(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2022-0020744
(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 10-2020-0162425
(22) 출원일자 2020년11월27일
심사청구일자 없음
(30) 우선권주장
1020200101269 2020년08월12일 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**

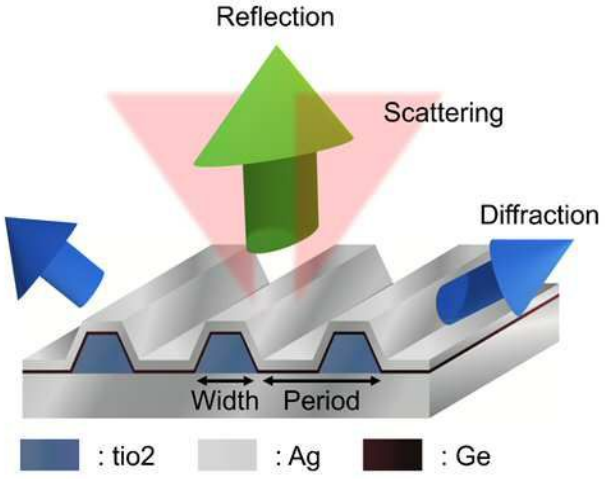
전체 청구항 수 : 총 13 항

(54) 발명의 명칭 **이미지 암호화를 위한 삼중 모드 반사형 컬러 필터**

## (57) 요 약

본원은, 미에(Mie) 산란을 억제하는 구조체에서의 손실 도입으로 인한 채도 향상 및 빛의 특성을 이용한 이중 및 삼중 구조색에 관련한 것이다.

*대 표 도* - 도1



이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1711114474
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 2020.03.01 ~ 2021.02.28
이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1711113462
과제번호 2019R1C1C1002802
부처명 과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명 한국연구재단
연구사업명 개인기초연구(과기정통부)(R&D)
연구과제명 무질서한 다분산성 입자기반의 고채도 비색계 스위치 개발
기 여 율 4/10
과제수행기관명 이화여자대학교 산학협력단
연구기간 2020.03.01 ~ 2021.02.28
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 1711121231
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 2020.08.31 ~ 2020.12.31

# 명 세 서

## 청구범위

### 청구항 1

미에(Mie) 산란 억제 그레이팅 구조체에서의 빛의 방향에 따라 도출되는,

반사형 컬러 픽셀.

### 청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 구조체는 Ag, $TiO_2$, Ge으로 이루어진, 반사형 컬러 픽셀.

### 청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 그레이팅은 1 차원 금속과 유전체로 이루어진 그레이팅인 것인, 반사형 컬러 픽셀.

### 청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 그레이팅 폭과 높이는 상기 픽셀에 의해 구현되는 색상 광의 파장에 상응하는 것인, 반사형 컬러 픽셀.

### 청구항 5

제 4 항에 있어서,

상기 그레이팅의 폭은 70 nm 내지 300 nm인 것이고, 높이는 100 nm 이하인, 반사형 컬러 픽셀.

### 청구항 6

제 1 항에 있어서,

상기 그레이팅에 대하여 평행한 방향으로 입사되는 입력 편광자에 대하여 손실층이 삽입됨으로써 채도가 향상될 수 있는 색상 광을 반사시키는 것인, 반사형 컬러 픽셀.

### 청구항 7

제 6 항에 있어서,

상기 픽셀에서 상기 그레이팅에 대하여 정의된 상기 입력 편광자를 통과한 필드는 상기 유전체 내부에 위치하는 것인, 반사형 컬러 픽셀.

### 청구항 8

제 1 항에 있어서,

상기 픽셀에서 입사되는 빛에 대한 반사 및 산란의 색이 다르게 구현될 수 있는 것인, 반사형 컬러 픽셀.

**청구항 9**

제 1 항에 있어서,

상기 픽셀에서 주기를 고정하였을 때의 회절 모드에 따른 색이 다르게 구현될 수 있는 것인, 반사형 컬러 픽셀.

**청구항 10**

제 8 항 및 제 9 항에 있어서,

상기 픽셀에서 반사, 산란 및 회절에 의해 세 가지 색을 나타낼 수 있는 것인, 반사형 컬러 픽셀.

**청구항 11**

제 10 항에 있어서,

상기 픽셀에서 세 가지 색을 나타내는 데에 있어, 반사, 산란 및 회절에 국한되는 것은 아닌, 반사형 컬러 픽셀.

**청구항 12**

제 1 항 내지 제 11 항 중 어느 한 항에 따른 반사형 컬러 픽셀을 포함하는, 반사형 컬러 필터.

**청구항 13**

제 12 항에 있어서,

상기 필터는 이중 및 삼중 구조색을 이용한 이미지 암호화, 스마트 디스플레이 등에 이용될 수 있는 것인, 반사형 컬러 필터.

## *발명의 설명*

### *기 술 분 야*

[0001] 본원은, 미에(Mie) 산란을 억제하는 구조체에서의 손실 도입으로 인한 채도 향상 및 빛의 특성을 이용한 삼중 모드 이미지 암호화에 관련한 것이다.

### *배 경 기 술*

[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. 본 연구에서는 구조체 내부에 간단하게 손실층을 도입함으로써 구조색의 채도를 손쉽게 조절하는 방안을 제시한다. 이는 별도의 공정이 필요로 하지 않고, 간단하게 공명을 향상시킨다는 장점을 갖는다. 또한 입사되는 빛의 편광 방향을 달리하여 이중 모드(dual mode)를 얻는 기존의 연구들과는 달리, 본 미에(Mie) 산란 억제 구조체는 빛의 반사, 산란 및 회절을 이용한 삼중 모드가 가능하다. 즉, 구조체 본연의 공명으로 인해 나타나는 색과 산란 및 회절로 인한 색의 삼중성을 통해서 변색이 가능하게 한다. 이는 동일한 구조체에서 세 가지 이상의 색을 나타낼 수 있음을 암시하며, 이미지 암호화 및 스마트 디스플레이로의 응용을 가능하게 한다.

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

[0003] 본원은, 미에(Mie) 산란을 억제하는 그레이팅으로 이루어진 반사형 컬러 필터를 제공하고자 한다.

[0004] 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

[0005] 본원의 일 측면은, 미에(Mie) 산란을 억제하는 그레이팅으로 이루어진 감법(subtractive) 반사형 컬러 픽셀을 제공한다.

### 발명의 효과

[0006] 본원의 구현예들에 따르면, 미에(Mie) 산란 억제 그레이팅으로 인한 구조색의 채도는 손실층의 도입으로 쉽게 조절될 수 있다.

[0007] 본원의 구현예들에 따르면, 미에(Mie) 산란 억제 그레이팅의 폭을 조절하면 구조색이 조정될 수 있다.

[0008] 본원의 구현예들에 따르면, 미에(Mie) 산란 억제 그레이팅은 빛의 각도에 따라 서로 다른 구조색을 나타낸다.

[0009] 본원의 구현예들에 따르면, 미에(Mie) 산란 억제 그레이팅은 입사광의 편광에 따라 서로 다른 구조색을 나타낼 수 있다.

[0010] 본원의 구현예들에 따르면, 미에(Mie) 산란 억제 그레이팅은 본연의 공명으로 인한 채도 높은 반사색을 나타내고, 이와 다른 원거리장 산란색을 나타낸다.

[0011] 본원의 구현예들에 따르면, 미에(Mie) 산란 억제 그레이팅은 빛의 회절에 의해서 서로 다른 0차 및 1차 회절색을 나타낸다.

[0012] 본원의 구현예들에 따르면, 미에(Mie) 산란 억제 그레이팅은 반사, 산란 및 회절에 의한 삼중 구조색을 구현할 수 있다.

[0013] 본원의 구현예들에 따르면, 미에(Mie) 산란 억제 그레이팅은 빛의 각도에 따른 이미지 암호화 및 스마트 디스플레이 등에 적용될 수 있다.

### 도면의 간단한 설명

[0014] 도 1은, 본원의 일 구현예에 있어서, 미에(Mie) 산란 억제 그레이팅의 모식도를 나타낸 것으로서, 손실층이 삽입된 그레이팅 구조체에서 반사, 산란 및 회절에 따른 세 가지 서로 다른 색이 구현되는 것을 나타낸 것이다.

도 2는, 본원의 일 실시예에 있어서, 계산으로 얻어진 근거리장 및 원거리장의 반사(a, c)와 산란(b, d)을 나타낸 것으로서, 도 2a 및 도 2b는, 각각 원거리장 반사 및 산란의 관찰 각도에 따른 반사맵을 나타낸 것이고, 도 2c 및 도 2d는, 각각 근거리장의 반사 그래프 및 산란 그래프와 해당 색을 나타낸다.

도 3은, 실험적으로 얻어진 (a) 반사 및 (b) 산란 이미지와 그래프를 나타내며, 반사는 명시야에서 수득되었고, 산란은 암시야에서 수득되었다.

도 4a 및 도 4b는, 본원의 일 실시예에 있어서, 주기가 500 nm일 때, 계산으로 얻은 각각의 0차 회절 및 1차 회절의 그레이팅 폭과 파장에 대한 맵을 나타낸 것이며, 도 4c는, 폭 70 nm, 170 nm 및 270 nm에서의 0차 회절 그래프와 1차 회절 그래프 및 이때 나타나는 색을 표현했다.

도 5는, 본원의 일 실시예에 있어서, (a, c) 손실층이 없는 경우, 및 (b, d) 손실층을 삽입한 경우에 관하여, 도 5a 및 도 5b는, 각각 계산으로 얻어진 폭과 파장에 대한 반사 맵이며, 도 5c 및 도 5d는, 각각 측정으로 얻은 반사 그래프 및 광학 이미지이다.

도 6은, 본원의 일 실시예에 있어서, 입사 각도를 달리하며 계산으로 얻은 그레이팅의 폭과 파장에 대한 반사 맵으로서, 각각의 입사 각도는 (a) 0도, (b) 17도, 및 (c) 33도이다.

도 7은, 본원의 일 실시예에 있어서, (a) 손실층이 없는 경우, 및 (b) 손실층을 삽입한 경우 공명이 아닌 파장

(좌측), 공명 파장(가운데) 및 산란이 억제된 파장(우측)에서의 각각의 계산된 전기장의 분포 모습이다.

도 8은, 본원의 일 실시예에 있어서, (a - c) 손실층이 없는 경우, 및 (d - f) 손실층을 삽입한 경우의 흡수 분포를 나타낸 것으로서, 도 8a 및 도 8d는, 각 구조에 대한 모식도이고, 도 8b 및 도 8e는 공명이 파장에서, 도 8c 및 도 8f는, 각각 공명이 아닌 파장에서의 흡수이다.

## *발명을 실시하기 위한 구체적인 내용*

[0015] 본원에서는 금속 기판 위에서의 유전체 및 금속을 포함하는, 그레이팅 구조의 감법(subtractive) 반사형 컬러 픽셀을 제공한다.

[0016] 본원의 일 구현예에 있어서, 입사되는 빛은 그레이팅에 평행한 편광자를 통과하지만, 이에 제한되는 것은 아니다.

[0017] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 미에(Mie) 산란 억제 그레이팅은 Ag-$TiO_2$-Ag 구조체이지만, 이에 제한되는 것은 아니다.

[0018] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 미에(Mie) 산란 억제 그레이팅의 폭은 약 70 nm 내지 300 nm인 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.

[0019] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 미에(Mie) 산란 억제 그레이팅의 색은 그레이팅의 폭 및 높이를 조절함으로써 미세하게 조정될 수 있다.

[0020] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 미에(Mie) 산란 억제 그레이팅은 손실층을 삽입하면 그렇지 않은 경우보다 향상된 채도를 나타낸다.

[0021] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 미에(Mie) 산란 억제 그레이팅은 서로 다른 반사 및 산란 색을 나타낸다.

[0022] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 미에(Mie) 산란 억제 그레이팅은 빛의 회절에 따라 다른 색을 나타낸다.

[0023] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 미에(Mie) 산란 억제 그레이팅은 반사, 산란 및 회절에 의한 삼중 모드 구조색을 나타낸다.

[0025] **[실시예]**

[0026] **<샘플 제조>**

[0027] 아세톤, IPA 및 증류수에 세척된 Si 웨이퍼 기판을 기재로서 사용하였다.

[0028] 상기 Ag은 0.04 nm/s의 속도로 전자빔 증발에 의해 광학적으로 불투명한 두께로 상기 기재 위에 증착되어 반사층을 생성하였다. 이 상단에 ~500 nm의 PMMA 레지스트 층을 스핀-코팅하였다. 구상된 그레이팅 패턴들을 전자빔 리소그래피(e-beam lithography)로 패터닝하고, MIBK : IPA = 1 : 1 용액으로 현상하였다. 이 위에 상기 $TiO_2$는 0.06 nm/s의 속도로 ~100 nm-두께가 증착되었다. 이후 아세톤을 이용하여 상기 PMMA 층을 리프트-오프(lift-off)하고, Ge은 손실층 또는 상기 Ag의 증착을 부드럽게 해주는 용도로 사용될 때, 0.02 nm/s의 속도로 ~1 nm 내외의 두께가 증착되었다. 30 nm 내외의 Ag 층이 상기와 같은 속도로 증착되었다.

[0029] 도 1은, 금속 기판 위의 $TiO_2$, Ge, 그리고 Ag로 이루어진 그레이팅의 모식도를 나타낸다. Ag- $TiO_2$-Ag의 코어 쉘을 모방한 그레이팅 구조체에서 Ge은 손실층 및 위 Ag의 표면을 부드럽게 해주는 용도로 사용되었다. $TiO_2$의 아래 너비를 폭이라고 정의하고, 그레이팅간의 간격을 주기라고 정의한다. 이때, 상기 그레이팅에서 나타나는 0차 반사, 산란, 및 1차 회절은 서로 다른 색을 나타냄을 나타내었다.

[0030] **<계산 및 실험>**

[0031] 상용화되어있는 Lumerical solutions 소프트웨어로 FDTD 계산을 수행하였다. 그레이팅과 평행한 방향의 평면파를 입사시키고, 전 방향으로의 반사 성분을 기록하였다. 계산 목적에 따라 입사되는 빛의 방향을 조절하거나 기록되는 빛의 방향을 변경하였다.

[0032] MATLAB을 이용한 RCWA 계산을 통해 여러 회절 모드에 대한 계산을 수행하였다.

[0033] 도 2a와 도 2b는 입사되는 빛이 0도일 때, 관찰하는 각도와 파장에 대해 계산된 반사와 산란의 원거리장을 나타낸 것이다. 도 2a에서 보는 것처럼, 공명 파장인 500 nm 부근에서는 전기장이 거의 0인 것을 확인할 수 있다. 이 경우 공명 파장보다 짧은 파장에서 전기장의 분포가 최대로 나타나고, 공명 파장보다 긴 파장에서도 전기장의 집속이 관찰된다. 반면, 원거리장 산란(도 2b)의 경우 공명 파장보다는 약간 짧은 파장에서 전기장의 분포가 최대로 나타난다. 이보다 긴 파장에서는 전기장의 분포가 0으로 나타난다. 이 때, 관찰되는 각도가 0도에서의 근접장 반사(도 2c) 및 산란(도 2d)를 살펴보면, 공명 파장에서의 반사는 본 공명으로 인한 골짜기(dip) 형태를 나타내고, 산란은 이보다 약간 짧은 파장에서 피크(peak) 형태를 나타낸다. 이로 인해 반사 및 산란은 서로 다른 색을 띤다. 이는 미에(Mie) 산란 억제 구조의 이미징 듀얼 모드로서의 적용 가능성을 제시한다.

[0034] 도 3a와 도 3b에서는, 주기가 500 nm일 때의 실험적으로 측정한 반사와 산란의 이미지 및 그래프를 나타낸다. 반사는 명시야 현미경으로, 산란은 암시야 현미경으로 각각 측정되었다. 계산으로 예측된 바와 같이, 반사에서는 공명 파장에서 골짜기(dip) 형태를, 산란에서는 피크(peak) 형태를 나타낸다. 각 픽셀의 너비가 넓어질수록, 공명 파장은 장파장으로 이동하는 것을 확인할 수 있다. 이때, 반사 그래프에서의 골짜기의 깊이 및 폭은 삽입된 손실층의 두께를 조절함으로써 조절될 수 있다. 각 측정 모두 5x 배율의 대물렌즈를 사용하였다.

[0035] 도 4에서는, 미에(Mie) 산란 억제 구조체의 회절 모드에 따른 반사색을 계산한 맵핑을 나타낸다. 회절 차수는 구조체의 주기에 따라 달라지게 되는데, 이 경우 주기를 고정시킨 상태에서의 회절을 계산하였다. 500 nm의 주기를 사용한 경우의 0차 모드(도 4a)와 1차 모드(도 4b) 회절은 아주 다른 경향을 나타낸다. 0차 모드의 경우 구조체 본연의 공명으로 인한 감법(subtractive) 반사가 나타나는 반면, 1차 모드의 경우 500 nm 이하에서의 회절만을 나타내게 된다. 더 자세히 알아보기 위해 폭이 각 70 nm, 170 nm 및 270 nm일 때의 0차 및 1차 회절 그래프와 해당 색을 나타냈다(도 4c). 이를 통해 서로 다른 0차 모드의 회절 색에서 유사한 색의 1차 모드 회절색으로 변하는 것을 확인할 수 있다. 이는 미에(Mie) 산란 억제 구조체의 회절을 이용한 이미징 암호화의 가능성을 보여준다.

[0036] 도 5a와 도 5b는, 계산을 통해 얻어진 그레이팅의 폭과 주기에 따른 반사맵이다. 도 5a는 손실층이 없는 구조이고, 도 5b는 손실층이 삽입되었을 때이다. 그레이팅의 폭이 넓어질수록 감법(subtractive) 반사에서 공명 골짜기(resonance dip)가 나타나는 파장이 장파장으로 이동한다. 여기서 간단하게 손실층을 삽입하면 감법 반사의 공명 골짜기(resonance dip)가 0까지 도달하여 깊어진다. 도 5c와 도 5d는, 손실층이 없을 때와 있을 때의 제작된 구조체를 실험적으로 측정하였을 때 얻어진 반사 그래프 및 광학 이미지를 나타낸 것이다. 두 반사 그래프에서 나타나듯이, 실험적으로 손실층이 도입되면 공명이 없는 파장과 공명이 생기는 파장에서의 세기 차이가 더 커지고, 공명 골짜기의 폭이 좁아지는 것을 확인할 수 있다. 이는 계산으로 예측한 바와 유사한 결과를 나타낸다. 이는 구조색의 채도 및 밝기를 향상시켜서 도 5c와 도 5d의 광학 현미경 이미지에 나타난 것과 같이 손실층이 있을 때 더 선명하고 밝은 색을 얻을 수 있다.

[0037] 도 6은, 빛이 그레이팅과 평행하게 조사될 때, 입사되는 빛의 각도를 조절하며 얻은 그레이팅의 폭과 파장에 대한 반사 맵이다. 도 6a, 도 6b, 및 도 6c의 입사 각도는 각각 0도, 17도, 33도이다. 입사되는 빛에 각도가 생기면, 기존에 존재하던 공명들 사이에 본 공명과는 다른 반응이 나타난다. 이로 인해 도 5c와 도 5d의 실험 그래프처럼 단파장에서 본 공명과는 다른 반사 계곡이 나타난다.

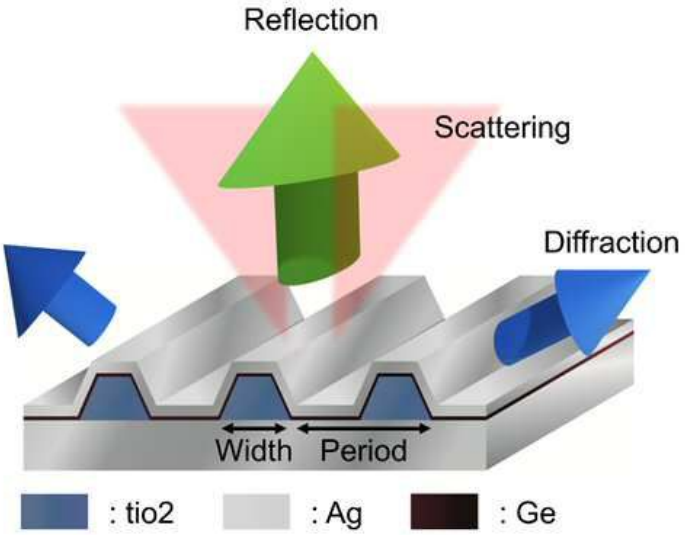
[0038] 도 7a와 도 7b는, 각각 손실층이 없을 때와 있을 때, 그레이팅 단면의 계산된 전기장 분포를 나타낸 것이다. 공명이 없는 파장(좌측) 및 공명이 있는 파장(가운데)에서는 구조체에 의해 산란된 전기장의 분포가 나타나게 된다. 반면, 산란이 억제된 파장(우측)에서는 마치 구조체가 없이 반사층만 존재할 때와 유사한 전기장의 분포가 나타나는 것을 확인할 수 있다.

[0039] 그레이팅 단면에서의 계산된 흡수 분포가 도 8에 나와있다. 도 8a 내지 도 8c는 손실층이 없을 때, 도 8d 내지 도 8f는 손실층이 있을 때의 흡수 분포를 나타낸다. 각 구조체는 도 8a, 및 도 8d에 간단하게 설명되어 있다. 도 8b와 도 8e는, 공명 파장에서의, 도 8c와 도 8f는 공명이 아닌 파장에서의 흡수 단면이다. 손실층이 있을 때는 공명 파장에서 구조체 내부에 포집된 전기장을 손실층이 흡수하여 해당 손실층 부분의 흡수가 매우 높이 증가해 있음을 확인할 수 있다. 이로 인해 손실층이 있을 때의 반사 계곡은 손실층이 없을 때의 것과 비교해보았을 때 훨씬 깊어지고 이로 인해 채도가 높아진다.

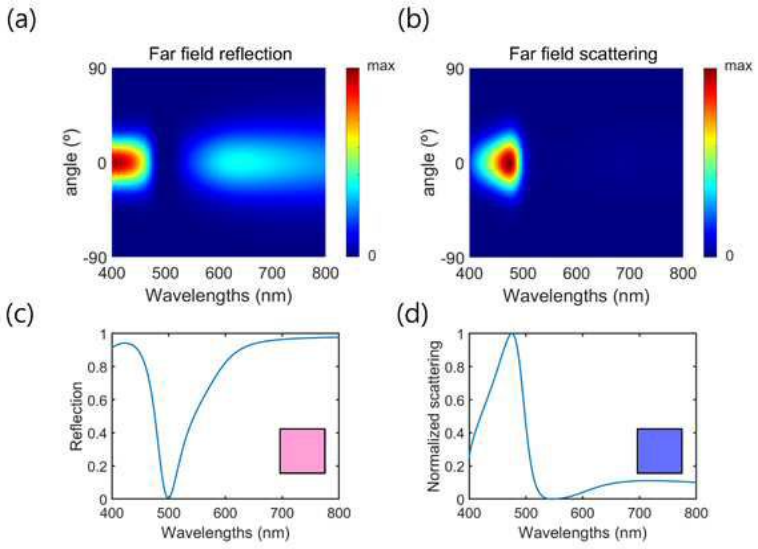
[0040] 도 2, 도 3, 및 도 4에서 확인할 수 있듯이, 본 미에(Mie) 산란 억제 구조체는 반사, 산란 및 회절의 삼중 모드 구조색을 나타낼 수 있다. 이는 동일한 구조체로부터 세 가지의 서로 다른 색을 구현할 수 있다는 점에서 큰 의미를 갖는다.

도면

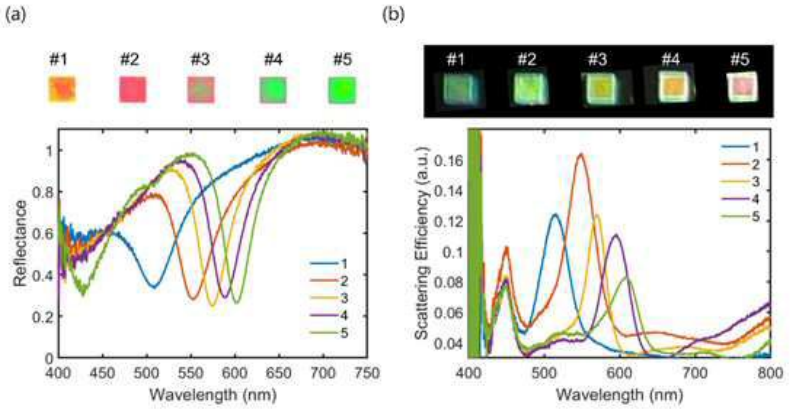
도면1


Reflection
Scattering
Diffraction
Width
Period
: tio2
: Ag
: Ge

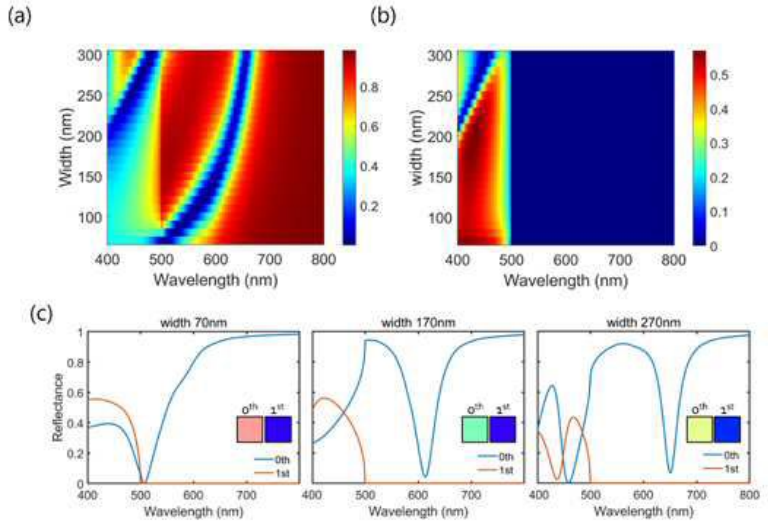
도면2


(a)
Far field reflection
(b)
Far field scattering
angle (°)
Wavelengths (nm)
max
(c)
Reflection
(d)
Normalized scattering

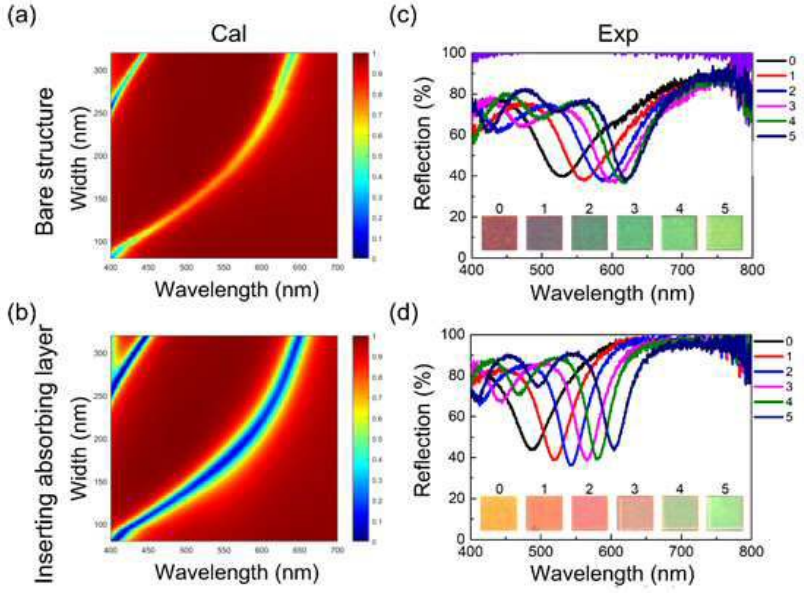
도면3


(a)
(b)
#1
#2
#3
#4
#5
Reflectance
Wavelength (nm)
Scattering Efficiency (a.u.)
Wavelength (nm)

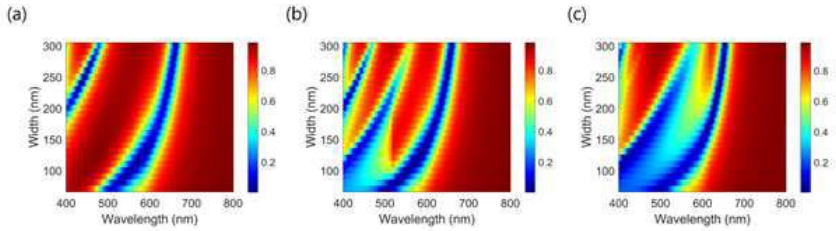
도면4


(a)
(b)
(c)
Width (nm)
width (nm)
Wavelength (nm)
width 70nm
width 170nm
width 270nm
Reflectance
0th
1st

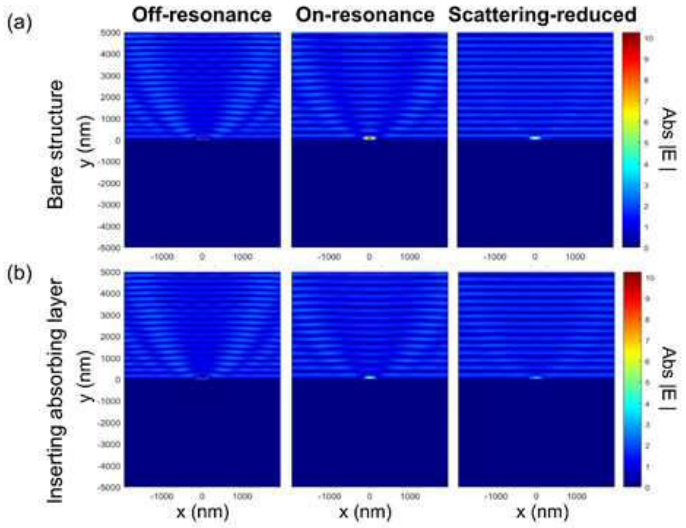
도면5


(a)
Cal
(c)
Exp
Bare structure
Width (nm)
Wavelength (nm)
Reflection (%)
(b)
(d)
Inserting absorbing layer

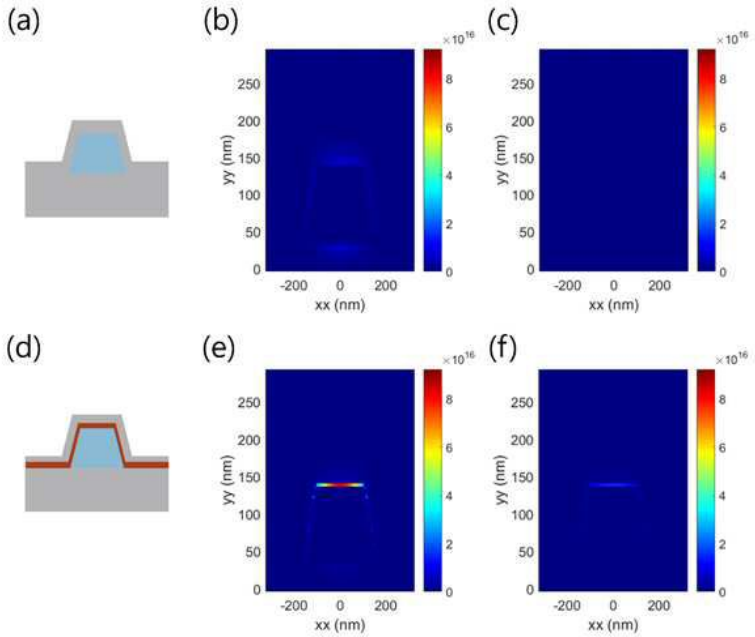
도면6


(a)
(b)
(c)
Width (nm)
Wavelength (nm)

도면7


(a)
Off-resonance
On-resonance
Scattering-reduced
Bare structure
y (nm)
Abs |E |
(b)
Inserting absorbing layer
x (nm)

도면8


(a)
(b)
(c)
(d)
(e)
(f)
yy (nm)
xx (nm)