



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2025-0073529
(43) 공개일자 2025년05월27일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G02B 27/01 (2006.01) G02B 27/00 (2020.01)
G02B 5/18 (2006.01)
- (52) CPC특허분류
G02B 27/0172 (2013.01)
G02B 27/0081 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2025-7015434(분할)
- (22) 출원일자(국제) 2017년10월25일
심사청구일자 2025년05월12일
- (62) 원출원 특허 10-2024-7007921
원출원일자(국제) 2017년10월25일
심사청구일자 2024년03월08일
- (85) 번역문제출일자 2025년05월12일
- (86) 국제출원번호 PCT/US2017/058351
- (87) 국제공개번호 WO 2018/081305
국제공개일자 2018년05월03일
- (30) 우선권주장
62/413,288 2016년10월26일 미국(US)

- (71) 출원인
매직 립, 인코포레이티드
미국 플로리다 플랜타타운 웨스트 선라이즈 블러바드 7500 (우: 33322)
- (72) 발명자
테콜스테, 로버트, 디.
미국 33322 플로리다 플랜테이션 웨스트 선라이즈 블러바드 7500
리우, 빅터, 케이.
미국 33322 플로리다 플랜테이션 웨스트 선라이즈 블러바드 7500
- (74) 대리인
특허법인(유)남아이피그룹

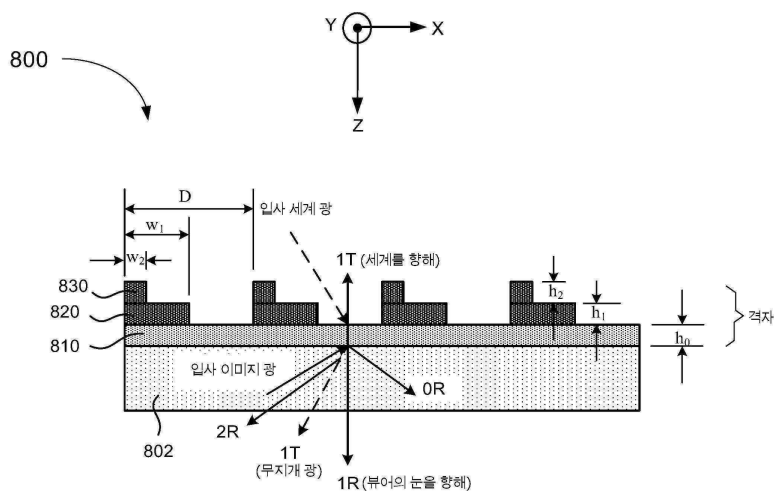
전체 청구항 수 : 총 20 항

(54) 발명의 명칭 중강 현실 시스템을 위한 아웃커플링 격자

(57) 요약

뷰어의 눈으로 이미지를 투사하기 위한 점안렌즈는 내부에서 광을 전파시키도록 구성된 도파관, 및 도파관에 광학적으로 커플링된 회절 광학 엘리먼트를 포함한다. 회절 광학 엘리먼트는 도파관의 표면으로부터 돌출된 복수의 제1 리지들을 포함한다. 복수의 제1 리지들 각각은 제1 높이 및 제1 폭을 갖는다. 회절 광학 엘리먼트는 복수의 제2 리지들을 더 포함한다. 복수의 제2 리지들 각각은 개개의 제1 리지로부터 돌출되고, 제1 높이보다 더 큰 제2 높이 및 제1 폭 미만의 제2 폭을 갖는다. 회절 광학 엘리먼트는 도파관에서 전파되는 광의 제1 부분을 눈을 향해 회절시키고, 도파관에서 전파되는 광의 제2 부분을 눈으로부터 멀어지게 회절시키도록 구성된다.

대표도 - 도9



(52) CPC특허분류

G02B 5/1861 (2013.01)

G02B 5/1866 (2013.01)

G02B 2027/0112 (2013.01)

G02B 2027/0125 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

이미지를 뷰어의 눈으로 투사하기 위한 접안렌즈(eyepiece)로서,

제1 표면을 갖는 도파관;

상기 도파관의 제1 구역에 광학적으로 커플링된 인커플링 격자(incoupling grating) - 상기 인커플링 격자는, 상기 제1 표면에 실질적으로 수직인 방향으로 상기 도파관 상에 입사하는 이미지 광을 상기 도파관 내로 회절시켜 상기 도파관 내에서 제1 방향으로 전파되도록 구성됨 -;

상기 도파관의 제2 구역에 광학적으로 커플링된 제1 DOE(diffractive optical element) - 상기 제1 DOE는 상기 도파관 내에서 전파하는 상기 이미지 광을 상기 제1 방향과 상이한 제2 방향을 향해 회절시키도록 구성됨 -; 및

상기 도파관의 제2 구역에 광학적으로 커플링된 제2 DOE를 포함하고,

상기 제2 DOE는:

상기 도파관의 제1 표면으로부터 돌출되고, 주기를 갖는 주기적 어레이로서 배열되는 복수의 제1 리지들(ridges); 및

복수의 제2 리지들을 포함하고,

상기 복수의 제1 리지들 각각은, 상기 도파관의 제1 표면에 수직인 방향으로 제1 높이를 그리고 상기 주기의 방향으로 제1 폭을 가지고,

상기 복수의 제2 리지들 각각은, 개개의 제1 리지로부터 돌출되고 그리고 상기 제1 높이보다 큰 제2 높이 및 상기 제1 폭보다 작은 제2 폭을 가지며,

상기 제2 DOE는, 상기 제1 DOE에 의해 회절되는 상기 이미지 광의 제1 부분을 1차 반사(first order reflection)로서 상기 눈을 향해 회절시키고 그리고 상기 제1 DOE에 의해 회절되는 상기 이미지 광의 제2 부분을 1차 투과(first order transmission)로서 상기 눈으로부터 멀어지게 회절시키도록 구성되는,

이미지를 뷰어의 눈으로 투사하기 위한 접안렌즈.

청구항 2

제1 항에 있어서,

상기 제1 DOE는 상기 도파관의 상기 제1 표면에 광학적으로 커플링되는,

이미지를 뷰어의 눈으로 투사하기 위한 접안렌즈.

청구항 3

제1 항에 있어서,

상기 도파관은 상기 제1 표면 반대의 제2 표면을 갖고, 그리고

상기 제1 DOE는 상기 도파관의 제2 표면에 광학적으로 커플링되는,

이미지를 뷰어의 눈으로 투사하기 위한 접안렌즈.

청구항 4

제1 항에 있어서,

상기 제2 높이와 상기 제1 높이의 비 8:7 내지 8:3의 범위인,

이미지를 뷰어의 눈으로 투사하기 위한 접안렌즈.

청구항 5

제1 항에 있어서,

상기 제1 폭 및 상기 제2 폭은, 상기 제2 DOE가 1차 투과 효율보다 큰 1차 반사 효율을 가지도록 선택되는,

이미지를 뷰어의 눈으로 투사하기 위한 접안렌즈.

청구항 6

제5 항에 있어서,

상기 1차 반사 효율과 상기 1차 투과 효율의 비율은 2보다 큰,

이미지를 뷰어의 눈으로 투사하기 위한 접안렌즈.

청구항 7

제1 항에 있어서,

상기 제1 폭은 상기 주기의 0.4배 내지 상기 주기의 0.6배의 범위이고, 그리고

상기 제2 폭은 상기 주기의 0.25배 미만인,

이미지를 뷰어의 눈으로 투사하기 위한 접안렌즈.

청구항 8

이미지를 뷰어의 눈으로 투사하기 위한 접안렌즈로서,

제1 표면을 갖는 도파관;

상기 도파관의 제1 구역에 광학적으로 커플링된 인커플링 격자 — 상기 인커플링 격자는, 상기 제1 표면에 실질적으로 수직인 방향으로 상기 도파관 상에 입사하는 이미지 광을 상기 도파관 내로 회절시켜 상기 도파관 내에서 제1 방향으로 전파되도록 구성됨 —;

상기 도파관의 제2 구역에 광학적으로 커플링된 제1 DOE(diffractive optical element) — 상기 제1 DOE는 상기 도파관 내에서 전파하는 상기 이미지 광을 상기 제1 방향과 상이한 제2 방향을 향해 회절시키도록 구성됨 —; 및

상기 도파관의 제2 구역에 광학적으로 커플링된 제2 DOE를 포함하고,

상기 제2 DOE는:

상기 도파관의 제1 표면으로부터 돌출되고, 주기를 갖는 주기적 어레이로서 배열되는 복수의 제1 리지들; 및

복수의 제2 리지들을 포함하고,

개개의 제1 리지는 각각 상기 주기의 방향으로 개개의 제1 폭을 가지고, 상기 개개의 제1 폭은 상기 주기의 방향으로 상기 개개의 제1 리지의 포지션의 함수에 따라 변동하고,

개개의 제2 리지는 각각 대응하는 제1 리지로부터 돌출되고 그리고 상기 대응하는 제1 리지의 대응하는 제1 폭보다 작은 개개의 제2 폭을 가지고, 개개의 제2 폭은 각각 상기 주기의 방향으로 상기 대응하는 제1 리지의 포지션의 함수에 따라 변동하며,

상기 제2 DOE는, 상기 제1 DOE에 의해 회절되는 상기 이미지 광의 제1 부분을 1차 반사로서 상기 눈을 향해 회절시키고 그리고 상기 제1 DOE에 의해 회절되는 상기 이미지 광의 제2 부분을 1차 투과로서 상기 눈으로부터 멀어지게 회절시키도록 구성되는,

이미지를 뷰어의 눈으로 투사하기 위한 접안렌즈.

청구항 9

제8 항에 있어서,

각각의 제1 리지는 제1 높이를 갖고, 그리고 각각의 제2 리지는 상기 제1 높이보다 큰 제2 높이를 갖는,
이미지를 뷰어의 눈으로 투사하기 위한 접안렌즈.

청구항 10

제9 항에 있어서,

상기 제1 높이는 45nm 내지 65nm의 범위이고, 상기 제2 높이는 70nm 내지 80nm의 범위인,
이미지를 뷰어의 눈으로 투사하기 위한 접안렌즈.

청구항 11

제8 항에 있어서,

상기 제2 DOE의 1차 반사 효율이 상기 주기의 방향으로 상기 도파관의 제1 표면에 걸쳐 포지션의 함수에 따라 변동하도록, 상기 개개의 제1 리지의 개개의 제1 폭 각각이 그리고 상기 개개의 제2 리지의 개개의 제2 폭 각각이 변동되는,

이미지를 뷰어의 눈으로 투사하기 위한 접안렌즈.

청구항 12

제11 항에 있어서,

상기 제2 DOE의 1차 반사 효율은, 상기 제2 DOE의 제1 에지로부터 상기 제2 DOE의 제2 에지로 갈수록 증가하는,
이미지를 뷰어의 눈으로 투사하기 위한 접안렌즈.

청구항 13

제12 항에 있어서,

상기 제2 DOE의 1차 반사 효율은, 상기 제2 DOE의 제1 에지로부터 상기 제2 DOE의 제2 에지로 갈수록 실질적으로 선형적으로 증가하는,

이미지를 뷰어의 눈으로 투사하기 위한 접안렌즈.

청구항 14

제11 항에 있어서,

상기 도파관은 상기 제1 표면 반대의 제2 표면을 갖고, 그리고

상기 제1 DOE는 상기 도파관의 제1 표면 또는 제2 표면에 광학적으로 커플링되는,

이미지를 뷰어의 눈으로 투사하기 위한 접안렌즈.

청구항 15

이미지를 뷰어의 눈으로 투사하기 위한 접안렌즈로서,

제1 표면을 갖는 도파관;

상기 도파관의 제1 구역에 광학적으로 커플링된 인커플링 격자 — 상기 인커플링 격자는, 상기 제1 표면에 실질적으로 수직인 방향으로 상기 도파관 상에 입사하는 이미지 광을 상기 도파관 내로 회절시켜 상기 도파관 내에서 제1 방향으로 전파되도록 구성됨 —;

상기 도파관의 제2 구역에 광학적으로 커플링된 제1 DOE(diffractive optical element) — 상기 제1 DOE는 상기 도파관 내에서 전파하는 상기 이미지 광을 상기 제1 방향과 상이한 제2 방향을 향해 회절시키도록 구성됨 —; 및

상기 도파관의 제2 구역에 광학적으로 커플링된 제2 DOE를 포함하고,

상기 제2 DOE는:

상기 도파관의 제1 표면으로부터 돌출되고, 주기를 갖는 주기적 어레이로서 배열되는 복수의 제1 리지들; 및
복수의 제2 리지들을 포함하고,

개개의 제1 리지는 각각 상기 주기의 방향으로 개개의 제1 폭을 가지고,

개개의 제2 리지는 각각 대응하는 제1 리지로부터 돌출되고 그리고 상기 대응하는 제1 리지의 대응하는 제1 폭보다 작은 개개의 제2 폭을 갖고,

상기 대응하는 제1 리지의 대응하는 제1 폭에 대한 상기 개개의 제2 리지의 개개의 제2 폭의 비율은 상기 주기의 방향으로 상기 대응하는 제1 리지의 위치선의 함수에 따라 변동하며,

상기 제2 DOE는, 상기 제1 DOE에 의해 회절되는 상기 이미지 광의 제1 부분을 1차 반사로서 상기 눈을 향해 회절시키고 그리고 상기 제1 DOE에 의해 회절되는 상기 이미지 광의 제2 부분을 1차 투과로서 상기 눈으로부터 멀어지게 회절시키도록 구성되는,

이미지를 뷰어의 눈으로 투사하기 위한 접안렌즈.

청구항 16

제15 항에 있어서,

상기 대응하는 제1 리지의 대응하는 제1 폭에 대한 상기 개개의 제2 리지의 개개의 제2 폭의 비율은, 상기 제2 DOE의 1차 반사 효율이 상기 주기의 방향으로 상기 도파관의 제1 표면에 걸쳐 위치선의 함수에 따라 변동하도록, 상기 주기의 방향으로 상기 대응하는 제1 리지의 위치선의 함수에 따라 변동하는,

이미지를 뷰어의 눈으로 투사하기 위한 접안렌즈.

청구항 17

제16 항에 있어서,

상기 제2 DOE의 1차 반사 효율은, 상기 제2 DOE의 제1 에지로부터 상기 제2 DOE의 제2 에지로 갈수록 증가하는,
이미지를 뷰어의 눈으로 투사하기 위한 접안렌즈.

청구항 18

제17 항에 있어서,

상기 제2 DOE의 1차 반사 효율은, 상기 제2 DOE의 제1 에지로부터 상기 제2 DOE의 제2 에지로 갈수록 실질적으로 선형적으로 증가하는,

이미지를 뷰어의 눈으로 투사하기 위한 접안렌즈.

청구항 19

제16 항에 있어서,

상기 도파관은 상기 제1 표면 반대의 제2 표면을 갖고, 그리고

상기 제1 DOE는 상기 도파관의 제1 표면 또는 제2 표면에 광학적으로 커플링되는,

이미지를 뷰어의 눈으로 투사하기 위한 접안렌즈.

청구항 20

제15 항에 있어서,

각각의 제1 리지는 제1 높이를 갖고, 그리고 각각의 제2 리지는 상기 제1 높이보다 큰 제2 높이를 갖는,

이미지를 뷰어의 눈으로 투사하기 위한 접안렌즈.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 출원은 2016년 10월 26일에 출원된 미국 가특허 출원 제62/413,288호의 우선권을 주장하고, 상기 출원의 전체 내용은 인용에 의해 본원에 통합된다.

배경 기술

[0002] 현대 컴퓨팅 및 디스플레이 기술들은 소위 "가상 현실" 또는 "증강 현실" 경험들을 위한 시스템들의 개발을 가능하게 하였고, 디지털 방식으로 재생되는 이미지들 또는 이미지들의 부분들은, 그들이 실제인 것으로 보이거나 실제로서 지각될 수 있는 방식으로 뷰어에게 제공된다. 가상 현실 또는 "VR" 시나리오는 전형적으로, 다른 실제 세계 시각적 입력에 대한 투명도(transparency) 없는 디지털 또는 가상 이미지 정보의 프리젠테이션(presentation)을 수반하고; 증강 현실 또는 "AR" 시나리오는 전형적으로, 뷰어 주위 실제 세계의 시각화에 대한 증강으로서 디지털 또는 가상 이미지 정보의 프리젠테이션을 수반한다.

[0003] 이러한 디스플레이 기술들에서 이루어지는 진보에도 불구하고, 증강 현실 시스템들에 관련된 개선된 방법들 및 시스템들이 당해 기술분야에 필요하다.

발명의 내용

[0004] 본 발명의 일부 실시예들에 따라, 이미지를 뷰어의 눈으로 투사하기 위한 접안렌즈(eyepiece)는 표면을 갖고, 내부에서 광을 전파시키도록 구성된 도파관, 및 도파관에 광학적으로 커플링된 회절 광학 엘리먼트(diffractive optical element)를 포함할 수 있다. 회절 광학 엘리먼트는 도파관의 표면으로부터 돌출되고, 주기를 갖는 주기적 어레이로서 배열되는 복수의 제1 리지들(ridges)을 포함할 수 있다. 복수의 제1 리지들 각각은 도파관의 표면에 수직인 방향의 제1 높이 및 주기의 방향의 제1 폭을 갖는다. 회절 광학 엘리먼트는 복수의 제2 리지들을 더 포함할 수 있다. 복수의 제2 리지들 각각은 개개의 제1 리지로부터 돌출되고, 제1 높이보다 더 큰 제2 높이 및 제1 폭 미만의 제2 폭을 갖는다. 회절 광학 엘리먼트는 도파관에서 전파되는 광의 제1 부분을 1차 반사(first order reflection)로서 눈을 향해 회절시키고, 도파관에서 전파되는 광의 제2 부분을 1차 투과(first order transmission)로서 눈으로부터 멀어지게 회절시키도록 구성될 수 있다.

[0005] 본 발명의 일부 다른 실시예들에 따라, 이미지를 뷰어의 눈으로 투사하기 위한 접안렌즈는 표면을 갖고, 내부에서 광을 전파시키도록 구성된 도파관, 및 도파관에 광학적으로 커플링된 회절 광학 엘리먼트를 포함할 수 있다. 회절 광학 엘리먼트는 도파관의 표면으로부터 돌출되고, 주기를 갖는 주기적 어레이로서 배열되는 복수의 제1 리지들을 포함할 수 있다. 개개의 제1 리지는 각각 주기의 방향으로 개개의 제1 폭을 가지면, 상기 제1 폭은 주기의 방향으로 개개의 제1 리지의 위치의 함수에 따라 변한다. 회절 광학 엘리먼트는 복수의 제2 리지들을 더 포함할 수 있다. 개개의 제2 리지는 각각 대응하는 제1 리지로부터 돌출되고, 대응하는 제1 리지의 대응하는 제1 폭 미만인 개개의 제2 폭을 갖는다. 개개의 제2 폭은 각각 주기의 방향으로 대응하는 제1 리지의 위치의 함수에 따라 변동할 수 있다. 회절 광학 엘리먼트는 도파관에서 전파되는 광의 제1 부분을 1차 반사로서 눈을 향해 회절시키고, 도파관에서 전파되는 광의 제2 부분을 1차 투과로서 눈으로부터 멀어지게 회절시키도록 구성될 수 있다.

[0006] 본 발명의 일부 추가의 실시예들에 따라, 이미지를 뷰어의 눈으로 투사하기 위한 접안렌즈는 표면을 갖고, 내부에서 광을 전파시키도록 구성된 도파관, 및 도파관에 광학적으로 커플링된 회절 광학 엘리먼트를 포함할 수 있다. 회절 광학 엘리먼트는 도파관의 표면으로부터 돌출되고, 주기를 갖는 주기적 어레이로서 배열되는 복수의 제1 리지들을 포함할 수 있다. 개개의 제1 리지는 각각 주기의 방향의 개개의 제1 폭을 갖는다. 회절 광학 엘리먼트는 복수의 제2 리지들을 더 포함할 수 있다. 개개의 제2 리지는 각각 대응하는 제1 리지로부터 돌출되고, 대응하는 제1 리지의 대응하는 제1 폭 미만인 개개의 제2 폭을 갖는다. 개개의 제2 리지의 개개의 제2 폭 대 대응하는 제1 리지의 대응하는 제1 폭의 비율은 주기의 방향의 대응하는 제1 리지의 위치의 함수에 따라 변동할 수 있다. 회절 광학 엘리먼트는 도파관에서 전파되는 광의 제1 부분을 1차 반사로서 눈을 향해 회절시키고, 도파관에서 전파되는 광의 제2 부분을 1차 투과로서 눈으로부터 멀어지게 회절시키도록 구성될 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0007]

[0007] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른, 디지털 또는 가상 이미지를 뷰어에 제공하는 데 사용될 수 있는 VOA(viewing optics assembly)에서의 광 경로들을 개략적으로 예시한다.

[0008] 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 접안렌즈의 도파관 내로 인커플링되는 광의 단일 빔렛의 경로의 예를 예시한다.

[0009] 도 3은 본 발명의 실시예에 따른 도파관에 대한 보타이 토폴로지(bowtie topology)의 예를 예시한다.

[0010] 도 4a는 본 발명의 실시예에 따른 단일-면(single-sided) 구성의 결합된 OPE/EPE 구역을 갖는 도파관의 예를 예시한다.

[0011] 도 4b는 본 발명의 실시예에 따른 도파관 내의 광 경로의 예를 예시한다.

[0012] 도 5는 본 발명의 실시예에 따른, 도파관으로부터 뷰어의 눈을 향하는 이미지 광을 아웃커플링하기 위해 접안렌즈에 사용될 수 있는 2-레벨 위상 격자의 횡단면도를 개략적으로 예시한다.

[0013] 도 6은 본 발명의 일부 실시예들에 따른, 입사 각도 세타의 함수로써, 1차 반사(1R) 및 1차 투과(1T)뿐만 아니라 2차 반사(2R)에서의 예시적인 2-레벨 격자의 회절 효율 곡선들을 도시한다.

[0014] 도 7a-7f는 일부 실시예들에 따른 2-레벨 격자의 다양한 차수들에서의 회절 효율들의 시뮬레이팅된 강도 플롯들을 도시한다.

[0015] 도 8은 본 발명의 실시예에 따른 예시적인 3-레벨 격자의 이미지를 도시한다.

[0016] 도 9는 본 발명의 실시예에 따른 3-레벨 회절 격자의 개략적인 횡단면도를 도시한다.

[0017] 도 10은 본 발명의 실시예에 따른, 입사 각도 세타의 함수로써, 1차 반사(1R) 및 1차 투과(1T)뿐만 아니라 2차 반사(2R)에서의 예시적인 3-레벨 격자의 시뮬레이팅된 회절 효율 곡선들을 도시한다.

[0018] 도 11a 및 11b는 본 발명의 실시예들에 따른, s-편광된 광(90도 편광, 도 11a) 및 p-편광된 광(0도의 편광, 도 11b)에 대한 격자 깊이의 함수로써 일부 예시적인 3-레벨 격자들의 시뮬레이팅된 회절 효율 곡선들을 도시한다.

[0019] 도 12a-12f는 일부 실시예들에 따른 3-레벨 격자의 다양한 차수들에서의 회절 효율들의 시뮬레이팅된 강도 플롯들을 도시한다.

[0020] 도 13a-13f는 일부 다른 실시예들에 따른 3-레벨 격자의 다양한 차수들에서의 회절 효율들의 시뮬레이팅된 강도 플롯들을 도시한다.

[0021] 도 14a-14f는 일부 부가적인 실시예들에 따른 3-레벨 격자의 다양한 차수들에서의 회절 효율들의 시뮬레이팅된 강도 플롯들을 도시한다.

[0022] 도 15는 본 발명의 일부 실시예들에 따른, 예시적인 3-레벨 격자에 대해, 입사 각도의 함수로써, 1차 반사(1R), 1차 투과(1T), 및 2차 반사(2R)에 대한 시뮬레이팅된 회절 효율들을 도시한다.

[0023] 도 16은 본 발명의 실시예에 따른 3-레벨 격자의 하나의 주기의 개략적인 횡단면도를 예시한다.

[0024] 도 17은 본 발명의 실시예들에 따른 최적화 파라미터(α)에 대한 격자 파라미터들(h_1 , h_2 , w_1 및 w_2)의 의존성을 도시한다.

[0025] 도 18은 본 발명의 실시예들에 따른 최적화 파라미터(α)에 대한 사용자에게 대한 전력(P_{user}), 세계에 대한 전력(P_{world}) 및 2차 전력(P_2)의 의존성을 도시한다.

[0026] 도 19는 본 발명의 실시예에 따른 도파관 상에 형성된 격자의 개략적인 횡단면도를 도시한다.

[0027] 도 20a 및 20b는 본 발명의 실시예에 따른, 격자 효율의 선형 모델에서 파라미터들(a 및 b)의 함수로써, 평균 아웃커플링된 전력의 시뮬레이팅된 컨투어 플롯(도 20a) 및 평균 아웃커플링된 전력으로부터의 RMS 편차의 시뮬레이팅된 컨투어 플롯(도 20b)을 도시한다.

[0028] 도 21은 본 발명의 실시예에 따른, 파라미터들(a=0.5 및 b=1)을 갖는 선형 모델에 대해, 격자의 최상부로부터의 정규화된 거리(x)의 함수로써, (사용자 및 세계를 향한) 정규화된 아웃커플링된 전력($g(x)=f(x)y(x)$)의 시뮬레이팅된 플롯을 도시한다.

[0029] 도 22a 및 22b는 본 발명의 일부 실시예들에 따른, 격자의 최상부(도 22a) 및 격자의 최하부(도 22b)에서의 3-레벨 격자의 하나의 주기의 개략적인 횡단면도들을 도시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0008] [0030] 본 개시내용은 일반적으로 가상 현실 및 증강 현실 시각화 시스템들에 사용될 수 있는 회절 광학 엘리먼트들에 관한 것이다. 위상 격자 또는 격자로 또한 지칭될 수 있는 회절 광학 엘리먼트는 VR 또는 AR 시스템에서 이미지 광을 도파관으로부터 뷰어의 눈을 향해 아웃커플링하기 위한 접안렌즈에서 사용될 수 있다. 명확화를 위해, 텀 격자(term grating)를 사용하는 회절 광학 엘리먼트들이 본원에 설명되지만, 본 발명이 격자 구조물들에 제한되지 않지만, 다른 형태들의 회절 광학 엘리먼트들을 포함할 수 있다.
- [0009] [0031] 도 1은 본 발명의 실시예에 따라, 뷰어에 디지털 또는 가상 이미지를 제공하는 데 사용될 수 있는 VOA(viewing optics assembly)의 광 경로들을 개략적으로 예시한다. VOA는 투사기(101) 및 뷰어의 눈 주위에 착용될 수 있는 접안렌즈(100)를 포함한다. 접안렌즈(100)는 하나 이상의 접안렌즈 층들을 포함할 수 있다. 일 실시예에서, 접안렌즈(100)는 3개의 접안렌즈 층들(3원색들(적색, 녹색 및 청색) 각각마다 하나의 접안렌즈 층)을 포함한다. 다른 실시예에서, 접안렌즈(100)는 6개의 접안렌즈 층들, 즉, 하나의 깊이 평면에서 가상 이미지를 형성하도록 구성된 3원색들 각각마다의 한 세트의 접안렌즈 층들, 및 다른 하나의 깊이 평면에서 가상 이미지를 형성하도록 구성된 3원색들 각각마다의 다른 한 세트의 접안렌즈 층들을 포함할 수 있다. 다른 실시예들에서, 접안렌즈(100)는 3개 이상의 상이한 깊이 평면들에 대해 3원색 각각마다 3개 이상의 접안렌즈 층들을 포함할 수 있다. 각각의 접안렌즈 층은 평면형 도파관을 포함하고, 인커플링 격자(107), 직교 동공 확장기(orthogonal pupil expander) 구역(108) 및 EPE(exit pupil expander) 구역(109)을 포함할 수 있다.
- [0010] [0032] 계속해서 도 1을 참조하면, 투사기(101)는 접안렌즈 층(100)에서 이미지 광을 인커플링 격자(107) 상으로 투사한다. 인커플링 격자(107)는 투사기(101)로부터의 이미지 광을 OPE 구역(108)을 향하는 방향으로 전파하는 평면형 도파관으로 커플링한다. 도파관은 TIR(total internal reflection)에 의해 이미지 광을 수평 방향으로 전파한다. 접안렌즈 층(100)의 OPE 구역(108)은 또한, EPE 구역(109)을 향해 도파관에서 전파되는 이미지 광 중 일부를 커플링하고 방향전환하는 회절 광학 엘리먼트를 포함한다. EPE 구역(109)은 뷰어 눈(102)을 향하여 접안렌즈 층(100)의 평면에 대략 수직인 방향으로 도파관에서 전파되는 이미지 광 중 일부를 커플링 및 지향시키는 회절 광학 엘리먼트를 포함한다. 이러한 방식으로, 투사기(101)에 의해 투사된 이미지는 뷰어의 눈(102)에 의해 뷰잉될 수 있다.
- [0011] [0033] 접안렌즈 층(100)의 EPE 구역(109)의 회절 광학 엘리먼트는 전형적으로 접안렌즈의 평면형 도파관의 표면 상에 형성된 격자, 예컨대, 주기적 구조물을 포함한다. 광 빔이 주기적 구조물을 통과할 때, 광 빔은 다수의 차수들로 회절될 것이다. 반복되는 구조물의 주기는 차수들 간의 각도 분리를 결정한다. 작은 주기가 큰 각도 분리를 생성하는 반면, 큰 주기는 가깝게 이격된 출력 빔들을 초래한다. 회절된 차수들 각각으로 지향되는 상대적인 전력은 단일 격자 주기 내의 표면 프로파일의 형상 및 성질에 의해 조정(dictate)된다.
- [0012] [0034] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 접안렌즈(200)의 도파관(212)에 인커플링된 광의 단일 빔렛의 경로의 예를 예시한다. 도파관(212)은, 내부 전반사에 의해 광학 파를 가이딩할 수 있는 재료(전형적으로 고유전율을 갖는 유전체 재료)로 구성된 기판(202) 상에 또는 기판(202) 내에 각각 배치된, ICG(220), OPE(230) 및 EPE(240)를 포함할 수 있다. 일부 실시예들에서, 접안렌즈(200)는 3개의 도파관들(212, 214 및 216)을 포함할 수 있으며, 각각의 도파관은 특정 파장의 광에 대응한다. 추가적인 또는 더 적은 도파관들이 가능하다. 도파관들(214 및 216) 각각은 도파관(212)과 유사한 ICG, OPE 및 EPE를 포함할 수 있다. 일부 실시예들에서, 주입된 광(222)은 도 2의 도면과 직교하는 z 방향으로 ICG(220)에서 접안렌즈(200)에 들어갈 수 있다. 주입된 광(222)은 ICG(220)에 들어갈 수 있으며, 여기서 ICG(220) 내의 격자는 인커플링된 광(222) 내의 특정 파장들의 광을 회절시킬 수 있고, 인커플링된 광(222)의 다른 파장들은 접안렌즈(210)의 후속적인 도파관 층들로 계속된다. 일부 실시예들에서, ICG(220)는 특정 파장에 특징적인 다수의 별개의 격자들이다.
- [0013] [0035] 인커플링된 광(222)은, 일반적으로 +x 방향으로 OPE(230)를 향한 팬 패턴(224)에 의해 묘사된 바와 같은 범위에 걸치는 것뿐만 아니라 일반적으로 -x 방향으로 OPE(230)로부터 멀어지게 팬 패턴(226)에 걸친 범위에서 도파관 내에서 특정 방향으로 ICG(220)에 의해 회절될 수 있다. 다른 팬 패턴에 걸친 다른 광 경로들이 당연히 가능하며 투사 광학기, 및 ICG(220)에 의해 구성된 특정 격자 및 회절 패턴에 의존한다. 즉, 광은 발산 빔으로서 도파관 내로 회절하지 않지만, 일부 실시예들에서는 이미지 광 중 일부분들의 점진적 분산형 샘플링이 접안렌즈를 가로질러 빔렛들의 점진적으로 확장하는 분포 패턴을 생성할 수 있다. 묘사된 팬 패턴(224) 내에서 회

절된 인커플링된 광(222)은 일반적으로 광 경로(228)를 따라 OPE(230)로 들어가서, +x 방향으로 가로지르고, 이 광이 OPE(230)로 구성된 회절 격자들에 충돌할 때 광의 부수적인 분산형 샘플링이 OPE(230)를 통해 이루어지며, 사용자의 눈을 향해 -z 방향으로 아웃커플링하기 전에 광 중 일부분들은 주기적으로 EPE(240) 아래로 지향되고 -y 방향으로 가로지른다.

[0014] [0036] 도 2가 묘사하듯이, 도파관(212)에 대응하는 파장의 많은 광이, 팬 패턴(226)으로 회절된 광과 같은 방향 손실 또는 팬 패턴(224) 내의 모든 광을 캡처하기 위해 부적절하게 포지셔닝되거나 사이징된 OPE(230)로 인한 캡처 손실로 인해 손실될 수 있다. 집안렌즈에 관한 더 상세한 사항들은 미국 특허 출원 제15/683,624호에 설명되고, 상기 출원의 내용은 모든 목적들을 위해 인용에 의해 본원에 통합된다.

[0015] [0037] 도 3은 본 발명의 다른 실시예에 따른 도파관(300)에 대한 보타이 토폴로지의 예를 예시한다. 도파관(300)은, 전형적으로 동공 확장기들로부터 멀어지게 회절될 광을 활용함으로써 다른 도파관 설계들에서 존재하는 손실을 완화시킬 수 있다. 결과적인 팬 패턴들이 y 축 및 x 축과 정렬되도록 ICG(320)를 배향시킴으로써(도 3에 도시됨), 도파관(300)은, 회절된 인커플링된 광을 훨씬 더 많이 캡처하는 제1 동공 확장기(330A) 및 제2 동공 확장기(330B)를 포함할 수 있다. 일부 실시예들에서, 제1 동공 확장기(330A) 및 제2 동공 확장기(330B)는 OPE들일 수 있다. 일부 실시예들에서, 도파관(300)은 제3 동공 확장기(340), 이를테면, EPE를 더 포함할 수 있다.

[0016] [0038] 도파관(300)이 2개의 더 작은 동공 확장기들(예컨대, 제1 동공 확장기(330A) 및 제2 동공 확장기(330B))을 포함할 수 있기 때문에, 도파관(300)은 단일 OPE(이를테면, 위에서 설명된 것들)의 사이즈를 감소시킬 수 있다. 일부 실시예들에서, 제1 동공 확장기(330A) 및 제2 동공 확장기(330B)는, 앞서 설명된 바와 같이, 제거된 부분(예컨대, 제거된 영역(332A 및 332B))을 갖는 OPE와 유사할 수 있다. 제1 동공 확장기(330A) 및 제2 동공 확장기(330B)는 수신된 광을 배가하고, (위에서 설명된 바와 유사하게) 광을 제3 동공 확장기(340)로 지향시킬 수 있다. 일부 실시예들에서, 제1 동공 확장기(330A) 및 제2 동공 확장기(330B)는, 앞서 설명된 바와 같이, 일반적으로 x 방향으로보다는 x-y 평면에서 광을 비스듬히(at an angle) 지향시킬 수 있다. 각도는 제1 동공 확장기들(330A 및 330B)로 하여금 광 경로(328)에 의해 예시된 바와 같이 광을 제3 동공 확장기(340)에 전송하게 할 수 있다. 일부 실시예들에서, 도파관(300)은 본원에서 설명된 다른 도파관들과 비교하여 대략 효율성을 두배로 할 수 있다.

[0017] [0039] 일부 실시예들에서, 도파관(300)은 하나 이상의 확산기들(예컨대, 확산기(332A) 및 확산기(332B))을 더 포함할 수 있다. 하나 이상의 확산기들은, ICG(320)로부터 제3 동공 확장기(340)의 중심으로 바로 송신되는 광을 캡처할 수 있다. 하나 이상의 확산기들은 본원에서 설명된 하나 이상의 OPE들과 유사한 격자를 포함할 수 있다. 일부 실시예들에서, 하나 이상의 확산기들의 격자는 유사하게 광을 제3 동공 확장기(340)로 스테어 스텝핑(stair step)할 수 있다.

[0018] [0040] 도 4a는 본 발명의 다른 실시예에 따른 단일-면 구성에서 결합된 OPE/EPE 구역(450)을 갖는 도파관(400)의 예를 예시한다. 결합된 OPE/EPE 구역(450)은 x 방향 및 y 방향에서 공간적으로 오버랩하는 OPE 및 EPE 둘 모두에 대응하는 격자들을 포함한다. 일부 실시예들에서, OPE 및 EPE 둘 모두에 대응하는 격자들은 기관(402)의 동일한 측 상에 로케이팅되어, OPE 격자들이 EPE 격자들 상에 중첩되거나 EPE 격자들이 OPE 격자들 상에 중첩된다(또는 둘 모두이다). 다른 실시예들에서, OPE 격자들은 EPE 격자들로부터 기관(402)의 반대 측 상에 로케이팅되어, 격자들은 x 방향 및 y 방향에서 공간적으로 오버랩하지만 z 방향에서(즉, 상이한 평면들에서) 서로 별개이다. 따라서, 결합된 OPE/EPE 구역(450)은 단일-면 구성으로 또는 2-면 구성으로 구현될 수 있다.

[0019] [0041] 도 4b는 본 발명의 실시예에 따른 도파관(400) 내에서 광 경로(428)의 예를 예시한다. 광 경로(428)는 ICG(420)에서 기관(402)에 커플링되는 입사 광(428A로 표시됨)을 포함한다. 인커플링된 광(428B로 표시됨)은 내부 전반사에 의해 격자들(451, 452 및 453)을 향해 전파된다. 이들 광선들이 제1 OPE 격자(451)에 부딪칠 때, 광은 +y 방향(428C로 표시됨)으로 회절되고 후속적으로 사용자의 눈을 향해 도파관(400) 밖으로 EPE 격자(453)에 의해 -z 방향(428D로 표시됨)으로 회절된다. 유사하게, 인커플링된 광(428B로 표시됨)은 대안적으로 제2 OPE 격자(452)에 부딪치고 -y 방향(428E로 표시됨)으로 회절될 수 있다. -y 방향(428E로 표시됨)으로 회절되는 광은 사용자의 눈을 향해 도파관(400) 밖으로 EPE 격자(453)에 의해 회절될 수 있다. 광이 (제1 OPE 격자(451)에 의해) +y 방향으로 회절되는지 또는 (제2 OPE 격자(452)에 의해) -y 방향으로 회절되는지 여부는 확률적이고 격자 구조들에 의해 좌우된다. 일반적으로, 결합된 OPE/EPE 구역(450)의 성능은, 인커플링된 광(428B로 표시됨)이 +y 방향 또는 -y 방향으로 회절될 가능성이 50%일 때 개선된다. 일부 예시들에서, 이는 제1 OPE 격자(451) 및 제2 OPE 격자(452)가 서로 수직일 때 달성된다.

- [0020] [0042] 도파관(400)은 오직 단일 OCG(420)만을 갖는 것으로 예시되지만, 일부 실시예들에서, 도파관(400)이 결합된 OPE/EPE 구역(450)의 반대 측 상에 ICG(420)로서 제2 ICG를 포함하는 것이 바람직할 수 있다. 제2 ICG는 ICG(420)와 형태 및 기능에서 동일할 수 있고 ICG(420)의 미러링된 버전일 수 있다. 예컨대, ICG(420)는 투사된 이미지와 관련된 인커플링된 광을 기관(402)으로 회절시키도록 구성되는 한편, 제2 ICG(420)는 투사된 이미지의 미러링된 버전(예컨대, x 방향으로 플립됨)과 관련된 인커플링된 광을 회절시키도록 구성될 수 있다. ICG(420)와 연관된 광 경로(428)와 반대로, 제2 ICG와 연관된 광 경로는 제2 ICG에서 기관(402)에 커플링된 입사 광을 포함할 수 있다. 인커플링된 광은 내부 전반사에 의해 격자들(451, 452 및 453)을 향해 전파된다. 이들 광선들이 제1 OPE 격자(451)에 부딪힐 때, 광은 -y 방향으로 회절되고 후속적으로 사용자의 눈을 향해 도파관(400) 밖으로 EPE 격자(453)에 의해 -z 방향으로 회절된다. 유사하게, 인커플링된 광은 대안적으로 제2 OPE 격자(452)에 부딪치고 +y 방향으로 회절될 수 있다. +y 방향으로 회절되는 광은 사용자의 눈을 향해 도파관(400) 밖으로 EPE 격자(453)에 의해 회절될 수 있다.
- [0021] [0043] 다른 도파관 토폴로지들에 관한 더 상세한 사항들은 미국 특허 출원 제15/683,624호에 설명되고, 상기 출원의 내용은 모든 목적들에 대해 인용에 의해 본원에 통합된다.
- [0022] [0044] 도 5는 본 발명의 실시예에 따른, 뷰어의 눈을 향해 도파관(502)(X-Y 평면에 놓임)으로부터의 이미지 광을 아웃커플링하기 위해 접안렌즈에 사용될 수 있는 2-레벨 위상 격자(500)의 개략적인 횡단면도를 예시한다. 2-레벨 격자(500)는 y 축을 따라 (즉, 페이지에 수직인 방향으로) 연장되고, (음의 Z 방향으로) 도파관(502)으로부터 돌출되는 리지들(510)의 어레이를 포함할 수 있다. 리지들(510)의 어레이는 X 방향을 따라 주기적으로 배열될 수 있다. 각각의 리지(510)는 Z 방향의 높이(h), 및 X 방향의 폭(w)을 가질 수 있다. 도파관(502)으로부터 격자(500)에 입사하는 이미지 광에 대해, 2-레벨 격자(500)는, 도 5에 예시된 바와 같이, 뷰어의 눈을 향한 1차 반사(1R), 세계를 향한 1차 투과(1T), 및 입사 방향과 실질적으로 반대 방향의 2차 반사(2R)를 생성할 수 있다. 상이한 회절 차수들 사이의 상대적인 회절 효율들은 듀티 사이클, 즉, 피치 폭(w)과 주기(D) 사이의 비율에 의존할 수 있다. 상대적인 회절 효율들은 또한 격자의 깊이, 즉, 리지들의 높이(h)에 의존할 수 있다.
- [0023] [0045] 격자(500)가 VR 또는 AR 시스템에서 뷰어의 눈을 향해 도파관(502)으로부터의 이미지 광을 아웃커플링하는 데 사용될 때, 격자의 몇몇의 성능 특징들이 중요할 수 있다. 첫째, 세계를 향해 지향된 이미지 광이 본질적으로 낭비되고, 또한 뷰어가 보는 것을 다른 사람들이 볼 수 있게 할 수 있기 때문에, 더 많은 이미지 광이 세상보다 뷰어를 향해 지향되는 것이 바람직할 수 있다. 둘째, 접안렌즈 내에서 바운싱하는 광은 2차 회절을 통해 후방으로 회절되고, 이어서 뷰어쪽으로 회절될 수 있다. 이 광은, 도파관이 완벽하게 평평하지 않거나, 격자에 렌즈 기능이 내장되는 경우, 각도 에러를 발생시킬 수 있고, 이는 MTF(modulation transfer function) 및 콘트라스트를 감소시킬 수 있다. 따라서, 2차 반사를 최소화하는 것이 바람직할 수 있다. 또한, 오버헤드 광들과 같은, 세계로부터의 광은 뷰어를 향해 회절될 수 있어서, 장면을 흐리게 하고 뷰어를 산만하게 할 수 있는 무지개 효과를 생성한다.
- [0024] [0046] 도 6은, 입사 각도 세타의 함수로써, 1차 반사(1R) 및 1차 투과(1T)뿐만 아니라 2차 반사(2R)에 대한 예시적인 2-레벨 격자의 시뮬레이팅된 회절 효율 곡선들을 도시한다. 예시된 바와 같이, 1차 투과(1T)에 대한 회절 효율은 도시된 입사 각도들의 범위의 경우 1차 반사(1R)의 효율들과 비슷하다. 따라서, 대략 동일한 양들의 이미지 광은 세계를 향해 그리고 뷰어를 향해 지향될 수 있다.
- [0025] [0047] 도 7a-7f는 일부 실시예들에 따른 2-레벨 격자의 다양한 차수에서의 회절 효율들의 시뮬레이팅된 강도 플롯들을 도시한다. 구체적으로, 도 7a 및 7d는 s-편광 및 p-편광에 대해, 피치 높이(h)(수평 축) 및 피치 폭(w)(수직 축)의 함수로써 사용자-측 회절 효율들(1R)을 각각 도시하고, 도 7b 및 7e는 s-편광 및 p-편광에 대해, h(수평 축) 및 w(수직 축)의 함수로써 세계-측 회절 효율들(1T)을 각각 도시하고, 도 7c 및 7f는 s-편광 및 p-편광에 대해, h(수평 축) 및 w(수직 축)의 함수로써 2차 반사(2R)를 각각 도시한다. 점선은, 상당히 높은 1차 반사(1R)를 가지면서, 비교적 낮은 2차 반사(2R)를 발생시킬 수 있는 피치 높이(h)=60nm에 대응하는 피치 폭(w)의 범위를 나타낸다. 또한, 1차 투과(1T)의 회절 효율은 1차 반사(1R)의 회절 효율과 비교하여 상대적으로 낮을 수 있다.
- [0026] [0048] 본 발명의 일부 실시예들에 따라, 아웃커플링 회절 격자의 향상된 성능 특징들은 다중-레벨 격자 구조물들을 사용함으로써 달성될 수 있다. 도 8은 본 발명의 실시예에 따른 예시적인 3-레벨 격자(800)의 이미지를 도시한다. 도 9는 격자(800)의 개략적인 횡단면도를 도시한다. 격자(800)는 도파관(802) 상에 형성된 베이스 층(810)을 포함할 수 있다. 베이스 층(810)은 두께(RLT)(h₀)를 갖는다. 일부 실시예들에서, 격자(800)는 베

스 층(810)을 갖지 않을 수 있다. 격자(800)는, y 축을 따라(즉, 페이지에 수직인 방향으로) 연장되고, 베이스 층(810)으로부터 (음의 Z 방향으로) 제1 높이(h_1)로 돌출하는 복수의 제1 리지들(820)을 포함한다. 복수의 제1 리지들(820)은 X 방향으로 규정된 주기(D)를 갖는 주기적 어레이로서 배열된다. 각각의 제1 리지(820)는 X 방향으로 제1 폭(w_1)을 갖는다. 격자(800)는 복수의 제2 리지들(830)을 더 포함한다. 각각의 제2 리지(830)는 개개의 제1 리지(820)로부터 (음의 Z 방향으로) 제2 높이(h_2)로 돌출되고, X 방향으로 제2 폭(w_2)을 갖는다.

[0027] [0049] 도 9를 참조하면, 이미지 광은 도파관(802)으로부터 격자(800) 상에 입사된다. 격자(800)는 입사 각도와 실질적으로 동일한 각도로 0차 반사된 빔(0R)을 생성할 수 있다. 격자(800)는 또한 뷰어의 눈을 향해 도파관(802)에 실질적으로 수직인 방향으로 1차 반사된 빔(1R), 및 세계를 향해 도파관에 실질적으로 수직인 방향으로 1차 투과된 빔(1T)을 생성할 수 있다. 격자(800)는 또한 입사 빔의 방향과 대략 반대 방향으로 2차 반사된 빔(2R)을 생성할 수 있다. 또한, 천장 조명으로부터의 광과 같은 세계 광은 세계측으로부터 격자(800) 상에 입사될 수 있으며, 이는 뷰어의 눈을 향해 격자(800)에 의한 1차 투과된 빔(1T)을 발생시킬 수 있어서, 무지개 효과를 야기한다.

[0028] [0050] 도 8 및 9에 도시된 3-레벨 격자는 2-레벨 격자와 비교하여 몇몇의 이점들을 제공할 수 있다. 도 10은 p-편광된 광(0도 편광)에 대해 -40도 내지 -60도 범위(이미지 광에 전형적으로 사용되는 범위)의 입사 각도 세타의 함수로써 예시적인 3-레벨 격자의 시뮬레이팅된 회절 효율 곡선들을 도시한다. 3-레벨 격자는 다음과 같이 $h_0=30\text{nm}$, $h_1=54\text{nm}$, $w_1=0.5D$, $h_2=0.0875\mu\text{m}$ 및 $w_2=0.25D$ 의 격자 파라미터들을 갖다. 예시된 바와 같이, 여기서 1차 반사(1R)의 회절 효율은 도시된 입사 각도들의 전체 범위에 대한 1차 투과(1T)의 회절 효율보다 상당히 더 크다. 따라서, 이미지 광 중 더 많은 부분은 세계보다 뷰어를 향해 회절될 수 있다. 1차 반사(1R) 및 1차 투과(1T)의 비율은 2:1만큼 높을 수 있고, 일부 입사 각도들에서 거의 3:1일 수 있다. 게다가, 2차 반사(2R)의 회절 효율은 또한 도 6에 도시된 2-레벨 격자의 회절 효율과 비교하여 감소된다. 일부의 경우들에, 2차 반사(2R)의 회절 효율은 1% 미만으로 훨씬 감소된다. 일부 경우들에, 2차 반사(2R)의 회절 효율은 0.5% 미만이다. 따라서, 그루브 라인들에 직교하는 방향을 따라 이미지 플레어(flare)를 유발할 수 있는 바람직하지 않은 2차 광은 본 발명의 일부 실시예들에 따라 감소될 수 있다.

[0029] [0051] 도 11a 및 11b는 s-편광된 광(90도 편광, 도 11a) 및 p-편광된 광(0도 편광, 도 11b)에 대한 격자 깊이의 함수(즉, h_1 및 h_2 의 합)로서 일부 예시적인 3-레벨 격자들의 시뮬레이팅된 회절 효율 곡선들을 도시한다. 예시된 바와 같이, 1차 반사(1R)의 회절 효율은 편광들 둘 모두에 대해 도 8에 도시된 격자 깊이의 전체 범위에 대한 1차 투과(1T)의 회절 효율보다 더 크다. 또한, 2차 반사(2R)가 상당한 편광 의존성을 나타낸다는 것이 주목된다. 예컨대, p-편광된 광에 대한 2차 반사(2R)의 회절 효율은 s-편광된 광에 대한 회절 효율보다 상당히 더 낮다. 따라서, 편광기(polarizer)를 사용함으로써 2차 반사(2R)를 억제하는 것이 가능할 수 있다.

[0030] [0052] 표 1은 일부 실시예들에 따른, 520nm 파장 광에 대해, p-편광된 광(0도 편광) 및 s-편광된 광(90도 편광) 둘 모두에 대해, -50도 및 -30도의 입사 각도들(세타)에 대한 예시적인 2-레벨 격자의 2차 반사(2R), 1차 반사(1R), 0차 반사(0R) 및 1차 투과(1T)의 시뮬레이팅된 회절 효율들을 요약한다. 표 2는 일부 실시예들에 따른, p-편광된 광(0도 편광) 및 s-편광된 광(90도 편광) 둘 모두에 대해, -30도 및 -50도의 입사 각도들(세타)에 대한 예시적인 3-레벨 격자의 2차 반사(2R), 1차 반사(1R), 0차 반사(0R) 및 1차 투과(1T)의 시뮬레이팅된 회절 효율들을 요약한다. 도시된 바와 같이, p-편광된 광에 대한 -30 입사 각도에서 3-레벨 격자의 1차 투과(1T)는 2-레벨 격자의 11%와 비교하여 단지 6.6%이다. 또한, s-편광된 광에 대한 -30 입사 각도에서 3-레벨 격자의 1차 투과(1T)는 2-레벨 격자에 대한 1.7%와 비교하여 단지 0.3%이다. 따라서, 본원에 설명된 3-레벨 격자들은 일부 실시예들에 따라 바람직하지 않은 무지개 효과를 상당히 감소시킬 수 있다.

[0031] [0053]

표 1

편광	2R	1R	0R	1T	세타
0.0000	0.0063315115	0.042606835	0.889826498	0.061251511	-50
90.000	0.012548442	0.024650098	0.931271532	0.031529927	-50
0.0000	0	0.050533856	0.004828623	0.109664217	-30
90.000	0	0.029522560	0.035912803	0.016903517	-30

[0033] [0054]

표 2

[0034]

편광	2R	1R	0R	1T	세타
0.0000	0.000594872	0.050695651	0.928987394	0.019722082	-50
90.000	0.008069904	0.018196041	0.965302811	0.008431243	-50
0.0000		0.080741167	0.022736306	0.065726994	-30
90.000		0.042537267	0.020530137	0.002793524	-30

[0035]

[0055] 1차 반사(1R) 및 1차 투과(1T) 및 더 낮은 2차 반사(2R)의 더 높은 비율들과 같이 더 바람직한 특징들을 갖는 격자들이 특정 파라미터 패턴들을 따를 수 있음이 입증되었다. 도 9를 참조하면, 일반적으로, 각각의 제1 리지(820)의 제1 폭(w_1)은 유리하게는 약 0.4D 내지 약 0.6D가 되도록 선택될 수 있다. 각각의 제2 리지(830)의 제2 폭(w_2)은 유리하게는 약 0.25D 미만이 되도록 선택될 수 있다. 각각의 제1 리지(820)의 제1 높이(h_1)는 유리하게는 각각의 제2 리지(830)의 제2 높이(h_2) 미만이 되도록 선택될 수 있다. 일부 실시예들에서, 제2 높이(h_2)와 제1 높이(h_1)의 비율은 유리하게는 약 8:7 내지 약 8:3이 되도록 선택될 수 있다. 일부 실시예들에서, 제2 높이(h_2)와 제1 높이(h_1)의 비율은 유리하게는 약 8:5가 되도록 선택될 수 있다. 일부 실시예들에서, 3-레벨 격자에 대한 다음의 격자 파라미터들: $h_0=0.03\mu\text{m}$, $h_1=0.054\mu\text{m}$, $w_1=0.5D$, $h_2=0.0875\mu\text{m}$ 및 $w_2=0.2D$ 가 유리하게 선택될 수 있다.

[0036]

[0056] 도 9에 예시된 3-레벨 격자는, 3-레벨 횡단면 형상이 삼각형 톱니 형상과 근사한 것으로 간주될 수 있다는 의미에서, 블레이즈형 격자(blazed grating)로 간주될 수 있다. 도 9에 개략적으로 예시된 바와 같이, 블레이징 표면에 대해 수직에 가까운 입사 각도로 입사하는 광에 대해, 격자는 "블레이즈형(blazed)"이라고 불릴 수 있다. 블레이징 표면에 대해 평행에 가까운 입사 각도(즉, 도 9에 예시된 입사 각도와 반대임)로 입사하는 광에 대해, 격자는 "블레이즈 방지형(anti-blazed)"이라고 불릴 수 있다. 표 3은 본 발명의 일부 실시예들에 따른 예시적인 2-레벨 격자, 예시적인 3-레벨 블레이즈형 격자 및 예시적인 3-레벨 블레이즈 방지형 격자의 회절 효율들을 비교한다. 도시된 바와 같이, 2-레벨 격자는 뷰어(1차 반사 1R) 및 세계(1차 투과 1T)에 대한 비교 가능한 회절 효율들을 가질 수 있다. 3-레벨 블레이즈형 격자는 세계보다 뷰어에 대해 더 높은 회절 효율을 가질 수 있다. 반면에, 3-레벨의 블레이즈 방지형 격자는 뷰어보다 세계에 대해 더 높은 회절 효율을 가질 수 있다. 따라서, 3-레벨 블레이즈형 격자는 이진 격자 및 3-레벨 블레이즈 방지형 회절 격자에 비해 선호될 수 있다.

[0037]

[0057]

표 3

[0038]

	효율(%) 뷰어에 대한 EPE	효율(%) 세계에 대한 EPE
2-레벨 격자	1.53	1.48
3-레벨 블레이즈형 격자	2.08	1.36
3-레벨 블레이즈 방지형 격자	0.93	2.56

[0039]

[0058] 도 9를 참조하면, 최적화 알고리즘은 각각의 제1 리지(820)의 제1 높이(h_1) 및 제1 폭(w_1) 및 각각의 제2 리지(830)의 제2 높이(h_2) 및 제2 폭(w_2)이 더 높은 사용자측 회절 효율(1R), 더 낮은 세계측 회절 효율(1T) 및 더 낮은 2차 반사(2R)에 대해 변동되고 최적화될 수 있게 한다. 일부 실시예들에서, 격자 주기(D)는 $D=380\text{nm}$ 의 값을 갖는 것으로 가정될 수 있다. h_1 은 45nm 내지 65nm의 범위일 수 있고, h_2 는 70nm 내지 80nm 범위일 수 있다. 구체적으로, h_1 및 h_2 는 $h_1=50\text{nm}$ 및 $h_2=75\text{nm}$ 의 값들을 갖는 것으로 가정될 수 있고, w_1 및 w_2 의 공칭 값들은 $w_1=210\text{nm}$ 및 $w_2=170\text{nm}$ 인 것으로 가정된다. 이어서, w_1 및 w_2 는 더 높은 1차 반사(1R)에 대해 최적화하도록 변동될 수 있다. [0059] 예시적인 최적화 시뮬레이션에서, 입사 각도가 50도이고, 베이스 층(810)의 두께가 $h_0=20\text{nm}$ 이고, h_1 및 h_2 가 $h_1=50\text{nm}$ 및 $h_2=75\text{nm}$ 의 값들을 갖는다고 가정된다. 또한, 격자가 $n_1=1.54$ 의 굴절

를 갖고, 도파관(802)이 $n_2=1.8$ 의 굴절률을 갖는다고 가정된다. w_1 은 2m에서 D-m까지 변동되고, 여기서 m은 최소 피치 크기이고, D는 격자 주기이다. 일 실시예에서, $D=380\text{nm}$ 및 $m=30\text{nm}$ (e-빔 리소그래피의 피치 크기)라고 가정된다. w_2 는 m에서 w_{1-m} 까지 변동된다. 일부 경우들에, w_2 는 w_1 과 동일할 수 있고, 또는 w_2 는 0과 동일할 수 있다(이는 제2 리지가 없는 2-레벨 격자에 대응함). [0060] 도 12a-12f는 일부 실시예들에 따른 3-레벨 격자의 다양한 차수들에서의 회절 효율들의 시뮬레이팅된 강도 플롯들을 도시한다. 구체적으로, 도 12a 및 12d는 s-편광 및 p-편광에 대한 w_1 (수평 축) 및 w_2 (수직 축)의 함수로써 사용자-측 회절 효율들(1R)을 각각 도시하고, 도 12b 및 12e는 s-편광 및 p-편광에 대한 w_1 (수평 축) 및 w_2 (수직 축)의 함수로써 세계-측 회절 효율들(1T)을 각각 도시하고, 도 12c 및 12f는 s-편광 및 p-편광에 대한 w_1 (수평 축) 및 w_2 (수직 축)의 함수로써 2차 반사(2R)를 각각 도시한다. 도 12c 및 12f에 예시된 바와 같이, 2차 반사(2R)는 점선 타원형 영역 내의 w_1 및 w_2 의 파라미터 공간에 대해 상대적으로 낮을 수 있다. 도 12a 및 12d에 예시된 바와 같이, 사용자측 회절 효율(1R)은 점선 타원형 영역 내의 w_1 및 w_2 의 동일한 파라미터 공간에서 상당히 높을 수 있다.

[0040] [0061] 도 13a-13f는 일부 실시예들에 따른 3-레벨 격자의 다양한 차수들에서의 회절 효율들의 시뮬레이팅된 강도 플롯들을 도시한다. $h_1=60\text{nm}$, $h_2=75\text{nm}$, 및 $h_0=20\text{nm}$ 인 것으로 가정된다. 구체적으로, 도 13a 및 13d는 s-편광 및 p-편광에 대한 w_1 (수평 축) 및 w_2 (수직 축)의 함수로써 사용자-측 회절 효율들(1R)을 각각 도시하고, 도 13b 및 13e는 s-편광 및 p-편광에 대한 w_1 (수평 축) 및 w_2 (수직 축)의 함수로써 세계-측 회절 효율들(1T)을 각각 도시하고, 도 13c 및 13f는 s-편광 및 p-편광에 대한 w_1 (수평 축) 및 w_2 (수직 축)의 함수로써 2차 반사(2R)를 각각 도시한다.

[0041] [0062] 도 14a-14f는 일부 부가적인 실시예들에 따른 3-레벨 격자의 다양한 차수들에서의 회절 효율들의 시뮬레이팅된 강도 플롯들을 도시한다. $h_1=60\text{nm}$, $h_2=75\text{nm}$, 및 $h_0=30\text{nm}$ 인 것으로 가정된다. 구체적으로, 도 14a 및 14d는 s-편광 및 p-편광에 대한 w_1 (수평 축) 및 w_2 (수직 축)의 함수로써 사용자-측 회절 효율들(1R)을 각각 도시하고, 도 14b 및 14e는 s-편광 및 p-편광에 대한 w_1 (수평 축) 및 w_2 (수직 축)의 함수로써 세계-측 회절 효율들(1T)을 각각 도시하고, 도 14c 및 14f는 s-편광 및 p-편광에 대한 w_1 (수평 축) 및 w_2 (수직 축)의 함수로써 2차 반사(2R)를 각각 도시한다.

[0042] [0063] 일반적으로, s-편광된 광에 대한 회절 효율이 p-편광된 광에 대한 회절 효율보다 더 높다는 것이 관찰될 수 있다. 따라서, s-편광은 p-편광보다 더 빨리 누설된다. 따라서, 도파관을 전파되는 광이 대부분 p-편광된다고 가정될 수 있다.

[0043] [0064] 접안렌즈(예컨대, 도 1 및 2에 예시된 접안렌즈)의 EPE 섹션에 걸친 격자로부터의 균일한 광 출력을 갖는 것이 바람직할 수 있다. 광이 도파관 내에서 최상부에서 최하부로 전파될 때, 점점 더 많은 광이 격자에 의해 도파관으로부터 회절된다. 따라서, 격자의 최상부로부터의 거리가 증가함에 따라 증가하는 회절 효율을 갖는 격자를 갖는 것이 유리할 수 있어서, 도파관 내에 남아있는 광의 양이 감소함에 따라 점점 더 많은 퍼센티지의 광이 아웃 커플링되고, 이로써 EPE 섹션에 걸쳐 비교적 균일한 광 출력을 발생시킨다.

[0044] [0065] 일부 실시예들에서, 도파관의 최상부 근처의 100nm 라인-폭 격자(즉, $w_1=100\text{nm}$, $w_2=0$)는 낮은 아웃커플링 효율을 유지함으로써 도파관 내의 광을 보존할 수 있어서, EPE의 단부 근처에서 방출되기에 충분한 광이 도파관 내에 남아있다. 도파관 최하부 근처의 260/150nm 라인-폭 격자(즉, $w_1=260\text{nm}$, $w_2=150\text{nm}$)는 도파관으로부터 남아있는 광 중 대부분을 아웃커플링할 수 있다.

[0045] [0066] 도 15는, 입사 각도의 함수로써, 1차 반사(1R), 1차 투과(1T) 및 2차 반사(2R)에 대한 시뮬레이팅된 회절 효율들을 도시한다. $h_1=50\text{nm}$, $h_2=75\text{nm}$, $w_1=200\text{nm}$, 및 $w_2=120\text{nm}$ 이라고 가정된다. 예시된 바와 같이, 1차 반사(1R) 및 1차 투과(1T) 둘 모두는 감소하는 입사 각도에 대해 증가한다. 따라서, 1차 반사(1R)는 더 높은 입사 각도들(시야의 최상부에 대응함)보다 더 낮은 입사 각도들(시야의 최하부에 대응함)에서 더 큰 값들을 갖는다. 따라서, 가장 짧은 바운스 간격을 갖는 FOV(field of view)의 최하부의 광은 가장 빠르게 아웃 커플링된다.

[0046] [0067] 이것은, 필드 균일성에 대해 블레이즈 방지형 격자가 더 양호할 수 있는 경우일 수 있다. 그러나, 위에 논의된 바와 같이, 블레이즈형 격자는 더 양호한 사용자측 효율을 가질 수 있다. 일부 실시예들에서, 2-레벨 격자는 더 양호한 밸런스를 유지할 수 있다. 일 실시예에서, 2-레벨 격자는, 격자의 최상부로부터의 거리(x)가

증가함에 따라 격자의 듀티 사이클(즉, 피치 폭 및 주기의 비율(w/D))이 증가하도록 구성될 수 있어서, 격자 거리(x)가 증가함에 따라 효율은 증가한다.

[0047] [0068] 일부 실시예들에서, 최적화는 최적화 목적으로서 메리트 함수(merit function)를 사용하여 수행될 수 있다. 도 16에 개략적으로 예시된 바와 같이, 사용자를 향해 회절된 전력이 P_{user} 이고, 세계를 향해 회절된 전력이 P_{world} 이고, 2차의 전력이 P_2 이고, 0차의 전력이 P_0 이라고 가정된다. 일 실시예에서, 메리트 함수는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$J = \alpha (P_2 + P_{world}) - P_{user}$$

[0049] 여기서 α 는 항 P_{user} 와 비교하여 항 $(P_2 + P_{world})$ 에 부여된 가중치이다. 일 실시예에서, h_1 , h_2 , w_1 및 w_2 는 메리트 함수(J)를 최소화하기 위해 변동되도록 허용될 수 있다. 따라서, 최적화의 목적들은 P_2 및 P_{world} 를 최소화하고, P_{user} 를 최대화하는 것일 수 있다. 파라미터(α)는 2개의 목적들에 제공되는 상대적 가중치를 결정한다. 도 17은 가중치(α)에 대한 변수들(h_1 , h_2 , w_1 및 w_2) 각각의 의존성을 도시한다. 도 18은 가중치(α)에 대한 P_{user} , P_{world} 및 P_2 의 의존성을 도시한다.

[0050] [0069] 위에 논의된 바와 같이, 접안렌즈의 EPE 섹션에 걸친 격자로부터 비교적 균일한 광 출력을 달성하기 위해, 격자의 최상부로부터의 거리가 증가함에 따라 증가하는 회절 효율을 갖는 격자를 갖는 것이 유리할 수 있다. 도 19는 도파관(1902) 상에 형성된 격자(1900)를 개략적으로 도시한다. x 를 격자의 최상부로부터의 정규화된 거리(즉, 격자의 최상부에서 $x=0$ 이고, 격자의 최하부에서 $x=1$ 임)라고 한다. $f(x)$ 를 포지션(x)에서의 격자(1900)의 정규화된 회절 효율이라고 한다. $f(x)$ 는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$f(x) = u(x) + w(x)$$

[0052] 여기서 $u(x)$ 와 $w(x)$ 는 각각 사용자에게 가는 광(즉, 1차 반사(1R)) 및 세계로 가는 광(즉, 1차 투과(1T))이다. $f(x)$ 가 격자(1900)로부터 광을 아웃커플링하기 위한 격자(1900)의 효율을 나타낸다는 것이 주목된다. 2차 반사(2R)의 광이 도파관(1902)에 남아있기 때문에, 2차 반사(2R)는 $f(x)$ 에 포함되지 않는다. 일부 실시예들에서, $f(x)$ 는 미리 결정된 상수로 정규화될 수 있다.

[0053] [0070] $y(x)$ 를 포지션(x)에서 도파관(1902) 내의 정규화된 광 강도라고 하고, $y(0)=1$ 이라고 한다. 포지션(x)에서 아웃커플링된 전력(즉, 도파관(1902)으로부터 아웃커플링된 광 중 무차원 부분(dimensionless fraction))은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$y'(x) = -f(x)y(x)$$

[0055] 이 미분 수학식의 해는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$y(x) = e^{-\int_0^x f(z)dz}$$

[0057] [0071] 간단한 선형 모델을 사용하여, 정규화된 회절 효율($f(x)$)이 다음과 같이 표현할 수 있다고 가정된다.

$$f(x) = a + bx$$

[0059] 여기서 a 와 b 는 상수들이다. 격자(1900)에 의한 평균 아웃커플링된 전력은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\int_0^1 f(x)y(x)dx$$

[0061] 평균 아웃커플링된 전력으로부터 RMS(root-mean-square) 편차는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\int_0^1 [f(x)y(x) - \int_0^1 f(z)y(z)dz]^2 dx$$

[0063] RMS 편차는 평균 아웃커플링된 전력의 평균 편차를 나타낸다. RMS 편차의 값이 더 낮다는 것은 x 의 함수로써 아웃커플링된 전력의 균일성이 더 높다는 것을 암시할 것이다.

[0064] [0072] 도 20a는 a 및 b 의 함수로써 평균 아웃커플링된 전력의 시뮬레이팅된 컨투어 플롯을 도시한다. 도 20b는 a 및 b 의 함수로써 평균 아웃커플링된 전력으로부터의 RMS 편차의 시뮬레이팅된 컨투어 플롯을 도시한다.

도 20b에 예시된 바와 같이, 점선 타원 내의 영역은 격자에 걸쳐 비교적 균일한 아웃커플링된 전력을 발생시키는 a 및 b 의 파라미터 공간을 나타낼 수 있다. 일부 실시예들에서, a 는 유리하게는 약 0.5 내지 0.7의 범위가 되도록 선택될 수 있고, b 는 유리하게는 약 1.0 내지 약 1.5의 범위가 되도록 선택될 수 있다.

[0065] [0073] 예로서, $a=0.5$ 및 $b=1.0$, 따라서 $f(x)=0.5+x$ 라고 가정된다. 광이 도파관(1902)에서 최상부에서 최하부로 N 번 바운싱한다고 가정된다. $f(x)$ 가 $1/N$ 으로 정규화된다고 가정하면, 격자(1900)의 초기(즉, $x=0$ 에서의) 아웃커플링 레이트는 $0.5/N$ 일 수 있다. N 번의 바운스들 이후(즉, $x=1$ 에서의) 격자(1900)의 최종 아웃커플링 레이트는 $1.5/N$ 일 수 있다. 예로서, 도파관(1902)이 약 $325\mu\text{m}$ 의 두께를 갖는다고 가정된다. 50도의 입사 각도에 대해, 바운싱 간격은 약 0.77mm 일 수 있다. 격자(1900)의 최상부에서 최하부까지의 총 폭이 $L=21\text{mm}$ 이라고 가정된다. 따라서, 광은 도파관(1902)의 최상부로부터 도파관(1902)의 최하부까지 27번 바운싱할 수 있다. 격자의 최상부에서 (사용자 및 세계를 향한) 격자(1900)의 초기 아웃커플링 효율은 약 1.8%일 수 있고, 격자의 최하부에서 (사용자 및 세계를 향한) 격자(1900)의 마지막 아웃커플링 효율은 약 5.4%일 수 있다.

[0066] [0074] 도 21은, 본 발명의 실시예에 따른, $a=0.5$, $b=1$ 인 선형 모델에 대해, 격자(1900)의 최상부로부터의 정규화된 거리(x)의 함수로써, (사용자와 세계 향한) 정규화된 아웃커플링된 전력($g(x)=f(x)y(x)$)의 플롯을 도시한다. 예시된 바와 같이, 정규화된 아웃커플링된 전력은 격자(1900)에 걸쳐 비교적 균일하다.

[0067] [0075] 일반적으로, 격자에 걸쳐 더 균일한 아웃커플링 전력에 대해, 격자의 회절 효율은 최상부에서 최하부로 약 $2x$ 내지 약 $3x$ 범위의 배율만큼 변동할 수 있다. 더 높은 배율들은 더 많은 광 출력을 초래하지만, 더 적은 균일성을 초래할 수 있다. 격자의 최하부에서 달성 가능한 가장 높은 회절 효율은 총 아웃커플링 효율을 결정할 수 있다. 위의 것은, 사용자측 회절 효율(즉, $1R$) 및 세계측 회절 효율(즉, $1T$)이 서로 대략 비례하는 격자에 대해 사실일 수 있다. 이것은 깊은 격자들의 경우에는 그렇지 않을 수 있다.

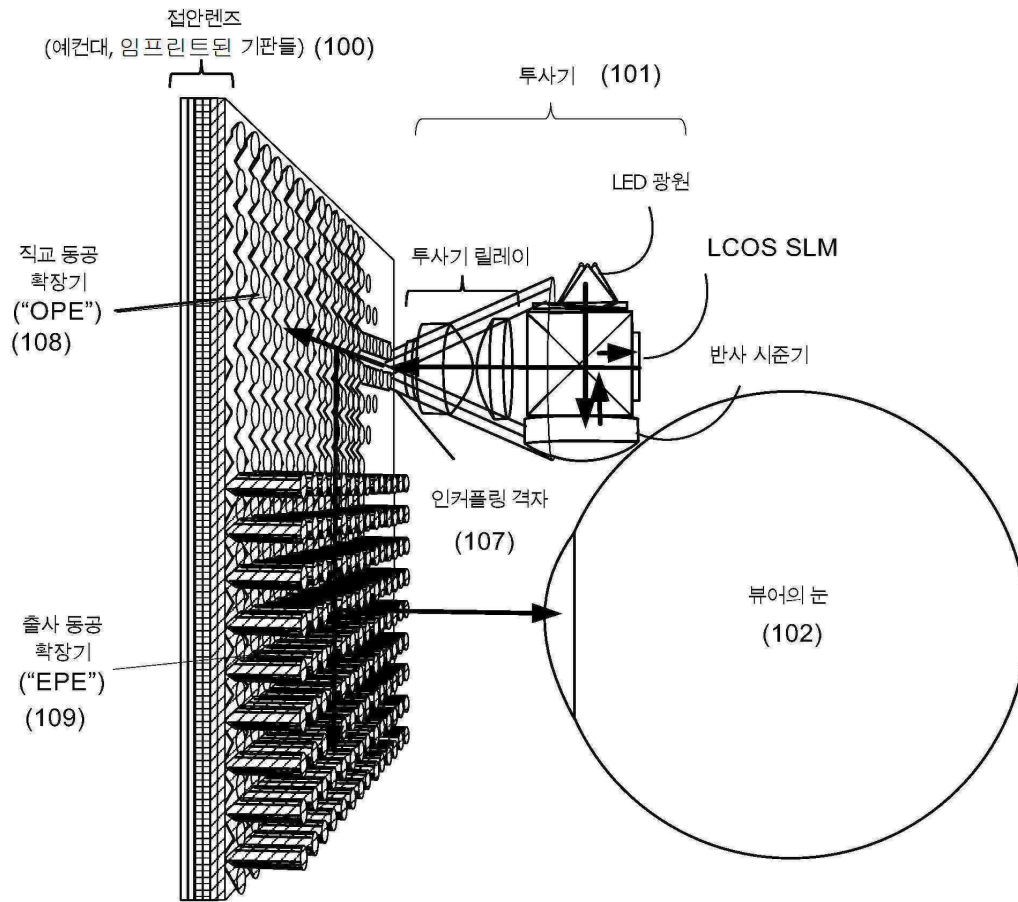
[0068] [0076] 격자의 회절 효율이 포지션의 함수로써 선형적으로 변동하는 격자가 위에 논의되지만, 이것이 요구되지 않고, 다른 변동 패턴들이 가능하다는 것이 이해되어야 한다. 일부 다른 실시예들에 따라, 격자들의 회절 효율들이 이차 함수(quadratic function) 또는 다른 비선형 함수들로서 변동되도록, 격자들이 설계될 수 있다. 일부 다른 실시예들에서, 격자들의 회절 효율들이 격자의 하나의 에지로부터 다른 에지로 비-단조적으로(non-monotonically) 변동되도록, 격자들이 설계될 수 있다. 예컨대, 도 3에 예시된 보타이 토폴로지를 갖는 접안렌즈에 대해, 광이 도파관의 중간 섹션에서 도파관으로 주입되는 경우, 격자의 회절 효율들이 격자의 중간 섹션에서 더 낮고, 중간 섹션의 양측에서 격자의 2개의 에지들에서 더 높도록, 격자가 설계될 수 있다.

[0069] [0077] 격자의 최상부로부터의 거리가 증가함에 따라 회절 효율이 증가하는 3-레벨 격자에 대해 최적화가 수행될 수 있다. 도 22a 및 22b는 본 발명의 일부 실시예들에 따른 격자 최상부(도 22a) 및 격자 최하부(도 22b)에서의 3-레벨 격자의 하나의 주기의 개략적인 횡단면도들을 도시한다. 각각의 제1 리지의 제1 높이(h_1) 및 각각의 제2 리지의 제2 높이(h_2)는 $h_1=50\text{nm}$ 및 $h_2=75\text{nm}$ 로 고정된다. 일부 실시예들에서, w_1 및 w_2 각각의 값은, 격자의 최상부로부터의 거리가 증가함에 따라 증가할 수 있다. 예컨대, 도 22a 및 22b에 예시된 바와 같이, 격자의 최상부에서 제1 리지의 제1 폭(w_1)은 $w_1=180\text{nm}$ 의 값을 가질 수 있고, 격자의 최하부에서 제1 리지의 제1 폭(w_1)은 $w_1=220\text{nm}$ 의 값을 가질 수 있고, 격자의 최상부에서 제2 리지의 제2 폭(w_2)은 $w_2=60\text{nm}$ 의 값을 가질 수 있고, 격자의 최하부에서 제2 리지의 제2 폭(w_2)은 $w_2=180\text{nm}$ 의 값을 가질 수 있다. 일부 다른 실시예들에서, 격자의 최상부로부터의 거리가 증가함에 따라, 제1 폭 및 제2 폭의 비율(w_1/w_2)이 증가할 수 있다. 위에 논의된 바와 같이, 제1 폭(w_1), 제2 폭(w_2) 및/또는 비율(w_1/w_2)은 다른 방식들로 격자에 걸쳐 변동할 수 있다. 예컨대, 비율(w_1/w_2)은 격자의 중간 섹션에서 더 낮고, 격자의 양측 에지들을 향해 더 높을 수 있다.

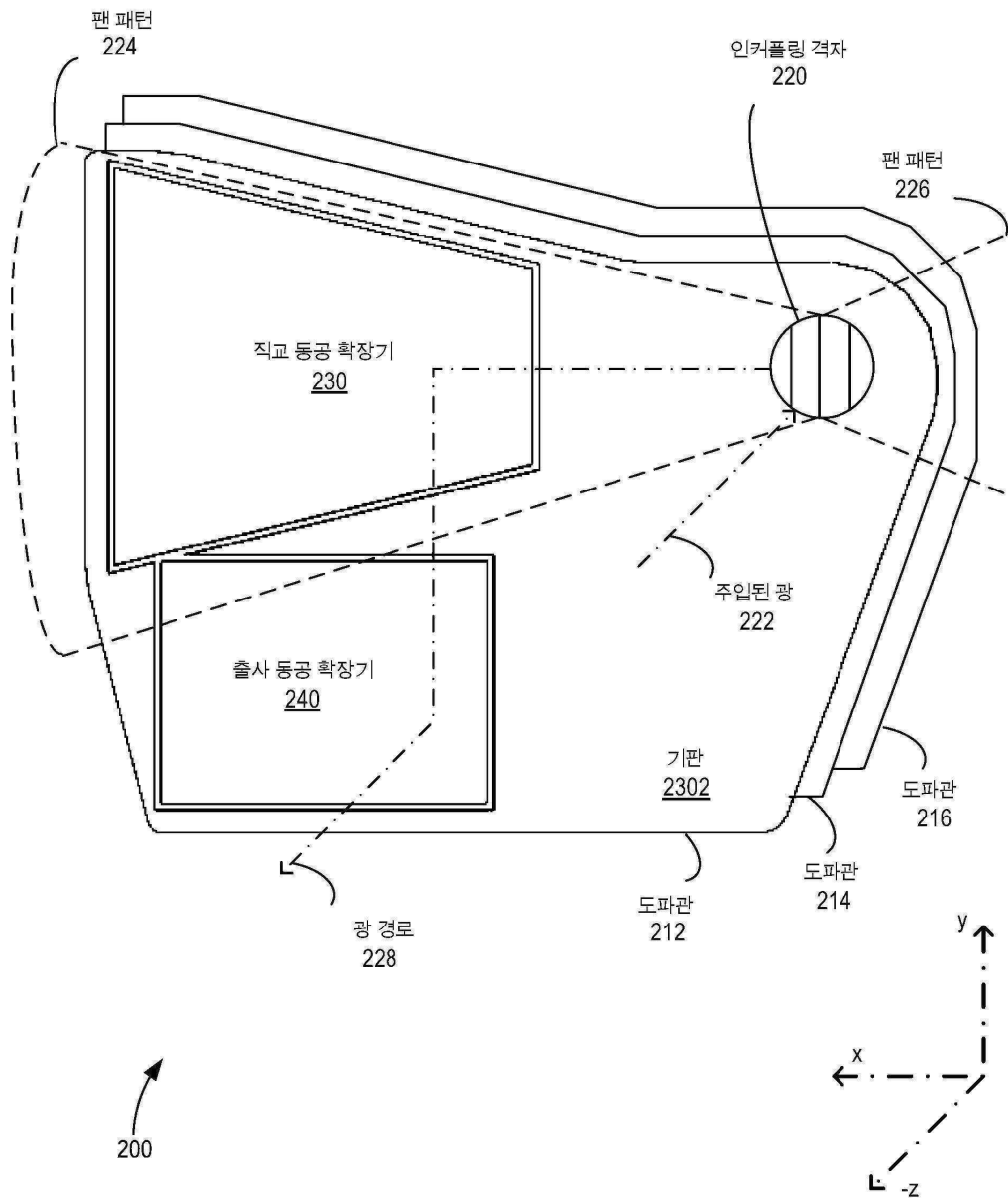
[0070] [0078] 또한, 본원에서 설명된 예들 및 실시예들은 단지 예시 목적들을 위한 것이고, 다양한 수정들 또는 이를 고려한 변화들이 당업자에게 연상될 것이며 본 출원의 사상 및 범위 및 첨부된 청구항들의 범위 내에 포함될 것이 이해된다.

도면

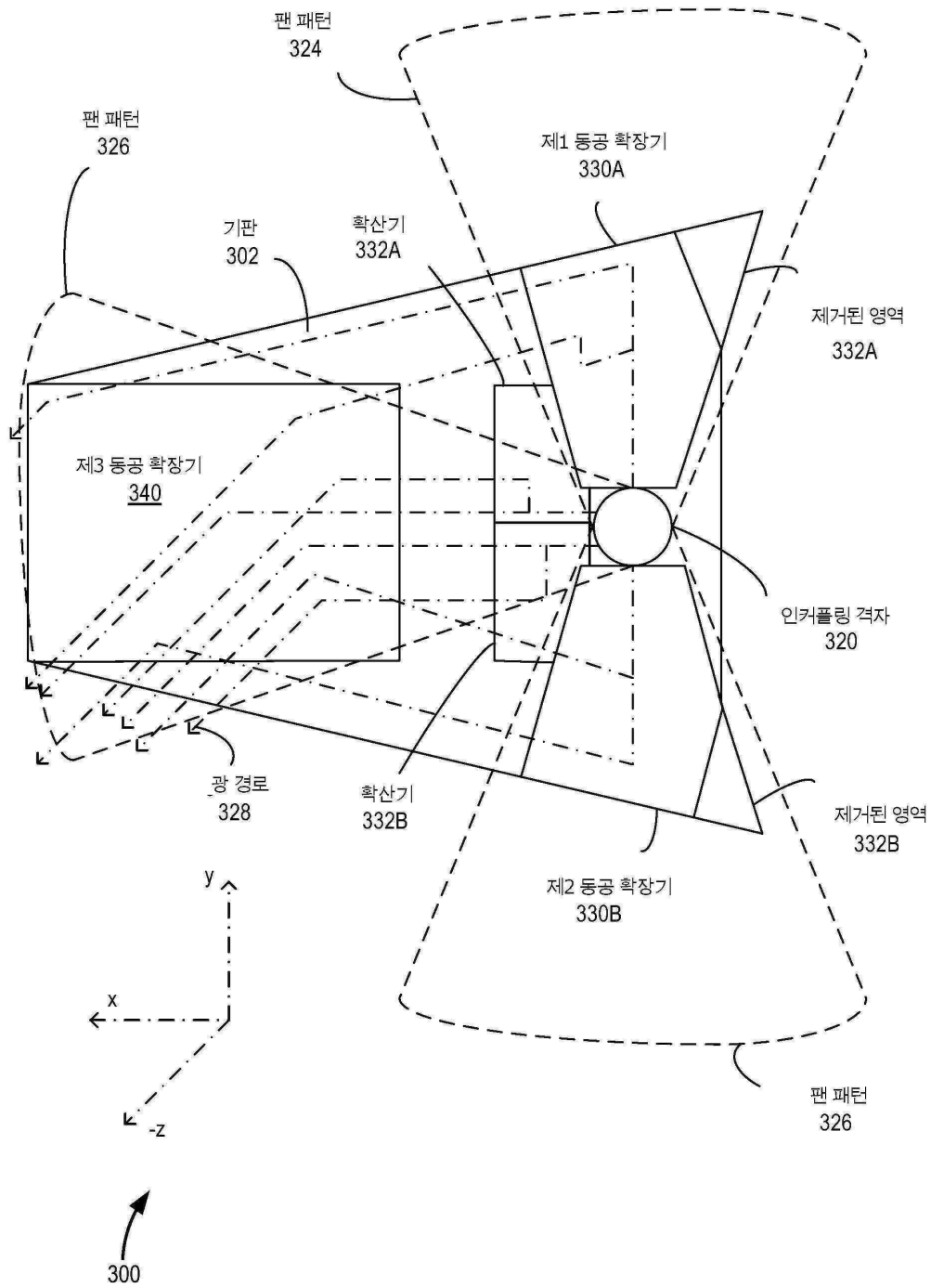
도면1



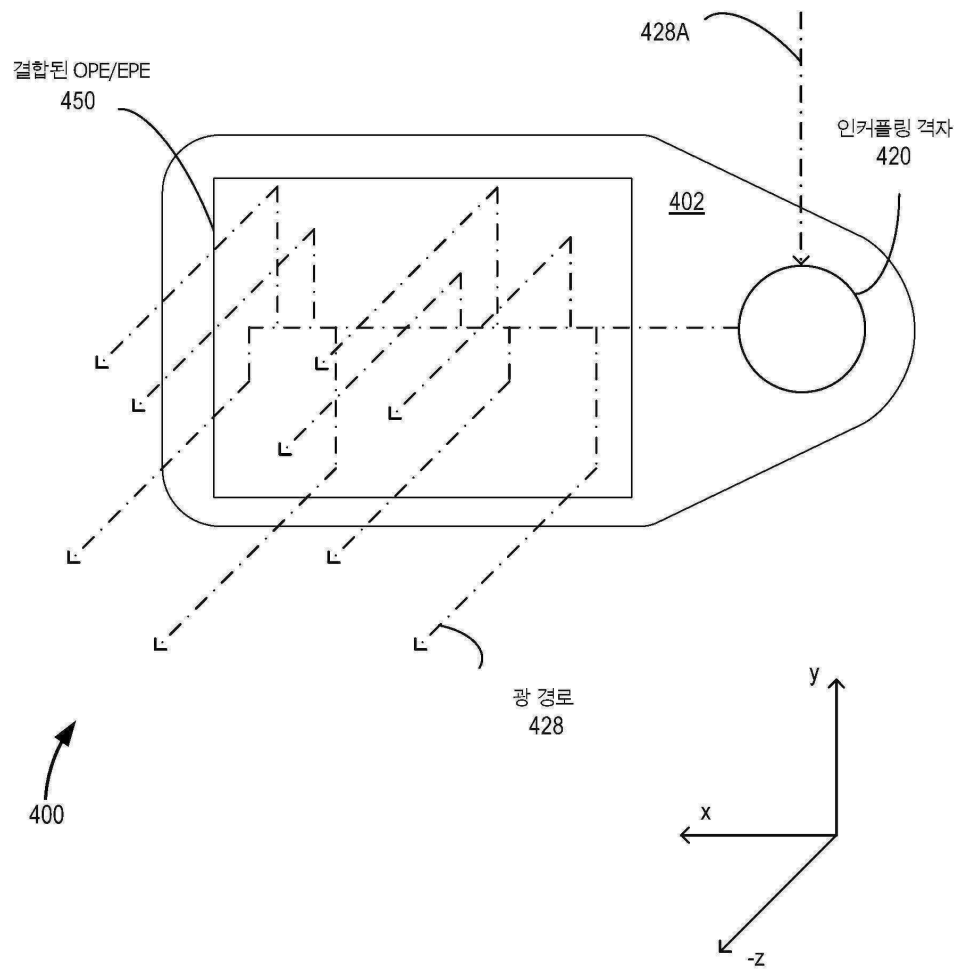
도면2



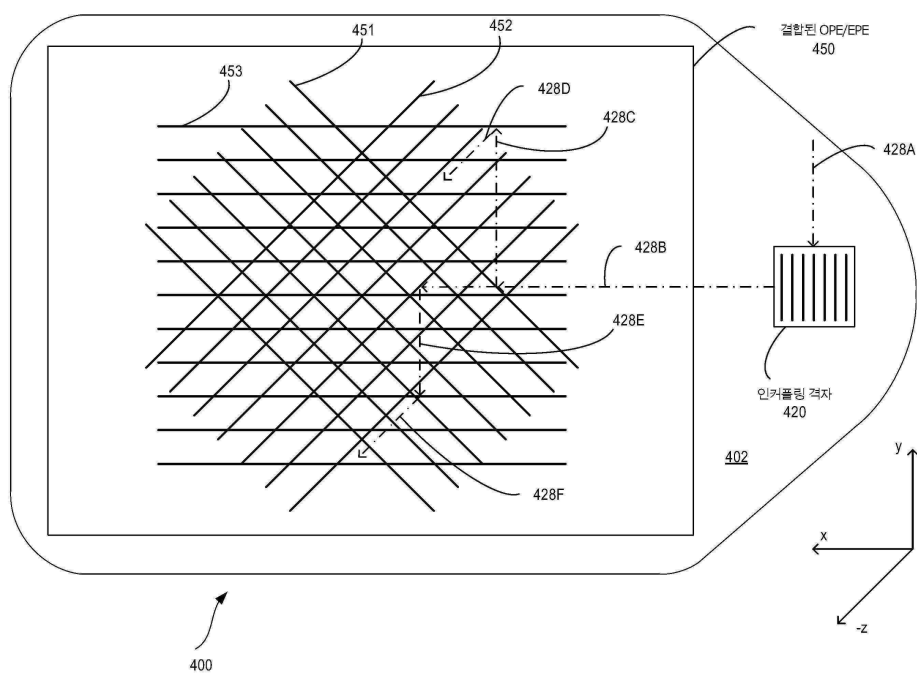
도면3



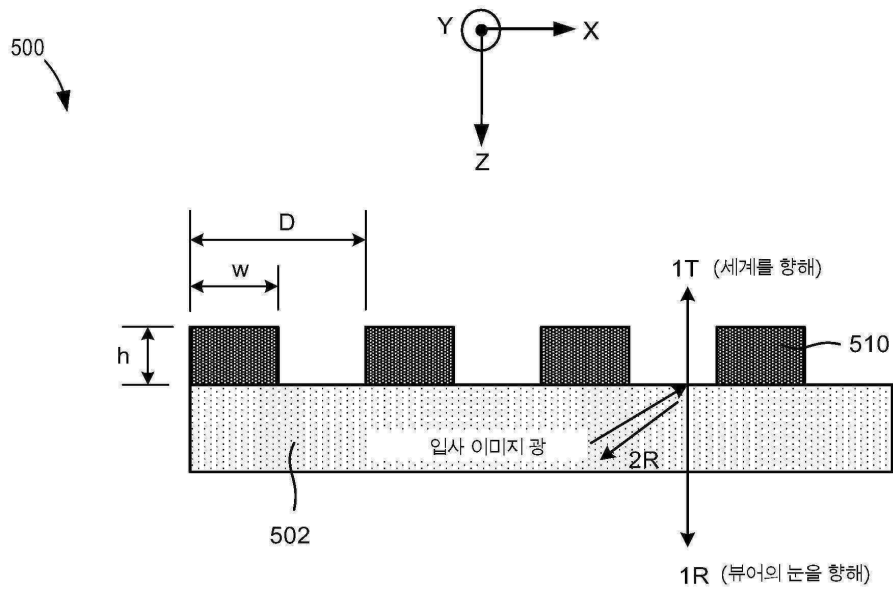
도면4a



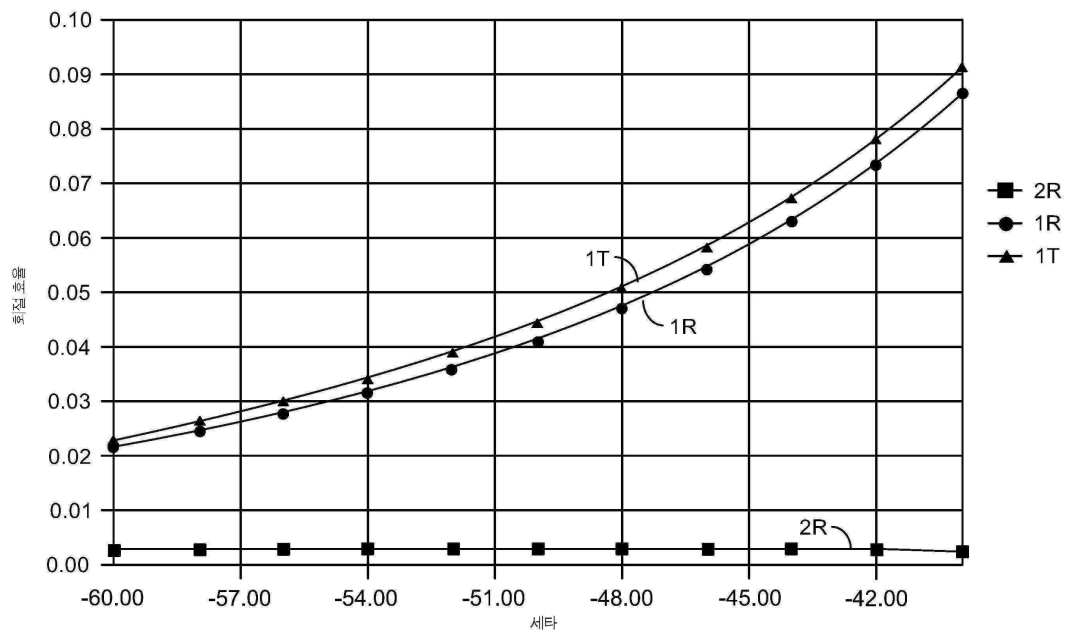
도면4b



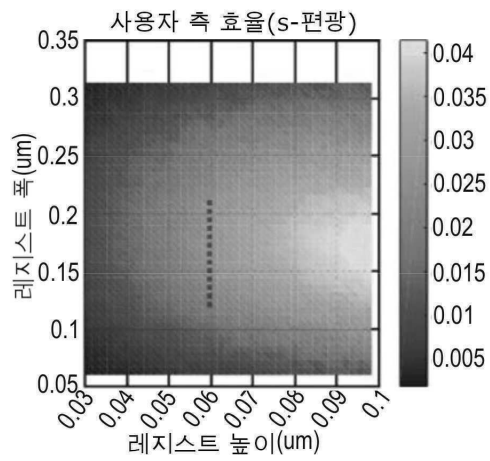
도면5



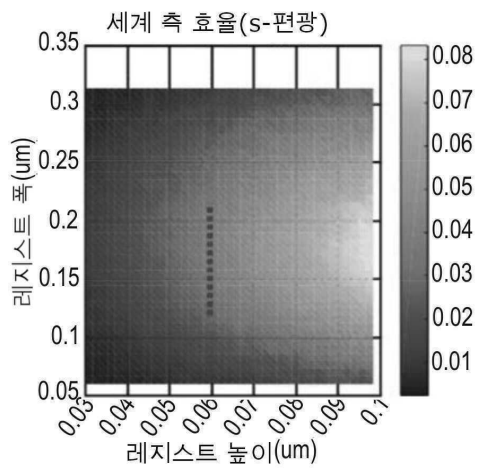
도면6



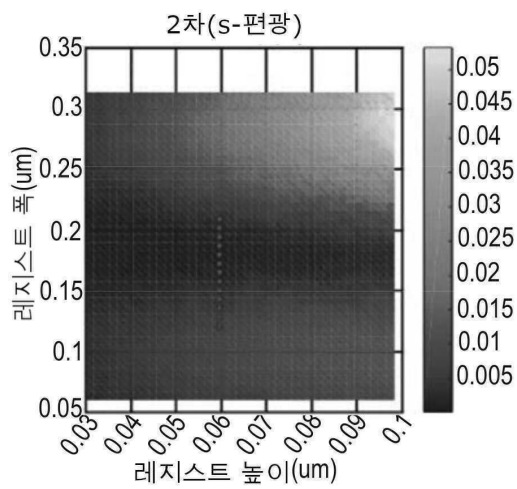
도면7a



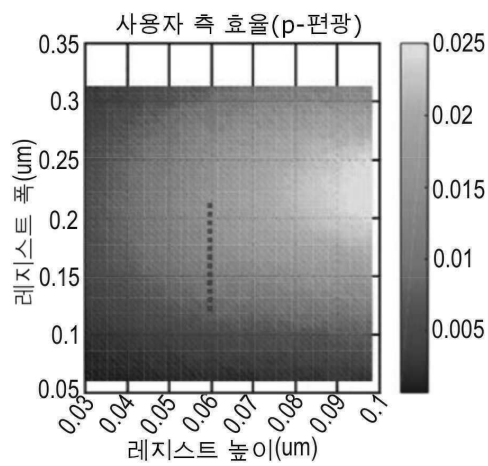
도면7b



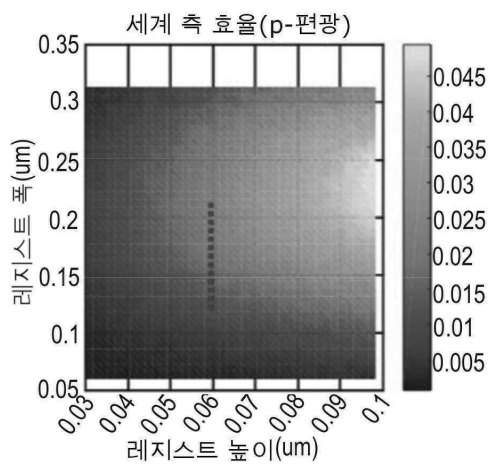
도면7c



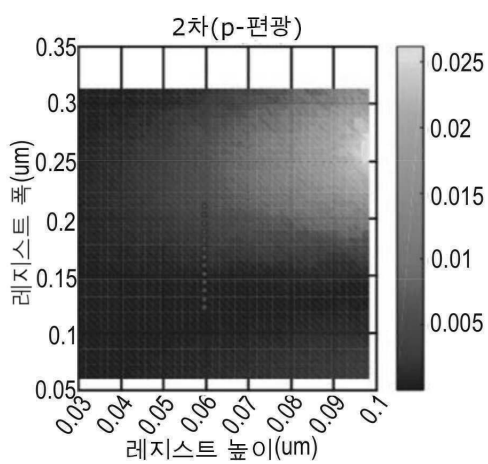
도면7d



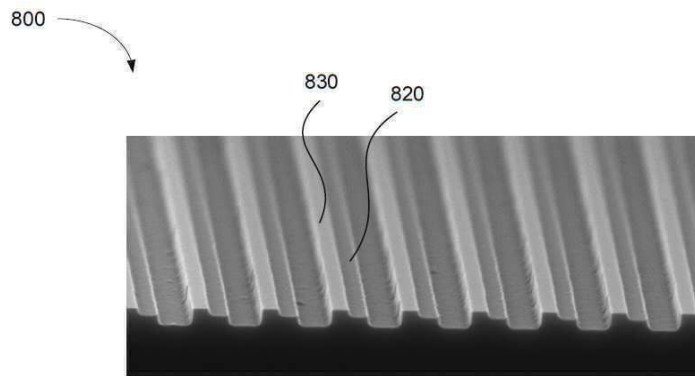
도면7e



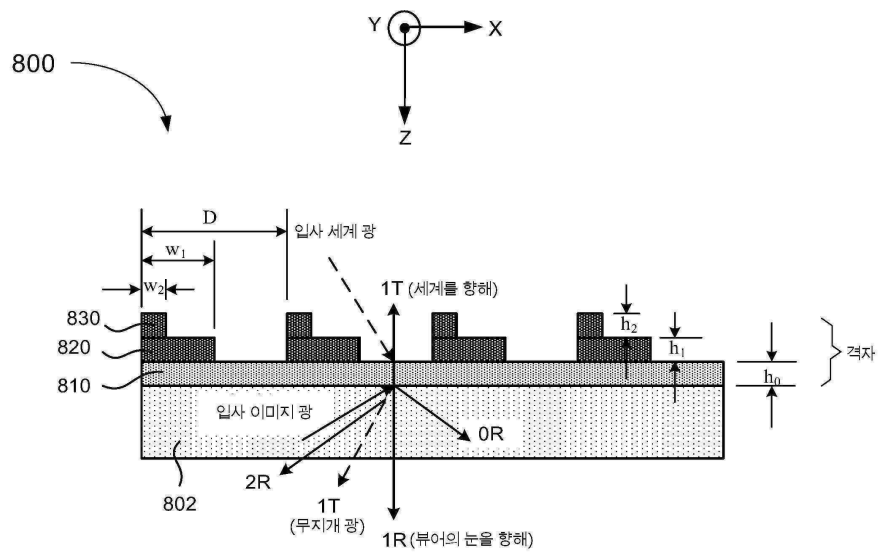
도면7f



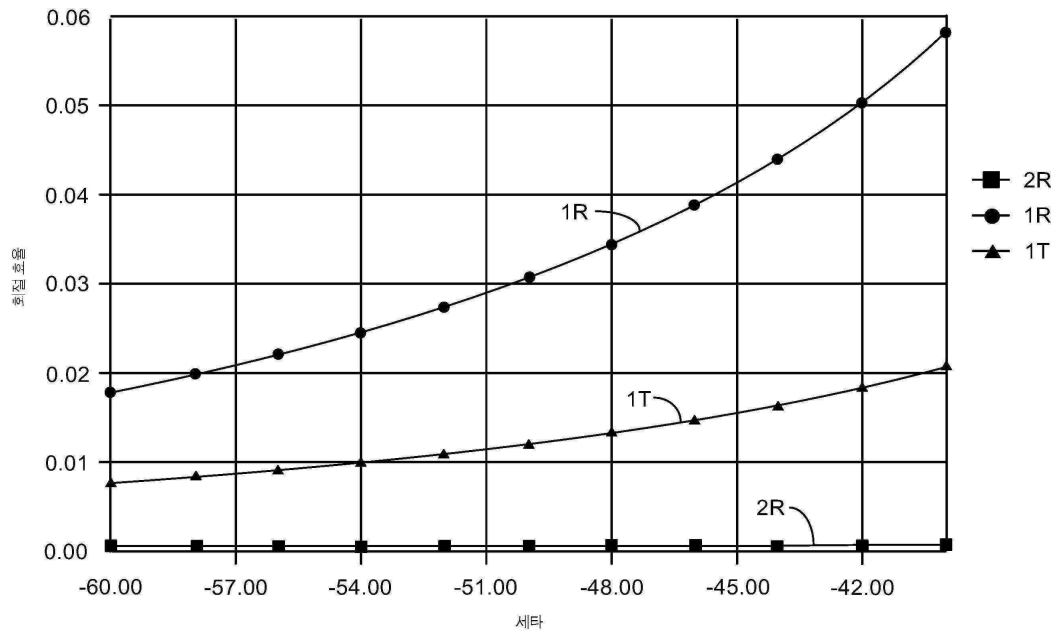
도면8



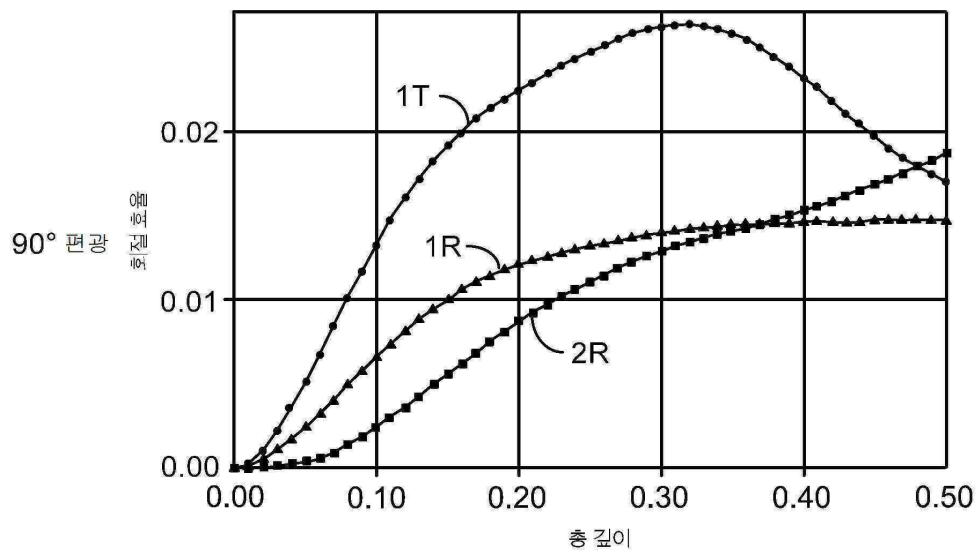
도면9



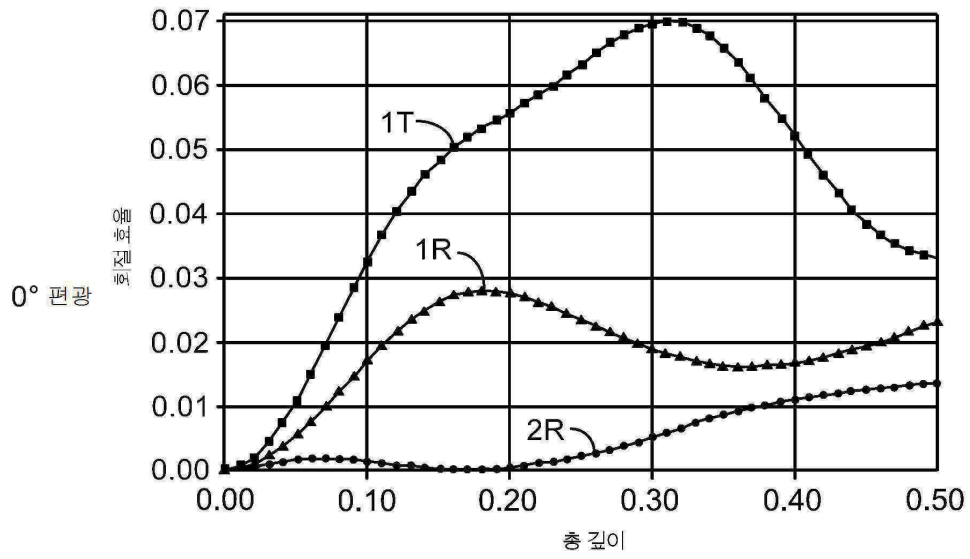
도면10



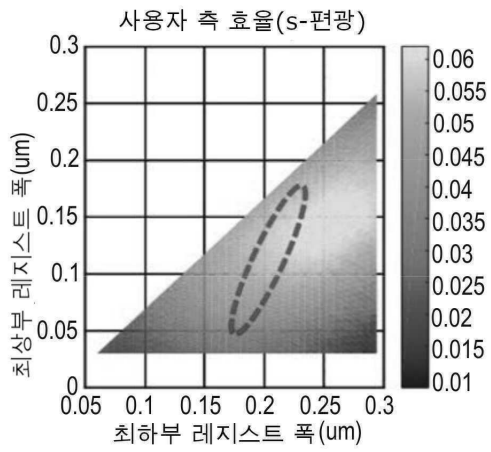
도면11a



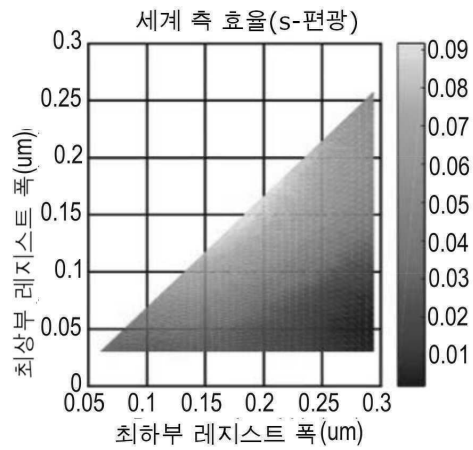
도면11b



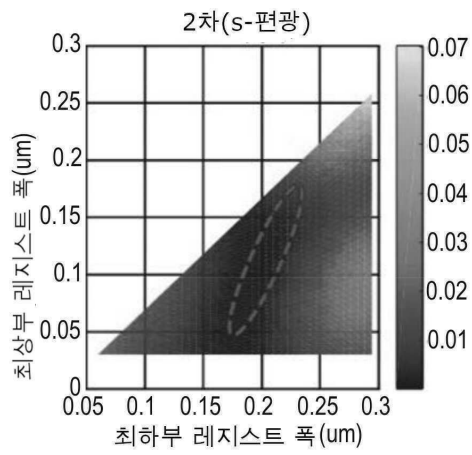
도면12a



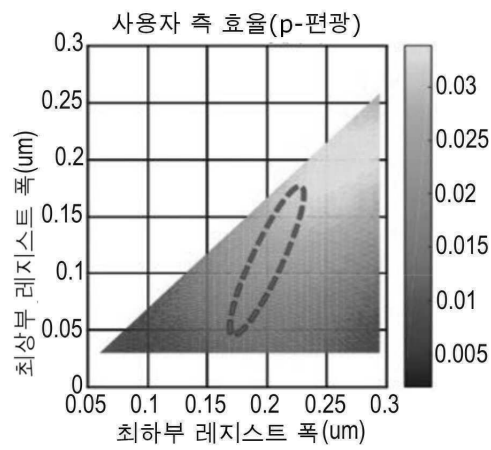
도면12b



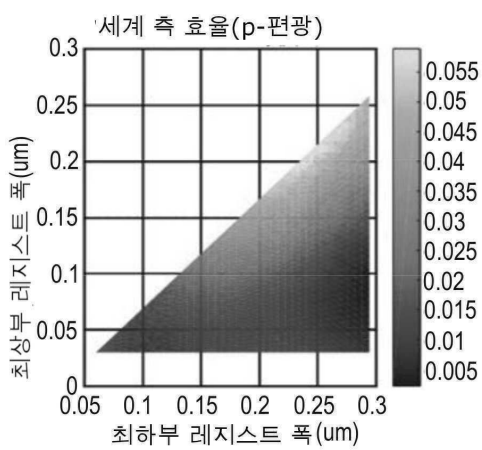
도면12c



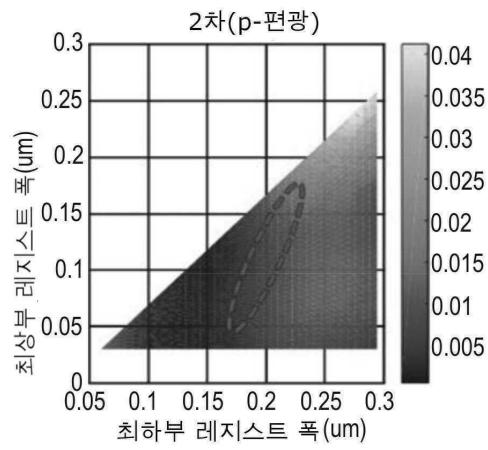
도면12d



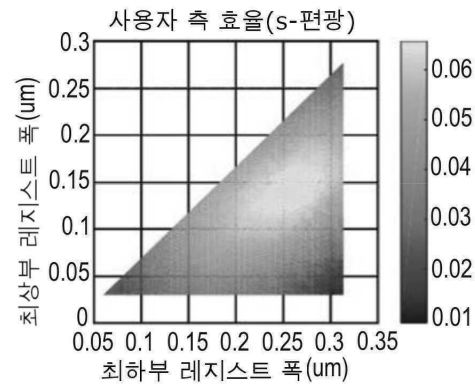
도면12e



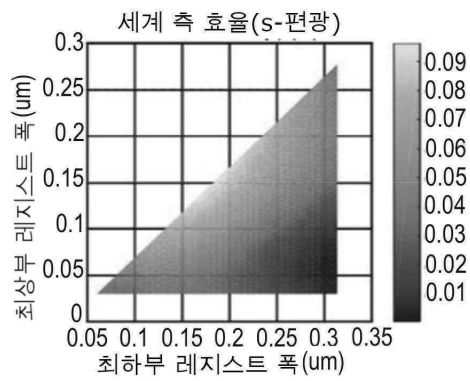
도면12f



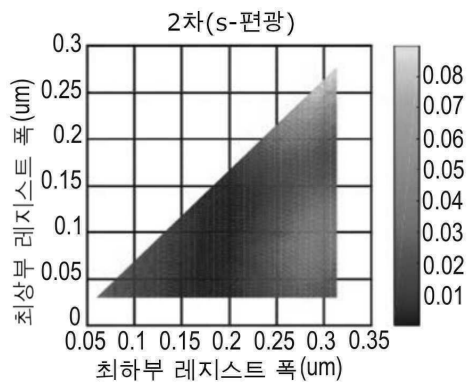
도면13a



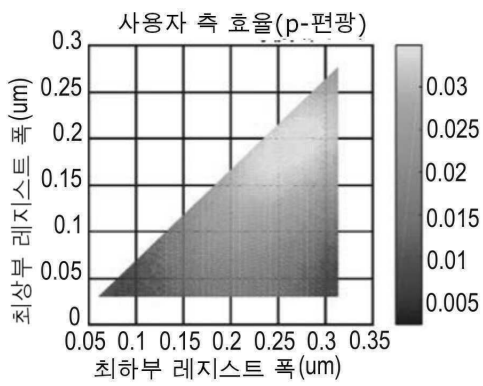
도면13b



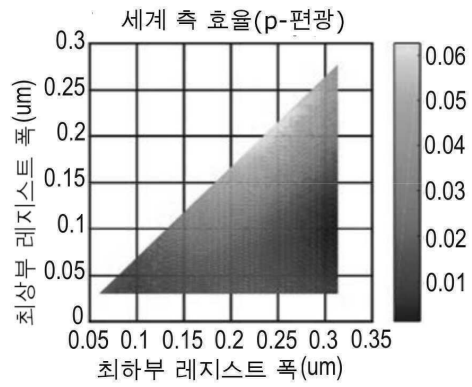
도면13c



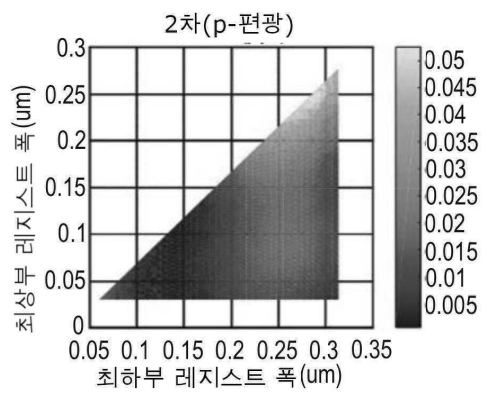
도면13d



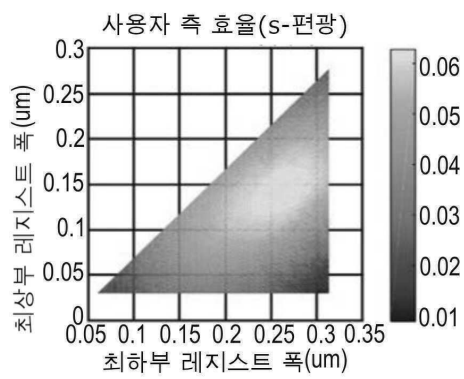
도면13e



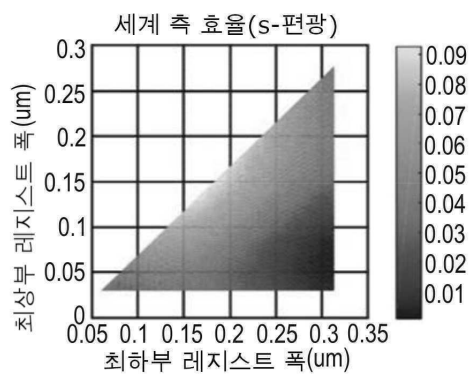
도면13f



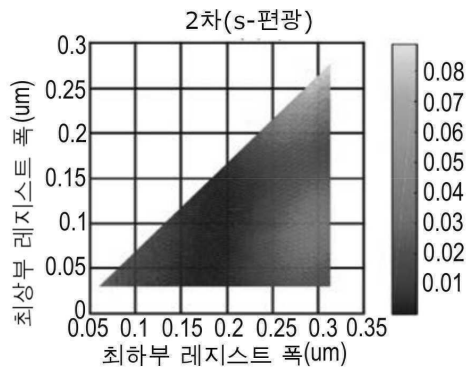
도면14a



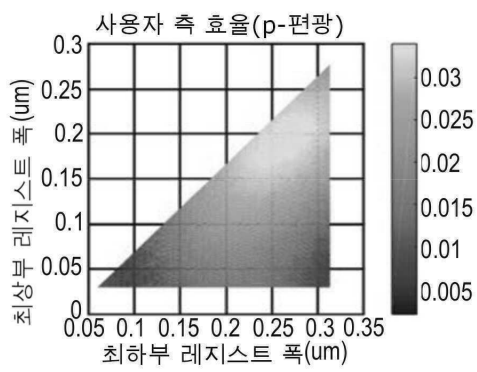
도면14b



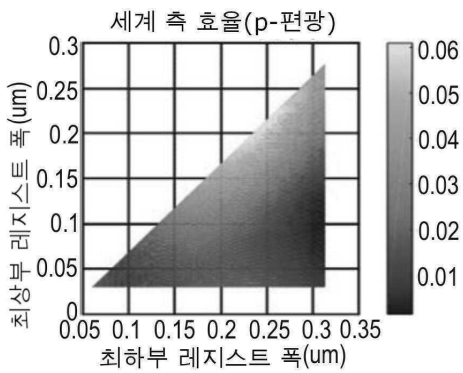
도면14c



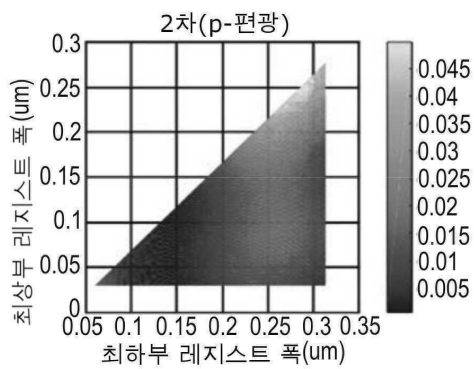
도면14d



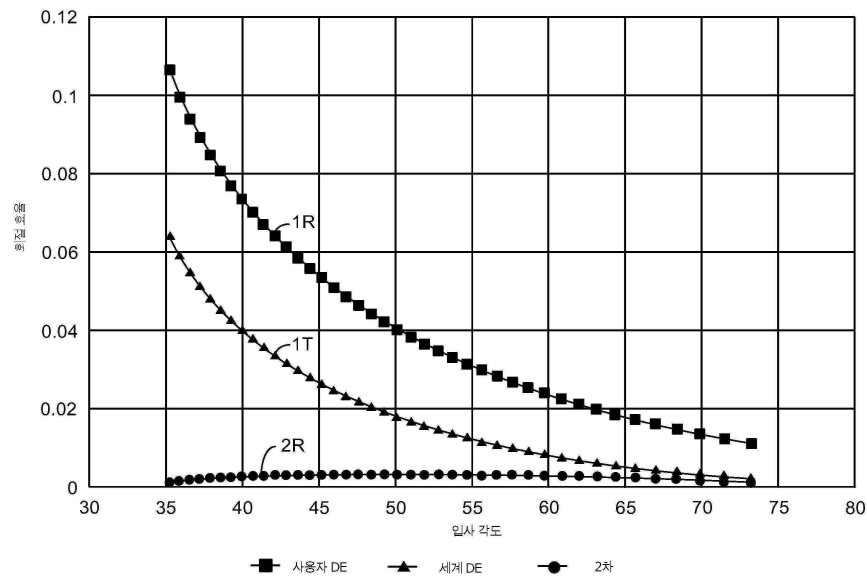
도면14e



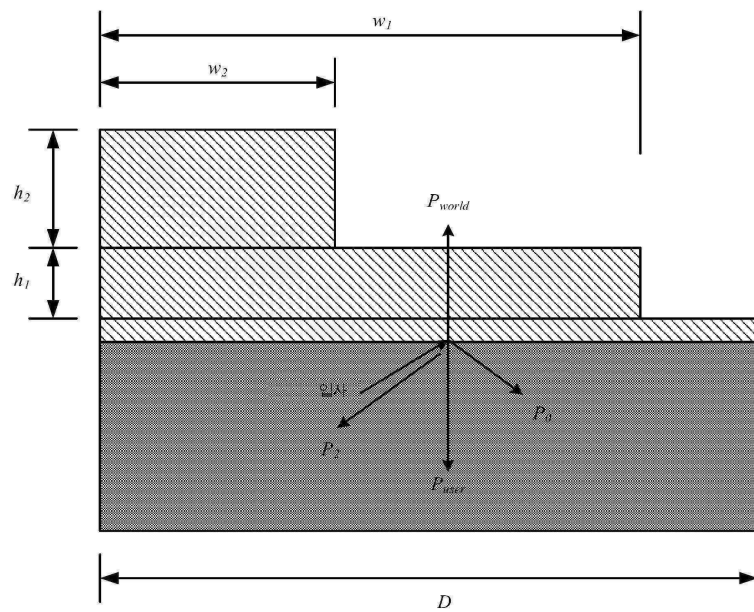
도면14f



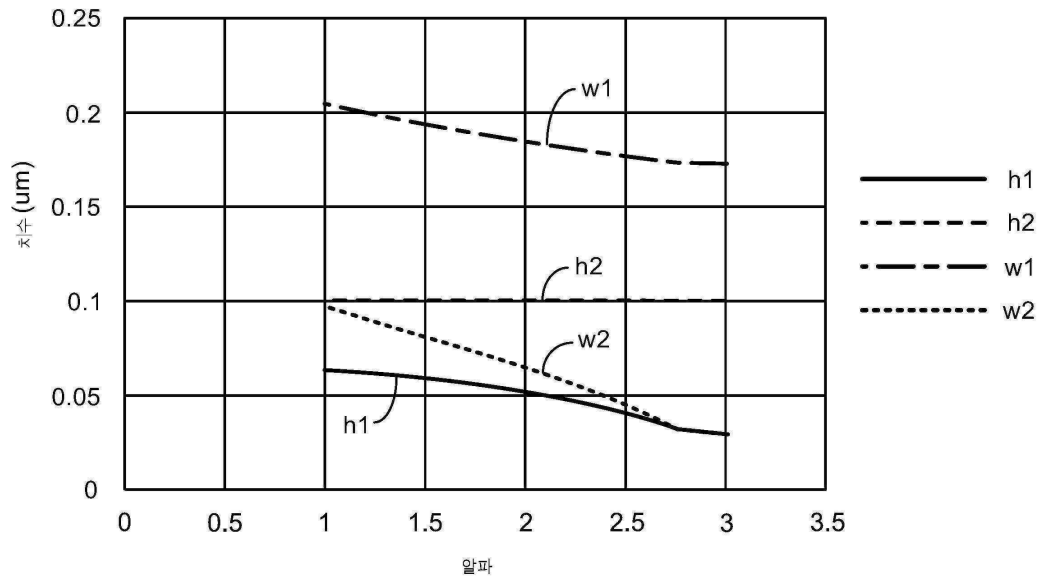
도면15



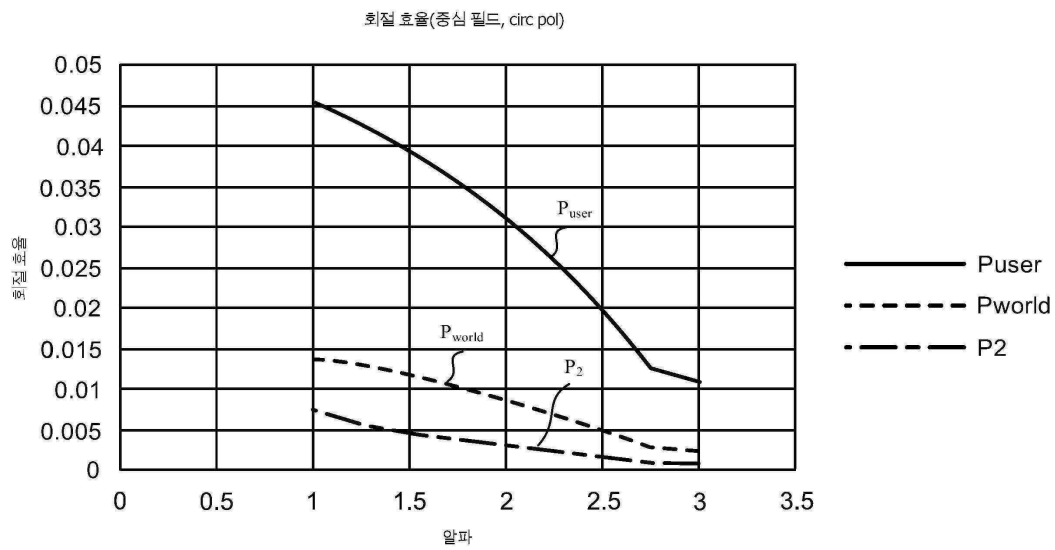
도면16



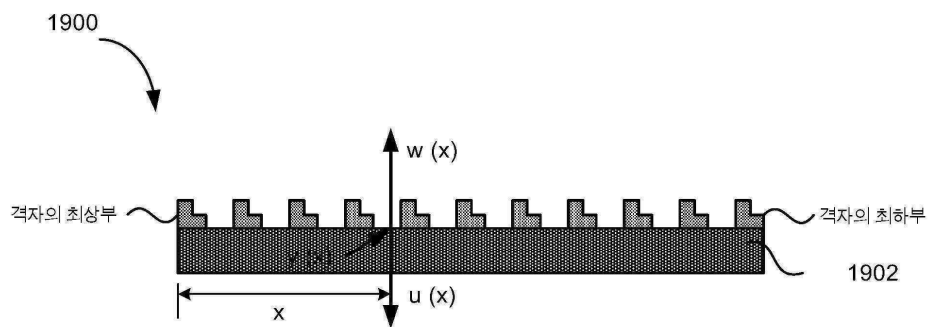
도면17



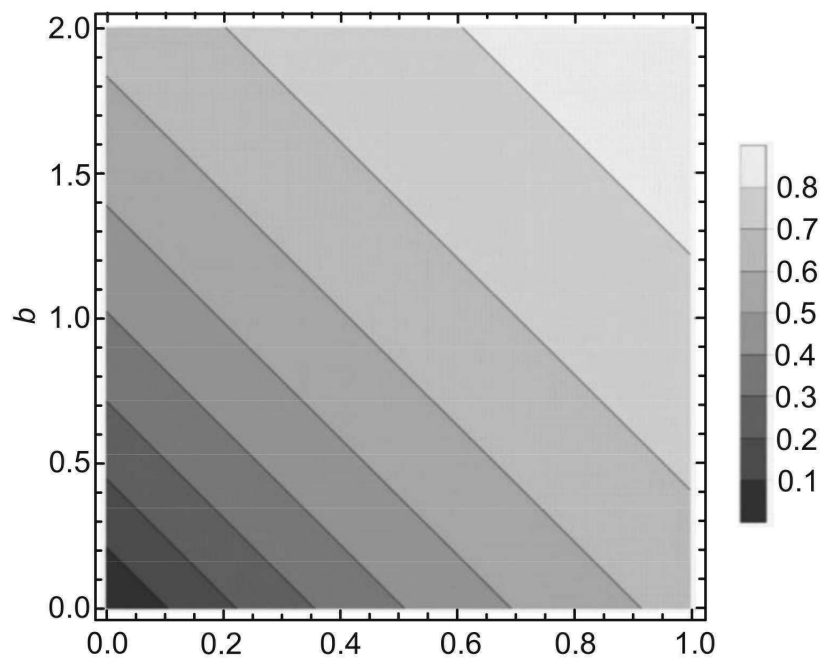
도면18



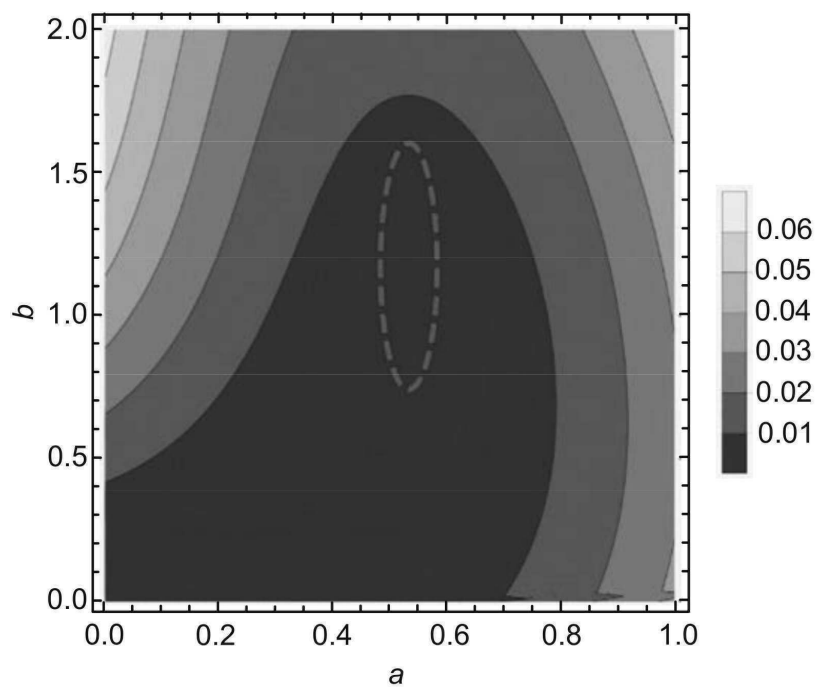
도면19



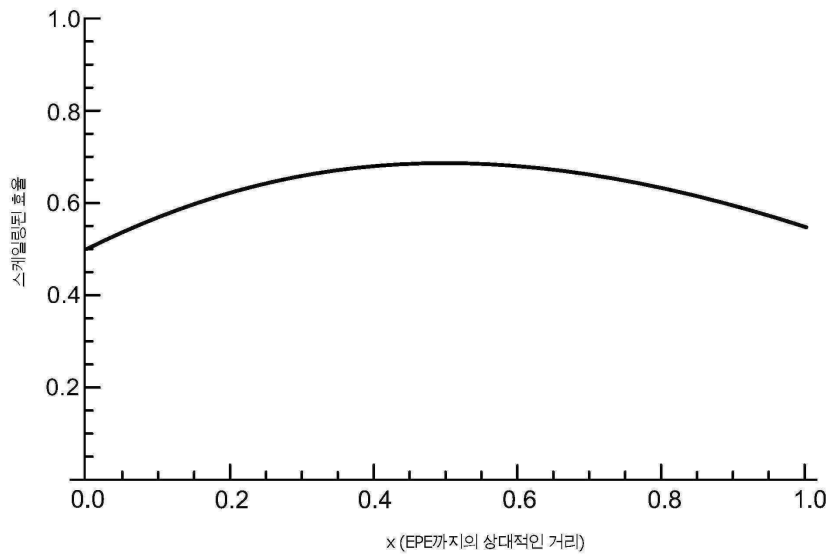
도면20a



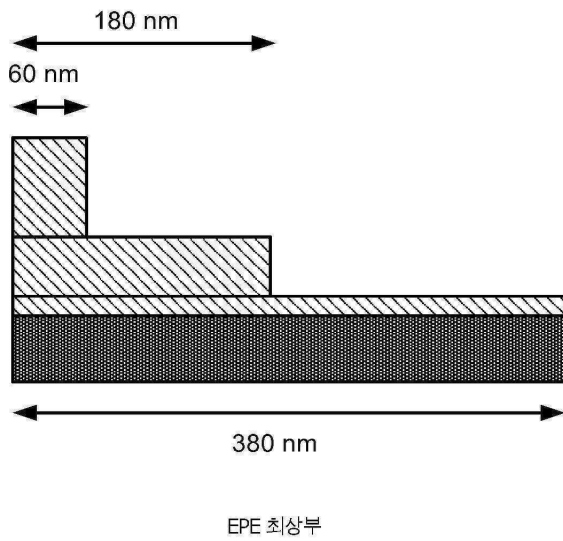
도면20b



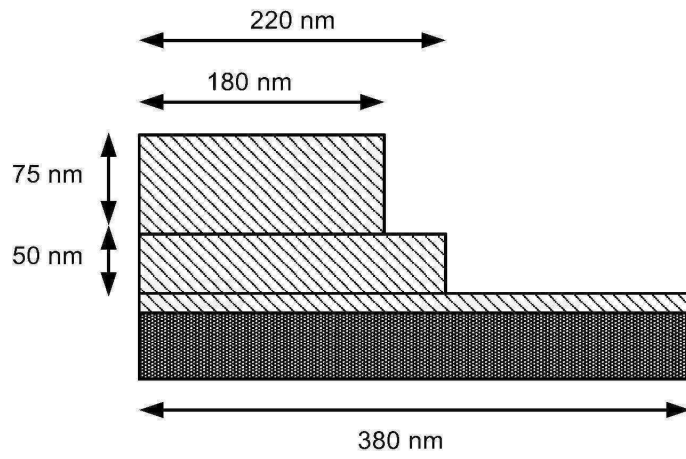
도면21



도면22a



도면22b



EPE 최하부