨스트 선라이즈  
 불러바드7500

**폴리아코브, 에브게니**

미국 33322 플로리다 플랜테이션 웨스트 선라이즈  
 불러바드7500

(56) 선행기술조사문헌

JP2006320807 A  
 JP2012230246 A  
 US20110315988 A1  
 US20160061993 A1  
 US20170010488 A1  
 WO2016205249 A1

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

광학 시스템으로서,

반복하는 단위 셀들을 형성하는 복수의 나노구조물들을 포함하는 메타표면을 포함하는 광학 엘리먼트; 및

상기 메타표면을 포함하는 상기 광학 엘리먼트에 대한 반사 방지 코팅을 포함하고,

각각의 단위 셀은, 하향식 뷰(top-down view)로 볼 때,

제1 길이들 및 제1 폭들을 갖는 복수의 제1 나노구조물들 — 상기 제1 길이들은 제1 방향으로 연장되고, 상기 제1 폭들은 서로 상이함 —;

제2 길이들 및 제2 폭들을 갖는 복수의 제2 나노구조물들 — 상기 제2 길이들은 제2 방향으로 연장되고, 상기 제2 폭들은 서로 상이하하며, 상기 제2 방향은 상기 제1 방향을 가로지름 — 을 포함하고,

상기 반사 방지 코팅은, 1보다 크고 상기 메타표면을 포함하는 재료의 굴절률보다 작은 굴절률을 갖는 광학적으로 투명한 재료의 층을 포함하고,

상기 광학 엘리먼트의 상단면이 비-평면이 되도록, 중합체 물질의 층이 상기 나노구조물들 각각을 분리하는 공간들을 완전히 채우지 않고 상기 나노구조물들의 윤곽을 따르도록 상기 메타표면의 상기 나노구조물들 위에 컨포멀하게 배치되고,

상기 제1 나노구조물들을 상기 제2 나노구조물들로부터 분리하는 채워지지 않은 공간들은, 상기 제1 나노구조물들을 분리하거나 상기 제2 나노구조물들을 분리하는 채워지지 않은 공간들과는 상이한 공간인,

광학 시스템.

#### 청구항 2

제1항에 있어서,

상기 광학적으로 투명한 재료는 중합체를 포함하는,

광학 시스템.

#### 청구항 3

제1항에 있어서,

상기 광학적으로 투명한 재료는 포토레지스트(photoresist)를 포함하는,

광학 시스템.

#### 청구항 4

제1항에 있어서,

상기 광학적으로 투명한 재료는 1.2 내지 2의 굴절률을 갖는,

광학 시스템.

#### 청구항 5

제1항에 있어서,

상기 메타표면의 최상단면으로부터 상기 반사 방지 코팅의 최상단면까지의 거리는 10nm 내지 1 마이크로인,

광학 시스템.

#### 청구항 6

제1항에 있어서,

상기 반사 방지 코팅은, 상기 반사 방지 코팅을 포함하지 않는 실질적으로 유사한 메타표면에 의해 반사된 입사광의 양과 비교하여, 상기 메타표면에 의해 반사되는 입사광의 양을 50%보다 더 많이 감소시키는, 광학 시스템.

#### 청구항 7

제6항에 있어서,

상기 입사광은  $-20^{\circ}$  내지  $20^{\circ}$  의 입사각을 갖는, 광학 시스템.

#### 청구항 8

제1항에 있어서,

상기 반사 방지 코팅은, 상기 반사 방지 코팅의 상단면으로부터 반사되는 광과 상기 반사 방지 코팅의 하단면으로부터 반사되는 광 사이에 상쇄적 간섭(destructive interference)을 제공하도록 구성된 두께를 갖는, 광학 시스템.

#### 청구항 9

제1항에 있어서,

상기 메타표면은 회절 격자를 포함하는, 광학 시스템.

#### 청구항 10

제1항에 있어서,

상기 메타표면은 비대칭 회절 격자를 포함하는, 광학 시스템.

#### 청구항 11

제1항에 있어서,

상기 메타표면은 PBOE(Pancharatnam-Berry phase optical element)를 포함하는, 광학 시스템.

#### 청구항 12

제1항에 있어서,

상기 메타표면은 다중-계층 나노구조물들(multi-tier nanostructures)을 포함하는, 광학 시스템.

#### 청구항 13

제1항에 있어서,

도파관을 더 포함하고, 상기 광학 엘리먼트는 상기 도파관 상에 또는 상기 도파관 내에 형성되는, 광학 시스템.

#### 청구항 14

제13항에 있어서,  
상기 광학 엘리먼트는 인커플링 광학 엘리먼트인,  
광학 시스템.

#### 청구항 15

제13항에 있어서,  
상기 도파관은 광학적으로 투과성 기판(optically transmissive substrate)을 포함하고, 상기 메타표면은 상기 기판 위에 놓이는,  
광학 시스템.

### 발명의 설명

#### 기술 분야

- [0001] 본 출원은, 2017년 1월 27일에 출원된 미국 가출원 제62/451,587호를 35 U.S.C. § 119(e) 하에서 우선 권으로 주장하며, 상기 출원의 전체 개시내용은 인용에 의해 본원에 포함된다.
- [0002] 본 출원은 다음의 특허 출원들: 2014년 11월 27일에 출원된 미국 출원 번호 제14/555,585호; 2015년 4월 18일에 출원된 미국 출원 번호 제14/690,401호; 2014년 3월 14일에 출원된 미국 출원 번호 제14/212,961호; 2014년 7월 14일에 출원된 미국 출원 번호 제14/331,218호; 2016년 11월 2일에 출원된 미국 특허 출원 제15/342,033호(대리인 도켓 번호 MLEAP.027A); 2016년 5월 6일에 출원된 미국 가출원 제62/333,067호(대리인 도켓 번호 MLEAP.066PR); 2017년 1월 27일에 출원된 명칭이 "DIFFRACTION GRATINGS FORMED BY METASURFACES HAVING DIFFERENTLY ORIENTED NANOBEAMS"인 미국 가출원 제62/451,608호(대리인 도켓 번호 MLEAP.092PR); 및 2017년 1월 27일에 출원된 명칭이 "DIFFRACTION GRATINGS BASED ON METASURFACES HAVING ASYMMETRIC OPTICAL ELEMENTS"인 미국 가출원 제62/451,615호(대리인 도켓 번호 MLEAP.103PR) 각각의 전체를 인용에 의해 포함한다.
- [0003] 본 개시내용은 증강 현실 시스템들을 포함하는 디스플레이 시스템들과 같은 광학 시스템들에 관한 것이다.

#### 배경 기술

- [0004] 현대 컴퓨팅 및 디스플레이 기술들은 소위 "가상 현실" 또는 "증강 현실" 경험들을 위한 시스템들의 개발을 가능하게 하였고, 여기서 디지털적으로 재생된 이미지들 또는 이미지들의 부분들이, 그들이 실제인 것으로 보이거나, 실제로서 지각될 수 있는 방식으로 사용자에게 제시된다. 가상 현실, 또는 "VR" 시나리오는 통상적으로 다른 실제 세계 시각적 입력에 대한 투명성(transparency) 없는 디지털 또는 가상 이미지 정보의 프리젠테이션(presentation)을 수반하고; 증강 현실, 또는 "AR" 시나리오는 통상적으로 사용자 주위 실제 세계의 시각화에 대한 증강으로서 디지털 또는 가상 이미지 정보의 프리젠테이션을 수반한다. 혼합 현실, 또는 "MR" 시나리오는 AR 시나리오의 타입이고 통상적으로 자연 세계에 통합되고 이에 응답하는 가상 객체들을 수반한다. 예컨대, MR 시나리오는 실제세계의 객체들에 의해 차단되는 것으로 보이거나 그렇지 않으면 이 객체들과 상호작용하는 것으로 지각되는 AR 이미지 콘텐츠를 포함할 수 있다.
- [0005] 도 1을 참조하면, 증강 현실 장면(10)이 묘사된다. AR 기술의 사용자는 배경 내의 사람들, 나무들, 빌딩들, 및 콘크리트 플랫폼(30)을 특징으로 하는 실제 세계 공원형 세팅(20)을 본다. 사용자는 또한, 자신이 "가상 콘텐츠", 이를테면 실제 세계 플랫폼(30)에 서 있는 로봇 동상(40), 및 호박벌의 의인화인 것으로 보이는 날고 있는 만화형 아바타 캐릭터(50)를 "보는" 것을 지각한다. 이들 엘리먼트들(50, 40)은, 이들이 실제세계에 존재하지 않는다는 점에서 "가상"이다. 인간 시각 지각 시스템이 복잡하기 때문에, 다른 가상 또는 실제 세계 이미지리(imagery) 엘리먼트들 사이에서 가상 이미지 엘리먼트들의 편안하고, 자연스럽고, 풍부한 프리젠테이션을 가능하게 하는 AR 기술을 만들어내는 것은 난제이다.
- [0006] 본원에 개시된 시스템들 및 방법들은 VR 및 AR 기술에 관련된 다양한 난제들을 처리한다.

## 발명의 내용

- [0007] [0007] 일부 실시예들에 따라, 광학 시스템들이 본원에 제공된다. 일부 실시예들에서, 광학 시스템은 광학적으로 투과성 기판(optically transmissive substrate), 기판 위에 놓인 메타표면(metasurface) — 메타표면은 복수의 나노구조물들(nanostructures)을 포함함 —, 및 메타표면의 나노구조물들 위에 컨포멀하게(conformally) 배치된 광학적으로 투명한 재료를 포함하는 반사 방지 코팅(antireflection coating)을 포함하고, 광학적으로 투명한 재료는 나노구조물들의 굴절률 미만의 굴절률을 갖는다.
- [0008] [0008] 일부 실시예들에 따라, 반사 방지 코팅은 간섭 코팅(interference coating)이다. 일부 실시예들에서, 메타표면은 회절 격자를 포함한다. 일부 실시예들에서, 메타표면은 비대칭 회절 격자를 포함한다. 일부 실시예들에서, 메타표면은 PBOE(Pancharatnam-Berry phase optical element)를 포함한다. 일부 실시예들에서, 메타표면은 다중-계층 나노구조물들(multi-tier nanostructures)을 포함한다. 일부 실시예들에서, 광학적으로 투명한 재료는 중합체를 포함한다. 일부 실시예들에서, 광학적으로 투명한 재료는 포토레지스트(photoresist)를 포함한다. 일부 실시예들에서, 광학적으로 투명한 재료는 약 1.2 내지 약 2의 굴절률을 갖는다. 일부 실시예들에서, 나노구조물들의 상단면으로부터 반사 방지 코팅의 상단면까지의 거리는 약 10nm 내지 약 1 마이크로미터이다. 일부 실시예들에서, 나노구조물들의 상단면으로부터 반사 방지 코팅의 상단면까지의 거리는 약 30nm 내지 약 250nm이다. 일부 실시예들에서, 반사 방지 코팅은 나노구조물들 사이에서 그리고 위에서 연장되는 평탄화 층(planarization layer)을 형성한다.
- [0009] [0009] 일부 실시예들에 따라, 광학 시스템들이 본원에 제공되고, 광학 시스템은 메타표면을 포함하는 광학 엘리먼트를 위한 반사 방지 코팅을 포함하고, 반사 방지 코팅은, 1보다 더 크고, 메타표면을 포함하는 재료의 굴절률 미만인 굴절률을 갖는 광학적으로 투명한 재료의 층을 포함하고, 중합체 재료의 층은 메타표면 위에 컨포멀하게 배치된다.
- [0010] [0010] 일부 실시예들에 따라, 광학적으로 투명한 재료는 중합체를 포함한다. 일부 실시예들에서, 광학적으로 투명한 재료는 포토레지스트를 포함한다. 일부 실시예들에서, 광학적으로 투명한 재료는 약 1.2 내지 약 2의 굴절률을 갖는다. 일부 실시예들에서, 메타표면의 상단면으로부터 반사 방지 코팅의 상단면까지의 거리는 약 10nm 내지 약 1 마이크로미터이다. 일부 실시예들에서, 반사 방지 코팅은, 반사 방지 코팅을 포함하지 않는 실질적으로 유사한 메타표면에 의해 반사된 입사광의 양과 비교하여, 메타표면에 의해 반사되는 입사광의 양을 약 50%보다 더 많이 감소시킨다. 일부 실시예들에서, 입사광은 약  $-50^{\circ}$  내지  $50^{\circ}$ 의 입사각을 갖는다.
- [0011] [0011] 또 다른 실시예들에서, 메타표면 상에 반사 방지 코팅을 형성하기 위한 방법이 제공된다. 일부 실시예들에서, 방법은 메타표면을 포함하는 광학적으로 투과성 기판을 제공하는 단계 — 메타표면은 복수의 나노구조물들을 포함함 —, 복수의 나노구조물들 위에 광학적으로 투명한 재료의 층을 증착시키는 단계를 포함하고, 광학적으로 투명한 재료의 층은 반사 방지 코팅을 형성한다.
- [0012] [0012] 일부 실시예들에 따라, 광학적으로 투명한 재료는 중합체를 포함한다. 일부 실시예들에서, 광학적으로 투명한 재료는 포토레지스트를 포함한다. 일부 실시예들에서, 나노구조물들의 상단면으로부터 형성된 반사 방지 코팅의 상단면까지의 거리는 약 10nm 내지 약 1 마이크로미터이다. 일부 실시예들에서, 광학적으로 투명한 재료를 컨포멀하게 증착시키는 단계는 나노구조물들 위에 광학적으로 투명한 재료를 스핀 코팅(spin coating)하는 단계를 포함한다. 일부 실시예들에서, 광학적으로 투명한 재료를 컨포멀하게 증착시키는 단계는 CVD(chemical vapor deposition) 프로세스를 수행하는 단계를 포함한다.
- [0013] [0013] 다양한 부가적인 실시예들이 아래에 제공된다.
- [0014] [0014] 1. 광학 시스템으로서,
- [0015] 광학적으로 투과성 기판;
- [0016] 기판 위에 놓인 메타표면 — 메타표면은 복수의 나노구조물들을 포함함 —; 및
- [0017] 메타표면의 나노구조물들 위에 컨포멀하게 배치된 광학적으로 투명한 재료를 포함하는 반사 방지 코팅을 포함하고,
- [0018] 광학적으로 투명한 재료는 나노구조물들의 굴절률 미만의 굴절률을 갖는다.
- [0019] [0015] 2. 제1 실시예의 광학 시스템에 있어서, 반사 방지 코팅은 간섭 코팅이다.

- [0020] [0016] 3. 제1 실시예의 광학 시스템에 있어서, 메타표면은 회절 격자를 포함한다.
- [0021] [0017] 4. 제3 실시예의 광학 시스템에 있어서, 메타표면은 비대칭 회절 격자를 포함한다.
- [0022] [0018] 5. 제1 실시예 내지 제3 실시예 중 어느 한 실시예의 광학 시스템에 있어서, 메타표면은 PBOE(Pancharatnam-Berry phase optical element)를 포함한다.
- [0023] [0019] 6. 제1 실시예의 광학 시스템에 있어서, 메타표면은 다중-계층 나노구조물들을 포함한다.
- [0024] [0020] 7. 제1 실시예 내지 제6 실시예 중 어느 한 실시예의 광학 시스템에 있어서, 광학적으로 투명한 재료는 중합체를 포함한다.
- [0025] [0021] 8. 제7 실시예의 광학 시스템에 있어서, 광학적으로 투명한 재료는 포토레지스트를 포함한다.
- [0026] [0022] 9. 제1 실시예 내지 제8 실시예 중 어느 한 실시예의 광학 시스템에 있어서, 광학적으로 투명한 재료는 약 1.2 내지 약 2의 굴절률을 갖는다.
- [0027] [0023] 10. 제1 실시예 내지 제9 실시예 중 어느 한 실시예의 광학 시스템에 있어서, 나노구조물들의 상단면으로부터 반사 방지 코팅의 상단면까지의 거리는 약 10nm 내지 약 1 마이크로미터이다.
- [0028] [0024] 11. 제10 실시예의 광학 시스템에 있어서, 나노구조물들의 상단면으로부터 반사 방지 코팅의 상단면까지의 거리는 약 30nm 내지 약 250nm이다.
- [0029] [0025] 12. 제1 실시예 내지 제11 실시예 중 어느 한 실시예의 광학 시스템에 있어서, 반사 방지 코팅은 나노구조물들 사이에서 그리고 위에서 연장되는 평탄화 층을 형성한다.
- [0030] [0026] 13. 광학 시스템으로서,
- [0031] 메타표면을 포함하는 광학 엘리먼트를 위한 반사 방지 코팅을 포함하고,
- [0032] 반사 방지 코팅은,
- [0033] 1보다 더 크고, 메타표면을 포함하는 재료의 굴절률 미만인 굴절률을 갖는 광학적으로 투명한 재료의 층을 포함하고,
- [0034] 중합체 재료의 층은 메타표면 위에 컨포멀하게 배치된다.
- [0035] [0027] 14. 제13 실시예의 광학 시스템에 있어서, 광학적으로 투명한 재료는 중합체를 포함한다.
- [0036] [0028] 15. 제14 실시예의 광학 시스템에 있어서, 광학적으로 투명한 재료는 포토레지스트를 포함한다.
- [0037] [0029] 16. 제13 실시예 내지 제15 실시예 중 어느 한 실시예의 광학 시스템에 있어서, 광학적으로 투명한 재료는 약 1.2 내지 약 2의 굴절률을 갖는다.
- [0038] [0030] 17. 제13 실시예 내지 제16 실시예 중 어느 한 실시예의 광학 시스템에 있어서, 메타표면의 상단면으로부터 반사 방지 코팅의 상단면까지의 거리는 약 10nm 내지 약 1 마이크로미터이다.
- [0039] [0031] 18. 제13 실시예 내지 제17 실시예 중 어느 한 실시예의 광학 시스템에 있어서, 반사 방지 코팅은, 반사 방지 코팅을 포함하지 않는 실질적으로 유사한 메타표면에 의해 반사된 입사광의 양과 비교하여, 메타표면에 의해 반사되는 입사광의 양을 약 50%보다 더 많이 감소시킨다.
- [0040] [0032] 19. 제18 실시예의 광학 시스템에 있어서, 입사광은 약  $-20^{\circ}$  내지  $20^{\circ}$ 의 입사각을 갖는다.
- [0041] [0033] 20. 메타표면 상에 반사 방지 코팅을 형성하기 위한 방법으로서,
- [0042] 메타표면을 포함하는 광학적으로 투과성 기판을 제공하는 단계 — 메타표면은 복수의 나노구조물들을 포함함 — ;
- [0043] 복수의 나노구조물들 위에 광학적으로 투명한 재료의 층을 증착시키는 단계를 포함하고,
- [0044] 광학적으로 투명한 재료의 층은 반사 방지 코팅을 형성한다.
- [0045] [0034] 21. 제20 실시예의 방법에 있어서, 광학적으로 투명한 재료는 중합체를 포함한다.
- [0046] [0035] 22. 제21 실시예의 방법에 있어서, 광학적으로 투명한 재료는 포토레지스트를 포함한다.



- [0047] [0036] 23. 제20 실시예 내지 제22 실시예 중 어느 한 실시예의 방법에 있어서, 나노구조물들의 상단면으로부터 형성된 반사 방지 코팅의 상단면까지의 거리는 약 10nm 내지 약 1 마이크로이다.
- [0048] [0037] 24. 제20 실시예 내지 제23 실시예 중 어느 한 실시예의 방법에 있어서, 광학적으로 투명한 재료를 컨포멀하게 증착시키는 단계는 나노구조물들 위에 광학적으로 투명한 재료를 스핀 코팅하는 단계를 포함한다.
- [0049] [0038] 25. 제20 실시예 내지 제23 실시예 중 어느 한 실시예의 방법에 있어서, 광학적으로 투명한 재료를 컨포멀하게 증착시키는 단계는 CVD(chemical vapor deposition) 프로세스를 수행하는 단계를 포함한다.

### 도면의 간단한 설명

- [0050] [0039] 도 1은 AR(augmented reality) 디바이스를 통한 AR의 사용자의 뷰를 예시한다.
- [0040] 도 2는 웨어러블 디스플레이 시스템의 예를 예시한다.
- [0041] 도 3은 사용자에게 대한 3차원 이미저리(imagery)를 시뮬레이팅하기 위한 종래의 디스플레이 시스템을 예시한다.
- [0042] 도 4는 다수의 깊이 평면들을 사용하여 3차원 이미저리를 시뮬레이팅하기 위한 접근법의 양상들을 예시한다.
- [0043] 도 5a-5c는 곡률의 반경과 초점 반경 사이의 관계들을 예시한다.
- [0044] 도 6은 이미지 정보를 사용자에게 출력하기 위한 도파관 스택(stack)의 예를 예시한다.
- [0045] 도 7은 도파관에 의해 출력된 출사(exit) 빔들의 예를 예시한다.
- [0046] 도 8은, 각각의 깊이 평면이 다수의 상이한 컴포넌트 컬러들을 사용하여 형성된 이미지들을 포함하는 스택된 도파관 어셈블리의 예를 예시한다.
- [0047] 도 9a는 인커플링 광학 엘리먼트를 각각 포함하는 스택된 도파관들의 세트의 예의 측단면도를 예시한다.
- [0048] 도 9b는 도 9a의 복수의 스택된 도파관들의 예의 사시도를 예시한다.
- [0049] 도 9c는 도 9a 및 9b의 복수의 스택된 도파관들의 예의 하향식 평면도를 예시한다.
- [0050] 도 10은 메타표면 및 반사 방지 코팅을 포함하는 예시적인 광학 구조물의 측단면도를 예시한다.
- [0051] 도 11a는 비대칭 PBOE(Pancharatnam-Berry Phase Optical Element)를 포함하는 예시적인 메타표면의 하향식 뷰를 예시한다.
- [0052] 도 11b는 상부 반사 방지 코팅을 갖는 도 11a의 메타표면의 사시도를 예시한다.
- [0053] 도 11c는 도 11a-11b에 도시된 일반적인 구조물을 갖는 광학 구조물에 대한 광의 입사각의 함수로써 투과 및 반사의 플롯이다.
- [0054] 도 12a는 비대칭 회절 격자 및 반사 방지 코팅을 포함하는 예시적인 메타표면의 단면 사시도를 예시한다.
- [0055] 도 12b는 도 12의 예시적인 메타표면 및 반사 방지 코팅의 측단면도를 예시한다.
- [0056] 도 12c는 도 12a-12b의 광학 구조물에 대한 투과 및 반사 스펙트럼의 플롯이다.
- [0057] 도 13a-13d는 일부 실시예들에 따른, 메타표면을 포함하는 예시적인 광학 구조물의 다양한 제조 단계들에서의 중간 구조물들의 단면도들이다.
- [0058] 도 14a-14d는 일부 다른 실시예들에 따른, 메타표면을 포함하는 예시적인 광학 엘리먼트의 다양한 제조 단계들에서의 중간 구조물들의 단면도들이다.
- [0059] 도 15는 컨포멀한 반사 방지 코팅을 갖는 메타표면의 측단면도를 예시한다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0051] [0060] 메타재료 표면들(metamaterial surfaces)로 또한 지칭되는 메타표면들(metasurfaces)은 기하학적 광학



기와 비교하여 훨씬 더 작은 스케일들로 사실상 평탄하고 수차가 없는 광학기(aberration-free optics)를 실현하기 위한 기회들을 제공한다. 이론에 의해 제한되지 않고서, 일부 실시예들에서, 메타표면들은, 공진 광학 안테나들로서 기능하는 표면 구조물들 또는 나노구조물들의 조밀한 어레이먼트들을 포함한다. 광-표면 구조물 상호 작용의 공진 특성은 광학 파면들을 조작하는 능력을 제공한다. 일부 경우들에, 메타표면들은 부피가 크거나 제조하기 어려운 광학 컴포넌트들을 간단한 패터닝 프로세스들에 의해 형성된 얇은 평면 엘리먼트들로 대체할 수 있게 한다.

[0052] [0061] 메타표면들로 형성된 광학 엘리먼트들이 반사 및/또는 투과 모드에서 기능할 수 있음이 인지될 것이다. 반사 모드에서, 메타표면은 원하는 각도들로 광을 반사시킬 수 있다. 투과 모드에서, 메타표면은 메타표면의 본체를 통해 광을 투과시키면서 또한 원하는 각도들로 그 광을 편향시킬 수 있다. 바람직하지 않게, 투과 모드에서 작동하는 메타표면들은 또한, 예컨대, 다른 재료들과의 계면들에서의 프레넬 반사들(Fresnel reflections)로 인해 입사광을 반사시킬 수 있다. 또한, 반사 모드에서 작동하는 메타표면들에 대해, 메타표면들이 광을 반사시키도록 구성된 각도들은 광이 계면들로부터 반사되는 각도들과 상이할 수 있다.

[0053] [0062] 바람직하지 않게, 메타표면들에 의한 의도하지 않은 반사들은 광학 아티팩트들을 발생시킬 수 있다. 예컨대, 메타표면들이 이미지 콘텐츠로 인코딩된 광(예컨대, 공간 광 변조기에 의해 수정된 광)을 지향시키기 위한 광학 엘리먼트들로서 사용되는 디스플레이 디바이스들에서, 사용자에게 도달하기 전에, 광학 경로를 따라 앞뒤로 광 중 일부의 반사로 인해, 반사들이 고스트 이미지들을 발생시킬 수 있다. 예컨대, 메타표면들은 광을 도파관에 인커플링하기 위한 인커플링 광학 엘리먼트들을 형성할 수 있으며, 이는 결국 이미지 콘텐츠를 사용자에게 출력하도록 구성된다. 이 광의 일부가 도파관에 인커플링되기보다는 반사되는 경우, 반사된 광은 광 투사기 또는 광원으로 다시 전파될 수 있고, 이어서 광 투사기 또는 광원은 도파관에 인커플링하기 위해 메타표면으로 다시 반사시키고, 궁극적으로 사용자에게 출력할 수 있다. 이러한 앞뒤 반사로 인해, 이전 비디오 이미지 프레임들로부터의 광은 광 인코딩 현재 이미지 프레임들과 함께 도파관에 제공될 수 있다. 광 인코딩 이전 이미지 프레임들은 디스플레이 디바이스의 이미지 품질을 감소시키는 고스트 이미지로서 사용자에게 보여질 수 있다.

[0054] [0063] 일부 실시예들에서, 반사 방지 코팅은 메타표면들로부터의 광의 반사를 감소 또는 제거할 수 있다. 반사 방지 코팅은 중합체 층, 예컨대, 포토레지스트의 층과 같은 광학적으로 투과성 재료 층으로 형성될 수 있다. 일부 실시예들에서, 메타표면과 반사 방지 코팅 사이에 어떠한 에어 또는 다른 재료도 존재하지 않을 수 있으며; 반사 방지 코팅은 메타표면과 직접 접촉할 수 있다. 반사 방지 코팅을 형성하는 재료는 메타표면의 나노구조물들의 굴절률보다 더 낮지만, 메타표면 반대편의 반사 방지 코팅과의 계면을 형성하는 재료 또는 매질(예컨대, 에어)의 굴절률보다 더 높은 굴절률을 가질 수 있다.

[0055] [0064] 일부 실시예들에서, 반사 방지 코팅은 간섭 코팅일 수 있고, 재료 층의 두께는 층의 상단면과 하단면으로부터 반사되는 광 사이에 상쇄적 간섭(destructive interference)을 제공하도록 선택된다. 바람직하게는, 층의 두께는 가시광 파장들에 대한 이러한 간섭을 제공하도록 선택된다. 일부 실시예들에서, 메타표면들은 복수의 컴포넌트 컬러들을 활용하는 컬러 디스플레이의 부분일 수 있다. 결과적으로, 특정 메타표면은 특정 컴포넌트 색상에 대응하는 연관된 제한된 범위의 파장들의 광에만 노출될 수 있으며, 반사 방지 코팅은 이러한 연관된 제한된 범위의 파장들을 갖는 광에 대한 간섭을 제공하도록 선택된 두께를 가질 수 있다.

[0056] [0065] 일부 실시예들에서, 반사 방지 코팅은 메타표면들을 형성하는 나노구조물들 위에 그리고 그 사이에 연장되고 나노구조물들의 평면 표면을 형성하는 평면 층일 수 있다. 이러한 평면 층은 유리하게는 광범위한 입사광의 각도들에 걸쳐 반사 방지 특성들을 제공할 수 있다. 일부 실시예들에서, 반사 방지 코팅은 메타표면들을 형성하는 나노구조물들의 표면들 상에 배치된 컨포멀 층일 수 있다. 컨포멀 층은 연속적이고, 다수의 나노구조물들 위에 그리고 그 사이에 연장될 수 있거나, 또는 나노구조물들 중 개별 나노구조물들 상에서 분리될 수 있다.

[0057] [0066] 유리하게는, 반사들의 감소는 고스트 이미지들과 같은 광학 효과들을 감소 또는 제거하고, 이로써 디스플레이 디바이스가 더 높은 지각되는 품질로 이미지들을 출력할 수 있게 한다. 일부 실시예들에서, 반사 방지 코팅은, 반사 방지 코팅이 없는 동일한 구조물에 비해, 메타표면에 의해 반사되는 광의 양을 약 50%, 75%, 85%, 90%, 95%, 99% 이상 감소시킬 수 있다. 반사 방지 코팅은, 반사들이 메타표면 설계의 부분이 아닌 투과 모드에서 동작하는 메타표면들에 특히 유리하게 적용될 수 있다.

[0058] [0067] 이제 도면들이 참조가 이루어질 것이고, 도면들에서 동일한 참조 번호들은 전반에 걸쳐 동일한 부분들을 나타낸다.

- [0059] [0068] 일부 실시예들에서, 유리하게는, 메타표면들은 AR 또는 VR 디스플레이 시스템들을 위한 디스플레이 디바이스들과 같은 디스플레이 디바이스들의 광학 엘리먼트들을 형성하도록 적용될 수 있다. 이러한 디스플레이 시스템들은 가상 콘텐츠를 사용자 또는 뷰어에게 디스플레이할 수 있고, AR 시스템들은 또한 사용자가 주변 환경으로부터의 광을 사용자의 눈들에 전송함으로써 그들 주변 세계를 볼 수 있게 할 수 있다. 바람직하게는, 이 가상 콘텐츠는, 이미지 정보를 사용자의 눈들에 투사하는, 예컨대, 안경류(eyewear)의 부분으로서, 웨어러블 머리-장착 디스플레이 상에 디스플레이된다. 본원에 사용된 바와 같이, "머리-장착" 디스플레이가 뷰어의 머리에 장착될 수 있는 디스플레이인 것이 인지될 것이다.
- [0060] [0069] 도 2는 웨어러블 디스플레이 시스템(80)의 예를 예시한다. 디스플레이 시스템(80)은 머리-장착 디스플레이(62), 및 그 디스플레이(62)의 기능을 지원하기 위한 다양한 기계적 및 전자적 모듈들 및 시스템들을 포함한다. 디스플레이(62)는, 디스플레이 시스템 사용자 또는 뷰어(60)에 의해 착용 가능하고 그리고 사용자(60)의 눈들의 전면에서 디스플레이(62)를 포지셔닝하도록 구성된 프레임(64)에 커플링될 수 있다. 디스플레이(62)는 일부 실시예들에서, 안경류로 간주될 수 있다. 일부 실시예들에서, 스피커(66)는 프레임(64)에 커플링되고 사용자(60)의 외이도(ear canal)에 인접하게 포지셔닝된다(일부 실시예들에서, 도시되지 않은 다른 스피커가 사용자의 다른 외이도에 인접하게 포지셔닝되어 스테레오/성형 가능(shapeable) 사운드 제어를 제공함). 일부 실시예들에서, 디스플레이 시스템은 또한 하나 이상의 마이크로폰들(67) 또는 사운드를 검출하기 위한 다른 디바이스들을 포함할 수 있다. 일부 실시예들에서, 마이크로폰은 사용자가 시스템(80)에 입력들 또는 커맨드들(예컨대, 음성 메뉴 커맨드들의 선택, 자연어 질문들 등)을 제공하도록 허용하게 구성되고, 그리고/또는 다른 사람들(예컨대, 유사한 디스플레이 시스템들의 다른 사용자들)과의 오디오 통신을 허용할 수 있다. 마이크로폰은 또한, 오디오 데이터를 계속해서 수집(예컨대, 사용자 및/또는 환경으로부터 수동적으로 수집)하기 위한 주변 센서로서 구성될 수 있다. 이러한 오디오 데이터는 거친 숨(heavy breathing)과 같은 사용자 사운드들, 또는 인근 이벤트를 나타내는 크게 울리는 소리(loud bang)와 같은 환경 사운드들을 포함할 수 있다. 디스플레이 시스템은 또한, 프레임(64)과 별개이고 사용자(60)의 신체(예컨대, 사용자(60)의 머리, 몸통, 손발(extremity) 등)에 부착될 수 있는 주변 센서(30a)를 포함할 수 있다. 주변 센서(30a)는, 본원에 추가로 설명되는 바와 같이, 일부 실시예들에서, 사용자(60)의 생리적 상태를 특징화하는 데이터를 획득하도록 구성될 수 있다. 예컨대, 센서(30a)는 전극일 수 있다.
- [0061] [0070] 도 2는 웨어러블 디스플레이 시스템(60)의 예를 예시한다. 디스플레이 시스템(60)은 디스플레이(70), 및 그 디스플레이(70)의 기능을 지원하기 위한 다양한 기계적 및 전자적 모듈들 및 시스템들을 포함한다. 디스플레이(70)는 디스플레이 시스템 사용자 또는 뷰어(90)에 의해 착용가능하고 그리고 사용자(90)의 눈들의 전면에서 디스플레이(70)를 포지셔닝하도록 구성된 프레임(80)에 커플링될 수 있다. 디스플레이(70)는 일부 실시예들에서 안경류로 고려될 수 있다. 일부 실시예들에서, 스피커(100)는 프레임(80)에 커플링되고 사용자(90)의 외이도에 인접하게 포지셔닝되도록 구성된다(일부 실시예들에서, 도시되지 않은 다른 스피커가 선택적으로 사용자의 다른 외이도에 인접하게 포지셔닝되어 스테레오/형상화가능 사운드 제어를 제공할 수 있음). 디스플레이 시스템은 또한 하나 이상의 마이크로폰들(110) 또는 사운드를 검출하기 위한 다른 디바이스들을 포함할 수 있다. 일부 실시예들에서, 마이크로폰은 사용자가 입력들 또는 커맨드들(예컨대, 음성 메뉴 커맨드들, 자연어 질문들 등의 선택)을 시스템(60)에 제공하게 하도록 구성되고 그리고/또는 다른 사람들(예컨대, 유사한 디스플레이 시스템들의 다른 사용자들)과 오디오 통신을 허용할 수 있다. 마이크로폰은 추가로 오디오 데이터(예컨대, 사용자 및/또는 환경으로부터의 사운드들)를 수집하도록 주변 센서로서 구성될 수 있다. 일부 실시예들에서, 디스플레이 시스템은 또한 주변 센서(120a)를 포함할 수 있고, 주변 센서(120a)는 프레임(80)으로부터 분리되고 사용자(90)의 몸체에(예컨대, 사용자(90)의 머리, 몸통, 손발 등 상에) 부착될 수 있다. 주변 센서(120a)는 일부 실시예들에서 사용자(90)의 생리학적 상태를 특징으로 하는 데이터를 획득하도록 구성될 수 있다. 예컨대, 센서(120a)는 전극일 수 있다.
- [0062] [0071] 도 2를 계속 참조하면, 디스플레이(70)는 다양한 구성들로 장착될 수 있는, 이를테면 프레임(80)에 고정되게 부착되거나, 사용자에게 의해 착용된 헬멧 또는 모자에 고정되게 부착되거나, 헤드폰들에 임베딩되거나, 그렇지 않으면 사용자(90)에게 제거가능하게 부착되는(예컨대, 백팩(backpack)-스타일 구성으로, 벨트-커플링 스타일 구성으로) 로컬 데이터 프로세싱 모듈(140)에, 통신 링크(130), 이를테면 유선 리드 또는 무선 연결성에 의해 동작가능하게 커플링된다. 유사하게, 센서(120a)는 통신 링크(120b), 예컨대 유선 리드 또는 무선 연결성에 의해 로컬 프로세서 및 데이터 모듈(140)에 동작가능하게 커플링될 수 있다. 로컬 프로세싱 및 데이터 모듈(140)은 하드웨어 프로세서뿐 아니라, 디지털 메모리 이를테면 비-휘발성 메모리(예컨대, 플래시 메모리 또는 하드 디스크 드라이브들)를 포함할 수 있고, 이 둘 모두는 데이터의 프로세싱, 캐싱(caching) 및 저장을 돕는

데 활용될 수 있다. 데이터는 a) (예컨대 프레임(80)에 동작가능하게 커플링되거나 그렇지 않으면 사용자(90)에게 부착될 수 있는) 센서들, 이를테면 이미지 캡처 디바이스들(이를테면 카메라들), 마이크로폰들, 관성 측정 유닛들, 가속도계들, 컴퍼스(compass)들, GPS 유닛들, 라디오 디바이스들, 자이로(gyro)들 및/또는 본원에 개시된 다른 센서들로부터 캡처되고; 그리고/또는 b) 원격 프로세싱 모듈(150) 및/또는 원격 데이터 저장소(160)를 사용하여 획득 및/또는 프로세싱되고, 그런 프로세싱 또는 리트리벌(retrieval) 후 가능하게 디스플레이(70)에 전달되는 데이터(가상 콘텐츠에 관련된 데이터를 포함함)를 포함한다. 로컬 프로세싱 및 데이터 모듈(140)은 통신 링크들(170, 180)에 의해, 이를테면 유선 또는 무선 통신 링크들을 통하여, 원격 프로세싱 모듈(150) 및 원격 데이터 저장소(160)에 동작가능하게 커플링될 수 있어서, 이들 원격 모듈들(150, 160)은 서로 동작가능하게 커플링되고 로컬 프로세싱 및 데이터 모듈(140)에 대한 리소스들로서 이용가능하다. 일부 실시예들에서, 로컬 프로세싱 및 데이터 모듈(140)은 이미지 캡처 디바이스들, 마이크로폰들, 관성 측정 유닛들, 가속도계들, 컴퍼스들, GPS 유닛들, 라디오 디바이스들 및/또는 자이로들 중 하나 이상을 포함할 수 있다. 일부 다른 실시예들에서, 이들 센서들 중 하나 이상은 프레임(80)에 부착될 수 있거나, 또는 유선 또는 무선 통신 경로들에 의해 로컬 프로세싱 및 데이터 모듈(140)과 통신하는 독립형 구조들일 수 있다.

[0063] [0072] 도 2를 계속 참조하면, 일부 실시예들에서, 원격 프로세싱 모듈(150)은 데이터 및/또는 이미지 정보를 분석 및 프로세싱하도록 구성된 하나 이상의 프로세서들을 포함할 수 있다. 일부 실시예들에서, 원격 데이터 저장소(160)는 "클라우드" 리소스 구성에서 인터넷 또는 다른 네트워킹 구성을 통하여 이용가능할 수 있는 디지털 데이터 저장 설비를 포함할 수 있다. 일부 실시예들에서, 원격 데이터 저장소(160)는 하나 이상의 원격 서버들을 포함할 수 있고, 상기 원격 서버들은 정보, 예컨대 증강 현실 콘텐츠를 생성하기 위한 정보를 로컬 프로세싱 및 데이터 모듈(140) 및/또는 원격 프로세싱 모듈(150)에 제공한다. 일부 실시예들에서, 모든 데이터는 저장되고 모든 컴퓨테이션(computation)들은 로컬 프로세싱 및 데이터 모듈에서 수행되는데, 이는 원격 모듈로부터 완전히 자율적인 사용을 허용한다.

[0064] [0073] 이제 도 3을 참조하면, "3차원" 또는 "3D"인 것으로서 이미지의 지각은 뷰어의 각각의 눈에 이미지의 약간 상이한 프리젠테이션들을 제공함으로써 달성될 수 있다. 도 3은 사용자에게 대한 3차원 이미저리(imagery)를 시뮬레이팅하기 위한 종래의 디스플레이 시스템을 예시한다. 2개의 별개의 이미지들(190, 200)(각각의 눈(210, 220)에 대해 하나씩)은 사용자에게 출력된다. 이미지들(190 및 200)은 뷰어의 시선과 평행한 광학 또는 z-축을 따라 거리(230) 만큼 눈들(210 및 220)로부터 이격된다. 이미지들(190 및 200)은 평탄하고 눈들(210 및 220)은 단일 원근조절된 상태를 취함으로써 이미지들 상에 포커싱할 수 있다. 그런 3D 디스플레이 시스템들은 결합된 이미지에 대한 깊이 및/또는 스케일(scale)의 지각을 제공하기 위해 이미지들(190, 200)을 결합하기 위한 인간 시각 시스템에 의존한다.

[0065] [0074] 그러나, 인간 시각 시스템이 더 복잡하고 깊이의 현실적인 지각을 제공하는 것이 더 난제라는 것이 인식될 것이다. 예컨대, 종래의 "3D" 디스플레이 시스템들의 많은 뷰어들은 그런 시스템들이 불편하다고 여기거나 깊이 감을 전혀 지각하지 못할 수 있다. 이론에 의해 제한되지 않고, 객체의 뷰어들이 이점운동 및 원근조절의 결합으로 인해 객체를 "3차원"인 것으로 지각할 수 있다는 것이 믿어진다. 서로에 대해 2개의 눈들의 이점운동 움직임들(즉, 객체 상에 고정시키도록 눈들의 시선들을 수렴하기 위하여 서로를 향해 또는 서로 멀어지게 동공이 움직이도록 하는 눈들의 회전)은 눈들의 렌즈들 및 동공들의 포커싱(또는 "원근조절")과 밀접하게 연관된다. 정상 조건들 하에서, 하나의 객체로부터 상이한 거리에 있는 다른 객체로 포커스를 변화시키기 위하여, 눈들의 렌즈들의 포커스를 변화시키거나, 또는 눈들의 원근을 조절하는 것은 "원근조절-이점운동 반사(accommodation-vergence reflex)"로서 알려진 관계 하에서, 동일한 거리로의 이점운동의 매칭 변화뿐 아니라 동공 팽창 또는 수축을 자동으로 유발할 것이다. 마찬가지로, 이점운동의 변화는 정상 조건들 하에서, 렌즈 형상 및 동공 사이즈의 원근 조절의 매칭 변화를 트리거할 것이다. 본원에서 주목된 바와 같이, 많은 입체적 또는 "3D" 디스플레이 시스템들은, 3차원 조망이 인간 시각 시스템에 의해 지각되도록 각각의 눈에 약간 상이한 프리젠테이션들(및, 따라서, 약간 상이한 이미지들)을 사용하여 장면을 디스플레이한다. 그러나, 그런 시스템들은 많은 뷰어들에게 불편한데, 그 이유는 여러 가지 것들 중에서, 그런 시스템들이 단순히 장면의 상이한 프리젠테이션들을 제공하지만, 눈들이 단일 원근조절된 상태에서 모든 이미지 정보를 보고, 그리고 "원근조절-이점운동 반사"에 대하여 작동하기 때문이다. 원근조절과 이점운동 사이의 더 양호한 매치를 제공하는 디스플레이 시스템들은 3차원 이미저리의 더 현실적이고 편안한 시뮬레이션들을 형성할 수 있다.

[0066] [0075] 도 4는 다수의 깊이 평면들을 사용하여 3차원 이미저리를 시뮬레이팅하기 위한 접근법의 양상들을 예시한다. 도 4를 참조하면, z-축 상에서 눈들(210 및 220)로부터 다양한 거리들에 있는 객체들은, 이들 객체들이 인 포커스(in focus)되도록 눈들(210, 220)에 의해 원근조절된다. 눈들(210 및 220)은 z-축을 따라 상이한 거



리들에 있는 객체들을 포커싱하기 위해 특정 원근조절된 상태들을 취한다. 결과적으로, 특정 원근조절된 상태는 연관된 초점 거리와 함께, 깊이 평면들(240) 중 특정 하나의 깊이 평면과 연관되는 것으로 말해질 수 있어서, 특정 깊이 평면의 객체들 또는 객체들의 부분들은, 눈이 그 깊이 평면에 대해 원근조절된 상태에 있을 때 인 포커싱된다. 일부 실시예들에서, 3차원 이미저리는 눈들(210, 220)의 각각에 대해 이미지의 상이한 프리젠테이션들을 제공함으로써, 그리고 또한 깊이 평면들 각각에 대응하는 이미지의 상이한 프리젠테이션들을 제공함으로써 시물레이팅될 수 있다. 예시의 명확성을 위해 별개인 것으로 도시되지만, 눈들(210, 220)의 시야들이 예컨대 z-축을 따른 거리가 증가함에 따라 오버랩할 수 있다는 것이 인식될 것이다. 게다가, 예시의 용이함을 위해 편평한 것으로 도시되지만, 깊이 평면의 윤곽들이 물리적 공간에서 휘어질 수 있어서, 예컨대, 깊이 평면 내의 모든 피쳐들이 특정 원근조절된 상태에서 눈과 인 포커싱되는 것이 인식될 것이다.

[0067] [0076] 객체와 눈(210 또는 220) 사이의 거리는 또한, 그 눈에 의해 보여지는 그 객체로부터의 광의 발산량을 변화시킬 수 있다. 도 5a-5c는 광선들의 거리와 발산 사이의 관계들을 예시한다. 객체와 눈(210) 사이의 거리는 감소하는 거리의 순서로 R1, R2 및 R3으로 표현된다. 도 5a-5c에 도시된 바와 같이, 광선들은, 객체에 대한 거리가 감소함에 따라 더 많이 발산하게 된다. 거리가 증가함에 따라, 광선들은 더 시준된다. 다른 말로 하면, 포인트(객체 또는 객체의 일부)에 의해 생성된 광 필드가 구체 파면 곡물을 갖는다고 말할 수 있으며, 구체 파면 곡물은, 그 포인트가 사용자의 눈으로부터 얼마나 멀리 떨어져 있는지의 함수이다. 곡물은 객체와 눈(210) 사이의 거리가 감소함에 따라 증가한다. 결과적으로, 상이한 깊이 평면들에서, 광선들의 발산 정도는 또한 상이하고, 발산 정도는, 깊이 평면들과 뷰어의 눈(210) 사이의 거리가 감소함에 따라 증가한다. 도 5a-5c 및 본원의 다른 도면들에서 예시의 명확성을 위해 단지 한쪽 눈(210)만이 예시되지만, 눈(210)에 대한 논의들이 뷰어의 양쪽 눈들(210 및 220)에 적용될 수 있다는 것이 인식될 것이다.

[0068] [0077] 이론에 의해 제한되지 않고, 인간 눈이 통상적으로 깊이 지각을 제공하기 위해 유한한 수의 깊이 평면들을 해석할 수 있다는 것이 믿어진다. 결과적으로, 지각된 깊이의 매우 믿을만한 시물레이션은, 눈에, 이들 제한된 수의 깊이 평면들 각각에 대응하는 이미지의 상이한 프리젠테이션들을 제공함으로써 달성될 수 있다. 상이한 프리젠테이션들은 뷰어의 눈들에 의해 별도로 포커싱될 수 있고, 이로써 상이한 깊이 평면 상에 위치한 장면들에 대해 상이한 이미지 피쳐들을 포커싱하게 하는데 요구되는 눈의 원근 조절에 기반하여 그리고/또는 포커싱에서 벗어난 상이한 깊이 평면들 상의 상이한 이미지 피쳐들을 관찰하는 것에 기반하여 사용자에게 깊이 단서들을 제공하는 것을 돕는다.

[0069] [0078] 도 6은 이미지 정보를 사용자에게 출력하기 위한 도파관 스택의 예를 예시한다. 디스플레이 시스템(250)은 복수의 도파관들(270, 280, 290, 300, 310)을 사용하여 3차원 지각을 눈/뇌에 제공하기 위해 활용될 수 있는 도파관들의 스택, 또는 스택된 도파관 어셈블리(260)를 포함한다. 일부 실시예들에서, 디스플레이 시스템(250)은 도 2의 시스템(60)이고, 도 6은 그 시스템(60)의 일부 부분들을 더 상세히 개략적으로 보여준다. 예컨대, 도파관 어셈블리(260)는 도 2의 디스플레이(70)의 부분일 수 있다. 디스플레이 시스템(250)이 일부 실시예들에서 광 필드 디스플레이로 고려될 수 있다는 것이 인식될 것이다.

[0070] [0079] 일부 실시예들에서, 단일 도파관은 단일 또는 제한된 수의 깊이 평면들에 대응하는 설정된 파면 발산량으로 광을 출력하도록 구성될 수 있고 그리고/또는 도파관은 제한된 범위의 파장들의 광을 출력하도록 구성될 수 있다. 결과적으로, 일부 실시예들에서, 복수의 또는 스택의 도파관들은 상이한 깊이 평면들에 대해 상이한 파면 발산량들을 제공하고 그리고/또는 상이한 범위들의 파장들의 광을 출력하는 데 활용될 수 있다. 본원에서 사용된 바와 같이, 깊이 평면이 평탄한 또는 만곡된 표면의 윤곽들을 따를 수 있다는 것이 인식될 것이다. 일부 실시예들에서, 유리하게도, 간략함을 위해, 깊이 평면들은 평탄한 표면들의 윤곽들을 따를 수 있다.

[0071] [0080] 도 6을 계속 참조하면, 도파관 어셈블리(260)는 또한 도파관들 사이에 복수의 피쳐들(320, 330, 340, 350)을 포함할 수 있다. 일부 실시예들에서, 피쳐들(320, 330, 340, 350)은 하나 이상의 렌즈들일 수 있다. 도파관들(270, 280, 290, 300, 310) 및/또는 복수의 렌즈들(320, 330, 340, 350)은 다양한 레벨들의 파면 곡물 또는 광선 발산으로 이미지 정보를 눈에 전송하도록 구성될 수 있다. 각각의 도파관 레벨은 특정 깊이 평면과 연관될 수 있고 그 깊이 평면에 대응하는 이미지 정보를 출력하도록 구성될 수 있다. 이미지 주입 디바이스들(360, 370, 380, 390, 400)은 도파관들에 대한 광원으로서 기능할 수 있고 이미지 정보를 도파관들에 주입하는 데 활용될 수 있고, 이 도파관들(270, 280, 290, 300, 310) 각각은, 본원에 설명된 바와 같이, 눈(210)을 향하여 출력하도록, 각각의 개별 도파관에 걸쳐 인입 광을 분배하도록 구성될 수 있다. 광은 이미지 주입 디바이스들(360, 370, 380, 390, 400)의 출력 표면(410, 420, 430, 440, 450)에서 출사하고 도파관들(270, 280, 290, 300, 310)의 대응하는 입력 표면(460, 470, 480, 490, 500)으로 주입된다. 일부 실시예들에서, 입력 표면들(460, 470, 480, 490, 500)의 각각은 대응하는 도파관의 에지일 수 있거나, 대응하는 도파관의 주 표면(즉, 세

계(510) 또는 뷰어의 눈(210)을 직접 향하는 도파관 표면들 중 하나)의 부분일 수 있다. 도파관의 대부분의 표면들이 도파관의 비교적 큰 영역 표면들 — 이들 사이에서 도파관의 두께가 연장됨 — 에 대응한다는 것이 인지될 것이다. 일부 실시예들에서, 광의 단일 빔(예컨대, 시준된 빔)은 특정 도파관과 연관된 깊이 평면에 대응하는 특정 각도들(및 발산량들)로 눈(210)을 향하여 지향되는 복제되고 시준된 빔들의 전체 필드를 출력하기 위해 각각의 도파관으로 주입될 수 있다. 일부 실시예들에서, 이미지 주입 디바이스들(360, 370, 380, 390, 400) 중 하나의 이미지 주입 디바이스는 복수(예컨대, 3개)의 도파관들(270, 280, 290, 300, 310)과 연관되어 이들에 광을 주입할 수 있다.

[0072] [0081] 일부 실시예들에서, 이미지 주입 디바이스들(360, 370, 380, 390, 400)은, 각각, 대응하는 도파관(270, 280, 290, 300, 310)으로의 주입을 위한 이미지 정보를 각각 생성하는 이산 디스플레이들이다. 일부 다른 실시예들에서, 이미지 주입 디바이스들(360, 370, 380, 390, 400)은 예컨대 이미지 정보를 하나 이상의 광학 도관들(이들테면, 광섬유 케이블들)을 통하여 이미지 주입 디바이스들(360, 370, 380, 390, 400)의 각각에 파이프(pipe)할 수 있는 단일 멀티플렉싱된 디스플레이의 출력단들이다. 이미지 주입 디바이스들(360, 370, 380, 390, 400)에 의해 제공된 이미지 정보가 상이한 파장들, 또는 컬러들(예컨대, 본원에 논의된 바와 같이, 상이한 컴포넌트 컬러들)의 광을 포함할 수 있다는 것이 인식될 것이다.

[0073] [0082] 일부 실시예들에서, 도파관들(270, 280, 290, 300, 310)로 주입된 광은 광 투사기 시스템(520)에 의해 제공되고, 광 투사기 시스템(520)은 광 방출기, 이들테면 LED(light emitting diode)를 포함할 수 있는 광 모듈(530)을 포함한다. 광 모듈(530)로부터의 광은 빔 분할기(550)를 통해 광 변조기(540), 예컨대 공간 광 변조기로 지향되어 이에 의해 수정될 수 있다. 광 변조기(540)는, 이미지 정보로 광을 인코딩하기 위해, 도파관들(270, 280, 290, 300, 310)로 주입된 광의 지각된 세기를 변화시키도록 구성될 수 있다. 공간 광 변조기들의 예들은 LCOS(liquid crystal on silicon) 디스플레이들을 포함하는 LCD(liquid crystal displays)를 포함한다. 이미지 주입 디바이스들(360, 370, 380, 390, 400)이 개략적으로 예시되고 그리고 일부 실시예들에서, 이들 이미지 주입 디바이스들이, 광을 도파관들(270, 280, 290, 300, 310) 중 연관된 도파관들로 출력하도록 구성된 공통 투사 시스템의 상이한 광 경로를 및 위치들을 나타낼 수 있다는 것이 인식될 것이다. 일부 실시예들에서, 도파관 어셈블리(260)의 도파관들은, 도파관들에 주입된 광을 사용자의 눈들로 중계하면서, 이상적인 렌즈로서 기능할 수 있다. 이러한 개념에서, 객체는 공간 광 변조기(540)일 수 있고, 이미지는 깊이 평면 상의 이미지일 수 있다.

[0074] [0083] 일부 실시예들에서, 디스플레이 시스템(250)은 다양한 패턴들(예컨대, 래스터(raster) 스캔, 나선형 스캔, 리사주(Lissajous) 패턴들 등)의 광을 하나 이상의 도파관들(270, 280, 290, 300, 310) 및 궁극적으로 뷰어의 눈(210)으로 투사하도록 구성된 하나 이상의 스캐닝 섬유들을 포함하는 스캐닝 섬유 디스플레이일 수 있다. 일부 실시예들에서, 예시된 이미지 주입 디바이스들(360, 370, 380, 390, 400)은 광을 하나 또는 복수의 도파관들(270, 280, 290, 300, 310)로 주입하도록 구성된 단일 스캐닝 섬유 또는 스캐닝 섬유들의 번들(bundle)을 개략적으로 나타낼 수 있다. 일부 다른 실시예들에서, 예시된 이미지 주입 디바이스들(360, 370, 380, 390, 400)은 복수의 스캐닝 섬유들 또는 복수의 스캐닝 섬유들의 번들들을 개략적으로 나타낼 수 있고, 상기 스캐닝 섬유들 각각은 도파관들(270, 280, 290, 300, 310) 중 연관된 도파관으로 광을 주입하도록 구성된다. 하나 이상의 광섬유들이 광 모듈(530)로부터의 광을 하나 이상의 도파관들(270, 280, 290, 300, 310)로 전송하도록 구성될 수 있다는 것이 인식될 것이다. 하나 이상의 개재 광학 구조들이 스캐닝 섬유, 또는 섬유들과 하나 이상의 도파관들(270, 280, 290, 300, 310) 사이에 제공되어, 예컨대 스캐닝 섬유를 출사하는 광을 하나 이상의 도파관들(270, 280, 290, 300, 310)로 방향전환시킬 수 있다는 것이 인식될 것이다.

[0075] [0084] 제어기(560)는 이미지 주입 디바이스들(360, 370, 380, 390, 400), 광원(530) 및 광 변조기(540)의 동작을 포함하여, 스택된 도파관 어셈블리(260) 중 하나 이상의 동작을 제어한다. 일부 실시예들에서, 제어기(560)는 로컬 데이터 프로세싱 모듈(140)의 부분이다. 제어기(560)는, 예컨대 본원에 개시된 다양한 방식들 중 임의의 방식에 따라, 도파관들(270, 280, 290, 300, 310)로의 이미지 정보의 타이밍 및 제공을 조절하는 프로그래밍(예컨대, 비-일시적 매체 내의 명령들)을 포함한다. 일부 실시예들에서, 제어기는 단일 통합 디바이스, 또는 유선 또는 무선 통신 채널들에 의해 연결되는 분산형 시스템일 수 있다. 제어기(560)는 일부 실시예들에서 프로세싱 모듈들(140 또는 150)(도 2)의 부분일 수 있다.

[0076] [0085] 도 6을 계속 참조하면, 도파관들(270, 280, 290, 300, 310)은 TIR(total internal reflection: 내부 전반사)에 의해 각각의 개별 도파관 내에서 광을 전파시키도록 구성될 수 있다. 도파관들(270, 280, 290, 300, 310)은 각각 주 상단면 및 주 하단면, 그리고 이들 주 상단면과 주 하단면 사이에서 연장되는 에지들을 가진 평면형일 수 있거나 다른 형상(예컨대, 곡선형)일 수 있다. 예시된 구성에서, 도파관들(270, 280, 290, 300,

310)은 각각, 이미지 정보를 눈(210)으로 출력하기 위해 각각의 개별 도파관 내에서 전파되는 광을 도파관 밖으로 방향전환시킴으로써 도파관 밖으로 광을 추출하도록 구성된 아웃커플링 광학 엘리먼트들(570, 580, 590, 600, 610)을 포함할 수 있다. 추출된 광은 또한 아웃커플링된 광이라 지칭될 수 있고 아웃커플링 광학 엘리먼트들은 또한 광 추출 광학 엘리먼트들이라 지칭될 수 있다. 추출된 광 빔은, 도파관 내에서 전파되는 광이 광 추출 광학 엘리먼트에 부딪치는 위치들에서 도파관에 의해 출력될 수 있다. 아웃커플링 광학 엘리먼트들(570, 580, 590, 600, 610)은 예컨대, 본원에서 추가로 논의된 바와 같이 회절 광학 피쳐들을 포함하는 격자들일 수 있다. 아웃커플링 광학 엘리먼트들(570, 580, 590, 600, 610)은, 설명의 용이함 및 도면 명확성을 위해 도파관들(270, 280, 290, 300, 310)의 하단 주 표면들에 배치된 것으로 예시되지만, 본원에서 추가로 논의된 바와 같이, 일부 실시예들에서는, 상단 및/또는 하단 주 표면들에 배치될 수 있고, 그리고/또는 도파관들(270, 280, 290, 300, 310)의 볼륨 내에 직접 배치될 수 있다. 일부 실시예들에서, 아웃커플링 광학 엘리먼트들(570, 580, 590, 600, 610)은 도파관들(270, 280, 290, 300, 310)을 형성하기 위해 투명 기관에 부착된 재료의 층으로 형성될 수 있다. 일부 다른 실시예들에서, 도파관들(270, 280, 290, 300, 310)은 모놀리식 재료 피스(piece)일 수 있고 아웃커플링 광학 엘리먼트들(570, 580, 590, 600, 610)은 그 재료 피스의 표면 상에 및/또는 내부에 형성될 수 있다.

[0077] [0086] 도 6을 계속 참조하면, 본원에 논의된 바와 같이, 각각의 도파관(270, 280, 290, 300, 310)은 특정 깊이 평면에 대응하는 이미지를 형성하기 위해 광을 출력하도록 구성된다. 예컨대, 눈에 가장 가까운 도파관(270)은, (그런 도파관(270)에 주입된) 시준된 광을 눈(210)에 전달하도록 구성될 수 있다. 시준된 광은 광학 무한대 초점 평면을 나타낼 수 있다. 위쪽(up) 다음 도파관(280)은, 시준된 광이 눈(210)에 도달할 수 있기 전에 제1 렌즈(350)(예컨대, 네거티브 렌즈)를 통과하는 시준된 광을 전송하도록 구성될 수 있고; 그런 제1 렌즈(350)는 약간 볼록한 파면 곡률을 생성하도록 구성될 수 있어서, 눈/너는 그 위쪽 다음 도파관(280)으로부터 오는 광을, 광학적 무한대로부터 눈(210)을 향하여 안쪽으로 더 가까운 제1 초점 평면으로부터 오는 것으로 해석한다. 유사하게, 위쪽 제3 도파관(290)은 눈(210)에 도달하기 전에 제1 렌즈(350) 및 제2 렌즈(340) 둘 모두를 통하여 자신의 출력 광을 통과시키고; 제1 렌즈(350) 및 제2 렌즈(340)의 결합된 광학 파워는 다른 증분 양의 파면 곡률을 생성하도록 구성될 수 있어서, 눈/너는 제3 도파관(290)으로부터 오는 광을, 위쪽 다음 도파관(280)으로부터의 광이기보다 광학적 무한대로부터 사람을 향하여 안쪽으로 훨씬 더 가까운 제2 초점 평면으로부터 오는 것으로 해석한다.

[0078] [0087] 다른 도파관 층들(300, 310) 및 렌즈들(330, 320)은 유사하게 구성되고, 스택 내 가장 높은 도파관(310)은, 자신의 출력을, 사람과 가장 가까운 초점 평면을 대표하는 총(aggregate) 초점 파워에 대해 자신과 눈 사이의 렌즈들 모두를 통하여 전송한다. 스택된 도파관 어셈블리(260)의 다른 측부 상에서 세계(510)로부터 오는 광을 보고/해석할 때 렌즈들(320, 330, 340, 350)의 스택을 보상하기 위하여, 보상 렌즈 층(620)이 아래쪽 렌즈 스택(320, 330, 340, 350)의 총 파워를 보상하기 위해 스택의 상단에 배치될 수 있다. 그런 구성은 이용 가능한 도파관/렌즈 페어링들이 존재하는 만큼 많은 지각되는 초점 평면들을 제공한다. 도파관들의 아웃커플링 광학 엘리먼트들과 렌즈들의 포커싱 양상들 둘 모두는 정적(즉, 동적이거나 전자-활성이지 않음)일 수 있다. 일부 대안적인 실시예들에서, 어느 하나 또는 둘 모두는 전자-활성 피쳐들을 사용하여 동적일 수 있다.

[0079] [0088] 일부 실시예들에서, 도파관들(270, 280, 290, 300, 310) 중 2개 이상은 동일한 연관된 깊이 평면을 가질 수 있다. 예컨대, 다수의 도파관들(270, 280, 290, 300, 310)은 이미지들 세트를 동일한 깊이 평면에 출력하도록 구성될 수 있거나, 또는 도파관들(270, 280, 290, 300, 310)의 다수의 서브세트들은 이미지들 세트를, 각각의 깊이 평면에 대해 하나의 세트로, 동일한 복수의 깊이 평면들에 출력하도록 구성될 수 있다. 이것은 이들 깊이 평면들에 확장된 시야를 제공하기 위해 타일화된(tiled) 이미지를 형성하는 장점들을 제공할 수 있다.

[0080] [0089] 도 6을 계속 참조하면, 아웃커플링 광학 엘리먼트들(570, 580, 590, 600, 610)은 자신의 개별 도파관들로부터 광을 방향전환시키는 것 및 도파관과 연관된 특정 깊이 평면에 대해 적절한 양의 발산 또는 시준으로 이 광을 출력하는 것 둘 모두를 수행하도록 구성될 수 있다. 결과적으로, 상이한 연관된 깊이 평면들을 가진 도파관들은 상이한 구성들의 아웃커플링 광학 엘리먼트들(570, 580, 590, 600, 610)을 가질 수 있고, 아웃커플링 광학 엘리먼트들(570, 580, 590, 600, 610)은 연관된 깊이 평면에 따라 상이한 발산 양으로 광을 출력한다. 일부 실시예들에서, 광 추출 광학 엘리먼트들(570, 580, 590, 600, 610)은 특정 각도들에서 광을 출력하도록 구성될 수 있는 볼류메트릭(volumetric) 또는 표면 피쳐들일 수 있다. 예컨대, 광 추출 광학 엘리먼트들(570, 580, 590, 600, 610)은 볼륨 홀로그램들, 표면 홀로그램들, 및/또는 회절 격자들일 수 있다. 일부 실시예들에서, 피쳐들(320, 330, 340, 350)은 렌즈들이 아닐 수 있고; 오히려, 이들은 단순히 스페이서들(예컨대, 공기 갭들을 형성하기 위한 구조들 및/또는 클래딩(cladding) 층들)일 수 있다.



- [0081] [0090] 일부 실시예들에서, 아웃커플링 광학 엘리먼트들(570, 580, 590, 600, 610)은 "회절 광학 엘리먼트"(또한 본원에서 "DOE"로서 지칭됨) 또는 회절 패턴을 형성하는 회절 피쳐들이다. 바람직하게, DOE들은 충분히 낮은 회절 효율성을 가져서, 빔의 광의 일부만이 DOE의 각각의 교차에 의해 눈(210)을 향하여 편향되지만, 나머지는 TIR을 통하여 도파관을 통해 계속 이동한다. 따라서, 이미지 정보를 운반하는 광은 다수의 위치들에서 도파관을 출사하는 다수의 관련된 출사 빔들로 분할되고, 그 결과는 도파관 내에서 이리저리 바운싱(bouncing)되는 이런 특정 시준된 빔에 대해 눈(210)을 향하여 상당히 균일한 출사 방출 패턴이다.
- [0082] [0091] 일부 실시예들에서, 하나 이상의 DOE들은, 이들이 활발하게 회절하는 "온" 상태들과 이들이 현저하게 회절하지 않는 "오프" 상태들 사이에서 스위칭가능할 수 있다. 예컨대, 스위칭가능 DOE는, 마이크로액적(microdroplet)들이 호스트 매질에 회절 패턴을 포함하는 폴리머 확산형 액정 층을 포함할 수 있고, 마이크로액적들의 굴절률은 호스트 재료의 굴절률에 실질적으로 매칭하도록 스위칭될 수 있거나(이 경우에 패턴은 입사 광을 뚜렷하게 회절시키지 않음) 또는 마이크로액적은 호스트 매질과 매칭하지 않는 인덱스(index)로 스위칭될 수 있다(이 경우 패턴은 입사 광을 활발하게 회절시킴).
- [0083] [0092] 일부 실시예들에서, 카메라 어셈블리(630)(예컨대, 가시 광 및 적외선 광 카메라들을 포함하는 디지털 카메라)는, 예컨대 사용자 입력들을 검출하고 그리고/또는 사용자의 생리학적 상태를 모니터링하도록 눈(210)의 이미지들 및/또는 눈(210) 주위의 조직을 캡처하기 위해 제공될 수 있다. 본원에서 사용된 바와 같이, 카메라는 이미지 캡처 디바이스일 수 있다. 일부 실시예들에서, 카메라 어셈블리(630)는 이미지 캡처 디바이스 및 눈에 광(예컨대, 적외선 광)을 투사하기 위한 광원을 포함할 수 있고, 이후 광은 눈에 의해 반사되고 이미지 캡처 디바이스에 의해 검출될 수 있다. 일부 실시예들에서, 카메라 어셈블리(630)는 프레임(80)에 부착될 수 있고 (도 2) 그리고 카메라 어셈블리(630)로부터의 이미지 정보를 프로세싱할 수 있는 프로세싱 모듈들(140 및/또는 150)과 전기적으로 통신할 수 있다. 일부 실시예들에서, 하나의 카메라 어셈블리(630)는 각각의 눈을 별개로 모니터링하기 위해 각각의 눈에 활용될 수 있다.
- [0084] [0093] 이제 도 7을 참조하면, 도파관에 의해 출력된 출사 빔들의 예가 도시한다. 하나의 도파관이 예시되지만, 도파관 어셈블리(260)(도 6)의 다른 도파관들이 유사하게 기능할 수 있고, 여기서 도파관 어셈블리(260)가 다수의 도파관들을 포함한다는 것이 인식될 것이다. 광(640)은 도파관(270)의 입력 표면(460)에서 도파관(270)으로 주입되고 TIR에 의해 도파관(270) 내에서 전파된다. 광(640)이 DOE(570) 상에 충돌하는 포인트들에서, 광의 일부는 출사 빔들(650)로서 도파관을 출사한다. 출사 빔들(650)은 실질적으로 평행한 것으로 예시되지만, 본원에 논의된 바와 같이, 이들 출사 빔들(650)은 또한 도파관(270)과 연관된 깊이 평면에 따라, (예컨대, 발산하는 출사 빔들을 형성하는) 각도로 눈(210)으로 전파되도록 방향전환될 수 있다. 실질적으로 평행한 출사 빔들이 눈(210)으로부터 원 거리(예컨대, 광학 무한대)에 있는 깊이 평면 상에 세팅되는 것으로 보이는 이미지들을 형성하기 위해 광을 아웃커플링하는 아웃커플링 광학 엘리먼트들을 갖는 도파관을 나타낼 수 있다는 것이 인식될 것이다. 다른 도파관들 또는 아웃커플링 광학 엘리먼트들의 다른 세트들은 더 발산하는 출사 빔 패턴을 출력할 수 있고, 이는 눈(210)이 망막 상의 포커스로 이동하도록 더 근 거리에 원근조절되는 것을 요구할 것이고 광학 무한대보다 눈(210)에 더 근 거리로부터의 광으로서 뇌에 의해 해석될 것이다.
- [0085] [0094] 일부 실시예들에서, 풀 컬러 이미지는 컴포넌트 컬러들, 예컨대 3개 이상의 컴포넌트 컬러들 각각에 이미지들을 오버레이함으로써 각각의 깊이 평면에 형성될 수 있다. 도 8은, 각각의 깊이 평면이 다수의 상이한 컴포넌트 컬러들을 사용하여 형성된 이미지들을 포함하는 스택된 도파관 어셈블리의 예를 예시한다. 비록 더 많거나 더 적은 깊이들이 또한 고려되지만, 예시된 실시예는 깊이 평면들(240a-240f)을 도시한다. 각각의 깊이 평면은, 제1 컬러(G)의 제1 이미지; 제2 컬러(R)의 제2 이미지; 및 제3 컬러(B)의 제3 이미지를 포함하여, 자신과 연관된 3개 이상과의 컴포넌트 컬러 이미지들을 가질 수 있다. 상이한 깊이 평면들은 문자들 G, R 및 B 다음에 디오퍼터(dpt)에 대한 상이한 숫자들로 도면에 표시된다. 단지 예들로서, 이들 문자들 각각 다음의 숫자들은 디오퍼터들(1/m), 또는 뷰어로부터 깊이 평면의 역거리(inverse distance)를 표시하고, 도면들에서 각각의 박스는 개별 컴포넌트 컬러 이미지를 나타낸다. 일부 실시예들에서, 상이한 파장들의 광의 눈의 포커싱의 차이들을 고려하기 위해, 상이한 컴포넌트 컬러들에 대해 깊이 평면들의 정확한 배치는 가변할 수 있다. 예컨대, 주어진 깊이 평면에 대해 상이한 컴포넌트 컬러 이미지들이 사용자로부터 상이한 거리들에 대응하는 깊이 평면들 상에 배치될 수 있다. 그런 어레이먼트는 시력 및 사용자 편안함을 증가시킬 수 있고 그리고/또는 색수차들을 감소시킬 수 있다.
- [0086] [0095] 일부 실시예들에서, 각각의 컴포넌트 컬러의 광은 단일 전용 도파관에 의해 출력될 수 있고, 결과적으로 각각의 깊이 평면은 자신과 연관된 다수의 도파관들을 가질 수 있다. 그런 실시예들에서, 도면들에서 문자들 G, R 또는 B를 포함하는 각각의 박스는 개별 도파관을 나타내는 것으로 이해될 수 있고, 그리고 깊이 평면당



3개의 도파관들이 제공될 수 있고, 여기서 깊이 평면당 3개의 컴포넌트 컬러 이미지들이 제공된다. 각각의 깊이가 평면과 연관된 도파관들이 설명의 용이함을 위해 이 도면에서 서로 인접하게 도시되지만, 물리적 디바이스에서, 도파관들 모두가 레벨당 하나의 도파관을 가진 스택으로 배열될 수 있다는 것이 인식될 것이다. 일부 다른 실시예들에서, 다수의 컴포넌트 컬러들은 동일한 도파관에 의해 출력될 수 있어서, 예컨대 깊이가 평면당 단일 도파관만이 제공될 수 있다.

[0087] [0096] 도 8을 계속 참조하면, 일부 실시예들에서, G는 녹색이고, R은 적색이고, 그리고 B는 청색이다. 일부 다른 실시예들에서, 자홍색 및 청록색을 포함하는, 광의 다른 파장들과 연관된 다른 컬러들은 적색, 녹색 또는 청색 중 하나 이상에 더하여 사용될 수 있거나 적색, 녹색 또는 청색 중 하나 이상을 대체할 수 있다.

[0088] [0097] 본 개시내용 전반에 걸쳐 광의 주어진 컬러에 대한 참조들이 그 주어진 컬러의 것으로서 뷰어에 의해 지각되는 광의 파장 범위 내의 하나 이상의 파장들의 광을 포함하는 것으로 이해될 것이라는 인식될 것이다. 예컨대, 적색 광은 약 620-780nm 범위의 하나 이상의 파장들의 광을 포함할 수 있고, 녹색 광은 약 492-577nm의 범위의 하나 이상의 파장들의 광을 포함할 수 있고, 그리고 청색 광은 약 435-493nm의 범위의 하나 이상의 파장들의 광을 포함할 수 있다.

[0089] [0098] 일부 실시예들에서, 광원(530)(도 6)은 뷰어의 시각 지각 범위를 벗어난 하나 이상의 파장들, 예컨대 적외선 및/또는 자외선 파장들의 광을 방출하도록 구성될 수 있다. 게다가, 디스플레이(250)의 도파관들의 인커플링, 아웃커플링 및 다른 광 방향전환 구조들은, 예컨대 이미징 및/또는 사용자 시뮬레이션 애플리케이션들을 위해, 디스플레이로부터의 이런 광을 사용자의 눈(210)을 향해 지향시키고 방출하도록 구성될 수 있다.

[0090] [0099] 이제 도 9a를 참조하면, 일부 실시예들에서, 도파관 상에 충돌하는 광은 도파관에 그 광을 인커플링하기 위해 방향전환될 필요가 있을 수 있다. 인커플링 광학 엘리먼트는 자신의 대응하는 도파관으로 광을 방향전환시키고 인커플링하는 데 사용될 수 있다. 도 9a는 인커플링 광학 엘리먼트를 각각 포함하는 복수의 스택된 도파관들 또는 스택된 도파관들의 세트(660)의 예의 측면도를 예시한다. 도파관들은 하나 이상의 상이한 파장들, 또는 하나 이상의 상이한 범위들의 파장들의 광을 출력하도록 각각 구성될 수 있다. 이미지 주입 디바이스들(360, 370, 380, 390, 400) 중 하나 이상으로부터의 광이 인커플링을 위해 광이 방향전환되기를 요구하는 포지션으로부터 도파관들로 주입되는 것을 제외하고, 스택(660)이 스택(260)(도 6)에 대응할 수 있고 스택(660)의 예시된 도파관들이 복수의 도파관들(270, 280, 290, 300, 310)의 부분에 대응할 수 있다는 것이 인식될 것이다.

[0091] [0100] 스택된 도파관들의 예시된 세트(660)는 도파관들(670, 680 및 690)을 포함한다. 각각의 도파관은, 예컨대 도파관(670)의 주 표면(예컨대, 상부 주 표면) 상에 배치된 인커플링 광학 엘리먼트(700), 도파관(680)의 주 표면(예컨대, 상부 주 표면) 상에 배치된 인커플링 광학 엘리먼트(710), 및 도파관(690)의 주 표면(예컨대, 상부 주 표면) 상에 배치된 인커플링 광학 엘리먼트(720)를 가진 연관된 인커플링 광학 엘리먼트(도파관 상의 광 입력 영역으로 또한 지칭될 수 있음)를 포함한다. 일부 실시예들에서, 인커플링 광학 엘리먼트들(700, 710, 720) 중 하나 이상은 (특히 하나 이상의 인커플링 광학 엘리먼트들이 반사성, 편향 광학 엘리먼트들인 경우) 개별 도파관(670, 680, 690)의 하단 주 표면 상에 배치될 수 있다. 예시된 바와 같이, 인커플링 광학 엘리먼트들(700, 710, 720)은, 특히, 이들 인커플링 광학 엘리먼트들이 투과성, 편향 광학 엘리먼트들인 경우, 이들 개별 도파관(670, 680, 690)의 상부 주 표면(또는 그 다음의 하부 도파관의 상단) 상에 배치될 수 있다. 일부 실시예들에서, 인커플링 광학 엘리먼트들(700, 710, 720)은 개별 도파관(670, 680, 690)의 몸체에 배치될 수 있다. 일부 실시예들에서, 본원에 논의된 바와 같이, 인커플링 광학 엘리먼트들(700, 710, 720)은 파장 선택적이어서, 이들 인커플링 광학 엘리먼트들은 다른 파장들의 광을 투과시키면서 하나 이상의 파장들의 광을 선택적으로 방향전환시킨다. 인커플링 광학 엘리먼트들(700, 710, 720)이, 이들 개개의 도파관(670, 680, 690)의 일 측부 또는 모서리 상에 예시되지만, 일부 실시예들에서, 이들은, 그 개별 도파관(670, 680, 690)의 다른 영역들에 배치될 수 있다는 것이 인식될 것이다.

[0092] [0101] 예시된 바와 같이, 인커플링 광학 엘리먼트들(700, 710, 720)은 서로 측방향으로 오프셋될 수 있다. 일부 실시예들에서, 각각의 인커플링 광학 엘리먼트는 오프셋될 수 있어서, 각각의 인커플링 광학 엘리먼트는, 광이 다른 인커플링 광학 엘리먼트를 통과하지 않고 그 광을 수신한다. 예컨대, 각각의 인커플링 광학 엘리먼트(700, 710, 720)는 도 6에 도시된 바와 같이 상이한 이미지 주입 디바이스(360, 370, 380, 390 및 400)로부터 광을 수신하도록 구성될 수 있고, 그리고 실질적으로 인커플링 광학 엘리먼트들(700, 710, 720) 중 다른 인커플링 광학 엘리먼트들로부터 광을 수신하지 않도록 다른 인커플링 광학 엘리먼트들(700, 710, 720)로부터 분리(예컨대, 측방향으로 이격)될 수 있다.

- [0093] [0102] 각각의 도파관은 또한 예컨대, 도파관(670)의 주 표면(예컨대, 상단 주 표면) 상에 배치된 광 분배 엘리먼트들(730), 도파관(680)의 주 표면(예컨대, 상단 주 표면) 상에 배치된 광 분배 엘리먼트들(740), 및 도파관(690)의 주 표면(예컨대, 상단 주 표면) 상에 배치된 광 분배 엘리먼트들(750)을 가진 연관된 광 분배 엘리먼트들을 포함한다. 일부 다른 실시예들에서, 광 분배 엘리먼트들(730, 740, 750)은 각각 연관된 도파관들(670, 680, 690)의 하단 주 표면 상에 배치될 수 있다. 일부 다른 실시예들에서, 광 분배 엘리먼트들(730, 740, 750)은 각각 연관된 도파관들(670, 680, 690)의 상단 및 하단 주 표면 둘 모두 상에 배치될 수 있거나; 또는 광 분배 엘리먼트들(730, 740, 750)은 각각 상이한 연관된 도파관들(670, 680, 690)의 상단 및 하단 주 표면들 중 상이한 주 표면들 상에 배치될 수 있다.
- [0094] [0103] 도파관들(670, 680, 690)은 예컨대, 가스, 액체 및/또는 고체 재료 층들에 의해 이격되고 분리될 수 있다. 예컨대, 예시된 바와 같이, 층(760a)은 도파관들(670 및 680)을 분리할 수 있고; 그리고 층(760b)은 도파관들(680 및 690)을 분리할 수 있다. 일부 실시예들에서, 층들(760a 및 760b)은 낮은 굴절률 재료들(즉, 도파관들(670, 680, 690) 중 바로 인접한 도파관을 형성하는 재료보다 더 낮은 굴절률을 가진 재료들)로 형성된다. 바람직하게, 층들(760a, 760b)을 형성하는 재료의 굴절률은 도파관들(670, 680, 690)을 형성하는 재료의 굴절률보다 0.05 이상, 또는 0.10 이하이다. 유리하게, 더 낮은 굴절률 층들(760a, 760b)은 도파관들(670, 680, 690)을 통해 광의 내부 전반사(TIR)(예컨대, 각각의 도파관의 상단 주 표면과 하단 주 표면 사이의 TIR)를 가능하게 하는 클래딩 층들로서 기능할 수 있다. 일부 실시예들에서, 층들(760a, 760b)은 공기로 형성된다. 예시되지 않았지만, 도파관들의 예시된 세트(660)의 상단 및 하단이 바로 이웃하는 클래딩 층들을 포함할 수 있다는 것이 인식될 것이다.
- [0095] [0104] 바람직하게, 제조의 용이함 및 다른 고려 사항들 때문에, 도파관들(670, 680, 690)을 형성하는 재료는 유사하거나 동일하고, 층들(760a, 760b)을 형성하는 재료는 유사하거나 동일하다. 일부 실시예들에서, 도파관들(670, 680, 690)을 형성하는 재료는 하나 이상의 도파관들 사이에서 상이할 수 있고, 그리고/또는 층들(760a, 760b)을 형성하는 재료는 상이하지만, 위에서 주목된 다양한 굴절률 관계들을 여전히 유지할 수 있다.
- [0096] [0105] 도 9a를 계속 참조하면, 광선들(770, 780, 790)은 도파관들의 세트(660) 상에 입사한다. 광선들(770, 780, 790)이 하나 이상의 이미지 주입 디바이스들(360, 370, 380, 390, 400)(도 6)에 의해 도파관들(670, 680, 690)로 주입될 수 있다는 것이 인식될 것이다.
- [0097] [0106] 일부 실시예들에서, 광선들(770, 780, 790)은 상이한 특성들, 예컨대 상이한 컬러들에 대응할 수 있는 상이한 파장들 또는 상이한 범위들의 파장들을 가진다. 인커플링 광학 엘리먼트들(700, 710, 720) 각각은 입사광을 편향시켜, 광은 TIR에 의해 도파관들(670, 680, 690) 중 각 도파관을 통해 전파된다. 일부 실시예들에서, 인커플링 광학 엘리먼트들(700, 710, 720) 각각은, 하나 이상의 특정 파장들의 광을 선택적으로 편향시키지만, 다른 파장들을 아래 놓인 도파관 및 연관된 인커플링 광학 엘리먼트로 투과시킨다.
- [0098] [0107] 예컨대, 인커플링 광학 엘리먼트(700)는, 제1 파장 또는 파장들의 범위를 가진 광선(770)을 편향시키지만, 각각 상이한 제2 및 제3 파장들 또는 파장들의 범위들을 가진 광선들(780 및 790)을 투과시키도록 구성될 수 있다. 투과된 광선(780)은 제2 파장 또는 파장들의 범위의 광을 편향시키도록 구성된 인커플링 광학 엘리먼트(710)에 충돌하여 이에 의해 편향된다. 광선(790)은 제3 파장 또는 파장들의 범위의 광을 선택적으로 편향시키도록 구성된 인커플링 광학 엘리먼트(720)에 의해 편향된다.
- [0099] [0108] 도 9a를 계속 참조하면, 편향된 광선들(770, 780, 790)은, 그들이 대응하는 도파관(670, 680, 690)을 통해 전파되도록 편향된다; 즉, 각각의 도파관의 인커플링 광학 엘리먼트들(700, 710, 720)은 광을 그 대응하는 도파관(670, 680, 690)에 인커플링하기 위해 광을 그 대응하는 도파관으로 편향시킨다. 광선들(770, 780, 790)은 광이 TIR에 의해 개별 도파관(670, 680, 690)을 통해 전파되게 하는 각도들로 편향된다. 광선들(770, 780, 790)은, 도파관의 대응하는 광 분배 엘리먼트들(730, 740, 750) 상에 충돌할 때까지 TIR에 의해 개별 도파관(670, 680, 690)을 통해 전파된다.
- [0100] [0109] 이제 도 9b를 참조하면, 도 9a의 복수의 스택된 도파관들의 예의 사시도가 예시된다. 위에서 주목된 바와 같이, 인커플링된 광선들(770, 780, 790)은 각각 인커플링 광학 엘리먼트들(700, 710, 720)에 의해 편향되고, 이어서 각각 도파관들(670, 680, 690) 내에서 TIR에 의해 전파된다. 이어서, 광선들(770, 780, 790)은 각각 광 분배 엘리먼트들(730, 740, 750) 상에 충돌한다. 광 분배 엘리먼트들(730, 740, 750)은 광선들(770, 780, 790)을 편향시켜, 이들 광선들(770, 780, 790)은 각각 아웃커플링 광학 엘리먼트들(800, 810, 820)을 향해 전파된다.

- [0101] [0110] 일부 실시예들에서, 광 분배 엘리먼트들(730, 740, 750)은 OPE(orthogonal pupil expander)들이다. 일부 실시예들에서, OPE들은, 광을 아웃커플링 광학 엘리먼트들(800, 810, 820)로 편향 또는 분배하고, 그리고 일부 실시예들에서, 광이 아웃커플링 광학 엘리먼트들로 전파될 때 이 광의 빔 또는 스폿(spot) 사이즈를 또한 증가시킬 수 있다. 일부 실시예들에서, 광 분배 엘리먼트들(730, 740, 750)은 생략될 수 있고 인커플링 광학 엘리먼트들(700, 710, 720)은 광을 직접 아웃커플링 광학 엘리먼트들(800, 810, 820)로 편향시키도록 구성될 수 있다. 예컨대, 도 9a를 참조하면, 광 분배 엘리먼트들(730, 740, 750)은 각각 아웃커플링 광학 엘리먼트들(800, 810, 820)로 대체될 수 있다. 일부 실시예들에서, 아웃커플링 광학 엘리먼트들(800, 810, 820)은 뷰어의 눈(210)(도 7)으로 광을 지향시키는 EP(exit pupil)들 또는 EPE(exit pupil expander)들이다. OPE들이 적어도 하나의 축에서 눈 박스의 치수들을 증가시키도록 구성될 수 있고 EPE들이 OPE들의 축을 교차하는, 예컨대 수직하는 축에서 눈 박스를 증가시킬 수 있다는 것이 인식될 것이다. 예컨대, 각각의 OPE는, OPE를 가격하는 광의 일부를 동일한 도파관의 EPE로 방향전환시키면서, 광의 나머지 부분이 도파관 아래로 계속 전파되는 것을 허용하도록 구성될 수 있다. 다시 OPE에 충돌할 때, 나머지 광의 다른 부분은 EPE로 방향전환되고, 그리고 그 부분의 나머지 부분은 도파관 아래로 추가로 계속 전파되는 식이다. 유사하게, EPE를 가격할 때, 충돌 광의 일부는 도파관으로부터 사용자를 향해 지향되고, 그리고 그 광의 나머지 부분은, 다시 EP를 가격할 때까지 도파관을 통해 계속 전파되고, 이때 충돌 광의 다른 부분은 도파관의 밖으로 지향되는 식이다. 결과적으로, 인커플링된 광의 단일 빔은, 그 광의 일부가 OPE 또는 EPE에 의해 방향전환될 때마다 "복제"될 수 있고, 이에 의해 도 6에 도시된 바와 같이, 복제된 광 빔들의 필드가 형성된다. 일부 실시예들에서, OPE 및/또는 EPE는 광 빔들의 사이즈를 수정하도록 구성될 수 있다.
- [0102] [0111] 따라서, 도 9a 및 9b를 참조하면, 일부 실시예들에서, 도파관들의 세트(660)는 도파관들(670, 680, 690); 인커플링 광학 엘리먼트들(700, 710, 720); 광 분배 엘리먼트들(예컨대, OPE들)(730, 740, 750); 및 각각의 컴포넌트 컬러에 대한 아웃커플링 광학 엘리먼트들(예컨대, EP들)(800, 810, 820)을 포함한다. 도파관들(670, 680, 690)은 서로의 사이의 공기 갭/클래딩 층과 함께 스택될 수 있다. 인커플링 광학 엘리먼트들(700, 710, 720)은 입사 광을 (상이한 파장들의 광을 수신하는 상이한 인커플링 광학 엘리먼트들을 사용하여) 자신의 도파관으로 방향전환시키거나 편향시킨다. 이어서, 광은 개별 도파관(670, 680, 690) 내에서 TIR을 초래할 각도로 전파된다. 도시된 예에서, 광선(770)(예컨대, 청색 광)은 이전에 설명된 방식으로, 제1 인커플링 광학 엘리먼트(700)에 의해 편향되고, 이어서 도파관 아래로 계속 바운스하여, 광 분배 엘리먼트(예컨대, OPE들)(730) 및 이어서 아웃커플링 광학 엘리먼트(예컨대, EP들)(800)와 상호작용한다. 광선들(780 및 790)(예컨대, 각각 녹색 및 적색 광)은 도파관(670)을 통과할 것이고, 광선(780)은 인커플링 광학 엘리먼트(710)에 충돌하여 이에 의해 편향된다. 이어서, 광선(780)은 TIR을 통해 도파관(680) 아래로 바운스하고, 자신의 광 분배 엘리먼트(예컨대, OPE들)(740) 및 이어서 아웃커플링 광학 엘리먼트(예컨대, EP들)(810)로 진행된다. 마지막으로, 광선(790)(예컨대, 적색 광)은 도파관(690)을 통과하여 도파관(690)의 광 인커플링 광학 엘리먼트들(720) 상에 충돌한다. 광 인커플링 광학 엘리먼트들(720)은 광선(790)을 편향시켜, 광선은 TIR에 의해 광 분배 엘리먼트(예컨대, OPE들)(750)로, 이어서 TIR에 의해 아웃커플링 광학 엘리먼트(예컨대, EP들)(820)로 전파된다. 이어서, 아웃커플링 광학 엘리먼트(820)는 마지막으로 광선(790)을, 다른 도파관들(670, 680)로부터 아웃커플링된 광을 또한 수신하는 뷰어에게 아웃커플링한다.
- [0103] [0112] 도 9c는 도 9a 및 9b의 복수의 스택된 도파관들의 예의 하향식 평면도를 예시한다. 예시된 바와 같이, 각각의 도파관의 연관된 광 분배 엘리먼트(730, 740, 750) 및 연관된 아웃커플링 광학 엘리먼트(800, 810, 820)와 함께, 도파관들(670, 680, 690)은 수직으로 정렬될 수 있다. 그러나, 본원에서 논의된 바와 같이, 인커플링 광학 엘리먼트들(700, 710, 720)은 수직으로 정렬되지 않고; 오히려, 인커플링 광학 엘리먼트들은 바람직하게 비-오버랩핑된다(예컨대, 하향식 도면에서 도시된 바와 같이 측방향으로 이격됨). 본원에서 추가로 논의된 바와 같이, 이런 비오버랩핑 공간 어레이지먼트는 일대일 방식으로 상이한 리소스들로부터 상이한 도파관들로 광의 주입을 가능하게 하고, 이에 의해 특정 광원이 특정 도파관에 고유하게 커플링되는 것이 허용된다. 일부 실시예들에서, 비오버랩핑 공간-분리 인커플링 광학 엘리먼트들을 포함하는 어레이지먼트들은 시프트된 동공 시스템으로 지칭될 수 있고, 그리고 이들 어레이지먼트들 내의 인커플링 광학 엘리먼트들은 서브 동공들에 대응할 수 있다.
- [0104] [0113] 이제 도 10을 참조하여, 그리고 일부 실시예들에 따라, 복수의 나노구조물들(1420)에 의해 형성된 메타표면(1418) 및 나노구조물들(1420) 바로 위에 배치된 반사 방지 코팅(1430)을 포함하는 예시적인 광학 구조물(1400)의 측면도가 예시된다. 메타표면(1418) 및 반사 방지 코팅(1430)은 광학적으로 투과성 기판(1410) 상에 배치될 수 있다. 일부 실시예들에서, 예시된 바와 같이, 반사 방지 코팅(1430)은, 적어도 메타표면(1418)의



넓이의 대부분에 걸쳐 나노구조물들(1420)과 반사 방지 코팅(1430) 사이에 어떠한 에어 또는 다른 재료도 배치되지 않도록, 나노구조물들(1420) 사이의 공간을 채운다. 반사 방지 코팅(1430)은 광에 대해 광학적으로 투과성이거나 실질적으로 투과성일 수 있다.

- [0105] [0114] 일부 실시예들에서, 반사 방지 코팅(1430)은 실질적으로 평탄한 상단면(1430a)을 갖는다. 반사 방지 코팅(1430)은 나노구조물들(1420)의 하부의 고르지 않은 토폴로지를 위한 평탄화 층으로서 기능할 수 있다. 일부 실시예들에서, 반사 방지 코팅(1430)의 상단면(1430a)은 나노구조물들(1420)의 상단면들(1420a)에 의해 규정된 일반적으로 수평 평면에 실질적으로 평행할 수 있다.
- [0106] [0115] 반사 방지 코팅(1430)의 두께(1422)는 나노구조물들(1420)의 상단면(1420a)으로부터 반사 방지 코팅(1430)의 상단면까지의 거리로서 정의될 수 있다. 일부 실시예들에서, 두께(1422)는 약 10nm 내지 약 2 미크론의 범위일 수 있다. 일부 실시예들에서, 두께(1422)는 약 20nm 내지 약 1 미크론일 수 있다. 일부 실시예들에서, 두께(1422)는 약 25nm 내지 약 500nm, 약 30nm 내지 약 250nm, 약 40nm 내지 약 100nm, 및 약 45nm 내지 약 55nm일 수 있다. 일부 실시예들에서, 두께(1422)는 약 50nm일 수 있다. 일부 실시예들에서, 두께(1422)는 나노구조물들(1420)의 높이보다 더 클 수 있으며, 여기서 나노구조물들(1420)의 높이는 나노구조물들(1420)의 하단으로부터 상단면(1420a)까지의 거리이다.
- [0107] [0116] 이론에 의해 구속되지 않고서, 반사 방지 코팅(1430)은, 반사들의 발생을 감소시키기 위해 상부 매질(예컨대, 에어)과 나노구조물들(1420) 및 기판(1410) 중 하나 또는 둘 사이에 임피던스 매칭을 제공할 수 있다. 반사 방지 코팅(1430)은 반사 방지 코팅(1430a)의 상단면으로부터 반사된 광 및 반사 방지 코팅(1430b)의 하단면으로부터 반사된 광 및/또는 나노구조물들(1420)의 표면들 및/또는 기판(1410)의 표면으로부터 후방 산란된 광 사이에 상쇄적 간섭을 발생시킬 수 있는 것으로 또한 여겨진다. 이러한 간섭은 광학 구조물(1400)로부터 반사되는 것으로 지각되는 광의 양의 감소 또는 제거로 이어지는 것으로 여겨진다. 일부 실시예들에서, 광학 구조물(1400)로부터 반사된 광을 감소 또는 제거하는 반사 방지 코팅(1430)의 능력은 반사 방지 코팅(1430)의 두께 및 반사 방지 코팅(1430)에 충돌하는 광의 파장에 의존할 수 있다. 바람직하게, 두께(1422)는, 위에 언급된 바와 같이, 상쇄적 간섭을 제공하기 위해, 나노구조물(1420)의 굴절률 및 치수들, 및 상쇄적 간섭이 요구되는 광의 파장들에 대해, 선택된다.
- [0108] [0117] 반사 방지 코팅(1430)은 나노구조물들(1420)의 굴절률보다 더 낮지만, 반사 방지 코팅(1430) 바로 위에 놓이고 이와 계면을 형성하는 매질 또는 재료의 굴절률보다 더 높은 굴절률을 갖는 광학적으로 투과성 재료를 포함할 수 있다. 예컨대, 반사 방지 코팅(1430) 위에 놓이고 이와 계면을 형성하는 매질은 에어일 수 있다. 일부 실시예들에서, 반사 방지 코팅(1430)은 약 1.2 내지 약 2.0, 약 1.2 내지 약 1.7, 약 1.3 내지 약 1.6, 또는 약 1.4 내지 약 1.5의 굴절률을 가질 수 있다. 일부 실시예들에서, 반사 방지 코팅(1430)은 약 1.45의 굴절률을 가질 수 있다. 일부 실시예들에서, 반사 방지 코팅(1430)의 굴절률은 또한 기판(1410)의 굴절률보다 더 낮을 수 있다. 일부 실시예들에서, 기판(1410)에 대해 반사 방지 코팅(1430)의 더 낮은 굴절률은 기판(1410) 내의 광의 TIR을 가능하게 하고, 코팅(1430) 위에 놓인 매질에 대해 반사 방지 코팅(1430)의 높은 굴절률은 기판(1410)으로의 인커플링을 위해 메타표면(1418)으로의 광의 전달을 가능하게 한다는 것이 인지될 것이다.
- [0109] [0118] 도 10을 계속 참조하면, 추가 재료들 사이의 계면들에 의해 발생하는 잠재적 반사들을 감소시키기 위해, 반사 방지 코팅(1430)은, 메타표면이 배치되는 영역의 전부 또는 실질적으로 전부에 대해 나노구조물들(1420)과 반사 방지 코팅(1430) 사이에 실질적으로 어떠한 에어 또는 다른 재료도 존재하지 않도록 나노구조물들(1420)의 윤곽들을 따를 수 있다. 일부 실시예들에서, 예시된 바와 같이, 반사 방지 코팅(1430)은, 반사 방지 코팅(1430)이 기판(1410)의 표면 위의 나노구조물들(1420)을 캡슐화하도록 광학 구조물(1400) 바로 위에 배치된다.
- [0110] [0119] 본원에서 논의된 바와 같이, 반사 방지 코팅(1430)은, 바람직하게는 광학적으로 투과성 재료를 포함한다. 예로서, 광학적으로 투과성 재료는 투명한 중합체와 같은 광학적으로 투과성 유기 재료일 수 있다. 일부 실시예들에서, 반사 방지 코팅(1430)은 포토레지스트 재료와 같은 레지스트 재료를 포함할 수 있다. 포토레지스트의 비제한적인 예들은 포지티브 레지스트 및 네거티브 레지스트를 포함한다. 일부 실시예들에서, 반사 방지 코팅(1430)은 UV 포토레지스트, EUV 포토레지스트 또는 DUV 포토레지스트를 포함할 수 있다.
- [0111] [0120] 반사 방지 코팅(1430)은 다양한 증착 프로세스들에 의해 나노구조물들(1420) 상에 형성될 수 있다는 것이 인지될 것이다. 일부 실시예들에서, 반사 방지 코팅(1430)은 액체로서 나노구조물들(1420)에 적용될 수 있으며, 이로써 액체는 반사 방지 코팅(1430)을 형성한다. 예컨대, 반사 방지 코팅(1430)은 스핀-코팅에 의해 액체로서 나노구조물들(1420) 상에 증착될 수 있다. 일부 실시예들에서, 반사 방지 코팅(1430)은 기상 증착 프로

세스, 예컨대, CVD(chemical vapor deposition) 프로세스 및 ALD(atomic layer deposition)에서 기상 전구체들(vapor phase precursors)을 사용하여 나노구조물들(1420) 상에 증착될 수 있다.

[0112] [0121] 일부 실시예들에서, 반사 방지 코팅(1430)은, 반사 방지 코팅(1430)을 포함하지 않는 실질적으로 유사한 광학 구조물과 비교하여, 투과 모드에서 동작하는 광학 구조물(1400)에 의해 반사되는 입사광의 양을 약 50%, 75%, 85%, 90%, 95%, 99% 이상 감소시킬 수 있다. 일부 실시예들에서, 반사 방지 코팅은  $-10^{\circ}$  내지  $10^{\circ}$ ,  $-20^{\circ}$  내지  $20^{\circ}$ ,  $-30^{\circ}$  내지  $30^{\circ}$ ,  $-40^{\circ}$  내지  $40^{\circ}$ ,  $-50^{\circ}$  내지  $50^{\circ}$  이상의 더 넓은 입사각 범위에 걸쳐 반사된 광의 감소를 달성할 수 있다.

[0113] [0122] 복수의 나노구조물들(1420)을 포함하는 메타표면(1418)은, 이를테면, 빔 스티어링, 파면 성형, 파장들 및/또는 편광들의 분리, 및 상이한 파장들 및/또는 편광들의 결합을 위해 광을 조작하도록 구성될 수 있다. 바람직하게는, 광은 350nm 내지 800nm 범위의 파장들을 갖는 가시광이다. 일부 실시예들에서, 반사 방지 코팅이 배치되는 메타표면은 가시광의 파장보다 더 작은 크기 및 주기성을 갖는 나노구조물을 포함할 수 있다. 일부 실시예들에서, 메타표면(1418)은 일부 파장들의 광을 선택적으로 방향전환시키면서, 다른 파장들의 광이 방향전환되지 않고서 통과할 수 있게 한다는 것이 인지될 것이다. 이러한 특성들은 전형적으로 (예컨대, 광자 결정 섬유들(photonic crystal fibers) 또는 분산형 브래그 반사기들(distributed bragg reflectors)에서) 마이크로 스케일들의 구조물들로 엔지니어링되는 반면, 본원의 다양한 실시예들은 나노-스케일들(예컨대, 10-100x 미만의 스케일들)의 기하학적 구조들을 포함하고, 전자기 스펙트럼의 가시적인 부분의 광의 선택적 방향전환을 제공한다.

[0114] [0123] 예로서, 메타표면(1418)은 광이 메타표면(1418)의 제1 측으로부터 메타표면에 입사되고, 메타표면(1418)의 본체를 통해 전파되고, 그리고 후속하여 메타표면(1418)으로부터 반대측 상에서 메타표면(1418)으로부터 멀어져 전파되는 투과 모드에서 작동할 수 있다. 광은 제1 측에서 광의 입사 방향과 상이한 방향으로 메타표면(1418)으로부터 멀어져 전파된다. 일부 실시예들에서, 반사 방지 코팅(1430)은, 반사 방지 코팅(1430)을 포함하지 않는 메타표면(1418)과 비교하여, 메타표면(1418)으로부터 반사된 광의 양을 감소 또는 제거할 수 있다. 일부 실시예들에서, 반사 방지 코팅(1430)은, 반사 방지 코팅(1430)을 포함하지 않는 메타표면(1418)과 비교하여, 메타표면(1418)을 통해 그리고 이로부터 멀어져 전파되는 광의 양을 실질적으로 감소시키거나 영향을 주지 않을 수 있다.

[0115] [0124] 일부 실시예들에서, 반사 방지 코팅(1430)이 배치되는 메타표면(1418)을 지지하는 기판(1410)은 도파관일 수 있고, 직시(direct view) 디스플레이 디바이스들 또는 근안(near-eye) 디스플레이 디바이스들을 형성할 수 있고, 도파관들은 입력 이미지 정보를 수신하고, 이미지 정보로 인코딩된 광 형태의 입력 이미지 정보에 기반하여 출력 이미지를 생성하도록 구성된다. 이들 디바이스들은, 일부 실시예들에서, 착용 가능하고 안경류를 구성할 수 있으며, 도 1-9c에 관련하여 본원에 설명된 디스플레이 디바이스들일 수 있다. 일부 실시예들에서, 도파관들에 의해 수신된 입력 이미지 정보는, 하나 이상의 도파관들에 인커플링된 상이한 파장들(예컨대, 적색, 녹색 및 청색 광)의 다중화된 광 스트림들로 인코딩될 수 있다. 인커플링된 광은 내부 전반사로 인해 도파관을 통해 전파될 수 있다. 인커플링된 광은, 도 9a-9c와 관련하여 위에 설명된 바와 같이, 하나 이상의 아웃커플링 광학 엘리먼트들에 의해 도파관으로부터 아웃커플링(또는 출력)될 수 있다.

[0116] [0125] 일부 실시예들에서, 반사 방지 코팅(1430)이 컨포멀하게 배치된 메타표면(1418)은 도파관의 인커플링 광학 엘리먼트들, 아웃커플링 광학 엘리먼트들, 및/또는 광 분배 엘리먼트들일 수 있다. 메타표면(1418) 및 반사 방지 코팅(1430)의 소형성(compactness) 및 평면성(planarity)은 소형 도파관, 및 다수의 도파관들이 스택을 형성하는 소형 도파관들의 스택을 허용한다. 또한, 메타표면(1418)은, 높은 이미지 품질을 제공할 수 있는 인커플링 및/또는 아웃커플링 광에서 높은 정밀도를 제공하도록 구성될 수 있다. 예컨대, 높은 선택성은 상이한 컬러들 또는 파장들의 광을 동시에 출력함으로써 풀 컬러 이미지들이 형성되는 구성들에서 채널 크로스토크를 감소시킬 수 있는 반면, 반사 방지 코팅(1430)은 고스트 이미지들을 감소시킬 수 있다.

[0117] [0126] 나노구조물들(1420)은 다양한 크기들을 갖고 다양한 애플리케이션들을 위한 메타표면(1418)을 형성하기 위해 서로에 대해 다양한 배향들로 배열될 수 있다는 것이 인지될 것이다. 예컨대, 본원에서 논의된 바와 같이, 나노구조물들(1420)은 대칭 또는 비대칭 회절 격자와 같은 회절 격자를 형성하도록 배열될 수 있다. 일부 실시예들에서, 메타표면(1418)은 다중 레벨 또는 계층화된 나노구조물들(1420)로 형성될 수 있다. 예컨대, 나노구조물들(1420)은 제1 레벨에서 비교적 넓고 제2 레벨에서 비교적 더 좁을 수 있다. 일부 실시예들에서, 메타표면들(1418)은 단일 레벨로 형성될 수 있고, 그 레벨에서 실질적으로 일정한 폭을 가질 수 있다. 메타표면(1418)으로서 활용될 수 있는 메타표면들의 예들은 2016년 11월 2일에 출원된 미국 특허 출원 제15/342,033호

(대리인 도켓 번호 MLEAP.027A); 2016년 5월 6일에 출원된 미국 가출원 제62/333,067호(대리인 도켓 번호 MLEAP.066PR); 2017년 1월 27일에 출원된 명칭이 "DIFFRACTION GRATINGS FORMED BY METASURFACES HAVING DIFFERENTLY ORIENTED NANOBEAMS"인 미국 가출원 제62/451,608호(대리인 도켓 번호 MLEAP.092PR); 및 2017년 1월 27일에 출원된 명칭이 "DIFFRACTION GRATINGS BASED ON METASURFACES HAVING ASYMMETRIC OPTICAL ELEMENTS"인 미국 가출원 제62/451,615호(대리인 도켓 번호 MLEAP.103PR)에 설명된다. 이들 출원들 각각은 본원에 인용에 의해 포함된다. 본원에 개시된 나노구조물들(1420)은 이들 출원들에 설명된 돌출부들, 나노빔들 등에 대응할 수 있음이 인지될 것이다. 일부 실시예들에서, 광학 구조물(1400)은 당분야에 공지되거나 향후 개발되는 복수의 나노구조물들을 포함하는 임의의 메타표면일 수 있다.

[0118] [0127] 나노구조물들(1420)의 상이한 구성들의 예들이 후술된다. 설명의 명확성을 위해, 아래에서 논의되는 나노구조물들은 1420과 상이한 참조 번호들을 가질 수 있음이 인지될 것이다. 그럼에도 불구하고, 아래에 설명된 다양한 나노구조물들(1520, 1620)이 도 10의 나노구조물들(1420)에 대응한다는 것이 이해될 것이다.

[0119] [0128] 이제 도 11a를 참조하여, 그리고 일부 실시예들에 따라, 비대칭 PBOE(Pancharatnam-Berry Phase Optical Element)를 형성하는 나노구조물들(1520)을 포함하는 메타표면(1518)을 포함하는 예시적인 광학 구조물(1500)의 하향식 뷰가 예시되며, 이는, 다른 것들 중에서도, 광 스티어링에 유리할 수 있다. 기관(1410)은 나노구조물들(1520) 아래에 놓인다. 일부 실시예들에서, 기관(1410)은 광학적으로 투과성 기관, 예컨대, 도파관일 수 있다.

[0120] [0129] 이제 도 11b를 참조하여, 그리고 일부 실시예들에 따라, 비대칭 PBOE(Pancharatnam-Berry Phase Optical Element)를 포함하고 반사 방지 코팅(1430)을 포함하는 예시적인 광학 엘리먼트(1500)의 사시도가 예시된다. 본원에 설명된 바와 같이, 반사 방지 코팅(1430)은, 나노구조물들(1520)과 반사 방지 코팅(1430) 사이에 실질적으로 어떠한 에어 또는 다른 재료도 존재하지 않도록 나노구조물들(1520)의 윤곽들을 따른다. 또한, 본원에 설명된 바와 같이, 반사 방지 코팅(1430)은 실질적으로 평탄한 상단면(1430a)을 가질 수 있다. 반사 방지 코팅(1430)은 나노구조물들(1520)의 하부의 고르지 않은 토폴로지를 위한 평탄화 층으로서 기능할 수 있다. 일부 실시예들에서, 반사 방지 코팅(1430)의 상단면(1430a)은 나노구조물들(1520)의 상단면들(도시되지 않음)에 의해 규정된 일반적으로 수평 평면에 실질적으로 평행할 수 있다. 반사 방지 코팅(1430)의 두께(1522)는 나노구조물(1520)의 상단면으로부터 반사 방지 코팅(1430)의 상단면(1430a)까지의 거리로 정의될 수 있다. 일부 실시예들에서, 두께(1522)는 약 10nm 내지 약 2 마이크론의 범위일 수 있다. 일부 실시예들에서, 두께(1522)는 약 20nm 내지 약 1 마이크론일 수 있다. 일부 실시예들에서, 두께(1522)는 약 25nm 내지 약 500nm, 약 30nm 내지 약 250nm, 약 40nm 내지 약 100nm, 및 약 45nm 내지 약 55nm일 수 있다. 일부 실시예들에서, 두께(1522)는 약 50nm일 수 있다. 일부 실시예들에서, 두께(1522)는, 메타표면이 방향전환시키도록 구성되고 따라서 반사 방지 코팅(1430)에 충돌할 것으로 예상되는 광의 파장에 기반하여 선택될 수 있다. 바람직하게는, 두께(1522)는 반사 방지 코팅(1430)의 상단면과 하단면으로부터 각각 반사된 광 사이에 상쇄적 간섭을 제공하도록 선택되며, 여기서 하단면(도시되지 않음)은 나노구조물들(1520)의 상단면과의 계면을 형성하는 반사 방지 코팅의 표면이다.

[0121] [0130] 도 11c는 도 11a-11b를 참조하여 설명된 일반적인 구조물을 갖는 광학 구조물에 대한 광의 입사각의 함수로써 투과 및 반사의 플롯이다. 다양한 차수들의 회절된 투과된 광은 "T"로 표시되고, 반사된 광은 "R"로 표시된다. 이 예에서, 반사 방지 코팅(1430)은 약 1.45의 굴절률을 갖는 광학적으로 투과성 포토레지스트이며, 이는 나노구조물들(1520)의 굴절률보다 더 낮고 약 1.77이고 폴리실리콘으로 형성된 기관(1410)의 굴절률보다 더 낮다. 반사 방지 코팅(1430)의 두께(1522)는 약 50nm이고, 에어는 반사 방지 코팅(1430)의 상단면과 계면을 형성한다.

[0122] [0131] 플롯에서 볼 수 있듯이, 광학 구조물(1500)로부터 반사된 입사광의 퍼센티지는  $-20^{\circ}$  초과 내지  $20^{\circ}$  초과의 광범위한 입사각들에 걸쳐 약 2% 미만으로 유지된다. 비교하여, 반사 방지 코팅을 포함하지 않는 실질적으로 유사한 메타표면(1518)으로부터 반사된 광의 퍼센티지는 동일한 범위의 입사각들에 걸쳐 약 10%(도시되지 않음)인 것으로 결정되었다. 따라서, 이 실시예에서, 반사 방지 코팅(1430)은, 반사 방지 코팅(1430)을 포함하지 않는 실질적으로 유사한 메타표면(1518)과 비교하여, 메타표면(1518)으로부터 반사된 광의 양에서 대략 80% 감소를 제공한다.

[0123] [0132] 한편, TIR(T1)에 적합한 각도들로의 1차 회절을 겪는 반사 방지 코팅(1430)을 포함하는 메타표면(1518)에 입사되는 광의 퍼센티지는  $0^{\circ}$ 의 입사각에 대해 약 42%이며, 약  $-10^{\circ}$  내지 약  $10^{\circ}$ 의 입사각들에 대해 대략 이 레벨로 유지된다. 유리하게는, TIR에 적합한 각도들로 회절된 입사광의 양은 반사 방지 코팅(1430)을 포함하지 않는 실질적으로 유사한 메타표면(1518)에 대한 양과 실질적으로 동일하다. 따라서, 반사 방지 코팅



(1430)을 포함하는 메타표면(1518)은, 반사된 광의 양을 감소시키고, 이로써 광학 엘리먼트가 포함된 디스플레이 디바이스에서 잠재적 고스트 이미지들을 감소 또는 제거하면서, 인커플링된 광의 양에서 실질적인 감소 없이, 본원에 설명된 광학 엘리먼트(1500), 예컨대, 인커플링 광학 엘리먼트로서 사용될 수 있다.

[0124] [0133] 이제 도 12a를 참조하면, 메타표면(1618) 및 반사 방지 코팅(1430)을 포함하는 예시적인 광학 엘리먼트(1600)의 단면 사시도가 예시된다. 메타표면(1618)은 상이한 폭들을 갖는 나노구조물들(1620)에 의해 형성된 비대칭 회절 격자를 포함한다. 도 12b는 도 12a의 광학 엘리먼트(1600)의 측 단면도를 예시한다. 이 예에서, 기판(1410)은 약 1.77의 굴절률을 갖는 사파이어를 포함한다. 복수의 나노구조물들(1620)은 비정질 실리콘을 포함한다. 반사 방지 코팅(1430)은 약 1.45의 굴절률을 갖는 광학적으로 투과성 포토레지스트 재료를 포함할 수 있고, 일부 실시예들에서, 스핀-코팅에 의해 비대칭 회절 격자(1618)에 컨포멀하게 적용될 수 있다. 반사 방지 코팅(1430)의 두께(1622), 즉, 나노구조물들(1620)의 상단면(1620a)으로부터 반사 방지 코팅(1430)의 상단면(1430a)까지의 거리는 약 50nm이다.

[0125] [0134] 도 12c는 도 12a-12b에 도시된 일반적인 구조물을 갖는 광학 엘리먼트에 대한 투과 및 반사 스펙트럼의 플롯이다. 플롯에서 볼 수 있듯이, 반사 방지 코팅(1430)을 포함하는 광학 엘리먼트(1600)로부터 반사된 입사광의 퍼센티지는  $-30^{\circ}$  초과 내지  $30^{\circ}$  초과의 광범위한 입사각들에 걸쳐 약 2% 미만으로 유지된다. 반사 방지 코팅(1430)을 포함하는 광학 엘리먼트(1600)로부터 반사된 광의 퍼센티지는 약  $-15^{\circ}$  내지 약  $15^{\circ}$ 의 입사각들에 대해 약 0이다.

[0126] [0135] 비교하여, 반사 방지 코팅(1430)을 포함하지 않는 실질적으로 유사한 광학 엘리먼트(1600)로부터 반사된 광의 퍼센티지는 동일한 범위의 입사각들에 걸쳐 약 15%(도시되지 않음)이다. 따라서, 이 실시예에서, 반사 방지 코팅(1430)은, 반사 방지 코팅(1430)을 포함하지 않는 실질적으로 유사한 광학 엘리먼트(1600)와 비교하여, 광학 엘리먼트(1600)로부터 반사된 광의 양의 대략 87% 감소를 제공한다.

[0127] [0136] 한편, TIR(T1)로의 1차 회절을 겪는 반사 방지 코팅(1430)을 포함하는 광학 엘리먼트(1600)로 입사되는 광의 퍼센티지는 약  $-30^{\circ}$  내지 약  $20^{\circ}$ 의 입사각들에 대해 경우 약 30%보다 더 크다. 유리하게는, 반사 방지 코팅(1430)을 포함하는 광학 엘리먼트(1600)에 대해 TIR로 회절된 입사광의 양은, 반사 방지 코팅(1430)을 포함하지 않는 실질적으로 유사한 광학 엘리먼트(1600)에 대해 TIR로 회절된 광의 양과 실질적으로 동일하다. 따라서, 반사 방지 코팅(1430)을 포함하는 광학 엘리먼트(1600)는, 본원에 논의된 바와 같이, 반사된 광의 양을 감소시키고, 이로써 잠재적인 고스트 이미지들을 감소 또는 제거하면서, 인커플링된 광의 양을 실질적으로 감소시키지 않고서, 본원에 설명된 광학 엘리먼트, 예컨대, 인커플링 광학 엘리먼트로서 사용될 수 있다.

[0128] [0137] 본원에 개시된 금속 표면들 및 나노구조물들이 패터닝, 이를테면, 리소그래피 및 에칭에 의한 패터닝에 의해 형성될 수 있다는 것이 인지될 것이다. 일부 실시예들에서, 메타표면들 및 나노구조물들은 나노임프린팅(nanoimprinting)을 사용하여 패터닝될 수 있으며, 이로써 비용이 드는 리소그래피 및 에칭 프로세스를 피할 수 있다. 일단 나노구조물들이 패터닝되면, 일부 실시예들에서, 임의의 마스크 재료들이 제거될 수 있고, 반사 방지 코팅(1430)은, 본원에 설명된 바와 같이, 메타표면 위에 적용, 증착 또는 형성될 수 있다. 일부 다른 실시예들에서, 마스크 재료들 자체는 반사 방지 코팅으로서 활용될 수 있다. 도 13a-13d 및 도 14a-14d는 반사 방지 코팅들을 갖는 광학 구조물들을 형성하기 위한 프로세스 흐름들의 예들을 예시한다.

[0129] [0138] 도 13a-13d는 일부 실시예들에 따라 리소그래피 및 에칭을 사용하여 메타표면(1418, 1518, 1618)을 갖는 광학 엘리먼트(1400, 1500, 1600)의 다양한 제조 단계들에서 중간 구조물들(1700A-1700D)의 단면도들을 각각 예시한다. 도 13a의 중간 구조물(1700A)을 참조하면, 방법은 그 위에 메타표면(1418, 1518, 1618)을 형성하기에 적합한 표면(1410S)을 갖는 기판(1410)을 제공하는 것을 포함한다. 기판(1410)은 굴절률( $n_2$ ) 및 도 10을 참조하여 위에 설명된 다양한 다른 재료 특성들을 갖는 광학적으로 투과성 재료를 포함한다. 방법은 표면(1410S)상에 굴절률( $n_1$ ) 벌크를 갖는 고굴절률 층(1411)을 형성하는 것을 부가적으로 포함한다. 고굴절률 층(1411)은, 패터닝될 때, 도 10-12를 참조하여 위에 설명된 바와 같이, 하나 이상의 나노구조물(1420, 1520, 1620)을 형성하기에 적합하다. 고굴절률 층(1411)은, 일부 실시예들에 따라, PECVD(plasma-enhanced chemical vapor deposition)와 같은 플라즈마-기반 CVD(chemical vapor deposition) 프로세스 및 LPCVD(low pressure chemical vapor deposition)와 같은 열-기반 CVD 프로세스들을 포함하는 CVD와 같은 임의의 적절한 기술을 사용하여 증착될 수 있다. 고굴절률 층(1411)은 또한, 다른 기술들 중에서도, PVD(physical vapor deposition), 증발(evaporation) 및 원자 층 증착을 사용하여 증착될 수 있다. 방법은 고굴절률 층(1411)상에 마스크 층(1431A)을 형성하는 것을 부가적으로 포함한다. 마스크 층(1431A)은, 하부 고굴절률 층(1411)의 후속 에칭을 위한 템플릿을 제공하기에 적합한 하나 이상의 재료 층들로 형성되거나 이를 포함할 수 있다. 일부 실시예들에서,



마스킹 층(1431A)은 포토레지스트일 수 있으며, 이는 스핀 코팅되고 다음에 포스트-베이킹될 수 있다. 일부 다른 실시예들에서, 마스킹 층(1431A)은, 고굴절률 층(1411) 상에 형성된 하드 마스크 층 및 하드 마스크 층 상에 형성된 포토레지스트 층을 포함하는 복수의 층들을 포함할 수 있다. 하드 마스크 층은, 예컨대, 포토레지스트 층이 하부의 고굴절률 층(1411)으로의 후속 에칭 패턴 전사 동안, 충분한 에칭 선택성을 제공하지 못할 때, 포함될 수 있다. 하드 마스크 층은 또한 후속 노출 프로세스 동안 반사를 최소화하기 위해 반사 방지 코팅으로서 역할을 할 수 있다. 일부 실시예들에서, 하드 마스크 층은 스핀 코팅된 중합체 또는 고굴절률 층(1411)을 증착시키기 위한 증착 기술들 중 임의의 것에 의해 증착된 막일 수 있다. 포함되는 경우, 하드 마스크 층은 상부 포토레지스트 층보다 더 큰 에칭 선택성을 제공할 수 있다. 일부 실시예들에서, 포토레지스트는 포지티브 포토레지스트 또는 네거티브 포토레지스트일 수 있다. 포지티브 포토레지스트는 광에 노출된 포토레지스트의 부분이 포토레지스트 이점운동액(developer)에 용해되는 포토레지스트의 타입인 반면에, 네거티브 레지스트는 광에 노출된 포토레지스트의 부분이 포토레지스트 현상액에 용해되지 않는 포토레지스트의 타입이다.

[0130] [0139] 일부 실시예들에서, 포토레지스트 및/또는 하드 마스크 층은, 고굴절률 층(1411)에 대해 충분한 에칭 선택성을 가질 수 있는 실리콘 또는 실리콘 산화물을 포함하는 재료로 형성될 수 있어서, 포토레지스트 및/또는 하드 마스크 층이 하부 고굴절률 층(1411)의 에칭을 통해 비교적 온전하게 유지된다. 이들 실시예들에서, 실리콘 또는 실리콘 산화물-함유 포토레지스트 및/또는 하드 마스크 층은, 도 10-12를 참조하여 위에서 설명된 바와 같이, 패터닝 후에 하나 이상의 나노구조물들(1420, 1520, 1620)의 상단에 남아있을 수 있다.

[0131] [0140] 도 13b의 중간 구조물(1700B)을 참조하면, 증착 및 증착 후 베이킹 후에, 방법은 포토레지스트의 부분들을 광의 패턴에 선택적으로 노출시킴으로써 마스크 층(1431)의 포토레지스트 층을 패터닝하는 것을 포함한다. 광, 예컨대, 코히어런트 UV 광 또는 전자 빔에 대한 노출은 포토레지스트에서 화학적 변화, 예컨대, 중합체 크로스링킹(polymeric crosslinking)을 발생시키고, 이는 포토레지스트의 노출된 부분들이 포지티브 포토레지스트에 대한 현상액에 의해 선택적으로 제거될 수 있게 하거나, 포토레지스트의 노출되지 않은 부분들이 네거티브 포토레지스트에 대한 현상액에 의해 선택적으로 제거될 수 있게 한다. 선택적으로 제거할 때, 결과적인 패터닝된 마스킹 포토레지스트는 고굴절률 층(1411) 상에 남아있고, 이로써, 예컨대, 에칭에 의해 포함될 때, 하부 하드 마스크 층을 후속 패터닝하기 위한 템플릿으로서 역할을 한다. 결과적인 중간 구조물(1700C)은, 패터닝된 포토레지스트 및 선택적으로 포함되는 경우 패터닝된 하드 마스크 층을 포함하는 패터닝된 마스킹 층(1411)을 도시한다.

[0132] [0141] 도 13c의 중간 구조물(1700C)을 참조하면, 패터닝된 마스킹 층(1431)은 하부 고굴절률 층(1411)을 하나 이상의 나노구조물들(1420, 1520, 1620)로 에칭하기 위한 템플릿으로서 사용될 수 있다. 나노구조물들(1420, 1520, 1620)은 결과적인 메타-표면의 원하는 특성들에 기반하여 원하는 대로 구성될 수 있다는 것이 인지될 것이다. 일부 실시예들에서, 나노구조물들(1420, 1520, 1620)은, 도 10-12를 참조하여 위에 더 상세히 설명된 바와 같이, 제1 측면 방향(예컨대, y-방향)으로 연장되는 피쳐들 및 제2 방향(예컨대, x-방향)으로 연장되는 복수의 제2 나노구조물들(1420, 1520, 1620)을 포함할 수 있다. 다양한 실시예들에서, 고굴절률 층(1411)은 에칭되는데, 예컨대, 이방성으로 건식-에칭될 수 있다. 사용된 에칭 프로세스는 마스킹 층(1431) 및/또는 기판(1410)에 대해 적절한 선택성을 가질 수 있어서, 고굴절률 층(1411)의 부분들은, 마스킹 층(1431)을 조기에 제거하지 않고서 그리고/또는 기판(1410)의 노출된 부분들을 바람직하지 않게 손상시키지 않고서 제거된다.

[0133] [0142] 중간 구조물(1700D)을 참조하면, 일부 실시예들에서, 하나 이상의 나노구조물(1420, 1520, 1620) 상의 마스킹 층(1431)이 그로부터 제거된다. 마스킹 층(1431)의 레지스트 부분은, 예컨대, 애싱(ashing)으로 지칭되는 프로세스에서 액체 레지스트 스트리퍼(liquid resist stripper) 또는 산소계 플라즈마를 사용하여 제거될 수 있다. 원하는 경우 그리고 포함될 때, 하부 하드 마스크 층은 습식 또는 건식 에칭 프로세스를 사용하여 후속하여 제거될 수 있으며, 이는 하나 이상의 나노구조물들(1420, 1520, 1620) 또는 기판(1410)에 실질적으로 영향을 주지 않고서 하드 마스크를 선택적으로 제거한다. 후속하여, 반사 방지 코팅은, 예컨대, 스핀-코팅에 의해 또는 화학 기상 증착 및 화학 기상 증착된 층의 후속 평탄화에 의해 나노구조물들(1420, 1520, 1620) 상에 그리고 그의 측면들에 증착될 수 있다.

[0134] [0143] 일부 다른 실시예들에서, 예컨대, 도 10-12를 참조하여 위에서 설명된 실시예들에서, 마스크 층(1431), 예컨대, 포토레지스트/하드 마스크 또는 하드 마스크는 제거되지 않고서 남겨질 수 있다. 이들 실시예들에서, 마스크 층(1431)은 도 10-12를 참조하여 본원에 설명된 바와 같이 반사 방지 코팅(1430)을 포함할 수 있다.

[0135] [0144] 도 14a-14d는 일부 실시예들에 따라 메타표면(1418, 1518, 1618)을 갖는 광학 엘리먼트(1400, 1500, 1600)의 다양한 제조 단계들에서 중간 구조물들(1800A-1800D)의 단면도들을 각각 예시한다. 일부

실시예들에서, 도 14a, 14c 및 14d의 중간 구조물들(1800A, 1800C 및 1800D)을 각각 형성하는 방법은 도 13a, 13c 및 13d의 중간 구조물들(1700A, 1700C 및 1700D)을 형성하는 방법과 각각 유사하다. 그러나, 도 14b의 중간 구조물(1800B)을 형성하는 방법은 도 13b의 중간 구조물(1700B)을 형성하는 방법과 상이하며, 그 차이들은 아래에서 설명된다.

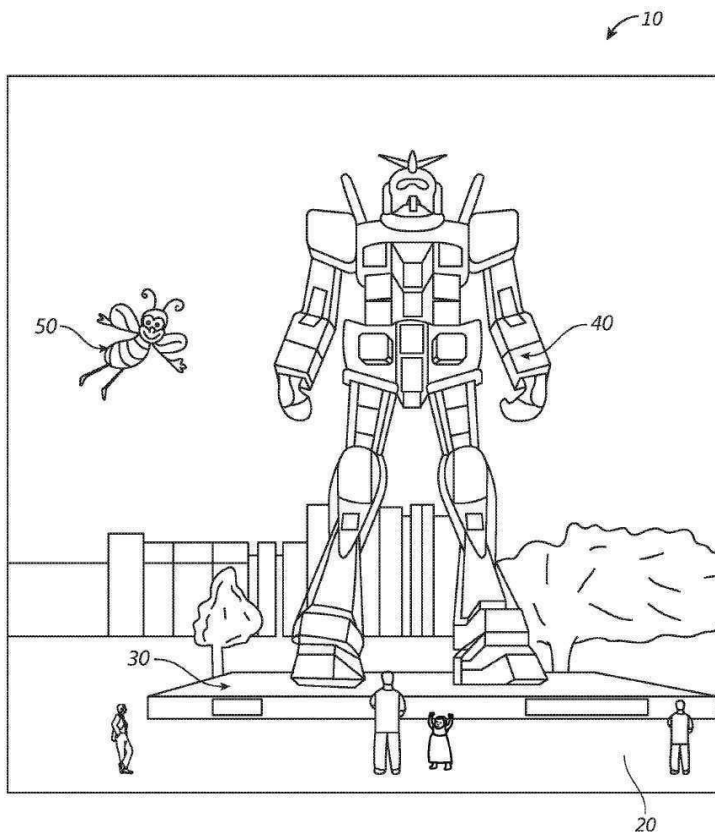
- [0136] [0145] 도 14b의 중간 구조물(1800B)을 참조하면, 도 13b를 참조하여 위에서 설명한 방법과 달리, 광 또는 전자 빔을 사용하여 포토레지스트의 부분들을 선택적으로 노출 및 제거함으로써 포토레지스트 층을 패터닝하는 것 대신, 예시된 실시예에서, 나노임프린트 템플릿(1432), 또는 하나 이상의 나노구조물(1420, 1520, 1620)의 형성에 따라 미리 규정된 토폴로지 패턴들을 갖는 나노임프린트 몰드는 마스크층(1431A)의 임프린트 레지스트와 접촉하게 된다. 일부 실시예들에서, 템플릿(1432)은 특정 온도 하에서, 예컨대, 임프린트 레지스트의 유리 전이 온도(glass transition temperature)를 초과하는 온도에서 열가소성 중합체로 형성된 임프린트 레지스트 내로 가압되고, 이로써 템플릿(1432)의 패턴을 연화된 임프린트 레지스트 내로 전사한다. 냉각된 후, 템플릿(1432)은 임프린트 레지스트로부터 분리되고, 패터닝된 레지스트는 고굴절률 층(1411) 상에 남는다. 일부 다른 실시예들에서, 임프린트 레지스트 내로 가압된 후, 임프린트 레지스트는 UV 광 하에서 크로스링킹에 의해 경화된다.
- [0137] [0146] 도 15를 참조하여, 그리고 일부 실시예들에 따라, 도 13d 및 14d와 관련하여 위에 설명된 바와 같이 하나 이상의 나노구조물들(1420, 1520, 1620)로부터 마스크층(1431)을 제거한 후, 반사 방지 코팅(1430)은, 예컨대, 화학 기상 증착 프로세스 또는 원자 층 증착 프로세스와 같은 기상 증착 프로세스에 의해 나노구조물들(1420, 1520, 1620) 상에 컨포멀하게 증착될 수 있다. 따라서, 일부 실시예들에서, 증착된 반사 방지 코팅(1430)은, 나노구조물들(1420, 1520, 1620) 위에 놓이고, 그러한 나노구조물들을 분리하는 불륨을 완전히 채우지 않고서, 나노구조물들(1420, 1520, 1620)의 윤곽들을 따르는 컨포멀 층일 수 있다.
- [0138] [0147] 전술한 명세서에서, 다양한 특정 실시예들이 설명되었다. 그러나, 다양한 수정들 및 변화들이 본 발명의 더 넓은 사상 및 범위에서 벗어나지 않고 이루어질 수 있다는 것이 명백할 것이다. 따라서, 명세서 및 도면들은 제한적 의미보다 오히려 예시로 고려된다.
- [0139] [0148] 실제로, 본 개시내용의 시스템들 및 방법들 각각이 몇몇 혁신적인 양상들을 가지며, 이 양상들 중 어떤 단일의 양상도 본원에 개시된 바람직한 속성들을 전적으로 담당하거나 이를 위해 요구되지 않는다는 것이 인식될 것이다. 위에서 설명된 다양한 특징들 및 프로세스들은 서로 독립적으로 사용될 수 있거나, 또는 다양한 방식으로 조합될 수 있다. 모든 가능한 조합들 및 서브조합들은 본 개시내용의 범위 내에 속하도록 의도된다.
- [0140] [0149] 별개의 실시예들의 맥락에서 이 명세서에 설명된 특정 특징들은 또한 단일 실시예로 결합하여 구현될 수 있다. 대조적으로, 단일 실시예의 맥락에서 설명된 다양한 특징들은 또한 별도로 다수의 실시예들로 또는 임의의 적절한 서브조합으로 구현될 수 있다. 게다가, 비록 특징들이 특정 조합들로 동작하는 것으로서 위에서 설명될 수 있고 심지어 그와 같이 처음에 청구될 수 있지만, 청구된 조합으로부터의 하나 이상의 특징들은 일부 경우들에서 조합으로부터 제거될 수 있고, 그리고 청구된 조합은 서브조합 또는 서브조합의 변형에 관련될 수 있다. 단일 특징 또는 특징들의 그룹이 각각의 모든 실시예에 필요하거나 필수적인 것은 아니다.
- [0141] [0150] 특정하게 다르게 언급되지 않거나, 사용된 맥락 내에서 다르게 이해되지 않으면, 본원에 사용된 조건어, 이를테면 특히, "할 수 있다(can, could, might, may)", "예컨대" 등은, 일반적으로 특정 실시예들이 특정 특징들, 엘리먼트들 또는 단계들을 포함하지만, 다른 실시예들이 이들을 포함하지 않는 것을 전달하기 위해 의도된다는 것이 인식될 것이다. 따라서, 그러한 조건어는 일반적으로, 특징들, 엘리먼트들, 및/또는 단계들이 하나 이상의 실시예들을 위해 어떤 식으로든 요구된다는 것을, 또는 하나 이상의 실시예들이, 저자 입력 또는 프롬프팅(prompting)을 이용하거나 또는 그러한 것을 이용함이 없이, 이들 특징들, 엘리먼트들, 및/또는 단계들이 임의의 특정 실시예에 포함되는지 또는 임의의 특정 실시예들에서 수행되어야 하는지를 판단하기 위한 로직을 반드시 포함한다는 것을 암시하도록 의도되진 않는다. "포함하는(comprising, including), "갖는(having)" 등의 용어들은 동의어이며, 오픈-엔디드(open-ended) 방식으로 포괄적으로 사용되며, 추가적인 엘리먼트들, 특징들, 행동들, 동작들 등을 배제하지 않는다. 또한, "또는"이라는 용어는 (그의 배타적인 의미가 아니라) 그의 포괄적인 의미로 사용되어서, 예컨대, 리스트의 엘리먼트들을 연결하기 위해 사용될 때, "또는"이라는 용어는 리스트 내의 엘리먼트들 중 하나, 일부, 또는 전부를 의미한다. 또한, 본 출원서 및 첨부된 청구항들에서 사용된 바와 같은 단수 표현은 달리 특정되지 않는 한 "하나 이상" 또는 "적어도 하나"를 의미하는 것으로 해석될 것이다. 유사하게, 동작들이 특정한 순서로 도면들에 도시될 수 있지만, 바람직한 결과들을 달성하기 위해, 그러한 동작들이 도시된 특정한 순서 또는 순차적인 순서로 수행될 필요가 없거나, 모든 예시된 동작

들이 수행될 필요가 없다는 것이 인지될 것이다. 추가로, 도면들은 흐름도의 형태로 하나 이상의 예시적인 프로세스들을 개략적으로 도시할 수 있다. 그러나, 도시되지 않은 다른 동작들이, 개략적으로 예시된 예시적인 방법들 및 프로세스들에 통합될 수 있다. 예컨대, 하나 이상의 부가적인 동작들은, 예시된 동작들 중 임의의 동작 이전, 이후, 그와 동시에, 또는 그 사이에서 수행될 수 있다. 부가적으로, 동작들은 다른 실시예들에서 재배열되거나 재순서화될 수 있다. 소정의 환경들에서, 멀티태스킹 및 병렬 프로세싱이 유리할 수 있다. 또한, 위에서 설명된 실시예들에서의 다양한 시스템 컴포넌트들의 분리는 모든 실시예들에서 그러한 분리를 요구하는 것으로서 이해되지는 않아야 하며, 설명된 프로그램 컴포넌트들 및 시스템들이 일반적으로, 단일 소프트웨어 제품에 함께 통합되거나 다수의 소프트웨어 제품들에 패키징될 수 있음 이해되어야 한다. 부가적으로, 다른 실시예들은 다음의 청구항들의 범위 내에 있다. 일부 경우들에서, 청구항들에서 열거된 액션들은, 상이한 순서로 수행될 수 있으며, 그럼에도 불구하고 바람직한 결과들을 달성할 수 있다.

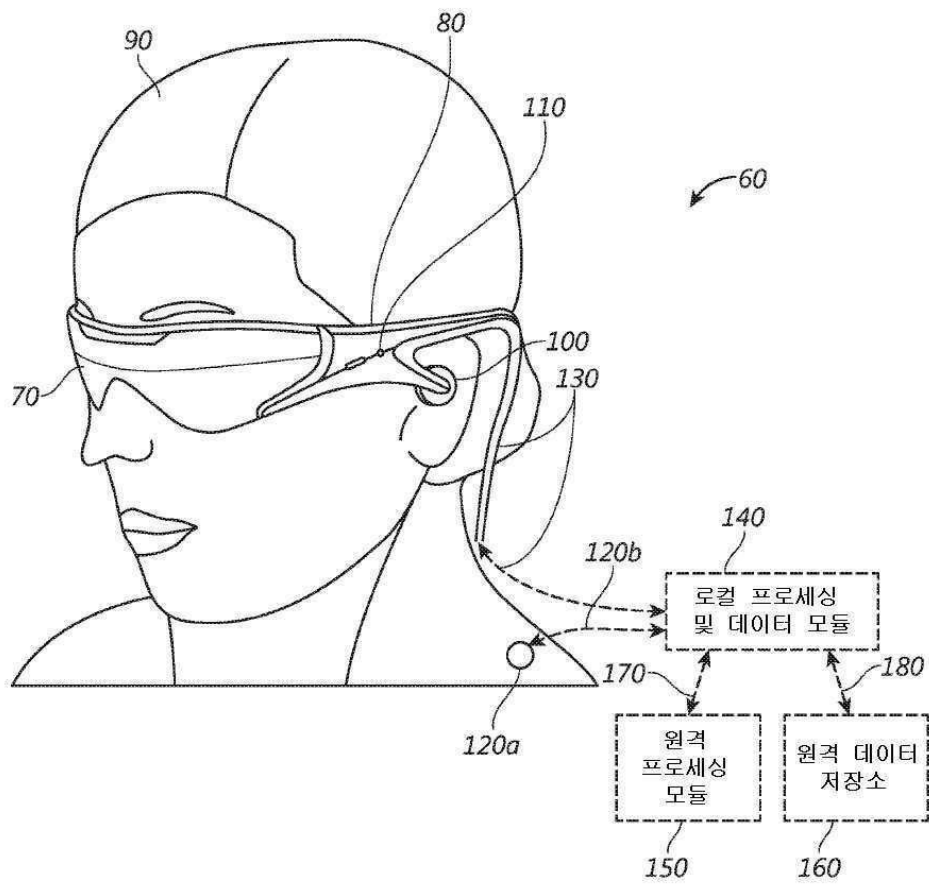
[0142] [0151] 따라서, 청구항들은 본 명세서에 도시된 실시예들로 제한되도록 의도되는 것이 아니라, 본 명세서에 개시된 본 개시내용, 원리들 및 신규한 특성들과 일치하는 가장 넓은 범위에 부합할 것이다.

## 도면

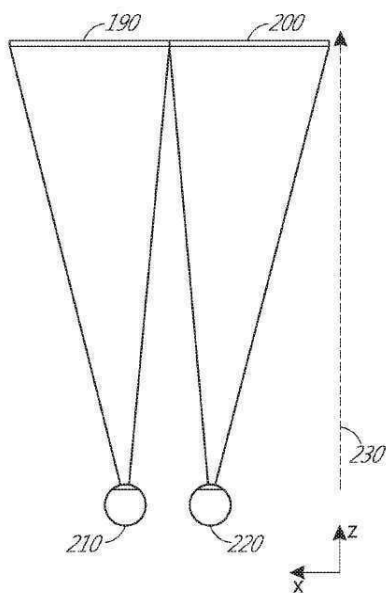
### 도면1



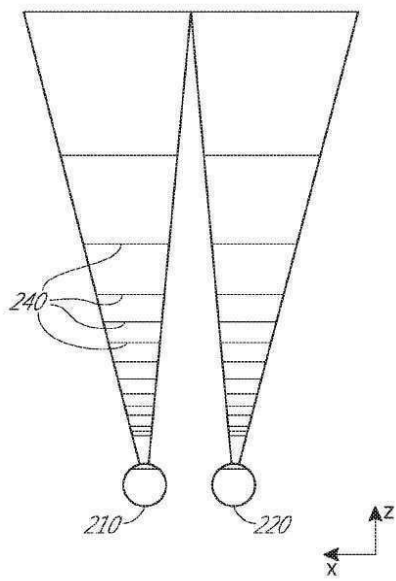
도면2



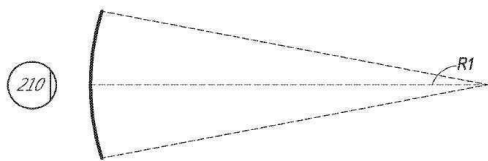
도면3



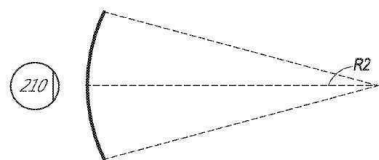
도면4



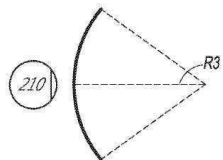
도면5a



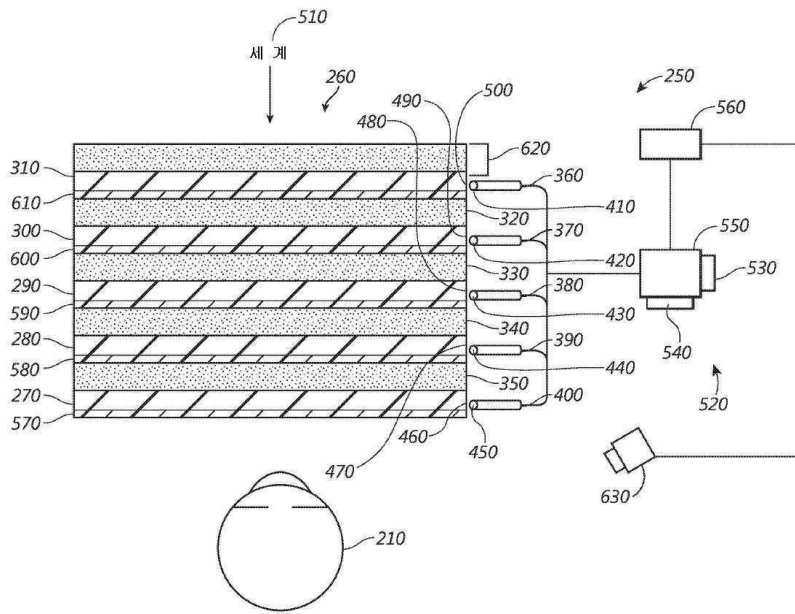
도면5b



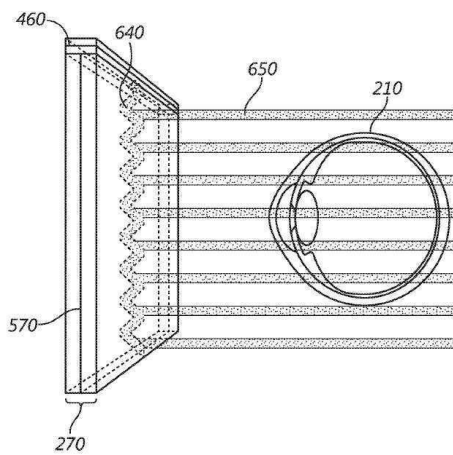
도면5c



도면6

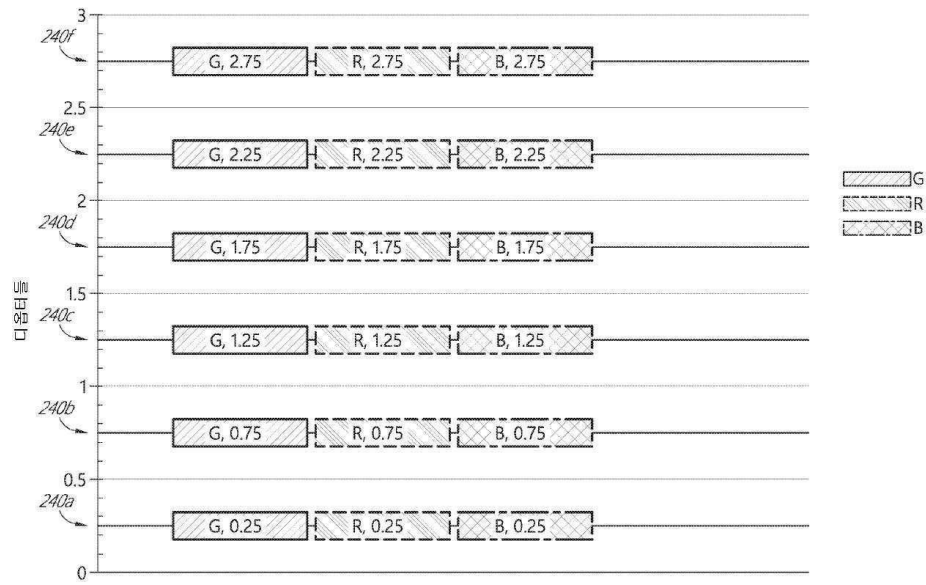


도면7

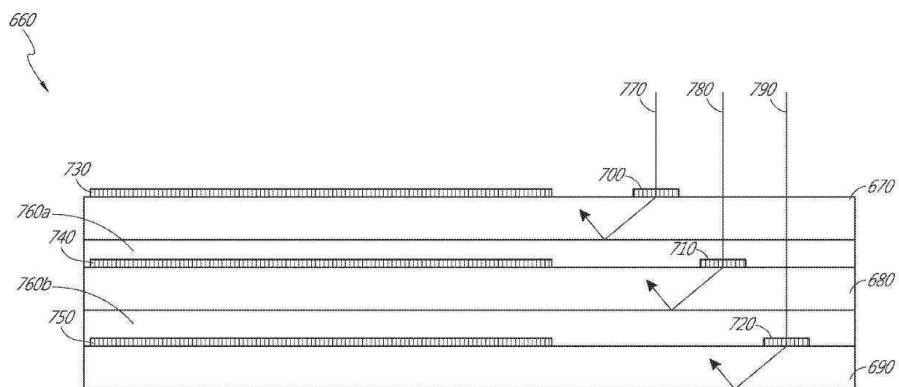




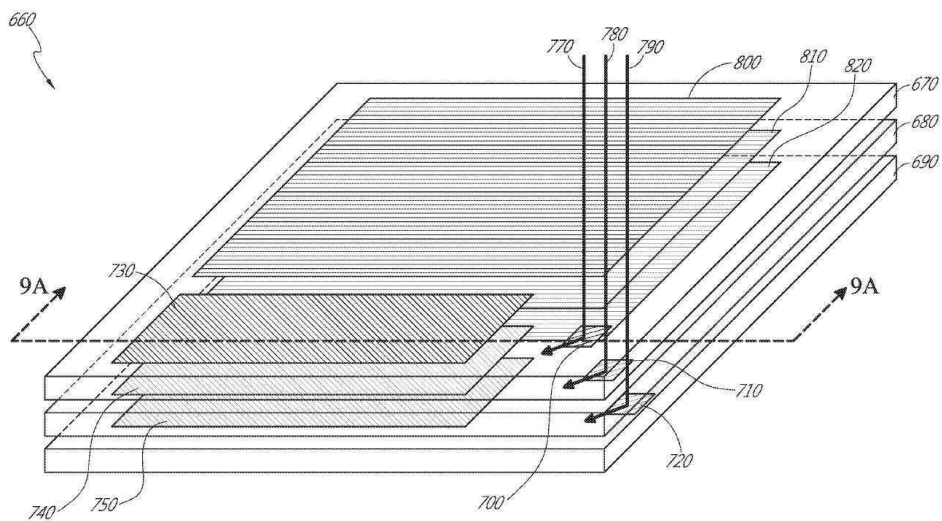
도면8



도면9a

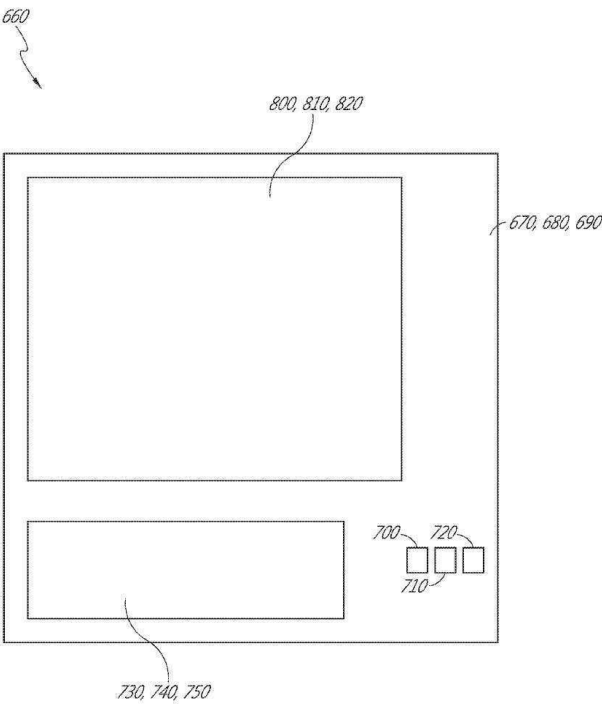


도면9b

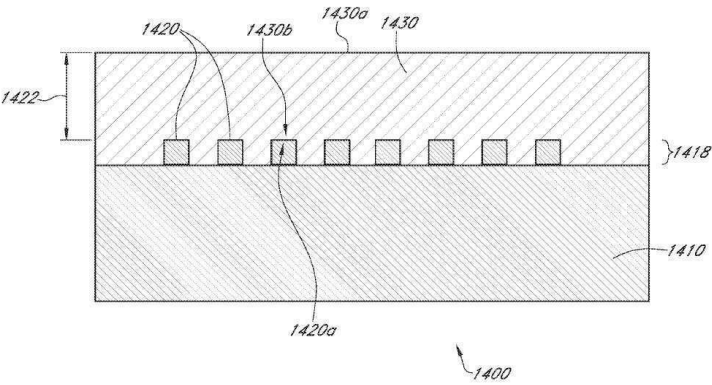




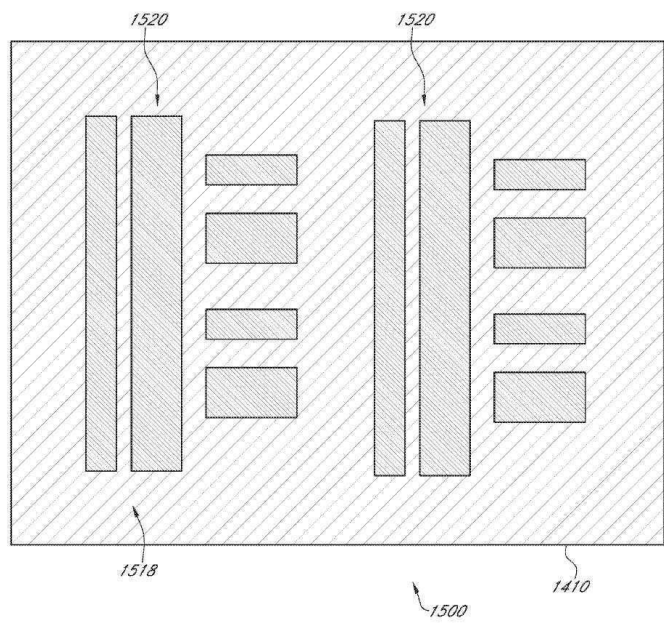
도면9c



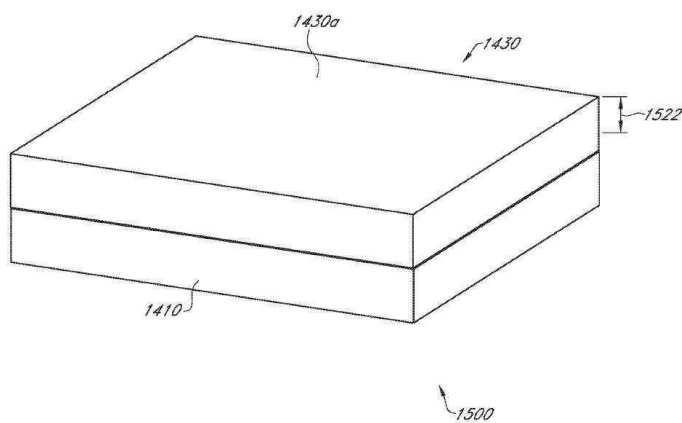
도면10



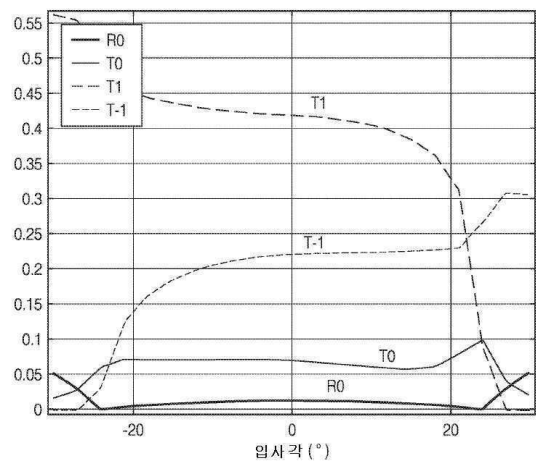
도면11a



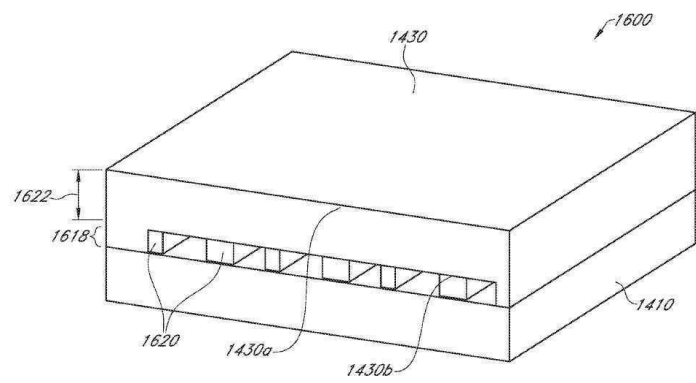
도면11b



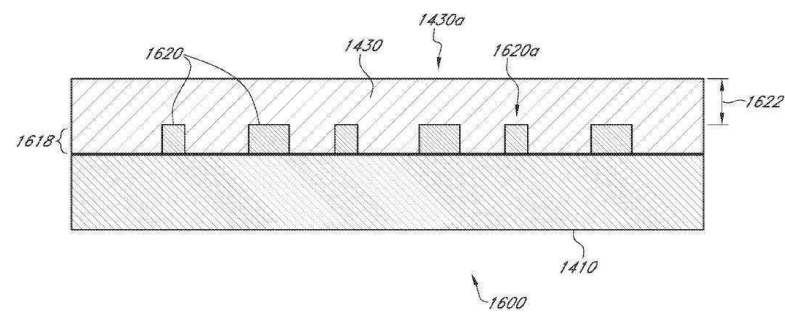
도면11c



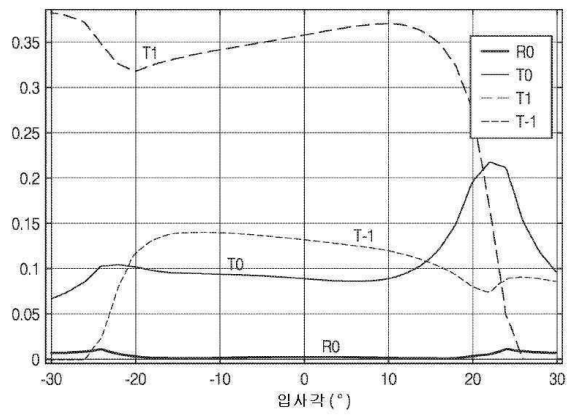
도면12a



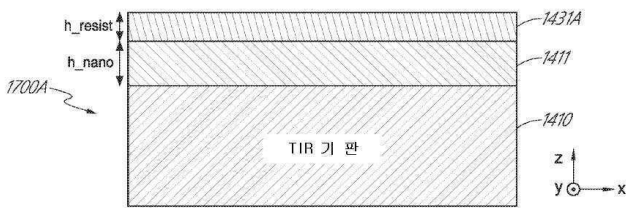
도면12b



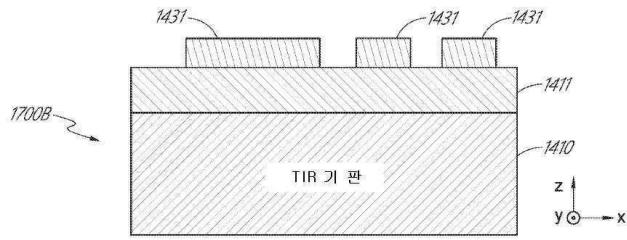
도면12c



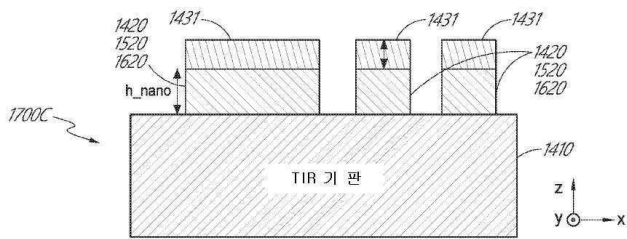
도면13a



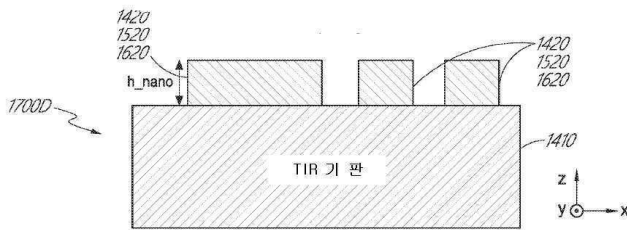
도면13b



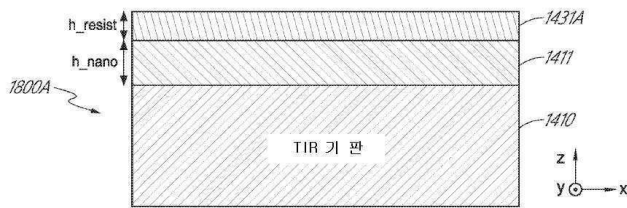
도면13c



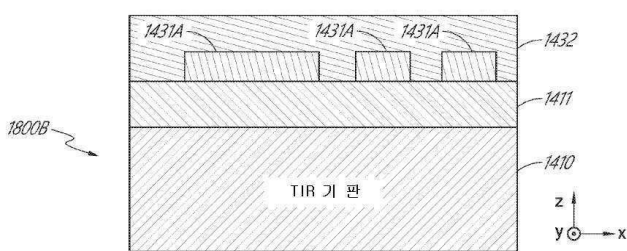
도면13d



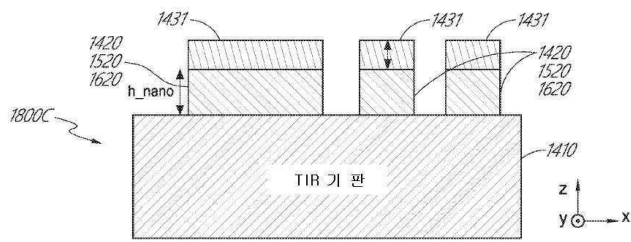
도면14a



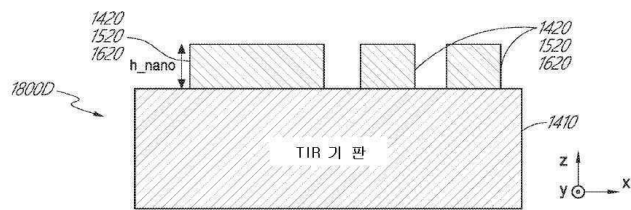
도면14b



도면14c



도면14d



도면15

