



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0039773
(43) 공개일자 2024년03월27일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G02F 1/35 (2006.01) G02F 1/37 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G02F 1/3501 (2021.01)
G02F 1/37 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2022-0118524
(22) 출원일자 2022년09월20일
심사청구일자 2022년09월20일

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

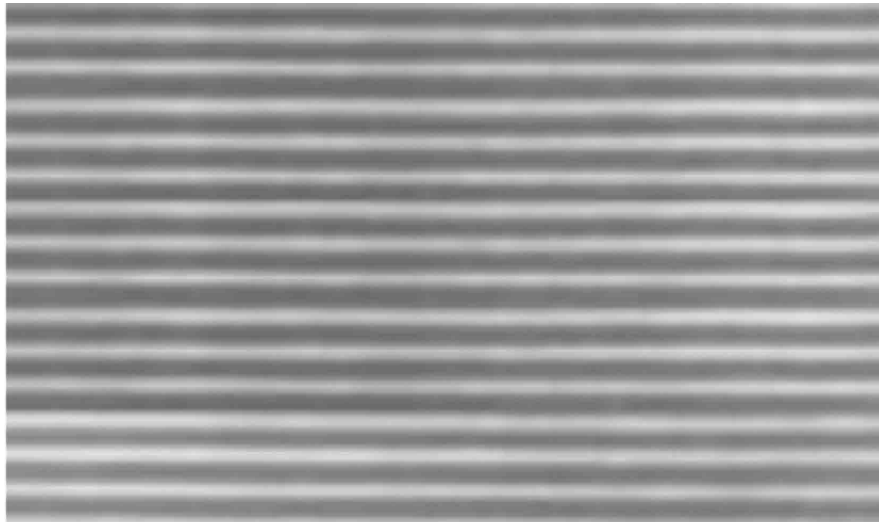
전체 청구항 수 : 총 15 항

(54) 발명의 명칭 전기적 변조가 가능한 비선형 광학 소자

(57) 요약

본 발명은 간단한 구성을 가지면서도 인가전압에 따라 제2고조파의 위상 변조 및 이를 이용한 광 변조가 가능한 비선형 광학 소자를 위하여, 도전층과, 상기 도전층 상에 위치하며, 우물층과 장벽층이 교번하여 적층된 다중 양자우물층과, 상기 다중 양자우물층 상에 위치하고 상기 도전층에 수직인 방향에서 바라볼 시 제1방향으로 연장된 제1-1라인과 상기 제1-1라인과 평행한 제1-2라인과 상기 제1-1라인을 상기 제1-2라인과 연결하며 절곡부를 갖는 복수개의 제1연결부들을 포함하는 제1패턴세트를 구비하는, 비선형 광학 소자를 제공한다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

G02F 2202/36 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711157397
과제번호	2018M3A7B4069995
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	나노소재기술개발
연구과제명	플라즈모닉 나노구조 적외선 필터 설계 및 제작 기술 개발
기 여 율	20/100
과제수행기관명	한국기계연구원
연구기간	2018.08.01 ~ 2023.07.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711167410
과제번호	2020R1A4A3079834
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	집단연구지원
연구과제명	광자-전자 하이브리드 비선형 시스템을 이용한 테라헤르츠 겹 영역 고효율 고조파

발생 연구

기 여 율	40/100
과제수행기관명	울산과학기술원
연구기간	2020.07.01 ~ 2023.02.28

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711145268
과제번호	2019R1A2C4070623
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	개인기초연구(과기정통부)(R&D)
연구과제명	중적외선 영역 광대역 비선형 메타광원 연구
기 여 율	40/100
과제수행기관명	울산과학기술원
연구기간	2019.06.01 ~ 2022.02.28

명세서

청구범위

청구항 1

도전층;

상기 도전층 상에 위치하며, 우물층과 장벽층이 교번하여 적층된 다중 양자우물층; 및

상기 다중 양자우물층 상에 위치하고, 상기 도전층에 수직인 방향에서 바라볼 시, 제1방향으로 연장된 제1-1라인과, 상기 제1-1라인과 평행한 제1-2라인과, 상기 제1-1라인과 상기 제1-2라인을 연결하며 절곡부를 갖는 복수개의 제1연결부들을 포함하는, 제1패턴세트;

를 구비하는, 비선형 광학 소자.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 도전층에 수직인 방향에서 바라볼 시, 상기 복수개의 제1연결부들 각각은 1회 절곡된 형상을 갖는, 비선형 광학 소자.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 도전층에 수직인 방향에서 바라볼 시, 상기 복수개의 제1연결부들 각각은 "V" 형상을 갖는, 비선형 광학 소자.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 도전층에 수직인 방향에서 바라볼 시, 상기 복수개의 제1연결부들은 상호 평행한, 비선형 광학 소자.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 제1-1라인, 상기 제1-2라인 및 상기 복수개의 제1연결부들은 일체(一體)인, 비선형 광학 소자.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 제1-1라인의 일단과 상기 제1-2라인의 일단은 서로 연결되고, 상기 제1-1라인의 타단과 상기 제1-2라인의 타단은 서로 연결된, 비선형 광학 소자.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 제1패턴세트를 복수개 구비하여, 상기 도전층에 수직인 방향에서 바라볼 시, 상기 제1방향과 교차하는 제2 방향을 따라 상기 제1패턴세트들이 상호 이격되어 평행하게 배치되며 상호 전기적으로 연결된, 비선형 광학 소자.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 제1-1라인의 일단과 상기 제1-2라인의 일단은 상기 복수개의 제1패턴세트들에 있어서 서로 연결되고, 상기

제1-1라인의 타단과 상기 제1-2라인의 타단은 상기 복수개의 제1패턴세트들에 있어서 서로 연결된, 비선형 광학 소자.

청구항 9

제7항에 있어서,

상기 다중 양자우물층 상에 위치하고, 상기 제1패턴세트로부터 전기적으로 절연되며, 상기 도전층에 수직인 방향에서 바라볼 시, 상기 제1방향으로 연장된 제2-1라인과, 상기 제2-1라인과 평행한 제2-2라인과, 상기 제2-1라인과 상기 제2-2라인을 연결하며 절곡부를 갖는 복수개의 제2연결부들을 포함하는, 제2패턴세트를 더 구비하는, 비선형 광학 소자.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 도전층에 수직인 방향에서 바라볼 시, 상기 복수개의 제2연결부들 각각은 1회 절곡된 형상을 갖는, 비선형 광학 소자.

청구항 11

제9항에 있어서,

상기 도전층에 수직인 방향에서 바라볼 시, 상기 복수개의 제2연결부들 각각은 "V" 형상을 갖는, 비선형 광학 소자.

청구항 12

제9항에 있어서,

상기 제2-1라인, 상기 제2-2라인 및 상기 복수개의 제2연결부들은 일체(一體)인, 비선형 광학 소자.

청구항 13

제9항에 있어서,

상기 제2패턴세트를 복수개 구비하여, 상기 도전층에 수직인 방향에서 바라볼 시, 상기 제2방향을 따라 상기 제2패턴세트들이 상호 이격되어 평행하게 배치되며 상호 전기적으로 연결된, 비선형 광학 소자.

청구항 14

제13항에 있어서,

상기 제1패턴세트들과 상기 제2패턴세트들 사이에 위치하도록 상기 다중 양자우물층 상에 위치하고, 상기 제1패턴세트 및 상기 제2패턴세트로부터 전기적으로 절연되며, 상기 도전층에 수직인 방향에서 바라볼 시, 상기 제1방향으로 연장된 제3-1라인과, 상기 제3-1라인과 평행한 제3-2라인과, 상기 제3-1라인과 상기 제3-2라인을 연결하며 절곡부를 갖는 복수개의 제3연결부들을 포함하는, 제3패턴세트를 더 구비하는, 비선형 광학 소자.

청구항 15

제14항에 있어서,

상기 제1패턴세트들과 상기 제2패턴세트들 사이에 상기 제3패턴세트를 복수개 구비하여, 상기 도전층에 수직인 방향에서 바라볼 시, 상기 제2방향을 따라 상기 제3패턴세트들이 상호 이격되어 평행하게 배치된, 비선형 광학 소자.

발명의 설명

기술 분야

[0001]

본 발명의 실시예들은 비선형 광학 소자에 관한 것으로서, 더 상세하게는 간단한 구성을 가지면서도 인가전압에 따라 제2고조파의 위상 변조 및 이를 이용한 광 변조가 가능한 비선형 광학 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 종래의 평면 비선형 광학 소자에는 효율이 낮다는 문제점이 있었다.

[0004] 본 발명은 상기와 같은 문제점을 포함하여 여러 문제점들을 해결하기 위한 것으로서, 간단한 구성을 가지면서도 인가전압에 따라 제2고조파의 위상 변조 및 이를 이용한 광 변조가 가능한 비선형 광학 소자를 제공하는 것을 목적으로 한다. 그러나 이러한 과제는 예시적인 것으로, 이에 의해 본 발명의 범위가 한정되는 것은 아니다.

과제의 해결 수단

[0005] 본 발명의 일 관점에 따르면, 도전층과, 상기 도전층 상에 위치하며, 우물층과 장벽층이 교번하여 적층된 다중 양자우물층과, 상기 다중 양자우물층 상에 위치하고 상기 도전층에 수직인 방향에서 바라볼 시 제1방향으로 연장된 제1-1라인과 상기 제1-1라인과 평행한 제1-2라인과 상기 제1-1라인을 상기 제1-2라인과 연결하며 절곡부를 갖는 복수개의 제1연결부들을 포함하는 제1패턴세트를 구비하는, 비선형 광학 소자가 제공된다.

[0006] 상기 도전층에 수직인 방향에서 바라볼 시, 상기 복수개의 제1연결부들 각각은 1회 절곡된 형상을 가질 수 있다.

[0007] 상기 도전층에 수직인 방향에서 바라볼 시, 상기 복수개의 제1연결부들 각각은 "V" 형상을 가질 수 있다.

[0008] 상기 도전층에 수직인 방향에서 바라볼 시, 상기 복수개의 제1연결부들은 상호 평행할 수 있다.

[0009] 상기 제1-1라인, 상기 제1-2라인 및 상기 복수개의 제1연결부들은 일체(一體)일 수 있다.

[0010] 상기 제1-1라인의 일단과 상기 제1-2라인의 일단은 서로 연결되고, 상기 제1-1라인의 타단과 상기 제1-2라인의 타단은 서로 연결될 수 있다.

[0011] 상기 제1패턴세트를 복수개 구비하여, 상기 도전층에 수직인 방향에서 바라볼 시, 상기 제1방향과 교차하는 제2 방향을 따라 상기 제1패턴세트들이 상호 이격되어 평행하게 배치되며 상호 전기적으로 연결될 수 있다.

[0012] 상기 제1-1라인의 일단과 상기 제1-2라인의 일단은 상기 복수개의 제1패턴세트들에 있어서 서로 연결되고, 상기 제1-1라인의 타단과 상기 제1-2라인의 타단은 상기 복수개의 제1패턴세트들에 있어서 서로 연결될 수 있다.

[0013] 상기 다중 양자우물층 상에 위치하고, 상기 제1패턴세트로부터 전기적으로 절연되며, 상기 도전층에 수직인 방향에서 바라볼 시, 상기 제1방향으로 연장된 제2-1라인과, 상기 제2-1라인과 평행한 제2-2라인과, 상기 제2-1라인과 상기 제2-2라인을 연결하며 절곡부를 갖는 복수개의 제2연결부들을 포함할 수 있다.

[0014] 상기 도전층에 수직인 방향에서 바라볼 시, 상기 복수개의 제2연결부들 각각은 1회 절곡된 형상을 가질 수 있다.

[0015] 상기 도전층에 수직인 방향에서 바라볼 시, 상기 복수개의 제2연결부들 각각은 "V" 형상을 가질 수 있다.

[0016] 상기 제2-1라인, 상기 제2-2라인 및 상기 복수개의 제2연결부들은 일체(一體)일 수 있다.

[0017] 상기 제2패턴세트를 복수개 구비하여, 상기 도전층에 수직인 방향에서 바라볼 시, 상기 제2방향을 따라 상기 제2패턴세트들이 상호 이격되어 평행하게 배치되며 상호 전기적으로 연결될 수 있다.

[0018] 상기 제1패턴세트들과 상기 제2패턴세트들 사이에 위치하도록 상기 다중 양자우물층 상에 위치하고, 상기 제1패턴세트 및 상기 제2패턴세트로부터 전기적으로 절연되며, 상기 도전층에 수직인 방향에서 바라볼 시, 상기 제1방향으로 연장된 제3-1라인과, 상기 제3-1라인과 평행한 제3-2라인과, 상기 제3-1라인과 상기 제3-2라인을 연결하며 절곡부를 갖는 복수개의 제3연결부들을 포함하는, 제3패턴세트를 더 구비할 수 있다.

[0019] 상기 제1패턴세트들과 상기 제2패턴세트들 사이에 상기 제3패턴세트를 복수개 구비하여, 상기 도전층에 수직인

방향에서 바라볼 시, 상기 제2방향을 따라 상기 제3패턴세트들이 상호 이격되어 평행하게 배치될 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, 간단한 구성을 가지면서도 인가전압에 따라 제2고조파의 위상 변조 및 이를 이용한 광 변조가 가능한 비선형 광학 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 광학 소자가 구비하는 다중 양자우물층의 단면을 보여주는 사진이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 광학 소자를 개략적으로 도시하는 사시도이다.

도 3은 도 2의 광학 소자의 일부분을 확대하여 개략적으로 도시하는 사시도이다.

도 4 내지 도 6은 다중 양자우물층 양단에 인가된 전위차의 변화에 따라 다중 양자우물층에 흡수되는 광의 파장이 달라지는 것을 보여주는 그래프들이다.

도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 광학 소자가 구비하는 다중 양자우물층의 전압 변화에 따른 2차 비선형 전기 감수율의 크기 변화를 보여주는 그래프이다.

도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 광학 소자가 구비하는 다중 양자우물층의 전압 변화에 따른 2차 비선형 전기 감수율의 위상 변화를 보여주는 그래프이다.

도 9 및 도 10은 본 발명의 일 실시예에 따른 광학 소자가 구비하는 패턴세트에서 입사광에 의해 발생하는 국소적인 전기장 강화 정도를, 패턴세트 내의 영역에 따라 보여주는 개념도들이다.

도 11은 본 발명의 일 실시예에 따른 광학 소자에서의 전압 변화에 따른 유효 2차 비선형 전기 감수율의 크기 변화를 보여주는 그래프이다.

도 12는 본 발명의 일 실시예에 따른 광학 소자에서의 전압 변화에 따른 유효 2차 비선형 전기 감수율의 위상 변화를 보여주는 그래프이다.

도 13은 본 발명의 일 실시예에 따른 광학 소자에서의 전압 변화에 따른 비선형 메타표면에서 생성된 제2고조파의 파워 변화를 보여주는 그래프이다.

도 14는 본 발명의 일 실시예에 따른 광학 소자를 개략적으로 도시하는 사시도이다.

도 15는 도 14의 광학 소자의 일부분을 확대하여 개략적으로 도시하는 사시도이다.

도 16은 도 15의 광학 소자에 입력되는 전압 변화에 의해 반사광의 방위각에 따른 반사광의 강도 변화를 보여주는 그래프이다.

도 17은 본 발명의 일 실시예에 따른 광학 소자를 개략적으로 도시하는 사시도이다.

도 18은 도 17의 광학 소자에 입력되는 전압 변화에 의해 반사광의 방위각에 따른 반사광의 강도 변화를 보여주는 그래프이다.

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 구

성요소 "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] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 비선형 광학 소자가 구비하는 다중 양자우물층의 단면을 보여주는 사진이다. 다중 양자우물층은 InAs, GaSb, AlSb, InSb, AlGaSb, GaInSb, AlGaAsSb, GaInAsSb, GaN, AlN, InN, InGaN, AlGaN, InAlN, InAlGaN, AlAs, GaAs, GaP, InP, AlP, AlGaAs, AlInAs, InGaAs, AlGaP, AlInP, InGaP, AlInGaP, AlInGaAs 또는 AlInGaAsP 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 예컨대, 다중 양자우물층은 밴드갭(band gap)이 작은 물질(예컨대, InGaAs)과 밴드갭이 큰 물질(예컨대, AlInAs)이 접합하는, 이중 접합 기반일 수 있다. 예컨대 AlInAs로 장벽층들을 형성하고, InGaAs로 양자우물층들 사이에 개재되는 우물층들을 형성하여, 다중 양자우물층을 형성할 수 있다. 예컨대 다중 양자우물층은 4.6nm, 2.0nm 및 1.8nm의 두께를 갖는 세 개의 양자우물층을 가지는 단위구조가 20번 반복된 구성을 가질 수 있다. 하지만 본 발명이 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0028] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 광학 소자를 개략적으로 도시하는 사시도이다. 도 2에 도시된 것과 같이, 본 실시예에 따른 광학 소자는 기판(Sub), 도전층들(CL1, CL2a, CL2b), 다중 양자우물층(MQL) 및 제1패턴세트(PS1)를 구비한다.
- [0029] 먼저, 다중 양자우물층(MQL)은 도 2에 도시되지 않은 기판 상에 형성될 수 있다. 그러한 기판은 인듐 포스파이드(InP) 또는 갈륨 아세나이드(GaAs) 웨이퍼일 수 있다. 그와 같은 기판 상에 우물층과 장벽층이 교번하여 적층된 다중 양자우물층(MQL)을 형성할 수 있다. 장벽층으로는 AlInAs를 이용할 수 있으며, 우물층으로는 InGaAs를 이용할 수 있다. 이러한 장벽층이나 우물층은 인듐 포스파이드(InP) 웨이퍼 상에서 MBE(분자 광선 에피택시) 또는 MOCVD(금속 유기 화학 증착법)에 의해 에피택셜 성장되도록 하여 형성할 수 있다.
- [0030] 그와 같이 형성된 다중 양자우물층(MQL) 상부에는 증착 또는 스퍼터링 등을 통해 금(Au) 등의 도전성 물질로 제1도전층(CL1)을 형성할 수 있다. 물론 제1도전층(CL1) 형성에 앞서 다중 양자우물층(MQL) 상에 제2도전층(CL2a, CL2b)을 형성하는 과정을 거칠 수도 있다. 이는 다중 양자우물층(MQL)과 제1도전층(CL1) 사이의 접합력보다 다중 양자우물층(MQL)과의 접합력이 더 큰 물질을 이용하여 제2도전층(CL2a, CL2b)을 형성함으로써, 광대역 파장판 소자의 전체적인 접합력을 높이기 위함이다. 제2도전층(CL2a, CL2b)은 다층구조를 가질 수 있는데, 예컨대 다중 양자우물층(MQL) 상에 제2-2도전층(CL2b)을 형성하고 제2-2도전층(CL2b) 상에 제2-1도전층(CL2a)을 형성할 수 있다. 제2-1도전층(CL2a)은 제1도전층(CL1)과의 접합력이 좋으며, 후술하는 것과 같은 금과 같은 도전성 물질이 다중 양자우물층(MQL)으로 확산되는 것을 방지할 수 있는 백금(Pt)을 포함할 수 있고, 제2-2도전층(CL2b)은 다중 양자우물층(MQL)과의 접합력이 우수한 크롬(Cr)을 포함할 수 있다. 제2-2도전층(CL2b)이나 제2-1도전층(CL2a)은 증착 또는 스퍼터링을 통해 형성할 수 있다.
- [0031] 한편, 실리콘 기판일 수 있는 기판(Sub) 상에 금(Au) 등의 도전성 물질로 도전층을 형성하고, 다중 양자우물층(MQL) 상에 형성된 제1도전층(CL1)을 기판(Sub) 상의 도전층과 열압착 본딩 등의 방법으로 접합할 수 있다. 이때, 기판(Sub) 상의 도전층은 다중 양자우물층(MQL) 상의 제1도전층(CL1)과 일체(一體)가 될 수 있다. 이후 다중 양자우물층(MQL)의 성장에 사용된 기판인 인듐 포스파이드(InP) 또는 갈륨 아세나이드(GaAs) 웨이퍼를 제거할 수 있다.
- [0032] 이와 같은 과정을 기판(Sub), 제1도전층(CL1), 제2-1도전층(CL2a), 제2-2도전층(CL2b) 및 다중 양자우물층(MQL)의 적층체를 확보할 수 있다. 이후, 다중 양자우물층(MQL) 상에 금(Au) 등의 도전성 물질로 예비도전층을 형성한 후, 이를 패터닝하여 제1패턴세트(PS1)를 형성할 수 있다. 이에 따라 도 2에 도시된 것과 같은 형상의 광학 소자를 만들 수 있다.
- [0033] 도 3은 도 2의 광학 소자의 일부분을 확대하여 개략적으로 도시하는 사시도이다. 도 3에 도시된 것과 같이, 제1패턴세트(PS1)는 제1-1라인(L1-1), 제1-2라인(L1-2) 및 복수개의 제1연결부(CP1)들을 포함한다.
- [0034] 제1도전층(CL1)에 수직인 방향(z축 방향)에서 바라볼 시, 상호 평행하도록 이격된 제1-1라인(L1-1)과 제1-2라인(L1-2)은 제1방향(y축 방향)으로 연장된 형상을 갖는다. 제1-1라인(L1-1)의 제1방향에 수직인 제2방향(x축 방향)으로의 폭(W₁)은 대략 270nm일 수 있다. 제1-2라인(L1-2)의 제1방향에 수직인 제2방향(x축 방향)으로의 폭

도 마찬가지로 대략 270nm일 수 있다.

[0035] 복수개의 제1연결부(CP1)들 각각은 이러한 제1-1라인(L1-1)과 제1-2라인(L1-2)을 연결한다. 복수개의 제1연결부(CP1)들 각각의 제1-1라인(L1-1)과 만나는 부분에서의 제1방향(y축 방향)으로의 폭(W_2)은 대략 380nm일 수 있다. 이러한 복수개의 제1연결부(CP1)들 각각은, 제1도전층(CL1)에 수직인 방향(z축 방향)에서 바라볼 시, 절곡부를 갖는다. 구체적으로, 도 3에 도시된 것과 같이 제1도전층(CL1)에 수직인 방향(z축 방향)에서 바라볼 시, 복수개의 제1연결부(CP1)들 각각은 1회 절곡된 형상을 가질 수 있다. 이에 따라, 제1도전층(CL1)에 수직인 방향(z축 방향)에서 바라볼 시, 복수개의 제1연결부(CP1)들 각각은 "V" 형상을 가질 수 있다. "V" 형상을 갖는 제1연결부(CP1)의 절곡부에서의 두 가지들 사이의 각도(θ)는 57.6° 일 수 있다. 이 각도(θ)는 도 10을 참조하여 후술할 y축 방향으로 편광된 고주파 광선의 주파수를 결정한다.

[0036] 제1도전층(CL1)에 수직인 방향(z축 방향)에서 바라볼 시, 복수개의 제1연결부(CP1)들은 상호 평행할 수 있다. 그리고 도 3에 도시된 것과 같이, 제1-1라인(L1-1), 제1-2라인(L1-2) 및 복수개의 제1연결부(CP1)들은 일체(一體)일 수 있다. 아울러 도 2에 도시된 것과 같이, 제1-1라인(L1-1)의 (-y 방향) 일단과 제1-2라인(L1-2)의 (-y 방향) 일단이 서로 연결되거나, 제1-1라인(L1-1)의 (+y 방향) 타단과 제1-2라인(L1-2)의 (+y 방향) 타단이 서로 연결될 수 있다. 도 2에서는 제1-1라인(L1-1)의 (-y 방향) 일단과 제1-2라인(L1-2)의 (-y 방향) 일단이 서로 연결되고, 제1-1라인(L1-1)의 (+y 방향) 타단과 제1-2라인(L1-2)의 (+y 방향) 타단도 서로 연결되는 것으로 도시하고 있다.

[0037] 이러한 제1패턴세트(PS1)들은 도 2에 도시된 것과 같이, 제1도전층(CL1)에 수직인 방향(z축 방향)에서 바라볼 시, 제2방향(x축 방향)을 따라 상호 이격되어 평행하게 배치될 수 있다. 도 3에서는 제1패턴세트(PS1)의 제2방향(x축 방향)으로의 폭(L)이 1200nm인 경우를 도시하고 있다. 이 폭(L)은 도 9를 참조하여 후술하는 x축 방향으로 편광된 입사 광선의 주파수 w 를 결정한다. 이러한 제1패턴세트(PS1)들이 제2방향(x축 방향)에 있어서 반복하여 나타나는 피치거리(P_x)는 1450nm일 수 있다. 참고로 제1패턴세트(PS1)의 제1방향(y축 방향)을 따라 반복되는 단위구조가 나타나는 피치거리(P_y)는 1200nm일 수 있다.

[0038] 그리고 이러한 제1패턴세트(PS1)들은 상호 전기적으로 연결될 수 있다. 즉, 제1-1라인(L1-1)의 (-y 방향) 일단과 제1-2라인(L1-2)의 (-y 방향) 일단이 복수개의 제1패턴세트(PS1)들에 있어서 서로 연결되거나, 제1-1라인(L1-1)의 (+y 방향) 타단과 제1-2라인(L1-2)의 (+y 방향) 타단이 복수개의 제1패턴세트(PS1)들에 있어서 서로 연결될 수 있다. 도 2에서는 제1-1라인(L1-1)의 (-y 방향) 일단과 제1-2라인(L1-2)의 (-y 방향) 일단이 복수개의 제1패턴세트(PS1)들에 있어서 서로 연결되고, 제1-1라인(L1-1)의 (+y 방향) 타단과 제1-2라인(L1-2)의 (+y 방향) 타단도 복수개의 제1패턴세트(PS1)들에 있어서 서로 연결되는 것으로 도시하고 있다.

[0039] 도 4 내지 도 6은 도 2에 도시된 것과 같은 광학 소자가 구비하는 다중 양자우물층(MQL) 양단에 인가된 전위차의 변화에 따라 다중 양자우물층(MQL)에 흡수되는 광의 파장이 달라지는 것을 보여주는 그래프들이다.

[0040] 구체적으로, 도 4 내지 도 6은 다중 양자우물층(MQL)의 일부분의 전도대 다이어그램, 즉 4개의 장벽층들 사이에 3개의 우물층들이 위치한 부분의 전도대 다이어그램이다. 도 4 내지 도 6에서 가로축은 각각의 층들의 두께를 의미하고 그 단위는 nm이며, 세로축은 에너지를 의미하고 그 단위는 meV이다. 장벽층들 각각은 $\text{Al}_{0.48}\text{In}_{0.52}\text{As}$ 로 형성하고, 우물층들 각각은 $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$ 로 형성하였다.

[0041] 도 4 내지 도 6의 그래프는, 4개의 장벽층들 사이에 4.6nm, 2.0nm 및 1.8nm의 두께를 갖는 3개의 양자 우물들을 가지는 단위구조가 20번 반복된 구성을 갖는 다중 양자우물층(MQL)의 양단에 인가되는 전위차를 변화시킬 때, 다중 양자우물층(MQL)에 흡수되는 광의 파장이 달라지는 것을 보여주는 그래프들이다. 즉, 주파수 w 의 광은 다중 양자우물층(MQL)에 입사하여 다중 양자우물층(MQL) 내의 전자 부밴드 전이에 사용될 수 있다. 예컨대 주파수 w 의 광은 L1에서 L2로의 전이와 같은, 전자 부밴드 전이에 사용될 수 있다. 이러한 주파수 w 의 광은 다중 양자우물층(MQL)에 흡수되는 것으로 이해될 수 있다. 여기서 주파수 w 는 다중 양자우물층(MQL)의 양단에 인가되는 전위차가 변화에 따라 변할 수 있다.

[0042] 도 4에 도시된 것과 같이, L1으로 표시된 에너지를 갖는 전자들은 대부분 첫 번째 양자우물(WL1)에 속박된다. 마찬가지로, L2로 표시된 에너지를 갖는 전자들은 대부분 두 번째 양자우물(WL2)에 속박되고, L3로 표시된 에너지를 갖는 전자들은 대부분 세 번째 양자우물(WL3)에 속박된다.

[0043] 다중 양자우물층(MQL)의 양단에 전위차를 인가하지 않을 경우, 도 4에 도시된 것과 같이 장벽층의 전도대(CB1, conduction band)와 우물층의 전도대(CB2)는 대략 평탄한 형상을 갖는다. 전자는 L1으로 표시된 에너지를 갖은

상태에서 입사하는 광의 에너지를 흡수하여 L2로 표시된 에너지를 갖게 된다. L2로 표시된 에너지와 L1으로 표시된 에너지의 차이 E_{12} 는 126meV이다. 즉, 다중 양자우물층(MQL)의 양단에 전위차를 인가하지 않은 경우, 다중 양자우물층(MQL)은 $E=hc/\lambda$ 에 의해 126meV에 대응하는 파장을 갖는 광을 흡수한다. 마찬가지로 전자는 L2로 표시된 에너지를 갖은 상태에서 입사하는 광의 에너지를 흡수하여 L3로 표시된 에너지를 갖게 된다. L3로 표시된 에너지와 L2로 표시된 에너지의 차이 E_{23} 는 133meV이다. 즉, 다중 양자우물층(MQL)의 양단에 전위차를 인가하지 않은 경우, 다중 양자우물층(MQL)은 $E=hc/\lambda$ 에 의해 133meV에 대응하는 파장을 갖는 광을 흡수한다. 마찬가지로 전자는 L1으로 표시된 에너지를 갖은 상태에서 입사하는 광의 에너지를 흡수하여 L3로 표시된 에너지를 갖게 된다. L3로 표시된 에너지와 L1으로 표시된 에너지의 차이 E_{13} 는 260meV이다. 즉, 다중 양자우물층(MQL)의 양단에 전위차를 인가하지 않은 경우, 다중 양자우물층(MQL)은 $E=hc/\lambda$ 에 의해 260meV에 대응하는 파장을 갖는 광을 흡수한다.

[0044] 도 5에 도시된 것과 같이, 다중 양자우물층의 양단에 +4V의 전위차를 인가한 경우, 장벽층의 전도대(CB1)와 우물층의 전도대(CB2)는 도 5에 도시된 것과 같이 높은 전위에 해당하는 쪽의 에너지 준위가 높아지도록 기울어진 형상을 갖는다.

[0045] 전자는 역시 L1으로 표시된 에너지를 갖은 상태에서 입사하는 광의 에너지를 흡수하여 L2로 표시된 에너지를 갖게 된다. 도 5에 도시된 것과 같은 상황에서 L2로 표시된 에너지와 L1으로 표시된 에너지의 차이 E_{12} 는 171meV으로, 다중 양자우물층(MQL)의 양단에 전위차를 인가하지 않은 도 4에 도시된 경우의 에너지 차이 E_{12} 인 126meV보다 크게 된다. 따라서 도 5에 도시된 것과 같은 경우, L1으로 표시된 에너지를 갖은 상태의 전자가 L2로 표시된 에너지를 갖게 되기 위해서는, 다중 양자우물층(MQL)의 양단에 전위차를 인가하지 않은 도 4에 도시된 것과 같은 경우보다 더 짧은 파장의 광을 흡수한다.

[0046] 반면 도 5에 도시된 것과 같은 상황에서 L3로 표시된 에너지와 L2로 표시된 에너지의 차이 E_{23} 는 125meV으로, 다중 양자우물층(MQL)의 양단에 전위차를 인가하지 않은 도 4에 도시된 경우의 에너지 차이 E_{23} 인 133meV보다 작게 된다. 따라서 도 5에 도시된 것과 같은 경우, L2로 표시된 에너지를 갖은 상태의 전자가 L3로 표시된 에너지를 갖게 되기 위해서는, 다중 양자우물층(MQL)의 양단에 전위차를 인가하지 않은 도 4에 도시된 것과 같은 경우보다 더 긴 파장의 광을 흡수한다.

[0047] 도 5에 도시된 것과 같은 상황에서 L3로 표시된 에너지와 L1으로 표시된 에너지의 차이 E_{13} 는 296meV으로, 다중 양자우물층(MQL)의 양단에 전위차를 인가하지 않은 도 4에 도시된 경우의 에너지 차이 E_{13} 인 260meV보다 크게 된다. 따라서 도 5에 도시된 것과 같은 경우, L1으로 표시된 에너지를 갖은 상태의 전자가 L3로 표시된 에너지를 갖게 되기 위해서는, 다중 양자우물층(MQL)의 양단에 전위차를 인가하지 않은 도 4에 도시된 것과 같은 경우보다 더 짧은 파장의 광을 흡수한다.

[0048] 도 6에 도시된 것과 같이, 다중 양자우물층의 양단에 -4V의 전위차를 인가한 경우, 장벽층의 전도대(CB1)와 우물층의 전도대(CB2)는 도 6에 도시된 것과 같이 낮은 전위에 해당하는 쪽의 에너지 준위가 낮아지도록 기울어진 형상을 갖는다.

[0049] 도 6에 도시된 그래프와 비교할 시 에너지 준위는 반대 방향으로 기울어진 형상을 갖는다. 전자는 L1으로 표시된 에너지를 갖은 상태에서 입사하는 광의 에너지를 흡수하여 L2로 표시된 에너지를 갖게 된다. 도 6에 도시된 것과 같은 상황에서 L2로 표시된 에너지와 L1으로 표시된 에너지의 차이 E_{12} 는 88meV이며, 다중 양자우물층(MQL)의 양단에 전위차를 인가하지 않은 도 4에 도시된 경우의 에너지 차이 E_{12} 인 126meV보다 작게 된다. 따라서 도 6에 도시된 것과 같은 경우, L1으로 표시된 에너지를 갖은 상태의 전자가 L2로 표시된 에너지를 갖게 되기 위해서는, 다중 양자우물층(MQL)의 양단에 전위차를 인가하지 않은 도 4에 도시된 것과 같은 경우보다 더 긴 파장의 광을 흡수한다.

[0050] 반면 도 6에 도시된 것과 같은 상황에서 L3로 표시된 에너지와 L2로 표시된 에너지의 차이 E_{23} 는 138meV으로, 다중 양자우물층(MQL)의 양단에 전위차를 인가하지 않은 도 4에 도시된 경우의 에너지 차이 E_{23} 인 133meV보다 크게 된다. 따라서 도 6에 도시된 것과 같은 경우, L2로 표시된 에너지를 갖은 상태의 전자가 L3로 표시된 에너지를 갖게 되기 위해서는, 다중 양자우물층(MQL)의 양단에 전위차를 인가하지 않은 도 4에 도시된 것과 같은 경우보다 더 짧은 파장의 광을 흡수한다.

- [0051] 도 6에 도시된 것과 같은 상황에서 L3로 표시된 에너지와 L1으로 표시된 에너지의 차이 E_{13} 는 226meV으로, 다중 양자우물층(MQL)의 양단에 전위차를 인가하지 않은 도 4에 도시된 경우의 에너지 차이 E_{13} 인 260meV보다 크게 된다. 따라서 도 6에 도시된 것과 같은 경우, L1으로 표시된 에너지를 갖은 상태의 전자가 L3로 표시된 에너지를 갖게 되기 위해서는, 다중 양자우물층(MQL)의 양단에 전위차를 인가하지 않은 도 4에 도시된 것과 같은 경우보다 더 짧은 파장의 광을 흡수한다.
- [0052] 이처럼 다중 양자우물층의 양단에 인가되는 전위차를 조절함으로써, 다중 양자우물층이 흡수하는 광의 파장을 정밀하게 조절할 수 있다.
- [0053] 도 7은 도 2의 광학 소자가 구비하는 다중 양자우물층(MQL)의 전압 변화에 따른 2차 비선형 전기 감수율(2^{nd} order nonlinear susceptibility, $\chi_{zzz}^{(2)}$)의 크기 변화를 보여주는 그래프이다. 도 7에서 확인할 수 있는 것과 같이, 다중 양자우물층(MQL)에 인가되는 전압을 조절하여, 2차 비선형 전기 감수율의 크기를 제어할 수 있다. 예컨대 $10\mu m$ 파장의 경우, 다중 양자우물층(MQL)에 인가되는 전압이 -4V에서 0V로 증가함에 따라 2차 비선형 전기 감수율의 크기가 증가하지만, 다중 양자우물층(MQL)에 인가되는 전압이 0V에서 4V로 증가하는 과정에서는 2차 비선형 전기 감수율의 크기가 감소한다는 것을 알 수 있다.
- [0054] 도 8은 도 2의 광학 소자가 구비하는 다중 양자우물층(MQL)의 전압 변화에 따른 2차 비선형 전기 감수율의 위상 변화를 보여주는 그래프이다. 도 8에서 확인할 수 있는 것과 같이, 다중 양자우물층(MQL)에 인가되는 전압을 조절하여, 2차 비선형 전기 감수율의 위상을 제어할 수 있다. 예컨대 $10\mu m$ 파장의 경우, 다중 양자우물층(MQL)에 인가되는 전압이 -4V에서 4V로 증가함에 따라 2차 비선형 전기 감수율의 위상은 180° 에서 0° 를 거쳐 -180° 로 바뀐다는 것을 알 수 있다. 이에 따라, 다중 양자우물(MQL)에 인가되는 전압을 조절하여 광학 소자에서 방출되는 광의 진행 방향을 조절할 수 있음을 알 수 있다.
- [0055] 도 9 및 도 10은 본 발명의 일 실시예에 따른 광학 소자가 구비하는 제1패턴세트(PS1)에서 입사광에 의해 발생하는 국소적인 전기장 강화 정도를, 제1패턴세트(PS1) 내의 영역에 따라 보여주는 개념도들이다.
- [0056] 구체적으로, 도 9는 플라즈모닉 공진구조가 제2방향(x축 방향)으로 편광된 주파수 w 의 입사광을 흡수하여 제1패턴세트(PS1)에서 발생하는 국소적인 전기장 강화 정도를 보여준다. 도 9에 도시된 것과 같이, 제2방향(x축 방향)으로 편광된 주파수 w 의 입사광을 흡수하여, 복수개의 제1연결부(CP1)들에 의해 연결된 제1-1라인(L1-1)과 제1-2라인(L1-2)에서 쌍극자 전기장 모드를 형성할 수 있다. 도 10은 플라즈모닉 공진구조가 제1방향(y축 방향)으로 편광된 제2고조파, 즉 주파수 $2w$ 의 입사광을 흡수하여 제1패턴세트(PS1)에서 발생하는 국소적인 전기장 강화 정도를 보여준다. 도 10에 도시된 것과 같이, 제1방향(y축 방향)으로 편광된 제2고조파, 즉 주파수 $2w$ 의 입사광을 흡수하여, 제1-1라인(L1-1) 및 제1-2라인(L1-2)과 제1연결부(CP1) 사이에서 쌍극자 전기장 모드를 형성할 수 있다.
- [0057] 도 2에 도시된 것과 같이 도전층들(CL1, CL2a, CL2b)과 제1패턴세트(PS1) 사이에 전위차(V_1)를 인가하면, 이처럼 도 7과 도 8을 참조하여 전술한 것과 같은 광학 소자가 구비하는 다중 양자우물층(MQL)의 전압 변화에 따른 2차 비선형 전기 감수율의 크기 변화와 위상 변화 효과와, 도 9 및 도 10을 참조하여 상술한 것과 같은 광학 소자가 구비하는 제1패턴세트(PS1)에서 입사광에 의해 발생하는 쌍극자 전기장 모드의 효과가 결합하여, 도 11의 그래프에서 확인할 수 있는 것과 같이 광학 소자에 인가되는 전압 변화에 따라 유효 2차 비선형 전기 감수율의 크기를 변화시킬 수 있고, 도 12의 그래프에서 확인할 수 있는 것과 같이 광학 소자에 인가되는 전압 변화에 따라 유효 2차 비선형 전기 감수율의 위상을 변화시킬 수 있다.
- [0058] 즉, 도 2에 도시된 것과 같이 도전층들(CL1, CL2a, CL2b)과 제1패턴세트(PS1) 사이에 전위차(V_1)를 인가하면, 도 9 및 도 10에 도시된 것과 같은, 광학 소자가 구비하는 제1패턴세트(PS1)의 플라즈모닉 공진구조에 의해 다중 양자우물층(MQL) 내부에 유도되는 전기장 분포에 의해 자유공간에서 효율적인 고조파가 생성되며, 이는 도 7 및 도 8을 참조하여 전술한 것과 같은 다중 양자우물층(MQL)에서의 2차 비선형 전기 감수율에 의해, 도 11 및 도 12의 그래프에서 확인할 수 있는 것과 같이 광학 소자에 인가되는 전압 변화에 따라 유효 2차 비선형 전기 감수율의 크기와 위상을 변화시킬 수 있는 결과를 가져올 수 있다.
- [0059] 도 11 및 도 12의 A 영역에서 확인할 수 있듯이, 이 파장대역에서는 전압에 따른 유효 2차 비선형 전기 감수율의 크기를 90% 이상 변화시킬 수 있고, 전압에 따른 유효 2차 비선형 전기 감수율의 위상을 100° 이하에서 변화시킬 수 있다. 그리고 도 11 및 도 12의 B 영역에서 확인할 수 있듯이, 이 파장대역에서는 전압에 따른 유효

2차 비선형 전기 감수율의 크기를 50% 이하에서 변화시킬 수 있고, 전압에 따른 유효 2차 비선형 전기 감수율의 위상을 140° 이상에서 변화시킬 수 있다.

[0060] 도 13은 본 발명의 일 실시예에 따른 광학 소자에서의 전압 변화에 따른 비선형 메타표면에서 생성된 제2고조파의 파워 변화를 보여주는 그래프로서, 각 파장에서 입력 전압을 +4V에서 -4V까지 1V 단위로 변화시키며 측정된 데이터를 바탕으로 한 그래프이다. 도 13의 $9.5\mu\text{m}$ 의 파장에서 확인할 수 있듯이, 전압이 +4V에서 -4V까지 변화에 따라 약 30배의 파워 변화가 발생함을 확인할 수 있다. 그리고 $10.0\mu\text{m}$ 의 파장에서 확인할 수 있듯이, 전압이 +4V에서 -4V까지 변화에 따라 약 140° 의 위상 변화를 확인할 수 있다.

[0061] 이러한 본 실시예에 따른 광학 소자를 이용할 경우, 도 2에 도시된 것과 같이 w의 주파수를 가진 입사광(IL)이 도전층들(CL1, CL2a, CL2b)에 수직인 방향(z축 방향)으로 입사하면, 2w의 주파수를 가진 반사광(RL)이 도전층들(CL1, CL2a, CL2b)에 수직인 방향(z축 방향)으로 반사된다. 이처럼 본 실시예에 따른 광학 소자를 이용하여, 특정 파장의 주파수를 가진 반사광(RL)이 광학 소자로부터 방출되도록 할 수 있다. 참고로 반사광(RL)이라는 용어를 사용하였지만 이는 편의상 그와 같은 용어를 사용한 것일 뿐이다. 즉, w의 주파수를 가진 입사광(IL)이 도전층들(CL1, CL2a, CL2b)에 수직인 방향(z축 방향)으로 입사하면, 광학 소자는 이러한 입사광을 흡수한 후 2w의 주파수를 가진 광을 생성하여 도전층들(CL1, CL2a, CL2b)에 수직인 방향(z축 방향)으로 방출할 수 있다. 이처럼 본 실시예에 따른 광학 소자는 w의 주파수를 가진 광을 이용하여 2w의 주파수를 광을 생성하는데 사용될 수 있다.

[0062] 도 14는 본 발명의 일 실시예에 따른 광학 소자를 개략적으로 도시하는 사시도이다. 본 실시예에 따른 광학 소자는, 제1패턴세트(PS1) 외에 제2패턴세트(PS2)를 더 구비한다. 도 15는 도 14의 광학 소자의 일부분을 확대하여 개략적으로 도시하는 사시도로서, 제1패턴세트(PS1)와 제2패턴세트(PS2)의 경계에서의 광학 소자의 일부분을 확대하여 개략적으로 도시하는 사시도이다.

[0063] 제2패턴세트(PS2)는 제2-1라인(L2-1), 제2-2라인(L2-2) 및 복수개의 제2연결부(CP2)들을 포함한다.

[0064] 제1도전층(CL1)에 수직인 방향(z축 방향)에서 바라볼 시, 상호 평행하도록 이격된 제2-1라인(L2-1)과 제2-2라인(L2-2)은 제1방향(y축 방향)으로 연장된 형상을 갖는다. 제2-1라인(L2-1)의 제1방향에 수직인 제2방향(x축 방향)으로의 폭(W_1)은 대략 270nm 일 수 있다. 제2-2라인(L2-2)의 제1방향에 수직인 제2방향(x축 방향)으로의 폭도 마찬가지로 대략 270nm 일 수 있다.

[0065] 복수개의 제2연결부(CP2)들 각각은 이러한 제2-1라인(L2-1)과 제2-2라인(L2-2)을 연결한다. 복수개의 제2연결부(CP2)들 각각의 제2-1라인(L2-1)과 만나는 부분에서의 제1방향(y축 방향)으로의 폭(W_2)은 대략 380nm 일 수 있다. 이러한 복수개의 제2연결부(CP2)들 각각은, 제1도전층(CL1)에 수직인 방향(z축 방향)에서 바라볼 시, 절곡부를 갖는다. 구체적으로, 도 14 및 도 15에 도시된 것과 같이 제1도전층(CL1)에 수직인 방향(z축 방향)에서 바라볼 시, 복수개의 제2연결부(CP2)들 각각은 1회 절곡된 형상을 가질 수 있다. 이에 따라, 제1도전층(CL1)에 수직인 방향(z축 방향)에서 바라볼 시, 복수개의 제2연결부(CP2)들 각각은 "V" 형상을 가질 수 있다. "V" 형상을 갖는 제2연결부(CP2)의 절곡부에서의 두 가지들 사이의 각도(θ)는 57.6° 일 수 있다.

[0066] 제1도전층(CL1)에 수직인 방향(z축 방향)에서 바라볼 시, 복수개의 제2연결부(CP2)들은 상호 평행할 수 있다. 그리고 도 15에 도시된 것과 같이, 제2-1라인(L2-1), 제2-2라인(L2-2) 및 복수개의 제2연결부(CP2)들은 일체(一體)일 수 있다. 아울러 제2-1라인(L2-1)의 (-y 방향) 일단과 제2-2라인(L2-2)의 (-y 방향) 일단이 서로 연결되거나, 제2-1라인(L2-1)의 (+y 방향) 타단과 제2-2라인(L2-2)의 (+y 방향) 타단이 서로 연결될 수 있다. 도 14에서는 제1-1라인(L1-1)의 (-y 방향) 일단과 제1-2라인(L1-2)의 (-y 방향) 일단이 서로 연결되고, 제2-1라인(L2-1)의 (+y 방향) 타단과 제2-2라인(L2-2)의 (+y 방향) 타단이 서로 연결되는 것으로 도시하고 있다.

[0067] 제1패턴세트(PS1)들이 제1도전층(CL1)에 수직인 방향(z축 방향)에서 바라볼 시 제2방향(x축 방향)을 따라 상호 이격되어 평행하게 배치되는 것과 마찬가지로, 도 14에 도시된 것과 같이 제2패턴세트(PS2)들도 제1도전층(CL1)에 수직인 방향(z축 방향)에서 바라볼 시 제2방향(x축 방향)을 따라 상호 이격되어 평행하게 배치될 수 있다. 도 14에서는 제1패턴세트(PS1)가 제2방향(x축 방향)으로 6개가 배치되고, 마찬가지로 제2패턴세트(PS2)가 제2방향(x축 방향)으로 6개가 배치되는 것으로 도시하고 있다. 이러한 6개의 제1패턴세트(PS1)들과 6개의 제2패턴세트(PS2)들을 포함하는 복합세트의 제2방향(x축 방향)으로의 길이(Γ)는 $17.5\mu\text{m}$ 이다. 그리고 이러한 복합세트가 제2방향(x축 방향)을 따라 반복하여 배치되도록 할 수 있다.

[0068] 제1패턴세트(PS1)들은 상호 전기적으로 연결될 수 있고, 제2패턴세트(PS2)들은 상호 전기적으로 연결될 수

있다. 물론 제1패턴세트(PS1)들과 제2패턴세트(PS2)들은 상호 전기적으로 절연될 수 있다.

- [0069] 도 14에 도시된 것과 같이 도전층들(CL1, CL2a, CL2b)과 제1패턴세트(PS1) 사이에는 V_{2a} 의 전위차를 인가하고, 도전층들(CL1, CL2a, CL2b)과 제2패턴세트(PS2) 사이에는 V_{2b} 의 전위차를 인가할 수 있다. 도 16은 도 15의 광학 소자에 입력되는 전압 변화에 의해 반사광의 방위각에 따른 반사광의 강도 변화를 보여주는 그래프이다. 반사광의 강도는 정규화를 통해 0 내지 1의 범위를 갖도록 하여 그래프에 나타내었다.
- [0070] 도 16에 도시된 것과 같이, 도전층들(CL1, CL2a, CL2b)과 제1패턴세트(PS1) 사이에 인가되는 전위차(V_{2a})와 도전층들(CL1, CL2a, CL2b)과 제2패턴세트(PS2) 사이에 인가되는 전위차(V_{2b})가 모두 0V인 경우, 반사광의 방위각은 0° 이다. 즉, w의 주파수를 가진 입사광(IL)이 도전층들(CL1, CL2a, CL2b)에 수직인 방향(z축 방향)으로 입사하면, 도전층들(CL1, CL2a, CL2b)에 수직인 방향으로 반사광이 방출된다.
- [0071] 도전층들(CL1, CL2a, CL2b)과 제1패턴세트(PS1) 사이에 인가되는 전위차(V_{2a})가 0V이고 도전층들(CL1, CL2a, CL2b)과 제2패턴세트(PS2) 사이에 인가되는 전위차(V_{2b})는 3V인 경우, 반사광의 방위각은 16.7° 와 -16.7° 이다. 즉, 도 14에 도시된 것과 같이, w의 주파수를 가진 입사광(IL)이 도전층들(CL1, CL2a, CL2b)에 수직인 방향(z축 방향)으로 입사하면, 도전층들(CL1, CL2a, CL2b)에 수직인 방향(z축 방향)에 대해 16.7° 와 -16.7° 의 각도 방향으로 반사광들(RL1, RL2)이 방출된다. 이때 반사광들(RL1, RL2)의 주파수는 2w일 수 있다. 물론 이 경우에도 방위각이 0° 인 반사광도 존재한다.
- [0072] 도전층들(CL1, CL2a, CL2b)과 제1패턴세트(PS1) 사이에 인가되는 전위차(V_{2a})가 -3V이고 도전층들(CL1, CL2a, CL2b)과 제2패턴세트(PS2) 사이에 인가되는 전위차(V_{2b})는 3V인 경우, 이 경우에도 반사광의 방위각은 16.7° 와 -16.7° 이다. 즉, 도 14에 도시된 것과 같이, w의 주파수를 가진 입사광(IL)이 도전층들(CL1, CL2a, CL2b)에 수직인 방향(z축 방향)으로 입사하면, 도전층들(CL1, CL2a, CL2b)에 수직인 방향(z축 방향)에 대해 16.7° 와 -16.7° 의 각도 방향으로 반사광들(RL1, RL2)이 방출된다. 이때 반사광들(RL1, RL2)의 주파수는 2w일 수 있다. 아울러 도 16의 그래프에서 확인할 수 있는 것과 같이, 도전층들(CL1, CL2a, CL2b)과 제1패턴세트(PS1) 사이에 인가되는 전위차(V_{2a})가 0V이고 도전층들(CL1, CL2a, CL2b)과 제2패턴세트(PS2) 사이에 인가되는 전위차(V_{2b})는 3V인 경우보다, 도전층들(CL1, CL2a, CL2b)과 제1패턴세트(PS1) 사이에 인가되는 전위차(V_{2a})가 -3V이고 도전층들(CL1, CL2a, CL2b)과 제2패턴세트(PS2) 사이에 인가되는 전위차(V_{2b})는 3V인 경우, 방위각이 0° 인 반사광의 강도보다 방위각이 16.7° 와 -16.7° 인 반사광들(RL1, RL2)의 강도가 상대적으로 더 높아진다는 것을 확인할 수 있다.
- [0073] 이처럼 본 실시예에 따른 광학 소자의 경우 도전층들(CL1, CL2a, CL2b)에 수직인 방향(z축 방향)에 대해 특정 방위각으로 반사되는 반사광들을 생성할 수 있으며, 인가되는 전위를 조절하여 그러한 특정 방위각으로 반사되는 반사광들의 강도를 제어할 수 있다.
- [0074] 도 17은 본 발명의 일 실시예에 따른 광학 소자를 개략적으로 도시하는 사시도이다. 본 실시예에 따른 광학 소자는, 제1패턴세트(PS1)와 제2패턴세트(PS2) 외에 제3패턴세트(PS3)를 더 구비한다. 도 17에서는 제3패턴세트(PS3)가 제1패턴세트(PS1)들과 제2패턴세트(PS2)들 사이에 위치하는 것으로 도시하고 있다. 제3패턴세트(PS3)도 제1패턴세트(PS1)나 제2패턴세트(PS2)와 동일한 구성을 취할 수 있다. 즉, 제3패턴세트(PS3)는 제3-1라인, 제3-2라인 및 복수개의 제3연결부들을 포함할 수 있다.
- [0075] 제1도전층(CL1)에 수직인 방향(z축 방향)에서 바라볼 시, 상호 평행하도록 이격된 제3-1라인과 제3-2라인은 제1방향(y축 방향)으로 연장된 형상을 갖는다. 제3-1라인의 제1방향에 수직인 제2방향(x축 방향)으로의 폭은 대략 270nm일 수 있다. 제3-2라인의 제1방향에 수직인 제2방향(x축 방향)으로의 폭도 마찬가지로 대략 270nm일 수 있다.
- [0076] 복수개의 제2연결부들 각각은 이러한 제3-1라인과 제3-2라인을 연결한다. 복수개의 제3연결부들 각각의 제3-1라인과 만나는 부분에서의 제1방향(y축 방향)으로의 폭은 대략 380nm일 수 있다. 이러한 복수개의 제3연결부들 각각은, 제1도전층(CL1)에 수직인 방향(z축 방향)에서 바라볼 시, 절곡부를 갖는다. 구체적으로, 도 17에 도시된 것과 같이 제1도전층(CL1)에 수직인 방향(z축 방향)에서 바라볼 시, 복수개의 제3연결부들 각각은 1회 절곡된 형상을 가질 수 있다. 이에 따라, 제1도전층(CL1)에 수직인 방향(z축 방향)에서 바라볼 시, 복수개의 제3연결부들 각각은 "V" 형상을 가질 수 있다. "V" 형상을 갖는 제3연결부의 절곡부에서의 두 가지들 사이의 각도는 57.6°

° 일 수 있다.

[0077] 제1도전층(CL1)에 수직인 방향(z축 방향)에서 바라볼 시, 복수개의 제3연결부들은 상호 평행할 수 있다. 그리고 도 17에 도시된 것과 같이, 제3-1라인, 제3-2라인 및 복수개의 제3연결부(CP3)들은 일체(一體)일 수 있다.

[0078] 제1패턴세트(PS1)들과 제2패턴세트(PS2)들이 제1도전층(CL1)에 수직인 방향(z축 방향)에서 바라볼 시 제2방향(x축 방향)을 따라 상호 이격되어 평행하게 배치되는 것과 마찬가지로, 도 17에 도시된 것과 같이 제3패턴세트(PS3)들도 제1도전층(CL1)에 수직인 방향(z축 방향)에서 바라볼 시 제2방향(x축 방향)을 따라 상호 이격되어 평행하게 배치될 수 있다. 도 17에서는 제1패턴세트(PS1)가 제2방향(x축 방향)으로 4개가 배치되고, 마찬가지로 제2패턴세트(PS2)도 제2방향(x축 방향)으로 4개가 배치되며, 제1패턴세트(PS1)들과 제2패턴세트(PS2)들 사이에 위치하는 제3패턴세트(PS3)들도 제2방향(x축 방향)으로 4개가 배치되는 것으로 도시하고 있다. 이러한 4개의 제1패턴세트(PS1)들, 4개의 제2패턴세트(PS2)들 및 4개의 제3패턴세트(PS3)들을 포함하는 복합세트의 제2방향(x축 방향)으로의 길이(Γ)는 $17.5\mu\text{m}$ 이다. 그리고 이러한 복합세트가 제2방향(x축 방향)을 따라 반복하여 배치되도록 할 수 있다.

[0079] 제1패턴세트(PS1)들은 상호 전기적으로 연결될 수 있고, 제2패턴세트(PS2)들은 상호 전기적으로 연결될 수 있다. 제3패턴세트(PS3)들은 상호 전기적으로 절연될 수 있다. 물론 제1패턴세트(PS1)들과 제3패턴세트(PS3)들은 상호 전기적으로 절연되고, 제2패턴세트(PS2)들과 제3패턴세트(PS3) 역시 상호 전기적으로 절연될 수 있다.

[0080] 도 17에 도시된 것과 같이 도전층들(CL1, CL2a, CL2b)과 제1패턴세트(PS1) 사이에는 V_{3a} 의 전위차를 인가하고, 도전층들(CL1, CL2a, CL2b)과 제2패턴세트(PS2) 사이에는 V_{3b} 의 전위차를 인가할 수 있다. 제3패턴세트(PS3)들에는 아무런 전압이 인가되지 않을 수 있다.

[0081] 도 18은 도 17의 광학 소자에 입력되는 전압 변화에 의해 반사광의 방위각에 따른 반사광의 강도 변화를 보여주는 그래프이다. 반사광의 강도는 정규화를 통해 0 내지 1의 범위를 갖도록 하여 그래프에 나타내었다.

[0082] 도 18에 도시된 것과 같이, 도전층들(CL1, CL2a, CL2b)과 제1패턴세트(PS1) 사이에 인가되는 전위차(V_{3a})와 도전층들(CL1, CL2a, CL2b)과 제2패턴세트(PS2) 사이에 인가되는 전위차(V_{3b})가 모두 0V인 경우, 반사광의 방위각은 0° 이다. 즉, w의 주파수를 가진 입사광(IL)이 도전층들(CL1, CL2a, CL2b)에 수직인 방향(z축 방향)으로 입사하면, 도전층들(CL1, CL2a, CL2b)에 수직인 방향으로 반사광이 방출된다.

[0083] 도전층들(CL1, CL2a, CL2b)과 제1패턴세트(PS1) 사이에 인가되는 전위차(V_{3a})가 -3V이고 도전층들(CL1, CL2a, CL2b)과 제2패턴세트(PS2) 사이에 인가되는 전위차(V_{3b})는 0V인 경우, 반사광의 방위각은 16.7° 이다. 즉, w의 주파수를 가진 입사광(IL)이 도전층들(CL1, CL2a, CL2b)에 수직인 방향(z축 방향)으로 입사하면, 도전층들(CL1, CL2a, CL2b)에 수직인 방향(z축 방향)에 대해 16.7° 의 각도 방향으로 반사광(RL)이 방출된다. 이때 반사광(RL)의 주파수는 $2w$ 일 수 있다. 물론 이 경우에도 방위각이 0° 인 반사광도 존재한다.

[0084] 도전층들(CL1, CL2a, CL2b)과 제1패턴세트(PS1) 사이에 인가되는 전위차(V_{3a})가 3V이고 도전층들(CL1, CL2a, CL2b)과 제2패턴세트(PS2) 사이에 인가되는 전위차(V_{3b})는 -3V인 경우, 이 경우에는 반사광의 방위각이 -16.7° 가 된다. 즉, w의 주파수를 가진 입사광(IL)이 도전층들(CL1, CL2a, CL2b)에 수직인 방향(z축 방향)으로 입사하면, 도전층들(CL1, CL2a, CL2b)에 수직인 방향(z축 방향)에 대해 -16.7° 의 각도 방향으로 반사광(RL)이 방출된다. 이때 반사광(RL)의 주파수는 $2w$ 일 수 있다.

[0085] 이처럼 본 실시예에 따른 광학 소자의 경우 도전층들(CL1, CL2a, CL2b)에 수직인 방향(z축 방향)에 대해 특정 방위각으로 반사되는 반사광을 생성할 수 있으며, 인가되는 전위를 조절하여 반사광의 방위각이 달라지도록 제어할 수 있다.

[0086] 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

[0087] Sub: 기판 CL1: 제1도전층

CL2a, CL2b: 제2도전층 MQL: 다중 양자우물층

PS1: 제1패턴세트 L1-1: 제1-1라인

L1-2: 제1-2라인 CP1: 제1연결부

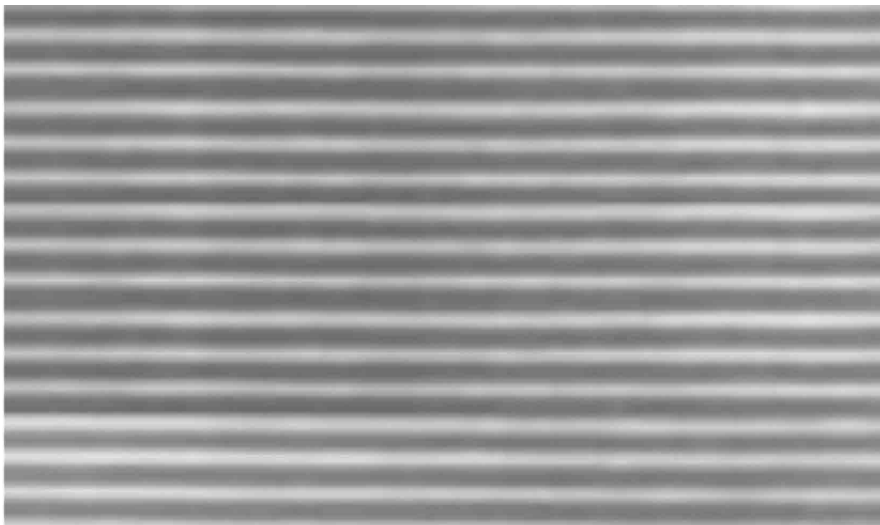
PS2: 제2패턴세트 L2-1: 제2-1라인

L2-2: 제2-2라인 CP2: 제2연결부

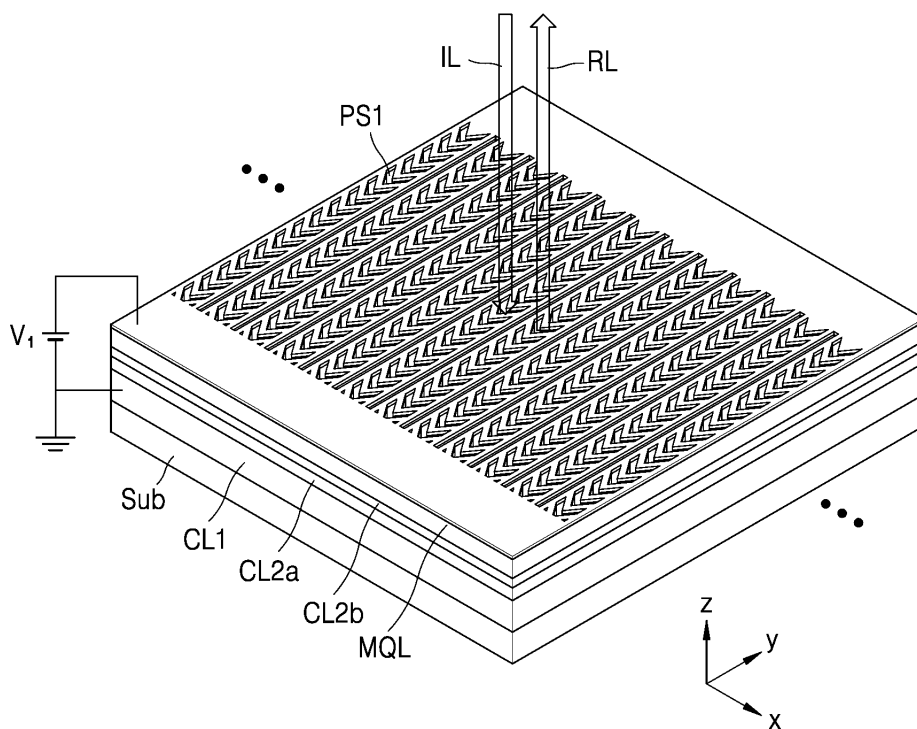
PS3: 제3패턴세트

도면

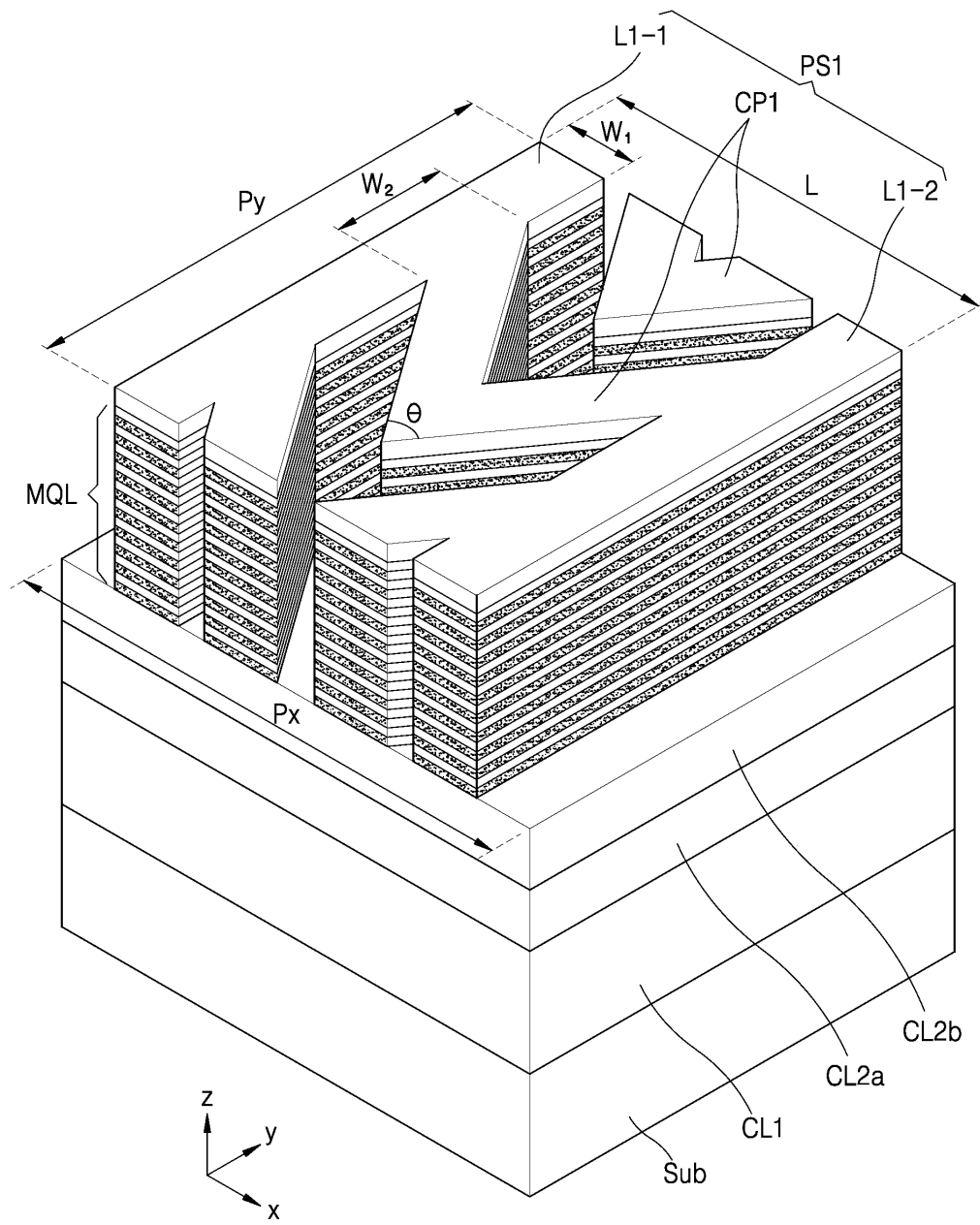
도면1



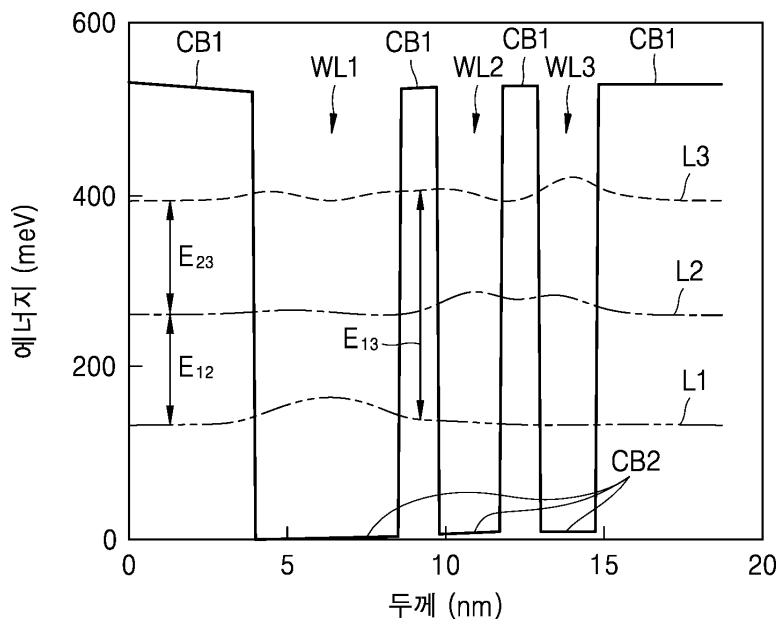
도면2



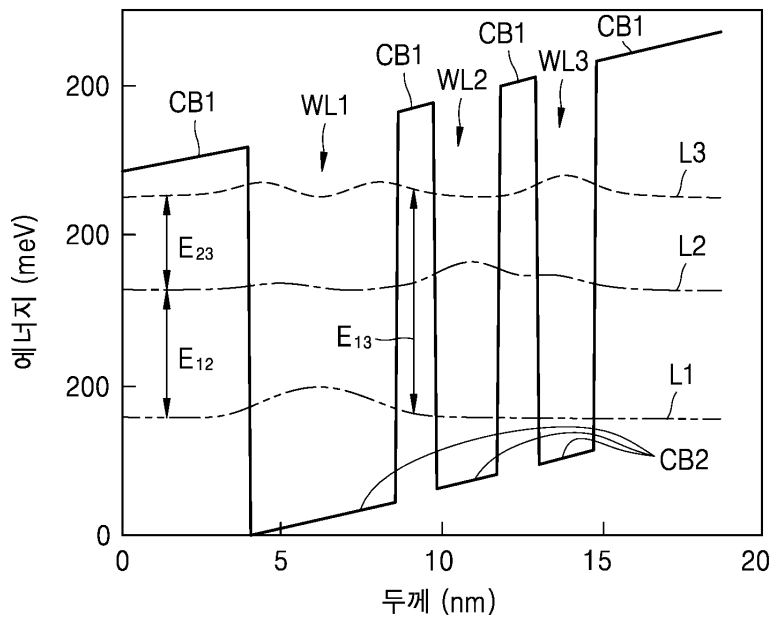
도면3



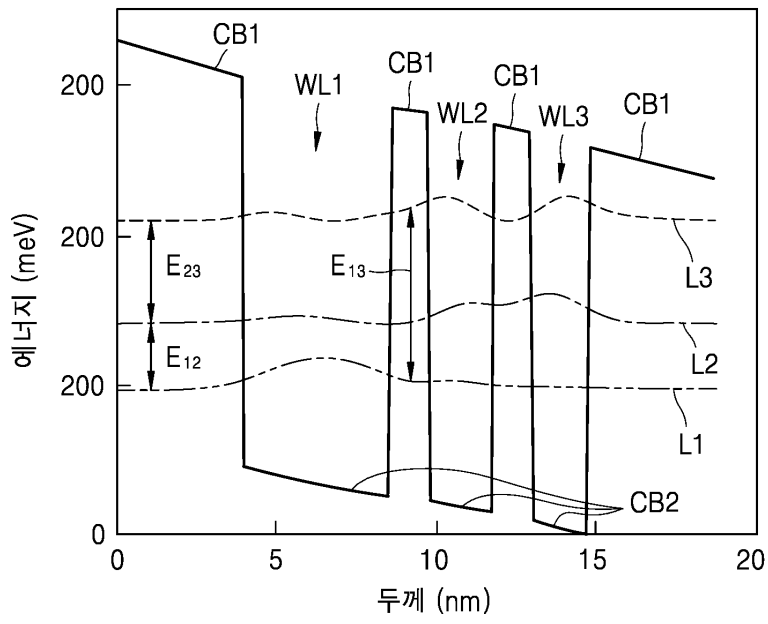
도면4



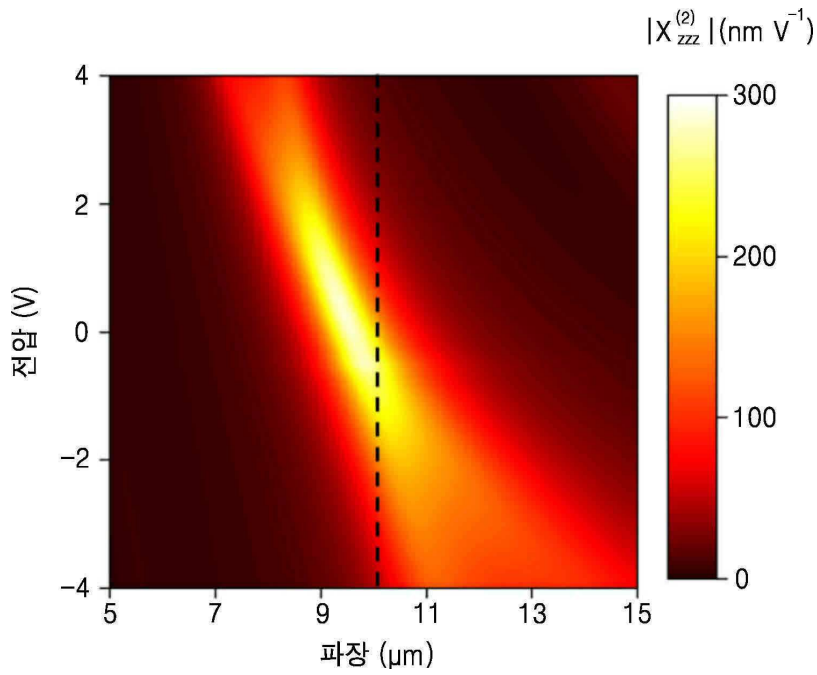
도면5



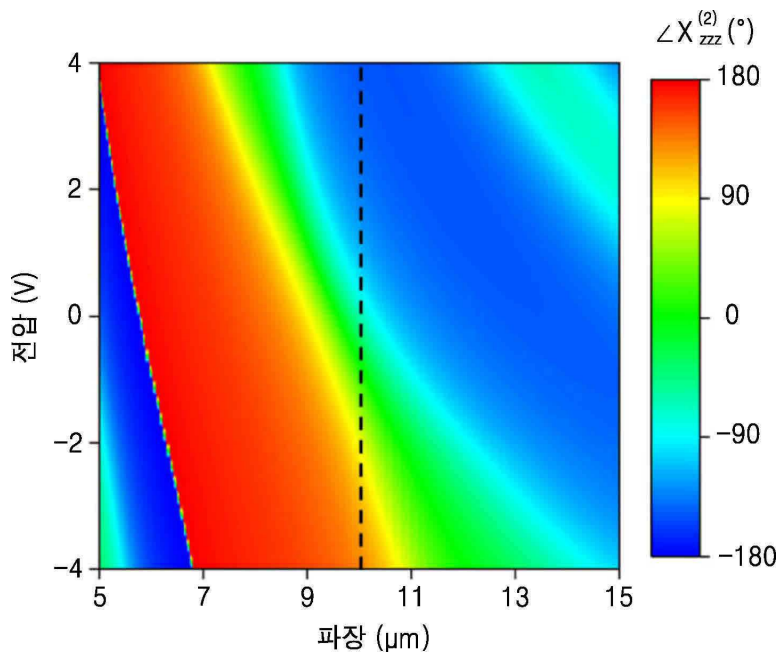
도면6



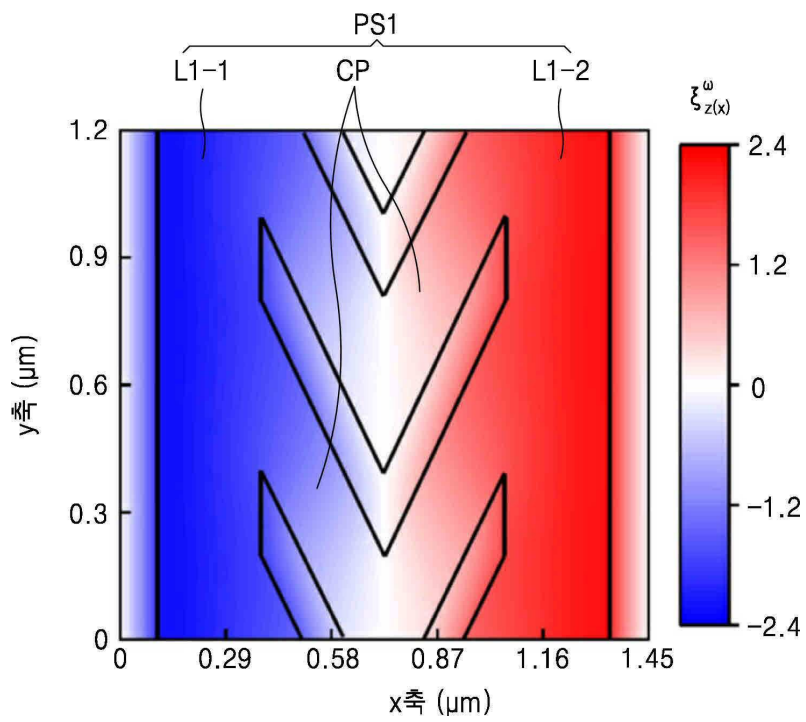
도면7



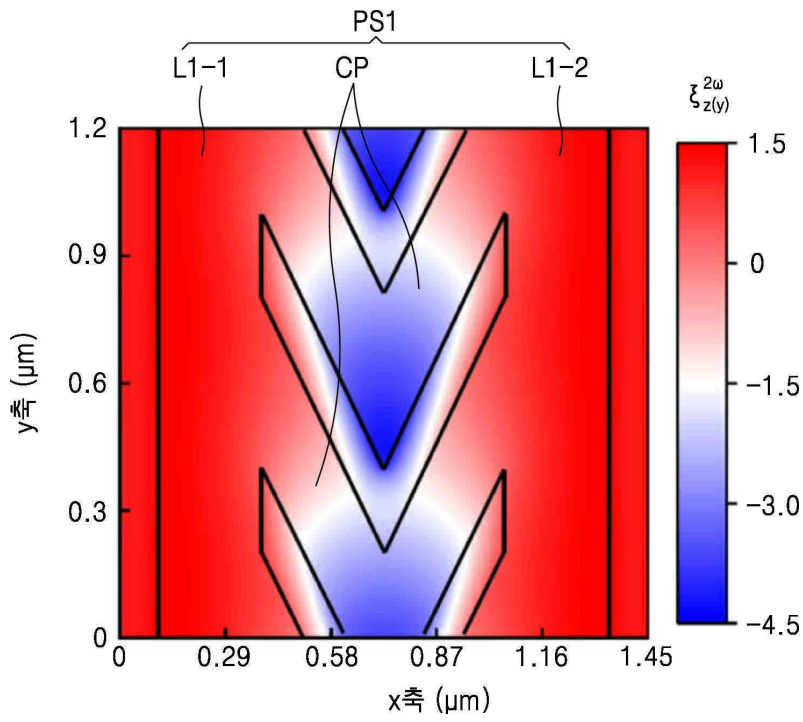
도면8



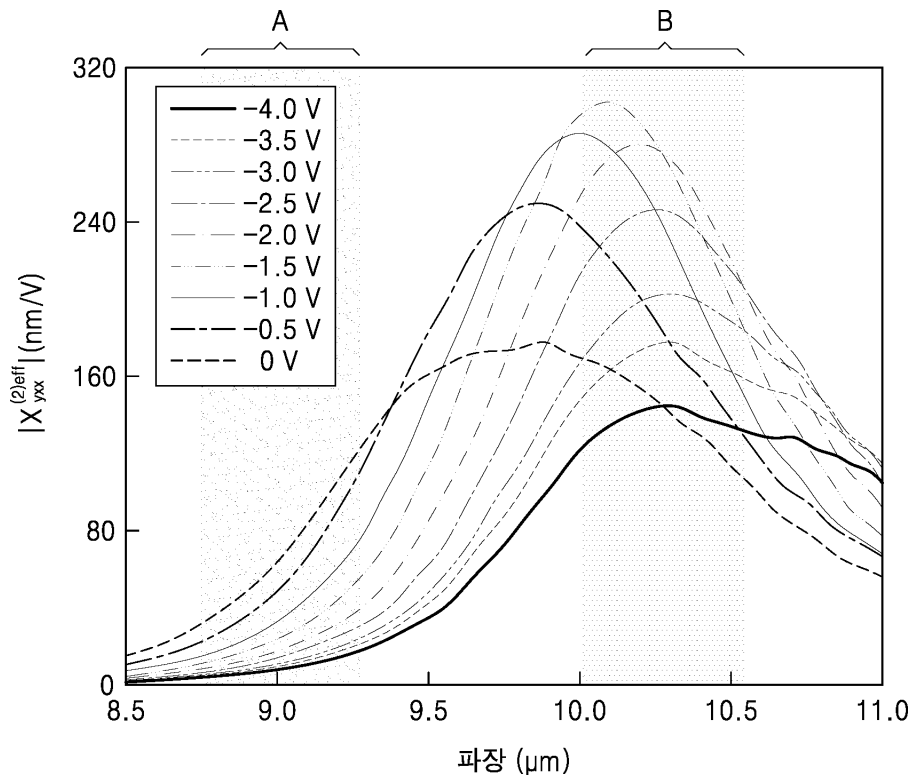
도면9



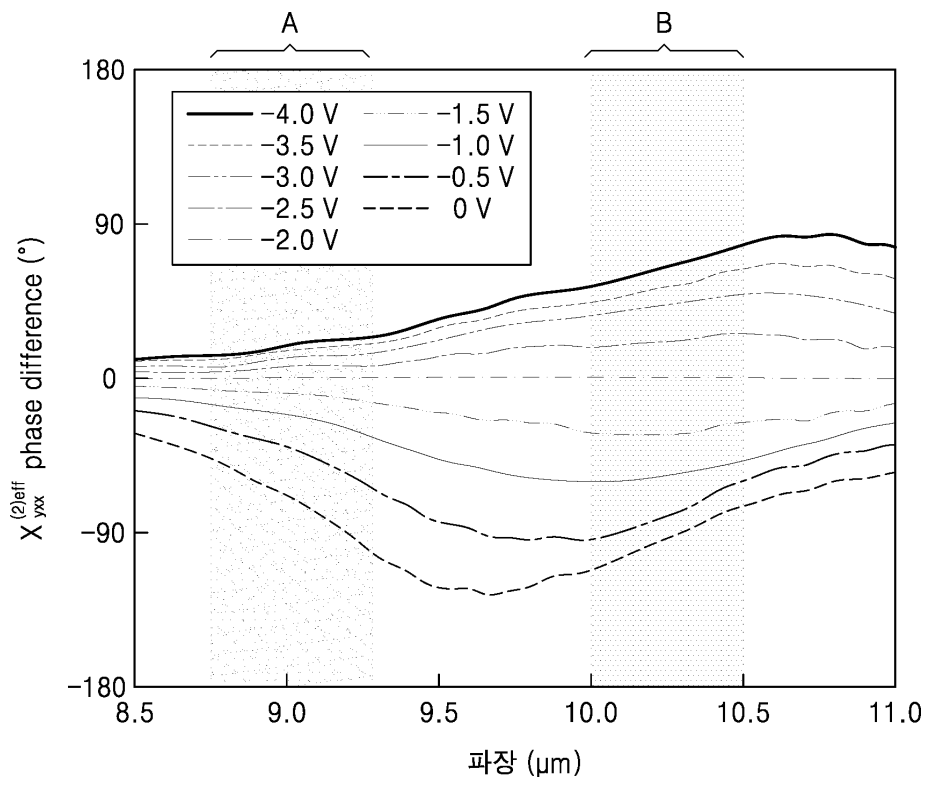
도면10



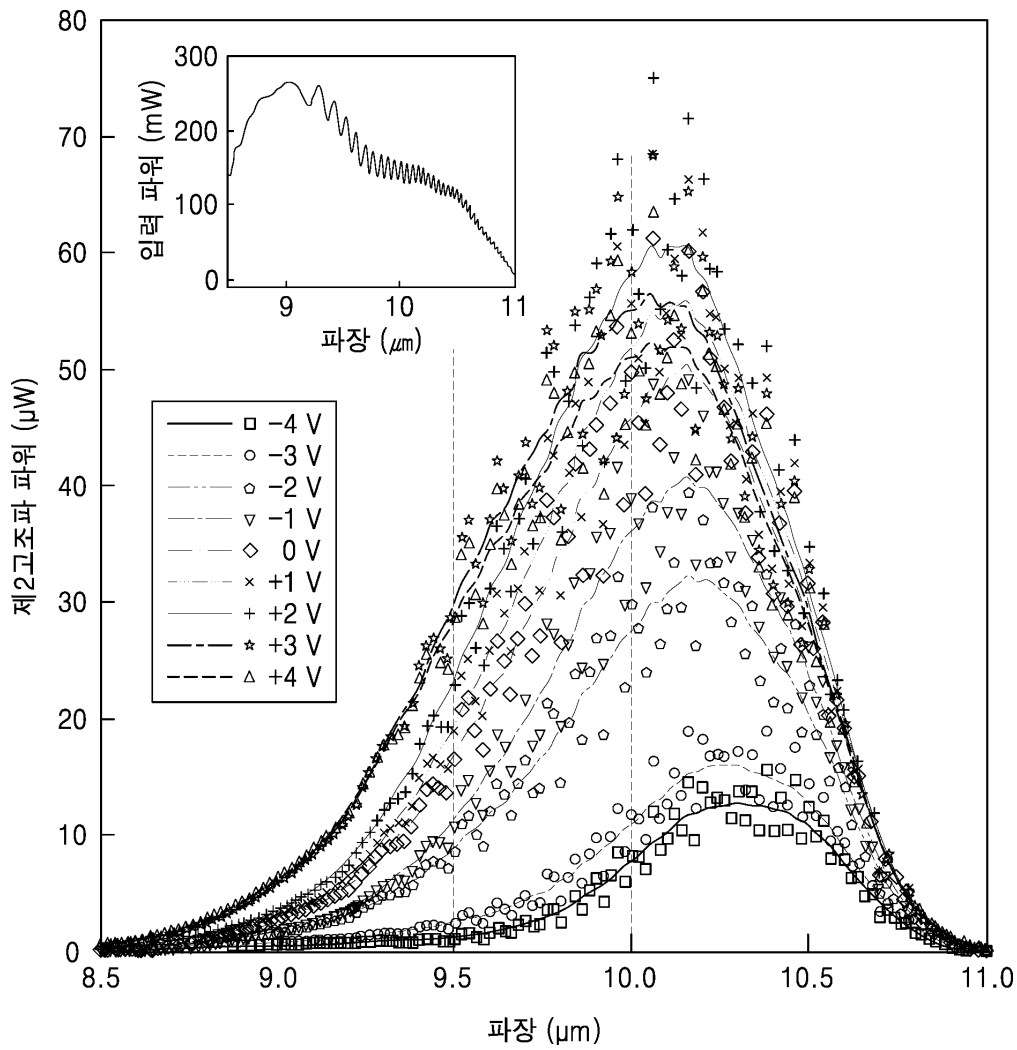
도면11



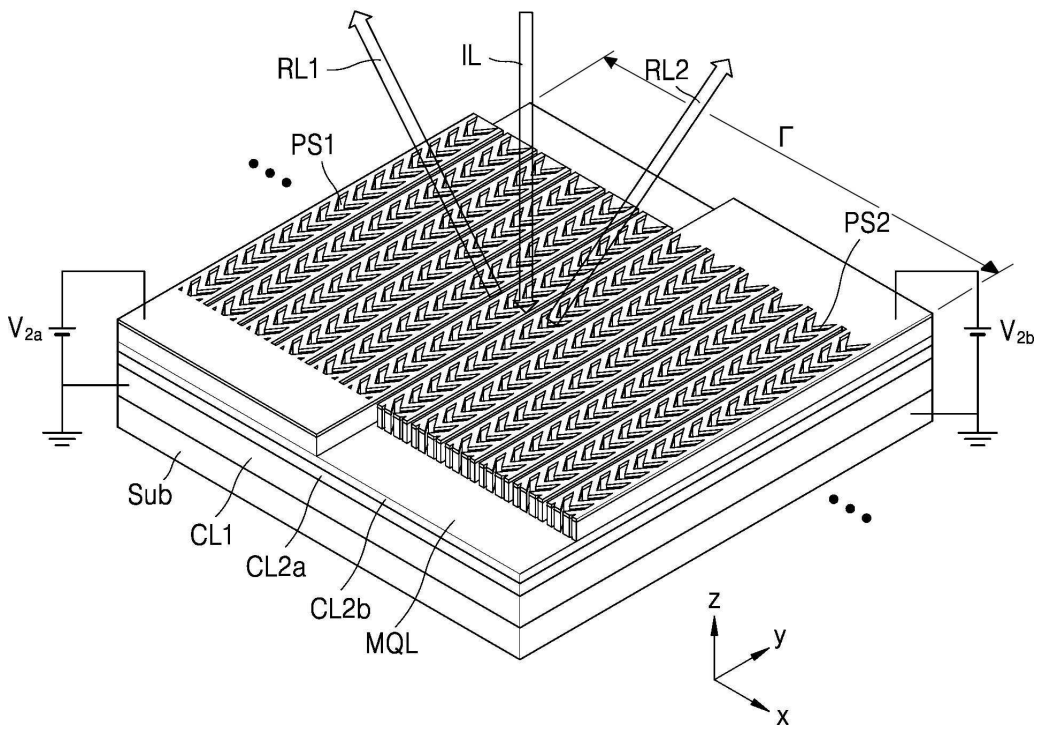
도면12



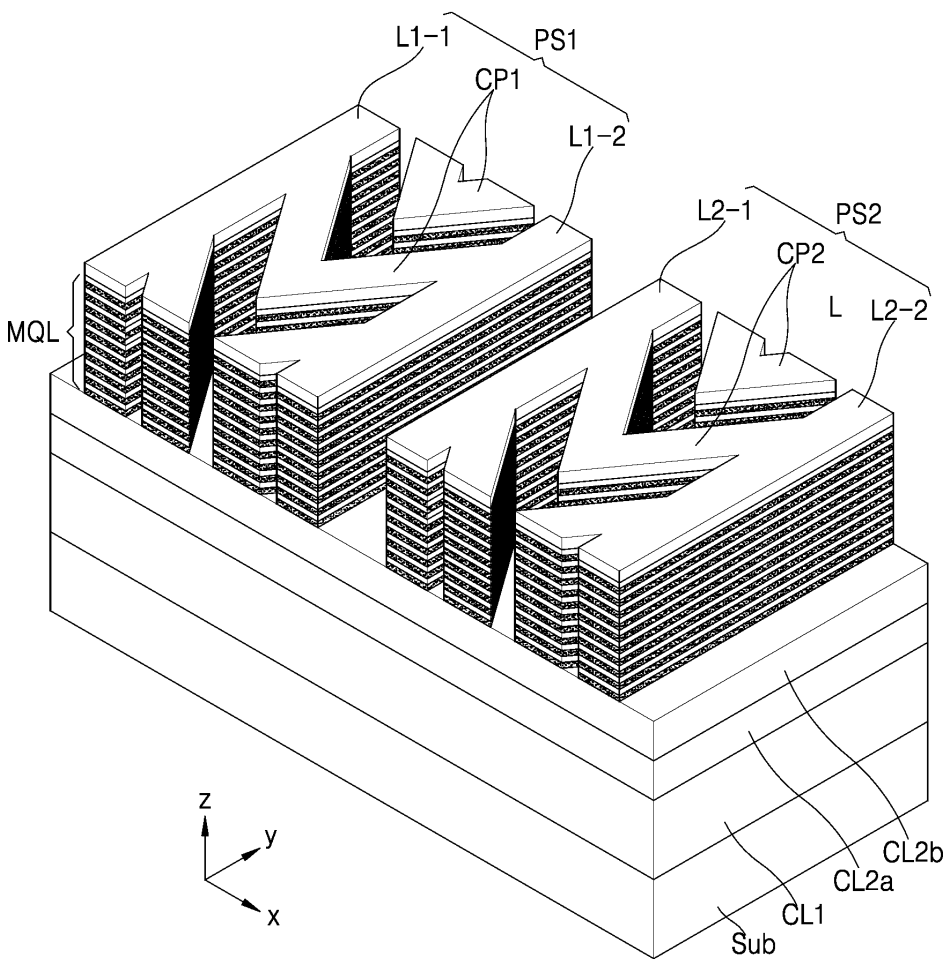
도면13



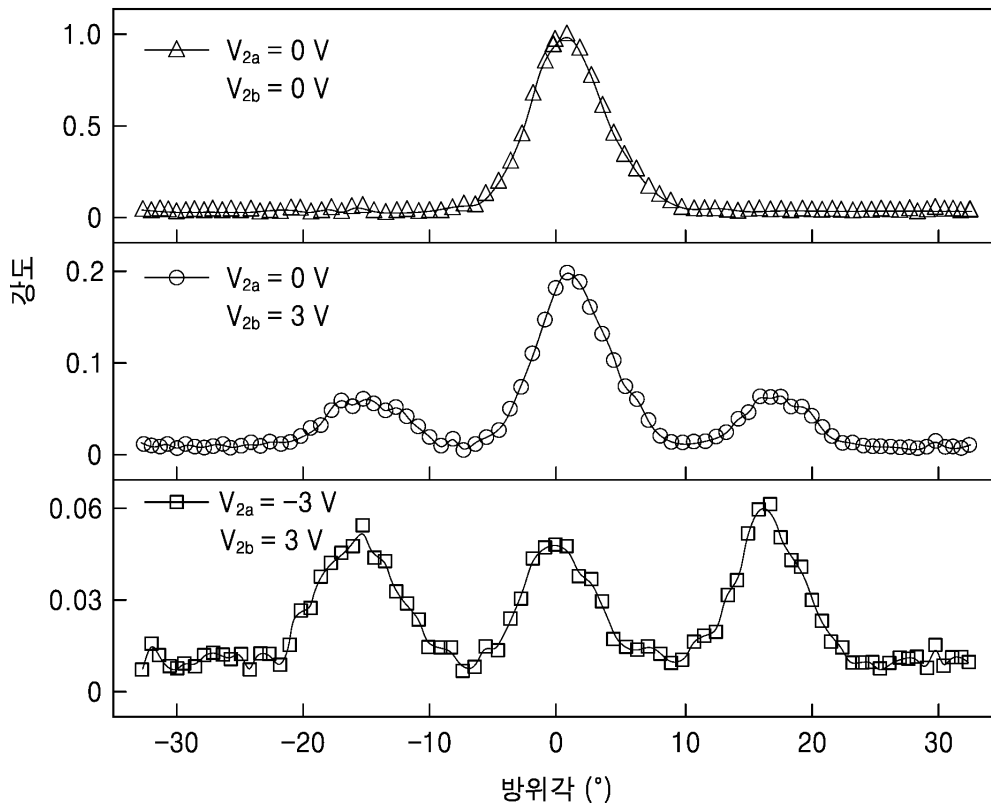
도면14



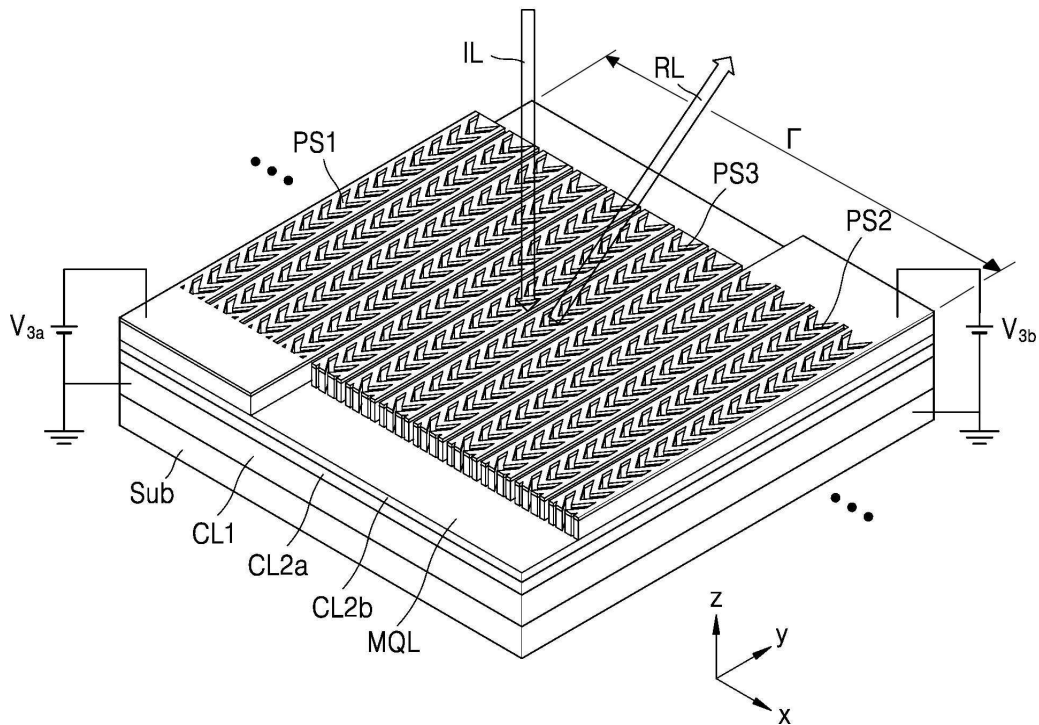
도면15



도면16



도면17



도면18

