



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2010-0116428
(43) 공개일자 2010년11월01일

(51) Int. Cl.

G01N 27/12 (2006.01) B82B 3/00 (2006.01)
H01L 51/00 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2009-0035117

(22) 출원일자 2009년04월22일

심사청구일자 2009년04월22일

(71) 출원인

연세대학교 산학협력단

서울 서대문구 신촌동 134 연세대학교

이화여자대학교 산학협력단

서울 서대문구 대현동 11-1 이화여자대학교내

(72) 발명자

이우영

서울특별시 마포구 성산동 601 대림아파트 108-19

이준민

경기도 성남시 수정구 양지동 451번지 102호

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

특허법인리온

전체 청구항 수 : 총 21 항

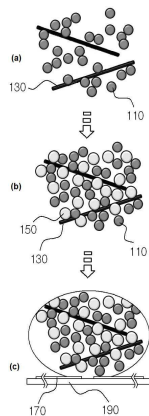
(54) 금속산화물 나노입자와 촉매를 이용한 수소센서 및 그 제조방법

(57) 요약

본 발명은 금속산화물(metal oxide)과 수소에 대한 흡착 및 반응 특성이 우수한 금속 나노입자의 혼합물을 기판상에 기능화시켜 구현되는 금속산화물 나노입자와 촉매를 이용한 수소센서 및 그의 제조방법에 관한 것이다.

본 발명은 Sn, Zn, Al, Si, In, Ti, Cr, Fe, Ni의 금속 중 선택된 적어도 어느 하나의 산화물로 이루어진 다수의 나노입자를 형성하는 공정, 상기 다수의 금속산화물 나노입자 사이에 수소의 반응을 위한 촉매제로서 금속 나노입자를 합성시키는 공정 및 상기 다수의 금속산화물 나노입자에 다수의 금속 나노입자를 합성시킨 결과물을 전극이 형성된 기판상에 분산시키는 공정을 포함하는 수소센서 제조방법을 제공하며, 동시에 이 제조방법에 의해 제조된 수소센서를 제공한다.

대표도 - 도1



(72) 발명자

김성진

경기도 고양시 일산서구 탄현동 탄현마을아파트
104동 302호

김세리

전라북도 익산시 영등동 255 라인아파트 102동 40
6호

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 10816

부처명 서울특별시

연구관리전문기관

연구사업명 서울시 산학연 협력사업(2006년 기술기반구축사업)

연구과제명 나노 기술을 이용한 바이오 융합산업 혁신 클러스터

기여율

주관기관 연세대학교 산학협력단

연구기간 2006년 08월 1일~2011년 07월 31일

특허청구의 범위

청구항 1

Sn, Zn, Al, Si, In, Ti, Cr, Fe, Ni의 금속 중 선택된 적어도 어느 하나의 산화물로 이루어진 다수의 금속산화물 나노입자를 형성하는 공정;

상기 다수의 금속산화물 나노입자 사이에 수소와의 반응을 위한 촉매제로서 금속 나노입자를 합성시키는 공정; 및

상기 다수의 금속산화물 나노입자에 다수의 금속 나노입자를 합성시킨 결과물을 전극이 형성된 기판상에 분산시키는 공정;

을 포함하는 금속산화물 나노입자와 촉매를 이용한 수소센서 제조방법.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 금속산화물 나노입자는 상기 금속산화물의 나노와이어(nanowire)를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 금속산화물 나노입자와 촉매를 이용한 수소센서 제조방법.

청구항 3

청구항 2에 있어서,

상기 금속산화물 나노와이어는 직경이 10nm~5 μ m인 것을 특징으로 하는 금속산화물 나노입자와 촉매를 이용한 수소센서 제조방법.

청구항 4

청구항 1에 있어서,

상기 금속산화물 나노입자는 직경이 5nm~50 μ m인 것을 특징으로 하는 금속산화물 나노입자와 촉매를 이용한 수소센서 제조방법.

청구항 5

청구항 1에 있어서,

상기 금속산화물 나노입자의 형성공정은,

상기 금속산화물을 가스 분위기 내에서 900~1300℃로 가열하는 공정;

상기 가열된 상태를 2~5시간 동안 유지하는 공정; 및

상기 가열된 금속산화물을 상온까지 냉각시키는 공정; 을 포함하는 것을 특징으로 하는 금속산화물 나노입자와 촉매를 이용한 수소센서 제조방법.

청구항 6

청구항 5에 있어서,

상기 냉각의 속도는 2~4℃/분인 것을 특징으로 하는 금속산화물 나노입자와 촉매를 이용한 수소센서 제조방법.

청구항 7

청구항 1에 있어서,

상기 금속 나노입자는 Pd, Pt, Rd, Al, Ni, Mn, Mo, Mg, V 중 선택된 어느 하나인 것을 특징으로 하는 금속산화물 나노입자와 촉매를 이용한 수소센서 제조방법.

청구항 8

청구항 1에 있어서,

상기 금속 나노입자는 직경이 1~200nm인 것을 특징으로 하는 금속산화물 나노입자와 촉매를 이용한 수소센서 제조방법.

청구항 9

청구항 1에 있어서,

상기 금속 나노입자 합성공정은 금속 이온용액의 환원과정을 통하여 이루어지는 것을 특징으로 하는 금속산화물 나노입자와 촉매를 이용한 수소센서 제조방법.

청구항 10

일면에 전극이 형성된 기판;

상기 전극에 접촉되도록 형성되며 Sn, Zn, Al, Si, In, Ti, Cr, Fe, Ni의 금속 중 선택된 적어도 어느 한 금속의 산화물로 이루어진 다수의 금속산화물 나노입자; 및

상기 다수의 금속산화물 나노입자 사이에 수소와의 반응을 위한 촉매제로서 합성된 다수의 금속 나노입자;

를 포함하는 금속산화물 나노입자와 촉매를 이용한 수소센서.

청구항 11

청구항 10에 있어서,

상기 금속산화물 나노입자는 상기 금속산화물의 나노와이어(nanowire)를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 금속산화물 나노입자와 촉매를 이용한 수소센서.

청구항 12

청구항 11에 있어서,

상기 금속산화물 나노와이어 직경은 10nm~5 μ m임을 특징으로 하는 금속산화물 나노입자와 촉매를 이용한 수소센서.

청구항 13

청구항 10에 있어서,

상기 금속산화물 나노입자 직경은 5nm~50 μ m인 것을 특징으로 하는 금속산화물 나노입자와 촉매를 이용한 수소센서.

청구항 14

청구항 10에 있어서,

상기 금속 나노입자는 Pd, Pt, Rd, Al, Ni, Mn, Mo, Mg, V 중 선택된 어느 하나인 것을 특징으로 하는 금속산화물 나노입자와 촉매를 이용한 수소센서.

청구항 15

청구항 10에 있어서,

상기 금속 나노입자의 직경은 1~200nm인 것을 특징으로 하는 금속산화물 나노입자와 촉매를 이용한 수소센서.

청구항 16

다수의 금속산화물 나노입자 및 상기 다수의 금속산화물 나노입자들 사이에 수소와의 반응을 위한 촉매제로서 합성된 다수의 금속 나노입자를 포함하고,

상기 금속 나노입자가 수소에 노출되면 격자가 팽창하여 서로 연결된 와이어를 형성함으로써 전기저항값이 감소

하고, 이후에 수소를 차단하면 상기 금속산화물 나노입자가 상기 금속 나노입자의 연결을 방해하여 상기 금속 나노입자가 초기의 분리된 상태로 되돌아가서 초기 전기저항값을 유지하도록 하는 것을 특징으로 하는 금속산화물 나노입자와 촉매를 이용한 수소센서.

청구항 17

청구항 16에 있어서,

상기 금속산화물 나노입자는 상기 금속산화물의 나노와이어(nanowire)를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 수소센서.

청구항 18

청구항 16 또는 청구항 17에 있어서,

상기 금속산화물은 Sn, Zn, Al, Si, In, Ti, Cr, Fe, Ni의 금속 중 선택된 적어도 어느 하나의 산화물로 이루어지고, 상기 금속 나노입자는 Pd, Pt, Rd, Al, Ni, Mn, Mo, Mg, V 중 선택된 어느 하나인 것을 특징으로 하는 금속산화물 나노입자와 촉매를 이용한 수소센서.

청구항 19

다수의 금속산화물 나노입자 및 상기 다수의 금속산화물 나노입자들 사이에 수소와의 반응을 위한 촉매제로서 합성된 다수의 금속 나노입자를 포함하고,

상기 금속 나노입자가 상기 금속산화물 나노입자에 촉매로 작용하여 상온에서 산소를 제거함으로써 표면의 산화층을 제거하고 상기 산화층이 제거된 상태에서 수소에 노출되면 전기전도도가 상승하고, 이후에 다시 산소에 노출되면 산화층을 환원시키도록 하는 것을 특징으로 하는 금속산화물 나노입자와 촉매를 이용한 수소센서.

청구항 20

청구항 18에 있어서,

상기 금속산화물 나노입자는 상기 금속산화물의 나노와이어(nanowire)를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 금속산화물 나노입자와 촉매를 이용한 수소센서.

청구항 21

청구항 19 또는 청구항 20에 있어서,

상기 금속산화물은 Sn, Zn, Al, Si, In, Ti, Cr, Fe, Ni의 금속 중 선택된 적어도 어느 하나의 산화물로 이루어지고, 상기 금속 나노입자는 Pd, Pt, Rd, Al, Ni, Mn, Mo, Mg, V 중 선택된 어느 하나인 것을 특징으로 하는 금속산화물 나노입자와 촉매를 이용한 수소센서.

명세서

발명의 상세한 설명

기술분야

[0001] 본 발명은 수소센서 및 그의 제조방법에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 금속산화물(metal oxide) 나노입자 및 수소에 대한 반응 촉매로서 흡착 및 반응 특성이 우수한 금속 나노입자의 혼합물을 기판상에 기능화시켜 구현된 금속산화물 나노입자와 촉매를 이용한 수소센서 및 그의 제조방법에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 최근 지속적인 화석연료 사용에 따라 지구 온난화와 같은 환경 오염 문제 및 화석연료 고갈에 따른 에너지 수급 문제가 대두되고 있다. 이를 극복할 수 있는 대안으로서 청정 에너지 자원이며 앞으로 발전 가능성을 보여주고 있는 수소(hydrogen)에 대해 관심이 집중되고 있으며 수소 에너지의 개발이 빠른 속도로 진행되고 있다.

[0003] 현재 이러한 수소 에너지를 범용화하기 위한 다양한 기술들이 실용화 단계에 도달하고 있다. 그러나 수소가 청정 에너지로서 사용되기 이전에 공기 중에서 4%의 농도 이상으로 노출될 경우 가연성을 가지고 쉽게 폭발하는

특성이 있으므로 수소 에너지를 쉽게 사용하기 위해서는 미량의 수소를 빠르고 정확하게 감지할 수 있는 기술이 필수적으로 요구된다.

- [0004] 이에 최근에 수소를 감지하기 위한 수소센서 기술에 대한 연구가 지속적으로 진행되고 있다. 이러한 수소센서는 금속물질이나 반도체 재료에서의 수소와의 반응에 따른 전기신호의 변화를 이용하여 수소를 감지하도록 한다. 이 경우 수소센서에서 수소를 빠르고 정확하게 감지하기 위해서는 수소에 대한 높은 정도의 반응성을 갖는 것이 무엇보다도 중요하다.
- [0005] 그런데, 수소는 일반적으로 금속물질이나 반도체 재료에 거의 반응하지 않는다. 이러한 문제를 해결하기 위해 수많은 연구에서 수소와의 반응을 위한 촉매제로서 팔라듐(palladium: Pd)을 금속물질이나 반도체 재료에 기능화시켜 수소와의 반응성을 극대화하는 기술이 제시되었다(Kong J, Chapline G and Dai H, Adv. Mater. 13, 2001).
- [0006] 이러한 팔라듐(Pd)의 수소와의 반응을 이용한 센서용 수소감지 기술로는 Pd를 기능화한 기관에 수소가 유입됨에 따라서 Pd 격자의 팽창이 발생하여 서로 연결된 와이어(wire)처럼 형성됨으로써 전기저항이 감소되는 현상을 이용하는 기술이 제시되어 있다(Penner et al., 2001). 여기에는 수소흡착에 의한 Pd의 격자 팽창을 실험적으로 확인함으로써 Pd 나노입자들을 연속적이지 않는 와이어의 형태로 배열하여 전기신호를 검출하였다.
- [0007] 그러나, 종래에 이러한 수소센서의 경우 스퍼터와 증기증착법 등으로 강한 힘을 Pd 입자에 주어 기관에 밀착하여 격자를 팽창시키는 방법을 이용하였는데, 이 결과는 수소 노출 이후에도 연결이 지속되지 않은 효과를 가져 오기는 하나 팽창되는 양이 기관과의 결합력에 의해 감소되기 때문에 수소에 대한 민감도가 크지 않은 모습을 보였다. 또한, Pd 입자를 기관에 접착하지 않은 경우에는 수소 노출시 Pd 격자가 팽창한 후 수소 노출을 중단하면 Pd 간의 결합력으로 인해 초기 상태로 복구되지 않아 재현성이 떨어지는 단점이 있다. 나아가, Pd 입자를 이용한 이들 수소센서는 고농도의 수소에만 반응하고 수소 노출을 중단하게 되면 초기 저항값이 변하는 문제점도 있다.
- [0008] 또한, 센서용 수소 감지기술로 박막형 재료를 이용한 기술과 MISFET 등의 반도체를 이용한 기술이 보고되고 있다(F.Dimeo et al., 2003 Annual Merit Review). 그러나 이들 기술이 보유한 각각의 장점에도 불구하고, 수소센서의 핵심이라 할 수 있는 감지할 수 있는 초기 수소농도, 반응시간, 감지온도, 구동 소비전력 등의 측면에서 그 성능은 아직 미미한 수준에 머물러 있다.
- [0009] 이와 같이 종래의 수소센서들은 기존 수소센서의 문제점을 어느 정도 보완하였지만 감지능력, 민감도, 안정성, 저 농도에서의 빠른 반응시간 등의 과제에서 기존 센서에 대한 대안이 되지 못하는 실정이다.
- [0010] 수소센서는 가까운 미래에 개발될 수소자동차 등 수소 에너지를 사용하게 되는 모든 기계장치에 반드시 필요한 기술이며, 아울러 미래 연료에 대한 안전 대책 및 그 실효성을 보증할 수 있는 원천기술로서 그 기술개발이 시급한 실정이다.

발명의 내용

해결 하고자하는 과제

- [0011] 따라서, 본 발명자들은 종래의 수소센서에 비하여 민감도가 우수하고 저농도에서도 빠른 반응시간을 갖는 수소센서를 구현할 수 있는 방법을 검토하였다. 그 결과, 팔라듐 등과 같이 수소와의 반응을 위한 촉매로서 수소에 대한 흡착 및 반응 특성이 우수한 금속입자 사이에 특정 금속산화물(metal oxide: MO) 입자를 첨가하면 수소와 반응시 금속입자의 팽창으로 전기저항이 현저히 떨어지고 수소 중단시 금속산화물의 기능으로 금속입자가 수축하여 초기상태로 되돌아감으로써 수소에 대해 민감도가 훨씬 증가하고 빠른 반응시간을 보이는 우수한 수소센서를 얻을 수 있음을 발견하였다. 이에 본 발명을 제시하는 것이다.
- [0012] 그러므로, 본 발명은 통상의 방법으로 마련된 기관상에 수소와의 반응성이 우수한 금속입자에 Sn, Zn, Al, Si, In, Ti, Cr, Fe, Ni 등 금속의 산화물을 첨가한 결과물을 형성함으로써 저 농도의 수소에 대해 민감도 향상 및 빠른 반응시간을 동시에 만족하고 우수한 수소감지능력을 갖도록 하는 금속산화물 나노입자와 촉매를 이용한 수소센서 및 그의 제조방법을 제공함에 그 목적이 있다.

과제 해결수단

- [0013] 상기 목적을 달성하기 위한 본 발명은,

- [0014] Sn, Zn, Al, Si, In, Ti, Cr, Fe, Ni의 금속 중 선택된 적어도 어느 하나의 산화물로 이루어진 다수의 나노입자를 형성하는 공정;
- [0015] 상기 다수의 금속산화물 나노입자 사이에 수소와의 반응을 위한 촉매제로서 금속 나노입자를 합성시키는 공정; 및
- [0016] 상기 다수의 금속산화물 나노입자에 다수의 금속 나노입자를 합성시킨 결과물을 전극이 형성된 기판상에 분산시키는 공정; 을 포함하는 금속산화물 나노입자와 촉매를 이용한 수소센서 제조방법을 제공한다.
- [0017] 또한, 상기 목적을 달성하기 위한 본 발명은,
- [0018] 일면에 전극이 형성된 기판;
- [0019] 상기 전극에 접촉되도록 형성되며 Sn, Zn, Al, Si, In, Ti, Cr, Fe, Ni의 금속 중 선택된 적어도 어느 한 금속의 산화물로 이루어진 다수의 나노입자; 및
- [0020] 상기 다수의 금속산화물 나노입자 사이에 수소와의 반응을 위한 촉매제로서 합성된 다수의 금속 나노입자; 를 포함하는 금속산화물 나노입자와 촉매를 이용한 수소센서를 제공한다.
- [0021] 본 발명의 실시 예에서, 상기 금속산화물 나노입자는 상기 금속산화물의 나노와이어(nanowire)를 더 포함함이 바람직하다. 이때, 상기 금속산화물 나노와이어는 직경이 10nm~5 μ m인 것이 바람직하다.
- [0022] 본 발명의 실시 예에서, 상기 금속산화물 나노입자는 직경이 5nm~50 μ m인 것이 바람직하다.
- [0023] 본 발명의 실시 예에서, 상기 금속산화물 나노입자의 형성공정은,
- [0024] 상기 금속산화물을 가스 분위기 내에서 900~1300℃로 가열하는 공정; 상기 가열된 상태를 2~5시간 동안 유지하는 공정; 및 상기 가열된 금속산화물을 상온까지 냉각시키는 공정; 을 포함함이 바람직하다.
- [0025] 본 발명의 실시 예에서, 상기 냉각의 속도는 2~4℃/분인 것이 바람직하다.
- [0026] 본 발명의 실시 예에서, 상기 금속 나노입자는 Pd, Pt, Rd, Al, Ni, Mn, Mo, Mg, V 중 선택된 어느 하나인 것이 바람직하다.
- [0027] 본 발명에서, 상기 금속 나노입자는 스퍼터링, 화학적 증착, 전자빔 증착 또는 전기도금법 중 선택된 어느 하나의 방법을 이용하여 형성시킬 수 있다.
- [0028] 본 발명에서, 상기 금속 나노입자는 직경이 1~200nm인 것이 바람직하다.
- [0029] 본 발명의 실시 예에서, 상기 금속 나노입자는 금속 이온용액의 환원과정을 통하여 합성되는 것이 바람직하다.
- [0030] 나아가, 본 발명은,
- [0031] 다수의 금속산화물 나노입자 및 상기 다수의 금속산화물 나노입자들 사이에 수소와의 반응을 위한 촉매제로서 합성된 다수의 금속 나노입자를 포함하고,
- [0032] 상기 금속 나노입자가 수소에 노출되면 격자가 팽창하여 서로 연결된 와이어를 형성함으로써 전기저항값이 감소하고, 이후에 수소를 차단하면 상기 금속산화물 나노입자가 상기 금속 나노입자의 연결을 방해하여 상기 금속 나노입자가 초기의 분리된 상태로 되돌아가서 초기 전기저항값을 유지하도록 하는 것을 특징으로 하는 금속산화물 나노입자와 촉매를 이용한 수소센서를 제공한다.
- [0033] 더하여, 본 발명은,
- [0034] 다수의 금속산화물 나노입자 및 상기 다수의 금속산화물 나노입자들 사이에 수소와의 반응을 위한 촉매제로서 합성된 다수의 금속 나노입자를 포함하고,
- [0035] 상기 금속 나노입자가 상기 금속산화물 나노입자에 촉매로 작용하여 상온에서 산소를 제거함으로써 표면의 산화

층을 제거하고 상기 산화층이 제거된 상태에서 수소에 노출되면 전기전도도가 상승하고, 이후에 산소에 노출되면 산화층을 환원시키도록 하는 것을 특징으로 하는 금속산화물 나노입자와 촉매를 이용한 수소센서를 제공한다.

[0036] 여기서, 상기의 수소센서에서, 상기 금속산화물 나노입자는 상기 금속산화물의 나노와이어(nanowire)를 더 포함함이 바람직하다. 또한, 상기 금속산화물은 Sn, Zn, Al, Si, In, Ti, Cr, Fe, Ni의 금속 중 선택된 적어도 어느 하나의 산화물이고, 상기 금속 나노입자는 Pd, Pt, Rd, Al, Ni, Mn, Mo, Mg, V 중 선택된 어느 하나인 것이 바람직하다.

효 과

[0037] 본 발명에 따르면 수소의 반응을 위한 촉매체로서 사용되는 금속입자 사이에 소정의 금속산화물을 첨가함으로써 기존과는 다른 메커니즘에 의해 민감도가 획기적으로 증가하고 빠른 반응시간을 나타내는 효과가 있다.

[0038] 또한, 본 발명에 따르면 기존에 비해 농도가 매우 낮은 수소에 대해 빠르고 정확한 감지가 가능하고 수소에만 반응하도록 함으로써 가스종류에 대한 선택성을 부여할 수 있다.

[0039] 또한, 본 발명에 따르면 마이크로 피펫을 이용하여 기관상의 전극에 금속 나노입자 및 금속산화물 나노입자를 분산시켜 수소센서를 형성함으로써 보다 간단한 공정을 통해 수소센서를 제조할 수 있다.

[0040] 나아가, 본 발명에 의하면 수소의 반응 이후 수소의 노출이 중단되면 수소센서의 초기 저항값이 원상태로 복귀하므로 기존 수소센서와는 달리 초기 저항값을 보정할 필요가 없고, 상온에서 계속 반복적으로 재측정이 가능하며 재현성이 있다는 효과가 있다.

발명의 실시를 위한 구체적인 내용

[0041] 이하에서, 본 발명의 바람직한 실시 예를 나타낸 첨부도면을 참조하여 본 발명을 상세하게 설명한다.

[0042] 도 1은 본 발명에 따른 수소센서의 제조공정을 나타내는 모식도이다.

[0043] 본 발명에서는 도 1(a)에서와 같이 다수의 금속산화물(MO:metal oxide) 나노입자(nano particle)(110)를 형성한다. 본 발명의 일 실시 예에서, 이러한 금속산화물(MO)은 Sn, Zn, Al, Si, In, Ti, Cr, Fe, Ni의 금속 중 선택된 적어도 어느 한 금속의 산화물로 이루어짐이 바람직하다. 특히, 이들 금속산화물을 나노입자로 형성함이 바람직하다. 이때, 본 발명에서 이러한 금속산화물 나노입자(110)는 그 해당 금속산화물의 나노와이어(nanowire)(130)를 더 포함할 수도 있다. 바람직하게는 금속산화물 나노와이어(130)는 금속산화물 나노입자(110) 형성과정에서 동시에 형성될 수 있다. 여기서, 본 발명의 실시 예에 따른 금속산화물의 나노입자(110) 및 나노와이어(130)를 형성하기 위한 장치, 즉 금속산화물을 열처리하여 나노입자 및 나노와이어로 제조하기 위한 제조장치의 구성 및 그 열처리 과정을 설명하면 다음과 같다.

[0044] 도 2는 본 발명에 따른 금속산화물의 나노입자 및 나노와이어를 제조하기 위한 장치를 보여주는 단면도이다.

[0045] 도 2를 참조하면, 본 발명의 제조장치는 크게 가열로(10), 가열로(10) 내에 배치된 석영튜브(30), 석영튜브(30) 내에 형성된 두 개의 알루미늄 보트(50,70)를 포함하여 구성된다. 도면에는 도시하지 않았으나 가열로(10)에는 히터(미도시)가 위치하여 석영튜브(30)를 가열함으로써, 그 내부의 알루미늄 보트(50)를 가열하게 된다. 이때 가열온도는 제어기(controller)(미도시)를 통해 조절할 수 있다.

[0046] 석영튜브(30)의 양단부에는 아르곤(Ar)가스가 들어오고 나가도록 하기 위한 입구(31)와 출구(33)가 각각 형성된다. 이로써 입구(31)를 통해 아르곤(Ar)가스가 유입되어 수평으로 유지된 석영튜브(30)의 내부를 흘러 출구(33)로 빠져나간다.

[0047] 이에, 가열로(10)의 중앙부에 위치한 알루미늄 보트(50)에 금속산화물(90)을 채우고 석영튜브(30)의 입구(31)를 통해 아르곤 가스를 주입한다. 이때, 촉매체로 작용하는 금속은 전혀 사용하지 않는다. 이어, 히터(미도시)의 열에 의해 알루미늄 보트(50)가 가열되면서 동시에 금속산화물(90)이 가열된다. 이러한 열처리를 통해 알루미늄 보트(50)에 있는 금속산화물(90)이 흐르는 아르곤 가스에 의해 반응하여 석영튜브(30)의 출구(33) 측에 놓인 다

른 알루미늄이나 보트(70)에 나노입자(110)로 증착된다. 이때, 가열온도는 900~1300℃로 가열함이 바람직하다. 그 이유는 이 범위를 벗어나면 반응이 잘 일어나지 않기 때문이다. 이러한 가열온도를 2~5시간 동안 유지한 후 그 가열된 금속산화물(90)을 상온까지 냉각시키는 것이 바람직하다. 이는 충분한 반응이 일어나도록 하기 위한 것이다. 이때, 금속산화물 나노입자(110)의 증착을 용이하게 하기 위해 2~5℃/min의 속도로 냉각하는 것이 바람직하다. 이때, 바람직하게는 이러한 열처리 과정에서 금속산화물 나노와이어(130)가 동시에 형성될 수 있다. 본 발명의 수소센서에서는 필요에 따라 선택적으로 금속산화물의 나노입자(110) 및 나노와이어(130)를 분리하여 사용할 수도 있고, 이들 둘 다 함께 사용할 수도 있다.

[0048] 이어, 본 발명에서는 도 1(b)에서와 같이, 다수의 금속산화물 나노입자(110) 사이에 수소와의 반응을 위한 촉매제로서 다수의 금속 나노입자(150)들을 합성시킨다. 본 발명에서는 이러한 금속 나노입자(150)는 금속 이온용액의 환원과정을 통해 합성시킬 수 있다. 이때, 본 발명의 실시 예에 따른 금속 나노입자(150)는 Pd, Pt, Rd, Ni, Al, Mn, Mo, Mg, V 등이 될 수 있다. 이러한 다수의 금속 나노입자(150)는 다수의 금속산화물 나노입자(110) 사이에 기능화됨으로써 수소에 대한 반응시간이 빨라지고 민감도가 향상되는 효과를 가져올 수 있다. 이는 하기에서 보다 구체적으로 설명하기로 한다.

[0049] 이어, 본 발명에서는 도 1(c)에서와 같이 다수의 금속산화물 나노입자(110) 사이에 금속 나노입자(150)가 합성된 결과물을 전극(170)이 형성된 기판(190) 상에 형성한다. 본 발명에서는 바람직하게는 분산법을 이용하여 기판(190) 상에 형성한다. 이러한 분산법으로는 마이크로 피펫을 이용하여 전극(170)의 적어도 일부에 접촉되도록 분산시키는 것이 바람직하다. 이로써 수소센서의 제조과정이 간편해진다.

[0050] 도 3은 본 발명의 실시 예에 따른 수소센서를 나타내는 개략도이다.

[0051] 도 3에 나타난 바와 같이, 본 발명의 수소센서(200)는 전극(210)이 제공된 기판(220), 기판(220) 상에 형성된 다수의 금속산화물 나노입자(230), 다수의 금속산화물 나노입자(230) 사이에 합성된 다수의 금속 나노입자(240), 전극(210)에 전원을 공급하는 전원부(250) 및 금속 나노입자(240)의 전기신호를 분석하는 신호분석부(260)를 포함하여 구성된다. 본 발명의 다른 실시 예에서는 금속산화물의 나노입자(230)는 해당 금속산화물의 나노와이어(270)를 더 포함할 수도 있다.

[0052] 기판(220)은 Si/SiO₂ 기판을 이용할 수 있다. 기판(220)의 일면에 전극(210)이 형성된다. 전극(210)은 전원을 공급하기 위한 제1전극과 금속 나노입자(230)의 전기신호를 검출하기 위한 제2전극을 포함함이 바람직하다. 이들 전극(210)의 적어도 일부에 접촉되도록 다수의 금속산화물 나노입자(230)가 형성된다.

[0053] 금속산화물 나노입자(230)는 Sn, Zn, Al, Si, In, Ti, Cr, Fe, Ni의 금속 중 선택된 적어도 어느 한 금속의 산화물로 이루어지며, 바람직하게는 해당 금속산화물의 나노와이어(nano wire)(270)를 더 포함할 수 있다.

[0054] 금속 나노입자(240)는 다수의 금속산화물 나노입자(230) 사이에 합성되어 다수 개로 형성된다. 이는 금속 이온용액 환원과정을 통해 다수의 금속산화물 나노입자(230) 사이에 기능화(functionalized)됨으로써 형성될 수 있다. 이러한 금속 나노입자(240)는 수소센서에서 수소와 반응하기 위한 촉매제로 사용되며, 바람직하게는 Pd, Pt, Rd, Ni, Al, Mn, Mo, Mg, V 중 어느 하나로 이루어질 수 있다.

[0055] 한편, 다수의 금속산화물 나노입자(230) 사이에 다수의 금속 나노입자(240)를 합성한 결과물을 기판(220) 상의 전극(210)에 형성됨이 바람직하다.

[0056] 이러한 본 발명에 따른 수소센서(200)에서는 전원부(250)로부터 전극(210)에 전원을 공급한 상태에서 수소에 노출될 경우, 금속 나노입자(240)의 격자가 팽창하게 되어 금속 나노입자(240)가 서로 연결됨으로써 하나의 와이어(wire)를 형성하게 되어 전기저항이 현저히 감소된다. 이러한 전기저항의 변화를 신호분석부(260)에서 감지하여 효과적으로 수소를 감지하게 된다. 이후에 수소 노출을 차단하면 다수의 금속산화물 나노입자(230)가 금속 나노입자(240)들의 연결을 방해하여 금속 나노입자(240)가 초기의 형태로 되돌아 가도록 한다. 이때, 초기 형태로 되돌아가더라도 금속 나노입자(240)의 초기저항이 변하지 않으므로 수소센서의 수소감지에 대한 재현성이 우수함을 보인다. 이는 종래의 수소센서에서 다수의 금속 나노입자(240)만으로 구성된 경우 연속적인 수소와의 반응에서 연결된 금속 나노입자(240)의 저항이 증가하는 현상과는 달리, 연속적인 수소반응에서 전기저항이 변화하지 않는 특성을 갖는다. 이러한 종래의 수소센서에서는 금속 나노입자(240)만으로 구성함으로써 수소와의 연속적인 반응 이후에 기판과의 접촉력보다 금속 나노입자(240) 간의 연결이 더 강한 결합력을 갖기 때문이다. 본

발명에서는 이를 해결하기 위하여 금속산화물 나노입자(230)를 첨가함으로써 금속 나노입자(240) 간의 결합력을 감소시켜 초기 상태로 되돌아갈 수 있도록 하는 것이다. 금속산화물 나노입자(230) 및 금속 나노입자(240)를 마이크로 피켓을 이용하여 기관(220) 상에 분산시키는 것이 바람직하다.

[0057] 도 4는 종래기술과 본 발명에 따른 수소센서의 수소감지 메커니즘에 대한 비교 예를 나타낸 도면이다. 상세하게는 도 4의 (a)는 종래기술에 따라 금속 나노입자만을 기능화시킨 수소센서의 수소감지 메커니즘이고, 도 4의 (b)는 금속산화물 나노와이어에 금속 나노입자를 기능화시킨 수소센서의 수소감지 메커니즘이며, 도 4의 (c)는 금속산화물 나노입자 및 나노와이어에 금속 나노입자를 기능화시킨 수소센서의 수소감지 메커니즘이다.

[0058] 도 4의 (a-c)에서 금속산화물 나노입자 및 나노와이어의 존재에 따른 금속 나노입자의 변화를 수소에 대한 반응과 연관지어 살펴보면 다음과 같다.

[0059] 먼저, 도 4의 (a)와 같이 기관상에 금속 나노입자(401)만 기능화시킨 수소센서의 경우, 초기에 금속 나노입자(401)가 형성된 상태(a1)에서 수소에 노출되면 금속 나노입자(401)의 격자가 팽창하여 서로 연결되며 이로써 와이어(wire)(402)를 형성하게 된다(a2). 이후에 수소를 차단하면 초기의 형태(a1)로 되돌아 가지 않고 금속 나노입자(401)가 수축하여 연결된 상태에서 와이어(wire)(402)를 계속 유지한다(a3). 즉, 수소 반응 및 차단에 따라 (a1)과 (a2)는 비가역성(irreversible process)을 갖고 (a2)와 (a3)는 상호 가역성(reversible process)을 갖는다. 이는 수소의 반응 이후에 기관과의 접촉력보다는 금속 나노입자(401)들 간의 결합력이 더 크기 때문이다. 이 경우에는 앞서 설명한 바와 같이 금속 나노입자의 와이어는 나노선과 같은 형태의 저항이 증가하는 현상이 발생된다.

[0060] 다음으로, 도 4의 (b)와 같이 다수의 금속산화물 나노와이어(403) 사이에 금속 나노입자(404)를 합성시킨 수소센서의 경우, 초기에 금속 나노입자(404)가 형성된 상태(b1)에서 수소에 노출되면 도 4의 (a)와 동일하게 금속 나노입자(404)의 격자가 팽창하여 서로 연결되어 와이어(wire)(405)를 형성하게 된다(b2). 이후에 수소를 차단 하더라도 초기형태(b1)로 되돌아가지 않고, 도 4의 (a)와 마찬가지로 금속 나노입자(404)가 수축하여 연결된 상태에서 와이어(wire)(405)를 계속 유지하게 된다(b3). 따라서, 이때에도 수소 반응 및 차단에 따라서 (b1)과 (b2)는 비가역성(irreversible process)을 갖고 (a2)와 (a3)는 가역성(reversible process)을 갖는다. 또한 도 4의 (b)에서도 와이어(wire)(405)는 나노선과 같은 형태의 저항이 증가하는 현상이 발생된다.

[0061] 그러나, 도 4의 (c)와 같이 다수의 금속산화물 나노입자 사이에 다수의 금속 나노입자를 합성시킨 수소센서의 경우와, 도 4의 (d)와 같이 다수의 금속산화물 나노입자 및 나노와이어에 다수의 금속 나노입자를 합성시킨 수소센서의 경우에는 다른 형태의 메커니즘을 보인다. 즉 도 4의 (c)에서와 같이 금속 나노입자(406)가 형성된 상태(c1)에서 금속 나노입자(406) 사이에 도전성에 대한 장애물로서 금속산화물의 나노입자(407)가 첨가되어 그 사이사이의 공간을 메우고 있기 때문에 금속 나노입자(406)의 저항은 매우 큰 값으로 나타나며 그 수준은 수십 MΩ으로 거의 통전이 되지 않는 수준이다. 여기서 수소에 노출되면 금속 나노입자(404)가 수소의 반응을 일으켜 금속 나노입자(406)의 격자가 팽창하여 서로 연결된 와이어(408)를 형성하게 된다(c2). 이때 전기저항은 현저히 감소되고 민감도 수준은 수십만 퍼센트를 보이며 빠른 반응시간을 나타내게 된다. 이후에 수소를 차단하게 되면 금속산화물 나노입자(407)가 금속 나노입자(406)의 결합을 방해하는 역할을 하여 연결된 금속 나노입자 와이어(408)를 초기의 연결이 분리된 상태(c1)로 되돌리게 한다. 이로써 초기의 상태와 동일하게 변화하기 때문에 초기 저항값이 동일하게 유지되고 수소감지에 있어 우수한 재현성을 보이게 된다. 이와 같이, 도 4의 (c)에 개시된 수소센서의 경우에는 수소의 노출 및 차단에 따라 반응은 서로 가역성(reversible process)을 갖는다.

[0062] 나아가, 도 4의 (d)에서도 도 4의 (c)와 동일한 작용 및 효과가 발생한다. 다시 말하면, 도 4의 (d)에서와 같이 금속 나노입자(409) 사이에 금속산화물의 나노입자(410) 및 나노와이어(411)가 첨가된 수소센서의 경우 금속 나노입자(409)가 형성된 상태(d1)에서 수소에 노출되면 금속 나노입자(409)가 수소의 반응을 일으켜 금속 나노입자(409)의 격자가 팽창하여 서로 연결된 와이어(412)를 형성하게 된다(d2). 이후에 수소를 차단하면 금속산화물 나노입자(410)가 금속 나노입자(409)의 결합을 방해하는 역할을 하여 연결된 금속 나노입자 와이어(412)를 초기의 연결이 분리된 상태(d1)로 되돌리게 한다. 이 경우에도 도 4의 (c)와 동일하게 수소의 노출 및 차단에 따라 반응은 서로 가역성(reversible process)을 갖는다.

[0063] 도 5는 본 발명에 따른 수소센서의 수소감지 메커니즘에 대한 다른 일례를 나타낸 도면이다.

[0064] 도 5의 (a)는 본 발명에 따른 수소센서가 산소(oxygen)가 존재하는 공기 중에서의 수소감지 메커니즘을 나타내며, 도 5의 (b)는 본 발명에 따른 수소센서가 산소가 존재하지 않는 질소 중에서의 수소감지 메커니즘을 나타내

고 있다.

- [0065] 도 5의 (a) 및 (b)를 비교하여 분석해 보면, 도 5의 (a)와 같이 완전히 반응하고 회복되는 공기 중의 환경에서와는 달리, 도 5의 (b)와 같이 질소환경에서는 전기전도도가 원래의 것으로 회복되지 않는다. 다시 말하면, 초기 표면의 산화층은 제일 처음의 반응에서 모두 제거된다. 그 뒤에 산소가 존재하지 않기 때문에 원래의 값으로 회복되지 않는다. 그리고, 두 번째의 반응에서는 다시 처음 반응과 동일한 정도의 전기전도도 증가를 보이고 있다. 이는 산화층이 없어진 상황에서 금속 나노입자의 수소에 대한 팽창에만 의한 전기전도도 증가의 결과인 것이다. 그렇다면 완전히 회복되지 않는 값과 초기 값의 차이는 산화층의 제거에 의한 전기전도도의 증가를 나타낸 것이다. 이후 마지막에 다시 산소가 존재하는 공기를 흘려주었을 때에는 다시 원래의 값으로 떨어지며, 다시 산화층이 표면에 형성되어 전기전도도를 매우 나쁘게 만들었음을 의미한다.
- [0066] 도 6은 본 발명의 일 실시 예에 따른 Pd가 형성된 Sn 산화물 수소센서의 수소농도 1%에 대한 반응 결과를 도시한 도면이다.
- [0067] 도 6을 참조하면, 본 발명에 따른 Pd가 형성된 Sn 산화물(SnO_2) 수소센서가 산소가 존재하는 공기 중의 환경과 산소가 존재하지 않는 질소 중의 환경에서 동일한 수소농도 1%에 대하여 반응한 결과를 살펴보면, 질소 환경에서는 SnO_2 의 산화층이 환원되어 전기전도도를 향상시키는 결과를 보인다.
- [0068] 이를 구체적으로 설명하면, 도 6에서와 같이, 산소가 존재하는 공기 중의 환경에서보다 산소가 존재하지 않는 질소 환경에서 훨씬 더 높은 전기전도도의 증가를 보임을 알 수 있다. 이는 산소가 존재하는 공기 중의 환경에서는 산소가 SnO_2 나노와이어 표면의 산화층 형성을 일어나게 하여 전기전도도가 감소되며, 산소가 존재하지 않는 질소 환경에서는 산화층의 환원이 일어나 이보다 5배 가량 높은 전기전도도의 증가를 나타냄을 알 수 있다. 또한, 질소 환경에서는 산소가 존재하지 않기 때문에 다시 원래 상태로 회복하지 못하는 결과를 가져온다.
- [0069] 이상에서 설명한 도 4 내지 도 6에서와 같이, 본 발명에 따른 수소센서에서는 금속 나노입자의 팽창에 의한 전기전도도의 증가 및 금속 나노입자가 촉매로 작용하여 상온에서도 금속산화물을 환원시킴으로써 전기전도도를 향상시키는 두 가지의 메커니즘이 작용한다. 예컨대, 팔라듐(Pd)과 플라티늄(Pt) 등과 같은 촉매는 상온에서 잘 환원되지 않는 산화물에 촉매로 작용하여 쉽게 산소를 제거할 수 있게 만들어 주며, 다시 쉽게 산화층을 형성할 수 있게 해준다. 이러한 메커니즘을 이용하여 수소센서에서 수소감지가 가능하도록 한다.
- [0070] 이하, 실험 예를 통해 본 발명을 상세히 설명한다.
- [0071] [실험 예]
- [0072] 본 실험 예에서는 금속산화물로서 Sn, Zn, Al, Si, In, Ti, Cr, Fe, Ni의 금속 중에서 일례로 Sn 산화물(Tin Oxide)을 선택하고, 수소와의 반응을 위한 촉매체로서 Pd, Pt, Rd, Ni, Al, Mn, Mo, Mg, V 중에서 일례로 Pd 나노입자를 선택하여 수소센서를 제조하는 실험을 실시하였다. 그러나, 본 발명은 이러한 일례에 제한되지 않으며, Sn 및 Pd 이외에 상기한 다른 금속들을 사용할 수 있음은 물론이다. 이때 필요에 따라 실험조건 등은 달리 할 수 있을 것이다.
- [0073] 본 실험에서는 Sn 산화물 나노입자를 Sn 결정의 파우더(crystal powder)를 이용하여 도 2의 제조장치를 통해 열적인 방법으로 간단하게 제작하였다. 우선, 순도가 99.99%인 3.0g의 Sn 결정 파우더를 알루미늄 보트에 채우고 석영튜브 내에 위치시킨다. 아르곤 가스가 흐르는 하류 부분에 다른 알루미늄 보트를 위치시킨다.
- [0074] 가열로 내에 제공된 히터를 이용하여 알루미늄 보트를 가열함으로써 Sn 결정의 파우더가 하류 측의 다른 알루미늄 보트에 다량의 나노입자 및 나노와이어로 증착되었다. 이때 가열로의 가열온도는 900℃로 하고 그 가열온도를 3시간 동안 유지하였다. 이후에 가열로는 분당 3℃의 속도로 상온까지 냉각시켰다.
- [0075] 이러한 반응 이후에 커다란 양의 Sn 산화물 나노입자 및 나노와이어가 아르곤 가스가 흐르는 석영튜브의 하류부분에 위치한 다른 알루미늄 보트에 나타났다. 이때, Sn 산화물 나노입자 및 나노와이어 제조시 다른 어떠한 촉매를 사용하지 않고 순수한 형태의 Sn 산화물 나노입자 및 나노와이어를 제조할 수 있게 되었다.
- [0076] 이어서, Sn 산화물 나노입자 및 나노와이어에 Pd 나노입자를 합성하는 실험을 실시하였다. 본 실험 예에서는 금속 이온용액의 환원과정을 통해 Pd 나노입자를 합성시키도록 하였다. 우선, 3개의 목과 아래가 둥근 형태를 가

진 100ml 용량의 플라스크에 30ml의 증류수를 채우고 0.005mmol의 PdCl_2 (순도 99%의 시약을 첨가한 팔라듐 클로라이드) 및 K_2PtCl_4 (순도 98%의 포타슘 테트로프라티네이트(II))를 용해시켰다. 그리고 Pd과 Pt 반응 플라스크에 염산 35%를 함께 섞어 균형있는 PH 상태를 만들었다. 이러한 플라스크가 포함되어 있는 상태로 30분간 초음파 세척기에 의해 초음파 진동을 가해주었다. 이러한 과정을 거쳐 다수의 Sn 나노입자 및 나노와이어들은 금속 이온용액에 잘 분산되었고, 그 이온용액을 질소가스가 흐르는 상태로 1시간 동안 휘저었다. 그 뒤에 그 용액은 0.1M의 NaBH_4 의 용액에 의해 상온에서 환원되었으며 그 결과물은 증류수로 씻겨졌다.

[0077] 이와 같은 실험을 통해 다수의 Sn 산화물 나노입자 및 나노와이어 사이에 다수의 Pd 나노입자가 합성되도록 하였으며, 그 결과물을 전극이 형성된 기판상에 마이크로 패킷을 이용하여 분산시켜 수소센서를 제조하였다.

[0078] 도 7는 본 실험 예에 따른 Sn 산화물 나노입자 및 나노와이어에 대한 투과형 전자 현미경(TEM) 조직사진이고, 도 8은 본 실험 예에 따른 Sn 산화물 나노입자 및 나노와이어 사이에 Pd 나노입자가 합성된 결과물에 대한 주사형 전자 현미경(SEM) 조직사진이다.

[0079] 도 7에 나타낸 TEM 조직사진에서 다수의 Sn 산화물의 나노입자 및 나노와이어(213)가 다량으로 형성됨을 알 수 있다. Sn 나노입자는 직경이 5nm~50 μm 이고 Sn 나노와이어는 직경이 10nm~5 μm 이다. 또한, 도 8에 나타낸 SEM 조직사진에서 다수의 Sn 산화물 나노입자 및 나노와이어 사이에 Pd 나노입자가 다량으로 합성됨을 알 수 있다. 이 조직사진에서 알 수 있듯이, Pd 나노입자는 다수의 금속산화물 나노입자 및 나노와이어 사이에 비교적 균질하게 분포되어 있으며 직경이 1~200nm이다.

[0080] 도 9는 본 발명에 따른 수소센서에서 연속적인 수소 반응에 따른 결과를 나타낸 도면이다.

[0081] 도 9를 참조하면, 본 발명에 따른 수소센서의 경우, 공기 중 1000ppm의 낮은 수소 농도에 대하여 연속적인 5번의 반응에서도 동일한 변화가 일어나며 수소의 유입을 차단하는 경우에도 동일한 전기전도도를 보임으로써 동일한 초기 저항값으로 빠르게 되돌아감을 알 수 있다. 이는 연속적인 수소의 유입 및 차단에서도 초기 저항이 거의 변화하지 않는 가역적인 반응형태를 보여주고 있다. 이렇듯 낮은 농도의 수소 가스도 감지가 가능하며 가스량의 변화에도 빠르고 정확한 감지가 가능함을 알 수 있다.

[0082] 도 10은 본 발명에 따른 수소센서에서 낮은 수소 농도에 대한 연속적인 반응 예를 나타낸 도면이다.

[0083] 도 10을 참조하면, 본 발명에 따른 수소센서의 경우 저 농도인 1000ppm이하, 즉 500ppm, 100ppm 뿐만 아니라, 그보다 더 낮은 농도인 60ppm, 40ppm에서도 빠르고 선명하게 감지할 수 있음을 알 수 있다. 이와 같이 본 발명은 저 농도에서도 정확하게 감지가 빠름을 알 수 있다.

[0084] 이상에서 설명한 바와 같이, 본 발명에 따른 수소센서는 금속산화물 나노입자 및 나노와이어에 수소의 반응을 위한 금속 나노입자를 합성시켜 제조한다. 금속 나노입자는 수소와 반응할 때 격자가 팽창하여 서로 연결된 와이어 형태를 띠게 되며 전기저항이 빠르고 급격히 감소되는 현상을 나타낸다. 이로써 전기저항의 변화를 이용함으로써 수소감지에 대한 반응시간이 빠르고 민감도가 우수한 수소센서를 제조할 수 있게 된다. 또한, 수소의 노출이 차단되면 금속산화물 나노입자 및 나노와이어가 금속 나노입자의 연결을 방해하여 다시 초기의 형태로 복귀시키는 역할을 하여 수소센서의 초기 저항이 원상태를 유지하게 되어 우수한 재현성을 갖게 된다. 또한, 전기저항이 빠르고 급격히 감소되므로 저 농도의 수소에 대해서도 정확하게 감지할 수 있게 된다.

[0085] 한편, 상술한 본 발명은 단순히 바람직한 실시 예로서, 본 발명의 이러한 실시 예의 기재내용에 제한되는 것은 아니다. 즉, 상술한 본원의 기술사상의 범위 내에서 다양한 개량 및 개조가 가능하며, 이들이 첨부된 특허청구범위에 속하는 것이라면 어느 것이라도 본 발명의 기술적 범위에 해당된다는 것은 너무나 자명하다.

산업이용 가능성

[0086] 환경 친화적인 청정 에너지에 대한 기술의 필요성이 증가함에 따라 미래의 연료로서 수소 에너지가 각광받고 있다. 가연성 폭발성을 갖는 수소의 특성으로 인해 이러한 수소를 쉽고 안전하게 사용하기 위해서는 미량의 수소를 빠르고 정확하게 감지하는 기술이 뒷받침되어야 한다.

[0087] 이러한 측면에서 볼 때, 본 발명에 따른 수소센서는 종래에 비해 우수한 감지능력과 안정성을 확보할 수 있으며, 나아가 민감도가 우수하고 저 농도에서 빠른 반응시간을 가지므로 수소 감지기술 분야에서 매우 유용하게 이용될 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0088] 도 1은 본 발명에 따른 수소센서의 제조공정을 나타내는 모식도이다.

[0089] 도 2는 본 발명에 따른 금속산화물의 나노입자 및 나노와이어를 제조하기 위한 장치를 보여주는 단면도이다.

[0090] 도 3은 본 발명의 실시 예에 따른 수소센서를 나타내는 개략도이다.

[0091] 도 4는 종래기술과 본 발명에 따른 수소센서의 수소감지 메커니즘에 대한 비교 예를 도면이다.

[0092] 도 5는 본 실험 예에 따른 Sn 산화물 나노입자 및 나노와이어에 대한 투과형 전자 현미경(TEM) 조직사진이다.

[0093] 도 6은 본 실험 예에 따른 Sn 산화물 나노입자 및 나노와이어 사이에 Pd 나노입자가 합성된 결과물에 대한 주사형 전자 현미경(SEM) 조직사진이다.

[0094] 도 7은 본 발명에 따른 수소센서에서 연속적인 수소 반응에 따른 결과를 나타낸 도면이다.

[0095] 도 8은 본 발명에 따른 수소센서에서 낮은 수소 농도에 대한 연속적인 반응 예를 나타낸 도면이다.

[0096] * 도면의 주요 부분에 대한 부호의 설명 *

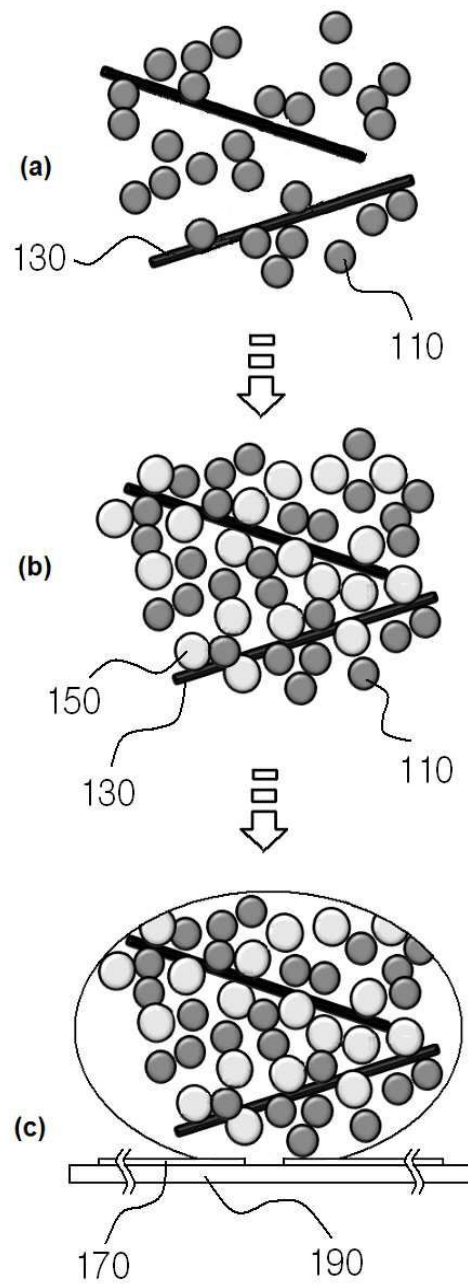
[0097] 110 : 금속산화물 나노입자 130 : 금속산화물 나노와이어

[0098] 150 : 금속 나노입자 170 : 전극

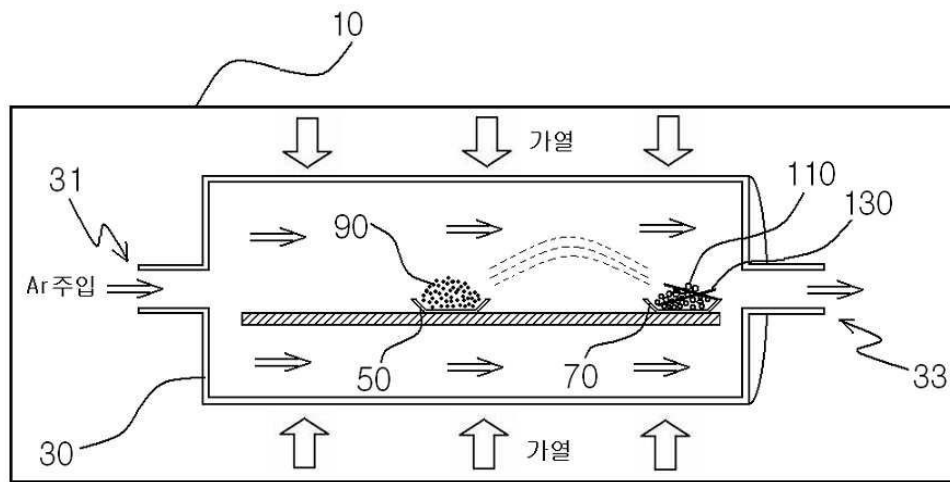
[0099] 190 : 기판

도면

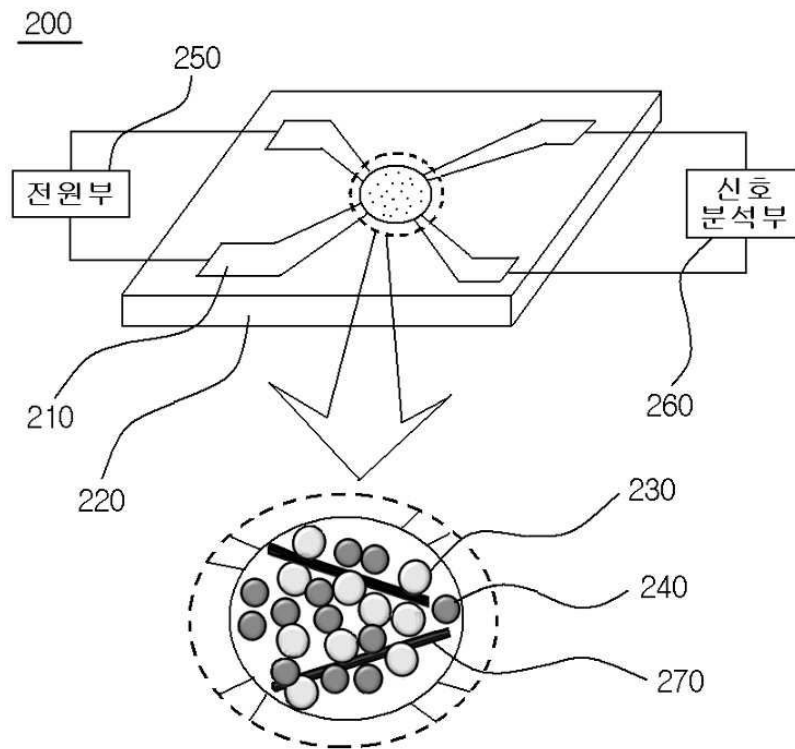
도면1



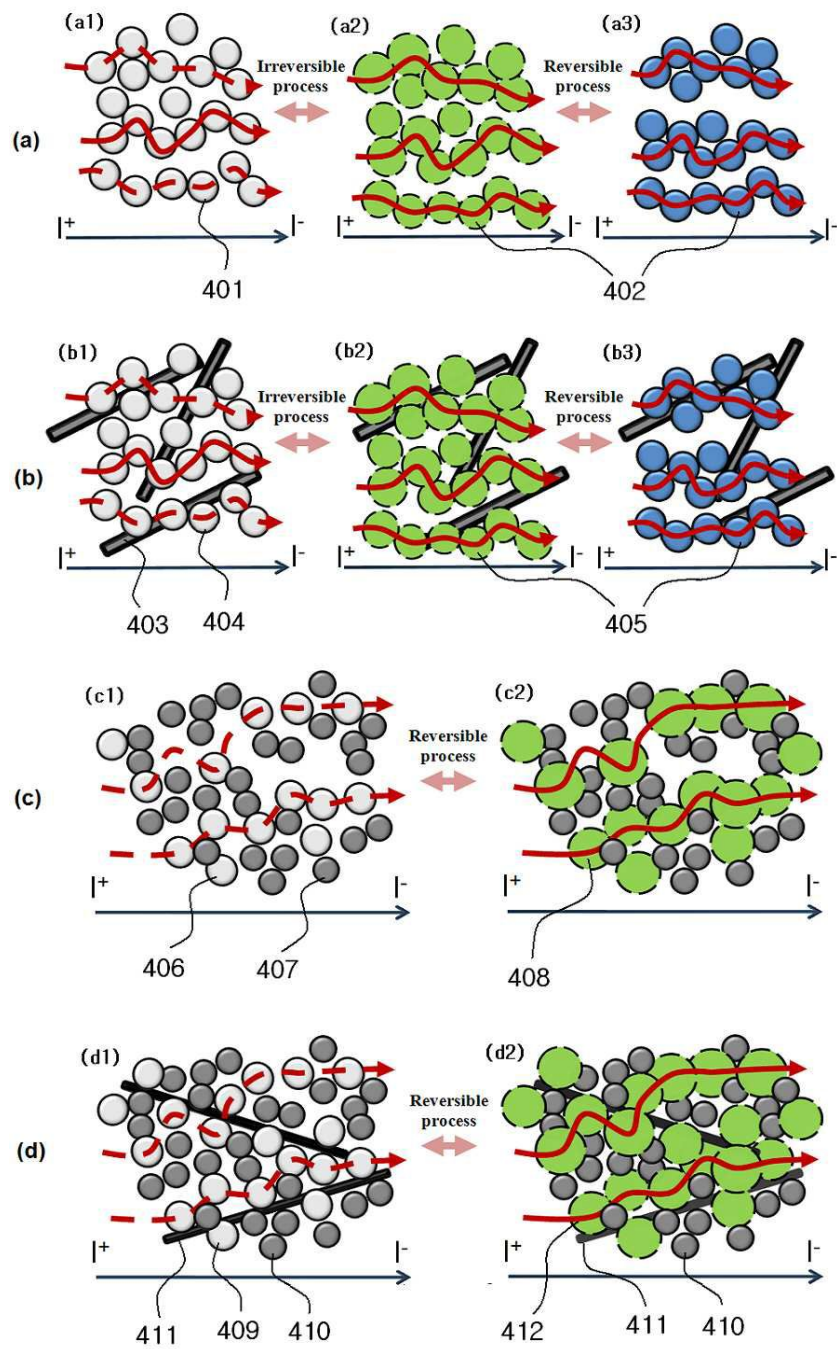
도면2



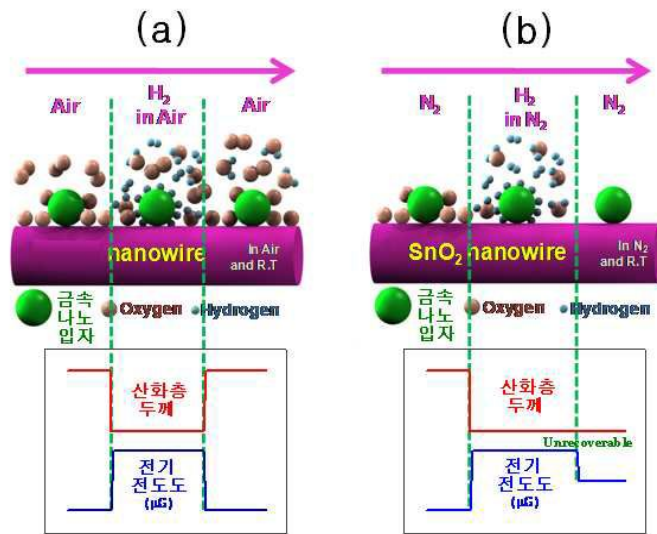
도면3



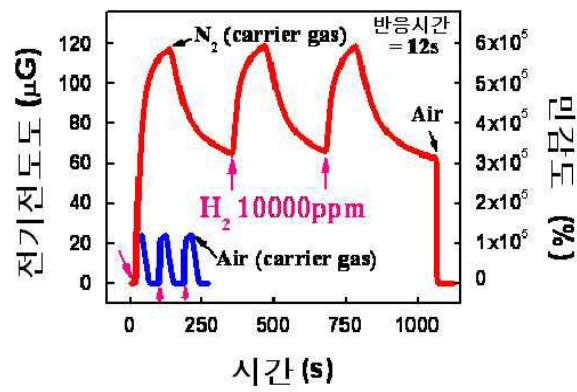
도면4



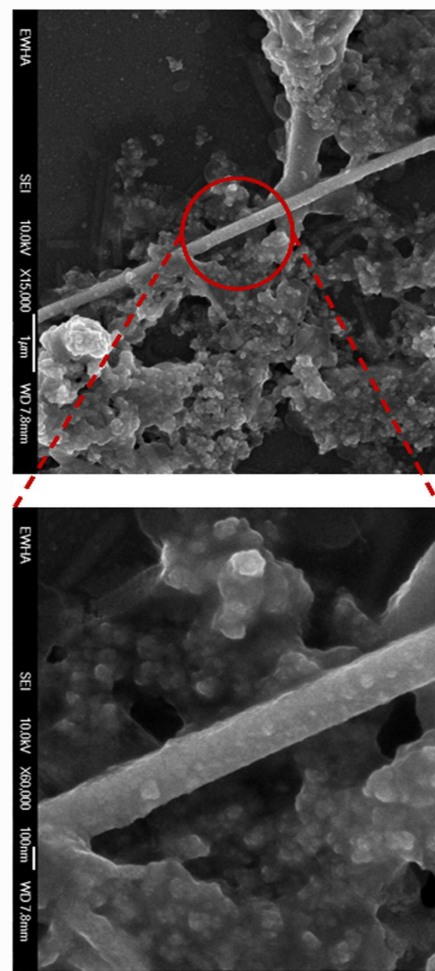
도면5



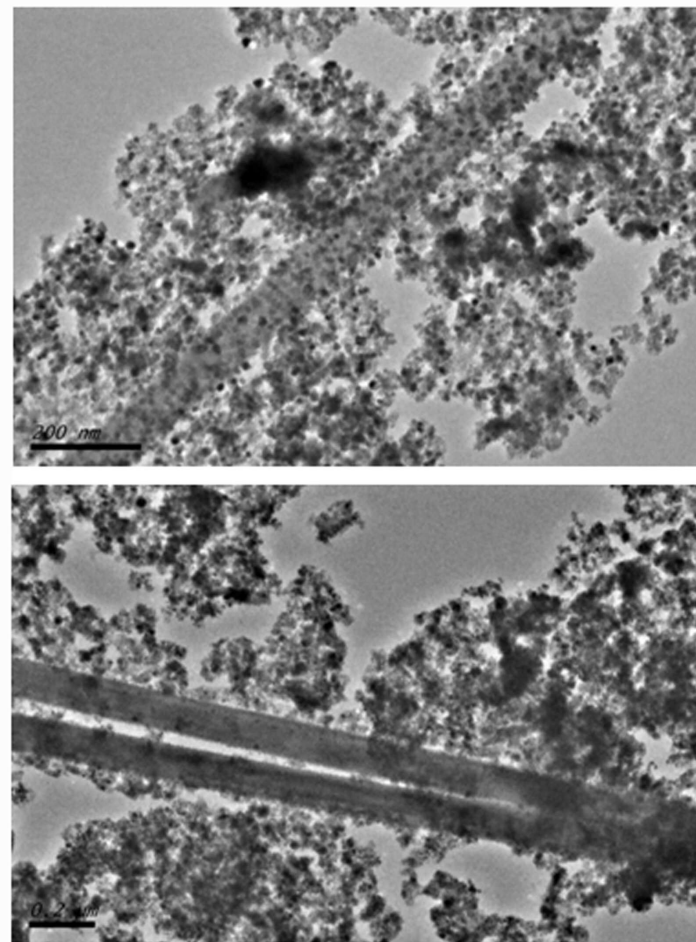
도면6



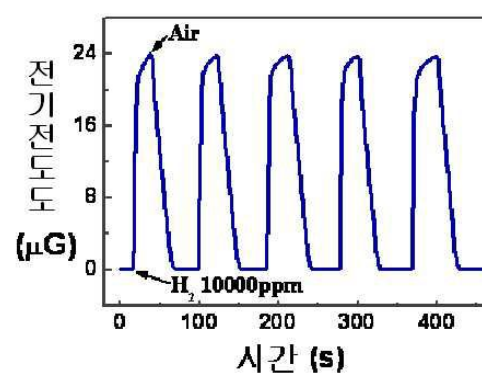
도면7



도면8



도면9



도면10

