



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2018-0018894
(43) 공개일자 2018년02월22일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G02B 1/00 (2006.01) B82B 1/00 (2017.01)
B82Y 20/00 (2017.01) B82Y 40/00 (2017.01)
(52) CPC특허분류
G02B 1/002 (2013.01)
B82B 1/005 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2016-0101507
(22) 출원일자 2016년08월09일
심사청구일자 없음

(71) 출원인
고려대학교 산학협력단
서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암
동5가)
한국전자통신연구원
대전광역시 유성구 가정로 218 (가정동)
(72) 발명자
홍성훈
대전광역시 유성구 전민동 엑스포아파트
이현
서울특별시 서초구 동광로22길 23 302호 (방배
동,그랑시엘방배)
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
특허법인 고려

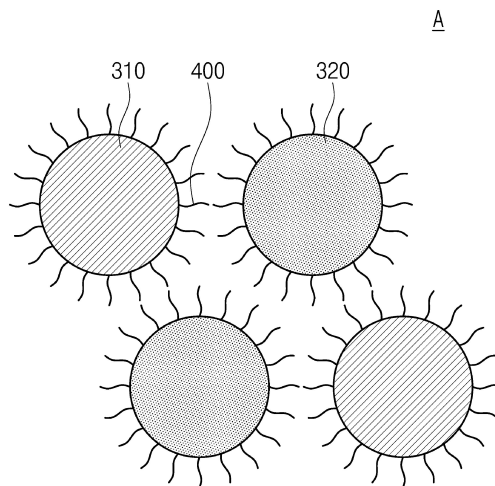
전체 청구항 수 : 총 20 항

(54) 발명의 명칭 메타 물질 구조체 및 그 제조 방법

(57) 요약

메타 물질 구조체는 제1 나노 입자(nano particle), 및 제1 나노 입자와 다른 물질을 포함하는 제2 나노 입자를 포함하되, 제1 및 제2 나노 입자들은 서로 인접하여, 서로 전자기적으로 커플링된다.

대표도 - 도5



(52) CPC특허분류

B82Y 20/00 (2013.01)

B82Y 40/00 (2013.01)

(72) 발명자

양용석

대전광역시 유성구 노은동 열매마을8단지

유인규

충청남도 공주시 반포면 고비고개길 100

김수정

인천광역시 부평구 일신로14번길 23, 102동 901호
(일신동, 풍림아파트)

최학중

서울특별시 성북구 안암동3가 대광아파트 나동 28
7호

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2015M3C1A3022546

부처명 미래창조과학부

연구관리전문기관 한국연구재단(NRF)

연구사업명 원천기술개발사업(첨단융합기술개발사업)

연구과제명 가시광파장용 나노결정기반 3차원 저손실 메타소재 개발

기 여 율 1/1

주관기관 한국전자통신연구원

연구기간 2013.09.01 ~ 2019.02.28

명세서

청구범위

청구항 1

제1 나노 입자(nano particle); 및

상기 제1 나노 입자와 다른 물질을 포함하는 제2 나노 입자를 포함하되,

상기 제1 및 제2 나노 입자들은 서로 인접하여, 서로 전자기적으로 커플링되는 메타 물질 구조체.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 제1 및 제2 나노 입자들 각각의 표면에 결합된 전도성 리간드를 더 포함하는 메타 물질 구조체.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 제1 및 제2 나노 입자들 사이의 간격은 10 나노미터(nm)보다 작은 메타 물질 구조체.

청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 제1 및 제2 나노 입자들은 각각 서로 다른 금속 입자들을 포함하는 메타 물질 구조체.

청구항 5

제 4 항에 있어서,

상기 제1 및 제2 나노 입자들의 각각은 은(Ag), 금(Au), 구리(Cu), 알루미늄(Al), 니켈(Ni), 크롬(Cr) 또는 납(Pb)을 포함하는 메타 물질 구조체.

청구항 6

제 1 항에 있어서,

상기 제1 나노 입자는 금속 입자를 포함하고,

상기 제2 나노 입자는 반도체 입자를 포함하는 메타 물질 구조체.

청구항 7

제 6 항에 있어서,

상기 제2 나노 입자는 단원자 반도체 입자 또는 화합물 반도체 입자를 포함하는 메타 물질 구조체.

청구항 8

제 7 항에 있어서,

상기 제2 나노 입자는 CdSe, PbSe, PbS, 또는 PbTe를 포함하는 메타 물질 구조체.

청구항 9

제 1 항에 있어서,

상기 제1 및 제2 나노 입자들은 서로 직접 접하는 메타 물질 구조체.

청구항 10

제 1 항에 있어서,

상기 제1 및 제2 나노 입자들과 다른 물질을 포함하는 제3 나노 입자를 더 포함하되,

상기 제1 내지 제3 나노 입자들은 인접하여, 서로 전자기적으로 커플링되는 메타 물질 구조체.

청구항 11

제 10 항에 있어서,

상기 제3 나노 입자는 금속 입자 또는 반도체 입자를 포함하는 메타 물질 구조체.

청구항 12

제 1 항에 있어서,

상기 메타 물질 구조체는 음의 굴절률을 가지는 메타 물질 구조체.

청구항 13

기판; 및

상기 기판 상에 제공되고, 상기 기판의 상부면에 평행한 방향에 따라 배열된 패턴들을 포함하되,

상기 패턴들의 각각은:

제1 나노 입자(nano particle); 및

상기 제1 나노 입자와 다른 물질을 포함하는 제2 나노 입자를 포함하되,

상기 제1 및 제2 나노 입자들은 서로 인접하여, 서로 전자기적으로 커플링되는 메타 물질 구조체.

청구항 14

제 13 항에 있어서,

상기 패턴들의 각각은 원기둥 형상을 가지는 메타 물질 구조체.

청구항 15

제 14 항에 있어서,

상기 패턴들의 각각의 높이 및 지름은 수 나노미터(nm) 내지 수백 마이크로미터(μm)이고,

서로 바로 인접한 상기 패턴들 사이의 거리는 수 나노미터(nm) 내지 수백 마이크로미터(μm)인 메타 물질 구조체.

청구항 16

기판을 제공하는 것;

상기 기판 상에 제1 나노 입자 및 상기 제1 나노 입자와 다른 물질을 포함하는 제2 나노 입자를 포함하는 나노 입자 용액을 제공하는 것; 및

스탬프로 상기 나노 입자 용액에 압력을 가하고, 상기 나노 입자 용액을 경화하여 상기 제1 및 제2 나노 입자들을 포함하는 패턴들을 형성하는 것을 포함하되,

상기 제1 및 제2 나노 입자들은 서로 인접하여, 서로 전자기적으로 커플링되고,

상기 스탬프는 일 면에 요철 구조를 가지고,

상기 패턴들은 상기 스탬프의 상기 요철 구조에 의해 그 형상이 정의되는 메타 물질 구조체의 제조 방법.

청구항 17

제 16 항에 있어서,

상기 패턴들을 소결(sintering)하여, 상기 제1 및 제2 나노 입자들을 서로 직접 접촉시키는 것을 더 포함하는 메타 물질 구조체의 제조 방법.

청구항 18

제 16 항에 있어서,

상기 제1 및 제2 나노 입자들의 각각은 그 표면에 결합된 제1 리간드를 포함하되,

상기 제조 방법은:

상기 패턴들에 리간드 치환(ligand exchange) 공정을 수행하는 것을 더 포함하고, 상기 리간드 치환 공정에 의해, 상기 제1 및 제2 나노 입자들의 각각에 결합된 상기 제1 리간드가 제2 리간드로 치환되고,

상기 제2 리간드의 길이는 상기 제1 리간드의 길이보다 짧은 메타 물질 구조체의 제조 방법.

청구항 19

제 18 항에 있어서,

상기 리간드 치환 공정은:

그 내부에 상기 제2 리간드를 포함하는 치환 용액을 준비하는 단계; 및

상기 치환 용액 속에 상기 패턴들을 담그는 단계를 포함하는 메타 물질 구조체의 제조 방법.

청구항 20

제 18 항에 있어서,

상기 제2 리간드는 SCN^- , I^- , Br^- , Cl^- , 또는 OH^- 을 포함하는 메타 물질 구조체의 제조 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 메타 물질 구조체 및 그 제조 방법에 관한 것으로, 상세하게는 광학적 특성이 개선된 메타 물질 구조체 및 그 제조 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 메타 물질 구조체는 자연계에 존재하지 않는 새로운 특성을 가지는 구조체일 수 있다. 예를 들어, 메타 물질 구조체는 음의 굴절률 또는 극대화된 굴절률을 가질 수 있다. 메타 물질 구조체는 투명망토, 고성능 렌즈, 효율적인 소형 안테나, 초민감 감지기 등에 이용될 수 있다. 메타 물질 구조체는 의학, 생물물리학, 분광학, 이미징 및 보안 분야 등에 이용될 수 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0003] 본 발명이 해결하고자 하는 일 과제는 유전율이 조절되는 메타 물질 구조체를 제공하는 것에 있다.

[0004] 본 발명이 해결하고자 하는 일 과제는 굴절률이 조절되는 메타 물질 구조체를 제공하는 것에 있다.

[0005] 본 발명이 해결하고자 하는 일 과제는 광학적 특성이 개선된 메타 물질 구조체를 제공하는 것에 있다.

[0006] 다만, 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 상기 개시에 한정되지 않는다.

과제의 해결 수단

- [0007] 상기 과제를 해결하기 위한 본 발명의 사상의 예시적인 실시예들에 따른 메타 물질 구조체는 제1 나노 입자(nano particle); 및 상기 제1 나노 입자와 다른 물질을 포함하는 제2 나노 입자를 포함하되, 상기 제1 및 제2 나노 입자들은 서로 인접하여, 서로 전자기적으로 커플링될 수 있다.
- [0008] 예시적인 실시예들에서, 상기 제1 및 제2 나노 입자들 각각의 표면에 결합된 전도성 리간드를 더 포함할 수 있다.
- [0009] 예시적인 실시예들에서, 상기 제1 및 제2 나노 입자들 사이의 간격은 10 나노미터(nm)보다 작을 수 있다.
- [0010] 예시적인 실시예들에서, 상기 제1 및 제2 나노 입자들은 각각 서로 다른 금속 입자들을 포함할 수 있다.
- [0011] 예시적인 실시예들에서, 상기 제1 및 제2 나노 입자들의 각각은 은(Ag), 금(Au), 구리(Cu), 알루미늄(Al), 니켈(Ni), 크롬(Cr) 또는 납(Pb)을 포함할 수 있다.
- [0012] 예시적인 실시예들에서, 상기 제1 나노 입자는 금속 입자를 포함하고, 상기 제2 나노 입자는 반도체 입자를 포함할 수 있다.
- [0013] 예시적인 실시예들에서, 상기 제2 나노 입자는 단원자 반도체 입자 또는 화합물 반도체 입자를 포함할 수 있다.
- [0014] 예시적인 실시예들에서, 상기 제2 나노 입자는 CdSe, PbSe, PbS, 또는 PbTe를 포함할 수 있다.
- [0015] 예시적인 실시예들에서, 상기 제1 및 제2 나노 입자들은 서로 직접 접할 수 있다.
- [0016] 예시적인 실시예들에서, 상기 제1 및 제2 나노 입자들과 다른 물질을 포함하는 제3 나노 입자를 더 포함하되, 상기 제1 내지 제3 나노 입자들은 인접하여, 서로 전자기적으로 커플링될 수 있다.
- [0017] 예시적인 실시예들에서, 상기 제3 나노 입자는 금속 입자 또는 반도체 입자를 포함할 수 있다.
- [0018] 예시적인 실시예들에서, 상기 메타 물질 구조체는 음의 굴절률을 가질 수 있다.
- [0019] 상기 과제를 해결하기 위한 본 발명의 사상의 예시적인 실시예들에 따른 메타 물질 구조체는 기관; 및 상기 기관 상에 제공되고, 상기 기관의 상부면에 평행한 방향에 따라 배열된 패턴들을 포함하되, 상기 패턴들의 각각은: 제1 나노 입자(nano particle); 및 상기 제1 나노 입자와 다른 물질을 포함하는 제2 나노 입자를 포함하되, 상기 제1 및 제2 나노 입자들은 서로 인접하여, 서로 전자기적으로 커플링될 수 있다.
- [0020] 예시적인 실시예들에서, 상기 패턴들의 각각은 원기둥 형상을 가질 수 있다.
- [0021] 예시적인 실시예들에서, 상기 패턴들의 각각의 높이 및 지름은 수 나노미터(nm) 내지 수백 마이크로미터(μm)이고, 서로 바로 인접한 상기 패턴들 사이의 거리는 수 나노미터(nm) 내지 수백 마이크로미터(μm)일 수 있다.
- [0022] 상기 과제를 해결하기 위한 본 발명의 사상의 예시적인 실시예들에 따른 메타 물질 구조체의 제조 방법은 기관을 제공하는 것; 상기 기관 상에 제1 나노 입자 및 상기 제1 나노 입자와 다른 물질을 포함하는 제2 나노 입자를 포함하는 나노 입자 용액을 제공하는 것; 및 스탬프로 상기 나노 입자 용액에 압력을 가하고, 상기 나노 입자 용액을 경화하여 상기 제1 및 제2 나노 입자들을 포함하는 패턴들을 형성하는 것을 포함하되, 상기 제1 및 제2 나노 입자들은 서로 인접하여, 서로 전자기적으로 커플링되고, 상기 스탬프는 일 면에 요철 구조를 가지고, 상기 패턴들은 상기 스탬프의 상기 요철 구조에 의해 그 형상이 정의될 수 있다.
- [0023] 예시적인 실시예들에서, 상기 패턴들을 소결(sintering)하여, 상기 제1 및 제2 나노 입자들을 서로 직접 접촉시키는 것을 더 포함할 수 있다.
- [0024] 예시적인 실시예들에서, 상기 제1 및 제2 나노 입자들의 각각은 그 표면에 결합된 제1 리간드를 포함하되, 상기 제조 방법은: 상기 패턴들에 리간드 치환(ligand exchange) 공정을 수행하는 것을 더 포함하고, 상기 리간드 치환 공정에 의해, 상기 제1 및 제2 나노 입자들의 각각에 결합된 상기 제1 리간드가 제2 리간드로 치환되고, 상기 제2 리간드의 길이는 상기 제1 리간드의 길이보다 짧을 수 있다.
- [0025] 예시적인 실시예들에서, 상기 리간드 치환 공정은: 그 내부에 상기 제2 리간드를 포함하는 치환 용액을 준비하는 단계; 및 상기 치환 용액 속에 상기 패턴들을 담그는 단계를 포함할 수 있다.
- [0026] 예시적인 실시예들에서, 상기 제2 리간드는 SCN^- , I^- , Br^- , Cl^- , 또는 OH^- 을 포함할 수 있다.

발명의 효과

[0027] 본 발명의 사상의 예시적인 실시예들에 따르면, 서로 전자기적으로 커플링된 서로 다른 나노 입자들을 포함하는 메타 물질 구조체가 제공될 수 있다. 서로 전자기적으로 커플링된 나노 입자들의 형상, 종류, 및 나노 입자들 사이의 거리 등을 선택하여 메타 물질 구조체의 유전율이 조절될 수 있다. 이에 따라, 메타 물질 구조체의 유전율에 영향을 받는 메타 물질 구조체의 굴절률이 조절될 수 있다.

[0028] 다만, 본 발명의 효과는 상기 개시에 한정되지 않는다.

도면의 간단한 설명

[0029] 도 1은 본 발명의 예시적인 실시예들에 따른 메타 물질 구조체의 평면도이다.

도 2는 도 1의 I-I'선에 따른 단면도이다.

도 3은 도 2의 A부분의 확대도이다.

도 4는 본 발명의 예시적인 실시예들에 따른 메타 물질 구조체의 도 2의 A부분에 대응하는 부분의 확대도이다.

도 5는 본 발명의 예시적인 실시예들에 따른 메타 물질 구조체의 도 2의 A부분에 대응하는 부분의 확대도이다.

도 6은 본 발명의 예시적인 실시예들에 따른 메타 물질 구조체의 도 2의 A부분에 대응하는 부분의 확대도이다.

도 7은 본 발명의 예시적인 실시예들에 따른 메타 물질 구조체의 도 2의 A부분에 대응하는 부분의 확대도이다.

도 8은 본 발명의 예시적인 실시예들에 따른 메타 물질 구조체의 도 2의 A부분에 대응하는 부분의 확대도이다.

도 9는 본 발명의 예시적인 실시예들에 따른 메타 물질 구조체의 도 2의 A부분에 대응하는 부분의 확대도이다.

도 10은 본 발명의 예시적인 실시예들에 따른 메타 물질 구조체의 도 2의 A부분에 대응하는 부분의 확대도이다.

도 11은 전자기적으로 커플링된 은(Ag) 나노 입자와 CdSe 나노 입자를 관찰한 이미지이다.

도 12는 전자기적으로 커플링된 은(Ag) 나노 입자와 CdSe 나노 입자의 유전율의 실수부 그래프이다.

도 13은 전자기적으로 커플링된 은(Ag) 나노 입자와 CdSe 나노 입자의 유전율의 허수부 그래프이다.

도 14는 전자기적으로 커플링된 은(Ag) 나노 입자와 CdSe 나노 입자를 포함하는 메타 물질 구조체의 흡수율의 그래프이다.

도 15, 도 17 내지 도 19는 본 발명의 예시적인 실시예들에 따른 메타 물질 구조체의 제조 방법을 설명하기 위한 도 1의 I-I'선에 대응하는 단면도들이다.

도 16은 도 15의 B부분의 확대도이다.

도 20은 본 발명의 기술적 사상의 예시적인 실시예들에 따른 메타 물질 구조체의 제조 방법을 설명하기 위한 도 1의 I-I'선에 대응하는 단면도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0030] 본 발명의 기술적 사상의 구성 및 효과를 충분히 이해하기 위하여, 첨부한 도면을 참조하여 본 발명의 기술적 사상의 바람직한 실시예들을 설명한다. 그러나 본 발명 기술적 사상은 이하에서 개시되는 실시예들에 한정되는 것이 아니라, 여러 가지 형태로 구현될 수 있고 다양한 변경을 가할 수 있다. 단지, 본 실시예들의 설명을 통해 본 발명의 기술적 사상의 개시가 완전하도록 하며, 본 발명이 속하는 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자에게 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위하여 제공되는 것이다.

[0031] 명세서 전체에 걸쳐서 동일한 참조번호로 표시된 부분은 동일한 구성요소들을 나타낸다. 본 명세서에서 기술하는 실시예들은 본 발명의 기술적 사상의 이상적인 예시도인 평면도 및 단면도들을 참고하여 설명될 것이다. 도면들에 있어서, 영역들의 두께는 기술적 내용의 효과적인 설명을 위해 과장된 것이다. 따라서, 도면에서 예시된 영역들은 개략적인 속성을 가지며, 도면에서 예시된 영역들의 모양은 소자의 영역의 특정 형태를 예시하기 위한 것이며 발명의 범주를 제한하기 위한 것이 아니다. 본 명세서의 다양한 실시예들에서 다양한 용어가 다양한 구성요소들을 기술하기 위해서 사용되었지만, 이들 구성요소들이 이 같은 용어들에 의해서 한정되어서는 안 된다. 이들 용어들은 단지 어느 구성요소를 다른 구성요소와 구별시키기 위해서 사용되었을 뿐이다. 여기에 설명되고 예시되는 실시예들은 그것의 상보적인 실시예들도 포함한다.

- [0032] 본 명세서에서 사용된 용어는 실시예들을 설명하기 위한 것이며 본 발명을 제한하고자 하는 것은 아니다. 본 명세서에서, 단수형은 문구에서 특별히 언급하지 않는 한 복수형도 포함한다. 명세서에서 사용되는 '포함한다(comprises)' 및/또는 '포함하는(comprising)'은 언급된 구성요소는 하나 이상의 다른 구성요소의 존재 또는 추가를 배제하지 않는다.
- [0033] 이하, 첨부한 도면을 참조하여 본 발명의 기술적 사상의 바람직한 실시예들을 설명함으로써 본 발명을 상세히 설명한다.
- [0035] 도 1은 본 발명의 예시적인 실시예들에 따른 메타 물질 구조체의 평면도이다. 도 2는 도 1의 I-I'선에 따른 단면도이다. 도 3은 도 2의 A부분의 확대도이다.
- [0036] 도 1 및 도 2를 참조하면, 기관(100)이 제공될 수 있다. 기관(100)은 투명한 재질일 수 있다. 예를 들어, 기관(100)은 실리콘(Si), 유리, 또는 투명 고분자를 포함할 수 있다. 예시적인 실시예들에서, 기관(100)은 플렉서블(flexible) 기관일 수 있다.
- [0037] 기관(100) 상에 패턴(210)이 제공될 수 있다. 패턴(210)은 원기둥 형상을 가질 수 있다. 다만, 패턴(210)의 형상은 상기 개시에 한정되지 않는다. 패턴(210)은 기관(100)의 상부면에 평행한 방향에 따른 지름(d)을 가질 수 있다. 예를 들어, 패턴(210)의 지름(d)은 기관(100)의 상부면에 평행한 제1 방향(D1) 또는 제1 방향(D1)과 교차하는 제2 방향(D2)에 따라 수 나노미터(nm) 내지 수백 마이크로미터(μm)일 수 있다. 패턴(210)은 기관(100)의 상부면으로부터 수직인 제3 방향(D3)에 따라 높이(h)를 가질 수 있다. 예를 들어, 패턴(210)의 높이(h)는 수 나노미터(nm) 내지 수백 마이크로미터(μm)일 수 있다.
- [0038] 기관(100) 상에 복수 개의 패턴들(210)이 제공될 수 있다. 복수 개의 패턴들(210)은 평면적 관점에서, 제1 방향(D1) 및 제2 방향(D2)을 따라 이차원적으로 배열될 수 있다. 예를 들어, 복수 개의 패턴들(210)은 기관(100)의 상부면에 평행한 제1 방향(D1) 및 제2 방향(D2)으로 수 나노미터(nm) 내지 수백 마이크로미터(μm)만큼 서로 이격될 수 있다. 기관(100) 및 복수 개의 패턴들(210)은 메타 물질 구조체(meta material structure)로 정의될 수 있다. 본 명세서에서, 메타 물질 구조체는 자연적으로 존재하지 않는 음의 굴절률(negative refractive index) 또는 극대화된 굴절률을 가지는 구조체를 포함할 수 있다.
- [0039] 도 3을 참조하면, 패턴(210)은 서로 다른 제1 나노 입자(nano particle)(310) 및 제2 나노 입자(320)를 포함할 수 있다. 나노 입자는 수 내지 수백 나노미터(nm)의 크기를 갖는 입자일 수 있다. 제1 및 제2 나노 입자들(310, 320)은 실질적으로 동일한 크기를 가질 수 있다. 제1 나노 입자(310)는 금속을 포함할 수 있다. 예를 들어, 제1 나노 입자(310)는 은(Ag), 금(Au), 구리(Cu), 알루미늄(Al), 니켈(Ni), 크롬(Cr) 또는 납(Pb)을 포함할 수 있다. 예시적인 실시예들에서, 제2 나노 입자(320)는 제1 나노 입자(310)와 다른 금속을 포함할 수 있다. 예를 들어, 제2 나노 입자(320)는 은(Ag), 금(Au), 구리(Cu), 알루미늄(Al), 니켈(Ni), 크롬(Cr) 또는 납(Pb)을 포함하되, 제1 나노 입자(310)와 다른 금속을 포함할 수 있다. 다른 예시적인 실시예들에서, 제2 나노 입자(320)는 반도체 물질(semiconductor material)을 포함할 수 있다. 예를 들어, 제2 나노 입자(320)는 단원자 반도체 물질(예를 들어, 실리콘(Si) 또는 게르마늄(Ge)) 또는 화합물 반도체 물질(예를 들어, CdSe, PbSe, PbS 또는 PbTe)을 포함할 수 있다.
- [0040] 서로 바로 인접한 제1 및 제2 나노 입자들(310, 320)은 서로 직접 접할 수 있다. 패턴(210)은 복수 개의 제1 나노 입자들(310) 및 복수 개의 제2 나노 입자들(320)을 포함할 수 있다. 설명의 간결함을 위하여, 두 개의 제1 나노 입자들(310) 및 두 개의 제2 나노 입자들(320)이 도 3에 도시되었지만, 복수 개의 제1 나노 입자들(310) 및 복수 개의 제2 나노 입자들(320)의 각각의 개수는 이에 한정되지 않는다. 서로 바로 인접한 제1 나노 입자들(310)은 서로 직접 접할 수 있다. 서로 바로 인접한 제2 나노 입자들(320)은 서로 직접 접할 수 있다.
- [0041] 제1 및 제2 나노 입자들(310, 320)은 서로 인접하여, 서로 전자기적으로 커플링(coupling)될 수 있다. 본 명세서에서, 전자기적인 커플링이란 하나의 나노 입자에 의해 형성되는 전자기장이 다른 나노 입자에 영향을 미칠 수 있는 상태로 정의될 수 있다. 상기 전자기장은 나노 입자에 입사된 전자기파에 의해 나노 입자의 전자들이 진동하여 형성되는 것일 수 있다. 예를 들어, 전자기적으로 커플링된 제1 및 제2 나노 입자들(310, 320)은 제1 나노 입자(310)의 플라즈몬 공명 주파수(plasmon resonance frequency) 및 제2 나노 입자(320)의 플라즈몬 공명 주파수와 다른 플라즈몬 공명 주파수를 가질 수 있다. 메타 물질 구조체가 서로 전자기적으로 커플링된 제1 및 제2 나노 입자들(310, 320)을 포함하는 경우, 메타 물질 구조체는 제1 및 제2 나노 입자들(310, 320)의 각각의 유전율(permittivity)과 다른 유전율을 가질 수 있다. 이때, 메타 물질 구조체의 유전율은 제1 및 제2 나노

입자들(310, 320)의 각각의 종류, 형상 및 제1 및 제2 나노 입자들(310, 320) 사이의 거리 등에 따라 결정될 수 있다. 일반적으로, 굴절률(refractive index)은 유전율과 투과율(permeability)에 의해 정해진다. 본 발명의 사상의 예시적인 실시예들에 따르면, 제1 및 제2 나노 입자들(310, 320)의 각각의 종류를 선택하여, 메타 물질 구조체의 유전율과 굴절률이 조절될 수 있다.

[0043] 도 4는 본 발명의 예시적인 실시예들에 따른 메타 물질 구조체의 도 2의 A부분에 대응하는 부분의 확대도이다. 설명의 간결함을 위하여, 도 1 내지 도 3을 참조하여 설명된 것과 실질적으로 동일한 내용은 설명되지 않을 수 있다.

[0044] 도 4를 참조하면, 패턴(210)은 서로 다른 제1 나노 입자(310), 제2 나노 입자(320) 및 제3 나노 입자(330)을 포함할 수 있다. 제1 및 제2 나노 입자들(310, 320)은 도 3을 참조하여 설명된 제1 및 제2 나노 입자들(310, 320)과 실질적으로 동일할 수 있다.

[0045] 제3 나노 입자(330)의 크기는 제1 및 제2 나노 입자들(310, 320)의 각각의 크기와 실질적으로 동일할 수 있다. 제3 나노 입자(330)는 제1 및 제2 나노 입자들(310, 320)의 물질과 다른 물질을 포함할 수 있다. 예시적인 실시예들에서, 제3 나노 입자(330)는 금속을 포함할 수 있다. 예를 들어, 제3 나노 입자(330)는 은(Ag), 금(Au), 구리(Cu), 알루미늄(Al), 니켈(Ni), 크롬(Cr) 또는 납(Pb)을 포함하되, 제1 및 제2 나노 입자들(310, 320)과 다른 금속을 포함할 수 있다. 다른 예시적인 실시예들에서, 제3 나노 입자(330)는 반도체 물질(semiconductor material)을 포함할 수 있다. 예를 들어, 제3 나노 입자(330)는 단원자 반도체 물질(예를 들어, 실리콘(Si) 또는 게르마늄(Ge)) 또는 화합물 반도체 물질(예를 들어, CdSe, PbSe, PbS 또는 PbTe)을 포함할 수 있다.

[0046] 패턴(210)은 복수 개의 제1 나노 입자들(310), 복수 개의 제2 나노 입자들(320) 및 복수 개의 제3 나노 입자들(330)을 포함할 수 있다. 설명의 간결함을 위하여, 두 개의 제1 나노 입자들(310), 두 개의 제2 나노 입자들(320) 및 두 개의 제3 나노 입자들(330)이 도 4에 도시되었지만, 복수 개의 제1 나노 입자들(310), 복수 개의 제2 나노 입자들(320) 및 복수 개의 제3 나노 입자들(330)의 각각의 개수는 이에 한정되지 않는다. 서로 바로 인접한 제1 나노 입자들(310), 서로 바로 인접한 제2 나노 입자들(320) 및 서로 바로 인접한 제3 나노 입자들(330)은 서로 직접 접할 수 있다.

[0047] 제1 내지 제3 나노 입자들(310, 320, 330)은 서로 인접하여, 서로 전자기적으로 커플링될 수 있다. 메타 물질 구조체가 서로 전자기적으로 커플링된 제1 내지 제3 나노 입자들(310, 320, 330)을 포함하는 경우, 메타 물질 구조체는 제1 내지 제3 나노 입자들(310, 320, 330)의 각각의 유전율과 다른 유전율을 가질 수 있다. 본 발명의 사상의 예시적인 실시예들에 따르면, 제1 내지 제3 나노 입자들(310, 320, 330)의 각각의 종류를 선택하여, 메타 물질 구조체의 유전율과 굴절률이 조절될 수 있다. 서로 바로 인접한 제1 내지 제3 나노 입자들(310, 320, 330)은 서로 직접 접할 수 있다.

[0048] 도 3 및 도 4에서, 패턴(210)이 두 개 또는 세 개의 서로 다른 나노 입자들을 포함하는 것으로 도시되었지만, 이는 한정적인 것이 아니다. 즉, 패턴(210)은 서로 다른 세 개 이상의 나노 입자들을 포함할 수 있다.

[0050] 도 5는 본 발명의 예시적인 실시예들에 따른 메타 물질 구조체의 도 2의 A부분에 대응하는 부분의 확대도이다. 설명의 간결함을 위하여, 도 1 내지 도 3을 참조하여 설명된 것과 실질적으로 동일한 내용은 설명되지 않을 수 있다.

[0051] 도 5를 참조하면, 패턴(210)은 서로 다른 제1 나노 입자(310) 및 제2 나노 입자(320)를 포함할 수 있다. 제1 및 제2 나노 입자들(310, 320)은 도 3을 참조하여 설명된 제1 및 제2 나노 입자들(310, 320)과 실질적으로 동일할 수 있다.

[0052] 제1 및 제2 나노 입자들(310, 320)의 각각의 표면 상에 리간드(ligand)(400)가 제공될 수 있다. 예시적인 실시예들에서, 리간드(400)는 도전성 리간드(conductive ligand)일 수 있다. 예를 들어, 리간드(400)는 SCN^- , I^- , Br^- , Cl^- , 또는 OH^- 를 포함할 수 있다. 예시적인 실시예들에서, 제1 및 제2 나노 입자들(310, 320)의 각각의 표면 상에 복수의 리간드들(400)이 제공될 수 있다. 복수의 리간드들(400)은 제1 및 제2 나노 입자들(310, 320)의 각각을 둘러쌀 수 있다. 예시적인 실시예들에서, 리간드(400)의 길이는 약 1 나노미터(nm)보다 이하일 수 있다.

[0053] 서로 바로 인접한 제1 및 제2 나노 입자들(310, 320)은 서로 이격될 수 있다. 제1 및 제2 나노 입자들(310,

320) 사이의 이격 거리는 복수의 리간드들(400)에 의해 조절될 수 있다. 예를 들어, 예시적인 실시예들에서, 제 1 및 제2 나노 입자들(310, 320) 사이의 이격 거리는 복수의 리간드들(400)의 각각의 길이보다 클 수 있다. 예를 들어, 서로 바로 인접한 제1 및 제2 나노 입자들(310, 320) 사이의 이격 거리는 복수의 리간드들(400)의 각각의 길이 이상이되, 약 1 나노미터(nm) 이하일 수 있다.

[0054] 패턴(210)은 복수 개의 제1 나노 입자들(310) 및 복수 개의 제2 나노 입자들(320)이 포함할 수 있다. 설명의 간결함을 위하여, 두 개의 제1 나노 입자들(310) 및 두 개의 제2 나노 입자들(320)이 도 5에 도시되었지만, 복수 개의 제1 나노 입자들(310) 및 복수 개의 제2 나노 입자들(320)의 각각의 개수는 이에 한정되지 않는다. 서로 바로 인접한 제1 나노 입자들(310)은 서로 이격될 수 있다. 서로 바로 인접한 제1 나노 입자들(310) 사이의 이격 거리는 복수의 리간드들(400)에 의해 조절될 수 있다. 예시적인 실시예들에서, 서로 바로 인접한 제1 나노 입자들(310) 사이의 이격 거리는 복수의 리간드들(400)의 각각의 길이보다 클 수 있다. 예를 들어, 서로 바로 인접한 제1 나노 입자들(310) 사이의 이격 거리는 복수의 리간드들(400)의 각각의 길이 이상이되, 약 1 나노미터(nm) 이하일 수 있다.

[0055] 서로 바로 인접한 제2 나노 입자들(320)은 서로 이격될 수 있다. 서로 바로 인접한 제2 나노 입자들(320) 사이의 이격 거리는 복수의 리간드들(400)에 의해 조절될 수 있다. 예시적인 실시예들에서, 서로 바로 인접한 제2 나노 입자들(320) 사이의 이격 거리는 복수의 리간드들(400)의 각각의 길이보다 클 수 있다. 예를 들어, 서로 바로 인접한 제2 나노 입자들(320) 사이의 이격 거리는 복수의 리간드들(400)의 각각의 길이 이상이되, 약 1 나노미터(nm) 이하일 수 있다.

[0056] 제1 및 제2 나노 입자들(310, 320)은 서로 인접하여, 서로 전자기적으로 커플링될 수 있다. 메타 물질 구조체가 서로 전자기적으로 커플링된 제1 및 제2 나노 입자들(310, 320)을 포함하는 경우, 메타 물질 구조체는 제1 및 제2 나노 입자들(310, 320)의 각각의 유전율과 다른 유전율을 가질 수 있다. 본 발명의 사상의 예시적인 실시예들에 따르면, 제1 및 제2 나노 입자들(310, 320)의 각각의 종류를 선택하여, 메타 물질 구조체의 유전율과 굴절률이 조절될 수 있다.

[0058] 도 6은 본 발명의 예시적인 실시예들에 따른 메타 물질 구조체의 도 2의 A부분에 대응하는 부분의 확대도이다. 설명의 간결함을 위하여, 도 1 내지 도 5를 참조하여 설명된 것과 실질적으로 동일한 내용은 설명되지 않을 수 있다.

[0059] 도 6을 참조하면, 패턴(210)은 서로 다른 제1 나노 입자(310), 제2 나노 입자(320) 및 제3 나노 입자(330)를 포함할 수 있다. 제1 내지 제3 나노 입자들(310, 320, 330)은 도 4를 참조하여 설명된 제1 내지 제3 나노 입자들(310, 320, 330)과 실질적으로 동일할 수 있다. 제1 내지 제3 나노 입자들(310, 320, 330)의 각각의 표면 상에 리간드(400)가 제공될 수 있다. 제1 및 제2 나노 입자들(310, 320)의 각각의 표면 상에 제공되는 리간드(400)는 도 5를 참조하여 설명된 제1 및 제2 나노 입자들(310, 320)의 각각의 표면 상에 제공되는 리간드(400)와 실질적으로 동일할 수 있다.

[0060] 리간드(400)는 제3 나노 입자(330)의 표면에 결합될 수 있다. 예시적인 실시예들에서, 리간드(400)는 도전성을 가질 수 있다. 예를 들어, 리간드(400)는 SCN^- , I^- , Br^- , Cl^- , 또는 OH^- 를 포함할 수 있다. 예시적인 실시예들에서, 제3 나노 입자(330)의 표면 상에 복수의 리간드들(400)이 제공될 수 있다. 복수의 리간드들(400)은 제3 나노 입자(330)을 둘러쌀 수 있다.

[0061] 서로 바로 인접한 제1 내지 제3 나노 입자들(310, 320, 330)은 서로 이격될 수 있다. 제1 내지 제3 나노 입자들(310, 320, 330) 사이의 이격 거리는 복수의 리간드들(400)에 의해 조절될 수 있다. 예시적인 실시예들에서, 제1 내지 제3 나노 입자들(310, 320, 330) 사이의 이격 거리는 복수의 리간드들(400)의 각각의 길이보다 멀 수 있다. 예를 들어, 서로 바로 인접한 제1 내지 제3 나노 입자들(310, 320, 330) 사이의 이격 거리는 복수의 리간드들(400)의 각각의 길이 이상이되, 약 1 나노미터(nm) 이하일 수 있다.

[0062] 패턴(210)은 복수 개의 제1 나노 입자들(310), 복수 개의 제2 나노 입자들(320) 및 복수 개의 제3 나노 입자들(330)을 포함할 수 있다. 복수 개의 제1 및 제2 나노 입자들(310, 320)은 도 5를 참조하여 설명된 복수 개의 제1 및 제2 나노 입자들(310, 320)과 실질적으로 동일할 수 있다. 설명의 간결함을 위하여, 두 개의 제3 나노 입자들(330)이 도 6에 도시되었지만, 복수 개의 제3 나노 입자들(330)의 개수는 이에 한정되지 않는다. 서로 바로 인접한 제3 나노 입자들(330)은 서로 이격될 수 있다. 서로 바로 인접한 제3 나노 입자들(330) 사이의 이격 거리는 복수의 리간드들(400)에 의해 조절될 수 있다. 예시적인 실시예들에서, 서로 바로 인접한 제3 나노 입자들

(330) 사이의 이격 거리는 복수의 리간드들(400)의 각각의 길이보다 멀 수 있다. 예를 들어, 서로 바로 인접한 제3 나노 입자들(330) 사이의 이격 거리는 복수의 리간드들(400)의 각각의 길이 이상이며, 약 1 나노미터(nm) 이하일 수 있다.

[0063] 제1 내지 제3 나노 입자들(310, 320, 330)은 서로 인접하여, 서로 전자기적으로 커플링될 수 있다. 메타 물질 구조체가 서로 전자기적으로 커플링된 제1 내지 제3 나노 입자들(310, 320, 330)을 포함하는 경우, 메타 물질 구조체는 제1 내지 제3 나노 입자들(310, 320, 330)의 각각의 유전율과 다른 유전율을 가질 수 있다. 본 발명의 사상의 예시적인 실시예들에 따르면, 제1 내지 제3 나노 입자들(310, 320, 330)의 각각의 종류를 선택하여, 메타 물질 구조체의 유전율과 굴절률이 조절될 수 있다.

[0065] 도 7은 본 발명의 예시적인 실시예들에 따른 메타 물질 구조체의 도 2의 A부분에 대응하는 부분의 확대도이다. 설명의 간결함을 위하여, 도 1 내지 도 3을 참조하여 설명된 것과 실질적으로 동일한 내용은 설명되지 않을 수 있다.

[0066] 도 7을 참조하면, 패턴(210)은 서로 다른 제1 나노 입자(310) 및 제2 나노 입자(320)를 포함할 수 있다. 제1 나노 입자(310)는 도 3을 참조하여 설명된 제1 나노입자(310)와 실질적으로 동일할 수 있다. 제2 나노 입자(320)는 그 크기를 제외하고, 도 3을 참조하여 설명된 제2 나노입자(320)와 실질적으로 동일할 수 있다. 제2 나노 입자(320)의 크기는 제1 나노 입자(310)의 크기와 다를 수 있다. 예를 들어, 제2 나노 입자(320)는 제1 나노 입자(310)보다 작을 수 있다.

[0068] 도 8은 본 발명의 예시적인 실시예들에 따른 메타 물질 구조체의 도 2의 A부분에 대응하는 부분의 확대도이다. 설명의 간결함을 위하여, 도 1, 도 2, 도 4 및 도 7을 참조하여 설명된 것과 실질적으로 동일한 내용은 설명되지 않을 수 있다.

[0069] 도 8을 참조하면, 패턴(210)은 서로 다른 제1 나노 입자(310), 제2 나노 입자(320) 및 제3 나노 입자(330)를 포함할 수 있다. 제1 및 제2 나노 입자들(310, 320)은 도 7을 참조하여 설명된 제1 및 제2 나노입자들(310, 320)과 실질적으로 동일할 수 있다. 제3 나노 입자(330)는 그 크기를 제외하고, 도 4를 참조하여 설명된 제3 나노입자(330)와 실질적으로 동일할 수 있다. 제3 나노 입자(330)의 크기는 제1 및 제2 나노 입자들(310, 320)의 각각의 크기와 다를 수 있다. 예를 들어, 제3 나노 입자(330)는 제1 및 제2 나노 입자들(310, 320)의 각각 보다 작을 수 있다.

[0071] 도 9는 본 발명의 예시적인 실시예들에 따른 메타 물질 구조체의 도 2의 A부분에 대응하는 부분의 확대도이다. 설명의 간결함을 위하여, 도 1, 도 2 및 도 5를 참조하여 설명된 것과 실질적으로 동일한 내용은 설명되지 않을 수 있다.

[0072] 도 9를 참조하면, 패턴(210)은 서로 다른 제1 나노 입자(310) 및 제2 나노 입자(320)를 포함할 수 있다. 제1 및 제2 나노 입자들(310, 320)의 각각은 그 표면에 리간드(400)를 포함할 수 있다. 제1 나노 입자(310) 및 리간드들(400)은 도 5를 참조하여 설명된 제1 나노입자(310) 및 리간드들(400)과 실질적으로 동일할 수 있다. 제2 나노 입자(320)는 그 크기를 제외하고, 도 5를 참조하여 설명된 제2 나노입자(320)와 실질적으로 동일할 수 있다. 제2 나노 입자(320)의 크기는 제1 나노 입자(310)의 크기와 다를 수 있다. 예를 들어, 제2 나노 입자(320)는 제1 나노 입자(310)보다 작을 수 있다.

[0074] 도 10은 본 발명의 예시적인 실시예들에 따른 메타 물질 구조체의 도 2의 A부분에 대응하는 부분의 확대도이다. 설명의 간결함을 위하여, 도 1, 도 2, 도 6 및 도 9를 참조하여 설명된 것과 실질적으로 동일한 내용은 설명되지 않을 수 있다.

[0075] 도 10을 참조하면, 패턴(210)은 서로 다른 제1 나노 입자(310), 제2 나노 입자(320) 및 제3 나노 입자(330)를 포함할 수 있다. 제1 내지 제3 나노 입자들(310, 320, 330)의 각각은 그 표면에 리간드(400)를 포함할 수 있다. 제1 및 제2 나노 입자들(310, 320) 및 리간드들(400)은 도 9를 참조하여 설명된 제1 및 제2 나노입자들(310, 320) 및 리간드들(400)과 실질적으로 동일할 수 있다. 제3 나노 입자(330)는 그 크기를 제외하고, 도 6를 참조

하여 설명된 제3 나노입자(330)와 실질적으로 동일할 수 있다. 제3 나노 입자(330)의 크기는 제1 및 제2 나노 입자들(310, 320)의 각각의 크기와 다를 수 있다. 예를 들어, 제3 나노 입자(330)는 제1 및 제2 나노 입자들(310, 320)의 각각 보다 작을 수 있다.

- [0077] 도 11은 전자기적으로 커플링된 은(Ag) 나노 입자와 CdSe 나노 입자를 관찰한 이미지이다. 도 12는 전자기적으로 커플링된 은(Ag) 나노 입자와 CdSe 나노 입자의 유전율의 실수부 그래프이다. 도 13은 전자기적으로 커플링된 은(Ag) 나노 입자와 CdSe 나노 입자의 유전율의 허수부 그래프이다. 도 14는 전자기적으로 커플링된 은(Ag) 나노 입자와 CdSe 나노 입자를 포함하는 메타 물질 구조체의 흡수율의 그래프이다.
- [0078] 도 11을 참조하면, 은(Ag) 나노 입자(Ag NC)와 CdSe 나노 입자(CdSe NC)가 전자기적으로 커플링되었다. 은(Ag) 나노 입자(Ag NC)와 CdSe 나노 입자(CdSe NC)의 각각은 그 표면에 리간드(미도시)를 포함한다.
- [0079] 도 12를 참조하면, 전자기적으로 커플링된 은(Ag) 나노 입자와 CdSe 나노 입자의 조성비가 9:1, 9.5:0.5, 9.8:0.2인 경우와 은(Ag) 나노 입자만 존재하는 경우의 파장에 따른 유전율의 실수부의 변화를 확인할 수 있다. 은(Ag) 나노 입자와 CdSe 나노 입자의 비율을 조절하여, 유전율의 실수부를 제어할 수 있음이 확인되었다.
- [0080] 도 13을 참조하면, 전자기적으로 커플링된 은(Ag) 나노 입자와 CdSe 나노 입자의 조성비가 9:1, 9.5:0.5, 9.8:0.2인 경우와 은(Ag) 나노 입자만 존재하는 경우의 파장에 따른 유전율의 허수부의 변화를 확인할 수 있다. 은(Ag) 나노 입자와 CdSe 나노 입자의 비율을 조절하여, 유전율의 허수부를 제어할 수 있음이 확인되었다.
- [0081] 도 14를 참조하면, 은 박막(Ag bulk), 은 나노입자(Ag NP)를 포함하는 메타 물질 구조체 및 전자기적으로 커플링된 은 나노입자와 CdSe 나노입자(Ag-CdSe NP)를 포함하는 메타 물질 구조체의 파장에 따른 흡수율을 확인할 수 있다. 은 박막(Ag bulk)과 은 나노입자(Ag NP)를 포함하는 메타 물질 구조체와 달리, 전자기적으로 커플링된 은 나노입자와 CdSe 나노입자(Ag-CdSe NP)를 포함하는 메타 물질 구조체는 400 내지 1000 나노미터(nm)의 파장을 갖는 전자기파를 80 % 이상 흡수하였다. 특히, 전자기적으로 커플링된 은 나노입자와 CdSe 나노입자(Ag-CdSe NP)를 포함하는 메타 물질 구조체는 약 450 내지 약 600 나노미터(nm)의 파장을 갖는 전자기파를 98 % 이상 흡수하였다.
- [0083] 도 15, 도 17 내지 도 19는 본 발명의 예시적인 실시예들에 따른 메타 물질 구조체의 제조 방법을 설명하기 위한 도 1의 I-I'선에 대응하는 단면도들이다. 도 16은 도 15의 B부분의 확대도이다. 설명의 간결함을 위하여, 도 1 내지 도 10을 참조하여 설명된 것과 실질적으로 동일한 내용은 설명되지 않는다.
- [0084] 도 15 및 도 16을 참조하면, 기판(100)이 제공될 수 있다. 기판(100)은 투명한 재질을 포함할 수 있다. 예를 들어, 기판(100)은 실리콘(Si), 유리 또는 투명 고분자 물질을 포함할 수 있다. 기판(100) 상에 나노 입자 용액(20)이 제공될 수 있다. 예를 들어, 나노 입자 용액(20)이 기판(100)의 상부면에 코팅될 수 있다. 도 16에 도시된 것과 같이, 나노 입자 용액(20)은 제1 나노 입자(310) 및 제2 나노 입자(320)를 포함할 수 있다. 일 예로, 제1 및 제2 나노 입자들(310, 320)은 도 5를 참조하여 설명된 제1 및 제2 나노 입자들(310, 320)과 실질적으로 동일할 수 있다.
- [0085] 도시되지 않았지만, 예시적인 실시예들에서, 제1 및 제2 나노 입자들(310, 320)은 도 9를 참조하여 설명된 제1 및 제2 나노 입자들(310, 320)과 실질적으로 동일할 수 있다. 도시되지 않았지만, 예시적인 실시예들에서, 나노 입자 용액(20)은 제3 나노 입자를 더 포함할 수 있다. 이때, 제3 나노 입자는 도 6 또는 도 10을 참조하여 설명된 제3 나노 입자(330)와 실질적으로 동일할 수 있다.
- [0086] 제1 나노 입자(310)의 표면에 제1 예비 리간드(42)가 제공될 수 있다. 제2 나노 입자(310)의 표면에 제2 예비 리간드(44)가 제공될 수 있다. 제1 및 제2 예비 리간드들(42, 44)는 제1 및 제2 나노 입자들(310, 320)의 각각의 표면에 결합되어, 제1 및 제2 나노 입자들(310, 320)을 서로 이격시킬 수 있다. 예를 들어, 제1 및 제2 나노 입자들(310, 320)의 표면에 각각 제1 및 제2 예비 리간드들(42, 44)이 제공되지 않으면, 제1 및 제2 나노 입자들(310, 320)은 서로 뭉쳐서 분산되지 않을 수 있다. 제1 및 제2 나노 입자들(310, 320)의 표면에 각각 제1 및 제2 예비 리간드들(42, 44)가 제공된 경우, 제1 및 제2 나노 입자들(310, 320)은 나노 입자 용액(20) 내에서 분산될 수 있다. 예시적인 실시예들에서, 제1 및 제2 예비 리간드들(42, 44)은 서로 동일할 수 있다. 예를 들어, 제1 및 제2 예비 리간드들(42, 44)의 각각은 CLA(chlorophyll A) 리간드일 수 있다. 다만, 제1 및 제2 예비 리간드들(42, 44)은 상기 개시에 한정되지 않는다. 다른 예시적인 실시예들에서, 제1 및 제2 예비 리간드들(42,

44)은 서로 다를 수 있다. 제1 및 제2 예비 리간드들(42, 44)의 각각의 길이는 도 5를 참조하여 설명된 리간드(400)의 길이보다 길 수 있다.

[0087] 도 17 및 도 18을 참조하면, 나노 입자 용액(20)은 스탬프(50)에 의해 압력을 받을 수 있다. 예시적인 실시예들에서, 스탬프(50)는 고분자 물질(예를 들어, 폴리디메틸실록산(polydimethylsiloxane, PDMS) 또는 폴리염화비닐(polyvinyl chloride, PVC))을 포함할 수 있다. 스탬프(50)는 하부면(52)에 요철 구조를 가질 수 있다. 나노 입자 용액(20)은 스탬프(50)의 하부면(52)과 기판(100)의 상부면 사이에 배치되어, 압력을 받을 수 있다. 나노 입자 용액(20)은 경화되어, 패터닝 막(200)을 형성할 수 있다. 예를 들어, 나노 입자 용액(20)은 열처리되어 경화되고, 이에 따라 패터닝 막(200)이 형성될 수 있다. 패터닝 막(200)의 상부면은 스탬프(50)의 하부면(52)의 요철 구조에 의해 그 형상이 정의될 수 있다. 패터닝 막(200)은 그 상부에 패턴들(210)을 포함할 수 있다. 패터닝 막(200)의 경화 공정 후, 도 18에 도시된 바와 같이, 스탬프(50)는 제거될 수 있다. 패턴들(210)은 도 1 및 도 2를 참조하여 설명된 패턴들(210)과 실질적으로 동일할 수 있다. 다른 예시적인 실시예들에서, 도 2에 도시된 바와 같이, 패터닝 막(200)은 패턴들(210)만을 포함할 수 있다.

[0088] 도 19를 참조하면, 패터닝 막(200)에 리간드 치환 공정을 수행하여, 제1 및 제2 예비 리간드들(310, 320)을 도 5에 도시된 리간드들(400)로 바꿀 수 있다. 리간드 치환 공정은 패터닝 막(200)을 치환 용액(60)에 일정 시간 담그는 것을 포함할 수 있다. 예시적인 실시예들에서, 리간드 치환 공정은 상온(ordinary temperature)에서 수행될 수 있다. 치환 용액(60)은 용기(62) 내에 제공될 수 있다. 치환 용액(60)은 리간드들(400)을 포함할 수 있다. 패터닝 막(200)의 리간드 치환 공정을 통해, 제1 및 제2 예비 리간드들(310, 320)은 각각 제1 및 제2 나노 입자들(310, 320)로부터 제거될 수 있다. 패터닝 막(200)의 리간드 치환 공정을 통해, 치환 용액(60) 내의 리간드들(400)은 제1 및 제2 나노 입자들(310, 320)의 표면에 각각 결합될 수 있다. 리간드들(400)은 도 5를 참조하여 설명된 리간드들(400)과 실질적으로 동일할 수 있다. 제1 및 제2 예비 리간드들(42, 44)의 각각의 길이보다 리간드들(400)의 각각의 길이가 짧을 수 있다. 예를 들어, 리간드들(400)은 SCN^- , I^- , Br^- , Cl^- , 또는 OH^- 을 포함할 수 있다. 리간드 치환 공정 전의 제1 및 제2 나노 입자들(310, 320) 사이의 거리보다 리간드 치환 공정 후의 제1 및 제2 나노 입자들(310, 320) 사이의 거리가 더 가까울 수 있다. 리간드 치환 공정 후, 용기(62) 및 용액(60)을 제거될 수 있다. 기판(100) 및 패터닝 막(200)은 메타 물질 구조체로 정의될 수 있다.

[0089] 제1 및 제2 나노 입자들(310, 320)이 서로 인접하여, 서로 전자기적으로 커플링될 수 있다. 메타 물질 구조체가 서로 전자기적으로 커플링된 제1 및 제2 나노 입자들(310, 320)을 포함하는 경우, 메타 물질 구조체는 제1 및 제2 나노 입자들(310, 320)의 각각의 유전율과 다른 유전율을 가질 수 있다. 본 발명의 사상의 예시적인 실시예들에 따르면, 제1 및 제2 나노 입자들(310, 320)의 각각의 종류를 선택하여, 메타 물질 구조체의 유전율과 굴절률이 조절될 수 있다.

[0091] 도 20은 본 발명의 기술적 사상의 예시적인 실시예들에 따른 메타 물질 구조체의 제조 방법을 설명하기 위한 도 1의 I-I'선에 대응하는 단면도이다. 설명의 간결함을 위하여, 도 15 내지 도 18을 참조하여 설명된 것과 실질적으로 동일한 내용은 설명되지 않는다.

[0092] 도 15, 도 17 및 도 18을 다시 참조하면, 기판(100) 상에 패터닝 막(200)이 형성될 수 있다. 나노 입자 용액(20) 및 패터닝 막(200)은 제1 및 제2 나노 입자들(310, 320)을 포함할 수 있다. 도 16에 도시된 바와 달리, 제1 및 제2 나노 입자들(310, 320)은 도 3 및 도 7을 참조하여 설명된 제1 및 제2 나노 입자들(310, 320)과 실질적으로 동일할 수 있다. 즉, 제1 및 제2 나노 입자들(310, 320)의 각각은 그 표면에 리간드를 포함하지 않을 수 있다.

[0093] 도 20을 참조하면, 패터닝 막(200)이 열처리(H)될 수 있다. 예를 들어, 패터닝 막(200)은 약 250 °C의 온도로 열처리(H)될 수 있다. 패터닝 막(200)에 열처리(H) 공정을 수행하여, 제1 및 제2 나노 입자들(310, 320)을 소결시킬 수 있다. 소결된 제1 및 제2 나노 입자들(310, 320)은 도 3 및 도 7에 도시된 바와 같이 서로 직접 접할 수 있다. 제1 및 제2 나노 입자들(310, 320)은 서로 인접하여, 서로 전자기적으로 커플링될 수 있다. 메타 물질 구조체가 서로 전자기적으로 커플링된 제1 및 제2 나노 입자들(310, 320)을 포함하는 경우, 메타 물질 구조체는 제1 및 제2 나노 입자들(310, 320)의 각각의 유전율과 다른 유전율을 가질 수 있다. 본 발명의 사상의 예시적인 실시예들에 따르면, 제1 및 제2 나노 입자들(310, 320)의 각각의 종류를 선택하여, 메타 물질 구조체의 유전율과 굴절률이 조절될 수 있다.

[0094] 다른 예시적인 실시예들에서, 패터닝 막(200)은 제3 나노 입자(330)을 더 포함할 수 있다. 소결된 제1 내지 제3

나노 입자들(310, 320, 330)은 도 4 및 도 8을 참조하여 설명된 제1 내지 제3 나노 입자(330)와 실질적으로 동일할 수 있다.

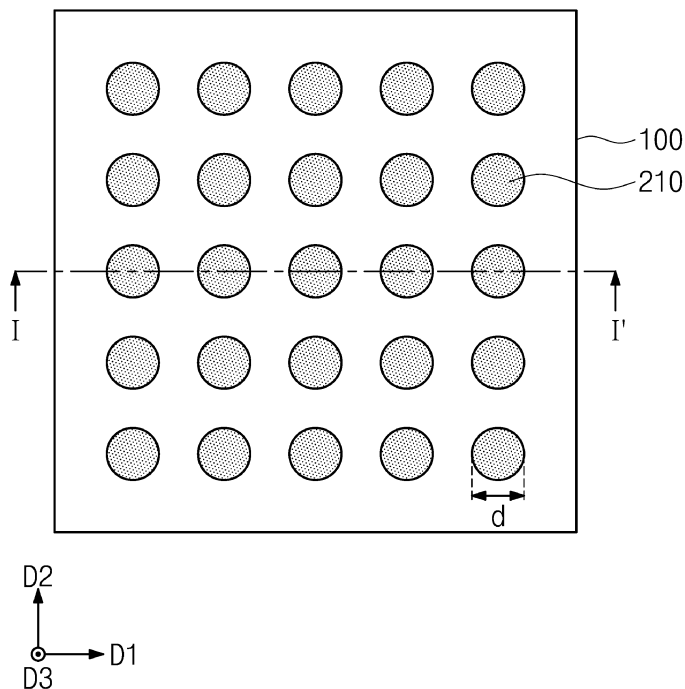
[0096] 본 발명의 기술적 사상의 실시예들에 대한 이상의 설명은 본 발명의 기술적 사상의 설명을 위한 예시를 제공한다. 따라서 본 발명의 기술적 사상은 이상의 실시예들에 한정되지 않으며, 본 발명의 기술적 사상 내에서 당해 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자에 의하여 상기 실시예들을 조합하여 실시하는 등 여러 가지 많은 수정 및 변경이 가능함은 명백하다.

부호의 설명

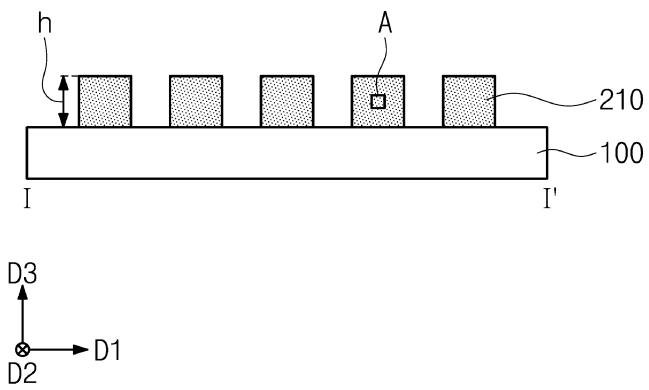
[0098] 100 : 기판 200 : 패터닝 막
210 : 패턴 310, 320, 330 : 나노 입자
400 : 리간드 42, 44 : 예비 리간드
20 : 나노 입자 용액 50 : 스탬프
60 : 치환 용액 62 : 용기

도면

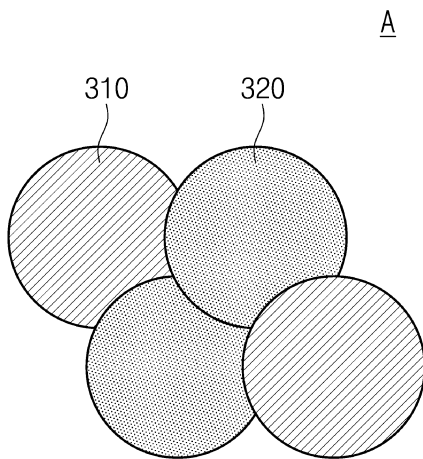
도면1



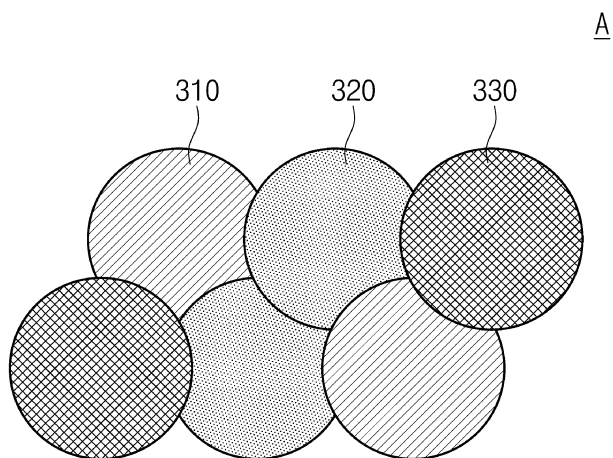
도면2



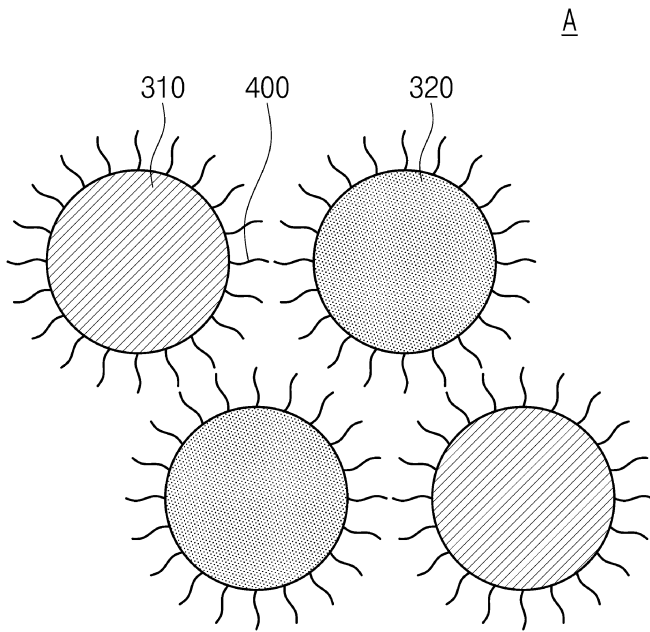
도면3



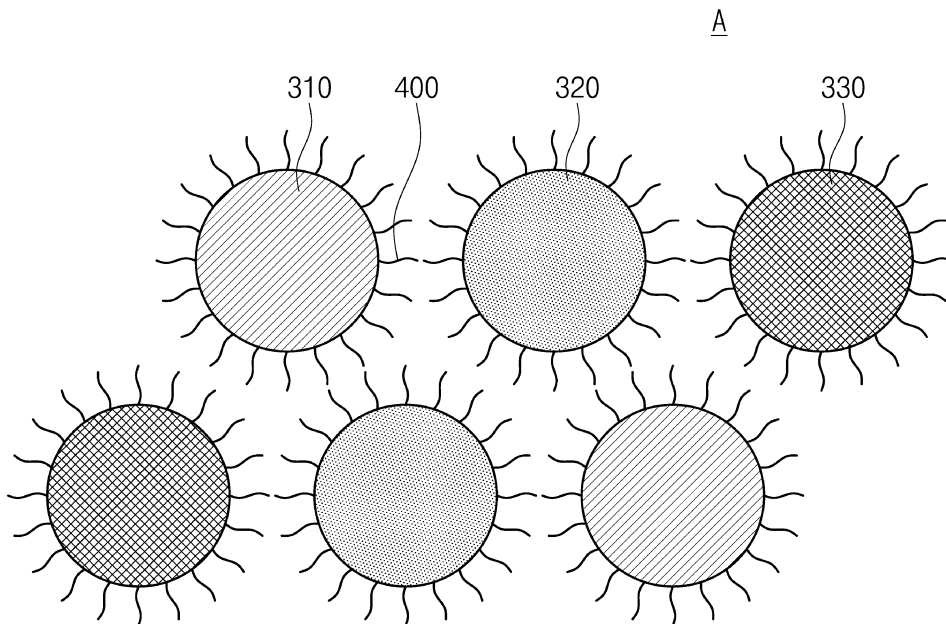
도면4



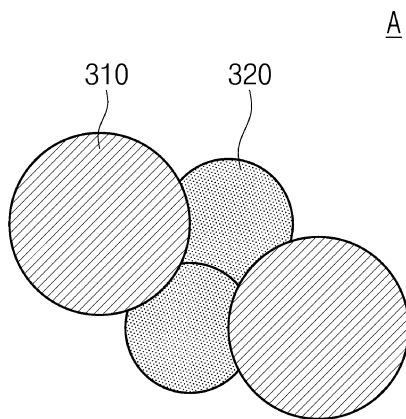
도면5



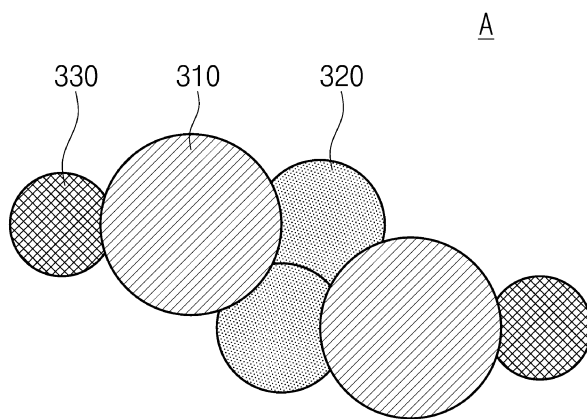
도면6



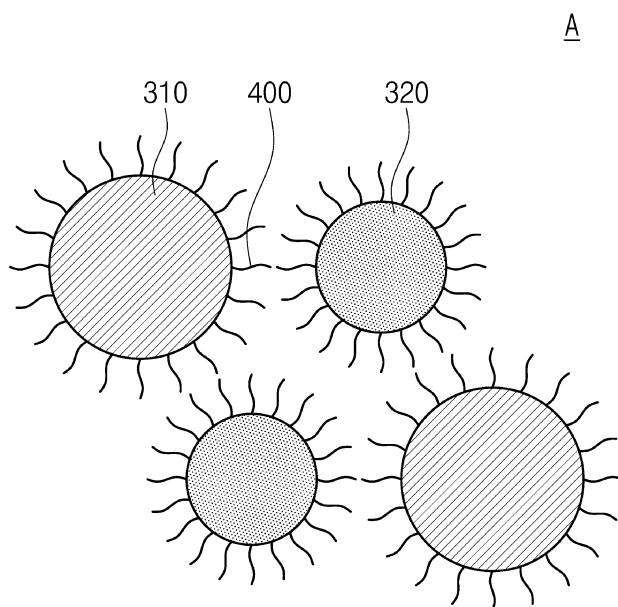
도면7



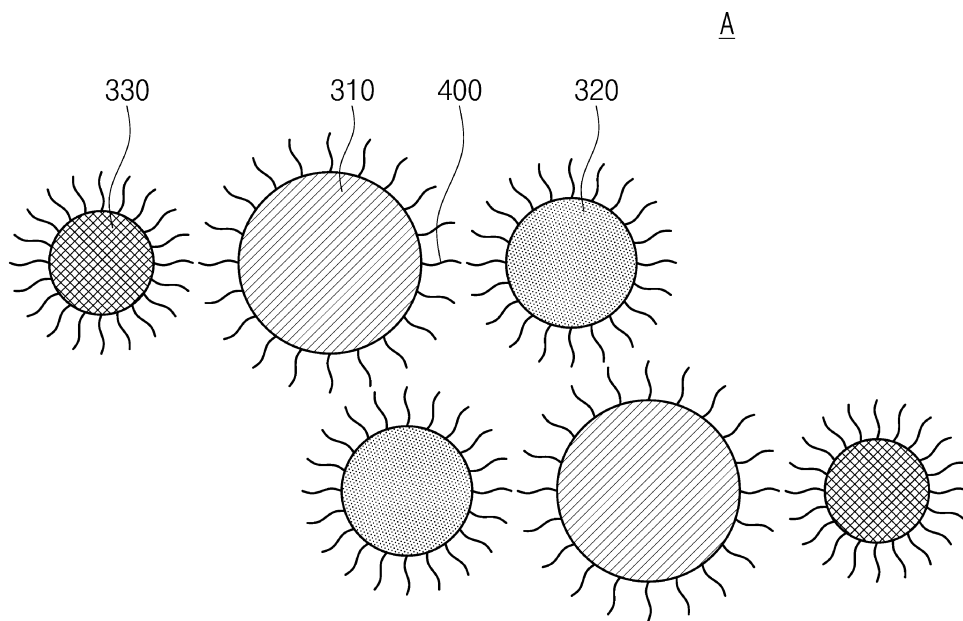
도면8



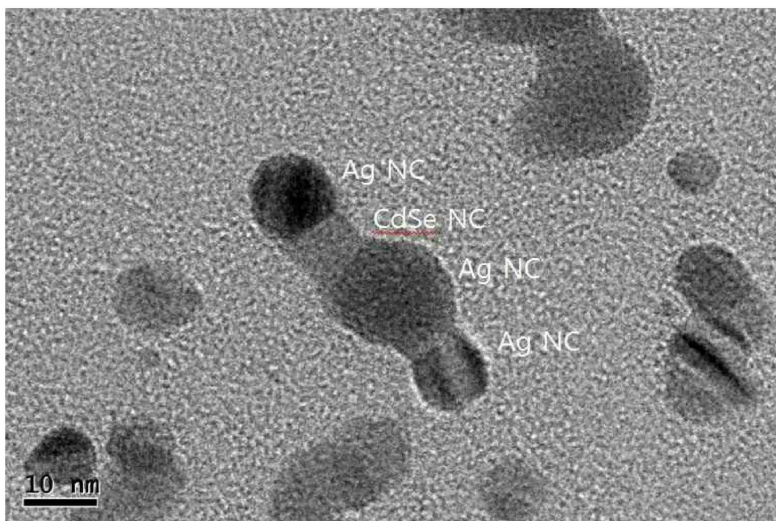
도면9



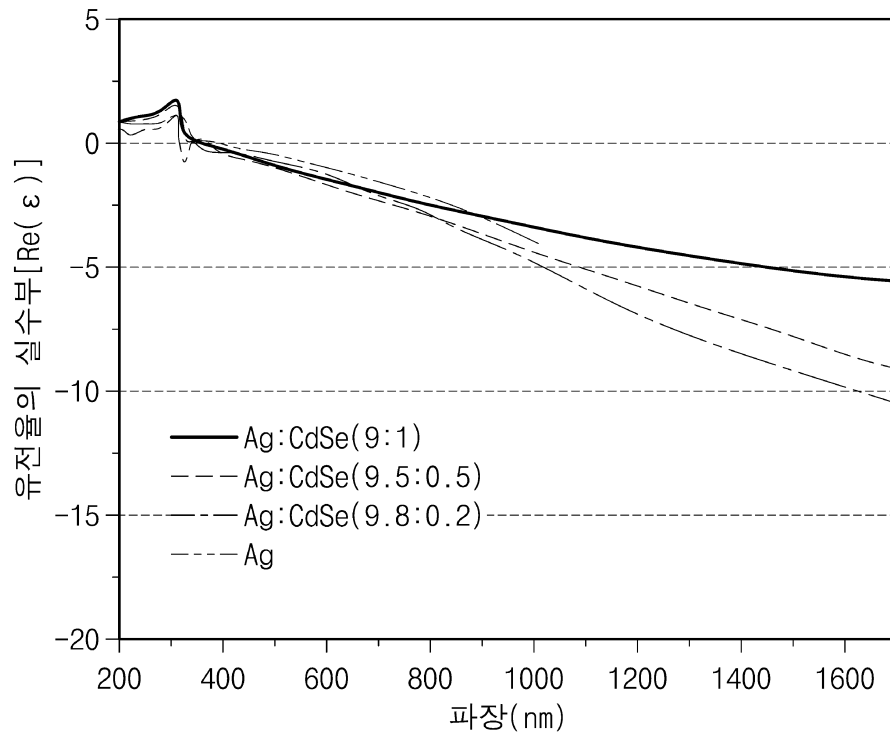
도면10



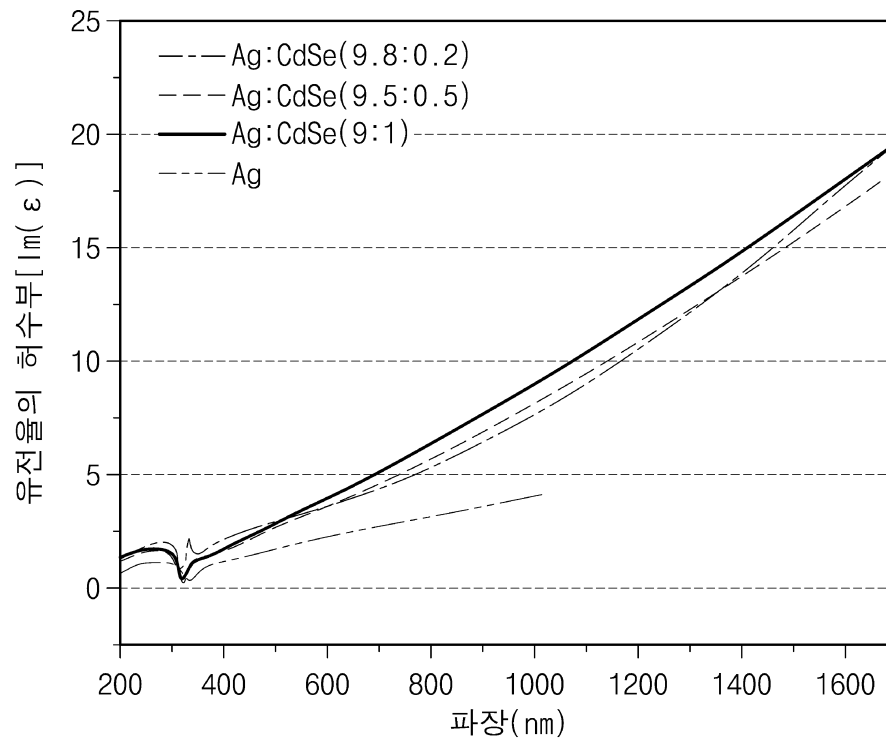
도면11



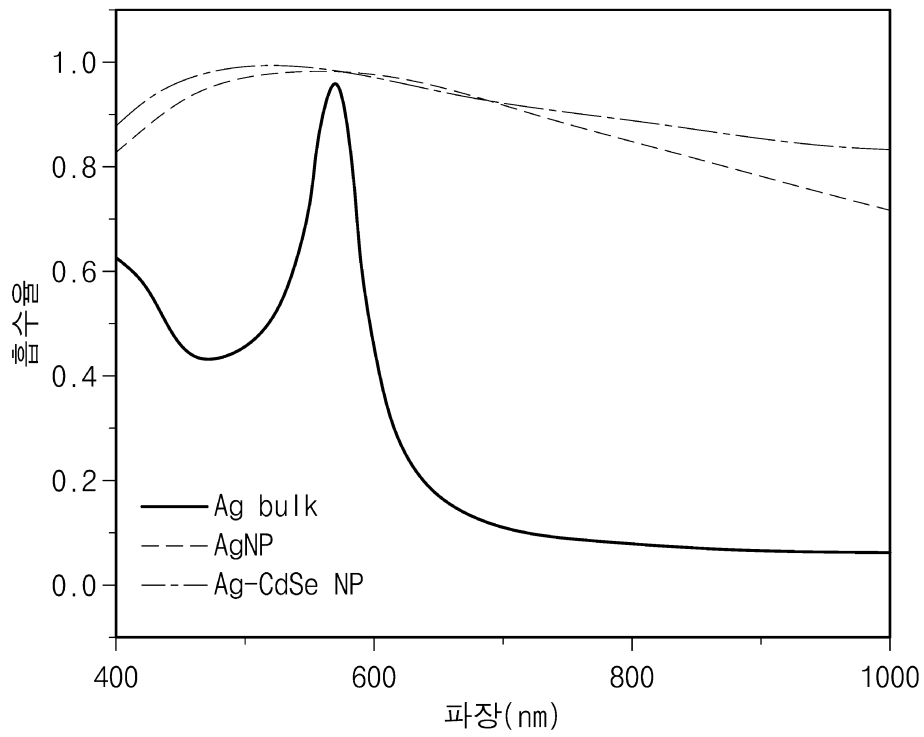
도면12



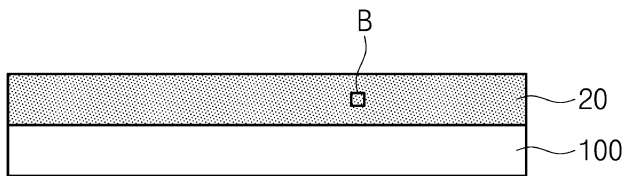
도면13



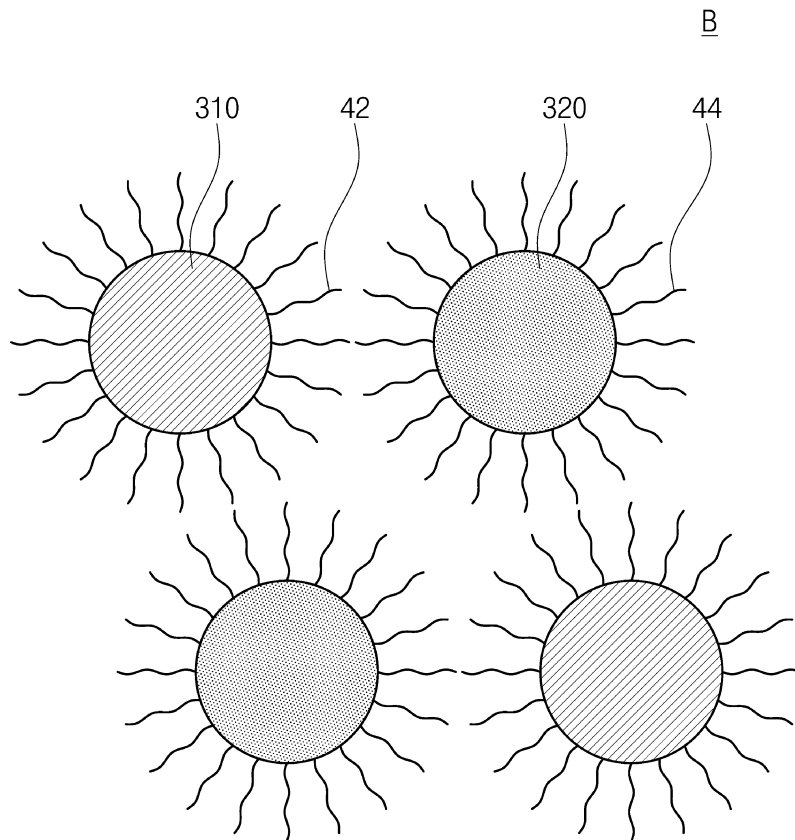
도면14



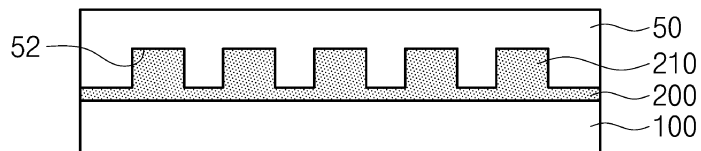
도면15



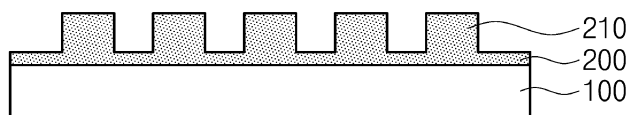
도면16



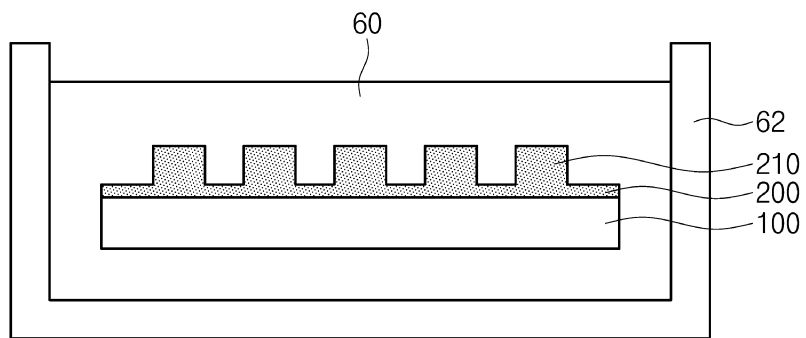
도면17



도면18



도면19



도면20

