



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2021년03월30일

(11) 등록번호 10-2234509

(24) 등록일자 2021년03월25일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
G01N 27/12 (2006.01) H01L 21/02 (2006.01)  
H01L 29/47 (2006.01)

(52) CPC특허분류  
G01N 27/129 (2013.01)  
G01N 27/127 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2019-0079381

(22) 출원일자 2019년07월02일

심사청구일자 2019년07월02일

(65) 공개번호 10-2021-0003517

(43) 공개일자 2021년01월12일

(56) 선행기술조사문헌

KR1020190006231 A\*

KR1020150139217 A

David K. Sang, et al. nanomaterials 2019, 9, 82 pp1-13.\*

KR1020170019716 A

\*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

연세대학교 산학협력단

서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)

(72) 발명자

김형준

서울특별시 영등포구 국제금융로 79, 이동 201호 (여의도동, 한양아파트)

김영준

서울특별시 서초구 잠원로12길 4, 101동 304호(잠원동, 잠원현대아파트)

박주상

서울특별시 서대문구 연세로 50, 제3공학관 C313 (신촌동, 연세대학교)

(74) 대리인

특허법인우인

전체 청구항 수 : 총 12 항

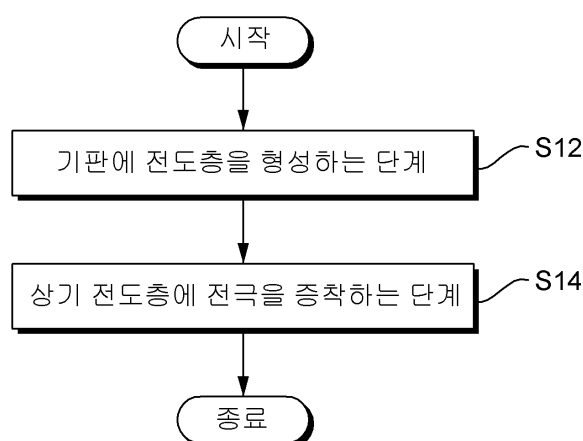
심사관 : 김동원

(54) 발명의 명칭 쇼트키 배리어 조절을 통한 이차원 전이금속 칼코겐화합물 가스 센서 및 그 제조 방법

### (57) 요약

본 실시예들은 기판에 전도층을 형성하고, 상기 전도층에 전극을 증착하며, 상기 전도층과 상기 전극에서 발생하는 쇼트키 배리어 높이를 기반으로 가스의 반응도를 변화시켜 상기 가스를 선택적으로 검출하는 쇼트키 배리어 조절을 통한 센서 반응성을 향상시킬 수 있는 이차원 전이금속 칼코겐화합물 가스 센서 및 그 제조 방법을 제공한다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

**H01L 21/02104** (2013.01)

**H01L 29/47** (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 10080527

부처명 산업통상자원부

과제관리(전문)기관명 한국산업기술평가관리원

연구사업명 산업기술혁신사업

연구과제명 [RCMS]한국센서연구소/칼코지나이드계 나노소재 기반 고성능 가스센서 상용화 기술

개발 연구(3/3,1단계)

기 여 율 70/100

과제수행기관명 한국센서연구소

연구기간 2019.03.01 ~ 2019.12.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2018-11-1767

부처명 과학기술정보통신부

과제관리(전문)기관명 과학기술일자리진흥원

연구사업명 연구산업육성 (R&D)

연구과제명 [과학기술기술일자리진흥원][R&D2차] 플라즈마 기반 이차원 전이금속 황화물 합성

장비 및 공정 개발 (2/2)

기 여 율 30/100

과제수행기관명 연세대학교 산학협력단

연구기간 2019.01.01 ~ 2019.12.31

공지예외적용 : 있음

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

기판에 전도층을 형성하는 단계; 및

상기 전도층에 전극을 증착하는 단계를 포함하며,

상기 전도층과 상기 전극의 경계에서 형성된 쇼트키 배리어 높이를 기반으로 가스의 반응도를 변화시켜 상기 가스를 선택적으로 검출하고,

상기 전도층에 전극을 증착하는 단계는 상기 전도층에 제1 전극 또는 제2 전극을 증착하고,

제1 가스를 검출할 때, 상기 전도층에 증착된 상기 제1 전극에서 상기 전도층으로 이동하는 캐리어의 개수가 증가하며, 가전대역(Valence Band)은 쇼트키 배리어 변조에 의해 상승하여 페르미 준위(Fermi Level)에 가까워져 상기 제1 가스에 반응하며,

제2 가스를 검출할 때, 상기 전도층에 증착된 상기 제2 전극에서 상기 전도층으로 이동하는 상기 캐리어의 개수가 감소하며, 가전대역(Valence Band)은 쇼트키 배리어 변조에 의해 하락하여 페르미 준위(Fermi Level)에 멀어져 상기 제2 가스에 반응하는 것을 특징으로 하는 쇼트키 배리어 조절에 기반한 가스 센서의 제조 방법.

#### 청구항 2

제1항에 있어서,

상기 기판에 전도층을 형성하는 단계는 마스크를 이용하여 상기 전도층에 패턴을 형성하며,

상기 전도층은 반도체의 특성을 가지는 2차원 소재를 나타내는 이차원 전이금속 화합물로 형성하는 것을 특징으로 하는 쇼트키 배리어 조절에 기반한 가스 센서의 제조 방법.

#### 청구항 3

제1항에 있어서,

상기 쇼트키 배리어 높이(Schottky Barrier Height, SBH)는 상기 전도층의 전도대역(Conduction Band)과 상기 전극의 페르미 준위(Fermi Level)의 차이를 나타내며,

상기 쇼트키 배리어 높이는 상기 전도층의 층수에 따라 변화하고, 상기 전도층의 층수에 따라 상기 가스의 반응도가 변화하며,

상기 전도층이 1층일 때의 상기 쇼트키 배리어 높이에 의해 상기 가스는 반응하지 않으며, 상기 전도층이 2층 이상일 때의 상기 쇼트키 배리어 높이에 의해 상기 전도층의 층수가 높아지면 상기 가스의 반응도는 감소하는 것을 특징으로 하는 쇼트키 배리어 조절에 기반한 가스 센서의 제조 방법.

#### 청구항 4

제1항에 있어서,

상기 가스의 반응도는 상기 전극의 종류에 따라 상기 쇼트키 배리어 높이가 변화함에 따라 변화하고,

상기 쇼트키 배리어 높이는 한 개의 캐리어를 전극에서 방출하는데 필요한 일 함수(Work Function)에 의해 변화하며,

상기 일 함수가 작을수록 상기 쇼트키 배리어 높이가 커지는 것을 특징으로 하는 쇼트키 배리어 조절에 기반한 가스 센서의 제조 방법.

#### 청구항 5

쇼트키 배리어 조절에 기반한 가스 센서에 있어서,

기관;

상기 기관에 형성되며, 하나 이상의 층수를 형성하는 전도층; 및

상기 전도층에 형성된 전극을 포함하며,

상기 전도층과 상기 전극의 경계에서 형성된 쇼트키 배리어 높이를 기반으로 가스의 반응도를 변화시켜 상기 가스를 선택적으로 검출하고,

제1 가스를 검출할 때, 상기 가스 센서는 제1 전극을 사용하고, 상기 제1 전극에서 상기 전도층으로 이동하는 캐리어의 개수가 증가하며, 가전대역(Valence Band)은 쇼트키 배리어 변조에 의해 상승하여 페르미 준위(Fermi Level)에 가까워져 상기 제1 가스에 반응하며,

제2 가스를 검출할 때, 상기 가스 센서는 제2 전극을 사용하고, 상기 제2 전극에서 상기 전도층으로 이동하는 캐리어의 개수가 감소하며, 가전대역(Valence Band)은 쇼트키 배리어 변조에 의해 하락하여 페르미 준위(Fermi Level)에 멀어져 상기 제2 가스에 반응하는 것을 특징으로 하는 쇼트키 배리어 조절에 기반한 가스 센서.

## 청구항 6

제5항에 있어서,

상기 전도층이 적층된 층수에 따라, 상기 쇼트키 배리어 높이(Schottky Barrier Height, SBH)가 변하는 것을 특징으로 하는 쇼트키 배리어 조절에 기반한 가스 센서.

## 청구항 7

제6항에 있어서,

상기 전도층이 1층일 때의 상기 쇼트키 배리어 높이에 의해 상기 가스는 반응하지 않으며, 상기 전도층이 2층 이상일 때의 상기 쇼트키 배리어 높이에 의해 상기 전도층의 층수가 높아지면 상기 가스의 반응도는 감소하는 것을 특징으로 하는 쇼트키 배리어 조절에 기반한 가스 센서.

## 청구항 8

제5항에 있어서,

상기 전극의 종류에 따라 상기 쇼트키 배리어 높이가 변화하고,

상기 쇼트키 배리어 높이는 한 개의 캐리어를 전극에서 방출하는데 필요한 일 함수(work function)에 의해 변화하며,

상기 일 함수가 작을수록 상기 쇼트키 배리어 높이가 커지는 것을 특징으로 하는 쇼트키 배리어 조절에 기반한 가스 센서.

## 청구항 9

제8항에 있어서,

상기 전도층은 상기 가스에 반응할 경우, 상기 쇼트키 배리어 변조(Schottky Barrier Modulation, SBM)에 의해 상기 전극에서 상기 전도층으로 상기 캐리어가 이동하며,

상기 캐리어의 이동량은 상기 쇼트키 배리어 높이가 큰 상기 전극에서 크게 나타나는 것을 특징으로 하는 쇼트키 배리어 조절에 기반한 가스 센서.

## 청구항 10

삭제

## 청구항 11

제5항에 있어서,

상기 전도층은 반도체의 특성을 가지는 2차원 소재를 나타내는 이차원 전이금속 화합물 또는 전기적 특성을 포

합하는 귀금속 기반의 화합물로 형성되는 것을 특징으로 하는 쇼트키 배리어 조절에 기반한 가스 센서.

## 청구항 12

전원;

상기 전원에 연결되고, 하나 이상의 층수를 형성하는 전도층 및 상기 전도층에 형성된 전극을 포함하며, 상기 전도층과 가스가 반응하여 전기 신호를 출력하는 가스 센서; 및

상기 가스 센서로부터 출력된 전기 신호의 세기를 측정하여 상기 가스의 감지 여부를 실시간으로 출력하는 제어부를 포함하며,

상기 가스 센서는 상기 전도층과 상기 전극의 경계에서 형성된 쇼트키 배리어 높이를 기반으로 가스의 반응도를 변화시켜 상기 가스를 선택적으로 검출하고,

상기 가스 센서는 제1 가스 센서 및 제2 가스 센서를 포함하고,

상기 제1 가스 센서는 제1 전극을 사용하고, 제1 가스를 반응시켰을 때 상기 제1 전극에서 상기 전도층으로 이동하는 캐리어의 개수가 증가하며, 가전대역(Valence Band)은 쇼트키 배리어 변조에 의해 상승하여 페르미 준위(Fermi Level)에 가까워져 상기 제1 가스에 반응하며,

상기 제2 가스 센서는 제2 전극을 사용하고, 제2 가스를 반응시켰을 때 상기 제2 전극에서 상기 전도층으로 이동하는 캐리어의 개수가 감소하며, 가전대역(Valence Band)은 쇼트키 배리어 변조에 의해 하락하여 페르미 준위(Fermi Level)에 멀어져 상기 제2 가스에 반응하는 것을 특징으로 하는 가스 감지 장치.

## 청구항 13

제12항에 있어서,

상기 전도층이 적층된 층수에 따라, 상기 쇼트키 배리어 높이(Schottky Barrier Height, SBH)가 변하는 것을 특징으로 하는 가스 감지 장치.

## 청구항 14

삭제

## 발명의 설명

### 기술 분야

[0001] 본 발명은 이차원 전이금속 칼코겐화합물 가스 센서 및 그 제조 방법에 관한 것으로, 특히 쇼트키 배리어 조절을 통한 이차원 전이금속 칼코겐화합물 가스 센서에 관한 것이다.

### 배경 기술

[0002] 이 부분에 기술된 내용은 단순히 본 실시예에 대한 배경 정보를 제공할 뿐 종래기술을 구성하는 것은 아니다.

[0003] 가스 감지 센서는 산업공정 제어, 대기환경 감시, 광신 유해 가스 감지, 알코올 농도 검사, 바이오 헬스케어 등의 다양한 분야에서 사용되고 있다.

[0004] 가스 감지 센서는 대기 중에 노출된 미세한 유해 환경 가스를 감지하여 주변에 위험가스 누출에 대한 정보를 제공하는 것을 의미한다. 대표적으로 이러한 유해 환경 가스로는 NO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub> 등의 휘발성 유기화합물(Volatile Organic Compounds, VOCs) 등이 있다.

[0005] 반도체 가스센서는 상대적으로 빠른 감지 속도 및 낮은 제작 비용 및 소모 전력, 넓은 탐지 범위 특성을 가지고 있다. 반도체 가스센서는 빠른 반응성 및 장기 안정성을 위하여 금속 산화물 기반의 가스센서를 많이 사용하지만 활성화 에너지를 제공하기 위해 외부 히터가 필수적으로 필요하다.

[0006] 또한, 전자소자에서 금속과 전도층에서 발생하는 쇼트키 배리어는 소자의 성능에 매우 중요한 요소로 작용하기에 FET와 같은 소자의 연구가 활발히 진행되었다. 반면 이차원 전이금속 칼코겐화합물(Two-dimensional Transition Metal Dichalcogenide, 2D TMD) 기반의 가스센서 소자 연구에서는 이 부분에 대한 연구가 매우 미

약하고, 전극의 종류에 따른 쇼트키 배리어 변화와 이에 의한 센서특성에 연구는 없는 상황이다.

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

- [0007] 본 발명의 실시예들은 이차원 전이금속 칼코겐화합물(TMD) 기반의 가스 센서의 반응도를 높이기 위한 방법으로 전극의 종류 변화를 통해 쇼트키 배리어를 조절함으로써, 채널층인 전이금속 칼코겐화합물(TMD)과 금속의 쇼트키 배리어 차이에 의한 저항 변화 및 가스에 대한 반응도에 차이를 확인할 수 있다. 이를 통해 가스에 대한 반응도 향상과 반응성이 없는 가스에 대해서도 전극 선택에 따라 반응을 형성시키는데 발명의 주된 목적이 있다.
- [0008] 본 발명의 명시되지 않은 또 다른 목적들은 하기의 상세한 설명 및 그 효과로부터 용이하게 추론할 수 있는 범위 내에서 추가적으로 고려될 수 있다.

### 과제의 해결 수단

- [0009] 본 실시예의 일 측면에 의하면, 기판에 전도층을 형성하는 단계 및 상기 전도층에 전극을 증착하는 단계를 포함하며, 상기 전도층과 상기 전극의 경계에서 형성된 쇼트키 배리어 높이를 기반으로 가스의 반응도를 변화시켜 상기 가스를 선택적으로 검출하는 것을 특징으로 하는 쇼트키 배리어 조절에 기반한 가스 센서의 제조 방법을 제안한다.
- [0010] 본 실시예의 다른 측면에 의하면, 기판, 상기 기판에 형성되며, 하나 이상의 층수를 형성하는 전도층 및 상기 전도층에 형성된 전극을 포함하며, 상기 전도층과 상기 전극의 경계에서 형성된 쇼트키 배리어 높이를 기반으로 가스의 반응도를 변화시켜 상기 가스를 선택적으로 검출하는 것을 특징으로 하는 쇼트키 배리어 조절에 기반한 가스 센서를 제공한다.
- [0011] 본 실시예의 또 다른 측면에 의하면, 전원, 상기 전원에 연결되고, 하나 이상의 층수를 형성하는 전도층 및 상기 전도층에 형성된 전극을 포함하며, 상기 전도층과 가스가 반응하여 전기 신호를 출력하는 가스 센서 및 상기 가스 센서로부터 출력된 전기 신호의 세기를 측정하여 상기 가스의 감지 여부를 실시간으로 출력하는 제어부를 포함하며, 상기 가스 센서는 상기 전도층과 상기 전극의 경계에서 형성된 쇼트키 배리어 높이를 기반으로 가스의 반응도를 변화시켜 상기 가스를 선택적으로 검출하는 것을 특징으로 하는 가스 감지 장치를 제공한다.

### 발명의 효과

- [0012] 이상에서 설명한 바와 같이 본 발명의 실시예들에 의하면, 본 발명은 전도층인 전이금속 칼코겐화합물(Transition Metal Dichalcogenide, TMD)과 금속의 전극의 쇼트키 배리어 차이에 의한 저항 변화를 확인하였으며 가스에 대한 반응도에도 차이가 나타남을 확인하였다. 이에 따라 NO<sub>2</sub> 가스에 대한 반응도 향상과, CO, CO<sub>2</sub>와 같이 반응성이 없는 가스에 대해서도 전극 선택에 따라 반응시킬 수 있다.
- [0013] 본 발명의 실시예들에 의하면, 본 발명의 이차원 전이금속 칼코겐화합물(Two-dimensional Transition Metal Dichalcogenide, 2D TMD) 가스 센서는 고온에서 작동하는 기존의 가스 센서와는 다르게 낮은 온도에서 작동이 가능하고 산화물 기반의 가스 센서를 대체하기에 적합한 소재를 사용할 수 있다 또한, 쇼트키 배리어의 조절을 통해 가스 센서의 성능을 향상시킬 수 있다.
- [0014] 여기에서 명시적으로 언급되지 않은 효과라 하더라도, 본 발명의 기술적 특징에 의해 기대되는 이하의 명세서에서 기재된 효과 및 그 잠정적인 효과는 본 발명의 명세서에 기재된 것과 같이 취급된다.

### 도면의 간단한 설명

- [0015] 도 1 및 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 가스 센서의 제조 방법을 예시한 도면이다.
- 도 3은 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 가스 센서를 예시한 도면이다.
- 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 가스 센서의 전도층의 층수를 나타내는 도면이다.
- 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 가스 센서의 전도층의 층수 별 차이를 나타내는 도면이다.
- 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 가스 센서의 전도층의 조성비를 나타내는 도면이다.

도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 가스 센서의 전도층과 전극의 밴드 다이어그램을 나타내는 도면이다.

도 8a는 본 발명의 일 실시예에 따른 가스 센서에서의 쇼트키 배리어 높이 값에 따른 저항 값의 관계를 나타내는 도면이며, 도 8b는 본 발명의 일 실시예에 따른 가스 센서에서의 쇼트키 배리어 높이 값에 따른 반응도를 나타내는 도면이다.

도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 가스 센서의 전도층의 층 수에 따른 밴드 갭 및 전극의 일 함수에 따른 쇼트키 배리어 높이를 나타내는 도면이다.

도 10은 본 발명의 일 실시예에 따른 가스 센서의 전도층의 층 수에 따른 전극의 저항 값을 나타내는 도면이다.

도 11은 본 발명의 일 실시예에 따른 가스 센서의 전도층의 층 수에 따른 전극의 변화에 따른 가스의 반응도를 나타내는 도면이다.

도 12는 본 발명의 일 실시예에 따른 가스 센서의 전극의 종류에 따른 전극의 소자에서의 캐리어의 변동량을 나타내는 도면이다.

도 13은 본 발명의 일 실시예에 따른 가스 센서의 전극의 종류에 따른 가스의 반응도를 나타내는 도면이다.

도 14는 본 발명의 일 실시예에 따른 가스 센서의 전극의 종류에 따른 전극의 의 소자에서의 캐리어의 변동량을 나타내는 도면이다.

도 15는 본 발명의 일 실시예에 따른 가스 감지 장치를 예시한 도면이다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0016] 이하, 본 발명을 설명함에 있어서 관련된 공지기능에 대하여 이 분야의 기술자에게 자명한 사항으로서 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명을 생략하고, 본 발명의 일부 실시예들을 예시적인 도면을 통해 상세하게 설명한다.
- [0017] 본 명세서에서 기재된 실시예들은 개인용 헬스케어 진단기, 대기 환경 측정용 센서, 실내 공기 측정기, 공장 가스 누출 경보 센서, 햅틱 디바이스, 실내 가스 측정 장비, 가전 제품, 바이오 센서 등 다양한 센서 분야에 적용이 가능하다. 본 실시예들은 가스 센서의 전극 종류의 변화를 통한 쇼트키 배리어를 조절하여 가스에 대한 반응성을 향상시킬 수 있는 가스 센서를 제작할 수 있다.
- [0018] 도 1은 본 발명의 일 실시예들에 따른 가스 센서의 제조 방법을 예시한 흐름도이며, 도 2는 본 발명의 일 실시예들에 따른 가스 센서의 제조 방법을 도시한 도면이다.
- [0019] 가스 센서의 제조 방법은 기판에 전도층을 형성하는 단계(S12), 전도층에 전극을 증착하는 단계(S14)를 포함한다.
- [0020] 기판에 전도층을 형성하는 단계(S12)는 마스크를 이용하여 패턴 모양을 형성할 수 있다. 전도층은 반도체의 특성을 가지는 2차원 소재를 나타내는 이차원 전이금속 화합물로 형성할 수 있다.
- [0021] 또한, 기판에 전도층을 형성하는 단계(S12)는 원자 현미경(Atomic Force Microscopy, AFM)을 이용하여 화학 기상 증착법(Chemical Vapor Deposition, CVD)으로 합성한 상기 전도층의 층수를 확인할 수 있다. 쇼트키 배리어 높이(Schottky Barrier Height, SBH)의 값은 상기 전도층의 층수에 따라 변화하고, 전도층의 층수를 기반으로 상기 가스에 대한 반응도를 측정할 수 있다. 반응도는 상기 전도층이 2층 이상일 경우에 반응하며, 층수가 낮을수록 상기 반응도가 증가할 수 있다. 전도층의 합성 방법은 화학 기상 증착법에 한정되지 않으며, 물리 기상 증착법(Physical Vapor Deposition, PVD) 등 박막 공정 과정에 의해 합성될 수 있다.
- [0022] 상기 쇼트키 배리어 높이는 전도층의 층수가 증가함에 따라 줄어들며, 전도층의 층수가 증가함에 따라 저항 값이 감소할 수 있다.
- [0023] 전극을 증착하는 단계(S14)는 증착을 이용하여 전극을 증착할 수 있다.
- [0024] 전도층을 형성하는 단계(S12)를 통해 전도층의 층수를 고정하며, 전극의 종류의 변화에 따른 상기 쇼트키 배리어 높이 변화를 기반으로 상기 가스에 대한 반응을 형성할 수 있다.
- [0025] 가스 센서는 전도층과 전극의 경계에서 형성되는 쇼트키 배리어 높이를 기반으로 가스의 반응도를 변화시켜 가스를 선택적으로 검출할 수 있다.



- [0026] 본 발명의 일 실시예에 따른 테스트 과정에서의 가스 센서는 상기와 같은 과정을 통해 제작할 수 있으며, 일 실시 예로 하기와 같이 제작될 수 있다.
- [0027] 본 발명의 일 실시 예에 따르면, 가스 센서(10)는 튜브 타입(Tube Type)의 진공장비를 이용하여 화학 기상 증착법(Cheical Vapor Deposition, CVD)을 통해 MoS<sub>2</sub>를 대면적으로 합성할 수 있다. 전도층(200)의 형성에 있어서, 본 발명은 전구체(Precursor)로 Mo(CO)<sub>6</sub>와 반응체(Reactant)로 H<sub>2</sub>S 가스를 사용하였다. 잔여물들을 제거하는 퍼징 가스(Purging Gas)로는 아르곤(Ar)을 사용하였으며, 진공도는 10<sup>-2</sup> ~ 10 Torr 범위 내에서 공정을 진행하였다.
- [0028] 화학 기상 증착법(Cheical Vapor Deposition, CVD)은 화학적 반응을 수반하는 증착 방법으로, 기판(100)위에 전도층(200)을 생성하는데 사용하는 공정이다.
- [0029] 본 공정은 로터리 펌프를 사용하는 공정이기에 공정압력 10<sup>-2</sup> Torr보다 낮아지지 않으며, 10 Torr 이상에서는 이차원 형태의 균일한 박막이 형성되지 않을 수 있다. 전구체(Precursor) 온도는 25 ~ 35 °C에서 진행되었으며, 상온에서 증기 압력(Vapor Pressure)이 충분하기에 전구체(Precursor) 온도가 상온 범주일 수 있다.
- [0030] 공정 온도범위는 200 ~ 400 °C에서 진행되었으며 기판은 SiO<sub>2</sub>를 이용하였다. 300 °C 공정 합성한 MoS<sub>2</sub>를 이용하였다. 상기한 과정을 통해 기판(100) SiO<sub>2</sub>에 전도층(200) MoS<sub>2</sub>가 형성될 수 있다.
- [0031] 합성된 전도층(200) MoS<sub>2</sub>는 섀도우 마스크(Shadow Mask)를 이용하여 패턴(Pattern) 모양을 형성하도록 하였고, 진공 증착(Evaporator)을 이용하여 전극을 증착할 수 있다.
- [0032] 섀도우 마스크(Shadow Mask)는 진공 증착 과정에서 발생하는 섀도우 효과(Shadow Effect)에 영향을 받지 않고 미세 패턴을 증착하여 제작할 수 있다.
- [0033] 본 발명의 일 실시 예에 따르면, 퍼지(Purge) 과정에서 사용되는 가스는 아르곤(Ar)을 사용하였으나 반드시 이에 한정되는 것은 아니며, 질소(N), 헬륨(He), 이산화탄소(CO<sub>2</sub>) 등이 사용될 수 있다.
- [0034] 또한, 본 발명의 일 실시 예에 따른 가스 센서(10)의 제작에 있어서, 전구체 Mo(CO)<sub>6</sub>와 반응체(Reactant) H<sub>2</sub>S 가스는 반드시 이에 한정되는 것은 아니며, 제작하기 위한 전도층(200)에 따라 변화할 수 있다.
- [0035] 본 발명의 일 실시 예에 따르면, 상기한 과정을 통해 가스 센서(10)는 기판(100) SiO<sub>2</sub>에 전도층(200) MoS<sub>2</sub>가 형성되며, 전도층(200) 상단에 Au, Ag, Al 전극을 증착할 수 있다. 또한, 가스 센서의 크기는 약 1x1cm<sup>2</sup> 크기이다. 이는 본 발명의 가스 센서의 성능을 확인하기 위해 예시적으로 형성된 가스 센서이고, 반드시 이에 한정되는 것은 아니며 필요에 의해 변형될 수 있다.
- [0036] 본 발명의 일 실시 예에 따르면, 도 4 내지 도 13의 측정은 상기의 가스센서를 이용하였으며, 계측기 모델 Keithley 2400을 이용하여 진행되었으며 센서를 구동하기 위한 전압을 나타내는 바이어스 전압(Biasing Voltage)으로 1V를 사용하였다. 또한, 측정 가스의 농도를 조절하기 위해서 N<sub>2</sub>를 희석 가스로 사용하였으며, 반응가스를 퍼징(Purging)할 시에도 N<sub>2</sub>를 사용하였다. 가스 센서의 측정은 약 60 °C 분위기에서 약 20 %의 상대습도 조건에서 측정되었다.
- [0037] 도 3은 본 발명의 일 실시예들에 따른 가스 센서를 예시한 도면이다.
- [0038] 도 3에 도시한 바와 같이, 가스 센서(10)는 기판(100), 전도층(200) 및 전극(300)을 포함한다. 가스 센서(10)는 도 3에서 예시적으로 도시한 다양한 구성요소들 중에서 일부 구성요소를 생략하거나 다른 구성요소를 추가로 포함할 수 있다. 테스트 과정에서 가스 센서의 크기는 1 cm x 1 cm로 제작되었으나, 이는 예시일 뿐이며 이에 한정되는 것은 아니고 구현되는 설계에 따라 적합한 크기로 사용될 수 있다.
- [0039] 가스 센서(10)는 전도층(200)과 전극(300)에서 발생하는 쇼트키 배리어 높이 변화에 의해 가스에 대한 반응을 생성할 수 있다.
- [0040] 기판(100)은 실리콘(Si)뿐만 아니라 실리콘 다이옥사이드(Silicone Dioxide, SiO<sub>2</sub>), 유리 등의 다양한 강성기판 및 폴리이미드(Polyimide, PI), 폴리디메틸실록산(Polydimethylsiloxane, PDMS), 에코플렉스(Ecoflex), 폴리에



틸렌테레프탈레이트(Polyethyleneterephthalate, PET), 폴리스티렌(Polystyrene, PS), 폴리카보네이트(Polycarbonate, PC), 폴리비스페놀 A(Polybisphenol A), 폴리에틸렌(Polyethylene) 등과 같은 유연 기관, 또는 이들의 조합을 포함할 수 있다. 두 개 이상의 층이 중첩된 형태로 구현될 수도 있다.

- [0041] 전도층(200)은 기관에 형성되며, 하나 이상을 층수를 형성할 수 있다. 전도층(200)은 전도층의 층수가 증가함에 따라 쇼트키 배리어 높이(Schottky Barrier Height, SBH)가 줄어들며, 저항 값이 감소할 수 있다.
- [0042] 전도층(200)은 반도체의 특성을 가지는 2차원 소재를 나타내는 이차원 전이금속 화합물로 형성되며, 전도층(200)은 전기적 특성을 포함하는 귀금속 기반의 화합물로도 형성될 수 있다. 전도층(200)은 가스를 감지하며, 증착 공정 과정의 반복에 따라 층수 또는 두께를 결정할 수 있다.
- [0043] 전도층(200)은 층수가 증가함에 따라 가스를 감지하기 위해 통과하는 경계면이 증가하여 가스의 반응도가 감소할 수 있다.
- [0044] 이차원 전이금속 화합물로 형성하는 전도층(200)은 이차원 전이금속 화합물 소재 종류 (반도체성 특성을 가지는 2차원 소재)이며, MX<sub>2</sub> 구조(M: Mo, W, T, Zr, Hf, V, Nb, Ta, Sn, Re, Fe, Pd, Pt), (X: S, Se, Te)로 형성될 수 있으며, 예를 들어 MoS<sub>2</sub>, WS<sub>2</sub>, MoSe<sub>2</sub>, WSe<sub>2</sub>, MoTe<sub>2</sub>, WTe<sub>2</sub>, TiS<sub>2</sub>, TiSe<sub>2</sub>, TiTe<sub>2</sub>, ZrS<sub>2</sub>, ZrSe<sub>2</sub>, ZrTe<sub>2</sub>, HfS<sub>2</sub>, HfSe<sub>2</sub>, HfTe<sub>2</sub>, ReS<sub>2</sub>, ReSe<sub>2</sub>, VS<sub>2</sub>, VSe<sub>2</sub>, VTe<sub>2</sub>, PdS<sub>2</sub>, PdSe<sub>2</sub>, NbS<sub>2</sub>, NbSe<sub>2</sub>, NbTe<sub>2</sub>, PtS<sub>2</sub>, PtSe<sub>2</sub>, PtTe<sub>2</sub>, TaS<sub>2</sub>, TaSe<sub>2</sub>, TaTe<sub>2</sub>, SnS<sub>2</sub>, SnSe<sub>2</sub>, FeSe<sub>2</sub>와 이들 소재들 간의 합금(Alloy) (예: MoWS<sub>2</sub>, MoS<sub>2</sub>-xSex)를 포함할 수 있다. 이차원 전이금속 화합물로 형성하는 전도층(200)은 일반적으로 전이금속 화합물이라고 부르지만 유사한 전기적 특성을 포함하는 귀금속 기반 (Pd, Pt)의 화합물도 포함할 수 있다.
- [0045] 전극(300)은 전도층(200)에 증착하여 형성될 수 있다. 전극(300)은 가스에 대한 반응도를 형성하기 위해 변화하며, 전극의 소자에서 전도층(200)으로의 캐리어의 변동량이 클수록 가스에 대한 반응도가 클 수 있다. 캐리어는 정공 또는 전하일 수 있다.
- [0046] 본 발명의 일 실시 예에 따르면, 전극(300)은 제1 전극(302) 및 제2 전극(304)으로 형성되어 있으며, 제1 전극(302)과 제2 전극(304)은 서로 같은 종류로 형성되어 있다.
- [0047] 본 발명의 일 실시 예에 따르면, 전도층에 형성된 전극(300)은 소스 전극 및 드레인 전극을 형성할 수 있다. 전극은 Au, Ag, Pd, Pt, Mn, Fe, Ni, Co, Ti 등의 금속이나 유기물질 등의 전도성 물질로 구현될 수 있다.
- [0048] 또한, 쇼트키 배리어 높이를 조절하기 위한 방안인 전극(300)의 종류(전극 소재 및 일 함수(Work Function)[eV])는 Ag (4.52-4.74), Al (4.06-4.26), Au (5.1-5.47), Co (5), Cu (4.53-5.10), Fe (4.67-4.81), Hf (3.9), In (4.09), Ir (5.00-5.67) Mn (4.1), Mo (4.36-4.95), Nb (3.95-4.87), Ni (5.04-5.35), Pb (4.25), Pd (5.22-5.60), Pt (5.12-5.93), Rb (2.261), Re (4.72), Rh (4.98), Ru (4.71), Sc (3.5), Sn (4.42) Sr (~2.59), Ta (4.00-4.80), Ti (4.33), W (4.32-5.22), Zn (3.63-4.9), Zr (4.05)를 포함할 수 있다. 전극(300)의 종류는 상기에 서술한 것에 한정되지 않으며 쇼트키 배리어 높이를 조절하여 가스에 반응하기 위하여 설계에 적합한 종류로 형성될 수 있다.
- [0049] 쇼트키 배리어 높이는 한 개의 캐리어를 전극 밖으로 빼내는데 필요한 일 함수(Work Function)에 의해 변화하며, 일 함수가 작을수록 쇼트키 배리어 높이가 커질 수 있다. 가스에 대한 반응이 있을 경우, 쇼트키 배리어 변조(Schottky Barrier Modulation, SBM)에 의해 캐리어의 이동이 발생하며, 캐리어의 이동에 따른 캐리어 변동률은 쇼트키 배리어 높이가 큰 소자에서 크게 나타날 수 있다.
- [0050] 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 가스 센서의 전도층의 층수를 나타내는 도면이다.
- [0051] 본 발명은 원자 현미경(Atomic Force Microscopy, AFM)을 이용하여 CVD 기법으로 합성한 MoS<sub>2</sub>가 층수 조절되는 것을 확인할 수 있다. 본 발명의 일 실시 예로 가스 센서(10) 제작에 있어 전도층(200)의 층수는 단분자층(Monolayer)에서부터 4층(Four Layer)까지 합성하였다.
- [0052] 도 4a, 도 4b, 도 4c 및 도 4d는 각각의 전도층(200) MoS<sub>2</sub>의 층수를 나타내며, 각 층수 별로 차이를 측정하여 가스 센서(10)에 알맞은 전도층(200)의 층수를 확인할 수 있다. 이는 하기의 도 5 내지 도 8을 통해 확인할 수 있으며, 도 5 내지 도 8에서 설명하겠다.
- [0053] 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 가스 센서의 전도층의 층수 별 차이를 나타내는 도면이다.
- [0054] 도 5a는 라만(Raman) 분광법을 통해 측정한 가스 센서(10)의 전도층(200)의 층수 별 차이를 나타내는 도면이며,

도 5b는 PL(PhotoLuminescence) 분광법을 통해 측정한 가스 센서(10)의 전도층(200)의 층수 별 차이를 나타내는 도면이다.

- [0055] 도 5a를 참조하면, 전도층(200)의 층수가 증가할수록 두 피크(Peak) 사이의 거리가 증가하는 것을 확인할 수 있다. 도 5a의 x축은 Raman Shift를 나타내며, 이는 분자의 진동 주파수를 의미하며 입사된 빛과 산란된 빛 사이의 에너지 차이를 확인할 수 있다. y축은 빛의 강도(Intensity)를 나타낼 수 있으며, a.u.(Arbitrary Unit)은 임의의 값 또는 상대적인 값을 의미할 수 있다.
- [0056] 따라서, 전도층(200)의 층수가 증가할수록 분자의 진동 주파수 사이의 거리가 증가하는 것을 확인할 수 있다. 전도층(200)의 진동 주파수 사이의 거리의 변화에 따라 기관(100)과 전도층(200) 사이의 상호 작용에 대해 알 수 있으며, 상기한 두 피크 사이의 거리가 증가함에 따라 결합력이 약해지는 것을 확인할 수 있다.
- [0057] 도 5b를 참조하면, 전도층(200)의 층수가 증가할수록 피크(Peak)가 감소하는 것을 확인할 수 있다. 도 5b의 x축은 에너지(Energy[eV])를 나타낼 수 있다. y축은 빛의 강도(Intensity)를 나타낼 수 있으며, a.u.(Arbitrary Unit)은 임의의 값 또는 상대적인 값을 의미할 수 있다. PL 분광법을 통해 내부의 미세 전자 구조와 결합 특성에 관한 상세한 정보도 확인할 수 있다.
- [0058] 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 가스 센서의 전도층의 조성비를 나타내는 도면이다.
- [0059] 도 6을 참조하면, 광 전자 분광법(X-ray Photoelectron Spectroscopy, XPS)을 통해 측정할 수 있다. 광 전자 분광법은 X-ray로 1s state의 전자를 내보내고 그로 인해 운동 에너지(Kinetic Energy)를 측정할 수 있으며, 원소마다 가지고 있는 고유한 일 함수(Work Function)를 확인하여 결합 에너지(Binding Energy)를 확인할 수 있다. 이를 통해 도 6a 및 도 6b의 그래프에 형성되는 다수의 피크(Peak)를 확인할 수 있으며, 이러한 측정을 통해 Mo와 S의 조성비가 약 1:2가 되는 것을 확인할 수 있다.
- [0060] 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 가스 센서의 전도층과 전극의 밴드 다이어그램을 나타내는 도면이다.
- [0061] 도 7의 전도층(200)은 MoS<sub>2</sub>(1~4층), 전극(300)은 Au의 밴드 다이어그램이다. 도 7을 참조하면, 전도층(200) MoS<sub>2</sub>의 층수가 증가함에 따라 밴드갭이 작아지는 것을 확인할 수 있으며, 이에 따라 쇼트키 배리어 높이(Schottky Barrier Height, SBH)의 값이 작아지는 것을 확인할 수 있다.
- [0062] 도 7은 전극으로 Au를 사용하였으나 반드시 이에 한정되는 것은 아니며 전극의 종류는 변화할 수 있으며, 전극의 종류가 변화하여도 전도층(200)의 층수가 증가함에 따라 쇼트키 배리어 높이의 값이 작아질 수 있다. 상기한 쇼트키 배리어 높이의 값이 작아지는 것은 저항 값의 감소를 의미하며, 이는 하기의 도 8a를 통해 확인할 수 있다.
- [0063] 도 8a는 본 발명의 일 실시예에 따른 가스 센서에서의 쇼트키 배리어 높이 값에 따른 저항 값의 관계를 나타내는 도면이며, 도 8b는 본 발명의 일 실시예에 따른 가스 센서에서의 쇼트키 배리어 높이 값에 따른 반응도를 나타내는 도면이다.
- [0064] 도 8a를 참조하면, 전도층(200)의 층수 별로 전압 값에 따른 저항 값의 변화를 확인할 수 있다. 도 7을 통해 전도층(200)의 층수가 증가함에 따라 쇼트키 배리어 높이의 값이 작아지는 것을 확인할 수 있으며, 도 8a를 통해 전도층(200)의 층수가 증가함에 따라 저항 값이 감소하는 것을 확인할 수 있다.
- [0065] 따라서, 도 7을 참조하여 도 8a와 비교하면, 쇼트키 배리어 높이의 값이 작아지는 것은 저항 값이 감소하는 것을 확인할 수 있다.
- [0066] 도 8b는 전도층(200)의 층수 별 가스 센서(10)의 가스 반응도를 확인한 도면이다. 도 8b에서 사용한 가스는 NO<sub>2</sub>(10ppm)이다.
- [0067] 도 8b를 참조하면, 가스 센서(10)는 NO<sub>2</sub> (10 ppm)의 반응도를 확인하였을 때, 전도층(200)이 1층인 MoS<sub>2</sub>를 제외하고는 모두 반응한 것을 확인할 수 있다. 반응한 전도층(200)이 2층, 3층, 4층에서 NO<sub>2</sub>에 대한 반응도는 2>3>4층일수록 높은 것을 확인할 수 있다. 따라서, 반응을 하지 않는 1층 MoS<sub>2</sub>를 제외하고는 쇼트키 배리어 높이의 값이 큰 경우에서 반응도가 더 크게 나타남을 확인하였으며, 이는 전도층(200)이 2층인 경우일 수 있다.
- [0068] 이에 따라 전도층(200)의 층수는 고정시키고 전극의 종류가 변화함에 따라 쇼트키 배리어 높이의 값의 변화를 확인할 수 있으며, 이는 하기의 도 9를 통해 확인할 수 있다.

- [0069] 도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 가스 센서의 전도층의 층 수에 따른 밴드 갭 및 전극의 일 함수에 따른 쇼트키 배리어 높이를 나타내는 도면이다.
- [0070] 도 9를 참조하면, 전도층(200) MoS<sub>2</sub>와 전극(300)의 접합에서 형성되는 쇼트키 배리어 높이의 값을 증가시키기 위해서 Au보다 일함수(Work Function)가 작은 금속인 Ag와 Al을 사용하였으며, 전도층(200) MoS<sub>2</sub>는 2, 3층을 사용하였다.
- [0071] 도 9에서  $\chi$ 는 전도 대역에 있는 전자를 방출하는데 필요한 에너지를 나타내는 전자친화도 (Electron Affinity)를 의미한다. 또한, Ec는 4개의 비어 있는 전자 궤도로 형성된 높은 밴드를 나타내는 전도대역 (Conduction Band)를 의미하고, Ev는 가전자(Valence Electron)로 형성된 낮은 밴드를 가전대역(Valence Band)를 의미한다. Eg는 Ec와 Ev의 간격을 나타내는 밴드갭 에너지(Bandgap Energy)를 의미한다. EF는 페르미 준위 (Fermi Level)를 의미하고, 밴드갭 Eg 사이의 전도대역(Conduction Band) Ev 근처에 위치할 수 있다.
- [0072] 도 10은 본 발명의 일 실시예에 따른 가스 센서의 전도층의 층 수에 따른 전극의 저항 값을 나타내는 도면이다.
- [0073] 도 10은 전도층(200)이 2층 또는 3층일 때의 전극(300)의 종류에 따른 저항 값을 비교하였다. 전도층(200)이 2층일 때와 3층일 때의 저항 값은 Al이 가장 크며, 그 다음 Ag, Au 순으로 저항 값이 큰 것을 알 수 있다. 즉 쇼트키 배리어 높이의 값이 큰 경우에서 저항 값이 크게 나타난 것을 알 수 있다.
- [0074] 도 11은 본 발명의 일 실시예에 따른 가스 센서의 전도층의 층 수에 따른 전극의 변화에 따른 가스 반응도를 나타내는 도면이다.
- [0075] 도 11a는 가스 센서(10)의 전도층(200)이 3층이며, 전극(300)이 Al, Ag, Au일 때 가스 NO<sub>2</sub>의 반응도를 나타내는 도면이며, 도 11b는 가스 센서(10)의 전도층(200)이 2층이며, 전극(300)이 Al, Ag, Au일 때 가스 NO<sub>2</sub>의 반응도를 나타내는 도면이다.
- [0076] 도 11을 참조하면, 상기한 전도층(200) 및 전극(300)으로 형성된 가스 센서(10)의 NO<sub>2</sub>(10ppm)반응도는 쇼트키 배리어 높이의 값이 큰 소자에서 반응도가 더 크게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 상기한 반응도는 하기의 도 11을 통해 설명하도록 하겠다.
- [0077] 도 12는 본 발명의 일 실시예에 따른 가스 센서의 전극의 종류에 따른 전극의 소자에서의 캐리어의 변동량을 나타내는 도면이다.
- [0078] 도 12a는 전도체(200) MoS<sub>2</sub>와 전극(300) Au의 쇼트키 배리어 높이의 값을 나타내며, 도 12b는 전도체(200) MoS<sub>2</sub>와 전극(300) Al의 쇼트키 배리어 높이의 값을 나타낸다. 이때, 전도체(200)는 3층이며, 전극(300)으로 Au 및 Al을 사용하였을 때의 쇼트키 배리어 높이의 값을 확인할 수 있다.
- [0079] 도 12a를 통해, 가스 센서(10)에 NO<sub>2</sub> 가스에 반응시켰을 때, 전극(300) Au에서는 정공(Hole)이 3개가 이동하던 것이 4개만 이동하여 약 33%의 변화도를 보이는 것을 확인할 수 있다. 도 12b를 통해, 가스 센서(10)에 NO<sub>2</sub> 가스에 반응시켰을 때, 전극(300) Al에서는 정공(Hole)이 1개가 이동하던 것이 2개만 이동하여 약 100%의 변화도를 보이는 것을 확인할 수 있다. 이때, 정공(Hole)의 개수는 임의로 나타낸 것이다.
- [0080] 따라서, 쇼트키 배리어 높이의 값이 큰 소자에서는 캐리어의 이동이 적었지만, 가스에 대한 반응이 있을 경우에 도 12a 및 도 12b의 (ii) 쇼트키 배리어 변조(Schottky Barrier Modulation, SBM) 현상에 의하여 캐리어의 이동이 발생하는 것을 확인할 수 있다. 이에 따라, 캐리어 변동률은 쇼트키 배리어 높이의 값이 큰 소자에서 크게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 이는 도 12를 참조하면, 쇼트키 배리어 높이의 값이 큰 경우에서 NO<sub>2</sub>에 의한 쇼트키 배리어 변조 영향이 더 크게 나타나며, 이는 Al이 Au에 비해서 쇼트키 배리어 높이의 값이 더 크기 때문이다.
- [0081] 도 13은 본 발명의 일 실시예에 따른 가스 센서의 전극의 종류에 따른 가스의 반응도를 나타내는 도면이다.
- [0082] 기존의 가스 센서에서는 CO, CO<sub>2</sub>의 경우, Au 전극을 이용한 결과와 같이 이차원 전이금속 칼코겐화합물 소재 기반의 가스 센서에 반응을 하지 않는 것이 일반적이다. 하지만 도 13을 참조하면, 상대적으로 쇼트키 배리어가 큰 전극 (Ag)을 사용했을 때 캐리어 변화율이 커지기 때문에 가스에 대한 반응성을 보이는 것을 확인할 수 있다.

- [0083] 도 13a는 가스 센서(10)의 전도층(200)이 2층이며, 전극(300)이 Ag, Au일 때 가스 CO의 반응도를 나타내는 도면이며, 도 13b는 가스 센서(10)의 전도층(200)이 2층이며, 전극(300)이 Ag, Au일 때 가스 CO<sub>2</sub>의 반응도를 나타내는 도면이다.
- [0084] 도 13을 참조하면, 상기한 전도층(200) 및 전극(300)으로 형성된 가스 센서(10)의 CO 및 CO<sub>2</sub> 반응도는 쇼트키 배리어 높이의 값이 큰 소자에서 반응도가 더 크게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 이러한 반응도는 도 14을 통해 설명하도록 하겠다.
- [0085] 도 14는 본 발명의 일 실시예에 따른 가스 센서의 전극의 종류에 따른 전극의 소자에서의 캐리어의 변동량을 나타내는 도면이다.
- [0086] 도 14a는 전도층(200) MoS<sub>2</sub>와 전극(300) Au의 쇼트키 배리어 높이의 값을 나타내며, 도 14b는 전도층(200) MoS<sub>2</sub>와 전극(300) Ag의 쇼트키 배리어 높이의 값을 나타낸다. 이때, 전도층(200)은 2층이며, 전극(300)으로 Au 및 Ag를 사용하였을 때의 쇼트키 배리어 높이의 값을 확인할 수 있다.
- [0087] 도 14a를 통해, 가스 센서(10)에 CO 또는 CO<sub>2</sub> 가스에 반응시켰을 때, 전극(300) Au에서는 정공(Hole)이 3개가 이동하던 것이 2개만 이동하여 약 33%의 변화도를 보이는 것을 확인할 수 있다. 도 14b를 통해, 가스 센서(10)에 CO 또는 CO<sub>2</sub> 가스에 반응시켰을 때, 전극(300) Ag에서는 정공(Hole)이 2개가 이동하던 것이 1개만 이동하여 약 50%의 변화도를 보이는 것을 확인할 수 있다. 이때, 정공(Hole)의 개수는 임의로 나타낸 것이다.
- [0088] 따라서, 쇼트키 배리어 높이의 값이 큰 소자에서는 캐리어의 이동이 적었지만, 가스에 대한 반응이 있을 경우에 도 14a 및 도 14b의 쇼트키 배리어 변조(Schottky Barrier Modulation, SBM) 현상에 의하여 캐리어의 이동이 발생하는 것을 확인할 수 있다. 이에 따라, 캐리어 변동률은 쇼트키 배리어 높이의 값이 큰 소자에서 크게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 이는 도 14을 참조하면, 쇼트키 배리어 높이의 값이 큰 경우에서 CO 또는 CO<sub>2</sub>에 의한 쇼트키 배리어 변조 영향이 더 크게 나타나며, 이는 Ag가 Au에 비해서 쇼트키 배리어 높이의 값이 더 크기 때문이다.
- [0089] 따라서, CO, CO<sub>2</sub> (Electron Donor) 가스의 실험에서도 쇼트키 배리어 높이의 값이 큰 소자에서 높은 반응성이 나타난 것을 확인할 수 있다.
- [0090] 도 15는 본 발명의 일 실시예에 따른 가스 감지 장치를 예시한 도면이다.
- [0091] 도 15a는 본 발명의 일 실시예에 따른 가스 감지 장치를 예시한 도면이며, 도 15b는 본 발명의 또 다른 일 실시예에 따른 가스 감지 장치를 예시한 도면이다.
- [0092] 도 15a에 도시한 바와 같이, 가스 감지 장치(20)는 전원(22), 제어부(24) 및 가스 센서(10)를 포함한다. 가스 감지 장치(20)는 도 15a에서 예시적으로 도시한 다양한 구성요소들 중에서 일부 구성요소를 생략하거나 다른 구성요소를 추가로 포함할 수 있다. 가스 감지 장치(20)는 가스 감지 결과를 시각적 정보로 출력하는 표시 장치를 추가로 포함할 수 있다.
- [0093] 전원(22)은 각 구성 요소가 구동할 수 있도록 전기를 공급한다.
- [0094] 제어부(24)는 마이크로프로세서, 아날로그 디지털 컨버터 등을 포함하며, 가스 센서의 전극으로부터 검출된 전기 신호의 세기를 측정하고, 전기 신호의 세기를 기준치와 비교한 결과에 따라 가스 감지 여부를 출력한다. 전기 신호는 전류 또는 전압 신호이다. 제어부(24)는 전류 또는 전압에 관한 관계식에 따라 저항을 계산할 수 있다.
- [0095] 가스 센서(10)는 전원(22)에 연결되며, 2층 이상의 층수를 형성하는 전도층(200) 및 상기 전도층(200)에 형성된 전극(300)을 포함하며, 상기 전도층(200)과 가스가 반응하여 전기 신호를 출력하며, 전도층(200)과 전극(300)에서 발생하는 쇼트키 배리어 높이 변화에 의해 가스에 대한 반응을 형성한다. 가스 감지 장치(20)에 적용된 가스 센서(10)는 앞서 설명한 실시예에 따른 가스 센서(10)에 대응하는 구성이다.
- [0096] 도 15b에 도시한 바와 같이, 가스 감지 장치(20)는 전원(22), 제어부(24), 제1 가스 센서(11) 및 제2 가스 센서(13)를 포함한다. 가스 감지 장치(20)는 도 15b에서 예시적으로 도시한 다양한 구성요소들 중에서 일부 구성요소를 생략하거나 다른 구성요소를 추가로 포함할 수 있다. 가스 감지 장치(20)는 가스 감지 결과를 시각적 정보로 출력하는 표시 장치를 추가로 포함할 수 있다.

- [0097] 제1 가스 센서(11)는 제1 전극을 사용하고, 제1 가스를 반응시켰을 때 제1 전극에서 전도층으로 이동하는 캐리어의 개수가 증가하며, 가전대역(Valence Band)은 쇼트키 배리어 변조에 의해 상승하여 페르미 준위(Fermi Level)에 가까워져 제1 가스에 반응할 수 있다.
- [0098] 제2 가스 센서(13)는 제2 전극을 사용하고, 제2 가스를 반응시켰을 때 제2 전극에서 전도층으로 이동하는 캐리어의 개수가 감소하며, 가전대역(Valence Band)은 쇼트키 배리어 변조에 의해 하락하여 페르미 준위(Fermi Level)에 떨어져 제2 가스에 반응할 수 있다.
- [0099] 제1 가스 센서(11)는 도 11 및 도 12를 참조하여 NO<sub>2</sub>를 감지하기 위해 Al을 전극(200)으로 형성할 수 있다. 제2 가스 센서(13)는 도 13 및 도 14를 참조하여, CO 및 CO<sub>2</sub>를 감지하기 위해 Ag를 전극(200)으로 형성될 수 있다.
- [0100] 상기와 같이, 가스 감지 장치(20)는 다수의 가스 센서를 포함할 수 있으며, 각 가스 센서가 전극(200)의 종류에 따라 감지하는 가스의 종류가 변화할 수 있다. 이를 통해 다수의 가스를 하나의 가스 감지 장치(20)를 통해 감지할 수 있다.
- [0101] 따라서, 본 발명의 가스 센서(10)는 이차원 전이금속 칼코겐화합물을 사용하여 낮은 온도에서 작동이 가능하게 산화물 기반의 가스 센서를 대체하기에 적합하다. 또한, 가스 센서(10)는 쇼트키 배리어 높이의 조절을 통해 가스 반응도 향상 및 반도체식 가스 센서의 단점으로 알려진 가스 선택성을 확보할 수 있다. 따라서, 이차원 소재 기반의 가스 센서에서는 쇼트키 배리어 높이를 증가시키는 것이 반응성 향상을 위해 필수적이다.
- [0102] 가스 감지 장치는 하드웨어, 펌웨어, 소프트웨어 또는 이들의 조합에 의해 로직회로 내에서 구현될 수 있고, 범용 또는 특정 목적 컴퓨터를 이용하여 구현될 수도 있다. 장치는 고정배선형(Hardwired) 기기, 필드 프로그램 가능한 게이트 어레이(Field Programmable Gate Array, FPGA), 주문형 반도체(Application Specific Integrated Circuit, ASIC) 등을 이용하여 구현될 수 있다. 또한, 장치는 하나 이상의 프로세서 및 컨트롤러를 포함한 시스템온칩(System on Chip, SoC)으로 구현될 수 있다.
- [0103] 가스 감지 장치는 하드웨어적 요소가 마련된 컴퓨팅 디바이스에 소프트웨어, 하드웨어, 또는 이들의 조합하는 형태로 탑재될 수 있다. 컴퓨팅 디바이스는 각종 기기 또는 유무선 통신망과 통신을 수행하기 위한 통신 모듈 등의 통신 장치, 프로그램을 실행하기 위한 데이터를 저장하는 메모리, 프로그램을 실행하여 연산 및 명령하기 위한 마이크로프로세서 등을 전부 또는 일부 포함한 다양한 장치를 의미할 수 있다.
- [0104] 도 1에서는 각각의 과정을 순차적으로 실행하는 것으로 기재하고 있으나 이는 예시적으로 설명한 것에 불과하고, 이 분야의 기술자라면 본 발명의 실시예의 본질적인 특성에서 벗어나지 않는 범위에서 도 1에 기재된 순서를 변경하여 실행하거나 또는 하나 이상의 과정을 병렬적으로 실행하거나 다른 과정을 추가하는 것으로 다양하게 수정 및 변형하여 적용 가능할 것이다.
- [0105] 본 실시예들은 본 실시예의 기술 사상을 설명하기 위한 것이고, 이러한 실시예에 의하여 본 실시예의 기술 사상의 범위가 한정되는 것은 아니다. 본 실시예의 보호 범위는 아래의 청구범위에 의하여 해석되어야 하며, 그와 동등한 범위 내에 있는 모든 기술 사상은 본 실시예의 권리범위에 포함되는 것으로 해석되어야 할 것이다.

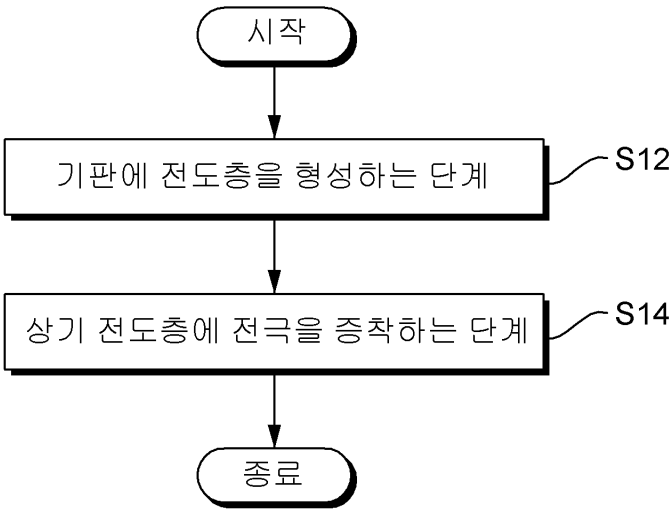
### 부호의 설명

- [0106] 10: 가스 센서  
100: 기판  
200: 전도층  
300: 전극

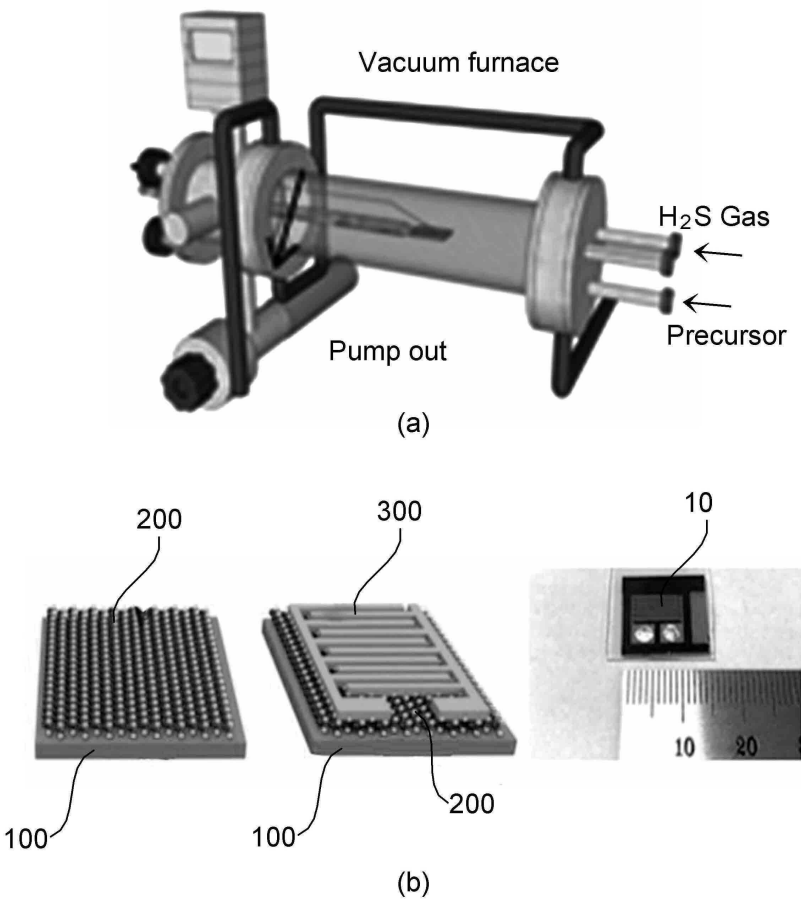


도면

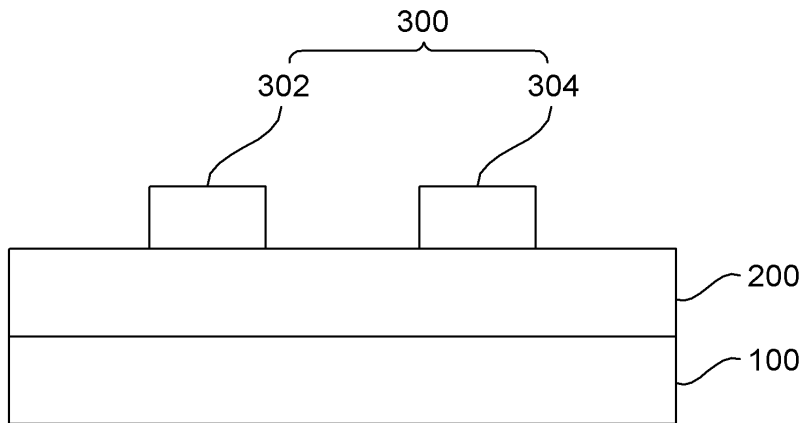
도면1



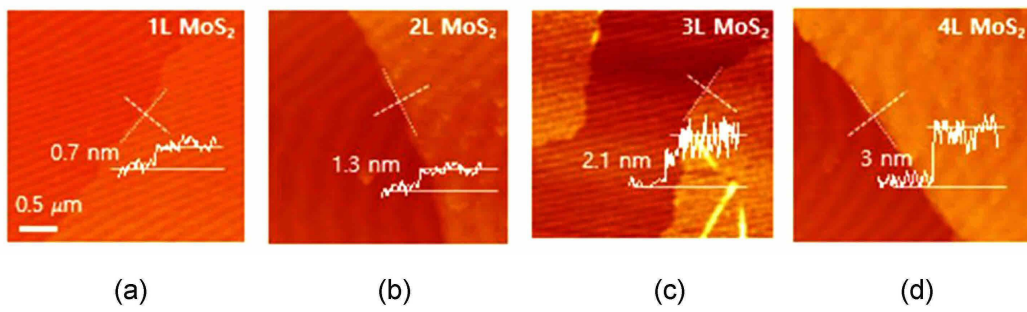
도면2



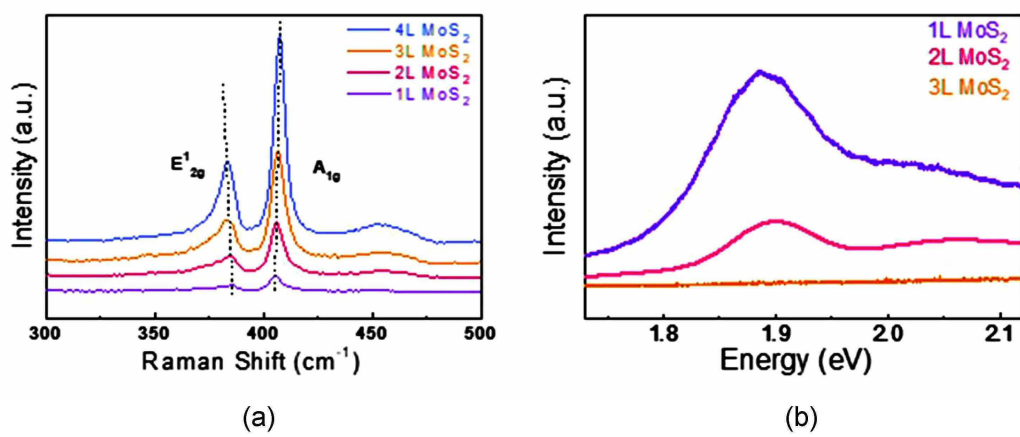
도면3



도면4

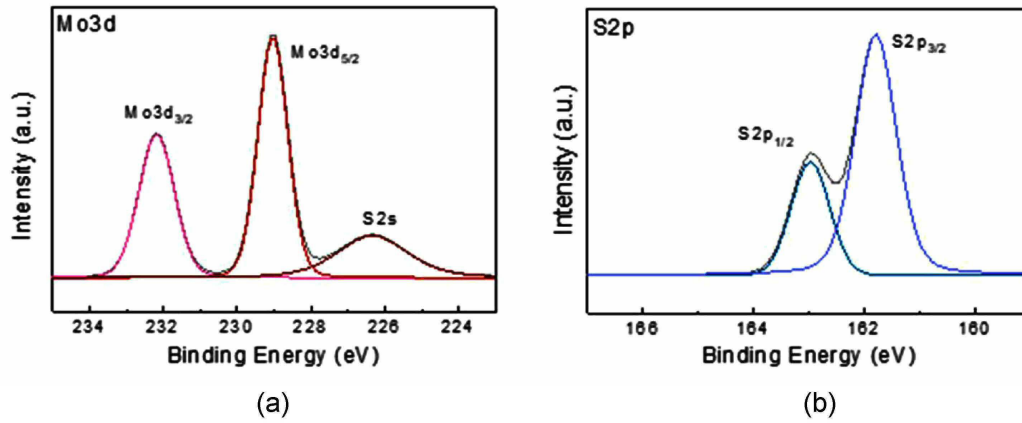


도면5

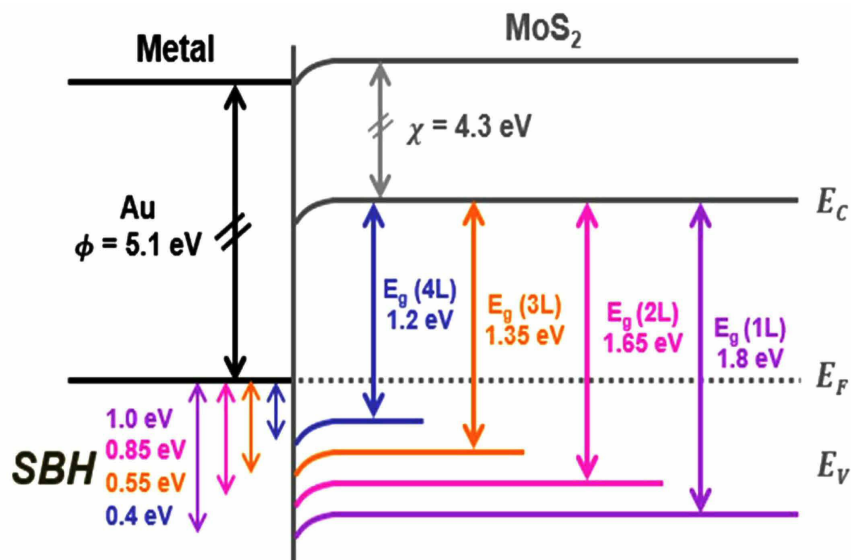




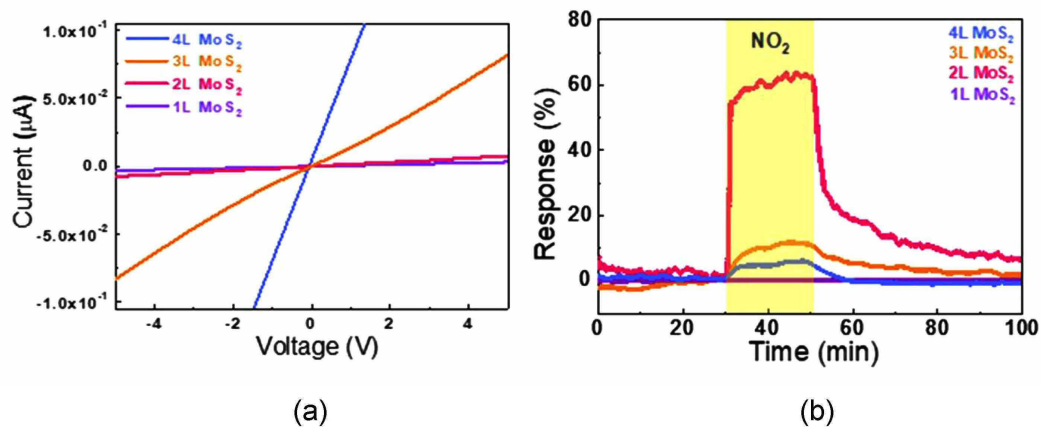
도면6



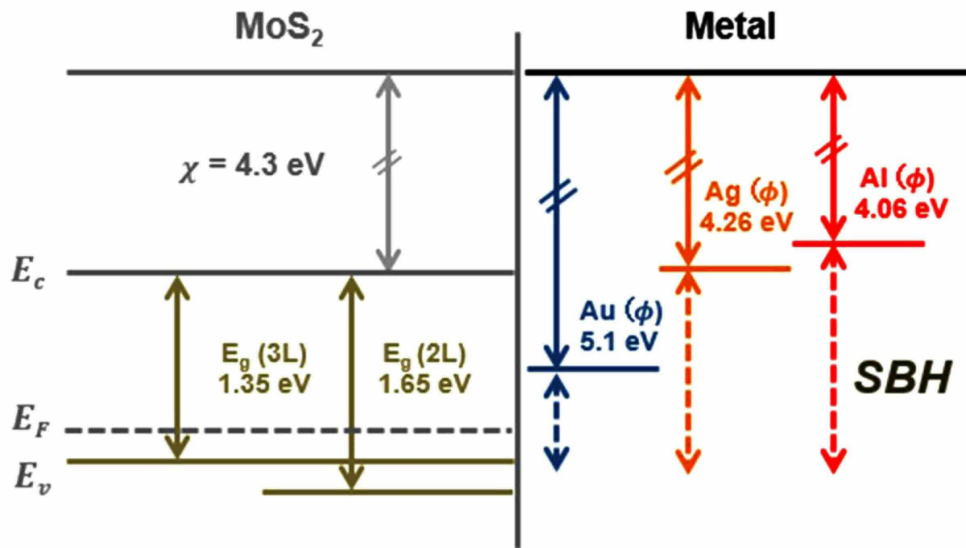
도면7



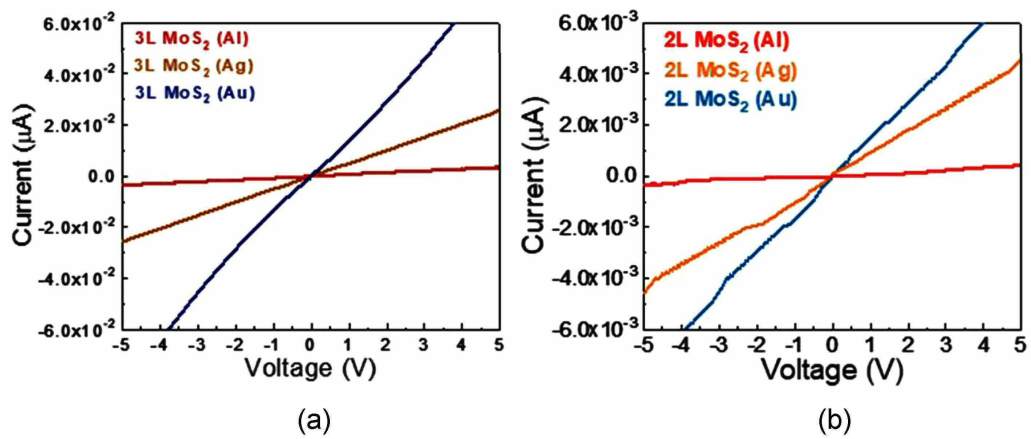
도면8



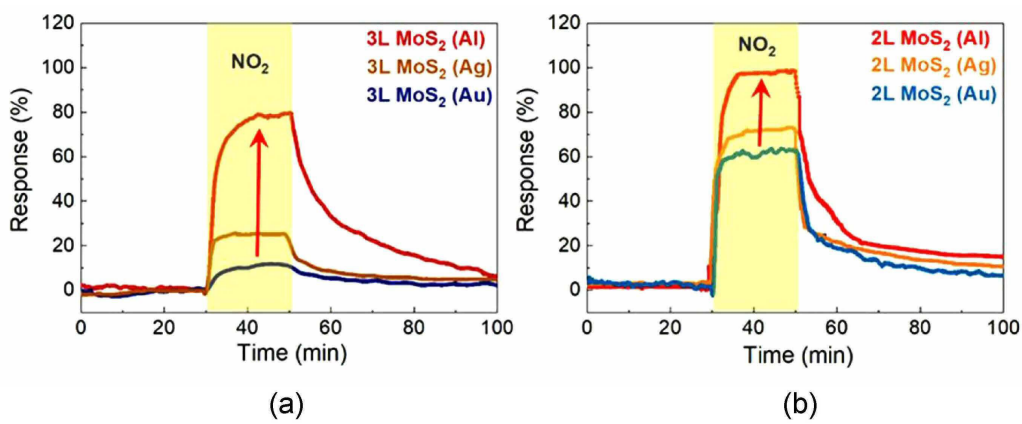
도면9



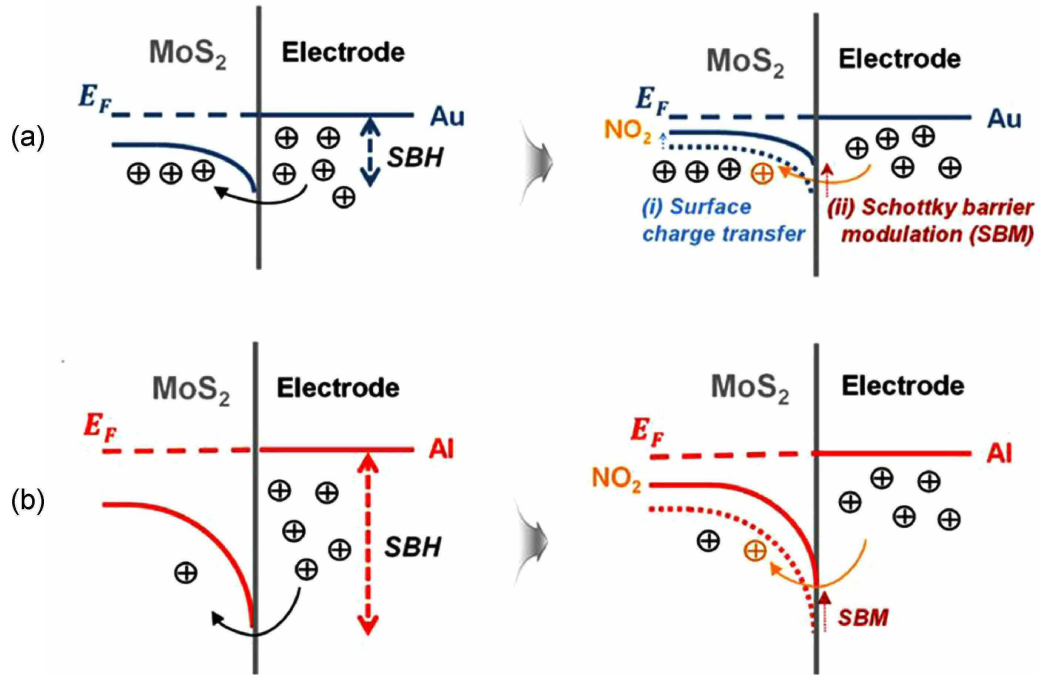
도면10



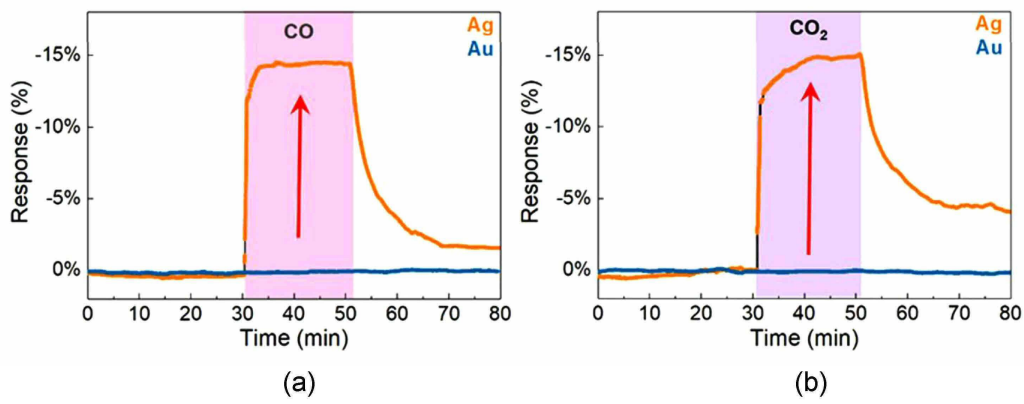
도면11



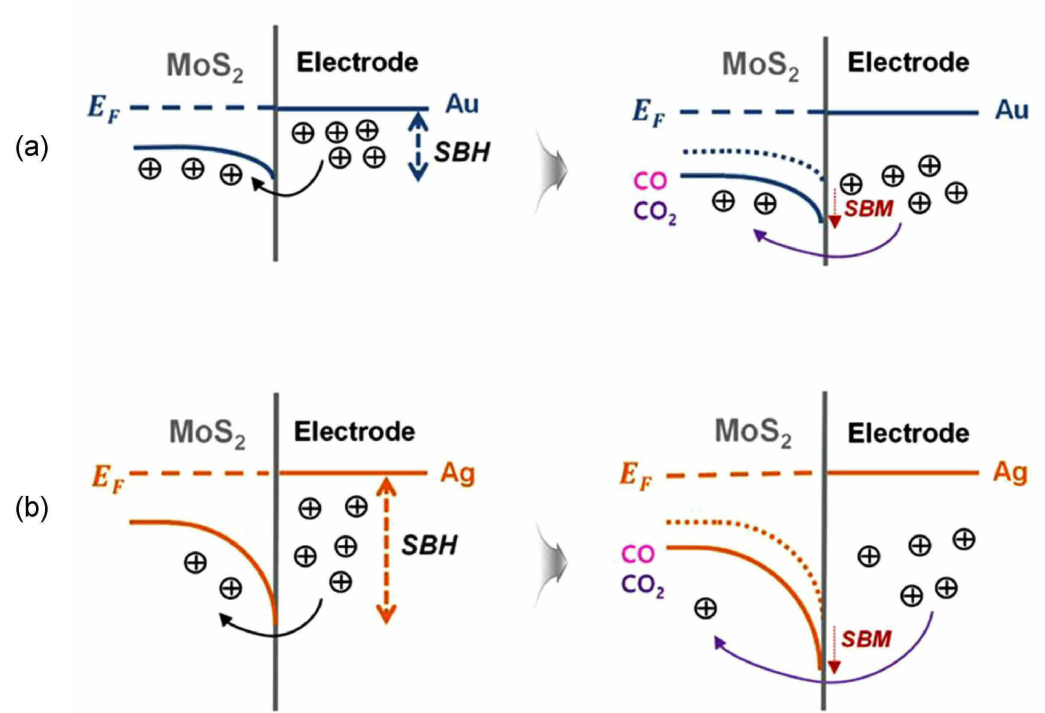
도면12



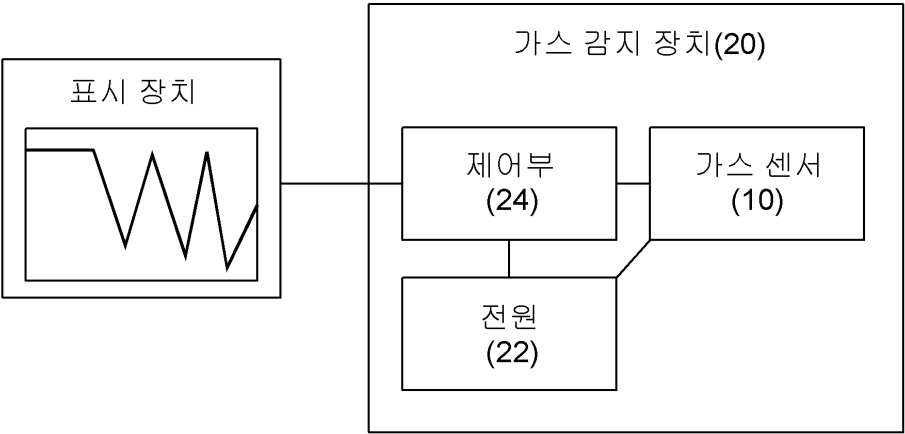
도면13



도면14



도면15a



도면15b

