



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2022-0133404
(43) 공개일자 2022년10월05일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G02F 1/03 (2006.01) G02F 1/1335 (2019.01)
G03H 1/02 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G02F 1/0311 (2013.01)
G02F 1/133531 (2021.01)
(21) 출원번호 10-2021-0038447
(22) 출원일자 2021년03월25일
심사청구일자 2021년03월25일

(71) 출원인
경희대학교 산학협력단
경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732 (서천동, 경희대학교 국제캠퍼스내)
(72) 발명자
최재우
서울특별시 송파구 송파대로 567, 510동 307호(잠실동, 주공아파트)
최민호
서울특별시 성북구 화랑로 299, 101동 617호(장위동, 석계역 한일노벨리아시티)
(74) 대리인
김연권

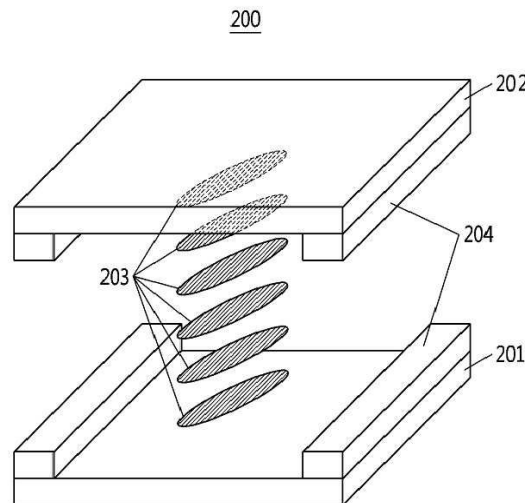
전체 청구항 수 : 총 12 항

(54) 발명의 명칭 복소수 공간 광 변조기

(57) 요약

본 발명은 진폭과 위상을 함께 조절하는 복소 진폭 조절하는 기술적 사상에 관한 것으로, 대칭적 분포의 복굴절 물질들에 의해 형성된 복굴절층과 서로 90도 회전된 두 편광판을 사용하여, 추가적인 광학소자와 공간 광 변조기 없이, 기존 해상도를 유지하며, 단일 화소로 복소 공간 전 영역의 복소 진폭을 조절하는 기술에 관한 것으로, 본 발명의 일실시예에 따르면 복소수 공간 광 변조기는 제1 편광판, 상기 제1 편광판에 대하여 90도 내지 -90도 회전되어 대향하는 제2 편광판, 상기 제1 편광판 상에 위치하는 제1 전극, 상기 제2 편광판에서 상기 제1 전극에 대향하도록 위치하는 제2 전극 및 상기 제1 편광판과 상기 제2 편광판 사이에 위치하고, 상기 제1 전극과 상기 제2 전극을 통해 인가되는 전기에 기반하여 복굴절 물질들의 분포가 대칭적으로 변경됨에 따라 진폭과 위상을 포함하는 복소 진폭을 조절하는 복굴절층을 포함하는

대 표 도 - 도2a



(52) CPC특허분류

G03H 2001/0224 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711106055
과제번호	2019R1F1A1063643
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	기본연구
연구과제명	대면적화 가능한 유연성 그래핀 기반 다수인자 이미지 센서들
기 여 율	1/1
과제수행기관명	경희대학교 산학협력단
연구기간	2019.06.01 ~ 2022.02.28

명세서

청구범위

청구항 1

제1 편광판;

상기 제1 편광판에 대하여 90도 내지 -90도 회전되어 대향하는 제2 편광판;

제1 전극;

상기 제1 전극에 대향하도록 위치하는 제2 전극; 및

상기 제1 편광판과 상기 제2 편광판 사이에 위치하고, 상기 제1 전극과 상기 제2 전극을 통해 인가되는 전기에 기반하여 복굴절 물질들의 분포가 대칭적으로 변경됨에 따라 진폭과 위상을 포함하는 복소 진폭을 조절하는 복굴절층을 포함하는 것을 특징으로 하는

복소수 공간 광 변조기.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 복굴절층은 상기 제1 편광판과 상기 제2 편광판이 이루는 대향 구조의 중간을 기준으로 대칭적 분포를 가지도록 상기 복굴절 물질의 분포가 변경되는 것을 특징으로 하는

복소수 공간 광 변조기.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 복굴절층은 상기 복굴절 물질들의 분포가 극각 분포와 방위각 분포가 대칭적 분포를 이루고,

상기 복굴절 물질들은 균질성(homogeneous) 액정 물질인 것을 특징으로 하는

복소수 공간 광 변조기.

청구항 4

제2항에 있어서,

상기 복굴절층은 상기 제1 편광판과 상기 제2 편광판이 이루는 대향 구조의 중간을 기준으로 위상차향과 슬로우 축(slow axis)의 방위각 방향이 대칭적 분포를 이루어서 극각분포에 의해 결정되는 공통위상향의 전체 합에 기반하여 상기 위상을 조절하는 것을 특징으로 하는

복소수 공간 광 변조기.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 복굴절층은 상기 제1 편광판과 상기 제2 편광판이 이루는 대향 구조의 중간을 기준으로 위상차향과 슬로우 축(slow axis)의 방위각 방향이 대칭적 분포에 기반하여 상기 위상차향과 상기 슬로우 축(slow axis)의 방위각 방향의 분포를 변화시켜 상기 진폭을 조절하는 것을 특징으로 하는

복소수 공간 광 변조기.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 제1 편광판과 상기 제2 편광판은 서로 90도 내지 -90도 방향으로 회전된 투과축을 형성하는 것을 특징으로 하는

복소수 공간 광 변조기.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 제1 편광판과 상기 제2 편광판은 대향되는 면적에서 동일한 길이 또는 너비를 가지고,

상기 복굴절층은 상기 길이 또는 너비와 관계 없이 상기 제1 편광판과 상기 제2 편광판의 중앙에 위치하는 것을 특징으로 하는

복소수 공간 광 변조기.

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 제1 전극 및 상기 제2 전극은 상기 제1 편광판과 상기 제2 편광판 사이에서 전선을 통해 전기적으로 연결되는 전극 배열을 가지거나 상기 제1 편광판과 상기 제2 편광판 사이를 직접 연결하도록 상기 제1 편광판과 상기 제2 편광판의 사이 거리에 따른 크기로 상기 제1 편광판과 상기 제2 편광판 사이에 위치하는 전극 배열을 가지는 것을 특징으로 하는

복소수 공간 광 변조기.

청구항 9

제1항에 있어서,

상기 제1 편광판의 하면 또는 상면에 위치하여, 위상 변조(modulation)를 보상하는 제1 광학 소자; 및

상기 제2 편광판의 상면 또는 하면에 위치하여, 상기 위상 변조(modulation)를 보상하는 제2 광학 소자를 더 포함하는 것을 특징으로 하는

복소수 공간 광 변조기.

청구항 10

제1항에 있어서,

상기 복소수 공간 광 변조기는 상기 제1 편광판, 상기 제1 전극 및 상기 복굴절층 중 제1 복굴절 물질들을 포함하는 제1 복소수 공간 광변조 구조 및 상기 제2 편광판, 상기 제2 전극 및 상기 복굴절층 중 제2 복굴절 물질들을 포함하는 제2 복소수 공간 광변조 구조로 구분되는 것을 특징으로 하는

복소수 공간 광 변조기.

청구항 11

제10항에 있어서,

상기 제1 복소수 공간 광변조 구조 및 상기 제2 복소수 공간 광변조 구조 각각은 공통위상항의 합을 유지하면서 상기 제1 복굴절 물질들과 상기 제2 복굴절 물질들의 분포를 조절함에 따라 위상차항과 방향자의 방위각 분포를 대칭적으로 유지하는 것을 특징으로 하는

복소수 공간 광 변조기.

청구항 12

제10항에 있어서,

상기 복굴절층은 상기 복굴절 물질들의 분포에 기반하여 입사하는 광에 대한 z축으로부터의 각도인 극각과 x축 및 y축 방향으로의 각도인 방위각이 대칭적으로 동일하게 형성하는 특징으로 하는

복소수 공간 광 변조기.

발명의 설명

기술 분야

- [0001] 본 발명은 진폭과 위상을 함께 조절하는 복소 진폭 조절하는 기술적 사상에 관한 것으로, 대칭적 분포의 복굴절 물질들에 의해 형성된 복굴절층과 서로 90도 회전된 두 편광판을 사용하여, 추가적인 광학소자와 공간 광 변조기 없이, 기존 해상도를 유지하며, 단일 화소로 복소 공간 전 영역의 복소 진폭을 조절하는 기술에 관한 것이다.

배경 기술

- [0003] 고도화된 사회 발전과 함께 광, 신호 등 다양한 영역에서 위상, 진폭 등 다양한 정보처리를 요하고 있다.
- [0004] 특히, 디지털 홀로그래프와 광기반 양자 정보처리 기술은 빛의 위상과 진폭을 자유자재로 조절이 필요로하며, 한 예로, 빛이 편광상태로 양자 얽힘이 있을 시 얽힘 상태에 게이팅 조절을 위해서는 빛의 편광과 무관하게 위상과 진폭을 독립적으로 조절할 필요성이 존재한다.
- [0005] 광공학적 분야에서 빛의 진폭, 위상, 편광과 같은 빛의 특성을 공간적으로 조절해 주는 장치를 공간 광 변조기라고 한다.
- [0006] 일반적인 공간 광 변조기(Spatial Light Modulator, SLM)는 진폭 혹은 위상 하나만을 조절하거나, 진폭과 위상이 서로 결합되어 있다.
- [0007] 따라서, 복소 공간 전 영역(0π 내지 2π 위상 * 0 내지 최대 투과도 혹은 반사도)의 복소 진폭을 조절하기 위해서는 다수의 공간 광 변조기를 조합하거나, 여러 화소를 하나의 슈퍼 화소(super-pixel)로 조합하는 방식을 사용한다.
- [0008] 다시 말해, 일반적인, 대중적인 공간 광 변조기는 빛의 진폭 혹은 위상 정보 중 하나만을 조절하며, 일반적인 디스플레이 장치는 진폭과 위상이 서로 결합(coupling)되어 있다.
- [0009] 복소 진폭이란, 빛의 위상과 진폭정보를 의미하며, 복소공간 또는 복소평면이란, 빛의 전기장 또는 자기장을 페이저(phasor) 형태로 표현했을 때, x 축을 전기장 또는 자기장의 Re 성분, y축을 Im성분으로 표현한 공간으로, 벡터의 크기는 진폭, 각도는 위상을 의미한다.
- [0010] 또한, 복소 공간 전 영역이란, 0π 내지 2π 까지의 위상에 대하여 상대적으로 최대 투과도 또는 반사도를 의미하며, 복소 공간 전 영역에서 복소 진폭의 조절이 가능함은, 복소공간에서 원점부터 일정 반지름 내의 모든 복소 진폭 값을 구현 가능 함을 의미할 수 있다.
- [0011] 일반적으로, 복소 진폭의 조절은 하나의 공간 광 변조기의 여러 화소들을 조합하거나, 여러 공간 광 변조기를 조합하여 구현이 가능하다.
- [0012] 하나의 공간 광 변조기의 여러 화소를 조합하는 경우, 여러 방식이 존재하나, 박막(thin film)형태 구조는 2개 내지 4개의 인접한 화소를 정밀하게 패턴된 광학 소자를 정밀하게 배열시켜 여러 화소를 통과한 빛을 하나로 합치는 구조이며, 비 박막형태 구조의 경우, PBS(Polarizing Beam Splitter), 렌즈, 거울 등을 이용하여 빛을 여러 번 통과시키는 형태를 가진다.
- [0013] 박막/비 박막 구조 모두 해상도 손실이 필연적이며, 박막구조는 정밀한 광학소자 기술 및 배열 기술이라는 단점과 비 박막구조는 빛이 이동할 공간과 추가적인 광학소자, 정밀한 배열이 필요하다는 단점을 갖는다.
- [0014] 진폭만을 조절하는 공간 광 변조기는 A-SLM (amplitude only-SLM)로 지칭되고, 위상만을 조절하는 공간 광 변조기는 P-SLM (Phase only-SLM) 지칭된다.
- [0015] 앞서 설명한 바와 같이, 여러 공간 광 변조기를 연결하는 방식은 일반적으로 진폭과 위상이 결합된 공간 광 변조기와 이를 보상하기 보상 및 추가적 위상 조절을 위한 P-SLM의 조합 혹은 A-SLM과 P-SLM으로 이루어진다고 볼 수 있다.
- [0016] 추가적으로, A-SLM으로써 가장 흔히 사용되는 방식은 DMD(Digital Micromirror Device) 방식으로 매우 작은 거

울의 각도를 조절하여 입사 빛을 온 또는 오프(on-off) 시킨다.

- [0017] 광량은 시분할 방식으로, 온오프 각각의 펄스를 조절하여 단위 시간 당 평균 밝기로 평균 광량을 조절한다.
- [0018] DMD 방식은 매우 높은 프레임율(frame rate)로 구동 가능하다는 장점이 있으나, 반사형 구조로 빛이 입사 및 반사를 위한 물리적 공간이 필요하며, 사용 구조가 제한이 된다.
- [0019] 또한, 디스플레이 용도로는 괜찮을 수도 있으나, 온오프의 형태로 진폭을 조절하기 때문에 빛의 진행방향과 시간에 따라 빛의 진폭을 조사해보면, 불연속적인 빛의 파동을 관찰할 수 있으며, 빛이 존재하는 영역은 빛의 진폭이 조절되지 않음에 따라 평균 광량보다 순간 광량이 중요한 소자에 사용이 불가능하다는 문제점이 존재한다.
- [0020] A-SLM의 두 번째로 자주 사용되는 구조는 액정을 통한 구조로, 이들은 반사형 투과형 두 구조 모두 가능하다.
- [0021] DMD와는 달리, 액정 구조는 시공간적으로도 연속적인 조절이 가능하며, 최대 밝기까지 연속적인 진폭조절이 가능하나, DMD보다 프레임율(frame rate)이 매우 낮다.
- [0022] 기존 대부분의 A-SLM의 경우, 이론상 완벽한 진폭(amplitude)에 대한 구동이 불가능하며, 일정량의 위상 변조(phase modulation)가 존재한다. 이를 해결하기 위하여 기존 대부분의 A-SLM은 추가적인 보상필름을 사용하거나, 추가적인 구조가 요구되는 실정이다.
- [0023] 즉, 단일 구조로 복소 공간 전 영역에서 복소 진폭 조절이 가능한 공간 광 변조기는 확인하기 어렵다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0024] (특허문헌 0001) 한국등록특허 제10-1505927호, "광의 진폭 및 위상 변조 장치"
- (특허문헌 0002) 한국공개특허 제10-2020-0101044호, "홀로그래픽 영상을 제공하는 다중 영상 디스플레이 장치"
- (특허문헌 0003) 한국공개특허 제10-2017-0009255호, "공간 광 변조기 및 이를 이용한 디지털 홀로그래피"
- (특허문헌 0004) 한국등록특허 제10-1993566호, "위상 변조기와 상호 작용하는 광을 변조하는 위상 변조기"

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0025] 본 발명은 대칭적 분포의 복굴절 물질들과 서로 90도 회전된 두 편광판을 사용하여, 추가적인 광학소자와 공간 광 변조기 없이, 기존 해상도를 유지하며, 단일 화소로 복소 공간 전 영역의 복소 진폭을 조절하는 복소수 공간 광 변조기를 제공하는 것을 목적으로 한다.
- [0026] 본 발명은 홀로그래프, 광학 핀셋(optical tweezer), 광통신, 양자통신 등 다양한 광학 및 양자광학 실험, 어플리케이션에서 광의 진폭과 위상을 동시에 조절할 수 있는 복소수 공간 광 변조기를 제공하는 것을 목적으로 한다.
- [0027] 본 발명은 서로 90도 회전된 투과축 또는 흡수축을 갖는 두 편광판 사이에 거울 상 대칭적으로 분포된 복굴절 물질들로 구성된 복굴절 층에 기반하여 단일 화소로 복소 공간 전 영역의 복소 진폭을 조절하는 복소수 공간 광 변조기를 제공하는 것을 목적으로 한다.
- [0028] 본 발명은 적어도 두 개의 위상 공간 상에서 진폭을 조절함에 따라 배가(doubling)되는 정보량을 처리하는 것을 목적으로 한다.
- [0029] 본 발명은 위상공간의 상대적 위상차에 기반하여 위상공간 상에서 음의 진폭에서 양의 진폭까지 연속적으로 조절하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

- [0030] 본 발명의 일실시예에 따른 복소수 공간 광 변조기는 제1 편광판, 상기 제1 편광판에 대하여 90도 내지 -90도 회전되어 대향하는 제2 편광판, 제1 전극, 상기 제1 전극에 대향하도록 위치하는 제2 전극 및 상기 제1 편광판과 상기 제2 편광판 사이에 위치하고, 상기 제1 전극과 상기 제2 전극을 통해 인가되는 전기에 기반하여 복굴절

물질들의 분포가 대칭적으로 변경됨에 따라 진폭과 위상을 포함하는 복소 진폭을 조절하는 복굴절층을 포함할 수 있다.

- [0031] 상기 복굴절층은 상기 제1 편광판과 상기 제2 편광판이 이루는 대향 구조의 중간을 기준으로 대칭적 분포를 가지도록 상기 복굴절 물질의 분포가 변경될 수 있다.
- [0032] 상기 복굴절층은 상기 복굴절 물질들의 분포가 극각 분포와 방위각 분포가 대칭적 분포를 이루고, 상기 복굴절 물질들은 균질성(homogeneous) 액정 물질일 수 있다.
- [0033] 상기 복굴절층은 상기 제1 편광판과 상기 제2 편광판이 이루는 대향 구조의 중간을 기준으로 위상차향과 슬로우 축(slow axis)의 방위각 방향이 대칭적 분포를 이루어서 극각분포에 의해 결정되는 공통위상향의 전체 합에 기반하여 상기 위상을 조절할 수 있다.
- [0034] 상기 복굴절층은 상기 제1 편광판과 상기 제2 편광판이 이루는 대향 구조의 중간을 기준으로 위상차향과 슬로우 축(slow axis)의 방위각 방향이 대칭적 분포에 기반하여 상기 위상차향과 상기 슬로우 축(slow axis)의 방위각 방향의 분포를 변화시켜 상기 진폭을 조절할 수 있다.
- [0035] 상기 제1 편광판과 상기 제2 편광판은 서로 90도 내지 -90도 방향으로 회전된 투과축을 형성할 수 있다.
- [0036] 상기 제1 편광판과 상기 제2 편광판은 대향되는 면적에서 동일한 길이 또는 너비를 가지고, 상기 복굴절층은 상기 길이 또는 너비와 관계 없이 상기 제1 편광판과 상기 제2 편광판의 중앙에 위치할 수 있다.
- [0037] 상기 제1 전극 및 상기 제2 전극은 상기 제1 편광판과 상기 제2 편광판 사이에서 전선을 통해 전기적으로 연결되는 전극 배열을 가지거나 상기 제1 편광판과 상기 제2 편광판 사이를 직접 연결하도록 상기 제1 편광판과 상기 제2 편광판의 사이 거리에 따른 크기로 상기 제1 편광판과 상기 제2 편광판 사이에 위치하는 전극 배열을 가질 수 있다.
- [0038] 본 발명의 일실시예에 따르면 복소수 공간 광 변조기는 상기 제1 편광판의 하면 또는 상면에 위치하여, 위상 변조(modulation)를 보상하는 제1 광학 소자 및 상기 제2 편광판의 상면 또는 하면에 위치하여, 상기 위상 변조(modulation)를 보상하는 제2 광학 소자를 더 포함할 수 있다.
- [0039] 상기 복소수 공간 광 변조기는 상기 제1 편광판, 상기 제1 전극 및 상기 복굴절층 중 제1 복굴절 물질들을 포함하는 제1 복소수 공간 광변조 구조 및 상기 제2 편광판, 상기 제2 전극 및 상기 복굴절층 중 제2 복굴절 물질들을 포함하는 제2 복소수 공간 광변조 구조로 구분될 수 있다.
- [0040] 상기 제1 복소수 공간 광변조 구조 및 상기 제2 복소수 공간 광변조 구조 각각은 공통위상향의 합을 유지하면서 상기 제1 복굴절 물질들과 상기 제2 복굴절 물질들의 분포를 조절함에 따라 위상차향과 방향자의 방위각 분포를 대칭적으로 유지할 수 있다.
- [0041] 상기 복굴절층은 상기 복굴절 물질들의 분포에 기반하여 입사하는 광에 대한 z축으로부터의 각도인 극각과 x축 및 y축 방향으로의 각도인 방위각이 대칭적으로 동일하게 형성할 수 있다.

발명의 효과

- [0042] 본 발명은 대칭적 분포의 복굴절 물질들과 서로 90도 회전된 두 편광판을 사용하여, 추가적인 광학소자와 공간 광 변조기 없이, 기존 해상도를 유지하며, 단일 화소로 복소 공간 전 영역의 복소 진폭을 조절하는 복소수 공간 광 변조기를 제공할 수 있다.
- [0043] 본 발명은 홀로그래프, 광학 핀셋(optical tweezer), 광통신, 양자통신 등 다양한 광학 및 양자광학 실험, 어플리케이션에서 광의 진폭과 위상을 동시에 조절할 수 있는 복소수 공간 광 변조기를 제공할 수 있다.
- [0044] 본 발명은 서로 90도 회전된 투과축 또는 흡수축을 갖는 두 편광판 사이에 거울 상 대칭적으로 분포된 복굴절 물질들로 구성된 복굴절 층에 기반하여 단일 화소로 복소 공간 전 영역의 복소 진폭을 조절하는 복소수 공간 광 변조기를 제공할 수 있다.
- [0045] 본 발명은 적어도 두 개의 위상 공간 상에서 진폭을 조절함에 따라 배가(doubling)되는 정보량을 처리할 수 있다.
- [0046] 본 발명은 위상공간의 상대적 위상차에 기반하여 위상공간 상에서 음의 진폭에서 양의 진폭까지 연속적으로 조절할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0047] 도 1a 및 도 1b는 본 발명의 일실시예에 따른 복소수 공간 광 변조기의 동작 개념을 설명하는 도면이다.
- 도 2a 내지 도 2c는 본 발명의 일실시예에 따른 복소수 공간 광 변조기를 설명하는 도면이다.
- 도 3a 내지 도 3e는 본 발명의 일실시예에 따른 복소수 공간 광 변조기를 구성하는 복굴절 물질들의 방향자 방향을 설명하는 도면이다.
- 도 4 내지 도 6은 본 발명의 일실시예에 따른 복소수 공간 광 변조기의 다양한 구조를 설명하는 도면이다.
- 도 7 내지 도 10은 본 발명의 일실시예에 따른 복소수 공간 광 변조기를 이용한 시뮬레이션을 설명하는 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0048] 이하, 본 문서의 다양한 실시 예들이 첨부된 도면을 참조하여 기재된다.
- [0049] 실시 예 및 이에 사용된 용어들은 본 문서에 기재된 기술을 특정한 실시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 해당 실시 예의 다양한 변경, 균등물, 및/또는 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다.
- [0050] 하기에서 다양한 실시 예들을 설명에 있어 관련된 공지 기능 또는 구성에 대한 구체적인 설명이 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명을 생략할 것이다.
- [0051] 그리고 후술되는 용어들은 다양한 실시 예들에서의 기능을 고려하여 정의된 용어들로서 이는 사용자, 운용자의 의도 또는 관례 등에 따라 달라질 수 있다. 그러므로 그 정의는 본 명세서 전반에 걸친 내용을 토대로 내려져야 할 것이다.
- [0052] 도면의 설명과 관련하여, 유사한 구성요소에 대해서는 유사한 참조 부호가 사용될 수 있다.
- [0053] 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함할 수 있다.
- [0054] 본 문서에서, "A 또는 B" 또는 "A 및/또는 B 중 적어도 하나" 등의 표현은 함께 나열된 항목들의 모든 가능한 조합을 포함할 수 있다.
- [0055] "제1," "제2," "첫째," 또는 "둘째," 등의 표현들은 해당 구성요소들을, 순서 또는 중요도에 상관없이 수식할 수 있고, 한 구성요소를 다른 구성요소와 구분하기 위해 사용될 뿐 해당 구성요소들을 한정하지 않는다.
- [0056] 어떤(예: 제1) 구성요소가 다른(예: 제2) 구성요소에 "(기능적으로 또는 통신적으로) 연결되어" 있다거나 "접속되어" 있다고 언급된 때에는, 상기 어떤 구성요소가 상기 다른 구성요소에 직접적으로 연결되거나, 다른 구성요소(예: 제3 구성요소)를 통하여 연결될 수 있다.
- [0057] 본 명세서에서, "~하도록 구성된(또는 설정된)(configured to)"은 상황에 따라, 예를 들면, 하드웨어적 또는 소프트웨어적으로 "~에 적합한," "~하는 능력을 가지는," "~하도록 변경된," "~하도록 만들어진," "~를 할 수 있는," 또는 "~하도록 설계된"과 상호 호환적으로(interchangeably) 사용될 수 있다.
- [0058] 어떤 상황에서는, "~하도록 구성된 장치"라는 표현은, 그 장치가 다른 장치 또는 부품들과 함께 "~할 수 있는" 것을 의미할 수 있다.
- [0059] 예를 들면, 문구 "A, B, 및 C를 수행하도록 구성된(또는 설정된) 프로세서"는 해당 동작을 수행하기 위한 전용 프로세서(예: 임베디드 프로세서), 또는 메모리 장치에 저장된 하나 이상의 소프트웨어 프로그램들을 실행함으로써, 해당 동작들을 수행할 수 있는 범용 프로세서(예: CPU 또는 application processor)를 의미할 수 있다.
- [0060] 또한, '또는' 이라는 용어는 배타적 논리합 'exclusive or' 이기보다는 포함적인 논리합 'inclusive or' 를 의미한다.
- [0061] 즉, 달리 언급되지 않는 한 또는 문맥으로부터 명확하지 않는 한, 'x가 a 또는 b를 이용한다' 라는 표현은 포함적인 자연 순열들(natural inclusive permutations) 중 어느 하나를 의미한다.
- [0062] 이하 사용되는 '..부', '..기' 등의 용어는 적어도 하나의 기능이나 동작을 처리하는 단위를 의미하며, 이는 하드웨어나 소프트웨어, 또는, 하드웨어 및 소프트웨어의 결합으로 구현될 수 있다.

- [0064] 도 1a 및 도 1b는 본 발명의 일실시예에 따른 복소수 공간 광 변조기의 동작 개념을 설명하는 도면이다.
- [0065] 도 1a는 본 발명의 일실시예에 따른 복소수 공간 광 변조기의 동작 개념도를 예시한다.
- [0066] 도 1a를 참고하면, 본 발명의 일실시예에 따른 복소수 공간 광 변조기(104)는 진폭만을 조절하는 공간 광 변조기인 A-SLM(101)과 위상만을 조절하는 공간 광 변조기인 BP-SLM(102)가 단순히 결합된 결합 공간 광 변조기(103)와 동일한 역할을 할 수 있다.
- [0067] 예를 들어, 복소수 공간 광 변조기(104)는 $0 \sim 2\pi$ 까지 조절가능한 P-SLM과 A-SLM(101)의 조합과 동일한 역할을 할 수 있다.
- [0068] 또한, 복소수 공간 광 변조기(104)는 수평 전계 신호만을 이용할 경우 결합 공간 광 변조기(103)와 동일한 역할을 할 수 있다.
- [0069] 일반적인 복소 진폭 조절 기술에 해당하는 결합 공간 광 변조기(103)는 복소 진폭의 조절은 하나의 공간 광 변조기의 여러 화소들을 조합하거나, 여러 공간 광 변조기를 조합하여 구현이 가능하다.
- [0070] 하나의 공간 광 변조기의 여러 화소를 조합하는 경우, 여러 방식이 존재하나, 박막(thin film)형태 구조는 2개 내지 4개의 인접한 화소를 정밀하게 패턴된 광학 소자를 정밀하게 배열시켜 여러 화소를 통과한 빛을 하나로 합치는 구조를 가질 수 있다.
- [0071] 여러 공간 광 변조기를 연결하는 방식은 일반적으로 진폭과 위상이 결합(coupling)된 SLM과 이를 보상하기 보상 및 추가적 위상 조절을 위한 P-SLM의 조합 혹은 A-SLM과 P-SLM으로 이루어질 수 있다.
- [0072] 본 발명의 일실시예에 따른 복소수 공간 광 변조기(104)는 추가적인 광학 소자 없이, 단일 화소만으로 복소 진폭의 조절이 가능한데, 복굴절 물질의 대칭적 분포, 서로 90도 회전된 편광판이라는 조합을 수반하는 모든 구조를 포함한다.
- [0073] 도 1b는 본 발명의 일실시예에 따른 복소수 공간 광 변조기의 진폭과 위상을 포함하는 복소진폭을 조절하는 특징을 설명하기 위한 타이밍도를 예시한다.
- [0074] 도 1b의 타이밍도(110)를 참고하면, 제1 시간 구간(111), 제2 시간 구간(112), 제3 시간 구간(113) 및 제4 시간 구간(114)으로 구분이 가능하다.
- [0075] 일례로, 타이밍도(110)는 제2 시간 구간(112) 내지 제4 시간 구간(114)에서 진폭과 위상이 변화할 시 복소 진폭이 조절되는 결과를 예시한다.
- [0076] 즉, 본 발명의 일실시예에 따른 복소수 공간 광 변조기의 진폭과 위상을 포함하는 복소진폭을 조절할 수 있다.
- [0077] 또한, 본 발명의 일실시예에 따른 복소수 공간 광 변조기는 위상이 바이너리(binary)라는 종래 기술의 문제점을 해결하기 위해 특정 수평 전계에, 수직 전계를 조절하면서 위상 정보를 조절할 수 있고, 특정 수직 전계에, 수평 전계를 조절하면서, 바이너리 위상 공간에서 진폭을 조절할 수 있다.
- [0078] 타이밍도(110)는 본 발명의 하나의 실시예로서, 본 발명의 일실시예에 따른 복소수 공간 광 변조기의 진폭과 위상을 포함하는 복소진폭을 조절하는 구성은 타이밍도(110)에 한정되지 않는다.
- [0080] 도 2a 내지 도 2c는 본 발명의 일실시예에 따른 복소수 공간 광 변조기를 설명하는 도면이다.
- [0081] 도 2a는 본 발명의 일실시예에 따른 복소수 공간 광 변조기의 구조를 예시한다.
- [0082] 도 2a를 참고하면, 복소수 공간 광 변조기(200)는 제1 편광판(201), 제2 편광판(202), 복굴절층(203) 및 전극(204)을 포함한다.
- [0083] 본 발명의 일실시예에 따르면 제1 편광판(201)은 복소수 공간 광 변조기(200)의 하측에 위치하고 있다.
- [0084] 일례로, 제2 편광판(202)은 제1 편광판(201)에 대하여 90도 내지 -90도 회전되어 제1 편광판에 대향되는 구조를 가지고 있다.
- [0085] 예를 들어, 제1 편광판(201)과 제2 편광판(202)은 제1 편광판(201)이 0도로 놓여져 있고, 제2 편광판(202)이 90

도 또는 -90° 로 놓여져 있는 대향 구조를 가진다.

- [0086] 다시 말해, 제1 편광판(201)과 제2 편광판(202)은 어느 하나가 90° 도 또는 -90° 도 회전된 구조를 가진다.
- [0087] 예를 들어, 제1 편광판(201)과 제2 편광판(202)은 서로 90° 도 내지 -90° 도 방향으로 회전된 투과축을 형성할 수 있다.
- [0088] 빛이 z 축 방향으로 진행하고, 제1 편광판(201)과 제2 편광판(202)이 xy 평면에 위치한다고 가정할 시, 제1 편광판(201)과 제2 편광판(202)은 구조상 상하가 뒤집혀도 동일할 수 있다.
- [0089] 예를 들어, 상하가 뒤집히는 것은 z 가 0인 평면에서 대칭을 나타낼 수 있다.
- [0090] 따라서, 제1 편광판(201)과 제2 편광판(202)은 대칭이고, 대칭 후 방위각 방향으로 90° 도 내지 -90° 도 회전하거나, 제2 편광판(202)이 제1 편광판(201)에 대하여 평행 이동하더라도 동일할 수 있다. 다만, 제1 편광판(201)이 0도를 이룰 때 제2 편광판(202)이 평행 이동하는 경우는 제외한다.
- [0091] 본 발명의 일실시예에 따르면 복굴절층(203)은 제1 편광판(201)과 제2 편광판(202) 사이에 위치하고, 제1 전극과 제2 전극을 통해 인가되는 전기에 기반하여 복굴절 물질들의 분포가 대칭적으로 변경됨에 따라 진폭과 위상을 포함하는 복소 진폭을 조절할 수 있다.
- [0092] 여기서, 제1 전극 및 제2 전극은 전극(204)을 지칭하는데, 전극(204) 중 제1 전극은 제1 편광판(201) 상에 위치하고, 전극(204) 중 제2 전극은 제2 편광판(202)에서 제1 전극에 대향하도록 위치하는 전극을 지칭한다.
- [0093] 여기서, 전극(204)의 위치를 편광판 상으로 지칭하고 있으나, 전극(204)의 위치는 제1 편광판(201) 및 제2 편광판(202)의 상하 또는 복굴절층(203)의 복굴절 물질에 포함될 수 있어, 전극(204)의 위치는 편광판 상에 한정되지 않는다.
- [0094] 예를 들어, 복소수 공간 광 변조기(200)는 꼭 전기에 기반하지 않고, 배열조건, 편광판 조건이 만족하는 경우 진폭과 위상을 포함하는 복소 진폭을 조절할 수 있고, 이러한 특징은 광학(optical) SLM에 적용 가능하다.
- [0095] 본 발명의 일실시예에 따르면 복굴절층(203)은 제1 편광판(201)과 제2 편광판(202)이 이루는 대향 구조의 중간을 기준으로 대칭적 분포를 가지도록 복굴절 물질들의 분포가 변경될 수 있다.
- [0096] 즉, 제1 편광판(201)과 제2 편광판(202)은 어느 하나가 90° 도 또는 -90° 도 회전된 구조를 가지고, 복굴절 물질들은 대칭적 분포를 가진다.
- [0097] 예를 들어, 복굴절층(203)은 복굴절 물질들의 분포가 극각 분포와 방위각 분포가 대칭적 분포를 이루고, 복굴절 물질들은 균질성(homogeneous) 액정 물질일 수 있다.
- [0098] 복굴절층(203)은 제1 편광판(201)과 제2 편광판(202)이 이루는 대향 구조의 중간을 기준으로 위상차향과 슬로우 축(slow axis)의 방위각 방향이 대칭적 분포를 이루어서 극각분포에 의해 결정되는 공통위상향의 전체 합에 기반하여 위상을 조절할 수 있다.
- [0099] 또한, 복굴절층(203)은 제1 편광판(201)과 제2 편광판(202)이 이루는 대향 구조의 중간을 기준으로 위상차향과 슬로우 축(slow axis)의 방위각 방향이 대칭적 분포에 기반하여 위상차향과 슬로우 축(slow axis)의 방위각 방향의 분포를 변화시켜 진폭을 조절할 수 있다.
- [0100] 제1 편광판(201)과 제2 편광판(202)은 두 편광판이 대칭 후 어느 하나에 대하여 90° 도 또는 -90° 도 회전된 회전 구조에 해당하는 대향 구조를 가진다.
- [0101] 예를 들어, 복굴절층(203)은 복굴절 물질들의 분포에 기반하여 입사하는 광에 대한 z 축으로부터의 각도인 극각과 x 축 및 y 축 방향으로의 각도인 방위각이 대칭적으로 동일하게 형성될 수 있다.
- [0102] 예를 들어, 특정 방위각 a 에 대하여 $a+180^\circ$ 도는 동일한 역할을 하며, 특정 방위각 a , 극각 b 에 대하여 a , $-b$ 또한 동일한 역할을 할 수 있다.
- [0103] 따라서, 본 발명은 대칭적 분포의 복굴절 물질들과 서로 90° 도 회전된 두 편광판을 사용하여, 추가적인 광학소자와 공간 광 변조기 없이, 기존 해상도를 유지하며, 단일 화소로 복소 공간 전 영역의 복소 진폭을 조절하는 복소수 공간 광 변조기를 제공할 수 있다.
- [0104] 또한, 본 발명은 홀로그래프, 광학 핀셋(optical tweezer), 광통신, 양자통신 등 다양한 광학 및 양자광학 실험, 어플리케이션에서 광의 진폭과 위상을 동시에 조절할 수 있는 복소수 공간 광 변조기를 제공할 수 있다.

- [0105] 도 2b는 본 발명의 일실시예에 따른 복소수 공간 광 변조기의 구조에서 전극을 통해 전기가 인가됨에 따라 복굴절층의 복굴절 물질의 분포가 변경되는 실시예를 예시한다.
- [0106] 도 2b를 참고하면, 복소수 공간 광 변조기(210)는 제1 편광판(211), 제2 편광판(212), 복굴절층(213) 및 전극(214)을 포함한다.
- [0107] 제1 편광판(211)과 제2 편광판(212)은 부도체로, 전극(214)을 통해 전기적으로 연결되며, 한축을 통해 전압을 인가하고, 한축은 접지에 연결된다.
- [0108] 전극(214)은 총 4개로 수평, 수직 대칭의 전압을 인가할 수 있고, 총 4개에 각각 다른 전압이 인가될 수 있다.
- [0109] 상술한 설명에서, 한축을 통해 전압을 인가하고, 한축은 접지에 연결되는 구성은 일례로, 한축은 접지가 아니고, 오른쪽 두개의 전극은 +2V가 인가되고, 왼쪽 두개의 전극은 -2V가 인가되어 수평 전계가 형성될 수 있다.
- [0110] 복소수 공간 광 변조기(201)의 복굴절층(203)과 비교하면, 복소수 공간 광 변조기(210)의 복굴절층(213)의 복굴절 물질의 분포는 변경된다.
- [0111] 예를 들어, 복굴절 물질은 LC 물질로 지칭될 수 있고, LC 물질로 이루어진 층에 해당하는 복굴절층(213)은 복굴절층으로 지칭될 수 있다. 한편, 복굴절층(213) LC 층 및 LC 레이어 등으로 지칭될 수 있다.
- [0112] 복굴절층(213)은 전기적 비등방성을 갖고, 광학적으로 단축 복굴절 특성을 보이는 균질성(homogeneous) 물질을 의미할 수 있고, 이는 일종의 파장판에 해당될 수 있다.
- [0113] 균질성(homogeneous) 물질을 의미하는 것과 관련하여 xy 방향으로 균질성을 가정하였으나, z 방향으로서는 homogeneous가 가정되지 않을 수 있다.
- [0114] 실제로 xy방향으로도 균질성이 아니어도 각 xy 위치별로 대칭성 조건과 편광판 조건을 만족한다면, xy 방향으로 비균질성(nonhomogeneous)경우, 결과값도 비균질성인데, 유효한(effective) 결과값은 이들의 합으로 정의하면 되기 때문에, 실제 구현될 수 있다.
- [0115] 또한 수직입사하지 않고 약간의 각도를 갖고 있어도, 기존의 LCD에서 각도를 갖고 화면을 보면 색이나 밝기가 변화하는 것처럼 약간 오차가 있을 수 있는데, 이들은 보정이 가능할 것으로 보임에 따라 완전히 수직일 필요는 없을 수 있다.
- [0116] 복굴절층(213)의 특정방향의 선편광은 페이지의 형태로 $\mathbf{E} = E_0 e^{i\phi}$ 와 같이 나타낼 수 있고, 진폭은 E_0 , 위상은 복소값인 E의 각도를 나타낼 수 있으며, 복소진폭은 진폭과 위상으로 표현될 수 있다.
- [0117] 파장 λ 의 빛은 z 축 방향으로 진행하며, x-y평면에 놓여있는 제1 편광판(211) 및 제2 편광판(212)을 통과한다.
- [0118] 복굴절층(213)의 방향자 $\mathbf{n}$ 은 n_e (extraordinary refractive index)의 방향을 나타내며, 이는 슬로우 축(slow axis)방향과 같을 수 있다.
- [0119] 방향자 $\mathbf{n}$ 은 오직 z의 함수이며, $\mathbf{n}(\theta(z), \phi(z))$ 와 같이 표현되고, θ 는 극각을, ϕ 는 방위각을 나타낼 수 있다.
- [0120] 복굴절층(213)의 굴절률들은 각각 n_e 와 n_o 이며, 여기서 $n_e > n_o$ 로 가정할 수 있다.
- [0121] 복굴절층(213)이 x-y평면에 놓여져있고, 해당 평면 방향으로 균일하기 때문에 유효한 굴절률(effective refractive index)을 정의할 수 있으며, 방향자 $\mathbf{n}(\theta(z), \phi(z))$ 에 대하여 $n_{o, effective} = n_o$, $n_{e, effective} = n_e(\theta) = \{(\cos\theta/n_o)^2 + (\sin\theta/n_e)^2\}^{-0.5}$ 로 표현할 수 있다.
- [0122] 여기서, 유효한 굴절률은 일반적으로 빛의 진행 방향에 수직하게 전지장이 존재하기 때문에 평면 내 방향(평면의 수직한 방향에 대하여 수직)으로 계산의 편의를 위하여 정의될 수 있다.
- [0123] 굴절률 $n_e(\theta)$ 는 오직 극각 θ 의 함수이고, 단축 복굴절 계에서는 $n_e(\theta) = n_e(\pi - \theta)$ 와 같을 수 있다.
- [0124] 일반적으로, 실험실 좌표계의 복굴절층(213)의 Jones행렬은 $\mathbf{M}(\theta, \phi, d)$ 으로 표현되며, d는 두께이다. 주 좌표계

에서 복굴절층(213)은 $\mathbf{W}(\theta, d)$ 로 표현되며, 이들의 관계식은 수학식 1과 같을 수 있다.

[0126] [수학식 1]

$$\begin{aligned} \mathbf{M}(\theta, \phi, d) &= \mathbf{R}(-\phi) \mathbf{W}(\theta, d) \mathbf{R}(\phi) = \mathbf{M}(\phi, \Gamma, \varphi) \\ &= \begin{pmatrix} \cos \phi & -\sin \phi \\ \sin \phi & \cos \phi \end{pmatrix} e^{-i\varphi} \begin{pmatrix} e^{-i\Gamma/2} & 0 \\ 0 & e^{+i\Gamma/2} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \phi & \sin \phi \\ -\sin \phi & \cos \phi \end{pmatrix} \\ &= e^{-i\varphi} \begin{bmatrix} e^{-i\Gamma/2} \cos^2 \phi + e^{i\Gamma/2} \sin^2 \phi & -i \sin(\Gamma/2) \sin 2\phi \\ -i \sin(\Gamma/2) \sin 2\phi & e^{-i\Gamma/2} \sin^2 \phi + e^{i\Gamma/2} \cos^2 \phi \end{bmatrix} \end{aligned}$$

[0127]

[0129] 수학식 1에서, M은 Jones 행렬을 나타내고, W는 주좌표계에서 복굴절층을 나타낼 수 있고, R은 회전 행렬을 나타낼 수 있고, $k_0 = 2\pi/\lambda$ 는 진공에서의 파수를 나타낼 수 있다.

[0130] 위상차항 (Γ)와 공통위상항 (φ)은 다음과 같이 $\Gamma = (n_e(\theta) - n_o)k_0 d$, $\varphi = (n_e(\theta) + n_o)k_0 d/2$ 로 나타낼 수 있다.

[0131] 복굴절층(213)은 이름과 같이, 광학 비등방성 물질이기 때문에, 빛의 편광 방향에 따라 굴절률이 다르다.

[0132] 빛이 z축으로 진행할 때, 방위각 방향의 편광은 상대적으로 느리게 지나가며 ($n_e > n_o$), 방위각 방향에 +90도 및 -90도 방향의 편광은 상대적으로 빨리 지나간다고 볼 수 있다.

[0133] 즉, 방위각 방향의 편광은 복굴절 물질의 슬로우 축(slow axis) 방향의 편광일 수 있다.

[0134] 해당 복굴절층(213)을 지나갈 때, 두 편광의 위상지연의 평균이 공통위상이며, 차이가 위상차항이다. 여기서, 두 편광은 방위각 방향 편광과 방위각 방향이 90도 또는 -90도의 편광일 수 있다.

[0135] 공통위상항이 0인 경우, 수학식 1의 비대각(off-diagonal) 성분은 진폭을 제외하고 순허수 값을 나타낼 수 있다.

[0136] 진폭과 위상은 위상차항 (Γ)과 방위각 (ϕ)의 함수를 나타낼 수 있다.

[0137] 도 2a 내지 도 2c와 같이 복수의 복굴절층으로 이루어진 경우, 대칭성을 유지한 상태로 슬로우 축 분포를 변화시켜줄 수 있다.

[0138] 즉, 수학식 1과 관련하여 복수의 복굴절층으로 이루어진 경우, 대칭성을 유지한 상태로 슬로우 축 분포를 변화시켜줄 수 있다.

[0139] 또한, 비대각 성분은 수학식 1에서 제1 편광판(211)은 x를 사용하고, 제2 편광판(212)은 y를 사용하는 경우, 비대각 성분 값이 복소 진폭값으로 나올 수 있다.

[0140] 공통위상항이 0인 경우, 복소 진폭이 순허수이고, 이는 위상값이 $+\pi/2$ 가 가능하다는 결과로 해석될 수 있다.

[0141] 여기서, 위상값이 $+\pi/2$ 가 가능하다는 결과는 두 위상 공간에서 진폭 조절 가능한 구조를 나타낼 수 있다.

[0142] 이때, 극각 조절이 추가되면 C-SLM 구조도 가능할 수 있다.

[0143] 본 발명의 일실시예에 따른 복소수 공간 광 변조기(210)는 극각을 유지한 채, 복굴절층(213) 또는 제1 편광판(211)과 제2 편광판(212)을 회전시키는 경우, 이중 위상 공간에서 진폭을 조절할 수 있다.

[0144] 상술한 극각을 유지한 경우는 이중 위상 공간상에서 진폭 조절하는 경우에 해당하고, 복소수진폭 조절을 위해서는 극각 분포 및 위상 분포가 모두 변경될 필요성이 있다.

[0145] 또한, 본 발명의 일실시예에 따른 복소수 공간 광 변조기(210)는 극각을 변화시키는 경우, 공통위상항과 위상차항 모두 변화한다.

[0146] 예를 들어, 복소수 공간 광 변조기(210)는 록업테이블을 이용할 수 있는데, 위상은 오직 극각만을 따르지만, 진

폭은 극각과 방위각의 함수이고, 이에 따라 원하는 위상공간을 극각으로 고정시켜놓고, 특정 위상에 대한 방위각 진폭 특업테이블을 사용하여 진폭을 찾는 방식을 이용할 수 있다.

- [0147] 도 2c는 본 발명의 일실시예에 따른 복소수 공간 광 변조기의 구조에서 전극을 통해 전기가 인가됨에 따라 복굴절층의 복굴절 물질의 분포가 변경되는 실시예를 추가적으로 예시한다.
- [0148] 도 2c를 참고하면, 복소수 공간 광 변조기(220)는 제1 편광판(221), 제2 편광판(222), 복굴절층(223) 및 전극(224)을 포함한다.
- [0149] 일례로, 전극(224)은 제1 편광판(221)에 위치하는 제1 전극과 제2 편광판(222)에 위치하는 제2 전극으로 구분되고, 제1 전극은 전압에 연결되고 제2 전극은 접지에 연결될 수 있다.
- [0150] 본 발명의 일실시예에 따르면 복소수 공간 광 변조기(220)의 복굴절층(223)들은 고정된 방위각 하에 극각 변화를 가질 수 있다.
- [0151] 실제로 특정 방위각 분포와 특정 극각 분포를 형성하기 위해서는 도 2b 및 도 2c와 같이 전압을 번갈아 인가하거나 특정한 전압의 조합 사용이 요구될 수 있다.
- [0152] 여기서, 항상 유지되어야 하는 것은 복굴절 물질들로 이루어진 복굴절층(223)들의 공통 위상항의 합 또는 적분값이 일정해야하고, 공통위상항의 분포는 비대칭적일 수 있는 Binary 진폭 모드로 동작할 수 있고, 복소수 SLM으로 동작하기 위해서는 공통 위상항의 합 또는 적분값이 조정되어야한다.
- [0153] 또한, 각 복굴절 물질들로 이루어진 복굴절층(223)의 슬로우축 또는 패스트축의 방향과 위상차항이 x-y 평면에 대하여 복굴절 물질 중앙을 기준으로 거울상 대칭적 분포를 이루어야만 한다.
- [0154] 한편, 도 2b의 복굴절층(213)과 도 2c의 복굴절층(223)을 비교하면 방향자 방향이 변경된 것을 확인할 수 있다.
- [0156] 도 3a 내지 도 3e는 본 발명의 일실시예에 따른 복소수 공간 광 변조기를 구성하는 복굴절 물질들의 방향자 방향을 설명하는 도면이다.
- [0157] 도 3a 내지 도 3e는 다양한 단축 복굴절 물질의 방향자 방향을 예시하고, 단축 복굴절 물질은 두 방향으로 굴절률(refractive index)이 같고 한 방향으로 굴절률(refractive index)이 다른 물질을 지칭한다.
- [0158] 방향자는 한 방향으로 굴절률(refractive index)이 다른 물질의 방향을 나타낼 수 있다.
- [0159] 복소수 공간 광 변조기 구조에서 빛은 아래에서 위로 혹은 위에서 아래로 입사 및 출사한다.
- [0160] 여기서, z 축으로부터의 각도는 극각을 정의하고, x축으로부터 y축 방향으로의 각도를 방위각으로 정의될 수 있다.
- [0161] 그래프(300), 그래프(310), 그래프(320), 그래프(330) 및 그래프(340)는 복소수 공간 광 변조기의 복굴절층의 복굴절 물질의 분포에 해당하는 액정 부분만을 나타낸 실시 예로, 전기 등의 신호를 사용하여 그래프(300), 그래프(310), 그래프(320), 그래프(330) 및 그래프(340)와 같이 변화하며, 이를 통하여 복소수 공간 광 변조기는 복소 진폭을 조절한다.
- [0162] 다시 말해, 그래프(300), 그래프(310), 그래프(320), 그래프(330) 및 그래프(340)는 동일한 실시예의 복소수 공간 광 변조기의 액정 부분에 해당하는 복굴절층의 복굴절 물질들의 분포를 나타내고, 각 방향자의 극각 분포와 방위각 분포가 조절될 수 있는 것을 나타낸다.
- [0163] 본 발명의 일실시예에 따르면 복소수 공간 광 변조기는 극각 분포를 유지하면서, 방위각 분포를 조절함에 따라 단일 위상 공간에서 진폭을 조절할 수 있으며, 방위각 분포를 유지하면서, 극각 분포를 조절함에 따라 진폭과 위상을 조절할 수 있다.
- [0164] 예를 들어, 복소수 공간 광 변조기는 단일 위상 공간에서 음의 진폭부터 양의 진폭까지 조절이 가능하다.
- [0165] 복굴절 물질 분포와 관련된 방향자 분포는 중앙기준으로 대칭적 분포를 이루어야 한다.
- [0166] 여기서, 중앙기준은 그래프(300), 그래프(310), 그래프(320), 그래프(330) 및 그래프(340) 상에 z축의 중앙 부분에 해당할 수 있다.
- [0167] 대칭적 분포는 극각 분포와 방위각 분포 모두 대칭적 분포를 이루어야 한다. 단, 단축 복굴절 물질 특성상, 극

각을 a라 하고, 방위각을 b라고 한다면, 극각 a와 방위각b+180도가 동일 할 수 있다.

- [0168] 또한, 극각을 c라하고, 방위각을 d라고 하면, 극각 c는 180도에서 극각 c를 제외한 것과 방위각 d가 동일할 수 있다.
- [0169] 그래프(300), 그래프(310) 및 그래프(320)는 대칭적 방위각 변화를 나타내며, 그래프(300)과 그래프(330)은 대칭적 극각 변화를 나타내며, 그래프(340)는 극각과 방위각 모두 그래프(300)에 대비 대칭적으로 변화한 것을 나타낸다.
- [0170] 본 발명의 일실시예에 따르면 복소수 공간 광 변조기는 매우 얇은, 균질(homogeneous) 액정 물질에 해당하는 복굴절 물질을 나타낼 때, 극각, 방위각, 두께로 표시할 수 있으며, 다른 방법으로는 공통위상향과 위상차향, 슬로우 축(slow axis)의 방향으로 나타낼 수 있다.
- [0171] 더하여, 대칭적 분포는 중앙기준으로 위상차향과 슬로우 축(slow axis)의 방위각 방향이 대칭적 분포를 이루어야 하고, 공통위상향의 전체 합이 전체 위상을 조절하는데 기여할 수 있다.
- [0172] 또한, 극각분포에 결정과 관련된 공통위상향을 유지한 채로, 대칭성을 유지하며, 위상차향과 슬로우 축(slow axis)의 방위각 방향의 분포를 변화시키면 진폭이 조절될 수 있다.
- [0174] 도 4 내지 도 6은 본 발명의 일실시예에 따른 복소수 공간 광 변조기의 다양한 구조를 설명하는 도면이다.
- [0175] 도 4는 본 발명의 일실시예에 따른 복소수 공간 광 변조기의 다양한 구조 중 제1 편광판과 제2 편광판 주변에 추가적으로 광학소자가 포함된 경우를 예시한다.
- [0176] 도 4를 참고하면, 본 발명의 일실시예에 따른 복소수 공간 광 변조기(400)는 제1 편광판(401), 제2 편광판(402), 복굴절층(403), 전극(404)을 포함하고, 제1 편광판(401)의 하면 또는 상면에 위치하여, 위상 변조(modulation)를 보상하는 제1 광학 소자(405) 및 제2 편광판(402)의 상면 또는 하면에 위치하여, 위상 변조(modulation)를 보상하는 제2 광학 소자(406)를 더 포함할 수 있다.
- [0177] 전극(404)은 총 4개로 수평, 수직 대칭의 전압을 인가할 수 있고, 총 4개에 각각 다른 전압이 인가될 수 도 있다.
- [0178] 전극(404) 중 오른쪽 두개의 전극은 +2V가 인가되고, 왼쪽 두개의 전극은 -2V가 인가되어 수평 전계가 형성될 수 있다.
- [0179] 일례로, 제1 광학 소자(405) 및 제2 광학 소자(406)는 추가적으로 위상을 조절할 수 있다.
- [0180] 예를 들어, 제1 광학 소자(405) 및 제2 광학 소자(406)는 제1 편광판(401)과 제2 편광판(402)의 아래 또는 위에 위치하거나 사이에 위치할 수 있다.
- [0181] 따라서, 복소수 공간 광 변조기(400)는 0 내지 2π 보다 더 넓은 위상을 조절하기 위해서 제1 광학 소자(405) 및 제2 광학 소자(406)를 추가적으로 포함하고, 일부 시야각, 에너지 효율 증가 등을 위한 보정에서 제1 광학 소자(405) 및 제2 광학 소자(406)를 이용할 수 있다.
- [0182] 도 5a는 본 발명의 일실시예에 따른 복소수 공간 광 변조기의 다양한 구조 중 복소수 공간 광 변조기를 구성하는 제1 편광판과 제2 편광판의 너비 또는 길이가 확장된 경우를 예시한다.
- [0183] 도 5a를 참고하면, 본 발명의 일실시예에 따른 복소수 공간 광 변조기(500)는 제1 편광판(501), 제2 편광판(502), 복굴절층(503), 전극(504)을 포함한다.
- [0184] 여기서, 제1 편광판(501)과 제2 편광판(502)은 대향되는 면적에서 동일한 길이 또는 너비를 가지고 확장 형성될 수 있다.
- [0185] 예를 들어, 대향되는 면적과 관련하여 곡선(curved) 디스플레이와 같이 곡선 형태로 구현할 경우, 제1 편광판(501)과 제2 편광판(502)의 길이 또는 너비는 차이가 존재할 수 있다.
- [0186] 또한, 복굴절층(503)은 제1 편광판(501)과 제2 편광판(502)의 확장된 길이 또는 너비와 관계 없이 제1 편광판(501)과 제2 편광판(502)의 중앙에 위치할 수 있다.
- [0187] 한편, 전극(504)은 제1 편광판(501) 측의 제1 전극 및 제2 편광판(502) 측의 제2 전극으로 구분되고, 제1 편광

판(501)과 제2 편광판(502) 사이에서 전선을 통해 전기적으로 연결되는 전극 분포를 가질 수 있다.

- [0188] 도 5b는 본 발명의 일실시예에 따른 복소수 공간 광 변조기의 다양한 구조 중 복소수 공간 광 변조기를 구성하는 전극이 분리되지 않고 단일화된 분포를 가지는 경우를 예시한다.
- [0189] 도 5b를 참고하면, 본 발명의 일실시예에 따른 복소수 공간 광 변조기(510)는 제1 편광판(511), 제2 편광판(512), 복굴절층(513), 수직 전극(514) 및 수평 전극(515)을 포함한다.
- [0190] 예를 들어, 수직 전극(514)은 제1 편광판(511)과 제2 편광판(512) 사이를 직접 연결하도록 제1 편광판(511)과 제2 편광판(512)의 사이 거리에 따른 크기로 제1 편광판(511)과 제2 편광판(512) 사이에 위치하는 전극 배열을 가질 수 있다.
- [0191] 수평 전극(515)은 제1 편광판(511)과 제2 편광판(512) 각각에 안쪽면 또는 바깥쪽면에 평면 형태로 위치할 수 있고, 안쪽면에 위치할 경우 수직 전극(514)과 절연되어야 하므로, 수직 전극(514)과 수평 전극(515) 사이에 절연체가 삽입된다.
- [0192] 따라서, 복소수 공간 광 변조기(510)는 수직 전극(514)을 통해 방위각을 조절하고, 수평 전극(515)을 통해 극각을 조절할 수 있다.
- [0193] 예를 들어, 수직 전극(515)과 수평 전극(515)의 배치는 상술한 설명에 한정되지 않으며, 방위각과 극각을 조절하는 구조에 따라 배치 또는 배열이 변경될 수 있다.
- [0194] 도 6은 본 발명의 일실시예에 따른 복소수 공간 광 변조기의 다양한 구조 중 복소수 공간 광 변조기를 구성하는 제1 편광판과 제2 편광판이 분리되어 두 가지 복소수 공간 광변조 구조로 구성된 구조를 예시한다.
- [0195] 도 6을 참고하면, 본 발명의 일실시예에 따른 복소수 공간 광 변조기(600)는 제1 복소수 공간 광변조 구조(620) 및 제2 복소수 공간 광변조 구조(610)를 포함한다.
- [0196] 일례로, 제1 복소수 공간 광변조 구조(620)는 제1 편광판(621), 제1 전극(622), 복굴절층(623)을 포함한다.
- [0197] 구체적으로, 제1 복소수 공간 광변조 구조(620)는 제1 편광판(621), 제1 전극(622) 및 복굴절층(623)을 구성하는 제1 복굴절 물질들로 형성된다.
- [0198] 한편, 일례로, 제2 복소수 공간 광변조 구조(610)는 제2 편광판(611), 제2 전극(612), 복굴절층(613)을 포함한다.
- [0199] 구체적으로, 제2 복소수 공간 광변조 구조(610)는 제2 편광판(611), 제2 전극(612) 및 복굴절층(613)을 구성하는 제2 복굴절 물질들로 형성된다.
- [0200] 본 발명의 일실시예에 따르면 제1 복소수 공간 광변조 구조(620) 및 제2 복소수 공간 광변조 구조(610) 각각은 공통위상항의 합을 유지하면서 제1 복굴절 물질들과 제2 복굴절 물질들의 분포를 조절함에 따라 위상차항과 방향자의 방위각 분포를 대칭적으로 유지할 수 있다.
- [0201] 또한, 제1 복소수 공간 광변조 구조(620) 및 제2 복소수 공간 광변조 구조(610) 각각은 공통위상항을 유지하면서, 제2 전극(612) 중 좌측 전극과 우측 전극의 전압을 다르게 하면 복굴절층(613)을 구성하는 제2 복굴절 물질들의 방위각 분포가 변경될 수 있다.
- [0202] 또한, 제1 전극(622) 중 좌측 전극과 우측 전극의 전압을 다르게 하면 복굴절층(623)을 구성하는 제1 복굴절 물질들의 방위각 분포가 변경될 수 있다.
- [0203] 예를 들어, 제2 전극(612) 중 좌측 전극과 우측 전극과 제1 전극(622) 중 좌측 전극과 우측 전극 간의 상대적 전압을 변경하는 경우, 극각 분포가 변경될 수 있다.
- [0204] 또한, 제2 전극(612) 중 좌측 전극과 우측 전극과 제1 전극(622) 중 좌측 전극과 우측 전극 각각의 사이에 전극이 추가로 삽입될 수 있다.
- [0205] 제1 복소수 공간 광변조 구조(620) 및 제2 복소수 공간 광변조 구조(610)가 물리적으로 두 파트로 구분되면, 제1 복소수 공간 광변조 구조(620) 및 제2 복소수 공간 광변조 구조(610)는 거울 대칭 구조를 가진다.
- [0206] 제1 복소수 공간 광변조 구조(620) 및 제2 복소수 공간 광변조 구조(610)의 거울 대칭 구조는 존스 행렬(Jones Matrix)로 표현 가능하며 하기 수학적 2와 같이 표현될 수 있다.

[0208] [수학식 2]

$$\begin{aligned} \mathbf{M}_{a-sim} &= \mathbf{P}(\phi_{avb} + \pi/2) \mathbf{B} \mathbf{A} \mathbf{P}(\phi_{avb}) \\ &= \mathbf{P}(\phi_{avb} + \pi/2) \prod_{k=n}^1 \mathbf{b}_k(\phi_k, \Gamma_k, \varphi_{B,k}) \prod_{k=1}^n \mathbf{a}_k(\phi_k, \Gamma_k, \varphi_{A,k}) \mathbf{P}(\phi_{avb}) \\ \text{where } \mathbf{P}(\phi) &= \begin{pmatrix} \cos^2 \phi & \cos \phi \sin \phi \\ \cos \phi \sin \phi & \sin^2 \phi \end{pmatrix}. \end{aligned}$$

[0209]

[0211] 수학식 2에서, M은 Jones 행렬을 나타낼 수 있고, A는 제1 복소수 공간 광변조 구조를 나타낼 수 있으며, B는 제2 복소수 공간 광변조 구조를 나타낼 수 있고, a는 제1 복소수 공간 광변조 구조의 공통위상항을 나타낼 수 있으며, b는 제2 복소수 공간 광변조 구조의 공통위상항을 나타낼 수 있다.

[0212] A 및 B는 복굴절 물질층들로 이루어지는 복굴절 물질이고, a 및 b는 복굴절 물질층일 수 있다. 즉, a가 모여서 A가 되고, b가 모여서 B가 될 수 있다.

[0213] 여기서, 프라임이 붙은 a'과 A'은 각각 공통위상항이 0인 a, A의 존스 행렬이고, 공통위상항 성분은 교환이 가능하기 때문에 복굴절 물질의 첫번째 절반의 존스 행렬은 하기 수학식 3으로 표현될 수 있다.

[0215] [수학식 3]

$$\mathbf{A} = \prod_{k=1}^n \mathbf{a}_k(\phi_k, \Gamma_k, \varphi_{A,k}) = \prod_{k=1}^n \mathbf{a}_k'(\phi_k, \Gamma_k) e^{-i\varphi_{A,k}} = \mathbf{A}' e^{-i \sum_{k=1}^n \varphi_{A,k}}$$

[0216]

[0218] 수학식 3에서, A는 제1 복소수 공간 광변조 구조를 나타낼 수 있고, a'과 A'은 각각 공통위상항이 0인 a, A의 존스 행렬을 나타낼 수 있다.

[0219] A'의 행렬은 유니터리 행렬을 사용할 수 있고, 공통위상항이 없는 첫번째 절반의 존스행렬은 공통위상항이 없는 두 번째 구조의 전치행렬(transpose)일 수 있다.

[0220] 다시 말해, A'의 대응되는 행렬 B'은 수식적으로는 전치행렬(transpose)이고, 물리적으로는 대칭이다.

[0221] 공통위상항이 없는 첫번째 절반의 존스행렬은 A'이고, 공통위상항이 없는 두번째 구조는 B'인데, B'은 A'의 전치 행렬이다. 여기서, 물리적으로도 수식적으로도 이동은 아니며 물리적으로는 대칭, 수식적으로는 B'은 A'의 전치행렬(transpose)이다.

[0222] 공통위상항의 합이 일정하고, 방향자의 방위각 분포와 위상차항이 대칭적 분포를 만족하는 경우, 2n개의 복굴절 층으로 이루어진 대칭 행렬과 (SymM)공통위상항이 0인 경우는 수학식 4로 나타낼 수 있다.

[0223] A는 n개의 a_k들로 이루어져 있고, (a_k는 k 번째의 a), B도 마찬가지로 n개의 a_k'들로 이루어져 있다. 즉, a_k, b_k 각각 n개로 총 2n개일 수 있다.

[0225] [수학식 4]

$$\begin{aligned} \mathbf{SymM}' &= \mathbf{B}' \mathbf{A}' = (\mathbf{A}')^T \mathbf{A}' = (\mathbf{SymM}) e^{i \sum_{k=1}^n (\phi_{A,k} + \phi_{B,k})} \\ &= \begin{pmatrix} A^2 + B^{*2} & AB - A^* B^* \\ AB - A^* B^* & A^{*2} + B^2 \end{pmatrix} \\ &= \begin{pmatrix} \cos^2(x) e^{i2a} + \sin^2(x) e^{-i2b} & i \sin(2x) \sin(a+b) \\ i \sin(2x) \sin(a+b) & \cos^2(x) e^{-i2a} + \sin^2(x) e^{i2b} \end{pmatrix} \end{aligned}$$

[0226]

[0228] 수학식 4에서, $\mathbf{SymM}'$ 의 비대각(off-diagonal) 성분은 순허수를 나타낼 수 있고, 이전 하나의 복굴절층으로 이루어진 구조와 동일하다.

[0229] 임의의 구조에 대하여 형성이 가능하게 일반화하기 위하여 $\mathbf{A}'$ 은 유니터리 행렬로 결정될 수 있다.

[0230] 공통위상항이 0이고, 임의의 분포인 경우 유니터리 행렬로 표현이 가능함에 따라 하기 수학식 5와 같이 행렬로 $\mathbf{A}'$ 이 표현될 수 있다.

[0232] [수학식 5]

$$\mathbf{A}' = \begin{pmatrix} A & B \\ -B^* & A^* \end{pmatrix}, \text{ where } A = \cos(x) e^{ia}, \text{ and } B = \sin(x) e^{ib}$$

[0233]

[0235] $\mathbf{SymM}'(m,n)$ 은 m번째 행과 n번째 열 성분을 나타냄에 따라 하기 수학식 6과 같이 표현될 수 있다.

[0237] [수학식 6]

$$\begin{aligned} \mathbf{SymM}'(1,2) &= \mathbf{SymM}'(2,1) \\ &= \mathbf{P}(\pi/2) \mathbf{SymM}' \mathbf{P}(0) = i \sin(2x) \sin(a+b) \end{aligned}$$

[0238]

[0240] 수학식 6에서, $\mathbf{SymM}'$ 의 비대각(off-diagonal) 성분은 순허수를 나타낼 수 있다.

[0241] 본 발명의 일실시예에 따라 복소수 공간 광 변조기가 두 개의 편광판을 사용하는 경우, 비대각(off-diagonal) 성분만을 선택적으로 뽑아낼 수 있으며, 진폭값은 변화하며, 이중위상정보를 나타낸다.

[0242] 진폭과 위상은 두 편광판을 동시에 회전시키거나, 복소수 공간 광 변조기의 복굴절층의 복굴절 물질에 해당하는 규칙을 만족시키면서 복굴절 물질의 분포를 변화시킬 수 있다.

[0243] 예를 들어, 복소수 공간 광 변조기는 수평방향 전계를 가하여 극각 분포를 유지하며, 방위각 분포를 변화시키게 되면, 위중 위상 공간 상에서 진폭을 변화시킬 수 있다.

[0244] 변화양상은 복굴절층을 형성하는 복굴절 물질들의 복굴절층 내 분포, 복굴절층의 광학적 물질 특성, 외부 신호 등에 따라 다양하게 변화하며, 변화 정도를 다양하게 만들 수 있다.

[0245] 예를 들어, 공통위상항이 0이 아닌 경우, 전체 위상은 공통위상항의 합 곱하기 -1 에 따라 $\pm\pi/2$ 일 수 있고, 수학식 7로 하기와 같이 표현될 수 있다.

[0247] [수학식 7]

$$\delta_{total} = \pm \frac{\pi}{2} - \sum_{k=1}^n (\varphi_{A,k} + \varphi_{B,k})$$

[0250] 수학식 7에서, δ_{total} 총 위상을 나타낼 수 있고, φ 는 공통위상항을 나타낼 수 있다.

[0251] 이는 공통위상항 성분이 교환 가능하고, 와 수직 전개 등을 이용하여, 대칭성 규칙을 유지하며, 공통위상항의 합을 변화시키면 역으로 위상의 조절이 가능한 것을 나타낸다.

[0252] 공통위상항은 오직 극각의 함수이고, 위상의 변화폭은 극각 분포 등을 조절하여, 최대 공통위상항의 합과 최소 공통위상항의 합의 차이로 표현될 수 있다.

[0253] 따라서, 본 발명은 서로 90도 회전된 투과축 또는 흡수축을 갖는 두 편광판 사이에 거울 상 대칭적으로 분포된 복굴절 물질들로 구성된 복굴절 층에 기반하여 단일 화소로 복소 공간 전 영역의 복소 진폭을 조절하는 복소수 공간 광 변조기를 제공할 수 있다.

[0255] 도 7 내지 도 10은 본 발명의 일실시예에 따른 복소수 공간 광 변조기를 이용한 시뮬레이션을 설명하는 도면이다.

[0256] 도 7은 본 발명의 일실시예에 따른 복소수 공간 광 변조기의 두께 변화와 정렬층의 극각 분포를 고정하고, 방위각 분포의 변화를 준 경우에 대한 시뮬레이션 결과를 예시한다.

[0257] 도 7을 참고하면, 그래프(700), 그래프(710) 및 그래프(720)는 복소수 공간 광 변조기의 두께 변화에 따른 투과 진폭, 포화비율 및 방위각 분포와 관련된 위상의 변화를 예시한다.

[0258] 또한, 도 7에서의 시뮬레이션 결과는 구조의 변조 특성이 LC 디렉터의 회전이 적용된 평면 전기장에 함수라고 가정한다.

[0259] 극각 분포가 고정되면 위상값이 고정되고, 이 상태에서 방위각 분포를 조절할 경우, 위상값과 위상값에 180도를 더한 위상 공간에서 진폭이 조절될 수 있다.

[0260] 즉, 극각은 위상을 변화시키고, 방위각은 이중 위상 공간에서 진폭을 변화시킨다.

[0261] 더하여, 전기장 방향으로 디렉터 또는 액정에서 긴 방향이 전기장 방향으로 정렬되려 한다.

[0262] 따라서, 면내 방향으로 전기장이 존재하고, 방위각이 변화하며, 면의 수직 방향으로 전기장이 존재함에 극각이 작게 변화할 수 있다. 여기서, 극각의 작은 변화는 면에 수직 방향 전기장을 이용하여 보정될 수 있다.

[0263] 그래프(700)에서 복소수 공간 광 변조기의 두께는 1224nm이고, 그래프(710)에서 복소수 공간 광 변조기의 두께는 2232nm이며, 그래프(720)에서 복소수 공간 광 변조기의 두께는 4360nm일 수 있다.

[0264] 그래프(700)에서 지시선(701)은 투과 진폭의 변화를 나타내고, 지시선(702)는 포화비율 변화를 나타내며, 지시선(703)은 위상 변화를 나타낸다.

[0265] 또한, 그래프(710)에서 지시선(711)은 투과 진폭의 변화를 나타내고, 지시선(712)는 포화비율 변화를 나타내며, 지시선(713)은 위상 변화를 나타낸다.

[0266] 또한, 그래프(720)에서 지시선(721)은 투과 진폭의 변화를 나타내고, 지시선(722)는 포화비율 변화를 나타내며, 지시선(723)은 위상 변화를 나타낸다.

[0267] 그래프(700) 내지 그래프(720)에서 표시된 결과는 복굴절 물질층들로 구성된 LC 디렉터는 입구 편광판 방향과 평행하지만 출구 편광판과 직교하여 정렬되어 있다. 즉, 입구 편광판과 출구 편광판은 x-y 평면에서 90도를 이룬다.

[0268] 다시 말해, 그래프(700) 내지 그래프(720)은 제1 편광판의 투과 방향 방위각이 0도이고, 출사 방위각이 90도라고 가정하고, 배향막의 방향에 해당하는 파이 AL이 0인 경우일 수 있다.

- [0269] 따라서 복소수 공간 광 변조기는 두께에 독립적인 일반적으로 블랙 작동을 보장할 수 있다.
- [0270] 그래프(700) 내지 그래프(720)를 참고하면, 방위각($\delta \Phi(E_{xy})$)이 증가하거나 인가된 바이어스 전압이 증가함에 따라 투과 계수의 투과 진폭이 증가하고 피크에 도달한 다음 투과 계수의 상대 위상이 0인 동안 투과 진폭이 0으로 감소한다. 예를 들어, 전속 진폭은 투과 계수의 진폭으로 지칭될 수 있다.
- [0271] 또한, 0도 90도 편광판 조합에서 파이 AL이 0도 인 경우에서 전압을 가해지지 않았을 경우 LC 디렉터의 방향이 입구 편광판과 평행하고 출구 편광판과 직교하게 될 수 있다.
- [0272] $\delta \Phi(E_{xy})$ 는 전기장에 따른 방위각 변화폭으로, 전압이 복굴절 물질층 맨 위와 아래에는 배향막 방향과 같이 복굴절 물질 층이 배향되지만, 전기장이 존재하는 경우 전기장 방향으로 회전하려고 한다.
- [0273] 따라서 맨 위와 맨 아래는 배향막 방향으로 존재하며, 중앙으로 갈수록 서서히 전기장 방향으로 돌아가게 되며, 서서히 돌아가는 정도는 전기장에 세기 (와 물질 특성)에 따라 다를 수 있다.
- [0274] 본 시뮬레이션은 특정한 예시로, 다른 형태로 방위각 분포가 변화해도 되지만 (대칭성 조건은 만족하면서) 본 시뮬레이션에서는 한 복굴절 물질 층에서 다음 복굴절 물질층 간의 방위각 차이가 $\delta \Phi(E_{xy})$ 라고 가정하였으며, 아무리 전기장이 강하더라도 전기장 방향으로 배열되려고 하기 때문에 최대 전기장 방향까지 복굴절 물질층의 방위각 방향이 회전한다.
- [0275] 예를 들어, AL의 방위각 방향이 상하 모두 0도라고 하고, 전기장 방향이 90도라 하면, 전기장이 약할 때는 0 1 2 3 ---89 90 90 90 89 - 3 2 1 0 과 같이 된다.
- [0276] 또는 전기장이 더 약하면 0 0.1 0.2 0.3 --- 8.9 9 8.9 - 0.3 0.2 0.1 0와 같이 분포하고, 굉장히 세면 0 10 20 30 --- 90 90 90 --- 30 20 10 0과 같이 분포할 수 있다.
- [0277] 그래프(700) 내지 그래프(720)를 참고하면, 투과 진폭은 방위각 증가에 따라 증가하지만 투과 계수의 위상은 포화 영역의 일부가 증가하는 동안 상수로 점프한다. 이러한 변조 동작은 두께가 증가할 수 록 더 많이 반복될 수 있다.
- [0278] 따라서, 0 또는 방위각이 변하거나 인가된 전계가 제어됨에 따라 투과 계수의 투과 진폭이 증가하거나 감소하는 동안 일정한 위상의 교대 영역이 존재할 수 있다.
- [0279] 위상의 크기가 0인 지점 사이의 영역은 전송 계수가 투과 계수보다 큰 경우로, 투과 계수의 진폭이 0이되는 부분에서 위상이 $\pm \pi$ 점프를 함에 따라 진폭의 크기가 0인 지점 사이의 영역에 대해 일정한 위상으로 유지된다.
- [0280] 인접한 영역의 위상차는 상술한 수학적 1과 수학적 2에서 비 대각성분으로 유추되는 결과가 일치된다.
- [0281] 이것은 일정한 위상 영역에서 진폭 만 광 변조가 달성 될 수 있음을 나타낸다.
- [0282] 동시에, 적용된 면내 전계를 동적으로 제어하여 위상차를 갖는 광 변조를 달성 할 수 있는데, 이것은 방위각의 동적 변조 폭이 충분히 넓을 때, 투과 진폭의 0에 걸쳐 이진 위상 복소 광 변조가 달성 될 수 있음을 나타낸다.
- [0283] 그래프(700) 내지 그래프(720)를 참고하면, 전체 셀 두께에 대한 포화 영역 두께의 비율은 적용된 바이어스 전압이 증가함에 따라 포화 영역이 더 넓어지고 낮은 바이어스 전압에서는 포화 영역이 없음을 명확하게 나타낸다. 즉, 셀 두께가 증가하면 포화 영역이 더 넓어진다.
- [0284] 도 8은 본 발명의 일실시예에 따른 복소수 공간 광 변조기의 두께 변화와 정렬층의 방위각을 45도 변경한 경우에 대한 시뮬레이션 결과를 제시한다.
- [0285] 도 8을 참고하면, 그래프(800), 그래프(810) 및 그래프(820)는 복소수 공간 광 변조기의 두께 변화에 따른 투과 진폭, 포화비율 및 위상의 변화를 제시한다.
- [0286] 도 8에서의 시뮬레이션 결과는 구조의 변조 특성이 LC 디렉터의 회전이 적용된 평면 전기장에 비례한다고 가정한다.
- [0287] 그래프(800)에서 복소수 공간 광 변조기의 두께는 600nm이고, 그래프(810)에서 복소수 공간 광 변조기의 두께는 1680nm이며, 그래프(720)에서 복소수 공간 광 변조기의 두께는 2732nm일 수 있다.
- [0288] 그래프(800)에서 지시선(801)은 투과 진폭의 변화를 나타내고, 지시선(802)는 포화비율 변화를 나타내며, 지시선(803)은 위상 변화를 나타낸다.

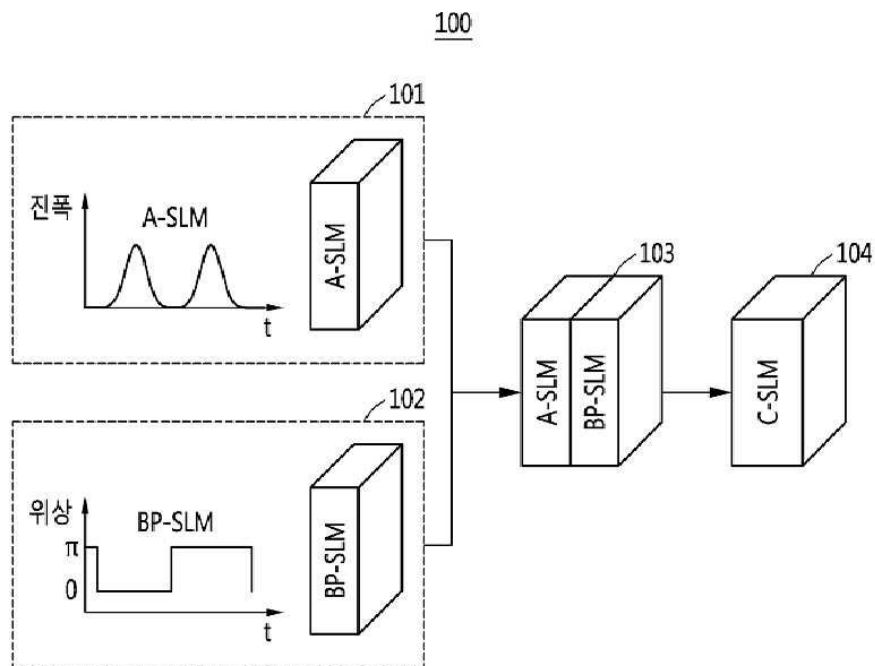
- [0289] 또한, 그래프(810)에서 지시선(811)은 투과 진폭의 변화를 나타내고, 지시선(812)는 포화비율 변화를 나타내며, 지시선(813)은 위상 변화를 나타낸다.
- [0290] 또한, 그래프(820)에서 지시선(821)은 투과 진폭의 변화를 나타내고, 지시선(822)는 포화비율 변화를 나타내며, 지시선(823)은 위상 변화를 나타낸다.
- [0291] 그래프(800) 내지 그래프(820)에서 표시된 결과는 복굴절 물질층들로 구성된 LC 디렉터는 입구 편광판 방향과 평행하지만 출구 편광판과 직교하는에 정렬되어 있다. 즉, 입구 편광판과 출구 편광판은 x-y 평면에서 90도를 이루고, 굴절 이상 지수가 각각 1.2와 1.7로 가정될 수 있다.
- [0292] 그래프(800) 내지 그래프(820)를 참고하면 복소수 공간 광 변조기의 구성은 오프 상태에서 더 이상 일반적으로 블랙 작동을 보장하지 못하지만, 0.5(도/nm) 이내에서 블랙에 가까운 상태를 얻을 수 있다.
- [0293] 특히, 그래프(800) 및 그래프(820)는 거의 완벽에 가까운 블랙 상태를 얻을 수 있는데, 투과 계수의 진폭이 거의 0에 가까운 것을 나타낸다.
- [0294] 투과 진폭이 그래프(800) 내지 그래프(820)와 같이 셀 두께를 제어하여복소수 공간 광 변조기의 binary 위상 공간 하에서 진폭 조절하는 것이 두 구조 모두에서 달성 될 수 있다.
- [0295] 그래프(800) 내지 그래프(820)에서의 복소수 공간 광 변조기의 투과율은 그래프(700) 내지 그래프(720)의 결과를 제공하는 복소수 공간 광 변조기에 비교하여 셀 구성이 이는 더 유리할 수 있음을 나타낸다.
- [0296] 그래프(800) 내지 그래프(820)에서의 복소수 공간 광 변조기가 제한된 복합 공간 광 변조기 또는 이진 위상 복합 공간 광 변조기로 적용될 수 있음을 나타내고, 광학 정보의 제어 가능성을 두 배로 높일 수 있다고 볼 수 있다.
- [0297] 도 9a 및 도 9b는 본 발명의 일실시예에 따른 복소수 공간 광 변조기를 이용한 시뮬레이션을 수행하기 위한 가정 조건을 예시한다.
- [0298] 구체적으로, 도 9a의 그래프(900)는 LC 층의 순서 변화와 극각(polar angle)의 변화의 관계를 나타내고, 도 9b의 그래프(910)는 LC 층의 순서 변화와 방위각(azimuth angle)의 변화의 관계를 나타낸다. 여기서, LC 층은 상술한 복굴절층을 지칭하며, LC 층은 복굴절층을 이루는 복굴절 물질들에 대한 다수의 층으로 형성될 수 있다.
- [0299] 그래프(900)와 그래프(910)를 참고하면, 시뮬레이션 하기 위하여 입사 편광판을 0도, 출사 편광판을 90도로 설정하였으며, 배향막을 가정하여, 전압이 걸리기 전, 모든 LC의 director 방향을 극각 90도, 방위각 0도로 설정할 수 있다.
- [0300] 이후 수평 전계는 방위각 90도 극각 90도 방향으로 작용하며, 수직 전계는 방위각 0도 방향으로 설정할 수 있다.
- [0301] 또한, 개별 신호에 따라 두 전계의 강도는 각각 달라지며, 이에 따라 아래와 같이 선형적으로 변화하는 LC 디렉터 방향을 설정하고, 입사 빛의 편광은 0도로 가정할 수 있다.
- [0302] 시뮬레이션은 균질(homogeneous)하고 이방성(anisotropic) 다층의 LC층을 존스(Jones) 행렬을 통하여 계산한다.
- [0303] 그래프(900)와 그래프(910)의 x 축은 다층의 LC 층을 쌓은 순서로, z축 높이로 해석될 수 있다.
- [0304] 본 발명의 일실시예에 따른 복소수 공간 광 변조기는 맨 위와 아래 평면에 배향막이 존재하기 때문에 각각 극각과 방위각의 맨위와 아래 부분이 각각 90도와 0도로 고정되어있다.
- [0305] 본 발명의 일실시예에 따른 복소수 공간 광 변조기는 수직, 수평 전계로 인하여 중앙으로 갈수록 선형적으로 디렉터(director) 방향이 변화하며, 전기장 방향 이상으로 회전할 수 없기 때문에 수직, 수평 전계 방향으로 포화(saturation)될 수 있다.
- [0306] 예를 들어, 실제 액정 혹은 복굴절 물질은 시뮬레이션과 같이 선형적으로 변화하지 않지만, 선형적으로 근사가능하고, 본 발명의 대칭성 조건들과 편광판 배열들을 만족하면 어떤 변화 (시뮬레이션의 선형적 변화 혹은 분포와 같이)에도 본 발명의 원리 및 구조가 적용이 가능하다.
- [0307] z축 변화에 따른 극각 및 방위각 변화는 $\delta\theta(E_v)$, $\delta\phi(E_H)$ 로 정의될 수 있다. 다만, 복굴절층이 연속적으로 변화하지 않고, 유한한 다층 균질(homogeneous) 복굴절층으로 계산되었기 때문에 효과적(effective) z축 변화에 따

른 극각 및 방위각 변화이며, 시뮬레이션 상 불연속적 구간이 존재할 수 있다.

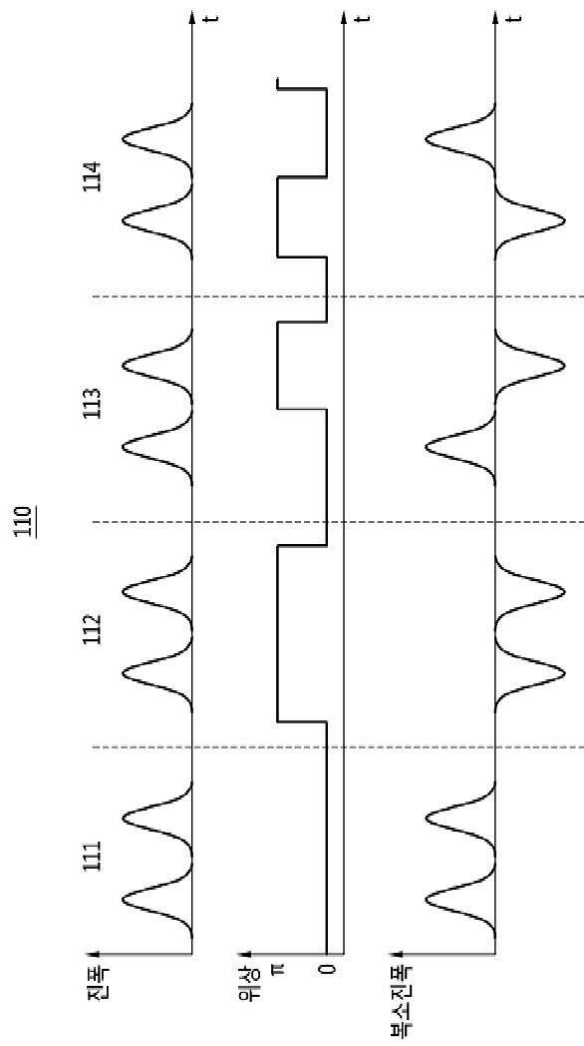
- [0308] 예를 들어 각 복굴절층이 3 nm이며, $\delta\phi(E_H)=1^\circ/\text{nm}$ 인 경우, 각 복굴절층의 방위각 값은 0, 3, 6, ~ 90, 90, 90, ~, 6, 3, 0 이지만, 1nm 단위의 방위각 값은 0, 0, 0, 3, 3, 3, ~ 90, 90, 90, ~, 0, 0, 0, 3, 3, 3과 같을 수 있다.
- [0309] 도 10은 본 발명의 일실시예에 따른 복소수 공간 광 변조기를 이용한 시뮬레이션 결과로 8가지 각도에 대하여 다양한 극각 및 방위각 변화의 결과 값을 복소 공간 상에서 플롯하여 예시한다.
- [0310] 다시 말해, 그래프(1000) 내지 그래프(1007)에 나와있는 각도는 각 그래프에 모든 극각과 방위각 분포에 대하여 최대 위상차항의 값을 표현한 것으로, 위상차항은 유효한 굴절률의 차, 파수, 두께의 곱으로, 굴절률의 차와 파수는 모든 그래프에 대하여 동일함에 따라 그래프(1000) 내지 그래프(1007)의 차이는 두께라고 볼 수 있다.
- [0311] 도 10의 그래프(1000) 내지 그래프(1007)을 참고하면, 각 점들은 극각 및 방위각의 변화 값인데, 극각은 $\delta\theta(E_v)$ 로 표시하고, 방위각은 $\delta\phi(E_H)$ 로 표시한다. 이는, 복굴절층마다 디렉터 분포가 얼마나 급격히 변화하는지를 나타낸다.
- [0312] 그래프(1000)는 180도를 예시하고, 그래프(1001)은 360도를 예시하며, 그래프(1002)는 540도를 예시하고, 그래프(1003)은 720도를 예시하며, 그래프(1004)는 900도를 예시하고, 그래프(1005)는 1080도를 예시하며, 그래프(1006)은 1260도를 예시하고, 그래프(1007)은 1440도를 예시한다.
- [0313] 각 두께는, 최대 위상 조절 범위 ($\delta_{total\ max}$)가 각각 180도 ~1440도 까지에 해당하는 복굴절률 및 두께 조건을 사용하였다. 두께가 n 배가 되면 층의 수 또한 n 배로 증가시켜 LC 층당 두께를 동일하게 유지시켰다.
- [0314] 동일 각도의 점들은 동일 위상 값을 의미하며, 반경은 투과계수 혹은 반사계수를 의미한다. 동일 $\delta\theta(E_v)$ 는 동일 색으로 플롯하였는데, 동일 색은 같은 위상 혹은 같은 위상 $+\pi$ 를 보인다. 즉, 동일 $\delta\theta(E_v)$ 의 결과는 $\delta\phi(E_H)$ 가 달라져도 이중 위상 공간 상에서 존재한다.
- [0315] 반지름이 1인 것은 입사 빛이 모두 반사 혹은 투과함을 의미하며, 작은 반지름은 0pi 내지 2pi의 범위까지 조절이 가능한 최대 반사, 투과계수를 의미하고, 작은 반지름이 커질수록 광효율이 증가함을 의미할 수 있다.
- [0316] 위 시뮬레이션은 일종의 IPS(in-plane switching)를 응용하여 만든 구조이지만, 다른 구조 혹은 두께를 이용하는 경우 광 효율이 증가할 수 있다.
- [0317] 또한 결과값들이 특정 위상 공간에 더 많이 퍼져 있는 것들을 볼 수 있는데, 해당 특성이 선호되거나, 일반 공간 광 변조기가 구현한 결과값에 큰 차이가 없는 경우에도 적용될 수 있다.
- [0318] 따라서, 본 발명은 적어도 두 개의 위상 공간 상에서 진폭을 조절함에 따라 배가(doubling)되는 정보량을 처리할 수 있다.
- [0319] 또한, 본 발명은 위상공간의 상대적 위상차에 기반하여 위상공간 상에서 음의 진폭에서 양의 진폭까지 연속적으로 조절할 수 있다.
- [0320] 상술한 구체적인 실시 예들에서, 발명에 포함되는 구성 요소는 제시된 구체적인 실시 예에 따라 단수 또는 복수로 표현되었다.
- [0321] 그러나, 단수 또는 복수의 표현은 설명의 편의를 위해 제시한 상황에 적합하게 선택된 것으로서, 상술한 실시 예들이 단수 또는 복수의 구성 요소에 제한되는 것은 아니며, 복수로 표현된 구성 요소라 하더라도 단수로 구성되거나, 단수로 표현된 구성 요소라 하더라도 복수로 구성될 수 있다.
- [0322] 한편 발명의 설명에서는 구체적인 실시 예에 관해 설명하였으나, 다양한 실시 예들이 내포하는 기술적 사상의 범위에서 벗어나지 않는 한도 내에서 여러 가지 변형이 가능함은 물론이다.
- [0323] 그러므로 본 발명의 범위는 설명된 실시 예에 국한되어 정해져서는 아니되며 후술하는 청구범위뿐만 아니라 이 청구범위와 균등한 것들에 의해 정해져야 한다.

도면

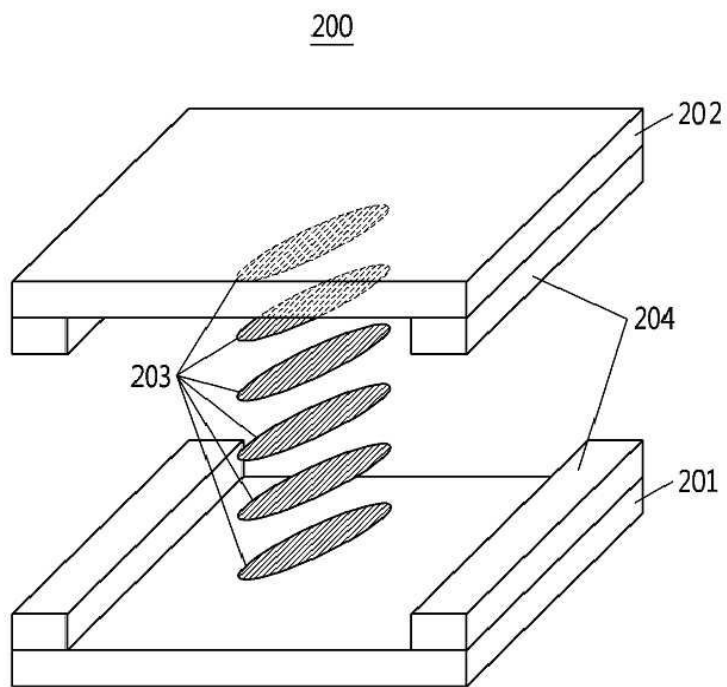
도면1a



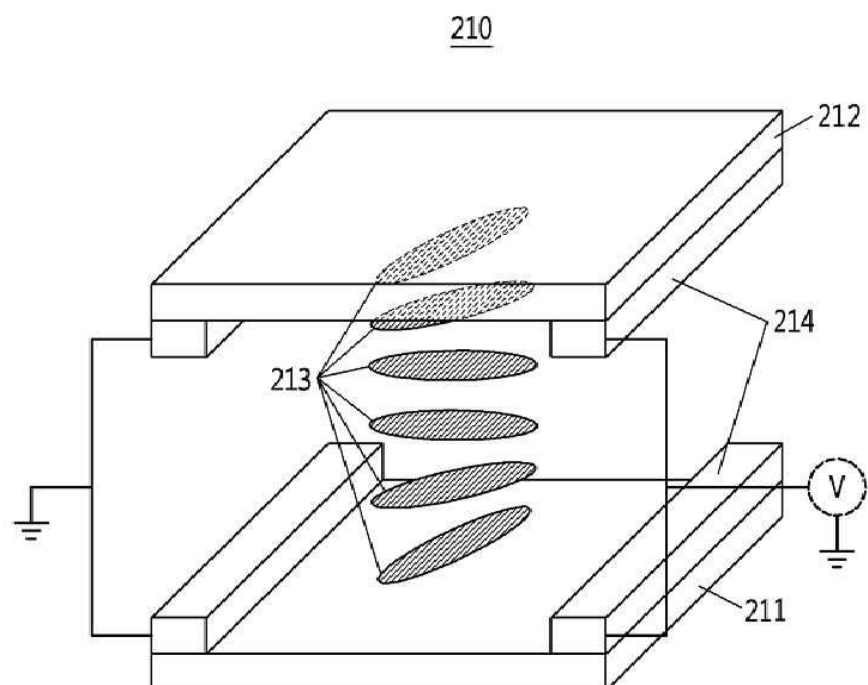
도면1b



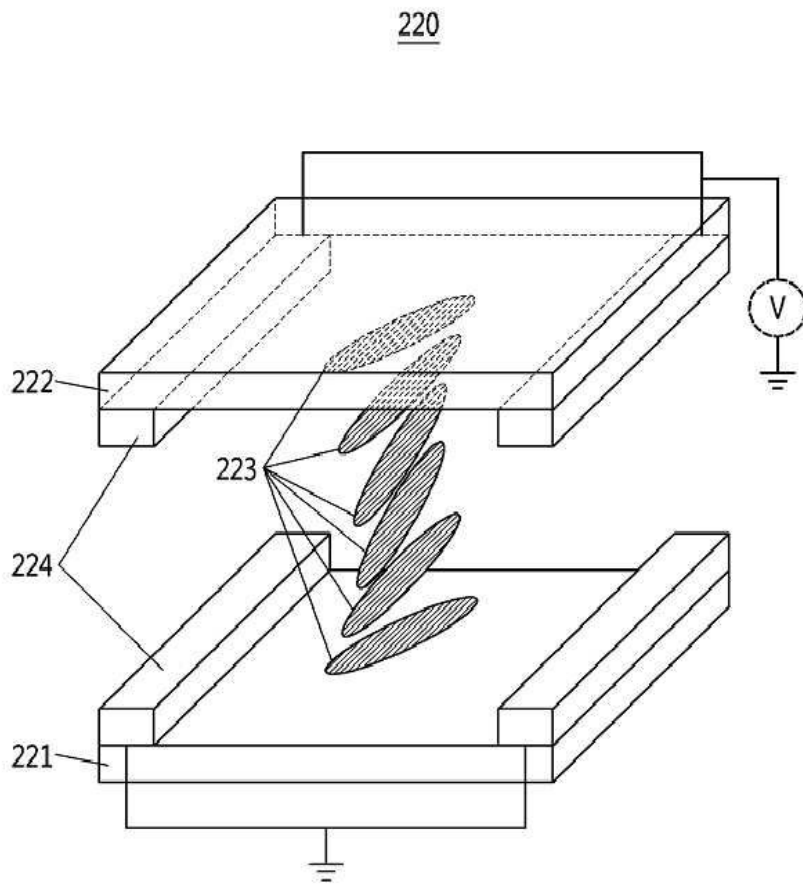
도면2a



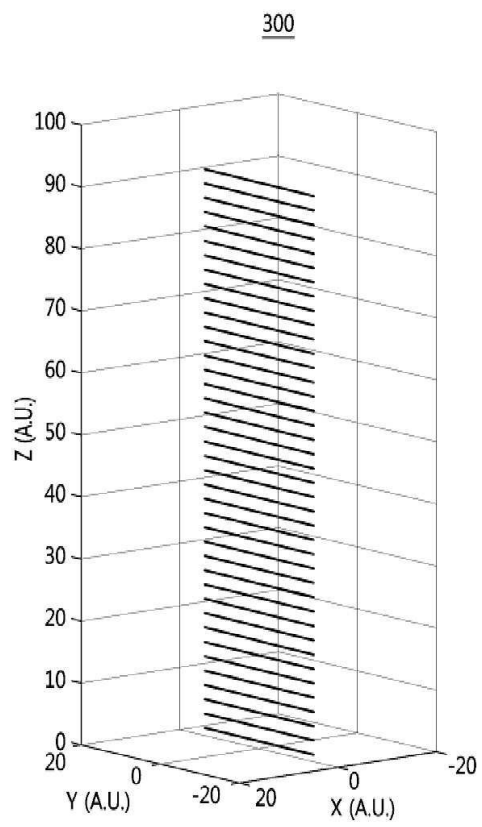
도면2b



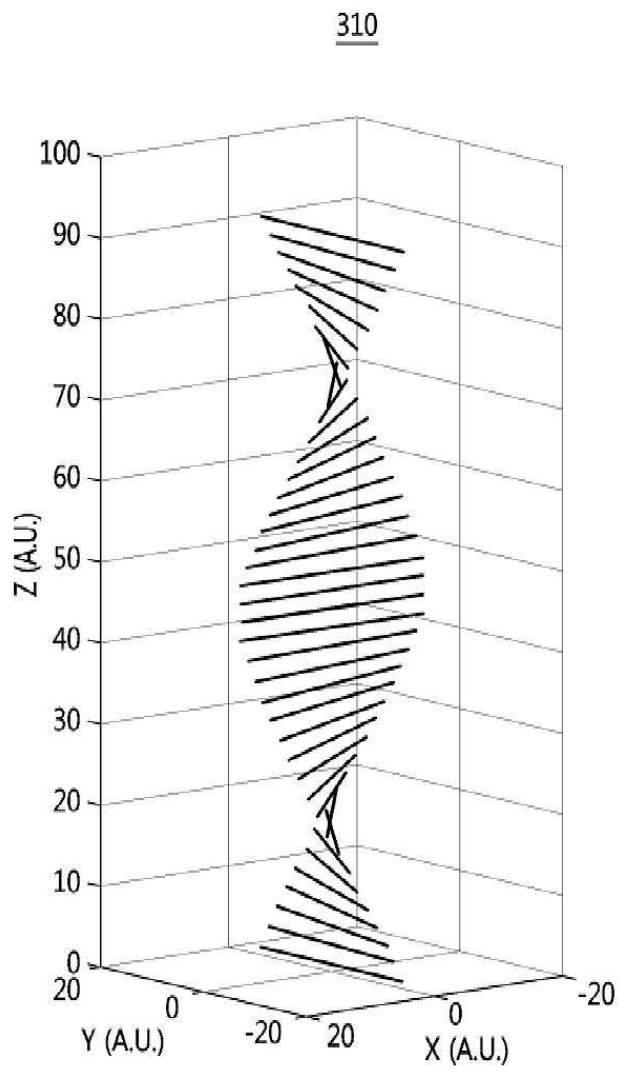
도면2c



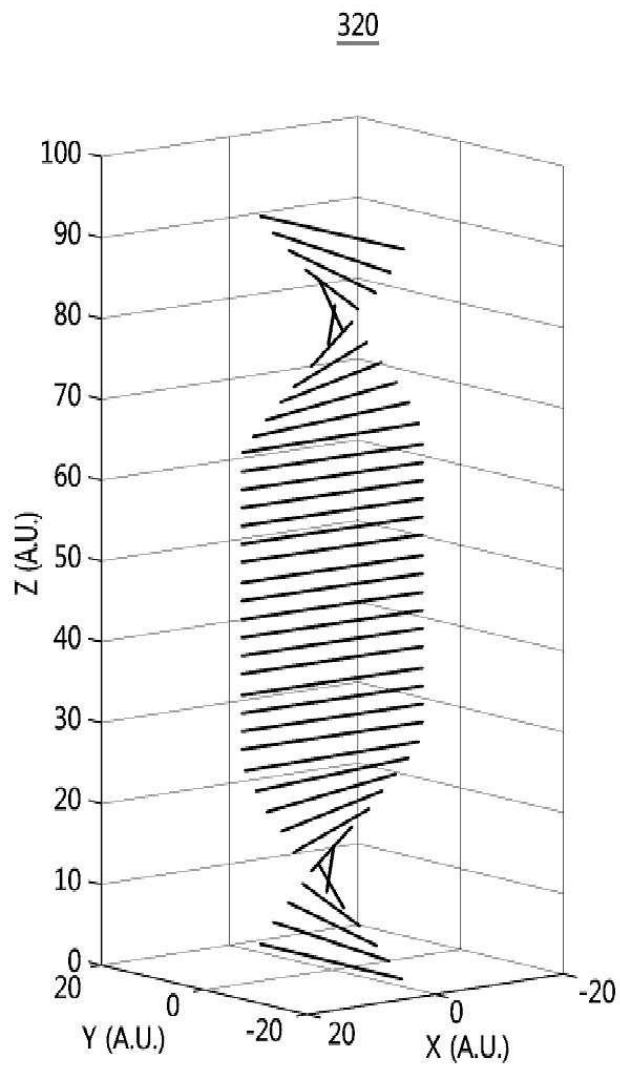
도면3a



도면3b

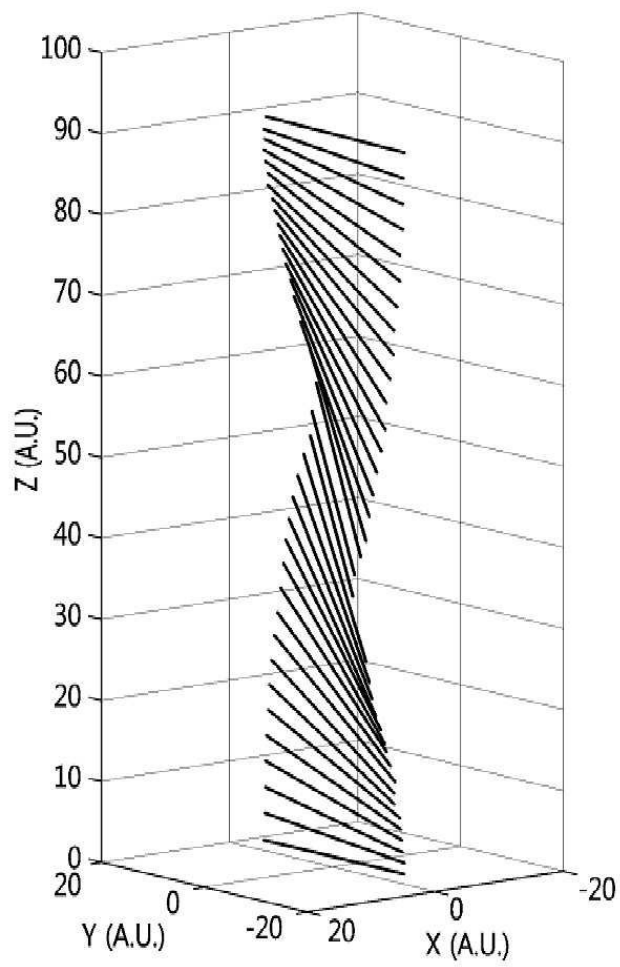


도면3c



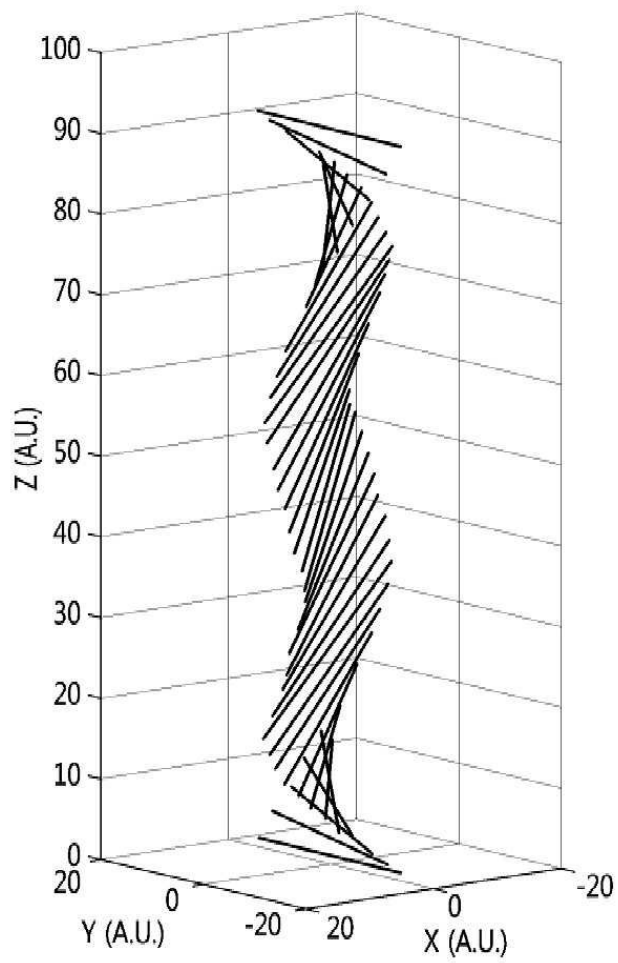
도면3d

330

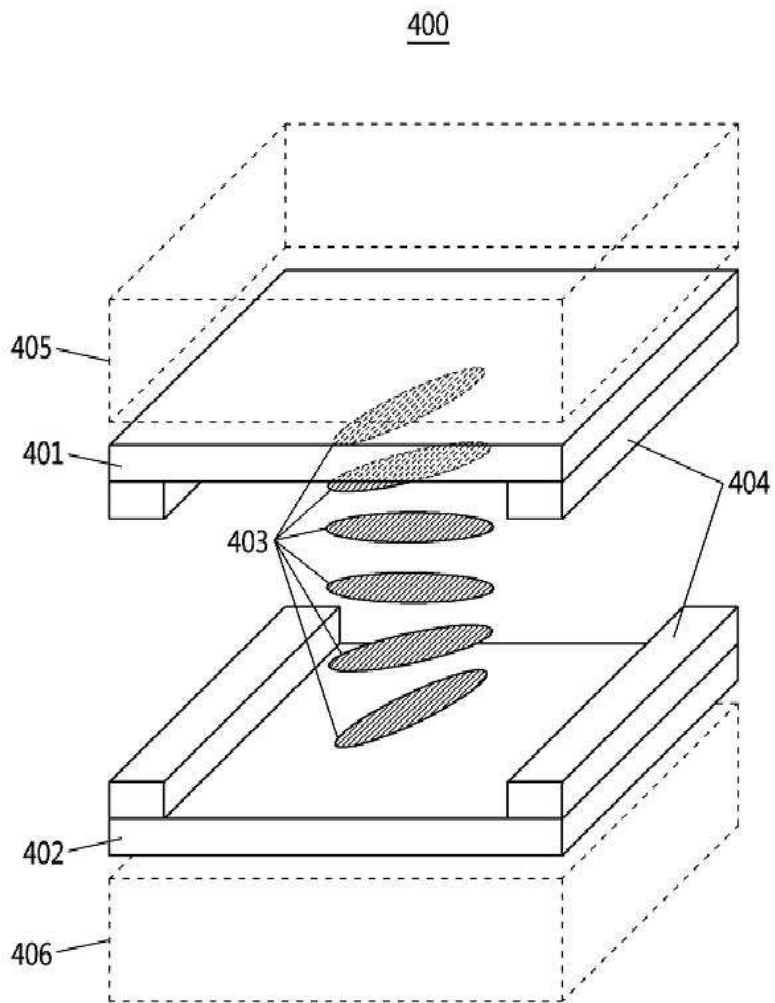


도면3e

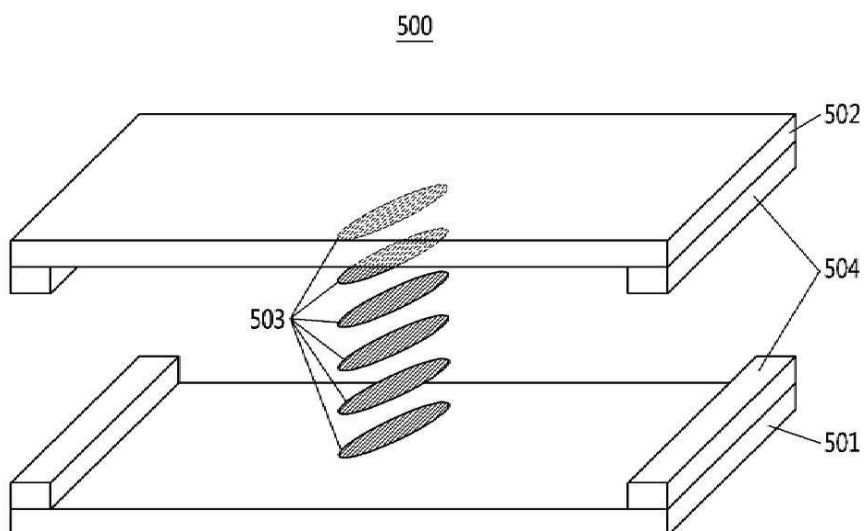
340



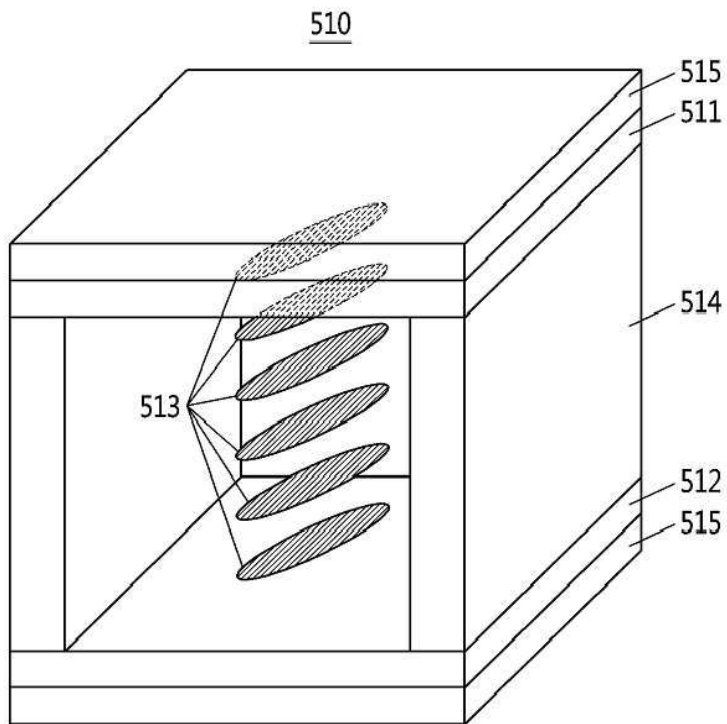
도면4



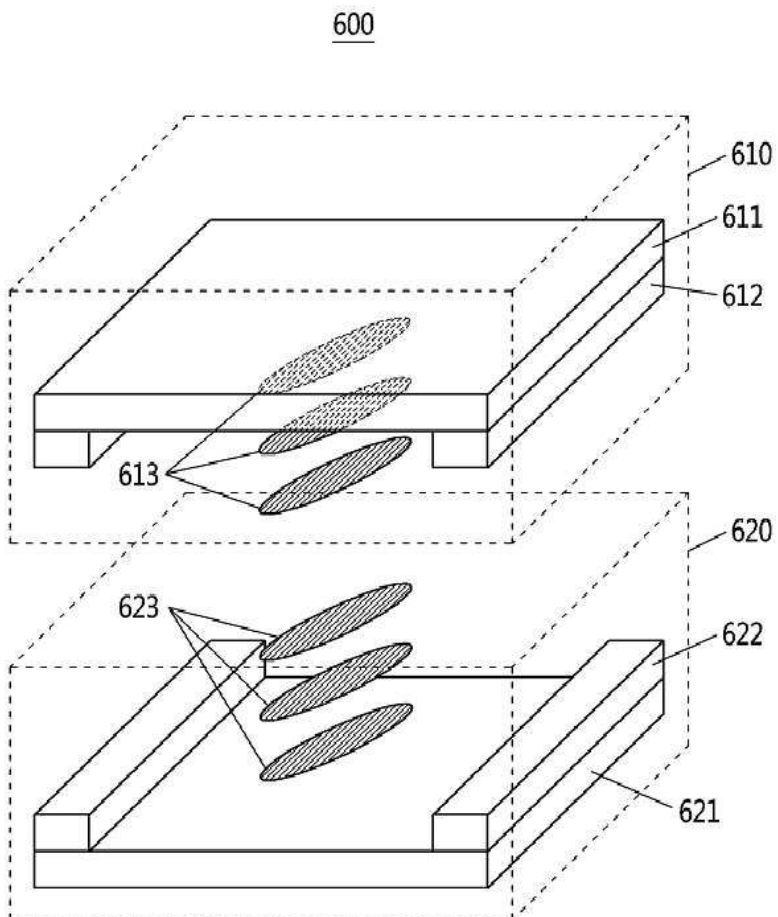
도면5a



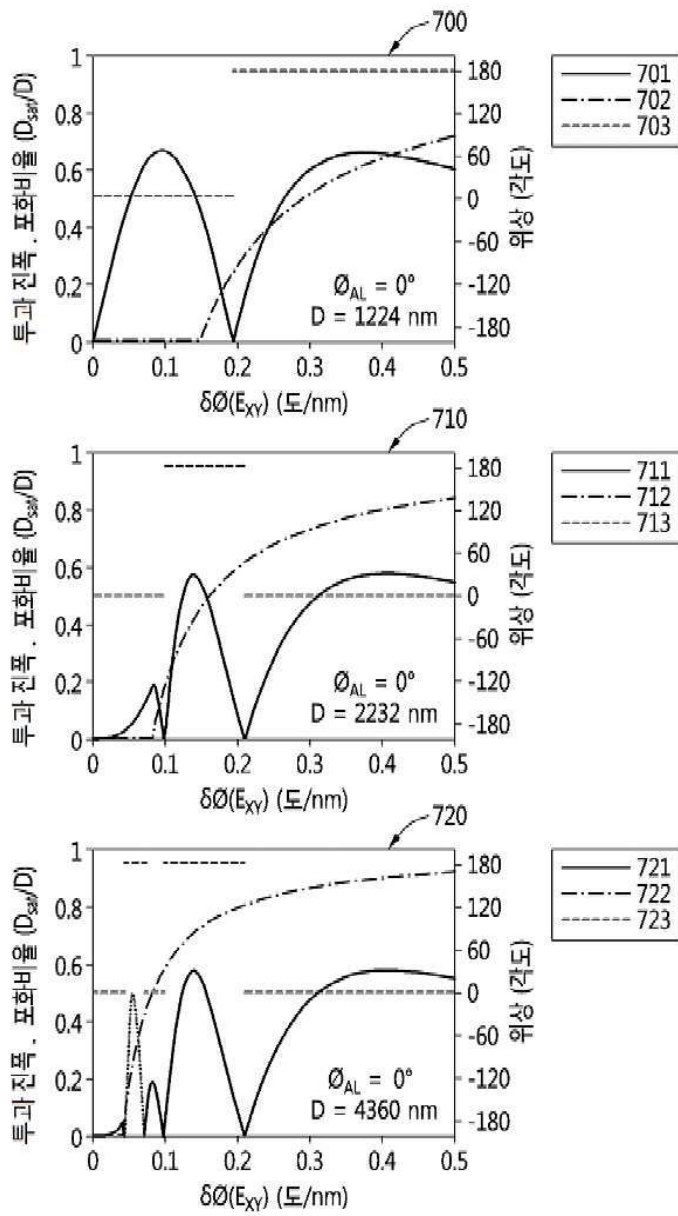
도면5b



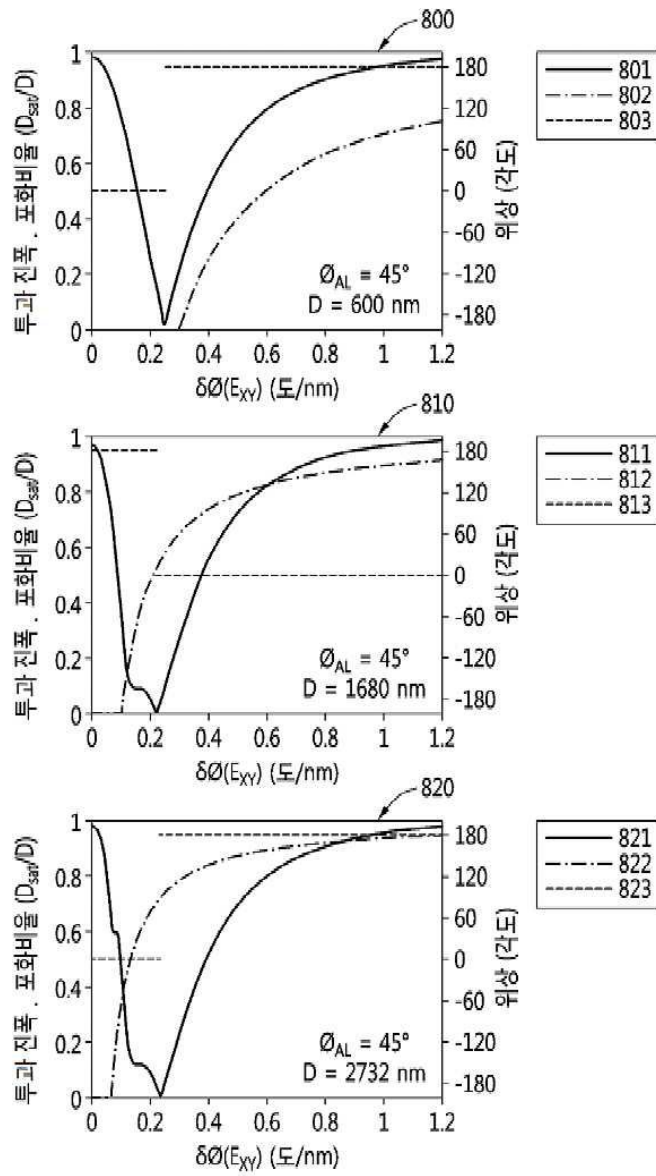
도면6



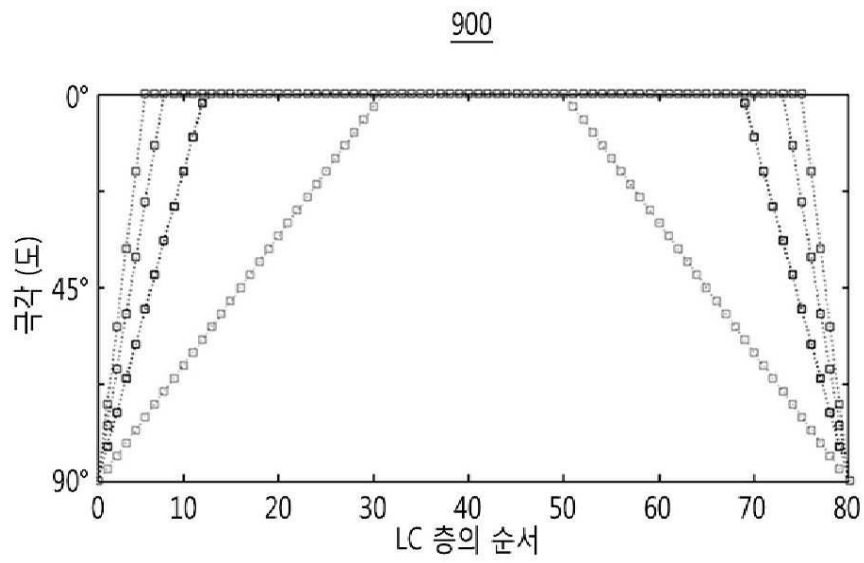
도면7



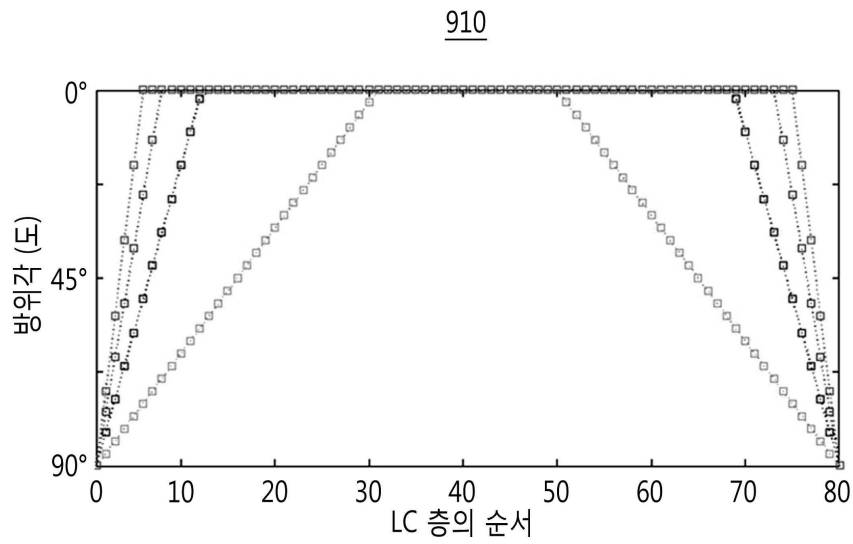
도면8



도면9a



도면9b



도면10

