



**(19) 대한민국특허청(KR)**  
**(12) 등록특허공보(B1)**

(45) 공고일자 2016년11월03일  
 (11) 등록번호 10-1672143  
 (24) 등록일자 2016년10월27일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
*G01N 21/78* (2006.01) *B82B 3/00* (2006.01)  
*G01N 27/407* (2006.01) *B82Y 15/00* (2011.01)  
*B82Y 20/00* (2011.01)  
 (52) CPC특허분류  
*G01N 21/783* (2013.01)  
*B82B 3/00* (2013.01)  
 (21) 출원번호 10-2015-0136194  
 (22) 출원일자 2015년09월25일  
 심사청구일자 2015년09월25일  
 (56) 선행기술조사문헌  
 JP2001324492 A  
 KR1020100091695 A  
 KR101193614 B1  
 A Colorimetric Approach to Anion Sensing: A Selective Chemosensor of fluoride Ions, in which Color is Generated by Anion-Enhanced pi Delocalization, *Angew. Chem*, 116, 1996-1999(2004.12.31.)

(73) 특허권자  
 아주대학교산학협력단  
 경기도 수원시 영통구 월드컵로 206 (원천동)  
 (72) 발명자  
 서형탁  
 서울특별시 서초구 신반포로 270, 106동 902호 (반포동, 반포자이아파트)  
 심고운  
 경기도 수원시 영통구 월드컵로193번길 51, 304호(원천동)  
 이상연  
 경기도 수원시 팔달구 권광로364번길 43-8, 103호(우만동)  
 (74) 대리인  
 남건필, 박종수, 차상윤

전체 청구항 수 : 총 9 항

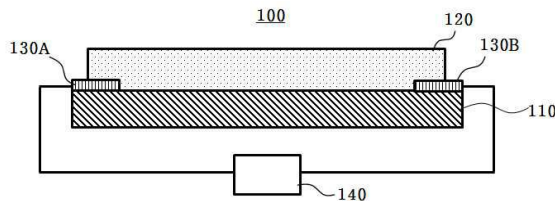
심사관 : 정진수

(54) 발명의 명칭 불소계 가스 감지 장치 및 이의 제조방법

**(57) 요약**

불소계 가스 감지 장치가 개시된다. 불소계 가스 감지 장치는 기판 및 기판 상에 배치되고 수소화된 이산화티타늄 나노입자들을 포함하여 불소계 가스와 반응하는 경우 색이 변화하는 감지층을 구비한다. 이러한 불소계 가스 감지 장치는 감지층의 색변화를 통해 불소계 가스를 감지할 수 있다.

**대표도** - 도1



(52) CPC특허분류

**G01N 27/4074** (2013.01)

**G01N 27/4075** (2013.01)

**B82Y 15/00** (2013.01)

**B82Y 20/00** (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2015050224  
 부처명 교육과학기술부  
 연구관리전문기관 한국연구재단  
 연구사업명 중점 연구 소지원사업(이공분야)  
 연구과제명 에너지 변환, 저장 및 이용 기반 기술 연구  
 기 여 율 0.5/1  
 주관기관 아주대학교 산학협력단  
 연구기간 2013.09.01 ~ 2016.08.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2015003790  
 부처명 미래창조과학부  
 연구관리전문기관 한국연구재단  
 연구사업명 중견연구자지원사업(핵심-개인)  
 연구과제명 저차원 나노단위 무기반도체를 이용한 플라즈모닉 핫 전자 태양전지 개발  
 기 여 율 0.5/1  
 주관기관 아주대학교 산학협력단  
 연구기간 2015.05.01 ~ 2018.04.30

공지예외적용 : 있음

---

**명세서**

**청구범위**

**청구항 1**

기관; 및

상기 기관 상에 배치되고, 수소화된 이산화티타늄 나노입자들을 포함하여 불소계 가스와 반응하는 경우 색이 변화하는 감지층을 포함하는 불소계 가스 감지 장치.

**청구항 2**

제1항에 있어서,

상기 수소화된 이산화티타늄 나노입자들은 내부에 도핑되고 수소 분자를 수소 원자로 해리시키는 촉매 금속을 포함하는 것을 특징으로 하는 불소계 가스 감지 장치.

**청구항 3**

제2항에 있어서,

상기 촉매 금속은 팔라듐(Pd), 백금(Pt), 이리듐(Ir), 로듐(Rh), 실버(Ag), 금(Au) 및 코발트(Co)로 이루어진 그룹에서 선택된 적어도 하나를 포함하는 것을 특징으로 하는 불소계 가스 감지 장치.

**청구항 4**

제1항에 있어서,

상기 수소화된 이산화티타늄 나노입자들은 결정질 코어 및 상기 코어의 표면에 형성된 비정질 셸을 포함하는 것을 특징으로 하는 불소계 가스 감지 장치.

**청구항 5**

제1항에 있어서,

상기 감지층과 접촉하도록 상기 기관 상에 서로 이격되게 배치된 제1 및 제2 전극; 및

상기 제1 및 제2 전극에 전기적으로 연결되어 상기 감지층의 전기 전도도 변화를 측정하는 측정장치를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 불소계 가스 감지 장치.

**청구항 6**

촉매 금속 전구체 물질이 용해된 제1 용액과 이산화티타늄 나노입자가 분산된 제2 용액을 혼합하는 단계;

상기 제1 용액과 제2 용액의 혼합 용액에 자외선을 조사하여 상기 촉매 금속을 상기 이산화티타늄 나노입자에 도핑시키는 단계;

상기 촉매 금속이 도핑된 이산화티타늄 나노입자를 수소 가스 분위기에서 열처리하여 수소화된 촉매 금속 도핑 이산화티타늄 나노입자를 형성하는 단계; 및

상기 수소화된 촉매 금속 도핑 이산화티타늄 나노입자를 기관 상에 도포하는 단계를 포함하는 불소계 가스 감지 장치의 제조방법.

**청구항 7**

수열합성법을 이용하여 기관 상에 이산화티타늄 나노 구조체를 성장시키는 단계;

상기 이산화티타늄 나노 구조체 상에 촉매 금속을 증착하는 단계; 및

상기 촉매 금속이 증착된 이산화티타늄 나노 구조체를 수소 가스 분위기에 열처리하는 단계를 포함하는 불소계

가스 감지 장치의 제조방법.

**청구항 8**

티타늄 기관을 양극산화시켜 상기 티타늄 기관 표면에 다공성 이산화티타늄 양극산화막을 형성하는 단계;

상기 다공성 이산화티타늄 양극산화막 상에 촉매 금속을 증착하는 단계; 및

상기 촉매 금속이 증착된 이산화티타늄 양극산화막을 수소 가스 분위기에 열처리하는 단계를 포함하는 불소계 가스 감지 장치의 제조방법.

**청구항 9**

제6항 내지 제8항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 촉매 금속은 팔라듐(Pd), 백금(Pt), 이리듐(Ir), 로듐(Rh), 실버(Ag), 금(Au) 및 코발트(Co)로 이루어진 그룹에서 선택된 적어도 하나를 포함하는 것을 특징으로 하는 불소계 가스 감지 장치의 제조방법.

**발명의 설명**

**기술 분야**

[0001] 본 발명은 불소계 가스 감지 장치 및 이의 제조방법에 관한 것으로서, 불소계 가스를 시각적 및 전기적으로 감지할 수 있다.

**배경 기술**

[0002] 불소계 가스는 디스플레이, 반도체 등의 생산 공정과 같은 다양한 산업 현장에서 이용된다. 이러한 불소계 가스는 낮은 농도라 할지라도 흡입하는 경우에는 매스꺼움을 유발하고 접촉하는 경우에는 동상이나 화상을 야기하는 등 인체에 매우 유독하다.

[0003] 하지만, 현재는 불소의 검지와 관련하여 전해질 용액을 이용하는 전기화학 전지의 형태로 수중의 불화물(Fluoride) 이온을 감지하는 형태의 센서가 대다수이다.

[0004] 따라서 가스 형태의 불소를 검출할 수 있는 직관적인 검지 방식의 센서의 개발이 절실히 요구된다.

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

[0005] 본 발명의 일 목적은 수소 환원된 이산화티타늄의 색변화 및 전기적 전도성 변화를 통해 불소계 가스를 감지하는 불소계 가스 감지 장치를 제공하는 것이다.

[0006] 본 발명의 다른 목적은 상기 불소계 가스 감지 장치의 제조방법을 제공하는 것이다.

**과제의 해결 수단**

[0007] 본 발명의 실시예에 따른 불소계 가스 감지 장치는 기관; 및 상기 기관 상에 배치되고, 수소화된 이산화티타늄 나노입자들을 포함하여 불소계 가스와 반응하는 경우 색이 변화하는 감지층을 포함한다.

[0008] 일 실시예에 있어서, 상기 수소화된 이산화티타늄 나노입자들은 내부에 도핑되고 수소 분자를 수소 원자로 해리시키는 촉매 금속을 포함할 수 있다. 이 경우, 상기 촉매 금속은 팔라듐(Pd), 백금(Pt), 이리듐(Ir), 로듐(Rh), 실버(Ag), 금(Au) 및 코발트(Co)로 이루어진 그룹에서 선택된 적어도 하나를 포함할 수 있다.

[0009] 일 실시예에 있어서, 상기 수소화된 이산화티타늄 나노입자들은 결정질 코어 및 상기 코어의 표면에 형성된 비정질 셸을 포함하는 구조를 가질 수 있다.

[0010] 일 실시예에 있어서, 상기 불소계 가스 감지 장치는 상기 감지층과 접촉하도록 상기 기관 상에 서로 이격되게 배치된 제1 및 제2 전극; 및

[0011] 상기 제1 및 제2 전극에 전기적으로 연결되어 상기 감지층의 전기 전도도 변화를 측정하는 측정장치를 더 포함할 수 있다.

[0012] 본 발명의 일 실시예에 따른 불소계 가스 감지 장치의 제조방법은 촉매 금속 전구체 물질이 용해된 제1 용액과 이산화티타늄 나노입자가 분산된 제2 용액을 혼합하는 단계; 상기 제1 용액과 제2 용액의 혼합 용액에 자외선을 조사하여 상기 촉매 금속을 상기 이산화티타늄 나노입자에 도핑시키는 단계; 상기 촉매 금속이 도핑된 이산화티타늄 나노입자를 수소 가스 분위기에서 열처리하여 수소화된 촉매 금속 도핑 이산화티타늄 나노입자를 형성하는 단계; 및 상기 수소화된 촉매 금속 도핑 이산화티타늄 나노입자를 기판 상에 도포하는 단계를 포함할 수 있다.

[0013] 본 발명의 다른 실시예에 따른 불소계 가스 감지 장치의 제조방법은 수열합성법을 이용하여 기판 상에 이산화티타늄 나노 구조체를 성장시키는 단계; 상기 이산화티타늄 나노 구조체 상에 촉매 금속을 증착하는 단계; 및 상기 촉매 금속이 증착된 이산화티타늄 나노 구조체를 수소 가스 분위기에 열처리하는 단계를 포함할 수 있다.

[0014] 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 불소계 가스 감지 장치는 티타늄 기판을 양극산화시켜 상기 티타늄 기판 표면에 다공성 이산화티타늄 양극산화막을 형성하는 단계; 상기 다공성 이산화티타늄 양극산화막 상에 촉매 금속을 증착하는 단계; 및 상기 촉매 금속이 증착된 이산화티타늄 양극산화막을 수소 가스 분위기에 열처리하는 단계를 포함할 수 있다.

**발명의 효과**

[0015] 본 발명에 따르면, 수소화된 이산화티타늄 나노 입자들을 포함하는 감지층의 색변화 및 전기 전도도 변화를 통해 불소계 가스를 신속하고 정확하게 감지할 수 있다.

**도면의 간단한 설명**

[0016] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 금속산화물 박막의 전기 전도도 향상 방법을 설명하기 위한 순서도이다.

도 2는 팔라듐 도핑 이산화티타늄('a'), 수소화된 팔라듐 도핑 이산화티타늄('b') 및 XeF<sub>2</sub> 가스와 반응 후 팔라듐 도핑 이산화티타늄('c')으로 이루어진 감지층들에 대한 이미지들이다.

도 3은 팔라듐 도핑 이산화티타늄 나노입자('a', 'd'), 수소화된 팔라듐 도핑 이산화티타늄 나노입자('b') 및 XeF<sub>2</sub> 가스와 반응 후 팔라듐 도핑 이산화티타늄 나노입자('c')의 HR-TEM 이미지들이다.

도 4는 팔라듐 도핑 이산화티타늄 나노입자('Pd-TiO<sub>2</sub>'), 수소화된 팔라듐 도핑 이산화티타늄 나노입자('H<sub>2</sub>RTA') 및 XeF<sub>2</sub> 가스와 반응 후 팔라듐 도핑 이산화티타늄 나노입자('XeF<sub>2</sub>')에 대해 측정된 전류-전압 곡선이다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

[0017] 이하, 첨부한 도면을 참조하여 본 발명의 실시예에 대해 상세히 설명한다. 본 발명은 다양한 변경을 가할 수 있고 여러 가지 형태를 가질 수 있는 바, 특정 실시 예들을 도면에 예시하고 본문에 상세하게 설명하고자 한다. 그러나 이는 본 발명을 특정한 개시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변경, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다. 각 도면을 설명하면서 유사한 참조부호를 유사한 구성요소에 대해 사용하였다. 첨부된 도면에 있어서, 구조물들의 치수는 본 발명의 명확성을 기하기 위하여 실제보다 확대하여 도시한 것이다.

[0018] 본 출원에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시 예를 설명하기 위해 사용된 것으로, 본 발명을 한정하려는 의도가 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 출원에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 명세서 상에 기재된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.

[0019] 다르게 정의되지 않는 한, 기술적이거나 과학적인 용어를 포함해서 여기서 사용되는 모든 용어들은 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 가지고 있다. 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 것과 같은 용어들은 관련 기술의 문맥 상 가지는 의미와 일치하는 의미를 가지는 것으로 해석되어야 하며, 본 출원에서 명백하게 정의하지 않는 한, 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미로 해석되지 않는다.

[0020] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 불소계 가스 감지 장치를 설명하기 위한 도면이다.

[0021] 도 1을 참조하면, 본 발명의 실시예에 따른 불소계 가스 감지 장치(100)는 기판(110) 및 감지층(120)을 포함할

수 있다. 상기 불소계 가스라 함은 불소 원소를 포함하는 가스로서, XeF<sub>2</sub>, XeF<sub>4</sub>, XeF<sub>6</sub> 등의 크세논 불화물 가스, CF<sub>4</sub> 등과 같은 탄소 불화물 가스, SF<sub>6</sub> 등과 같은 황 불화물 가스를 포함한다.

[0022] 상기 기판(110)으로는 다양한 물질 및 구조의 기판이 사용될 수 있고, 특별히 제한되지 않는다. 예를 들면, 상기 기판(110)으로는 종이, 고분자, 세라믹, 글라스, 금속 등으로 이루어진 기판이 사용될 수 있다.

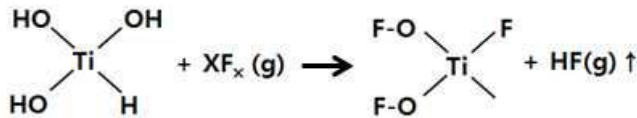
[0023] 상기 감지층(120)은 상기 기판(110)의 일면 상에 배치되고, 색변화 또는 전기 전도도 변화를 통해 불소계 가스를 감지할 수 있다.

[0024] 일 실시예에 있어서, 상기 감지층(120)은 수소화된 이산화티타늄의 나노 입자들을 포함할 수 있다. 본 발명에 있어서 '수소화된 이산화티타늄'이라 함은 수소가 도핑된 이산화티타늄을 의미하는 것으로서, 도핑된 수소 이온은 이산화티타늄 내부의 산소 이온 또는 티타늄 이온과 결합될 수 있다. 그리고 본 발명에 있어서 '나노 입자'는 평균 직경이 수 내지 수백 나노미터 스케일인 입체형 나노 분말뿐만 아니라 수 내지 수백 나노미터 스케일의 직경을 갖는 선형 나노 로드 등도 포함한다.

[0025] 한편, 수소가 도핑되지 않은 이산화티타늄은 일반적으로 가시광을 흡수하지 못하므로 백색 또는 무색의 색깔을 나타내지만, 수소화된 이산화티타늄은 수소 도핑에 의해 페르미 에너지 준위가 낮아져 가시광을 흡수할 수 있어서 검정색 또는 짙은 회색을 나타낸다. 이와 같이, 검정색 또는 짙은 회색을 띄는 수소화된 이산화티타늄이 불소계 가스와 반응하는 경우, 수소화된 이산화티타늄 내부의 수소 이온이 불소 이온으로 치환되어 다시 페르미 에너지 준위가 높아지므로 밝은 회색 또는 백색으로 변화하게 된다. 상기 감지층(120)은 수소화된 이산화티타늄 나노 입자들의 상기와 같은 색변화를 통해 불소계 가스를 감지할 수 있다.

[0026] 이하 반응식 1을 참조하여 상기 감지층(120)의 수소화된 이산화티타늄 나노입자들과 불소계 가스(XF<sub>x</sub>(g))의 반응에 대해 상술한다.

[0027] [반응식 1]



[0028]

[0029] 반응식 1에 나타난 바와 같이, 수소화된 이산화티타늄이 불소계 가스와 접촉하여 반응하는 경우, 전기 음성도가 높은 불소 이온들 중 일부는 수소 이온 자리에 침투하여 산소 이온 또는 티타늄 이온과 결합하고, 일부는 수소 이온과 반응하여 불화수소 가스를 생성한다. 앞에서 설명한 바와 같이, 이와 같은 반응을 통해 검정색 또는 짙은 회색의 띠던 수소화된 이산화티타늄이 불소계 가스와의 반응에 의해 밝은 회색 또는 백색으로 변화한다.

[0030] 한편, 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 수소화된 이산화티타늄 나노입자들은 내부에 도핑된 촉매 금속을 포함할 수 있다. 예를 들면, 이산화티타늄 나노분말의 수소화 처리를 용이하게 진행하기 위해, 상기 수소화된 이산화티타늄 나노입자들의 내부에는 수소 분자를 수소 원자로 해리시킬 수 있는 촉매 금속이 도핑될 수 있다. 상기 수소 분자를 수소 원자로 해리시킬 수 있는 촉매 금속은, 예를 들면, 팔라듐(Pd), 백금(Pt), 이리듐(Ir), 로듐(Rh), 실버(Ag), 금(Au), 코발트(Co) 등으로부터 선택된 하나 이상을 포함할 수 있다.

[0031] 상기와 같이 촉매 금속으로 도핑된 수소화된 이산화티타늄 나노 입자들은 결정질의 코어 및 상기 코어를 피복하는 비정질 셸을 포함하는 구조를 가질 수 있다. 상기 결정질 코어는 아나타제 결정상 또는 루타일 결정상을 가질 수 있다.

[0032] 한편, 상기 감지층(120)은 다양한 방법으로 상기 기판(110) 상에 형성될 수 있다.

[0033] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 감지층(120)은 촉매 금속 이온을 함유하는 용액과 이산화티타늄 나노입자 분산 용액을 혼합한 후 자외선을 조사하여 촉매 금속을 이산화티타늄 나노입자에 도핑하고, 이에 대해 수소 가스 분위기에서 열처리를 수행하여 촉매 금속이 도핑된 수소화된 이산화티타늄 나노입자를 형성하며, 이를 기판(110)에 도포함으로써 형성될 수 있다.

[0034] 본 발명의 다른 실시예에 있어서, 상기 감지층(120)은 기판(110) 상에 수열합성법을 통하여 이산화티타늄 나노 구조체를 성장시킨 후 촉매 금속을 증착하고, 이에 대해 수소 가스 분위기에서 열처리를 수행함으로써 형성될 수 있다.

- [0035] 본 발명의 또 다른 실시예에 있어서, 상기 감지층(120)은 티타늄 기관(110)을 양극산화시켜 표면에 다공성 이산화티타늄막을 형성한 후 촉매 금속을 증착하고, 이에 대해 수소 가스 분위기에서 열처리를 수행함으로써 형성될 수 있다.
- [0036] 한편, 본 발명의 실시예에 따른 불소계 가스 감지 장치(100)는 상기 감지층(120)과 접촉하도록 상기 기관(110) 상에 서로 이격되게 배치된 제1 및 제2 전극(130A, 130B)과 상기 제1 및 제2 전극(130A, 130B)에 전기적으로 연결되고 상기 감지층(120)의 전기 전도도 변화를 측정하는 측정장치(140)를 더 포함할 수 있다.
- [0037] 상기 감지층(120)의 수소화된 이산화티타늄 나노입자들이 불소계 가스와 접촉하여 반응하는 경우 전기 전도도가 증가하는 방향으로 변화한다. 따라서 본 발명에서는 이러한 감지층(120)의 전기 전도도 변화를 상기 감지장치(140)를 이용하여 측정함으로써 상기 불소계 가스를 감지할 수 있다.
- [0038] 이러한 불소계 가스 감지 장치(100)에 따르면, 수소화된 이산화티타늄 나노 입자들을 포함하는 감지층(120)의 색변화 및 전기 전도도 변화를 통해 불소계 가스를 신속하고 정확하게 감지할 수 있다.
- [0039] 이하 본 발명의 실시예들에 대해 상술한다. 이하에서 설명될 실시예들은 본 발명의 일부 실시 태양에 불과한 것으로서, 본 발명이 하기의 실시예들에 의해 한정되지 않는다.
- [0040] [실시예]
- [0041] 제1 용기에 수용된 100ml의 메탄올에 18mg PdCl<sub>2</sub>를 첨가하고 2 내지 3시간 동안 초음파 인가한 후 여기에 25mg의 PVP(Polyvinyl pyrrolidone)를 첨가하고 10시간 교반하여 제1 용액을 형성하였고, 제2 용기에 수용된 100ml의 메탄올에 평균직경이 30nm인 이산화티타늄 나노입자 1g을 첨가하고 초음파를 인가하여 제2 용액을 형성하였다.
- [0042] 이어서 제1 용액과 제2 용액을 혼합하고 2 내지 3시간 동안 교반하고, 이산화티타늄 나노입자에 팔라듐(Pd)을 도핑하기 위해 2분 동안 자외선을 조사하였다.
- [0043] 이어서 팔라듐이 도핑된 이산화티타늄을 원심분리를 통해 회수하고 건조한 후 이를 에탄올 용매에 분산시킨 후 유리섬유 필터 페이퍼(Glassfiber filter paper) 상에 도포하고 60℃ 오븐에서 건조시켰다.
- [0044] 이어서 이를 H<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> 5%의 가스 분위기에서 400℃에서 5분 동안 열처리를 수행하여 상기 유리섬유 필터 페이퍼 상에 수소화된 팔라듐 도핑 이산화티타늄 나노입자들로 이루어진 감지층을 형성하였다.
- [0045] [실험예]
- [0046] 도 2는 팔라듐 도핑 이산화티타늄('a'), 수소화된 팔라듐 도핑 이산화티타늄('b') 및 XeF<sub>2</sub> 가스와 반응 후 팔라듐 도핑 이산화티타늄('c')으로 이루어진 감지층들에 대한 이미지들이다.
- [0047] 도 2를 참조하면, 수소화된 팔라듐 도핑 이산화티타늄으로 이루어진 감지층('b')은 검정색 또는 짙은 회색을 나타냄에 반해 XeF<sub>2</sub> 가스와 반응 후의 감지층('b')은 밝은 회색을 나타냄을 확인할 수 있다.
- [0048] 따라서, 수소화된 팔라듐 도핑 이산화티타늄으로 이루어진 감지층('b')을 이용하는 경우 감지층의 색변화를 통해 불소계 가스를 감지할 수 있다.
- [0049] 도 3은 팔라듐 도핑 이산화티타늄 나노입자('a', 'd'), 수소화된 팔라듐 도핑 이산화티타늄 나노입자('b') 및 XeF<sub>2</sub> 가스와 반응 후 팔라듐 도핑 이산화티타늄 나노입자('c')의 HR-TEM 이미지들이다.
- [0050] 도 3을 참조하면, 팔라듐 도핑 이산화티타늄 나노입자는 전영역이 결정질 구조를 가짐에 반해, 수소화된 팔라듐 도핑 이산화티타늄 나노입자는 내부는 결정질 구조를 가지나 수소와의 반응에 의해 표면에는 약 3nm 두께의 비정질 층이 형성되었음을 확인할 수 있다.
- [0051] 도 4는 팔라듐 도핑 이산화티타늄 나노입자('Pd-TiO<sub>2</sub>'), 수소화된 팔라듐 도핑 이산화티타늄 나노입자('H<sub>2</sub>RTA') 및 XeF<sub>2</sub> 가스와 반응 후 팔라듐 도핑 이산화티타늄 나노입자('XeF<sub>2</sub>')에 대해 측정된 전류-전압 곡선이다.
- [0052] 도 4를 참조하면, 수소화된 팔라듐 도핑 이산화티타늄 나노입자가 XeF<sub>2</sub> 가스와 반응하는 경우 전류값이 약 100 배 이상 상승한 것을 확인할 수 있다. 이는 이산화티타늄 내부에 도입된 플루오린(F)이 n-형 도너로 작용하여 페르미 에너지(E<sub>F</sub>)를 전도대(conduction band) 부근까지 상승시키기 때문이다. 따라서 수소화된 팔라듐 도핑 이

산화티타늄 나노입자로 감지층을 형성하는 경우, 감지층의 전기 전도도 변화를 통해 불소계 가스를 감지할 수 있다.

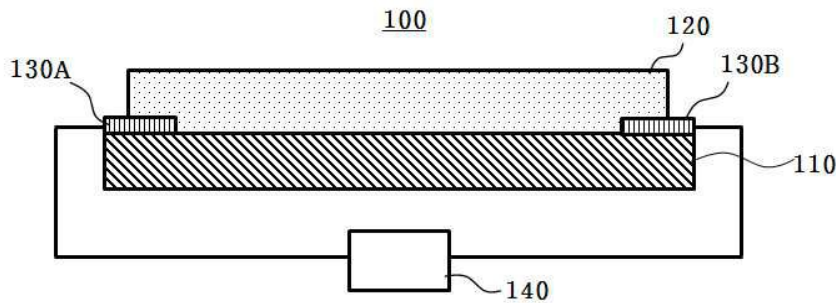
[0053] 상기에서는 본 발명의 바람직한 실시예를 참조하여 설명하였지만, 해당 기술 분야의 숙련된 당업자는 하기의 특허 청구 범위에 기재된 본 발명의 사상 및 영역으로부터 벗어나지 않는 범위 내에서 본 발명을 다양하게 수정 및 변경시킬 수 있음을 이해할 수 있을 것이다.

**부호의 설명**

[0054] 100: 불소계 가스 감지 장치                      110: 기판  
 120: 감지층    130A, 130B: 전극  
 140: 측정장치

**도면**

**도면1**

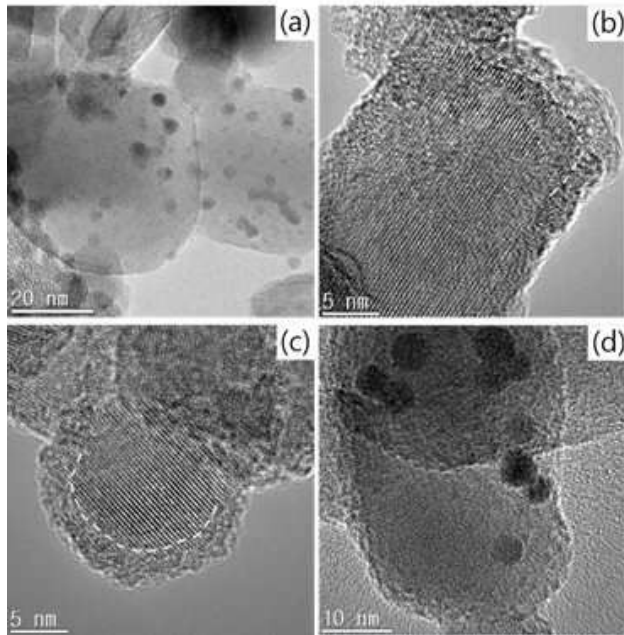


**도면2**





도면3



도면4

