



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2024년10월15일
(11) 등록번호 10-2718309
(24) 등록일자 2024년10월11일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G02B 27/09 (2006.01) H01L 27/146 (2006.01)
H01L 31/0232 (2014.01) H01L 33/58 (2010.01)
- (52) CPC특허분류
G02B 27/0916 (2013.01)
G02B 27/0927 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2020-7008795
- (22) 출원일자(국제) 2018년08월31일
심사청구일자 2021년08월25일
- (85) 번역문제출일자 2020년03월26일
- (65) 공개번호 10-2020-0047612
- (43) 공개일자 2020년05월07일
- (86) 국제출원번호 PCT/US2018/049276
- (87) 국제공개번호 WO 2019/046827
국제공개일자 2019년03월07일
- (30) 우선권주장
62/552,455 2017년08월31일 미국(US)
- (56) 선행기술조사문헌
US20160306079 A1*
US20170003169 A1
US20160077261 A1
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

- (73) 특허권자
메탈렌츠 인코포레이티드
미국 02114 매사추세츠 보스턴 스위트 600 포틀랜드 스트리트 205
- (72) 발명자
라일리 길버트 엔. 주니어.
미국 01752 매사추세츠 말버러 헤멘웨이 스트리트 630
데블린 로버트
미국 19001 필라델피아 애빙턴 노우드 애비뉴 2472
(뒷면에 계속)
- (74) 대리인
유미특허법인

전체 청구항 수 : 총 26 항

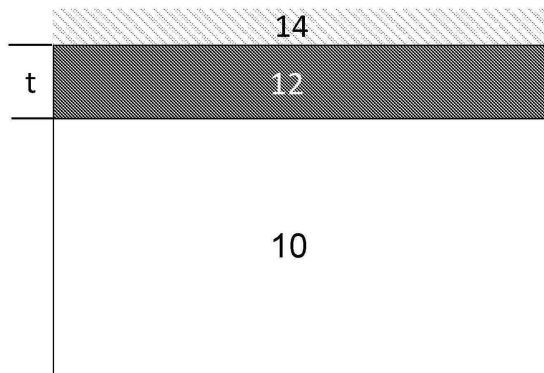
심사관 : 송병준

(54) 발명의 명칭 투과성 메타표면 렌즈 통합

(57) 요약

메타표면 소자, 이러한 메타표면 소자를 광원 및/또는 검출기와 통합하는 통합 시스템, 및 이러한 광학 장치의 제조 및 작동 방법 및 통합 시스템이 제공된다. 투과성 메타표면을 다른 반도체 장치 또는 추가적인 메타표면 소자와 통합하기 위한 시스템 및 방법, 특히 이러한 메타표면을 기관, 조명원 및 센서와 통합하기 위한 시스템 및 방법이 제공된다. 제공된 메타표면 소자는 조명원으로부터의 출력 광을 형상화하거나 장면으로부터 반사된 광을 수집하여 광의 편광을 사용하여 2개의 고유한 패턴을 형성하는 데 사용될 수 있다. 이러한 실시태양에서, 형상-방출 및 수집은 단일 공동 디자인 프로빙 및 감지 광학 시스템으로 결합될 수 있다.

대표도 - 도1a



(52) CPC특허분류

H01L 27/14625 (2013.01)

H01L 31/02327 (2013.01)

H01L 33/58 (2013.01)

(72) 발명자

에블리치 아담

미국 02476 매사추세츠 알링턴 매사추세츠 애비뉴
741

라타위엑 파웰

미국 02134 매사추세츠 알스톤 아파트먼트 10 가드
너 스트리트 15

그라프 존

미국 01907 매사추세츠 스왈스콧 위커 로드 25

명세서

청구범위

청구항 1

하나 이상의 메타표면 소자 또는 시스템을 제작하는 방법으로서,

기관이 적어도 하나의 표면상에 하드 마스크 재료층을 증착하는 단계 - 여기서 기관은 특정 동작 대역폭에 걸쳐 광에 투명함;

하드 마스크 재료층 상에 패턴 재료층을 증착하는 단계;

패턴 재료를 패터닝하여 하드 마스크 층 위에 어레이 패턴을 형성하는 단계 - 어레이 패턴은 메타표면 피쳐 어레이(feature array)의 양의 또는 음의 재생 중 하나를 포함하며, 메타표면 피쳐 어레이는 특정 동작 대역폭 내에서 광 파장보다 작은 피쳐 크기(feature size)를 가진 복수의 메타표면 피쳐를 포함하며 복수의 메타표면 피쳐의 평면 내에서 충돌 광에 위상 변이를 부여하도록 구성됨;

이방성 식각 공정을 사용하여 하드 마스크 층을 식각하여 하드 마스크의 어레이 패턴에 상응하는 복수의 공간 및 용기된 피쳐를 형성하는 단계;

하드 마스크 층의 상부로부터 잔류 패턴 재료를 제거하는 단계;

패턴화된 하드 마스크 재료층 상에 유전체 메타표면 재료층을 증착하여 메타표면 재료층이 하드 마스크 재료층의 공간을 채우고 하드 마스크 재료층의 용기된 피쳐 위로 연장되어 메타표면 재료의 덮개층(over-layer)을 하드 마스크 층 상부에 형성하는 단계; 및

덮개층을 평탄화하여 메타표면 재료층 및 하드 마스크 층이 기관 위에 균일한 높이로 끝나게 하는 단계를 포함하는, 방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

기관은 용융 실리카, 사파이어, 붕규산 유리 및 희토류 산화물 유리로 이루어진 그룹으로부터 선택된 재료로 형성되며;

하드 마스크 재료층은 실리콘, 다양한 화학량론의 실리콘 질화물, 실리콘 이산화물, 이산화 티타늄, 알루미늄으로 이루어진 그룹으로부터 선택된 재료로 형성되고, 스퍼터링, 화학적 기상 증착 및 원자층 증착으로 이루어진 그룹으로부터 선택된 증착 공정을 사용하여 배치되며;

패턴 재료층은 리소그래피 공정을 사용하여 패턴화된 포토레지스트 또는 나노임프린트 공정을 사용하여 패턴화된 폴리머 중 하나로부터 형성되며;

어레이 패턴은 SF₆, Cl₂, BCl₃, 및 C₄F₈로 이루어진 그룹으로부터 선택된 반응성 이온 식각 공정을 사용하여 식각되며;

잔류 패턴 재료는 화학적 용매, 화학적 식각제 및 플라즈마 식각제로 이루어진 그룹으로부터 선택된 공정을 사용하여 제거되는 방법.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

패턴화된 하드 마스크 재료는 유전체이고 메타표면 소자의 메타표면 피쳐를 형성하는 방법.

청구항 4

삭제

청구항 5

제 1 항에 있어서,

메타표면 재료층은 실리콘, 다양한 화학량론의 실리콘 질화물, 이산화규소, 이산화티탄, 알루미늄으로부터 선택된 재료로 형성되고, 화학적 기상 증착 및 원자층 증착의 그룹으로부터 선택된 컨포멀 공정을 사용하여 증착되고; 및

평탄화는 습식 식각 및 플라즈마 식각 또는 화학적-기계적 평탄화 기술로 이루어진 그룹으로부터 선택된 식각 공정으로부터 선택된 공정을 사용하는 방법.

청구항 6

제 1 항에 있어서,

공간에 배치된 메타표면 재료는 메타표면 소자의 메타표면 피처를 형성하고, 하드 마스크 재료는 특정 작동 대역폭에서 메타표면 재료보다 낮은 굴절률을 갖는 매립 재료로서 구성되는 방법.

청구항 7

제 6 항에 있어서,

하드 마스크 재료는 특정 작동 대역폭에 대해 무시할만한 흡수를 가지며 특정 작동 대역폭에서 1 내지 2.4의 굴절률을 갖는 방법.

청구항 8

제 1 항에 있어서,

선택적 식각을 사용하여 하드 마스크 재료층을 제거하여 패터화된 하드 마스크의 공간에 배치된 메타표면 재료층이 하드 마스크 재료층의 제거 후 기관의 표면에 잔존하여 복수의 공극에 의해 분리된 복수의 분리된 메타표면 피처를 형성하는 단계를 추가로 포함하는 방법.

청구항 9

제 8 항에 있어서,

분리된 메타표면 피처 상에 매립 재료층을 증착시켜 피처 사이의 공극이 채워지고 매립 재료층이 메타표면 재료층의 표면 위로 연장되는 단계를 추가로 포함하며, 여기서 매립 재료층은 특정 작동 대역폭에서 메타표면 재료보다 낮은 굴절률을 갖는 방법.

청구항 10

제 9 항에 있어서,

매립 재료는 폴리(메틸 메타크릴레이트) 및 벤조사이클로부텐으로 이루어진 그룹에서 선택된 폴리머 또는 SU-8 포토레지스트인 방법.

청구항 11

제 9 항에 있어서,

매립 재료는 이산화규소, 산화알루미늄, 이산화티탄, 질화규소, 산화 하프늄, 산화아연 및 스핀-온-글래스 (spin-on-glass)로 이루어진 그룹으로부터 선택된 고체 필름인 방법.

청구항 12

제 9 항에 있어서,

매립 재료층을 평탄화하여 메타표면 재료층 및 매립 재료층이 기관 위에 균일한 높이로 끝나게 하는 단계를 추가로 포함하는 방법.

청구항 13

제 12 항에 있어서,

메립 재료층 및 메타표면 소자의 반대편에 배치된 기관의 측면의 하나 또는 둘 모두 위에 반사 방지 코팅을 증착시키는 단계를 추가로 포함하는 방법.

청구항 14

제 13 항에 있어서,

반사 방지 코팅은 이산화규소, 이산화티탄, 산화알루미늄, 질화규소, 질화알루미늄 및 비정질 규소로 이루어진 그룹으로부터 선택된 임의의 조합의 재료의 교대층으로 구성되며, 여기서 교대층의 각각은 동작 대역폭 내에서 광의 파장보다 작은 두께를 갖는 방법.

청구항 15

제 1 항에 있어서,

기관은 조명기 또는 센서 위에 배치된 것 중 하나이거나 자체가 조명기 또는 센서인 방법.

청구항 16

하나 이상의 메타표면 소자 또는 시스템을 제작하는 방법으로서,

기관의 적어도 하나의 표면상에 하드 마스크 재료층을 증착하는 단계 - 여기서 기관은 특정 동작 대역폭에 걸쳐 광에 투명함;

하드 마스크 재료층 상에 패턴 재료층을 증착하는 단계;

패턴 재료를 패터닝하여 하드 마스크 층 위에 어레이 패턴을 형성하는 단계 - 어레이 패턴은 메타표면 피쳐 어레이(feature array)의 양의 또는 음의 재생 중 하나를 포함하며, 메타표면 피쳐 어레이는 특정 동작 대역폭 내에서 광 파장보다 작은 피쳐 크기(feature size)를 가진 복수의 메타표면 피쳐를 포함하며 복수의 메타표면 피쳐의 평면 내에서 층돌 광에 위상 변이를 부여하도록 구성됨;

이방성 식각 공정을 사용하여 하드 마스크 층을 식각하여 하드 마스크의 어레이 패턴에 상응하는 복수의 공간 및 융기된 피쳐를 형성하는 단계;

하드 마스크 층의 상부로부터 잔류 패턴 재료를 제거하는 단계를 포함하고,

기관은 표적 광학 시스템과 함께 사용하기에 부적합한 기관 두께를 가지며, 상기 방법은,

분쇄 또는 화학적 식각 중 하나 또는 둘 모두를 통해 기관의 후측면의 적어도 일부를 제거하는 단계; 및

메타표면 피쳐 어레이의 기관에 추가의 기관을 정렬시키고 융합시키는 단계 중 적어도 하나를 더 포함하는, 방법.

청구항 17

제 16 항에 있어서,

추가 기관 자체는 한 표면에 배치된 메타표면 소자를 가지며, 여기서 기관 및 추가 기관은 상대 메타표면 소자가 배치된 표면의 반대편 표면을 따라 융합되는 방법.

청구항 18

제 16 항에 있어서,

융합 방법은 600°C 미만의 열 소모 비용을 갖는 결합 공정을 사용하는 방법.

청구항 19

제 18 항에 있어서,

결합 공정은 광학 에폭시, 벤조사이클로부텐, UV 경화 폴리머, SU8 및 플라즈마 활성화 이산화규소 막의 그룹으로부터 선택된 접착제를 사용하는 웨이퍼 결합 공정인 방법.

청구항 20

제 18 항에 있어서,

융합 전에 기관의 하나 또는 둘 모두의 후측면의 적어도 일부를 제거하는 단계를 추가로 포함하는 방법.

청구항 21

하나 이상의 메타표면 소자 또는 시스템을 제작하는 방법으로서,

기관의 적어도 하나의 표면에 하드 마스크 재료층을 증착하는 단계 - 여기서 기관은 특정 동작 대역폭에 걸쳐 광에 투명함;

하드 마스크 재료층 상에 패턴 재료층을 증착하는 단계;

패턴 재료를 패터닝하여 하드 마스크 층 위에 어레이 패턴을 형성하는 단계 - 어레이 패턴은 메타표면 피처 어레이(feature array)의 양의 또는 음의 재생 중 하나를 포함하며, 메타표면 피처 어레이는 특정 동작 대역폭 내에서 광 파장보다 작은 피처 크기(feature size)를 가진 복수의 메타표면 피처를 포함하며 복수의 메타표면 피처의 평면 내에서 층돌 광에 위상 변이를 부여하도록 구성됨;

이방성 식각 공정을 사용하여 하드 마스크 층을 식각하여 하드 마스크의 어레이 패턴에 상응하는 복수의 공간 및 용기된 피처를 형성하는 단계;

하드 마스크 층의 상부로부터 잔류 패턴 재료를 제거하는 단계를 포함하고,

상기 방법은, 제 1 기관의 제 1 측면 상에 적어도 제 1 메타표면 소자를 형성하고 제 2 기관의 제 1 측면 상에 적어도 제 2 메타표면 소자를 형성하는 단계 및 600°C 미만의 온도에서 일어나는 결합 공정을 사용하여 상기 기관의 제 1 측면의 반대편 측면을 따라 함께 제 1 및 제 2 기관을 융합하는 단계를 추가로 포함하는 방법.

청구항 22

제 1 항, 제 16 항 및 제 21 항 중 어느 한 항에 있어서,

복수의 메타표면 피처는 불균일한 방법.

청구항 23

제 1 항, 제 16 항 및 제 21 항 중 어느 한 항에 있어서,

복수의 메타표면 피처는 메타표면 피처의 치수에 기초하여 미리 결정된 양만큼 이상적인 형상과 달라지는 방법.

청구항 24

하나 이상의 메타표면 소자 또는 시스템을 제작하는 방법으로서,

기관의 적어도 하나의 표면에 하드 마스크 재료층을 증착하는 단계 - 여기서 기관은 특정 동작 대역폭에 걸쳐 광에 투명함;

하드 마스크 재료층 상에 패턴 재료층을 증착하는 단계;

패턴 재료를 패터닝하여 하드 마스크 층 위에 어레이 패턴을 형성하는 단계 - 어레이 패턴은 메타표면 피처 어레이(feature array)의 양의 또는 음의 재생 중 하나를 포함하며, 메타표면 피처 어레이는 특정 동작 대역폭 내에서 광 파장보다 작은 피처 크기(feature size)를 가진 복수의 메타표면 피처를 포함하며 복수의 메타표면 피처의 평면 내에서 층돌 광에 위상 변이를 부여하도록 구성됨;

이방성 식각 공정을 사용하여 하드 마스크 층을 식각하여 하드 마스크의 어레이 패턴에 상응하는 복수의 공간 및 용기된 피처를 형성하는 단계;

하드 마스크 층의 상부로부터 잔류 패턴 재료를 제거하는 단계를 포함하고,

메타표면 피처 어레이는 매립되고 평탄화되고, 특정 동작 대역폭 내에서 광의 파장과 동일하거나 그보다 작은

거리만큼 서로로부터 갈라져 나온 메타표면 피치의 두 층을 포함하여 메타표면 피치의 두 층은 함께 작동하여 층돌 광에 위상 변이를 추가하는 방법.

청구항 25

제 1 항, 제 16 항, 제 21 항 및 제 24 항 중 어느 한 항에 있어서,

복수의 메타표면 피치는 불균일하고 메타표면 피치의 치수에 기초하여 미리 결정된 양만큼 이상적인 형태와 달라지고, 이상적인 형상은 정사각형이고, 이상적인 정사각형이 200nm 미만의 측면 치수를 갖는 경우, 메타표면 피치는 원형으로 형성되고, 이상적인 정사각형이 300nm 미만의 측면 치수를 갖는 경우, 메타표면 피치는 둥근 모서리를 갖는 정사각형으로 형성되는 방법.

청구항 26

하나 이상의 메타표면 소자 또는 시스템을 제작하는 방법으로서,

기판의 적어도 하나의 표면상에 하드 마스크 재료층을 증착하는 단계 - 여기서 기판은 특정 동작 대역폭에 걸쳐 광에 투명함;

하드 마스크 재료층 상에 패턴 재료층을 증착하는 단계;

패턴 재료를 패터닝하여 하드 마스크 층 위에 어레이 패턴을 형성하는 단계 - 어레이 패턴은 메타표면 피치 어레이(feature array)의 양의 또는 음의 재생 중 하나를 포함하며, 메타표면 피치 어레이는 특정 동작 대역폭 내에서 광 파장보다 작은 피치 크기(feature size)를 가진 복수의 메타표면 피치를 포함하며 복수의 메타표면 피치의 평면 내에서 층돌 광에 위상 변이를 부여하도록 구성됨;

이방성 식각 공정을 사용하여 하드 마스크 층을 식각하여 하드 마스크의 어레이 패턴에 상응하는 복수의 공간 및 용기된 피치를 형성하는 단계;

하드 마스크 층의 상부로부터 잔류 패턴 재료를 제거하는 단계를 포함하고,

상기 방법은,

복수의 동일하거나 고유한 제 1 메타표면 소자를 형성하는 단계;

평면 어레이에 배치된 복수의 동일하거나 고유한 조명원을 제공하고 복수의 제 1 메타표면 소자의 적어도 하나를 어레이의 복수의 조명원의 각각과 통합하여 상기 복수의 조명원의 각각으로부터의 광이 제 1 메타표면 소자의 적어도 하나를 통과하고 이에 의해 각도 편향이 추가되는 단계;

조명원의 평면 어레이와 제 1 메타표면 소자 사이에 제 1 간격층을 배치하는 단계 - 제 1 간격층은 각각의 제 1 메타표면 소자에 충돌하기 전에 평면 어레이의 각 조명원으로부터 방출된 광에서 발산을 생성하도록 구성됨;

복수의 제 1 메타표면 소자로부터 일정 거리에 제 2 메타표면 소자를 배치하는 단계 - 제 2 메타표면 소자는 복수의 조명원 모두의 방출에 의해 형성된 광장 상에 원거리장 조명 패턴을 각인하도록 구성됨; 및

제 1 및 제 2 메타표면 소자 사이에 제 2 간격층을 배치하여 오프셋 거리가 그 사이에 형성되는 단계를 추가로 포함하는 방법.

청구항 27

하나 이상의 메타표면 소자 또는 시스템을 제작하는 방법으로서,

기판의 적어도 하나의 표면상에 하드 마스크 재료층을 증착하는 단계 - 여기서 기판은 특정 동작 대역폭에 걸쳐 광에 투명함;

하드 마스크 재료층 상에 패턴 재료층을 증착하는 단계;

패턴 재료를 패터닝하여 하드 마스크 층 위에 어레이 패턴을 형성하는 단계 - 어레이 패턴은 메타표면 피치 어레이(feature array)의 양의 또는 음의 재생 중 하나를 포함하며, 메타표면 피치 어레이는 특정 동작 대역폭 내에서 광 파장보다 작은 피치 크기(feature size)를 가진 복수의 메타표면 피치를 포함하며 복수의 메타표면 피치의 평면 내에서 층돌 광에 위상 변이를 부여하도록 구성됨;

이방성 식각 공정을 사용하여 하드 마스크 층을 식각하여 하드 마스크의 어레이 패턴에 상응하는 복수의 공간

및 용기된 피처를 형성하는 단계;

하드 마스크 층의 상부로부터 잔류 패턴 재료를 제거하는 단계를 포함하고,

상기 방법은,

복수의 동일하거나 고유한 제 1 메타표면 소자를 형성하는 단계;

평면 어레이에 배치된 복수의 동일하거나 고유한 센서 소자를 제공하고 복수의 제 1 메타표면 소자의 적어도 하나를 어레이의 복수의 센서 소자의 각각과 통합하여 상기 복수의 센서 소자에 충돌하는 광이 제 1 메타표면 소자의 적어도 하나를 통과하고 이에 의해 각도 편향이 부가되는 단계;

센서 소자의 평면 어레이와 제 1 메타표면 소자 사이에 제 1 간격층을 배치하는 단계 - 제 1 간격층은 평면 어레이의 각각의 센서 소자에 충돌하기 전에 제 1 메타표면 소자의 각각에 충돌하는 광에 수렴을 생성하도록 구성됨;

복수의 제 1 메타표면 소자로부터 일정 거리에 제 2 메타표면 소자를 배치하는 단계 - 제 2 메타표면 소자는 그 위에 충돌하는 광장 상에 원거리장 조명 패턴을 각인하도록 구성됨; 및

제 1 및 제 2 메타표면 소자 사이에 제 2 간격층을 배치하여 오프셋 거리가 그 사이에 형성되는 단계를 추가로 포함하는 방법.

청구항 28

삭제

청구항 29

삭제

청구항 30

삭제

청구항 31

삭제

청구항 32

삭제

청구항 33

삭제

청구항 34

삭제

청구항 35

삭제

청구항 36

삭제

청구항 37

삭제

청구항 38

삭제

청구항 39

삭제

청구항 40

삭제

청구항 41

삭제

청구항 42

삭제

청구항 43

삭제

청구항 44

삭제

청구항 45

삭제

청구항 46

삭제

청구항 47

삭제

청구항 48

삭제

청구항 49

삭제

청구항 50

삭제

청구항 51

삭제

청구항 52

삭제

청구항 53

삭제

청구항 54

삭제

청구항 55

삭제

청구항 56

삭제

청구항 57

삭제

청구항 58

삭제

청구항 59

삭제

청구항 60

삭제

청구항 61

삭제

청구항 62

삭제

청구항 63

삭제

청구항 64

삭제

청구항 65

삭제

청구항 66

삭제

청구항 67

삭제

청구항 68

삭제

청구항 69

삭제

청구항 70

삭제

청구항 71

삭제

청구항 72

삭제

청구항 73

삭제

청구항 74

삭제

청구항 75

삭제

청구항 76

삭제

청구항 77

삭제

청구항 78

삭제

청구항 79

삭제

청구항 80

삭제

청구항 81

삭제

청구항 82

삭제

청구항 83

삭제

청구항 84

삭제

청구항 85

삭제

청구항 86

삭제

청구항 87

삭제

청구항 88

삭제

청구항 89

삭제

청구항 90

삭제

청구항 91

삭제

청구항 92

삭제

청구항 93

삭제

청구항 94

삭제

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 메타표면 소자의 광학 배열, 광원 및/또는 검출기를 이런 메타표면 소자와 통합하는 통합 시스템, 및 이런 광학 배열 및 통합 시스템의 제조 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 메타표면 소자는 개별 도파관 소자가 서브파장 간격을 갖고 평면 프로파일을 갖는 회절 광학장치이다. 메타표면 소자는 최근 UV-IR 대역(300-10,000nm)에 응용하기 위해 개발되었다. 전통적인 굴절 광학장치와 비교할 때, 메타표면 소자는 광장(light field)에 위상 변이를 급격하게 제공한다. 이것이 메타표면 소자가 이들이 작동하도록 디자인된 광 파장과 비슷한 두께를 갖게 하는 반면, 전통적인 굴절 표면은 이들이 작동하도록 디자인된 광 파장보다 10-100배(또는 그 이상) 더 큰 두께를 갖는다. 또한, 메타표면 소자는 구성 요소의 두께 변화가 없으므로 굴절 광학장치에 요구되는 바와 같이 어떠한 곡률 없이 광에 형태를 제공할 수 있다. 예를 들어, 이진 회절 광학장치와 같은 전통적인 회절 광학 소자(DOE)와 비교할 때, 메타표면 소자는 입사광장에 일정 범위의 위상 변이를 부여하는 능력을 가지며 최소한 메타표면 요소는 그 범위로부터 적어도 5개의 구별된 값을 갖는 $0-2\pi$ 사이의 위상 변이를 가질 수 있는 반면, 이진 DOE는 2개의 구별된 값의 위상 변이만 부여할 수 있고 주로 0 또는 1π 의 위상 변이로 제한된다. 다중 수준의 DOE와 비교할 때, 메타표면 소자는 광축을 따라 구성 요소의 높이 변화를 필요로 하지 않으며, 메타표면 소자 특징의 평면 내 기하학적 구조만 변한다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0003] 본 발명은 상기한 문제를 해결하는 것을 과제로 한다.

과제의 해결 수단

- [0004] 본 출원은 메타표면 소자의 광학 배열, 광원 및/또는 검출기를 이룬 메타표면 소자와 통합하는 통합 시스템, 및 이룬 광학 배열 및 통합 시스템의 제조 방법에 관한 것이다.
- [0005] 많은 실시태양은 다음 단계를 포함하여 하나 이상의 메타표면 소자 또는 시스템을 제작하는 방법에 관한 것이다:
- [0006] 기관의 적어도 하나의 표면상에 하드 마스크 재료층을 증착하는 단계, 여기서 기관은 특정 동작 대역폭에 걸쳐 광에 투명하다;
- [0007] 하드 마스크 재료층 상에 패턴 재료층을 증착하는 단계;
- [0008] 패턴 재료를 패터닝하여 하드 마스크 층 위에 어레이 패턴을 형성하는 단계, 어레이 패턴은 메타표면 피쳐 어레이(feature array)의 양의 또는 음의 재생 중 하나를 포함하며, 메타표면 피쳐 어레이는 특정 동작 대역폭 내에서 광 파장보다 작은 피쳐 크기(feature size)를 가진 복수의 메타표면 피쳐를 포함하며 복수의 메타표면 피쳐의 평면 내에서 충돌 광에 위상 변이를 부여하도록 구성된다;
- [0009] 이방성 식각 공정을 사용하여 하드 마스크 층을 식각하여 하드 마스크의 어레이 패턴에 상응하는 복수의 공간 및 융기된 피쳐를 형성하는 단계; 및
- [0010] 하드 마스크 층의 상부로부터 임의의 잔류 패턴 재료를 제거하는 단계.
- [0011] 많은 다른 실시태양에서, 기관은 용융 실리카, 사파이어, 붕규산 유리 및 희토류 산화물 유리로 이루어진 그룹으로부터 선택된 재료로 형성된다.
- [0012] 또 다른 많은 실시태양에서, 하드 마스크 재료층은 실리콘, 다양한 화학량론의 실리콘 질화물, 실리콘 이산화물, 이산화 티타늄, 알루미늄으로 이루어진 그룹으로부터 선택된 재료로 형성되고, 스퍼터링, 화학적 기상 증착 및 원자층 증착으로 이루어진 그룹으로부터 선택된 증착 공정을 사용하여 배치된다.
- [0013] 또 다른 많은 실시태양에서, 패턴 재료층은 리소그래피 공정을 사용하여 패턴화된 포토레지스트 또는 나노임프린트 공정을 사용하여 패턴화된 폴리머 중 하나로부터 형성된다.
- [0014] 또 다른 많은 실시태양에서, 어레이 패턴은 SF₆, Cl₂, BCl₃, C₄F₈ 또는 이들의 임의의 정적 또는 다중화 혼합물로 이루어진 그룹으로부터 선택된 반응성 이온 식각 공정을 사용하여 식각된다.
- [0015] 또 다른 많은 실시태양에서, 잔류 패턴 재료는 화학적 용매, 화학적 식각제 및 플라즈마 식각제로 이루어진 그룹으로부터 선택된 공정을 사용하여 제거된다.
- [0016] 또 다른 많은 실시태양에서, 패턴화된 하드 마스크 재료는 유전체이고 메타표면 소자의 메타표면 피쳐를 형성한다.
- [0017] 또 다른 많은 실시태양에서, 상기 방법은 다음 단계를 추가로 포함한다:
- [0018] 패턴화된 하드 마스크 재료층 상에 유전체 메타표면 재료층을 증착하여 메타표면 재료층이 하드 마스크 재료층의 공간을 채우고 하드 마스크 재료층의 융기된 피쳐 위로 연장되어 메타표면 재료의 덮개층(over-layer)을 하드 마스크 층 상부에 형성하는 단계; 및
- [0019] 덮개층을 평탄화하여 메타표면 재료층 및 하드 마스크 층이 기관 위에 균일한 높이로 끝나게 하는 단계.
- [0020] 또 다른 많은 실시태양에서, 메타표면 재료층은 실리콘, 다양한 화학량론의 실리콘 질화물, 이산화규소, 이산화 티탄, 알루미늄으로부터 선택된 재료로 형성되고, 화학적 기상 증착 및 원자층 증착의 그룹으로부터 선택된 컨포멀 공정을 사용하여 증착된다.
- [0021] 또 다른 많은 실시태양에서, 평탄화는 습식 식각 및 플라즈마 식각 또는 화학적-기계적 평탄화 기술로 이루어진 그룹으로부터 선택된 식각 공정으로부터 선택된 공정을 사용한다.
- [0022] 또 다른 많은 실시태양에서, 공간에 배치된 메타표면 재료는 메타표면 소자의 메타표면 피쳐를 형성하고, 하드 마스크 재료는 특정 작동 대역폭에서 메타표면 재료보다 낮은 굴절률을 갖는 매립 재료로서 구성된다.
- [0023] 또 다른 많은 실시태양에서, 하드 마스크 재료는 특정 작동 대역폭에 대해 무시할만한 흡수를 가지며 특정 작동

대역폭에서 약 1 내지 약 2.4의 굴절률을 갖는다.

- [0024] 또 다른 많은 실시태양에서, 본 방법은 선택적 식각을 사용하여 하드 마스크 재료층을 제거하여 패터화된 하드 마스크의 공간에 배치된 메타표면 재료층이 하드 마스크 재료층의 제거 후 기판의 표면상에 잔존하여 복수의 공극에 의해 분리된 복수의 분리된 메타표면 피처를 형성하는 단계를 추가로 포함한다.
- [0025] 또 다른 많은 실시태양에서, 본 방법은 분리된 메타표면 피처 상에 매립 재료층을 증착시켜 피처 사이의 공극이 채워지고 매립 재료층이 메타표면 재료층의 표면 위로 연장되는 단계를 추가로 포함하며, 여기서 매립 재료층은 특정 작동 대역폭에서 메타표면 재료보다 낮은 굴절률을 갖는다.
- [0026] 또 다른 많은 실시태양에서, 매립 재료는 폴리(메틸 메타크릴레이트), SU8 및 벤조사이클로부텐으로 이루어진 그룹으로부터 선택된 폴리머이다.
- [0027] 또 다른 많은 실시태양에서, 매립 재료는 이산화규소, 산화알루미늄, 이산화티탄, 질화규소, 산화 하프늄, 산화 아연 및 스피ن-온-글래스(spin-on-glass)로 이루어진 그룹으로부터 선택된 고체 필름이다.
- [0028] 또 다른 많은 실시태양에서, 본 방법은 매립 재료층을 평탄화하여 메타표면 재료층 및 매립 재료층이 기판 위에 균일한 높이로 끝나게 하는 단계를 추가로 포함한다.
- [0029] 또 다른 많은 실시태양에서, 본 방법은 매립 재료층 및 메타표면 소자의 반대편에 배치된 기판의 측면의 하나 또는 둘 모두 위에 반사 방지 코팅을 증착시키는 단계를 추가로 포함한다.
- [0030] 또 다른 많은 실시태양에서, 반사 방지 코팅은 이산화규소, 이산화티탄, 산화알루미늄, 질화규소, 질화알루미늄 및 비정질 규소로 이루어진 그룹으로부터 선택된 임의의 조합의 재료의 교대층으로 구성되며, 여기서 교대층의 각각은 동작 대역폭 내에서 광의 파장보다 작은 두께를 갖는다.
- [0031] 또 다른 많은 실시태양에서, 기판은 조명기 또는 센서 위에 배치된 것 중 하나이거나 자체가 조명기 또는 센서이다.
- [0032] 또 다른 많은 실시태양에서, 기판은 표적 광학 시스템과 함께 사용하기에 부적합한 기판 두께를 가지며 다음 중 적어도 하나를 추가로 포함한다:
- [0033] 분쇄 또는 화학적 식각 중 하나 또는 둘 모두를 통해 기판의 후측면의 적어도 일부를 제거하는 단계; 및
- [0034] 메타표면 소자의 기판에 추가의 기판을 정렬시키고 융합시키는 단계.
- [0035] 또 다른 많은 실시태양에서, 추가 기판 자체는 한 표면에 배치된 메타표면 소자를 가지며, 여기서 기판 및 추가 기판은 상대 메타표면 소자가 배치된 표면의 반대편 표면을 따라 융합된다.
- [0036] 또 다른 많은 실시태양에서, 융합 방법은 600°C 미만의 열 소모 비용을 갖는 결합 공정을 사용한다.
- [0037] 또 다른 많은 실시태양에서, 결합 공정은 광학 에폭시, 벤조사이클로부텐, UV 경화 폴리머, SU8 및 플라즈마 활성화 이산화규소 막의 그룹으로부터 선택된 접착제를 사용하는 웨이퍼 결합 공정이다.
- [0038] 또 다른 많은 실시태양에서, 본 방법은 융합 전에 기판의 하나 또는 둘 모두의 후측면의 적어도 일부를 제거하는 단계를 추가로 포함한다.
- [0039] 또 다른 많은 실시태양에서, 본 방법은 제 1 기판의 제 1 측면 상에 적어도 제 1 메타표면 소자를 형성하고 제 2 기판의 제 1 측면 상에 적어도 제 2 메타표면 소자를 형성하는 단계 및 600°C 미만의 열 소모 비용을 갖는 결합 공정을 사용하여 상기 기판의 제 1 측면의 반대편 측면을 따라 함께 제 1 및 제 2 기판을 융합하는 단계를 추가로 포함한다.
- [0040] 또 다른 많은 실시태양에서, 복수의 메타표면 피처는 불균일하다.
- [0041] 또 다른 많은 실시태양에서, 복수의 메타표면 피처는 메타표면 피처의 치수에 기초하여 미리 결정된 양만큼 이상적인 형상과 달라진다.
- [0042] 또 다른 많은 실시태양에서, 메타표면 소자는 매립되고 평탄화되고, 특정 동작 대역폭 내에서 광의 파장과 동일하거나 그보다 작은 거리만큼 서로로부터 갈라져 나온 메타표면 피처의 두 층을 포함하여 메타표면 피처의 두 층은 함께 작동하여 충돌 광에 위상 변이를 부가한다.
- [0043] 또 다른 많은 실시태양에서, 복수의 메타표면 피처는 불균일하고 메타표면 피처의 치수에 기초하여 미리 결정된

양만큼 이상적인 형태와 달라지고, 이상적인 형상은 정사각형이고, 이상적인 정사각형이 200nm 미만의 측면 치수를 갖는 경우, 메타표면 피처는 원형으로 형성되고, 이상적인 정사각형이 300nm 미만의 측면 치수를 갖는 경우, 메타표면 피처는 둥근 모서리를 갖는 정사각형으로 형성된다.

- [0044] 또 다른 많은 실시태양에서, 본 방법은 다음 단계를 추가로 포함한다:
- [0045] 복수의 동일하거나 고유한 제 1 메타표면 소자를 형성하는 단계;
- [0046] 평면 어레이에 배치된 복수의 동일하거나 고유한 조명원을 제공하고 복수의 제 1 메타표면 소자의 적어도 하나를 어레이의 복수의 조명원의 각각과 통합하여 상기 복수의 조명원의 각각으로부터의 광이 제 1 메타표면 소자의 적어도 하나를 통과하고 이에 의해 각도 편향이 부가되는 단계;
- [0047] 조명원의 평면 어레이와 제 1 메타표면 소자 사이에 제 1 간격층을 배치하는 단계, 제 1 간격층은 각각의 제 1 메타표면 소자에 충돌하기 전에 평면 어레이의 각 조명원으로부터 방출된 광에서 발산을 생성하도록 구성된다;
- [0048] 복수의 제 1 메타표면 소자로부터 일정 거리에 제 2 메타표면 소자를 배치하는 단계, 제 2 메타표면 소자는 복수의 조명원 모두의 방출에 의해 형성된 광장 상에 원거리장 조명 패턴을 각인하도록 구성된다; 및
- [0049] 제 1 및 제 2 메타표면 소자 사이에 제 2 간격층을 배치하여 오프셋 거리가 그 사이에 형성되는 단계.
- [0050] 다양한 실시태양은 제 1 기관의 제 1 측면 상에 적어도 제 1 메타표면 소자를 형성하고 제 2 기관의 제 1 측면 상에 적어도 제 2 메타표면 소자를 형성하는 단계 및 600°C 미만의 열 소모 비용을 갖는 결합 공정을 사용하여 상기 기관의 제 1 측면의 반대편 측면을 따라 함께 제 1 및 제 2 기관을 융합시키는 단계를 포함하여 다중 메타표면 소자를 형성하는 방법에 관한 것이다.
- [0051] 다양한 다른 실시태양에서, 결합 공정은 광학 에폭시, 벤조사이클로부텐, UV 경화 폴리머, SU8 및 플라즈마 활성화 이산화규소 막의 그룹으로부터 선택된 접착제를 사용하는 웨이퍼 결합 공정이다.
- [0052] 또 다른 많은 실시태양에서, 본 방법은 융합 전에 기관의 하나 또는 둘 모두의 후측면의 적어도 일부를 제거하는 단계를 추가로 포함한다.
- [0053] 또 다른 다양한 실시태양에서, 본 방법은 다음 단계를 추가로 포함한다:
- [0054] 제 1 및 제 2 메타표면 소자의 적어도 하나를 매립 및 평탄화하는 단계;
- [0055] 제 3 기관의 제 1 측면 상에 적어도 제 3 메타표면 소자를 형성하는 단계; 및
- [0056] 600°C 미만의 열 소모 비용을 갖는 결합 공정을 사용하여 제 1 측면 반대편의 제 3 기관의 측면을 평탄화된 제 1 또는 제 2 메타표면에 융합시키는 단계.
- [0057] 또 다른 다양한 실시태양에서, 평탄화는 제 1 및 제 2 메타표면 소자의 적어도 하나를 폴리머 또는 고상 결합제의 하나에 매립하는 단계를 추가로 포함한다.
- [0058] 또 다른 다양한 실시태양에서, 본 방법은 4개 이상의 메타표면 소자의 적층 스택을 형성하기 위해 형성, 매립 및 융합 단계를 반복하는 단계를 포함한다.
- [0059] 또 다른 다양한 실시태양에서, 적층 스택의 한 말단의 층들의 적어도 하나는 조명기 또는 센서 중 하나이다.
- [0060] 또 다른 다양한 실시태양에서, 본 방법은 다음 단계를 추가로 포함한다:
- [0061] 메타표면 소자 반대편의 제 1 및 제 2 기관의 측면들 사이에 스페이서 기관을 삽입하는 단계, 스페이서 기관은 관통하여 배치된 적어도 하나의 개구부를 구비한다; 및
- [0062] 600°C 미만의 열 소모 비용을 갖는 결합 공정을 사용하여 스페이서 기관을 제 1 및 제 2 기관에 융합시켜, 적어도 하나의 개구부가 제 1 기관과 제 2 기관 사이에 공극을 형성시키는 단계.
- [0063] 또 다른 다양한 실시태양에서, 스페이서 기관은 폴리머, SiO₂ 및 유리의 그룹으로부터 선택된 저 굴절률 재료로 형성된다.
- [0064] 또 다른 다양한 실시태양에서, 스페이서 재료는 블랙 크롬으로 코팅된다.
- [0065] 또 다른 다양한 실시태양에서, 본 방법은 3개 이상의 메타표면 소자의 적층 스택을 형성하기 위해 형성, 삽입 및 융합 단계를 반복하는 단계를 추가로 포함한다.

- [0066] 또 다른 다양한 실시태양에서, 적층 스택의 한 말단의 층들의 적어도 하나는 조명기 또는 센서 중 하나이다.
- [0067] 또 다른 다양한 실시태양에서, 복수의 메타표면 피치는 불균일하다.
- [0068] 또 다른 다양한 실시태양에서, 복수의 메타표면 피치는 메타표면 피치의 치수에 기초하여 미리 결정된 양만큼 이상적인 형상과 달라진다.
- [0069] 추가의 실시태양은 기관 위에 메타표면 피치의 두 층을 형성하는 단계를 포함하여 복합 메타표면 소자를 형성하는 방법에 관한 것이며, 여기서 두 층은 특정 동작 대역폭 내에서 광의 파장과 동일하거나 그보다 작은 거리만큼 서로로부터 갈라져서 메타표면 피치의 두 층은 함께 작동하여 충돌 광에 위상 변이를 부가한다.
- [0070] 추가 실시태양은 다음 단계를 포함하여 메타표면 소자를 형성하는 방법에 관한 것이다:
- [0071] 복수의 동일하거나 고유한 제 1 메타표면 소자를 형성하는 단계;
- [0072] 평면 어레이에 배치된 복수의 동일하거나 고유한 조명원을 제공하고 복수의 제 1 메타표면 소자의 적어도 하나를 어레이의 복수의 조명원의 각각과 통합하여 상기 복수의 조명원의 각각으로부터의 광이 제 1 메타표면 소자의 적어도 하나를 통과하고 이에 의해 각도 편향이 부가되는 단계;
- [0073] 조명원의 평면 어레이와 제 1 메타표면 소자 사이에 제 1 간격층을 배치하는 단계, 제 1 간격층은 각각의 제 1 메타표면 소자에 충돌하기 전에 평면 어레이의 각 조명원으로부터 방출된 광에서 발산을 생성하도록 구성된다;
- [0074] 복수의 제 1 메타표면 소자로부터 일정 거리에 제 2 메타표면 소자를 배치하는 단계, 제 2 메타표면 소자는 복수의 조명원 모두의 방출에 의해 형성된 광장 상에 원거리장 조명 패턴을 각인하도록 구성된다; 및
- [0075] 제 1 및 제 2 메타표면 소자 사이에 제 2 간격층을 배치하여 오프셋 거리가 그 사이에 형성되는 단계.
- [0076] 다른 실시태양에서, 적어도 제 1 간격층은 고상 재료를 포함한다.
- [0077] 다른 실시태양에서, 적어도 제 2 간격층은 공극을 포함한다.
- [0078] 또 다른 추가의 실시태양에서, 복수의 메타표면 피치는 불균일하다.
- [0079] 또 다른 추가의 실시태양에서, 복수의 메타표면 피치는 메타표면 피치의 치수에 기초하여 미리 결정 가능한 양만큼 이상적인 형상과 달라진다.
- [0080] 또 다른 추가의 실시태양에서, 본 발명은 다음 단계를 추가로 포함한다:
- [0081] 복수의 동일하거나 고유한 제 1 메타표면 소자를 형성하는 단계;
- [0082] 평면 어레이에 배치된 복수의 동일하거나 고유한 센서 소자를 제공하고 복수의 제 1 메타표면 소자의 적어도 하나를 어레이의 복수의 센서 소자의 각각과 통합하여 상기 복수의 센서 소자에 충돌하는 광이 제 1 메타표면 소자의 적어도 하나를 통과하고 이에 의해 각도 편향이 부가되는 단계;
- [0083] 센서 소자의 평면 어레이와 제 1 메타표면 소자 사이에 제 1 간격층을 배치하는 단계, 제 1 간격층은 평면 어레이의 각각의 센서 소자에 충돌하기 전에 제 1 메타표면 소자의 각각에 충돌하는 광에 수렴을 생성하도록 구성된다;
- [0084] 복수의 제 1 메타표면 소자로부터 일정 거리에 제 2 메타표면 소자를 배치하는 단계, 제 2 메타표면 소자는 그 위에 충돌하는 광장 상에 원거리장 조명 패턴을 각인하도록 구성된다; 및
- [0085] 제 1 및 제 2 메타표면 소자 사이에 제 2 간격층을 배치하여 오프셋 거리가 그 사이에 형성되는 단계.
- [0086] 여러 실시태양은 다음 단계를 포함하여 메타표면 소자를 형성하는 방법에 관한 것이다:
- [0087] 복수의 동일하거나 고유한 제 1 메타표면 소자를 형성하는 단계;
- [0088] 평면 어레이에 배치된 복수의 동일하거나 고유한 센서 소자를 제공하고 복수의 제 1 메타표면 소자의 적어도 하나를 어레이의 복수의 센서 소자의 각각과 통합하여 상기 복수의 센서 소자에 충돌하는 광이 제 1 메타표면 소자의 적어도 하나를 통과하고 이에 의해 각도 편향이 부가되는 단계;
- [0089] 센서 소자의 평면 어레이와 제 1 메타표면 소자 사이에 제 1 간격층을 배치하는 단계, 제 1 간격층은 평면 어레이의 각각의 센서 소자에 충돌하기 전에 제 1 메타표면 소자의 각각에 충돌하는 광에 수렴을 생성하도록 구성된다;

- [0090] 복수의 제 1 메타표면 소자로부터 일정 거리에 제 2 메타표면 소자를 배치하는 단계, 제 2 메타표면 소자는 그 위에 충돌하는 광장 상에 원거리장 조명 패턴을 각인하도록 구성된다; 및
- [0091] 제 1 및 제 2 메타표면 소자 사이에 제 2 간격층을 배치하여 오프셋 거리가 그 사이에 형성되는 단계.
- [0092] 여러 실시태양은 다음을 포함하는 메타표면 소자에 관한 것이다:
- [0093] 특정 동작 대역폭에 걸쳐 광에 투명한 기관 위에 배치된 메타표면 피치의 어레이, 어레이는 특정 동작 대역폭 내에서 광 파장보다 작은 피치 크기를 가진 복수의 메타표면 피치를 포함하며 복수의 메타표면 피치의 평면 내에서 충돌 광에 위상 변이를 부여하도록 구성된다;
- [0094] 여기서 복수의 메타표면 피치는 불균일하고, 메타표면 피치의 치수에 기초하여 미리 결정 가능한 양만큼 이상적인 형상과 달라진다.
- [0095] 여러 다른 실시태양에서, 이상적인 형상은 정사각형이고, 이상적인 정사각형이 200nm 미만의 측면 치수를 갖는 경우, 메타표면 피치는 원형으로 형성되고, 이상적인 정사각형이 300nm 미만의 측면 치수를 갖는 경우, 메타표면 피치는 둥근 모서리를 갖는 정사각형으로 형성된다.
- [0096] 여러 실시태양은 다음을 포함하는 메타표면 가능 조명 또는 센서 어레이에 관한 것이다:
- [0097] 평면 어레이로 배열된 복수의 동일하거나 고유한 조명원 또는 센서 소자;
- [0098] 조명원의 평면 어레이 위에 배치되고 평면 어레이의 각각의 조명원으로부터 방출된 광에서 발산을 발생시키거나 각각의 센서 소자에 충돌하는 광에서 수렴을 발생시키도록 구성된 제 1 간격층;
- [0099] 제 1 간격층 위에 배치된 복수의 동일하거나 고유한 제 1 메타표면 요소, 복수의 제 1 메타표면 소자의 적어도 하나는 어레이의 복수의 조명원 또는 센서 소자의 각각과 연관되어, 복수의 조명원의 각각으로부터 방출되거나 상기 복수의 센서 소자의 각각에 충돌하는 광은 제 1 메타표면 소자의 적어도 하나를 통과하고 이에 의해 각도 편향이 부과된다;
- [0100] 복수의 제 1 메타표면 소자로부터 일정 거리에 배치된 제 2 메타표면 소자, 제 2 메타표면 소자는 그 위에 충돌하는 광장 상에 원거리장 조명 패턴을 각인하도록 구성된다; 및
- [0101] 제 1 및 제 2 메타표면 소자 사이에 있어 오프셋 거리가 그 사이에 형성되게 하는 제 2 간격층.
- [0102] 많은 다른 실시태양에서, 각각의 메타표면 소자 상의 복수의 메타표면 피치는 불균일하고, 메타표면 피치의 치수에 기초하여 미리 결정 가능한 양만큼 이상적인 형상과 달라진다.
- [0103] 또 다른 많은 실시태양에서, 적어도 제 1 또는 제 2 메타표면 소자 상의 복수의 메타표면 피치는 비대칭 단면을 갖도록 구성되고 적어도 2개의 상이한 회전 각으로 배치되어 메타표면 소자가 직교 편광을 가지며 조명원 상에서 하나가 다른 것으로부터 선형으로 갈라지는 적어도 두 패턴을 각인하거나 센서 소자의 조명 전에 충돌하는 광으로부터 이런 패턴을 검출하도록 구성되며, 어레이는 3차원 정보가 단일 샷에서 어레이에 의해 장면으로부터 얻어지도록 구성된다.
- [0104] 또 다른 많은 실시태양에서, 조명원은 편광되거나 비 편광되며, VCSEL, 고상 레이저, 양자 캐스캐이드 레이저, LED 및 초발광 LED로 이루어진 그룹으로부터 선택된다.
- [0105] 또 다른 많은 실시태양에서, 두 패턴은 고유하다.
- [0106] 또 다른 많은 실시태양에서, 두 패턴은 적어도 50,000개의 결합 점을 갖는다.
- [0107] 또 다른 많은 실시태양에서, 적어도 제 1 패턴은 장면의 전경의 측정을 획득하도록 구성되고, 적어도 제 2 패턴은 장면의 배경의 측정을 획득하도록 구성된다.
- [0108] 또 다른 많은 실시태양에서, 2개의 패턴은 레이저 편광에 대하여 대각선으로 편광된다.
- [0109] 또 다른 많은 실시태양에서, 2개 초과 상이한 편광을 갖는 2개 초과 패턴이 사용된다.
- [0110] 다양한 실시태양은 다음을 포함하는 메타표면 소자 가능 센서에 관한 것이다:
- [0111] 적어도 하나의 센서 소자;
- [0112] 적어도 하나의 센서 소자 위의 오프셋 거리에 배치되고 그들 사이에 제 1 간격층을 갖는 적어도 하나의 제 1 및

적어도 하나의 제 2 메타표면 소자;

- [0113] 여기서 적어도 하나의 제 1 및 제 2 메타표면 소자의 각각은 특정 동작 대역폭에 걸쳐 광에 대해 투명한 적어도 하나의 기관 위에 배치된 메타표면 피처의 어레이를 포함하고, 상기 어레이는 지정된 동작 대역폭 내에서 광의 파장보다 작은 피처 크기를 갖는 복수의 메타표면 피처를 포함하며 복수의 메타표면 피처의 평면 내에서 충돌하는 광에 위상 편이를 가하도록 구성된다; 및
- [0114] 여기서 적어도 하나의 제 1 및 제 2 메타표면 소자의 각각에 대한 메타표면 피처의 어레이는 지정된 시야에 걸쳐 특정 동작 대역폭의 광을 수집하고 입사광을 변이시켜 입사광이 0 또는 0도에 가까운 임계 광선 각도로 센서 소자에 충돌하도록 구성된다.
- [0115] 다양한 다른 실시태양에서, 제 1 간격층은 고상 스페이스 재료 또는 공극 중 하나이다.
- [0116] 또 다른 다양한 실시태양에서, 시야는 ± 44 도이다.
- [0117] 또 다른 다양한 실시태양에서, 센서는 메타표면 소자와 센서 소자 사이에 배치된 협대역 광 필터를 추가로 포함한다.
- [0118] 또 다른 다양한 실시태양에서, 협대역 광 필터는 이산화규소, 이산화티탄, 비정질 규소, 질화규소 및 산화알루미늄으로 이루어진 그룹으로부터 선택된 낮은 굴절률 및 높은 굴절률을 갖는 교대층으로 구성된다.
- [0119] 또 다른 다양한 실시태양에서, 센서는 메타표면 소자와 센서 소자 사이에 배치된 복수의 동일한 마이크로렌즈를 추가로 포함한다.
- [0120] 또 다른 다양한 실시태양에서, 적어도 하나의 제 1 메타표면 소자 및 적어도 하나의 제 2 메타표면 소자는 동일한 기관의 반대 측면 상에 배치되고, 기관은 제 1 간격층을 포함한다.
- [0121] 또 다른 다양한 실시태양에서, 기관의 어느 한 측면 상의 2개의 메타표면 소자는 동일한 높이를 갖는다.
- [0122] 또 다른 다양한 실시태양에서, 2개의 메타표면 소자는 압력 화학적 기상 증착 및 원자층 증착 그룹으로부터 선택된 컨포멀 증착 공정을 사용하여 동일한 기관의 전면 및 후면 상에 동시에 증착된 필름으로부터 형성된다.
- [0123] 또 다른 다양한 실시태양에서, 적어도 하나의 제 1 메타표면 소자 및 적어도 하나의 제 2 메타표면 소자는 공극에 의해 분리된 별도의 기관상에 서로에 대해 내측을 향하여 배치된다.
- [0124] 또 다른 다양한 실시태양에서, 센서는 적어도 하나의 제 2 메타표면의 기관의 외향 표면에 통합된 광학 대역 통과 필터를 추가로 포함한다.
- [0125] 또 다른 다양한 실시태양에서, 센서는 제 1 및 제 2 메타표면 소자와 CMOS 센서 사이에 배치되고 입사광의 경로를 각도로 분기시켜서 CMOS 센서에 충돌하는 광이 0이 아닌 주 광선 각도를 구성된 적어도 제 3 메타표면 소자를 추가로 포함한다.
- [0126] 또 다른 다양한 실시태양에서, 적어도 3개의 메타표면은 특정 시야에서 그리드 왜곡을 5% 미만으로 최소화하도록 구성된다.
- [0127] 또 다른 다양한 실시태양에서, 센서 소자는 CMOS 센서이다.
- [0128] 추가의 실시태양은 다음을 포함하는 메타표면 소자 가능 단일 플랫폼 이미징/센싱 시스템에 관한 것이다:
- [0129] 적어도 하나의 센서 소자 및 적어도 하나의 조명원;
- [0130] 적어도 하나의 센서 소자 및 적어도 하나의 조명원의 각각의 오프셋 거리 위에 배치되고 각각과 관련된 적어도 하나의 간격층을 갖는 적어도 하나의 별개의 메타표면 소자;
- [0131] 여기서 메타표면 소자의 각각은 특정 동작 대역폭에 걸쳐 광에 투명한 기관 위에 배치된 메타표면 피처의 어레이를 포함하고, 상기 어레이는 특정 동작 대역폭 내에서 광의 파장보다 작은 특정 크기를 갖는 복수의 메타표면 피처를 포함하고, 여기서 조명원과 관련하여 배치된 적어도 하나의 조명 메타표면 소자는 복수의 메타표면 피처의 평면 내로부터 방출된 광장에 방사선 패턴을 부과하도록 구성되고, 적어도 하나의 센서 소자와 관련하여 배치된 적어도 하나의 센서 메타표면 소자는 장면의 조명 후 광장의 방사선 패턴을 검출하도록 구성된다.
- [0132] 또 다른 실시태양에서, 시스템은 복수의 개별 메타표면 소자 및 조명원과 센서 소자의 각각과 관련된 간격층을 추가로 포함한다.

- [0133] 또 다른 실시태양에서, 조명원과 관련된 메타표면 소자는 광장 상에 2개의 직교 편광을 각인하여 직교 편광을 가지며 장면을 조명하는 광장 상에서 다른 것으로부터 서로 선형으로 오프셋된 적어도 2개의 패턴을 생성하고, 센서 소자와 관련된 메타표면 소자는 적어도 2개의 패턴을 검출하도록 구성되어 장면에 관한 3차원 정보가 수집될 수 있다.
- [0134] 다수의 실시태양은 다음 단계를 포함하여 조명원 상에 원하는 원거리장 세기를 각인하기 위한 메타표면 소자를 제조하는 방법에 관한 것이다:
- [0135] 조명원 원거리장을 계산하는 단계;
- [0136] 표적 원거리장을 계산하는 단계, 여기서 표적은 메타표면 소자이다;
- [0137] 의사 원거리장을 얻기 위해 표적 원거리장에 대한 최소 제곱 피트를 계산하여 의사 원거리장과 조명원 원거리장의 나선이 표적 원거리장을 생성하는 단계;
- [0138] 초기 메타표면 피쳐 어레이 그리드 및 위상을 초기 조건으로 설정하는 단계;
- [0139] 하나 이상의 객관적인 비용 함수를 결정하고 메타표면 소자의 복수의 픽셀 각각에 대한 하나 이상의 비용 함수 각각에 대한 경사 함수를 계산하는 단계;
- [0140] 하나 이상의 비용 함수 및 구배 함수의 결과를 최적화 알고리즘에 입력하는 단계;
- [0141] 메타표면 소자의 복수의 픽셀 각각에 대한 위상을 업데이트하고 목표 비용 함수가 수렴할 때까지 구배 계산 및 최적화를 반복하는 단계; 및
- [0142] 계산된 메타표면 소자 위상 프로파일을 출력하는 단계.
- [0143] 다수의 다른 실시태양에서, 비용 함수는 표적으로부터의 제곱 거리, 최근접 이웃 거리, 조명하에서 메타표면 소자의 원거리장 투영의 제곱 오차 및 계산된 원거리장의 평활도로 이루어진 그룹으로부터 선택된다.
- [0144] 또 다른 많은 실시태양에서, 최적화 알고리즘은 켄주게이트 구배 또는 L-브로이덴-플레처-골드파브-샤논(L-Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shannon) 중 하나이다.
- [0145] 여러 실시태양은 또한 특정 동작 대역폭 내에서 광의 파장보다 작은 피쳐 크기를 가진 복수의 메타표면 피쳐를 포함하며 복수의 메타표면 피쳐의 평면 내에 광을 충돌시키는 것에 위상 변이를 가하도록 구성된 메타표면 소자를 기관상에 형성하는 방법에 관한 것이며, 여기서 기관은 표적 광학 시스템과 함께 사용하기에 부적합한 기관 두께를 가지며 다음 중 적어도 하나를 추가로 포함한다:
- [0146] 분쇄 또는 화학적 식각 중 하나 또는 둘 모두를 통해 기관의 후측면의 적어도 일부를 제거하는 단계; 및
- [0147] 메타표면 소자의 기관에 추가의 기관을 정렬시키고 융합시키는 단계.
- [0148] 여러 다른 실시태양에서, 추가 기관 자체는 한 표면에 배치된 메타표면 소자를 가지며, 기관 및 추가 기관은 상대적 메타표면 소자가 배치된 표면의 반대편 표면을 따라 융합된다.
- [0149] 또 다른 여러 실시태양에서, 융합 방법은 600°C 미만의 열 소모비용을 갖는 결합 공정을 사용한다.
- [0150] 또 다른 여러 실시태양에서, 결합 공정은 광학 에폭시, 벤조사이클로부텐, UV 경화 폴리머, SU8 및 플라즈마 활성화 이산화규소 막의 그룹으로부터 선택된 접착제를 사용하는 웨이퍼 결합 공정이다.
- [0151] 또 다른 여러 실시태양에서, 본 방법은 융합 전에 기관 중 하나 또는 둘 모두의 후측면의 적어도 일부를 제거하는 단계를 추가로 포함한다.
- [0152] 또 다른 여러 다른 실시태양에서, 본 발명은 제 1 기관의 제 1 측면 상에 적어도 제 1 메타표면 소자를 형성하고 제 2 기관의 제 1 측면 상에 적어도 제 2 메타표면 소자를 형성하는 단계 및 600°C 미만의 열 소모 비용을 갖는 결합 공정을 사용하여 상기 기관의 제 1 측면의 반대 측면을 따라 함께 제 1 및 제 2 기관을 융합시키는 단계를 추가로 포함한다.
- [0153] 또 다른 여러 실시태양에서, 복수의 메타표면 피쳐는 불균일하다.
- [0154] 또 다른 여러 실시태양에서, 복수의 메타표면 피쳐는 메타표면 피쳐의 치수에 기초하여 미리 결정된 양만큼 이 상적인 형상과 달라진다.

- [0155] 또 다른 여러 실시태양에서, 본 방법은 다음 단계를 추가로 포함한다:
- [0156] 제 1 및 제 2 메타표면 소자 중 적어도 하나를 매립하고 평탄화하는 단계;
- [0157] 제 3 기관의 제 1 측면 상에 적어도 제 3 메타표면 소자를 형성하는 단계; 및
- [0158] 600°C 미만의 열 소모 비용을 갖는 결합 공정을 사용하여 제 1 측면 반대편의 제 3 기관의 측면을 평탄화된 제 1 또는 제 2 메타표면에 융합시키는 단계.
- [0159] 또 다른 여러 실시태양에서, 평탄화는 제 1 및 제 2 메타표면 소자 중 적어도 하나를 폴리머 또는 고상 결합제 중 하나에 매립하는 단계를 추가로 포함한다.
- [0160] 또 다른 여러 실시태양에서, 4개 이상의 메타표면 소자의 적층 스택을 형성하기 위해 형성, 매립 및 융합 단계를 반복하는 단계를 추가로 포함한다.
- [0161] 또 다른 여러 실시태양에서, 적층 스택의 한 말단의 층들의 적어도 하나는 조명기 또는 센서 중 하나이다.
- [0162] 또 다른 다양한 실시태양에서, 본 방법은 다음 단계를 추가로 포함한다:
- [0163] 메타표면 소자 반대편의 제 1 및 제 2 기관의 측면들 사이에 스페이서 기관을 삽입하는 단계, 스페이서 기관은 관통하여 배치된 적어도 하나의 개구부를 구비한다; 및
- [0164] 600°C 미만의 열 소모 비용을 갖는 결합 공정을 사용하여 스페이서 기관을 제 1 및 제 2 기관에 융합시켜, 적어도 하나의 개구부가 제 1 기관과 제 2 기관 사이에 공극을 형성시키는 단계.
- [0165] 다수의 다른 실시태양은 다음을 포함하는 메타표면 소자에 관한 것이다:
- [0166] 특정 동작 대역폭에 걸쳐 광에 투명한 기관 위에 배치된 메타표면 피치의 어레이, 어레이는 특정 동작 대역폭 내에서 광의 파장보다 작은 피치 크기를 가지며, 복수의 메타표면 피치의 평면 내에서 충돌하는 광에 위상 편이를 가하도록 구성된 복수의 메타표면 피치를 포함하며, 복수의 메타표면 피치는 다음으로 이루어진 그룹 중 하나로부터 형성된다:
- [0167] 500 내지 1000nm의 기둥 높이 및 100 내지 300nm의 기둥 직경을 갖는 SiO₂에 매립된 비정질-Si 메타표면 피치;
- [0168] 600nm의 기둥 높이 및 100 내지 300nm의 기둥 직경을 갖는 SiO₂에 매립된 비정질-Si 메타표면 피치;
- [0169] 그 사이에 공극이 있고 1 내지 500nm의 기둥 높이 및 100 내지 350nm의 기둥 직경을 갖는 비정질-Si 메타표면 피치;
- [0170] 그 사이에 공극이 있고 480nm의 기둥 높이 및 100 내지 280nm의 기둥 직경을 갖는 비정질-Si 메타표면 피치;
- [0171] 그 사이에 공극이 있고 300 내지 1000nm의 기둥 높이 및 100 내지 350nm의 기둥 직경을 갖는 TiO₂ 메타표면 피치;
- [0172] 그 사이에 공극이 있고 975nm의 기둥 높이 및 100 내지 300nm의 기둥 직경을 갖는 TiO₂ 메타표면 피치;
- [0173] 벤조사이클로부테인에 매립되고 590nm의 기둥 높이 및 100 내지 300nm의 기둥 직경을 갖는 비정질-Si 메타표면 피치;
- [0174] SiO₂에 매립되고 600nm의 기둥 높이 및 100 내지 275nm의 기둥 직경을 갖는 비정질-Si 메타표면 피치;
- [0175] SU8에 매립되고 675nm의 기둥 높이 및 100 내지 300nm의 기둥 직경을 갖는 비정질-Si 메타표면 피치; 및
- [0176] 공기 중에 존재하고 600nm의 기둥 간격 및 100 내지 300nm의 기둥 간격을 가지며 450nm의 소자 간격을 갖는 비정질-Si 메타표면 피치.
- [0177] 비정질-Si가 선택된 재료인 다수의 다른 실시태양에서, 비정질 Si는 수소화되어 구조 내에 수소가 존재하지 않는 비정질 실리콘과 비교하여 더 높은 광 투과를 야기할 수 있다.
- [0178] 추가의 실시태양 및 특징은 다음의 설명에서 부분적으로 설명되며, 명세서를 검토할 때 당업자에게 명백해질 것 이거나 본 발명의 실시예에 의해 학습될 수 있다. 본 발명의 특성 및 장점에 대한 추가의 이해는 본 발명의 일부를 형성하는 명세서 및 도면의 나머지 부분을 참조하여 실현될 수 있다.

발명의 효과

[0179] 본 발명의 내용 중에 포함되어 있다.

도면의 간단한 설명

[0180] 설명은 본 발명의 예시적인 실시태양으로서 제시되고 본 발명의 범위를 완전히 언급하는 것으로 해석되어서는 안 되는 하기 도면을 참조하여 보다 완전하게 이해될 것이다.

도 1a 내지 도 1g는 본 발명의 실시태양에 따라 메타표면 소자를 위한 제조 공정을 도시하는 개략도를 제공한다.

도 2a는 본 발명의 실시태양에 따라 반사 방지 코팅을 갖는 매립된 메타표면 소자를 도시하는 개략도를 제공한다.

도 2b는 본 발명의 실시태양에 따라 반사 방지 코팅을 갖는 평탄-매립된 메타표면 소자를 도시하는 개략도를 제공한다.

도 3은 본 발명의 실시태양에 따라 메타표면 소자를 제조하는 과정을 도시하는 개략적인 흐름도를 제공한다.

도 4a 내지 4c는 본 발명의 실시태양에 따라 다양한 단면의 피처를 갖는 메타표면 소자의 개략도를 제공한다.

도 5는 본 발명의 실시태양에 따라 메타표면 소자를 갖는 다중 기관의 조합을 도시하는 개략도를 제공한다.

도 6은 본 발명의 실시태양에 따라 다중 메타표면 소자를 갖는 다중 기관의 조합을 도시하는 개략도를 제공한다.

도 7은 본 발명의 실시태양에 따라 공극을 포함하는 다중 메타표면 소자를 갖는 다중 기관의 조합을 도시하는 개략도를 제공한다.

도 8a는 본 발명의 실시태양에 따라 센서/조명기 구성 요소와 통합된 스페이서를 포함하는 메타표면 소자를 도시하는 개략도를 제공한다.

도 8b는 본 발명의 실시태양에 따라 스페이서를 포함하는 메타표면 소자를 도시하는 개략도를 제공한다.

도 9는 본 발명의 실시태양에 따라 다중 메타표면 소자 기관을 도시하는 개략도를 제공한다.

도 10a는 본 발명의 실시태양에 따라 VCSEL 또는 VCSEL 어레이로부터 임의의 방사 패턴을 생성하기 위해 메타표면 소자를 사용하기 위한 흐름도를 제공한다.

도 10b 및 10c는 본 발명의 실시태양에 따라 도 10a의 공정을 사용하여 획득된 위상(10b) 및 세기(10c)의 도면을 제공한다.

도 11은 본 발명의 실시태양에 따라 통합 패키지로 제 2 메타표면과 결합된 한 세트의 픽셀화된 센서 소자 또는 조명원과 결합된 어레이 메타표면 소자를 도시하는 개략도를 제공한다.

도 12a 내지 12c는 본 발명의 실시태양에 따라 VCSEL 어레이로부터 2개의 고유한 방사 패턴을 생성하는 편광 분할 메타표면 소자를 도시하는 개략도를 제공한다.

도 13은 본 발명의 실시태양에 따라 집속된 광의 주 광선 각도가 필터 평면에 대해 0도인 커트 필터(cut filter)와 같은 제 2 요소와 결합된 2개의 메타표면 소자를 도시하는 개략도를 제공한다.

도 14는 본 발명의 실시태양에 따라 각각의 메타표면 소자가 고유한 기관상에 형성되는 2개의 메타표면 소자 시스템을 도시하는 개략도를 제공한다.

도 15는 본 발명의 실시태양에 따라 다수의 단색 수차를 보정하도록 디자인된 3개의 메타표면 소자 시스템을 도시하는 개략도를 제공한다.

도 16은 본 발명의 실시태양에 따라 도 15의 메타표면 소자 시스템에 대한 이미지 높이의 함수로서 이미지 센서 평면에서의 주 광선 각도를 도시하는 개략도를 제공한다.

도 17은 본 발명의 실시태양에 따라 도 15의 메타표면 소자 시스템으로부터의 그리드 왜곡의 예를 도시하는 개략도를 제공한다.

도 18은 본 발명의 실시태양에 따라 조명기 및 검출기 상에 메타표면 소자를 갖는 통합 시스템을 도시하는 개략도를 제공한다.

도 19는 본 발명의 실시태양에 따라 광의 편광이 여분의 자유도를 제공하는 조명기 및 검출기 상에 메타표면 소자를 갖는 통합 시스템을 도시하는 개략도를 제공한다.

도 20은 본 발명의 실시태양에 따라 SiO₂에 매립된 비정질 규소로 구성된 원통형 기둥을 포함하는 메타표면 피처의 위상 및 투과 응답을 나타내는 데이터 그래프를 제공한다.

도 21은 본 발명의 실시태양에 따라 공기 중의 비정질 규소로 구성된 원통형 기둥을 포함하는 메타표면 피처의 위상 및 투과 응답을 나타내는 데이터 그래프를 제공한다.

도 22는 본 발명의 실시태양에 따라 공기 중의 비정질 TiO₂로 구성된 원통형 기둥을 포함하는 메타표면 피처의 위상 및 투과 응답을 나타내는 데이터 그래프를 제공한다.

도 23은 본 발명의 실시태양에 따라 850nm의 파장에 대한 폴리머에 캡슐화된 비정질 규소로 구성된 원통형 기둥을 포함하는 메타표면 피처의 위상 및 투과 응답을 나타내는 데이터 그래프를 제공한다.

도 24는 본 발명의 실시태양에 따라 850nm의 파장에 대한 SiO₂에 캡슐화된 Si로 구성된 원통형 기둥을 포함하는 메타표면 피처의 위상 및 투과 응답을 나타내는 데이터 그래프를 제공한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0181] 이제 도면을 참조하면, 메타표면 소자, 이러한 메타표면 소자와 광원 및/또는 검출기를 포함하는 통합 시스템, 및 이러한 광학 장치 및 통합 시스템의 제조 및 작동 방법이 제공된다. 많은 실시태양은 투과성 메타표면 소자를 다른 반도체 장치 또는 추가 메타표면 소자와 통합하기 위한 시스템 및 방법에 관한 것으로, 보다 구체적으로는 이러한 메타표면을 기관, 조명원 및 센서와의 통합에 관한 것이다. 일부 실시태양에서, 메타표면 소자는 조명원으로부터의 출력 광을 형상화하거나 장면으로부터 반사된 광을 수집하여 광의 편광을 사용하여 2개의 고유한 패턴을 형성하는 데 사용될 수 있다. 이러한 실시태양에서, 형상-방출 및 수집은 단일 공동-디자인 프로빙 및 감지 광학 시스템으로 결합될 수 있다.

[0182] 많은 실시태양에서, 메타표면 소자는 2개 이상의 메타표면 광학 소자의 조합을 포함하는 다층 메타표면 소자를 포함할 수 있다. 이러한 다양한 실시태양에서, 다층 메타표면 소자는 독립형일 수 있다(즉, 특정 조명기 또는 센서와 시스템에 직접 통합되지 않음). 이러한 일부 실시태양에서, 광학 시스템은 각 측면 상에 배치된 메타표면 소자를 갖는 단일 물리적 구성 요소 또는 기관으로 구성될 수 있다. 일부 실시태양에서, 다수의 메타표면 소자를 갖는 다수의 기관은 보다 복잡한 시스템을 만들기 위해 결합될 수 있다. 이러한 실시태양에서, 기관의 두께는 광학 시스템의 요구 사항, 제조 제약 및 2개의 메타표면의 특정 디자인에 의해 결정될 수 있다. 다양한 실시태양에서, 다층 메타표면 소자는 고유한 기관상에 각각의 개별 메타표면 소자를 패터닝 한 다음 적합한 기술, 예를 들어, 웨이퍼 결합, 광학 접착제를 통해 기관을 함께 융합함으로써 형성될 수 있다. 그러나, 일반적으로, 실시태양에 따라, 임의의 수의 메타표면 소자는 CMOS 또는 관련 공정을 사용하여 임의의 수의 단계를 통해 결합될 수 있다.

[0183] 많은 실시태양에서, 메타표면 소자는 독립형일 수 있거나 다른 재료 내에 매립될 수 있다. 다양한 이러한 실시태양에서, 매립 재료의 선택은 굴절률 및 흡수 특성의 적절한 선택을 포함한다. 이러한 많은 실시태양에서, 매립 재료는 기계적 안정성 및 보호뿐만 아니라 메타표면이 원하는 광학 기능을 수행할 수 있게 하는 추가적인 디자인 자유도를 제공할 수 있다.

[0184] 다양한 실시태양에서, 메타표면 소자는 디바이스 두께를 최소화하고 메타표면 조명기/센서 정렬을 최적화하기 위해 LED, VCSEL 패킷 또는 VCSEL의 각 패킷 상에 어레이로 직접 장착되거나 제조될 수 있다. 이러한 일부 실시태양에서, 최종 시스템은 자연적인 램버시안 또는 일부 임의의 광 분포를, 예를 들어, 소위 탑햇(top hat), 소위 배트-윙(bat-wing) 프로파일 또는 임의의 다른 원하는 구조화된 광 패턴을 포함하는 광범위하고 본질적으로 임의의 광 분포로 변환하는 데 사용될 수 있다.

[0185] 일부 실시태양에서, 소정의 두께(예를 들어, 작업 거리)의 간격층이 CMOS 이미지 센서, LED, VCSEL 등에 증착되어 원하는 카메라 디자인, 조명기 디자인 또는 최적의 시스템 성능에 적합한 광학 거리를 구현할 수 있다. 이러한 다양한 실시태양에서, 간격층 재료는 유기 또는 무기일 수 있고 메타표면을 포함하는 유전체 소자보다 낮은

굴절률을 가질 수 있다. 이러한 일부 실시태양에서, 간격층의 두께는 특정 광학 시스템에 적절한 광학 간격을 제공하도록 변경될 수 있다.

[0186] 다양한 실시태양은 또한 메타표면 소자를 제조하는 방법에 관한 것이다. 이러한 일부 실시태양에서, 본 방법은 센서 또는 조명기와 같은 다른 장치를 포함하여, 일부 실시태양에서, 예를 들어, 작은 치수의 기계적 조립 또는 센서와 광학 장치의 능동적 정렬과 같은 고가의 제조 공정을 피하게 하는 웨이퍼 상의 메타표면 소자의 제조에 관한 것이다. 이러한 일부 실시태양에서, 메타표면 소자는 반도체 랩에서 일련의 동작으로 센서(또는 조명기)와 통합될 수 있다. 많은 이러한 실시태양에서, 시퀀스는 (i) 센서 또는 조명기, (ii) 선택적인 마이크로렌즈 어레이/폴리메이터, 선택적인 필터, 선택적인 간격층, 선택적인 메타표면 소자(들), 선택적인 추가 간격층, 선택적인 메타표면 소자(들), 선택적 반사 방지(AR)층, 선택적 보호층을 포함한다. 많은 이러한 실시태양에서, 일련의 소자는 (i) 센서 또는 조명기, (ii) 선택적인 마이크로렌즈 어레이/폴리메이터, 선택적인 필터, 선택적인 간격층, 선택적인 메타표면 소자(들), 선택적인 추가 간격층, 선택적인 메타표면 소자(들), 선택적 반사 방지(AR)층, 선택적 보호층을 포함한다.

[0187] 메타표면 소자 제조를 위한 실시태양

[0188] 현재 메타표면 소자의 제조는 CMOS 장치에서 이러한 메타표면 소자의 구현 및 채택을 제한하는 대량 제조와 양립할 수 없는 특수 공정 및 시스템의 사용을 필요로 한다. 메타표면 소자를 형성하기 위한 종래 공정의 예시적인 설명은, 예를 들어, 미국 특허 제8,848,273호에서 찾을 수 있으며, 이의 개시 내용은 본 명세서에 참조로 포함된다. 표준 반도체 공정을 통해 메타표면을 생산할 수 있는 능력은 메타표면 광학 장치를 발광 다이오드(LED), 수직 공동 표면 발광 레이저(VCSEL), 상보적 금속 산화물 반도체(CMOS) 이미지 센서, 마이크로 전자기계(MEM) 장치 등과 같은 기능성 소자의 직접 통합을 가능하게 할 것이며, 여기서 직접 통합은 기능성 CMOS 소자를 제조하는 데 사용된 것과 동일하거나 유사한 단위 공정을 사용하는 메타표면 소자와 센서/조명기의 조합을 의미한다.

[0189] 따라서, 많은 실시태양은 메타표면 소자 및 시스템의 제조 방법, 보다 특히 종래의 반도체 파운드리 내에서 구현될 수 있는 방법에 관한 것이다. 다양한 실시태양에서, 메타표면 소자의 제조에 적합한 종래의 공정은 다른 것들 중에서 포토리소그래피, 나노임 프린팅, 다양한 화학적 기상 증착(CVD), 원자층 증착(ALD) 및 물리적 기상 증착(PVD) 질량 전달 공정, 화학적 및 플라즈마 식각(및 CMC)을 포함할 수 있다. 도면을 참조하면, 메타표면 소자의 실시태양의 다양한 양태의 제조에 적합한 예시적인 제조 공정의 일련의 세트가 도 1a 내지 도 1g의 개략도에 제시되어있다.

[0190] 메타표면 광학 소자는 10 나노미터 내지 마이크론 스케일의 피처 크기를 갖는 유전체로 구성되거나, 또는 일반적으로 메타표면이 사용되는 광의 파장보다 작은 유전체로 구성된다. 도 1a 내지 도 1c를 참조하면, 많은 실시태양에서, 메타표면 소자를 제조하기 위한 초기 단계는 메타표면 피처의 어레이의 패터닝 및 형성을 포함한다. 많은 이러한 실시태양에서, 도 1a에 도시된 바와 같이, 이 메타표면 피처 형성 공정은 그 자체로 적절한 기관(10) 위에 배치되는 두께(t)(t 는 막 두께 및 최종 메타표면의 높이)의 적절한 하드 마스크 재료(12)의 상부에 패터닝 재료(14)를 증착함으로써 달성된다. 예를 들어, 스퍼터링, 화학적 기상 증착(CVD) 또는 원자층 증착(ALD)을 포함하는 임의의 적절한 증착 기술이 이들 층을 형성하는 데 사용될 수 있다.

[0191] 본 개시 전반에 걸쳐 예시적인 재료가 특정 실시태양과 관련하여 논의될 것이지만, 패터닝 재료, 하드 마스크 재료 및 기관의 임의의 적절한 조합이 이들 목적을 위해 사용될 수 있음이 이해될 것이다. 예를 들어, 다양한 실시태양에서, 기관 재료는 적절한 구조적 지지를 제공하고 원하는 대역폭에 걸쳐 빛에 대해 투명하도록 선택된다. 실시태양에 기술된 공정을 사용하여 성공적으로 구현된 예시적인 기관 재료는, 예를 들어, 용융 실리카, 사파이어, 붕규산염 유리 및 희토류 산화물 유리를 포함한다. 유사하게, 하드 마스크 재료는 반도체 파운드리에 사용하기에 적합한 임의의 쉽게 구입 가능한 재료로부터 선택될 수 있다. 예시적인 하드 마스크 재료는, 예를 들어, 실리콘, 다양한 화학량론의 실리콘 질화물, 이산화규소, 이산화티탄, 알루미늄 등을 포함한다. 예를 들어, 하드 마스크 재료가 매립 재료를 형성하는 다양한 실시태양에서, 하드 마스크 재료는 특정 파장의 광에서 낮은 (예를 들어, 1 내지 2.4) 굴절률을 갖도록 선택될 수 있다. 마지막으로, 실시태양에 따른 패터닝 재료는 임의의 적합한 포토레지스트, 예를 들어 원하는 크기의 메타표면 피처를 형성할 수 있는 리소그래피 파장에 대해 조정된 포토레지스트로 형성될 수 있다. 예시적인 리소그래피 프로세스는 예를 들어 자외선 및 심 자외선(DUV) 리소그래피를 포함한다. 다른 실시태양에서, 패터닝 층은 나노 임프린트 리소그래피에 사용하기에 적합한 폴리머 재료일 수 있다. 사용된 특정 재료와 상관없이, 패터닝 재료는 10 나노미터에서 마이크론 규모까지 원하는 피처 패턴을 재생할 수 있어야 하며 후속 단계에서 선택 영역의 기본 하드 마스크 막을 적절하게 보호해야

한다.

[0192] 특히, 도 1b에 도시된 바와 같이, 일단 기관(10), 하드 마스크(12) 및 패터닝 재료(14) 층이 제 위치에 놓이면, 패터닝 재료는 최종의 의도된 메타표면 피쳐 배열 구조의 음 또는 양의 재생에 상응하는 피쳐(16)의 어레이를 재생하도록 패터닝된다. 이 피쳐 어레이 패턴을 생성하는 공정은 원하는 피쳐 크기를 생성하기에 적합한 임의의 형태를 취할 수 있다. 예를 들어, 가시적 또는 근적외선 응용에 사용하기 위한 메타표면 소자의 실시태양에서, UV 리소그래피(예를 들어, UV 리소그래피 단계의 작동 파장이 193nm 미만인 경우)가 사용될 수 있다. 또 다른 실시태양에서, 패턴은 나노임프린트 리소그래피 공정에서 마스터 스탬프에 의해 물리적으로 임프린트될 수 있다.

[0193] 도 1c에 도시된 바와 같이, 원하는 피쳐 어레이 패턴(16)이 제 위치에 놓이면, 이방성 식각 공정이 원하는 피쳐 패턴을 하드 마스크 층(12)으로 전달하는 데 사용된다. 실시태양에 따라 사용하기 위한 예시적인 이방성 식각 공정은 반응성 이온 식각 공정이다. 예를 들어, SF₆ 가스, Cl₂ 가스, BCl₃ 가스, C₄F₈ 또는 이들 가스의 임의의 혼합물을 포함하는 다수의 가능한 화학 반응이 반응성 이온 식각 공정에 사용될 수 있음이 이해될 것이다. 또한, 가스 혼합물은 하나 이상의 가스가 도입된 후 일부 설정 시간 후에 하나 이상의 가스의 고유한 제 2 세트가 도입되는 다중화된 방식으로 정적이거나 시간이 정해질 수 있다. 사용된 특정 이방성 식각 공정에 관계없이, 패턴이 하드 코트 층으로 식각되면, 나머지 포토레지스트는 임의의 적절한 방법(예를 들어, 화학적 용매, 화학적 식각제, 플라즈마 식각제 등)을 사용하여 제거될 수 있다. 다양한 실시태양에서, 하드 마스크 재료(14)에 형성된 피쳐 어레이(16)를 최종 메타표면 소자로서 사용하는 것이 바람직할 수 있다. 이러한 실시태양에서, 공정은 여기서 중지되거나, 예를 들어, 도 1g에 도시된 바와 같이 적절한 AR 코팅 또는 기계적 보호 매립층의 증착과 결합될 수 있다.

[0194] 도 1d에 도시된 바와 같이, 특정 메타표면 재료가 최종 메타표면 소자에 사용되는 경우, 식각된 하드 마스크(12)에 형성된 피쳐 패턴(16)(도 1c에 상기한 바와 같이)은 최종 메타표면 구조에 대한 템플릿으로서 작용할 수 있다. 이러한 실시태양에서, 마스크를 네거티브로 채우고 메타표면 소자를 생성하기 위해 화학적 기상 증착(CVD), 원자층 증착(ALD) 등과 같은 적합한 컨포멀 코팅 방법을 사용하여 별도의 메타표면 재료(18)가 증착된다. 도시된 바와 같이, 메타표면 재료(18)는 하드 마스크(12)에서 식각된 피쳐 패턴(16)에 의해 형성된 공간을 가득 채워서 공간을 완전히 채운다. 공간(20)을 채우는 것에 더하여, 이 공정은 메타표면 재료의 덮개층을 나머지 하드 마스크 위에 남긴다. 또한, 특정 메타표면 재료가 전체에 걸쳐 논의될 것이지만, 실시태양에 따른 메타표면 재료는 원하는 굴절률을 가지며 반도체 파운드리에 사용하기에 적합한 임의의 쉽게 구입 가능한 유전체 재료로부터 선택될 수 있음이 이해될 것이다. 예시적인 메타표면 재료는, 예를 들어, 규소, 다양한 화학량론의 규소 질화물, 이산화규소, 이산화티탄, 알루미늄 등을 포함한다.

[0195] 도 1e를 참조하면, 메타표면 재료의 오버필(overfill)이 증착되면, 패턴화된 하드 마스크(12) 및 메타표면 재료(12)에 균일한 높이를 제공하는 오버필 층을 제거하기 위해 실시태양에 따라 식각 또는 화학적-기계적 평탄화가 수행될 수 있다. 매립된 메타표면이 요구되고, (이전에 기술된 바와 같이) 적절한 하드 코트 재료가 매립 재료로서 작용하도록 선택되는 실시태양에서, 공정은 중단될 수 있고 하드 코트 재료 구조로 매립된 최종 메타표면 재료는 최종 메타표면 소자로서 사용되었다. 이 메타표면 소자는 이후에 후술되는 바와 같이 적절한 AR 코팅 층 또는 기계적 보호층으로 선택적으로 코팅될 수 있다.

[0196] 다양한 실시태양에서, 도 1e에 도시된 바와 같이, 하드 마스크 재료(12)는 독립형 메타표면 소자(20)를 남기고 제거된다. 이러한 실시태양에서, 하드 마스크는 메타표면 재료(18)보다 훨씬 높은 비율(예를 들어, 100:1 또는 1000:1 이상)로 하드 마스크 재료(12)를 식각하는 선택적 식각 화학을 사용하여 제거될 수 있다. 당업자에게 이해되는 바와 같이, 이러한 공정은 메타표면 재료 및 하드 마스크 재료의 특정 선택에 의존한다. 예를 들어, 하드 마스크가 규소이고 메타표면이 TiO₂ 인 실시태양에서, XeF₂ 식각 화학은 실질적으로 메타표면 재료를 변경하지 않고 규소를 선택적으로 제거할 것이다. 메타표면 소자가 독립형으로 디자인되는 실시태양에서, 즉 메타표면 소자 피쳐가 기관의 단부로부터 돌출되어 있으며 단지 공간(22)이 이들을 분리하는 실시태양에서, 공정은 이 단계에 완료된다.

[0197] 마지막으로, 상기한 바와 같이, 메타표면이 AR 코팅 또는 기계적 보호층을 갖는 것이 바람직한 특정 실시태양에서, 최종 메타표면 소자를 완성하기 위해 추가 단계가 필요하다. 도 1g를 참조하면, 다양한 실시태양에서, AR 코팅 또는 기계적 보호 또는 평탄화 층(24)이 메타표면 피쳐(20) 사이에 공극(22)을 파일링하고 메타표면 재료 층(18)의 표면 위로 연장하도록 증착될 수 있다. 특정 광학 시스템 디자인에 적합한 광학 특성, 예를 들어, 바람직한 파장에서 또는 관심 대역폭에 걸쳐 적절한 굴절률 및 최소 광 흡수를 갖는 임의의 재료(평탄화 층은 복

합 광학 시스템을 위한 다중 레벨의 메타표면 소자를 가능하게 할 수 있다)가 이 공정에 사용될 수 있다는 것이 이해될 것이다.

[0198] 상기한 바와 같이, 메타표면을 보호하고 개선된 기능성을 제공하기 위해, 많은 실시태양에서 메타표면 구성 요소 및 기판면은 하나 이상의 재료 또는 재료 층으로 코팅된다. 도 2a를 참조하면, 매립된 메타표면의 개략도가 도시되어 있다. 도시된 바와 같이, 상기한 바와 같이 원하는 광학 특성을 갖는 임의의 재료일 수 있는 메타표면 피처(20)는 전형적으로 낮은 굴절률을 갖는 매립 매체(24)에 매립된다. 예시적인 매립 재료는, 예를 들어 폴리(메틸메타크릴레이트), SU8, 벤조사이클로부텐 및/또는 이산화 규소, 산화 알루미늄, 이산화 티타늄, 질화 규소, 산화 하프늄, 산화 아연 또는 스피ن-온-유리를 포함한다. 저 굴절률 매립 매체는 메타표면 피처를 캡슐화하고 메타표면 피처 위에 약간의 두께로 연장될 수 있다. 이러한 실시태양에서, 저 굴절률 매체는 메타표면 소자에 대한 보호 장벽으로서 작용할 수 있다(즉, 기계적 안정성을 제공한다). 매립 재료는 또한, 예를 들어, 메타표면의 전체 투과 또는 효율을 개선시키고 일부 경우에 개별 AR 코팅에 대한 필요를 제거하기 위해 특정 특성이 최적화되게 하는 시스템을 위한 추가적인 디자인 자유도를 제공한다. 매립된 메타표면이 기판상에 제조되지만, 메타표면은 또한 이하에서 상세히 설명되는 바와 같이 센서/조명기로부터 연장될 수 있는 것으로 도시되어 있다. 결합된 소자(메타표면, 매립 매체 및 기판)는 또한 메타표면(26')를 포함하는 기판의 측면 및/또는 기판(26)의 후측면에 적절한 반사 방지 코팅으로 코팅될 수 있다. 많은 실시태양에서, AR 코팅은 이산화 규소, 이산화 티타늄, 산화 알루미늄, 질화규소, 질화 알루미늄 또는 비정질 규소의 임의의 조합의 교대층을 포함할 수 있으며, 여기서 각각은 메타표면의 작동 대역폭 내에서 광의 파장보다 작은 두께를 갖는다. 또한, 상기한 바와 같이 매립 매체 자체는 잠재적으로 반사 방지 코팅으로서 사용될 수 있다.

[0199] 소정의 매립된 메타표면 실시태양이 위에서 설명되었지만, 다양한 다른 실시태양에서, 메타표면은 도 2b에 도시된 바와 같이 매립되고 평탄화될 수 있다. 이러한 실시태양에서, 메타표면 소자는 적절한 저 굴절률 재료(상기한 바와 같이)에 매립될 수 있고, 추가 단계에서, 매립 매체(24)는 식각되거나 평탄화되어 그 높이가 메타표면 소자(20)와 상응하게 된다. 선택적인 반사 방지 코팅은 또한 베어 기판 표면(26) 또는 패터화된 메타표면 측면(도시되지 않음)에 포함될 수 있다.

[0200] 종래의 기판상에 메타표면 소자를 제조하기 위한 실시태양

[0201] 상기 논의는 종래의 CMOS 제작 기술을 사용하여 다양한 독립형 또는 매립된 메타표면 소자를 형성할 수 있는 제조 공정을 상세히 기술하였지만, 실제로는 파운드리 의 기존 장비를 사용하여 메타표면 소자의 경제적인 생산을 위해 종래의 메타표면 소자를 적용하는 것이 불가능할 수 있다. 예를 들어, 메타표면 소자의 광학 특성을 맞추기 위해 통상적으로 사용되는 디자인 기준 중 하나는 기판 두께이다. 이 기판 두께를 변화시킴으로써 메타표면 소자 디자이너에게 원하는 광학적 특성을 얻는 데 있어 또 다른 자유도를 제공한다. 그러나, 대부분의 파운드리에 이미 존재하는 장비는 그 위에 메타표면 소자가 제작될 기판에 대한 특정한 기계적 요건에 도달하는 한계가 있다. 파운드리 내의 표준 기판 직경, 예를 들어 200mm 및 300 mm의 경우, 기판의 두께는 각각 725 마이크론 및 775 마이크론으로 제한된다. 이러한 고정된 기판 두께는 결과적으로 광학 기능, 따라서 기판상에 형성된 메타표면 또는 그러한 기판상에 형성된 다중 메타표면 시스템의 디자인에 대한 특정 요건을 부과한다(예를 들어, 대량 생산에서 단일 다이 또는 그 이상에 5,000개의 메타표면이 형성될 수 있다).

[0202] 따라서, 많은 실시태양은 메타표면 소자 또는 시스템의 제작이 메타표면 또는 메타표면 시스템이 생산되는 특정 기판 두께에 맞춰지는 공정에 관한 것이다. 예를 들어, 다양한 실시태양에서, 전체 광학 구성 요소(들)에 특정 기능을 부여하기 위해 메타표면 소자에 의해 부여될 필요가 있는 위상 변이는 소자가 형성되는 기판 두께에 고유할 것이다. 따라서, 일부 실시태양에서, 메타표면 소자를 디자인 및 제작하는 절차는 (1) 메타표면 소자의 장치 사양을 고려하는 단계, (2) 위에 메타표면 소자에 형성되는 기판의 두께 및 광학 특성(굴절률 및 흡수율)을 고려하는 단계, (3) 기판의 특성에 대한 원하는 사양을 얻기 위해 메타표면의 위상 프로파일을 최적화하는 단계, 및 (4) 위상 프로파일을 재생하는 데 필요한 메타표면 소자의 두께 및 면내 치수를 결정하는 단계를 포함한다.

[0203] 도 3을 참조하면, 표준 기판 두께를 사용하여 메타표면을 생산하는 것에 따른 예시적인 공정이 제공된다. 도시된 바와 같이, 메타표면 재료의 증착 및 리소그래피 패터닝 및 식각(상기 도 1a 내지 도 1g에 기술된 바와 같이) 이후, 메타표면 층이 표준 기판 두께에 대해 디자인되는 경우, 추가적인 보호층 또는 AR 코팅이 추가 백엔드(backend) 처리를 위해 전송되기 전 메타표면 상에 배치될 수 있다. 많은 이러한 실시태양에서, 백엔드 처리는 다이싱 공정을 사용하여 기판에 걸쳐 형성된 수천 개의 메타표면을 싱글레이션하는 단계를 포함할 수 있다. 또한, 위에서 논의된 표준 두께와 상이한 최종 기판 두께를 갖는 메타표면을 생산하는 것이 바람직한 실

실태양에서, 하부 기판의 두께를 변경하기 위한 추가 단계가 수행될 수 있다. 이러한 실시태양에서, 메타표면은 산업 표준과 일치하도록 반도체 공정에서 두께 표준(각각 725 또는 775 마이크로미터)을 갖는 표준 기판 직경(200 또는 300mm) 상에 초기에 형성될 것이다. 표준 두께 기판상의 메타표면의 초기 정의 후에, 기판 두께를 변경하기 위해 후속 백엔드 처리가 수행될 것이다. 실시태양에 따른 기판의 두께를 변경하기 위한 적절한 방법은, 예를 들어, 기판 재료를 점차적으로 제거하기 위한 분쇄 또는 분쇄 및 화학적 처리의 조합을 포함한다. 이러한 실시태양에서, 메타표면이 형성된 최종 기판 두께는 시작 표준 두께보다 작은 임의의 값일 수 있다. 대안적으로, 더 두꺼운 기판이 요구되는 경우, 임의의 수의 메타표면(1,000 내지 10,000개의 개별 메타표면)을 포함하는 2개의 독립적인 웨이퍼가 최종 단일체 유닛이 세트의 웨이퍼 결합 공정을 통해 원하는 두께를 달성하도록 실시태양에 따라 조합되어, 각 측면 상에 메타표면의 한 세트를 갖는 최종 모놀리스 유닛은 최종 디자인에 필요한 총 두께를 갖는다. 이러한 실시태양에 따른 공정은, 요구되는 최종 두께가 표준 두께의 2배인 경우, 표준 두께를 갖는 2개의 기판에 대해 수행될 수 있거나, 또는 조합된 유닛의 최종 두께가 임의의 원하는 두께를 갖도록 얇아진 2개의 기판에 대해 수행될 수 있다. 이러한 실시태양에서, "백엔드 처리"는 각각의 개별 기판의 각각이 결합되기 전에 서로 정렬될 수 있는 추가 웨이퍼 결합 단계를 포함할 수 있다.

[0204] 비 이상적인 피처를 갖는 메타표면 소자를 제조하기 위한 실시태양

[0205] 메타표면을 디자인하기 위한 종래의 공정에서, 제작된 것에 대한 디자인된 메타표면으로부터 형상 충실도는 종종 1 대 1 대응 또는 일부 오차 범위 내에서 유지되는 것으로 가정된다. 이 접근법은 형상 세트의 한 피처가 변하는 단일 세트의 형상, 예를 들어, 메타표면에 걸쳐 다양한 직경을 갖는 원으로 주로 이루어진 메타표면 어레이를 유도한다. 그러나, 메타표면의 잠재적 대량 생산에 사용된 제작 기술, 예를 들어, 상기한 UV 리소그래피는 일반적으로 특정 기하학적 형태의 충실한 재생산을 수행할 수 없다. 이와 같이, 많은 실시태양은 메타표면 소자 및 메타표면의 기능은 비 이상적이고 불균일한 형상을 사용하여 재생되는 메타표면 제작 공정에 관한 것이다.

[0206] 예를 들어, 도 4a는 불균일한 형상 세트가 메타표면에 걸쳐 분포되는 메타표면의 예시적인 섹션의 단면 개략도를 제공한다. 이 특정 실시태양에서, 사각 기둥이 바람직하다. 그러나, 제작 후 소정의 메타표면 내에 실제 형성된 것은 변하는 측면 길이(예를 들어, s_1)를 갖는 직사각형, 변하는 반경(r_e)의 둥근 모서리를 가진 직사각형 및 변하는 반경(r_1 또는 r_2)을 갖는 원의 어레이이다. 특히, 더 큰 피처는 직사각형 또는 둥근 모서리를 가진 직사각형으로 디자인되며; 그러나, 직사각형의 측면 길이가 일부 최소 측면 길이 이하로 감소됨에 따라 직사각형은 원이 된다. 실시태양에 따른 공정에서, 제조 제한은 최종 메타표면 소자 어레이 구조를 결정하는 데 사용된 각각의 원하는 메타표면 피처 형상 및 이러한 비 이상적이거나 불균일한 피처 소자에 대해 모의실험된다.

[0207] 예를 들어, 도 4b 및 도 4c는 메타표면 소자 마스크 십자선으로부터 인쇄 및 디자인된 패턴의 변화를 도시하는 도면을 제공한다. 도시된 바와 같이, 측면 200nm 및 주기 450nm의 디자인된 정사각형 피처에 대한 실시태양에서, 인쇄된 제작 기술은 실제로 직경 200nm의 원을 복제할 것이다(도 4b). 대조적으로, 측면 296nm 및 450nm의 간격의 정사각 피처 경우, 제작된 피처는 모서리가 둥근 정사각형이다(도 4c). 따라서, 정사각형 메타표면 피처가 디자인되는 메타표면 소자의 많은 실시태양은 산업 표준 CMOS 복제 기술의 사용을 허용하기 위해 ~300nm 미만의 둥근 사각형 및 ~200nm 미만의 원으로 대체될 수 있다.

[0208] 다수의 메타표면 소자를 제조하기 위한 실시태양

[0209] 진술한 바와 같이, 다양한 실시태양은 메타표면 소자를 함께 포함하는 2개의 기판을 웨이퍼 결합하는 방법에 관한 것이다. 이러한 실시태양은, 예를 들어, 이중 및 삼중과 같은 다수의 메타표면 소자(예를 들어, 2개 또는 3개의 별개의 메타표면 피처 어레이를 포함하는 메타표면 소자)의 용이한 제작을 허용하도록 변형될 수 있다. 특히, 많은 웨이퍼 결합 공정이 존재하더라도 각각은 접합되는 기판에 특정한 열 소모 비용을 부과한다. 메타표면 소자의 많은 실시태양이 메타표면 재료로서 비정질 Si를 사용하기 때문에, 기판의 과도한 가열은 Si의 결정화를 초래할 수 있다. 따라서, 예를 들어 저온에서 둘 이상의 메타표면 소자의 웨이퍼 결합을 허용하도록 UV 경화된 폴리머(예를 들어, 벤조사이클로부테인(BCB) 등과 같은) 또는 플라즈마 활성화된 SiO_2 를 사용하는 것과 같은 저온 공정을 사용하여 이중 및 삼중의 메타표면의 형성을 가능하게 한다.

[0210] 도 5를 참조하면, 실시태양에 따른 이중 메타표면을 형성하기 위한 개략도가 도시되어 있다. 도시된 바와 같이, 많은 이러한 실시태양에서, 복수의 고유한 메타표면 소자(30 및 32)는 2개의 별개의 기판(34 및 36) 상에 제작된다. 이어서, 메타표면 소자는 각각의 고유한 기판의 바닥(예를 들어, 임의의 메타표면 소자가 없는 기판의 면의 일부)을 융합함으로써 결합 시스템으로 제조된다. 위에서 논의된 바와 같이, 기판은 웨이퍼 결합 기술, 광학 에폭시, 또는 2개의 고유한 소자를 사용된 메타표면 재료의 허용된 열 소모 비용 내에서 단일 소자로 결합하기

위한 임의의 적절한 방법에 의해 융합될 수 있다. 많은 실시태양에서 결합 재료(38)는 유리 결합을 용이하게 하는 벤조사이클로부텐, 경화된 폴리머 SU8 또는 이산화 규소 막과 같은 접착제일 수 있다. 메타표면 재료의 열 소모 비용이 낮은 경우(600°C 미만), 이산화 규소 결합은 저온 플라즈마 활성화 SiO_2 결합일 수 있다. 또한, 도시되지는 않았지만, 메타표면은 도 2a 및 도 2b에 도시된 실시태양에 기술된 바와 같이 매립될 수 있다. 또한, 도 3을 참조하여 기술된 바와 같이, 궁극적으로 메타표면 사이의 공간의 총 두께를 구성하는 2개의 기관의 두께는 결합된 시스템의 특정 특성을 최적화하도록 추가로 변경될 수 있다.

[0211] 지금까지 본 발명은 단지 2개의 메타표면 소자를 포함하는 상세한 실시태양을 갖지만, 이 공정은 임의의 수의 메타표면 소자로 일반화될 수 있다. 예를 들어, 특정 응용 분야는 3개 이상의 메타표면을 모놀리스 유닛으로 결합될 것을 필요로 할 수 있다. 그러한 경우에, 별도의 메타표면 소자를 포함하는 2개의 기관이 초기 비 결합 유닛을 형성할 수 있다. 이런 공정의 예시적인 실시태양의 예시가 도 6에 제공된다. 도시된 바와 같이, 많은 이런 실시태양에서, 메타표면 기관(40) 중 적어도 하나는 메타표면 소자(42)로 패터닝된 한 측면을 갖는 반면 기관의 반대편 측면은 완전히 패터닝되지 않거나 관심 특정 파장에 대한 대역 필터(44)를 포함할 수 있다. 이러한 실시태양에서, 필터는, 예를 들어, 이산화 규소, 이산화 티탄, 비정질 규소, 질화규소 및 산화 알루미늄과 같은 낮은 굴절률 및 높은 굴절률 재료의 교대층을 포함하는 하나 이상의 적합한 재료로 형성될 수 있다. 적어도 제 2 메타표면 기관(46)은 기관의 각 면에 2개의 고유한 메타표면 소자(48 및 50)를 갖는다 (이 제 2 메타표면 기관은 또한 도 5와 관련하여 상기한 바와 같이 자체의 중간 결합 단계를 통해 형성될 수 있다). 이어서, 메타표면 기관(40 및 46)은 각 고유한 기관의 하부(예를 들어, 2개의 메타표면 소자(48 및 50) 중 하나를 포함하는 제 2 기관(46)의 면의 일부를 갖는 임의의 메타표면 소자가 없는 제 1 기관(40)의 면의 일부)를 융합함으로써 결합된 시스템으로 만들어진다. 위에서 논의된 바와 같이, 기관은 웨이퍼 결합 기술, 광학 에폭시, 또는 2개의 고유한 소자를 사용된 메타표면 재료의 허용된 열 소모 비용 내에서 단일 소자로 결합하기 위한 임의의 적절한 방법에 의해 융합될 수 있다. 많은 실시태양에서 결합 재료는 유리 결합을 용이하게 하는 벤조사이클로부텐, 경화된 폴리머 SU8 또는 이산화 규소 막과 같은 접착제일 수 있다. 메타표면 재료의 열 소모 비용이 낮은 경우(600°C 미만), 이산화 규소 결합은 저온 플라즈마 활성화 SiO_2 결합일 수 있다. 이 결합 재료는 접합될 두 기관의 면 상에 또는 사이에 배치된다. 특정 구현들에서, 다양한 메타표면 소자가 위에서 개략적으로 설명된 바와 같이 선택적으로 캡슐화될 수 있다(52 & 54). 그러나, 결합 공정의 용이함을 위한 많은 실시태양에서, 결합된 삼중 장치에서 노출된 기관 면 또는 대역 필터(44)에 근접한 적어도 메타표면 소자(48)는 폴리머 및/또는 고체 상태 결합제(56)에 매립된다.

[0212] 메타표면 소자를 결합하는 상기 예는 각각의 메타표면 요소를 고체 기관에 의해 분리하였지만, 일부 실시태양에서 각각의 메타표면 소자는 대신에 공극에 의해 분리될 수 있다. 도 7을 참조하면, 공극을 포함하는 이중 메타표면의 개략도가 도시되어 있다. 도시된 바와 같이, 많은 이러한 실시태양에서, 2개 이상의 메타표면 소자(60 및 62)는 도 5와 관련하여 전술한 것과 같은 적절한 방법을 사용하여 고유 기관(64 및 66) 상에 형성된다. 그런 후에 고유한 메타표면 소자는 메타표면 사이의 개구부 내의 공간이 채워지지 않는 모놀리스 유닛을 만들기 위해 식각된 하나 이상의 개구부(70)를 포함하는 제 3 기관 또는 스페이서 기관(68)과 결합된다(즉, 메타표면 소자(60 & 62) 사이에 공극이 형성된다). 메타표면 사이의 공간은 시스템 수준 최적화를 위한 추가 디자인 도구를 제공한다. 예를 들어, 많은 실시태양에서 스페이서 웨이퍼 두께를 조절함으로써, 다양한 상이한 디자인을 구현할 수 있다. 또한, 다양한 실시태양에서, 도 7에 도시된 바와 같이, 조명기 및/또는 센서(74)와 같은 다른 시스템 요소를 포함하기 위해 추가 스페이서 기관(72)을 추가하는 것이 가능하다.

[0213] 이러한 스페이서 기관을 포함하는 실시태양에서, 임의의 적합한 기관 재료가 사용될 수 있다. 예를 들어, 많은 실시태양에서, 스페이서 기관은, 예를 들어, 폴리머, SiO_2 , 유리 등과 같은 임의의 저 굴절률 재료일 수 있다. 또한, 다른 실시태양에서 스페이서 재료는 블랙 크롬으로 코팅될 수 있다. 메타표면 소자는 또한 도 1a 내지 도 1g에 기술된 바와 같은 방법 또는 일반적으로 반도체 제조 공정을 사용하여 제작될 수 있다.

[0214] 상기 실시태양은 2개 및 3개의 메타표면을 결합하는 공정을 기술하였다; 그러나, 이러한 실시태양은 단지 2개 또는 3개의 메타표면을 넘어 확장될 수 있다. 예를 들어, 도 5 내지 도 7와 관련하여 상기한 단계를 반복함으로써, 실시태양은 임의의 수의 메타표면 소자의 적층을 허용한다. 도 8a를 참조하면, 다양한 실시태양에서 한 세트의 메타표면(80, 82, 84 등) 및 간격층(86, 88 등)이 조명기 또는 센서와 직접 통합될 수 있다. 이러한 실시태양에서, 선택적인 간격층(90)은, 예를 들어, 도 1a 내지 1g와 관련하여 기술된 바와 같이 적절한 증착 프로세스를 통해 센서/조명기(92) 상에 먼저 형성된다. 간격층(90)에 이어서, 원하는 기능을 수행하기 위해 필요에 따

라 임의의 수의 메타표면 소자(80 내지 메타표면 $n + 1$)가 제작될 수 있다. 각각의 후속 메타표면은 또한 간격층(86 내지 스페이서 $n + 1$)에 의해 분리될 수 있고 각 간격층의 두께는 광학 다지인에 의해 필요에 따라 변할 수 있다. 상기한 바와 같이, 이러한 실시태양에서 간격층은 임의의 저 굴절률 재료, 예를 들어 폴리머, SiO_2 , 유리일 수 있다. 또한 상기한 바와 같이, 이러한 실시태양에서의 메타표면 소자는 또한 특정 대역폭에 대해 최적화된 임의의 재료, 예를 들어 규소, TiO_2 , 알루미늄, 금속 등 일 수 있다. 메타표면 소자는 또한 도 1a 내지 도 1g에 기술된 바와 같은 방법 또는 일반적으로 반도체 제조 공정을 사용하여 제작될 수 있다.

[0215] 상기 설명은 센서 또는 조명기(92)와의 통합을 가정하지만, 도 8b에 도시된 바와 같이, 한 세트의 메타표면 소자 및 간격층이 기관(90) 상에 반복적으로 제작될 수 있다. 도시된 바와 같이, 이러한 실시태양에서, 본 공정은 도 8a와 관련하여 기술되나, 메타표면/스페이서 스택을 센서/조명기(92)에 통합하기보다는, 스택이 독립형 기관(90) 상에 생산된다. 이러한 실시태양에 따른 결합된 기관 및 스택은 광학 시스템에 통합되거나 독립형 광학 구성 요소로서 사용될 수 있다.

[0216] 다층 메타표면 소자의 제조 및 그 제조의 실시태양

[0217] 전술한 실시태양에서, 각각의 메타표면 소자는 더 큰 광학 시스템에서 고유한 광학 기능을 수행하도록 디자인되고, 메타표면 소자는 전형적으로 거시적 거리(10 이상의 파장의 거리)에 의해 분리되지만, 다양한 실시태양에서 패턴화된 재료의 복수의 2개의 층은 서로 미세한 거리(예를 들어, 서로에 대해 광의 파장보다 작거나 같은 정도의 거리)로 제공되어 조합된 층은 단일 광학 기능을 수행하는 단일 메타표면 소자를 형성할 수 있다. 이는 매우 복잡한 메타표면 피처를 필요로 하는 광학 기능이 요구되는 경우에 특히 유리할 수 있다. 이러한 복잡한 피처는 제작할 표준 CMOS 제작 기술의 능력을 넘어설 수 있다. 그러한 경우에, 실시태양에 따른 미세한 거리에 배치된 간단한 피처의 조합은 복잡한 피처 형상의 광학 기능을 복제하는 데 사용될 수 있다. 도 9를 참조하면, 거리, t_{offset} 만큼 분리된 두 층의 패턴화된 재료를 포함하는 메타표면 소자의 한 실시태양의 개략도가 제공된다. 2층 시스템에 대한 개략도만 도시되어 있지만, 거리, t_{offset} 가 복수의 층의 광학 기능의 조합을 허용하기에 충분히 작은 한, 임의의 수의 이러한 층이 제공될 수 있음이 이해될 것이다. 이들 피처 층은 상기 도 1 내지 8과 관련하여 설명된 제작 단계의 임의의 적절한 조합을 사용하여 형성 및 결합될 수 있다.

[0218] 메타표면 소자를 VCSEL과 통합하기 위한 실시태양

[0219] 실시태양에 따른 메타표면 소자를 제조하는 기술 및 공정은 또한 조명원과 통합을 직접 가능하게 한다. 메타표면 소자와 VCSEL 및 VCSEL 어레이의 조합이 특히 중요하다. 일반적으로, 투과성 메타표면 소자는 전자기파에 임의의 위상 프로파일을 각인하여 원거리 장에서 임의의 방사 패턴을 생성할 수 있다. 실시태양에 따른 메타표면 소자를 위한 제작 기술은 VCSEL, 고상 레이저, 양자 캐스캐이드 레이저, LED, 초 발광 LED 또는 임의의 고상 광원과 직접 통합을 가능하게 한다.

[0220] VCSEL은 단일 파장에서 대략 시준된 레이저 광의 빔을 생성하는 단일(또는 소수) 모드 레이저로서 개념화될 수 있다. 충분한 전력 또는 공간 범위를 생성하기 위해, 장치는 하나의 VCSEL이 아니라 VCSEL의 2차원 어레이를 포함할 것이다. 이 광은 실제 공간과 각진 공간에 분포(또는 조명)를 갖는다. 적절히 공동 디자인되고 VCSEL 어레이와 통합될 때 메타표면은 VCSEL 또는 VCSEL 어레이의 실제 및 각진 공간 분포를 모두 변환하는 능력을 가진다. 특히, 메타표면 소자를 VCSEL과 쌍을 이루면 메타표면 소자가 소스 상에 임의의 방사선 패턴(예를 들어, 배트 윙, 탑 햇, 수퍼 가우시안 또는 다른 공지된 패턴)을 각인시킬 수 있다.

[0221] 도 10a는 VCSEL 어레이로부터 원하는 원거리 장 세기를 생성하기 위해 메타표면을 제작하기 위한 실시태양에 따른 공정의 흐름도를 나타낸다. 실제 공간에서 조명을 획득하기 위해, 실시태양에 따라, VCSEL은 원거리 장 영역에서 동작하는 것으로 가정된다. 실험 데이터로부터의 VCSEL의 특징적 원거리 장(VCSEL-FF)은 조명 아래 표면으로 전파되며, 이 경우 위에서 정의된 바와 같이 메타표면 소자이다. VCSEL 어레이의 경우, (VCSEL-FF)를 통한 많은 VCSEL로부터의 출력은 비 일관성 가정하에 조명을 생성하기 위해 표면에서 합산된다. 이 표면 조명은 메타표면 소자(I-MS)에서 강도 분포를 제공한다. 이 조명된 표면의 모든 지점은 VCSEL 원거리 장 각도 분포에서 가져온 입사광 각도 분포를 가진다. 단순화한 경우에, 실시태양에 따라 각각의 점이 약간 다른 각도 분포를 갖지만, 모든 조명된 점이 동일한 VCSEL 원거리 장 각도 분포를 갖는 경우를 고려하는 것이 가능하다.

[0222] 디자인에서 메타표면 소자에서의 각도 분포를 고려하는 메타표면 소자를 생성하기 위해, 표적 원거리 장 분포(TARGET_FF)로부터, 공정의 실시태양은 나선이라는 특성을 갖는 의사 원거리 장(PSEUDO-FF)을 구성한다:

[0223] $((\text{PSEUDO-FF}) * (\text{VCSEL-FF}))(x, y) = (\text{TARGET-FF})(x, y)$ (방정식 1)

- [0224] 즉, 실시태양에 따르면, VCSEL 원거리 장으로 감긴 의사 원거리 장은 표적 원거리 장을 재생한다. 이러한 실시태양에서, 의사-원거리 장은 곡선을 표적 함수에 맞추므로써 계산된다. 그런 후에 (PSEUDO-FF)가 나머지 공정에서 대상(또는 목적 함수)으로 사용된다.
- [0225] 다양한 실시태양에서, 본 공정은 메타표면 그리드를 이산화시키고 위상을 일부 초기 조건으로 설정함으로써 메타표면 그리드를 초기화함으로써 진행된다. 많은 실시태양에서, 비용 함수가 결정된다. 다양한 실시태양에서, 이것은 (PSEUDO-FF)에 대한 VCSEL 조명하에서 메타표면의 원거리 장 투영의 제공 오차가 되도록 선택된다. 일부 실시태양에서, 계산된 원거리 장에서의 결과의 평활도와 같은 다른 목표도 선택적으로 설정될 수 있다. 각 목표에 대해, 상응하는 경사 함수도 도출된다. 이 구배 함수 및 비용 함수의 계산 결과는 실시태양에 따라 최적화 알고리즘에 대한 입력으로서 실시태양에서 사용되며, 도 10에 요약되어 있다. 실시태양에 따르면, 최적화 알고리즘은 픽셀 위상의 결과를 업데이트하고 목적 함수가 일부 기준(즉, 수렴)을 충족할 때까지 계속된다. 비용 함수의 수렴시, 필요한 메타표면 위상 프로파일이 출력되고 메타표면 소자 디자인은 파장 및 원하는 재료에 따라 선택되고(예를 들어, 아래에서 상세히 설명되는 바와 같이), 메타표면 소자에 대한 물리적 디자인이 생성될 수 있다.
- [0226] 예시적인 데이터 플롯은 예시적인 경우에 대해 상기한 알고리즘을 사용한 후 위상(10b) 및 강도(10c)에 대한 실시태양에 따른 공정의 출력을 도시한다. 도시된 바와 같이, 이러한 실시태양에서, 위상은 메타표면 소자에 의해 인코딩되고, 우측의 세기 프로파일은 레이저 소스가 메타표면 소자를 통과하고 원거리 장으로 투영된 후에 생성된다. 따라서, 이러한 공정을 사용하여 원하는 작동 조건하에서 제안된 메타표면 소자에 대한 예측 성능 데이터를 획득하고, 예를 들어 소자의 크기, 높이 및 간격 등과 같은 메타표면 소자 디자인과 같은 양태를 수정함으로써 그 성능을 최적화하는 방법을 설명할 수 있다.
- [0227] 조명 어레이와 메타표면 소자를 통합하기 위한 실시태양
- [0228] 상기 공정은 도 7 및 8a에 도시된 바와 같이 메타표면 소자를 단일 조명원과 통합하는 데 집중하였고, 메타표면 소자는 또한 한 세트의 픽셀화되고 분포된 소스와 통합될 수 있다. 도 11에 도시된 바와 같이, 다양한 실시태양은 장면(110)을 조명하도록 디자인된 한 세트의 조명원(p_1, p_2, \dots, p_n)을 포함할 수 있다(이것은 1d에 도시되나, 시스템은 2D 어레이로 확장될 수 있고 일반적으로 어레이는 주기적으로 이격될 필요는 없다는 것이 이해될 것이다). 각 조명기는 동일할 수 있지만, 많은 실시태양에서 각 조명기의 특성은 일반적으로 고유할 수 있다. 예를 들어, 각각의 조명기는 상이한 파장, 내역폭을 갖거나 고유하게 구동되는 광 파형을 출력할 수 도 있다. 특정 응용분야에서, 도 11의 어레이는 VCSEL의 어레이일 수 있다. 다른 응용분야에서, 어레이 내에서 주기적으로 반복되는 3가지 색상(예를 들어, 적색, 녹색 및 청색)이 있을 수 있다. 어레이를 포함하는 각각의 조명기는 고유한 특성을 가질 수 있기 때문에, 각각 고유하게 디자인된 특성을 갖는 메타표면 소자의 어레이를 갖는 것이 유리할 수 있다. 이러한 실시태양에서, 메타표면 어레이(100)는 스페이서(104)에 의해 조명기 어레이(102)로부터 오프셋 될 수 있다(도 7 또는 도 8b와 유사). 상기한 바와 같이, 간격층(104)의 두께는 특정 디자인에 의존할 것이지만, 많은 실시태양에서, 두께는 조명 소스로부터의 광이 메타표면 어레이(100)와 상호 작용하기 전에 충분히 발산되도록 구성된다. 또한, 어레이에서 각각의 메타표면 소자의 기능은 일반적으로 고유할 수 있지만, 특정 실시태양에서, 각각의 메타표면 소자는 하부 조명기 픽셀의 시준을 제공할 수 있거나 각각의 메타표면 소자는 각각의 하부 조명기 픽셀을 추가로 혼합하도록 작용할 수 있다.
- [0229] 제 1 메타표면 어레이(100)에 부가하여, 다양한 실시태양은 조명기 어레이(102)로부터 방출된 광을 추가로 형성하기 위해 제 2 메타표면 소자(106)를 포함할 수 있다. 다양한 실시태양에서, 제 2 메타표면 소자(106)는 또한 제 2 간격층(108)에 의해 오프셋된다. 이 제 2 간격층(108)이 공극 스페이서로서 도 11에 도시되어 있지만, 이 스페이서는 또한 상기한 바와 같이 다른 실시태양에서와 같이 고상 재료일 수 있음이 이해될 것이다. 많은 실시태양에서, 제 1 메타표면 어레이(100)는 추가의 각도 발산을 조명기 어레이(102)로 도입하도록 구성되는 한편, 제 2 메타표면 소자(106)는 광장 상에 특정 원거리 장 방사선 패턴을 각인시킨다. 다른 실시태양에서, 제 2 메타표면 소자(106)는 각각 고유한 기능을 갖는 메타표면 소자의 어레이로 형성될 수 있다. 이러한 모든 실시태양에서, 메타표면 소자, 특히 시스템의 제 2 메타표면 소자는 도 10a에 기술된 알고리즘의 실시태양을 사용하여 디자인될 수 있다. 이 특정한 경우에, 시스템은 장면(110)을 조명하기 위해 메타표면 어레이/소자에 의해 형성화된 픽셀화된 조명기(102)의 어레이로서 기술되었다; 시스템은 반대로도 고려될 수 있다. 예를 들어, 픽셀화된 조명원은 대신 CMOS 이미지 센서의 픽셀일 수 있고 광 대신에 장면으로 투사되며, 시스템은 장면(110)으로부터 광을 수집하고 광을 픽셀까지 초점을 맞추도록 구성될 수 있다.
- [0230] 조명원이 VCSEL인 모든 실시태양에서, 본 발명은 또한 VCSEL의 어레이(VCSEL 어레이)에 적용될 수 있는 것으로

이해된다. 이러한 VCSEL 어레이에서, 디자인 가능한 특성을 가진 많은 개별 개구 VCSEL이 단일 칩 상에 결합된다. 이러한 VCSEL 어레이는 조명원의 총 출력 전력을 증가시키는 데 사용된다. 어레이는 개별 VCSEL의 1차원 열 또는 개별 VCSEL의 2D 그리드로 구성될 수 있으며, 각 경우에 VCSEL의 특정 특성(예를 들어, 전력, 파장, 개구 직경, 빔 발산 등) 및 개별 VCSEL의 배열(예를 들어, 중심 간 거리, 주기 또는 비주기 간격 등)은 모두 자유롭게 선택될 수 있다.

[0231] 메타표면 소자 통합의 맥락에서, 일반적으로(필수적은 아님) 고유하게 디자인된 특성을 갖는 메타표면 소자의 실시태양은 본 발명에 개략적으로 기술된 임의의 기술을 이용하여 어레이에 각각의 개별 VCSEL의 상부에 패터닝될 수 있다. 예를 들어, 메타표면은 어레이 내의 각각의 개별 VCSEL의 패킷 상에 직접 제작될 수 있거나, 적절한 유전체 스페이서가 VCSEL 상에 증착되고 이어서 결합된 유전체 층 및 VCSEL의 상부에 메타표면의 통합이 이어질 수 있다. 이러한 실시태양에서, 메타표면은 각각의 VCSEL에 대한 특정 방사선 패턴을 제공할 수 있고, 전체 시스템(VCSEL 특성, 기하학적 파라미터 및 메타표면 가능 방사선 패턴)은 특정 세트의 성능 파라미터에 대해 반복적으로 최적화될 수 있다.

[0232] 다양한 다른 실시태양에서, 구성 VCSEL 재료의 굴절률보다 낮은 굴절률을 갖는 유전체 재료가 증착되고 평탄화되어 단일 메타표면이 유전체 재료의 상부에 패터닝될 수 있다. 이것은 어레이 내의 각 VCSEL이 이의 패킷에 패터닝된 고유한 메타표면을 갖는 실시태양과 대조된다. 또한, 이러한 실시태양에서, 결합된 시스템은 원하는 성능을 달성하도록 최적화될 수 있다. 마지막으로, 상기 모든 실시태양에서, VCSEL 어레이와 메타표면의 통합은 웨이퍼 레벨 광학 공정을 사용하여 달성될 수 있다. 이러한 실시태양에서, 간격층은 도 7에 도시된 장치와 유사하게 고체 유전체보다는 공기일 수 있다.

[0233] 메타표면 소자를 3D 응용분야에 통합하기 위한 실시태양

[0234] 특정 3D 구조화된 광 응용분야에서, 의사-랜덤 이진 어레이(PSBA)가 장면에 투영된다. 전형적인 PSBA는, 예를 들어, 정사각형 그리드에서 2D 공간을 이산화하여 만들어진다. x-y 평면의 각 그리드 지점은 고유 인덱스(i, j)로 특정화될 수 있고, 여기서 i와 j는 정수이다. 각각의 지점(i, j)에서, 의사 랜덤 알고리즘은 그리드 지점이 도트를 갖거나(1의 이진값을 나타냄) 도트를 갖지 않는지(0의 이진값을 나타냄)를 결정하는 데 사용된다.

[0235] 일반적으로, 회절 광학 소자(DOE)는 예를 들어 VCSEL 또는 VCSEL 어레이로부터의 입사 레이저 광을 단일 도트 패턴으로 변환하는 데 사용된다. 이러한 변환 체계는 투영된 장에서 두 개의 강도 값(도트 또는 도트 아님)에만 의존한다. 그러나, 일반적으로 다수의 패턴을 단일 장면에 부여하고 다중 패턴의 각각이 분리 가능한 정보 채널 상에 존재하는 것이 바람직하다(즉, 단일 소자로부터 장면으로 투사된 2개의 패턴을 가지며 센서 평면에서 각 패턴을 고유하게 식별하는 방법을 가짐). 3D 이미징의 일부 방식에서, 다수의 패턴이 상이한 시간 슬라이스(시간 변화)로 장면에 투영된다. 이들 방식은 다수의 별개의 조명 패턴 또는 공간 광 변조기와 같은 일부 능동 소자를 사용하며, 이는 상이한 시점에서 투영된 패턴을 변경하도록 정전 기적으로 조정될 수 있다. 그러나, 이들 방식은 단일 샷(single-shot) 획득을 허용하지 않으며, 복잡성을 증가시키고 따라서 시스템 비용을 증가시키며 통합된 레이저/DOE보다 실질적으로 더 큰 경향이 있다. 따라서, 많은 실시태양은 3D 구조 광 응용분야를 위한 단일 샷 획득을 제공하도록 구성된 메타표면 소자에 관한 것이다.

[0236] 도 12a 내지 12c를 참조하면, 비대칭 단면(예를 들어, 직사각형 또는 타원형), 고정된 높이 및 회전축을 갖는 복수의 메타표면 피처(122)로 구성된 조명원(124) 상에 2개의 직교 편광을 갖는 2개의 고유한 도트 패턴을 각인할 수 있는 메타표면 소자(120)의 예시적인 실시태양이 제공된다. 이 예시적인 실시태양은 고정된 편광의 레이저를 참조하여 논의될 것이지만, 실시태양은 또한 메타표면 소자의 기능이 비 편광된 광을 2개의 별개의 편광(도 12b에 개략적으로 도시된 바와 같이)으로 분할하고 임의의 원하는 임의의 패턴을 투영된 광에 각인하는 것인 비 편광 소스(예를 들어, 발광 다이오드(LED))상에서 동작하도록 구성될 수 있다. 조명원이 무엇이든, 다양한 실시태양에서, 메타표면 소자는 본 발명에 기술된 실시태양에 따라 조명원(예를 들어, LED, VCSEL, VCSEL 어레이 등)와 통합될 수 있다. 예를 들어, 도 12a를 참조하면, 메타표면 소자(120)는 원하는 두께의 기판(126) 상에 제작된 후, 조명원(124)에 후속적으로 결합된 간격층과 결합되고, 조명원에 직접 결합되거나 메타표면 소자가 위에 형성된 기판은 후속적으로 개별 유닛으로 절단되고 백엔드 패키징을 통해 레이저 소스와 결합될 수 있다. 3D 이미징 시스템의 다양한 실시태양의 경우, 조명원은 근적외선(NIR)(예를 들어, 850 또는 940nm의 파장)에 있을 수 있다.

[0237] 사용된 메타표면 소자의 특정 구성 및 제조에 관계없이, 이러한 실시태양에서 메타표면 소자는 강도뿐만 아니라 조명원으로부터 방출된 광의 편광을 결정함으로써 작동한다. 구체적으로, 강도 변화에 더하여, 광은 또한 편광으로 알려진 벡터량을 갖는다. 편광된 조명원을 고려하면, 조명 편광을 2개의 직교 편광 또는 채널의 기초로 분

해하는 것이 가능하다. 이들 편광 베이스의 직교성으로 인해, 이들 상이한 편광 채널에 각인된 임의의 패턴은 또한 이들 편광 채널을 분리하도록 구성된 적합한 검출기를 통해 독립적으로 감지될 수 있다.

[0238] 구체적인 예로, 다음과 같은 경우를 고려한다. 수평 편광, $|H\rangle$,에서 광을 방출하는 조명원(이 예에서는 레이저와 같은 편광된 조명원)의 경우, 방정식에 따라 출력을 두 개의 편광으로 분해할 수 있다:

[0239]
$$|H\rangle = \frac{|A\rangle+|D\rangle}{\sqrt{2}} \quad (\text{방정식 2})$$

[0240] 여기서 예에서 $|A\rangle$ 및 $|D\rangle$ 는 대각선 및 반 대각선 선형 편광이다(단, 임의의 편광 세트가 실시태양에 따라 사용될 수 있음이 이해될 것이다). 그러한 경우에, 도 12c에 도시된 바와 같이, 조명원(124) 위에 배치된 메타표면 소자(120)의 메타표면 피처(122)의 패턴은 이들 두 편광 각각에(도 12b에 도시된 바와 같이) 별도의 도트 패턴을 각인하도록 구성된다. 실시태양에 따르면, 도 12b의 예시적 개략도에 도시된 바와 같이, 이들 도트 패턴은 명확성을 위해 각 편광에 대해 고유할 수 있거나 이들은 부분적으로 중첩될 수 있다. 그러나, 도트의 특정 구성에 관계없이, 이 실시태양에서 이들 패턴은 동일한 공간 영역에 투영된다(즉, 이들의 그리드는 동일한 공간 원점을 가진다). 다양한 실시태양에서, 무료 도트 패턴이 사용될 수 있어 각 지점의 경우 패턴 1의 도트가 존재하고, 패턴 2의 도트의 부존재하고 그 반대이나, 이것이 필수는 아니다. 이러한 무료 도트 패턴 구성은 캡처 동안 장면의 단일 도트(예를 들어, 영역)가 손실되는 경우, 이를 캡처할 수 있는 별도의 편광의 무료 도트가 있어서, 특정 중복성을 제공한다는 이점을 갖는다. 또한, 정사각형 그리드 상의 2개의 도트 패턴이 이러한 특정 예시적인 실시태양과 관련하여 기술되었지만, 투영된 패턴은 임의의 적합한 기하학적 구조 및 형상을 갖는 임의의 구성일 수 있음을 이해해야 한다. 유사하게, 특정 조명 편광 및 그 조명 편광이 분해되는 편광의 수가 기술되었지만, 임의의 편광 및 임의의 수의 상이한 편광이 실시태양에 따라 사용될 수 있음이 이해될 것이다.

[0241] 상이한 바와 같이, 실시태양은 각 패턴이 각인되는 편광 채널의 직교성의 결과로서 동작한다. 이러한 직교성 때문에, 소정의 장면으로부터의 반사된 광은, 적합한 검출기에 의해 분리되어, 도 12b에 도시된 바와 같이, 동일한 장면의 다수의 이미지, 패턴 1에 대응하는 편광 1을 갖는 것과 패턴 2에 대응하는 편광 2를 갖는 것을 생성할 수 있다. 최종 결과는 그러한 시스템의 실시태양이 시간 다중화의 필요없이 장면으로부터 반사된 왜곡된 패턴의 2개의 명목상 독립적인 측정을 제공한다는 것이다. 따라서, 이러한 시스템의 실시태양은 3D 이미징 시스템에서 단일 샷, 다중 측정을 제공하여 모호성을 줄이고 정확도를 증가시키는 데 사용될 수 있다.

[0242] 예를 들어, 모바일 장치에 사용되는 일반적인 패턴 투영 시스템은 장면에 투영할 수 있는 총 지점의 수에 제한이 있다. 이 제한은 VCSEL 어레이 내의 구성 VCSEL의 수(패턴을 생산하는 광학 장치의 임의의 동작에 의해 변경될 수 없음) 및 VCSEL 어레이를 포함하는 각 VCSEL의 다중 복제물을 생성하기 위해 구조화된 광 패턴을 생산하는 광학 장치의 능력의 조합으로부터 발생한다. 실제 구현에서, 이것은 패턴 내의 투영된 지점의 수를 특정 수, N (일반적으로 약 30,000)으로 제한한다. 상기 편광-의존성 메타표면 시스템의 실시태양에 따르면, 단일 메타표면 소자는 상기한 제한 내에서도, 각각의 직교 편광에 대해 다수의 완전히 고유한 패턴을 생성하는 능력을 갖기 때문에, 소정의 패턴의 총 도트 수는 배가 되어(예를 들어, $2N$), 일반적인 시스템에서 단일 투영 패턴으로 최대 60,000지점 정도로 유도할 수 있다. 이 배가는 패턴의 본질을 조사함으로써 이해될 수 있다. 개념적으로, 전형적인 투영 패턴은 일정 기간, p 로 분리된 그리드 지점의 세트를 가진다. 프로젝터로부터 일정 거리에서, 패턴은 수직 및 수평 거리 H 와 Y 로 제공된 시야에 걸쳐 있다. 통상적인 프로젝터의 경우, 최대 30,000 그리드 지점이

그 시야를 채워서 생성물 $\frac{H}{p} \left(\frac{Y}{p} \right) = 30,000$ 이 될 것이다. 메타표면-편광 기반 솔루션의 실시태양에서, 광학 장치는 주기, p 를 갖는 하나의 패턴과 주기, p 를 가지나 $p + p/2$ 의 선형 오프셋을 갖는 제 2 패턴을 투여하여 새로운 그리드 지점은 각 절반 주기에서 투영된다. 최종 결과는 동일한 시야, H 및 Y 내에서, 그리드 지점의 밀도는 실시태양에 따른 메타표면 가능 3D 시스템을 사용하여 배가될 수 있다는 것이다.

[0243] 마지막으로, 2개의 독특하고 구별 가능한 패턴들이 실시태양에 따른 시스템들로부터 생성될 수 있기 때문에, 이런 시스템들은 또한 단거리($<1m$) 및 장거리($> 1m$) 3D 이미징 모두에 대해 최적화될 수 있다. 예를 들어, 특정 패턴은 장치로부터 짧은 거리에 있는 물체를 구별하도록 구성될 수 있는 반면에, 상이한 패턴은 장치로부터 더 먼 거리에 있는 패턴을 구별하도록 구성될 수 있다. 이러한 실시태양에서, 단일 장치를 사용하여, 예를 들어 단일 샷에서 단거리 측정을 위한 편광 1을 갖는 패턴 1 및 장거리 측정을 위한 편광 2를 갖는 패턴 2를 생성하는 것이 가능할 것이다.

[0244] 메타표면 소자를 이미징 시스템에 통합하기 위한 실시태양

[0245] 일부 실시태양에서, 도 7 및 도 8에 기술된 것과 같은 방법을 사용하여 다수의 메타표면 소자(예를 들어, 둘 이상)의 통합은 결합된 시스템이 실제 CMOS 카메라 이미징에 필요한 기능을 달성할 수 있게 한다. 특히, CMOS 카메라(가시광선의 장면의 이미지를 수집하기 위해 휴대폰, 컴퓨터, 태블릿 등에서 사용되는 것 또는 생체 인증용 적외선에 사용된 것)는 이미징 시스템이 증가된 시야(FOV), CMOS 이미지 센서에서 필드 높이의 함수로서 주광선 각도(CRA)의 독립적 제어 및 이미지화되는 장면의 최소 광학 왜곡을 갖는 것을 필요로 한다. 이들 용어는 당업자에게 통상적인 의미를 갖는 것으로 이해될 것이다. 굴절 렌즈로 구성된 기존 이미징 시스템의 경우, 이 기능을 수행하기 위해 5개 또는 6개의 고유 렌즈가 결합되어야 한다. 더욱이, 이러한 이미징 시스템에서 하나의 메타표면 소자를 구현하는 것이 이들 파라미터(CRA, FOV 및 왜곡 최소화)를 적절히 제어할 수 있는 충분한 자유도를 제공하지 않는다. 그러나, 각각 고유하고 독립적인 위상 프로파일을 갖는 다수의 메타표면을 조합함으로써, 넓은 FOV, 제어 가능한 왜곡 및 제어 가능한 CRA를 갖는 이미징 시스템이 실시태양에 따라 구현될 수 있다.

[0246] 도 13을 참조하면, 실시태양에 따른 단일 기관(134) 상에 결합된 2개의 메타표면 소자(130 및 132)를 갖는 시스템의 예시적인 실시태양을 통한 광선 추적 다이어그램이 제공된다. 이러한 다양한 실시태양에서, 기관의 어느 한 측면 상의 메타표면 소자는 동일한 높이를 갖도록 형성된다. 여기서 상세하게 기술되지는 않았지만, 이들 메타표면 소자는 임의의 이전 도면에 기술된 방법을 사용하여 제작되고, 예를 들어, 도 5에 기술된 것과 같은 공정을 사용하여 조합될 수 있음이 이해될 것이다. 이런 많은 실시태양에서, 메타표면 소자는, 예를 들어, 저압 화학적 기상 증착 또는 원자층 증착과 같은 적절한 컨포멀 증착 공정을 사용하여 기관의 양면에 동시에 증착된 막으로부터 형성될 수 있다. 이 예시적인 실시태양에서, 2개의 메타표면 소자는 이들을 조합하여 넓은 FOV(이 예에서 ±44도, 그러나, 이것은 제한적인 경우가 아님을 이해할 것이다)에 걸쳐 양호한 이미지를 형성할 수 있도록 구성되었다. 도시된 바와 같이, 이러한 2개의 메타표면 시스템의 실시태양은 놀랍게도 필터 평면 및 텔레센트릭(telecentric)(즉, 0도 CRA를 갖는) 이미지 평면에서 집속된 광선을 생성하는 것으로 밝혀졌다. 요컨대, 전통적인 굴절 디자인은 이러한 텔레센트릭 디자인을 구현하기 위한 복잡한 다소자 시스템을 필요로 하지만, 실시태양에 따르면 단지 2개의 메타표면 소자가 유사한 텔레센트릭시티(telecentricity)를 달성하기 위해 필요하다. 이 텔레센트릭시티는 차례로 개선된 광학 특성을 유도한다. 특히, 낮은 CRA(예를 들어, 0도 또는 거의 0도 CRA)는 협대역 응용분야를 위한 광학 필터(136)의 대역폭을 좁히는 것을 허용한다. 전통적인 굴절 디자인, 특히 소형 모바일 응용분야의 경우, CRA는 일반적으로 약 15도 내지 30도 정도이다. 이러한 더 큰 CRA는 필터 대역폭이 크게 증가될 것을 필요로 하여 더 많은 주변 광이 검출기로 유입되도록 한다. 협대역 응용분야(예를 들어, 근적외선 VCSEL 어레이)에서, 이러한 주변 광은 지속적인 노이즈 소스일 수 있다. 따라서, 도 13에 도시된 것과 같은 조합된 메타표면/필터 시스템의 실시태양은 더 좋은 주변 광 성능을 허용한다.

[0247] 이러한 텔레센트릭 디자인의 실시태양의 추가적인 속성은 메타표면 시스템이 이미지 센서(당업자에 의해 "상대 조명"으로 지칭됨)에서보다 균일한 조명을 제공한다는 점이다. 메타표면 시스템의 실시태양은 또한 전통적인 굴절 렌즈 시스템에 대한 추가적인 디자인 변형을 제공한다. 통상적인 CMOS 이미지 센서(CIS)는 마이크로렌즈 각각 픽셀에 연결될 것을 필요로 한다. 굴절 광학 시스템에 고유한 소정의 센서 평면에 걸쳐 CRA에 큰 변화가 있기 때문에, CIS 상의 마이크로렌즈 어레이는 또한 복잡한 CRA 사양을 필요로 한다. 그러나, 본 발명에 기술된 메타표면 시스템의 실시태양에서, 마이크로렌즈 어레이의 CRA는 마이크로렌즈 어레이의 디자인 및 제조에서 더 단순성을 허용하도록 CIS에 걸쳐 일정한 0도로 구성될 수 있다. 대안 적으로, 특정 구현에서, 마이크로렌즈 어레이는 CIS로부터 완전히 제거되어, CIS 생산에서 공정 단계를 생략할 수 있다.

[0248] CMOS 센서와 함께 사용하기 위한 메타표면 시스템의 실시태양은 2개의 메타표면 소자가 단일 기관의 반대편 측면 상에 있는 것으로 지금까지 도시되었지만, 다양한 다른 실시태양에서, 2개의 메타표면 소자는 별도의 기관상에 배치될 수 있다. 그러한 시스템의 예시적인 실시태양이 도 14에 도시되어 있다. 도시된 바와 같이, 많은 이러한 실시태양에서, 메타표면 소자는 2개의 개별 기관(138 및 140) 상에 배치되고, 공극(142)은 2개의 소자 사이에 배치된다. 공극을 포함하는 이러한 실시태양의 하나의 장점은 광선이 유리 기관에서보다 짧은 거리(d)에 걸쳐 더 멀리 구부러져서 메타표면 소자 사이가 더 짧게 분리된 상태로 조명 영역을 더 넓게 하여, 메타표면 광학 시스템의 전체적인 폼 팩터(form factor)의 감소를 허용한다. 도 14에 도시된 바와 같이, 다양한 실시태양에서, 메타표면 소자는 기관(138 및 140)의 표면을 대향하는 공극(142) 상에 배치된다. 그러한 구현은 환경 오염으로부터 메타표면 소자의 보호를 허용한다. 또한, 이러한 실시태양은 이미지 측면 기관(140)의 외면이 패터화되지 않은 상태로 유지되게 하여, 기관상에 광학 필터(144)의 직접 통합을 허용한다. 비록 도 14에 도시된 실시태양에서, 메타표면 소자는 이들 사이의 공극에 대해 안쪽을 향하도록 배치되며, 이들은 두 기관의 어느 한 표면에 배치될 수 있음을 이해할 것이다. 도 15에 도시된 메타표면 시스템의 생산은, 예를 들어, 도 7과 관련된

공정과 같은 전술한 공정을 따를 수 있다.

[0249] 상기 논의는 텔레센트릭 광학 특성을 제공하도록 구성된 메타표면 시스템을 기술하였지만, 일부 경우(예를 들어, 왜곡 보정이 필요한 경우)에, 0이 아닌 CRA를 도입할 필요가 있다. 따라서, 실시태양은 또한 FOV, 왜곡 및 CRA를 동시에 제어할 수 있는 적어도 3개의 메타표면을 포함하는 메타표면 시스템에 관한 것이다. 고유 한 위상 프로파일을 갖는 3개의 메타표면 소자를 포함하는 메타표면 시스템의 예시적인 실시태양의 광선 추적 다이어그램이 도 15에 도시되어 있다. 각각 별도의 임의의 위상 프로파일을 구현할 수 있는 추가 메타표면 소자 또는 소자들의 도입은 동일한 수의 굴절 소자로 구성된 전형적인 시스템과 비교하여 광선의 경로를 제어할 수 있는 더 많은 자유도를 제공한다. 예를 들어, 실시태양에 따라, 3개의 메타표면으로 구성된 시스템의 광학 기능을 복제하기 위해, 종래의 시스템에서 6-7개의 굴절 광학 요소가 필요할 수 있다. 따라서, 비교 메타표면 시스템은 동등하거나 심지어 개선된 성능을 달성하면서 이러한 이미징 시스템의 전체 두께를 적어도 50% 감소시킬 수 있다.

[0250] 도 15에 도시된 바와 같이 메타표면 시스템 자체를 참조하면, 이런 이미징 시스템은 2개 이상의 기관(156 및 158) 상에 배치된 3개 이상의 메타표면 소자(150, 152 및 154)를 포함할 수 있다. 전술한 바와 같이, 이들 메타표면 소자는 임의의 적합한 유전체 재료, 특히 관심 파장에서 최소 흡수를 갖는 재료로 구성될 수 있다. 도시된 바와 같이, 다양한 실시태양에서, 첫 번째 2개의 메타표면 소자(150 및 152)는 입사광에 텔레센트릭 광학 특성을 부여할 수 있는 반면, 제 3 메타표면(154)(예를 들어, 필터(156)에 가장 가까운) 및 이미징은 광에 추가의 퍼짐 또는 굽힘을 부여하여 0이 아닌 CRA를 이미징에 충돌하는 광에 부여할 수 있다. 메타표면 소자 및 기관의 특정 배열이 도 15에 예시된 시스템에 도시되어 있지만, 이러한 다이어그램은 예로서 제공되며 본 발명을 이런 정확한 시스템 반응에 제한하지 않는다. 소자의 특정 배열에 관계없이, 이러한 메타표면 소자의 제작은, 예를 들어, 도 6과 관련하여 도시되고 기술된 것과 같은 상기한 공정을 따를 수 있다.

[0251] 실시태양에 따른 이런 3개의 메타표면 소자 시스템을 사용하여, CRA를 제어하여 CMOS 이미지 센서에서 그리드 왜곡을 최소화할 수 있다. 예를 들어, 도 16은 도 15에 도시된 실시태양에 기초한 이미징 시스템을 위한 CMOS 이미지 센서에서 필드 높이의 함수로서 CRA의 결과적인 제어를 나타내는 데이터 플롯을 제공한다. 이것은 예시적인 경우이며 필드 높이의 함수로서 CRA의 제어는 아래에 도시된 선형 경우보다는 다른 기능적 형태를 취할 수 있다. 유사하게, 도 17은 도 15에 도시된 실시태양 기초한 이미징 시스템을 위한 그리드 왜곡 플롯을 제공한다. 도시된 바와 같이, 이러한 이미징 시스템의 실시태양은 이미징 시스템의 전체 FOV에 대해 5% 미만의 그리드 왜곡의 최소화를 허용한다.

[0252] 메타표면 소자를 이미징/센싱 시스템에 통합하기 위한 실시태양

[0253] 감지 광학 장치 및 투영 광학 장치 모두에 대한 실시태양에 따른 메타표면 소자를 사용하여 기술된 이점을 고려하면, 다양한 실시태양은 조합된 조명 감지 모듈에 사용되도록 구성된 메타표면 시스템에 관한 것이다. 도 18을 참조하면, 실시태양에 따른 통합 조명기 및 센서 시스템의 개략도가 제공된다. 도시된 바와 같이, 이러한 실시태양에서, 복수의 스페이서(162 및 162') 및 단독 또는 굴절 소자와 조합하여 특정 복사 패턴을 제공하도록 구성된 메타표면 소자(164 및 164')를 갖는 조명기(160)는 일부 물체 또는 장면(166)을 비추는 데 사용된다. 상응하는 메타표면 시스템을 갖는 센서(168)(예를 들어, CMOS 이미지 센서)는 방사선을 검출하거나 장면의 이미지로부터 검출하는데 사용된다. 이러한 실시태양에서, 전체 시스템-메타표면 소자(162 및 162'), 센서(168), 조명기(160)는 특정 대역폭에 걸쳐 또는 특정 관심 파장에서 작동하도록 구성될 수 있고 단일 플랫폼(170)에 결합될 수 있다. 조명기 및 센서 메타표면 소자(162 및 162')는 전기장의 임의의 편광을 작동시키도록 구성될 수 있다. 이러한 조합된 시스템의 실시태양은 컴퓨터, 휴대폰, 텔레비전 모니터, 벽 장착 유닛, 신용 카드, 태블릿, 거울 등에서 사용될 수 있다.

[0254] 도 12a 내지 12c와 관련하여 위에서 논의된 바와 같이, 메타표면은 또한 고유한 기능이 2개의 직교 편광에 각인될 수 있게 한다. 따라서, 메타표면 조명기 센싱 시스템의 다양한 실시태양은 또한 추가적인 최적화 변수로서 편광을 취하도록 공동 디자인될 수 있다. 도 19를 참조하면, 복사 필드의 편광에 작용하는 통합된 조명기 시스템의 개략도가 제공된다. 도시된 바와 같이, 하나의 이러한 예시적인 실시태양에서, 적절한 스페이서(176 및 176')와 함께 하나 이상의 메타표면 소자(174 및 174')를 갖는 조명기(172), 선택적 굴절 소자가 장면 또는 물체(178)를 조명하는 데 사용된다. 이러한 실시태양의 메타표면 소자는 광의 임의의 2개의 직교 편광의 경우, 2개의 고유하고 독립적인 복사 패턴이 생성될 수 있도록 디자인되었다. 상응하는 메타표면 소자 세트를 갖는 센서(180)는 장면으로부터 반사된 광을 수집하는 데 사용된다. 도시된 바와 같이, 조명기 및 센서 메타표면 소자는 복사 패턴을 생성하는 데 사용된 2개의 직교 편광이 센서 상에 2개의 고유한 이미지를 형성하도록 협력적으

로 작동하도록 구성되었다. 실시태양에 따라, 시스템-메타표면(174 및 174'), 센서(180), 조명기(172))은 일부 대역폭 또는 특정 관심 파장에서 동작하도록 최적화될 수 있고 단일 플랫폼(182)에 결합될 수 있다. 실시태양에 따른 조명기 및 센서 메타표면 소자는 전기장의 임의의 편광에 작용하도록 구성될 수 있음이 이해될 것이다. 실시태양에 따른 조합 시스템은 컴퓨터, 휴대 전화, 텔레비전 모니터, 벽 장착 유닛, 신용 카드, 태블릿, 거울 등에 사용될 수 있다.

[0255] 메타표면 소자 재료 시스템의 실시태양

[0256] 전술한 바와 같이, 시스템을 구성하는 하나 또는 여러 메타표면 소자가 있는 임의의 광학 시스템의 각각의 개별 메타표면 소자는 실행되는 특정 2D 위상 및 투과 함수, $\phi(x,y)$ 및 $t(x,y)$ 를 가진다. 일반적으로 각각의 메타표면 소자는 고유한 위상 및 투과 분포를 가질 수 있지만, 동일한 기본 조성을 가지며 특정 파장에서 동일한 재료에 특정 파장에서 매립된 임의의 메타표면 소자를 포함하는 나노구조 피처는 동일하다. 대부분의 실질적인 단일 파장 응용분야에서, 위상이 0 내지 2π 사이의 값만 취하면 되지만 투과는 메타표면 전체에서 최대화되고(1부근) 균일할 것이 요구된다. 요약하면, 일부 관심 파장, 재료 시스템(메타표면 재료 및 매립 재료), 고정된 두께 및 소자 간격의 경우, 나노구조 피처를 포함하는 평면 내 치수의 한 세트를 찾는 것만 필요하여 0 내지 2π 의 위상 지연이 입사광장에 각인될 수 있다. 가능하도록 구성하는 나노구조 피처의 평면 내 치수 세트만 찾으면 된다. 따라서 고정된 재료 및 파장 조건에서 메타표면 소자 디자인의 다양한 실시태양의 경우, 디자인 간의 유일한 변수는 메타표면 소자에 걸친 나노구조 피처의 분포이다. 따라서, 원하는 파장 범위에 걸쳐 특정 광학 기능을 수행하기에 적합한 메타표면 소자 재료 조건의 다양한 실시태양이 설명된다. 이하의 논의는 메타표면 소자 및 시스템의 실시태양 및 이런 메타표면 소자 및 시스템을 제작하는 공정에 대해 설명되나, 다음 실시태양은 예시적인 목적으로만 제공되며 제한하려는 것이 아님을 이해할 것이다.

[0257] 도 20을 참조하면, SiO₂에 매립된 실리콘 기둥을 포함하는 메타표면 소자의 실시태양에 대한 위상 및 투과 맵이 제공된다. 왼쪽 상단 다이어그램은 기둥 직경과 높이의 함수로서 투과의 히트 맵을 제공하며 오른쪽에 색상 스케일이 도시된다. 오른쪽 상단 다이어그램은 기둥 직경과 높이의 함수로 위상 맵을 제공한다. 왼쪽 하단은 600nm의 고정 높이에서 기둥 직경의 함수로서 투과의 라인 스캔 다이어그램을 제공한다. 오른쪽 하단은 600nm의 고정 높이에 대한 기둥 직경의 함수로서 상대 위상의 라인 스캔 다이어그램을 제공한다. 이들 다이어그램을 사용하여 실시태양에 따라 모든 적합한 파장에 걸쳐 특정 투과 및 위상에 대한 특정 세트 기둥 직경 및 높이, 및 600nm 높이에 대한 특정 직경을 결정할 수 있음을 이해할 것이다. 많은 실시태양에서, 기둥 높이는 500 내지 1000nm에서 변할 수 있고 기둥 직경은 100 내지 300nm에서 변할 수 있다. 다양한 다른 실시태양에서, 기둥 직경은 100 내지 200nm에서 변할 수 있고 기둥 높이는 500 내지 800nm에서 변할 수 있다. 600nm의 기둥 높이에서의 다양한 다른 실시태양에서, 기둥 직경은 100 내지 300nm에서 변할 수 있다. 특정 높이 및 직경은 소자의 투과를 위한 국소적 최적을 나타내지만, 특정 광학 시스템의 디자인에 의해 요구되는 바와 같이 다른 기둥 높이가 실시태양에서 사용될 수 있다.

[0258] 도 21을 참조하면, 공기 중에 실리콘 기둥을 포함하는 메타표면 소자의 실시태양에 대한 위상 및 투과 맵이 제공된다. 왼쪽 상단 다이어그램은 기둥 직경과 높이의 함수로서 투과의 히트 맵을 제공하며 오른쪽에 색상 스케일이 도시된다. 오른쪽 상단 다이어그램은 기둥 직경과 높이의 함수로 위상 맵을 제공한다. 왼쪽 하단은 480nm의 고정 높이에서 기둥 직경의 함수로서 투과의 라인 스캔 다이어그램을 제공한다. 오른쪽 하단은 480nm의 고정 높이에 대한 기둥 직경의 함수로서 상대 위상의 라인 스캔 다이어그램을 제공한다. 이들 다이어그램을 사용하여 실시태양에 따라 모든 적합한 파장에 걸쳐 특정 투과 및 위상에 대한 특정 세트 기둥 직경 및 높이, 및 480nm 높이에 대한 특정 직경을 결정할 수 있음을 이해할 것이다. 많은 실시태양에서, 기둥 높이는 ~1 내지 500nm에서 변할 수 있고 기둥 직경은 100 내지 350nm에서 변할 수 있다. 다양한 다른 실시태양에서, 기둥 직경은 100 내지 250nm에서 변할 수 있고 기둥 높이는 150 내지 500nm에서 변할 수 있다. 480nm의 기둥 높이에서의 다양한 다른 실시태양에서, 기둥 직경은 100 내지 280nm에서 변할 수 있다. 특정 높이 및 직경은 소자의 투과를 위한 국소적 최적을 나타내지만, 특정 광학 시스템의 디자인에 의해 요구되는 바와 같이 다른 기둥 높이가 실시태양에서 사용될 수 있다.

[0259] 도 22를 참조하면, 공기 중에 TiO₂ 기둥을 포함하는 메타표면 소자의 실시태양에 대한 위상 및 투과 맵이 제공된다. 왼쪽 상단 다이어그램은 기둥 직경과 높이의 함수로서 투과의 히트 맵을 제공하며 오른쪽에 색상 스케일이 도시된다. 오른쪽 상단 다이어그램은 기둥 직경과 높이의 함수로 위상 맵을 제공한다. 왼쪽 하단은 975nm의 고정 높이에서 기둥 직경의 함수로서 투과의 라인 스캔 다이어그램을 제공한다. 오른쪽 하단은 975nm의 고정 높이에 대한 기둥 직경의 함수로서 상대 위상의 라인 스캔 다이어그램을 제공한다. 이들 다이어그램을 사용하여

실시태양에 따라 모든 적합한 파장에 걸쳐 특정 투과 및 위상에 대한 특정 세트 기둥 직경 및 높이, 및 975nm 높이에 대한 특정 직경을 결정할 수 있음을 이해할 것이다. 많은 실시태양에서, 기둥 높이는 300 내지 1000nm에서 변할 수 있고 기둥 직경은 100 내지 350nm에서 변할 수 있다. 다양한 다른 실시태양에서, 기둥 직경은 100 내지 300nm에서 변할 수 있고 기둥 높이는 300 내지 400nm 및/또는 700 내지 1000nm에서 변할 수 있다. 975nm의 기둥 높이에서의 다양한 다른 실시태양에서, 기둥 직경은 100 내지 300nm에서 변할 수 있다. 특정 높이 및 직경은 소자의 투과를 위한 국소적 최적을 나타내지만, 특정 광학 시스템의 디자인에 의해 요구되는 바와 같이 다른 기둥 높이가 실시태양에서 사용될 수 있다.

[0260] 도 23을 참조하면, 벤조사이클로부테인(BCB) 폴리머에 매립된 비정질 규소 기둥을 포함하는 메타표면 소자의 실시태양에 대한 위상 및 투과 맵이 제공된다. 상단 다이어그램은 590nm의 고정 높이 및 400nm의 소자 주기에서 기둥 직경의 함수로서 투과의 라인 스캔을 제공한다. 하단 다이어그램은 590nm의 고정 높이 및 400nm의 소자 주기에서 기둥 직경의 함수로서 위상의 라인 스캔을 제공한다. 이들 다이어그램을 사용하여 실시태양에 따라 모든 적합한 파장에 걸쳐 특정 투과 및 위상에 대한 특정 세트 기둥 직경 및 높이, 및 590nm 높이에 대한 특정 직경을 결정할 수 있음을 이해할 것이다. 많은 실시태양에서, 975nm의 기둥 높이에서, 기둥 직경은 100 내지 300nm에서 변할 수 있다. 다양한 다른 실시태양에서, 기둥 지름은 100 내지 225nm에서 변할 수 있다. 특정 높이는 소자의 투과를 위한 국소적 최적을 나타내지만, 특정 광학 시스템의 디자인에 의해 요구되는 바와 같이 다른 기둥 높이가 실시태양에서 사용될 수 있다.

[0261] 도 24를 참조하면, 이산화 규소에 매립된 비정질 규소를 기둥을 포함하는 메타표면 소자의 실시태양에 대한 위상 및 투과 맵이 제공된다. 상단 다이어그램은 600nm의 고정 높이 및 350nm의 소자 주기에서 기둥 직경의 함수로서 투과의 라인 스캔을 제공한다. 하단 다이어그램은 600nm의 고정 높이 및 350nm의 소자 주기에서 기둥 직경의 함수로서 위상의 라인 스캔을 제공한다. 이들 다이어그램을 사용하여 실시태양에 따라 모든 적합한 파장에 걸쳐 특정 투과 및 위상에 대한 특정 세트 기둥 직경 및 높이, 및 600nm 높이에 대한 특정 직경을 결정할 수 있음을 이해할 것이다. 많은 실시태양에서, 600nm의 기둥 높이에서, 기둥 직경은 100 내지 275nm에서 변할 수 있다. 다양한 다른 실시태양에서, 기둥 지름은 100 내지 175nm에서 변할 수 있다. 특정 높이는 소자의 투과를 위한 국소적 최적을 나타내지만, 특정 광학 시스템의 디자인에 의해 요구되는 바와 같이 다른 기둥 높이가 실시태양에서 사용될 수 있다.

[0262] 다른 실시태양에서, SU8에 매립된 비정질-Si 메타표면 피처에 대해 테스트가 수행되었으며, 675nm의 기둥 높이 및 100 내지 300nm의 기둥 직경을 갖는 이런 표면이 사용하기에 적합한 것으로 밝혀졌다. 또한, 600nm의 기둥 높이 및 100 내지 300nm의 기둥 직경을 가지며 450nm의 소자 간격을 갖는 공기 중의 비정질-Si 메타표면 피처는 다양한 실시태양에 따라 적합할 수 있다.

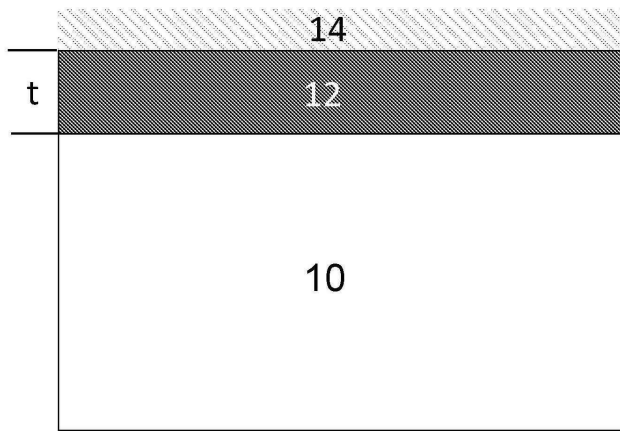
[0263] 메타재료 및 매립 재료의 특정 조합이 위에서 설명되었지만, 메타표면 피처, 투과율 및 위상의 유사한 맵이 본 발명의 실시태양에 따라 만들어질 수 있음을 이해할 것이다.

[0264] **균등론**

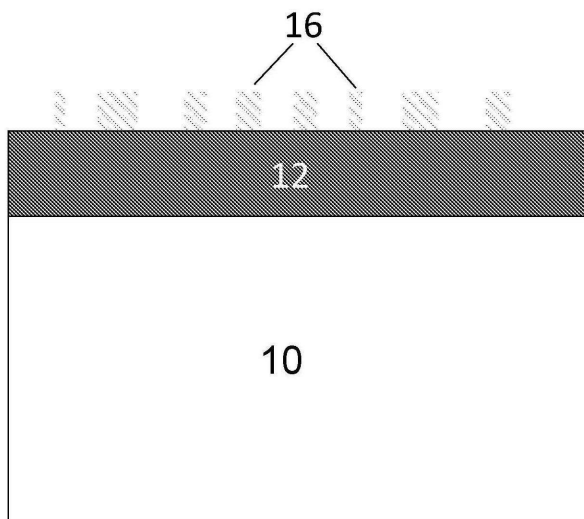
[0265] 따라서, 본 발명이 특정의 구체적인 양태에서 기술되었지만, 많은 추가의 수정 및 변형이 당업자에게 명백할 것이다. 그러므로 본 발명은 구체적으로 기술된 것과 다르게 실시될 수 있음을 이해해야 한다. 따라서, 본 발명의 실시태양은 모든면에서 제한적이 아닌 예시적인 것으로 간주되어야 한다.

도면

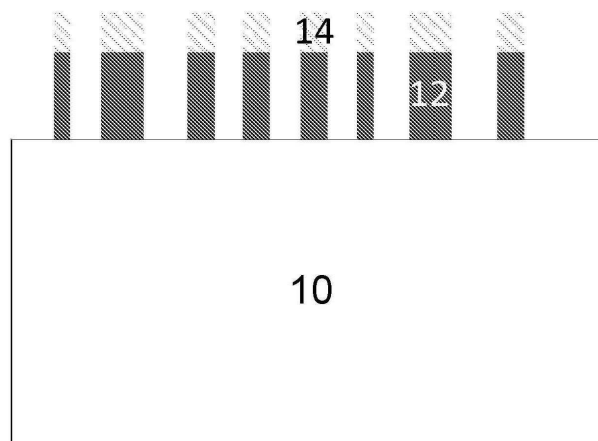
도면1a



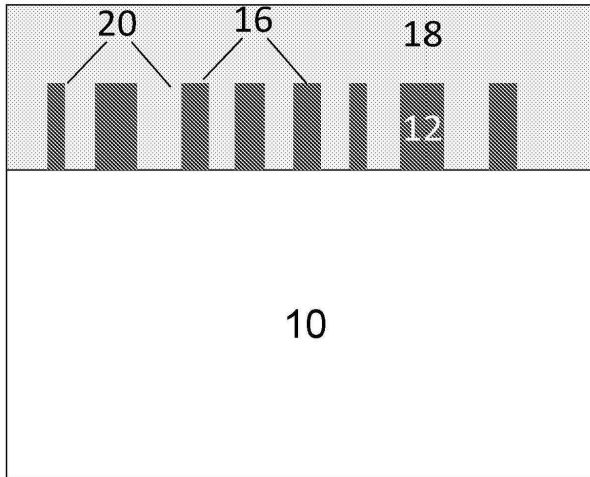
도면1b



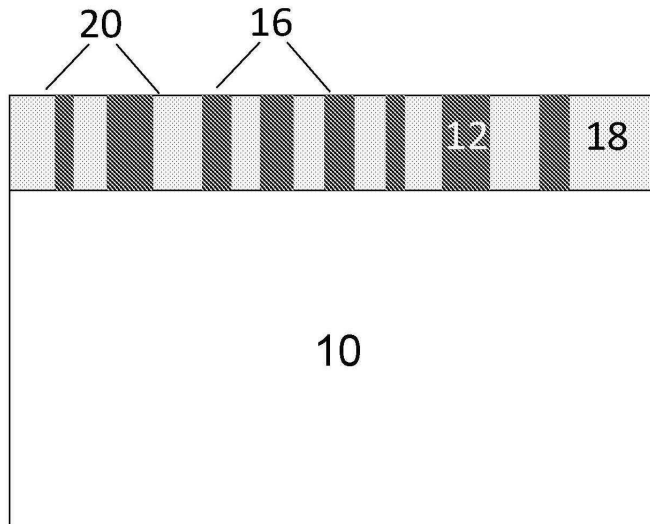
도면1c



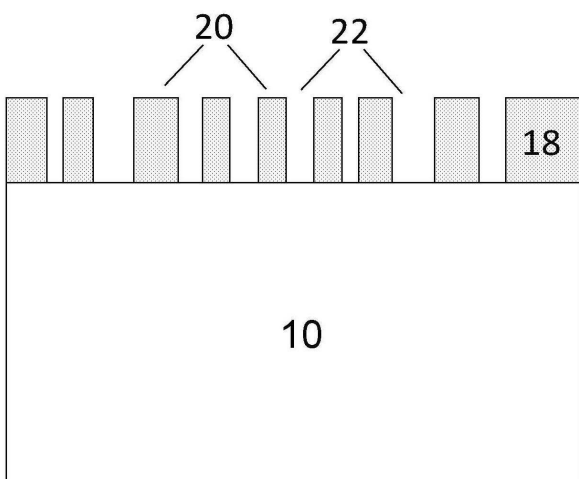
도면1d



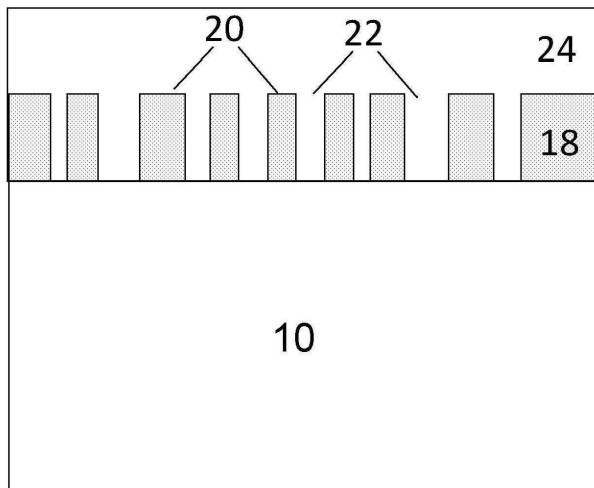
도면1e



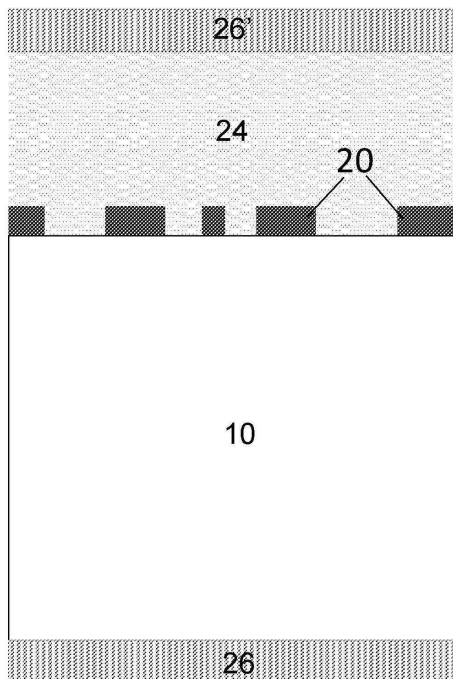
도면1f



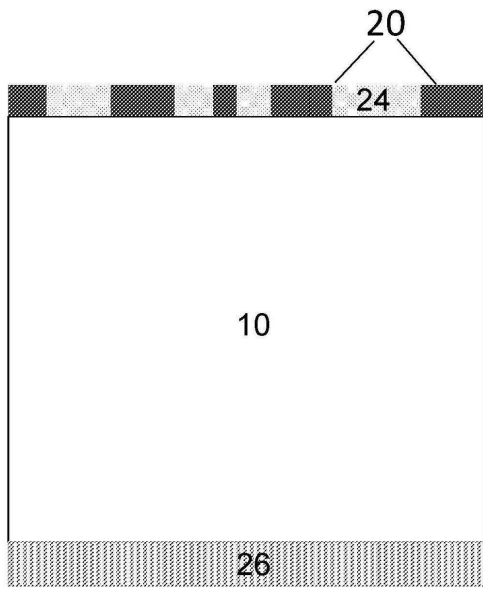
도면1g



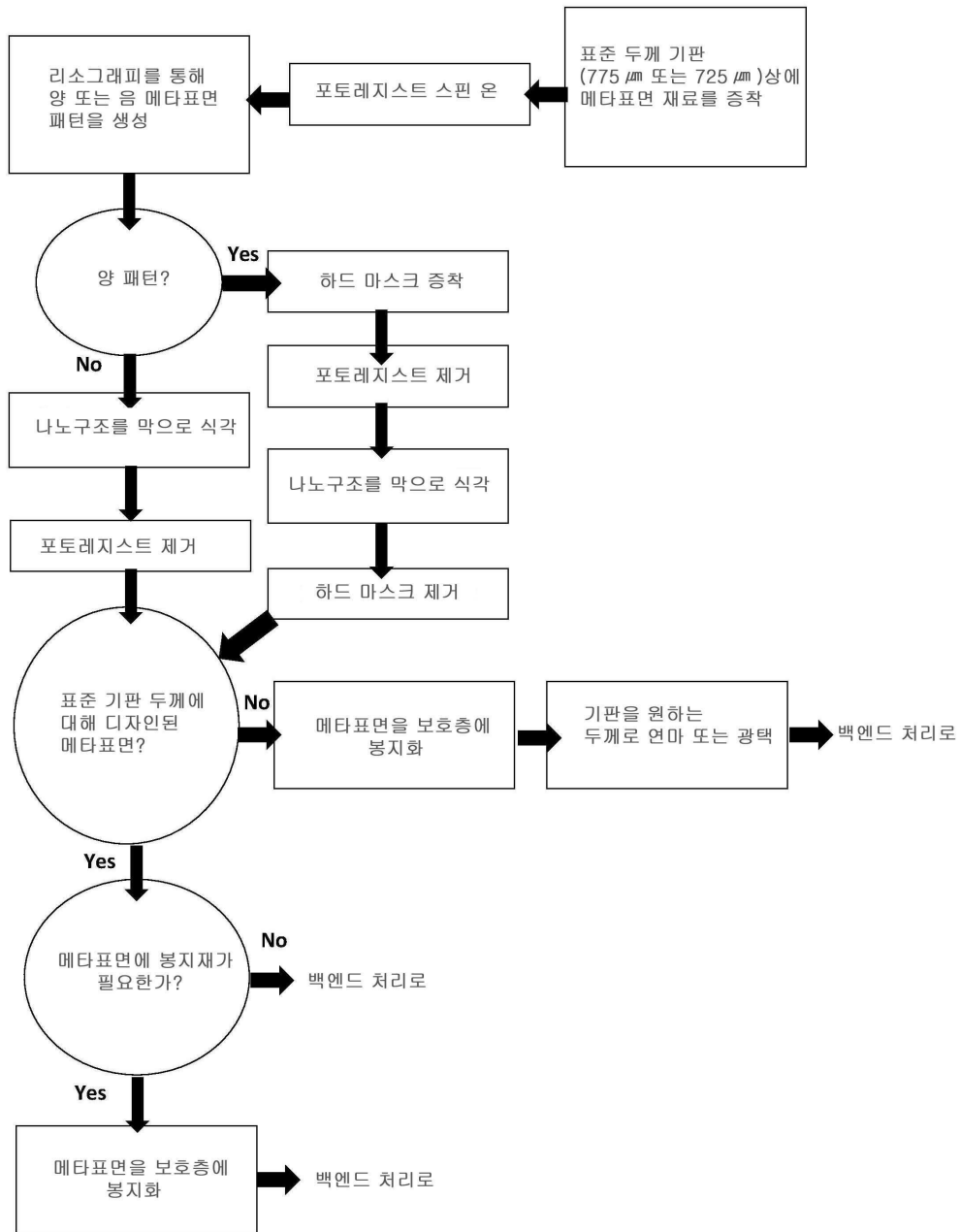
도면2a



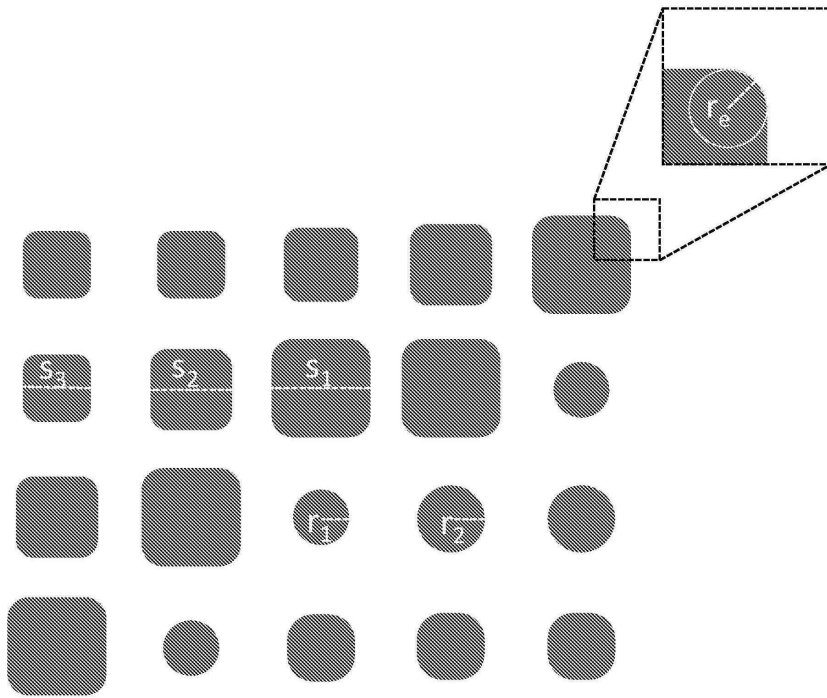
도면2b



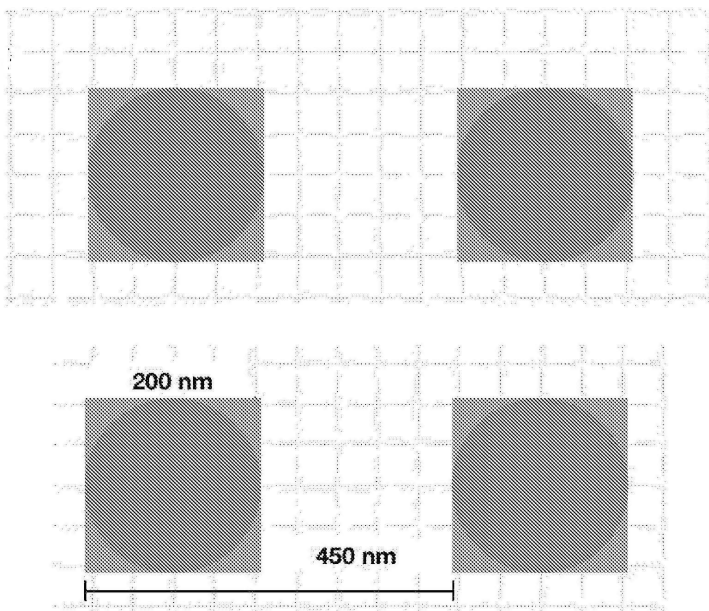
도면3



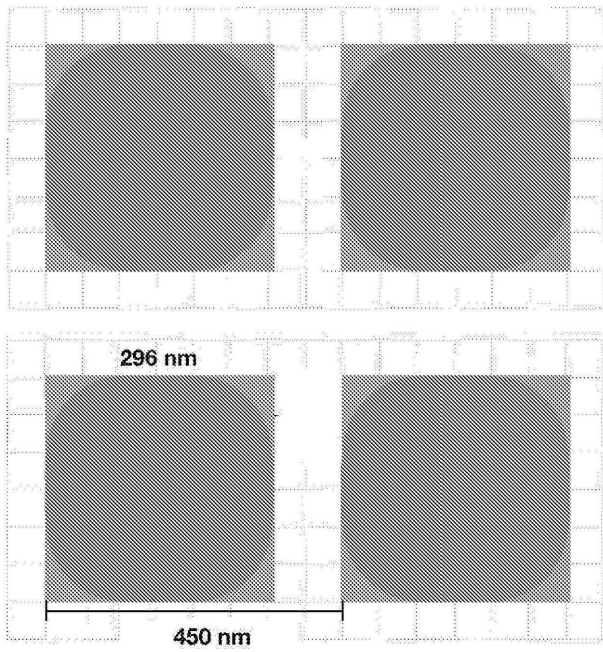
도면4a



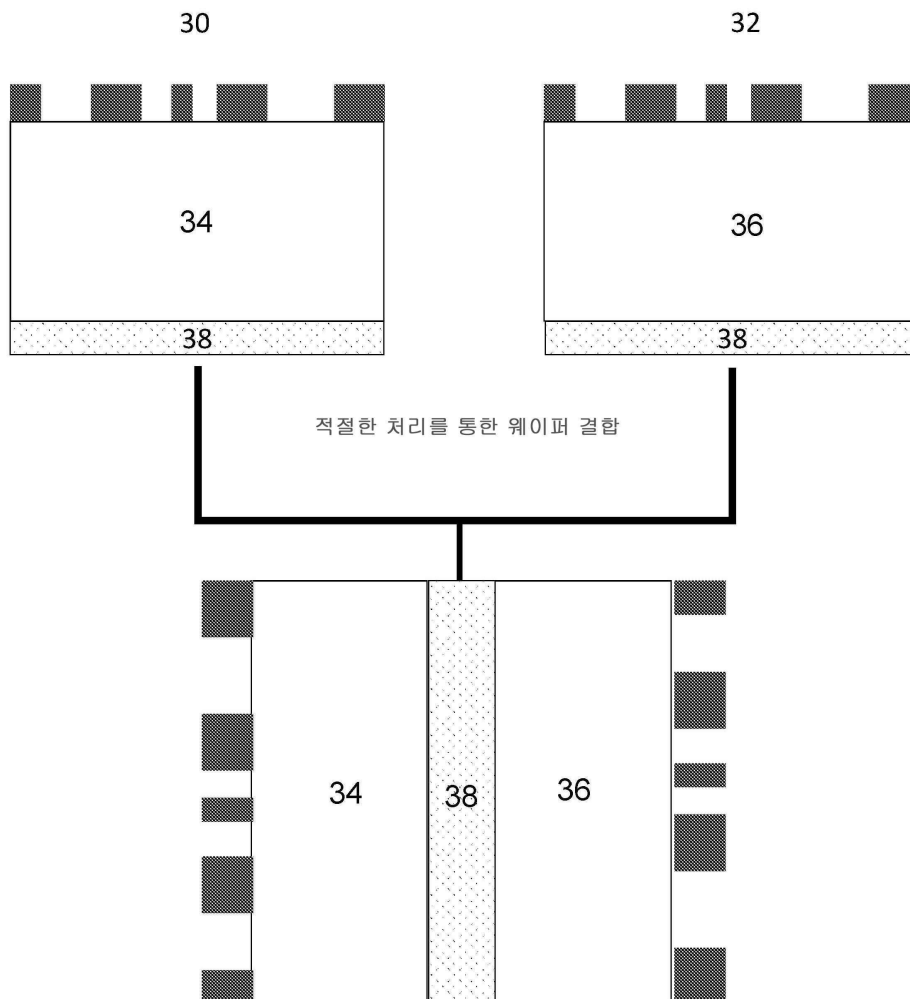
도면4b



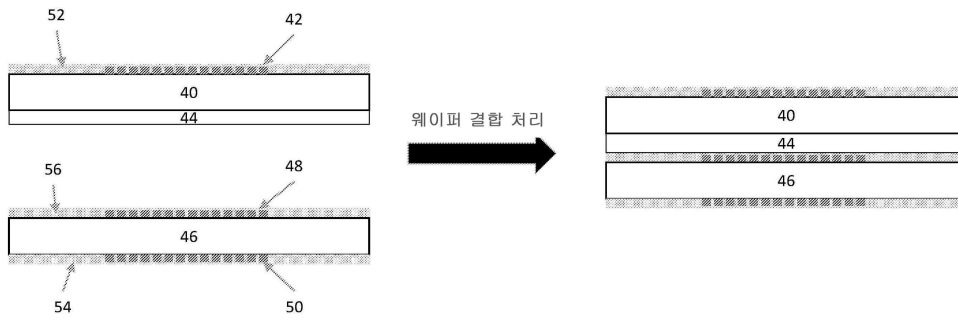
도면4c



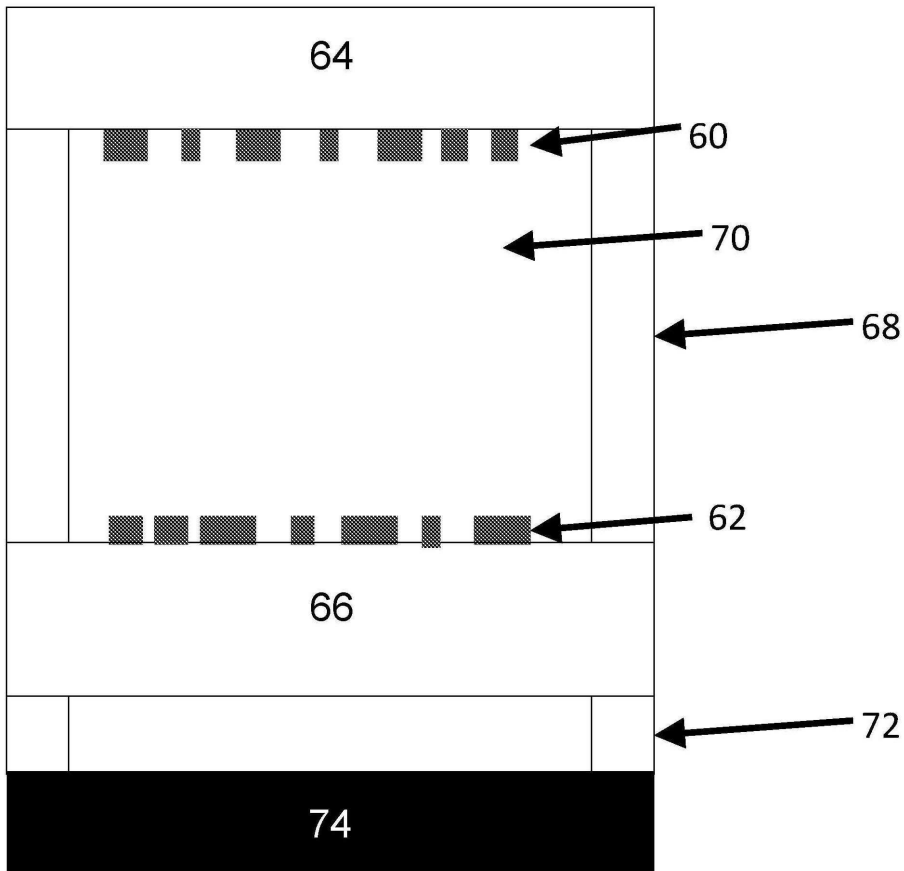
도면5



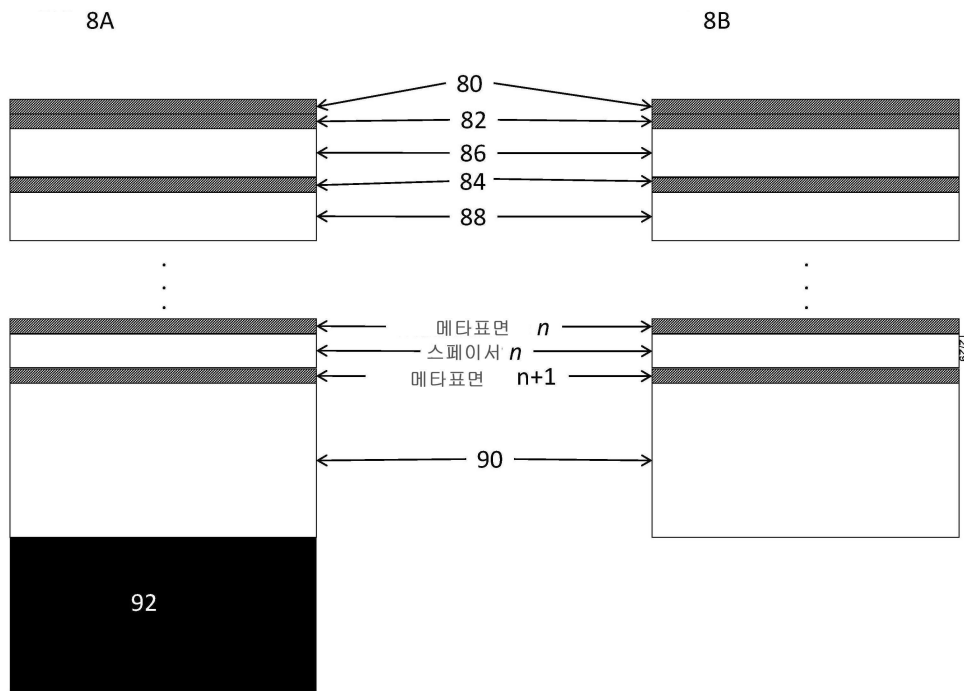
도면6



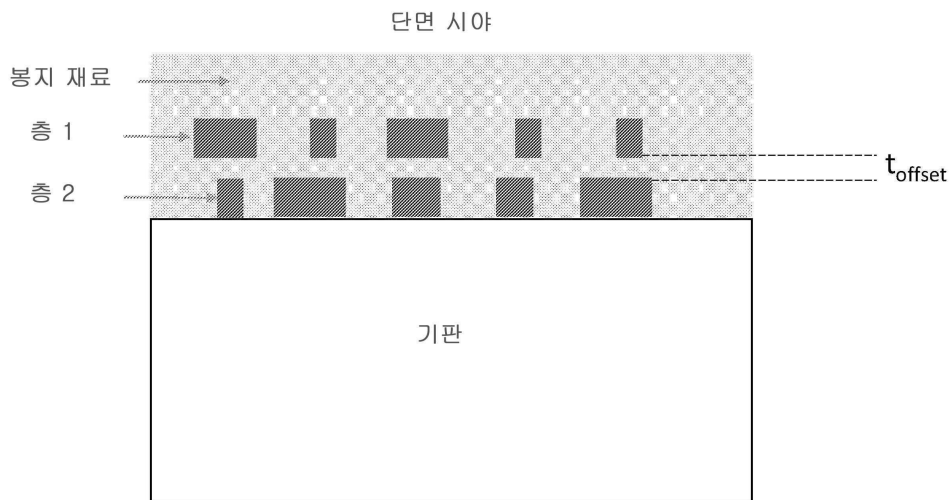
도면7



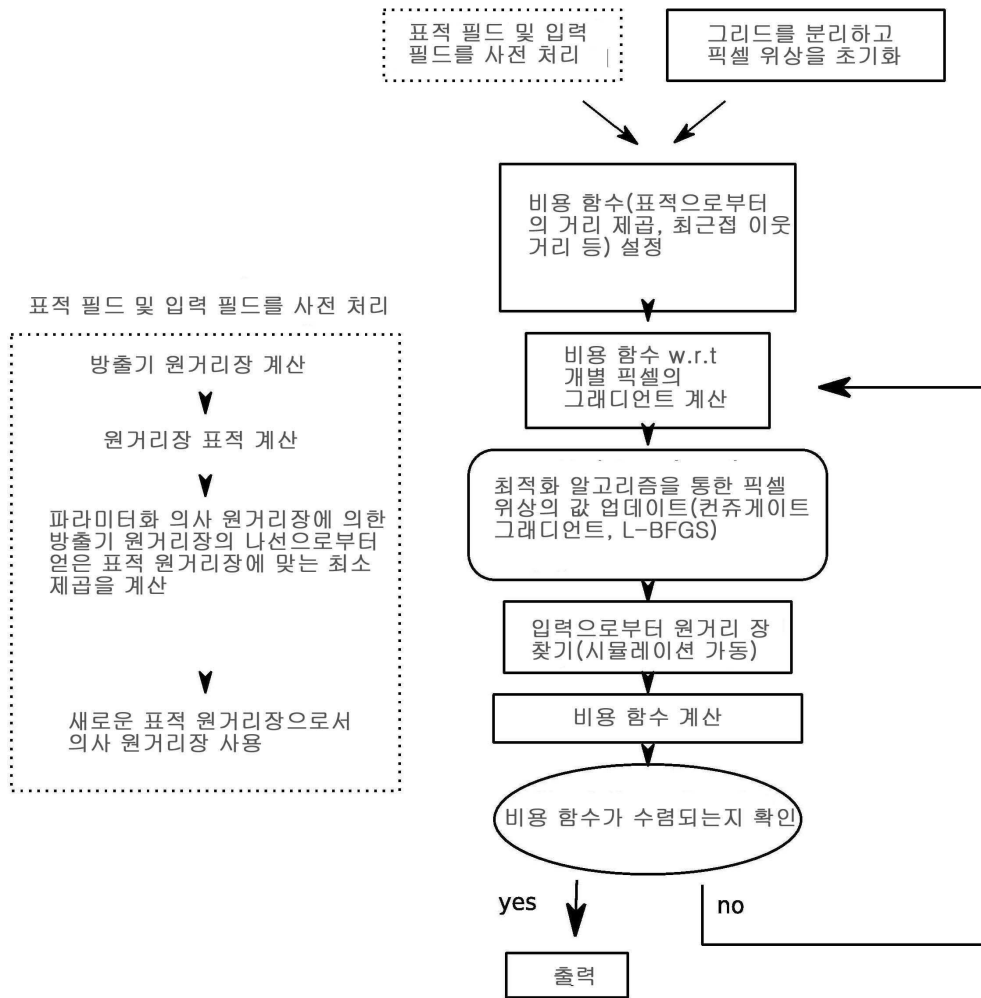
도면8



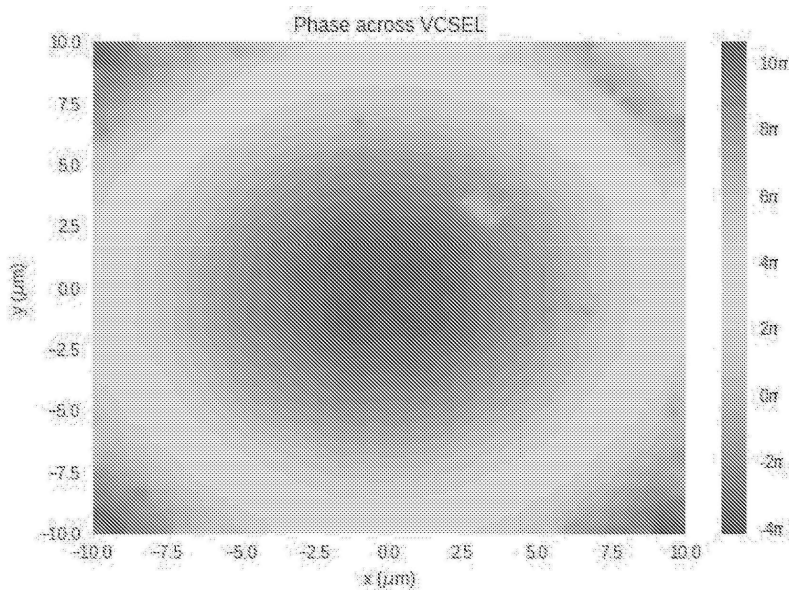
도면9



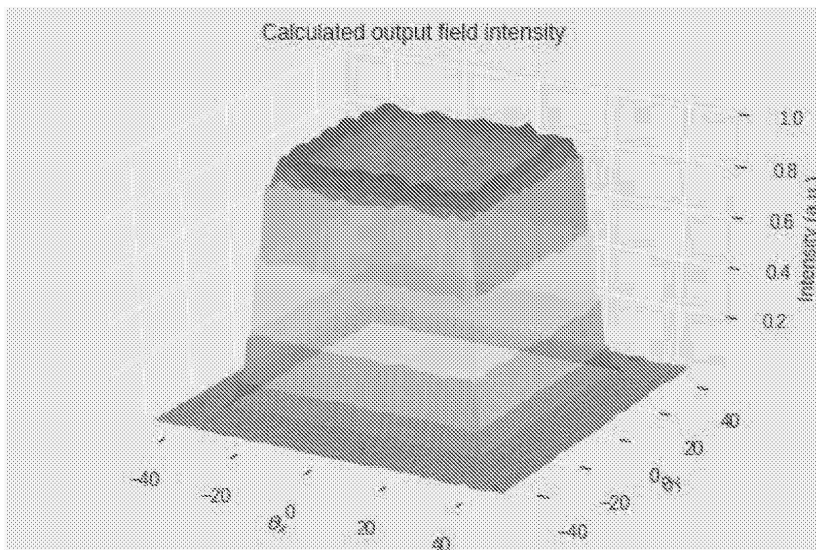
도면10a



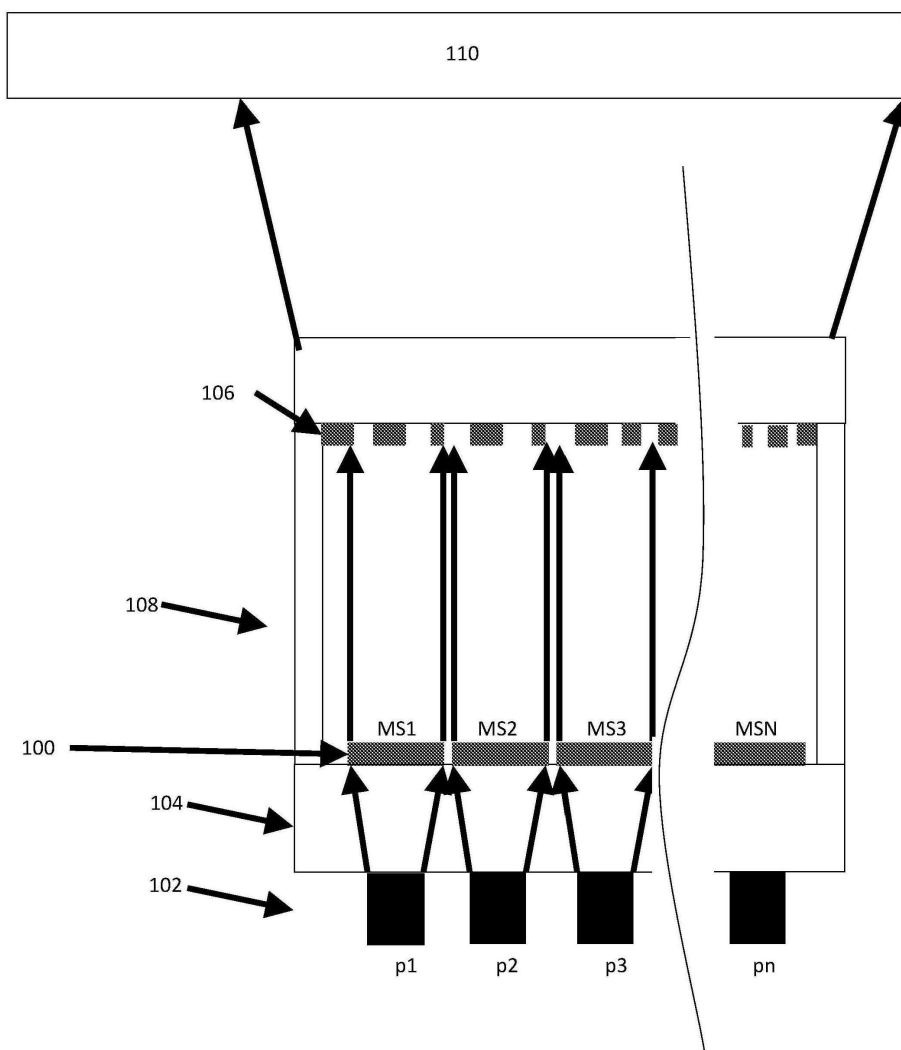
도면10b



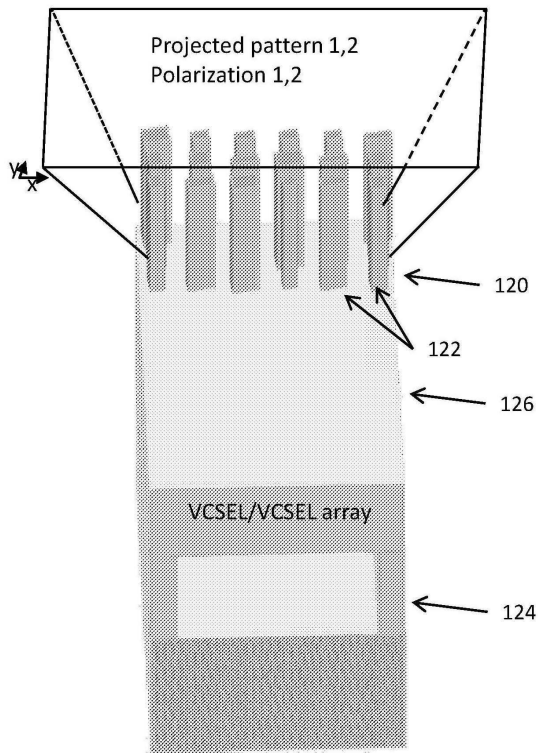
도면10c



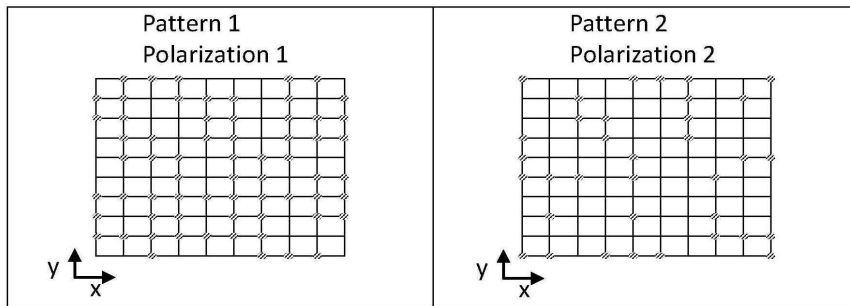
도면11



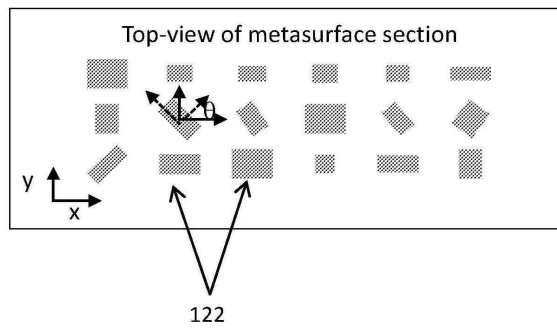
도면12a



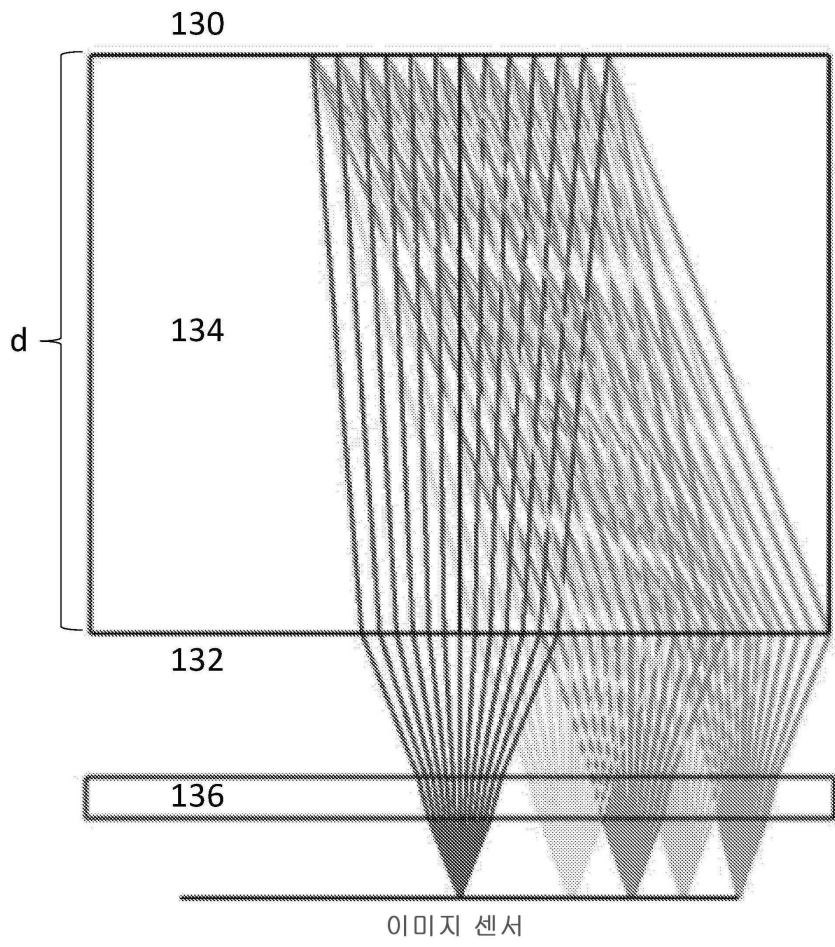
도면12b



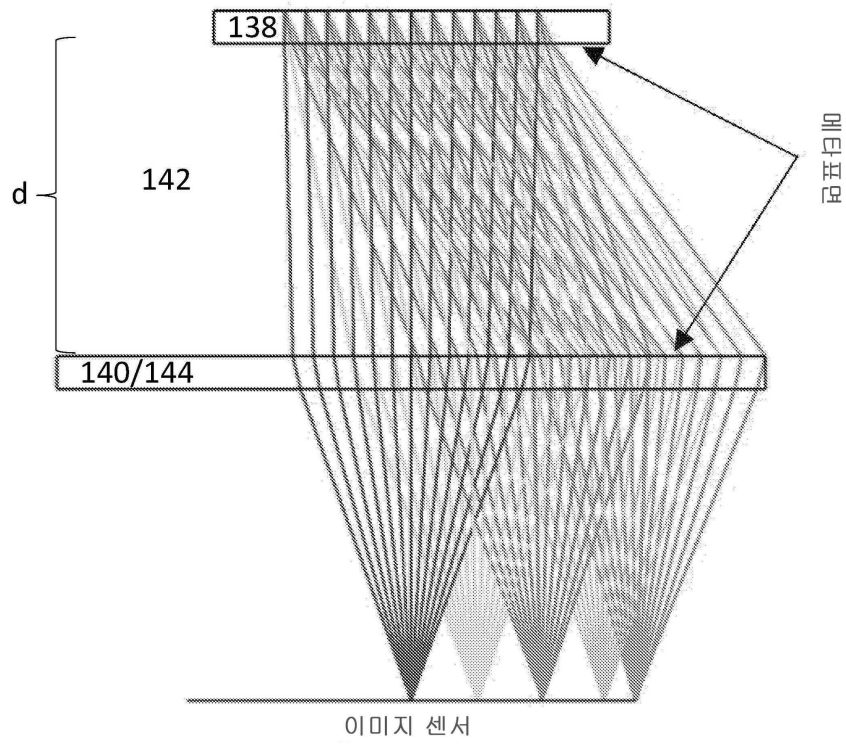
도면12c



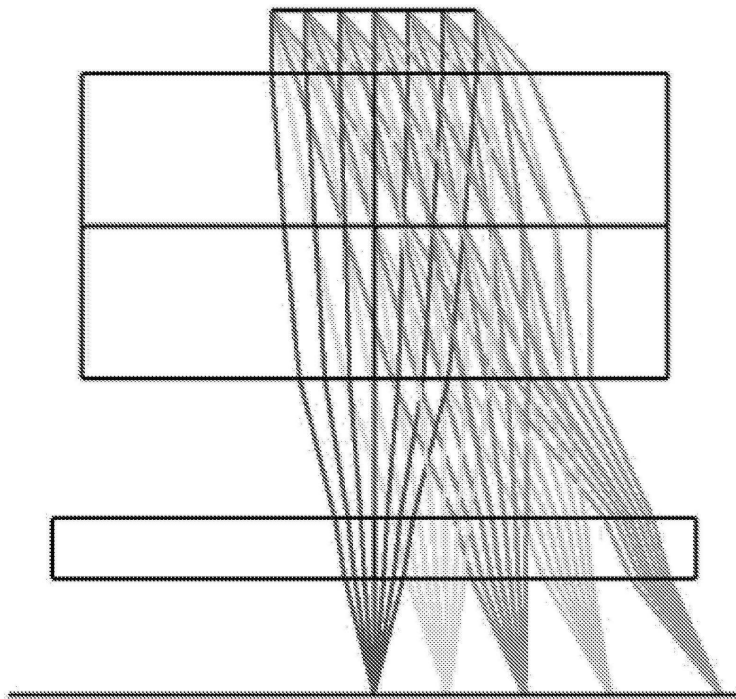
도면13



도면14

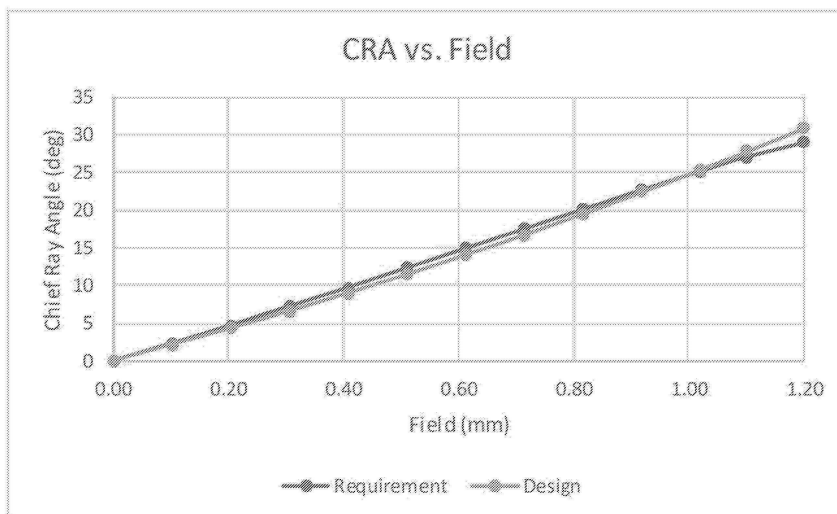


도면15

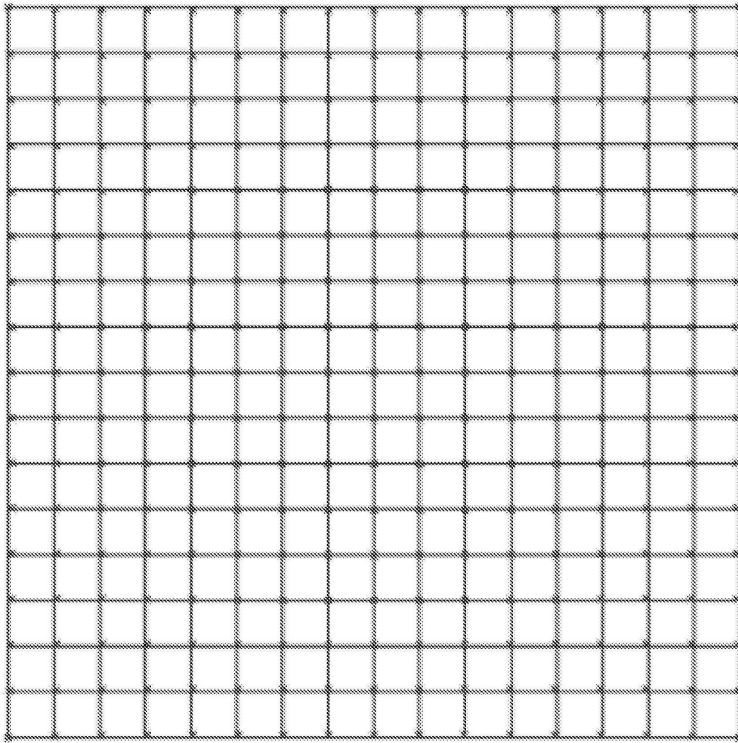


0° incidence
 10° incidence
 20° incidence
 30° incidence
 40° incidence

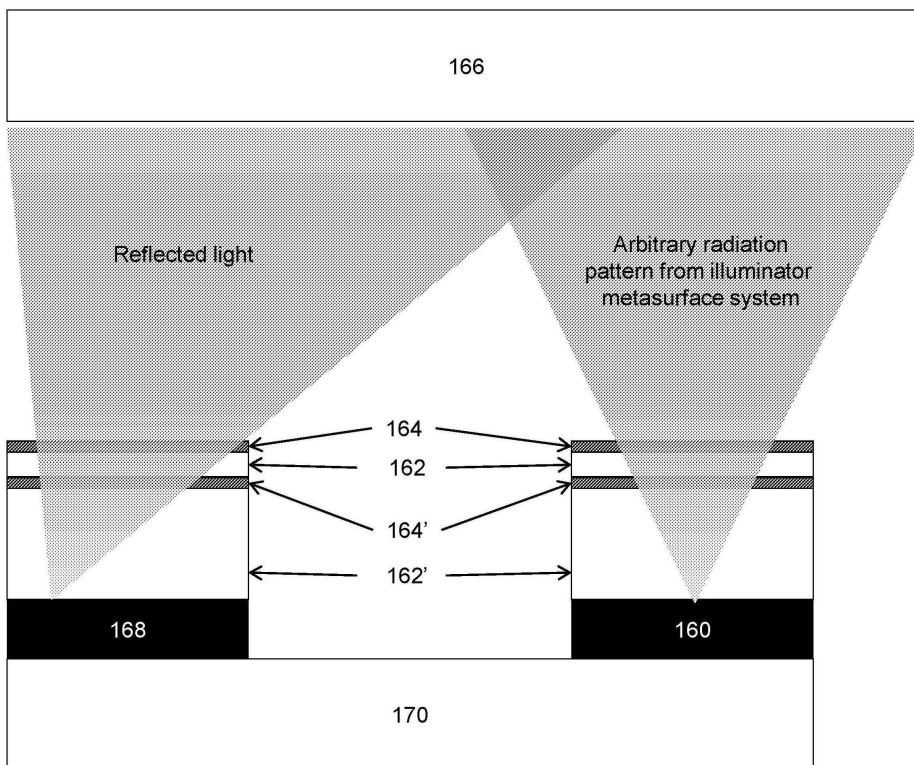
도면16



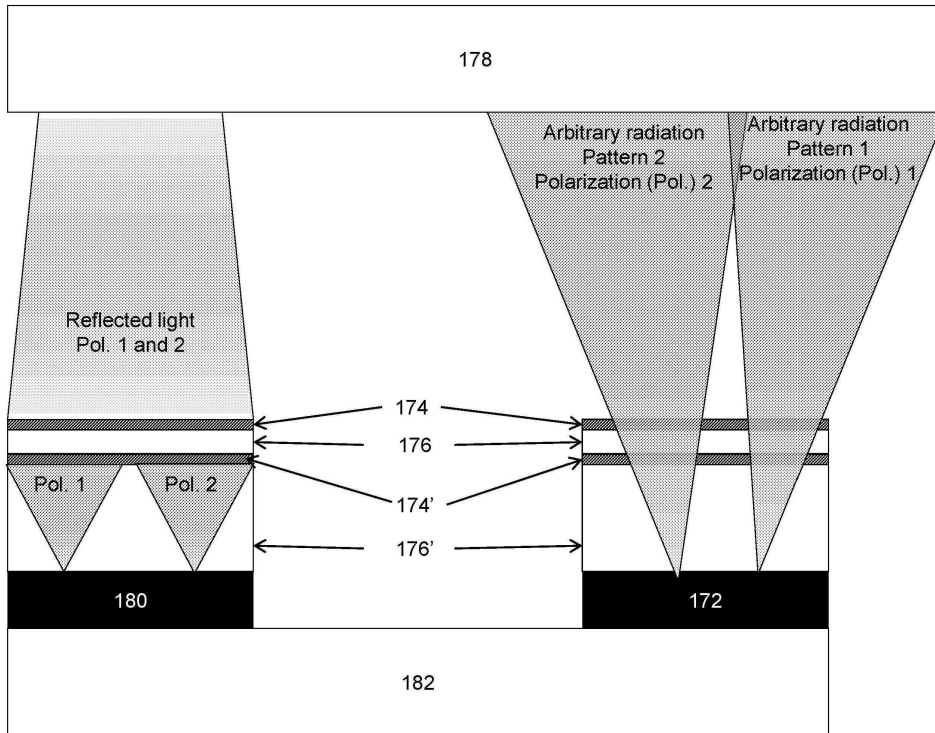
도면17



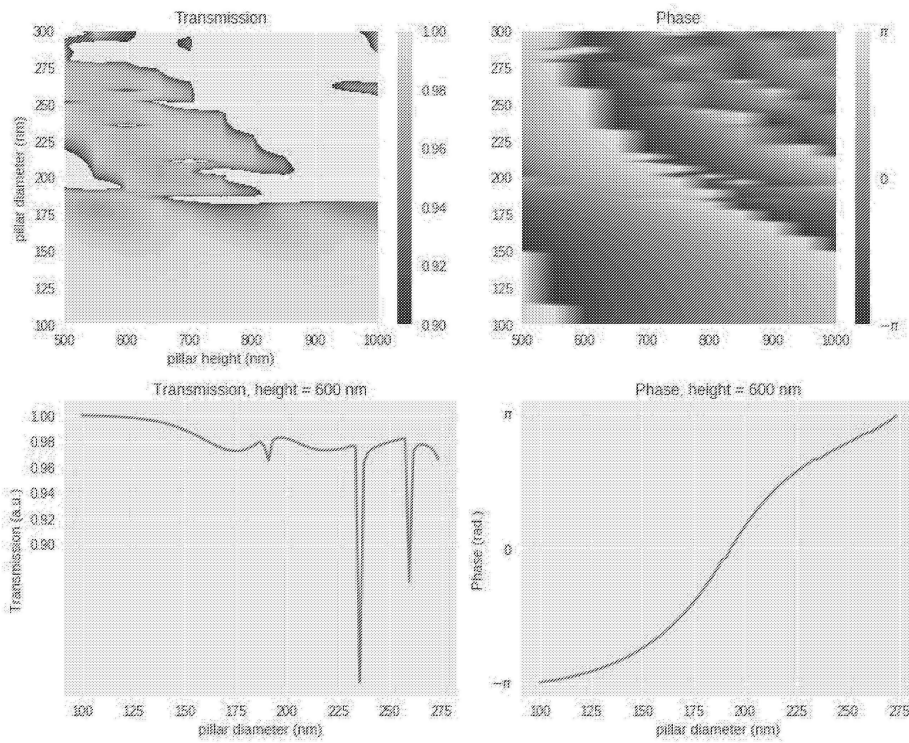
도면18



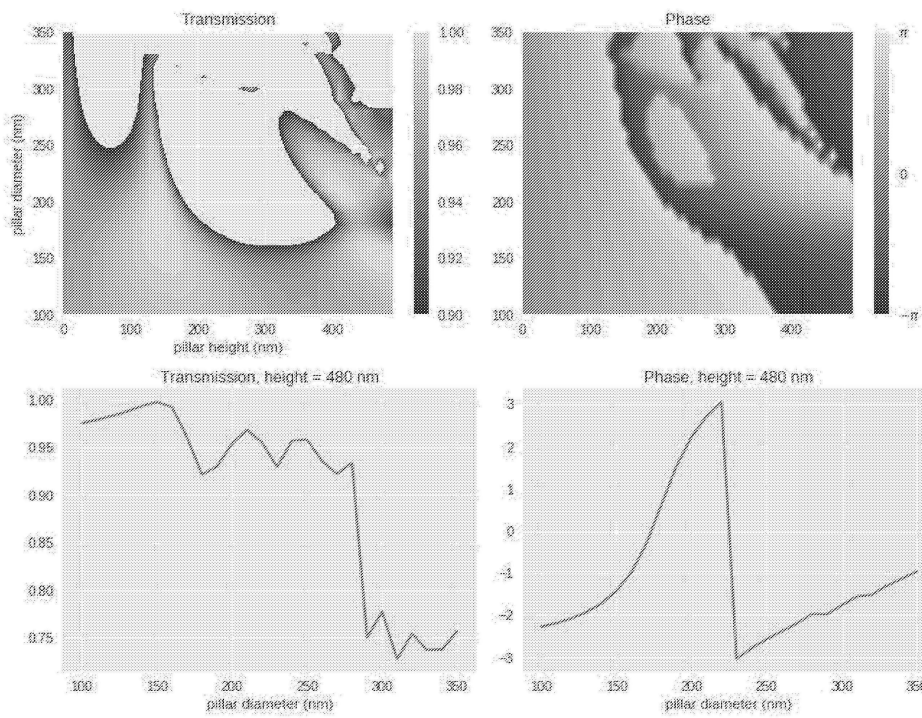
도면19



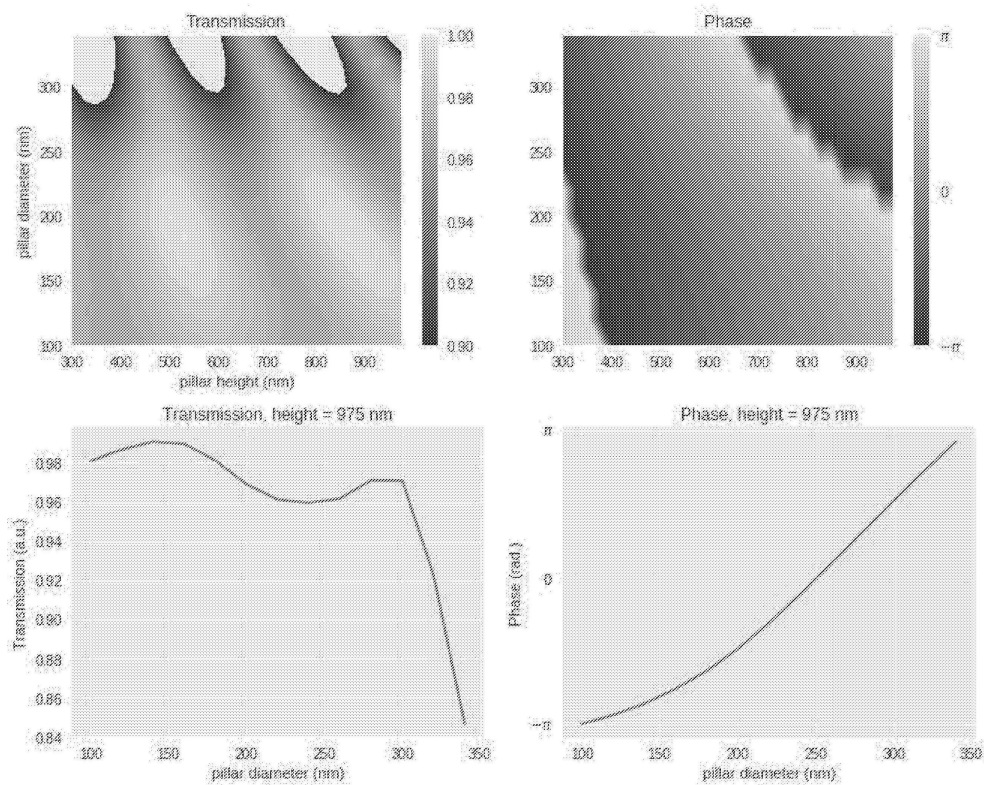
도면20



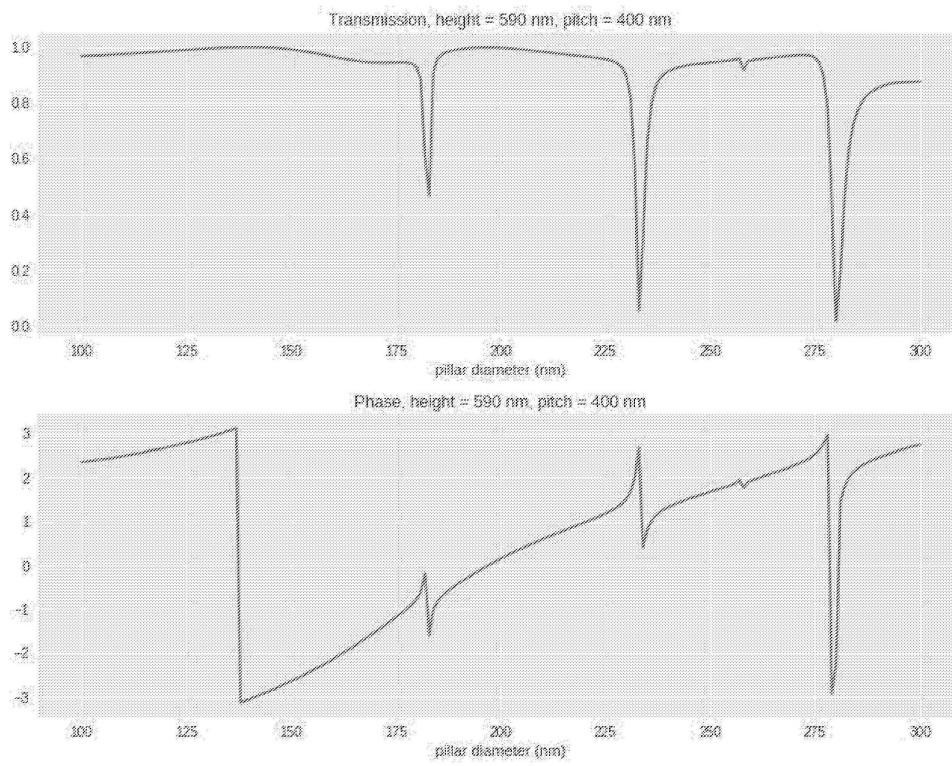
도면21



도면22



도면23



도면24

