



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2020년11월10일

(11) 등록번호 10-2176988

(24) 등록일자 2020년11월04일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
G01N 27/407 (2006.01) C23C 18/12 (2006.01)(52) CPC특허분류  
G01N 27/4075 (2013.01)  
C23C 18/1216 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2019-0001132

(22) 출원일자 2019년01월04일

심사청구일자 2019년01월04일

(65) 공개번호 10-2020-0085065

(43) 공개일자 2020년07월14일

(56) 선행기술조사문헌  
KR1020150134487 A\*  
(뒷면에 계속)(73) 특허권자  
연세대학교 산학협력단

서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)

(72) 발명자

김종백

경기도 고양시 일산동구 노루목로 79, 403동 201호(장항동, 호수마을4단지아파트)

백대현

서울특별시 영등포구 도영로 16, A동 1309호(도림동, 하나아파트)

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

윤병국, 이영규

전체 청구항 수 : 총 7 항

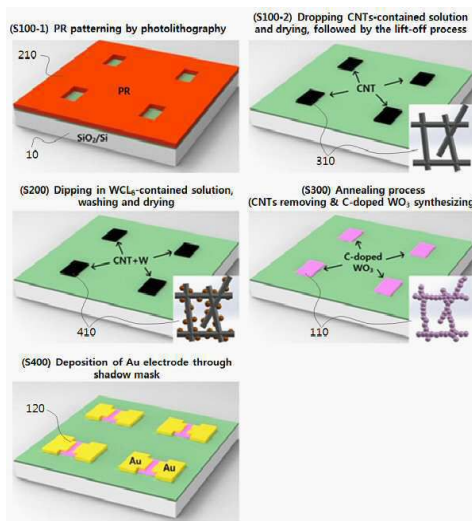
심사관 : 박성철

(54) 발명의 명칭 탄소가 도핑된 텅스텐 산화물을 포함하는 가스 센서 및 이의 제조방법

## (57) 요약

본 발명은 나노 구조를 갖는 탄소가 도핑된 텅스텐 산화물을 포함하는 가스 센서 및 이의 제조방법에 관한 것으로, 텅스텐이 코팅된 탄소나노튜브 템플릿을 이용하여 나노 구조를 갖는 탄소가 도핑된 텅스텐 산화물을 합성하고 이를 감지물질로 이용함으로써, 극미량의 유해가스를 상온에서도 안정적으로 감지할 수 있을 뿐만 아니라 반응 및 응답 속도가 우수한 가스 센서를 제공할 수 있다.

## 대표도 - 도2



- (52) CPC특허분류  
**C23C 18/1295** (2013.01)  
**G01N 27/4071** (2013.01)
- (72) 발명자  
**강윤성**  
 서울특별시 서대문구 연희로8길 28-53, 301호(연희동)  
**표순재**  
 서울특별시 서대문구 신촌로7안길 78, 405호(창천동)
- (56) 선행기술조사문헌  
 C Balazsi 등, sensors and actuators B, 2008, 133권, 페이지 151-155.(2008.12.31.)\*  
 D.G. Rickerby 등, sensors and actuators B, 2000, 69권, 페이지 314-319.(2000.12.31.)\*  
 KR101620824 B1  
 KR101702438 B1  
 KR1020170008065 A  
 \*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	NRF-2018R1A2A1A05023070
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	중견연구자지원사업
연구과제명	접촉 기반 MEMS의 장수명 고신뢰성 확보를 위한 나노소재 응용 연구
기 여 율	50/100
과제수행기관명	연세대학교산학협력단
연구기간	2018.03.01 ~ 2019.02.28

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	10054548
부처명	산업통상자원부
과제관리(전문)기관명	한국산업기술평가관리원
연구사업명	산업기술혁신사업
연구과제명	공중부유형 다종 나노소자 기반 초소형 유해가스 센서 시스템 기술개발
기 여 율	50/100
과제수행기관명	울산과학기술원
연구기간	2018.06.01 ~ 2019.03.31

---

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

기관;

상기 기관 상에 형성된 텅스텐 산화물; 및

상기 텅스텐 산화물 상에 형성되는 전극;을 포함하고,

상기 텅스텐 산화물은, 탄소가 도핑된 삼산화텅스텐(WO<sub>3</sub>)이며,

상기 삼산화텅스텐은, 기관 상에 미리 형성된 탄소나노튜브 템플릿이 어닐링 과정을 통해 제거됨으로써 탄소나노튜브 형상을 갖는 것을 특징으로 하는, 가스 센서.

#### 청구항 2

제1항에 있어서,

상기 기관은, 실리콘(Si), 산화규소(SiO<sub>2</sub>), 유리(glass) 및 사파이어(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)로 이루어진 군에서 선택되는 것을 특징으로 하는, 가스 센서

#### 청구항 3

삭제

#### 청구항 4

제1항에 있어서,

상기 전극은, 금(Au), 백금(Pt), 팔라듐(Pd), 알루미늄(Al), 몰리브덴(Mo), 은(Ag), 티타늄(Ti), 티타나이트라이드(TiN), 루테튬(Ru), 이리듐(Ir) 또는 구리(Cu) 중에서 선택되는 어느 하나 이상인 것을 특징으로 하는, 가스 센서

#### 청구항 5

기관 상에 탄소나노튜브층을 적층시키는 단계;

탄소나노튜브층이 적층된 기관을 텅스텐 클로라이드(WC16)용액에 침지시켜 텅스텐이 코팅된 탄소나노튜브 템플릿을 형성하는 단계;

텅스텐이 코팅된 탄소나노튜브 템플릿이 형성된 기관을 400 ~ 950℃의 온도에서 어닐링하여 탄소가 도핑된 텅스텐 산화물을 형성하는 단계; 및

상기 탄소가 도핑된 텅스텐 산화물 상에 전극을 형성하는 단계;를 포함하고,

상기 텅스텐 산화물은, 탄소가 도핑된 삼산화텅스텐(WO<sub>3</sub>)이며,

기관 상에 미리 형성된 탄소나노튜브 템플릿이 어닐링 과정을 통해 제거됨으로써, 삼산화텅스텐에 도핑되는 탄소의 공급원으로 작용하면서, 동시에 상기 삼산화텅스텐은 탄소나노튜브 형상을 갖는 것을 특징으로 하는, 가스 센서의 제조방법.

## 청구항 6

제5항에 있어서,

상기 기판은, 실리콘(Si), 산화규소( $\text{SiO}_2$ ), 유리(glass) 및 사파이어( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )로 이루어진 군에서 선택되는 것을 특징으로 하는, 가스 센서의 제조방법

## 청구항 7

삭제

## 청구항 8

제5항에 있어서,

상기 탄소나노튜브를 적층시키는 단계는, 탄소나노튜브 용액을 사용하여 lift-off 방법으로 수행되는 것을 특징으로 하는, 가스 센서의 제조방법.

## 청구항 9

삭제

## 청구항 10

제5항에 있어서,

상기 전극은 금(Au), 백금(Pt), 팔라듐(Pd), 알루미늄(Al), 몰리브덴(Mo), 은(Ag), 티타늄(Ti), 티탄나이트라이드( $\text{TiN}$ ), 루테튬(Ru), 이리듐(Ir) 또는 구리(Cu) 중에서 선택되는 어느 하나 이상을 포함하는, 가스 센서의 제조방법.

## 발명의 설명

### 기술 분야

[0001] 본 발명은 가스 센서에 관한 것으로, 보다 상세하게는 나노 구조를 갖는 탄소가 도핑된 텅스텐 산화물을 포함하는 가스 센서 및 이의 제조방법에 관한 것이다.

### 배경 기술

[0003] 금속산화물 반도체 기반의 저항변화식 가스센서(metal oxide semiconductor based gas sensor)는 금속산화물 반도체 감지소재 표면에 특정 종류의 가스 분자가 흡착 및 탈착되는 과정에서 발생하는 표면반응(surface reaction)에 의하여, 전기 저항값이 변화되는 현상을 이용한다.

[0004] 금속산화물 반도체 기반의 저항변화식 가스센서는, 공기중에서의 저항 대비 특정 가스에서의 저항비를 분석함으로써 가스의 농도를 정량적으로 감지하는 원리를 이용하고 있어 센서 시스템 구성이 간단하고, 초소형으로 제작이 가능한 장점이 있다. 이뿐만 아니라 비교적 저렴한 가격으로 다중 센서 어레이(array)를 구성할 수 있기 때문에, 유해 가스 누출 경보기, 대기 오염도 측정기, 알코올 검출기, 화재 경보기 등 다양한 분야에서, 금속산화물 반도체 기반의 가스센서가 널리 사용되고 있다.

[0005] 텅스텐 산화물( $\text{WO}_3$ )은 이러한 반도체 기반의 가스 센서에서 가장 널리 사용되는 감지 물질 중 하나로, 이산화질소( $\text{NO}_2$ )를 민감하게 감지할 수 있다. 그러나, 일반적인 텅스텐 산화물( $\text{WO}_3$ )기반의 가스 센서는 감도를 높이기 위해서 높은 온도가 필요하며, 이에 따라 추가적인 가열 방법이 필요하다는 단점이 있다.

[0006] 이에, 전력 요구량을 줄이기 위해 금속과 금속 산화물로 헤테로 접합을 형성하는 것과 같이 상온에서 텅스텐 산화물( $\text{WO}_3$ )의 감지 성능을 향상시키기 위한 연구가 진행되었지만, 여전히 상온에서 1ppm 미만의 이산화질소( $\text{NO}_2$ ) 검출에 대한 민감도는 낮은 문제가 있다.

## 선행기술문헌

### 비특허문헌

- [0008] (비특허문헌 0001) Carbon doped tungsten oxide nanorods NO<sub>2</sub> sensor prepared by glancing angle RF sputtering, Sensors and Actuators B: Chemical, Vol.181, May 2013, p.388-394

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

- [0009] 본 발명에서는 이러한 종래 기술의 문제점을 보다 효과적으로 해결하기 위해, 나노 구조를 갖는 탄소가 도핑된 텅스텐 산화물을 감지물질로 이용함으로써, 상온에서도 극미량의 유해가스를 감지할 수 있고, 반응 및 응답 속도가 빠른 가스 센서를 제공하는 것을 목적으로 한다.

### 과제의 해결 수단

- [0011] 본 발명의 일 실시 형태로는, 기관; 상기 기관 상에 형성된 텅스텐 산화물; 및 상기 텅스텐 산화물 상에 형성되는 전극;을 포함하며, 상기 텅스텐 산화물은 탄소가 도핑된 것인 가스 센서를 들 수 있다.
- [0012] 상기 기관은, 실리콘(Si), 산화규소(SiO<sub>2</sub>), 유리(glass) 및 사파이어(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)로 이루어진 군에서 선택되고, 상기 전극은, 금(Au), 백금(Pt), 팔라듐(Pd), 알루미늄(Al), 몰리브덴(Mo), 은(Ag), 티타늄(Ti), 티탄나이트라이드(TiN), 루테튬(Ru), 이리듐(Ir) 또는 구리(Cu) 중에서 선택되는 어느 하나 이상이며, 상기 텅스텐 산화물은 나노 구조를 갖는 탄소가 도핑된 삼산화텅스텐(WO<sub>3</sub>)인 것이 바람직하다.
- [0013] 본 발명의 다른 실시 형태로 가스 센서를 제조하는 방법을 들 수 있는데, 기관 상에 탄소나노튜브층을 적층시키는 단계; 탄소나노튜브층이 적층된 기관을 텅스텐 클로라이드(WCl<sub>6</sub>)용액에 침지시켜 텅스텐이 코팅된 탄소나노튜브 템플릿을 형성하는 단계; 텅스텐이 코팅된 탄소나노튜브 템플릿이 형성된 기관을 어닐링하여 탄소가 도핑된 텅스텐 산화물을 형성하는 단계; 및 상기 탄소가 도핑된 텅스텐 산화물 상에 전극을 형성하는 단계;를 포함한다.
- [0014] 상기 기관은, 실리콘(Si), 산화규소(SiO<sub>2</sub>), 유리(glass) 및 사파이어(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)로 이루어진 군에서 선택되고, 상기 전극은, 금(Au), 백금(Pt), 팔라듐(Pd), 알루미늄(Al), 몰리브덴(Mo), 은(Ag), 티타늄(Ti), 티탄나이트라이드(TiN), 루테튬(Ru), 이리듐(Ir) 또는 구리(Cu) 중에서 선택되는 어느 하나 이상이며, 상기 텅스텐 산화물은 나노 구조를 갖는 탄소가 도핑된 삼산화텅스텐(WO<sub>3</sub>)인 것이 바람직하다.
- [0015] 또한, 상기 탄소나노튜브를 적층시키는 단계는, 탄소나노튜브 용액을 사용하여 lift-off 방법으로 수행될 수 있으며, 상기 어닐링은 400 ~ 950℃의 온도에서 수행될 수 있다.

### 발명의 효과

- [0017] 본 발명에 따른 가스 센서는 나노 구조를 갖는 탄소가 도핑된 텅스텐 산화물을 감지물질로 포함하고 있어, 극미량의 유해가스를 상온에서도 안정적으로 감지할 수 있을 뿐만 아니라 반응 및 응답 속도가 우수하다.
- [0018] 또한, 본 발명에 따른 가스 센서는 히터를 사용하지 않고, 상온에서 유해가스를 감지할 수 있으므로 소비전력을 최소화할 수 있다.

### 도면의 간단한 설명

- [0020] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 가스 센서의 구조를 도식적으로 나타낸 것이다.
- 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 가스 센서의 제조 과정을 도식적으로 나타낸 것이다.
- 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 탄소가 도핑된 텅스텐 산화물의 밴드 갭 사이에 인트라 밴드가 생기는 메커니즘을 나타내는 모식도이다.

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 탄소가 도핑된 텅스텐 산화물을 SEM으로 관찰한 이미지이다.

도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 탄소가 도핑된 텅스텐 산화물의 XRD 분석 결과이다.

도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 탄소가 도핑된 텅스텐 산화물의 XPS 분석 결과이다(insert는 C1s peak를 확대한 사진).

도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 가스 센서의 감지 성능을 나타낸 그래프이다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0021] 이하에서는 본 발명의 실시예와 도면을 참조하여 본 발명을 좀 더 상세히 설명한다. 이들 실시예는 오로지 본 발명을 보다 구체적으로 설명하기 위해 예시적으로 제시한 것을 뿐, 본 발명의 범위가 이들 실시예에 의해 제한되지 않는다는 것은 이 기술분야에서 통상의 지식을 가지는 자에 있어서 자명할 것이다.
- [0022] 또한, 본 명세서 및 청구범위에 사용된 용어나 단어는 통상적이거나 사전적인 의미로 한정하여 해석되어서는 아니 되며, 본 발명의 기술적 사상에 부합하는 의미와 개념으로 해석되어야 함을 밝혀둔다.
- [0023] 도면에서 제안된 발명을 명확하게 설명하기 위해서 설명과 관계없는 부분은 생략하였으며, 명세서 전체를 통하여 유사한 부분에 대해서는 유사한 도면 부호를 붙였다. 그리고 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함" 한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성 요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미한다.
- [0025] 도 1에는 본 발명의 탄소가 도핑된 텅스텐 산화물의 제조 방법을 통해 제조된 가스 센서의 구조가 도시되어 있다.
- [0026] 본 발명의 일 실시예에 따른 가스 센서는 기판(10); 상기 기판(10) 상에 적층된 텅스텐 산화물(110); 및 상기 텅스텐 산화물(110) 상에 형성되는 전극(120);을 포함한다.
- [0027] 상기 기판(10)에 사용되는 재료로서 실리콘(Si), GaAs, InP, InGaAs, 산화규소(SiO<sub>2</sub>), 유리(glass), 사파이어(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 등이 사용될 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다. 바람직하게는 상기 기판(10)은 실리콘 산화막(SiO<sub>2</sub>)이 표면에 형성된 실리콘 기판일 수 있다.
- [0028] 본 발명에서는 감지물질로서 텅스텐 산화물(110)을 사용하는데, 상기 텅스텐 산화물(110)은 나노 구조를 갖는 탄소가 도핑된 삼산화텅스텐(WO<sub>3</sub>)인 것이 바람직하다. 이와 같이 탄소가 도핑된 삼산화텅스텐(WO<sub>3</sub>)으로 나노 구조를 갖는 삼산화텅스텐(WO<sub>3</sub>)을 감지물질로 사용하는 경우에는, 기존의 텅스텐 산화물을 감지물질로 사용하는 경우보다 감도(sensitivity)가 매우 좋아 상온에서도 극미량의 유해가스를 검출할 수 있으며, 반응 및 응답 속도가 우수하다.
- [0029] 상기 전극(120)은 소스 전극 및 드레인 전극일 수 있다. 상기 전극(120)의 재질로는 금(Au), 백금(Pt), 팔라듐(Pd), 알루미늄(Al), 몰리브덴(Mo), 은(Ag), 티타늄(Ti), 티타나이트라이드(TiN), 루테튬(Ru), 이리듐(Ir) 또는 구리(Cu) 등과 같은 금속이 사용될 수 있다.
- [0030] 이러한 전극(120)은 공지의 금속 증착 방법(예를 들어, 화학기상증착, evaporation, 전해도금 등)의 방법을 통해서 텅스텐 산화물(110)이 적층된 기판(10) 상에 형성될 수 있으며, 형성된 전극들은 적절한 패터닝 공정(포토리소그래피 혹은 에칭 공정 등)을 통해서 서로 이격 되도록 형성될 수 있다.
- [0031] 도 2는 본 발명의 탄소가 도핑된 텅스텐 산화물을 포함하는 가스 센서의 제조 과정을 단계별로 도시한 것으로, lift-off 공정을 통해 기판(10)상에 탄소나노튜브층(310)을 형성한다(S100).
- [0032] 구체적으로, 포토리소그래피(photolithography) 방법을 통해 기판(10)상에 포토레지스트 패턴(210)을 형성하고(S100-1), 포토레지스트 패턴(210)이 형성된 기판(10)에 탄소나노튜브 용액을 도포한 후, 포토레지스트 패턴(210)을 제거하여 탄소나노튜브층(310)을 형성할 수 있다(S100-2).
- [0033] 이때, 기판(10)으로는 실리콘(Si), GaAs, InP, InGaAs, 유리(glass), 사파이어(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 등의 재질로 된 기판을 사용할 수 있으나, 도 2에 도시된 것과 같이, 실리콘 산화막(SiO<sub>2</sub>)이 표면에 형성된 실리콘 기판(SiO<sub>2</sub>/Si substrate)을 사용하는 것이 바람직하다.

- [0034] 상기 탄소나노튜브 용액은 유기용매에 탄소나노튜브를 고르게 분산시킨 것으로, 상기 유기용매로는 dichlorobenzene(DCB), ortho-dichlorobenzene(o-DCB), N-methyl-2-pyrrolidinone(NMP), hexamethylphosphoramide(HMPA), monochlorobenzene(MCB), N,N-dimethylformamide(DMF), dichloroethane(DCE), isopropyl alcohol(IPA), ethanol, chloroform 및 toluene 중에서 선택된 어느 하나 이상의 용매를 사용할 수 있다. 또한, 용액에 초음파를 조사함으로써 용액 중에 탄소나노튜브가 고르게 분산되도록 할 수 있다.
- [0035] 탄소나노튜브 용액 중 탄소나노튜브의 농도는 0.5 ~ 2mg/ml 일 수 있다. 농도가 0.5mg/ml 보다 낮은 경우에는 탄소나노튜브의 양이 너무 적어 기관(10)상에 탄소나노튜브층(310)이 제대로 형성될 수 없고, 농도가 2mg/ml 보다 높은 경우에는 탄소나노튜브를 분산시키는데 시간이 오래 걸리며 탄소나노튜브를 필요 이상으로 소모하게 되어 제조원가가 상승한다.
- [0036] 이 후, 탄소나노튜브층(310)이 형성된 기관(10)을 텅스텐 클로라이드(WCl<sub>6</sub>) 용액에 침지(dipping)하여 텅스텐이 코팅된 탄소나노튜브 템플릿(410)을 형성한다(S200). 텅스텐 클로라이드(WCl<sub>6</sub>) 용액에 침지하는 총 시간은 30분에서 24시간일 수 있다. 침지 시간이 30분 미만인 경우에는 텅스텐이 탄소나노튜브에 충분히 코팅될 수 없고, 침지 시간이 24시간 초과인 경우에는 공정시간이 길어져 생산성이 저하된다.
- [0037] 텅스텐이 코팅된 탄소나노튜브 템플릿(410)이 형성된 기관을 어닐링하여 탄소나노튜브를 제거하고 탄소가 도핑된 텅스텐 산화물(110)을 형성한다(S300). 이와 같이 합성된 탄소가 도핑된 텅스텐 산화물(110)은 나노 구조를 갖는 삼산화텅스텐(WO<sub>3</sub>)일 수 있다.
- [0038] 나노 구조를 갖는 탄소가 도핑된 삼산화텅스텐(WO<sub>3</sub>)은, 도 3에 도시된 것과 같이, 밴드 갭 사이에 인트라 밴드가 형성된다. 이러한 인트라 밴드로 인해, 탄소가 도핑된 텅스텐 산화물을 감지물질로 사용하는 본 발명의 가스 센서는, NO<sub>2</sub>, NO 등과 같은 유해가스가 극미량만 있어도 반응할 수 있어 감도(sensitivity)가 매우 좋으며, 반응 및 응답 속도가 우수하다.
- [0039] 상기 어닐링은 400 ~ 950℃의 온도에서 수행되는 것이 바람직하다. 상기 범위를 벗어나 온도가 400℃ 미만일 경우에는 탄소나노튜브가 제거되지 않고 탄소가 도핑된 텅스텐 산화물(110)이 잘 형성되지 않으며, 온도가 950℃를 초과 하는 경우에는 공정시간이 길어지고 제조비용이 상승한다.
- [0040] 기관(10) 상에 탄소가 도핑된 텅스텐 산화물(110)이 형성된 후, 기관(10) 상에 전극 물질을 형성하고 패터닝함으로써 탄소가 도핑된 텅스텐 산화물(110) 상에 전극(120)을 형성한다(S400). 구체적으로 공지의 금속 증착 방법(예를 들어, 화학기상증착, evaporation, 전해도금 등)의 방법을 통해 전극 물질을 기관(10)상에 형성할 수 있으며, 기관(10)상에 형성된 전극 물질은 적절한 패터닝 공정(포토리소그래피 혹은 애칭 공정 등)을 거쳐 탄소가 도핑된 텅스텐 산화물(110) 상에 전극(120)으로 형성될 수 있다.
- [0042] **[실시예]**
- [0043] 앞서 살펴본 본 발명의 탄소가 도핑된 텅스텐 산화물을 포함하는 가스 센서를 제작하였다.
- [0044] 실리콘 산화막이 표면에 형성된 실리콘 기관(SiO<sub>2</sub>/Si substrate) 위에 lift-off 공정을 통해 탄소나노튜브층을 형성하였다. 이때 사용된 탄소나노튜브 용액은 상용화된 multi-wall CNT 용액을 사용하였으며, 유기용매인 DMF를 사용하여 1.5mg/ml의 농도로 희석하여 사용하였다.
- [0045] 탄소나노튜브층이 형성된 기관을 텅스텐 클로라이드(WCl<sub>6</sub>) 용액에 12시간 침지(dipping)하여 텅스텐이 코팅된 탄소나노튜브 템플릿을 형성하였다. 그 후, 침지 처리된 기관을 급속열처리로(Rapid Thermal Annealing furnace) 내의 챔버에 장착하고 600℃까지 1분 동안 고속으로 승온하여 6시간 동안 유지시킨 후, 상온까지 노냉시켜 기관 상에 탄소가 도핑된 삼산화텅스텐(WO<sub>3</sub>)을 합성하였다.
- [0046] 이 후, 통상의 포토리소그래피 공정을 통해 어닐링 된 기관 위에 소스 전극과 드레인 전극을 형성하여 가스센서를 제작하였다. 이때, 소스 전극 및 드레인 전극으로는 금(Au)를 사용하였다.
- [0048] **[실험예 1: 텅스텐 산화물의 성분 분석 및 탄소 도핑 여부 확인]**
- [0049] 실시예에 따라 제조된 텅스텐 산화물의 탄소 도핑 여부를 확인하기 위해, 어닐링 전의 탄소나노튜브 템플릿과 어닐링을 통해 합성된 텅스텐 산화물을 주사 전자 현미경(SEM)을 통해 관찰하고 그 결과를 도 4에 나타내었다. 도 4(a)는 어닐링 전의 탄소나노튜브 템플릿을 관찰한 결과이며, 도 4(b)는 어닐링 후 합성된 텅스텐 산화물을



관찰한 결과이다. 도 4에서 확인 되듯이, 어닐링 처리를 통해 탄소나노튜브는 제거되고 탄소가 도핑된 텅스텐 산화물이 나노 구조를 갖는 형태로 합성된 것을 확인할 수 있었다.

[0050] 실시예에 따라 제조된 텅스텐 산화물의 성분을 분석 하기 위해 XRD(X-ray Diffraction) 및 XPS(X-ray photoelectron spectroscopy) 분석을 진행하였으며, 그 결과를 도 5 및 도 6에 나타내었다.

[0051] 도 5는 XRD 분석 결과로, 도 5에 나타난 peak들은 기존의 삼산화텅스텐 ( $WO_3$ )에서 나오는 peak들과 일치하므로, 실시예에 따라 합성된 물질이 삼산화텅스텐( $WO_3$ )임을 확인할 수 있었다. 또한, 도 6은 XPS 분석 결과로, 도 6에 나타난 C1s peak를 통해 실시예에 따라 제조된 삼산화텅스텐( $WO_3$ )에 탄소가 도핑 되었음을 확인할 수 있었다.

### [실험예 2: 가스 센서의 성능 확인]

[0054] 실시예에 따라 제조된 가스 센서를 전류전원공급기(Keithley 2400)에 연결한 다음, 이산화질소( $NO_2$ ) 가스를 유량조절기(mass flow controller)를 이용하여 흘려주고 일정한 직류전원의 인가와 동시에 가스 센서에 흐르는 저항변화를 측정하고 그 결과를 도 7에 나타내었다. 모든 측정은 상온( $25^\circ C$ )에서 실시하였으며, 센서의 감도(response)는 하기 식 (1)에 의해 계산되었다.

[0056] 
$$\text{Response} = R_g/R_a \cdots (1)$$

[0058] 식(1)에서  $R_a$ 는 이산화질소( $NO_2$ ) 가스가 없는 경우의 초기 저항값,  $R_g$ 는 이산화질소( $NO_2$ ) 가스가 있는 경우의 저항값을 나타낸다.

[0059] 도 7에서 확인 되듯이, 본 발명의 가스 센서는 상온( $25^\circ C$ )에서도 안정적인 이산화질소( $NO_2$ ) 감지성능을 나타내었으며, 특히 1ppm 이하의 매우 낮은 농도의 이산화질소( $NO_2$ ) 까지도 상온에서 감지할 수 있음을 확인할 수 있었다.

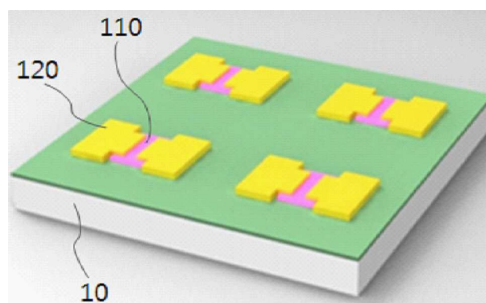
[0061] 본 명세서에서는 본 발명자들이 수행한 다양한 실시예 가운데 몇 개의 예만을 들어 설명하는 것이나 본 발명의 기술적 사상은 이에 한정되거나 제한되지 않고, 이 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 변형되어 다양하게 실시될 수 있음은 물론이다.

### 부호의 설명

- |                |                 |
|----------------|-----------------|
| [0063] 110: 기관 | 110: 텅스텐 산화물    |
| 120: 전극        | 210: 포토레지스트 패턴  |
| 310: 탄소나노튜브층   | 410: 탄소나노튜브 템플릿 |

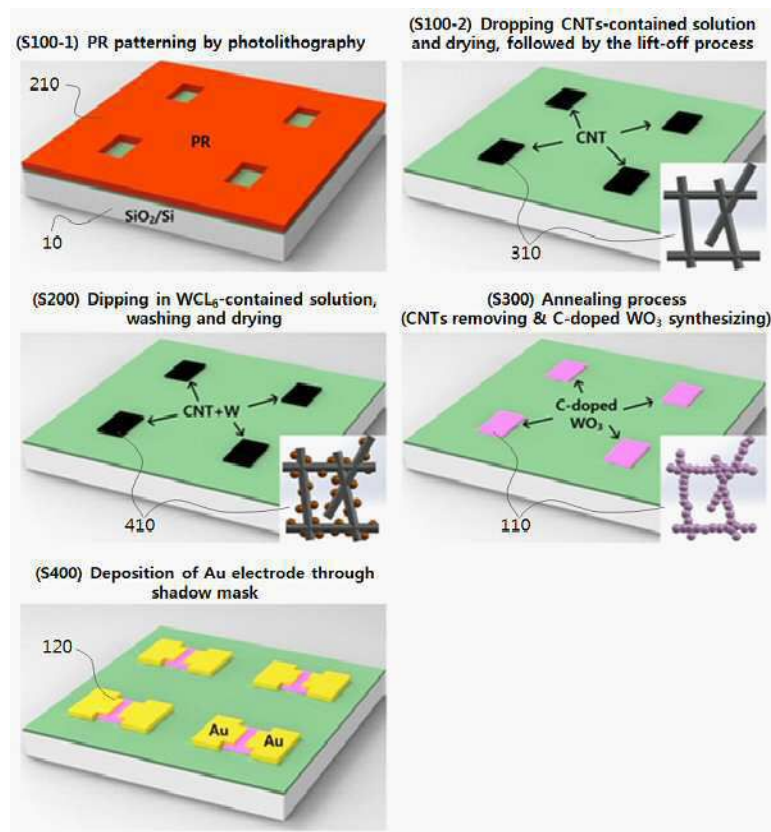
### 도면

#### 도면1

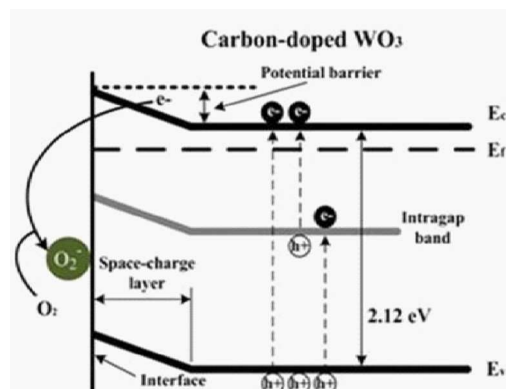




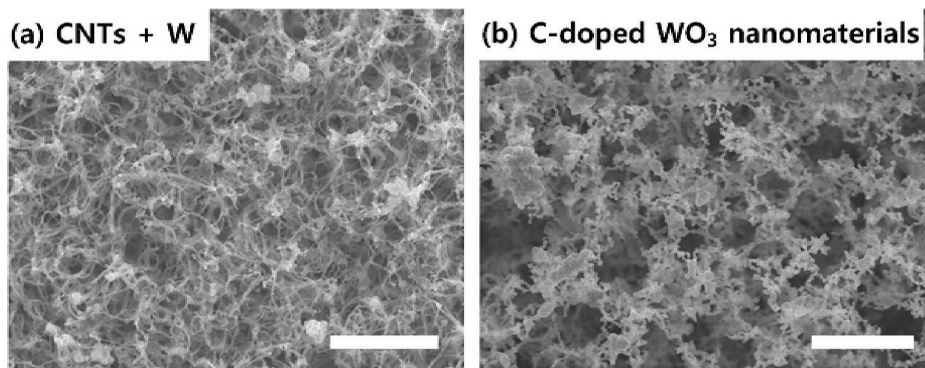
도면2



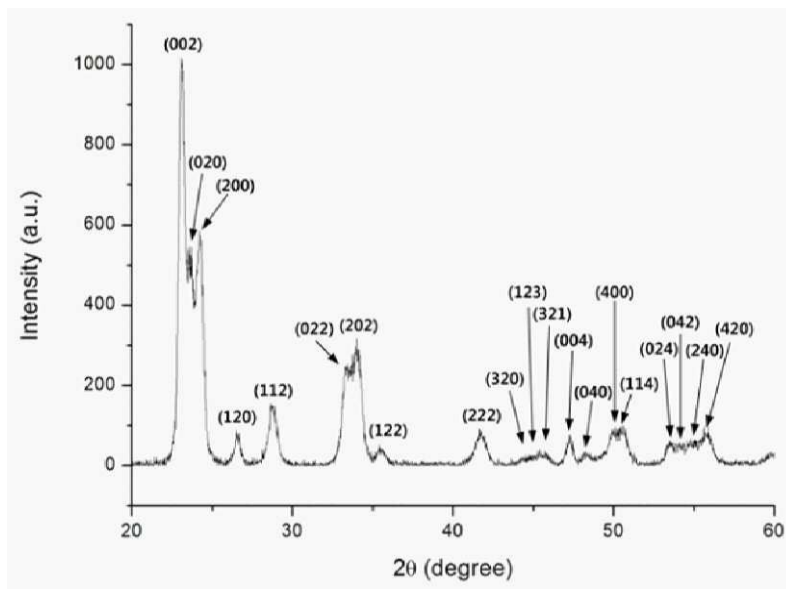
도면3



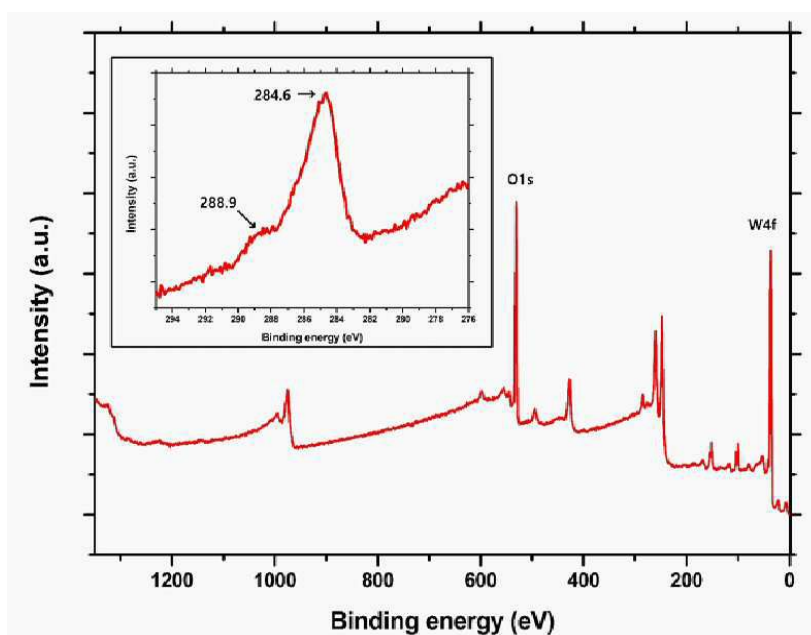
도면4



도면5



도면6



도면7

