



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2023-0168890
(43) 공개일자 2023년12월15일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 31/109 (2006.01) H01L 31/18 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H01L 31/109 (2013.01)
H01L 31/18 (2021.01)
(21) 출원번호 10-2022-0069743
(22) 출원일자 2022년06월08일
심사청구일자 2022년06월08일

(71) 출원인
경희대학교 산학협력단
경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732 (서천동, 경희대학교 국제캠퍼스내)
(72) 발명자
강성준
서울특별시 서초구 반포대로 275, 115동 2601호 (반포동, 래미안퍼스티지아파트)
정준형
경기도 수원시 영통구 삼성로 11, 209동 802호 (신동, 래미안 영통마크원 2단지)
(74) 대리인
김중선, 이형석

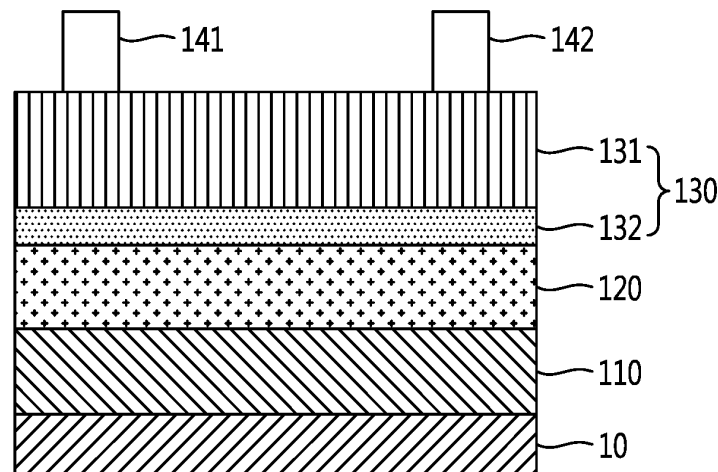
전체 청구항 수 : 총 10 항

(54) 발명의 명칭 가시광 감지를 위한 포토 트랜지스터 및 그의 제조 방법

(57) 요약

본 발명은 가시광 감지를 위한 포토 트랜지스터 및 그의 제조 방법에 관한 것으로 본 발명의 일 실시예에 따른 가시광 감지를 위한 포토 트랜지스터는 베이스 기판 상에 배치된 게이트 전극, 상기 게이트 전극 상에 배치된 게이트 절연층, 상기 게이트 절연층 상에 배치된 산화물 반도체층 및 상기 산화물 반도체층 상에 배치된 소스 전극 및 드레인 전극을 포함하고, 상기 산화물 반도체층은 이중의 산화물의 접합에 의해 가시광선 파장을 검출할 수 있다.

대표도 - 도1



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1345350438
과제번호	2020R1A6A1A03048004
부처명	교육부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	이공학학술연구기반구축
연구과제명	미래형 친환경 디스플레이 기술 연구
기 여 율	1/2
과제수행기관명	경희대학교(국제캠퍼스)
연구기간	2020.06.01 ~ 2029.05.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711164928
과제번호	2021R1A2C1009442
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	개인기초연구(과기정통부)
연구과제명	고정밀 전자구조 제어를 통한 저에너지 광 감지용 고투명 광센서 연구
기 여 율	1/2
과제수행기관명	경희대학교(국제캠퍼스)
연구기간	2022.03.01 ~ 2023.02.28

명세서

청구범위

청구항 1

가시광 감지를 위한 포토 트랜지스터에 있어서,
 베이스 기관 상에 배치된 게이트 전극;
 상기 게이트 전극 상에 배치된 게이트 절연층;
 상기 게이트 절연층 상에 배치된 산화물 반도체층; 및
 상기 산화물 반도체층 상에 배치된 소스 전극 및 드레인 전극을 포함하고,
 상기 산화물 반도체층은 이중의 산화물의 접합에 의해 가시광선 파장을 검출하는 것인, 포토 트랜지스터.

청구항 2

제1항에 있어서,
 상기 산화물 반도체층은
 가시광선을 흡수하는 제1산화물층; 및
 상기 제1 산화물층의 하부에 형성되고, 상기 제1산화물층의 광 흡수에 따른 산소결손 농도를 증가시키는 제2산화물층을 포함하되,
 상기 제1산화물층 및 상기 제2산화물층은 서로 다른 물질로 구비되는 것인, 포토 트랜지스터.

청구항 3

제2항에 있어서,
 상기 제1산화물층은 산소 결손을 포함한 산화아연을 포함하고,
 상기 제2산화물층은 산화알루미늄을 포함하는 것인, 포토 트랜지스터.

청구항 4

제2항에 있어서,
 상기 산화물 반도체층은
 상기 제2산화물층에 의해 상기 제1산화물층 내 산소결손의 양이 증가함에 따라 가시광선에 의한 광 전류의 생성이 증가하는 것인, 포토 트랜지스터.

청구항 5

제4항에 있어서,
 상기 제1산화물층에서 발생된 광 여기된 정공은 상기 제2산화물층에 의한 가전자대 오프셋에 의해 분리되고, 상기 제1산화물층과 상기 제2산화물층 사이의 계면에 포획되어 광 전류의 생성이 증가하는 것인, 포토 레지스터.

청구항 6

가시광 감지를 위한 포토 트랜지스터 제조 방법에 있어서,
 베이스 기판 상에 게이트 전극을 형성하는 단계;
 상기 게이트 전극 상에 게이트 절연층을 형성하는 단계;
 상기 게이트 절연층 상에 산화물 반도체층을 형성하는 단계; 및
 상기 산화물 반도체층 상에 소스 전극 및 드레인 전극을 형성하는 단계를 포함하고,
 상기 산화물 반도체층은 이중의 산화물의 집합에 의해 가시광선 파장을 검출하는 것인, 포토 트랜지스터 제조 방법.

청구항 7

제6항에 있어서,
 상기 산화물 반도체층을 형성하는 단계는
 가시광선을 흡수하는 제1산화물층을 형성하는 단계; 및
 상기 제1 산화물층의 하부에 형성되고, 상기 제1산화물층의 광 흡수에 따른 산소결손 농도를 증가시키는 제2산화물층을 형성하는 단계를 포함하되,
 상기 제1산화물층 및 상기 제2산화물층은 서로 다른 물질로 구비되는 것인, 포토 트랜지스터 제조 방법.

청구항 8

제7항에 있어서,
 상기 제1산화물층은 산소 결손을 포함한 산화아연을 포함하고,
 상기 제2산화물층은 산화알루미늄을 포함하는 것인, 포토 트랜지스터 제조 방법.

청구항 9

제7항에 있어서,
 상기 산화물 반도체층은
 상기 제2산화물층에 의해 상기 제1산화물층 내 산소결손의 양이 증가함에 따라 가시광선에 의한 광 전류의 생성이 증가하는 것인, 포토 트랜지스터 제조 방법.

청구항 10

제9항에 있어서,
 상기 제1산화물층에서 발생된 광 여기된 정공은 상기 제2산화물층에 의한 가전자대 오프셋에 의해 분리되고, 상기 제1산화물층과 상기 제2산화물층 사이의 계면에 포획되어 광 전류의 생성이 증가하는 것인, 포토 레지스터 제조 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 가시광 감지를 위한 포토 트랜지스터 및 그의 제조 방법에 관한 것이다.

배경 기술

- [0002] 산화물 반도체는 가시광선에 대해 높은 투명도, 낮은 누설 전류 및 높은 전계 효과 등으로 인해 박막 트랜지스터 분야에서 비정질 실리콘의 대안으로 광범하게 연구 개발되어 왔다. 또한 산화물 반도체는 넓은 밴드갭을 갖는 특성으로 높은 투명도를 요구하는 전자기기의 개발에 활용되었다.
- [0003] 이와 동시에 산화물 반도체를 이용한 자외선 광 트랜지스터 개발에 대한 많은 연구가 진행된 바 있다. 그러나 넓은 밴드갭을 갖는 산화물 반도체를 사용하여 가시광선 파장을 검출하는 것은 원자가 전자를 전도대로 여기시키기에 가시광선의 광자 에너지가 충분하지 않기 때문에 어려운 실정이다.
- [0004] 따라서 양자점, 유기물, 금속 나노 입자등의 좁은 밴드갭 물질로 헤테로 구조를 형성하여 산화물 반도체 기반의 가시광 광트랜지스터를 개발하기 위한 연구가 진행되었으나, 산화물 반도체와 나노 물질 사이의 계면 트랩 상태를 제거하는 것은 어려울 뿐만 아니라 해당 소자의 광전자적 특성을 저하시킬 수 있는 문제점이 존재한다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0005] (특허문헌 0001) 대한민국 등록특허공보 제10-1711870호(2017년2월24일 등록)

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0006] 본 발명은 밴드갭이 큰 산화물 반도체에 존재하는 산소결손을 금속 산화물간의 이중접합을 통해 제어할 수 있는 가시광 감지를 위한 포토 트랜지스터 및 그의 제조 방법을 제공하는데 그 목적이 있다.
- [0007] 다른 측면에서 본 발명은 산화물 층에서 광 여기된 정공을 다른 산화물층에서 분리하여 가시광에 의한 광전류량을 증가시킬 수 있는 가시광 감지를 위한 포토 트랜지스터 및 그의 제조 방법을 제공하는데 그 목적이 있다.

과제의 해결 수단

- [0008] 상기 기술적 과제를 해결하기 위한 본 발명의 일 실시예에 따른 가시광 감지를 위한 포토 트랜지스터는 베이스 기관 상에 배치된 게이트 전극, 상기 게이트 전극 상에 배치된 게이트 절연층, 상기 게이트 절연층 상에 배치된 산화물 반도체층 및 상기 산화물 반도체층 상에 배치된 소스 전극 및 드레인 전극을 포함하고, 상기 산화물 반도체층은 이중의 산화물의 접합에 의해 가시광선 파장을 검출할 수 있다.
- [0009] 또한, 상기 산화물 반도체층은 가시광선을 흡수하는 제1산화물층 및 상기 제1산화물층의 하부에 형성되고, 상기 제1산화물층의 광 흡수에 따른 산소결손 농도를 증가시키는 제2산화물층을 포함하되, 상기 제1산화물층 및 상기 제2산화물층은 서로 다른 물질로 구비될 수 있다.
- [0010] 또한, 상기 제1산화물층은 산소 결손을 포함한 산화아연을 포함하고, 상기 제2산화물층은 산화알루미늄을 포함할 수 있다.
- [0011] 또한, 상기 산화물 반도체층은 상기 제2산화물층에 의해 상기 제1산화물층 내 산소결손의 양이 증가함에 따라 가시광선에 의한 광 전류의 생성이 증가할 수 있다.
- [0012] 또한, 상기 제1산화물층에서 발생된 광 여기된 정공은 상기 제2산화물층에 의한 가전자대 오프셋에 의해 분리되고, 상기 제1산화물층과 상기 제2산화물층 사이의 계면에 포획되어 광 전류의 생성이 증가할 수 있다.
- [0013] 상기 기술적 과제를 해결하기 위한 본 발명의 또 다른 일 실시예에 따른 방법은 베이스 기관 상에 게이트 전극을 형성하는 단계, 상기 게이트 전극 상에 게이트 절연층을 형성하는 단계, 상기 게이트 절연층 상에 산화물 반도체층을 형성하는 단계 및 상기 산화물 반도체층 상에 소스 전극 및 드레인 전극을 형성하는 단계를 포함하고, 상기 산화물 반도체층은 이중의 산화물의 접합에 의해 가시광선 파장을 검출할 수 있다.
- [0014] 또한, 상기 산화물 반도체층을 형성하는 단계는 가시광선을 흡수하는 제1산화물층을 형성하는 단계 및 상기 제1산화물층의 하부에 형성되고, 상기 제1산화물층의 광 흡수에 따른 산소결손 농도를 증가시키는 제2산화물층을

형성하는 단계를 포함하되, 상기 제1산화물층 및 상기 제2산화물층은 서로 다른 물질로 구비될 수 있다.

[0015] 또한, 상기 제1산화물층은 산소 결손을 포함한 산화아연을 포함하고, 상기 제2산화물층은 산화알루미늄을 포함할 수 있다.

[0016] 또한, 상기 산화물 반도체층은 상기 제2산화물층에 의해 상기 제1산화물층 내 산소결손의 양이 증가함에 따라 가시광선에 의한 광 전류의 생성이 증가할 수 있다.

[0017] 또한, 상기 제1산화물층에서 발생된 광 여기된 정공은 상기 제2산화물층에 의한 가전자대 오프셋에 의해 분리되고, 상기 제1산화물층과 상기 제2산화물층 사이의 계면에 포획되어 광 전류의 생성이 증가할 수 있다.

발명의 효과

[0019] 상기한 본 발명의 일 실시예에 따르면 밴드갭이 큰 산화물 반도체에 존재하는 산소결손을 금속 산화물간의 이중 접합을 통해 제어할 수 있는 가시광 감지를 위한 포토 트랜지스터 및 그의 제조 방법을 제공할 수 있다.

[0020] 또한, 산화물 층에서 광 여기된 정공을 다른 산화물층에서 분리하여 가시광에 의한 광전류량을 증기시킬 수 있는 가시광 감지를 위한 포토 트랜지스터 및 그의 제조 방법을 제공할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0021] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 가시광 감지를 위한 포토 트랜지스터의 구성을 도시한 도면이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 가시광 센서를 위한 포토 트랜지스터의 모식도이다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 가시광 감지를 위한 포토 트랜지스터의 제1산화물층 및 제2산화물층의 전달 특성 및 자외선, 가시광선 투과율 스펙트럼을 도시한 도면이다.

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 가시광 감지를 위한 포토 트랜지스터의 개략도 및 전달 곡선을 도시한 도면이다.

도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 가시광 감지를 위한 포토 트랜지스터의 산화아연 및 이중접합층의 O1s 스펙트럼을 도시한 도면이다.

도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 가시광 감지를 위한 포토 트랜지스터의 산화아연과 이중접합층의 Al 2p XPS 스펙트럼을 도시한 도면이다.

도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 가시광 감지를 위한 포토 트랜지스터의 VBM 및 SEC 영역의 스펙트럼 및 에너지 밴드 정렬을 도시한 도면이다.

도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 가시광 감지를 위한 포토 트랜지스터의 광특성을 설명하기 위한 도면이다.

도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 가시광 감지를 위한 포토 트랜지스터의 제조 방법의 흐름을 도시한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0022] 본 발명은 다양한 변경을 가할 수 있고 여러 가지 실시 예를 가질 수 있는 바, 특정 실시 예들을 도면에 예시하고 상세하게 설명하고자 한다.

[0023] 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.

[0024] 본 출원에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시 예를 설명하기 위해 사용된 것으로, 본 발명을 한정하려는 의도가 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 출원에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 명세서상에 기재된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.

[0025] 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 의미를 가지고 있다. 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 것과 같은 용어들은 관련 기술의 문맥상 가지는 의미와 일치하는 의미를 가진 것으로 해석되어야 하며, 본 출원에서 명백하게 정의하지 않는 한, 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미로 해석되지 않는다.

- [0026] 이하, 첨부한 도면들을 참조하여, 본 발명의 바람직한 실시 예를 보다 상세하게 설명하고자 한다. 본 발명을 설명함에 있어 전체적인 이해를 용이하게 하기 위하여 도면상의 동일한 구성요소에 대해서는 동일한 참조부호를 사용하고 동일한 구성요소에 대해서 중복된 설명은 생략한다.
- [0027] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 가시광 감지를 위한 포토 트랜지스터의 구성을 도시한 도면이고, 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 가시광 센서를 위한 포토 트랜지스터의 모식도이다.
- [0028] 도 1 및 도 2를 참조하면, 포토 트랜지스터(100)는 베이스 기판(10)상에 배치된 게이트 전극(110), 게이트 전극(110) 상에 배치된 게이트 절연층(120), 게이트 절연층(120) 상에 배치된 산화물 반도체층(130) 및 산화물 반도체층(130) 상에 배치된 소스 전극(141) 및 드레인 전극(142)을 포함할 수 있다. 본 발명의 베이스 기판(10), 게이트 전극(110), 게이트 절연층(120) 및 소스 전극(141)과 드레인 전극(142)의 제조 방법과 적층 구조는 본 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자에게 알려진 것으로 적용이 가능 한 바 이에 대한 자세한 설명은 생략하고 본 발명의 주요 기술적 특징을 중심으로 설명하도록 한다.
- [0029] 산화물 반도체층(130)은 이종의 산화물의 접합에 의해 가시광선 파장을 검출할 수 있다. 산화물 반도체층(130)은 가시광선을 흡수하는 제1산화물층(131) 및 상기 제1 산화물층(131)의 하부에 형성되고, 제1산화물층(131)의 광 흡수에 따른 산소결손 농도를 증가시키는 제2산화물층(132)을 포함할 수 있다.
- [0030] 제1산화물층(131) 및 제2산화물층(132)은 서로 다른 물질로 구비될 수 있다. 예시적으로 제1산화물층(131)은 산소 결손을 포함한 산화아연(ZnO)을 포함할 수 있다. 또한 제2산화물층(132)은 산화알루미늄(Al_2O_3)을 포함할 수 있다. 상기 산화아연은 넓고 직접적인 밴드갭(~ 3.3 eV)을 가지는 특성에 의해 UV광을 용이하게 흡수할 수 있는 물질이다. 또한, 산화아연의 고유한 결함 상태인 산소 결손은 산화아연이 N타입 반도체로 작용하게 하는 원인으로 작용한다. 산화아연의 산소 결손은 가시광선 파장을 흡수하고 광 여기된 전자를 생성할 수 있다. 본 발명은 이러한 점에 착안하여 산화아연의 결함 상태 즉 산소 결손을 제어하여 가시광선 파장을 검출한다. 또한, 광 여기된 전자 정공 쌍을 분리하여 고성능의 포토 트랜지스터를 제공한다.
- [0031] 제1산화물층(131)의 산소 결손에 의한 광 전류 생성을 증가시키기 위해 제1산화물층 아래에 제2산화물층(132)이 형성될 수 있다. 제1산화물층(131)의 산화아연과 제2산화물층(132)의 산화알루미늄의 이종 접합에 의해 산화물 반도체층(130)이 이루어질 수 있으며, 제2산화물층(132)에 포함된 산화알루미늄이 제1산화물층의 산소 결손의 농도를 증가시켜 광 전류 생성이 증가될 수 있다. 산화물 반도체층(130)은 제2산화물층(132)에 의해 제1산화물층(131) 내 산소결손의 양이 증가함에 따라 가시광선에 의한 광 전류의 생성이 증가할 수 있다. 구체적으로 제1산화물층(131)에서 발생된 광 여기된 정공은 제2산화물층(132)에 의한 가전자대 오프셋에 의해 분리되고, 제1산화물층(131)과 제2산화물층(132) 사이의 계면에 포획되어 광 전류의 생성이 증가할 수 있다.
- [0032] 제1산화물층(131)과 제2산화물층(132)의 형성 과정에 대해 살펴보면, 제1산화물층(131)을 형성하기 위한 산화아연 용액은 0.08319g의 ZnO 분말(Sigma Aldrich)을 12mL 수산화암모늄(Alfa Aesar)에 용해하고, 실온에서 30분 동안 교반한 후, 용액의 용해도를 증가시키기 위해 5시간 동안 냉동보관 한다. 제2산화물층(132)을 형성하기 위한 산화알루미늄 용액은 0.3751g의 질산알루미늄 비수화물(Sigma Aldrich)을 10mL의 탈이온수(DI)에 용해시킨 후 50° C에서 1시간 동안 교반하고 1시간 동안 초음파 처리하여 형성할 수 있다.
- [0033] 열 성장된 100nm 두께의 SiO_2 기판 즉, 게이트 절연층(120)을 탈이온수, 아세톤 및 이소프로필 알코올로 초음파 처리하여 15분간 세척하고, 15분간 UV 오존 처리하여 유기 잔류물을 제거함으로써 친수성 기판 표면을 형성한다. 상기 산화알루미늄 용액은 30분 동안 초음파로 교반한 이후 초음파 처리된 산화알루미늄 용액을 4000rpm에서 30초 동안 스핀 코팅한 후, 300° C에서 1시간 동안 어닐링 한다. 또한, 산화아연 용액을 3000rpm에서 30초 동안 스핀 코팅한 후, 300° C에서 1시간 동안 어닐링 한다. 소스 전극(141) 및 드레인 전극(142) 사이에 형성되는 채널 영역의 폭과 너비는 금속 새도우 마스크를 통해 각각 100 μm 및 1000 μm 로 형성되며, 이를 위해 3Å/s의 증착 속도로 열 증착에 의해 100nm 두께의 알루미늄 전극을 증착한다.
- [0034] 이하에서는 앞선 과정을 통해 형성된 포토 트랜지스터(100)의 전기화학적 성능을 검증하는 실험에 대해 설명한다.

[0035] 가시광 감지를 위한 포토 트랜지스터(100)의 전기화학적 특성은 반도체 파라미터 분석기(HP 4145B)와 프로브 스테이션을 이용하여 측정하였다. 광전기적 특성은 $1.2\text{mW}/\text{cm}^2$ 의 조도 밀도로 다양한 파장(λ)(635, 520, 450, 405nm)의 빛을 조사하여 측정되었다. 가시적 UV 분광계(Jasco V-570)는 Al_2O_3 및 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{ZnO}$ 필름의 흡광도 스펙트럼을 얻기 위해 사용되었다. XPS 및 UPS 스펙트럼은 AlK(1486.6 eV) 소스 및 He-I(21.22 eV) 라인 소스가 있는 Nexsa(Thermo Fisher)를 사용하여 약 1×10^{-9} torr의 압력에서 초고진공 챔버에서 측정되었다. UPS 측정 중에 -10V의 샘플 바이어스가 적용되었다. HR-TEM 및 EDS 측정은 장치 구조를 식별하기 위해 JEM-2100F 시스템을 사용하여 수행되었다.

[0036] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 가시광 감지를 위한 포토 트랜지스터의 제1산화물층 및 제2산화물층의 전달 특성 및 자외선, 가시광선 투과율 스펙트럼을 도시한 도면이다.

[0037] 도 3의 (a)는 10V의 일정한 드레인 전압(V_D)으로 게이트 전압 (V_G)을 -30V에서 30V로 스위치하여 조명 없이 측정된 이중접합된 산화물 반도체층(130) 즉, 산화알루미늄/산화아연(이하 이중접합층)의 전달특성을 나타낸다. 두 소자 모두 약 1×10^{-13} A의 안정적인 오프 상태 전류를 보인다. 여기서 이중접합층은 각각의 산화알루미늄 및 산화아연보다 높은 온 상태 드레인 전류(I_D)를 나타내 전기적 특성이 향상됨을 확인할 수 있다.

[0038] 하기의 표 1은 전기적 특성의 값(온-오프 전류비(I_{on}/I_{off}), 문턱전압 이하 스윙(S/S), 포화 영역에서의 전계 효과 이동성(μ_{sat})과 문턱 전압(V_T)을 나타낸다. 단일 산화아연층에 비해 이중접합층의 향상된 전기적 특성은 EDS 스펙트럼에서도 볼 수 있는 산화아연의 Al 도핑 효과로 설명할 수 있다. EDS 스펙트럼에서 산화아연 영역에서 소량의 알루미늄이 관찰되는데, 이는 도핑 효과가 산화아연 증착 과정에서 산화아연으로 알루미늄이 침투하여 발생할 수 있음을 나타낸다. 도 3의 (b)는 유리 기판 위의 산화아연 및 이중접합층의 투과율 스펙트럼을 나타낸다. 산화아연 필름은 넓은 밴드 갭(~ 3.3 eV)으로 인해 가시광선 영역에서 높은 투명도(>90%)를 나타낸다. 투명도는 1나노미터 두께의 제2산화물층(132)을 증착한 후 무시할 수 있을 정도로 투명화 될 수 있다.

[0039]

표 1

[0040]

	μ_{sat} [$\text{cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$]	I_{on}/I_{off}	S/S [V/decade]	V_T [V]
ZnO	1.28	3.68×10^8	0.195	7.63
$\text{Al}_2\text{O}_3/\text{ZnO}$	2.83	4.33×10^8	0.105	6.42

[0041] 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 가시광 감지를 위한 포토 트랜지스터의 개략도 및 전달 곡선을 도시한 도면이다.

[0042] 도 4의 (a)는 10V의 일정한 V_D 에서 다양한 파장의 빛에 노출된 이중접합층의 개략도를 나타낸다. 도 4의 (b) 및 (c)는 각각 다양한 파장($\lambda = 635, 520, 450$ 및 405 nm)의 빛에 노출된 산화아연 및 이중접합층의 전달곡선을 나타낸다. 산화아연의 넓은 밴드갭 특성에 의해 가시광선의 광자 에너지는 산화아연의 원자가 전자를 전도대로 여기 시키기에 충분하지 않다. 그러나 산화아연의 산소 결손과 같은 고유한 결함은 가시광선을 흡수하고 광 여기 전하 캐리어를 생성할 수 있다. 도 4의 (b)에 도시된 바와 같이 V_T 는 520nm 및 450nm 파장의 조명에서 음으로 변화함을 확인할 수 있다. 음의 V_G 에서 광생성(photogenerated)된 정공은 축적되어 산화아연 채널과 게이트 전극(110)의 SiO_2 유전체 사이의 경계면에 포획되며, 포획된 정공은 추가적인 양의 게이트 바이어스를 제공하는 데, 이를 광게이팅 효과라고 한다.

[0043] 또한, 405nm 파장의 빛을 산화아연 광 트랜지스터에 비추면, 고에너지 광자에 의해 생성된 광 여기된 전자의 농도가 높아져 오프 상태 전류가 증가한다. 그러나, 도 4의 (c)에 도시된 바와 같이 V_T 는 이중접합층을 포함하는 광 트랜지스터에서 강한 음의 변화를 보인다. 이는 강한 광게이팅 효과 또는 전하 캐리어에 기여하는 산화알루미늄에 의해 생성된 광 전류에 기인한 것일 수 있다. 제2산화물층(132)의 광전류 생성을 조사하기 위해

Si/SiO₂/Al₂O₃ 층을 제작하고 520nm 및 405nm 파장의 빛에 노출시켜 전달 특성을 측정한 결과, Al₂O₃는 광전류를 생성하지 않았으며, 이는 V_T의 향상된 음의 변화가 제2산화물층(132)에 의한 추가 광전류 때문이 아님을 나타낸다.

- [0044] 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 가시광 감지를 위한 포토 트랜지스터의 산화아연 및 이중접합층의 O1s 스펙트럼을 도시한 도면이다.
- [0045] 도 5를 참조하면, 제2산화물층(132)의 O1s스펙트럼에서 ~531.2 eV의 낮은 결합 에너지를 중심으로 하는 작은 피크는 알루미늄과 산소 결합을 나타내는 반면, ~532.83eV의 더 높은 결합 에너지를 중심으로 하는 큰 피크는 산화규소의 형태로 나타나는 실리콘(Si)과의 산소 결합을 나타낸다. 산소와 알루미늄(O-Al) 결합에 의한 작은 피크는 약 1nm 두께의 Al₂O₃에 의해 발생할 수 있다. 이는 X선이 Al₂O₃ 층을 관통하여 기판에 도달하기에 충분히 얇은 두께일 수 있다. 이러한 X선의 침투는 Al₂O₃의 Si 2p의 XPS 스펙트럼(미도시)을 통해 확인할 수 있다.
- [0046] 도 5에 도시된 바와 같이 산화아연과 이중접합층의 O1s 스펙트럼은 3개의 피크로 구분될 수 있다. 가장 낮은 결합 에너지의 피크와 다음으로 높은 결합 에너지의 피크는 각각 아연 및 산소 결손과 산소 결합에 의해 나타날 수 있다. 가장 높은 결합 에너지의 피크는 표면 오염, 예를 들어 -OH 및 -CO₂에서 발생하는 산소에 할당될 수 있다. 가시광선의 흡수에서 중요한 요소인 산소 결손의 농도는 제2산화물층(132)이 추가됨에 따라, 25%에서 29%로 소폭 증가하였다.
- [0047] 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 가시광 감지를 위한 포토 트랜지스터의 산화아연과 이중접합층의 Al 2p XPS 스펙트럼을 도시한 도면이다.
- [0048] 도 6의 (a)는 산화아연 필름의 XPS 스펙트럼이고, (b)는 이중접합층의 XPS 스펙트럼을 나타낸다. 도 6의 (a)를 참조하면, 약 74.78eV의 결합 에너지에 의한 피크는 알루미늄이 Al₂O₃ 형태로 산소와 결합함에 의해 발생할 수 있다.
- [0049] 도 6의 (b)를 참조하면, 이중접합층의 Al2p XPS 스펙트럼은 약 74.2eV의 결합 에너지에 의한 피크는 ZnO의 스핀 코팅 과정에서 발생하는 ZnO 내 Al의 도핑 효과에 의해 발생할 수 있다. 이러한 결과는 상기 도 2의 (b)에 도시된 바와 같이 이중접합층의 향상된 전기적 특성과 일치한다.
- [0050] 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 가시광 감지를 위한 포토 트랜지스터의 VBM 및 SEC 영역의 스펙트럼 및 에너지 밴드 정렬을 도시한 도면이다.
- [0051] 이중접합층이 적용된 포토 트랜지스터의 향상된 가시광 광반응 특성을 보다 명확하게 하기 위해 UPS 측정을 수행하였다. 도 7의 (a)는 VBM(valance band maximum) 및 SEC(secondary electron cut-off) 영역의 스펙트럼을 나타낸다. 도 7의 (a)를 참조하면, 산화아연과 이중접합층의 VBM 값은 각각 2.29, 2.27, 2.66eV로 측정되었다. 이중접합층의 증착과 함께 산화아연의 VBM이 증가된 것은 산화아연에 대한 알루미늄의 소량의 도핑 효과로 인한 것이다. 또한 산소 결손 상태의 농도 차이를 명확히 하기 위해 페르미 에너지 부근의 UPS 스펙트럼(미도시)을 확인한 결과 증가된 VBM은 XPS 결과와 일치하는 제2산화물층(132)이 추가될 때 산화아연에 더 많은 산소 결손이 생성됨을 나타낸다.
- [0052] 도 7의 (a)를 참조하면, 산화알루미늄과 산화아연의 일함수는 각각 2.74eV와 3.00eV로 측정되었으며, 제2산화물층(132)이 증착된 경우(이중접합층)에는 3.57eV로 증가하여 진공 수준의 이동에 있어서의 변화를 시사한다. 이러한 이동은 두 금속 산화물 사이의 헤테로 접합에 기인할 수 있다. 산소 밀도가 다른 금속 산화물이 헤테로 접합을 형성하면, 산소 밀도가 높은 금속 산화물의 산소 원자가 경계면에서 산소 밀도가 낮은 금속 산화물 쪽으로 느슨하게 결합된다. 따라서 양전하를 띤 결손으로 향하는 계면 쌍극자가 형성되어 진공 수준을 변화시킬 수 있다.
- [0053] 도 7의 (b)는 정렬된 페르미 수준에 해당하는 산화알루미늄 및 산화아연 필름의 에너지 밴드 정렬을 나타낸다. Tauc의 플롯에 기초하여 산화알루미늄 및 산화아연 각각에 대하여 3.89 및 3.30eV의 광학 밴드 갭이 도출되었다. 도 7의 (b)를 참조하면, 원자가 및 전도대 오프셋 세트는 각각 0.37 및 0.64 eV로 도출되었다.
- [0054] 도 7의 (c)는 음의 게이트 바이어스가 소자에 적용될 경우의 이중접합층의 에너지 밴드 정렬을 나타낸다. 이중접합층이 적용된 포토 트랜지스터에 520nm 파장의 빛을 비추면 광 여기된 전자-정공 쌍이 생성된다. 음의 게이트 바이어스 영역에서 이러한 광생성 정공은 제2산화물층(132)에 의해 쉽게 분리된 다음, SiO₂와 Al₂O₃ 사이의

계면에 포획되어 광게이팅 효과를 일으킬 수 있다. 또한 전도대에 남아 있는 광 여기된 전자는 광 여기된 전하 캐리어에 효율적으로 기여할 수 있어 광반응 특성이 향상될 수 있다.

[0055] 도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 가시광 감지를 위한 포토 트랜지스터의 광특성을 설명하기 위한 도면이다.

[0056] 도 8의 (a) 및 (b)는 파장별 조명에서 산화아연 및 이중접합층이 적용된 포토 트랜지스터의 감광성을 도시한 도면이다.

[0057] 상기 감광성은 520nm 및 405nm 파장의 조명 조건으로, 하기의 수학적 식 1에 기초하여 산출될 수 있다.

[0058] [수학적 식 1]

$$\text{Photosensitivity} = \frac{I_{\text{photo}} - I_{\text{dark}}}{I_{\text{dark}}}$$

[0059] 여기서 I_{photo} 와 I_{dark} 는 각각 조명이 있는 I_D 와 없는 I_D 를 나타낸다. 입사광의 전력 밀도는 10V의 일정한 V_D 에서 약 $1.2\text{mW}/\text{cm}^2$ 로 유지되었다. 도 6의 (a) 및 (b)에서 이중접합층이 적용된 포토 트랜지스터는 음의 게이트 바이어스 영역에서 산화아연만 적용된 포토 트랜지스터에 비해 높은 감광성 값을 보여준다. 산화아연층 및 이중접합층은 모두 음의 V_G 영역에서 오프 상태에 있기 때문에, 광 여기 전하 캐리어의 농도가 바이어스 유도 전하 캐리어의 농도를 지배하여 광감도를 증가시킨다.

[0061] 반면, 양의 V_G 영역에서 산화아연 및 이중접합층이 적용된 포토 트랜지스터의 감광성 값은 감소하는 양상을 보인다. 양의 게이트 바이어스 영역에서 두 장치는 온 상태이므로 채널 전류에 대한 광 여기 전하 캐리어의 기여는 광 여기 전하 캐리어를 지배하는 바이어스 유도 전하 캐리어로 인해 무시될 수 있다. 이중접합층이 적용된 포토 트랜지스터는 520nm 및 405nm 파장의 조명에서 각각 2.31×10^9 및 8.7×10^9 의 향상된 감광성 값을 나타낸다.

[0062] 포토 트랜지스터의 광반응 특성을 확인하기 위해 하기의 수학적식2를 통해 광반응을 연산할 수 있다. 이때, 광출력 밀도는 -5.4V의 일정한 V_G 및 10V의 V_D 에서 약 $1.2\text{mW}/\text{cm}^2$ 로 유지되는 것으로 한다.

[0063] [수학적 식 2]

$$\text{Photoresponsivity} = \frac{(I_{\text{light}} - I_{\text{dark}})/A_{\text{pt}}}{P/A_{\text{pd}}} = \frac{J_{\text{ph}}}{P}$$

[0065] 여기서 I_{light} 는 빛에 노출된 상태의 I_D , I_{dark} 는 빛에 노출되지 않은 I_D , A_{pt} 는 채널 너비와 길이의 곱, A_{pd} 는 레이저 소스의 스폿 크기, J_{ph} 는 광전류 밀도이다. 감광성 값은 하기의 표 2를 통해 요약한다.

표 2

	635 nm [A/W]	520 nm [A/W]	450 nm [A/W]	405 nm [A/W]
ZnO	9.17×10^{-7}	0.01	1.14	5.83
Al ₂ O ₃ /ZnO	0.40	113.67	190.88	561.13

[0067] 도 8의 (c)는 산화아연과 이중접합층이 각각 적용된 포토 트랜지스터의 광 반응을 도시한다.

[0068] 도 8의 (c)에 도시된 바와 같이, 산화아연 포토 트랜지스터는 635nm 파장의 빛에 노출된 상태에서 매우 적은 수준의 광반응을 가지며, 산화아연 포토 트랜지스터는 파장이 520nm에서 405nm로 감소함에 따라 광반응이 증가한다.

- [0069] 520nm 파장에서의 광반응 값은 산화아연과 이중접합층이 각각 적용된 포토 트랜지스터에 대해 각각 0.01 및 113.67 A/W이다. 1Hz에서 520nm 파장의 주기적 광 조명 하에서 이중접합층 포토 트랜지스터의 광변조 특성을 도 8의 (d)를 통해 확인할 수 있다. 도 8의 (d)를 참조하면, 이중접합층 포토 트랜지스터는 주기적으로 입력되는 가시광선 신호에 주기적으로 응답하여 가시광선 조명에서 광 여기된 전하 캐리어를 생성할 수 있다.
- [0070] 앞선 결과를 바탕으로 이중접합층의 가시광선 광반응을 입증하기 위한 광학 논리 회로를 도 8의 (e)와 같이 제작하였다. 도 8의 (e)는 부하 저항이 1MΩ인 이중접합층을 포함하는 광학 논리 회로(NOT 게이트)의 개략도이다. 그림 8의 (f)는 $V_{DD}=10V$ 에서 520nm 파장의 조명에서 입력 전압(V_{in})과 $\partial V_{out} / \partial V_{in}$ 에 의해 획득한 해당 이득의 함수로 출력 전압(V_{out})을 나타낸다. 조명이 없는 조건에서 $V_{in}=11.4 V$ 일 때 1.21 V/V의 최대 이득을 얻을 수 있다. 그러나 520nm 파장의 조명 조건에서 V_{out} 대비 V_{in} 곡선은 초과 전하 캐리어의 생성으로 인해 음의 이동을 나타내며, 최대 이득은 1.00V/V에서 $V_{in}=-7.8V$ 로 나타난다. 따라서 넓은 밴드갭을 갖는 산화아연 트랜지스터는 가시광선 광학 논리 회로에 활용될 수 있다.
- [0071] 본 발명의 일 실시예에 따른 가시광 감지를 위한 포토 트랜지스터는 용액 처리된 산화알루미늄층을 증착하고 넓은 밴드갭을 갖는 산화아연과 이중접합하여 가시광을 감지할 수 있다. 가시광선에 의한 광전류의 생성은 XPS, UPS 및 UV-가시광 분광법 측정에 기초하여 검증하였다. 가시광선 파장의 에너지는 산화알루미늄층 즉, 제2산화물층(132)의 증착에 의해 산소 결손을 증가시키고, 넓은 밴드갭을 갖는 산화아연층 즉, 제1산화물층(131)에서 광 여기된 전자 정공 쌍을 생성하는 것이 증명되었다. 제2산화물층(132)는 광게이팅 효과를 향상시키고, 나머지 광생성 전자는 채널 전류로 작용하여 효율적인 측면을 나타낸다. 이로 인해 이중접합층이 적용된 포토 트랜지스터는 가시광선 영역에서 광반응성 = 113.67 A/W, 감광성 = 2.31×10^9 의 높은 광반응 특성을 나타냄으로써 가시광 감지를 위한 포토 트랜지스터로서 용이하게 작용할 수 있다.
- [0072] 도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 가시광 감지를 위한 포토 트랜지스터의 제조 방법의 흐름을 도시한 도면이다.
- [0073] 도 9를 참조하면, 단계 S910에서 베이스 기판(10)상에 게이트 전극(110)을 형성할 수 있다.
- [0074] 단계 S920에서 게이트 전극(110) 상에 게이트 절연층(120)을 형성할 수 있다.
- [0075] 단계 S930에서 게이트 절연층(120) 상에 산화물 반도체층(130)을 형성할 수 있다. 단계 S940에서 산화물 반도체층(130)은 제1산화물층(131) 및 제2산화물층(132)의 이중접합에 의해 형성될 수 있다.
- [0076] 제1산화물층(131)과 제2산화물층(132)의 형성 과정에 대해 살펴보면, 제1산화물층(131)을 형성하기 위한 산화아연 용액은 0.08319g의 ZnO 분말(Sigma Aldrich)을 12mL 수산화암모늄(Alfa Aesar)에 용해하고, 실온에서 30분 동안 교반한 후, 용액의 용해도를 증가시키기 위해 5시간 동안 냉동보관 한다. 제2산화물층(132)을 형성하기 위한 산화알루미늄 용액은 0.3751g의 질산알루미늄 비수화물(Sigma Aldrich)을 10mL의 탈이온수(DI)에 용해시킨 후 50° C에서 1시간 동안 교반하고 1시간 동안 초음파 처리하여 형성할 수 있다.
- [0077] 열 성장된 100nm 두께의 SiO₂ 기판 즉, 게이트 절연층(120)을 탈이온수, 아세톤 및 이소프로필 알코올로 초음파 처리하여 15분간 세척하고, 15분간 UV 오존 처리하여 유기 잔류물을 제거함으로써 친수성 기판 표면을 형성한다. 상기 산화알루미늄 용액은 30분 동안 초음파로 교반한 이후 초음파 처리된 산화알루미늄 용액을 4000rpm에서 30초 동안 스핀 코팅한 후, 300° C에서 1시간 동안 어닐링 한다. 또한, 산화아연 용액을 3000rpm에서 30초 동안 스핀 코팅한 후, 300° C에서 1시간 동안 어닐링 한다. 소스 전극 (141) 및 드레인 전극 (142) 사이에 형성되는 채널 영역의 폭과 너비는 금속 새도우 마스크를 통해 각각 100 μm 및 1000 μm로 형성되며, 이를 위해 3 Å/s의 증착 속도로 열 증착에 의해 100 나노미터 두께의 알루미늄 전극을 증착한다.
- [0078] 단계 S950에서 산화물 반도체층(130) 상에 소스 전극(141) 및 드레인 전극(142)을 형성할 수 있다.
- [0079] 상술한 실시 예에 설명된 특징, 구조, 효과 등은 본 발명의 적어도 하나의 실시 예에 포함되며, 반드시 하나의 실시 예에 만 한정되는 것은 아니다. 나아가, 각 실시 예에서 예시된 특징, 구조, 효과 등은 실시예들이 속하는 분야의 통상의 지식을 가지는 자에 의하여 다른 실시예들에 대해서도 조합 또는 변형되어 실시 가능하다.
- [0080] 따라서 이러한 조합과 변형에 관계된 내용들은 본 발명의 범위에 포함되는 것으로 해석되어야 할 것이다. 또한, 이상에서 실시 예들을 중심으로 설명하였으나 이는 단지 예시일 뿐 본 발명을 한정하는 것이 아니며, 본 발명이 속하는 분야의 통상의 지식을 가진 자라면 본 실시예의 본질적인 특성을 벗어나지 않는 범위에서 이상에 예시되

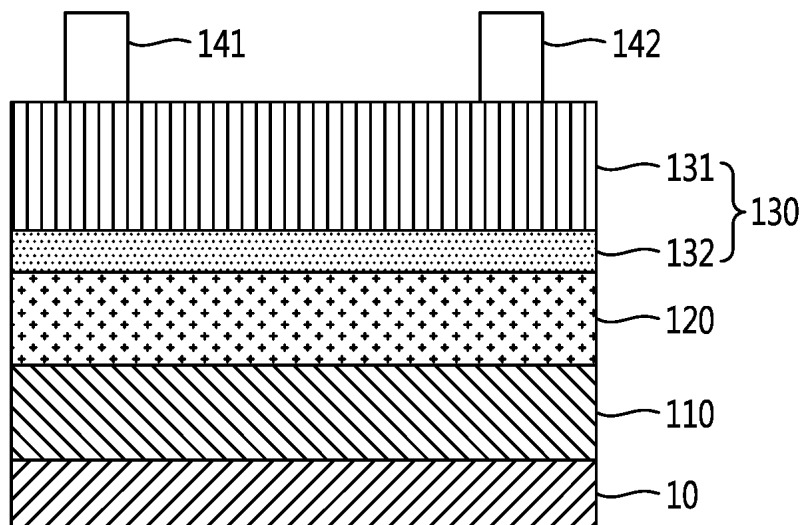
지 않은 여러 가지의 변형과 응용이 가능함을 알 수 있을 것이다. 예를 들어, 실시 예들에 구체적으로 나타난 각 구성 요소는 변형하여 실시할 수 있는 것이다. 그리고 이러한 변형과 응용에 관계된 차이점들은 첨부한 청구 범위에서 규정하는 본 발명의 범위에 포함되는 것으로 해석되어야 할 것이다.

부호의 설명

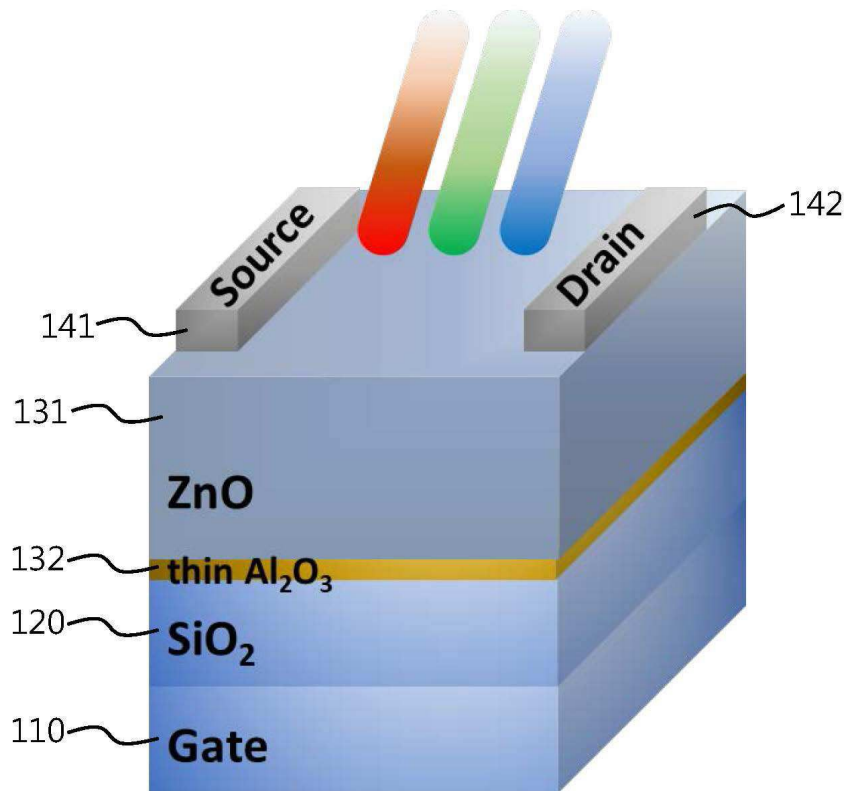
- [0081]
- 10: 베이스 기판
 - 100: 가시광 감지를 위한 포토 트랜지스터
 - 110: 게이트 전극
 - 120: 게이트 절연층
 - 130: 산화물 반도체층
 - 131: 제1산화물층
 - 132: 제2산화물층
 - 141: 소스 전극
 - 142: 드레인 전극

도면

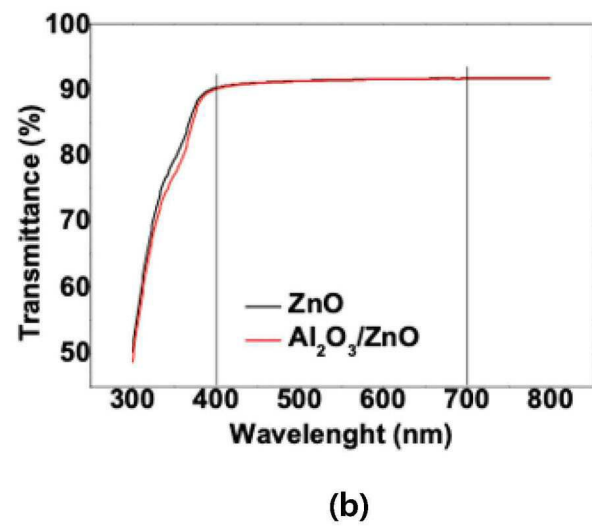
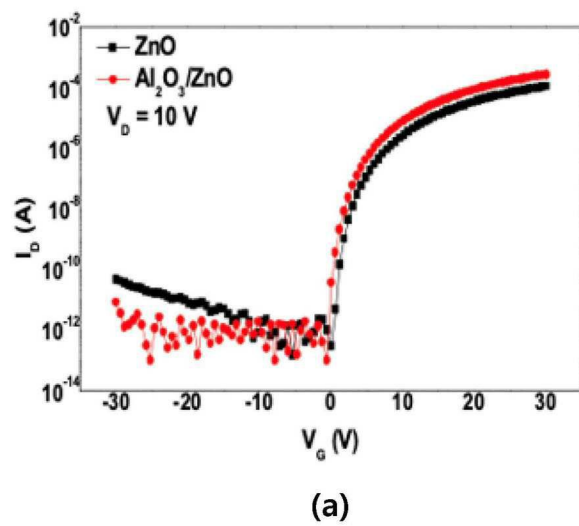
도면1



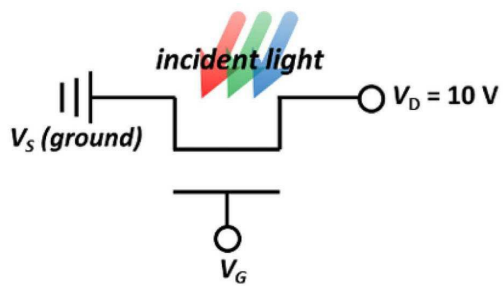
도면2



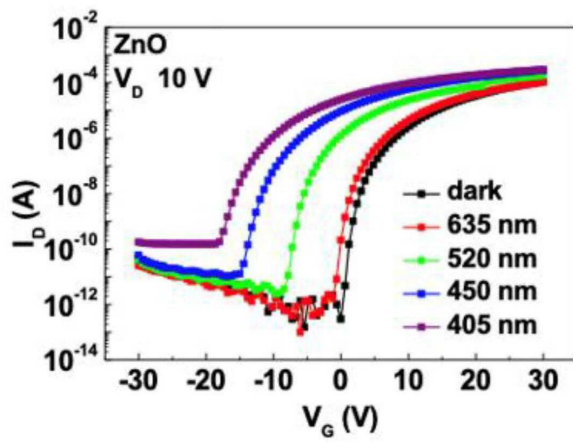
도면3



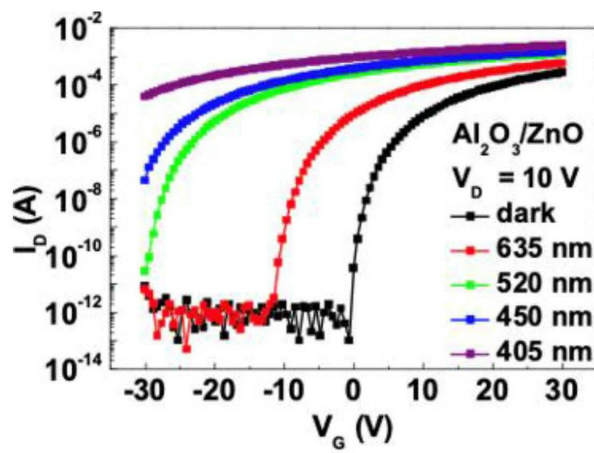
도면4



(a)

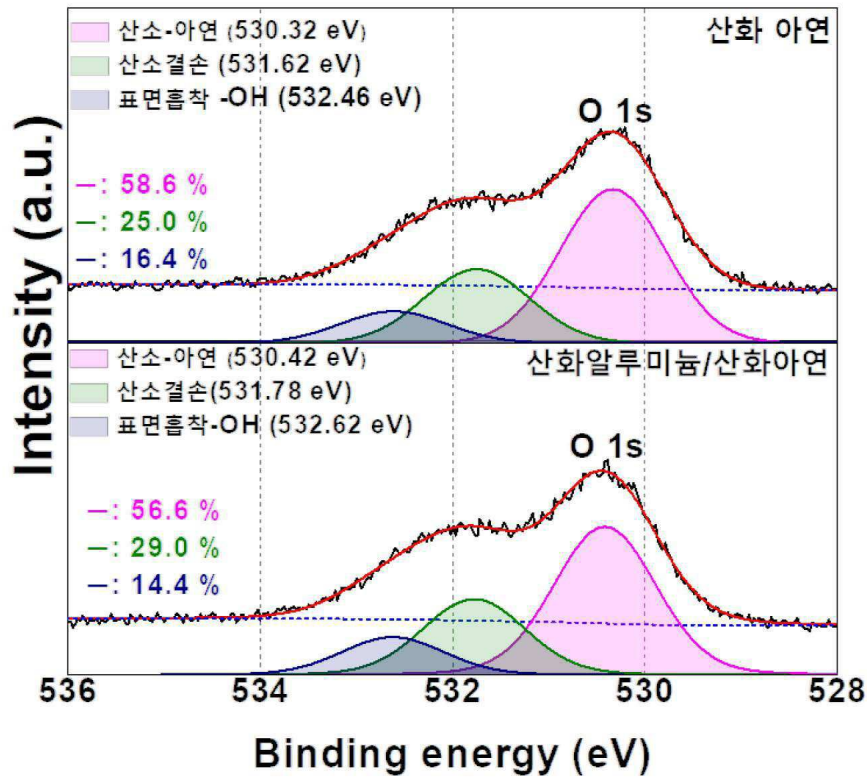


(b)

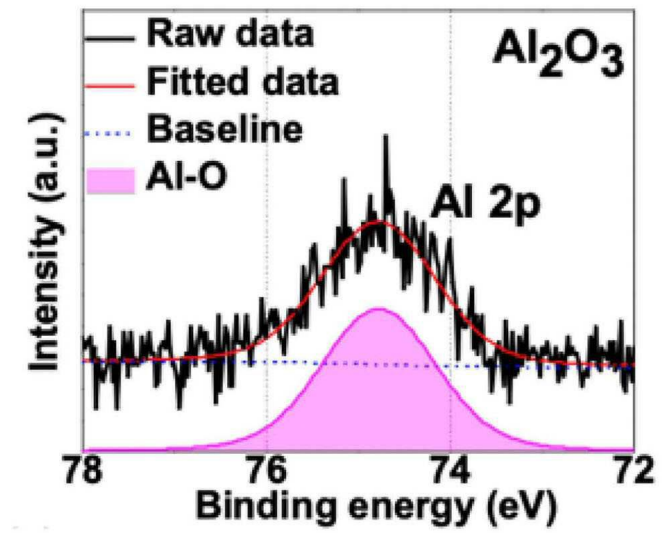


(c)

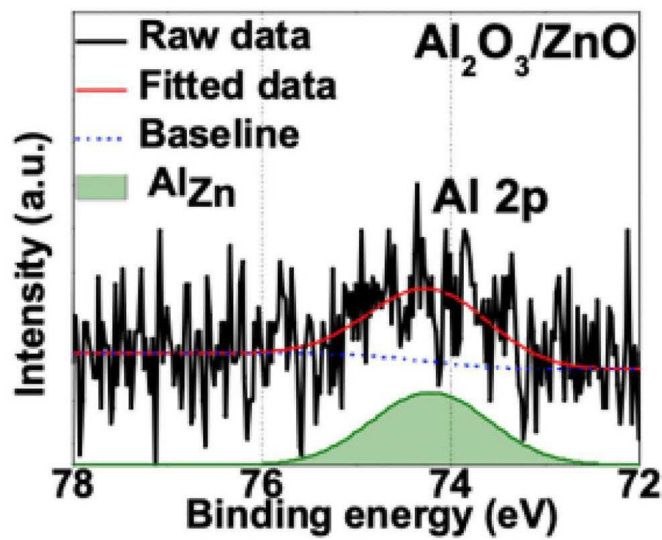
도면5



도면6

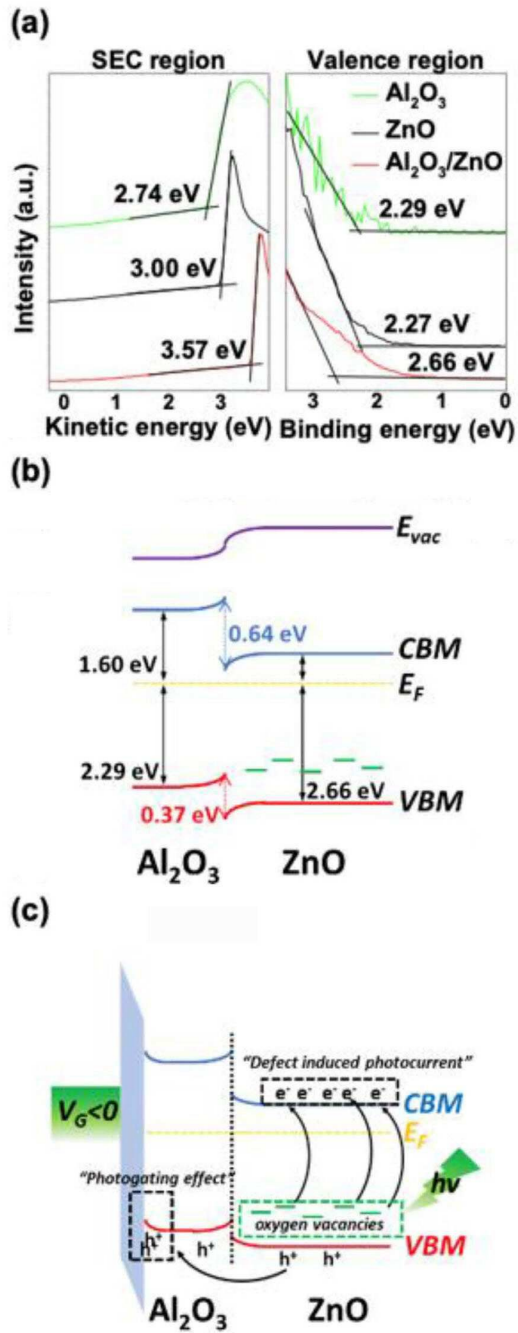


(a)

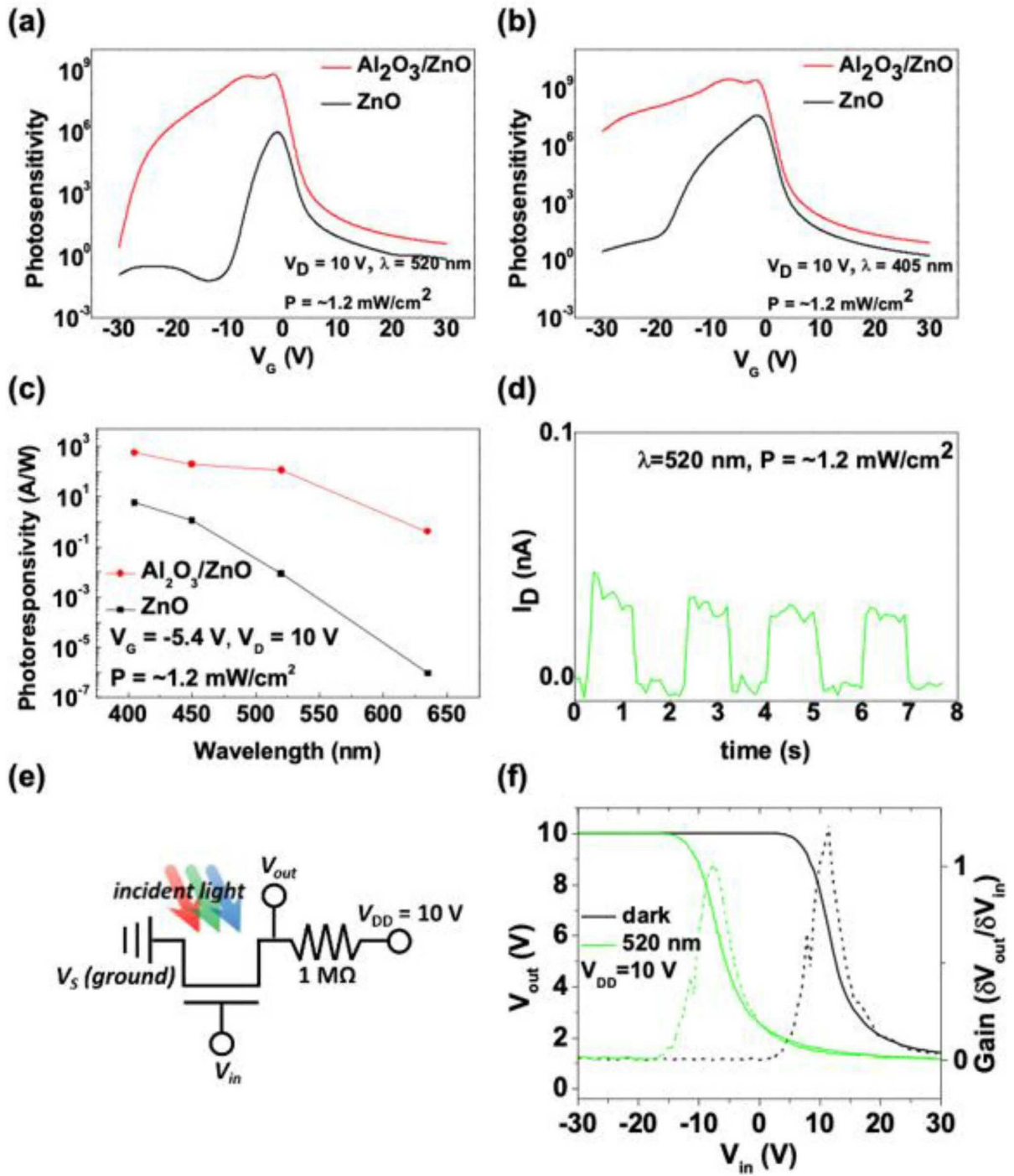


(b)

도면7



도면8



도면9

