



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2021년07월27일  
(11) 등록번호 10-2281999  
(24) 등록일자 2021년07월21일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
G01N 27/12 (2006.01) G01N 27/30 (2006.01)  
H01L 21/02 (2006.01) H01L 21/324 (2017.01)  
H01L 29/06 (2006.01)

(52) CPC특허분류  
G01N 27/127 (2013.01)  
G01N 27/30 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2019-0082940

(22) 출원일자 2019년07월10일

심사청구일자 2019년07월10일

(65) 공개번호 10-2020-0104205

(43) 공개일자 2020년09월03일

(30) 우선권주장  
1020190022222 2019년02월26일 대한민국(KR)

(56) 선행기술조사문헌  
KR1020180115920 A\*  
KR1020130137441 A\*  
Jae Won Jeong, et al. Adv. Mater. 2016, 28, 8695-8704.\*  
Yuzhang Liang, et al. Scientific Reports. 2017, 7:4357

\*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자  
한국과학기술원  
대전광역시 유성구 대학로 291(구성동)

(72) 발명자  
정연식  
대전광역시 유성구 대학로 291 (구성동, 한국과학기술원)

한혁진  
대전광역시 유성구 대학로 291 (구성동, 한국과학기술원)  
(뒷면에 계속)

(74) 대리인  
양성보

전체 청구항 수 : 총 10 항

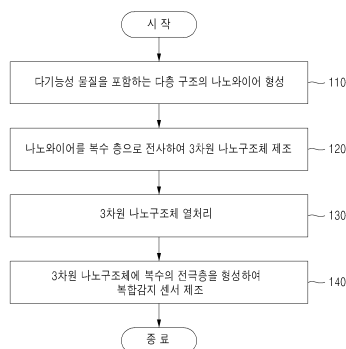
심사관 : 김동원

(54) 발명의 명칭 다기능성 3차원 나노구조체를 이용한 복합감지 센서 및 이의 제조방법

(57) 요약

본 발명은 전기적 및 광학적 멀티모달 센싱 능력을 가지는 다기능성 3차원 나노구조체를 이용한 고민감도 및 고선택성의 복합감지 센서 및 이의 제조방법에 관한 것으로, 다기능성 물질을 포함하는 다층 구조의 나노와이어를 형성하는 단계, 타겟 기관 상에 제1 기능성 물질 및 제2 기능성 물질을 동시에 포함하는 다층 구조의 상기 나노와이어를 복수 층으로 전사하여 3차원 나노구조체를 제조하는 단계, 상기 3차원 나노구조체를 열처리하는 단계 및 상기 열처리된 3차원 나노구조체의 양측에 제1 전극 패턴 및 제2 전극 패턴의 전극층을 형성하여 복합감지 센서를 제조하는 단계를 포함하되, 상기 다층 구조의 나노와이어는 베이스 기관에 형성된 베이스 패턴 상에 상기 제2 기능성 물질, 상기 제1 기능성 물질 및 상기 제2 기능성 물질이 순차적으로 증착되어 형성된다.

대표도 - 도1



- (52) CPC특허분류
  - H01L 21/0226 (2013.01)
  - H01L 21/02603 (2013.01)
  - H01L 21/324 (2013.01)
  - H01L 29/0669 (2013.01)

**이규략**

대전광역시 유성구 대학로 291 (구성동, 한국과학기술원)

- (72) 발명자
  - 조승희**
  - 대전광역시 유성구 대학로 291 (구성동, 한국과학기술원)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	2019000676
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	서울대학교 산학협력단
연구사업명	원천기술개발사업
연구과제명	(EZBARO)초저전력 전자융합 소자 및 응용 시스템(2019)
기 여 율	1/2
과제수행기관명	한국과학기술원
연구기간	2019.01.01 ~ 2019.12.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	-
부처명	KAIST자체연구사업
과제관리(전문)기관명	한국과학기술원
연구사업명	석.박사모험연구사업
연구과제명	3차원 복합 나노구조체 소재 개발을 통한 전기적/광학적 동시 감지 원리 규명 및 고감도/고선택성 멀티모달 센서 구현
기 여 율	1/2
과제수행기관명	한국과학기술원
연구기간	2019.05.01 ~ 2019.12.31

공지예외적용 : 있음

**명세서**

**청구범위**

**청구항 1**

다기능성 물질을 포함하는 다층 구조의 나노와이어를 형성하는 단계;

타겟 기판 상에 제1 기능성 물질 및 제2 기능성 물질을 동시에 포함하는 다층 구조의 상기 나노와이어를 복수층으로 전사하여 3차원 나노구조체를 제조하는 단계;

상기 3차원 나노구조체를 열처리하는 단계; 및

상기 열처리된 3차원 나노구조체의 양측에 제1 전극 패턴 및 제2 전극 패턴의 전극층을 형성하여 복합감지 센서를 제조하는 단계를 포함하되,

상기 나노와이어를 형성하는 단계는

복수의 마스터 패턴이 형성된 마스터 기판 상에 연성 물질을 도포하는 단계;

접착 필름을 이용하여 상기 연성 물질을 상기 마스터 기판으로부터 분리하고, 상기 마스터 패턴의 역상을 갖는 베이스 패턴을 포함하는 베이스 기판을 제조하는 단계;

상기 베이스 패턴 상에 상기 제2 기능성 물질을 증착하는 단계;

상기 제2 기능성 물질 상에 상기 제2 기능성 물질과 다른 특성을 갖는 상기 제1 기능성 물질을 증착하는 단계; 및

상기 제1 기능성 물질 상에 상기 제2 기능성 물질을 증착하여 상기 나노와이어를 형성하는 단계를 포함하며,

상기 3차원 나노구조체를 제조하는 단계는

전기적 반응을 나타내는 상기 제1 기능성 물질과 광학적 반응을 나타내는 상기 제2 기능성 물질을 포함하는 다층 구조의 상기 나노와이어를 상기 타겟 기판 상에 전사하여 상기 3차원 나노구조체를 제조하고,

상기 제1 전극 패턴 및 상기 제2 전극 패턴은 전기적으로 절연되며, 각각 서로 맞물리는(interdigitated) 형태로 형성되는 것을 특징으로 하는, 3차원 나노구조체를 이용한 복합감지 센서의 제조방법.

**청구항 2**

삭제

**청구항 3**

제1항에 있어서,

상기 나노와이어를 형성하는 단계는

상기 제1 기능성 물질의 상단 및 하단에 상기 제2 기능성 물질이 증착된 다층 구조의 상기 나노와이어를 형성하는 것을 특징으로 하는, 3차원 나노구조체를 이용한 복합감지 센서의 제조방법.

**청구항 4**

제1항에 있어서,

상기 3차원 나노구조체를 제조하는 단계는

상기 제1 기능성 물질 및 상기 제2 기능성 물질이 제공된 상기 베이스 기판을 상기 타겟 기판과 접촉시키며, 상기 제1 기능성 물질 및 상기 제2 기능성 물질을 동시에 포함하는 상기 나노와이어를 상기 타겟 기판 상에 전사하여 상기 3차원 나노구조체를 제조하는, 3차원 나노구조체를 이용한 복합감지 센서의 제조방법.

**청구항 5**

삭제

**청구항 6**

제1항에 있어서,

상기 제1 기능성 물질은 산화주석(SnO<sub>2</sub>), 산화아연(ZnO), 텅스텐산화물(WO<sub>3</sub>), 니켈산화물(NiO), 이산화 타이타늄(TiO<sub>2</sub>), 적철광(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), 산화 인듐(In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), 오산화나이오븀(Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), 오산화 탄탈럼(Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), 삼산화몰리브덴(MoO<sub>3</sub>), 산화 구리(CuO), 산화크롬(Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), 산화코발트(Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub>), 바나듐 산화물(V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) 및 사산화삼망간(Mn<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) 중 적어도 어느 하나의 금속산화물 물질이며, 상기 제2 기능성 물질은 금(Au), 은(Ag), 알루미늄(Al), 백금(Pt) 및 구리(Cu) 중 적어도 어느 하나의 플라즈모닉 금속 물질인 것을 특징으로 하는, 3차원 나노구조체를 이용한 복합감지 센서의 제조방법.

**청구항 7**

제1항에 있어서,

상기 나노와이어를 형성하는 단계는

열 증착법(thermal evaporation), 전자빔 증착법(E-beam evaporation) 및 스퍼터링 증착법(RF or DC sputtering) 중 어느 하나를 이용하여 진공 분위기에서 상기 베이스 기판 상에 다층 구조의 상기 나노와이어를 증착하고,

상기 3차원 나노구조체를 제조하는 단계는

다층 구조의 상기 나노와이어가 증착된 상기 베이스 패턴을 상기 타겟 기판과 접촉하여 전사시켜 연속 프린팅을 통해 상기 3차원 나노구조체를 제조하는 것을 특징으로 하는, 3차원 나노구조체를 이용한 복합감지 센서의 제조 방법.

**청구항 8**

제1항에 있어서,

상기 열처리하는 단계는

열처리 공기 분위기의 500℃ 이상의 온도에서 상기 3차원 나노구조체를 열처리하는, 3차원 나노구조체를 이용한 복합감지 센서의 제조방법.

**청구항 9**

삭제

**청구항 10**

삭제

**청구항 11**

타겟 기판;

상기 타겟 기판 상에, 제1 기능성 물질 및 제2 기능성 물질을 동시에 포함하는 다층 구조의 나노와이어를 복수 층으로 전사하여 형성되어 열처리된 3차원 나노구조체; 및

상기 3차원 나노구조체의 양측에 제1 전극 패턴 및 제2 전극 패턴을 포함하여 형성되는 전극층을 포함하되,

상기 다층 구조의 나노와이어는

베이스 기판에 형성된 베이스 패턴 상에 상기 제2 기능성 물질, 상기 제1 기능성 물질 및 상기 제2 기능성 물질이 순차적으로 증착되어 형성되며,

상기 3차원 나노구조체는

상기 타겟 기판 상에 전기적 반응을 나타내는 상기 제1 기능성 물질과 광학적 반응을 나타내는 상기 제2 기능성

물질을 포함하는 다층 구조의 상기 나노와이어를 복수 층으로 전사하여 형성되고,

상기 제1 전극 패턴 및 상기 제2 전극 패턴은 전기적으로 절연되며, 각각 서로 맞물리는(interdigitated) 형태로 형성되는 것을 특징으로 하는, 3차원 나노구조체를 이용한 복합감지 센서.

**청구항 12**

삭제

**청구항 13**

제11항에 있어서,

상기 제1 기능성 물질은 산화주석(SnO<sub>2</sub>), 산화아연(ZnO), 텅스텐산화물(WO<sub>3</sub>), 니켈산화물(NiO), 이산화 타이타늄(TiO<sub>2</sub>), 적철광(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), 산화 인듐(In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), 오산화나이오븀(Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), 오산화 탄탈럼(Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), 삼산화몰리브덴(MoO<sub>3</sub>), 산화 구리(CuO), 산화크롬(Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), 산화코발트(Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub>), 바나듐 산화물(V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) 및 사산화삼망간(Mn<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) 중 적어도 어느 하나의 금속산화물 물질이며, 상기 제2 기능성 물질은 금(Au), 은(Ag), 알루미늄(Al), 백금(Pt) 및 구리(Cu) 중 적어도 어느 하나의 플라즈모닉 금속 물질인 것을 특징으로 하는, 3차원 나노구조체를 이용한 복합감지 센서.

**청구항 14**

제11항에 있어서,

상기 다층 구조의 나노와이어는

열 증착법(thermal evaporation), 전자빔 증착법(E-beam evaporation) 및 스퍼터링 증착법(RF or DC sputtering) 중 어느 하나를 이용하여 진공 분위기에서 상기 베이스 기판 상에 증착되며,

상기 3차원 나노 구조체는

상기 다층 구조의 나노와이어가 형성된 상기 베이스 패턴이 상기 타겟 기판과 접촉하여 전사되어 연속 프린팅에 의해 제조되는 것을 특징으로 하는, 3차원 나노구조체를 이용한 복합감지 센서.

**청구항 15**

제14항에 있어서,

상기 3차원 나노구조체는

열처리 공기 분위기의 500℃ 이상의 온도에서 열처리되는, 3차원 나노구조체를 이용한 복합감지 센서.

**청구항 16**

삭제

**청구항 17**

삭제

**발명의 설명**

**기술 분야**

[0001] 본 발명은 다기능성 3차원 나노구조체를 이용한 복합감지 센서 및 이의 제조방법에 관한 것으로, 보다 상세하게는 전기적 및 광학적 멀티모달(multimodal) 센싱 능력을 가지는 다기능성 3차원 나노구조체를 이용하여 고민감도 및 고선택성의 이상적인 센서를 구현하는 방법에 관한 것이다.

**배경 기술**

[0002] 가스센서는 유독가스가 발생하는 환경에서의 가스 검출, 음식물 부패의 사전 진단, 의료기기 등 다양한 분야에

활용된다. 최근 산업 현장, 폭발물로 인한 테러 감지, 질병진단, 일반 가정생활 등에 이르기까지 다양한 가스의 사용이 폭발적으로 증가하여 가스 센서의 중요성이 크게 부각된다.

[0003] 특히, 기존의 병원에서 진행되는 검진 방법은 일반적으로 고가의 장비를 필요로 하거나, 환자의 혈액이나 조직 채취를 필요로 하여 환자의 불편을 가중시키고, 검진 결과까지 일정 시간이 걸리는 등의 단점이 존재하며, 최근에는 이러한 단점을 극복하기 위해 인체 호흡가스 분석을 이용한 질병 진단에 관련된 연구가 지속적으로 증가하고 있다. 이는 환자에게 편리하고, 저가 진단이 가능하며, 분석결과의 판단 과정 또한 실시간으로 이루어진다는 장점이 존재하기 때문이다.

[0004] GC는 가장 전통적인 가스 분석기로 GC-MS(Gas Chromatography Mass Spectroscopy)를 이용한 인체 호흡가스 분석 장비가 개발되어 임상에 응용되고 있다. GC-MS는 특히 호흡가스 분석 분야에 많은 관심을 불러일으키고, 이 분야의 생생 이래 가장 많은 기여를 해온 분석기기이지만, 가스 분석 과정에서 호흡가스 포집용 봉지를 필요로 하고, 특히 호흡가스와 같이 저농도 분석을 필요로 하는 경우는 농축 시스템이 동반되어야 하는데, 이들 포집용 봉지나 농축시스템은 종종 실험적 에러를 발생시키는 원인이 되기도 한다. 이들 샘플 포집 과정과 농축 시스템 그리고 정량과정에 필요한 캘리브레이션은 GC-MS 기능의 다양성과 성능 향상에 기여를 하였지만, 동시에 전문적 경험과 세심한 주의가 동반되어야 한다는 것이 GC-MS의 주요 단점으로 알려져 있다. 게다가, 가격적인 측면과 분석기기의 부피적인 측면에서도 한계점을 보이기에, 간편하고, 저가 진단이 가능하며, 분석결과의 판단 과정 또한 실시간으로 이루어질 수 있는 새로운 센서가 필요한 시점이다.

[0005] 최근 주목받는 금속산화물 물질을 이용한 가스센서는 유독가스 검출, 대기 유해환경 측정, 실내 공기질 측정 등 다방면에서 사용되고 있으며, 나노구조체를 적용함으로써 초고감도 소재를 개발하여 사람의 호기 속 생체지표(biomarker)를 검출하여 질병을 진단하는 분야에도 활용되고 있다. 다만, 빅데이터(Big data) 처리 기술, 전기 신호 설계 기술, MEMS 기술 등 센서를 구현하는 주변 기술들은 상당히 발전하고 있음에도 불구하고, 금속산화물 물질을 이용한 가스센서의 근본적인 원리가 산화물과 산소이온이 반응하는 것이기에 선택성이 떨어진다는 단점이 존재한다. 이에, 센서 어레이 기술을 이용하여 전술한 단점을 극복하고자 하나, 80%의 정확성을 나타내는 한계점을 보이고 있다.

[0006] 또 다른 기술로는 금속나노구조체의 플라즈모닉 효과를 이용해서 분석하는 방법이다. 이는 각 물질의 고유한 진동 흡수 파장을 보여주기 때문에 선택성이 높은 측정방식이지만, 액체나 고체의 경우를 제외하고 가스의 경우 흡착성이 떨어져서 시간에 따라서 최대 반응까지 시간이 오래 걸리기 때문에 기체의 정량적인 분석을 하기에는 적합하지 않은 분석방법으로 판단되고 있다.

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

[0007] 본 발명의 목적은 고감도 및 고선택성의 복합감지 센서를 구현하여 유해 물질을 전기적, 광학적 방법으로 동시에 감지하는 새로운 개념의 센서를 제공하고자 한다.

[0008] 기존 센서는 다양한 물질에 따른 서로 다른 감지 원리를 이용하여 신호를 감지하며, 기존의 센서 분석 방법에 의하면 다수의 센서에서 정보를 얻어야 보다 정확한 측정이 가능하다. 상기 문제점을 해결하기 위해서는 적어도 두 가지 원리 이상의 계측이 동시에 가능한 복합감지소재의 개발과 이를 이용한 선택성/정량성을 동시에 갖춘 멀티모달 센싱 기술의 개발이 필요하다. 이에, 본 발명의 목적은 감지 가스와 전기전도도의 변화가 발생하는 금속산화물 물질과 표면증강라만산란(Surface-Enhanced Raman Scattering; SERS) 현상에 기반하여 획득되는 물질 고유의 진동 피크(Peak)의 정보를 제공하는 플라즈모닉 금속 물질을 포함하는 3차원적 배열의 나노구조체에 대한 정교한 설계 및 공정적 구현을 통하여 각 물질의 단점을 극복한 다기능성 복합감지소재를 제조하고, 이를 기반으로 고감도 및 고선택성을 동시에 가지는 신개념의 멀티모달 센서를 제공하고자 한다.

[0009] 본 발명을 통한 나노 플라즈모닉 효과에 기반하여 광신호를 극대화하는 금속 나노구조체는 금속산화물 물질과 감지 가스의 반응에 촉매로 작용하여 높은 반응성을 획득하게 해주고, 감지 가스의 고유 분자구조를 나타내는 광학적 신호를 극대화하는 가능성을 제공하여 높은 선택성을 부여한다. 또한, 금속산화물 물질의 경우, 흡착된 감지 가스의 농도에 따라 전기전도도의 변화가 발생되므로, 정량적인 분석이 가능해지고, 금속 나노구조체와 결합하여 단점으로 알려진 열적, 화학적 안정성을 높이는 가능성을 제공한다.

**과제의 해결 수단**

- [0010] 본 발명의 일 실시예에 따른 3차원 나노구조체를 이용한 복합감지 센서의 제조방법은 다기능성 물질을 포함하는 다층 구조의 나노와이어를 형성하는 단계, 타겟 기관 상에 제1 기능성 물질 및 제2 기능성 물질을 동시에 포함하는 다층 구조의 상기 나노와이어를 복수 층으로 전사하여 3차원 나노구조체를 제조하는 단계, 상기 3차원 나노구조체를 열처리하는 단계 및 상기 열처리된 3차원 나노구조체의 양측에 제1 전극 패턴 및 제2 전극 패턴의 전극층을 형성하여 복합감지 센서를 제조하는 단계를 포함하되, 상기 다층 구조의 나노와이어는 베이스 기관에 형성된 베이스 패턴 상에 상기 제2 기능성 물질, 상기 제1 기능성 물질 및 상기 제2 기능성 물질이 순차적으로 증착되어 형성된다.
- [0011] 상기 나노와이어를 형성하는 단계는 복수의 마스터 패턴이 형성된 마스터 기관 상에 연성 물질을 도포하는 단계, 접착 필름을 이용하여 상기 연성 물질을 상기 마스터 기관으로부터 분리하고, 상기 마스터 패턴의 역상을 갖는 상기 베이스 패턴을 포함하는 상기 베이스 기관을 제조하는 단계, 상기 베이스 패턴 상에 상기 제1 기능성 물질을 증착하는 단계 및 상기 제1 기능성 물질 상에 상기 제1 기능성 물질과 다른 특성을 갖는 상기 제2 기능성 물질을 증착하여 상기 나노와이어를 형성하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0012] 상기 나노와이어를 형성하는 단계는 상기 제1 기능성 물질의 상단 및 하단에 상기 제2 기능성 물질이 증착된 다층 구조의 상기 나노와이어를 형성할 수 있다.
- [0013] 상기 3차원 나노구조체를 제조하는 단계는 상기 제1 기능성 물질 및 상기 제2 기능성 물질이 제공된 상기 베이스 기관을 상기 타겟 기관과 접촉시키며, 상기 제1 기능성 물질 및 상기 제2 기능성 물질을 동시에 포함하는 상기 나노와이어를 상기 타겟 기관 상에 전사하여 상기 3차원 나노구조체를 제조할 수 있다.
- [0014] 상기 3차원 나노구조체를 제조하는 단계는 전기적 반응을 나타내는 상기 제1 기능성 물질과 광학적 반응을 나타내는 상기 제2 기능성 물질을 포함하는 다층 구조의 상기 나노와이어를 상기 타겟 기관 상에 전사하여 상기 3차원 나노구조체를 제조할 수 있다.
- [0015] 상기 제1 기능성 물질은 산화주석(SnO<sub>2</sub>), 산화아연(ZnO), 텅스텐산화물(WO<sub>3</sub>), 니켈산화물(NiO), 이산화 타이타늄(TiO<sub>2</sub>), 적철광(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), 산화 인듐(In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), 오산화나이오븀(Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), 오산화 탄탈럼(Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), 삼산화몰리브덴(MoO<sub>3</sub>), 산화 구리(CuO), 산화크롬(Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), 산화코발트(Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub>), 바나듐 산화물(V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) 및 사산화삼망간(Mn<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) 중 적어도 어느 하나의 금속산화물 물질이며, 상기 제2 기능성 물질은 금(Au), 은(Ag), 알루미늄(Al), 백금(Pt) 및 구리(Cu) 중 적어도 어느 하나의 플라즈모닉 금속 물질일 수 있다.
- [0016] 상기 나노와이어를 형성하는 단계는 열 증착법(thermal evaporation), 전자빔 증착법(E-beam evaporation) 및 스퍼터링 증착법(RF or DC sputtering) 중 어느 하나를 이용하여 진공 분위기에서 상기 베이스 기관 상에 다층 구조의 상기 나노와이어를 증착하고, 상기 3차원 나노구조체를 제조하는 단계는 다층 구조의 상기 나노와이어가 증착된 상기 베이스 패턴을 상기 타겟 기관과 접촉하여 전사시켜 연속 프린팅을 통해 상기 3차원 나노구조체를 제조할 수 있다.
- [0017] 상기 열처리하는 단계는 열처리 공기 분위기의 500도 이상의 온도에서 상기 3차원 나노구조체를 열처리할 수 있다.
- [0018] 상기 제1 전극 패턴 및 상기 제2 전극 패턴은 전기적으로 절연되며, 각각 서로 맞물리는(interdigitated) 형태로 형성될 수 있다.
- [0019] 본 발명의 다른 실시예에 따른 3차원 나노구조체를 이용한 복합감지 센서의 제조방법은 복수의 마스터 패턴이 형성된 마스터 기관 상에 연성 물질을 도포하는 단계, 접착 필름을 이용하여 상기 연성 물질을 상기 마스터 기관으로부터 분리하고, 상기 마스터 패턴의 역상을 갖는 베이스 패턴을 포함하는 베이스 기관을 제조하는 단계, 상기 베이스 패턴 상에 제1 기능성 물질을 증착하는 단계, 상기 제1 기능성 물질 상에 상기 제1 기능성 물질과 다른 특성을 갖는 제2 기능성 물질을 증착하여 나노와이어를 형성하는 단계, 타겟 기관 상에 상기 제1 기능성 물질 및 상기 제2 기능성 물질을 동시에 포함하는 다층 구조의 상기 나노와이어를 복수 층으로 전사하여 3차원 나노구조체를 제조하는 단계, 상기 3차원 나노구조체를 열처리하는 단계 및 상기 열처리된 3차원 나노구조체에 전극층을 형성하여 복합감지 센서를 제조하는 단계를 포함한다.
- [0020] 본 발명의 일 실시예에 따른 3차원 나노구조체를 이용한 복합감지 센서는 타겟 기관, 상기 타겟 기관 상에, 제1 기능성 물질 및 제2 기능성 물질을 동시에 포함하는 다층 구조의 나노와이어를 복수 층으로 전사하여 형성되어 열처리된 3차원 나노구조체 및 상기 3차원 나노구조체의 양측에 제1 전극 패턴 및 제2 전극 패턴을 포함하여 형성되는 전극층을 포함하되, 상기 다층 구조의 나노와이어는 베이스 기관에 형성된 베이스 패턴 상에 상기 제2

기능성 물질, 상기 제1 기능성 물질 및 상기 제2 기능성 물질이 순차적으로 증착되어 형성된다.

- [0021] 상기 3차원 나노구조체는 상기 타겟 기판 상에 전기적 반응을 나타내는 상기 제1 기능성 물질 및 상기 제1 기능성 물질과 다른 특성을 갖으며 광학적 반응을 나타내는 상기 제2 기능성 물질을 포함하는 다층 구조의 상기 나노와이어를 복수 층으로 전사하여 형성될 수 있다.
- [0022] 상기 제1 기능성 물질은 산화주석(SnO<sub>2</sub>), 산화아연(ZnO), 텅스텐산화물(WO<sub>3</sub>), 니켈산화물(NiO), 이산화 타이타늄(TiO<sub>2</sub>), 적철광(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), 산화 인듐(In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), 오산화나이오븀(Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), 오산화 탄탈륨(Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), 삼산화몰리브덴(MoO<sub>3</sub>), 산화 구리(CuO), 산화크롬(Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), 산화코발트(Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub>), 바나듐 산화물(V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) 및 사산화삼망간(Mn<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) 중 적어도 어느 하나의 금속산화물 물질이며, 상기 제2 기능성 물질은 금(Au), 은(Ag), 알루미늄(Al), 백금(Pt) 및 구리(Cu) 중 적어도 어느 하나의 플라즈모닉 금속 물질일 수 있다.
- [0023] 상기 다층 구조의 나노와이어는 열 증착법(thermal evaporation), 전자빔 증착법(E-beam evaporation) 및 스퍼터링 증착법(RF or DC sputtering) 중 어느 하나를 이용하여 진공 분위기에서 상기 베이스 기판 상에 증착되며, 상기 3차원 나노 구조체는 상기 다층 구조의 나노와이어가 형성된 상기 베이스 패턴이 상기 타겟 기판과 접촉하여 전사되어 연속 프린팅에 의해 제조될 수 있다.
- [0024] 상기 3차원 나노구조체는 열처리 공기 분위기의 500도 이상의 온도에서 열처리될 수 있다.
- [0025] 상기 전극층은 상기 3차원 나노구조체의 양측에 제1 전극 패턴 및 상기 제2 전극 패턴으로 형성될 수 있다.
- [0026] 상기 제1 전극 패턴 및 상기 제2 전극 패턴은 전기적으로 절연되며, 각각 서로 맞물리는(interdigitated) 형태로 형성될 수 있다.
- [0027] 본 발명의 다른 실시예에 따른 3차원 나노구조체를 이용한 복합감지 센서는 타겟 기판, 상기 타겟 기판 상에 형성되는, 플라즈모닉 금속 물질로 형성된 제1 나노층, 상기 제1 나노층 상에 금속산화물 물질로 형성된 제2 나노층 및 상기 제2 나노층 상에 상기 플라즈모닉 금속 물질로 형성된 제3 나노층을 포함한 나노와이어, 다층 구조의 상기 나노와이어를 복수 층으로 전사하여 형성된 3차원 나노구조체 및 상기 3차원 나노구조체의 양측에 형성되는 전극층을 포함한다.

**발명의 효과**

- [0028] 본 발명의 실시예에 따르면, 전기적, 광학적 센싱 능력을 가지는 다기능성 3차원 나노 구조체를 이용한 고감도 및 고선택성의 복합감지 센서를 제공함으로써, 호기 진단 센서, 테러 방지, 마약 검출 센서, 음식 신선도 측정 센서의 새로운 센서 산업 및 국내외 가스센서의 산업에 효율적으로 적용될 수 있다.
- [0029] 또한, 본 발명의 실시예에 따르면, 전기적 및 광학적 멀티모달 센싱 능력을 가지는 다기능성 3차원 나노구조체를 이용하여 고민감도 및 고선택성의 복합감지 센서를 제공함으로써, 일차원적인 감지원리 기반의 센서가 가지는 한계를 넘어 새로운 감지반응을 유도하고, 특히, 가스센서의 성능향상을 위해 핵심적으로 다루어지고 있는 촉매기능을 기존의 개발된 촉매역할의 활성뿐 아니라, 다차원의 신호를 읽어내는 다기능성 촉매로 적용할 수 있다. 또한, 가스 및 화학물질을 감지하는데 있어 유리한 나노구조체의 제어를 통해 성능을 극대화함으로써, 종래 기술로는 구현하지 못한 차세대 호기 분석용, 마약류 분석용, 음식물 신선도 측정 및 초고감도 유독 물질 검출 센서의 새로운 센서 산업의 방향을 제시할 수 있다.
- [0030] 또한, 본 발명의 실시예에 따르면, 나노구조체의 금속산화물 물질과 플라즈모닉 금속 물질이 결합한 복합감지 센서를 제공함으로써, 화학물질을 감지함에 있어 금속산화물 물질의 전기적 신호와 플라즈모닉 나노구조체에서 증폭된 광학적인 신호를 동시에 감지 가능하며, 종래의 센서와는 다른 구조와 접근 방법을 나타내고, 종래 기술의 한계점이었던 민감성과 선택성을 동시에 포함할 수 있다.

**도면의 간단한 설명**

- [0031] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 3차원 나노구조체를 이용한 복합감지 센서의 제조방법에 대한 흐름도를 도시한 것이다.
- 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 동시에 전기적/광학적 감지가 가능한 복합감지 센서의 개략도를 도시한 것이다.
- 도 3 및 도 4는 본 발명의 실시예에 따른 전기적/광학적 감지가 동시에 가능한 복합감지 센서의 제조방법에 대



한 순서도를 도시한 것이다.

도 5는 본 발명의 실시예에 따른 금속산화물 물질과 플라즈모닉 금속 물질이 동시에 존재하는 복합감지소재의 표면 이미지를 도시한 것이다.

도 6은 본 발명의 실시예에 따른 복합감지 센서에 대한 표면증강라만산란(SERS) 신호 크기의 균일성 및 재현성을 평가한 결과를 도시한 것이다.

도 7은 본 발명의 실시예에 따른 복합감지 센서에 대한 열적 안정성을 평가한 결과를 도시한 것이다.

도 8 및 도 9는 본 발명의 실시예에 따른 복합감지 센서의 검출 특성을 평가한 결과를 도시한 것이다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

- [0032] 이하, 본 발명에 따른 실시예들을 첨부된 도면을 참조하여 상세하게 설명한다. 그러나 본 발명이 실시예들에 의해 제한되거나 한정되는 것은 아니다. 또한, 각 도면에 제시된 동일한 참조 부호는 동일한 부재를 나타낸다.
- [0033] 또한, 본 명세서에서 사용되는 용어(terminology)들은 본 발명의 바람직한 실시예를 적절히 표현하기 위해 사용된 용어들로서, 이는 시청자, 운용자의 의도 또는 본 발명이 속하는 분야의 관례 등에 따라 달라질 수 있다. 따라서, 본 용어들에 대한 정의는 본 명세서 전반에 걸친 내용을 토대로 내려져야 할 것이다.
- [0035] 본 발명의 실시예들은, 복합감지가 가능한 나노와이어의 적층구조를 이용하여 화학물질의 광학적, 전기적 검출이 동시에 가능한 고성능의 센서를 제공하는 것을 그 요지로 한다.
- [0036] 본 발명의 실시예에 따른 복합감지 센서는 플라즈모닉 금속 물질의 흡착물질 진동수 증강효과로 인한 물질 고유의 진동수를 광학적으로 감지하며, 금속산화물 물질 나노와이어의 전기저항에 따른 변화 신호를 감지하여 흡착물질의 정량적인 감지가 동시에 가능하다.
- [0037] 특히, 기존 금속산화물 물질 기반의 센서는 여러 종류의 가스에 대해서 감지가 가능했지만, 감지 원리의 한계점으로 인해서 선택성이 떨어지고, 플라즈모닉 금속 물질의 경우 구조체의 제어의 어려움에 따라서 정량적인 측정이 어렵다는 단점이 존재하였다.
- [0038] 하지만, 금속산화물 물질과 플라즈모닉 금속 물질이 동시에 존재하는 복합감지소재를 제조하면, 감지 원리가 늘어나서 금속산화물 물질의 단점인 선택성이 보완되고, 플라즈모닉 금속 물질의 단점인 정량적 측정이 가능하게 된다. 나아가, 플라즈모닉 금속 물질이 금속산화물 물질에 접함으로 인해 촉매효과가 발생되어 민감도가 증가되며, 플라즈모닉 금속 물질의 경우 금속산화물 물질에 결합하여 구조적 안정성이 확보되는 시너지적인 효과를 나타낸다.
- [0039] 이에, 본 발명에서는 목적을 달성하기 위해서, 전극 패턴 구조를 활용하여 민감성을 향상시킨 금속산화물 물질 기반의 전기적 측정이 가능한 센서소자와 플라즈모닉 금속 물질을 이용하여 광학적 측정이 가능한 센서소자를 하나의 기재 상에 제작함으로써, 각 센서의 한계점을 상호 보완해주는 복합감지 센서를 제조한다.
- [0040] 이러한 본 발명에 대해 도 1 내지 도 9를 참조하여 설명하면 다음과 같다.
- [0042] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 3차원 나노구조체를 이용한 복합감지 센서의 제조방법에 대한 흐름도를 도시한 것이다.
- [0043] 본 발명의 일 실시예에 따른 3차원 나노구조체를 이용한 복합감지 센서의 제조방법은 다층구조의 나노와이어 형성 방법을 이용하여 복합감지가 가능한 3차원 나노구조체를 제작하며, 열처리를 통해 구조적 정화 이후에 전기적 변화를 감지하기 위한 전극을 형성하여 고민감도, 고선택성을 가지는 전기적, 광학적 멀티모달 센서인 복합감지 센서를 구현하는 방법을 제공한다.
- [0044] 도 1을 참조하면, 단계 110에서, 다기능성 물질을 포함하는 다층 구조의 나노와이어를 형성한다.
- [0045] 단계 110은 복합감지를 위한 다층 구조의 나노와이어 형성 방법을 이용하여 나노와이어를 형성하며, 복수의 마스터 패턴이 형성된 마스터 기판 상에 연성 물질을 도포하는 제1 단계, 접착 필름을 이용하여 연성 물질을 마스터 기판으로부터 분리하여, 마스터 패턴의 역상을 갖는 베이스 패턴을 포함하는 베이스 기판을 제조하는 제2 단계, 베이스 패턴 상에 제1 기능성 물질을 증착하는 제3 단계 및 제1 기능성 물질 상에 제1 기능성 물질과 다른 특성을 갖는 제2 기능성 물질을 증착하여 나노와이어를 형성하는 제4 단계를 포함한다.
- [0046] 이 때, 단계 110은 제3 단계 및 제4 단계에서, 제1 기능성 물질의 상단 및 하단에 제2 기능성 물질이 증착된 다

층 구조의 나노와이어를 형성할 수 있다. 여기서, 제1 기능성 물질은 산화주석(SnO<sub>2</sub>), 산화아연(ZnO), 텅스텐 산화물(WO<sub>3</sub>), 니켈산화물(NiO), 이산화 타이타늄(TiO<sub>2</sub>), 적철광(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), 산화 인듐(In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), 오산화나이오븀(Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), 오산화 탄탈럼(Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), 삼산화몰리브덴(MoO<sub>3</sub>), 산화 구리(CuO), 산화크롬(Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), 산화코발트(Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub>), 바나듐 산화물(V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) 및 사산화삼망간(Mn<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) 중 적어도 어느 하나의 전기적 반응을 나타내는 금속산화물 물질이며, 제2 기능성 물질은 금(Au), 은(Ag), 알루미늄(Al), 백금(Pt) 및 구리(Cu) 중 적어도 어느 하나의 광학적 반응을 나타내는 플라즈모닉 금속 물질일 수 있다.

[0047] 또한, 상기 연성 물질은 폴리메틸 메타크릴레이트(polymethyl methacrylate, PMMA), 폴리스타이렌(polystyrene, PS), 폴리비닐피롤리돈(polyvinylpyrrolidone, PVP), P4VP(poly 4-vinyl pyridine) 및 P2VP(poly 2-vinyl pyridine) 중 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다.

[0048] 본 발명의 일 실시 예에 따르면, 상기 마스터 기판 상에 연성 물질을 도포하는 단계는, 스핀 코팅 (spin coating), 딥 코팅 (deep coating) 및 스프레이 코팅 (spray coating)로 이루어진 군 중 어느 하나 이상의 방법으로 도포하여 베이스 기판을 형성할 수 있다.

[0049] 일 실시예로, 적층형의 나노와이어 구조는 금속산화물 물질인 제1 기능성 물질을 중심으로 상단 및 하단에 플라즈모닉 금속 물질인 제2 기능성 물질이 증착된 형태일 수 있다. 보다 구체적으로, 본 발명의 일 실시예에 따른 나노와이어는 베이스 패턴의 일면에 금(Au), 은(Ag), 알루미늄(Al), 백금(Pt) 및 구리(Cu)으로 이루어진 군에서 선택된 하나 이상의 금속인 제2 기능성 물질이 증착되고, 제2 기능성 물질의 상단에 산화주석(SnO<sub>2</sub>), 산화아연(ZnO), 텅스텐산화물(WO<sub>3</sub>), 니켈산화물(NiO), 이산화 타이타늄(TiO<sub>2</sub>), 적철광(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), 산화 인듐(In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), 오산화나이오븀(Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), 오산화 탄탈럼(Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), 삼산화몰리브덴(MoO<sub>3</sub>), 산화 구리(CuO), 산화크롬(Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), 산화코발트(Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub>), 바나듐 산화물(V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) 및 사산화삼망간(Mn<sub>3</sub>O<sub>4</sub>)으로 이루어진 군에서 선택된 하나 이상의 물질인 제1 기능성 물질이 증착되며, 제1 기능성 물질의 상단에 더 많은 플라즈모닉 접점을 만들기 위해서 다시 플라즈모닉 금속 물질인 제2 기능성 물질이 같은 방식으로 증착된 형태일 수 있다.

[0050] 이 때, 플라즈모닉 금속 물질인 제2 기능성 물질로 형성된 층은 1nm 내지 10nm의 두께를 가질 수 있으며, 금속산화물 물질인 제1 기능성 물질로 형성된 층은 5nm 내지 30nm의 두께를 가질 수 있다. 플라즈모닉 금속 물질은 흡착된 물질의 광학적 특성을 알기 위한 것이고, 금속산화물 물질은 흡착된 물질의 정량적 측정을 위한 전기적 채널을 형성하기 위한 것이다.

[0051] 여기서, 단계 110은 열 증착법(thermal evaporation), 전자빔 증착법(E-beam evaporation) 및 스퍼터링 증착법(RF or DC sputtering) 중 어느 하나를 이용하여 진공 분위기에서 베이스 패턴 상에 다층 구조의 나노와이어를 증착할 수 있다. 이 때, 단계 120은 전자빔 증착법으로 1A/s 이상의 속도로 나노와이어를 증착할 수 있다.

[0052] 단계 120에서, 타겟 기판 상에 나노와이어를 복수 층으로 전사하여 3차원 나노구조체를 제조한다.

[0053] 단계 120은 단계 110을 통해서 제1 기능성 물질 및 제2 기능성 물질이 제공된 다층 구조의 나노와이어가 있는 베이스 패턴을 타겟 기판과 접촉시키며, 제1 기능성 물질 및 제2 기능성 물질을 동시에 포함하는 나노와이어를 타겟 기판 상에 전사하고 이를 반복하여 3차원 나노구조체를 제조할 수 있다. 단계 120은 전기적 반응을 나타내는 제1 기능성 물질과 광학적 반응을 나타내는 제2 기능성 물질을 포함하는 다층 구조의 나노와이어를 타겟 기판 상에 전사하여 3차원 나노구조체를 제조할 수 있다.

[0054] 예를 들면, 단계 120은 다층 구조의 나노와이어를 복수 층으로 적층하기 위해, 다층 구조의 나노와이어가 증착된 베이스 패턴을 유기 용매를 이용하여 접착력을 약화시켜서 타겟 기판과 접촉시켜 전사시키고, 연속 프린팅을 통해 3차원 나노구조체를 제조할 수 있다.

[0055] 상기 예에 대해 보다 구체적으로 설명하자면, 본 발명의 일 실시예에 따른 3차원 나노구조체를 이용한 복합감지 센서의 제조방법은 유기 용매 증기를 이용하여 베이스 패턴과 접착 필름인 베이스 기판의 접착력을 약화시킨다. 예를 들어, 챔버 내에 유기 용매를 채우고, 용기의 뚜껑(또는 챔버의 차단부)에 나노와이어가 형성된 베이스 패턴이 아래로 향하도록 접착 필름을 붙인 후, 뚜껑을 닫음으로써, 밀폐된 챔버 내로 유기 용매로부터 기화된 증기를 형성할 수 있다. 이후, 10초 내지 60초의 기 설정된 시간동안 증착된 유기 용매의 증기는 베이스 패턴과 베이스 기판인 접착 필름의 계면 사이의 분리 에너지를 감소시킴으로써, 타겟 기판과 1초 내지 5초간 접촉하는 경우, 쉽게 전사가 가능하다.

[0056] 이 때, 유기 용매는 단일 용매 또는 이성분 이상의 성분을 포함하는 혼합 용매 내에서 진행될 수 있다. 예를 들면, 유기 용매는 아세톤, 톨루엔, 헵탄(Heptane), IPA 또는 에탄올일 수 있다.

- [0057] 전술한 바에 의해 베이스 기판인 접착 필름과 분리된 나노와이어가 형성된 베이스 패턴과 타겟 기판의 접촉으로 나노와이어는 타겟 기판 상에 전사되고, 유기 용매를 이용하여 베이스 기판 상의 잔여 물질을 씻어낼 수 있다. 본 발명의 일 실시예에서 활용한 폴리메틸 메타크릴레이트(Poly(methyl methacrylate), PMMA)의 베이스 패턴은 톨루엔, 아세톤 또는 혼합 용매에 의해 잔여 물질이 제거될 수 있다.
- [0058] 이 때, 상기 타겟 기판은 실리콘(Si), 석영(quartz), 알루미늄(Al2O3)로 이루어진 군에서 선택되는 하나 이상의 물질을 포함할 수 있다. 보다 구체적으로, 상기 타겟 기판은 3차원 나노구조체를 지지할 수 있는 비전도성 또는 전도성의 기판일 수 있으며, 실리콘의 전도성 물질 및 유리, 석영의 비전도성 물질을 포함할 수 있다.
- [0059] 본 발명의 일 실시예에 따른 3차원 나노구조체를 이용한 복합감지 센서의 제조방법에서 사용된 기술은 유기 용매 증기에 의한 접촉력 제어에 기인한 전사 원리이기 때문에, 접촉층이나 전처리 없이도 프린팅이 가능하며, 연속 프린팅을 통해 3차원 나노구조체를 제작할 수 있다.
- [0060] 즉, 단계 120은 다층 구조의 나노와이어 형성 방법을 이용하여 나노와이어를 반복적으로 전사하여 3차원 나노구조체를 제조한다. 이에 따라, 금속산화물 물질에 따른 전기적 변화와, 금속의 3차원 나노구조체에 흡착된 목표 가스의 광학적 진동이 증폭되어 전기적 변화와 광학적 특성의 변화가 동시에 일어나게 되고, 이를 통해 본 발명의 일 실시예에 따른 복합감지 센서는 동시에 광학적/전기적 감지가 가능하다. 또한, 본 발명의 일 실시예에 따른 복합감지 센서는 3차원 나노구조체의 다층 구조에서 발생하는 0차원 접점에서 전기적, 광학적 신호의 증폭 효과를 나타낼 수 있다.
- [0061] 단계 130에서, 3차원 나노구조체를 열처리한다. 단계 130은 열처리 공기 분위기의 500도 이상의 온도에서, 3차원 나노구조체를 열처리할 수 있다.
- [0062] 단계 130은 500도 이상의 온도에서 1시간 내지 6시간 동안 3차원 나노구조체를 가열하여 나노구조체 형성을 마무리할 수 있다. 본 발명의 일 실시예에 따른 3차원 나노구조체를 이용한 복합감지 센서의 제조방법은 전술한 열처리를 통하여 금속산화물 물질의 안정화와 플라즈모닉 금속 물질을 나노파티클로 변화시켜 3차원 나노구조체의 광학적 특성을 극대화할 수 있다.
- [0063] 단계 140에서, 열처리된 3차원 나노구조체에 전극층을 형성하여 복합감지 센서를 제조한다.
- [0064] 단계 140은 열처리된 3차원 나노구조체의 양측에 제1 전극 패턴 및 제2 전극 패턴의 전극층을 형성할 수 있다. 이 때, 제1 전극 패턴 및 제2 전극 패턴은 전기적으로 절연되며, 각각 서로 맞물리는(interdigitated) 형태로 형성될 수 있다.
- [0065] 예를 들면, 전극층은 제1 전극 패턴 및 제2 전극 패턴인 2개의 전극 패턴으로 이루어져 있으며, 제1 전극 패턴 및 제2 전극 패턴은 전기적으로 절연되어 있고, 각각 서로 맞물리는(interdigitated) 전극 패턴을 형성한다. 도 2에 도시된 바와 같이, 전극층에서 어느 한쪽의 전극 패턴(A 또는 B)이 제1 전극 패턴이 되고, 나머지 전극 패턴이 제2 전극 패턴이 될 수 있다.
- [0067] 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 동시에 전기적/광학적 감지가 가능한 복합감지 센서의 개략도를 도시한 것이다.
- [0068] 도 2를 참조하면, 본 발명의 실시예에 따른 복합감지 센서는 금속산화물 물질 및 플라즈모닉 금속 물질을 이용하여 가스 및 화학물질에 대한 전기적 반응 및 광학적 반응을 동시에 감지할 수 있다.
- [0070] 도 3 및 도 4는 본 발명의 실시예에 따른 전기적/광학적 감지가 동시에 가능한 복합감지 센서의 제조방법에 대한 순서도를 도시한 것이다.
- [0071] 보다 상세하게는, 도 3은 본 발명의 실시예에 따른 적층구조의 나노와이어를 제조하는 방법에 대한 순서도를 나타내고, 도 4는 본 발명의 실시예에 따른 3차원 나노구조체를 제조하는 방법에 대한 순서도를 나타낸다.
- [0072] 도 3을 참조하면, 본 발명의 실시예에 따른 3차원 나노구조체를 이용한 복합감지 센서의 제조방법은 복수의 마스터 패턴(310)이 형성된 마스터 기판 상에 연성 물질을 도포하고, 접착 필름을 이용해서 연성 물질을 마스터 기판으로부터 분리하여 마스터 패턴(310)의 역상을 갖는 베이스 패턴(320)을 포함하는 베이스 기판(330)을 제조한다. 이후에, 본 발명은 베이스 기판(330)에 포함되는 베이스 패턴(320) 상에 금(Au), 은(Ag), 알루미늄(Al), 백금(Pt) 및 구리(Cu) 중 적어도 어느 하나의 플라즈모닉 금속 물질인 제2 기능성 물질(①), 산화주석(SnO2), 산화아연(ZnO), 텅스텐산화물(WO3), 니켈산화물(NiO), 이산화 타이타늄(TiO2), 적철광(Fe2O3), 산화 인듐(In2O3), 오산화나이오븀(Nb2O5), 오산화 탄탈륨(Ta2O5), 삼산화몰리브덴(MoO3), 산화 구리(CuO), 산화크롬

(Cr2O3), 산화코발트(Co3O4), 바나듐 산화물(V2O5) 및 사산화삼망간(Mn3O4) 중 적어도 어느 하나의 금속산화물 물질인 제1 기능성 물질(②), 금(Au), 은(Ag), 알루미늄(Al), 백금(Pt) 및 구리(Cu) 중 적어도 어느 하나의 플라즈모닉 금속 물질인 제2 기능성 물질(③)을 순차적으로 증착(340)하여 다층 구조의 나노와이어를 제조한다.

- [0073] 즉, 본 발명의 실시예에 따른 나노와이어는 제2 기능성 물질, 제1 기능성 물질 및 제2 기능성 물질이 순차적으로 적층된 다층 구조의 형태를 나타낸다.
- [0074] 도 4를 참조하면, 도 3에 도시된 나노와이어 제조방법에 의해 베이스 패턴(320) 상에 다층 구조의 나노와이어(410)가 형성된다.
- [0075] 본 발명의 실시예에 따른 3차원 나노구조체를 이용한 복합감지 센서의 제조방법은 베이스 패턴(320) 상에 제1 기능성 물질 및 제2 기능성 물질이 제공된 베이스 기판(330)을 베이스 패턴(320) 방향으로 타겟 기판(420)과 접촉시키고, 베이스 기판(330) 및 베이스 기판(330)에 결합된 베이스 패턴(320)을 제거하여 제1 기능성 물질 및 제2 기능성 물질을 동시에 포함하는 나노와이어(410)를 타겟 기판(420) 상에 전사할 수 있다. 이에, 본 발명의 실시예에 따른 3차원 나노구조체를 이용한 복합감지 센서의 제조방법은 타겟 기판(420) 상에 나노와이어(420)를 복수 층으로 전사하여 3차원 나노구조체(430)를 제조한다. 이 때, 본 발명은 도 4에 도시된 바와 같이, 타겟 기판(420) 상에 나노와이어(420)를 격자 형태의 복수 층으로 전사하여 3차원 나노 구조체(430)를 제조할 수 있다.
- [0076] 이후에, 본 발명의 실시예에 따른 3차원 나노구조체를 이용한 복합감지 센서의 제조방법은 3차원 나노구조체(430)를 열처리하며, 열처리를 통해 금속산화물 물질(제1 기능성 물질)의 안정화와 플라즈모닉 금속 물질(제2 기능성 물질)을 나노파티클로 변화시켜 3차원 나노구조체(430)의 광학적 특성을 극대화할 수 있다.
- [0078] 도 5는 본 발명의 실시예에 따른 금속산화물 물질과 플라즈모닉 금속 물질이 동시에 존재하는 복합감지소재의 표면 이미지를 도시한 것이다.
- [0079] 보다 상세하게는, 도 5는 투과전자현미경(Transmission Electron Microscope; TEM)을 이용하여 금속산화물 물질과 플라즈모닉 금속 물질이 동시에 존재하는 복합감지소재의 표면 이미지를 도시한 것이다.
- [0080] 도 5를 참조하면, 투과전자현미경을 이용하여 획득된 이미지를 통해 플라즈모닉 금속 물질인 금(Au)은 나노스피어 형태를 나타내고, 금속산화물 물질인 산화주석(SnO2)은 나노와이어 형태를 이루는 것을 확인할 수 있다. 나아가, 산화주석은 50nm의 폭과 20nm의 두께를 이루고 있고, 금은 지름이 5nm 내지 7nm 크기를 가지는 것을 확인할 수 있다.
- [0082] 도 6은 본 발명의 실시예에 따른 복합감지 센서에 대한 표면증강라만산란(SERS) 신호 크기의 균일성 및 재현성을 평가한 결과를 도시한 것이다.
- [0083] 보다 상세하게는, 도 6은 본 발명의 실시예에 따른 복합감지 센서에 대해 무작위로 선택한 지점에서 반복하여 신호를 검출하였을 때의 신호세기를 나타낸 것이다.
- [0084] 도 6을 참조하면, 본 발명의 실시예에 따른 복합감지 센서에서 무작위 지점을 선택하여 광학신호를 검출한 결과, 복합감지 센서로부터 검출된 표면증강라만산란(Surface-Enhanced Raman Scattering; SERS) 신호는 각 지점마다 낮은 편차로 비교적 균일한 세기의 신호를 나타냄과 동시에, 반복하여 신호를 검출하여 평가하였을 때에도 높은 재현성을 나타내는 것을 확인할 수 있다.
- [0086] 도 7은 본 발명의 실시예에 따른 복합감지 센서에 대한 열적 안정성을 평가한 결과를 도시한 것이다.
- [0087] 보다 상세하게는, 도 7은 본 발명의 실시예에 따른 복합감지 센서에서 무작위 지점을 선택하여 광학신호를 검출함으로써, 제조된 복합감지소재의 시너지적 효과 중 산화물 지지대로 인한 열적 안정성을 평가한 결과를 나타낸 것이다.
- [0088] 도 7의 (1)비교예는 일반적인 나노구조체를 200도의 온도에서 30분 동안 열처리한 결과, 구조적 변화에 대해 주사전자현미경으로 관찰한 이미지를 나타낸다. 또한, 도 7의 (2)실시예는 본 발명의 실시예에 따른 3차원 나노구조체를 500도의 온도에서 30분 동안 열처리후 측정된 광학적 신호로 열적 안정성에 대한 결과 그래프를 나타낸다.
- [0089] 도 7을 참조하면, 본 발명의 실시예에 따른 산화물 지지체를 가지는 3차원 나노구조체는 일반적인 나노구조체에 비해 500도의 온도에서 30분 즉, 5번의 열처리를 반복함에 있어서도 비교적 균일한 세기의 광학적 신호를 나타

내는 것을 확인할 수 있다.

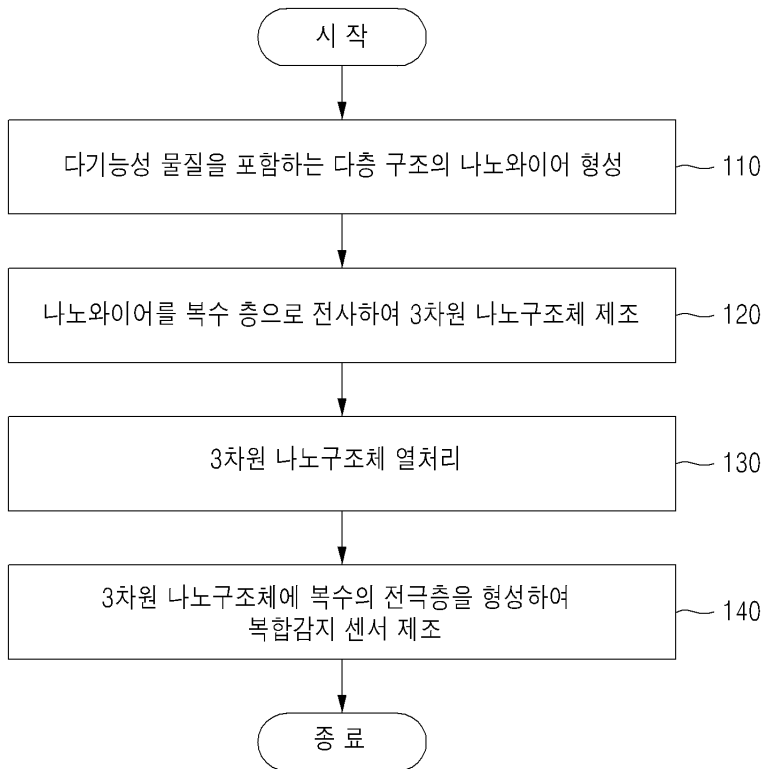
- [0091] 도 8 및 도 9는 본 발명의 실시예에 따른 복합감지 센서의 검출 특성을 평가한 결과를 도시한 것이다.
- [0092] 복합감지 센서로써 활용되기 위해서는 각각의 전기적, 광학적 신호가 다른 감지 물질에서도 정량적으로 측정이 가능하고 표적 분자의 종류를 구분해낼 수 있어야 한다.
- [0093] 도 8을 참조하면, 본 발명의 실시예에 따른 복합감지 센서는 ppm 수준의 극미량의 표적 분자를 농도별 및 종류별로 검출하는 것을 확인할 수 있다. 나아가, 도 9를 참조하면, 본 발명의 실시예에 따른 복합감지 센서는 혼합기체에서도 비율에 따라서 표적 분자를 선택적으로 구분할 수 있는 것으로 예상할 수 있다.
- [0094] 즉, 도 8 및 도 9를 참조하면, 본 발명의 실시예에 따른 복합감지 센서는 미량 조건에서도 표적 분자의 정량적 및 선택적 검출이 가능함을 알 수 있다.
- [0096] 이상과 같이 실시예들이 비록 한정된 실시예와 도면에 의해 설명되었으나, 해당 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 상기의 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다. 예를 들어, 설명된 기술들이 설명된 방법과 다른 순서로 수행되거나, 및/또는 설명된 시스템, 구조, 장치, 회로 등의 구성요소들이 설명된 방법과 다른 형태로 결합 또는 조합되거나, 다른 구성요소 또는 균등물에 의하여 대치되거나 치환되더라도 적절한 결과가 달성될 수 있다.
- [0098] 그러므로, 다른 구현들, 다른 실시예들 및 특허청구범위와 균등한 것들도 후술하는 특허청구범위의 범위에 속한다.

**부호의 설명**

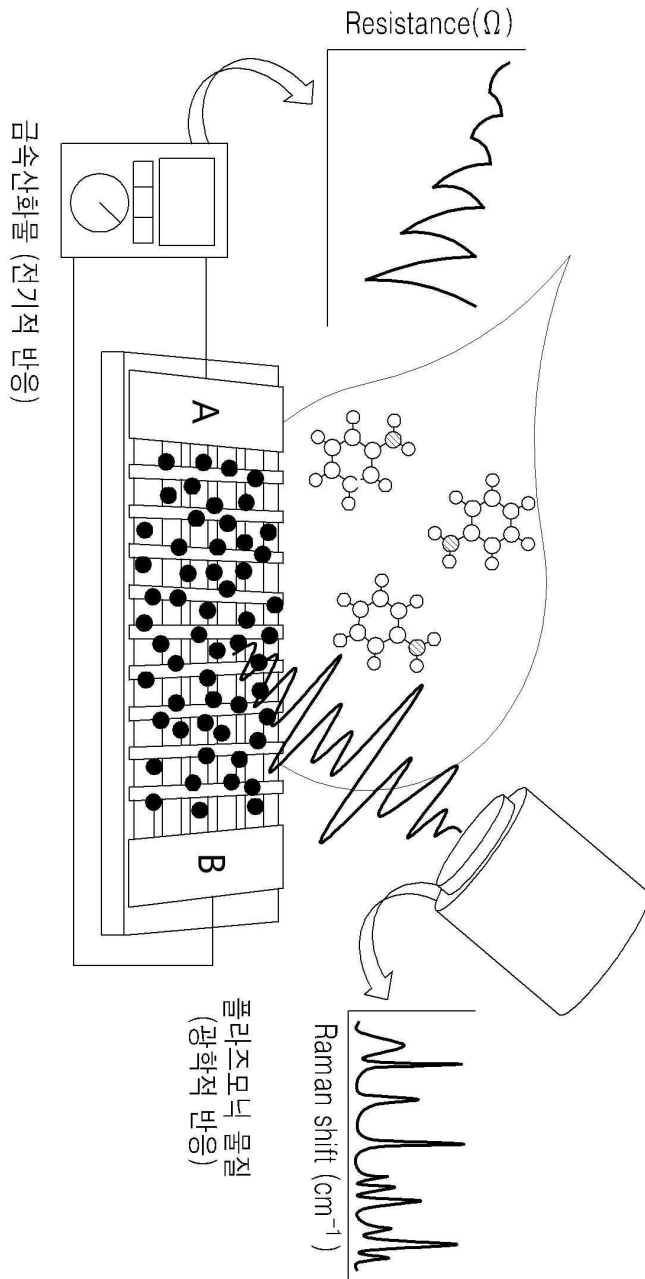
- [0100] 310: 마스터 패턴
- 320: 베이스 패턴
- 330: 베이스 기관
- 340: 순차적 증착
- 410: 나노와이어
- 420: 타겟 기관
- 430: 3차원 나노구조체

도면

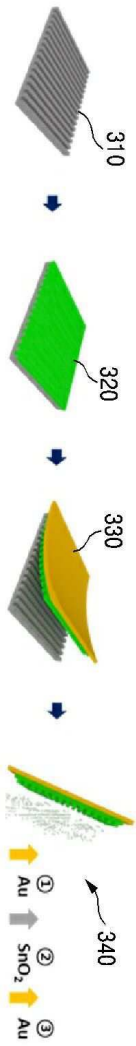
도면1



도면2

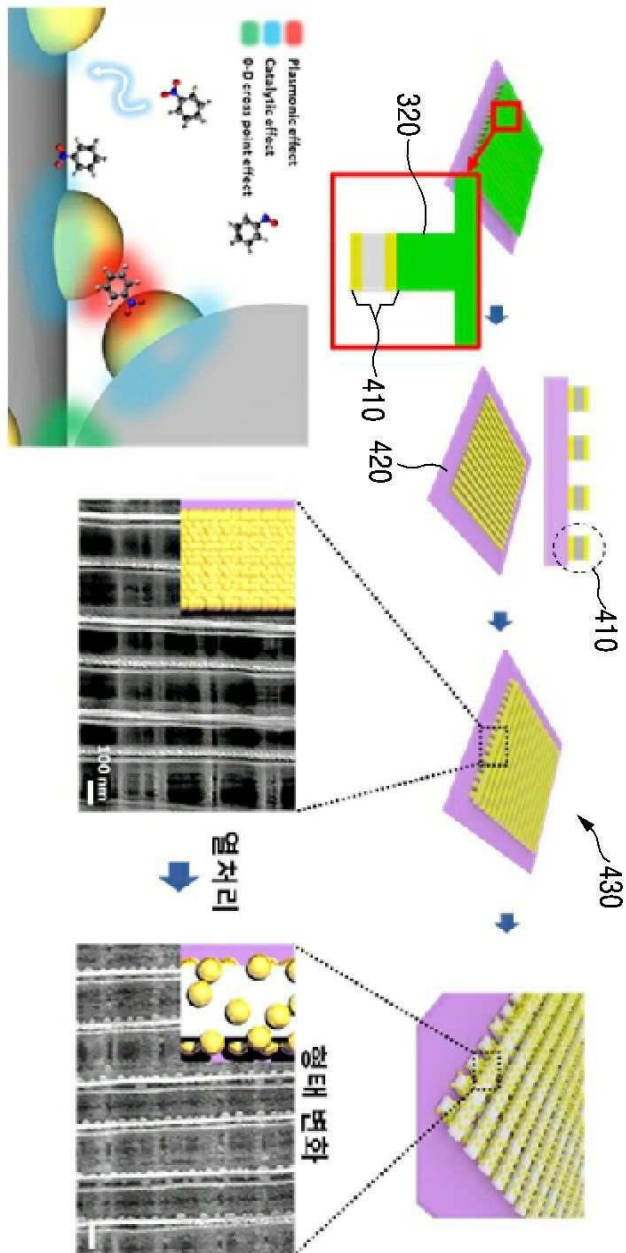


도면3

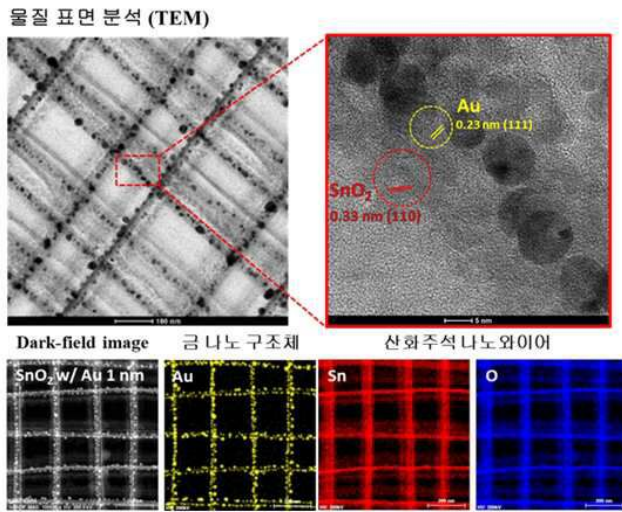




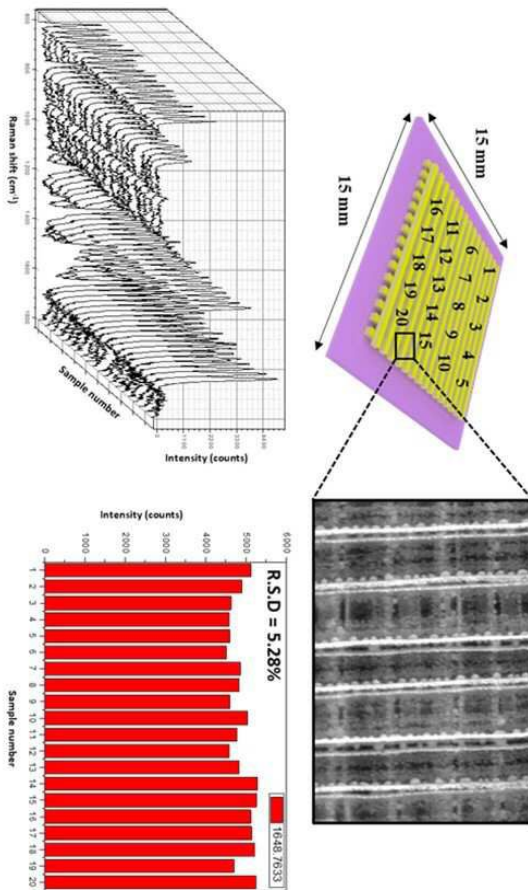
도면4



도면5

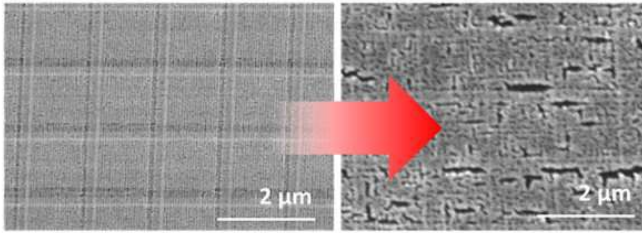


도면6

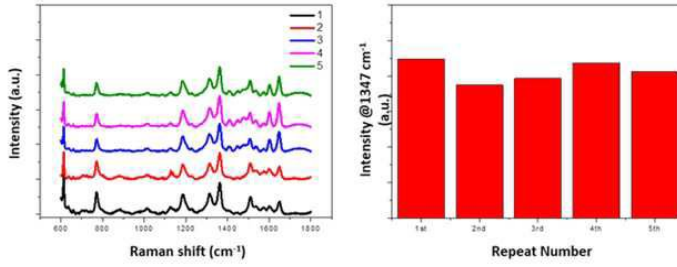


도면7

(1) 비교예: 기존 나노구조체의 열적 불안정성

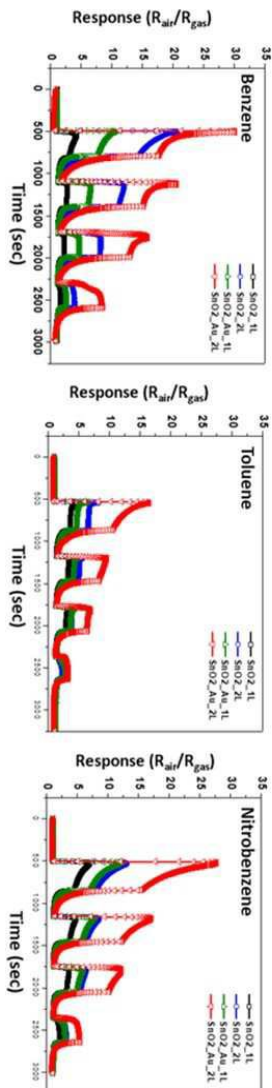


(2) 실시예: 산화물 지지체에 의한 열 안정성 증가 효과

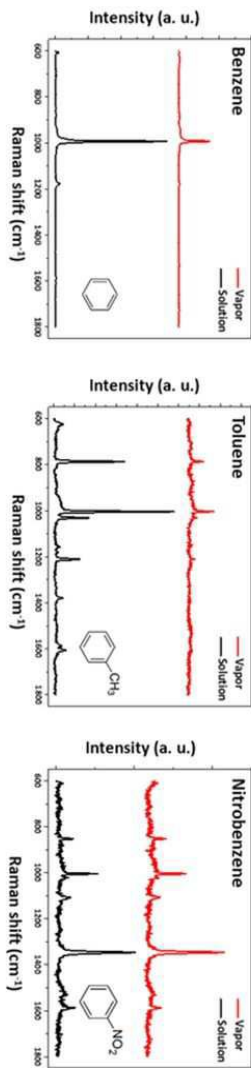


도면8

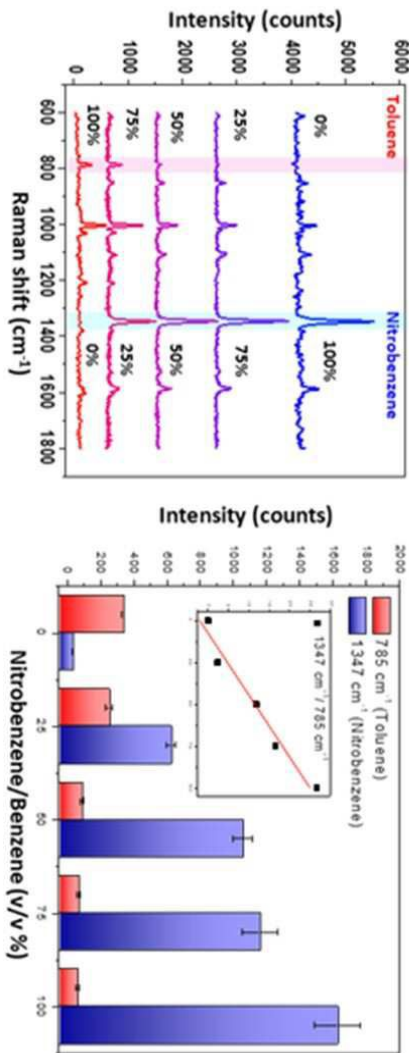
(1) 금속산화물의 감지 능력



(2) 플라즈마 처리된 물질의 감지 능력



도면9



감지 물질의 혼합 상태에서의 분석 능력

【심사관 직권보정사항】

【직권보정 1】

【보정항목】 청구범위

【보정세부항목】 청구항 1

【변경전】

다기능성 물질을 포함하는 다층 구조의 나노와이어를 형성하는 단계;

타겟 기관 상에 제1 기능성 물질 및 제2 기능성 물질을 동시에 포함하는 다층 구조의 상기 나노와이어를 복수층으로 전사하여 3차원 나노구조체를 제조하는 단계;

상기 3차원 나노구조체를 열처리하는 단계; 및

상기 열처리된 3차원 나노구조체의 양측에 제1 전극 패턴 및 제2 전극 패턴의 전극층을 형성하여 복합감지 센서를 제조하는 단계를 포함하되,

상기 나노와이어를 형성하는 단계는

복수의 마스터 패턴이 형성된 마스터 기관 상에 연성 물질을 도포하는 단계;

접착 필름을 이용하여 상기 연성 물질을 상기 마스터 기관으로부터 분리하고, 상기 마스터 패턴의 역상을 갖는 상기 베이스 패턴을 포함하는 상기 베이스 기관을 제조하는 단계;

상기 베이스 패턴 상에 상기 제2 기능성 물질을 증착하는 단계;

상기 제2 기능성 물질 상에 상기 제2 기능성 물질과 다른 특성을 갖는 상기 제1 기능성 물질을 증착하는 단계;  
및

상기 제1 기능성 물질 상에 상기 제2 기능성 물질을 증착하여 상기 나노와이어를 형성하는 단계를 포함하며,  
상기 3차원 나노구조체를 제조하는 단계는

전기적 반응을 나타내는 상기 제1 기능성 물질과 광학적 반응을 나타내는 상기 제2 기능성 물질을 포함하는 다  
층 구조의 상기 나노와이어를 상기 타겟 기판 상에 전사하여 상기 3차원 나노구조체를 제조하고,

상기 제1 전극 패턴 및 상기 제2 전극 패턴은 전기적으로 절연되며, 각각 서로 맞물리는(interdigitated)  
형태로 형성되는 것을 특징으로 하는, 3차원 나노구조체를 이용한 복합감지 센서의 제조방법.

**【변경후】**

다기능성 물질을 포함하는 다층 구조의 나노와이어를 형성하는 단계;

타겟 기판 상에 제1 기능성 물질 및 제2 기능성 물질을 동시에 포함하는 다층 구조의 상기 나노와이어를 복수  
층으로 전사하여 3차원 나노구조체를 제조하는 단계;

상기 3차원 나노구조체를 열처리하는 단계; 및

상기 열처리된 3차원 나노구조체의 양측에 제1 전극 패턴 및 제2 전극 패턴의 전극층을 형성하여 복합감지 센서  
를 제조하는 단계를 포함하되,

상기 나노와이어를 형성하는 단계는

복수의 마스터 패턴이 형성된 마스터 기판 상에 연성 물질을 도포하는 단계;

접착 필름을 이용하여 상기 연성 물질을 상기 마스터 기판으로부터 분리하고, 상기 마스터 패턴의 역상을 갖는  
베이스 패턴을 포함하는 베이스 기판을 제조하는 단계;

상기 베이스 패턴 상에 상기 제2 기능성 물질을 증착하는 단계;

상기 제2 기능성 물질 상에 상기 제2 기능성 물질과 다른 특성을 갖는 상기 제1 기능성 물질을 증착하는 단계;  
및

상기 제1 기능성 물질 상에 상기 제2 기능성 물질을 증착하여 상기 나노와이어를 형성하는 단계를 포함하며,  
상기 3차원 나노구조체를 제조하는 단계는

전기적 반응을 나타내는 상기 제1 기능성 물질과 광학적 반응을 나타내는 상기 제2 기능성 물질을 포함하는 다  
층 구조의 상기 나노와이어를 상기 타겟 기판 상에 전사하여 상기 3차원 나노구조체를 제조하고,

상기 제1 전극 패턴 및 상기 제2 전극 패턴은 전기적으로 절연되며, 각각 서로 맞물리는(interdigitated)  
형태로 형성되는 것을 특징으로 하는, 3차원 나노구조체를 이용한 복합감지 센서의 제조방법.