



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2022-0020790
(43) 공개일자 2022년02월21일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G02B 5/26 (2006.01) G02B 1/00 (2022.01)
(52) CPC특허분류
G02B 5/26 (2013.01)
G02B 1/00 (2022.01)
(21) 출원번호 10-2021-0106116
(22) 출원일자 2021년08월11일
심사청구일자 2021년08월11일
(30) 우선권주장
1020200101269 2020년08월12일 대한민국(KR)
1020200162425 2020년11월27일 대한민국(KR)

(71) 출원인
이화여자대학교 산학협력단
서울특별시 서대문구 이화여대길 52 (대현동, 이화여자대학교)
(72) 발명자
현가담
서울특별시 강남구 압구정로 151, 112동 1101호 (압구정동, 현대아파트)
김영지
서울특별시 동작구 만양로 19, 703동 109호 (노량진동, 신동아리버파크아파트)
(74) 대리인
특허법인엠에이피에스

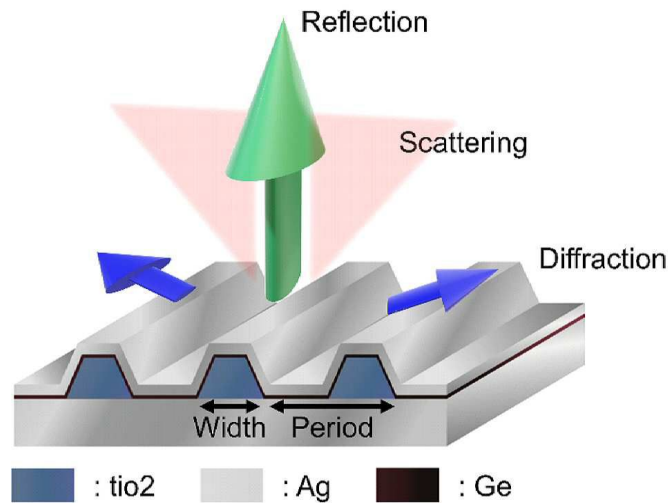
전체 청구항 수 : 총 18 항

(54) 발명의 명칭 다중 모드 반사형 컬러 픽셀

(57) 요약

본원은, 그레이팅 구조의 금속-유전체 하이브리드 구조체를 포함하고, 반사, 산란 및 회절에 따라 발현 색이 상이한, 다중 모드 반사형 컬러 픽셀에 관한 것이다.

대표도 - 도1



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1711126673
 과제번호 2017R1A5A1015365
 부처명 과학기술정보통신부
 과제관리(전문)기관명 한국연구재단
 연구사업명 집단연구지원(R&D)
 연구과제명 혼성계면 화학구조 연구센터
 기 여 율 3/10
 과제수행기관명 이화여자대학교 산학협력단
 연구기간 2021.03.01 ~ 2022.02.28

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1711113462
 과제번호 2019R1C1C1002802
 부처명 과학기술정보통신부
 과제관리(전문)기관명 한국연구재단
 연구사업명 개인기초연구(과기정통부)(R&D)
 연구과제명 무질서한 다분산성 입자기반의 고체도 비색계 스위치 개발
 기 여 율 4/10
 과제수행기관명 이화여자대학교 산학협력단
 연구기간 2020.04.29 ~ 2020.08.28

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1711117315
 과제번호 2020M3D1A1068764
 부처명 과학기술정보통신부
 과제관리(전문)기관명 한국연구재단
 연구사업명 미래소재디스커버리지원(R&D)
 연구과제명 푸리에 역설계를 통한 최적 3차원 나노 모듈라 소재 제작 및 응용
 기 여 율 1/10
 과제수행기관명 한국과학기술원
 연구기간 2020.04.29 ~ 2020.08.28

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1711130225
 과제번호 2020M3D1A1110522
 부처명 과학기술정보통신부
 과제관리(전문)기관명 한국연구재단
 연구사업명 미래소재디스커버리지원(R&D)
 연구과제명 푸리에 역계산을 활용한 소재 형상 제어 및 광학 소자 개발
 기 여 율 2/10
 과제수행기관명 한국과학기술원
 연구기간 2021.01.01 ~ 2021.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

반사층;

상기 반사층 일부 상에 형성되는, 그레이팅 구조의 유전체 패턴; 및

상기 유전체 패턴 상에 형성된 금속층

을 포함하는 금속-유전체 하이브리드 구조체를 포함하는,

다중 모드 반사형 컬러 픽셀.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 금속-유전체 하이브리드 구조체와 이격 위치되고, 상기 유전체 패턴의 길이 방향에 대해 평행(S-편광) 또는 수직(P-편광)하도록 배치되는 편광 필터를 추가 포함하는, 다중 모드 반사형 컬러 픽셀.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

입사되는 빛에 대한 반사, 산란 및 회절로 인해 발현되는 색이 서로 상이한, 반사 모드, 산란 모드 및 회절 모드를 구현하는, 다중 모드 반사형 컬러 픽셀.

청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 유전체 패턴 및 상기 유전체 패턴이 형성되지 않은 반사층 상에 형성되는 손실층을 추가 포함하는, 다중 모드 반사형 컬러 픽셀.

청구항 5

제 1 항에 있어서,

상기 반사층은, Ag, Al 및 Au 중에서 선택되는 하나 이상을 포함하는 것인, 다중 모드 반사형 컬러 픽셀.

청구항 6

제 1 항에 있어서,

상기 유전체 패턴은, TiO_2 , Al_2O_3 , ZnO , CuO , Cu_2O , BaTiO_3 , SrTiO_3 , PbTiO_3 , SiO_2 , 폴리이미드, P3HT, PANI, PEDOT, PEDOT:PSS, 폴리스티렌, PTFE 및 폴리프로필렌 중에서 선택되는 하나 이상을 포함하는 것인, 다중 모드 반사형 컬러 픽셀.

청구항 7

제 1 항에 있어서,

상기 손실층은, Ge, Ti, Cr 및 W 중에서 선택되는 하나 이상을 포함하는 것인, 다중 모드 반사형 컬러 픽셀.

청구항 8

제 1 항에 있어서,

상기 금속층은, Ag, Al 및 Au 중에서 선택되는 하나 이상을 포함하는 것인, 다중 모드 반사형 컬러 픽셀.

청구항 9

제 1 항에 있어서,

상기 금속층에서 입사되는 빛이 미에 공명 또는 표면 플라즈몬 공명을 일으키는 것인, 다중 모드 반사형 컬러 픽셀.

청구항 10

제 1 항에 있어서,

상기 유전체 패턴의 폭은 50 nm 내지 700 nm인 것인, 다중 모드 반사형 컬러 픽셀.

청구항 11

제 1 항에 있어서,

상기 유전체 패턴의 주기는 400 nm 내지 750 nm인 것인, 다중 모드 반사형 컬러 픽셀.

청구항 12

제 1 항에 있어서,

상기 유전체 패턴의 길이 방향에 대해 입사되는 빛이 평행하게 입사되거나 수직으로 입사되는 것에 따라 반사되어 발현되는 색이 상이한 것인, 다중 모드 반사형 컬러 픽셀.

청구항 13

제 12 항에 있어서,

상기 반사에서, 0차 반사 및 전체 반사됨에 따라 발현되는 색이 상이한 것인, 다중 모드 반사형 컬러 픽셀.

청구항 14

제 1 항에 있어서,

상기 유전체 패턴의 동일 주기에 대해 상기 유전체 패턴의 폭의 변화에 따라 산란되어 발현되는 색이 상이한 것인, 다중 모드 반사형 컬러 픽셀.

청구항 15

제 1 항에 있어서,

상기 유전체 패턴의 동일 쪽에 대해 상기 유전체 패턴의 주기의 변화에 따라 회절되어 발현되는 색이 상이한 것인, 다중 모드 반사형 컬러 픽셀.

청구항 16

제 1 항에 있어서,

상기 금속-유전체 하이브리드 구조체와 이격 위치되고, 대물 렌즈를 추가 포함하는, 다중 모드 반사형 컬러 픽셀.

청구항 17

제 16 항에 있어서,

상기 대물 렌즈의 개구수(NA)를 조절함으로써 빛이 입사하는 각도를 조절하여 발현되는 색상을 상이하게 조절하는 것인, 다중 모드 반사형 컬러 픽셀.

청구항 18

제 1 항에 있어서,

이미지 암호화, 스마트 디스플레이, 홀로그램, 정보 저장, 또는 메타표면 구현에 사용되는 것인, 다중 모드 반사형 컬러 픽셀.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본원은, 그레이팅 구조의 금속-유전체 하이브리드 구조체를 포함하고, 반사, 산란 및 회절에 따라 발현 색이 상이한, 다중 모드 반사형 컬러 픽셀에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 구조색의 스마트 디스플레이, 이미지 암호화, 센서 등으로의 적용을 위해서 색, 채도 및 밝기의 조절은 매우 중요하다. 그동안 미에(Mie) 공명을 향상시키기 위해 배경 물질과의 인덱스-매칭(index-matching) 층을 이용하거나, 금속 등으로 공명을 가두는 캡핑(capping) 구조를 이용하는 등의 다양한 연구가 진행되어 왔다. 본원에서는 구조체 내부에 손실층을 도입함으로써 간단하게 구조색의 채도를 손쉽게 조절하는 방안을 제시한다. 이는 별도의 공정이 필요로 하지 않고, 간단하게 공명을 향상시킨다는 장점을 갖는다.

[0003] 또한 입사되는 빛의 편광 방향을 달리하여 이중 모드(dual mode)를 얻는 기존의 연구들과는 달리, 본원의 산란 억제 금속-하이브리드(metal-hybridized) 구조체는 반사, 산란 및 회절과 빛의 각도를 조절하여 여섯 가지의 서로 다른 모드를 하나의 픽셀에서 구현하는 다중모드가 가능하다. 이는 동일한 구조체에서 여섯 가지 이상의 색을 나타낼 수 있음을 암시하며, 이미지 암호화 및 스마트 디스플레이로의 응용을 가능하게 한다.

선행기술문헌

특허문헌

[0004] (특허문헌 0001) KR 2017-0031845 A

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0005] 본원은, 그레이팅 구조의 금속-유전체 하이브리드 구조체를 포함하고, 반사, 산란 및 회절에 따라 발현 색이 상이한, 다중 모드 반사형 컬러 픽셀을 제공하고자 한다.
- [0006] 그러나, 본원이 해결하고자 하는 과제는 이상에서 언급한 과제로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 과제들은 아래의 기재로부터 통상의 기술자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

- [0007] 본원의 제 1 측면은, 반사층; 상기 반사층 일부 상에 형성되는, 그레이팅 구조의 유전체 패턴; 및 상기 유전체 패턴 상에 형성된 금속층을 포함하는 금속-유전체 하이브리드 구조체를 포함하는, 다중 모드 반사형 컬러 픽셀을 제공한다.

발명의 효과

- [0008] 본원의 구현예들에 따른 다중 모드 반사형 컬러 픽셀은, 입사되는 빛에 대한 반사, 산란 및 회절로 인해 발현되는 색이 서로 상이한, 반사 모드, 산란 모드 및 회절 모드의 다중 모드를 구현할 수 있는 특징이 있다.
- [0009] 본원의 구현예들에 따른 다중 모드 반사형 컬러 픽셀은, 손실층을 추가 포함하는 것으로서, 손실층의 빛의 흡수로 인해 공명 파장에서의 반사가 감소되고, 이로 인해 높은 채도의 감법 반사색을 구현할 수 있다.
- [0010] 본원의 구현예들에 따른 다중 모드 반사형 컬러 픽셀은, 유전체 패턴의 주기, 폭, 또는 상기 둘 모두를 변화시켜 발현되는 색을 조절할 수 있는 특징이 있다.
- [0011] 본원의 구현예들에 따른 다중 모드 반사형 컬러 픽셀은, 대물렌즈의 개구수 (Numerical Aperture)에 따라 0차 혹은 전체 반사에 의한 서로 다른 색을 나타낸다.
- [0012] 본원의 구현예들에 따른 다중 모드 반사형 컬러 픽셀은, 공명 외 파장의 산란에 의해 서로 다른 산란색을 나타낸다.
- [0013] 본원의 구현예들에 따른 다중 모드 반사형 컬러 픽셀은, 빛의 회절에 의한 주기에 따라 다른 회절색을 나타낸다.
- [0014] 본원의 구현예들에 따른 다중 모드 반사형 컬러 픽셀은, 빛의 각도에 따른 이미지 암호화 및 스마트 디스플레이 등에 적용될 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0015] 도 1은, 본원의 일 구현예에 있어서, 금속-유전체 하이브리드 구조체의 모식도를 나타낸 것이다.
- 도 2는, 본원의 일 실시예에 있어서, 입사되는 빛의 편광이 유전체 패턴의 길이 방향에 대해 평행(S-편광)한 경우에서의 주기 500 nm, 폭 150 nm 내지 350 nm일 때의 계산으로 얻은 0차 반사 그래프(a); 및 실험적으로 얻은 주기 500 nm(b), 600 nm(c) 및 650 nm(d)에서의 0차 반사 그래프를 나타낸다.
- 도 3은, 본원의 일 실시예에 있어서, 입사되는 빛의 편광이 유전체 패턴의 길이 방향에 대해 평행(S-편광)한 경우에서의 주기 500 nm, 폭 150 nm 내지 350 nm일 때의 계산으로 얻은 전체 반사 그래프(a); 및 실험적으로 얻은 주기 500 nm (b), 600 nm(c) 및 650 nm(d)에서의 전체 반사 그래프를 나타낸다.
- 도 4는, 본원의 일 실시예에 있어서, 입사되는 빛의 편광이 유전체 패턴의 길이 방향에 대해 수직(P-편광)한 경우에서의 주기 500 nm, 폭 150 nm 내지 350 nm일 때의 계산으로 얻은 0차 반사 그래프(a); 및 실험적으로 얻은 주기 500 nm(b), 600 nm(c) 및 650 nm(d)에서의 0차 반사 그래프를 나타낸다.
- 도 5는, 본원의 일 실시예에 있어서, 입사되는 빛의 편광이 유전체 패턴의 길이 방향에 대해 수직(P-편광)한 경우에서의 주기 500 nm, 폭 150 nm 내지 350 nm일 때의 계산으로 얻은 전체 반사 그래프(a); 및 실험적으로 얻은 주기 500 nm(b), 600 nm(c) 및 650 nm(d)에서의 전체 반사 그래프를 나타낸다.
- 도 6은, 본원의 일 실시예에 있어서, 주기 500 nm일 때의 계산으로 얻은 산란 그래프(a); 및 암시야(Dark

field)에서 얻은 산란 이미지와 그래프(b)를 나타낸다.

도 7은, 본원의 일 실시예에 있어서, 폭 260 nm, 주기 각각 500 nm, 600 nm 및 650 nm에서의 계산된 회절 그래프(a); 및 실험적으로 측정된 회절 그래프(b)를 나타낸다.

도 8은, 본원의 일 실시예에 있어서, 하나의 다중 모드 반사형 컬러 픽셀에서 여러 모드로 관찰한 이미지를 나타낸다: 각각 P-편광 전체 반사(Mode 1), 회절(Mode 2) 및 S-편광 0차 반사(Mode 3).

도 9의 a는, 본원의 일 실시예에 있어서, 주기 400 nm, 폭 200 nm인 경우의 손실층이 없는 경우(위)와 있는 경우(아래)의 공명 파장과 공명이 아닌 파장에서의 흡수 단면도를 나타낸다.

도 9의 b는, 본원의 일 실시예에 있어서, 폭 70 nm 내지 320 nm인 경우의 손실층이 없는 경우(위)와 손실층이 있는 경우(아래)의 전체 반사를 나타낸 맵핑(mapping)이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0016] 이하, 첨부한 도면을 참조하여 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 본원의 구현예 및 실시예를 상세히 설명한다. 그러나 본원은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며 여기에서 설명하는 구현예 및 실시예에 한정되지 않는다. 그리고 도면에서 본 발명을 명확하게 설명하기 위해서 설명과 관계없는 부분은 생략하였으며, 명세서 전체를 통하여 유사한 부분에 대해서는 유사한 도면 부호를 붙였다.
- [0017] 본원 명세서 전체에서, 어떤 부분이 다른 부분과 "연결"되어 있다고 할 때, 이는 "직접적으로 연결"되어 있는 경우뿐 아니라, 그 중간에 다른 소자를 사이에 두고 "전기적으로 연결"되어 있는 경우도 포함한다.
- [0018] 본원 명세서 전체에서, 어떤 부재가 다른 부재 "상에" 위치하고 있다고 할 때, 이는 어떤 부재가 다른 부재에 접해 있는 경우뿐 아니라 두 부재 사이에 또 다른 부재가 존재하는 경우도 포함한다.
- [0019] 본원 명세서 전체에서, 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성 요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미한다.
- [0020] 본 명세서에서 사용되는 정도의 용어 "약", "실질적으로" 등은 언급된 의미에 고유한 제조 및 물질 허용오차가 제시될 때 그 수치에서 또는 그 수치에 근접한 의미로 사용되고, 본원의 이해를 돕기 위해 정확하거나 절대적인 수치가 언급된 개시 내용을 비양심적인 침해자가 부당하게 이용하는 것을 방지하기 위해 사용된다.
- [0021] 본원 명세서 전체에서 사용되는 정도의 용어 “~ 하는 단계” 또는 “~의 단계”는 “~를 위한 단계”를 의미하지 않는다.
- [0022] 본원 명세서 전체에서, 마쿠시 형식의 표현에 포함된 "이들의 조합(들)"의 용어는 마쿠시 형식의 표현에 기재된 구성 요소들로 이루어진 군에서 선택되는 하나 이상의 혼합 또는 조합을 의미하는 것으로서, 상기 구성 요소들로 이루어진 군에서 선택되는 하나 이상을 포함하는 것을 의미한다.
- [0023] 본원 명세서 전체에서, "A 및/또는 B"의 기재는, "A 또는 B, 또는 A 및 B"를 의미한다.
- [0025] 이하, 본원의 구현예를 상세히 설명하였으나, 본원이 이에 제한되지 않을 수 있다.
- [0027] 본원의 제 1 측면은, 반사층; 상기 반사층 일부 상에 형성되는, 그레이팅 구조의 유전체 패턴; 및 상기 유전체 패턴 상에 형성된 금속층을 포함하는 금속-유전체 하이브리드 구조체를 포함하는, 다중 모드 반사형 컬러 픽셀을 제공한다. 구체적으로, 상기 다중 모드 반사형 컬러 픽셀은 감법(subtractive) 반사형 컬러 픽셀이다.
- [0028] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 금속-유전체 하이브리드 구조체와 이격 위치되고, 상기 유전체 패턴의 길이 방향에 대해 평행(S-편광) 또는 수직(P-편광)하도록 배치되는 편광 필터를 추가 포함될 수 있다.
- [0029] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 다중 모드 반사형 컬러 픽셀은, 입사되는 빛에 대한 반사, 산란 및 회절로 인해 발현되는 색이 서로 상이한, 반사 모드, 산란 모드 및 회절 모드를 구현하는 것일 수 있다.
- [0030] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 유전체 패턴 및 상기 유전체 패턴이 형성되지 않은 반사층 상에 형성되는 손실층을 추가 포함하는 것일 수 있다.

- [0031] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 반사층은, Ag, Al 및 Au 중에서 선택되는 하나 이상을 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0032] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 유전체 패턴은, TiO_2 , Al_2O_3 , ZnO, CuO, Cu_2O , BaTiO_3 , SrTiO_3 , PbTiO_3 , SiO_2 , 폴리이미드, P3HT, PANI, PEDOT, PEDOT:PSS, 폴리스티렌, PTFE 및 폴리프로필렌 중에서 선택되는 하나 이상을 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0033] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 손실층은, Ge, Ti, Cr 및 W 중에서 선택되는 하나 이상을 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0034] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 금속층은, Ag, Al 및 Au 중에서 선택되는 하나 이상을 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0035] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 금속층에서 입사되는 빛이 미에 공명 또는 표면 플라즈몬 공명을 일으키는 것일 수 있다. 구체적으로, 상기 다중 모드 반사형 컬러 픽셀에서, 입사되는 빛의 공명 파장 범위에서 입사되는 빛의 편광 방향에 따라 미에 공명 또는 표면 플라즈몬 공명이 발생하고, 이에 의해 서로 다른 색상이 구현될 수 있다. 구체적으로, 상기 미에 공명은 상기 유전체 패턴의 길이 방향에 대해 입사되는 빛이 평행하게 입사되는 경우 발생할 수 있으며, 상기 표면 플라즈몬 공명은 상기 유전체 패턴의 길이 방향에 대해 입사되는 빛이 수직하게 입사되는 경우 발생할 수 있다.
- [0036] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 유전체 패턴의 폭은 50 nm 내지 700 nm인 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 구체적으로, 상기 유전체 패턴의 폭은 50 nm 내지 700 nm, 50 nm 내지 600 nm, 50 nm 내지 500 nm, 50 nm 내지 400 nm, 100 nm 내지 700 nm, 100 nm 내지 600 nm, 100 nm 내지 500 nm, 100 nm 내지 400 nm, 100 nm 내지 350 nm, 150 nm 내지 700 nm, 150 nm 내지 600 nm, 150 nm 내지 500 nm, 150 nm 내지 400 nm 또는 150 nm 내지 350 nm일 수 있다.
- [0037] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 유전체 패턴의 주기는 400 nm 내지 750 nm인 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 구체적으로, 상기 유전체 패턴의 주기는 400 nm 내지 750 nm, 450 nm 내지 750 nm, 500 nm 내지 750 nm, 400 nm 내지 700 nm, 450 nm 내지 700 nm, 500 nm 내지 700 nm 또는 500 nm 내지 650 nm일 수 있다.
- [0038] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 유전체 패턴의 높이는 500 nm 이하인 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 구체적으로, 상기 유전체 패턴의 높이는 500 nm 이하, 400 nm 이하, 300 nm 이하, 50 nm 내지 500 nm, 50 nm 내지 400 nm, 50 nm 내지 300 nm, 50 nm 내지 200 nm 또는 50 nm 내지 150 nm일 수 있다. 구체적으로, 상기 유전체 패턴의 높이를 조절하여 발현되는 색이 조절될 수 있으며, 상기 폭 및 주기와 함께 조절될 경우 보다 미세하게 조절될 수 있다.
- [0039] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 유전체 패턴의 길이 방향에 대해 입사되는 빛이 평행하게 입사되거나 수직으로 입사되는 것에 따라 반사되어 발현되는 색이 상이한 것일 수 있다.
- [0040] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 반사에서, 0차 반사 및 전체 반사됨에 따라 발현되는 색이 상이한 것일 수 있다. 구체적으로, 상기 반사 모드는 0차 반사, 전체 반사, 또는 상기 둘 모두를 포함하는 것일 수 있으며, 상기 전체 반사는 0차 반사 및 회절로 나타나는 파장을 포함하는 것일 수 있다.
- [0041] 구체적으로, 상기 유전체 패턴의 길이 방향에 대해 평행하게 입사되는 빛(S-편광)이 0차 반사되어 형성되는 반사모드에서, 상기 유전체 패턴의 폭이 증가할수록 공명 파장의 딥(dip)이 장파장으로 이동하여 발현되는 색이 변화될 수 있다. 또한, 상기 유전체 패턴의 길이 방향에 대해 평행하게 입사되는 빛(S-편광)이 0차 반사되어 형성되는 반사모드에서, 상기 유전체 패턴에서 폭이 클 때가 작을 때에 비해 상기 유전체 패턴의 주기에 따라 발현되는 색의 차이가 큰 것일 수 있다. 아울러, 상기 유전체 패턴의 길이 방향에 대해 평행하게 입사되는 빛이 0차 또는 전체 반사되어 형성되는 반사모드에서, 상기 유전체 패턴의 주기가 작을수록 발현되는 색의 채도가 높게 발현되는 것일 수 있다.
- [0042] 구체적으로, 상기 유전체 패턴의 길이 방향에 대해 수직으로 입사되는 빛(P-편광)이 0차 반사되어 형성되는 반사모드에서, 상기 금속층의 입사되는 빛의 표면 플라즈몬 공명으로 인해 주기가 증가할수록 장파장에서 공명이 나타나 주기에 따른 색상의 변화가 나타날 수 있다. 아울러, 상기 유전체 패턴의 길이 방향에 대해 수직으로 입사되는 빛(P-편광)이 전체 반사되어 형성되는 반사모드에서, 폭이 작아질수록 주기에 따른 영향을 크게 받아 발현되는 색상이 변화될 수 있다.

- [0043] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 유전체 패턴의 동일 주기에 대해 상기 유전체 패턴의 폭의 변화에 따라 산란되어 발현되는 색이 상이한 것일 수 있다. 구체적으로, 상기 산란모드에서, 상기 유전체 패턴의 폭이 증가할수록 장파장의 색이 발현되는 것일 수 있다.
- [0044] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 유전체 패턴의 동일 폭에 대해 상기 유전체 패턴의 주기의 변화에 따라 회절되어 발현되는 색이 상이한 것일 수 있다. 구체적으로, 상기 회절모드에서, 입사 각도가 같을 때, 상기 유전체 패턴의 주기가 증가할수록 장파장의 색이 발현되는 것일 수 있다.
- [0045] 본원의 일 구현예에 있어서, 다중 모드 반사형 컬러 픽셀은 상기 금속-유전체 하이브리드 구조체와 이격 위치되고, 대물 렌즈를 추가 포함할 수 있다. 구체적으로, 다중 모드 반사형 컬러 픽셀은 상기 대물 렌즈의 개구수(Numerical Aperture; NA)를 조절함으로써 빛이 입사하는 각도를 조절하여 발현되는 색상을 상이하게 조절할 수 있다. 보다 구체적으로, 예를 들어 0.15 NA 이하와 같이 개구수가 작으면 입사되는 빛의 각도가 작아지므로 0차 반사만 관찰될 수 있으며, 0.9 NA 이상과 같이 큰 개구수에서는 큰 각도의 빛이 입사될 수 있으므로 1차 회절 이상까지 관찰할 수 있으므로 전체 반사까지 확인할 수 있다.
- [0046] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 다중 모드 반사형 컬러 픽셀은, 입사되는 빛의 입사 각도에 따라 발현되는 색이 서로 상이한 것일 수 있다.
- [0047] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 유전체 패턴의 길이 방향에 대해 평행하게 입사되도록 하는 입력 편광자를 통과한 필드는 상기 유전체 내부에 위치하는 것일 수 있다. 구체적으로, 상기 유전체 패턴 길이 방향에 대해 평행하게 입사되는 빛의 전기장은 상기 유전체 패턴의 내부에 집중되는 미에 공명이 나타나게 되는 반면, 수직하게 입사되는 빛은 상기 금속층과 상기 유전체 패턴 사이에서 플라즈몬 공명이 나타나게 되어, 상기 유전체 패턴 길이 방향에 대해 입사되는 방향에 따라 서로 상이한 색상이 발현될 수 있다.
- [0048] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 반사형 컬러 픽셀은, 이미지 암호화, 스마트 디스플레이, 홀로그램, 정보 저장 또는 메타 표면 구현에 사용되는 것일 수 있다.

[실시예]

[0051] 실시예 : 그레이팅 패턴을 갖는 반사형 컬러 픽셀의 제조

[0052] 먼저 아세톤, 이소프로필 알코올(IPA) 및 증류수를 이용하여 세척된 Si 웨이퍼 기판을 기재로서 준비하였다. 이후 은(Ag)을 0.04 nm/s의 속도로 전자빔 증발에 의해 광학적으로 불투명한 두께로 상기 기재 위에 증착하여 반사층을 생성하였다. 상기 반사층 상에 약 500 nm 두께의 PMMA 레지스트 층을 스핀-코팅하였다. 미리 설계된 그레이팅 패턴을 형성하기 위해, 전자빔 리소그래피(e-beam lithography)로 패터닝하고 메틸이소부틸케톤(MIBK) : 이소프로필 알코올(IPA) = 1 : 1로 혼합한 용액으로 현상하였다. 또한, 상기 패터닝 된 공간에 TiO_2 를 0.04 nm/s의 속도로 약 100 nm의 두께로 증착하였으며, 아세톤을 이용하여 상기 PMMA 층을 리프트-오프(lift-off)하였다. 이후, 금속층(Ag)의 증착을 부드럽게 하고 표면을 매끄럽게 하기 위한 용도 및 손실층의 용도로 사용하기 위해 Ge를 0.02 nm/s의 속도로 약 1 nm 내외의 두께로 증착하였다. 마지막으로, 상기 Ge 손실층 상에 0.04 nm/s의 속도로 30 nm 내외의 Ag 층을 금속층으로 증착하여 반사형 컬러 픽셀을 제조하였다.

[0053] 상기 제조된 반사형 컬러 픽셀의 구조는 도 1과 같다. 상기 반사형 컬러 픽셀은 금속(Ag) 반사층 상에 TiO_2 의 그레이팅 패턴, Ge 손실층, 및 금속층(Ag)을 포함하고 있으며, 이러한 Ag- TiO_2 -Ag의 구조는 코어 쉘을 모방한 그레이팅 구조체이다. 여기서, TiO_2 그레이팅 패턴의 아래 너비를 폭이라고 정의하고, 그레이팅 간의 간격(각 1 회의 오목부 및 볼록부 포함)을 주기라고 정의한다. 후술할 바와 같이, 상기 그레이팅 구조체에서 나타나는 0차 반사, 산란, 및 1차 회절은 서로 다른 색을 나타내고, 빛의 각도에 따라 같은 모드 내에서도 서로 다른 색을 나타내었다.

[0055] 실험예 1: S-편광 입사 빛에서의 반사율 및 이에 따른 이미지 확인

[0056] FDTD 계산은 상용화되어있는 Lumerical solutions 소프트웨어로 수행하였다. 편광체를 이용하여 그레이팅 구조체의 패턴의 길이 방향과 평행 또는 수직인 방향의 평면파를 입사시키고, 전 방향으로의 반사 성분을 기록하였다. 계산 목적에 따라 입사되는 빛의 방향을 조절하거나 기록되는 빛의 방향을 변경하였다. 또한, 여러 회절 모

드의 계산은 FDTD 이외에도 MATLAB을 이용한 RCWA 계산을 통해 수행하였다.

[0057] 입사되는 빛의 편광이 그레이팅 패턴의 길이 방향과 평행할 때(S-편광)의 0차 반사율 그래프는 도 2과 같이 나타났으며, 구체적으로 주기 500 nm, 폭 150 nm 내지 350 nm일 때(1: 150 nm, 2: 175 nm, 3: 200 nm, 4: 225 nm, 5: 260 nm, 6: 280 nm, 7: 330 nm, 8: 350 nm)의 계산으로 얻어진 0차 반사율 그래프는 도 2의 a와 같으며, 폭을 동일하게 조절하되 주기 500 nm, 600 nm 및 650 nm에서의 실제 측정된 0차 반사율 그래프는 각각 도 2의 b 내지 도 2의 d와 같다. 계산을 통해 얻은 값에서 폭이 증가할수록 공명 파장의 딥(dip) 장파장으로 이동하고, 이로 인해 감법(subtractive) 반사가 나타나는 색상이 변화되는 것을 확인할 수 있다. 실제 측정 그래프에서는 주기 500 nm일 때 상기 계산에서 얻은 그래프와 유사한 경향이 나타났으며, 이로 인해 오렌지색부터 초록색까지의 이미지가 구현됨을 확인할 수 있다(도 2의 b). 또한, 주기가 증가할수록 회절이 나타나는 파장이 길어지므로, 장파장에서 공명 파장이 나타나는, 폭이 큰 범위에서 발현되는 색상의 차이가 보다 크게 나타남을 확인할 수 있다.

[0059] 입사되는 빛의 편광이 그레이팅 패턴의 길이 방향과 평행할 때(S-편광)의 전체 반사율 그래프는 도 3과 같이 나타났으며, 구체적으로 주기 500 nm, 폭 150 nm 내지 350 nm일 때(1: 150 nm, 2: 175 nm, 3: 200 nm, 4: 225 nm, 5: 260 nm, 6: 280 nm, 7: 330 nm, 8: 350 nm)의 계산으로 얻어진 전체 반사율 그래프는 도 3의 a와 같으며, 폭을 동일하게 조절하되 주기 500 nm, 600 nm 및 650 nm에서의 실제 측정된 전체 반사율 그래프는 각각 도 3의 b 내지 도 3의 d와 같다.

[0060] 전체 반사의 색은 폭이 작은 영역에서 분홍색이 나타났으며, 폭이 커질수록 파란색을 나타냈다. S-편광 입사 빛에서는 미에(Mie) 공명에 의한 색으로, 주기를 변화시켜도 폭이 일정하게 유지될 때는 발현되는 색감은 유사하였다. 이는 폭은 동일하고 주기가 증가한 도 3의 c와 d의 그래프 및 광학 이미지를 통해 확인할 수 있다. 또한, 주기가 작을수록 더 선명한 색으로 높은 채도가 나타났다. 실험 결과에서는 계산과는 달리 단파장에서 딥(dip)이 하나 더 나타나는데, 이는 입사되는 빛의 각도에 의한 것이다.

[0062] 실험예 2: P-편광 입사 빛에서의 반사율 및 이에 따른 이미지 확인

[0063] 입사되는 빛의 편광이 그레이팅 패턴의 길이 방향과 수직할 때(P-편광)의 0차 반사율 그래프는 도 4와 같이 나타났으며, 구체적으로 주기 500 nm, 폭 150 nm 내지 350 nm일 때(1: 150 nm, 2: 175 nm, 3: 200 nm, 4: 225 nm, 5: 260 nm, 6: 280 nm, 7: 330 nm, 8: 350 nm)의 계산으로 얻어진 0차 반사율 그래프는 도 4의 a와 같으며, 폭을 동일하게 조절하되 주기 500 nm, 600 nm 및 650 nm에서의 실제 측정된 0차 반사율 그래프는 각각 도 4의 b 내지 도 4의 d와 같다.

[0064] P-편광 입사 빛 하에서는 상기 금속층에서 플라즈모닉 특성에 의해 공명이 나타나기 때문에, 그레이팅 패턴의 주기에 따라 큰 색의 차이를 나타냈다. 구체적으로, 가장 작은 폭인 150 nm 폭을 갖는 경우 주기가 500 nm인 반사형 컬러 픽셀은 노란색, 주기가 600 nm인 반사형 컬러 픽셀은 분홍색 및 주기가 650 nm인 반사형 컬러 픽셀은 소라색을 나타냈다. 따라서, P-편광 입사 빛에서 0차 반사에서는 주기가 증가할수록 장파장에서 공명이 나타나 주기에 따른 색상의 변화가 나타남을 확인하였다.

[0066] 입사되는 빛의 편광이 그레이팅 패턴의 길이 방향과 수직할 때(P-편광)의 전체 반사율 그래프는 도 5와 같이 나타났으며, 구체적으로 주기 500 nm, 폭 150 nm 내지 350 nm일 때(1: 150 nm, 2: 175 nm, 3: 200 nm, 4: 225 nm, 5: 260 nm, 6: 280 nm, 7: 330 nm, 8: 350 nm)의 계산으로 얻어진 전체 반사율 그래프는 도 5의 a와 같으며, 폭을 동일하게 조절하되 주기 500 nm, 600 nm 및 650 nm에서의 실제 측정된 전체 반사율 그래프는 각각 도 5의 b 내지 도 5의 d와 같다. P-편광 입사 빛 하에서 0차 반사율을 측정하는 경우, 주기성에 영향을 받는 플라즈모닉 특성에 의해 주기에 따라 다양한 색을 나타낸다.

[0067] P-편광 입사 빛 하에서 전체 반사율을 측정하는 경우, 높은 개구수(Numerical Aperture)의 대물렌즈를 사용하기 때문에 측정되는 면적이 작아지고, 측정되는 그레이팅 패턴의 개수가 줄어든다. 이로 인해 전체 반사를 측정하는 경우는 주기성에 영향을 받는 플라즈모닉 특성 때문에 무한한 주기성을 고려한 계산 결과와 달리 반사의 세기 및 측정 크기(감도)가 낮아지는 것을 확인할 수 있다. 따라서, 먼저 P-편광 입사일 경우, S-편광 입사와 대비할 때 상이한 색상이 발현됨을 확인할 수 있다.

[0069] **실험예 3: 산란 측정 및 이에 따른 이미지 확인**

[0070] 주기 500 nm 및 폭 150 nm 내지 350 nm일 때(1: 150 nm, 2: 200 nm, 3: 250 nm, 4: 300 nm, 5: 350 nm)에서의 계산된 산란 그래프는 도 6의 a와 같이, 암시야(Dark field)에서 얻은 산란 이미지 및 산란 효율 그래프는 도 6의 b와 같이 나타났다. 폭이 커질수록 피크의 위치가 장파장으로 이동하며 초록색에서 붉은색으로의 색 변화를 나타냈다.

[0072] **실험예 4: 회절 측정 및 이에 따른 이미지 확인**

[0073] 폭 260 nm, 주기가 각각 500 nm, 600 nm 및 650 nm인 반사형 컬러 픽셀에서의 계산된 회절 그래프는 도 7의 a와 같으며, 실제 측정된 회절 그래프는 도 7의 b와 같이 나타났다. 같은 각도로 빛이 입사되는 경우 주기가 커질수록 회절이 나타나는 파장이 증가하여, 같은 각도에서 측정하였을 때 주기가 커질수록 파란색(500 nm), 초록색(600 nm) 및 빨간색(650 nm)의 회절 색을 나타냈다.

[0075] **실험예 5: 하나의 픽셀에서 여러 모드로 관찰**

[0076] 하나의 반사형 컬러 픽셀에서 여러 모드로 관찰한 이미지를 나타내면 도 8과 같다. 구체적으로, 하나의 반사형 컬러 픽셀에서 모드에 따라 1, 2, 3의 서로 다른 이미지를 보여주는데, 각각 P-편광 전체 반사(모드 1), 회절(모드 2) 및 S-편광 0차 반사(모드 3)에서 얻어진 이미지로서, 이는 세 가지 모드를 구현할 수 있으며, 이외에도 더 많은 조합을 이용한 다중모드 이미지로서의 가능성을 보여준다.

[0078] 종합하면, 상기 산란을 억제하는 금속-하이브리드 (Metal-hybridized) 그레이팅 구조체는 반사, 산란 및 회절과 빛의 각도에 의한 다중 모드 구조색을 나타낼 수 있다. 이는 동일한 구조체로부터 여러 가지의 서로 다른 색을 구현할 수 있다는 점에서 큰 의미를 갖는다.

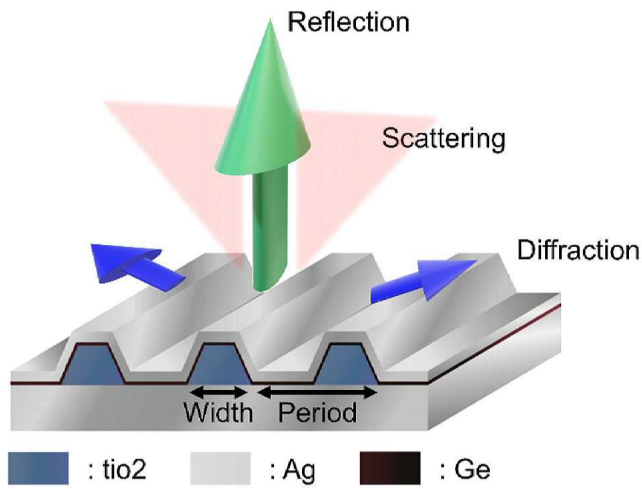
[0079] 한편, 상기 실시예는 손실층이 형성된 다중 모드 반사형 컬러 픽셀에서 실험을 진행하였다. 손실층이 있는 경우, 없는 경우에 비해 더 많은 흡수가 나타나고 이로 인해 감법 반사의 딥(dip)이 강해진다. 구체적으로, 도 9에서 주기 400 nm, 폭 200 nm인 경우의 손실층이 없는 경우(위)와 손실층이 있는 경우(아래)의 흡수 단면도(도 9의 a)를 살펴보면, 공명 파장에서의 흡수는 손실층이 없는 경우에 유전체 패턴(TiO₂)을 둘러싸고 있는 금속층(Ag)에서, 손실층이 있는 경우에 유전체 패턴(TiO₂)과 금속층(Ag) 사이에 위치하는 Ge 손실층에서 강하게 나타난다. 이를 기반으로 주기 400 nm, 폭 70 내지 320 nm인 경우의 전체 반사를 나타낸 맵핑(mapping)인 도 9의 b를 살펴보면, 손실층이 도입된 경우 손실층에서의 강한 흡수로 인해 보다 높은 채도를 구현할 수 있으며, 손실층이 없더라도 유사한 색상의 구현할 수 있음을 확인할 수 있다.

[0081] 전술한 본원의 설명은 예시를 위한 것이며, 본원이 속하는 기술분야의 통상의 지식을 가진 자는 본원의 기술적 사상이나 필수적인 특징을 변경하지 않고서 다른 구체적인 형태로 쉽게 변형이 가능하다는 것을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로 이상에서 기술한 실시예들은 모든 면에서 예시적인 것이며 한정적이 아닌 것으로 이해해야만 한다. 예를 들어, 단일형으로 설명되어 있는 각 구성 요소는 분산되어 실시될 수도 있으며, 마찬가지로 분산된 것으로 설명되어 있는 구성 요소들도 결합된 형태로 실시될 수도 있다.

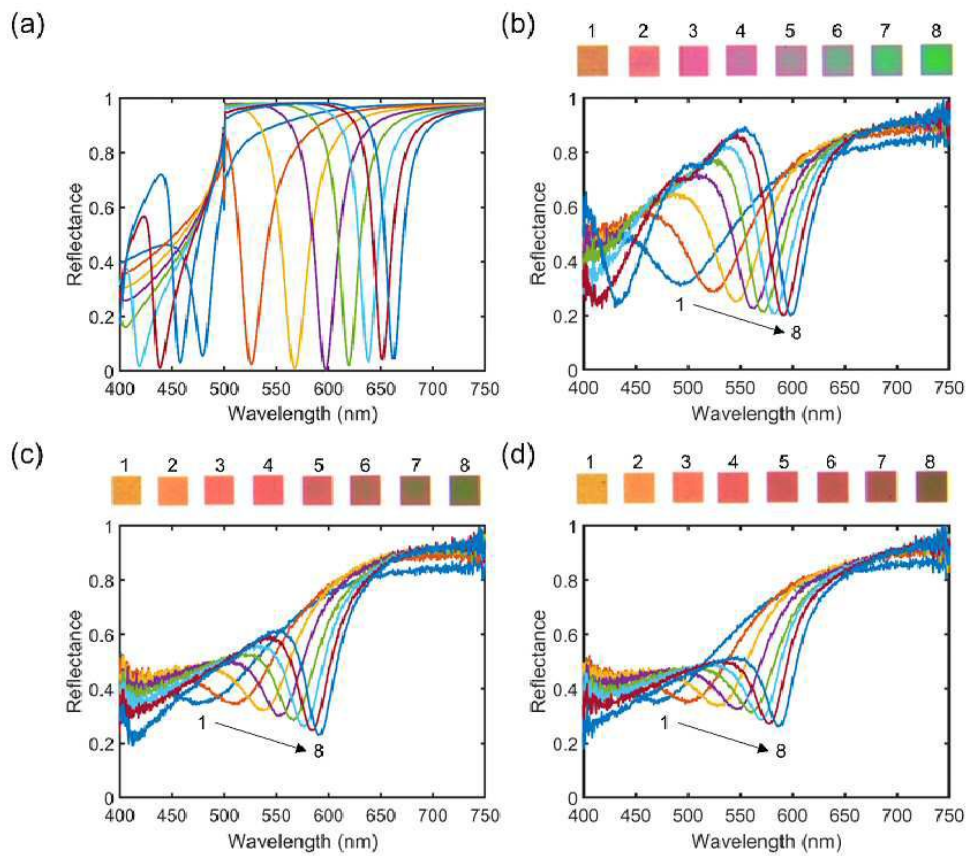
[0082] 본원의 범위는 상기 상세한 설명보다는 후술하는 특허청구범위에 의하여 나타내어지며, 특허청구범위의 의미 및 범위, 그리고 그 균등 개념으로부터 도출되는 모든 변경 또는 변형된 형태가 본원의 범위에 포함되는 것으로 해석되어야 한다.

도면

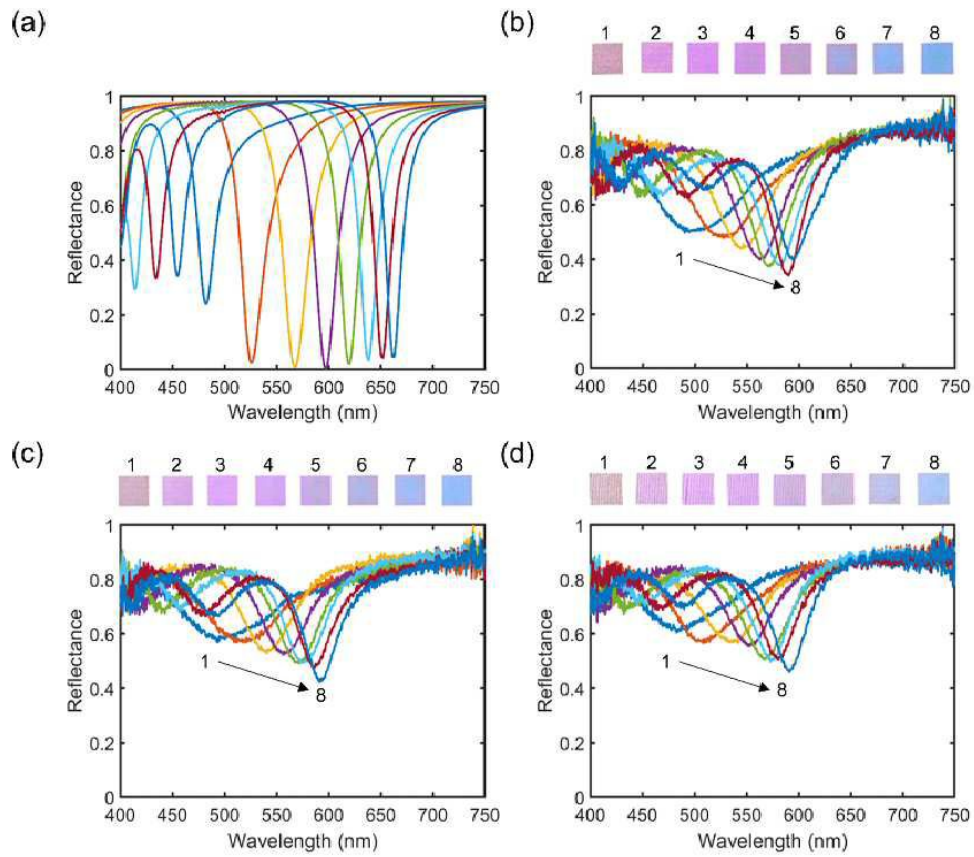
도면1



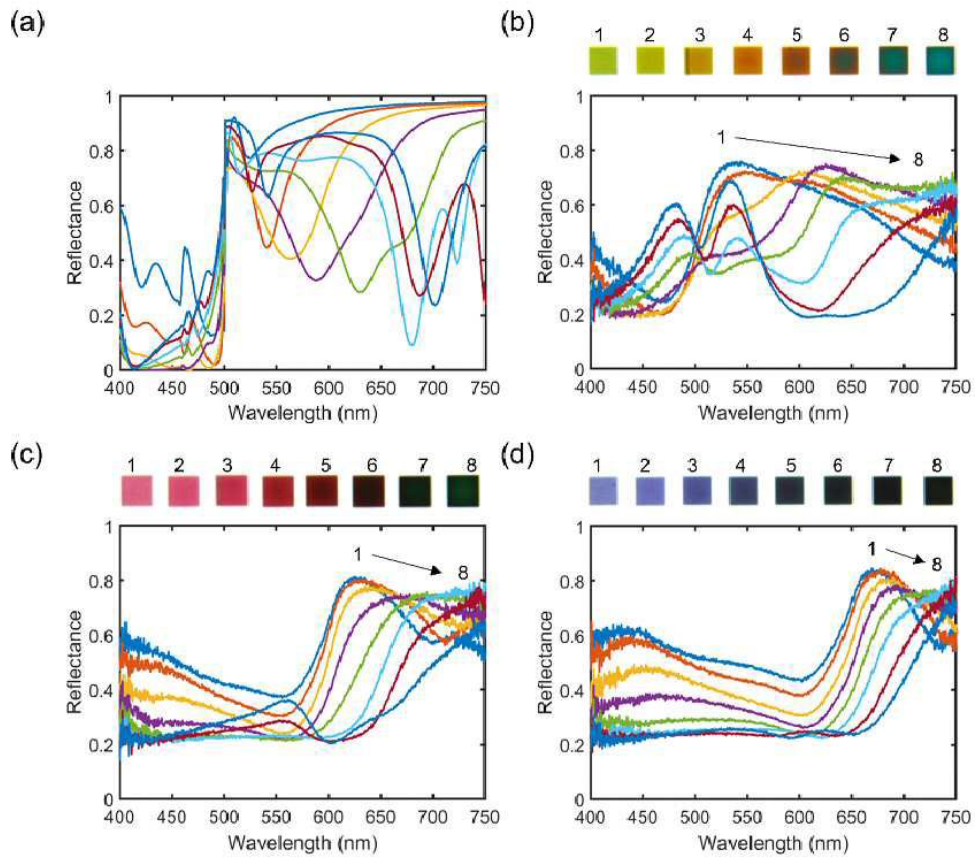
도면2



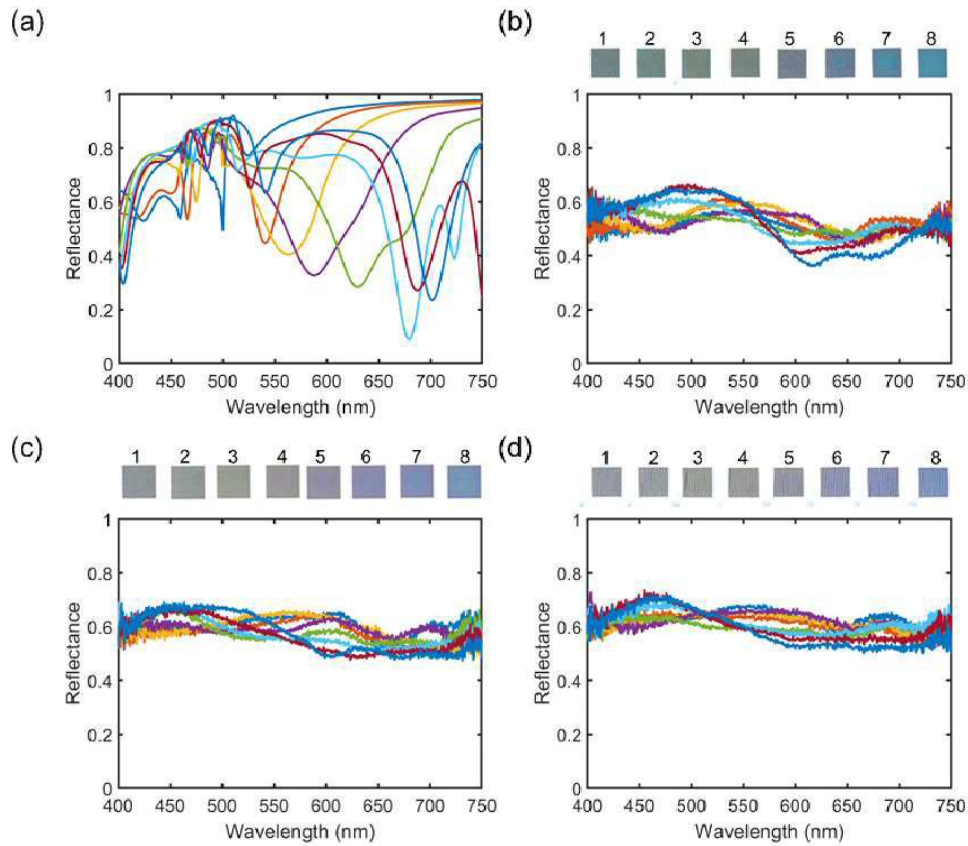
도면3



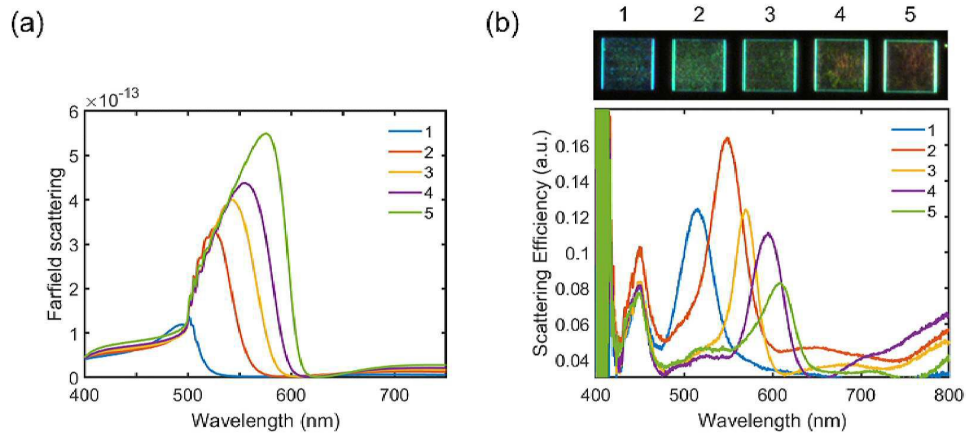
도면4



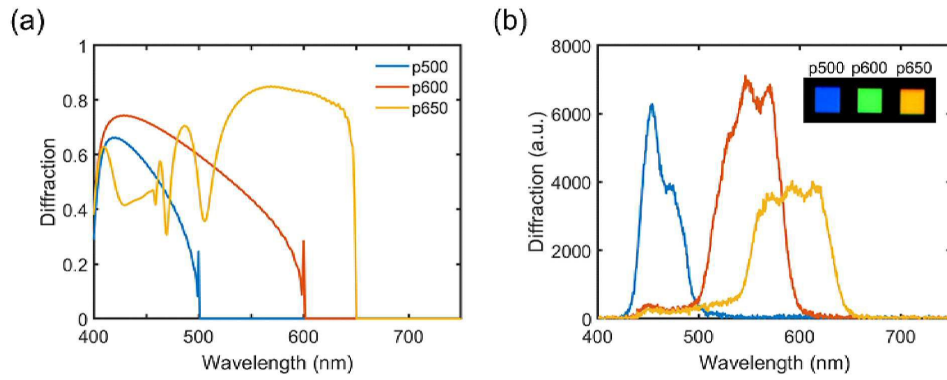
도면5



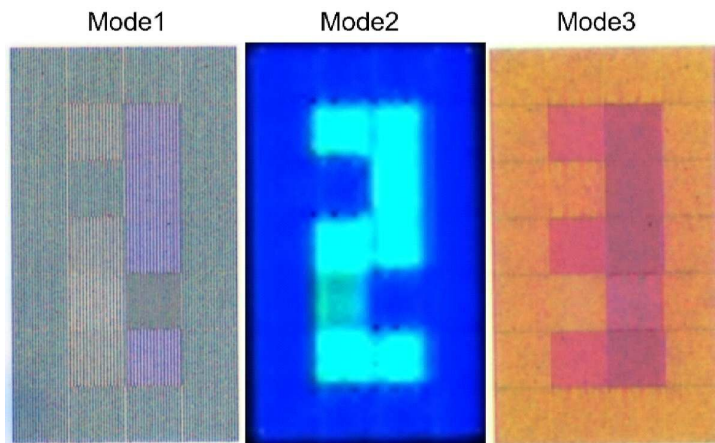
도면6



도면7



도면8



도면9

