



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0065311  
(43) 공개일자 2024년05월14일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
G02B 6/00 (2006.01) G02B 27/01 (2006.01)  
G02B 27/42 (2006.01) G02B 5/18 (2006.01)
- (52) CPC특허분류  
G02B 6/0016 (2013.01)  
G02B 27/0172 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2024-7014015
- (22) 출원일자(국제) 2022년12월09일  
심사청구일자 2024년04월25일
- (85) 번역문제출일자 2024년04월25일
- (86) 국제출원번호 PCT/EP2022/085201
- (87) 국제공개번호 WO 2023/105052  
국제공개일자 2023년06월15일
- (30) 우선권주장  
21213715.2 2021년12월10일  
유럽특허청(EPO)(EP)

- (71) 출원인  
스냅 인코포레이티드  
미국 90405 캘리포니아주 산타 모니카 써티퍼스트 스트리트 3000
- (72) 발명자  
펠란, 시아란 패드레이크  
영국 오엑스14 4에스알 애빙던 파크 드라이브 141  
프록토르, 매튜  
영국 오엑스14 4에스알 애빙던 파크 드라이브 141  
(뒷면에 계속)
- (74) 대리인  
특허법인 무한

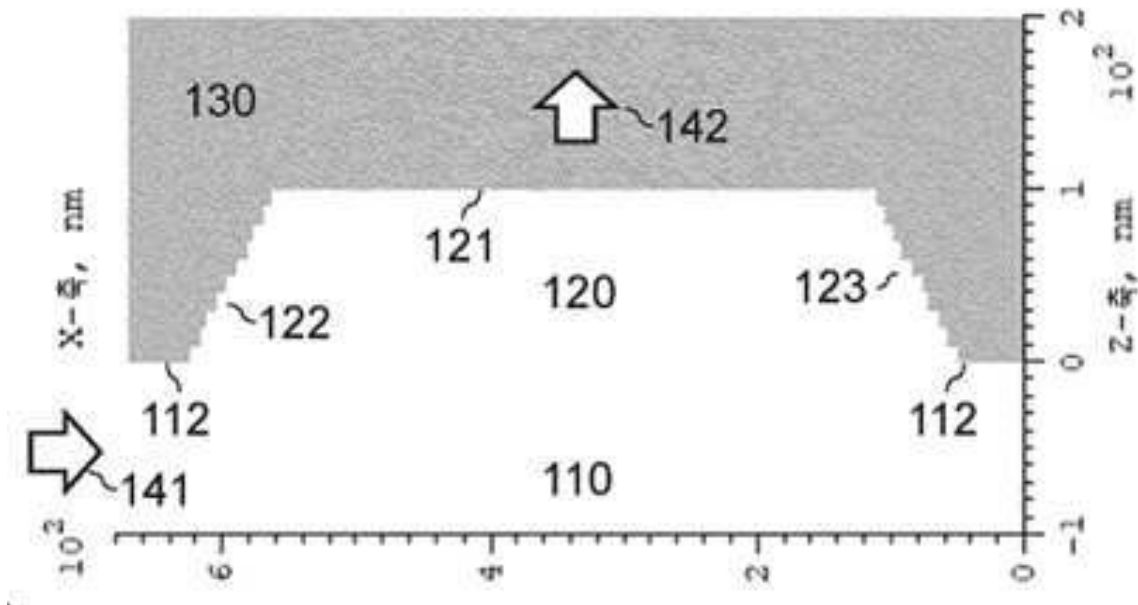
전체 청구항 수 : 총 17 항

(54) 발명의 명칭 증강 현실 또는 가상 현실 디스플레이를 위한 웨이브가이드

(57) 요약

증강 현실 또는 가상 현실 디스플레이에서 사용하기 위한 웨이브가이드는, 평탄한 표면(112)을 가지는 웨이브가이드 기관층(110), 및 상기 평탄한 표면으로 또는 그로부터 연장되는 복수의 광학 구조체(120)를 포함하고, 상기 복수의 광학 구조체는 상기 웨이브가이드에서 적어도 하나의 회절 광학 소자(2)를 제공하기 위해 어레이로 배열 (뒷면에 계속)

대표도 - 도3b



되고, 상기 적어도 하나의 회절 광학 소자는 상기 웨이브가이드의 상기 평면 내에서 입력 방향(141)으로부터 광을 수신하고 상기 웨이브가이드로부터의 수신된 광의 일부를 뷰어를 향해 회절시키도록 구성되고, 상기 입력 방향(141)에 의해 정의되는 평면에서 그리고 상기 평탄한 표면(112)에 수직인 방향(142)으로, 상기 광학 구조체들의 적어도 하나가 탑 에지(121), 제1 사이드 에지(122) 및 제2 사이드 에지를 포함하는 단면을 가지고, 상기 제1 사이드 에지(122)는 상기 평탄한 표면(112)으로부터 상기 탑 에지(121)의 선단부로 연장되고, 상기 탑 에지는 상기 입력 방향(141)에 평행한 메이저 방향으로 상기 선단부로부터 후단부로 연장되고, 상기 제2 사이드 에지(123)는 상기 탑 에지(121)의 상기 후단부로부터 상기 평탄한 표면(112)으로 연장되고, 상기 제1 사이드 에지(122)는 상기 평탄한 표면(112)으로부터 멀어지는 제1의 경사진 메이저 방향을 가지고 - 상기 제1의 경사진 메이저 방향은 상기 평탄한 표면에 평행하지도 않고 상기 평탄한 표면에 수직이지도 않음 -, 및/또는 상기 제2 사이드 에지(123)는 상기 평탄한 표면을 향하는 제2의 경사진 메이저 방향을 가진다 - 상기 제2의 경사진 메이저 방향은 상기 평탄한 표면에 평행하지도 않고 상기 평탄한 표면에 수직이지도 않음 -.

(52) CPC특허분류

*G02B 27/4272* (2013.01)

*G02B 5/1861* (2013.01)

(72) 발명자

**왕, 카이**

영국 오엑스14 4에스알 애빙던 파크 드라이브 141

**팬듀란가, 파라쉬라**

영국 오엑스14 4에스알 애빙던 파크 드라이브 141

**푸신, 데이비드 루이 맥심**

영국 오엑스14 4에스알 애빙던 파크 드라이브 141

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

증강 현실 또는 가상 현실 디스플레이에서 사용하기 위한 웨이브가이드로서,

평탄한 표면을 가지는 웨이브가이드 기관층, 및

상기 평탄한 표면으로 또는 그로부터 연장되는 복수의 광학 구조체를 포함하고,

상기 복수의 광학 구조체는 상기 웨이브가이드에서 적어도 하나의 회절 광학 소자를 제공하기 위해 어레이로 배열되고, 상기 적어도 하나의 회절 광학 소자는 상기 웨이브가이드의 상기 평면 내에서 입력 방향으로부터 광을 수신하고 상기 웨이브가이드로부터의 수신된 광의 일부를 뷰어(viewer)를 향해 회절시키도록 구성되고,

상기 입력 방향 및 상기 평탄한 표면에 수직인 방향에 의해 정의되는 평면에서, 상기 광학 구조체들의 적어도 하나가 탑 에지(top edge), 제1 사이드 에지(side edge) 및 제2 사이드 에지를 포함하는 단면을 가지고, 상기 제1 사이드 에지는 상기 평탄한 표면으로부터 상기 탑 에지의 선단부(leading end)로 연장되고, 상기 탑 에지는 상기 입력 방향에 평행한 메이저 방향(major direction)으로 상기 선단부로부터 후단부(following edge)로 연장되고, 상기 제2 사이드 에지는 상기 탑 에지의 상기 후단부로부터 상기 평탄한 표면으로 연장되고,

상기 제1 사이드 에지는 상기 평탄한 표면으로부터 멀어지는 제1의 경사진 메이저 방향을 가지고 - 상기 제1의 경사진 메이저 방향은 상기 평탄한 표면에 평행하지도 않고 상기 평탄한 표면에 수직이지도 않음 -, 및/또는 상기 제2 사이드 에지는 상기 평탄한 표면을 향하는 제2의 경사진 메이저 방향을 가지는 - 상기 제2의 경사진 메이저 방향은 상기 평탄한 표면에 평행하지도 않고 상기 평탄한 표면에 수직이지도 않음 - 웨이브가이드.

#### 청구항 2

제1항에 있어서,

상기 제1 사이드 에지는 상기 평탄한 표면으로부터 멀어지는 상기 제1의 경사진 메이저 방향을 가지고, 상기 제1의 경사진 메이저 방향은 상기 평탄한 표면에 평행하지도 않고 상기 평탄한 표면에 수직이지도 않고, 그리고

상기 제2 사이드 에지는 상기 평탄한 표면을 향하는 상기 제2의 경사진 메이저 방향을 가지고, 상기 제2의 경사진 메이저 방향은 상기 평탄한 표면에 평행하지도 않고 상기 평탄한 표면에 수직이지도 않고, 그리고 더욱이

상기 제1의 경사진 메이저 방향 및 상기 입력 방향 간의 각도는 상기 제2의 경사진 메이저 방향 및 상기 입력 방향 간의 각도와 동일한, 평판형 웨이브가이드.

#### 청구항 3

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 제1 또는 제2의 경사진 메이저 방향 및 상기 입력 방향 간의 각도는 90도 보다 더 낮은, 평판형 웨이브가이드.

#### 청구항 4

제1항 내지 제3항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 제1 또는 제2의 경사진 메이저 방향 및 상기 입력 방향 간의 각도는 90도 보다 더 큰, 평판형 웨이브가이드.

#### 청구항 5

제1항 내지 제4항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 복수의 광학 구조체는 제1항에 정의된 상기 단면을 가지고,

상기 복수의 광학 구조체는 입력 방향(141)으로 서로 다른 변위들을 가지는 서로 다른 위치들에 배열되고, 상기 제1 또는 제2의 메이저 방향 및 상기 입력 방향 간의 각도는 각각의 제각기의 광학 구조체에 대해 입력 방향으로의 변위의 함수로서 감소하는, 평판형 웨이브가이드.

**청구항 6**

제1항 내지 제5항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 광학 구조체들 중의 상기 적어도 하나는 광 코팅(optical coating)을 포함하는, 평판형 웨이브가이드.

**청구항 7**

제6항에 있어서, 상기 제1의 경사진 메이저 방향 및 상기 입력 방향 간의 각도는 90도 이상이고, 상기 코팅은 상기 제1 사이드 에지 상에 제공되고, 또는 상기 제2의 경사진 메이저 방향 및 상기 입력 방향 간의 각도는 90도 이상이고, 상기 코팅은 상기 제2 사이드 에지 상에 제공되는, 평판형 웨이브가이드.

**청구항 8**

제1항 내지 제7항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 적어도 하나의 회절 광학 소자에서, 상기 평탄한 표면은 에어 인터페이스(air interface)인, 평판형 웨이브가이드.

**청구항 9**

제1항 내지 제7항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 적어도 하나의 회절 광학 소자에서, 상기 평탄한 표면은 서로 다른 굴절 지수들을 가지는 2개의 기관들 간의 인터페이스인, 평판형 웨이브가이드.

**청구항 10**

제1항 내지 제9항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 복수의 광학 구조체는 상기 웨이브가이드 상에서 또는 그에서 서로의 위에 오버레이된 적어도 2개의 회절 광학 소자들을 제공하기 위해 어레이로 배열되고, 상기 2개의 회절 광학 소자들의 각각은 입력 방향으로부터 광을 수신하고 이를 다른 회절 광학 소자를 향해 결합시키도록 구성되고, 그러면 상기 다른 회절 광학 소자는 출력 회절 광학 소자로서 기능할 수 있어 뷰어를 향해 아웃커플링된 차수들(outcoupled orders)을 제공하고, 상기 복수의 광학 구조체의 상기 적어도 하나는, 상기 웨이브가이드의 상기 평면에서 보았을 때, 서로 다른 각도에서 제각기의 법선 벡터들을 가지는 복수의 실질적으로 일직선인 사이드들(substantially straight sides)을 포함하는 모양을 가지는, 평판형 웨이브가이드.

**청구항 11**

제10항에 있어서, 상기 웨이브가이드의 상기 평면에서 보았을 때, 상기 사이드들 중의 하나는 상기 어레이에서의 광학 구조체들의 간격(spacing)의 약 0.1에서 0.4의 비율(ratio)인 길이를 가지는, 평판형 웨이브가이드.

**청구항 12**

제10항 또는 제11항에 있어서, 상기 웨이브가이드의 상기 평면에서 보았을 때, 상기 적어도 하나의 광학 구조체는 상기 2개의 제각기의 회절 광학 소자들에 실질적으로 평행한 사이드들을 포함하는, 평판형 웨이브가이드.

**청구항 13**

제10항 내지 제12항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 웨이브가이드의 상기 평면에서 보았을 때, 상기 적어도 하나의 광학 구조체는 상기 입력 방향에 대해 실질적으로  $\pm 30^\circ$ 로 각진(angled) 사이드들을 포함하는, 평판형 웨이브가이드.

#### 청구항 14

제10항 내지 제13항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 웨이브가이드의 상기 평면에 평행하고 상기 웨이브가이드의 상기 평면으로부터 서로 다른 거리들  $z$ 만큼 움푹진 복수의 평면 중 하나에서 보았을 때, 상기 적어도 하나의 광학 구조체는 평행사변형 모양의 구조를 가지고, 상기 평행사변형의 적어도 하나의 코너는 외부로라기 보다는 내부로(inward) 돌출되기 위해 뒤집혀서(inverted), 길이  $n$ 의 사이드들을 가지는 노치(notch)를 형성하고,

$n$ 은 거리  $z$ 에 무관하게 고정되어 있거나  $n$ 은 거리  $z$ 의 함수로서 변하는, 평판형 웨이브가이드.

#### 청구항 15

제10항 내지 제14항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 웨이브가이드의 상기 평면에 평행하고 상기 평탄한 표면으로부터 서로 다른 거리들  $z$ 만큼 움푹진 복수의 평면 중 하나에서 보았을 때,

상기 광학 구조체의 주변부(perimeter)는 상기 거리  $z$ 의 함수로서 증가하거나,

상기 광학 구조체의 주변부는 상기 거리  $z$ 의 함수로서 감소하는, 평판형 웨이브가이드.

#### 청구항 16

제10항 내지 제15항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 입력 방향은 입력 축을 정의하고, 상기 광학 구조체들은 상기 웨이브가이드의 상기 평면에서 상기 입력 축으로부터 접선 방향으로 변위된 위치들에서 서로 다른 모양들을 가지는, 평판형 웨이브가이드.

#### 청구항 17

제1항 내지 제16항 중 어느 한 항에 있어서,

광을 상기 웨이브가이드로 결합시키고 상기 어레이에 있는 상기 복수의 광학 구조체에 입력 방향으로 광을 제공하도록 구성된 입력 회절 광학 소자를 포함하는, 평판형 웨이브가이드.

### 발명의 설명

#### 기술 분야

[0001] 본 발명은, 증강 현실 또는 가상 현실 디스플레이에서 사용하기 위한 웨이브가이드에 관한 것이다. 특히, 본 발명은, 광이 웨이브가이드로부터 뷰어를 향해 결합되는 웨이브가이드에 관한 것이다.

#### 배경 기술

[0002] 통상적인 증강 현실 셋업에서, 사용자 앞에 투명한 디스플레이 스크린이 제공되어 이들이 물리적 세계를 계속하여 볼 수 있다. 디스플레이 스크린은 전형적으로 글래스 웨이브가이드이고, 프로젝터는 한 쪽으로 제공된다. 프로젝터로부터의 광은 회절 격자(입력 격자)에 의해 웨이브가이드로(into the waveguide) 결합된다. 투사된 광은 웨이브가이드 내에서 내부적으로 전반사된다. 그러면, 이 광은 다른 회절 격자에 의해 웨이브가이드로부터 결합되어 사용자가 이를 볼 수 있게 된다. 프로젝터는 물리적 세계에 대한 사용자의 시야를 증강시키는 정보 및/또는 영상들을 제공할 수 있다.

[0003] 추가적으로, 웨이브가이드는, 회절 광학 소자(diffraction optical element: DOE)(예를 들어, 회절 격자)를 웨이브가이드의 표면을 따라 연장되도록 배열함으로써, 내부적 전반사에 의해 웨이브가이드 내에서 진행되는 광이

웨이브가이드를 따라 복수의 상호작용 포인트에서 DOE와 복수 회 상호작용할 수 있어 상호작용 포인트들의 각각에서 새로운 방향으로 광의 일부를 회절시키도록 함으로써 1차원 또는 2차원으로 광을 확장할 수 있다.

[0004] 예를 들어, 회절 웨이브가이드 결합기들(diffractive waveguide combiners)은 증강 현실 또는 가상 현실 장치들을 위한 디스플레이들의 개발에 사용되어 왔다. 그러한 회절 웨이브가이드 결합기들은 적어도 하나의 웨이브가이드 기관으로 만들어지는데, 이는 프로젝터로부터 입력 영상을 수신하는 적어도 하나의 입력 영역 및 입력 영역으로부터 입력 영상을 수신하고 그를 아이박스(eyebow)를 따라 복제하고 디스플레이를 통해 보는 뷰어의 눈을 향해 그러한 복제된 입력 영상들을 리디렉트하는(redirect) 적어도 하나의 출력 영역을 포함한다.

[0005] 그러나, 광이 DOE와 복수 회 상호작용할 때, 회절되지 않은 광의 밝기는 각각의 상호작용마다 감소되는데, 이는, 광이 관찰될 때 그 밝기가 확장 방향을 따라 불균일하다는 것을 의미한다. 이러한 불균일성이 충분히 강하다면, 이는 웨이브가이드로부터의 광을 볼 때 인지될 수 있다. 예를 들어, 종래의 나노구조 소자 어레이들은 광도의 바람직하지 못한 분포 또는 만족스럽지 못한 균일성을 야기할 수 있다.

[0006] WO 2018/178626은 이러한 문제에 관련된 하나의 예를 기술한다. WO 2018/178626에서, 웨이브가이드 내에서의 광의 회절성 2D 확장은 웨이브가이드로부터의 직접 회절보다 덜 효율적일 수 있어서, 밝은 중앙 스트립(bright central strip)을 생성한다. 이는 웨이브가이드의 평면에서 광학 구조체들의 단면 모양을 변경함으로써 해결된다.

[0007] 여전히, 회절 광학 소자의 회절을 변경하는 대안적인 방식들을 제공하는 것이 바람직하다.

### 발명의 내용

[0008] 본 발명의 제1 측면에 따르면, 증강 현실 또는 가상 현실 디스플레이에서 사용하기 위한 웨이브가이드가 제공된다. 본 웨이브가이드는, 평탄한 표면을 가지는 웨이브가이드 기관층, 및 상기 평탄한 표면으로 또는 그로부터 연장되는 복수의 광학 구조체를 포함하고, 상기 복수의 광학 구조체는 상기 웨이브가이드 상에서 또는 그에서 적어도 하나의 회절 광학 소자를 제공하기 위해 어레이로 배열되고, 상기 적어도 하나의 회절 광학 소자는 상기 웨이브가이드의 상기 평면 내에서 입력 방향으로부터 광을 수신하고 상기 웨이브가이드로부터의 수신된 광의 일부를 뷰어(viewer)를 향해 회절시키도록 구성되고, 상기 입력 방향 및 상기 평탄한 표면에 수직인 방향에 의해 정의되는 평면에서, 상기 광학 구조체들의 적어도 하나가 탑 에지(top edge), 제1 사이드 에지(side edge) 및 제2 사이드 에지를 포함하는 단면을 가지고, 상기 제1 사이드 에지는 상기 평탄한 표면으로부터 상기 탑 에지의 선단부(leading end)로 연장되고, 상기 탑 에지는 상기 입력 방향에 평행한 메이저 방향(major direction)으로 상기 선단부로부터 후단부(following edge)로 연장되고, 상기 제2 사이드 에지는 상기 탑 에지의 상기 후단부로부터 상기 평탄한 표면으로 연장되고, 상기 제1 사이드 에지는 상기 평탄한 표면으로부터 멀어지는 제1의 경사진 메이저 방향을 가지고 - 상기 제1의 경사진 메이저 방향은 상기 평탄한 표면에 평행하지도 않고 상기 평탄한 표면에 수직이지도 않음 -, 및/또는 상기 제2 사이드 에지는 상기 평탄한 표면을 향하는 제2의 경사진 메이저 방향을 가진다 - 상기 제2의 경사진 메이저 방향은 상기 평탄한 표면에 평행하지도 않고 상기 평탄한 표면에 수직이지도 않음 -.

[0009] 발명자들이 발견한 바와 같이, 광학 구조체의 사이드 에지들의 적어도 하나가 평탄한 표면에 평행하지도 않고 수직이지도 않게 되도록 구성함으로써, 광학 구조체를 포함하는 회절 광학 소자의 아웃커플링(outcoupling) 효율이, 사각형의 단면들을 가지는 이산적 광학 구조체들을 포함하는 종래의 회절 광학 소자들의 효율에 비해 증가되거나 감소될 수 있다. 이는, 회절 광학 소자의 효율을 제어하는 추가의 방식을 제공하고, 예를 들어 웨이브가이드에 의해 출력되는 확장된 광의 균일성을 개선하기 위해 사용될 수 있다.

[0010] 위에서, '평탄한 표면에 평행'하다는 것은, 제1 또는 제2 사이드 에지가 평탄한 표면과 같은 높이인 완전히 평평한 표면에 대응할 것이고 '평탄한 표면에 수직'이라는 것은 종래의 구성들에 해당되는 광학 구조체에 대응한다는 점에 주목하자.

[0011] 제1 측면은 '메이저 방향들'을 가지는 에지들(edges)에 의해 정의된다. 이는, 광학 구조체들을 제조하기 위한 서로 다른 기법들이 서로 다른 정밀도들을 가지고 있고 정의된 에지들이 잘 정의된 각도들(well-defined angles)에서 만나는 완전히 일직선의 에지들이 아닐 수 있음을 반영한다. 본 발명의 기술된 효과들은, 에지들의 특징 방향들(characteristic directions)(예를 들어, 평균 방향들)이 열거된 특징들을 가지는 한, 그럼에도 불구하고 존재한다.

[0012] 바람직하게, 제1 및 제2 사이드 에지들의 모두가 경사진 메이저 방향을 가지는 경우에, 제1의 경사진 메이저 방

향 및 입력 방향 간의 각도는 제1의 경사진 메이저 방향 및 입력 방향 간의 각도와 동일할 수 있다. 다시 말해서, 제1 및 제2 사이드 에지들은 반사 대칭(reflective symmetry)으로 정렬된다. 이는 광학 구조체들의 중심들의 위치들을 움직이는 것을 피하고 웨이브가이드의 평면에 비해 경사진 사이드들의 각도를 변화시키는 효과의 예측을 단순화시킬 수 있다.

- [0013] 바람직하게, 제1 또는 제2의 경사진 메이저 방향 및 입력 방향 간의 각도는 90도 보다 더 낮다. 이러한 구성이 아웃커플링의 효율을 증가시킴을 본 발명자들이 발견하였다. 이는, 비교적 어둡침침한 위치(예를 들어, WO2018/178626에 기술된 밝은 중앙 스트립의 밖에 있는 위치)에서 웨이브가이드로부터 회절되는 광의 밝기를 증가시키기 위해 바람직할 수 있다.
- [0014] 바람직하게, 제1 및 제2의 경사진 메이저 방향 및 입력 방향 간의 각도는 90도 보다 더 크다. 이러한 구성이 아웃커플링의 효율을 감소시킴을 본 발명자들이 발견하였다. 이는, 비교적 밝은 위치(예를 들어, WO2018/178626에 기술된 밝은 중앙 스트립 내의 위치)에서 웨이브가이드로부터 회절되는 광의 밝기를 감소시키기 위해 바람직할 수 있다.
- [0015] 바람직하게, 제1 및 제2의 메이저 방향 및 입력 방향 간의 각도는, 각각의 제각기의 광학 구조체에 대해 입력 방향(X)으로의 변위의 함수로서 감소한다. 배경으로서 논의된 바와 같이, 웨이브가이드로부터 확장된 영상에 있어서의 불균일성은, 웨이브가이드에서 가이드되는 광의 경로를 따라 회절 광학 소자와의 초기 상호작용들에서 너무 많은 광이 출력되고 회절 광학 소자와의 후기 상호작용들에서 너무 적은 광이 출력되도록 유지되기 때문에 일어날 수 있다. 위치의 함수로서 대칭적인 방식으로 광학 구조체들을 변경함으로써, 이는 초기 상호작용들에 대해 감소된 회절 효율을 제공하고 후기 상호작용들에 대해 증가된 회절 효율을 제공함으로써 보상될 수 있다.
- [0016] 바람직하게, 광학 구조체들의 적어도 하나는 광 코팅(optical coating)을 포함한다. 코팅은 회절 효율을 변경하는 알려진 방식인데, 이는 회절 효율의 추가의 변경을 제공하기 위해 광학 구조체들에서의 경사진 에지를 사용하는 것과 결합될 수 있다. 예를 들어, 광 코팅은  $TiO_2$ ,  $SiO_2$ ,  $Nb_2O_5$ ,  $HfO_2$  중 적어도 하나를 포함할 수 있다.
- [0017] 그러나, 몇몇 코팅 기법들은, 광학 구조체가 사이드 에지 및 평탄한 표면 간의 언더컷(undercut)을 포함하는 경우들에 또는 심지어 사이드 에지가 평탄한 표면에 수직인 경우에 갭(gap)을 남길 수 있다. 따라서, 완전한 코팅을 제공하기 위해, 사이드 에지(들)을 코팅하는 단계를 명시적으로 포함하도록 코팅 기법이 변경될 수 있다.
- [0018] 제1 측면의 광학 구조체들은, 웨이브가이드 기관층의 평탄한 표면이 에어 인터페이스가 되도록 설계함으로써, 외부 표면 특징들로서 제공될 수 있다. 대안적으로, 제1 측면의 광학 구조체들은, 웨이브가이드 기관층의 평탄한 표면이 서로 다른 굴절 지수들을 가지는 2개의 기관들 간의 인터페이스인 광결정(photonic crystal)으로서 제공될 수 있다. 물론, 평탄한 표면이, 에어 인터페이스 또는 다른 것인, 광학 구조체들로부터 떨어져 있는 영역을 가지는 경우, 이는 본 발명에 대해 적절하지 않다.
- [0019] 선택적으로, 제1 측면은, WO 2018/178626에 기술된 바와 같이 웨이브가이드의 평면에서의 광학 구조체들의 추가의 구조적 특징들과 결합될 수 있다. 이는 웨이브가이드 내에서의 그리고 웨이브가이드로부터의 복수의 모드에서 회절 효율의 증가된 제어를 제공할 수 있다.
- [0020] 더욱 구체적으로, 선택적으로, 복수의 광학 구조체는, 웨이브가이드에서 서로의 위에 오버레이된 적어도 2개의 회절 광학 소자들을 제공하기 위해 어레이로 배열되는데, 여기서 2개의 회절 광학 소자들의 각각은 입력 방향으로부터 광을 수신하고 이를 다른 회절 광학 소자를 향해 결합시키도록 구성되고, 그러면 이 다른 회절 광학 소자는 출력 회절 광학 소자로서 기능할 수 있어 뷰어를 향해 아웃커플링된 차수들(outcoupled orders)을 제공하게 되고, 복수의 광학 구조체의 적어도 하나는, 웨이브가이드의 평면에서 보았을 때, 서로 다른 각도에서 제각기의 법선 벡터들을 가지는 복수의 실질적으로 일직선인 사이드들(substantially straight sides)을 포함하는 모양을 가진다.
- [0021] 제1 구현 옵션으로서, 웨이브가이드의 평면에서 보았을 때, 2개의 회절 광학 소자들이 오버레이되는 경우에, 상기 사이드들 중의 하나는 상기 어레이에서의 광학 구조체들의 간격(spacing)의 약 0.1에서 0.4의 비율(ratio)인 길이를 가질 수 있다.
- [0022] 제2 구현 옵션으로서, 상기 웨이브가이드의 상기 평면에서 보았을 때 2개의 회절 광학 소자들이 오버레이되는 경우에, 상기 적어도 하나의 광학 구조체는 상기 2개의 제각기의 회절 광학 소자들에 실질적으로 평행한 사이드



들을 포함할 수 있다.

- [0023] 제3 구현 옵션으로서, 상기 웨이브가이드의 상기 평면에서 보았을 때 2개의 회절 광학 소자들이 오버레이되는 경우에, 상기 적어도 하나의 광학 구조체는 상기 입력 방향에 대해 실질적으로  $\pm 30$ 도로 각진(angled) 사이드들을 포함할 수 있다.
- [0024] 제4 구현 옵션으로서, 상기 웨이브가이드의 상기 평면에서 보았을 때 2개의 회절 광학 소자들이 오버레이되는 경우에, 상기 입력 방향은 입력 축을 정의하고, 상기 광학 구조체들은 상기 웨이브가이드의 상기 평면에서 상기 입력 축으로부터 접선 방향으로 변위된 위치들에서 서로 다른 모양들을 가진다.
- [0025] 몇몇 구현예들에서, 상기 웨이브가이드의 상기 평면에 평행하고 상기 웨이브가이드의 상기 평면으로부터 서로 다른 거리들  $z$ 만큼 움푹된 복수의 평면 중 하나에서 보았을 때, 상기 적어도 하나의 광학 구조체는 평행사변형(parallelogram) (또는 더욱 구체적으로, 마름모꼴(rhombus)) 모양의 구조를 가진다. 더욱이, 평행사변형 모양의 구조체에서, 상기 마름모꼴의 적어도 하나의 코너는 외부로라기 보다는 내부로(inward) 돌출되기 위해 뒤집혀서(inverted), 길이  $n$ 의 사이드들을 가지는 노치(notch)를 형성한다. 그러한 구현예들에서,  $n$ 은 거리  $z$ 에 무관하게 고정되어 있을 수 있다. 대안적으로, 길이  $n$ 은 거리  $z$ 의 함수로서 변할 수 있다. 거리  $z$ 의 함수로서  $n$ 을 변화시키는 것은 시야(field of view)에 걸쳐 광의 균일성을 증가시킴이 발견되었다. 예를 들어,  $n$ 은 평행사변형 단면의 주변부(perimeter) 또는 영역과 비례적으로 변할 수 있다.
- [0026] 몇몇 구현예들에서, 상기 웨이브가이드의 상기 평면에 평행하고 상기 평탄한 표면으로부터 서로 다른 거리들  $z$ 만큼 움푹된 복수의 평면 중 하나에서 보았을 때, 상기 광학 구조체의 주변부는 거리  $z$ 의 함수로서 증가하거나 상기 광학 구조체의 주변부는 거리  $z$ 의 함수로서 감소한다.
- [0027] 본 평판형 웨이브가이드는 또한, 광을 상기 웨이브가이드로 결합시키고 상기 어레이에 있는 상기 복수의 광학 구조체에 입력 방향으로 광을 제공하도록 구성된 입력 회절 광학 소자를 포함한다.
- [0028] 제2 측면에 따르면, 다음의 개시는 증강 현실 또는 가상 현실 디스플레이를 위한 회절 웨이브가이드 결합기(diffractive waveguide combiner)를 제공한다. 본 회절 웨이브가이드 결합기는, 웨이브가이드, 입력 영역, 회절성 나노구조체들의 제1 어레이(first array of diffractive nanostructures) - 상기 회절성 나노구조체들의 제1 어레이는 상기 입력 영역으로부터 영상 담지 광의 동공(pupil of image bearing light)을 수신하고 복제된 동공을 뷰어의 눈을 향해 전달하기(directing) 전에 상기 동공을 상기 어레이에 걸쳐 복제하도록 구성된 결합된 확장 및 출력 영역(combined expansion and output region)으로서 배열됨 - 를 포함하고, 여기서 각각의 회절성 나노구조체는 복수의 측면, 하부 경계 및 상부 경계를 포함하는 3차원 객체이고, 상기 하부 및 상부 경계들은 서로 평행하고 서로 다른 영역들을 가지고, 선택적으로 상기 결합된 확장 및 출력 영역은, 상기 회절성 나노구조체들의 제1 어레이와 다른 나노구조체들의 하나 이상의 추가의 어레이들을 추가로 포함한다.
- [0029] 제2 측면의 실시예에서, 상부 경계의 영역은 하부 경계의 그것 보다 더 크다.
- [0030] 제2 측면의 다른 실시예에서, 상부 경계의 영역은 하부 경계의 그것 보다 더 낮다.
- [0031] 제2 측면의 실시예들에서, 각각의 측면은 평면 내에 그리고 하부 및 상부 경계들에 대한 각도에서 포함될 수 있다. 이 각도는 바람직하게 0도 보다 더 크고 90도 보다 더 낮다.

**도면의 간단한 설명**

- [0032] 이제 본 발명의 실시예들이 도면들을 참조하여 예로서 기술된다.

도 1은 공지의 웨이브가이드의 상면도이다.

도 2는 공지의 웨이브가이드의 다른 상면도이다.

도 3a 내지 도 3c는 회절 광학 소자에서 사용하기 위한 광학 구조체들의 단면도들이다.

도 3d는 도 3a 내지 도 3c에서의 구조체들의 각각에 대한 아웃커플링 효율의 그래프이다.

도 4a 내지 도 4c는 회절 광학 소자에서 사용하기 위한 광학 구조체들의 단면도들이다.

도 4d는 도 4a 내지 도 4c에서의 구조체들의 각각에 대한 아웃커플링 효율의 그래프이다.

도 5a 내지 도 5c는 회절 광학 소자에서 사용하기 위한 광학 구조체들의 단면도들이다.



도 5d는 도 5a 내지 도 5c에서의 구조체들의 각각에 대한 아웃커플링 효율의 그래프이다.

도 6은 본 발명의 실시예에서의 웨이브가이드에서 사용하기 위한 광결정의 상면도이다.

도 7은 본 발명의 실시예에서의 웨이브가이드에서의 광결정에서 사용될 수 있는 서로 다른 모양들을 가진 광학 구조체들의 여러 예들을 도시한다.

도 8은 본 발명의 실시예에서의 웨이브가이드에서 사용하기 위한 광결정의 상면도이다.

도 9는 본 발명의 실시예에서, 특정 모양을 가진 광학 구조체에 대해서 노치 폭(notch width)에 따라 회절 효율이 어떻게 변하는지를 보여주는 그래프이다.

도 10은 본 발명의 실시예에서, 다른 모양을 가진 광학 구조체에 대해서 플랫폼 사이드 폭(flat sided width)에 따라 회절 효율이 어떻게 변하는지를 보여주는 다른 그래프이다.

도 11a 및 도 11b는 도 6 내지 도 8에 해당하는 3D 광학 구조체들의 예들의 3D 와이어프레임(wireframe) 도면들이다.

도 12a 및 도 12b는 언더컷(undercut) 또는 오버컷(overcut) 측벽들을 가진, 도 11a에 해당하는 3D 광학 구조체들의 예들의 3D 와이어프레임 도면들이다.

도 13a 및 도 13b는 언더컷 또는 오버컷 측벽들을 가진, 도 11b에 해당하는 3D 광학 구조체들의 예들의 3D 와이어프레임 도면들이다.

도 14a 내지 도 14c는 서로 다른 각도들에서의 언더컷 측벽들을 가진, 도 11b에 해당하는 3D 광학 구조체들의 상면도들 및 측단면도들이다.

도 15는 서로 다른 측벽 각도들을 포함하는 표면 특징들을 보여주는, 웨이브가이드를 통한 단면 전자현미경사진이다.

도 16a 및 도 16b는 측벽 각도의 함수로서, 시야에 걸친 광도의 균일성을 보여주는 그래프들이다.

도 17은 웨이브가이드들의 특성들의 표인데, 여기서 오른쪽 컬럼은 광학 구조체들의 측벽 각도를 변화시킨 결과로서 웨이브가이드로부터 보여지는 백색광의 특성들에 있어서의 변화를 나타낸다.

도 18a 및 도 18b는 대안적인 사각 격자 광결정 구조체(square grating photonic crystal structure)의 상면도 및 사시도이다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0033] 도 1 및 도 2는, 이하에서 기술되는 발명이 적용되는 공지의 웨이브가이드(6)의 상면도들이다. 이 공지의 웨이브가이드에서, 입력 회절 격자(1)가 프로젝터(도시되지 않음)로부터의 광을 웨이브가이드(6)로 결합시키기 위해 웨이브가이드(6)의 표면에 또는 그 위에 제공된다. 웨이브가이드(6)는 글래스 또는 플라스틱과 같은, 정의된 굴절 지수 물질로 형성된다. 웨이브가이드로 결합되는 광은 내부 전반사에 의해 출력 소자(2)를 향해 전파되는데, 여기서 출력 소자(2)는 광결정(3)을 포함한다.

[0034] 전형적인 응용에서, 프로젝터는 영상 광의 레이들(rays of image light)을 입력 격자(1)에 도입시키는데, 여기서 영상 광은 영상 동공을 정의하고, 영상 동공은, 개개인의 눈이 영상 동공과 정확하게 정렬된다면 개개인이 인지할 전체 영상(full image)(즉, 영상을 정의하는 모든 각도 정보를 포함하는)을 나타낸다. 광결정(3)은, 웨이브가이드에서 가이드되는 광이 출력 소자(2)의 전체 영역을 커버하도록 분할되고 분산되어 영상 동공을 복제하도록 설계된 나노구조체 소자들의 배열을 포함한다. 동시에, 나노구조체 소자들과의 각각의 상호작용에서, 영상 동공의 광의 부분은 웨이브가이드를 이용하여 개개인의 눈을 향해 가이드된다.

[0035] 더욱 구체적으로, 이 예에서, 광결정(3)은 이러한 상면도들의 관점에서 원형의 단면 모양을 가지는 필러들(pillars)(도시되지 않음)을 포함한다. 필러들은 주위의 웨이브가이드 매체의 굴절 지수에 비해 다른 굴절 지수를 가지고, 이들은 6각형 대칭을 가지는 어레이로 배열된다.

[0036] 서로 다른 굴절 지수들을 가지는 2개의 서로 다른 웨이브가이드 매체를 이용하는 것에 대한 대안으로서, 웨이브가이드 매체 및 에어(air) 간의 인터페이스에서 필러들이 또한 표면 구조체들로서 제공될 수 있다. 필러들은 웨이브가이드 본체로부터의 돌출부들로서 또는 웨이브가이드 본체로의 함몰부들로서 구성될 수 있다. 광이 x-축을 따라 입력 회절 격자로부터 출력 소자(2)에 있는 광결정(3)을 만날 때, 이 광은 투과되거나 아니면 광결정

(3)에서의 어레이에 의해 형성되는 회절 광학 구조체들의 하나에 의해  $\pm 60$ 도만큼 전환된다.

- [0037] 소자(2)로부터 회절된 출력 영상이 다른 부분들 보다 더 높은 상대적인 밝기를 가지는 중앙 스트립(central stripe)(7)을 포함하고 있음이 발견되었다. 이러한 효과는 광결정(3)에서의 어레이에 의해 형성된 회절 광학 구조체들의 회절 효율들로 인해 생성된다고 믿어진다. 특히, 입력 회절 격자(1)로부터 수신된 광의 상당 부분이, 회절되어  $\pm 60$ 도만큼 전환되기 보다는 광결정(3)을 만날 때 눈으로 회절된다고 믿어진다.
- [0038] 또한, 본 발명은 웨이브가이드로부터의 광을 결합시키기 위한 회절 광학 소자를 포함하는 다른 웨이브가이드들에 적용될 수 있다. 예를 들어, 본 발명은 복수의 평행한 격자 라인 - 각각의 격자 라인은 라인들에 직각인 평면에서 단면을 가진 - 을 포함하는 회절 광학 소자들에 적용될 수 있다.
- [0039] 도 3a 내지 도 5d는 웨이브가이드(6)의 평면에 수직인 수직("vertical") 평면에서 광학 구조체들의 단면 모양을 논의하기 위해 이제 사용될 것이다. 이 평면은 웨이브가이드(6)의 평면 내의 입력 방향(141) 및 웨이브가이드(6)의 평면에 직각인 출력 방향(142)에 의해 정의된다. 입력 방향(141)은, 웨이브가이드 내에서 광이 가이드되고 또한 그 방향으로부터 광이 출력 소자(2)에 도달하는 방향이다. 출력 방향(142)은 광이 출력 소자(2)에 의해 웨이브가이드로부터 회절되는 방향이다.
- [0040] 이제 도 3a를 참조하면, 웨이브가이드(6)는 평탄한 표면(112)을 가지는 웨이브가이드 기관층(110)을 포함한다. 평탄한 표면(112)은, 예를 들어 도 1 및 도 2에서 보여지는 상부 표면일 수 있다. 평탄한 표면(112)은 웨이브가이드(6) 내에서 광을 가이드하기 위해 내부 전반사를 위해 사용되는 표면일 수 있다. 추가적으로, 평탄한 표면(112)은, 복수의 광학 구조체(120)(그 중 하나만 도시됨)가 정의되는 기준 평면을 제공한다.
- [0041] 예시된 예들에서, 광학 구조체(120)는 평탄한 표면(112)에서 웨이브가이드 기관층(110)으로부터 연장된다. 대안적으로, 광학 구조체들(120)은 평탄한 표면(112)으로부터 웨이브가이드 기관층(110)으로 연장되는 함몰 구조체들일 수 있다.
- [0042] 평탄한 표면(112)은 웨이브가이드 기관층(110)의 기관 물질 및 계층(130)에서의 다른 물질 간의 인터페이스이다. 계층(130)은, 단순히 웨이브가이드(6)의 외부일 수 있는데, 이 경우에 평탄한 표면은, 임의의 굴절이 웨이브가이드 기관층(110)의 기관 물질의 굴절 지수에 의해 실질적으로 결정되는 에어 인터페이스이다. 광학 구조체(120)는 웨이브가이드 기관층(110)과 동일한 굴절 지수를 가질 수 있거나(예를 들어, 이들은 웨이브가이드 기관층(110)과 동일한 물질로부터 성형되고 에칭될 수 있고, 또한 이들은 (웨이브가이드 상에 피착된) 각인된 수치로부터 나올 수 있다 - 이 각인된 수치의 굴절 지수는 웨이브가이드 기관층의 그것과 실질적으로 동일해야 함 -), 광학 구조체들(120)은 다른 굴절 지수를 가질 수 있다.
- [0043] 대안적으로, 평탄한 표면(112)은 웨이브가이드(6) 내에 매립될 수 있다. 예를 들어, 제2 기관층(130)이 광학 구조체들(120)을 커버하고 보호하기 위해 형성될 수 있다. 이 경우에, 제2 기관층(130)은 웨이브가이드 기관층(110)과 다른 굴절 지수를 가진다. 다시, 광학 구조체들(120)은 웨이브가이드 기관층(110)과 동일한 또는 다른 굴절 지수를 가질 수 있다.
- [0044] 제2 기관층(130)이 웨이브가이드 기관층(110)과 동일한 굴절 지수를 가지나 광학 구조체들(120)과는 다른 굴절 지수를 가지는 제3의 가능성이 있다. 이 경우에, 평탄한 표면(112)은, 단순히, 예시된 z-축을 따른 어떤 위치에 비한, 방향들(141, 142)의 평면 내에서의 광학 구조체들(120)의 모양 및 위치를 정의하기 위한 이론적인 기준이다.
- [0045] 도 3a 내지 도 3c에 도시된 바와 같이, 광학 구조체(120)의 단면은 탑 에지(121) 및 2개의 사이드 에지들(122, 123)을 가지는 대체로 사각형인 모양에서의 변형들로서 이해될 수 있다. 탑 에지(121)는 평탄한 표면(112)에 평행한 메이저 방향을 가지고, 광학 구조체들(120)이 웨이브가이드 기관층(110)으로부터 연장되는 경우에, 탑 에지(121)는 출력 방향(142)으로 평탄한 표면으로부터 outset되어 있다. 2개의 사이드 에지들(122, 123)은 탑 에지(121)를 평탄한 표면(112)에 연결한다. 평탄한 표면(112)이 물리적인 표면이 아닌(즉, 단지 이론적인 기준인) 경우에는, 광학 구조체(120)가 탑 에지(121)에 평행하고 평탄한 웨이브가이드(6)의 평면에 평행한 메이저 방향을 가지는 제4 에지(도시되지 않음)를 가진다.
- [0046] 더욱 구체적으로, 도 3a는, 2개의 사이드 에지들(122, 123)이 평탄한 표면(112)에 수직인 종래의 구조체 유형을 도시한다. 이러한 구성을 가지는 광학 구조체들(120)을 포함하는 회절 광학 소자(2)는, 도 3d에서 3A로 레이블된 도표로 보인 바와 같이 입사각의 함수로서 가변되는 회절 효율을 가진다.

- [0047] 한편, 도 3b 및 도 3c는, 사이드 에지들(122, 123)의 적어도 하나가 평탄한 표면(112)에 대해 경사진, 즉 평탄한 표면에 평행하지도 않고 평탄한 표면에 수직이지도 않는 메이저 방향을 가지는, 광학 구조체들(120)을 도시한다.
- [0048] 도 3b의 예에서, 제1 사이드 에지(122)는 평탄한 표면(112)으로부터 멀리 떨어진 제1의 경사진 메이저 방향을 가지고, 제2 사이드 에지(123)는 평탄한 표면(112)으로 향하는 제2의 경사진 메이저 방향을 가진다.
- [0049] 도 3b에서, 제1의 경사진 메이저 방향 및 입력 방향(141) 간의 각도는 제2의 경사진 메이저 방향 및 입력 방향(141) 간의 각도와 동일하다. 다시 말해서, 광학 구조체(120)는 입력 방향(141)에 수직인 라인을 기준으로 도 3b의 평면에서 반사 대칭을 가진다.
- [0050] 추가적으로, 도 3b에서, 제1 및 제2의 경사진 메이저 방향들 및 입력 방향(141) 간의 각도는 90도 보다 더 낮다. 다시 말해, 경사진 사이드 에지들(122, 123)은, 탑 에지(121)와 결합될 때 볼록한 모양을 제공하도록 밖으로 경사져 있다.
- [0051] 도 3b의 구성을 가지는 광학 구조체들(120)을 포함하는 회절 광학 소자(2)는, 도 3d에서 3B로 레이블된 도표로 보인 바와 같이 입사각의 함수로서 가변되는 회절 효율을 가진다. 이러한 구성에 따른 회절 효율이 도 3a의 구성에 따른 회절 효율 보다 더 크다는 것을 알 수 있다.
- [0052] 도 3c의 예에서, 제1 사이드 에지(122)는 다시 평탄한 표면(112)으로부터 멀리 떨어진 제1의 경사진 메이저 방향을 가지고, 제2 사이드 에지(123)는 다시 평탄한 표면(112)으로 향하는 제2의 경사진 메이저 방향을 가진다.
- [0053] 도 3c에서, 제1의 경사진 메이저 방향 및 입력 방향(141) 간의 각도는 제2의 경사진 메이저 방향 및 입력 방향(141) 간의 각도와 다시 동일하다. 다시 말해서, 광학 구조체(120)는 입력 방향(141)에 수직인 라인을 기준으로 도 3c의 평면에서 반사 대칭을 가진다.
- [0054] 추가적으로, 도 3c에서, 제1 및 제2의 경사진 메이저 방향들 및 입력 방향(141) 간의 각도는 90도 보다 더 크다. 다시 말해, 경사진 사이드 에지들(122, 123) 모두는, 탑 에지(121)를 언더컷팅하는(undercutting) 노치들을 포함하는 모양을 제공하도록 안으로 경사져 있다.
- [0055] 도 3c의 구성을 가지는 광학 구조체들(120)을 포함하는 회절 광학 소자(2)는, 도 3d에서 3C로 레이블된 도표로 보인 바와 같이 입사각의 함수로서 가변되는 회절 효율을 가진다. 이러한 구성에 따른 회절 효율이 도 3a의 구성에 따른 회절 효율 보다 더 낮다는 것을 알 수 있다.
- [0056] 도 4a 내지 도 4c는 도 3a 내지 도 3c와 각각 유사한 구조들을 도시하나 코팅(150)이 더해진 차이가 있다. 코팅은 회절 광학 소자(2)의 회절 효율을 수정하기 위해 사용되고, 예를 들어  $TiO_2$ 를 포함할 수 있다.
- [0057] 도 4a를 참조하면, 코팅(150)은, 코팅이 평탄한 표면(112) 상에 그리고 광학 구조체(120)의 탑 에지(121) 상에 제공되도록, 평탄한 표면(112)에 수직으로 피착될 수 있다. 이러한 구성을 가지는 광학 구조체들(120)을 포함하는 회절 광학 소자(2)는, 도 4d에서 4A로 레이블된 도표로 보인 바와 같이 입사각의 함수로서 가변되는 회절 효율을 가진다.
- [0058] 도 4b를 참조하면, 사이드 에지들(122, 123)의 적어도 하나가, 제1 및 제2의 경사진 메이저 방향 및 입력 방향(141) 간의 각도가 90도 보다 낮도록 구성될 때, 사이드 에지들(122, 123)은 수직 코팅 프로세스(perpendicular coating process)에서 코팅(150)으로 코팅되기 위해 노출된다.
- [0059] 도 4b의 구성을 가지는 광학 구조체들(120)을 포함하는 회절 광학 소자(2)는, 도 4d에서 4B로 레이블된 도표로 보인 바와 같이 입사각의 함수로서 가변되는 회절 효율을 가진다. 이러한 구성에 따른 회절 효율이 도 4a의 구성에 따른 회절 효율 보다 더 크다는 것을 알 수 있다.
- [0060] 도 4c 참조하면, 사이드 에지들(122, 123)의 적어도 하나가, 제1 및 제2의 경사진 메이저 방향 및 입력 방향(141) 간의 각도가 90도 보다 더 크도록 구성될 때, 사이드 에지들(122, 123)은 수직 코팅 프로세스(perpendicular coating process)에서 코팅(150)으로 코팅되기 위해 노출되지 않는다. 더욱이, 탑 에지(121)의 언더컷팅은, 평탄한 표면(112)의 일부분이 코팅(150)으로 코팅되기 위해 또한 노출되지 않는다는 것을 의미한다.
- [0061] 도 4c의 구성을 가지는 광학 구조체들(120)을 포함하는 회절 광학 소자(2)는, 도 4d에서 4C로 레이블된 도표로 보인 바와 같이 입사각의 함수로서 가변되는 회절 효율을 가진다. 이러한 구성에 따른 회절 효율이 (코팅되지

많은 경우에 반해서) 도 4a의 구성에 따른 회절 효율 보다 또한 더 크다는 것을 알 수 있다.

- [0062] 도 4a 내지 도 4c에서, 코팅(150)이 평탄한 표면(112)에 수직으로 피착된다고 가정되었다. 코팅의 위치가 평탄한 기관 상에서 쉽게 선택될 수 있도록 이는 일반적으로 그러하다. 그러나, 예를 들어 하나 보다 더 많은 방향들로부터 코팅을 적용함으로써 표면이 완전히 덮이는 것을 보장하기 위한 다른 코팅 기법들이 알려져 있다.
- [0063] 도 5a 내지 도 5d는 광학 구조체(120)의 더욱 완벽한 코팅을 포함하도록 변형된 기법의 효과들을 예시하기 위해 사용된다.
- [0064] 도 5a에서, 광학 구조체(120)는 도 4a에 유사하고, 도 5a의 구성을 가지는 광학 구조체들(120)을 포함하는 회절 광학 소자(2)는, 도 5d에서 5A로 레이블된 도표로 보인 바와 같이 입사각의 함수로서 가변하는 회절 효율을 가진다.
- [0065] 도 5b에서, 광학 구조체(120)는 도 4a와 유사하나, 탑 에지(121) 상에서의 그리고 평탄한 표면(112) 상에서의 코팅의 두께 보다 낮은 두께를 가지는 사이드 에지들(122, 123) 상에서의 코팅(150)이 추가된 점이 다르다. 도 5b의 구성을 가지는 광학 구조체들(120)을 포함하는 회절 광학 소자(2)는, 도 5d에서 5B로 레이블된 도표로 보인 바와 같이 입사각의 함수로서 가변되는 회절 효율을 가진다. 이러한 구성에 따른 회절 효율이 도 5a의 구성에 따른 회절 효율 보다 더 크다는 것을 알 수 있다.
- [0066] 도 5c에서, 광학 구조체(120)는 도 4a와 유사하나, 탑 에지(121) 상에서의 그리고 평탄한 표면(112) 상에서의 코팅의 두께와 동일한 두께를 가지는 사이드 에지들(122, 123) 상에서의 코팅(150)이 추가된 점이 다르다. 도 5c의 구성을 가지는 광학 구조체들(120)을 포함하는 회절 광학 소자(2)는, 도 5d에서 5C로 레이블된 도표로 보인 바와 같이 입사각의 함수로서 가변되는 회절 효율을 가진다. 이러한 구성에 따른 회절 효율이 도 5a 및 도 5b의 구성들의 어떤 것에 따른 회절 효율 보다 더 크다는 것을 알 수 있다.
- [0067] 도 3a 내지 도 5d가 방향들(141, 142)에 의해 정의되는 평면에서의 광학 구조체들의 단면 모양을 논의하기 위해 사용되었지만, 광학 구조체들은 웨이브가이드의 평면에 대응하는 수직 평면에서 배열 및 단면 모양을 가질 수도 있다. 웨이브가이드의 평면 내에서의 광학 구조체들의 몇몇 가능한 배열들 및 단면 모양들이 이제 도 6 내지 도 8을 참조하여 논의될 것이다.
- [0068] 도 6은, 웨이브가이드(14) 상에 또는 그 내에 제공되고 방향(142)에 수직인 웨이브가이드(14)의 x-y 평면 내에 분포되는 광학 구조체들(10)의 어레이인 광결정(12)의 부분의 상면도이다. 이러한 배열에서의 광학 구조체들(10)은 4개의 실질적으로 일직선인 사이드들 및 4개의 꼭지점들을 가지는 평행사변형들이다. 광학 구조체들(10)은 웨이브가이드의 폭에 걸쳐서 실질적으로 동일한 단면 모양을 가진다. 다른 실시예들에서, 광학 구조체들(10)은 웨이브가이드(14)의 폭의 부분 만에 걸쳐서 제공될 수 있다.
- [0069] 어레이에서의 광학 구조체들(10)의 통상적 배열은 복수의 유효 회절 격자들 또는 회절 광학 구조체들로서 생각될 수 있다. 특히, y-축을 따라 정렬된 광학 구조체들(10) - 광학 구조체들의 인접 행들은 거리 q 만큼 분리되어 있음 - 으로 격자 H1을 정의하는 것이 가능하다. 격자 H2는, x-축에 대해 + 30도의 각도에 있는 광학 구조체들(10)의 행들 - 인접 행들은 래티스 상수로 알려진 거리 p 만큼 분리되어 있음 - 로 배열된다. 마지막으로, 격자 H3은, x-축에 대해 - 30도의 각도에 있는 광학 구조체들의 행들 - 인접 행들은 거리 p 만큼 분리되어 있음 - 로 배열된다.
- [0070] x-축을 따라 수신된 입력 격자로부터의 광이 광결정(12) 상에 입사할 때, 이는 다양한 회절 광학 소자들에 의해 복수의 동시적 회절들을 겪는다. 광은, 입사광의 전파의 연속(continuation of the propagation of the incident light)인 제0 차수로 회절될 수 있다. 또한, 광은 격자 H1에 의해 제1 회절 차수로 회절될 수 있다. 제1 회절 차수는 z-축을 따른 양의 방향(위에서 논의된 방향(142))으로 뷰어를 향해 웨이브가이드로부터 결합된다. 이러한 제1 회절 차수는 스트레이트 투 아이 차수(straight to eye order)로서 정의될 수 있다. 또한, 광은 격자 H2에 의해 제1 회절 차수로 회절될 수 있다. 이 제1 회절 차수는 x-축에 대해 + 60도에서 회절되고, 이 광빔은 광결정과 추가의 상호작용들을 계속해 간다. 또한, 광은 격자 H3에 의해 제1 회절 차수로 회절될 수 있다. 이 제1 회절 차수는 x-축에 대해 + 60도에서 회절되고, 이 광빔은 광결정과 추가의 상호작용들을 계속해 간다. 격자 H2와의 추후의 회절 상호작용은 웨이브가이드로부터의 광을 양의 z-축으로 뷰어를 향해 결합시킬 수 있다. 따라서, 광은 각각의 포인트에서 웨이브가이드로부터 결합될 수 있고, 광은 2차원으로 웨이브가이드(12) 내에서 계속하여 확장될 수 있다. 광결정의 대칭성은, 모든 출사 빔이 입력 빔과 동일한 각도 및 크로매틱 특성들을 가지고 있음을 의미하고, 이는, (단색(monochromatic) 뿐만 아니라) 다색(polychromatic) 광원이 이러한 광결정 배열을 가지는 입력 빔으로서 사용될 수 있음을 의미한다.



- [0071] 광결정은, 압력 광이 2차원 디스플레이 스크린을 채우도록 2차원으로의 광의 동시적이고 신속한 확장을 가능하게 할 수 있다. 2차원 빔 확장 때문에 웨이브가이드 크기가 최소로 유지될 수 있기 때문에, 이는 초소형 디스플레이를 가능하게 할 수 있다.
- [0072] 이러한 배열에서, 광학 구조체들(10)은 격자들(H2, H3)에 평행한 일직선의 사이드들을 가진다. 따라서, 평행사변형들의 사이드들은, 입력 광이 입력 격자(1)로부터 수신되는 방향인, x-축에 대해  $\pm 30$ 도로 각져있다.
- [0073] 웨이브가이드의 평면에서의 비원형의 광학 구조체들(10)의 놀랄 만한 장점이 발견되었는데, 이는 격자들(H1, H2, H3)의 회절 효율들이 상당히 증가된다는 것이다. 이는 격자들(H1, H2, H3)에 의해 제1 차수로 회절되는 광의 비율을 증가시키고 제로 차수로 회절되고 내부 전반사에 의해 웨이브가이드(12)에서 계속 전파되는 광의 비율을 감소시킨다. 이는, 웨이브가이드(14)의 유용성을 상당히 개선하는, 원형 구조체들의 경우에 관측된 스트라이핑 효과(striping effect)를 감소시킬 수 있다.
- [0074] 도 7은 스트라이핑 효과를 더욱 감소시키기 위해 사용될 수 있는, 광학 구조체들(10)에 대한 다른 모양들의 다수의 예를 도시한다. 제1 광학 구조체(10)는, 광결정(12) 내에서 광학 구조체들(10)의 간격을 나타내는, 더 큰 평행사변형(16) 내에 도시된 단순한 평행사변형이다. 제2 광학 구조체(20)는 중앙 노치들의 쌍(22)을 가지는 수정된 평행사변형이다. 이러한 배열에서, 노치들(22)은 평행사변형의 각각의 메인 사이드들에 평행한 2개의 사이드들로 형성된다. 노치 폭(24)이 정의될 수 있다. 노치(22)는 180도 보다 더 큰 내부 각도를 가지는 꼭지점(26)을 포함한다. 제3 광학 구조체(30)는 x-축에 평행한 2개의 표면들을 가지는 다른 수정된 평행사변형이다. 플랫폼-사이드드("flat-sided") 길이(34)가 정의될 수 있는데, 이는 x-축에 평행한 사이드의 길이이다. 제3 광학 구조체(30)는 복수의 꼭지점을 가지는데, 그 각각은 180도 보다 더 적은 내부 각도를 가진다. 제1, 제2 및 제3 광학 구조체들(10, 20, 30)은 x-축 및 y-축으로 대칭성을 가진다. 제4 광학 구조체(40)이 제공되는데, 이는 제2 광학 구조체(20)와 유사하나 단지 하나의 노치(42)만을 포함한다. 한 쪽에는 노치(52)를 가지고 다른 쪽에는 x-축에 평행한 편평한 부분(54)을 가지는 제5 광학 구조체(50)가 제공된다. 제3 광학 구조체(30)와 유사하나 단지 하나의 '플랫-사이드드' 길이(64)를 가지는 제6 광학 구조체(60)가 제공된다. 제4, 제5 및 제6 광학 구조체들(40, 50, 60)은 y-축으로 대칭성을 가진다.
- [0075] 도 7에 도시된 광학 구조체들의 모두에서, 다각형들은 광결정(12)에서 격자들(H1, H2)에 실질적으로 평행한 사이드들을 포함한다. 그러나, 광학 구조체들이 격자들(H1, H2)에 평행하지 않는 사이드들을 가지는 다른 실행가능한 실시예들을 상상된다.
- [0076] 도 7에 도시된 광학 구조체들의 모두에서 꼭지점들이 존재한다. 실제로, 이러한 꼭지점들은, 이들이 검사될 때 사용되는 확대의 정도에 따라서는 약간 둥근 코너들을 가지게 될 것이다.
- [0077] 도 8은 제2 광학 구조체들(20)의 정규 어레이를 가지는 광결정(12)의 예이다.
- [0078] 도 9는, 광이, 제2 광학 구조체들(20)의 어레이에 의해 형성된, 도 8에 도시된 바의 광결정(12)과 상호작용할 때 스트레이트 투 아이 차수로 결합되는, 효율을 도시하는 그래프이다. 이 그래프는, (x-축 및 y-축으로의 대칭성을 유지하면서) 노치 폭(24)이 변화될 때 스트레이트 투 아이 차수의 효율이 어떻게 변하는지를 도시한다. 효율은 s-분극 및 p-분극에 대해 도시된다. 이 그래프에서, 노치 폭이 0일 때 s-분극은 더 높은 효율을 가진다. 0의 노치 폭이 실제로 제1 광학 구조체(10)의 단순한 평행사변형 모양에 해당할 것이라는 점에 주목한다. 노치 폭(24)이 래티스 상수 p의 0.15 내지 0.25의 범위에 있을 때 스트레이트 투 아이 회절 효율이 줄어든다는 점을 알 수 있다. 실제로, 래티스 상수 p는 웨이브가이드에서 사용할 의도인 광의 중심 파장에 부분적으로 기초하여 선택된다.
- [0079] 스트레이트 투 아이 차수로 결합되는 광의 효율적인 억제자 도 8에 도시된 바의 제2 광학 구조체들의 정규 어레이를 가진 광결정의 사용을 통해 성취될 수 있음이 도 9로부터 명확하다 - 여기서 노치 폭(24)은 래티스 상수 p의 0.15 내지 0.25의 범위에 있음 -. 실제로, 효율을 완전히 0으로 줄이는 것을 피하는 것이 바람직한데, 그렇지 않으면 광의 부재가 출력 영상에서 유효한 어두운 스트라이프(effective dark stripe)를 생성할 수 있다.
- [0080] 도 10은, 광이, 제3 광학 구조체들(30)의 어레이에 의해 형성된 광결정(12)과 상호작용할 때 스트레이트 투 아이 차수로 결합되는, 효율을 도시하는 그래프이다. 이 그래프는, (x-축 및 y-축으로의 대칭성을 유지하면서) 플랫폼 사이드드 길이(34)가 변화될 때 효율이 어떻게 변하는지를 도시한다. 효율은 s-분극 및 p-분극에 대해 도시된다. 이 그래프에서, 플랫폼 사이드드 폭이 0일 때 s-분극은 더 높은 효율을 가진다. 0의 플랫폼 사이드드 폭이 실제로 제1 광학 구조체(10)의 단순한 평행사변형 모양에 해당할 것이라는 점에 주목한다. 플랫폼 사이드드

폭(34)이 래티스 상수  $p$ 의 0.25 내지 0.35의 범위에 있을 때 회절 효율이 줄어든다는 점을 알 수 있다.

- [0081] WO 2018/178626에 반하여, 본 개시에 따르면, 도 6 내지 도 8을 참조하여 위에서 논의된 광학 구조체들의 x-y 단면들은, 그들이 웨이브가이드의 평면에 수직이지도 않고 평행하지도 않는 측면들을 가지도록, 웨이브가이드의 평면으로부터 연장된다.
- [0082] 광학 구조체의 베이스(base)에서의 2차원 아웃라인(two-dimensional outline) 뿐만 아니라 수직의 프로파일(vertical profile)도, 입사 광선들이 웨이브가이드를 통해 전파됨에 따른, 그 입사 광선들의 회절 특성들 및 행동에 영향을 줄 것이다. 따라서, 측면 프로파일 및 2차원 아웃라인(x-y 평면 뷰) 모두 웨이브가이드를 통해 보는 개인에 의해 인지되는 영상의 품질 및 균일성에 기여할 것이다.
- [0083] 도 11a 및 도 11b는 도 6 및 도 8에 도시된 나노구조체들의 3개의 3차원 표현들을 나타낸다. 도 11a는, 나노구조체의 두께를 나타내는 높이  $h$  및 측면 길이  $l$ 을 가지는 마름모꼴 모양의 구조를 나타낸다. 이 마름모꼴의 내부 각도들은 2차원 격자 어레이의 래티스 벡터들 간의 각도에 의해 정의된다. 6각형 래티스의 경우에, 각도는 30도이다.
- [0084] 도 11b는, 도 11a에 나타난 나노구조체와 유사한 물리적 치수들을 가지나 도 8과 유사하게 길이  $n$ 을 가진 예지들을 가지는 인덴테이션들(indentations) 또는 '노치들'('notches')이 형성된다는 점에서 예외가 있는, 마름모꼴 모양의 구조체를 나타낸다. 도 11b의 구조체에 노치들을 포함시킨 것은, 특정의 회절 차수들, 특히 영상 광이 웨이브가이드를 통해 보는 개인의 눈을 향해 웨이브가이드로부터 즉각적으로 지향되도록 하는 스트레이트 투아이 차수들을 제어하는 역할을 하도록 한 것이다. 광학 구조체와의 각각의 상호작용에서, 웨이브가이드에서의 광의 부분은 웨이브가이드로부터 회절되고, 출력 영역에 걸쳐 추가의 동공들에서 복제되기 위해 남아있는 광의 양은 감소된다. 개인이 볼 수 있는 여러 동공들을 복제하기 위해 영상 광의 각각의 레이가 나노구조체들의 어레이 내에서 하나 이상의 전환들(턴들, turns)을 겪는 것이 바람직하다. 도 11b의 나노구조체에서 노치 특징의 존재는, 출력 영역 내에서 추가의 턴 차수들을 조장하고 (그리고 스트레이트 투아이 차수들을 효율적으로 감소시켜) 동공 복제를 통해 격자에 걸친 광의 균일한 전파를 조장하게 된다.
- [0085] 도 11a 및 도 11b에서, 광학 구조체의 측면들은 웨이브가이드의 평면에 수직이다. 결과적으로, 라인들 cs11a, cs11b는 도 3a와 유사하게 보이는 단면들의 위치들을 나타낸다.
- [0086] 도 12a 및 도 12b는, 경사진 사이드들을 가진, 도 11a에 도시된 구조체의 변형들을 나타낸다. 도 12a에서, 경사진 사이드들은, 상부 표면이 광학 구조체의 베이스 보다 더 작은 영역을 가지도록, 배열된다. 도 12a는 위의 도 3b에 도시된 단면에 대응한다. 도 12b에서, 경사진 사이드들은, 상부 표면의 영역이 하부 표면의 영역 보다 더 크도록, 배열된다. 결과적으로, 나노구조체의 측면은 음의 경사 또는 언더컷을 가진 것으로 기술된다. 도 12b는 위의 도 3c에 도시된 단면에 대응한다. 다시 말해서, 도 12a의 구조체는 그 사이드들 주위로의 '오버컷'이고, 도 12b의 구조체는 그 사이드들 주위로의 '언더컷'이다.
- [0087] 도 12a 및 도 12b에서, 라인 cs12a는 도 3b와 유사하게 보이는 단면의 위치를 나타내고, 라인 cs12b는 도 3c와 유사하게 보이는 단면의 위치를 나타낸다. 그러나, 경사진 사이드들이 전체 마름모꼴 모양의 주위로 연장되기 때문에, 마름모꼴의 2개의 가장 가까운 코너들 간의 단면이 또한 도 3b 또는 도 3c에 각각 유사하게 보인다.
- [0088] 도 13a 내지 도 13d는, 경사진 사이드들을 가진, 도 11b에 도시된 구조체의 2개의 변형들을 나타낸다. 도 13a 및 도 13b에서, 제1 변형이 종단투시도(end-on perspective view) 및 측면투시도(side-on perspective view)로부터 도시된다. 도 13a 및 도 13b에서, 경사진 사이드들은, 상부 표면이 광학 구조체의 베이스 보다 작은 영역을 가지도록, 배열된다. 도 13a 및 도 13b는 위의 도 3b에 도시된 단면에 해당한다. 도 13c 및 도 13d에서, 제2 변형은 종단투시도(end-on perspective view) 및 측면투시도(side-on perspective view)로부터 도시된다. 도 13c 및 도 13d에서, 경사진 사이드들은, 상부 표면의 영역이 하부 표면의 영역 보다 더 크도록, 배열된다. 결과적으로, 나노구조체의 측면은 음의 경사 또는 언더컷을 가지는 것으로서 기술된다. 도 13c 및 도 13d는 위의 도 3c에 도시된 단면에 대응한다.
- [0089] 도 13b 및 도 13d에서, 라인 cs13b는 도 3b와 유사하게 보이는 단면의 위치를 나타내고, 라인 cs13d는 도 3c와 유사하게 보이는 단면의 위치를 나타낸다. 그러나, 경사진 사이드들이 전체 마름모꼴 모양 주위에서 연장되기 때문에, 마름모꼴의 2개의 노치들 간의 단면은 도 3b 또는 도 3c와 각각 유사하게 보일 것이다.
- [0090] 도 8, 도 11b 및 도 13a 내지 도 13d에 도시된 노치들을 가지는 구조체들은 2개의 순열들로서 존재할 수 있다. 하나의 변형에서, 노치 길이  $n$ 은 z-축을 따른 임의의 위치에서 모든 x-y 단면들에서 고정된다. 다른 변형에서,



노치 길이  $n$ 은  $z$ -축을 따른 임의의 위치에서 광학 구조체의 주변부 길이 또는 단면의 영역에 비례하여 변한다.

[0091] 도 14a 내지 도 14c는  $x$ - $y$  및  $y$ - $z$  평면들에서 추가의 예시적인 광학 구조체들의 단면들을 개략적으로 예시한다. 특히, 도 14a 및 도 14b는, 광학 구조체들의 반복되는 패턴을 위한 단위 영역인 더 큰 평행사변형(16) 내에서의  $z = h_0$ 에서의 베이스 단면 및  $z = h_1$ 에서의 상부 단면을 예시하는 상면도들이다. 도 14c는 도 14a 및 도 14b에 레이블링된 라인 cs14a 또는 cs14b에 해당하는,  $y$ - $z$  평면에서의 사이드들을 예시하는 측단면이다. 도 14c에서의 단면이 도 3a 내지 도 3c 및 도 4a 내지 도 4c의  $x$ - $z$  평면에 수직인  $y$ - $z$  평면에 있음을 주목해야 한다. 도 14c에 잘 도시된 바와 같이, 광학 구조체(120)는 웨이브가이드 기관층(110)으로부터 제2 기관층(130)으로 다시 연장된다(여기서, 제2 기관층(130)은 표면 광학 구조체의 경우에는 에어(air)이다). 도 14c에도 도시한 바와 같이, 수직(웨이브가이드 기관(110)의 평탄한 표면에 수직인  $z$ -방향) 및 제1 사이드 에지(122) 간의 각도  $\theta$ 는 0 보다 더 크고 90도 보다 더 작다.

[0092] 도 14a에서는 노치들의 사이드 길이  $n$ 이 웨이브가이드 기관층(110) 위의 높이  $z$ 에 따라 감소하는 한편 도 14b에서는 노치들의 사이드 길이  $n$ 이 웨이브가이드 기관층(110) 위의 높이  $z$ 에 무관하게 고정되어 있다는 점에서, 도 14a 및 도 14b는 다르다. 이는 노치들의 코너들을  $y$ -축으로 바라봄으로써 알 수 있다. 도 14a에서,  $z = h_1$ 에서의 노치들의 코너들은  $z = h_0$ 에서의 노치들의 코너들 보다 서로 더 가깝다, 반면에, 도 14b에서는,  $z = h_1$  및  $z = h_0$ 에서의 노치들의 코너들은 동일한 거리만큼 떨어져 있다.

[0093] 도 15는, 웨이브가이드 기관(70), 각인된 폴리머 계층(72) 및 수직의(74) 및 각진(76) 측벽들을 가진 나노구조체들을 볼 수 있는, 웨이브가이드를 통한 단면 전자현미경사진을 도시한다.

[0094] 위에서 기술한 오버컷 및 언더컷 프로파일들을 성취하기 위해 다양한 제조 기법들이 사용될 수 있다. 한 예는 그레이 스케일 리소그래피(grey-scale lithography)의 사용을 통한 것인데, 여기서는 사용되는 마스크가 오버컷 프로파일을 가지고 있고 이 오버컷 프로파일은 이방성 에칭을 통해 기관 물질로 전사된다. 대안적으로, 수직의 측벽들을 가진 하드 마스크가 사용될 수 있고, 언더컷 또는 오버컷 프로파일을 남기 위해 에치 프로세스가 설계될 수 있다.

[0095] 도 16a 및 도 16b는 도 14a 및 도 14b를 참조하여 기술된 배열들에 기초한 나노구조체들의 어레이들로 구성되는 출력 영역들을 이용하여 수행된 일련의 모의실험들을 나타낸다. 도 16a는 도 14a에 대응하는, 가변되는 크기의 노치들을 가지는 나노구조체들의 어레이들을 이용하여 수행된 일련의 모의실험들을 나타내는 한편, 도 16b는, 노치들이 도 14b에 대응하는 고정된 크기인 경우에 수행된 측정들을 나타낸다. 우측 측 상에 나타난 각도 값들은, 도 14c에서  $\theta$ 에 의해 나타낸, 수직에 비한 측벽의 증가하는 각도 경사를 나타낸다. 0도에서 가장 어두운 라인은 수직 측벽을 나타내는데, 그 경우에는 나노구조체의 상부 및 하부 표면들이 동일한 영역들을 가진다. 측벽 각도가 증가함에 따라, 구조체가 거의 평탄화될 때까지 상부 표면 영역이 감소된다.

[0096] 도 16a 및 도 16b의  $x$ -축은 시야(FOV)를 나타내고,  $y$ -축은 FOV에 걸친 평균 백색광 밝기를 나타낸다. 이상적인 경우에, 평균 광도(nits/lumen)는 전체 FOV에 걸쳐, 특히 FOV의 중심(약 0)에서 일정해야 한다. 이상에 가까운 설계 - 여기서는 광도가 가장 균일함 - 를 실현하기 위해 측벽 각도가 튜닝될 수 있음을 데이터가 나타낸다. 이러한 예에서, 측벽 경사가 약 50도이고 노치가 상부 에지 길이에 따라 변하는 에지 길이를 가지는 경우에 이가 성취된다(도 16a, 50도로 레이블되고 레전드(legend)를 이용하여 또한 표시된 도표). 한편, 노치가 상부 에지 길이에 따라 변하는 에지 길이를 가지고 측벽 각도가 수직으로부터 70도인 경우(그림의 상부에 의해 컷오프된 도표), 평균 백색광 밝기는 다른 곳 보다 FOV의 중앙에서 더 높다. 추가적으로, 측벽 각도가 0도일 때(FOV의 중앙에서의 하부 도표), 평균 백색광 밝기는 FOV에서의 다른 곳에서 보다 FOV의 중앙에서 상당히 더 낮다. 더욱이, 노치가 고정된 크기로 유지될 때(도 16b) 평균 백색광 광도가 원하는 프로파일을 따르지 않고 연구된 각각의 측벽 각도가 중앙 FOV에서 밝기 면에서의 눈에 띄는 딥(dip)을 가진다.

[0097] 도 17은 적색( $r$ ), 녹색( $g$ ), 청색( $b$ ) 및 백색( $w$ ) 광에 대해,  $z$ -위치에 따라 변하는 에지 길이를 가지는 노치를 가지는 나노구조체들의 어레이들로부터 획득된 모의된 데이터의 예들의 세트를 나타내는 표이다. 데이터는, 측벽 각도를 변화시키는 것이 평균 광도(nits/lumen)에 미치는 효과(컬럼 1), 광의 각각의 컬러가 아이박스를 채우는 정도(global fill %)(컬럼 2), 반사도 대 투과도의 비( $R/T$ )(컬럼 3) 및 아이박스에 걸친 밝은 중앙 밴드의 출현(중앙 밴드)(컬럼 4)를 보여준다. 각각의 경우에, 데이터의 제1 행은 표준 수직 측벽을 가지고 수행된 모의실험들을 나타내고, 추후의 모의실험들은 측벽 각도가 증가됨에 따라 관측된 효과를 나타내는데, 이는 본질적

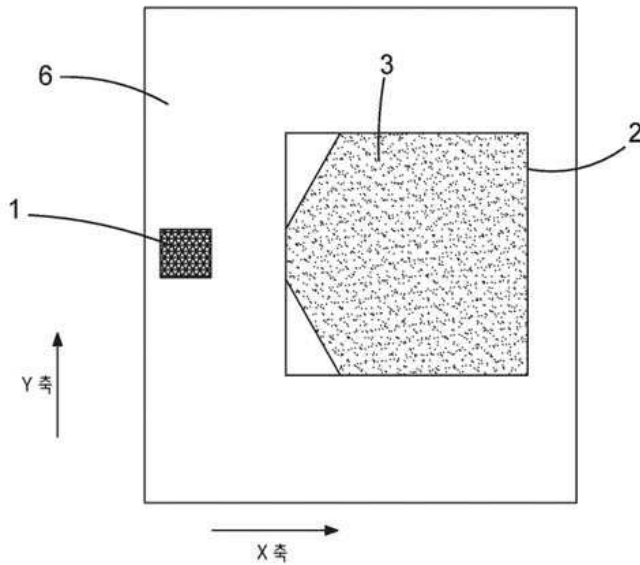
으로 나노구조체가 거의 평탄화되도록 야기한다. 각각의 모의실험 시리즈에서 데이터의 마지막 컬럼은, 백색광에 대한 측정에 있어서의 변화를, 나노구조체가 수직의 측벽을 가지고 있을 때 측정되는 백색광 값의 퍼센트로써 나타낸다. 데이터는, 평균 밝기 및 중앙 밴드에 대한 가장 양호한 개선은 측벽 각도가 50도일 때 일어남을 나타낸다.

[0098]

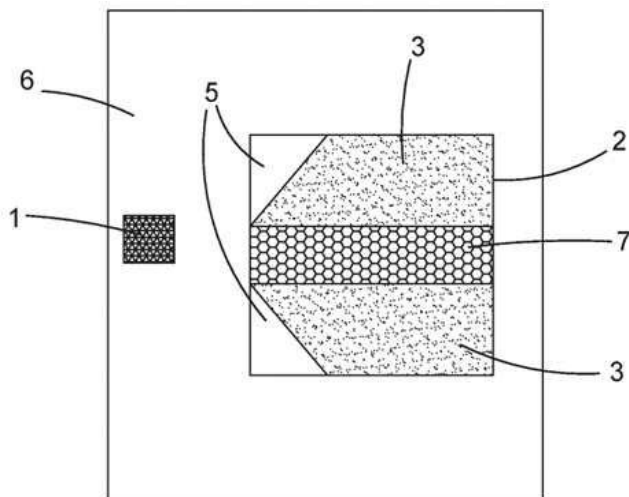
측벽 프로파일들의 고려는 다이아몬드 또는 노치형 다이아몬드 프로파일들로 제한되지 않고 또한 웨이브가이드의 평면으로부터 돌출되는 구조들로 제한되지 않는다. 하나의 예로서, 도 18a 및 도 18b에서, 원형 인클루전들(circular inclusions)을 가진 나노구조체들의 사각형 래티스 배열이 상면도 및 사시도로부터 도시되어, 그러한 나노구조체들의 원추대형 모양(frustoconical appearance)을 나타낸다.

도면

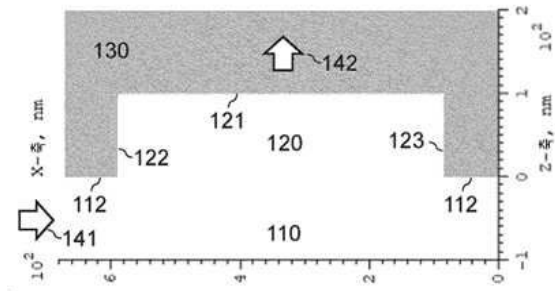
도면1



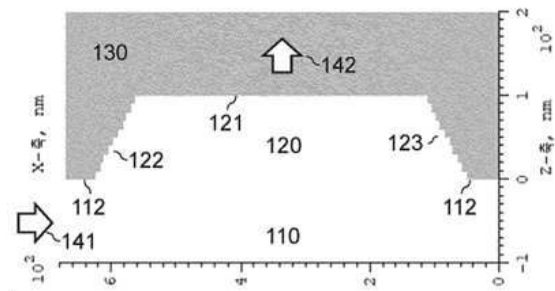
도면2



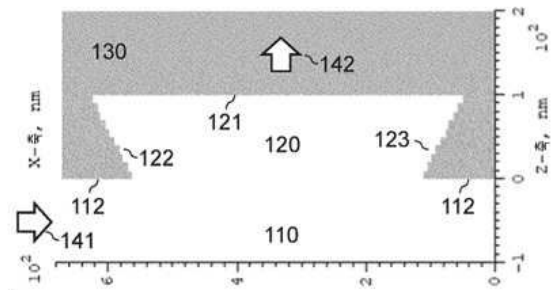
도면3a



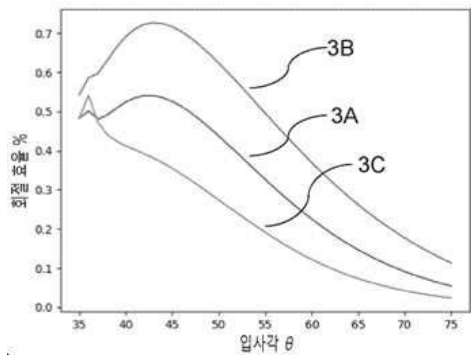
도면3b



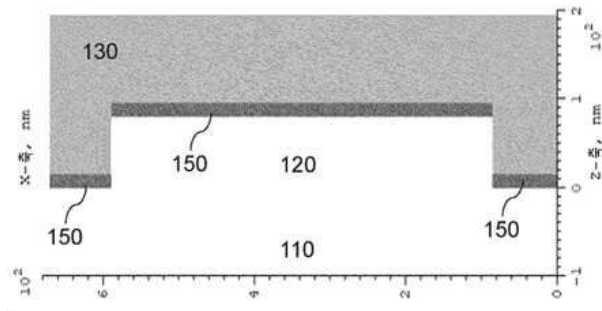
도면3c



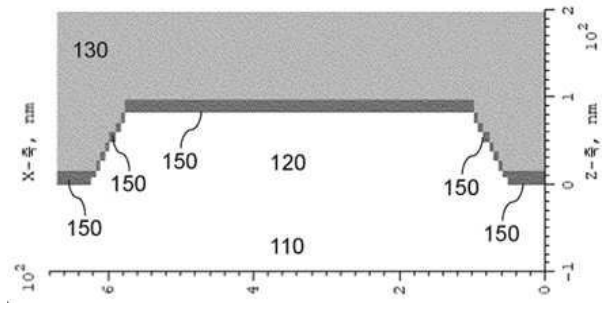
도면3d



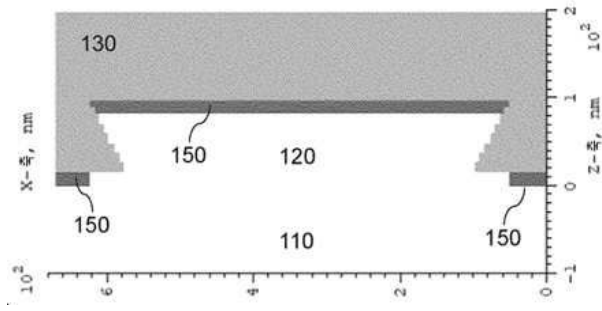
도면4a



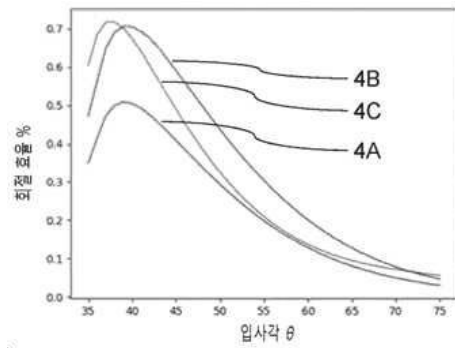
도면4b



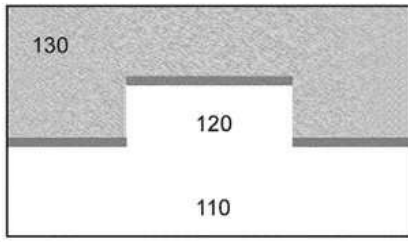
도면4c



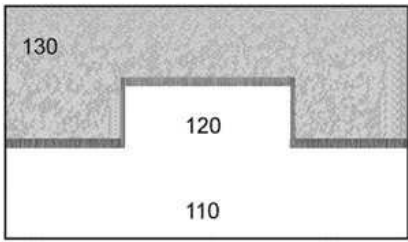
도면4d



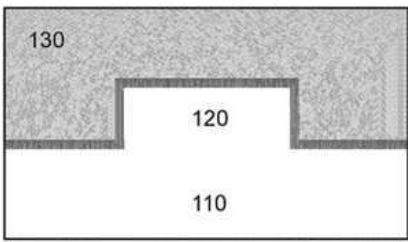
도면5a



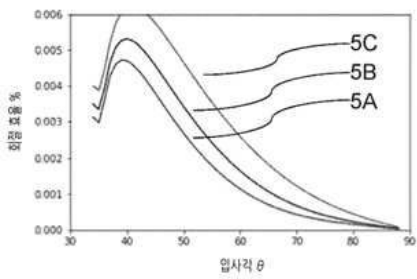
도면5b



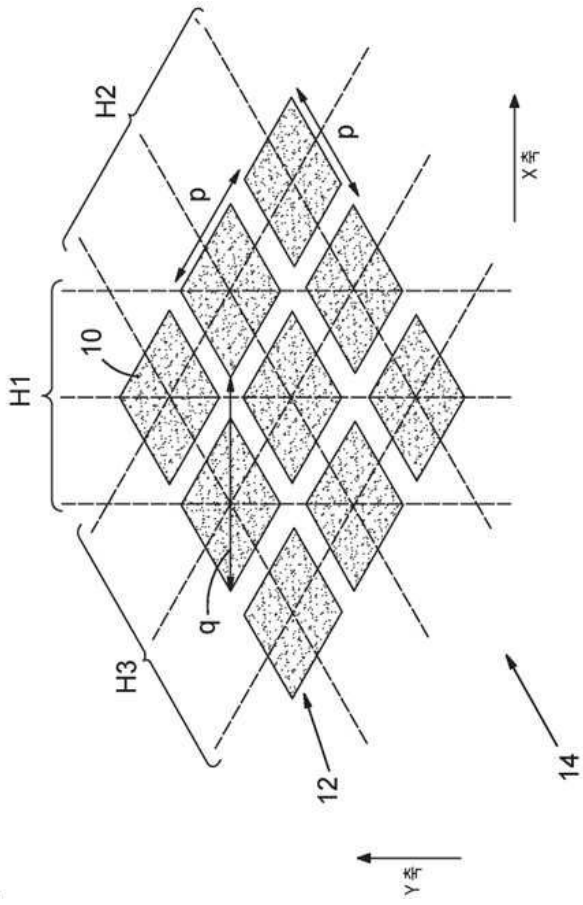
도면5c



도면5d

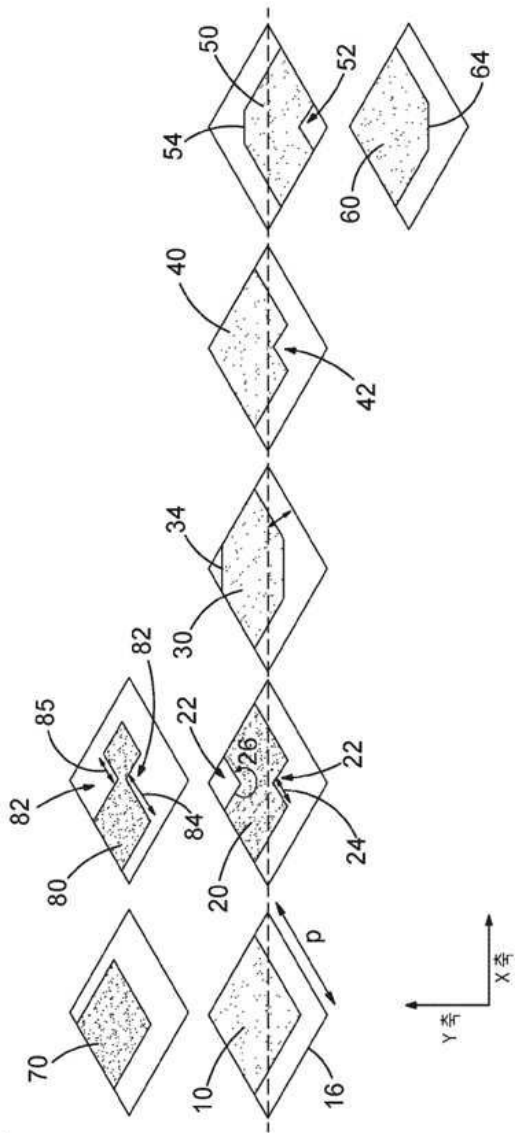


도면6

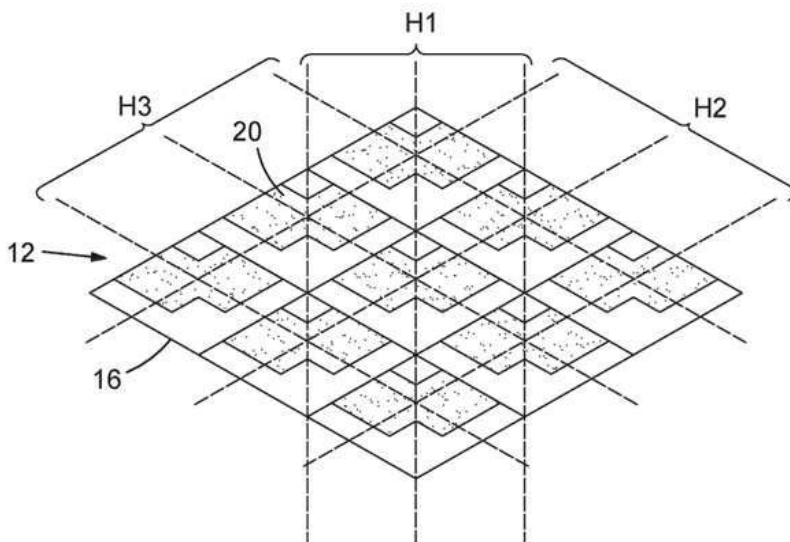




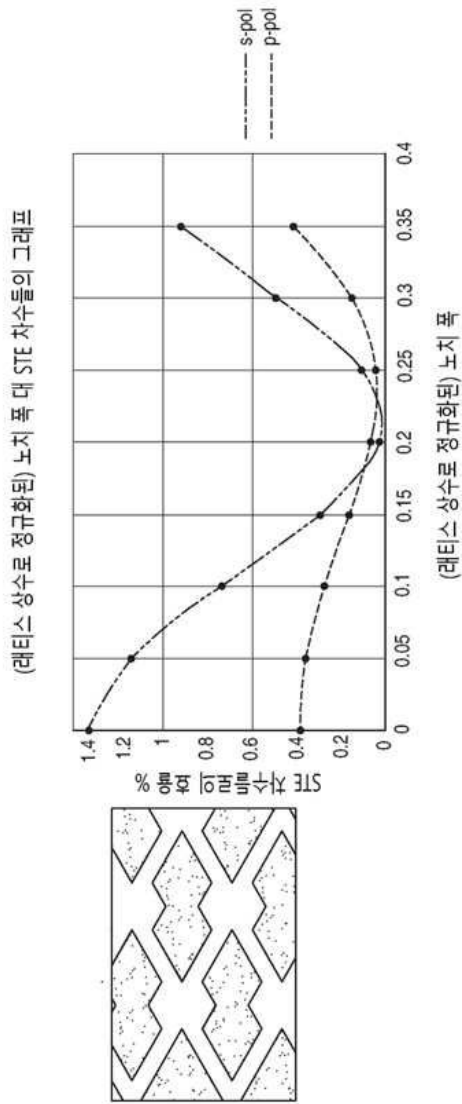
도면7



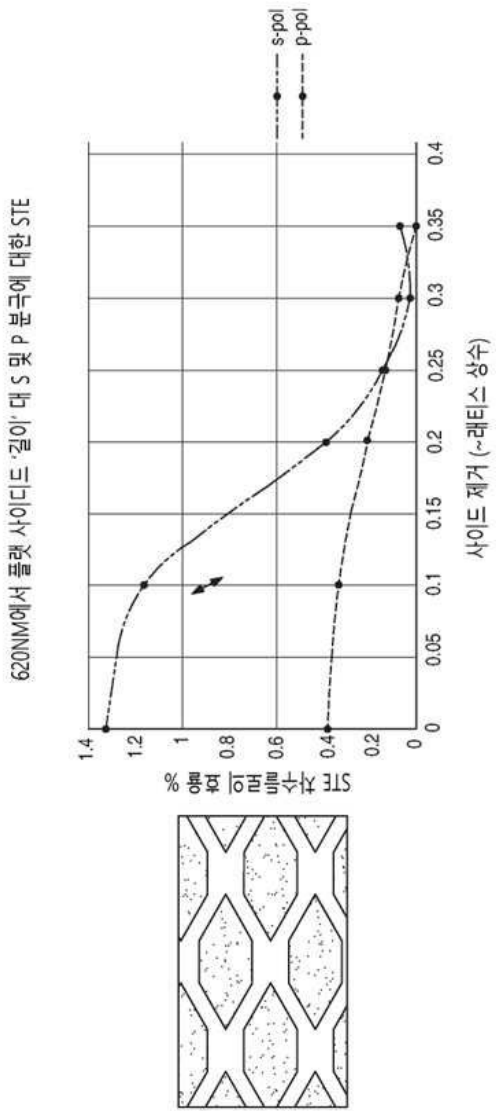
도면8



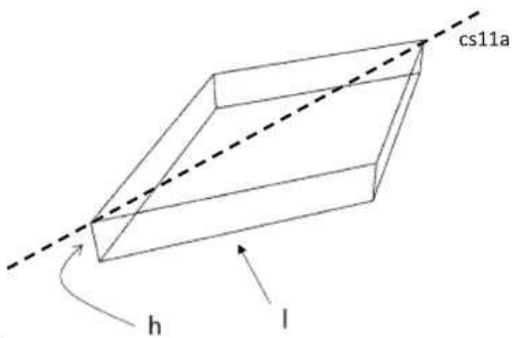
도면9



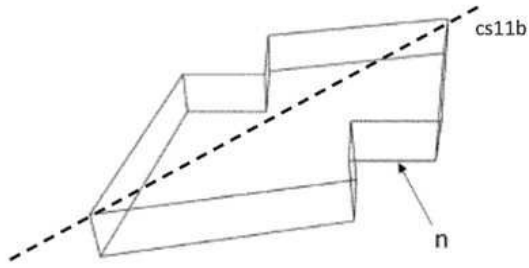
도면10



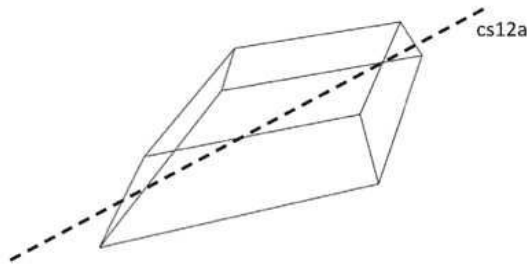
도면11a



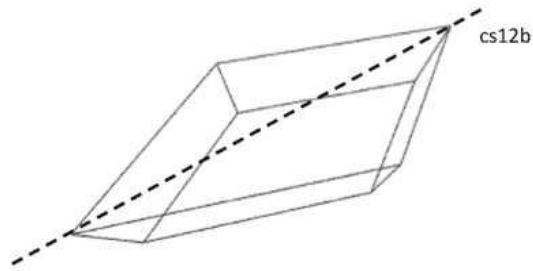
도면11b



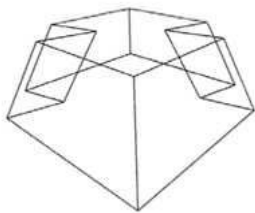
도면12a



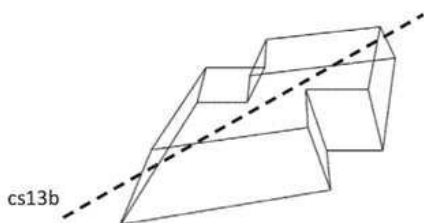
도면12b



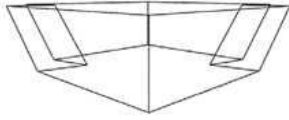
도면13a



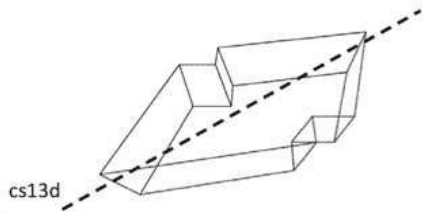
도면13b



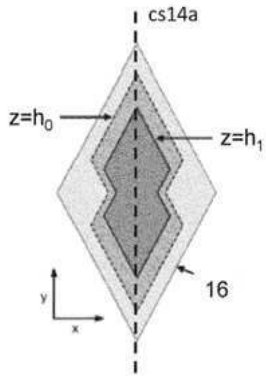
도면13c



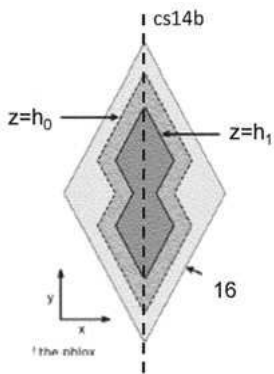
도면13d



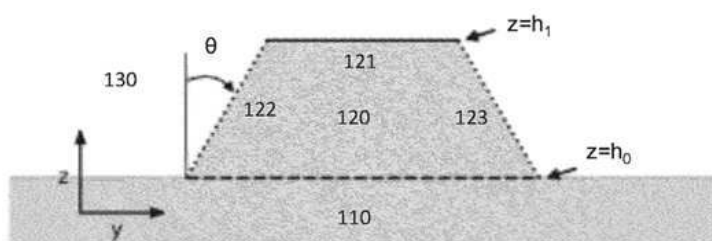
도면14a



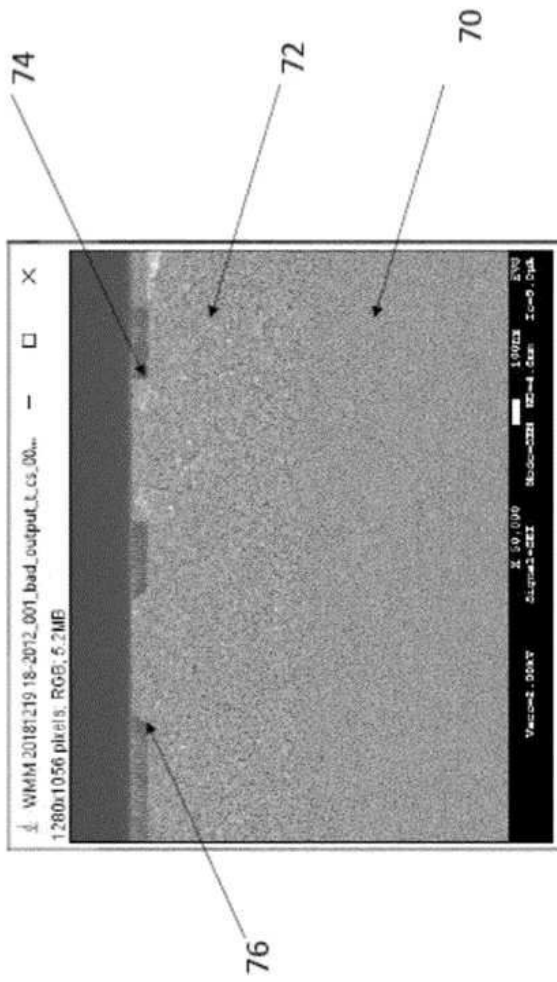
도면14b



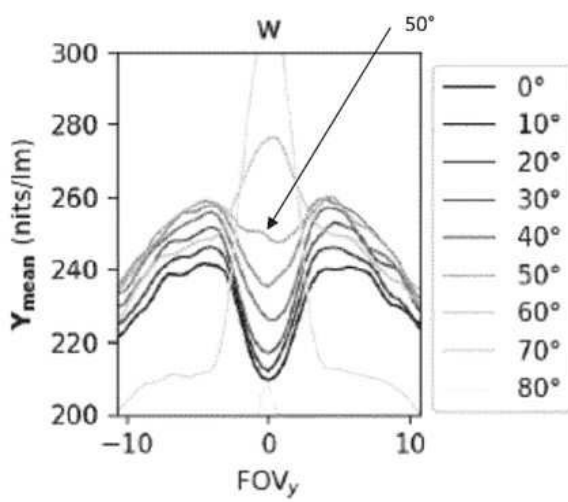
도면14c



도면15

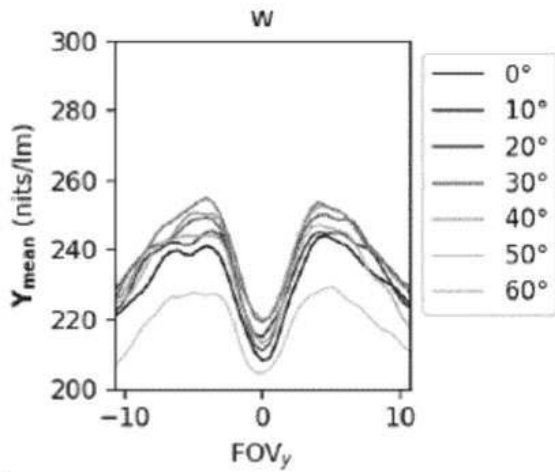


도면16a





도면16b



도면17

라오	y mean (nits/lm)					w		%chang	
	f	g	b	w	e wrt baseline	w	e wrt baseline	w	e wrt baseline
0	51.8	290.7	344.7	231.2	-	-	-	-	-
10	52.7	294.9	351.7	234.8	2%	1.46	1%	0.31	3%
20	54.5	301.1	357.5	239.7	4%	1.47	1%	0.31	0%
30	55.5	305.2	364.5	243.9	5%	1.48	2%	0.29	-4%
40	56.8	311.5	369.0	248.1	7%	1.49	3%	0.24	-22%
50	57.8	313.5	378.0	250.2	8%	1.51	4%	0.09	-69%
60	59.9	310.4	385.9	249.3	8%	1.54	6%	0.21	-31%
70	56.0	281.1	384.8	228.4	-1%	1.58	9%	0.87	182%
80	23.4	135.6	261.0	114.0	-51%	1.73	19%	1.00	225%

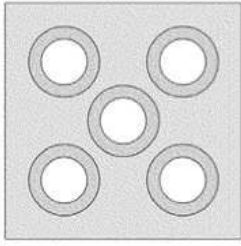
  

중요 밴드	R/T					w		%chang	
	f	g	b	w	e wrt baseline	w	e wrt baseline	w	e wrt baseline
	0.15	0.35	0.81	0.31	-	1.45	-	0.31	-
	0.16	0.37	0.81	0.32	0%	1.46	1%	0.32	3%
	0.17	0.36	0.81	0.31	0%	1.47	1%	0.31	0%
	0.13	0.36	0.68	0.29	0%	1.48	2%	0.29	-4%
	0.15	0.31	0.76	0.24	0%	1.49	3%	0.24	-22%
	0.20	0.18	0.67	0.09	0%	1.51	4%	0.09	-69%
	0.52	0.11	0.69	0.21	0%	1.54	6%	0.21	-31%
	1.00	0.76	0.69	0.87	1%	1.58	9%	0.87	182%
	0.66	1.00	1.00	1.00	-2%	1.73	19%	1.00	225%

global fill (%)	R/T					w		%chang	
	f	g	b	w	e wrt baseline	w	e wrt baseline	w	e wrt baseline
	59.1	97.0	53.1	98.8	-	1.45	-	98.8	-
	59.0	97.1	53.0	99.1	0%	1.46	1%	99.1	0%
	58.5	97.1	53.2	99.0	0%	1.47	1%	99.0	0%
	61.0	96.9	52.9	98.9	0%	1.48	2%	98.9	0%
	63.5	96.8	53.2	99.1	0%	1.49	3%	99.1	0%
	65.5	96.9	53.8	99.1	0%	1.51	4%	99.1	0%
	62.5	97.3	55.1	98.9	0%	1.54	6%	98.9	0%
	56.0	99.1	60.2	99.6	1%	1.58	9%	99.6	1%
	41.6	96.7	74.7	97.1	-2%	1.73	19%	97.1	-2%

도면18a



도면18b

