(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2023-0063906
(43) 공개일자 2023년05월10일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
B32B 7/025 (2019.01) *B32B 7/023* (2019.01)
B32B 9/00 (2006.01) *F41H 3/00* (2006.01)
G02B 1/00 (2022.01)
(52) CPC특허분류
B32B 7/025 (2019.01)
B32B 7/023 (2019.01)
(21) 출원번호 10-2021-0146360
(22) 출원일자 2021년10월29일
심사청구일자 2021년10월29일

(71) 출원인
한국과학기술연구원
서울특별시 성북구 화랑로14길 5 (하월곡동)
고려대학교 산학협력단
서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)
(72) 발명자
구종민
서울특별시 성북구 화랑로14길 5
고태윤
서울특별시 성북구 화랑로14길 5
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
특허법인 티앤아이

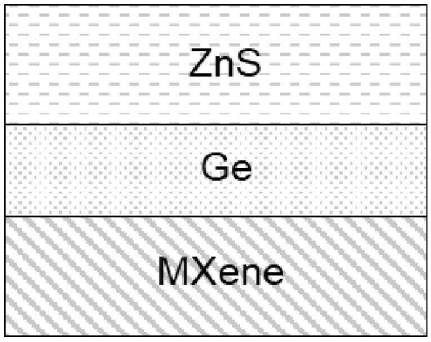
전체 청구항 수 : 총 11 항

(54) 발명의 명칭 **가시광선-적외선 위장을 위한 맥신 기판 상의 다층 박막으로 구성된 스텔스 소자**

(57) 요 약

본 발명은 가시광선-적외선 스텔스 소자에 관한다. 본 발명의 소자는 열 방사 에너지를 파장 선택적으로 제어할 수 있고, 동시에 표면 색상 및 근적외선-단파장 적외선의 반사율을 제어할 수 있다.

대 표 도 - 도2



(52) CPC특허분류
B32B 9/00 (2021.01)
F41H 3/00 (2013.01)
G02B 1/002 (2013.01)
B32B 2255/20 (2013.01)
(72) 발명자
윤재은
서울특별시 성북구 화랑로14길 5
홍순만
서울특별시 성북구 화랑로14길 5
김선준
서울특별시 성북구 화랑로14길 5
황승상
서울특별시 성북구 화랑로14길 5
이성수
서울특별시 성북구 화랑로14길 5
김명기
서울특별시 성북구 아리랑로 89 일신건영휴먼빌아파트 109동 803호
박창훈
서울특별시 성북구 지봉로24길 9-1, 802호 (보문동2가, 더클래스)
권지성
서울특별시 성북구 동소문로 27길 31 벨라미아 오피스텔 1504호

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1711111882
과제번호 2017R1A2B3006469
부처명 과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명 한국연구재단
연구사업명 개인기초연구(과기정통부)(R&D)
연구과제명 전이금속 카바이드 맥신 2D 나노소재 합성 및 그를 이용한 전자파 차폐/흡수/제어 기술 개발
기 여 율 1/2
과제수행기관명 한국과학기술연구원
연구기간 2020.03.01 ~ 2021.02.28
이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1711135296
과제번호 2021M3H4A1A03047327
부처명 과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명 한국연구재단
연구사업명 나노미래소재원천기술개발(R&D)
연구과제명 친환경 무불산 맥신 합성 공정 및 리간드 화학 기술 개발
기 여 율 1/2
과제수행기관명 한국과학기술연구원
연구기간 2021.04.26 ~ 2021.12.31

명 세 서

청구범위

청구항 1

맥신층;

상기 맥신층 상에 존재하는 반도체층; 및

상기 반도체층 상에 존재하는 유전체층을 포함하는,

가시광선-적외선 스텔스 소자.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 맥신층의 두께는 200 nm 이상인 것인,

가시광선-적외선 스텔스 소자.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 맥신층은 하기 화학식 1로 표시되는 맥신(MXene)을 포함하는 것인,

가시광선-적외선 스텔스 소자:

[화학식 1]

$M_{n+1}X_nT_x$

화학식 1에서,

M은 IIIB족 금속, IVB족 금속, VB족 금속 또는 VIB족 금속이고,

X는 C, N 또는 이들의 조합이며,

T는 O, F, -OH 또는 Cl이고,

x 및 n은 각각 독립적으로, 1 내지 4 범위 내의 정수다.

청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 맥신층은 하기 화학식 2로 표시되는 맥신(MXene)을 포함하는 것인,

가시광선-적외선 스텔스 소자:

[화학식 2]

$M'_2M''_nX_{n+1}T_x$

화학식 2에서,

M' 및 M'' 은 각각 독립적으로 IIIB족 금속, IVB족 금속, VB족 금속 또는 VIB족 금속이고,

M' 및 M'' 은 서로 다르며,

X는 C, N 또는 이들의 조합이고,

T는 O, F, -OH 또는 Cl이며,

x 및 n은 각각 독립적으로 1 또는 2다.

청구항 5

제 1 항에 있어서,

상기 반도체층의 두께는 100 nm 내지 1,000 nm 범위 내인 것인,

가시광선-적외선 스텔스 소자.

청구항 6

제 1 항에 있어서,

상기 반도체층은 반도체 물질을 포함하고,

상기 반도체 물질은 1,000 nm 내지 14,000 nm 범위 내의 파장 광에 대한 평균 흡광 계수가 0.01 미만이고, 380 nm 내지 700 nm 범위 내의 파장 광에 대한 평균 흡광 계수가 0.01 이상인 반도체 물질인 것인,

가시광선-적외선 스텔스 소자.

청구항 7

제 6 항에 있어서,

상기 반도체 물질은 실리콘계 물질 또는 게르마늄계 물질인 것인,

가시광선-적외선 스텔스 소자.

청구항 8

제 1 항에 있어서,

상기 유전체층은 380 nm 내지 14,000 nm 범위 내의 파장 광에 대한 굴절률이 4 이하인 물질을 포함하는 것인,

가시광선-적외선 스텔스 소자.

청구항 9

제 7 항에 있어서,

상기 380 nm 내지 14,000 nm 범위 내의 파장 광에 대한 굴절률이 4 이하인 물질은 황화아연 또는 산화아연인 것인,

가시광선-적외선 스텔스 소자.

청구항 10

제 9 항에 있어서,

상기 380 nm 내지 14,000 nm 범위 내의 파장 광에 대한 굴절률이 4 이하인 물질은 황화아연이고,

상기 유전체층의 두께는 50 nm 내지 500 nm 범위 내인 것인,

가시광선-적외선 스텔스 소자.

청구항 11

제 1 항에 있어서,

상기 맥신층; 상기 반도체층 및 상기 유전체층으로 이루어진 것인

가시광선-적외선 스텔스 소자.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 가시광-적외선 스텔스 소자에 관한다. 본 발명의 소자는 가시광선-적외선 파장 범위 내에서 위장 기능을 발휘할 수 있다. 본 발명의 소자는 발열 물체의 열 방사 에너지를 파장 선택적으로 제어할 수 있고, 동시에 가시광선-적외선 파장 광의 반사를 제어할 수 있다.

배 경 기 술

[0002] 스텔스 기술은, 전투기 혹은 군함과 같은 군 전략 자산들을 레이더 탐지 장비로부터 은폐시키는 기술이다. 스텔스 기술로 군 전략 자산의 생존성을 높일 수 있다. 현대전 진입에 따른 전자-광학(Electro-Optical) 기술의 발전에 따라 레이저 외에도 다양한 적외선 센서들을 개발해왔다. 현재는 열 추적 미사일 및 적외선 레이저 유도 미사일과 같은 형태로 군사 시설 등의 감시에 적외선 센서를 적용한다.

[0003] 적외선 센서에는 열화성 카메라 또는 야시경 및 단파장 적외선 카메라 등이 있다. 전자는 동체의 열을 감지한다. 후자는 동체의 반사 신호, 구체적으로 동체의 반사광의 파장을 감지한다.

[0004] 도 1은 가시광선-적외선 파장 광의 대기 투과도와 적외선 센서의 탐지 범위를 도시한 것이다.

[0005] 도 1에 따르면, 열화상 카메라로부터 동체를 은폐하기 위해서는 동체 표면에서 방출되는 열 방사 에너지 중 중파장 적외선(mid-wave infrared, MWIR) 및 장파장 적외선(long-wave infrared, LWIR)에 해당하는 에너지를 감소시켜야 한다. 열화상 카메라의 탐지 파장이 MWIR 및 LWIR이기 때문이다. 한편, 모든 파장 범위에서 열 방사 에너지를 차폐시킨다면, 동체 내부의 열을 방출할 수 없기 때문에, 동체가 열적 불안정성을 나타낼 수 있다. 이때 열화상 카메라의 탐지 파장 영역 외의 파장에서 열 에너지를 방출시킨다면, 탐지되는 신호는 저감시키면서 동시에 동체의 열적 안정성을 확보할 수 있다.

[0006] 야시경 및 단파장 적외선 카메라의 센서는 동체가 반사시키는 적외선 신호를 수집한다. 도 1에 따르면 야시경 및 단파장 적외선 카메라 센서에 탐지되는 신호를 낮추기 위해서는 700 nm 내지 2,200 nm 범위 내의 파장 영역에서 흡광도를 높여야 한다. 상기 파장 영역은 근적외선 및 단파장 적외선 영역에 해당한다.

[0007] 육안으로부터 동체를 은폐하기 위해서는 동체가 반사시키는 가시광선의 반사율을 제어하여 육안으로 인식되는 색상을 제어해야 한다.

[0008] 따라서, 가시광선-적외선 위장을 위해서는 가시광선에서부터 근적외선 및 중적외선에 이르는 광대역(broadband)에서 위에서 언급한 것처럼 광반사율과 방사율을 파장 선택적으로 제어해야 한다. 종래에는 이를 위해 메타물질, 혹은 10 층 이상의 다층 박막 구조를 지난 1 차원 광결정 구조를 사용했다(예를 들어, 특허문헌 1). 여기서, 메타물질은 나노 단위의 금속-절연체의 복합 구조체 형태를 가지는 물질이다.

[0009] 위에서 언급한 나노 구조체들을 제조하는데 수회의 고비용 반도체 공정이 필요하다. 그러므로, 위의 나노 구조체를 전투기 또는 탱크와 같은 미터 단위 군용 자산에 적용하기에는 한계가 있다. 스텔스 소자를 군용 자산으로 실제 적용하기 위해서는, 낮은 제조 비용으로, 단순하고 대면적의 구조의 소자를, 쉽게 제조할 수 있어야 한다.

선행기술문헌

특허문헌

[0010] (특허문헌 0001) 공개특허공보 제10-2018-7037760호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0011] 본 발명의 비제한적인 목적은 다음과 같다.

[0012] 본 발명은가시광선에서부터 적외선에 이르는 광범위한 파장 범위에서 동체의 은폐 기능을 발휘할 수 있는 스텔스 소자를 제공하고자 한다.

[0013] 본 발명은 상기 스텔스 소자를 저비용으로 제공하고자 한다.

[0014] 본 발명은 상기 스텔스 소자를 대면적으로 제공하고자 한다.

[0015] 본 발명은 상기 특성을 동시에 가지는 가시광선-적외선 스텔스 소자를 제공하고자 한다.

과제의 해결 수단

[0016] 상기 목적을 달성하기 위한 본 발명의 수단은 다음과 같다.

[0017] 본 발명의 가시광선-적외선 스텔스 소자는 맥신층; 상기 맥신층 상부에 존재하는 반도체층; 및 상기 반도체층 상에 존재하는 유전체층을 포함한다.

발명의 효과

[0018] 본 발명의 가시광선-적외선 스텔스 소자는, 저비용이다.

[0019] 본 발명의 가시광선-적외선 스텔스 소자는, 대면적이다.

[0020] 본 발명의 가시광선-적외선 스텔스 소자는, 가시광선에서부터 적외선에 이르는 광범위한 파장 범위에서 동체의 은폐 기능을 발휘할 수 있다.

[0021] 본 발명의 가시광선-적외선 스텔스 소자는 상기 특성을 동시에 가진다.

도면의 간단한 설명

[0022] 도 1은 가시광선-적외선 파장 광의 대기 투과도와 적외선 센서의 탐지 범위다.

도 2는 본 발명의 가시광선-적외선 스텔스 소자의 모식도다.

도 3은 본 발명의 스텔스 소자의 파장(3,000 nm 내지 14,000 nm)에 따른 이론적 열 방사율이다.

도 4는 본 발명에서 적용한 맥신(MXene) 재료의 전계형 주사전자현미경 사진이다.

도 5는 맥신의 두께에 따른 스텔스 소자의 표면 온도다.

도 6은 본 발명의 스텔스 소자의 파장(700 nm 내지 2,100 nm)에 따른 이론적 광 반사율(상) 및 적외선 반사 신호 세기(하) 다.

도 7은 본 발명의 스텔스 소자의 CIE 색좌표다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0023] 이하 본 발명의 내용에 대해서 보다 상세하게 설명한다.

[0024] 본 명세서에서는 특정 물성을 특별히 다르게 정의하지 않는 한, 업계에서 알려진 의미 그대로 정의한다.

[0025] 본 발명은 스텔스 소자에 관한다.

[0026] 본 발명에서 스텔스 소자는 특정 물체(움직이는 물체는 동체)가 탐지되지 않도록 기능하는 소자를 의미할 수 있다.

[0027] 본 발명의 스텔스 소자는 가시광선에서부터 적외선 범위에 이르는 넓은 범위의 빛에 대해서도 스텔스 기능을 발휘하는 소자로서, 본 발명에서는 이를 가시광선-적외선 스텔스 소자로 지칭한다.

[0028] 또한 본 발명의 가시광선-적외선 스텔스 소자는 군용 장비의 스텔스 기능 발휘에 특히 적합하다. 위에서 언급한 것처럼, 군용 장비에 적용하기 위해서는 저비용이어야 하고, 쉽게 제조될 수 있어야 하며, 간단한 구조를 가져야 하고, 특히 대면적화가 가능해야 한다. 본 발명의 가시광선-적외선 스텔스 소자(이하, “본 발명의 소자”로도 지칭할 수 있다)는 이러한 특성을 모두 가질 수 있다.

[0029] 본 발명의 소자는 열화상 카메라로부터 동체를 은폐시킬 수 있다. 또한 본 발명의 소자는 야시경 및 단파장 적외선 카메라로부터도 동체를 은폐시킬 수 있다. 본 발명의 소자는 심지어, 가시광선 영역에서도 동체를 은폐시킬 수 있다.

[0030] 위에서 설명한 것처럼 소자가 MWIR과 LWIR에 해당하는 파장 범위에서의 동체의 열을 차폐할 수 있고, 나머지 적외선 영역에서의 동체의 열을 방출시킬 수 있으면, 열화상 카메라로부터 동체를 은폐할 수 있다. 따라서 본 발

명의 소자는 8,000 nm 내지 14,000 nm 범위 내의 파장 및 3,000 nm 내지 5,000 nm 범위 내의 파장에 대해서는 낮은 방사율, 예를 들어, 0.3 이하의 평균 반사율을 가질 수 있다.

[0031] 또한 위에서 설명한 것처럼 소자가 근적외선 및 단파장 적외선 영역에서 광 흡수율이 높으면, 야시경과 단파장 적외선 카메라로부터 동체를 은폐할 수 있다. 따라서, 본 발명의 소자는 700 nm 내지 2,200 nm 범위 내의 파장에 대해서 0.6 이상의 평균 흡수율을 가질 수 있다.

[0032] 그리고 위에서 설명한 것처럼 소자가 다양한 색상을 구현할 수 있다면 가시광선 영역에서 위장이 가능하다. 따라서 본 발명의 소자는 380 nm 내지 700 nm 범위 내의 파장 안에서 반사율을 적절히 제어한다. 그 결과, 본 발명의 소자는 상기 소자가 반사하는 빛의 색상을 소자가 은폐하는 동체 주변의 자연 물체와 유사하게 만들 수 있다.

[0033] 본 발명에서 용어 은폐 혹은 엄폐는, 특정 파장을 기준으로 하는 광을 이용하는 탐지 센서로 특정 동체를 탐지할 수 없거나, 탐지할 수 있더라도 그 강도가 미미한 것을 의미할 수 있다.

[0034] 이를 위해서, 본 발명의 소자는 맥신층을 기재로 하여, 그 위에 반도체층과 유전체층을 순차로 적층한 구조를 가진다. 즉 본 발명의 소자는, 맥신층; 상기 맥신층 상에 존재하는 반도체층; 및 상기 반도체층 상에 존재하는 유전체층을 포함한다. 특히 본 발명의 소자는 '맥신층' 상에 반도체층과 유전체층을 적층한 구조를 가지는 점에 특징이 있다. 도 2는 본 발명의 가시광선-적외선 스텔스 소자의 일 예시의 모식도다. 도 2에서 MXene은 맥신층을, Ge는 반도체층을, ZnS는 유전체층을 지칭한다.

[0035] 맥신(MXene)은 3 개 내지 7 개의 원자층이 구성하고, 2차원 결정구조를 가지는 특정 재료를 지칭한다. 구체적으로 맥신은, 전이금속 카바이드, 전이금속 나이트라이드 또는 전이금속 카보나이트라이드 등을 지칭한다. 맥신은 높은 전기 전도도와 우수한 기계적 특성을 가진다. 따라서, 맥신은 에너지 저장, 유연 소자, 전자파 차폐 등의 분야에서 활물질, 전극 또는 첨가제 등에 적합한 차세대 2차원 나노 소재로서 주목받고 있다.

[0036] 맥신(MXene) 소재는 전이금속(M: Ti, V, Cr, Ta, Nb 등)과 탄소 또는 질소(X: C 또는 N)의 화합물(MX)로서, 전기전도성을 의미하는 접미사 "ene"을 사용하여 지칭한다. 맥신은 보통 전이금속(M), 탄소 또는 질소(X), 및 중간층 원소(A: Al, Si, Ga 등의 13족 또는14족 원소)로 구성한 3성분계 층상 화합물인 맥스(MAX) 소재에서 A 원소를 선택적으로 식각하여 제조한다.

[0037] 맥신은, 2 차원 구조를 가지는 재료이고, 소재 자체가 나노미터 단위의 다층 박막 구조를 가진다. 이 때문에, 맥신은 간단한 구조로도 광적 특성과 열적 특성을 쉽게 제어할 수 있다. 맥신은 기존의 광 및 열 관련 소재와는 다르게 스프레이 형태로 도포할 수 있어서, 대면적 형태의 구조체를 저비용으로 쉽게 제조할 수 있다. 본 발명의 소자는 이러한 맥신의 층을 기재로 하는 적층 구조체에 해당하므로, 맥신의 적용을 통해 전술한 이점을 달성할 수 있다.

[0038] 본 발명의 소자는, 특히 매우 얇은 형태를 가진다. 본 발명에서는 해당 소자를 구성하는 각 층을 나노미터 단위로 설계할 수 있다.

[0039] 일 구현예에서, 상기 맥신층의 두께는, 예를 들어, 200 nm 이상일 수 있다. 구체적으로, 맥신층의 두께는 200 nm 내지 1 mm의 범위 내일 수 있다. 다만, 이에 제한되는 것은 아니고, 본 발명의 소자의 적용 대상과 목표 은폐 범위 등에 따라 적절히 제어될 수 있다. 다른 구현예에서, 상기 맥신층의 두께는 300 nm 이상, 400 nm 이상, 500 nm 이상, 600 nm 이상, 700 nm 이상, 800 nm 이상, 900 nm 이상 또는 1,000 nm 이상일 수 있고, 500 ㎛ 이하, 300 ㎛ 이하, 200 ㎛ 이하, 100 ㎛ 이하, 50 ㎛ 이하, 30 ㎛ 이하, 20 ㎛ 이하, 10 ㎛ 이하, 5 ㎛ 이하, 3 ㎛ 이하 또는 1 ㎛ 이하일 수 있다.

[0040] 위에서 설명한 것처럼, 맥신은 MAX로 일반화되는 결정성 물질에서 A를 식각한 구조이고, 전기 전도성(접미사 "-ene"을 사용함)을 나타내기 때문에, MXene으로 표시할 수 있다. 이 때 맥신의 화학식은 다음의 화학식 1 또는 화학식 2으로 표현할 수 있고, 본 발명에서는 이렇게 표현한 맥신을 제한 없이 사용할 수 있다:

[0041] [화학식 1]

[0042] $M_{n+1}X_nT_x$

[0043] 화학식 1에서, M은 IIIB족 금속, IVB족 금속, VB족 금속 또는 VIB족 금속이고, X는 C, N 또는 이들의 조합이며, T는 O, F, -OH, Cl을 포함하는 작용기이고, x 및 n은 각각 독립적으로, 1 내지 4 범위 내의 정수다:

[0044] [화학식 2]

[0045] $M'_2M''_nX_{n+1}T_x$

[0046] 화학식 2에서, M' 및 M'' 은 각각 독립적으로 IIIB족 금속, IVB족 금속, VB족 금속 또는 VIB족 금속이고, M' 및 M'' 은 서로 다르며, X는 C, N 또는 이들의 조합이고, T는 O, F, -OH, Cl을 포함하는 작용기이며, x 및 n은 각각 독립적으로 1 또는 2다.

[0047] 화학식 1 또는 화학식 2에서, T는 O, F, -OH 또는 Cl 일 수 있다.

[0048] 일 구현예에서, 본 발명에서는 맥신으로 $Ti_3C_2T_x$를 적용할 수 있다. $Ti_3C_2T_x$는 $Ti_3C_2OH_2$, $Ti_3C_2F_2$, 및 $Ti_3C_2O_2$ 등을 모두 포함하는 것이다. 본 발명에서 사용하는 맥신은 상기 물질 중 하나만을 가질 수도 있고, 2 이상을 조합하여 가질 수도 있다.

[0049] 본 발명의 소자는, 전술한 것처럼 매우 얇은 두께를 가질 수 있다. 따라서, 본 발명의 소자를 구성하는 반도체층의 두께 또한 적절히 조절할 수 있다. 일 구현예에서, 상기 반도체층의 두께는 100 nm 내지 1,000 nm의 범위 내일 수 있다. 다른 구현예에서, 상기 반도체층의 두께는 150 nm 이상, 200 nm 이상, 250 nm 이상 또는 260 nm 이상일 수 있고, 900 nm 이하, 800 nm 이하, 700 nm 이하, 600 nm 이하, 500 nm 이하, 400 nm 이하 또는 300 nm 이하일 수 있다.

[0050] 또한, 본 발명의 소자는 반도체층을 구성하는 재료로서, 특정 파장의 광은 잘 흡수하면서, 이와는 다른 어떤 파장의 광은 잘 흡수하지 못하는 재료를 사용할 수 있다. 즉, 일 구현예에서, 상기 반도체층은 반도체 물질을 포함할 수 있다. 또한 상기 반도체 물질은 특정 파장의 광을 잘 흡수하면서, 이와는 다른 파장의 광은 잘 흡수하지 못하는 물질일 수 있다. 구체적으로, 상기 반도체 물질은 중적외선 영역에서는 낮은 흡광도를 가지고, 근적외선-가시광선 영역에서는 높은 흡광도를 가지는 물질일 수 있다. 보다 구체적으로, 상기 반도체 물질은 중적외선 영역에서는 낮은 흡광도를 가지고, 가시광선 영역에서는 높은 흡광도를 가지는 물질일 수 있다.

[0051] 일 구현예에서, 이러한 반도체 물질은, 1,000 nm 내지 14,000 nm 범위 내의 파장 광에 대한 평균 흡광 계수가 0.01 미만이고, 380 nm 내지 700 nm 범위 내의 파장 광에 대한 평균 흡광 계수가 0.01 이상인 반도체 물질일 수 있다. 여기서, 1,000 nm 내지 14,000 nm 범위 내의 파장 광에 대한 평균 흡광 계수가 0.01 미만이라고 함은, 어떤 파장에서는 흡광 계수가 0.01을 초과해도 상기 범위 파장 내에서의 평균 흡광 계수가 0.01 미만인 경우도 포함한다.

[0052] 맥신은 가시광선 영역에서 광흡수율이 매우 높기 때문에, 색상 제어가 어렵다. 하지만, 맥신과 유전체층 사이에 위와 같은 평균 흡광 계수를 가지는 반도체층을 도입하면, 맥신과 상관 없이 소자의 색상을 쉽게 제어할 수 있다. 이러한 물질로는, 예를 들어, 실리콘계 물질 또는 게르마늄계 물질을 예로 들 수 있다.

[0053] 본 발명의 소자는 상기 반도체층 상에 존재하는 유전체층을 포함한다. 상기 유전체층은 유전체 물질을 포함하는 층이다. 유전체 물질은 공지의 의미 그대로, 정전기장을 가할 때 전기 편극은 생기지만, 직류 전류는 생기지 않게 하는 물질을 의미한다.

[0054] 본 발명에서는 상기 유전체 물질로 특정 굴절률을 가지는 것을 사용할 수 있다. 구체적으로, 상기 유전체 물질은 가시광선에서 중적외선에 이르는 광대역에서 굴절률이 낮은 물질일 수 있다. 보다 구체적으로, 상기 유전체 물질은 380 nm 내지 14,000 nm 범위 내의 파장 광에 대한 굴절률이 4 이하인 물질일 수 있다. 이 유전체 물질의 굴절률은 위에서 규정한 파장 범위 전체에서 4 이하인 것을 의미할 수 있다. 반도체층의 상기 범위 내의 파장 광에 대한 굴절률이 대략 4 보다 크기 때문이다. 이처럼 상기 유전체층이 반도체층 대비 낮은 굴절률을 가지면, 가시광선-근적외선-중적외선 파장의 광이 소자 내부로 들어올 수 있어서 소자의 효율을 향상시킬 수 있다. 이러한 물질로는 황화아연 또는 산화아연을 예로 들 수 있다.

[0055] 상기 유전체층의 두께는 특별히 제한되지 않는다. 일 구현예에서, 상기 유전체층의 두께는 50 nm 내지 500 nm 범위 내일 수 있다. 다른 구현예에서, 상기 유전체층의 두께는 60 nm 이상, 70 nm 이상, 80 nm 이상, 90 nm 이상, 100 nm 이상, 110 nm 이상, 120 nm 이상, 130 nm 이상, 140 nm 이상, 150 nm 이상, 160 nm 이상, 170 nm 이상, 180 nm 이상, 190 nm 이상 또는 200 nm 이상일 수 있고, 400 nm 이하, 300 nm 이하, 290 nm 이하, 280 nm 이하, 270 nm 이하, 260 nm 이하, 250 nm 이하, 240 nm 이하, 230 nm 이하, 220 nm 이하, 210 nm 이하 또는 200 nm 이하일 수 있다.

[0056] 또한 본 발명의 소자는 상기 유전체층의 두께를 조절함으로써 가시광선 범위의 파장에서 동체를 인식하는 색상

을 조절할 수 있다. 즉 육안으로 또는 망원경 등을 사용하여 스텔스 소자가 구비된 동체를 바라볼 때, 상기 동체에 대해서 인식되는 색상을 상기 유전체층의 두께 조절을 통해 조절할 수 있다.

[0057] 특히 상기 유전체층이 유전체로서 황화아연을 포함하는 경우, 상기 유전체층의 두께는 50 nm 내지 500 nm 범위 내일 수 있다. 다른 구현예에서, 상기 유전체층의 두께는 60 nm 이상, 70 nm 이상, 80 nm 이상, 90 nm 이상, 100 nm 이상, 110 nm 이상, 120 nm 이상, 130 nm 이상, 140 nm 이상, 150 nm 이상, 160 nm 이상, 170 nm 이상, 180 nm 이상, 190 nm 이상 또는 200 nm 이상일 수 있고, 400 nm 이하, 300 nm 이하, 290 nm 이하, 280 nm 이하, 270 nm 이하, 260 nm 이하, 250 nm 이하, 240 nm 이하, 230 nm 이하, 220 nm 이하, 210 nm 이하 또는 200 nm 이하일 수 있다. 이 때, 상기 소자로 구현할 수 있는 색상이 가시광선 범위 내에 있을 수 있다.

[0058] 본 발명의 스텔스 소자는 기존의 소자 대비 얇으면서도, 목적하는 은폐 성능을 발휘할 수 있다. 즉, 본 발명의 소자는 위에서 열거한 층 외의 별도의 층을 사용하지 않고도 목적하는 효과를 모두 달성할 수도 있다. 따라서, 일 구현예에서, 본 발명의 소자는 상기 맥신층; 상기 맥신층 상에 존재하는 반도체층; 및 상기 반도체층 상에 존재하는 유전체층으로 이루어질 수도 있다. 즉 이 구현예에서, 본 발명의 소자는 위에서 열거한 3층으로만 구성한 적층 구조체일 수 있다.

[0059] 다른 예시에서, 상기 가시광선-적외선 스텔스 소자는 위에서 열거한 요소 외에도, 이의 본연의 기능을 발휘하기 위해 적용될 수 있는 기타 공지의 구성 요소를 포함할 수도 있다.

[0060] 이하, 실시예를 들어 본 발명의 가시광선-적외선 스텔스 소자를 설명한다. 다만, 하기 실시예로 본 발명의 범위를 제한하는 것은 아니다.

[0061] 맥신($Ti_3C_2T_x$)으로 구성된 1,000nm 두께의 맥신층; 게르마늄으로 구성된 260nm 두께의 반도체층; 및 황화 아연으로 구성된 200nm 두께의 유전체층이 순차로 적층된 구조의 소자를 준비했다.

[0062] **1. 열 복사 에너지**

[0063] 열화상 카메라는 열 복사 에너지를 탐지한다. 소자의 열 복사 에너지는 하기 수학식 1의 플랑크 법칙으로 결정한다:

[0064] [수학식 1]

[0065] $$S_T = \int_D \varepsilon(\lambda)\tau(\lambda)I(\lambda,T)\mathrm{d}\lambda = \int_D \varepsilon(\lambda)\tau(\lambda)\frac{2hc^2}{\lambda^5}\frac{\mathrm{d}\lambda}{\exp(hc/\lambda kT-1)}$$

[0066] 수학식 1에서, S_T는 소자의 열 복사 에너지이며, 적분 범위 D는 열화상 카메라의 측정 파장 범위이고, I는 소자의 분광 복사 에너지이며, ε는 소자의 방사율이고, τ는 대기투과도이며, h는 플랑크 상수이고, c는 빛의 속도이며, k는 볼츠만 상수이고, T는 소자의 표면 온도이다.

[0067] 상기 식을 통해 소자의 표면 온도를 낮추거나, 또는 방사율을 낮추면 동체의 열 복사 에너지를 감소시킬 수 있음을 알 수 있다. 또한 열화상 카메라의 측정 범위 밖의 파장인 5,000 nm 내지 8,000 nm 범위 내의 파장에서는 열 복사 에너지를 높이면 방사 냉각(radiative cooling) 효과를 통해 소자의 열적 안정성을 확보할 수 있다.

[0068] 상기 식에서 확인할 수 있는 것처럼 방사율이 높을 수록 열 복사 에너지가 높고, 방사율은 탐지 장치의 측정 파장의 함수다. 즉, 열화상 카메라의 탐지 범위인 3,000 nm 내지 5,000 nm 범위 및 8,000 nm 내지 14,000 nm 파장 범위에서는 낮은 방사율을 가지고, 탐지 범위 밖인 5,000 nm 내지 8,000 nm 범위 내의 파장에서는 높은 방사율을 가지도록 소자의 구성을 적절히 설계하면 열화상 카메라에 대한 스텔스 기능을 발휘할 수 있다.

[0069] 키르히호프 법칙에 따르면, 열평형 상태에서의 소자의 방사율은 하기 수학식 2에 따른다:

[0070] [수학식 2]

[0071] $$\varepsilon = 1 - R - T$$

[0072] 수학식 2에서, ε은 소자의 방사율이고, R은 소자의 반사율이며, T는 소자의 투과율이다.

[0073] 맥신은 전기 전도도가 높기 때문에, 반사율이 높다. 이러한 맥신 위에 반도체층 및 유전체층으로 구성된 박막을 적용하면, 소자의 광 반사율을 제어할 수 있고, 수학식 2와 같이 광 반사율을 조절하면 소자의 방사율도 조절할

수 있다.

[0074] 수학식 2에서 소자의 반사율과 소자의 투과율 모두 측정 장비의 파장(λ)의 함수다. 실시예의 소자의 방사율은 이론적으로 계산할 수 있고, 이를 위해서는 전달 매트릭스 방법을 이용할 수 있다.

[0075] 전달 매트릭스 방법을 통해 얻은 스텔스 소자의 파장(3,000 nm 내지 14,000 nm)에 따른 이론적 열 방사율을 도 3에 나타내었다. 전달 매트릭스 방법을 이용할 때, 맥신의 유전율은 실험적으로 측정한 유전율 값을 Drude model로 보간(interpolation)하여 사용했다. 게르마늄과 황화 아연의 유전율은 문헌 값을 사용했다. 이를 통해 스텔스 소자의 반사율과 투과율을 계산했다. 이렇게 계산한 반사율과 투과율을 수학식 2에 대입하여 방사율을 계산했다.

[0076] 도 3에 따르면, 본 발명의 스텔스 소자는 열화상 카메라 센서의 탐지 영역인 중파장 적외선 영역 및 장파장 적외선 영역의 파장의 광에 대해 0.3 이하의 방사율을 나타내고, 열화상 카메라 센서의 탐지 영역 밖의 파장의 광에 대해서는 0.8 이상의 방사율을 나타내는 것을 알 수 있다. 즉, 도 3을 통해 본 발명의 소자가 열화상 카메라에 대해 우수한 은폐 성능을 가지면서, 열적 안정성을 확보할 수 있다는 점을 알 수 있다.

[0077] **2. 맥신의 재료적 특성**

[0078] 도 4는 상기 소자에 적용한 맥신(MXene) 재료의 전계형 주사전자현미경 사진이다. 도 4에서 확인한 것처럼, 맥신은 플레이크(flake)가 적층된 형태의 구조를 가지므로, 각 층 사이에 공기(층)가 존재하는 것을 확인할 수 있다. 이러한 공기(층)은 맥신 소재의 열전도도를 감소시킨다. 수학식 1에 따르면 소자의 열 복사 에너지는 온도에 영향을 크게 받는다. 따라서, 맥신은 공기(층)으로 인한 낮은 열전도도를 가지고, 이로써 단열 작용을 할 수 있으며, 그 결과 소자의 열 복사 에너지를 줄일 수 있다.

[0079] 도 5는 맥신의 두께에 따른 스텔스 소자의 이론적 표면 온도다. 이론적 표면 온도는 맥신/게르마늄/황화 아연 순서의 적층 구조체에 대한 열 전달 방정식을 풀면 계산할 수 있다. 이를 열 전달 방정식에 대입하기 위한 경계조건(boundary condition)은 다음과 같다:

[0080] (1) 맥신층은 플레이크층과 공기층을 반복시킨 다층 구조체다.

[0081] (2) 공기층에서는 대류에 의한 열 전달이 일어난다.

[0082] (3) 플레이크 층에서는 전도에 의한 열 전달이 일어난다.

[0083] (3) 방사에 의한 열 이동은 고려하지 않는다.

[0084] 비교군은 동일 두께의 금/반도체/유전체 박막 소자이다. 대기 온도는 20℃로, 가열 온도를 200℃로 설정하였다.

[0085] 도 5를 통해, 일반적 금속 혹은 유전체는 1 ㎜ 이하의 두께에서는 표면 온도와 가열 온도의 차이가 1 ℃ 이하 정도로 작지만, 맥신 소재의 경우 1 ㎜ 이하의 두께에서도 20 ℃ 이상의 표면 온도가 감소하는 것을 확인할 수 있다. 또한, 맥신 소재의 경우 두께가 두꺼워질 수록 표면 온도가 비선형적으로 감소하는 것을 확인할 수 있으며, 이는 단열재 역할을 하는 공기(층)의 수가 맥신층 두께 증가에 따라 많아지기 때문임을 알 수 있다.

[0086] **3. 단파장 적외선 카메라 및 야시경**

[0087] 단파장 적외선 카메라 및 야시경은 동체가 반사하는 적외선 신호(infrared signal)를 이용한다.

[0088] 동체가 반사하는 적외선 신호의 세기는 하기 수학식 3에 따른다:

[0089] [수학식 3]

[0090] $$S_R = \int_D \tau(\lambda) R(\lambda) D^*(\lambda) \mathrm{d}\lambda$$

[0091] 수학식 3에서, S_R은 동체가 반사하는 적외선 신호의 세기이고, D*는 적외선 센서의 파장에 따른 양자 효율이며, τ 및 R은 위에서 언급한 것과 같다. 단파장 적외선 카메라와 야시경은 동체와 주변 환경의 반사 적외선 신호 세기를 대비(contrast)하여 탐지한다. 따라서 해당 장비에 의한 피탐지율을 감소시키기 위해서는 소자의 반사 적외선 신호를 풀, 토양과 같은 주변의 자연 환경에 의한 반사 신호와 유사한 값을 가지도록 설정해야 한다.

[0092] 반사 신호도 위에서 기술한 전달 매트릭스 방법을 통해서 계산할 수 있다. 도 6은 본 발명의 스텔스 소자의 파장(700nm 내지 2,100nm)에 따른 이론적 광 반사율(상) 및 적외선 반사 신호 세기(하)를 도시한 것이다. 도 6에

따르면 본 발명 실시예의 소자의 적외선 반사 신호는 토양 또는 풀의 적외선 반사 신호와의 차이가 10% 이내임을 알 수 있다.

[0093] **4. 소자의 색상**

[0094] 동체 표면의 색상을 주변과 비슷하게 만들어 위장 무늬를 만들면, 육안으로 또는 망원경과 같이 가시광선을 이용하여 동체를 탐지하고자 할 때, 동체의 피탐지율을 낮출 수 있다.

[0095] 육안으로 인지할 수 있는 표면 색상은, 가시광선 파장 범위 내에서의 반사율에 의해 결정된다. 색상은 CIE 1931 색 좌표를 통해 정량화할 수 있다. CIE 표준 관찰자에 해당하는 빛의 삼색 자극 값은 하기 수학식 4에 따른다:

[0096] [수학식 4]

[0097] $$X = \int_0^\infty R(\lambda)\bar{x}(\lambda)\mathrm{d}\lambda, \quad Y = \int_0^\infty R(\lambda)\bar{y}(\lambda)\mathrm{d}\lambda, \quad Z = \int_0^\infty R(\lambda)\bar{z}(\lambda)\mathrm{d}\lambda$$

[0098] 여기에서 $\bar{x}$, $\bar{y}$, $\bar{z}$는 빨강, 초록, 파랑에 대한 색 대응 함수이다. 참고로 이는 CIE에서 정의한 바에 따르며, 소자의 구조와는 관련이 없다. 빛의 삼색 자극 값 X, Y, Z로부터 색도 분포표 좌표를 계산할 수 있으며, 이는 수학식 5에 따른다:

[0099] [수학식 5]

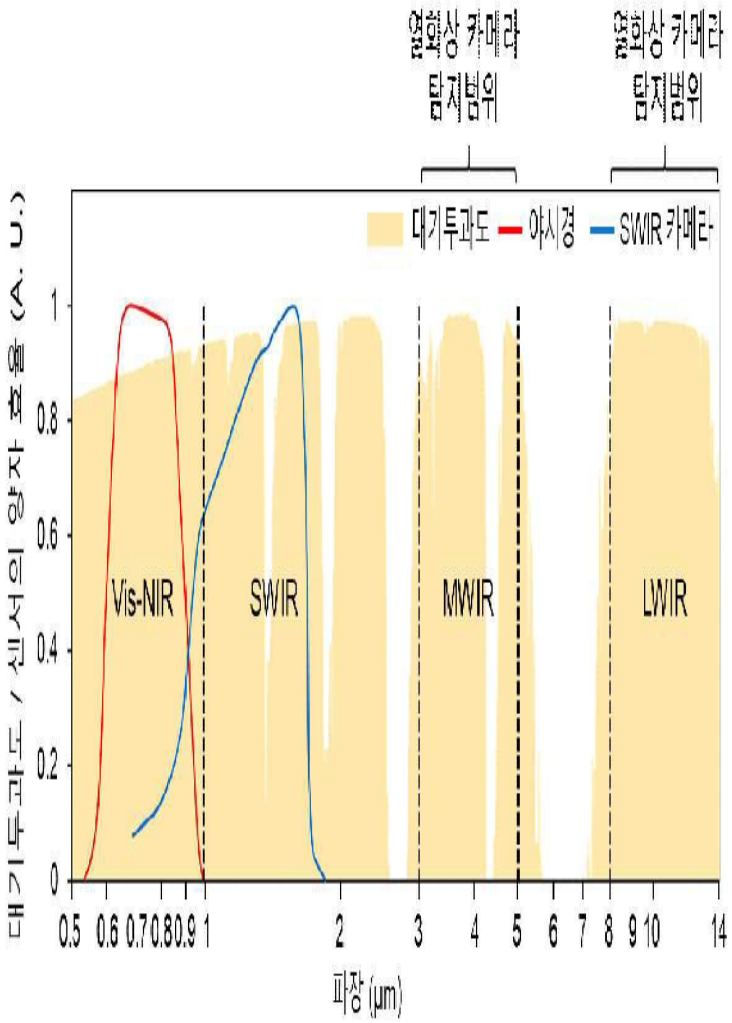
[0100] $$x = \frac{X}{X+Y+Z}, \qquad y = \frac{Y}{X+Y+Z}$$

[0101] 도 7은 본 발명의 스텔스 소자의 CIE 색좌표를 도시한 것이다. 구체적으로 수학식 5으로 계산한 색도 분포표 좌표를 이용하여 소자의 색 좌표를 2차원적으로 도 7에 나타냈다. 도 7에서 색 좌표 내의 원형 마크는 황화아연의 두께(유전체층의 두께)에 따른 스텔스 소자의 색상이다. 황화아연의 두께를 120nm에서 230nm까지 10nm 간격으로 변화시켰다. 황화아연의 두께가 달라지면, 스텔스 소자의 광학적 특성도 변화하게 되어, 이로써 다양한 색상이 구현 가능함을 알 수 있다.

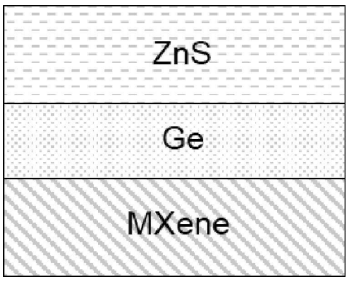
[0102] 이를 통해 본 발명의 소자는 적외선뿐만 아니라, 육안 내지 망원경 등과 같이 가시광선 범위의 광을 사용하여 탐지하는 경우에도, 피탐지율을 감소시킬 수 있고, 이는 특히 소자의 유전체층의 두께를 조절을 통해 가능하다는 점을 알 수 있다.

도면

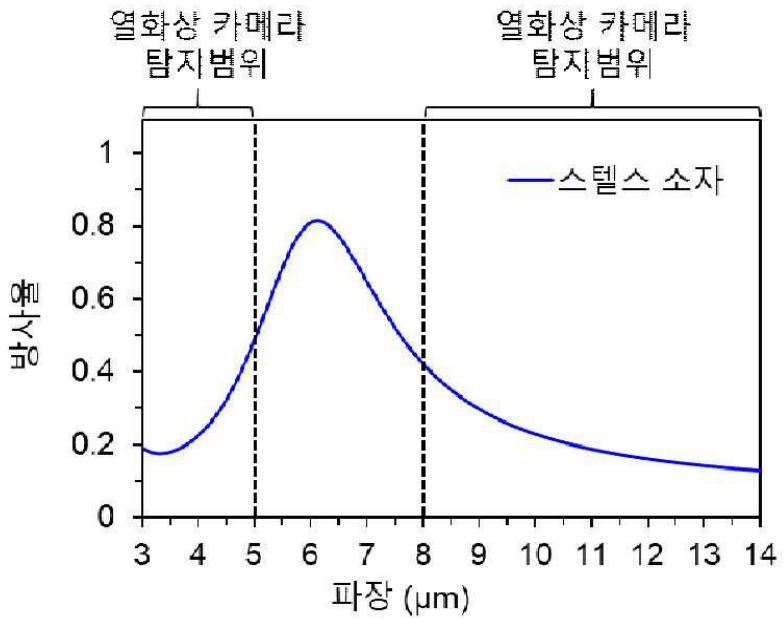
도면1


열화상 카메라
탐지범위
열화상 카메라
탐지범위
대기투과도
야시경
SWIR 카메라
Vis-NIR
SWIR
MWIR
LWIR
대기투과도 / 센서의 양자 효율 (A. U.)
0
0.2
0.4
0.6
0.8
1
0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 14
파장 (μm)

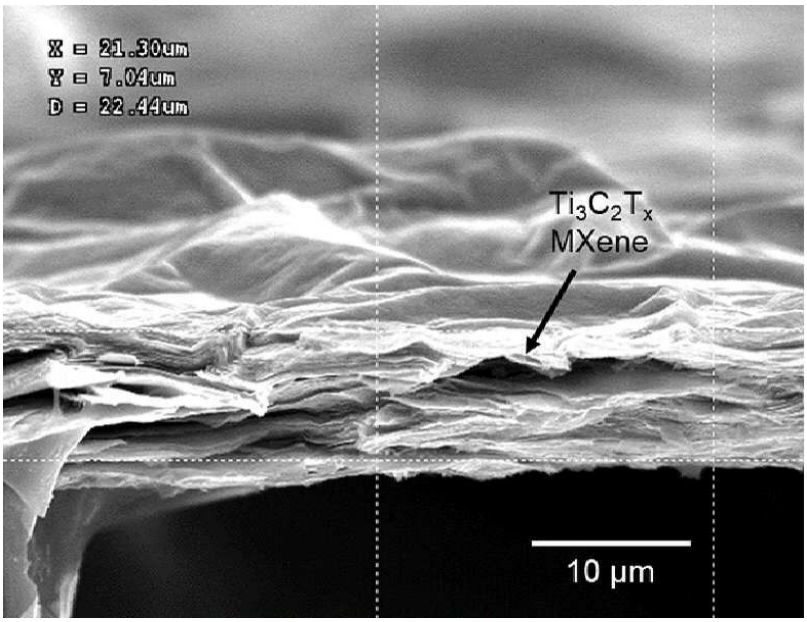
도면2


ZnS
Ge
MXene

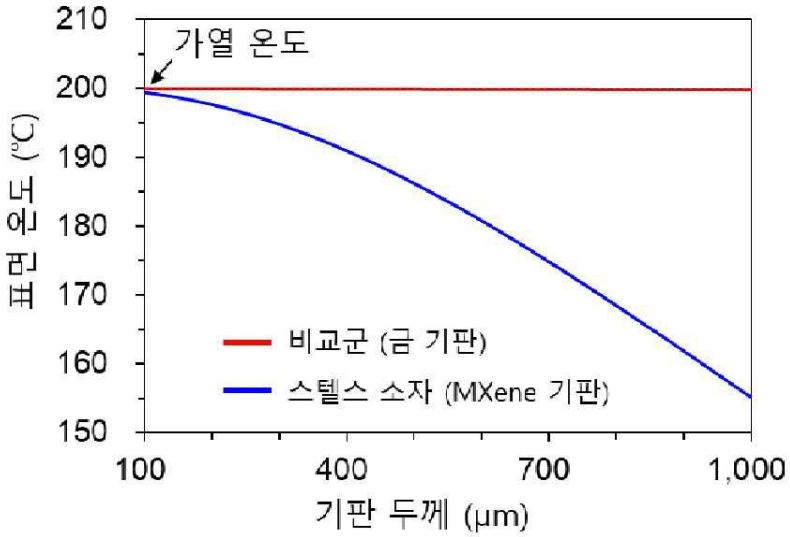
도면3


열화상 카메라
탐지범위
열화상 카메라
탐지범위
스텔스 소자
흡수율
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14
파장 (μm)

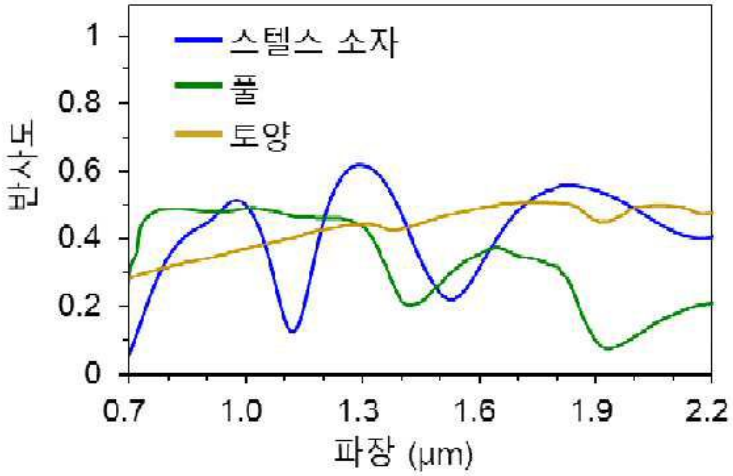
도면4

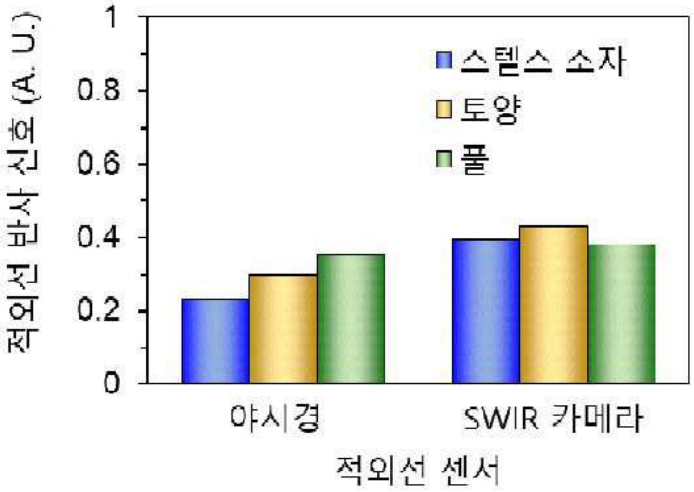

X = 21.30um
Y = 7.04um
D = 22.44um
Ti3C2Tx
MXene
10 μm

도면5

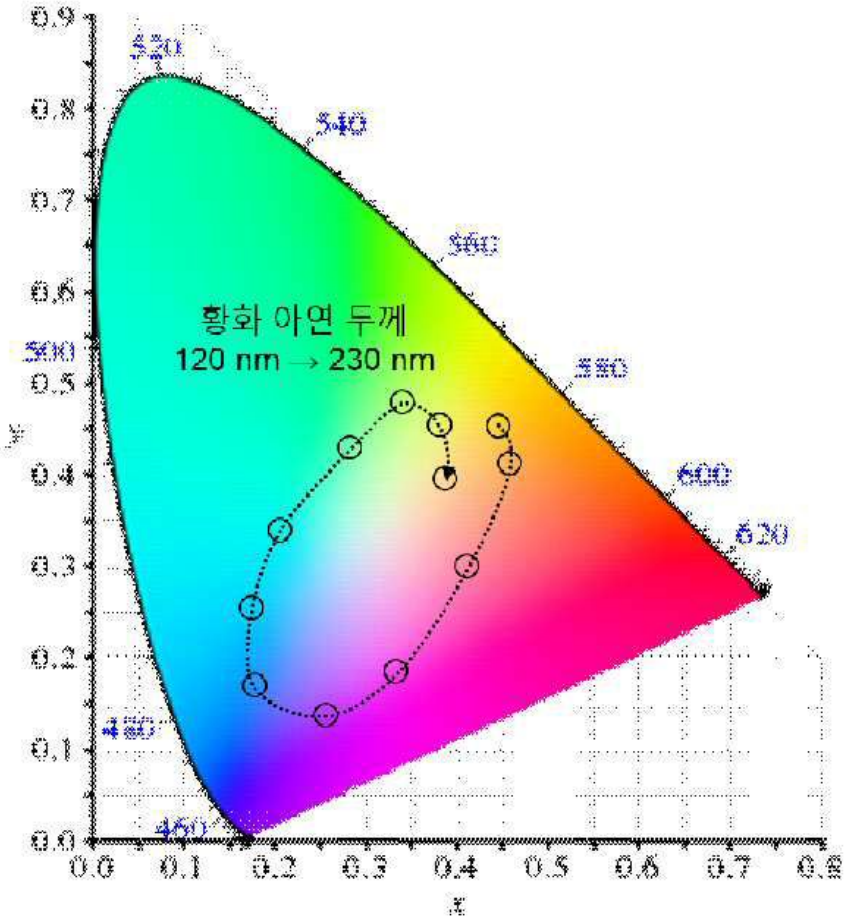

210
200
190
180
170
160
150
표면 온도 (°C)
가열 온도
비교군 (금 기판)
스텔스 소자 (MXene 기판)
100
400
700
1,000
기판 두께 (μm)

도면6


1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
반사도
스텔스 소자
풀
토양
0.7
1.0
1.3
1.6
1.9
2.2
파장 (μm)


1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
적외선 반사 신호 (A. U.)
스텔스 소자
토양
풀
야시경
SWIR 카메라
적외선 센서

도면7


황화 아연 두께
120 nm → 230 nm
520
540
560
580
600
620
500
480
460
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0.0
0.0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
y
x