



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2022-0166548

(43) 공개일자 2022년12월19일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G01N 33/00 (2006.01)

(52) CPC특허분류

G01N 33/0037 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2021-0075449

(22) 출원일자 2021년06월10일

심사청구일자 2021년06월10일

(71) 출원인

연세대학교 산학협력단

서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)

(72) 발명자

이규형

서울특별시 마포구 마포대로20길 26, 109동 1201호

최명식

인천광역시 서구 청라커널로 300 청라센트럴에일린의뜰 A동 1002호

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

노경규

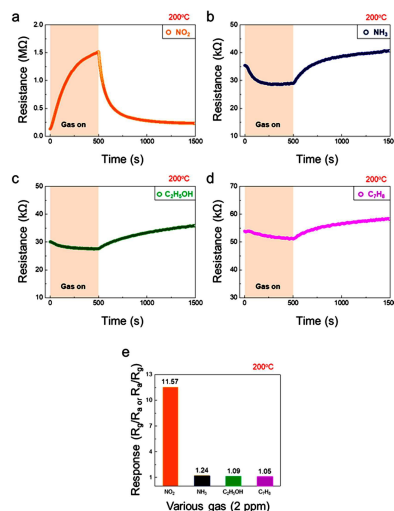
전체 청구항 수 : 총 7 항

(54) 발명의 명칭 다공성 산화아연 나노시트를 이용한 고감도, 고안정성 이산화질소 가스 센서

(57) 요약

본 발명은 다공성 산화아연 나노시트를 이용한 반도체용 NO₂ 가스 센서 및 이의 제조방법에 관한 것으로서, 다공성 산화아연 나노시트가 NO₂ 가스에 대하여 탁월한 감응도를 나타내고, 반복측정 안정성, 장기 안정성, 다습환경 안정성, 선택적 가스 감응 안정성 등 반도체식 가스센서의 약점으로 평가되는 안정성 측면에서 높은 센서 특성을 나타냄으로써, 우수한 반도체용 NO₂ 가스 센서로 유용하게 사용할 수 있는 것에 관한 것이다.

대표도 - 도11



(72) 발명자

김민영

부산광역시 사하구 승학로 202-1

진창현

인천광역시 서구 모월곶로 41 아시아드 대광로제비
양 107동 1101호

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711126859
과제번호	2020M3H1A1077207
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	혁신성장 선도 고급연구인재 성장지원(KIURI) 사업
연구과제명	극한물성 소재-초고부가 부품 KIURI 연구단
기 여 율	33/100
과제수행기관명	연세대학교 산학협력단
연구기간	2021.03.01 ~ 2022.02.28

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1415173534
과제번호	20013621
부처명	산업통상자원부
과제관리(전문)기관명	한국산업기술평가관리원
연구사업명	산업기술거점센터육성시범사업
연구과제명	[RCMS] 초임계 소재 산업기술거점센터(2/3)
기 여 율	34/100
과제수행기관명	연세대학교 산학협력단
연구기간	2021.03.01 ~ 2021.12.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1345332192
과제번호	2019R1A6A1A11055660
부처명	교육부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	대학중점연구소지원 (후속연구)
연구과제명	나노과학기술연구소
기 여 율	33/100
과제수행기관명	연세대학교 산학협력단
연구기간	2021.03.01 ~ 2022.02.28

명세서

청구범위

청구항 1

다공성 산화아연 나노시트를 포함하는 NO₂ 가스 센서.

청구항 2

제1항에 있어서,

기판;

기판 상 배치된 전극; 및

상기 전극 상, 하 또는 측면에 형성된 다공성 산화아연 나노시트를 포함하는 센싱층;을 포함하는 것을 특징으로 하는 NO₂ 가스 센서.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 다공성 산화아연 나노시트는

아연 전구체와 질소화합물을 1용액에 혼합하고 균일하게 교반하여 혼합물을 제조하는 제1단계;

상기 혼합물을 테플론 용기에 옮겨 수열합성법을 통해 열처리하여 산화아연 파우더를 수득하는 제2단계;

상기 산화아연 파우더를 진공 건조시키는 제3단계; 및

상기 제3단계에서 건조된 산화아연파우더를 어닐링(Annealing)하여 다공성 산화아연 나노시트를 얻는 제4단계;를 포함하는 방법으로 제조된 것을 특징으로 하는 NO₂ 가스 센서.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 다공성 산화아연 나노시트는 두께가 80 nm 이하, 넓이가 0.1 ~ 10 μm 인 것을 특징으로 하는 NO₂ 가스 센서.

청구항 5

아연 전구체와 질소화합물을 1용액에 혼합하고 균일하게 교반하여 혼합물을 제조하는 제1단계;

상기 혼합물을 테플론 용기에 옮겨 수열합성법을 통해 열처리하여 산화아연 파우더를 수득하는 제2단계;

상기 산화아연 파우더를 진공 건조시키는 제3단계; 및

상기 제3단계에서 건조된 산화아연파우더를 어닐링(Annealing)하여 다공성 산화아연 나노시트를 얻는 제4단계;를 포함하는, NO₂ 가스 센서의 제조방법.

청구항 6

제 5항에 있어서,

기관 상에 전극을 형성하는 단계; 및

상기 전극 상, 하 또는 측면에 다공성 산화아연 나노시트를 형성하는 단계;를 포함하는 NO₂ 가스 센서의 제조방법.

청구항 7

NO₂ 가스가 포함된 것으로 의심되는 시료를, 제1항 내지 제4항 중 어느 한 항의 가스 센서에 접촉시켜 반응시키는 단계; 및

상기 반응시킨 반응물의 형광 신호, 흡광 및 광학적 변화로 이루어진 군으로부터 선택된 하나 이상의 지표를 측정하는 단계를 포함하는 NO₂ 가스의 검출 방법.

발명의 설명**기술 분야**

[0001]

본 발명은 반도체 가스 센서 및 이의 제조방법에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 다공성 산화아연 나노시트를 이용한 반도체용 NO₂ 가스 센서, 및 용매열(solvothermal) 공정을 통해 다공성 산화아연 나노시트를 포함하는 반도체용 NO₂ 가스 센서의 제조방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0003]

최근 반도체 금속 산화물 기반 가스 센서는 고감도, 높은 안정성 및 빠른 반응과 같은 수많은 장점으로 인해 다른 유형의 가스 센서보다 더 많은 관심을 받고 있다. 이러한 가스 센서에서 전기 저항은 대상 가스의 흡착과 감지 신호 생성에 의해 변조되며, 그 부호와 진폭은 대상 가스의 유형과 농도에 따라 달라진다. 감지 층의 형태는 가스 감지의 핵심 매개 변수이다. 특정 형태에 해당하는 더 높은 표면적은 가스 센서에 더 높은 흡착 사이트를 제공할 수 있고 결국 목표 가스에 대한 더 높은 반응으로 이어질 수 있기 때문이다. 따라서 가스 감지 특성을 향상시키기 위해 나노로드, 나노섬유, 나노튜브 및 나노 와이어와 같은 다양한 형태가 사용되었다.

[0004]

산화아연은 그 자체가 가지고 있는 반도체적 특성, 압전특성, 강자성체 특성 및 촉매적 특성 등에 따라 다양한 기술분야에서 활용되고 있다. 이러한 산화아연에 관한 특성에 기인하여 산화아연은 다양한 나노과학 분야에서 활용되어지고 있다. 3.4eV 정도의 밴드갭을 갖는 반도체적 특성을 가짐으로써 극자외선을 방출하는 청색 발광다이오드에 적용되기도 하고, 그 압전 특성은 나노구조물의 자체 전원으로 응용되기도 한다. 일반적으로, 나노 구조의 산화아연 필름은 아세트산 아연 또는 질산 아연과 같은 유기 전구체를 사용하거나 아연을 산화하여 형성한다. 이러한, 산화아연 필름은 그 제조 공정이 산화타이타늄(TiO₂)을 제조하는 공정보다 쉽고, 비용이 저렴하여 저비용으로 큰 면적을 증착할 수 있으므로, 널리 사용되고 있다.

[0006]

이에 본 발명자들은 다공성 산화아연 나노시트를 solvothermal 공정을 통하여 제작하였고, 제작된 재료를 NO₂ 가스 센싱 특성 평가를 진행한 결과, NO₂ 가스에 대하여 탁월한 감응도를 나타내었으며, 또한, 반복측정 안정성, 장기 안정성, 다습환경 안정성, 선택적 가스 감응 안정성 등 반도체식 가스센서의 약점으로 평가되는 안정성 측면에서 높은 센서 특성을 확인함으로써, 본 발명을 완성하였다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0008] (특허문헌 0001) 대한민국 특허등록번호 제10-1498157호
(특허문헌 0002) 대한민국 특허등록번호 제10-1381317호
(특허문헌 0003) 미국 특허공개번호 제2012-0161790호

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0009] 본 발명의 목적은 다공성 산화아연 나노시트를 포함하는 NO₂ 가스 센서를 제공하는 것이다.
[0010] 본 발명의 또다른 목적은 용매열(solvothermal) 공정을 이용하여 다공성 산화아연 나노시트를 포함하는 반도체용 NO₂ 가스 센서의 제조방법을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

- [0012] 상기 목적을 달성하기 위하여,
[0013] 본 발명은 다공성 산화아연 나노시트를 포함하는 NO₂ 가스 센서를 제공한다.
[0014] 또한, 본 발명은 아연 전구체와 질소화합물을 1용액에 혼합하고 균일하게 교반하여 혼합물을 제조하는 제1단계; 상기 혼합물을 테플론 용기에 옮겨 수열합성법을 통해 열처리하여 산화아연 파우더를 수득하는 제2단계; 상기 산화아연 파우더를 진공 건조시키는 제3단계; 및, 상기 제3단계에서 건조된 산화아연파우더를 어닐링(Annealing)하여 다공성 산화아연 나노시트를 얻는 제4단계;를 포함하는, NO₂ 가스 센서의 제조방법을 제공한다.
[0015] 아울러, 본 발명은 NO₂ 가스가 포함된 것으로 의심되는 시료를, 상기 본 발명에 따른 가스 센서에 접촉시켜 반응시키는 단계; 및, 상기 반응시킨 반응물의 형광 신호, 흡광 및 광학적 변화로 이루어진 군으로부터 선택된 하나 이상의 지표를 측정하는 단계;를 포함하는, NO₂ 가스의 검출 방법을 제공한다.

발명의 효과

- [0017] 본 발명에 따른 다공성 산화아연 나노시트의 NO₂ 가스 센싱 특성을 평가한 결과, NO₂ 가스에 대해 탁월한 감응도를 나타내었고, 반복측정 안정성, 장기 안정성, 다습환경 안정성, 선택적 가스 감응 안정성 등 반도체식 가스센서의 약점으로 평가되는 안정성 측면에서 높은 센서 특성을 나타내었다.

도면의 간단한 설명

- [0019] 도 1은 다공성 산화아연 나노시트의 다양한 배율의 주사전자현미경(Scanning electron microscopy; SEM) 분석 결과를 보여주는 그림이다.
도 2는 다공성 산화아연 나노시트의 투과전자현미경(transmission electron microscopy; TEM) 및 에너지 분산 X선 분광분석기(energy-dispersive X-ray spectroscopy; EDX) 분석 결과를 보여주는 그림이다.
도 3은 산화아연 나노입자와 다공성 산화아연 나노시트의 X선 회절법(X-ray diffraction; XRD) 분석 결과를 보여주는 그림이다.

도 4의 a-d는 산화아연 나노입자와 다공성 산화아연 나노시트의 X선 광전자 분광법(X-ray photoelectron spectroscopy; XPS) 분석 결과를 보여주는 그림이고, 도 4의 e-f는 산화아연 나노입자와 다공성 산화아연 나노시트의 광발광 분광법(Photoluminescence; PL) 분석 결과를 보여주는 그림이다.

도 5는 산화아연 나노입자와 다공성 산화아연 나노시트의 비표면적 분석을 위하여 브루나우어-에멧-텔러 분석(Brunauer-Emmett-Teller analysis; BET) 결과를 보여주는 그림이다.

도 6은 50-250℃에서의 다공성 산화아연 나노시트의 NO₂ 2 ppm에 대한 센싱 측정 결과를 보여주는 그림이다.

도 7은 200℃에서 다공성 산화아연 나노시트의 다양한 NO₂ 가스 농도에 대하여 가스 센싱 측정 결과를 보여주는 그림이다.

도 8은 200℃에서 다공성 산화아연 나노시트의 NO₂ 저농도(0.5 ppm) 및 고농도(10 ppm)에 대한 7회 반복 센싱 측정 결과를 보여주는 그림이다.

도 9는 다공성 산화아연 나노시트의 장기 안정성 센싱 측정(실험실 환경인 25℃, 60 RH%에서 3개월간 보관해두었다가 센싱 측정) 결과를 보여주는 그림이다.

도 10은 다공성 산화아연 나노시트의 다습환경(상대습도 0, 30, 60 RH%) 안정성 센싱 측정 결과를 보여주는 그림이다.

도 11은 다공성 산화아연 나노시트의 NO₂ 가스에 대한 선택적 가스 감응 센싱 측정 결과를 보여주는 그림이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0020] 이하, 본 발명을 상세하게 설명한다. 본 발명을 설명함에 있어서 관련된 공지 구성 또는 기능에 대한 상세한 설명은 생략할 수 있다.
- [0021] 본 명세서 및 특허청구범위에 사용된 용어나 단어는 통상적이거나 사전적 의미로 한정되어 해석되지 아니하며, 본 발명의 기술적 사항에 부합하는 의미와 개념으로 해석되어야 한다.
- [0022] 본 명세서에 기재된 실시예와 도면에 도시된 구성은 본 발명의 바람직한 실시예이며, 본 발명의 기술적 사상을 모두 대변하는 것이 아니므로, 본 출원 시점에서 이들을 대체할 수 있는 다양한 균등물과 변형예들이 있을 수 있다.
- [0024] 본 발명은 다공성 산화아연 나노시트를 포함하는 NO₂ 가스 센서를 제공한다.
- [0025] 상기 다공성 산화아연 나노시트는
- [0026] 아연 전구체와 질소화합물을 1용액에 혼합하고 균일하게 교반하여 혼합물을 제조하는 제1단계;
- [0027] 상기 혼합물을 테플론 용기에 옮겨 수열합성법을 통해 열처리하여 산화아연 파우더를 수득하는 제2단계;
- [0028] 상기 산화아연 파우더를 진공 건조시키는 제3단계; 및
- [0029] 상기 제3단계에서 건조된 산화아연파우더를 어닐링(Annealing)하여 다공성 산화아연 나노시트를 얻는 제4단계;를 포함하는 방법으로 제조될 수 있다.
- [0030] 상기 다공성 산화아연 나노시트는 두께가 80 nm 이하, 넓이가 0.1 ~ 10 μm 인 것이 바람직하고, 두께가 1 ~ 80 nm, 넓이가 0.1 ~ 10 μm 인 것이 더욱 바람직하다.
- [0031] 상기 NO₂ 가스 센서는
- [0032] 기판;
- [0033] 상기 기판 상에 배치된 전극; 및
- [0034] 상기 전극 상, 하 또는 측면에 형성된 다공성 산화아연 나노시트를 포함하는 센싱층;을 포함할 수 있다.
- [0035] 상기 기판은 세라믹 기판, 알루미나(Al₂O₃)기판, 절연층이 증착된 실리콘(Si) 기판, 실리콘옥사이드(SiO₂) 기판

등을 사용할 수 있다.

- [0036] 상기 전극으로는 백금(Pt), 금(Au), 은(Ag), 니켈(Ni), 구리(Cu), 티타늄(Ti) 등을 단독으로 또는 복합층으로 구성하여 사용할 수 있다.
- [0037] 상기 전극은 기판 상에 제1 전극 및 제2 전극이 서로 이격되어 배치될 수 있으며, 제1 전극 및 제2 전극이 서로 이격되어 센싱층을 노출시키는 부분이 실질적으로 가스 센서에서의 센싱 영역(sensing area)이 된다.
- [0038] 상기 센싱층은 전극 상에 라인 패턴, 격자 형상, 굴곡진 형상, 원기둥 형상, 사각 기둥 형상, 역원뿔 형상, 직육면체 형상, 팽이 형상, 컵 형상 및 ㄷ자 형상으로 이루어진 군에서 선택되는 형상일 수 있다.
- [0040] 또한, 본 발명은
- [0041] 기판 상에 전극을 배치시키는 단계; 및
- [0042] 상기 전극 상, 하 또는 측면에 형성된 다공성 산화아연 나노시트를 포함하는 센싱층을 형성하는 단계;를 포함하는, NO₂ 가스 센서의 제조방법을 제공한다.
- [0043] 상기 다공성 산화아연 나노시트는
- [0044] 아연 전구체와 질소화합물을 1용액에 혼합하고 균일하게 교반하여 혼합물을 제조하는 제1단계;
- [0045] 상기 혼합물을 테플론 용기에 옮겨 수열합성법을 통해 열처리하여 산화아연 파우더를 수득하는 제2단계;
- [0046] 상기 산화아연 파우더를 진공 건조시키는 제3단계; 및
- [0047] 상기 제3단계에서 건조된 산화아연파우더를 어닐링(Annealing)하여 다공성 산화아연 나노시트를 얻는 제4단계;를 포함하는 방법으로 제조될 수 있다.
- [0048] 상기 다공성 산화아연 나노시트는 두께가 80 nm 이하, 넓이가 0.1 ~ 10 μm 인 것이 바람직하고, 두께가 1 ~ 80 nm, 넓이가 0.1 ~ 10 μm 인 것이 더욱 바람직하다.
- [0049] 상기 가스 센서는 기판에 전극과 센싱층을 형성하여 제조할 수 있고, 또는 기판에 전극을 배치한 후 전극 상에 센싱층을 형성하여 제조할 수도 있으며, 기판에 센싱층을 형성한 후, 센싱층 상에 전극을 배치하여 형성할 수도 있다.
- [0050] 상기 센싱층은 기판 또는 전극 상에 화학기상증착법(CVD), 원자층 증착법(atomic layer deposition), 스퍼터링법(sputtering), 레이저어블레이션법(laser ablation), 플라즈마증착법, 열화학 기상증착법 및 스프레이 코팅으로 이루어진 군에서 선택되는 방법으로 증착되어 형성될 수 있다.
- [0052] 또한, 본 발명은
- [0053] NO₂ 가스가 포함된 것으로 의심되는 시료를, 상기 본 발명에 따른 가스 센서에 접촉시켜 반응시키는 단계; 및
- [0054] 상기 반응시킨 반응물의 형광 신호, 흡광 및 광학적 변화로 이루어진 군으로부터 선택된 하나 이상의 지표를 측정하는 단계;를 포함하는, NO₂ 가스의 검출 방법을 제공한다.
- [0055] 상기 검출 방법에 있어서, 상기 지표는 시료 내 NO₂ 존재시 다공성 산화아연 나노시트와 NO₂의 결합을 통해 얻어진 이합체에 의해 발생될 수 있다.
- [0057] 이하, 실시예를 통하여 본 발명을 보다 상세히 설명하기로 한다.
- [0058] 이들 실시예는 오로지 본 발명을 보다 구체적으로 설명하기 위한 것으로, 본 발명의 요지에 따라 본 발명의 범위가 이들 실시예에 의해 제한되지 않는다는 것은 당 업계에서 통상의 지식을 가진 자에게 있어서 자명한 것이다.

[0060] <실시예 1> 다공성 산화아연 나노시트의 제조

[0061] 0.02 mol $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 를 에탄올-물(1:2, 볼륨비) 혼합물에 넣고 30분 동안 교반하였다. 그 후 우레아(urea)를 180 mL를 넣어준 후 30분 동안 교반해 주었다. 교반된 용액을 오토클레이브가 연결된 250 mL 테프론 홀더에 넣고 180℃에서 24시간 동안 수열합성을 진행하였다. 그 후 상온상태까지 기다렸다가 꺼내주었다. 탈 이온수와 에탄올을 1:1로 섞어서 원심분리를 통해 3-4회 세척하였다. 그 후 80℃ 에서 6시간 동안 진공상태에서 첫 번째 열처리를 하였고, 아르곤 분위기에서 550℃에서 4시간 동안 두 번째 열처리를 진행하였다. 그 후 다공성 산화아연 나노시트를 얻었다.

[0063] <실시예 2> 가스 센서의 제조

[0064] 알루미늄(Al_2O_3) 기판 위에 Au electrode를 DC 스퍼터를 이용하여 300 nm 증착시켰다. 그 후, 다공성 산화아연 나노시트를 스프레이 코팅법을 이용하여 센서 소자를 제작하였다.

[0066] <실험예 1> 형태학적 분석

[0067] <실시예 1>에서 제조한 다공성 산화아연 나노시트에 대해, 주사 전자 현미경(Scanning electron microscopy; SEM) (Hitachi S-4200, Hitachi) 및 투과 전자 현미경(transmission electron microscopy; TEM) (Talos F200X, FEI)를 이용하여 형태학적 분석을 수행하였다.

[0068] 그 결과, 도 1은 다공성 산화아연 나노시트의 다양한 배율의 SEM 분석 결과를 나타내는 것이다. 다공성 산화아연 나노시트의 넓이는 수 micrometer를 나타냈고, 기공 사이즈는 60 nm 이하, 두께는 80 nm 이하를 확인하였다.

[0069] 도 2의 a-c는 다공성 산화아연 나노시트의 TEM 분석 결과를 나타내는 것이다. 다공성 산화아연의 결정은 ZnO (002) 방향의 면 간 거리 0.26 nm를 확인하였고, 결정질의 형태를 확인하였다.

[0071] <실험예 2> 화학 성분 분석

[0072] <실시예 1>에서 제조한 다공성 산화아연 나노시트에 대해, 에너지 분산 X선 분광분석기(energy-dispersive X-ray spectroscopy; EDX)를 이용하여 화학 성분 분석을 수행하였다.

[0073] 도 2의 d-h는 다공성 산화아연 나노시트의 EDX 분석 결과를 나타내는 것이다. EDX 분석을 통하여 Zn와 O로 이루어져 있고, 이들 Zn와 O는 각각 50.04 at%, 49.06 at% 구성되어 있는 것을 확인하였다.

[0075] <실험예 3> 구조 분석

[0076] <실시예 1>에서 제조한 다공성 산화아연 나노시트에 대해, X선 회절법(X-ray diffraction; XRD), X선 광전자 분광법(X-ray photoelectron spectroscopy; XPS), 광발광 분광법(Photoluminescence; PL), 및 브루нау어-에멧-텔러 분석법(Brunauer-Emmett-Teller analysis; BET)을 이용하여 구조를 분석하였다.

[0077] 도 3은 산화아연 나노입자와 다공성 산화아연 나노시트의 XRD 분석 결과를 나타낸 것이다. 두 재료 모두 JCPDS card No. 36-1451를 비교하여 wurtzite 산화아연 구조를 갖고 있는 것을 확인할 수 있었다. 산화아연 (100), (002), (101) 피크를 비교해보면 다공성 산화아연 나노시트의 피크들이 좀 더 넓은 것을 확인할 수 있었다. 이는 산화아연 나노입자보다 결정 크기가 작기 때문이다.

[0078] 도 4의 a-d는 산화아연 나노입자와 다공성 산화아연 나노시트의 XPS 분석 결과를 나타낸 것이다. 두 재료 모두 Zn와 O로 이루어진 것을 확인할 수 있었다. 01s 피크를 각각 530, 531, 532 eV로 디콘볼팅(deconvolute) 해본 결과, 산화아연 나노입자보다 다공성 산화아연 나노시트의 531, 532 eV 피크가 증가한 것을 확인할 수 있었다. 이는 산소 공극(oxygen vacancy), 화학적으로 흡착된 산소(chemisorbed oxygen) 등 표면 결함의 증가의 증거가 될 수 있었다.

[0079] 도 4의 e-f는 산화아연 나노입자와 다공성 산화아연 나노시트의 PL 분석 결과를 나타낸 것이다. 다공성 산화아연 나노시트는 산화아연 나노입자 보다 590-650 nm의 피크가 커진 것을 확인할 수 있었다. 이는 XPS 결과와 마찬가지로

가지로, 표면 결함의 원인이다.

[0080] 도 5는 산화아연 나노입자와 다공성 산화아연 나노시트의 비표면적 분석을 위하여 BET 분석 결과를 나타낸 것이다. 산화아연 나노입자의 비표면적(BET surface area)는 $3.9122 \text{ m}^2/\text{g}$, 다공성 산화아연 나노시트의 비표면적은 $11.5109 \text{ m}^2/\text{g}$ 로 측정되었다. 다공성 산화아연 나노시트가 산화아연 나노입자보다 더 넓은 비표면적을 갖고 있는 것을 확인하였다.

[0082] <실험예 4> 가스 감지 특성 분석

[0083] <실시예 2>에서 제조한 가스센서에 대해, 다양한 온도, 다양한 가스 농도, 다양한 다습 환경에서 NO_2 가스 감지 특성을 분석하였다. 가스 농도는 질량 유량 컨트롤러를 사용하여 조절되었다. 배경 가스로 공기가 사용되었다. 공기 중(R_a) 및 대상 가스(R_g)가 있을 때 센서의 저항이 측정되었으며 센서 응답은 NO_2 가스의 경우 $R = R_g/R_a$, 가스를 감소시키는 경우 $R = R_a/R_g$ 로 정의되었다. 또한, 반응 시간은 센서가 NO_2 가스가 있을 때 최종 저항의 90%에 도달하는 데 필요한 시간으로 계산되었다.

[0084] 도 6은 $50\text{--}250^\circ\text{C}$ 에서의 다공성 산화아연 나노시트의 NO_2 2 ppm에 대한 센싱 측정 결과를 나타낸 것이다. 다공성 산화아연 나노시트는 n-type 반도체 물질로서 산화성 가스인 NO_2 가스에 반응하여 저항이 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 도 6의 f에서는 다공성 산화아연 나노시트의 온도에 따른 NO_2 2 ppm에 대한 가스 감응도를 계산하여 나타낸 것이다. 다공성 산화아연 나노시트는 200°C 에서 높은 가스 감응도를 나타내는 것을 확인하였다.

[0085] 도 7은 200°C 에서 다공성 산화아연 나노시트의 다양한 NO_2 가스 농도에 대하여 가스 센싱 측정 결과를 나타낸 것이다. 0.5, 2, 6, 10 ppm에 대하여 2.93, 11.57, 17.52, 74.68의 높은 NO_2 가스 감응도를 나타내는 것을 확인하였다.

[0086] 도 8, 9, 10에서는 다공성 산화아연 나노시트의 가스 센싱 안정성에 대한 측정 결과를 나타낸 것이다.

[0087] 도 8은 200°C 에서 다공성 산화아연 나노시트의 NO_2 저농도(0.5 ppm) 및 고농도(10 ppm)에 대한 7회 반복 센싱 측정 결과를 나타낸 것이다. 두 측정결과 모두 오차범위 5% 이내로 매우 안정적으로 측정되는 것을 확인하였다.

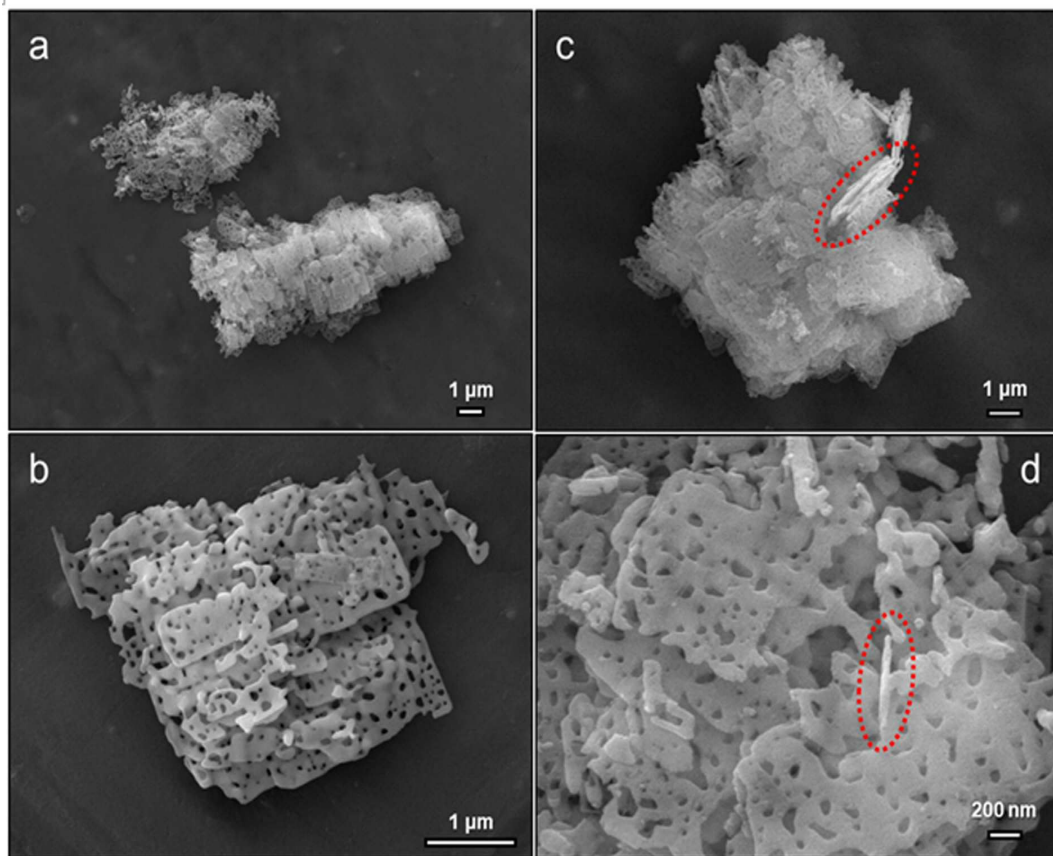
[0088] 도 9는 다공성 산화아연 나노시트의 장기 안정성 센싱 측정 결과를 나타낸 것이다. 실험실 환경(25°C , 60 RH%)에서 3개월간 보관해두었다가 센싱 측정을 진행하였다. 200°C 에서 NO_2 2 ppm에 대하여 새로 제작한 센서 소자는 11.57의 가스 감응도를 나타냈고, 3개월간 보관된 샘플은 8.52의 가스 감응도를 나타냈다. 이는 3개월이 지나도 8.52의 매우 높은 감응도를 나타내어, 장기 안정성이 탁월함을 알 수 있었다.

[0089] 도 10은 다공성 산화아연 나노시트의 다습환경 안정성 센싱 측정 결과를 나타낸 것이다. 상대습도 0, 30, 60 RH% 에서 측정하였다. 200°C 에서 NO_2 2 ppm에 대하여 0, 30, 60 RH%에서의 가스 감응도는 각각 11.57, 6.41, 4.56의 가스 감응도를 나타냈다. 이는 다습환경에서도 충분한 가스 감응도를 나타냄을 알 수 있었다.

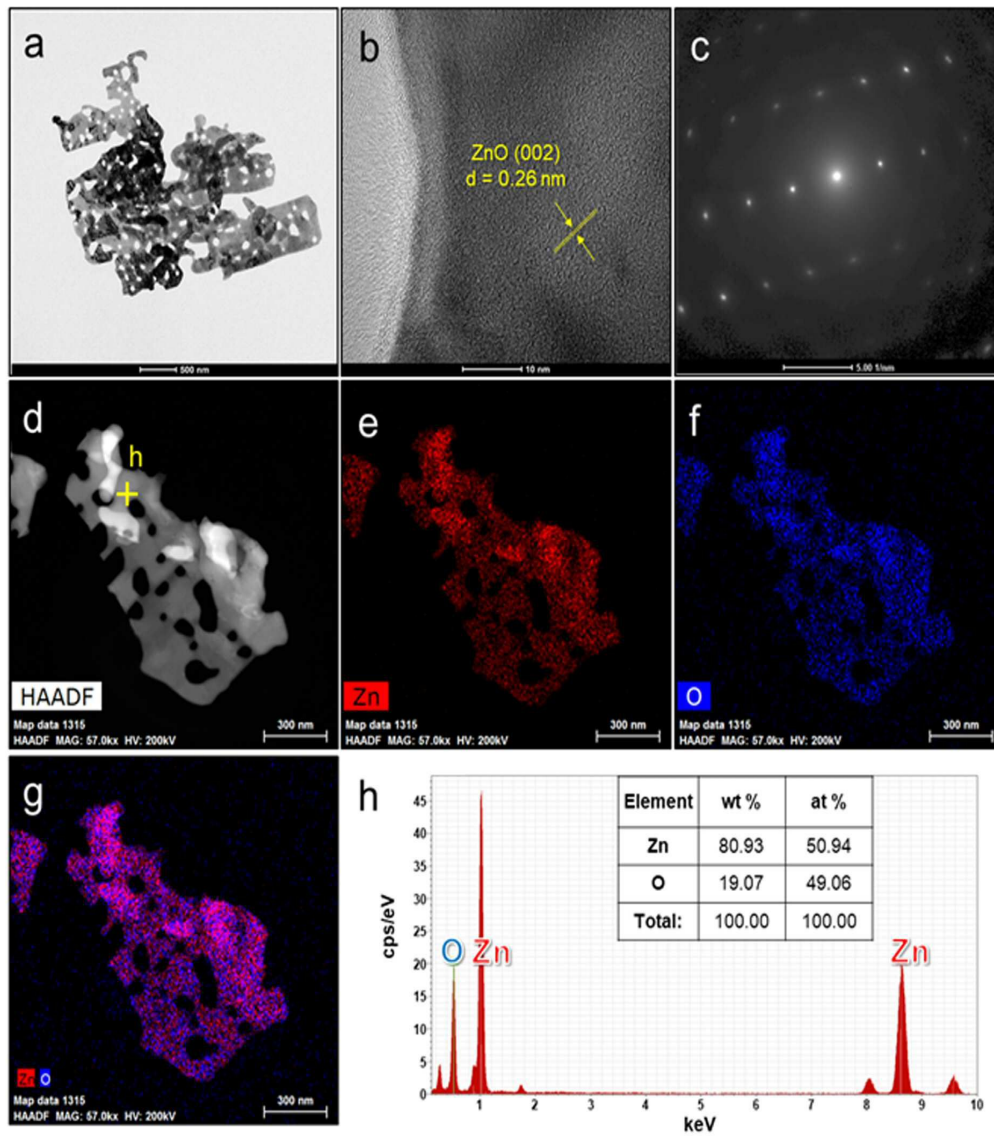
[0090] 도 11은 다공성 산화아연 나노시트의 선택적 가스 감응 센싱 측정 결과를 나타낸 것이다. 200°C 에서 NO_2 , NH_3 , $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$, C_7H_8 2 ppm 가스 센싱을 진행하였다. 가스 감응도는 각각 11.57, 1.24, 1.09, 1.05를 나타냈다. 이를 통해, 다공성 산화아연 나노시트가 NO_2 가스에만 안정적으로 선택 감응하는 것을 알 수 있었다.

도면

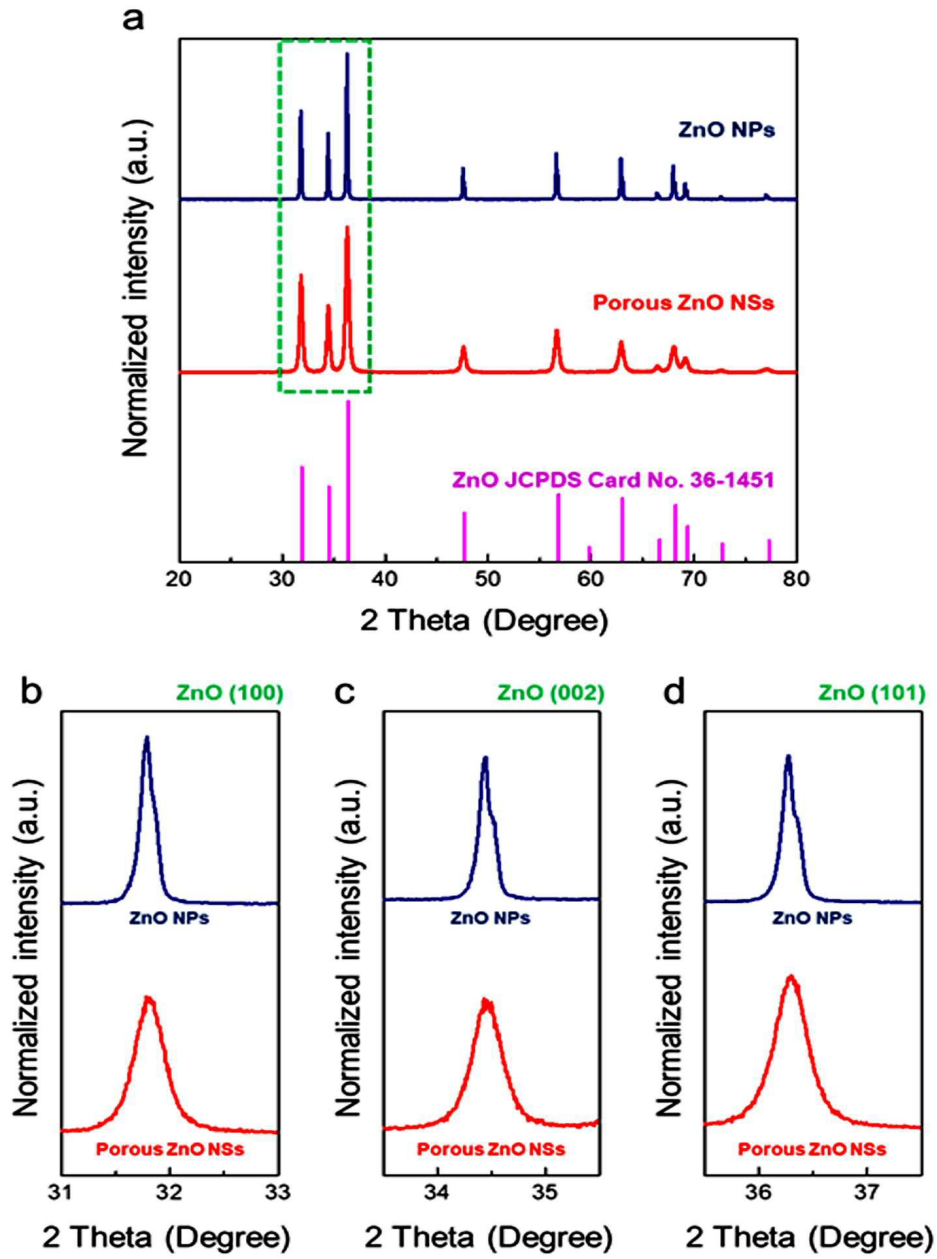
도면1



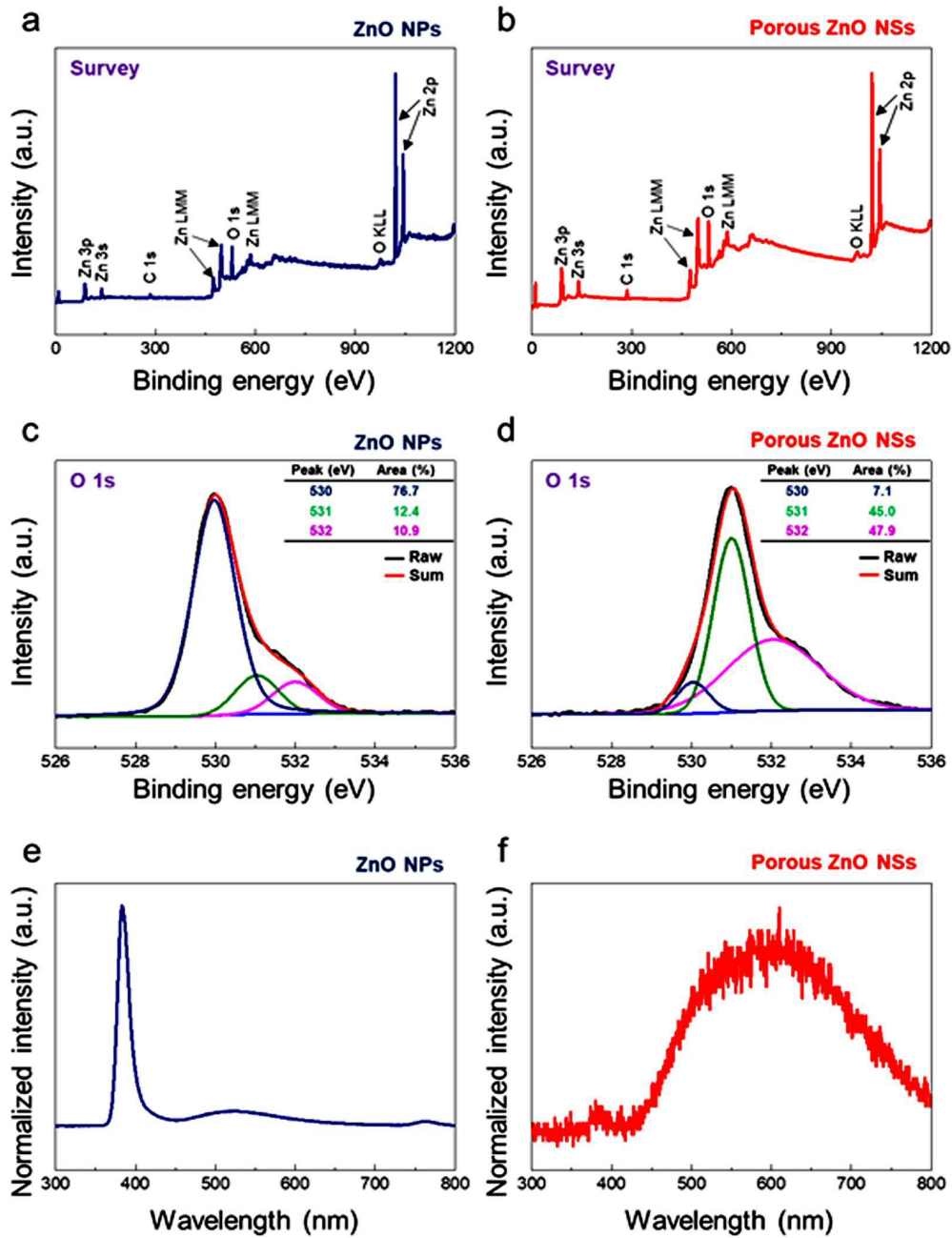
도면2



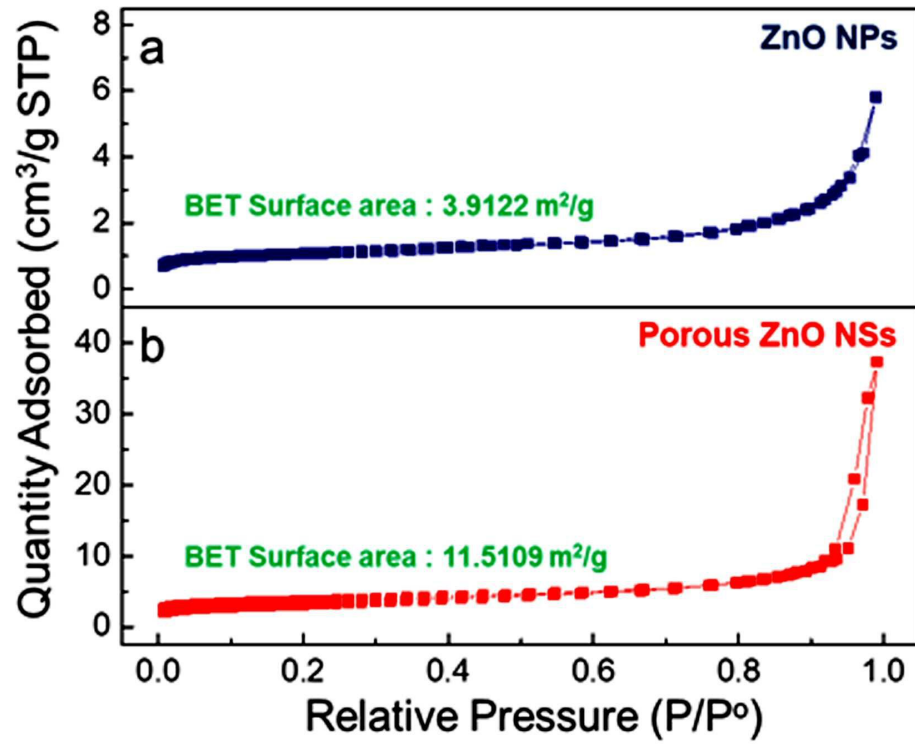
도면3



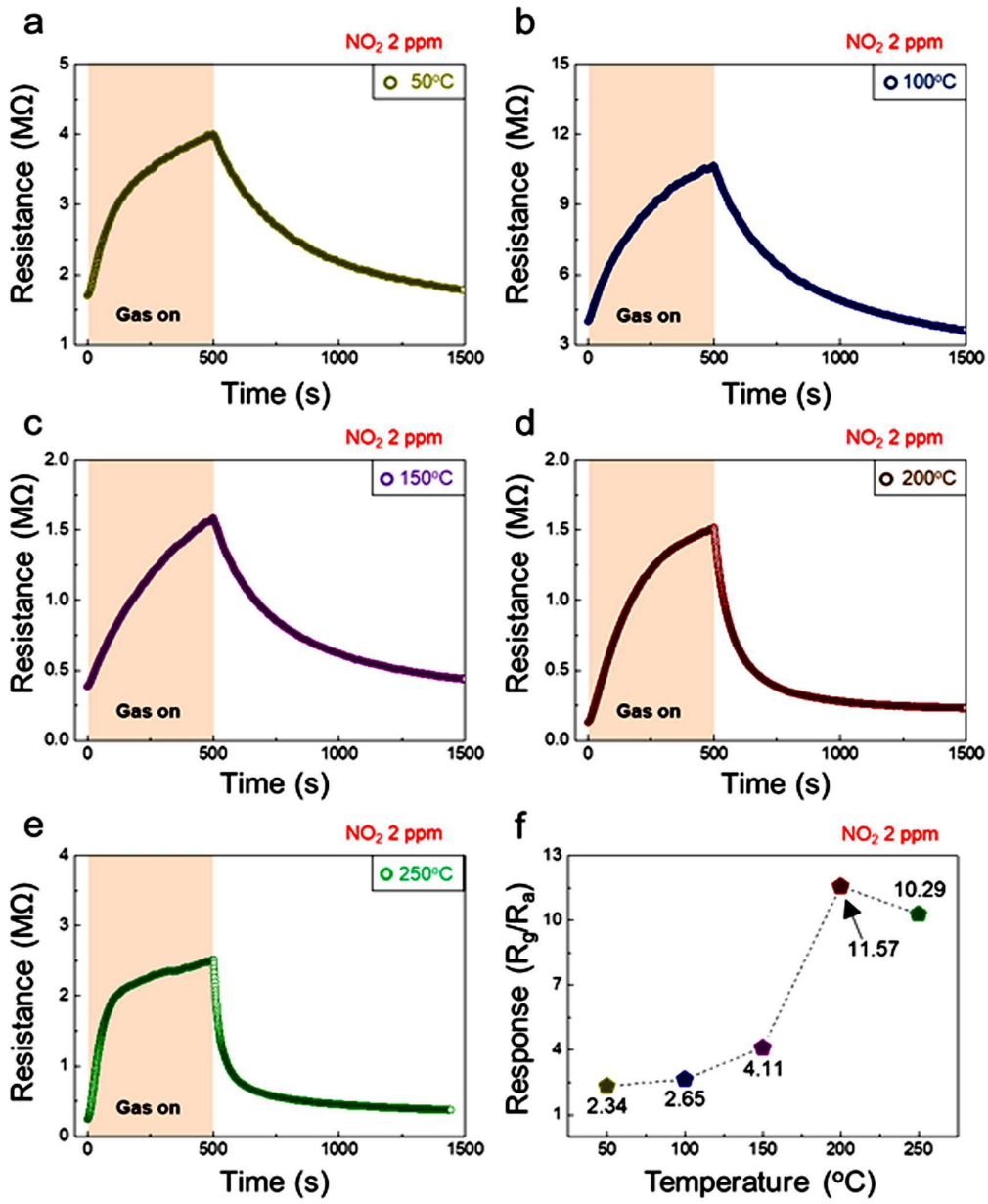
도면4



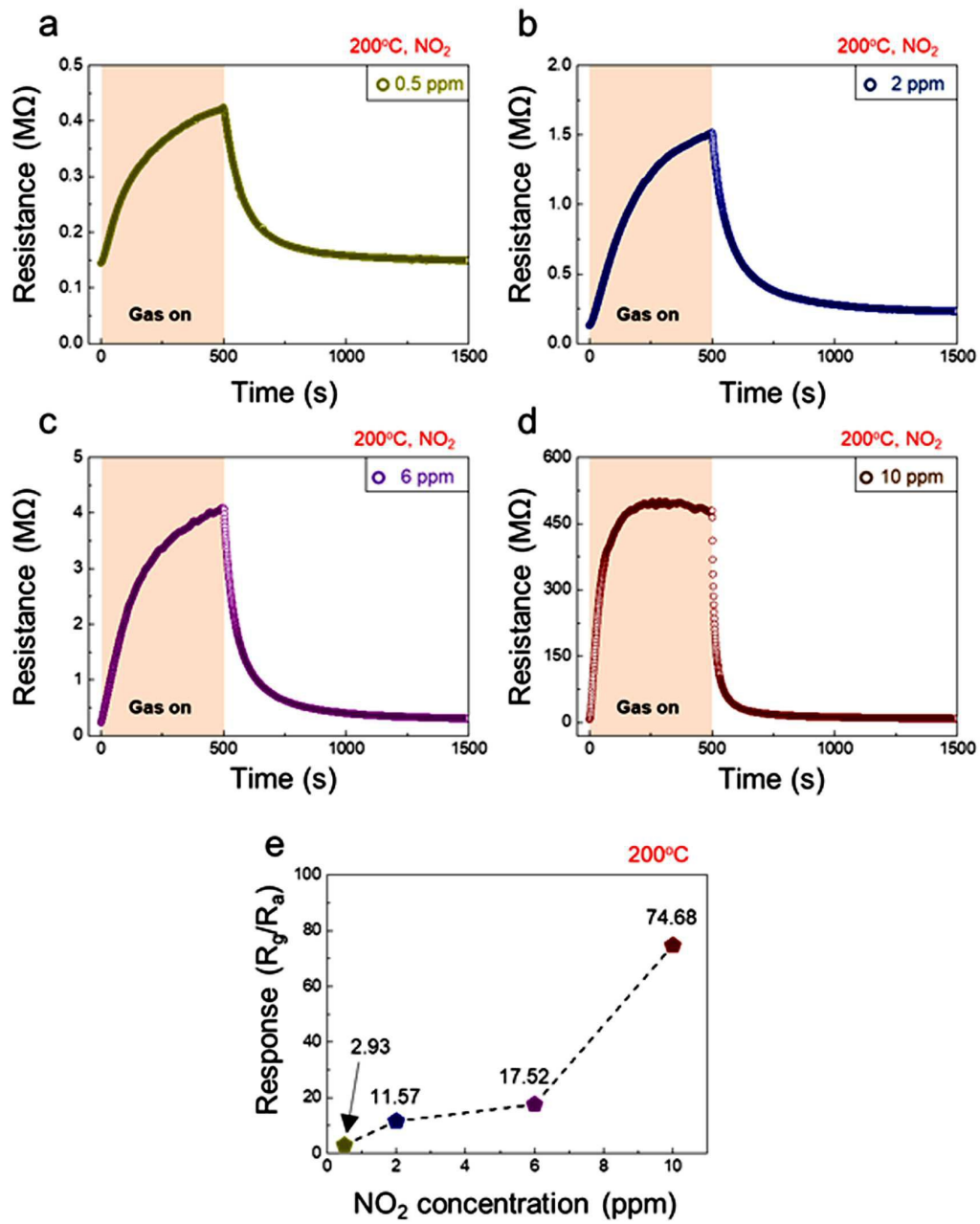
도면5



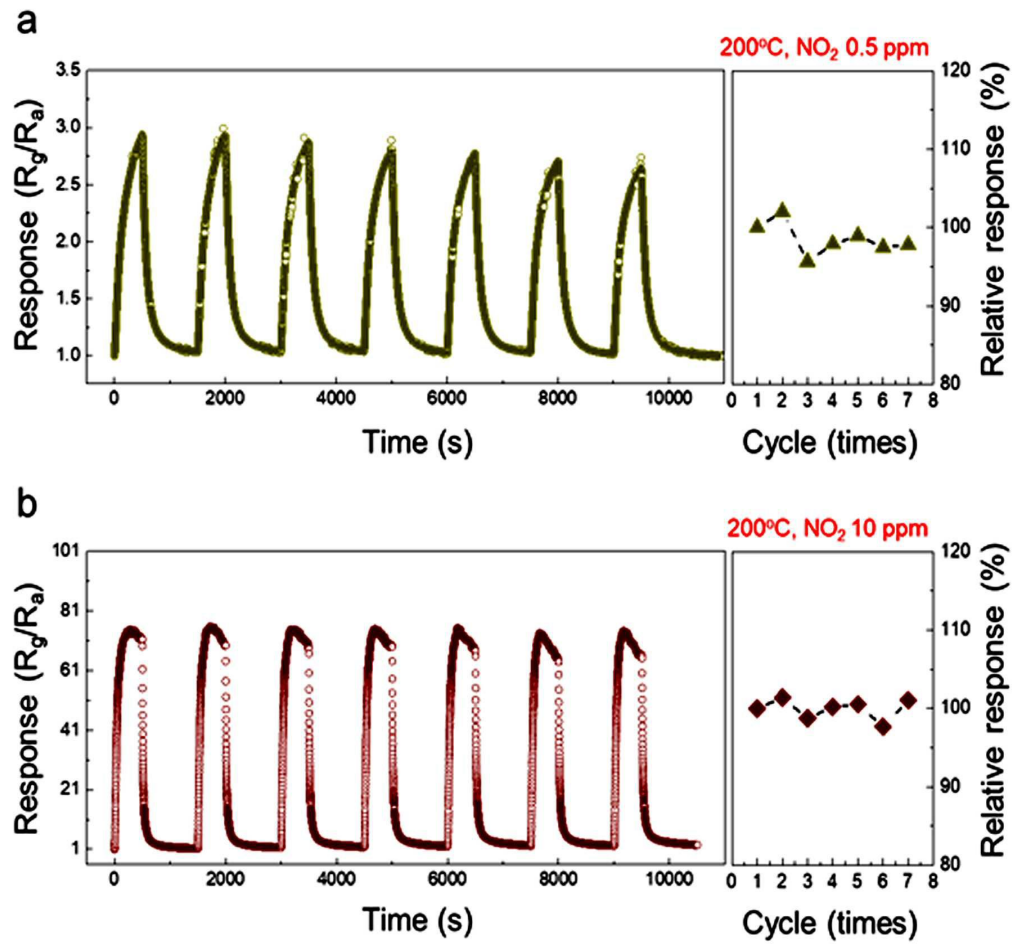
도면6



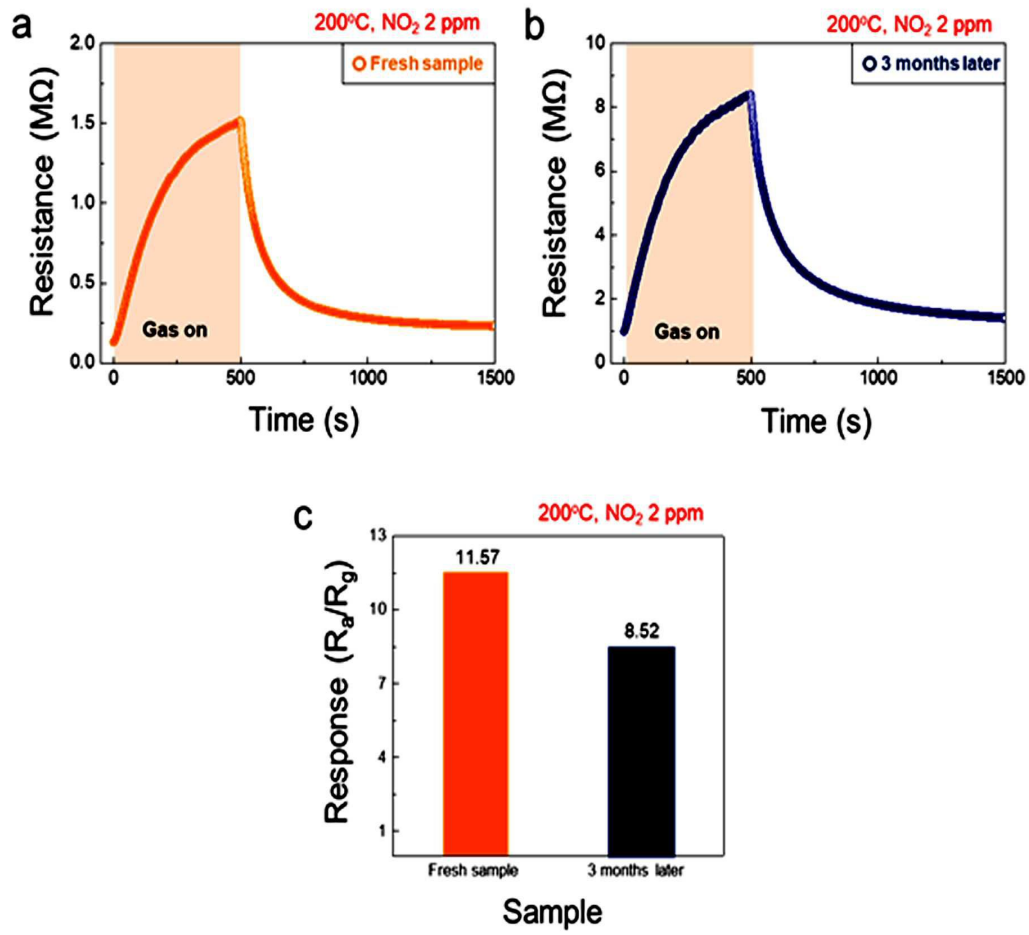
도면7



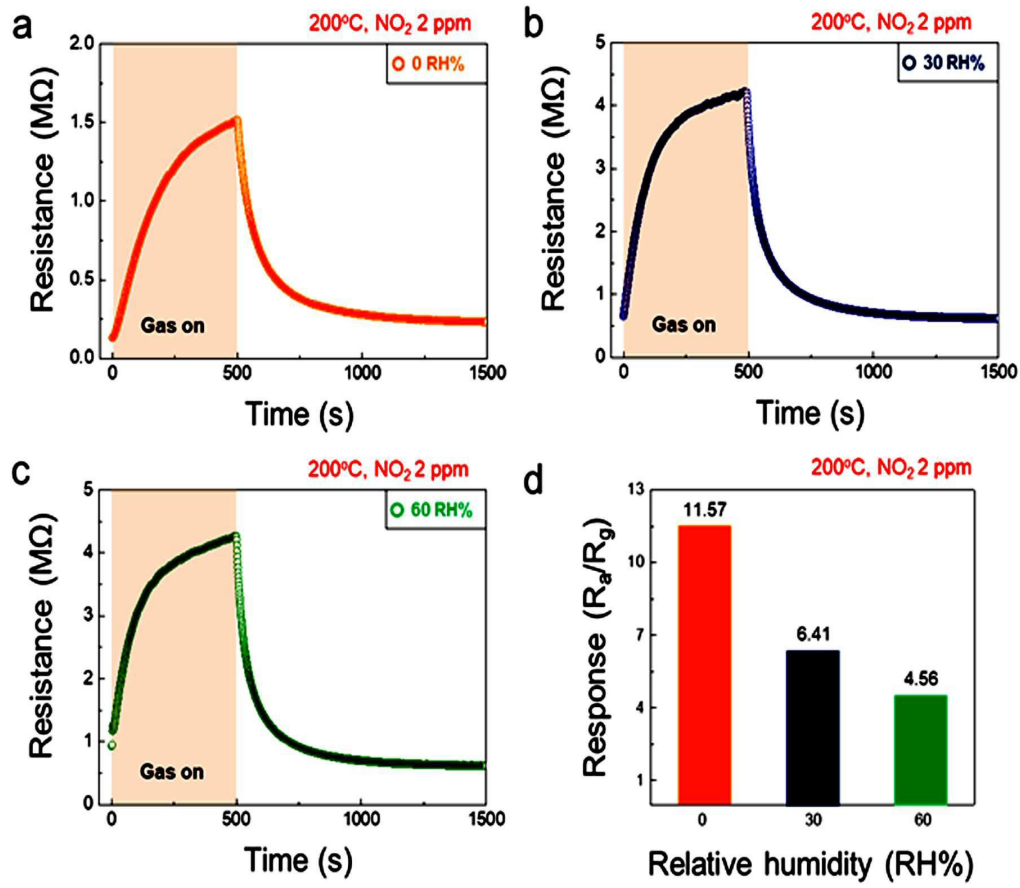
도면8



도면9



도면10



도면11

