



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2024년12월16일

(11) 등록번호 10-2743145

(24) 등록일자 2024년12월11일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

H01L 31/101 (2006.01) H01L 31/0224 (2006.01)

H01L 31/108 (2006.01)

(52) CPC특허분류

H01L 31/1016 (2013.01)

H01L 31/022475 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2023-0130555

(22) 출원일자 2023년09월27일

심사청구일자 2023년09월27일

(56) 선행기술조사문헌

KR1020220108563 A

(뒷면에 계속)

(73) 특허권자

인천대학교 산학협력단

인천광역시 연수구 갯벌로 27, 인천대학교 이노베이션센터(송도동)

국립한국교통대학교산학협력단

충청북도 충주시 대소원면 대학로 50

(72) 발명자

김준동

인천광역시 연수구 컨벤시아대로252번길 50 송도더샵퍼스트파크 1403동 1203호

탄타이 응우엔

인천광역시 연수구 인천타워대로132번길 9, 롯데몰 송도 캐슬파크 B동 1828호

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

강정빈, 심찬

전체 청구항 수 : 총 8 항

심사관 : 허영한

(54) 발명의 명칭 3차원반도체 구조가 적용된 MXene 기반 투명광검출기

(57) 요약

본 발명은 3차원반도체 구조가 적용된 MXene 기반 투명광검출기에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 MXene을 전하 수송층 및 투명전극으로 사용하여 3차원반도체의 광열전류를 향상시켜 우수한 광검출 특성을 가지고, 높은 투과율을 가지는, 3차원반도체 구조가 적용된 MXene 기반 투명광검출기에 관한 것이다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

H01L 31/108 (2013.01)

(72) 발명자

인인식

충청북도 충주시 모단길 14-15, 301호

군탁 린다 무랄리

충청북도 충주시 대학로 50, 공동실험실습관 608호

(56) 선행기술조사문헌

LUO GUANGCAN ET AL., ADV. FUNCT. MATER. (2023)
33 2211610, (2023.01.12.)공개

KR1020220018830 A

SONG WEIDONG ET AL., JOURNAL OF ALLOYS AND
COMPOUNDS 909 (2022) 164816, (2022.03.30.)공개

KR1020230030747 A

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호

1711161972

과제번호

2020R1A2C1009480

부처명

과학기술정보통신부

과제관리(전문)기관명

한국연구재단

연구사업명

중견연구자 지원사업

연구과제명

고체형 반도체 투명 태양광 프레임 개발: 다기능 2D 활성층을 이용한 신개념 투명

태양전지 및 응용 기술

기 여 율

1/2

과제수행기관명

인천대학교

연구기간

2020.03.01 ~ 2023.05.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호

1345362261

과제번호

2018R1A6A1A03023788

부처명

미래창조과학부

과제관리(전문)기관명

한국연구재단

연구사업명

기초연구역량강화사업/이공분야대안중점연구소지원사업

연구과제명

광응답형 탄소나노소재 기반 교통융합소재개발

기 여 율

1/2

과제수행기관명

한국교통대학교 화학산업연구소

연구기간

2018.06.01 ~ 2027.02.28

공지예외적용 : 있음

명세서

청구범위

청구항 1

MXene 기반 투명광검출기로써,
 기관층;
 상기 기관층 위에 배치되는 제1투명전극층;
 상기 제1투명전극층 위에 배치되고, $Ti_3C_2T_x$ 를 포함하는 전하수송층;
 상기 전하수송층 위에 배치되는 제1금속산화물층;
 상기 제1금속산화물층 위에 배치되는 제2금속산화물층; 및
 상기 제2금속산화물층 위에 배치되고, $Ti_3C_2T_x$ 를 포함하는 제2투명전극층;을 포함하고,
 상기 전하수송층 및 제1금속산화물층은 쇼트키 접합을 형성하는, 투명광검출기.

청구항 2

청구항 1에 있어서,
 상기 제1금속산화물층은 ZnO를 포함하는 3차원반도체물질에 해당하고,
 상기 제2금속산화물층은 Al_2O_3 를 포함하고, 패시베이션코팅층을 포함하는, 투명광검출기.

청구항 3

청구항 1에 있어서,
 상기 전하수송층 및 상기 제2투명전극층은 MXene에 해당하는, 투명광검출기.

청구항 4

청구항 1에 있어서,
 상기 전하수송층은 1 내지 2nm 간격의 D-스페이싱을 포함하는, 투명광검출기.

청구항 5

청구항 1에 있어서,
 상기 전하수송층은 1 내지 100nm의 두께를 가지고, 상기 제1금속산화물층은 1 내지 1000nm의 두께를 가지는, 투명광검출기.

청구항 6

청구항 1에 있어서,
 상기 투명광검출기는, 셀프바이어스 상태일 때, 1 내지 400nm 파장범위의 조명 아래 및 10^{-4} 내지 $10^{-2} W/m^2$ 의 광

강도 범위에서, 10^{-2} 내지 1AW^{-1} 의 광반응도 및 10^{10} 내지 10^{15} Jones의 광검출도를 가지고, 1 내지 $50\mu\text{s}$ 의 광응답 시간을 가지고, 및 380 내지 825nm의 파장범위에서 60 내지 99%의 투과율을 가지는, 투명광검출기.

청구항 7

청구항 1에 있어서,

상기 투명광검출기는, 1 내지 400nm 파장범위의 조명 아래에서, 0.1 내지 $10\mu\text{s}$ 의 상승시간 및 1 내지 $50\mu\text{s}$ 의 하강시간을 가지고, 1 내지 $50\mu\text{Acm}^{-2}$ 의 광전류밀도값을 가지고, 및 어두운 상태에서 0.01 내지 1nAcm^{-2} 의 암전류밀도값을 가지는, 투명광검출기.

청구항 8

청구항 1에 있어서,

상기 전하수송층은 1 내지 50eV의 일함수를 가지고, 상기 제1금속산화물층은 1 내지 50eV의 페르미준위 및 1 내지 50eV의 일함수를 가지는, 투명광검출기.

발명의 설명

기술 분야

- [0001] 본 발명은 3차원반도체 구조가 적용된 MXene 기반 투명광검출기에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 MXene을 전하수송층 및 투명전극으로 사용하여 3차원반도체의 광열전류를 향상시켜 우수한 광검출 특성을 가지고, 높은 투과율을 가지는, 3차원반도체 구조가 적용된 MXene 기반 투명광검출기에 관한 것이다.

배경 기술

- [0003] 최근 건강 모니터링, 전력 생산, 광학 처리 분야에서 임베디드 시스템에 대한 수요가 증가함에 따라, 웨어러블 전자기기 개발의 필요성이 심화되고 있다. 종래의 전자기기는 유연성이 부족해 상기 웨어러블 전자기기에 적용하기에 적합하지 않다. 이를 해결하기 위해 섬유, 패치, 손목 밴드, 전자 스킨 등의 접근 방식으로 종래의 전자기기를 플렉시블 전자기기로 전환하여 웨어러블 전자기기에 적용하기 위한 방법의 개발이 활발하게 이루어지고 있다.
- [0004] 광전자공학의 한 분야인 플렉시블 자외선 광검출기는 건강 모니터, 이미징, 광통신 등에 사용되는 웨어러블 기술에 필수적인 요소가 될 것으로 예상된다. 완전한 플렉시블 광검출기를 구현하기 위해서는 증폭기, 데이터 디스플레이, 전원 등 광검출기와 함께 제공되는 전자기기의 유연성에 대한 고려도 필요하다. 따라서 상기 광검출기의 구성을 단순화하는 것은 집적 회로의 휴대성과 착용성을 달성하기 위한 선결 조건으로 볼 수 있다. 이때 자체전력 광검출기는 광전지 및 슈퍼 커패시터 등 구성요소를 제거하여 효과적으로 구성을 단순화하는 효과를 발휘할 수 있기 때문에 자체전력 광검출기의 개발이 시급한 실정이다.
- [0005] 한편, 쇼트키접합을 포함하는 광검출기는 간단한 구조, 빠른 광반응시간, 및 광학 현상 활용 능력을 가지고 있어, 우수한 성능의 웨어러블 장치를 구현할 수 있는 소자로서 주목받고 있다. 또한 상기 광검출기를 제공할 수 있는 재료로서 우수한 전하수송능력, 투명성, 기계적 유연성을 가진 MXene이 유효하다.
- [0006] 상기 MXene은 원자단위 두께의 전이 금속 탄화물, 질화물 또는 탄산염 층으로 구성된 새로운 종류의 2차원 무기 화합물이다. 일반적으로 $\text{M}_{n+1}\text{X}_n\text{T}_x$ 공식으로 표시되며, 여기서 M은 전이 금속, X는 C 또는 N, T_x 는 표면 말단 그룹(예: -F, -OH, -O, -Cl 등)을 나타내고 n은 1에서 4 사이의 정수이다. 이 MXene 계열화합물 중 $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ 는 뛰어난 전기 전도성과 조정 가능한 작업 기능으로 인해 광전자 소자의 전극 및 인터페이스 재료로서 활발히 연구되어 왔다. 상기 $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ 의 높은 광학적 투명성과 기계적 유연성은 유연 및/또는 투명한 광전자 소자 적합하고, $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ 의 친수성 표면은 얇은 전극 또는 계면층 구현에 용이하다. 또한 ALD 및 분자 빔 에피택시 등의 증착기술

로 고결정성 유전체 및 반도체의 증착을 용이하게 한다.

- [0007] 더욱 상세하게는 상기 MXene은 자유 매달림 결합 특성으로 인해 격자 매칭 요구 사항에 관계없이 결정질 및 비 결정질 반도체와의 결합에 유리한 특성을 가진다. 하지만 현재 3차원 형태의 재료를 포함하는 MXene 기반 광검출기(이하, MXene/3차원반도체 구조)는 MXene의 원자단위 얇은 두께로 인해 광흡수에 있어서 본질적인 한계가 있다는 문제점이 있다. 이를 보완하기 위해 MXene 기반 광검출기의 광검출도 및 온/오프 비율을 향상시키기 방법의 개발이 절실한 실정이다.
- [0008] 종래의 연구에서 3차원 형태의 재료가 MXene/3차원반도체 구조에 있어서 자체전력 인터페이스 형성에 관여한다는 것을 확인할 수 있다. 또한, 상기 인터페이스를 통해 광생성 캐리어의 수집 효율이 향상되어 개선된 광검출도를 구현할 수 있음을 확인했다.
- [0009] 상술한 바와 같이 상기 $Ti_3C_2T_x$ 의 우수한 특성에도 불구하고, 상기 $Ti_3C_2T_x$ 를 투명 전자기기, 특히 투명광검출기에 적용한 사례는 보고되지 않았다. 상기 $Ti_3C_2T_x$ 를 포함하는 광검출기의 우수한 잠재력이 관련 산업의 발전에 미칠 영향력을 고려하면, $Ti_3C_2T_x$ 와 3차원반도체의 결합구조를 포함하는 광검출기의 개발이 시급한 실정이다.
- [0010] 한편, 균일한 박막층과 우수한 인터페이스를 구현하기 위해선 MXene의 분산매 역시 중요한 파라미터로 작용한다. 상기 MXene은 친수성 표면을 포함하여 물에 잘 분산된다. 하지만 분산매로 물을 사용할 경우 기관과 박막 사이 혹은 박막과 박막 사이 사이에 물 분자가 갇히는 문제가 발생할 가능성이 있고, 건조를 위해 사용하는 앰비언트 건조는 건조율이 균일하지 못해 박막 중앙에 수분이 남는 현상이 발생할 수 있다. 이러한 한계점은 박막의 접촉률을 저하시키고, 박막 사이 거리의 벌어짐으로 인해 박막 저항을 증가시켜 전하수송능력을 떨어뜨린다.
- [0011] 이를 보완하기 위해 한 연구에서 고온 열 어닐링을 제시하였지만, 이는 MXene의 성능을 저하시킬 수 있으며 모든 소자 제작 조건이나 기관에 적합하지 않을 수 있다는 한계가 있다. 따라서 환경조건에 관계없이 MXene의 코팅 후 분산매가 빠르게 건조되어 기관에 균일한 MXene의 형성방법의 개발이 절실한 실정이다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0013] 본 발명은 MXene을 전하수송층 및 투명전극으로 사용하여 3차원반도체의 광열전류를 향상시켜 우수한 광반응도 및 향상된 광검출도를 가지고, 및 높은 투과율을 가지는, 3차원반도체 구조가 적용된 MXene 기반 투명광검출기를 제공하는 것을 그 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

- [0015] 상기와 같은 과제를 해결하기 위하여 본 발명의 일 실시예는, MXene 기반 투명광검출기로서, 기관층; 상기 기관층 위에 배치되는 제1투명전극층; 상기 제1투명전극층 위에 배치되고, $Ti_3C_2T_x$ 를 포함하는 전하수송층; 상기 전하수송층 위에 배치되는 제1금속산화물층; 상기 제1금속산화물층 위에 배치되는 제2금속산화물층; 및 상기 제2금속산화물층 위에 배치되고, $Ti_3C_2T_x$ 를 포함하는 제2투명전극층;을 포함하고, 상기 전하수송층 및 제1금속산화물층은 쇼트키 접합을 형성하는, 투명광검출기를 제공한다.
- [0016] 본 발명의 몇 실시예에서는, 상기 제1금속산화물층은 ZnO를 포함하는 3차원반도체물질에 해당하고, 상기 제2금속산화물층은 Al_2O_3 를 포함하고, 패시베이션코팅층을 포함할 수 있다.
- [0017] 본 발명의 몇 실시예에서는, 상기 전하수송층 및 상기 제2투명전극층은 MXene에 해당할 수 있다.
- [0018] 본 발명의 몇 실시예에서는, 상기 전하수송층은 1 내지 2nm 간격의 D-스페이싱을 포함할 수 있다.
- [0019] 본 발명의 몇 실시예에서는, 상기 전하수송층은 1 내지 100nm의 두께를 가지고, 상기 제1금속산화물층은 1 내지 1000nm의 두께를 가질 수 있다.
- [0020] 본 발명의 몇 실시예에서는, 상기 투명광검출기는, 셀프바이어스 상태일 때, 1 내지 400nm 파장범위의 조명 아래 및 10^{-4} 내지 $10^{-2} W/m^2$ 의 광강도 범위에서, 10^{-2} 내지 $1 A W^{-1}$ 의 광반응도 및 10^{10} 내지 10^{15} Jones의 광검출도를 가지고, 1 내지 50 μs 의 광응답시간을 가지고, 및 380 내지 825nm의 파장범위에서 60 내지 99%의 투과율을 가질

수 있다.

[0021] 본 발명의 몇 실시예에서는, 상기 투명광검출기는, 1 내지 400nm의 파장범위의 조명 아래에서, 0.1 내지 10 μs 의 상승시간 및 1 내지 50 μs 의 하강시간을 가지고, 1 내지 50 μAcm^{-2} 의 광전류밀도값을 가지고, 및 어두운 상태에서 0.01 내지 1 nAcm^{-2} 의 암전류밀도값을 가질 수 있다.

[0022] 본 발명의 몇 실시예에서는, 상기 전하수송층은 1 내지 50eV의 일함수를 가지고, 상기 제1금속산화물층은 1 내지 50eV의 페르미준위 및 1 내지 50eV의 일함수를 가질 수 있다.

발명의 효과

[0024] 본 발명의 일 실시예에 따르면, MXene을 전하수송층 및 투명전극으로 사용하여 3차원반도체의 광열전류를 향상시켜 우수한 광반응도 및 향상된 광검출도를 가지고, 및 높은 투과율을 가지는, MXene/3차원반도체 기반 투명광검출기를 제공하는 효과를 발휘할 수 있다.

[0025] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 투명광검출기는 강력한 금속성의 ZnO/Ti₃C₂T_x/ITO 구조를 포함하고 있어, 향상된 전기적 특성을 가지는 효과를 발휘할 수 있다.

[0026] 본 발명의 일 실시예에 따르면, Ti₃C₂T_x/Al₂O₃/ZnO/Ti₃C₂T_x/ITO/PET의 층상구조를 통해 380 내지 825nm 파장범위에서 우수한 광투과율을 구현하는 효과를 발휘할 수 있다.

[0027] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 투명광검출기는 쇼트키 접합을 포함하고 있어 우수한 전기적 특성을 가지는 효과를 발휘할 수 있다.

[0028] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 제2금속산화물층은 Al₂O₃를 포함하고 있어 패시베이션을 통해 향상된 내부전위를 가지고, 쇼트키 장벽의 열화를 방지하여 우수한 광반응 특성을 가지는 효과를 발휘할 수 있다.

[0029] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 투명광검출기가 Ti₃C₂T_x를 포함하는 전하수송층을 포함하고 있어 높은 투과성과 우수한 자체전력 기능을 가지는 효과를 발휘할 수 있다.

[0030] 본 발명의 일 실시예에 따르면, Ti₃C₂T_x/Al₂O₃/ZnO/Ti₃C₂T_x/ITO/PET의 층상구조를 통한 광전 효과 및 초전 효과의 결합으로 우수한 광반응도 및 향상된 광검출도를 가지는 효과를 발휘할 수 있다.

[0031] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 우수한 광반응도를 가지고, 높은 광검출도를 가지고, 짧은 광응답시간을 가지고, 및 광학적으로 투명하고 유연한 광신호 수신기를 구현하는 효과를 발휘할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0033] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 투명광검출기의 층상구조를 개략적으로 도시한다.

도 2 내지 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 투명광검출기가 포함하는 MXene의 성분분석에 대한 사항을 도시한다.

도 8 내지 도 10은 본 발명의 일 실시예에 따른 투명광검출기에 대한 사항을 도시한다.

도 11 내지 도 14는 본 발명의 일 실시예에 따른 투명광검출기의 전기적 특성에 대한 사항을 도시한다.

도 15 내지 도 18은 본 발명의 일 실시예에 따른 투명광검출기의 광전 특성에 대한 사항을 도시한다.

도 19는 본 발명의 일 실시예에 따른 투명광검출기 및 비교예의 광응답시간에 대한 사항을 도시한다.

도 20은 본 발명의 일 실시예에 따른 투명광검출기 및 비교예의 광전류 및 광열전류 특성에 대한 사항을 도시한다.

도 21은 본 발명의 일 실시예에 따른 투명광검출기 및 비교예의 광반응도에 대한 사항을 도시한다.

도 22는 본 발명의 일 실시예에 따른 투명광검출기 및 비교예의 광검출도에 대한 사항을 도시한다.

도 23은 본 발명의 일 실시예에 따른 투명광검출기의 광응답시간에 대한 사항을 도시한다.

도 24는 본 발명의 일 실시예에 따른 투명광검출기 및 비교예의 임피던스 분광해석에 대한 사항을 도시한다.

도 25는 본 발명의 일 실시예에 따른 투명광검출기의 결합구조에 대한 사향을 도시한다.

도 26 및 도 27은 본 발명의 일 실시예에 따른 투명광검출기의 에너지구 조에 대한 사향을 도시한다.

도 28 및 도 29은 본 발명의 일 실시에 따른 투명광검출기의 성능에 대한 사향을 도시한다.

도 30 및 31은 본 발명의 일 실시예에 따른 투명광검출기로 구현되는 광신호 수신기에 대한 사향을 도시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0034] 이하에서는, 다양한 실시예들 및/또는 양상들이 이제 도면들을 참조하여 개시된다. 하기 설명에서는 설명을 목적으로, 하나 이상의 양상들의 전반적 이해를 돕기 위해 다수의 구체적인 세부사항들이 개시된다. 그러나, 이러한 양상(들)은 이러한 구체적인 세부사항들 없이도 실행될 수 있다는 점 또한 본 발명의 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 인식될 수 있을 것이다. 이후의 기재 및 첨부된 도면들은 하나 이상의 양상들의 특정한 예시적인 양상들을 상세하게 기술한다. 하지만, 이러한 양상들은 예시적인 것이고 다양한 양상들의 원리들에서의 다양한 방법들 중 일부가 이용될 수 있으며, 기술되는 설명들은 그러한 양상들 및 그들의 균등물들을 모두 포함하고자 하는 의도이다.
- [0035] 또한, 다양한 양상들 및 특징들이 다수의 디바이스들, 컴포넌트들 및/또는 모듈들 등을 포함할 수 있는 시스템에 의하여 제시될 것이다. 다양한 시스템들이, 추가적인 장치들, 컴포넌트들 및/또는 모듈들 등을 포함할 수 있다는 점 그리고/또는 도면들과 관련하여 논의된 장치들, 컴포넌트들, 모듈들 등 전부를 포함하지 않을 수도 있다는 점 또한 이해되고 인식되어야 한다.
- [0036] 본 명세서에서 사용되는 "실시예", "예", "양상", "예시" 등은 기술되는 임의의 양상 또는 설계가 다른 양상 또는 설계들보다 양호하다거나, 이점이 있는 것으로 해석되지 않을 수도 있다.
- [0037] 또한, "포함한다" 및/또는 "포함하는"이라는 용어는, 해당 특징 및/또는 구성요소가 존재함을 의미하지만, 하나 이상의 다른 특징, 구성요소 및/또는 이들의 그룹의 존재 또는 추가를 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.
- [0038] 또한, 제1, 제2 등과 같이 서수를 포함하는 용어는 다양한 구성요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 상기 구성요소들은 상기 용어들에 의해 한정되지는 않는다. 상기 용어들은 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하는 목적으로만 사용된다. 예를 들어, 본 발명의 권리 범위를 벗어나지 않으면서 제1 구성요소는 제2 구성요소로 명명될 수 있고, 유사하게 제2 구성요소도 제1 구성요소로 명명될 수 있다. 및/또는 이라는 용어는 복수의 관련된 기재된 항목들의 조합 또는 복수의 관련된 기재된 항목들 중의 어느 항목을 포함한다.
- [0039] 또한, 본 발명의 실시예들에서, 별도로 다르게 정의되지 않는 한, 기술적이거나 과학적인 용어를 포함해서 이 때 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 문맥 상 가지는 의미와 일치하는 의미를 가지는 것으로 해석되어야 하며, 본 발명의 실시예에서 명백하게 정의하지 않는 한, 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미로 해석되지 않는다.
- [0041] 쇼트키 접합을 포함하는 광검출기는 간단한 구조, 빠른 광반응시간, 및 광학 현상 활용 능력을 가지고 있어, 우수한 성능의 웨어러블 장치를 구현할 수 있는 소자로서 주목받고 있다. 특히 MXene과 3차원반도체의 접합을 통해 높은 투명성과 유연성을 구현할 수 있는 소재로 알려져 있다.
- [0042] 하지만 종래에 공지된 바에 의하면, 상기 MXene과 3차원반도체의 접합구조는 MXene의 원자단위 얇은 두께로 인해 광반응도 및 광검출도에 있어 본질적인 한계가 존재한다.
- [0043] 이에 본 발명에서는, 종래에 광검출기의 재료로 사용된 바 없는 $Ti_3C_2T_x$ 및 ZnO의 결합구조에 Al_2O_3 를 패시베이션 코팅층으로 추가한 구조를 통해 우수한 광반응도 및 광검출도, 향상된 전기적 특성을 가지고, 높은 투명성과 유연성을 구현하는 투명광검출기(1)를 제공하고자 한다.
- [0045] 이하에서는 본 발명의 일 실시예에 따른 3차원반도체 구조가 적용된 MXene 기반 투명광검출기(1)에 대해서 상세히 서술한다.
- [0047] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 투명광검출기(1)의 층상구조를 개략적으로 도시한다.
- [0048] 본 발명의 일 실시예에 따른 MXene 기반 상기 투명광검출기(1)는, 기판층(100); 상기 기판층(100) 위에 배치되

는 제1투명전극층(200); 상기 제1투명전극층(200) 위에 배치되고, $Ti_3C_2T_x$ 를 포함하는 전하수송층(300); 상기 전하수송층(300) 위에 배치되는 제1금속산화물층(400); 상기 제1금속산화물층(400) 위에 배치되는 제2금속산화물층(500); 및 상기 제2금속산화물층(500) 위에 배치되고, $Ti_3C_2T_x$ 를 포함하는 제2투명전극층(600);을 포함하고, 상기 전하수송층(300) 및 제1금속산화물층(400)은 쇼트키 접합을 형성할 수 있다.

[0050] 상기 기관층(100)은 상기 투명광검출기(1)의 기관에 해당하는 구성으로서 상층으로 복수의 박막층이 증착될 수 있고, 유연성을 가질 수 있다. 바람직하게는, 본 발명의 일 실시예에 따른 상기 기관층(100)은 PET(Polyethylene Terephthalate)를 포함할 수 있다.

[0052] 상기 제1투명전극층(200)은 상기 기관층(100)의 상층에 증착됨으로써 상기 기관층(100)이 전도성을 가지도록 할 수 있다. 바람직하게는, 본 발명의 일 실시예에 따른 상기 제1투명전극층(200)은 ITO(Indium Tin Oxide)를 포함할 수 있다.

[0054] 상기 전하수송층(300)은 상기 제1투명전극층(200)의 상층에 배치되고, 상기 제1금속산화물층(400)과 쇼트키 접합을 이루고 전하수송층을 포함한다. 본 발명의 일 실시예에서, 상기 전하수송층(300)은 $Ti_3C_2T_x$ 를 포함하고, MXene에 해당할 수 있다.

[0056] 상기 제1금속산화물층(400)은 상기 전하수송층(300)의 상층에 배치되어, 상기 전하수송층(300)으로 인해 향상된 광열전류 특성을 가질 수 있다. 바람직하게는, 본 발명의 일 실시예에 따른 상기 제1금속산화물층(400)은 ZnO를 포함하는 3차원반도체 물질에 해당할 수 있다.

[0058] 상기 제2금속산화물층(500)은 상기 제1금속산화물층(400)의 상층에 배치되어, 상기 제1금속산화물층(400)에 패시베이션을 유발할 수 있다. 바람직하게는, 본 발명의 일 실시예에 따른 상기 제2금속산화물층(500)은 Al_2O_3 를 포함할 수 있다.

[0060] 상기 제2투명전극층(600)은 상기 제2금속산화물층(500)의 상층에 배치되어, 상기 투명광검출기(1)에 전면전극층을 제공할 수 있다. 본 발명의 일 실시예에서, 상기 제2투명전극층(600)은 $Ti_3C_2T_x$ 를 포함하고, MXene에 해당할 수 있다.

[0062] 도 2 내지 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 투명광검출기(1)가 포함하는 MXene의 성분분석에 대한 사항을 도시한다.

[0064] 도 2에 도시된 바와 같이 상기 MXene층은 C, Ti, O, F 및 Cl 원소를 포함하고, -O/-OH, -F 및 -Cl의 작용기를 포함하는 것을 확인할 수 있다. 도 3에 도시된 바와 같이 Ti 2p 곡선의 디컨볼루션은 Ti-C, Ti^{2+} , Ti^{3+} , TiO_2 , $TiO_{2-x}F_x$ 및 C-Ti-F_x에 해당하는 6 개의 이중 피크를 생성하여 종래에 연구결과와 일치함을 확인할 수 있다. 도 4에 도시된 바와 같이 C 1s 영역의 고분해능 스펙트럼은 Ti-C, C-Ti-Tx, C-C, C-O 및 C=O 결합에 해당하는 5개의 피크를 가지는 것을 확인할 수 있다. 도 5에 도시된 바와 같이 O 1s 분해 스펙트럼은 TiO_2 , C-Ti-O_x, C-Ti-(OH)_x 및 표면 흡착수에 해당하는 4개의 피크를 보이는 것을 확인할 수 있다. 도 6에 도시된 바와 같이 F 1s 영역에서는 주요 C-Ti-F_x 성분과 함께 소량의 $TiO_{2-x}F_x$ 성분을 확인할 수 있다. 도 7에서 Cl의 2p 오비탈 성분에 대한 데이터값을 확인할 수 있다.

[0065] 도 2 내지 도 7에 도시된 바를 통해 본 발명의 일 실시예가 따르는 상기 투명광검출기(1)가 포함하는 MXene은, 종래의 연구에서 확인한 XPS 결과와 일치하는 Ti, C, O, F 및 Cl의 균일한 분포를 가지고, 주로 친수성의 -OH 작용기 표면을 가지고 있음을 확인할 수 있다.

[0067] 도 8 내지 도 10은 본 발명의 일 실시예에 따른 투명광검출기(1)에 대한 사항을 도시한다. 더욱 상세하게는 상기 투명광검출기(1)의 층상구조, 광학적 특성, TEM 분석에 대한 사항을 도시한다.

[0069] 본 발명의 일 실시예에 따른 상기 투명광검출기(1)는 도 8에서와 같이 전체적으로 투명하고, 유연한 특성을 가진다.

[0071] 도 9는 상기 투명광검출기(1) 및 하나의 MXene을 포함하거나 포함하지 않는 광검출기(이하 “비교예”) 각각의 파장에 따른 투과율에 대한 사항을 도시한다.

[0072] 상기 투명광검출기(1) 및 상기 비교예 각각의 평균투과율은 UV-Vis 투과분광법을 바탕으로 이하의 식을 통해 산

출한다.

$$AVT = \frac{\int_{380nm}^{825nm} P(\lambda)S(\lambda)T(\lambda)d\lambda}{\int_{380nm}^{825nm} p(\lambda)S(\lambda)d\lambda}$$

[0073]

[0074]

여기서 λ , P, S, T는 각각 파장, 광학적 반응, 태양 플럭스, 투과율을 의미한다. 도 9에 도시된 바와 같이 상기 투명광검출기(1) 및 상기 비교예 모두 380 내지 825nm의 파장범위에서 60 내지 99%의 충분한 투과율을 가짐을 확인할 수 있다.

[0076]

도 10은 본 발명의 일 실시예에 따른 상기 투명광검출기(1)의 TEM 분석결과를 도시한다.

[0078]

도 10에 도시된 바와 같이 상기 전하수송층(300)은 1 내지 100nm의 두께를 가지고, 바람직하게는 1 내지 10nm의 두께를 가지고, 더욱 바람직하게는 7.5nm의 두께를 가질 수 있다. 또한 상기 전하수송층(300)은 10nm 이하의 내부 D-스페이싱을 포함하고, 바람직하게는 5nm 이하의 내부 D-스페이싱을 포함하고, 더욱 바람직하게는 1.2nm 이하의 내부 D-스페이싱을 포함할 수 있다.

[0079]

또한 도 10에 도시된 바와 같이, 상기 제1금속산화물층(400)은 1 내지 1000nm의 두께를 가지고, 바람직하게는 1 내지 300nm의 두께를 가지고, 더욱 바람직하게는 200nm의 두께를 가질 수 있다.

[0080]

한편 상기 전하수송층(300)은 고에너지 스퍼터링공정을 수행했음에도 내부에 D-스페이싱을 유지하고 있다. 종래의 연구에서 ZnO의 평면 SEM 이미지를 통해 ZnO를 포함하는 상기 제1금속산화물층(400)은 균일하고 컴팩트한 표면을 가지는 것을 확인할 수 있다.

[0082]

즉 이와 같이 본 발명의 일 실시예에 따른 상기 투명광검출기(1)는 $Ti_3C_2T_x/Al_2O_3/ZnO/Ti_3C_2T_x/ITO/PET$ 의 층상구조를 통해 380 내지 825nm 파장범위에서 우수한 광투과율을 가지는 효과를 발휘할 수 있다.

[0084]

도 11 내지 도 14는 본 발명의 일 실시예에 따른 상기 투명광검출기(1)의 전기적 특성에 대한 사항을 도시한다.

[0086]

도 11은 본 발명의 일 실시예에 따른 상기 투명광검출기(1)가 포함하는 상기 전하수송층(300)의 UPS 분석결과를 도시한다.

[0087]

도 11에 도시된 바와 같이 본 발명의 일 실시예에 따른 상기 전하수송층(300)이 포함하는 $Ti_3C_2T_x$ 는 1 내지 50eV의 일함수를 가지고, 바람직하게는 1 내지 10eV의 일함수를 가지고, 더욱 바람직하게는 4.72eV의 일함수를 가진다.

[0089]

도 12는 본 발명의 일 실시예에 따른 상기 투명광검출기(1)가 포함하는 상기 전하수송층(300) 및 상기 제1금속산화물층(400)이 형성하는 쇼트키 접합의 에너지밴드다이아그램에 대한 사항을 도시한다.

[0090]

도 12에 도시된 바와 같이 본 발명의 일 실시예에 따른 상기 제1금속산화물층(400)은 1 내지 50eV의 페르미 준위를 가지고(바람직하게는, 해당 페르미 준위는 전도대 아래에 위치할 수 있다), 1 내지 50eV의 일함수를 가진다. 바람직하게는 1 내지 10eV의 페르미 준위를 가지고, 1 내지 10eV의 일함수를 가지고, 더욱 바람직하게는 0.13eV의 페르미 준위를 가지고, 4.03eV의 일함수를 가질 수 있다. 또한 상기 제1금속산화물층(400) 및 상기 전하수송층(300)은 쇼트키 접합을 형성한다.

[0091]

한편 종래에 공지된 바에 의하면 쇼트키 접합 계면은, 페르미 준위를 고정시켜 쇼트키 장벽의 열화를 유발할 수 있고, 광생성전하를 고정시켜 전자-정공쌍의 재결합속도를 증가시킬 수 있다. 이를 해결하기 위해 본 발명의 일 실시예에서는, 상기 제1금속산화물층(400)의 상층에 Al_2O_3 를 포함하는 상기 제2금속산화물층(500)을 삽입함으로써 상기 제1금속산화물층(400)에 패시베이션을 유발하여 0.2eV의 쇼트키 장벽을 형성한다.

[0093]

도 13 및 도 14는 본 발명의 일 실시예에 따른 상기 투명광검출기(1) 및 상기 제2금속산화물층(500)을 포함하지 않는 광검출기(이하 “비교예”)의 전기적 특성에 대해 도시한다.

[0095]

도 13에 도시된 바와 같이 상기 투명광검출기(1)는 1 내지 400nm 파장범위의 조명 아래에서 0.01 내지 1Acm^{-2} 의 매우 낮은 암전류밀도값을 가지고, 상기 비교예는 1 내지 100nAcm^{-2} 의 높은 암전류밀도값을 가진다. 또한, 도 14에 도시된 바와 같이 상기 비교예는 매우 작은 내부전위값을 가지고, 상기 투명광검출기(1)는 높은 내부전위값을 가진다.

[0096]

종래의 연구에 의하면, 높은 내부전위는 상기 투명광검출기(1) 내부의 쇼트키 장벽을 보존하는 효과를 발휘할

수 있다. 또한, Al_2O_3 를 포함하는 광검출기는 그렇지 않은 광검출기보다 1 내지 400nm 파장범위에서 높은 광반응도를 가지고, 높은 과도 광전류를 가진다.

- [0098] 즉 이와 같이 본 발명의 일 실시예에 따른 상기 투명광검출기(1)는, 쇼트키 접합을 포함하고 있어 우수한 전기적 특성을 가지는 효과를 발휘할 수 있다.
- [0099] 또한 본 발명의 일 실시예에 따른 상기 투명광검출기(1)는, 상기 Al_2O_3 를 포함하는 제2금속산화물층(500)을 포함하고있어 패시베이션을 통해 향상된 내부전위를 가지고, 쇼트키 장벽의 열화를 방지하여 우수한 광반응 특성을 가지는 투명광검출기(1)를 제공하는 효과를 발휘할 수 있다.
- [0101] 도 15 내지 도 18은 본 발명의 일 실시예에 따른 투명광검출기(1)의 광전 특성에 대한 사항을 도시한다.
- [0102] 보다 상세하게는, 도 15 내지 도 18은 본 발명의 일 실시예에 따른 투명광검출기(1) 및 $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ 를 포함하는 전하수송층(300)을 포함하지 않는 광검출기(이하 “비교예”)의 광전 특성에 대한 사항을 도시한다.
- [0103] 이때 도 17에서 빨간색의 선그래프는 본 발명의 일 실시예에 따른 투명광검출기(1)의 광전 특성에 관한 것이고, 검은색의 선그래프는 비교예의 광전 특성에 관한 것이다.
- [0105] 상기 투명광검출기(1)는 도 15에서와 같이 자외선 조명아래에서 광전효과를 발휘할 수 있다.
- [0106] 또한 상기 투명광검출기(1)는 도 16에 도시된 바와 같이 $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ 를 포함하는 전하수송층(300)의 코팅 횟수가 증가할수록 전기전도도가 증가한다. 하지만 종래의 연구에 따르면 $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ 를 포함하는 광검출기의 전기전도도가 증가할수록 투명도는 감소한다. 또한 $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ 를 포함하는 전하수송층(300)의 코팅 횟수가 증가할수록 상기 투명광검출기(1)의 암전류밀도값은 매우 크게 증가한다.
- [0108] 한편 상기 투명광검출기(1)는 도 17에 도시된 바와 같이 1 내지 400nm 파장범위의 조명 아래에서, 1 내지 $50\mu\text{Acm}^{-2}$ 의 광전류밀도값을 가지고, 상기 비교예는 0.1 내지 $5\mu\text{Acm}^{-2}$ 의 광전류밀도값을 가진다. 이는 종래의 연구에서 확인한 바와 일치하며, 전하수송층(300)의 두께 증가로 인해 늘어난 전자 이동 거리로 인한 광 생성 전하수집 확률의 감소에서 기인한 것으로 볼 수 있다.
- [0110] 도 18은 셀프바이어스상태에서 상기 투명광검출기(1)(도 18에서 빨간색선에 해당) 및 상기 비교예(도 18에서 파란색선에 해당)의 파장에 따른 광반응도에 대한 사항을 도시한다.
- [0111] 도 18에 도시된 바와 같이, 상기 투명광검출기(1)는 상기 비교예 대비 390nm의 파장에서 비교적 높은 피크를 가지고, 이때 상기 390nm의 파장은 상기 제1금속산화물이 포함하는 ZnO의 밴드갭(3.2eV)에너지와 일치한다. 도 18에 도시된 바와 같이 상기 투명광검출기(1)는 자외선 영역에서 상기 비교예보다 더 높은 광 반응도를 가진다.
- [0113] 즉 이와 같이 본 발명의 일 실시예에 따른 상기 투명광검출기(1)는 $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ 를 포함하는 전하수송층(300)을 포함하여 높은 투과성과 우수한 자체전력 기능을 가지는 효과를 발휘할 수 있다.
- [0115] 도 19는 본 발명의 일 실시예에 따른 상기 투명광검출기(1) 및 상기 비교예의 광응답시간에 대한 사항을 도시하고, 도 20은 본 발명의 일 실시예에 따른 상기 투명광검출기(1) 및 상기 비교예의 광전류 및 광열전류 특성에 대한 사항을 도시한다.
- [0116] 이때 도 19 내지 도 20에서 빨간색의 선 및 막대그래프는 본 발명의 일 실시예에 따른 투명광검출기(1)의 광반응 특성에 관한 것이고, 파란색의 선 및 막대그래프는 비교예의 광반응 특성에 관한 것이다.
- [0117] 상기 비교예는 $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ 를 포함하지 않는 광검출기에 해당한다.
- [0119] 상기 투명광검출기(1)는 도 19에 도시된 바와 같이 날카로운 피크와 포화 전류 영역을 특징으로 하는 ZnO 기반의 광검출기 공통의 광반응 특성을 가진다.
- [0120] 상기 투명광검출기(1)는 도 20에 도시된 바와 같이 상기 비교예보다 500% 이상 증가한 광전류 및 광열전류를 가진다.
- [0121] 이때 상기 투명광검출기(1)의 광열전류는 한번의 온-오프 사이클에서의 피크 대 피크 전류를 통해 추산하는 것이 바람직하다.
- [0123] 종래의 연구에 의하면 자외선 온-오프 상황에서 광응답시간의 급격한 변화를 보이는 영역은 ZnO의 비중심대칭

구조와 광자의 광열 자극으로 인해 발생하는 초전 효과에 의해 조절되고, 안정된 응답시간을 보이는 영역은 일반적인 광 생성 및 분리 프로세스에 의해 조절된다. 또한 $Ti_3C_2T_x$ 를 포함하는 상기 투명광검출기(1)는 외부바이어스의 증가에 따라 광열전류가 감소하는 특성을 가진다.

[0125] 도 21은 본 발명의 일 실시예에 따른 투명광검출기(1) 및 상기 비교예의 광반응도에 대한 사항을 도시하고, 도 22는 본 발명의 일 실시예에 따른 투명광검출기(1) 및 상기 비교예의 광검출도에 대한 사항을 도시한다.

[0126] 이때 도 21 내지 도 22에서 세모로 표현된 그래프는 본 발명의 일 실시예에 따른 투명광검출기(1)의 광반응 특성에 관한 것이고, 원으로 표현된 그래프는 비교예의 광반응 특성에 관한 것이다.

[0128] 상기 투명광검출기(1) 및 상기 비교예의 R(광반응도) 및 D(광검출도)는 이하의 식으로부터 산출되었다.

$$R = \frac{I_R \left(\frac{mA}{cm^2} \right)}{P \left(\frac{mW}{cm^2} \right)}$$

[0129]

$$D = \frac{R}{\sqrt{2 \times I_D \times q}}$$

[0130]

[0131] 여기서 I_R , P , q 는 응답 전류, 광도, 기본 전하이다.

[0132] 도 21에 도시된 바와 같이 셀프바이어스 상태일 때, 1 내지 400nm 파장범위의 조명 아래 및 10^{-4} 내지 $10^{-2} W/m^2$ 의 광강도 범위에서, 상기 투명광검출기(1)는 10^{-2} 내지 $1 AW^{-1}$ 의 광반응도값을 가지고, 상기 비교예는 10^{-4} 내지 $10^{-2} AW^{-1}$ 의 광반응도값을 가진다.

[0133] 도 22에 도시된 바와 같이 상기 투명광검출기(1)는 셀프바이어스 상태일 때, 1 내지 400nm 파장범위의 조명 아래 및 10^{-4} 내지 $10^{-2} W/m^2$ 의 광강도 범위에서, 10^{10} 내지 10^{15} Jones의 광검출도값을 가지는 반면, 상기 비교예는 셀프바이어스 상태일 때, 1 내지 400nm 파장범위의 조명 아래 및 10^{-4} 내지 $10^{-2} W/m^2$ 의 광강도 범위에서, 10^{10} 내지 10^{12} Jones의 광검출도값을 가진다.

[0135] 즉 이와 같이 본 발명의 일 실시예에 따른 상기 투명광검출기(1)는, $Ti_3C_2T_x/Al_2O_3/ZnO/Ti_3C_2T_x/ITO/PET$ 의 층상구조를 통한 광전 효과 및 초전 효과의 결합으로 우수한 광반응도 및 향상된 광검출도를 가지는 효과를 발휘할 수 있다.

[0137] 도 23은 본 발명의 일 실시예에 따른 투명광검출기(1)의 광응답시간에 대한 사항을 도시한다.

[0139] 도 23에 도시된 바와 같이 상기 투명광검출기(1)는 1 내지 400nm 파장범위의 조명 아래에서, 0.1 내지 $10 \mu s$ 의 상승시간을 가지고, 1 내지 $50 \mu s$ 의 하강시간을 가진다.

[0141] 도 24는 본 발명의 일 실시예에 따른 투명광검출기(1) 및 상기 비교예의 임피던스 분광해석에 대한 사항을 도시한다.

[0142] 이때 도 24에서 빨간색 테두리의 원으로 표현된 그래프는 본 발명의 일 실시예에 따른 투명광검출기(1)의 광반응 특성에 관한 것이고, 파란색 테두리의 원으로 표현된 그래프는 비교예의 광반응 특성에 관한 것이다.

[0144] 도 24에 도시된 바와 같이 상기 투명광검출기(1)는 상기 비교예 보다 작은 크기의 나이퀴스트 플롯을 가지고, 이는 상기 투명광검출기(1)가 상기 비교예보다 더 높은 전하수송능력을 가진다는 것을 의미한다.

[0146] 즉 도 19 내지 도 24에서와 같이, 본 발명의 일 실시예에 따른 $Ti_3C_2T_x$ 를 포함하는 상기 투명광검출기(1)는 $Ti_3C_2T_x$ 의 우수한 전하수송능력을 통해 향상된 광반응 특성을 가지는 효과를 발휘할 수 있다.

[0148] 도 25는 본 발명의 일 실시예에 따른 투명광검출기(1)의 결합구조에 대한 사항을 도시한다.

[0150] 도 25a는 ZnO/ITO 결합구조에 대한 사항을 도시한다. 도 25b는 본 발명의 일 실시예에 따른 상기 투명광검출기(1)의 결합구조에 대한 사항을 도시한다.

[0151] 도 25a에 도시된 바와 같이 ZnO/ITO 결합구조물은 1 내지 5Å의 계면 간격을 가진다.

- [0152] 도 25b에 도시된 바와 같이 상기 투명광검출기(1)는 상기 제1투명전극층(200) 및 상기 전하수송층(300) 계면에서 1 내지 3Å의 계면 간격을 가지고, 상기 전하수송층(300) 및 상기금속산화물층 계면에서 1 내지 3Å의 계면 간격을 가진다.
- [0153] 도 25c는 상기 투명광검출기(1)의 계면 전하이동에 대한 사항을 도시한다.
- [0155] 종래의 연구에 의하면 ZnO/ITO 결합구조물의 ZnO/ITO 계면에서의 전하 이동은 $0.98e^-$ 인 반면, 도 25c에 도시된 바와 같이 상기 투명광검출기(1)는 강한 금속성의 ZnO/Ti₃C₂T_x/ITO 구조를 포함하고 있어, $2.1e^-$ 의 계면 전하 이동을 가진다.
- [0157] 도 26 및 도 27은 본 발명의 일 실시예에 따른 투명광검출기(1)의 에너지구 조에 대한 사항을 도시한다.
- [0158] 도 26 및 도 27에 도시된 바와 같이 상기 투명광검출기(1)는 강한 금속성의 ZnO/Ti₃C₂T_x/ITO 결합 구조를 포함하고 있어, ZnO/ITO 결합구조물보다 많은 수의 페르미 준위를 넘나드는 에너지 밴드를 가진다.
- [0160] 즉 이와 같이 본 발명의 일 실시예에 따른 상기 투명광검출기(1)는, 강력한 금속성의 ZnO/Ti₃C₂T_x/ITO 구조를 포함하고 있어, 향상된 전기적 특성을 가지는 효과를 발휘할 수 있다.
- [0162] 도 28 및 도 29은 본 발명의 일 실시예에 따른 투명광검출기(1)의 성능에 대한 사항을 도시한다.
- [0164] 도 28은 상기 투명광검출기(1)의 광반응 특성에 대한 사항을 도시한다.
- [0165] 보다 상세하게는 1 내지 $220\mu\text{Wcm}^{-2}$ 의 광강도범위의 자외선에서, 상기 투명광검출기(1)의 광반응 특성에 대한 사항을 도시한다. 도 28에 도시된 바와 같이 상기 투명광검출기(1)는 $220\mu\text{Wcm}^{-2}$ 의 자외선 강도 하에서 1 내지 100mAW^{-1} 의 광반응도값 및 10^{10} 내지 10^{13} Jones의 광검출도값을 가지고, $1\mu\text{Wcm}^{-2}$ 의 자외선 광도에서 0.01 내지 1AW^{-1} 의 광반응도값 및 10^{11} 내지 10^{14} Jones의 광검출도값을 가진다.
- [0167] 도 29는 본 발명의 일 실시예에 따른 상기 투명광검출기(1) 및 종래에 공지된 바에 따르는 복수의 자체전력 광검출기의 성능에 대한 사항을 도시한다.
- [0169] 도 29에 도시된 바와 같이, 상기 투명광검출기(1)는 종래의 공지된 사례 보다 우수한 광반응도를 가진다. 또한 종래의 공지된 바에 의하면 자체전력 광검출기에서 높은 투명도 및 광반응도를 가지는 사례는 본 발명의 일 실시예에 따르는 상기 투명광검출기(1)의 사례가 유일하다. 이 같은 향상은 Ti₃C₂T_x를 MXene으로서 포함하여 내부 전위를 증가시키고, 암전류밀도값을 감소시키는 것에서 기인한다.
- [0171] 도 30 및 도 31은 본 발명의 일 실시예에 따른 투명광검출기(1)로 구현되는 광신호 수신기에 대한 사항을 도시한다.
- [0173] 도 30 및 도 31에 도시된 바와 같이 상기 투명광검출기(1)로 구현한 광신호 수신기는 국제 모스 부호로 암호화된 광신호를 수신할 수 있다. 상기 광신호는 자외선의 형태로 송수신되고, 자외선의 특성에 의해 기밀성이 높은 형태로 정보의 송수신이 가능하고, 광신호 수신기는 수신 결과를 디코딩하여 암호화된 정보를 복원할 수 있다.
- [0174] 또한, 상기 투명광검출기(1)로 구현한 광신호 수신기는 급힘 조건에서 암호화된 UV 신호에 대해 동일한 패턴으로 균일한 광 반응을 제공하고, 양면 작동을 명확하게 보여주었다. 상기 투명광검출기(1)를 통해 구현한 광신호 수신기는 양면 특성, 투명성 및 자립성을 가지고 다양한 형태의 웨어러블 전자기기를 제공하는 효과를 발휘할 수 있다.
- [0176] 즉 이와 같이 본 발명의 일 실시예에 따른 상기 투명광검출기(1)는 우수한 광반응도를 가지고, 높은 광검출도를 가지고, 및 짧은 광응답시간을 가지고, 광학적으로 투명하고 유연한 광신호 수신기를 구현하는 효과를 발휘할 수 있다.
- [0178] 이하에서는 본 발명의 일 실시예에 따른 상기 투명광검출기(1)의 제조방법에 대한 사항을 서술한다.
- [0180] 본 발명의 일 실시예에 따른 투명광검출기(1)의 제조방법으로서, 기판층(100)을 배치하는 단계; 상기 기판층(100) 위에 제1투명전극층(200)을 배치하는 단계; 상기 제1투명전극층(200) 위에 Ti₃C₂T_x를 포함하는 전하수송층(300)을 배치하는 단계; 상기 전하수송층(300) 위에 제1금속산화물층(400)을 배치하는 단계; 상기 제1금속산화

물층(400) 위에 제2금속산화물층(500)을 배치하는 단계; 및 상기 제2금속산화물층(500)을 위에 $Ti_3C_2T_x$ 을 포함하는 제2투명전극층(600)을 배치하는 단계를 포함하는, 투명광검출기(1)의 제조방법을 포함할 수 있다.

[0182] 상기 전하수송층(300)을 배치하는 단계에서는, 제1투명전극층 위에 $Ti_3C_2T_x$ 용액을 스핀코팅할 수 있다.

[0183] 또한 상기 제2투명전극층(600)을 배치하는 단계 각각에서는, 제2금속산화물층 위에 $Ti_3C_2T_x$ 용액을 스핀코팅할 수 있다.

[0185] 이때 상기 $Ti_3C_2T_x$ 용액은, 9M 수용성 HCl 용액 40mL에 3.2g의 LiF를 완전히 용해하여 에칭용액을 준비하는 단계; 에칭용액 2.0g의 Ti_3AlC_2 MAX 분말을 첨가하고 400rpm으로 자기 교반(400rpm)을 진행하는 단계; $50^\circ C$ 에서 30시간 동안 Ti_3AlC_2 에서 Al을 선택적으로 에칭하는 단계; 에칭 결과물을 초순수로 4500 rpm에서 10분간 원심분리하여 세척하는 단계; 분리된 $Ti_3C_2T_x$ 침전물을 초순수에 분산시키는 단계; 및 초음파 처리를 통해 용매를 에탄올로 교환하는 단계;를 통해 제조되는 것이 바람직하다.

[0187] 상기 제1금속산화물층(400)을 배치하는 단계에서는, 1 내지 500W의 RF 파워, 1 내지 500sccm의 Ar 유량, 1 내지 50mTorr의 압력하에서 15분 동안 스퍼터링공정을 수행한 후, 1 내지 1000W의 RF 파워, 1 내지 500sccm의 Ar 유량, 1 내지 50mTorr의 압력하에서 30분 동안 스퍼터링공정을 수행함으로써, 상기 제1금속산화물층(400)을 형성할 수 있다.

[0188]

[0189] 상기 제2금속산화물층(500)을 배치하는 단계에서는, 실온에서, 50sccm의 N_2 유량하에서 트리메틸알루미늄 및 초순수를 전구체로 사용하여 각각 10초동안 ALD공정을 수행함으로써, 상기 제2금속산화물층(500)을 형성할 수 있다.

[0191] 즉 본 발명은 상기와 같은 단계를 통해 투명광검출기를 제조할 수 있고, 상기 투명광검출기는 제1금속산화물층을 중심으로 하여 형성되는 3차원반도체구조가 적용된 MXene 기반의 투명광검출기에 해당한다.

[0193] 본 발명의 일 실시예에 따르면, MXene을 전하수송층 및 투명전극으로 사용하여 3차원반도체의 광열전류를 향상시켜 우수한 광반응도 및 향상된 광검출도를 가지고, 및 높은 투과율을 가지는, MXene/3차원반도체 기반 투명광검출기를 제공하는 효과를 발휘할 수 있다.

[0194] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 투명광검출기는 강력한 금속성의 $ZnO/Ti_3C_2T_x/ITO$ 구조를 포함하고 있어, 향상된 전기적 특성을 가지는 효과를 발휘할 수 있다.

[0195] 본 발명의 일 실시예에 따르면, $Ti_3C_2T_x/Al_2O_3/ZnO/Ti_3C_2T_x/ITO/PET$ 의 층상구조를 통해 380 내지 825nm 파장범위에서 우수한 광투과율을 구현하는 효과를 발휘할 수 있다.

[0196] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 투명광검출기는 쇼트키 접합을 포함하고 있어 우수한 전기적 특성을 가지는 효과를 발휘할 수 있다.

[0197] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 제2금속산화물층은 Al_2O_3 를 포함하고 있어 패시베이션을 통해 향상된 내부전위를 가지고, 쇼트키 장벽의 열화를 방지하여 우수한 광반응 특성을 가지는 효과를 발휘할 수 있다.

[0198] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 투명광검출기가 $Ti_3C_2T_x$ 를 포함하는 전하수송층을 포함하고 있어 높은 투과성과 우수한 자체전력 기능을 가지는 효과를 발휘할 수 있다.

[0199] 본 발명의 일 실시예에 따르면, $Ti_3C_2T_x/Al_2O_3/ZnO/Ti_3C_2T_x/ITO/PET$ 의 층상구조를 통한 광전 효과 및 초전 효과의 결합으로 우수한 광반응도 및 향상된 광검출도를 가지는 효과를 발휘할 수 있다.

[0200] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 우수한 광반응도를 가지고, 높은 광검출도를 가지고, 짧은 광응답시간을 가지고, 및 광학적으로 투명하고 유연한 광신호 수신기를 구현하는 효과를 발휘할 수 있다.

[0202] 이상과 같이 실시예들이 비록 한정된 실시예와 도면에 의해 설명되었으나, 해당 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 상기의 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다. 예를 들어, 설명된 기술들이 설명된 방법과 다른 순서로 수행되거나, 및/또는 설명된 시스템, 구조, 장치, 회로 등의 구성요소들이 설명된 방법과 다른 형태로 결합 또는 조합되거나, 다른 구성요소 또는 균등물에 의하여 대치되거나 치환되더라도 적절한 결과가 달성될

수 있다. 그러므로, 다른 구현들, 다른 실시예들 및 특허청구범위와 균등한 것들도 후술하는 특허청구범위의 범위에 속한다.

부호의 설명

1: 투명광검출기

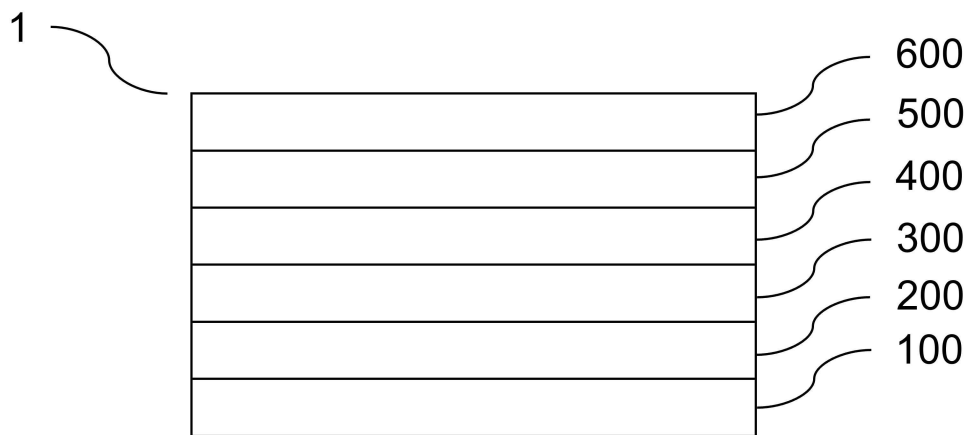
100: 기판층 200: 제1투명전극층

300: 전하수송층 400: 제1금속산화물층

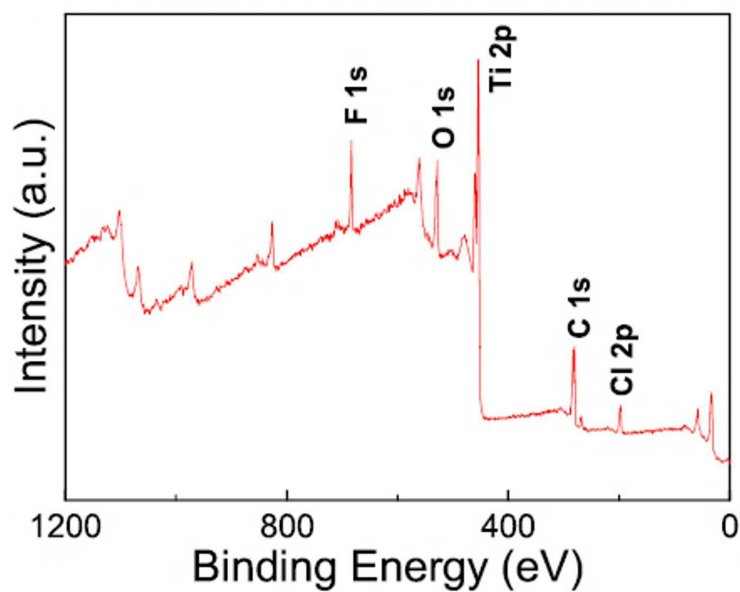
500: 제2금속산화물층 600: 제2투명전극층

도면

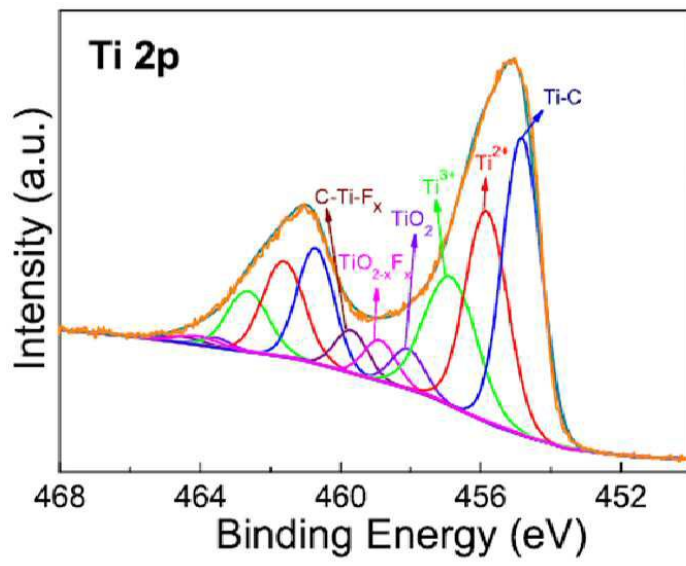
도면1



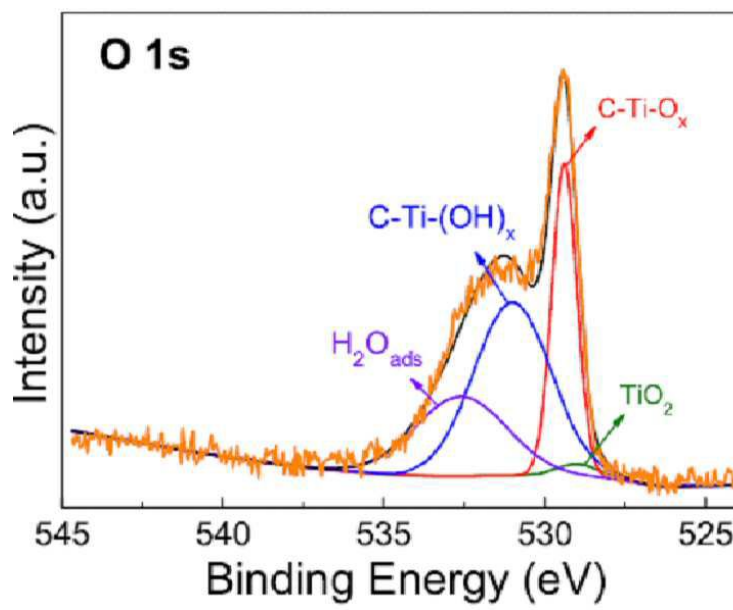
도면2



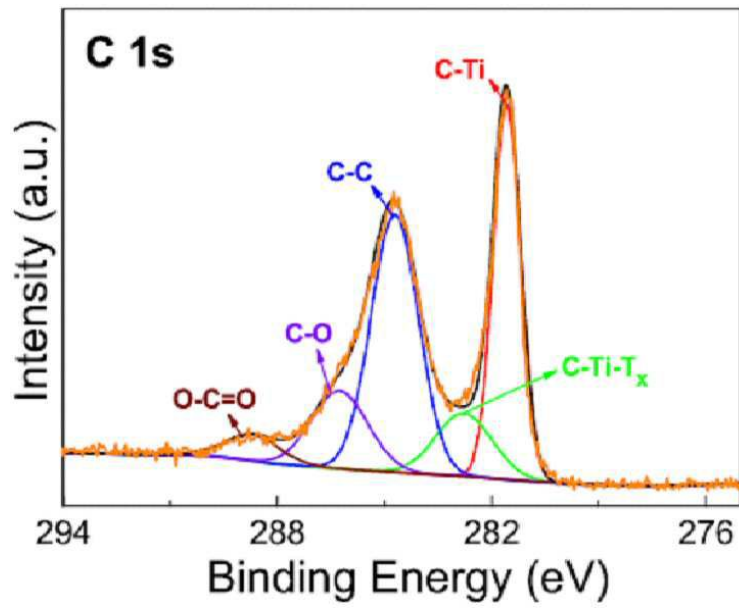
도면3



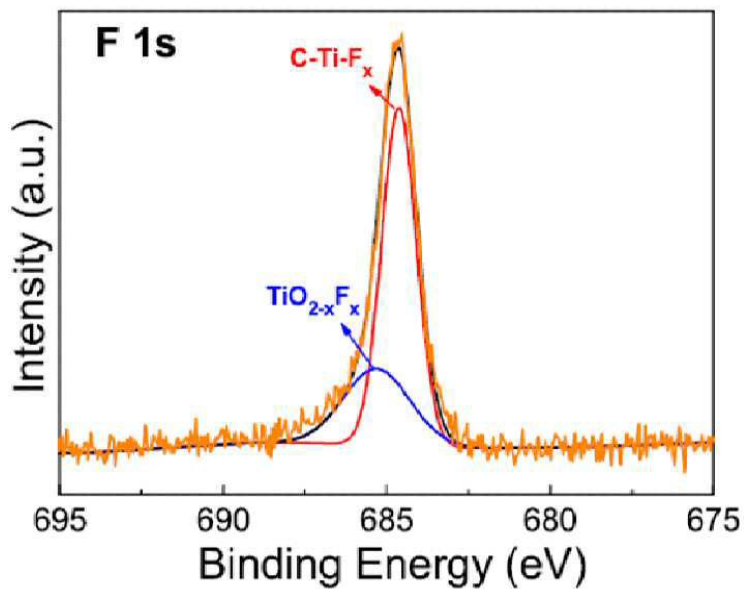
도면4



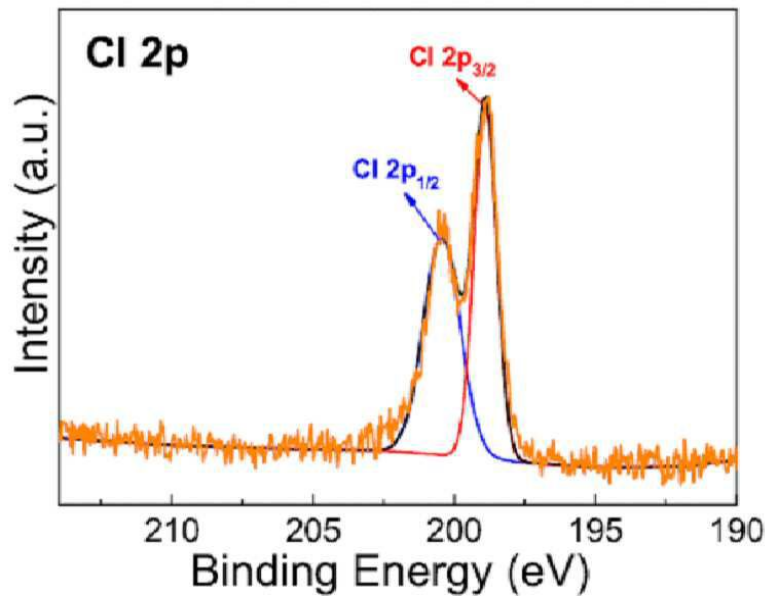
도면5



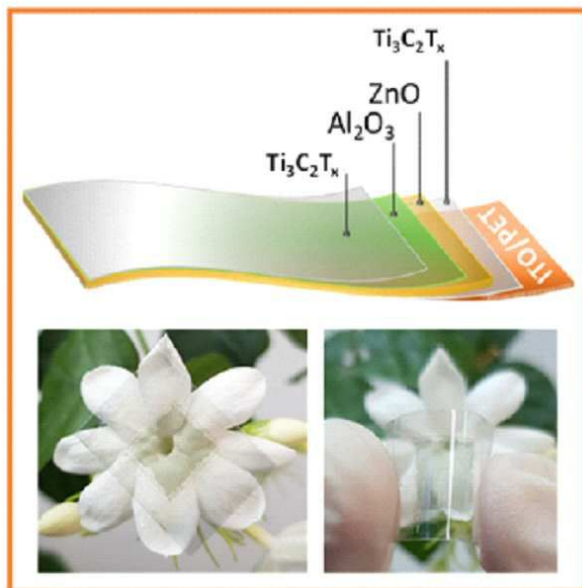
도면6



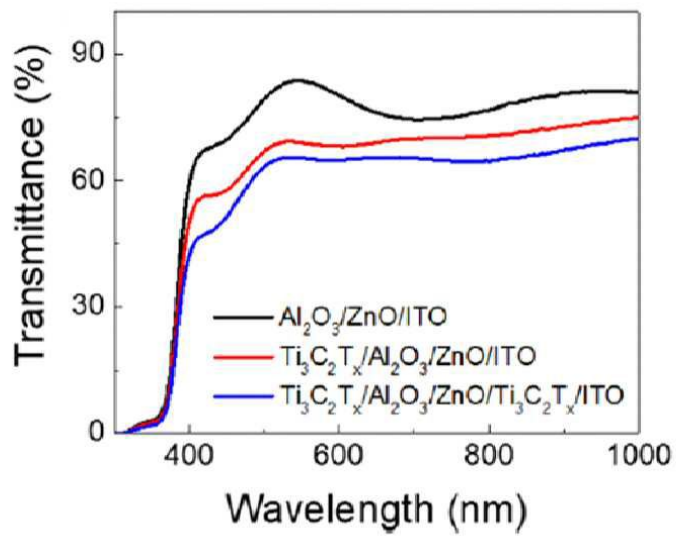
도면7



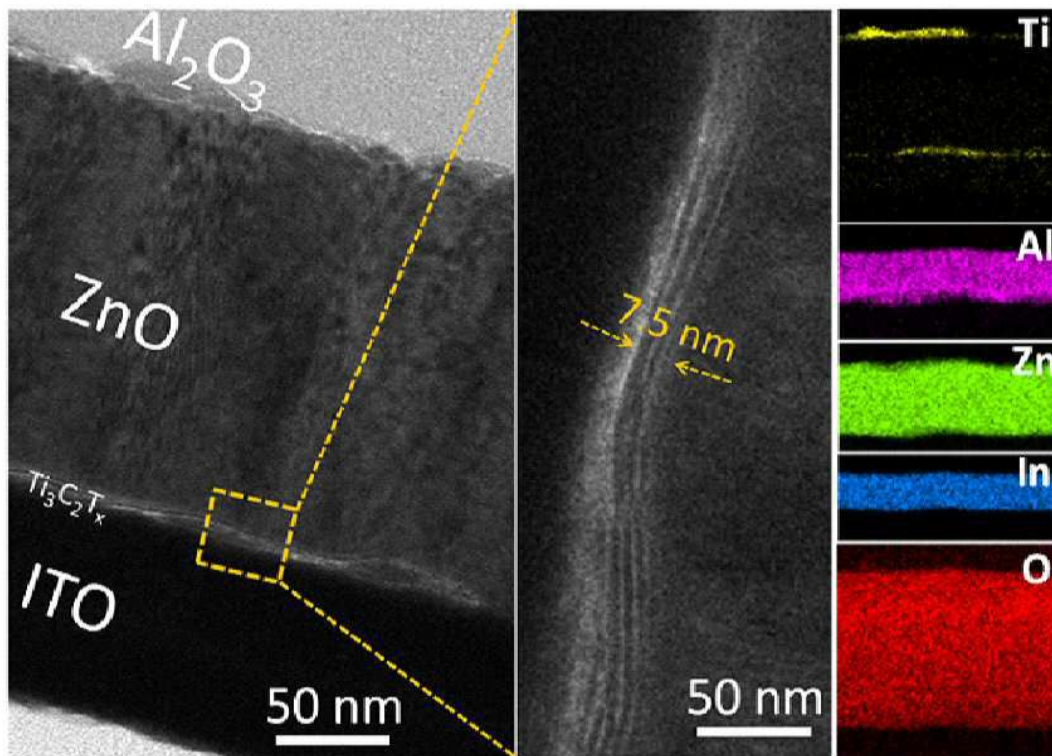
도면8



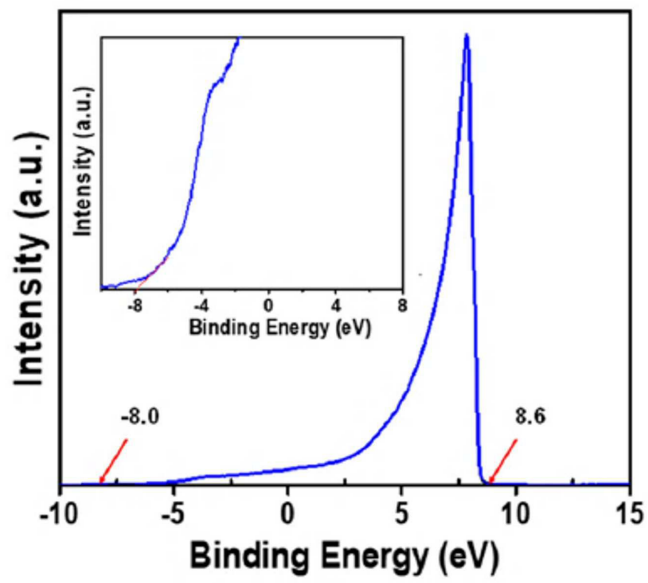
도면9



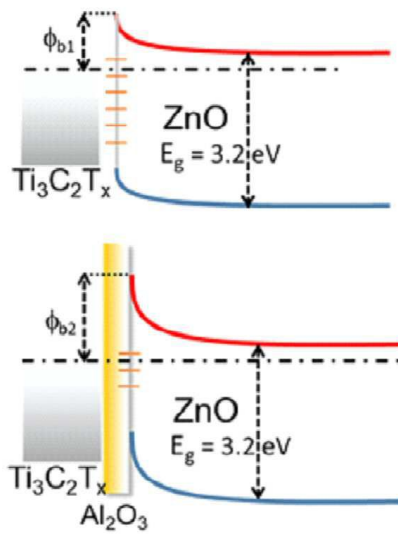
도면10



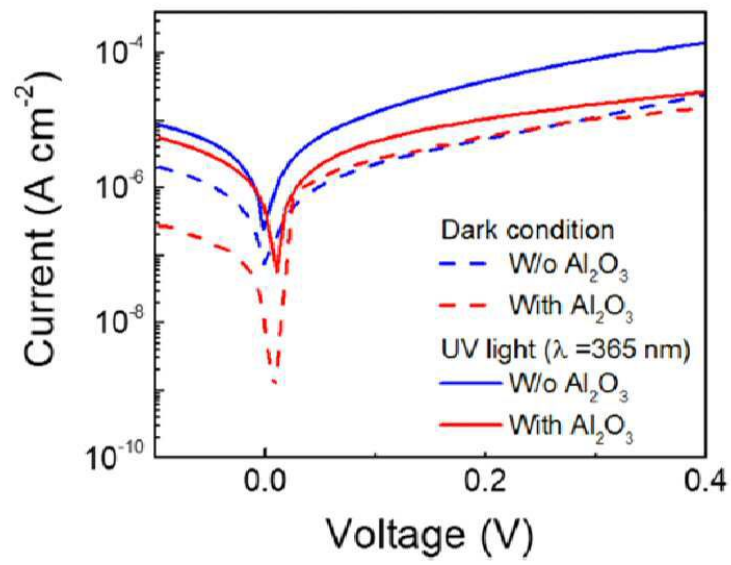
도면11



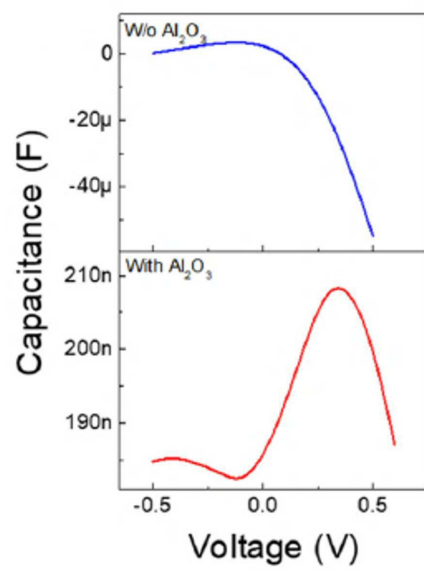
도면12



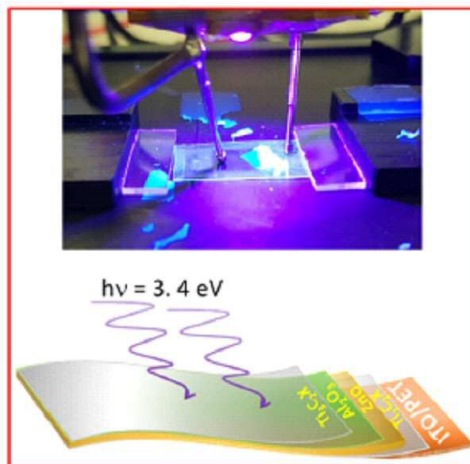
도면13



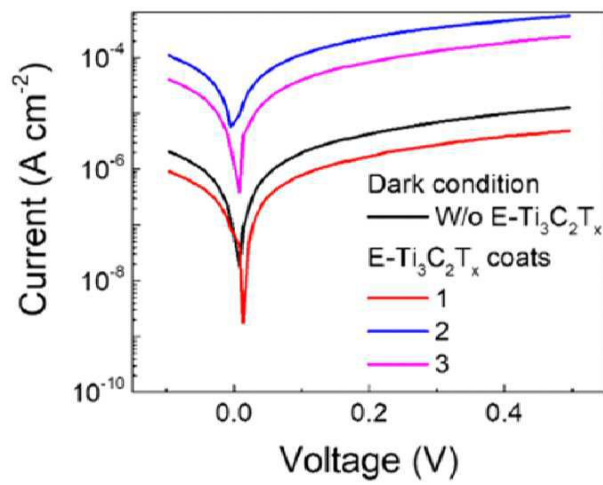
도면14



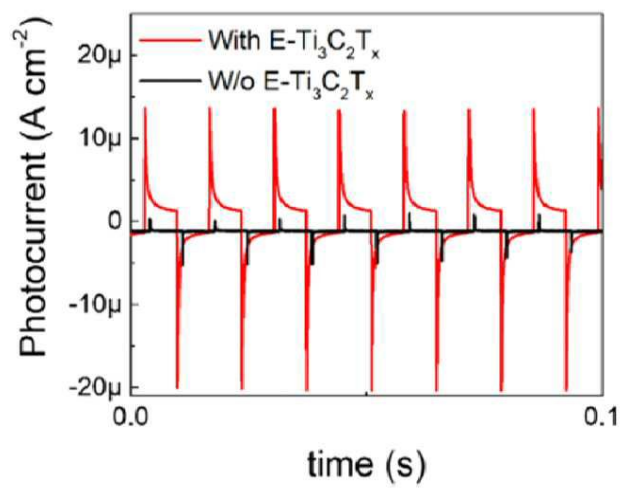
도면15



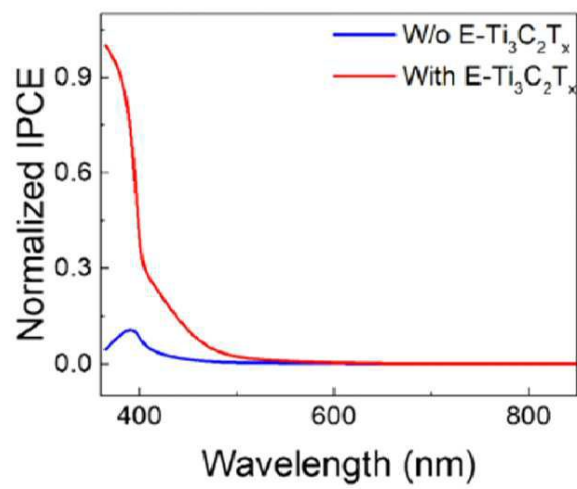
도면16



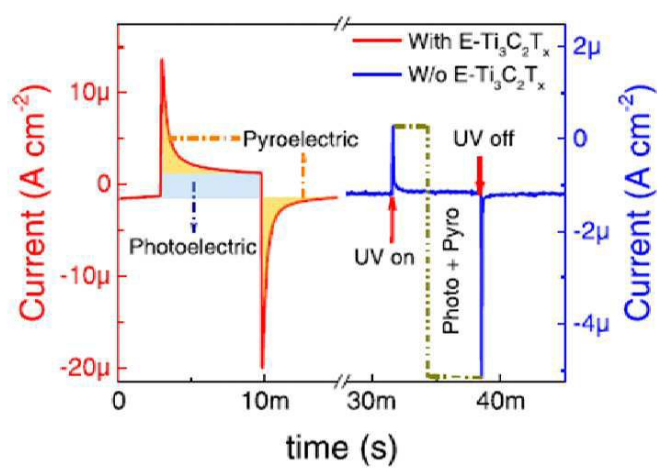
도면17



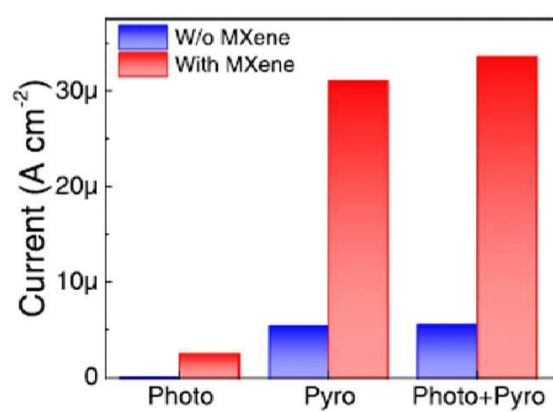
도면18



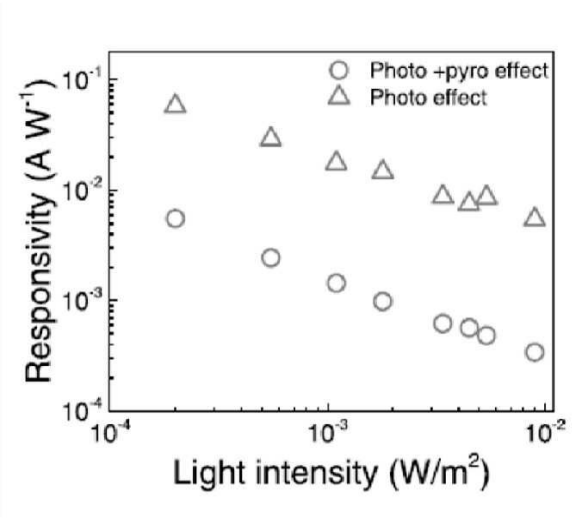
도면19



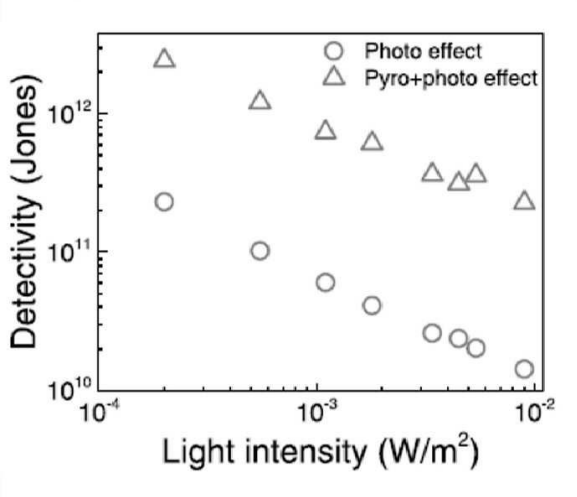
도면20



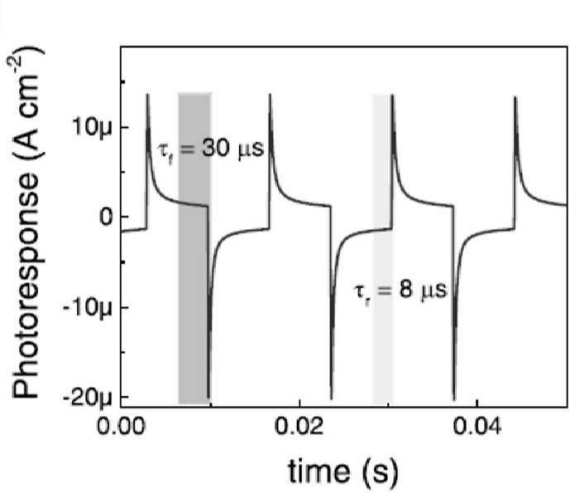
도면21



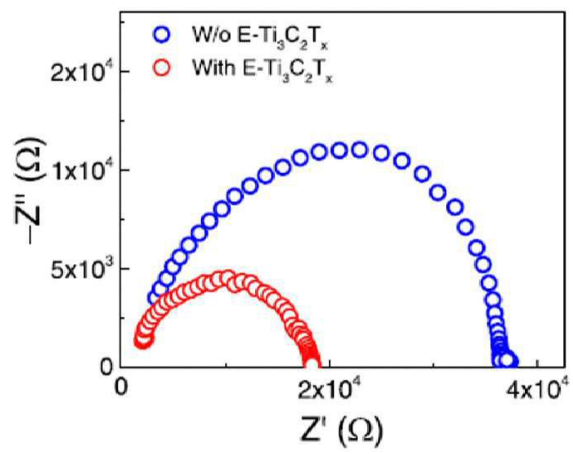
도면22



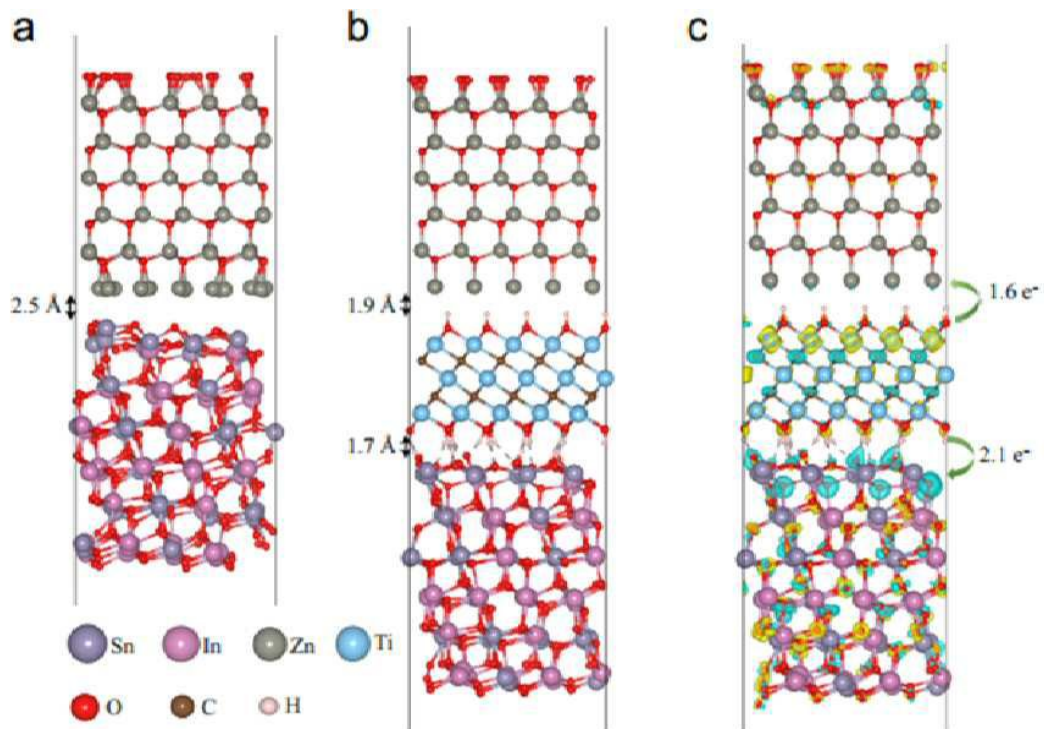
도면23



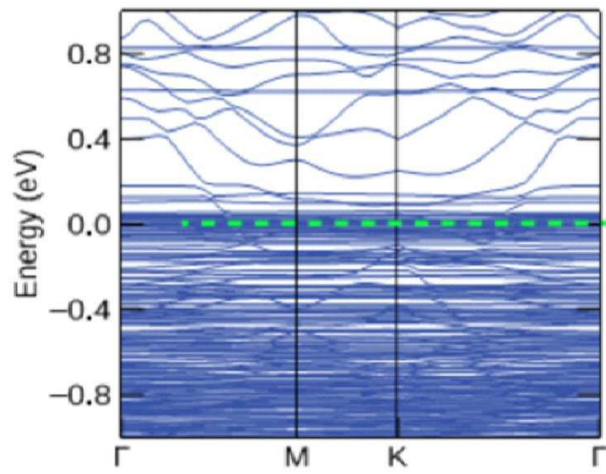
도면24



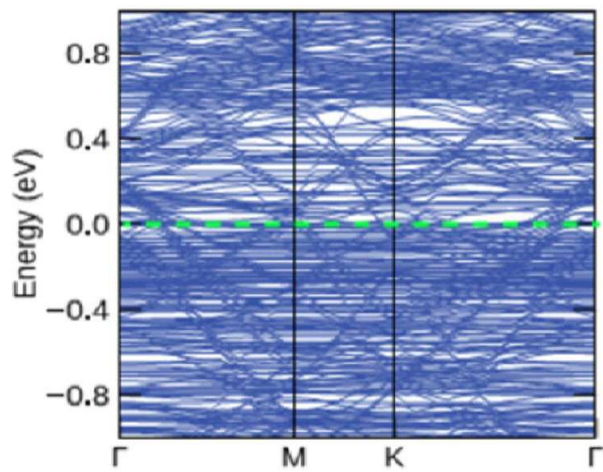
도면25



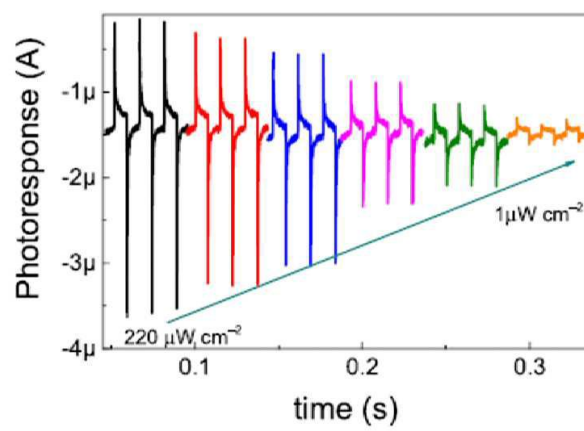
도면26



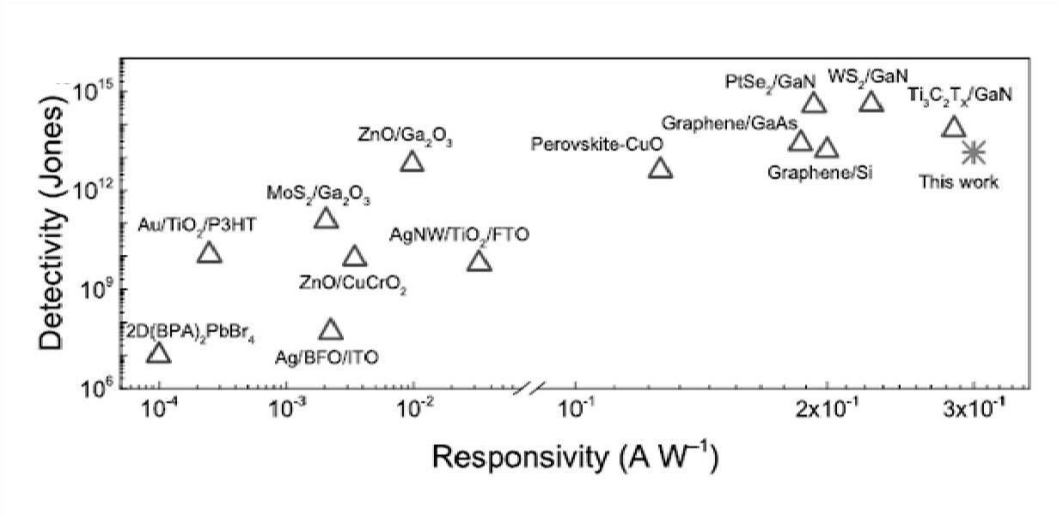
도면27



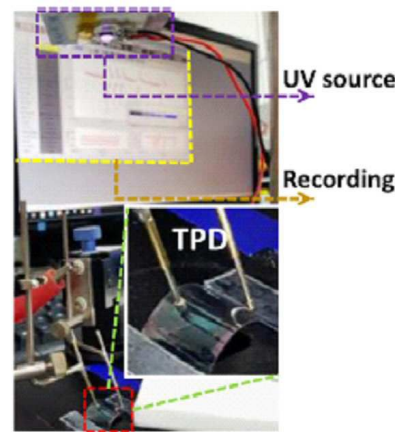
도면28



도면29



도면30



도면31

