



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2023-0118552  
(43) 공개일자 2023년08월11일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
G02B 6/00 (2006.01) G02B 27/00 (2020.01)  
G02B 27/01 (2006.01) G02B 5/18 (2006.01)
- (52) CPC특허분류  
G02B 6/0036 (2013.01)  
G02B 27/0081 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2023-7015745
- (22) 출원일자(국제) 2021년12월07일  
심사청구일자 없음
- (85) 번역문제출일자 2023년05월09일
- (86) 국제출원번호 PCT/EP2021/084662
- (87) 국제공개번호 WO 2022/135918  
국제공개일자 2022년06월30일
- (30) 우선권주장  
20216922.3 2020년12월23일  
유럽특허청(EPO)(EP)

- (71) 출원인  
스냅 인코포레이티드  
미국 90405 캘리포니아주 산타 모니카 써티퍼스트 스트리트 3000
- (72) 발명자  
발레라, 모하메드 살림  
영국 에이빙턴 오엑스14 4에스알 밀턴 파크 드라이브 141 웨이브 옵틱스 엘티디 내  
솔, 크리스찬  
영국 에이빙턴 오엑스14 4에스알 밀턴 파크 드라이브 141 웨이브 옵틱스 엘티디 내
- (74) 대리인  
특허법인 무한

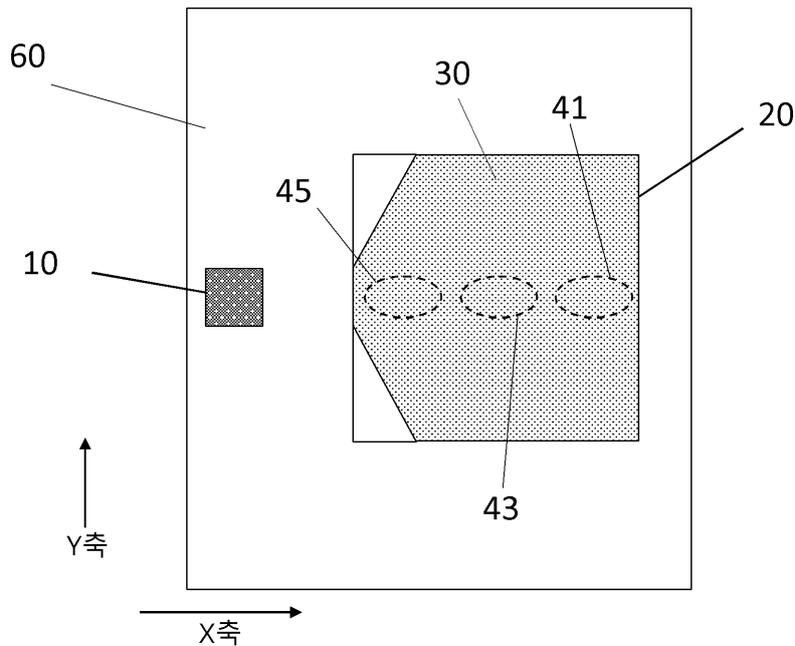
전체 청구항 수 : 총 11 항

(54) 발명의 명칭 증강 현실 또는 가상 현실 디스플레이용 도파관

(57) 요약

증강 현실 또는 가상 현실 디스플레이에 사용하기 위한 도파관(60)이 제공되며, 광결정(photonic crystal)(30; 50; 70) 내의 복수의 광학 구조를 포함한다; 여기서, 상기 복수의 광학 구조는 상기 도파관(60) 내에 서로 중첩된 2개의 회절 광학 소자(diffractive optical element)(H1, H2)를 제공하기 위해 어레이로 배치(arrange)되고, (뒷면에 계속)

대표도 - 도5



상기 2개의 회절 광학 소자(H1, H2)의 각각은 입력 방향으로부터 광을 수신하고, 이것을 출력 회절 광학 소자(20)로 작용하여, 뷰어(viewer)를 향해 아웃커플링된 오더(outcoupled order)를 제공할 수 있는 다른 회절 광학 소자를 향해 커플링(couple)하도록 구성된다; 상기 복수의 광학 구조는 상기 어레이 내의 상이한 위치에서 상이한 회절 효율(different diffraction efficiencies)을 제공하기 위해, 상기 어레이 내의 상이한 위치에서, 상기 도파관(60)의 평면에 평행한 단면(cross section)에 대해, 상이한 각각의 단면 형상(cross sectional shape)을 가지고, 상기 복수의 광학 구조의 단면 형상의 적어도 하나의 특성은 상기 입력 방향과 평행한 제1 축의 방향에서 가변적이다; 여기서, 상기 적어도 하나의 특성은 상기 도파관의 평면에 평행한 단면에 대한 광학 구조의 단면적(cross sectional area)과 관련된다.

(52) CPC특허분류

*G02B 27/0172* (2013.01)

*G02B 5/1861* (2013.01)

*G02B 2027/0109* (2013.01)

*G02B 2027/0174* (2013.01)

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

증강 현실 또는 가상 현실 디스플레이에 사용하기 위한 도파관에 있어서,  
광결정(photonic crystal) 내의 복수의 광학 구조  
를 포함하고,  
상기 복수의 광학 구조는,  
상기 도파관 내부 또는 상기 도파관 상에 서로 중첩된 2개의 회절 광학 소자(diffractive optical element)를  
제공하기 위해 어레이로 배치(arrange)되고,  
상기 2개의 회절 광학 소자의 각각은,  
입력 방향으로부터 광을 수신하고, 이것을 다른 회절 광학 소자를 향해 커플링(couple)하도록 구성되고,  
상기 다른 회절 광학 소자는,  
출력 회절 광학 소자로 작용하여, 뷰어(viewer)를 향해 아웃커플링된 오더(outcoupled order)를 제공하고,  
상기 복수의 광학 구조는,  
상기 어레이 내의 상이한 위치에서 상이한 회절 효율(different diffraction efficiencies)을 제공하기 위해,  
상기 어레이 내의 상이한 위치에서, 상기 도파관의 평면에 평행한 단면(cross section)에 대해, 상이한 각각의  
단면 형상(cross sectional shape)을 가지고,  
상기 복수의 광학 구조의 단면 형상의 적어도 하나의 특성은,  
상기 입력 방향에 평행한 제1 축의 방향에서, 가변적이고,  
상기 적어도 하나의 특성은,  
상기 도파관의 평면에 평행한 단면에 대한 광학 구조의 단면적(cross sectional area)과 관련되는  
도파관.

#### 청구항 2

제1항에 있어서,  
상기 복수의 광학 구조의 상기 단면 형상의 상기 적어도 하나의 특성은,  
상기 입력 방향에 수직인 제2 축의 방향으로도, 가변적인  
도파관.

#### 청구항 3

제2항에 있어서,  
상기 복수의 광학 구조의 상기 단면 형상의 상기 적어도 하나의 특성은,  
상이한 방사상 거리(different radial distance)에서 상이한 회절 효율을 제공하기 위해, 상기 입력 방향으로  
부터 상기 어레이에서 광이 수신되는 지점으로부터의 방사상 거리에 따라, 상기 도파관의 평면에 평행한 단면에  
대해, 가변적인

도파관.

#### 청구항 4

제2항에 있어서,

상기 어레이는,

광학 구조의 복수의 그룹(plurality of groups of optical structures)을 포함하고,

상기 광학 구조의 상기 단면 형상의 상기 적어도 하나의 특성은,

상이한 그룹 사이에서, 가변적인

도파관.

#### 청구항 5

제4항에 있어서,

상기 상이한 그룹 사이에서 가변적인 상기 광학 구조의 상기 단면 형상의 적어도 하나의 특성은,

상이한 방사상 거리에서 상이한 회절 효율을 제공하기 위해, 상기 입력 방향으로부터 상기 어레이에서 광이 수신되는 지점까지의 상기 그룹의 방사상 거리에 따라, 상기 도파관의 평면에 평행한 단면에 대해, 가변적인

도파관.

#### 청구항 6

제1항 내지 제5항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 복수의 광학 구조 각각은,

상기 광학 구조의 물리적 치수(physical dimension)와 상기 어레이 내의 상기 광학 구조의 규칙적인 간격(regular spacing) 사이의 비율을 갖고,

상기 적어도 하나의 특성은,

상기 비율과 관련되는

도파관.

#### 청구항 7

제6항에 있어서,

상기 물리적 치수는,

상기 광학 구조의 직선 측면(straight side)에 대응하는

도파관.

#### 청구항 8

제1항 내지 제7항 중 어느 한 항에 있어서,

광을 상기 도파관에 커플링하고, 상기 입력 방향으로 상기 어레이 내의 상기 복수의 광학 구조에 광을 제공하도록

록 구성된 입력 회절 광학 요소  
를 포함하는  
도파관.

#### 청구항 9

제1항 내지 제8항 중 어느 한 항에 있어서,  
상기 2개의 회절 광학 소자는,  
상기 도파관 내에서 서로 중첩되고,  
상기 광학 구조는,  
주변 도파관 매체(surrounding waveguide medium)로부터의 굴절률의 차이를 제공(exhibit)하는  
도파관.

#### 청구항 10

제1항 내지 제8항 중 어느 한 항에 있어서,  
상기 2개의 회절 광학 소자는,  
상기 도파관 내에서 서로 중첩되고,  
상기 광학 구조는,  
상기 도파관의 표면 상의 표면 릴리프 구조(surface relief structure)인  
도파관.

#### 청구항 11

증강 현실 또는 가상 현실 디스플레이에 사용하기 위한 도파관의 제조 방법에 있어서,  
광결정(photonic crystal) 내의 복수의 광학 구조를 제공하는 단계;  
상기 도파관 내부 또는 상기 도파관 상에 서로 중첩된 2개의 회절 광학 소자(diffractive optical element)를  
제공하기 위해, 상기 복수의 광학 구조를 어레이로 배치하는 단계; 및  
상기 어레이 내의 상이한 위치에서 상이한 회절 효율을 제공하기 위해, 상기 어레이 내의 상이한 위치에서, 상  
기 도파관의 평면에 평행한 단면(cross section)에 대해, 상이한 각각의 단면 형상(cross sectional shape)을  
갖는 상기 복수의 광학 구조를 제공하는 단계  
를 포함하고,  
상기 2개의 회절 광학 소자의 각각은,  
입력 방향으로부터 광을 수신하고, 이것을 다른 회절 광학 소자를 향해 커플링하도록 구성되고,  
상기 다른 회절 광학 소자는,  
출력 회절 광학 소자로 작용하여, 뷰어(viewer)를 향해 아웃커플링된 오더(outcoupled order)를 제공하고,  
상기 복수의 광학 구조의 단면 형상의 적어도 하나의 특성은,  
상기 입력 방향에 평행한 제1 축의 방향에서, 가변적이고,  
상기 적어도 하나의 특성은,

상기 도파관의 평면에 평행한 단면에 대한 광학 구조의 단면적(cross sectional area)과 관련되는 도파관 제조 방법.

**발명의 설명**

**기술 분야**

[0001] 본 발명은 증강 현실 또는 가상 현실 디스플레이에 사용하기 위한 도파관에 관한 것이다. 특히, 본 발명은 입력 광이 출력 소자에서 두 개의 직교 방향으로 확장되고 도파관으로부터 뷰어(viewer) 방향으로 커플링(couple)되는 도파관에 관한 것이다. 이를 통해 증강 현실 디스플레이에서 아이박스(eyebow)를 물리적으로 확장할 수 있다.

**배경 기술**

[0002] 증강 현실 디스플레이를 통해 사용자는 투사된 이미지뿐만 아니라 주변 환경을 볼 수 있다. 군사 또는 교통 분야에서는 투사된 이미지가 사용자가 인식하는 현실 세계에 중첩(overlaid)될 수 있다. 이러한 디스플레이의 다른 응용 분야에는 비디오 게임과 안경과 같은 웨어러블 장치가 포함된다.

[0003] 일반적인 증강 현실 설정에서는 사용자 앞에 투명한 디스플레이 화면이 제공되어 사용자가 실제 세계를 계속 볼 수 있다. 디스플레이 화면은 일반적으로 유리 도파관이며, 한쪽에 프로젝터가 제공된다. 프로젝터에서 나오는 광은 회절 격자를 통해 도파관으로 커플링(coupling)된다. 투사된 광은 도파관 내에서 완전히 내부적으로 반사된다. 그런 다음 광은 다른 회절 격자에 의해 도파관 밖으로 커플링되어 사용자가 볼 수 있다. 프로젝터는 물리적 세계에 대한 사용자의 시각을 증강하는 정보 및/또는 이미지를 제공할 수 있다.

[0004] 증강 현실 디스플레이에서 입력 광을 2차원으로 확장하기 위한 광학 장치가 WO 2018/178626에 공개되어 있다. 입력 회절 광학 소자는 프로젝터의 입력 광을 도파관으로 커플링(coupling)하기 위해 제공된다. 광학 장치는 또한 2개의 회절 광학 소자가 도파관 내에 서로 중첩된 출력 소자를 포함하여 두 개의 회절 광학 소자 각각이 입력 회절 광학 소자로부터 광을 수신하고, 쌍의 다른 회절 광학 소자를 향해 커플링할 수 있고, 이 출력 소자는 도파관 밖으로 광을 뷰어(viewer) 쪽으로 커플링하는 출력 회절 광학 소자로 작동할 수 있다. 서로 중첩된 2개의 회절 광학 요소는 광결정(photonic crystal)에 제공된다. 이것은 주변 도파관 매질에 비해 증가된 굴절률을 갖는 도파관 내부 또는 표면에 배치(arrange)된 필러(pillar)의 어레이를 가짐으로써 달성된다. WO 2018/178626의 필러는 보는 사람의 관점에서 도파관의 평면에서 볼 때 각기 다른 각도에서 각각의 법선 벡터를 갖는 복수의 실질적으로 직선적인 면을 갖는 것으로 설명된다. 이러한 배치는 광을 2차원으로 확장하는 동시에 도파관 밖으로 광을 커플링하는데 매우 효과적인 것으로 밝혀졌다. 이 배치는 도파관의 공간 활용을 개선하여 제조 비용을 절감할 수 있다는 장점이 있다. 또한 이 배치는 출력 이미지에서 다른 부분보다 상대 밝기가 높은 중앙 스트립의 존재를 완화하는 데 효과적인 것으로 밝혀졌다.

[0005] 출력 이미지의 밝기 그라데이션(gradient) 관찰되어 알려진 도파관에서 문제가 확인되었다. 이러한 밝기 그라데이션은 사용자에게 바람직하지 않으며, 본 발명의 목적은 이러한 문제를 극복하고 완화하는 것이다.

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

[0006] 본 발명의 일 측면에 따르면, 증강 현실 또는 가상 현실 디스플레이에 사용하기 위한 도파관이 제공되고, 광결정(photonic crystal) 내의 복수의 광학 구조를 포함한다; 상기 복수의 광학 구조는 상기 도파관 내부 또는 상기 도파관 상에 서로 중첩된 2개의 회절 광학 소자(diffraction optical element)를 제공하기 위해 어레이로 배치(arrange)되고, 상기 2개의 회절 광학 소자의 각각은 입력 방향으로부터 광을 수신하고, 이것을 다른 회절 광학 소자를 향해 커플링(couple)하도록 구성되고, 출력 회절 광학 소자로 작용하여, 뷰어(viewer)를 향해 아웃 커플링된 오더(outcoupled order)를 제공할 수 있다; 상기 복수의 광학 구조는 상기 어레이 내의 상이한 위치에서 상이한 회절 효율(different diffraction efficiencies)을 제공하기 위해, 상기 어레이 내의 상이한 위치에서, 상기 도파관의 평면에 평행한 단면(cross section)에 대해, 상이한 각각의 단면 형상(cross sectional shape)을 가지고, 상기 복수의 광학 구조의 단면 형상의 적어도 하나의 특성은 상기 입력 방향에 평행한 제1축의 방향에서, 가변적이다; 상기 적어도 하나의 특성은 상기 도파관의 평면에 평행한 단면에 대한 광학 구조의 단면적(cross sectional area)과 관련된다.

- [0007] 이러한 방식으로 상기 광결정의 회절 효율을 어레이의 여러 지점에서 제어하여 특정 효과를 얻을 수 있다. 일 실시 예로, 이는 뷰어를 향한 출력 광도(luminosity)의 균일성을 향상시킬 수 있다. 상기 제1 축을 따라 상기 광학 구조의 회절 효율을 변화시킴으로써, 상기 출력 광의 광도의 균일성을 향상시킬 수 있다. 일부 예에서, 상기 광학 구조의 회절 효율은 상기 제1 축을 따라 증가할 수 있다. 일부 예에서, 상기 광학 구조의 회절 효율은 상기 입력 방향으로부터 상기 광이 수신되는 어레이의 일부에서 최소화될 수 있다.
- [0008] 바람직하게는, 상기 복수의 광학 구조의 단면 형상의 적어도 하나의 특성은 입력 방향에 수직인 제2 축의 방향으로 가변적이다. 이러한 방식으로, 상기 광결정의 회절 효율을 제어하여 보다 다양한 효과를 얻을 수 있다. 일부 예에서, 상기 제2 축을 따른 상기 광학 구조의 회절 효율은 상기 광결정 내의 상기 복수의 광학 구조에서 입력 광이 수신되는 지점인 중심점으로부터 멀어질수록 양의 방향 및 음의 방향으로 증가할 수 있다.
- [0009] 일부 실시예에서, 상기 복수의 광학 구조의 상기 단면 형상의 상기 적어도 하나의 특성은 상이한 방사상 거리(different radial distance)에서 상이한 회절 효율을 제공하기 위해, 상기 입력 방향으로부터 상기 어레이에서 광이 수신되는 지점으로부터의 방사상 거리에 따라, 상기 도파관의 평면에 평행한 단면에 대해, 가변적이다. 이러한 방식으로 상기 출력 광의 광도 균일성을 더욱 향상시킬 수 있다. 일 실시 예로, 동일한 방사상 거리에 있는 어레이의 광학 구조는 상기 도파관 평면에 평행한 단면에 대해 각각 동일한 단면 형상을 가질 수 있다. 이는 상기 출력 광의 광도의 균일성을 더욱 향상시킬 수 있다.
- [0010] 일부 실시예에서, 상기 어레이는 광학 구조의 복수의 그룹(plurality of groups of optical structures)을 포함하고, 상기 광학 구조의 상기 단면 형상의 상기 적어도 하나의 특성은 상이한 그룹 사이에서 가변적이다. 이러한 방식으로, 상기 광학 구조의 회절 효율은 불연속적인 수의 그룹에서 변할 수 있다. 일부 예에서, 이것은 아웃커플링된 광의 광도의 개선된 균일성을 제공할 뿐만 아니라 설계, 최적화 및/또는 제조하기 더 쉬운 광결정을 제공할 수 있다. 바람직하게는, 상기 복수의 광학 구조는 상기 어레이 상에 그룹의 규칙적인 그룹 그리드를 형성하기 위해 복수의 그룹 사이에 균등한 간격을 두고 규칙적으로 분포될 수 있다. 바람직하게는, 상기 규칙적인 그리드(regular grid)는 정사각형 그리드(square grid)일 수 있다. 상기 그리드는 육각형 그리드일 수도 있다. 그룹 내의 각 광학 구조는 상기 동일한 단면 형상을 가질 수 있으므로, 각 그룹은 연관된 형상을 갖는다.
- [0011] 바람직하게는, 상기 상이한 그룹 사이에서 가변적인 상기 광학 구조의 상기 단면 형상의 적어도 하나의 특성은 상이한 방사상 거리에서 상이한 회절 효율을 제공하기 위해, 상기 입력 방향으로부터 상기 어레이에서 광이 수신되는 지점까지의 상기 그룹의 방사상 거리(radial distance)에 따라, 상기 도파관의 평면에 평행한 단면에 대해, 가변적이다. 이러한 방식으로 상기 출력 광의 광도 균일성을 더욱 향상시킬 수 있다. 일부 예에서, 영역은 상기 입력 방향으로부터 상기 광을 수신하는 어레이의 일부에 대응할 수 있다. 일 실시 예로, 상기 영역으로부터 실질적으로 동일한 거리에 있는 그룹들은 각각 상기 도파관의 평면에서, 즉 도파관의 평면에 평행한 단면에 대해 동일한 연관 형상을 가질 수 있다. 이는 상기 출력 광의 광도의 균일성을 유리하게 향상시킬 수 있다.
- [0012] 상기 적어도 하나의 특성은 상기 도파관의 평면에 평행한 단면에 대한 광학 구조의 단면적(cross sectional area)과 관련이 있다. 이러한 방식으로 상기 광학 구조의 회절 효율은 상기 도파관의 평면에서의 면적에 따라 정밀하게 제어할 수 있다. 상기 광학 구조의 영역을 변화시켜 회절 효율을 제어하는 것은 상기 광학 구조에 코팅을 적용하는 기술과 같이 회절 효율을 제어하는 데 사용되는 다른 기술보다 더 재현 가능한 기술이라는 것이 밝혀졌다. 그럼에도 불구하고 상기 광학 구조는 기하학적으로 서로 유사할 수 있다.
- [0013] 바람직하게는, 상기 복수의 광학 구조 각각은 상기 광학 구조의 물리적 치수(physical dimension)와 상기 어레이 내의 상기 광학 구조의 규칙적인 간격(regular spacing) 사이의 비율을 갖고, 상기 적어도 하나의 특성은 상기 비율과 관련된다. 보다 바람직하게는, 상기 물리적 치수는 상기 도파관의 평면에서 상기 광학 구조의 직선 측면에 대응한다. 이러한 방식으로, 상기 광학 구조의 회절 효율은 비율에 따라 정확하게 제어될 수 있다. 일부 예에서, 회절 효율을 제어하기 위해 상기 광학 구조의 직선 측면의 길이를 변경하면 상기 광학 구조 모양의 다른 특성을 변경하는 것에 비해 상기 도파관의 제조 용이성이 향상될 수 있다.
- [0014] 바람직하게는, 광을 상기 도파관에 커플링하고, 상기 입력 방향으로 상기 어레이 내의 상기 복수의 광학 구조에 광을 제공하도록 구성된 입력 회절 광학 요소를 더 포함한다. 상기 입력 회절 광학 소자는 상기 도파관의 일측 표면에 홈을 포함하는 회절 격자인 것이 바람직하다. 바람직하게, 상기 입력 격자는 상기 도파관으로 광을 커플링하는데 높은 효율을 갖는다.
- [0015] 일부 실시예에서, 상기 2개의 회절 광학 소자는 상기 도파관 내에서 서로 중첩되고, 상기 광학 구조는 주변 도파관 매체(surrounding waveguide medium)로부터의 굴절률의 차이를 제공(exhibit)한다. 이러한 방식으로, 상

기 광학 구조는 도파관 내에 내장될 수 있고, 상기 구조와 상기 도파관 매체 사이의 굴절률 차이로 인해 회절 특성이 생성될 수 있다.

[0016] 일부 실시예에서, 상기 2개의 회절 광학 소자는 상기 도파관 내에서 서로 중첩되고, 상기 광학 구조는 상기 도파관의 표면 상의 표면 릴리프 구조(surface relief structure)이다. 이러한 방식으로, 상기 표면 릴리프 특성의 굴절률과 이를 둘러싸고 있는 공기 사이의 불일치가 바람직한 회절 특성을 제공할 수 있다.

[0017] 본 발명의 두 번째 측면에 따르면, 증강 현실 또는 가상 현실 디스플레이에 사용하기 위한 도파관의 제조 방법이 제공되며, 다음 단계를 포함한다: 광결정(photonic crystal) 내의 복수의 광학 구조를 제공하는 단계; 상기 도파관 내부 또는 상기 도파관 상에 서로 중첩된 2개의 회절 광학 소자(diffractive optical element)를 제공하기 위해, 상기 복수의 광학 구조를 어레이로 배치하는 단계, 상기 2개의 회절 광학 소자의 각각은 입력 방향으로부터 광을 수신하고, 이것을 다른 회절 광학 소자를 향해 커플링하도록 구성되고, 출력 회절 광학 소자로 작용하여, 뷰어(viewer)를 향해 아웃커플링된 오더(outcoupled order)를 제공할 수 있다; 상기 어레이 내의 상이한 위치에서 상이한 회절 효율을 제공하기 위해, 상기 어레이 내의 상이한 위치에서, 상기 도파관의 평면에 평행한 단면(cross section)에 대해, 상이한 각각의 단면 형상(cross sectional shape)을 갖는 상기 복수의 광학 구조를 제공하는 단계, 상기 복수의 광학 구조의 단면 형상의 적어도 하나의 특성은 상기 입력 방향에 평행한 제1 축의 방향에서, 가변적이다; 상기 적어도 하나의 특성은 상기 도파관의 평면에 평행한 단면에 대한 광학 구조의 단면적(cross sectional area)과 관련된다.

**도면의 간단한 설명**

[0018] 도 1은 공지된 도파관의 평면도이다.  
 도 2는 공지된 도파관의 측면도이다.  
 도 3은 공지된 도파관에 사용하기 위한 공지된 광결정의 일부의 평면도이다.  
 도 4a는 본 발명의 실시예에서 도파관의 광결정에 사용될 수 있는 광학 구조의 예를 도시한 도면이다.  
 도 4b는 본 발명의 실시예에서 도파관 내의 광결정에 사용될 수 있는 광학 구조의 다른 예를 도시한 도면이다.  
 도 4c는 본 발명의 실시예에서 도파관의 광결정에 사용될 수 있는 광학 구조의 다른 예를 도시한 도면이다.  
 도 4d는 본 발명의 실시예에서 도파관의 광결정에 사용될 수 있는 광학 구조의 다른 예를 도시한 도면이다.  
 도 4e는 본 발명의 실시예에서 도파관의 광결정에 사용될 수 있는 광학 구조의 다른 예를 도시한 도면이다.  
 도 5는 본 발명의 제1 실시예에서 도파관에 사용하기 위한 광결정의 평면도이다.  
 도 6은 본 발명의 제1 실시예의 측면도이다.  
 도 7은 본 발명의 제2 실시예에서 도파관에 사용하기 위한 광결정의 평면도이다.  
 도 8은 본 발명의 제3 실시예에서 도파관에 사용하기 위한 광결정의 평면도이다.  
 도 9는 본 발명의 제4 실시예에서 도파관에 사용하기 위한 광결정의 평면도이다.  
 도 10은 도 4a-4e의 광학 구조 중 하나의 어레이에 의해 형성된 광결정과 상호작용할 때 제1 오더 중 하나로 회절되는 광의 부분 강도를 나타내는 그래프이다.  
 도 11은 도 4a-4e의 광학 구조 중 하나의 어레이에 의해 형성된 광결정과 상호작용할 때 스트레이트 투 아이 오더(straight to eye order)로 회절되는 광의 분수 강도(fractional intensity)를 나타내는 그래프이다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

[0019] 도 1은 공지된 도파관(6)의 평면도이다. 입력 회절 격자(1)는 프로젝터(미도시)의 광을 도파관(6)으로 커플링(coupling)하기 위해 도파관(6)의 표면에 제공된다. 도파관(6)으로 커플링된 광은 공지된 광결정(photonic crystal)(3)을 포함하는 출력 소자(2)를 향해 내부 전반사(total internal reflection)에 의해 이동한다. 이 예에서, 공지된 광결정(3)은 도파관 평면에서 볼 때 도 1의 평면도 관점에서 복수의 직선 측면(straight side)으로 구성된 단면 형상을 갖는 필러(pillar)(미도시)를 포함한다. 필러는 주변 도파관 매체의 굴절률에 대해 서로 다른 굴절률을 가지며 육각형 대칭을 갖는 어레이로 배치(arrange)된다.

- [0020] 광이 x-축을 따라 입력 회절 격자(1)에서 출력 소자(2)의 공지된 광결정(3)을 만나면, 공지된 광결정(3)의 어레이에 의해 형성된 회절 광학 구조 중 하나에 의해 뷰어를 향해 투과되거나 x-y 평면에서  $\pm 60^\circ$  로 회전된다. 광은 또한 제로 오더(zero order)로 회절되어 내부 전반사(total internal reflection)에 의해 도파관(6)을 통해 계속 전파되고 x-축을 따라 공지된 광결정(3)을 다시 만날 수 있다.
- [0021] 도 2는 공지된 도파관(6)의 측면도이다. 화살표는 각각 입력 회절 격자(1)와 출력 소자(2)에 의해 도파관(6) 안팎으로 커플링되는 광을 나타낸다. 출력 요소(2)에서 커플링된 광은 증강 현실 애플리케이션에서 뷰어에게 전달할 수 있는 이미지를 형성한다.
- [0022] 광의 상대적 밝기는 화살표의 상대적 두께로 표시된다. x-축을 따라 화살표의 상대적 두께가 감소하는 것에서 알 수 있듯이, 출력 이미지의 밝기는 전파 방향을 따라 감소할 수 있다. 이러한 효과는 공지된 광결정(3)에서 어레이에 의해 형성된 회절 광학 구조의 회절 효율로 인해 생성되는 것으로 여겨진다. 특히, 입력 회절 격자(1)로부터 수신된 광의 상당 부분이 도파관(6)을 통해 전파되어 x-축을 따라 광결정(3)의 일부에 의해 눈으로 회절되는 것이 아니라, 공지된 광결정(3)을 만날 때 눈을 향해 회절되는 것으로 믿어진다. 이것은, x-축의 음의 끝을 향해 발생하는 광과 공지된 광결정(3) 사이의 회절에 의해 생성되는 출력 이미지의 일부에서 더 높은 상대적 밝기를 유발할 수 있다.
- [0023] 도 3은 도파관(6) 내에 제공되는 광학 구조(4)의 어레이인 공지된 광결정(3)의 일부의 평면도이다. 도파관(6)은  $n \sim 1.5$ 의 낮은 굴절률을 가질 수 있다. 이 배치에서 광학 구조(4)는 2개의 직사각형 안쪽 노치가 있는 평행 사변형으로 간주될 수 있는 다각형이다. 광학 구조(4)는 일정한 크기의 더 큰 평행 사변형(5) 내에 표시되며, 이는 공지된 광결정(3) 내의 광학 구조(4)의 간격을 나타낸다. 광학 구조(4)는 도파관(6)의 길이를 따라, 즉 X축의 방향을 따라 실질적으로 동일한 단면 형상을 가지며, 따라서 각각의 더 큰 평행 사변형(5) 내에서 실질적으로 동일한 영역을 차지한다.
- [0024] 일부 공지된 예들에서, 광학 구조(4)는 도파관(6)의 한 표면에 제공될 수 있다. 이러한 배치에서 광학 구조(4)는 도파관(6)의 표면에서 돌출되도록 특징(feature) 높이를 가질 수 있다. 30nm ~ 200nm 범위의 특징 높이로 효과적인 광자 결정을 생성할 수 있음이 밝혀졌다. 광학 구조(4) 사이의 밸리(valley)에는 공기 채널이 형성된다. 광학 구조(4)는 도파관 매체와 동일한 굴절률( $n \sim 1.5$ )을 가질 수 있다. 광학 구조(4)는 굴절률  $n=1$ 의 공기로 둘러싸여 있으며, 이러한 굴절률의 불일치로 인해 회절이 발생할 수 있다.
- [0025] 다른 공지된 실시예에서, 광학 구조(4)는 도파관(6) 매체 내에 내장될 수 있다. 따라서, 광학 구조(4)는 도파관(6) 매체 내에 완전히 제공될 수 있다. 회절이 발생하기 위해서는 광학 구조(4)와 도파관 매체(6) 사이에 굴절률이 불일치해야 한다. 이는 한쪽 표면에 광학 구조(4)가 있는 표면 릴리프 프로파일(a surface relief profile)을 갖는 도파관(6)을 생성함으로써 달성할 수 있다. 그런 다음 광학 구조(4)에 본딩 재료(bonding material)를 도포할 수 있으며, 이는 도파관(6)과 동일한 굴절률을 갖는 커버 피스(cover piece)에 본딩(bonding)될 수 있다. 도파관 매체(6)와 다른(일반적으로 더 높은) 굴절률을 갖는 본딩 재료를 선택하면 원래 도파관과 커버 피스 사이에 본딩 재료가 끼워진 통일된 도파관(6)을 만들 수 있다. 이 예제 설계에서 본딩 재료는 광학 구조(4)와 동일한 모양이지만 주변 도파관 매체와 다른 굴절률을 갖는다.
- [0026] 어레이에서 광학 구조(4)의 규칙적인 배치는 다수의 중첩된 유효 회절 격자 또는 회절 광학 구조로 생각할 수 있다. 특히, 거리  $q$ 만큼 떨어져 있는 광학 구조의 인접한 행과 함께 y-축을 따라 정렬된 광학 구조(4)를 갖는 격자  $H1$ 를 정의하는 것이 가능하다. 격자  $H2$ 는 x-축에 대해  $+30^\circ$  의 각도로 광학 구조(4)의 행이 배치되어 있으며, 인접한 행은 격자 상수(lattice constant)로 공지된 거리  $p$ 로 분리되어 있다. 마지막으로, 격자  $H3$ 는 광학 구조(4)의 행이 x-축에 대해  $-30^\circ$  각도로 배치되어 있으며 인접한 행은 거리  $p$ 로 분리되어 있다. 값  $p$ 와  $q$ 는  $q=2p\cos(30^\circ)$  라는 식으로 서로 관련된다. 효과적인 광자 결정은 340nm에서 650nm 범위의  $p$  값으로 생성될 수 있음이 밝혀졌다.
- [0027] 광학 구조(4)는 격자  $H3$ 의 광학 구조(4) 사이의 공간 또는 밸리(valley)가 격자  $H2$ 의 광학 구조(4)와 교차(intersect)하도록, 제2 격자  $H2$  위에 놓인 제1 격자( $H3$ )를 제공함으로써 완전히 또는 부분적으로 형성될 수 있으며, 그 반대로 마찬가지이다. 이러한 배치 복수의 광학 구조(4)를 생성하며, 이 광학 구조(4)는 또한  $H2$  및  $H3$  격자 위에 덮여 있는  $H1$  격자를 형성한다.
- [0028] x-축을 따라 수신된 입력 격자의 광이 공지된 광결정(3)에 입사되면 다양한 회절 광학 소자에 의해 여러 차례 동시 회절을 거친다. 광은 입사된 광의 전파의 연속인 제로 오더(zero order)로 회절될 수 있다. 광은 또한 격자  $H1$ 을 통해 제1 회절 오더(order)로 회절될 수 있다. 제1 오더는 도 2에 도시된 바와 같이 도파관(6)에서 Z축

을 따라 양의 방향으로 뷰어를 향해 커플링되며, 이는 스트레이트 투 아이 오더(straight to eye order)로 정의할 수 있다. 광은 또한 H2 회절 광학 구조에 의해 제1 회절 오더로 회절될 수 있다. 이 제1 오더는 x-축으로 +60° 회절되며, 이 광선은 공지된 광결정(3)과 추가 상호 작용을 계속한다. 광은 또한 H3 회절 광학 구조에 의해 제1 회절 오더로 회절될 수 있다. 이 제1 오더는 x-축에 대해 -60° 로 회절되며, 이 광선은 공지된 광결정(3)과 추가 상호 작용을 계속한다. H2 회절 광학 구조와의 후속 회절 상호 작용은 양의 z-축으로 도파관(6)에서 나오는 광을 뷰어를 향해 커플링할 수 있다. 따라서, 광은 각 지점에서 도파관(6) 외부로 커플링될 수 있지만, 광은 도파관(6) 내에서 2차원으로 계속 확장될 수 있다. 공지된 광결정(3)의 대칭성은 모든 출구 빔이 입력 빔과 동일한 각도 및 색채 특성을 갖는다는 것을 의미하며, 이는 이 광결정 배치에서 다색(polychromatic)(단색(monochromatic)뿐만 아니라) 광원을 입력 빔으로 사용할 수 있다는 것을 의미한다.

[0029] 공지된 광결정(3)은 입력된 광이 2차원 디스플레이 화면을 채울 수 있도록 광을 2차원으로 동시에 빠르게 확장할 수 있다. 2차원 빔 확장으로 인해 도파관(6) 크기를 최소한으로 유지할 수 있기 때문에 초소형 디스플레이를 구현할 수 있다.

[0030] 이 배치에서 광학 구조(4)는 회절 광학 구조(H2, H3)와 평행한 직선 측면을 갖는다. 따라서 평행 사변형의 측면은 입력 격자(1)에서 입력 광이 수신되는 방향인 x-축에 대해 ±30° 의 각도를 갖는다.

[0031] 회절 광학 구조(H1, H2, H3)의 다른 부분의 회절 효율은 각각의 평행 사변형(5) 내에서 광학 구조(4)의 형상을 변경함으로써 제어될 수 있음이 밝혀졌다. 이는 광학 구조(4)의 형상이 어떻게 변경되는지에 따라 제로 오더로 회절되는 광의 비율을 증가시키거나 감소시킬 수 있다. 일 예에서, x-축의 음의 끝에 위치한 광학 구조의 기하학적 형상을 유지하면서 크기를 줄이면 해당 광학 구조에 의해 제로 오더로 회절되는 광의 비율이 증가하는 것으로 밝혀졌다. 이것은 더 많은 광이 눈을 향해 회절되기 전에 x-축의 양쪽 끝에 위치한 광학 구조에 도달하는 효과가 있다. 이것은 출력 이미지의 밝기 균일성을 유리하게 개선하고 공지된 도파관(6)에서 관찰된 밝기 그라데이션(brightness gradient)을 완화한다.

[0032] 도 4a-4e는 본 발명의 실시예에서 도파관 내의 광 결정에 사용될 수 있는 상이한 형상을 갖는 광학 구조(31, 32, 33, 34, 35)의 다수의 예들을 도시하고 있다. 광학 구조(31, 32, 33, 34, 35)는 광결정에서 사용될 때 광학 구조(31, 32, 33, 34, 35)의 규칙적인 간격 p를 나타내는 규칙적인 평행 사변형(15) 내에 도시되어 있다. 평행 사변형(15)의 상부 및 하부 정점은 120° 각도를 갖는다. 격자 상수 p는 더 큰 평행 사변형(15)의 변 중 하나의 길이와 같다. 이미지의 평면도는 광결정으로 제공될 때 도파관 평면에서 볼 수 있는 광학 구조(31, 32, 33, 34, 35)를 보여준다. 광학 구조(31, 32, 33, 34, 35)는 각각 기하학적으로 유사한 형상을 유지하면서 도파관 평면에서 각각의 평행 사변형(15) 내에서 투영된 면적이 감소하는 것을 볼 수 있다. 이로 인해 각 광학 구조(31, 32, 33, 34, 35) 사이에서 회절 효율이 감소한다. 규칙적인(regular) 평행 사변형(15)의 면적에 대한 각각의 투영된 면적의 비율에 따라 각각의 광학 구조(31, 32, 33, 34, 35)에 대해 "마크 대 공간(Mark to Space)" 또는 "MS" 비율을 정의하는 것이 유용할 수 있다. 마크 대 공간 비율은 주어진 광학 구조의 회절 효율을 논의하는 데 유용한 측정 기준이 될 수 있다. 광학 구조(31, 32, 33, 34, 35)의 마크 대 공간 비율은 각각 75, 70, 65, 60 및 55 이다. 광학 구조(31, 32, 33, 34, 35)의 회절 효율은 마크 대 공간 비율의 증가 또는 감소에 따라 증가하거나 감소한다.

[0033] 도 4a-4e에서, 광학 구조(31, 32, 33, 34, 35)는 유사한 기하학적 형상을 가지지만, 그들의 크기 차이로 인해 회절 효율이 변화한다. 다른 예들에서, 광학 구조들(31, 32, 33, 34, 35)의 회절 효율은 도파관의 평면에서 볼 수 있는 기하학적 형상 또는 윤곽을 변경함으로써, 대안적으로 또는 규칙적인 평행 사변형(15) 내에서 형상의 크기를 변화시킴으로써 추가로 변경될 수 있다. 광학 구조물(31, 32, 33, 34, 35)의 투영 면적이 규칙적인 평행 사변형(15) 내에서 일정하게 유지되고 기하학적 형상이 변경되는 경우, 이들의 회절 효율은 변할 수 있지만, 마크 대 공간 비율은 변하지 않을 것이다. 다른 실시예들에서, 광학 구조(31, 32, 33, 34, 35)의 회절 효율은 일정한 마크 대 공간 비율을 유지하면서 변화될 수 있을 것으로 예상된다.

[0034] 도 5는 본 발명의 제1 실시예에 따른 도파관의 평면도이다. 입력 회절 격자(10)는 프로젝터(미도시)로부터 도파관(60)으로 광을 커플링하기 위해 도파관(60)의 표면에 제공된다. 도파관(60)에 커플링된 광은 내부 전반사(total internal reflection)에 의해 x-축을 따라 제1 광결정(30)을 포함하는 출력 소자(20)를 향해 이동한다. 이 예에서, 제1 광결정(30)은 제1 광결정(30)을 형성하는 광학 구조의 어레이가 도 4a, 4C 및 4e의 광학 구조(31, 33, 35)의 혼합물을 포함한다는 점을 제외하고는 공지된 광결정(3)과 동일하다. 공지된 광결정(3)과 마찬가지로, 제1 광결정(30)의 광학 구조는 광을 제로 오더, 제1 오더 중 하나 또는 스트레이트 투 아이 오더(straight to eye order)로 회절시키는 3개의 중첩된 유효 회절 격자로 생각할 수 있다.

- [0035] 제1 광결정(30)의 제1 영역(45)은 도 5에 강조 표시되어 있다. 제1 영역(45)에서, 제1 광결정(30)을 형성하는 어레이는 55의 마크 대 공간 비율을 갖는 도 4e의 복수의 광학 구조(35)를 포함한다. 제2 영역(43)이 강조 표시되어 있는데, 여기서 어레이는 65의 마크 대 공간 비율을 갖는 도 4C의 복수의 광학 구조(33)를 포함한다. 제3 영역(41)이 강조 표시되어 있는데, 여기서 어레이는 75의 마크 대 공간 비율을 갖는 도 4a의 복수의 광학 구조(31)를 포함한다. x-축과 관련하여, 제2 영역(43)은 제1 영역(45) 뒤 및 제3 영역(41) 앞에 위치한다. 강조 표시된 영역 외부의 어레이의 광학 구조는 도 4e의 광학 구조(35)와 동일할 수 있다.
- [0036] 입력 회절 격자(10)로부터의 광이 제1 광결정(30)을 만나면, 광은 먼저 제1 영역(45)과 만나게 된다. 제1 영역(45)을 만나는 광의 일부는 z-축을 따라 스트레이트 투 아이 오더(straight to eye order)로 회절되고, 일부 광은 x-축을 따라 제로 오더로 회절된다. 광의 일부는 또한 제1 오더로 회절되어 x-y평면에서  $\pm 60^\circ$  회전한다. 제로 오더로 회절된 광은 다음으로 제2 영역(43)을 만난다. 제1 영역(45)에서 제2 영역(43)으로 입사되는 광의 강도가 더 낮은 이유는 제1 영역(45)에 입사된 광의 일부가 스트레이트 투 아이 오더(straight to eye order)로 회절되었거나 제2 영역(43)에서  $\pm 60^\circ$  회전되었기 때문이다. 그러나, 제2 영역(43)에 있는 광학 구조의 마크 대 공간 비율은 제1 영역(45)보다 크므로 제2 영역(43)을 만나는 더 많은 비율의 광이 스트레이트 투 아이 오더(straight to eye order)로 회절된다. 이러한 방식으로, 제1 영역(45)과 제2 영역(43)에 입사되는 강도의 차이가 보정될 수 있으므로, 제1 영역(45)과 제2 영역(43)이 유사한 강도의 광을 스트레이트 투 아이 오더(straight to eye order)로 회절할 수 있다. 이는 출력 이미지에서 관찰된 밝기 그라데이션(brightness gradient)을 완화한다.
- [0037] 제2 영역(43)과 제3 영역(41) 사이에서도 동일한 효과가 발생한다. 제2 영역(43)에서 제로 오더로 회절된 광 중 일부는 제3 영역(41)과 만나게 된다. 제2 영역(43)에서 제3 영역(41)에 입사된 광의 일부가 스트레이트 투 아이 오더(straight to eye order)로 회절되었거나  $\pm 60^\circ$  회전되었기 때문에 더 낮은 강도의 광이 제3 영역(41)에 입사된다. 그러나, 제3 영역(41)의 광학 구조의 마크 대 공간 비율은 제2 영역(43)보다 크므로 제3 영역(41)에 입사된 광의 더 많은 비율이 스트레이트 투 아이 오더(straight to eye order)로 회절된다. 따라서, 제2 영역(43)과 제3 영역(41)에 입사되는 강도의 차이가 보정되어, 제2 영역(43)과 제3 영역(41)이 유사한 강도의 광을 스트레이트 투 아이 오더(straight to eye order)로 회절할 수 있다. 이러한 방식으로, 제1 영역(45), 제2 영역(43) 및 제3 영역(41)은 도파관(60)으로부터 유사한 강도의 광을 아웃커플링(outcouple)할 수 있다. 따라서 제1 광결정(30)은 보다 균일한 출력 이미지를 제공할 수 있다. 특히, 제1 영역(45), 제2 영역(43) 및 제3 영역(41)과의 스트레이트 투 아이 오더(straight to eye order)로 이어지는 이미지의 부분은 서로에 대해 보다 균일하다. 출력 이미지의 균일성은 전체 어레이에 걸쳐 광학 구조의 마크 대 공간 비율을 변경하고, 추가 실시예를 참조하여 아래에서 설명하는 바와 같이 보다 점진적으로 변경함으로써 더욱 향상될 수 있다.
- [0038] 도 6은 도파관(60)의 측면도를 도시한 도면이다. 화살표는 각각 입력 회절 격자(10)와 출력 소자(20)에 의해 도파관(60) 내부와 외부로 커플링되는 광을 나타낸다. 출력 소자(20)에서 커플링된 광은 증강 현실 애플리케이션에서 뷰어에게 전달될 수 있는 이미지를 형성한다. 광의 상대적 밝기는 화살표의 상대적 두께로 표시된다. 도 2와 관련하여 볼 수 있듯이, 아웃커플링된 광의 광도는 도 2의 공지된 도파관(6)과 비교하여 x-축을 따라 더 균일하게 분포된다. 이는 제1 광결정(30)의 회절 광학 구조의 변경된 회절 효율에 기인할 수 있다.
- [0039] 도 7은 본 발명의 제2 실시예에 따른 도파관(60)의 평면도를 도시한 도면이다. 도 5와 관련하여 설명한 바와 같이, 입력 회절 격자(10)는 프로젝터(미도시)부터 도파관(60)으로 광을 커플링시키기 위해 도파관(60)의 표면에 제공된다. 도파관(60)에 커플링된 광은 내부 전반사에 의해 x-축을 따라 제2 광결정(50)을 포함하는 출력 소자(20)를 향해 이동한다. 제2 광결정(50)은 제2 광결정(50) 내의 광학 구조의 마크 대 공간 비율이 x-축의 방향을 따라 연속적으로 증가한다는 점에서 제1 광결정(30)과 다르다. 실제 응용에서는 마크 대 공간 비율의 불연속적인 변화를 어느 정도 구현할 것으로 고려된다는 점에 유의해야 한다. 도 7에서, 제2 광결정(50) 상에 중첩표시(overlaid)된 화살표의 두께는 x-축을 따라 다른 지점들에서의 어레이 내 광학 구조(optical structures)의 마크 대 공간 비율(Mark to Space ratio)의 증가, 또는 동등하게 이 예에서는 증가하는 크기(increasing size)를 그래픽으로 나타낸다. 일 실시예에서, 광학 구조의 마크 대 공간 비율은 입력 회절 격자(10)로부터 입사된 광을 처음 수신하는 제2 광결정(50)의 제1 면(51)에서의 55 MS에서 광이 제2 광결정(50)을 통해 전파되는 방향으로 제1 면(51)으로부터 멀리 떨어진 제2 광결정(50)의 제2 면(52)에서의 75 MS까지 연속적으로 증가할 수 있다. 입력 회절 격자(10)로부터의 광이 x-축에 비스듬한 축을 따라 제1 광결정(50)을 향해 광을 커플링하는 다른 실시예들에서, 광학 구조의 마크 대 공간 비율은 축의 방향으로 증가할 수 있다.
- [0040] 광학 구조가 지속적으로 변화하는 마크 대 공간 비율을 갖는 어레이를 제공함으로써, 도 5의 실시예와 관련하여 출력 이미지의 균일성이 더욱 향상될 수 있다. 제1 광결정(30)에서, 제1 영역(45)에 대한 제2 영역(43)의 광학

구조의 증가된 마크 대 공간 비율은 제2 영역(43)이 제1 영역(45)으로부터 수신된 강도의 강하를 상쇄하여, 제2 영역(43)이 스트레이트 투 아이 오더(straight to eye order)로 더 많은 광을 회절할 수 있게 한다. 도 7의 실시예에서, X축의 방향을 따라 연속된 각 광학 구조 간에 유사한 효과가 달성된다. 그러나, 마크 대 공간 비율이 제2 광결정(50)의 길이에 따라 보다 점진적으로 증가하기 때문에, 출력 이미지의 균일성은 도 5의 실시예에 비해 더욱 향상된다.

[0041] 도7의 예시적 실시예에서, 동일한 y-좌표에 있는 어레이의 광학 구조는 동일한 마크 대 공간 비율을 가질 수 있다. 일부 예시적인 실시예에서, 광학 구조의 마크 대 공간 비율은 x-축의 방향을 따라 선형적으로 증가할 수 있다. 다른 예들에서, 광학 구조의 마크 대 공간 비율은 기하급수적으로 또는 단조롭게 증가할 수 있다.

[0042] 도 8은 본 발명의 제3 실시예에 따른 도파관(60)의 평면도를 도시한 도면이다. 도 5 및 도 7을 참조하여 설명한 바와 같이, 입력 회절 격자(10)는 프로젝터(미도시)로부터 도파관(60)으로 광을 커플링시키기 위해 도파관(60)의 표면에 제공된다. 도파관(60)으로 커플링된 광은 제3 광결정(70)을 포함하는 출력 소자(20)를 향해 내부 전반사에 의해 x-축을 따라 이동한다. 제3 광결정(70)은 제3 광결정(70) 내의 광학 구조의 마크 대 공간 비율이 y-축의 방향을 따라 달라진다는 점에서 제2 광결정(50)과 다르다. 도 8에서, 제3 광결정(70)에 중첩된 화살표의 두께는 x-축 및 y-축을 따라 다른 지점에서 어레이 내 광학 구조의 마크 대 공간 비율이 증가하는 것을 그래픽으로 나타낸다. 광학 구조의 마크 대 공간 비율은 광결정(70)의 제1 면(71)에서 제2 면(72)까지 x-축을 따라 위치에 따라 증가한다.

[0043] 이 실시예에서, 광학 구조의 마크 대 공간 비율은 또한 y-축에 대해 변화한다. 일 실시예에서, 광학 구조의 마크 대 공간 비율은 제3 광결정(70)의 제3 면(73) 및 제4 면(74)을 향해 증가하지만, x-축에 평행한 중심 축을 향해 감소할 수 있다. 중심 축은 입력 회절 격자(10)로부터 제3 광결정(70)을 향해 광이 커플링되는 축에 대응할 수 있다. 광학 구조의 마크 대 공간 비율은 중심 축으로부터 양의 방향 및 음의 방향으로 선형적으로 증가할 수 있다. 또는, 증가는 기하급수적으로 증가하거나 단조로운 증가일 수 있다.

[0044] 입력 회절 격자(10)에서 나온 광이 제3 광결정(70)을 만나면, 광의 일부가 H2 또는 H3 격자 중 하나에 의해 제1 오더로 회절되어  $\pm 60^\circ$  회전한다. 회전된 광은 양의 x-방향뿐만 아니라 양의 y-방향 또는 음의 y-방향으로 계속 전파된다. 회전된 광의 일부가 제3 면(73) 또는 제4 면(74)에 도달하기 전에 스트레이트 투 아이 오더(straight to eye order)로 회절되기 때문에, 제3 광결정(70)의 제3 면(73) 및 제4 면(74)에는 중심 축에 비해 낮은 강도의 광이 입사될 수 있다. 따라서, 제3면(73) 및 제4면(74)은 중심 축에 비해 낮은 강도의 광을 아웃커플링할 수 있다. 이 효과가 완화되지 않으면 출력 이미지에 밝기 그라데이션(brightness gradient)이 생성될 수 있다. 그러나, 제3 광결정(70)에서는 광학 구조의 마크 대 공간 비율이 제3면(73) 및 제4면(74)으로 갈수록 증가하므로, 제3면(73) 및 제4면(74)으로 향하는 광학 구조와 만나는 광의 더 많은 비율이 스트레이트 투 아이 오더(straight to eye order)로 회절된다. 이러한 방식으로, 중심 축에 비해 제3 면(73) 및 제4 면(74)에 입사되는 강도의 차이가 보정될 수 있으므로, 제3 면(73) 및 제4 면(74) 근처의 광학 구조가 중심 축의 광학 구조에 비해 유사한 강도의 광을 스트레이트 투 아이 오더(straight to eye order)로 회절시킬 수 있다. 이는 제3 광결정(70)의 제3 면(73) 및 제4 면(74)과의 회절에 의해 생성된 이미지의 일부 사이에서 출력 이미지에서 관찰되는 밝기 그라데이션을 완화한다. 따라서, 제3 광결정(70)의 x-축과 y-축 양쪽에서 광학 구조의 마크 대 공간 비율을 지속적으로 점진적으로 변화시킴으로써, 출력 이미지의 양쪽 축을 따라 광도의 향상된 균일성을 달성할 수 있다.

[0045] 다른 예에서, 광학 구조의 마크 대 공간 비율은 입력 회절 격자(10)로부터 광을 처음 수신하는 제3 광결정(70)의 영역에 대한 광학 구조의 방사상 거리에 따라 달라질 수 있다. 도 8의 예에서, 이 영역은 실질적으로 제3 광결정(70)의 제1 면(71)에 대응한다. 이러한 구성은 보다 균일한 출력 광도를 달성하기 위해 어레이 내 광학 구조의 회절 효율을 변화시키는 특히 효과적인 방법이라는 것이 밝혀졌다. 당업자는 다른 예들에서, 광이 대체 입력 방향과 어레이의 다른 영역에서 수신될 수 있음을 이해할 것이다. 이러한 예에서, 광학 구조의 마크 대 공간 비율은 상기 다른 영역으로부터의 거리가 증가함에 따라 증가할 수 있다.

[0046] 도 9는 본 발명의 제4 실시예에 따른 도파관(60)의 평면도를 도시한 도면이다. 도 5 내지 도 8을 참조하여 설명한 바와 같이, 입력 회절 격자(10)는 프로젝터(미도시)로부터 도파관(60)으로 광을 커플링시키기 위해 도파관(60)의 표면에 제공된다. 도파관(60)으로 커플링된 광은 내부 전반사에 의해 x-축을 따라 제4 광결정(80)을 포함하는 출력 소자(20)를 향해 이동한다. 제3 광결정(70)과 마찬가지로, 제4 광결정(80)의 광학 구조는 어레이의 x-축 및 y-축을 따라 달라지는 마크 대 공간 비율을 갖는다. 그러나 어레이의 광학 구조는 광학 구조 그룹의 규칙적인 그리드에 배치된다. 이러한 그룹은 도 9에서 점선 격자선(dashed gridline)으로 분할된 제4 광결정(80)

의 영역으로 묘사되어 있다. 각 그룹은 동일한 회절 효율을 갖는 복수의 인접한 광학 구조로 구성된다. 도 9의 예에서, 각 그룹 내의 광학 구조는 각각 동일한 마크 대 공간 비율과 동일한 기하학적 모양을 가지며, 따라서 동일한 회절 효율도 갖는다. 이러한 방식으로 각 그룹은 연관된 마크 대 공간 비율을 갖는다. 마크 대 공간 비율은 이전 광자 결정과 유사한 방식으로 x-축과 y-축 방향으로 그룹마다 달라질 수 있으며, 이를 통해 보다 균일한 광도를 제공하는 광자 결정을 제공할 수 있다. 그러나, 제4 광결정(80)의 광학 구조는 동일한 기하학적 크기와 형상의 그룹으로 묶여 있기 때문에, 제4 광결정(80)은 설계, 제조 및 최적화가 더 용이할 수 있다.

[0047] 한 가지 예로, 각 그룹과 관련된 마크 대 공간 비율은 x-축을 따라 그룹의 위치에 비례하여 증가할 수 있다. 또는 기하급수적, 선형적 또는 단조롭게 증가할 수 있다. 또는 추가로, 각 그룹과 연관된 마크 대 공간 비율은 양수 방향으로 증가하거나 중심 축에서 멀어질수록 y-축을 따라 음수 방향으로 증가할 수 있다. 일례에서, 중심 축은 입력 회절 격자(10)로부터 제4 광결정(80)을 향해 광이 커플링되는 축에 대응할 수 있다. 다른 예에서, 각 그룹의 마크 대 공간 비율은 입력 회절 격자(10)로부터 광을 처음 수신하는 제4 광결정(80)의 그룹인 제1 그룹(81)에 대한 각 그룹의 방사상 거리에 따라 증가할 수 있다. 이러한 예는 특히 제4 광결정(80)에 의해 생성된 출력 이미지의 균일성을 향상시키는 데 효과적일 수 있다.

[0048] 도 5 내지 도 9에 따른 실시예들에서, 광자 결정을 구성하는 광학 구조의 회절 효율은 상이한 마크 대 공간 비율을 달성하기 위해 광학 구조의 크기를 변경함으로써 변화된다. 앞서 설명한 바와 같이, 도파관 평면에서 광학 구조의 기하학적 형상을 변경하거나 광학 구조의 투영 면적을 변경하지 않고 모양을 변경하는 등의 대체 방법을 사용하여 회절 효율을 변경할 수 있다. 다른 실시예들에서, 제1, 제2, 제3 및 제4 광결정(30, 50, 70, 80)의 광학 구조의 회절 효율은 유사한 결과를 달성하기 위해 이러한 대체 방법들 중 어느 하나에 의해 변경될 수 있을 것으로 예상된다.

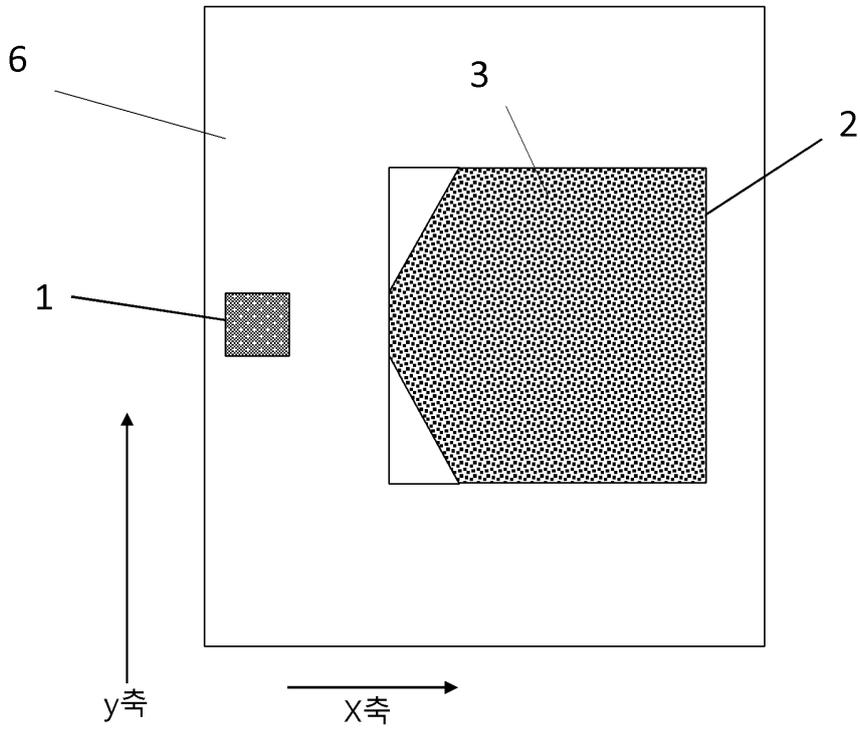
[0049] 광자 결정을 구성하는 광학 구조의 형상을 변경하는 것이 다양한 두께의 광학 구조에 코팅을 적용하는 것과 같이 알려진 다른 방법에 비해 회절 효율을 변경하는 더 재현 가능한 방법이라는 것이 밝혀졌다.

[0050] 도 10은 도 4a-4e의 광학 구조 중 하나의 어레이로 형성된 광자 결정과 상호 작용할 때 제1 오더 중 하나로 회절되는 광의 분수 강도(fractional intensity)를 보여주는 그래프이다. H2 또는 H3 회절 요소 중 하나에 의해 제1 오더 중 하나로 회절되고  $\pm 60^\circ$  회전하는 광의 분수 강도는 입력 회절 격자에서 광의 입사각에 대해 플롯(plot)된다. 연속된 플롯 라인은 마크 대 공간 비율이 증가함에 따라 분수 강도가 어떻게 증가하는지를 보여준다. 따라서 도 10은 광학 구조의 마크 대 공간 비율을 증가시키면 제1 오더 중 하나로 회절되는 광의 비율이 어떻게 증가하는지 보여준다.

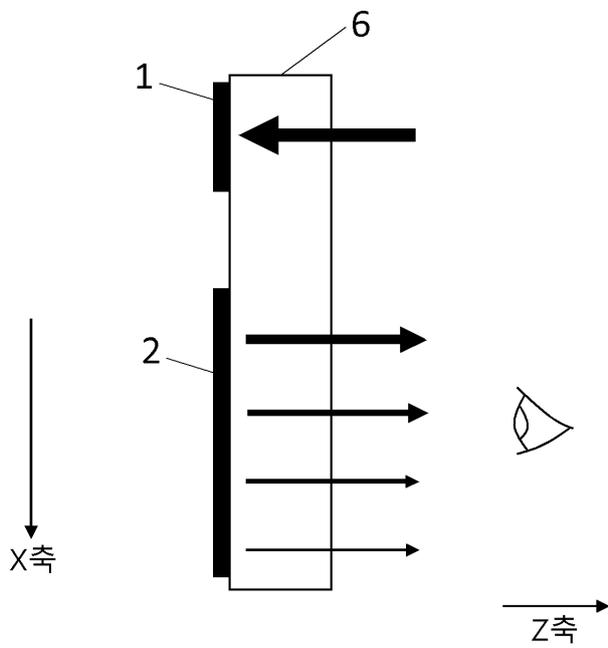
[0051] 도 11은 도 4a-4e의 광학 구조 중 하나의 어레이로 형성된 광결정과 상호 작용할 때 스트레이트 투 아이 오더(straight to eye order)로 회절되는 광의 분수 강도(fractional intensity)를 보여주는 그래프이다. H1 회절 요소에 의해 스트레이트 투 아이 오더(straight to eye order)로 회절되는 광의 분수 강도는 입력 회절 격자에서 광의 입사각에 대해 플롯(plot)된다. 연속된 플롯 라인은 마크 대 공간 비율이 증가함에 따라 분수 강도가 어떻게 증가하는지를 보여준다. 도 11을 보면 마크 대 공간 비율이 증가된 광학 구조를 사용하면 스트레이트 투 아이 오더(straight to eye order)로 커플링된 광을 효과적으로 향상시킬 수 있음을 알 수 있다.

도면

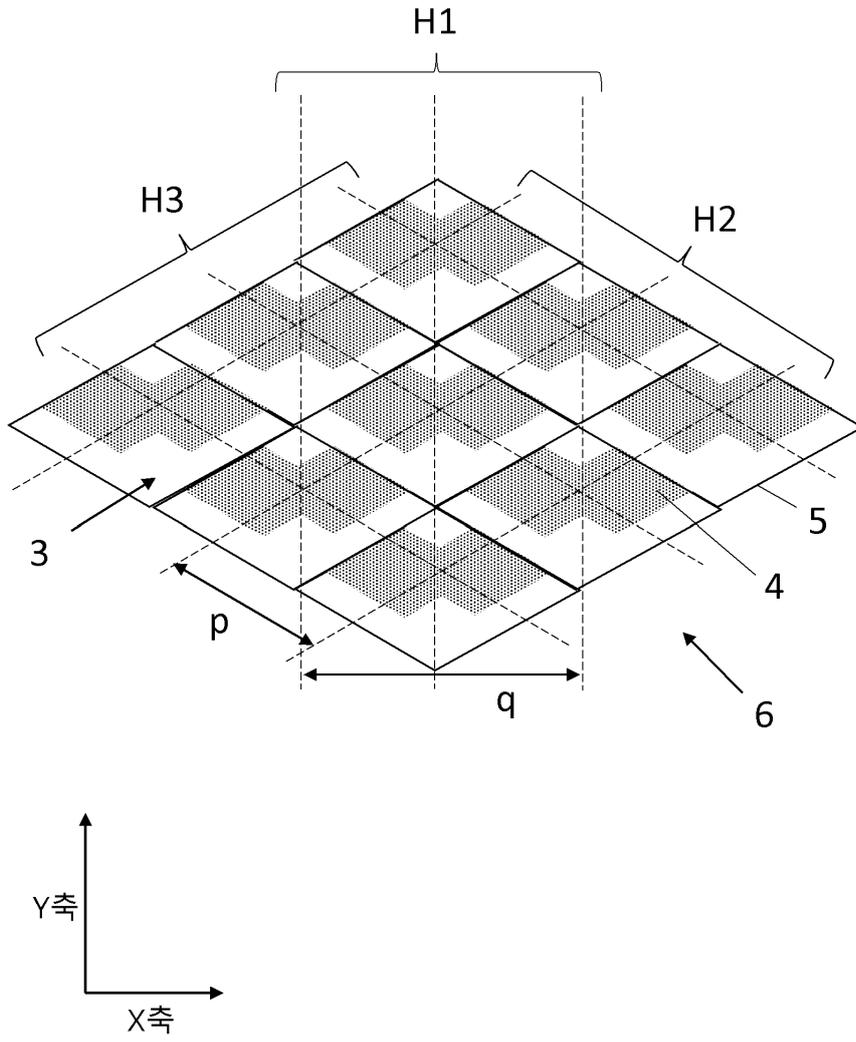
도면1



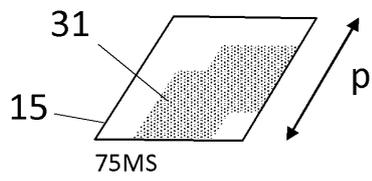
도면2



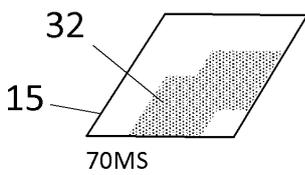
도면3



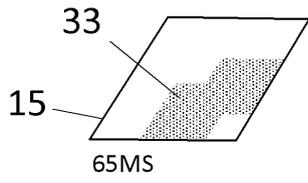
도면4a



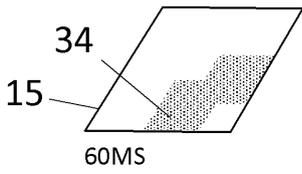
도면4b



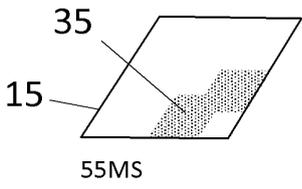
도면4c



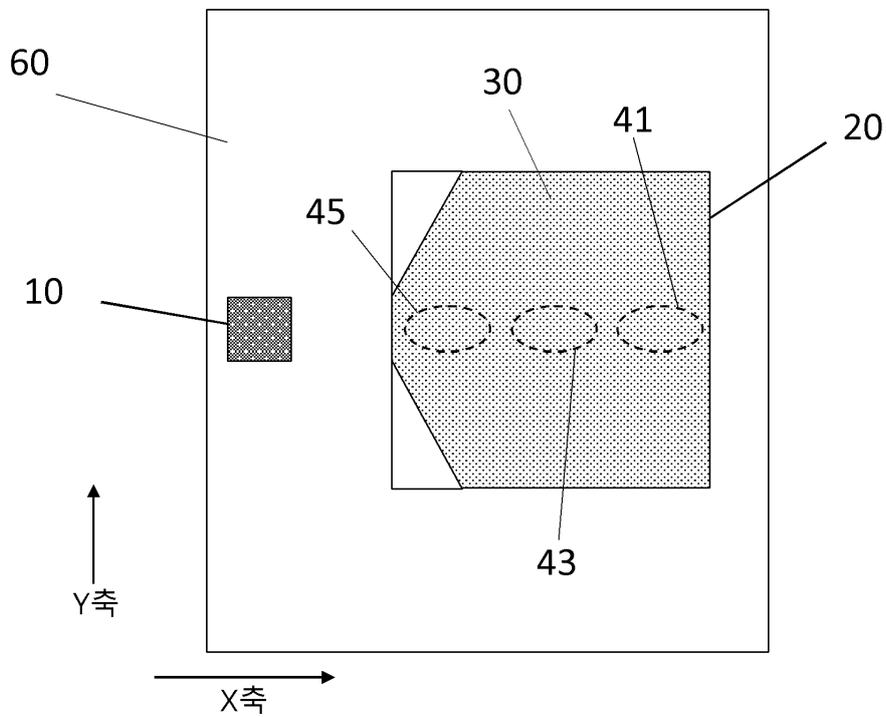
도면4d



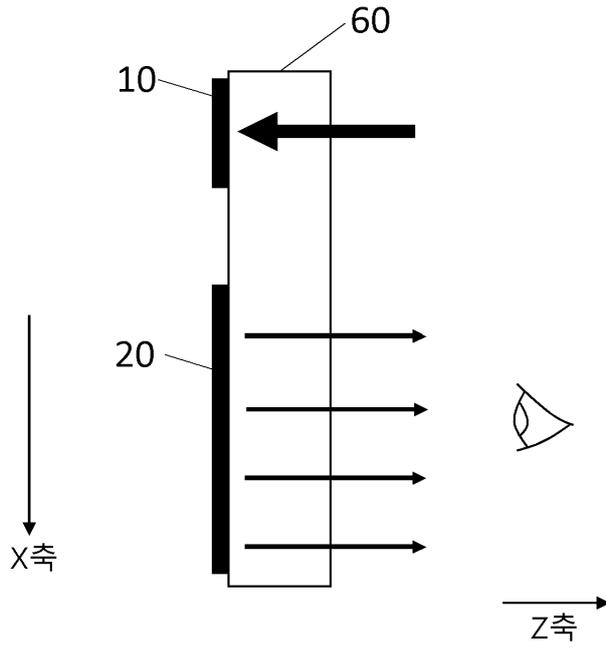
도면4e



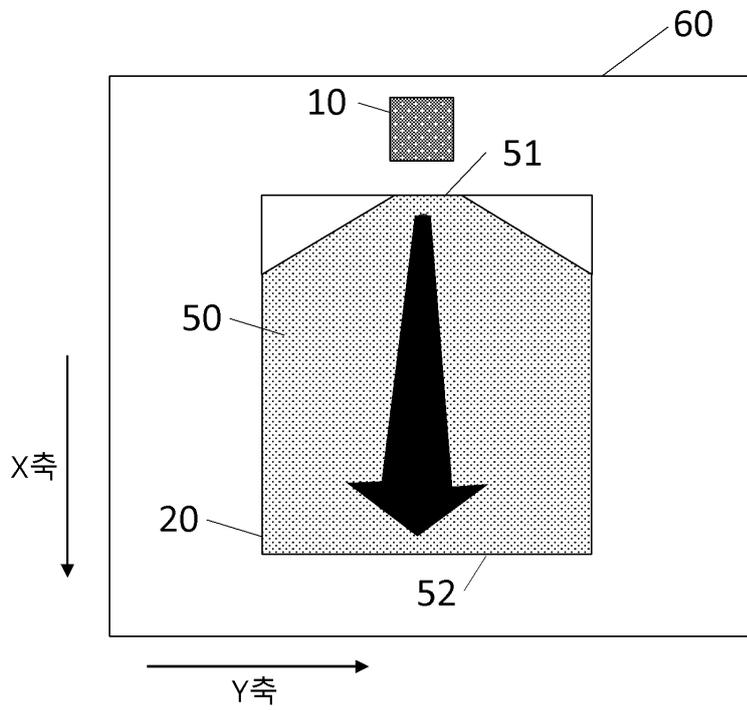
도면5



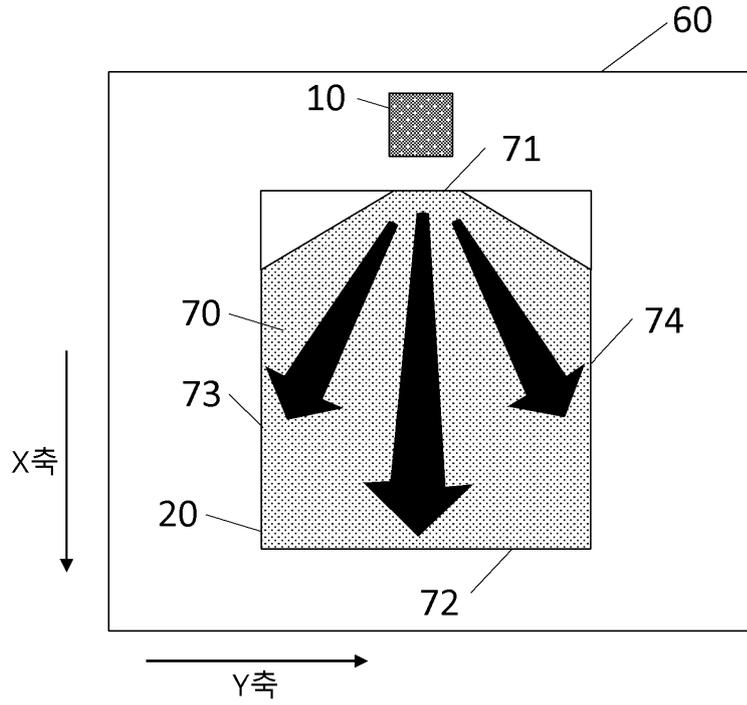
도면6



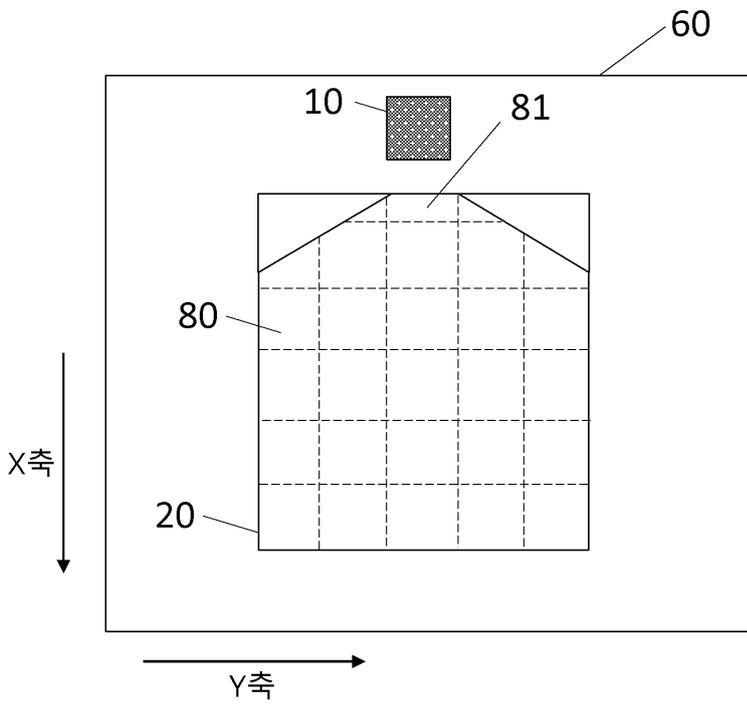
도면7



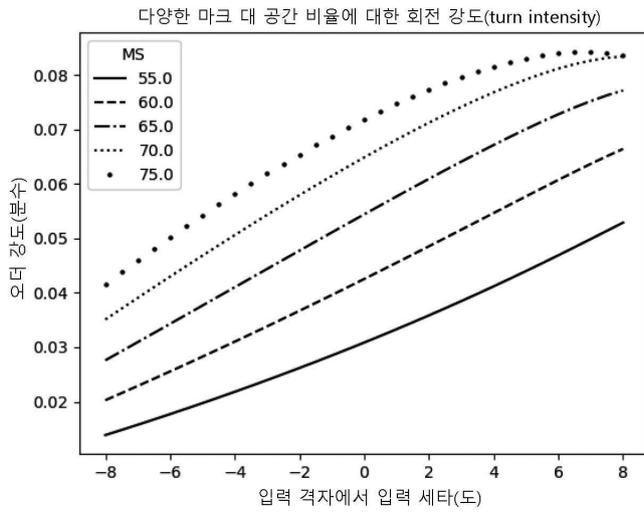
도면8



도면9



도면10



도면11

