



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2023년12월15일

(11) 등록번호 10-2615317

(24) 등록일자 2023년12월13일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G02B 1/00 (2022.01) H01L 31/02 (2006.01)

(52) CPC특허분류
G02B 1/002 (2013.01)
H01L 31/02 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2022-0042101

(22) 출원일자 2022년04월05일

심사청구일자 2022년04월05일

(65) 공개번호 10-2023-0143340

(43) 공개일자 2023년10월12일

(56) 선행기술조사문헌

KR1020200073701 A*

C. Xu et al. "Design of the Infrared Selective Thermal Radiation Based on Metamaterials". 2016 PIERS. August, 2016.*

Z. Li. "Wavelength-selective metamaterial absorber and emitter". PhD dissertation. 2019.*

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

연세대학교 산학협력단

서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)

(72) 발명자

조형희

서울특별시 용산구 서빙고로 35, 103동 2902호 (한강로3가, 용산시티파크1단지)

이남규

경기도 시흥시 은계중앙로 115, 406동 1402호 (은행동, 시흥은계우미린더퍼스트)

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

특허법인이룸리온

전체 청구항 수 : 총 10 항

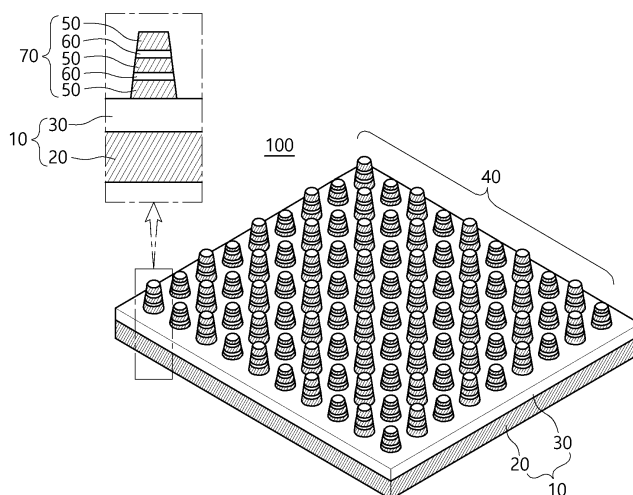
심사관 : 남배인

(54) 발명의 명칭 광대역 및 고방사가 가능한 3차원 공진구조를 갖는 적외선 선택적 방사체

(57) 요약

본 발명은 3차원 공진구조를 갖는 적외선 선택적 방사체를 이용하여 적외선 탐지대역 방사율을 크게 저감시키고 비탐지대역으로 에너지를 선택적으로 소산시켜 적외선 위장과 에너지 소산을 통한 표면 열안정성 확보함과 동시에, 다수 개의 공진기 유닛 사이에 공진현상을 이용하여 비탐지대역의 방사율을 광대역화하여 적외선 선택적 방사 기능을 극대화시킬 수 있는 적외선 선택적 방사체를 제공한다.

대표도 - 도1



(72) 발명자

임준수

경상북도 경산시 성암로 26, 101동 1205호 (옥산동, 옥산우방타운)

장인중

서울특별시 서대문구 연희로10길 79-20, 406호 (연희동, 스카이뷰)

남주영

서울특별시 서대문구 성산로17길 18-17, 410호 (연희동, 리빙스톤B)

배형모

서울특별시 송파구 송파대로 567, 508동 1008호(잠실동, 잠실5단지아파트)

김지혁

대전광역시 유성구 배울2로 114, 1102동 201호 (용산동, 우림필유)

명세서

청구범위

청구항 1

금속층 및 유전체층이 적층된 평판부; 및

비탐지대역(5~8 μm)에서 방사율 광대역화를 위해 최상부층 및 최하부층은 금속층이 배치되도록 금속층과 유전체층이 교호적으로 적층된 공진 구조물이 형성 및 적층방향에 수직한 횡단면 중 어느 하나 이상이 상이한 적어도 2종을 포함하도록 다수 개 구비되어 상기 평판부의 유전체층 상에 소정의 패턴으로 평판부의 상호 수직하는 x축 및 y축 방향으로 각각 교호적으로 3 내지 10 μm 간격으로 배열된 패턴부;를 포함하며,

상기 공진 구조물의 금속층 두께는 100 내지 200 nm이고 유전체층의 두께는 100 내지 300 nm이며,

하기 관계식 1을 통해 산출된 열 소산률(Heat dissipation ration)가 45 내지 70 %인 적외선 선택적 방사체.

[관계식 1]

$$\text{Heat dissipation ratio (\%)} = \frac{E_s(T) @ 5 - 8 \mu\text{m}}{E_{BB}(T) @ 5 - 8 \mu\text{m}}$$

E는 방사에너지, T는 온도, 하첨자 s는 적외선 선택방사체, BB는 흑체를 의미한다.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 적외선 선택적 방사체는 연속하여 적층되는 금속층-유전체층-금속층으로 이루어진 공진기 유닛을 평판부의 금속층으로부터 공진구조물의 최상부층까지 적어도 2개 이상 구비하는 적외선 선택적 방사체.

청구항 3

제1항에 있어서,

다수 개의 상기 공진 구조물은 적층방향에 수직한 횡단면의 크기가 상이한 2종의 공진 구조물을 포함하는 적외선 선택적 방사체.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 다수 개의 공진 구조물은 상부층으로 갈수록 높이 방향의 횡단면의 크기가 작아지는 것을 특징으로 하는 적외선 선택적 방사체.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 다수 개의 공진 구조물 내 각 층의 적층방향에 평행한 종단면 형상은 사다리꼴인 것을 특징으로 하는 적외선 선택적 방사체.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 다수 개의 공진 구조물은 0.1 내지 10 μm 의 직경을 가지는 것을 특징으로 하는 적외선 선택적 방사체.

청구항 7

삭제

청구항 8

삭제

청구항 9

제1항에 있어서,

5 내지 8 μm 적외선 파장 대역에서 최대 방사율이 0.8이상인 것을 특징으로 하는 적외선 선택적 방사체.

청구항 10

제1항에 있어서,

상기 금속층은 Au, Ag, Cu, Pt 중에서 선택되는 어느 하나의 금속이며,

상기 유전체층은 MgF_2 , ZnS, AlN, Al_2O_3 , SiO₂, Si_3N_4 에서 선택되는 어느 하나인 것을 특징으로 하는 적외선 선택적 방사체.

청구항 11

(1) 기재 상에 최상부층 및 최하부층은 금속층이 배치되도록 금속층과 유전체층을 교호적으로 적층하는 단계;

(2) 상기 최상부층 금속층 상에 일정 간격을 가지는 마스크패턴층을 형성하는 단계; 및

(3) 상기 교호적으로 적층된 금속층과 유전체층이 금속층 및 유전체층이 적층된 평판부와 평판부의 상호 수직하는 x축 및 y축 방향으로 각각 교호적으로 3 내지 10 μm 간격으로 배열된 공진 구조물을 형성하도록 상기 마스크 패턴층을 따라서 식각하여 상기 평판부의 유전체층 상에 소정의 패턴으로 배열된 패턴부를 형성하는 단계; 를 포함하며,

상기 공진 구조물의 금속층 두께는 100 내지 200 nm이고 유전체층의 두께는 100 내지 300 nm이며,

하기 관계식 1을 통해 산출된 열 소산률(Heat dissipation ration)가 45 내지 70 %인 적외선 선택적 방사체의 제조방법.

[관계식 1]

$$\text{Heat dissipation ratio (\%)} = \frac{E_s(T) @ 5-8 \mu\text{m}}{E_{BB}(T) @ 5-8 \mu\text{m}}$$

E는 방사에너지, T는 온도, 하첨자 s는 적외선 선택방사체, BB는 흑체를 의미한다.

청구항 12

제11항에 있어서,

상기 (3) 단계의 식각은 등방 에칭(isotropic etching)인 것을 특징으로 하는 적외선 선택적 방사체의 제조방법.

발명의 설명

기술 분야

- [0001] 본 발명은 광대역 및 고방사가 가능한 3차원 공진구조를 갖는 적외선 선택적 방사체에 관한 것으로, 보다 상세하게는 3차원 공진구조를 갖는 적외선 선택적 방사체를 이용하여 적외선 탐지대역 방사율을 크게 저감시키고 비탐지대역으로 에너지를 선택적으로 소산시켜 적외선 위장과 에너지 소산을 통한 표면 열안정성 확보함과 동시에 다수 개의 공진기 유닛 사이에 공진현상을 이용하여 비탐지대역의 방사율을 광대역화하여 적외선 선택적 방사 기능을 극대화시킬 수 있는 적외선 선택적 방사체 및 이의 제조방법에 관한 것이다.

배경 기술

- [0003] 일반적으로 타겟에 의해서 탐지되는 신호를 최소화하는 것을 스텔스 기술이라고 부른다. 최근에는 타겟 탐지 방법으로 잠수함을 탐지하는 음향 신호와 함께 적외선 신호를 탐지하는 적외선 기술이 널리 사용되고 있다. 이에 따라 이러한 여러 가지 탐지 신호를 최소화 하기 위하여 다양한 스텔스 기술이 연구되고 있다.
- [0004] 특히, 신호원에서 발생하는 적외선 신호 중 대기흡수 대역($5\sim 8\ \mu\text{m}$)에서 흡수되지 못하는 중적외선 대역($3\sim 5\ \mu\text{m}$)과 원적외선 대역($8\sim 12\ \mu\text{m}$)의 신호를 탐지하는 적외선 탐지기에 탐지되지 않기 위하여 적외선을 방출하는 복사체 표면의 온도를 낮추거나 표면의 구조를 바꾸어서 대기투과율이 낮은 파장대역($5\sim 8\ \mu\text{m}$)에서는 표면 방사율이 높게, 대기 투과율이 높은 대기 투과창 영역($3\sim 5\ \mu\text{m}$ 및 $8\sim 14\ \mu\text{m}$)에서는 표면 방사율을 낮게 설계함으로써 적외선을 선택적으로 방사하는 기술이 소개되었다.
- [0005] 그러나 종래 소개된 적외선 선택적 방사체의 경우 공진 현상을 일으키는 구조물이 단일 직경 구조로 이루어져 있어 하나의 파장대역에서만 공진현상이 발생하므로 비탐지대역(대기흡수대역)으로의 열 소산량이 적다는 한계점이 있다. 보다 구체적으로, 일반적으로 적외선 탐지기로부터 위장하기 위해서는 적외선 탐지기가 탐지할 수 없는 대역인 대기흡수 대역으로 에너지를 선택적으로 방사함으로써 표면 자체의 열적 안정성을 확보하는 것이 필요하고 나아가, 최근 개발되는 무기체계의 경우 초고속 비행으로 인한 공력가열 또는 엔진의 높은 열부하로 인하여 열팽형을 위한 더 높은 열 소산능력이 요구되고 있는데, 종래 기술에 따른 적외선 선택적 방사체의 경우, 특정 파장 대역에서 적외선을 선택적으로 방사할 수 있음은 별론으로, 특정 파장 대역에서 방사율을 광대역화하여 적외선 신호를 극대화시킬 수 없어서 실제 활용에 제한이 있다.
- [0007] 이에 따라, 비탐지대역으로 에너지를 선택적으로 소산시켜 적외선 위장과 에너지 소산을 통한 표면 열안정성 확보함과 동시에 다수 개의 공진기 유닛 사이에 공진현상을 이용하여 비탐지대역의 방사율을 광대역화하여 적외선 선택적 방사 기능을 극대화시킬 수 있는 적외선 선택적 방사체에 대한 연구가 시급한 실정이다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0009] (특허문헌 0001) 대한민국 등록특허 제 10-1894909 (2018.08.29)

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0010] 본 발명은 상술한 문제를 극복하기 위해 안출된 것으로, 본 발명의 해결하고자 하는 과제는 3차원 공진구조를 갖는 적외선 선택적 방사체를 이용하여 적외선 탐지대역 방사율을 크게 저감시키고 비탐지대역으로 에너지를 선택적으로 소산시켜 적외선 위장과 에너지 소산을 통한 표면 열안정성 확보함과 동시에, 다수 개의 공진기 유닛 사이에 공진현상을 이용하여 비탐지대역의 방사율을 광대역화하여 적외선 선택적 방사 기능을 극대화시킬 수 있는 적외선 선택적 방사체 및 이의 제조방법을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

- [0012] 본 발명은 상술한 과제를 해결하기 위해 금속층 및 유전체층이 적층된 평판부 및 최상부층 및 최하부층은 금속층이 배치되도록 금속층과 유전체층이 교호적으로 적층된 공진 구조물이 형성 및 적층방향에 수직한 횡단면 중 어느 하나 이상이 상이한 적어도 2종을 포함하도록 다수 개 구비되어 상기 평판부의 유전체층 상에 소정의 패턴으로 배열된 패턴부를 포함하는 적외선 선택적 방사체를 제공한다.
- [0013] 또한 본 발명의 일 실시예에 의하면, 상기 적외선 선택적 방사체는 연속하여 적층되는 금속층-유전체층-금속층으로 이루어진 공진기 유닛을 평판부의 금속층으로부터 공진 구조물의 최상부층까지 적어도 2개 이상 구비할 수 있다.
- [0014] 또한, 다수 개의 상기 공진구조물은 적층방향에 수직한 횡단면의 크기가 상이한 2종의 공진 구조물을 포함하고, 상기 2종의 공진 구조물은 평판부의 상호 수직하는 x축 및 y축 방향으로 각각 교호적으로 배치될 수 있다.
- [0015] 또한, 상기 다수 개의 공진 구조물은 상부층으로 갈수록 높이 방향의 횡단면의 크기가 작아지는 것을 특징으로 할 수 있다.
- [0016] 또한, 상기 다수 개의 공진 구조물 내 각 층의 적층방향에 평행한 종단면 형상은 사다리꼴인 것을 특징으로 할 수 있다.
- [0017] 또한, 상기 다수 개의 공진 구조물은 0.1 내지 10 μm 의 직경을 가지고, 상기 평판부 상에 0.1 내지 10 μm 간격으로 배치되는 것을 특징으로 할 수 있다.
- [0018] 또한, 상기 다수 개의 공진 구조물의 금속층 두께는 10 내지 500 nm이며, 상기 다수 개의 공진 구조물의 유전체층의 두께는 10 내지 1000 nm인 것을 특징으로 할 수 있다.
- [0019] 또한, 하기 관계식 1을 통해 산출된 열 소산률(Heat dissipation ration)가 45 내지 70 % 인 것을 특징으로 하는 적외선 선택적 방사체.
- [0020] [관계식 1]

$$\text{Heat dissipation ratio (\%)} = \frac{E_s(T) @ 5 - 8 \mu\text{m}}{E_{BB}(T) @ 5 - 8 \mu\text{m}}$$

- [0021]
- [0022] E는 방사에너지, T는 온도, 하첨자 s는 적외선 선택방사체, BB는 흑체를 의미한다.
- [0023] 또한, 5 내지 8 μm 적외선 파장 대역에서 최대 방사율이 0.8이상인 것을 특징으로 할 수 있다.
- [0024] 또한 본 발명은 (1) 기재 상에 최상부층 및 최하부층은 금속층이 배치되도록 금속층과 유전체층을 교호적으로 적층하는 단계 (2) 상기 최상부층 금속층 상에 일정 간격을 가지는 마스크패턴층을 형성하는 단계 및 (3) 상기 교호적으로 적층된 금속층과 유전체층이 금속층 및 유전체층이 적층된 평판부와 소정의 패턴을 이루는 공진 구조물을 형성하도록 상기 마스크패턴층을 따라서 식각하여 상기 평판부의 유전체층 상에 소정의 패턴으로 배열된 패턴부를 형성하는 단계를 포함하는 적외선 선택적 방사체의 제조방법을 제공한다.
- [0025] 또한, 상기 (4) 단계의 식각은 등방 에칭(isotropic etching)인 것을 특징으로 할 수 있다.

발명의 효과

- [0027] 본 발명은 3차원 공진구조를 갖는 적외선 선택적 방사체를 이용하여 적외선 탐지대역 방사율을 크게 저감시키고 비탐지대역으로 에너지를 선택적으로 소산시켜 적외선 위장과 에너지 소산을 통한 표면 열안정성 확보함과 동시에, 다수 개의 공진기 유닛 사이에 공진현상을 이용하여 비탐지대역의 방사율을 광대역화하여 적외선 선택적 방사 기능을 극대화시킬 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0029] 도 1은 본 발명에 따른 적외선 선택적 방사체를 나타내는 사시도이다.
- 도 2는 본 발명에 따른 배열 공진기 및 적층 공진기를 나타내는 도면이다.
- 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 배열 공진기가 서로 다른 크기의 공진기 유닛으로 구현되는 경우 방사율을

나타내는 그래프이다.

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 적층 공진기에 대한 공진기 유닛을 설명하기 위한 그림이다.

도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 배열 공진기 및 적층 공진기가 결합된 3차원 공진구조를 같은 적외선 선택 방사체의 방사율을 나타내는 그래프이다.

도 6은 적외선 선택적 방사체를 Fourier Transform Infrared (FT-IR)를 이용하여 열 소산율을 측정한 표이다.

도 7은 본 발명에 따른 적외선 선택적 방사체의 제조방법을 나타내는 그림이다.

도 8은 본 발명에 따른 적외선 선택적 방사체의 SEM 이미지이다.

도 9는 본 발명에 따른 실시예 및 폴리우레탄 페인트의 비교를 위해 370K로 가열한 핫플레이트 위에 시편을 위치시킨 이미지이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0030] 이하 본 발명의 실시예에 대하여 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 상세히 설명한다. 본 발명은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며 여기에서 설명하는 실시예에 한정되지 않는다.
- [0032] 상술한 바와 같이, 종래 소개된 적외선 선택적 방사체는 비탐지대역으로의 방사율을 극대화시킬 수 없는 문제가 있어 실제 적외선 위장 물질로의 활용에 제한이 있다.
- [0033] 이에 따라 본 발명은 금속층 및 유전체층이 적층된 평판부 및 최상부층 및 최하부층은 금속층이 배치되도록 금속층과 유전체층이 교호적으로 적층된 공진 구조물이 형성 및 적층방향에 수직한 횡단면 중 어느 하나 이상이 상이한 적어도 2종을 포함하도록 다수 개 구비되어 상기 평판부의 유전체층 상에 소정의 패턴으로 배열된 패턴부를 포함하는 적외선 선택적 방사체를 제공하여 상술한 문제의 해결을 모색하였다.
- [0034] 이를 통해 본 발명은 3차원 공진구조를 갖는 적외선 선택적 방사체를 이용하여 적외선 탐지대역 방사율을 크게 저감시키고 비탐지대역으로 에너지를 선택적으로 소산시켜 적외선 위장과 에너지 소산을 통한 표면 열안정성 확보함과 동시에, 다수 개의 공진기 유닛 사이에 공진현상을 이용하여 비탐지대역의 방사율을 광대역화하여 적외선 선택적 방사 기능을 극대화시킬 수 있다.
- [0036] 이하 도면을 참조하여 본 발명에 따른 적외선 선택적 방사체에 대하여 구체적으로 설명한다
- [0038] 본 발명에 따른 적외선 선택적 방사체(100)는 도 1을 참조하면, 금속층(20) 및 유전체층(30)이 적층된 평판부(10) 및 최상부층 및 최하부층은 금속층(50)이 배치되도록 금속층(50)과 유전체층(60)이 교호적으로 적층된 공진 구조물(70)이 형성 및 적층방향에 수직한 횡단면 중 어느 하나 이상이 상이한 적어도 2종을 포함하도록 다수 개 구비되어 상기 평판부(10)의 유전체층(30) 상에 소정의 패턴으로 배열된 패턴부(40)를 포함한다.
- [0040] 상기 평판부(10)는 본 발명에 따른 적외선 선택적 방사체(100)를 물리적으로 지지해 주는 구조재 역할을 수행하며, 상기 평판부(10)는 금속층(20) 및 유전체층(30)이 적층된 평판 구조를 가질 수 있다.
- [0041] 상기 금속층(20)은 본 발명의 목적에 부합하며, 적외선 선택적 방사체(100)의 선택적 방사 및 열소산을 저해시키지 않는 공지의 통상적인 물질로 소정의 두께로 형성될 수 있으며, 이에 대한 비제한적인 예로 금(Au), 은(Ag), 구리(Cu), 납(Pt) 등의 금속이 사용될 수 있다. 본 발명의 바람직한 실시예에 따라 상기 금속층(10)이 금으로 구현된 경우 상기 금속층(10)은 10 내지 500 nm 두께를 가질 수 있다.
- [0042] 상기 유전체층(30)은 상기 금속층(20) 상부에 형성되며 후술할 다수 개의 공진 구조물(70)이 형성되는 패턴부(40) 표면을 제공한다. 상기 유전체층(30)은 전하가 통과하지 않지만 양전하에 대해서는 유전체의 음전하가, 음전하에 대해서는 유전체의 양전하가 늘어지게 되어 극성을 지니게 되는 절연 물질을 사용할 수 있는데 본 발명의 목적에 부합하며, 적외선 선택적 방사체(100)의 선택적 방사 및 열소산을 저해시키지 않는 공지의 통상적인 물질로 소정의 두께로 형성될 수 있다. 이에 대한 비제한적인 예로 MgF_2 , ZnS , AlN , Al_2O_3 , SiO_2 , Si_3N_4 등이 사용될 수 있으며, 본 발명의 바람직한 실시예에 따라 상기 금속층(20)이 금으로 구현된 경우 상기 유전체층(30)은 10 내지 1000 nm 두께를 가질 수 있다.
- [0044] 다음, 본 발명에 따른 적외선 선택적 방사체(100)는 상기 평판부(10) 유전체층(30) 상에 소정의 패턴으로 배열된 패턴부(40)를 포함한다.

- [0045] 적외선 선택적 방사체는 일반적으로 신호원에서 발생하는 적외선 신호 중 대기흡수 대역($5\sim 8\ \mu\text{m}$)에서 흡수되지 못하는 중적외선 대역($3\sim 5\ \mu\text{m}$)과 원적외선 대역($8\sim 12\ \mu\text{m}$)의 신호를 탐지하는 적외선 탐지기에 탐지되지 않기 위하여 적외선을 방출하는 복사체 표면의 온도를 낮추거나 표면의 구조를 바꾸어서 대기투과율이 낮은 파장대역($5\sim 8\ \mu\text{m}$)에서는 표면 방사율이 높게, 대기 투과율이 높은 대기 투과창 영역($3\sim 5\ \mu\text{m}$ 및 $8\sim 14\ \mu\text{m}$)에서는 표면 방사율을 낮게 설계함으로써 적외선을 선택적으로 방사할 수 있다. 그러나 일반적인 적외선 선택적 방사체의 경우 공진 현상을 일으키는 구조물이 단일 직경 구조로 이루어져 있어 하나의 파장대역에서만 공진현상이 발생하므로 비탐지대역(대기흡수대역)으로의 열 소산량이 적다는 한계점이 있다. 즉, 적외선 탐지기로부터 위장하기 위해서는 적외선 탐지기가 탐지할 수 없는 대역인 대기흡수 대역으로 에너지를 선택적으로 방사함으로써 표면 자체의 열적 안정성을 확보하는 것이 필요하고 나아가, 최근 개발되는 무기체계의 경우 초고속 비행으로 인한 공력 가열 또는 엔진의 높은 열부하로 인하여 열평형을 위한 더 높은 열 소산성능이 요구되고 있는데, 종래 기술에 따른 적외선 선택적 방사체의 경우, 특정 파장 대역에서 적외선을 선택적으로 방사할 수 있음은 별론으로, 특정 파장 대역에서 방사율을 광대역화하여 적외선 신호를 극대화시킬 수 없어서 실제 활용에 제한이 있다.
- [0046] 이에 본 발명은 3차원 공진구조를 갖는 적외선 선택적 방사체를 이용하여 적외선 탐지대역 방사율을 크게 저감시키고 비탐지대역으로 에너지를 선택적으로 소산시켜 적외선 위장과 에너지 소산을 통한 표면 열안정성 확보함과 동시에, 다수 개의 공진기 유닛 사이에 공진현상을 이용하여 비탐지대역의 방사율을 광대역화하여 적외선 선택적 방사 기능을 극대화시킬 수 있다.
- [0047] 이를 위해, 상기 패턴부(40)는 최상부층 및 최하부층은 금속층(50)이 배치되도록 금속층(50)과 유전체층(60)이 교호적으로 적층된 공진 구조물(70)이 형상 및 적층방향에 수직한 횡단면 중 어느 하나 이상이 상이한 적어도 2종을 포함하도록 다수 개 구비되어 소정의 패턴으로 배열된다.
- [0049] 보다 구체적으로 도 2을 참조하면, 본 발명에 따른 적외선 선택적 방사체(100)는 패턴부(40)의 xy평면에서 구현되는 배열 공진기와 공진 구조물(70)의 적층방향으로 구현되는 적층 공진기가 결합하여 구현될 수 있다.
- [0051] 상기 배열 공진기는 상기 유전체층(30) 상부에 공진 구조물(60)이 소정의 간격으로 배치되어 패턴부(40)를 형성한다. 이때 상기 배열 공진기를 구성하는 다수 개의 상기 공진 구조물(70)은 적층 방향에 수직한 횡단면의 크기가 상이한 2종의 공진 구조물(70)을 포함하고, 상기 2종의 공진 구조물(70)은 유전체층(30)의 상면에서 상호 수직하는 x축 및 y축 방향으로 각각 교호적으로 배치될 수 있다.
- [0052] 이때 상기 다수 개의 공진구조물(70)의 적층방향에 수직한 횡단면의 형상은 원형, 타원형 및 다각형 등의 다양한 형상을 가질 수 있으며, 나아가 상기 다수 개의 공진 구조물(70)의 적층 방향에 수직한 횡단면의 형상은 개별적으로 다른 형상과 크기를 가질 수 있으며, 일부만 다른 형상과 크기를 가질 수도 있는 바, 본 발명의 목적을 고려하여 적절히 설계될 수 있다.
- [0054] 즉 도 2에서 알 수 있듯이, 본 발명에 따른 적외선 선택적 방사체(100)의 배열 공진기에 대한 일 실시예에 따르면 상기 유전체층(30) 상에 소정의 간격으로 제1공진 구조물(70a) 내지 제5공진 구조물(70e)이 배치되어 패턴부(40)를 형성할 수 있고, 이때 제1공진 구조물(70a) 및 제2공진 구조물(70b)의 크기는 서로 상이할 수 있으며, 바람직하게는 제1공진 구조물(70a)의 적층방향의 수직한 원형 횡단면의 직경(D_1)은 제2공진 구조물(70b)의 원형 횡단면의 직경(D_2)의 1.1 내지 5 배의 크기를 가질 수 있다.
- [0055] 이와 같은 서로 다른 크기를 가지는 배열 공진기를 통해 본 발명의 일 실시예인 도 3를 참조하면 상기 제1공진 구조물(70a)의 $1.3\ \mu\text{m}$ 의 직경을 가지고 상기 제2공진 구조물(70b)이 $1.5\ \mu\text{m}$ 의 직경을 가지도록 상이한 크기 공진 구조물(60)로 구현하는 경우 비탐지대역 방사율의 광대역화가 가능함을 알 수 있다.
- [0056] 이때 만일 상기 1공진 구조물(70a)의 적층방향의 수직한 원형 횡단면의 직경(D_1)이 제2공진 구조물(70b)의 원형 횡단면의 직경(D_2)보다 1.1 배의 미만일 경우 본 발명이 목적하는 특정 대역에서의 광대역화를 통한 선택적 적외선 위장 성능 극대화가 어려울 수 있고, 또한 만일 1공진 구조물(70a)의 적층방향의 수직한 원형 횡단면의 직경(D_1)이 제2공진 구조물(70b)의 원형 횡단면의 직경(D_2)의 5 배를 초과하는 경우 공진 구조물(70)들 간의 크기 차이가 너무 커서 적외선 선택적 방사에 불리할 수 있다.
- [0057] 본 발명에 따른 적외선 선택적 방사체(100)의 배열 공진기에 대한 다른 실시예에 따르면, 상기 다수 개의 공진 구조물(70)의 각각을 구성하는 각 층의 적층방향에 평행한 종단면 형상은 원형, 타원형 및 다각형 등의 다양한 형상을 가질 수 있으며, 바람직하게는 사다리꼴 형상을 가질 수 있다. 보다 구체적으로 상기 유전체층(30) 상에 소정의 간격으로 제1공진 구조물(70a) 및 제2공진 구조물(70b)이 배치되어 패턴부(40)를 형성할 수 있고, 이때

제1공진 구조물(70a) 및 제2공진 구조물(60b)의 구성하는 각 층의 적층방향에 평행한 종단면 Top-down 방식으로 등방성 etching 공정을 사용하여 하부층에서 상부층으로 갈수록 크기가 줄어드는 사다리꼴 형상을 가질 수 있다. 이 경우 적외선 탐지기가 탐지할 수 없는 대기흡수 대역에서 공진 구조물(70)이 단일 형상으로만 이루어진 적외선 선택방사체 대비 더 광대역 방사가 가능하며, 많은 에너지를 방사할 수 있어서 적외선 선택적 방사면에서 보다 유리할 수 있다.

[0058] 또한 상기 배열 공진기를 구성하는 각각의 공진 구조물(70)이 상기 유전체층(30) 상에서 0.1 내지 10 μm 간격으로 상호 수직하는 x축 및 y축 방향으로 각각 교호적으로 배치되어 패턴부(40)를 형성할 수 있다. 만일 상기 공진 구조물(70) 간의 간격이 0.1 μm 미만일 경우 비탐지대역(5~8 μm)에서 방사율 광대역화가 어려운 문제가 있을 수 있고, 또한 만일 상기 상기 공진 구조물(70) 간의 간격이 10 μm 를 초과하는 경우 비탐지대역(5~8 μm)에서 방사율을 증가시키기 어려운 문제가 있을 수 있다.

[0060] 다음, 상기 배열 공진기와 함께 패턴부(40)를 구성하는 본 발명에 따른 공진 구조물(70)의 적층방향으로 구현되는 적층 공진기는 서로 다른 공진기 유닛(75)이 적층되어 형성될 수 있고, 또한 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 다수 개의 공진 구조물(70)은 상부층으로 갈수록 높이 방향의 횡단면의 크기가 작아지도록 구현될 수 있다.

[0061] 보다 구체적으로 도 4를 참조하면, 본 발명에 따른 적외선 선택적 방사체(100)의 적층 공진기는 연속하여 적층되는 금속층-유전체층-금속층으로 이루어진 공진기 유닛(75)을 평판부(10)의 금속층(20)으로부터 공진 구조물(70)의 최상부층까지 적어도 2개 이상 구비하여 구현될 수 있다. 예를 들어 공진 구조물(70)의 최상부층에서부터 평판부(10)의 금속층(20)까지 제1공진기 유닛(75a), 제2공진기 유닛(75b) 및 제3공진기 유닛(75c)이 연속하여 적층될 수 있으며, 이때 서로 인접하는 공진기 유닛(75)은 금속층(50)을 공유하여 적층될 수 있다.

[0062] 즉 도 4에 도시된 것과 같이 제1공진기 유닛(75a) 및 제2공진기 유닛(75b)은 금속층(50a)를 공유하여 적층될 수 있고, 제2공진기 유닛(75b) 및 제3공진기 유닛(75c)은 금속층(50b)을 공유하여 적층될 수 있다.

[0063] 이 경우 상기 배열 공진기만으로 패턴부(40)가 구현된 경우보다 광대역화 및 특정 대역에서의 방사율을 극대화시키는데 유리할 수 있다. 보다 구체적으로 도 5를 참조하면, 상기 서로 다른 직경을 가지는 제1공진 구조물(70a) 및 제2공진 구조물(70b)을 각각 제1공진기 유닛(75a) 및 제2공진기 유닛(75b)을 포함하도록 구현하는 경우, 비탐지대역 방사율을 크게 증가됨을 알 수 있다. 다시 말해 본 발명은 배열 공진기를 구성하는 공진기 유닛의 직경, 서로 다른 크기의 공진기 유닛 개수, 적층 공진기를 구성하는 공진기 유닛의 개수를 조절하여 적외선 탐지기가 탐지할 수 없는 대기흡수 대역에서 금속 패턴이 단일 직경으로만 이뤄진 적외선 선택방사체 현저히 많은 에너지를 방사되도록 할 수 있으며, 탐지 대역에서는 공진현상이 발생하지 않아 흡수 및 방사가 거의 없으므로 위장 성능을 구현할 수 있다.

[0064] 이와 같이 본 발명은 배열 공진기 및 적층 공진기의 형태로 구현된 다수 개의 3차원 공진 구조물(70)을 통해 적외선 탐지대역 방사율을 크게 저감시키고 비탐지대역으로 에너지를 선택적으로 소산시켜 적외선 위장과 에너지 소산을 통한 표면 열안정성 확보함과 동시에, 다수 개의 공진기 유닛 사이에 공진현상을 이용하여 비탐지대역의 방사율을 광대역화하여 적외선 선택적 방사 기능을 극대화시킬 수 있다.

[0065] 즉 본 발명에 따른 적외선 선택적 방사체(100)는 5 내지 8 μm 적외선 파장 대역에서 최대 방사율이 0.8이상일 수 있으며, 하기 관계식 1을 통해 산출된 열 소산률(Heat dissipation ration)이 45 내지 70 % 일 수 있다.

[0066] [관계식 1]

$$\text{Heat dissipation ratio (\%)} = \frac{E_s(T) @ 5 - 8 \mu\text{m}}{E_{BB}(T) @ 5 - 8 \mu\text{m}}$$

[0067] E는 방사에너지, T는 온도, 하첨자 s는 적외선 선택방사체, BB는 흑체를 의미한다.

[0070] 상기 관계식 1을 통해 표면온도가 200 ~ 1000K인 경우에 대해, 단일 직경 구조를 가지는 종래의 적외선 선택 방사체와 3차원 공진구조를 갖는 본 발명에 따른 적외선 선택 방사체의 열 소산률을 비교할 수 있다. 도 6을 참조하면, 동일한 온도에서 열에너지 소산률을 비교하였을 때, 3차원 공진구조를 가지는 본 발명에 따른 적외선 선택방사체가 열소산률이 현저히 우수함을 알 수 있다.

[0072] 이와 같이 비탐지대역으로 에너지를 선택적으로 소산시켜 적외선 위장과 에너지 소산을 통한 표면 열안정성 확보함과 동시에, 다수 개의 공진기 유닛 사이에 공진현상을 이용하여 비탐지대역의 방사율을 광대역화하여 적외

선 선택적 방사 기능을 극대화시키기 위하여 본 발명에 따른 적외선 선택적 방사체(100)의 다수 개의 공진 구조물(70)은 0.1 내지 10 μm 의 직경을 가질 수 있고, 바람직하게는 1.2 내지 1.8 μm 의 직경을 가질 수 있다. 이때 만일 상기 공진 구조물(70)의 직경이 0.1 μm 미만일 경우 탐지대역(3~5 μm)의 적외선 신호를 줄이기 어려운 문제가 있을 수 있고, 또한 만일 상기 공진 구조물(70)의 직경이 10 μm 를 초과하는 경우 탐지대역(8~12 μm)의 적외선 신호를 줄이기 어려운 문제가 있을 수 있다.

[0073] 또한 상기 다수 개의 공진 구조물(70)을 구성하는 금속층(50) 두께는 10 내지 500 nm일 수 있으며, 바람직하게는 두께는 100 내지 200 nm일 수 있다. 이때 만일 상기 금속층(50)의 두께가 10 nm 미만일 경우 적외선 선택방사 현상이 점차 사라져 방사를 광대역화 및 고방사가 불가능한 문제가 있을 수 있고, 또한 만일 상기 금속층(50)의 두께가 500 nm를 초과하는 경우 제작 시 필요한 귀금속류의 무게가 증가하여 전체 물질의 무게 증가 및 제작단가의 문제가 있을 수 있다.

[0074] 또한 상기 다수 개의 공진 구조물(70)의 유전체층(60)의 두께는 10 내지 1000 nm일 수 있으며, 바람직하게는 두께는 100 내지 300 nm일 수 있다. 이때 만일 상기 유전체층(60)의 두께가 10 nm 미만이거나 1000 nm를 초과하는 경우 적외선 선택방사 현상이 점차 사라져 방사를 광대역화 및 고방사가 불가능한 문제가 있을 수 있다.

[0076] 다음, 도 7을 참조하여 본 발명에 따른 적외선 선택적 방사체(100)의 제조방법을 설명한다. 다만 중복을 피하기 위하여 상술한 적외선 선택적 방사체(100)와 기술적 사상이 동일한 부분에 대하여는 설명을 생략한다.

[0078] 본 발명에 따른 적외선 선택적 방사체의 제조방법은 기재 상에 최상부층 및 최하부층은 금속층이 배치되도록 금속층과 유전체층을 교호적으로 적층하는 (1) 단계 상기 최상부층 금속층 상에 일정 간격을 가지는 마스크패턴층을 형성하는 (2) 단계 및 상기 교호적으로 적층된 금속층과 유전체층이 금속층 및 유전체층이 적층된 평판부와 소정의 패턴을 이루는 공진 구조물을 형성하도록 상기 마스크패턴층을 따라서 식각하여 상기 평판부의 유전체층 상에 소정의 패턴으로 배열된 패턴부를 형성하는 (3) 단계를 포함한다.

[0080] 상기 (1) 단계는 기재 상에 최상부층 및 최하부층은 금속층이 배치되도록 금속층과 유전체층을 교호적으로 적층하는 단계이다.

[0081] 보다 구체적으로 도 8을 참조하면, 상기 (1) 단계는 본 발명에 적외선 선택적 방사체(100)의 기재 상에 최상부층 및 최하부층은 금속층이 배치되도록 금속층과 유전체층을 교호적으로 증착하는 단계이다. 이때 증착하는 방법은 본 발명의 목적에 부합하는 공지의 통상적인 증착방법이 사용될 수 있으며, 예를 들어 물리적 증착 또는 화학적 증착을 통해 수행할 수 있다. 물리적 증착 또는 화학적 증착은 DC 스퍼터링 (DC sputtering), 마그네트론스퍼터링, 전자빔증착법(Ebeam evaporation), 열증착법(Thermal evaporation), 레이저분자빔증착법 (LMBE, Laser Molecular Beam Epitaxy), 펄스레이저증착법(PLD, Pulsed Laser Deposition), 진공 증착법, 원자 층 증착법(ALD, Atomic Layer Deposition) 또는 플라즈마 도움 화학적 증착법(PECVD, Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition) 등을 들 수 있다.

[0083] 다음 상기 (2) 단계는 상기 최상부층 금속층 상에 일정 간격을 가지는 마스크패턴층을 형성하는 단계이다. 상기 마스크패턴층은 본 발명의 목적에 부합하는 한 공지의 통상적인 방법으로 형성할 수 있으나 바람직하게는 상기 금속층 상에 PR을 코팅하고 UV노광을 통해 소정의 간격으로 이격된 마스크패턴층을 형성할 수 있다.

[0085] 다음 상기 (3) 단계는 상기 교호적으로 적층된 금속층과 유전체층이 금속층 및 유전체층이 적층된 평판부와 소정의 패턴을 이루는 공진 구조물을 형성하도록 상기 마스크패턴층을 따라서 식각하여 상기 평판부의 유전체층 상에 소정의 패턴으로 배열된 패턴부를 형성하는 단계이다.

[0086] 상기 (3) 단계는 마스크패턴층이 형성된 하부에 금속층 및 유전체층이 적층된 평판부와 공진 구조물이 소정의 패턴으로 이루도록 상기 마스크패턴층이 형성되지 않은 부분을 제거하는 단계이다. 이때 상기 마스크패턴층이 형성되지 않은 부분을 제거하는 방법은 상기 절연층과 금속층이 차례로 적층된 구조물에 손상을 입히지 않는 범위 내에서 당업계에서 통상적으로 사용되는 방법이라면 특별히 한정하지 않고 사용할 수 있으며, 바람직하게는 등방 에칭(isotropic etching)하고, 포토레지스트를 strip-off하여, 단면이 상부층에서 하부층으로 갈수록 크기가 증가하는 사다리꼴 형태의 3차원 공진구조를 형성할 수 있다.

[0088] 이하에서는 실시예를 통하여 본 발명을 더욱 구체적으로 설명하기로 하지만, 하기 실시예가 본 발명의 범위를 제한하는 것은 아니며, 이는 본 발명의 이해를 돕기 위한 것으로 해석되어야 할 것이다.

[0090] 실시예 1 - 적외선 선택적 방사체의 제조

[0091] 실리콘 웨이퍼 위에 각각 E-beam evaporator, PECVD, E-beam evaporator를 이용하여 금속층으로 금 100 nm 두

계와 유전체층으로 ZnS를 200 nm의 두께로 도 7과 같이 순서대로 증착하였다.

[0092] 이후 제조한 적층 구조물 상에 직경 1.3 μm 및 1.5 μm 의 두 가지 원형 패턴을 갖는 마스크 패턴층을 형성하였다.

[0093] 이후 상기 마스크패턴층을 이용하여 상기 적층 구조물을 마스크패턴층이 형성되지 않은 부분을 Induced Coupled Plasma (ICP) etcher 건식 식각기를 이용하여 탑다운 방식 등방 에칭하고, 금속층으로 금 100 nm 두께와 유전체층으로 ZnS를 200 nm의 두께로 형성된 평판부를 제조하였고, 상기 평판부 상에 도 7과 같이 금속층과 유전체층이 100nm 및 200 nm 두께로 각각 적층된 평판부와 두께가 100 nm 이고 직경 1.3 μm 인 제1금속층, 두께가 200 nm 이고 직경 1.2 μm 인 제1유전체층, 두께가 100 nm 이고 직경 1.15 μm 인 제2금속층, 두께가 200 nm 이고 직경 1.05 μm 인 제2유전체층, 두께가 100 nm이고 직경 1.0 μm 인 제3금속층을 포함하는 1공진구조물 및 두께가 100 nm 이고 직경 1.5 μm 인 제1금속층, 두께가 200 nm 이고 직경 1.4 μm 인 제1유전체층, 두께가 100 nm 이고 직경 1.35 μm 인 제2금속층, 두께가 200 nm 이고 직경 1.25 μm 인 제2유전체층, 두께가 100 nm이고 직경 1.2 μm 인 제3금속층을 포함하는 2 공진구조물을 3 μm 간격으로 배치시킨 패턴부를 포함하는 적외선 선택적 방사체를 획득하였다.

[0095] 실시예 2 및 3 - 적외선 선택적 방사체의 제조

[0096] 상기 실시예 1과 같이 제조하되, 적층 공진기의 층 개수를 달리하여 제조하였다.

[0098] 실시예 4 내지 11 - 적외선 선택적 방사체의 제조

[0099] 상기 실시예 1과 같이 제조하되, 유전층의 두께, 금속층의 두께, 금속 직경을 달리하여 제조하였다.

[0101] 비교예 1 - 적외선 선택적 방사체의 제조

[0102] 상기 실시예 1과 같이 제조하되 공진 구조물의 직경을 1.8 μm 로 동일하게 하고, 단층으로 제조하여 종래의 적외선 선택적 방사체를 제조하였다.

표 1

	금속 층의 두께(nm)	절연층의 두께(nm)	금속 구조물의 두께(nm)	적층공진기의 층 개수(개)	금속 구조물의 피치(μm)	적층 공진기 1의 하부 금속 직경(μm)	적층 공진기 2의 하부 금속 직경(μm)
실시예 1	100	200	100	2	3	1.3	1.5
실시예 2	100	200	100	1	3	1.3	1.5
실시예 3	100	200	100	3	3	1.3	1.5
실시예 4	100	200	100	2	3	1.2	1.4
실시예 5	100	200	100	2	3	1.5	1.7
실시예 6	100	200	100	2	3	1.8	2.0
실시예 7	100	200	100	2	2	1.2	1.4
실시예 8	100	200	100	2	4	1.2	1.4
실시예 9	100	100	100	2	3	1.2	1.4
실시예 10	100	300	100	2	3	1.2	1.4
실시예 11	200	200	200	2	3	1.2	1.4
비교예 1	100	200	100	1	3	1.8	

[0106] 실험예 1 - SEM 이미지

[0107] 상기 실시예 1에서 제조한 적외선 선택적 방사체를 Scanning Electron Microscope(SEM)을 이용하여 관찰하고 이를 도 9에 나타내었다.

[0108] 도 8을 참조하면 SEM 이미지를 통해 하부층에서 상부층으로 갈수록 크기가 줄어드는 금속층-유전체층-금속층의 공진 구조물이 잘 형성되었음을 확인할 수 있다.

[0110] 실험예 2 - 시각 및 적외선 이미지

[0111] 상기 실시예 1에서 제조한 적외선 선택적 방사체에 대해 적외선 스텔스 성능 확인을 위하여 항공기 등 표면도장을 위하여 사용되는 폴리우레탄 페인트(방사율 0.78)를 370K로 가열한 핫플레이트 위에 시편을 위치시킨 후 적외선 이미지를 비교하고 이를 도 9에 나타내었다.

[0112] 도 9를 참조하면, 폴리우레탄 페인트의 경우 높은 적외선 신호를 방사하여 적외선 탐지기에 노출되는 반면, 본

발명에 따른 실시예 1의 경우 주변 배경과 유사한 신호를 방사함으로써 적외선 스텔스 효과를 나타냄을 확인할 수 있다.

[0114] **실험예 3 - 열 소산율 측정**

[0115] 상기 실시예 1 및 비교예 1에서 제조한 적외선 선택적 방사체를 Fourier Transform Infrared (FT-IR)를 이용하여 열 소산율을 측정하고 이를 각각 도 6 및 하기 표 2에 나타내었다.

[0116] 도 6을 참조하면, 동일한 온도에서 열에너지 소산율을 비교하였을 때, 3차원 공진구조를 갖는 본 발명에 따른 실시예 1의 열소산량이 더 큼을 확인할 수 있다. 또한 하기 표 2를 참조하면, 본 발명에 따른 선택적 적외선 방사체의 실시예들이 각 온도 조건에서 서로 다른 열에너지 소산율을 보임을 통해 본 발명은 선택적 적외선 방사체의 유전층의 두께, 금속층의 두께, 금속 직경 등의 변수를 조절하여 환경 및 용도에 적합하도록 설계할 수 있는 방법론을 제공함을 알 수 있다.

표 2

[0118]

흑체 에너지 대비 열 소산 률	@300K (%)	@400K (%)	@500K (%)	@600K (%)	@700K (%)	@800K (%)	@900K (%)	@1000K (%)
실시예 1	51.22	57.04	59.09	59.82	60.08	60.15	60.14	60.1
실시예 2	32.95	33.75	33	32.12	31.38	30.79	30.33	29.96
실시예 3	54.52	59.33	60.46	60.53	60.3	60.02	59.75	59.51
실시예 4	6.56	11.38	15.05	17.59	19.36	20.64	21.59	22.31
실시예 5	30.11	39.65	44.71	47.57	49.34	50.5	51.3	51.89
실시예 6	66.23	57.9	52.09	48.24	45.62	43.77	42.41	41.38

[0120] **실험예 4 - 방사율 측정**

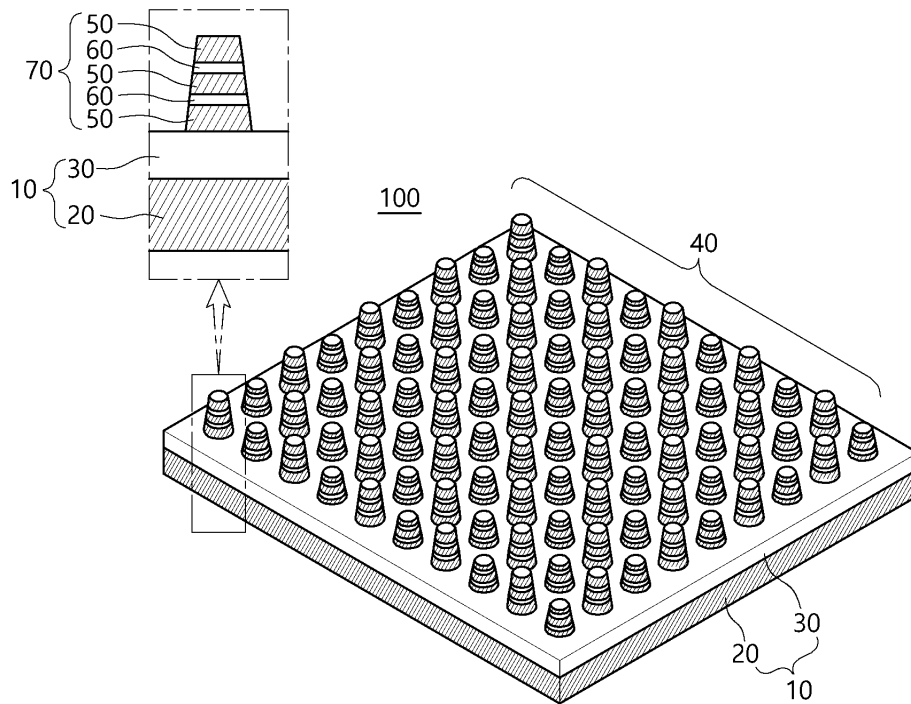
[0121] 상기 실시예 1, 2 및 비교예 1에 대하여 Fourier Transform Infrared (FT-IR) 장비를 이용하여 적외선 방사대역 및 방사율 측정하고 이를 도 3 및 도 5에 나타내었다.

[0122] 도 3을 참조하면 상기 제1공진 구조물(70a)의 1.3 μm 의 직경을 가지고 상기 제2공진 구조물(70b)이 1.5 μm 의 직경을 가지도록 상이한 크기 공진 구조물(70)로 구현하는 경우 비탐지대역 방사율의 광대역화가 가능함을 알 수 있다.

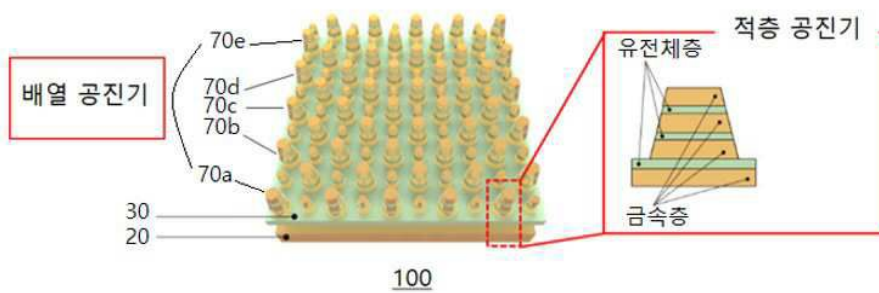
[0123] 또한, 도 5를 참조하면, 상기 서로 다른 직경을 가지는 제1공진 구조물(70a) 및 제2공진 구조물(70b)을 각각 제1공진기 유닛(75a) 및 제2공진기 유닛(75b)을 포함하도록 구현하는 경우, 비탐지대역 방사율을 크게 증가됨을 알 수 있다. 다시 말해 본 발명은 배열 공진기를 구성하는 공진기 유닛의 직경, 서로 다른 크기의 공진기 유닛 개수, 적층 공진기를 구성하는 공진기 유닛의 개수를 조절하여 적외선 탐지기가 탐지할 수 없는 대기흡수 대역에서 금속 패턴이 단일 직경으로만 이뤄진 적외선 선택방사체 현저히 많은 에너지를 방사되도록 할 수 있으며, 탐지 대역에서는 공진현상이 발생하지 않아 흡수 및 방사가 거의 없으므로 위장 성능을 구현할 수 있음을 알 수 있다.

도면

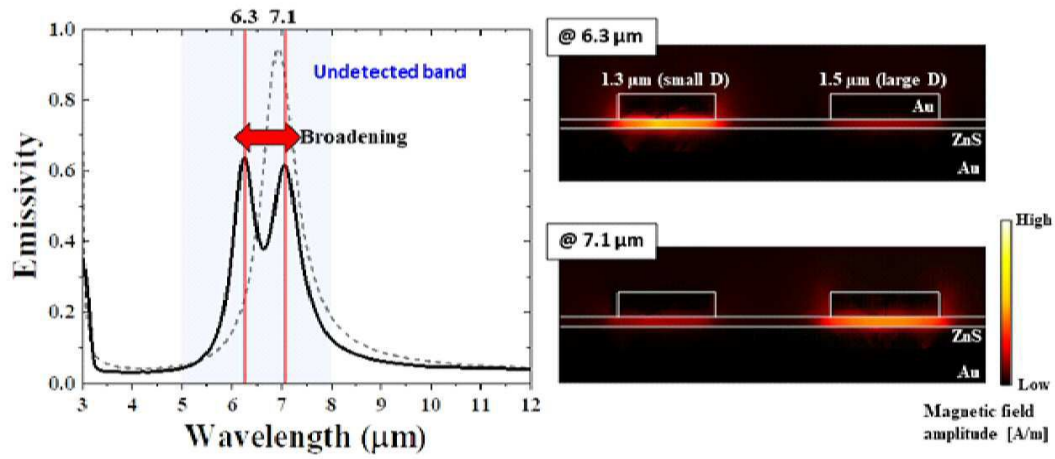
도면1



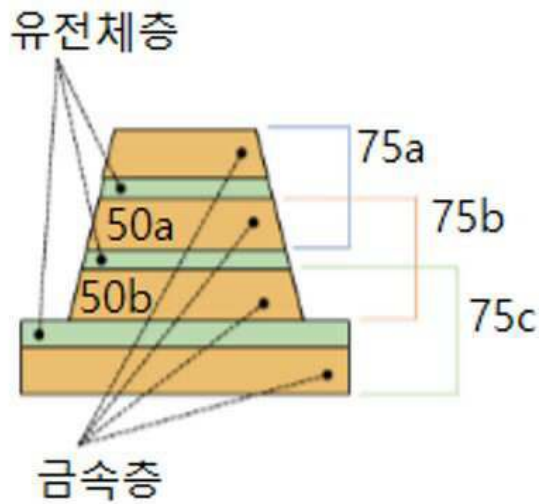
도면2



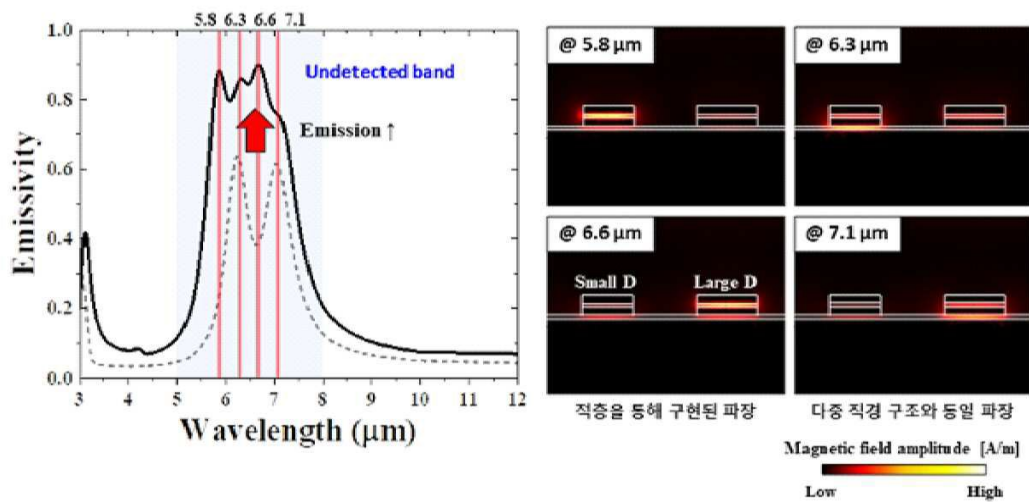
도면3



도면4



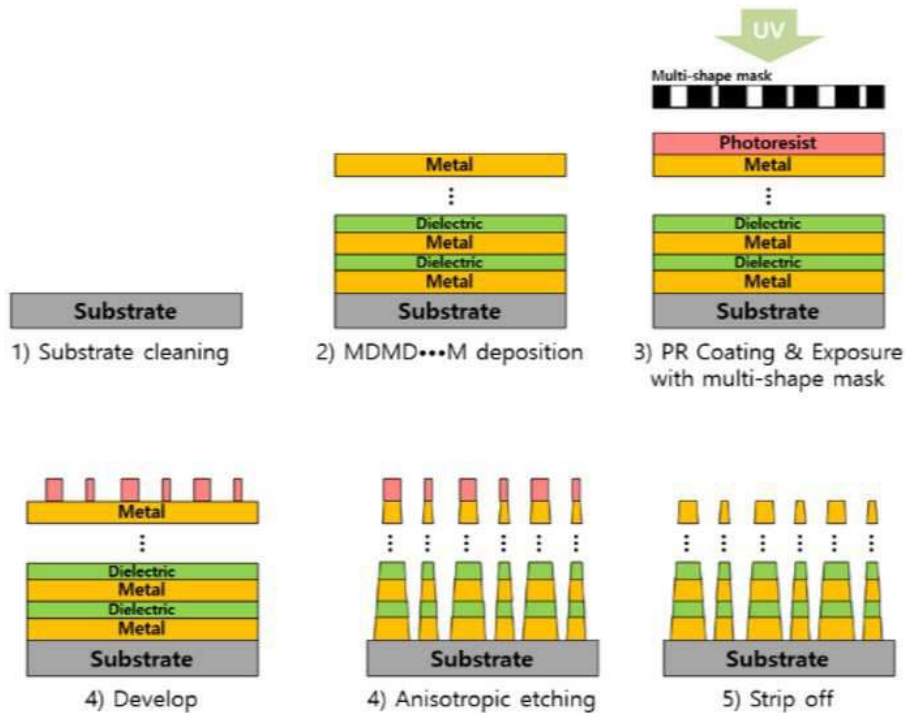
도면5



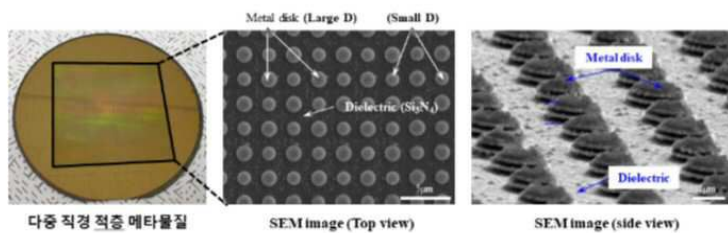
도면6

	단일 직경 구조를 갖는 적외선 선택 방사체		3차원 공진 구조를 갖는 적외선 선택 방사체	
구조	Au pattern-ZnS-Au mirror ($P = 3 \mu\text{m}$, $D = 1.6 \mu\text{m}$)		Au pattern-ZnS pattern -Au pattern-ZnS-Au mirror ($P = 3 \mu\text{m}$, $D_1 = 1.3 \mu\text{m}$, $D_2 = 1.5 \mu\text{m}$, 2 stack)	
표면온도 [K]	Emissive power [W/m ² ·sr]	흑체 에너지 대비 열 소산률 [%]	Emissive power [W/m ² ·sr]	흑체 에너지 대비 열 소산률 [%]
200	0.3	17.25	1.1	63.48
300	6	25.20	37	63.88
400	112	30.86	226	62.12
500	392	34.65	683	60.35
1000	5,334	42.29	7,025	55.68

도면7



도면8



도면9

