



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2021-0075824  
(43) 공개일자 2021년06월23일

- |                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                         |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>(51) 국제특허분류(Int. Cl.)<br/>G01N 27/12 (2006.01) G01N 27/407 (2006.01)</p> <p>(52) CPC특허분류<br/>G01N 27/127 (2013.01)<br/>G01N 27/407 (2013.01)</p> <p>(21) 출원번호 10-2020-0065128<br/>(22) 출원일자 2020년05월29일<br/>심사청구일자 2020년05월29일</p> <p>(30) 우선권주장<br/>1020190166625 2019년12월13일 대한민국(KR)</p> | <p>(71) 출원인<br/>울산대학교 산학협력단<br/>울산광역시 남구 대학로 93(무거동)</p> <p>(72) 발명자<br/>김현철<br/>울산광역시 남구 신복로79번길 8, 805호 (무거동, 남운그린힐)</p> <p>(74) 대리인<br/>김중선, 이형석</p> |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

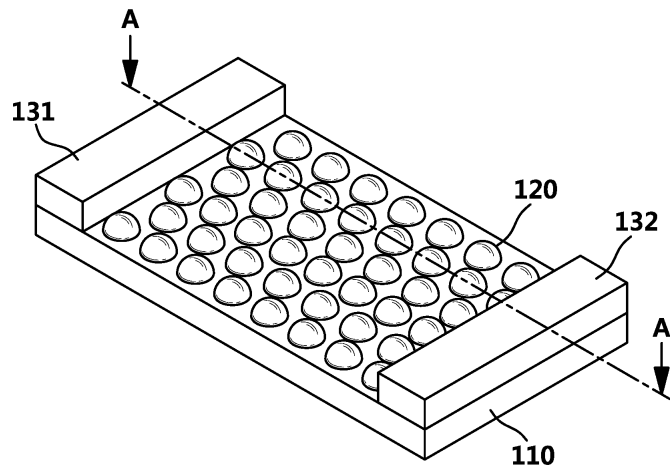
전체 청구항 수 : 총 14 항

(54) 발명의 명칭 수소 센서 및 이의 제조 방법

(57) 요약

본 발명은 수소 센서에 관한 것으로서, 기재; 상기 기재 상에 형성된 감응층; 및 상기 감응층 상에 이격되어 배치된 제 1 전극 및 제 2 전극;을 포함하며, 상기 감응층은 하나 이상의 나노 아일랜드형 모재; 및 상기 모재의 표면에 형성되고 감응 물질을 포함하는 아일랜드 표면층;을 포함하며, 상기 모재는 금속 또는 금속 산화물을 포함하는 것을 특징으로 한다. 나노 아일랜드형 모재의 표면에 형성된 감응 물질을 포함하는 아일랜드 표면층을 포함하는 감응층을 형성함으로써, 수소에 대한 감응도가 높아 반응 속도 및 회복 속도가 빠르다.

대표도 - 도1a



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

|             |                                   |
|-------------|-----------------------------------|
| 과제고유번호      | 1711094316                        |
| 과제번호        | 2015M3A7B7045125                  |
| 부처명         | 과학기술정보통신부                         |
| 과제관리(전문)기관명 | 한국연구재단                            |
| 연구사업명       | 선행공정 · 플랫폼기술연구개발사업                |
| 연구과제명       | SiC 기반 극한환경형 센서용 고온 소재 및 공정 기술 개발 |
| 기 여 율       | 1/1                               |
| 과제수행기관명     | 울산대학교                             |
| 연구기간        | 2019.03.01 ~ 2019.12.31           |

---

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

기재;

상기 기재 상에 형성된 감응층; 및

상기 감응층 상에 이격되어 배치된 제 1 전극 및 제 2 전극;을 포함하며,

상기 감응층은 하나 이상의 나노 아일랜드형 모재; 및

상기 모재의 표면에 형성되고 감응 물질을 포함하는 아일랜드 표면층;을 포함하며,

상기 모재는 금속 또는 금속 산화물을 포함하는 것인, 수소 센서.

#### 청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 감응 물질은 Pt, Pd, Mg, Cr, Ir, Ru, ZnO 및 이들의 조합들로 이루어진 군에서 선택된 물질을 포함하는 것인, 수소 센서.

#### 청구항 3

제 2 항에 있어서,

상기 감응 물질은 Pt, Pd, 또는 Pt-Pd를 포함하는 것인, 수소 센서.

#### 청구항 4

제 2 항에 있어서,

상기 감응 물질은 Pt, Pd, Mg 또는 Pd-Mg를 포함하는 것인, 수소 센서.

#### 청구항 5

제 1 항에 있어서,

상기 아일랜드 표면층의 두께는 3 nm 내지 15 nm인 것인, 수소 센서.

#### 청구항 6

제 1 항에 있어서,

상기 모재는 크기가 3 nm 내지 6 nm인 나노 아일랜드형 구조인 것인, 수소 센서.

#### 청구항 7

제 1 항에 있어서,

상기 모재가 금속일 때, 상기 수소 센서는 수소를 감지함에 따라 저항이 증가하는 것인, 수소 센서.

#### 청구항 8

제 1 항에 있어서,

상기 모재가 금속 산화물일 때, 상기 수소 센서는 수소를 감지함에 따라 저항이 감소하는 것인, 수소 센서.

#### 청구항 9

제 1 항에 있어서,

상기 수소 센서의 수소에 대한 반응 시간은 10초 미만인 것인, 수소 센서.

#### 청구항 10

제 1 항에 있어서,

상기 수소 센서의 수소에 대한 회복 시간은 30초 미만인 것인, 수소 센서.

#### 청구항 11

기재 상에 나노 아일랜드형 모재를 형성하는 단계;

상기 모재 상에 감응 물질을 포함하는 아일랜드 표면층을 형성하여 감응층을 형성하는 단계;

상기 감응층 상에 이격되어 배치된 제 1 전극 및 제 2 전극을 형성하여 수소 센서를 제조하는 단계; 및

상기 수소 센서를 어닐링하는 단계;를 포함며,

상기 모재는 금속 또는 금속 산화물을 포함하는 것인, 수소 센서의 제조 방법.

#### 청구항 12

제 11 항에 있어서,

상기 어닐링하는 단계는 20℃ 내지 400℃의 온도 하에서 이루어지는 것인, 수소 센서의 제조 방법.

#### 청구항 13

제 11 항에 있어서,

상기 감응 물질은 Pt, Pd, Mg, Cr, Ir, Ru, ZnO 및 이들의 조합들로 이루어진 군에서 선택된 물질을 포함하는 것인, 수소 센서의 제조 방법.

#### 청구항 14

제 11 항에 있어서,

상기 아일랜드 표면층의 두께는 5 nm 내지 15 nm인 것인, 수소 센서의 제조 방법.

### 발명의 설명

## 기술 분야

[0001] 본 발명은 수소 센서 및 이의 제조 방법에 관한 것이다. 구체적으로, 나노 아일랜드형 모재의 표면에 형성된 감응 물질을 포함하는 아일랜드 표면층을 포함하는 감응층을 형성함으로써, 수소에 대한 감응도가 높아 반응 속도 및 회복 속도가 빠른 수소 센서에 대한 것이다.

## 배경 기술

[0002] 수소는 모든 원자 중에서 가장 가볍고 무색, 무취하며 대기 중 확산 속도가 매우 빨라 높은 인화성을 띄고 있는 물질이다. 21세기 수소 경제 시대에 따라서 다양한 산업 분야, 부생 가스와 같은 재생 에너지원, 연료 전지, 우주 왕복선 추진 장치 등에서 많이 사용되고 있다. 이러한 수소는 공기 중에서 4%(40,000 ppm) 이상의 농도에서 폭발의 위험이 있으므로, 누출 수소의 존재를 빨리 감지해야 한다. 안전을 위해 신속한 응답 및 회복 속도로 수소 가스 농도를 정확하게 감지할 수 있는 센서에 대한 요구되고 있다.

[0003] 나노 구조의 촉매를 이용한 수소 센서는 나노 입자의 크기와 모양, 바이메탈 구성과 시너지 작용, 서로 다른 나노 입자 층 사이의 계면과 격자 왜곡 정도, 비결정질 결정성의 정도에 의해 성능이 최적화될 수 있다.

[0004] 일본등록특허공보 제 6387240호는 수소투과성 금속이 아일랜드형으로 형성되어 있는 수소 센서에 관한 것이다. 하지만, 수소 감응 물질 자체를 아일랜드 형으로 형성되어 있어, 감응 물질이 너무 크기 때문에 수소에 대한 반응 속도 및 회복 시간이 느린 문제점이 있다.

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

[0005] 본원은 전술한 종래 기술의 문제점을 해결하기 위한 수소 센서에 대한 것으로서, 나노 아일랜드형 모재의 표면에 형성된 감응 물질을 포함하는 아일랜드 표면층을 포함하는 감응층을 형성함으로써, 수소에 대한 감응도가 높아 반응 속도 및 회복 속도가 빠른 장점이 있다.

### 과제의 해결 수단

[0006] 상기한 기술적 과제를 달성하기 위한 본 발명의 수소 센서는 기재; 상기 기재 상에 형성된 감응층; 및 상기 감응층 상에 이격되어 배치된 제 1 전극 및 제 2 전극;을 포함하며, 상기 감응층은 하나 이상의 나노 아일랜드형 모재; 및 상기 모재의 표면에 형성되고 감응 물질을 포함하는 아일랜드 표면층;을 포함하며, 상기 모재는 금속 또는 금속 산화물을 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0007] 상기 감응 물질은 Pt, Pd, Mg, Cr, Ir, Ru, ZnO 및 이들의 조합들로 이루어진 군에서 선택된 물질을 포함하는 것 일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.

[0008] 상기 감응 물질은 Pt, Pd, 또는 Pt-Pd를 포함하는 것 일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.

[0009] 상기 감응 물질은 Pt, Pd, Mg 또는 Pd-Mg를 포함하는 것 일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.

[0010] 상기 아일랜드 표면층의 두께는 3 nm 내지 15 nm인 것 일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.

[0011] 상기 모재는 크기가 3 nm 내지 6 nm인 나노 아일랜드형 구조인 것 일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.

[0012] 상기 모재가 금속일 때, 상기 수소 센서는 수소를 감지함에 따라 저항이 증가하는 것 일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.

[0013] 상기 모재가 금속 산화물일 때, 상기 수소 센서는 수소를 감지함에 따라 저항이 감소하는 것 일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.

[0014] 상기 수소 센서의 수소에 대한 반응 시간은 10초 미만인 것 일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.

[0015] 상기 수소 센서의 수소에 대한 회복 시간은 30초 미만인 것 일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.

[0016] 본 발명의 수소 센서의 제조 방법은 기재 상에 나노 아일랜드형 모재를 형성하는 단계; 상기 모재 상에 감응 물질을 포함하는 아일랜드 표면층을 형성하여 감응층을 형성하는 단계; 상기 감응층 상에 이격되어 배치된 제 1 전극 및 제 2 전극을 형성하여 수소 센서를 제조하는 단계; 및 상기 수소 센서를 어닐링하는 단계;를 포함하며,

상기 모재는 금속 또는 금속 산화물을 포함하는 것을 특징으로 한다.

- [0017] 상기 어닐링하는 단계는 20℃ 내지 400℃의 온도 하에서 이루어지는 것 일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0018] 상기 감응 물질은 Pt, Pd, Mg, Cr, Ir, Ru, ZnO 및 이들의 조합들로 이루어진 군에서 선택된 물질을 포함하는 것 일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0019] 상기 아일랜드 표면층의 두께는 5 nm 내지 15 nm인 것 일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0020] 상술한 과제 해결 수단은 단지 예시적인 것으로서, 본원을 제한하려는 의도로 해석되지 않아야 한다. 상술한 예시적인 실시예 외에도, 도면 및 발명의 상세한 설명에 추가적인 실시예가 존재할 수 있다.

### 발명의 효과

- [0021] 개시된 기술은 다음의 효과를 가질 수 있다. 다만, 특정 실시예가 다음의 효과를 전부 포함하여야 한다거나 다음의 효과만을 포함하여야 한다는 의미는 아니므로, 개시된 기술의 권리범위는 이에 의하여 제한되는 것으로 이해되어서는 아니 될 것이다.
- [0022] 전술한 본원의 과제 해결 수단에 의하면, 본원에 따른 수소 센서는 센서는 나노 아일랜드형 모재의 표면에 형성된 감응 물질을 포함하는 아일랜드 표면층을 포함하는 감응층이 형성되어 있어, 수소에 대한 감응도가 높아 반응 속도 및 회복 속도가 빠르다.
- [0023] 또한, 감응 물질을 적게 사용함으로써 공정 비용의 절감에 용이하다.
- [0024] 더욱이, 본원의 수소 센서는 감응성, 선택성, 안정성 등이 좋아 다양한 산업 분야에 응용될 수 있다.

### 도면의 간단한 설명

- [0025] 도 1a는 본원의 일 구현예에 따른 수소 센서의 사시도이고, 도 1b는 도 1a의 단면도이다.
- 도 2는 본원의 일 구현예에 따른 수소 센서의 제조 방법의 순서도이다.
- 도 3a 및 3b는 각각 대기 중에서의 수소 분위기 하에서의 본 실시예에 따라 제조된 수소 센서의 COMSOL 시뮬레이션 모델이다.
- 도 4a 내지 도 4e는 본 실시예에 따라 제조된 수소 센서의 EDS(Energy dispersive X-ray spectroscopy) 분석 그래프이다.
- 도 5의 (a) 내지 (f)는 본 실시예에 따라 제조된 수소 센서의 EDS(Energy dispersive X-ray spectroscopy) 맵 이미지이다.
- 도 6의 (a) 내지 (e)는 본 실시예에 따라 제조된 수소 센서 표면의 SEM(Scanning Electron Microscope) 이미지이다.
- 도 7은 본 실시예에 따라 제조된 수소 센서의 XRD(X-ray diffraction) 그래프이다.
- 도 8은 본 실시예에 따라 제조된 수소 센서의 두께에 따른 대기 중에서의 수소 분위기에서의 전하밀도를 나타낸 그래프이다.
- 도 9a 내지 도 9e는 본 실시예에 따라 제조된 수소 센서의 반응 시간 및 회복 시간을 시간에 따른 저항의 그래프로 나타낸 것이다.
- 도 10은 본 실시예에 따라 제조된 수소 센서의 반복성을 나타낸 그래프이다.
- 도 11은 본 실시예에 따라 제조된 수소 센서의 반복성을 나타낸 그래프이다.
- 도 12는 비교예에 따라 제조된 수소 센서의 반복성을 나타낸 그래프이다.
- 도 13a 내지 13d는 본 실시예에 따라 제조된 수소 센서의 반복성을 나타낸 그래프이다.
- 도 14는 비교예에 따라 제조된 수소 센서의 반응 시간 및 회복 시간을 시간에 따른 저항의 그래프로 나타낸 것이다.

도 15는 본 실시예에 따라 제조된 수소 센서의 수소 농도에 따른 반응도를 나타낸 그래프이다.

도 16은 본 실시예에 따라 제조된 수소 센서의 선택성을 나타낸 그래프이다.

도 17은 본 실시예에 따라 제조된 수소 센서의 선택성을 나타낸 그래프이다.

도 18은 본 실시예에 따라 제조된 수소 센서를 50일 뒤에 반복성을 나타낸 그래프이다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0026] 본 발명은 다양한 변경을 가할 수 있고 여러 가지 실시예를 가질 수 있는바, 특정 실시예들을 도면에 예시하고 상세한 설명에 구체적으로 설명하고자 한다. 그러나 이는 본 발명을 특정한 실시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변경, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다.
- [0027] 각 도면을 설명하면서 유사한 참조부호를 유사한 구성요소에 대해 사용한다. 제 1, 제 2등의 용어는 다양한 구성요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 상기 구성요소들은 상기 용어들에 의해 한정되어서는 안 된다. 상기 용어들은 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하는 목적으로만 사용된다.
- [0028] 예를 들어, 본 발명의 권리 범위를 벗어나지 않으면서 제 1 구성요소는 제 2 구성요소로 명명될 수 있고, 유사하게 제 2 구성요소도 제 1 구성요소로 명명될 수 있다. "및/또는"이라는 용어는 복수의 관련된 기재된 항목들의 조합 또는 복수의 관련된 기재된 항목들 중의 어느 항목을 포함한다.
- [0029] 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 의미가 있다.
- [0030] 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 것과 같은 용어들은 관련 기술의 문맥상 가지는 의미와 일치하는 의미가 있는 것으로 해석되어야 하며, 본 출원에서 명백하게 정의하지 않는 한, 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미로 해석되지 않아야 한다.
- [0031] 본원 명세서 전체에서, 어떤 부재가 다른 부재 "상에", "상부에", "상단에", "하에", "하부에", "하단에" 위치하고 있다고 할 때, 이는 어떤 부재가 다른 부재에 접해 있는 경우뿐 아니라 두 부재 사이에 또 다른 부재가 존재하는 경우도 포함한다.
- [0032] 본원 명세서 전체에서, 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.
- [0033] 본 명세서에서 사용되는 정도의 용어 "약", "실질적으로" 등은 언급된 의미에 고유한 제조 및 물질 허용오차가 제시될 때 그 수치에서 또는 그 수치에 근접한 의미로 사용되고, 본원의 이해를 돕기 위해 정확하거나 절대적인 수치가 언급된 개시 내용을 비양심적인 침해자가 부당하게 이용하는 것을 방지하기 위해 사용된다. 또한, 본원 명세서 전체에서, "~ 하는 단계" 또는 "~의 단계"는 "~를 위한 단계"를 의미하지 않는다.
- [0034] 본원 명세서 전체에서, 마쿠시 형식의 표현에 포함된 "이들의 조합"의 용어는 마쿠시 형식의 표현에 기재된 구성 요소들로 이루어진 군에서 선택되는 하나 이상의 혼합 또는 조합을 의미하는 것으로서, 상기 구성 요소들로 이루어진 군에서 선택되는 하나 이상을 포함하는 것을 의미한다.
- [0035] 본원 명세서 전체에서, "A 및/또는 B"의 기재는, "A 또는 B", 또는, "A 및 B"를 의미한다.
- [0036] 이하에서는 본원의 수소 센서 및 이의 제조 방법에 대하여 구현예 및 실시예와 도면을 참조하여 구체적으로 설명하도록 한다. 그러나, 본원이 이러한 구현예 및 실시예와 도면에 제한되는 것은 아니다.
- [0038] 본원은, 기재; 상기 기재 상에 형성된 감응층; 및 상기 감응층 상에 이격되어 배치된 제 1 전극 및 제 2 전극;을 포함하며, 상기 감응층은 하나 이상의 나노 아일랜드형 모재; 및 상기 모재의 표면에 형성되고 감응 물질을 포함하는 아일랜드 표면층;을 포함하며, 상기 모재는 금속 또는 금속 산화물을 포함하는 수소 센서에 관한 것이다.
- [0039] 본원의 수소 센서는 나노 아일랜드형 모재의 표면에 형성된 감응 물질을 포함하는 아일랜드 표면층을 포함하는 감응층이 형성되어 있어, 수소에 대한 감응도가 높아 반응 속도 및 회복 속도가 빠르다. 수소 감응 물질 자체를

아일랜드 형으로 형성할 경우, 감응 물질이 너무 크기 때문에 수소에 대한 반응 속도가 느린 문제점이 있다.

- [0040] 구체적으로, 본원의 수소 센서가 수소 분위기에 노출되면, 수소가 감응 물질의 표면에서 해리되고, 상기 감응 물질과 화학적 결합을 통해 수소화물을 형성하게 된다. 절연체인 수소화물이 금속인 감응 물질 대비 비율이 증가하면서 저항이 변화하게 되고, 상기 저항의 변화를 감지하여 수소를 감지하는 것이다. 종래와 같이 감응 물질이 나노 아일랜드 구조로 형성되어 있는 경우, 감응 물질 대비 수소화물의 비율이 쉽게 증가되지 않아 저항의 변화폭이 작아 수소를 감지하는 속도가 감소하게 된다. 하지만, 본원 발명의 경우, 나노 아일랜드형 소재의 표면에 감응 물질을 포함하는 아일랜드 표면층을 형성함으로써 감응 물질 대비 수소화물의 비율이 크게 변화하게 되고, 수소를 감지하는 속도가 증가하게 된다.
- [0041] 또한, 감응 물질을 적게 사용함으로써 공정 비용의 절감에 용이하다.
- [0042] 더욱이, 본원의 수소 센서는 감응성, 선택성, 안정성 등이 좋아 다양한 산업 분야에 응용될 수 있다.
- [0043] 도 1a는 본원의 일 구현예에 따른 수소 센서의 사시도이고, 도 1b는 도 1a의 단면도이다.
- [0044] 도 1을 참조하면, 수소 센서(100)는 기재(110), 모재(121), 아일랜드 표면층(122), 제 1 전극(131) 및 제 2 전극(132)을 포함한다.
- [0045] 상기 기재(100)는 반도체 물질, 금속 산화물 및 이들의 조합들로 이루어진 군에서 선택된 물질을 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0046] 상기 반도체 물질은 Si, Ge, As, Te, SiGe, GaAs, AlGaAs, GeTe, SnTe, GeSe 및 이들의 조합들로 이루어진 군에서 선택된 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0047] 상기 금속 산화물은  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{SnO}_2$ ,  $\text{ZnO}$ ,  $\text{Nb}_2\text{O}_5$ ,  $\text{Ta}_2\text{O}_5$ ,  $\text{WO}_3$ ,  $\text{W}_2\text{O}_5$ ,  $\text{In}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Ga}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Nd}_2\text{O}_3$ ,  $\text{PbO}$ ,  $\text{CdO}$ ,  $\text{Nb}_2\text{O}_5$ ,  $\text{TiSrO}_3$  및 이들의 조합들로 이루어진 군으로부터 선택되는 금속 산화물을 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0048] 상기 기재(110) 상에 형성된 상기 모재(121)는 하나 이상의 나노 아일랜드형으로 형성된 것일 수 있다.
- [0049] 상기 나노 아일랜드형은 나노 크기의 반구, 육면체, 비정형 및 이들의 조합들로 이루어진 군에서 선택된 형태로 이루어진 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0050] 예를 들면, 상기 기재(110) 상에 나노 크기의 반구 모양의 나노 아일랜드가 하나 이상으로 형성되어 있는 것을 의미할 수 있다.
- [0051] 상기 모재(121)는 크기가 3 nm 내지 6 nm인 나노 아일랜드형 구조인 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0052] 상기 모재(121)의 크기는 상기 모재가 원의 모양으로 가정했을 때의 직경, 상기 모재의 가장 거리가 먼 부분의 거리, 또는 상기 모재를 등면적분으로 하였을 때의 거리를 의미하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0053] 상기 모재(121)의 크기 및 모양은 상기 기재(110)의 표면 에너지 및 제조 방법의 조건에 따라 조절될 수 있다.
- [0054] 도 1b를 참조하면, 상기 각각의 모재(121)의 중심간의 거리 d는 20 nm 내지 30 nm 인 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0055] 상기 모재(121)는 하나 이상으로 형성되어 있으며, 상기 모재(121) 간의 거리는 1 nm 내지 10 nm인 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0056] 상기 모재(121) 간의 거리가 1 nm 미만일 경우, 상기 모재(121)가 거의 붙어 있고, 이에 따라 상기 모재(121)의 표면 상에 형성되는 아일랜드 표면층(122)도 붙어서 형성됨에 따라 표면의 거칠기가 감소하여 수소가 흡착될 사이트(site)가 줄어들면서 수소에 대한 반응 속도가 감소하게 된다. 또한, 상기 모재(122)간의 거리가 10 nm 초과일 경우, 상기 모재(122)의 표면 상에 형성되는 아일랜드 표면층(122) 간의 거리가 멀어져 수소 이동 속도가 줄어들어 수소에 대한 반응 속도가 감소하게 된다.
- [0057] 상기 모재(121)는 금속 또는 금속산화물을 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0058] 상기 금속은 Al, Cu, Ti, V, Mn, Fe, Co, Zn, Y, Zr, Nb, Mo, Ag, Cd, W, Re, Au 및 이들의 조합들로 이루어진

군에서 선택된 금속을 포함하는 것 일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.

- [0059] 상기 금속 산화물은  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{SnO}_2$ ,  $\text{ZnO}$ ,  $\text{Nb}_2\text{O}_5$ ,  $\text{Ta}_2\text{O}_5$ ,  $\text{WO}_3$ ,  $\text{W}_2\text{O}_5$ ,  $\text{In}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Ga}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Nd}_2\text{O}_3$ ,  $\text{PbO}$ ,  $\text{CdO}$ ,  $\text{Nb}_2\text{O}_5$ ,  $\text{TiSrO}_3$  및 이들의 조합들로 이루어진 군으로부터 선택되는 금속 산화물을 포함하는 것 일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0060] 상기 모재(121)는 상기 기재(110)와 상기 아일랜드 표면층(122)간의 접착력을 고려하여 선택할 수 있다.
- [0061] 상기 아일랜드 표면층(122)은 상기 모재(121)의 표면에 형성되고, 감응 물질을 포함하는 것이다.
- [0062] 도 1a 및 도 1b를 참조하면, 상기 아일랜드 표면층(122)은 외부로 노출되어 있다. 또한, 상기 기재(110)는 상기 모재(121) 및/또는 상기 아일랜드 표면층(122)과 접하거나 외부로 노출되어 있을 수 있다.
- [0063] 상기 감응 물질은 Pt, Pd, Mg, Cr, Ir, Ru, ZnO 및 이들의 조합들로 이루어진 군에서 선택된 물질을 포함하는 것 일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0064] 상기 감응 물질은 Pt, Pd, 또는 Pt-Pd를 포함하는 것 일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0065] 상기 감응 물질은 Pt, Pd, Mg 또는 Pd-Mg를 포함하는 것 일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0066] 상기 감응 물질은 수소를 감지할 수 있는 물질을 사용할 수 있다. 구체적으로, 수소를 분해하여 상기 감응 물질과 흡착이 용이하도록 할 수 있는 물질을 사용하는 것 일 수 있다.
- [0067] 상기 감응 물질은 상기 모재(121)와 다른 물질을 사용하는 것이다.
- [0068] 상기 아일랜드 표면층(122)의 두께는 3 nm 내지 15 nm인 것 일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0069] 상기 아일랜드 표면층(122)의 두께가 3 nm 미만일 때, 수소를 감지하기 위한 상기 감응 물질의 양이 충분하지 않아 수소를 제대로 감지할 수 없을 수 있다. 또한, 상기 아일랜드 표면층(122)의 두께가 15 nm 초과일 경우, 상기 감응 물질의 양이 너무 많아 수소에 대한 반응 속도 및 회복 속도가 감소될 수 있다.
- [0070] 상기 기재(110) 상에 형성된 감응층(120)은 하나 이상의 나노 아일랜드형 모재(121) 및 상기 모재(121)의 표면에 형성되고 감응 물질을 포함하는 아일랜드 표면층(122)을 포함한다.
- [0071] 상기 모재(121)가 금속일 때, 상기 수소 센서는 수소를 감지함에 따라 저항이 증가하는 것 일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0072] 상기 모재(121)가 금속 산화물일 때, 상기 수소 센서는 수소를 감지함에 따라 저항이 감소하는 것 일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0073] 구체적으로, 본원의 수소 센서가 수소 분위기에 노출되면, 수소가 감응 물질의 표면에서 해리되고, 상기 감응 물질과 화학적 결합을 통해 수소화물을 형성하게 된다. 절연체인 수소화물이 금속인 감응 물질 대비 비율이 증가하면서 저항이 변화하게 되고, 상기 저항의 변화를 감지하여 수소를 감지하는 것이다. 또한, 상기 수소화물을 형성하는 데에 필요한 엔탈피가 작아, 상기 모재(121)가 수소의 싱크(sink)를 작용하여, 상기 수소가 상기 모재(121)에 채워지면서 수소를 흡수하게 된다. 이 때, 상기 수소가 상기 모재(121)와 상기 아일랜드 표면층(122)의 계면에 침투하면서 상기 모재(121) 및/또는 상기 아일랜드 표면층(122)이 팽창하게 된다. 상기 팽창에 따라 상기 수소가 축적될 수 있는 사이트(site)가 줄어들게 되므로, 최적의 성능을 나타낼 수 있는 수소 센서를 제작하기 위해 상기 모재(121) 및 상기 아일랜드 표면층(122)의 두께를 적절하게 조절해야 한다.
- [0074] 상기 감응층(122) 상에 이격되어 배치된 제 1 전극(131) 및 제 2 전극(132)은 각각 독립적으로, 금속, 전도성 고분자, 탄소물질 및 이들의 조합들로 이루어진 군에서 선택된 물질을 포함하는 것 일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0075] 상기 전도성 고분자는 폴리(3,4-에틸렌다이옥시싸이오펜) (PEDOT), 폴리(3,4-에틸렌다이옥시싸이오펜) 폴리스티렌 설포네이트 (PEDOT:PSS), 폴리아세틸렌, 폴리피롤, 폴리스이오펜, 폴리아닐렌, 폴리페닐렌, 폴리페닐렌설파이드, 폴리풀러렌 및 이들의 조합들로 이루어진 군에서 선택된 물질을 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0076] 상기 탄소물질은 탄소나노튜브, 그래핀, 풀러렌, 카본나노섬유 및 이들의 조합들로 이루어진 군에서 선택된 탄소 물질을 포함하는 것 일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.

- [0077] 상기 수소 센서의 수소에 대한 반응 시간은 10초 미만인 것 일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0078] 상기 수소 센서의 수소에 대한 회복 시간은 30초 미만인 것 일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0079] 본원에 따른 수소 센서는 수소에 대한 반응 속도 및 회복 속도가 빠르기 때문에, 수소가 누출됐을 때, 빠르게 감지할 수 있다.
- [0080] 상기 수소 센서는 무선 송신 장치(미도시)를 추가 포함하는 것 일 수 있다.
- [0081] 상기 무선 송신 장치를 이용하여 수소의 누출 여부를 모니터링하는 중앙 관리 장치에 신호를 전달할 수 있다.
- [0082] 상기 수소 센서는 경고 시스템(미도시)을 추가 포함하는 것 일 수 있다.
- [0083] 상기 경고 시스템은 상기 수소 센서가 수소의 누출을 감지했을 경우, 경고음, 경고등 등으로 알리는 것 일 수 있다.
- [0084] 본원은 기재 상에 나노 아일랜드형 모재를 형성하는 단계; 상기 모재 상에 감응 물질을 포함하는 아일랜드 표면층을 형성하여 감응층을 형성하는 단계; 상기 감응층 상에 이격되어 배치된 제 1 전극 및 제 2 전극을 형성하여 수소 센서를 제조하는 단계; 및 상기 수소 센서를 어닐링하는 단계;를 포함며, 상기 모재는 금속 또는 금속 산화물을 포함하는 수소 센서의 제조 방법을 제공하는 것이다.
- [0085] 상기 수소 센서의 제조 방법은 진공증착법, 물리적 전사법, 화학기상증착법, 열증착법, 스퍼 코팅법, 캐스트법, 랑뮤어-블로젯 (Langmuir-Blodgett, LB)법, 잉크젯 프린팅법, 노즐 프린팅법, 슬롯 다이 코팅법, 닥터블레이드 코팅법, 스크린 프린팅법, 딥 코팅법, 그래비어 프린팅법, 리버스 오프셋 프린팅법, 스프레이 코팅법 및 이들의 조합들로 이루어진 군에서 선택된 방법에 의해 수행되는 것 일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0086] 바람직하게는, 상기 수소 센서의 제조 방법은 스퍼터링(sputtering) 법에 의해 수행되는 것 일 수 있다.
- [0087] 상기 수소 센서의 제조 방법은  $10^{-1}$  Torr 내지 700 Torr의 압력 하에서 수행되는 것 일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0088] 상기 수소 센서의 제조 방법은 비활성 기체 분위기 하에서 수행되는 것 일 수 있다.
- [0089] 상기 비활성 기체는 He, Ar, Kr 및 이들의 조합들로 이루어진 군에서 선택된 기체를 포함하는 것 일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0090] 도 2는 본원의 일 구현예에 따른 수소 센서의 제조 방법의 순서도이다.
- [0091] 먼저, 기재 상에 나노 아일랜드형 모재를 형성한다(S100).
- [0092] 이어서, 상기 모재 상에 감응 물질을 포함하는 아일랜드 표면층을 형성하여 감응층을 형성한다(S200).
- [0093] 상기 감응 물질은 Pt, Pd, Mg, Cr, Ir, Ru, ZnO 및 이들의 조합들로 이루어진 군에서 선택된 물질을 포함하는 것 일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0094] 상기 아일랜드 표면층의 두께는 5 nm 내지 15 nm인 것 일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0095] 상기 모재는 크기가 3 nm 내지 6 nm인 나노 아일랜드형 구조인 것 일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0096] 스퍼터링의 전력, 증착 속도, 증착 시간 등을 조절함으로써 상기 모재의 크기 및/또는 상기 아일랜드 표면층의 두께를 조절할 수 있다.
- [0097] 상기 기재의 표면 에너지에 따라 상기 스퍼터링의 조건을 조절함으로써 상기 모재의 크기 및/또는 상기 아일랜드 표면층의 두께를 조절할 수 있다.
- [0098] 상기 증착 속도가 느릴수록 모재의 크기가 작아지고, 증착 속도가 빠를수록 모재의 크기가 큰 것 일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0099] 상기 증착 시간이 길수록 상기 아일랜드 표면층의 두께가 두꺼워지는 것 일 수 있다.
- [0100] 이어서, 상기 감응층 상에 이격되어 배치된 제 1 전극 및 제 2 전극을 형성하여 수소 센서를 제조한다(S300).
- [0101] 섀도 마스크(shadow mask)를 이용하여 상기 감응층 상에 상기 제 1 전극 및 상기 제 2 전극을 동시에 형성하는 것 일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.

- [0102] 이어서, 상기 수소 센서를 어닐링한다(S400).
- [0103] 상기 어닐링하는 단계는 20℃ 내지 400℃의 온도 하에서 이루어지는 것 일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0104] 상기 어닐링하는 온도에 따라 상기 모재의 크기 및/또는 상기 아일랜드 표면층의 두께를 조절할 수 있다.
- [0105] 상기 어닐링하는 온도가 400℃ 초과일 경우, 상기 모재 및 상기 아일랜드 표면층의 표면의 거칠기가 낮아지면서 수소가 흡착될 수 있는 사이트(site)가 줄어들게 되어 수소에 대한 반응 속도가 낮아질 수 있다.
- [0106] 상기 어닐링하는 단계는 진공 분위기 하에서 이루어지는 것 일 수 있다. 공기에 노출된 상태에서 상기 어닐링 단계를 진행할 경우, 상기 모재 또는 상기 감응 물질이 금속일 때, 상기 금속이 금속 산화물로 산화될 수 있다.
- [0107] 본원의 수소 센서의 제조 방법에 대하여, 본원의 수소 센서와 중복되는 부분들에 대해서는 상세한 설명을 생략 하였으나, 그 설명이 생략되었다더라도 본원의 수소 센서에 기재된 내용은 본원이 수소 센서의 제조 방법에 동일 하게 적용될 수 있다.
- [0109] 이하 실시예를 통하여 본 발명을 더욱 상세하게 설명하고자 하나, 하기의 실시예는 단지 설명의 목적을 위한 것 이며 본원의 범위를 한정하고자 하는 것은 아니다.

### 실시예 1

- [0110] 먼저, 실리콘 기판 상에 RF(radio frequency) 마그네트론 스퍼터링 시스템을 이용하여 Ti을 3 nm의 두께로 증착 하여 나노 아일랜드형 모재를 형성하였다. 상기 Ti으로 형성된 나노 아일랜드형 모재 상에 Mg을 3 nm의 두께로 증착하고, Pd을 5 nm의 두께로 증착하여 아일랜드 표면층을 형성하였다. 상기 아일랜드 표면층이 형성된 수소 센서를 진공 분위기 하에서 실온으로 어닐링하였다. 이어서, 상기 어닐링된 아일랜드 표면층 상에 은 에폭시 (silver epoxy)를 사용하여 전극을 형성함으로써 Pd/Mg/Ti@Si 5/3/3 nm 구조의 수소 센서를 제작하였다.

### 실시예 2

- [0111] 어닐링 온도를 200℃로 하는 것을 제외하고 실시예 1과 동일한 방법으로 수소 센서를 제작하였다.

### 실시예 3

- [0112] 어닐링 온도를 300℃로 하는 것을 제외하고 실시예 1과 동일한 방법으로 수소 센서를 제작하였다.

### 실시예 4

- [0113] 어닐링 온도를 400℃로 하는 것을 제외하고 실시예 1과 동일한 방법으로 수소 센서를 제작하였다.

### 실시예 5

- [0114] Pd의 두께를 3 nm로 증착하는 것을 제외하고 실시예 1과 동일한 방법으로 Pd/Mg/Ti@Si 3/3/3 nm 구조의 수소 센서를 제작하였다.

### 실시예 6

- [0115] Ti의 두께를 6 nm, Mg의 두께를 6 nm, Pd의 두께를 6 nm로 증착하는 것을 제외하고 실시예 1과 동일한 방법으로 Pd/Mg/Ti@Si 6/6/6 nm 구조의 수소 센서를 제작하였다.

### 실시예 7

- [0116] 먼저, 알루미늄 기판 상에 RF(radio frequency) 마그네트론 스퍼터링 시스템을 이용하여 ZnO를 5 nm의 두께로 증착하여 나노 아일랜드형 모재를 형성하였다. 상기 ZnO로 형성된 나노 아일랜드형 모재 상에 Pt를 10 nm의 두께로 증착하여 아일랜드 표면층을 형성하였다. 상기 아일랜드 표면층이 형성된 수소 센서를 진공 분위기 하에서 300℃의 온도로 어닐링하였다. 이어서, 상기 어닐링된 아일랜드 표면층 상에 은 에폭시(silver epoxy)를 사용하여 전극을 형성함으로써 Pt/ZnO@Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 10/5 nm 구조의 수소 센서를 제작하였다.

- [0117] [비교예 1]
- [0118] 어닐링 온도를 500℃로 하는 것을 제외하고 실시예 1과 동일한 방법으로 수소 센서를 제작하였다.
- [0119] [비교예 2]
- [0120] Ti의 두께를 9 nm, Mg의 두께를 9 nm, Pd의 두께를 9 nm로 증착하는 것을 제외하고 실시예 1과 동일한 방법으로 Pd/Mg/Ti@Si 9/9/9 nm 구조의 수소 센서를 제작하였다.
- [0121] [비교예 3]
- [0122] Ti의 두께를 12 nm, Mg의 두께를 12 nm, Pd의 두께를 12 nm로 증착하는 것을 제외하고 실시예 1과 동일한 방법으로 Pd/Mg/Ti@Si 12/12/12 nm 구조의 수소 센서를 제작하였다.
- [0123] [비교예 4]
- [0124] 먼저, 알루미늄 기판 상에 RF(radio frequency) 마그네트론 스퍼터링 시스템을 이용하여 Ag를 6.5 nm의 두께로 증착하여 나노 아일랜드형 모재를 형성하였다. 상기 Ag로 형성된 나노 아일랜드형 모재 상에 Pd를 10 nm의 두께로 증착하고 하여 아일랜드 표면층을 형성하였다. 상기 아일랜드 표면층이 형성된 수소 센서를 진공 분위기 하에서 300℃의 온도로 어닐링하였다. 이어서, 상기 어닐링된 아일랜드 표면층 상에 은 에폭시(silver epoxy)를 사용하여 전극을 형성함으로써 Pt/ZnO@Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 10/5 nm 구조의 수소 센서를 제작하였다.
- [0126] [평가]
- [0127] **1. 수소 센서의 특성 분석**
- [0128] 상기 실시예 1 내지 6에서 제조한 수소 센서의 특성을 관찰하였고 그 결과를 도 3 내지 도 8로서 나타내었다.
- [0129] 도 3a 및 3b는 각각 대기 중에서의 수소 분위기 하에서의 본 실시예에 따라 제조된 수소 센서의 COMSOL 시뮬레이션 모델이다.
- [0130] 도 3a 및 3b에 나타난 결과에 따르면, 각 층의 전하밀도가 균일하게 형성되어 있는 것을 확인할 수 있다.
- [0131] 도 4a 내지 도 4e는 본 실시예에 따라 제조된 수소 센서의 EDS(Energy dispersive X-ray spectroscopy) 분석 그래프이다.
- [0132] 구체적으로, 도 4a는 실시예 1, 도 4b는 실시예 2, 도 4c는 실시예 3, 도 4d는 실시예 4, 도 4e는 비교예 1의 EDS 분석 그래프를 나타낸 것이다.
- [0133] 도 5의 (a) 내지 (f)는 본 실시예에 따라 제조된 수소 센서의 EDS(Energy dispersive X-ray spectroscopy) 맵핑 이미지이다.
- [0134] 구체적으로, 도 5는 실시예 2에 따라 제조된 수소 센서의 EDS(Energy dispersive X-ray spectroscopy) 맵핑 이미지로서, 도 5의 (a)는 산소(O), 도 5의 (b)는 마그네슘(Mg), 도 5의 (c)는 팔라듐(Pd), 도 5의 (d)는 티타늄(Ti), 도 5의 (e)는 실리콘(Si), 도 5의 (f)는 전체 원소에 대한 맵핑 이미지이다. 도 5의 (f)의 맵핑 이미지에서는, 산소가 2%, 마그네슘이 4%, 팔라듐이 1%, 티타늄이 1%, 실리콘이 62%인 것으로 나타났다.
- [0135] 도 4 및 도 5에 나타난 결과에 따르면, 본 실시예에 따라 제조된 수소 센서에는 Pd, Mg 및 Ti가 잘 형성되어 있는 것을 확인할 수 있다.
- [0136] 도 6의 (a) 내지 (e)는 본 실시예에 따라 제조된 수소 센서 표면의 SEM(Scanning Electron Microscope) 이미지이다.
- [0137] 구체적으로, 도 6의 (a)는 실시예 1, 도 6의 (b)는 실시예 2, 도 6의 (c)는 실시예 3, 도 6의 (d)는 실시예 4, 도 6의 (e)는 비교예 1의 SEM 이미지를 나타낸 것이다.
- [0138] 도 6에 나타난 결과에 따르면, 어닐링의 온도가 높을수록 나노 아일랜드의 크기가 더 작은 것을 확인할 수 있다.
- [0139] 도 7은 본 실시예에 따라 제조된 수소 센서의 XRD(X-ray diffraction) 그래프이다.
- [0140] 도 7의 a는 실시예 1, b는 실시예 2, c는 실시예 3, d는 실시예 4, e는 비교예 1의 XRD 그래프를 나타낸

것이다.

[0141] 도 7에 나타난 결과에 따르면, 어닐링의 온도에 따라 수소 센서의 큰 변화는 나타나지 않고, Pd의 두께가 5 nm, Mg의 두께가 3 nm, Ti의 두께가 3 nm인 것을 확인할 수 있다. 다만, 어닐링의 온도가 증가함에 따라 Pd-Mg 및 Ti-Mg와 같은 바이메탈(bimetal) 피크가 증가하는 것을 확인할 수 있다.

[0142] 도 8은 본 실시예에 따라 제조된 수소 센서의 두께에 따른 대기 중에서의 수소 분위기에서의 전하밀도를 나타낸 그래프이다.

[0143] 구체적으로, 실시예 5 및 6, 비교예 2 및 3에 따라 제조된 수소 센서를 대기 중에서의 수소 분위기에서의 전하 밀도를 나타낸 그래프이다.

[0144] 도 8에 나타난 결과에 따르면, 비교예 2 및 3에 따라 제조된 수소 센서의 경우, 대기 중에서의 수소 분위기에서의 전하 밀도의 차이가 크지 않은 것을 확인할 수 있다. 반면에, 실시예 5 및 6에 따라 제조된 수소 센서의 경우, 대기 중에서의 수소 분위기에서의 전하 밀도 차이가 더 큰 것을 확인할 수 있다. 도 8의 결과를 통해, 수소를 적절히 감지하기 위해서는 수소 센서의 두께를 조절해야 함을 알 수 있다. 즉, 수소 센서의 두께를 적절히 조절함으로써 수소에 노출 되었을 때, 전하 밀도의 차이가 더 크기 때문에 수소를 감지함에 따라 저항의 변화가 더 크게 변화하여 수소에 대한 감응도를 높일 수 있다.

## [0146] 2. 수소 센서의 반응 속도

[0147] 상기 실시예에서 제조한 수소 센서의 반응 속도를 관찰하였고 그 결과를 도 9 내지 도 14로서 나타내었다.

[0148] 도 9a 내지 도 9e는 본 실시예에 따라 제조된 수소 센서의 반응 시간 및 회복 시간을 시간에 따른 저항의 그래프로 나타낸 것이다.

[0149] 구체적으로, 도 9a는 실시예 1, 도 9b는 실시예 2, 도 9c는 실시예 3, 도 9d는 실시예 4, 도 9e는 비교예 1의 반응 시간 및 회복 시간을 시간에 따른 저항의 그래프로 나타낸 것이다. 이 때, 반응 시간은 수소를 주입했을 때, 수소 센서의 저항의 변화가 감지되었을 때의 시간이고, 회복 시간은 수소를 주입하는 것을 멈췄을 때, 저항이 수소를 주입하기 전으로 돌아가는 시간이다. 도 9는 수소의 농도가 10,000 ppm일 때 25℃의 온도에서 측정했을 때의 저항을 측정한 것이다.

[0150] 도 9에 나타난 결과에 따르면, 실시예 3의 반응 시간 및 회복시간이 각각 3초 이내로, 가장 짧은 것을 확인할 수 있다. 실시예 1, 2 및 4의 반응 시간 및 회복 시간 또한 8초 이내인 것을 확인할 수 있다. 하지만, 비교예 1의 반응 시간 및 회복시간은 각각 50초 및 100초 이상으로 매우 느린 것을 확인할 수 있다. 이는 높은 온도에서 어닐링하면, 표면의 거칠기가 감소되어 흡착 사이트(site)가 줄어들면서 반응 속도가 줄어들기 때문이다. 또한, 어닐링의 온도가 높을수록 Ti의 표면에 수소원자가 축적되는 것을 방해하는 MgO의 양이 증가하게 되어 수소에 대한 반응 속도가 줄어들게 되는 것이다.

[0151] 수소의 농도가 대기 중에서 4%(40,000 ppm)이상일 때 폭발이 일어나게 된다. 본원의 수소 센서는 폭발 위험의 농도보다 작은 10,000 ppm의 농도에서도 빠른 반응 속도를 보이고 있어, 누출되는 수소를 빠르고 정확하게 감지할 수 있다.

[0152] 도 10은 본 실시예에 따라 제조된 수소 센서의 반복성을 나타낸 그래프이다.

[0153] 구체적으로, 도 10은 실시예 3에 따라 제조된 수소 센서에 10,000 ppm 농도의 수소를 반복적으로 주입했을 때의 시간에 따른 반응도를 나타낸 그래프이다.

[0154] 도 11은 본 실시예에 따라 제조된 수소 센서의 반복성을 나타낸 그래프이다.

[0155] 구체적으로, 도 11은 실시예 6에 따라 제조된 수소 센서에 40,000 ppm 농도의 수소를 반복적으로 주입했을 때의 시간에 따른 반응도를 나타낸 그래프이다.

[0156] 도 12는 비교예에 따라 제조된 수소 센서의 반복성을 나타낸 그래프이다.

[0157] 구체적으로, 도 12는 비교예 2에 따라 제조된 수소 센서에 40,000 ppm 농도의 수소를 반복적으로 주입했을 때의 시간에 따른 반응도를 나타낸 그래프이다.

[0158] 도 10 내지 12에 나타난 결과에 따르면, 모두 반복적으로 측정을 하여도 반응도가 일정한 것을 확인할 수 있다.

하지만, 도 12의 비교예 2에 따라 제조된 수소 센서의 경우, 회복 시간이 60초 이상으로 회복 속도가 매우 느린 것을 확인할 수 있다.

[0159] 도 13a 내지 13d는 본 실시예에 따라 제조된 수소 센서의 반복성을 나타낸 그래프이다.

[0160] 구체적으로, 도 13은 실시예 7에 따라 제조된 수소 센서에서 수소를 반복적으로 주입했을 때의 시간에 따른 전기 전도도를 나타낸 그래프이다. 도 13a는 100 ppm, 도 13b는 250 ppm, 도 13c는 500 ppm, 도 13d는 1,000 ppm 농도의 수소를 반복적으로 주입한 것이다.

[0161] 도 13a 내지 13d에 나타난 결과에 따르면, 수소가 주입되면, 전기 전도도가 증가하고, 수소를 주입하는 것을 멈췄을 때, 전기 전도도가 감소하는 것을 확인할 수 있다.

[0162] 도 14는 비교예에 따라 제조된 수소 센서의 반응 시간 및 회복 시간을 시간에 따른 저항의 그래프로 나타낸 것이다.

[0163] 구체적으로, 도 14는 비교예 4의 반응 시간 및 회복 시간을 시간에 따른 저항의 그래프로 나타낸 것이다. 이때, 반응 시간은 수소를 주입했을 때, 수소 센서의 저항의 변화가 감지되었을 때의 시간이고, 회복 시간은 수소를 주입하는 것을 멈췄을 때, 저항이 수소를 주입하기 전으로 돌아가는 시간이다.

[0164] 도 14에 나타난 결과에 따르면, 비교예 4의 반응 시간 및 회복 시간은 각각 20 초 및 25초 인 것을 확인할 수 있다. 이는 도 9a 내지 9d에 나타난 실시예의 반응 시간 및 회복 시간에 비해 현저히 느린 것으로 볼 수 있다.

### [0166] 3. 수소 농도에 따른 수소 센서의 감응도

[0167] 상기 실시예 6에서 제조한 수소 센서의 수소 농도에 따른 감응도를 관찰하였고 그 결과를 도 15로서 나타내었다.

[0168] 도 15는 본 실시예에 따라 제조된 수소 센서의 수소 농도에 따른 반응도를 나타낸 그래프이다.

[0169] 구체적으로, 도 15는 실시예 6에 따라 제조된 수소 센서를 수소 농도에 따른 반응도로 나타낸 그래프이다.

[0170] 도 15에 나타난 결과에 따르면, 수소의 농도가 증가함에 따라 수소 센서의 반응도가 증가하는 것을 확인할 수 있다. 이와 같이 수소 농도가 증가함에 따라 더 빠르고 정확하게 감지할 수 있으나, 수소의 농도가 50 ppm일 때와 같이 매우 낮은 농도일 때에도 감지할 수 있다. 즉, 본원에 따른 수소 센서를 산업에 응용하게 되면, 수소가 누출되기 시작했을 때(공기 중의 수소 농도가 낮을 때) 바로 감지하여 사고를 미연에 방지할 수 있다.

### [0172] 4. 수소 센서의 선택성

[0173] 상기 실시예 3 및 6에서 제조한 수소 센서의 선택성을 관찰하였고 그 결과를 도 16 및 도 17로서 나타내었다.

[0174] 도 16은 본 실시예에 따라 제조된 수소 센서의 선택성을 나타낸 그래프이다.

[0175] 구체적으로, 도 16은 실시예 3에 따라 제조된 수소 센서를 CO, NO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> 및 H<sub>2</sub>에 노출했을 때의 반응도를 나타낸 그래프이다.

[0176] 도 17은 본 실시예에 따라 제조된 수소 센서의 선택성을 나타낸 그래프이다.

[0177] 구체적으로, 도 17은 실시예 6 및 비교예 2에 따라 제조된 수소 센서를 NO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> 및 H<sub>2</sub>에 노출했을 때의 반응도를 나타낸 그래프이다.

[0178] 도 16 및 17에 나타난 결과에 따르면, 본 실시예에 따라 제조된 수소 센서의 다른 기체 대비 수소에 대한 선택성은 높은 것을 확인할 수 있다. 도 17의 비교예 2에 따라 제조된 수소 센서의 선택성 또한 높게 나왔으나, 실시예 6보다는 낮은 것으로 나타났다.

### [0180] 5. 수소 센서의 안정성

[0181] 상기 실시예 6에서 제조한 수소 센서의 안정성을 관찰하였고 그 결과를 도 18로서 나타내었다.

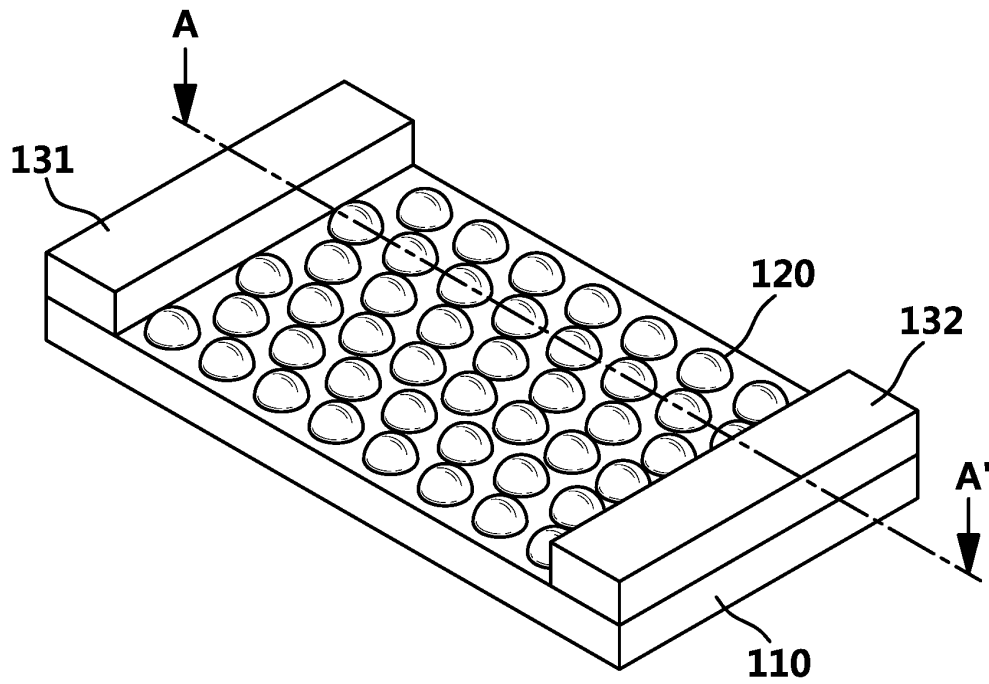
- [0182] 도 18은 본 실시예에 따라 제조된 수소 센서를 50일 뒤에 반복성을 나타낸 그래프이다.
- [0183] 구체적으로, 도 18은 실시예 6에 따라 제조된 수소 센서를 50일 뒤에 24,000 ppm 농도의 수소에 반복적으로 주입했을 때의 시간에 따른 반응도를 나타낸 그래프이다.
- [0184] 도 18에 나타난 결과에 따르면, 50일 뒤에도 반응 시간 및 회복 속도가 빠르고 반복적으로 측정했을 때에도 일정한 반응도를 나타내는 것을 확인할 수 있다. 즉, 본원에 따른 수소 센서의 내구성이 높아 장기적으로 사용할 수 있음을 의미한다.
- [0186] 전술한 본원의 설명은 예시를 위한 것이며, 본원이 속하는 기술분야의 통상의 지식을 가진 자는 본원의 기술적 사상이나 필수적인 특징을 변경하지 않고서 다른 구체적인 형태로 쉽게 변형이 가능하다는 것을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로 이상에서 기술한 실시예들은 모든 면에서 예시적인 것이며 한정적이 아닌 것으로 이해해야만 한다. 예를 들어, 단일형으로 설명되어 있는 각 구성 요소는 분산되어 실시될 수도 있으며, 마찬가지로 분산된 것으로 설명되어 있는 구성 요소들도 결합된 형태로 실시될 수 있다.
- [0187] 본원의 범위는 상기 상세한 설명보다는 후술하는 특허청구범위에 의하여 나타내어지며, 특허청구범위의 의미 및 범위 그리고 그 균등 개념으로부터 도출되는 모든 변경 또는 변형된 형태가 본원의 범위에 포함되는 것으로 해석되어야 한다.

### 부호의 설명

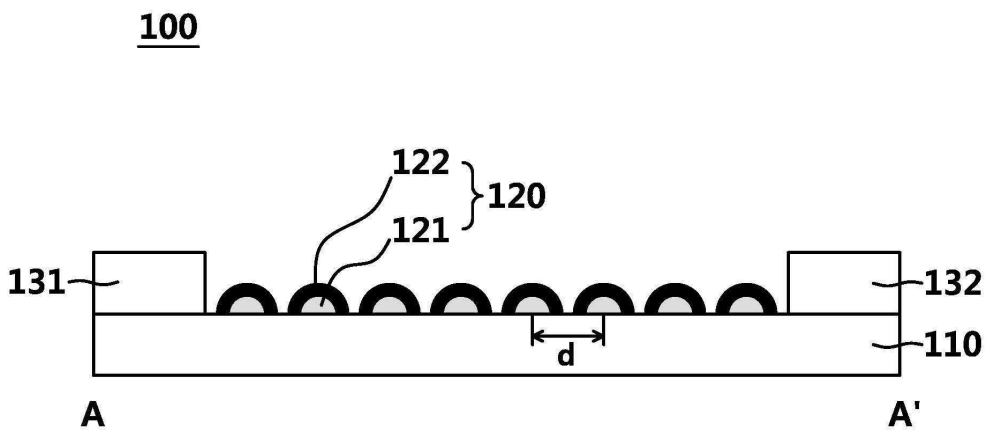
- [0188] 100: 수소 센서
- 110: 기재
- 120: 감응층
- 121: 모재
- 122: 아일랜드 표면층
- 131: 제 1 전극
- 132: 제 2 전극

도면

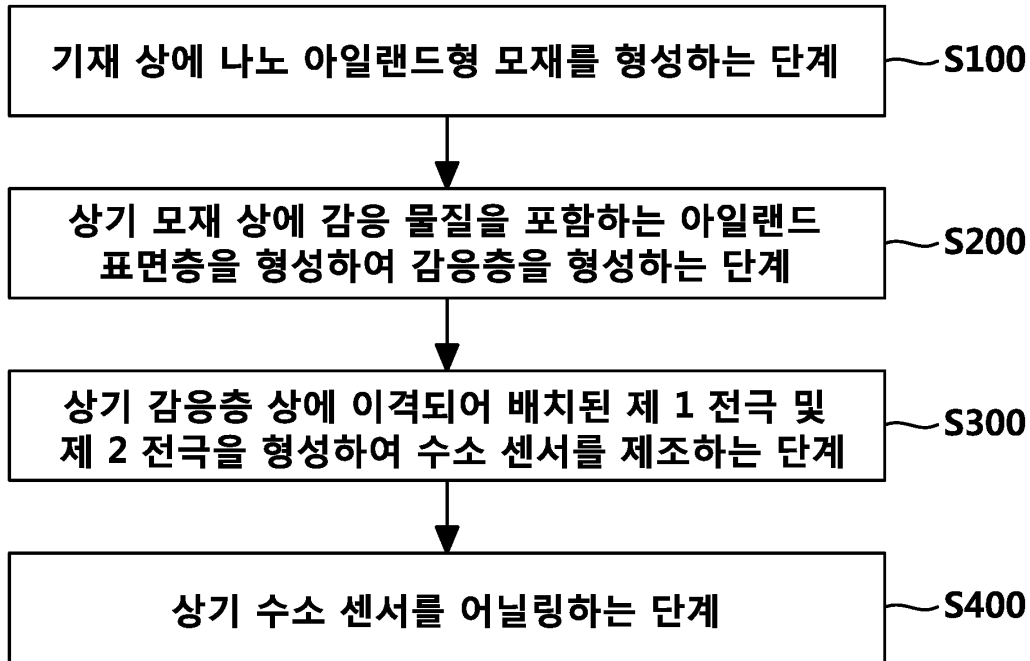
도면1a



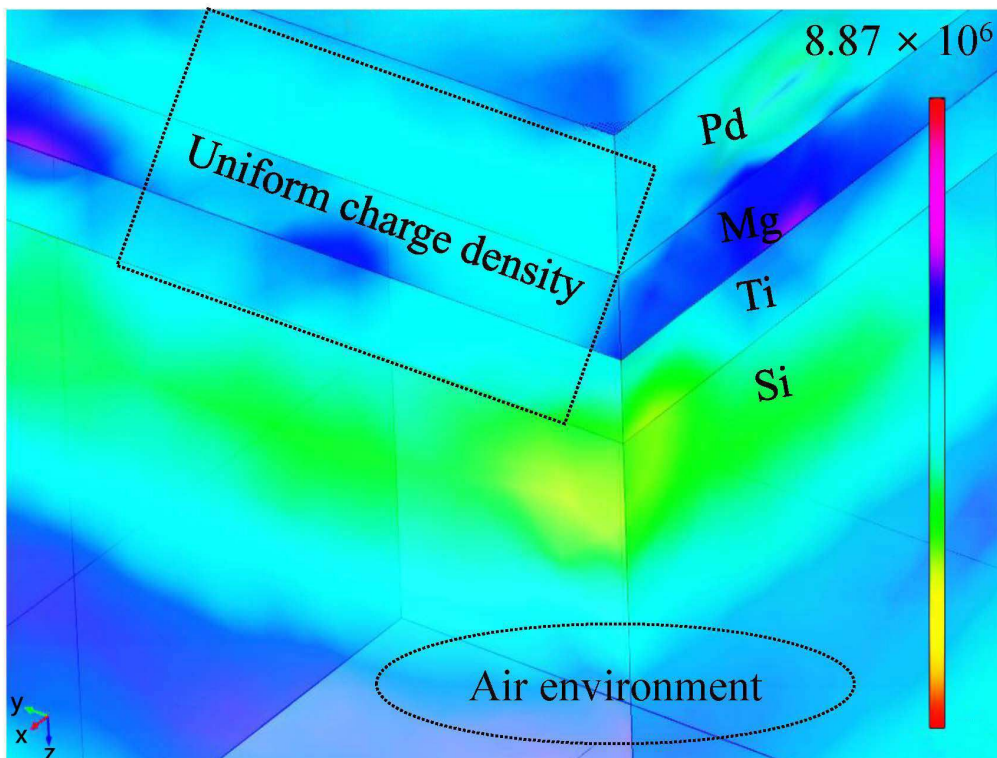
도면1b



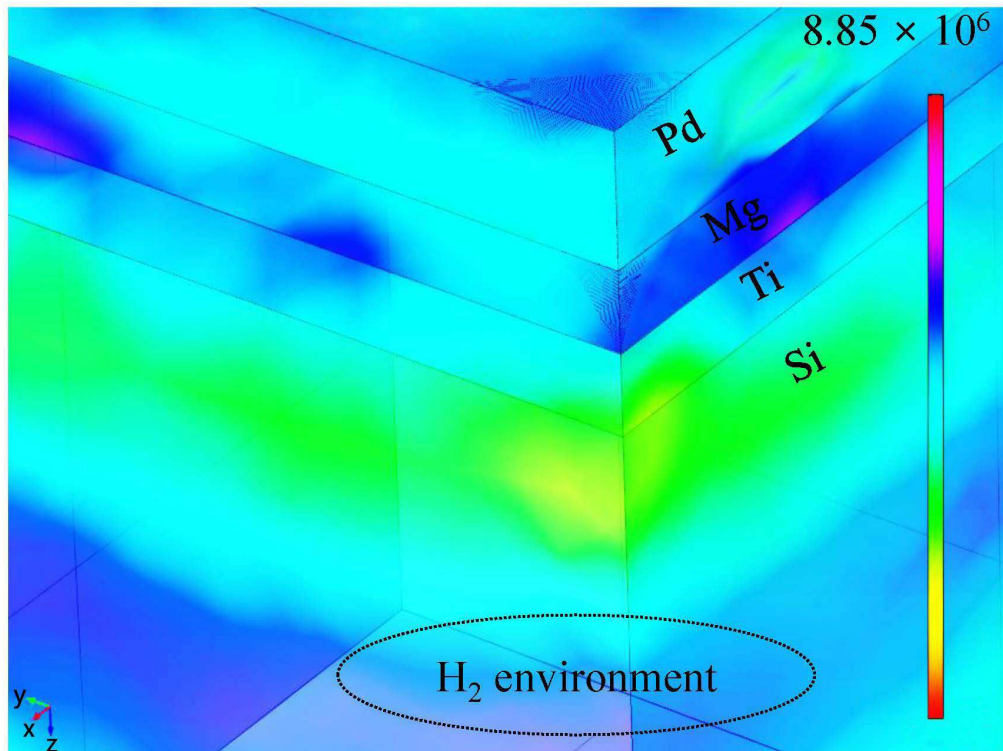
도면2



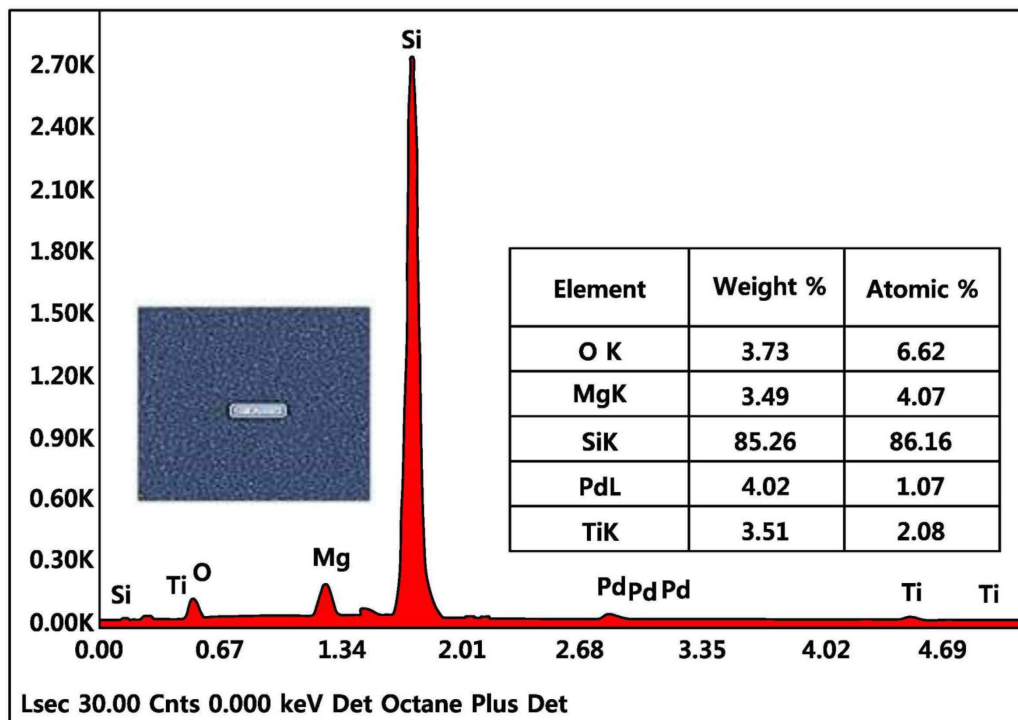
도면3a



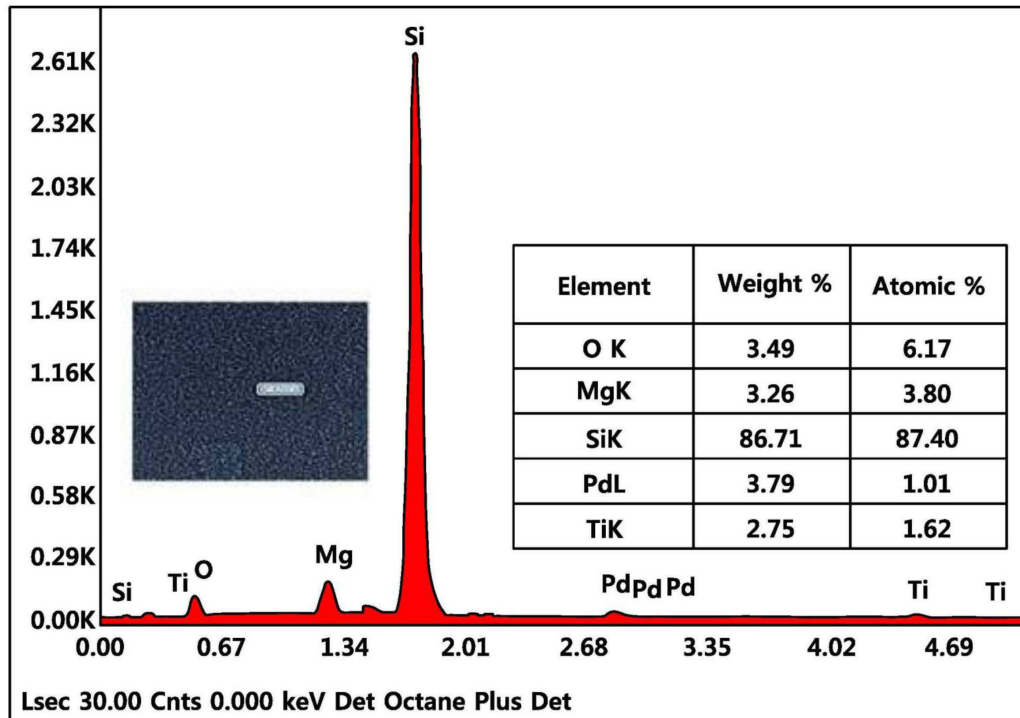
도면3b



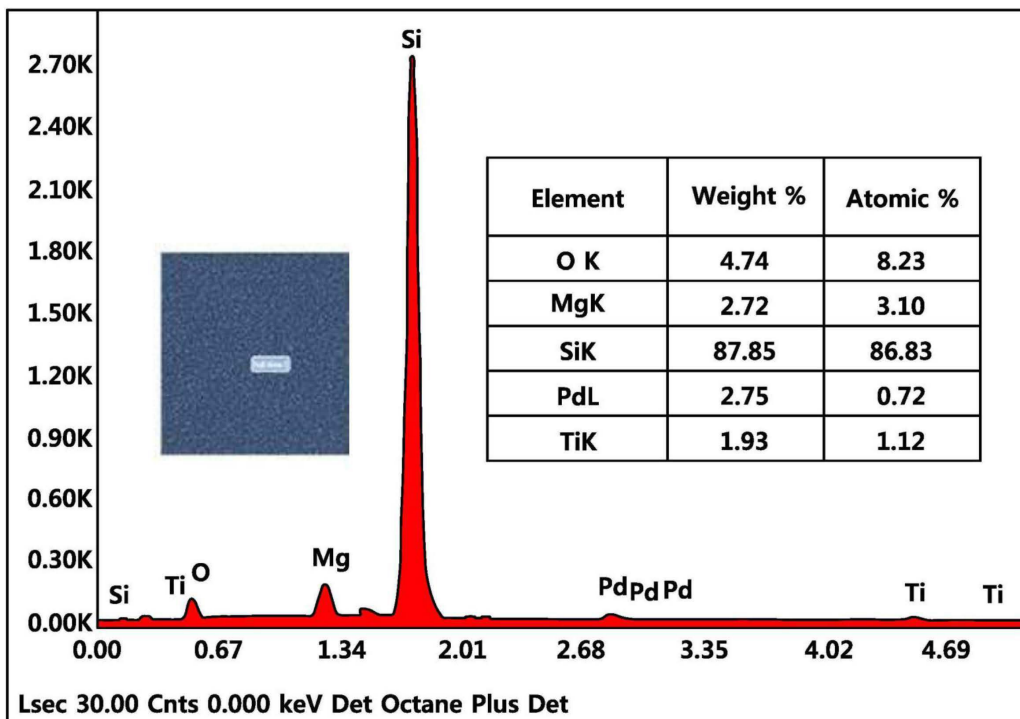
도면4a



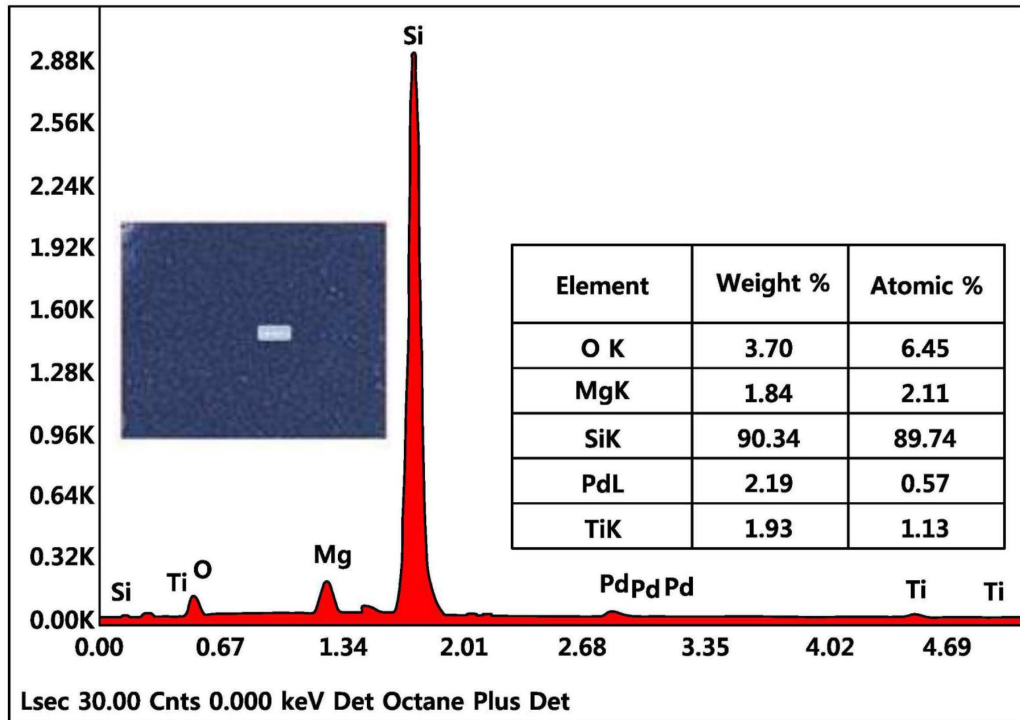
도면4b



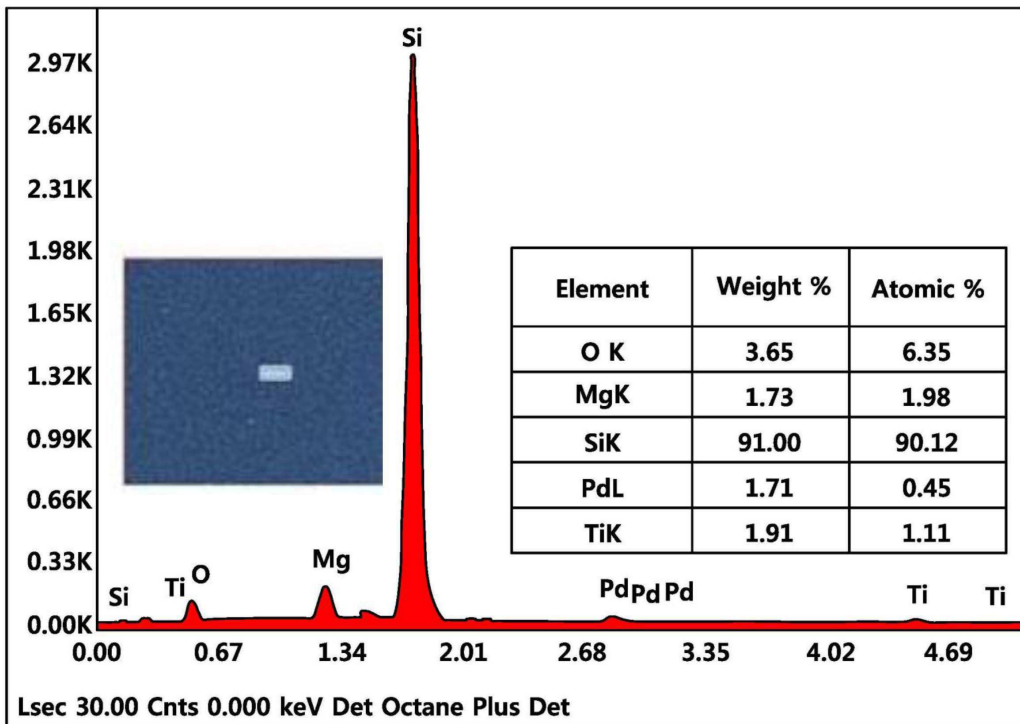
도면4c



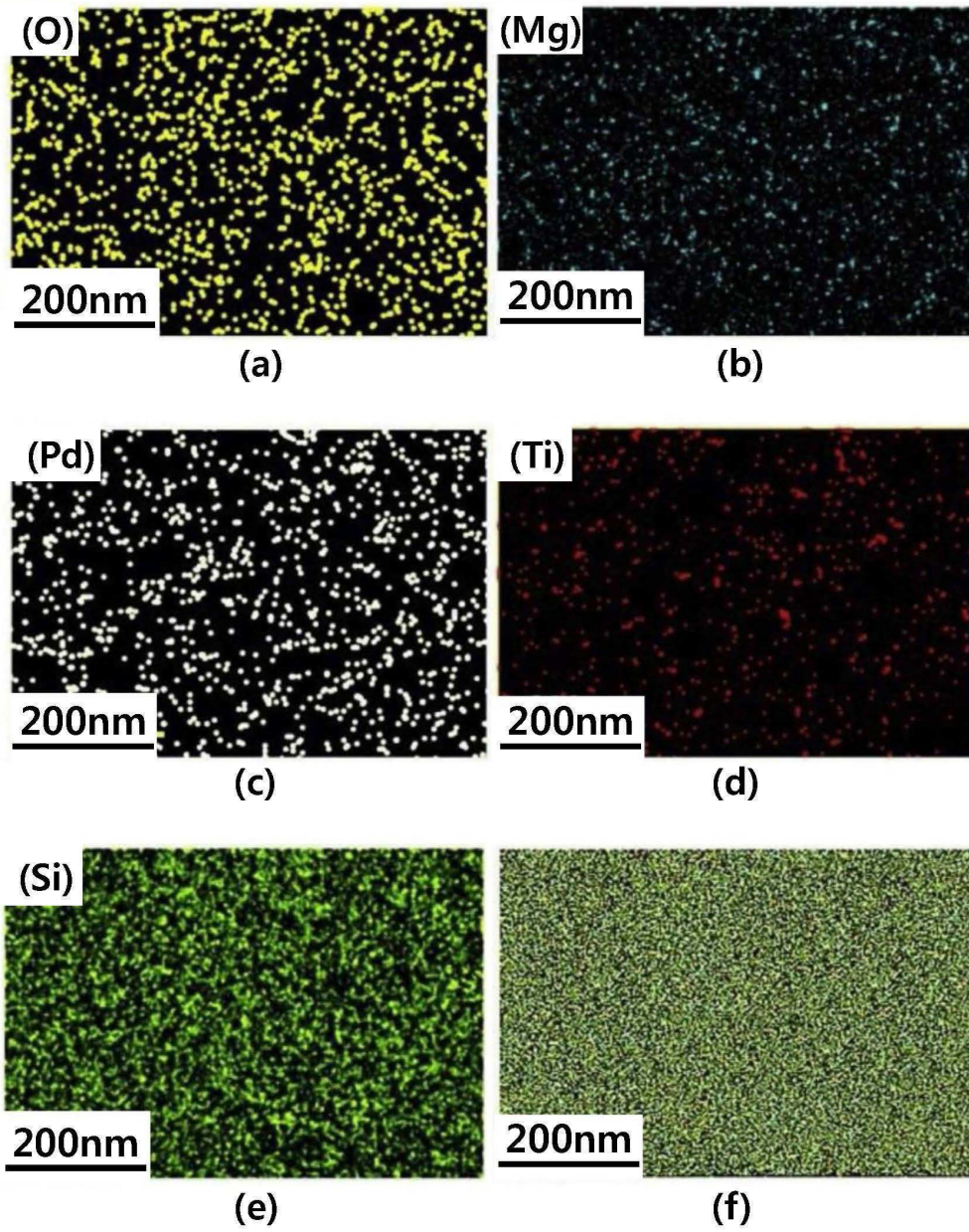
도면4d



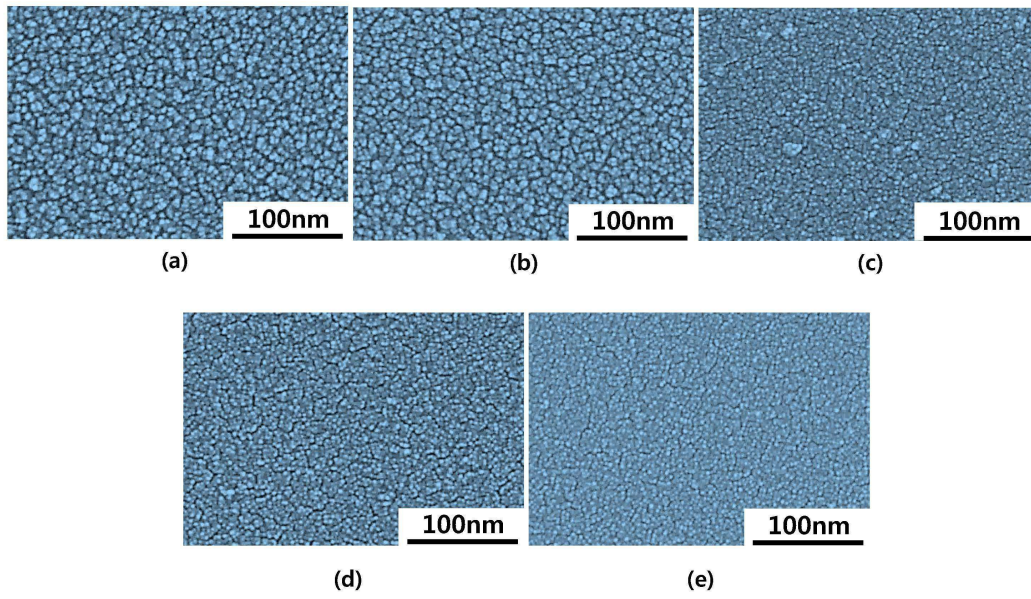
도면4e



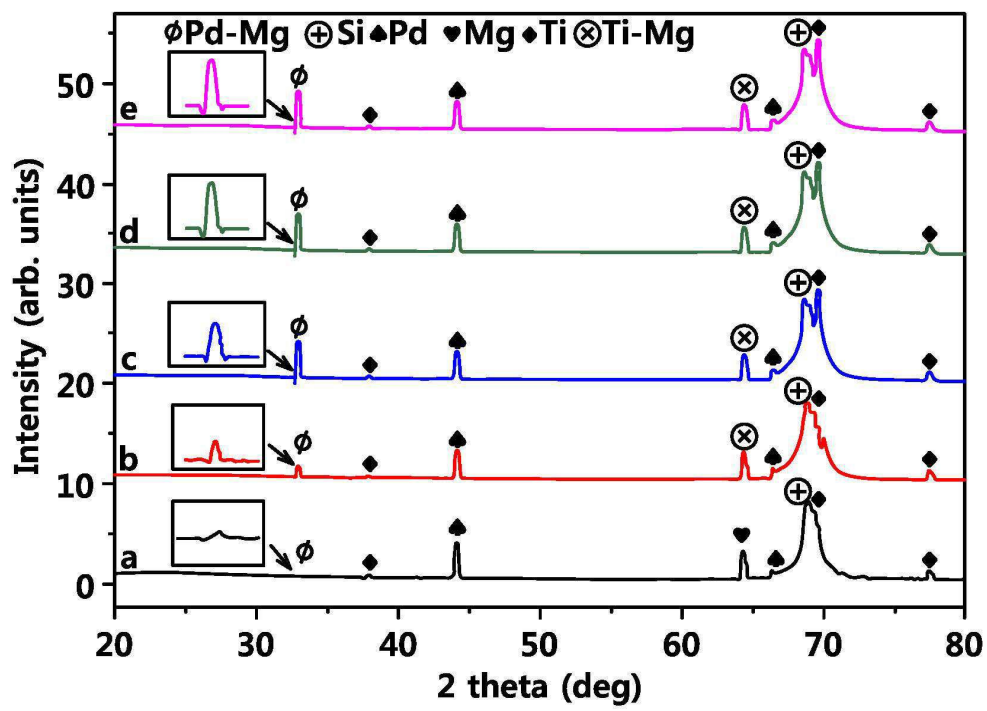
도면5



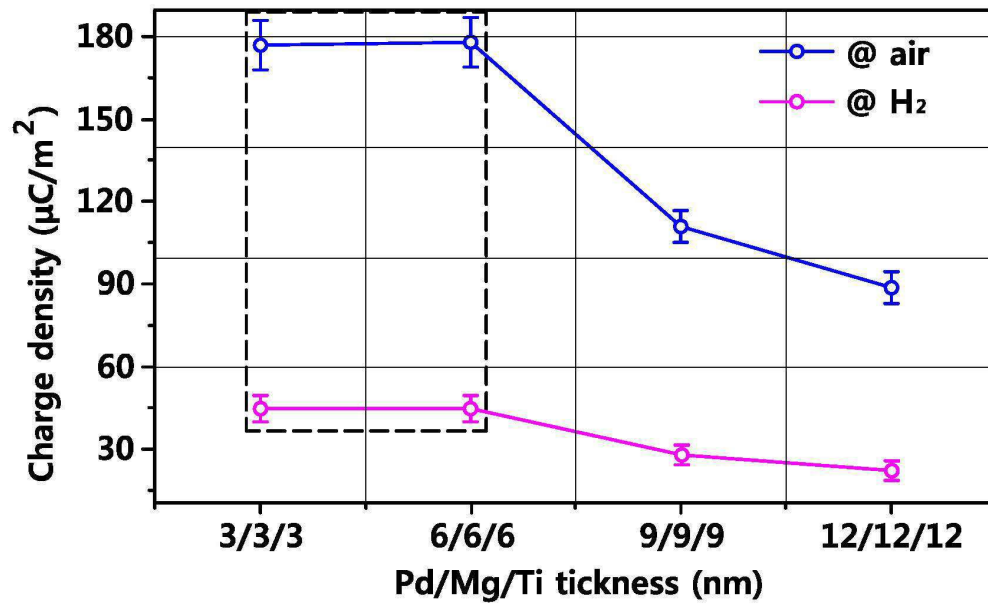
도면6



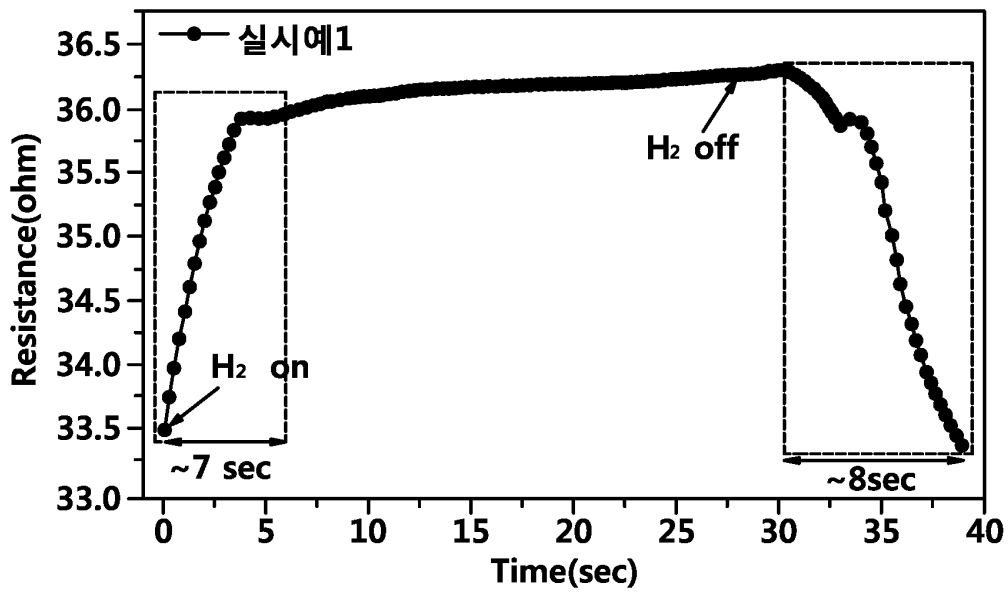
도면7



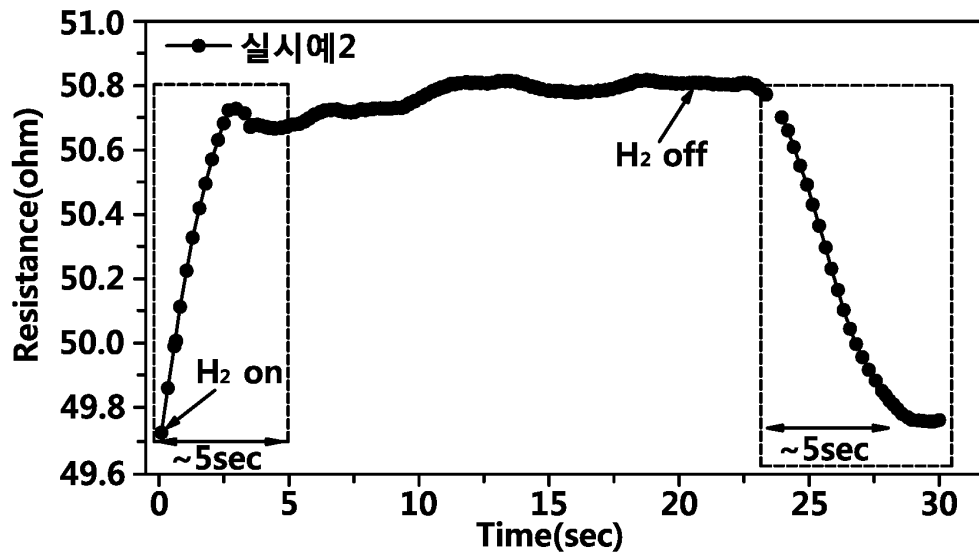
도면8



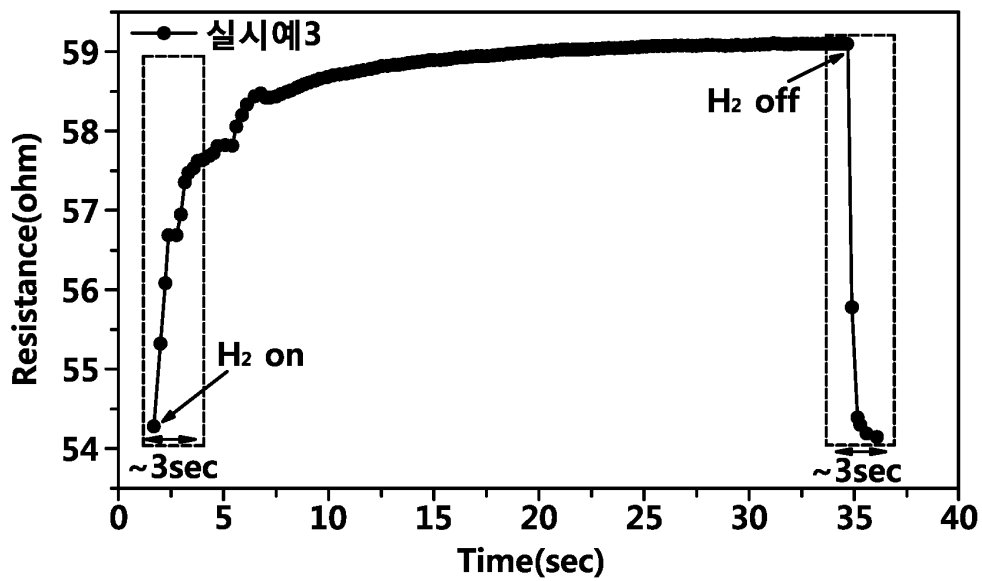
도면9a



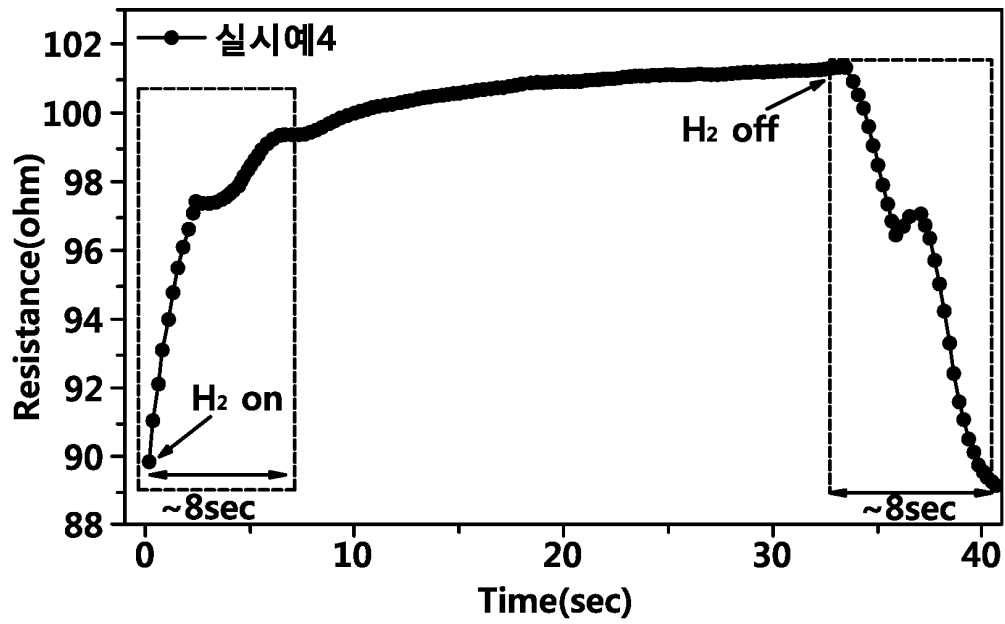
도면9b



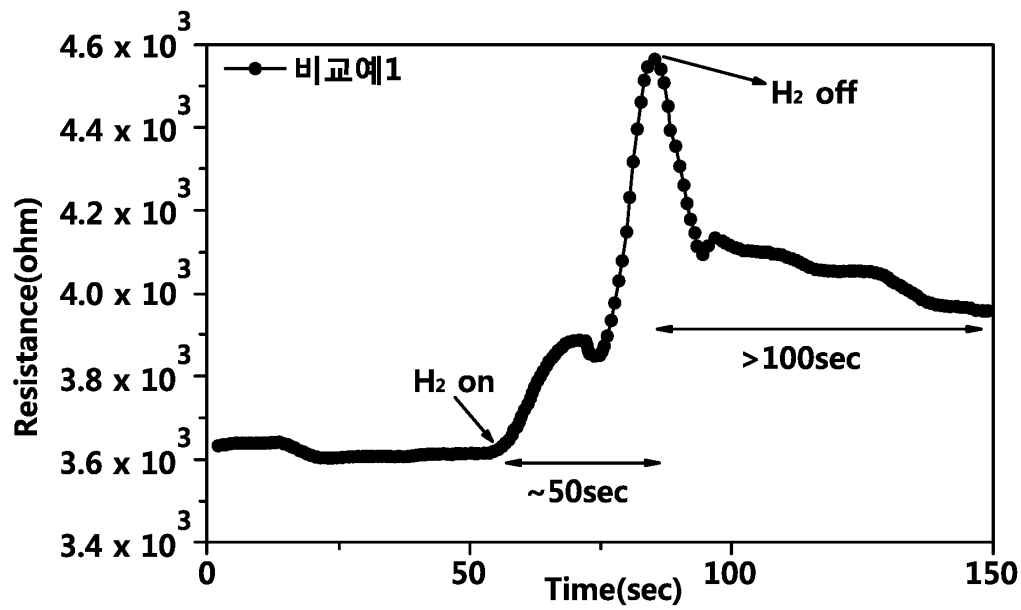
도면9c



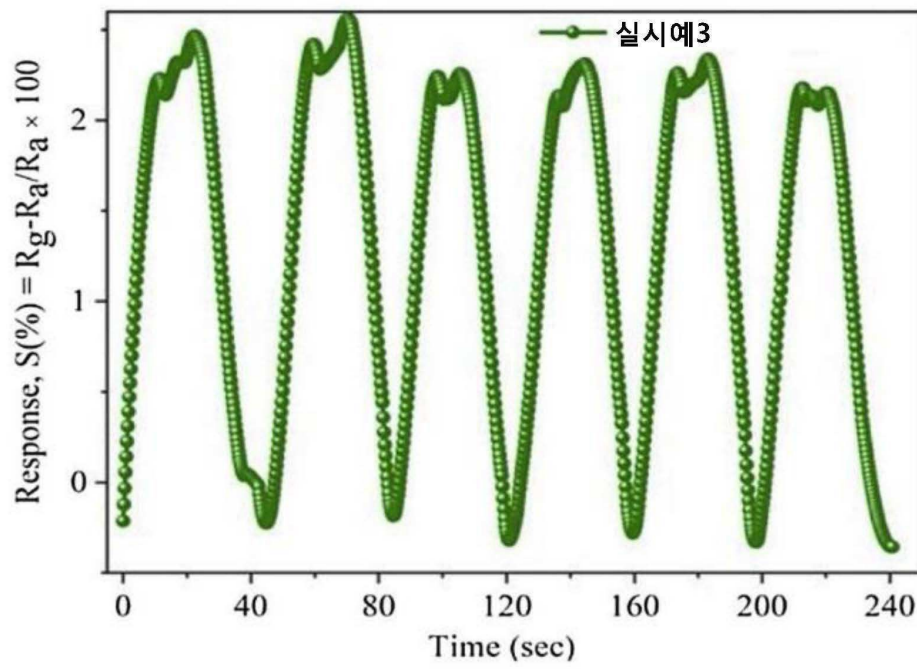
도면9d



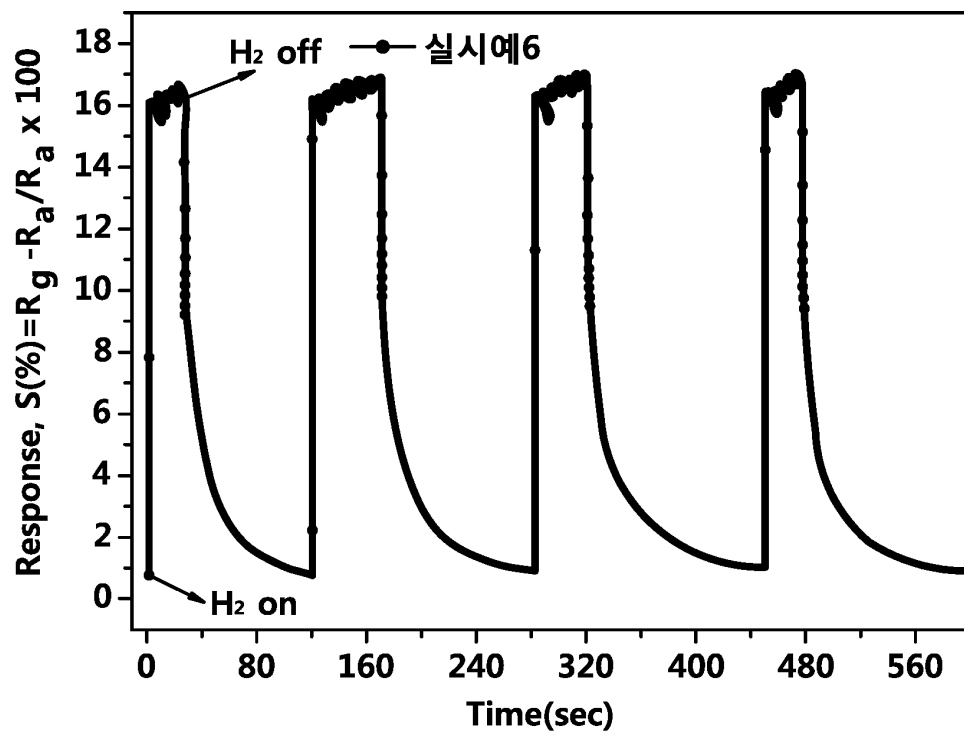
도면9e



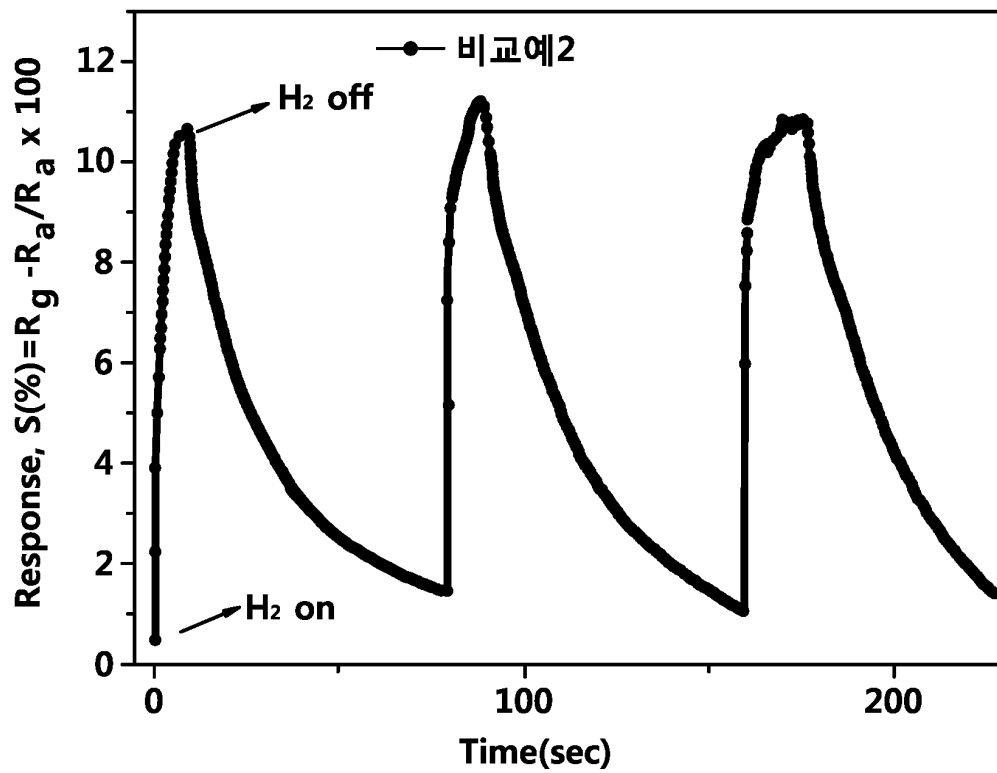
도면10



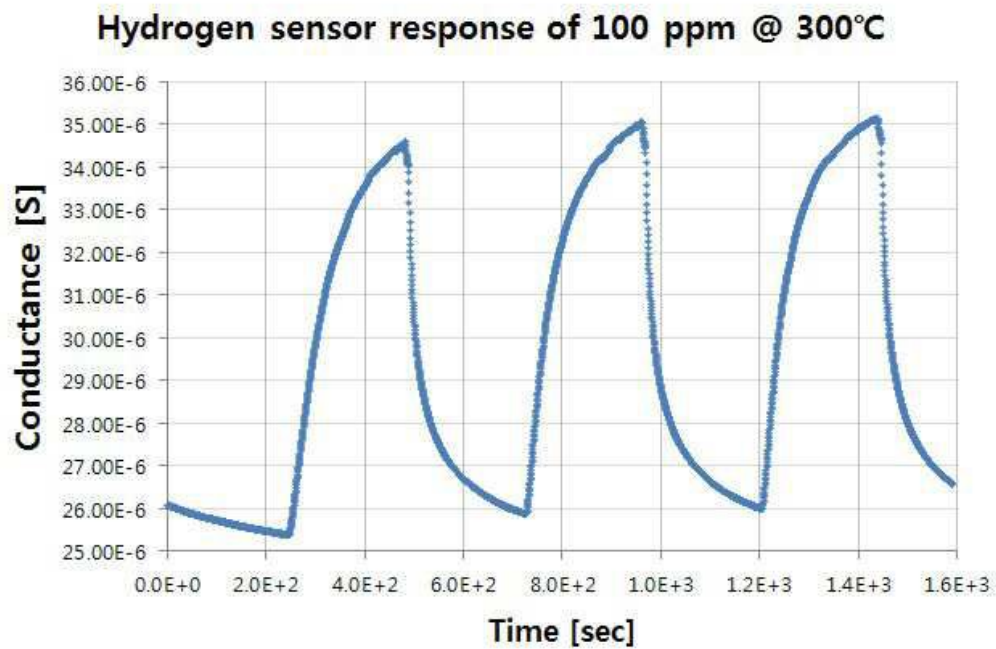
도면11



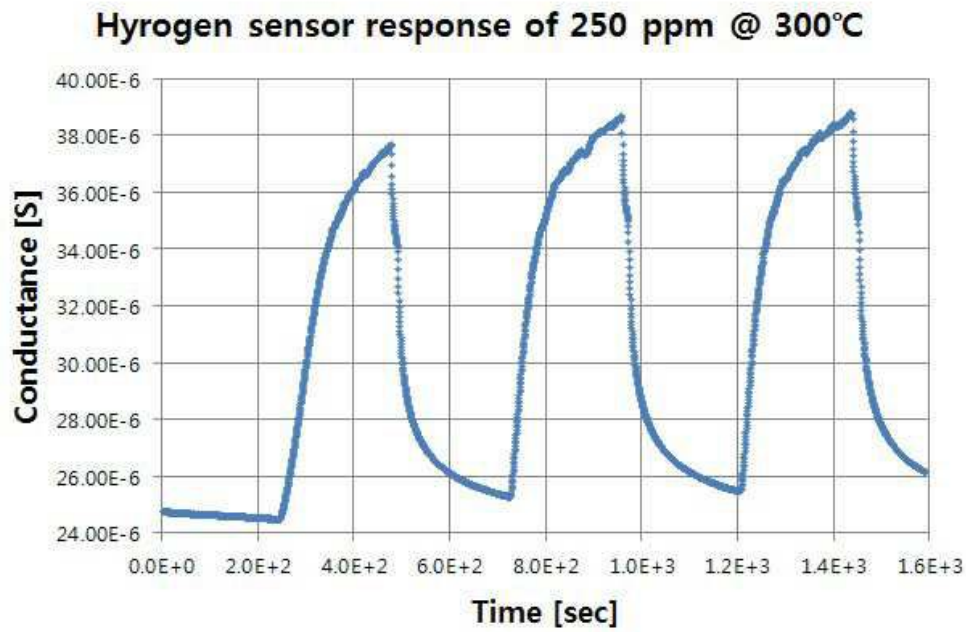
도면12



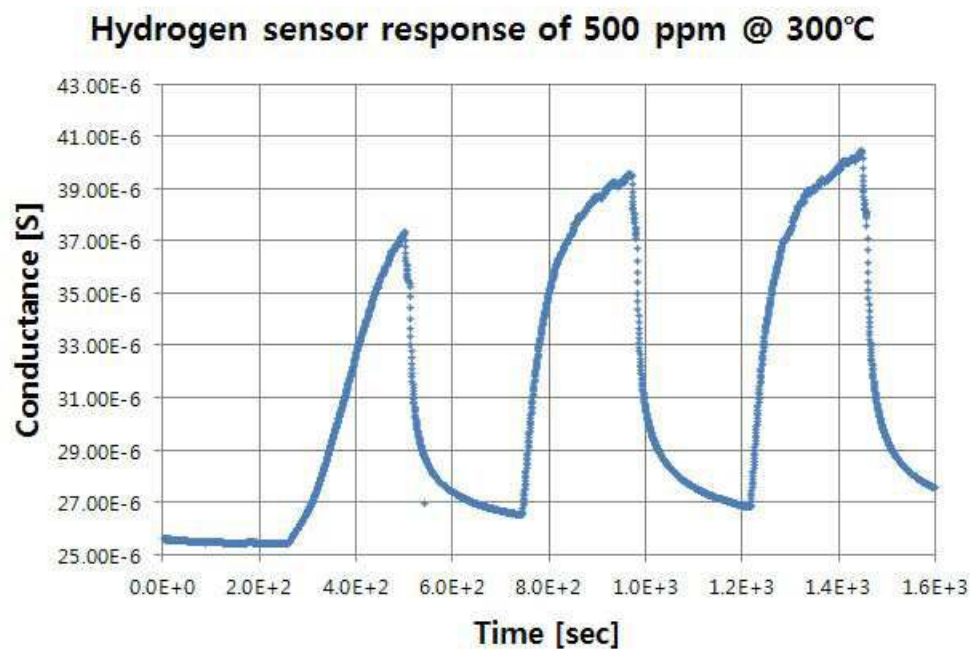
도면13a



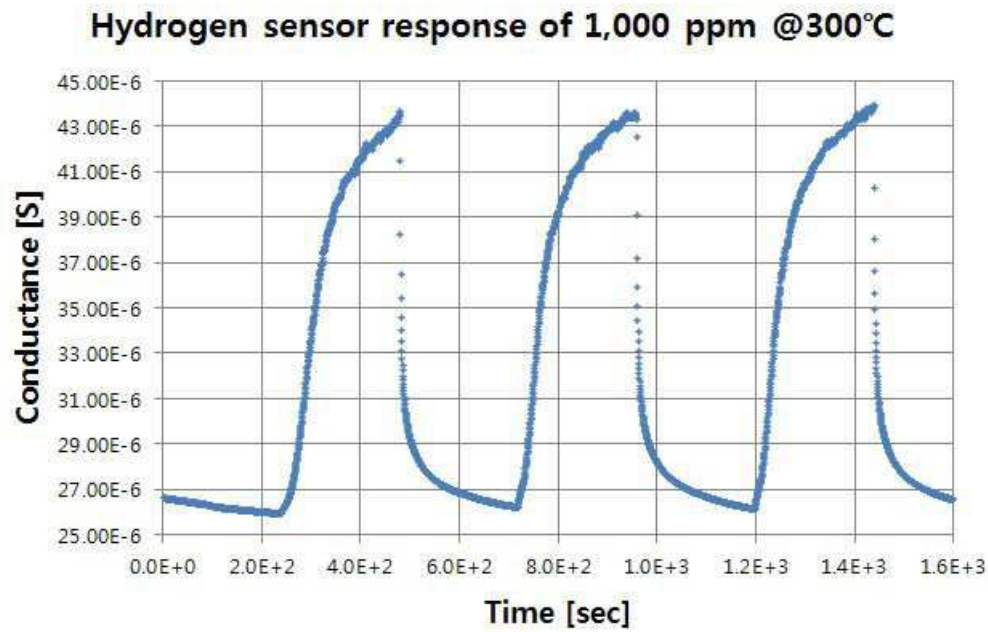
도면13b



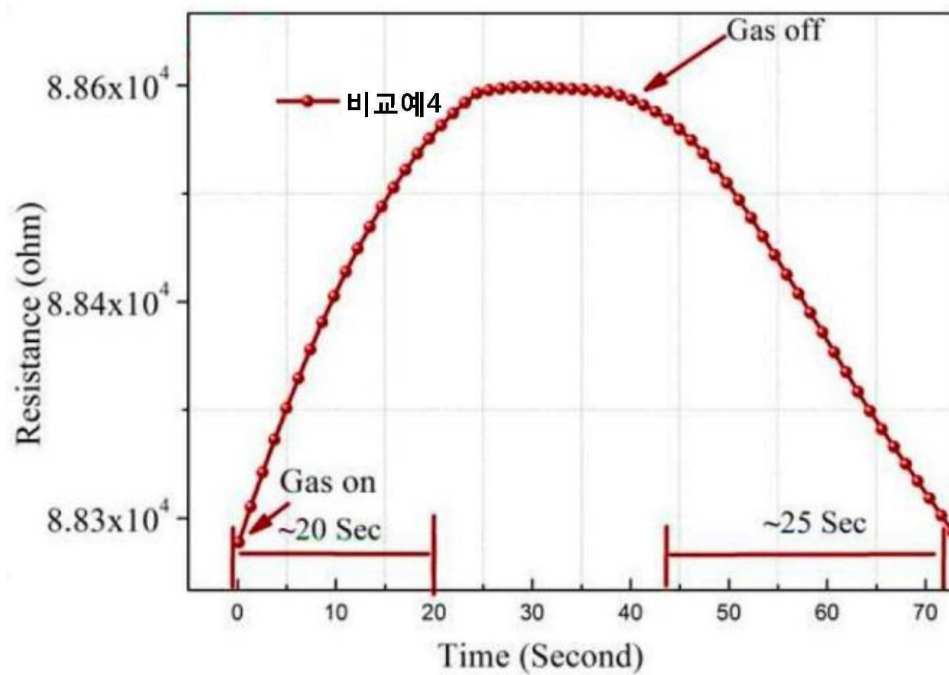
도면13c



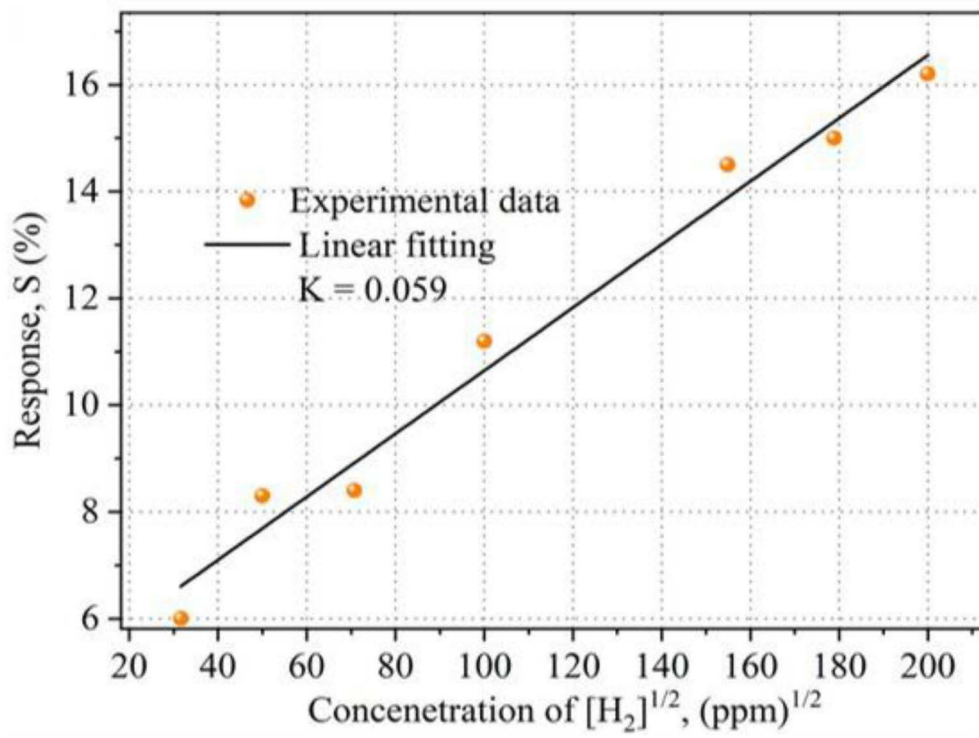
도면13d



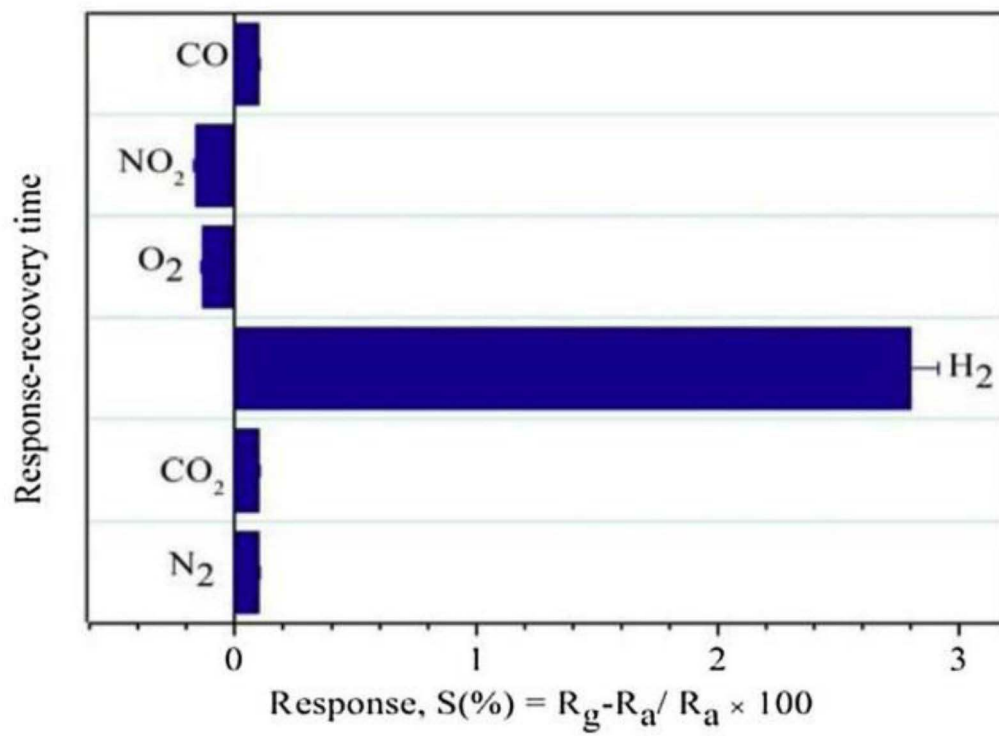
도면14



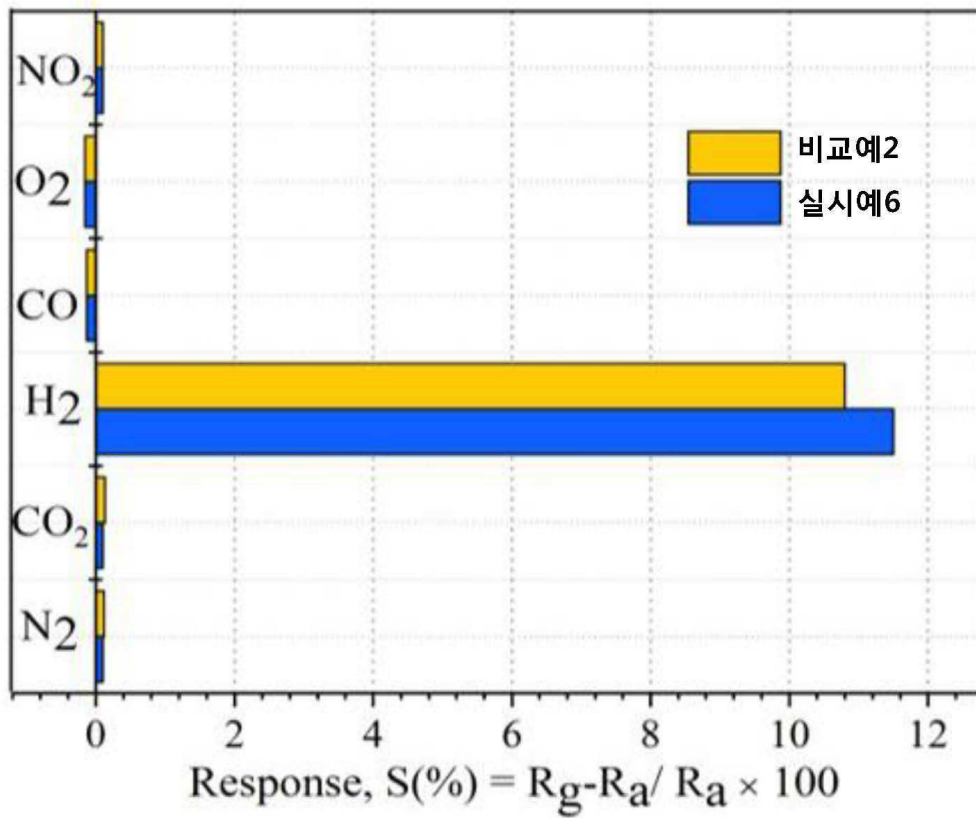
도면15



도면16



도면17



도면18

