(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0141609
(43) 공개일자 2024년09월27일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G02B 3/00 (2022.01) *G02B 1/00* (2022.01)
(52) CPC특허분류
G02B 3/0037 (2013.01)
G02B 1/002 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2023-0097032
(22) 출원일자 2023년07월25일
심사청구일자 2023년07월25일
(30) 우선권주장
1020230036089 2023년03월20일 대한민국(KR)

(71) 출원인
포항공과대학교 산학협력단
경상북도 포항시 남구 청암로 77 (지곡동)
(72) 발명자
노준석
경상북도 포항시 남구 청암로 77 (포항공과대학교)
김주훈
경상북도 포항시 남구 청암로 77 (포항공과대학교)
성준화
경상북도 포항시 남구 청암로 77 (포항공과대학교)
(74) 대리인
리앤목특허법인

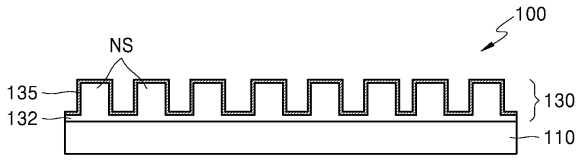
전체 청구항 수 : 총 18 항

(54) 발명의 명칭 **메타 렌즈, 메타 렌즈 제조 방법 및 메타 렌즈를 포함하는 전자 장치**

(57) 요 약

개시된 메타 렌즈는 기판; 상기 기판 상에 마련된 복수의 나노구조물; 및 상기 복수의 나노구조물의 표면을 따라 형성되며, 상기 복수의 나노구조물보다 높은 굴절률의 물질을 포함하는 고굴절 원자층;을 포함한다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류
G02B 3/0012 (2013.01)

명 세 서

청구범위

청구항 1

기판;

상기 기판 상에 마련된 복수의 나노구조물; 및

상기 복수의 나노구조물의 표면을 따라 형성되며, 상기 복수의 나노구조물보다 높은 굴절률의 물질을 포함하는 고굴절 원자층;을 포함하는, 메타 렌즈.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 고굴절 원자층은 TiO_2를 포함하는, 메타 렌즈.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 고굴절 원자층의 두께는 20㎚ 이상 30㎚ 이하인, 메타 렌즈.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 고굴절 원자층의 두께는

상기 고굴절 원자층이 코팅된 상기 나노구조물에 의한 녹색광의 편광 변환 효율이 70% 이상이 되도록 정해지는, 메타 렌즈.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 고굴절 원자층은 ZrO_2를 포함하는, 메타 렌즈.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 복수의 나노구조물은 자외선 경화성 레진을 포함하는, 메타 렌즈.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 기판과 상기 복수의 나노구조물 사이에 형성되고, 상기 복수의 나노구조물과 같은 물질을 포함하는 플랫층;을 더 포함하는, 메타 렌즈.

청구항 8

제1항 내지 제7항 중 어느 한 항의 메타 렌즈를 포함하는 렌즈 어셈블리;

상기 렌즈 어셈블리에 의해 형성된 피사체의 광학 상을 전기적 신호로 바꾸는 이미지 센서; 및

상기 이미지 센서에서의 신호를 처리하는 프로세서;를 포함하는, 전자 장치.

청구항 9

영상광을 제공하는 디스플레이 소자;

상기 디스플레이 소자에서 제공된 광을 사용자의 시야에 포커싱하는, 제1항 내지 제7항 중 어느 한 항의 메타 렌즈; 및

상기 디스플레이 소자를 제어하는 프로세서;를 포함하는, 전자 장치.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 영상광이 사용자의 시야를 향하는 경로에 배치된 빔 스플리터;를 더 포함하고,

상기 프로세서는 사용자가 주시하는 환경에 알맞는 부가 영상을 출력하도록 상기 디스플레이 소자를 제어하는, 전자 장치.

청구항 11

메타 렌즈의 제조방법에 있어서,

상기 메타 렌즈에 구비될 복수의 나노구조물 배열과 동일한 제1패턴이 형성된 마스터 스탬프를 제조하는 단계;

상기 마스터 스탬프를 복제하여 레플리카 몰드를 제조하는 단계;

레플리카 몰드를 제1물질에 임프린트 하여 상기 복수의 나노구조물을 포함하는 나노구조층을 형성하는 단계; 및

상기 복수의 나노구조물의 표면에 컨포멀하게 고굴절 원자층을 형성하는 단계;를 포함하는, 메타 렌즈 제조방법.

청구항 12

제11항에 있어서,

상기 마스터 스탬프 제조에 사용될 레티클을 준비하는 단계;를 더 포함하는, 메타 렌즈 제조방법.

청구항 13

제11항에 있어서,

상기 마스터 스탬프를 제조하는 단계는

기판 상에 하드 마스크층을 형성하는 단계;

상기 하드 마스크층 상에 포토리지스트층을 형성하는 단계;

상기 포토리지스트층을 상기 제1패턴을 갖도록 패터닝 하는 단계;

상기 제1패턴으로 패턴된 포토리지스트층을 식각 마스크로 하여 상기 하드 마스크층을 식각하는 단계;

상기 패턴된 포토리지스트층과 식각된 하드 마스크층을 식각 마스크로 하여, 상기 기판을 식각하는 단계;를 포함하는, 메타 렌즈 제조방법.

청구항 14

제13항에 있어서,

상기 패터닝 하는 단계에서

렌즈 광학계의 광축 근방으로 입사하는 일부 광만을 사용한 스캔 및 스텝 방식의 노광 공정을 사용하는, 메타 렌즈 제조방법.

청구항 15

제13항에 있어서,

상기 기판은 4 inch 이상의 직경을 가지는 실리콘 기판인, 메타 렌즈 제조 방법.

청구항 16

제13항에 있어서,

상기 하드 마스크층은 amorphous carbon layer를 포함하는, 메타 렌즈 제조 방법.

청구항 17

제11항에 있어서,

상기 고굴절 원자층은 TiO_2를 포함하는, 메타 렌즈 제조 방법.

청구항 18

제11항에 있어서,

상기 고굴절 원자층의 두께는 20㎚ 이상 30㎚ 이하인, 메타 렌즈 제조 방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 개시된 실시예들은 메타 렌즈 및 이의 제조 방법에 대한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 메타 렌즈는 메타 구조(meta-structure)를 활용하는 평판형 회절 소자로서, 기존의 굴절 소자가 구현하지 못하는 다양한 광학 효과를 나타낼 수 있고 얇은 광학계를 구현할 수 있어 많은 분야에서 관심이 높아지고 있다.

[0003] 메타 구조(meta-structure)는 입사광의 파장보다 작은 수치가 형상, 주기 등에 적용된 나노 구조물을 포함한다. 원하는 광학 성능에 알맞은 위상 프로파일이 나노구조물들의 배열과 형상을 조절하여 구현될 수 있으며, 이러한 설계 사항이 공정을 통해 잘 구현되는 것이 필요하다.

[0004] 최근, 메타 렌즈를 대량 생산할 수 있는 제조 방법에 대한 연구가 진행되고 있다. 예를 들어, i-line stepper lithography, KrF stepper lithography 등을 사용하여 원하는 나노구조물 형상이 잘 구현되는 대량 생산 공정이 시도되고 있다. 하지만, 낮은 패터닝 해상도 및 사용 가능한 물질의 한계 등으로, 가시광 전영역에서 활용될 수 있는 메타 렌즈 제작에 어려움이 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 메타 렌즈 및 이의 제조방법을 제공한다.

과제의 해결 수단

[0006] 실시예에 따르면, 기판; 상기 기판 상에 마련된 복수의 나노구조물; 및 상기 복수의 나노구조물의 표면을 따라 형성되며, 상기 복수의 나노구조물보다 높은 굴절률의 물질을 포함하는 고굴절 원자층;을 포함하는, 메타 렌즈가 제공된다.

[0007] 상기 고굴절 원자층은 TiO_2를 포함할 수 있다.

[0008] 상기 고굴절 원자층의 두께는 20㎚ 이상 30㎚ 이하일 수 있다.

[0009] 상기 고굴절 원자층의 두께는 상기 고굴절 원자층이 코팅된 상기 나노구조물에 의한 녹색광의 편광 변환 효율이 70% 이상이 되도록 정해질 수 있다.

[0010] 상기 고굴절 원자층은 ZrO_2를 포함할 수 있다.

[0011] 상기 복수의 나노구조물은 자외선 경화성 레진을 포함할 수 있다.

[0012] 상기 기판과 상기 복수의 나노구조물 사이에는 상기 복수의 나노구조물과 같은 물질을 포함하는 플랫층이 더 구

비될 수 있다.

[0013] 실시예에 따르면, 상술한 어느 하나의 메타 렌즈를 포함하는 렌즈 어셈블리; 상기 렌즈 어셈블리에 의해 형성된 피사체의 광학 상을 전기적 신호로 바꾸는 이미지 센서; 및 상기 이미지 센서에서의 신호를 처리하는 프로세서;를 포함하는, 전자 장치가 제공된다.

[0014] 실시예에 따르면, 영상광을 제공하는 디스플레이 소자; 상기 디스플레이 소자에서 제공된 광을 사용자의 시야에 포커싱하는, 제1항 내지 제8항 중 어느 한 항의 메타 렌즈; 및 상기 디스플레이 소자를 제어하는 프로세서;를 포함하는, 전자 장치가 제공된다.

[0015] 상기 전자 장치는 상기 영상광이 사용자의 시야를 향하는 경로에 배치된 빔 스플리터;를 더 포함할 수 있고, 상기 프로세서는 사용자가 주시하는 환경에 알맞는 부가 영상을 출력하도록 상기 디스플레이 소자를 제어할 수 있다.

[0016] 실시예에 따르면, 메타 렌즈의 제조방법에 있어서, 상기 메타 렌즈에 구비될 복수의 나노구조물 배열과 동일한 제1패턴이 형성된 마스터 스탬프를 제조하는 단계; 상기 마스터 스탬프를 복제하여 레플리카 몰드를 제조하는 단계; 레플리카 몰드를 자외선 경화성 레진에 임프린트 하여 상기 복수의 나노구조물을 포함하는 나노구조층을 형성하는 단계; 및 상기 복수의 나노구조물의 표면에 컨포멀하게 고굴절 원자층을 형성하는 단계;를 포함하는, 메타 렌즈 제조방법이 제공된다.

[0017] 상기 마스터 스탬프 제조에 사용될 레티클을 준비하는 단계;를 더 포함할 수 있다.

[0018] 상기 마스터 스탬프를 제조하는 단계는 기판 상에 하드 마스크층을 형성하는 단계; 상기 하드 마스크층 상에 포토리지스트층을 형성하는 단계; 상기 포토리지스트층을 상기 제1패턴을 갖도록 패터닝 하는 단계; 상기 제1패턴으로 패턴된 포토리지스트층을 식각 마스크로 하여 상기 하드 마스크층을 식각하는 단계; 상기 패턴된 포토리지스트층과 식각된 하드 마스크층을 식각 마스크로 하여, 상기 기판을 식각하는 단계;를 포함할 수 있다.

[0019] 상기 패터닝 하는 단계에서 렌즈 광학계의 광축 근방으로 입사하는 일부 광만을 사용한 스텝 및 스캔 방식의 노광 공정이 사용될 수 있다.

[0020] 상기 기판은 4 inch 이상의 직경을 가지는 실리콘 기판일 수 있다.

[0021] 상기 하드 마스크층은 amorphous carbon layer를 포함할 수 있다.

[0022] 상기 고굴절 원자층은 TiO_2를 포함할 수 있다.

[0023] 상기 고굴절 원자층의 두께는 20㎚ 이상 30㎚ 이하일 수 있다.

발명의 효과

[0024] 상술한 메타 렌즈는 가시광 파장 대역의 광에 대해 높은 효율로 동작할 수 있다.

[0025] 상술한 메타 렌즈 제조 방법에 의하면, 메타 렌즈의 대량 생산이 가능하며, 공정 수율도 향상될 수 있다.

[0026] 상술한 메타 렌즈 제조 방법에 의하면, 임프린트 공정을 위한 자외선 경화성레진을 다양하게 선택할 수 있는 자유도가 높다.

도면의 간단한 설명

[0027] 도 1은 실시예에 따른 메타 렌즈의 개략적인 구조를 보이는 단면도이다.

도 2는 실시예에 따른 메타 렌즈에 구비되는 나노구조물의 예시적인 형상을 보이는 부분 절개 사시도이다.

도 3은 실시예에 따른 메타 렌즈에 구비되는 나노구조물의 높이 및 나노구조물에 코팅된 고굴절 원자층의 두께에 따른 변환 효율을 보이는 시뮬레이션 도면이다.

도 4는 실시예에 따른 메타 렌즈에 구비되는 나노구조물 단면의 폭과 길이에 따른 변환 효율을 보이는 시뮬레이션 도면이다.

도 5는 실시예에 따른 메타 렌즈에 구비되는 나노구조물에 코팅된 고굴절 원자층의 두께에 따른 변환 효율을 R, G, B 파장의 광에 대해 보이는 시뮬레이션 도면이다.

도 6은 실시예에 따른 메타 렌즈에 구비되는 나노구조물에 의한 전기장 분포를 보이는 시뮬레이션 도면이다.

도 7은 실시예에 따른 메타 렌즈에 구비되는 나노구조물에 코팅되는 고굴절 원자층의 두께에 따른 굴절률 변화를 보이는 시뮬레이션 도면이다.

도 8은 비교예에 따른 메타 렌즈에 구비되는 나노구조물에 의한 전기장 분포를 보이는 시뮬레이션 도면이다.

도 9는 실시예에 따른 메타 렌즈 제조 방법을 개략적으로 설명하는 흐름도이다.

도 10a 내지 도 10e는 마스터 스탬프 제작에 사용되는 레티클을 제조하는 예시적인 과정을 보이는 도면들이다.

도 11a 내지 도 11i는 마스터 스탬프를 제조하는 예시적인 과정을 보이는 도면들이다.

도 12a 및 도 12b는 노광 공정의 세부 사항을 설명하는 도면들이다.

도 13a 내지 도 13e는 마스터 스탬프를 복제하여 레플리카 몰드를 형성하고 이를 이용하여 메타 렌즈를 제조하는 예시적인 과정을 보이는 도면들이다.

도 14는 실시예에 따른 메타 렌즈 제조방법에 따라 메타 렌즈들이 형성되어 있는 웨이퍼에 대한 현미경 사진을 보인다.

도 15은 실시예에 따른 메타 렌즈 제조방법에 따라 제조된 메타 렌즈의 일부를 확대한 현미경 사진들을 보인다.

도 16a 내지 도 17c는 실시예에 따른 메타 렌즈의 성능을 보이는 도면들이다.

도 18은 실시예에 따른 메타 렌즈에 의한 MTF를 보이는 그래프이다.

도 19는 실시예에 따른 메타 렌즈에 의한 해상도 성능을 보이는 도면들이다.

도 20은 실시예에 따른 전자 장치의 개략적인 구조를 보인다.

도 21은 실시예에 따른 메타 렌즈가 가상 현실 장치에 적용될 수 있음을 실험적으로 보이는 사진들이다.

도 22는 다른 실시예에 따른 전자 장치의 개략적인 구조를 보인다.

도 23은 또 다른 실시예에 따른 전자 장치의 개략적인 구조를 보인다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0028] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 실시예를 상세히 설명하기로 한다. 설명되는 실시예는 단지 예시적인 것에 불과하며, 이러한 실시예들로부터 다양한 변형이 가능하다. 이하의 도면들에서 동일한 참조부호는 동일한 구성요소를 지칭하며, 도면상에서 각 구성요소의 크기는 설명의 명료성과 편의상 과장되어 있을 수 있다.

[0029] 이하에서, "상부" 나 "상"이라고 기재된 것은 접촉하여 바로 위에 있는 것뿐만 아니라 비접촉으로 위에 있는 것도 포함할 수 있다.

[0030] 제 1, 제 2 등의 용어는 다양한 구성요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하는 목적으로만 사용된다. 이러한 용어들은 구성 요소들의 물질 또는 구조가 다름을 한정하는 것이 아니다.

[0031] 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 또한 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미한다.

[0032] 또한, 명세서에 기재된 “...부”, “모듈” 등의 용어는 적어도 하나의 기능이나 동작을 처리하는 단위를 의미하며, 이는 하드웨어 또는 소프트웨어로 구현되거나 하드웨어와 소프트웨어의 결합으로 구현될 수 있다.

[0033] “상기”의 용어 및 이와 유사한 지시 용어의 사용은 단수 및 복수 모두에 해당하는 것일 수 있다.

[0034] 방법을 구성하는 단계들은 설명된 순서대로 행하여야 한다는 명백한 언급이 없다면, 적당한 순서로 행해질 수 있다. 또한, 모든 예시적인 용어(예를 들어, 등등)의 사용은 단순히 기술적 사상을 상세히 설명하기 위한 것으로서 청구항에 의해 한정되지 않는 이상 이러한 용어로 인해 권리 범위가 한정되는 것은 아니다.

[0035] 도 1은 실시예에 따른 메타 렌즈의 개략적인 구조를 보이는 단면도이다.

[0036] 메타 렌즈(100)는 서브 파장(sub-wavelength) 형상 치수를 가지는 나노구조물(NS)을 활용한 회절 소자이다. 여기서, 서브 파장은 변조 대상인 입사광의 파장보다 작은 수치를 의미하며, 또는, 입사광의 파장 대역의 중심 파장보다 작은 수치를 의미한다. 메타 광학 소자에 구비되는 나노구조물(NS)들의 형상과 배열은 입사광에 대해 원하는 렌즈 성능, 예를 들어, 원하는 초점 거리, F수 등이 구현되도록 설정될 수 있다. 서브 파장 나노구조물은 (meta-atom)으로도 불릴 수 있고, 나노구조물들이 배열된 어레이는 메타 표면으로도 불릴 수 있다.

[0037] 메타 렌즈(100)는 기판(110), 기판(110) 상에 마련된 복수의 나노구조물(NS) 및 복수의 나노구조물(NS)의 표면을 따라 형성된 고굴절 원자층(135)을 포함한다.

[0038] 나노구조물(NS)과 기판(110) 사이에는 플랫층(132)이 위치할 수 있다. 플랫층(132)은 나노구조물(NS)과 같은 재질을 포함하며, 후술할 제조 과정에 따라 생길 수 있다. 플랫층(132)은 매우 얇거나, 또는 거의 없을 수도 있다. 복수의 나노구조물(NS)과 플랫층(132)을 통틀어서 나노구조층(130)으로 지칭하기로 한다.

[0039] 기판(110)은 글래스(fused silica, BK7, 등), Quartz, polymer(PMMA, SU-8 등) 및 플라스틱 중의 재질 중 어느 하나로 이루어질 수 있고, 반도체 기판일수도 있다. 기판(110)은 나노구조물(NS)의 굴절률보다 낮은 굴절률의 물질로 이루어질 수 있다. 다만, 이에 한정되는 것은 아니다.

[0040] 나노구조물(NS)은 주변 물질과 다른 굴절률을 가지는 물질로, 예를 들어 주변 물질보다 높은 굴절률의 물질로 이루어질 수 있다. 예를 들어, 나노구조물(NS)은 c-Si, p-Si, a-Si 및 Ⅲ-Ⅴ 화합물 반도체(GaP, GaN, GaAs 등), SiC, TiO2, SiN 및/또는 이들의 조합을 포함할 수 있다.

[0041] 나노구조물(NS)은 자외선 경화성(UV curable) 레진을 포함할 수 있다. 나노구조물(NS)을 이루는 자외선 경화성 레진은 굴절률, 표면 에너지, shrinkage 등의 성질을 고려하여 선택될 수 있다. 예를 들어, 표면 에너지가 낮고, shrinkage가 작으며, 가시광 파장 대역에서 굴절률이 높고 자외선 경화성 레진을 사용할 수 있다.

[0042] 자외선 경화성 레진의 shrinkage는 예를 들어, 5% 미만일 수 있다. 자외선 경화성 레진은 가시광 파장 대역에서 대략 1.5~1.6의 굴절률을 나타낼 수 있다.

[0043] 자외선 경화성 레진의 표면 에너지가 낮은 경우, 메타 렌즈(100)를 임프린트 방법을 사용하여 제조할 때, 임프린트 후, 레플리카 몰드를 나노구조물(NS)들로부터 분리하는 것이 용이하며, 제조 수율에도 유리하다.

[0044] 예를 들어, 자외선 경화성 레진의 표면 에너지가 높은 경우, 레플리카 몰드를 나노구조물(NS)로부터 잘 분리하기 위해 레플리카 몰드에 대해 별도의 표면 처리 공정이 더 필요할 수도 있다.

[0045] 기존의 나노임프린팅을 통한 메타렌즈 공정은 가시광 영역의 높은 굴절률을 가진 particle을 레진에 혼합하여 메타렌즈의 성능을 향상시키는 방향으로 진행되어 왔으나, 이렇게 제작된 메타 렌즈는 효율이 50%정도에 불과하다. 실시예에서는, 이러한 particle을 레진에 혼합하는 과정을 없애, 사용할 수 있는 레진의 자유도가 높아질 수 있다. 또한, 별도의 표면처리 없이 후 공정이 진행될 수 있는 low surface energy과 low shirinkage (<5%) 특성을 지닌 레진 물질을 사용할 수 있다. 예를 들어, 자외선 경화성 레진으로 상용의 MINS-311RM 레진을 사용할 수 있다.

[0046] 고굴절 원자층(135)은 나노구조물(NS)의 굴절률보다 높은 굴절률을 가지는 물질을 포함한다. 예를 들어, 나노구조물(NS)의 재질이 자외선 경화성 레진인 경우, 고굴절 원자층(135)은 자외선 경화성 레진 보다 높은 굴절률을 가지는 물질로 형성될 수 있다. 고굴절 원자층(135)은 예를 들어, TiO_2를 포함할 수 있다. TiO2는 가시광 파장 대역에서 대략 2.5 정도의 굴절률을 나타낼 수 있다. 고굴절 원자층(135)의 재질은 TiO2로 한정되지 않으며, 가시광 파장 대역에서 자외선 경화성 레진보다 높은 굴절률을 나타내는 다양한 물질이 사용될 수 있다. 또는, 고굴절 원자층(135)의 재질은 메타 렌즈(100)의 용도에 따라, 가시광 파장 대역 외 다른 파장 대역에 적합한 물질일수도 있다. 예를 들어, 자외선 파장 대역에 적합한, ZrO2가 사용될 수도 있다.

[0047] 고굴절 원자층(135)은 나노구조물(NS)들의 재질이 나타내는 굴절률로는 가시광 파장 대역에서 원하는 렌즈 성능이 구현되기 어려울 수 있음을 고려하여 제안되고 있다. 나노구조물(NS)들의 재질은 제조상의 편의에 따라 정해질 수 있으나, 임프린트 방법을 이용하는 후술할 제조방법에 따라 나노구조물(NS)들의 재질은 제한될 수 있고, 원하는 굴절률을 맞추기 어려울 수 있다. 따라서, 나노구조물(NS)의 굴절률보다 높은 굴절률을 가지는 물질로 나노구조물(NS)의 표면을 컨포멀하게 코팅하는 구조를 채용하고 있다.

[0048] 고굴절 원자층(135)의 두께는 메타 렌즈(100)의 광변조 효율, 즉, 고굴절 원자층(135)의 코팅된 나노구조물(NS)에 의한 광변조 효율을 고려하여 정할 수 있다. 광 변조 효율은 편광 변환 효율(conversion efficiency)로 표

현될 수 있다. 예를 들어, 메타 렌즈(100)에 포함되는 복수의 나노구조물(NS)들의 배치 각도가 위치에 따라 다르게 정해지고, 따라서, 나노구조물(NS)들에 의한 입사광의 편광 변환이 위치에 따라 조절되는 방법으로 원하는 위상 프로파일이 구현될 수 있는데, 이 경우 편광 변환 효율이 높을수록 원하는 위상 프로파일이 잘 구현될 수 있다. 다만, 나노구조물(NS)들의 배열 형태는 이에 한정되지 않는다. 예를 들어, 위치에 따라 다른 크기의 나노구조물(NS)을 배치하는 방법으로 원하는 위상 프로파일이 구현될 수도 있다.

[0049] 고굴절 원자층(135)의 두께는 대략 20㎚ 이상 30㎚ 이하일 수 있고, 20㎚ 이상 25㎚ 이하일 수 있다. 다만, 이에 한정되지 않으며, 나노구조물(NS)의 세부적인 형상, 치수에 따라, 편광 변환 효율을 고려하여 정해질 수 있다. 예를 들어, 고굴절 원자층(135)의 두께는 고굴절 원자층(135)이 코팅된 나노구조물(NS)에 의한 가시광 전 파장 대역의 광의 편광 변환 효율이 60% 이상, 또는 65% 이상이 되도록 정해질 수도 있고, 또는 예를 들어, 녹색광의 편광 변환 효율이 60% 이상, 65% 이상, 70% 이상, 80% 이상 또는 85% 이상이 되도록 정해질 수도 있다.

[0050] 도 2는 실시예에 따른 메타 렌즈에 구비되는 나노구조물의 예시적인 형상을 보이는 부분 절개 사시도이다.

[0051] 나노구조물(NS)은 높이(Height), 폭(Width), 길이(length)가 정의되는 직육면체 형상일 수 있다. 나노구조물(NS)의 표면 형상을 따라, 고굴절 원자층(135)의 소정 두께(Thickness)로 형성될 수 있다.

[0052] 이러한 형상 치수들의 세부 사항을 정하기 위한 시뮬레이션 결과를 도 3 내지 도 7을 참조하여 살펴보기로 한다.

[0053] 도 3은 실시예에 따른 메타 렌즈에 구비되는 나노구조물의 높이 및 나노구조물에 코팅된 고굴절 원자층의 두께에 따른 변환 효율에 대한 시뮬레이션 결과를 보이는 도면이고, 도 4는 실시예에 따른 메타 렌즈에 구비되는 나노구조물 단면의 폭과 길이에 따른 변환 효율에 대한 시뮬레이션 결과를 보이는 도면이다.

[0054] 시뮬레이션에서, 입사광의 파장은 532㎚, 나노구조물(NS)의 길이, 폭, 높이는 각각 260㎚-400㎚, 70㎚-200㎚, 500㎚-900㎚의 범위, 나노구조물(NS)들의 배열 피치는 450㎚으로 하였다. 또한, 고굴절 원자층(135)의 두께 범위는 0㎚-40㎚로 하였다. 나노구조물(NS)의 재질은 자외선 경화성 레진, 고굴절 원자층(135)의 재질은 TiO2, 기판(110) 재질은 SiO_2인 경우이다.

[0055] 도 4의 시뮬레이션 도면은 나노구조물(NS)의 높이를 900㎚, 고굴절 원자층(135)의 두께는 23㎚로 한 경우이다.

[0056] 이러한 시뮬레이션을 통해, 나노구조물(NS)의 폭, 길이, 높이, 고굴절 원자층(135)의 두께가 적절히 설정될 수 있다.

[0057] 도 5는 실시예에 따른 메타 렌즈에 구비되는 나노구조물(NS)에 코팅된 고굴절 원자층(135)의 두께에 따른 변환 효율을 R, G, B 파장의 광에 대해 보이는 시뮬레이션 도면이다.

[0058] 가시광 파장 전 대역에서, 높은 편광 변환 효율, 예를 들어, 60% 이상의 효율을 나타낼 수 있는 고굴절 원자층(135) 두께는 대략 20㎚-25㎚의 범위로 볼 수 있다.

[0059] 도 5는 고굴절 원자층(135)의 두께를 23㎚로 제작하여 측정된 결과를 함께 보이고 있으며, 시뮬레이션 결과와 유사한 결과를 보임을 알 수 있다.

[0060] 도 6은 실시예에 따른 메타 렌즈에 구비되는 나노구조물에 의한 전기장 분포를 보이는 시뮬레이션 도면이다.

[0061] 시뮬레이션 결과는 나노구조물(NS)의 높이 방향에 수직인 단면에서, 원편광된 입사광에 의해 여기된 두 주요 모드를 보이고 있다. quasi-TE(quasi transverse electric) 모드와 quasi-TM (quasi transverse magnetic) 모드가 각각 x 방향의 편광 성분, y 방향 편광 성분에 의해 여기되고 있다. 나노구조물(NS)의 복굴절성은 위 두 모드 간의 굴절률 차이(Δn)로 표현될 수 있으며, Δn이 클수록 높은 편광 변환 효율을 나타낼 수 있다.

[0062] 도 7은 실시예에 따른 메타 렌즈에 구비되는 나노구조물에 코팅되는 고굴절 원자층의 두께에 따른 굴절률 변화를 보이는 시뮬레이션 도면이다.

[0063] 도 7을 참조하면, 고굴절 원자층(135)의 두께에 따라 Δn이 증가하다가 포화되는 형태를 보인다. 도 5의 그래프에서 살펴본 것과 유사하게, 고굴절 원자층(135) 두께를 대략 20㎚-25㎚ 범위로 설정할 수 있음을 알 수 있다.

[0064] 도 8은 비교예에 따른 메타 렌즈에 구비되는 나노구조물에 의한 전기장 분포를 보이는 시뮬레이션 도면이다.

[0065] 비교예의 메타 렌즈는 나노구조물(NS)이 자외선 경화성 레진을 포함하며, 실시예와 같은 고굴절 원자층은 포함하지 않는 구조이다.

[0066] 도 8을 참조하면, 원편광의 광에 의해, 즉, x 방향 편광 성분 및 y 방향 편광 성분에 의해, quasi-TE(quasi transverse electric) 모드와 quasi-TM (quasi transverse magnetic) 모드가 여기된다. 도 8을 실시예에 의한 결과인 도 6과 비교하여 볼 때, 비교예의 경우 실시예의 경우보다 낮은 Δn을 나타내고, 따라서, 낮은 편광 변환 효율을 나타낼 것으로 분석될 수 있다.

[0067] 또한, 실시예와 같이, 고굴절 원자층(135)을 나노구조물(NS) 표면에 컨포멀하게 형성한 구조의 메타 렌즈(100)는 비교예의 메타 렌즈, 즉, 고굴절 원자층이 구비되지 않은 경우에 비해, 외부 충격에도 강한 성능을 나타낼 수 있다. bending stiffness를 시뮬레이션한 결과, 실시예와 같이 고굴절 원자층(135)이 나노구조물(NS) 표면에 코팅된 구조의 bending stiffness는 35.621 N/m로, bending stiffness가 0.046N/m로 계산된 비교예의 나노구조물에 비해, 대략 770배에 이르는 높은 값을 나타내는 것으로 계산되었다.

[0068] 도 9는 실시예에 따른 메타 렌즈 제조 방법을 개략적으로 설명하는 흐름도이다.

[0069] 실시예에 따른 메타 렌즈 제조방법은 마스터 스탬프를 제조하는 단계(S300), 마스터 스탬프를 복제하여 레플리카 몰드를 형성하는 단계(S400), 레플리카 몰드를 자외선 경화성 레진에 임프린트하여 나노구조층을 형성하는 단계(S450), 나노구조층 표면에 고굴절 원자층을 형성하는 단계(S500)를 포함할 수 있다. 또한, 마스터 스탬프를 제조하기 전에, 마스터 스탬프 제조시의 노광 공정에 사용될 레티클을 준비하는 단계(S200)가 더 수행될 수 있다.

[0070] 도 10a 내지 도 10e는 마스터 스탬프 제작에 사용되는 레티클을 제조하는 예시적인 과정을 보이는 도면들이다.

[0071] 도 10a를 참조하면, 투명 기판(210) 상에 포토리지스트층(220)이 형성된다.

[0072] 도 10b를 참조하면, 포토리지스트층(220)에 정해진 패턴으로 노광 영역(221)을 형성한다. 이러한 과정은 전자빔 리소그라피 방법으로 행해질 수 있다.

[0073] 다음, 현상(development) 공정으로 노광 영역(221)이 제거되면, 도 10c와 같이 포토리지스트층(220)이 패터닝된다. 포토리지스트층(220)에 형성된 패턴은 제조하고자 하는 마스터 스탬프의 역상의 패턴에 상응한다.

[0074] 도 10d를 참조하면, 패턴된 포토리지스트층(220) 위로 금속층(230)이 형성된다. 금속층(230)은 빛을 차단할 수 있는 다양한 금속을 포함할 수 있다. 금속층(230)은 예를 들어, Al을 포함할 수 있으며, 다만, 이에 한정되지 않는다.

[0075] 도 10d의 구조에 리프트 오프(lift-off) 공정을 수행하여, 패턴된 포토리지스트층(220)을 제거한다. 이 때, 금속층(230) 중 포토리지스트층(220) 위에 형성된 부분이 포토리지스트층(220)과 함께 제거된다.

[0076] 도 10e를 참조하면, 투명 기판(210) 상에 패턴된 금속층(230)이 형성된 레티클(200)이 제공된다.

[0077] 도 11a 내지 도 11i는 마스터 스탬프를 제조하는 예시적인 과정을 보이는 도면들이다.

[0078] 마스터 스탬프는 도 10a 내지 도 10e의 과정으로 마련된 레티클(200)을 사용한 노광 공정을 거쳐 제조될 수 있다.

[0079] 먼저, 11a를 참조하면, 기판(310) 상에 하드 마스크층(320)이 형성될 수 있다. 기판(310)은 예를 들어, 실리콘 기판일 수 있다. 기판(310)은 다양한 크기를 가질 수 있다. 기판(310)은 4 inch 이상의 직경을 가질 수 있고, 예를 들어, 4 inch, 6 inch, 8 inch 또는 12 inch의 직경을 가질 수 있으며, 예시된 크기에 한정되는 것은 아니다. 하드 마스크층(320)은 예를 들어, 비정질 탄소층(Amorphous Carbon Layer)일 수 있다. 하드 마스크층(320)의 재질은 하드 마스크층(320) 위로 형성될 포토리지스트 물질보다 낮은 식각 선택비를 갖는 물질이며, 비정질 탄소 물질로 한정되는 것은 아니다.

[0080] 도 11b를 참조하면, 하드 마스크층(320) 상에 포토리지스트층(330)이 형성된다.

[0081] 하드 마스크층(320)과 포토리지스트층(330)은 기판(310)을 소정 패턴으로 식각하기 위한 식각 마스크로 사용된다. 식각 마스크로 포토리지스트층(330) 만을 사용하는 경우, 포토리지스트층(330)은 식각 선택비가 매우 높아, 기판(310)에 형성되는 패턴의 깊이를 깊게 만들기 어렵다. 다시 말하면, 기판(310)이 원하는 깊이로 식각되기 전에 포토리지스트층(330)이 먼저 식각될 수 있어, 고종횡비의 구조체를 제조할 수 있는 마스터 스탬프가 제조되기 어렵다. 기판(310)과 포토리지스트층(330) 사이에 식각 선택비가 낮은 하드 마스크층(320)을 더 형성하여, 종횡비가 높은 구조체를 제조하기에 적합한 마스터 스탬프를 제조하기에 유리해질 수 있다.

[0082] 도 11c를 참조하면, 포토리지스트층(330)이 노광 공정으로 패터닝된다. 도 10a 내지 도 10e의 과정으로 마련된

레티클(200)은 노광 장치(250)가 제공하는 빛에 대한 노광 마스크의 역할을 한다. 노광 장치(250)에서 제공된 빛은 레티클(200) 상의, 금속층(230)이 형성되지 않은 부분만을 투과하여 노광 영역(331)들을 형성한다. 현상(development) 공정으로 노광 영역(331)들이 제거되면, 도 11d와 같이, 패턴된 포토리지스트층(330)이 형성된다. 이러한 노광 공정은 예를 들어, ArF Immersion Scanner를 활용하여 행해질 수 있다.

[0083] 도 11e를 참조하면, 패턴된 포토리지스트층(330)을 식각 마스크로 하여 하드 마스크층(320)이 식각될 수 있다.

[0084] 도 11f를 참조하면, 포토리지스트층(330)과 하드 마스크층(320)을 식각 마스크로 하여 기판(310)이 식각된다. 앞서 설명한 바와 같이, 포토리지스트층(330) 만을 식각 마스크로 하여 기판(310)을 식각하는 경우, 식각 선택비가 높은 포토리지스트층(330)은 기판(310)이 원하는 깊이로 식각되기 전에 식각되어 없어질 수 있다. 실시예와 같이, 기판(310)과 포토리지스트층(330) 사이에 하드 마스크층(320)이 더 구비되는 경우, 포토리지스트층(330)이 모두 식각되어 남아 있지 않은 경우에도, 식각 선택비가 낮은 하드 마스크층(320)이 식각 마스크의 역할을 할 수 있다. 따라서, 기판(310)을 원하는 깊은 깊이로 식각하는 것이 가능해진다. 다음, 포토리지스트층(330)과 하드 마스크층(320)을 제거하면, 도 11g와 같이, 패턴(300a)을 갖는 마스터 스탬프(300)가 완성된다.

[0085] 도 12a 및 도 12b는 도 11c에서 설명한 노광 공정의 세부 사항을 설명하는 도면들이다.

[0086] 도 11c에서 설명한 노광 장치(250)는 광원(251), 조리개(253), 하나 이상의 렌즈(255, 256, 257)를 포함할 수 있고, 또한, 레티클(200)과 웨이퍼(WA)를 움직이기 위한 구동 스테이지(미도시)를 포함할 수 있다. 렌즈(255)는 입사광을 평행하게 하는 콜리메이팅 렌즈이고, 렌즈(256, 257)은 빔 폭을 조절하는 릴레이 렌즈(259)이다. 렌즈 광학계의 형태는 예시적이며, 다른 형태로 변경될 수도 있다.

[0087] 광원(251)에서의 광은 조리개(253)에 의해 렌즈(255)의 주변부로는 향하지 않고 광축 근방의 중심부쪽으로만 진행하며, 이러한 광에 의해 웨이퍼(WA) 상의 소정 영역이 소정 패턴으로 노광된다. 이와 함께, 레티클(200)와 웨이퍼(WA)가 동시에 정밀하게 이동되어, 웨이퍼(WA) 전체가 노광될 수 있다.

[0088] 도 12b에 도시된 바와 같이, 기판(310) 상에 형성된 포토리지스트층(330)의 영역은 화살표로 표시된 바와 같이, 스캔, 스텝되며, 노광될 수 있다.

[0089] 이러한 방식은 렌즈를 투과한 전체 광을 사용하는 일반적인 스텝퍼와 달리, 렌즈의 왜곡이 발생하지 않는 광만을 사용하여 웨이퍼(WA)를 노광하므로, 엣지(edge) 공정의 정확성이 향상될 수 있고, 대면적의 마스터 스탬프를 제작하기에 유리하다.

[0090] 도 13a 내지 도 13e는 마스터 스탬프를 복제하여 레플리카 몰드를 형성하고 이를 이용하여 메타 렌즈를 제조하는 예시적인 과정을 보이는 도면들이다.

[0091] 도 13a를 참조하면, 마스터 스탬프(300) 상에 형성된 패턴(300a)을 복제하여 레플리카 몰드(400)가 형성된다. 마스터 스탬프(300) 상에 양각, 음각으로 형성된 패턴(300a)은 제조하고자 하는 메타 렌즈를 이루는 나노구조물들의 형상과 배열에 상응하는 형태이다. 마스터 스탬프(300) 상에 몰드 물질이 압착되어, 마스터 스탬프(300)의 패턴(300a)이 복제된 레플리카 몰드(400)가 형성될 수 있다. 레플리카 몰드(400)는 제1층(420), 제2층(430)을 포함할 수 있다. 마스터 스탬프(300)의 패턴(300a)에 직접 접촉하는 제2층(430)은 제1층(420)에 비해 점성은 낮고 기계적 강성은 높은 물질로 이루어질 수 있다. 예를 들어, 제1층(420)은 PDMS(hard polydimethylsiloxane)로 이루어질 수 있고, 제2층(430)은 h-PDMS(hard polydimethylsiloxane)로 이루어질 수 있다. 다만, 이는 예시적이며, 레플리카 몰드(400)는 플렉서블한 재질로 단층으로 형성될 수도 있다.

[0092] 도 13b를 참조하면, 레플리카 몰드(400) 상에 자외선 경화성 레진(UV curable resin)(533)이 도포된다. 자외선 경화성 레진(533)은 경화되지 않은 액상의 형태로 레플리카 몰드(400)에 형성된 음각된 영역 내부를 채우게 된다.

[0093] 도 13c를 참조하면, 도 13b와 같은 구조 상에 기판(510)이 배치된 후 압력(pressure)이 인가되며 자외선(UV)이 조사될 수 있다. 이러한 과정에서 자외선 경화성 레진(533)이 경화된다. 경화된 자외선 경화성 레진(533)은 도 13d에 도시한 바와 같이, 복수의 나노구조물(NS)을 구비하는 나노구조층(530)을 형성한다. 나노구조층(530)은 플랫층(532)을 더 포함하는 형상일 수도 있다. 플랫층(532)은 두께가 매우 얇거나, 거의 없을 수도 있다.

[0094] 도 13d를 참조하면, 레플리카 몰드(400)가 나노구조층(532)으로부터 분리된 다. 앞서 설명한 바와 같이, 나노구조층(532)의 재질로 사용된 자외선 경화성 레진은 표면 에너지가 낮고 shrinkage가 적은 재질로 선택될 수 있으며, 따라서, 이러한 분리 공정은 레플리카 몰드(400)나 나노구조물(NS)의 손상을 일으키지 않고 용이하게 수행

될 수 있다.

[0095] 도 13e를 참조하면, 나노구조물(NS)의 표면에 고굴절 원자층(535)이 형성되면, 웨이퍼 레벨의 메타 렌즈(500)가 완성된다.

[0096] 고굴절 원자층(535)은 나노구조물(NS)의 표면의 따라 컨포멀하게 증착될 수 있다. 고굴절 원자층(535)의 형성에는 다양한 증착 방법이 사용될 수 있고, 스퍼터링, 또는 ALD(atomic layer deposition) 방법이 사용될 수 있다. 고굴절 원자층(535)은 나노구조물(NS)의 굴절률보다 높은 굴절률을 가지는 물질로 이루어질 수 있다. 고굴절 원자층(535)의 두께는 대략 20㎚-30㎚ 또는 20㎚-25㎚일 수 있으며, 다만, 이에 한정되지 않고, 입사광에 대한 편광 변환 효율을 고려하여 적절히 정해질 수 있다.

[0097] 웨이퍼 레벨의 메타 렌즈(500)는 기판(510)의 직경에 비례하는 매우 많은 개수의 메타 렌즈들을 포함할 수 있다. 기판(510)은 예를 들어, 직경이 대략 30㎝일 수 있다.

[0098] 상술한 제조방법은 반복적으로 사용할 수 있고 대면적인 레플리카 몰드(400)를 활용하고 있어, 메타 렌즈의 대량 생산에 유리하다. 예를 들어, 일반적인 포토리소그라피 공정으로는 메타 렌즈에 구비되는 나노구조물의 세부 형상이 구현되는 수율이 낮으며, 또한, 전자 빔 리소그라피를 이용하여 메타 렌즈를 제조하는 것은 하나의 메타 렌즈를 제조하는 데에도 긴 시간이 소요되고, 비용도 높아, 대량 생산에 매우 불리하다.

[0099] 실시예에 따른 제조방법은 전자 빔 리소그라피를 이용하여 레티클(200)을 만들고, 레티클(200)을 사용한 스캔 및 스텝 방식의 노광 공정을 거쳐 대면적의 마스터 스탬프(300)를 제조한 후, 마스터 스탬프(300)에 형성된 패턴을 레플리카 몰드(400)에 복제하는 과정을 포함한다. 이 때, 레플리카 몰드(400)는 복수회 반복 사용 가능하며, 레플리카 몰드(400)가 재사용이 어려워진 경우 마스터 스탬프(300)를 사용하여 레플리카 몰드(400)를 다시 제작할 수 있다.

[0100] 도 14는 실시예에 따른 메타 렌즈 제조방법에 따라 제조된, 메타 렌즈들이 형성되어 있는 웨이퍼에 대한 현미경 사진을 보인다.

[0101] 현미경 사진에 나타나는 바와 같이, CD(critical dimension) 40㎚ 정도의 구조물들이 잘 제작된 것이 확인된다.

[0102] 이러한 제조방법에 따라, 4인치 웨이퍼에서 68개, 6인치 웨이퍼에서 153개, 8인치 웨이퍼에서 272개, 12인치 웨이퍼에서 669개의 메타 렌즈가 대량 생산될 수 있음이 실험적으로 확인되었다. 또한, 4인치 웨이퍼에 형성된 68개의 메타 렌즈에 대한 결함 테스트를 진행한 결과, 65개에서 결함이 검출되지 않아, 즉, 대략 95%의 수율이 달성됨을 확인하였다.

[0103] 도 15은 실시예에 따른 메타 렌즈 제조방법에 따라 제조된 메타 렌즈의 일부를 확대한 현미경 사진들을 보인다.

[0104] 예시된 SEM 이미지들에서, a와 d로 표시된 이미지는 5회 사용된 레플리카 몰드를 활용하여 얻어진 구조를 보이며, b와 e로 표시된 이미지, c와 f로 표시된 이미지는 각각 10회, 20회 사용된 레플리카 몰드를 활용하여 얻어진 구조이다.

[0105] 이러한 실험 결과들은 본 실시예의 제조 방법에 따라 광 효율이 높은 메타 렌즈를 높은 수율로 대량 생산할 수 있음을 보이고 있다. 이러한 결과는 기존의 메타 렌즈 구조나 기존의 메타 렌즈 제조방법에서는 보고된 바 없는 결과이다.

[0106] 예를 들어, 임프린트 공정으로 메타 렌즈를 제조하는 기존 방법에서는 대면적 공정에 사용될 수 있는 물질의 한계로 인해, 설계된 타겟 파장인 특정 파장을 제외하고는 50% 이하의 광효율을 나타내는 것이 보고된 바 있다.

[0107] 가시광 파장 대역에서의 메타 렌즈의 성능 향상을 위한 구조로, 높은 굴절률을 가진 나노 입자를 레진에 혼합하여 메타 렌즈를 제조하는 방법이 시도된 바 있으나, 이와 같이 제작된 메타 렌즈의 수율은 대략 50%정도에 불과하다. 이는 나노 입자를 혼합하기에 적합한 레진 물질을 선택하는 한계에 의한 것으로 볼 수 있다.

[0108] 실시예의 제조 방법에서는 나노 입자를 레진에 혼합하는 과정이 없으므로 사용할 수 있는 레진의 자유도가 높아졌으며, 예를 들어, 별도의 표면처리 없이 후 공정이 진행될 수 있는 low surface energy, low shirinkage 특성을 지닌 레진을 사용할 수 있다.

[0109] 도 16a 내지 도 17c는 실시예에 따른 메타 렌즈의 성능을 보이는 도면들이다.

[0110] 도 16a, 도 16b 및 도 16c는 각각 파장 450㎚, 522㎚, 635㎚인 광에 대한 포커싱 성능을 보이는 광 세기 분포도이다.

[0111] 도 17a, 도 17b, 도 17c는 각각 파장 450㎚, 522㎚, 635㎚인 광에 대한 포커싱 성능을 Strehl raio(SR)로 표현한 그래프이다.

[0112] 실시예의 제조방법에 따라 제조된 메타 렌즈가 가시광 파장 전대역의 광에 대해 양호한 포커싱 성능을 나타냄을 알 수 있다.

[0113] 도 18은 실시예에 따른 메타 렌즈에 의한 MTF(modulation transfer function)를 보이는 그래프이다.

[0114] 측정된 MTF는 이상적인 경우(ideal metalens)의 MTF에 매우 근접한 형태임을 알 수 있다.

[0115] 도 19는 실시예에 따른 메타 렌즈에 의한 해상도 성능을 보이는 도면들이다.

[0116] 메타 렌즈의 해상도 테스트는 1951 USAF negative resolution 타겟을 이용하였고, 3㎛ 이하의 크기가 해상 가능함을 확인하였다.

[0117] 도 20은 실시예에 따른 전자 장치의 개략적인 구조를 보인다.

[0118] 전자 장치(1000)는 디스플레이 소자(600)와 메타 렌즈(100)를 포함한다. 전자 장치(100)는 또한, 디스플레이 소자(600)를 제어하는 프로세서(640)를 더 포함할 수 있다.

[0119] 디스플레이 소자(600)는 영상광을 제공하며, 알려진 다양한 디스플레이 소자를 포함할 수 있고, 예를 들어, LCoS(liquid crystal on silicon) 소자, LCD(liquid crystal display) 소자, OLED(organic light emitting diode) 디스플레이 소자, DMD(digital micromirror device)를 포함할 수 있고, 또한, Micro LED, QD(quantum dot) LED 등의 차세대 디스플레이 소자를 포함할 수 있다.

[0120] 디스플레이 소자(600)에서 제공되는 영상광은 2차원 영상 또는 3차원 영상일 수 있다. 3차원 영상은 예를 들어, 스테레오(stereo) 영상, 홀로그램(hologram) 영상, 라이트 필드(light field) 영상, 또는 IP(integral photography) 영상일 수 있고 또한, 멀티 뷰(multi-view) 혹은 슈퍼 멀티뷰(super multi-view) 방식의 영상을 포함할 수 있다.

[0121] 메타 렌즈(100)는 디스플레이 소자(600)에서 제공된 영상광을 사용자의 시야에 결상할 수 있다. 사용자는 디스플레이 소자(600)에서 제공된 영상을 소정 위치의 가상면(virtual image plane)(VP)에 띄워진(floated) 확대된 영상(600a)으로 인지할 수 있다. 가상면(VP)의 위치나 영상이 확대되는 배율은 메타 렌즈(100)의 초점 거리, 사용자의 눈과 메타 렌즈(100) 간의 거리(d_e), 메타 렌즈(100)와 디스플레이 소자(600) 간의 거리 등에 의해 정해진다. 시야각(FOV)은 사용자의 눈과 메타 렌즈(100) 간의 거리(d_e) 및 메타 렌즈(100)의 유효경(a_l)에 의해 정해질 수 있다.

[0122] 전자 장치(100)는 가상 현실(virtual reality) 장치로 활용될 수 있으며, eye-wearable 한 형태로 구현될 수 있다.

[0123] 도 21은 실시예에 따른 메타 렌즈가 가상 현실 장치에 적용될 수 있음을 실험적으로 보이는 사진들이다.

[0124] 도 21에 예시된 사진들은 마이크로 디스플레이를 통해 띄워진 화면을 메타 렌즈를 통해 결상한 후, 이를 휴대폰으로 촬영한 것이다.

[0125] 도 22는 다른 실시예에 따른 전자 장치의 개략적인 구조를 보인다.

[0126] 전자 장치(2000)는 영상광(IL)을 제공하는 디스플레이 소자(600), 영상광(IL)을 사용자의 시야에 결상하는 메타 렌즈(100)를 포함한다. 전자 장치(2000)는 또한, 영상광(IL)이 사용자의 시야를 향하는 경로에 배치된 빔 스플리터(700) 및 디스플레이 소자(600)를 제어하는 프로세서(650)를 더 포함할 수 있다.

[0127] 빔 스플리터(700)는 영상광(IL)의 경로를 사용자의 시야를 향하는 방향으로 바꿀 수 있다. 빔 스플리터(700)는 또한, 사용자 주변 환경(ENV)에서 오는 주변광(EL)을 사용자의 시야쪽으로 투과시킬 수 있다. 빔 스플리터(700)는 하프 미러(half mirro)일 수 있고, 또는 편광 빔 스플리터일 수 있다. 빔 스플리터(700)의 종류에 따라, 추가적인 광학 요소가 영상광(IL)의 경로나, 주변광(EL)의 경로에 더 마련될 수도 있다.

[0128] 프로세서(650)는 예를 들어, 사용자가 주시하는 환경에 알맞은 부가영상을 출력하도록 디스플레이 소자(600)를 제어할 수 있다.

[0129] 사용자는 디스플레이 소자(600)에서 제공되는 영상광(IL)을 사용자 전방의 소정 거리에 위치한 가상면(VP)에 띄

워진 확대된 영상으로 인지하게 되고, 또한, 주변광(IL)도 함께 인지할 수 있다.

[0130] 이러한 전자 장치(2000)는 증강 현실(Augmented reality) 장치로 활용될 수 있다.

[0131] 도 23은 또 다른 실시예에 따른 전자 장치의 개략적인 구조를 보인다.

[0132] 전자 장치(3000)는 메타 렌즈(100)를 포함하는 렌즈 어셈블리(800)와, 렌즈 어셈블리(800)에 의해 형성된 피사체(OBJ)의 광학 상(optical image)를 전기적 신호로 바꾸는 이미지 센서(900)와, 이미지 센서(900)에서의 신호를 처리하는 프로세서(image signal processor, ISP)(900)를 포함한다.

[0133] 렌즈 어셈블리(800)는 메타 렌즈(100)외에 추가적인 렌즈부(850)를 더 포함할 수 있다. 렌즈부(850)는 하나 이상의 렌즈를 포함할 수 있으며, 하나 이상의 렌즈는 일반적인 굴절 렌즈이거나, 또는 메타 렌즈일 수도 있다.

[0134] 메타 렌즈(100)의 위치는 도시된 위치로 한정되는 것은 아니며, 렌즈 어셈블리(800) 내의 임의의 적절한 위치, 또는 렌즈부(850) 내의 임의의 적절한 위치로 변경될 수도 있다.

[0135] 상술한 메타 렌즈, 메타 렌즈의 제조 방법, 및 메타 렌즈를 포함하는 전자장치는 도면에 도시된 실시예를 참고로 설명되었으나, 이는 예시적인 것에 불과하며, 당해 분야에서 통상적 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 타 실시예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 그러므로 개시된 실시예들은 한정적인 관점이 아니라 설명적인 관점에서 고려되어야 한다. 본 명세서의 범위는 전술한 설명이 아니라 특허청구범위에 나타나 있으며, 그와 동등한 범위 내에 있는 모든 차이점은 포함된 것으로 해석되어야 할 것이다.

부호의 설명

[0136] 100, 500: 메타 렌즈

135: 고굴절 원자층

110, 510: 기판

NS: 나노구조물

200: 레티클

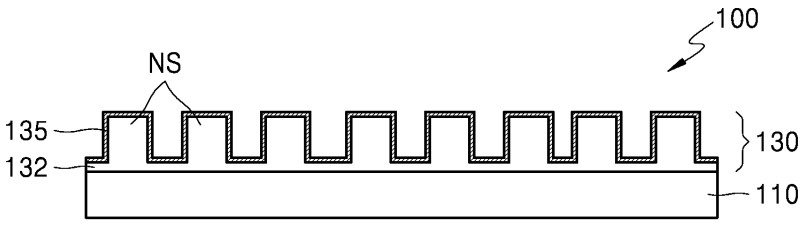
300: 마스터 스탬프

400: 레플리카 몰드

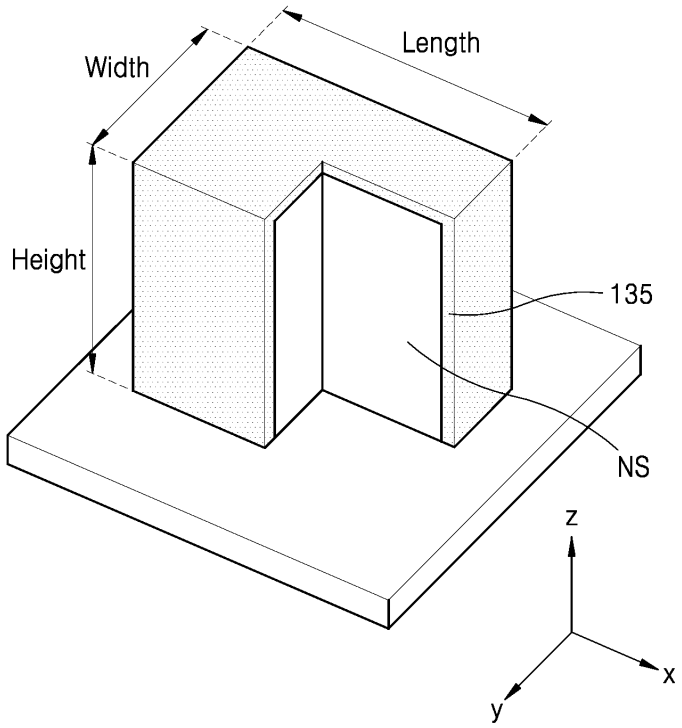
1000, 2000, 3000: 전자 장치

도면

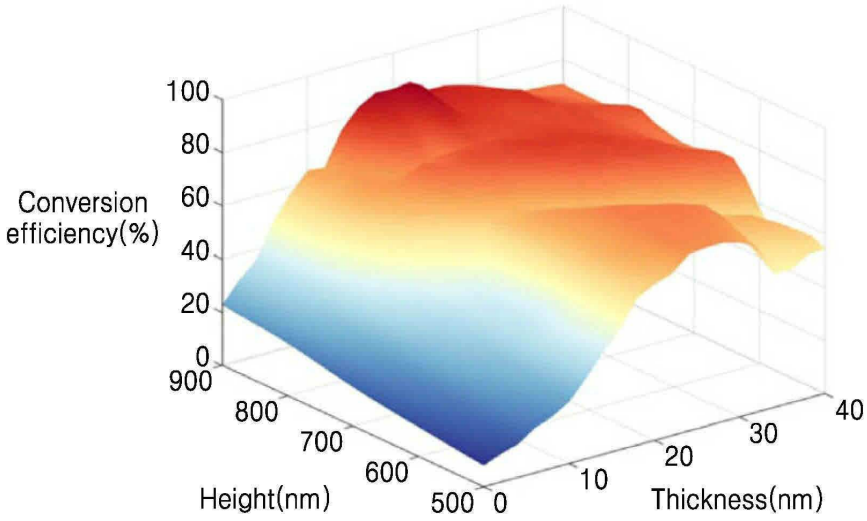
도면1



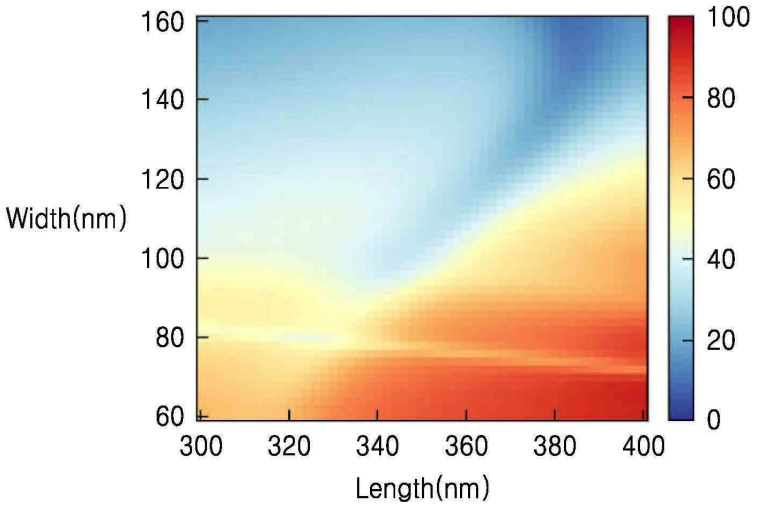
도면2


Width
Length
Height
135
NS
z
x
y

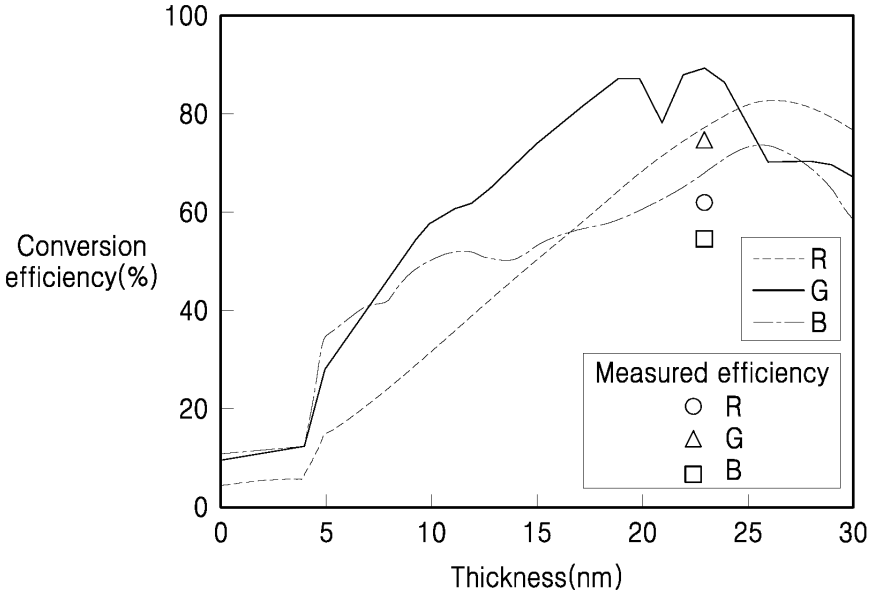
도면3


Conversion efficiency(%)
100
80
60
40
20
0
900
800
700
600
500
Height(nm)
0
10
20
30
40
Thickness(nm)

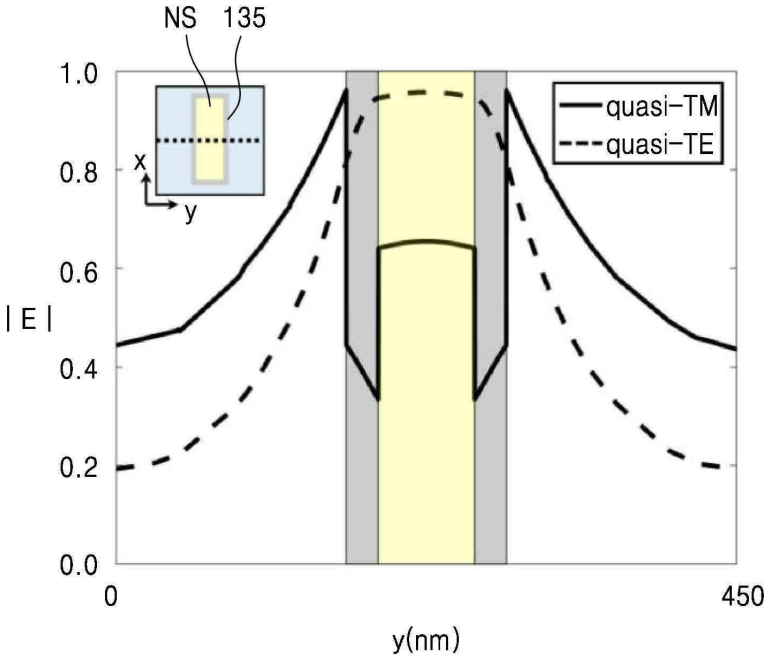
도면4


160
140
120
100
80
60
Width(nm)
300
320
340
360
380
400
Length(nm)
100
80
60
40
20
0

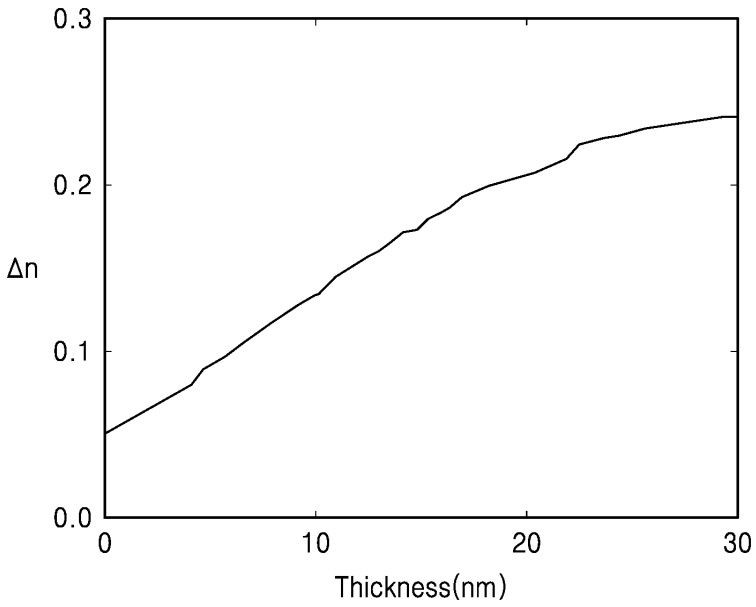
도면5


100
80
60
40
20
0
Conversion efficiency(%)
0
5
10
15
20
25
30
Thickness(nm)
R
G
B
Measured efficiency
R
G
B

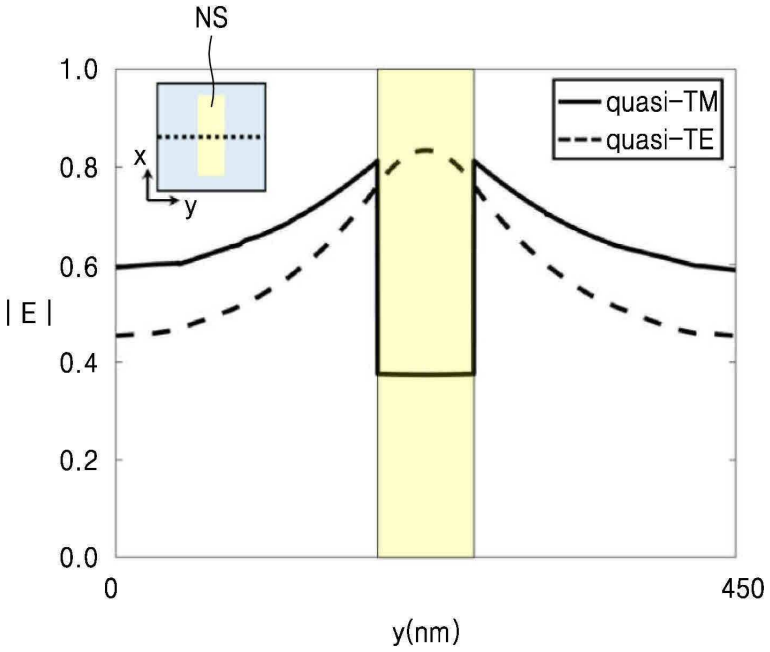
도면6


NS
135
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
| E |
x
y
quasi-TM
quasi-TE
0
450
y(nm)

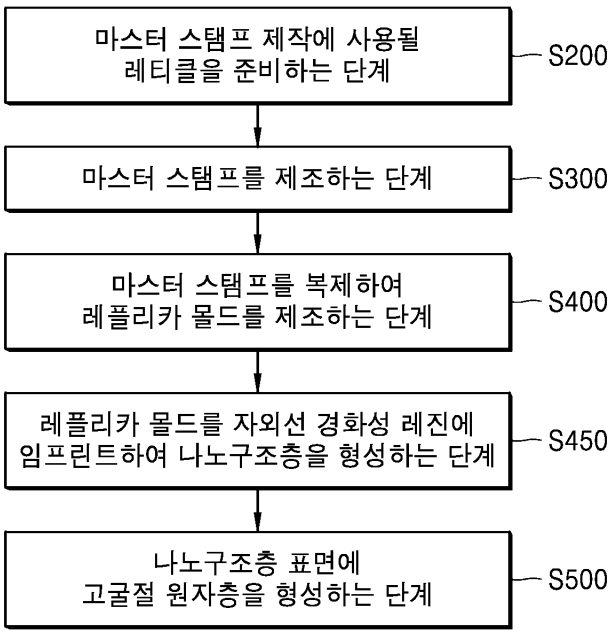
도면7


0.3
0.2
0.1
0.0
Δn
0
10
20
30
Thickness(nm)

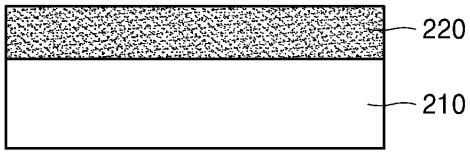
도면8



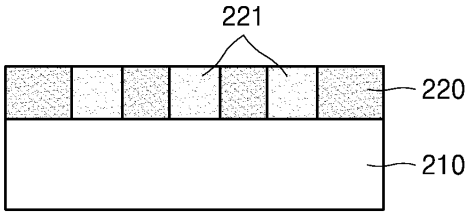
도면9



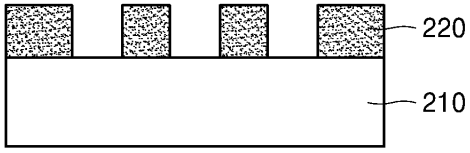
도면10a



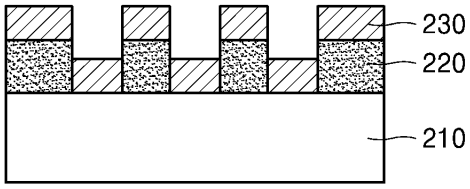
도면10b



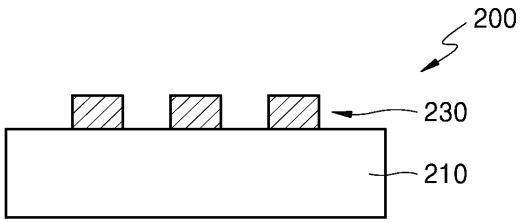
도면10c



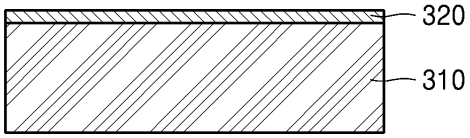
도면10d



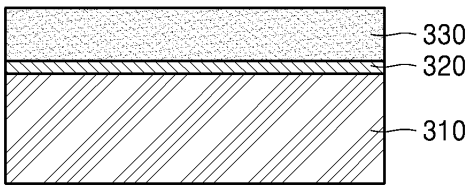
도면10e



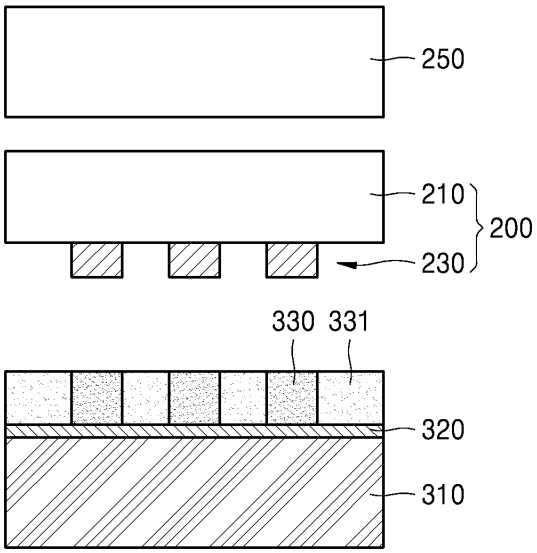
도면11a



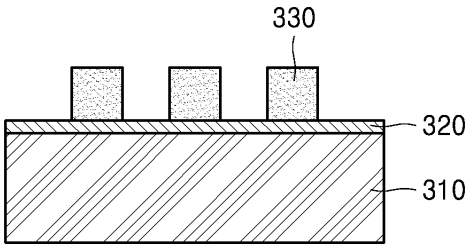
도면11b



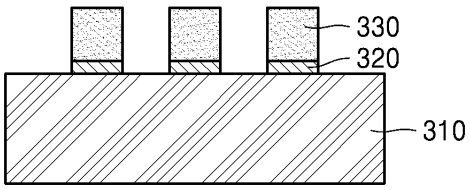
도면11c



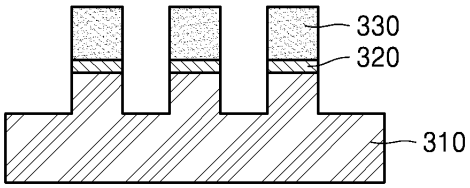
도면11d



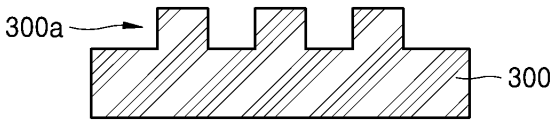
도면11e



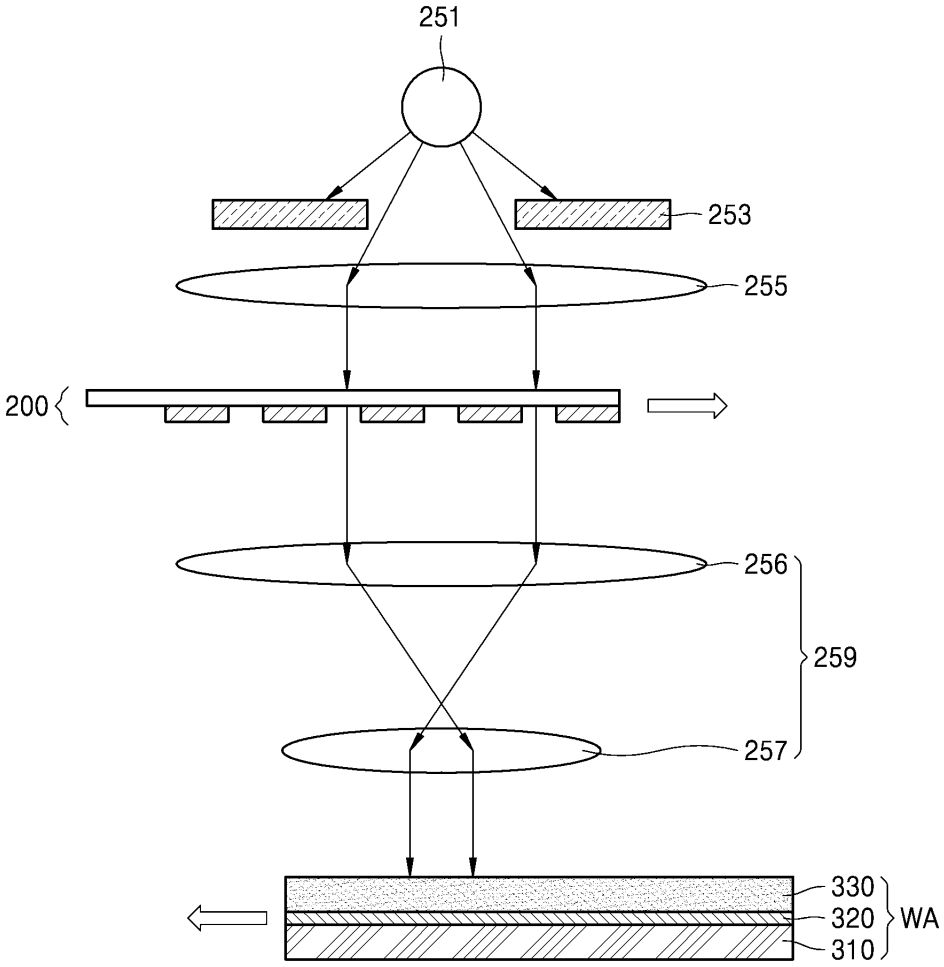
도면11f



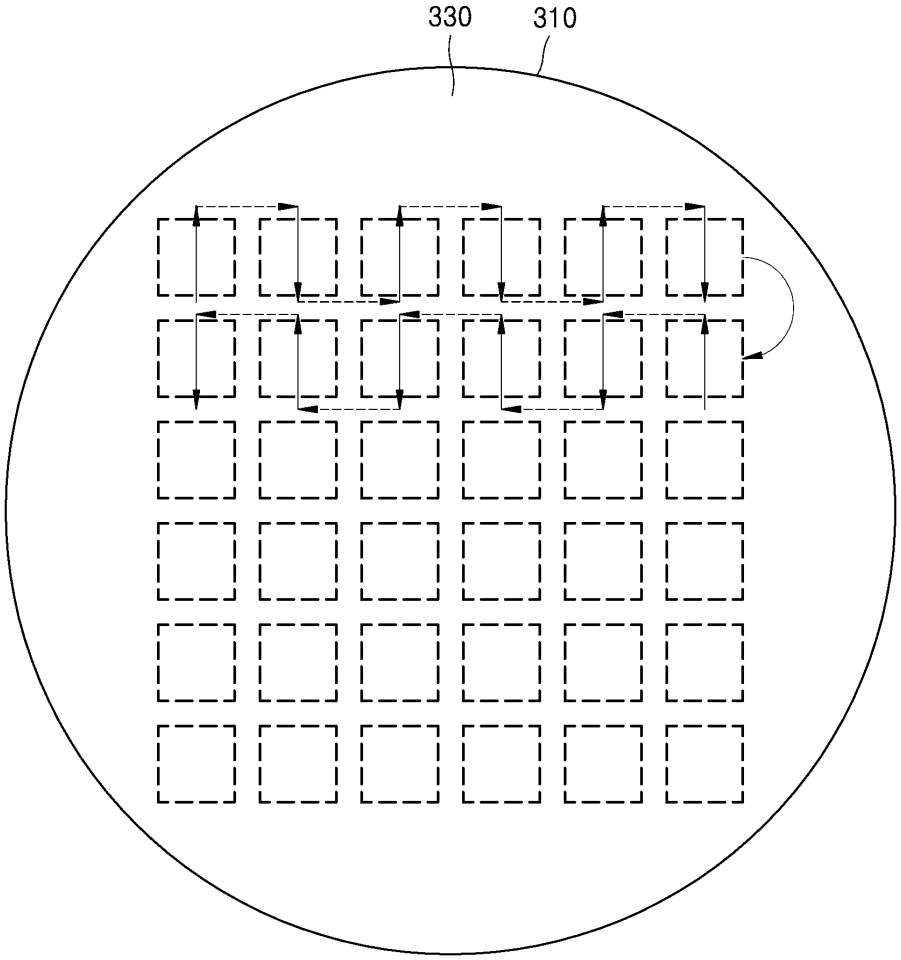
도면11g



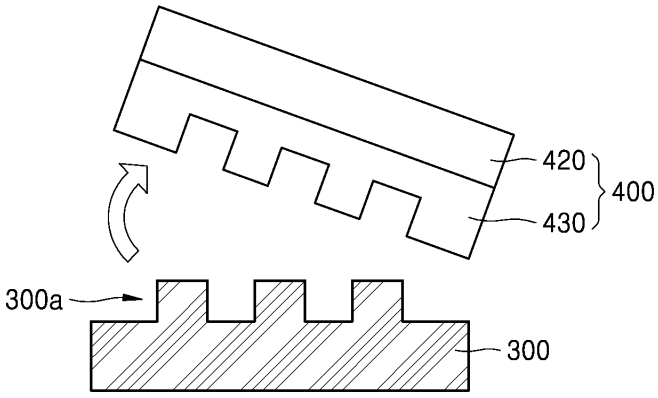
도면12a



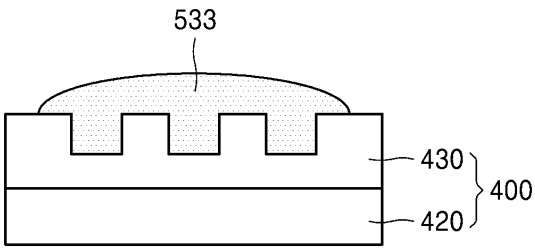
도면12b



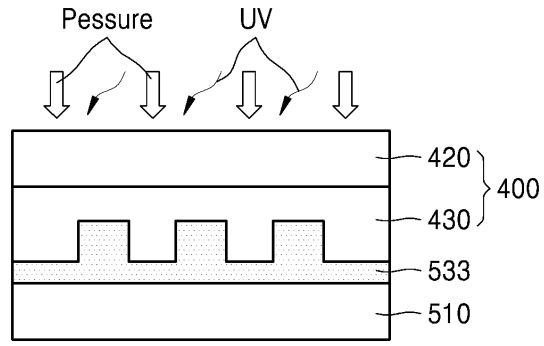
도면13a



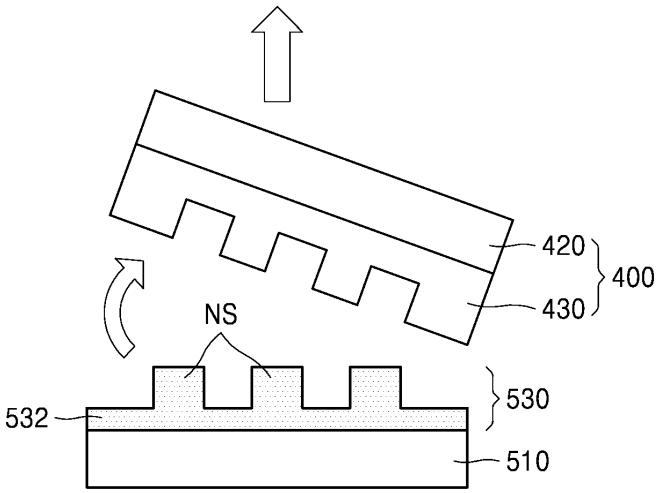
도면13b



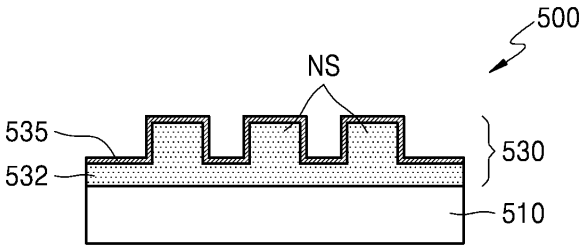
도면13c



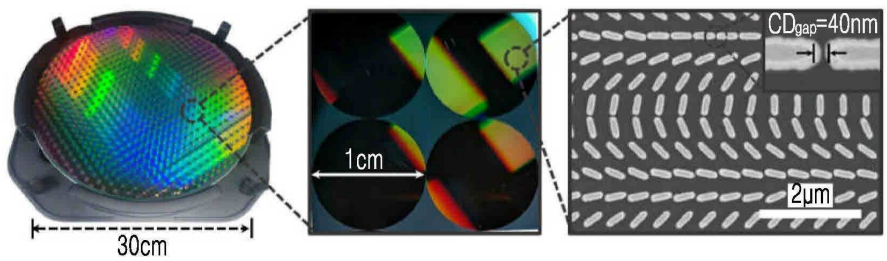
도면13d



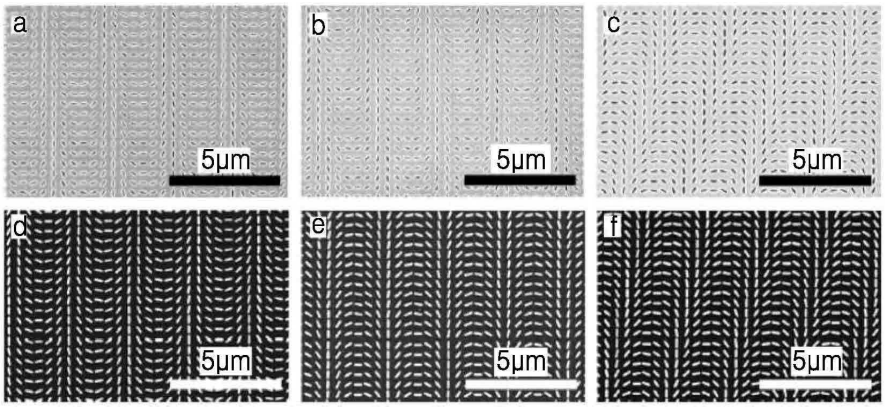
도면13e



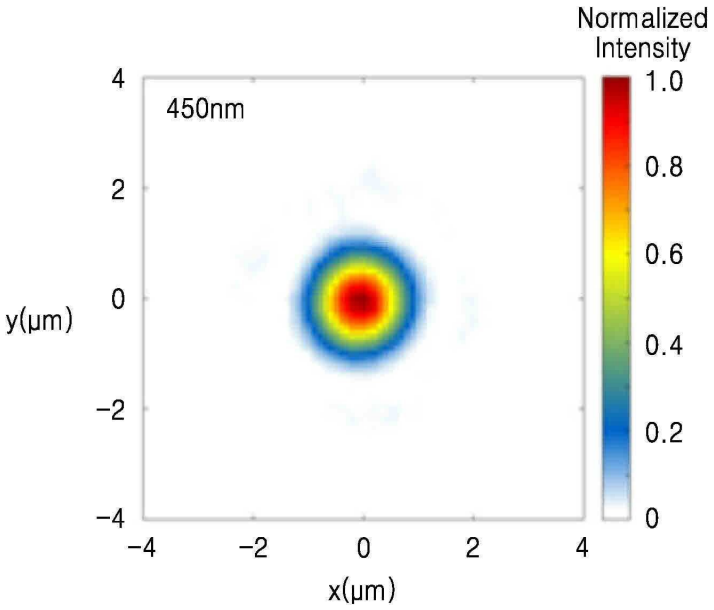
도면14



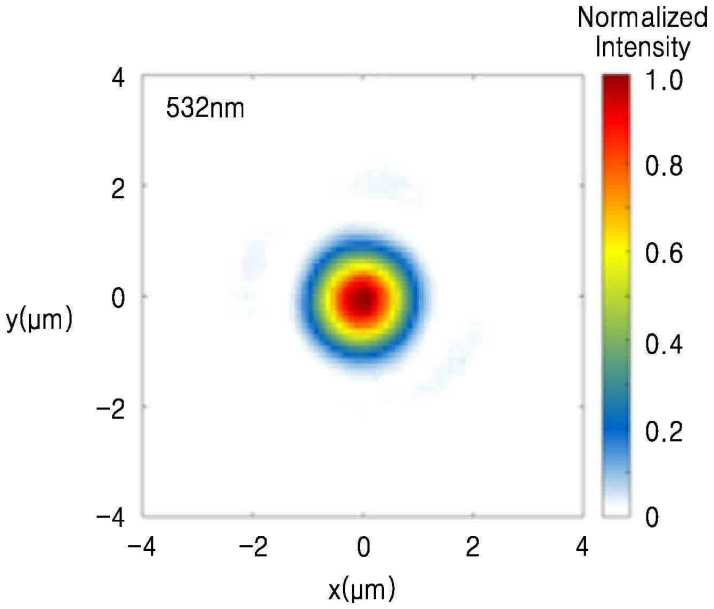
도면15



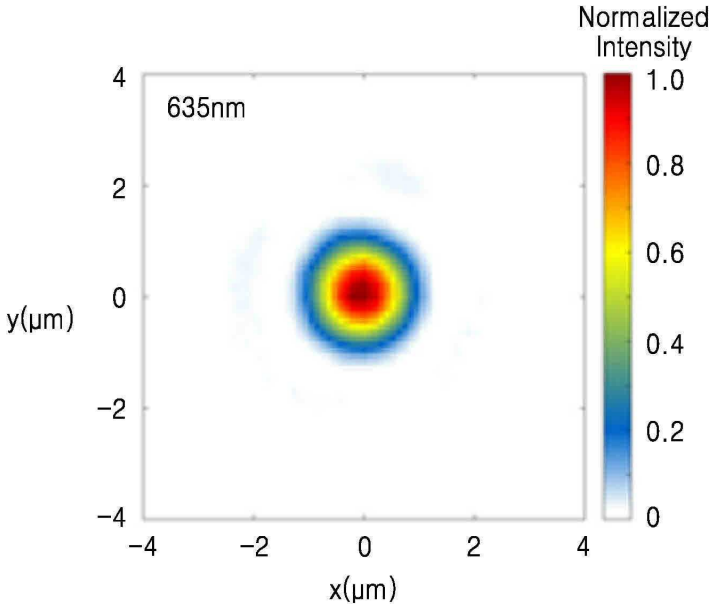
도면16a



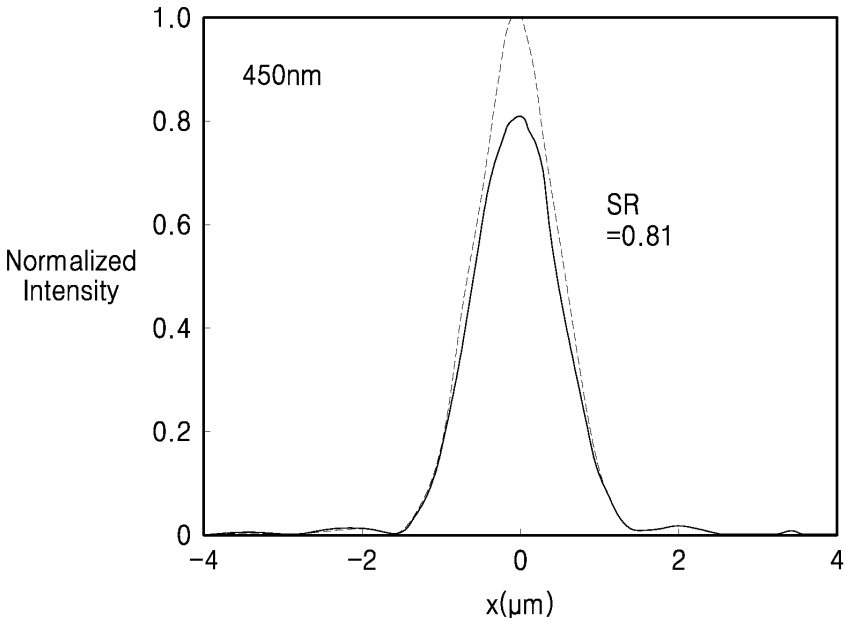
도면16b



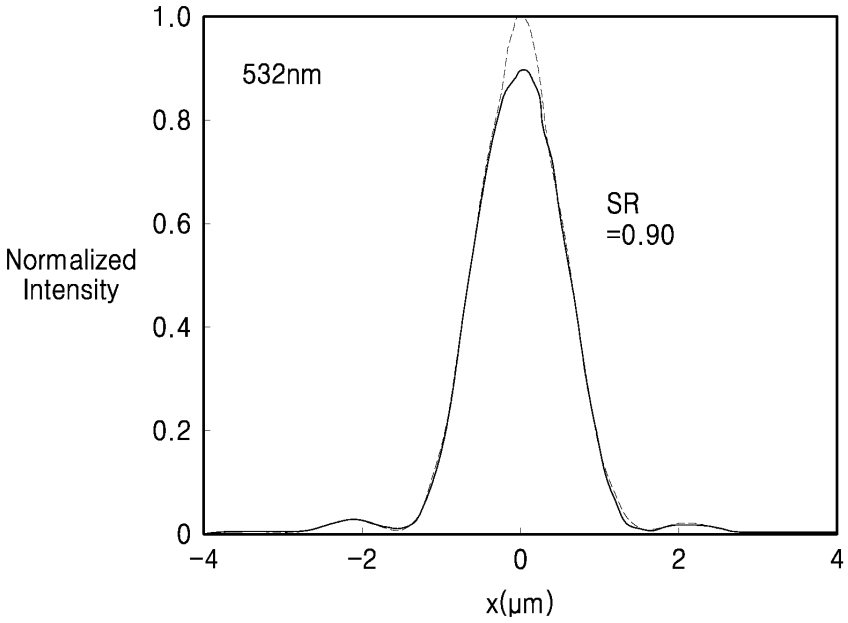
도면16c


Normalized
Intensity
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0
635nm
4
2
0
−2
−4
y(μm)
−4
−2
0
2
4
x(μm)

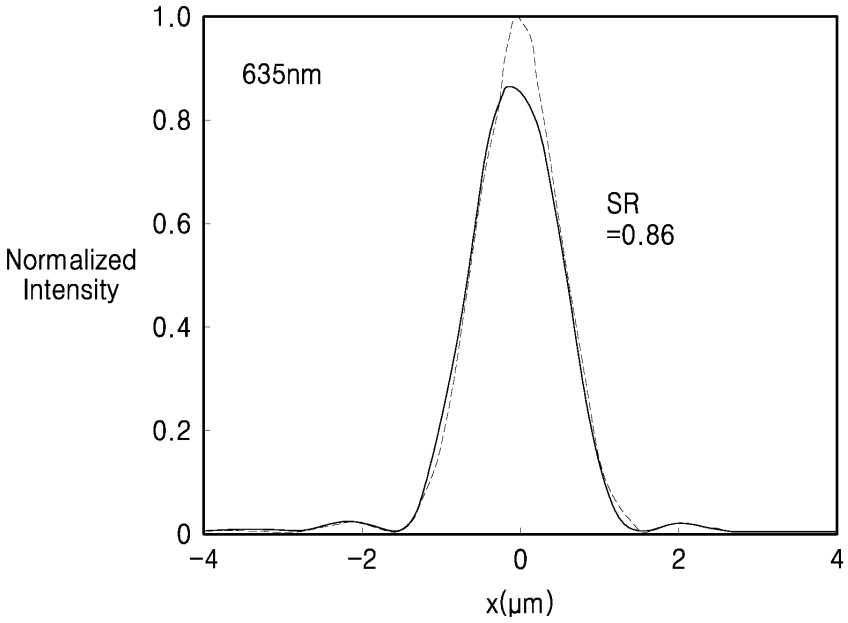
도면17a


1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0
450nm
SR
=0.81
Normalized
Intensity
−4
−2
0
2
4
x(μm)

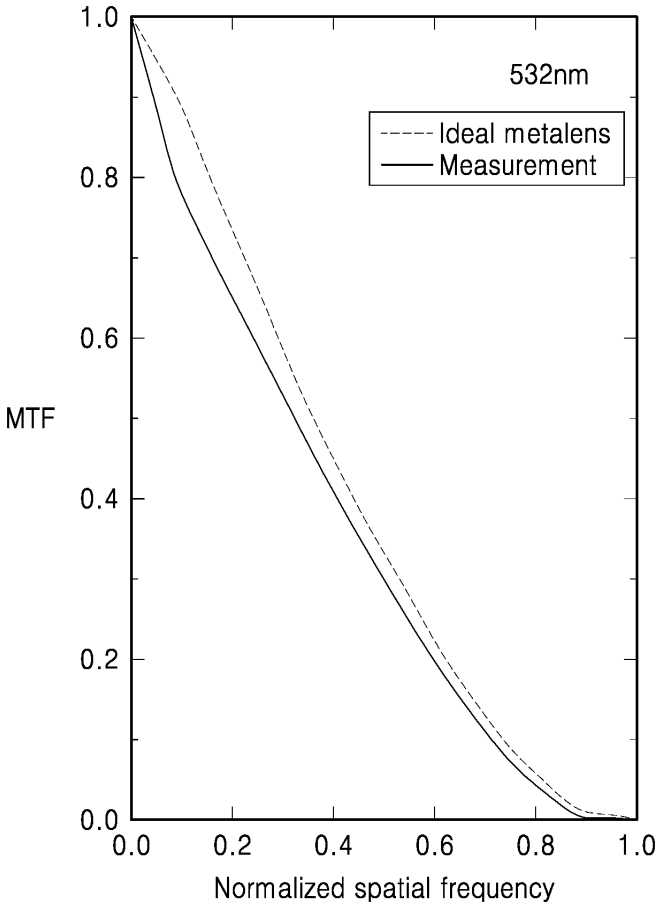
도면17b


1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0
Normalized Intensity
532nm
SR
=0.90
−4
−2
0
2
4
x(μm)

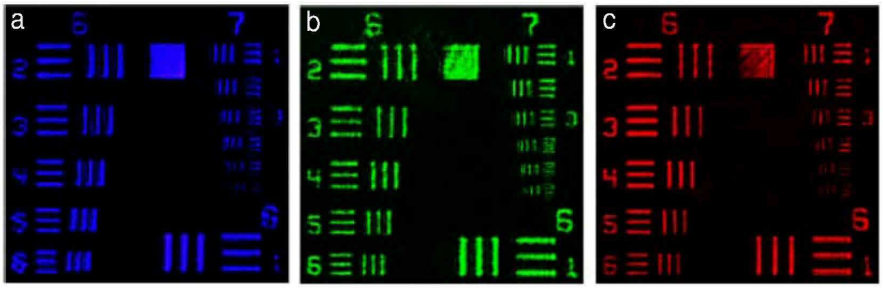
도면17c


1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0
Normalized Intensity
635nm
SR
=0.86
−4
−2
0
2
4
x(μm)

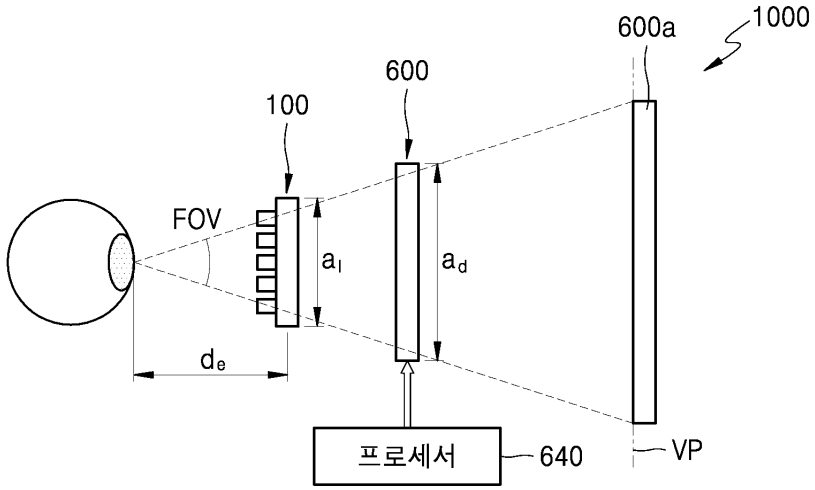
도면18


1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
MTF
0.0
0.2
0.4
0.6
0.8
1.0
Normalized spatial frequency
532nm
Ideal metalens
Measurement

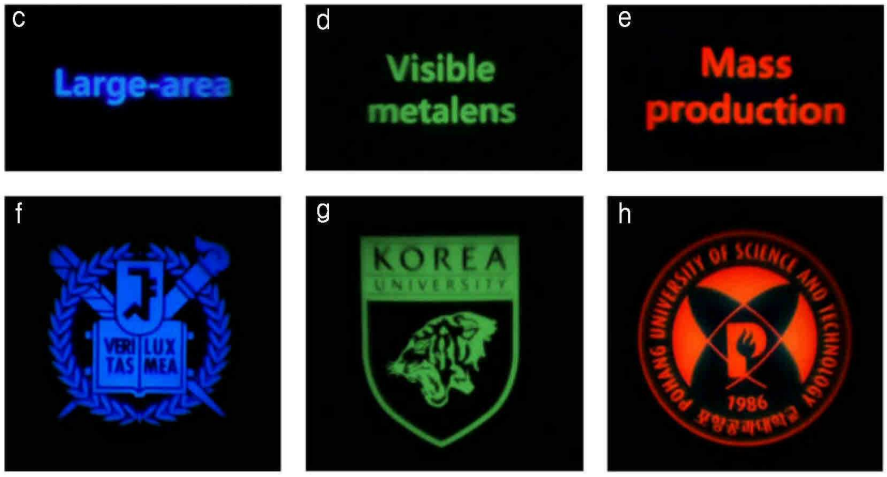
도면19


a
b
c

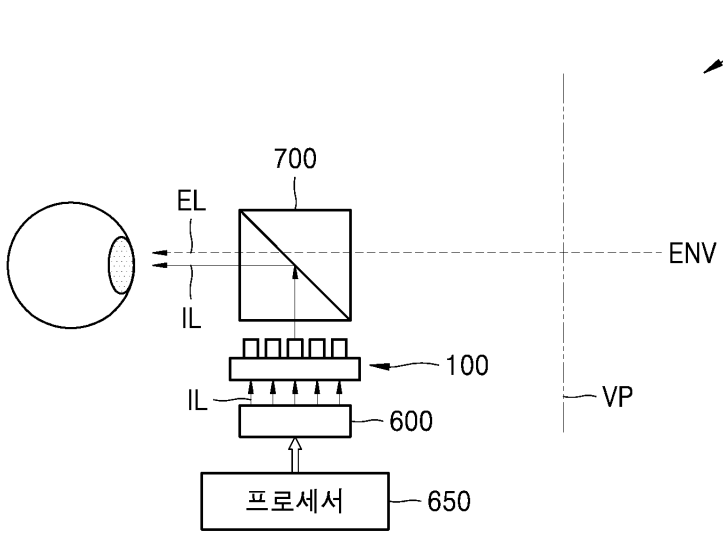
도면20



도면21



도면22



도면23

