(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2025-0056128
(43) 공개일자 2025년04월25일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G02F 1/35 (2006.01) *G02F 1/355* (2006.01)
(52) CPC특허분류
G02F 1/3501 (2021.01)
G02F 1/353 (2021.01)
(21) 출원번호 10-2024-0142022
(22) 출원일자 2024년10월17일
심사청구일자 2024년10월17일
(30) 우선권주장
1020230139319 2023년10월18일 대한민국(KR)

(71) 출원인
한국과학기술원
대전광역시 유성구 대학로 291(구성동)
울산대학교 산학협력단
울산광역시 남구 대학로 93(무거동)
(72) 발명자
민범기
서울특별시 강남구 개포로109길 21 대청아파트 306동 1304호
김튼튼
울산광역시 남구 대학로131번길 4 602호
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
박준용

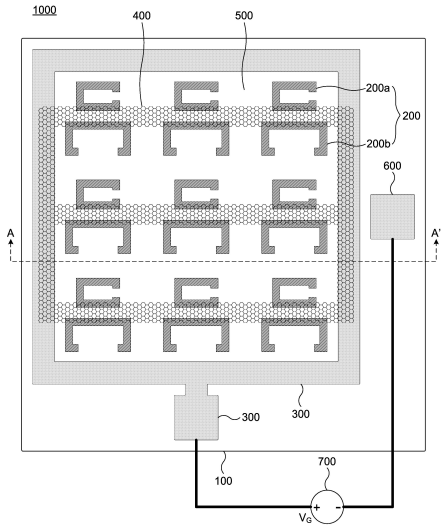
전체 청구항 수 : 총 14 항

(54) 발명의 명칭 **전기적으로 튜닝이 가능한 비대칭 편광 변환기 및 그 제조 방법**

(57) 요 약

본 발명은 비대칭 편광 변환기 및 그 제조 방법에 관한 것이다. 본 발명에 따른 비대칭 편광 변환기는 기판; 상기 기판 상에 구비되는 제1 광학 공진기 및 상기 제1 광학 공진기와 일정 간격 이격되어 상기 기판 상에 구비되는 제2 광학 공진기를 포함하는 하나 이상의 단위 광학 공진기; 상기 기판 상에 구비되며, 상기 하나 이상의 단위 광학 공진기를 둘러싸는 게이트 전극; 상기 게이트 전극에 전기적으로 연결되며, 상기 하나 이상의 단위 광학 공진기의 상부에 구비되어 상기 게이트 전극에 인가되는 전압에 따라 제1 광학 공진기와 제2 광학 공진기 각각의 저항값을 변화시키는 그래핀; 및 상기 하나 이상의 단위 광학 공진기, 상기 게이트 전극 및 상기 그래핀을 피복하는 이온 겔을 포함하는 것을 특징으로 한다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류
G02F 1/3551 (2013.01)
(72) 발명자
백수정
울산광역시 남구 삼호로26번길 24

오동학
서울특별시 강서구 공항대로71길 31 극동상록수아파트

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	2710008506
과제번호	II220624
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	정보통신기획평가원
연구사업명	전파의료응용핵심기술개발
연구과제명	탈메틸화를 이용한 테라헤르츠 암 치료 기술 연구
과제수행기관명	서울시립대학교산학협력단
연구기간	2024.01.01 ~ 2024.12.31

명 세 서

청구범위

청구항 1

기판;

상기 기판 상에 구비되는 제1 광학 공진기 및 상기 제1 광학 공진기와 일정 간격 이격되어 상기 기판 상에 구비되는 제2 광학 공진기를 포함하는 하나 이상의 단위 광학 공진기;

상기 기판 상에 구비되며, 상기 하나 이상의 단위 광학 공진기를 둘러싸는 게이트 전극;

상기 게이트 전극에 전기적으로 연결되며, 상기 하나 이상의 단위 광학 공진기의 상부에 구비되어 상기 게이트 전극에 인가되는 전압에 따라 제1 광학 공진기와 제2 광학 공진기 각각의 저항값을 변화시키는 그래핀; 및

상기 하나 이상의 단위 광학 공진기, 상기 게이트 전극 및 상기 그래핀을 피복하는 이온 겔

을 포함하는 것을 특징으로 하는 비대칭 편광 변환기.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 기판은 실리콘 기판을 포함하는 것을 특징으로 하는 비대칭 편광 변환기.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 제1 광학 공진기 및 상기 제2 광학 공진기는 상하로 병치되는 것을 특징으로 하는 비대칭 편광 변환기.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 제1 광학 공진기는 우측이 부분적으로 개방된 스플릿-링 광학 공진기를 포함하며, 상기 제2 광학 공진기는 하측이 부분적으로 개방된 스플릿-링 광학 공진기를 포함하는 것을 특징으로 하는 비대칭 편광 변환기.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 그래핀은 상기 제1 광학 공진기 및 제2 광학 공진기 사이에 배치되며, 적어도 그 일부가 상기 제1 광학 공진기 및 제2 광학 공진기와 각각 접촉하는 것을 특징으로 하는 비대칭 편광 변환기.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 그래핀이 상기 제1 광학 공진기와 접촉하는 면적은 상기 그래핀이 상기 제2 광학 공진기와 접촉하는 그것과 상이한 것을 특징으로 하는 비대칭 편광 변환기.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 그래핀에 의해 변화하는 상기 제1 광학 공진기와 제2 광학 공진기의 저항값은 상이한 것을 특징으로 하는 비대칭 편광 변환기.

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 게이트 전극과 상기 기판 사이에 상기 전압을 인가하는 전압원을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 비대칭 편광 변환기.

청구항 9

제1항에 있어서,

상기 제1 광학 공진기와 제2 광학 공진기는 각각 금을 포함하는 것을 특징으로 하는 비대칭 편광 변환기.

청구항 10

(a) 기판 상부에 제1 광학 공진기 및 상기 제1 광학 공진기와 일정 간격 이격되는 제2 광학 공진기를 포함하는 하나 이상의 단위 광학 공진기 및 상기 하나 이상의 단위 광학 공진기를 둘러싸는 게이트 전극을 형성하는 단계;

(b) 상기 게이트 전극에 전기적으로 연결되는 그래핀을 상기 하나 이상의 단위 광학 공진기의 상부에 형성하는 단계; 및

(c) 상기 하나 이상의 단위 광학 공진기, 상기 게이트 전극 및 상기 그래핀을 피복하는 이온 겔을 형성하는 단계

를 포함하는 것을 특징으로 하는 비대칭 편광 변환기 제조 방법.

청구항 11

제10항에 있어서,

상기 (b) 단계는 상기 제1 광학 공진기 및 제2 광학 공진기 사이에 배치되며, 적어도 그 일부가 상기 제1 광학 공진기 및 제2 광학 공진기와 각각 접촉하는 상기 그래핀을 형성하는 단계

를 포함하는 것을 특징으로 하는 비대칭 편광 변환기.

청구항 12

제10항에 있어서,

상기 제1 광학 공진기 및 제2 광학 공진기 각각은 스플릿-링 광학 공진기를 포함하는 것을 특징으로 하는 비대칭 편광 변환기 제조 방법.

청구항 13

제10항에 있어서,

상기 (a) 단계는

(a-1) 우측이 부분적으로 개방된 스플릿-링 광학 공진기를 포함하는 상기 상기 제1 광학 공진기를 형성하는 단계;

(a-2) 상기 제1 광학 공진기와 상하로 병치되며, 하측이 부분적으로 개방된 스플릿-링 광학 공진기를 포함하는 상기 제2 광학 공진기를 형성하는 단계; 및

(a-3) 상기 상하로 병치된 제1 광학 공진기 및 제2 광학 공진기를 포함하는 상기 하나 이상의 단위 광학 공진기를 둘러싸는 게이트 전극을 형성하는 단계

를 포함하는 것을 특징으로 하는 비대칭 편광 변환기 제조 방법.

청구항 14

제10항에 있어서,

(d) 상기 게이트 전극과 상기 기판 사이에 전압을 인가하여 제1 광학 공진기와 제2 광학 공진기 각각의 저항값을 변화시키는 단계

를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 비대칭 편광 변환기 제조 방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 전기적으로 튜닝이 가능한 비대칭 편광 변환기 및 그 제조 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 메타물질은 원자와 분자 대신 인공적인 구조물들이 주기적으로 배치된 인공소재를 의미한다. 이 구조물들은 분자보다는 훨씬 크지만 전자기파의 파장보다 월등히 작다. 따라서, 메타물질은 근접장 영역의 스펙트럼 성분에 의해 거시적인 물질 응답 특성이 결정되는 모양과 크기를 갖는 구조물들을 포함할 수 있다. 이런 메타물질은 도체 또는 반도체와 같은 전통적인 물질로 만들어지며, 대단히 작은 반복 패턴으로 배치된다. 그러므로 보통의 물질들로는 달성될 수 없는 방식으로 전자기 파를 다룰 수 있다.

[0003] 특히 테라헤라츠 대역에서 전기적 제어를 통해 능동적으로 비대칭 편광 전환을 가능하게 하는 편광 변환 소자의 필요성이 대두되고 있다.

선행기술문헌

비특허문헌

[0004] (비특허문헌 0001) 1. Chiral exceptional points in metasurfaces, Ming Kang, et al., Phys. Rev. A 94, 033834 Published 19 September 2016

(비특허문헌 0002) 2. Observation of an exceptional point in a non-Hermitian metasurface, Sang Hyun Park et al., Nanophotonics 2020; 9(5): 1031.1039

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 본 발명은 전기적으로 튜닝이 가능한 비대칭 편광 변환기 및 그 제조 방법을 제공하는 것을 그 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

[0006] 본 발명에 따른 비대칭 편광 변환기는 기판; 상기 기판 상에 구비되는 제1 광학 공진기 및 상기 제1 광학 공진기와 일정 간격 이격되어 상기 기판 상에 구비되는 제2 광학 공진기를 포함하는 하나 이상의 단위 광학 공진기; 상기 기판 상에 구비되며, 상기 하나 이상의 단위 광학 공진기를 둘러싸는 게이트 전극; 상기 게이트 전극에 전기적으로 연결되며, 상기 하나 이상의 단위 광학 공진기의 상부에 구비되어 상기 게이트 전극에 인가되는 전압에 따라 제1 광학 공진기와 제2 광학 공진기 각각의 저항값을 변화시키는 그래핀; 및 상기 하나 이상의 단위 광학 공진기, 상기 게이트 전극 및 상기 그래핀을 피복하는 이온 겔을 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0007] 상기 기판은 실리콘 기판을 포함할 수 있다.

[0008] 상기 제1 광학 공진기 및 상기 제2 광학 공진기는 상하로 병치될 수 있다.

[0009] 상기 제1 광학 공진기는 우측이 부분적으로 개방된 스플릿-링 광학 공진기를 포함하며, 상기 제2 광학 공진기는 하측이 부분적으로 개방된 스플릿-링 광학 공진기를 포함할 수 있다.

[0010] 상기 그래핀은 상기 제1 광학 공진기 및 제2 광학 공진기 사이에 배치되며, 적어도 그 일부가 상기 제1 광학 공진기 및 제2 광학 공진기와 각각 접촉할 수 있다.

[0011] 상기 그래핀이 상기 제1 광학 공진기와 접촉하는 면적은 상기 그래핀이 상기 제2 광학 공진기와 접촉하는 그것과 상이할 수 있다.

[0012] 상기 그래핀에 의해 변화하는 상기 제1 광학 공진기와 제2 광학 공진기의 저항값은 상이할 수 있다.

[0013] 상기 게이트 전극과 상기 기판 사이에 상기 전압을 인가하는 전압원을 더 포함할 수 있다.

[0014] 상기 제1 광학 공진기와 제2 광학 공진기는 각각 금을 포함할 수 있다.

[0015] 본 발명에 따른 비대칭 편광 변환기 제조 방법은 (a) 기판 상부에 제1 광학 공진기 및 상기 제1 광학 공진기와 일정 간격 이격되는 제2 광학 공진기를 포함하는 하나 이상의 단위 광학 공진기 및 상기 하나 이상의 단위 광학 공진기를 둘러싸는 게이트 전극을 형성하는 단계; (b) 상기 게이트 전극에 전기적으로 연결되는 그래핀을 상기 하나 이상의 단위 광학 공진기의 상부에 형성하는 단계; 및 (c) 상기 하나 이상의 단위 광학 공진기, 상기 게이트 전극 및 상기 그래핀을 피복하는 이온 겔을 형성하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0016] 상기 (b) 단계는 상기 제1 광학 공진기 및 제2 광학 공진기 사이에 배치되며, 적어도 그 일부가 상기 제1 광학 공진기 및 제2 광학 공진기와 각각 접촉하는 상기 그래핀을 형성하는 단계를 포함할 수 있다.

[0017] 상기 제1 광학 공진기 및 제2 광학 공진기 각각은 스플릿-링 광학 공진기를 포함항 수 있다.

[0018] 상기 (a) 단계는 (a-1) 우측이 부분적으로 개방된 스플릿-링 광학 공진기를 포함하는 상기 상기 제1 광학 공진기를 형성하는 단계; (a-2) 상기 제1 광학 공진기와 상하로 병치되며, 하측이 부분적으로 개방된 스플릿-링 광학 공진기를 포함하는 상기 제2 광학 공진기를 형성하는 단계; 및 (a-3) 상기 상하로 병치된 제1 광학 공진기 및 제2 광학 공진기를 포함하는 상기 하나 이상의 단위 광학 공진기를 둘러싸는 게이트 전극을 형성하는 단계를 포함할 수 있다.

[0019] 본 발명에 따른 비대칭 편광 변환기 제조 방법은 (d) 상기 게이트 전극과 상기 기판 사이에 전압을 인가하여 제1 광학 공진기와 제2 광학 공진기 각각의 저항값을 변화시키는 단계를 더 포함할 수 있다.

발명의 효과

[0020] 본 발명에 따른 전기적으로 튜닝이 가능한 비대칭 편광 변환기 및 그 제조 방법에는 다음과 같은 장점이 있다.

[0021] (1) 본 발명에 따른 비대칭 편광 변환기 및 그 제조 방법은 좌편광이 우편광으로 변환되는 비율과 우편광이 좌편광으로 변환되는 비율을 능동적으로 제어하여 원편광 전환율을 다르게 할 수 있다는 장점이 있다.

[0022] (2) 본 발명에 따른 비대칭 편광 변환기 및 그 제조 방법은 동일한 편광에 대해서 빔이 본 발명에 따른 비대칭 편광 변환기의 전면과 후면으로 각각 입사할 때 그에 수직한 편광으로 전환되는 비율을 비대칭적으로 구현하 수 있다는 장점이 있다.

도면의 간단한 설명

[0023] 도 1은 본 발명에 따른 비대칭 편광 변환기를 개략적으로 도시한 평면도.

도 2는 도 1의 A-A'에 따른 비대칭 편광 변환기의 단면도.

도 3은 본 발명에 따른 비대칭 편광 변환기의 단위 광학 공진기를 개략적으로 도시한 평면도.

도 4는 본 발명에 따른 비대칭 편광 변환기의 그래핀을 개략적으로 도시한 평면도.

도 5는 본 발명에 따른 비대칭 편광 변환기의 제조 방법을 도시한 흐름도.

도 6은 본 발명에 따른 비대칭 편광 변환기의 제조 방법의 (a) 단계를 상세히 도시한 흐름도.

도 7은 본 발명에 따른 비대칭 편광 변환기의 편광 변환 과정으로 개략적으로 도시한 도면.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0024] 이하에서는, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명에 따른 전기적으로 튜닝이 가능한 비대칭 편광 변환기 및 그 제조 방법에 대해 상세히 설명한다.

[0025] 도 1은 본 발명에 따른 비대칭 편광 변환기를 개략적으로 도시한 평면도이며, 도 2는 도 1의 A-A'에 따른 비대칭 편광 변환기의 단면도이다.

[0026] 도 1 및 도 2를 참조하면, 본 발명에 따른 비대칭 편광 변환기(1000)는 기판(100), 하나 이상의 단위 광학 공진기(200), 게이트 전극(300), 그래핀(400) 및 이온 겔(500)을 포함한다.

[0027] 또한, 본 발명에 따른 비대칭 편광 변환기(1000)는 전압원(700)을 더 포함할 수 있다.

[0028] 기판(100)은 실리콘 기판(100)을 포함할 수 있다. 기판(100)의 상면에는 크롬 등을 포함하는 접착층을 개재하여 하나 이상의 단위 광학 공진기(200), 게이트 전극(300), 그래핀(400) 및 이온 겔(500)이 형성될 수 있다.

[0029] 단위 광학 공진기(200)는 기판(100) 상에 하나 이상 구비될 수 있다. 도 1에는 9개의 단위 광학 공진기(200)가 도시되어 있으나, 이에 국한되는 것은 아니다. 단위 광학 공진기(200)는 9개 미만 또는 10개 이상 구비될 수 있다.

[0030] 또한, 둘 이상의 단위 광학 공진기(200)가 일정한 간격으로 배치되는 것이 바람직하며, 그 개질은 금(gold)인 것이 바람직하다.

[0031] 도 3은 본 발명에 따른 단위 광학 공진기(200)를 개략적으로 도시한 평면도이다.

[0032] 도 3을 참조하면, 단위 광학 공진기(200)는 제1 광학 공진기(200a) 및 제2 광학 공진기(200b)를 포함한다.

[0033] 제1 광학 공진기(200a)는 기판(100) 상에 구비되며, 바람직하게는 우측이 부분적으로 개방된 스플릿-링 광학 공진기를 포함한다.

[0034] 제2 광학 공진기(200b)는 기판(100) 상에 구비되며, 바람직하게는 하측이 부분적으로 개방된 스플릿-링 광학 공진기를 포함한다.

[0035] 그러나, 제1 광학 공진기(200a)와 제2 광학 공진기(200b)의 개방된 부분은 이에 국한되지 않고, 개방 방향이 서로 수직이면 충분하다. 예를 들어, 제1 광학 공진기(200a)는 상측이 부분적으로 개방된 스플릿-링 광학 공진기를 포함하고, 제2 광학 공진기(200b)는 우측이 부분적으로 개방된 스플릿-링 광학 공진기를 포함할 수 있다.

[0036] 도 3에 도시된 바와 같이, 제1 광학 공진기(200a) 및 제2 광학 공진기(200b)는 상하로 병치될 수 있다.

[0037] 제1 광학 공진기(200a)와 제2 광학 공진기(200b)는 각각 금을 포함할 수 있다.

[0038] 다시 도 1 및 도 2를 참조하면, 게이트 전극(300)은 기판(100) 상에 구비되며, 하나 이상의 단위 광학 공진기(200)를 둘러싼다.

[0039] 게이트 전극(300)에는 소정의 전압이 인가될 수 있다.

[0040] 그래핀(graphene: 400)은 하나 이상의 단위 광학 공진기(200)의 상부에 구비된다.

[0041] 그래핀(400)은 게이트 전극(300)에 물리적으로 접촉되고 전기적으로 연결되며, 게이트 전극(300)에 인가되는 전압에 따라 제1 광학 공진기(200a)와 제2 광학 공진기(200b) 각각의 저항값을 변화시킨다.

[0042] 도 4는 본 발명에 따른 비대칭 편광 변환기(1000)의 그래핀(400)을 개략적으로 도시한 평면도이다.

[0043] 도 4를 참조하면, 그래핀(400)은 마이크로 리본 형태이며, 벌집 형상을 가진다.

[0044] 다시 도 1 및 도 2를 참조하면, 그래핀(400)은 제1 광학 공진기(200a) 및 제2 광학 공진기(200b) 사이에 배치되며, 적어도 그 일부가 제1 광학 공진기(200a) 및 제2 광학 공진기(200b)와 각각 접촉할 수 있다.

[0045] 여기서, 그래핀(400)이 제1 광학 공진기(200a)와 접촉하는 면적은 그래핀(400)이 제2 광학 공진기(200b)와 접촉하는 그것과 상이할 수 있다.

[0046] 이온 겔(iongel: 500)은 하나 이상의 단위 광학 공진기(200), 게이트 전극(300) 및 그래핀(400)을 피복한다.

[0047] 이하에서는, 본 발명에 따른 비대칭 편광 변환기(1000)의 제조 방법에 대해 상세히 설명한다.

[0048] 도 5는 본 발명에 따른 비대칭 편광 변환기의 제조 방법을 도시한 흐름도이다.

[0049] 도 5를 참조하면, 본 발명에 따른 비대칭 편광 변환기의 제조 방법은 S100 단계, S200단계 및 S300 단계를 포함한다.

[0050] 먼저, 기판 상부에 제1 광학 공진기 및 제1 광학 공진기와 일정 간격 이격되는 제2 광학 공진기를 포함하는 하나 이상의 단위 광학 공진기 및 하나 이상의 단위 광학 공진기를 둘러싸는 게이트 전극을 형성한다(S100).

[0051] 이하에서는, 도 6을 참조하여 S100 단계에 대해 상세히 설명한다.

[0052] 도 6은 본 발명에 따른 비대칭 편광 변환기의 제조 방법의 (a) 단계를 상세히 도시한 흐름도이다.

[0053] 도 6을 참조하면, 우측이 부분적으로 개방된 스플릿-링 광학 공진기를 포함하는 제1 광학 공진기를 형성한다

(S110).

[0054] 다음에는, 제1 광학 공진기와 상하로 병치되며, 하측이 부분적으로 개방된 스플릿-링 광학 공진기를 포함하는 제2 광학 공진기를 형성한다(S120).

[0055] 다음에는, 상하로 병치된 제1 광학 공진기 및 제2 광학 공진기를 포함하는 하나 이상의 단위 광학 공진기를 둘러싸는 게이트 전극을 형성한다(S130).

[0056] S110 단계 내지 S130 단계는 순차적으로, 또는 동시에 수행될 수 있다. 예를 들어, 기판 상부에 금으로 박막을 형성하고, 이를 패터닝하여 제1 광학 공진기, 제2 광학 공진기 및 게이트 전극을 동시에 형성할 수 있다.

[0057] 다시 도 5를 참조하면, 게이트 전극에 전기적으로 연결되는 그래핀을 하나 이상의 단위 광학 공진기의 상부에 형성한다(S200).

[0058] 구체적으로는, 제1 광학 공진기 및 제2 광학 공진기 사이에 배치되며, 적어도 그 일부가 제1 광학 공진기 및 제2 광학 공진기와 각각 접촉하는 그래핀을 형성한다.

[0059] 다음에는, 하나 이상의 단위 광학 공진기, 게이트 전극 및 그래핀을 피복하는 이온 겔을 형성한다(S300).

[0060] 다음에는, 게이트 전극과 기판 사이에 전압을 인가하여 제1 광학 공진기와 제2 광학 공진기 각각의 저항값을 변화시킨다(S400).

[0061] 이하에서는, 도 7을 참조하여 본 발명에 따른 비대칭 편광 변환기의 동작 및 편광 변환 과정에 대해 상세히 설명한다.

[0062] 도 7은 본 발명에 따른 비대칭 편광 변환기의 편광 변환 과정으로 개략적으로 도시한 도면이다.

[0063] 도 7을 참조하면, 본 발명에 따른 비대칭 편광 변환기를 통과한 빔은 그 편광에 변화가 발생한다.

[0064] 원형 편광에는 크게 LHP(좌원편광: left hand circular polarization)와 RHP(우원편광: right hand circular polarization)가 있다.

[0065] 빔에는 LHP 성분과 RHP 성분이 있는데, 빔이 본 발명에 따른 비대칭 편광 변환기를 통과하면, 빔의 LHP 성분과 RHP 성분에 변화가 발생한다.

[0066] 예를 들어, 빔이 본 발명에 따른 비대칭 편광 변환기를 통과하면, 빔의 LHP 성분의 적어도 일부가 RHP 성분으로 변환되거나, 빔의 RHP 성분의 적어도 일부가 LHP 성분으로 변환될 수 있다.

[0067] 특히, 빔이 본 발명에 따른 비대칭 편광 변환기의 전면으로 입사한 후 비대칭 편광 변환기를 통과하는 경우 빔의 LHP 성분이 RHP 성분(또는 RHP 성분이 LHP 성분)으로 변환되는 정도와 빔이 본 발명에 따른 비대칭 편광 변환기의 후면으로 입사한 후 비대칭 편광 변환기를 통과하는 경우 빔의 LHP 성분이 RHP 성분(또는 RHP 성분이 LHP 성분)으로 변환되는 정도가 상이, 즉 비대칭일 수 있다.

[0068] 이에 대해 구체적으로 설명하면 다음과 같다.

[0069] 먼저, 본 발명에 따른 비대칭 편광 변환기의 전면으로 입사되는 빔이 본 발명에 따른 비대칭 편광 변환기를 투과할 때(이하 "정방향") 본 발명에 따른 비대칭 편광 변환기의 광학적 특성을 나타내는 정방향 존스 매트릭스(T^f: forward propagation Jones matrix)는 아래의 수학식 1과 같다.

수학식 1

[0070] $$T^f=\begin{pmatrix} t^f_{LL} & t^f_{LR} \\ t^f_{RL} & t^f_{RR} \end{pmatrix}$$

[0071] 여기서, t^f_{LL}은 본 발명에 따른 비대칭 편광 변환기를 정방향으로 투과하기 전(입사된)의 빔의 LHP 성분과 투과한 후의 빔의 LHP 성분의 관계에 대한 원소이고, t^f_{LR}은 본 발명에 따른 비대칭 편광 변환기를 투과하기 전의 빔의 RHP 성분과 투과한 후의 빔의 LHP 성분의 관계에 대한 원소이고, t^f_{RL}은 본 발명에 따른 비대칭 편광 변환기

를 투과하기 전의 빔의 LHP 성분과 투과한 후의 빔의 RHP 성분의 관계에 대한 원소이고, t^{f}_{RR}은 본 발명에 따른 비대칭 편광 변환기를 투과하기 전의 빔의 RHP 성분과 투과한 후의 빔의 RHP 성분의 관계에 대한 원소이다.

[0072] 또한, 본 발명에 따른 비대칭 편광 변환기의 후면으로 입사되는 빔이 본 발명에 따른 비대칭 편광 변환기를 투과할 때(이하 "역방향") 본 발명에 따른 비대칭 편광 변환기의 광학적 특성을 나타내는 역방향 존스 매트릭스(T^{b}: backward propagation Jones matrix)는 아래의 수학식 2와 같다.

수학식 2

[0073] $$T^{b}=\begin{pmatrix} t^{b}_{LL} & t^{b}_{LR} \\ t^{b}_{RL} & t^{b}_{RR} \end{pmatrix}$$

[0074] 여기서, t^{b}_{LL}은 본 발명에 따른 비대칭 편광 변환기를 역방향으로 투과하기 전의 빔의 LHP 성분과 투과한 후의 빔의 LHP 성분의 관계에 대한 원소이고, t^{b}_{RL}은 본 발명에 따른 비대칭 편광 변환기를 투과하기 전의 빔의 LHP 성분과 투과한 후의 빔의 RHP 성분의 관계에 대한 원소이고, t^{b}_{LR}은 본 발명에 따른 비대칭 편광 변환기를 투과하기 전의 빔의 RHP 성분과 투과한 후의 빔의 LHP 성분의 관계에 대한 원소이고, t^{b}_{RR}은 본 발명에 따른 비대칭 편광 변환기를 투과하기 전의 빔의 RHP 성분과 투과한 후의 빔의 RHP 성분의 관계에 대한 원소이다.

[0075] T^{f}와 T^{b}의 관계는 아래의 수학식 3과 같다.

수학식 3

[0076] $$T^{b}=\begin{pmatrix} t^{b}_{LL} & t^{b}_{LR} \\ t^{b}_{RL} & t^{b}_{RR} \end{pmatrix}=(T^{f})^{T}=\begin{pmatrix} t^{f}_{LL} & t^{f}_{LR} \\ t^{f}_{RL} & t^{f}_{RR} \end{pmatrix}^{T}=\begin{pmatrix} t^{f}_{LL} & t^{f}_{RL} \\ t^{f}_{LR} & t^{f}_{RR} \end{pmatrix}$$

[0077] 즉, T^{b}는 T^{f}의 전치행렬이다.

[0078] 따라서, $t^{f}_{LL}=t^{b}_{LL}$, $t^{f}_{RR}=t^{b}_{RR}$, $t^{f}_{LR}=t^{b}_{RL}$ 및 $t^{f}_{RL}=t^{b}_{LR}$이다.

[0079] 본 발명에 따르면, 게이트 전극에 전압이 인가되면, 게이트 전극에 전기적으로 연결된 그래핀의 페르미 준위(Fermi level)에 변동이 발생한다. 그래핀의 페르미 레벨이 변동한다는 것은 그래핀의 광전도도(optical conductivity)가 변동하는 것을 의미한다.

[0080] 이로 인하여, 그래핀과 접촉된 제1 광학 공진기와 제2 광학 공진기 각각의 저항값에도 변동이 발생한다.

[0081] 제1 광학 공진기와 제2 광학 공진기 각각의 저항값에 변동이 발생하면, 본 발명에 따른 비대칭 편광 변환기의 광학적 특성, 즉 정방향 존스 매트릭스와 역방향 존스 매트릭스의 각 원소에 변동이 발생한다.

[0082] 실험 결과에 따르면, 게이트 전압(V_G)의 변화에 따른 t^{f}_{LL}, t^{f}_{LR}, t^{f}_{RL} 및 t^{f}_{RR}은 아래의 표 1과 같다.

표 1

[0083]

V_G(V)	$t^{f}_{LL}(=t^{b}_{LL})$	$t^{f}_{LR}(=t^{b}_{RL})$	$t^{f}_{RL}(=t^{b}_{LR})$	$t^{f}_{RR}(=t^{b}_{RR})$
0.6000	0.6821	0.3665	0.0274	0.6741
0.5000	0.6869	0.3685	0.0255	0.6772
0.4000	0.6857	0.3631	0.0260	0.6788
0.3000	0.6834	0.3642	0.0157	0.6744
0.2000	0.6868	0.3639	0.0132	0.6762
0.1000	0.6849	0.3587	0.0104	0.6767

0	0.6844	0.3513	0.0106	0.6777
-0.1000	0.6806	0.3463	0.0051	0.6732
-0.2000	0.6859	0.3461	0.0002	0.6804
-0.3000	0.6852	0.3424	0.0061	0.6782
-0.4000	0.6900	0.3343	0.0064	0.6830
-0.5000	0.6875	0.3316	0.0114	0.6818
-0.6000	0.6881	0.3329	0.0198	0.6850
-0.7000	0.6915	0.3277	0.0202	0.6863
-0.8000	0.6900	0.3237	0.0206	0.6849
-0.9000	0.6894	0.3242	0.0241	0.6842

[0084] 예를 들어, V_G=0.5V일 때, T^f와 T^b는 각각 아래의 수학식 4 및 수학식 5와 같다.

수학식 4

[0085] $$T^{f}_{0.5}=\begin{pmatrix}0.6869 & 0.3685\\ 0.0255 & 0.6772\end{pmatrix}$$

수학식 5

[0086] $$T^{b}_{0.5}=\begin{pmatrix}0.6869 & 0.0255\\ 0.3685 & 0.6772\end{pmatrix}$$

[0087] 이와 같이, $t^{f}_{LR}=t^{b}_{RL}$ 및 $t^{f}_{RL}=t^{b}_{LR}$이므로, 빔이 입사하는 방향에 따라, 비대칭적으로 LHP 성분 및 RHP 성분에 변화가 발생한다.

[0088] 또한, V_G=-0.2V일 때, T^f와 T^b는 각각 아래의 수학식 6 및 수학식 7과 같다.

수학식 6

[0089] $$T^{f}_{-0.2}=\begin{pmatrix}0.6859 & 0.3461\\ 0.0002 & 0.6804\end{pmatrix}$$

수학식 7

[0090] $$T^{b}_{-0.2}=\begin{pmatrix}0.6859 & 0.0002\\ 0.3461 & 0.6804\end{pmatrix}$$

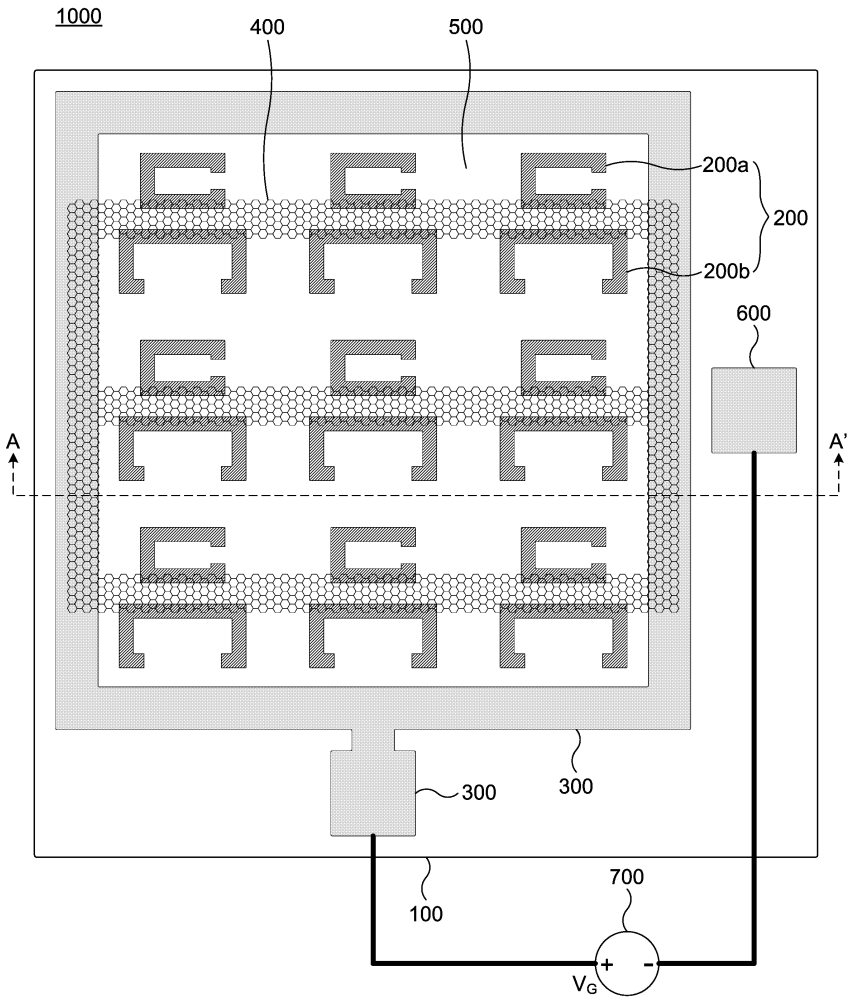
[0091] 수학식 4와 수학식 6을 비교하면, V_G에 따라 t^{f}_{LR} 및 t^{f}_{RL}이 변하는 것을 알 수 있다. 즉, 본 발명의 비대칭 편광 변환기의 전면으로 입사하여 본 발명의 비대칭 편광 변환기를 투과한 빔의 투과 전후의 LHP 성분 및 RHP 성분이 V_G에 따라 상이한 것을 알 수 있다.

[0092] 마찬가지로, 수학식 5와 수학식 7을 비교하면, V_G에 따라 t^{b}_{LR} 및 t^{b}_{RL}이 변하는 것을 알 수 있다. 즉, 본 발명의 비대칭 편광 변환기의 후면으로 입사하여 본 발명의 비대칭 편광 변환기를 투과한 빔의 투과 전후의 LHP 성분 및 RHP 성분이 V_G에 따라 상이한 것을 알 수 있다.

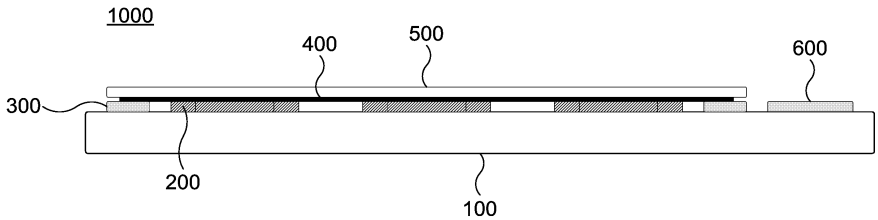
[0093] 이와 같이, 빔이 본 발명의 비대칭 편광 변환기의 전면 또는 후면으로 입사하는지에 따라 편광 성분이 비대칭적으로 변화하며, 이 변화량은 V_G로 조절할 수 있다는 것을 알 수 있다.

도면

도면1

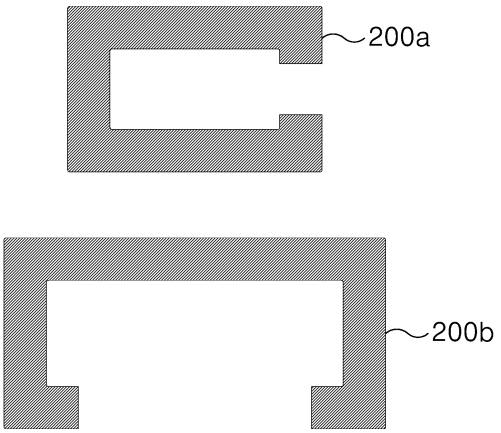


도면2

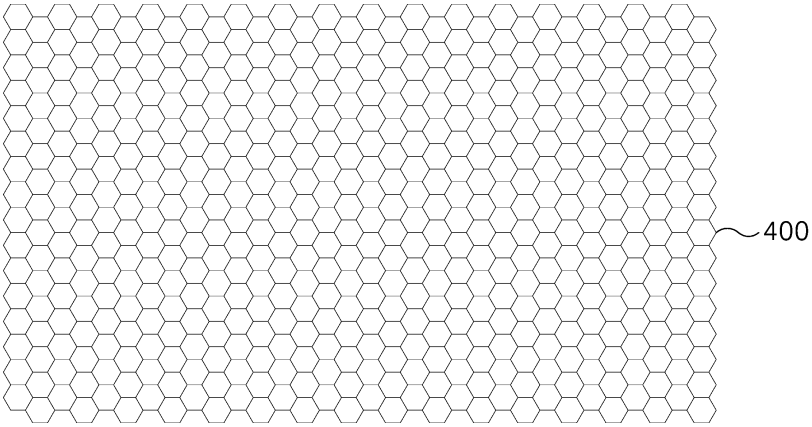


도면3

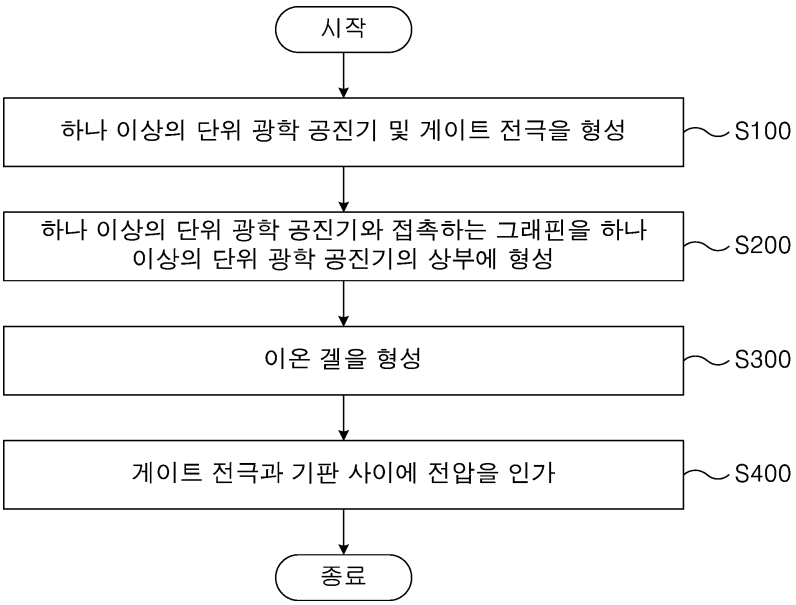
200



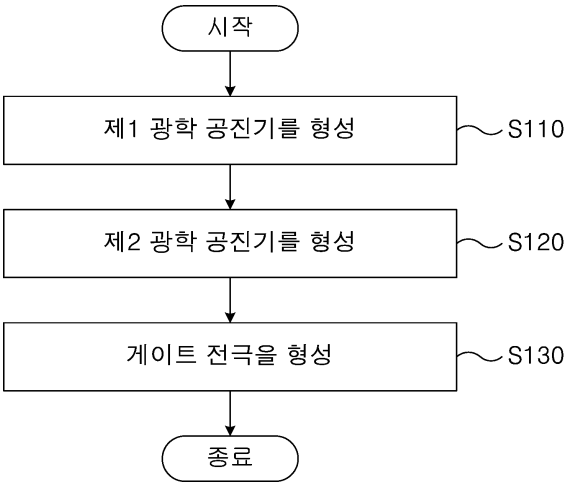
도면4



도면5



도면6



도면7

