(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2016-0037371
(43) 공개일자 2016년04월06일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01J 3/44 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2014-0129531
(22) 출원일자 2014년09월26일
심사청구일자 2014년09월26일

(71) 출원인
한국기계연구원
대전광역시 유성구 가정북로 156 (장동)
(72) 발명자
윤정흠
경상남도 김해시 월산로 111-48 부영16차 803동 306호
박성규
경남 창원시 성산구 창원대로780번길 41, 502호 (외동, 에코센트럴빌)
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
특허법인이지

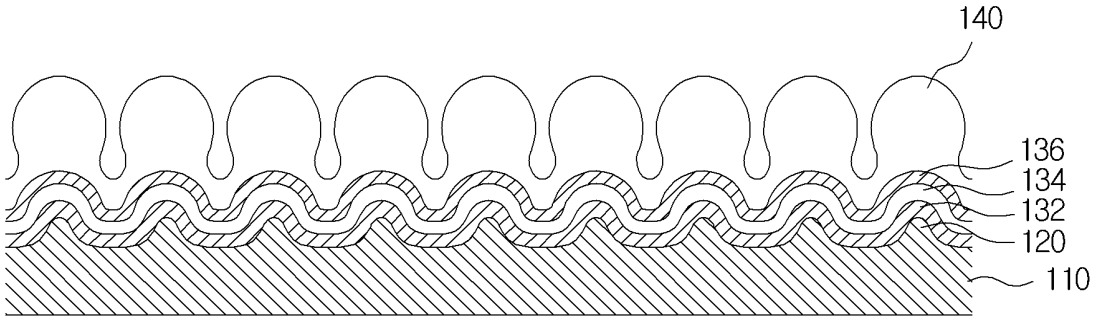
전체 청구항 수 : 총 26 항

(54) 발명의 명칭 **복수의 나노갭을 포함하는 기판 및 이의 제조방법**

(57) 요 약

본 발명은 복수의 나노갭을 포함하는 기판 및 이의 제조방법에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 서로 이격된 돌기형 구조체가 형성된 기판; 상기 기판 표면 및 돌기형 구조체 상에 형성된 금속 함유 나노입자; 및 상기 기판과 금속 함유 나노입자 사이에 형성되고, 무기물 함유 박막층 및 금속 함유 박막층 각각을 적어도 하나 이상 포함하는 연속층;을 포함하되, 상기 금속 함유 나노입자 간, 상기 금속 함유 나노입자와 상기 금속 함유 박막층 간, 무기물 함유 박막층으로 분리된 금속 함유 박막층 간에 나노갭이 형성된 것을 특징으로 하는 복수의 나노갭을 포함하는 기판에 관한 것으로, 다중 나노갭을 형성하여 향상된 플라즈몬 공명의 증폭 효과를 얻을 수 있는 복수의 나노갭을 포함하는 기판 및 이의 제조방법을 제공하는 효과가 있다.

대 표 도 - 도1



(72) 발명자

김동호

경남 창원시 마산회원구 양덕동17길 22, 2동 802호 (양덕동, 경남아파트)

문채원

경남 창원시 성산구 원이대로 774, 101동 2003호 (상남동, 성원아파트)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 PNK3770

부처명 미래창조과학부

연구관리전문기관 산업기술연구회

연구사업명 주요사업

연구과제명 인지니어링 감지소재 기술개발(분자감지용 초고감도 라만증강소재 기술개발)(1/5)

기 여 율 1/1

주관기관 한국기계연구원부설재료연구소

연구기간 2014.01.01 ~ 2014.12.31

명 세 서

청구범위

청구항 1

서로 이격된 돌기형 구조체가 형성된 기판;

상기 기판 표면 및 상기 돌기형 구조체 상에 형성된 금속 함유 나노입자; 및

상기 기판과 금속 함유 나노입자 사이에 형성되고, 무기물 함유 박막층 및 금속 함유 박막층 각각을 적어도 하나 이상 포함하는 연속층;을 포함하되,

상기 금속 함유 나노입자 간, 상기 금속 함유 나노입자와 상기 금속 함유 박막층 간에 나노갭이 형성된 것

을 특징으로 하는 복수의 나노갭을 포함하는 기판.

청구항 2

서로 이격된 돌기형 구조체가 형성된 기판;

상기 기판 표면 및 상기 돌기형 구조체 상에 형성된 금속 함유 나노입자; 및

상기 금속 함유 나노입자 내부에 형성되고, 무기물 함유 박막층 및 금속 함유 박막층 각각을 적어도 하나 이상 포함하는 연속층;을 포함하되,

상기 금속 함유 나노입자 간, 상기 금속 함유 나노입자와 상기 금속 함유 박막층 간에 나노갭이 형성된 것

을 특징으로 하는 복수의 나노갭을 포함하는 기판.

청구항 3

제1항 및 제2항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 연속층은 무기물 함유 박막층으로 분리된 두 개의 금속 함유 박막층을 포함하되,

상기 두 개의 금속 함유 박막층 간에 나노갭이 형성된 것

을 특징으로 하는 복수의 나노갭을 포함하는 기판.

청구항 4

제1항 및 제2항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 연속층은 무기물 함유 박막층, 금속 함유 박막층 및 무기물 함유 박막층이 순차적으로 형성된 것

을 특징으로 하는 복수의 나노갭을 포함하는 기판.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 연속층은 금속 함유 박막층 및 무기물 함유 박막층이 순차적으로 형성된 것

을 특징으로 하는 복수의 나노갭을 포함하는 기판.

청구항 6

제1항 및 제2항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 돌기형 구조체는 상부가 하부보다 곡률이 크게 형성된 것

을 특징으로 하는 복수의 나노갭을 포함하는 기판.

청구항 7

제1항 및 제2항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 돌기형 구조체는 나노 임프린팅, 나노 리소그래피 및 건식 식각 중 어느 하나를 이용하여 형성한 것

을 특징으로 하는 복수의 나노갭을 포함하는 기판.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 건식 식각은 아르곤, 산소, 수소, 헬륨 및 질소 기체로 구성되는 군으로부터 선택되는 어느 하나 이상의 기체를 사용하여 수행되는 플라즈마 건식 식각인 것

을 특징으로 하는 복수의 나노갭을 포함하는 기판.

청구항 9

제1항 및 제2항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 기판은 아크릴계 고분자(Acrylic polymers), 폴리에테르설폰 (Polyethersulfone; PES), 폴리시클로올레핀(Polycycloolefin; PCO), 폴리우레탄 (polyiourethane) 및 폴리카보네이트(polycarbonate; PC)로 구성된 군으로부터 선택된 고분자 기판인 것

을 특징으로 하는 복수의 나노갭을 포함하는 기판.

청구항 10

제1항 및 제2항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 무기물은 Al, Ba, Be, Ca, Cr, Cu, Cd, Dy, Ga, Ge, Hf, In, Lu, Mg, Mo, Ni, Rb, Sc, Si, Sn, Ta, Te, Ti, W, Zn, Zr, Yb로 구성된 군에서 선택된 금속의 산화물(oxide), 질화물(nitride), 산화물-질화물의 화합물(oxynitride) 및 불화 마그네슘(Magnesium fluoride) 중 어느 하나인 것

을 특징으로 하는 복수의 나노갭을 포함하는 기판.

청구항 11

제1항 및 제2항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 무기물 함유 박막층 및 상기 금속 함유 박막층은 화학기상증착(CVD), 스퍼터링(sputtering) 및 이베퍼레이션(evaporation) 중 어느 하나를 이용하여 형성한 것

을 특징으로 하는 복수의 나노갭을 포함하는 기판.

청구항 12

제1항에 있어서,

상기 금속 함유 나노입자는 라만활성물질을 진공증착시켜 형성하며,

상기 라만활성물질은 초기에는 상기 기판 표면 및 상기 돌기형 구조체에 균일하게 증착되나 증착이 진행됨에 따라 상기 돌기형 구조체의 상부에 집중적으로 증착되는 것

을 특징으로 하는 복수의 나노갭을 포함하는 기판.

청구항 13

제1항 및 제2항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 금속은 Au, Ag, Cu, Pt 및 Pd, 및 이의 합금으로 구성된 군에서 선택된 것

을 특징으로 하는 복수의 나노갭을 포함하는 기판.

청구항 14

제1항에 기재된 복수의 나노갭을 포함하는 기판을 제조하는 방법에 있어서,

기판을 가공하여 돌기형 구조체를 형성하는 단계;

상기 기판 표면 및 상기 돌기형 구조체 상에 무기물 함유 박막층 및 금속 함유 박막층 각각을 적어도 하나 이상 포함하는 연속층을 형성하는 단계; 및

상기 연속층이 형성된 기판 표면 및 돌기형 구조체 상에 금속 함유 나노입자를 형성하는 단계;를 포함하되,

상기 금속 함유 나노입자 간, 상기 금속 함유 나노입자와 상기 금속 함유 박막층 간에 나노갭이 형성된 것

을 특징으로 하는 복수의 나노갭을 포함하는 기판의 제조방법.

청구항 15

제2항에 기재된 복수의 나노갭을 포함하는 기판을 제조하는 방법에 있어서,

기판을 가공하여 돌기형 구조체를 형성하는 단계;

상기 기판 표면 및 상기 돌기형 구조체 상에 금속 함유 나노입자를 형성하는 단계; 및

상기 금속 함유 나노입자가 형성되는 중간에 무기물 함유 박막층 및 금속 함유 박막층 각각을 적어도 하나 이상 포함하는 연속층을 형성하는 단계;를 포함하되,

상기 금속 함유 나노입자 간, 상기 금속 함유 나노입자와 상기 금속 함유 박막층 간에 나노갭이 형성된 것

을 특징으로 하는 복수의 나노갭을 포함하는 기판의 제조방법.

청구항 16

제14항 및 제15항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 연속층은 무기물 함유 박막층으로 분리된 두 개의 금속 함유 박막층을 포함하되,

상기 두 개의 금속 함유 박막층 간에 나노갭이 형성된 것

을 특징으로 하는 복수의 나노갭을 포함하는 기판의 제조방법.

청구항 17

제14항 및 제15항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 연속층은 무기물 함유 박막층, 금속 함유 박막층 및 무기물 함유 박막층이 순차적으로 형성된 것

을 특징으로 하는 복수의 나노갭을 포함하는 기판의 제조방법.

청구항 18

제14항에 있어서,

상기 연속층은 금속 함유 박막층 및 무기물 함유 박막층이 순차적으로 형성된 것

을 특징으로 하는 복수의 나노갭을 포함하는 기판의 제조방법.

청구항 19

제14항 및 제15항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 돌기형 구조체는 상부가 하부보다 곡률이 크게 형성된 것

을 특징으로 하는 복수의 나노갭을 포함하는 기판의 제조방법.

청구항 20

제14항 및 제15항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 돌기형 구조체는 나노 임프린팅, 나노 리소그래피 및 건식 식각 중 어느 하나를 이용하여 형성한 것

을 특징으로 하는 복수의 나노갭을 포함하는 기판의 제조방법.

청구항 21

제20항에 있어서,

상기 건식 식각은 아르곤, 산소, 수소, 헬륨 및 질소 기체로 구성되는 군으로부터 선택되는 어느 하나 이상의 기체를 사용하여 수행되는 플라즈마 건식 식각인 것

을 특징으로 하는 복수의 나노갭을 포함하는 기판의 제조방법.

청구항 22

제14항 및 제15항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 기판은 아크릴계 고분자(Acrylic polymers), 폴리에테르설폰 (Polyethersulfone; PES), 폴리시클로올레핀 (Polycycloolefin; PCO), 폴리우레탄 (polyiourethane) 및 폴리카보네이트(polycarbonate; PC)로 구성된 군으로부터 선택된 고분자 기판인 것

을 특징으로 하는 복수의 나노갭을 포함하는 기판의 제조방법.

청구항 23

제14항 및 제15항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 무기물은 Al, Ba, Be, Ca, Cr, Cu, Cd, Dy, Ga, Ge, Hf, In, Lu, Mg, Mo, Ni, Rb, Sc, Si, Sn, Ta, Te, Ti, W, Zn, Zr, Yb로 구성된 군에서 선택된 금속의 산화물(oxide), 질화물(nitride), 산화물-질화물의 화합물(oxynitride) 및 불화 마그네슘(Magnesium fluoride) 중 어느 하나인 것

을 특징으로 하는 복수의 나노갭을 포함하는 기판의 제조방법.

청구항 24

제14항 및 제15항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 무기물 함유 박막층 및 상기 금속 함유 나노입자는 화학기상증착(CVD), 스퍼터링(sputtering) 및 이베퍼레이션(evaporation) 중 어느 하나를 이용하여 형성한 것

을 특징으로 하는 복수의 나노갭을 포함하는 기판의 제조방법.

청구항 25

제14항에 있어서,

상기 금속 함유 나노입자는 라만활성물질을 진공증착시켜 형성하며,

상기 라만활성물질은 초기에는 상기 기판 표면 및 상기 돌기형 구조체에 균일하게 증착되나 증착이 진행됨에 따라 상기 돌기형 구조체의 상부에 집중적으로 증착되는 것

을 특징으로 하는 복수의 나노갭을 포함하는 기판의 제조방법.

청구항 26

제14항 및 제15항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 금속은 Au, Ag, Cu, Pt 및 Pd, 및 이의 합금으로 구성된 군에서 선택된 것

을 특징으로 하는 복수의 나노갭을 포함하는 기판의 제조방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 복수의 나노갭을 포함하는 기판 및 이의 제조방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 라만 산란(Raman scattering)은 입사되는 빛의 에너지가 변하는 비탄성 산란으로 빛을 특정 분자체에 가하면 분자체 고유의 진동 전이에 의해 조사된 빛과는 파장이 약간 다른 빛이 발생하는 현상을 일컫는다.

[0003] 라만 산란을 이용한 라만 분광법을 이용하면 분자의 유도 편극률 변화가 있는 비극성 분자의 경우에도 신호를 얻을 수 있고, 실제 거의 모든 유기 분자들은 고유의 라만 시프트(Raman Shift)를 가지고 있다. 또한 물 분자에 의한 간섭의 영향을 받지 않으므로, 단백질, 유전자 등의 생체분자(biomolecules)의 검출에 더욱 적합하다.

[0004] 한편, 라만 방출 스펙트럼의 파장은 샘플 내의 광 흡수 분자의 화학 조성 및 구조 특성을 나타내므로, 이러한 라만 신호를 분석하면 분석 대상 물질을 직접적으로 분석할 수 있다.

[0005] 이와 같이, 분석 대상 물질을 직접적으로 분석할 수 있다는 이점에도 불구하고, 신호의 세기가 매우 약해 실용화에 어려움이 있었다. 그러나, 1974년 Fleishmann 등에 의해 표면증강 라만 산란이 보고된 이래로 신호의 세기를 증폭시키기 위한 연구들이 증가하고 있다.

[0006] 라만 신호를 증강시키기 위한 기술 중 하나로 나노갭(nano-gap)에 따른 표면 플라즈몬 공명을 유도하는 이른바 국소 플라즈몬 공명(LSPR: localized surface plasmon resonance)을 이용한 기술들이 개발되어 왔다.

[0007] 다중 나노갭을 형성하는 기존의 기술은 (1) 평평한 Si기판 위에 수십 나노미터의 플라즈모닉 필름을 형성하고, 수 나노미터의 절연막 형성하고, 플라즈모닉 나노입자를 도포하는 방법과 (2) 평평한 Si기판 위에 120 나노미터의 플라즈모닉 필름을 형성하고, 수십 나노미터의 절연막(SiO2)을 형성하고, 플라즈모닉 나노입자를 도포하는 방법이 있다.

[0008] (1)의 방법은 중간의 절연막이 수 나노미터 밖에 되지 않기 때문에 절연막을 사이에 두고 플라즈모닉 나노입자와 플라즈모닉 필름사이에서 전자기적 커플링이 일어나기 때문에, 입사되는 특정파장의 빛을 가두는(confined) 나노안테나의 역할을 하게 된다.

[0009] (2)의 방법은 중간의 절연막이 두께가 50 nm미터로 크기 때문에 (1)과 같은 전자기적인 커플링이 일어나지 않고, 아래의 플라즈모닉 필름은 입사하는 빛을 반사하는 거울의 역할을 할 뿐이다. 전자기적인 커플링은 맨 위층에 존재하는 플라즈모닉 나노입자 사이의 나노갭에서만 일어난다.

[0010] (1)의 방법을 사용한 문헌으로 [Nature, 2012, 492, 86-90, doi:10.1038/nature11615]에 기재된 Controlled-reflectance surfaces with film-coupled colloidal nanoantennas가 있다. 도 1을 참조하면, 이 기술은 평평한 기판 위에 금 50nm를 필름으로 증착하고, 4 nm~17 nm 고분자 절연막을 올리고, 마지막으로 합성한 74 nm 정도의 은 나노큐브를 도포한다. 이에 따라, 중간에 있는 고분자 절연막의 두께가 수 나노미터이기 때문에 금 필름과 은 나노입자사이에 나노갭이 형성된다.

[0011] (2)의 방법을 사용한 문헌으로 [Scientific Report, 2013, 3, 2867, DOI: 10.1038/srep02867]에 기재된 Wafer-scale metasurface for total power absorption, local field enhancement and single molecule Raman spectroscopy가 있다. 도 2를 참조하면, 이 기술은 평평한 Si 기판 위에 은 120nm를 필름으로 증착하고, 수십 나노미터의 SiO_2 절연막을 진공증착 한다. 마지막으로 은 나노입자를 진공증착 한다. 이 기술은 두꺼운 절연막을 사용하기 때문에 절연막을 사이에 두고 LSPR은 일어나지 않는다.

[0012] 한편, 나노 갭을 형성하기 위한 특허문헌으로는 미국 공개특허 US 2013-0252275 A1가 있다. 이 특허는 기판 상에 구형의 입자 있고 구형 입자상에 금속 함유 나노입자들이 형성된 것이다.

[0013] 본 발명은 종래의 다중 나노갭 기술과는 달리 무기물-금속 연속층 개념을 도입하여 플라즈몬 공명 특성을 향상시킨 기술을 개발하기 위하여 안출된 것이다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0014] 본 발명은 다중 나노갭을 형성하여 향상된 플라즈몬 공명의 증폭 효과를 얻을 수 있는 복수의 나노갭을 포함하는 기판 및 이의 제조방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

[0015] 상기와 같은 목적을 달성하기 위해 본 발명의 일실시예에 있어 서로 이격된 돌기형 구조체가 형성된 기판; 상기 기판 표면 및 상기 돌기형 구조체 상에 형성된 금속 함유 나노입자; 및 상기 기판과 금속 함유 나노입자 사이에 형성되고, 무기물 함유 박막층 및 금속 함유 박막층 각각을 적어도 하나 이상 포함하는 연속층;을 포함하되, 상기 금속 함유 나노입자 간, 상기 금속 함유 나노입자와 상기 금속 함유 박막층 간에 나노갭이 형성된 것을 특징으로 하는 복수의 나노갭을 포함하는 기판을 제공할 수 있다.

[0016] 본 발명의 다른 실시예에 있어, 서로 이격된 돌기형 구조체가 형성된 기판; 상기 기판 표면 및 상기 돌기형 구조체 상에 형성된 금속 함유 나노입자; 및 상기 금속 함유 나노입자 내부에 형성되고, 무기물 함유 박막층 및 금속 함유 박막층 각각을 적어도 하나 이상 포함하는 연속층;을 포함하되, 상기 금속 함유 나노입자 간, 상기 금속 함유 나노입자와 상기 금속 함유 박막층 간에 나노갭이 형성된 것을 특징으로 하는 복수의 나노갭을 포함하는 기판을 제공할 수 있다.

[0017] 바람직하게는, 상기 연속층은 무기물 함유 박막층으로 분리된 두 개의 금속 함유 박막층을 포함하되, 상기 두 개의 금속 함유 박막층 간에 나노갭이 형성된 것을 특징으로 하는 복수의 나노갭을 포함하는 기판을 제공할 수 있다.

[0018] 바람직하게는, 상기 연속층은 무기물 함유 박막층, 금속 함유 박막층 및 무기물 함유 박막층이 순차적으로 형성된 것을 특징으로 하는 복수의 나노갭을 포함하는 기판을 제공할 수 있다.

[0019] 바람직하게는, 본 발명의 일실시예에 있어 상기 연속층은 금속 함유 박막층 및 무기물 함유 박막층이 순차적으로 형성된 것을 특징으로 하는 복수의 나노갭을 포함하는 기판을 제공할 수 있다.

[0020] 바람직하게는, 상기 돌기형 구조체는 상부가 하부보다 곡률이 크게 형성된 것을 특징으로 하는 복수의 나노갭을 포함하는 기판을 제공할 수 있다.

[0021] 바람직하게는, 상기 돌기형 구조체는 나노 임프린팅, 나노 리소그래피 및 건식 식각 중 어느 하나를 이용하여 형성한 것을 특징으로 하는 복수의 나노갭을 포함하는 기판을 제공할 수 있다.

[0022] 바람직하게는, 상기 건식 식각은 아르곤, 산소, 수소, 헬륨 및 질소 기체로 구성되는 군으로부터 선택되는 어느 하나 이상의 기체를 사용하여 수행되는 플라즈마 건식 식각인 것을 특징으로 하는 복수의 나노갭을 포함하는 기판을 제공할 수 있다.

[0023] 바람직하게는, 상기 기판은 아크릴계 고분자(Acrylic polymers), 폴리에테르설폰 (Polyethersulfone; PES), 폴리시클로올레핀 (Polycycloolefin; PCO), 폴리우레탄 (polyiourethane) 및 폴리카보네이트(polycarbonate; PC)로 구성된 군으로부터 선택된 고분자 기판인 것을 특징으로 하는 복수의 나노갭을 포함하는 기판을 제공할 수

있다.

[0024] 바람직하게는, 상기 무기물은 Al, Ba, Be, Ca, Cr, Cu, Cd, Dy, Ga, Ge, Hf, In, Lu, Mg, Mo, Ni, Rb, Sc, Si, Sn, Ta, Te, Ti, W, Zn, Zr, Yb로 구성된 군에서 선택된 금속의 산화물(oxide), 질화물(nitride), 산화물-질화물의 화합물(oxynitride) 및 불화 마그네슘(Magnesium fluoride) 중 어느 하나인 것을 특징으로 하는 복수의 나노갭을 포함하는 기판을 제공할 수 있다.

[0025] 바람직하게는, 상기 무기물 함유 박막층 및 상기 금속 함유 박막층은 화학기상증착(CVD), 스퍼터링(sputtering) 및 이베퍼레이션(evaporation) 중 어느 하나를 이용하여 형성한 것을 특징으로 하는 복수의 나노갭을 포함하는 기판을 제공할 수 있다.

[0026] 바람직하게는, 본 발명의 일실시예에 있어 상기 금속 함유 나노입자는 라만활성물질을 진공증착시켜 형성하며, 라만활성물질은 초기에는 상기 기판 표면 및 상기 돌기형 구조체에 균일하게 증착되나 증착이 진행됨에 따라 상기 돌기형 구조체의 상부에 집중적으로 증착되는 것을 특징으로 하는 복수의 나노갭을 포함하는 기판을 제공할 수 있다.

[0027] 바람직하게는, 상기 금속은 Au, Ag, Cu, Pt 및 Pd, 및 이의 합금으로 구성된 군에서 선택된 것을 특징으로 하는 복수의 나노갭을 포함하는 기판을 제공할 수 있다.

[0028] 또한, 본 발명의 일실시예에 따른 복수의 나노갭을 포함하는 기판을 제조하는 방법에 있어서, 기판을 가공하여 돌기형 구조체를 형성하는 단계; 상기 기판 표면 및 상기 돌기형 구조체 상에 무기물 함유 박막층 및 금속 함유 박막층 각각을 적어도 하나 이상 포함하는 연속층을 형성하는 단계; 및 상기 연속층이 형성된 기판 표면 및 돌기형 구조체 상에 금속 함유 나노입자를 형성하는 단계;를 포함하되, 상기 금속 함유 나노입자 간, 상기 금속 함유 나노입자와 상기 금속 함유 박막층 간에 나노갭이 형성된 것을 특징으로 하는 복수의 나노갭을 포함하는 기판의 제조방법을 제공할 수 있다.

[0029] 또한, 본 발명의 다른 실시예에 따른 복수의 나노갭을 포함하는 기판을 제조하는 방법에 있어서, 기판을 가공하여 돌기형 구조체를 형성하는 단계; 상기 기판 표면 및 상기 돌기형 구조체 상에 금속 함유 나노입자를 형성하는 단계; 및 상기 금속 함유 나노입자가 형성되는 중간에 무기물 함유 박막층 및 금속 함유 박막층 각각을 적어도 하나 이상 포함하는 연속층을 형성하는 단계;를 포함하되, 상기 금속 함유 나노입자 간, 상기 금속 함유 나노입자와 상기 금속 함유 박막층 간에 나노갭이 형성된 것을 특징으로 하는 복수의 나노갭을 포함하는 기판의 제조방법을 제공할 수 있다.

[0030] 바람직하게는, 상기 연속층은 무기물 함유 박막층으로 분리된 두 개의 금속 함유 박막층을 포함하되, 상기 두 개의 금속 함유 박막층 간에 나노갭이 형성된 것을 특징으로 하는 복수의 나노갭을 포함하는 기판의 제조방법을 제공할 수 있다.

[0031] 바람직하게는, 상기 연속층은 무기물 함유 박막층, 금속 함유 박막층 및 무기물 함유 박막층이 순차적으로 형성된 것을 특징으로 하는 복수의 나노갭을 포함하는 기판의 제조방법을 제공할 수 있다.

[0032] 바람직하게는, 본 발명의 일실시예에 있어 상기 연속층은 금속 함유 박막층 및 무기물 함유 박막층이 순차적으로 형성된 것을 특징으로 하는 복수의 나노갭을 포함하는 기판의 제조방법을 제공할 수 있다.

[0033] 바람직하게는, 상기 돌기형 구조체는 상부가 하부보다 곡률이 크게 형성된 것을 특징으로 하는 복수의 나노갭을 포함하는 기판의 제조방법을 제공할 수 있다.

[0034] 바람직하게는, 상기 돌기형 구조체는 나노 임프린팅, 나노 리소그래피 및 건식 식각 중 어느 하나를 이용하여 형성한 것을 특징으로 하는 복수의 나노갭을 포함하는 기판의 제조방법을 제공할 수 있다.

[0035] 바람직하게는, 상기 건식 식각은 아르곤, 산소, 수소, 헬륨 및 질소 기체로 구성되는 군으로부터 선택되는 어느 하나 이상의 기체를 사용하여 수행되는 플라즈마 건식 식각인 것을 특징으로 하는 복수의 나노갭을 포함하는 기판의 제조방법을 제공할 수 있다.

[0036] 바람직하게는, 상기 기판은 아크릴계 고분자(Acrylic polymers), 폴리에테르설폰 (Polyethersulfone; PES), 폴리시클로올레핀 (Polycycloolefin; PCO), 폴리우레탄 (polyiourethane) 및 폴리카보네이트(polycarbonate; PC)로 구성된 군으로부터 선택된 고분자 기판인 것을 특징으로 하는 복수의 나노갭을 포함하는 기판의 제조방법을 제공할 수 있다.

[0037] 바람직하게는, 상기 무기물은 Al, Ba, Be, Ca, Cr, Cu, Cd, Dy, Ga, Ge, Hf, In, Lu, Mg, Mo, Ni, Rb, Sc, Si, Sn, Ta, Te, Ti, W, Zn, Zr, Yb로 구성된 군에서 선택된 금속의 산화물(oxide), 질화물(nitride), 산화물-질화물의 화합물(oxynitride) 및 불화 마그네슘(Magnesium fluoride) 중 어느 하나인 것을 특징으로 하는 복수의 나노갭을 포함하는 기판의 제조방법을 제공할 수 있다.

[0038] 바람직하게는, 상기 무기물 함유 박막층 및 상기 금속 함유 나노입자는 화학기상증착(CVD), 스퍼터링(sputtering) 및 이베퍼레이션(evaporation) 중 어느 하나를 이용하여 형성한 것을 특징으로 하는 복수의 나노갭을 포함하는 기판의 제조방법을 제공할 수 있다.

[0039] 바람직하게는, 본 발명의 일실시예에 있어 상기 금속 함유 나노입자는 라만활성물질을 진공증착시켜 형성하며, 라만활성물질은 초기에는 상기 기판 표면 및 상기 돌기형 구조체에 균일하게 증착되나 증착이 진행됨에 따라 상기 돌기형 구조체의 상부에 집중적으로 증착되는 것을 특징으로 하는 복수의 나노갭을 포함하는 기판의 제조방법을 제공할 수 있다.

[0040] 바람직하게는, 상기 금속은 Au, Ag, Cu, Pt 및 Pd, 및 이의 합금으로 구성된 군에서 선택된 것을 특징으로 하는 복수의 나노갭을 포함하는 기판의 제조방법을 제공할 수 있다.

발명의 효과

[0041] 본 발명은 다중 나노갭을 형성하여 향상된 플라즈몬 증폭 효과를 얻을 수 있는 복수의 나노갭을 포함하는 기판 및 이의 제조방법을 제공하는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

[0042] 도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 복수의 나노갭을 포함하는 기판을 나타낸 도면이다.

도 2는 본 발명의 다른 실시예에 따른 복수의 나노갭을 포함하는 기판을 나타낸 도면이다.

도 3은 본 발명의 일실시예에 따른 복수의 나노갭을 포함하는 기판의 제조과정을 나타낸 도면이다.

도 4는 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 복수의 나노갭을 포함하는 기판의 제조과정을 나타낸 도면이다.

도 5는 본 발명의 일실시예에 따른 금속 함유 박막층, 무기물 함유 박막층 및 금속 함유 박막층이 순차적으로 형성된 연속층의 표면 SEM 이미지를 나타낸 도면이다.

도 6은 본 발명의 일실시예에 따른 복수의 나노갭을 포함하는 기판의 SEM 이미지를 나타낸 도면이다.

도 7은 본 발명의 일실시예에 따른 복수의 나노갭을 포함하는 기판의 반사 스펙트럼을 나타낸 도면이다.

도 8은 본 발명의 일실시예에 따른 복수의 나노갭을 포함하는 기판의 라만 신호 세기의 스펙트럼을 나타낸 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0043] 본 발명은 다양한 변환을 가할 수 있고 여러 가지 실시예를 가질 수 있는 바, 특정 실시예들을 도면에 예시하고 상세한 설명에 상세하게 설명하고자 한다. 그러나, 이는 본 발명을 특정한 실시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변환, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다.

[0044] 본 발명을 설명함에 있어서 관련된 공지 기술에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 흐릴 수 있다고 판단되는 경우 그 상세한 설명을 생략한다.

[0045] 이하, 본 발명의 실시예를 첨부한 도면들을 참조하여 상세히 설명하기로 한다. 본 발명을 설명함에 있어 전체적인 이해를 용이하게 하기 위하여 도면 번호에 상관없이 동일한 수단에 대해서는 동일한 참조 번호를 사용하기로 한다.

[0046] 도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 복수의 나노갭을 포함하는 기판을 나타낸 도면이다.

[0047] 도 1을 참조하면, 본 발명의 일실시예에 따른 복수의 나노갭을 포함하는 기판은 기판(110), 돌기형 구조체(120), 연속층(130) 및 금속 함유 나노입자(140)를 포함한다.

[0048] 본 발명의 일실시예에서 기판(110)은 고분자 기판(110)을 사용하였으며 고분자 기판(110)은 간단한 표면처리만 하여도 대면적으로 돌기형 구조체(120)를 형성하는 데 유리하나, 고분자 기판(110)이 아니라도 처리 방법에 따라 유사한 구조를 형성할 수 있다.

[0049] 고분자 기판(110)의 경우 아크릴계 고분자(Acrylic polymers), 폴리에테르설폰 (Polyethersulfone; PES), 폴리시클로올레핀 (Polycycloolefin; PCO), 폴리우레탄 (polyiourethane), 폴리에틸렌테레프탈레이트(Polyethylene Terephthalate; PET) 및 폴리카보네이트(polycarbonate; PC)로 구성된 군으로부터 선택되는 고분자 기판(110)을 사용할 수 있으며, 이에 제한되는 것은 아니다.

[0050] 본 발명의 일실시예에서는 고분자 기판(110)으로서 폴리에틸렌테레프탈레이트(Polyethylene Terephthalate; PET)를 사용하였다.

[0051] 돌기형 구조체(120)는 상기 기판(110)을 가공하여 형성된다.

[0052] 돌기형 구조체(120)는 고분자 기판(110)을 표면처리하여 형성할 수 있으며, 표면처리 공정으로 나노 임프린팅

(nano imprinting), 나노 리소그래피(nano lithography) 및 건식 식각(dry etching) 중 어느 하나를 이용할 수 있으며, 이에 제한되는 것은 아니다.

[0053] 건식 식각은 아르곤, 산소, 수소, 헬륨 및 질소 기체로 구성되는 군으로부터 선택되는 어느 하나 이상의 기체를 사용하여 수행되는 플라즈마 건식 식각을 사용할 수 있으며, 이에 제한되는 것은 아니다.

[0054] 돌기형 구조체(120)는 상부 돌출곡면을 갖는다. 상부 돌출곡면을 갖는다는 것은 돌기형 구조체(120)의 상부가 하부보다 큰 곡률을 가지고 있음을 의미한다. 이러한 구조는 라만활성물질을 증착 시에 상부에 집중적으로 증착될 수 있는 조건을 제공한다.

[0055] 연속층(130)은 상기 기판(110) 표면 및 상기 돌기형 구조체(120) 상에 형성된다.

[0056] 연속층(130)은 무기물 함유 박막층 및 금속 함유 박막층 각각을 적어도 하나 이상 포함한다.

[0057] 본 발명의 실시예에 따라 연속층(130)은 도 1에 도시된 바와 같이 무기물 함유 박막층(132), 금속 함유 박막층(134) 및 무기물 함유 박막층(136)이 순차적으로 적층된 것일 수 있으며(dielectric-metal-dielectric, DMD), 도 4에 도시된 바와 같이 금속함유 박막층(134) 및 무기물 함유 박막층(136)이 순차적으로 적층된 것일 수 있으며(metal-dielectric, MD), 이에 제한되지 않는다.

[0058] 무기물 함유 박막층(132, 136)을 형성함에 있어 무기물은 Al, Ba, Be, Ca, Cr, Cu, Cd, Dy, Ga, Ge, Hf, In, Lu, Mg, Mo, Ni, Rb, Sc, Si, Sn, Ta, Te, Ti, W, Zn, Zr, Yb로 구성된 군에서 선택된 금속의 산화물(oxide), 질화물(nitride), 산화물-질화물의 화합물(oxynitride) 및 불화 마그네슘(Magnesium fluoride) 중 어느 하나인 것일 수 있으며, 이제 제한되는 것은 아니다. 또한, 무기물 대신에 반도체(semiconductor) 물질을 사용할 수도 있다.

[0059] 금속 함유 박막층(134)을 형성함에 있어 금속은 Au, Ag, Cu, Pt 및 Pd, 및 이의 합금으로 구성된 군에서 선택된 것일 수 있으며, 이에 제한되는 것은 아니다.

[0060] 상기 무기물 함유 박막층(132, 136) 및 상기 금속 함유 박막층(134)은 화학기상증착(CVD), 스퍼터링(sputtering) 및 이베퍼레이션(evaporation) 중 어느 하나를 이용하여 형성한 것일 수 있으며, 이에 제한되는 것은 아니다.

[0061] 무기물 함유 박막층(132, 136)은 5nm 내지 100nm의 두께를 가질 수 있으며, 이에 제한되는 것은 아니다.

[0062] 무기물 함유 박막층(132, 136)은 연속 박막 형성이 가능한 최소 두께인 약 5 nm부터 일렉트론 터널링(electron tunneling)이 가능한 예상 최대 두께인 100 nm로 형성된다.

[0063] 금속 함유 박막층(134)은 5nm 내지 200nm의 두께를 가질 수 있으며, 이에 제한되는 것은 아니다.

[0064] 금속 함유 박막층(134)은 연속 박막 형성이 가능한 최소 두께인 5 nm부터 400 내지 600 nm 가시광 영역대에서

강한 라만 흡수를 나타낼 수 있는 200 nm를 최대 두께로 형성된다.

[0065] 연속층(130)은 금속 함유 박막층을 2개 이상 포함할 수도 있으며 이 때 금속 함유 박막층은 그 사이에 형성된 무기물 함유 박막층에 의해 분리될 수 있다. 이 경우 무기물 함유 박막층으로 분리된 금속 함유 박막층 간에도 나노갭이 형성될 수 있다.

[0066] 본 발명의 일실시예에서는 상기 무기물 함유 박막층(132, 136)을 증착하는데 있어 스퍼터링(sputtering) 방법을 이용하였다. 먼저, 진공 챔버(chamber)내에 건식 식각 처리하여 돌기형 구조체가 형성된 기판(110)이 거치된다. 저진공펌프와 고진공펌프를 이용하여 진공 챔버 내부의 진공도가 $2x10^{-5}$ torr로 유지된다. 그 다음, Ar 작업 가스가 주입되고, 작업진공도는 $2x10^{-3}$ torr에 도달한다. 그 후, 무기물로서 SiO_2가 부착된 스퍼터링 타겟에 연결되어 있는 플라즈마 발생전원에 전원이 인가(impression) 되고, 플라즈마가 발생하여 상기 무기물이 기판(110) 표면 및 돌기형 구조체(120) 또는 이미 증착된 금속 함유 박막층(134) 상에 증착된다.

[0067] 상기 실시예에서의 공정조건을 나열하면 아래와 같다.

[0068] - 베이스 기판 : 폴리에틸렌테레프탈레이트(polyethylene terephthalate, PET) 두께 188 ㎛, 투과도 90%

[0069] - 초기 진공도 : $2x10^{-5}$ torr

[0070] - 무기물층 코팅용 스퍼터링 타겟 : SiO_2 (크기 : 4 inch)

[0071] - 작업가스 : Ar

[0072] - 작업진공도 : $2x10^{-3}$ torr

[0073] - RF 전력 : 200 W

[0074] 금속 함유 나노입자(140)는 상기 기판(110) 표면 및 상기 돌기형 구조체(120) 상 위치에 형성되며 상기 연속층(130)이 형성된 이후 형성된다.

[0075] 상기 금속 함유 나노입자(140)는 라만활성물질을 진공증착시켜 형성하며, 상기 진공증착은 화학기상증착(CVD), 스퍼터링(sputtering) 및 이베퍼레이션(evaporation) 중 어느 하나를 이용할 수 있으며, 이제 제한되지 않는다.

[0076] 상기 라만활성물질은 초기에는 상기 기판(110) 표면 및 상기 돌기형 구조체(120)에 균일하게 증착되나 증착이 진행됨에 따라 상기 돌기형 구조체(120)의 상부에 집중적으로 증착되는 것일 수 있다. 이는 증착이 진행됨에 따라 돌기형 구조체(120) 상부의 높은 곡률로 인해 상부에 음전하의 축적이 유도되고 양전하를 띤 금속 이온의 증착을 유도할 수 있기 때문이다. 또한, 이러한 불균일한 증착은 이미 증착된 금속 함유 나노입자(140)에 의한 음영효과(shadow effect)에 기인한다. 즉, 기판(110) 표면 부분에는 이미 증착된 금속 함유 나노입자(140)에 가려져 도달하는 라만활성물질의 양이 현저히 감소하게 되어 돌기형 구조체(120)의 상부 부분에 점점 라만활성물질이 보다 더 집중적으로 증착되게 된다.

[0077] 상기 금속은 Au, Ag, Cu, Pt 및 Pd, 및 이의 합금으로 구성된 군에서 선택된 것일 수 있으며, 이에 제한되는 것은 아니다.

[0078] 금속 함유 나노입자(140)는 도 1에 도시된 바와 같이 상부에 집중적으로 형성된 결과 금속 함유 나노입자(140) 간 나노갭을 형성할 수 있으며, 금속 함유 나노입자(140)는 하부의 금속 함유 박막층(134)과도 인접하기 때문에 이 사이에도 나노갭을 형성할 수 있다.

[0079] 도 2는 본 발명의 다른 실시예에 따른 복수의 나노갭을 포함하는 기판을 나타낸 도면이다.

[0080] 도 2를 참조하면, 본 발명의 다른 실시예에 따른 복수의 나노갭을 포함하는 기판은 기판(110), 돌기형 구조체(120), 연속층(130) 및 금속 함유 나노입자(140)를 포함한다.

[0081] 본 발명의 다른 실시예에서는 돌기형 구조체(120)를 형성하기까지는 본 발명의 일실시예와 같고, 이후 금속 함유 나노입자(140)를 증착하게 된다.

[0082] 금속 함유 나노입자(140)를 증착도중 라만활성물질의 증착을 중단하고 무기물 함유 박막층(132), 금속 함유 박막층(134) 및 무기물 함유 박막층(136)을 포함하는 연속층(130)을 증착한다.

[0083] 연속층(130)의 증착 이후 다시 라만활성물질을 증착시켜 금속 함유 나노입자(140)의 형성을 완료한다.

[0084] 본 발명의 다른 실시예에서와 같이 연속층(130)은 금속 함유 나노입자(140)와 별개로 형성할 수도 있으며 금속 함유 나노입자(140) 내부에 형성할 수도 있다.

[0085] 도 3은 본 발명의 일실시예에 따른 복수의 나노갭을 포함하는 기판의 제조과정을 나타낸 도면이다.

[0086] 도 3의 (A) 및 (B) 참조하면, 먼저 기판(110)을 가공하여 상부 돌출곡면을 갖는 서로 이격된 돌기형 구조체(120)를 형성하는 것을 알 수 있다. 돌기형 구조체(120)는 건식 식각을 이용하여 형성할 수 있으며, 이에 제한되지 않는다.

[0087] 도 3의 (C), (D) 및 (E)는 연속층(130)을 순차적으로 형성하는 것을 모식적으로 나타낸다. 연속층(130)은 무기물 함유 박막층(132), 금속 함유 박막층(134) 및 무기물 함유 박막층(136)을 순차적으로 증착하여 형성할 수 있다.

[0088] 도 3의 (F)를 참조하면, 연속층(130)이 증착된 기판(110)에 라만활성물질을 진공증착시켜 금속 함유 나노입자(140)를 형성한 것을 알 수 있다. 라만활성물질은 초기에는 상기 기판(110) 표면 및 돌기형 구조체(120)에 균일하게 증착되나, 시간이 지남에 따라 돌기형 구조체(120)의 상부에 집중적으로 증착된다. 이에 따라, 금속 함유 나노입자(140)는 도 3의 (F)에서 도시된 바과 같이 상부에 구형 또는 타원형으로 형성된 모양을 갖는다.

[0089] 도 4는 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 복수의 나노갭을 포함하는 기판의 제조과정을 나타낸 도면이다.

[0090] 도 4의 (A) 및 (B) 참조하면, 먼저 기판(110)을 가공하여 상부 돌출곡면을 갖는 서로 이격된 돌기형 구조체(120)를 형성하는 것을 알 수 있다. 돌기형 구조체(120)는 건식 식각을 이용하여 형성할 수 있으며, 이에 제한되지 않는다.

[0091] 도 4의 (C) 및 (D)는 연속층(130)을 순차적으로 형성하는 것을 모식적으로 나타낸다. 연속층(130)은 금속 함유 박막층(134) 및 무기물 함유 박막층(136)을 순차적으로 증착하여 형성할 수 있다.

[0092] 도 4의 (E)를 참조하면, 연속층(130)이 증착된 기판(110)에 라만활성물질을 진공증착시켜 금속 함유 나노입자(140)를 형성한 것을 알 수 있다. 라만활성물질은 초기에는 상기 기판(110) 표면 및 돌기형 구조체(120)에 균일하게 증착되나, 시간이 지남에 따라 돌기형 구조체(120)의 상부에 집중적으로 증착된다. 이에 따라, 금속 함유 나노입자(140)는 도 4의 (E)에서 도시된 바과 같이 상부에 구형 또는 타원형으로 형성된 모양을 갖는다.

[0093] 도 5는 본 발명의 일실시예에 따른 금속 함유 박막층(132), 무기물 함유 박막층(134) 및 금속 함유 박막층(136)이 순차적으로 형성된 연속층(130)의 표면 SEM 이미지를 나타낸 도면이다.

[0094] 도 5에서의 연속층(130)은 2분 동안 200W의 RF세기에서 식각된 돌기형 구조체(120)에 증착된 것이다. 연속층(130)은 무기물 함유 박막층(SiO_2 5nm), 금속 함유 박막층(Ag 10nm) 및 무기물 함유 박막층(SiO_2 10nm)로 순차적으로 형성하였다.

[0095] 도 6은 본 발명의 일실시예에 따른 복수의 나노갭을 포함하는 기판의 SEM 이미지를 나타낸 도면이다.

[0096] 도 6에서 연속층(130)은 도 5에서의 연속층(130)과 동일하며, 연속층(130)을 형성한 다음 라만활성물질인 Ag를 80nm로 진공증착하여 금속 함유 나노입자(140)를 형성한 것이다. 도 6을 참조하면, 금속 함유 나노입자(140) 간에 미세한 나노갭이 형성된 것을 관측할 수 있다.

[0097] 도 7은 본 발명의 일실시예에 따른 복수의 나노갭을 포함하는 기판의 반사 스펙트럼을 나타낸 도면이다. 이 때 복수의 나노갭을 포함하는 기판은 도 6에서와 동일한 것을 사용하였다.

[0098] 도 7의 반사 스펙트럼에서는 금속 함유 나노입자(140)간의 나노갭과 무기물 함유 박막을 사이에 둔 금속 간에서 발생하는 나노갭으로 이루어진 복수의 나노갭에서 발생하는 플라즈몬 특성에 의해 400 nm 부근에서 발생하는 광흡수의 결과로써 동일 파장대에서 급격한 광반사 저하 특성이 나타났다.

[0099] 도 8은 본 발명의 일실시예에 따른 복수의 나노갭을 포함하는 기판의 라만 신호 세기의 스펙트럼을 나타낸 도면이다. 이 때 복수의 나노갭을 포함하는 기판은 도 6에서와 동일한 것을 사용하여 벤젠티올(benzenethiol, BT) 용액의 라만 신호의 세기를 측정하였다. 실험 조건은 아래와 같다.

[0100] - 여기 레이저 파장: 514 nm

[0101] - 대물렌즈(objective lens) 배율: 50x

[0102] - 스팟 사이즈(spot size): ~2㎛

[0103] - 파워: 0.5mW

[0104] - 벤젠티올 용액 농도: 에탄올(ethanol) 내 2mmol

[0105] - 노출 시간: 10 sec

[0106] 도 8의 복수의 나노갭을 포함하는 기판으로부터 벤젠티올에 대한 라만 신호가 검출되었다.

[0107] 본 발명의 실시예에 따른 복수의 나노갭을 포함하는 기판은 금속 함유 나노입자(140)간 나노갭을 형성할 뿐만 아니라 금속 함유 나노입자(140)와 연속층(130) 내의 금속 함유 박막층(134) 간에 나노갭이 형성되어 복수의 나노갭이 다수의 핫스팟(hot spots)을 유도함으로써 향상된 플라즈몬 공명의 증폭 효과를 얻을 수 있다.

[0108] 본 출원에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시예를 설명하기 위해 사용된 것으로, 본 발명을 한정하려는 의도가 아니다. 본 출원에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 명세서상에 기재된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.

부호의 설명

[0109] 110: 기판

120: 돌기형 구조체

130: 연속층

132: 무기물 함유 박막층

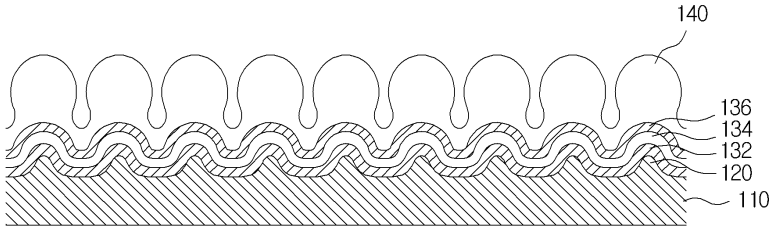
134: 금속 함유 박막층

136: 무기물 함유 박막층

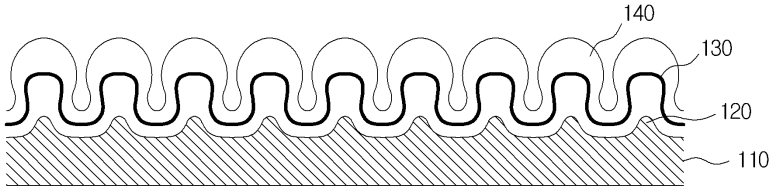
140: 금속 함유 나노입자

도면

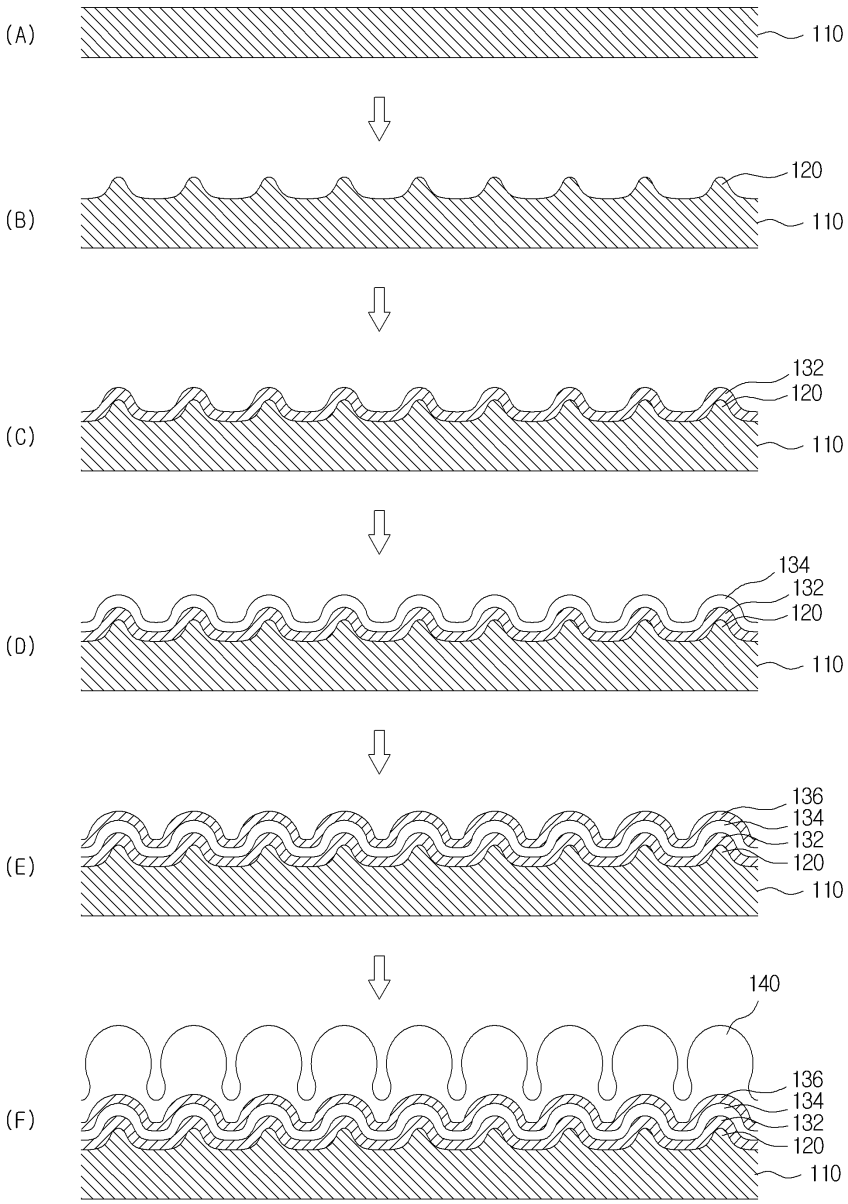
도면1



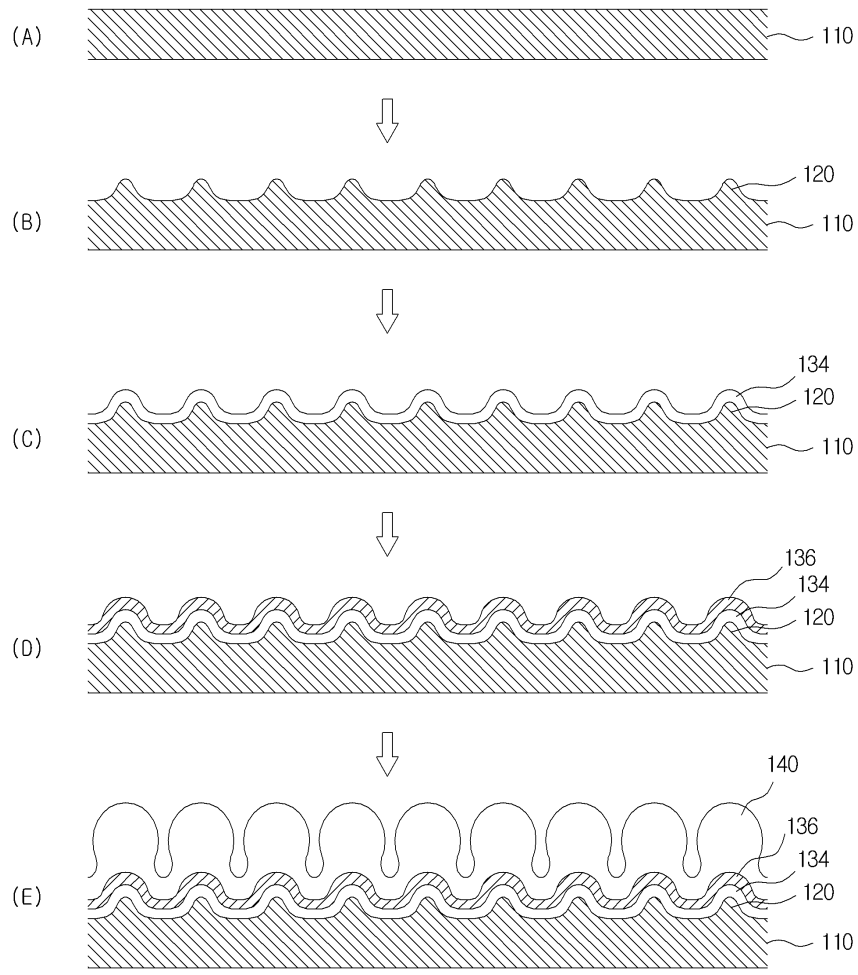
도면2



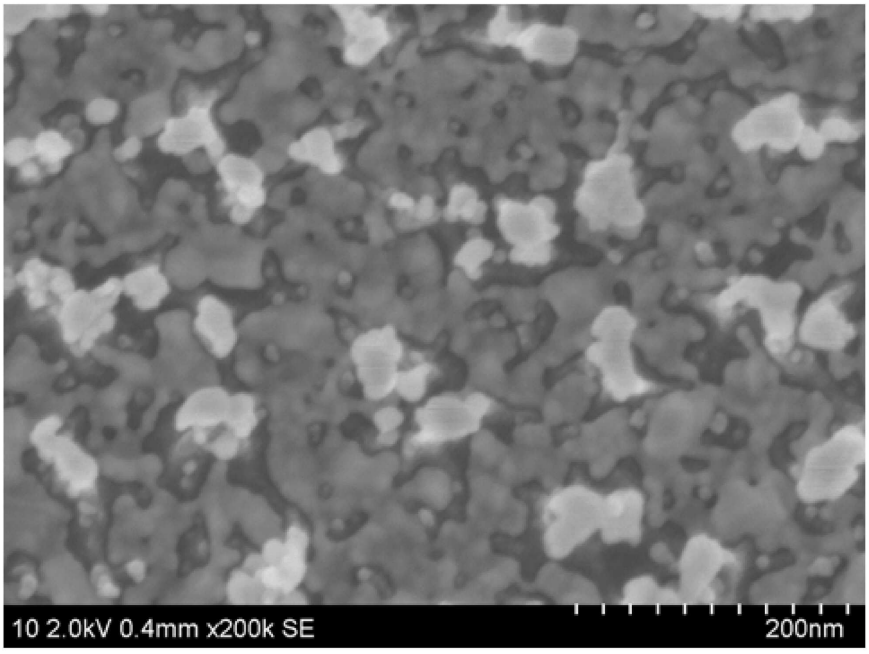
도면3


(A)
110
(B)
120
110
(C)
132
120
110
(D)
134
132
120
110
(E)
136
134
132
120
110
(F)
140
136
134
132
120
110

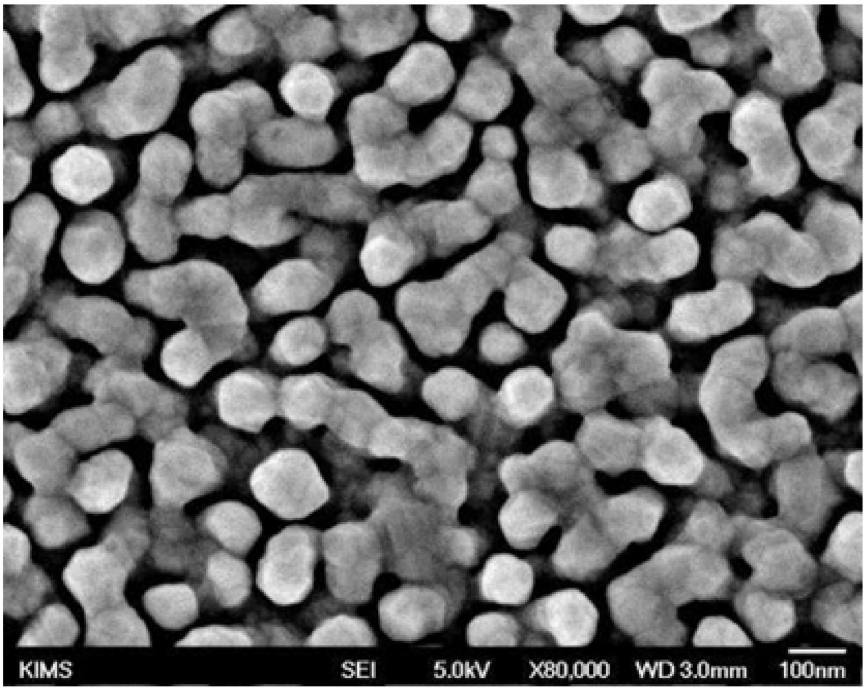
도면4


(A)
110
(B)
120
110
(C)
134
120
110
(D)
136
134
120
110
(E)
140
136
134
120
110

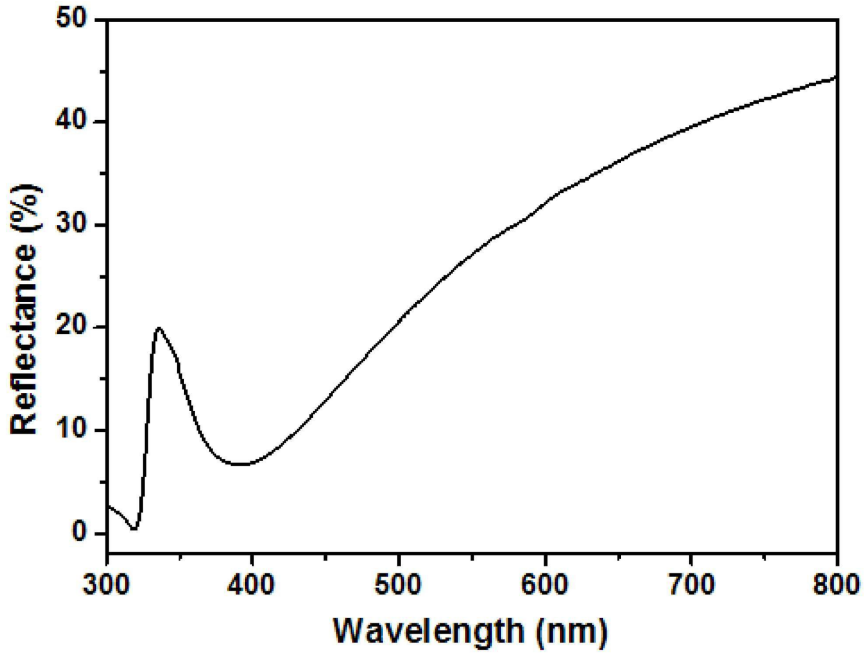
도면5


10 2.0kV 0.4mm x200k SE
200nm

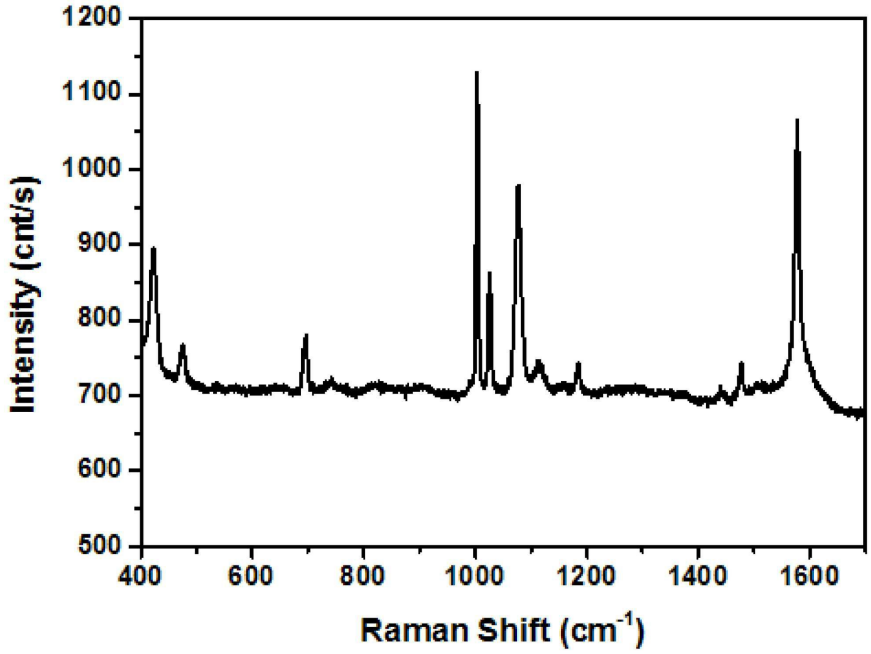
도면6


KIMS
SEI
5.0kV
X80,000
WD 3.0mm
100nm

도면7


Reflectance (%)
0
10
20
30
40
50
300
400
500
600
700
800
Wavelength (nm)

도면8


Intensity (cnt/s)
1200
1100
1000
900
800
700
600
500
400
600
800
1000
1200
1400
1600
Raman Shift (cm-1)