



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2018-0000107
(43) 공개일자 2018년01월02일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G02B 26/06 (2006.01) G02F 1/00 (2006.01)
G02F 1/01 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G02B 26/06 (2013.01)
G02F 1/0054 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2016-0077842
(22) 출원일자 2016년06월22일
심사청구일자 2016년06월22일

(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 동대문구 회기로12나길 4, 102호(회기동)
(74) 대리인
김연권

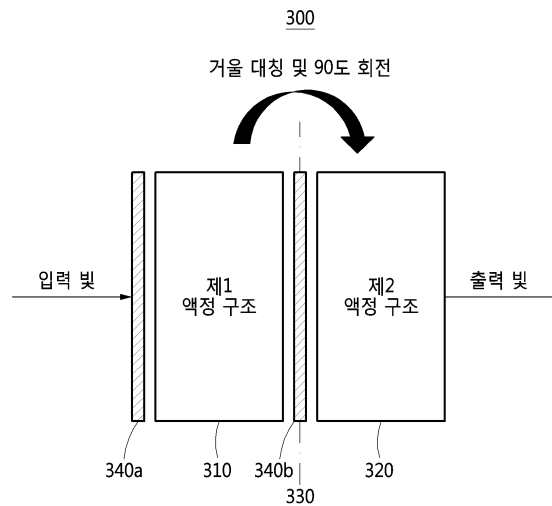
전체 청구항 수 : 총 13 항

(54) 발명의 명칭 입사 빛의 편광 방향에 무관한 공간 광 위상 변조기

(57) 요약

일 실시예에 따른 입사 빛의 편광 방향에 무관한 공간 광 위상 변조기에 관한 것으로, 복수의 제1 액정 분자들을 포함하는 제1 액정 구조, 상기 복수의 제1 액정 분자들과 동일한 위상 차를 나타내며, 상기 복수의 제1 액정 분자들과 거울 대칭되고, 90도 회전된 형상을 가지는 복수의 제2 액정 분자들을 포함하는 제2 액정 구조 및 상기 제1 액정 구조로 입사되는 빛을 방위각 방향으로 회전시키는 회전자를 포함할 수 있다. 제1 액정 구조에서 변경된 편광 방향은 제2 액정 구조에서 복원될 수 있다.

대표도 - 도3



(52) CPC특허분류
G02F 1/01 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

복수의 제1 액정 분자들을 포함하는 제1 액정 구조;

상기 복수의 제1 액정 분자들과 동일한 위상 차를 나타내며, 상기 복수의 제1 액정 분자들과 거울 대칭되고, 방위각 방향으로 90도 회전된 형상을 가지는 복수의 제2 액정 분자들을 포함하는 제2 액정 구조; 및

상기 제1 액정 구조로 입사되는 빛을 상기 방위각 방향으로 회전시키는 회전자

를 포함하는 입사 빛의 편광 방향에 무관한 공간 광 위상 변조기.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 복수의 제2 액정 분자들은

상기 제1 액정 구조와, 상기 제2 액정 구조가 만나는 가상의 면을 기준으로 상기 복수의 제1 액정 분자들과 동일한 위상 차 향인 한 쌍을 이루는 것을 특징으로 하는 입사 빛의 편광 방향에 무관한 공간 광 위상 변조기.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 복수의 제1 액정 분자들은

상기 제1 액정 구조에 입사되는 빛의 편광 방향 및 위상을 변조시키는

입사 빛의 편광 방향에 무관한 공간 광 위상 변조기.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 복수의 제2 액정 분자들은

상기 제1 액정 구조에서 변조된 빛의 편광 방향을 상기 제1 액정 구조 입사 전의 편광 방향으로 복원하는

입사 빛의 편광 방향에 무관한 공간 광 위상 변조기.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 회전자는

상기 방위각 방향으로 45도 각도를 이루는 서로 다른 두 개의 반파장판(half-wave plate)으로 형성되는 입사 빛의 편광 방향에 무관한 공간 광 위상 변조기.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 회전자는

상기 서로 다른 두 개의 반파장판 중 임의의 하나의 반파장판은 임의의 방위각을 갖는 슬로우 광 축(slow optical axis) 방향을 나타내고, 그 외의 하나의 반파장판은 45도 각도를 갖는 슬로우 광 축 방향을 나타내는 것을 특징으로 하는 입사 빛의 편광 방향에 무관한 공간 광 위상 변조기.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 제1 액정 구조 및 상기 제2 액정 구조는

TN(Twisted Nematic) 모드, UTN(Untwisted Nematic) 모드, VA(Vertical Alignment) 모드, IPS(In-Plane Switching) 모드, ECB(Electrically Controlled Birefringence) 모드, PI-Cell 모드 중 하나임을 특징으로 하는

입사 빛의 편광 방향에 무관한 공간 광 위상 변조기.

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 제1 액정 구조 및 상기 제2 액정 구조는

독립된 픽셀을 형성하여, 입사되는 빛의 위상이 상기 픽셀 단위로 조절되는

입사 빛의 편광 방향에 무관한 공간 광 위상 변조기.

청구항 9

제1항 내지 제8항 중 어느 하나의 공간 광 위상 변조기를 포함하는 홀로그램 디스플레이.

청구항 10

입사하는 빛의 편광 방향 및 위상을 변경시키는 복수의 제1 액정 분자들을 포함하는 변조부; 및

상기 변경된 편광 방향을 원 상태로 복원하는 복수의 제2 액정 분자들을 포함하는 편광 복원부

를 포함하는 입사 빛의 편광 방향에 무관한 공간 광 위상 변조기.

청구항 11

제10항에 있어서,

상기 편광 복원부는

상기 제1 액정 분자들에서 변경된 편광 방향을 상기 제2 액정 분자들 각각을 이용하여 순차적으로 복원하고, 상기 변경된 위상을 추가적으로 변경하는

입사 빛의 편광 방향에 무관한 공간 광 위상 변조기.

청구항 12

제10항에 있어서,

상기 복수의 제2 액정 분자들은

상기 복수의 제1 액정 분자들과 동일한 위상 차를 나타내며, 상기 복수의 제1 액정 분자들과 거울 대칭되고, 90도 회전된 형상을 나타내는

입사 빛의 편광 방향에 무관한 공간 광 위상 변조기.

청구항 13

제12항에 있어서,

상기 복수의 제2 액정 분자들은

상기 복수의 제1 액정 분자들을 포함하는 제1 액정 구조로 입사되는 빛을 방위각 방향으로 회전시키는 회전자로 부터 상기 90도 회전된 형상을 나타내는 것을 특징으로 하는

입사 빛의 편광 방향에 무관한 공간 광 위상 변조기.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 아래의 실시 예들은 입사하는 빛의 편광방향에 관계없이, 입사된 빛의 위상만을 변조하는 공간 광 위상 변조기에 관한 것으로, 입사되는 빛을 방위각 방향으로 회전시키는 회전자를 포함하는 입사 빛의 편광 방향에 무관한 공간 광 위상 변조기에 관한 것이다.

배경 기술

[0002]현대 과학 기술 및 과학 기술이 적용된 제품에서 빛을 이용하는 광학기술의 중요도는 자명한다. 예를 들어, 디스플레이, 정보 통신, 재료, 보안, 생명공학 등 살마들이 일상에서 사용하는 많은 제품에 직접적 또는 간접적으로 광학 기술이 사용되고 있다. 앞으로 과학 기술의 발전이 진전될수록 고속의 통신, 신호처리, 계산 등이 필요하고, 이러한 기술을 구현하기 위해 빛의 사용 분야는 점점 더 늘어날 것이다. 속도 뿐만 아니라 다양한 정보들을 처리하고, 이용하기 위해서는 빛의 편광, 진폭, 위상 등과 같은 광학적 성질들을 공간적으로 다양하게 조절할 필요가 있다. 공간 광 변조기(Spatial Light Modulator, 이하 SLM이라고 칭함)는 이러한 역할을 효율적으로 수행할 수 있다.

[0003]일반적으로 공간 광 변조기는 빛의 위상 혹은 진폭을 SLM 위치 및 공간상에서 입사하는 빔에 따라 서로 다르게 조절해 주는 장치로, SLM은 거의 대부분의 광학적 실험과 광학이 포함되는 장치들에 사용될 수 있다. 좀 더 구체적으로, 디스플레이 장치, 광통신장치, 홀로그래프, OAM(Optical Angular Momentum) 장치, Optical Tweezer 등 다양한 분야에 사용될 수 있다.

[0004]일반적인 LCD(Liquid Crystal Display)는 비간섭성(incoherent) 빛의 진폭을 조절해주는 일종의 SLM으로 LCD의 패널을 구성하는 각 픽셀마다 입사하는 빛의 진폭 즉, 밝기를 다르게 표현해 주는 장치이다. 또한 LCD는 간섭성(coherent) 빛의 특성을 조절할 수 있으며, 이 때 LCD는 동시에 빛의 편광과 위상을 변조할 수 있다.

[0005]하지만, 종래의 LCD는 빛의 편광과 위상을 독립적으로 조절하지 못하는 단점을 가지고 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0006] (특허문헌 0001) 한국공개특허 제10-2015-0121167호(발명의 명칭: 광학 액정 위상 변조기)
 (특허문헌 0002) 일본등록특허 제5249876호(발명의 명칭: 반사형 공간 광 변조기)
 (특허문헌 0003) 한국공개특허 제10-2012-0091414호(발명의 명칭: 위상 변조기와 상호 작용하는 광을 변조하는 위상 변조기)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007]종래의 LCD와는 차별화하여, 본 발명의 일 실시예에 따른 공간 광 위상 변조기는 입사하는 빛의 편광방향에 관계없이, 진폭은 변조시키지 않고 독립적으로 입사하는 빛의 위상만을 조절하고자 한다.

과제의 해결 수단

[0008]본 발명의 일 실시예에 따른 입사 빛의 편광 방향에 무관한 공간 광 위상 변조기는 복수의 제1 액정 분자들을 포함하는 제1 액정 구조, 상기 복수의 제1 액정 분자들과 동일한 위상 차를 나타내며, 상기 복수의 제1 액정 분자들과 거울 대칭되고, 방위각 방향으로 90도 회전된 형상을 가지는 복수의 제2 액정 분자들을 포함하는 제2 액정 구조 및 상기 제1 액정 구조로 입사되는 빛을 상기 방위각 방향으로 회전시키는 회전자를 포함한다.

- [0009] 상기 복수의 제2 액정 분자들은 상기 제1 액정 구조와, 상기 제2 액정 구조가 만나는 가상의 면을 기준으로 상기 복수의 제1 액정 분자들과 동일한 위상 차 항인 한 쌍을 이루는 것을 특징으로 할 수 있다.
- [0010] 상기 복수의 제1 액정 분자들은 상기 제1 액정 구조에 입사되는 빛의 편광 방향 및 위상을 변조시킬 수 있다.
- [0011] 상기 복수의 제2 액정 분자들은 상기 제1 액정 구조에서 변조된 빛의 편광 방향을 상기 제1 액정 구조 입사 전의 편광 방향으로 복원할 수 있다.
- [0012] 상기 회전자는 상기 방위각 방향으로 45도 각도를 이루는 서로 다른 두 개의 반파장판(half-wave plate)으로 형성될 수 있다.
- [0013] 상기 회전자는 상기 서로 다른 두 개의 반파장판 중 임의의 하나의 반파장판은 임의의 방위각을 갖는 슬로우 광축(slow optical axis) 방향을 나타내고, 그 외의 하나의 반파장판은 45도 각도를 갖는 슬로우 광축 방향을 나타낼 수 있다.
- [0014] 상기 제1 액정 구조 및 상기 제2 액정 구조는 TN(Twisted Nematic) 모드, UTN(Untwisted Nematic) 모드, VA(Vertical Alignment) 모드, IPS(In-Plane Switching) 모드, ECB(Electrically Controlled Birefringence) 모드, PI-Cell 모드 중 하나일 수 있다.
- [0015] 상기 제1 액정 구조 및 상기 제2 액정 구조는 독립된 픽셀을 형성하여, 입사되는 빛의 위상이 상기 픽셀 단위로 조절될 수 있다.
- [0016] 본 발명의 실시예에 따른 입사 빛의 편광 방향에 무관한 공간 광 위상 변조기는 입사하는 빛의 편광 방향 및 위상을 변경시키는 복수의 제1 액정 분자들을 포함하는 변조부 및 상기 변경된 편광 방향을 원 상태로 복원하는 복수의 제2 액정 분자들을 포함하는 편광 복원부를 포함한다.
- [0017] 상기 편광 복원부는 상기 제1 액정 분자들에서 변경된 편광 방향을 상기 제2 액정 분자들 각각을 이용하여 순차적으로 복원하고, 상기 변경된 위상을 추가적으로 변경할 수 있다.
- [0018] 상기 복수의 제2 액정 분자들은 상기 복수의 제1 액정 분자들과 동일한 위상 차를 나타내며, 상기 복수의 제1 액정 분자들과 거울 대칭되고, 90도 회전된 형상을 나타낼 수 있다.
- [0019] 상기 복수의 제1 액정 분자들을 포함하는 제1 액정 구조로 입사되는 빛을 방위각 방향으로 회전시키는 회전자로부터 상기 90도 회전된 형상을 나타낼 수 있다.

발명의 효과

- [0020] 본 발명의 일 실시예에 따른 공간 광 위상 변조기(Spatial Light Phase Modulator, 이하 SLPM이라고 칭함)는 입사하는 빛의 편광 방향에 관계없이 빛의 편광방향을 유지한 상태로, 진폭을 변조시키지 않고, 빛의 위상만을 SLPM의 각 픽셀에서 독립적으로 변조할 수 있다. 좀 더 구체적으로, 일 실시예에 따른 SLPM은 어떠한 편광 방향의 빛이 들어오더라도 원래의 편광상태를 유지하면서, 사용자가 원하는 만큼의 위상을 공간상에서 독립적으로 조절할 수 있다.
- [0021] 일 실시예에 따른 SLPM은 예를 들어, OAM(Orbital Angular Momentum), Optical Tweezer, 홀로그래프 등 다양한 형태의 광학장치에 폭넓게 이용될 수 있으며, 특히 높은 광 효율을 필요로 하는 홀로그래프 장치에서 큰 역할을 차지할 것으로 보인다. 특히 홀로그래프 분야에서, 빛의 편광 방향에 관계없이 빛의 위상만 독립적으로 조절이 가능하다면, 디지털 홀로그래프에서 복원된 이미지의 왜곡을 줄일 수 있다.
- [0022] 일 실시예에 따른 SLPM은 어떠한 편광상태에서도 독립적으로 빛의 위상만 조절함으로써, 공간상에 다른 편광상태를 보유하고 있는 빛의 파면의 정밀한 조절과 여러 편광상태에서의 위상의 조절이 용이하다.
- [0023] 일 실시예에 따른 SLPM은 회전자를 이용하여 빛을 방위각 방향으로 90도 회전시키는 구조를 포함하여 LCD를 이용할 때 컬러필터와 픽셀 구조에 의해 발생할 수 있는 문제를 해결할 수 있다.
- [0024] 일 실시예에 따른 SLPM은 광 축의 변경 없이 LCD의 어느 위치에서도 쉽게 사용이 가능하며, 기존 LCD 장치에 부착하여 다른 광 정보를 처리 및 디스플레이 하는 것도 가능하다. 예를 들어, 현재 사용되고 있는 TV 또는 모니터에 적용 가능하다.
- [0025] 일 실시예에 따른 SLPM은 종래 SLM과 비교하여 수백 나노미터 사이즈로 구현될 수 있으므로, 대형 TV 및 모니터 등에 사용될 수 있다. 또한, 현재 사용중인 액정 구조를 활용할 수 있으므로, 비용 면에서도 저렴하게 구현이

가능하다.

[0026] 일 실시예에 따른 SLPM은 투과형 공간 광 위상 변조기 뿐만 아니라, 반사형 공간 광 위상 변조기에도 적용이 가능하다.

도면의 간단한 설명

[0027] 도 1a 내지 도 1d는 종래 기술로 활용되고 있는 액정 분자를 나타낸 도면이다.

도 2는 편광 상태를 3차원 상 표시하는 푸앵카레 구를 나타낸 도면이다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 입사 빛의 편광 방향에 무관한 공간 광 위상 변조기의 구성을 도시한 블록도이다.

도 4a 내지 도 4f는 제1 액정 구조의 예와 제2 액정 구조의 예를 도시한 것이다.

도 5는 회전자를 사용하지 않은 종래의 공간 광 위상 변조기의 구조의 예를 도시한 것이다.

도 6은 종래의 LCD 화소의 각 구조 및 회전에 따른 예를 도시한 것이다.

도 7은 회전자를 포함하는 본 발명의 일 실시예에 따른 공간 광 위상 변조기의 구조의 예를 도시한 것이다.

도 8a 내지 도 8c는 회전자의 개수에 따른 편광 변화의 결과를 도시한 것이다.

도 9 및 도 10은 본 발명의 일 실시예에 따른 공간 광 위상 변조기를 시뮬레이션 한 결과를 나타낸 도면이다.

도 11 및 도 12는 두 회전자를 이용한 본 발명의 일 실시예에 따른 공간 광 위상 변조기를 시뮬레이션 한 결과를 나타낸 도면이다.

도 13은 본 발명의 실시예에 따른 입사 빛의 편광 방향에 무관한 공간 광 위상 변조기의 구성을 도시한 블록도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0028] 이하 첨부 도면들 및 첨부 도면들에 기재된 내용들을 참조하여 본 발명의 실시예를 상세하게 설명하지만, 본 발명이 실시예에 의해 제한되거나 한정되는 것은 아니다.

[0029] 본 명세서에서 사용된 용어는 실시예들을 설명하기 위한 것이며 본 발명을 제한하고자 하는 것은 아니다. 본 명세서에서, 단수형은 문구에서 특별히 언급하지 않는 한 복수형도 포함한다. 명세서에서 사용되는 "포함한다(comprises)" 및/또는 "포함하는(comprising)"은 언급된 구성요소, 단계, 동작 및/또는 소자는 하나 이상의 다른 구성요소, 단계, 동작 및/또는 소자의 존재 또는 추가를 배제하지 않는다.

[0030] 본 명세서에서 사용되는 "실시예", "예", "측면", "예시" 등은 기술된 임의의 양상(aspect) 또는 설계가 다른 양상 또는 설계들보다 양호하다거나, 이점이 있는 것으로 해석되어야 하는 것은 아니다.

[0031] 또한, '또는' 이라는 용어는 배타적 논리합 'exclusive or' 이기보다는 포함적인 논리합 'inclusive or' 를 의미한다. 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.

[0032] 또한, 본 명세서 및 청구항들에서 사용되는 단수 표현("a" 또는 "an")은, 달리 언급하지 않는 한 또는 단수 형태에 관한 것이라고 문맥으로부터 명확하지 않는 한, 일반적으로 "하나 이상"을 의미하는 것으로 해석되어야 한다.

[0033] 또한, 본 명세서 및 청구항들에서 사용되는 제1, 제2 등의 용어는 다양한 구성요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 상기 구성요소들은 상기 용어들에 의해 한정되어서는 안 된다. 상기 용어들은 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하는 목적으로만 사용된다.

[0034] 다른 정의가 없다면, 본 명세서에서 사용되는 모든 용어(기술 및 과학적 용어를 포함)는 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 공통적으로 이해될 수 있는 의미로 사용될 수 있을 것이다. 또 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 용어들은 명백하게 특별히 정의되어 있지 않는 한 이상적으로 또는 과도하게 해석되지 않는다.

[0035] 한편, 본 발명을 설명함에 있어서, 관련된 공지 기능 또는 구성에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필

요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는, 그 상세한 설명을 생략할 것이다. 그리고, 본 명세서에서 사용되는 용어(terminology)들은 본 발명의 실시예를 적절히 표현하기 위해 사용된 용어들로서, 이는 사용자, 운용자의 의도 또는 본 발명이 속하는 분야의 관례 등에 따라 달라질 수 있다. 따라서, 본 용어들에 대한 정의는 본 명세서 전반에 걸친 내용을 토대로 내려져야 할 것이다.

[0037] 도 1a 내지 도 1d는 종래 기술로 활용되고 있는 액정 분자를 나타낸 도면이다.

[0038] 보다 상세하게는 도 1a는 두 축 방향으로 굴절률이 동일하고, 다른 한 축 방향으로 굴절률이 다른 액정(Liquid Crystal: LC) 분자를 나타낸다. 도 1b는 xy 평면 방향으로 유효(effective)한 빛의 굴절율 n_e 를 가지는 액정 분자가 z축과 일정 각도(θ)를 가지고 있음을 나타낸다. 도 1c는 빛이 z축 방향으로 진행하는 경우를 나타내며, 도 1d는 액정 분자가 z축 방향으로 일정 각도(θ)로 기울고, xy 평면에서 다른 각도(ψ)로 회전된 것을 나타낸다.

[0039] 액정 분자는 비등방성의 굴절률 특성을 갖는 복굴절 물질이다. 일반적인 액정 평판 디스플레이(Liquid Crystal Display, 이하 LCD)에 사용되는 대부분의 LC 물질은 도 1a에 도시된 바와 같이, 두 축 방향으로 굴절률(n_o)이 같고, 한 축 방향으로 굴절률(n_e)이 다른 복굴절 특성을 가진다. 본 발명에서 사용되는 액정 분자는 이와 같은 비등방성의 굴절률 특성을 가지는 경우를 전제로 한다.

[0040] LCD의 원리는 이와 같은 복굴절 특성을 기반으로 한다. 전자기장으로 이루어진 빛이 이러한 물질을 통과할 때, 빛의 편광 방향에 따라 굴절률이 달라 빛의 속도가 달라지고, 이로 인하여 액정을 통과하는 빛의 편광 상태가 달라져 검출 편광판(Analyzer)의 편광 방향과 평행한 성분의 빛만 통과하게 되어 빛의 진폭이 조절된다.

[0041] 존스 벡터는 1941년 R. C. Jones에 의하여 도입된 벡터로, 이차원 상의 편광 상태를 나타내는 벡터이다. 일반적으로 페이지 형태로 표현되며, 진폭과 E_y , E_x 성분의 위상 차이를 나타내어 다음과 같은 존스 행렬로 표현된다.

$$J = \begin{pmatrix} A_x e^{i\delta_x} \\ A_y e^{i\delta_y} \end{pmatrix}$$

[0042]

[0043] 이 존스 벡터와 광학 요소들의 광학적 성질을 나타내는 연산자, 즉 존스 행렬을 이용하면, 빛이 광학요소들을 통과하면서 변하는 빛의 성질이 계산될 수 있다. 즉, 이 존스 행렬을 이용하여 본 발명의 공간 광 위상 변조기에서 편광 상태들이 어떻게 변화할 수 있는지 증명 및 시뮬레이션이 진행되었다. 증명에 대해서는 도 4에 대한 설명에서 좀 더 자세하게 설명하고, 시뮬레이션에 대해서는 도 9 내지 도 12에 대한 설명에서 좀 더 자세하게 설명하기로 한다.

[0045] 도 2는 편광 상태를 3차원 상 표시하는 푸앵카레 구를 나타낸 도면이다.

[0046] 도 2를 참조하면, 푸앵카레 구란 2차원 상에서 표현 가능한 모든 편광 상태들을 3차원 상의 반지름이 1인 구 표면에 나타낸 것이다.

[0047] 몇몇 편광을 살펴보면, S3이 0인 경우 x방향으로 편광된 빛도, y방향으로 편광된 빛도 선편광을 가질 수 있다. S3의 값이 커질수록 원편광으로 변화한다.

[0048] 이에 따라서, 입사되는 빛의 편광과 본 발명의 공간 광 위상 변조기를 통과하는 과정에서 빛의 편광은 푸앵카레 구로 표시될 수 있다. 입사되는 빛의 편광 방향과 공간 광 위상 변조기를 통과한 빛의 편광 방향이 동일하다면, 푸앵카레 구에서 시작점과 종료되는 점이 동일할 것이므로, 도시되는 궤적을 통해 확인이 가능하다.

[0050] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 입사 빛의 편광 방향에 무관한 공간 광 위상 변조기의 구성을 도시한 블록도이다.

- [0051] 도 3을 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 공간 광 위상 변조기(300)는 제1 액정 구조(310) 및 제2 액정 구조(320)를 포함한다. 제1 액정 구조(310)는 복수의 제1 액정 분자들을 포함하며, 제1 액정 분자들은 제1 액정 구조(310)에 입사되는 빛의 편광 방향 및 위상을 변조시킨다. 또한, 제1 액정 구조(310)에 인가되는 전압에 따라 입사되는 빛의 편광 방향 및 위상이 조절될 수 있다. 이때, 입사되는 빛의 편광 방향과 위상은 동시에 조절되고, 각각 독립적으로 조절되지는 않는다.
- [0052] 제2 액정 구조(320)는 복수의 제1 액정 분자들과 동일한 위상 차를 나타내며, 복수의 제1 액정 분자들과 거울 대칭되고, 방위각 방향으로 90도 회전된 형상을 가지는 복수의 제2 액정 분자들을 포함한다. 제2 액정 분자들은 제1 액정 구조(310)와 제2 액정 구조(320)가 만나는 가상의 면(점선으로 표시됨, 330)을 기준으로 제1 액정 분자들과 거울 대칭되며, 대응하는 각 분자들은 가상의 면(330)으로부터 동일한 거리에 위치할 수 있다.
- [0053] 또한, 이때 제2 액정 분자들은 제1 액정 분자들과 같은 위상 차 향의 짝들일 수 있고, 제1 액정 분자들이 90도 회전된 형상을 가질 수 있다. 상기 같은 위상 차 향의 짝은 가상의 면(330)을 기준으로 멀어지는 방향으로 순차적으로 제1 액정 분자들과 제2 액정 분자들을 하나씩 연결하여 형성될 수 있으며, 각 짝들은 서로 다른 방위각 방향으로 ± 90 도 회전된 구조일 수 있으며, 위상 차 향($\Gamma = (n_e(\theta) - n_o)k_0d$)이 같을 수 있다.
- [0054] 그러므로, 제1 액정 분자들과 제2 액정 분자들을 연결한 같은 위상 차 향의 짝들은 공통 위상 향($\varphi = \frac{1}{2}(n_e(\theta) + n_o)k_0d$)이 달라도 상관이 없으며, 공통 위상 향이 위상지연 정도를 결정할 수 있다.
- [0055] 실시예에 따라서, TN 모드의 경우 제2 액정 분자들은 제1 액정 분자들 각각의 장축 방향이 90도 회전된 형상을 가질 수 있으며, 다른 예로, UTN 모드, VA 모드, IPS 모드, ECB 모드, PI-Cell 모드의 경우 제2 액정 분자들은 제1 액정 분자들 각각의 장축 방향이 입사되는 빛의 진행방향으로 90도 회전된 형상을 가진다. TN 모드의 경우 도 1d에서 빛이 z축 방향으로 진행할 때, ψ 방향으로 90도 회전된 경우를 의미할 수 있다. 다른 예로, UTN 모드, VA 모드, IPS 모드, ECB 모드, PI-Cell 모드의 경우 UTN이 θ 방향으로 90도 회전된 경우를 의미할 수 있다.
- [0056] 회전자(340)는 제1 액정 구조(310)의 앞(340a) 또는 제1 액정 구조(310)와 제2 액정 구조(320) 사이(340b)에 위치할 수 있으며, 실시예에 따라서 회전자(340)는 앞(340a) 및 사이(340b) 중 적어도 어느 하나에 위치할 수 있다. 회전자(340)의 위치, 개수 및 포함 유무는 실시예에 따라 달라질 수 있으므로 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0057] 회전자(340)는 방위각 방향으로 45도 각도를 이루는 서로 다른 두 개의 반파장판(half-wave plate)으로 형성될 수 있으며, 서로 다른 두 개의 반파장판 중 임의의 하나의 반파장판은 임의의 방위각을 갖는 슬로우 광 축(slow optical axis) 방향을 나타내고, 그 외의 하나의 반파장판은 45도 각도를 갖는 슬로우 광 축 방향을 나타낼 수 있다.
- [0058] 예를 들면, 회전자(340)를 통하여 입력되는 빛을 방위각 방향(ϕ)으로 ± 90 도 회전시킬 수 있으며, 0개, 1개 혹은 2개로 존재하여 구성될 수 있다. 또한, 하나의 회전자는 방위각 방향으로 ± 45 도 각도를 이루는 두 개의 반파장판으로 이루어질 수 있다.
- [0059] 제2 액정 분자들은 제1 액정 구조(310)에서 변조된 빛의 편광 방향을 제1 액정 구조(310) 입사 전의 편광 방향으로 복원한다. 제1 액정 구조(310)를 통과한 빛의 편광 방향은 제2 액정 구조(320)의 제2 액정 분자들을 통과하면서, 순차적으로 편광 방향이 조금씩 변경되어 제2 액정 구조(320)를 통과하여 출력될 때는 입사 전의 편광 방향으로 복원될 수 있다. 따라서, 제1 액정 구조(310)와 제2 액정 구조(320)를 통과한 빛은 편광 방향은 유지되면서 위상만 조절될 수 있다. 즉, 입사 빛의 위상이 독립적으로 조절될 수 있다.
- [0060] 제1 액정 구조(310) 및 제2 액정 구조(320)는 TN(Twisted Nematic) 모드, UTN(Untwisted Nematic) 모드, VA(Vertical Alignment) 모드, IPS(In-Plane Switching) 모드, ECB(Electrically Controlled Birefringence) 모드, PI-Cell 모드 중 하나일 수 있으나, 그 밖에 설명되지는 않았지만 액정 모드로 사용될 수 있는 다양한 모드 중 하나일 수도 있다.
- [0061] 또한, 제1 액정 구조(310) 및 제2 액정 구조(320)는 공간 광 위상 변조기(300)의 독립된 픽셀을 형성하여, 입사되는 빛의 위상이 픽셀 단위로 조절될 수 있다. 종래의 공간 광 변조기는 위상을 변조하기 위해 복수 개의 픽셀을 큰 픽셀로 변환할 수 밖에 없었으나, 본 발명의 구조를 이용하면 하나의 픽셀만으로도 입사 빛의 위상이 조절될 수 있다.

- [0062] 그러므로, 본 발명의 일 실시예에 따른 공간 광 위상 변조기(300)는 입사되는 빛의 초기 편광상태가 어떠한 값을 가지더라도 입사되는 빛의 원래 편광 방향을 유지하고 단지 요구되는 만큼의 위상 조절이 가능하다. 또한, 기존의 공간 광 변조기는 렌즈나 프리즘 등을 필요로 하나, 본 발명의 일 실시예에 따른 공간 광 위상 변조기(300)는 이러한 추가적인 요소들을 필요치 않는다. 따라서 공간 광 위상 변조기(300)는 구현이 간단하고 간편하여 적은 비용으로도 구현이 가능하므로, 파동광학, 홀로그래프, 광학 트위저, 양자 컴퓨터 등 다양한 용도로 사용 가능하다.
- [0064] 도 4a 내지 도 4f는 제1 액정 구조의 예와 제2 액정 구조의 예를 도시한 것이다.
- [0065] 도 4a 내지 도 4f를 참조하면, 제1 액정 구조(310)의 예(311, 312, 313, 314, 315, 316)와 제2 액정 구조(320)의 예(321, 322, 323, 324, 325, 326)가 표시되어 있으며, 제1 액정 구조(310)와 제2 액정 구조(320) 사이의 회전자(340)의 예(341b, 342b, 343a, 343b, 344a, 344b)가 표시되어 있다. 각각 다른 LCD 모드(예를 들어, TN, VA, IPS 등) 및 다른 전원(다른 밝기, 다른 계조)를 표현하였지만, 제1 액정 구조(310)의 예(311, 312, 313, 314, 315, 316)와 제2 액정 구조(320)의 예(321, 322, 323, 324, 325, 326)는 모두 동일한 배열 방법 및 원리를 가지고 있다.
- [0066] 보다 상세하게는, 도 4a는 90도 TN 모드의 공간 광 위상 변조기의 구조를 나타내고, 도 4b는 PA 모드의 공간 광 위상 변조기의 구조를 나타내며, 도 4c는 90도 TN 모드와 하나의 회전자로 이루어진 공간 광 위상 변조기의 구조를 나타낸다. 또한, 도 4d는 PA 모드와 하나의 회전자로 이루어진 공간 광 위상 변조기의 구조를 나타내고, 도 4e는 90도 TN 모드와 두 개의 회전자로 이루어진 공간 광 위상 변조기의 구조를 나타내며, 도 4f는 PA 모드와 두 개의 회전자로 이루어진 공간 광 위상 변조기의 구조를 나타낸다.
- [0067] 또한, 도 4a 내지 도 4f에 도시된 제1 액정 구조(310)의 예(311, 312, 313, 314, 315, 316)와 제2 액정 구조(320)의 예(321, 322, 323, 324, 325, 326)를 나타내는 검은 색 선들은 LC의 장축 방향을 나타낸 것이며, 회전자(340)의 예(341b, 342b, 343a, 343b, 344a, 344b)는 반파장판을 나타내고, 두 개의 반파장판이 하나의 회전자를 이룬다.
- [0068] 도 4a, 도 4c 및 도 4e는 모두 90도 TN 모드로 이루어진 공간 광 위상 변조기의 구조이며, 도 4b, 도 4d 및 도 4f는 PA 모드로 이루어진 공간 광 위상 변조기의 구조이다.
- [0069] 또한, 도 4a, 도 4b, 도 4e 및 도 4f는 모두 초기 편광을 유지하며, 도 4c 및 도 4d의 공간 광 위상 변조기의 구조는 초기 편광과 형태는 같고 방위각(ϕ)이 $\pm 90^\circ$ 돌아간 편광을 갖는다($+90^\circ$, -90° 둘 다 갖는 편광이다). 실시예에 따라서, 모든 경우 빛은 위에서 아래로 입사하여도, 아래에서 위로 입사하여도 되며, 도 4e 및 도 4f에서 상단의 회전자(343a, 344a)가 하단에 위치할 수 있다.
- [0070] 도 4e 및 도 4f를 참조하면, 제1 액정 구조(310)의 예(315, 316)와 제2 액정 구조(320)의 예(325, 326)가 만나는 면을 기준으로 대칭적인 형상을 나타내지만, 도 4a 및 도 4b는 제2 액정 구조(320)의 예(321, 322)를 기준으로 제1 액정 구조(310)의 예(311, 312)이 거울상 대칭되며, 방위각이 90도 회전된 형상을 보인다.
- [0071] 도 4c 내지 도 4f에 도시된 회전자(340)의 예(341b, 342b, 343a, 343b, 344a, 344b)는 두 개의 반파장판(half-wave plate)으로 이루어지며, 하나의 반파장판의 굴절율(n_e) 방향 또는 슬로우 광 축(slow optical axis) 방향은 임의의 방위각(ϕ)을 갖으며, 다른 반파장판의 굴절율(n_e) 방향 또는 슬로우 광 축(slow optical axis) 방향은 상기 임의의 방위각을 기준으로 45도의 방위각 방향을 갖는다.
- [0072] 본 발명의 일 실시예에 따른 입사 빛의 편광 방향에 무관한 공간 광 위상 변조기는 빛이 처음 제1 액정 구조(310)의 예(311, 312, 313, 314, 315, 316)를 통과할 때, 액정 분자의 복굴절 특성 때문에 편광 방향이 변하고, 제2 액정 구조(320)의 예(321, 322, 323, 324, 325, 326)를 통과할 때마다, 변한 편광 방향이 하나하나 상쇄되어, 원래 편광으로 돌아오게 하는 원리이다. 액정 분자를 통과 하면서 위상은 계속 변한다. 즉, 이 원리를 이용하면 공간 광 위상 변조기(300)에 입사한 빛의 편광 방향은 유지되고 빛의 위상만 변조될 수 있다. 이하에서는 본 발명의 공간 광 위상 변조기에서 편광 상태들이 어떻게 변화할 수 있는지 존스 행렬을 이용하여 증명한다.
- [0074] < 존스 행렬을 이용한 분석 - 위상지연자 >

[0075] 제1 액정 구조(310)를 하나의 위상지연자라고 정의할 수 있다. 도 1을 참조하여, 빛은 z축으로 진행하고, 빛의 전기장은 xy 평면 내에 존재하며, xy 평면에 유효한 굴절률을 가진 액정 분자를 이용하여 빛의 진행 특성을 계산하였다.

[0076] 네마틱(Nematic) 혹은 스메틱(sematic)의 제1 액정 구조(310) 및 제2 액정 구조(320)는 $\mathbf{n}\{\theta(z), \phi(z)\}$ (n은 액정 분자들이 향하고 있는 방향을 의미하며, director라고 한다)의 방향으로 놓여진 매우 얇은 등방성의 LC 층(layer)들로 볼 수 있다. 또한, 각각의 LC layer 위상지연자(혹은 반파장판(half-wave plate)와 같은 파장판(wave plate))와 같은 원리이며, 같은 특성을 보이기에 이를 하나의 위상지연자라 할 수 있다.

[0077] 빛의 전기장은 xy평면 내에 존재하고, xy평면의 효과적인 굴절률 ($n_{e, effective} = n_e(\theta) = [(\cos \theta / n_o)^2 + (\sin \theta / n_e)^2]^{-0.5}$, $n_{o, effective} = n_o$)을 계산하여 빛의 진행 특성을 계산하였다.

[0078] 기본적인 구조는 도 4a 및 도 4b를 기본으로 한다. 근본적인 원리는 위상 차 향이 같은 위상지연자를 서로 90도가 되게 놓는다면, 단위 행렬과 위상지연만 남는 원리일 수 있다. 임의의 방위각 방향(ϕ)으로 놓여져 있는 위상지연자의 식 하기의 [수식 1]과 같다.

[0079] [수식 1]

[0080]
$$M(\theta, \phi) = R(-\phi)W(\theta)R(\phi) = \begin{pmatrix} \cos \phi & -\sin \phi \\ \sin \phi & \cos \phi \end{pmatrix} \begin{pmatrix} e^{-ik_0 n_e(\theta)d} & 0 \\ 0 & e^{-ik_0 n_o d} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \phi & \sin \phi \\ -\sin \phi & \cos \phi \end{pmatrix}$$

[0081] 여기서, $R(\phi)$ 는 회전자의 존스 행렬을 의미하며, $W(\theta)$ (가운데 행렬)는 위상지연자를 통과시의 OPL(Optical Path Length)를 나타낸 행렬을 의미한다. 또한, k_0 는 파수(wave number)를 의미하고, d는 LC layer를 의미한다. 이는 다음과 같이 하기의 [수식 2]로 나타낼 수 있다.

[0082] [수식 2]

[0083]
$$\begin{aligned} M(\phi, \Gamma, \varphi) &= e^{-j\varphi} \begin{pmatrix} \cos \phi & -\sin \phi \\ \sin \phi & \cos \phi \end{pmatrix} \begin{pmatrix} e^{-i\Gamma/2} & 0 \\ 0 & e^{+i\Gamma/2} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \phi & \sin \phi \\ -\sin \phi & \cos \phi \end{pmatrix} \\ &= e^{-j\varphi} \begin{bmatrix} e^{-i\Gamma/2} \cos^2 \phi + e^{i\Gamma/2} \sin^2 \phi & (e^{-i\Gamma/2} - e^{i\Gamma/2}) \sin \phi \cos \phi \\ (e^{-i\Gamma/2} - e^{i\Gamma/2}) \sin \phi \cos \phi & e^{-i\Gamma/2} \sin^2 \phi + e^{i\Gamma/2} \cos^2 \phi \end{bmatrix} \end{aligned}$$

[0084] 여기서, φ 는 공통 위상 항을 의미하며, φ 및 Γ 는 하기의 [수식 3] 및 [수식 4]로 나타낼 수 있다.

[0085] [수식 3]

[0086]
$$\varphi = \frac{1}{2}(n_e(\theta) + n_o)k_0 d$$

[0087] [수식 4]

[0088]
$$\Gamma = (n_e(\theta) - n_o)k_0 d$$

[0089] 또한, $n_e(\theta)$ 및 n_o 는 위상차이를 나타내는 항을 의미한다. 이는 공통 위상 항을 뺀 M_U (유니타리 행렬)로 표현될 수 있으며, 유니타리 행렬은 하기의 [수식 5]과 같다.

[0090] [수식 5]

[0091]
$$M_U(\phi, \Gamma, \varphi) = e^{j\varphi} M(\phi, \Gamma, \varphi)$$

[0092] 이는 행렬 $M_U^+ = M_U^{-1}$ 을 만족하며, +는 자체수반(self-adjoint) 혹은 복합공액전치(conjugate transpose)를 나타내며, -1은 역행렬을 의미한다.

[0093] 또한, 상기 유니타리 행렬의 역행렬은 하기의 [수식 6]를 만족한다.

[0094] [수식 6]

$$M_U^+(\phi, \Gamma, \varphi) = M_U(\varphi \pm 90^\circ, \Gamma, \varphi)$$

[0095]

[0096] 그러므로, 방위각이 임의의 방향(ϕ)으로 놓여져 있는 유니타리 행렬의 자체수반(self-adjoint) 혹은 역행렬은 방위각 방향(ϕ)이 $\pm 90^\circ$ 로 놓여져 있는 유니타리 행렬과 같다.

[0098] < 존스 행렬을 이용한 분석 - 공간 광 위상 변조기 >

[0099] 진술한 바와 같은 위상지연자를 이용하여 입사편광을 유지하며 위상을 조절할 수 있는 장치를 만들기 위해서는 다음과 같은 특성을 나타내는 미지의(unknown) 광학 구성 요소 A가 필요하다.

$$A(\phi, \Gamma, \varphi)M(\phi, \Gamma, \varphi) = e^{-j\delta} I$$

[0100]

[0101] δ 는 A 및 M을 통과한 후의 위상지연 값을 의미한다. 이 A는 하기의 [수식 7]로부터 산출된다.

[0102] [수식 7]

$$\begin{aligned} A(\phi, \Gamma, \varphi) &= e^{-j\delta} I M^{-1}(\phi, \Gamma, \varphi) = e^{-j\delta} \left[e^{j\varphi} M^+(\phi, \Gamma, \varphi) \right] \\ &= e^{-j(\delta-\varphi)} M_U^+(\phi, \Gamma, \varphi) \\ &= e^{-j(\delta-\varphi)} \begin{bmatrix} e^{i\Gamma/2} \cos^2 \phi + e^{-i\Gamma/2} \sin^2 \phi & (e^{i\Gamma/2} - e^{-i\Gamma/2}) \sin \phi \cos \phi \\ (e^{i\Gamma/2} - e^{-i\Gamma/2}) \sin \phi \cos \phi & e^{i\Gamma/2} \sin^2 \phi + e^{-i\Gamma/2} \cos^2 \phi \end{bmatrix} \\ &= e^{-j(\delta-\varphi)} M_U^+ \{ \phi, \Gamma, \varphi \} \\ &= e^{-j(\delta-\varphi)} M_U^{-1} \{ \phi, \Gamma, \varphi \} \\ &= e^{-j(\delta-\varphi)} M_U \{ \phi \pm 90^\circ, \Gamma, \varphi \} \\ &= M(\phi \pm 90^\circ, \Gamma, \delta - \varphi) \end{aligned}$$

[0103]

[0104] 여기서, $A(\theta, \phi, \Gamma, \varphi)$ 는 $M(\theta, \phi, n_{e1}(\theta), n_{o1}, d_1)$ 의 역행렬과 같이 작용하며, 이는 공통위상 항이

$\delta - \varphi$ 를 나타내고, 위상 차이에 대한 항이 Γ 를 나타내며 (방위각의 방향이)수직하게 놓여진 M과 동치이다.

[0105] 또한, 위상지연 값은 M과 A의 공통위상 항을 합산하여 획득할 수 있으며, 하기의 [수식 8] 및 [수식 9]로부터 산출할 수 있다.

[0106] [수식 8]

$$\varphi_1 + \varphi_2 = \frac{1}{2}(n_{e1}(\theta) + n_{o1})k_0 d_1 + \frac{1}{2}(n_{e2}(\theta) + n_{o2})k_0 d_2 = \varphi_1 + \delta - \varphi_1$$

[0107]

[0108] [수식 9]

$$\delta = \phi_1 + \phi_2 = k_0 n_{o2} d_2 + k_0 n_{o1} d_1 + k_0 \Delta n_1 d_1 = k_0 n_{o2} d_2 + k_0 n_{o1} d_1 + k_0 \Delta n_2 d_2$$

[0109]

[0110] 실시예에 따라서, 두 개의 위상지연자 뿐만 아니라 복수 개의 위상지연자 혹은 제1 액정 구조(310) 및 제2 액정 구조(320), 단축 복굴절 물질로 이루어진 구조 등으로 확장하면, 그에 따른 구조 및 식은 도 5에 도시된 바와 같다.

[0111]

[0112] 도 5는 회전자를 사용하지 않은 종래의 공간 광 위상 변조기의 구조의 예를 도시한 것이다.

[0113] 도 5를 참조하면, 기본적인 공간 광 위상 변조기는 두 개의 위상지연자 뿐만 아니라 복수 개의 위상지연자 혹은 액정 구조들, 단축 복굴절 물질로 이루어질 수 있으며, 하기의 [수식 10]으로 일반화될 수 있다.

[0114] [수식 10]

$$\prod_{k=n}^1 A_k(\phi_k \pm 90^\circ, \Gamma_k, \varphi_{A_k}) \prod_{k=1}^n M_k(\phi_k, \Gamma_k, \varphi_{M_k}) = e^{-i\delta_{total}} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$$

[0115]

[0116] 여기서, δ_{total} 는 기본적인 공간 광 위상 변조기 구조를 통과할 때의 위상지연의 합을 의미하며, 이는 $\prod_{k=1}^n e^{-i\delta_k(\varphi_{M_k}, \varphi_{A_k})}$ 과 같다. 또한, $\delta_k(\varphi_{M_k}, \varphi_{A_k})$ 는 각 짝(pair) 들의 위상 지연을 의미한다.

[0117]

또한 도 5를 참조하면, M 및 A를 제1 액정 구조 및 제1 액정 구조로 가정하면, 두 액정 구조들이 만나는 면을 기준으로 슬로우 광 축(slow optical axis) 혹은 $n_e(\theta)$ 의 방향이 거울상 대칭에 방위각이 $\pm 90^\circ$ 가 돌아간 형상을 나타낼 수 있다. 다만, 전술한 바와 같이 유니타리 행렬의 조건들만 만족하면 되기 때문에 두 액정 구조들의 굴절률과 두께, 물질구성 등의 특성을 상이할 수 있다.

[0118]

실시예에 따라서, 제1 액정 구조 및 제2 액정 구조가 같은 물질로 이루어진 경우, 두 액정 구조에 같은 전압을 가해주면 항상 편광을 유지시켜 주며 위상을 조절할 수 있다. 다만, 제1 액정 구조 및 제2 액정 구조가 상이한 물질로 이루어진 경우, 조건을 만족하는 다른 전압을 걸어주어 편광을 유지하며 위상을 조절할 수 있다.

[0120]

도 6은 종래의 LCD 화소의 각 구조 및 회전에 따른 예를 도시한 것이다.

[0121]

보다 상세하게는, 도 6의 (a)는 LCD 화소의 스트라이프(stripe) 구조를 나타내고, (b)는 LCD 화소의 펜타일 매트릭스(PenTile Matrix) 구조를 나타내며, (c)는 LCD 화소의 부메랑(boomerang) 구조를 나타내고, (d)는 방위각 방향으로 90도 회전시켰을 때의 구조를 나타낸다.

[0122]

공간 광 위상 변조기의 구조를 만들기 위해서는 전술한 바와 같이 방위각 방향으로 $\pm 90^\circ$ 회전이 필요하다. 이러한 경우, 도 6의 (d)와 같이 화소들이 겹치게 되기 때문에 편광을 유지하며 위상을 조절할 수 있는 최소의 픽셀 크기가 더 커지게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 본 발명의 일 실시예에 따른 입사 빛의 편광 방향에 무관한 공간 광 위상 변조기는 빛을 방위각 방향으로 $\pm 90^\circ$ 회전시켜주는 회전자를 이용한다. 이에 대한 상세한 설명은 도 7 및 도 8을 통해 설명하기로 한다.

[0124]

도 7은 회전자를 포함하는 본 발명의 일 실시예에 따른 공간 광 위상 변조기의 구조의 예를 도시한 것이다.

[0125]

도 7을 참조하면, 회전자는 두 개의 반파장판으로 구성되며, 하나의 슬로우 축(Slow axis)의 방향은 임의의 방위각(ϕ)을 나타내고, 다른 하나는 방위각이 45° 를 나타낸다. 반파장판에 대한 존스 행렬은 다음과 같다.

[0126] < 존스 행렬을 이용한 분석 - 공간 광 위상 변조기 with rotators >

$$\begin{aligned}
 M_{hwp}(\phi) &= R(-\phi) \begin{pmatrix} e^{-i(\delta+\pi)} & 0 \\ 0 & e^{-i\delta} \end{pmatrix} R(\phi) \\
 M_{hwp}(0^\circ) &= \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} e^{-i(\delta+\pi)} & 0 \\ 0 & e^{-i\delta} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} = e^{-i\delta} \begin{pmatrix} -1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \\
 M_{hwp}(45^\circ) &= \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 & -1 \\ 1 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} e^{-i(\delta+\pi)} & 0 \\ 0 & e^{-i\delta} \end{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ -1 & 1 \end{pmatrix} \\
 &= \frac{1}{2} \begin{pmatrix} 0 & 2e^{-i(\delta+\pi)} \\ 2e^{-i(\delta+\pi)} & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & e^{-i(\delta+\pi)} \\ e^{-i(\delta+\pi)} & 0 \end{pmatrix} = e^{-i(\delta+\pi)} \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}
 \end{aligned}$$

[0127]

[0128] 또한, 0도와 45도로 이루어진 $\pm 90^\circ$ 의 회전자 존스 행렬은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 M_{hwp}(0^\circ)M_{hwp}(45^\circ) &= e^{-i(2\delta+\pi)} \begin{pmatrix} 0 & e^{-i\pi} \\ 1 & 0 \end{pmatrix} = e^{-i(2\delta+\pi)} \begin{pmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} = e^{-i(2\delta+\pi)} R(-90^\circ) \\
 M_{hwp}(45^\circ)M_{hwp}(0^\circ) &= e^{-i(2\delta+\pi)} \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ e^{-i\pi} & 0 \end{pmatrix} = e^{-i(2\delta+\pi)} \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{pmatrix} = e^{-i(2\delta+\pi)} R(90^\circ)
 \end{aligned}$$

[0129]

[0130] 전술한 회전자 존스 행렬을 임의의 각 ϕ 와 $\phi \pm 45^\circ$ 로 일반화하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 &M_{hwp}(\phi)M_{hwp}(\phi+45^\circ) \\
 &= R(-\phi) \begin{pmatrix} e^{-i(\delta+\pi)} & 0 \\ 0 & e^{-i\delta} \end{pmatrix} R(\phi) R(-\phi) R(-45^\circ) \begin{pmatrix} e^{-i(\delta+\pi)} & 0 \\ 0 & e^{-i\delta} \end{pmatrix} R(\phi) R(45^\circ) \\
 &= R(-\phi) \begin{pmatrix} e^{-i(\delta+\pi)} & 0 \\ 0 & e^{-i\delta} \end{pmatrix} R(-45^\circ) \begin{pmatrix} e^{-i(\delta+\pi)} & 0 \\ 0 & e^{-i\delta} \end{pmatrix} R(45^\circ) R(\phi) \\
 &= R(-\phi) e^{-i(2\delta+\pi)} R(-90^\circ) R(\phi) \\
 &= e^{-i(2\delta+\pi)} R(-90^\circ) \\
 &= M_{hwp}(0^\circ)M_{hwp}(45^\circ)
 \end{aligned}$$

[0131]

[0132] 전술한 바와 같이, 빛의 편광을 $+90^\circ$ 회전시킨 경우와, -90° 회전시킨 경우는 같은 결과를 나타내기 때문에, ϕ , $\phi \pm 45^\circ$ 또는 $\phi \pm 45^\circ$, ϕ 어떤 조합을 사용하여도 상관 없다.

[0133] 실시예에 따라서, 회전자를 제1 액정 구조(310) 및 제2 액정 구조(320) 중 하나만 사용하는 경우, 출사 편광은 입사 편광을 $\pm 90^\circ$ 회전한 편광이 도출되며, 이 구조의 아래 혹은 위에 회전자를 추가로 포함시키는 경우, 입사편광을 유지하게 된다.

[0135] 도 8a 내지 도 8c는 회전자의 개수에 따른 편광 변화의 결과를 도시한 것이다.

[0136] 도 8a 내지 도 8c는 회전자의 0개, 1개 및 2개 각각에 따른 편광 변화를 도시한 것으로서, 보다 상세하게는 임의의 편광이 회전자의 0개, 1개 및 2개를 포함하는 구조를 통과하면서 발생하는 편광 변화를 도시한 것이다.

[0137] 도 8a 내지 도 8c를 참조하면, 빛의 편광을 $+90^\circ$ 회전시킨 경우와, -90° 회전시킨 경우는 같은 결과를 나타내는 것을 확인할 수 있다.

[0139] 도 9 및 도 10은 본 발명의 일 실시예에 따른 공간 광 위상 변조기를 시뮬레이션 한 결과를 나타낸 도면이다.

[0140] 보다 상세하게는, 본 발명의 일 실시예에 따른 공간 광 위상 변조기를 확인하기 위해 매트랩(Matlab)을 사용하고, $x(a)$, $y(b)$, $LHC(c)$, 타원 편광(d)을 사용하여 시뮬레이션 하였으며, 그에 따른 각 입사 편광은 다음과 같다.

$$(a) \quad \vec{J}_i^x = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (b) \quad \vec{J}_i^y = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$(c) \quad \vec{J}_i^{LHC} = \begin{pmatrix} 1 \\ i \end{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} \quad (d) \quad \vec{J}_i^{elliptical} = \begin{pmatrix} 4+2i \\ 1+2i \end{pmatrix} \frac{1}{5}$$

[0141]

[0142] 또한, 모든 시뮬레이션에서 n_o 및 n_e 의 값은 각각 1.2 및 1.7이며, 입사 빛의 파장은 532nm로 설정하였다.

[0143] 도 9는 θ , ϕ 가 무작위분포를 갖는 경우에서의 공간 광 위상 변조기의 구조를 나타내고, 하나의 액정 구조의 두께는 6000nm이며, 하나의 액정 구조를 30분할의 균일한(homogeneous) 층(layer)들로 분할하였다.

[0144] 도 10의 왼쪽의 그래프들은 제1 액정 구조(310) 및 제2 액정 구조(320)를 통과시의 각 입사편광의 변화를 나타낸 것이고, 오른쪽의 그래프들은 그 편광을 푸앵카레 구 상에 표현한 것이다.

[0145] 보다 상세하게는, 왼쪽의 그래프들은 본 발명의 일 실시예에 따른 공간 광 위상 변조기 구조에 각각 x-pol(x 방향 편광), y-pol(y 방향 편광), LHC-pol(Left Handed Circular, 왼손 방향 편광), Elliptical-pol(타원형 방향 편광)을 통과시켰을 때, 각 위치 별 편광 상태를 표현한 것이다. 오른쪽 그래프들은 이러한 편광상태를 푸앵카레 구에 나타낸 것이다. 빨간 점들은 제1 액정 구조(310)를 통과할 때의 편광 상태들이며, 파란 점들은 제2 액정 구조(320)를 통과할 때의 편광 상태들을 나타낸 것이다. 마지막으로 x-pol, y-pol, LHC-pol, Elliptical-pol 옆의 수식들은 본 발명의 일 실시예에 따른 공간 광 위상 변조기를 통과한 후에 편광 상태를 나타낸 존스 행렬이다.

[0146] 도 10을 참조하면, 푸앵카레 구 상의 빨간 점과 파란 원이 정확히 일치하며, 최종 출사편광이 입사편광과 일치하는 것을 확인할 수 있다. 결론적으로, 본 발명의 일 실시예에 따른 공간 광 위상 변조기 구조를 이용하면, 어떤 구조의 LCD 모드를 이용하여도 입사하는 빛의 편광 방향을 유지하면서, 빛의 위상만을 변조할 수 있는 공간 광 위상 변조기의 구현이 가능하다.

[0148] 도 11 및 도 12는 두 회전자를 이용한 본 발명의 일 실시예에 따른 공간 광 위상 변조기를 시뮬레이션 한 결과를 나타낸 도면이다.

[0149] 보다 상세하게는, 도 11은 두 회전자를 이용한 공간 광 위상 변조기의 구조를 나타낸 것이고, 도 12의 (a) 내지 (c)는 90도 TN 모드의 하나의 액정 구조를 이용한 경우의 시뮬레이션을 나타낸 것이며, 도 12의 (d) 내지 (f)는 PA 모드의 하나의 액정 구조를 이용한 경우의 시뮬레이션을 나타낸 것이다. 또한, 도 12에서의 연두색은 회전자를 나타낸다.

[0150] 도 12는 도 11의 구조를 90도의 TN 모드와 PA 구조를 이용한 경우의 시뮬레이션을 나타낸다. 하나의 액정 구조의 두께는 921.45nm이며, 하나의 액정 구조를 20분할의 균일한 층(layer)들로 분할하였다. 도 12를 참조하면, 두 경우 모두 초기 편광과 마지막 출사 편광이 정확히 일치하는 것을 확인할 수 있으며, 마지막 로테이터(rotator)를 지나기 전 편광은 입사편광이 방위각 방향으로 ± 90 도 회전한 편광을 나타낸다.

[0152] 도 13은 본 발명의 실시예에 따른 입사 빛의 편광 방향에 무관한 공간 광 위상 변조기의 구성을 도시한 블록도이다.

[0153] 도 13을 참조하면, 본 발명의 실시예에 따른 공간 광 위상 변조기(1300)는 변조부(1310) 및 편광 복원부(1320)를 포함한다. 변조부(1310)는 입사하는 빛의 편광 방향 및 위상을 변경시키는 복수의 제1 액정 분자들을 포함하고, 편광 복원부(1320)는 변조부(1310)에서 변경된 편광 방향을 원 상태로 복원하는 복수의 제2 액정 분자들

을 포함한다.

[0154] 편광 복원부(1320)는 제1 액정 분자들에서 변경된 편광 방향을 제2 액정 분자들 각각을 이용하여 순차적으로 복원하고, 변조부(1310)에서 변경된 위상을 추가적으로 변경한다. 공간 광 위상 변조기(1300)는 편광 복원부(1320)를 이용하여, 입사 빛의 편광 방향을 입사 전으로 복원하고, 입사 빛의 위상을 독립적으로 제어할 수 있다. 편광 복원 원리는 제1 액정 분자들에서 변경된 편광 방향을 제2 액정 분자들을 이용하여 복원시키는 것이다. 이때, 복수의 제2 액정 분자들은 복수의 제1 액정 분자들과 동일한 위상 차를 나타내며, 거울 대칭되며, 90도 회전된 형상을 가진다. 또한, 복수의 제2 액정 분자들은 복수의 제1 액정 분자들을 포함하는 제1 액정 구조로 입사되는 빛을 방위각 방향으로 회전시키는 회전자로부터 90도 회전된 형상을 가질 수 있다.

[0155] 변조부(1310)는 도 3의 제1 액정 구조(310)로 구성될 수 있고, 편광 복원부(1320)는 제2 액정 구조(320)로 구성될 수 있으므로, 도 3에서 설명된 내용들이 도 13에서도 동일하게 적용될 수 있다.

[0157] 이상과 같이 실시예들이 비록 한정된 실시예와 도면에 의해 설명되었으나, 해당 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 상기의 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다. 예를 들어, 설명된 기술들이 설명된 방법과 다른 순서로 수행되거나, 및/또는 설명된 시스템, 구조, 장치, 회로 등의 구성요소들이 설명된 방법과 다른 형태로 결합 또는 조합되거나, 다른 구성요소 또는 균등물에 의하여 대치되거나 치환되더라도 적절한 결과가 달성될 수 있다.

[0158]

[0159] 그러므로, 다른 구현들, 다른 실시예들 및 특허청구범위와 균등한 것들도 후술하는 특허청구범위의 범위에 속한다.

부호의 설명

[0161] 300, 1300: 공간 광 위상 변조기

310: 제1 액정 구조

320: 제2 액정 구조

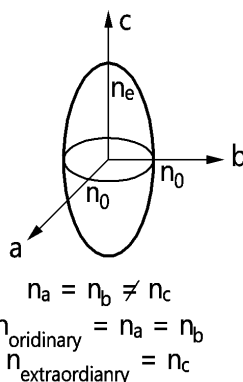
1310: 변조부

1320: 편광 복원부

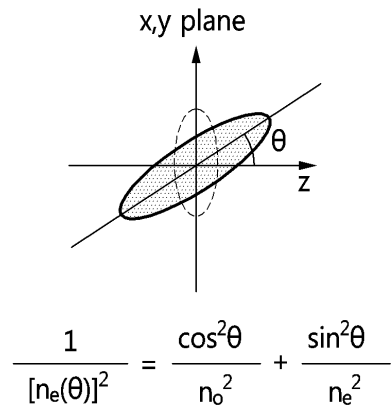
도면

도면1a

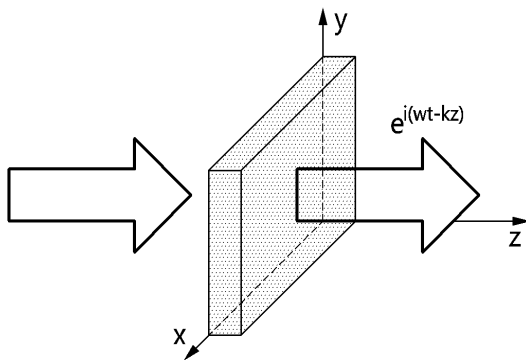
Uniaxial liquid crystals



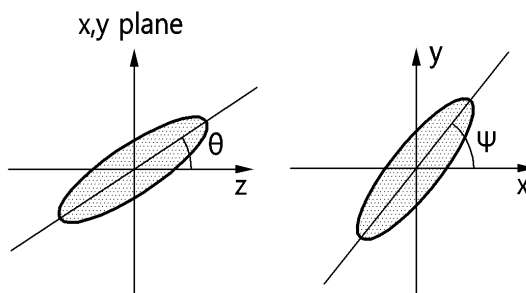
도면1b



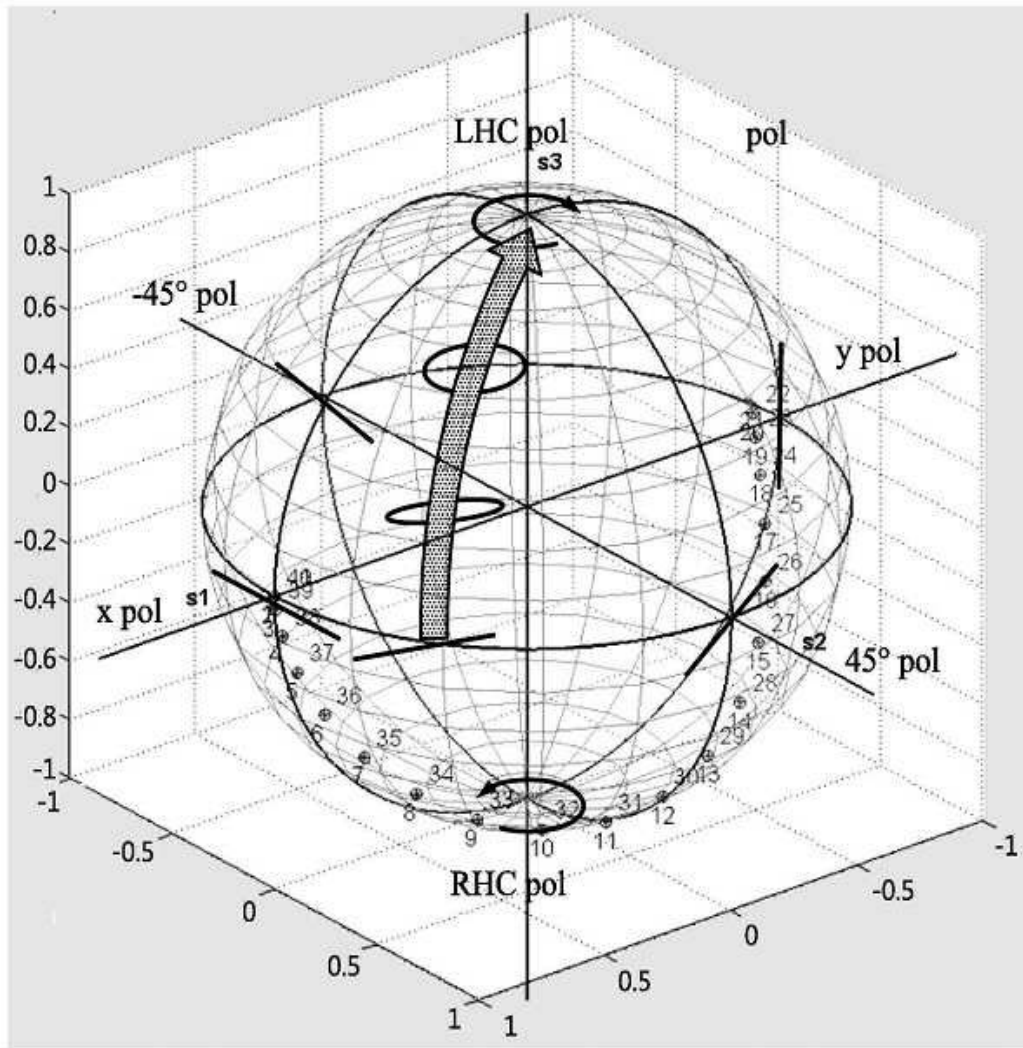
도면1c



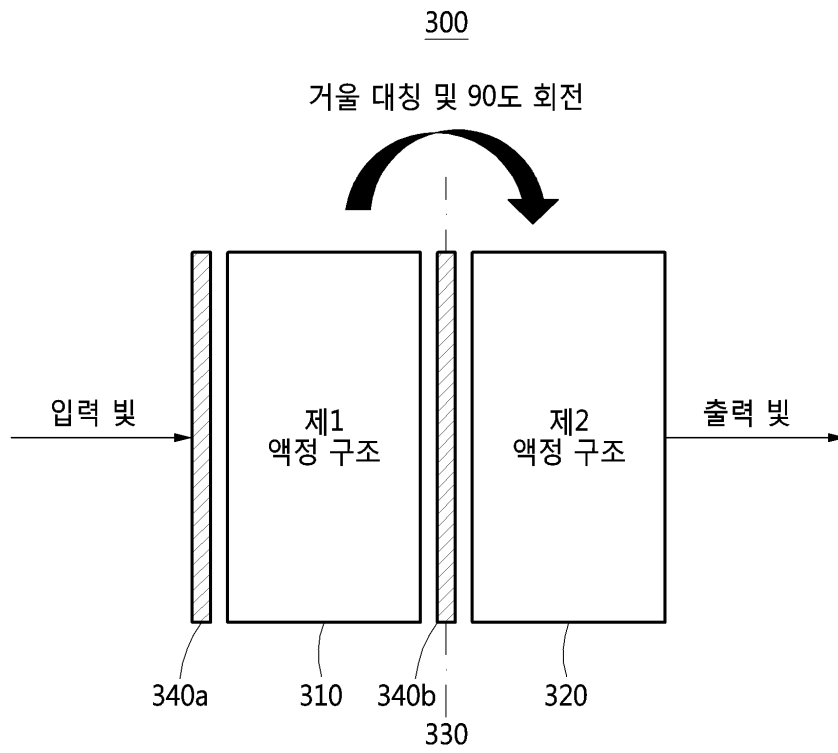
도면1d



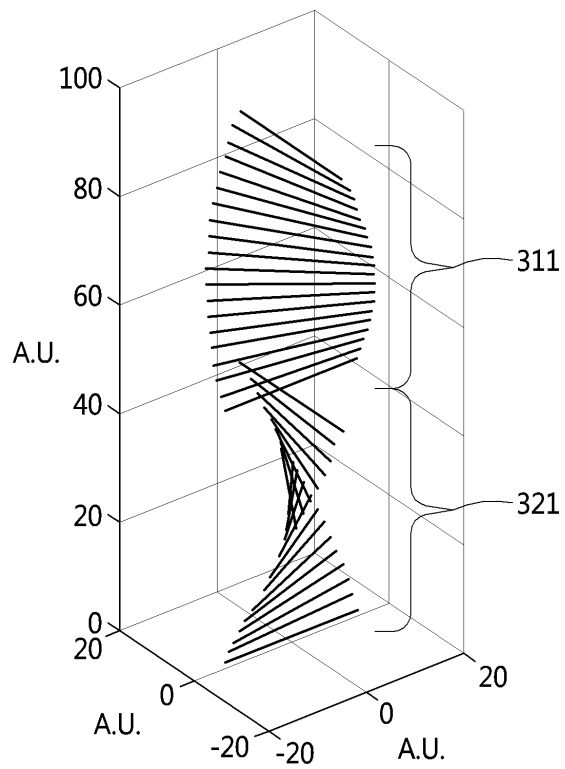
도면2



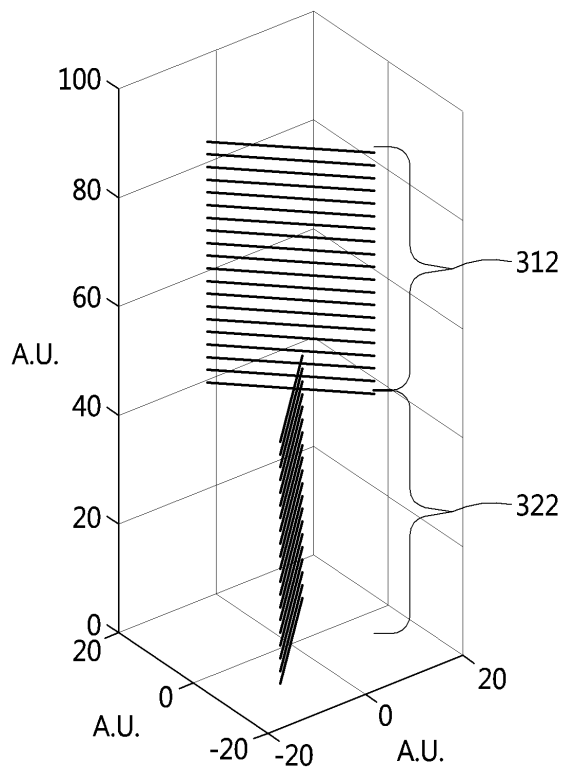
도면3



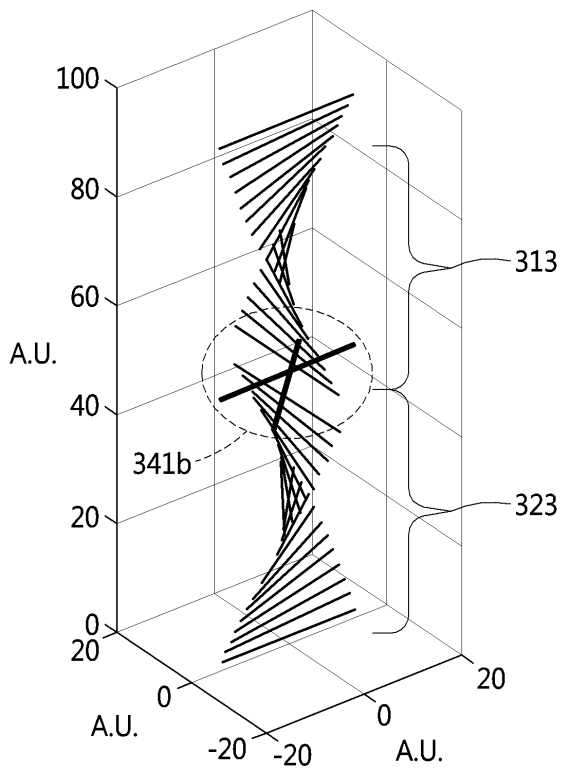
도면4a



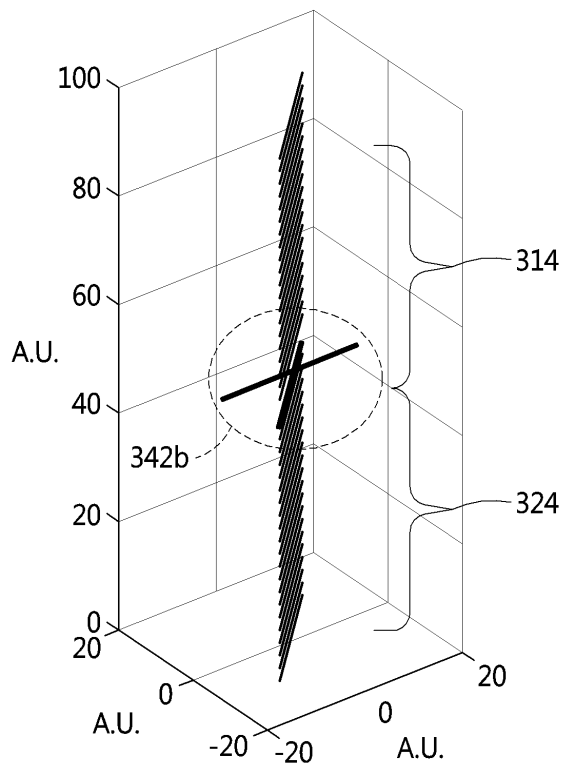
도면4b



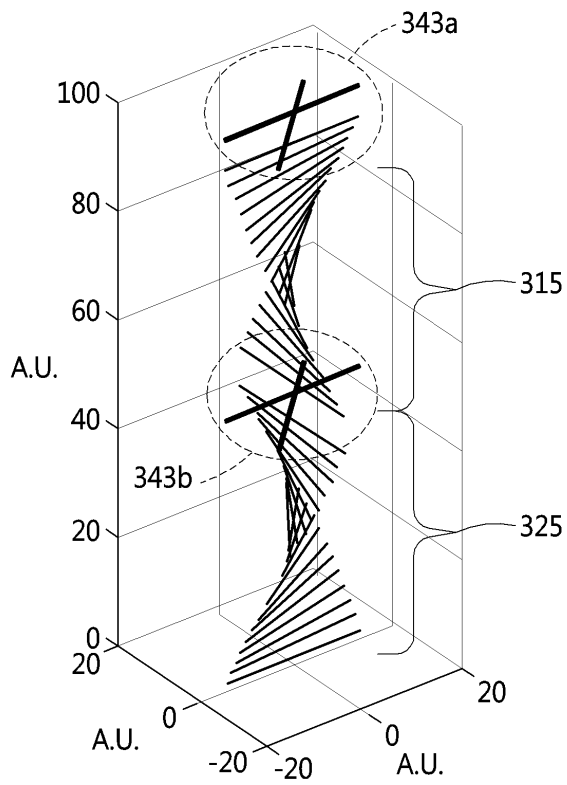
도면4c



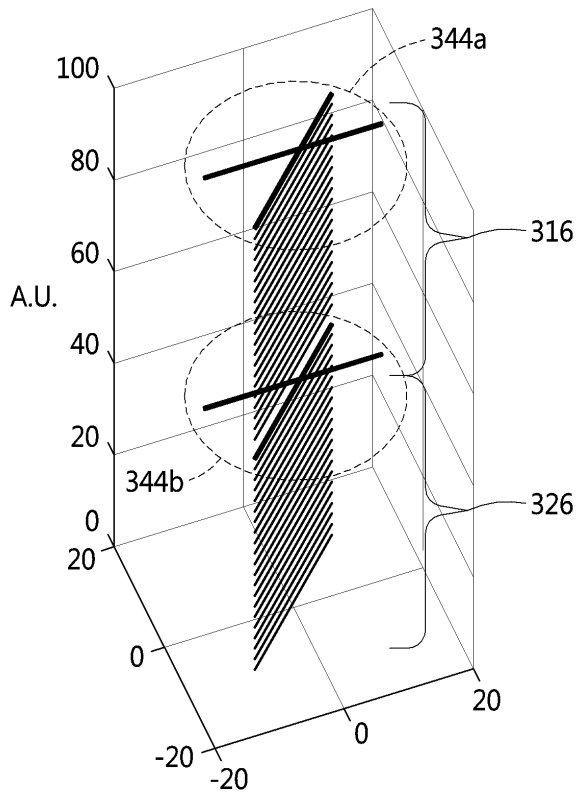
도면4d



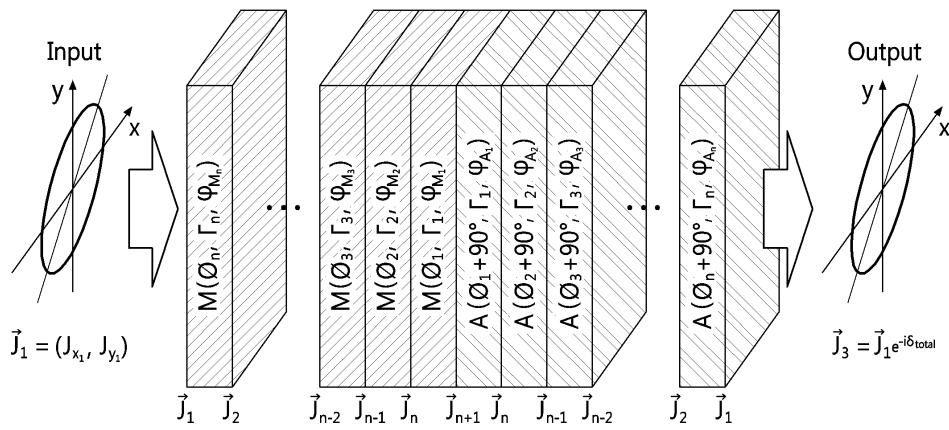
도면4e



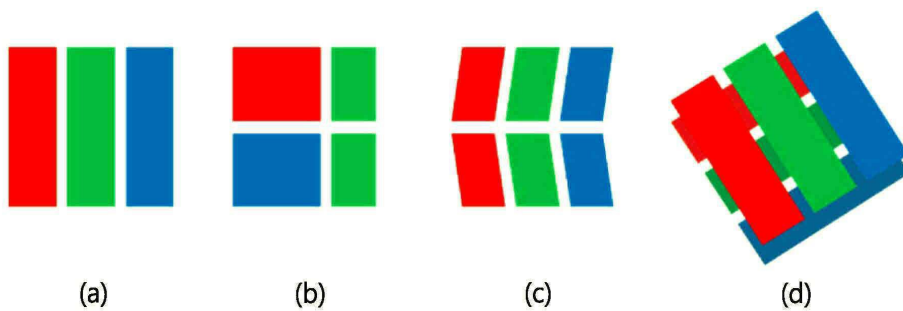
도면4f



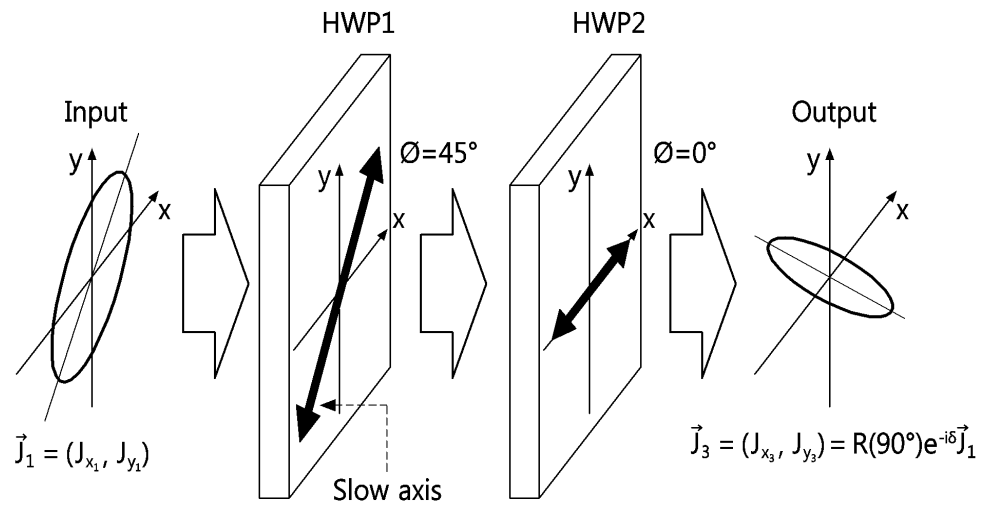
도면5



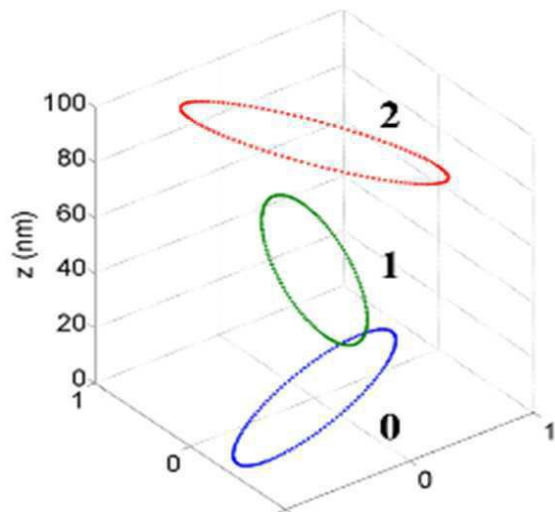
도면6



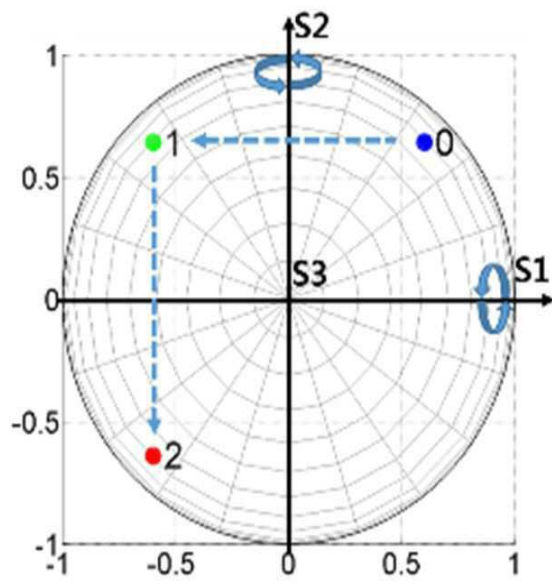
도면7



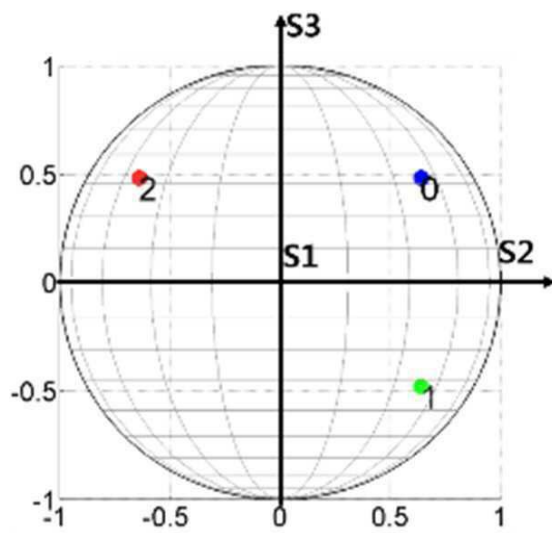
도면8a



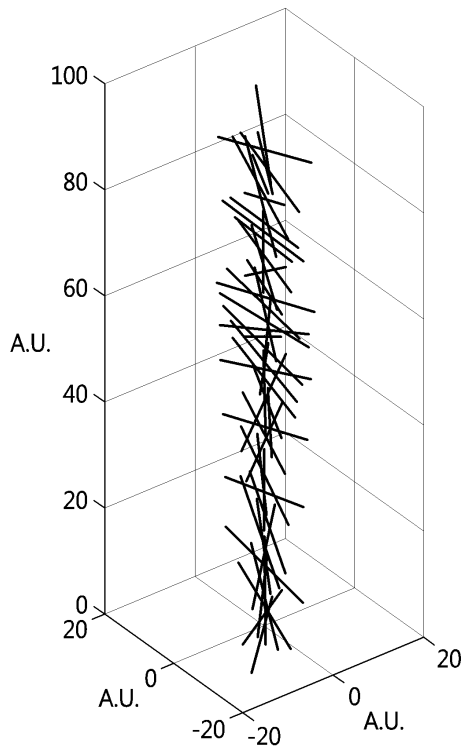
도면8b



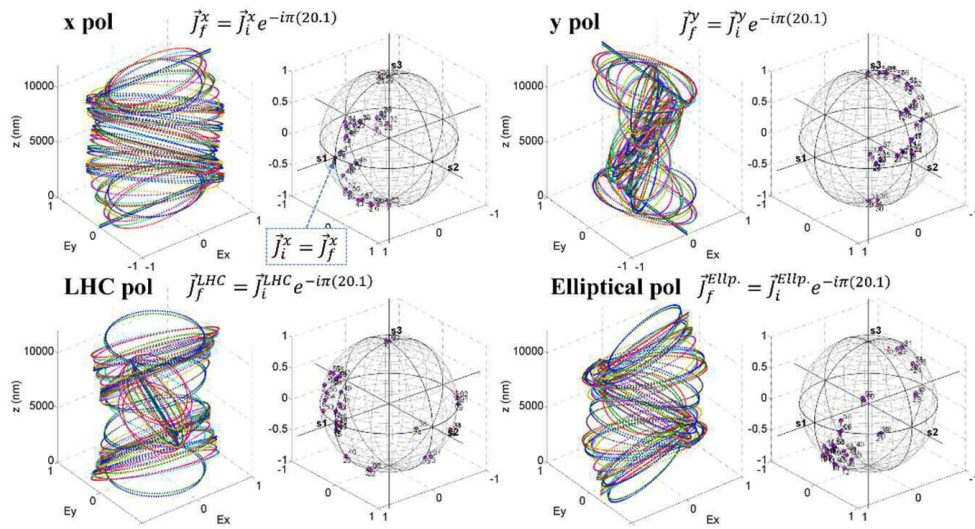
도면8c



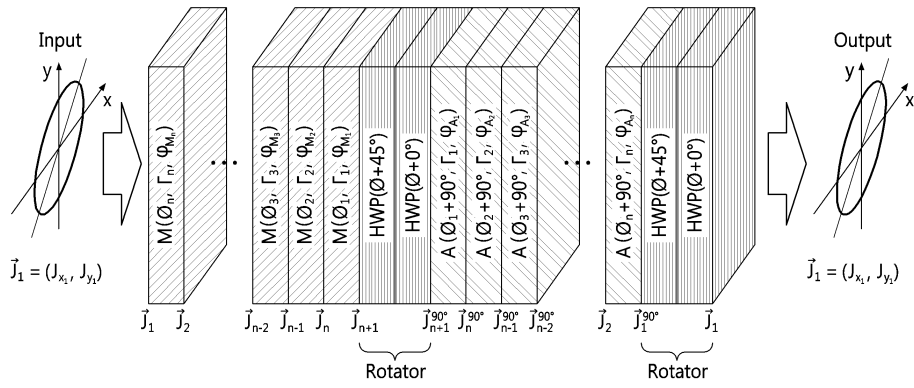
도면9



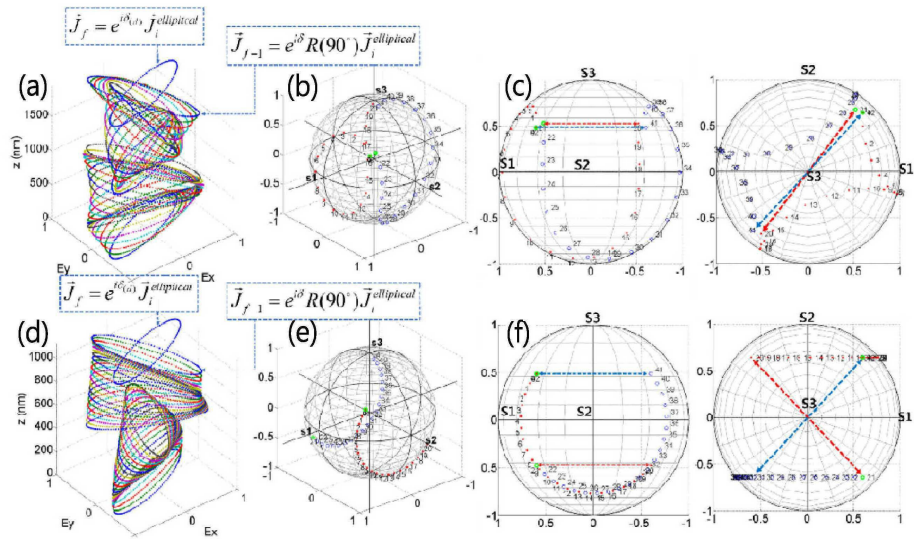
도면10



도면11



도면12



도면13

