



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2017-0058186
(43) 공개일자 2017년05월26일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G02F 1/1335 (2006.01) G02B 26/06 (2006.01)
G03H 1/04 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G02F 1/1335 (2013.01)
G02B 26/06 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2015-0162085
(22) 출원일자 2015년11월18일
심사청구일자 2015년11월18일

(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

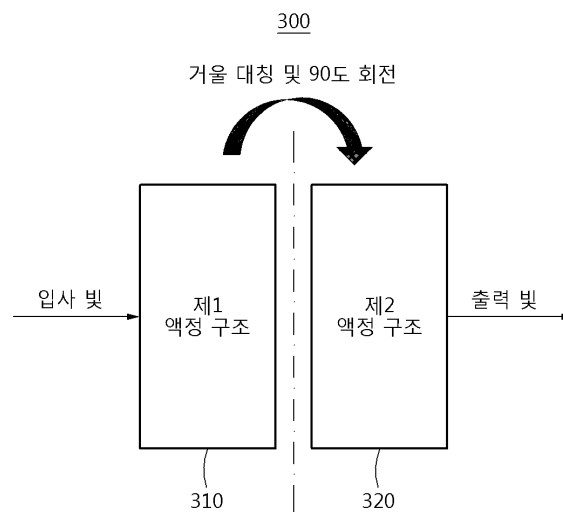
전체 청구항 수 : 총 11 항

(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 및 상기 복수의 제1 액정 분자들과 거울 대칭되며, 90도 회전된 형상을 가지는 복수의 제2 액정 분자들을 포함하는 제2 액정 구조를 포함할 수 있다. 제1 액정 구조에서 변경된 편광 방향은 제2 액정 구조에서 복원될 수 있다.

대표도 - 도3a



(52) CPC특허분류
G03H 1/04 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

복수의 제1 액정 분자들을 포함하는 제1 액정 구조; 및

상기 복수의 제1 액정 분자들과 거울 대칭되며, 90도 회전된 형상을 가지는 복수의 제2 액정 분자들을 포함하는 제2 액정 구조

를 포함하는 입사 빛의 편광 방향에 무관한 공간 광 위상 변조기.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 제2 액정 분자들은

상기 제1 액정 분자들 각각의 장축 방향이 입사되는 빛의 진행방향으로 90도 회전된 형상을 가지는

입사 빛의 편광 방향에 무관한 공간 광 위상 변조기.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 제2 액정 분자들은

상기 제1 액정 구조와 상기 제2 액정 구조가 만나는 가상의 면을 기준으로, 상기 제1 액정 분자들이 거울 대칭되어, 서로 대응하는 상기 제1 액정 분자들과 상기 제2 액정 분자들은 상기 가상의 면과 동일한 거리에 위치하는

입사 빛의 편광 방향에 무관한 공간 광 위상 변조기.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 제1 액정 분자들은

상기 제1 액정 구조에 입사되는 빛의 편광 방향 및 위상을 변조시키는

입사 빛의 편광 방향에 무관한 공간 광 위상 변조기.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 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 6

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 하

는

입사 빛의 편광 방향에 무관한 공간 광 위상 변조기.

청구항 7

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 8

제1항 내지 제7항 중 어느 하나의 공간 광 위상 변조기를 포함하는 홀로그램 디스플레이.

청구항 9

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 10

제9항에 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 11

제9항에 있어서,

상기 복수의 제2 액정 분자들은

상기 복수의 제1 액정 분자들과 거울 대칭되며, 90도 회전된 형상을 가지는

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 것이다.

배경 기술

[0002] 현대 과학 기술 및 과학 기술이 적용된 제품에서 빛을 이용하는 광학기술의 중요도는 자명하다. 예를 들어, 디스플레이, 정보 통신, 재료, 보안, 생명공학 등 사람들이 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. 속도뿐만 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 조절 할 수 있으며, 이때 LCD는 동시에 빛의 편광과 위상을 변조할 수 있다.

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

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 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

[0007] 본 발명의 일 실시예로, 입사 빛의 편광 방향에 무관한 공간 광 위상 변조기는 복수의 제1 액정 분자들을 포함하는 제1 액정 구조 및 상기 복수의 제1 액정 분자들과 거울 대칭되며, 90도 회전된 형상을 가지는 복수의 제2 액정 분자들을 포함하는 제2 액정 구조를 포함할 수 있다.

[0008] 상기 제2 액정 분자들은 상기 제1 액정 분자들 각각의 장축 방향이 입사되는 빛의 진행방향으로 90도 회전된 형상을 가질 수 있다.

[0009] 상기 제2 액정 분자들은 상기 제1 액정 구조와 상기 제2 액정 구조가 만나는 가상의 면을 기준으로, 상기 제1 액정 분자들이 거울 대칭되어, 서로 대응하는 상기 제1 액정 분자들과 상기 제2 액정 분자들은 상기 가상의 면과 동일한 거리에 위치할 수 있다. 또한, 상기 제2 액정 분자들은 제1 액정 분자들이 90도 회전된 형상을 가진다.

[0010] 상기 제1 액정 분자들은 상기 제1 액정 구조에 입사되는 빛의 편광 방향 및 위상을 변조시킬 수 있다.

[0011] 상기 제2 액정 분자들은 상기 제1 액정 구조에서 변조된 빛의 편광 방향을 상기 제1 액정 구조 입사 전의 편광 방향으로 복원할 수 있다.

[0012] 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.

[0013] 상기 제1 액정 구조 및 상기 제2 액정 구조는 독립된 픽셀을 형성하여, 입사되는 빛의 위상이 상기 픽셀 단위로 조절될 수 있다.

[0014] 본 발명의 다른 일 실시예로, 상기 공간 광 위상 변조기를 일 구성으로 하여 홀로그래프 디스플레이가 구현될 수 있다.

[0015] 본 발명의 다른 일 실시예로, 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 포함할 수 있다.

[0016] 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.

[0017] 상기 복수의 제2 액정 분자들은 상기 복수의 제1 액정 분자들과 거울 대칭되며, 90도 회전된 형상을 가질 수 있다.

발명의 효과

- [0018] 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.
- [0019] 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.
- [0020] 일 실시예에 따른 SLPM은 어떠한 편광상태에서도 독립적으로 빛의 위상만 조절함으로써, 공간상에 다른 편광상태를 보유하고 있는 빛의 파면의 정밀한 조절과 여러 편광상태에서의 위상의 조절이 용이하다.
- [0021] 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.
- [0022] 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.
- [0023] 일 실시예에 따른 SLPM은 투과형 공간 광 위상 변조기뿐만 아니라, 반사형 공간 광 위상 변조기에도 적용이 가능하다.

도면의 간단한 설명

- [0024] 도 1은 종래 기술로 활용되고 있는 액정 분자를 나타낸 도면이다.
- 도 2는 편광 상태를 3차원 상 표시하는 푸앵카레 구를 나타낸 도면이다.
- 도 3a 및 도 3b는 본 발명의 일 실시예에 따른 공간 광 위상 변조기의 블록도이다.
- 도 4 내지 도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 공간 광 위상 변조기를 시뮬레이션 한 결과를 나타낸 도면이다.
- 도 9 및 도 10은 본 발명의 일 실시예에 따른 공간 광 위상 변조기 이용시, 변조 가능한 위상의 범위를 나타낸 그래프이다.
- 도 11은 다른 일 실시예에 따른 공간 광 위상 변조기의 블록도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0025] 이하, 본 발명의 일 실시예를 첨부된 도면을 참조하여 상세하게 설명한다.
- [0026] 본 발명은 다양한 변환을 가할 수 있고 여러 가지 실시예를 가질 수 있는 바, 특정 실시예들을 도면에 예시하고 상세한 설명에 상세하게 설명하고자 한다. 본 발명의 효과 및 특징, 그리고 그것들을 달성하는 방법은 도면과 함께 상세하게 후술되어 있는 실시예들을 참조하면 명확해질 것이다. 그러나 본 발명은 이하에서 개시되는 실시예들에 한정되는 것이 아니라 다양한 형태로 구현될 수 있다.
- [0027] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 실시예들을 상세히 설명하기로 하며, 도면을 참조하여 설명할 때 동일한 구성 요소는 동일한 도면부호를 부여하고 이에 대한 중복되는 설명은 생략하기로 한다.
- [0028] 이하의 실시예에서, 제1, 제2 등의 용어는 한정적인 의미가 아니라 하나의 구성 요소를 다른 구성 요소와 구별하는 목적으로 사용되었다.
- [0029] 이하의 실시예에서, 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다.
- [0030] 이하의 실시예에서, 포함하다 또는 가지다 등의 용어는 명세서상에 기재된 특징, 또는 구성요소가 존재함을 의미하는 것이고, 하나 이상의 다른 특징들 또는 구성요소가 부가될 가능성을 미리 배제하는 것은 아니다.
- [0031] 이하의 실시예에서, 막, 영역, 구성 요소 등의 부분이 다른 부분 위에 또는 상에 있다고 할 때, 다른 부분의 바

로 위에 있는 경우뿐만 아니라, 그 중간에 다른 막, 영역, 구성 요소 등이 개재되어 있는 경우도 포함한다.

[0032] 도면에서는 설명의 편의를 위하여 구성 요소들이 그 크기가 과장 또는 축소될 수 있다. 예컨대, 도면에서 나타난 각 구성의 크기 및 두께는 설명의 편의를 위해 임의로 나타내었으므로, 본 발명이 반드시 도시된 바에 한정되지 않는다.

[0033] 도 1은 종래 기술로 활용되고 있는 액정 분자를 나타낸 도면이다.

[0034] 도 1을 참조하면, (A)는 두 축 방향으로 굴절률이 동일하고, 다른 한 축 방향으로 굴절률이 다른 액정(Liquid Crystal: LC) 분자를 나타낸다. (B)는 xy 평면 방향으로 유효(effective)한 빛의 굴절률 n_e 를 가지는 액정 분자가 z축과 일정 각도(θ)를 가지고 있음을 나타낸다. (C)는 빛이 z축 방향으로 진행하는 경우를 나타낸다. (D)는 액정 분자가 z 축 방향으로 일정 각도(θ) 기울고, 또한 xy 평면에서 다른 각도(ψ) 회전 된 것을 나타낸다.

[0035] 액정 분자는 비등방성의 굴절률 특성을 갖는 복굴절 물질이다. 일반적인 액정 평판 디스플레이(Liquid Crystal Display, 이하 LCD)에 사용되는 대부분의 LC 물질은 (A) 와 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.

[0036] 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.

[0037] 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.

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

[0038]

[0039] 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 3b에 대한 설명에서 좀 더 자세하게 설명하고, 시뮬레이션에 대해서는 도 4 내지 도 8에 대한 설명에서 좀더 자세하게 설명한다.

[0040] 도 2는 편광 상태를 3차원 상 표시하는 푸앵카레 구를 나타낸 도면이다.

[0041] 도 2를 참조하면, 푸앵카레 구란 2차원 상에서 표현 가능한 모든 편광 상태들을 3차원 상의 반지름이 1인 구 표면에 나타낸 것이다.

[0042] 몇몇 편광을 살펴보면, S3가 0인 경우 x 방향으로 편광된 빛도, y 방향으로 편광된 빛도 선편광을 가질 수 있다. S3의 값이 커질수록 원편광으로 변화한다. 입사되는 빛의 편광과 본 발명의 공간 광 위상 변조기를 통과하는 과정에서 빛의 편광은 푸앵카레 구에 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. 도 4 내지 도 8에서 이러한 확인이 가능하다.

[0043] 도 3a 및 도 3b는 본 발명의 일 실시예에 따른 공간 광 위상 변조기(300)의 블록도이다.

[0044] 도 3a를 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 포함한다. 제1 액정 분자들은 제1 액정 구조(310)에 입사되는 빛의 편광 방향 및 위상을 변조시킨다. 제1 액정 구조(310)에 인가되는 전압에 따라 입사

되는 빛의 편광 방향 및 위상이 조절될 수 있다. 이때, 입사되는 빛의 편광 방향과 위상은 동시에 조절되고, 각각 독립적으로 조절되지는 않는다.

[0045] 제2 액정 구조(320)는 복수의 제1 액정 분자들과 거울 대칭되며, 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)을 기준으로, 제1 액정 분자들과 거울 대칭되며, 대응하는 각 분자들은 가상의 면으로부터 동일한 거리에 위치한다. 또한, 이때 제2 액정 분자들은 제1 액정 분자들이 90도 회전된 형상을 가진다. 예를 들어, TN 모드의 경우 제2 액정 분자들은 제1 액정 분자들 각각의 장축 방향이 90도 회전된 형상을 가진다. 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 1에서 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 UTN θ 방향으로 90도 회전된 경우를 의미할 수 있다.

[0046] 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 통과 하면서, 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 유지 되면서, 위상만 조절 될 수 있다. 즉, 입사 빛의 위상이 독립적으로 조절될 수 있다.

[0047] 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 있다. 그 밖에 여기서 설명되지는 않았지만, 액정 모드로 사용될 수 있는 다양한 모드 중 하나일 수도 있다.

[0048] 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, 픽셀 여러 개를 큰 픽셀로 변환할 수 밖에 없었으나, 본 발명의 구조를 이용하면, 하나의 픽셀만으로도 입사 빛의 위상이 조절될 수 있다.

[0049] 공간 광 위상 변조기(300)는 입사 하는 빛의 초기 편광상태가 어떠한 값을 가지더라도, 입사하는 빛의 원래 편광 방향을 유지하고 단지 요구 되는 만큼의 위상 조절이 가능하다. 또한 기존의 공간 광 변조기는 렌즈나 프리즘 등을 필요로 하나 공간 광 위상 변조기(300)는 이러한 추가적인 요소들을 필요치 않는다. 따라서 공간 광 위상 변조기(300)는 구현이 간단하고 간편하여, 적은 비용으로도 구현이 가능하다. 공간 광 위상 변조기(300)는 파동광학, 홀로그램, 광학적 트위저, 양자 컴퓨터등 다양한 용도로 사용될 수 있다.

[0050] 도 3b를 참조하면, 제1 액정 구조(310)의 예(311, 312, 313)와 제2 액정 구조(320)의 예(321, 322, 323)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)와 제2 액정 구조(320)의 예(321, 322, 323)는 모두 동일한 배열 방법 및 원리를 가지고 있다. (A)의 경우는 TN 모드의 경우로, 전원이 중간 레벨로 인가된 상태를 나타내고, (B)의 경우는 TN 모드, 전원이 인가되지 않은 상태를 나타내고, (C)의 경우는 VA 모드로 전원이 최대로 인가된 상태를 나타낸다. 기본적으로 모두 제1 액정 구조(310)의 예(311, 312, 313)를 기준으로 제2 액정 구조(320)의 예(321, 322, 323)가 거울 상 대칭되고, 90도를 회전시켜 놓은 구조(Mirror symmetry and 90 rotation structure, 이하 M90구조)이다.

[0051] 빛이 처음 제1 액정 구조(310)의 예(311, 312, 313)를 통과할 때, 액정 분자의 복굴절 특성 때문에 편광 방향이 변하고, 제2 액정 구조(320)의 예(321, 322, 323)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 변조 될 수 있다. 이하에서는 본 발명의 공간 광 위상 변조기에서 편광 상태들이 어떻게 변화할 수 있는지 존스 행렬을 이용하여 증명한다.

[0052] <존스 행렬을 이용한 분석>

[0053] 제1 액정구조(310)를 하나의 위상지연자라고 정의 할 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 계산 하였다.

[0054] 근본적인 원리는 동일한 위상지연자를 서로 90도가 되게 배열한 구조에서 빛이 제1 액정구조(310) 및 제2 액정

구조(320)를 통과하는 것에 대해 계산 해보면 단위 행렬과 위상지연만 남게 되어 입사 빛의 편광 방향은 변하지 않고, 위상 지연만 발생하게 된다. 좀더 구체적으로, 액정 분자가 x축에 대해 임의의 방향 ψ 로 기울어져있는 경우 위상지연자 식은 다음과 같다.

$$\begin{pmatrix} \cos \psi & -\sin \psi \\ \sin \psi & \cos \psi \end{pmatrix} \begin{pmatrix} e^{-ik_0 n_e(\theta)d} & 0 \\ 0 & e^{-ik_0 n_o d} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \psi & \sin \psi \\ -\sin \psi & \cos \psi \end{pmatrix}$$

[0055]

오른쪽 행렬은 가상 좌표계에서 액정 분자의 장축 방향으로 회전 시켜주는 좌표변환이며, x, y 좌표를 ψ 만큼 회전시켜 장축 방향을 x 축으로 놓아주는 역할이다. 가운데 행렬은 위상지연자 통과시의 OPL(Optical Path Length)를 나타낸 행렬이며, 왼쪽 행렬은 빛이 위상 연산자를 통과 한 후의 좌표 역 변환 식으로, 원래 좌표로 돌아오게 하는 역할이다.

[0056]

$90^\circ + \psi$ 로 놓여져 있는 위상지연자에 대해 식으로 표현하면 다음과 같다

$$\begin{pmatrix} \cos(90^\circ + \psi) & -\sin(90^\circ + \psi) \\ \sin(90^\circ + \psi) & \cos(90^\circ + \psi) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} e^{-ik_0 n_e(\theta)d} & 0 \\ 0 & e^{-ik_0 n_o d} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos(90^\circ + \psi) & \sin(90^\circ + \psi) \\ -\sin(90^\circ + \psi) & \cos(90^\circ + \psi) \end{pmatrix} \\ = \begin{pmatrix} -\sin \psi & -\cos \psi \\ \cos \psi & -\sin \psi \end{pmatrix} \begin{pmatrix} e^{-ik_0 n_e(\theta)d} & 0 \\ 0 & e^{ik_0 n_o d} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -\sin \psi & \cos \psi \\ -\cos \psi & -\sin \psi \end{pmatrix}$$

[0058]

ψ 만큼 기울어진 위상지연자를 통과한 후, 수직으로 놓인 위상지연자, 즉 $90^\circ + \psi$ 만큼 기울어져 있는 위상지연자를 통과하면 통과한 빛의 특성은 다음과 같은 식으로 표현이 된다.

$$\begin{pmatrix} -\sin \psi & -\cos \psi \\ \cos \psi & -\sin \psi \end{pmatrix} \begin{pmatrix} e^{-ik_0 n_e(\theta)d} & 0 \\ 0 & e^{-ik_0 n_o d} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -\sin \psi & \cos \psi \\ -\cos \psi & -\sin \psi \end{pmatrix} \\ * \begin{pmatrix} \cos \psi & -\sin \psi \\ \sin \psi & \cos \psi \end{pmatrix} \begin{pmatrix} e^{-ik_0 n_e(\theta)d} & 0 \\ 0 & e^{-ik_0 n_o d} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \psi & \sin \psi \\ -\sin \psi & \cos \psi \end{pmatrix} \\ = e^{-ik_0(n_e(\theta) + n_o)d} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$$

[0060]

결과적으로 어떤 편광특성을 가진 빛이 입사하는 경우에도 투과한 빛의 편광은 입사한 빛의 편광 방향을 유지하고, 위상지연만 발생하게 된다.

[0061]

이를 본 특허의 구조인 M90 구조에 적용하고 일반화 시키면

$$\prod_{n=0}^k [R\{-\psi(n)\} \Gamma_o(n) R\{\psi(n)\}] \prod_{n=k}^0 [R\{-\psi(n) + 90^\circ\} \Gamma_o(n) R\{\psi(n) + 90^\circ\}] = e^{-i\Gamma} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$$

[0063]

위와 같은 꼴로 같은 결과가 나오게 된다. 즉 가장 오른쪽 식과 같이 위상만 조절되는 결과가 도출된다.

[0064]

도 4 내지 도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 공간 광 위상 변조기를 시뮬레이션 한 결과를 나타낸 도면이다.

[0065]

도 4는 M90 구조로 TN 모드를 사용하여 전원이 인가되지 않은 상태로, 여러 가지 빛의 편광 상태에 대해 시뮬레이션 결과. 두께가 921 nm(thickness of one cell)인 경우를 나타낸다. 각 편광 상태를 나타내는 두 개의 그래프 중에서, 왼쪽의 그래프들은 M90 구조에 각각 x-pol(x 방향 편광), y-pol(y 방향 편광), 45도 pol(45도 편광), LHC(Left Handed Circular, 왼손 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 가운데의 숫자들은 M90구조를 통과한 후에 편광 상태를 나타낸 존스 행렬이다.

[0066]

오른쪽 그래프를 참조하면, 제1 액정 구조(310)에 의한 빛의 편광 방향을 빨간색 점들로 표시하였으며, 이들 점들은 제2 액정 구조(320)를 통과하면 변화된 편광 경로를 따라 정확히 원래의 위치로 되돌아 오는 것을 확인할 수 있다. 이는 제1 액정 구조(310) 및 제2 액정 구조(320)가 두 LC 면이 만나는 가상의 위치를 기준으로 동일한 거리에 있는 액정 분자가 정확히 90도를 이루고 있기 때문이다. 즉, 다시 말해서, 위의 존스 행렬을 이용한 분석에 의하여 행렬의 곱들이 단위 행렬과 오직 위상 성분만을 남기기 때문이다. 이러한 원리를 이용하여 나타나

[0067]

는 시뮬레이션 결과는 왼쪽 그래프에서도 중간 높이를 기준으로 위치 별 편광 모양들이 대칭을 이루는 것을 보면 확인할 수 있다.

[0068] 도 5는 M90 구조로 TN 모드를 사용하여 전원이 인가된 상태로, 여러 가지 빛의 편광 상태에 대해 시뮬레이션 결과, 두께(thickness of one cell)가 921 nm인 경우를 나타낸다. 이 경우는 중간 계조에 해당하는 전압이 인가되는 때의 그래프로 정확히 빛이 입사 하기전의 편광 방향을 회복하는 결과를 나타낸다.

[0069] 도 6은 M90 구조로 VA 모드를 사용하여 전원이 인가되지 않은 상태로, 여러 가지 빛의 편광 상태에 대해 시뮬레이션 결과, 두께(thickness of one cell)가 532 nm인 경우를 나타낸다. 도 7은 도 4의 경우에서, 층을 10분할한 경우로 좀 더 넓은 분포에서 시뮬레이션 한 결과를 나타낸다. 도 8은 M90 구조로 TN 모드를 사용하여 전원이 인가되지 않은 상태로, 여러 가지 빛의 편광 상태에 대해 시뮬레이션 결과, 두께(thickness of one cell)가 5526 nm인 경우를 나타낸다. 도 6 내지 도 8의 경우 모두 여러 가지 빛의 편광 상태에 대해서, 빛이 입사 하기전의 편광 방향을 회복하는 결과를 나타낸다.

[0070] 결론적으로 M90구조를 이용하면, 어떤 구조의 LCD 모드를 이용하여도 입사하는 빛의 편광 방향을 유지하면서, 빛의 위상만을 변조할 수 있는 공간 광 위상 변조기의 구현이 가능하다.

[0071] 도 9 및 도 10은 본 발명의 일 실시예에 따른 공간 광 위상 변조기 이용시, 변조 가능한 위상의 범위를 나타낸 그래프이다.

[0072] 도 9를 참조하면, 그래프는 굴절률(n) = 0.5, λ = 532nm 조건에서 최대 위상 지연을 나타낸다. 윗쪽 그래프(a)는 TN 모드의 경우로 921 nm에서 1.76π , 아랫쪽 그래프(b)는 VA 모드의 경우로 532 nm에서 1.0π 의 결과를 나타내었다. 이 두께들은 LCD에서 Black과 White를 표현할 수 있는 최소 두께로, 일반적인 LCD TV의 셀간 간격은 수 마이크로미터이며, 그 두께가 3.5 μ m 인 경우를 고려하여 계산해 보면 도 10의 그래프와 같다. 즉 TN 모드 경우(a)는 6.67π , VA 모드의 경우(b)는 6.58π 까지 위상 변조가 가능하며, 이와 같이 액정 구조의 두께(thickness of one cell)를 필요에 따라 늘린다면 필요한 만큼의 위상 지연이 가능하다.

[0073] 도 11은 다른 일 실시예에 따른 공간 광 위상 변조기의 블록도이다.

[0074] 도 11을 참조하면, 본 발명의 다른 일 실시예에 따른 공간 광 위상 변조기(1100)는 변조부(1110) 및 편광 복원부(1120)를 포함한다. 변조부(1110)는 입사하는 빛의 편광 방향 및 위상을 변경시키는 복수의 제1 액정 분자들을 포함한다. 편광 복원부(1120)는 변조부(1110)에서 변경된 편광 방향을 원 상태로 복원하는 복수의 제2 액정 분자들을 포함한다. 편광 복원부(1120)는 제1 액정 분자들에서 변경된 편광 방향을 제2 액정 분자들 각각을 이용하여 순차적으로 복원하고, 변조부(1110)에서 변경된 위상을 추가적으로 변경한다. 공간 광 위상 변조기(1100)는 편광 복원부(1120)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 분들과 거울 대칭되며, 90도 회전된 형상을 가진다.

[0075] 변조부(1110)는 도 3의 제1 액정 구조(310)로 구성될 수 있고, 편광 복원부(1120)는 제2 액정 구조(320)로 구성될 수 있으므로, 도 3에서 설명된 내용들이 도 11에서도 동일하게 적용될 수 있다.

[0076] 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.

[0077] 그러므로, 다른 구현들, 다른 실시예들 및 특허청구범위와 균등한 것들도 후술하는 특허청구범위의 범위에 속한다.

부호의 설명

[0078] 300: 공간 광 위상 변조기

310: 제1 액정 구조

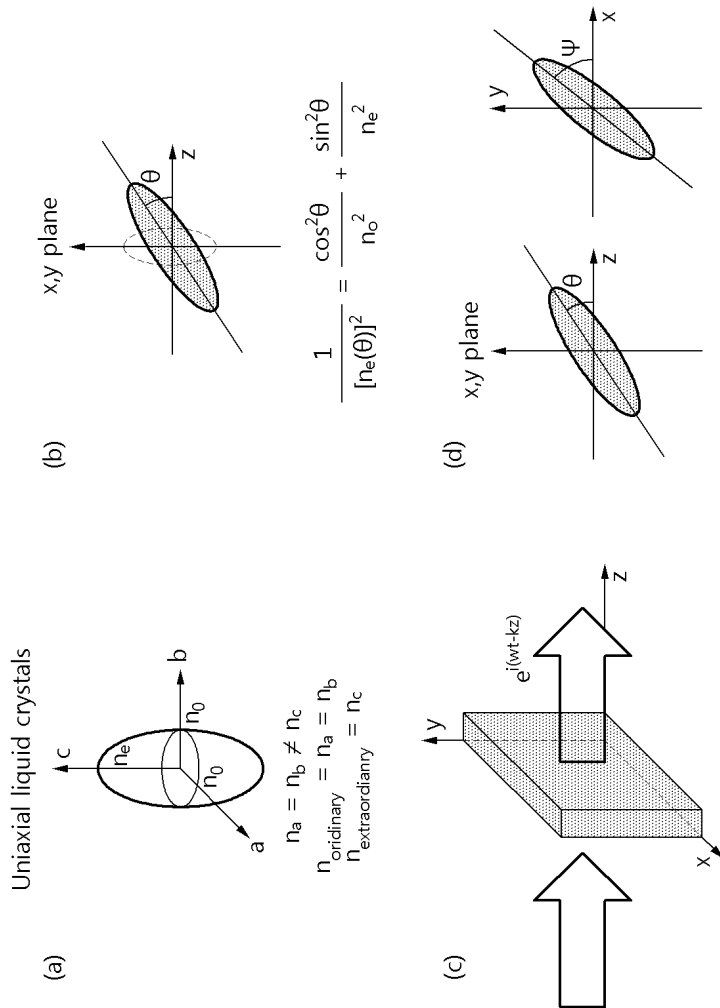
320: 제2 액정 구조

1110: 변조부

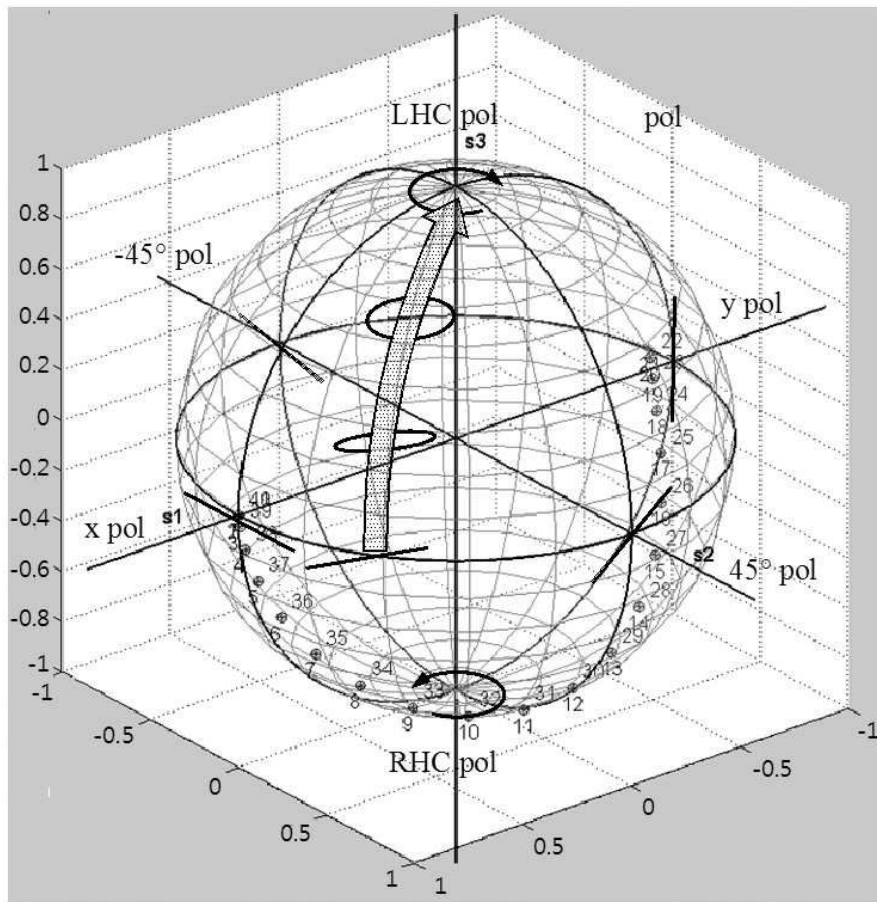
1120: 편광 복원부

도면

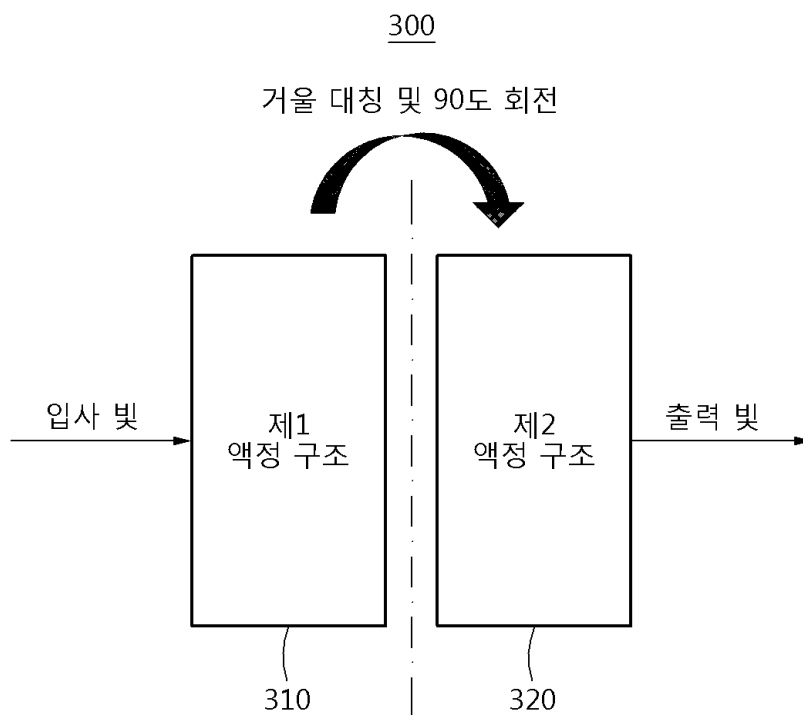
도면1



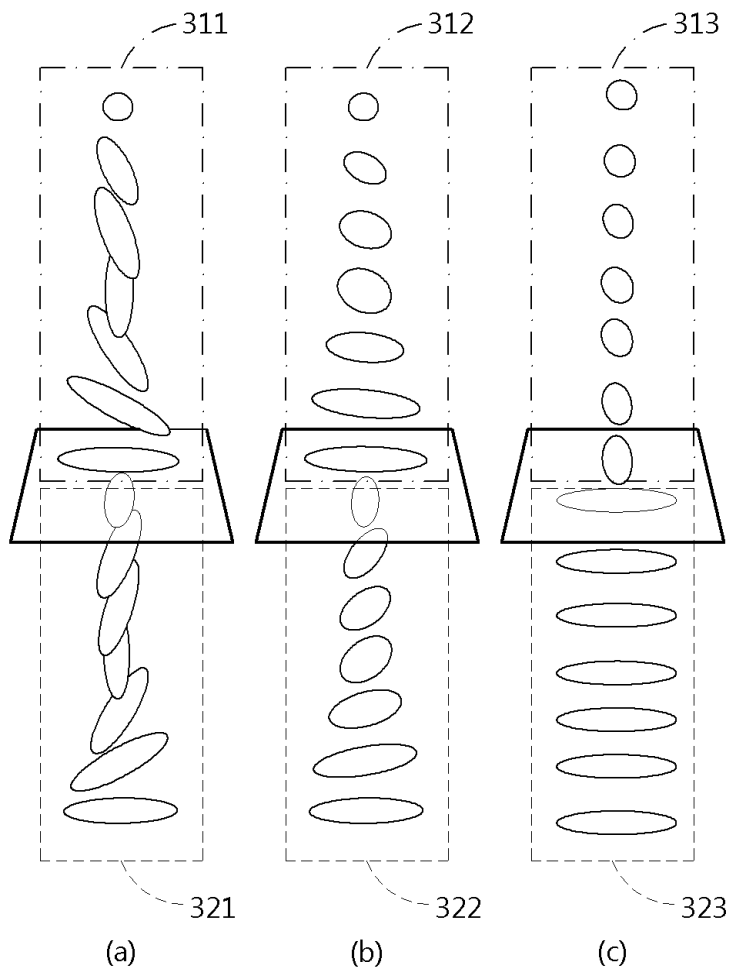
도면2



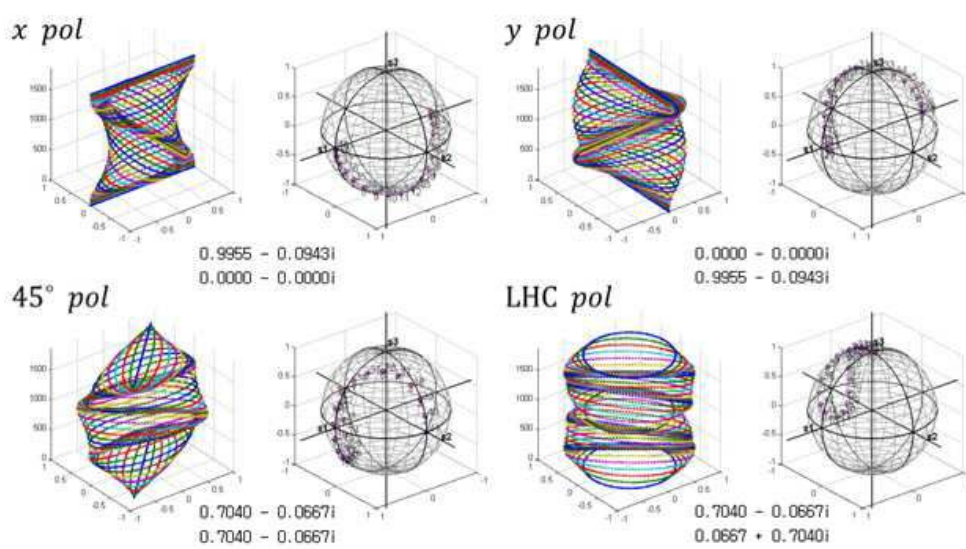
도면3a



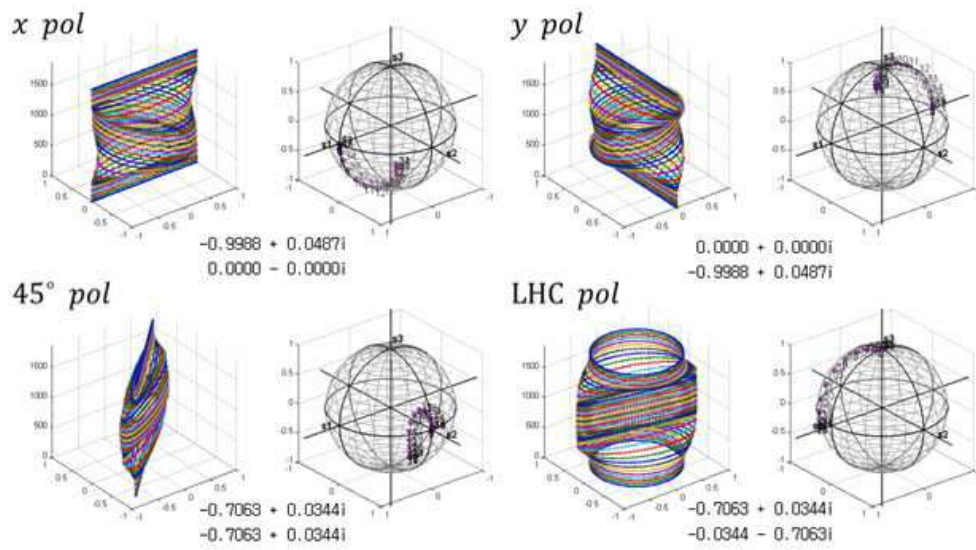
도면3b



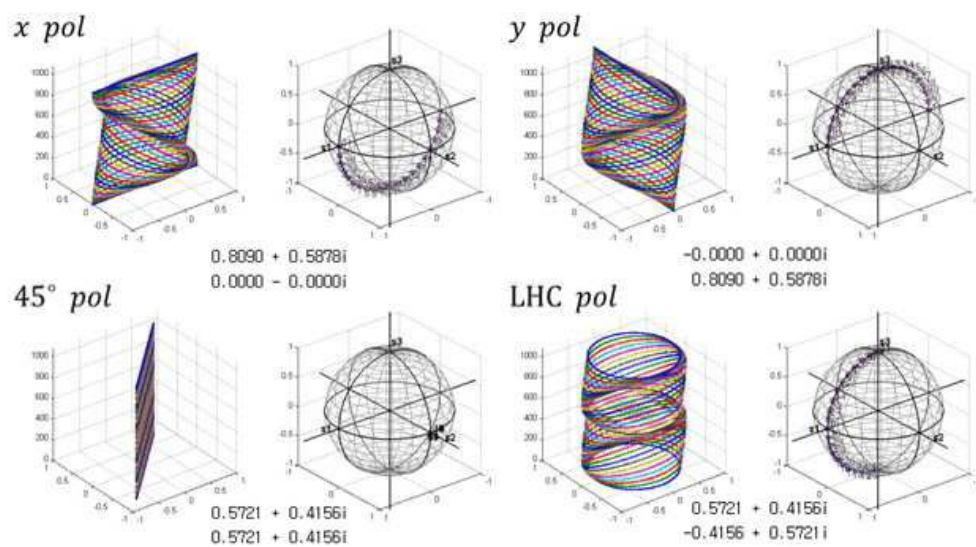
도면4



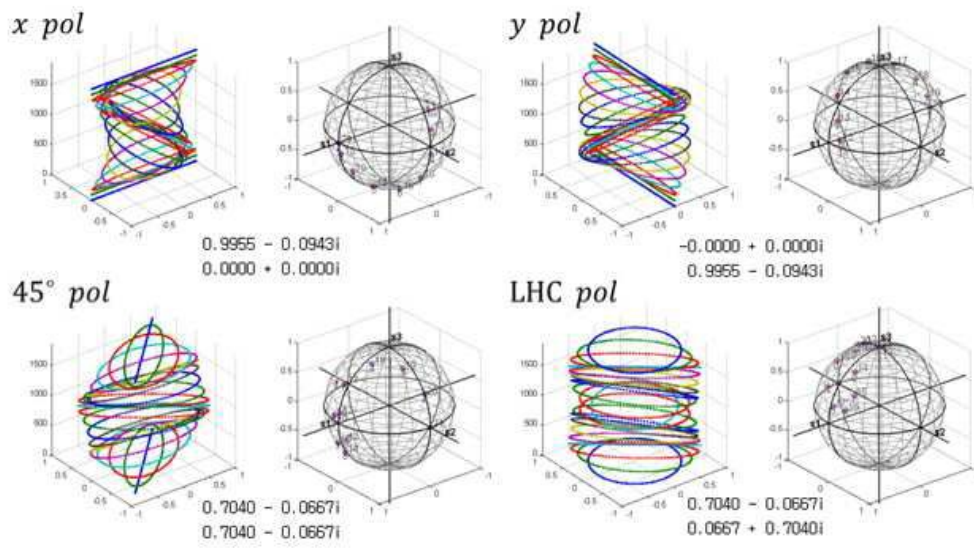
도면5



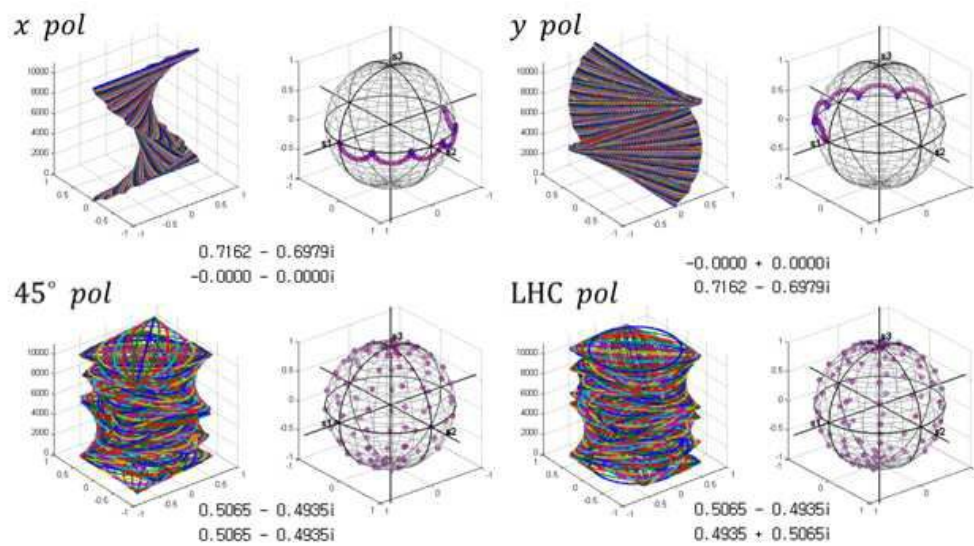
도면6



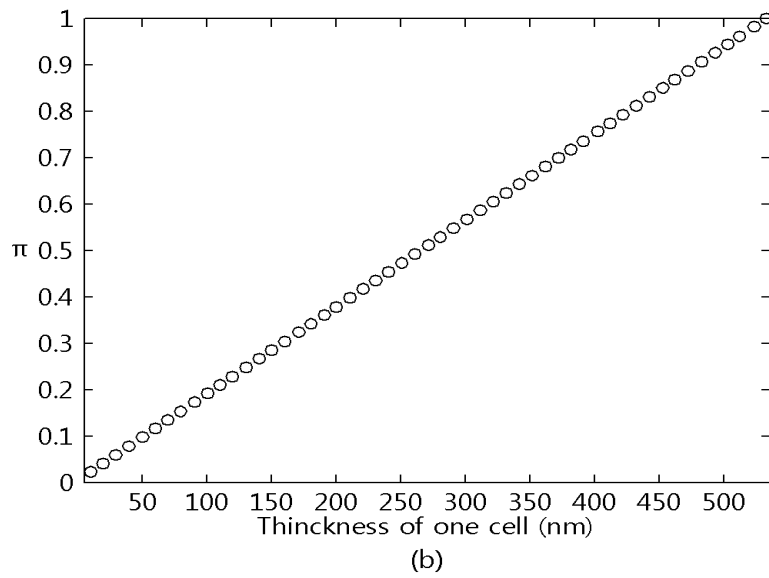
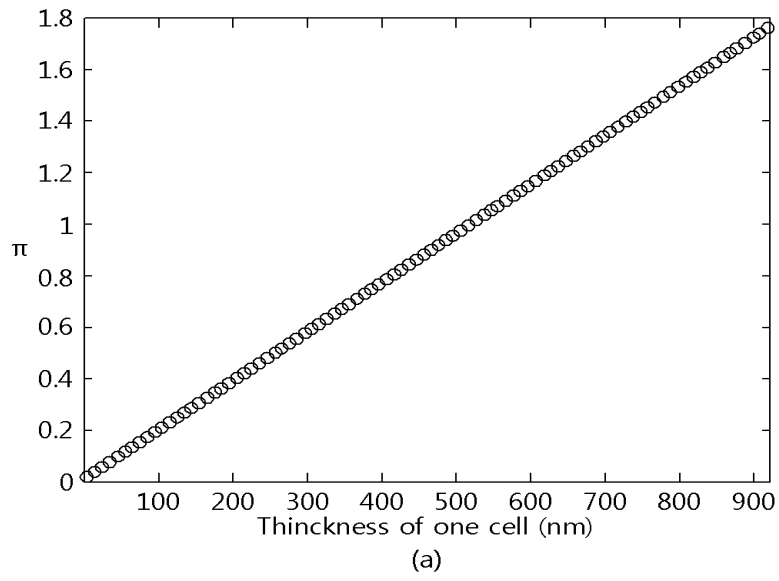
도면7



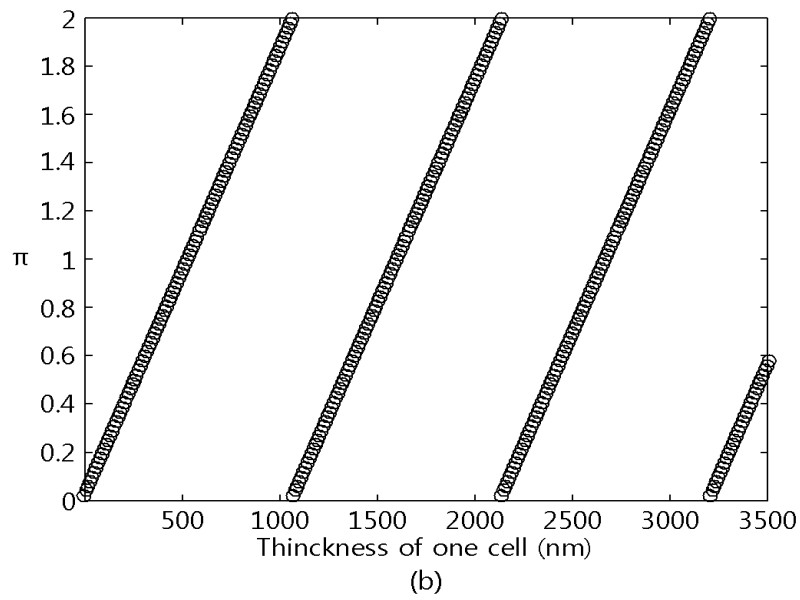
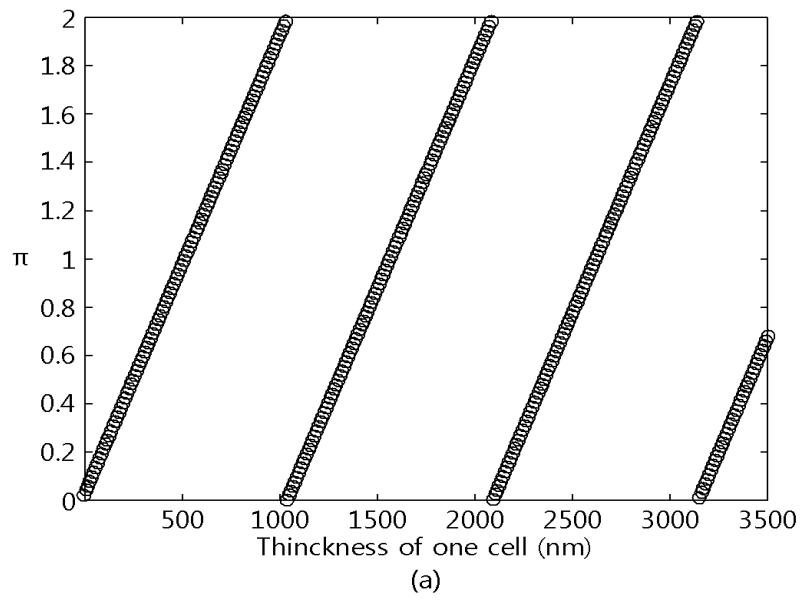
도면8



도면9



도면10



도면11

