



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2022-0072451
(43) 공개일자 2022년06월02일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G02F 1/355 (2006.01) G02F 1/017 (2006.01)
G02F 1/35 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G02F 1/3556 (2013.01)
G02F 1/01716 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2020-0160064
(22) 출원일자 2020년11월25일
심사청구일자 2020년11월25일

(71) 출원인
울산과학기술원
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
(72) 발명자
이종원
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
김대익
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
(74) 대리인
리엔목특허법인

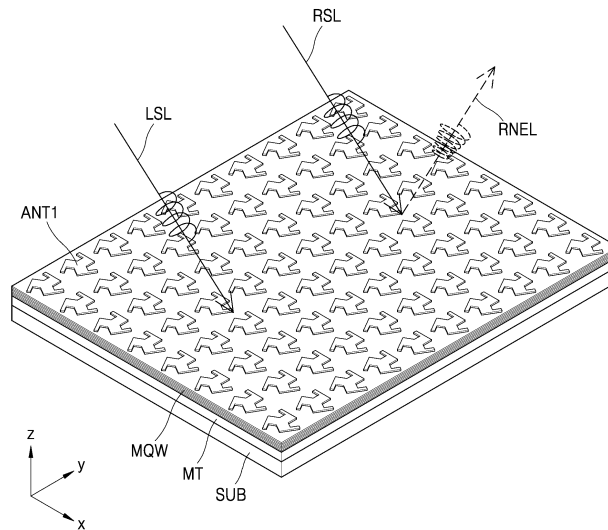
전체 청구항 수 : 총 15 항

(54) 발명의 명칭 비선형 원형 이색성을 기반으로 한 광 변조 소자

(57) 요약

본 발명은 높은 효율로 원편광 입사광에 대해 선택적으로 비선형 광을 반사할 수 있는 광 변조 소자를 위하여, 우물층과 장벽층이 교번하여 적층된 다중 양자우물층과, 상기 다중 양자우물층 상에 위치하는 나노 안테나 어레이를 구비하고, 상기 나노 안테나 어레이가 포함하는 나노 안테나들 각각은, 상기 양자우물층의 상면에 수직인 방향에서 바라볼 시, 중앙을 중심으로 180도보다 작은 사전설정된 각도의 회전대칭인 형상을 갖는, 광 변조 소자를 제공한다.

대표도 - 도5



(52) CPC특허분류

G02F 1/3501 (2021.01)
G02F 1/3507 (2021.01)
 G02F 2202/108 (2013.01)
 G02F 2202/30 (2013.01)
 G02F 2203/10 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711110211
과제번호	2019R1A2C4070623
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	개인기초연구(과기정통부)(R&D)
연구과제명	중적외선 영역 광대역 비선형 메타광원 연구
기 여 율	1/2
과제수행기관명	울산과학기술원
연구기간	2020.03.01 ~ 2021.02.28

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711115986
과제번호	2018M3A7B4069995
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	나노·소재기술개발(R&D)
연구과제명	플라즈모닉 나노구조 적외선 필터 설계 및 제작 기술 개발
기 여 율	1/2
과제수행기관명	한국기계연구원
연구기간	2020.02.01 ~ 2020.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

우물층과 장벽층이 교번하여 적층된 다중 양자우물층; 및

상기 다중 양자우물층 상에 위치하는 나노 안테나 어레이;

를 구비하고, 상기 나노 안테나 어레이가 포함하는 나노 안테나들 각각은, 상기 양자우물층의 상면에 수직인 방향에서 바라볼 시, 중앙을 중심으로 180도보다 작은 사전설정된 각도의 회전대칭인 형상을 갖는, 광 변조 소자.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 나노 안테나들 각각은, 바디부와, 상기 바디부에서 방사 상으로 연장된 가지부들을 구비하는, 광 변조 소자.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 바디부와 상기 가지부들은 일체(一體)인, 광 변조 소자.

청구항 4

제2항에 있어서,

상기 나노 안테나들 각각은 상기 가지부들을 3개 또는 4개를 갖는, 광 변조 소자.

청구항 5

제2항에 있어서,

상기 바디부는 삼각형 형상이고, 상기 나노 안테나들 각각은 상기 가지부들을 3개 갖는, 광 변조 소자.

청구항 6

제2항에 있어서,

상기 바디부는 사각형 형상이고, 상기 나노 안테나들 각각은 상기 가지부들을 4개 갖는, 광 변조 소자.

청구항 7

제2항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 가지부들 각각은 절곡된 형상을 갖는, 광 변조 소자.

청구항 8

제2항에 있어서,

상기 나노 안테나들 중 제1나노 안테나들 각각의 상기 바디부는 삼각형 형상이고, 상기 나노 안테나들 중 제2나노 안테나들 각각의 상기 바디부는 사각형 형상인, 광 변조 소자.

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 제1나노 안테나들 각각은 3개의 가지부들을 갖고, 상기 제2나노 안테나들 각각은 4개의 가지부들을 갖는,

광 변조 소자.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 가지부들 각각은 절곡된 형상을 갖는, 광 변조 소자.

청구항 11

제10항에 있어서,

상기 제1나노 안테나들의 가지부는 상기 제1나노 안테나의 중앙을 중심으로 시계방향과 반시계방향 중 어느 한 방향으로 절곡된 형상을 갖고, 상기 제2나노 안테나들의 가지부는 상기 제2나노 안테나의 중앙을 중심으로 시계방향과 반시계방향 중 다른 한 방향으로 절곡된 형상을 갖는, 광 변조 소자.

청구항 12

제8항 내지 제11항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 제1나노 안테나들은 중앙을 중심으로 120도의 회전대칭인 형상을 갖고, 상기 제2나노 안테나들은 중앙을 중심으로 90도의 회전대칭인 형상을 갖는, 광 변조 소자.

청구항 13

제8항 내지 제11항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 제1나노 안테나들과 상기 제2나노 안테나들은 교번하여 위치하는, 광 변조 소자.

청구항 14

제8항 내지 제11항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 제1나노 안테나들의 칼럼들과 상기 제2나노 안테나들의 칼럼들은 일 방향에 있어서 교번하여 위치하는, 광 변조 소자.

청구항 15

제8항 내지 제11항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 바디부와 상기 가지부들은 일체(一體)인, 광 변조 소자.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명의 실시예들은 비선형 원형 이색성을 기반으로 한 광 변조 소자에 관한 것으로서, 더 상세하게는 높은 효율로 원편광 입사광에 대해 선택적으로 비선형 광을 반사할 수 있는 광 변조 소자에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 광학 기기들은 필요로 하는 광원의 특성이 상이하며, 따라서 사전설정된 특성을 갖는 광원을 개발하는 것이 필요하다. 특히 최근에는 나노 스케일에서의 평면 광학 소자를 이용한 스위칭, 효율적인 주파수 변환 등에 대한 필요성이 높아지고 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0003] 그러나 이러한 종래의 평면 광학 소자를 이용한 광 변조 소자에는 효율이 낮다는 문제점이 있었다.

[0004] 본 발명은 상기와 같은 문제점을 포함하여 여러 문제점들을 해결하기 위한 것으로서, 높은 효율로 원편광 입사광에 대해 선택적으로 비선형 광을 반사할 수 있는 광 변조 소자를 제공하는 것을 목적으로 한다. 그러나 이러

한 과제는 예시적인 것으로, 이에 의해 본 발명의 범위가 한정되는 것은 아니다.

과제의 해결 수단

- [0005] 본 발명의 일 관점에 따르면, 우물층과 장벽층이 교번하여 적층된 다중 양자우물층과, 상기 다중 양자우물층 상에 위치하는 나노 안테나 어레이를 구비하고, 상기 나노 안테나 어레이가 포함하는 나노 안테나들 각각은, 상기 다중 양자우물층의 상면에 수직인 방향에서 바라볼 시, 중앙을 중심으로 180도보다 작은 사전설정된 각도의 회전대칭인 형상을 갖는, 광 변조 소자가 제공된다.
- [0006] 상기 나노 안테나들 각각은, 바디부와, 상기 바디부에서 방사 상으로 연장된 가지부들을 구비할 수 있다.
- [0007] 상기 바디부와 상기 가지부들은 일체(一體)일 수 있다.
- [0008] 상기 나노 안테나들 각각은 상기 가지부들을 3개 또는 4개를 가질 수 있다.
- [0009] 상기 바디부는 삼각형 형상이고, 상기 나노 안테나들 각각은 상기 가지부들을 3개 가질 수 있다.
- [0010] 상기 바디부는 사각형 형상이고, 상기 나노 안테나들 각각은 상기 가지부들을 4개 가질 수 있다.
- [0011] 상기 가지부들 각각은 절곡된 형상을 가질 수 있다.
- [0012] 상기 나노 안테나들 중 제1나노 안테나들 각각의 상기 바디부는 삼각형 형상이고, 상기 나노 안테나들 중 제2나노 안테나들 각각의 상기 바디부는 사각형 형상일 수 있다.
- [0013] 상기 제1나노 안테나들 각각은 3개의 가지부들을 갖고, 상기 제2나노 안테나들 각각은 4개의 가지부들을 가질 수 있다.
- [0014] 상기 가지부들 각각은 절곡된 형상을 가질 수 있다.
- [0015] 상기 제1나노 안테나들의 가지부는 상기 제1나노 안테나의 중앙을 중심으로 시계방향과 반시계방향 중 어느 한 방향으로 절곡된 형상을 갖고, 상기 제2나노 안테나들의 가지부는 상기 제2나노 안테나의 중앙을 중심으로 시계방향과 반시계방향 중 다른 한 방향으로 절곡된 형상을 가질 수 있다.
- [0016] 상기 제1나노 안테나들은 중앙을 중심으로 120도의 회전대칭인 형상을 갖고, 상기 제2나노 안테나들은 중앙을 중심으로 90도의 회전대칭인 형상을 가질 수 있다.
- [0017] 상기 제1나노 안테나들과 상기 제2나노 안테나들은 교번하여 위치할 수 있다.
- [0018] 상기 제1나노 안테나들의 칼럼들과 상기 제2나노 안테나들의 칼럼들은 일 방향에 있어서 교번하여 위치할 수 있다.
- [0019] 상기 바디부와 상기 가지부들은 일체(一體)일 수 있다.
- [0020] 전술한 것 외의 다른 측면, 특징, 이점은 이하의 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용, 청구범위 및 도면으로부터 명확해질 것이다.

발명의 효과

- [0021] 상기한 바와 같이 이루어진 본 발명의 일 실시예에 따르면, 높은 효율로 원편광 입사광에 대해 선택적으로 비선형 광을 반사할 수 있는 광 변조 소자를 구현할 수 있다. 물론 이러한 효과에 의해 본 발명의 범위가 한정되는 것은 아니다.

도면의 간단한 설명

- [0022] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 광 변조 소자가 구비하는 다중 양자우물층 구조의 한 주기 전도대 다이어그램이다.
- 도 2는 도 1의 전자 부밴드 사이에서 유도되는 제2차 비선형 전기 감수율을 개략적으로 도시하는 그래프이다.
- 도 3은 도 1의 전자 부밴드 사이에서 유도되는 제3차 비선형 전기 감수율을 개략적으로 도시하는 그래프이다.
- 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 광 변조 소자의 단위 셀을 개략적으로 도시하는 사시도이다.
- 도 5는 도 4의 단위 셀들을 포함하는 광 변조 소자를 개략적으로 도시하는 사시도이다.

도 6은 도 4의 단위 셀에 우원편광의 광이 입사할 시, 단위 셀에 수직인 방향으로의 국소적인 전기장 강화 정도를, 다중 양자우물층 안에서 나노 안테나 내의 영역에 따라 보여주는 개념도이다.

도 7은 도 4의 단위 셀에 좌원편광의 광이 입사할 시, 단위 셀에 수직인 방향으로의 국소적인 전기장 강화 정도를, 다중 양자우물층 안에서 나노 안테나 내의 영역에 따라 보여주는 개념도이다.

도 8은 파장에 따른 제2고조파의 비선형 원형 이색성을 보여주는 그래프이다.

도 9는 본 발명의 다른 일 실시예에 따른 광 변조 소자의 단위 셀을 개략적으로 도시하는 사시도이다.

도 10은 도 9의 단위 셀들을 포함하는 광 변조 소자를 개략적으로 도시하는 사시도이다.

도 11은 도 9의 단위 셀에 우원편광의 광이 입사할 시, 단위 셀에 수직인 방향으로의 국소적인 전기장 강화 정도를, 다중 양자우물층 안에서 나노 안테나 내의 영역에 따라 보여주는 개념도이다.

도 12는 도 9의 단위 셀에 좌원편광의 광이 입사할 시, 단위 셀에 수직인 방향으로의 국소적인 전기장 강화 정도를, 다중 양자우물층 안에서 나노 안테나 내의 영역에 따라 보여주는 개념도이다.

도 13은 파장에 따른 제3고조파의 비선형 원형 이색성을 보여주는 그래프이다.

도 14와 도 15는 본 발명의 또 다른 일 실시예에 따른 광 변조 소자에 입사광이 반사되는 경향을 개략적으로 도시하는 사시도들이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0023] 본 발명은 다양한 변환을 가할 수 있고 여러 가지 실시예를 가질 수 있는 바, 특정 실시예들을 도면에 예시하고 상세한 설명에 상세하게 설명하고자 한다. 본 발명의 효과 및 특징, 그리고 그것들을 달성하는 방법은 도면과 함께 상세하게 후술되어 있는 실시예들을 참조하면 명확해질 것이다. 그러나 본 발명은 이하에서 개시되는 실시예들에 한정되는 것이 아니라 다양한 형태로 구현될 수 있다.
- [0024] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 실시예들을 상세히 설명하기로 하며, 도면을 참조하여 설명할 때 동일하거나 대응하는 구성 요소는 동일한 도면부호를 부여하고 이에 대한 중복되는 설명은 생략하기로 한다.
- [0025] 이하의 실시예에서 층, 막, 영역, 판 등의 각종 구성요소가 다른 구성요소 "상에" 있다고 할 때, 이는 다른 구성요소 "바로 상에" 있는 경우뿐 아니라 그 사이에 다른 구성요소가 개재된 경우도 포함한다. 또한 설명의 편의를 위하여 도면에서는 구성 요소들이 그 크기가 과장 또는 축소될 수 있다. 예컨대, 도면에서 나타난 각 구성의 크기 및 두께는 설명의 편의를 위해 임의로 나타내었으므로, 본 발명이 반드시 도시된 바에 한정되지 않는다.
- [0026] 이하의 실시예에서, x축, y축 및 z축은 직교 좌표계 상의 세 축으로 한정되지 않고, 이를 포함하는 넓은 의미로 해석될 수 있다. 예를 들어, x축, y축 및 z축은 서로 직교할 수도 있지만, 서로 직교하지 않는 서로 다른 방향을 지칭할 수도 있다.
- [0027] 본 실시예에 따른 광 변조 소자는, 다중 양자우물층(MQW, 도 4 및 도 5 등 참조)과 이 다중 양자우물층(MQW) 상에 위치하는 나노 안테나 어레이(ATN1, 도 4 및 도 5 등 참조)를 포함한다. 이하에서는 먼저 다중 양자우물층(MQW)에 대해 설명한다.
- [0028] 도 1은 본 실시예에 따른 광 변조 소자가 구비하는 다중 양자우물층(MQW) 구조의 한 주기 전도대 다이어그램이다. 다중 양자우물층(MQW)은 예컨대 InGaAs/AlInAs 이중접합구조 등을 이용하여 형성할 수 있다. 도 1은 4개의 장벽층들 사이에 3개의 우물층들이 위치한 다중 양자우물층(MQW)으로, 4개의 InGaAs 구조물들 사이에 3개의 AlInAs 구조물들이 개재되어 3개의 양자우물층인 다중 양자우물층(MQW)을 형성하는 경우를 도시하고 있다. 참고로 도 1에서는 양자우물층들 각각이 xy평면과 평행하게 위치하여 z축 방향으로 적층된 것으로 도시하고 있다.
- [0029] 도 1을 참조하면, 주파수 w 의 광은 전자 부밴드 전이에 사용될 수 있다. 예컨대 주파수 w 의 광은 SL1에서 SL2로의 전이, SL2에서 SL3로의 전이 및 SL3에서 SL4로의 전이와 같은, 전자 부밴드 전이에 사용될 수 있다. 그리고 SL3에서 SL1로의 전자 부밴드 전이에 의해 제2고조파($2w = w + w$)(EL2)를 얻을 수 있고, SL4에서 SL1로의 전자 부밴드 전이에 의해 제3고조파($3w = w + w + w$)(EL1)를 얻을 수 있다.
- [0030] 도 2는 도 1의 전자 부밴드 사이에서 유도되는 제2차 비선형 전기 감수율(2nd order nonlinear susceptibility, $\chi_{zzz}^{(2)}$)을 개략적으로 도시하는 그래프이고, 도 3은 도 1의 전자 부밴드 사이에서 유도되는 제3

차 비선형 전기 감수율(3rd order nonlinear susceptibility, $\chi_{zzzz}^{(3)}$)을 개략적으로 도시하는 그래프이다. 도 2를 참조하면, 다중 양자우물층(MQW)에서 발생하는 거대 비선형 반응은 TM편광, 즉 z -축 전기장 성분을 갖는 편광에만 동작하는 특징으로 인해 z 축 성분인 $\chi_{zzz}^{(2)}$ 와 $\chi_{zzzz}^{(3)}$ 에만 매우 큰 값을 가진다. 여기서 z 축은 다중 양자우물층(MQW)에 대략 수직인 것으로 정의될 수 있다. 따라서, 다중 양자우물층(MQW)의 거대 비선형성은 광도파로 기반의 구조에 적용될 수 있다.

[0031] 이처럼, 도 1에 도시된 것과 같이 3개의 양자우물층을 이용한 다중 양자우물층(MQW)을 이용할 경우 거대한 제2차 비선형 반응과 거대한 제3차 비선형 반응을 동시에 획득할 수 있다.

[0032] 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 광 변조 소자의 단위 셀을 개략적으로 도시하는 사시도이다. 도 4의 광 변조 소자의 단위 셀은 전술한 것과 같은 4개의 장벽층들 사이에 3개의 우물층들이 위치한 다중 양자우물층(MQW)과, 이 다중 양자우물층(MQW) 상에 위치하는 나노 안테나 어레이를 구비한다. 나노 안테나 어레이는 나노 안테나(ATN1)들을 구비하는데, 도 4에서는 광 변조 소자의 단위 셀을 도시하고 있기에, 1개의 나노 안테나(ATN1)만을 도시하고 있다.

[0033] 물론 광 변조 소자는 다중 양자우물층(MQW)과 나노 안테나 어레이 외에도, 도 4에 도시된 것과 같이 기판(SUB)과 도전층(MT)을 더 구비할 수 있다. 기판(SUB)은 InP와 같은 반도체 또는 유전체 재료를 포함할 수 있다. 기판(SUB) 상에 위치하는 도전층(MT)은 금과 같은 금속 또는 도핑된 반도체를 포함할 수 있으나, 본 발명이 이에 한정되는 것은 아니다. 즉, 도전층(MT)은 도전성 물질을 포함하면 족하다.

[0034] 다중 양자우물층(MQW)은 도전층(MT) 상에 위치할 수 있다. 물론 필요에 따라 도전층(MT)과 다중 양자우물층(MQW) 사이에 백금층과 티타늄층이 개재될 수 있다. 이 경우 광 변조 소자는 기판(SUB), 도전층(MT), 백금층, 티타늄층 및 다중 양자우물층(MQW)이 순차로 적층된 구조를 가질 수 있다.

[0035] 다중 양자우물층(MQW)은 비선형 광학 프로세스에서 부밴드 전이와 관련된 비선형 응답을 제공할 수 있다. 전술한 것과 같이 다중 양자우물층(MQW)은 우물층과 장벽층이 교대로 반복 적층된 구조를 가질 수 있다. 이때, 우물층은 적어도 3개이고, 우물층은 적어도 4개 이상의 전자 부밴드를 포함할 수 있다. 다중 양자우물층(MQW)은 GaN, AlN, InN, InGaAs, AlGaAs, InAlN, InAlGaAs, AlAs, GaAs, GaP, InP, AlP, AlGaAs, AlInAs, InGaAs, AlGaP, AlInP, InGaP, AlInGaP, AlInGaAs 또는 AlInGaAsP 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 예컨대, 다중 양자우물층(MQW)은 밴드갭(band gap)이 작은 물질(예컨대, InGaAs)과 밴드갭이 큰 물질(예컨대, AlInAs)이 접합하는, 이중 접합 기반일 수 있다. 하지만 본 발명이 이에 한정되는 것은 아니다.

[0036] 나노 안테나(ATN1)들을 포함하는 나노 안테나 어레이는 플라즈모닉 공진기일 수 있다. 나노 안테나(ATN1)는 대칭적인 기하학적 형태를 가질 수 있다. 구체적으로, 나노 안테나(ATN1)는 다중 양자우물층(MQW)의 상면에 수직인 방향(z 축 방향)에서 바라볼 시, 중앙을 중심으로 180도보다 작은 사전설정된 각도의 회전대칭인 형상을 갖는다. 도 4에서는 나노 안테나(ATN1)가 중앙을 중심으로 120도의 회전대칭인 형상을 갖는 것으로 도시하고 있다. 즉, 나노 안테나(ATN1)의 중앙을 중심으로 나노 안테나(ATN1)를 120도 회전시키면, 회전시키기 전의 형상과 동일한 형상을 갖는다.

[0037] 이러한 나노 안테나(ATN1)는 바디부(B1)와, 이 바디부(B1)에서 방사 상으로 연장된 가지부(P1)들을 구비한다. 도 4에서는 바디부(B1)가 대략 삼각형 형상을 갖고, 가지부(P1)들 각각은 삼각형의 세 변들 각각에 연결되어, 나노 안테나(ATN1)가 3개의 가지부(P1)들을 갖는 것으로 도시하고 있다. 하나의 나노 안테나(ATN1)에 있어서 바디부(B1)와 가지부(P1)들은 일체(一體)일 수 있다. 이러한 나노 안테나(ATN1)는 도전성 물질을 포함할 수 있는데, 예컨대 금을 포함할 수 있다.

[0038] 나노 안테나(ATN1)의 바디부(B1)는 전술한 것과 같이 평면도 상에서 삼각형 형상을 갖는 것으로 나타날 수 있는데, 이 경우 삼각형의 각 변의 길이(L1)는 대략 500nm일 수 있다. 세 개의 가지부(P1)들 각각은 절곡된 형상을 가져, 도 4에 도시된 것과 같이 평면도 상에서 "ㄱ" 형상을 갖는 것으로 나타날 수 있다. 가지부(P1)의 바디부(B1)에 인접한 부분에서 절곡된 부분까지에 있어서, 단변의 길이(L2)는 335nm이고, 각 가지부(P1)에서 단변과 평행한 장변의 길이(L3)는 485nm일 수 있다. 가지부(P1)의 절곡된 이후의 외측부의 길이(L4)는 860nm이고, 그 폭(L5)은 150nm일 수 있다.

[0039] 도 5는 도 4의 단위 셀들을 포함하는 광 변조 소자를 개략적으로 도시하는 사시도이다. 도 5에 도시된 것과 같이, 다중 양자우물층(MQW) 상에 나노 안테나(ATN1)들이 매트릭스 형상으로 배열되어 있다. 이와 같은 구조를 갖는 광 변조 소자의 경우, 좌원편광의 소스광(LSL)이 광 변조 소자에 입사하게 되면 나노 안테나에서 발생하는

좌원편광의 비선형 방출광이 서로 상쇄간섭을 일으켜 방출광의 크기를 최소화할 수 있다. 반면, 우원편광의 소스광(RSL)이 광 변조 소자에 입사하면나노 안테나에서 발생하는 우원편광의 비선형 방출광의 전기장 증대가 극대화되어, 우원편광의 비선형 방출광(RNEL)이 광 변조 소자에서 효율적으로 방출되도록 할 수 있다. 이처럼 본 실시예에 따른 광 변조 소자는, 입사 소스광이 좌원편광으로 편광되어 있는지 우원편광으로 편광되어 있는지에 따라, 사전설정된 특정 편광의 광만이 방출되도록 할 수 있다. 결국, 본 실시예에 따른 광 변조 소자는 특정 편광의 광만을 방출하는 광 변조 소자로 활용될 수 있다. 물론 다중 양자우물층(MQW)의 존재에 의해, 우원편광의 소스광(RSL)의 주파수는 w 이고 우원편광의 비선형 방출광(RNEL)의 주파수는 $2w$ 이기에, 우원편광의 소스광(RSL) 자체가 그대로 반사되는 것은 아니다.

[0040] 나노 안테나(ANT1)에 주파수 w 의 광이 z 축을 따라 입사한다면, 주파수 w 의 광은 x 축 방향으로 편광된 자기장을 갖는다. 나노 안테나(ANT1)는 x 축 방향으로 편광된 전기장을 갖는 주파수 w 의 광을 흡수하고, 다중 양자우물층(MQW) 내부에 수직 방향(z 축 방향)의 전기장을 유도한다. 유도된 수직 방향 전기장은 다중 양자우물층(MQW)의 거대 제2차 비선형 전기감수율인 $\chi_{zzz}^{(2)}$ 에 의해 수직 방향 제2차 분극(2nd order polarization)으로 변환된다. 나노 안테나(ATN1)는 수직 방향 제2차 분극을 x 축 방향으로 편광된 전기장을 갖는 주파수 $2w$ 의 광으로 방출하는 역할을 한다. 즉, 주파수 w 의 입사광이 주파수 $2w$ 의 제2고조파로 반사되는 비선형 거울로 동작하게 된다. 따라서, 본 실시예에 따른 광 변조 소자는 자유공간에서 고효율의 제2고조파를 발생시킬 수 있다. 이때, 나노 안테나(ATN1)의 형상에 따라 흡수되는 광과 반사되는 광이 발생하게 된다.

[0041] 도 6은 도 4의 단위 셀에 우원편광의 소스광(RSL)이 입사할 시, 단위 셀에 수직인 방향으로의 국소적인 전기장 강화 정도를, 다중 양자우물층 안에서 나노 안테나(ATN1) 내의 영역에 따라 보여주는 개념도이다. 도 6에 도시된 것과 같이, 나노 안테나(ATN1) 각각의 가지부(P1)에 있어서 절곡된 이후의 외측부의 끝단(P11)에서의 국소적인 전기장의 강화 정도가, 절곡된 직후의 부분(P12)이나 바디부(B1) 등에서의 국소적인 전기장의 강화 정도보다 훨씬 더 크다. 따라서 우원편광의 소스광(RSL)은 광 변조 소자에 의해 강한 전기장 증대가 발생하고, 우원편광의 비선형 방출광(RNEL)의 전기장 증대 또한 크게 발생하여 우원편광의 비선형 방출광(RNEL)이 광 변조 소자에서 효율적으로 방출되는 결과를 가져온다. 물론 다중 양자우물층(MQW)의 존재에 의해, 우원편광의 소스광(RSL)의 주파수는 w 이고 우원편광의 비선형 방출광(RNEL)의 주파수는 $2w$ 이기에, 우원편광의 소스광(RSL) 자체가 그대로 반사되는 것은 아니다.

[0042] 도 7은 도 4의 단위 셀에 좌원편광의 소스광(LSL)이 입사할 시, 단위 셀에 수직인 방향으로의 국소적인 전기장 강화 정도를, 다중 양자우물층 안에서 나노 안테나(ATN1) 내의 영역에 따라 보여주는 개념도이다. 도 7에 도시된 것과 같이, 나노 안테나(ATN1) 각각의 가지부(P1)에 있어서 절곡된 이후의 외측부의 끝단(P11)에서의 국소적인 전기장의 강화 정도는 절곡된 직후의 부분(P12)에서의 국소적인 전기장의 강화 정도와 비슷하되, 그 방향이 반대이다. 이에 따라 상쇄간섭이 발생하고, 좌원편광의 비선형 반사광은 상쇄간섭을 통해 반사광이 최소화될 수 있다.

[0043] 도 8은 도 5에 도시된 것과 같은 광 변조 소자를 이용하여 측정할 시 나타나는, 파장에 따른 제2고조파의 원형 이색성을 보여주는 그래프이다. 제2고조파의 원형 이색성 CD(circular dichroism)은 $CD = (I_{RCP}^{2w} - I_{LCP}^{2w}) / (I_{RCP}^{2w} + I_{LCP}^{2w})$ 에 의해 계산될 수 있다. 여기서 I_{LCP}^{2w} 는 광 변조 소자에서 반사된 비선형 방출광에 있어서 좌원편광인 광에 대한 제2고조파의 강도이고, I_{RCP}^{2w} 는 광 변조 소자에서 반사된 비선형 방출광에 있어서 우원편광인 광에 대한 제2고조파의 강도이다. 도 8에 도시된 것과 같이 본 실시예에 따른 광 변조 소자는 비선형 원형 이색성은 특정 파장에 대해 0.91에 이르러, 거의 1에 가까운 비선형 원형 이색성을 갖는다는 것을 알 수 있다. 비선형 원형 이색성이 1이라 함은, 광 변조 소자에서 반사된 비선형 방출광에 있어서 좌원편광인 광의 강도인 I_{LCP}^{2w} 가 0이라는 것이며, 이는 도 5에 도시된 것과 같이 주파수가 w 인 좌원편광인 소스광(LSL)과 주파수가 w 인 우원편광인 소스광(RSL)이 광 변조 소자에 입사하게 되면, 주파수가 $2w$ 이면서 우원편광인 비선형 방출광(RNEL)만이 방출된다는 것을 의미한다.

[0044] 참고로 $I_{RCP}^{2w} = I_R^{2w}$ 는 $|\chi_{RRR}^{(2)eff}|^2$ 에 비례하고, $I_{LCP}^{2w} = I_L^{2w}$ 는 $|\chi_{LLL}^{(2)eff}|^2$ 에 비례한다. $\chi_{RRR}^{(2)eff}$ 과 $\chi_{LLL}^{(2)eff}$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다. 여기서 ξ_R^{2w} 은 주파수가 w 인 우원편광인 소스광이 입사할 시, 다중 양자우물층(MQW)에서의 정규화된 국소적 z 축 방향 전기장 강화를 의미한다. ξ_L^{2w} 은 주파수가 w 인 좌원편광인 소스광이 입사할 시, 다중 양자

우물층(MQW)에서의 정규화된 국소적 z 축 방향 전기장 강화를 의미한다. ξ_R^{EW} 은 주파수가 w 인 우원편광인 소스광이 입사할 시, 다중 양자우물층(MQW)에서의 정규화된 국소적 z 축 방향 전기장 강화를 의미한다. 그리고 V_{MQW} 는 다중 양자우물층(MQW)의 체적이다.

$$\chi_{(RRR)}^{(2)eff} = \chi_{zzz}^{(2)} \frac{\int_{V_{MQW}} \xi_R^{2W}(x,y,z) (\xi_R^{EW}(x,y,z))^2 dV}{V_{MQW}}$$

$$\chi_{(LLL)}^{(2)eff} = \chi_{zzz}^{(2)} \frac{\int_{V_{MQW}} \xi_L^{2W}(x,y,z) (\xi_L^{EW}(x,y,z))^2 dV}{V_{MQW}}$$

도 9는 본 발명의 다른 일 실시예에 따른 광 변조 소자의 단위 셀을 개략적으로 도시하는 사시도이다. 도 9의 광 변조 소자의 단위 셀은 전술한 것과 같은 4개의 장벽층들 사이에 3개의 우물층들이 위치한 다중 양자우물층(MQW)과, 이 다중 양자우물층(MQW) 상에 위치하는 나노 안테나 어레이를 구비한다. 나노 안테나 어레이는 나노 안테나(ATN2)들을 구비하는데, 도 9에서는 광 변조 소자의 단위 셀을 도시하고 있기에, 1개의 나노 안테나(ATN2)만을 도시하고 있다.

물론 광 변조 소자는 다중 양자우물층(MQW)과 나노 안테나 어레이 외에도, 도 9에 도시된 것과 같이 기판(SUB)과 도전층(MT)을 더 구비할 수 있다. 기판(SUB)은 InP와 같은 반도체 또는 유전체 재료를 포함할 수 있다. 기판(SUB) 상에 위치하는 도전층(MT)은 금과 같은 금속 또는 도핑된 반도체를 포함할 수 있으나, 본 발명이 이에 한정되는 것은 아니다. 즉, 도전층(MT)은 도전성 물질을 포함하면 족하다.

다중 양자우물층(MQW)은 도전층(MT) 상에 위치할 수 있다. 물론 필요에 따라 도전층(MT)과 다중 양자우물층(MQW) 사이에 백금층과 티타늄층이 개재될 수 있다. 이 경우 광 변조 소자는 기판(SUB), 도전층(MT), 백금층, 티타늄층 및 다중 양자우물층(MQW)이 순차로 적층된 구조를 가질 수 있다.

다중 양자우물층(MQW)은 비선형 광학 프로세스에서 부밴드 전이와 관련된 비선형 응답을 제공할 수 있다. 전술한 것과 같이 다중 양자우물층(MQW)은 우물층과 장벽층이 교대로 반복 적층된 구조를 가질 수 있다. 이때, 우물층은 적어도 3개이고, 우물층은 적어도 4개 이상의 전자 부밴드를 포함할 수 있다. 다중 양자우물층(MQW)은 GaN, AlN, InN, InGaAs, AlGaAs, InAlN, InAlGaAs, AlAs, GaAs, GaP, InP, AlP, AlGaAs, AlInAs, InGaAs, AlGaP, AlInP, InGaP, AlInGaP, AlInGaAs 또는 AlInGaAsP 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 예컨대, 다중 양자우물층(MQW)은 밴드갭(band gap)이 작은 물질(예컨대, InGaAs)과 밴드갭이 큰 물질(예컨대, AlInAs)이 접합하는, 이중 접합 기반일 수 있다. 하지만 본 발명이 이에 한정되는 것은 아니다.

나노 안테나(ATN2)들을 포함하는 나노 안테나 어레이는 플라즈모닉 공진기일 수 있다. 나노 안테나(ATN2)는 대칭적인 기하학적 형태를 가질 수 있다. 구체적으로, 나노 안테나(ATN2)는 다중 양자우물층(MQW)의 상면에 수직인 방향(z 축 방향)에서 바라볼 시, 중앙을 중심으로 180도보다 작은 사전설정된 각도의 회전대칭인 형상을 갖는다. 도 9에서는 나노 안테나(ATN2)가 중앙을 중심으로 90도의 회전대칭인 형상을 갖는 것으로 도시하고 있다. 즉, 나노 안테나(ATN2)의 중앙을 중심으로 나노 안테나(ATN2)를 90도 회전시키면, 회전시키기 전의 형상과 동일한 형상을 갖는다.

이러한 나노 안테나(ATN2)는 바디부(B2)와, 이 바디부(B2)에서 방사 상으로 연장된 가지부(P2)들을 구비한다. 도 9에서는 바디부(B2)가 대략 사각형 형상을 갖고, 가지부(P2)들 각각은 사각형의 네 변들 각각에 연결되어, 나노 안테나(ATN2)가 4개의 가지부(P2)들을 갖는 것으로 도시하고 있다. 하나의 나노 안테나(ATN2)에 있어서 바디부(B2)와 가지부(P2)들은 일체(一體)일 수 있다. 이러한 나노 안테나(ATN2)는 도전성 물질을 포함할 수 있는데, 예컨대 금을 포함할 수 있다.

나노 안테나(ATN2)의 바디부(B2)는 전술한 것과 같이 평면도 상에서 사각형 형상을 갖는 것으로 나타날 수 있다. 네 개의 가지부(P2)들 각각은 절곡된 형상을 가져, 도 9에 도시된 것과 같이 평면도 상에서 좌우로 뒤집어진 "ㄣ" 형상을 갖는 것으로 나타날 수 있다. 가지부(P2)의 바디부(B2)에 인접한 부분에서의 폭(L6)은 430nm일 수 있고, 절곡된 이후의 외측부의 길이(L7)는 670nm이고 그 폭(L10)은 150nm일 수 있다. 가지부(P2)의 바디부(B2)에 인접한 부분에서 절곡된 부분까지에 있어서, 단변의 길이(L9)는 320nm일 수 있다. 단변과 평행한 장변의 길이(L8)는 580nm일 수 있다.

도 10은 도 9의 단위 셀들을 포함하는 광 변조 소자를 개략적으로 도시하는 사시도이다. 도 10에 도시된 것과

같이, 다중 양자우물층(MQW) 상에 나노 안테나(ATN2)들이 매트릭스 형상으로 배열되어 있다. 이와 같은 구조를 갖는 광 변조 소자의 경우, 좌원편광의 소스광(LSL)이 광 변조 소자에 입사하게 되면 이 좌원편광의 소스광(LSL)에 의해 강한 전기장 증대가 발생하고, 좌원편광의 비선형 방출광(LNEL)이 광 변조 소자에서 효율적으로 방출되도록 할 수 있다. 반면, 우원편광의 소스광(RSL)이 광 변조 소자에 입사하면 이 우원편광의 비선형 반사광에 대한 전기장이 상쇄간섭에 의해, 반사광의 강도를 최소화할 수 있다. 이처럼 본 실시예에 따른 광 변조 소자는, 입사 소스광이 좌원편광으로 편광되어 있는지 우원편광으로 편광되어 있는지에 따라, 사전설정된 특정 편광의 광만이 방출되도록 할 수 있다. 결국, 본 실시예에 따른 광 변조 소자는 특정 편광의 비선형 광만을 방출하는 광 변조 소자로 활용될 수 있다.

[0055] 나노 안테나(ATN2)에 주파수 w 의 광이 z 축을 따라 입사한다면, 주파수 w 의 광은 x 축 방향으로 편광된 자기장을 갖는다. 나노 안테나(ATN2)는 x 축 방향으로 편광된 전기장을 갖는 주파수 w 의 광을 흡수하고, 다중 양자우물층(MQW) 내부에 수직 방향(z 축 방향)의 전기장을 유도한다. 유도된 수직 방향 전기장은 다중 양자우물층(MQW)의 거대 제3차 비선형 전기감수율인 $\chi_{zzzz}^{(3)}$ 에 의해 수직 방향 제3차 분극(3rd order polarization)으로 변환된다. 나노 안테나(ATN2)는 수직 방향 제3차 분극을 x 축 방향으로 편광된 전기장을 갖는 주파수 $3w$ 의 광으로 방출하는 역할을 한다. 즉, 주파수 w 의 입사광이 주파수 $3w$ 의 제3고조파로 반사되는 비선형 거울로 동작하게 된다. 따라서, 본 실시예에 따른 광 변조 소자는 자유공간에서 고효율의 제3고조파를 발생시킬 수 있다. 이때, 나노 안테나(ATN2)의 형상에 따라 흡수되는 광과 반사되는 비선형 광이 발생하게 된다.

[0056] 도 11은 도 9의 단위 셀에 우원편광의 소스광(RSL)이 입사할 시, 단위 셀에 수직인 방향으로의 국소적인 전기장 강화 정도를, 다중 양자우물층 안에서 나노 안테나(ATN2) 내의 영역에 따라 보여주는 개념도이다. 도 11에 도시된 것과 같이, 나노 안테나(ATN2) 각각의 가지부(P2)에 있어서 절곡된 이후의 외측부의 끝단(P22)에서의 국소적인 전기장의 강화 정도가, 절곡된 직후의 부분(P21)에서의 국소적인 전기장의 강화 정도와 그 크기가 대략 비슷하되, 그 방향이 반대이다. 이에 따라 상쇄간섭이 발생하고, 우원편광의 비선형 반사광은 상쇄간섭에 의해 반사광이 최소화될 수 있다.

[0057] 도 12는 도 9의 단위 셀에 좌원편광의 소스광(LSL)이 입사할 시, 단위 셀에 수직인 방향으로의 국소적인 전기장 강화 정도를, 나노 안테나(ATN2) 내의 영역에 따라 보여주는 개념도이다. 도 12에 도시된 것과 같이, 나노 안테나(ATN2) 각각의 가지부(P2)에 있어서 절곡된 이후의 외측부의 끝단(P22)에서의 국소적인 전기장의 강화 정도가 절곡된 직후의 부분(P21)이나 바디부(B2)에서의 국소적인 전기장의 강화 정도보다 훨씬 더 크다. 이에 따라 좌원편광의 소스광(LSL)은 광 변조 소자에 의해 강한 전기장 증대를 발생시키고, 도 10에 도시된 것과 같이 좌원편광의 비선형 방출광(LNEL)이 광 변조 소자에서 효율적으로 방출되는 결과를 가져온다. 물론 다중 양자우물층(MQW)의 존재에 의해, 좌원편광의 소스광(LSL)의 주파수는 w 이고 좌원편광의 비선형 방출광(LNEL)의 주파수는 $3w$ 이기에, 좌원편광의 소스광(LSL) 자체가 그대로 반사되는 것은 아니다.

[0058] 도 13은 도 10에 도시된 것과 같은 광 변조 소자를 이용하여 측정할 시 나타나는, 파장에 따른 비선형 제3고조파의 원형 이색성을 보여주는 그래프이다. 제3고조파의 비선형 원형 이색성 CD(circular dichroism)은 $CD = (I_{LCP}^{3w} - I_{RCP}^{3w}) / (I_{LCP}^{3w} + I_{RCP}^{3w})$ 에 의해 계산될 수 있다. 여기서 I_{LCP}^{3w} 는 광 변조 소자에서 반사된 비선형 방출광에 있어서 좌원편광인 광에 대한 제3고조파의 강도이고, I_{RCP}^{3w} 는 광 변조 소자에서 반사된 방출광에 있어서 우원편광인 광에 대한 제3고조파의 강도이다. 도 13에 도시된 것과 같이 본 실시예에 따른 광 변조 소자의 비선형 원형 이색성은 특정 파장에 대해 0.98에 이르러, 거의 1에 가까운 비선형 원형 이색성을 갖는다는 것을 알 수 있다. 비선형 원형 이색성이 1이라 함은, 광 변조 소자에서 반사된 비선형 방출광에 있어서 우원편광인 광의 강도인 I_{RCP}^{3w} 가 0이라는 것이며, 이는 도 10에 도시된 것과 같이 좌원편광인 소스광(LSL)과 우원편광인 소스광(RSL)이 광 변조 소자에 입사하게 되면 좌원편광인 비선형 방출광(LNEL)만이 방출된다는 것을 의미한다.

[0059] 참고로 $I_{RCP}^{3w} = I_R^{3w}$ 는 $|\chi_{RRRR}^{(3)eff}|^2$ 에 비례하고, $I_{LCP}^{3w} = I_L^{3w}$ 는 $|\chi_{LLLL}^{(3)eff}|^2$ 에 비례한다. $\chi_{RRRR}^{(3)eff}$ 과 $\chi_{LLLL}^{(3)eff}$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다. 여기서 ξ_R^w 은 주파수가 w 인 우원편광인 소스광이 입사할 시, 다중 양자우물층(MQW)에서의 정규화된 국소적 z 축 방향 전기장 강화를 의미한다. ξ_L^w 은 주파수가 w 인 좌원편광인 소스광이 입사할 시, 다중 양자우물층(MQW)에서의 정규화된 국소적 z 축 방향 전기장 강화를 의미한다. ξ_R^w 은 주파수가 w 인 우원편광인 소스광이

입사할 시, 다중 양자우물층(MQW)에서의 정규화된 국소적 z축 방향 전기장 강화를 의미한다.

그리고 V_{MQW} 는 다중 양자우물층(MQW)의 체적이다.

$$\chi_{(RRRR)}^{(3)eff} = \chi_{zzzz}^{(3)} \frac{\int_{V_{MQW}} \xi_R^{3W}(x,y,z) (\xi_R^W(x,y,z))^3 dV}{V_{MQW}}$$

$$\chi_{(LLLL)}^{(3)eff} = \chi_{zzzz}^{(3)} \frac{\int_{V_{MQW}} \xi_L^{3W}(x,y,z) (\xi_L^W(x,y,z))^3 dV}{V_{MQW}}$$

도 14와 도 15는 본 발명의 또 다른 일 실시예에 따른 광 변조 소자에 입사광이 반사되는 경향을 개략적으로 도시하는 사시도들이다. 본 실시예에 따른 광 변조 소자는 다중 양자우물층(MQW) 상에 제1나노 안테나(ATN1)들과 제2나노 안테나(ATN2)들을 포함하는 나노 안테나 어레이가 위치하고 있다.

제1나노 안테나(ATN1)는 바디부(B1)와, 이 바디부(B1)에서 방사 상으로 연장된 가지부(P1)들을 구비한다. 도 14 및 도 15에서는 바디부(B1)가 평면도 상에서 대략 삼각형 형상을 갖고, 가지부(P1)들 각각은 삼각형의 세 변들 각각에 연결되어, 제1나노 안테나(ATN1)가 3개의 가지부(P1)들을 갖는 것으로 도시하고 있다. 하나의 제1나노 안테나(ATN1)에 있어서 바디부(B1)와 가지부(P1)들은 일체(一體)일 수 있다. 이러한 제1나노 안테나(ATN1)는 도전성 물질을 포함할 수 있는데, 예컨대 금을 포함할 수 있다. 세 개의 가지부(P1)들 각각은 절곡된 형상을 가져, 도 14 및 도 15에 도시된 것과 같이 평면도 상에서 "ㄱ" 형상을 갖는 것으로 나타날 수 있다. 제1나노 안테나(ATN1)의 구체적인 형상은 도 4를 참조하여 전술한 것과 같다.

제2나노 안테나(ATN2)는 바디부(B2)와, 이 바디부(B2)에서 방사 상으로 연장된 가지부(P2)들을 구비한다. 도 14 및 도 15에서는 바디부(B2)가 평면도 상에서 대략 사각형 형상을 갖고, 가지부(P2)들 각각은 사각형의 네 변들 각각에 연결되어, 제2나노 안테나(ATN2)가 4개의 가지부(P2)들을 갖는 것으로 도시하고 있다. 하나의 제2나노 안테나(ATN2)에 있어서 바디부(B2)와 가지부(P2)들은 일체(一體)일 수 있다. 이러한 제2나노 안테나(ATN2)는 도전성 물질을 포함할 수 있는데, 예컨대 금을 포함할 수 있다. 네 개의 가지부(P2)들 각각은 절곡된 형상을 가져, 도 14 및 도 15에 도시된 것과 같이 평면도 상에서 좌우로 뒤집어진 "ㄴ" 형상을 갖는 것으로 나타날 수 있다. 제2나노 안테나(ATN2)의 구체적인 형상은 도 9를 참조하여 전술한 것과 같다.

도 14 및 도 15에 도시된 것과 같이, 제1나노 안테나(ATN1)들 각각의 가지부(P1)는 제1나노 안테나(ATN1)의 중앙을 중심으로 시계방향과 반시계방향 중 어느 한 방향으로 절곡된 형상을 갖고, 제2나노 안테나(ATN2)들 각각의 가지부는 제2나노 안테나(ATN2)의 중앙을 중심으로 시계방향과 반시계방향 중 다른 한 방향으로 절곡된 형상을 갖는다. 도 14 및 도 15에서는 제1나노 안테나(ATN1)들 각각의 가지부(P1)가 제1나노 안테나(ATN1)의 중앙을 중심으로 반시계방향으로 절곡된 형상을 갖고, 제2나노 안테나(ATN2)들 각각의 가지부가 제2나노 안테나(ATN2)의 중앙을 중심으로 시계방향으로 절곡된 형상을 갖는 것으로 도시하고 있다. 물론 전술한 것과 같이, 제1나노 안테나(ATN1)들 각각은 중앙을 중심으로 120도의 회전대칭인 형상을 갖고, 제2나노 안테나(ATN2)들 각각은 중앙을 중심으로 90도의 회전대칭인 형상을 가질 수 있다.

이러한 본 실시예에 따른 광 변조 소자의 경우, 도 14에 도시된 것과 같이 주파수가 w 인 우원편광된 소스광(RSL)이 입사하면 이를 주파수가 $2w$ 인 우원편광된 비선형 방출광(REL)으로 방출할 수 있다. 그리고 도 15에 도시된 것과 같이 주파수가 w 인 좌원편광된 소스광(LSL)이 입사하면 이를 주파수가 $3w$ 인 좌원편광된 비선형 방출광(LEL)으로 방출할 수 있다. 이처럼 본 실시예에 따른 광 변조 장치는, 입사광의 원편광 상태에 따라 사전설정된 비선형 고조파의 광이 방출되도록 광을 변조할 수 있다.

이때 광 변조 효과를 극대화하기 위해, 제1나노 안테나(ATN1)들과 제2나노 안테나(ATN2)들은 교번하여 위치하도록 할 수 있다. 예컨대 도 14 및 도 15에 도시된 것과 같이, 제1나노 안테나(ATN1)들의 (y축 방향으로 연장된) 칼럼들과 제2나노 안테나(ATN2)들의 (y축 방향으로 연장된) 칼럼들은 일 방향(x축 방향)에 있어서 교번하여 위치할 수 있다.

이와 같이 본 발명은 도면에 도시된 실시예를 참고로 설명되었으나 이는 예시적인 것에 불과하며, 당해 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 다른 실시예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 따라서 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 청구범위의 기술적 사상에 의하여 정해져야 할 것이다.

부호의 설명

[0070]

SUB: 기판

MT: 도전층

MQW: 다중 양자우물층

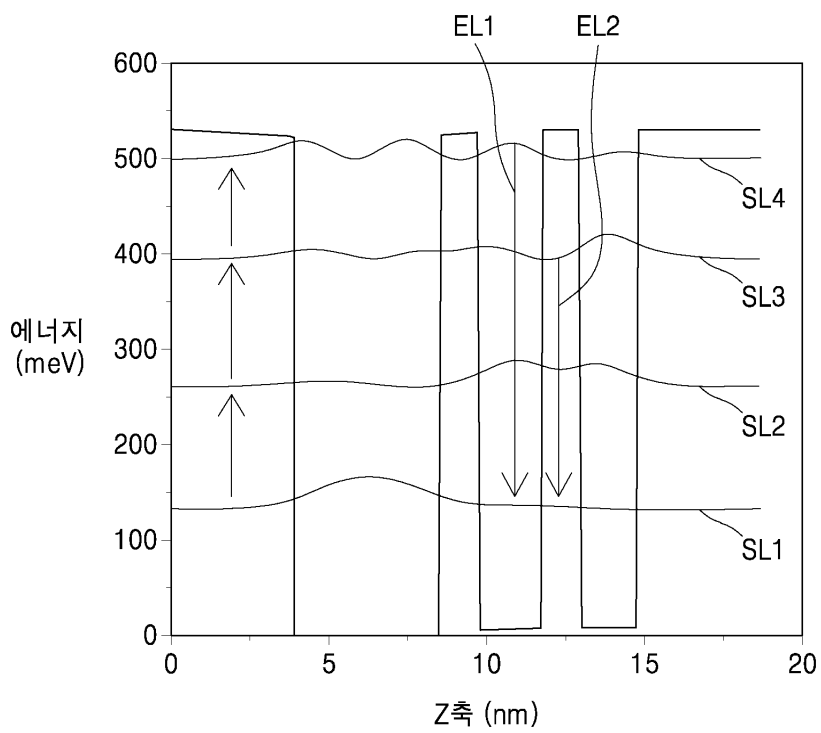
ANT1, ANT2: 나노 안테나

B1, B2: 바디부

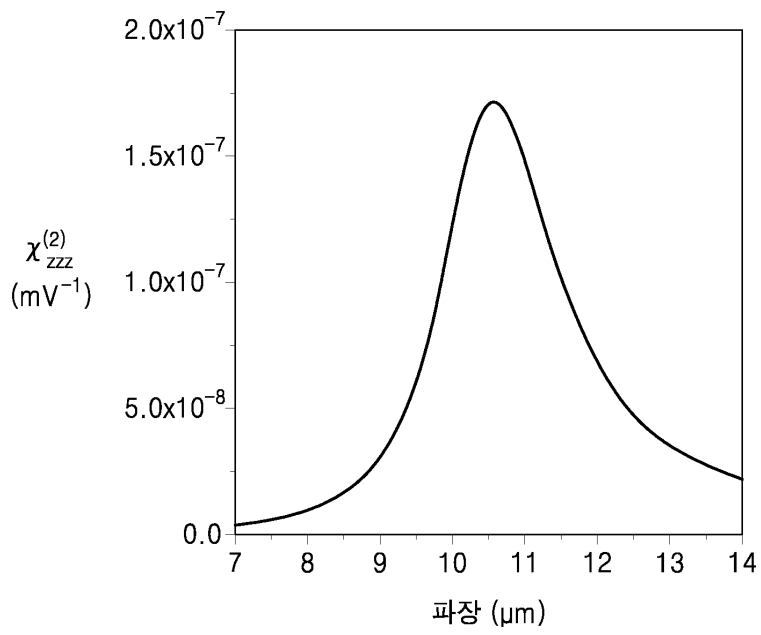
P1, P2: 가지부

도면

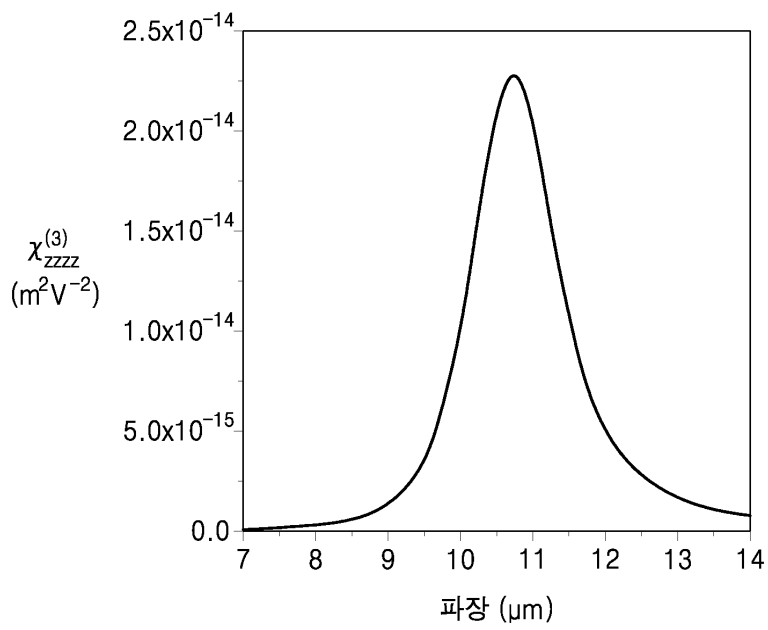
도면1



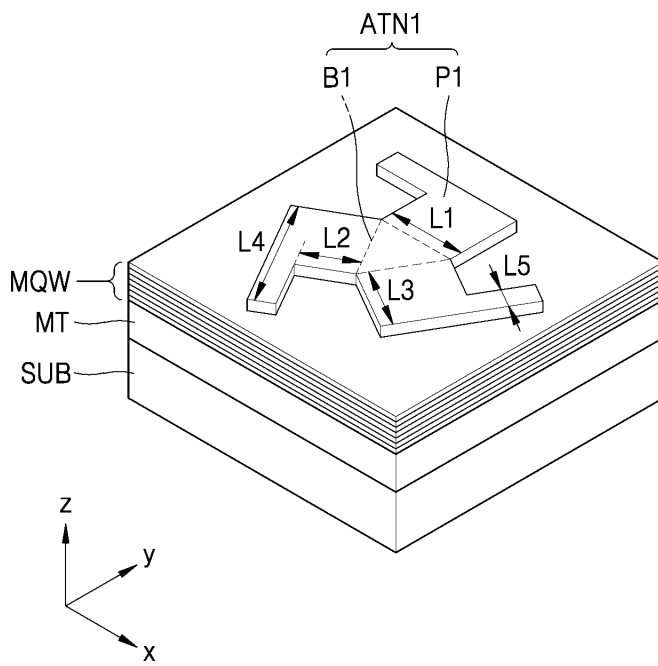
도면2



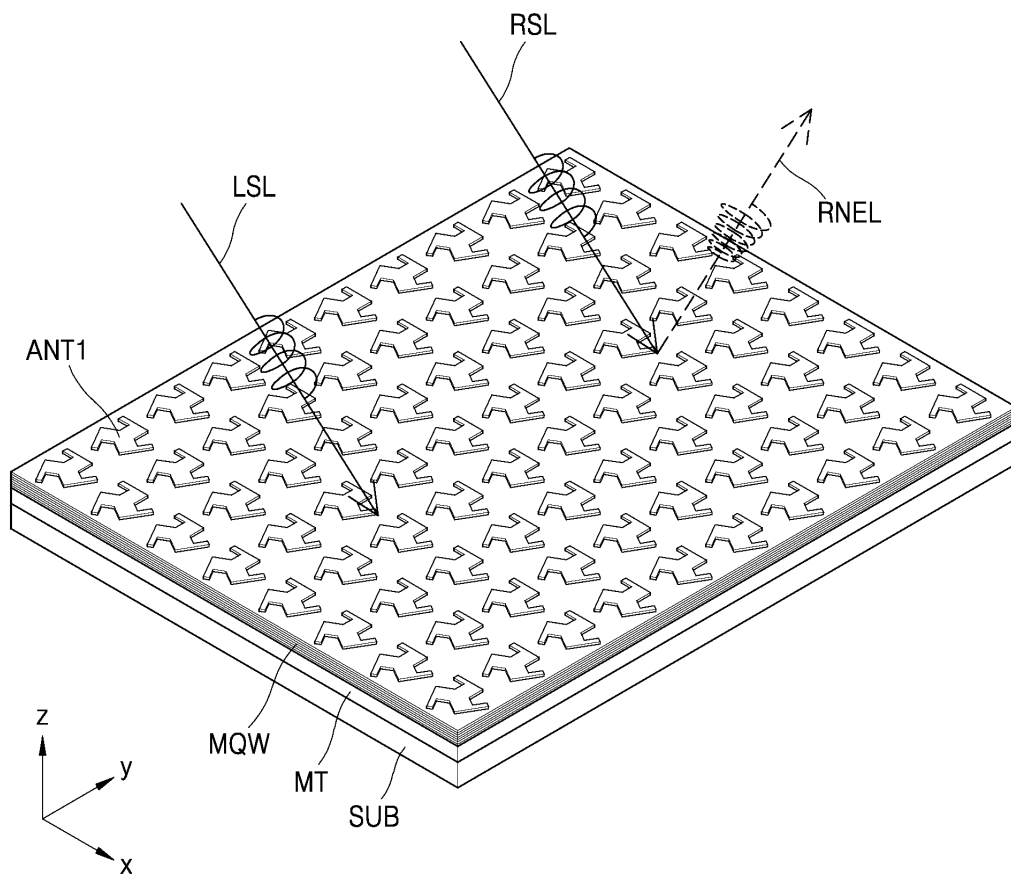
도면3



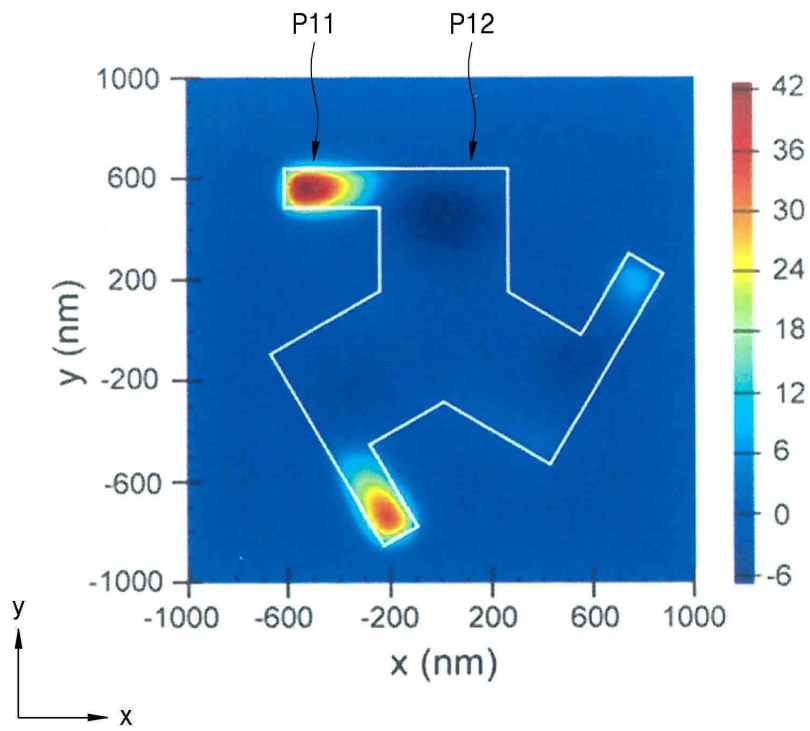
도면4



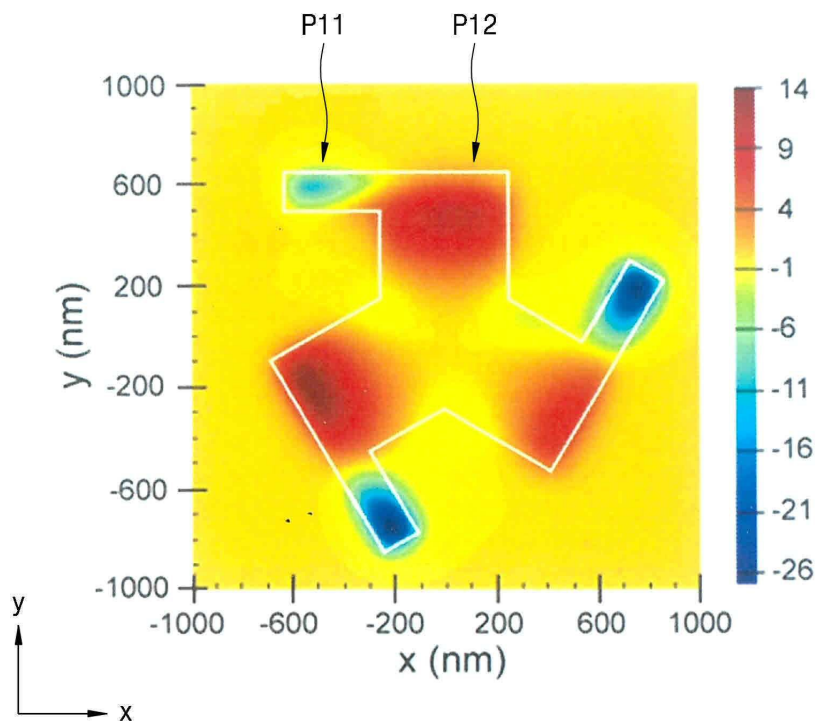
도면5



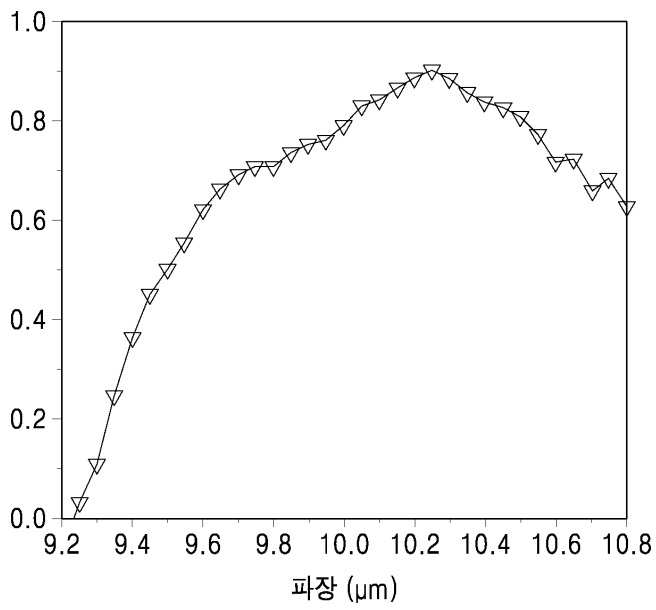
도면6



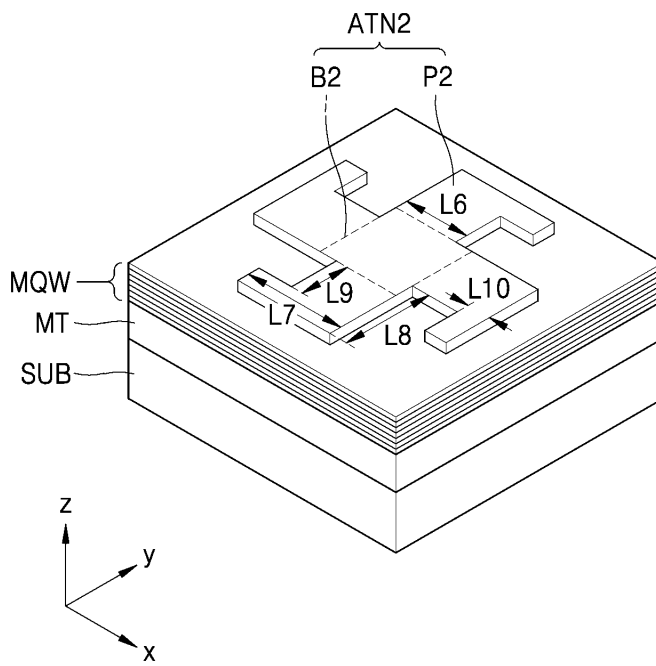
도면7



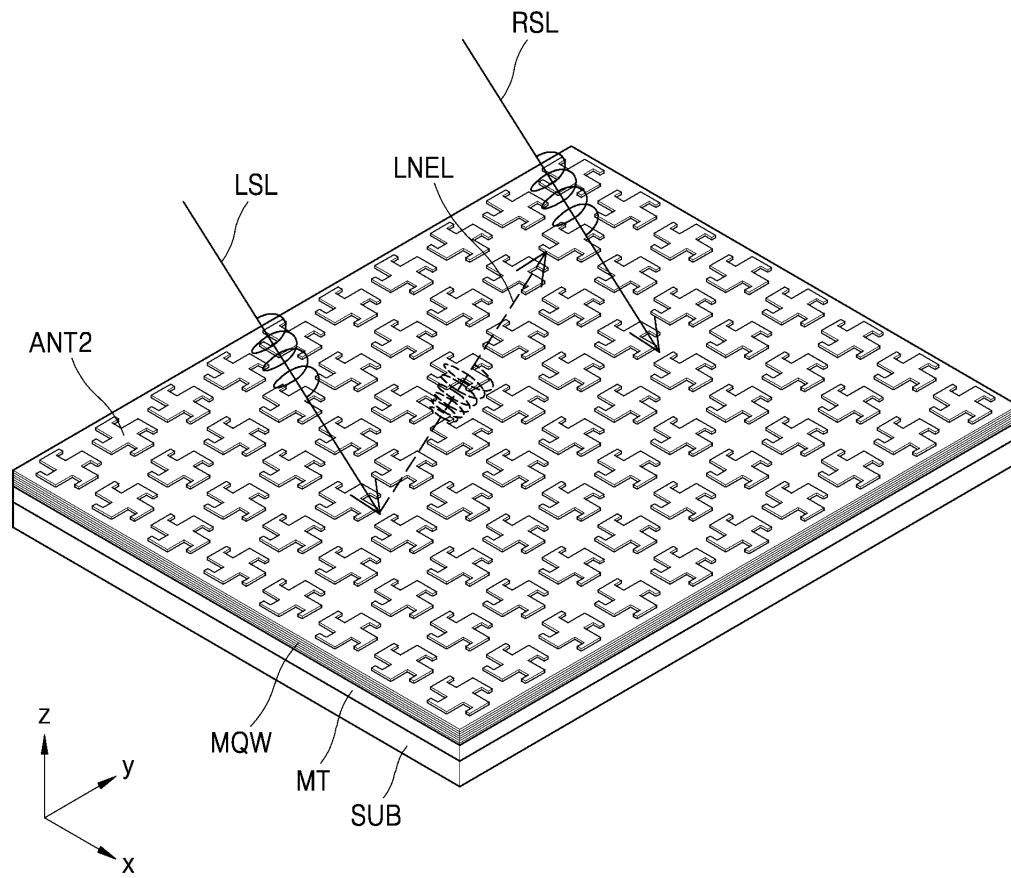
도면8



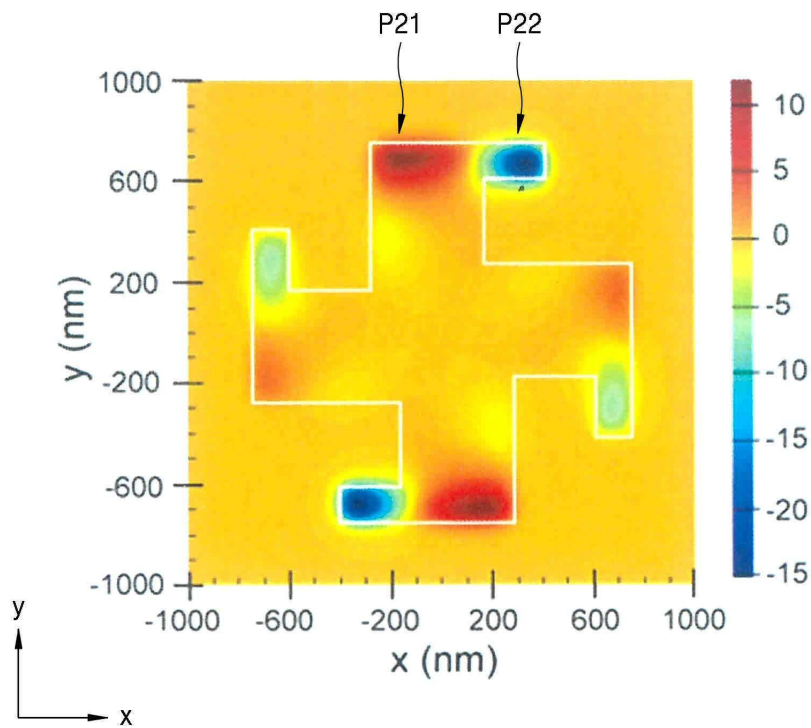
도면9



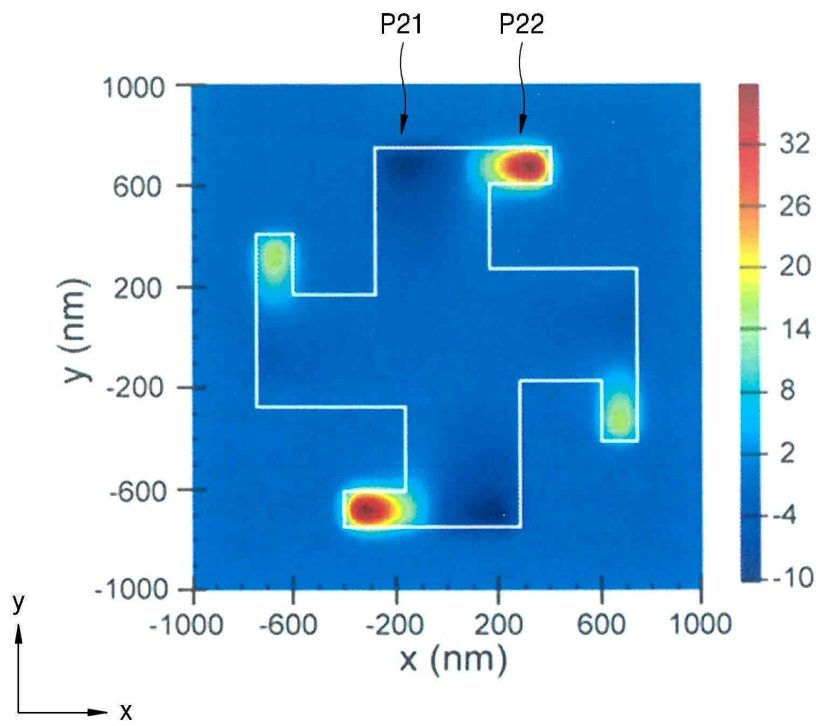
도면10



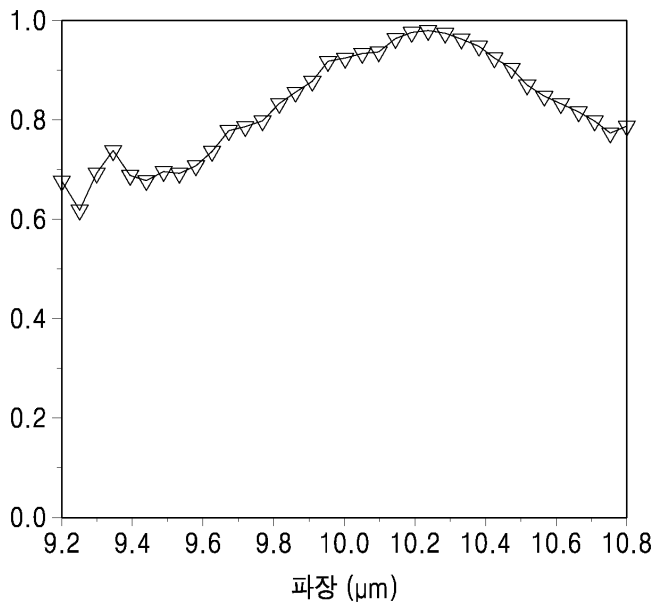
도면11



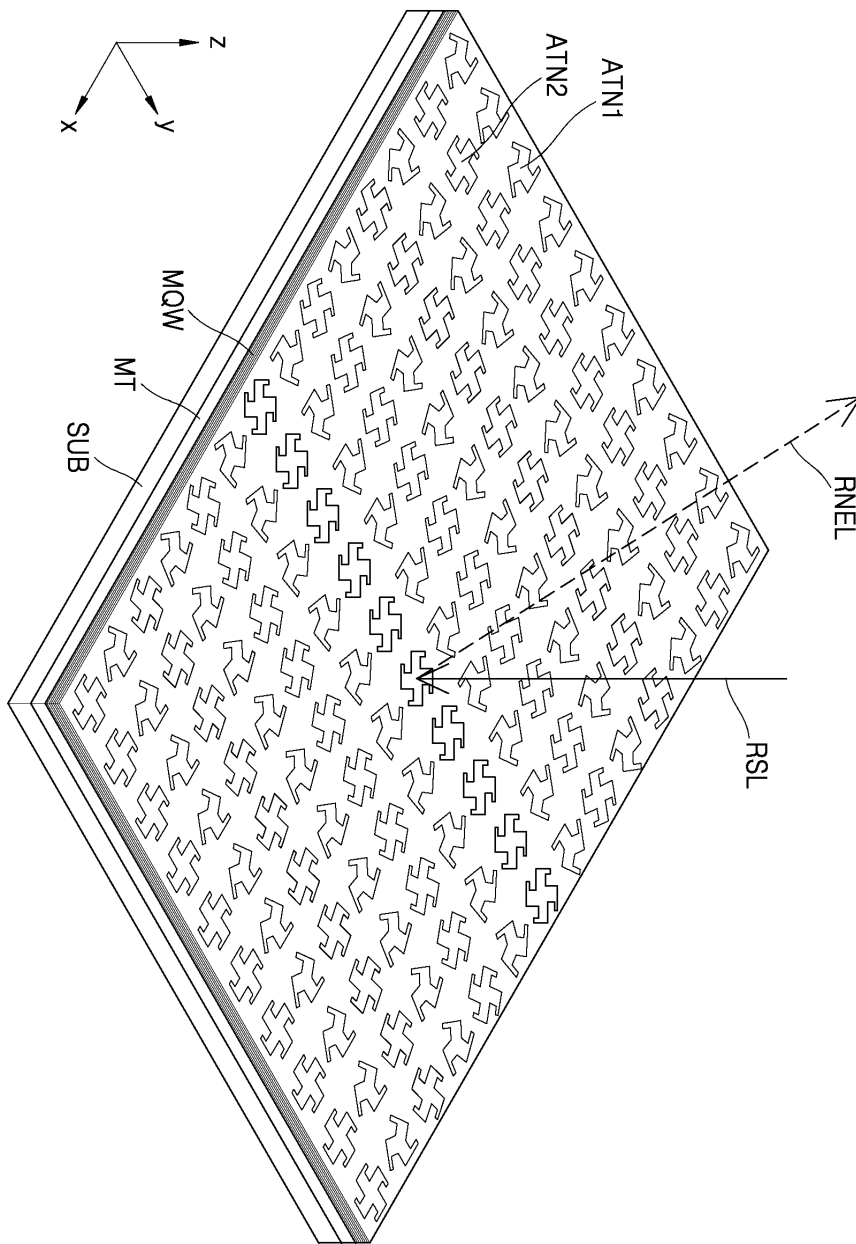
도면12



도면13



도면14



도면15

