



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2022-0124930
(43) 공개일자 2022년09월14일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
F41H 3/00 (2006.01) B32B 15/01 (2006.01)
B32B 7/025 (2019.01) B32B 7/12 (2019.01)
(52) CPC특허분류
F41H 3/00 (2013.01)
B32B 15/01 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2021-0028667
(22) 출원일자 2021년03월04일
심사청구일자 2021년03월04일

(71) 출원인
연세대학교 산학협력단
서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)
(72) 발명자
한재원
서울특별시 종로구 경교장길 35 경희궁자이 3단지 302동 1004호
김자경
서울특별시 서대문구 신촌로9길 32 J.K.Vill 303호
박창훈
서울특별시 서대문구 연희로8길 39, 203호
(74) 대리인
남건필, 박종수, 정지향, 차상윤

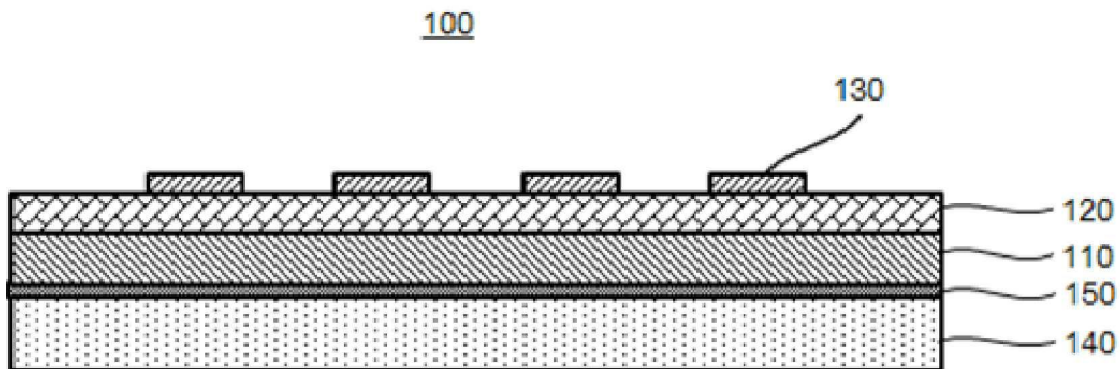
전체 청구항 수 : 총 11 항

(54) 발명의 명칭 다중분광 스텔스 소자

(57) 요약

가시광 영역의 위장색을 발생시키고, 근적외선 및 단파장 적외선에 대한 낮은 반사도 특성을 가지며, 중파장 및 장파장 적외선에 대한 낮은 방사율 특성을 갖는 다중분광 스텔스 소자가 개시된다. 다중분광 스텔스 소자는 전기 전도성을 갖는 제1 금속으로 형성된 금속층; 상기 금속층 표면 상에 배치되고, 가시광선 및 근적외선을 흡수할 수 있는 밴드갭을 갖는 반도체 물질로 형성된 반도체층; 및 상기 반도체층 표면 상에 규칙적으로 배치되고, 전기 전도성을 갖는 제2 금속으로 형성된 복수의 금속 패턴을 구비한다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

B32B 7/025 (2019.01)

B32B 7/12 (2019.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711119179
과제번호	2020M3F6A1081011
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	미래국방혁신기술개발(R&D)
연구과제명	다중 대역 광신호 제어 스텔스 소재
기 여 율	1/1
과제수행기관명	연세대학교
연구기간	2020.05.01 ~ 2021.02.28

명세서

청구범위

청구항 1

전기 전도성을 갖는 제1 금속으로 형성된 금속층;

상기 금속층 표면 상에 배치되고, 가시광선 및 근적외선을 흡수할 수 있는 밴드갭을 갖는 반도체 물질로 형성된 반도체층; 및

상기 반도체층 표면 상에 규칙적으로 배치되고, 전기 전도성을 갖는 제2 금속으로 형성된 복수의 금속 패턴을 포함하는, 다중분광 스텔스 소자.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 반도체층은 파장이 2 μm 초과 14 μm 이하인 중파장 및 장파장 적외선은 투과시키나 파장이 2 μm 이하인 단파장 적외선, 근적외선 및 가시광선에 대해서는 적어도 일부의 에너지를 흡수하는 반도체 재료로 형성되고,

상기 반도체층과 상기 금속층의 계면에서는 상기 적외선에 대해 주파수 선택적인 반사가 발생하는 것을 특징으로 하는, 다중분광 스텔스 소자.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 중파장 및 장파장 적외선은 상기 반도체층과 상기 금속층의 계면에서 흡수 또는 투과보다 반사가 우세하게 발생하고,

상기 단파장 적외선, 근적외선 및 가시광선은 상기 반도체층과 상기 금속층의 계면에서 반사보다 흡수 또는 투과가 우세하게 발생하는 것을 특징으로 하는, 다중분광 스텔스 소자.

청구항 4

제2항에 있어서,

상기 반도체층은 게르마늄(Ge)으로 형성된 것을 특징으로 하는, 다중분광 스텔스 소자.

청구항 5

제2항에 있어서,

상기 반도체층의 두께는 20 내지 100nm인 것을 특징으로 하는, 다중분광 스텔스 소자.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 복수의 금속 패턴은 플라즈몬 공명을 통해 가시광선 영역의 위장색을 생성하는 것을 특징으로 하는, 다중분광 스텔스 소자.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 복수의 금속 패턴 각각은 100 내지 500 nm의 직경을 갖고, 50 내지 100 nm의 두께를 갖는 원형 디스크 형상을 갖는 것을 특징으로 하는, 다중분광 스텔스 소자.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 복수의 금속 패턴 중 인접하게 배치된 2개의 중심 사이의 거리인 주기는 200 내지 10000 nm인 것을 특징으로 하는, 다중분광 스텔스 소자.

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 복수의 금속 패턴은 제1 영역에 배치되어 제1 위장색을 생성하는 제1 금속 패턴들 및 상기 제1 영역과 인접하게 위치한 제2 영역에 배치되고 상기 제1 금속 패턴들과 직경, 두께 및 주기 중 적어도 하나 이상이 달라서 상기 제1 위장색과 다른 제2 위장색을 생성하는 제2 금속 패턴들을 포함하는 것을 특징으로 하는, 다중분광 스텔스 소자.

청구항 10

제7항에 있어서,

상기 반도체층의 표면 중 20 내지 60%가 상기 금속 패턴에 의해 커버된 것을 특징으로 하는, 다중분광 스텔스 소자.

청구항 11

제1항에 있어서,

상기 금속층 하부에 배치된 기관; 및

상기 금속층과 상기 기관을 접착시키는 접착층을 더 포함하는 것을 특징으로 하는, 다중분광 스텔스 소자.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 위장색을 생성할 수 있고 적외선 레이저 탐지기, 열적외선 탐지기 등에 대응할 수 있는 다중분광 스텔스 소자에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 군사 위장 기술의 개발은 일반적으로 가시광 영역에서는 주위와 혼화될 수 있는 위장색을 생성하고, 적외선 레이다 감지장치 및 열 적외선 감지장치에 대한 감지율을 낮출 수 있는 기술을 개발하는 방향으로 이루어지고 있다.

[0003] 중파장 적외선(MWIR) 및 장파장 적외선(LWIR) 영역의 열 적외선 감지장치는 주로 목적물로부터 방출되는 열복사를 측정하는 방식으로 목적물을 감지하고, 근적외선(NIR) 및 단파장 적외선(SWIR)의 대부분의 적외선 레이다 감지장치는 목적물로부터 반사된 적외선 신호를 측정하는 방식으로 목적물을 감지한다.

[0004] 따라서, 근적외선(NIR)으로부터 장파장 적외선(LWIR)까지의 넓은 스펙트럼 영역에 걸친 감지장치들에 대한 감지율을 낮추기 위해서는, 목적물 표면은 근적외선 및 단파장 적외선 영역의 광에 대한 반사를 억제함과 동시에 중파장 및 장파장 적외선 영역의 광에 대한 열복사를 억제할 수 있어야 한다.

[0005] 최근, 열복사를 억제하고 적외선 디텍터의 감지 영역을 회피하기 위한 소자로서 MIM(Metal-insulator-metal) 구조 기반 플라즈모닉 메타 표면 기술이 제안되었다. MIM 나노 구조는 MIM 구조 내에서 표면 플라즈몬 폴라리톤(SPP) 및 마그네틱 폴라리톤(MP)의 여기에 따른 흡수 및 반사의 스펙트럼 특성에 대한 제어가능성을 가지므로, 다중 스펙트럼 엔지니어링에 적용되었다. 하지만, MIM 메타 표면은 가시광선 및 적외선 영역에서 손실없는 유전체 매질의 적용으로 제한된 수의 공명 모드만을 야기하고, 그 결과 제한된 스펙트럼 영역의 광만을 흡수하는 문제점이 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0006] 본 발명의 목적은 금속-반도체-금속(MSM) 메타표면을 이용하여 서브파장 스케일의 픽셀 사이즈를 갖는 가시광 영역의 위장색을 발생시킬 수 있고, 근적외선 및 단파장 적외선에 대한 낮은 반사도를 가지며, 중파장 및 장파장 적외선에 대한 낮은 방사율을 가지는 다중분광 스텔스 소자를 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

- [0007] 본 발명의 실시예에 따른 다중분광 스텔스 소자는 전기 전도성을 갖는 제1 금속으로 형성된 금속층; 상기 금속층 표면 상에 배치되고, 가시광선 및 근적외선을 흡수할 수 있는 밴드갭을 갖는 반도체 물질로 형성된 반도체층; 및 상기 반도체층 표면 상에 규칙적으로 배치되고, 전기 전도성을 갖는 제2 금속으로 형성된 복수의 금속 패턴을 포함한다.
- [0008] 일 실시예에 있어서, 상기 반도체층은 파장이 $2\ \mu\text{m}$ 초과 $14\ \mu\text{m}$ 이하인 중파장 및 장파장 적외선은 투과시키나 파장이 $2\ \mu\text{m}$ 이하인 단파장 적외선, 근적외선 및 가시광선에 대해서는 적어도 일부의 에너지를 흡수하는 반도체 재료로 형성될 수 있고, 상기 반도체층과 상기 금속층의 계면에서는 상기 적외선에 대해 주파수 선택적인 반사가 발생할 수 있다.
- [0009] 일 실시예에 있어서, 상기 중파장 및 장파장 적외선은 상기 반도체층과 상기 금속층의 계면에서 흡수 또는 투과보다 반사가 우세하게 발생하고, 상기 단파장 적외선, 근적외선 및 가시광선은 상기 반도체층과 상기 금속층의 계면에서 반사보다 흡수 또는 투과가 우세하게 발생할 수 있다.
- [0010] 일 실시예에 있어서, 상기 반도체층은 게르마늄(Ge)으로 형성될 수 있다.
- [0011] 일 실시예에 있어서, 상기 반도체층의 두께는 20 내지 100nm일 수 있다.
- [0012] 일 실시예에 있어서, 상기 복수의 금속 패턴은 플라즈몬 공명을 통해 가시광선 영역의 위장색을 생성할 수 있다.
- [0013] 일 실시예에 있어서, 상기 복수의 금속 패턴 각각은 100 내지 500 nm의 직경을 갖고, 50 내지 100 nm의 두께를 갖는 원형 디스크 형상을 가질 수 있다.
- [0014] 일 실시예에 있어서, 상기 복수의 금속 패턴 중 인접하게 배치된 2개의 중심 사이의 거리인 주기는 200 내지 10000 nm일 수 있다.
- [0015] 일 실시예에 있어서, 상기 복수의 금속 패턴은 제1 영역에 배치되어 제1 위장색을 생성하는 제1 금속 패턴들 및 상기 제1 영역과 인접하게 위치한 제2 영역에 배치되고 상기 제1 금속 패턴들과 직경, 두께 및 주기 중 적어도 하나 이상이 달라서 상기 제1 위장색과 다른 제2 위장색을 생성하는 제2 금속 패턴들을 포함할 수 있다.
- [0016] 일 실시예에 있어서, 상기 반도체층의 표면 중 20 내지 60%가 상기 금속 패턴에 의해 커버될 수 있다.
- [0017] 일 실시예에 있어서, 상기 다중분광 스텔스 소자는 상기 금속층 하부에 배치된 기판; 및 상기 금속층과 상기 기판을 접착시키는 접착층을 더 포함할 수 있다.

발명의 효과

- [0018] 본 실시예에 따른 다중분광 스텔스 소자에 따르면, 금속-반도체-금속(MSM) 메타표면을 이용하여 서브파장 스케일의 픽셀 사이즈를 갖는 가시광 영역의 위장색을 발생시킬 수 있고, 근적외선 및 단파장 적외선에 대한 높은 흡수율 및 낮은 반사도를 가져서 적외선 레이저 추적 시스템, SWIR 카메라, 야시경 등에 대해 스텔스 기능을 발휘할 수 있으며, 중파장 및 장파장 적외선에 대한 높은 반사도 및 낮은 방사율을 나타내어 열 영상 장치 등에 대한 스텔스 기능을 발휘할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0019] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 다중분광 스텔스 소자를 설명하기 위한 단면도이다.
- 도 2a는 최대 스펙트럼 흡수도를 나타내는 LSPR(localized surface plasmon resonance) 조건에서 실시예에 따른 다중분광 스텔스 소자의 광학 파워 분포를 나타내는 도면이고, 도 2b는 변화하는 금속 패턴의 반경 및 반도체층의 표면 중 금속 패턴에 의해 커버된 비율(fill factor)에 따른 색 분포를 나타내는 도면이다.

도 3a는 근적외선 영역의 상쇄간섭 조건에서 30nm 두께의 반도체층을 구비하는 실시예에 따른 다중분광 스텔스 소자의 파워 분포를 나타내는 도면이고, 도 3b는 서로 다른 두께의 반도체층을 각각 구비하는 실시예에 따른 다중분광 스텔스 소자들에서의 근적외선 영역에서의 흡수 스펙트럼을 보여주는 도면이다.

도 4a는 단파장 적외선 영역의 갭 플라즈몬 공명(gap plasmon resonance) 조건에서 185nm 및 175nm 반경의 금속 패턴들을 각각 구비하는 실시예에 따른 다중분광 스텔스 소자들에 대한 파워 분포를 나타내는 도면이고, 도 4b 및 도 4c는 적색, 초록색 및 청색을 생성하는 실시예에 따른 다중분광 스텔스 소자들의 단파장 적외선 영역에서의 계산 흡수 스펙트럼 및 측정 흡수 스펙트럼을 나타내는 도면들이다.

도 5는 서로 다른 위장색을 발현하는 실시예에 따른 다중분광 스텔스 소자들의 중파장 및 장파장 적외선 영역에 대한 방사율(Emissivity)을 나타내내는 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0020] 이하, 첨부한 도면을 참조하여 본 발명의 실시예에 대해 상세히 설명한다. 본 발명은 다양한 변경을 가할 수 있고 여러 가지 형태를 가질 수 있는 바, 특정 실시 예들을 도면에 예시하고 본문에 상세하게 설명하고자 한다. 그러나 이는 본 발명을 특정한 개시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변경, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다. 각 도면을 설명하면서 유사한 참조부호를 유사한 구성요소에 대해 사용하였다. 첨부된 도면에 있어서, 구조물들의 치수는 본 발명의 명확성을 기하기 위하여 실제보다 확대하여 도시한 것이다.
- [0021] 본 출원에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시 예를 설명하기 위해 사용된 것으로, 본 발명을 한정하려는 의도가 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 출원에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 명세서 상에 기재된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.
- [0022] 다르게 정의되지 않는 한, 기술적이거나 과학적인 용어를 포함해서 여기서 사용되는 모든 용어들은 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 가지고 있다. 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 것과 같은 용어들은 관련 기술의 문맥 상 가지는 의미와 일치하는 의미를 가지는 것으로 해석되어야 하며, 본 출원에서 명백하게 정의하지 않는 한, 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미로 해석되지 않는다.
- [0024] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 다중분광 스텔스 소자를 설명하기 위한 단면도이다.
- [0025] 도 1을 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 다중분광 스텔스 소자(100)는 금속층(110), 반도체층(120) 및 금속 패턴(130)을 포함할 수 있다.
- [0026] 본 실시예의 스텔스 소자(100)는 대상체(미도시)의 표면 상에 배치되어, 적외선 레이저 유도 무기 및 열적외선을 탐지하는 적외선 영상 유도 무기에 대한 스텔스 기능을 나타낼 수 있을 뿐만 아니라 가시광선 영역의 위장색을 구현할 수 있다.
- [0027] 상기 금속층(110)은 중파장 적외선, 장파장 적외선 등의 파장이 3 μm 보다 큰 적외선에 대해 흡수도가 낮고, 반사도가 높은 금속 재질로 형성될 수 있다. 예를 들면, 상기 금속층(110)은 은(Ag), 알루미늄(Al), 백금(Pt) 등으로 형성될 수 있다.
- [0028] 일 실시예에 있어서, 상기 금속층(110)의 두께는 특별히 제한되지 않는다. 일 실시예로, 상기 금속층(110)은 약 50 nm 이상의 두께, 예를 들면, 약 150 내지 300 nm의 두께로 형성될 수 있다.
- [0029] 상기 반도체층(120)은 상기 금속층(110) 상부에 배치되고, 가시광선 및 근적외선을 흡수할 수 있는 밴드갭을 갖는 반도체 물질로 형성될 수 있다. 일 실시예로, 상기 반도체층(120)은 게르마늄(Ge)으로 형성될 수 있고, 상기 반도체층(120)의 두께는 상기 중파장 적외선의 파장보다 작을 수 있다. 예를 들면, 상기 반도체층(120)은 약 20 내지 100 nm의 두께로 형성될 수 있다.
- [0030] 상기 반도체층(120)은 파장이 약 3 내지 8 μm 인 중파장 적외선(MWIR) 및 파장이 약 8 내지 14 μm 인 장파장 적외선에 대해서는 높은 투명성을 갖는 손실 없는 매질로 작용하나, 파장이 약 2 μm 인 광, 예를 들면, 가시광선, 근

적외선, 단파장 적외선 중 파장이 약 1.4 내지 2 μm 인 적외선에 대해서는 불투명하고 손실을 야기하는 매질로 작용할 수 있다. 따라서, 상기 반도체층(120)이 상기 금속층(110) 상에 적층되는 경우, 상기 반도체층(120)과 상기 금속층(110)의 계면에서는 적외선에 대해 무시할 수 없을 정도의 반사 위상 쉬프트가 발생될 수 있고, 이로 인해 상기 계면에서는 주파수 선택적인 반사가 일어날 수 있다. 그 결과, 상기 근적외선 및 단파장 적외선에 대한 반사도는 낮출 수 있고, 상기 중파장 또는 장파장 적외선에 대한 반사도는 증가시킬 수 있다.

[0031] 즉, 중파장 적외선 및 장파장 적외선이 입사되는 경우에는, 상기 중파장 적외선 및 장파장 적외선은 상기 반도체층(120)에 의해 흡수되지 않고 상기 금속층(110)과 상기 반도체층(120)의 계면에서 반사될 수 있고, 그 결과 상기 대상체의 방사율(Emissivity)을 낮출 수 있어서 열 영상 카메라 등에 대한 상기 대상체의 감지율을 낮출 수 있다. 또한, 근적외선 및 단파장 적외선이 입사되는 경우에는, 상기 근적외선 및 단파장 적외선을 상기 반도체층(120)이 흡수함으로써 이들에 대한 반사도를 낮출 수 있고, 그 결과 야시경, 단파장 적외선(SWIR) 카메라, 적외선 레이저 추적 시스템 등에 대한 상기 대상체의 감지율을 낮출 수 있다.

[0032] 상기 금속 패턴(130)은 상기 반도체층(120)의 표면 상에 배치될 수 있고, 전기 전도성을 갖는 금속으로 형성될 수 있다. 예를 들면, 상기 금속 패턴(130)은 알루미늄(Al), 금(Au), 백금(Pt) 등의 금속으로 형성될 수 있다.

[0033] 일 실시예에 있어서, 상기 반도체층(120)의 표면 상에는 복수의 상기 금속 패턴(130)이 규칙적으로 배치될 수 있고, 플라즈몬 공명을 통해 서브파장 스케일의 픽셀 사이즈를 갖는 가시광선 영역의 위장색을 발생시킬 수 있다.

[0034] 일 실시예로, 상기 복수의 금속 패턴(130) 각각은 약 100 내지 500 nm의 직경을 갖고 약 50 내지 100 nm의 두께를 갖는 원형 디스크 형상을 가질 수 있고, 인접하게 배치된 2개의 금속 패턴의 중심 사이의 거리인 주기가 약 300 내지 800 nm가 되도록 배치될 수 있다.

[0035] 상기 금속 패턴(130)과 하부에 배치된 상기 반도체층(120)에 의해 야기되는 플라즈몬 공명 파장은 상기 금속 패턴(130)의 크기, 두께, 주기 등의 파라미터들에 의해 조절될 수 있고, 그 결과 상기 파라미터들을 조절함으로써 다양한 위장색을 발생시킬 수 있다. 일 실시예로, 상기 금속 패턴(130)의 크기가 증가할수록 플라즈몬 공명 파장의 크기가 증가할 수 있고, 반사되는 광의 파장이 감소할 수 있다.

[0036] 일 실시예에 있어서, 상기 반도체층(140)의 표면 중 약 20 내지 60%가 상기 금속 패턴(130)에 의해 커버될 수 있다. 상기 금속 패턴(130)에 의한 커버 면적이 커질수록 발생하는 위장색의 범위 및 선명도가 향상될 수 있다. 다만, 상기 금속 패턴(130)에 의한 커버 면적이 상기 반도체층(140)의 표면의 60%를 초과하는 경우, 근적외선 및 단파 적외선의 방사율이 증가하는 문제점이 발생할 수 있다.

[0037] 일 실시예에 있어서, 본 발명의 일 실시예에 따른 다중분광 스텔스 소자(100)는 기관(140)을 더 포함할 수 있고, 접착층(150)을 통해 상기 금속층(110)이 상기 기관(140)에 접착될 수 있다.

[0038] 상기 금속층(110), 반도체층(120) 및 금속 패턴(130)의 적층 구조물을 지지할 수 있다면 상기 기관(140)의 재료, 구조 등은 특별히 제한되지 않는다. 예를 들면, 상기 기관(140)은 금속재료, 반도체 재료, 고분자 재료 등으로 형성될 수 있다.

[0039] 한편, 상기 기관(140)은 본 발명의 다중분광 스텔스 소자(100)가 적용되는 대상체와 별도의 구성으로 적용될 수도 있으나, 상기 대상체의 표면이 상기 기관(140)으로 기능할 수도 있다.

[0040] 본 실시예에 따른 다중분광 스텔스 소자에 따르면, 금속-반도체-금속(MSM) 메타표면을 이용하여 서브파장 스케일의 픽셀 사이즈를 갖는 가시광 영역의 위장색을 발생시킬 수 있고, 근적외선 및 단파장 적외선에 대한 높은 흡수율 및 낮은 반사도를 가져서 적외선 레이저 추적 시스템, SWIR 카메라, 야시경 등에 대해 스텔스 기능을 발휘할 수 있으며, 중파장 및 장파장 적외선에 대한 높은 반사도 및 낮은 방사율을 나타내어 열 영상 장치 등에 대한 스텔스 기능을 발휘할 수 있다.

[0042] 도 2a는 최대 스펙트럼 흡수도를 나타내는 LSPR(localized surface plasmon resonance) 조건에서 실시예에 따른 다중분광 스텔스 소자의 광학 파워 분포를 나타내는 도면이고, 도 2b는 변화하는 금속 패턴의 반경 및 반도체층의 표면 중 금속 패턴에 의해 커버된 비율(fill factor)에 따른 색 분포를 나타내는 도면이다. 상기 실시예에 따른 다중분광 스텔스 소자의 금속층, 반도체층 및 금속 패턴은 은(Ag), 게르마늄(Ge) 및 알루미늄(Al)으로 각각 형성되었고, 상기 금속 패턴의 반경은 125nm로부터 185nm까지 변경되었다.

- [0043] 도 2a 및 도 2b를 참조하면, 반도체층은 가시광 주파수에서 불투명하기 때문에, 광학 에너지는 하부 금속층 표면에 전달될 수 없고, LSPR(localized surface plasmon resonance)은 주로 금속 패턴에 의해 결정되었다.
- [0044] 인간 눈에 의해 감지되는 색을 평가하기 위해, MSM 메타표면에 의한 반사 스펙트럼에 기초하여, 하기의 식에 의해 정의되는 3자극치(tristimulus values)를 산출하였다. 색 평가를 위해, 일정한 소스 파워 분포가 색 분석에서 가정되었다.
- [0045] [수식 1]
- [0046]
$$M = \int I(\lambda) R(\lambda) \overline{m}(\lambda) d\lambda$$
 (여기서 M=X,Y,Z in CIR color space)
- [0047] 수식 1에서, I는 소스 파워 분포를 나타내고, R은 샘플의 반사도를 나타내며, m은 CIE의 컬러 매칭 함수를 나타낸다.
- [0048] 금속 패턴의 크기를 변경함에 의해 LSPR 파장이 변경되고, 그 결과 실시예의 다중분광 스텔스 소자는 적색으로부터 그린 및 블루까지의 다양한 색을 생성할 수 있음을 확인하였다. 특히, 금속 패턴의 반경이 증가함에 따라, LSPR 파장의 적색 편이를 야기되었고, 평가된 색은 적색으로부터 블루 및 그린까지 변경되었다. 금속 패턴의 반경이 작아짐에 따라 반사되는 광의 파장이 길어졌고, 그 결과 그린 또는 적색 광을 생성할 수 있었다.
- [0049] 한편, “귀금속 패턴 및 손실없는 유전체”로 이루어진 플라즈몬 공명기의 경우, 낮은 옴 손실이 날카로운 밴드폭을 갖는 흡수 스펙트럼 및 넓은 밴드폭을 갖는 반사 스펙트럼을 야기하여 색포화가 열화됨에 반해, 본 발명의 MSM 메타표면 내의 반도체층은 손실이 있는 매질로서, 넓은 밴드폭을 갖는 흡수 스펙트럼 및 좁은 밴드폭을 갖는 반사 스펙트럼을 야기하여 높은 색포화를 나타낸다.
- [0051] 도 3a는 근적외선 영역의 상쇄간섭 조건에서 30nm 두께의 반도체층을 구비하는 실시예에 따른 다중분광 스텔스 소자의 파워 분포를 나타내는 도면이고, 도 3b는 서로 다른 두께의 반도체층을 각각 구비하는 실시예에 따른 다중분광 스텔스 소자들에서의 근적외선 영역에서의 흡수 스펙트럼을 보여주는 도면이다. 상기 실시예에 따른 다중분광 스텔스 소자의 금속층, 반도체층 및 금속 패턴은 은(Ag), 게르마늄(Ge) 및 알루미늄(Al)으로 각각 형성되었다.
- [0052] 도 3a 및 도 3b를 참조하면, 게르마늄(Ge)으로 형성된 반도체층은 근적외선(NIR) 영역에 대해 불투명한 특성을 갖는 고도로 높은 전도성 매질임에도 불구하고, 광학 에너지는 효과적으로 반도체층 내부에 포획되었고, 그 결과 실시예에 따른 다중분광 스텔스 소자에 의한 근적외선 반사는 현저하게 억제되었다. 한편, 근적외선 영역에서 금속 패턴에 의한 광학 에너지 흡수는 무시할 수 있을 정도인 것으로 나타났다.
- [0053] 실시예에 따른 다중분광 스텔스 소자에서, 상쇄간섭 조건은 ‘ $n_{\text{Ge}}t_{\text{Ge}}$ ’ (여기서, n은 반사율이고, t는 층의 두께이며, 아래 첨자는 물질을 나타냄)로 표시되는 광학 경로 길이(OPL)로부터 결정되고, 반도체층과 금속층의 계면에서의 반사에 의해 위상 쉬프트가 유도되었다.
- [0054] 손실 없는 유전체와 금속층의 계면에서의 완벽한 반사체와 달리, 게르마늄 반도체층에 대한 굴절률의 높은 허수 값은 무시할 수 없을 정도의 위상 쉬프트를 야기하였고, 이는 매우 짧은 OPL을 가진 역위상조건(out of phase condition)을 야기하였다. 따라서, 반도체층의 두께가 나노미터 스케일임에도 불구하고, 상쇄간섭 조건이 만족되었고, 반도체층의 두께가 커질수록 공명의 적색 쉬프트가 야기되었다. 다만, 근적외선에 대한 게르마늄의 낮은 전도도 때문에, 반도체층의 두께가 증가함에 따라 최대 흡수 피크의 크기는 저하되는 것으로 나타났다.
- [0055] 도 4a는 단파장 적외선 영역의 갭 플라즈몬 공명(gap plasmon resonance) 조건에서 185nm 및 175nm 반경의 금속 패턴들을 각각 구비하는 실시예에 따른 다중분광 스텔스 소자들에 대한 파워 분포를 나타내는 도면이고, 도 4b 및 도 4c는 적색, 그린 및 청색을 생성하는 실시예에 따른 다중분광 스텔스 소자들의 단파장 적외선 영역에서의 계산 흡수 스펙트럼 및 측정 흡수 스펙트럼을 나타내는 도면들이다. 상기 실시예에 따른 다중분광 스텔스 소자의 금속층, 반도체층 및 금속 패턴은 은(Ag), 게르마늄(Ge) 및 알루미늄(Al)으로 각각 형성되었다.
- [0056] 도 4a 내지 도 4c를 참조하면, 게르마늄은 근적외선 영역과 달리 단파장 적외선(SWIR) 영역에서는 손실 없는 물질이고, 이로 인해 단파장 적외선 영역에서 실시예에 따른 다중분광 스텔스 소자 내에서 갭 플라즈몬 모드가 허용될 수 있으며, 도 4a에 도시된 바와 같이, 갭 플라즈몬 공명 조건에서 광학 파워는 반도체층 내부에 효과적으로 구속되는 것으로 나타났다.

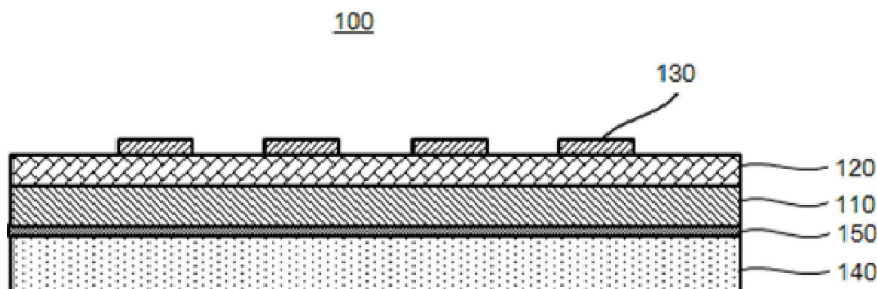
- [0057] 갭 플라즈몬 공명 파장은 반도체층의 두께뿐만 아니라 구조의 측면 디텐전에 의해 영향을 받으므로, 다른 색과 비교하여 청색을 나타내는 실시예에 따른 다중분광 스텔스소자의 금속 패턴은 상대적으로 큰 반지름을 가지므로, 갭 플라즈몬 공명은 긴 파장 영역에서 관찰되었다.
- [0059] 도 5는 서로 다른 위장색을 발현하는 실시예에 따른 다중분광 스텔스 소자들의 중파장 및 장파장 적외선 영역에 대한 방사율(Emissivity)을 나타내내는 도면이다.
- [0060] 도 5를 참조하면, 중파장 적외선(MWIR)으로부터 장파장 적외선(LWIR)까지의 파장 영역에서 게르마늄 반도체층의 전도도는 무시할 수 있고, 그 결과 반도체층은 높은 투명성을 갖는 손실 없는 유전체가 된다. 따라서, 반도체층/금속층의 적층구조는 중파장 적외선(MWIR)으로부터 장파장 적외선(LWIR)에 대해 파장 선택적 성능이 없는 낮은 손실의 반사 기관이 될 수 있고, 비공명 주파수에 대해 높은 반사도를 제공할 수 있다. 그리고, 이러한 파장 영역에서, 반도체층의 두께는 중파장 적외선(MWIR) 및 장파장 적외선(LWIR)의 파장보다 현저하게 작기 때문에, 반도체층/금속층의 적층구조에서의 박막 간섭은 무시할 수 있을 정도이다.
- [0061] 실시예에 따른 다중분광 스텔스 소자의 밴드 방사율은 열 영상 카메라 기반 감지 장치에 감지되지 않을 정도로 충분히 낮은 것으로 나타났다. 다만, 작은 금속 패턴 반경을 가져서 적색 위장색을 나타낼 수 있는 실시예에 따른 다중분광 스텔스 소자에 비해 긴 금속 패턴 반경을 가져서 청색 위장색을 나타낼 수 있는 실시예에 따른 다중분광 스텔스 소자의 밴드 방사율을 상대적으로 조금 더 높은 것으로 나타났다.
- [0062] 그리고, 갭 플라즈몬 공명 파장이 단파장 적외선(SWIR) 영역 내에 위치하기 때문에, 공명의 꼬리는 중파장 적외선(MWIR) 영역에 존재할 수 있고, 이로 인해 중파장 적외선(MWIR) 영역에서의 열방사율을 장파장 적외선 영역에서의 열방사율보다 상대적으로 높았다. 특히, 실시예에 따른 다중분광 스텔스 소자의 메타표면의 기하학적 디텐전이 너무 작아서 장파장 적외선 영역에서는 입사광이 상호작용할 수 없기 때문에, 실시예에 따른 다중분광 스텔스 소자는 장파장 적외선 영역에서 극히 낮은 밴드 방출을 나타내었다.
- [0064] 상기에서는 본 발명의 바람직한 실시예를 참조하여 설명하였지만, 해당 기술 분야의 숙련된 당업자는 하기의 특허 청구 범위에 기재된 본 발명의 사상 및 영역으로부터 벗어나지 않는 범위 내에서 본 발명을 다양하게 수정 및 변경시킬 수 있음을 이해할 수 있을 것이다.

부호의 설명

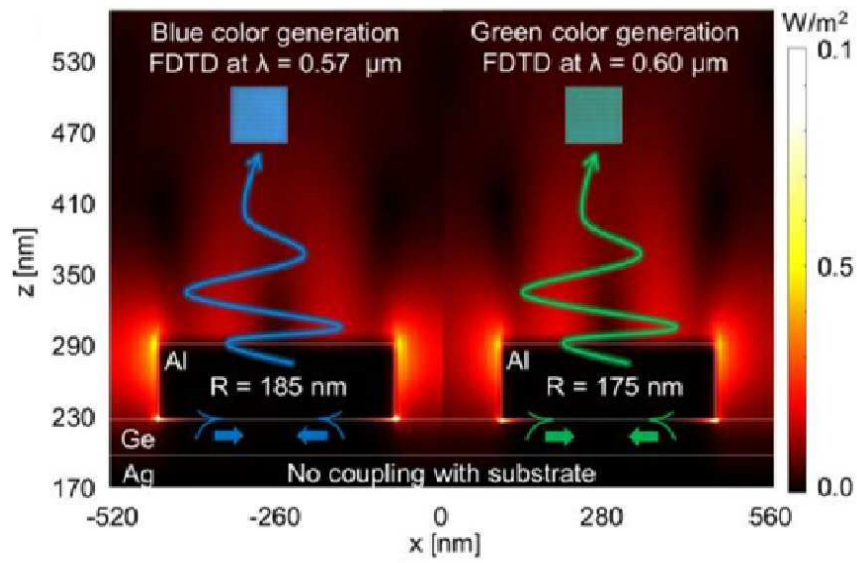
- [0065] 100: 다중분광 스텔스 소자 110: 금속층
120: 반도체층 130: 금속 패턴
140: 기판 150: 접착층

도면

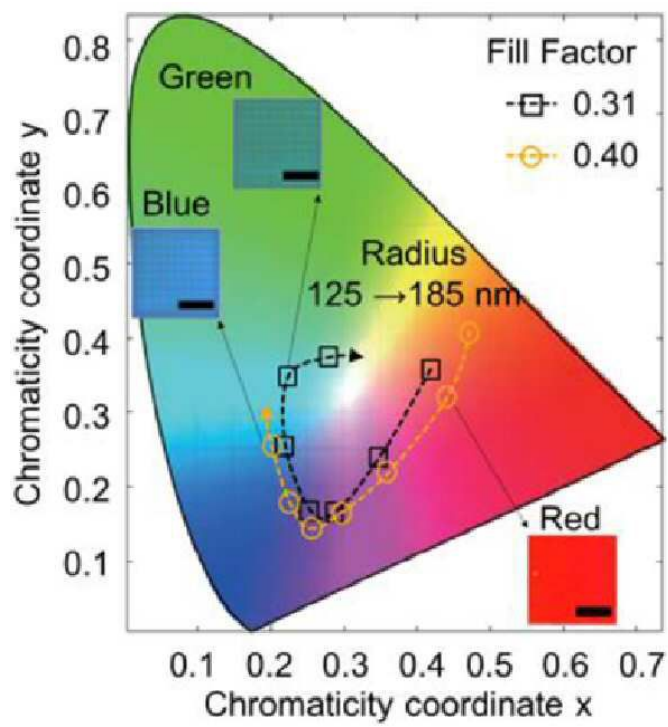
도면1



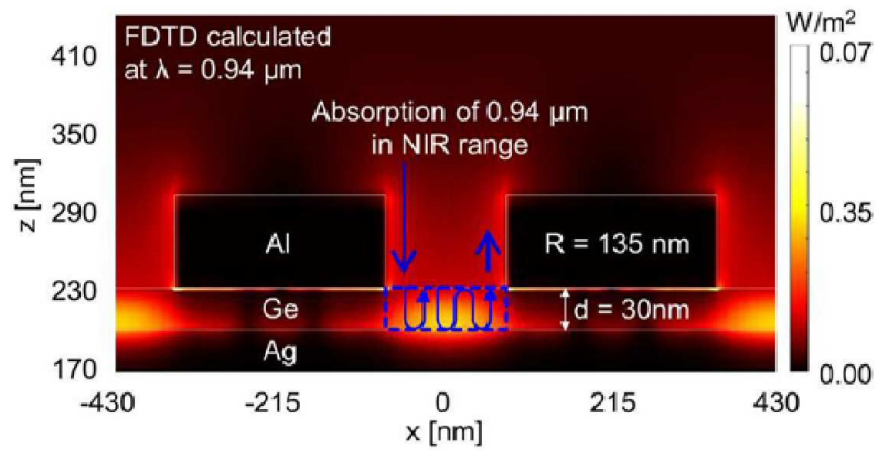
도면2a



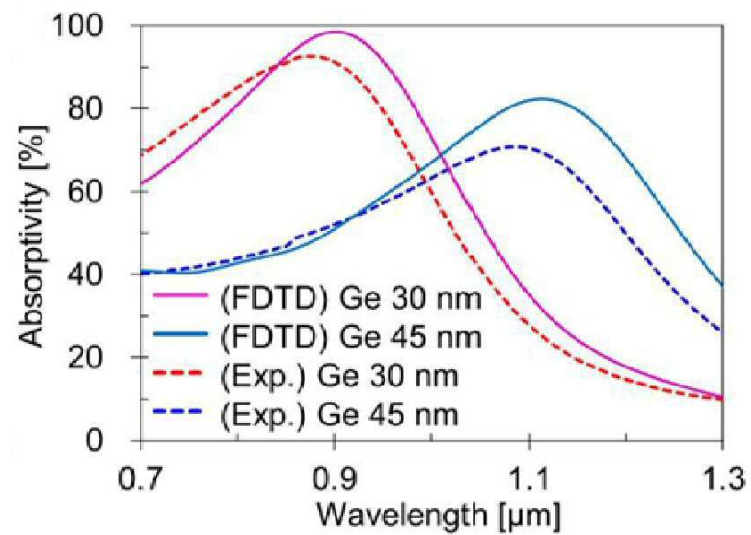
도면2b



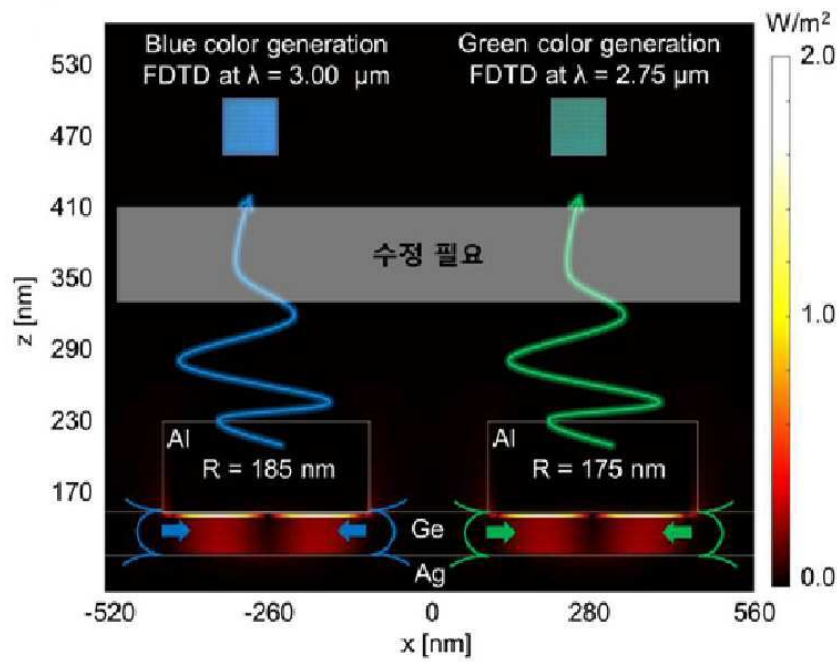
도면3a



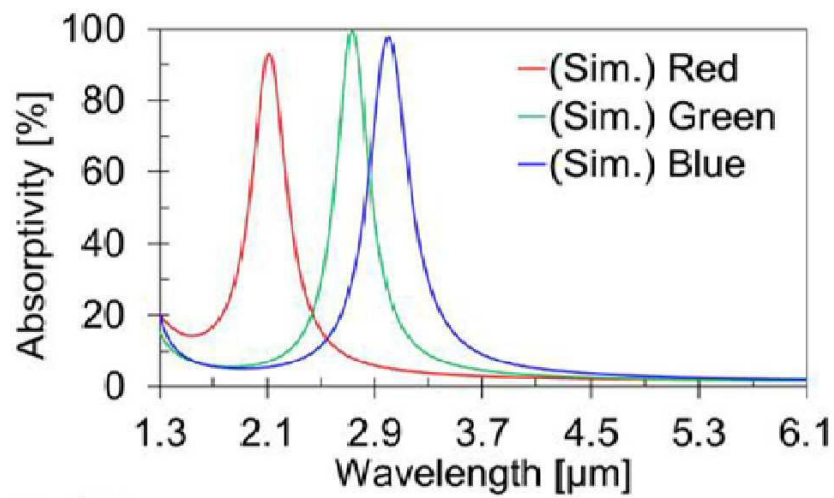
도면3b



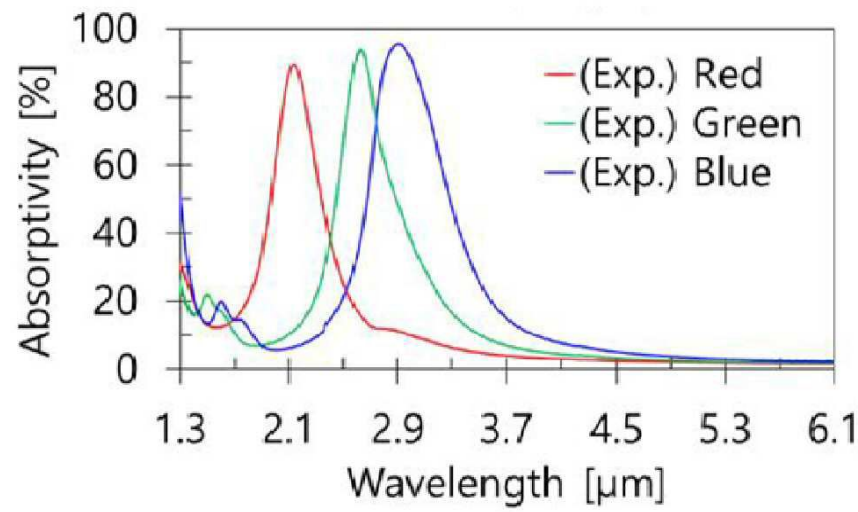
도면4a



도면4b



도면4c



도면5

