



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2017-0012164
(43) 공개일자 2017년02월02일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G02B 5/20 (2006.01)

(52) CPC특허분류
G02B 5/207 (2013.01)
G02B 5/201 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2016-0094398

(22) 출원일자 2016년07월25일

심사청구일자 2016년07월25일

(30) 우선권주장

1020150105119 2015년07월24일 대한민국(KR)

(71) 출원인

이화여자대학교 산학협력단

서울특별시 서대문구 이화여대길 52 (대현동, 이화여자대학교)

(72) 발명자

현가담

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

(74) 대리인

특허법인엠에이피에스

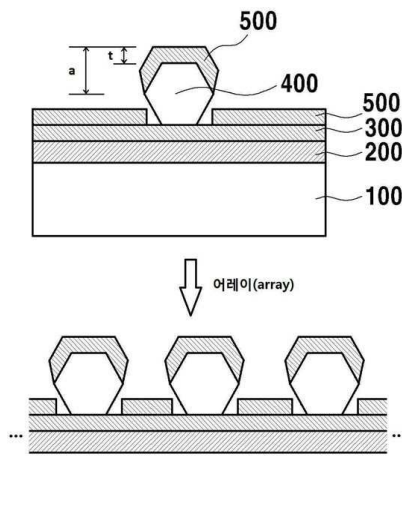
전체 청구항 수 : 총 17 항

(54) 발명의 명칭 하이브리드 나노구조체들의 배열을 포함하는 광 필터 및 이의 제조 방법

(57) 요약

하이브리드 나노구조체들의 배열을 포함하는 광 필터 및 이의 제조 방법을 제공한다.

대표도 - 도1a



(52) CPC특허분류
G02B 5/208 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

투명 기재 상에 배치된 나노구조체; 및 상기 나노구조체의 적어도 일부 표면 및 상기 나노구조체가 배치되지 않은 상기 투명 기재의 표면에 코팅된 제 1 층을 포함하는 하이브리드 나노구조체들의 배열을 포함하는, 광 필터로서,

[식 1]

유전 상수 $\epsilon = \epsilon' + i\epsilon''$;

상기 나노구조체는 상기 광 필터가 작동하는 파장 대역에서 상기 식 1로서 표시되는 유전상수(permittivity) ϵ 의 실수 부분인 ϵ' 의 값이 양수인 물질을 포함하며; 상기 제 1 층은 상기 광 필터가 작동하는 파장 대역에서 상기 식 1로서 표시되는 유전상수 ϵ 의 실수 부분인 ϵ' 의 값이 음수인 물질을 포함하는 것인, 광 필터.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 하이브리드 나노구조체들 각각에 포함된 상기 나노구조체는 직경이 서로 동일하거나 상이한 것들을 포함함으로써 복수의 파장 대역들의 빛을 동시에 투과시키는 복수 대역 필터로서 작동하는 것인, 광 필터.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 하이브리드 나노구조체들 각각에 포함된 상기 나노구조체는 물질이 서로 동일하거나 상이한 것들을 포함함으로써 복수의 파장 대역의 빛을 동시에 투과시키는 복수 대역 필터로서 작동하는 것인, 광 필터.

청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 하이브리드 나노구조체들의 개수 또는 배열 간격을 조절하여 투과율이 조절되는 것인, 광 필터.

청구항 5

제 1 항에 있어서,

상기 하이브리드 나노구조체들의 배열 및/또는 배치를 조절하여 투과 파장 대역의 폭과 선모양(lineshape)이 조절되는 것인, 광 필터.

청구항 6

제 1 항에 있어서,

상기 나노구조체와 상기 제 1 층의 하부에 형성된 제 2 층을 추가 포함하는, 광 필터.

청구항 7

제 1 항에 있어서,

상기 광 필터의 작동 파장 대역은 가시광선 범위 또는 적외선 범위를 포함하는 것인, 광 필터.

청구항 8

제 1 항에 있어서,

상기 나노구조체는 상기 광 필터의 작동 파장 대역보다 큰 밴드갭을 갖는 물질을 포함하는 것인, 광 필터.

청구항 9

제 1 항에 있어서,

상기 나노구조체는 C(diamond), Si, Ge, Sn, SiC, S₈, Se, Te, BN, BP, BAs, ZnO, ZnSe, ZnS, ZnTe, CuCl, Cu₂S, PbSe, PbS, ObTe, SnS, SnS₂, SnTe, B₁₂As₂, AlN, AlP, AlP, AlAs, AlSb, GaN, GaP, GaAs, GaSb, CdS, CdSe, CdTe, InGaP, InGaN, InN, InP, InAs, InSb, BaTiO₂, BaTiO₃, PbSeTe, Tl₂SnTe₅, Tl₂GeTe₅, Bi₂Te₃, Cd₃P₂, Cd₃As₂, Cd₃Sb₂, ZnS₂, Zn₃As₂, Zn₃Sb₂, TiO₂, Cu₂O, CuO, UO₂, UO₃, Bi₂O₃, SnO₂, SrTiO₃, LiNbO₃, La₂CuO₄, PbI₂, MoS₂, VO₂, V₂O₃, GaSe, Bi₂S₃, NiO, CuInSe₂, Ag₂S, FeS₂, Cu₂ZnSnS₄, CuZnSbS, Cu₂SnS₃, Si_{1-x}Ge_x, Si_{1-x}Sn_x, Al_xGa_{1-x}As, In_xGa_{1-x}As, In_xGa_{1-x}P, Al_xIn_{1-x}As, Al_xIn_{1-x}Sb, GaAsN, GaAsP, GaAsSb, AlGaN, AlGaP, InGaN, InAsSb, InGaSb, AlGaInP, AlGaAsP, IGaAsP, InGaAsSb, InAsSbP, AlInAsP, AlGaAsN, InGaAsN, InAsAsN, GaAsSbN, GaInNAsSb, GaInAsSbP, CdZnTe, HgCdTe, HgZnTe, HgZnSe, 및 Cu(In,Ga)Se₂으로 이루어진 군으로부터 선택된 물질을 포함하는 것인, 광 필터.

청구항 10

제 1 항에 있어서,

상기 광 필터의 작동 파장 대역이 가시광선 범위를 포함하는 경우, 상기 제 1 층은 Ag, Au, Pt, Al, Si, Ge, Cu, P-도핑 Si, B-도핑 Si, 및 P-도핑 Ge로 이루어진 군으로부터 선택된 것을 포함하는 것인, 광 필터.

청구항 11

제 1 항에 있어서,

상기 광 필터의 작동 파장 대역이 적외선 범위를 포함하는 경우, 상기 제 1 층은 TiN, InP, Si, Ge, ZnO, GaN, InGaN, InN, Cu, Ga-도핑 ZnO, 및 Si-도핑 GaN으로 이루어진 군으로부터 선택된 물질을 포함하는 것인, 광 필터.

청구항 12

제 1 항에 있어서,

상기 나노구조체는 상기 광 필터의 작동 파장보다 작은 두께를 가지는 것인, 광 필터.

청구항 13

제 1 항에 있어서,

상기 나노구조체의 두께에 의해 상기 광 필터의 투과 파장 또는 투과 파장 영역이 조절되는 것인, 광 필터.

청구항 14

제 6 항에 있어서,

상기 제 2 층 하부에 형성된 웨팅(wetting) 층을 추가 포함하는, 광 필터.

청구항 15

제 1 항에 있어서,

상기 제 1 층은 상기 나노구조체의 표면 중 상기 기재에 접촉되지 않은 표면의 적어도 일부 또는 접촉되지 않은 모든 표면에 형성되는 것인, 광 필터.

청구항 16

제 1 항에 있어서,

상기 광 필터로 입사되는 빛의 편광 방향을 상기 나노구조체의 축과 동일한 방향으로 고정함으로써 상기 입사되는 빛에 의하여 형성된 상기 제 1 층 내의 쌍극자(dipole)와 상기 나노구조체 내의 쌍극자 간의 간섭으로 인하여 빛의 산란이 상쇄되어 상기 광 필터의 투과도가 증가하는 것인, 광 필터.

청구항 17

제 1 항 내지 제 16 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 광 필터는 바이오 이미징 또는 광 통신에 사용되는 것인, 광 필터.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본원은, 하이브리드 나노구조체들의 배열을 포함하는 광 필터 및 이의 제조 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 광 필터는 광 통신, 디스플레이, 이미징을 포함하는 광범위한 광 관련 분야의 핵심적인 구성 부품으로 알려져 있다. 마이크로 단위에서의 광 필터들은 일반적으로 빛의 파장과 상응하는 두께의 유전체 박막들로 이루어져 있으며, 특정한 파장의 빛은 이 구조에 의한 간섭현상으로 인해서 투과 또는 반사된다. 한편, 소형화의 목표를 달성하기 위한 유망한 대안 중 하나는 표면 플라즈몬 폴라리톤(surface plasmon polaritons; SPPs) 사이의 간섭을 작동 원리로 하는 플라즈몬 그레이팅이다[Barnes, W. L.; Dereux, A.; Ebbesen, T. W. Surface plasmon subwavelength optics. *Nature* 2003, 424, (6950), 824-830]. 이러한 플라즈몬 그레이팅에 근거한 다양한 설계들이 각종 가시광-필터를 주도하고 있다. 모든 경우들에서, 많은 수의 그레이팅 요소가 빛 및 SPPs 사이의 향상된 운동량에 기인한 향상된 투과(transmission) 효율 및 더 좁은 선폭(linewidth)을 야기하였다. 이러한

유형의 필터는 전통적인 필터를 넘어서는 여러 중요한 이점들을 제공하지만, 투과율의 조절이 어렵다는 점, 그레이팅 요소의 수의 감소에 따라 성능이 감소한다는 점, 복수대역에서의 빛의 투과가 쉽게 제어 안된다는 점들이 필터의 한계를 제시하고 있다. 또한, 특정한 선모양의 투과대역을 설계하고 싶은 경우, 간섭현상으로 구동되는 박막 필터나 플라즈모닉 그레이팅으로는 그 실현이 매우 어렵거나 불가능하다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0003] 본원은, 하이브리드 나노구조체들을 배열한 광 필터 및 이의 제조 방법을 제공하고자 한다.

[0004] 그러나, 본원이 해결하고자 하는 과제는 이상에서 언급한 과제로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 과제들은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

[0005] 본원의 제 1 측면은, 투명 기재 상에 배치된 나노구조체; 및 상기 나노구조체의 적어도 일부 표면 및 상기 나노구조체가 배치되지 않은 상기 투명 기재의 표면에 코팅된 제 1 층을 포함하는 하이브리드 나노구조체들의 배열을 포함하는, 광 필터로서, 상기 나노구조체는 상기 광 필터가 작동하는 파장 대역에서 하기 식 1로서 표시되는 유전상수(permittivity) ϵ 의 실수 부분인 ϵ' 의 값이 양수인 물질을 포함하며; 상기 제 1 층은 상기 광 필터가 작동하는 파장 대역에서 하기 식 1로서 표시되는 유전상수 ϵ 의 실수 부분인 ϵ' 의 값이 음수인 물질을 포함하는 것인, 광 필터를 제공한다:

[0006] [식 1]

[0007] 유전 상수 $\epsilon = \epsilon' + i\epsilon''$.

발명의 효과

[0008] 본원의 일 구현예에 따른 광 필터는 박막 적층구조로 인한 간섭현상, 또는 귀금속 요철구조에 의한 플라즈모닉 현상과는 차별화된 메카니즘을 기반으로 복수 대역에서도 빛을 동시에 투과시킬 수 있는 기능을 갖는다. 본원의 일 구현예에 따른 광 필터는 상이한 두께 또는 직경 및 물질 또는 그 조합의 하이브리드 나노구조체를 배열함에 따라 복수 대역의 빛을 동시에 투과시킬 수 있고, 하이브리드 나노구조체의 수 및 간격을 조절함으로써 전체 투과율을 효과적으로 조절할 수 있다. 플라즈모닉 필터와는 달리, 광 필터의 하이브리드 나노구조체의 개수와 무관하게 빛의 투과 대역폭은 일정하게 유지되며, 하이브리드 나노구조체의 개수 또는 요소들 사이의 간격에 따라서 전체 투과율의 조절이 가능하다. 이는 투과율과 투과파장의 조절이 독립적으로 실행될 수 있다는 점에서 플라즈모닉 필터와는 크게 차별된다.

[0009] 이러한 기능을 바탕으로 지름이 상이한 나노구조체들을 배열할 경우, 하나의 대역이 아닌 각 나노구조체의 지름에 상응하는 개별적인 대역에서 빛의 투과가 가능한 복수 대역 필터가 실현될 수 있다. 더 나아가서, 나노구조체들의 다양한 배열(예를 들어, 상기 하이브리드 나노구조체들을 일정한 간격으로 배열함)과 배치(예를 들어, 상이한 두께 또는 지름 및/또는 물질을 갖는 상기 하이브리드 나노구조체들을 일정한 순서로 배열함)에 의한 ‘조각기법’을 이용함으로써 특정한 선형(lineshape)과 대역폭(bandwidth)의 형성이 가능하다.

[0010] 본원에 따른 복수 대역 필터는 바이오 이미징과 광 통신 등의 다양한 분야에 적용될 수 있다. 바이오 이미징 중에서는 파장대가 다른 형광체의 빛들을 동시에 측정할 수 있다. 광 통신의 경우 멀티플렉싱(multiplexing) 기술에 적용이 가능할 것으로 전망된다.

[0011] 본원에서는 기존의 광 필터들의 작동 원리와는 차별화된 새로운 페러다임을 제시함으로써, 필터의 성능에 대한 제어가 용이해졌으며, 실현이 불가능하였던 기능들이 가능해졌다. 이로 인해 다양한 적용분야의 기초 및 실용적인 발전이 급진적으로 일어날 것으로 전망된다.

도면의 간단한 설명

[0012] 도 1a 및 도 1b는, 본원의 일 구현예에 따른 광 필터의 개략도이다.

도 2는, 본원의 일 구현예에 따른 광 필터의 제조 방법의 개략도이다.

도 3a는, 본원의 일 구현예에 따른 광 필터의 개략도이다.

도 3b는, 본원의 일 실시예에 따른 광 필터의 SEM 이미지이다. 스케일바는 1 μm 이다.

도 3c는, 본원의 일 구현예에 전력 전송 따른 광 필터를 통한 원거리장 투과를 측정하기 위한 셋업의 개략도이다.

도 3d는, 도 3c에 따른 셋업을 2 차원으로 모델링하여 직경 및 파장의 함수로서 수치적으로 시뮬레이션된 본원의 일 실시예에 따른 광 필터의 투과를 나타낸 것이다.

도 4a는, 예시적인 파라미터를 갖는 본원의 일 구현예에 따른 광 필터의 개략도이다.

도 4b는, 본원의 일 구현예에 따른 광 필터의 상부 Ag 층 두께 및 파장의 함수로서 수치적으로 결정된 전력 전달(power transfer) 효율을 나타낸 것이다.

도 4c는, 본원의 일 실시예에 따른 파장의 함수로써 30 nm 두께의 상부 Ag 층을 갖는 광 필터를 통한 전력 전달 효율을 나타낸 것이다.

도 5는, 본원의 일 실시예에 있어서, 코어 직경 및 파장의 함수로서 수치적으로 시뮬레이션된 상부 Ag 층이 없는 광 필터(a) 및 하부 Ag 층이 없는 광 필터(b)를 통한 전력 전달 효율을 나타낸 것이다.

도 6은, 본원의 일 실시예에 있어서, 코어-셸(상부) 및 코팅되지 않은 (하부) 실린더에 대한 Mie 산란에 대한 측정 결과를 나타낸 것이다. (a)는 코어-셸 ZnO-Ag 실린더(상부) 및 코팅되지 않은 ZnO 실린더(하부)의 개략도로서, Ag 셸 두께는 30 nm로 고정되었다. (b)는 직경 및 파장의 함수로서 분석학적으로 계산된 산란 단면이고, (c)는 180 nm의 코어-직경에 대한 파장의 함수로서 산란(검은색 곡선) 및 흡수 단면(청색 곡선)이다. (d)는 코어-셸 실린더에서 근본적인 흡수 공명에 상응하는, 180 nm의 코어-직경 및 591 nm의 파장에서의 정규화된 각 산란 분포로서, 각의 변수인 θ 는 (a)에 규정되어 있다.

도 7은, 본원의 일 실시예에 있어서, 30 nm 두께의 Ag 셸로 둘러싸인 ZnO 실린더(a), 및 코팅되지 않은 ZnO 실린더(b)에 대한 직경 및 파장의 함수로서 분석적으로 계산된 흡수 단면을 나타낸 것이다.

도 8a는, 본원의 일 실시예에 따른 광 필터(적색 곡선) 및 기본적인 Ag 막 (검은색 곡선) 상에서의 집광된 빛의 입사에 대한 Ag 막에서의 2 차원 모델로 계산된 전달 효율을 나타낸 것이다. 상기 광 필터는 180 nm 크기의 코어-직경, 30 nm 두께의 상부 Ag 층 및 15 nm 두께의 하부 Ag 층으로 형성되었다. 기본적인 Ag 막은 45 nm 두께이다.

도 8b는, 본원의 일 실시예에 따른 광 필터(상부) 및 기본적인 Ag 막(하부) 상으로 집광된 빛 사이의 상호작용을 설명하는 것으로, y-방향에 따른 포인팅 벡터(Poynting vector)의 실수 부분(real part)을 나타낸 것이다. 1, 2 및 3으로서 표시된 도면은 도 8a에서 화살표로 표시된 각각 475 nm, 612 nm 및 750 nm에서 발생하는 상호작용을 나타낸 것이다.

도 9는, 도 8a의 광 필터 내부의 전기장 분포를 나타낸 것으로, 612 nm의 작동 파장에서(2로서 표시된 도면), 전기장은 나노구조체 내부에 주로 국한되어 있음을 보인 반면, 475 nm(1로서 표시된 도면) 및 750 nm(3으로서 표시된 도면)에서의 전기장은 같은 크기 내에서 거의 강도를 나타내지 않음을 보였다.

도 10a는, 본원의 일 실시예에 따른 제 1 Ag 층을 증착하기 전에 Ag 막 상의 세 개의 코팅되지 않은 ZnO 나노로드의 SEM 이미지로서, 왼쪽 및 오른쪽의 도면들은 각각 나노로드의 확대 및 전체 이미지이다. 명목 직경은 각각 상부로부터 하부로 186 nm, 156 nm 및 125 ± 6 nm에 상응한다. 왼쪽 및 오른쪽의 스케일 바는 각각 250 nm 및 500 nm이다.

도 10b는, 본원의 일 실시예에 따른 제 1 Ag 층의 증착 후 세 개의 나노로드의 광학 현미경 이미지이다. 스케일 바는 2.5 μm 이다.

도 10c는, 본원의 일 실시예에 따른 세 개의 광 필터 주위의 Ag 막을 통한 투과에 의해 정규화된 상기 하이브리드 디바이스를 통해 측정된 투과(상부) 및 수치적으로 시뮬레이션된 투과(하부)를 나타낸 것이다.

도 10d는, 본원의 일 실시예에 따른 다른 하이브리드 나노로드들로부터의 실험 및 계산된 파장-직경 분산을 나타낸 것이다. Exp1 및 Exp2는 각각 개별적으로 제조된 두 세트의 하이브리드 나노로드에 해당한다.

도 10e의 상부는 두 번째 Ag 층의 증착 전에 Ag 막 상의 점점 매우 가늘어지는 ZnO 나노로드의 SEM 이미지이다. 스케일 바는 500 nm이다. 하부는 두 번째 Ag 층의 증착 후에 동일한 ZnO 나노로드의 광학 현미경 이미지이다. 스케일 바는 2.5 μm 이다.

도 11은, 도 10c에서와 같은 세 개의 광 필터에서 나노로드 축에 직각으로 편광된 빛으로부터의 반응을 나타낸 것이다. (a) 평행으로(왼쪽 이미지) 및 직각으로(오른쪽 이미지) 편광된 백색광에 의해 발광된 광학 필터의 광학 현미경 이미지이고, (b) 186 ± 6 nm(적색 곡선), 156 ± 6 nm(녹색 곡선), 및 125 ± 6 nm(청색 곡선)의 지름을 갖는 ZnO 나노로드를 포함하는 세 개의 광학 필터에서 주위를 둘러싼 Ag 막을 통한 투과에 의해 정규화된 하이브리드 디바이스를 통한 측정된 투과를 나타낸 것이다. 스케일 바는 $2.5 \mu\text{m}$ 이다.

도 12a 내지 도 12c는, 본원의 일 실시예에 따른 하이브리드 나노구조체의 투과 반응을 나타낸 그래프이다.

도 13은, 본원의 일 실시예에 있어서, (a) 본원에 따른 하이브리드 NR-Ag 필터, 및 (b) 좀더 실질적으로 설계된 본원에 따른 하이브리드 바(bar)-Ag 필터의 요소의 수에 따른 정규화 투과 선형의 의존도를 나타낸 것이다.

도 14는, 본원의 일 실시예에 있어서, 종래의 플라스모닉 나노공진기(적색), 본원에 따른 하이브리드 나노로드(청색) 및 실질적 하이브리드 필터(검은색)의 무한 어레이를 통한 절대 투과도를 나타낸 것이다.

도 15는, 본원의 일 실시예에 있어서, 500 nm 내지 800 nm의 상이한 주기에서 하이브리드 나노로드 필터의 무한 어레이로부터의 투과도를 나타낸 것이다.

도 16a는, 본원의 일 실시예에 있어서, 상이한 수의 요소에 대하여 하이브리드 나노로드 필터의 어레이로부터의 시뮬레이션된 투과도를 나타낸 것이다.

도 16b는, 본원의 일 실시예에 있어서, 직사각형 단면으로 각각 구성된 실질적으로 사용할 수 있는 하이브리드 필터의 어레이로부터의 시뮬레이션된 투과도를 나타낸 것이다.

도 16c는, 본원의 일 실시예에 있어서, 상이한 주기에 대하여 170 nm의 직경을 갖는 나노로드 필터의 무한 어레이를 통한 시뮬레이션된 투과도(상부) 및 주기의 함수로서 필터의 동일한 조립체에 대한 최대 투과도(하부)를 나타낸 것이다.

도 17은, 본원의 일 실시예에 있어서, (a) 500 nm 이하의 주기를 갖는 170 nm-크기의 하이브리드 필터의 무한 어레이로부터의 시뮬레이션된 투과 및 (b) 왼쪽에서 오른쪽으로 400 nm, 300 nm 및 200 nm 주기성에서 유닛 셀로부터의 전기장 분포를 나타낸 것이다.

도 18은, 본원의 일 구현예에 따른 광 필터 시스템을 나타낸 것이다.

도 19는, 본원의 일 실시예에 따른 광 필터 시스템을 기반으로 유도한 계산 결과를 나타낸 것이다.

도 20은, 본원의 일 실시예에 따른 광 필터 시스템을 기반으로 유도한 계산 결과를 나타낸 것이다.

도 21은, 본원의 일 실시예에 있어서, 도 17b에서와 같은 세 종류의 나노로드 배합을 기반으로한 광 필터 시스템의 계산 결과로서, (a) $P1=P2=P3=475$ nm이고 $D1=100$, $D2=160$, $D3=220$ nm인 시스템에서 유도된 투과율 및 (b) $P1=P2=P3=600$ nm이고 $D1=160$ nm, $D2=180$ nm, $D3=200$ nm인 시스템에서 유도된 투과율을 나타낸 것이다.

도 22는, 본원의 일 실시예에 있어서, 각각 상이한 지름을 가지는 복수의 나노와이어를 조합 및 배열하여 구현한 화소를 광 현미경으로 촬영한 사진이다.

도 23은, 본원의 일 실시예에 있어서, 광 필터의 SEM 이미지이다.

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 디바이스를 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 요소들로 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, 투명 기재 상에 배치된 나노구조체; 및 상기 나노구조체의 적어도 일부 표면 및 상기 나노구조체가 배치되지 않은 상기 투명 기재의 표면에 코팅된 제 1 층을 포함하는 하이브리드 나노구조체들의 배열을 포함하는, 광 필터로서, 상기 나노구조체는 상기 광 필터가 작동하는 파장 대역에서 하기 식 1로서 표시되는 유전상수(permittivity) ϵ 의 실수 부분인 ϵ' 의 값이 양수인 물질을 포함하며; 상기 제 1 층은 상기 광 필터가 작동하는 파장 대역에서 하기 식 1로서 표시되는 유전상수 ϵ 의 실수 부분인 ϵ' 의 값이 음수인 물질을 포함하는 것인, 광 필터를 제공한다:
- [0025] [식 1]
- [0026] 유전 상수 $\epsilon = \epsilon' + i\epsilon''$.
- [0027] 본원 명세서 전체에서, "유전 상수(permittivity)"는 매질(medium) 내에서 전기장을 형성할 때 발생하는 저항을 측정한 것으로, 전기장이 유전 매질에 어떻게 영향을 주거나 받는지를 측정한 것을 의미하며, 일반적으로 ϵ 로서 표시된다. 유전 상수는 하기 식 1에 의해 계산될 수 있다:
- [0028] [식 1]
- [0029] 유전 상수 $\epsilon = \epsilon' + i\epsilon''$.
- [0030] 유전 상수(dielectric function, 또는 relative permittivity; $\epsilon = \epsilon' + i\epsilon''$)는 물질의 광학적 성질을 설명하는 함수이며, 복소수(複素數)체로 정의가 되어있다. 일반적으로 광학 함수는 굴절률(refractive index, $N = n + ik$)로서 나타내지만, 빛이 파장과 상응하는 영역대에서는 유전 상수(relative permittivity)가 더 적절한 표현법이다. 굴절률과 유전 상수는 아래의 식을 통해 쉽게 상호 전환이 가능하다:
- [0031] (1) $\epsilon' = n^2 - k^2$;
- [0032] (2) $\epsilon'' = 2nk$;
- [0033] 여기서 n 은 실수로서 빛의 속도(c)와 빛이 물질 내 이동할 시의 속도(phase velocity, v)의 비를 나타낸다;
- [0034] (3) $n = c/v$
- [0035] k 는 소멸계수(extinction coefficient)를 나타냄으로써, 빛이 물질 내 이동할 시 빛의 썩기의 약화를 가리키는 계수이다.
- [0036] 상기 n 과 k 의 조합으로 모든 물질의 광학적인 성질을 나타낼 수 있으며, 미세한 구조내에서 일어나는 현상을 설명할 경우 ϵ' 와 ϵ'' 이 더 적절하다. 이는 ϵ 의 경우, 물질의 포논(phonon) 구조 및 전자적 구조에 기인하는 함수이기 때문이다. 물질의 ϵ 을 이론적으로 예측하는 모델들은 Lorentz model, Drude model, Debye relaxation model을 비롯하여 다양하다[참고 문헌: Chapter 9 in 'Absorption and Scattering of Light by Small Particles', C.F. Bohren and D.R. Huffman, Wiley-VCH 2004]. 유전상수는 물질의 전기 감수율(電氣感受

率), χ_e 와 밀접한 관계를 가지고 있으며, 하기 식 (4)로서 표현이 가능하다:

[0037] (4) $\varepsilon = 1 + \chi_e$.

[0038] 따라서 전기 감수율은 전기장을 걸었을 경우, 물질의 분극화의 정도(degree of polarization)를 나타낸다. 금속의 경우, 높은 전도성으로 인하여 ε' 값이 음수이다. 손실은 ε'' 로서 표현이 된다[참고 문헌: Lourtioz, J.-M. et al. (2005) Photonic crystals: towards nanoscale photonic devices. Springer. Eq (4.8)-(4.9), p.122]. 본원에서 제 1 층, 제 2 층, 나노구조체 등에 대한 적절한 물질의 선택에 있어서 상기 설명한 바와 같은 유전 상수에 기초하여 선택할 수 있으며, 이러한 적절한 물질의 선택은 상기 설명한 바와 같이 당업계에서 공지된 문헌들 및 굴절률 등의 측정 방법, 데이터 등을 이용하여 각 물질의 유전 상수를 측정 및/또는 계산하여 선택할 수 있다.

[0039] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 하이브리드 나노구조체들 각각에 포함된 상기 나노구조체 각각의 두께(characteristic dimension) 또는 직경 및/또는 물질은 서로 동일하거나 상이할 수 있다. 상기 나노구조체의 직경 또는 물질에 따라 빛의 투과 대역이 결정될 수 있다. 두께 또는 직경 및/또는 물질이 서로 상이한 나노구조체들을 포함함으로써 복수의 파장 대역들의 빛을 동시에 투과시키는 복수 대역 필터로서 작동할 수 있다.

[0040] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 하이브리드 나노구조체의 개수 또는 배열 간격을 조절하여 전체 투과율을 조절할 수 있다.

[0041] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 하이브리드 나노구조체들의 배열 및/또는 배치를 조절하여 투과 파장 대역의 폭과 선모양(lineshape)이 조절될 수 있다. 예를 들어, 상기 하이브리드 나노구조체들의 다양한 배열(예를 들어, 하이브리드 나노구조체들을 일정한 간격으로 배열함)과 배치(예를 들어, 상이한 두께 또는 지름 및/또는 물질을 갖는 하이브리드 나노구조체들을 일정한 순서로 배열함)에 의한 '조각기법'으로 특정한 선형(lineshape)과 대역폭(bandwidth)의 형성이 가능하다.

[0042] 도 18은 상이한 직경을 갖는 복수 개의 하이브리드 나노구조체들을 배열한 광 필터를 나타낸 것으로, 하이브리드 나노구조체들의 직경뿐만 아니라 배열 간격을 다양화하여 복수 대역의 필터를 실현할 수 있다.

[0043] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 하이브리드 나노구조체는 나노 크기일 수 있으나, 이에 제한되지 않을 수 있다. 상기 하이브리드 나노구조체는 나노 크기의 두께 또는 직경, 예를 들어, 약 100 nm 내지 약 5,000 nm의 두께 또는 직경을 갖는 것일 수 있다.

[0044] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 광 필터는 집속된 빛 또는 평면파를 포함하는 광원에 대해 사용될 수 있다.

[0045] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 광 필터의 작동 파장 대역은 가시광선 범위 또는 적외선 범위를 포함할 수 있다.

[0046] 도 1a와 도 1b는 본원의 일 구현예에 따른 광 필터의 개략도이다.

[0047] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 나노구조체(400)는 상기 광 필터가 작동하는 파장 영역에서 하기 식 1로 표시되는 유전 상수(permittivity) ε 의 실수 부분인 ε' 의 값이 양수인 물질을 포함하며; 상기 제 1 층(500)은 상기 광 필터가 작동하는 파장 영역에서 하기 식 1로 표시되는 유전 상수 ε 의 실수 부분인 ε' 의 값이 음수인 물질을 포함하는 것이다:

[0048] [식 1]

[0049] 유전 상수 $\varepsilon = \varepsilon' + i\varepsilon''$.

[0050] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 나노구조체(400)는 상기 광 필터의 작동 파장보다 작은 두께를 가지는 것일 수 있다. 예를 들어, 상기 광 필터의 작동 파장이 가시광선 또는 적외선인 경우, 상기 나노구조체(400)는 이러한 작동 파장보다 얇은 두께 또는 지름을 가지도록 형성할 수 있다.

[0051] 본원의 일 구현예에 있어서, 도 1a를 참고하면, 상기 나노구조체(400)의 적어도 일부 표면에 형성된 제 1 층(500)의 두께 t 는 제 1 층(500)의 두께와 나노구조체(400)의 반지름을 합한 두께 (또는 나노구조체의 중심에서 제 1 층의 상단까지의 길이) a 에 대하여 $0 < t < a$ 또는 $0 < t/a < 1$ 의 조건을 만족하는 범위일 수 있다. 또한, 제 1 층(500)의 두께 t 는 상기 나노구조체(400)의 반지름보다 얇은 것일 수 있으나, 이에 제한되지 않을 수 있다. 이러한 조건은 상기 나노구조체(400)를 형성하는 물질의 유전 상수의 실수 부분 ε' 과 제 1 층(500) 또는 제 1 층과 제 2 층의 유전상수의 실수 부분 ε' 의 기호가 상이할 경우, 빛의 산란을 최소화하기 위한 조합

을 형성하는데 필요한 조건이다.

- [0052] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 하이브리드 나노구조체는 상기 투명 기재 상에 배치된 나노구조체의 적어도 일부의 표면 및 상기 나노구조체가 배치되지 않은 상기 투명 기재의 표면에 코팅된 제 1 층을 포함하는 것일 수 있다. 예를 들어, 상기 제 1 층은 상기 나노구조체의 표면 중 상기 기재에 접촉되지 않은 표면의 적어도 일부 (도 1a) 또는 접촉되지 않은 모든 표면(도 1b)에 형성되는 것으로서, 상기 광 필터에 입사되는 빛이 통과하는 부분에 해당하는 상기 나노구조체의 표면에 상기 제 1 층이 형성된다.
- [0053] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 나노구조체와 상기 제 1 층의 하부에 형성된 제 2 층을 추가 포함할 수 있으나, 이에 제한되지 않을 수 있다. 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 제 2 층(300)은 상기 식 1로서 표시되는 유전 상수(permittivity) ϵ 의 실수 부분인 ϵ' 의 값이 음수인 물질을 포함한다.
- [0054] 상기 제 1 층과 상기 제 2 층은 서로 동일하거나 다른 물질을 포함할 수 있다. 또한, 상기 제 2 층의 두께는 제 1 층(500)의 두께와 나노구조체(400)의 반지름을 합한 두께 a 에 대하여 상기한 제 1 층의 두께 조건을 만족하는 범위 일 수 있으며, 상기 제 2 층은 상기 제 1 층보다 더 얇은 두께를 가질 수 있다.
- [0055] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 제 1 층 및 상기 제 2 층은 빛이 투과할 수 없는 최저 두께일 수 있다. 상기 제 1 층 및 상기 제 2 층의 두께를 조절하여 투과 효율을 조절할 수 있다.
- [0056] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 제 1 층은 포함하는 물질에 따라 두께가 달라질 수 있으며, 상기한 바와 같이, 상기 나노구조체(400)의 적어도 일부 표면에 형성된 제 1 층(500)의 두께 t 는 제 1 층(500)의 두께와 나노구조체(400)의 반지름을 합한 두께 (또는 나노구조체의 중심에서 제 1 층의 상단까지의 길이) a 에 대하여 $0 < t < a$ 또는 $0 < t/a < 1$ 의 조건을 만족하는 범위일 수 있다. 또한, 제 1 층(500)의 두께 t 는 상기 나노구조체(400)의 반지름보다 얇은 것일 수 있으나, 이에 제한되지 않을 수 있다. 이러한 조건은 상기 나노구조체(400)를 형성하는 물질의 유전 상수의 실수 부분 ϵ' 과 제 1 층(500) 또는 제 1 층과 제 2 층의 유전상수의 실수 부분 ϵ' 의 기호가 상이할 경우, 빛의 산란을 최소화하기 위한 조합을 형성하는데 필요한 조건이다.
- [0057] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 제 1 층의 두께는 제 1 층을 형성하는 물질에 따라 상기한 두께 조건을 만족하는 것으로서, 예를 들어, 상기 제 1 층은 약 10 nm 내지 약 70 nm 범위의 두께, 약 10 nm 내지 약 60 nm, 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 20 nm, 약 20 nm 내지 약 70 nm, 약 30 nm 내지 약 70 nm, 약 40 nm 내지 약 70 nm, 약 50 nm 내지 약 70 nm, 또는 약 60 nm 내지 약 70 nm의 두께를 가질 수 있다.
- [0058] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 제 2 층은 포함하는 물질에 따라 두께가 달라질 수 있으며, 예를 들어, 약 5 nm 내지 약 50 nm 범위의 두께, 약 5 nm 내지 약 40 nm, 약 5 nm 내지 약 30 nm, 약 5 nm 내지 약 20 nm, 약 5 nm 내지 약 10 nm, 약 10 nm 내지 약 50 nm, 약 20 nm 내지 약 50 nm, 약 30 nm 내지 약 50 nm, 또는 약 40 nm 내지 약 50 nm의 두께를 가질 수 있다.
- [0059] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 제 2 층은 약 10 nm 내지 약 20 nm의 두께이고 상기 제 1 층은 약 25 nm 내지 약 45 nm의 두께일 수 있다.
- [0060] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 제 1 층은 사용하고자 하는 광 필터의 작동 파장 대역에 따라 상기 식 1로서 표시되는 유전상수(permittivity) ϵ 의 실수 부분인 ϵ' 의 값이 음수인 물질을 포함할 수 있다. 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 광 필터의 작동 파장 대역이 가시광선 범위를 포함하는 경우, 상기 제 1 층은 Ag, Au, Pt, Al, Si, Ge, Cu, P-도핑 Si, B-도핑 Si, 및 P-도핑 Ge 등과 같은 고도핑 반도체 물질로 이루어진 군으로부터 선택된 것을 포함할 수 있다. 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 광 필터의 작동 파장 대역이 적외선 범위를 포함하는 경우, 상기 제 1 층은 TiN, InP, Si, Ge, ZnO, GaN, InGaN, InN, Cu, Ga-도핑 ZnO, 및 Si-도핑 GaN 등과 같은 도핑된 반도체로 이루어진 군으로부터 선택된 물질을 포함할 수 있다.
- [0061] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 나노구조체는 상기 광 필터가 작동하는 파장 대역에서 하기 식 1로서 표시되는 유전상수(permittivity) ϵ 의 실수 부분인 ϵ' 의 값이 양수인 물질을 포함하는 것으로서, 상기 광 필터의 작동 파장 대역보다 큰 밴드갭을 갖는 물질을 포함할 수 있다. 상기 나노구조체는 상기 조건을 만족하는 무기 또는 유기 반도체 물질이라면 제한 없이 사용할 수 있으며, 광 필터의 작동 파장 영역이 가시광선 범위 또는 적외선 범위인 경우에 따라 선택하여 사용할 수 있다. 상기 나노구조체는, 상기 광 필터의 작동 파장 대역이 가시광선 범위를 포함하는 경우, 예를 들어, C(diamond), Si, Ge, Sn, SiC, S₈, Se, Te, BN, BP, BAs, ZnO, ZnSe, ZnS, ZnTe, CuCl, Cu₂S, PbSe, PbS, SbTe, SnS, SnS₂, SnTe, B₁₂As₂, AlN, AlP, AlP, AlAs, AlSb, GaN,

GaP, GaAs, GaSb, CdS, CdSe, CdTe, InGaP, InGaN, InN, InP, InAs, InSb, BaTiO₂, BaTiO₃, PbSeTe, Tl₂SnTe₅, Tl₂GeTe₅, Bi₂Te₃, Cd₃P₂, Cd₃As₂, Cd₃Sb₂, ZnS₂P₂, Zn₃As₂, Zn₃Sb₂, TiO₂, Cu₂O, CuO, UO₂, UO₃, Bi₂O₃, SnO₂, SrTiO₃, LiNbO₃, La₂CuO₄, PbI₂, MoS₂, VO₂, V₂O₃, GaSe, Bi₂S₃, NiO, CuInSe₂, Ag₂S, FeS₂, Cu₂ZnSnS₄, CuZnSbS, Cu₂SnS₃, Si_{1-x}Ge_x, Si_{1-x}Sn_x, Al_xGa_{1-x}As, In_xGa_{1-x}As, In_xGa_{1-x}P, Al_xIn_{1-x}As, Al_xIn_{1-x}Sb, GaAsN, GaAsP, GaAsSb, AlGaN, AlGaP, InGaN, InAsSb, InGaSb, AlGaInP, AlGaAsP, IGaAsP, InGaAsSb, InAsSbP, AlInAsP, AlGaAsN, InGaAsN, InAsAsN, GaAsSbN, GaInAsSb, GaInAsSbP, CdZnTe, HgCdTe, HgZnTe, HgZnSe, 및 Cu(In,Ga)Se₂로 이루어진 군으로부터 선택된 유전체 물질을 포함할 수 있으나, 이에 제한되지 않을 수 있다. 상기 나노구조체는, 상기 광 필터의 작동 파장 대역이 적외선 범위를 포함하는 경우, 예를 들어, C(diamond), Si, Ge, Sn, SiC, S₈, Se, Te, BN, BP, BAs, ZnO, ZnSe, ZnS, ZnTe, CuCl, Cu₂S, PbSe, PbS, ObTe, SnS, SnS₂, SnTe, B₁₂As₂, AlN, AlP, AlAs, AlSb, GaN, GaP, GaAs, GaSb, CdS, CdSe, CdTe, InGaP, InGaN, InN, InP, InAs, InSb, BaTiO₂, BaTiO₃, PbSeTe, Tl₂SnTe₅, Tl₂GeTe₅, Bi₂Te₃, Cd₃P₂, Cd₃As₂, Cd₃Sb₂, ZnS₂P₂, Zn₃As₂, Zn₃Sb₂, TiO₂, Cu₂O, CuO, UO₂, UO₃, Bi₂O₃, SnO₂, SrTiO₃, LiNbO₃, La₂CuO₄, PbI₂, MoS₂, VO₂, V₂O₃, GaSe, Bi₂S₃, NiO, CuInSe₂, Ag₂S, FeS₂, Cu₂ZnSnS₄, CuZnSbS, Cu₂SnS₃, Si_{1-x}Ge_x, Si_{1-x}Sn_x, Al_xGa_{1-x}As, In_xGa_{1-x}As, In_xGa_{1-x}P, Al_xIn_{1-x}As, Al_xIn_{1-x}Sb, GaAsN, GaAsP, GaAsSb, AlGaN, AlGaP, InGaN, InAsSb, InGaSb, AlGaInP, AlGaAsP, IGaAsP, InGaAsSb, InAsSbP, AlInAsP, AlGaAsN, InGaAsN, InAsAsN, GaAsSbN, GaInAsSb, GaInAsSbP, CdZnTe, HgCdTe, HgZnTe, HgZnSe, 및 Cu(In,Ga)Se₂로 이루어진 군으로부터 선택된 물질을 포함할 수 있으나, 이에 제한되지 않을 수 있다.

[0062] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 나노구조체는 Al 또는 Ga로 도핑된 것일 수 있으나, 이에 제한되지 않을 수 있다.

[0063] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 나노구조체의 두께 또는 직경을 조절함으로써 투과 파장 또는 투과 파장 영역을 조절할 수 있어, 빛의 투과 대역을 결정할 수 있다. 상기 나노구조체의 직경은 상기 광 필터의 작동 파장, 예를 들어, 가시광역대 및/또는 적외선 대역대, 및 상기 나노구조체에 포함되는 물질에 따라 결정될 수 있다. 예를 들어, 광 필터의 회광 작동 파장 영역대에서 물질에 따라 유전 상수가 상이하므로, 빛의 산란을 최소화하는 유전상수 대 나노구조체의 크기 조합을 만족하는 적절한 두께 또는 직경을 계산을 통하여 결정할 수 있다.

[0064] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 나노구조체는 상기 광 필터의 작동 파장보다 작은 두께 또는 직경을 가지는 것일 수 있다. 예를 들어, 상기 광 필터의 작동 파장 대역이 가시광 범위를 포함하는 경우에, 상기 나노로드가 ZnO를 포함할 경우, 상기 나노구조체의 두께 또는 직경은 약 50 nm 내지 약 400 nm 또는 그 미만 범위, 예를 들어, 약 50 nm 내지 약 390 nm, 약 50 nm 내지 약 350 nm, 약 50 nm 내지 약 300 nm, 약 50 nm 내지 약 250 nm, 약 50 nm 내지 약 200 nm, 약 50 nm 내지 약 150 nm, 약 50 nm 내지 약 100 nm, 약 100 내지 약 390 nm, 약 100 nm 내지 약 350 nm, 약 100 nm 내지 약 300 nm, 약 100 nm 내지 약 250 nm, 약 100 nm 내지 약 200 nm, 약 100 nm 내지 약 150 nm, 약 150 내지 약 390 nm, 약 150 nm 내지 약 350 nm, 약 150 nm 내지 약 300 nm, 약 150 nm 내지 약 250 nm, 약 150 nm 내지 약 200 nm, 약 200 내지 약 390 nm, 약 200 nm 내지 약 350 nm, 약 200 nm 내지 약 300 nm, 또는 약 200 nm 내지 약 250 nm의 범위일 수 있다.

[0065] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 광 필터의 작동 파장 영역이 적외선 범위를 포함하는 경우에 있어서, 상기 나노로드가 ZnO를 포함할 경우, 상기 나노구조체의 두께 또는 직경은 약 50 nm 내지 약 5,000 nm 범위 범위일 수 있으며, 예를 들어, 약 50 nm 내지 약 4,500 nm, 약 50 nm 내지 약 4,000 nm, 약 50 nm 내지 약 3,500 nm, 약 50 nm 내지 약 3,000 nm, 약 50 nm 내지 약 2,500 nm, 약 50 nm 내지 약 2,000 nm, 약 50 nm 내지 약 1,500 nm, 약 50 nm 내지 약 1,000 nm, 약 50 nm 내지 약 500 nm, 약 50 nm 내지 약 250 nm, 약 50 nm 내지 약 100 nm, 약 100 nm 내지 약 5,000 nm, 약 500 nm 내지 약 5,000 nm, 약 1,000 nm 내지 약 5,000 nm, 약 1,500 nm 내지 약 5,000 nm, 약 2,000 nm 내지 약 5,000 nm, 약 2,500 nm 내지 약 5,000 nm, 약 3,000 nm 내지 약 5,000 nm, 약 3,500 nm 내지 약 5,000 nm, 약 4,000 nm 내지 약 5,000 nm, 또는 약 4,500 nm 내지 약 5,000 nm의 범위일 수 있다.

[0066] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 제 1 층은 포함하는 물질에 따라 그의 두께가 달라질 수 있으며, 각 물질에 따라 상기 나노구조체(400)의 적어도 일부 표면에 형성된 제 1 층(500)의 두께 t는 제 1 층(500)의 두께와 나노구조체(400)의 반지름을 합한 두께 (또는 나노구조체의 중심에서 제 1 층의 상단까지의 길이) a에 대하여 $0 < t < a$ 또는 $0 < t/a < 1$ 의 조건을 만족하는 범위일 수 있다. 또한, 제 1 층(500)의 두께 t는 상기 나노구조

체(400)의 반지름보다 얇은 것일 수 있다.

- [0067] 예를 들어, 상기 나노구조체의 두께(characteristic dimension) 또는 직경은, 가시광선 영역에서 작동 시, 약 400 nm 이하 또는 미만, 약 350 nm 이하, 약 300 nm 이하, 약 250 nm 이하, 약 200 nm 이하, 약 150 nm 이하, 또는 약 100 nm 이하일 수 있으며, 상기 길이의 하한은, 예를 들어, 약 10 nm, 약 50 nm, 약 70 nm, 또는 약 100 nm일 수 있다.
- [0068] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 나노구조체는 그 형태에 제한이 없으나, 예를 들어, 나노로드, 나노바, 나노 와이어, 나노월(nanowall), 또는 나노디스크(nanodisc)를 포함할 수 있으나, 이에 제한되지 않을 수 있다. 상기 나노로드 또는 나노바는 원뿔 기둥, 원통 기둥, 삼각 기둥, 사각 기둥, 오각 기둥, 또는 육각 기둥의 형태일 수 있으며, 또는 나노로드의 축의 길이가 짧은 나노로드를 포함할 수 있으나, 이에 제한되지 않을 수 있다.
- [0069] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 나노구조체의 길이는 제한이 없으며, 예를 들어, 상기 나노구조체의 두께 또는 직경과 동일하거나 더 길 수 있으나, 이에 제한되지 않을 수 있다. 상기 나노구조체는 약 10 μm 이하의 길이, 예를 들어, 약 1 내지 약 10 μm 범위, 예를 들어, 약 1 내지 약 8 μm , 약 1 내지 약 7 μm , 약 1 내지 약 5 μm , 약 1 내지 약 3 μm , 약 3 내지 약 10 μm , 약 5 내지 약 10 μm , 또는 약 8 내지 약 10 μm 의 범위의 길이일 수 있으나, 이에 제한되지 않을 수 있다.
- [0070] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 광 필터는 상기 제 2 층 하부에 형성된 웨팅(wetting) 층을 추가 포함할 수 있으나, 이에 제한되지 않을 수 있다. 상기 웨팅 층은 제 2 층의 표면 거칠기를 감소시킬 수 있다. 상기 웨팅 층은 약 0.5 nm 내지 약 10 nm 범위의 두께, 예를 들어, 약 0.5 nm 내지 약 8 nm, 약 0.5 nm 내지 약 6 nm, 약 0.5 nm 내지 약 4 nm, 약 0.5 nm 내지 약 2 nm, 약 1 nm 내지 약 10 nm, 약 3 nm 내지 약 10 nm, 약 5 nm 내지 약 10 nm, 또는 약 8 nm 내지 약 10 nm의 두께를 가질 수 있으나, 이에 제한되지 않을 수 있다. 상기 웨팅 층은 Ge, 또는 Al-도핑 Ag를 포함할 수 있으나, 이에 제한되지 않을 수 있다.
- [0071] 도 1a 및 도 1b는 본원의 일 구현예에 따른 광 필터의 개략도로서, 기재(100); 상기 기재 상에 형성된 웨팅 층(200); 상기 웨팅 층 상에 형성된 제 2 층(300); 상기 제 2 층 상에 배치된 나노구조체(400); 및 상기 나노구조체의 표면 및 상기 나노구조체가 배치되지 않은 제 2 층 상에 코팅된 제 1 층(500)의 구조로 형성된다. 도 1a는 제 1 층(500)이 나노구조체(400)의 표면 일부에 형성된 구현예를 도시한 것이고, 도 1b는 제 1 층(500)이 나노구조체 표면 전체에 형성된 구현예를 도시한 것이다. 도 1a 및 도 1b에서 볼 수 있는 바와 같이, 상기 제 1 층(500)이 상기 나노구조체(400)의 표면 및 하단부 측면에 코팅됨에 따라, 제 1 층에 의해 셸(shell) 또는 캐비티(cavity)를 형성할 수 있다.
- [0072] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 하이브리드 나노구조체는 상기 투명 기재 상에 배치된 나노구조체의 적어도 일부의 표면 및 상기 나노구조체가 배치되지 않은 상기 투명 기재의 표면에 코팅된 제 1 층을 포함하는 것일 수 있다. 예를 들어, 상기 제 1 층은 상기 나노구조체의 표면 중 상기 기재에 접촉되지 않은 표면의 적어도 일부 또는 접촉되지 않은 모든 표면에 형성되는 것으로서, 상기 광 필터에 입사되는 빛이 통과하는 부분에 해당하는 상기 나노구조체의 표면에 상기 제 1 층에 형성된다.
- [0073] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 제 1 층에 의해 형성된 셸(shell)에 의하여 둘러싸여 통합된 나노구조체의 형태로 단일 나노크기 요소를 사용하여 빛이 필터링되고 파장에 따라 조절될 수 있다. 상기 광 투과에 대한 원리는 상기 나노구조체 내로 빛을 고도로 농축(집중)시키고 강한 흡수 공명을 발생시키는 상기 셸의 능력, 또는 동등하게, 상기 셸에 의한 광 산란의 상쇄로부터 유래된 것이다.
- [0074] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 제 1 층 및 제 2 층은 상기 나노구조체의 상부 및 하부에만 각각 형성될 수 있으며 상기 나노구조체 주위에 동심원적으로 균등하게 코팅할 필요가 없으므로, 상기 광 필터의 제조에 대한 제약이 완화될 수 있어서 온-칩 플랫폼(on-chip platform)으로의 상기 디바이스의 통합이 용이해질 수 있다. 게다가, 최대 효율을 달성하기 위해서는 증가된 수의 요철 구조체(grating element)를 필요로 하는 플라즈몬 그 레이팅-유형 필터와 달리, 상기 본원의 일 구현예에 따른 단일 요소, 즉, 하이브리드 나노구조체는 투과 선형(lineshape)에 대해서 요소(element)의 수에 의존하지 않는다. 이에 의하여, 단일 요소로서 상기 하이브리드 나노구조체가 궁극적인 크기의 광 필터를 실현할 수 있도록 하고, 나노크기 통신 장치 및 초고해상도 픽셀 어레이의 제조와 같은 무수한 적용 가능성을 제공한다.
- [0075] 본원의 일 구현예에 있어서, 물질의 유전상수는 파장에 대한 함수이므로, 특정한 파장대에서 ϵ' 이 양수 또는 음수를 띤다. 따라서 본원의 일 구현예에 있어서 상기 광 필터에서는 상기 제 1 층 및 상기 제 2 층과 나노구조체의 ϵ' 의 부호가 상이한 파장대에서만 투과성능이 발휘된다. 예를 들어, 제 2 Ag 층, ZnO 나노구조체 및

제 1 Ag 층을 포함하는 광 필터의 경우, ZnO는 가시광역대에서 ϵ' 이 양수이며, Ag의 ϵ' 은 음수이다. 따라서 두 물질의 조합은 가시광역대에서의 산란을 약화시키며 투과도를 강화시킬 수 있다.

[0076] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 광 필터로 입사되는 빛의 편광 방향을 상기 나노구조체 축과 동일한 방향으로 고정함으로써 상기 입사되는 빛에 의하여 형성된 상기 제 1 층 내의 쌍극자(dipole)와 상기 나노구조체 내의 쌍극자 간의 간섭으로 인하여 빛의 산란이 상쇄되어 상기 광 필터의 투과도가 증가할 수 있다. 예를 들어, 제 2 Ag 층, ZnO 나노구조체 및 제 1 Ag 층을 포함하는 광 필터의 경우, 빛에 반응하여 형성된 Ag 층에 존재하는 성극(polarization)과 ZnO 나노구조체 코어에 존재하는 성극(polarization)간의 간섭으로 산란이 사라짐으로서 Ag-ZnO-Ag의 구조가 국소적으로 투명해지고, 이로 인해 공명 효과가 나타날 수 있다. 투과효능은 상기 셀과 나노구조체간에 의한 광 산란의 상쇄간섭으로부터 유래된 것이다. 빛은 진동하는 전기장과 자기장으로 이루어져 있다. 빛이 물질에 의해 산란되는 현상은 진동하는 전기장이 물질의 성극(또는 dipole, 쌍극자)과 반응하여, 성극을 동일하게 진동시켜 빛을 다시 발생하게 하는 원리로부터 유래된다. 상기 기술된 식 $\epsilon = 1 + \chi_e$ 와 같이 유전상수는 물질이 전기장에 어느 정도 성극화될 수 있는지를 나타내는 함수이다. 물질의 유전상수의 실수가 음수인 경우 성극의 위상이 180도 뒤바뀌어 진동하게 된다. 이 때, 물질을 이루는 구성요소들 중 일부분이 음수와 양수의 ϵ' 을 가진다면 빛과 반응 시, 성극들이 서로 상쇄간섭하여 빛을 약화시키는 현상이 발생하게 된다. 두 구성요소의 크기가 빛의 상쇄간섭의 정도를 결정하게 된다. 동시에 강한 상쇄간섭이 일어나기 위해서는 빛의 손실이 적어야 하며, 이는 허수인 ϵ'' 이 약해야 된다는 조건을 야기한다. 강한 상쇄간섭으로 산란이 줄어들었을 때 물질은 빛에 효과적으로 투명하게 보여, 빛이 물질을 투과할 수 있게 된다.

[0077] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 광 필터는 바이오 이미징에 사용될 수 있으나, 이에 제한되지 않을 수 있다. 바이오 이미징에서, 상기 광 필터는 파장대가 다른 형광체의 빛들을 동시에 측정할 수 있다.

[0078] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 광 필터는 광 통신에 사용될 수 있으나, 이에 제한되지 않을 수 있다. 광 통신에서, 상기 광 필터는 멀티플렉싱(multiplexing) 기술에 적용될 수 있다.

[0079] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 광 필터의 제조 방법은 투명 기재 상에 나노구조체를 배치하고; 상기 나노구조체의 적어도 일부의 표면과 상기 나노구조체가 배치되지 않은 상기 투명 기재의 표면에 제 1 층을 코팅하는 것을 포함할 수 있으며, 상기 나노구조체는 상기 광 필터가 작동하는 파장 대역에서 하기 식 1로서 표시되는 유전상수(permittivity) ϵ 의 실수 부분인 ϵ' 의 값이 양수인 물질을 포함하며; 상기 제 1 층은 상기 광 필터가 작동하는 파장 대역에서 하기 식 1로서 표시되는 유전상수(permittivity) ϵ 의 실수 부분인 ϵ' 의 값이 음수인 물질을 포함하는 것인, 광 필터의 제조 방법을 제공한다:

[0080] [식 1]

[0081] 유전 상수 $\epsilon = \epsilon' + i\epsilon''$.

[0082] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 나노구조체를 상기 기재에 배치하기 전에 상기 기재 상에 제 2 층을 코팅하는 것을 추가 포함할 수 있다. 상기 제 1 층과 제 2 층은 서로 동일한 물질을 포함하며, 상기 제 2 층은 상기 제 1 층보다 더 얇은 두께로 코팅될 수 있으나, 이에 제한되지 않을 수 있다.

[0083] 도 1a와 도 1b는 본원의 일 구현예에 따른 광 필터의 개략도이다.

[0084] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 나노구조체(400)는 상기 광 필터가 작동하는 파장 영역에서 하기 식 1로서 표시되는 유전 상수(permittivity) ϵ 의 실수 부분인 ϵ' 의 값이 양수인 물질을 포함하며; 상기 제 1 층(500)은 상기 광 필터가 작동하는 파장 영역에서 하기 식 1로서 표시되는 유전 상수(permittivity) ϵ 의 실수 부분인 ϵ' 의 값이 음수인 물질을 포함하는 것이다:

[0085] [식 1]

[0086] 유전 상수 $\epsilon = \epsilon' + i\epsilon''$.

[0087] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 나노구조체(400)는 상기 광 필터의 작동 파장보다 작은 두께를 가지는 것일 수 있다. 예를 들어, 상기 광 필터의 작동 파장 영역이 가시광선 또는 적외선 영역인 경우, 상기 나노구조체(400)는 이러한 작동 파장 범위보다 얇은 범위의 두께 또는 지름을 가지도록 형성할 수 있다.

[0088] 본원의 일 구현예에 있어서, 도 1a를 참고하면, 상기 나노구조체(400)의 적어도 일부 표면에 형성된 제 1 층(500)의 두께 t 는 제 1 층(500)의 두께와 나노구조체(400)의 반지름을 합한 두께 (또는 나노구조체의 중심에서 제 1 층의 상단까지의 길이) a 에 대하여 $0 < t < a$ 또는 $0 < t/a < 1$ 의 조건을 만족하는 범위일 수 있다.

또한, 제 1 층(500)의 두께 t 는 상기 나노구조체(400)의 반지름보다 얇은 것일 수 있으나, 이에 제한되지 않을 수 있다. 이러한 조건은 상기 나노구조체(400)를 형성하는 물질의 유전 상수의 실수 부분 ϵ' 과 제 1 층(500) 또는 제 1 층과 제 2 층의 유전상수의 실수 부분 ϵ' 의 기호가 상이할 경우, 빛의 산란을 최소화하기 위한 조합을 형성하는데 필요한 조건이다.

[0089] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 제 2 층을 코팅하기 전에 상기 기재 상에 웨팅 층을 코팅하는 것을 추가 포함할 수 있으나, 이에 제한되지 않을 수 있다. 상기 웨팅 층은 상기 제 2 층의 표면 거칠기를 감소시킬 수 있으나, 이에 제한되지 않을 수 있다. 상기 웨팅 층은 약 0.5 nm 내지 약 10 nm 범위의 두께, 예를 들어, 약 0.5 nm 내지 약 8 nm, 약 0.5 nm 내지 약 6 nm, 약 0.5 nm 내지 약 4 nm, 약 0.5 nm 내지 약 2 nm, 약 1 nm 내지 약 10 nm, 약 3 nm 내지 약 10 nm, 약 5 nm 내지 약 10 nm, 또는 약 8 nm 내지 약 10 nm의 두께로 형성될 수 있으나, 이에 제한되지 않을 수 있다. 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 웨팅 층은 Ge, 또는 Al-도핑 Ag를 포함할 수 있으나, 이에 제한되지 않을 수 있다.

[0090] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 나노구조체 배열은 당업계에 공지된 방법에 의해 제조될 수 있으며, 예를 들어, 전자빔 리소그래피 공정을 통하여 설계가 가능하나, 이에 제한되지 않을 수 있다. 제 2 층 또는 기재 상에 포토레지스트를 형성하고 전자빔 리소그래피 공정으로 각 나노구조체의 모양 및 길이와 배열구조를 설계할 수 있으나, 이에 제한되지 않을 수 있다. 나노구조체는 당업계에 공지된 방법에 의해 제조될 수 있으며, 예를 들어, 기상(vapor phase) 방식, 용액상 방식, 및 고상 방식 또는 증착 방식에 의해 제조될 수 있으나, 이에 제한되지 않을 수 있다. 상기 기상 방식은 MOVPE(metal-organic vapor-phase epitaxy) 또는 CVD(chemical vapor deposition) 공정을 포함하는 것으로, 예를 들어, MOVPE 방식에 의해 기재 상에 성장시킨 것일 수 있으나, 이에 제한되지 않을 수 있다. 상기 용액상 방식은 수열 합성, 또는 용매열 합성(solvothermal)을 포함하고, 상기 고상 방식은 용융염 합성(molten salt synthesis)을 포함할 수 있으나, 이에 제한되지 않을 수 있다. 상기 증착 방식은 스퍼터링(sputtering) 증착 방식 및 e-빔 증발 방식을 포함할 수 있으나, 이에 제한되지 않을 수 있다. 상기 나노구조체는 예를 들어, 전자빔 리소그래피와 현상(developing) 절차로 포토레지스트에 패턴을 형성한 후, 스퍼터(sputter) 증착과 리프트오프(lift-off) 공정을 통하여 제작할 수 있다.

[0091] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 제 1 층 및 제 2 층은 각각 당업계에 공지된 증착 방법 또는 코팅 방법에 의해 증착 또는 코팅될 수 있으며, 상기 나노구조체는 전자빔 리소그래피와 현상(developing) 절차로 포토레지스트에 패턴을 형성한 후, 스퍼터 증착과 리프트오프(lift-off) 공정을 통하여 제작할 수 있으나, 이에 제한되지 않을 수 있다. 상기 제 2 층 및 상기 제 1 층은, 예를 들어, e-빔 증발기를 이용하여 증착될 수 있으나, 이에 제한되지 않을 수 있다.

[0092] 도 2는 본원의 일 구현예에 따른 광 필터의 제조 방법의 개략도이다. 도 2를 참조하여 본원의 일 구현예를 이하에서 상세히 설명하도록 한다.

[0093] 우선, 기재(100) 상에 웨팅 층(200)을 형성한다. 상기 기재는 유전체 물질을 포함하는 기재라면 제한 없이 사용 가능하며, 예를 들어, SiN, SiO₂, ITO, Al₂O₃, 또는 퀴즈일 수 있으나, 이에 제한되지 않을 수 있다. 상기 웨팅 층(200)은 e-빔 증발기를 이용하여 증착될 수 있으나, 이에 제한되지 않을 수 있다. 상기 웨팅 층(200)은 추후 증착될 제 2 층의 표면 거칠기를 감소시킨다. 그런 다음, 상기 증착된 웨팅 층(200) 상에 e-빔 증발기를 이용하여 제 2 층(300)을 증착한다. 상기 제 2 층(300)의 산화를 예방하기 위해 낮은 산소 환경에서 질소 흐름 하에 약 300℃의 온도에서 급속 가열 어닐링하는 것을 추가 포함할 수 있으나, 이에 제한되지 않을 수 있다. 그런 다음, 상기 제 2 층(300) 상에 포토레지스트 박막을 형성하고 전자빔 리소그래피와 현상(developing) 공정을 통하여 각 나노구조체의 길이 및 모양과 배열 패턴을 형성한 후, 스퍼터링(sputtering) 증착 공정으로 나노구조체 두께에 상응하는 두께의 ZnO 박막을 증착할 수 있다. 리프트오프(lift-off) 공정을 통하여 포토레지스트를 제거하여 배열된 나노구조체(400)를 구현할 수 있다. 이 때, 나노구조체(400)는 원하는 개수 및 간격으로 상기 제 2 층(300) 상에 배열할 수 있다. 그런 다음, 상기과 같은 동일한 조건 하에서 e-빔 증발기를 이용하여 제 1 층(500)을 증착하여 하이브리드 나노구조체를 형성할 수 있다. 도 1d에서 볼 수 있는 바와 같이, 제 1 층(500)이 나노구조체(400)의 상부 표면과 상기 나노구조체가 배치되지 않은 하기 제 2 층(300) 상에 코팅되어 캐비티를 형성한다.

[0095] 이하, 본원에 대하여 실시예를 이용하여 좀더 구체적으로 설명하지만, 하기 실시예는 본원의 이해를 돕기 위하여 예시하는 것일 뿐, 본원의 내용이 하기 실시예에 한정되는 것은 아니다.

- [0097] [실시예]
- [0098] [실시예 1]
- [0099] ZnO 나노로드의 제조
- [0100] ZnO 나노로드를 MOVPE(metal-organic vapor-phase epitaxy)를 사용하여 c-평면 Al₂O₃ 기재 상에 성장시켰다 [Park, W. I.; Kim, D. H.; Jung, S. W.; Yi, G. C. metal organic vapor-phase epitaxial growth of vertically well-aligned ZnO nanorods. Appl Phys Lett 2002, 80, (22), 4232-4234]. 디에틸아연 및 산소를 반응물로서 사용하였으며 아르곤을 캐리어 가스로서 사용하였다. ZnO 나노로드를 2-단계 MOVPE 공정으로 길이 및 직경을 조절하여 성장시켰다. 첫 번째 단계에서, 미세 ZnO 나노로드를 4 μ m 내지 5 μ m의 길이가 되도록 6 시간 동안 700℃ 내지 800℃에서 성장시켰다. 그런 다음, ZnO 나노로드의 측면 성장을 450℃ 내지 550℃에서 2 시간 동안 실시하여 100 nm 내지 240 nm 범위의 평균 직경을 갖도록 하였다.
- [0102] 하이브리드 나노로드의 제조
- [0103] 기재로서, 0.5 T 퀴츠(quartz) 슬라이드를 포토리소그래피적으로 설계된 10 nm/40 nm Ti/Au 플레이스먼트 마커 (placement markers)에 의해 지지하여 제조하였다. 1 nm Ge 및 15 nm Ag 막을 각각 0.1 Å/sec 및 1.5 Å/sec 의 증착 속도로 10⁻⁶ torr 이하의 e-빔 증발기에서 순차적으로 상기 기재 상에 증착하였으며, 이때 Ge 층은 웨팅 층(wetting layer)으로서 작용하여 Ag의 표면 거칠기를 감소시켰다. 그런 다음, Ag의 산화를 예방하기 위해 낮은 산소 환경에서의 질소 흐름 하에서 300℃에서 3 분간 급속 가열 어닐링을 하여 Ag의 품질을 향상시켰다.
- [0104] 그런 다음, 무수 에탄올 중 ZnO NRs를 Ag/Ge 코팅된 퀴츠 슬라이드 상으로 드롭-캐스팅(drop-casted)하였다. 상기 슬라이드를 건조하고 100 mA에서 2 분 동안 Ar로 플라즈마 세척하였다. 목적으로 하는 범위의 직경을 갖는 개별 NRs를 15 kV FE-SEM으로 확인한 후, 상술한 것과 동일한 조건 하에서 작동되는 e-빔 증발기에서 30 nm 의 추가 Ag 층을 증착하여 Ag-캐비티를 각각의 상기 나노로드 상에 형성하여 광 필터를 제조하였다.
- [0106] [실험예 1]
- [0107] 실시예 1에서와 같이 제조된 광 필터의 투과 효율을 시뮬레이션되는 FDTD solver(Lumerical)를 사용하여 계산하였다. 2D 시뮬레이션을 실시하여 하이브리드 필터 및 측정 셋업(setup)을 모델링하였다. 0.8 NA의 얇은 렌즈 형상의 Gaussian 빔을 상기 하이브리드 나노로드 상으로 집광하여 발광(illumination)시켰다. 상기 나노로드 또는 Ag 막을 통한 전력 전달 효율을 상기 Ag 막의 500 nm 아래에 위치한 전력 모니터에 의해 관측하였으며, 또한 이를 원거리장(far-field) 분포를 생성하는데 사용하였다. 도 3 및 도 10에서 대물 렌즈로의 원거리장 투과를 수득하기 위해, 우선 퀴츠에서 수집 원뿔(collection cone) 상에서 통합한 원거리장 분포를 모든 각도에서 통합한 원거리장 분포로 나누어 수집 효율을 계산하였다. 그런 다음, 상기 비율을 전력 전달 효율과 곱하여 원거리장 투과를 산출하였다. PML(perfectly matched layers) 경계 조건을 사용하였다. Ag에 대한 유전 함수(dielectric function)를 Johnson 및 Christy의 문헌[Johnson, P. B.; Christy, R. W. Optical Constants of Noble Metals. Phys Rev B 1972, 6, (12), 4370-4379]에서와 같이 수득하였고, ZnO에 대한 유전 함수는 Adachi의 문헌[Yoshikawa, H.; Adachi, S. Optical constants of ZnO. Jpn J Appl Phys 1 1997, 36, (10), 6237-6243]에 따라서, Ge에 대한 유전 함수는 Palik의 문헌[Palik, E. D., Handbook of Optical Constants of Solids. Academic Press: New York, 1985]에 따라 수득하였다.
- [0108] 필터 요소의 임의 개수에 대한 연구에서, 평면파 여기를 사용하였다. 주기적 경계 조건(periodic boundary conditions)을 무한 어레이의 계산을 위해 실시하였다.
- [0110] [실험예 2]
- [0111] 상기 실시예 1과 같이 제조한 광 필터의 투과를 측정하기 위해, 백색광 소스로서 초연속체 레이저(supercontinuum laser)(Fianium, sc-400)를 사용하였다. 단-통과 필터(short-pass filter)(FF01-890/SP-25, Semrock)를 사용하여 적외선에서의 빛을 제거하였다. 입사광을 약 1 μ m 내지 약 2 μ m 크기의 스팟 크기를 갖는

0.8 NA 대물 렌즈를 통해 단일 나노로드 필터 상으로 집광시켰다. 투과된 빛을 상기 샘플 뒤에 위치한 별개의 0.8 NA 대물 렌즈에 의해 수집하였고 질소-냉각된 CCD 어레이가 장착된 300/mm 그루브 500 nm 블레이즈드 그레인팅을 사용하여 분광기(Princeton Instrument SP2300i)에 의해 검출하였다. Ag-코팅된 NR을 CCD를 통해 공간 이미지를 관찰하여 수동으로 중앙에 위치시켰다. 400 nm 내지 700 nm에 걸친 통합된 전력(power)을 증성 밀도 필터의 사용을 통해 거의 1 μ W로 유지시켰다. 하이브리드 NR의 투과 스펙트럼을 측정 후, 초점을 조사된 NR 근처의 처리되지 않은 대역(bare area)으로 이동시켰으며, 여기에서는 표준화 목적을 위한 백그라운드 투과 스펙트럼이 수집되었다.

결과

도 3a는 두 층의 Ag 막 사이에 위치한 단일 ZnO 나노로드를 이루어진 하이브리드 광 필터를 나타낸 것이다. ZnO는, 이의 큰 밴드갭 에너지 때문에 선택된 것으로서, 이의 유전 함수의 실수 부분을 통해 가시광이 효율적으로 국한되며 작은 허수 부분(imaging part)을 통해 손실이 최소화되도록 한다. GaN과 같은 다른 큰 밴드갭 물질 역시 사용될 수 있으나, 더 작은 손실 성분에 기인하여 ZnO가 더 우수한 물질인 것으로서 발견되었다. 상기 하이브리드 시스템은 MOVPE 공정[Park, W. I.; Kim, D. H.; Jung, S. W.; Yi, G. C. Metalorganic vapor-phase epitaxial growth of vertically well-aligned ZnO Nanoroads. Appl. Phys. Lett. 2002, 80, (22), 4232-4234]을 통해 성장되며 100 nm 내지 200 nm의 직경을 나타내는 초고순도 ZnO 나노로드를 Ge 박막에 의해 발수처리(wetting)된 퀴즈 기재의 상부에 준비된 Ag 표면에 제 1 드롭-캐스팅함으로써 제조되었다. 상기 Ge 웨팅 층은 Ag 막의 거칠기를 감소시키기 위해 제공되었다. ZnO 나노로드의 기하학적 크기를 SEM으로 측정하자마자, 별개의 Ag 층을 ZnO 나노로드의 상부에 증착시켜, 제 1 Ag-층을 형성하였다. 여기서, 필터링된 투과 효율을 최대화하는 최적의 조합을 찾아 제 1 및 제 2 Ag-층 두께를 수치적으로 결정하였다. 표피 깊이보다 작은 총 두께를 갖는 Ag의 매우 얇은 층은 백그라운드를 통해 누광(light leaking)을 야기하는 반면 두꺼운 층은 빛이 상기 나노로드로 들어가고 나가는 것을 방해하므로(도 4), 본 실시예에서는 제 1 및 제 2 Ag 층 각각에 대해 30 nm 및 15 ± 5 nm의 최적 두께 조합을 목표로 하였다.

도 3b는 Ag-코팅된 ZnO 나노로드를 나타내는 SEM 이미지이다. 금속 증발원으로부터 하부 절반이 감싸진 나노로드의 상부 절반으로 인하여, Ag-코팅은 ZnO 나노로드를 완전히 감싸지 않았다. 그러나, 상기 절반의 캐비티는 충분한 산란 상쇄(cancellation) 및 광학적 제한을 제공함에 의해 입사광이 ZnO 나노로드 내에서 강한 공명을 일으키고 제 2 Ag 층을 통해 투과되는 것을 가능하게 했다. 도 3c에 도시된 바와 같은 셋업을 이용하여 공간적으로 국한된 여기를 사용해 원거리장에서의 본 실시예의 하이브리드 디바이스의 성능을 측정하였다. 초연속체 레이저(Fianium Inc.)에 의해 공급되고 상기 나노로드 축을 따라 편광된 가시광(400~700 nm)을 1 μ m 내지 2 μ m 크기 범위의 여기 스팟 크기를 생성하는, 0.8 NA 대물렌즈를 통해 상기 디바이스 상에 집광시켰다. 나노로드 축을 따른 편광화는, Ag 표면에 직교하는 전기장 성분의 결여 때문에 표면 플라즈몬의 여기를 배제한다. 이후, 상기 투과된 빛은 상기 디바이스 뒤에 위치한 별개의 0.8 NA 대물 렌즈를 통해 수집되어 분광기에 의해 관찰하였다.

상기 셋업으로부터 발생된 이론적 원거리장 투과 효율을 상업적인 FDTD(Finite difference time domain) solver (Lumerical, Inc)를 사용하여 예측하였다. 3D 시스템을 설명하기 위해 2D 모델을 사용하였다. 입사 Gaussian 빔(incident Gaussian beam)이 2 차원으로 붕괴됨에 의해 이러한 간소화가 투과 강도를 다소 적게 추정하기는 하지만, 투과 특성의 빠르고 충분히 정확한 근사치를 제공한다. 도 3d는 파장 및 명목 코어 직경의 함수로써 원거리장 투과 효율을 나타낸 것이다. 상기 플롯은, 투과가 코어 직경의 함수로써 가시 파장에 걸쳐 필터링 및 조절이 둘 다 가능함을 입증하였다. 두 개의 0.8 NA 대물 렌즈에 의해 생성되고 수집된 투과 효율이 20% 내지 50% 의 수치에 이르렀음을 보였다. 이러한 이론적 값들은, Ge 층의 기여를 포함하지 않으므로, 달성 가능한 효율에 대한 상한을 나타내는 것이다. Ge가 강하게 흡수하므로, 0.8 NA 대물 렌즈를 통해 집광된 빛(illumination) 및 수집(collection)을 사용하였을 때 1 nm 두께의 Ge 층은 실제로 최대 원거리장 효율을 50% 에서 거의 45%로 감소시킬 수 있었다(도 4). 도 4에서, 처리되지 않은 Ag 층은 검은색으로 나타냈으며, 모든 계산은 두 개의 0.8 NA 대물 렌즈를 사용한 여기 및 수집을 포함한다. Al-도핑된 Ag 합금과 같은 상이한 Ag 웨팅 물질(wetting material)은 가시 범위에서 무시해도 될 정도의 흡수를 나타낸다고 보고되어 있으며, 이는 희생 효율(sacrificing efficiency) 없이 매끄러운 Ag 막을 달성하기 위한 대안적 경로를 제안하는 것이다.

제 1 Ag 층 및 제 2 Ag 층의 역할은, 도 5에 도시된 바와 같이, 상기 제 1 층 및 제 2 층 중 하나가 없을 때, 밑에 있는 퀴즈로의 전력 전달이 관찰됨에 따라 더욱 강조되었다. 두 경우 모두에서, 필터링 기능성은 도 3d에

서 볼 수 있는 바와 같이 두 층이 모두 존재할 때에 비해 매우 결여되거나 상당히 감소되었다. 이로부터, 각 Ag 층은 하이브리드 나노로드가 공간 및 스펙트럼 필터로서 가능하도록 하는 두 가지 주요 목적을 제공할 수 있다. 첫 번째 목적은 하이브리드 나노로드를 제외한 Ag 막의 모든 대역을 통한 빛 누출을 막는 것이다. 다른 목적은 ZnO 나노로드를 둘러싼 효과적인 Ag-캐비티의 형성함으로써, Mie 공명의 생성에 근거한 공간-국소화 필터링 메커니즘을 발생시키는 것이다.

[0118] 본 실시예에 따른 광 필터의 작동 메커니즘을 분석하기 위해, 본원의 내용 안팎으로 무한대로 연장되는 코어-셸 ZnO-Ag 실린더의 형태로 간소화된 모델을 감안하여, 하이브리드 나노로드를 주위의 Ag 막으로부터 분리하였다. 이러한 모델은 Mie 산란 이론을 사용하여 분석적으로 문제를 처리하고 빛과 하이브리드 나노로드 사이의 상호작용을 이해하기 위한 좀더 직관적인 지침을 달성할 수 있도록 하였다. 유사한 접근이 유전체-코팅된 Ge 나노와이어에서의 증가된 라만 신호를 기술하는데 사용되어 왔다. 도 6a는 상기 모델의 개략도로서, 상부 도면은 30 nm-두께의 Ag 셸로 둘러싸인 ZnO 실린더를 나타낸 것이고, 하부 도면은 아무것도 코팅되지 않은 ZnO 실린더를 나타낸 것이다. 빛은 나노로드 축에 직각으로 입사되고 나노로드 축을 따라 편광되었다.

[0119] 도 6b에 도시된 바와 같이, 우선 코어 직경 및 파장의 범위에 걸쳐 코어-셸 및 코팅되지 않은 실린더의 산란 단면을 분석적으로 계산하였다. 두 경우 모두에서, 목적하는 파장 및 직경 범위에서 쌍극성($m=0$) 산란 모드에 의해 산란이 조절됨이 발견되었다. 코어-셸 실린더에서, 상기 플롯에서 진한 밴드로서 나타낸, 특정 직경 및 파장에서 산란이 현저히 감소되었다. 이러한 특징들은 도 3d에서 나타낸 투과 특성과 유사한 양상을 보였으나, 강도에 있어서는 반대의 양상을 나타냈다. 반면에, 코팅되지 않은 실린더에서는, 이러한 밴드가 발견되지 않았으며 산란 단면은 더 큰 직경에 대하여 증가하는 양상을 보였다. 코팅되지 않은 실린더와 코어-셸 실린더 사이의 대비되는 거동은, Ag-셸이 특정 파장 및 직경에서 산란을 감소시키는 것을 보조함으로써 빛이 정방향으로 방해받지 않고 투과되도록 함을 제시하는 것이다. 이러한 현상은, 금속 셸을 소-직경 나노와이어에서의 투명도를 달성하기 위한 경로로서 제시하고 있는 선행 문헌[Alu, A.; Engheta, N. Achieving transparency with plasmonic and metamaterial 코팅s. Phys Rev E 2005, 72, (1)]에서 설명되었다. 이러한 스킴은 Au-코팅Si 나노와이어를 포함하는 비가시 광검출기의 형태로 선행문헌[Fan, P. Y.; Chettiar, U. K.; Cao, L. Y.; Afshinmanesh, F.; Engheta, N.; Brongersma, M. L. An invisible metal-semiconductor photodetector. Nat Photonics 2012, 6, (6), 380-385]에 의해 추가 입증되었다. 상기 선행문헌들에 따라, 하이브리드 ZnO 나노로드에서의 감소된 산란이 Ag 셸 및 ZnO 코어에서의 상반되는 쌍극자의 존재에 의한 것으로 밝혀졌으며, 이는 증가된 투명도(transparency)를 야기한다.

[0120] 하이브리드 디바이스에서의 증가된 투과에 대해 상응하는 설명은 코어-셸 실린더의 흡수 단면을 평가하여 발견할 수 있었다. 도 7은 파장 및 직경의 함수로서 코어-셸 및 코팅되지 않은 실린더의 분석적으로 계산된 흡수 단면을 나타낸 것이다. 누출-모드 공명(leaky-mode resonances)으로도 알려진 흡수 공명이 Ag 셸에 의해 상당히 증가하고 도 6b의 산란 밸리(valleys)와 거의 동일한 양상을 갖는 것이 관찰되었다. 도 6c는 파장의 함수로서 180 nm 직경 코어로부터 코어-셸 및 코팅되지 않은 실린더의 분석적 산란 및 흡수 단면을 동시에 나타낸 더 선명한 도면이다. 코어-셸 실린더에서, 흡수가 590 nm의 공명 근처에서 피크일 때 산란이 감소하는 것이 관찰되었으나, 이러한 거동은 고체 실린더의 경우에는 나타나지 않았다.

[0121] 도 6d는 흡수 공명에서의 산란된 빛의 정규화 각도 분포(normalized angular distribution)를 나타낸 것이다. 상부 및 하부 도면에서 보여지는 바와 같은 코어-셸 및 코팅되지 않은 실린더 사이의 각도 산란(angular scattering)의 비교는 각각 Ag 셸의 존재가 산란된 빛이 정방향으로 가도록 실제로 돕는 것임을 보였다. 180도에서의 한정된 후방 산란은 산란의 불완전한 상쇄에 기인한 한계이다. 증가된 투과 및 흡수 사이의 밀접한 연관성은, 선행문헌[Rodrigo, S. G.; Garcia-Vidal, F. J.; Martin-Moreno, L. Theory of absorption-induced transparency. Phys. Rev. B 2013, 88, 155126.]에서 메커니즘이 이론적으로 확인된 금속막에서의 염료-충진 홀에서 관찰되는, 흡수-유도 투명도라고 명명된 거동과 유사하다. 상기 선행문헌에서, 흡수 및 투과의 동시 피크가 흡수 공명에서 유효 유전율(effective permittivity)의 변경의 결과로서 염료-충진 홀을 통해 전파되는 소실광(evanescent light)에서의 감소에 의해 발생된 것임을 입증하였다. 도 3a에서의 본 실시예에 따른 하이브리드 기하학이 선행기술들에 개시된 바와 같은 흡수체-충진 홀을 나타내지 않지만, 투과가 흡수 표적에서 공간적으로 및 이의 흡수 공명에서 스펙트럼으로 피크된 점에서 메커니즘이 유사하다.

[0122] 간단한 코어-셸 모델을 통한 공명에서 증가된 투과에 대한 기본 메커니즘을 확립하여, 본 실시예에 따른 실제 하이브리드 디바이스에서의 필터링을 설명할 수 있다. Ag 막을 거쳐 전달된 전력의 비율을 계산하기 위해, 도 3a에서의 모델의 2D 기술을 사용하고 0.8 NA 얇은 렌즈를 통해 생성된 Gaussian 빔을 주입하였다. 도 8a는 180 nm의 명목 직경(적색 곡선)을 나타내는 Ag 셸-ZnO 코어를 포함하는 하이브리드 디바이스 및 백그라운드를 구성

하는 기본적인 Ag 막(검은색 곡선)의 수치적으로 시뮬레이션된 전력 전달 효율을 나타낸 것이다. 상기 하이브리드 나노로드에 대해 명확한 피크가 612 nm에서 나타난 반면 기본적인(bare) Ag 막에 대해서는 단조로운 저하만이 관찰되었다. 도 8b는 각각 도 8a에서의 번호가 매겨진 화살표에 의해 표시된 선택된 파장에서 상기 하이브리드 나노로드 및 기본적인 Ag 막의 y-방향에 따른 포인팅 벡터(Poynting vector)의 실수 부분을 관찰한 것이다. 기본적인 Ag 막의 경우, 하부 이미지는 3 개의 관심 파장 모두에서 전력이 Ag 막을 따라 투과될 수 없음을 보였다.

[0123] ZnO 나노로드가 두 Ag 층 사이에 삽입됐을 때, 전력 분배는 도 8b의 상부 이미지에서 볼 수 있는 바와 같이 상당히 변경되었다. 도 8b의 상부 이미지의 1 및 3 도면에서, 빛은 상기 하이브리드 디바이스를 통해 효과적으로 침투될 수 없었다. 그러나, 도 8b의 상부 이미지의 2 도면에서와 같이 흡수 공명 근처에서, 상기 나노로드가 백그라운드에 비해 좀더 투과성을 나타내므로 빛이 상기 나노로드를 통해 유출될 수 있으며, 이것은 Ag 배리어를 가로질러 전력을 효과적으로 전달할 수 있다. 이러한 전달은 도 9에 도시된 바와 같이, 공명에서 전기장을 제한(confinement)하는 것에 의해 매개된다. 공명에서 농축된 장(field) 분포를 관찰함에 의해, 금속 계면에서 상기 장이 발생하지 않기 때문에, 상기 메커니즘이 국소화된 표면 플라즈몬에 의해 통제되지 않음을 또한 확인할 수 있었다.

[0124] 빛을 필터링하는 능력 및 상기 필터링된 응답의 조절성(tunability)을 확인하기 위해, 청색, 녹색 및 적색 파장에서의 출력에 상응하는 별개의 직경을 갖는 세 개의 하이브리드 나노로드를 통한 투과를 측정하였다. 도 10a는 상부로부터 하부로 명목 직경이 감소하는 순서로 상기 세 개의 ZnO 나노로드의 SEM 이미지를 나타낸 것이다. 상기 이미지들은 명목 직경의 정확한 측정을 위해 두 번째 Ag 층을 증착하기 전에 촬영된 것이다. 왼쪽 이미지들은 각각의 나노로드의 확대된 스캔 이미지로서 상부로부터 하부로 직경에서의 차이를 명확하게 보이며, 전체 형태는 오른쪽 이미지로 나타났다. 일부 나노로드들이 길이에 따라 직경에서의 불균일성을 보이는 반면, 왼쪽 이미지에서 볼 수 있는 바와 같이, 광학 특성들은 가장 적은 변화를 나타내는 대역에 의해 매우 두드러졌다. 상기 나노로드들은 각각 상부로부터 하부로 186 nm, 156 nm, 및 125 ± 6 nm의 직경을 보였다. 도 10b는 상기 나노로드 축을 따라 편광화된 빛으로 조사된(illuminated) 세 개의 상기 하이브리드 나노로드의 광학 현미경 이미지이다. 실제로, 각 하이브리드 나노로드는 각각 상부로부터 하부로 적색, 녹색 및 청색의 출력에 상응하는, 개별 파장에서 투과하였다. 도 10c는 도 3c에 보여진 바와 같은 셋업을 사용하여 구성된 측정 셋업에 의해 측정되고 계산된 각 나노로드에서의 투과 응답을 나타낸 것이다. 여기에서, 이웃하는 기본적인 Ag 막을 통한 투과에 의해 정규화된 상기 하이브리드 디바이스를 통한 투과를 나타냈다. 모든 경우에서, 유니티(unity) 이상의 값을 갖는 피크들이 관찰되었으며, 이는 상기 하이브리드 나노로드가 이의 흡수 공명에서 좀더 투과성을 나타냄을 확인하는 것이다. 또한, 명목 직경의 증가는 상기 투과 피크의 적색-변위에서 나타나는데, 이 피크는, 도 10c의 하부 그래프에서 볼 수 있는 바와 같이, 수치적으로 시뮬레이션된 프로파일과 매우 일치하며, 이것은 입력 파라미터로서 실험적으로 수득된 코어 직경, Ag 두께 및 Ge 층에 의해 발생된 것이다. 직경을 다양화한 하이브리드 나노로드로부터 별개의 피크 파장을 확인하고 도 10d에서 볼 수 있는 바와 같은 시뮬레이션으로부터 추출된 파장-직경 분산 관계와의 일치성을 관찰하여 상기 투과의 조절성을 확인하였다. 여기에서, 상이한 Ag 두께를 갖도록 각각 제조된 두 세트의 하이브리드 필터를 플롯팅하였다. 첫 번째 세트는 도 10c에 도시한 세 개의 측정 결과에 상응하였다. 두 번째 세트는, 적색-변위된 피크 파장을 야기하는 목표 값 이하의 제 1 Ag 두께를 나타내는 것으로, 도 3에 도시된 바와 같은 파장-Ag 두께 관련성에서 예상되고 실험적으로 입증된 경향과 일치하였다. 피크 위치가 예상된 선형 경향을 따르지만, 측정되고 예상된 피크 강도가 도 10c에서 확인될 수 있는 바와 같이 서로 상당히 상이하였다. 이러한 큰 차이는 측정에서 사용된 집광된 빛의 더 큰 스팟 크기에 대부분 기인된 것이다. 본 실시예에서의 집광된 빔 스팟 크기는 1 μ m 내지 2 μ m로 상기 모델에서 사용된 Abbe 회절 한계($\sim 0.6 \lambda / NA$)에서보다 3 배 내지 4 배 가까이 더 큰 것이다. 이러한 거의 3 배 내지 4 배 증가된 스팟 크기는 투과 강도에서 3 배 내지 4 배의 감소를 야기하며, 계산 및 측정 사이의 강도의 여분의 차이는 나노로드 축 및 Ag의 표면 거칠기에 따른 불균일성에 의한 것으로 여겨질 수 있다. 나노로드 축에 직각으로 편광된 입사광에서, 가시 색 콘트라스트는 근적외선 대역(near-infrared regime)으로 피크 위치가 이동함에 따라 각 나노로드에서 감소되었다(도 11). 또한, 본 실시예에서는 나노로드의 직경에서의 차이를 분석하여 상이한 색들을 단일 요소 내로 코딩하는 가능성을 제안하였다. 도 10e는 40 nm의 팁(tip) 직경 및 169 ± 6 nm의 기저(base) 직경을 갖는 점진적으로 매우 가늘어지는 ZnO 나노로드를 나타낸 것이다. 두 번째 Ag 층으로 덮였을 때, 상기 디바이스는 이의 파장-직경 분산에 따라 색들의 분류를 필터링하였다.

[0125] 이러한 하이브리드 필터의 성공적인 완성을 위한 중요한 기준은 나노로드의 폭(width) 및 높이에서의 제조 오류에 대한 중심 파장의 강인성(robustness)이다. 이러한 변화에 대한 필터의 민감도를 감소시키기 위한 하나의 방법은 도 10d에 도시된 바와 같은 파장-직경 분산 관계의 기울기를 증가시키는 것이다. 유전 함수의 더 작은

실수 부분은 더 낮은 광학적 제한(confinement)이 생김에도 불구하고 기울기에서의 증가를 가능하게 하며, Al 또는 Ga로 ZnO 나노로드를 도핑하여 달성될 수 있다.

[0126] 요약하면, 본 실시예에서는 Ag-캐비티와 통합된 ZnO 나노로드의 형태로 단일 나노크기 요소를 사용하여 빛이 필터링되고 파장에 따라 조절될 수 있는 간단한 설계를 입증하였다. 투과에 대한 원리는 상기 나노로드 내로 빛을 고도로 농축(집중)시키고 강한 흡수 공명을 발생시키는 Ag 캐비티의 능력, 또는 동등하게, Ag 캐비티에 의한 산란된 빛의 감소로부터 유래된 것이다. Ag 코팅은 상기 나노로드의 위 및 아래에만 실시하며 상기 나노로드 주위에 동심원적으로 균등하게 코팅할 필요가 없으므로, 제조에 대한 제약이 완화될 수 있고 온-칩 플랫폼(on-chip platform)으로의 상기 디바이스의 통합이 용이해질 수 있다. 게다가, 최대 효율을 달성하기 위해서는 증가된 수의 주기(period)를 필요로 하는 플라즈몬 그레이팅-유형 필터와 달리, 상기 하이브리드 나노로드는 투과 선형(lineshape)에 대해서 요소(element)의 수에 의존하지 않음을 나타냈다. 이는, 상기 하이브리드 나노로드가 궁극적인 크기의 광 필터를 실현할 수 있도록 하고, 나노크기 통신 장치 및 초고해상도 픽셀 어레이의 제조와 같은 무수한 적용 가능성을 열었다.

[0128] [실험예 3]

[0129] 나노구조체로서 다양한 물질을 사용하여, 유전상수와 필터의 구성요소들의 크기와 두께를 기초로 계산하고 그 결과를 도 12a 내지 도 12c에 나타냈다.

[0130] 나노구조체로서 Si, InAs, GaN 등의 물질들을 포함하는 나노와이어를 사용하여 계산한 결과, 모두 나노와이어의 두께에 따라 파장이 변할 수 있다는 점을 보여주고 있으며, 작동 파장영역은 유전상수에 따라 다른다는 것도 나타났다. 작동 파장영역에서는 나노로드의 ϵ' 가 양수이며 ϵ'' 가 경미하고 제 1 층과 제 2 층의 ϵ' 가 음수이라는 공통점들을 가지고 있다.

[0131] 도 12a는 Si 나노와이어와 각각 20 nm 및 10 nm 두께의 제 1 Ag 층 및 제 2 Ag 층을 포함하는 하이브리드 나노구조체의 투과 반응을 나타내고 있다. 영역대는 700 nm 내지 1,100 nm로서 근적외선 영역에서의 작동을 보였다. 도 12b는 InAs 나노와이어와 각각 20 nm 및 10 nm 두께의 제 1 Ag 층 및 제 2 Ag 층을 포함하는 하이브리드 나노구조체의 투과 반응을 나타내고 있다. 영역대는 700 nm 내지 1,200 nm로써 근적외선 영역에서의 작동을 보였다. 도 12c는 GaN 나노와이어와 각각 30 nm 및 10 nm 두께의 제 1 Ag 층 및 제 2 Ag 층을 포함하는 하이브리드 나노구조체의 투과 반응을 나타내고 있다. 영역대는 400 nm 내지 800 nm로서 가시광영역에서의 작동을 보였다.

[0133] [실험예 4]

[0134] 본 실시예의 하이브리드 필터는 상기 실시예에서와 같이 제조하였다. 또한, 실시하기에 좀더 실용적이고 실질적인 픽셀 설계를 위한 적용을 위해 직사각형의 단면을 갖는 나노바 형태의 나노로드를 포함하는 변형된 하이브리드 바-Ag 필터를 제조하였다. 상기 변형된 하이브리드 바-Ag 필터는 리소그래피 및 증발의 순차적 단계에 의해 달성될 수 있다. 우선 Ag 코팅된 투명 기재(사이에 웨딩 층이 형성됨)로 시작하였다. 포토레지스트로 코팅한 후 리소그래피 기술을 실시하고, ZnO를 산소 흐름 하에서 e-빔 증발시킬 수 있었다. Ag/투명 기재 상에 ZnO 나노바의 어레이를 생성한 후, Ag의 상부 층을 열 증발 또는 e-빔 증발을 사용하여 증발시켰다. 상기 하이브리드 NR-Ag 필터는 500 nm 간격으로 이격된 170 nm 직경으로 구성되었다. 상기 변형된 하이브리드 바-Ag 필터는 180 nm 폭 및 120 nm 높이를 갖는 사각형 바로 구성되었다. 본 실시예의 하이브리드 ZnO-Ag 필터에서, 하부 및 상부 Ag 두께는 각각 15 nm 및 30 nm이었다.

[0135] 모든 구조는 평면파에 의해 여기되나, 본 실시예에 따른 구조들은 나노로드 축에 평행하게 편광된 전기장으로 구동되었다.

[0136] 도 13으로부터, 본 실시예의 하이브리드 필터는 요소의 수가 한 개로 감소되었을 때도 필터링된 빛의 스펙트럼 순도를 유지하였다. 이는 플라즈모닉 설계를 통한 필터들과는 극명하게 대조되는 특성이다.

[0137] 도 14는 상기 세 개의 시스템에서 요소의 무한 어레이 구축을 통해 달성될 수 있는 최대 투과 강도를 나타낸 것이다. 투과 강도 및 선형이 거의 70% 정도를 달성하는 것을 볼 수 있었다. .

[0138] 요소의 수가 감소할 때, 나노로드 시스템에서 강도가 이에 부응하여 감소하였다. 본 실시예의 하이브리드 나노

로드가 요소의 수에 따른 선형으로부터 투과 강도가 디커플링(decoupling)되도록 함을 알 수 있었다. 다시 말하면, 본 실시예의 하이브리드 ZnO-Ag 설계가 선형에 영향을 미치지 않으면서 더 많은 수의 요소를 단순히 추가(제거)함에 따라 투과 강도가 증가(감소)되도록 하였다. 이러한 능력은 본 실시예의 이러한 설계가 나노 내지 마이크로 범위의 모든 임의의 공간적 규모로 실질적이고 변경가능하도록 하는 것이다.

[0140] [실예 5]

[0141] 평면파에 의해 조사된 하이브리드 필터의 무한 어레이에 대한 그레이팅 주기에 대한 효율 의존도를 조사하였다(도 15). 사용된 하이브리드 나노로드는 170 nm 직경의 ZnO 나노로드를 포함하였다. 이 연구의 주요 목적은 투과 피크의 스펙트럼 위치가 주기성(periodicity)의 함수로서 고정되어 유지되고, 절대 투과가 조절될 수 있음을 나타내는 것이다. 그레이팅 주기의 증가에 따라, 나노로드 커버리지(coverage)가 감소하기 때문에 예상한 바와 같이 투과 강도가 감소하였다(도 15). 이러한 거동은 그레이팅 주기의 변화가 필터링된 응답(response)의 스펙트럼 위치를 변화시키며, 투과 효율을 독립적으로 조절하는 직접적인 방법은 없는 플라스모닉 그레이팅에서의 거동과 대비되는 것이다. 상기 하이브리드 필터 조립체의 그레이팅 주기는 선형 또는 스펙트럼 위치에 영향을 주지 않으면서 투과 효율을 조절하는 새로운 자유도(degree of freedom)를 제공한다.

[0142] 비-플라스모닉 메커니즘의 중요하고 실질적인 결과는 필터 요소의 추가 또는 제거를 통한 나노 내지 마이크로 범위의 모든 임의적인 공간적 규모에서 우수한 스펙트럼 순도를 가지면서 빛을 필터링하는 능력이다. 도 16a는 500 nm 피치(pitch)를 갖는 규칙적인 그레이팅으로 조립된 170 nm 직경의 하이브리드 나노로드에 대한 상기 거동을 나타낸다. 평면파에 의해 여기된 상기 정규화(normalized) 투과 스펙트럼은 필터링된 응답의 선형 및 중앙 파장이 포함된 요소의 수와 관계없이 고정되어 유지됨을 나타낸다. 무한개의 필터 및 단일 필터 모두 동일 파장에서 유사한 선형을 갖는 응답을 발생시켰다. 이러한 양상은 마이크로-규모의 소형 크기를 위해 빛의 높은 처리량(throughput)이 요구되는, 컬러 픽셀을 구축할 때 특히 유용하다. 전형적인 컬러 서브픽셀에서, 500 nm 피치를 사용하는 수평적 차원에서 거의 100 개 내지 200 개 요소들을 설치할 수 있다. 도 16b는 직사각형 단면으로 각각 구성된 실질적으로 사용할 수 있는 하이브리드 필터의 어레이로부터의 시뮬레이션된 투과를 나타낸 것이다. 도 16b의 상부 도면은 상기와 같은 목적을 위한 실질적 설계를 제안하는 것으로서, 리소그래피, 현상, 산소 흐름 하에서의 ZnO 증발, 및 Ag 증발 기술을 통해 조립될 수 있다. 500 nm 간격으로 이격된 180 nm 폭 및 120 nm 높이를 갖는 ZnO 나노바를 포함하는 필터로부터의 정규화 투과 곡선은 상기 하이브리드 나노로드 필터의 경우와 유사한 선형 및 스펙트럼 위치를 유지함을 나타냈다. 이러한 특징은 선형이 요소의 수의 함수이며 요소의 수가 조금 감소되었을 때 선형이 붕괴되고 넓어지는 플라스모닉 그레이팅과 구별되는 것이다.

[0143] 본 실시예의 하이브리드 필터 조립체의 다른 이점은 무한 그레이팅에서의 스펙트럼 거동 및 투과 효율이 디커플링될 수 있어 둘 다 서로 독립적으로 최적화될 수 있다는 것이다. 도 16c의 상부 도면은 상이한 주기에서 170 nm 크기의 하이브리드 나노로드의 무한 어레이를 통한 투과를 시뮬레이션한 것이다. 순수한(bare) Ag 백그라운드에 비하여 하이브리드 필터의 커버리지가 증가하므로 더 작은 주기에서 투과 효율이 증가하면서 스펙트럼 위치는 고정된 채로 유지된다. 도 16c의 하부 도면은 주기의 함수로서 피크 투과 수치를 플롯팅한 것으로서, 1 μ m 주기에서 거의 30%로부터 600 nm 주기에서 거의 70%까지 투과에서의 증가를 나타냈다. 도 16c의 하부 도면의 색이 있는 부분은 스펙트럼 위치가 기본적인 캐비티 모드 사이의 커플링에 의해 더 이상 고정되어 유지되지 않음을 나타내는 대역이다. 상기 최대 70% 이론적 효율이 플라스모닉-그레이팅으로부터의 이론적 효율에 필적함이 주목된다. 약 600 nm 이하에서, 상기 필터링된 파장은 주기보다 더 커서 상기 하이브리드 필터 조립체가 효과적인 매체로서 나타나기 시작했으며, 이것은 스펙트럼 위치의 적색 변위를 생성하였다(도 17). 동일 주기 이상에서, 상기 투과는 선형 또는 중앙 파장에 영향을 주지 않고 조절할 수 있어, 필터 설계에서 유용한 자유도를 가능하게 한다. 도 17은 작동 파장보다 더 낮은 피치를 갖는 하이브리드 필터 그레이팅에 대한 것으로, 주기성을 이용한 투과 조절의 한계를 나타낸다. 도 17a는 500 nm 이하의 주기를 갖는 170 nm-크기의 하이브리드 필터의 무한 어레이로부터의 시뮬레이션된 투과를 나타낸 것으로, 중앙 파장에서의 적색 변위가 감소하는 주기성에 대해서 관찰되었다. 도 17b는 왼쪽에서 오른쪽으로 400 nm, 300 nm 및 200 nm 주기성에서 유닛 셀로부터의 전기장 분포를 나타낸 것으로, 장(field)은 왼쪽에서 오른쪽으로 각각 최대 투과를 발생시키는 파장에 상응하는 600 nm, 610 nm 및 630 nm에서 플롯팅된 것이다.

[0144] 실질적인 컬러 픽셀은 고효율을 나타내며 평면파 빛을 투과하고 필터링하는 것을 필요로 하며, 또한 표준 크기에 일치해야 할 것이다. 모든 실질적인 목적에서, 많은 하이브리드 나노로드를 픽셀 크기에 상응하는 크기의 어레이로 구성하여 이러한 위업을 이룰 수 있다. 실질적인 픽셀 설계를 보이는 도면을 도 13b에 나타냈으며, 여기

에서 나노로드 대신 나노바가 필터링 요소로서 거동하였다.

[0145] 1024x768 해상도를 갖는 15.4 인치 디스플레이(수평: 13.1 인치, 수직: 8.2 인치)에서, 각 픽셀은 $322\ \mu\text{m}$ 및 $273\ \mu\text{m}$ 의 수평 및 수직 차원을 가질 것이라고 생각되었다. RGB 픽셀에서, 각 컬러 서브픽셀은 $\sim 107\ \mu\text{m}$ 의 수평 차원을 가질 것이다. $500\ \text{nm}$ 로 본원의 주기성을 설정한다면, 거의 200 개 요소를 설치할 수 있으며, 이는 거의 $\sim 70\%$ 근처의 투과 상한을 달성하기에 충분한 것이다(도 14). 이러한 수치는 실질적인 플라즈모닉 필터에 대해 현재까지 보고된 가장 높은 수치를 나타내고 있는 Xu [Xu, T.; Wu, Y. K.; Luo, X. G.; Guo, L. J. Plasmonic nanoresonators for high-resolution colour filtering and spectral imaging. Nat Commun 2010, 1, 59] 등의 문헌에 보고된 것에 근접한 것이다.

[0147] [실험예 6]

[0148] 도 18에서와 같이 직경이 상이한 복수 개의 하이브리드 나노구조체를 배열한 복수 대역 필터를 제조하였다.

[0149] 도 18a는 두 가지 대역에서 광 투과가 가능한 필터 시스템을 나타낸 것이다. 도 18b는 세 가지 대역에서 광 투과가 가능한 필터 시스템을 나타낸 것이다. 여기서 각 단위 필터요소를 구성하는 나노로드의 단면 모양은 사각형, 직사각형, 원, 삼각형, 정육면체 등 다양한 형태를 포함할 수 있으며 빛의 파장보다 구조의 크기가 몇 배 작은 경우, 모양의 선택에는 아무런 제한이 없다. 본 실험예에서는 사각형 단면의 나노로드를 사용했다.

[0150] 도 19는 도 18a의 광 필터를 기반으로 유도한 계산 결과이다. 두 가지 종류의 나노로드를 사용하면 그 지름에 상응하는 두 가지 대역에서 투과가 가능하다는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 주기는 $P=P_1=P_2$ 로 동일하게 잡고, D_1 은 고정시키되 D_2 를 바꿔줌으로써 근적외선 투과대역을 조정 할 수 있다는 것을 보여준다.

[0151] 도 20은 도 18a에서 나타낸 시스템을 기반으로 유도한 계산 결과이다. 여기서는 D_2 을 고정시키되 D_1 과 주기를 바꿔줌으로써 극적외선 투과대역은 변함없이 유지시키나 가시광역대의 투과대역을 조정할 수 있다는 것을 보여준다. 따라서, 도 19와 도 20은 두 가지 투과 대역을 독립적 그리고 개별적으로 제어할 수 있는 용이성이 필터 디자인에 내포되어 있다는 것을 보여준다.

[0152] 도 21a는 도 18b에서 나타낸 세 종류의 나노로드의 배합을 기반으로 한 계산 결과물들을 보여준다. 도 21a는 $P_1=P_2=P_3=475\ \text{nm}$ 이고, $D_1=100\ \text{nm}$, $D_2=160\ \text{nm}$, $D_3=220\ \text{nm}$ 인 시스템에서 유도된 투과율을 나타내고 있다. 각 나노로드의 지름에 상응하는 대역에서 투과가 나타나는 것을 확인할 수 있다. 하지만 투과율이 극명하게 낮아진 것도 확인 할 수 있다. 이는 각 종류의 나노로드의 개수가 도 18a와 동일한 공간 내에서 적어졌기 때문이다.

[0153] 도 21b는 $P_1=P_2=P_3=600\ \text{nm}$ 이고, $D_1=160\ \text{nm}$, $D_2=180\ \text{nm}$, $D_3=200\ \text{nm}$ 인 시스템에서 유도된 투과율을 나타내고 있다. 각 종류의 나노로드간의 크기차가 작은 만큼 투과 대역이 겹치게 되고, 이로 인해서 효과적으로 더 넓은 투과대역폭을 얻게 되었다. 이러한 방식의 ‘조각 기법’을 활용하면 사용자가 원하는 투과특성을 설계할 수 있다는 강한 이점이 있다.

[0155] [실시예 2]

[0156] 복수의 TiO_2 나노와이어를 포함하는 광 필터

[0157] 도 22는 각각 상이한 지름을 가지는 복수의 나노와이어를 조합 및 배열하여 구현한 화소를 광 현미경으로 촬영한 사진이다. 상기 도 22의 화소는 하기 표 1에 기재된 공간적 수치들에 의해 구현되었다.

[0158] <표 1>

[0159] (단위: nm)

	1	2	3	4
1	지름: 100,110,120,130, 140,150,160,170, 180,190,200	지름: 100,120,140,160, 180,200,220,240, 260,280,300	지름: 100,110,120,130, 140,150,160,170, 180,190,200 6 번 반복 (600 주기)	지름: 100,120,140,160, 180,200,220,240, 260,280,300 6 번 반복 (600 주기)
2	0: 100,150,200 2: 120,150,180 4: 140,150,160 6: 110,180 8: 130,180 10: 160,180	0: 100,200,300 2: 150,200,250 4: 120,140,160 6: 120,170 8: 130,160 10: 140,180	0: 100,150,200 2: 120,150,180 4: 140,150,160 6: 110,180 8: 130,180 10: 160,180	0: 100,200,300 2: 150,200,250 4: 120,140,160 6: 120,170 8: 130,160 10: 140,180
3	지름: 120 1 번 반복 3 번 반복 6 번 반복 12 번 반복	지름: 160 1 번 반복 3 번 반복 6 번 반복 12 번 반복	지름: 200 1 번 반복 3 번 반복 6 번 반복 12 번 반복	지름: 240 1 번 반복 3 번 반복 6 번 반복 12 번 반복
4	지름: 120 1: 500 주기 2: 600 주기 3: 700 주기	지름: 160 1: 500 주기 2: 600 주기 3: 700 주기	지름: 200 1: 500 주기 2: 600 주기 3: 700 주기	지름: 240 1: 500 주기 2: 600 주기 3: 700 주기

[0160]

[0162] 상기 필터의 제조 공정은 하기와 같다. 순차적으로 퀴즈 기재 상에 3 nm의 Ge 및 20 nm의 Ag 층을 전자빔 증착 공정을 이용하여 형성하였고, 상부에 지정된 두께와 150 nm 높이의 TiO₂ 나노와이어들을 전자빔 리소그래피, 증착, 및 리프트 오프 공정을 이용하여 형성하였다. 마지막으로 상부에 30 nm의 Ag 층을 형성하여 최종 광 필터가 완성되었다. 상기 나노와이어의 길이(세로 방향)는 10 μm로 고정하였다. 도 23의 SEM 이미지와 같이 각 화소 내에 복수 개의 Ag-TiO₂ 복합 나노와이어가 형성 되었음을 확인할 수 있었다. 상기 필터의 작동을 위해 입사되는 빛의 편광 방향이 나노와이어의 긴축과 동일하게 설정되었다. 할로젠 램프를 광원으로 하는 광 현미경을 사용하여 도 22의 사진을 얻을 수 있었다.

[0163] 도 22의 1 행에서 상기 나노와이어의 가로 두께와 필터되는 색 간의 상관 관계의 확인 및 단일과 복수 나노와이어 간의 강도(intensity)를 확인할 수 있었다.

[0164] 도 22의 (행,열)=(1,1)은, 단일 나노와이어의 가로 두께를 100 nm에서 200 nm까지 10 nm 단위로 증가시키면서 필터를 구현하여 얻은 결과이다. 상기 두께가 증가함에 따라 색이 파란색에서 붉은색으로 변하는 것을 확인할 수 있었으나, 두께가 수백나노미터인 나노와이어를 투과함으로써 빛의 강도가 다소 희미함을 확인할 수 있었다.

- [0165] 도 22의 (행,열)=(1,2)은, 단일 나노와이어의 가로 두께를 100 nm에서 300 nm까지 20 nm 단위로 증가시키면서 필터를 구현하여 얻은 결과이다. 상기 두께가 증가함에 따라 색이 파란색에서 붉은색으로 변하는 것을 확인할 수 있었으나, 두께가 수백나노미터인 나노와이어를 투과함으로써 빛의 강도가 다소 희미함을 확인할 수 있었다.
- [0166] 도 22의 (행,열)=(1,3)의 경우, 한 화소가 500 nm 주기의 나노와이어를 6개 포함하고 있으며 각 화소를 구성하는 나노와이어의 두께는 화소 내에서는 동일하나, 화소 별로 100 nm에서 200 nm까지 10 nm 단위로 증가하였다. 각 화소에 포함되는 나노와이어의 수가 6 개로서 단일 필터보다 강도가 높다는 것을 확인 할 수 있었다.
- [0167] 도 22의 (행,열)=(1,4)의 경우, 한 화소가 500 nm 주기의 나노와이어를 6 개 포함하고 있으며 각 화소를 구성하는 나노와이어의 두께는 화소 내에서는 동일하나, 화소 별로 100 nm에서 300 nm까지 20 nm 단위로 증가하였다. 각 화소에 포함되는 나노와이어의 수가 6 개로서 단일 필터보다 강도가 높다는 것을 확인 할 수 있었으며, 또한 300 nm 까지 두께를 증가시킴으로써 진한 붉은색을 얻을 수 있었다.
- [0168] 도 22의 2 행은 한 화소에서 한 파장이 아닌 복수 파장에서의 필터 기능을 확인한 결과이다. 상기 결과를 통하여, 단일 파장으로 구현할 수 없는 색 또는 맞춤형 복수파장 필터를 각각 두께가 상이한 복합체 나노와이어들을 조합함으로써 획득할 수 있음을 확인할 수 있었다.
- [0169] 도 22의 (행,열)=(2,1) 및 (2,2)의 경우, 상기 표 1에서 나타낸 두께의 조합을 각 화소 내에 3 번씩 반복한 결과이다. 구체적으로 (2,1)의 첫 번째 화소는 가로 두께가 100, 150, 및 200 nm인 나노와이어들을 3 번씩 반복하여 구현하였다. 각 가로 두께에 해당하는 파란색, 초록색, 및 주홍색의 빛이 동시에 한 화소에서 필터됨을 알 수 있었다.
- [0170] 도 22의 (행,열)=(2,3)과 (2,4)의 경우 복수파장 필터 기능의 재현성을 확인하기 위해 (2,1) 및 (2,2)과 동일한 수치로 설계되었다. (2,1)과 (2,3)이 동일하고 (2,2)와 (2,4)가 동일한 복합색을 나타내는 것을 확인할 수 있었다.
- [0171] 도 22의 3 행은 화소 내 나노와이어의 개수에 따른 화소의 성능을 확인한 결과이다.
- [0172] 도 22의 (행,열)=(3,1), (3,2), (3,3), (3,4)의 경우, 가로 두께가 각각 120, 160, 200, 및 240 nm인 나노와이어가 한 화소 내에서 1, 3, 6, 및 12 번 반복된 결과이다. 화소들은 상하에 각각 형성 되었는데, 상하의 화소들은 재현성을 확인하기 위한 목적으로 동일하게 설계되었다. 나노와이어의 개수와 무관하게 필터되는 색은 동일하다는 것을 확인할 수 있었으며, 단일 나노와이어의 필터보다는 다수로 형성된 필터의 강도가 더 높다는 것을 확인할 수 있었다.
- [0173] 도 22의 4 행은 가로 두께가 동일한 나노와이어들의 주기를 변환시켜 필터되는 파장과 주기는 서로 상관관계가 약하다는 것을 증명하는 결과이다. 이는, 기존의 플라즈모닉 필터들과는 크게 대조되는 결과이며, 본 발명의 특성을 잘 나타내고 있다.
- [0174] 도 22의 (행,열)=(4,1),(4,2),(4,3),(4,4)의 경우, 각 필터를 형성하는 나노와이어의 두께가 120, 160, 200, 및 240 nm로써, 500, 600, 및 700 nm 주기로 반복된 결과이다. 주기가 바뀌어도 색의 변화가 크지 않다는 것을 확인할 수 있었다.

[0176] 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.

[0177] 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.

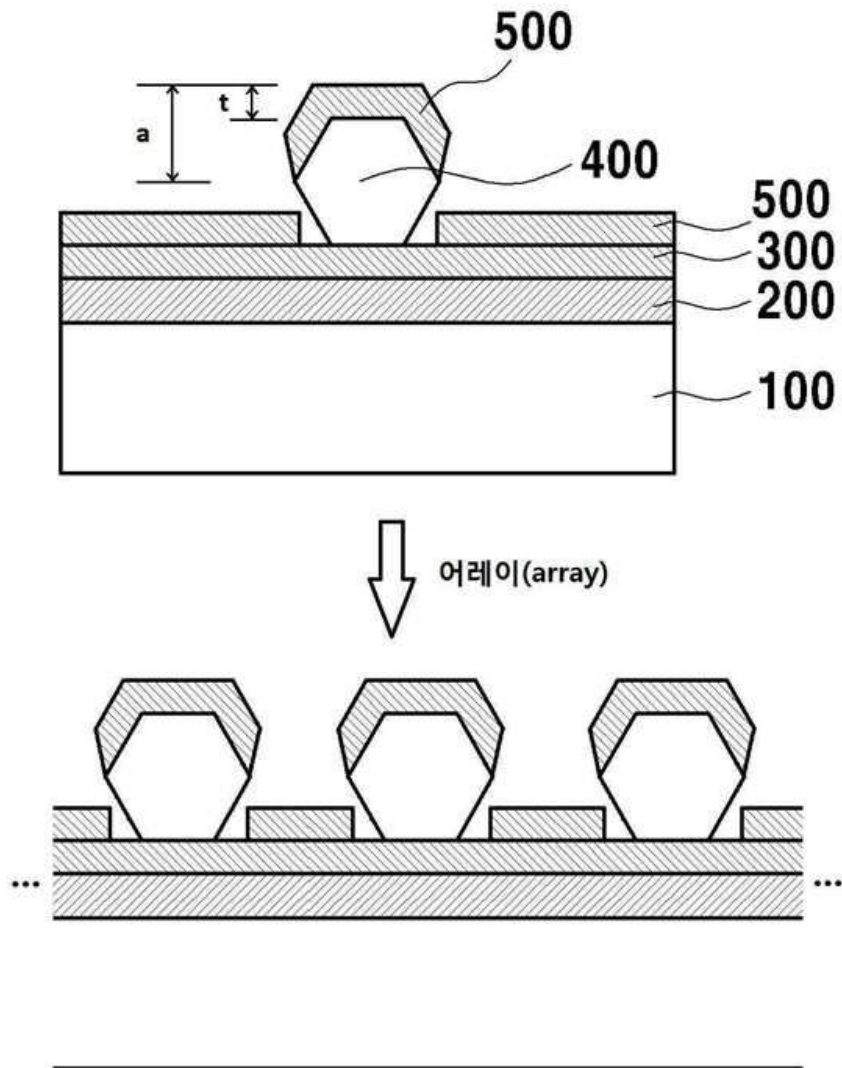
부호의 설명

- [0178] 100 : 기재
200 : 웨딩 층

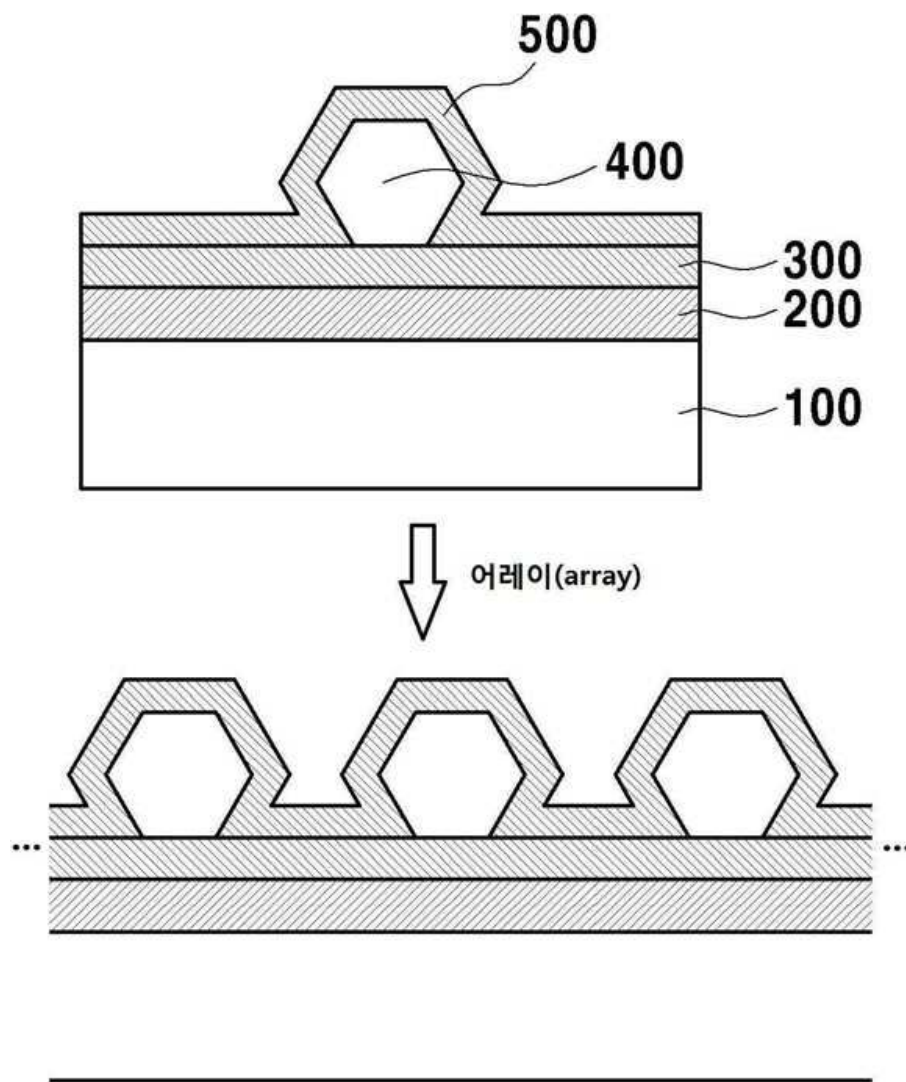
300 : 제 2 층
400 : 나노구조체
500 : 제 1 층

도면

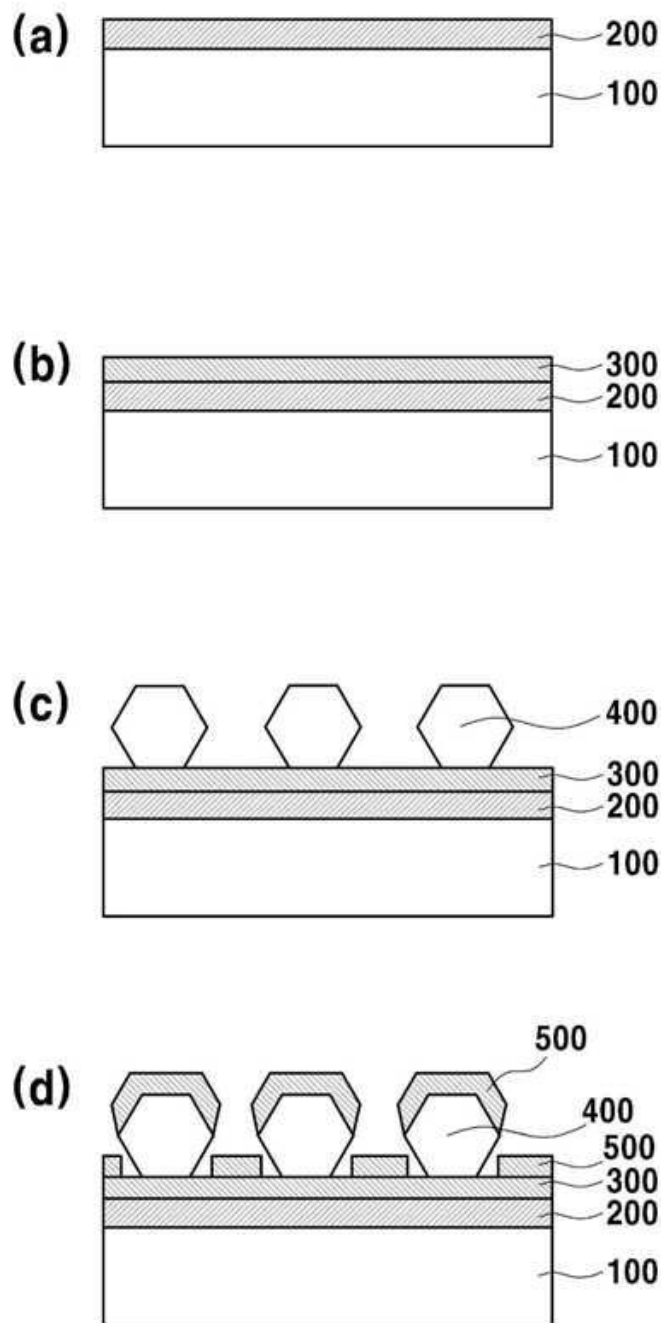
도면1a



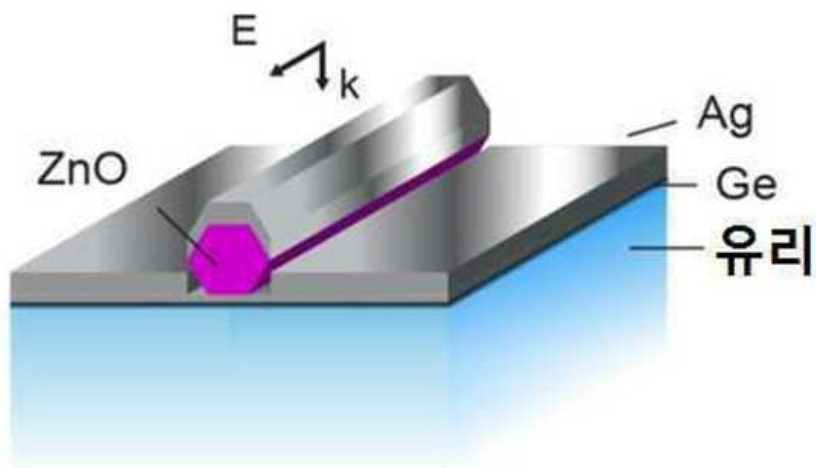
도면1b



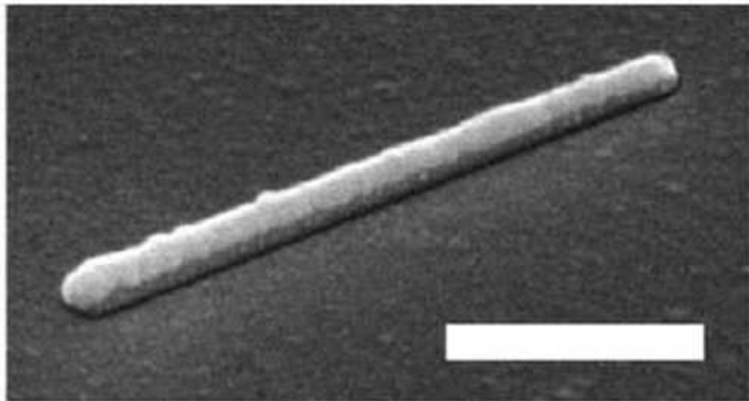
도면2



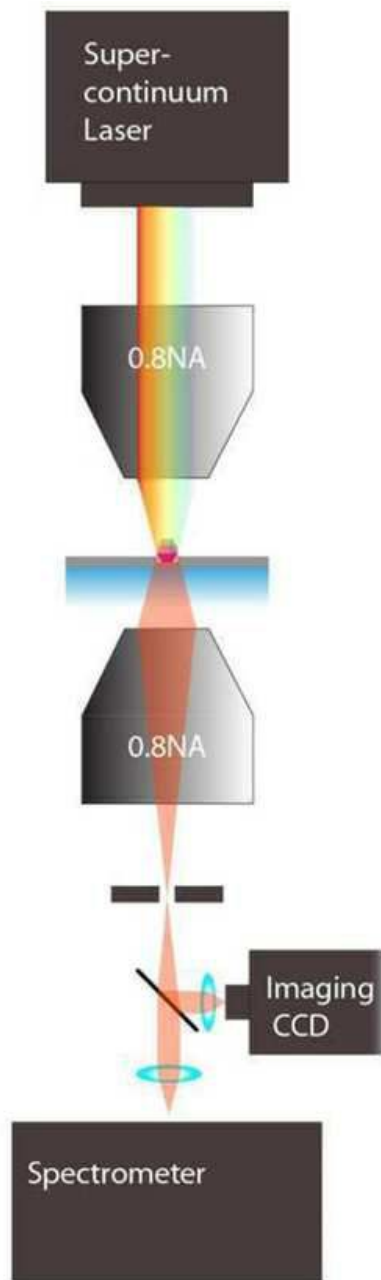
도면3a



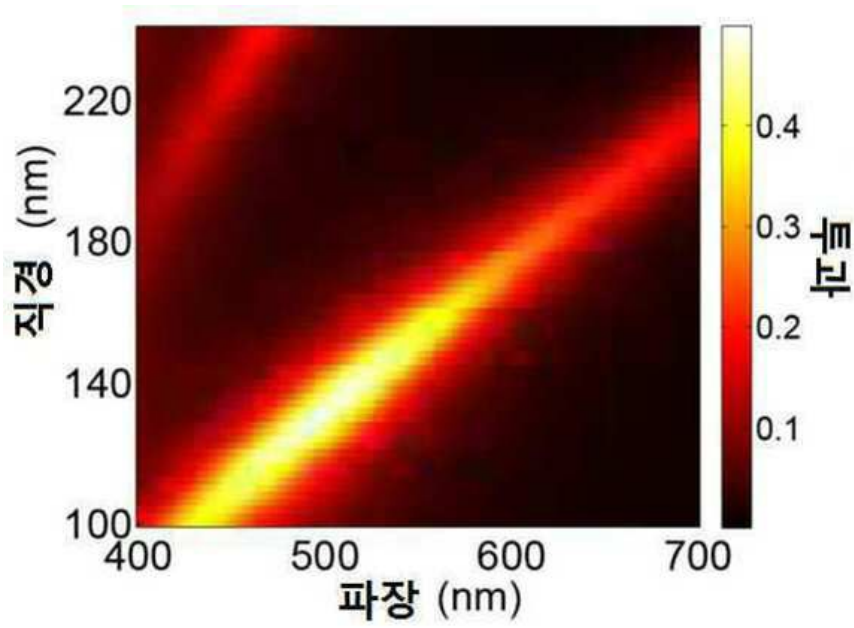
도면3b



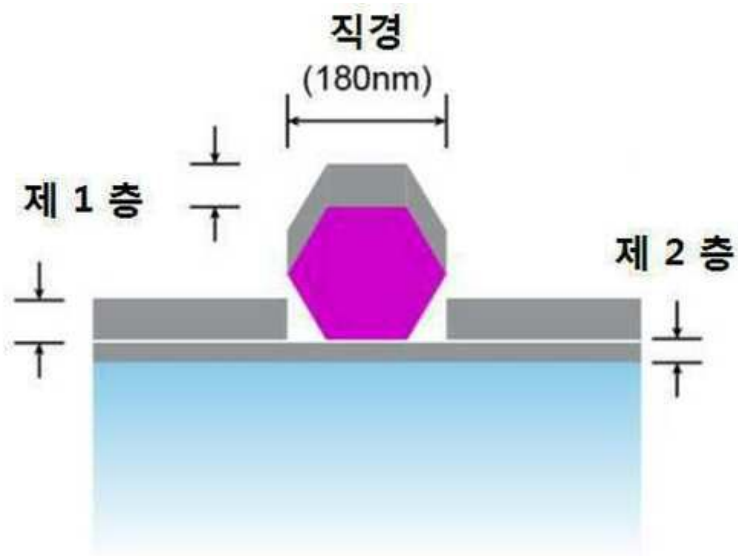
도면3c



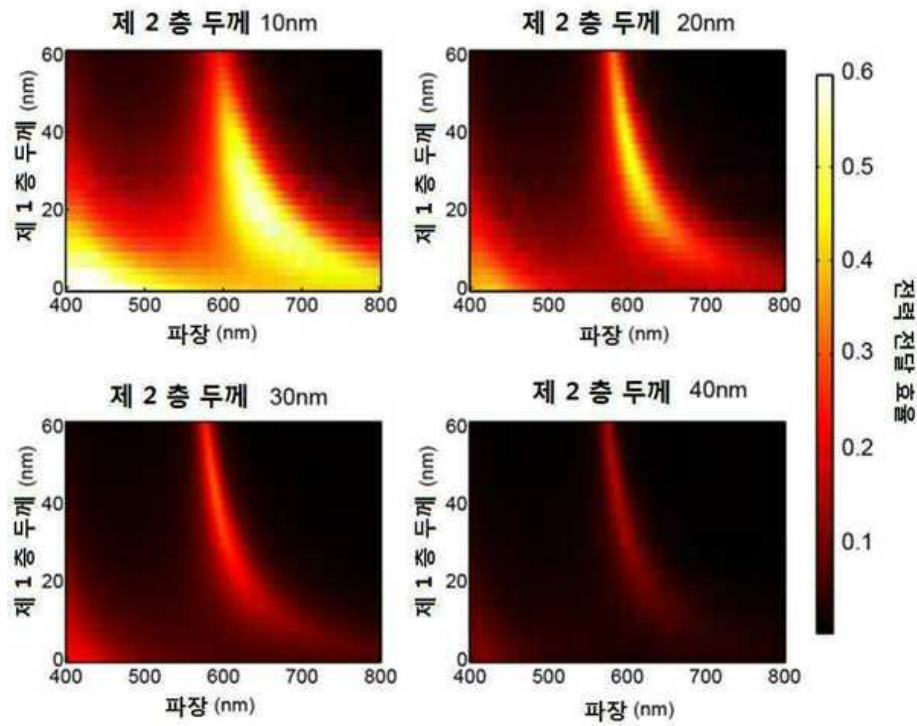
도면3d



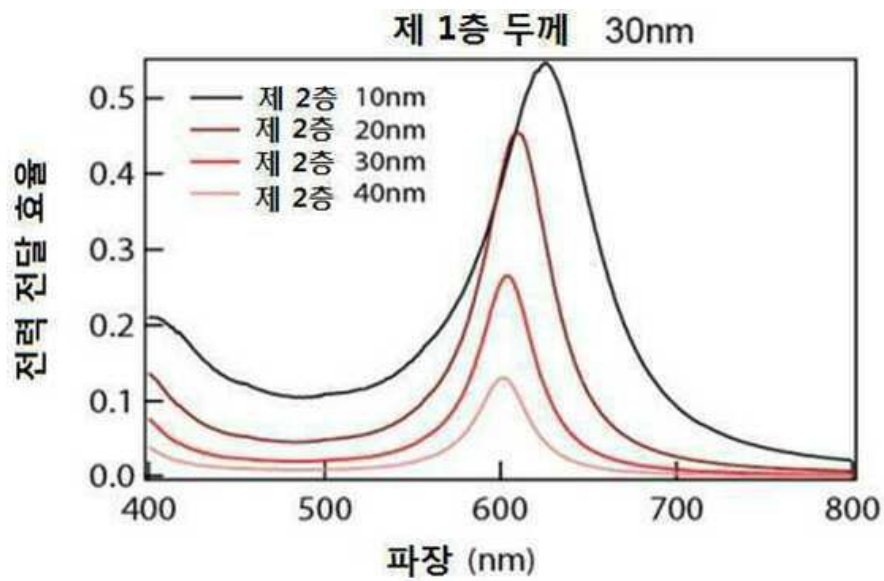
도면4a



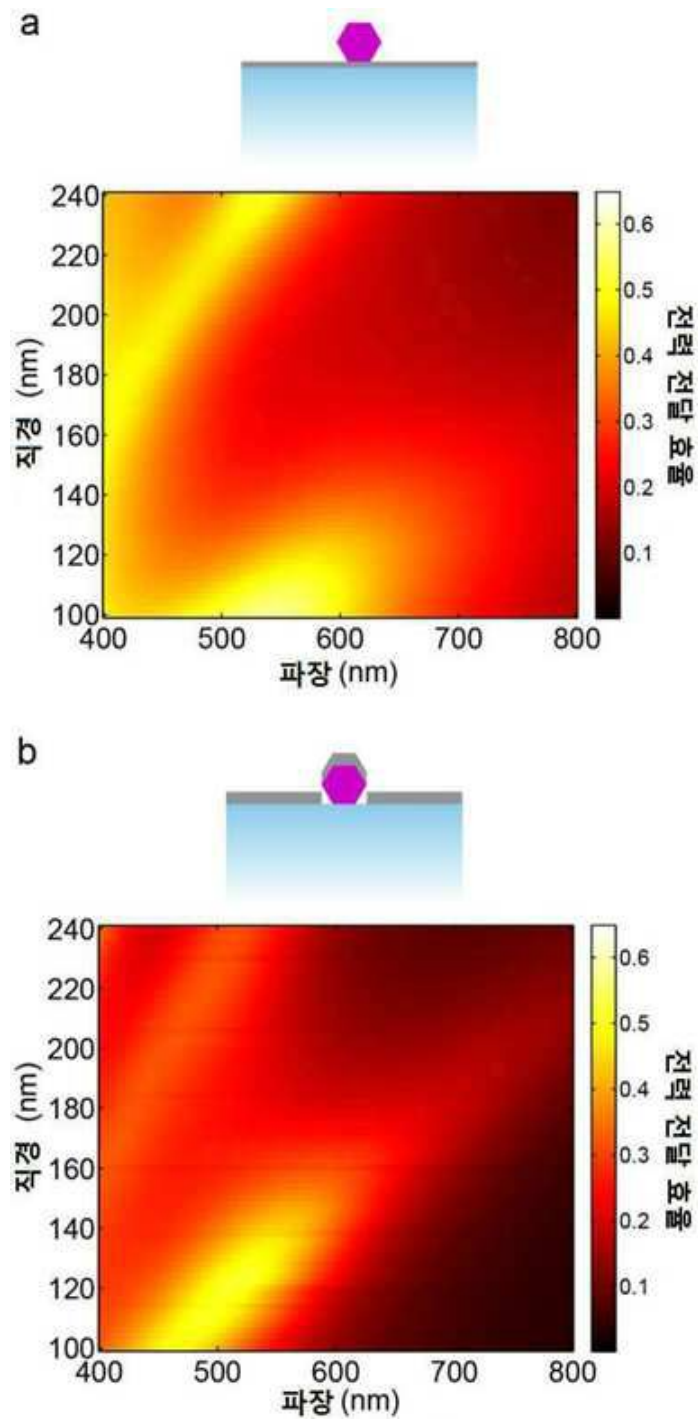
도면4b



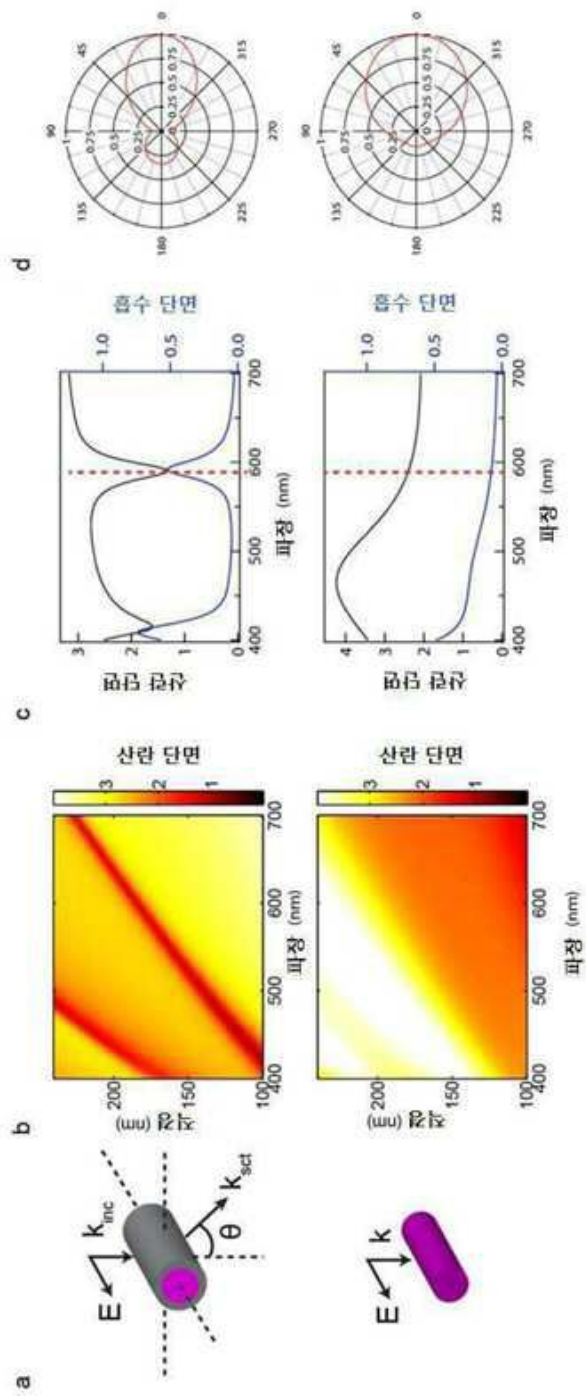
도면4c



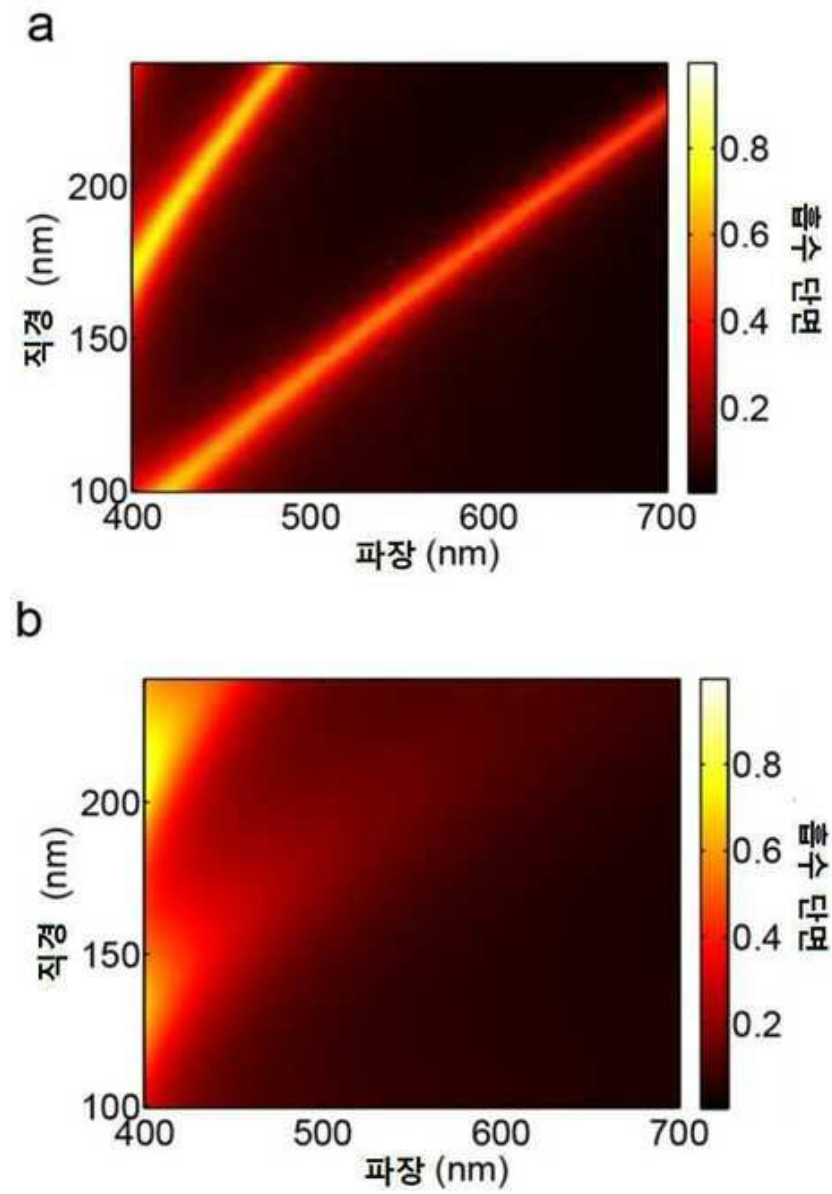
도면5



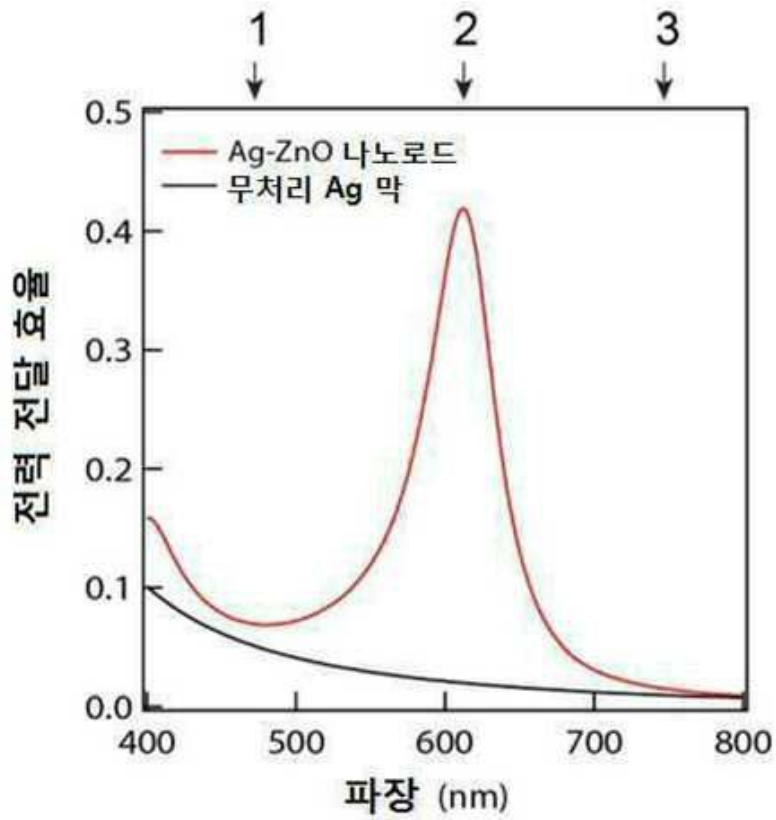
도면6



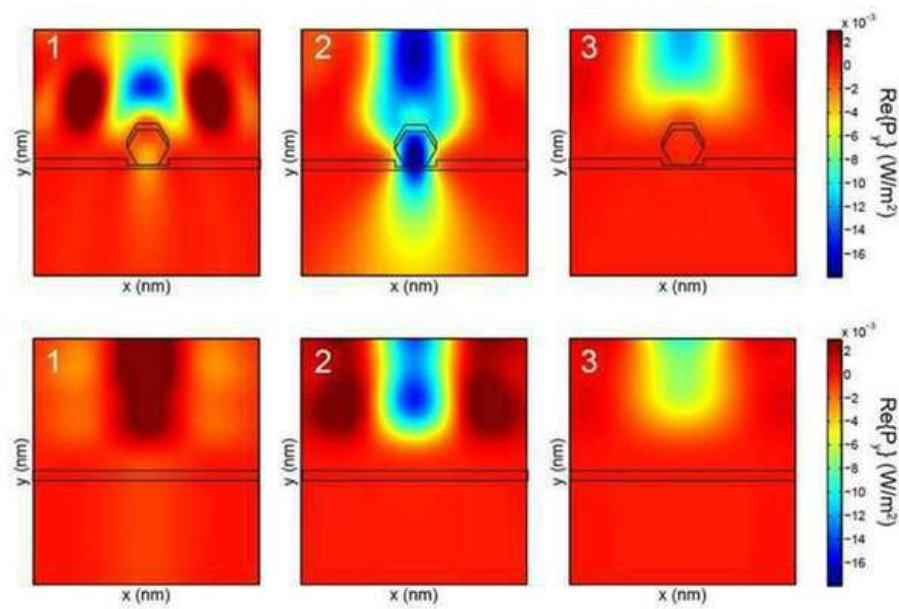
도면7



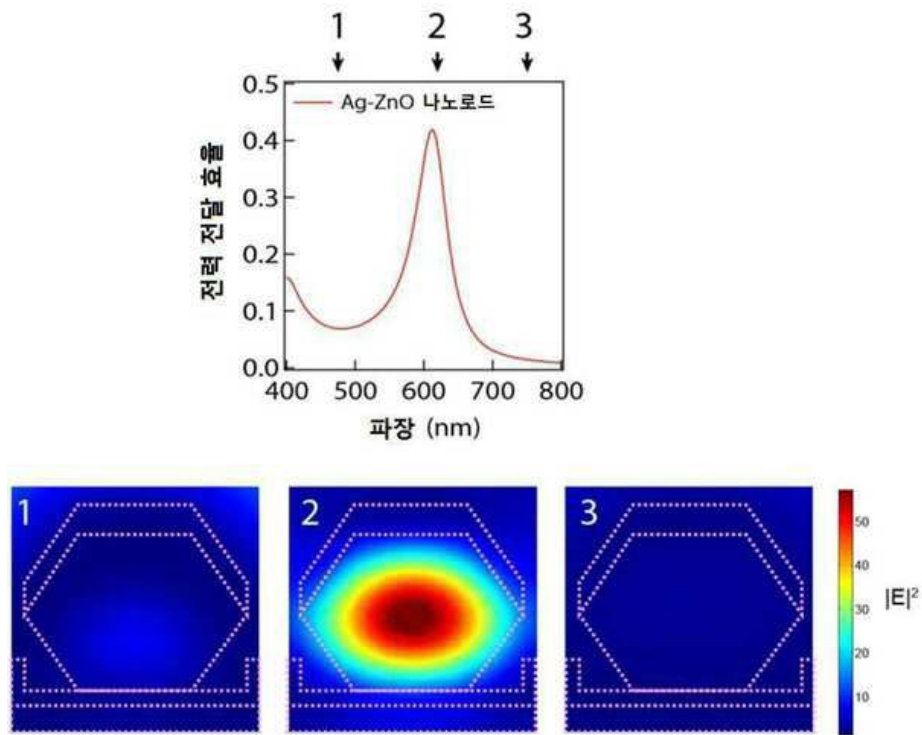
도면8a



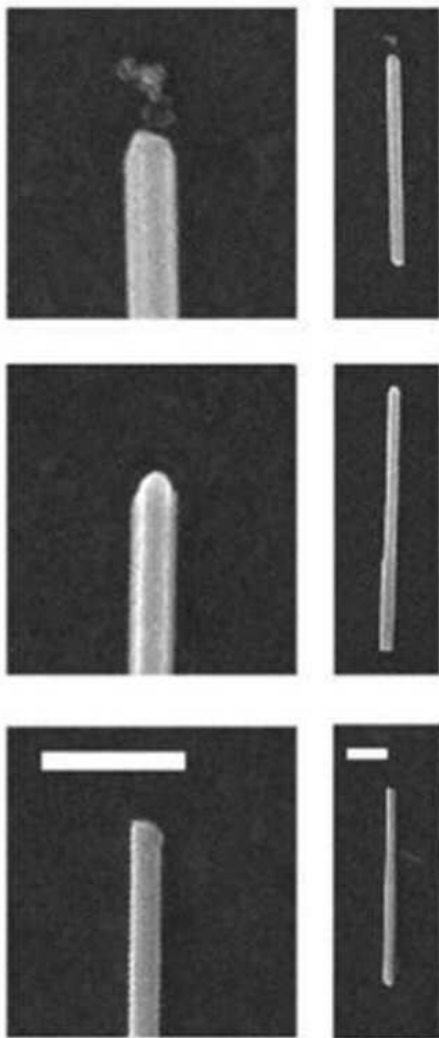
도면8b



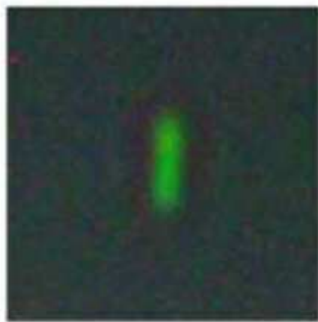
도면9



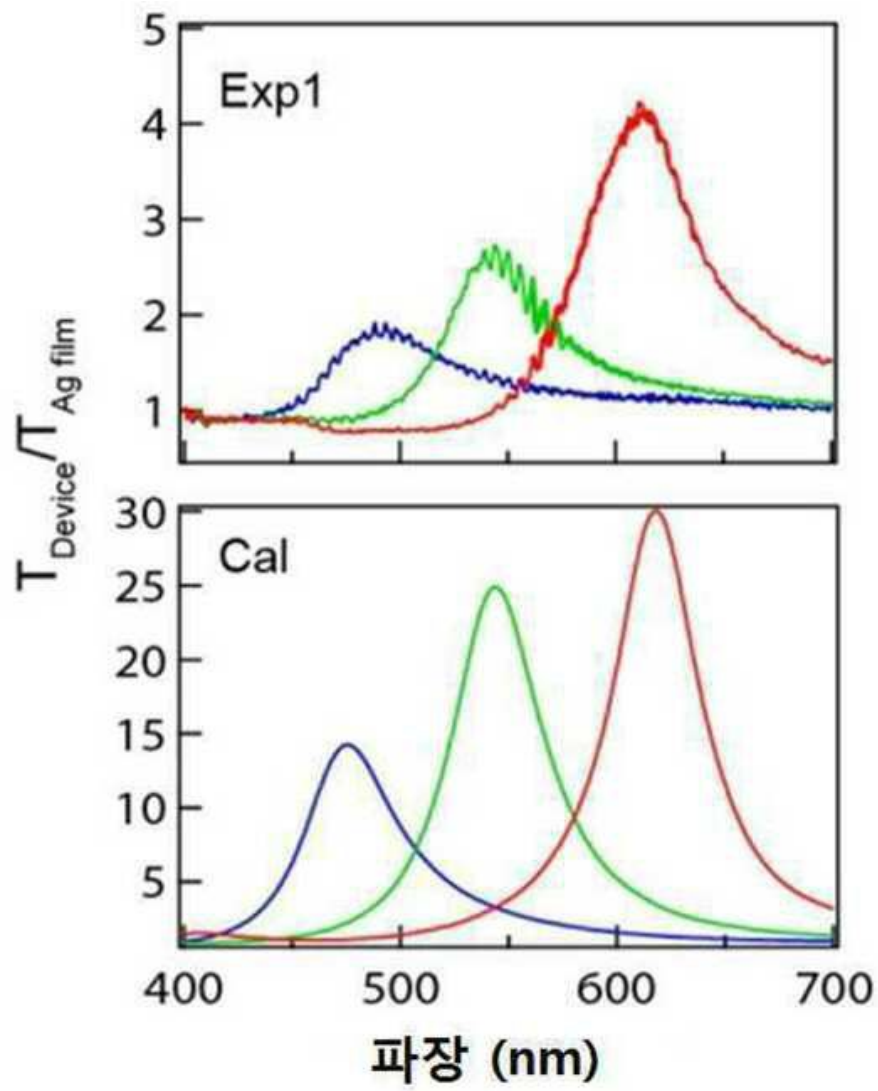
도면10a



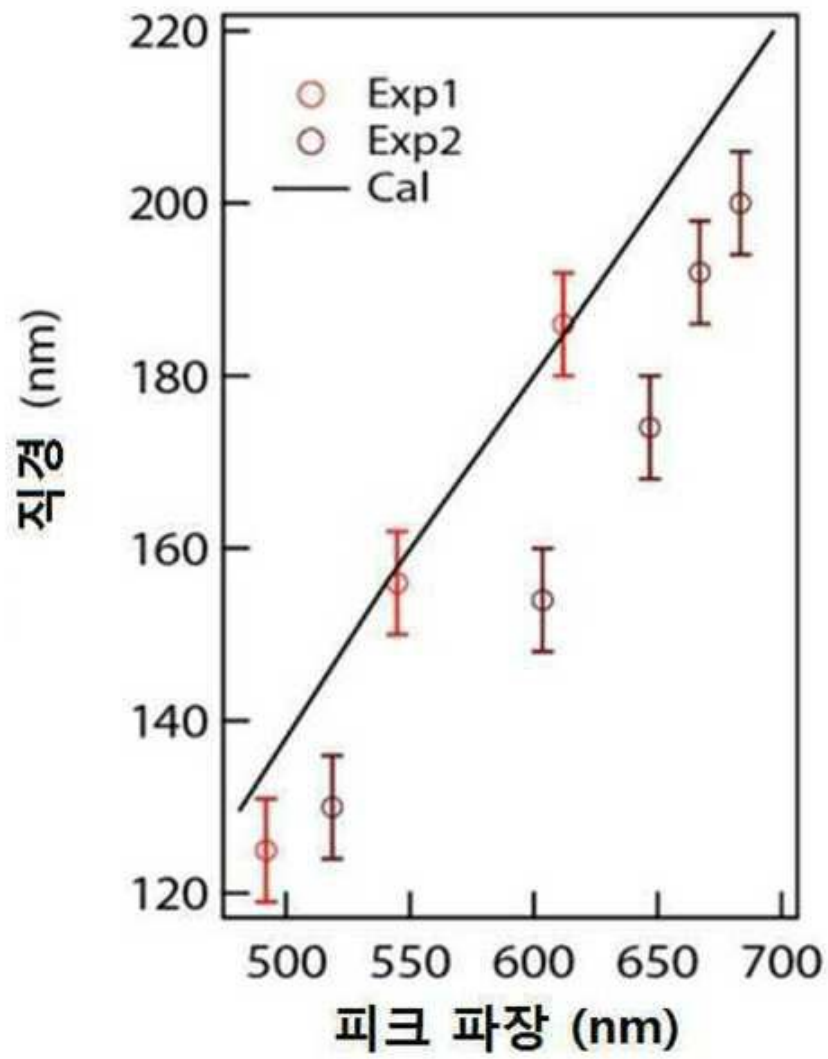
도면10b



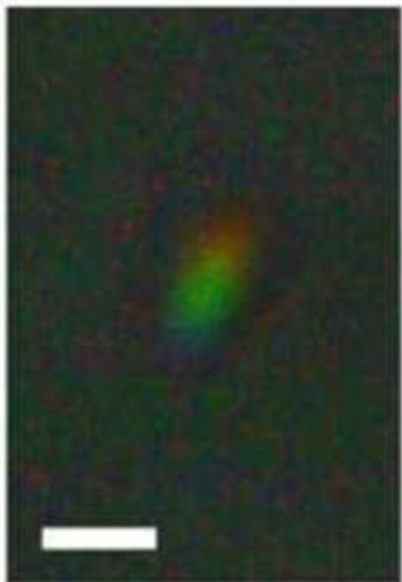
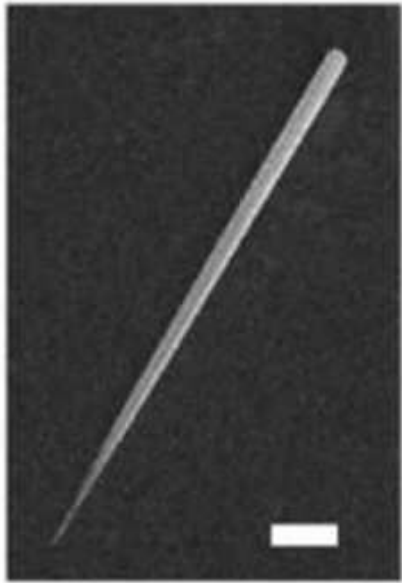
도면10c



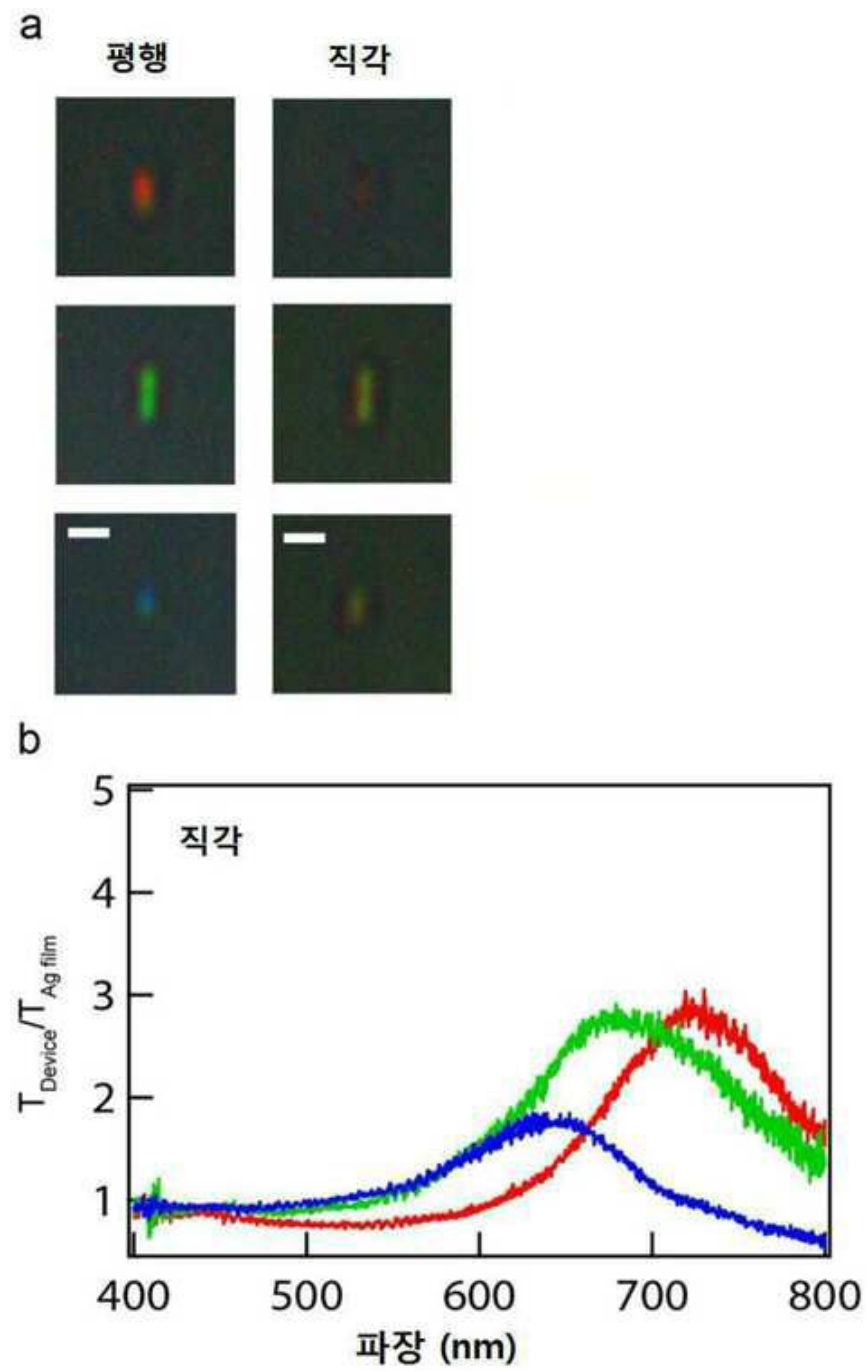
도면10d



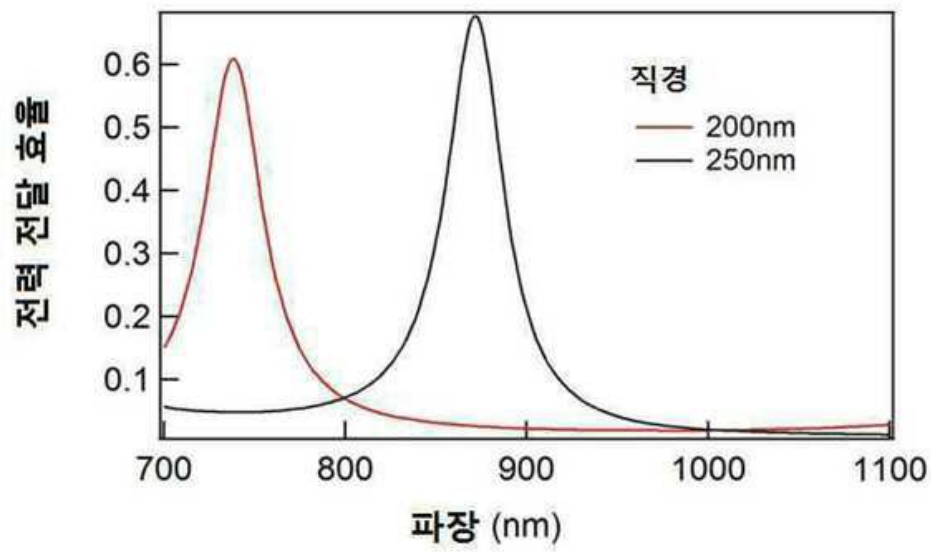
도면10e



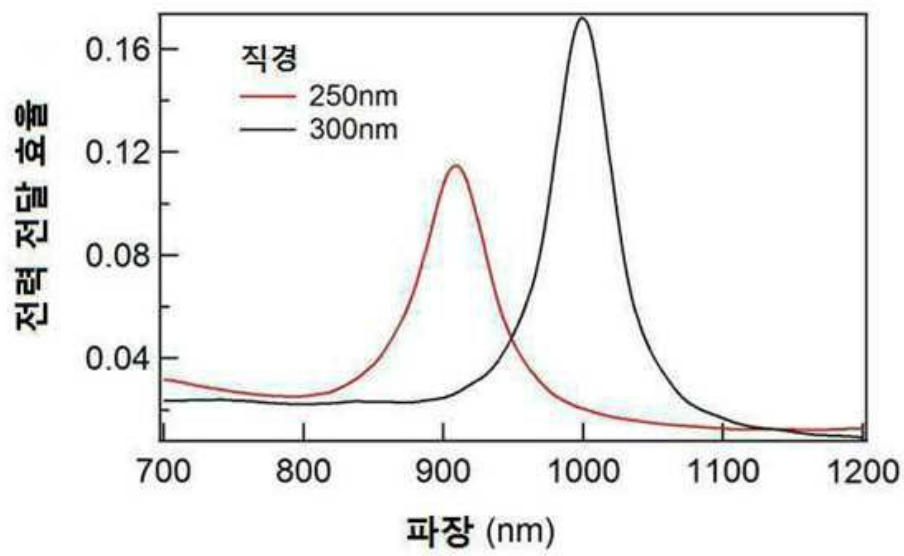
도면11



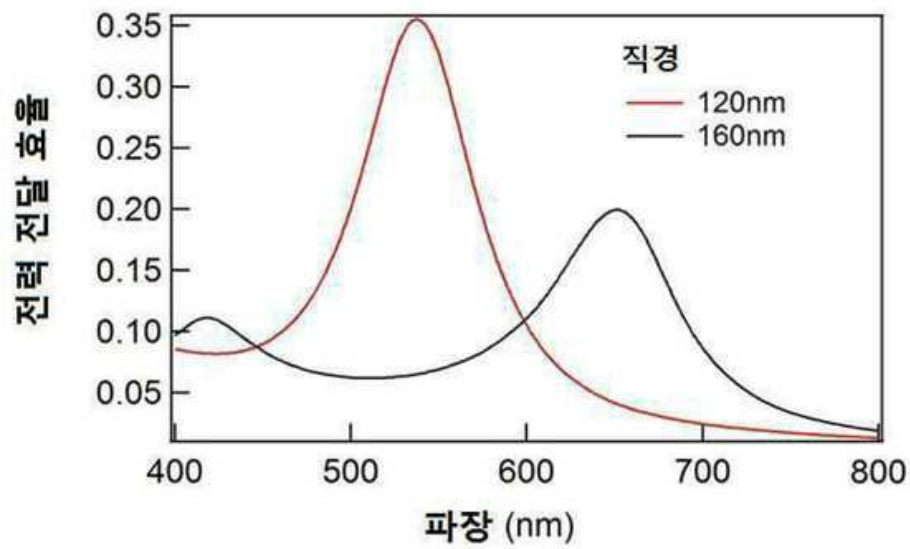
도면12a



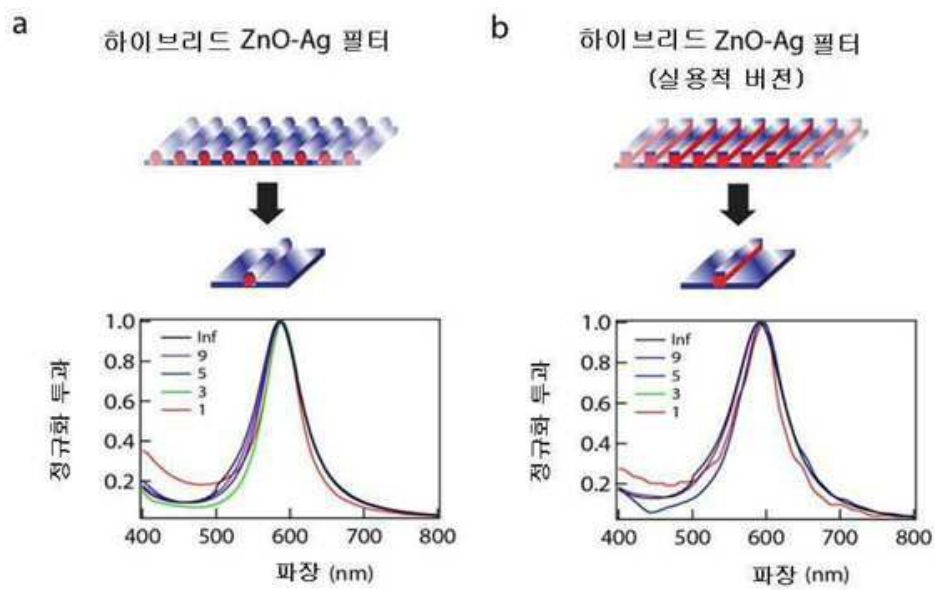
도면12b



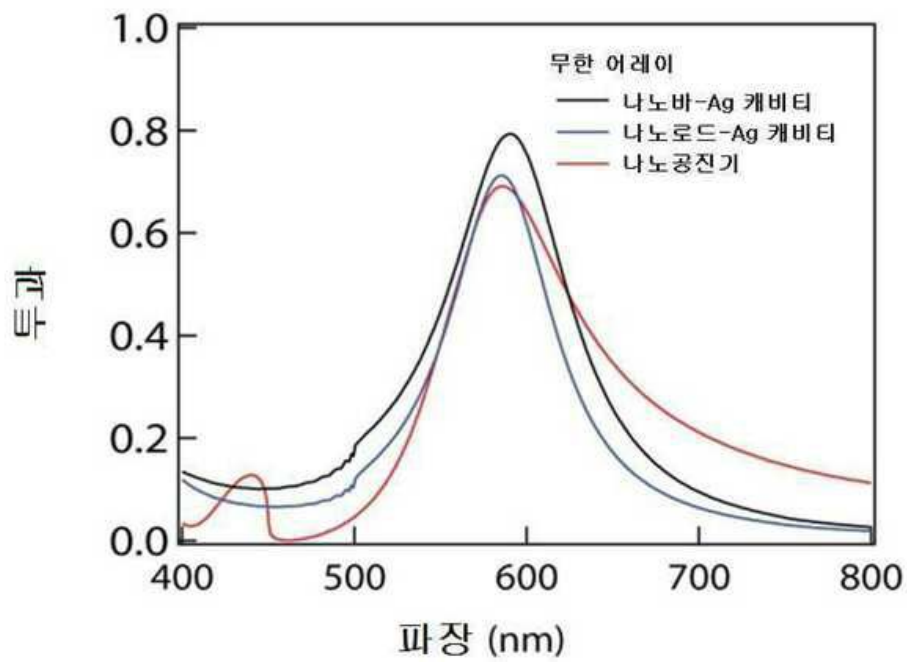
도면12c



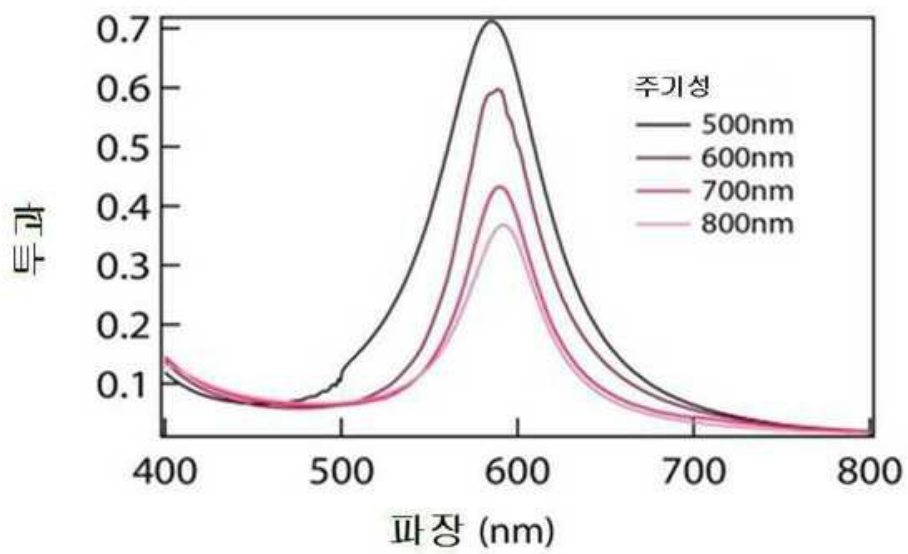
도면13



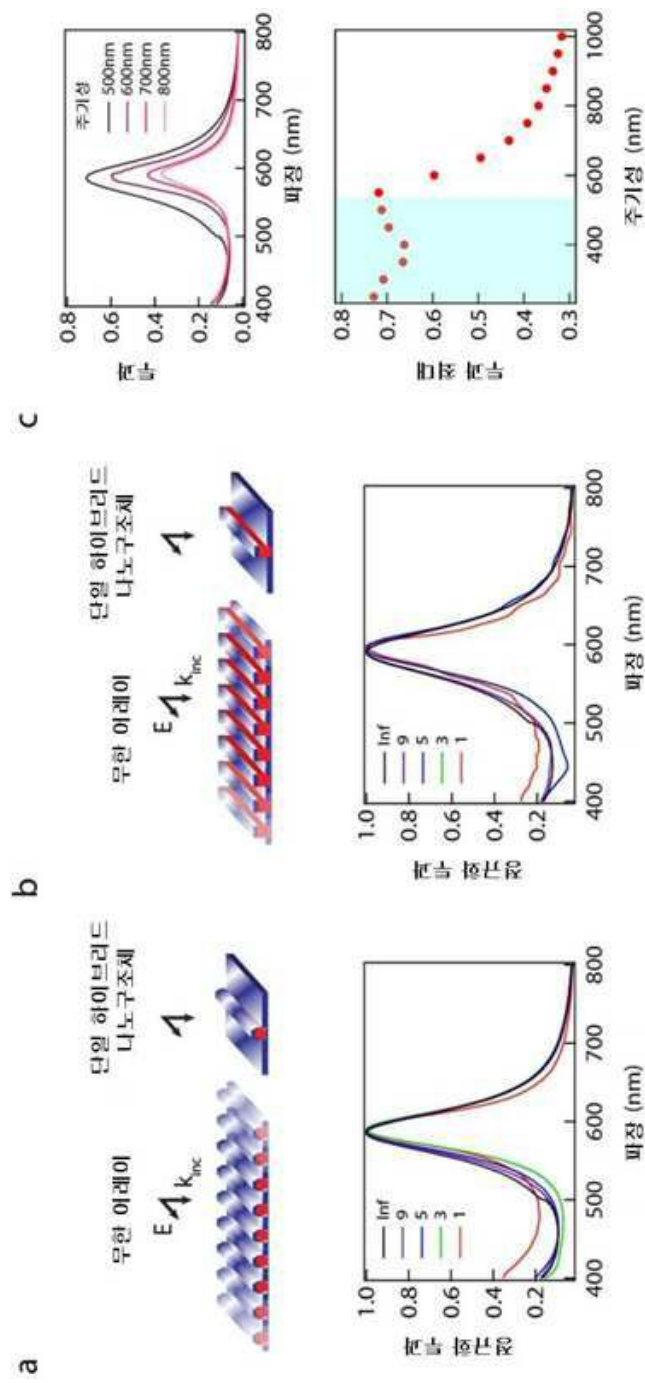
도면14



도면15

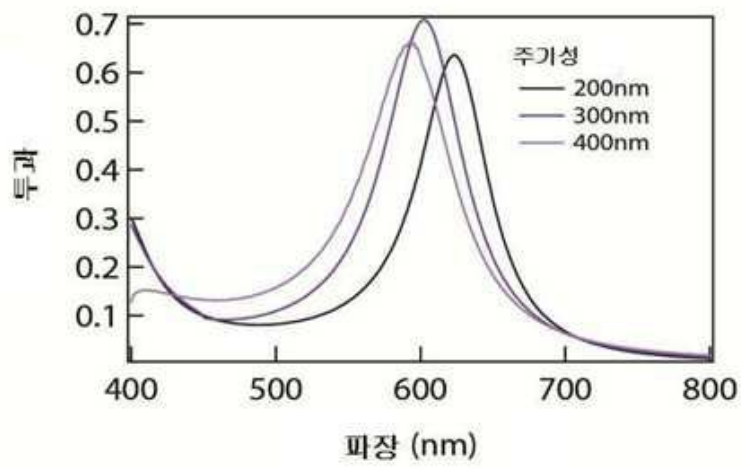


도면16

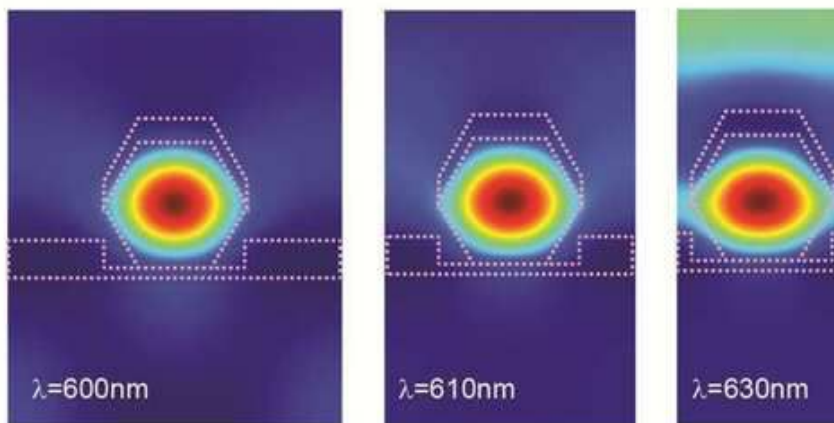


도면17

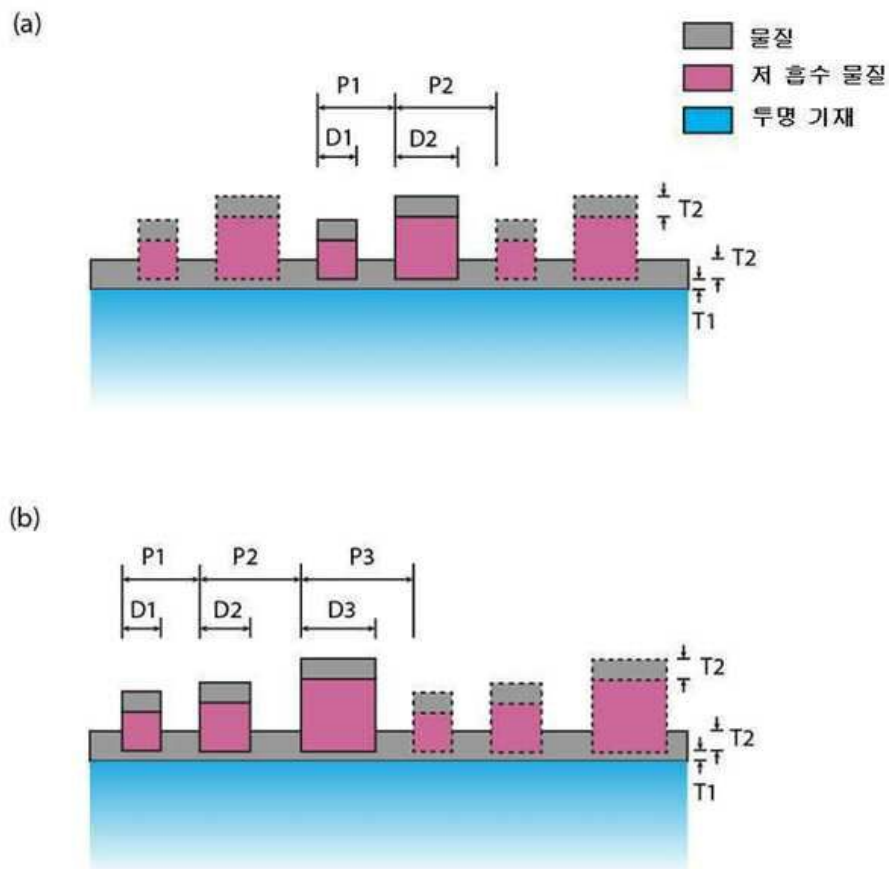
a



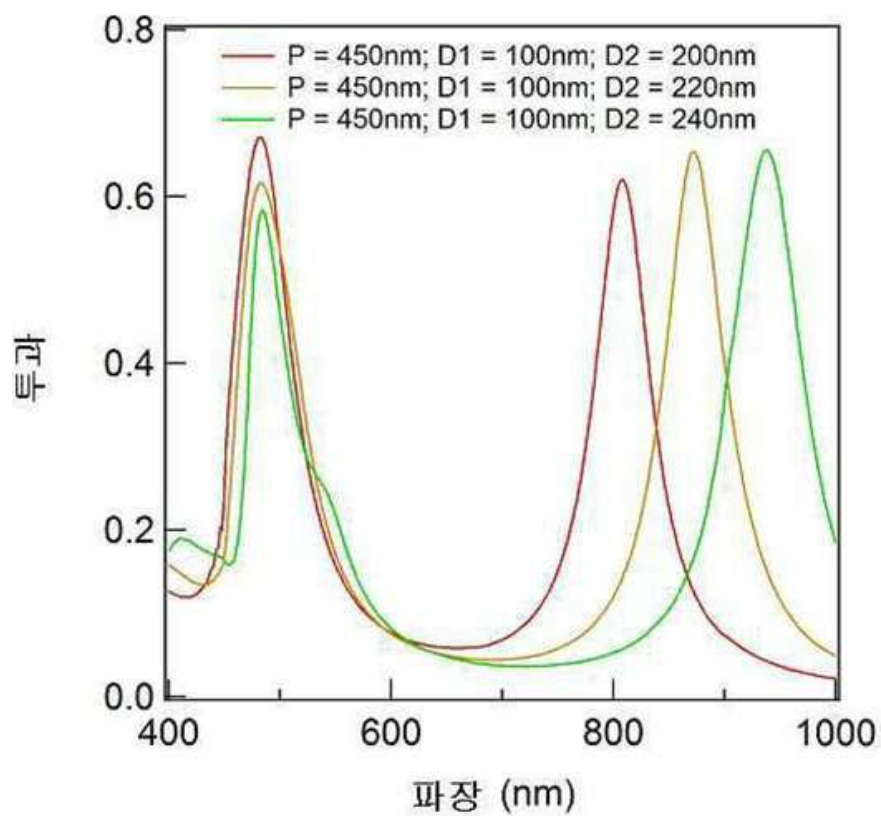
b



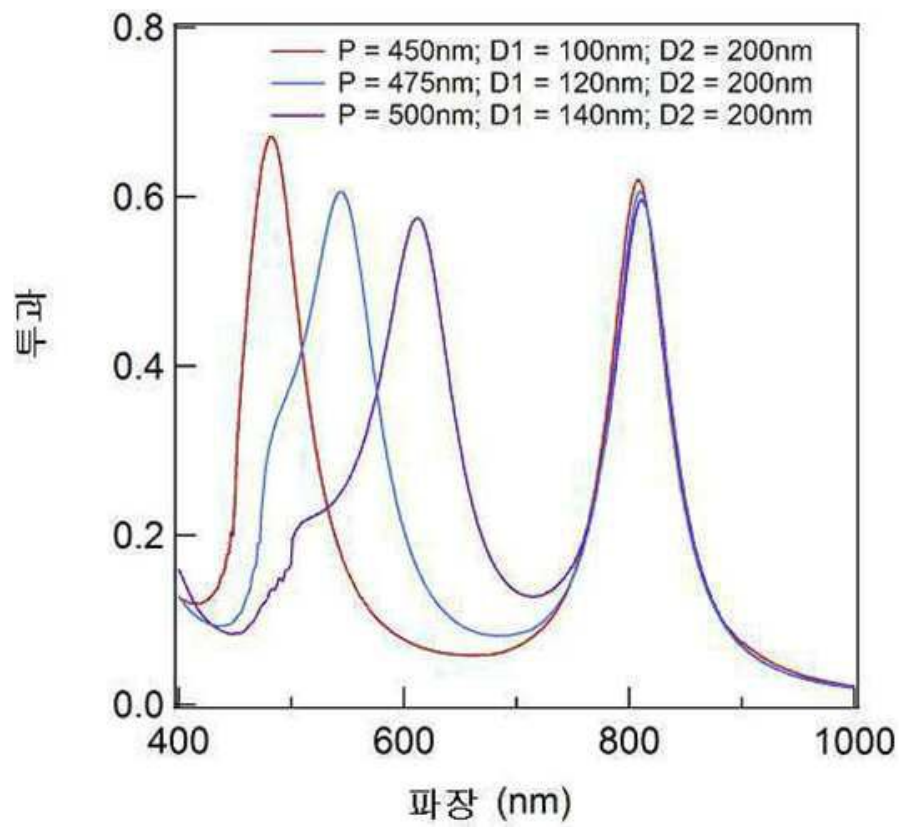
도면18



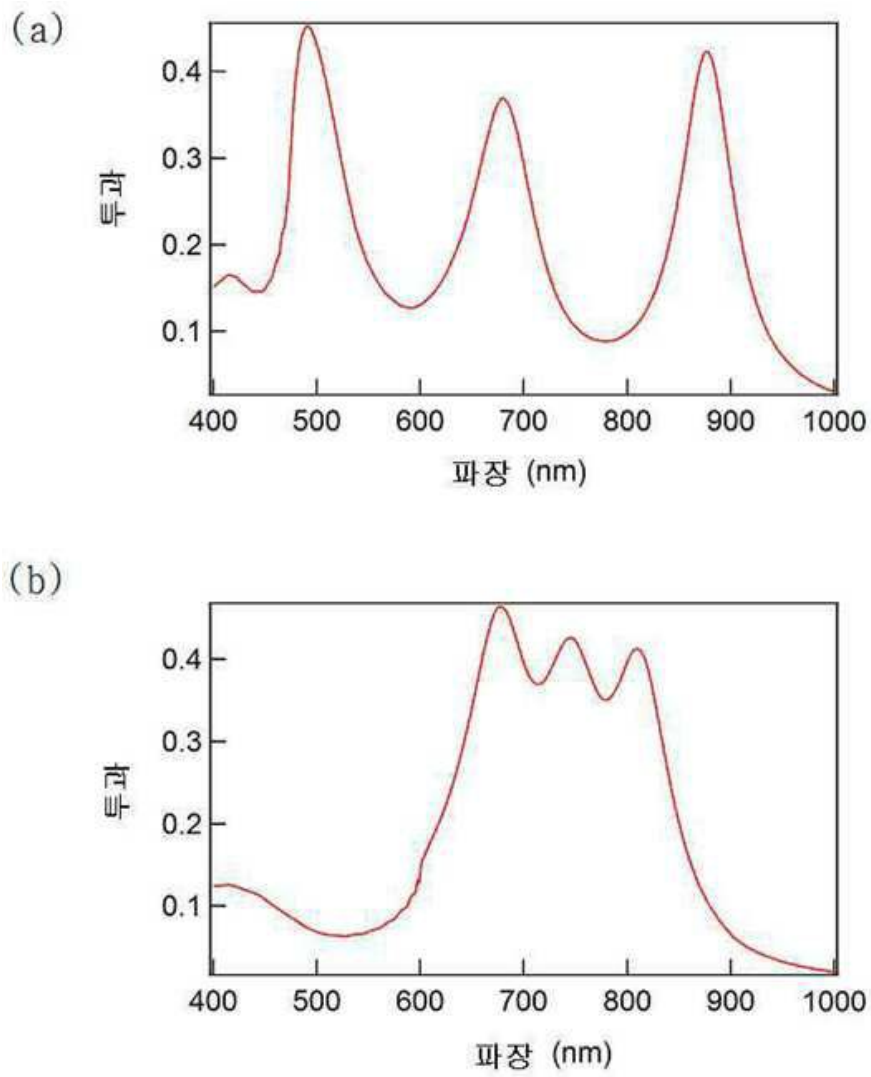
도면19



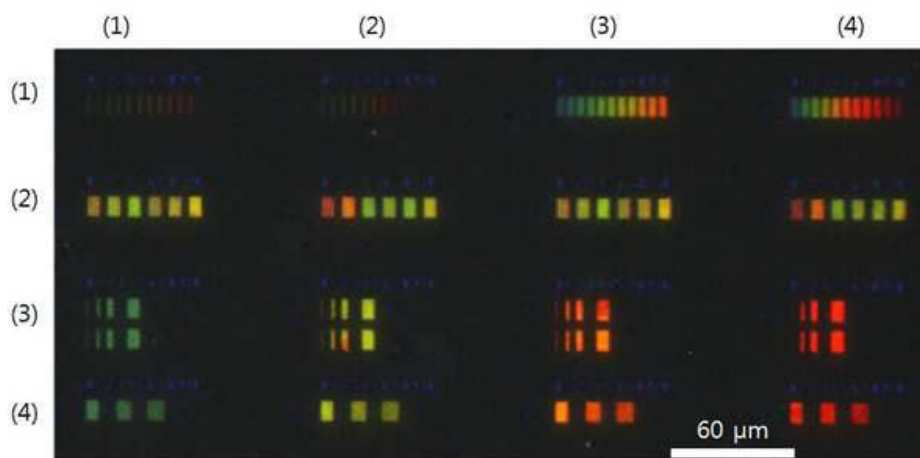
도면20



도면21



도면22



도면23

