(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2023년08월01일
(11) 등록번호 10-2562695
(24) 등록일자 2023년07월28일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
*G02B 1/00* (2022.01) *B32B 27/08* (2006.01)
*B32B 7/023* (2019.01) *G02B 1/04* (2006.01)
*B82Y 20/00* (2017.01)
(52) CPC특허분류
*G02B 1/002* (2013.01)
*B32B 27/08* (2021.01)
(21) 출원번호 10-2022-0056830
(22) 출원일자 2022년05월09일
심사청구일자 2022년05월09일
(56) 선행기술조사문헌
KR1020140013786 A
*(뒷면에 계속)*
전체 청구항 수 : 총 14 항

(73) 특허권자
**충남대학교산학협력단**
대전광역시 유성구 대학로 99 (궁동, 충남대학교)
(72) 발명자
**이재범**
경기도 화성시 동탄순환대로21길 54, 1331동 204호(청계동, 동탄2신도시 센트럴 푸르지오)
**곽주용**
대전광역시 유성구
*(뒷면에 계속)*
(74) 대리인
**원대규**

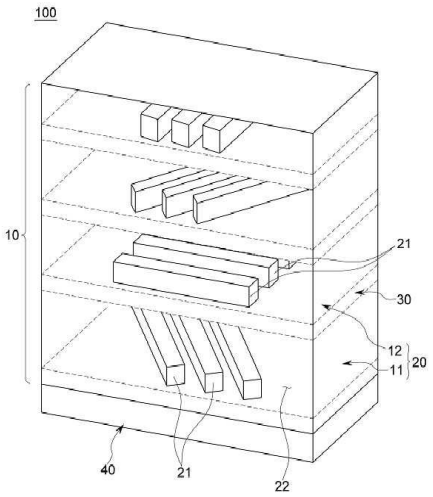
심사관 : 윤영진

(54) 발명의 명칭 **광학 적층체 및 이의 제조방법**

## (57) 요 약

카이랄 구조의 정확성 및 재현 가능성이 현저히 높고 다양한 기술 분야에 적용 가능한 광학적 특성도 함께 구현이 가능한 광학 적층체로서, 메타표면층을 포함하고, 상기 메타표면층은 적어도 2층의 나노와이어층을 포함하고, 상기 나노와이어층은 복수의 나노와이어집합체를 포함하며, 상기 복수의 나노와이어집합체는 상호 이격 배치되고 일방향 정렬 구조를 가지며, 상기 적어도 2층의 나노와이어층은 제1방향으로 정렬된 복수의 나노와이어집합체를 포함하는 제1층; 및 상기 제1방향과 다른 방향인 제2방향으로 정렬된 복수의 나노와이어집합체를 포함하고, 상기 제1층에 인접하는 제2층을 포함하고, 상기 제1방향과 상기 제2방향이 이루는 각도(Θ)가 0° < Θ < 90° 범위 중 어느 하나의 각도이고, 상기 메타표면층이 카이랄성(Chirality)을 나타내는, 광학 적층체와 이의 제조방법을 제공한다.

*대 표 도* - 도1



(52) CPC특허분류
*B32B 7/023* (2019.01)
*G02B 1/04* (2013.01)
*B82Y 20/00* (2013.01)
*G02B 2207/101* (2013.01)

(72) 발명자
**원유광**
대전광역시 유성구 유성대로822번길 29, 401호(장대동)
**김영미**
대전광역시 유성구 문화원로 109, 507호(봉명동, 하이랜드2)
**최영은**
대전광역시 유성구 대학로81번길 62, 312호(궁동, 정&이)

(56) 선행기술조사문헌
KR1020160012843 A
KR1020160028554 A
KR1020160118025 A
KR1020180018894 A

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1711166961
과제번호 2019R1A2C2007825
부처명 과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명 한국연구재단
연구사업명 개인기초연구(과기정통부)
연구과제명 카이랄성 안정제에 따른 나노구조체의 카이랄성 변동 연구 및 물리/진단센서 응용
기 여 율 1/2
과제수행기관명 충남대학교
연구기간 2019.03.01 ~ 2024.02.28
이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1711149678
과제번호 2019K1A3A1A18116066
부처명 과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명 한국연구재단
연구사업명 국가간협력기반조성(R&D)
연구과제명 무질서한 광-자기 구조에 관한 연구
기 여 율 1/2
과제수행기관명 충남대학교
연구기간 2020.08.01 ~ 2022.07.31

# 명 세 서

## 청구범위

### 청구항 1

메타표면층을 포함하고,

상기 메타표면층은 적어도 2층의 나노와이어층을 포함하고,

상기 나노와이어층은 복수의 나노와이어집합체를 포함하며,

상기 복수의 나노와이어집합체는 상호 이격 배치되고 일방향 정렬 구조를 가지며,

상기 적어도 2층의 나노와이어층은 제1방향으로 정렬된 복수의 나노와이어집합체를 포함하는 제1층; 및 상기 제1방향과 다른 방향인 제2방향으로 정렬된 복수의 나노와이어집합체를 포함하고, 상기 제1층에 인접하는 제2층을 포함하고,

상기 제1방향과 상기 제2방향이 이루는 각도(Θ)가 $0^\circ < \Theta < 90^\circ$ 범위 중 어느 하나의 각도이고,

상기 메타표면층이 카이랄성(Chirality)을 나타내는,

광학 적층체.

### 청구항 2

제1항에 있어서,

상기 메타표면층이 상기 제1층과 상기 제2층 사이에 배치된 이격층을 더 포함하고,

상기 이격층은 폴리디알릴디메틸암모늄클로라이드(PDDA, polydiallyldimethylammonium chloride), 폴리아믹산(poly(amic acid)), 폴리(알릴아민하이드로클로라이드)(PAH, poly(allylamine hydrochloride)), 폴리에틸렌이민(PEI, polyethyleneimine), 폴리-L-리신(PLL, poly-L-lysine), 폴리아크릴산(PAA, poly(acrylic acid), 폴리스티렌설포네이트(PSS, polystyrenesulfonate), 폴리비닐설페이트(PVS, Poly(vinylsulfate)), 덱스트란설페이트(DS, Dextran sulfate) 및 이들의 조합으로 이루어진 군으로부터 선택된 하나를 포함하는,

광학 적층체.

### 청구항 3

제1항에 있어서,

상기 나노와이어층은 바탕재를 더 포함하고,

상기 바탕재는 폴리디알릴디메틸암모늄클로라이드(PDDA, polydiallyldimethylammonium chloride), 폴리아믹산(poly(amic acid)), 폴리(알릴아민하이드로클로라이드)(PAH, poly(allylamine hydrochloride)), 폴리에틸렌이민(PEI, polyethyleneimine), 폴리-L-리신(PLL, poly-L-lysine), 폴리아크릴산(PAA, poly(acrylic acid), 폴리스티렌설포네이트(PSS, polystyrenesulfonate), 폴리비닐설페이트(PVS, Poly(vinylsulfate)), 덱스트란설페이트(DS, Dextran sulfate) 및 이들의 조합으로 이루어진 군으로부터 선택된 하나를 포함하는,

광학 적층체.

### 청구항 4

제1항에 있어서,

상기 메타표면층 일면에 배치된 지지층을 더 포함하고,

상기 지지층은 유리, 인듐주석산화물(Indium-Tin Oxide, ITO), 불소산화주석(Fluorine-doped Tin Oxide, FTO), 폴리(메틸메타아크릴레이트), 폴리카보네이트, 폴리(디메틸실록산) 및 이들의 조합으로 이루어진 군으로부터 선택된 하나를 포함 및 이들의 조합으로 이루어진 군으로부터 선택된 하나를 포함하는,

광학 적층체.

**청구항 5**

제1항에 있어서,

상기 메타표면층은 상기 나노와이어층을 2층 내지 10층 포함하는,

광학 적층체.

**청구항 6**

제1항에 있어서,

상기 나노와이어집합체는 복수의 나노와이어를 포함하고,

상기 나노와이어는 자성 플라즈몬 입자를 포함하는,

광학 적층체.

**청구항 7**

제6항에 있어서,

상기 나노와이어는 코어(core); 및 상기 코어와 이종의 성분을 포함하고, 상기 코어 표면의 적어도 일부를 둘러싸는 쉘(shell)을 포함하는,

광학 적층체.

**청구항 8**

제7항에 있어서,

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

광학 적층체.

**청구항 9**

제1항에 있어서,

상기 복수의 나노와이어집합체는 인접한 두 나노와이어집합체 사이의 이격 거리가 2.0㎛ 내지 9.0㎛인,

광학 적층체.

**청구항 10**

메타표면층을 제조하는 단계를 포함하고,

상기 메타표면층을 제조하는 단계는,

복수의 나노와이어를 포함하는 현탁액을 주입하는 (a) 단계;

상기 현탁액에 자기장을 인가하는 (b) 단계;

상기 현탁액을 건조시켜 제1방향으로 정렬되고 상호 이격 배치된 복수의 나노와이어집합체를 포함하는 제1 나노와이어층을 제조하는 단계; 및

상기 제1 나노와이어층 상에 상기 (a) 단계 및 상기 (b) 단계를 반복 수행하여 상기 제1방향과 다른 방향인 제2방향으로 정렬되고 상호 이격 배치된 복수의 나노와이어집합체를 포함하는 제2 나노와이어층을 제조하는 단계; 를 포함하고,

상기 제1방향과 상기 제2방향이 이루는 각도(Θ)가 $0° < Θ < 90°$ 범위 중 어느 하나의 각도인,

광학 적층체의 제조방법.

**청구항 11**

제10항에 있어서,

상기 현탁액 중의 상기 복수의 나노와이어의 농도는 0.05 mg/mL 내지 0.50 mg/mL인,

광학 적층체의 제조방법.

**청구항 12**

제10항에 있어서,

상기 (b) 단계는 대향 배치된 두 자성체에 의해 상기 자기장을 생성하고, 상기 현탁액이 상기 자기장 내에 배치됨으로써 수행되는,

광학 적층체의 제조방법.

**청구항 13**

제10항에 있어서,

상기 제1 나노와이어층과 상기 제2 나노와이어층 사이에 이격층을 형성하는 단계를 더 포함하는,

광학 적층체의 제조방법.

**청구항 14**

제10항에 있어서,

상기 제1 나노와이어층을 제조하는 단계 및 상기 제2 나노와이어층을 제조하는 단계 각각은,

상기 복수의 나노와이어집합체 주변부에 바탕재를 형성하는 단계를 더 포함하는,

광학 적층체의 제조방법.

## *발명의 설명*

### *기 술 분 야*

[0001] 구조적 카이랄성(Chirality)을 가지면서 다양한 광학 용도에 적용 가능한 적층체 및 이를 제조하는 방법에 관한 것이다.

### *배 경 기 술*

[0002] 카이랄성(Chirality)이란 수학, 화학, 물리학, 생물학 등 다양한 과학 분야에서 비대칭성을 가리키는 용어로 광범위하게 사용되고 있다. 이는 어떠한 대상이 거울에 비춘 모양과 합동을 이루지 않을 때 그 두 대상의 관계를 일컫는다. 자연에 존재하는 대부분의 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 같은 생체 유기물들은 대부분 한쪽-카이랄성(homo-chirality)을 지니고 있기 때문에 이를 거르는 물질과 생체 반응을 하게 될 경우, 유기체에 치명적인 손상을 일으킬 수 있다. 최근 이러한 카이랄성의 기원을 밝히기 위한 노력의 일환으로 3차원 구조에 카이랄성을 도입하는 연구가 활발히 진행되고 있다. 이러한 카이랄성을 갖는 3차원 구조는 예를 들어, 템플릿(templete) 재료를 이용하거나 빛 또는 자기장 등에 의해 유도된 자가 조립 등의 방법을 통해 제조되어 왔다. 다만, 3차원 구조에 카이랄성을 도입하는 연구에 비하여 상대적으로 1차원 또는 2차원 구조에 카이랄성을 도입하는 연구는 그 진행이 미비한 실정이다.

## *발명의 내용*

### *해결하려는 과제*

[0003] 본 발명의 일 구현예는 카이랄 구조의 정확성 및 재현 가능성이 현저히 높은 광학 적층체로서 1차원 나노 구조의 계층적 구조, 형태 및 조성을 적용하여 광결정, 전기화학촉매 및 센서 응용 분야 등에서 생체 영감 기능성

나노물질로서 기능할 수 있는 광학 적층체를 제공한다.

[0004] 본 발명의 다른 구현예는 미세 구조 형성의 수단이 비교적 단순함에도 불구하고 상기 광학 적층체의 구조가 정확하게 재현 가능하며 정교한 적층 공정의 컨트롤(Control)을 통하여 향상된 구조적 카이랄성을 구현할 수 있는 상기 광학 적층체의 제조방법을 제공한다.

## 과제의 해결 수단

[0005] 본 발명의 일 구현예에서, 메타표면층을 포함하고, 상기 메타표면층은 적어도 2층의 나노와이어층을 포함하고, 상기 나노와이어층은 복수의 나노와이어집합체를 포함하며, 상기 복수의 나노와이어집합체는 상호 이격 배치되고 일방향 정렬 구조를 가지며, 상기 적어도 2층의 나노와이어층은 제1방향으로 정렬된 복수의 나노와이어집합체를 포함하는 제1층; 및 상기 제1방향과 다른 방향인 제2방향으로 정렬된 복수의 나노와이어집합체를 포함하고, 상기 제1층에 인접하는 제2층을 포함하고, 상기 제1방향과 상기 제2방향이 이루는 각도(Θ)가 0° < Θ < 90° 범위 중 어느 하나의 각도이고, 상기 메타표면층이 카이랄성(Chirality)을 나타내는, 광학 적층체를 제공한다.

[0006] 상기 메타표면층이 상기 제1층과 상기 제2층 사이에 배치된 이격층을 더 포함하고, 상기 이격층은 폴리디알릴디메틸암모늄클로라이드(PDDA, polydiallyldimethylammonium chloride), 폴리아믹산(poly(amic acid)), 폴리(알릴아민하이드로클로라이드)(PAH, poly(allylamine hydrochloride)), 폴리에틸렌이민(PEI, polyethyleneimine), 폴리-L-리신(PLL, poly-L-lysine), 폴리아크릴산(PAA, poly(acrylic acid), 폴리스티렌설포네이트(PSS, polystyrenesulfonate), 폴리비닐설페이트(PVS, Poly(vinylsulfate)), 덱스트란설페이트(DS, Dextran sulfate) 및 이들의 조합으로 이루어진 군으로부터 선택된 하나를 포함할 수 있다.

[0007] 상기 나노와이어층은 바탕재를 더 포함하고, 상기 바탕재는 폴리디알릴디메틸암모늄클로라이드(PDDA, polydiallyldimethylammonium chloride), 폴리아믹산(poly(amic acid)), 폴리(알릴아민하이드로클로라이드)(PAH, poly(allylamine hydrochloride)), 폴리에틸렌이민(PEI, polyethyleneimine), 폴리-L-리신(PLL, poly-L-lysine), 폴리아크릴산(PAA, poly(acrylic acid), 폴리스티렌설포네이트(PSS, polystyrenesulfonate), 폴리비닐설페이트(PVS, Poly(vinylsulfate)), 덱스트란설페이트(DS, Dextran sulfate) 및 이들의 조합으로 이루어진 군으로부터 선택된 하나를 포함할 수 있다.

[0008] 상기 메타표면층 일면에 배치된 지지층을 더 포함하고, 상기 지지층은 유리, 인듐주석산화물(Indium-Tin Oxide, ITO), 불소산화주석(Fluorine-doped Tin Oxide, FTO), 폴리(메틸메타아크릴레이트), 폴리카보네이트, 폴리(디메틸실록산) 및 이들의 조합으로 이루어진 군으로부터 선택된 하나를 포함 및 이들의 조합으로 이루어진 군으로부터 선택된 하나를 포함할 수 있다.

[0009] 상기 메타표면층은 상기 나노와이어층을 2층 내지 10층 포함할 수 있다.

[0010] 상기 나노와이어집합체는 복수의 나노와이어를 포함하고, 상기 나노와이어는 자성 플라즈몬 입자를 포함할 수 있다.

[0011] 상기 나노와이어는 코어(core); 및 상기 코어와 이종의 성분을 포함하고, 상기 코어 표면의 적어도 일부를 둘러싸는 쉘(shell)을 포함할 수 있다.

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

[0013] 상기 복수의 나노와이어집합체는 인접한 두 나노와이어집합체 사이의 이격 거리가 2.0㎛ 내지 9.0㎛일 수 있다.

[0014] 본 발명의 다른 구현예에서, 메타표면층을 제조하는 단계를 포함하고, 상기 메타표면층을 제조하는 단계는, 복수의 나노와이어를 포함하는 현탁액을 주입하는 (a) 단계; 상기 현탁액에 자기장을 인가하는 (b) 단계; 상기 현탁액을 건조시켜 제1방향으로 정렬되고 상호 이격 배치된 복수의 나노와이어집합체를 포함하는 제1 나노와이어층을 제조하는 단계; 및 상기 제1 나노와이어층 상에 상기 (a) 단계 및 상기 (b) 단계를 반복 수행하여 상기 제1방향과 다른 방향인 제2방향으로 정렬되고 상호 이격 배치된 복수의 나노와이어집합체를 포함하는 제2 나노와이어층을 제조하는 단계;를 포함하고, 상기 제1방향과 상기 제2방향이 이루는 각도(Θ)가 0° < Θ < 90° 범위 중 어느 하나의 각도인, 광학 적층체의 제조방법을 제공한다.

[0015] 상기 현탁액 중의 상기 복수의 나노와이어의 농도는 0.05 mg/mL 내지 0.50 mg/mL일 수 있다.

[0016] 상기 (b) 단계는 대향 배치된 두 자성체에 의해 상기 자기장을 생성하고, 상기 현탁액이 상기 자기장 내에 배치

됨으로써 수행될 수 있다.

[0017] 상기 제1 나노와이어층과 상기 제2 나노와이어층 사이에 이격층을 형성하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0018] 상기 제1 나노와이어층을 제조하는 단계 및 상기 제2 나노와이어층을 제조하는 단계 각각은, 상기 복수의 나노와이어집합체 주변부에 바탕재를 형성하는 단계를 더 포함할 수 있다.

## 발명의 효과

[0019] 상기 광학 적층체는 카이랄 구조의 정확성 및 재현 가능성이 현저히 높은 구조체로서 1차원 나노 구조의 계층적 구조, 형태 및 조성을 적용하여 광결정, 전기화학촉매 및 센서 응용 분야 등에서 생체 영감 기능성 나노물질로서 기능할 수 있다.

[0020] 상기 광학 적층체의 제조방법은 미세 구조 형성의 수단이 비교적 단순함에도 불구하고 상기 광학 적층체의 구조가 정확하게 재현 가능하며 정교한 적층 공정의 컨트롤(Control)을 통하여 향상된 구조적 카이랄성을 구현할 수 있는 이점을 갖는다.

## 도면의 간단한 설명

[0021] 도 1은 일 구현예에 따른 상기 광학 적층체를 개략적으로 도시한 사시도이다.

도 2는 일 구현예에 따른 상기 광학 적층체를 지면에 수직한 방향에서 암시야광학현미경으로 촬영한 사진을 게재한 것이다.

도 3은 일 구현예에 따른 상기 나노와이어층의 주사전자현미경(Scanning Electron Microscope, SEM) 사진을 게재한 것이다. 도 3의 (a)는 임의의 하나의 상기 나노와이어층에 대하여 지면에 수직한 방향에서 측정한 SEM 사진이고, 도 3의 (b)는 상기 도 3의 (a)의 A 부분을 확대 측정한 SEM 사진이다.

도 4는 일 구현예에 따른 상기 나노와이어의 단면을 개략적으로 도시한 것이다.

도 5는 일 구현예에 따른 광학 적층체 제조방법에 있어서 상기 나노와이어층을 형성하기 위한 장치의 일부 구성을 개략적으로 도시한 것이다.

도 6은 실시예 1-1 내지 1-4 및 비교예 1-1 내지 1-2의 CD 스펙트럼 그래프를 게재한 것이다.

도 7은 실시예 1-5 및 비교예 1-3의 CD 스펙트럼 그래프를 게재한 것이다.

도 8은 실시예 2-1 내지 2-8의 CD 스펙트럼 그래프를 게재한 것이다.

도 9는 실시예 2-9 내지 2-14의 CD 스펙트럼 그래프를 게재한 것이다.

도 10은 실시예 2-1 내지 실시예 2-4의 자외선-가시광선 분광 스펙트럼 그래프를 게재한 것이다.

도 11은 비교예 1-1 및 1-3의 광학 적층체 최상부 표면을 측정한 광학 현미경 사진을 게재한 것이다.

## 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0022] 본 발명의 이점 및 특징, 그리고 그것들을 달성하는 방법은 후술하는 구현예 또는 실시예를 참조하면 명확해질 것이다. 그러나, 본 발명은 이하에서 개시되는 구현예 또는 실시예에 한정되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 구현될 수 있다. 하기 명시된 구현예 또는 실시예는 본 발명의 개시가 완전하도록 하며, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 발명의 범주를 알려주기 위해 제공되는 것일 뿐이고, 본 발명의 권리 범위는 청구범위의 범주에 의해 정의된다.

[0023] 도면에서, 필요에 따라, 층 또는 영역을 명확하게 표현하기 위하여 일부 구성의 두께를 확대하여 나타내었다. 또한, 도면에서, 설명의 편의를 위해, 일부 층 및 영역의 두께를 과장되게 나타내었다. 명세서 전체에 걸쳐 동일 참조 부호는 동일 구성요소를 지칭한다.

[0024] 또한, 본 명세서에서 층, 막, 영역, 판 등의 부분이 다른 부분 "위에", "상에" 또는 "상부에" 있다고 할 때, 이는 다른 부분 "바로 위에" 있는 경우뿐 아니라 그 중간에 또 다른 부분이 있는 경우도 포함하는 것으로 해석된다. 어떤 부분이 다른 부분 "바로 위에" 있다고 할 때에는 중간에 다른 부분이 없는 것을 의미하는 것으로 해석한다. 또한, 층, 막, 영역, 판 등의 부분이 다른 부분 "아래에", "하에" 또는 "하부에" 있다고 할 때, 이는 다른 부분 "바로 아래에" 있는 경우뿐 아니라 그 중간에 또 다른 부분이 있는 경우도 포함하는 것으로

해석된다. 어떤 부분이 다른 부분 "바로 아래에" 있다고 할 때에는 중간에 다른 부분이 없는 것으로 해석한다.

[0025] 이하, 본 발명에 따른 구현예에 관하여 상세히 설명하기로 한다.

[0027] 본 발명의 일 구현예에서, 메타표면층을 포함하고, 상기 메타표면층은 적어도 2층의 나노와이어층을 포함하고, 상기 나노와이어층은 복수의 나노와이어집합체를 포함하며, 상기 복수의 나노와이어집합체는 상호 이격 배치되고 일방향 정렬 구조를 가지며, 상기 적어도 2층의 나노와이어층은 제1방향으로 정렬된 복수의 나노와이어집합체를 포함하는 제1층; 및 상기 제1방향과 다른 방향인 제2방향으로 정렬된 복수의 나노와이어집합체를 포함하고, 상기 제1층에 인접하는 제2층을 포함하고, 상기 제1방향과 상기 제2방향이 이루는 각도(Θ)가 0° < Θ < 90° 범위 중 어느 하나의 각도이고, 상기 메타표면층이 카이랄성(Chirality)을 나타내는, 광학 적층체를 제공한다.

[0028] 상기 광학 적층체는 1차원 나노 구조의 계층적 구조, 형태 및 조성을 적용함으로써 광결정, 전기화학촉매 및 센서 응용 분야 등에서 생체 영감 기능성 나노물질로서 기능할 수 있다. 나노 적층 구조의 제조와 관련하여 종래에 알려진 방법들은 정확성 및 재현 가능성이 현저히 떨어지는 문제가 있었다. 이와 관련하여, 상기 광학 적층체는 특정 조성의 나노와이어로부터 유래된 나노와이어집합체를 포함함으로써 일종의 불리간드(Bouligand) 구조, 즉, 합판과 비슷한 구조들이 층을 이루며 회전 적층된 미세 구조를 포함하여 향상된 구조적 카이랄성을 나타냄과 동시에, 상기 나노와이어집합체의 이격 간격 및 정렬 구조가 일관성을 나타내어 종래에 비하여 정확성 및 재현 가능성이 현저히 향상된 이점을 나타낼 수 있다.

[0029] 구체적으로, 상기 메타표면층은 상기 나노와이어층을 적어도 2층 포함하되, 상기 나노와이어층이 포함하는 복수의 나노와이어집합체가 상호 이격 배치되고 일방향 정렬 구조를 가짐과 동시에, 인접한 두 나노와이어층에 있어서 각각의 나노와이어집합체의 정렬 방향이 소정의 각도를 갖는 특징을 가짐으로써 구조적 카이랄성을 나타낼 수 있다. 상기 메타표면층이 카이랄성을 나타낸다는 것은 구조적으로 완전한 비대칭성을 만족하는 것으로, 상기 메타표면층의 구조 내 거울 평면을 갖지 않는 것을 의미한다. 상기 메타표면층은 이와 같은 구조적 특징으로 인해 생성되는 카이랄성을 바탕으로 상기 광학 적층체에서 카이랄 네마틱(Chiral nematic) 표면층으로서 기능하며, 이를 필요로 하는 다양한 응용 분야에 활용될 수 있다.

[0030] 도 1은 일 구현예에 따른 상기 광학 적층체(100)를 개략적으로 도시한 사시도이다. 도 1을 참조할 때, 상기 광학 적층체(100)는 상기 메타표면층(10)을 포함하고, 상기 메타표면층(10)은 적어도 2층의 나노와이어층(20)을 포함한다. 도 1은 상기 메타표면층(10)이 4층의 나노와이어층(20)을 포함하는 경우를 일 예시로서 도시한 것이다.

[0031] 상기 나노와이어층(20)은 복수의 나노와이어집합체(21)를 포함하며, 상기 복수의 나노와이어집합체(21)는 하나의 나노와이어층 내에서 상호 이격 배치되고 일방향 정렬 구조를 갖는다. 구체적으로, 상기 적어도 2층의 나노와이어층(20)은 제1방향으로 정렬된 복수의 나노와이어집합체(21)를 포함하는 제1층(11)과 상기 제1방향과는 다른 방향인 제2방향으로 정렬된 복수의 나노와이어집합체(21)를 포함하고 상기 제1층(11)에 인접하는 제2층(12)을 포함한다. 본 명세서에서 상기 '제1층' 및 상기 '제2층'은 상기 적어도 2층의 나노와이어층 중에서 임의의 두 층을 지칭한다. 도 1은 일 예시로서 지면 측으로부터 첫 번째 층을 제1층, 이와 인접한 두 번째 층을 제2층으로 도시한 것이다. 즉, 상기 메타표면층에 있어서 상기 제1층 및 제2층은 각각 지면 측으로부터 두 번째 층 및 세 번째 층을 지칭할 수도 있고, 이와 같은 원리로 지면 측으로부터 세 번째 층 및 네 번째 층을 지칭할 수도 있다.

[0032] 도 2는 일 구현예에 따른 상기 광학 적층체(100)를 지면에 수직한 방향에서 암시야광학현미경으로 촬영한 사진을 게재한 것이다. 구체적으로, 도 2는 상기 메타표면층(10)이 4층의 나노와이어층(20)을 포함하는 일 예시로서, 지면 측으로부터 각 나노와이어층(20)이 생성될 때마다 1층(1 layer), 2층(2 layers), 3층(3 layers) 및 4층(4 layers)의 경우를 순차적으로 촬영한 사진을 게재한 것이다. 상기 제1층(11) 및 상기 제2층(12)이 각각 지면 측으로부터 첫 번째 층 및 두 번째 층을 지칭할 때 상기 제1층(11)의 복수의 나노와이어집합체의 정렬 방향인 제1방향(a)과 상기 제1방향(a)과 다른 방향인 제2방향(b)으로 정렬된 복수의 나노와이어집합체를 포함하는 상기 제2층(12)에 있어서, 상기 제1방향(a)과 상기 제2방향(b)이 소정의 각도를 이루며, 상기 각도(Θ)가 0° < Θ < 90° 범위 중 어느 하나의 각도일 수 있다. 다른 측면에서 설명하면, 상기 제1층 및 상기 제2층이 각각 지면 측으로부터 두 번째 층 및 세 번째 층을 지칭할 때 상기 제1방향(b)과 상기 제2방향(c)이 이루는 각도(Θ)도 0° < Θ < 90° 범위 중 어느 하나의 각도일 수 있다. 상기 제1방향 및 상기 제2방향이 이와 같이 소정의 각도 범위를 이룸으로써 상기 메타표면층이 상기 복수의 나노와이어층의 적층 구조에 의해 상기 메타표면층이 구조적 카이랄성을 나타낼 수 있다.

[0033] 상기 제1방향과 상기 제2방향이 이루는 각도(Θ)는 예를 들어, 약 0° < Θ < 90° , 예를 들어, 약 5° ≤ Θ < 90° , 예를 들어, 약 10° ≤ Θ < 90° , 예를 들어, 약 15° ≤ Θ < 90° , 예를 들어, 약 5° ≤ Θ ≤ 85° , 예를 들어, 약 5° ≤ Θ ≤ 80° , 예를 들어, 약 5° ≤ Θ ≤ 75° , 예를 들어, 약 5° ≤ Θ ≤ 70° , 예를 들어, 약 5° ≤ Θ ≤ 65° , 예를 들어, 약 5° ≤ Θ ≤ 60° , 예를 들어, 약 5° ≤ Θ ≤ 55° , 예를 들어, 약 5° ≤ Θ ≤ 50° , 예를 들어, 약 10° ≤ Θ ≤ 65° , 예를 들어, 약 10° ≤ Θ ≤ 60° , 예를 들어, 약 10° ≤ Θ ≤ 55° , 예를 들어, 약 10° ≤ Θ ≤ 50° 중 어느 하나의 각도일 수 있다. 여기서 상기 제1방향과 상기 제2방향이 이루는 각도(Θ)는 예각을 기준으로 하는 값이다. 상기 제1방향과 상기 제2방향이 이루는 각도(Θ)가 적정 범위에 해당함으로써 상기 제1층과 상기 제2층의 결합 효과에 따라 상기 제1층의 나노와이어집합체와 상기 제2층의 나노와이어집합체가 이루는 기하학적 구조가 나노와이어 간 플라즈몬 공명 효과 향상에 유리할 수 있으며, 이와 동시에 효과적인 비대칭성을 구현하여 전체 구조적 카이랄성 확보에 보다 유리할 수 있다. 다른 측면에서 설명하면, 상기 제1방향과 상기 제2방향이 이루는 각도(Θ)가 지나치게 작은 경우에는 구조적 비대칭성이 감소하여 카이랄성을 억제할 우려가 있고, 상기 제1방향과 상기 제2방향이 이루는 각도(Θ)가 지나치게 큰 경우에는 상기 제1층과 상기 제2층 사이의 결합 효과가 약화되어 플라즈몬 공명에 불리할 우려가 있다.

[0034] 도 2는 상기 복수의 나노와이어층(20) 각 층의 상기 나노와이어집합체(21)의 정렬 방향이 지면 측으로부터 첫 번째 층(1 layer)부터 마지막 층(4 layer)까지 순차적으로 시계 방향으로 소정의 각도로 회전되도록 적층된 일 예시를 도시한 것이다. 다른 예시에서, 상기 복수의 나노와이어층은 각 층의 상기 나노와이어집합체의 정렬 방향이 지면 측으로부터 첫 번째 층부터 마지막 층까지 순차적으로 시계 반대 방향으로 소정의 각도로 회전되도록 적층될 수 있다. 이때 전자의 적층 구조에 따른 복수의 나노와이어층(20)을 포함하는 메타표면층(10)의 카이랄성과 후자의 적층 구조에 따른 복수의 나노와이어층을 포함하는 메타표면층의 카이랄성은 상호 반대 카이랄성을 나타낼 수 있다. 다른 측면에서 설명하면, 상기 전자의 적층 구조에 따른 복수의 나노와이어층(20)을 포함하는 메타표면층(10)은 오른쪽 카이랄성을 나타내고, 상기 후자의 적층 구조에 따른 복수의 나노와이어층을 포함하는 메타표면층은 왼쪽 카이랄성을 나타낼 수 있다. 이와 같이, 상기 복수의 나노와이어층 각 층의 상기 나노와이어집합체의 정렬 방향의 회전 방향에 따라 상기 메타표면층의 오른쪽 또는 왼쪽의 카이랄성을 나타낼 수 있으며, 상기 소정의 각도가 전술한 범위를 만족함으로써 플라즈몬 공명 효과와 카이랄성을 모두 우수하게 구현할 수 있다.

[0035] 일 구현예에서, 상기 메타표면층은 상기 나노와이어층을 약 2층 내지 약 10층 포함할 수 있다. 도 1은 상기 메타표면층(10)이 상기 나노와이어층(20)을 4층 포함하는 경우를 일 예시로서 도시한 것이다. 상기 메타표면층(10)이 적정 층수의 나노와이어층(20)을 포함함으로써 복수의 나노와이어층 사이의 결합 효과에 의해 플라즈몬 공명이 목적 수준으로 구현되기 유리할 수 있으며, 상기 복수의 나노와이어층에 포함된 나노와이어집합체들의 회전 적층에 따른 기하학적 구조가 카이랄성을 목적 수준으로 구현하기에 보다 유리할 수 있다.

[0036] 일 구현예에서, 상기 나노입자층의 두께는 예를 들어, 약 100nm 내지 약 200nm, 예를 들어, 약 110nm 내지 약 200nm, 예를 들어, 약 120nm 내지 약 200nm, 예를 들어, 약 130nm 내지 약 200nm, 예를 들어, 약 110nm 내지 약 180nm, 예를 들어, 약 120nm 내지 약 180nm, 예를 들어, 약 130nm 내지 약 180nm, 예를 들어, 약 140nm 내지 약 180nm일 수 있다.

[0037] 도 3은 일 구현예에 따른 상기 나노와이어층(20)의 주사전자현미경(Scanning Electron Microscope, SEM) 사진을 게재한 것이다. 도 3의 (a)는 임의의 하나의 상기 나노와이어층(20)에 대하여 지면에 수직한 방향에서 측정한 SEM 사진이고, 도 3의 (b)는 상기 도 3의 (a)의 A 부분을 확대 측정한 SEM 사진이다.

[0038] 도 3을 참조할 때, 상기 나노와이어층(20)은 복수의 나노와이어집합체(21)를 포함하고, 상기 복수의 나노와이어집합체(21)는 상호 이격 배치되며 일방향 정렬 구조를 갖는다. 도 3의 (a)를 참조할 때, 상기 복수의 나노와이어집합체(21)는 인접한 두 나노와이어집합체 사이의 이격 거리(D2)가 약 2.0㎛ 내지 약 9.0㎛, 예를 들어, 약 2.5㎛ 내지 약 8.5㎛, 예를 들어, 약 3.0㎛ 내지 약 9.0㎛, 예를 들어, 약 3.0㎛ 내지 약 8.5㎛일 수 있다. 상기 복수의 나노와이어집합체(21)가 상호 이와 같은 범위로 이격 배치됨으로써 이들이 일방향 정렬 구조를 이루는 특징과 상기 복수의 나노와이어층(20)들의 정렬 방향이 소정의 각도를 이루는 특징이 조합되어 상기 광학 적층체(100)에 향상된 카이랄성을 부여하기 유리할 수 있다. 다른 측면에서 설명하면, 상기 복수의 나노와이어집합체(21) 사이의 이격 거리(D2)가 지나치게 가깝거나 지나치게 멀면 상기 복수의 나노와이어집합체(21)가 일방향 정렬되고, 상기 복수의 나노와이어층(20)들의 정렬 방향이 소정의 각도를 이루도록 적층되더라도 카이랄성이 목적 수준으로 나타나지 않을 우려가 있다.

[0039] 도 3의 (b)를 참조할 때, 상기 나노와이어집합체(21)는 복수의 나노와이어(24)를 포함할 수 있다. 구체적으로,

상기 나노와이어집합체(21)는 복수의 나노와이어(24)가 군집을 이루고 있는 집합체를 의미할 수 있다. 상기 나노와이어(24)는 소정의 구조 및 형상을 갖고, 소정의 조성을 포함함으로써 상기 메타표면층(10)의 카이랄성 및 광학적 특성을 목적 수준으로 구현하는 데 보다 유리할 수 있다.

[0040] 일 구현예에서, 상기 나노와이어집합체(21)는 복수의 나노와이어(24)를 포함하고, 상기 나노와이어(24)는 자성 플라즈몬 입자를 포함할 수 있다. 여기서, 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. 상기 나노와이어가 이러한 자성 플라즈몬 입자를 포함함으로써 이로부터 유래된 상기 나노와이어집합체가 일방향 정렬 구조를 형성함과 동시에 상기 광학 적층체가 우수한 광학적 특성을 나타낼 수 있다.

[0041] 상기 자성 플라즈몬 입자는 자기장 인가에 의한 배열 가변성을 가질 수 있다. 여기서, 상기 '자기장 인가에 의한 배열 가변성'이란 상기 자성 플라즈몬 입자에 자기장이 인가되는 경우, 인가된 자기장에 따라 상기 자성 플라즈몬 입자가 소정의 배열로 정렬되는 특성의 의미한다. 이러한 자기장 인가에 의한 배열 가변성을 바탕으로, 상기 나노와이어(24)는 자기장 인가라는 비교적 단순한 수단에 의하여 이를 구성으로 하면서 일방향 정렬 구조를 갖는 상기 복수의 나노와이어집합체(21)를 형성할 수 있다.

[0042] 도 4는 일 구현예에 따른 상기 나노와이어(24)의 단면을 개략적으로 도시한 것이다. 도 4를 참조할 때, 상기 나노와이어(24)는 코어(core, 14)를 포함하고, 상기 코어(14) 표면의 적어도 일부를 둘러싸면서 상기 코어(14)와 이종의 성분을 포함하는 쉘(shell, 15)을 포함한다. 도 4는 상기 쉘(15)이 실질적으로 상기 코어(14)의 표면 전체를 둘러싼 경우를 일 예시로서 도시한 것이다. 여기서, 상기 쉘(15)이 상기 코어(14)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.

[0043] 일 구현예에 따른 상기 나노와이어(24)에 있어서, 상기 코어(14) 및 상기 쉘(15) 중 어느 하나는 금속 성분을 포함하고, 다른 하나는 자성 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 나노와이어(24)의 군집에 의한 상기 복수의 나노와이어집합체(21)가 일방향 정렬 구조를 형성하기 유리하며, 목적하는 색상의 발현 및 카이랄성의 구현에 있어서 기술적 이점을 얻을 수 있다.

[0044] 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.

[0045] 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.

[0046] 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.

[0047] 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.

[0048] 도 4를 참조할 때, 일 구현예에 따른 상기 나노와이어(24)에 있어서, 상기 코어(14)의 평균 폭(W1)은 예를 들어, 약 0.01nm 내지 약 100nm, 예를 들어, 약 0.01nm 내지 약 90nm, 예를 들어, 약 0.01nm 내지 약 50nm, 예

를 들어, 약 0.1nm 내지 약 50nm, 예를 들어, 약 0.1nm 내지 약 20nm, 예를 들어, 약 1nm 내지 약 20nm, 예를 들어, 약 1nm 내지 약 15nm, 예를 들어, 약 1nm 내지 약 10nm일 수 있다.

[0049] 상기 쉘(15)의 평균 두께(D1)는 예를 들어, 약 1nm 내지 약 150nm, 예를 들어, 약 1nm 내지 약 120nm, 예를 들어, 약 10nm 내지 약 120nm, 예를 들어, 약 20nm 내지 약 120nm, 예를 들어, 약 30nm 내지 약 120nm, 예를 들어, 약 40nm 내지 약 120nm, 예를 들어, 약 50nm 내지 약 120nm, 예를 들어, 약 60nm 내지 약 110nm, 예를 들어, 약 60nm 내지 약 100nm일 수 있다.

[0050] 상기 나노와이어(24)에 있어서, 상기 코어(14)의 길이(L1) 및 폭(W1)의 비(L1/W1)로 정의되는 종횡비(Aspect ratio)가 약 2.00 초과, 약 100.00이하, 예를 들어, 약 5.00 내지 약 80.00, 예를 들어, 약 10.00 내지 약 80.00, 예를 들어, 약 10.00 내지 약 70.00, 예를 들어, 약 10.00 내지 약 65.00, 예를 들어, 약 10.00 내지 약 60.00일 수 있다.

[0051] 일 구현예에서, 상기 나노와이어(24) 전체의 평균 길이는 약 55nm 내지 약 300nm, 예를 들어, 약 55nm 내지 약 250nm, 예를 들어, 약 60nm 내지 약 300nm, 예를 들어, 약 60nm 내지 약 250nm, 예를 들어, 약 70nm 내지 약 250nm, 예를 들어, 약 80nm 내지 약 250nm, 예를 들어, 약 90nm 내지 약 250nm, 예를 들어, 약 100nm 내지 약 250nm일 수 있다.

[0052] 상기 코어(14)의 폭 및 종횡비, 상기 쉘(15)의 두께 및 상기 나노와이어(24)의 길이 등은 모두 상기 나노와이어(24)의 단면에 대하여 측정한 2차원 값으로서, 주사전자현미경(SEM) 또는 투과전자현미경(TEM) 등의 수단을 통하여 얻은 투영상으로부터 얻을 수 있다. 상기 '평균 폭', '평균 두께' 및 '평균 길이' 등에서 '평균'은 약 1mg의 수량에 대하여 측정된 수평균 값을 의미한다. 상기 나노와이어(24)의 크기 및 형상에 관련한 수치가 각각 또는 2 이상의 조합으로 상기 범위를 만족하는 경우, 상기 나노와이어(24)의 정렬에 따른 상기 나노와이어집합체(21)의 일방향 정렬 구조가 상기 메타표면층(10)의 카이랄성 및 상기 광학 적층체(100)의 광학적 특성의 동시 구현에 보다 유리할 수 있다.

[0053] 일 구현예에서, 상기 복수의 나노와이어(24)는 1mg 수량에 대한 상기 코어(14) 폭(W1)의 표준편차가 약 70nm 이하일 수 있고, 예를 들어, 약 65nm 이하일 수 있고, 예를 들어, 약 20nm 내지 약 65nm, 예를 들어, 약 40nm 내지 약 65nm일 수 있다. 상기 나노와이어(24)의 복수의 집합체에 대해서 이와 같은 표준편차 조건이 만족됨으로써 복수의 상기 나노와이어집합체(21) 각각이 상호 상대적으로 균일한 간격으로 이격 배치되고, 상대적으로 균일한 양의 상기 나노와이어(24)를 포함함으로써 규칙성 있는 일방향 정렬 구조를 이룰 수 있고, 그 결과, 상기 메타표면층(10)이 전면에 걸쳐 우수한 카이랄성을 나타내면, 상기 광학 적층체(100)가 전면에 걸쳐 균일한 광학적 특성을 발현하기에 유리할 수 있다.

[0054] 도 3의 (b)를 참조할 때, 상기 나노와이어집합체(21)는 복수의 나노와이어(24)를 포함하며, 상기 복수의 나노와이어(24) 중 임의의 두 나노와이어(241, 242)는 상호 길이 방향이 이루는 각도가 약 0° 내지 약 20° , 예를 들어, 약 0° 내지 약 15° 일 수 있다. 다른 측면에서 설명하면, 상기 복수의 나노와이어(24)는 제1 나노와이어(241) 및 제2 나노와이어(242)를 포함하고, 상기 제1 나노와이어(241)의 길이 방향과 상기 제2 나노와이어(242)의 길이 방향이 이루는 각도가 약 0° 내지 약 20° , 예를 들어, 약 0° 내지 약 15° 일 수 있다. 상기 복수의 나노와이어(24)가 상기 나노와이어집합체(21) 내에서 이와 같은 배열로 군집을 이룸으로써 개별 나노와이어(24) 간의 이방성 상호 작용이 전체적으로 특정 방향의 장거리 배향을 지원하는 구조를 나타내고, 이는 네마틱 액정과 유사한 구조를 나타낼 수 있다. 또한, 상기 나노와이어집합체(21)가 상기 나노와이어층(20) 내에서 일방향 정렬 구조를 형성하기에 보다 유리할 수 있으며, 상기 나노와이어집합체(21)가 복수의 나노와이어(24)를 적정 농도로 포함함으로써 상기 광학 적층체(100)의 카이랄성 및 광학적 특성의 구현에 보다 유리할 수 있다.

[0055] 도 3의 (b)를 참조할 때, 상기 나노와이어집합체(21)의 평균 두께(D3)는 약 10㎛ 이하일 수 있고, 예를 들어, 약 5㎛ 이하, 예를 들어, 약 0.5㎛ 내지 약 5.0㎛, 예를 들어, 약 0.5㎛ 내지 약 3.5㎛, 예를 들어, 약 0.5㎛ 내지 약 3.0㎛, 예를 들어, 약 0.5㎛ 내지 약 2.0㎛, 예를 들어, 약 0.6㎛ 내지 약 1.8㎛, 예를 들어, 약 0.7㎛ 내지 약 1.7㎛일 수 있다. 상기 나노와이어집합체(21)의 평균 두께(D3)는 나노와이어 100개 기준 평균값으로, 이와 같은 범위를 만족함으로써 상기 복수의 나노와이어집합체(21)의 정렬 구조가 카이랄성의 구현에 보다 유리할 수 있다.

[0056] 도 1을 참조할 때, 상기 메타표면층(10)은 상기 제1층(11)과 상기 제2층(12) 사이에 배치된 이격층(30)을 더 포함할 수 있다. 상기 이격층(30)은 상기 복수의 나노와이어층(20)의 층 간격을 적절하게 확보해주는 역할을 할 수 있다. 또한, 상기 이격층(30)은 상기 복수의 나노와이어층(20)의 형성 과정에서 하나의 나노와이어층을 형

성하는 공정이 이미 형성된 다른 하나의 나노와이어층의 변화를 야기하는 것을 효과적으로 방지하는 역할을 수행할 수 있다. 또한, 상기 이격층(30)을 통하여 상기 메타표면층(10)의 두께를 적절히 조절할 수 있고, 상기 광학 적층체(100)의 용도 활용성을 향상시키기에 보다 유리할 수 있다.

[0057] 일 구현예에서, 상기 이격층(30)은 폴리디알릴디메틸암모늄클로라이드(PDDA, polydiallyldimethylammonium chloride), 폴리아믹산(poly(amic acid)), 폴리(알릴아민하이드로클로라이드)(PAH, poly(allylamine hydrochloride)), 폴리에틸렌이민(PEI, polyethyleneimine), 폴리-L-리신(PLL, poly-L-lysine), 폴리아크릴산(PAA, poly(acrylic acid), 폴리스티렌설포네이트(PSS, polystyrenesulfonate), 폴리비닐설페이트(PVS, Poly(vinylsulfate)), 덱스트란설페이트(DS, Dextran sulfate) 및 이들의 조합으로 이루어진 군으로부터 선택된 하나를 포함할 수 있다. 이와 같은 종류의 성분을 적용함으로써 상기 이격층(30)의 전술한 역할 및 기능을 향상시키기에 보다 유리할 수 있다.

[0058] 도 1을 참조할 때, 상기 나노와이어층(20)은 바탕재(22)를 더 포함할 수 있다. 상기 바탕재(22)는 상기 나노와이어층(20) 내에 배치된 상기 나노와이어집합체(21)의 배열 구조를 확고히 지지하는 역할을 수행할 수 있다. 또한, 상기 바탕재(22)는 상기 복수의 나노와이어층(20) 사이의 계면 부착성을 향상시키는 역할을 수행할 수 있다. 또한, 상기 바탕재(22)는 상기 나노와이어층(20)이 적절한 두께감을 갖도록 할 수 있다.

[0059] 일 구현예에서, 상기 바탕재(22)는 폴리디알릴디메틸암모늄클로라이드(PDDA, polydiallyldimethylammonium chloride), 폴리아믹산(poly(amic acid)), 폴리(알릴아민하이드로클로라이드)(PAH, poly(allylamine hydrochloride)), 폴리에틸렌이민(PEI, polyethyleneimine), 폴리-L-리신(PLL, poly-L-lysine), 폴리아크릴산(PAA, poly(acrylic acid), 폴리스티렌설포네이트(PSS, polystyrenesulfonate), 폴리비닐설페이트(PVS, Poly(vinylsulfate)), 덱스트란설페이트(DS, Dextran sulfate) 및 이들의 조합으로 이루어진 군으로부터 선택된 하나를 포함할 수 있다. 상기 바탕재(22)가 이와 같은 성분을 포함함으로써 전술한 역할 및 기능을 향상시키기에 보다 유리할 수 있다.

[0060] 일 구현예에서, 상기 이격층(30)과 상기 바탕재(22)는 상호 반대 전하를 갖는 성분으로부터 유래될 수 있다. 구체적으로, 상기 이격층(30)이 양(+)전하를 갖는 성분으로부터 유래되고 상기 바탕재(22)가 음(-)전하를 갖는 성분으로부터 유래되거나; 상기 이격층(30)이 음(-)전하를 갖는 성분으로부터 유래되고 상기 바탕재(22)가 양(+)전하를 갖는 성분으로부터 유래될 수 있다. 상기 이격층(30) 및 상기 바탕재(22)에 상호 반대 전하를 갖는 성분을 원료로 적용함으로써 상기 메타표면층(10)의 제조 과정에서 상기 이격층(30)과 상기 나노와이어층(20) 사이의 정전기 상호 작용을 통해 층간 계면 부착성을 우수하게 확보할 수 있으며, 상기 나노와이어집합체(21)의 정렬 구조가 효과적으로 고정되어 상기 복수의 나노와이어층(20)의 회전 적층에 따른 카이랄성이 정교하게 구현되기 유리할 수 있다.

[0061] 일 구현예에서, 상기 이격층(30)은 양(+)전하를 갖는 폴리머(polymer)로부터 유래되고, 상기 바탕재(22)는 음(-)전하를 갖는 폴리머로부터 유래될 수 있다. 보다 구체적으로, 상기 양(+)전하를 갖는 폴리머는 폴리디알릴디메틸암모늄클로라이드(PDDA), 폴리(알릴아민하이드로클로라이드)(PAH), 폴리에틸렌이민(PEI), 폴리-L-리신(PLL) 및 이들의 조합으로 이루어진 군으로부터 선택된 하나를 포함하고, 상기 음(-)전하를 갖는 폴리머는 폴리아믹산, 폴리아크릴산(PAA), 폴리스티렌설포네이트(PSS), 폴리비닐설페이트(PVS), 덱스트란설페이트(DS) 및 이들의 조합으로 이루어진 군으로부터 선택된 하나를 포함할 수 있다.

[0062] 도 1을 참조할 때, 상기 광학 적층체(100)는 상기 메타표면층(10)의 일면에 배치된 지지층(40)을 더 포함할 수 있다. 상기 지지층(40)은 상기 메타표면층(10)을 구조적으로 지지하는 역할을 할 수 있다.

[0063] 상기 지지층(40)에는 상기 광학 적층체(100)의 최종적인 용도에 따라 목적으로 하는 기능 및 성능을 확보하는 차원에서 다양한 재료를 적용할 수 있다. 예를 들어, 상기 지지층(40)은 유리, 인듐주석산화물(Indium-Tin Oxide, ITO), 불소산화주석(Fluorine-doped Tin Oxide, FTO), 폴리(메틸메타아크릴레이트), 폴리카보네이트, 폴리(디메틸실록산) 및 이들의 조합으로 이루어진 군으로부터 선택된 하나를 포함 및 이들의 조합으로 이루어진 군으로부터 선택된 하나를 포함할 수 있다. 상기 지지층(40)이 이와 같은 성분을 포함함으로써 상기 메타표면층(10)에 의한 구조적 카이랄성과 광학적 특성을 저해하지 않으면서 상기 광학 적층체(100)에 적절한 구조적 강성을 부여하기에 보다 유리할 수 있다.

[0064] 상기 광학 적층체(100)가 상기 지지층(40)을 포함하는 경우, 상기 지지층(40)과 상기 메타표면층(10) 사이에 배치된 상기 이격층(30)을 더 포함할 수 있다. 상기 지지층(40)과 상기 메타표면층(10) 사이에 상기 이격층(30)을 배치함으로써 상기 지지층(40)의 존재가 상기 메타표면층(10)에 의해 구현되어야 하는 카이랄성 및 광학적

특성을 저해하지 않으면서도 상기 지지층(40)과 상기 메타표면층(10) 사이의 계면 부착성을 향상시키기에 보다 유리할 수 있다.

[0065] 상기 광학 적층체(100)가 상기 지지층(40) 및 상기 지지층(40)과 상기 메타표면층(10) 사이에 배치된 상기 이격층(30)을 포함하는 경우, 상기 지지층(40) 및 상기 이격층(30)은 상호 반대 전하를 갖는 성분으로부터 유래될 수 있다. 다른 측면에서 설명하면, 상기 지지층(40)이 음(-)전하를 갖는 성분으로부터 유래되고 상기 이격층(30)이 양(+)전하를 갖는 성분으로부터 유래되거나; 상기 지지층(40)이 양(+)전하를 갖는 성분으로부터 유래되고 상기 이격층(30)이 음(-)전하를 갖는 성분으로부터 유래될 수 있다. 이와 같이, 상기 지지층(40)과 상기 이격층(30)이 상호 반대 전하를 갖는 성분으로부터 유래됨으로써 두 층 사이의 계면 부착성을 향상시켜 상기 광학 적층체(100)가 필요한 정도의 구조적 강성을 확보하기에 보다 유리할 수 있다.

[0066] 일 구현예에서, 상기 지지층(40)은 음(-)전하를 갖도록 대전된 유리로부터 유래되고, 상기 이격층(30)은 양(+)전하를 갖는 폴리머(polymer)로부터 유래될 수 있다. 보다 구체적으로, 상기 지지층(40)은 표면에 실리콘옥사이드($SiO^-$) 이온이 노출되도록 처리된 유리로부터 유래될 수 있다. 또한, 상기 이격층(30)에 적용되는 양(+)전하를 갖는 폴리머는 폴리디알릴디메틸암모늄클로라이드(PDDA), 폴리(알릴아민하이드로클로라이드)(PAH), 폴리에틸렌이민(PEI), 폴리-L-리신(PLL) 및 이들의 조합으로 이루어진 군으로부터 선택된 하나를 포함할 수 있다.

[0067] 일 구현예에서, 상기 광학 적층체의 400nm 내지 500nm 파장에 대한 흡광도는 약 1.0 미만일 수 있고, 예를 들어, 약 0.2 내지 1.0일 수 있고, 예를 들어, 약 0.2 내지 약 0.8일 수 있고, 예를 들어, 약 0.2 내지 약 0.7일 수 있다. 상기 광학 적층체가 이와 같은 흡광도에 상응하는 투과율을 나타냄으로써 구조적 카이랄성과 함께 다양한 용도에 적용 가능한 광학적 특성을 동시에 확보하는 데 유리할수 있다.

[0068] 상기 광학 적층체(100)는 상기 메타표면층(10)에 상호 이격 배치되고 일방향 정렬 구조를 갖는 복수의 나노와이어집합체(21)를 포함하는 나노와이어층(20)을 적용하고, 상기 복수의 나노와이어층(20)을 적층함에 있어서 각 층의 나노와이어집합체(21)의 정렬 방향이 소정의 각도를 이루도록 회전 적층하는 구조를 적용함으로써 구조적 카이랄성 및 우수한 광학적 특성을 동시에 확보할 수 있다. 이러한 기술적 이점을 통해 광결정, 전기화학촉매 및 센서 응용 분야 등에서 다양한 용도로 활용될 수 있다.

[0070] 본 발명의 다른 구현예에서, 메타표면층을 제조하는 단계를 포함하고, 상기 메타표면층을 제조하는 단계는, 복수의 나노와이어를 포함하는 현탁액을 주입하는 (a) 단계; 상기 현탁액에 자기장을 인가하는 (b) 단계; 상기 현탁액을 건조시켜 제1방향으로 정렬되고 상호 이격 배치된 복수의 나노와이어집합체를 포함하는 제1 나노와이어층을 제조하는 단계; 및 상기 제1층 상에 상기 (a) 단계 및 상기 (b) 단계를 반복 수행하여 상기 제1방향과 다른 방향인 제2방향으로 정렬되고 상호 이격 배치된 복수의 나노와이어집합체를 포함하는 제2 나노와이어층을 제조하는 단계;를 포함하고, 상기 제1방향과 상기 제2방향이 이루는 각도(Θ)가 $0° < \Theta < 90°$ 범위 중 어느 하나의 각도인, 광학 적층체의 제조방법을 제공한다.

[0071] 상기 광학 적층체의 제조방법은 전술한 상기 광학 적층체를 제조하기 위한 최적의 방법으로서 상기 광학 적층체와 이의 하위 구성에 관련하여 전술한 모든 사항은 하기 반복 후술되는 경우뿐만 아니라 후술되지 않은 경우에도 상기 광학 적층체의 제조방법에 대하여 모두 통합 적용될 수 있다. 다른 측면에서 설명하면, 상기 광학 적층체의 제조방법을 통하여 제조된 광학 적층체는 일 구현예에 따른 상기 광학 적층체의 특징을 모두 가질 수 있다.

[0072] 본 명세서에서 '(a) 단계' 또는 '(b) 단계' 등의 '(a)' 및 '(b)'는 알파벳의 순서에 따른 각 단계의 시계열적 순서를 한정하기 위한 것이 아니라 상기 제조방법의 각 단계에 관하여 상세히 서술함에 있어서 설명의 편의성을 위하여 각 단계를 간단히 지칭하기 위해 사용된 것으로 이해되어야 할 것이다.

[0073] 본 명세서에서 '제1 나노와이어층' 또는 '제2 나노와이어층' 등의 '제1' 및 '제2'는 상기 제조방법을 통하여 제조된 광학 적층체에 포함되는 나노와이어층 중 임의의 두 층을 지칭하는 것으로 상기 제조방법을 통해 제조되는 광학 적층체가 오직 2층의 나노와이어층을 포함하는 경우뿐만 아니라 상기 제2 나노와이어층을 제조하는 단계가 2회 이상 반복 수행됨으로써 상기 광학 적층체가 3층 이상의 나노와이어층을 포함하는 경우를 모두 포괄하는 것으로 해석되어야 할 것이다.

[0074] 상기 광학 적층체의 제조방법은 복수의 나노와이어를 포함하는 현탁액을 주입하는 (a) 단계를 포함한다. 상기 (a) 단계에서 상기 현탁액을 '주입한다'는 것은 상기 나노와이어층을 형성하기 위하여 상기 현탁을 층상 도포하거나 목적 기재 상에 액적 형태로 드롭(drop)하는 등의 모든 방법을 포괄하는 것으로 해석되어야 할 것이다.

[0075] 상기 복수의 나노와이어에 있어서, 상기 나노와이어의 형상, 크기 및 조성 등에 관한 모든 사항은 상기 광학 적층체(100)에 관하여 도 3 및 도 4 등을 참조하며 전술한 사항이 상기 광학 적층체의 제조방법에도 모두 통합 적용될 수 있다. 상기 복수의 나노와이어가 전술한 형상, 크기 및 조성 등을 가짐으로써 상기 광학 적층체의 제조방법에서 목적으로 하는 정렬 구조로 배열되어 상기 복수의 나노와이어집합체를 통한 구조적 카이랄성을 구현하기에 보다 유리할 수 있다.

[0076] 상기 복수의 나노와이어를 포함하는 현탁액은 분산매 중에 상기 복수의 나노와이어가 불규칙적으로 분산된 형태의 액체로서, 상기 현탁액 중의 상기 복수의 나노와이어의 농도는 약 0.05 mg/mL 내지 약 0.50 mg/mL, 예를 들어, 약 0.05 mg/mL 내지 약 0.45 mg/mL, 예를 들어, 약 0.10 mg/mL 내지 약 0.50 mg/mL, 예를 들어, 약 0.10 mg/mL 내지 약 0.45 mg/mL, 예를 들어, 약 0.05 mg/mL 내지 약 0.40 mg/mL, 예를 들어, 약 0.10 mg/mL 내지 약 0.40 mg/mL, 예를 들어, 약 0.05 mg/mL 내지 약 0.35 mg/mL, 예를 들어, 약 0.10 mg/mL 내지 약 0.35 mg/mL일 수 있다. 상기 현탁액 중의 상기 복수의 나노와이어의 농도가 이와 같은 범위를 만족함으로써 복수의 나노와이어의 정렬과 군집에 의해 적정 두께 및 이격 거리를 갖는 나노와이어집합체가 형성될 수 있으며, 이를 통해 우수한 구조적 카이랄성이 구현되기에 보다 유리할 수 있다. 또한, 흡광도 등의 광학적 특성이 적정 수준으로 구현될 수 있다. 다른 측면에서 설명하면, 상기 현탁액 중의 상기 복수의 나노와이어의 농도가 지나치게 낮은 경우에는 상기 복수의 나노와이어가 일방향 정렬 구조를 나타낼 만큼 군집을 이루지 못할 우려가 있고, 상기 복수의 나노와이어의 농도가 지나치게 높은 경우에는 이로부터 형성된 복수의 나노와이어집합체가 상호 적정 이격 거리를 확보하지 못하여 일방향 정렬 구조를 이루지 못할 우려가 있다.

[0077] 일 구현예에 따른 상기 (a) 단계에서, 상기 현탁액은 액적 드롭 방법으로 주입될 수 있다. 상기 현탁액이 액적 드롭 방법으로 주입되는 경우 주입 속도는 약 0.5ml/min 내지 약 2.0ml/min, 예를 들어, 약 0.7ml/min 내지 약 1.5ml/min, 예를 들어, 약 0.8ml/min 내지 약 1.2ml/min일 수 있다. 이와 같은 주입 속도로 주입함으로써 상기 복수의 나노와이어의 응집없이 상기 현탁액이 균일하게 분산될 수 있고, 그 결과, 상기 복수의 나노와이어가 상기 (b) 단계에서 인가되는 자기장에 의해 목적하는 배열로 정렬되기에 보다 유리할 수 있다.

[0078] 상기 광학 적층체 제조방법은 상기 현탁액에 자기장을 인가하는 (b) 단계를 포함한다. 일 구현예에서, 상기 복수의 나노와이어는 자성 플라즈몬 입자를 포함할 수 있다. 또한, 상기 자성 플라즈몬 입자는 자기장 인가에 의한 배열 가변성을 가질 수 있다. 상기 광학 적층체의 제조방법에 있어서, 상기 나노와이어 및 상기 자성 플라즈몬 입자에 관한 구체적인 사항은 상기 광학 적층체에 관하여 전술한 사항이 모두 통합 적용될 수 있다. 상기 현탁액에 자기장을 인가함으로써 자기장 인가에 대한 배열 가변성을 갖는 상기 복수의 나노와이어가 자기장 형상에 상응하여 목적하는 배열로 정렬될 수 있고, 이를 통해 상호 이격 배치되고 특정 방향으로 정렬된 상기 나노와이어집합체가 형성될 수 있다.

[0079] 구체적으로, 상기 (b) 단계는 대향 배치된 두 자성체에 의해 상기 자기장을 생성하고, 상기 현탁액이 상기 자기장 내에 배치됨으로써 수행될 수 있다. 상기 복수의 나노와이어를 포함하는 현탁액을 두 개의 자성체에 의해 형성된 수평 자기장 내에 위치시킴으로써 상기 복수의 나노와이어를 원하는 방향으로 정렬시켜 목적으로 하는 형태의 나노와이어집합체를 형성할 수 있다.

[0080] 일 구현예에서, 상기 두 자성체에 의해 생성된 자기장의 세기는 약 5.0mT 내지 약 30.0mT, 예를 들어, 약 5.0mT 내지 약 25.0mT, 예를 들어, 약 10.0mT 내지 약 30.0mT, 예를 들어, 약 15.0mT 내지 약 30.0mT일 수 있다. 이와 같은 세기의 자기장을 적용함으로써 전술된 특징을 갖는 나노와이어가 목적하는 정렬 구조 및 이격 간격으로 배치되어 카이랄성 및 광학적 특성을 동시에 우수하게 구현하는 복수의 나노와이어집합체로 형성되기에 유리할 수 있다.

[0081] 일 구현예에서, 상기 두 자성체는 각각 독립적으로 네오디뮴(neodymium) 자석, 페라이트(ferrite) 자석 또는 전자석을 포함할 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.

[0082] 일 구현예에서, 상기 두 자성체의 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 8cm, 예를 들어, 약 2cm 내지 약 6cm, 예를 들어, 약 2cm 내지 약 5cm, 예를 들어, 약 2cm 내지 약 4cm일 수 있다.

[0083] 일 구현예에서, 상기 (a) 단계 및 상기 (b) 단계는 상기 자기장을 생성한 후 상기 자기장 내에 상기 현탁액을 주입하는 순서로 수행될 수도 있고, 상기 현탁액을 주입한 후 상기 자기장을 상기 현탁액에 인가되도록 생성하

는 순서로 수행될 수도 있다.

[0084] 상기 광학 적층체의 제조방법은 상기 현탁액을 건조시켜 제1방향으로 정렬되고 상호 이격 배치된 복수의 나노와이어집합체를 포함하는 제1 나노와이어층을 제조하는 단계를 포함한다. 이때, 상기 현탁액의 건조는 소정의 방향으로 정렬되고 상호 이격 배치된 복수의 나노와이어집합체를 고정시키는 단계로, 자연 건조 방법으로 수행될 수 있다. 여기서, '자연 건조 방법'이란 상온에서 별도의 고온 처리 없이 건조시키는 방법을 의미한다. 상기 건조 시간은 상기 나노와이어층의 면적에 따라 달라질 수 있으며, 예를 들어, 약 1시간 내지 약 20시간 범위에서 적절히 선택될 수 있다.

[0085] 상기 광학 적층체의 제조방법은 상기 제1층 상에 상기 (a) 단계 및 상기 (b) 단계를 반복 수행하여 상기 제1방향과 다른 방향인 제2방향으로 정렬되고 상호 이격 배치된 복수의 나노와이어집합체를 포함하는 제2 나노와이어층을 제조하는 단계;를 포함한다. 상기 제1 나노와이어층 및 상기 제2 나노와이어층의 적층 구조를 통하여 상기 메타표면층이 구조적 카이랄성을 구현할 수 있다.

[0086] 전술한 바와 같이, 상기 제2 나노와이어층을 제조하는 단계는 2회 이상 반복 수행될 수 있다. 예를 들어, 상기 제2 나노와이어층을 제조하는 단계가 1회 수행되면 상기 메타표면층에 있어서 지면으로부터 첫 번째 층이 상기 제1 나노와이어층이 되고, 두 번째 층이 상기 제2 나노와이어층이 된다. 추가적으로, 상기 제2 나노와이어층을 제조하는 단계가 1회 더 수행되면, 상기 메타표면층에 있어서 지면으로부터 두 번째 층이 상기 제1 나노와이어층이 되고, 세 번째 층이 상기 제2 나노와이어층이 된다. 이와 같이, 인접한 두 층 사이의 나노와이어집합체의 정렬 방향에 소정의 각도를 부여하여 복수의 나노와이어층을 회전 적층함으로써 상기 메타표면층이 우수한 구조적 카이랄성을 구현할 수 있다.

[0087] 상기 제1방향과 상기 제2방향이 이루는 각도(Θ)는 약 $0^\circ < \Theta < 90^\circ$, 예를 들어, 약 $5^\circ \leq \Theta < 90^\circ$, 예를 들어, 약 $10^\circ \leq \Theta < 90^\circ$, 예를 들어, 약 $15^\circ \leq \Theta < 90^\circ$, 예를 들어, 약 $5^\circ \leq \Theta \leq 85^\circ$, 예를 들어, 약 $5^\circ \leq \Theta \leq 80^\circ$, 예를 들어, 약 $5^\circ \leq \Theta \leq 75^\circ$, 예를 들어, 약 $5^\circ \leq \Theta \leq 70^\circ$, 예를 들어, 약 $5^\circ \leq \Theta \leq 65^\circ$, 예를 들어, 약 $5^\circ \leq \Theta \leq 60^\circ$, 예를 들어, 약 $5^\circ \leq \Theta \leq 55^\circ$, 예를 들어, 약 $5^\circ \leq \Theta \leq 50^\circ$, 예를 들어, 약 $10^\circ \leq \Theta \leq 65^\circ$, 예를 들어, 약 $10^\circ \leq \Theta \leq 60^\circ$, 예를 들어, 약 $10^\circ \leq \Theta \leq 55^\circ$, 예를 들어, 약 $10^\circ \leq \Theta \leq 50^\circ$ 중 어느 하나의 각도일 수 있다. 여기서 상기 제1방향과 상기 제2방향이 이루는 각도(Θ)는 예각을 기준으로 하는 값이다. 상기 제1방향과 상기 제2방향이 이루는 각도(Θ)가 적정 범위에 해당함으로써 상기 제1 나노와이어층과 상기 제2 나노와이어층의 결합 효과에 따라 두 층의 나노와이어집합체가 이루는 기하학적 구조가 나노와이어 간 플라즈몬 공명 효과 향상에 유리할 수 있으며, 이와 동시에 효과적인 비대칭성을 구현하여 전체 구조적 카이랄성 확보에 보다 유리할 수 있다. 다른 측면에서 설명하면, 상기 제1방향과 상기 제2방향이 이루는 각도(Θ)가 지나치게 작은 경우에는 구조적 비대칭성이 감소하여 카이랄성을 억제할 우려가 있고, 상기 제1방향과 상기 제2방향이 이루는 각도(Θ)가 지나치게 큰 경우에는 두 층의 나노와이어집합체 사이의 결합 효과가 약화되어 플라즈몬 공명에 불리할 우려가 있다.

[0088] 상기 광학 적층체의 제조방법은 상기 제1 나노와이어층과 상기 제2 나노와이어층 사이에 이격층을 형성하는 단계를 더 포함할 수 있다. 상기 이격층을 형성하는 단계는 시계열적으로 상기 제1 나노와이어층을 제조하는 단계와 상기 제2 나노와이어층을 제조하는 단계 사이에 수행될 수 있다.

[0089] 일 구현예에서, 상기 이격층을 형성하는 단계는 상기 제1 나노와이어층이 형성된 메타표면층 중간체를 이격층 형성용 조성물에 침지하여 상기 제1 나노와이어층 바로 위에 이격층을 증착하는 방법으로 수행될 수 있다.

[0090] 상기 이격층 형성용 조성물은 예를 들어, 폴리디알릴디메틸암모늄클로라이드(PDDA, polydiallyldimethylammonium chloride), 폴리아믹산(poly(amic acid)), 폴리(알릴아민하이드로클로라이드)(PAH, poly(allylamine hydrochloride)), 폴리에틸렌이민(PEI, polyethyleneimine), 폴리-L-리신(PLL, poly-L-lysine), 폴리아크릴산(PAA, poly(acrylic acid), 폴리스티렌설포네이트(PSS, polystyrenesulfonate), 폴리비닐설페이트(PVS, Poly(vinylsulfate)), 덱스트란설페이트(DS, Dextran sulfate) 및 이들의 조합으로 이루어진 군으로부터 선택된 하나를 포함할 수 있다. 이와 같은 종류의 성분을 적용함으로써 상기 제조방법으로 제조된 이격층이 상기 제1 나노와이어층과 상기 제2 나노와이어층의 적정 층 간격을 유지하도록 형성될 수 있으며, 상기 제1 나노와이어층의 형성에 후속하여 상기 제2 나노와이어층을 제조하는 과정에서 이미 형성된 상기 제1 나노와이어층의 나노와이어집합체의 정렬의 변화가 야기되는 등의 부작용을 효과적으로 방지할 수 있다.

[0091] 상기 이격층 형성용 조성물은 폴리디알릴디메틸암모늄클로라이드(PDDA, polydiallyldimethylammonium chloride), 폴리아믹산, 폴리(알릴아민하이드로클로라이드)(PAH), 폴리에틸렌이민(PEI), 폴리-L-리신(PLL,), 폴

리아크릴산(PAA), 폴리스티렌설포네이트(PSS), 폴리비닐설페이트(PVS), 덱스트란설페이트(DS) 및 이들의 조합으로 이루어진 군으로부터 선택된 하나를 포함하는 폴리머(Polymer)를 예를 들어, 약 0.05중량% 내지 약 0.50중량%, 예를 들어, 약 0.05중량% 내지 약 0.40중량%, 예를 들어, 약 0.10중량% 내지 약 0.30중량% 포함하고; 물, 식염수, 증류수 및 이들의 조합으로 이루어진 군으로부터 선택된 하나를 포함하는 용매를 약 99.50중량% 내지 약 99.95중량%, 예를 들어, 약 99.60중량% 내지 약 99.95중량%, 예를 들어, 약 99.70중량% 내지 약 99.90중량% 포함할 수 있다. 상기 이격층 형성용 조성물이 이와 같은 조성을 가짐으로써 상기 이격층이 전면적에 걸쳐 균일한 두께로 형성될 수 있으며, 상기 제1 나노와이어층 및 상기 제2 나노와이어층과 각각 우수한 계면 부착성을 확보하는 측면에서 공정상 보다 유리할 수 있다.

[0092] 상기 광학 적층체의 제조방법은 상기 제1 나노와이어층을 제조하는 단계 및 상기 제2 나노와이어층을 제조하는 단계 각각이 상기 복수의 나노와이어집합체 주변부에 바탕재를 형성하는 단계를 더 포함할 수 있다. 상기 바탕재는 상기 제1 나노와이어층 및 상기 제2 나노와이어층 각각의 복수의 나노와이어집합체의 배열 구조를 확고히 지지하는 역할을 수행할 수 있다.

[0093] 구체적으로, 상기 바탕재를 형성하는 단계는 상기 복수의 나노와이어집합체가 형성된 나노와이어층 중간체를 바탕재 형성용 조성물에 침지하여 상기 복수의 나노와이어집합체 사이의 이격 공간을 채우는 방법으로 수행될 수 있다.

[0094] 상기 바탕재 형성용 조성물은 예를 들어, 폴리디알릴디메틸암모늄클로라이드(PDDA, polydiallyldimethylammonium chloride), 폴리아믹산(poly(amic acid)), 폴리(알릴아민하이드로클로라이드)(PAH, poly(allylamine hydrochloride)), 폴리에틸렌이민(PEI, polyethyleneimine), 폴리-L-리신(PLL, poly-L-lysine), 폴리아크릴산(PAA, poly(acrylic acid), 폴리스티렌설포네이트(PSS, polystyrenesulfonate), 폴리비닐설페이트(PVS, Poly(vinylsulfate)), 덱스트란설페이트(DS, Dextran sulfate) 및 이들의 조합으로 이루어진 군으로부터 선택된 하나를 포함할 수 있다. 이와 같은 종류의 성분을 적용함으로써 상기 제조방법으로 제조된 바탕재가 상기 복수의 나노와이어집합체의 정렬 구조를 확고히 지지하기에 보다 유리할 수 있으며, 상기 제1 나노와이어층의 형성에 후속하여 상기 제2 나노와이어층을 제조하는 과정에서 이미 형성된 상기 제1 나노와이어층의 나노와이어집합체의 정렬의 변화가 야기되는 등의 부작용을 효과적으로 방지할 수 있다. 또한, 상기 제1 나노와이어층과 상기 제2 나노와이어층; 또는 상기 제1 나노와이어층과 상기 이격층의 계면 부착성을 향상시키기에 보다 유리할 수 있다.

[0095] 상기 바탕재 형성용 조성물은 폴리디알릴디메틸암모늄클로라이드(PDDA, polydiallyldimethylammonium chloride), 폴리아믹산, 폴리(알릴아민하이드로클로라이드)(PAH), 폴리에틸렌이민(PEI), 폴리-L-리신(PLL,), 폴리아크릴산(PAA), 폴리스티렌설포네이트(PSS), 폴리비닐설페이트(PVS), 덱스트란설페이트(DS) 및 이들의 조합으로 이루어진 군으로부터 선택된 하나를 포함하는 폴리머를 예를 들어, 약 0.05중량% 내지 약 0.50중량%, 예를 들어, 약 0.05중량% 내지 약 0.40중량%, 예를 들어, 약 0.10중량% 내지 약 0.30중량% 포함하고; 물, 식염수, 증류수, 알코올 및 이들의 조합으로 이루어진 군으로부터 선택된 하나를 포함하는 용매를 약 99.50중량% 내지 약 99.95중량%, 예를 들어, 약 99.60중량% 내지 약 99.95중량%, 예를 들어, 약 99.70중량% 내지 약 99.90중량% 포함할 수 있다. 상기 바탕재 형성용 조성물이 이와 같은 조성을 가짐으로써 상기 복수의 나노와이어집합체 사이의 이격 공간을 보이드(void)없이 채울 수 있으며, 상기 복수의 나노와이어집합체의 정렬 구조를 확고히 지지하면서도 상기 광학 적층체의 광학적 특성을 우수하게 구현하는 측면에서 보다 유리할 수 있다.

[0096] 일 구현예에서, 상기 이격층 형성용 조성물 및 상기 바탕재 형성용 조성물은 상호 반대 전하를 갖는 성분을 포함할 수 있다. 구체적으로, 상기 이격층 형성용 조성물이 양(+)전하를 갖는 성분을 포함하고 상기 바탕재 형성용 조성물이 음(-)전하를 갖는 성분을 포함하거나; 상기 이격층 형성용 조성물이 음(-)전하를 갖는 성분을 포함하고 상기 바탕재 형성용 조성물이 양(+)전하를 갖는 성분을 포함할 수 있다. 이와 같이, 상기 이격층의 원료와 상기 바탕재의 원료로 상호 반대 전하를 갖는 성분을 적용함으로써 상기 이격층과 상기 나노와이어층 사이의 정전기적 상호 작용을 통해 층간 계면 부착성을 우수하게 확보하기에 유리하며, 상기 나노와이어층을 복수로 회전 적층함에 있어서 구조적 카이랄성이 정교하게 구현되기에 보다 유리할 수 있다.

[0097] 일 구현예에서, 상기 이격층 형성용 조성물은 양(+)전하를 갖는 폴리머(polymer)를 포함하고, 상기 바탕재 형성용 조성물은 음(-)전하를 갖는 폴리머를 포함할 수 있다. 보다 구체적으로, 상기 양(+)전하를 갖는 폴리머는 폴리디알릴디메틸암모늄클로라이드(PDDA), 폴리(알릴아민하이드로클로라이드)(PAH), 폴리에틸렌이민(PEI), 폴리-L-리신(PLL) 및 이들의 조합으로 이루어진 군으로부터 선택된 하나를 포함하고, 상기 음(-)전하를 갖는 폴리머는 폴리아믹산, 폴리아크릴산(PAA), 폴리스티렌설포네이트(PSS), 폴리비닐설페이트(PVS), 덱스트란설페이트(DS)

및 이들의 조합으로 이루어진 군으로부터 선택된 하나를 포함할 수 있다.

[0098] 일 구현예에서, 상기 제1 나노와이어층을 제조하는 단계 및 상기 제2 나노와이어층을 제조하는 단계 각각은, 탈이온수 세척을 통해 느슨하게 결합된 나노와이어를 제거하는 단계를 더 포함할 수 있다. 상기 복수의 나노와이어집합체를 형성함에 있어서, 상기 복수의 나노와이어를 포함하는 현탁액으로부터 유래된 나노와이어 중 일부 과량의 나노와이어가 상기 복수의 나노와이어집합체의 정렬 구조에 편입되지 못하고 잔류할 가능성이 있다. 이를 제거하지 못할 경우 구조적 카이랄성을 저해하는 부산물로 작용할 가능성이 있다. 따라서, 상기 탈이온수 세척을 통해 느슨하게 결합된 나노와이어를 제거하는 단계를 추가적으로 수행함으로써 이러한 부작용을 방지하기에 유리할 수 있다. 상기 탈이온수 세척을 통해 느슨하게 결합된 나노와이어를 제거하는 단계는 상기 바탕재를 형성하는 단계를 수행하기 전에 수행될 수 있다.

[0099] 일 구현예에 따른 상기 광학 적층체의 제조방법에서 상기 메타표면층을 제조하는 단계가 지지층 상에서 수행될 수 있다. 구체적으로, 상기 복수의 나노와이어를 포함하는 현탁액을 주입하는 (a) 단계가 상기 지지층 상에 수행될 수 있다. 상기 지지층에는 상기 광학 적층체의 최종적인 용도에 따라 목적으로 하는 기능 및 성능을 확보하는 차원에서 다양한 재료를 적용할 수 있다. 예를 들어, 상기 지지층은 유리, 인듐주석산화물(Indium-Tin Oxide, ITO), 불소산화주석(Fluorine-doped Tin Oxide, FTO), 폴리(메틸메타아크릴레이트), 폴리카보네이트, 폴리(디메틸실록산) 및 이들의 조합으로 이루어진 군으로부터 선택된 하나를 포함할 수 있다. 상기 지지층이 이와 같은 성분을 포함함으로써 상기 메타표면층에 의한 구조적 카이랄성과 광학적 특성을 저해하지 않으면서 상기 광학 적층체에 적절한 구조적 강성을 부여하기에 보다 유리할 수 있다.

[0100] 상기 메타표면층을 제조하는 단계가 상기 지지층 상에서 수행되는 경우, 상기 지지층의 바로 위에 상기 이격층을 제조하는 단계를 더 포함할 수 있다. 다른 측면에서 설명하면, 상기 광학 적층체의 제조방법은 상기 지지층 바로 위에 이격층을 제조하는 단계; 상기 이격층 상에 상기 메타표면층을 제조하는 단계를 포함할 수 있다. 상기 지지층과 상기 메타표면층 사이에 상기 이격층을 배치함으로써 상기 지지층의 존재가 상기 메타표면층에 의해 구현되어야 하는 카이랄성 및 광학적 특성을 저해하지 않으면서도 상기 지지층과 상기 메타표면층 사이의 계면 부착성을 향상시키기에 유리할 수 있다.

[0101] 일 구현예에서, 상기 지지층의 바로 위에 이격층을 제조하는 단계를 포함하고, 상기 이격층 상에 상기 메타표면층을 제조하는 단계가 수행되는 경우, 상기 지지층과 상기 이격층은 상호 반대 전하를 갖는 성분으로부터 유래될 수 있다. 다른 측면에서 설명하면, 상기 지지층이 음(-)전하를 갖는 성분으로부터 유래되고 상기 이격층이 양(+)전하를 갖는 성분으로부터 유래되거나; 상기 지지층이 양(+)전하를 갖는 성분으로부터 유래되고 상기 이격층이 음(-)전하를 갖는 성분으로부터 유래될 수 있다. 이와 같이, 상기 지지층과 상기 이격층이 상호 반대 전하를 갖는 성분으로부터 유래됨으로써 두 층 사이의 계면 부착성을 향상시켜 상기 광학 적층체가 필요한 정도의 구조적 강성을 확보하기에 보다 유리할 수 있다.

[0102] 일 구현예에서, 상기 지지층은 음(-)전하를 갖도록 대전된 유리로부터 유래되고, 상기 이격층은 양(+)전하를 갖는 폴리머(polymer)로부터 유래될 수 있다. 보다 구체적으로, 상기 지지층(40)은 표면에 실리콘옥사이드($SiO^-$) 이온이 노출되도록 처리된 유리로부터 유래될 수 있다. 또한, 상기 이격층(30)에 적용되는 양(+)전하를 갖는 폴리머는 폴리디알릴디메틸암모늄클로라이드(PDDA), 폴리(알릴아민하이드로클로라이드)(PAH), 폴리에틸렌이민(PEI), 폴리-L-리신(PLL) 및 이들의 조합으로 이루어진 군으로부터 선택된 하나를 포함할 수 있다.

[0103] 상기 광학 적층체 제조방법에서 상기 메타표면층을 제조하는 단계가 지지층 상에서 수행되는 경우, 상기 지지층이 유리를 포함하고, 상기 유리의 표면에 실리콘옥사이드($SiO^-$) 이온이 노출되도록 처리하는 단계를 포함할 수 있다. 구체적으로, 상기 유리의 표면에 실리콘옥사이드($SiO^-$) 이온이 노출되도록 처리하는 단계는 상기 유리를 세척하는 단계; 상기 유리 표면을 질소($N_2$) 처리하는 단계; 및 상기 유리 표면을 산소($O_2$) 플라즈마 처리하는 단계를 포함할 수 있다.

[0105] 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.

[0107] <제조예>

[0108] 제조예 1: 나노와이어(I)의 제조

[0109] 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 입자를 원심 분리 등으로 분리하여 에탄올, 탈이온수로 정제한다. 분리된 입자를 진공 오븐에서 12시간 동안 건조하여 파우더 형태로 제조한다.

[0110] 이어서, 상기 입자를 탈이온수 등의 극성 용매에 분산시키기 위하여 입자 표면에 친수성 기능기를 부착하는 표면 전처리 단계를 진행한다. 입자 합성단계에서 만들어진 파우더 형태의 입자 1mg과 구연산(citric acid, $HOC(COOH)(CH_2COOH)_2$) 0.6mg을 1mL의 탈이온수에 넣고 2시간 동안 초음파 처리한 후 원심분리 등으로 입자를 분리하고 탈이온수로 정제한다.

[0111] 이로써 금(Au)을 포함하는 코어(Core) 및 산화철($Fe_3O_4$)을 포함하는 쉘(Shell)을 구비한 막대형의 코어-쉘 자성 플라즈몬 입자로서, 상기 쉘(Shell)이 실질적으로 상기 코어(Core)의 표면 전체를 둘러싼 구조의 자성 플라즈몬 입자를 제조하였다. 상기 코어의 평균 길이(length)는 2454(±624)nm이고, 상기 코어의 평균 폭(width)은 78(±16)nm이며, 상기 쉘의 평균 두께는 107(±12)nm였다.

[0113] 제조예 2: 나노와이어(II)의 제조

[0114] 질산은(Silver nitrate, $AgNO_3$), 폴리비닐피롤리돈(poly(vinylpyrrolidone) (PVP-40, 평균분자량: 40kDa)) 및 염화제이구리 (copper chloride, $CuCl_2$) 혼합물을 에틸렌글라이콜(ethylene glycol) 용액에 교반하여 녹인다. 혼합물의 경우, 질산은 용액에 다른 성분을 드롭(drop) 방식으로 주입하고 교반기를 이용하여 혼합 및 반응시킨다. 교반되어 혼합된 용액은 50mL 용량의 테플론 플라스크(Teflon flask)에 담아 160℃의 온도에서 3시간 동안 반응시켜 은(Ag) 코어를 제조한다. 합성된 은(Ag) 코어는 상온에서 식힌 뒤 에탄올과 물을 이용하여 세척한다.

[0115] 이어서, 폴리비릴피롤리돈(PVP-40) 존재 하에 에틸렌글라이콜(EG) 용액에 상기 제조된 은(Ag) 코어를 분산시킨다. 철(III)질산노나하이드레이트($Fe(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$)와 아세테이트무수나트륨($CH_3COONa$)의 혼합물을 디에틸렌글라이콜(diethylene glycol, DEG)에 용해시킨다. 상기 은(Ag) 코어가 분산된 에틸렌클라이콜(EG) 혼합 용액을 60℃의 온도로 가열하고 상기 디에틸렌글라이콜(DEG) 혼합 용액을 드롭(drop) 방식으로 섞는다. 회갈색의 생성물이 형성되었을 때 질소($N_2$)를 이용하여 1시간 동안 퍼징(purging)하고 50mL 테플론 플라스크에 담아 210℃에서 12시간 동안 반응시킨다. 합성된 코어 쉘 형태의 생성물은 에탄올과 물을 이용하여 세척한다.

[0116] 이로써 은(Ag)을 포함하는 코어(Core) 및 산화철($Fe_3O_4$)을 포함하는 쉘(Shell)을 구비한 막대형의 코어-쉘 자성 플라즈몬 입자로서, 상기 쉘(Shell)이 실질적으로 상기 코어(Core)의 표면 전체를 둘러싼 구조의 자성 플라즈몬 입자를 제조하였다. 상기 코어의 평균 길이(length)는 12700(±4500)nm이고, 상기 코어의 평균 폭(width)은 114(±32)nm이며, 상기 쉘의 평균 두께는 30(±5)nm였다.

[0118] <실시예 1 및 비교예 1>

[0119] 실시예 1-1

[0120] 0.7(±0.2)mm 두께의 유리 기판을 탈이온수, 에탄올 및 아세톤을 사용하여 각각 15분 동안 세척하였다. 이어서, 상기 유리 기판의 표면을 블로우-드라이(Blow-dry) 방법으로 질소($N_2$) 처리한 후 산소($O_2$) 플라즈마 처리함으로써 표면에 실리콘옥사이드($SiO^-$) 이온이 노출되도록 처리하였다. 상기 유리 기판을 0.2중량%의 폴리디알릴디메틸암모늄클로라이드(PDDA) 수용액에 15분 동안 침지하여 양(+)으로 대전된 폴리머층을 이격층으로서 증착하였다. 도 5는 일 구현예에 따른 광학 적층체 제조방법에 있어서 상기 나노와이어층을 형성하기 위한 장치의 일부 구성을 개략적으로 도시한 것이다. 도 5에 도시된 바와 같이 상기 이격층이 증착된 유리 기판(50)을 대향하는 두 개의 네오디뮴 N42 디스크 자석(20mm ID, 5.0mm 두께, 표면의 기본 자성력 1280~1320mT)(60, 70) 중앙에 위치시키되, 상기 이격층이 위쪽으로 오도록 위치시켰다. 상기 제조예 1의 나노와이어를 0.25mg/mL의 농도로 포함하는 현탁액을 상기 이격층 상에 액적 드롭(drop) 방식으로 주입하고 상기 대향하는 두 개의 네오디뮴 N42 디스크 자석에 의하여 약 20(±5)mT 강도의 자기장을 인가하였다. 대기 조건에서 10시간 동안 건조하여 제1방향으로 정렬되고 평균 5.8(±2.6)㎛ 간격으로 이격된 복수의 나노와이어집합체를 포함하는 제1 나노와이어층을 제조하였다. 상기 제1 나노와이어층이 형성된 중간체를 탈이온수로 세척하여 느슨하게 결합된 나노와이어

를 제거한 후 0.2중량%의 폴리아크릴산(PAA) 수용액에 침지하여 음(-)전하로 대전된 바탕재를 상기 복수의 나노와이어집합체 사이 이격 공간에 채웠다. 이어서, 0.2중량%의 폴리디알릴디메틸암모늄클로라이드(PDDA) 수용액에 15분 동안 침지하여 양(+)으로 대전된 폴리머층을 이격층으로서 증착하였다. 상기 제조예 1의 나노와이어를 0.25mg/mL의 농도로 포함하는 현탁액을 상기 이격층 상에 액적 드롭(drop) 방식으로 주입하고 20(±5)mT 강도의 자기장을 인가하였다. 이때, 상기 자기장은 상기 복수의 나노와이어들이 제1방향과 10° 각도를 이루는 제2방향으로 정렬되도록 방향을 조절하여 인가되었다. 대기 조건에서 10시간 동안 건조하여 제1방향과 10° 각도를 이루는 제2방향으로 정렬되고 평균 5.8(±2.6)㎛ 간격으로 이격된 복수의 나노와이어집합체를 포함하는 제2 나노와이어층을 제조하였다. 상기 바탕재를 채우는 과정; 상기 이격층의 증착 과정; 및 상기 제2 나노와이어층을 제조하는 과정을 3회 더 반복하여 총 5층의 나노와이어층을 포함하는 메타표면층을 제조하였다. 이때, 상기 복수의 나노와이어층에 있어서 인접한 두 층의 나노와이어집합체의 정렬 방향이 지면으로부터 시계 반대 방향(LH) 또는 시계 방향(RH)으로 10° 씩 회전 적층되도록 메타표면층을 제조하였다.

[0122] 실시예 1-2

[0123] 상기 실시예 1-1에 있어서, 상기 제2 나노와이어층을 제조하는 과정에서 상기 제1방향과 상기 제2방향이 이루는 각도가 20° 가 되도록 자기장을 인가하고, 그 결과, 상기 복수의 나노와이어층에 있어서 인접한 두 층의 나노와이어집합체의 정렬 방향이 지면으로부터 시계 반대 방향(LH) 또는 시계 방향(RH)으로 20° 씩 회전 적층되도록 메타표면층을 제조한 것을 제외하고 동일한 방법으로 광학 적층체를 제조하였다.

[0125] 실시예 1-3

[0126] 상기 실시예 1-1에 있어서, 상기 제2 나노와이어층을 제조하는 과정에서 상기 제1방향과 상기 제2방향이 이루는 각도가 30° 가 되도록 자기장을 인가하고, 그 결과, 상기 복수의 나노와이어층에 있어서 인접한 두 층의 나노와이어집합체의 정렬 방향이 지면으로부터 시계 반대 방향(LH) 또는 시계 방향(RH)으로 30° 씩 회전 적층되도록 메타표면층을 제조한 것을 제외하고 동일한 방법으로 광학 적층체를 제조하였다.

[0128] 실시예 1-4

[0129] 상기 실시예 1-1에 있어서, 상기 제2 나노와이어층을 제조하는 과정에서 상기 제1방향과 상기 제2방향이 이루는 각도가 40° 가 되도록 자기장을 인가하고, 그 결과, 상기 복수의 나노와이어층에 있어서 인접한 두 층의 나노와이어집합체의 정렬 방향이 지면으로부터 시계 반대 방향(LH) 또는 시계 방향(RH)으로 40° 씩 회전 적층되도록 메타표면층을 제조한 것을 제외하고 동일한 방법으로 광학 적층체를 제조하였다.

[0131] 실시예 1-5

[0132] 상기 실시예 1-2에 있어서, 상기 제조예 1의 나노와이어 대신 상기 제조예 2의 나노와이어를 적용한 것을 제외하고 동일한 방법으로 광학 적층체를 제조하였다.

[0134] 비교예 1-1

[0135] 상기 실시예 1-1에 있어서, 상기 제2 나노와이어층을 제조하는 과정에서 상기 제1방향과 상기 제2방향이 이루는 각도가 0° 가 되도록 자기장을 인가하고, 그 결과, 상기 복수의 나노와이어층에 있어서 인접한 두 층의 나노와이어집합체의 정렬 방향이 지면으로부터 회전 없이 모두 같은 방향으로 정렬된 메타표면층을 제조한 것을 제외하고 동일한 방법으로 광학 적층체를 제조하였다.

[0137] 비교예 1-2

[0138] 상기 실시예 1-1에 있어서, 상기 제2 나노와이어층을 제조하는 과정에서 상기 제1방향과 상기 제2방향이 이루는 각도가 90° 가 되도록 자기장을 인가하고, 그 결과, 상기 복수의 나노와이어층에 있어서 인접한 두 층의 나노와이어집합체의 정렬 방향이 지면으로부터 시계 반대 방향(LH) 또는 시계 방향(RH)으로 90° 씩 회전 적층되도록 메타표면층을 제조한 것을 제외하고 동일한 방법으로 광학 적층체를 제조하였다.

[0140] 비교예 1-3

[0141] 상기 실시예 1-5에 있어서, 상기 제2 나노와이어층을 제조하는 과정에서 상기 제1방향과 상기 제2방향이 이루는 각도가 0° 가 되도록 자기장을 인가하고, 그 결과, 상기 복수의 나노와이어층에 있어서 인접한 두 층의 나노와이어집합체의 정렬 방향이 지면으로부터 회전 없이 모두 같은 방향으로 정렬된 메타표면층을 제조한 것을 제외하고 동일한 방법으로 광학 적층체를 제조하였다.

[0143] <실시예 2 및 비교예 2>

[0144] 실시예 2-1

[0145] 0.7(±0.2)mm 두께의 유리 기판을 탈이온수, 에탄올 및 아세톤을 사용하여 각각 15분 동안 세척하였다. 이어서, 상기 유리 기판의 표면을 블로우-드라이(Blow-dry) 방법으로 질소($N_2$) 처리한 후 산소($O_2$) 플라즈마 처리함으로써 표면에 실리콘옥사이드($SiO^-$) 이온이 노출되도록 처리하였다. 상기 유리 기판을 0.2중량%의 폴리디알릴디메틸암모늄클로라이드(PDDA) 수용액에 15분 동안 침지하여 양(+)으로 대전된 폴리머층을 이격층으로서 증착하였다. 도 5에 도시된 바와 같이 상기 이격층이 증착된 유리 기판(50)을 대향하는 두 개의 네오디뮴 N42 디스크 자석(20mm ID, 5.0mm 두께, 표면의 기본 자성력 1280~1320mT)(60, 70) 중앙에 위치시키되, 상기 이격층이 위쪽으로 오도록 위치시켰다. 상기 제조예 1의 나노와이어를 0.25mg/mL의 농도로 포함하는 현탁액을 상기 이격층 상에 액적 드롭(drop) 방식으로 주입하고 20(±5)mT 강도의 자기장을 인가하였다. 대기 조건에서 10시간 동안 건조하여 제1방향으로 정렬되고 평균 5.8(±2.6)㎛간격으로 이격된 복수의 나노와이어집합체를 포함하는 제1 나노와이어층을 제조하였다. 상기 제1 나노와이어층이 형성된 중간체를 탈이온수로 세척하여 느슨하게 결합된 나노와이어를 제거한 후 0.2중량%의 폴리아크릴산(PAA) 수용액에 침지하여 음(-)전하로 대전된 바탕재를 상기 복수의 나노와이어집합체 사이 이격 공간에 채웠다. 이어서, 0.2중량%의 폴리디알릴디메틸암모늄클로라이드(PDDA) 수용액에 15분 동안 침지하여 양(+)으로 대전된 폴리머층을 이격층으로서 증착하였다. 상기 제조예 1의 나노와이어를 0.25mg/mL의 농도로 포함하는 현탁액을 상기 이격층 상에 액적 드롭(drop) 방식으로 주입하고 상기 대향하는 두 개의 네오디뮴 N42 디스크 자석에 의하여 20(±5)mT 강도의 자기장을 인가하였다. 이때, 상기 자기장은 상기 복수의 나노와이어들이 제1방향과 20° 각도를 이루는 제2방향으로 정렬되도록 방향을 조절하여 인가되었다. 대기 조건에서 10시간 동안 건조하여 제1방향과 20° 각도를 이루는 제2방향으로 정렬되고 평균 5.8(±2.6)㎛ 간격으로 이격된 복수의 나노와이어집합체를 포함하는 제2 나노와이어층을 제조하였다. 상기 바탕재를 채우는 과정; 상기 이격층의 증착 과정; 및 상기 제2 나노와이어층을 제조하는 과정을 1회 더 반복하여 총 3층의 나노와이어층을 포함하는 메타표면층을 제조하였다. 이때, 상기 복수의 나노와이어층에 있어서 인접한 두 층의 나노와이어집합체의 정렬 방향이 지면으로부터 시계 방향으로 20° 씩 회전 적층되도록 메타표면층을 제조하였다.

[0147] 실시예 2-2

[0148] 상기 실시예 2-1에 있어서, 상기 바탕재를 채우는 과정; 상기 이격층의 증착 과정; 및 상기 제2 나노와이어층을 제조하는 과정을 추가적으로 1회 더 반복하여 총 4층의 나노와이어층을 포함하는 메타표면층을 제조한 것을 제외하고 동일한 방법으로 광학 적층체를 제조하였다.

[0150] 실시예 2-3

[0151] 상기 실시예 2-1에 있어서, 상기 바탕재를 채우는 과정; 상기 이격층의 증착 과정; 및 상기 제2 나노와이어층을 제조하는 과정을 추가적으로 2회 더 반복하여 총 5층의 나노와이어층을 포함하는 메타표면층을 제조한 것을 제외하고 동일한 방법으로 광학 적층체를 제조하였다.

[0153] 실시예 2-4

[0154] 상기 실시예 2-1에 있어서, 상기 바탕재를 채우는 과정; 상기 이격층의 증착 과정; 및 상기 제2 나노와이어층을 제조하는 과정을 추가적으로 3회 더 반복하여 총 6층의 나노와이어층을 포함하는 메타표면층을 제조한 것을 제외하고 동일한 방법으로 광학 적층체를 제조하였다.

[0156] 실시예 2-5

[0157] 상기 실시예 2-1에 있어서, 상기 복수의 나노와이어층에 있어서 인접한 두 층의 나노와이어집합체의 정렬 방향이 지면으로부터 시계 반대 방향으로 20° 씩 회전 적층되도록 메타표면층을 제조한 것을 제외하고 동일한 방법으로 광학 적층체를 제조하였다.

[0159] 실시예 2-6

[0160] 상기 실시예 2-2에 있어서, 상기 복수의 나노와이어층에 있어서 인접한 두 층의 나노와이어집합체의 정렬 방향이 지면으로부터 시계 반대 방향으로 20° 씩 회전 적층되도록 메타표면층을 제조한 것을 제외하고 동일한 방법으로 광학 적층체를 제조하였다.

[0162] 실시예 2-7

[0163] 상기 실시예 2-3에 있어서, 상기 복수의 나노와이어층에 있어서 인접한 두 층의 나노와이어집합체의 정렬 방향이 지면으로부터 시계 반대 방향으로 20° 씩 회전 적층되도록 메타표면층을 제조한 것을 제외하고 동일한 방법으로 광학 적층체를 제조하였다.

[0165] 실시예 2-8

[0166] 상기 실시예 2-4에 있어서, 상기 복수의 나노와이어층에 있어서 인접한 두 층의 나노와이어집합체의 정렬 방향이 지면으로부터 시계 반대 방향으로 20° 씩 회전 적층되도록 메타표면층을 제조한 것을 제외하고 동일한 방법으로 광학 적층체를 제조하였다.

[0168] 실시예 2-9

[0169] 상기 실시예 2-1에 있어서, 상기 제조예 1의 나노와이어 대신 상기 제조예 2의 나노와이어를 적용한 것을 제외하고 동일한 방법으로 광학 적층체를 제조하였다.

[0171] 실시예 2-10

[0172] 상기 실시예 2-2에 있어서, 상기 제조예 1의 나노와이어 대신 상기 제조예 2의 나노와이어를 적용한 것을 제외하고 동일한 방법으로 광학 적층체를 제조하였다.

[0174] 실시예 2-11

[0175] 상기 실시예 2-3에 있어서, 상기 제조예 1의 나노와이어 대신 상기 제조예 2의 나노와이어를 적용한 것을 제외하고 동일한 방법으로 광학 적층체를 제조하였다.

[0177] 실시예 2-12

[0178] 상기 실시예 2-5에 있어서, 상기 제조예 1의 나노와이어 대신 상기 제조예 2의 나노와이어를 적용한 것을 제외하고 동일한 방법으로 광학 적층체를 제조하였다.

[0180] 실시예 2-13

[0181] 상기 실시예 2-6에 있어서, 상기 제조예 1의 나노와이어 대신 상기 제조예 2의 나노와이어를 적용한 것을 제외하고 동일한 방법으로 광학 적층체를 제조하였다.

[0183] 실시예 2-14

[0184] 상기 실시예 2-7에 있어서, 상기 제조예 1의 나노와이어 대신 상기 제조예 2의 나노와이어를 적용한 것을 제외하고 동일한 방법으로 광학 적층체를 제조하였다.

[0186] <평가>

[0187] 측정예 1: 원편광이색성분광스펙트럼(Circular Dichroism Spectroscopy)

[0188] 상기 실시예 및 비교예에서 제조된 각각의 광학 적층체에 대하여, 원편광이색성분광기(JASCO, J-1500)를 이용하여 500nm/min의 스캔 속도, 0.5nm의 데이터 간격, 및 300nm 내지 900nm의 파장 범위 조건 하에서 스펙트럼을 얻었다. 상기 실시예 1-1 내지 1-4 및 상기 비교예 1-1 내지 1-2의 CD 스펙트럼은 도 6에 도시하였고, 상기 실시예 1-5 및 상기 비교예 1-3의 CD 스펙트럼은 도 7에 도시하였다. 상기 실시예 2-1 내지 2-8의 CD 스펙트럼은 도 8에 도시하였고, 상기 실시예 2-9 내지 2-14의 CD 스펙트럼은 도 9에 도시하였다.

[0190] 측정예 2: 광학 특성의 측정

[0191] 상기 실시예 2-1 내지 상기 실시예 2-4에서 제조된 각각의 광학 적층체에 대하여, 자외선-가시광선 분광기(Scinco, Mega Array)를 이용하여 300nm 내지 800nm 파장의 흡수 스펙트럼을 도출하였다. 그 결과는 도 10의 그래프에 도시한 바와 같다.

[0193] 측정예 3: 광학 이미지의 측정

[0194] 상기 비교예 1-1 및 1-3의 광학 적층체에 대하여, 광학현미경(Optical Spectroscopy, DM2000, Leica(Germany))을 이용하여 최상부 표면을 측정하였다. 그 사진은 도 11에 도시된 바와 같다.

[0196] 상기 측정예 1 및 2와 도 6 내지 10을 참조할 때, 상기 실시예 1-1 내지 상기 실시예 1-5의 광학 적층체는 상기

제1방향과 상기 제2방향이 이루는 각도(Θ)가 0° < Θ < 90° 범위 중 어느 하나의 각도를 가짐으로써, 상기 제1방향과 상기 제2방향이 이루는 각도가 0° 또는 90° 인 상기 비교예 1-1 내지 1-3에 비하여 향상된 카이랄성을 나타내는 것을 확인할 수 있다. 보다 구체적으로, 도 6 및 도 7의 CD 스펙트럼을 참조할 때, 상기 실시예 1-1 내지 1-5의 경우는 왼쪽 카이랄성(LH) 및 오른쪽 카이랄성(RH)이 명확히 구분되도록 스펙트럼이 나타나지만, 상기 비교예 1-1 내지 1-3의 경우는 모든 측정 파장대에서 CD(mdeg) 값이 0(zero)에 가까운 값을 나타냄으로써 실질적으로 카이랄성을 나타내지 않는 것을 확인할 수 있다.

[0197] 한편, 도 6의 상기 실시예 1-1 내지 1-4의 CD 스펙트럼을 상호 비교할 때, 상기 실시예 1-2의 경우가 왼쪽 카이랄성(LH) 및 오른쪽 카이랄성(RH)의 최대피크값 차이가 가장 크게 나타난 것을 확인할 수 있으며, 이를 통해 상기 제1방향과 상기 제2방향이 이루는 각도가 약 20° 에 가까울수록 카이랄성이 크게 나타나는 것을 알 수 있었다.

[0198] 도 8 내지 도 9에 도시된 상기 실시예 2-1 내지 상기 실시예 2-14의 CD 스펙트럼을 참조할 때, 상기 광학 적층체가 3층, 4층, 5층 및 6층의 나노와이어층을 포함하는 경우 모두 카이랄성이 나타나는 것을 확인할 수 있으며, 층수가 많아질수록 카이랄성을 높아지는 것을 확인할 수 있다.

[0199] 한편, 도 10에 도시된 자외선-가시광선 소광(Extinction) 스펙트럼을 참조할 때, 상기 광학 적층체의 나노와이어층의 층수가 많아질수록 흡광도가 높아지는 것을 확인할 수 있고, 이를 통해 투과율은 낮아지는 것을 알 수 있다.

[0200] 한편, 도 11에 도시된 광학 현미경 사진을 참조할 때, 코어로서 은(Ag)을 포함하는 나노와이어를 적용한 경우보다 코어로서 금(Au)을 포함하는 나노와이어를 적용한 경우가 자기장 인가에 의한 자가 조립성이 우수하여 상기 나노와이어집합체의 일방향 정렬 구조가 더 정교하게 형성됨을 확인할 수 있다.

## *부호의 설명*

[0201] 100: 광학 적층체

10: 메타표면층

20: 나노와이어층

11: 제1층

12: 제2층

13: 제3층

21: 나노와이어집합체

22: 바탕재

24: 나노와이어

241: 제1 나노와이어

242: 제2 나노와이어

14: 코어

15: 쉘

30: 이격층

40: 지지층

50: 유리 기판

60, 70: 자석

D1: 쉘의 평균 두께

D2: 나노와이어집합체 이격거리

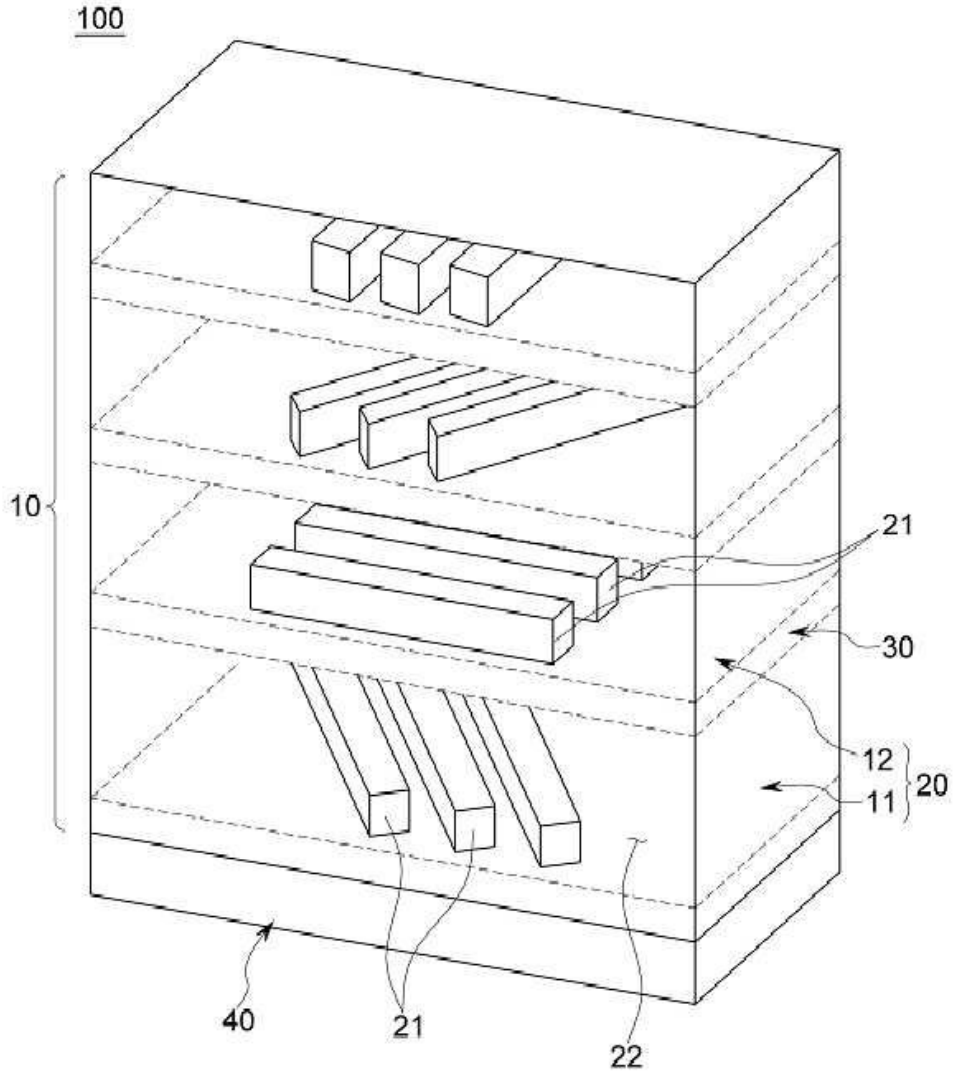
D3: 나노와이어집합체의 두께

W1: 코어의 폭

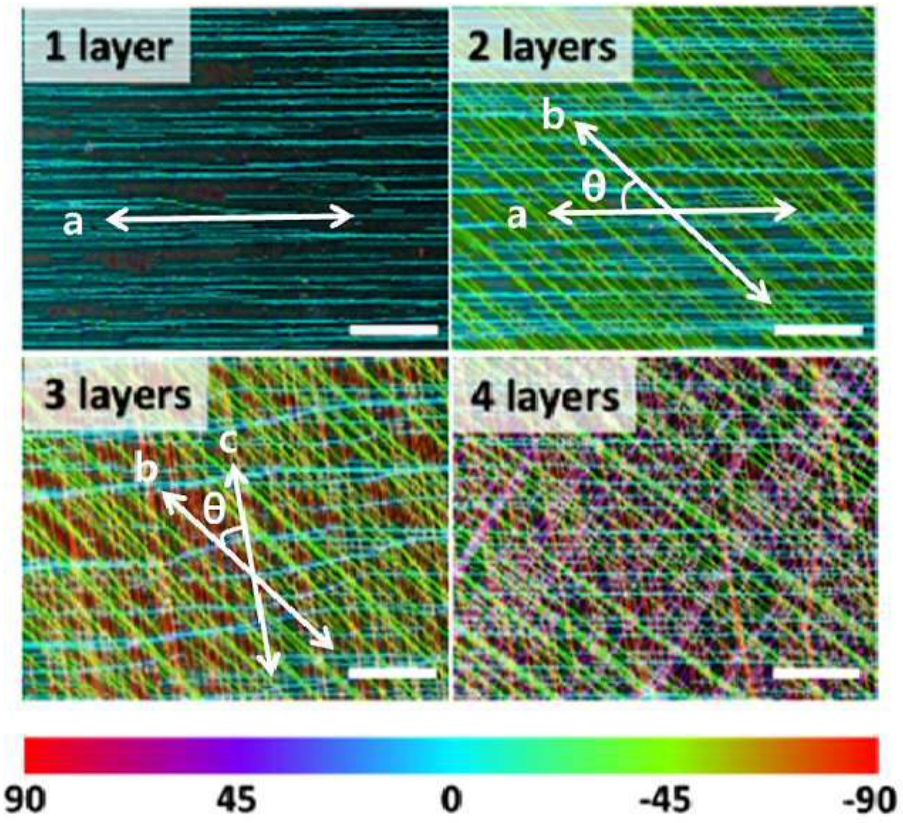
L1: 코어의 길이

## 도면

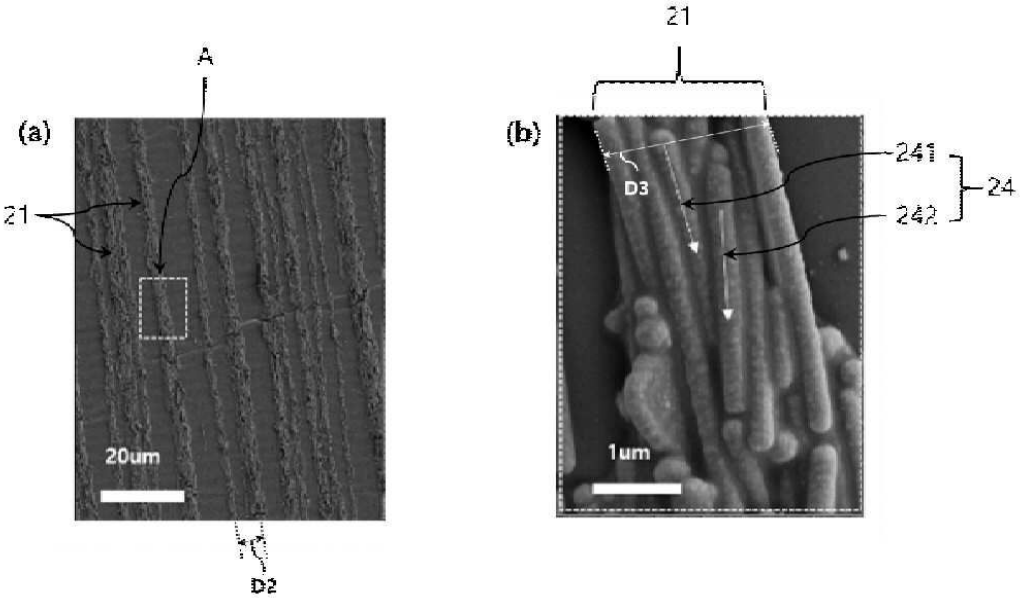
### 도면1



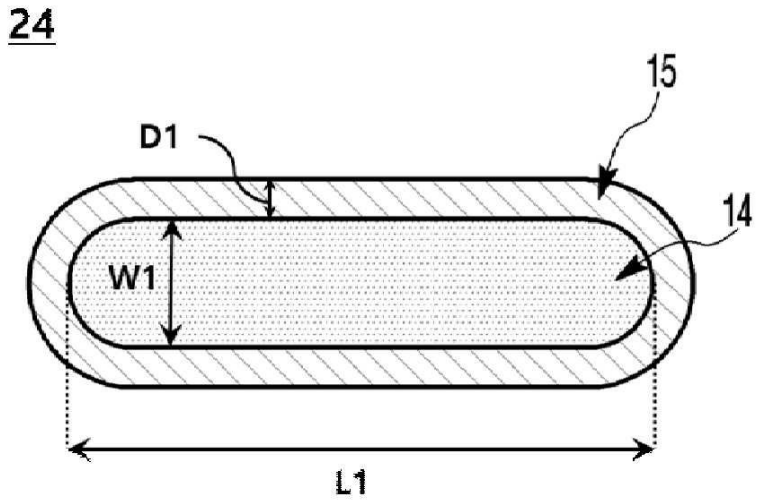
도면2


1 layer
2 layers
3 layers
4 layers
a
b
θ
c
90
45
0
-45
-90

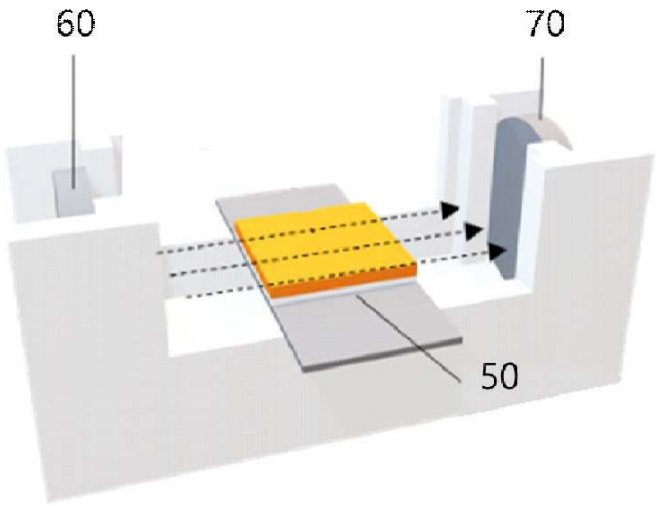
도면3


A
(a)
21
20um
D2
21
(b)
241
242
24
D3
1um

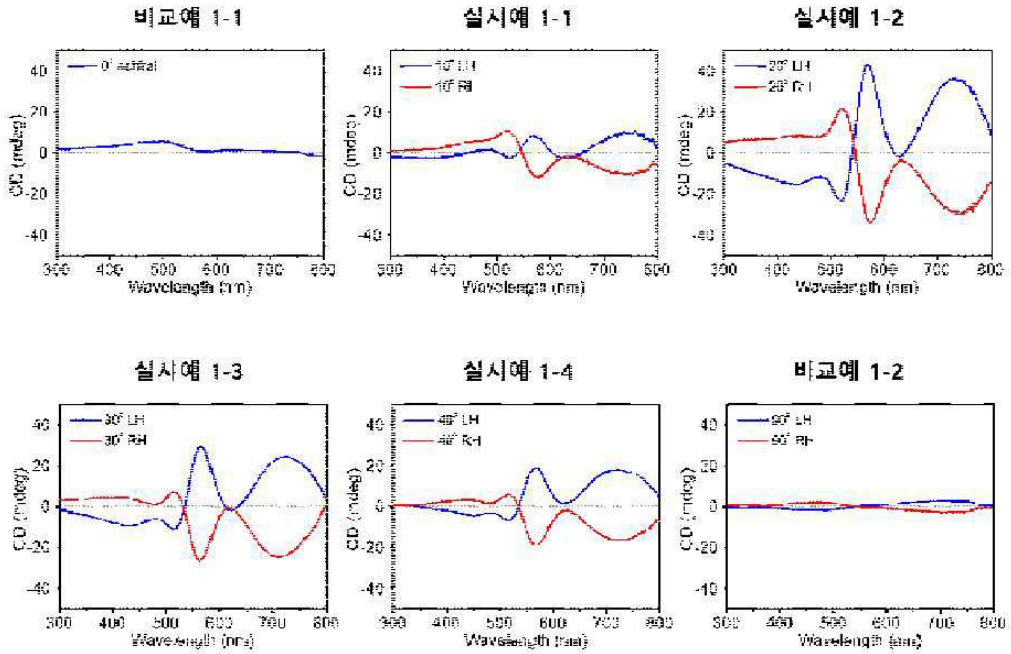
도면4



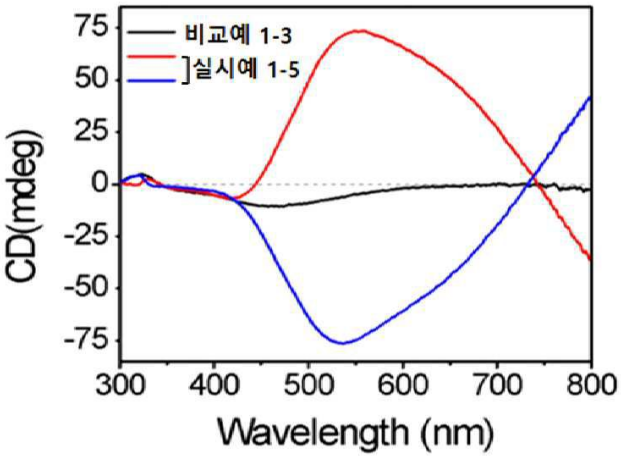

도면5



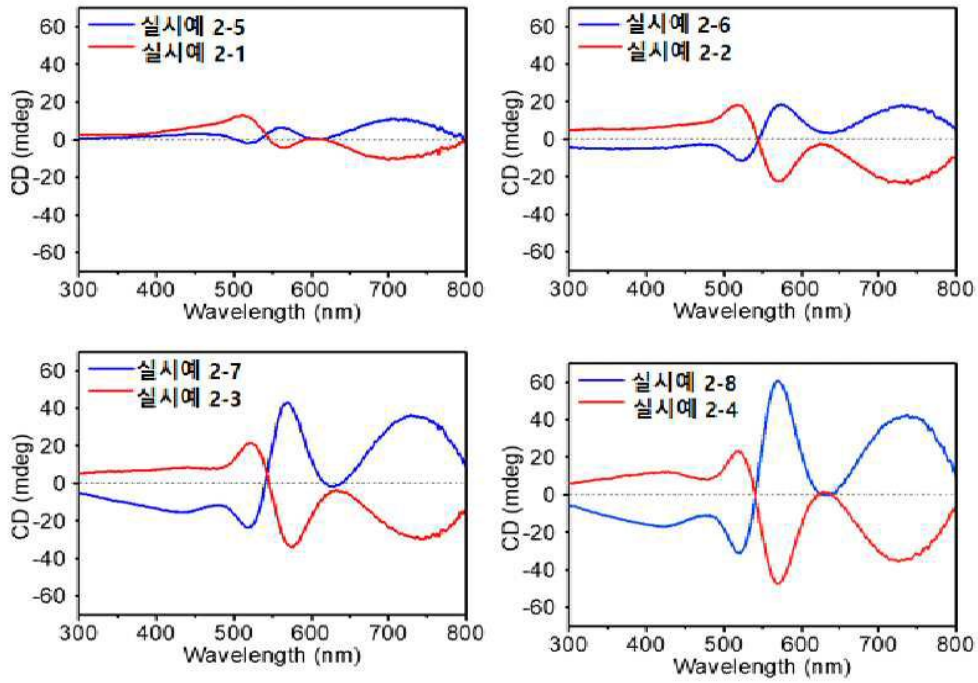
도면6


비교예 1-1
실시예 1-1
실시예 1-2
실시예 1-3
실시예 1-4
비교예 1-2

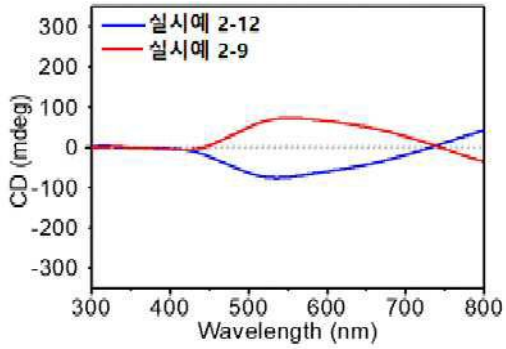
도면7

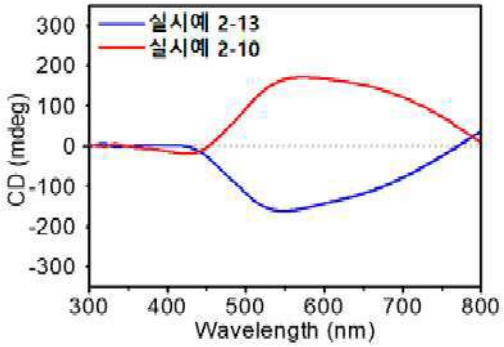

비교예 1-3
]실시예 1-5
CD(mdeg)
Wavelength (nm)

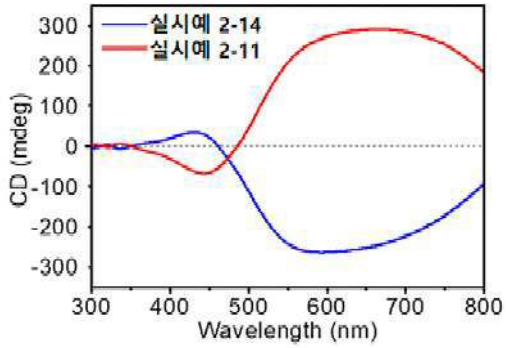
도면8


실시예 2-5
실시예 2-1
실시예 2-6
실시예 2-2
실시예 2-7
실시예 2-3
실시예 2-8
실시예 2-4
CD (mdeg)
Wavelength (nm)
60
40
20
0
-20
-40
-60
300
400
500
600
700
800

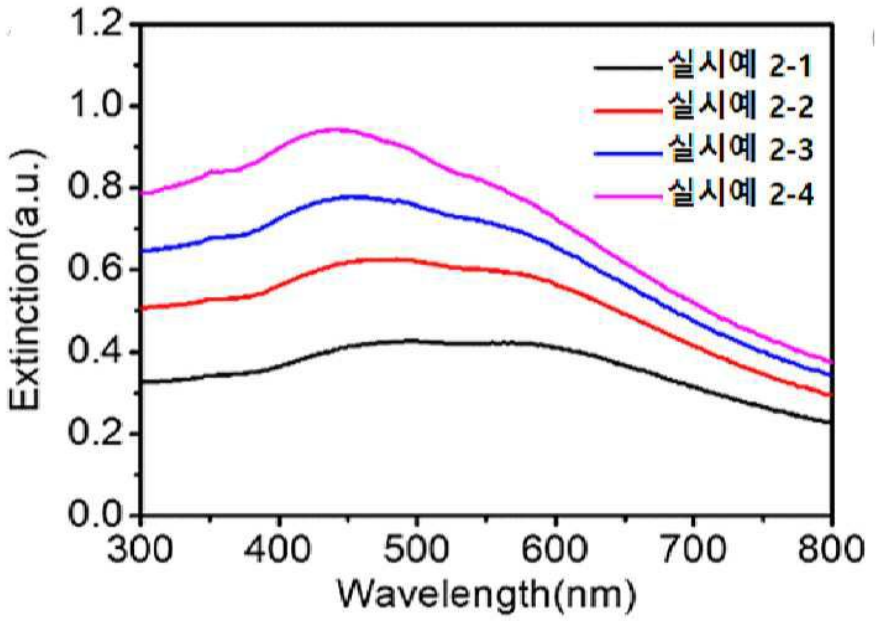
도면9


실시예 2-12
실시예 2-9
CD (mdeg)
Wavelength (nm)

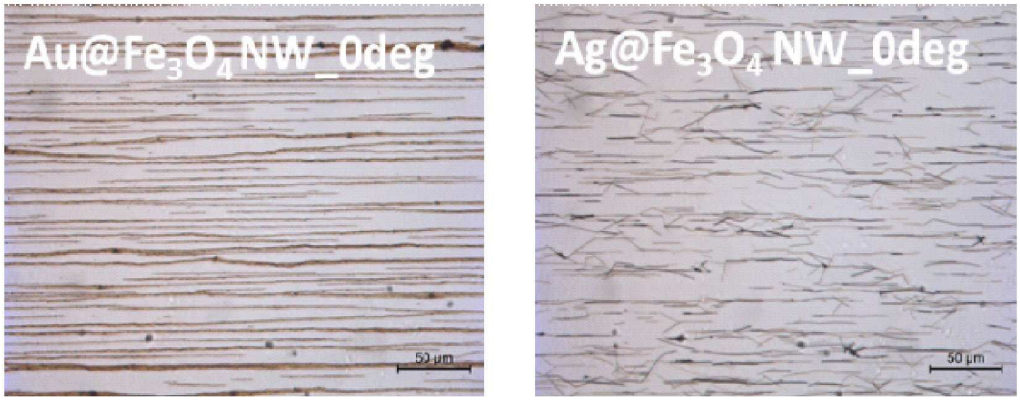

실시예 2-13
실시예 2-10
CD (mdeg)
Wavelength (nm)


실시예 2-14
실시예 2-11
CD (mdeg)
Wavelength (nm)

도면10


1.2
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
Extinction(a.u.)
300
400
500
600
700
800
Wavelength(nm)
실시예 2-1
실시예 2-2
실시예 2-3
실시예 2-4

도면11


Au@Fe3O4NW_0deg
50 μm
Ag@Fe3O4NW_0deg
50 μm