(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2022-0137328
(43) 공개일자 2022년10월12일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01N 27/12 (2006.01) *G01N 33/00* (2006.01)
(52) CPC특허분류
G01N 27/129 (2013.01)
G01N 27/125 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2021-0043251
(22) 출원일자 2021년04월02일
심사청구일자 2021년04월02일

(71) 출원인
울산과학기술원
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
(72) 발명자
김대식
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
윤형석
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
(74) 대리인
특허법인태백

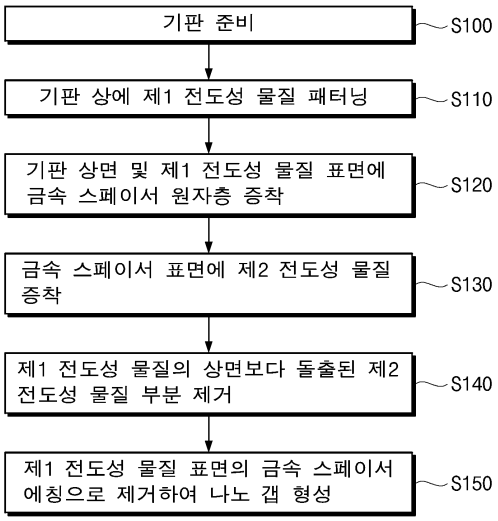
전체 청구항 수 : 총 8 항

(54) 발명의 명칭 **수소 측정센서 및 그 제조방법**

(57) 요 약

본 발명은, 기판을 준비하는 단계, 기판 상에 수소에 대한 반응성을 가지는 제1 전도성 물질을 패터닝하는 단계, 기판 상면 및 제1 전도성 물질 표면에 비금속 스페이서를 원자층 증착하는 단계, 비금속 스페이서 표면에 수소에 대한 반응성을 가지는 제2 전도성 물질을 증착하는 단계, 제1 전도성 물질의 상면보다 돌출된 제2 전도성 물질 부분을 제거하는 단계, 제1 전도성 물질 표면의 비금속 스페이서를 에칭으로 제거하여 제1 전도성물질과 제2 전도성 물질 사이에 나노 갭을 형성하는 단계를 포함하는 수소 측정센서의 제조방법을 제공한다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류
G01N 33/005 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1711115638
과제번호 2015R1A3A2031768
부처명 과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명 한국연구재단
연구사업명 개인기초연구(과기정통부)(R&D)
연구과제명 양자 스케일의 고전전자기적 조작
기 여 율 1/1
과제수행기관명 울산과학기술원
연구기간 2021.03.01 ~ 2022.02.28

명 세 서

청구범위

청구항 1

기판을 준비하는 단계;

상기 기판 상에 수소에 대한 반응성을 가지는 제1 전도성 물질을 패터닝하는 단계;

상기 기판 상면 및 제1 전도성 물질 표면에 비금속 스페이서를 원자층 증착하는 단계;

상기 비금속 스페이서 표면에 수소에 대한 반응성을 가지는 제2 전도성 물질을 증착하는 단계;

상기 제1 전도성 물질의 상면보다 돌출된 제2 전도성 물질 부분을 제거하는 단계;

상기 제1 전도성 물질 표면의 비금속 스페이서를 에칭으로 제거하여 제1 전도성물질과 제2 전도성 물질 사이에 나노 갭을 형성하는 단계;를 포함하는 수소 측정센서의 제조방법.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 기판은 플렉서블한 재질로 이루어진 수소 측정센서의 제조방법.

청구항 3

청구항 2에 있어서,

상기 기판은 천연고무, 합성고무, 폴리머 중 어느 하나의 재질로 이루어진 수소 측정센서의 제조방법.

청구항 4

청구항 1에 있어서,

상기 제1 전도성 물질 및 제2 전도성 물질은 팔라듐 또는 팔라듐 합금 인 수소 측정센서의 제조방법.

청구항 5

청구항 1에 있어서,

상기 비금속 스페이서는 산화 알루미늄, 산화 하프늄, 산화 스트론듐 중 어느 하나 인 수소 측정센서의 제조방법.

청구항 6

청구항 1에 있어서,

상기 제1 전도성 물질 표면의 비금속 스페이서를 제거하여 제1 전도성물질과 제2 전도성 물질 사이에 나노 갭을 형성하는 단계는,

에칭 수용액을 통해 제1 전도성 물질 표면에서 비금속 스페이서를 제거하는 단계,

상기 제1 전도성 물질 표면과, 제2 전도성 물질 표면 및, 제1 전도성 물질과 제2 전도성 물질 사이의 기판 표면에 잔여하는 이물질을 세정액으로 세척하는 단계,

상기 제1 전도성 물질 표면과, 제2 전도성 물질 표면 및, 제1 전도성 물질과 제2 전도성 물질 사이의 기판 표면에 잔여하는 세정액을 증발 건조시키는 단계를 포함하는 수소 측정센서의 제조방법.

청구항 7

청구항 1에 있어서,

상기 제1 전도성 물질 표면의 비금속 스페이서를 제거하여 제1 전도성물질과 제2 전도성 물질 사이에 나노 갭을 형성하는 단계를 수행한 후에는, 나노 갭을 전극과 연결하기 위해 제1 전도성 물질과 제2 전도성 물질에 패터닝을 수행하는 단계를 더 포함하는 수소 측정센서의 제조방법.

청구항 8

청구항 1 내지 청구항 7 중 어느 한 항의 제조방법에 의해 제조된 수소 측정센서.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 팔라듐으로 이루어진 금속 전극의 갭 크기를 정확하게 형성시킬 수 있는 수소 측정센서 및 그 제조방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 일반적으로, 수소는 미래 유망한 재생 에너지로서 현재 널리 이용되고 있는 화석연료의 유한성과 환경오염 문제를 동시에 해결할 수 있어, 수소에너지의 대중화 시대가 열릴 것으로 예상된다.

[0003] 그러나, 수소는 폭발성 가스로, 공기 중에 4% 이상이 존재하면 폭발의 위험성을 가지고 있어 수소가스에 대한 초기 감지가 필요하다.

[0004] 최근에는 팔라듐 기반의 수소 감지 센서가 제안되고 있는데, 팔라듐 기반의 수소 감지 센서는 실온에서 외부 수소 환경에 대해 전기 전도도가 변하는 성질을 이용한 수소 가스 센서이다. 보다 구체적으로, 팔라듐 표면에서 외부 수소 분자가 원자 형태로 분리되어 표면에 흡착된 후 확산에 의해 팔라듐 원자 사이 빈 공간으로 원자 이동이 일어나 팔라듐 하이드라이드(PdHx)가 형성됨으로써 팔라듐이 팽창하면서 동시에 전기 전도도가 변화된다.

[0005] 이러한, 팔라듐 기반의 수소 감지센서 제조방법으로는 기판 표면에 팔라듐으로 이루어진 박막을 결합한 후, 기판을 잡아 늘리는 방식으로 팔라듐 박막 사이에 갭을 만든 후, 박막을 수소 환경에 노출시켜 박막이 팽창하면서 갭 사이에 흐른 전류를 측정하는 기술이 제안된다.

[0006] 그러나, 종래의 수소 감지센서 제조방법은, 팔라듐으로 이루어진 박막을 수소 환경에 노출시켜 박막의 팽창을 통한 물리적인 스트레인을 부과하면서 박막에 전극을 이루는 나노 갭이 형성되게 하는 바, 나노 갭의 크기를 정확하게 형성시키는데 한계가 있음과 더불어 물리적인 스트레인의 부과로 인해 전극 전체의 내구성도 약해져 오랜기간 사용이 어려운 문제점이 있다.

[0007] 이러한, 수소 감지센서 제조방법에 대한 관련기술은, 대한민국 공개특허 제10-2014-0143241호(2014.12.16)에 제시된다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 본 발명은, 금속 전극 사이의 나노 갭이 정확하게 형성되게 함과 더불어 내구성이 우수한 수소 측정센서 및 그 제조방법을 제공하는데 목적이 있다.

과제의 해결 수단

[0009] 본 발명은, 기판을 준비하는 단계, 상기 기판 상에 수소에 대한 반응성을 가지는 제1 전도성 물질을 패터닝하는 단계, 상기 기판 상면 및 제1 전도성 물질 표면에 비금속 스페이서를 원자층 증착하는 단계, 상기 비금속 스페이서 표면에 수소에 대한 반응성을 가지는 제2 전도성 물질을 증착하는 단계, 상기 제1 전도성 물질의 상면보다 돌출된 제2 전도성 물질 부분을 제거하는 단계, 상기 제1 전도성 물질 표면의 비금속 스페이서를 에칭으로 제거하여 제1 전도성물질과 제2 전도성 물질 사이에 나노 갭을 형성하는 단계를 포함하는 수소 측정센서의 제조방법을 제공한다.

발명의 효과

[0010] 본 발명에 따른 수소 측정센서 및 그 제조방법은, 기판 상에 수소에 대한 반응성을 가지는 제1 전도성 물질을 패터닝한 후, 비금속 스페이서를 원자층 증착하고, 비금속 스페이서 표면에 수소에 대한 반응성을 가지는 제2 전도성 물질을 증착한다. 이후 제1 전도성 물질의 상면보다 돌출된 제2 전도성 물질 부분을 제거한 후, 제1 전도성 물질 표면의 비금속 스페이서를 에칭으로 제거하면 제1 전도성물질과 제2 전도성 물질 사이에 나노 갭을 형성되도록 제조하는 바, 나노 갭으로 이격된 제1 전도성 물질 및 제2 전도성 물질을 전극으로 연결할 경우, 일정한 나노 갭의 폭 크기가 일정하게 형성되어 전도성 물질의 팽창으로 인한 수소에 대한 측정이 정확하게 이루어지게 함과 더불어 제1 전도성 물질 및 제2 전도성 물질의 손상이 발생하지 않아 안정적인 내구성을 유지되게 한다.

도면의 간단한 설명

[0011] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 수소 측정센서의 제조방법을 나타낸 순서도이다.

도 2 내지 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 수소 측정센서의 제조방법 각 단계별 상태단면도이다.

도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 수소 측정센서의 제조방법에서 기판에 대한 구부림시 상태단면도이다.

도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 수소 측정센서의 제조방법에서 나노 갭을 전극과 연결하기 위해 제1 전도성 물질과 제2 전도성 물질에 패터닝을 수행하는 단계를 나타낸 상태도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0012] 이하 첨부된 도면을 참조로 본 발명의 바람직한 실시예들을 상세히 설명하기로 한다.

[0013] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 수소 측정센서의 제조방법을 나타낸 순서도이다. 도 1을 참조하여, 일 실시예에 따른 수소 측정센서의 제조방법은, 기판(100)을 준비하는 단계(S100), 기판(100) 상에 수소에 대한 반응성을 가지는 제1 전도성 물질(200)을 패터닝하는 단계(S110), 기판(100) 상면 및 제1 전도성 물질(200) 표면에 비금속 스페이서(300)를 원자층 증착하는 단계(S120), 비금속 스페이서(300) 표면에 수소에 대한 반응성을 가지는 제2 전도성 물질(400)을 증착하는 단계(S130), 제1 전도성 물질(200)의 상면보다 돌출된 제2 전도성 물질(400) 부분을 제거하는 단계(S130), 제1 전도성 물질(200) 표면의 비금속 스페이서(300)를 에칭으로 제거하여 제1 전도성물질(200)과 제2 전도성 물질(400) 사이에 나노 갭(500)을 형성하는 단계(S140)를 포함한다.

[0014] 먼저, 기판(100)을 준비하는 단계(S100)를 살펴보면, 기판(100)은 제1 전도성물질(200)과 제2 전도성 물질(400)을 증착상태로 지지하는 판 부분이다. 이러한, 기판(100)은 물리적인 힘을 가할 경우 구부러짐이 가능하도록 플렉서블한 재질로 이루어지나, 이에 한정하지 않고 딱딱한 경질로 이루어질 수 있다. 즉, 기판(100)이 플렉서블한 재질일 경우는 천연고무, 합성고무, 폴리머 중 하나일 수 있으며, 이때, 합성고무는 PDMS일 수 있고, 폴리머는 PI일 수 있다. 그리고, 기판(100)이 딱딱한 경질일 경우는 PVC, PET, PES, 스테인리스 스틸 테이프, 실리콘, 쿼츠, 사파이어, 글라스 중 하나일 수 있다. 여기서, 기판(100)이 플렉서블한 재질로 이루어질 경우, 물리적인 힘을 가하여 구부러짐이 이루어지게 하고, 이를 통해 이후 형성될 제1 전도성물질(200)과 제2 전도성 물질(400) 사이의 간격을 조절하여 나노 갭(500)의 크기를 크게 하거나 작아지게 할 수 있다.

[0015] 이후, 도 2와 같이 상기 기판(100)의 상면에 제1 전도성 물질(200)을 패터닝한다(S110). 여기서, 제1 전도성 물질(200)은 이후 형성될 제2 전도성 물질(400)과 함께 수소 측정센서의 전극을 구성하게 된다. 이러한, 제1 전도성 물질(200)의 패터닝은, 먼저 기판(100)에 감광성 수지를 도포하고 원하는 패턴이 형성된 포토마스크를 통해 감광성 수지 위에 자외선을 조사하는 표준 포토 리소그래피 또는 전자빔 리소그래피를 통해 패터닝을 한 후, 제1 전도성 물질(200)을 일정한 두께로 증착되게 함으로써 이루어지게 할 수 있다. 이때, 제1 전도성 물질(200)은 직선 형태의 판을 상호 일정간격 이격되면서 나란하게 배치되게 한 패턴으로 형성될 수 있으나, 이에 한정하지 않음은 물론이다. 여기서, 제1 전도성 물질(200)은 수소 분위기 하에서 팽창된 후 수소의 제거시 다시 수축이 이루어지는 팔라듐 또는 팔라듐 합금을 사용할 수 있다. 그리고, 제1 전도성 물질(200)의 두께 'm_1'은 수십 nm 내지 수십 ㎛ 일 수 있는데, 보다 구체적으로는 10 nm 내지 10㎛일 수 있다. 또한, 패터닝된 제1 전도성 물질(200) 간의 간격 'd'는 수십 nm ~ 수 cm일 수 있는데, 보다 구체적으로는 10 nm 내지 1 cm일 수 있다.

[0016] 이렇게, 기판(100) 상에 제1 전도성 물질(200)을 패터닝한 후에는, 도 3과 같이 기판(100) 상면 및 제1 전도성 물질(200) 표면에 비금속 스페이서(300)를 증착되게 한다(S120). 즉, 기판(100) 상면 및 제1 전도성 물질(200) 표면에 원자층 증착으로 비금속 스페이서(300)가 수 nm ~ 수백 ㎛의 두께로 형성되게 한다. 이때, 비금속 스페이서(300)의 두께는 이후 나노 갭(500)의 폭을 구성하게 되는 바, 형성시키고자 하는 나노 갭(500)의 폭 길이

'n'에 따라 비금속 스페이서(300)의 두께 's'를 선정하여 형성되게 할 수 있다. 여기서, 비금속 스페이서(300)는 산화 알루미늄을 사용할 수 있다.

[0017] 상기 기판(100) 상면 및 제1 전도성 물질(200) 표면에 비금속 스페이서(300)를 증착시킨 후에는, 도 4와 같이 비금속 스페이서(300) 표면에 제2 전도성 물질(400)을 증착되게 한다(S130). 특히, 제2 전도성 물질(400)은 앞서 패터닝된 제1 전도성 물질(300) 사이에 형성되면서 수소 측정센서에서 전극을 구성하게 된다. 이때, 제2 전도성 물질(400)은 스퍼터링(Sputtering), 증발법(Evaporation) 등의 물리적 증착법과, 화학기상법(CVD: chemical vapor deposition), 원자층 증착법 등의 증착법 중 하나의 방법을 통해 증착될 수 있으며, 여기서는 증발법을 통해 증착될 수 있다. 그리고, 제2 전도성 물질(400)은 제1 전도성 물질(200)과 동일한 재질인 팔라듐 또는 팔라듐 합금을 사용할 수 있다.

[0018] 그리고, 상기 비금속 스페이서(300) 표면에 제2 전도성 물질(400)을 증착되게 할 때, 제2 전도성 물질(400)의 두께 'm_2'는 제1 전도성 물질(200)의 두께 'm_1'과 동일한 두께로 형성될 수 있으나, 이에 한정하지 않고 서로 다른 두께로 형성될 수 도 있음은 물론이다.

[0019] 이같이, 비금속 스페이서(300) 표면에 제2 전도성 물질(400)을 증착시킨 후에는 도 5와 같이 제1 전도성 물질(200)의 상면보다 상측으로 돌출된 제2 전도성 물질(400) 부분을 이온 밀링으로 제거하거나 테이프를 붙였다가 떼어냄으로서 제거한다(S140). 즉, 패터닝된 제1 전도성 물질(200) 사이에 배치된 제2 전도성 물질(400) 부분을 제외한 나머지 제2 전도성 물질(400)을 선택적으로 제거한다.

[0020] 상기 제1 전도성 물질(200)의 상면보다 상측으로 돌출된 제2 전도성 물질(400) 부분을 에칭으로 제거한 후에는, 제1 전도성 물질(200) 표면의 비금속 스페이서(300)를 에칭으로 제거한다(S150). 즉, 도 6과 같이 비금속 스페이서(300)를 제거하여 제1 전도성 물질(200)과 제2 전도성 물질(400) 사이에 나노 갭(500)이 형성되게 한다. 이러한, 나노 갭(500) 형성시키는 단계에 대해 좀 더 상세하게 설명하면, 에칭 수용액을 통해 제1 전도성 물질(200) 표면에서 비금속 스페이서(300)를 제거하는 단계를 거친 후, 제1 전도성 물질(200) 표면과, 제2 전도성 물질(400) 표면 및, 제1 전도성 물질(200)과 제2 전도성 물질(400) 사이의 기판(100) 표면에 잔여하는 에칭 수용액과 비금속 스페이서가 혼합된 혼합물과 같은 이물질을 물과 같은 세정액으로 세척 제거하는 단계를 수행하고, 제1 전도성 물질(200) 표면과, 제2 전도성 물질(400) 표면 및, 제1 전도성 물질(200)과 제2 전도성 물질(400) 사이의 기판(100) 표면에 있는 세정액을 건조기로 증발 건조시키는 단계를 수행한다. 이같이, 에칭 수용액으로 비금속 스페이서(300)를 제거한 후, 세정액으로 이물질의 제거 및 세정액의 건조과정을 거칠 경우에 제1 전도성 물질(200) 표면과 제2 전도성 물질(400) 사이에 잔여 비금속 스페이서(300)와 에칭 수용액이 혼합된 상태의 이물질이 위치하는 것을 방지하여 나노 갭(500)의 폭이 일정한 간격을 유지되게 한다. 여기서, 제1 전도성 물질(200) 표면에서 비금속 스페이서(300)를 제거하는 에칭 수용액은 KOH 수용액 또는 NaOH 수용액을 이용하여 에칭할 수 있다. 여기서, 나노 갭(500)의 폭 길이 'n'은 앞서 설명한 바와 같이 비금속 스페이서(300)의 두께 's'에 대응되게 형성이 이루어지게 된다.

[0021] 이같이, 상기 제1 전도성 물질(200) 표면의 비금속 스페이서(300)를 제거하면, 패터닝된 제1 전도성 물질(200) 사이에 제2 전도성 물질(400)이 나노 갭(500)의 간격을 가지는 상태로 이격 형성된다. 이때, 제1 전도성 물질(200)과 제2 전도성 물질(400) 사이의 나노 갭(500) 폭 길이 'n'는 짧을 수록 민감도와 반응 및 회복시간 측면에서 유리할 수 있다.

[0022] 이후, 형성된 나노 갭(500)의 길이를 조절하고, 제1 전도성 물질(200) 및 제2 전도성 물질(400)에 전극을 연결하기 위한 패터닝 작업을 수행할 수 있다. 이러한, 제1 전도성 물질(200) 및 제2 전도성 물질(400)에 전극을 연결하기 위한 패터닝 작업은 표준 포토 리소그래피 방법으로 이루어질 수 있는데 이에 대해 도 8의 (a) 내지 (d)를 참조하여 설명하면, 나노 갭(500)의 간격을 가지는 제1 전도성 물질(200) 및 제2 전도성 물질(400)의 상면에 크롬으로 이루어진 마스크(600)를 배치한 상태에서 마스크(600)에 에칭으로 전극과 연결하기 위한 베이스 패턴(610)이 형성되게 하며(a)(b), 베이스 패턴(610)에 대응되는 부분의 제1 전도성 물질(200) 및 제2 전도성 물질(400)을 이온밀링으로 제거하여 제1 전도성 물질(200) 및 제2 전도성 물질(400)에 전극 패턴(620)이 형성되게 하고(c), 이후 마스크(600)를 에칭으로 제1 전도성 물질(200) 및 제2 전도성 물질(400)의 상면에서 제거하는 단계(d)를 거쳐 이루어질 수 있다.

[0023] 이같이, 상기 나노 갭(500)으로 이격된 제1 전도성 물질(200) 및 제2 전도성 물질(400)을 전극으로 연결할 경우, 수소 측정센서로 사용할 수 있다. 즉, 수소 분위기 하에서, 수소가 제1 전도성 물질(200) 및 제2 전도성 물질(400)에 흡착하게 되면, 제1 전도성 물질(200) 및 제2 전도성 물질(400)이 팽창하게 되어, 나노 갭(500)의 폭이 작아지면서 제1 전도성 물질(200) 및 제2 전도성 물질(400)의 상호 연결에 의해 전류가 흐르게 되고(On),

이에 따라 수소를 검출하게 된다. 이후, 수소 분위기가 제거되면, 제1 전도성 물질(200) 및 제2 전도성 물질(400)은 수축하게 되고, 이에 따라 나노 갭(500)의 폭이 다시 원상태로 복원되면서 제1 전도성 물질(200) 및 제2 전도성 물질(400)이 이격되면서 전류가 흐르지 못하게 된다(Off).

[0024] 또한, 도 7과 같이 상기 제1 전도성 물질(200) 표면의 비금속 스페이서(300)를 에칭으로 제거하여, 제1 전도성 물질(200) 사이에 제2 전도성 물질(400)이 나노 갭(500)의 간격을 가지도록 형성시킨 후에는, 기판(100)을 물리적인 힘을 가해 오목하게 구부린 상태로 유지시켜 제1 전도성 물질(200)과 제2 전도성 물질(400) 사이의 나노 갭(500) 폭 길이 'n'를 변화시킬 수도 있다. 즉, 제1 전도성 물질(200)과 제2 전도성 물질(400) 상측 사이의 나노 갭(500) 폭 길이 'n'가 짧아지도록 하면서 수소환경에 따른 민감도와 반응 및 회복시간을 유리하게 할 수 있다.

[0025] 이때, 상기 나노 갭(500)은 기판(100)에 가까운 쪽의 폭 길이 '$n_{2'}$'보다 먼 쪽의 폭 길이'n_2'가 더 길게 변하는데, 구체적으로, 상부 폭 길이 'n_1'의 변화율은 하부 폭 길이 'n_2' 변화율에 비해 1.5 배 내지 3배인 것일 수 있다. 바람직하게는, 기판(100)의 구부림에 따른 나노 갭(500)의 상부 폭 길이 'n_1' 변화율은, 기판(100)의 구부림에 따른 나노 갭(500) 하부 폭 길이 'n_2'의 변화율의 1.5 배 내지 2.5배인 것일 수 있다.

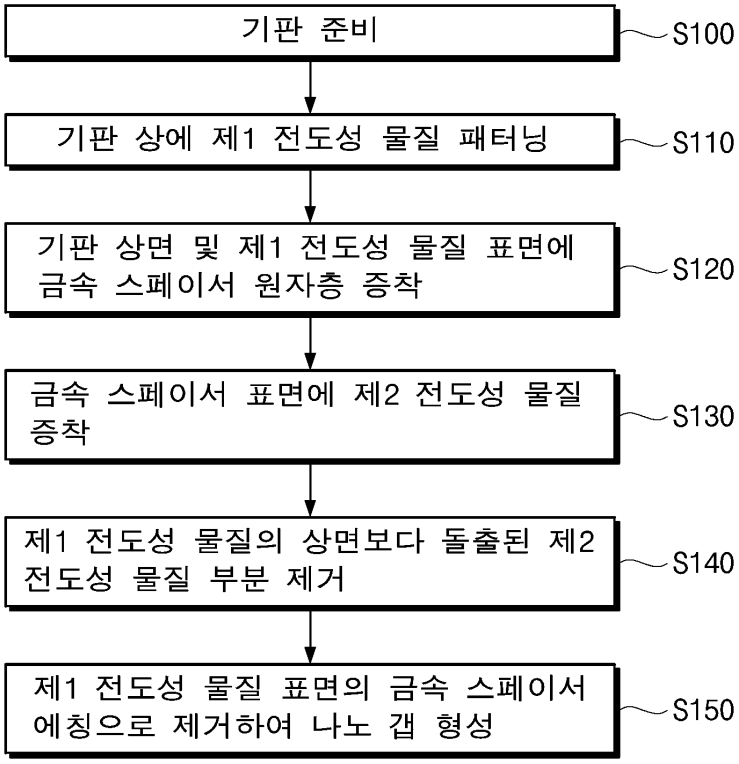
[0026] 그리고, 상기 기판(100)을 구부림시, 구부림의 방향과 정도에 따라 나노 갭(500)의 폭 길이 'n'은 수 pm 내지 수 ㎛의 간격으로 제어될 수 있으며, 구체적으로는 1 pm 내지 1 ㎛의 간격으로 제어될 수 있다.

[0027] 이와 같은, 일 실시예의 수소 측정센서 및 그 제조방법은, 기판(100) 상에 수소에 대한 반응성을 가지는 제1 전도성 물질(200)을 패터닝한 후, 비금속 스페이서(300)를 원자층 증착하고, 비금속 스페이서(300) 표면에 수소에 대한 반응성을 가지는 제2 전도성 물질(400)을 증착한다. 이후 제1 전도성 물질(200)의 상면보다 돌출된 제2 전도성 물질(400) 부분을 제거한 후, 제1 전도성 물질(200) 표면의 비금속 스페이서(300)를 에칭으로 제거하면 제1 전도성물질(200)과 제2 전도성 물질(400) 사이에 나노 갭(500)을 형성되도록 제조하는 바, 나노 갭(500)으로 이격된 제1 전도성 물질(200) 및 제2 전도성 물질(400)을 전극으로 연결할 경우, 일정한 나노 갭(500)의 폭 크기가 일정하게 형성되어 수소에 대한 측정이 정확하게 이루어게 함과 더불어 제1 전도성 물질(200) 및 제2 전도성 물질(400)의 손상이 발생하지 않아 안정적인 내구성을 유지되게 한다.

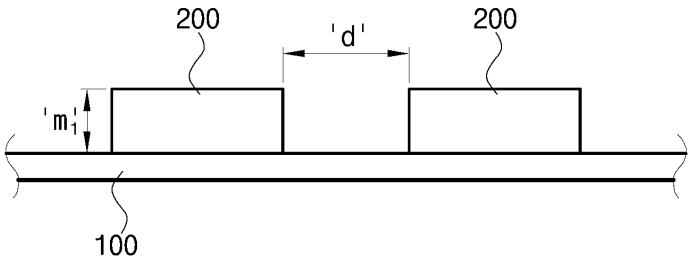
[0028] 본 발명은 도면에 도시된 실시예를 참고로 설명되었으나 이는 예시적인 것에 불과하며, 본 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 다른 실시예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 따라서, 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 청구범위의 기술적 사상에 의하여 정해져야 할 것이다.

도면

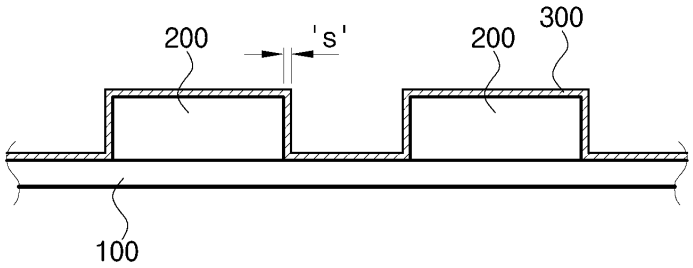
도면1



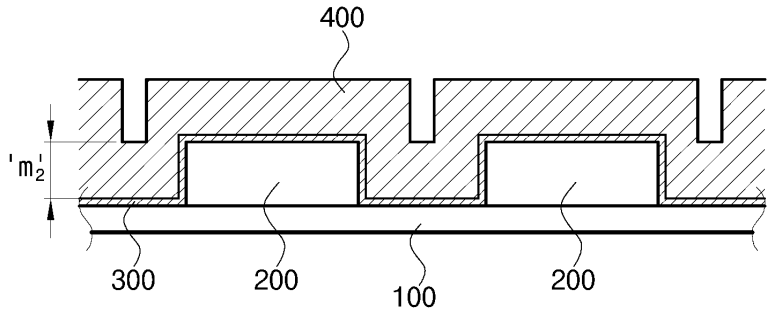
도면2



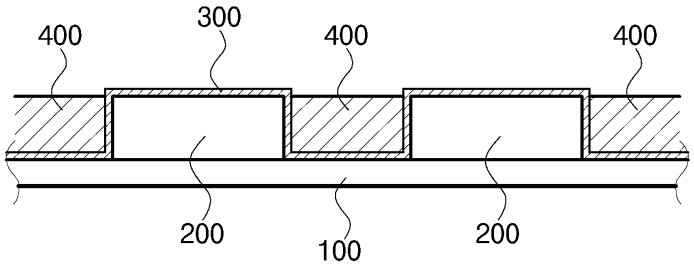
도면3



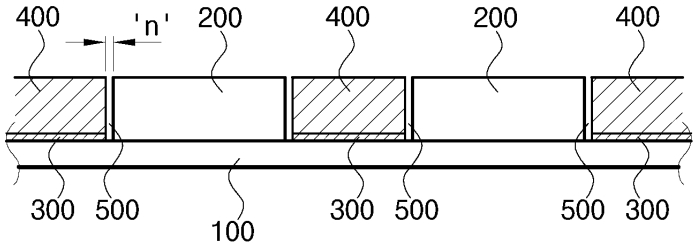
도면4



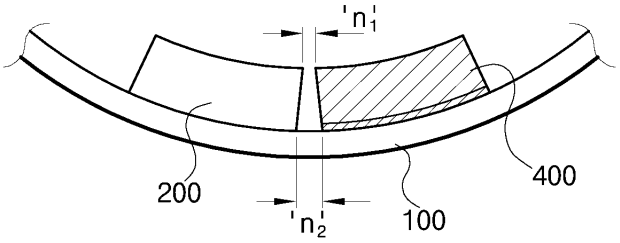
도면5



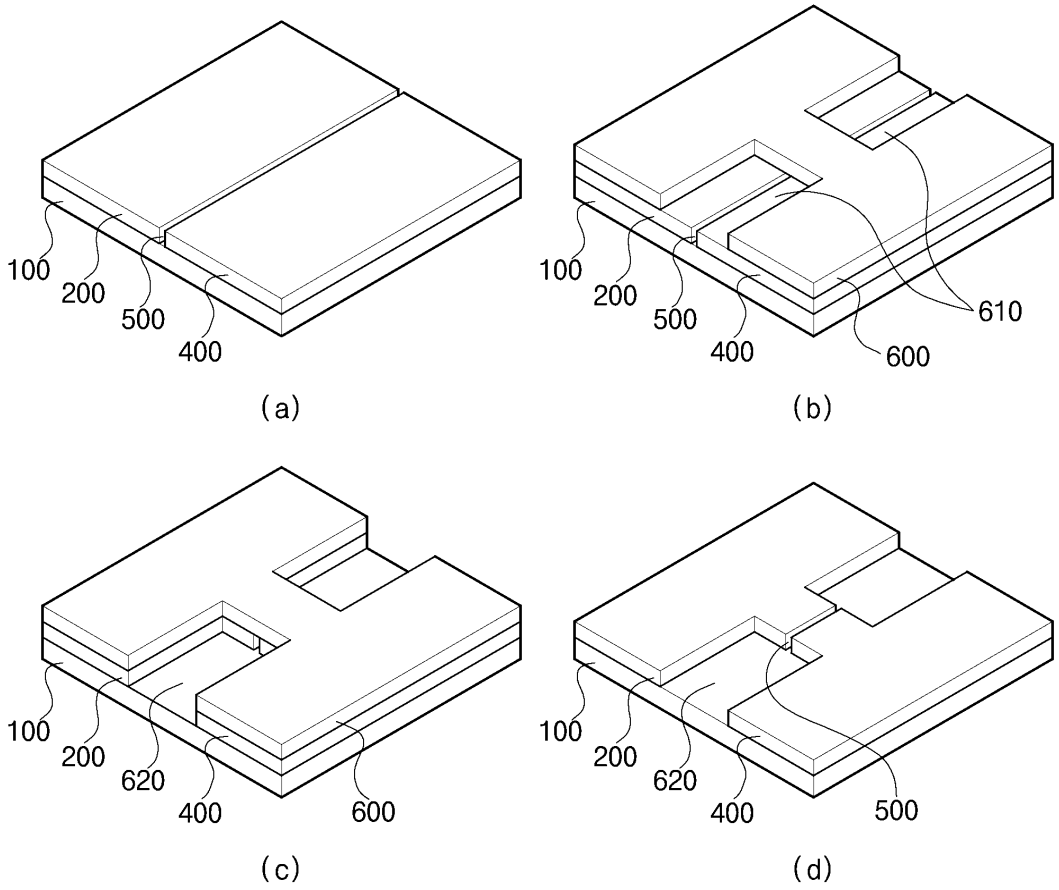
도면6



도면7



도면8


100
200
500
400
(a)
100
200
500
400
610
600
(b)
100
200
620
400
600
(c)
100
200
620
400
500
(d)