



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2015년02월23일

(11) 등록번호 10-1494326

(24) 등록일자 2015년02월11일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G01N 21/19 (2006.01) G01N 21/21 (2006.01)

G01N 21/41 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2014-0001821

(22) 출원일자 2014년01월07일

심사청구일자 2014년01월07일

(56) 선행기술조사문헌

김유신. KAIST 석사학위논문. 2011.

박진우 등. The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science. 23(3): 406-409, 2012.03.

KR1020060018344 A

이주현 등. Appl. Chem. Eng. 23(6): 577-582. 2012.12.

(73) 특허권자

고려대학교 산학협력단

서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)

(72) 발명자

박규환

서울특별시 강남구 학동로68길 30 삼성동중앙하이츠빌리지 102-804(삼성동)

유석재

경기 고양시 일산서구 일현로 70, 101동 1704호 (탄현동, 탄현마을1단지아파트)

(74) 대리인

송경근

전체 청구항 수 : 총 6 항

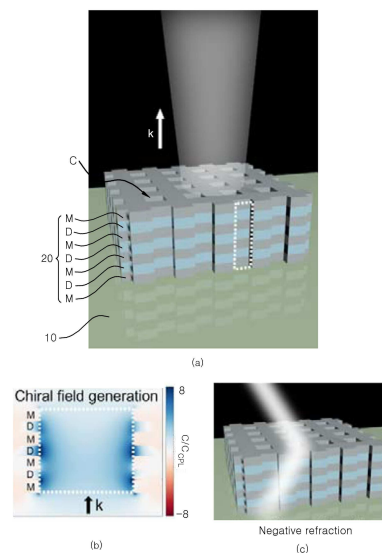
심사관 : 차영란

(54) 발명의 명칭 음굴절 메타 물질을 이용한 원편광 이색성 측정 방법 및 장치

(57) 요약

원편광 이색성 측정 방법과 장치를 제공한다. 본 발명에서는 유효 음굴절률을 가지며 비카이럴(achiral) 구조인 메타 물질을 광학 이성질체 분자 검출에 이용하도록 한다. 본 발명의 방법 및 장치에 따르면, 신호 오염 문제가 없고 나노 구조 전체 범위에서 증강된 카이럴장을 발생시킬 수 있어 극미량의 광학 이성질체 분자 검출이 가능해진다.

대표도 - 도1



특허청구의 범위

청구항 1

시료에서 좌우의 원편광에 대한 광학 흡수도 차이를 측정하되, 비카이럴(achiral) 음굴절 메타 물질을 이용해 상기 광학 흡수도 차이를 증강시키는 것을 특징으로 하는 원편광 이색성 측정 방법.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 메타 물질은 금속과 유전체의 적층으로 이루어져 있고 적층을 수직으로 가로지르는 주기적인 구멍이 있는 이중 적층 어망 구조의 메타 물질인 것을 특징으로 하는 원편광 이색성 측정 방법.

청구항 3

제2항에 있어서, 상기 구멍에 상기 시료를 수용하여 측정하는 것을 특징으로 하는 원편광 이색성 측정 방법.

청구항 4

시료에서 좌우의 원편광에 대한 광학 흡수도 차이를 측정하되, 비카이럴(achiral) 음굴절 메타 물질을 이용해 상기 광학 흡수도 차이를 증강시키는 것을 특징으로 하는 원편광 이색성 측정 장치.

청구항 5

제4항에 있어서, 상기 메타 물질은 금속과 유전체의 적층으로 이루어져 있고 적층을 수직으로 가로지르는 주기적인 구멍이 있는 이중 적층 어망 구조의 메타 물질인 것을 특징으로 하는 원편광 이색성 측정 장치.

청구항 6

제5항에 있어서, 상기 구멍에 상기 시료를 수용하여 측정하는 것을 특징으로 하는 원편광 이색성 측정 장치.

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 광학 이성질체의 나노 단위 검출을 위한 광학적 방법 및 장치에 관한 것으로, 보다 상세하게는 시료에서 좌우의 원편광(circularly polarized light : CPL)에 대한 광학 흡수도 차이를 측정하는 원편광 이색성 분광 측정(circular dichroism : CD) 방법에 메타 물질을 적용해, 메타 물질의 내부 또는 근처에서 광학 이성질체 분자의 광학적 흡수도를 증강시키도록 하는 방법 및 장치에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 모든 생명 현상에 관여하는 분자들은 독특한 구조의 비대칭성을 지니며 이러한 구조적 특징을 광학 이성질성(optical activity 또는 chirality)이라고 한다. 또한, 대부분의 의약 물질은 광학 이성질성의 생체 분자(단백질, 핵산)와 결합 또는 반응하기 때문에 상보적인 광학 이성질성을 가진다.

[0003] 광학 이성질 분광 검출법은 이성질 분자의 절대적인 구조를 규명하는 데에 매우 효과적인 광학적 방법이며, 그 중에서 CD 방법이 널리 이용되고 있다. 이 방법은 광학 이성질체의 광학적 흡수 파장대역에서 좌원편광과 우원편광 광선에 대한 광학 흡수도 차이를 측정함으로써, 광학 이성질체의 성질을 판단하는 방법이다.

[0004] 그런데 기존 CD 방법은 광학 이성질체 분자의 광학 신호 크기가 작기 때문에 다량의 분자 시료를 요구하는 점이 한계로 지적된다. 이 때문에 극미량의 광학 이성질체 분자 검출을 위해서는 광학 이성질체 분자의 광학 흡수도 차이를 증폭할 수 있는 특성을 가진 나노 구조가 필요하다.

[0005] 최근에 이른바 'superchiral field'라고 하는 공간적으로 변화하는 전자기장이 비대칭적인 CD 신호를 원편광에 비해 증가시킬 수 있음이 보고되었다[Y. Tang, A. E. Cohen, Phys. Rev. Lett. 104, 1 (2010)]. 또 국소적으로 변화하는 전자기장이 광학 이성질 신호 증가 요구 조건을 충족시키므로 강한 근접장이 나노 구조 근처에 증강된 카이럴장(chiral field)을 발생시킨다는 것도 입증되었다[E. Hendry et al., Nat. Nanotechnol. 5, 783

(2010)]. 그런데, 기존에 카이럴장을 이용해 이성질 분자를 분석하는 방법은 두 가지 문제를 가진다.

[0006] 첫 번째 문제는 기존 나노 구조가 카이럴 구조이기 때문에 나노 구조 자체가 구조적 이성질 신호를 갖게 되고, 이 때문에 국소적 카이럴장에 의해 증강된 분자로부터의 이성질 신호가 오염된다는 것이다. 공명 주파수에서 나노 구조의 이성질 기하가 강한 카이럴장을 발생시킬 수는 있지만, 증강된 분자 이성질 신호를 구조적 이성질 신호와 CD 측정상 구별하는 것은 어렵다.

[0007] 두 번째 문제는 국소적으로 증강된 카이럴장만 발생시키기 때문에 측정 가능한 CD 신호 증가를 제공할 수 없다는 것이다. 측정되는 CD 신호는 나노 구조에서 증강된 카이럴장의 전체적인 광학 이성질성을 아우르는 결과이므로, 실제적인 광학 이성질체 센싱을 위해서는 이성질체를 포함하는 전체 체적에 대해 균일한 이성질성을 가진 카이럴장을 발생시켜야 한다. 기존의 나노 구조는 광학 이성질체의 광학 흡수도 차이를 국소적 범위에서만 증강시키기 때문에 극미량의 광학 이성질체 분자 검출에 한계를 가지므로, 특정 국소적 범위에서만 광학 흡수도 차이를 증강시키기보다는 나노 구조 전체 범위에서 고르게 광학 흡수도 차이를 증강시킬 수 있는 나노 구조의 설계가 요구된다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 카이럴장을 이용해 광학 이성질체를 검출하는 데 있어서 신호 오염 문제가 없고 나노 구조 전체 범위에서 증강된 카이럴장을 발생시킬 수 있는 원편광 이색성 측정 방법과 장치를 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0009] 상기의 과제를 해결하기 위하여 본 발명에서는 유효 음굴절률을 가지며 비카이럴(achiral) 구조인 메타 물질을 극미량의 광학 이성질체 분자 검출에 이용하는 방법과 장치를 제시함으로써, 메타 물질을 이용하여 광학 이성질체를 규명하도록 한다.

[0010] 상기 메타 물질은 금속과 유전체의 적층으로 이루어져 있고 적층을 수직으로 가로지르는 주기적인 구멍이 있는 이중 적층 어망 구조(double fishnet structure)의 메타 물질인 것이 바람직하다. 상기 구멍에 상기 시료를 수용하여 측정하도록 할 수 있다. 상기 금속은 금, 은 및 구리 중 적어도 어느 하나일 수 있고, 상기 구멍의 주기가 320 nm이고, 상기 구멍의 크기가 200 nm이며, 상기 금속의 두께가 30 nm이고 유전체의 두께가 35 nm일 수 있다.

[0011] 상기 메타 물질은 작동하는 빛의 파장영역이 300~1000 nm가 되는 가시광선 영역인 것이 바람직하다.

발명의 효과

[0012] 본 발명자들이 제안하는 바와 같이, 음굴절률 메타 물질은 카이럴 전자기장을 발생시킬 수 있고, 이것은 국소적으로 강한 자기장을 유도함으로써 분자의 광학 이성질 신호를 증강시킬 수 있다.

[0013] 특히 이중 적층 어망 구조의 음굴절률 메타 물질에 의해 증강된 카이럴장은 원편광에 비하여 체적 평균 광학 이성질성을 3.5배 증가시키며, 입사된 원편광과 동일한 이성질성을 가지기 때문에 나노 구조 전체적으로 증강된 카이럴장을 형성한다. 이러한 메타 물질은 광학 이성질 분광 검출법, 특히 CD 방법에 유용하게 이용될 수 있다.

[0014] 본 발명에 따르면, 메타 물질 구조의 특정 국소적 범위가 아닌, 구조 전체 범위에서 고르게 광학 흡수도 차이를 증강시킬 수 있다. 메타 물질의 주기성으로 인해 광학 흡수도 차이가 증강되는 광학 이성질체 분자의 양을 자유롭게 늘릴 수 있어, 메타 물질을 이용한 극미량의 시료 CD 측정에도 이용할 수 있다.

[0015] 본 발명의 방법 및 장치에 따르면, 극미량의 광학 이성질체 분자 검출이 가능하므로 제약 산업에서의 신약 개발 프로세스에 응용하기 적합하며 화학제품의 불순물 검출 분야에도 널리 이용될 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0016] 도 1은 본 발명의 실시예에 따라 나노 구조 전체적으로 증강된 카이럴장을 발생시키는 이중 적층 어망 구조의 설계 도면이다.

도 2는 본 발명의 실시예에서 이중 적층 어망 구조 내부 구멍에서의 광학적 이성질성 프로파일을 조사한

것이다.

도 3은 본 발명의 실시예에서 전기장, 자기장 및 광학 이성질성 비율(C/C_{CPL})의 수평 및 수직 분포를 보여주는 것이다.

도 4는 본 발명의 실시예에서 일차 자기 공명 파장에서의 수직 전기장, 자기장, 전기장 벡터의 벡터 맵 및 전기장 벡터 차이를 도시한다.

도 5는 본 발명의 실시예에서 이중 적층 어망 구조의 적층 수 증가에 따른 변화를 설명하기 위한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0017] 본 발명에서는 유효 음굴절률을 가지며 비카이럴(achiral) 구조인 메타 물질을 극미량의 광학 이성질체 분자 검출에 이용하는 방법과 장치를 제시함으로써, 메타 물질을 이용하여 광학 이성질체를 규명하는 방법에 있어서 신호 오염 문제가 없고 나노 구조 전체 범위에서 증강된 카이럴장을 발생시킬 수 있도록 한다.
- [0018] 메타 물질은 빛의 파장보다 매우 작은 크기로 만든 금속이나 유전물질로 설계된 메타 원자(meta atom)의 주기적인 배열로 이루어진 물질로서, 메타 물질을 이루는 단위 셀의 크기가 빛의 파장에 비해 작은 인공의 구조이며, 자연에 존재하는 일반 물질에는 없는 새로운 광학적 특성을 가지게 된다.
- [0019] 본 발명자들은 메타 물질 중에서도 음의 굴절률을 가지는 메타 물질이 시료에서 좌우의 원편광에 대한 광학 흡수도 차이를 측정하는 CD 측정에 있어서 광학 흡수도 차이를 증강시키는 데에 매우 효과적임을 확인하였다. 특정 파장영역에서 음의 굴절률을 제공하는 메타 물질을 설계하기 위해, 메타 물질의 구조를 조절함으로써 유효 유전율(permittivity)과 유효 투자율(permeability)을 조절할 수 있다.
- [0020] 특히 본 발명에서는 메타 물질 중에서도 음의 굴절률을 효과적으로 제공하는 구조인 이중 적층 어망 구조를 이용해 광학 이성질체를 규명할 것을 제안한다. 이중 적층 어망 구조는 금속-유전체-금속(MDM)의 적층으로 이루어져 있고 적층을 수직으로 가로지르는 주기적인 구멍이 있는 구조이다. 금속과 유전체 적층은 전체 광학 흡수도의 차이 조절, 작동 파장영역 조절 등 필요에 따라 추가적으로 적층이 가능하다.
- [0021] 본 발명의 실시예에서, 광학 이성질체 분자는 이중 적층 어망 구조의 주기적 구멍 내부에 위치할 수 있다. 이중 적층 어망 구조의 주기적인 구멍들은 이중 적층 어망 구조가 광결정(photonic crystal)으로 기능하게 한다. 이중 적층 어망 구조의 광결정 기능은 300~1000 nm 가시광선 영역에서 유효 굴절률을 음수로 만드는 역할을 한다. 아래 설명하는 바와 같이, 굴절률이 음이어야만 나노 구조 전체 범위에서 증강된 카이럴장을 발생시킬 수 있다.
- [0022] 본 발명에서는 카이럴장을 이용해 광학 이성질체를 검출하는 데 있어서 나노 구조 자체에 의한 신호 오염 문제가 없도록 비카이럴 구조의 메타 물질을 이용하도록 한다. 이중 적층 어망 구조는 비카이럴 구조이다.
- [0023] 본 발명의 실시예에서 메타 물질은 음의 굴절률을 가지도록 설계되며, 근접장에서 다음 수학적식으로 표현되는 양을 증강하는 전자기파 배열을 발생시킬 수 있도록 설계된다.

수학식 1

$$C = -\frac{\epsilon_0 \omega}{2} \text{Im}[E^* \cdot B]$$

- [0024]
- [0025] 여기에서, c 는 광학 이성질성으로 근접장 전기장의 특정 배열을 표현하는 양이고, ϵ_0 는 진공 유전율, ω 는 각주파수, E 와 B 는 각각 전기장과 자기장 벡터, $*$ 은 해당 물리량의 켈레복소수를, Im 은 해당 물리량의 허수 부분을, $\cdot$ 은 두 벡터의 내적을 의미한다.

수학식 2

$$\Delta A = A_L - A_R = \frac{4G''}{\epsilon_0} C$$

[0026]

[0027]

여기에서, ΔA 는 좌원편광과 우원편광에 대한 광학 흡수도의 차이, $A_L(A_R)$ 은 좌(우)원편광에 대한 이성질 분자의 흡수도를 나타내고, G'' 는 주어진 광학 이성질 분자의 등방성 전기-자기 다이폴 분극률(isotropic electric-magnetic dipole polarizability)의 허수 부분을 의미한다. 이와 같이, 광학 이성질체 분자의 광학 흡수도 차이는 수학식 1에서 표현하는 광학적 이성질성에 비례한다.

[0028]

여기에서, 수학식 1이 나타내는 광학적 이성질성은 전기장과 자기장이 동시에 발생되며, 두 벡터장이 평행하며 위상이 서로 어긋나 있을 때 증강되는 양이다. 음굴절 메타 물질은 메타 물질 내부 또는 근처에서 전기장과 자기장을 동시에 발생시킬 수 있기 때문에 광학적 이성질성(수학식 1)을 증강시킬 수 있다고 기대된다.

[0029]

본 발명에서 음굴절 메타 물질은 메타 물질 내부 또는 근처에서 전자기장이 수학식 1을 만족하도록 전자기장의 벡터 성분을 조절하여 광학적 이성질성을 증강시킴으로써 좌원편광과 우원편광에 대한 광학 흡수도의 차이(수학식 2)를 증강시킬 수 있다.

[0030]

원편광만을 이용하는 기존 방법은 단순한 투과량을 측정하기 때문에 대량의 샘플이 필요하며, 광학적 이성질성은 다음과 같다.

수학식 3

$$C_{CPL} = \epsilon_0 \omega E_0^2 / c$$

[0031]

[0032]

여기서, E_0 와 c 는 각각 빛의 파장과 속도를 나타낸다.

[0033]

본 발명에 따르면 메타 물질을 이용한 국소적 흡수도 증강을 통해 극미량의 샘플만이 필요하며, 기존 방법의 광학적 이성질성에 비하여 큰 광학적 이성질성을 나타내게 된다. 따라서, 광학 이성질성 비율(C/C_{CPL})은 항상 1보다 크다.

[0034]

이하에서 첨부된 도면들을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예에 대해 상세하게 설명한다. 그러나 본 발명은 이하에서 개시되는 실시예에 한정되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 구현될 것이며, 단지 본 실시예는 본 발명의 개시가 완전하도록 하며, 통상의 지식을 가진 자에게 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위해 제공되는 것이다.

[0035]

본 발명에 따라 음굴절을 메타 물질에 원편광을 입사시키면 매우 증강된 카이럴장을 발생시킬 수 있다. 본 발명에서는 음굴절을 메타 물질의 한 종류인 이중 적층 어망 구조 실시예를 제공한다. 이중 적층 어망 구조는 그동안 다양한 파장대역에서 음의 굴절률 및 광학 자화를 얻기 위해 연구되어 왔지만 카이럴장 증강 분야에서는 연구된 바가 없다.

[0036]

도 1은 나노 구조 전체적으로 증강된 카이럴장을 발생시키는 이중 적층 어망 구조의 설계도면이다. 점선 박스는 구멍 경계를 가리킨다.

[0037]

이중 적층 어망 구조(20)는 도 1의 (a)에 도시한 바와 같이, 금속(M)-유전체(D)-금속(M)의 적층으로 이루어져 있고 적층을 수직으로 가로지르는 주기적인 사각형 구멍(c)이 있는 구조이다. 실시예에 사용된 이중 적층 어망 구조(20)는 유리 기판(10) 위에 30nm 은 - 35nm HSQ(hydrogen silsesquioxane)을 적층하여 만든 것이다. 사용된 HSQ의 굴절률은 1.5이고, 구멍(c)은 가로, 세로가 모두 200nm인 사각형 모양이며 320 nm에 따른 주기를 가지고 위치한다. 이러한 이중 적층 어망 구조(20)는 저손실 음굴절을 메타 물질이다. 단일 MDM 층이 기본 단위이지만 도시한 바와 같이 적층의 수를 증가시켜, 전체 흡수도의 절대량을 증가시킬 수도 있다.

- [0038] 도 1의 (b)는 수직으로 입사하는 좌원편광(CPL) 하에서 광학 이성질성의 공간적 분포를 보여준다. 동시에 일어나는 전기장과 자기장의 강한 여기는 이중 적층 어망 구조(20)의 구멍(c) 안에 나노 구조 전체적으로 증강된 카이럴장을 발생시킨다. 이중 적층 어망 구조(20)는 또한 도 1의 (c)로 나타낸 바와 같이 음의 굴절을 일으킨다.
- [0039] 도 1에 도시한 바와 같은 이중 적층 어망 구조(20)의 구멍(c) 안에 형성되는 카이럴장은 전체 영역의 각 구멍(c)에 걸쳐 동일한 이성질성을 가지며, 이것은 좌원편광인지 우원편광인지 여부에 관계없다. 즉, 이중 적층 어망 구조(20)의 내부 구멍(c)에서는 광학적 이성질성(수학식1)이 같은 부호를 가지고 구멍(c) 전체에 고르게 분포하도록 전자기장이 형성되며, 따라서 광학 흡수도의 차이(수학식 2)가 효과적으로 증강되는 것이다.
- [0040] 본 발명의 실시예에 따르면, 이중 적층 어망 구조는 광학적 이성질성(수학식 1)이 일반 원편광 평면파에 비해 이중 적층 어망 구조의 구멍의 체적 평균값으로 약 3.5배 증강되는 것을 보였다. 수학식 2에 따라 이는 결과적으로 광학 이성질체의 광학 신호를 3.5배 증강시키는 것과 같다. 일반적인 광학 이성질체 분자의 광학 신호가 매우 작다는 사실에 비추어 볼 때, 이러한 신호 증강은 극미량의 광학 이성질체 분자 검출에 효과적인 것이다.
- [0041] 뿐만 아니라, 이 구조는 비카이럴 기하를 가지므로 구조 자체로부터의 이성질 신호를 방지할 수 있다. 이것은 증강된 카이럴장을 이용해 광학 이성질 신호를 선택적으로 측정하는 데에 절대적으로 중요한 사항이다. 기존 연구들에서는 나노 구조의 모양 자체가 원편광 이색성을 가지기 때문에 측정하고자 하는 분자 자체의 원편광 이색성 신호를 오염시키는 문제가 있다.
- [0042] 음굴절을 메타 물질에 의한 광학 이성질성 증강 메커니즘 규명을 위해 근접장 구조를 분석하였는데, 음굴절을 메타 물질에 의한 카이럴장 발생 증거는 도 2에서 확인할 수 있다. 도 2는 본 발명의 실시예에서 이중 적층 어망 구조 내부 구멍에서의 광학적 이성질성 프로파일을 조사한 것으로, 도 2에서 MR1과 MR2는 일차 자기 공명 및 이차 자기 공명을 가리킨다.
- [0043] 도 2의 (a)는 단일 MDM 이중 적층 어망 구조에서의 좌원편광에 대한 투과도(transmittance), 반사도(reflectance) 및 흡수도(absorption) 스펙트럼을 나타낸다. 도 2의 (a)를 참조하면, 714 nm와 894 nm 파장에서 두 개의 흡수 피크를 보이는데, 이것은 투과도 딥(dip)과 일치한다.
- [0044] 도 2의 (b)는 이중 적층 어망 구조의 굴절률(refractive index), 유전율(permittivity) 및 투자율(permeability)과 같은 유효 파라미터를 도시한다. 실선은 실수이고 점선은 허수 부분이다. 도 2의 (b)를 참조하면, 유효 투자율은 894 nm와 714 nm에서의 흡수 피크가 일차 및 이차 자기 공명으로부터 발생되었음을 가리킨다. 이 두 자기 공명은 구멍의 주기와 파장벡터 사이의 상 매칭 조건을 만족하는 SPP(surface plasmon polariton) 블록 모드에 관계된 것이다. 두 블록 모드는 두 금속층 사이에 gap SPP를 형성하고, 이 gap SPP는 MDM층 안을 순환하여 광학 자기 공명과 음의 유효 투자율을 제공한다. 유효 유전율은 구멍의 컷오프 주파수에 의해 지지되는 장파장 영역에서 음의 값이다. 이러한 유효 파라미터로 볼 때, 두 자기 공명 파장에서 강한 전기장과 자기장이 동시에 발생할 것을 기대할 수 있다.
- [0045] 도 2의 (c)는 이중 적층 어망 구조의 구멍 안에서 광학적 이성질성의 체적 평균값 스펙트럼이다. 이중 적층 어망 구조의 구멍 안에서의 체적 평균한 이성질성을 입사 원편광 평면파(C_{CPL})의 이성질성으로 정규화한 것이다.
- [0046] 구멍 안의 체적 평균된 광학 이성질성 스펙트럼과 자기 공명의 스펙트럼상 위치를 비교해 보면 증강된 카이럴장 발생에 음굴절률 성질이 필요함을 알 수 있다. 도 2의 (b)와 (c)에서 보는 바와 같이, 체적 평균된 광학 이성질성의 주된 두 피크와 유효 투자율의 허수 부분이 동일한 파장(682 nm 및 892 nm)에 나타난다.
- [0047] 이와 같이, 도 2의 (a)에 적색으로 도시한 흡수된 에너지는 메타 물질 구조 안의 gap SPP를 형성하는 데에 사용되고, 이것은 후속적으로 도 2의 (c)에 도시한 바와 같이 상당히 증강된 카이럴장을 발생시킨다. 마찬가지로, 도 2의 (a)는 637 nm에서의 높은 반사도가 같은 파장에서 광학 이성질성 딥을 초래함을 도시한다. 이것은 입사한 빛의 대부분이 반사되어 되돌아 나오기 때문이며, 이에 따라 광학 이성질성은 메타 물질 안에서 감소한다.
- [0048] 이중 적층 어망 구조에 의한 증강된 카이럴장 발생 기원을 조사하기 위하여, 두 자기 공명 파장에서의 전자기장의 근접장 응답과 광학 이성질성을 측정하였다.
- [0049] 도 3은 전기장, 자기장 및 광학 이성질성 비율(C/C_{CPL})의 수평 및 수직 분포를 보여주는 것으로, (a) 내지 (c)는 892nm 일차 자기 공명 파장에서의 결과이고, (d) 내지 (f)는 682 nm 이차 자기 공명 파장에서의 결과이다. 점선 박스는 이중 적층 어망 구조 안의 구멍 경계를 가리킨다.
- [0050] 도 3의 (a)와 (d)는 중심 유전체 캡에서의 전기장 분포, (b)와 (e)는 자기장 분포, 그리고 (c)와 (f)는 광학 이

성질성 비율(C/C_{CPL})이다. 수직 분포를 보면, gap SPP가 형성되는 중심 유전체 겹에서 광학 이성질성의 주된 증강이 일어난다는 것을 알 수 있다.

[0051] 도 4는 본 발명의 실시예에서 일차 자기 공명 파장에서의 수직 전기장, 자기장, 전기장 벡터의 벡터 맵 및 전기장 벡터 차이를 도시한다. 도 4의 (a)는 xy-단면에서 수직 전기장 E_z/E_0 , (b)는 xy-단면에서 자기장 H_z/H_0 을 나타내고, (c)는 xz-단면에서 전기장 벡터의 벡터 맵을 도시하며, (d)는 xy-단면에서 구멍 안의 전기장 벡터 차이를 도시한다. (a) 내지 (d)의 필드 맵에서 파장은 일차 자기 공명 파장인 892nm이다. (a)와 (b)에서 점선 박스는 구멍 경계를 가리킨다. (e)는 이중 적층 어망 구조의 개략도로서, 점선 부분이 xz-단면, xy-단면을 가리킨다.

[0052] 도 4의 (a)와 (b)는 구멍 근처에서 수직 전기장과 자기장에 강한 증강이 있음을 보여준다. 강한 E_z 는 두 전극 사이의 전류를 형성하는 여기된 gap SPP로부터 기인하고(도 4의 (c) 참고), 횡방향 자기장 요소(H_x , H_y)의 강한 공명을 유도하여 원거리 장 레벨에서 유효 투자율(μ)을 제공한다. 이와 대조적으로 구멍에 의해 지지되는 횡방향 전기장 요소(E_x , E_y)는 유효 유전율(ϵ)을 제공하며, 전기장의 공간적인 꺾을 가지므로 H_z 를 유도한다. 도 4의 (d)는 수직 자기장 요소 H_z 를 유도하는 전기장 벡터의 차이를 도시한다. 수직 요소인 E_z 와 H_z 가 우세하고 서로에 대해 위상이 어긋나 있으므로 수학적 1에서의 광학 이성질성이 강하게 증강된다. 이것이 음극전극 메타물질에 의한 증강된 카이럴장 발생의 메커니즘이다.

[0053] 본 발명에서의 카이럴장 발생 메커니즘은 기존의 것들과 다른데, 종래에는 나노 구조가 카이럴 구조이고 나노 구조의 곡면에서 전기장의 꺾이 발생되므로 나노 구조의 카이럴 기하에 기초한 메커니즘이다. 기존 연구에서는 특정 위치에서만 C가 증강하며 그 방향이 랜덤하기 때문에 전체 부피에 대해 적분하면 C 증강은 미미하게 된다. 본 발명에서의 메커니즘은 비카이럴 나노 구조를 이용한 슈퍼 카이럴장 발생이라는 신규한 기술을 제공한다.

[0054] 주목할 만 한 점은 이와 같이 발생된 증강된 카이럴장이 구멍 안 전체에 걸쳐 있다는 것이며, 이것은 도 3의 (c)와 (d)에서 보는 바와 같이 광학적 이성질성이 공간적으로 균일하다는 것을 의미한다. 수학적 1로부터 광학 이성질성이 양이거나 음이라는 것을 알 수 있으며 이전에 연구된 대부분의 나노 구조는 그 부호가 계속 변화하는 카이럴장을 발생시킨다. 이 때문에 전체 영역에 대해 체적 평균을 한 증강량 감소가 된다. 따라서, 도 3의 (c)와 (d)에서 볼 수 있는 바와 같이 나노 구조 전체적으로 증강된 카이럴장은 도 2의 (c)에서와 같이 체적 평균으로 증강된 광학 이성질성을 초래하게 된다. 실제 분자의 CD 신호는 나노 구조 안에서 측정이 되므로, 본 발명에 따른 증강된 카이럴장 발생 방법이 실제적인 분자 센싱에 있어서 중요한 역할을 할 수 있다.

[0055] 도 3의 (c)와 (f)의 광학 이성질성의 공간적 분포를 비교해 보면, 일차 자기 공명(892 nm)은 국소적 광학 이성질성에 있어서 이차 자기 공명(682 nm)보다 더 강한 증강을 일으킨다. 이것은 도 2의 (c)에서 일차 자기 공명의 체적 평균 광학 이성질성이 이차 자기 공명의 체적 평균 광학 이성질성보다 높은 이유를 설명해준다.

[0056] 금속과 유전체 적층은 전체 광학 흡수도의 차이 조절, 작동 파장영역 조절 등 필요에 따라 추가적으로 적층이 가능하다. 단일 MDM 층으로 이루어진 이중 적층 어망 구조를 기본 단위로 두고, 이중, 삼중 MDM 구조일 때의 증강된 카이럴장도 연구하였다.

[0057] 도 5는 본 발명의 실시예에서 이중 적층 어망 구조의 적층 수 증가에 따른 변화를 설명하기 위한 도면이다. 도 5의 (a)는 광학적 이성질성의 체적 평균값이고, (b)는 두 공명 조건에서 구멍 안의 실제 분자의 광학 흡수도 차이가 스펙트럼이다. (c)는 두 공명 조건에서 이중 및 삼중 유닛의 광학 이성질성의 xz-컷 도면이다.

[0058] 도 5의 (a)를 참조하면, 일차 자기 공명에서의 광학 이성질성의 체적 평균 증강 팩터는 MDM 유닛의 수 증가에 따라 일정하게 유지됨을 볼 수 있다.

[0059] 도 5의 (b)에서 정규화 단위(σ_{CPL})는 단일 MDM 구멍 안의 체적에서 입사 CPL에 의한 분자의 광학 흡수도 차이이다. 도 5의 (b)를 참조하면, 구멍 안의 실제 분자의 흡수도 차이는 CD 신호 세기에 직접 관계된 것으로, 증강된 카이럴장 발생을 위해서는 이차 공명보다 일차 공명이 훨씬 효과적이라는 것을 보여준다. 구멍 안의 실제 분자의 일차 공명 파장에서의 흡수도 차이가 MDM 유닛 수 증가에 따라 선형적으로 증가하며 이차 공명 차장에서의 흡수도 차이는 거의 그대로 유지되기 때문이다.

[0060] 도 5의 (c)에 도시한 것과 같은 광학 이성질성의 수직 분포를 조사하면 이 점이 이해될 수 있다. 도 5의 (c)에서 일차 공명 조건은 위쪽 그림이고 이차 공명 조건은 아래쪽 그림이며, 좌측이 이중 유닛, 우측이 삼중 유닛의 경우이다. 도 5의 (c)에서, 이차 자기 공명 모드에 의해 발생된 카이럴장의 이성질성이 변화되는 것을 볼 수 있다. 이와 대조적으로, 일차 공명에서의 광학 이성질성 분포는 상당히 균일한 광학 이성질성 증강을 보이고 부호

변화가 없다. 이러한 관찰로부터, MDM 유닛 수가 증가할 때에 나노 구조 전체적으로 증강된 카이럴장은 일차 자기 공명에 의해서만 달성될 수 있다고 결론지을 수 있다.

[0061] 증강된 카이럴장의 스펙트럼상 천이도 주목할 만하다. 도 5의 (a)에서, 두 자기 공명 파장에서의 체적 평균 광학 이성질성은 적층 수 증가에 따라 변화하고 있다. 이것은 변조 가능한 특성을 가진 메타 물질을 이용함에 따른 자연스러운 결과이다. 메타 물질은 이와 같이 적층 수, 구멍 크기와 주기 등을 조절하여 자기 공명의 세기와 스펙트럼상 위치를 변경할 수 있다. 따라서, 메타 물질의 광학적 물성을 변조함으로써 증강된 카이럴장의 세기와 스펙트럼상 위치를 변경할 수 있다. 이에 따라 주어진 이성질 분자에 적합한 메타 물질을 쉽게 제조하는 것이 가능하다.

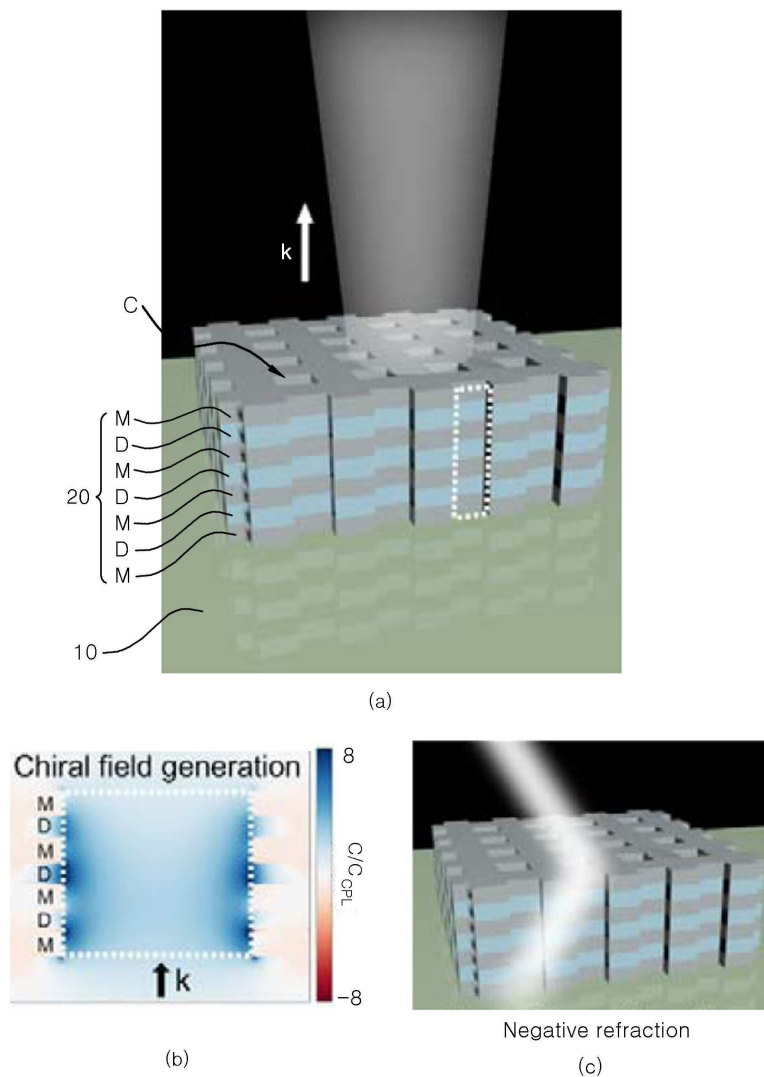
[0062] 이상 설명한 바와 같이 음굴절률 메타 물질은 증강된 카이럴장을 발생시키는 데에 이용될 수 있다. 음굴절률 메타 물질은 평행하면서 위상이 서로 다른 강한 전기장과 자기장을 동시에 발생시킬 수 있으며, 이 조건은 수학식 1에서 광학 이성질성이 증가하는 조건이므로, 수학식 1에 비례하는 광학 흡수도 차이를 증강시켜 극미량의 시료에 대한 CD 측정도 가능하게 한다.

[0063] 본 발명에 따른 CD 장치는 기본적으로 시료에서 좌우의 원편광에 대한 광학 흡수도 차이를 측정하는 기존 장치의 구조를 가지되, 비카이럴 음굴절 메타 물질을 더 포함한다. 예를 들어, 도 1에 도시한 것과 같은 이중 적층 어망 구조를 더 포함시키고, 그 구조 안의 구멍에 시료를 수용한 후, 좌우원편광을 인가하여 흡수도 차이를 측정한다. 이중 적층 어망 구조는 앞에서 설명한 원리에 따라 카이럴장을 발생시키고 이에 따라 흡수도 차이를 증강시키게 되므로 측정되는 CD 신호는 종래에 비하여 증강된다.

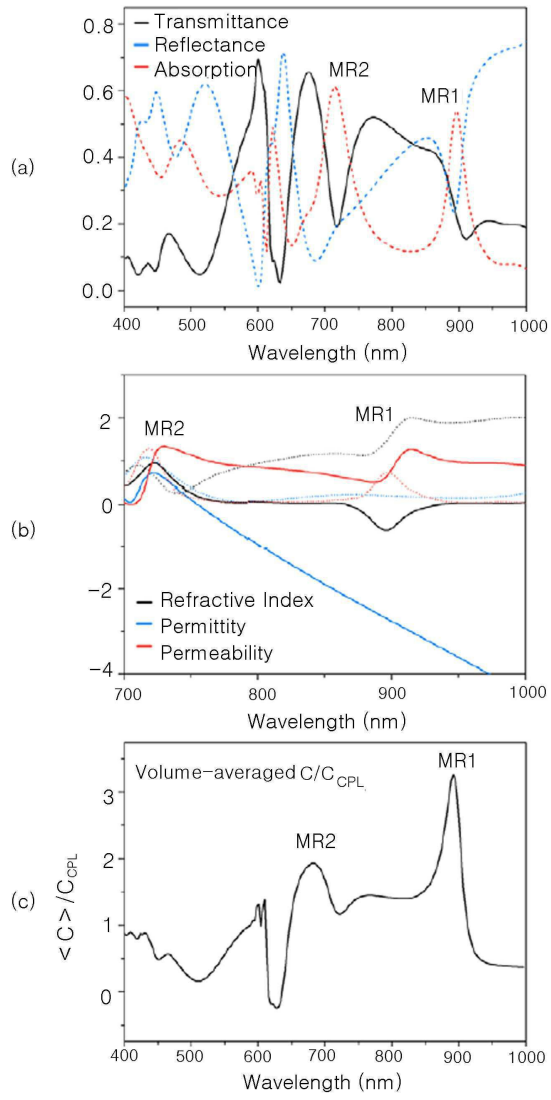
[0064] 이상에서 본 발명의 바람직한 실시예에 대해 도시하고 설명하였으나, 본 발명은 상술한 특징의 바람직한 실시예에 한정되지 아니하며, 청구범위에서 청구하는 본 발명의 요지를 벗어남이 없이 당해 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 누구든지 다양한 변형 실시가 가능한 것은 물론이고, 그와 같은 변경은 청구범위 기재의 범위 내에 있게 된다.

도면

도면1

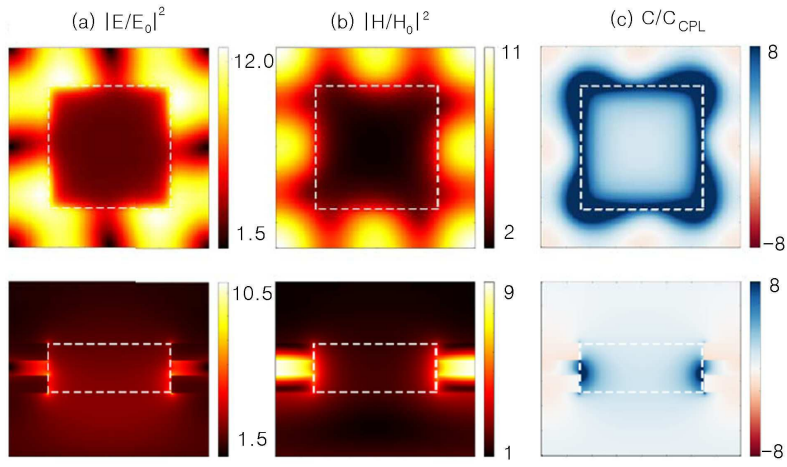


도면2

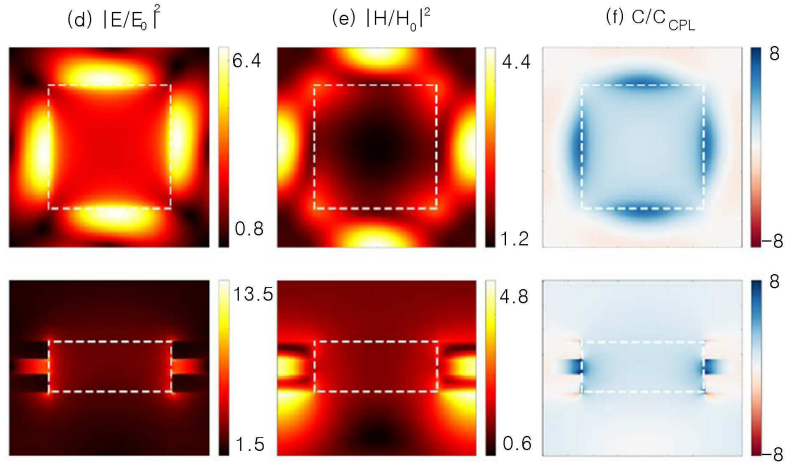


도면3

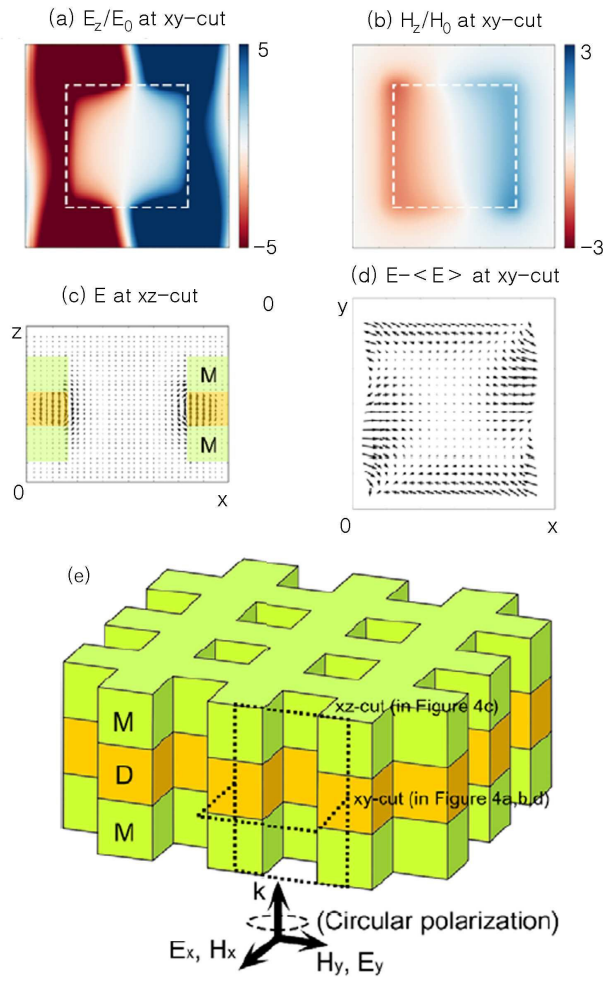
(a-c) 1st magnetic resonance at 892 nm



(d-f) 2nd magnetic resonance at 682 nm



도면4



도면5

