



등록특허 10-2728370



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2024년11월11일
(11) 등록번호 10-2728370
(24) 등록일자 2024년11월06일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

H01L 31/055 (2014.01) H01L 31/0224 (2006.01)
H01L 31/0256 (2006.01) H01L 31/032 (2006.01)
H01L 31/075 (2006.01)

(52) CPC특허분류

H01L 31/055 (2013.01)
H01L 31/022425 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2023-0155138

(22) 출원일자 2023년11월10일

심사청구일자 2023년11월10일

(73) 특허권자

이화여자대학교 산학협력단

서울특별시 서대문구 이화여대길 52 (대현동, 이화여자대학교)

동국대학교 산학협력단

서울특별시 중구 필동로1길 30, 동국대학교 내(필동3가)

(72) 발명자

현가담

서울특별시 강남구 압구정로 151, 112동 1101호 (압구정동, 현대아파트)

김민지

충청남도 아산시 시민로422번길 25, 103동 202호 (온천동, 노블레스)

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

특허법인엠에이피에스

전체 청구항 수 : 총 17 항

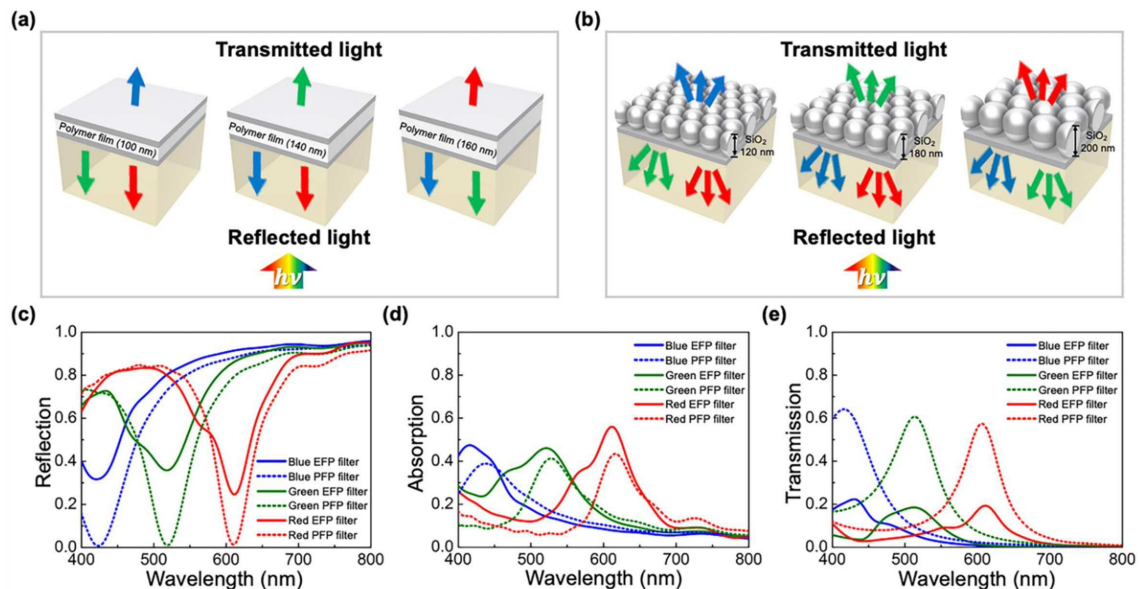
심사관 : 배준석

(54) 발명의 명칭 광포획형 컬러 필터

(57) 요약

본원은 광포획형 컬러 필터 및 이를 포함하는 태양전지에 관한 것이다.

대표도



(52) CPC특허분류

H01L 31/032 (2013.01)

H01L 31/075 (2024.01)

H01L 2031/0344 (2013.01)

(72) 발명자

이재준

서울특별시 종로구 종로 183, 13층 비1307호 (인의동)

박종덕

인천광역시 계양구 아나지로198번길 11, 102동 201호 (효성동, 금호어울림아파트)

류준영

서울특별시 중구 퇴계로50가길 6-9, 303호 (묵정동)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업	
과제고유번호	1711182951
과제번호	2020M3D1A1110522
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	미래소재디스커버리지원
연구과제명	푸리에 역계산을 활용한 소재 형상 제어 및 광학 소자 개발
기 여 율	15/100
과제수행기관명	고려대학교
연구기간	2023.01.01 ~ 2023.12.31
이 발명을 지원한 국가연구개발사업	
과제고유번호	1711187994
과제번호	2022R1A2C2092561
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	개인기초연구(과기정통부)
연구과제명	빛의 산란과 흡수 단면적의 동적 제어
기 여 율	15/100
과제수행기관명	이화여자대학교
연구기간	2023.03.01 ~ 2024.02.29
이 발명을 지원한 국가연구개발사업	
과제고유번호	1345374175
과제번호	2020R1A6C101B194
부처명	교육부
과제관리(전문)기관명	한국기초과학지원연구원
연구사업명	이공학학술연구기반구축
연구과제명	핵심연구지원센터조성지원과제(나노바이오 · 에너지 소재 센터)
기 여 율	10/100
과제수행기관명	이화여자대학교 산학협력단
연구기간	2023.03.01 ~ 2024.02.29
이 발명을 지원한 국가연구개발사업	
과제고유번호	1711189619
과제번호	2017R1A5A1015365
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	집단연구지원
연구과제명	혼성계면 화학구조 연구센터
기 여 율	10/100
과제수행기관명	이화여자대학교
연구기간	2023.03.01 ~ 2024.02.29
이 발명을 지원한 국가연구개발사업	
과제고유번호	1711139289
과제번호	2016M1A2A2940912
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	기후변화대응기술개발(R&D)
연구과제명	염료기반 반투과형 유기태양전지 소재 및 소자 기술 개발
기 여 율	50/100
과제수행기관명	동국대학
연구기간	2021.08.01 ~ 2022.03.31

명세서

청구범위

청구항 1

하단 금속층;
상기 하단 금속층 상에 형성된 단층의 복수의 유전체 입자; 및
상기 유전체 입자의 상부에 부분적으로 형성된 금속 세미셸
을 포함하는, 광포획형 컬러 필터.

청구항 2

제 1 항에 있어서,
상기 하단 금속층으로 광이 입사할 때 공명 파장의 광을 선택적으로 투과하고, 비공명 파장의 광을 반사하는 것
인, 광포획형 컬러 필터.

청구항 3

제 1 항에 있어서,
상기 하단 금속층으로 광이 입사할 때 상기 금속 세미셸의 가장자리의 양끝단에서 한 쌍의 역평행 면의 전기 쌍
극자가 생성되는 것인, 광포획형 컬러 필터.

청구항 4

제 3 항에 있어서,
상기 면외 전기 쌍극자에 의하여 비공명 파장의 광이 임계각 이상의 범위로 확산 반사하는 것인, 광포획형 컬러
필터.

청구항 5

제 1 항에 있어서,
상기 하단 금속층 및 상기 금속 세미셸은 각각, Ag, Au, Al, Pt, Ni, Cu, In, Ru, Pd, Rh, Ir, Os, 및 W에서
선택되는 하나 이상의 금속을 포함하는 것인, 광포획형 컬러 필터.

청구항 6

제 1 항에 있어서,
상기 유전체 입자는 SiO_2 , TiO_2 , 아연 산화물, 바륨티타네이트 산화물, MnO_3 , ZrO_2 , VO_3 , Y_2O_3 , IrO , RuO , RhO ,
 TaO , In_2O_3 , Al_2O_3 , Hf_2O_3 , SrTiO_3 , 및 WO_3 에서 선택되는 하나 이상을 포함하는 것인, 광포획형 컬러 필터.

청구항 7

제 1 항에 있어서,

상기 유전체 입자의 직경이 커질수록 상기 광포획형 컬러 필터의 공명 파장은 길어지는 것인, 광포획형 컬러 필터.

청구항 8

제 1 항에 있어서,

상기 유전체 입자의 직경은 100 nm 내지 300 nm인 것인, 광포획형 컬러 필터.

청구항 9

제 1 항에 있어서,

상기 하단 금속층의 두께는 10 nm 내지 50 nm인 것인, 광포획형 컬러 필터.

청구항 10

제 1 항에 있어서,

상기 금속 세미셀은 날카로운 가장자리를 갖는 것인, 광포획형 컬러 필터.

청구항 11

제 1 항에 있어서,

상기 하단 금속층 및/또는 상기 금속 세미셀의 하부에 습윤층을 추가 포함하는, 광포획형 컬러 필터.

청구항 12

제 1 항에 있어서,

상기 하단 금속층 및/또는 상기 금속 세미셀의 상부에 산화방지층을 추가 포함하는, 광포획형 컬러 필터.

청구항 13

제 1 항에 따른 광포획형 컬러 필터를 포함하는, 태양전지.

청구항 14

제 13 항에 있어서,

상기 태양전지는 염료감응형 태양전지, 유기 태양전지, 또는 페로브스카이트 태양전지인 것인, 태양전지.

청구항 15

제 14 항에 있어서,

상기 염료감응형 태양전지는,

전면전극; 상기 전면전극 상에 형성된 광활성층; 상기 광활성층 상에 형성된 후면전극; 및 상기 후면전극 상에 형성된 상기 광포획형 컬러필터를 포함하는 것인, 태양전지.

청구항 16

하단 금속층을 형성하는 것;

상기 하단 금속층 상에 단층의 복수의 유전체 입자를 형성하는 것; 및

상기 유전체 입자의 상부에 금속 세미셀을 형성하는 것

을 포함하는, 제 1 항에 따른 광포획형 컬러필터의 제조 방법.

청구항 17

제 16 항에 있어서,

상기 유전체 입자는 랭뮤어-블로젯 방법을 이용하여 형성되는 것인, 제조 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본원은 광포획형 컬러 필터 및 이를 포함하는 태양전지에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 태양전지의 광 경로 길이를 증가시키기 위해 유전체 또는 플라즈몬 나노구조를 사용한 광 포획(light trapping)은 지난 수십년 동안 관심 주제였다. 많은 경우에 이러한 나노구조는 빛을 태양전지 내로 산란시키는 역할을 하며, 바람직하게는 내부 전반사에 의한 광 포획을 위하여 임계각을 넘어서는 역할을 한다. 대중적인 전략은 태양전지 표면 상에 있는 여기 플라즈몬 나노입자(exciting plasmonic nanoparticle)에 의존해 왔다. 입자 모양과 여기 입사각에 따라 이러한 나노입자는 표면에 평행하거나 수직인 전기 쌍극자를 나타낼 수 있다. 표면과 면내(in-plane)에 있는 쌍극자는 수직 입사광으로 쉽게 여기될 수 있지만, 면외(out-of-plane) 쌍극자는 임계각 이상으로 더 많은 빛을 산란시킬 수 있으므로 광 포획에 더 적합하다. 그러나, 이러한 면외 쌍극자는 각각의 k 벡터가 직교하기 때문에 수직 입사 평면파(planewave) 광으로 여기되기 어렵고, 따라서, 비수직 입사광(off-normal incident light) 및 입자 모양의 감소된 대칭이 필요하다.

[0003] 다채롭고 반투명한 새로운 종류의 태양전지에서는 광 포획이 점점 더 중요해지고 있다. 이러한 태양 전지는 미적 매력으로 인해 BIPV(Building Integrated Photovoltaics)에서 유망한 발전 유닛으로 부상했다. 이들은 가시광선 또는 근적외선의 특정 대역을 투과하므로, 종래의 불투명 태양전지에 사용되는 거울 전극을 지원할 수 없기 때문에 광학 경로 길이를 즉시 두 배로 늘릴 수 없다. 색상은 활성 물질의 고유 색상이나 태양전지의 광 공학적 설계에 따라 결정될 수 있다. 광자 설계의 장점은 활성 물질에 관계없이 색상을 자유롭게 조정할 수 있다는 것이다. 이전에 본 발명자들은 투명한 후면 전극 대신 Ag, TiO_x 및 Ag의 3층으로 만들어진 패브리-페로(Fabry-Perot; FP) 공명기를 시연하여 공명기 두께만으로 정의된 색상으로 빛을 선택적으로 투과시켰다. 공명 외부 파장의 경우 FP 전극은 빛을 태양전지로 다시 반사하여 광학 경로 길이를 두 배로 늘리지만, 이 과정에서 흡수되지 않은 빛은 공기 중으로 빠져나간다. 이는 색상 필터링 기능에 큰 영향을 주지 않으면서 빛을 가두는 기능을 갖춘 다채로운 반투명 태양 전지를 장착해야 할 필요성을 강조한다.

선행기술문헌

특허문헌

[0004] (특허문헌 0001) 대한민국 공개특허공보 제10-2019-0024589호.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0005] 본원은 광포획형 컬러 필터 및 이를 포함하는 태양전지를 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, 하단 금속층; 상기 하단 금속층 상에 형성된 단층의 복수의 유전체 입자; 및 상기 유전체 입자의 상부에 부분적으로 형성된 금속 세미셀을 포함하는, 광포획형 컬러 필터를 제공한다.
- [0008] 본원의 제 2 측면은, 제 1 측면에 따른 광포획형 컬러 필터를 포함하는, 태양전지를 제공한다.
- [0009] 본원의 제 3 측면은, 하단 금속층을 형성하는 것; 상기 하단 금속층 상에 단층의 복수의 유전체 입자를 형성하는 것; 및 상기 유전체 입자의 상부에 금속 세미셀을 형성하는 것을 포함하는, 제 1 측면에 따른 광포획형 컬러 필터의 제조 방법을 제공한다.

발명의 효과

- [0010] 본원의 구현예들에 따른 광포획형 컬러 필터는, 컬러를 필터링하는 동시에 광범위한 파장에 걸쳐 임계각을 넘어 광을 산란시키는 것일 수 있다.
- [0011] 본원의 구현예들에 따른 광포획형 컬러 필터를 포함하는 태양전지는 종래의 태양전지와 비교하여 광 흡수가 향상되어 단락 전류 및 효율이 향상되는 것일 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0012] 도 1은, 본원의 일 실시예에 있어서, (a) 평면 패브리-페로(planar Fabry-Perot; PFP) 및 (b) 효과적인 패브리-페로(effective Fabry-Perot; EFP) 필터의 장치 모식도; 및 동일한 청색, 녹색 및 적색에서 작동하도록 구성된 PFP 및 EFP 필터의 계산된 (c) 반사, (d) 흡수, 및 (e) 투과 스펙트럼을 나타낸 것이다.
- 도 2는, 본원의 일 실시예에 있어서, 청색, 녹색, 및 적색 EFP 필터의 특성평가 결과로서, EFP 필터의 (a) 측정된 투과 스펙트럼 및 (b) SEM 이미지(삽입도: 확대된 SEM 이미지 및 사진); (c) 샘플의 반사 패턴을 정성적으로 관찰하기 위한 설정 모식도; 및 (d) 500 nm, 550 nm 및 640 nm 파장에서 청색, 녹색, 및 적색 PFP 및 EFP 필터에서 반사된 레이저 패턴을 나타낸 것이다.
- 도 3은, 본원의 일 실시예에 있어서, (a-b) 비공명 파장에서 청색 EFP 및 PFP 필터의 시뮬레이션된 광학 동작을 나타낸 것으로서, (a) x-축을 따라 편광된 수직 입사광에 의해 여기된 PFP 필터에 대한 550 nm(왼쪽) 및 650 nm(오른쪽) 파장의 전기장 벡터 플롯과 반사된 원거리 방사 패턴을 사용한 도식적인 내부 전기장 분포 방향 및 (b) x 방향(상단 행) 및 y 방향(하단 행)을 따라 편광된 수직 입사광에 의해 여기된 EFP 필터 (모든 내부 전기장 분포는 편광 방향에 평행한 단면에서 가져옴); (c) EFP 필터 내부의 z 정렬된 전기 쌍극자 소스의 역평행 쌍 레이어아웃과 550 nm 및 650 nm 파장의 패턴 아래에 해당하는 원거리장 패턴의 모식도(쌍극자 위치는 x-편광(왼쪽 열) 및 y-편광(오른쪽 열) 평면과 여기에 의해 생성된 E_z 필드가 가장 강한 위치에 해당함)를 나타낸 것이다.
- 도 4는, 본원의 일 실시예에 있어서, 공명 파장에서 청색 EFP 및 PFP 필터의 시뮬레이션된 광학 동작을 나타낸 것으로서, 공명 시 (a) PFP 및 (b) EFP 필터에 대한 전기장 벡터 플롯과 투과된 원거리 방사 패턴을 사용한 내부 전기장 분포 모식도; (c) EFP 필터 내부의 면내 및 면외 전기 쌍극자 소스의 레이어아웃과 공명 시 어레이 위의 해당 원거리장 패턴에 대한 모식도(쌍극자 방향과 위치는 x-편광(상단 행) 및 y-편광(하단 행) 평면과 여기에 의해 생성된 내부 전기장 분포를 따라 모델링됨)를 나타낸 것이다.
- 도 5는, 본원의 일 실시예에 있어서, (a-b) 염료감응형 태양전지(dye-sensitized solar cell; DSSC)에 적용된 EFP 필터 시연을 나타낸 것으로서 (a) PFP 및 (b) EFP 필터가 장착된 DSSC의 모식도; 및 (c) EFP(B)-DSSC, EFP(G)-DSSC, 및 EFP(R)-EFP-DSSC의 측정된 J-V 곡선(해당 PFP-DSSC도 비교를 위해 표시됨); (d) 산란층을 포함하는 DSSC의 모식도; 및 (e) 베어(bare) DSSC, 산란층을 포함하는 DSSC, 및 청색, 녹색 및 적색 EFP-DSSC의 측정된 J-V 곡선을 나타낸 것이다.

도 6은, 본원의 일 실시예에 있어서, PFP 필터의 광학적 동작을 나타낸 것으로서, (a) 파장과 고분자 필름 두께의 함수로 계산된 투과율; (b) 청색(100 nm), 녹색(140 nm) 및 적색(160 nm) PFP 필터의 측정된 투과 스펙트럼; 및 (c) 제작된 청색, 녹색 및 적색 PFP 필터(상단 행) 및 PFP-DSSC(하단 행)의 사진을 나타낸 것이다.

도 7은, 본원의 일 실시예에 있어서, 500 nm, 550 nm 및 640 nm 파장의 유한 조명 영역을 사용하여 청색 PFP 필터(왼쪽 열) 및 EFP 필터(오른쪽 열)의 시뮬레이션된 원거리 반사 패턴을 나타낸 것이다.

도 8은, 본원의 일 실시예에 있어서, (a) EFP 필터의 모식도; x 방향(상단 행)과 y 방향(하단 행)을 따라 여기된 전기장을 갖는 EFP 필터에 대해 비공명 파장(550 nm 및 650 nm)에서 시뮬레이션된 (b) 면외 전기장(E_z) 분포 및 (c) 표면 전하 밀도와 유도 전류를 나타낸 것이다.

도 9는, 본원의 일 실시예에 있어서, (a) PFP 필터 및 EFP 필터 모식도; 및 (b) 공명(430 nm) 및 비공명(550 nm 및 650 nm)에서 PFP 필터(상단 행) 및 EFP 필터(하단 행) 내부의 면내 전기 쌍극자 소스 어레이로부터 시뮬레이션된 원거리장 반사 패턴을 나타낸 것이다.

도 10은, 본원의 일 실시예에 있어서, (a) Ag 코팅된 FTO 기판 상의 하이브리드 Ag-실리카 단일 입자 및 (b) 베어(bare) FTO 기판 상의 하이브리드 Ag-실리카 단일 입자의 모식도, 550 nm의 비공명 파장에서 계산된 산란 단면, 전기장 벡터 플롯을 사용한 내부 전기장 분포, 면외 전기장(E_z) 분포, 및 산란 패턴을 나타낸 것이다.

도 11은, 본원의 일 실시예에 있어서, Ag 코팅 FTO 기판 상의 밀집된 실리카 입자 어레이(상단 행) 및 Ag 코팅 FTO 기판 상의 Ag 코팅된 큐빅 나노블록 어레이(하단 행)에 대한, (a) 모식도, (b) 계산된 반사 및 투과 스펙트럼, (c) 550 nm 및 650 nm에서, 전기장 벡터 플롯을 사용한 내부 전기장 분포 및 원거리 반사 패턴을 나타낸 것이다.

도 12는, 본원의 일 실시예에 있어서, 공명 파장(430 nm) 및 비공명 파장(550 nm 및 650 nm)에서 (a) EFP 필터 및 (b) PFP 필터에 대한 시뮬레이션된 내부 자기장 분포 및 해당 자기장 벡터를 나타낸 것이다.

도 13은, 본원의 일 실시예에 있어서, (a) PFP 및 EFP 필터의 단면 모식도; (b) 계산된 반사 및 투과 스펙트럼; 및 (c) 550nm의 공명 파장에서 45° 로 FTO 측면에서 입사하는 p 편광 및 s 편광에 의해 여기된 PFP 및 EFP 필터에 대한 시뮬레이션된 원거리 반사 패턴을 나타낸 것이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0013] 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.
- [0014] 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.
- [0015] 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.
- [0016] 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.
- [0017] 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.
- [0018] 본원 명세서 전체에서 사용되는 정도의 용어 “~ 하는 단계” 또는 “~의 단계”는 “~를 위한 단계”를 의미하지 않는다.
- [0019] 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 요소들

로 이루어진 군에서 선택되는 하나 이상을 포함하는 것을 의미한다.

- [0020] 본원 명세서 전체에서, "A 및/또는 B"의 기재는, "A 또는 B, 또는 A 및 B"를 의미한다.
- [0022] 이하, 본원의 구현예를 상세히 설명하였으나, 본원이 이에 제한되지 않을 수 있다.
- [0024] 본원의 제 1 측면은, 하단 금속층; 상기 하단 금속층 상에 형성된 단층의 복수의 유전체 입자; 및 상기 유전체 입자의 상부에 부분적으로 형성된 금속 세미셀을 포함하는, 광포획형 컬러 필터를 제공한다.
- [0025] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 광포획형 컬러 필터는 상기 하단 금속층, 상기 유전체 입자, 및 상기 금속 세미셀의 3층 캐비티(cavity)를 포함하는 패브리-페로(Fabry-Perot) 공명기(resonator) 구조로서, 상기 하단 금속층으로 광이 입사할 때 공명 파장의 광을 선택적으로 투과하고, 비공명 파장의 광을 반사하는 것일 수 있다.
- [0026] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 비공명 파장의 광은 상기 광포획형 컬러필터의 하부로 반사되는 것일 수 있다.
- [0027] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 하단 금속층으로 광이 입사할 때 상기 금속 세미셀의 가장자리의 양끝단에서 한쌍의 역평행(antiparallel) 면의(out-of-plane) 전기 쌍극자가 생성되는 것일 수 있다.
- [0028] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 면의 방향은 상기 유전체 입자의 배열을 포함하는 면에 수직인 방향을 의미하는 것일 수 있다.
- [0029] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 하단 금속층으로 광이 입사할 때 상기 금속 세미셀의 곡률을 따라 유도 전류가 구동되고, 반대 극성의 전하가 상기 금속 세미셀의 날카로운 가장자리의 두 끝부분에 축적되고, 각 위치에 축적된 전하 극성에 따라 아래쪽 또는 위쪽으로 발산되는 강하고 국부적인 전기장이 생성될 수 있다.
- [0030] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 면의 전기 쌍극자에 의하여 비공명 파장의 광이 임계각 이상의 범위로 확산 반사하는 것일 수 있다. 상기 임계각은 광포획형 컬러 필터가 적용된 기재 및/또는 어플리케이션에 따른 계면 굴절률 차이에 의해 달라지는 것일 수 있다.
- [0031] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 하단 금속층 및 상기 금속 세미셀은 각각, Ag, Au, Al, Pt, Ni, Cu, In, Ru, Pd, Rh, Ir, Os, 및 W에서 선택되는 하나 이상의 금속을 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되지 않을 수 있다.
- [0032] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 유전체 입자는 서로 밀집되어 조밀하게 형성된 것일 수 있다.
- [0033] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 유전체 입자는 곡률을 갖는 구체일 수 있다.
- [0034] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 유전체 입자는 SiO₂, TiO₂, 아연 산화물, 바륨티타네이트 산화물, MnO₃, ZrO₂, VO₃, Y₂O₃, IrO, RuO, RhO, TaO, In₂O₃, Al₂O₃, Hf₂O₃, SrTiO₃, 및 WO₃에서 선택되는 하나 이상을 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되지 않을 수 있다.
- [0035] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 유전체 입자의 단층은 랭뮤어-블로젯(Langmuir-Blodgett) 방법으로 제조되는 것일 수 있으나, 이에 제한되지 않을 수 있다.
- [0036] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 유전체 입자의 직경은 상기 광포획형 컬러 필터의 공명기 두께를 결정하는 것으로서, 공명 파장을 결정하고, 결과적으로 투과되는 광(투과 광)의 색상을 결정하는 것일 수 있다.
- [0037] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 유전체 입자의 직경이 커질수록 상기 광포획형 컬러 필터의 공명 파장은 길어지는 것일 수 있다.
- [0038] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 유전체 입자의 직경은 약 100 nm 내지 약 300 nm인 것일 수 있으나, 이에 제한되지 않을 수 있다.
- [0039] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 유전체 입자의 직경은 목적하는 투과 광의 색상에 따라 적절하게 조절되는 것일 수 있다. 예를 들어, 목적하는 투과 광의 색상이 청색인 경우 상기 유전체 입자의 직경은 약 110 nm 내지 약 130 nm, 약 110 nm 내지 약 125 nm, 약 110 nm 내지 약 120 nm, 약 115 nm 내지 약 130 nm, 약 115 nm 내지 약 125 nm, 약 115 nm 내지 약 120 nm, 약 120 nm 내지 약 130 nm, 또는 약 120 nm 내지 약 125 nm일 수 있다. 예를 들어, 목적하는 투과 광의 색상이 녹색인 경우 상기 유전체 입자의 직경은 약 170 nm 내지 약 190 nm, 약 170 nm 내지 약 185 nm, 약 170 nm 내지 약 180 nm, 약 175 nm 내지 약 190 nm, 약 175 nm 내지 약 185 nm, 약 175 nm 내지 약 180 nm, 약 180 nm 내지 약 190 nm, 또는 약 180 nm 내지 약 185 nm일 수 있다. 예를 들어, 목

적하는 투과 광의 색상이 적색인 경우 상기 유전체 입자의 직경은 약 190 nm 내지 약 210 nm, 약 190 nm 내지 약 205 nm, 약 190 nm 내지 약 200 nm, 약 195 nm 내지 약 210 nm, 약 195 nm 내지 약 205 nm, 약 195 nm 내지 약 200 nm, 약 200 nm 내지 약 210 nm, 또는 약 200 nm 내지 약 205 nm일 수 있다.

[0040] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 하단 금속층의 두께는 약 10 nm 내지 약 50 nm인 것일 수 있으나, 이에 제한되지 않을 수 있다.

[0041] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 하단 금속층의 두께는 약 10 nm 내지 약 50 nm, 약 10 nm 내지 약 40 nm, 약 10 nm 내지 약 30 nm, 약 10 nm 내지 약 25 nm, 약 15 nm 내지 약 50 nm, 약 15 nm 내지 약 40 nm, 약 15 nm 내지 약 30 nm, 약 15 nm 내지 약 25 nm, 약 20 nm 내지 약 50 nm, 약 20 nm 내지 약 40 nm, 약 20 nm 내지 약 30 nm, 또는 약 20 nm 내지 약 25 nm일 수 있다.

[0042] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 금속 세미셀은 상기 유전체 입자의 상부 곡률을 등각적으로 추적하여 형성되어, 각각의 상기 유전체 입자의 상부 반구를 덮는 형태일 수 있다.

[0043] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 금속 세미셀은 날카로운 가장자리를 갖는 것일 수 있다.

[0044] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 광포획형 컬러 필터는 상기 하단 금속층 및/또는 상기 금속 세미셀의 하부에 습윤층을 추가 포함하는 것일 수 있다.

[0045] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 습윤층은 상기 하단 금속층 및 상기 금속 세미셀을 균일하고 매끄럽게 유지하는 역할을 하는 것일 수 있다.

[0046] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 습윤층은 Ge를 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되지 않을 수 있다.

[0047] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 습윤층의 두께는 약 0.1 nm 내지 약 1 nm일 수 있다.

[0048] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 광포획형 컬러 필터는 상기 하단 금속층 및/또는 상기 금속 세미셀의 상부에 산화방지층을 추가 포함하는 것일 수 있다.

[0049] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 산화방지층은 TiO_x 를 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되지 않을 수 있다.

[0050] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 산화방지층의 두께는 약 1 nm 내지 약 10 nm 또는 약 1 nm 내지 약 5 nm일 수 있다.

[0051] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 광포획형 컬러 필터는 투명 또는 반투명의 기재 상에 형성되는 것일 수 있다.

[0052] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 기재는 유리 및 고분자에서 선택되는 하나 이상을 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되지 않을 수 있다.

[0053] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 광포획형 컬러 필터가 태양전지에 적용되는 경우, 상기 기재 상의 광포획형 컬러 필터에 대항하는 면에 투명전극이 형성되는 것일 수 있다.

[0055] 본원의 제 2 측면은, 제 1 측면에 따른 광포획형 컬러 필터를 포함하는, 태양전지를 제공한다.

[0056] 본원의 제 1 측면과 중복되는 부분들에 대해서는 상세한 설명을 생략하였으나, 본원의 제 1 측면에 대해 설명한 내용은 본원의 제 2 측면에서 그 설명이 생략되었더라도 동일하게 적용될 수 있다.

[0057] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 태양전지는 반투명 컬러 필터형 태양전지일 수 있다.

[0058] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 태양전지는 광활성층의 종류에 따라, 염료감응형 태양전지, 유기 태양전지, 또는 페로브스카이트 태양전지일 수 있으나, 이에 제한되지 않을 수 있다.

[0059] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 염료감응형 태양전지는, 전면전극; 상기 전면전극 상에 형성된 광활성층; 상기 광활성층 상에 형성된 후면전극; 및 상기 후면전극 상에 형성된 상기 광포획형 컬러필터를 포함하는 것일 수 있다.

[0060] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 염료감응형 태양전지의 상기 전면전극 측으로 광이 입사되는 것일 수 있다.

[0061] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 염료감응형 태양전지는 종래의 염료감응형 태양전지, 산란층을 포함하는 염료 감응형 태양전지, 및 평면형 페브리-페롯 공명기를 포함하는 염료감응형 태양전지와 비교하여, 광 흡수가 증가하여 단락 전류 및 효율 값이 향상되는 것일 수 있다.

- [0063] 본원의 제 3 측면은, 하단 금속층을 형성하는 것; 상기 하단 금속층 상에 단층의 복수의 유전체 입자를 형성하는 것; 및 상기 유전체 입자의 상부에 금속 세미셀을 형성하는 것을 포함하는, 제 1 측면에 따른 광포획형 컬러 필터의 제조 방법을 제공한다.
- [0064] 본원의 제 1 측면과 중복되는 부분들에 대해서는 상세한 설명을 생략하였으나, 본원의 제 1 측면에 대해 설명한 내용은 본원의 제 3 측면에서 그 설명이 생략되었다라도 동일하게 적용될 수 있다.
- [0065] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 유전체 입자는 랭뮤어-블로젯 방법을 이용하여 형성되는 것일 수 있으나, 이에 제한되지 않을 수 있다.
- [0067] 이하, 본원에 대하여 실시예를 이용하여 좀더 구체적으로 설명하지만, 하기 실시예는 본원의 이해를 돕기 위하여 예시하는 것일 뿐, 본원의 내용이 하기 실시예에 한정되는 것은 아니다.
- [0069] **[실시예]**
- [0070] **1. 실험**
- [0071] **평면 패브리-페로(planar Fabry-Perot; PFP) 필터 및 효과적인 패브리-페로(effective Fabry-Perot; EFP) 필터 제작**
- [0072] PFP 및 EFP 필터를 제작하기 위해, 투명 전도성 FTO (Fluorine doped Tin Oxide) 유리 기판에 2-프로판올에 포함된 20 mM의 H_2PtCl_6 을 20 초 동안 2000 rpm으로 스핀코팅하고, 500℃에서 30분 동안 어닐링하여 백금화된 FTO 기판을 준비하였다. EFP 필터의 경우, Ge(1 nm 미만), Ag(25 nm), 및 TiO_x (5 nm)를 전자빔 증착기(ULVAC EBX-2000)를 사용하여 백금화된 FTO 기판의 유리면에 2×10^{-4} Pa 진공 하에서 순차적으로 증착하였다. Ge층은 Ag층을 균일하고 매끄럽게 유지하는 습윤층 역할을 하고, TiO_x 층은 Ag의 산화를 방지하는 역할을 한다. Langmuir-Blodgett 방법(KSV NIMA KN1004)을 사용하여 TiO_x 필름 상에 조밀하게 쌓인 SiO_2 나노입자(상업용, Nanocomposix)의 단층을 형성하였다. SiO_2 나노입자(120 nm, 180 nm, 또는 200 nm 크기)를 클로로포름(WAKO Co., USA)에 1.5 mg/ml 농도로 분산시키고 30분간 초음파 처리하였다. 분산 후, 디팔미토일포스파티딜콜린(Dipalmitoylphosphatidylcholine; DPPC)을 각각 200:1, 1000:1 및 1000:1의 중량비로 첨가하였다. π -A 등온선은 상기 제조된 용액을 공기-물 경계면에서 각각 펼치고 압축하여 수득하였다. 각 LB 필름은 압축 후 15분 동안 안정화시킨 후, 표면압력 20 mN/m, 10 mN/m, 및 20 mN/m에서 0.5 mm/분의 속도로 이송하였다. EFP 필터는 상기와 동일한 공정에 따라 Ge와 Ag를 SiO_2 나노입자 어레이에 전자빔 증착시켜 완성되었다. PFP 필터의 경우 선택한 두께의 PMMA를 Ge/Ag/ TiO_x 스택에 스핀코팅하였다. 청색 PFP 필터는 PMMA(A4)를 3000 rpm으로 제조한 반면, 녹색 및 적색 필터는 PMMA(A5)를 각각 4500 rpm과 3500 rpm으로 제조하였다. Ag(25 nm)를 전자빔 증착시켜 PFP 캐비티(cavity)를 완성하였다.
- [0073] **소자 제작**
- [0074] FTO 유리 기판에 구멍을 뚫어 전해질 주입을 위한 구멍을 만든 후 아세톤, 에탄올, 및 이소프로필 알코올이 포함된 세척액으로 10 분간 초음파 처리하여 세척하였다. 30 분 동안 UV-O_3 처리 후, 세척된 FTO 기판을 n-부탄올 용액 내 0.15 M 티타늄 디이소프로폭시드 비스(아세틸아세토네이트)를 2000 rpm에서 50초 동안 스핀코팅하여 차단층으로 코팅하고 500℃에서 30분 동안 소결하였다. DSSC 제작을 위해 20 nm 크기의 TiO_2 페이스트를 FTO 코팅된 차단층 위에 스크린 프린팅을 사용하여 두께가 12 마이크론 이내에 도달할 때까지 코팅하였다. TiO_2 코팅된 기판을 500℃에서 30분 동안 어닐링하고 실온으로 냉각하였다. TiCl_4 처리는 TiCl_4 수용액에 기판을 70℃에서 30 분 동안 담그고 다시 500℃에서 30분 동안 소결함으로써 적용되었다. TiCl_4 처리된 기판을 에탄올 용액 중 0.5 mM 디-테트라부틸암모늄 시스-비스(이소티오시아네이트)비스(2,2' 바이피리딜-4,4'-디카복실라토) 루테늄(II) (Di-tetrabutylammonium cis-bis(isothiocyanato)bis(2,2' bipyridyl-4,4'-dicarboxylato) ruthenium(II); N719)에 담그고 실온에서 24 시간 동안 보관하였다. 전해질 제조를 위해 0.7 M PMII, 0.03 M I_2 , 0.5 M tBP, 및 0.05 M GuSCN을 아세토니트릴에 용해시켰다. DSSC 소자는 염료감응형 포토애노드 및 EFP 또는 PFP 필터 코팅된 상대 전극을 실린 스페이서(surlyn spacer)로 부착하여 조립되었다. 마지막으로 준비된 전해질을 포토애노드에 뚫린 구멍을 통해 주입하고 동일한 스페이서로 밀봉하였다.

[0075] **소자 특성평가 및 측정**

[0076] 배열된 실리카 구의 형태는 전계 방출 주사 전자 현미경(field emission scanning electron microscope; FESEM)(JEOL, GSM-6700F)을 사용하여 10 kV의 가속 전압에서 조사되었다. 컬러 필터의 투과 스펙트럼은 UV-Visible 분광 광도계(Jasco V-760)를 사용하여 측정되었다. DSSC 성능은 100 mW/cm^2 , AM 1.5G 필터링 강도에서 표준 태양광 시뮬레이션 조건(Polaronix K201, Mcscience)을 사용하여 조사되었다.

[0077] **광학 측정**

[0078] AOTF(acousto-optic tunable filter)가 장착된 초연속(supercontinuum) 레이저 소스(NKT Photonics)를 사용하여 500 nm, 550 nm 및 640 nm 파장에서 컬러 필터의 확산 반사를 정성적으로 모니터링하였다. 세 가지 파장 모두에 대한 광 출력은 0.08 mW 였다. 각 레이저 빔은 45° 기울어진 FP 필터의 FTO 측면으로 향했다. 반사된 빔 프로파일은 동일한 간격의 동심원으로 표시된 흰색 시트에서 모니터링되었다.

[0079] **수치 모델링**

[0080] 모든 수치 시뮬레이션은 유한차분 시간 영역 방법 솔버(finite-difference time-domain method solver)(상용 FDTD 소프트웨어, Lumerical Inc)를 사용하여 수행되었다. Ge, Ag 및 PMMA에 대한 유전 함수는 각각 Palik, Johnson과 Christy, 및 N. Sultanova의 참고 문헌으로부터 구했다. SiO_2 의 굴절률은 엘립소메트리(J. A. Woollam co. Ltd.)를 사용하여 획득하였다.

[0081] 시뮬레이션은 평면파 광원을 사용하여 수행되었다. 면내 치수에는 주기 경계 조건을, 면외 치수에는 PML 경계 조건을 사용하였다. 어레이보다 훨씬 큰 빔에 의해 조명되는 유한 주기적 어레이의 원거리장 패턴을 계산하기 위해 모자형 조명 구성이 사용되었다. 어레이 크기는 샘플의 실제 크기와 일치하는 $2 \times 2 \text{ cm}^2$ 로 설정되었다.

[0083] **2. 결과**

[0084] 본 발명에서는 컬러를 필터링하는 동시에 광범위한 파장에 걸쳐 임계각을 넘어 광을 산란시키는 전략을 제시한다. 본 발명은 얇은 Ag 층 위에 조밀하게 쌓인 Ag 코팅된 단분산 실리카 입자 어레이를 사용한다. 이 Ag-실리카 하이브리드 구조는 두 가지 주요 기능을 제공한다. 하나는 실리카 입자 크기가 FP 공명 파장을 결정하는, 효과적인 FP(effective FP) 캐비티의 형성이다. 상기 구조는 공명(on-resonance) 및 비공명(off-resonance) 파장에서 광을 각각 투과 및 반사하여 컬러 필터 역할을 한다. 다른 기능은 각 입자에서 어레이 면(array-plane)에 수직으로 배향된 한쌍의 역평행(antiparallel) 전기 쌍극자를 생성하는 것이다. 이러한 쌍극자는 임계각 이상의 고각 후방산란(backscattering)의 상당 부분에 기여한다. 결과적으로, 염료감응형 태양전지의 출구 표면에 적용하였을 때, 상기 효과적인 FP 캐비티는 광 흡수 측면에서 필름형 FP 캐비티보다 성능이 뛰어날 수 있음을 보여 준다. 이러한 결과는 다채로운 반투명 태양전지에서 컬러를 필터링하고 광 포획을 촉진하는 효과적이고 확장 가능한 설계를 강조한다.

[0085] 광 포획 컬러 필터와 이의 고유한 특성을 더 잘 이해하기 위하여, 종래의 본 발명자의 연구에서 보고된 평면 컬러 필터와 비교하여 연구하였다. 평면 패브리-페로(planar Fabry-Perot; PFP) 및 효과적인 패브리-페로(effective Fabry-Perot; EFP) 공명기의 모식도를 도 1의 a 및 b에 나타냈다. 평면 패브리-페로 필터는 두 개의 25 nm 두께의 Ag 층 사이에 삽입된 고분자 층으로 구성되며, FTO 전극 위에 위치한다. FTO로부터 수직으로 입사되는 백색광을 받으면, 이 캐비티는 유전체 두께(각각 100 nm, 140 nm 및 160 nm)(도 6)에 따라 결정되는 공명에서 유색광(청색, 녹색 및 적색)을 선택적으로 투과하며, 동시에 표면 수직 방향(surface-normal direction)을 따라 비공명광(off-resonant light)을 반사한다.

[0086] EFP 공명기는 PFP 필터와 유전체 및 상단 Ag 층의 모양만 다르다. 평면형 고분자 필름 대신, 단분산 실리카 구체의 밀집된 어레이가 캐비티의 유전체 구성 요소를 구성한다. 여기서, 입자 크기는 투과된 색상을 조정하는데 사용되는 효과적인 공명기(effective resonator) 두께를 결정한다. 밀집된 입자 어레이로 인하여, 입자 크기에 따라 가시광선 범위에서 회절 임계값보다 낮은 범위(120 nm 내지 200 nm)의 주기 또한 결정된다. 진공 증착 공정의 결과로 상단 Ag 층은 입자의 상부 곡률(curvature)을 등각적(conformally)으로 추적하여, 각 실리카 입자의 상부 반구(hemisphere)를 덮는 Ag 세미셸(semi-shell)을 형성한다. 세미셸 가장자리는 날카롭고, 이후 설명되는 고각 산란의 중요한 특징이며, 완전 구형 Au 나노셸(nanoshell)을 에칭하여 만든 다른 그룹에서 보고한 평평한 Au 나노컵(nanocup) 가장자리와 대조된다. PFP 필터와 비교하여 EFP 필터의 구조적 차이는 투과의 스펙트럼 필터링을 보장할 만큼 충분히 작지만, 산란 특성을 수정하는 데 중요한 역할을 한다. 특히, 비공명광은 더

이상 탈출(escape)로 이어지는 입사 방향으로 반사되지 않고, 이스케이프 콘(escape cone) 외부의 큰 각도로 반사된다(도 1의 b). 이 현상은 이후 더 자세히 살펴볼 것이다. 여기서 설명된 공명은 Ag 세미셸(semi-shell)이 아닌 3층 캐비티(three-layer cavity)의 공명을 의미한다는 점에 유의하는 것이 중요하다. 이는 Au 나노컵에 대한 연구와 비교하여 중요한 차이점이며, 여기서 공명은 Au 나노구조의 플라즈몬 공명을 설명하며, 그 모드는 가로 및 축 전하 진동을 포함한다.

[0087] 동일한 목표 색상의 PFP와 EFP 필터 간의 구조적 차이는 반사, 투과, 및 흡수 강도의 차이에서도 나타난다. 대부분의 가시 파장에 대해 EFP는, PFP와 EFP 필터 간의 시뮬레이션된 반사 스펙트럼(도 1의 c) 비교에서 나타난 바와 같이, 반사를 증가시키는 더 높은 임피던스 불일치를 나타낸다. Ag 세미셸 또는 나노입자와 하단(underlying) Ag 필름 사이의 간격에 있는 국부적인 필드는 Ag에 의해 쉽게 소실되므로 흡수도 더 높다(도 1의 d). 이러한 효과로 인해 EFP 필터의 평균 피크 투과율은 60%에서 약 21%로 감소하지만(도 1의 e) 실제 사용에는 충분히 투명하게 유지된다.

[0088] 본 발명에서는 청색, 녹색, 및 적색 공명을 갖는 3개의 EFP 필터를 제작하였다. 제작 과정에 대한 자세한 설명은 방법 섹션에서 확인할 수 있다. 간단히 말하면, 120 nm, 180 nm 또는 200 nm 크기의 단분산 실리카 나노입자의 단층을 Langmuir-Blodgett 방법에 따라 FTO 기판 상의 25 nm 두께 Ag 필름 위에 배열하였다. 나노미터(nm) 미만 두께의 Ge 습윤층으로 코팅된 어레이(array) 위에 25 nm 두께의 Ag 필름을 전자빔 증착시켜 각각 청색, 녹색 또는 적색 필터를 생성하였다. 세 가지 EFP 필터의 측정된 투과 스펙트럼은 시뮬레이션 결과와 일치하는 피크 위치를 나타냈다(도 2의 a). 그러나, 제작된 어레이에 틈과 균열이 존재하기 때문에 측정된 최대 투과율 값은 시뮬레이션 결과보다 낮다. 특히, 청색 EFP 필터는 적색 및 녹색 EFP 필터보다 더 높은 측정 피크 투과 강도를 나타내며, 이는 아마도 SEM 이미지에 나타난 바와 같이 균열 밀도가 적색 및 녹색 필터의 균열 밀도보다 작기 때문이다(도 2의 b).

[0089] 빛을 다양한 각도로 산란시키는 EFP 필터의 능력은 반사된 레이저 빔 프로파일을 모니터링하여 검증되었다. 입사 빔에 대해 45° 방향으로 FTO 측에서 주어진 필터에 부딪히는 시준된 레이저 빔의 정반사 패턴은 도 2의 c와 같이 동일한 간격의 동심원으로 표시된 흰색 화면에 기록되었다. 비교를 위해 EFP 필터와 동일한 공명 색상을 갖는 PFP 필터를 준비하고 동일한 방식으로 분석하였다. 도 2의 d는 모든 레이저 파장에서 EFP 필터의 반사가 실제로 더 확산된다는 것을 보여주며, EFP가 더 높은 각도로 더 많은 빛을 산란시킨다는 것을 확인시켜 준다. FP 공명에 가장 가까운 레이저 파장의 확산 반사 강도가 가장 낮기 때문에 색상 필터링 기능 또한 분명하다. 예를 들어, 적색, 녹색 및 청색 EFP 필터는 각각 적색(640 nm), 녹색(550 nm) 및 청색(500 nm) 파장에서 가장 적은 양의 확산 반사를 나타낸다. 이는 공명 대역폭(약 38 nm)이 스펙트럼 이동(약 7 nm)보다 충분히 크기 때문에 45° 필터 방향에서 공명 청색편이(blueshift)가 발생함에도 불구하고 발생한다.

[0090] PFP 필터와 비교하여 EFP 필터의 산란 특성이 크게 다른 점은 필터의 비평면 기하학적 구조(non-planar geometry)에 있다. 수직 입사광에 의해 여기된 청색 PFP 및 EFP 필터에 대한 유닛-셀(unit-cell) 및 원거리장(far-field) 방사 패턴의 시뮬레이션된 전기장 분포는, 도 3의 a 및 b에 나타난 바와 같이, 상기 현상을 더 명확하게 보여준다. 넓은 범위에 걸쳐 필드(field) 특성을 샘플링하기 위해 550 nm와 650 nm의 두 가지 비공명 파장이 선택되었다. EFP 필터의 경우 편광되지 않은 광(unpolarized light)의 결과를 설명하기 위해 두 개의 직교 여기 편광도 시뮬레이션되었다. 원거리장 패턴을 생성하기 위해, 실제로 필터 크기가 유한하기 때문에 어레이를 조명 영역보다 작게 처리하였다. 또한, PFP 및 EFP 캐비티 유닛(unit)의 무한 어레이(infinite array)에 입사되는 레이저 점 크기에 가까운 유한 조명 영역을 사용하여 도 2의 d의 실험 구성을 모델링할 수 있다. 도 7에 표시된 것처럼 이러한 시뮬레이션은 도 2의 관찰 결과와 매우 일치하는 원거리장 패턴과 강도 추세를 제공한다. 위에서 설명한 두 가지 시뮬레이션 접근 방식은 거의 동일한 원거리장 패턴을 나타낸다.

[0091] 전기장 분포는, 면내(in-plane)로 흐르는 전기장만 지원하는 PFP 필터(도 3의 a)와 달리, EFP는 면외(out-of-plane) 전기장(도 3의 b)을 지원한다는 것을 보여준다. 면밀한 검사를 통해 EFP 캐비티에는 Ag 세미셸 가장자리(Ag semi-shell rim)의 반대쪽 두 끝에서 가장 강해지는 두 개의 역평행(antiparallel) 면외(out-of-plan)(E_z) 필드 구성 요소가 있음이 밝혀졌다. 이 현상은 도 8에 나타난 바와 같이, Ag 셸의 곡률을 따라 구동되는 유도 전류에 의해 설명될 수 있다. 이 과정에서 반대 극성의 전하가 세미셸의 날카로운 두 끝 부분에 축적되어, 각 위치에 축적된 전하 극성에 따라 아래쪽 또는 위쪽으로 발산되는 강하고 국부적인 전기장이 생성된다. 해당 원거리장 방사 패턴은 도 3의 b에 나타난 바와 같이 점선 원으로 표시된 임계각 외부에서 발생하는 강도의 상당 부분으로 확산되어 나타난다. 대조적으로, 면외 구성 요소가 없는 평면 캐비티는 임계각 외부의 원거리장 강도를 나타내지 않는다.

- [0092] 확산 반사가 면외 필드 구성 요소에서 발생한다는 것을 직접적으로 입증하기 위해 내부 필드 분포에 따라 EFP 구조 내부에 z 정렬 쌍극자 소스의 역평행 쌍을 배치하고, 원거리장 패턴을 시뮬레이션하였다. 두 개의 서로 다른 평면과 여기 편광의 결과에 해당하는 두 개의 서로 다른 쌍극자 소스 레이어아웃이 각 여기 파장에 사용되었다. 도 3의 c에 나타난, FTO 측에서 관찰된 결과 원거리장 패턴은 평면과 여기에 의해 생성된 패턴과 매우 유사하다. 이 동작은 어레이의 각 유닛 중앙에 위치한 면내(E_x 또는 E_y) 쌍극자에 의해 생성된 방사 패턴과 극명한 대조를 이룬다. 도 9는 이러한 쌍극자 구성이 평면파에 의해 여기된 PFP 필터의 결과와 일치하여 임계각 외부의 제로(zero) 산란과 함께 0차 방향을 따라 집중된 반사로 이어진다는 것을 보여준다.
- [0093] EFP 필터의 산란 거동을 더 잘 이해하기 위하여, 분리된 어레이 유닛(하이브리드 Ag-실리카 입자)이 Ag 코팅된 FTO 기판에서 어떻게 작동하는지 확인하는 것은 유익한 정보이다. 시뮬레이션 결과는 평면파에 의해 여기될 때, 동일한 면외 전기장 구성 요소가 입자 내에서 발생한다는 것을 보여주며, 이는 이 특징이 어레이의 특성이 아니라 하이브리드 Ag-실리카 입자 자체의 특성임을 나타낸다 (도 10). 이는 또한, 도 2의 실험 결과에서 증명된 바와 같이, 어레이의 어느 정도의 구조적 장애가 확산 반사에 영향을 주어서는 안 된다는 것을 시사한다. 독립형 유닛에 대한 시뮬레이션된 산란 패턴은 임계각 근처의 좁은 각도 범위에 우선적으로 집중된다 (도 10). 이 패턴은 낮은 굴절률 유전체 기판에 매우 가까운 표면 수직 쌍극자에서 일반적이며, 임계각을 넘어서는 각도에서 유전체 기판에 결합된 쌍극자의 소실 필드(evanescent field)의 결과이다. 본 발명의 시스템은 파괴적으로 간섭하지 않는, 대략 입자 크기만큼 동일한 평면에서 분리된 두 개의 역평행 면외 쌍극자로 구성된다. 또한, 하단(underlying) Ag 필름은 쌍극자로부터의 소실 필드가 유전체에 결합될 수 있을 만큼 충분히 얇다.
- [0094] 입자의 중심에는 더 약한 면내 쌍극자 구성 성분이 유도된다는 점에 유의해야 한다. 도 9에 나타난 바와 같이, 이러한 쌍극자는 0차 방향 근처에 집중된 산란에 기여해야 하지만, 흥미롭게도 도 10의 a의 원거리장 방사 패턴에서는 거의 보이지 않는다. 이는 위의 면내 쌍극자를 상당히 약화시키는 반대 방향의 면내 이미지 쌍극자를 생성하는 역할을 하는 입자 아래의 Ag 박막 때문이다. 면외 이미지 쌍극자는 실제 쌍극자 아래의 Ag 박막에서도 유도되지만, 이는 효과적인 면외 쌍극자만 강화하여 소실광(evanescent light)이 임계 영역에 결합될 수 있도록 한다. 이 점을 증명하기 위해 도 10의 b와 같이 하단(underlying) Ag 박막이 없는 경우의 원거리장 패턴을 시뮬레이션하였다. 여기서, 면내 쌍극자에 의해 기여된 임계각 내에서 강도가 나타나는 것을 볼 수 있다.
- [0095] 공명 파장 및 비공명 파장에서 각각 큰 각도로 색상을 필터링하고 빛을 반사하는 능력은 입자 어레이(array) 기반 EFP 필터의 독특한 특징이다. 비교를 위해, 두 개의 다른 산란 어레이를 시뮬레이션하였다. 하나는 밀집된 실리카 나노구체(nanosphere) 어레이로 구성되고, 다른 하나는 나노구체 대신 가장자리 간 간격이 4 nm인 입방형 실리카 나노블록으로 만든 EFP 필터로 구성된다 (도 11). 베어 실리카 나노구체의 경우, 면외 내부 필드 구성 요소가 부족하기 때문에 원거리장 패턴에서 고각 산란을 관찰할 수 없다. 또한, 어레이는 FP 캐비티를 구성하지 않으므로 색상을 필터링할 수 없다. 반면, 나노블록형 EFP는 효과적인 공명 캐비티로서 작동하므로 색상을 필터링할 수 있지만 유닛에 곡률이 없기 때문에 고각 산란을 생성하는 데 필요한 강력한 면외 필드 구성 요소가 생성되지 않는다.
- [0096] 이제 도 4에서 EFP 및 PFP 필터 모두에 대한 공명 투과를 조사한다. 일반적으로 FP 공명은 하단 및 상단 Ag 필름을 따라 구동되는 역평행 전류와 유전체의 관련 자기 쌍극자를 특징으로 한다. 따라서, 도 4의 b에서 Ag 반셀 위와 하단(underlying) Ag 필름 아래에서 역평행 면내 전기장이 관찰된다. 이는 도 12에 나타난 바와 같이, 유전체에 자기 쌍극자를 유도하여 캐비티는 공명 상태에 있음을 나타낸다. 비공명 경우와 유사하게, 두 개의 역평행 면외 전기장 구성 요소가 두 개의 반대쪽 Ag 세미셀 가장자리 근처에서 발생한다. 그러나, 이번에는 공명으로 인해 두 개의 Ag 세미셀 가장자리 사이에 더 강한 면내 전기장 구성이 존재한다. EFP 필터의 면내 전기장과 면외 전기장의 조합은 수직 입사 축을 따르지만 확산되는 투과를 발생시킨다.
- [0097] 도 4의 c에 나타난 바와 같이, 실리카 입자 중앙에 있는 면내 쌍극자와 Ag 세미셀의 두 끝에 있는 두 개의 역평행 면외 쌍극자를 사용하여 이 동작을 모델링할 수 있다. 면내 쌍극자와 면외 쌍극자의 강도는 도 4의 b의 내부 전계 강도에서 약 4:5로 계산되었다. 도 4의 c의 각 여기 편광 결과를 모델링하기 위해 해당 쌍극자 레이어아웃을 사용하여 두 개의 개별 시뮬레이션을 수행하였다. 각 시뮬레이션의 원거리장 투과 패턴은 평면파 시뮬레이션의 패턴과 매우 잘 일치하며, 이는 이들 3개의 쌍극자가 약간 확산된 투과 동작에 크게 책임이 있음을 보여준다. 면내 쌍극자로 인하여, 면내 쌍극자가 없을 때보다 빛이 수직 축을 따라 투과하는 경향이 더 강하게 나타났다. 이는 투과된 색상이 덜 분산되고 흐릿하게 유지되는 데 도움이 된다. EFP 필터에서 면외 쌍극자의 출현은 공명 효과가 아니며 비수직 입사를 통한 여기를 필요로 하지 않는다는 점에 유의하는 것이 중요하다. 이는 수직 입사광을 사용하여 공명 및 비공명 파장 모두에서 나타나는 모습에서 분명하게 드러난다 (도 3 및 4).

- [0098] Ag 세미셀의 감소된 구조적 대칭성으로 인한 추가적인 이점은 광범위한 입사각에 걸쳐 확산 반사가 발생할 수 있다는 것이다. 비수직 입사는 EFP 캐비티의 면외 쌍극자를 여기할 수 있는 면내 및 면외 필드 구성 요소를 모두 전달하므로 (도 13), 큰 각도에 걸쳐 후방 산란이 발생할 수 있다. 45° 각도는 공명을 청색편이 시키지만, 색상이 초기에 각 색상의 장파장 끝 부분 근처에 구성되면 유사한 투과 색상을 얻을 수 있다.
- [0099] EFP 필터의 색상 필터링 및 광 포획 능력을 입증하기 위해 DSSC에 청색, 녹색 및 적색 EFP 필터를 설치하고 1 태양 조건(AM 1.5G, 100 mW/cm²)에서 청색, 녹색 및 적색 PFP 필터가 장착된 DSSC와 성능을 비교하였다. PFP-DSSC 및 EFP-DSSC의 개략도는 각각 도 5의 a 및 b에 나타났다. DSSC는 빛이 이동하는 경로의 순서에 따라 50 nm 두께의 차단층을 지지하는 FTO/유리 기판, 12 μm 두께의 염료 감응형 TiO₂ 나노입자 층, I₃⁻/I⁻ 산화환원 쌍이 있는 전해질, 및 FTO 상대 전극 상의 얇은 Pt 층으로 구성된다. Langmuir-Blodgett 방법을 사용하여 FP 필터를 FTO/유리 상대 전극의 바깥쪽에 부착하였다. 유리, FTO 및 전해질은 유사한 굴절률을 공유한다고 가정하였다. Pt 층은 많은 양의 빛이 투과할 수 있을 만큼 충분히 얇다. EFP 필터의 색상 필터링 기능은 도 5c의 삽입도에 설명되었다. 여기서, 백색광 램프 앞에 보이는 EFP-DSSC는 청색, 녹색, 및 적색을 나타낸다.
- [0100] PFP 필터에 비해 EFP 필터의 향상된 광산란 특성으로 인해 EFP-DSSC는 PFP-DSSC에 비해 향상된 J_{sc} 및 PCE 값을 나타낼 것으로 예상된다. EFP와 PFP-DSSC 간의 J-V(전류-전압) 성능 비교는 대부분 이러한 동작을 확인한다 (도 5의 c). J-V 곡선에서 나타난 바와 같이, 청색(EFP(B)-DSSC) 및 녹색(EFP(G)-DSSC) 소자는 해당 PFP 필터를 사용한 소자보다 각각 6.9% 및 4.3% 더 높은 J_{sc} 값을 생성하였다 (표 1). 그러나, 적색(EFP(R)-DSSC) 소자의 경우, J_{sc} 값은 적색 PFP 대응물에 비해 3.1% 낮았다. 청색, 녹색, 및 적색 소자 순서로 J_{sc} 향상이 감소하는 추세는 도 1의 c에서 나타난 바와 같이, 청색(적색) EFP 필터에 대해 향상된 반사의 대역폭이 가장 넓다는(가장 짧음) 사실로 설명할 수 있다. 실제로, 도 1의 c에서 적색 PFP 필터가 특정 대역폭에서 해당 EFP 필터보다 더 많은 것을 반사하여 EFP(R)-DSSC의 J_{sc} 향상을 손상시키는 것을 볼 수 있다. 또한, 적색 EFP 필터는 다른 컬러 필터에 비해 어레이의 균열 밀도가 더 높은 것으로 확인되었으며 (도 2의 b), 이로 인해 J_{sc}가 저하될 가능성이 있다. 본 발명자들은 LB 조립 공정을 보다 세밀하게 제어하면 이러한 구조적 결함을 제거하여 J_{sc}를 향상시킬 수 있다고 추정한다. 또한 EFP(B)-DSSC 및 EFP(G)-DSSC의 향상 값은 실험적으로(도 2의 d) 및 수치적으로(도 3) 모두에서 볼 수 있는 확산 산란의 큰 개선에서 기대할 수 있는 것보다 작다. 이는 빛의 경로를 부분적으로 방해하는 FTO/유리와 전해질 사이의 Pt 필름에 기인하며, 그 효과는 EFP 필터의 고각 산란광에 대해 더 강하다.
- [0101] 서브마이크론 크기의 TiO₂ 입자와 같은 고굴절률 산란체를 전해질에 삽입하여 DSSC의 광 포획을 개선하려는 노력이 있어왔다. 그러나, 전해질 내의 산란체의 존재는 이온 전달을 방해하여 전기화학적 활동을 방해할 수 있다. 도 5의 d는 산란층을 호스팅하는 DSSC의 개략도를 나타낸다. 본 발명자들은 여기에서 그러한 산란층이 외부 FTO/유리 기판에 부착된 EFP 필터로 대체될 수 있고, 전기화학적 상호작용에서 완전히 제거될 수 있음을 보여준다. 베어 DSSC는 EFP-DSSC와 달리 흡수되지 않은 모든 빛을 단순히 투과하므로, 청색, 녹색, 적색 EFP-DSSC 및 베어 DSSC에 대한 J-V 곡선을 비교하면 베어 DSSC가 가장 낮은 단락 전류를 나타냄을 알 수 있다 (도 5의 e). 동일한 비교 도면에는 400 nm 크기의 TiO₂ 입자로 구성된 산란층(scattering layer; SL)이 있는 DSSC의 결과가 포함되었다. 산란층은 DSSC가 단락 전류 밀도에서 순수 DSSC보다 성능이 뛰어나도록 도움을 주지만 그 효과는 EFP 필터보다 약하다는 것을 알 수 있다. 세 가지 EFP DSSC(청색, 녹색, 적색) 모두 베어 DSSC에 비해 각각 14.2%, 9.7%, 및 6.3% 더 높은 J_{sc} 값을 생성하는 것으로 나타났다 (표 1).

표 1

(a) Device	(b) V_{oc} (V)	(c) J_{sc} (mA/cm ²)	(d) F.F. (%)	(e) PCE (%)	(f) Enhancement PCE (vs. Bare DSSC)
Bare DSSC	0.815 (± 0.005)	12.53 (± 0.54)	68.0 (± 1.1)	6.94 (± 0.33)	
SL-DSSC	0.816 (± 0.002)	13.52 (± 0.18)	68.1 (± 0.7)	7.51 (± 0.13)	8.2 %
EFP(R)-DSSC	0.824 (± 0.005)	13.32 (± 0.19)	72.3 (± 1.1)	7.94 (± 0.22)	14.4%
EFP(G)-DSSC	0.817 (± 0.006)	13.74 (± 0.30)	70.2 (± 2.7)	7.89 (± 0.53)	13.7 %
EFP(B)-DSSC	0.820 (± 0.011)	14.31 (± 0.48)	67.8 (± 0.7)	7.95 (± 0.26)	14.6 %
PFP(R)-DSSC	0.823 (± 0.004)	13.73 (± 0.10)	68.8 (± 0.5)	7.77 (± 0.04)	12 %
PFP(G)-DSSC	0.818 (± 0.006)	13.17 (± 0.05)	68.8 (± 1.0)	7.40 (± 0.17)	6.6 %
PFP(B)-DSSC	0.822 (± 0.003)	13.39 (± 0.14)	70.1 (± 1.0)	7.72 (± 0.22)	11.2 %

[0102]

[0104]

3. 결론

[0105]

결론적으로, 본 발명에서는 다채로운 반투명 태양전지에서 광 포획을 촉진하는 컬러 필터를 시연하였다. 핵심 아이디어는 입사광으로 면외 전기 쌍극자를 유도하면서 효과적인 FP구조를 유지하는 것이다. 본 발명에서는 실리카 나노구체의 Ag 세미셀이 순전히 수직 입사로 여기될 때 광범위한 파장에 걸쳐 역평행 면외 쌍극자를 지원할 수 있음을 보여주었다. 공명은 플라즈몬 요소보다는 효과적인 FP 구조에 의해 정의되며, 면외 쌍극자는 대역 제한이 없다. 이러한 쌍극자는 더 많은 빛을 유전체 지지체의 중요한 영역으로 분산시켜 빛을 가두는 데 도움이 되며, 효과적인 FP 구조는 유색 빛을 필터링하는 데 도움이 된다. DSSC에 적용된 청색 및 녹색 EFP 필터는 베어 (bare) DSSC 및 산란층을 갖는 DSSC뿐만 아니라, PFP 대응물을 갖는 DSSC에 비해서도 더 많은 광 흡수를 나타냈으며, 이는 EFP 구조가 반투명 유색 태양전지에서 향상된 전류를 생성하는데 더 적합하다는 것을 나타낸다. 구조적 결함으로 인해 적색 EFP 필터의 성능이 제한되었지만 유전체 입자 조립을 미세하게 제어하면 문제를 해결할 수 있다. EFP 캐비티는 Langmuir-Blodgett 공정과 같은 방법을 사용하여 쉽게 확장 가능하고 저렴하게 제작할 수 있기 때문에, 이러한 결과는 고성능 유색 반투명 태양전지에 대한 유망한 길을 열 수 있다.

[0107]

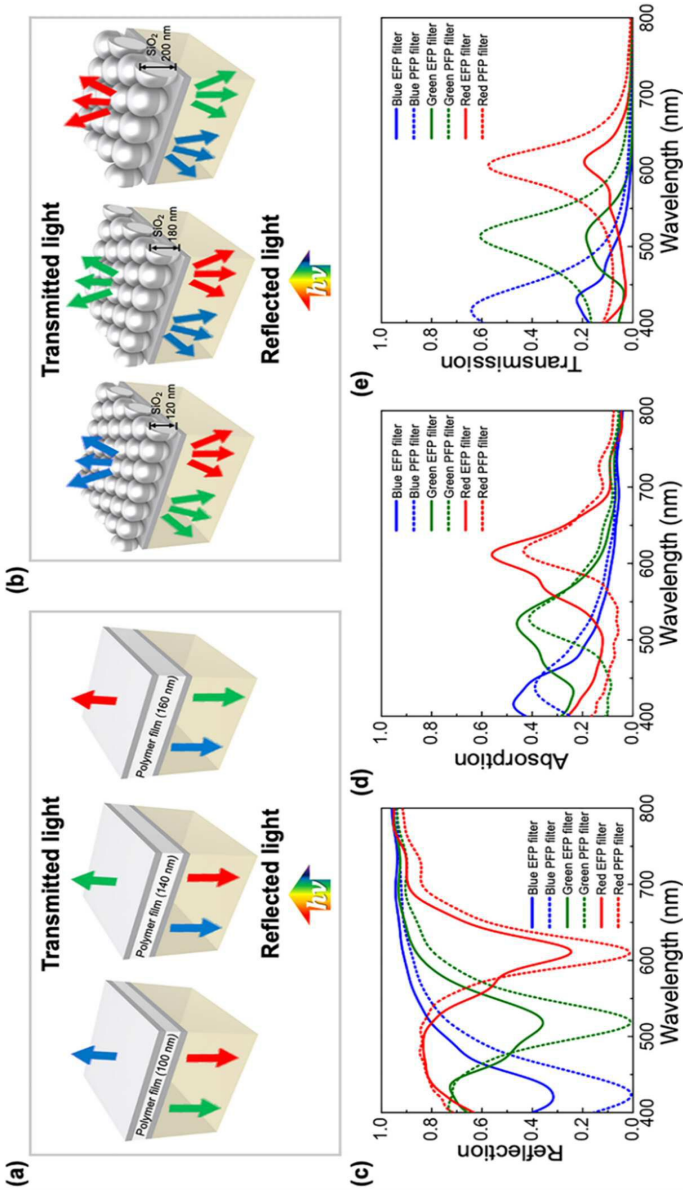
전술한 본원의 설명은 예시를 위한 것이며, 본원이 속하는 기술분야의 통상의 지식을 가진 자는 본원의 기술적 사상이나 필수적인 특징을 변경하지 않고서 다른 구체적인 형태로 쉽게 변형이 가능하다는 것을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로 이상에서 기술한 실시예들은 모든 면에서 예시적인 것이며 한정적이 아닌 것으로 이해해야만 한다. 예를 들어, 단일형으로 설명되어 있는 각 구성 요소는 분산되어 실시될 수도 있으며, 마찬가지로 분산된 것으로 설명되어 있는 구성 요소들도 결합된 형태로 실시될 수도 있다.

[0108]

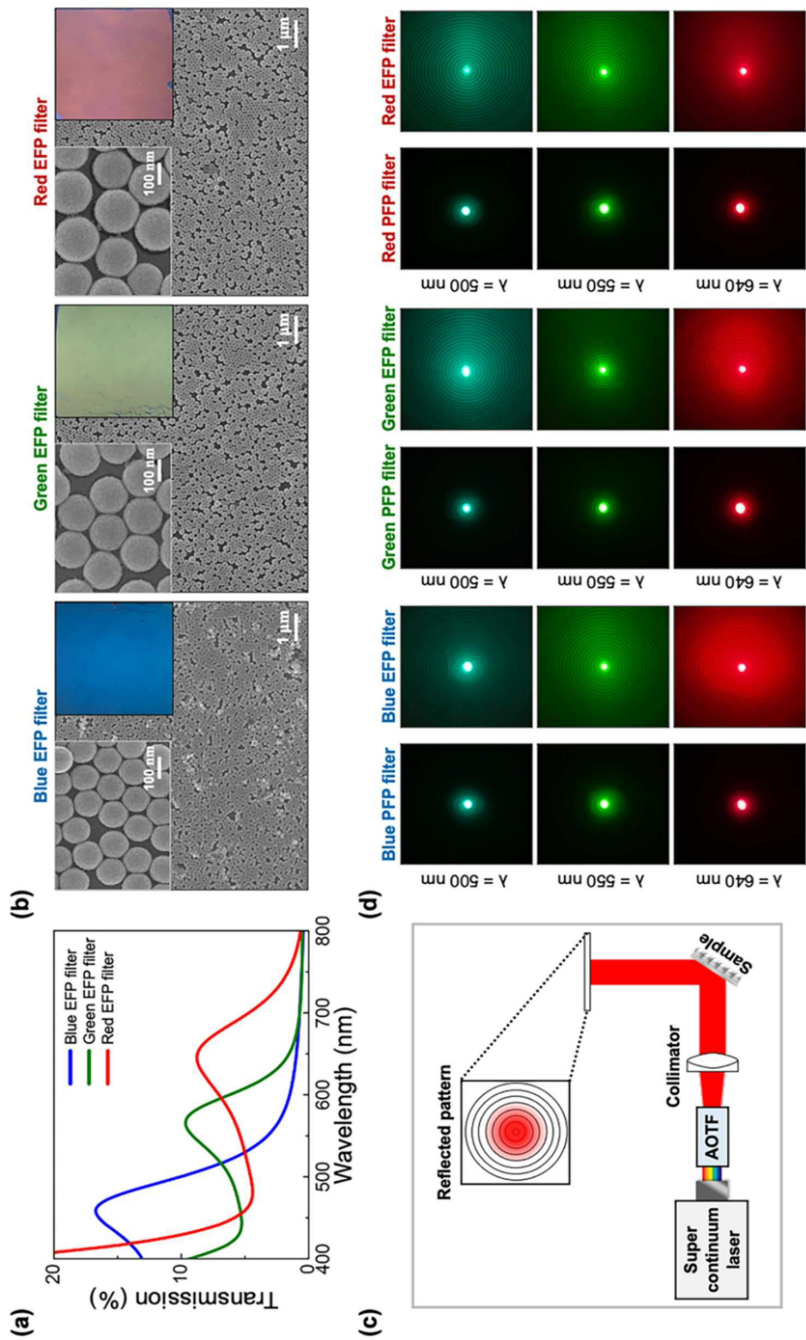
본원의 범위는 상기 상세한 설명보다는 후술하는 특허청구범위에 의하여 나타내어지며, 특허청구범위의 의미 및 범위, 그리고 그 균등 개념으로부터 도출되는 모든 변경 또는 변형된 형태가 본원의 범위에 포함되는 것으로 해석되어야 한다.

도면

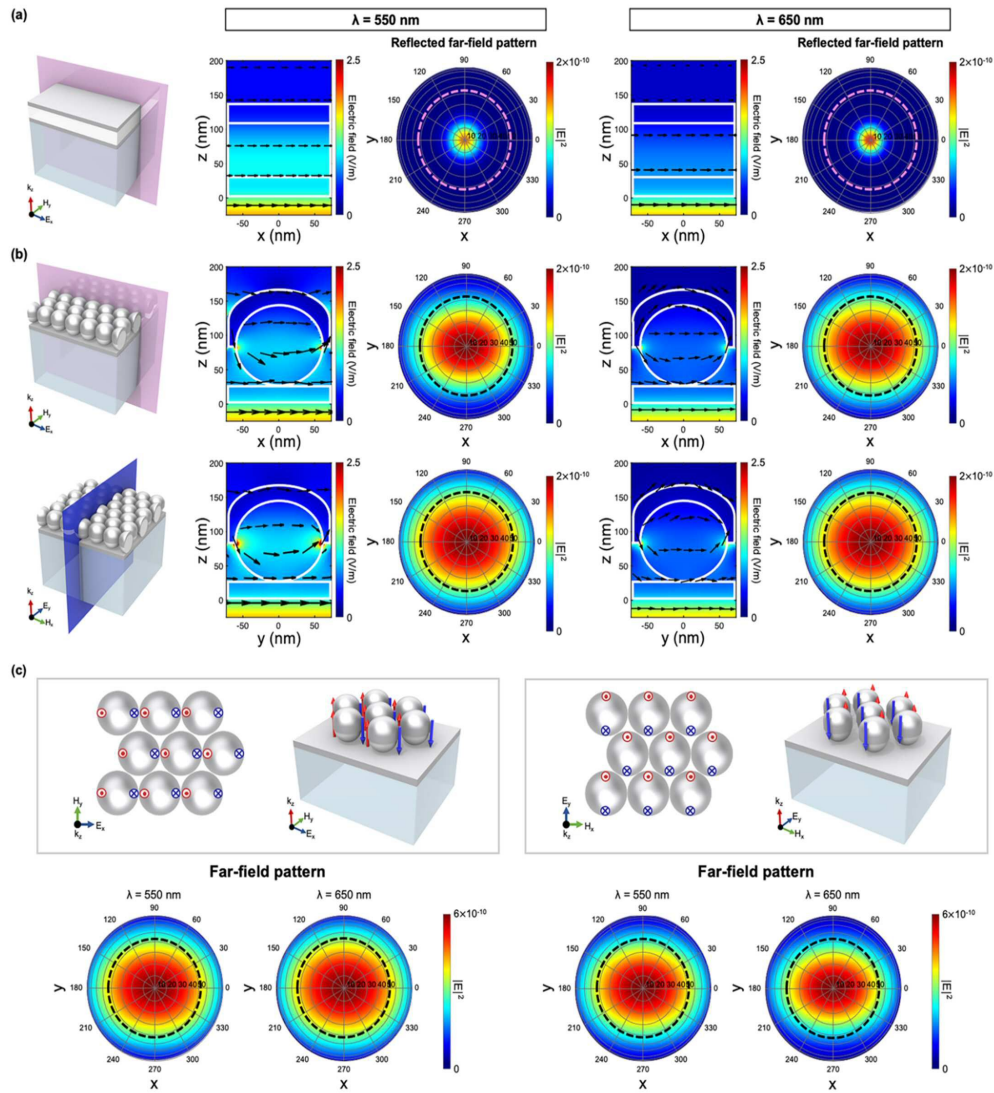
도면1



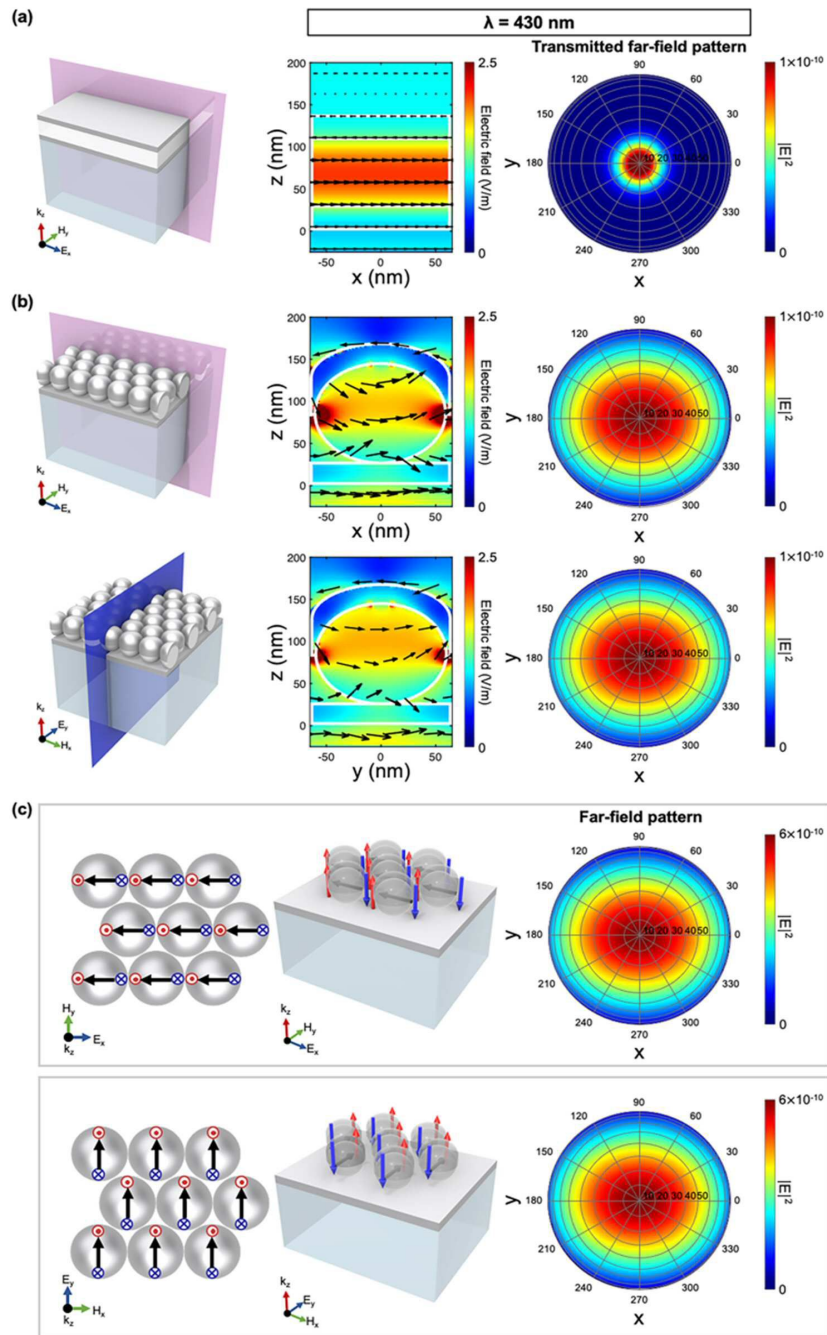
도면2



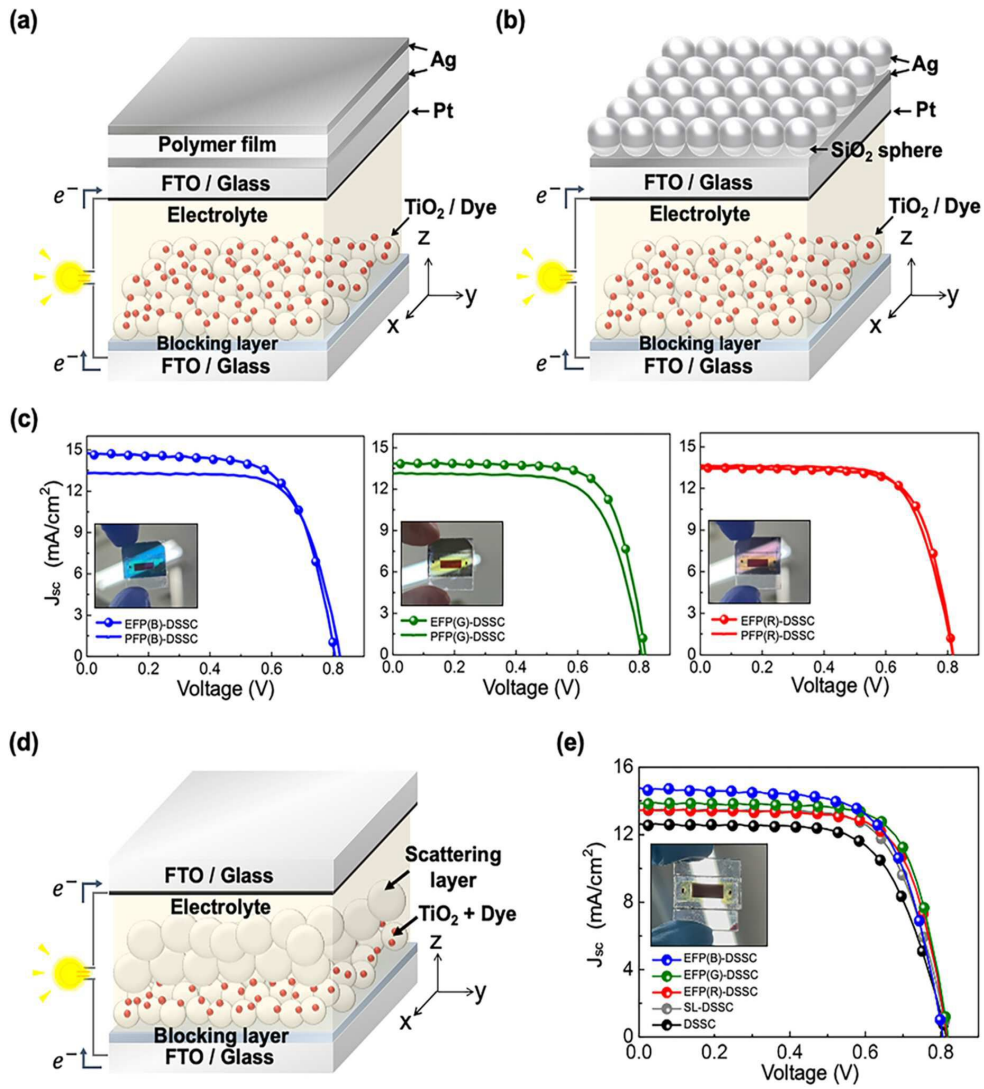
도면3



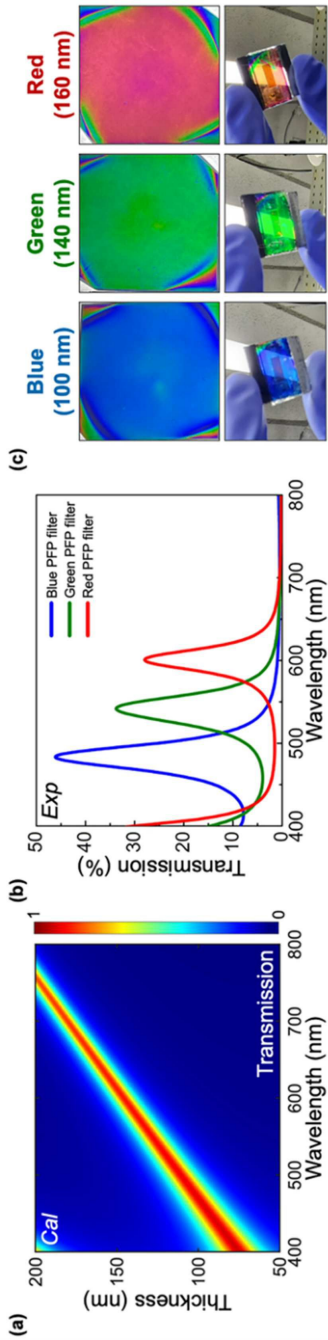
도면4



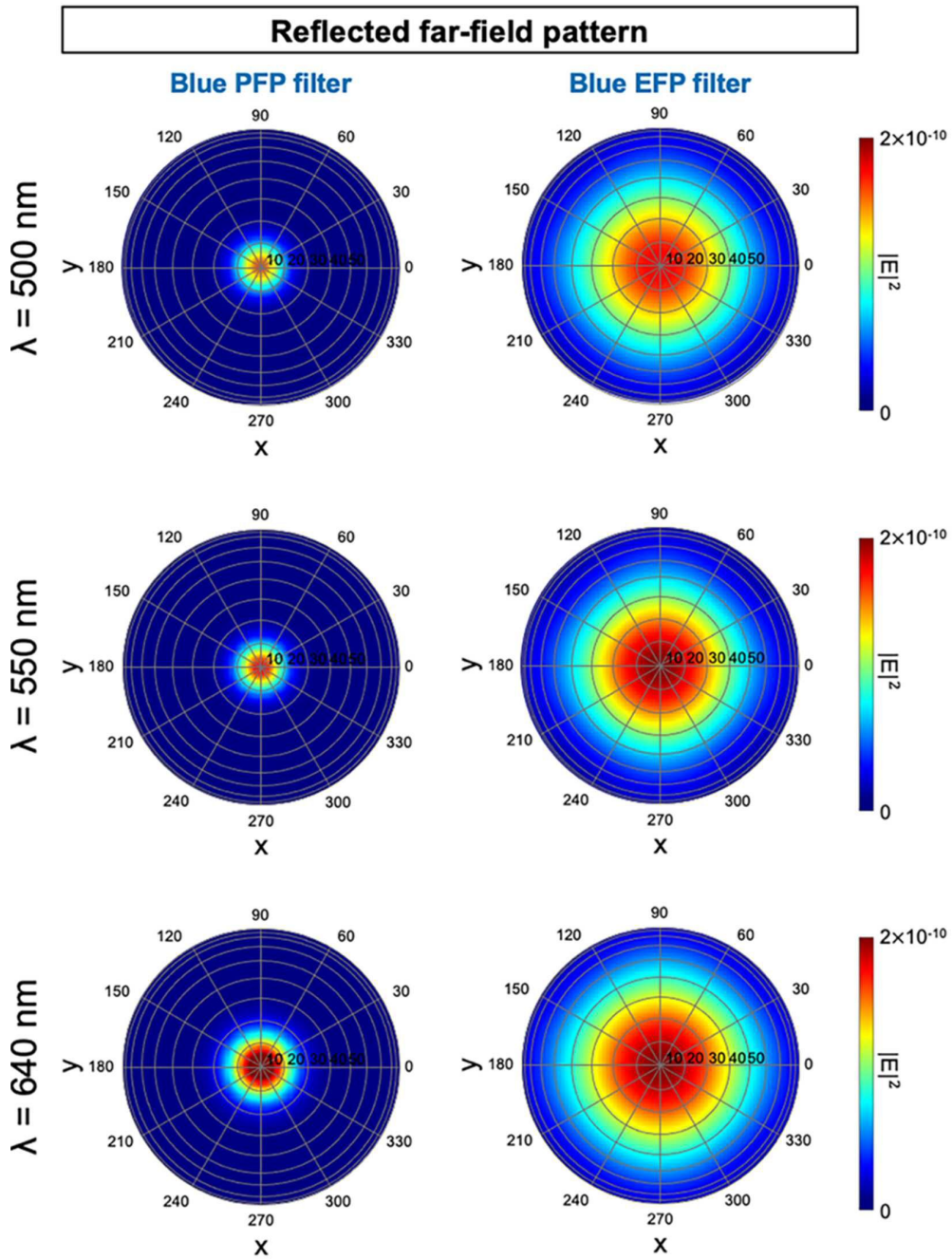
도면5



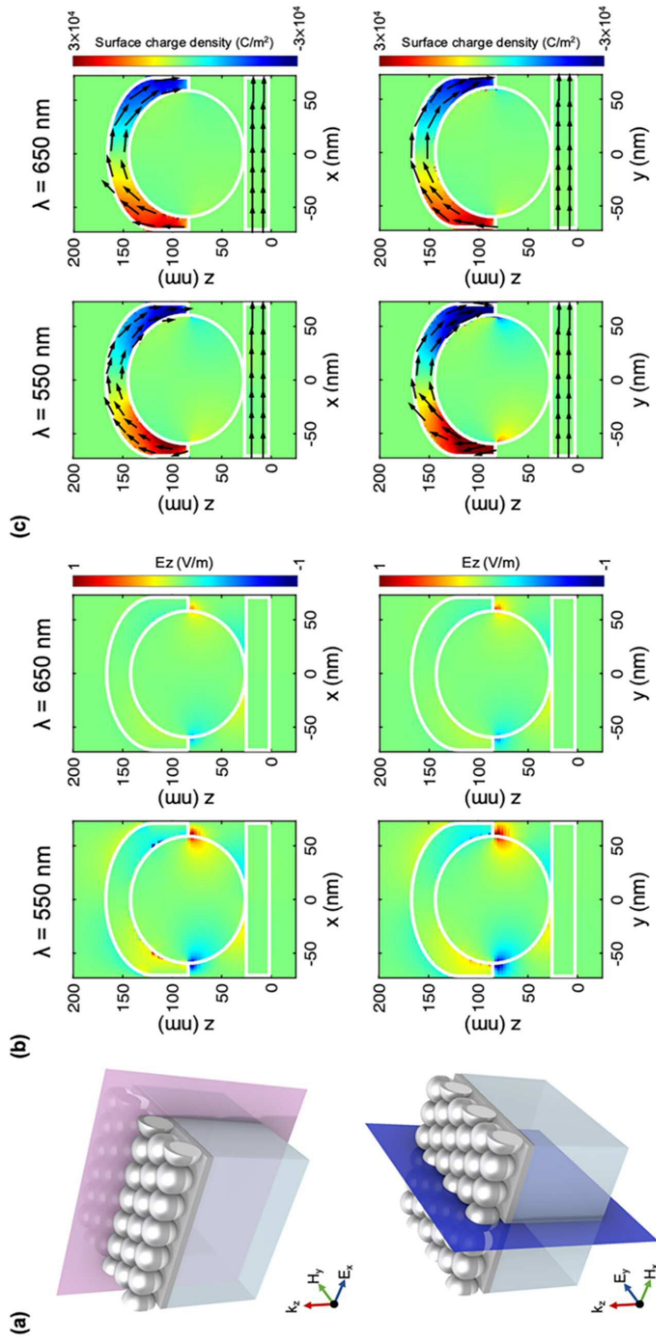
도면6



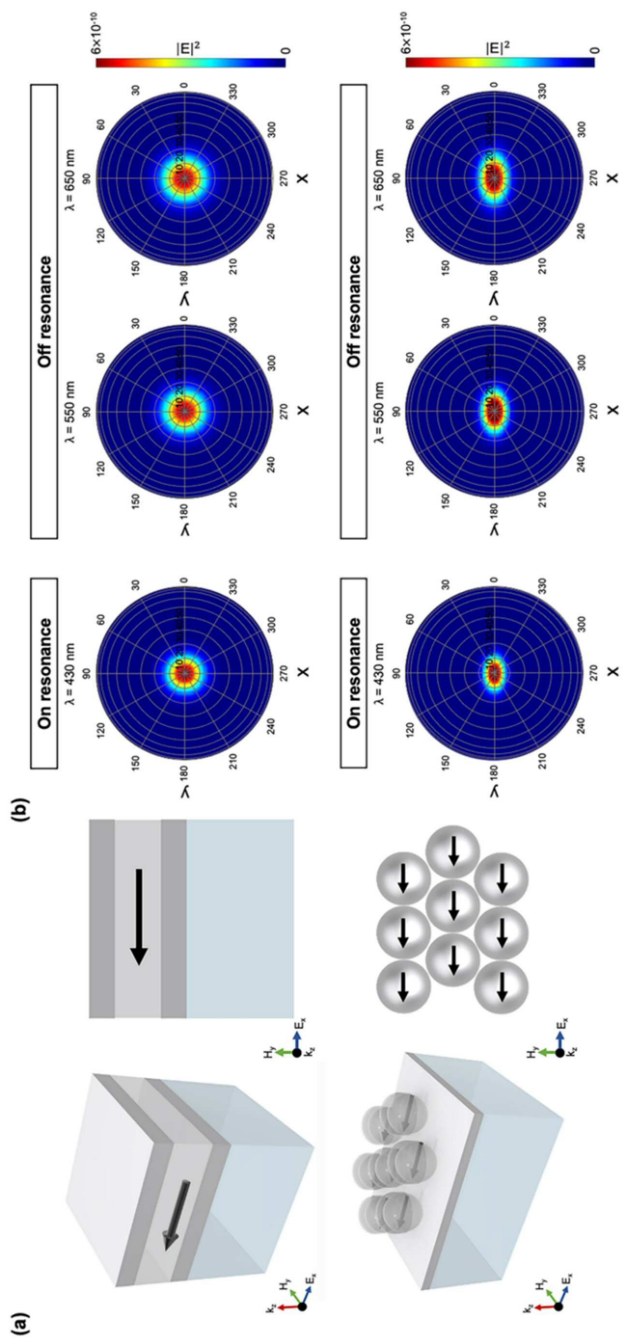
도면7



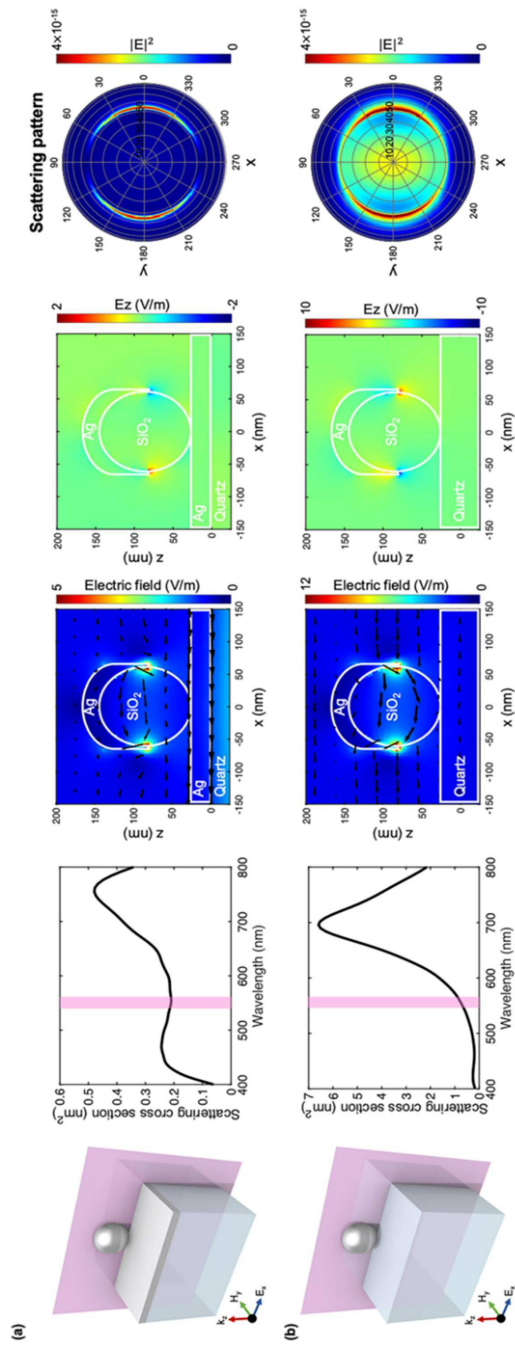
도면8



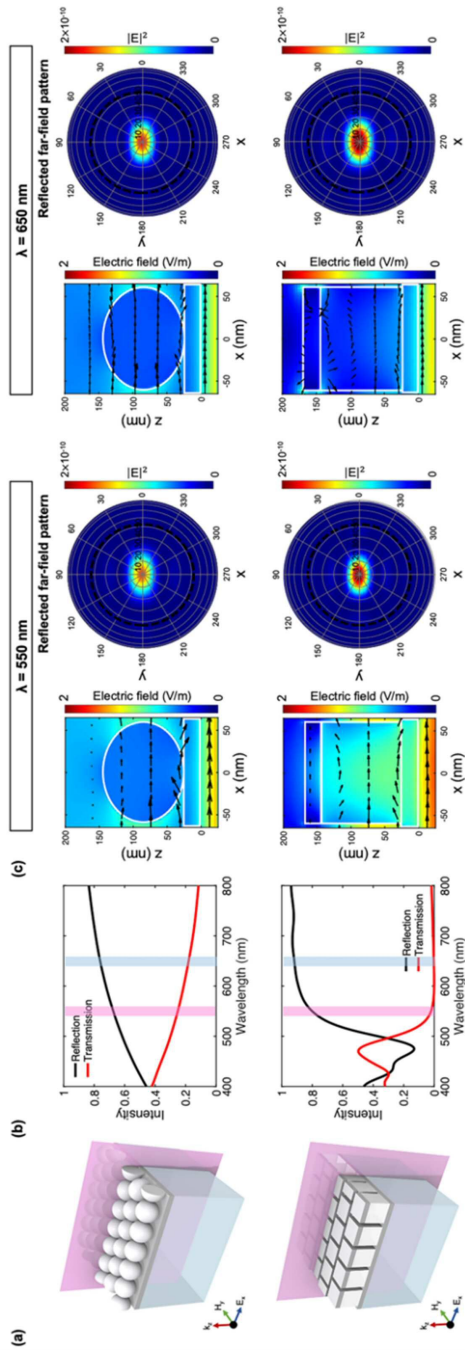
도면9



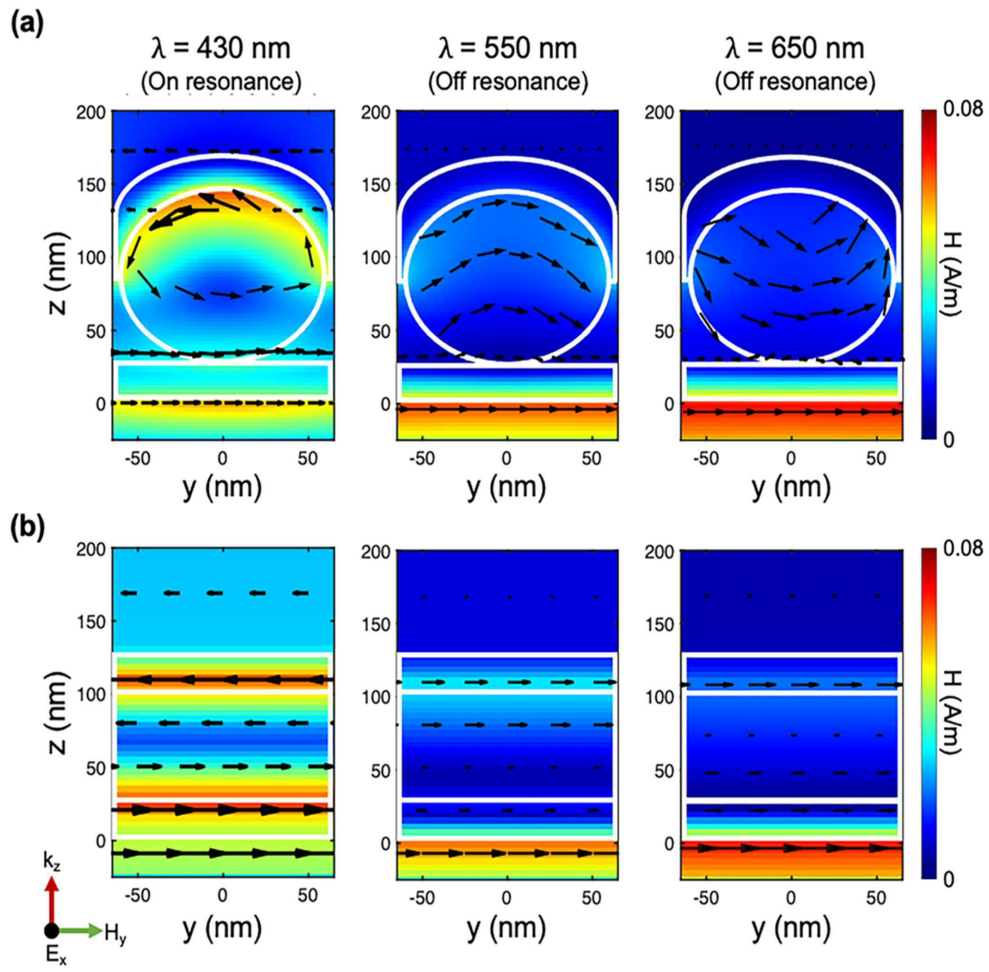
도면10



도면11



도면12



도면13

