



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2022-0102024
(43) 공개일자 2022년07월19일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G02F 1/017 (2006.01) G02B 26/06 (2006.01)
H01Q 1/38 (2015.01)
(52) CPC특허분류
G02F 1/017 (2013.01)
G02B 26/06 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2021-0004211
(22) 출원일자 2021년01월12일
심사청구일자 2021년01월12일

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

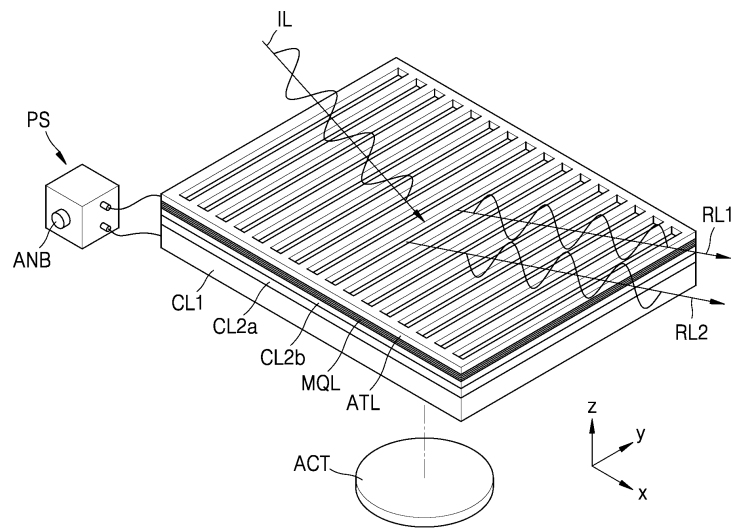
전체 청구항 수 : 총 15 항

(54) 발명의 명칭 광 위상변조를 기반으로 한 광대역 파장판 소자 및 그 제조방법

(57) 요약

본 발명은 간단한 구성을 가지면서도 정확한 광 변조가 가능한 광대역 파장판 소자 및 그 제조방법을 위하여, 제 1도전층과, 상기 제1도전층 상에 위치하며 우물층과 장벽층이 교번하여 적층된 다중 양자우물층과, 상기 다중 양자우물층 상에 위치하며 상호 평행한 복수개의 스트라이프들 형상의 안테나층을 구비하는, 광대역 파장판 소자 및 그 제조방법을 제공한다.

대표도 - 도6



(52) CPC특허분류

H01Q 1/38 (2018.05)

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	1/1
과제수행기관명	울산과학기술원
연구기간	2020.03.01 ~ 2021.02.28

명세서

청구범위

청구항 1

제1도전층;

상기 제1도전층 상에 위치하며, 우물층과 장벽층이 교번하여 적층된 다중 양자우물층; 및
상기 다중 양자우물층 상에 위치하며, 상호 평행한 복수개의 스트라이프들 형상의 안테나층;
을 구비하는, 광대역 파장판 소자.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 안테나층은 상기 복수개의 스트라이프들의 일단들이 서로 연결되고 상기 복수개의 스트라이프들의 타단들이 서로 연결된 형상을 갖는, 광대역 파장판 소자.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 안테나층은 일체(一體)인, 광대역 파장판 소자.

청구항 4

제1항 내지 제3항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 다중 양자우물층은 상기 안테나층에 대응하는 형상으로 패터닝된, 광대역 파장판 소자.

청구항 5

제1항 내지 제3항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 제1도전층과 상기 안테나층 사이에 전위차를 인가할 수 있는 전원을 더 구비하는, 광대역 파장판 소자.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 전원은 상기 제1도전층과 상기 안테나층 사이에 인가되는 전위차를 조절할 수 있는 조절부를 더 구비하는, 광대역 파장판 소자.

청구항 7

제1항 내지 제3항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 제1도전층과 상기 다중 양자우물층 사이에 개재되는 제2도전층을 더 구비하는, 광대역 파장판 소자.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 제2도전층과 상기 다중 양자우물층 사이의 접합력은 상기 제1도전층과 상기 다중 양자우물층 사이의 접합력보다 높은, 광대역 파장판 소자.

청구항 9

제1항 내지 제3항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 제1도전층의 상기 다중 양자우물층 방향의 반대 방향에 위치하며, 입사광에 대한 상기 안테나층의 복수개의 스트라이프들의 방향을 조절할 수 있는, 액츄에이터를 더 구비하는, 광대역 파장판 소자.

청구항 10

기관 상에 우물층과 장벽층이 교번하여 적층된 다중 양자우물층을 형성하는 단계;

다중 양자우물층 상부에 제1도전층을 형성하는 단계;

기관을 제거하는 단계;

다중 양자우물층의 제1도전층 방향의 반대방향의 면 상에 임시도전층을 형성하는 단계;

임시대전층 상에 희생층을 형성하는 단계;

희생층에 상호 평행한 복수개의 개구들을 형성하는 단계;

희생층의 복수개의 개구들을 통해 노출된 임시도전층의 부분을 제거하여, 상호 평행한 복수개의 스트라이프들 형상의 안테나층을 형성하는 단계; 및

희생층을 제거하는 단계;

를 포함하는, 광대역 파장판 소자 제조방법.

청구항 11

제10항에 있어서,

기관으로 인듐 포스파이드(InP) 또는 갈륨 아세나이드(GaAs) 웨이퍼를 이용하는, 광대역 파장판 소자 제조방법.

청구항 12

제10항에 있어서,

희생층으로 실리콘나이트라이드를 이용하는, 광대역 파장판 소자 제조방법.

청구항 13

제10항에 있어서,

상기 안테나층을 형성하는 단계는, 희생층의 복수개의 개구들을 통해 노출된 임시도전층의 부분 및 희생층의 복수개의 개구들에 대응하는 다중 양자우물층의 부분을 동시에 제거하는 단계인, 광대역 파장판 소자 제조방법.

청구항 14

제10항에 있어서,

상기 제1도전층을 형성하는 단계는, 다중 양자우물층 상에 제2도전층을 형성하고 제2도전층 상에 제1도전층을 형성하는 단계인, 광대역 파장판 소자 제조방법.

청구항 15

제14항에 있어서,

제2도전층과 다중 양자우물층 사이의 접합력은 제1도전층과 다중 양자우물층 사이의 접합력보다 높은, 광대역 파장판 소자 제조방법.

발명의 설명

기술 분야

본 발명의 실시예들은 광 위상변조를 기반으로 한 광대역 파장판 및 그 제조방법에 관한 것으로서, 더 상세하게는 간단한 구성을 가지면서도 인가전압에 따라 위상변조 및 이를 이용한 광대역 파장판으로 활용가능한 광대역 파장판 소자 및 그 제조방법에 관한 것이다.

[0001]

배경 기술

- [0002] 광학 기기들은 활용가능한 동작과장이 제한적이며, 따라서 동작과장범위에 따라 각기 다른 광학기기를 이용해야 한다는 문제점과, 넓은 과장대역에서 동작하는 광학기기를 구현하는 것이 용이하지 않다는 문제점이 있었다. 예컨대 특정 과장의 광에 대해서는 의도한 대로 변조가 이루어져 사전설정된 특성을 정확하게 갖는 광학기기를 구현할 수 있지만, 과장이 조금만 달라져도 의도한 대로 변조되지 않을 수 있다는 문제점이 있었다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0003] 본 발명은 상기와 같은 문제점을 포함하여 여러 문제점들을 해결하기 위한 것으로서, 간단한 구성을 가지면서도 인가전압에 따라 정확한 광 위상변조 및 이를 이용한 광대역 파장판으로 활용할 수 있는 광대역 파장판 소자 및 그 제조방법을 제공하는 것을 목적으로 한다. 그러나 이러한 과제는 예시적인 것으로, 이에 의해 본 발명의 범위가 한정되는 것은 아니다.

과제의 해결 수단

- [0004] 본 발명의 일 관점에 따르면, 제1도전층과, 상기 제1도전층 상에 위치하며 우물층과 장벽층이 교번하여 적층된 다중 양자우물층과, 상기 다중 양자우물층 상에 위치하며 상호 평행한 복수개의 스트라이프들 형상의 안테나층을 구비하는, 광대역 파장판 소자가 제공된다.
- [0005] 상기 안테나층은 상기 복수개의 스트라이프들의 일단들이 서로 연결되고 상기 복수개의 스트라이프들의 타단들이 서로 연결된 형상을 가질 수 있다.
- [0006] 상기 안테나층은 일체(一體)일 수 있다.
- [0007] 상기 다중 양자우물층은 상기 안테나층에 대응하는 형상으로 패터닝될 수 있다.
- [0008] 상기 제1도전층과 상기 안테나층 사이에 전위차를 인가할 수 있는 전원을 더 구비할 수 있다.
- [0009] 상기 전원은 상기 제1도전층과 상기 안테나층 사이에 인가되는 전위차를 조절할 수 있는 조절부를 더 구비할 수 있다.
- [0010] 상기 제1도전층과 상기 다중 양자우물층 사이에 개재되는 제2도전층을 더 구비할 수 있다.
- [0011] 상기 제2도전층과 상기 다중 양자우물층 사이의 접합력은 상기 제1도전층과 상기 다중 양자우물층 사이의 접합력보다 높을 수 있다.
- [0012] 상기 제1도전층의 상기 다중 양자우물층 방향의 반대 방향에 위치하며, 입사광에 대한 상기 안테나층의 복수개의 스트라이프들의 방향을 조절할 수 있는, 액츄에이터를 더 구비할 수 있다.
- [0013] 본 발명의 다른 일 관점에 따르면, 기판 상에 우물층과 장벽층이 교번하여 적층된 다중 양자우물층을 형성하는 단계와, 다중 양자우물층 상부에 제1도전층을 형성하는 단계와, 기판을 제거하는 단계와, 다중 양자우물층의 제1도전층 방향의 반대방향의 면 상에 임시도전층을 형성하는 단계와, 임시도전층 상에 희생층을 형성하는 단계와, 희생층에 상호 평행한 복수개의 개구들을 형성하는 단계와, 희생층의 복수개의 개구들을 통해 노출된 임시도전층의 부분을 제거하여 상호 평행한 복수개의 스트라이프들 형상의 안테나층을 형성하는 단계와, 희생층을 제거하는 단계를 포함하는, 광대역 파장판 소자 제조방법이 제공된다.
- [0014] 기판으로 인듐 포스파이드(InP) 또는 갈륨 아세나이드(GaAs) 웨이퍼를 이용할 수 있다.
- [0015] 희생층으로 실리콘나이트라이드를 이용할 수 있다.
- [0016] 상기 안테나층을 형성하는 단계는, 희생층의 복수개의 개구들을 통해 노출된 임시도전층의 부분 및 희생층의 복수개의 개구들에 대응하는 다중 양자우물층의 부분을 동시에 제거하는 단계일 수 있다.
- [0017] 상기 제1도전층을 형성하는 단계는, 다중 양자우물층 상에 제2도전층을 형성하고 제2도전층 상에 제1도전층을 형성하는 단계일 수 있다.
- [0018] 제2도전층과 다중 양자우물층 사이의 접합력은 제1도전층과 다중 양자우물층 사이의 접합력보다 높을 수 있다.

[0019] 전술한 것 외의 다른 측면, 특징, 이점은 이하의 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용, 청구범위 및 도면으로부터 명확해질 것이다.

발명의 효과

[0020] 상기한 바와 같이 이루어진 본 발명의 일 실시예에 따르면, 간단한 구성을 가지면서도 인가전압에 따라 정확한 광 위상변조 및 이를 이용한 광대역 파장판으로 활용할 수 있는 광대역 파장판 소자 및 그 제조방법을 구현할 수 있다. 물론 이러한 효과에 의해 본 발명의 범위가 한정되는 것은 아니다.

도면의 간단한 설명

[0021] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 다중 양자우물층의 단면을 보여주는 사진이다.
 도 2 내지 도 4는 다중 양자우물층 양단에 인가된 전위차의 변화에 따라 다중 양자우물층에 흡수되는 광의 파장이 달라지는 것을 보여주는 그래프들이다.
 도 5는 도 2 내지 도 4의 경우의 유전율 변화를 보여주는 그래프이다.
 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 광대역 파장판 소자를 개략적으로 도시하는 사시도이다.
 도 7은 도 6의 광대역 파장판 소자의 작동 원리를 보여주는 그래프이다.
 도 8 내지 도 12는 도 6의 광대역 파장판 소자의 제조 공정을 개략적으로 도시하는 단면도들이다.
 도 13은 본 발명의 다른 일 실시예에 따른 광대역 파장판 소자를 개략적으로 도시하는 사시도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0022] 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.

[0023] 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.

[0024] 이하의 실시예에서 층, 막, 영역, 판 등의 각종 구성요소가 다른 구성요소 "상에" 있다고 할 때, 이는 다른 구성요소 "바로 상에" 있는 경우 뿐 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.

[0025] 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.

[0026] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 다중 양자우물층의 단면을 보여주는 사진이다. 다중 양자우물층은 GaN, AlN, InN, InGa_N, AlGa_N, InAl_N, InAlGa_N, 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 장벽층들 사이에 개재되는 우물층들을 형성하여, 다중 양자우물층을 형성할 수 있다. 하지만 본 발명이 이에 한정되는 것은 아니다.

[0027] 도 2 내지 도 4는 다중 양자우물층 양단에 인가된 전위차의 변화에 따라 다중 양자우물층에 흡수되는 광의 파장이 달라지는 것을 보여주는 그래프들이다. 도 2 내지 도 4는 다중 양자우물층의 일부분의 전도대 다이어그램, 즉 3개의 장벽층들 사이에 2개의 우물층들이 위치한 부분의 전도대 다이어그램이다. 도 2 내지 도 4에서 가로축은 각각의 층들의 두께를 의미하고 그 단위는 nm이며, 세로축은 에너지를 의미하고 그 단위는 meV이다. 장벽층들 각각은 Al_{0.48}In_{0.52}As로 형성하고, 우물층들 각각은 In_{0.53}Ga_{0.47}As로 형성하였다.

[0028] 도 2 내지 도 4의 그래프는, 3개의 장벽층들 사이에 2개의 우물층들이 위치한 구조가 7번 반복되어 총 15개의

장벽층들 사이에 14개의 우물층들이 개재됨에 따라 총 두께가 223nm인 다중 양자우물층의 양단에 인가되는 전위차를 변화시킬 때, 다중 양자우물층에 흡수되는 광의 파장이 달라지는 것을 보여주는 그래프들이다. 즉, 주파수 w 의 광은 다중 양자우물층에 입사하여 다중 양자우물층 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 양자우물층에 흡수되는 것으로 이해될 수 있다. 여기서 주파수 w 는 다중 양자우물층의 양단에 인가되는 전위차에 따라 변할 수 있다.

[0029] 도 2에 도시된 것과 같이, 다중 양자우물층의 양단에 전위차를 인가하지 않을 경우, 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 차이는 176meV이며, $E=hc/\lambda$ 에 의해 이에 해당하는 광의 파장은 대략 $7\mu\text{m}$ 이다. 즉, 다중 양자우물층의 양단에 전위차를 인가하지 않은 경우, 다중 양자우물층은 $7\mu\text{m}$ 의 파장을 갖는 광을 흡수한다.

[0030] 도 3에 도시된 것과 같이, 다중 양자우물층의 양단에 +1V의 전위차를 인가한 경우, 장벽층의 전도대(CB1)와 우물층의 전도대(CB2)는 도 3에 도시된 것과 같이 높은 전위에 해당하는 쪽의 에너지 준위가 높아지도록 기울어진 형상을 갖는다. 전자는 역시 L1으로 표시된 에너지를 갖은 상태에서 입사하는 광의 에너지를 흡수하여 L2로 표시된 에너지를 갖게 된다. 도 3에 도시된 것과 같은 상황에서 L2로 표시된 에너지와 L1으로 표시된 에너지의 차이는 188meV이며, $E=hc/\lambda$ 에 의해 이에 해당하는 광의 파장은 대략 $6.6\mu\text{m}$ 이다. 즉, 도 3에 도시된 것과 같은 경우, 다중 양자우물층은 다중 양자우물층의 양단에 전위차를 인가하지 않은 도 2에 도시된 것과 같은 경우보다 더 짧은 파장의 광을 흡수한다.

[0031] 도 4에 도시된 것과 같이, 다중 양자우물층의 양단에 -1V의 전위차를 인가한 경우, 장벽층의 전도대(CB1)와 우물층의 전도대(CB2)는 도 4에 도시된 것과 같이 낮은 전위에 해당하는 쪽의 에너지 준위가 낮아지도록 기울어진 형상을 갖는다. 도 3에 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 4에 도시된 것과 같은 상황에서 L2로 표시된 에너지와 L1으로 표시된 에너지의 차이는 164meV이며, $E=hc/\lambda$ 에 의해 이에 해당하는 광의 파장은 대략 $7.5\mu\text{m}$ 이다. 즉, 도 4에 도시된 것과 같은 경우, 다중 양자우물층은 다중 양자우물층의 양단에 전위차를 인가하지 않은 도 2에 도시된 것과 같은 경우보다 더 긴 파장의 광을 흡수한다.

[0032] 이처럼 다중 양자우물층의 양단에 인가되는 전위차를 조절함으로써, 다중 양자우물층이 흡수하는 광의 파장을 정밀하게 조절할 수 있다.

[0033] 도 5는 도 2 내지 도 4의 경우의 다중 양자우물층의 유전율 변화를 보여주는 그래프이다. 유전율(Permittivity)은 유전체, 즉 부도체의 전기적인 특성을 나타내는 특성값으로, 복소수로 정의된다. 유전율의 실수부는 전자기파의 파장과 전파(propagation)와 관련된 항목이며, 유전율의 허수부는 전자기파의 손실과 관련된 항목이다. 즉, 다중 양자우물층의 유전율의 허수부는 입사하는 광이 흡수되는 파장을 의미한다. 도 5에 도시된 것과 같이, 다중 양자우물층의 양단에 인가되는 전위차에 따라 다중 양자우물층에 흡수되는 광의 파장이 달라지며 Kramers-Kronig 관계식에 의해서 다중 양자우물층의 유전율의 실수부 및 허수부에 큰 변화를 얻을 수 있다.

[0034] 도 2 내지 도 4를 참조하여 설명한 내용은, 다중 양자우물층의 장벽층의 표면에 평행한 방향으로 전자기장이 진동하고 장벽층의 표면에 수직인 방향으로 입사하는 광에 대해 적용된다. 따라서 다중 양자우물층의 장벽층에 수직 또는 비스듬한 방향으로 입사하는 광의 경우, 광의 입사 방향과 다중 양자우물층의 양단에 인가되는 전위차 등을 조절하면, 원하는 특성의 광이 반사되도록 입사광을 변조하는 광대역 파장판 소자를 구현할 수 있다.

[0035] 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 광대역 파장판 소자를 개략적으로 도시하는 사시도이다. 본 실시예에 따른 광대역 파장판 소자는 전술한 것과 같은 다중 양자우물층(MQL)을 구비한다. 이 다중 양자우물층(MQL)은 제1도전층(CL1) 상에 위치한다. 제1도전층(CL1)은 예컨대 금(Au)을 포함할 수 있으며, 광대역 파장판 소자의 제1전극으로 기능할 수 있다. 다중 양자우물층(MQL) 상에는 안테나층(ATL)이 위치하는데, 안테나층(ATL)은 상호 평행한(y축 방향으로 연장된) 복수개의 스트라이프 형상을 가질 수 있다. 안테나층(ATL)은 예컨대 금(Au)을 포함할 수 있으며, 광대역 파장판 소자의 제2전극으로 기능할 수 있다. 안테나층(ATL)은 복수개의 스트라이프들의 (-y 방향의) 일단들이 서로 연결되고 복수개의 스트라이프들의 (+y 방향의) 타단들이 서로 연결된 형상을 가질 수 있다. 이러한 안테나층(ATL)은 도 6에 도시된 것과 같이 일체(一體)인 형상을 가질 수 있다. 이 경우, 안테나층(ATL)은 일 방향(y축 방향)으로 연장된 복수개의 스트라이프 형상의 관통구를 갖는 것으로 이해될 수도 있다.

- [0036] 물론 광대역 파장판 소자는 제1도전층(CL1)과 다중 양자우물층(MQL) 사이에 개재되는 제2도전층(CL2a, CL2b)을 더 구비할 수 있다. 제2도전층(CL2a, CL2b)은 다층구조를 가질 수 있는데, 도 6에서는 제2도전층(CL2a, CL2b)이 제1도전층(CL1) 방향의 제2-1도전층(CL2a)과 다중 양자우물층(MQL) 방향의 제2-2도전층(CL2b)을 갖는 것으로 도시하고 있다. 제2-1도전층(CL2a)은 백금(Pt)을 포함할 수 있고, 제2-2도전층(CL2b)은 크롬(Cr)을 포함할 수 있다. 이러한 제2도전층(CL2a, CL2b)과 다중 양자우물층(MQL) 사이의 접합력은 제1도전층(CL1)과 다중 양자우물층(MQL) 사이의 접합력보다 높아, 광대역 파장판 소자의 전체적인 접합력을 높이는 역할을 할 수 있다.
- [0037] 도 6에 도시된 것과 같이, 이러한 광대역 파장판 소자에 입사하는 선편광 입사광(IL)은 광대역 파장판 소자의 제1도전층(CL1)과 안테나층(ATL) 사이에 인가된 전위차에 따라 반사광(RL1 또는 RL2)의 x축 편광성분의 위상을 조절할 수 있다. 도 6에서는 반사광(RL1 또는 RL2)의 x축 편광성분의 위상이 전위차에 따라 각기 다른 값을 갖도록 조절할 수 있음을 도시하고 있다. 물론 입사광(IL)이 반사광(RL1)과 반사광(RL2)으로 동시에 반사되는 것을 의미하는 것은 아니고, 광대역 파장판 소자의 제1도전층(CL1)과 안테나층(ATL) 사이에 인가되는 전위차 등에 의해 반사광의 위상을 조절할 수 있다는 것을 의미한다.
- [0038] 도 7은 도 6의 광대역 파장판 소자의 작동 원리를 보여주는 그래프이다. 도 7의 가로축은 파장을 나타내는 것으로 단위는 μm 이고, 세로축은 반사광의 x축 편광성분의 위상과 y축 편광성분의 위상의 차이를 나타내는 것으로 단위는 π 이다. 도 7은 도 6의 광대역 파장판 소자에 선편광된 광이 안테나층(ATL)의 스트라이프 형상에 대해 x축에서 y축 방향으로 20도의 각도를 갖도록 입사하는 경우의 결과를 보여준다. 도 7의 그래프에서 예컨대 세로축의 0.5는 반사광의 x축 방향의 위상과 y축 방향의 위상의 차이가 0.5π ($1/4$ 파장)가 되어 반사광이 우원편광된 광이라는 것을 의미하고, 세로축의 1은 반사광의 x축 방향의 위상과 y축 방향의 위상의 차이가 π ($1/2$ 파장)가 되어 반사광이 선편광된 광이라는 것을 의미한다. 세로축의 1.5의 경우 반사광의 x축 편광성분의 위상과 y축 편광성분의 위상의 차이가 1.5π 라는 것을 의미하는데, 위상차가 1.5π 라는 것은 반사광이 좌원편광된 광이라는 것을 의미한다.
- [0039] 도 7에 도시된 것과 같이, A로 표시된 $6.24\mu\text{m}$ 내지 $6.39\mu\text{m}$ 파장의 범위에서는 제1도전층(CL1)과 안테나층(ATL) 사이에 인가되는 전압을 -1V에서 -3V 사이에서 변화시킴으로써, 선편광된 입사광이 반사되어 xy 평면 상에서 일정 각도로 회전된 선편광 반사광이 되도록 할 수 있다. 즉, 광대역 파장판 소자는 $\lambda/2$ 파장판과 같이 작동할 수 있다. 물론 B로 표시된 $7.10\mu\text{m}$ 내지 $7.24\mu\text{m}$ 파장의 범위에서도, 제1도전층(CL1)과 안테나층(ATL) 사이에 인가되는 전압을 1V에서 3V 사이에서 변화시킴으로써, 선편광된 입사광이 반사되어 xy 평면 상에서 일정 각도로 회전된 선편광 반사광이 되도록 할 수 있다. 즉, 광대역 파장판 소자는 $\lambda/2$ 파장판과 같이 작동할 수 있다.
- [0040] C로 표시된 $6.37\mu\text{m}$ 내지 $6.72\mu\text{m}$ 파장의 범위에서는 제1도전층(CL1)과 안테나층(ATL) 사이에 인가되는 전압을 -1V에서 -3V 사이에서 변화시킴으로써, 선편광된 입사광이 반사되어 우원편광된 반사광이 되도록 할 수 있다. 즉, 광대역 파장판 소자는 $\lambda/4$ 파장판과 같이 작동할 수 있다. 물론 D로 표시된 $6.81\mu\text{m}$ 내지 $7.12\mu\text{m}$ 파장의 범위에서도, 제1도전층(CL1)과 안테나층(ATL) 사이에 인가되는 전압을 1V에서 3V 사이에서 변화시킴으로써, 선편광된 입사광이 반사되어 좌원편광된 반사광이 되도록 할 수 있다. 즉, 광대역 파장판 소자는 $\lambda/4$ 파장판과 같이 작동할 수 있다.
- [0041] 이처럼 본 실시예에 따른 광대역 파장판 소자의 경우 $\lambda/2$ 파장판 또는 $\lambda/4$ 파장판으로 이용할 수 있으며, 나아가 제1도전층(CL1)과 안테나층(ATL) 사이에 인가되는 전압을 조절함으로써 정확하게 반사광의 위상을 조절할 수 있다.
- [0042] 예컨대 본 실시예에 따른 광대역 파장판 소자를 $\lambda/2$ 파장판으로 활용할 경우, 선편광된 입사광의 파장이 (A로 표시된 파장 범위의 하한에 해당하는) $6.24\mu\text{m}$ 라면 제1도전층(CL1)과 안테나층(ATL) 사이에 -1V의 전위차를 인가함으로써 반사광이 xy 평면 상에서 일정 각도로 회전된 선편광 반사광이 되도록 할 수 있고, 선편광된 입사광의 파장이 (A로 표시된 파장 범위의 상한에 해당하는) $6.39\mu\text{m}$ 라면 제1도전층(CL1)과 안테나층(ATL) 사이에 -3V의 전위차를 인가함으로써 반사광이 xy 평면 상에서 일정 각도로 회전된 선편광 반사광이 되도록 할 수 있다. 물론 x축 방향으로 선편광된 입사광의 파장이 $6.24\mu\text{m}$ 와 $6.39\mu\text{m}$ 사이의 파장이라면, -3V와 -1V 사이의 대응하는 전위차를 제1도전층(CL1)과 안테나층(ATL) 사이에 인가함으로써, 반사광이 xy 평면 상에서 일정 각도로 회전된 선편광 반사광이 되도록 할 수 있다.
- [0043] 만일 본 실시예에 따른 광대역 파장판 소자를 $\lambda/4$ 파장판으로 활용할 경우, 선편광된 입사광의 파장이 (C로 표시된 파장 범위의 하한에 해당하는) $6.37\mu\text{m}$ 라면 제1도전층(CL1)과 안테나층(ATL) 사이에 -1V의 전위차를 인가함으로써 반사광이 우원편광된 반사광이 되도록 할 수 있고, 선편광된 입사광의 파장이 (C로 표시된 파장 범위의 상한에 해당하는) $6.72\mu\text{m}$ 라면 제1도전층(CL1)과 안테나층(ATL) 사이에 -3V의 전위차를 인가함으로써 반사광이

우원편광된 반사광이 되도록 할 수 있다. 물론 선편광된 입사광의 파장이 $6.37\mu\text{m}$ 와 $6.72\mu\text{m}$ 사이의 파장이라면, -3V 와 -1V 사이의 대응하는 전위차를 제1도전층(CL1)과 안테나층(ATL) 사이에 인가함으로써, 반사광이 정확하게 우원편광된 반사광이 되도록 할 수 있다.

[0044] 이처럼 본 실시예에 따른 광대역 파장판 소자는 필요에 따라 $\lambda/2$ 파장판으로 활용하거나 $\lambda/4$ 파장판으로 활용 할 수 있다. 그리고 넓은 파장대역에 대해 정확하게 반사광의 편광특성을 변조할 수 있다.

[0045] 한편, 도 7에서 확인할 수 있듯이 A로 표시된 $6.24\mu\text{m}$ 내지 $6.39\mu\text{m}$ 파장의 범위는 C로 표시된 $6.37\mu\text{m}$ 내지 $6.72\mu\text{m}$ 파장의 범위와 일부 중첩된다. 이와 같이 중첩되는 $6.37\mu\text{m}$ 내지 $6.39\mu\text{m}$ 범위의 파장을 갖는 입사광이 선편광 된 광인 경우, 제1도전층(CL1)과 안테나층(ATL) 사이에 인가되는 전압을 대략 -3V 에서 대략 -1V 사이로 변화시 킴에 따라 반사광은 xy 평면 상에서 일정 각도로 회전된 선편광 반사광이 되기도 하고 우원편광된 광이 되기도 한다. B로 표시된 $7.10\mu\text{m}$ 내지 $7.24\mu\text{m}$ 파장의 범위는 D로 표시된 $6.81\mu\text{m}$ 내지 $7.12\mu\text{m}$ 파장의 범위와 일부 중첩 된다. 이와 같이 중첩되는 $7.10\mu\text{m}$ 내지 $7.12\mu\text{m}$ 범위의 파장을 갖는 입사광이 선편광된 광인 경우, 제1도전층 (CL1)과 안테나층(ATL) 사이에 인가되는 전압을 대략 1V 에서 대략 3V 사이로 변화시킴에 따라 반사광은 xy 평면 상에서 일정 각도로 회전된 선편광 반사광이 되기도 하고 좌원편광된 광이 되기도 한다. 즉, 본 실시예에 따른 광대역 파장판 소자는 특정 파장대역에 속하는 파장을 갖는 입사광에 대해, $\lambda/2$ 파장판과 $\lambda/4$ 파장판의 전기 적 변조인 포켈스 효과(Pockels effect)를 이용해 반사광의 강도(intensity)를 조절하는 소자로 활용할 수 있다. 또한 고에너지 밀도 레이저를 구현할 경우에도 이러한 포켈스 효과를 이용하게 되는데, 본 실시예에 따른 광대역 파장판 소자는 그러한 고출력 레이저 장치에 사용될 수도 있다.

[0046] 본 실시예에 따른 광대역 파장판 소자는 도 6에 도시된 것과 같이 전원(PS)을 구비할 수 있다. 이 전원(PS)은 제1도전층(CL1)과 안테나층(ATL) 사이에 전위차를 인가할 수 있다. 물론 전원(PS)은 제1도전층(CL1)과 안테나층 (ATL) 사이에 인가되는 전위차를 조절할 수 있는 조절부(ANB)를 가질 수 있다. 조절부(ANB)를 통해 제1도전층 (CL1)과 안테나층(ATL) 사이에 인가되는 전위차를 조절하여, 광대역 파장판 소자가 $\lambda/4$ 파장판으로 작동하거나 $\lambda/2$ 파장판으로 작동하도록 할 수 있으며, 또한 입사광의 파장에 따라 제1도전층(CL1)과 안테나층(ATL) 사이에 인가되는 전위차를 세밀하게 조절하여, 의도된 대로 정확하게 변조된 위상의 반사광이 방출되도록 할 수 있다.

[0047] 한편, 다중 양자우물층(MQL)의 상면에 수직인 방향(z축 방향)에서 바라볼 시, 입사광(IL)의 진행 방향이 안테나 층(ATL)의 (y축 방향으로 연장된 형상의) 스트라이프 패턴과 특정한 각도를 이루도록 조절할 필요가 있다. 안테 나층(ATL)의 스트라이프 형상 부분이 연장된 방향(y축 방향)으로의 입사광(IL)의 성분의 위상은 광대역 파장판 소자에 의해 변화되지 않고, 안테나층(ATL)의 스트라이프 형상 부분이 연장된 방향(y축 방향)에 수직인 방향(x 축 방향)으로의 입사광(IL)의 성분의 위상만 광대역 파장판 소자에 의해 변하기 때문이다. 따라서 광대역 파장 판 소자는 제1도전층(CL1)의 다중 양자우물층(MQL) 방향의 반대 방향($-z$ 방향)에 위치하는 액츄에이터(ACT)를 구비할 수 있다. 액츄에이터(ACT)는 입사광(IL)에 대한 안테나층(ATL)의 복수개의 스트라이프들의 방향을 조절 할 수 있다. 예컨대 액츄에이터(ACT)는 다중 양자우물층(MQL)을 (xy 평면 내에서) 특정한 각도로 회전시킬 수 있다. 물론 본 발명이 이에 한정되는 것은 아니며, 액츄에이터를 이용하여 광원의 위치를 조절할 수도 있다.

[0048] 도 8 내지 도 12는 도 6의 광대역 파장판 소자의 제조 공정을 개략적으로 도시하는 단면도들이다.

[0049] 먼저 도 8에 도시된 것과 같은 적층체를 형성한다. 구체적으로, 기판(Sub) 상에 우물층과 장벽층이 교번하여 적 층된 다중 양자우물층(MQL)을 형성한다. 기판(Sub)으로는 인듐 포스파이드(InP) 웨이퍼 또는 갈륨 아세나이드 (GaAs) 웨이퍼를 이용할 수 있고, 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.

[0050] 다중 양자우물층(MQL) 상부에는 증착 또는 스퍼터링 등을 통해 금(Au) 등의 도전성 물질로 제1도전층(CL1)을 형 성할 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(MQ L)과의 접합력이 더 큰 물질을 이용하여 제2도전층(CL2a, CL2b)을 형성함으로써, 광대역 파장판 소자의 전체적 인 접합력을 높이기 위함이다. 제2도전층(CL2a, CL2b)은 다층구조를 가질 수 있는데, 예컨대 도 8에서와 같이 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 좋은 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 제2-1 도전층(CL2a)은 증착 또는 스퍼터링을 통해 형성할 수 있다.

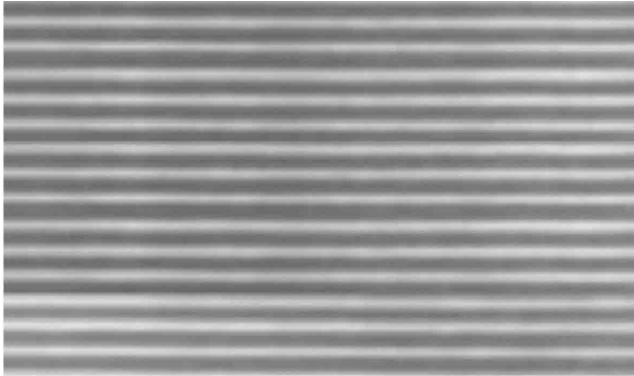
- [0051] 이후, 도 9에 도시된 것과 같이 기판(Sub)을 제거하여 다중 양자우물층(MQL)을 노출시킨다. 기판(Sub)을 제거하는 것은 기계적인 폴리싱으로 기판(Sub) 부분을 제거하는 물리적 방법을 통해 이루어질 수도 있고, 식각액에 기판(Sub) 부분을 침지시키는 화학적 방법을 통해 이루어질 수도 있다.
- [0052] 그리고 도 10에 도시된 것과 같이 다중 양자우물층(MQL)의 제1도전층(CL1) 방향의 반대방향의 면 상에 증착 또는 스퍼터링을 통해 임시도전층(TCL)을 형성한다. 임시도전층(TCL)은 예컨대 금(Au)을 포함할 수 있다. 그리고 도 11에 도시된 것과 같이 임시도전층(TCL) 상에 희생층(SL)을 형성하고 희생층(SL)에 상호 평행한 복수개의 개구(AP)들을 형성한다. 희생층(SL)은 예컨대 포토리지스트를 포함할 수 있으며, 노광 및 현상 과정을 거쳐 상호 평행한 복수개의 개구(AP)들을 형성할 수 있다. 또는, 실리콘나이트라이드를 이용하여 희생층(SL)을 형성하고, 별도의 포토리지스트를 이용하여 희생층(SL)의 소정 부분을 제거함으로써, 희생층(SL)에 상호 평행한 복수개의 개구(AP)들을 형성할 수도 있다.
- [0053] 이후, 희생층(SL)의 복수개의 개구(AP)들을 통해 노출된 임시도전층(TCL)의 부분을 제거하여, 도 12에 도시된 것과 같이 상호 평행한 복수개의 스트라이프들 형상의 안테나층(ATL)을 형성한다. 그리고 희생층(SL)을 제거함으로써, 도 6을 참조하여 전술한 것과 같은 광대역 파장판 소자를 제조할 수 있다.
- [0054] 도 13은 본 발명의 다른 일 실시예에 따른 광대역 파장판 소자를 개략적으로 도시하는 사시도이다. 본 실시예에 따른 광대역 파장판 소자가 도 6을 참조하여 전술한 실시예에 따른 광대역 파장판 소자와 상이한 점은, 다중 양자우물층(MQL)이 안테나층(ATL)에 대응하는 형상으로 패터닝되어 있다는 점이다. 즉, 다중 양자우물층(MQL)도 상호 평행한 (y축 방향으로 연장된) 복수개의 스트라이프 형상을 가질 수 있다. 물론 다중 양자우물층(MQL)은 복수개의 스트라이프들의 (-y 방향의) 일단들이 서로 연결되고 복수개의 스트라이프들의 (+y 방향의) 타단들이 서로 연결된 형상을 가질 수 있다. 이러한 다중 양자우물층(MQL) 일체(一體)인 형상을 가질 수 있다. 이 경우, 다중 양자우물층(MQL)은 일 방향(y축 방향)으로 연장된 복수개의 스트라이프 형상의 그루브 또는 관통구를 갖는 것으로 이해될 수도 있다. 제조 과정에서는 도 12에 도시된 것과 같이 희생층(SL)의 개구(AP)들을 통해 안테나층(ATL)을 형성할 시, 희생층의 복수개의 개구들을 통해 노출된 임시도전층(TCL)의 부분 및 희생층(SL)의 복수개의 개구(AP)들에 대응하는 다중 양자우물층(MQL)의 부분을 동시에 제거할 수 있다.
- [0055] 이러한 본 실시예에 따른 광대역 파장판 소자의 경우, 제1도전층(CL1)과 안테나층(ATL) 사이에 인가된 전위차에 의해 제1도전층(CL1)과 안테나층(ATL) 사이에서 전류가 흐를 시, 해당 전류가 다중 양자우물층(MQL) 내에서 xy 평면 내의 방향으로 흐르지 않고 다중 양자우물층(MQL)에 수직인 방향(z축 방향)으로만 흐르도록 하여, 광대역 파장판 소자의 특성을 더욱 향상시킬 수 있다.
- [0056] 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

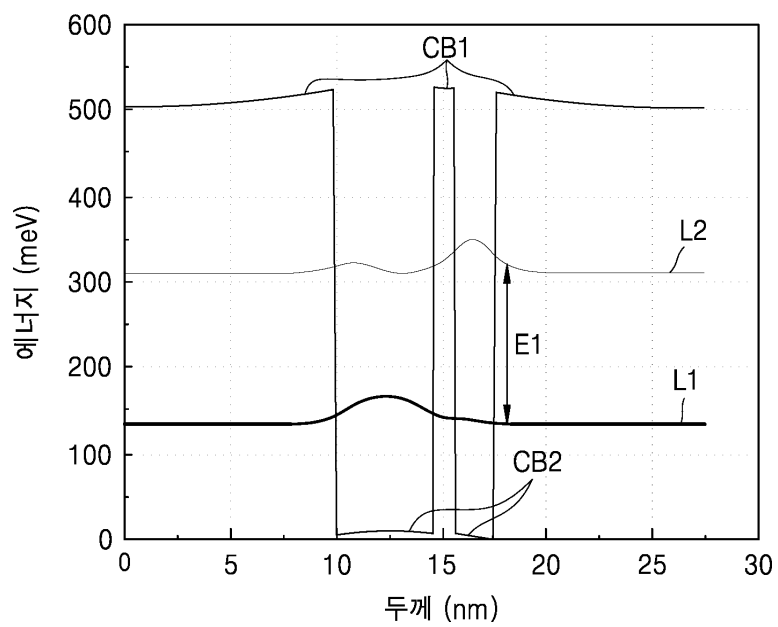
- [0057] Sub: 기판
CL1: 제1도전층
CL2a, CL2b: 제2도전층
MQL: 다중 양자우물층
ATL: 안테나층

도면

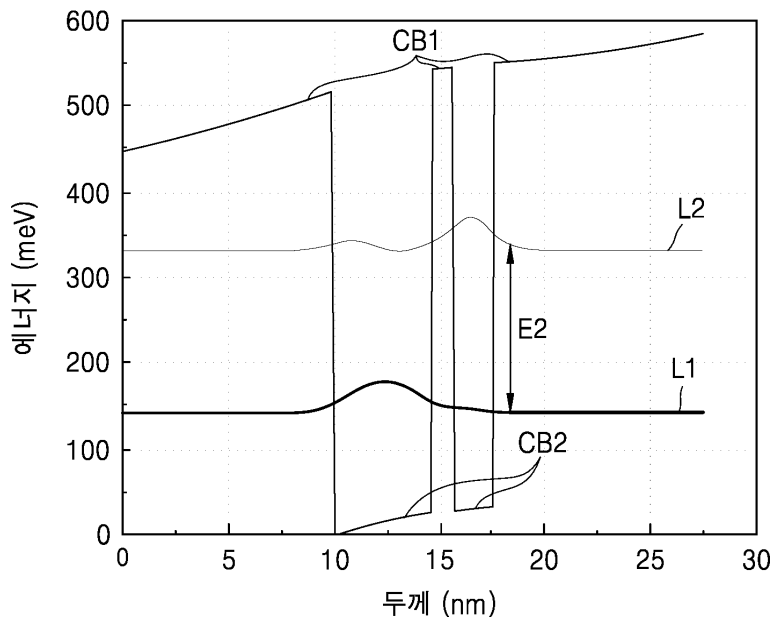
도면1



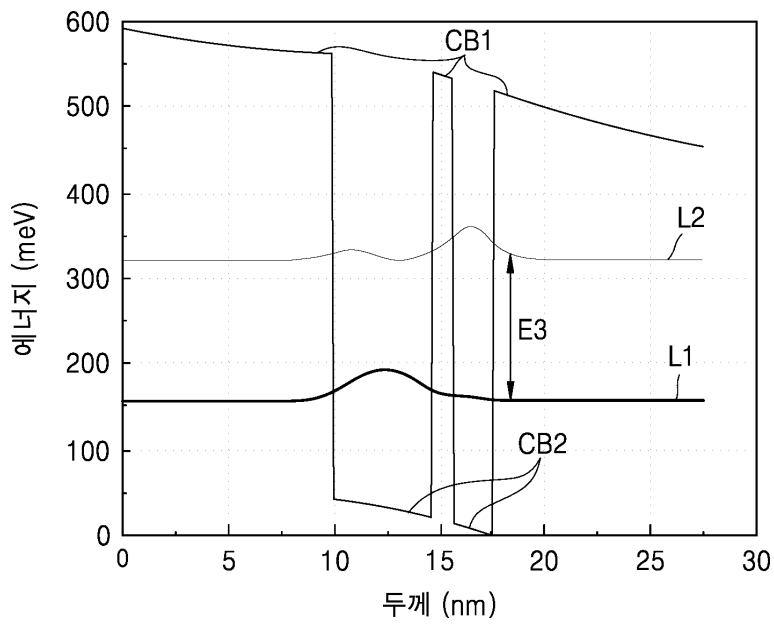
도면2



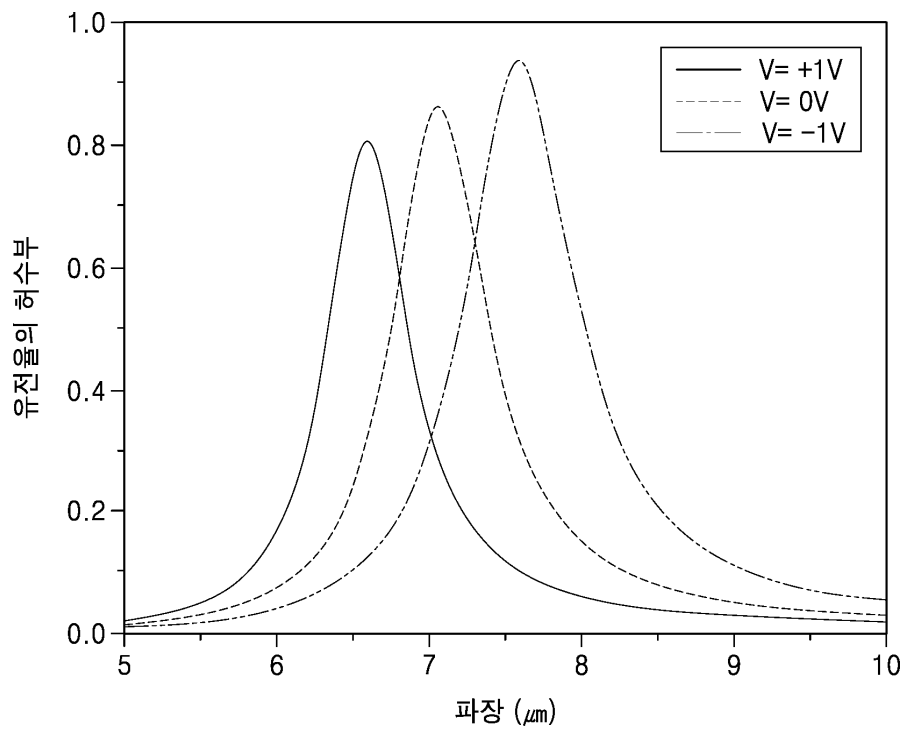
도면3



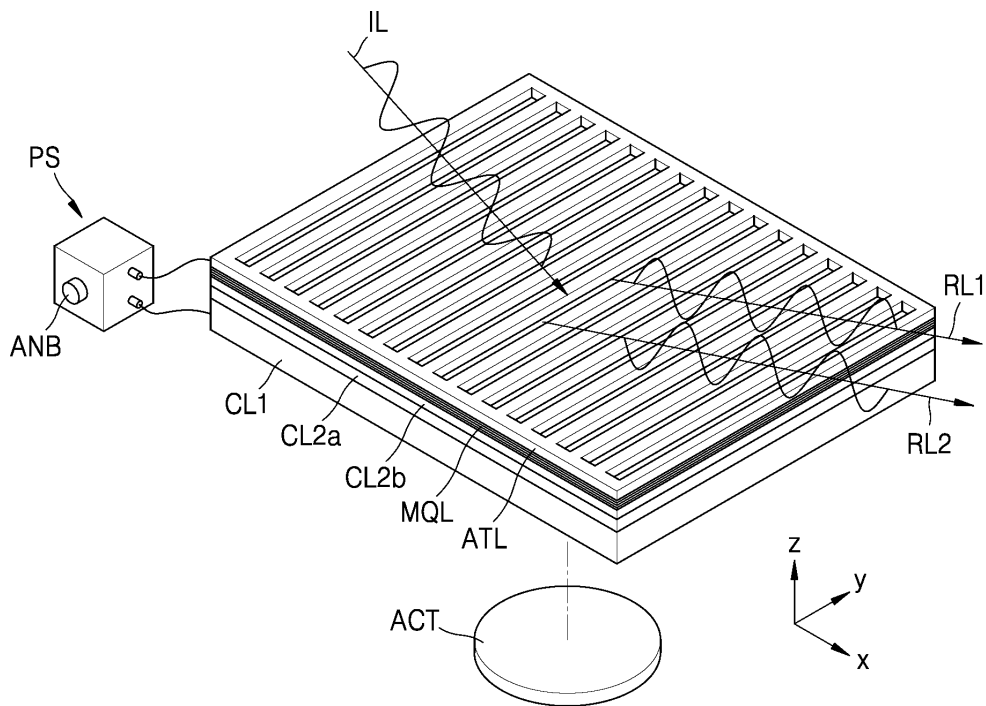
도면4



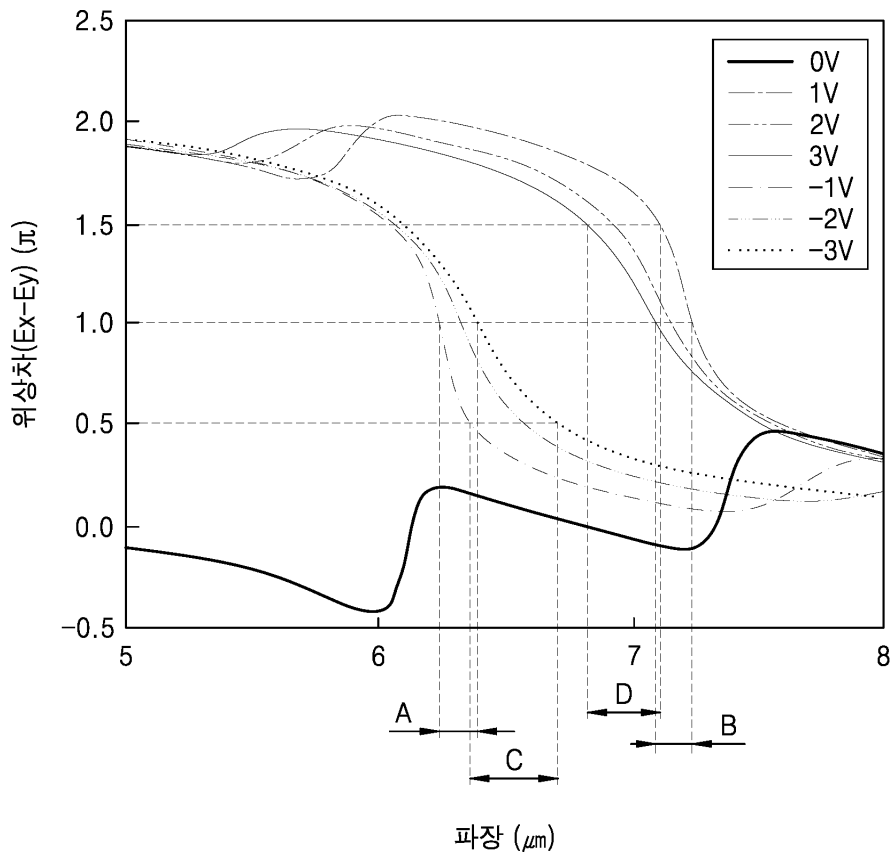
도면5



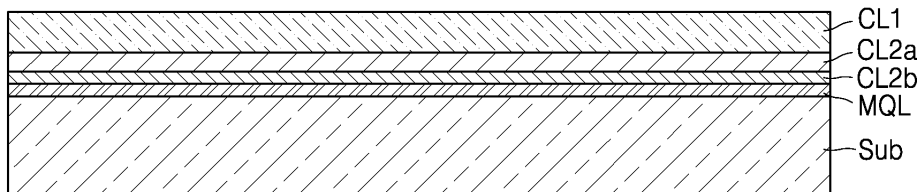
도면6



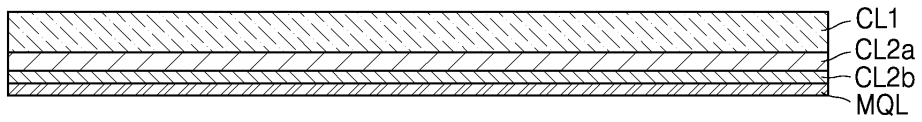
도면7



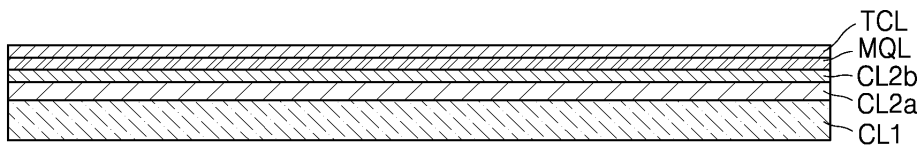
도면8



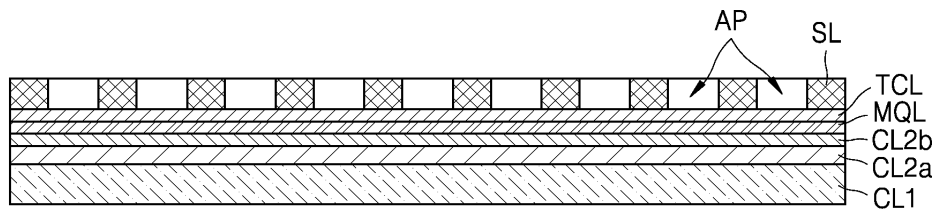
도면9



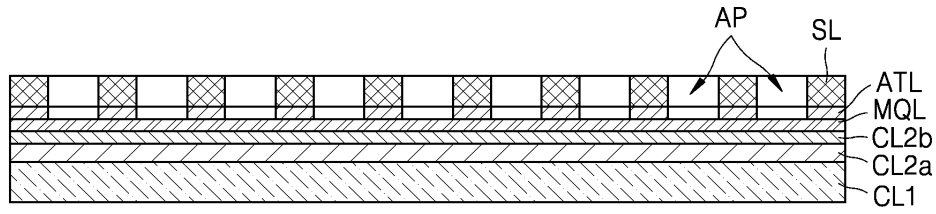
도면10



도면11



도면12



도면13

