(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2016-0096527
(43) 공개일자 2016년08월16일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G02F 1/01 (2006.01) *G02B 5/00* (2006.01)
G02F 1/19 (2006.01) *B82Y 20/00* (2011.01)
(52) CPC특허분류
G02F 1/01 (2013.01)
G02B 5/008 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2015-0107515
(22) 출원일자 2015년07월29일
심사청구일자 없음
(30) 우선권주장
62/111,583 2015년02월03일 미국(US)

(71) 출원인
삼성전자주식회사
경기도 수원시 영통구 삼성로 129 (매탄동)
캘리포니아 인스티튜트 오브 테크놀로지
미국 캘리포니아 파사데나 엠씨 6-32 이스트 캘리포니아 블러바드 1200 (우: 91125)
(72) 발명자
한승훈
서울특별시 관악구 관악로30길 27, 120동 1203호 (봉천동, 관악푸르지오1단지아파트)
황 야오웨이
미국 캘리포니아주 91107, 파사디나 53 N 그랜드 오크스 애비뉴
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
리앤목특허법인

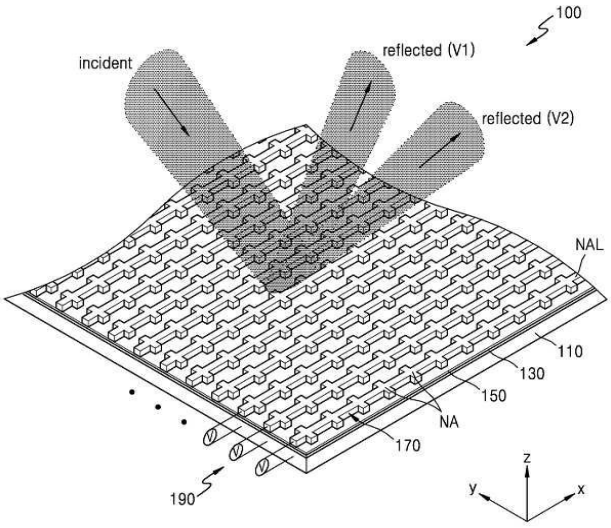
전체 청구항 수 : 총 21 항

(54) 발명의 명칭 **게이트 구조를 포함하는 광 변조 소자**

(57) 요 약

광 변조 소자는 플라즈모닉 나노안테나(plasmonic nano-antenna)층, 상기 플라즈모닉 나노안테나층과 마주하게 배치된 금속층, 상기 플라즈모닉 나노안테나층과 상기 금속층 사이에 배치되는 유전율 변화층 및 유전체층을 포함한다. 외부 신호에 따라 유전율 변화층에 형성되는 활성 영역이 광 변조 성능을 제어하는 게이트 역할을 할 수 있다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류
G02F 1/19 (2013.01)
B82Y 20/00 (2013.01)
G02F 2203/10 (2013.01)

(72) 발명자
앳워터 해리 에이
미국 캘리포니아주 91125, 파사디나 1200E. 캘리포니아 블리바드 MC 128-95
리 호웨이
미국 캘리포니아주 91101, 파사디나 290 S. 오클랜드 애비뉴 11호
소코얀 루잔
미국 캘리포니아주 91125, 파사디나 1200E. 캘리포니아 블리바드 MC 128-95
파파다키스 조지아
미국 캘리포니아주 91125, 파사디나 1200E. 캘리포니아 블리바드 MC 128-95
티야가라얀 크리시난
미국 캘리포니아주 91125, 파사디나 1200E. 캘리포니아 블리바드 MC 128-95

명 세 서

청구범위

청구항 1

플라즈모닉 나노안테나(plasmonic nano-antenna)층;

상기 플라즈모닉 나노안테나층과 마주하게 배치된 금속층;

상기 플라즈모닉 나노안테나층과 상기 금속층 사이에 배치되며, 외부 신호에 따라 유전율이 변하는 유전율 변화층; 및

상기 플라즈모닉 나노안테나층과 상기 금속층 사이에 배치되는 유전체층;을 포함하는 광 변조 소자.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 유전율 변화층의 유전율 변화를 일으키는 신호를 인가하는 신호 인가 수단;을 더 포함하는, 광 변조 소자.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 신호 인가 수단은

상기 플라즈모닉 나노안테나층과 상기 금속층 사이에 전압을 인가하는 전압 인가 수단인, 광 변조 소자.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 유전율 변화층은

전기 신호에 따라 유전율이 변하는 전기 광학 물질을 포함하는, 광 변조 소자.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 유전율 변화층은 투명 전도성 물질을 포함하는, 광 변조 소자.

청구항 6

제4항에 있어서,

상기 유전율 변화층은 전이 금속 질화물(transition metal nitride)을 포함하는, 광 변조 소자.

청구항 7

제4항에 있어서,

상기 유전율 변화층은

상기 플라즈모닉 나노안테나층과 상기 금속층 간에 인가되는 전압에 따라 캐리어 농도가 변하는 활성 영역을 포함하는, 광 변조 소자.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 활성 영역은 상기 유전율 변화층 내에서 상기 유전체층과 인접한 영역에 형성되는, 광 변조 소자.

청구항 9

제7항에 있어서,

상기 유전율 변화층의 유전 상수의 실수부는 소정 파장 대역에서 0의 값을 나타내는, 광 변조 소자.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 소정 파장 대역은 상기 활성 영역의 캐리어 농도에 따라 다르게 나타나는, 광 변조 소자.

청구항 11

제9항에 있어서,

상기 전압 인가 수단이 상기 금속층과 상기 플라즈모닉 나노안테나층 사이에 인가하는 전압 범위는,

상기 전압 범위 내에서, 상기 플라즈모닉 나노안테나층의 공진 파장 대역과 상기 소정 파장 대역이 일치하도록 조절할 수 있는 범위인, 광 변조 소자.

청구항 12

제4항에 있어서,

상기 플라즈모닉 나노안테나층은

제1방향을 따라 이격 배치된 복수의 나노안테나 라인을 포함하며,

상기 복수의 나노안테나 라인 각각은 상기 제1방향과 다른 제2방향을 따라 연결된 복수의 나노안테나를 포함하는, 광 변조 소자.

청구항 13

제12항에 있어서,

상기 복수의 나노안테나는

길이 방향이 상기 제1방향인 나노로드와 길이 방향이 상기 제2방향인 나노로드가 서로 교차하는 십자 형상을 가지는, 광 변조 소자.

청구항 14

제12항에 있어서,

상기 복수의 나노안테나는

원형, 타원형, 다각형, X형, 또는 별형인, 광 변조 소자.

청구항 15

제12항에 있어서,

상기 전압 인가 수단은

상기 금속층과 상기 복수의 나노안테나 라인 각각 사이에 독립적으로 전압을 인가할 수 있도록 구성된, 광 변조 소자.

청구항 16

제15항에 있어서,

상기 금속층과 상기 복수의 나노안테나 라인 각각 사이에 인가되는 전압 값들이 상기 제1방향을 따라 소정의 규칙성을 나타내는, 광 변조 소자.

청구항 17

제1항에 있어서,

상기 금속층 상에 상기 유전율 변화층이 배치되고,

상기 유전율 변화층 상에 상기 유전체층이 배치되는, 광 변조 소자.

청구항 18

제1항에 있어서,

상기 금속층 상에 상기 유전체층이 배치되고,

상기 유전체층 상에 상기 유전율 변화층이 배치되는, 광 변조 소자.

청구항 19

제18항에 있어서,

상기 유전율 변화층은 상기 플라즈모닉 나노안테나층과 같은 형태로 패턴된, 광 변조 소자.

청구항 20

제1항에 있어서,

상기 플라즈모닉 나노안테나층은

나노패턴의 관통홀이 형성된 금속물질을 포함하는, 광 변조 소자.

청구항 21

제1항의 광 변조 소자를 포함하는 광학 장치.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 개시는 광을 변조하는 광학 소자에 대한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 입사광의 투과/반사, 편광, 위상, 세기, 경로 등을 변경하는 광학 소자는 다양한 광학 장치에서 활용된다. 또한, 광학 시스템 내에서 원하는 방식으로 상기한 성질을 제어하기 위해 다양한 구조의 광 변조기들이 제시되고 있다.

[0003] 이러한 예로서, 광학적 이방성을 가지는 액정(liquid crystal), 광 차단/반사 요소의 미소 기계적 움직임을 이용하는 MEMS(microelectromechanical system) 구조 등이 일반적인 광 변조기에 널리 사용되고 있다. 이러한 광 변조기들은 그 구동 방식의 특성상 동작 응답시간이 수 ㎲ 이상으로 느리다.

[0004] 최근에는 금속층과 유전체층의 경계에서 일어나는 표면 플라즈몬 공명(surface plasmon resonance) 현상을 이용하는 나노안테나를 광학 소자에 활용하는 시도가 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 본 개시는 광을 변조하는 광학 소자에 대한 것이다.

과제의 해결 수단

[0006] 일 유형에 따르는 광 변조 소자는 플라즈모닉 나노안테나(plasmonic nano-antenna)층; 상기 플라즈모닉 나노안테나층과 마주하게 배치된 금속층; 상기 플라즈모닉 나노안테나층과 상기 금속층 사이에 배치되며, 외부 신호에

따라 유전율이 변하는 유전율 변화층; 및 상기 플라즈모닉 나노안테나층과 상기 금속층 사이에 배치되는 유전체층;을 포함한다.

[0007] 상기 광 변조 소자는 상기 유전율 변화층의 유전율 변화를 일으키는 신호를 인가하는 신호 인가 수단;을 더 포함할 수 있다.

[0008] 상기 신호 인가 수단은 상기 플라즈모닉 나노안테나층과 상기 금속층 사이에 전압을 인가하는 전압 인가 수단일 수 있다.

[0009] 상기 유전율 변화층은 전기 신호에 따라 유전율이 변하는 전기 광학 물질을 포함할 수 있다.

[0010] 상기 유전율 변화층은 투명 전도성 물질을 포함할 수 있다.

[0011] 상기 유전율 변화층은 전기 금속 질화물(transition metal nitride)을 포함할 수 있다.

[0012] 상기 유전율 변화층은 상기 플라즈모닉 나노안테나층과 상기 금속층 간에 인가되는 전압에 따라 캐리어 농도가 변하는 활성 영역을 포함할 수 있다.

[0013] 상기 활성 영역은 상기 유전율 변화층 내에서 상기 유전체층과 인접한 영역에 형성될 수 있다.

[0014] 상기 유전율 변화층의 유전 상수의 실수부는 소정 파장 대역에서 0의 값을 가질 수 있다.

[0015] 상기 소정 파장 대역은 상기 활성 영역의 캐리어 농도에 따라 다를 수 있다.

[0016] 상기 전압 인가 수단이 상기 금속층과 상기 플라즈모닉 나노안테나층 사이에 인가하는 전압 범위는, 상기 전압 범위 내에서, 상기 플라즈모닉 나노안테나층의 공진 파장 대역과 상기 소정 파장 대역이 일치하도록 조절하는 범위일 수 있다.

[0017] 상기 플라즈모닉 나노안테나층은 제1방향을 따라 이격 배치된 복수의 나노안테나 라인을 포함하며, 상기 복수의 나노안테나 라인 각각은 상기 제1방향과 다른 제2방향을 따라 연결된 복수의 나노안테나를 포함할 수 있다.

[0018] 상기 복수의 나노안테나는 길이 방향이 상기 제1방향인 나노로드와 길이 방향이 상기 제2방향인 나노로드가 서로 교차하는 십자 형상을 가질 수 있다.

[0019] 또는, 상기 복수의 나노안테나는 원형, 타원형, 다각형, X형, 또는 별형일 수 있다.

[0020] 상기 전압 인가 수단은 상기 금속층과 상기 복수의 나노안테나 라인 각각 사이에 독립적으로 전압을 인가할 수 있도록 구성될 수 있다.

[0021] 상기 금속층과 상기 복수의 나노안테나 라인 각각 사이에 인가되는 전압 값들이 상기 제1방향을 따라 소정의 규칙성을 나타낼 수 있다.

[0022] 상기 금속층 상에 상기 유전율 변화층이 배치되고, 상기 유전율 변화층 상에 상기 유전체층이 배치될 수 있다.

[0023] 또는, 상기 금속층 상에 상기 유전체층이 배치되고, 상기 유전체층 상에 상기 유전율 변화층이 배치될 수 있다.

[0024] 상기 유전율 변화층은 상기 플라즈모닉 나노안테나층과 같은 형태로 패턴될 수 있다.

[0025] 상기 플라즈모닉 나노안테나층은 나노패턴의 관통홀이 형성된 금속물질을 포함할 수 있다.

[0026] 또한, 일 유형에 따른 광학 장치는 상술한 어느 하나의 광 변조 소자를 포함한다.

발명의 효과

[0027] 상술한 광 변조 소자는 플라즈모닉 나노안테나층과 유전율 변화층을 포함하며, 유전율 변화층에서 캐리어 농도가 변하는 영역을 게이트로 활용하여 입사광을 다양한 형태로 변조할 수 있다.

[0028] 상술한 광 변조 소자는 소형, 구속 구동이 가능하여 다양한 광학 장치에 적용되어 광학 장치의 성능을 향상시킬 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0029] 도 1은 실시예에 따른 광 변조 소자의 개략적인 구조를 보이는 사시도이다.

도 2는 도 1의 광 변조 소자의 단위 블록을 상세히 보인 사시도이다.

도 3은 도 1의 광 변조 소자의 단위 블록에 형성되는 게이트 구조를 보이는 단면도이다.

도 4는 도 1의 광 변조 소자에 채용되는 유전율 변화층의 활성 영역에 형성되는 캐리어 농도에 따른 유전율 변화를 보인 그래프이다.

도 5는 도 4의 점원 표시 부분을 확대한 그래프이다.

도 6은 도 1의 광 변조 소자에 채용되는 유전율 변화층의 활성 영역에 형성되는 캐리어 농도에 따른 반사율을 보인 그래프이다.

도 7은 도 1의 광 변조 소자에 채용되는 유전율 변화층의 활성 영역에 형성되는 캐리어 농도에 따른, 입사광의 위상 변화를 보인 그래프이다.

도 8은 실시예에 따른 광 변조 소자가 동적 위상 격자(dynamic phase grating)로 활용될 수 있음을 전산 모사하기 위한 샘플 구조의 사시도이다.

도 9는 도 8의 샘플 구조의 단위 블록의 상세한 수치를 보인 사시도이다.

도 10은 도 8의 샘플 구조에 인가되는 전압 형태의 일 예와 이에 따른 입사광의 위상 변화 및 1차 회절광의 방향을 보인 그래프이다.

도 11은 도 10과 같은 형태로 도 8의 샘플 구조에 전압이 인가될 때, 회절각에 따른 광 세기를 보인 그래프이다.

도 12는 도 8의 샘플 구조에 인가되는 전압 형태의 다른 예와 이에 따른 입사광의 위상 변화 및 1차 회절광의 방향을 보인 그래프이다.

도 13은 도 12와 같은 형태로 도 8의 샘플 구조에 전압이 인가될 때, 회절각에 따른 광 세기를 보인 그래프이다.

도 14는 도 8의 샘플 구조에 인가되는 전압 형태의 또 다른 예와 이에 따른 이에 따른 입사광의 위상 변화 및 1차 회절광의 방향을 보인 그래프이다.

도 15는 도 14와 같은 형태로 도 8의 샘플 구조에 전압이 인가될 때, 회절각에 따른 광 세기를 보인 그래프이다.

도 16은 다른 실시예에 따른 광 변조 소자의 단위 블록을 보인 사시도이다.

도 17a 내지 도 17d는 실시예에 따른 광 변조 소자의 단위 블록에 채용될 수 있는 나노 안테나의 예시적인 형상들을 보인다.

도 18은 또 다른 실시예에 따른 광 변조 소자의 단위 블록을 보인 단면도이다.

도 19는 또 다른 실시예에 따른 광 변조 소자의 단위 블록을 보인 단면도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0030] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 실시예들에 대해 상세히 설명하기로 한다. 이하의 도면들에서 동일한 참조부호는 동일한 구성요소를 지칭하며, 도면상에서 각 구성요소의 크기는 설명의 명료성과 편의상 과장되어 있을 수 있다. 한편, 이하에 설명되는 실시예는 단지 예시적인 것에 불과하며, 이러한 실시예들로부터 다양한 변형이 가능하다. 이하에서, "상부" 나 "상"이라고 기재된 것은 접촉하여 바로 위에 있는 것뿐만 아니라 비접촉으로 위에 있는 것도 포함할 수 있다.

[0031] 도 1은 실시예에 따른 광 변조 소자(100)의 개략적인 구조를 보이는 사시도이고, 도 2는 도 1의 광 변조 소자(100)의 단위 블록을 상세히 보인 사시도이며, 도 3은 도 1의 광 변조 소자(100)의 단위 블록에 형성되는 게이트 구조를 보이는 단면도이다.

[0032] 도면들을 참조하면, 광 변조 소자(100)는 플라즈모닉 나노안테나(plasmonic nano-antenna)층(170), 플라즈모닉 나노안테나층(170)과 마주하게 배치된 금속층(110), 플라즈모닉 나노안테나층(170)과 금속층(110) 사이에 배치되며, 외부 신호에 따라 유전율이 변하는 유전율 변화층(130) 및 플라즈모닉 나노안테나층(170)과 금속층(110) 사이에 배치되는 유전체층(150)을 포함한다.

[0033] 또한, 유전율 변화층(130)에 유전율 변화를 유도하기 위해, 유전율 변화층(130)에 외부 신호를 인가하는 신호 인가 수단을 포함할 수 있다. 이러한 신호 인가 수단은 예를 들어, 유전율 변화층(130) 내에 전기장을 형성하기 위해, 플라즈모닉 나노안테나층(170)과 금속층(110) 사이에 전압을 인가하는 전압 인가 수단(190)일 수 있으며, 이에 한정되는 것은 아니다.

[0034] 도면들에서는 금속층(110) 상에 유전율 변화층(130), 유전체층(150)의 순서대로 배치된 것으로 도시되었으나, 유전율 변화층(130), 유전체층(150)의 배치 순서는 뒤바뀔 수도 있다.

[0035] 플라즈모닉 나노안테나층(170)은 전도성 물질로 형성된 다수의 나노안테나(NA)를 포함한다. 나노안테나(NA)는 서브 파장(sub-wavelength)의 형상 치수를 가지는 인공 구조(artificial structure)이며, 소정 파장 대역의 빛을 강하게 모으는 역할을 한다. 여기서, 서브 파장(sub-wavelength)은 나노안테나(NA)의 동작 파장, 즉, 상기 소정 파장보다 작은 치수를 의미한다. 나노안테나(NA)의 형상을 이루는 어느 한 치수, 예를 들어, 두께, 가로, 세로, 또는 나노안테나(NA) 간의 간격 중 적어도 어느 하나가 서브 파장의 치수를 가질 수 있다.

[0036] 나노안테나(NA)의 상기한 기능은 금속물질과 유전체 물질의 경계에서 일어나는 표면 플라즈몬 공명(surface plasmon resonance)에 의한 것으로 알려져 있으며, 나노안테나(NA)의 세부적인 형상에 따라 공진 파장이 달라진다.

[0037] 플라즈모닉 나노안테나층(170)은 도시된 바와 같이, 제1방향, 예를 들어, y 방향을 따라 이격 배치된 복수의 나노안테나 라인(NAL)을 포함한다. 복수의 나노안테나 라인(NAL) 각각은 제2방향, 예를 들어, x방향을 따라 연결된 복수의 나노안테나(NA)를 포함한다. 도면에서는 제1방향과 제2방향이 서로 직교하는 방향으로 도시되어 있으나, 이에 한정되는 것은 아니며, 서로 나란하지 않은, 즉, 서로 다른 두 방향이면 무방하다.

[0038] 나노안테나(NA)를 형성하는 전도성 물질로는 표면 플라즈몬 여기(surface plasmon excitation)가 일어날 수 있는 도전성이 높은 금속 물질이 채용될 수 있다. 예를 들어, Cu, Al, Ni, Fe, Co, Zn, Ti, 루세늄(ruthenium, Ru), 로듐(rhodium, Rh), 팔라듐(palladium, Pd), 백금(Pt), 은(Ag), 오스뮴(osmium, Os), 이리듐(iridium, Ir), 백금(Pt), 금(Au), 중에서 선택된 적어도 어느 하나가 채용될 수 있고, 이들 중 어느 하나를 포함하는 합금으로 이루어질 수 있다. 또한, 그래핀(graphene)과 같이 전도성이 좋은 이차원 물질, 또는, 전도성 산화물이 채용될 수도 있다.

[0039] 유전율 변화층(130)은 외부 신호에 따라 광학적 특성이 변하는 물질로 이루어질 수도 있다. 외부 신호는 전기 신호일 수 있다. 유전율 변화층(130)은 예를 들어, ITO(indium tin oxide), IZO(indium zinc oxide), AZO(aluminium zinc oxide), GZO(gallium zinc oxide)와 같은 투명 전도성 산화물(transparent conductive oxide, TCO)로 이루어질 수 있다. 또한, TiN, ZrN, HfN, TaN과 같은 전이 금속 질화물(transition metal nitrice)도 사용 가능하다. 이외에도, 전기 신호가 가해지면 유효 유전율이 변하는 전기 광학(electro-optic 물질), 즉, $LiNbO_3$, $LiTaO_3$ KTN(potassium tantalate niobate), PZT(lead zirconate titanate)이 사용될 수 있고, 또한, 전기광학 특성을 갖는 다양한 폴리머(polymer) 물질이 사용될 수 있다.

[0040] 상기 외부 신호는 전기 신호에 한정되지 않으며, 열을 인가하면 소정 온도 이상에서 상전이가 일어나 유전율이 변하는 물질, 예를 들어, VO_2, VO_2O_3, EuO, MnO, CoO, CoO_2, $LiCoO_2$, 또는, Ca_2RuO_4 등이 유전율 변화층(130)에 채용될 수 있다.

[0041] 금속층(110)은 플라즈모닉 나노안테나층(170)과의 사이에 전압을 인가할 수 있고, 또한, 광을 반사하는 미러층으로 기능할 수 있다. 금속층(110)의 재질은 이러한 기능을 수행할 수 있는 다양한 금속 재질, 예를 들어, Cu, Al, Ni, Fe, Co, Zn, Ti, 루세늄(ruthenium, Ru), 로듐(rhodium, Rh), 팔라듐(palladium, Pd), 백금(Pt), 은(Ag), 오스뮴(osmium, Os), 이리듐(iridium, Ir), 백금(Pt), 금(Au), 중에서 선택된 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다.

[0042] 전압 인가 수단(190)은 금속층(110)과 복수의 나노안테나 라인(NAL) 각각 사이에 독립적으로 전압을 인가할 수 있도록 구성될 수 있다.

[0043] 도 3을 참조하면, 유전율 변화층(130)은 플라즈모닉 나노안테나층(170)과 금속층(110) 간에 전압 인가 여하에 따라 캐리어 농도가 변하는 활성 영역(135)을 포함할 수 있다. 활성 영역(135)은 유전율 변화층(130) 내에서 유전체층(150)과 인접한 영역 쪽에 형성되며, 캐리어 농도는 인가 전압에 따라 변한다. 활성 영역(135)에 형성된 캐리어 농도에 따라 광 변조 소자(100)에 입사되는 광이 변조되는 형태가 조절될 수 있다. 이러한 점에서, 활성 영역(135)은 나노안테나(NA)의 광 변조 성능을 조절, 제어하는 게이트로 볼 수 있다.

[0044] 전술한 바와 같이, 나노안테나(NA)는 그 형상 치수에 의해 정해지는 특정 파장 대역의 광을 강하게 모을 수 있다. 광 변조 소자(100)는 또한, 나노안테나(NA)와 함께, 미러의 역할을 하는 금속층(110)을 함께 구비하고 있으며, 금속층(110)은 나노안테나(NA)와 상호 작용하여 활성영역(150)의 ENZ(epsilon near zero) 특성을 증폭하는 자성공진 모드를 형성시킬 수 있어서 입사광 중, 특정 파장 대역의 빛의 반사, 회절을 변조할 수 있다. 이 때, 금속층(110)과 나노안테나(NA) 사이에 인가되는 전압 여하에 따라, 활성 영역(135)의 캐리어 농도가 변하며, 이에 의해 입사광의 반사, 회절 형태가 달라진다.

[0045] 유전율 변화층(130)의 유전율(permittivity)은 파장에 따라 변하는 값을 갖는다. 진공의 유전율(ε_0)에 대한 상대 유전율(relative permittivity, ε_r)을 유전 상수(dielectric constant)라고 하며, 유전율 변화층(130)의 유전 상수의 실수부는 소정 파장 대역에서 0의 값을 나타낸다.

[0046] 유전 상수의 실수부가 0 또는 0에 매우 가까운 값을 갖게 되는 파장 대역을 ENZ(epsilon near zero) 파장 대역이라고 한다. 대부분의 물질의 유전 상수는 파장의 함수로 나타나며, 복소수(complex number)로 나타낼 수 있다. 진공의 유전 상수는 1이 되며, 일반적인 유전체(dielectric material)의 경우, 유전 상수의 실수부(real part)는 1보다 큰 양수이다. 금속(metal)의 경우, 유전 상수의 실수부는 음수가 될 수도 있다. 대부분의 파장 대역에서, 대부분의 물질의 유전 상수는 1보다 큰 값을 가지지만, 또한, 특정 파장에서, 유전 상수의 실수부는 0의 값을 가질 수 있다.

[0047] 유전 상수의 실수부가 0 또는 0에 매우 가까운 값을 가질 때, 특이한 광학적 성질을 나타내는 것으로 알려져 있으며, 실시예의 광 변조 소자(100)는 동작 파장 대역을 유전율 변화층(130)의 ENZ 파장 대역을 포함하는 영역으로 설정한다. 즉, 나노안테나(NA)의 공진 파장 대역과, 유전율 변화층(130)의 ENZ(epsilon near zero) 파장 대역을 유사하게 설정함으로써, 인가 전압에 의한 광 변조 성능이 조절되는 범위를 더욱 크게 할 수 있다.

[0048] 유전율 변화층(130)의 ENZ 파장 대역은 활성 영역(135)에 형성되는 캐리어 농도에 따라 다르게 나타난다. 유전율 변화층(130)의 ENZ 파장 대역을 활요하기 위해, 전압 인가 수단(190)이 금속층(110)과 플라즈모닉 나노안테나층(170) 사이에 인가하는 전압 범위는, 상기 전압 범위 내에서, 플라즈모닉 나노안테나층(170)의 공진 파장과 유전율 변화층(130)이 ENZ(epsilon near zero) 성질을 나타내는 파장이 일치하는 범위일 수 있다.

[0049] 도 4는 도 1의 광 변조 소자에 채용되는 유전율 변화층(130)의 활성 영역(135)에 형성되는 캐리어 농도에 따른 유전율 변화를 보인 그래프이고, 도 5는 도 4의 점원 표시 부분을 확대한 그래프이다.

[0050] 그래프들의 가로축은 파장, 세로축은 상대 유전율(relative permittivity, ε_r), 즉, 유전 상수의 실수부를 나타낸다.

[0051] 그래프들을 참조하면, 캐리어 농도에 따라 파장에 대한 유전 상수 변화가 다르게 나타난다. 예를 들어, 캐리어 농도가 $1x10^{21}cm^{-3}$ 인 경우, 유전상수의 실수부가 1에서 -1 사이의 값을 갖는, ENZ 파장 대역은 약 1060nm에서 1400nm 사이의 범위로 나타난다. 캐리어 농도가 이보다 낮아질수록, ENZ 파장 대역은 장파장 대역으로 조금씩 이동하는 경향을 보인다.

[0052] 유전율 변화층(130)의 활성 영역(135)에 형성되는 캐리어 농도는 인가 전압에 의해 정해지며, 따라서, 이러한 그래프들과, 나노안테나(NA)의 공진 파장 대역을 고려하여, 원하는 광 변조 범위에 알맞게, 광 변조 소자(100)에 인가할 전압 범위를 설정할 수 있다.

[0053] 도 6은 도 1의 광 변조 소자(100)에 채용되는 유전율 변화층(130)의 활성 영역(135)에 형성되는 캐리어 농도에 따른 반사율을 보인 그래프이고, 도 7은 도 1의 광 변조 소자(100)에 채용되는 유전율 변화층의(130) 활성 영역(135)에 형성되는 캐리어 농도에 따른 위상 변화를 보인 그래프이다.

[0054] 그래프들은 파장 1265nm의 광에 대해 광 변조 소자(100)가 4-level의 위상 변조가 가능함을 보인다. 즉, 1264nm 파장의 광이 광 변조 소자(100)에 입사되는 경우, 캐리어 농도를 변화시켜, 즉, 금속층(110)과 나노안테나(NA) 간에 인가되는 전압을 변화시켜, 0, 90°, 180°, 270° 의 위상 변화(phase shift)가 일어나도록 할 수 있다.

[0055] 또한, 금속층(110)과 복수의 나노안테나 라인(NAL) 각각 사이에 인가되는 전압 값들이 소정의 규칙성을 갖도록 함으로써, 광 변조 소자(100)는 위상 격자로 기능할 수도 있다.

[0056] 이하, 도 8 내지 도 15를 참조하여, 실시예에 따른 광 변조 소자(100)가 동적 위상 격자(dynamic phase grating)로 활용될 수 있음을 설명하기로 한다.

[0057] 도 8은 실시예에 따른 광 변조 소자(100)가 동적 위상 격자(dynamic phase grating)로 활용될 수 있음을 전산 모사하기 위한 샘플 구조의 사시도이고, 도 9는 도 8의 샘플 구조의 단위 블록의 상세한 수치를 보인 사시도이다.

[0058] 도 8을 참조하면, 전산 모사에 사용된 샘플 구조는 y방향으로 배치된 64개의 단위 블록을 포함한다. 단위 블록의 수치는 도 9에 표시된 바와 같으며, 단위는 nm 이다. 전산 모사시, x 방향으로는 해당 단위블록이 계속 반복되어 연속되어 있는 경계 조건을 적용한다. L은 180nm로 1250nm 파장의 빛을 변조하는 것이 가능한 길이이며, L을 조절하면 동작 파장을 변화시킬 수 있다. 금속층(110), 나노안테나(NA)의 재질은 Au, 유전율 변화층(130)의 재질은 ITO, 유전체층(150)의 재질은 Al_2O_3로 설정하였다.

[0059] 도 10은 도 8의 샘플 구조에 인가되는 전압 형태의 일 예와 이에 따른 입사광의 위상 변화 및 1차 회절광의 방향을 보인 그래프이다.

[0060] 도 10에 표시된 인가 전압(V1)은 도 8의 샘플 구조에 V1의 전압이 주기(Λ) 2㎛ 의 규칙으로 금속층(110)과 나노안테나(NA) 간에 인가됨을 의미한다. 즉, y방향을 따라, 네 개의 단위 블록에는 나노안테나(NA) 각각과 금속층(110) 간에 V1의 전압이 인가되고, 다음 네 개의 단위 블록에는 나노안테나(NA) 각각과 금속층(110)사이에는 전압이 인가되지 않으며, 이러한 규칙으로, 64개의 단위 블록에 대해 전압이 인가된다. V1의 전압은 위상 변화(phase shift)가 π, 즉, 180° 가 되는 값으로 정해진다.

[0061] 이러한 규칙의 전압이 인가됨에 따라, 광 변조 소자(100)의 표면은 위상 변화가 180° 인 영역과 위상 변화가 없는 영역이 상기한 전압 인가 주기(Λ) 2㎛와 동일한 주기로 반복된다. 광이 이러한 형태의 위상 격자에 입사되면, 표시된 바와 같이, 위상이 2㎛의 주기로 0° 에서 180° 로 변하는 형태에 대응하는 1차 및 -1차 회절광이 발생할 것으로 분석된다.

[0062] 도 11은 도 10과 같은 형태로 도 8의 샘플 구조에 전압이 인가될 때, 회절각에 따른 광 세기를 보인 그래프이다.

[0063] 그래프를 참조하면, 회절각이 40° 및 -40° 인 경우에 intensity peak가 나타나고 있으며, 이것은 위상 격자의 대칭성에 의한 것이다. 즉, 도 10의 그래프를 참조할 때, 표시된 1차 회절광의 방향 뿐 아니라, 입사광의 방향을 기준으로, 이와 대칭인 방향으로도 1차 회절광이 발생할 수 있다.

[0064] 도 12는 도 8의 샘플 구조에 인가되는 전압 형태의 다른 예와 이에 따른 입사광의 위상 변화 및 1차 회절광의 방향을 보인 그래프이다.

[0065] 도 12의 그래프를 참조하면, 대칭성이 없는 위상 격자를 형성할 수 있는 규칙으로 전압이 인가된다.

[0066] 위상 변화(phase shift) 270° , 180° , 90° 를 일으킬 수 있는 세 가지 크기의 전압, V1, V2, V3 및 전압 미인가의 패턴이 주기(Λ) 2㎛로 금속층(110)과 나노안테나(NA) 간에 인가되고 있다 즉, y방향을 따라, 두 개의 단위 블록에는 나노안테나(NA) 각각과 금속층(110) 간에 V1의 전압이 인가되고, 다음 두 개의 단위 블록에는 나노안테나(NA) 각각과 금속층(110) 사이에 V2의 전압이 인가되고, 다음 두 개의 단위 블록에는 나노안테나(NA) 각각과 금속층(110) 사이에 V3의 전압이 인가되며, 다음 두 개의 단위 블록에는 나노안테나(NA) 각각과 금속층(110) 사이에 전압이 인가되지 않는다. 이러한 규칙은 64개의 단위 블록에 대해 반복 적용된다.

[0067] 이러한 규칙의 전압이 인가됨에 따라, 광 변조 소자(100)의 표면에는 위상 변화가 270° 인 영역, 180° 인 영역, 90° 인 영역, 위상 변화가 없는 영역이 상기한 전압 인가 주기(Λ) 2㎛와 동일한 주기로 반복된다. 광이 이러한 형태의 위상 격자에 입사되면, 표시된 바와 같이, 270° 에서 0° 로 점진적으로 변하는 위상 변화가 2㎛의 주기로 반복되는 형태에 대응하는 1차 회절광이 발생할 것으로 분석된다.

[0068] 도 13은 도 12와 같은 형태로 도 8의 샘플 구조에 전압이 인가될 때, 회절각에 따른 광 세기를 보인 그래프이다.

[0069] 그래프를 참조하면, 회절각(diffraction angle)이 40° 인 경우에 intensity peak가 나타나고 있다. 도 11의 그래프와 비교할 때, intensity peak의 위치는 회절각 40° 인 경우에 나타나며, -40° 에서는 나타나지 않는다. 또한, 피크값은 도 11의 경우와 비교할 때 약 2배 정도이다. 이와 같은 차이는 도 12에 나타난 위상 격자는 도 10과 달리, 대칭성이 없는 형태임에 의한 것이다.

[0070] 도 14는 도 8의 샘플 구조에 인가되는 전압 형태의 또 다른 예와 이에 따른 이에 따른 입사광의 위상 변화 및 1차 회절광의 방향을 보인 그래프이다.

[0071] 도 14의 전압 인가 패턴은 도 12와 비교할 때, 주기(Λ)가 4㎛ 로 증가된 형태이다. 위상 변화 270°, 180°, 90° 를 일으킬 수 있는 세 가지 크기의 전압, V1, V2, V3 및 전압 미인가의 패턴이 주기(Λ) 4㎛ 로 금속층(110)과 나노안테나(NA) 간에 인가되고 있다 즉, y방향을 따라, 네 개의 단위 블록에는 나노안테나(NA) 각각과 금속층(110) 간에 V1의 전압이 인가되고, 다음 네 개의 단위 블록에는 나노안테나(NA) 각각과 금속층(110) 간에 V2의 전압이 인가되고, 다음 네 개의 단위 블록에는 나노안테나(NA) 각각과 금속층(110) 간에 V3의 전압이 인가되며, 다음 네 개의 단위 블록에는 나노안테나(NA) 각각과 금속층(110) 간에 전압이 인가되지 않는다. 이러한 규칙은 64개의 단위 블록에 대해 반복 적용된다.

[0072] 이러한 규칙의 전압이 인가됨에 따라, 광 변조 소자(100)의 표면에는 위상 변화가 270° 인 영역, 180° 인 영역, 90° 인 영역, 위상 변화가 없는 영역이 상기한 전압 인가 주기(Λ) 4㎛와 동일한 주기로 반복된다. 광이 이러한 형태의 위상 격자에 입사되면, 표시된 바와 같이, 270° 에서 0° 로 점진적으로 변하는 위상 변화가 4㎛의 주기로 반복되는 형태에 대응하는 1차 회절광이 발생할 것으로 분석된다.

[0073] 도 15는 도 14와 같은 형태로 도 8의 샘플 구조에 전압이 인가될 때, 회절각에 따른 광 세기를 보인 그래프이다.

[0074] 도 8 내지 도 15의 설명과 같이, 인가 전압 형태를 몇 가지로 예시하여 광 변조 소자(100)가 위상 격자(phase grating)로 적용될 수 있음을 살펴보았다. 상기 결과에 따라, 유전율 변화층(150)에 ITO를 사용하여 근적외선(near IR) 영역의 광에 대해 2π의 위상 변화 제어가 가능함이 확인된다. 이를 활용하여, 유전율 변화층의 재질, 나노안테나의 형상 치수를 조절하여 다른 파장 대역의 광을 제어하는 것도 가능하다.

[0075] 또한, 인가된 전압 형태는 예시적인 것이며, 인가 전압 규칙을 다양하게 형성함으로써, 다양한 광 변조 성능을 구현할 수 있다. 위상 변조의 레벨은 2 또는 4 뿐 아니라, 더 다양하게 형성할 수 있고, 이를 활용하여 빔 정형(beam shaping)이나, 빔 방향 구동(beam steering) 등의 광 변조 기능을 수행하게 할 수도 있다.

[0076] 도 16은 다른 실시예에 따른 광 변조 소자(100')의 단위 블록을 보인 사시도이다.

[0077] 광 변조 소자(100')는 금속층(110), 유전율 변화층(130), 금속층(110), 나노안테나(NA')를 포함한다. 나노안테나(NA')는 도 2의 나노안테나(NA)가 양각 패턴을 가지는 것과 달리, 금속 물질에 나노 패턴이 음각된 형태를 갖는다. 즉, 나노안테나(NA')는 도 2의 나노안테나(NA)의 역상에 대응하는 형상이며, 금속물질(M)에 십자형의 관통홀(NH)이 형성된 형태이다.

[0078] 이상 설명에서, 나노안테나(NA)(NA')의 단면 형상은 십자형으로 도시되었으나, 이는 예시적인 것이며, 다양한 형상이 채용될 수 있다.

[0079] 도 17a 내지 도 17d는 실시예에 따른 광 변조 소자의 단위 블록에 채용될 수 있는 나노안테나의 예시적인 형상들을 보인다.

[0080] 도 17a를 참조하면, 나노안테나(NA)의 단면 형상은 원형일 수 있다. 이러한 형상의 나노안테나(NA)는 도 1의 광 변조 소자(100)에 적용될 수 있으며, 즉, 이러한 원형의 나노안테나(NA) 복수개가 일방향으로 연결되게 배치되어 나노안테나 라인(NAL)을 형성할 수 있다.

[0081] 도 17b를 참조하면, 나노안테나(NA)의 단면 형상은 타원형일 수 있다. 이러한 형상의 나노안테나(NA)는 도 1의 광 변조 소자(100)에 적용될 수 있으며, 즉, 이러한 타원형의 나노안테나(NA) 복수개가 일방향, 예를 들어, 장축으로 연결되게 배치되어 나노안테나 라인(NAL)을 형성할 수 있다. 타원형의 나노안테나(NA) 복수개가 장축 방향 뿐 아니라, 다른 방향, 예를 들어, 단축 방향 또는 그 외 방향으로 연결되며 나노안테나 라인(NAL)을 형성할 수도 있다.

[0082] 도 17c를 참조하면, 나노안테나(NA)는 세 개의 나노로드가 교차하는 형상의 별(*)형일 수 있다. 또한, 복수의 별형 나노안테나가 일방향, 예를 들어, 세 개의 나노로드 중 어느 하나의 길이 방향으로 연결되어 도 1의 광 변조 소자(100)의 나노안테나 라인(NAL)을 형성할 수도 있다.

[0083] 도 17d의 나노안테나(NA)는 금속물질(M)에 나노패턴의 관통홀(NH)이 형성된 형태를 갖는다. 이러한 형태의 나노안테나(NA) 복수개가, 예를 들어, x방향을 따라 연결되며, 도 1의 나노안테나 라인(NAL)을 형성할 수 있다.

[0084] 도 17a 내지 도 17d의 형상은 예시적인 것이며, 이외에도, 다양한 형태, 예를 들어, 다각형, 나노 로드 등의 형태가 나노안테나(NA)에 적용될 수 있다.

[0085] 도 18은 또 다른 실시예에 따른 광 변조 소자(200)의 단위 블록을 보인 단면도이다.

[0086] 광 변조 소자(200)는 금속층(210), 유전체층(250), 유전율 변화층(230), 나노안테나(NA)를 포함한다.

[0087] 본 실시예의 광 변조 소자(200)는 유전체층(250)과 유전율 변화층(230)의 배치 순서에서 도 2의 광 변조 소자(200)와 차이가 있다. 즉, 금속층(210) 상에 유전체층(250)이 배치되고, 유전체층(250) 상에 유전율 변화층(230)이 배치되며, 유전율 변화층(230) 상에 나노안테나(NA)가 배치된다. 나노안테나(NA)는 x방향을 따라 복수개가 연결되게 배치되어 나노안테나 라인(NAL)을 형성할 수 있다. 유전율 변화층(230)은 나노안테나(NA)와 동일한 형태로 패턴될 수 있다.

[0088] 금속층(210)과 나노안테나(NA)간에 전압이 인가되면, 유전율 변화층(230) 내에 활성 영역(235)이 형성된다. 활성 영역(235)은 유전율 변화층(230) 내에 유전체층(250)에 인접하여 형성되며, 인가 전압의 변화에 따라 활성 영역(235)의 캐리어 농도가 변하며, 광 변조 성능을 조절, 제어하는 게이트 역할을 한다.

[0089] 도 19는 또 다른 실시예에 따른 광 변조 소자(300)의 단위 블록을 보인 단면도이다.

[0090] 광 변조 소자(300)는 금속층(310), 유전체층(350), 유전율 변화층(330), 나노안테나(NA)를 포함한다.

[0091] 본 실시예의 광 변조 소자(300)는 유전율 변화층(330)이 나노안테나(NA)와 같은 형상으로 패턴되지 않은 점에서, 도 18의 광 변조 소자(200)와 차이가 있다. 즉, 금속층(310) 상에, 유전체층(350), 유전율 변화층(330)이 전면적으로 적층 형성되고, 유전율 변화층(330) 상에 소정 패턴의 나노안테나(NA)가 형성된다. 나노안테나(NA) 복수개가 x 방향으로 연결되게 배치되어 나노안테나 라인(NAL)을 형성할 수 있다.

[0092] 금속층(310)과 나노안테나(NA)간에 전압이 인가되면, 유전율 변화층(330) 내에 활성 영역(335)이 형성된다. 활성 영역(335)은 유전율 변화층(330) 내에 유전체층(350)에 인접하여 형성되며, 인가 전압의 변화에 따라 활성 영역(335)의 캐리어 농도가 변하며, 광 변조 성능을 조절, 제어하는 게이트 역할을 한다.

[0093] 상술한 광 변조 소자는 유전율 변화층의 재질, 나노안테나의 형상, 인가 신호의 형태를 다변화함으로써, 원하는 파장 대역에서의 다양한 광 변조 성능을 구현할 수 있다. 예를 들어, 도 1의 구조에서, 복수의 나노안테나는 매트릭스 형태로 배치되어 플라즈모닉 나노안테나층을 이룰 수 있고, 각 나노안테나와 금속층 사이에 인가되는 전압이 개별적으로 제어되도록 전압 인가 수단이 구성될 수 있다. 또한, 플라즈모닉 나노안테나층에 포함된 나노안테나들이 모두 같은 형상으로 도시되었으나, 이에 한정되지 않으며 다양한 형상을 포함할 수 있다. 또는, 같은 형상의 다른 치수를 가지도록 하여, 영역마다 공진 파장 대역을 다르게 형성하는 것도 가능하다.

[0094] 지금까지, 본 발명의 이해를 돕기 위하여 예시적인 실시예가 설명되고 첨부된 도면에 도시되었다. 그러나, 이러한 실시예는 단지 본 발명을 예시하기 위한 것이고 이를 제한하지 않는다는 점이 이해되어야 할 것이다. 그리고 본 발명은 도시되고 설명된 설명에 국한되지 않는다는 점이 이해되어야 할 것이다. 이는 다양한 다른 변형이 본 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 일어날 수 있기 때문이다.

부호의 설명

[0095] 100, 200, 300..광 변조 소자

110, 210, 310.. 금속층

130, 230, 330.. 유전율 변화층

135, 235, 335.. 활성 영역

150, 250, 350.. 유전체층

170.. 플라즈모닉 나노안테나층

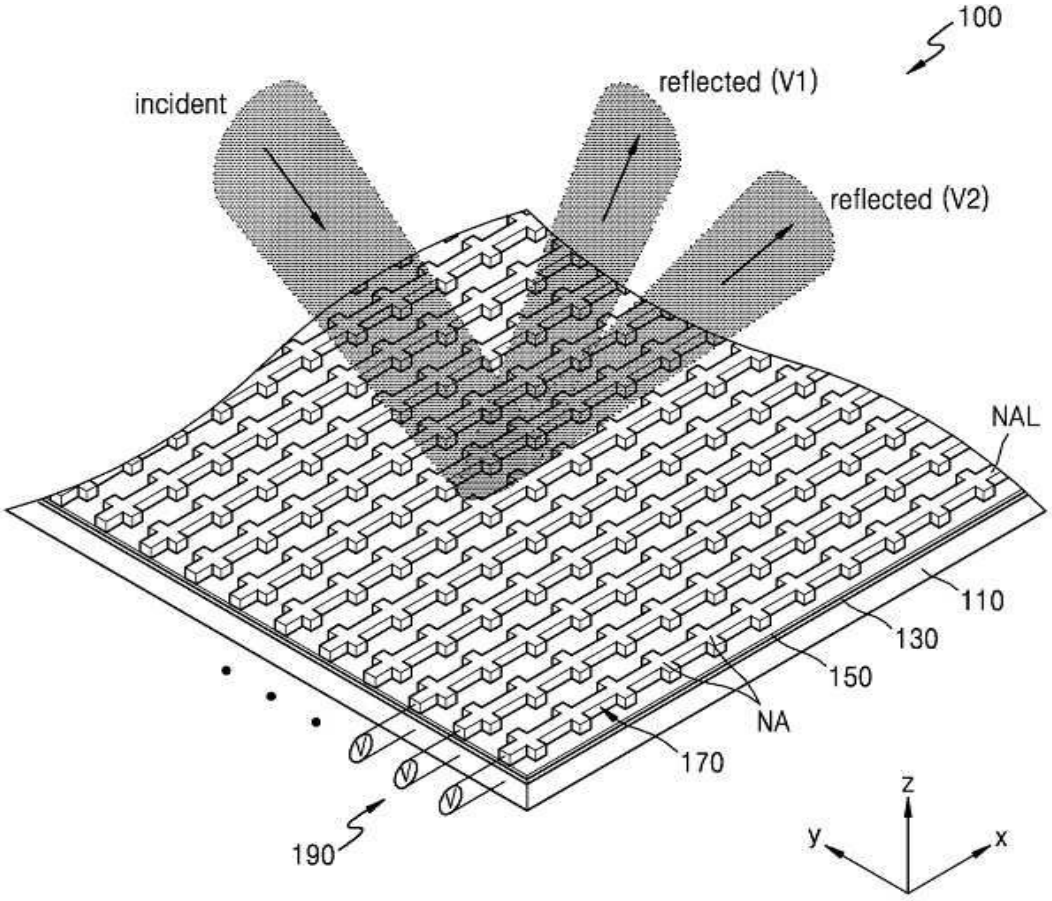
190.. 전압 인가 수단

NA..나노안테나

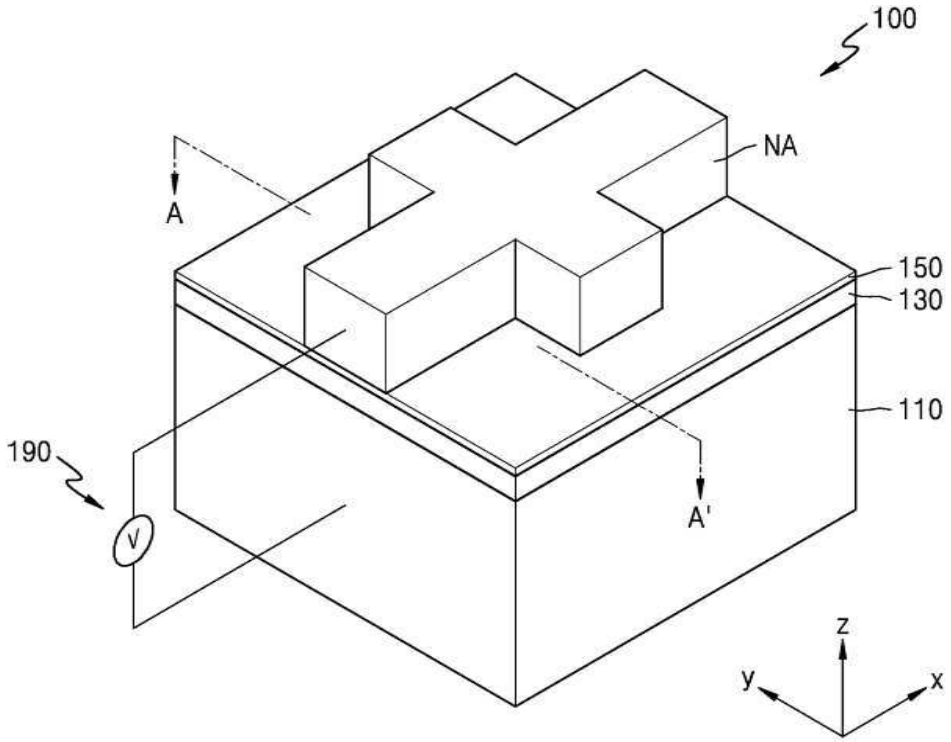
NAL..나노안테나 라인

도면

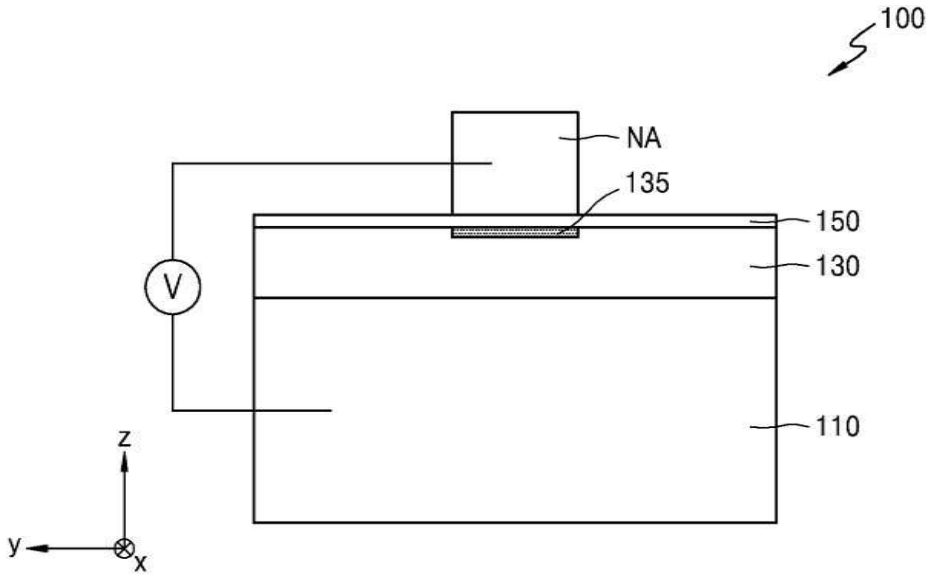
도면1


100
incident
reflected (V1)
reflected (V2)
NAL
110
130
150
NA
170
190
V
V
V
z
y
x

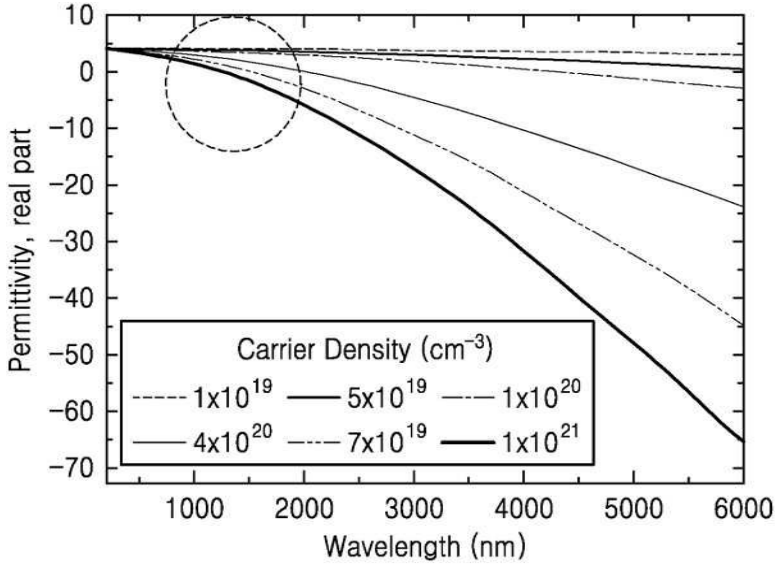
도면2



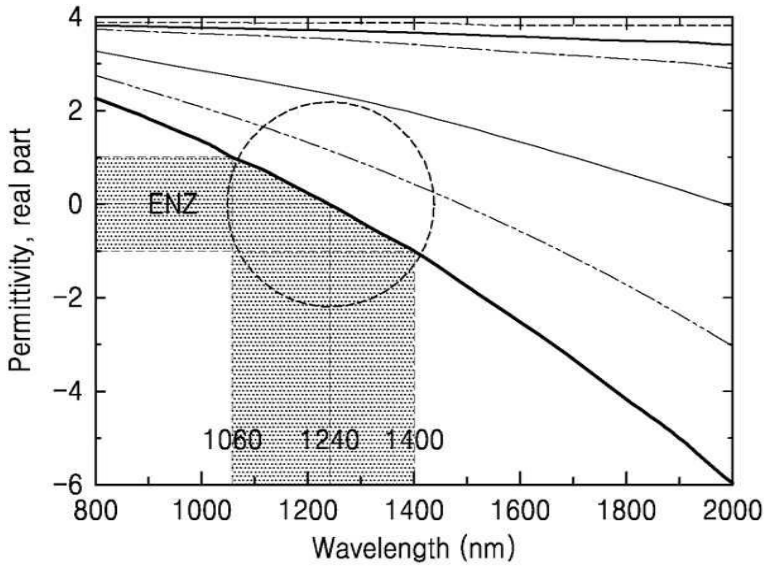
도면3



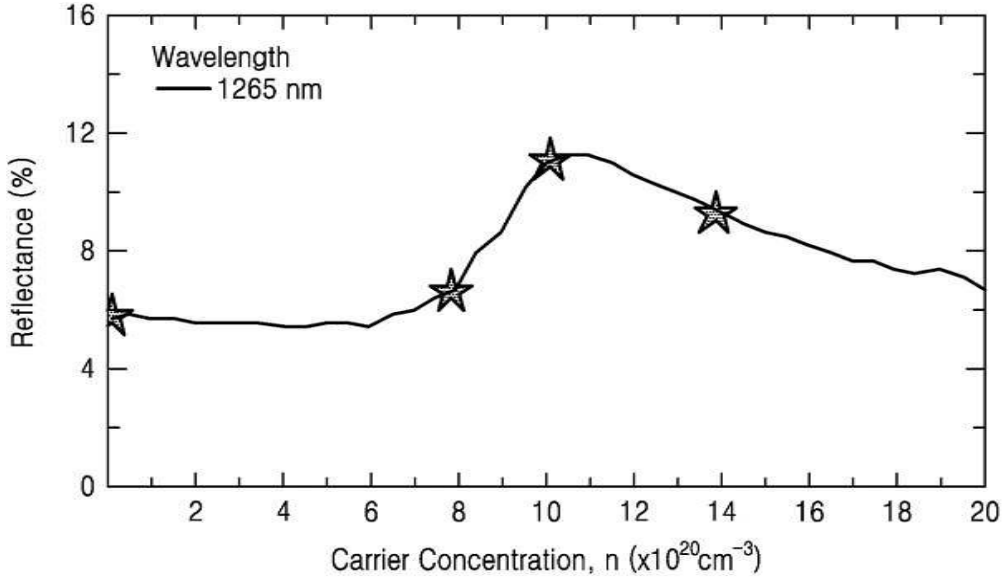
도면4


10
0
−10
−20
−30
−40
−50
−60
−70
Permittivity, real part
1000
2000
3000
4000
5000
6000
Wavelength (nm)
Carrier Density (cm−3)
1x10^19
5x10^19
1x10^20
4x10^20
7x10^19
1x10^21

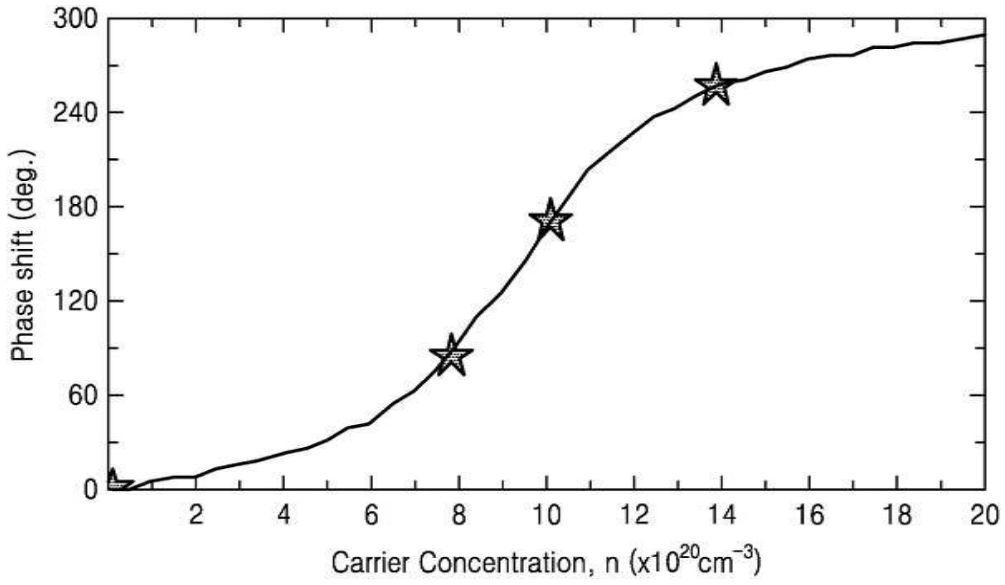
도면5


4
2
0
−2
−4
−6
Permittivity, real part
ENZ
1060
1240
1400
800
1000
1200
1400
1600
1800
2000
Wavelength (nm)

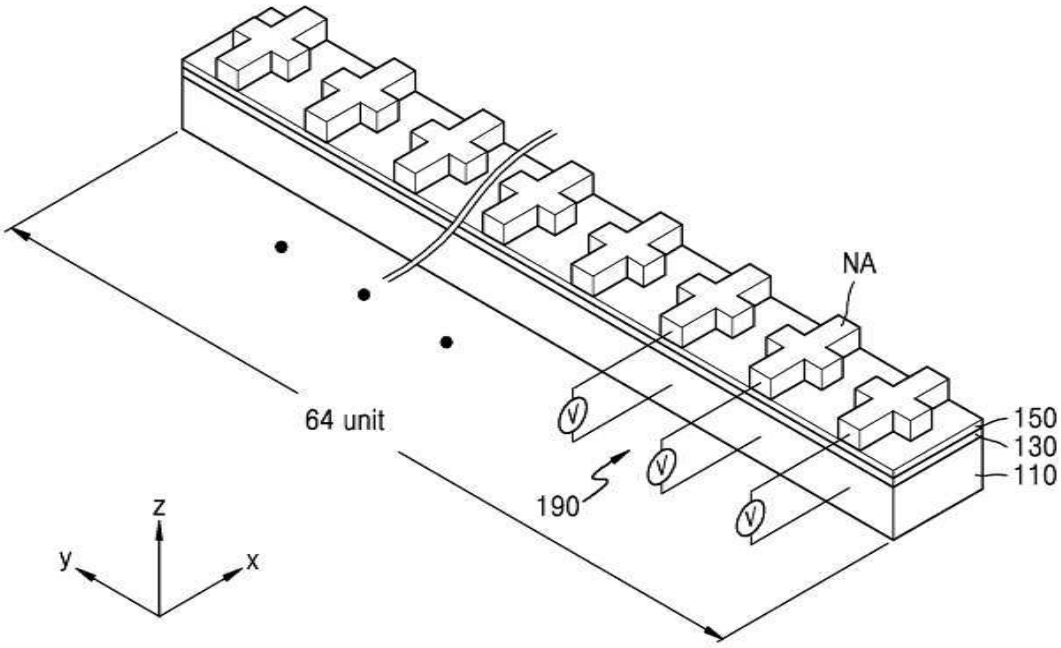
도면6


Wavelength
1265 nm
Reflectance (%)
Carrier Concentration, n (x10^20cm^-3)
0
4
8
12
16
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20

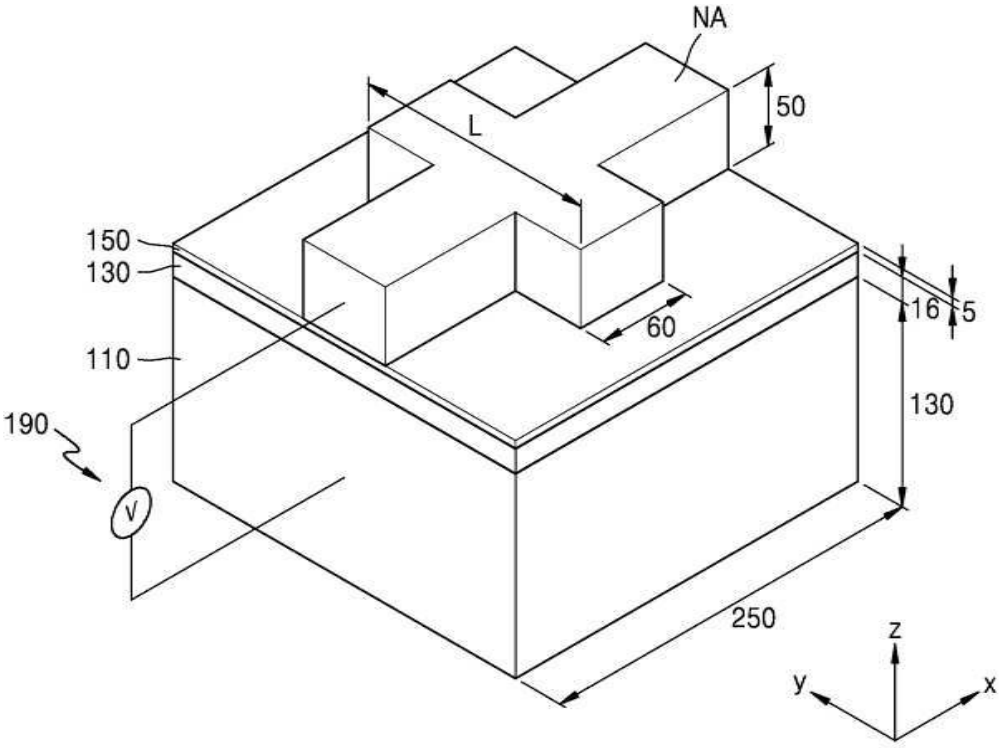
도면7


Phase shift (deg.)
Carrier Concentration, n (x10^20cm^-3)
0
60
120
180
240
300
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20

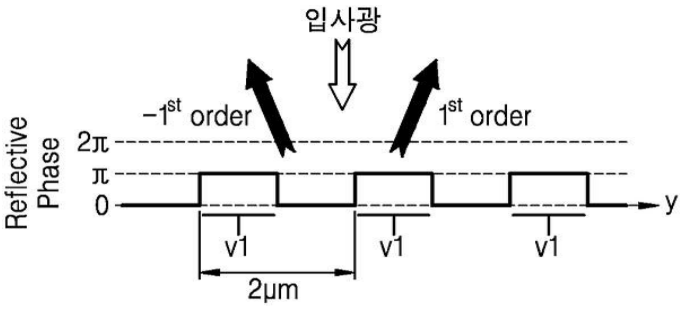
도면8


NA
64 unit
150
130
110
190
V
z
y
x

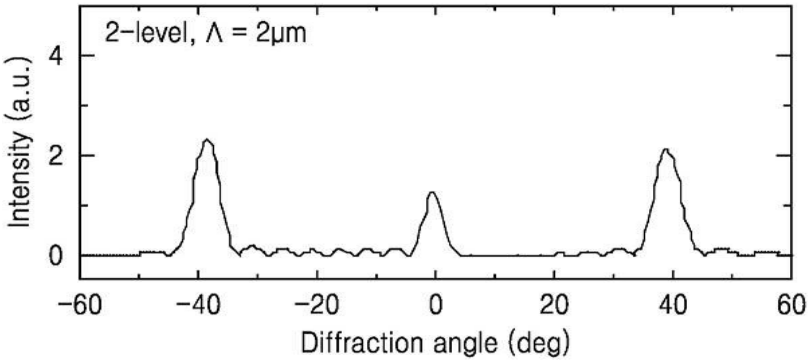
도면9


NA
50
L
150
130
110
190
V
60
16
5
130
250
z
y
x

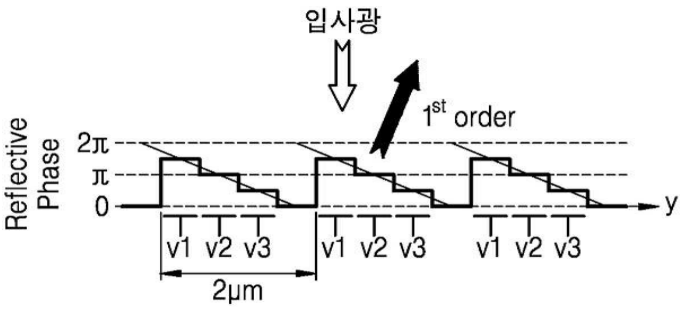
도면10



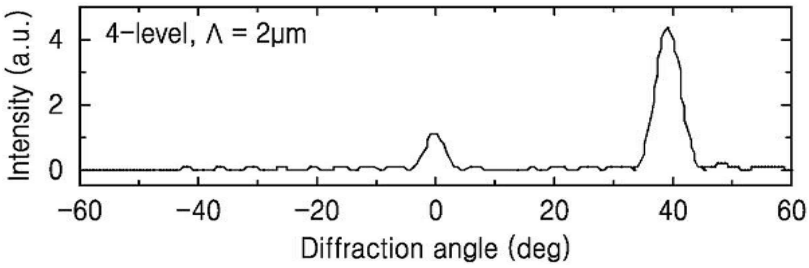
도면11



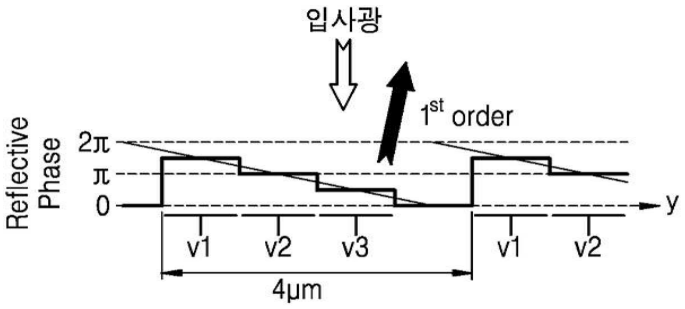
도면12



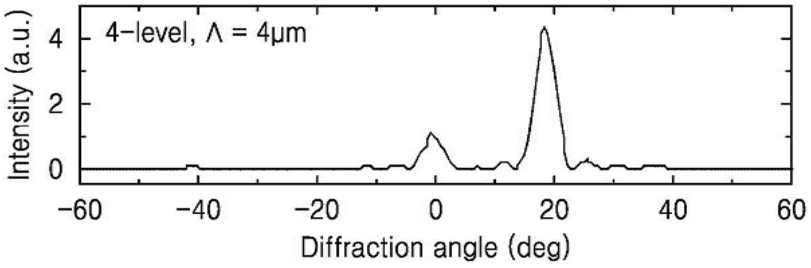
도면13



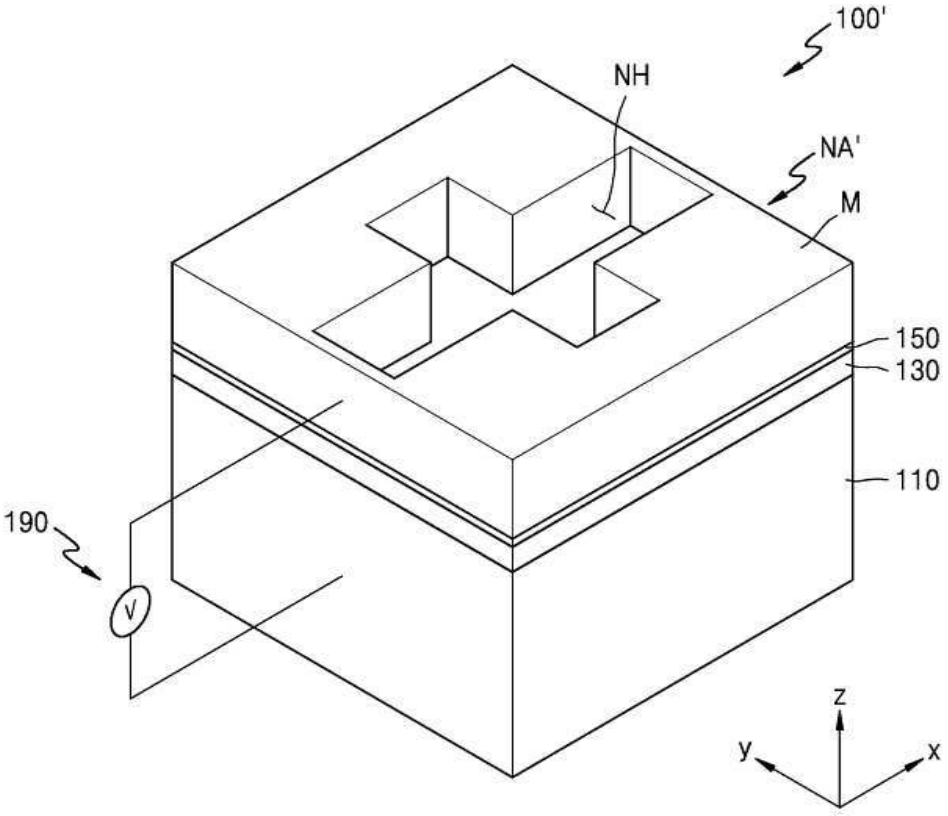
도면14



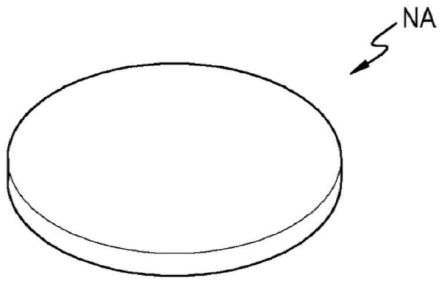
도면15



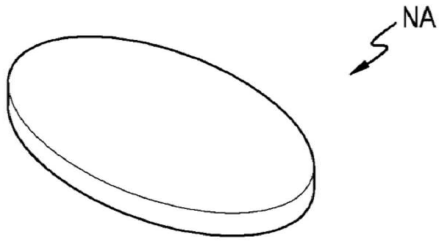
도면16



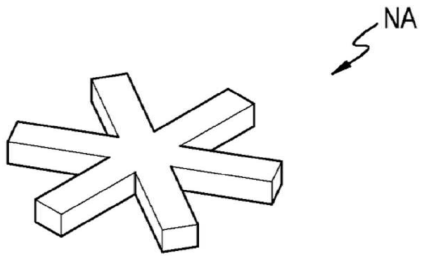
도면17a



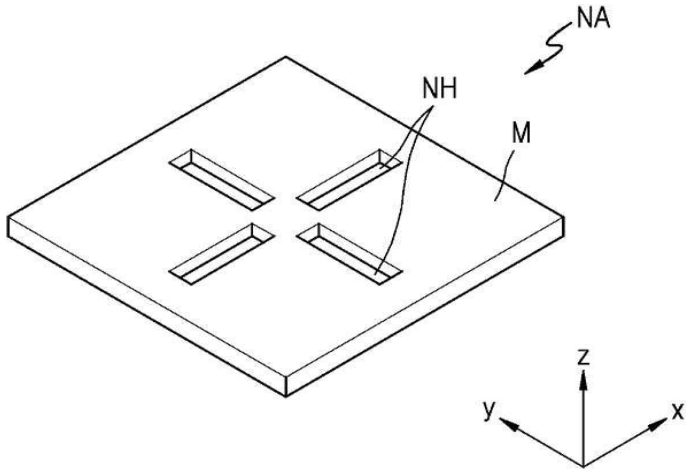
도면17b



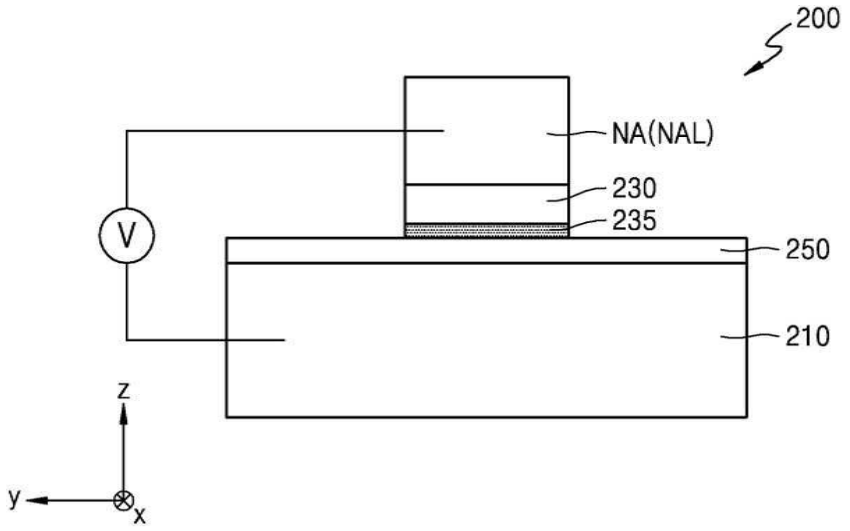
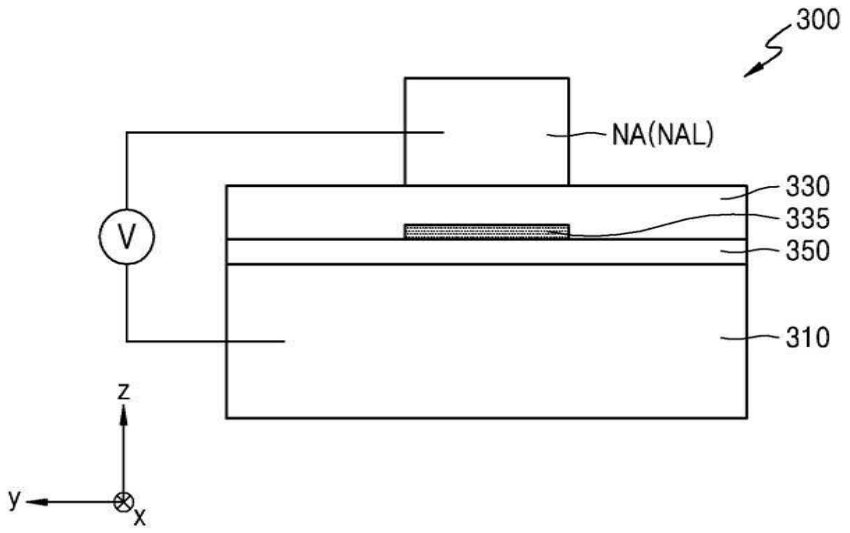
도면17c



도면17d



도면18



도면19