(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2021-0057673
(43) 공개일자 2021년05월21일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
B22F 1/00 (2006.01) *B82B 3/00* (2017.01)
B82Y 40/00 (2017.01)
(52) CPC특허분류
B22F 1/0044 (2013.01)
B82B 3/0095 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2020-0146423
(22) 출원일자 2020년11월04일
심사청구일자 2020년11월04일
(30) 우선권주장
1020190144030 2019년11월12일 대한민국(KR)

(71) 출원인
충남대학교산학협력단
대전광역시 유성구 대학로 99 (궁동, 충남대학교)
(72) 발명자
이재범
경기도 화성시 동탄순환대로21길 54 동탄2신도시 센트럴푸르지오 1331동 204호
정기재
부산광역시 북구 금곡대로 268 화명동대림타운 408동 1004호
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
원대규

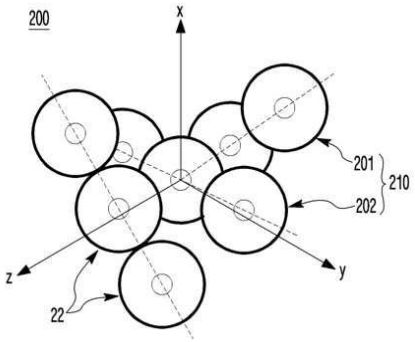
전체 청구항 수 : 총 11 항

(54) 발명의 명칭 **카이랄 나노 구조체 및 그 용도**

(57) 요 약

플라즈몬 공명이 가능하면서 자기장 내에 소정의 배열로 정렬이 가능한 소정의 자성 플라즈몬 입자를 일 구성으로 포함함으로써 구조적 카이랄성 및 실시간 자기 조립성을 나타낼 수 있고, 그 결과, 광학, 바이오, 촉매 분야 등의 다양한 기술 분야에서 광범위한 응용성을 확보할 수 있는 카이랄 나노 구조체로서, 입자 배열 구조체를 2 이상 포함하고, 상기 입자 배열 구조체는 적어도 하나의 자성 플라즈몬(magnetoplasmonic) 입자를 포함하고, 상기 자성 플라즈몬 입자는, 코어(Core); 및 상기 코어의 표면의 적어도 일부를 둘러싸고 상기 코어의 성분과 이종의 성분을 포함하는 쉘(Shell);을 구비한 코어-쉘(Core-shell) 입자를 포함하고, 전체 구조가 카이랄성(Chiarality)을 띠는 카이랄 나노 구조체를 제공한다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류
B82Y 40/00 (2013.01)
(72) 발명자
이동규
대전광역시 유성구 대학로76번안길 44, 206호
짠반딴
대전광역시 유성구 문화원로10번길 51, 104호
왕채봉
대전광역시 유성구 문화원로14번길 39-2, 304호
김영미
대전광역시 중구 평촌로 111 태평아파트, 108동 403호

명 세 서

청구범위

청구항 1

입자 배열 구조체를 2 이상 포함하고,

상기 입자 배열 구조체는 적어도 하나의 자성 플라즈몬(magnetoplasmonic) 입자를 포함하고,

상기 자성 플라즈몬 입자는, 코어(Core); 및 상기 코어의 표면의 적어도 일부를 둘러싸고 상기 코어의 성분과 이종의 성분을 포함하는 쉘(Shell);을 구비한 코어-쉘(Core-shell) 입자를 포함하고,

전체 구조가 카이랄성(Chiarality)을 띠는,

카이랄 나노 구조체.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 자성 플라즈몬 입자는 자기장 인가에 의한 배열 가변성을 갖는,

카이랄 나노 구조체.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 코어-쉘 입자는 구형 코어-쉘 입자 또는 막대형 코어-쉘 입자를 포함하는,

카이랄 나노 구조체.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 구형 코어-쉘 입자는,

상기 코어의 직경이 0.01nm 내지 300nm이고,

상기 쉘의 두께가 1nm 내지 150nm이며,

상기 코어의 장경(L) 및 단경(S)의 비(L/S)로 정의되는 종횡비(Aspect ratio)가 1.00 내지 2.00인,

카이랄 나노 구조체.

청구항 5

제3항에 있어서,

상기 막대형 코어-쉘 입자는,

상기 코어의 폭이 0.01nm 내지 100nm이고,

상기 쉘의 두께가 1nm 내지 150nm이며,

상기 코어의 길이(L) 및 폭(W)의 비(L/W)로 정의되는 종횡비(Aspect ratio)가 2.00 초과, 40.00 이하인,

카이랄 나노 구조체.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 코어-쉘 입자는 상기 코어 및 상기 쉘 중 어느 하나가 자성 성분을 포함하고, 다른 하나가 금속 성분을 포함하는,

카이랄 나노 구조체.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 자성 성분은, 산화철(Fe_3O_4), 산화니켈(NiO), 산화코발트(Co_3O_4), 철(Fe), 니켈(Ni), 코발트(Co) 및 이들의 조합으로 이루어진 군으로부터 선택된 하나를 포함하는,

카이랄 나노 구조체.

청구항 8

제6항에 있어서,

상기 금속 성분은, 은(Ag), 금(Au), 백금(Pt), 구리(Cu), 팔라듐(Pd), 이리듐(iridium), 오스뮴(osmium), 로듐(rhodium), 루테늄(ruthenium), 니켈(Ni), 코발트(Co), 철(Fe), 망간(Mn), 크롬(Cr), 바나듐(V), 티타늄(Ti), 알루미늄(Al), 아연(Zn), 카드뮴(Cd) 및 이들의 조합으로 이루어진 군으로부터 선택된 하나를 포함하는,

카이랄 나노 구조체.

청구항 9

제1항에 있어서,

상기 카이랄성이 나선형 자기장 인가에 의해 가변적인,

카이랄 나노 구조체.

청구항 10

제1항 내지 제9항 중 어느 한 항에 따른 카이랄 나노 구조체를 포함하는 바이오 센서.

청구항 11

제1항 내지 제9항 중 어느 한 항에 따른 카이랄 나노 구조체를 포함하는 발광소재.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 카이랄성을 띠는 나노 구조체 및 그 용도에 관한 것으로, 정교하고 즉각적인 카이랄성 구현 및 변조가 가능하고 다양한 기술 분야에서 광범위한 응용이 가능한 나노 구조체에 관한 것이다. 따라서 바이오 센서, 디스플레이, 배터리 등 다양한 분야에 적용가능한 카이랄 나노 구조체를 제공할 수 있다.

배 경 기 술

[0002] 합성 기술의 지속적인 발전에 따라 금속을 활용하여 나노 수준의 크기를 갖는 입자로 제조하는 것이 가능하게 되었으며, 분석 기술의 진보로 인해 이러한 나노 입자들이 다양하고 독특한 특성을 가지는 것이 밝혀져 왔다. 예를 들어, 나노 크기의 금속성 입자의 경우 기하학적인 구조에 따라, 이들로 이루어진 3차원 구조체의 광학적 특성이 변화하게 되는데, 이는 국소 표면 플라즈몬 공명(localized surface plasmon resonance, LSPR) 현상에 기인한다는 점이 밝혀졌다. 이러한 나노 입자는 그 조성 및 구조 등에 따라서 그 자체 혹은 이들로 이루어진 3차원 구조체로서 광학, 바이오, 촉매 등의 다양한 기술 분야에서 활용될 수 있다. 또한, 최근 나노 과학 분야가 새로운 차세대 산업 분야로 각광받게 되면서 다양한 조성 및 구조의 나노 입자에 대한 요구가 증가하고 있다. 이러한 기술적 기류에 부합하여 특정 조성 및 구조의 나노 입자를 활용하여 3차원 구조체를 합성하는 연구가 활발히 진행되고 있는데, 주로 화학적인 합성 방법을 활용하고 있다. 일례로, 최근에는 2개 이상의 아미노산이 결합되어 있는 펩타이드를 활용하여 합성하는 방법이 제시된 바 있다. 또한, 전자빔리소그라피(e-beam lithography)를 이용하는 방법, 나노 사이즈로 이루어진 홀을 이용하여 회전 증착하는 홀 리소그라피(hole

lithography) 방법 등이 연구되고 있다.

[0003] 한편, 자연에 존재하는 모든 물질은 카이랄성을 지니고 있다. 예를 들어, 아미노산의 경우, 대부분 L-아미노산(L-amino acid)으로 이루어져 있으며, 당류의 경우 D-당류(D-sugar)가 주류를 이루고 있다. 이와 같이 생체 유기물들은 항상 한쪽-카이랄성(homo-chirality)을 지니고 있기 때문에 이를 거르는 물질과 생체 반응을 하게 될 경우, 유기체에 치명적인 손상이 나타나게 된다. 이러한 카이랄성을 적용하여 나노 입자로부터 제조된 카이랄 구조체는 어떠한 거울상 대칭도 가지고 있지 않은 비대칭 구조를 갖는 3차원 구조체를 의미한다. 카이랄 구조체 내에서는 입사되는 전자기파에 의해 발생하는 전기 쌍극자와 자기 쌍극자가 서로 같은 방향으로 상호작용을 하기 때문에 우편광과 좌편광의 축퇴(degeneracy)가 깨지게 된다. 따라서, 카이랄 구조체는 좌편광과 우편광의 빛에 대해 서로 다른 굴절률을 가지게 되며, 이에 따라 카이랄 물질에 선형 편광의 빛이 입사하면 편광 상태가 회전하는 광활성 특성이 나타나게 된다. 카이랄 구조체는 이러한 광활성 특성을 이용하여 광학 재료 및 촉매 분야에 다양하게 이용될 수 있다.

[0004] 나노 입자의 기하학적 정렬 구조로 구성된 3차원 카이랄 구조체는 전술한 바와 같이, 화학적인 합성 방법으로 제조하는 경우가 많다. 다만, 종래의 나노 입자 및 이를 이용한 구조체의 합성은 그 과정이 복잡하고 정밀성 및 정확성이 다소 부족한 면이 있다. 이에 본 발명자들은 카이랄 나노 구조체를 보다 간단한 공정으로 정교하게 생산할 수 있는 방법을 연구하였고, 본 발명을 완성하였다.

선행기술문헌

특허문헌

[0005] (특허문헌 0001) KR 10-2019-0117370 A

(특허문헌 0002) KR 10-1581406 B1

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 본 발명의 일 구현예는 구조적 카이랄성 및 실시간 자기 조립성을 갖는 카이랄 나노 구조체를 제공하고자 한다. 또한, 플라즈몬 공명이 가능하면서 자기장 내에 소정의 배열로 정렬이 가능한 나노 입자를 일 구성으로 포함함으로써 광학, 바이오, 촉매 분야 등의 다양한 기술 분야에서 광범위한 응용성을 갖는 카이랄 나노 구조체를 제공하고자 한다.

과제의 해결 수단

[0007] 본 발명의 일 구현예에서, 입자 배열 구조체를 2 이상 포함하고, 상기 입자 배열 구조체는 적어도 하나의 자성 플라즈몬(magnetoplasmonic) 입자를 포함하고, 상기 자성 플라즈몬 입자는, 코어(Core); 및 상기 코어의 표면의 적어도 일부를 둘러싸고 상기 코어의 성분과 이종의 성분을 포함하는 쉘(Shell);을 구비한 코어-쉘(Core-shell) 입자를 포함하고, 전체 구조가 카이랄성(Chiarality)을 띠는, 카이랄 나노 구조체를 제공한다.

[0008] 상기 자성 플라즈몬 입자는 자기장 인가에 의한 배열 가변성을 가질 수 있다.

[0009] 상기 코어-쉘 입자는 구형 코어-쉘 입자 또는 막대형 코어-쉘 입자를 포함할 수 있다.

[0010] 상기 구형 코어-쉘 입자는, 상기 코어의 직경이 0.01nm 내지 300nm이고, 상기 쉘의 두께가 1nm 내지 150nm이며, 상기 코어의 장경(L) 및 단경(S)의 비(L/S)로 정의되는 종횡비(Aspect ratio)가 1.00 내지 2.00일 수 있다.

[0011] 상기 막대형 코어-쉘 입자는, 상기 코어의 폭이 0.01nm 내지 100nm이고, 상기 쉘의 두께가 1nm 내지 150nm이며, 상기 코어의 길이(L) 및 폭(W)의 비(L/W)로 정의되는 종횡비(Aspect ratio)가 2.00 초과, 40.00 이하일 수 있다.

[0012] 상기 코어-쉘 입자는 상기 코어 및 상기 쉘 중 어느 하나가 자성 성분을 포함하고, 다른 하나가 금속 성분을 포함할 수 있다.

[0013] 상기 자성 성분은, 산화철(Fe_3O_4), 산화니켈(NiO), 산화코발트(Co_3O_4), 철(Fe), 니켈(Ni), 코발트(Co) 및 이들의

조합으로 이루어진 군으로부터 선택된 하나를 포함할 수 있다.

[0014] 상기 금속 성분은, 은(Ag), 금(Au), 백금(Pt), 구리(Cu), 팔라듐(Pd), 이리듐(iridium), 오스뮴(osmium), 로듐(rhodium), 루테늄(ruthenium), 니켈(Ni), 코발트(Co), 철(Fe), 망간(Mn), 크롬(Cr), 바나듐(V), 티타늄(Ti), 알루미늄(Al), 아연(Zn), 카드뮴(Cd) 및 이들의 조합으로 이루어진 군으로부터 선택된 하나를 포함할 수 있다.

[0015] 상기 카이랄성이 나선형 자기장 인가에 의해 가변적일 수 있다.

[0016] 본 발명의 다른 일 실시예에 따른 바이오 센서는 상기 카이랄 나노 구조체를 포함하는 것일 수 있다.

[0017] 본 발명의 또 다른 일 실시예에 따른 발광소재는 상기 카이랄 나노 구조체를 포함하는 것일 수 있다. 상기 발광소재는 카이랄 나노 구조체를 통하여 플라즈몬 효과를 이용한 저전력의 디스플레이 컬러필터 등으로 활용되어 디스플레이, 기타 발광을 이용한 물품에 활용될 수 있다.

[0018] 본 발명의 또 다른 일 실시예에 따른 전지는 상기 카이랄 나노 구조체를 포함하는 것일 수 있다.

발명의 효과

[0019] 상기 카이랄 나노 구조체는 플라즈몬 공명이 가능하면서 자기장 내에 소정의 배열로 정렬이 가능한 소정의 자성 플라즈몬 입자를 일 구성으로 포함함으로써 구조적 카이랄성 및 실시간 자기 조립성을 나타낼 수 있다. 결과적으로, 광학, 바이오, 촉매 분야 등의 다양한 기술 분야에서 광범위한 응용성을 확보할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0020] 도 1은 일 구현예에 따른 상기 카이랄 나노 구조체의 일부를 개략적으로 도시한 사시도이다.

도 2는 일 구현예에 따른 상기 자성 플라즈몬 입자의 단면을 개략적으로 도시한 것이다.

도 3은 일 구현예에 따른 상기 구형의 코어-쉘 입자의 사진을 게재한 것이다.

도 4는 일 구현예에 따른 상기 막대형 코어-쉘 입자의 사진을 게재한 것이다.

도 5는 일 구현예에 따른 상기 카이랄 나노 구조체의 제조방법을 개략적으로 도식화한 모식도이다.

도 6은 일 구현예에 따른 상기 카이랄 나노 구조체의 제조방법에 있어서 두 자성체의 회전 상태를 일 방향에서 도시한 개략적인 투시도이다.

도 7은 일 구현예에 따른 상기 카이랄 나노 구조체의 제조방법에 있어서 입자 배치 상태를 개략적으로 도시한 것이다.

도 8은 실시예 1의 카이랄 나노 구조체에 대한 농도 및 회전 각도별 원편광이색성분광 스펙트럼(Circular Dichroism Spectroscopy, CD)을 게재한 것이다.

도 9는 실시예 2의 카이랄 나노 구조체에 대한 농도 및 회전 각도별 원편광이색성분광 스펙트럼(Circular Dichroism Spectroscopy, CD)을 게재한 것이다.

도 10은 실시예 3의 카이랄 나노 구조체에 대한 농도 및 회전 각도별 원편광이색성분광 스펙트럼(Circular Dichroism Spectroscopy, CD)을 게재한 것이다.

도 11은 실시예 4의 카이랄 나노 구조체에 대한 농도 및 회전 각도별 원편광이색성분광 스펙트럼(Circular Dichroism Spectroscopy, CD)을 게재한 것이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0021] 본 발명의 이점 및 특징, 그리고 그것들을 달성하는 방법은 후술하는 실시예들을 참조하면 명확해질 것이다 그러나, 본 발명은 이하에서 개시되는 실시예들에 한정되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 구현될 것이며, 단지 본 실시예들은 본 발명의 개시가 완전하도록 하며, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위해 제공되는 것이며, 본 발명은 청구항의 범주에 의해 정의될 뿐이다.

[0022] 본 명세서의 도면에서는 여러 층 및 영역을 명확하게 표현하기 위하여 두께를 확대하여 나타내었다. 그리고 도면에서, 설명의 편의를 위해, 일부 층 및 영역의 두께를 과장되게 나타내었다. 명세서 전체에 걸쳐 동일 참조부호는 동일 구성요소를 지칭한다.

[0023] 본 명세서에서 '~ 이상'의 의미는 그 해당 숫자 혹은 그보다 많은 경우를 포함하는 것으로 해석된다. 예를 들어, '2 이상'은 둘 또는 그보다 많은 경우를 의미한다. 또한, 수치 범위에 대한 'X 내지 Y'의 기재는 X 또는 Y를 포함하는 범위로 해석된다. 예를 들어,'25 내지 50'은 25 및 50을 포함하는 수치 범위를 의미한다.

[0024] 이하, 본 발명에 따른 구현예에 관하여 상세히 설명하기로 한다.

[0026] 본 발명의 일 구현예에서, 입자 배열 구조체를 2 이상 포함하고, 상기 입자 배열 구조체는 적어도 하나의 자성 플라즈몬(magnetoplasmonic) 입자를 포함하고, 상기 자성 플라즈몬 입자는, 코어(Core); 및 상기 코어의 표면의 적어도 일부를 둘러싸고 상기 코어의 성분과 이종의 성분을 포함하는 쉘(Shell);을 구비한 코어-쉘(Core-shell) 입자를 포함하고, 전체 구조가 카이랄성(Chiarality)을 띠는 카이랄 나노 구조체를 제공한다.

[0027] 카이랄성(Chirality)은 비대칭 속성을 말한다. 구조적 카이랄성을 갖는 입자 구조체는 액정 표시 장치(Liquid Crystal Display, LCD) 등의 광학 기술 분야 또는 제약 등의 바이오 분야에 유용하게 적용될 수 있다. 상기 카이랄 나노 구조체는 간단한 구조적 가공 및 변형을 통하여 높은 수준의 카이랄 변조 성능을 구현할 수 있다. 상기 카이랄 변조 성능은 즉각적이고 빠른 반응 속도가 요구되는 나노 과학 분야에서 매우 높은 성능을 구현할 수 있다.

[0028] 플라즈몬(Plasmon)이란 금속 내부의 자유 전자들이 집단적으로 진동하는 현상을 의미한다. 금속 나노 입자의 경우, 플라즈몬이 표면에 국부적으로 존재할 수 있는데, 이를 표면 플라즈몬(Surface Plasmon)이라고 지칭할 수 있다. 금속 나노 입자가 가시광선에서 근적외선에 이르는 영역의 빛의 전기장과 만나는 경우 표면 플라즈몬 공명(Surface Plasmon Resonance, SPR)에 의해 광흡수가 일어나 선명한 색을 띠게 된다. 상기 자성 플라즈몬 입자는 자성을 띠는 플라즈몬 입자로서, 자성에 의해 자기장 내에 소정의 배열로 정렬될 수 있고, 이와 동시에 플라즈몬 현상에 의해 색을 띨 수 있다.

[0029] 상기 카이랄 나노 구조체는 상기 자성 플라즈몬 입자의 소정의 배열 구조로부터 기인한 구조적 카이랄성을 나타낼 수 있다. 구체적으로, 상기 자성 플라즈몬 입자는 소정의 배열로 정렬되어 상기 입자 배열 구조체를 구성할 수 있다. 또한, 2 이상의 상기 입자 배열 구조체가 상호 상대적인 위치상 전체 구조가 카이랄성을 나타내도록 배치되어 상기 카이랄 나노 구조체를 구성할 수 있다.

[0030] 도 1은 일 구현예에 따른 상기 카이랄 나노 구조체(200)의 일부를 개략적으로 도시한 사시도이다. 도 1을 참조할 때, 3차원 공간 내에 상기 카이랄 구조체(200)는 입자 배열 구조체(210)를 2 이상 포함할 수 있다. 상기 입자 배열 구조체(210)는 적어도 하나의 상기 자성 플라즈몬 입자(22)를 포함하고, 상기 자성 플라즈몬 입자(22)가 소정의 배열을 가질 수 있다.

[0031] 도 1을 참조할 때, 상기 나노 구조체(200)는 상기 입자 배열 구조체(210)를 적어도 하나 포함할 수 있고, 구체적으로, 2 이상 포함할 수 있다. 상기 입자 배열 구조체(210)는 적어도 하나의 상기 자성 플라즈몬 입자(22)를 포함하는 제1 구조체(201); 및 적어도 하나의 상기 자성 플라즈몬 입자(22)를 포함하고 상기 제1 구조체(201)와 이격 배치된 제2 구조체(202)를 포함할 수 있다. 상기 제1 구조체(201) 및 상기 제2 구조체(202)는 2 이상의 상기 입자 배열 구조체(210) 중에서 인접한 임의의 두 구조체를 의미한다. 상기 제1 구조체(201)에 포함된 상기 자성 플라즈몬 입자(22)와 상기 제2 구조체(202)에 포함된 상기 자성 플라즈몬 입자(22)는 그 성분 및 구조가 동일할 수도 있고, 상이할 수도 있다.

[0032] 일 구현예에서, 상기 제1 구조체(201) 및 상기 제2 구조체(202) 사이의 이격 직선 거리는 약 0.01nm 내지 약 50 ㎛일 수 있다. 임의의 두 구조체 사이의 이격 거리가 상기 범위에서 조절됨으로써 상기 나노 구조체(200)의 카이랄성 가변 속도가 목적 수준으로 빠르게 구현될 수 있고, 광학 또는 바이오 분야 등에 응용되어 최적의 기능을 구현할 수 있다.

[0033] 상기 자성 플라즈몬 입자(22)는 자기장 인가에 의한 배열 가변성을 가질 수 있다. 상기 '자기장 인가에 의한 배열 가변성'이란 상기 자성 플라즈몬 입자(22)에 자기장이 인가되는 경우 인가된 상기 자기장에 따라 소정의 배열로 정렬되는 특성을 의미한다. 이러한 배열 가변성을 바탕으로, 상기 자성 플라즈몬 입자(22)는 자기장 인가라는 비교적 단순한 수단에 의하여 이를 구성으로 하면서 소정의 정렬 구조를 갖는 3차원 구조체로 제조될 수 있다. 즉, 상기 자성 플라즈몬 입자(22)의 자기장 인가에 의한 배열 가변성을 기초로 상기 입자 배열 구조체(210)가 생성되고, 나아가, 상기 카이랄 나노 구조체(200)가 형성될 수 있다.

[0034] 상기 카이랄 나노 구조체(200)의 구조적 카이랄성은 나선형 자기장 인가에 의해 가변적일 수 있다. 상기 자성

플라즈몬 입자(22)의 자기장 인가에 의한 배열 가변성이 나선형 자기장 인가에 의해 발현될 수 있고, 이에 따라 변경된 상기 자성 플라즈몬 입자(22)의 정렬 구조가 상기 카이랄 나노 구조체(200)의 구조적 카이랄성을 변화시킬 수 있다.

[0035] 상기 카이랄 나노 구조체(200)의 나선형 자기장 인가에 의한 가변성은 그 반응 속도가 현저히 빠르며, 실질적으로 실시간 가변성으로 나타날 수 있다. 구체적으로, 상기 카이랄 나노 구조체(200)는 상기 나선형 자기장의 인가 시점(T1)으로부터 이에 상응하는 카이랄성을 나타내도록 구조적 변호가 완료되는 시점(T2)까지의 시간(T2-T1)이 약 0.01ms 내지 약 20ms일 수 있고, 예를 들어, 약 0.01ms 내지 약 10ms일 수 있다. 이는, 종래의 템플릿(Template) 등을 활용한 카이랄성 변조 기능에 비하여 월등히 빠른 반응 속도를 나타내는 것으로서 의약, 광학 등의 다양한 산업 분야에 적용되어 우수한 기능을 구현할 수 있다.

[0036] 상기 카이랄 나노 구조체(200)의 이러한 즉각적인 카이랄 가변성은 상기 자성 플라즈몬 입자(220)의 자기장 인가에 의한 배열 가변성에 기인한 것이다. 상기 자성 플라즈몬 입자가 불규칙적으로 분산된 비카이랄성(non-chirality)의 입자 분산체에 나선형 자기장을 인가함으로써 카이랄성을 띠는 상기 나노 구조체를 형성하거나; 기존의 카이랄성을 띠는 나노 구조체에 나선형 자기장을 인가함으로써 기존과 다른 카이랄성을 띠는 나노 구조체를 형성하는 경우; 모두에 해당하는 실시간 카이랄 가변성으로 이해될 수 있다.

[0037] 도 2는 일 구현예에 따른 상기 자성 플라즈몬 입자(22)의 단면을 개략적으로 도시한 것이다. 도 2를 참조할 때, 상기 자성 플라즈몬 입자(22)는 코어(14) 및 쉘(15)을 포함하는 코어-쉘(Core-shell) 입자를 포함할 수 있다. 또한, 상기 쉘(15)은 상기 코어(14)의 표면의 적어도 일부를 둘러싸며, 상기 코어(14)와 이종의 성분을 포함할 수 있다. 상기 쉘(shell)이 상기 코어(core)의 성분과 이종의 성분을 포함한다는 것은, 상호 모든 성분이 상이한 경우뿐만 아니라 일부 동일한 성분을 포함하더라도 전체 조성이 상이한 경우를 포함하는 것으로 해석되어야 할 것이다.

[0038] 일 구현예에서, 상기 코어-쉘 입자는 상기 코어(14) 및 상기 쉘(15) 중 어느 하나가 자성 성분을 포함하고, 다른 하나가 금속 성분을 포함할 수 있다. 자성 성분을 포함하는 코어(14)와 금속 성분을 포함하는 쉘(15); 또는 자성 성분을 포함하는 쉘(15)과 금속 성분을 포함하는 코어(14)의 조합을 통하여, 상기 자성 플라즈몬 입자(22)의 자기장 인가에 의한 배열 가변성이 즉각적이고 빠르게 구현될 수 있으며, 목적하는 색상의 발현 등에 있어서 기술적 이점을 확보하기에 유리할 수 있다.

[0039] 상기 금속 성분은, 예를 들어, 은(Ag), 금(Au), 백금(Pt), 구리(Cu), 팔라듐(Pd), 이리듐(iridium), 오스뮴(osmium), 로듐(rhodium), 루테늄(ruthenium), 니켈(Ni), 코발트(Co), 철(Fe), 망간(Mn), 크롬(Cr), 바나듐(V), 티타늄(Ti), 알루미늄(Al), 아연(Zn), 카드뮴(Cd) 및 이들의 조합으로 이루어진 군으로부터 선택된 하나를 포함할 수 있다.

[0040] 상기 자성 성분은, 예를 들어, 산화철(Fe_3O_4), 산화니켈(NiO), 산화코발트(Co_3O_4), 철(Fe), 니켈(Ni), 코발트(Co) 및 이들의 조합으로 이루어진 군으로부터 선택된 하나를 포함할 수 있다.

[0041] 일 구현예에서, 상기 코어(core)는 은(Ag), 금(Au), 백금(Pt), 구리(Cu), 팔라듐(Pd), 이리듐(iridium), 오스뮴(osmium), 로듐(rhodium), 루테늄(ruthenium), 니켈(Ni), 코발트(Co), 철(Fe), 망간(Mn), 크롬(Cr), 바나듐(V), 티타늄(Ti), 알루미늄(Al), 아연(Zn), 카드뮴(Cd) 및 이들의 조합으로 이루어진 군으로부터 선택된 하나를 포함하고, 상기 쉘(shell)은 산화철(Fe_3O_4), 산화니켈(NiO), 산화코발트(Co_3O_4), 철(Fe), 니켈(Ni), 코발트(Co) 및 이들의 조합으로 이루어진 군으로부터 선택된 하나를 포함할 수 있다.

[0042] 다른 구현예에서, 상기 코어(core)는 산화철(Fe_3O_4), 산화니켈(NiO), 산화코발트(Co_3O_4), 철(Fe), 니켈(Ni), 코발트(Co) 및 이들의 조합으로 이루어진 군으로부터 선택된 하나를 포함하고, 상기 쉘(shell)은 은(Ag), 금(Au), 백금(Pt), 구리(Cu), 팔라듐(Pd), 이리듐(iridium), 오스뮴(osmium), 로듐(rhodium), 루테늄(ruthenium), 니켈(Ni), 코발트(Co), 철(Fe), 망간(Mn), 크롬(Cr), 바나듐(V), 티타늄(Ti), 알루미늄(Al), 아연(Zn), 카드뮴(Cd) 및 이들의 조합으로 이루어진 군으로부터 선택된 하나를 포함할 수 있다.

[0043] 이러한 코어-쉘 구조를 통하여, 상기 나노 구조체가 우수한 색상의 발현 및 광학 특성을 구현할 수 있고, 상기 나노 입자가 자기장 내에 목적하는 배열로 정렬되도록 조절하기 용이한 이점이 있으며, 자기장의 미세한 조절에 대하여 실시간으로 배열이 변화되어 카이랄성 조절에 유리한 이점을 얻을 수 있다.

[0044] 도 2를 참조할 때, 상기 자성 플라즈몬 입자(22)는, 전술한 바와 같이, 코어(14)와 상기 코어의 적어도 일부를 둘러싸는 쉘(15)을 포함하는 코어-쉘 입자일 수 있다. 도 2의 (a) 및 (b)를 참조할 때, 상기 코어-쉘 입자는

구형의 코어-쉘 입자일 수 있다. 구체적으로, 상기 구형의 코어-쉘 입자는 도 2의 (a)에 도시된 바와 같이 상기 코어(14)와 실질적으로 이의 표면 전체를 둘러싼 쉘(15)을 포함하는 구조일 수도 있고, 도 2의 (b)에 도시된 바와 같이 상기 코어(14)와 이의 표면의 일부를 둘러싼 쉘(15)을 포함하는 하프-쉘(Half-Shell) 구조일 수도 있다.

[0045] 본 명세서에서 '구형'이란, 이의 단면이 기하학적으로 완벽한 원형인 경우뿐만 아니라, 타원형이더라도 소정의 오차 범위 내에서 전체적인 3차원 구조상 구(sphere)의 형상으로 인지될 수 있는 범위까지 포함되는 것으로 해석되어야 할 것이다.

[0046] 본 명세서에서 '하프-쉘(half-shell)'의 의미는 상기 쉘(15)이 상기 코어(14)의 표면적의 정확히 절반을 둘러싼 경우만 의미하는 것이 아니라, 전체가 아닌 적어도 일부를 둘러싼 경우를 모두 총칭하는 것으로 이해된다.

[0047] 도 2의 (c)를 참조할 때, 상기 코어-쉘 입자는 막대형의 코어-쉘 입자일 수 있다. 상기 막대형의 코어-쉘 입자도 상기 구형의 코어-쉘 입자의 경우와 같이, 상기 코어(14)와 실질적으로 이의 표면 전체를 둘러싼 쉘(15)을 포함하는 구조일 수도 있고, 상기 코어(14)의 표면 일부를 둘러싼 쉘(15)을 포함하는 구조(미도시)일 수도 있다.

[0048] 본 명세서에서 '막대형'이란, 이의 단면에 대하여 길이 및 폭이 소정의 종횡비를 이루는 형상을 총칭하는 것으로서, 폭에 대한 길이의 비율이 2.00을 초과하는 모든 3차원 형상을 포괄하는 것으로 이해될 수 있다.

[0049] 일 구현예에서, 상기 코어-쉘(core-shell) 입자는 구형의 코어-쉘 입자 또는 막대형 코어-쉘 입자를 포함하고, 상기 구형의 코어-쉘 입자 또는 상기 막대형 코어-쉘 입자는 코어; 및 상기 코어의 표면 전체를 둘러싸고 상기 코어의 성분과 이종의 성분을 포함하는 쉘;을 포함하며, 상기 코어는 은(Ag), 금(Au), 백금(Pt), 구리(Cu), 팔라듐(Pd), 이리듐(iridium), 오스뮴(osmium), 로듐(rhodium), 루테늄(ruthenium), 니켈(Ni), 코발트(Co), 철(Fe), 망간(Mn), 크롬(Cr), 바나듐(V), 티타늄(Ti), 알루미늄(Al), 아연(Zn), 카드뮴(Cd) 및 이들의 조합으로 이루어진 군으로부터 선택된 하나를 포함하고, 상기 쉘(shell)은 산화철(Fe_3O_4), 산화니켈(NiO), 산화코발트(Co_3O_4), 철(Fe), 니켈(Ni), 코발트(Co) 및 이들의 조합으로 이루어진 군으로부터 선택된 하나를 포함할 수 있다.

[0050] 예를 들어, 상기 코어는 은(Ag), 금(Au) 또는 이들의 조합을 포함하고, 상기 쉘은 산화철(Fe_3O_4)을 포함할 수 있다. 상기 나노 입자가 이와 같은 성분의 조합을 포함하는 코어-쉘 구조를 가짐으로써 자기장의 조절에 의해 목적하는 카이랄성을 정교하게 부여할 수 있고, 자기장의 변화에 의하여 즉각적으로 카이랄성이 조절되는 효과가 극대화될 수 있다.

[0051] 다른 구현예에서, 상기 코어-쉘(core-shell) 입자는 구형의 코어-쉘 입자 또는 막대형 코어-쉘 입자를 포함하고, 상기 구형의 코어-쉘 입자 또는 상기 막대형 코어-쉘 입자는 코어 및 상기 코어의 표면 일부를 둘러싸고, 상기 코어의 성분과 이종의 성분을 포함하는 하프-쉘(half-shell)을 포함하며, 상기 코어(core)는 산화철(Fe_3O_4), 산화니켈(NiO), 산화코발트(Co_3O_4), 철(Fe), 니켈(Ni), 코발트(Co) 및 이들의 조합으로 이루어진 군으로부터 선택된 하나를 포함하고, 상기 쉘(shell)은 은(Ag), 금(Au), 백금(Pt), 구리 (Cu), 팔라듐(Pd), 이리듐(iridium), 오스뮴(osmium), 로듐(rhodium), 루테늄(ruthenium), 니켈(Ni), 코발트(Co), 철(Fe), 망간(Mn), 크롬(Cr), 바나듐(V), 티타늄(Ti), 알루미늄(Al), 아연(Zn), 카드뮴(Cd) 및 이들의 조합으로 이루어진 군으로부터 선택된 하나를 포함할 수 있다.

[0052] 예를 들어, 상기 코어는 산화철(Fe_3O_4)을 포함하고, 상기 쉘은 은(Ag), 금(Au) 또는 이들의 조합을 포함할 수 있다. 상기 나노 입자가 이와 같은 성분의 조합을 포함하는 코어-쉘 구조를 가짐으로써 자기장의 조절에 의해 목적하는 카이랄성을 정교하게 부여할 수 있고, 자기장의 변화에 의하여 즉각적으로 카이랄성이 조절되는 효과가 극대화될 수 있다.

[0053] 도 3은 일 구현예에 따른 상기 구형의 코어-쉘 입자의 사진을 게재한 것이고, 도 4는 일 구현예에 따른 상기 막대형 코어-쉘 입자의 사진을 게재한 것이다.

[0054] 일 구현예에서, 상기 구형 코어-쉘 입자는, 상기 코어(14)의 평균 입경이 약 0.01nm 내지 약 300nm, 예를 들어, 약 5nm 내지 약 250nm, 예를 들어, 약 5nm 내지 약 100nm, 예를 들어, 약 5nm 내지 약 90nm, 예를 들어, 약 5nm 내지 약 80nm, 예를 들어, 약 20nm 내지 약 80nm, 예를 들어, 약 40nm 내지 80nm일 수 있다.

[0055] 상기 구형 코어-쉘 입자의 상기 쉘(15)의 평균 두께는 약 1nm 내지 약 150nm, 예를 들어, 약 1nm 내지 약 120nm, 예를 들어, 약 1nm 내지 약 100nm, 예를 들어, 약 1nm 내지 약 80nm, 예를 들어, 약 5nm 내지 약 80nm, 예를 들어, 약 10nm 내지 약 80nm, 예를 들어, 약 10nm 내지 약 70nm, 예를 들어, 약 20nm 내지 약 60nm, 예를 들어, 약 30nm 내지 약 60nm, 예를 들어, 약 40nm 내지 약 60nm일 수 있다.

[0056] 상기 구형 코어-쉘 입자에 있어서, 그 단면을 기준으로 상기 코어(14)의 장경(L) 및 단경(S)의 비(L/S)로 정의되는 종횡비(Aspect ratio)가 약 1.00 내지 약 2.00, 예를 들어, 약 1.00 내지 약 1.80, 예를 들어, 약 1.00 내지 약 1.75, 예를 들어, 약 1.00 내지 약 1.70, 예를 들어, 약 1.00 내지 약 1.65, 예를 들어, 약 1.00 내지 약 1.60일 수 있다.

[0057] 상기 구형 코어-쉘 입자는 1mg 수량의 파우더에 대한 코어(14) 입경의 표준편차가 약 30 nm 이하일 수 있고, 예를 들어, 약 25 nm 이하일 수 있고, 예를 들어, 약 20 nm 내지 약 10 nm일 수 있다. 상기 자성 플라즈몬 입자는 파우더, 즉, 복수의 입자를 포함하는 집합체로 활용될 수 있다. 이때, 복수의 상기 자성 플라즈몬 입자는 자기장 인가 조건 하에서 상호 소정의 간격 및 상대적 위치 관계를 갖도록 정렬되어 목적하는 3차원 구조체를 형성할 수 있다. 상기 수량의 파우더에 대하여 표준편차 범위가 전술한 범위를 만족함으로써, 상기 자성 플라즈몬 입자를 이용하여 제조된 3차원 구조체의 구조적 규칙성 및 정확성이 향상될 수 있고, 대량 설계 측면에서 보다 유리할 수 있다.

[0058] 일 구현예에서, 상기 막대형 코어-쉘 입자는, 상기 코어(14)의 평균 폭(width)이 약 0.01nm 내지 약 100nm, 예를 들어, 약 5nm 내지 약 100nm, 예를 들어, 약 5nm 내지 약 90nm, 예를 들어, 약 5nm 내지 약 80nm, 예를 들어, 약 20nm 내지 약 80nm, 예를 들어, 약 40nm 내지 80nm일 수 있다.

[0059] 상기 막대형 코어-쉘 입자의 상기 쉘(15)의 평균 두께는 약 1nm 내지 약 150nm, 예를 들어, 약 1nm 내지 약 120nm, 예를 들어, 약 1nm 내지 약 100nm, 예를 들어, 약 1nm 내지 약 80nm, 예를 들어, 약 5nm 내지 약 80nm, 예를 들어, 약 10nm 내지 약 80nm, 예를 들어, 약 10nm 내지 약 70nm, 예를 들어, 약 20nm 내지 약 60nm, 예를 들어, 약 30nm 내지 약 60nm, 예를 들어, 약 40nm 내지 약 60nm일 수 있다.

[0060] 상기 막대형 코어-쉘 입자에 있어서, 상기 코어(14)의 길이(L) 및 폭(W)의 비(L/W)로 정의되는 종횡비(Aspect ratio)가 약 2.00 초과, 약 40.00이하, 예를 들어, 약 5.00 내지 약 40.00, 예를 들어, 약 10.00 내지 약 40.00, 예를 들어, 약 15.00 내지 약 35.00일 수 있다.

[0061] 상기 막대형 코어-쉘 입자는 1mg 수량의 파우더에 대한 코어(14) 폭의 표준편차가 약 30 nm 이하일 수 있고, 예를 들어, 약 25 nm 이하일 수 있고, 예를 들어, 약 20 nm 내지 약 10 nm일 수 있다. 상기 자성 플라즈몬 입자는 파우더, 즉, 복수의 입자를 포함하는 집합체로 활용될 수 있다. 이때, 복수의 상기 자성 플라즈몬 입자는 자기장 인가 조건 하에서 상호 소정의 간격 및 상대적 위치 관계를 갖도록 정렬되어 목적하는 3차원 구조체를 형성할 수 있다. 상기 수량의 파우더에 대하여 표준편차 범위가 전술한 범위를 만족함으로써, 상기 자성 플라즈몬 입자를 이용하여 제조된 3차원 구조체의 구조적 규칙성 및 정확성이 향상될 수 있고, 대량 설계 측면에서 보다 유리할 수 있다.

[0062] 상기 구형 코어-쉘 입자 및 상기 막대형 코어-쉘 입자의 구조에 있어서, 상기 코어의 입경 및/또는 평균 입경, 상기 코어의 폭 및/또는 평균 폭, 상기 쉘의 평균 두께, 상기 코어의 장경 및 단경, 상기 코어의 길이 및 폭 등은 모두 입자의 단면에 대하여 측정한 2차원 값으로서, 주사전자현미경(SEM) 또는 투과전자현미경(TEM) 등의 수단을 통하여 얻은 투영상으로부터 얻을 수 있다. 상기 코어의 평균 입경, 상기 코어의 평균 폭 및 상기 쉘의 평균 두께에서 '평균'은 '수평균'을 의미한다. 상기 구형 코어-쉘 입자에 있어서, 임의의 하나의 코어에 대하여, 가장 긴 입경이 상기 상기 코어의 장경으로 정의되며, 가장 짧은 입경이 상기 코어의 단경으로 정의된다. 상기 막대형 코어-쉘 입자에 있어서, 임의의 하나의 코어에 대하여, 가로 및 세로 중 상대적으로 긴 길이를 상기 코어의 길이로 지칭하며, 상대적으로 짧은 길이를 상기 코어의 폭으로 지칭한다. 상기 구형 및 막대형 코어-쉘 입자에 있어서, 상기 쉘의 두께는 상기 코어와 상기 쉘의 계면으로부터 상기 쉘의 외부 표면까지의 수직 직선 거리를 의미한다.

[0063] 상기 자성 플라즈몬 입자(22)로서 전술한 각각의 특징을 만족하는 입자를 적용함으로써 이를 일 구성으로 포함하는 상기 카이랄 나노 구조체(200)가 자기장 인가로 인해 우수한 구조적 카이랄성을 나타낼 수 있다. 특히, 상기 카이랄 나노 구조체(200)에 대한 반복적인 자기장 인가에 대해서도 정밀하고 즉각적인 구조 변화가 가능하며, 이에 따라 카이랄성 또한 즉각적/실시간적인 조정이 가능한 효과를 구현할 수 있다.

[0064] 일 구현예에서, 상기 카이랄 나노 구조체(200)는 상기 자성 플라즈몬 입자(22)가 불규칙적으로 분산된 비카이랄

성(non-chirality)의 입자 분산체에 나선형 자기장을 인가하여 제조된 카이랄성(chirality)을 갖는 구조체일 수 있다. 즉, 상기 카이랄 나노 구조체(200)의 기존 카이랄성이 나선형의 자기장 인가에 의해 가변적일 뿐만 아니라, 최초의 카이랄성 자체가 나선형 자기장의 인가에 의해 부여된 것일 수 있다. 보다 구체적으로, 상기 자성 플라즈몬 입자(22)가 분산매 중에 분산된 분산체를 소정의 각도(Θ)로 상대 회전하는 두 자성체 사이에 형성된 나선형 자기장 내에 배치함으로써 최초의 카이랄성이 부여된 나노 구조체(200)를 제조할 수 있다.

[0065] 일 구현예에서, 상기 카이랄 나노 구조체(200)는 용매 또는 분산매 중에 존재하는 형태일 수 있다.

[0066] 일 구현예에서, 상기 카이랄 나노 구조체(200)는 하기 식 1의 값이 0 내지 20을 만족할 수 있다.

[0067] [식 1]

[0068] $$\frac{A \times B \times C}{P_{max}}$$

[0069] 상기 식 1에서, 상기 A는 상기 자성 플라즈몬 입자(22)의 쉘 평균 두께(nm)에 대한 코어 평균 입경(nm)의 비; 또는 쉘 평균 두께(nm)에 대한 코어 평균 폭(nm)의 비 값이고, 상기 B는 상기 자성 플라즈몬 입자(22)의 농도(㎍/mL) 값이며, 상기 C는 나선형 자기장의 회전각(Θ)이 45° 일 때 카이랄성(τ)의 크기 값을 1.0으로 한 경우의 상대적 카이랄성 크기의 비이고, 상기 P_{max}는 상기 A를 만족하는 상기 카이랄 나노 구조체의 상기 B 및 C 조건 하에서의 원편광 이색성 분광 스펙트럼(Circular Dichroism Spectroscopy)의 최대 피크 값의 절대값이다.

[0070] 일 구현예에서, 상기 식 1의 값은 상기 B가 약 25 내지 약 200 중 어느 하나의 값이고, 상기 C가 약 0 내지 약 1.0 중 어느 하나의 값일 수 있다. 이와 같은 농도 및 각도 조건에서 도출된 상기 식 1의 값이 약 0 내지 약 20의 범위를 만족하는 경우, 상기 식 1의 값과 상기 카이랄 나노 구조체의 실시간 카이랄 가변성 및 구조적 완결성이 크게 향상될 수 있다.

[0071] 상기 식 1의 값은 상기 B 및 상기 C의 전술한 모든 범위에서 약 0 내지 약 20을 만족해야 하는 것이 아니라, 전술한 각각의 범위에서 임의의 하나의 B의 값과 임의의 하나의 C의 값에 대하여 약 0 내지 약 20 범위 내 특정 값을 만족하는 경우, 상기 카이랄 나노 구조체가 목적하는 실시간 가변성 및 구조적 카이랄 완결성을 확보함을 나타내는 지표가 될 수 있다. 다만, 상기 B 및 상기 C의 전술한 범위 내에서 상기 식 1의 값의 범위가 해당 범위를 만족하는 경우의 수가 증가할수록 상기 실시간 가변성 및 구조적 카이랄 완결성은 향상되는 상관성을 나타낸다.

[0072] 상기 자성 플라즈몬 입자(22)가 구형 코어-쉘 입자인 경우, 상기 A는 쉘 평균 두께(T)에 대한 코어 평균 입경(D)의 비(D/T)의 값이다. 상기 자성 플라즈몬 입자(22)가 막대형 코어-쉘 입자인 경우, 상기 A는 쉘 평균 두께(T)에 대한 코어 평균 폭(W)의 비(W/T)의 값이다.

[0073] 상기 B는 상기 카이랄 나노 구조체 중의 상기 자성 플라즈몬 입자(22)의 농도(㎍/mL) 값이다. 전술한 바와 같이, 일 구현예에서, 상기 카이랄 나노 구조체는 용매 또는 분산매 중에 존재하는 형태, 즉, 일종의 콜로이드 용액 상태일 수 있다. 상기 B는 상기 용액 중의 자성 플라즈몬 입자(22)의 농도(㎍/mL) 값이다. 구체적으로, 비카이랄성 입자 분산체로부터 상기 카이랄 나노 구조체를 제조하는 경우; 및 상기 카이랄 나노 구조체에 다른 카이랄성을 부여하기 위하여 자기장을 인가하는 경우; 모두 상기 B는 상기 용액 중의 상기 자성 플라즈몬 입자(22)의 농도(㎍/mL) 값으로 정의될 수 있다.

[0074] 상기 C는 인가된 나선형 자기장의 회전각(Θ)이 45° 일 때 카이랄성(τ)의 크기 값을 1.0으로 한 경우의 상대적 카이랄성 크기의 비이다. 보다 구체적으로, 상기 회전각(Θ)은 상기 나선형 자기장을 형성하기 위해 상대 회전하는 두 자성체의 각각의 회전각(Θ)을 의미할 수 있다. 상기 카이랄 나노 구조체의 카이랄성은 나선형 자기장의 인가에 의해 부여된 것일 수 있다. 또한, 전술한 바와 같이, 상기 카이랄 나노 구조체는 나선형 자기장의 인가에 의하여 카이랄성이 변화하는 특징을 가질 수 있다. 상기 나노 구조체에 대하여 카이랄성을 부여 또는 변화시키기 위하여 나선형 자기장을 인가할 때, 상기 나선형 자기장은 대향하는 두 자성체의 상대적 회전에 의하여 형성될 수 있다. 상기 두 자성체의 회전각(Θ)이 변화함에 따라 상기 나노 구조체의 카이랄성도 달라지게 된다.

[0075] 구체적으로, 상기 나선형 자기장의 카이랄성(τ)의 크기는 sin(2Θ) 크기 값에 비례할 수 있다. 예를 들어, 상기 두 자성체의 각각의 회전각(Θ)이 15° 인 경우; 및 165° 인 경우의 카이랄성의 상대적 크기의 비는 상기 나

선형 자기장의 회전각(Θ)이 45° 일 때 카이랄성(τ)의 크기 1.0을 기준으로, 0.5이다.

[0076] 상기 Pmax는 상기 카이랄 나노 구조체에 대하여 원편광 이색성 분광 스펙트럼(Circular Dichroism Spectroscopy)을 측정하였을 때, 최대 피크 값(mdeg)이다. 예를 들어, 서로 다른 파장 영역에서 2 이상의 피크가 도출되었을 경우, 피크 값의 절대값이 가장 큰 하나의 피크에 대한 값을 의미한다. 상기 Pmax는 절대값으로서 양(+)의 값으로 나타낸다.

[0077] 상기 자성 플라즈몬 입자(22)를 일 구성으로 하여 형성된 상기 카이랄 나노 구조체(200)에 대하여, 상기 식 1의 값이 약 0 내지 약 20을 만족하는 경우, 종래에 비하여 카이랄성의 변조 속도가 월등히 빠른 효과를 구현할 수 있으며, 실질적으로 실시간 가변되는 자기 조립성을 구현할 수 있다.

[0078] 일 구현예에서, 상기 자성 플라즈몬 입자(22)가 구형의 코어-쉘 입자를 포함하고, 상기 쉘이 실질적으로 상기 코어의 표면 전체를 둘러싼 구조인 경우, 상기 식 1의 값이 약 0 내지 약 3.0, 예를 들어, 약 0 내지 약 2.5, 예를 들어, 약 0 내지 약 1.5, 예를 들어, 약 0 내지 약 1.0일 수 있다. 이때, 예를 들어, 상기 자성 플라즈몬 입자(22)는 금속 성분을 포함하는 코어; 및 자성 성분을 포함하는 쉘을 구비한 코어-쉘 입자일 수 있다.

[0079] 상기 자성 플라즈몬 입자(22)가 구형의 코어-쉘 입자를 포함하고, 상기 쉘이 실질적으로 상기 코어의 표면 전체를 둘러싼 구조이며, 상기 C가 0(zero)보다 큰 어느 하나의 값인 경우, 상기 식 1의 값이 약 0.01 내지 약 3.5, 예를 들어, 약 0.01 내지 약 3.0, 예를 들어, 약 0.01 내지 약 2.5, 예를 들어, 약 0.01 내지 약 1.5, 예를 들어, 약 0.01 내지 약 1.0일 수 있다.

[0080] 상기 자성 플라즈몬 입자(22)가 구형의 코어-쉘 입자를 포함하고, 상기 쉘이 실질적으로 상기 코어의 표면 전체를 둘러싼 구조이며, 상기 C가 0(zero)보다 큰 어느 하나의 값이고, 상기 B가 50 내지 200 범위의 어느 하나의 값인 경우, 상기 식 1의 값이 약 0.01 내지 약 1.0일 수 있고, 예를 들어, 약 0.01 내지 약 0.80일 수 있고, 예를 들어, 약 0.01 내지 약 0.50일 수 있다.

[0081] 다른 구현예에서, 상기 자성 플라즈몬 입자(22)가 구형의 코어-쉘 입자를 포함하고, 상기 쉘이 실질적으로 상기 코어의 표면 중 일부를 둘러싼 하프-쉘 구조인 경우, 상기 식 1의 값이 약 0 내지 약 19.00일 수 있고, 예를 들어, 약 0 내지 약 18.00일 수 있고, 예를 들어, 약 0 내지 약 17.00일 수 있다. 이때, 예를 들어, 상기 자성 플라즈몬 입자(22)는 자성 성분을 포함하는 코어; 및 금속 성분을 포함하는 쉘을 구비한 코어-쉘 입자일 수 있다.

[0082] 상기 자성 플라즈몬 입자(22)가 구형의 코어-쉘 입자를 포함하고, 상기 쉘이 실질적으로 상기 코어의 표면 중 일부를 둘러싼 하프-쉘 구조이며, 상기 C가 0(zero)보다 큰 어느 하나의 값인 경우, 상기 식 1의 값이 약 1.00 내지 약 19.00일 수 있고, 예를 들어, 약 1.50 내지 약 19.00일 수 있고, 예를 들어, 약 2.00 내지 약 18.00일 수 있고, 예를 들어, 약 2.50 내지 약 17.00일 수 있다.

[0083] 상기 자성 플라즈몬 입자(22)가 구형의 코어-쉘 입자를 포함하고, 상기 쉘이 실질적으로 상기 코어의 표면 중 일부를 둘러싼 하프-쉘 구조이며, 상기 C가 0(zero)보다 큰 어느 하나의 값이고, 상기 B가 50 내지 200 범위의 어느 하나의 값인 경우, 상기 식 1의 값이 약 1.00 내지 약 17.00일 수 있고, 예를 들어, 약 1.00 내지 15.00일 수 있고, 예를 들어, 약 1.00 내지 14.00일 수 있다.

[0084] 또 다른 구현예에서, 상기 자성 플라즈몬 입자(22)가 막대형의 코어-쉘 입자를 포함하고, 상기 쉘이 실질적으로 상기 코어의 표면 전체를 둘러싼 구조인 경우, 상기 식 1의 값이 약 0 내지 약 3.0일 수 있다. 이때, 예를 들어, 상기 자성 플라즈몬 입자(22)는 금속 성분을 포함하는 코어; 및 자성 성분을 포함하는 쉘을 구비한 코어-쉘 입자일 수 있다.

[0085] 상기 자성 플라즈몬 입자(22)가 막대형의 코어-쉘 입자를 포함하고, 상기 쉘이 실질적으로 상기 코어의 표면 전체를 둘러싼 구조이며, 상기 C가 0(zero)보다 큰 어느 하나의 값인 경우, 상기 식 1의 값이 약 0.1 내지 약 3.5, 예를 들어, 약 0.1 내지 약 3.0, 예를 들어, 약 0.2 내지 약 3.5, 예를 들어, 약 0.2 내지 약 3.5, 예를 들어, 약 0.3 내지 약 3.5, 예를 들어, 약 0.3 내지 약 3.0일 수 있다.

[0086] 상기 자성 플라즈몬 입자(22)가 막대형의 코어-쉘 입자를 포함하고, 상기 쉘이 실질적으로 상기 코어의 표면 전체를 둘러싼 구조이며, 상기 C가 0(zero)보다 큰 어느 하나의 값이고, 상기 B가 75 내지 200 범위의 어느 하나의 값인 경우, 상기 식 1의 값이 약 0.1 내지 약 3.0, 예를 들어, 약 0.1 내지 약 2.0, 예를 들어, 약 0.1 내지 약 1.8일 수 있다.

[0087] 전술한 바와 같이, 상기 카이랄 나노 구조체는 상기 자성 플라즈몬 입자(22) 배열 구조체의 구조적 특징에 의해

도출되는 카이랄성을 띠며, 상기 카이랄성은 나선형 자기장 인가에 의해 부여된 것일 수 있다. 또한, 상기 카이랄 나노 구조체는 나선형 자기장 인가에 의하여 기존의 카이랄성이 다른 카이랄성으로 변조 가능한 특징을 나타낼 수 있다. 상기 카이랄 나노 구조체의 이러한 구조적 카이랄성 및 실시간 자기 조립성은 이를 응용할 수 있는 기술 분야를 현저히 확장시키는 이점을 갖는다.

[0088] 이하, 상기 카이랄 나노 구조체의 제조방법을 상술하기로 한다.

[0089] 상기 카이랄 나노 구조체는 자기장 형성 단계; 적어도 2 이상의 자성 플라즈몬 입자를 자기장 내에 배치하는 입자 배치 단계; 및 상기 자기장의 자속 밀도, 자화 방향 및 공간적 범위 중 적어도 하나를 조절하는 자기장 조절 단계를 포함하고, 상기 자기장 조절 단계에서 상기 자기장 내에 배치된 상기 자성 플라즈몬 입자의 배열이 상기 자기장의 구조에 상응하도록 정렬되어 전체 구조가 카이랄성(Chirality)을 띠는 나노 구조체로 형성되는 방법에 의하여 제조될 수 있다.

[0090] 상기 자기장 형성 단계에서, 상기 자기장은 최종적으로 상기 나노 구조체에 카이랄성을 부여할 수 있는 구조를 갖는 자기장이면 특별히 제한되지 않으나, 예를 들어, 나선형 구조의 자기장일 수 있다. 상기 자기장이 나선형 자기장인 경우, 나선형이라는 구조에서 기인한 카이랄성을 갖게 된다. 이때, 상기 자기장으로부터 유도되는 구조적 카이랄성이 상기 자성 플라즈몬 입자에 전가될 수 있고, 이로써 상기 자성 플라즈몬 입자의 정렬 구조가 나선형 구조에서 기인한 카이랄성을 띠도록 제조될 수 있다.

[0091] 도 5는 일 구현예에 따른 상기 카이랄 나노 구조체의 제조방법을 개략적으로 도식화한 모식도이다.

[0092] 예를 들어, 상기 자기장 형성 단계에서 상기 자기장은 적어도 2개의 자성체(11, 12)를 상대 회전시켜 나선형 자기장으로 형성될 수 있다. 상기 2개의 자성체(11, 12)는 서로 동일한 자화 방향(y축 방향)으로 마주보도록 배치된 후 각각의 중심을 지나는 축(y축)을 회전축으로 하여 서로 반대 방향으로 회전되어, 나선형 자기장(13)을 형성할 수 있다.

[0093] 도 6은 상기 두 자성체(11, 12)를 각각 회전시키되 서로 반대 방향으로 회전시킨 경우를 y축 방향에서 도시한 개략적인 투시도이다. 도 6을 참조할 때, 하나의 자성체(11)는 이의 장축(L1)과 z축이 이루는 각도(Θ1)가 0° < Θ1 < 180° 범위가 되도록 시계 방향으로 회전하고, 다른 하나의 자성체(12) 이의 장축(L2)과 z축이 이루는 각도(Θ2)가 0° > Θ2 > -180° 범위가 되도록 반시계 방향으로 회전시킬 수 있다. 상기 Θ1 및 Θ2를 조절함으로써 상기 나선형 자기장의 구조가 결정될 수 있다.

[0094] 일 구현예에서, 두 자성체(11, 12)는 상기 Θ1 및 Θ2의 절대값의 크기가 동일하도록 회전시킬 수 있다. 또한, 상기 Θ1 및 Θ2의 크기를 조절함으로써 상기 나선형 자기장(13)의 구조가 결정될 수 있다. 상기 나선형 자기장(13)은 거울면 비대칭 구조를 가짐으로써 카이랄성을 나타내며, 상기 Θ1 및 Θ2의 크기에 따라 카이랄성의 정도가 조절될 수 있다. 상기 Θ1 및 Θ2의 절대값의 크기를 Θ라 지칭할 때, 상기 나선형 자기장(13)의 카이랄성의 크기는 sin(2Θ)의 크기에 비례한다.

[0095] 일 구현예에서, 상기 두 자성체(11, 12)는 각각 독립적으로 네오디뮴(neodymium) 자석, 페라이트(ferrite) 자석, 또는 전자석을 포함할 수 있다. 구체적으로, 상기 자성체의 자속 밀도는 약 1μT 내지 약 5T일 수 있고, 예를 들어, 약 0.01T 내지 약 0.4T일 수 있고, 예를 들어, 약 0.01T 내지 약 0.3T일 수 있다.

[0096] 일 구현예에서, 상기 두 자성체(11, 12)의 중심을 연결하는 직선 거리로 정의되는 자성체 이격 거리는 약 1㎛ 내지 약 10m일 수 있고, 예를 들어, 약 1㎛ 내지 약 5m일 수 있고, 예를 들어, 약 1㎛ 내지 약 1m일 수 있고, 예를 들어, 1㎛ 내지 약 80cm일 수 있고, 예를 들어, 약 1cm 내지 약 50cm일 수 있고, 예를 들어, 약 1cm 내지 약 10cm일 수 있고, 예를 들어, 약 1cm 내지 약 8cm일 수 있고, 예를 들어, 약 1cm 내지 약 6cm일 수 있고, 예를 들어, 약 1cm 내지 약 5cm일 수 있고, 예를 들어, 약 1cm 내지 약 4cm일 수 있다.

[0097] 상기 나노 구조체의 제조방법은 적어도 2 이상의 자성 플라즈몬 입자를 자기장 내에 배치하는 입자 배치 단계를 포함한다. 도 7은 상기 입자 배치 단계(20)에 관하여 개략적으로 도시한 것이다.

[0098] 상기 입자 배치 단계(20)는 상기 자기장 형성 단계에서 생성된 자기장 내에 카이랄성을 부여하기 위한 대상 입자를 배치하는 단계이다. 상기 입자 배치 단계는 상기 자기장 형성 단계 이전에 수행될 수도 있고, 상기 자기장 형성 단계 이후에 수행될 수도 있다. 즉, 상기 나노 입자는 상기 자기장이 형성되기 전에 미리 자기장이 형성될 영역 내에 배치될 수도 있고, 상기 자기장이 형성된 후에 자기장이 형성된 영역 내에 배치될 수도 있다.

[0099] 상기 나노 입자에 관한 사항은 모두 상기 카이랄 나노 구조체에 관하여 전술한 바와 동일하다.

[0100] 도 7은, 예시적으로, 상기 자기장 형성 단계 이전에 입자가 배치된 경우를 도시한 것이다. 도 7을 참조할 때, 상기 입자 배치 단계(20)에서, 상기 나노 입자는 용매 또는 분산매 내에 분산된 상태로 상기 자기장 내에 배치될 수 있다. 구체적으로, 적어도 2 이상의 상기 나노 입자를 포함하는 콜로이드 용액(21)을 제조한 후, 상기 콜로이드 용액(21)을 상기 자기장 내에 배치하는 방법으로 수행될 수 있다.

[0101] 상기 콜로이드 용액(21) 중의 상기 나노 입자의 농도는 약 5㎍/mL 내지 약 500mg/mL일 수 있고, 예를 들어, 약 5㎍/mL 내지 약 400mg/mL일 수 있고, 예를 들어, 약 10mg/mL 내지 약 400mg/mL일 수 있다. 상기 나노 입자를 전술한 농도 범위로 분산시켜 상기 제조방법에 적용함으로써 상기 나노 입자가 응집되지 않고 카이랄성을 띠는 정렬 구조로 배열되기에 유리할 수 있으며, 적어도 2 이상의 상기 나노 입자로 이루어진 3차원의 카이랄 나노 구조체가 정교하게 형성될 수 있다.

[0102] 상기 용매 또는 분산매는 증류수, 탈이온수, 알코올, 유기 용매, 고분자 및 이들의 조합으로 이루어진 군으로부터 선택된 하나를 포함할 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 상기 '고분자'는 중량평균분자량(Mw)이 약 500 이상인 중합체로 상온에서 점도가 약 5cP 내지 6000cP일 수 있으며, 1종 또는 2종 이상의 혼합물로 구성될 수 있고, 상기 나노 입자의 분산매로 기능할 수 있는 친수성, 소수성 또는 양친매성의 액상 또는 고상의 중합체를 총칭하는 것으로 이해된다.

[0103] 상기 카이랄 나노 구조체의 제조방법은 상기 자기장의 자속 밀도, 자화 방향 및 공간적 범위 중 적어도 하나를 조절하는 자기장 조절 단계를 포함한다. 상기 자기장 조절 단계는 상기 자기장 형성 단계에서 형성된 자기장을 변화시켜 상기 자기장 내에 배치된 나노 입자에 목적 수준의 카이랄성(Chirality)을 부여하는 단계이다. 상기 자기장 조절 단계는 상기 자기장 형성 단계와 동시에 수행될 수도 있고, 소정의 시간차를 두고 수행될 수도 있다. 즉, 상기 자기장 형성 단계에서 자기장의 형성과 동시에 이의 자속 밀도, 자화 방향 및 공간적 범위 중 적어도 하나를 조절하여 목적하는 구조의 자기장을 형성할 수도 있고; 혹은 상기 자기장 형성 단계에서 최초로 형성된 자기장에 대하여 추후 이의 자속 밀도, 자화 방향 및 공간적 범위 중 적어도 하나를 조절하여 다른 구조의 자기장으로 형성할 수도 있다. 예를 들어, 전자의 경우는 비카이랄성의 나노 입자 분산체에 최초로 카이랄성을 부여하는 경우를 포함할 수 있고, 후자의 경우는 기존의 카이랄성을 갖는 나노 구조체에 다른 카이랄성을 부여하기 위한 경우를 포함할 수 있다.

[0104] 상기 자기장 조절 단계에서 상기 자기장 내에 배치된 상기 나노 입자의 배열이 변화하여 그 최종적인 정렬 구조가 상기 자기장의 카이랄성에 상응하도록 조절되어 최종적으로 카이랄성을 띠는 나노 구조체가 형성될 수 있다. 상기 자기장 내에 배치된 상기 나노 입자의 배열이 상기 자기장의 구조에 상응하도록 정렬된다는 것은, 상기 나노 입자의 배열에 의한 정렬 구조가 카이랄성을 띠지 않다가 상기 자기장의 카이랄성이 전가되어 카이랄성을 갖게 되거나, 혹은 기존의 카이랄성과 다른 카이랄성을 갖게 되는 것을 의미한다.

[0105] 상기 자기장 형성 단계에서 형성된 자기장이, 예를 들어, 나선형 자기장인 경우, 거울면 비대칭 구조로부터 유도된 카이랄성을 갖게 된다. 이때 상기 자기장 내에 배치된 적어도 2 이상의 나노 입자들은 상기 자기장에 의한 배열 변화를 통하여 상기 나선형 자기장의 구조적 카이랄성을 전가 받아 실질적으로 동등 수준의 카이랄성을 갖는 정렬 구조를 형성할 수 있다. 따라서, 상기 자기장의 자속 밀도, 자화 방향 및 공간적 범위 중 적어도 하나를 변화하는 경우, 상기 자기장의 카이랄성이 변화하게 되고, 이에 따라 상기 자기장 내에 배치된 상기 나노 입자의 정렬 구조의 카이랄성도 변화하게 된다. 예를 들어, 상기 자기장 조절 단계에서 자속 밀도를 증가시키는 경우, 상기 나노 구조체의 원편광 이색성 분광법(Circular Dichroism spectroscopy) 그래프 상의 피크는 단파장 측으로 이동하게 된다.

[0106] 예를 들어, 상기 자기장 형성 단계에서 상기 자기장은 적어도 2개의 자성체를 상대 회전시켜 형성된 나선형 자기장일 수 있고, 상기 자기장 조절 단계에서 상기 적어도 2개의 자성체를 상대 회전시키는 각도; 및 상기 적어도 2개의 자성체의 상호 평행한 정도 중 적어도 하나를 변화시켜 상기 자기장의 자화 방향을 조절할 수 있다.

[0107] 예를 들어, 상기 자기장 형성 단계에서 상기 자기장은 적어도 2개의 자성체를 상대 회전시켜 형성된 나선형 자기장일 수 있고, 상기 자기장 조절 단계에서 상기 적어도 2개의 자성체 사이의 직선 거리를 변화시켜 상기 자기장의 공간적 범위를 조절할 수 있다.

[0108] 예를 들어, 상기 자기장 형성 단계에서 상기 자기장은 적어도 2개의 자성체를 상대 회전시켜 형성된 나선형 자기장일 수 있고, 상기 자기장 조절 단계에서 상기 적어도 2개의 자성체의 자기력; 및 상기 적어도 2개의 자성체 사이의 직선 거리 중 적어도 하나를 변화시켜 상기 자기장의 자속 밀도를 조절할 수 있다.

[0109] 상기 카이랄 나노 구조체의 제조방법을 통하여, 전술한 바와 같은 상기 카이랄 나노 구조체를 제조할 수 있다.

또한, 상기 카이랄 나노 구조체의 제조방법을 통하여 하기 식 1을 만족하는 카이랄 나노 구조체를 제조할 수 있다.

[0110] [식 1]

[0111] $$0 \leq \frac{A \times B \times C}{P_{max}} \leq 3.5$$

[0112] 상기 식 1에서, 상기 A는 상기 자성 플라즈몬 입자의 쉘 평균 두께(nm)에 대한 코어 평균 입경(nm)의 비; 또는 쉘 평균 두께(nm)에 대한 코어 평균 폭(nm)의 비 값이고, 상기 B는 상기 자성 플라즈몬 입자의 농도(㎍/mL) 값이며, 상기 C는 상기 카이랄 나노 구조체에 인가된 나선형 자기장의 회전각(Θ)이 45° 일 때 카이랄성(τ)의 크기 값을 1.0으로 한 경우의 상대적 카이랄성 크기의 비이고, 상기 P_{max}는 상기 A를 만족하는 상기 나노 구조체의 상기 B 및 C 조건 하에서의 원편광 이색성 분광 스펙트럼(Circular Dichroism Spectroscopy)의 최대 피크 값의 절대값이다.

[0113] 상기 식 1과 이를 구성하는 각각의 인자에 대한 설명은 상기 카이랄 나노 구조체와 관련하여 전술한 바와 같다.

[0115] 이하에서는 본 발명의 구체적인 실시예를 제시한다. 다만, 하기에 기재된 실시예는 본 발명을 구체적으로 예시하거나 설명하기 위한 것에 불과하고, 이로 인해 본 발명의 권리 범위가 제한 해석되지 않으며, 본 발명의 권리 범위는 청구 범위에 의해서 결정되는 것이다.

[0117] **<제조예>**

[0118] **제조예 1: 구형의 코어-쉘 나노 입자 (1)의 합성**

[0119] 3.2mmol의 질산철($Fe(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$)을 40mL의 에틸렌글리콜($C_2H_4(OH)_2$)과 혼합하여 자석 교반기로 완전히 녹을 때까지 교반함으로써 혼합 용액을 제조하였다. 상기 혼합 용액에 35mmol의 아세트산나트륨(CH_3COONa)과 0.59mmol의 질산은($AgNO_3$)을 넣고 계속 교반하였다. 아세트산나트륨과 질산은이 모두 녹으면 혼합 용액을 테플론용기에 옮겨 담고 압력을 견딜 수 있도록 금속 용기에 넣은 후 210℃로 가열 후 4시간 동안 유지시킨다. 반응이 끝나면 합성된 나노입자를 원심 분리 등으로 분리하여 에탄올, 탈이온수로 정제한다. 분리된 나노입자를 진공 오븐에서 12시간 동안 건조하여 파우더 형태로 제조한다.

[0120] 이어서, 상기 나노입자를 탈이온수 등의 극성 용매에 분산시키기 위하여 나노입자 표면에 친수성 기능기를 부착하는 표면 전처리 단계를 진행한다. 나노입자 합성단계에서 만들어진 파우더 형태의 나노입자 1mg과 구연산(citric acid, $HOC(COOH)(CH_2COOH)_2$) 0.6mg을 1mL의 탈이온수에 넣고 2시간 동안 초음파 처리한 후 원심분리 등으로 나노입자를 분리하고 탈이온수로 정제한다.

[0122] **제조예 2: 구형의 코어-쉘 나노 입자 (2)의 합성**

[0123] 1.6mmol의 질산철($Fe(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$)을 40mL의 에틸렌글리콜($C_2H_4(OH)_2$)과 혼합하여 자석 교반기로 완전히 녹을 때까지 교반함으로써 혼합 용액을 제조하였다. 상기 혼합 용액에 35mmol의 아세트산나트륨(CH_3COONa)과 0.59mmol의 질산은($AgNO_3$)을 넣고 계속 교반하였다. 아세트산나트륨과 질산은이 모두 녹으면 혼합 용액을 테플론용기에 옮겨 담고 압력을 견딜 수 있도록 금속 용기에 넣은 후 210℃로 가열 후 4시간 동안 유지시킨다. 반응이 끝나면 합성된 나노입자를 원심 분리 등으로 분리하여 에탄올, 탈이온수로 정제한다. 분리된 나노입자를 진공 오븐에서 12시간 동안 건조하여 파우더 형태로 제조한다.

[0124] 이어서, 상기 나노입자를 탈이온수 등의 극성 용매에 분산시키기 위하여 나노입자 표면에 친수성 기능기를 부착하는 표면 전처리 단계를 진행한다. 나노입자 합성단계에서 만들어진 파우더 형태의 나노입자 1mg과 구연산(citric acid, $HOC(COOH)(CH_2COOH)_2$) 0.6mg을 1mL의 탈이온수에 넣고 2시간 동안 초음파 처리한 후 원심분리 등으로 나노입자를 분리하고 탈이온수로 정제한다.

[0126] **제조예 3: 막대형의 코어-쉘 나노 입자의 합성**

[0127] 4.0mmol의 염화철($FeCl_3 \cdot 6H_2O$)을 40mL의 에틸렌글리콜($C_2H_4(OH)_2$)과 혼합하여 자석 교반기로 완전히 녹을 때까지 교반함으로써 혼합 용액을 제조하였다. 상기 혼합 용액에 35mmol의 아세트산나트륨(CH_3COONa)과 0.59mmol의 염화금산($HAuCl_4 \cdot 3H_2O$)을 넣고 계속 교반하였다. 아세트산나트륨과 염화금산이 모두 녹으면 혼합 용액을 테플론용기에 옮겨 담고 압력을 견딜 수 있도록 금속 용기에 넣은 후 200℃로 가열 후 8시간 동안 유지시킨다. 반응이 끝나면 합성된 나노입자를 원심 분리 등으로 분리하여 에탄올, 탈이온수로 정제한다. 분리된 나노입자를 진공 오븐에서 12시간 동안 건조하여 파우더 형태로 제조한다.

[0128] 이어서, 상기 나노입자를 탈이온수 등의 극성 용매에 분산시키기 위하여 나노입자 표면에 친수성 기능기를 부착하는 표면 전처리 단계를 진행한다. 나노입자 합성단계에서 만들어진 파우더 형태의 나노입자 1mg과 구연산(citric acid, $HOC(COOH)(CH_2COOH)_2$) 0.6mg을 1mL의 탈이온수에 넣고 2시간 동안 초음파 처리한 후 원심분리 등으로 나노입자를 분리하고 탈이온수로 정제한다.

[0129] **제조예 4: 구형의 하프-쉘 나노 입자의 합성**

[0130] 20mL의 에틸렌글리콜($C_2H_4(OH)_2$) 용액에 염화철 ($Fe(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$) 0.12 M과 구연산 34 mM이 되도록 혼합하여 자석 교반기로 완전히 녹을 때까지 교반함으로써 혼합 용액을 제조하였다. 상기 혼합 용액에 아세트산나트륨(CH_3COONa)을 첨가하여 0.73 M 농도로 맞춘다. 아세트산나트륨이 모두 녹으면 혼합 용액을 테플론용기에 옮겨 담고 압력을 견딜 수 있도록 금속 용기에 넣은 후 200℃로 가열 후 10시간 동안 유지시킨다. 반응이 끝나면 합성된 나노입자를 원심 분리 등으로 분리하여 에탄올, 탈이온수로 정제한다. 분리된 나노입자를 진공 오븐에서 12시간 동안 건조하여 파우더 형태로 제조한다.

[0131] 이어서, 상기 나노입자를 탈이온수 등의 극성 용매에 분산시키기 위하여 나노입자 표면에 친수성 기능기를 부착하는 표면 전처리 단계를 진행한다. 나노입자 합성단계에서 만들어진 파우더 형태의 나노입자 1mg과 구연산(citric acid, $HOC(COOH)(CH_2COOH)_2$) 0.6mg을 1mL의 탈이온수에 넣고 2시간 동안 초음파 처리한 후 원심분리 등으로 나노입자를 분리하고 탈이온수로 정제한다.

[0132] 슬라이드 글라스를 피라냐 용액에 처리하여 유기물 및 이물질을 제거하여 친수성 표면을 제작한다. 슬라이드 글라스를 0.2wt% 폴리디알릴디메틸암모니아(PDDA, Polydiallyldimethylammonium chloride) 고분자 용액에 담가 양전하를 띄는 폴리비닐알콜(PVA, Polyvinylalcohol) 고분자가 슬라이드 글라스 표면에 고루 분포할 수 있게 한다. 이후 슬라이드 글라스를 꺼내서 말린 다음 준비한 자성나노입자 용액을 떨어뜨려 음전하를 띄는 나노입자들이 양전하를 띄는 PDDA 표면에 균일하게 붙을 수 있도록 하고 나머지 용액들은 탈이온수로 약하게 씻어낸 후 말린다. 단일층으로 슬라이드 글라스 위에 정렬되어 있는 나노입자에 금 스퍼터를 이용하여 20 nm 정도 코팅을 한다. 이후 코팅된 금 박막 표면을 안정화시키기 위하여 1mg/mL 농도의 cysteine을 과량 첨가한 후 shaking incubator로 60 rpm으로 12시간 동안 반응시킨다. 반응이 끝난 후 초음파 처리를 하여 나노입자 단일층을 슬라이드 글라스로부터 떼어내고 자석으로 나노입자를 분리하고 탈이온수로 정제한다.

[0134] **<실시예>**

[0135] **실시예 1: 구형의 코어-쉘 나노 입자 (1)을 포함하는 카이랄 나노 구조체**

[0136] 은(Ag)을 포함하는 코어(Core) 및 산화철(Fe_3O_4)을 포함하는 쉘(Shell)을 구비한 구형의 코어-쉘 나노 입자를 준비하였다. 상기 코어의 평균 직경은 61.4(±13.3)nm이고, 상기 쉘의 평균 두께는 54.3(±5.7)nm이다. 상기 나노 입자를 하기 표 1과 같이 각각의 농도가 되도록 탈이온수 용매에 분산시켜 비카이랄성 나노 입자 분산체를 제조하였다. 2개의 네오디뮴(neodymium) 자석(50 x 10 x 2 mm, 0.2T)을 준비하고, 도 5에 도시된 바와 같이, 동일한 자화 방향(y축 방향)으로 서로 3cm의 간격으로 대향 배치하였다. 각각의 농도의 상기 비카이랄성 나노 입자 분산체를 도 7에 도시된 바와 같이 상기 2개의 자석 사이의 중앙에 배치하였다. 상기 2개의 자석을 y축을 회전축으로 하여 동일한 각도 크기만큼 회전시키되, 하나의 자석은 시계 방향으로 회전시키고, 다른 하나의 자석은 반시계 방향으로 회전시켰다. 각각의 자석의 장축이 z축과 이루는 각도의 크기, 즉, 회전각(Θ)의 크기가 하기 표 1에 기재된 바와 같도록 회전시켰다. 이로써 실시예 1의 카이랄 나노 구조체를 제조하였다.

표 1

[0137]

	농도(B) [㎍/mL]	Θ [°]	τ 상대비(C) (|sin2Θ|) [Θ=degree]	CD 스펙트럼 [mdeg]			(A*B*C)/Pmax (A=61.4/54.3)
				@680nm부근	@830nm부근	Pmax	
실시예 1-1	25	0	0.00	24.0099	-27.7944	27.7944	0.00
실시예 1-2	50	0	0.00	-1.18151	-3.35958	3.35958	0.00
실시예 1-3	75	0	0.00	67.0504	-117.419	117.419	0.00
실시예 1-4	100	0	0.00	95.599	-174.176	174.176	0.00
실시예 1-5	125	0	0.00	59.8761	-168.584	168.584	0.00
실시예 1-6	150	0	0.00	62.7865	-196.911	196.911	0.00
실시예 1-7	175	0	0.00	41.5222	-158.031	158.031	0.00
실시예 1-8	200	0	0.00	24.2616	-142.455	142.455	0.00
실시예 1-9	25	15	0.50	-4.5823	14.4494	14.4494	0.98
실시예 1-10	50	15	0.50	-85.6535	220.452	220.452	0.13
실시예 1-11	75	15	0.50	-131.236	324.921	324.921	0.13
실시예 1-12	100	15	0.50	-261.17	721.541	721.541	0.08
실시예 1-13	125	15	0.50	-404.182	1147.69	1147.69	0.06
실시예 1-14	150	15	0.50	-443.853	1276.1	1276.1	0.07
실시예 1-15	175	15	0.50	-245.245	818.711	818.711	0.12
실시예 1-16	200	15	0.50	-415.379	1174.39	1174.39	0.10
실시예 1-17	25	30	0.87	-22.7185	79.474	79.474	0.31
실시예 1-18	50	30	0.87	-121.04	417.616	417.616	0.12
실시예 1-19	75	30	0.87	-272.214	646.457	646.457	0.11
실시예 1-20	100	30	0.87	-490.672	1414.71	1414.71	0.07
실시예 1-21	125	30	0.87	-678.063	2063.78	2063.78	0.06
실시예 1-22	150	30	0.87	-634.406	1913.76	1913.76	0.08
실시예 1-23	175	30	0.87	-825.094	2361.52	2361.52	0.07
실시예 1-24	200	30	0.87	-755.049	2214.15	2214.15	0.09
실시예 1-25	25	45	1.00	-20.9936	76.835	76.835	0.37
실시예 1-26	50	45	1.00	-140.436	511.409	511.409	0.11
실시예 1-27	75	45	1.00	-306.815	1080.49	1080.49	0.08
실시예 1-28	100	45	1.00	-591.983	1926.45	1926.45	0.06
실시예 1-29	125	45	1.00	-742.859	2263.11	2263.11	0.06
실시예 1-30	150	45	1.00	-722.538	2269.08	2269.08	0.07
실시예 1-31	175	45	1.00	-941.641	2738.09	2738.09	0.07
실시예 1-32	200	45	1.00	-1018.3	2892.83	2892.83	0.08
실시예 1-33	25	60	0.87	-20.8995	73.6665	73.6665	0.33
실시예 1-34	50	60	0.87	-88.4849	346.019	346.019	0.14
실시예 1-35	75	60	0.87	-276.003	781.403	781.403	0.09
실시예 1-36	100	60	0.87	-502.098	1540.75	1540.75	0.06
실시예 1-37	125	60	0.87	-655.969	2052.61	2052.61	0.06
실시예 1-38	150	60	0.87	-710.642	2167.07	2167.07	0.07
실시예 1-39	175	60	0.87	-780.289	2379.01	2379.01	0.07
실시예 1-40	200	60	0.87	-848.356	2460.57	2460.57	0.08
실시예 1-41	25	75	0.50	-0.245546	24.6635	24.6635	0.57
실시예 1-42	50	75	0.50	-36.2108	158.793	158.793	0.18
실시예 1-43	75	75	0.50	-143.936	461.295	461.295	0.09
실시예 1-44	100	75	0.50	-262.514	825.693	825.693	0.07
실시예 1-45	125	75	0.50	-359.163	1140.66	1140.66	0.06
실시예 1-46	150	75	0.50	-357.154	1284.65	1284.65	0.07
실시예 1-47	175	75	0.50	-436.247	1330.04	1330.04	0.07
실시예 1-48	200	75	0.50	-399.246	1214.5	1214.5	0.09
실시예 1-49	25	90	0.00	16.0777	-44.0767	44.0767	0.00
실시예 1-50	50	90	0.00	28.9884	-64.2371	64.2371	0.00
실시예 1-51	75	90	0.00	52.7822	-126.687	126.687	0.00
실시예 1-52	100	90	0.00	60.1336	-105.996	105.996	0.00
실시예 1-53	125	90	0.00	60.7256	-132.183	132.183	0.00

실시예 1-54	150	90	0.00	44.4219	-102.583	102.583	0.00
실시예 1-55	175	90	0.00	54.9442	-120.422	120.422	0.00
실시예 1-56	200	90	0.00	28.7288	-86.9	86.9	0.00
실시예 1-57	25	105	0.50	34.9145	-105.617	105.617	0.13
실시예 1-58	50	105	0.50	74.5349	-224.161	224.161	0.13
실시예 1-59	75	105	0.50	231.221	-719.515	719.515	0.06
실시예 1-60	100	105	0.50	381.372	-1127.94	1127.94	0.05
실시예 1-61	125	105	0.50	493.191	-1466.55	1466.55	0.05
실시예 1-62	150	105	0.50	472.662	-1430.01	1430.01	0.06
실시예 1-63	175	105	0.50	479.217	-1467.72	1467.72	0.07
실시예 1-64	200	105	0.50	440.318	-1416.95	1416.95	0.08
실시예 1-65	25	120	0.87	44.0728	-147.612	147.612	0.17
실시예 1-66	50	120	0.87	115.376	-398.886	398.886	0.12
실시예 1-67	75	120	0.87	348.892	-1100.23	1100.23	0.07
실시예 1-68	100	120	0.87	570.329	-1844.23	1844.23	0.05
실시예 1-69	125	120	0.87	803.536	-2343.33	2343.33	0.05
실시예 1-70	150	120	0.87	754.928	-2261.11	2261.11	0.06
실시예 1-71	175	120	0.87	899.43	-2568.77	2568.77	0.07
실시예 1-72	200	120	0.87	905.293	-2470.57	2470.57	0.08
실시예 1-73	25	135	1.00	51.5963	-186.348	186.348	0.15
실시예 1-74	50	135	1.00	165.941	-582.582	582.582	0.10
실시예 1-75	75	135	1.00	414.199	-1300.25	1300.25	0.07
실시예 1-76	100	135	1.00	680.842	-2144.71	2144.71	0.05
실시예 1-77	125	135	1.00	805.463	-2502.3	2502.3	0.06
실시예 1-78	150	135	1.00	882.054	-2601.23	2601.23	0.07
실시예 1-79	175	135	1.00	1071.95	-3049.28	3049.28	0.06
실시예 1-80	200	135	1.00	958.416	-2714.1	2714.1	0.08
실시예 1-81	25	150	0.87	48.8084	-159.532	159.532	0.15
실시예 1-82	50	150	0.87	154.376	-515.826	515.826	0.09
실시예 1-83	75	150	0.87	375.085	-1174.04	1174.04	0.06
실시예 1-84	100	150	0.87	599.926	-1900.42	1900.42	0.05
실시예 1-85	125	150	0.87	757.317	-2261.12	2261.12	0.05
실시예 1-86	150	150	0.87	719.947	-2231.19	2231.19	0.07
실시예 1-87	175	150	0.87	1072.8	-2985.31	2985.31	0.06
실시예 1-88	200	150	0.87	999.777	-2777.72	2777.72	0.07
실시예 1-89	25	165	0.50	37.7221	-117.342	117.342	0.12
실시예 1-90	50	165	0.50	96.7212	-317.234	317.234	0.09
실시예 1-91	75	165	0.50	241.131	-748.105	748.105	0.06
실시예 1-92	100	165	0.50	370.313	-1163.1	1163.1	0.05
실시예 1-93	125	165	0.50	530.478	-1494.5	1494.5	0.05
실시예 1-94	150	165	0.50	470.297	-1417.91	1417.91	0.06
실시예 1-95	175	165	0.50	708.259	-1794.61	1794.61	0.06
실시예 1-96	200	165	0.50	471.786	-1363.09	1363.09	0.08
(A*B*C)/Pmax의 최대값							0.98
(A*B*C)/Pmax의 최소값							0.00
C>0인 경우, (A*B*C)/Pmax의 최소값							0.05

[0138] **실시예 2: 구형의 코어-쉘 나노 입자 (2)를 포함하는 카이랄 나노 구조체**

[0139] 은(Ag)을 포함하는 코어(Core) 및 산화철(Fe_3O_4)을 포함하는 쉘(Shell)을 구비한 구형의 코어-쉘 나노 입자를 준비하였다. 상기 코어의 평균 직경은 50.2(±12.2)nm이고, 상기 쉘의 평균 두께는 56.3(±7.4)nm이다. 상기 나노 입자를 하기 표 2와 같이 각각의 농도가 되도록 탈이온수 용매에 분산시켜 비카이랄성 나노 입자 분산체를 제조하였다. 2개의 네오디뮴(neodymium) 자석(50 x 10 x 2 mm, 0.2T)을 준비하고, 도 5에 도시된 바와 같이, 동일한 자화 방향(y축 방향)으로 서로 3cm의 간격으로 대향 배치하였다. 각각의 농도의 상기 비카이랄성 나노 입자 분산체를 도 7에 도시된 바와 같이 상기 2개의 자석 사이의 중앙에 배치하였다. 상기 2개의 자석을 y축을 회전축으로 하여 동일한 각도 크기만큼 회전시키되, 하나의 자석은 시계 방향으로 회전시키고, 다른 하나의 자

석은 반시계 방향으로 회전시켰다. 각각의 자석의 장축이 z축과 이루는 각도의 크기, 즉, 회전각(Θ)의 크기가 하기 표 2에 기재된 바와 같도록 회전시켰다. 이로써 실시예 2의 카이랄 나노 구조체를 제조하였다.

표 2

[0140]

	농도(B) [㎍/mL]	Θ [°]	τ 상대비(C) (|sin2Θ|) [Θ=degree]	CD 스펙트럼 [mdeg]			(A*B*C)/Pmax (A=50.2/56.3)
				@550nm부근	@630nm부근	Pmax	
실시예 2-1	25	0	0.00	12.9887	-33.9227	33.9227	0.00
실시예 2-2	50	0	0.00	24.0005	-69.5656	69.5656	0.00
실시예 2-3	75	0	0.00	37.3188	-90.1883	90.1883	0.00
실시예 2-4	100	0	0.00	44.8066	-147.669	147.669	0.00
실시예 2-5	125	0	0.00	69.7232	-177.941	177.941	0.00
실시예 2-6	150	0	0.00	73.5675	-232.129	232.129	0.00
실시예 2-7	175	0	0.00	56.4886	-211.105	211.105	0.00
실시예 2-8	200	0	0.00	80.6551	-195.476	195.476	0.00
실시예 2-9	25	15	0.50	2.04169	19.0562	19.0562	0.58
실시예 2-10	50	15	0.50	-13.2609	133.278	133.278	0.17
실시예 2-11	75	15	0.50	-41.9411	319.499	319.499	0.10
실시예 2-12	100	15	0.50	-71.6352	545.872	545.872	0.08
실시예 2-13	125	15	0.50	-115.016	751.164	751.164	0.07
실시예 2-14	150	15	0.50	-169.939	982.81	982.81	0.07
실시예 2-15	175	15	0.50	-252.55	1177.08	1177.08	0.07
실시예 2-16	200	15	0.50	-286.668	1196.82	1196.82	0.07
실시예 2-17	25	30	0.87	-4.94052	55.0064	55.0064	0.35
실시예 2-18	50	30	0.87	-21.8273	221.683	221.683	0.17
실시예 2-19	75	30	0.87	-66.9534	527.974	527.974	0.11
실시예 2-20	100	30	0.87	-140.085	898.497	898.497	0.09
실시예 2-21	125	30	0.87	-201.536	1187.15	1187.15	0.08
실시예 2-22	150	30	0.87	-285.584	1619.41	1619.41	0.07
실시예 2-23	175	30	0.87	-433.604	2225.84	2225.84	0.06
실시예 2-24	200	30	0.87	-486.3	2106.9	2106.9	0.07
실시예 2-25	25	45	1.00	-0.08542	55.9676	55.9676	0.40
실시예 2-26	50	45	1.00	-21.1961	212.854	212.854	0.21
실시예 2-27	75	45	1.00	-74.4058	589.566	589.566	0.11
실시예 2-28	100	45	1.00	-155.121	1046.21	1046.21	0.09
실시예 2-29	125	45	1.00	-210.311	1297.41	1297.41	0.09
실시예 2-30	150	45	1.00	-345.387	1916.35	1916.35	0.07
실시예 2-31	175	45	1.00	-497.619	2605.74	2605.74	0.06
실시예 2-32	200	45	1.00	-605.706	2554.89	2554.89	0.07
실시예 2-33	25	60	0.87	0.161611	46.2883	46.2883	0.42
실시예 2-34	50	60	0.87	-14.1837	166.475	166.475	0.23
실시예 2-35	75	60	0.87	-53.0223	451.453	451.453	0.13
실시예 2-36	100	60	0.87	-108.765	793.788	793.788	0.10
실시예 2-37	125	60	0.87	-149.601	967.583	967.583	0.10
실시예 2-38	150	60	0.87	-270.391	1566.68	1566.68	0.07
실시예 2-39	175	60	0.87	-384.997	1989.45	1989.45	0.07
실시예 2-40	200	60	0.87	-505.936	2198.12	2198.12	0.07
실시예 2-41	25	75	0.50	2.59645	15.2231	15.2231	0.73
실시예 2-42	50	75	0.50	-0.765858	83.6581	83.6581	0.27
실시예 2-43	75	75	0.50	-20.7056	211.067	211.067	0.16
실시예 2-44	100	75	0.50	-46.9466	413.847	413.847	0.11
실시예 2-45	125	75	0.50	-61.347	427.492	427.492	0.13
실시예 2-46	150	75	0.50	-146.882	838.844	838.844	0.08
실시예 2-47	175	75	0.50	-183.78	916.749	916.749	0.08
실시예 2-48	200	75	0.50	-256.047	1226.8	1226.8	0.07
실시예 2-49	25	90	0.00	9.84896	-18.8676	18.8676	0.00
실시예 2-50	50	90	0.00	15.4456	-28.7567	28.7567	0.00

실시예 2-51	75	90	0.00	23.4234	-56.0573	56.0573	0.00
실시예 2-52	100	90	0.00	26.461	-54.7599	54.7599	0.00
실시예 2-53	125	90	0.00	33.0412	-52.6661	52.6661	0.00
실시예 2-54	150	90	0.00	41.7176	-77.1626	77.1626	0.00
실시예 2-55	175	90	0.00	34.1409	-58.5267	58.5267	0.00
실시예 2-56	200	90	0.00	55.8616	-71.8682	71.8682	0.00
실시예 2-57	25	105	0.50	12.1705	-45.612	45.612	0.24
실시예 2-58	50	105	0.50	27.4317	-107.644	107.644	0.21
실시예 2-59	75	105	0.50	58.5299	-267.077	267.077	0.12
실시예 2-60	100	105	0.50	94.0003	-458.404	458.404	0.10
실시예 2-61	125	105	0.50	103.088	-503.227	503.227	0.11
실시예 2-62	150	105	0.50	194.818	-833.629	833.629	0.08
실시예 2-63	175	105	0.50	241.432	-981.791	981.791	0.08
실시예 2-64	200	105	0.50	350.582	-1289.48	1289.48	0.07
실시예 2-65	25	120	0.87	10.1605	-57.3501	57.3501	0.34
실시예 2-66	50	120	0.87	29.1265	-136.643	136.643	0.28
실시예 2-67	75	120	0.87	74.073	-357.38	357.38	0.16
실시예 2-68	100	120	0.87	133.365	-661.947	661.947	0.12
실시예 2-69	125	120	0.87	136.452	-655.09	655.09	0.15
실시예 2-70	150	120	0.87	297.667	-1342.15	1342.15	0.09
실시예 2-71	175	120	0.87	351.385	-1529.56	1529.56	0.09
실시예 2-72	200	120	0.87	486.754	-1796	1796	0.09
실시예 2-73	25	135	1.00	12.016	-51.161	51.161	0.43
실시예 2-74	50	135	1.00	30.7176	-136.684	136.684	0.33
실시예 2-75	75	135	1.00	74.6721	-368.175	368.175	0.18
실시예 2-76	100	135	1.00	142.527	-695.904	695.904	0.13
실시예 2-77	125	135	1.00	233.812	-1073.28	1073.28	0.10
실시예 2-78	150	135	1.00	309.784	-1423.48	1423.48	0.09
실시예 2-79	175	135	1.00	403.784	-1806.37	1806.37	0.09
실시예 2-80	200	135	1.00	545.072	-1995.66	1995.66	0.09
실시예 2-81	25	150	0.87	9.68342	-46.9737	46.9737	0.41
실시예 2-82	50	150	0.87	26.3462	-110.558	110.558	0.35
실시예 2-83	75	150	0.87	63.2917	-275.067	275.067	0.21
실시예 2-84	100	150	0.87	121.576	-502.891	502.891	0.15
실시예 2-85	125	150	0.87	175.334	-793.066	793.066	0.12
실시예 2-86	150	150	0.87	274.307	-1201.31	1201.31	0.10
실시예 2-87	175	150	0.87	371.011	-1444.21	1444.21	0.09
실시예 2-88	200	150	0.87	433.043	-1554.62	1554.62	0.10
실시예 2-89	25	165	0.50	9.81558	-33.4495	33.4495	0.33
실시예 2-90	50	165	0.50	17.268	-66.056	66.056	0.34
실시예 2-91	75	165	0.50	34.6347	-153.61	153.61	0.22
실시예 2-92	100	165	0.50	64.7832	-273.244	273.244	0.16
실시예 2-93	125	165	0.50	125.247	-509.581	509.581	0.11
실시예 2-94	150	165	0.50	171.555	-721.413	721.413	0.09
실시예 2-95	175	165	0.50	228.764	-870.148	870.148	0.09
실시예 2-96	200	165	0.50	268.001	-915.525	915.525	0.10
(A*B*C)/Pmax의 최대값							0.73
(A*B*C)/Pmax의 최소값							0.00
C>0인 경우, (A*B*C)/Pmax의 최소값							0.06

[0141] **실시예 3: 막대형의 코어-쉘 나노 입자 (1)을 포함하는 카이랄 나노 구조체**

[0142] 금(Au)을 포함하는 코어(Core) 및 산화철(Fe_3O_4)을 포함하는 쉘(Shell)을 구비한 막대형의 코어-쉘 나노 입자를 준비하였다. 상기 코어의 평균 길이(length)는 2454(±624)nm이고, 상기 코어의 평균 폭(width)은 78(±16)nm이며, 상기 쉘의 평균 두께는 107(±12)nm이다. 상기 나노 입자를 하기 표 3과 같이 각각의 농도가 되도록 탈이온수 용매에 분산시켜 비카이랄성 나노 입자 분산체를 제조하였다. 2개의 네오디뮴(neodymium) 자석(50 x 10 x 2 ㎜, 0.2T)을 준비하고, 도 5에 도시된 바와 같이, 동일한 자화 방향(y축 방향)으로 서로 3㎝의 간격으로 대

향 배치하였다. 각각의 농도의 상기 비카이랄성 나노 입자 분산체를 도 7에 도시된 바와 같이 상기 2개의 자석 사이의 중앙에 배치하였다. 상기 2개의 자석을 y축을 회전축으로 하여 동일한 각도 크기만큼 회전시키되, 하나의 자석은 시계 방향으로 회전시키고, 다른 하나의 자석은 반시계 방향으로 회전시켰다. 각각의 자석의 장축이 z축과 이루는 각도의 크기, 즉, 회전각(Θ)의 크기가 하기 표 3에 기재된 바와 같도록 회전시켰다. 이로써 실시예 3의 카이랄 나노 구조체를 제조하였다.

표 3

[0143]

	농도(B) [㎍/mL]	Θ [°]	τ 상대비(C) (|sin2Θ|) [Θ=degree]	CD 스펙트럼 [mdeg]			(A*B*C)/Pmax (A=78/107)
				@560nm부근	@830nm부근	Pmax	
실시예 3-1	25	0	0.00	-7.53815	9.50373	9.50373	0.00
실시예 3-2	50	0	0.00	-11.5166	11.6856	11.6856	0.00
실시예 3-3	75	0	0.00	-19.4045	13.333	19.4045	0.00
실시예 3-4	100	0	0.00	-30.2261	13.0284	30.2261	0.00
실시예 3-5	125	0	0.00	-27.3712	29.2251	29.2251	0.00
실시예 3-6	150	0	0.00	-22.7016	38.9029	38.9029	0.00
실시예 3-7	175	0	0.00	-19.079	34.1915	34.1915	0.00
실시예 3-8	200	0	0.00	-26.3219	35.9554	35.9554	0.00
실시예 3-9	25	15	0.50	-7.91551	7.68037	7.91551	1.15
실시예 3-10	50	15	0.50	-15.8674	-6.02037	15.8674	1.15
실시예 3-11	75	15	0.50	-27.9142	-19.1392	27.9142	0.98
실시예 3-12	100	15	0.50	-39.4368	-32.1212	39.4368	0.93
실시예 3-13	125	15	0.50	-51.6815	-47.6679	51.6815	0.88
실시예 3-14	150	15	0.50	-57.5326	-65.4931	65.4931	0.84
실시예 3-15	175	15	0.50	-70.7813	-100.152	100.152	0.64
실시예 3-16	200	15	0.50	-65.7547	-115.026	115.026	0.63
실시예 3-17	25	30	0.87	-9.4047	0.259422	9.4047	1.68
실시예 3-18	50	30	0.87	-20.5545	-14.4674	20.5545	1.54
실시예 3-19	75	30	0.87	-35.1782	-35.3682	35.3682	1.34
실시예 3-20	100	30	0.87	-54.9278	-64.9022	64.9022	0.97
실시예 3-21	125	30	0.87	-70.683	-103.213	103.213	0.77
실시예 3-22	150	30	0.87	-80.7226	-139.911	139.911	0.68
실시예 3-23	175	30	0.87	-84.4237	-184.024	184.024	0.60
실시예 3-24	200	30	0.87	-105.777	-236.778	236.778	0.53
실시예 3-25	25	45	1.00	-8.93725	1.29636	8.93725	2.04
실시예 3-26	50	45	1.00	-23.0299	-13.2333	23.0299	1.58
실시예 3-27	75	45	1.00	-37.3763	-40.461	40.461	1.35
실시예 3-28	100	45	1.00	-59.3599	-80.2965	80.2965	0.91
실시예 3-29	125	45	1.00	-74.4613	-114.102	114.102	0.80
실시예 3-30	150	45	1.00	-93.3701	-167.345	167.345	0.65
실시예 3-31	175	45	1.00	-93.1886	-216.908	216.908	0.59
실시예 3-32	200	45	1.00	-109.779	-263.285	263.285	0.55
실시예 3-33	25	60	0.87	-6.4495	2.78366	6.4495	2.45
실시예 3-34	50	60	0.87	-14.6077	-12.3136	14.6077	2.16
실시예 3-35	75	60	0.87	-29.8128	-33.7258	33.7258	1.41
실시예 3-36	100	60	0.87	-49.5093	-60.2401	60.2401	1.05
실시예 3-37	125	60	0.87	-63.1746	-96.4258	96.4258	0.82
실시예 3-38	150	60	0.87	-82.6834	-146.269	146.269	0.65
실시예 3-39	175	60	0.87	-76.156	-176.352	176.352	0.63
실시예 3-40	200	60	0.87	-74.7141	-206.697	206.697	0.61
실시예 3-41	25	75	0.50	-6.55073	5.32714	6.55073	1.39
실시예 3-42	50	75	0.50	-18.8469	-5.32564	18.8469	0.97
실시예 3-43	75	75	0.50	-21.2838	-15.4706	21.2838	1.29
실시예 3-44	100	75	0.50	-33.7699	-28.8007	33.7699	1.08
실시예 3-45	125	75	0.50	-36.9541	-46.3082	46.3082	0.99
실시예 3-46	150	75	0.50	-48.4698	-71.9071	71.9071	0.76
실시예 3-47	175	75	0.50	-54.8074	-93.9875	93.9875	0.68

실시예 3-48	200	75	0.50	-60.9551	-114.5	114.5	0.64
실시예 3-49	25	90	0.00	-8.21705	5.6958	8.21705	0.00
실시예 3-50	50	90	0.00	-14.5284	4.16412	14.5284	0.00
실시예 3-51	75	90	0.00	-19.2898	4.08091	19.2898	0.00
실시예 3-52	100	90	0.00	-18.027	12.6545	18.027	0.00
실시예 3-53	125	90	0.00	-21.2254	24.8205	24.8205	0.00
실시예 3-54	150	90	0.00	-15.3822	22.9	22.9	0.00
실시예 3-55	175	90	0.00	-24.9115	20.5429	24.9115	0.00
실시예 3-56	200	90	0.00	-23.7274	23.832	23.832	0.00
실시예 3-57	25	105	0.50	-2.01906	8.26742	8.26742	1.10
실시예 3-58	50	105	0.50	-4.33768	14.8651	14.8651	1.23
실시예 3-59	75	105	0.50	-9.37984	28.0946	28.0946	0.97
실시예 3-60	100	105	0.50	-10.9829	52.7525	52.7525	0.69
실시예 3-61	125	105	0.50	-5.55637	77.838	77.838	0.59
실시예 3-62	150	105	0.50	2.34774	108.448	108.448	0.50
실시예 3-63	175	105	0.50	-3.44082	129.594	129.594	0.49
실시예 3-64	200	105	0.50	-1.00455	149.064	149.064	0.49
실시예 3-65	25	120	0.87	-6.74832	8.49235	8.49235	1.86
실시예 3-66	50	120	0.87	-3.26899	19.614	19.614	1.61
실시예 3-67	75	120	0.87	-1.63751	42.1399	42.1399	1.13
실시예 3-68	100	120	0.87	8.42136	87.5046	87.5046	0.72
실시예 3-69	125	120	0.87	17.7691	125.622	125.622	0.63
실시예 3-70	150	120	0.87	29.9982	180.58	180.58	0.53
실시예 3-71	175	120	0.87	18.6498	204.748	204.748	0.54
실시예 3-72	200	120	0.87	42.3768	244.464	244.464	0.52
실시예 3-73	25	135	1.00	-4.69228	8.02431	8.02431	2.27
실시예 3-74	50	135	1.00	-7.01615	15.3894	15.3894	2.37
실시예 3-75	75	135	1.00	1.10383	51.6208	51.6208	1.06
실시예 3-76	100	135	1.00	9.99771	90.5506	90.5506	0.81
실시예 3-77	125	135	1.00	19.9972	135.318	135.318	0.67
실시예 3-78	150	135	1.00	26.0874	195.643	195.643	0.56
실시예 3-79	175	135	1.00	39.5219	234.553	234.553	0.54
실시예 3-80	200	135	1.00	38.8694	293.858	293.858	0.50
실시예 3-81	25	150	0.87	-6.71394	6.86092	6.86092	2.30
실시예 3-82	50	150	0.87	-4.00949	12.8799	12.8799	2.45
실시예 3-83	75	150	0.87	-2.05087	42.0491	42.0491	1.13
실시예 3-84	100	150	0.87	2.5425	78.2846	78.2846	0.81
실시예 3-85	125	150	0.87	17.0064	134.022	134.022	0.59
실시예 3-86	150	150	0.87	15.4648	176.807	176.807	0.54
실시예 3-87	175	150	0.87	39.1618	219.53	219.53	0.50
실시예 3-88	200	150	0.87	35.0033	270.308	270.308	0.47
실시예 3-89	25	165	0.50	-2.72344	3.83548	3.83548	2.38
실시예 3-90	50	165	0.50	-6.24092	6.95336	6.95336	2.62
실시예 3-91	75	165	0.50	-0.576269	24.7738	24.7738	1.10
실시예 3-92	100	165	0.50	-6.19691	59.9633	59.9633	0.61
실시예 3-93	125	165	0.50	2.06396	91.3203	91.3203	0.50
실시예 3-94	150	165	0.50	9.68981	99.0606	99.0606	0.55
실시예 3-95	175	165	0.50	7.16727	136.52	136.52	0.47
실시예 3-96	200	165	0.50	8.96223	157.629	157.629	0.46
(A*B*C)/Pmax의 최대값							2.62
(A*B*C)/Pmax의 최소값							0.00
C>0인 경우, (A*B*C)/Pmax의 최소값							0.46

[0144] **실시예 4: 구형의 하프-쉘(half-shell) 나노입자를 포함하는 카이랄 구조체**

[0145] 산화철 (Fe_3O_4)을 포함하는 코어(Core) 및 금(Au)을 포함하는 쉘(shell)을 구비하되 하프-쉘 (Half-shell)을 포함하는 구형의 하프-쉘 나노 입자를 준비하였다. 상기 코어의 평균 직경은 204.6(±23.6)nm이고, 상기 쉘의 평

균 두께는 22.8(±1.8)nm 이다. 상기 나노 입자를 하기 표 4와 같이 각각의 농도가 되도록 탈이온수 용매에 분산시켜 비카이랄성 나노 입자 분산체를 제조하였다. 2개의 네오디뮴(neodymium) 자석(50 x 10 x 2 mm, 0.2T)을 준비하고, 도 5에 도시된 바와 같이, 동일한 자화 방향(y축 방향)으로 서로 3cm의 간격으로 대향 배치하였다. 각각의 농도의 상기 비카이랄성 나노 입자 분산체를 도 7에 도시된 바와 같이 상기 2개의 자석 사이의 중앙에 배치하였다. 상기 2개의 자석을 y축을 회전축으로 하여 동일한 각도 크기만큼 회전시키되, 하나의 자석은 시계 방향으로 회전시키고, 다른 하나의 자석은 반시계 방향으로 회전시켰다. 각각의 자석의 장축이 z축과 이루는 각도의 크기, 즉, 회전각(Θ)의 크기가 하기 표 4에 기재된 바와 같도록 회전시켰다. 이로써 실시예 4의 카이랄 나노 구조체를 제조하였다.

표 4

[0146]

	농도(B) [㎍/mL]	Θ [°]	τ 상대비(C) (|sin2Θ|) [Θ=degree]	CD 스펙트럼 [mdeg]			(A*B*C)/Pmax (A=204.6/22.8)
				@450nm부근	@700nm부근	Pmax	
실시예 4-1	25	0	0.00	-13.7293	-9.37537	13.7293	0.00
실시예 4-2	50	0	0.00	-26.8003	-19.6424	26.8003	0.00
실시예 4-3	75	0	0.00	-40.3599	-27.4027	40.3599	0.00
실시예 4-4	100	0	0.00	-61.3673	-49.9827	61.3673	0.00
실시예 4-5	125	0	0.00	-64.7302	-63.3074	64.7302	0.00
실시예 4-6	150	0	0.00	-82.6592	-71.9333	82.6592	0.00
실시예 4-7	175	0	0.00	-78.9345	-97.0621	97.0621	0.00
실시예 4-8	200	0	0.00	-82.7787	-80.4553	82.7787	0.00
실시예 4-9	25	15	0.50	-11.437	-6.12388	11.437	9.80
실시예 4-10	50	15	0.50	-0.387778	-28.7961	28.7961	7.79
실시예 4-11	75	15	0.50	8.87803	-38.657	38.657	8.70
실시예 4-12	100	15	0.50	14.8943	-64.7364	64.7364	6.93
실시예 4-13	125	15	0.50	27.2106	-113.701	113.701	4.93
실시예 4-14	150	15	0.50	32.7927	-126.945	126.945	5.30
실시예 4-15	175	15	0.50	41.7736	-163.453	163.453	4.80
실시예 4-16	200	15	0.50	81.4048	-197.244	197.244	4.55
실시예 4-17	25	30	0.87	-11.437	-6.12388	11.437	16.98
실시예 4-18	50	30	0.87	9.05278	-30.7624	30.7624	12.63
실시예 4-19	75	30	0.87	39.1174	-56.1303	56.1303	10.38
실시예 4-20	100	30	0.87	79.4493	-82.8562	82.8562	9.38
실시예 4-21	125	30	0.87	97.5773	-137.605	137.605	7.06
실시예 4-22	150	30	0.87	129.521	-176.785	176.785	6.59
실시예 4-23	175	30	0.87	173.356	-212.988	212.988	6.38
실시예 4-24	200	30	0.87	179.851	-248.184	248.184	6.26
실시예 4-25	25	45	1.00	-3.60336	-13.2538	13.2538	16.92
실시예 4-26	50	45	1.00	20.658	-37.4083	37.4083	11.99
실시예 4-27	75	45	1.00	50.3629	-60.2882	60.2882	11.16
실시예 4-28	100	45	1.00	88.9416	-95.797	95.797	9.36
실시예 4-29	125	45	1.00	127.573	-159.375	159.375	7.04
실시예 4-30	150	45	1.00	148.764	-202.892	202.892	6.63
실시예 4-31	175	45	1.00	164.48	-244.317	244.317	6.43
실시예 4-32	200	45	1.00	177.76	-275.326	275.326	6.52
실시예 4-33	25	60	0.87	-8.39113	-13.7004	13.7004	14.18
실시예 4-34	50	60	0.87	12.5795	-38.8445	38.8445	10.00
실시예 4-35	75	60	0.87	46.6445	-54.6695	54.6695	10.66
실시예 4-36	100	60	0.87	78.3133	-98.3385	98.3385	7.90
실시예 4-37	125	60	0.87	100.229	-136.854	136.854	7.10
실시예 4-38	150	60	0.87	136	-196.026	196.026	5.94
실시예 4-39	175	60	0.87	152.98	-239.44	239.44	5.68
실시예 4-40	200	60	0.87	174.774	-258.659	258.659	6.01
실시예 4-41	25	75	0.50	-13.1136	-11.9487	13.1136	8.55
실시예 4-42	50	75	0.50	-2.90439	-25.3031	25.3031	8.86
실시예 4-43	75	75	0.50	14.0841	-46.955	46.955	7.16
실시예 4-44	100	75	0.50	25.5531	-65.2249	65.2249	6.88

실시예 4-45	125	75	0.50	32.7731	-110.369	110.369	5.08
실시예 4-46	150	75	0.50	38.7656	-150.619	150.619	4.47
실시예 4-47	175	75	0.50	68.8032	-167.151	167.151	4.70
실시예 4-48	200	75	0.50	80.1045	-181.408	181.408	4.94
실시예 4-49	25	90	0.00	-13.6779	-11.4838	13.6779	0.00
실시예 4-50	50	90	0.00	-31.6212	-20.6161	31.6212	0.00
실시예 4-51	75	90	0.00	-41.8544	-23.6395	41.8544	0.00
실시예 4-52	100	90	0.00	-41.9537	-31.529	41.9537	0.00
실시예 4-53	125	90	0.00	-89.1371	-56.5824	89.1371	0.00
실시예 4-54	150	90	0.00	-74.274	-77.7345	77.7345	0.00
실시예 4-55	175	90	0.00	-133.742	-62.0819	133.742	0.00
실시예 4-56	200	90	0.00	-87.9446	-50.7764	87.9446	0.00
실시예 4-57	25	105	0.50	-24.9615	-2.0642	24.9615	4.49
실시예 4-58	50	105	0.50	-53.6922	-7.2385	53.6922	4.18
실시예 4-59	75	105	0.50	-81.738	-9.26416	81.738	4.12
실시예 4-60	100	105	0.50	-129.965	0.163201	129.965	3.45
실시예 4-61	125	105	0.50	-191.557	5.12119	191.557	2.93
실시예 4-62	150	105	0.50	-229.336	-11.7384	229.336	2.93
실시예 4-63	175	105	0.50	-239.939	22.9567	239.939	3.27
실시예 4-64	200	105	0.50	-241.141	52.4878	241.141	3.72
실시예 4-65	25	120	0.87	-30.2692	-0.84840	30.2692	6.42
실시예 4-66	50	120	0.87	-76.1418	-0.62602	76.1418	5.10
실시예 4-67	75	120	0.87	-128.125	3.04504	128.125	4.55
실시예 4-68	100	120	0.87	-163.733	16.9155	163.733	4.74
실시예 4-69	125	120	0.87	-244.645	36.2708	244.645	3.97
실시예 4-70	150	120	0.87	-328.532	47.1086	328.532	3.55
실시예 4-71	175	120	0.87	-336.89	100.448	336.89	4.04
실시예 4-72	200	120	0.87	-346.413	119.458	346.413	4.48
실시예 4-73	25	135	1.00	-30.1818	-0.43374	30.1818	7.43
실시예 4-74	50	135	1.00	-77.7811	0.402123	77.7811	5.77
실시예 4-75	75	135	1.00	-138.074	6.51752	138.074	4.87
실시예 4-76	100	135	1.00	-208.923	25.7691	208.923	4.29
실시예 4-77	125	135	1.00	-276.945	39.2789	276.945	4.05
실시예 4-78	150	135	1.00	-331.597	56.2207	331.597	4.06
실시예 4-79	175	135	1.00	-351.074	127.933	351.074	4.47
실시예 4-80	200	135	1.00	-466.984	168.866	466.984	3.84
실시예 4-81	25	150	0.87	-28.4136	-2.24077	28.4136	6.83
실시예 4-82	50	150	0.87	-76.1401	-0.08146	76.1401	5.10
실시예 4-83	75	150	0.87	-117.67	2.83803	117.67	4.95
실시예 4-84	100	150	0.87	-179.737	12.7147	179.737	4.32
실시예 4-85	125	150	0.87	-233.904	31.5423	233.904	4.15
실시예 4-86	150	150	0.87	-311.735	39.6801	311.735	3.74
실시예 4-87	175	150	0.87	-323.65	94.0516	323.65	4.20
실시예 4-88	200	150	0.87	-326.197	120.249	326.197	4.76
실시예 4-89	25	165	0.50	-25.1369	-5.97778	25.1369	4.46
실시예 4-90	50	165	0.50	-54.1712	-8.91204	54.1712	4.14
실시예 4-91	75	165	0.50	-85.2771	-16.5045	85.2771	3.94
실시예 4-92	100	165	0.50	-112.405	-7.10573	112.405	3.99
실시예 4-93	125	165	0.50	-172.165	-9.25674	172.165	3.26
실시예 4-94	150	165	0.50	-204.38	-15.8375	204.38	3.29
실시예 4-95	175	165	0.50	-226.903	14.977	226.903	3.46
실시예 4-96	200	165	0.50	-262.556	26.2862	262.556	3.42
(A*B*C)/Pmax의 최대값							16.98
(A*B*C)/Pmax의 최소값							0.00
C>0인 경우, (A*B*C)/Pmax의 최소값							2.93

[0147] **<측정예>**

[0148] **측정예 1: 원편광이색성분광 스펙트럼(Circular Dichroism Spectroscopy, CD)**

[0149] 상기 실시예 1 내지 4에서 제조된 각각의 카이랄 나노 구조체에 대하여, 원편광이색성분광기(JASCO, J-1500)를 이용하여 500nm/min의 스캔 속도, 0.5nm의 데이터 간격, 및 200nm 내지 900nm의 파장 범위 조건 하에서 스펙트럼을 얻었다.

[0150] 상기 실시예 1 내지 4의 카이랄 나노 구조체에 대한 스펙트럼은 각각 도 8 내지 11에 도시된 바와 같다. 도 8 내지 11을 참조할 때, 상기 실시예 1 내지 4의 카이랄 나노 구조체는 CD 스펙트럼 상에서 각각 2개의 피크를 나타내는 것을 확인할 수 있다. 이러한 2개의 피크는 각각 나노 입자의 코어(Core) 및 쉘(Shell)로부터 유래된 것이다. 상기 나노 입자의 형태, 농도, 코어(core)와 쉘(Shell)의 성분, 카이랄성 부여를 위한 자성체의 회전각 등이 모두 종합적으로 스펙트럼의 형태에 영향을 끼칠 수 있다. 각 피크의 파장 영역 및 피크값을 표 1 내지 4에 기재하였다.

[0151]

[0152] **측정예 2: 자기장의 카이랄성(τ)**

[0153] 상기 실시예 1 내지 4에 있어서, 상기 2개의 자석의 회전각(Θ)의 크기(°)와 이의 상기 2개의 자석의 회전에 의해 생성되는 나선형 자기장의 카이랄성(τ) 상대비를 sin(2Θ)를 통하여 계산하여 상기 표 1 내지 4에 각각 기재하였다.

[0155] **측정예 3**

[0156] 상기 측정예 1의 스펙트럼에 있어서, 각각의 2개의 피크 중에서 최대 크기를 갖는 피크에 대하여 그 피크값의 절대값(P_{max})을 상기 표 1 내지 4에 기재하였고, 이를 이용하여 상기 식 1의 $(A * B * C)/P_{max}$ 값을 각각 구하여 상기 표 1 내지 4에 기재하였다.

[0158] 상기 측정예 1 내지 3을 참조할 때, 상기 실시예 1 내지 4의 카이랄 나노 구조체는, 상기 식 1의 $(A * B * C)/P_{max}$ 값이 0 내지 20을 만족하는 것을 확인할 수 있었고, 이를 통하여, 자성체 회전 각도에 따라 생성되는 각각의 나선형 자기장에 상응하는 카이랄성을 즉각적이고 빠르게 나타내는 것을 확인할 수 있었다.

[0159] 보다 구체적으로, 상기 실시예 1 내지 2의 카이랄 나노 구조체는 이의 나노 입자가 구형의 코어-쉘 입자를 포함하고, 상기 코어-쉘 입자에 있어서, 상기 쉘이 상기 코어의 표면을 실질적으로 전면 둘러싸는 구조이며, 상기 식 1의 $(A * B * C)/P_{max}$의 값이 약 0.01 내지 약 1.0을 만족하는 것을 확인할 수 있었다.

[0160] 또한, 상기 실시예 3의 카이랄 나노 구조체는 이의 나노 입자가 나노 입자가 막대형의 코어-쉘 입자를 포함하고, 상기 식 1의 $(A * B * C)/P_{max}$의 값은 약 0.3 내지 약 3.0을 만족하는 것을 확인할 수 있었다.

[0161] 또한, 상기 실시예 4의 카이랄 나노 구조체는 이의 나노 입자가 구형의 코어-쉘 입자를 포함하고, 상기 코어-쉘 입자에 있어서, 상기 쉘이 상기 코어의 표면을 일부 둘러싸는 하프-쉘(half-shell) 구조이며, 상기 식 1의 $(A * B * C)/P_{max}$의 값이 약 0.01 내지 약 20을 만족하는 것을 확인할 수 있었다.

[0162] 이와 같이, 상기 카이랄 나노 구조체는 나노 입자 배열 구조체의 구조적 특징에 의해 도출되는 카이랄성을 띠며, 상기 카이랄성은 나선형 자기장 인가라는 상대적으로 단순한 기술적 수단에 의해 실시간으로 부여 및 변조되는 것을 확인할 수 있었다. 상기 카이랄 나노 구조체의 이러한 구조적 카이랄성 및 실시간 자기 조립성은 이를 응용할 수 있는 기술 분야에 있어서 광범위한 활용성을 확보하는 이점을 가질 수 있다.

부호의 설명

[0163] 200: 카이랄 나노 구조체

22: 나노입자

210: 나노 입자 배열 구조체

201: 제1 구조체

202: 제2 구조체

14: 코어

15: 쉘

11: 자성체

12: 자성체

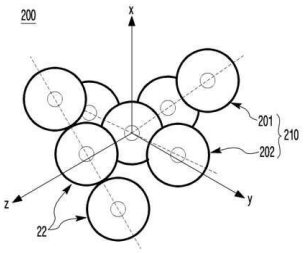
13: 나선형 자기장

L1, L2: 자성체의 장축

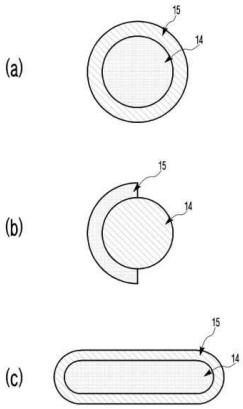
21: 콜로이드 용액

도면

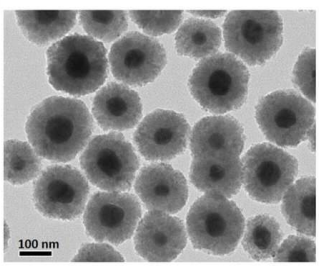
도면1



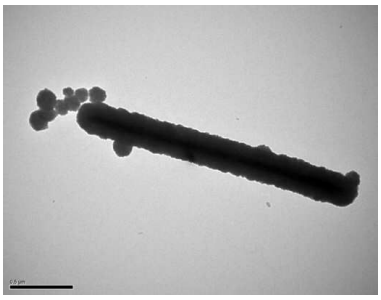
도면2



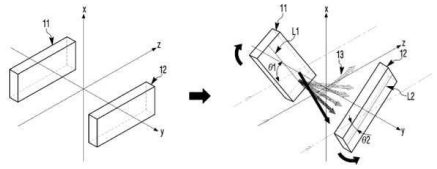
도면3



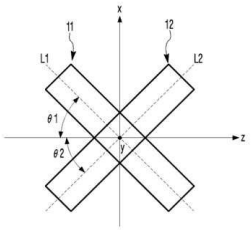
도면4



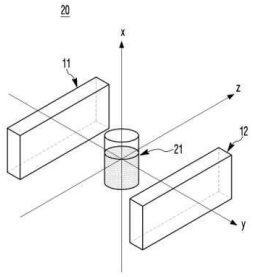
도면5



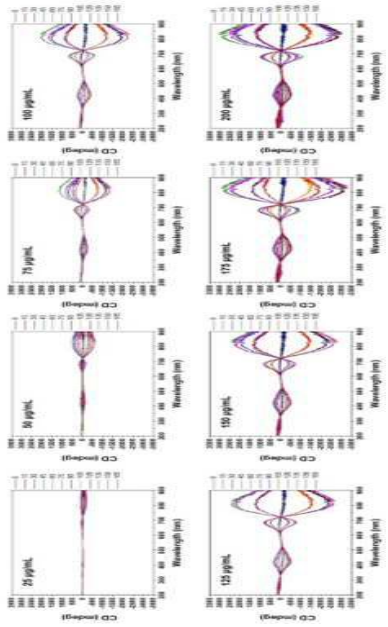
도면6



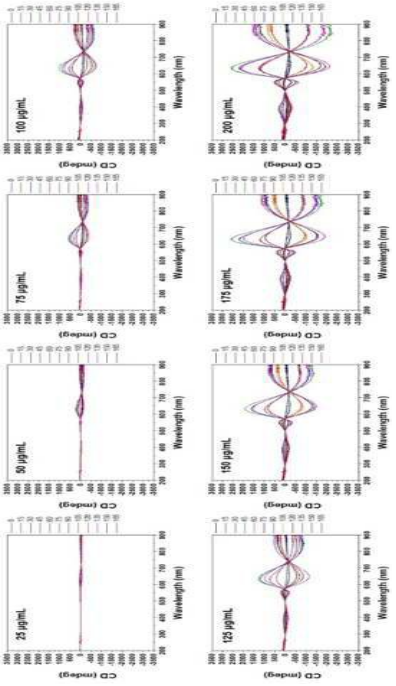
도면7



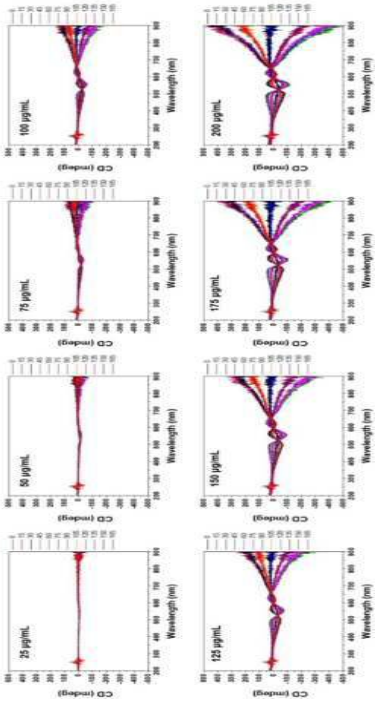
도면8



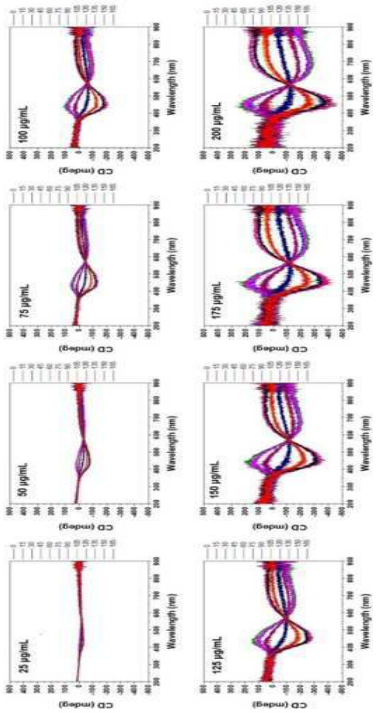
도면9



도면10


100 μg/mL
200 μg/mL
75 μg/mL
175 μg/mL
50 μg/mL
150 μg/mL
25 μg/mL
125 μg/mL
Wavelength (nm)
CD (mdeg)

도면11


100 μg/mL
200 μg/mL
75 μg/mL
175 μg/mL
50 μg/mL
150 μg/mL
25 μg/mL
125 μg/mL
Wavelength (nm)
CD (mdeg)