



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2022-0108563
(43) 공개일자 2022년08월03일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 31/101 (2006.01) H01L 27/146 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H01L 31/101 (2013.01)
H01L 27/146 (2021.08)
(21) 출원번호 10-2021-0011704
(22) 출원일자 2021년01월27일
심사청구일자 2021년01월27일

(71) 출원인
인천대학교 산학협력단
인천광역시 연수구 아카데미로 119 (송도동)
(72) 발명자
김준동
인천 연수구 송도과학로51번길 136 캐슬&해모로
204동 705호
앵게이언 탄타이
인천광역시 연수구 송도1동 아카데미로 119, 인천
대학교 전기공학과
파텔 말케시 쿠마르
인천광역시 연수구 송도1동 아카데미로 119, 인천
대학교 전기공학과
(74) 대리인
강정빈, 심찬, 송두현

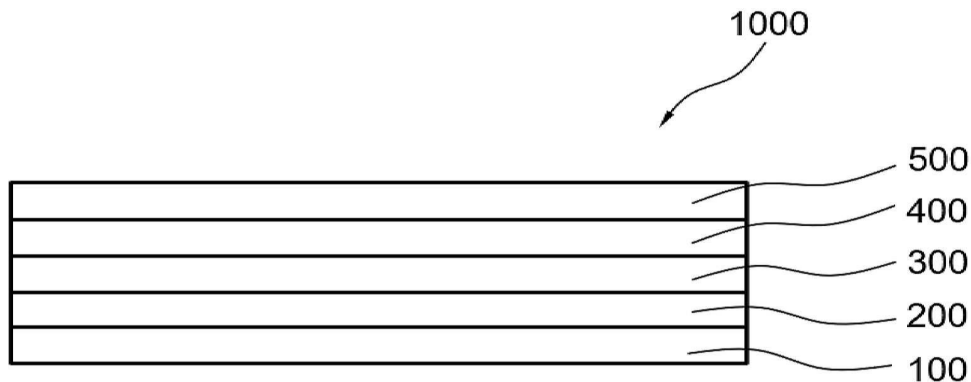
전체 청구항 수 : 총 10 항

(54) 발명의 명칭 투명 자가동력 광검출장치 및 이의 제조방법

(57) 요약

본 발명은 NiO/TiO₂ 이중접합을 이용하여, 빠른 반응성과 검출성을 가지면서 여러 번 작동시켜도 성능을 유지할 수 있는 투명 자가동력 광검출장치 및 이의 제조방법에 관한 것으로서, 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 자가동력 광검출장치는 기판층; 상기 기판층 위에 배치되는, 투명전극층; 상기 투명전극층 위에 배치되는 제1 산화물반도체층; 상기 제1 산화물반도체층 위에 배치되는 제2 산화물반도체층; 상기 제2 산화물반도체층 위에 배치되는 금속층;을 포함한다.

대표도 - 도1



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711107490
과제번호	2020R1A2C100948011
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	4/10
과제수행기관명	인천대학교
연구기간	2020.03.01 ~ 2023.02.28

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711119637
과제번호	2020H1D3A2A0208588412
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	해외고급과학자초빙(Brain Pool)사업
연구과제명	고성능 반도체 투명 태양광 에너지 시스템 및 순환 에너지 기술 개발
기 여 율	2/10
과제수행기관명	인천대학교
연구기간	2020.07.01 ~ 2022.12.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1415169081
과제번호	KETEP-20203030010310
부처명	산업통상자원부
과제관리(전문)기관명	한국에너지기술평가원
연구사업명	에너지기술개발사업
연구과제명	고효율 터널 산화막을 이용한 패시베이션 전극형 셀과 모듈 개발
기 여 율	2/10
과제수행기관명	인천대학교
연구기간	2020.05.01 ~ 2024.04.30

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1345320689
과제번호	2020R1I1A1A0106857311
부처명	교육부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	창의도전연구기반지원사업
연구과제명	태양에너지를 이용한 바닷물 분해 및 정제를 통한 희소 광물 추출 및 수소에너지 포
획 기술 개발	
기 여 율	2/10
과제수행기관명	인천대학교
연구기간	2020.06.01 ~ 2022.05.31

명세서

청구범위

청구항 1

투명 자가동력 광검출장치로서,

기관층;

상기 기관층 위에 배치되는, 투명전극층;

상기 투명전극층 위에 배치되는 제1 산화물반도체층;

상기 제1 산화물반도체층 위에 배치되는 제2 산화물반도체층;

상기 제2 산화물반도체층 위에 배치되는 금속층; 을 포함하고,

상기 제1 산화물반도체층은 n형으로서 p/n 이종접합 구조를 형성하는 TiO_2 를 포함하고,

상기 제2 산화물반도체층은 p형으로서 p/n 이종접합 구조를 형성하는 NiO 를 포함하는, 투명 자가동력 광검출장치.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 제1 산화물반도체층은 루타일 TiO_2 를 포함하는, 투명 자가동력 광검출장치.

청구항 3

청구항 1에 있어서,

상기 제1 산화물반도체층은,

Ar 분위기에서 압력을 가해서 Ti를 타겟으로 하여 스퍼터링을 수행하는 스퍼터링단계;

스퍼터링을 통해 형성된 층에 산화반응이 일어나도록 가열하는 산화반응단계; 및

스퍼터링을 통해 형성되고 산화반응이 일어난 층에 어닐링을 수행하는 어닐링단계; 에 의하여 형성되는, 투명 자가동력 광검출장치.

청구항 4

청구항 3에 있어서,

상기 스퍼터링단계는 1 내지 100 mTorr의 압력 및 1 내지 100 sccm의 Ar 분위기에서, Ti를 타겟으로 하여 스퍼터링을 수행하는, 투명 자가동력 광검출장치.

청구항 5

청구항 3에 있어서,

상기 산화반응단계는 300 내지 800° C의 온도에서 5 내지 1시간 동안 수행되는, 투명 자가동력 광검출장치.

청구항 6

청구항 3에 있어서,

상기 어닐링단계는 Ar 분위기에서, 300 내지 900° C의 온도에서 5 내지 25분 동안 수행되는, 투명 자가동력 광검출장치.

청구항 7

청구항 1에 있어서,

상기 제2 산화물반도체층은 Ar/O₂ 분위기에서 압력을 가해서 Ni를 타겟으로 하여 스퍼터링을 수행하는 스퍼터링 단계;에 의하여 형성되는, 투명 자가동력 광검출장치.

청구항 8

청구항 7에 있어서,

상기 스퍼터링단계는 1 내지 5 mTorr의 압력 및 10/3 내지 30/7 sccm의 Ar/O₂ 분위기에서, Ni를 타겟으로 하여 스퍼터링을 수행하는, 투명 자가동력 광검출장치.

청구항 9

청구항 1에 있어서,

상기 금속층은 Ag를 포함하는, 투명 자가동력 광검출장치.

청구항 10

투명 자가동력 광검출장치로서의 제조방법으로서,

기관층;을 준비하는 단계;

상기 기관층 위에 투명전극층;을 배치하는 단계;

상기 투명전극층 위에 제1 산화물반도체층;를 배치하는 단계;

상기 제1 산화물반도체층 위에 제2 산화물반도체층;를 배치하는 단계; 및

상기 제2 산화물반도체층 위에 금속층;를 배치하는 단계;를 포함하고,

상기 제1 산화물반도체층은 n형으로서 p/n 이종접합 구조를 형성하는 TiO₂를 포함하고,

상기 제2 산화물반도체층은 p형으로서 p/n 이종접합 구조를 형성하는 NiO를 포함하는, 투명 자가동력 광검출장치의 제조방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 투명 자가동력 광검출장치 및 이의 제조방법에 관한 것으로서,

[0002] 빠른 반응성과 검출성을 가지면서 여러 번 작동시켜도 성능을 유지하는 안정성으로 센서나 메모리 응용장치 등 투명 광전자기기에 이용될 수 있는 투명 자가동력 광검출장치 및 이의 제조방법에 관한 것이다.

배경 기술

- [0004] 투명 광전자(Transparent photoelectric) 기술은 사람의 시야를 방해하지 않고, 입사 광선을 전기에너지로 바꿀 수 있다. 투과성은 태양광 전지, 뉴로모픽 컴퓨팅(neuromorphic computing), 포토트랜지스터, 발광다이오드와 같은 투과 응용장치(see-through application)에 활용될 수 있다. 특히, 투명 광센서는 스마트 윈도우, 이미지 처리, 광통신에서 플랫폼 역할을 할 수 있다. 다양한 반도체 재료와 기기 구조는 고성능 투명 광검출장치(Transparent photodetectors, TPD)를 개발하기 위해 활용되고 있다. 대다수의 투명 광검출장치는 높은 에너지를 가진 광자($h\nu > 3$ eV, 자외선(UV))를 흡수해서 넓은 밴드갭(bandgap)을 가진 재료에서의 전자 여기(electron excitation)으로 작동한다. 이와 같은 투명 광검출장치는 자외선을 기반으로 하는 통신 시스템과 환경 모니터링에서 필수적이다.
- [0005] 다색 검출이 가능한 투명 광검출장치는 넓은 스펙트럼 전환과 메모리 저장 응용 장치의 성능을 더 올릴 수 있다. 투명 광검출장치의 효율을 상승시키기 위해서는 광검출장치의 5S(반응성(sensitivity), 속도(speed), 안정성(stability), 신호 대 잡음비(signal-to-noise ratio), 스펙트럼 선정성(spectral selectivity)) 기준을 만족시켜야 한다. 자가동력 광검출장치는 에너지 측면에서 효율적일 뿐만 아니라, 집적회로 기술의 발전에도 중요하다.
- [0006] 광학 투과성, 자가동력 및 광대역 광검출성을 구현하기 위해 다기능 광검출장치가 필요하다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0008] (특허문헌 0001) 한국등록특허 10-1357053 B1 “계층구조 이산화티탄 분말 제조방법 및 이를 이용한 염료감응형 태양전지 제조방법” (2014.01.23 등록)

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0009] 본 발명의 목적은 빠른 반응성과 검출성을 가지면서 여러 번 작동시켜도 성능을 유지하는 안정성으로 센서나 메모리 응용장치 등 투명 광전자기기에 이용될 수 있는, 투명 자가동력 광검출장치 및 이의 제조방법을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

- [0011] 상기와 같은 과제를 해결하기 위하여 본 발명의 일 실시예는, 투명 자가동력 광검출장치로서, 기판층; 상기 기판층 위에 배치되는, 투명전극층; 상기 투명전극층 위에 배치되는 제1산화물반도체층; 상기 제1산화물반도체층 위에 배치되는 제2산화물반도체층; 상기 제2산화물반도체층 위에 배치되는 금속층; 을 포함하고, 상기 제1산화물반도체층은 n형으로서 p/n 이종접합(hetero junction) 구조를 형성하는 TiO_2 를 포함하고, 상기 제2산화물반도체층은 p형으로서 p/n 이종접합 구조를 형성하는 NiO 를 포함하는, 투명 자가동력 광검출장치를 제공한다.
- [0012] 본 발명의 일 실시예에서는, 상기 제1산화물반도체층은 루타일 TiO_2 를 포함할 수 있다.
- [0013] 본 발명의 일 실시예에서는, 상기 제1산화물반도체층은, Ar 분위기에서 압력을 가해서 Ti를 타겟으로 하여 스퍼터링을 수행하는 스퍼터링단계; 스퍼터링을 통해 형성된 층에 산화반응이 일어나도록 가열하는 산화반응단계; 및 스퍼터링을 통해 형성되고 산화반응이 일어난 층에 어닐링을 수행하는 어닐링단계; 에 의하여 형성될 수 있다.
- [0014] 본 발명의 일 실시예에서는, 상기 스퍼터링단계는 3 내지 7 mTorr의 압력 및 30 내지 70 sccm의 Ar 분위기에서,

Ti를 타겟으로 하여 스퍼터링을 수행할 수 있다.

- [0015] 본 발명의 일 실시예에서는, 상기 산화반응단계는 300 내지 800° C의 온도에서 5 내지 1시간 동안 수행될 수 있다.
- [0016] 본 발명의 일 실시예에서는, 상기 어닐링단계는 Ar 분위기에서, 300 내지 900° C의 온도에서 5 내지 25분 동안 수행될 수 있다.
- [0017] 본 발명의 일 실시예에서는, 상기 제2산화물반도체층은 Ar/O₂ 분위기에서 압력을 가해서 Ni을 타겟으로 하여 스퍼터링을 수행하는 스퍼터링단계;에 의하여 형성될 수 있다.
- [0018] 본 발명의 일 실시예에서는, 상기 스퍼터링단계는 5 내지 20분 동안 1 내지 5 mTorr의 압력 및 10/3 내지 30/7 sccm의 Ar/O₂ 분위기에서, Ni를 타겟으로 하여 스퍼터링을 수행할 수 있다.
- [0019] 본 발명의 일 실시예에서는, 상기 금속층은 Ag를 포함할 수 있다.
- [0020] 상기와 같은 과제를 해결하기 위하여 본 발명의 일 실시예에서는, 투명 자가동력 광검출장치로서의 제조방법으로서, 기판층;을 준비하는 단계; 상기 기판층 위에 투명전극층;을 배치하는 단계; 상기 투명전극층 위에 제1산화물반도체층;를 배치하는 단계; 상기 제1산화물반도체층 위에 제2산화물반도체층;를 배치하는 단계; 및 상기 제2산화물반도체층 위에 금속층;를 배치하는 단계;를 포함하고, 상기 제1산화물반도체층은 n형으로서 p/n 이중접합 구조를 형성하는 TiO₂를 포함하고, 상기 제2산화물반도체층은 p형으로서 p/n 이중접합 구조를 형성하는 NiO를 포함하는, 투명 자가동력 광검출장치의 제조방법을 제공한다.

발명의 효과

- [0022] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 투명 자가동력 광검출장치를 이용하여, 빠른 반응성과 검출성을 가지면서 여러 번 작동시켜도 성능을 유지하는 안정성으로 센서나 메모리 응용장치 등 투명 광전자기에 이용될 수 있는 투명 자가동력 광검출장치 및 이의 제조방법을 제공할 수 있다.
- [0023] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 전체 가시광선 파장에서 투과율이 65% 이상인 광검출장치를 구현할 수 있다.
- [0024] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 자외선 조명을 받았을 때 0.42 A W⁻¹이상의 높은 반응성과 8.5×10⁹ Jones 이상의 높은 검출성을 가지는 광검출장치를 구현할 수 있다.
- [0025] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 20,000회 이상 작동을 해도 일정한 반응성과 검출성을 가지는 광검출장치를 구현할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0027] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 광검출장치 구조를 개략적으로 도시한다.
- 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 광검출장치의 형성 단계를 개략적으로 도시한다.
- 도 3은 본 발명의 일 실시예들에 따른 투명 광검출장치 구조 및 전류-전압 특성에 대하여 도시한다.
- 도 4는 본 발명의 일 실시예들에 따른 투명 광검출장치의 광 파장에 대한 성능, 광전류 및 에너지 밴드 다이어그램(energy band diagram)에 대하여 도시한다.
- 도 5는 본 발명의 일 실시예들에 따른 투명 광검출장치의 빛의 세기(light intensity)에 대한 성능, 광전류 및 안정성에 대하여 도시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0028] 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.

- [0029] 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.
- [0030] 더불어, 용어 "또는"은 배타적 "또는"이 아니라 내포적 "또는"을 의미하는 것으로 의도된다. 즉, 달리 특정되지 않거나 문맥상 명확하지 않은 경우에, "X는 A 또는 B를 이용한다"는 자연적인 내포적 치환 중 하나를 의미하는 것으로 의도된다. 즉, X가 A를 이용하거나; X가 B를 이용하거나; 또는 X가 A 및 B 모두를 이용하는 경우, "X는 A 또는 B를 이용한다"가 이들 경우들 어느 것으로도 적용될 수 있다. 또한, 본 명세서에 사용된 "및/또는"이라는 용어는 열거된 관련 아이템들 중 하나 이상의 아이템의 가능한 모든 조합을 지칭하고 포함하는 것으로 이해되어야 한다.
- [0031] 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.
- [0032] 또한, 본 명세서에서 명백하게 다른 내용을 지시하지 않는 “한” 과, “상기” 와 같은 단수 표현들은 복수 표현들을 포함한다는 것이 이해될 수 있을 것이다.
- [0033] 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.
- [0034] 또한, 본 명세서에서 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 명세서에서, "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.
- [0035] 또한, 본 발명의 실시예들에서, 별도로 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 문맥 상 가지는 의미와 일치하는 의미를 가지는 것으로 해석되어야 하며, 본 발명의 실시예에서 명백하게 정의하지 않는 한, 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미로 해석되지 않는다.
- [0037] 본 발명의 실시예에서는 금속 산화물 이중접합으로 형성된 자가동력 광검출장치를 보여준다. TiO_2 의 넓은 에너지 밴드갭($E_g \geq 3 \text{ eV}$)은 NiO 층을 기반으로 하는 투과성이 높은 광학 장치를 구현할 수 있도록 한다. NiO 와 TiO_2 의 이중접합이 형성되어 동시에 NiO 와 TiO_2 의 페르미 에너지(Fermi energies)의 차이에 의한 광기전 효과(photovoltaic effect)가 발생한다. 자가동력 투명 NiO/TiO_2 광검출장치는 외부 bias없이 높은 반응성(0.43 A W^{-1})과 검출성($8.6 \times 10^9 \text{ Jones}$)을 가지고 있다. 바람직하게는, 20,000회 이상의 테스트를 통해 투명 광검출장치의 안정성을 확인할 수 있다. TiO_2 를 기반으로 하는 투명 광전자 장치의 특성은 투명 광전지(photovoltaics), 광대역 빛 감지 및 광전자 응용 장치를 구현할 수 있다.
- [0039] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 광검출장치 구조를 개략적으로 도시한다.
- [0040] 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 자가동력 광검출장치는 기관층(100); 상기 기관층(100) 위에 배치되는, 투명 전극층(200); 상기 투명전극층(200) 위에 배치되는 제1산화물반도체층(300); 상기 제1산화물반도체층(300) 위에 배치되는 제2 산화물반도체층(400); 상기 제2산화물반도체층(400) 위에 배치되는 금속층(500);을 포함한다.

- [0041] 바람직하게는, 상기 투명전극층(200)은, 투명전도막(Transparent conductive oxide, TCO)으로서, FT0(Fluorine-doped Tin Oxide)를 포함할 수 있다.
- [0042] 상기 제1산화물반도체층(300)은 n형으로서 p/n 이종접합 구조를 형성하는 TiO_2 를 포함하고, 상기 제2산화물반도체층(400)은 p형으로서 p/n 이종접합 구조를 형성하는 NiO를 포함한다.
- [0044] 바람직하게는, 상기 제1산화물반도체층(300)은 루타일 TiO_2 를 포함한다.
- [0045] 바람직하게는, 상기 제1산화물반도체층(300)은, Ar 분위기에서 압력을 가해서 Ti를 타겟으로 하여 스퍼터링을 수행하는 스퍼터링단계; 스퍼터링을 통해 형성된 층에 산화반응이 일어나도록 가열하는 산화반응단계; 및 스퍼터링을 통해 형성되고 산화반응이 일어난 층에 어닐링을 수행하는 어닐링단계;에 의하여 형성된다.
- [0047] 바람직하게는, 상기 스퍼터링단계는 1 내지 100, 바람직하게는, 3 내지 7 mTorr의 압력 및 1 내지 100, 바람직하게는, 30 내지 70 sccm의 Ar 분위기에서, Ti를 타겟으로 하여 스퍼터링을 수행한다.
- [0049] 바람직하게는, 상기 산화반응단계는 300 내지 800° C의 온도에서 1분 내지 100분, 바람직하게는, 5분 내지 1시간 동안 수행된다.
- [0051] 바람직하게는, 상기 어닐링단계는 Ar 분위기에서, 100 내지 800° C, 바람직하게는, 300 내지 900° C의 온도에서 5 내지 25분 동안 수행된다.
- [0053] 바람직하게는, 상기 제2 산화물반도체층(400)은 Ar/ O_2 분위기에서 압력을 가해서 Ni을 타겟으로 하여 스퍼터링을 수행하는 Ni스퍼터링단계;에 의하여 형성된다.
- [0054] 바람직하게는, 상기 Ni스퍼터링단계는 1 내지 100 mTorr의 압력의 99:1 내지 70:30 비율의 Ar/ O_2 분위기, 바람직하게는, 5 내지 20분 동안 1 내지 5 mTorr의 압력 및 10:3 내지 30:7 비율의 Ar/ O_2 분위기에서, Ni를 타겟으로 하여 스퍼터링을 수행한다.
- [0055] 바람직하게는, 상기 금속층(500)은 Ag를 포함한다.
- [0057] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 자가동력 광검출장치로서의 제조방법을 도시한다.
- [0058] 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 자가동력 광검출장치를 제조하는 방법은 기판층(100)을 준비하는 단계; 상기 기판층(100) 위에 투명전극층(200)을 배치하는 단계; 상기 투명전극층(200) 위에 제1산화물반도체층(300)을 배치하는 단계; 상기 제1산화물반도체층(300) 위에 제2산화물반도체층(400)을 배치하는 단계; 및 상기 제2산화물반도체층(400) 위에 금속층(500)을 배치하는 단계;를 포함한다
- [0060] 바람직하게는, 상기 제1산화물반도체층(300)은, Ar 분위기에서 압력을 가해서 Ti를 타겟으로 하여 스퍼터링을 수행하는 스퍼터링단계; 스퍼터링을 통해 형성된 층에 산화반응이 일어나도록 가열하는 산화반응단계; 및 스퍼터링을 통해 형성되고 산화반응이 일어난 층에 어닐링을 수행하는 어닐링단계;에 의하여 형성된다.
- [0061] 바람직하게는, 상기 스퍼터링단계는 3 내지 7 mTorr의 압력 및 30 내지 70 sccm의 Ar 분위기에서, Ti를 타겟으로 하여 스퍼터링을 수행한다.
- [0063] 바람직하게는, 상기 산화반응단계는 300 내지 800° C의 온도에서 5 내지 1시간 동안 수행된다.

- [0064] 바람직하게는, 상기 어닐링단계는 Ar 분위기에서, 300 내지 900° C의 온도에서 5 내지 25분 동안 수행된다.
- [0066] 바람직하게는, 상기 제2산화물반도체층(400)은 Ar/O₂ 분위기에서 압력을 가해서 Ni를 타겟으로 하여 스퍼터링을 수행하는 Ni스퍼터링단계;에 의하여 형성된다.
- [0067] 바람직하게는, 상기 Ni스퍼터링단계는 5 내지 20분 동안 1 내지 5 mTorr의 압력 및 10/3 내지 30/7 sccm의 Ar/O₂ 분위기에서, Ni를 타겟으로 하여 스퍼터링을 수행한다.
- [0069] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 광검출장치 구조 및 전류-전압 특성에 대하여 도시한다.
- [0071] 도 3의 a는 TiO₂/FTO/유리 샘플의 단면 주사전자현미경법(scanning electron microscopy, SEM)을 도시하고, FTO/유리 기판에 두께가 120 nm인 TiO₂층이 적층되어 있는 것을 확인할 수 있다
- [0073] 도 3의 b는 크기가 큰 TiO₂/FTO/유리 샘플을 도시하고, 해당 TiO₂/FTO/유리 샘플은 투과성이 높다. TiO₂층의 광 반응성(Photo-reactive)을 확인하기 위해 2종류의 투명 광검출장치를 이용하였다. FTO가 코팅된 유리 위에서 바닥 전극(bottom electrode)으로의 역할을 하는 TiO₂층으로 단일 TiO₂ 광검출장치를 구성하였다. TiO₂층의 윗면과 Ag층의 접점(point contact)으로 윗-전극(top electrode)을 구성하였다. 단일 TiO₂ 광검출장치와 다르게 NiO/TiO₂ 광검출장치는 p형 NiO와 n형 TiO₂가 이종접합을 할 수 있다.
- [0075] 도 3의 c와 f에 광검출장치를 도시한다. TiO₂는 전자-정공 쌍(electron-hole pairs)을 생산하는 주요 광 흡수층(primary light-absorbing layer)의 역할을 할 수 있다. FTO와 Ag는 각각 음극단자, 양극단자에 연결되어 광생 산(photogenerated)된 전자와 정공을 모은다. 태양광이 없을 때와 태양광이 있을 때의 조건에서 측정된 광검출 장치의 전류-전압 프로파일을 통해서 TiO₂를 기반으로 하는 광검출장치의 전기적 특성을 구체적으로 나타낼 수 있다.
- [0077] 도 3의 d와 g에서 동일한 조건에서 측정된 Ag/TiO₂/FTO와 Ag/NiO/TiO₂/FTO의 선형 전류-전압 곡선을 도시한다. 두 장치 모두 비대칭 dark 전류-전압 곡선 경향을 보여주고, 광검출장치에 확산전위(built-in potential: V_{in})가 형성되었다는 것을 보여준다. 자외선이 공급될 때($\lambda=365$ nm), TiO₂를 기반으로 하는 광검출장치는 측정된 bias 전 구간(entire measured bias range)에서 태양광이 없을 때와 태양광이 있을 때 측정된 전류-전압 곡선에서 차이점이 뚜렷함을 확인할 수 있다. Zero bias에서 광전류와 암전류(dark current)의 비로 정의되는 photo-gain은 78 이상이다. 본 발명의 실시예에서는 TiO₂를 기반으로 한 광검출장치가 자가 동력을 해서 크기가 작고 휴대 가능한 광전자 응용 장치를 개발하는데 활용할 수 있는 것을 보여준다.
- [0079] 광검출장치는 광전지 모드(photovoltaic mode)에서 광반응(photoresponse)을 할 수 있다. 태양광이 공급되면서 전류가 흐르기 때문에(transitions between light and current flow) 광기전 효과가 발생할 수 있다. 광전자는 가장 작은 단위의 빛의 양자(quantum of the smallest discrete amount of light)이고 빛에 반응하는 층(layer)에서 전자-정공 쌍을 생산할 수 있다. 공간 전하 영역에 존재하는 전기장은 운반체(carrier)들을 분리시키거나 모을 수 있다. 전자가 모아지면서 페르미레벨의 분리가 발생하여 태양광 전지(solar cell)에 개방회로전압(open-circuit voltage: V_{oc})을 만들고 이 전압을 사용해서 외부 장치에 전기를 제공할 수 있다.
- [0080] 도 3의 e와 h는 각각 개방회로전압이 0.34 V인 단일 TiO₂ 광검출장치와 0.4 V인 NiO/TiO₂ 광검출장치를 도시한

다.

- [0082] 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 광검출장치의 광 파장에 대한 성능, 광전류 및 에너지 밴드 다이어그램에 대하여 도시한다.
- [0083] 광범위 스펙트럼에서 간헐적으로 조사되는 태양광(intermittent light)을 공급하면서 TiO_2 를 기반으로 하는 광검출장치의 성능에 NiO층이 어떠한 영향을 주는지 확인할 수 있다.
- [0084] 간헐적으로 조사되는 태양광을 공급했을 때 TiO_2 를 기반으로 하는 광검출장치의 성능에 NiO층이 어떠한 영향을 미치는지 추가로 확인하면서 광범위 스펙트럼 응용장치에 활용할 수 있다.
- [0085] 도 4의 j에 bias가 적용되지 않을 때의 $\text{Ag}/\text{TiO}_2/\text{FTO}$ 와 $\text{Ag}/\text{NiO}/\text{TiO}_2/\text{FTO}$ 의 광전류-시간 특성을 도시한다.
- [0087] 도 4의 a에서 자외선 영역뿐만 아니라 가시 요법(visible regime)에서 NiO가 있을 때 광전류가 증가하는 것을 도시한다. 펄스파 자외선($\lambda=365 \text{ nm}$)이 공급될 때, $\text{Ag}/\text{TiO}_2/\text{FTO}$ 에는 $7.5 \mu\text{A cm}^{-2}$ 의 광전류 밀도(current density)로 전류가 흐른다. NiO가 적층된 광검출장치는 $\text{Ag}/\text{TiO}_2/\text{FTO}$ 에서 흐른 광전류의 밀도보다 320배가 증가한 2.4 mA cm^{-2} 의 광전류 밀도를 보여준다. 가시광선 범위에서는 NiO가 적층된 광검출장치에서는 460, 520 및 620 nm의 파장에서 각각 광전류가 $\text{Ag}/\text{TiO}_2/\text{FTO}$ 에서 보다 11.2, 4.3 및 5배만큼 증가할 수 있다. TiO_2 는 낮은 밴드 갭을 가지는 재료와의 결합, 금속/비금속 도핑(doping), 함유된 귀금속(embed noble metals)으로의 고온전자 전이(hot electron transition), 자체도핑(self-doped)된 $\text{TiO}_2(\text{Ti}^{3+}$ 상태 생성)등의 방법으로 가시광선에 반응할 수 있다. 낮은 밴드갭을 가지는 반도체와 금속/비금속 부분을 제외하고 고온전자 전위와 Ti^{3+} 상태가 생성되면서 TiO_2 를 기반으로 하는 광검출장치가 가시광선에 반응할 수 있다.
- [0089] TiO_2 를 기반으로 하는 광검출장치가 가시광선에 반응할 수 있는 근본적인 원인을 확인하기 위해, 도 4의 f에서 다양한 접합 설계(top-contact scheme)를 했을 때 여러 가지 단색 파장(monochromatic wavelength)에서의 $\text{NiO}/\text{TiO}_2/\text{FTO}$ 샘플의 광반응을 분석했다. 모든 접합 설계에서 광대역 파장에 광반응을 했고, TiO_2 가 자외선-가시광선에 반응하는 것으로 금속 접합으로의 고온 전자 전이와 가시광선 검출이 관련이 없다는 것을 알 수 있다. 본 발명의 실시예에 따르면, Ti^{3+} 상태가 생성되면서 TiO_2 를 기반으로 하는 광검출장치가 가시광선을 검출할 수 있다.
- [0091] 광전류가 증가해서, NiO가 적층된 TiO_2 를 기반으로 하는 광검출장치는 더 높은 반응성과 검출성을 가지고 빛 신호를 검출할 수 있고 이러한 특성은 광검출장치의 성능을 평가하는 중요한 기준이 될 수 있다. 반응성(Responsivity: R)와 검출성(Detectivity: D)는 다음 방정식으로 도출할 수 있다.
- [0092]
$$R = \frac{I_{ph}}{P_{light}}$$
- [0093]
$$D = \frac{R}{\sqrt{2qI_d}}$$
- [0094] I_{ph} , P_{light} , q 및 I_d 는 각각 광전류, 입사되는 빛의 세기, 기본 전하 및 암전류(dark current)이다.
- [0096] 도 4의 b와 c에는 자외선에 0.26 A W^{-1} 의 반응성과 $5.4 \times 10^9 \text{ Jones}$ 의 검출성으로 반응하는 $\text{Ag}/\text{NiO}/\text{TiO}_2/\text{FTO}$ 를 도

시한다. 하지만 Ag/TiO₂/FTO는 자외선에 0.94 mA W⁻¹의 반응성과 2.6×10⁷ Jones의 검출성으로 반응할 수 있다 (자외선의 세기=8 mW cm⁻²). NiO가 적층된 장치는 460 nm 파장의 가시광선 영역에서 가장 높은 반응성을 보여준다. 9.1 mW cm⁻²(λ=460 nm)의 빛의 세기에서 NiO가 적층된 장치는 2.9 mA W⁻¹의 반응성과 5.9×10⁷ Jones의 검출성을 보여준다. 이러한 수치는 단일 TiO₂ 장치(0.26 mA W⁻¹의 반응성과 7.2×10⁶ Jones의 검출성)에서 측정된 수치보다 각각 11.2배, 8.3배가 증가한 값이다. 본 발명의 실시예에서 TiO₂를 기반으로 하는 광검출장치는 zero bias에서도 광대역 파장의 영역에서 빛을 검출할 수 있다.

[0098] 도 4의 g에서 NiO/TiO₂ 이중접합은 투과율 67%로 높은 가시광선 투과성을 보여준다는 것을 도시하고, NiO/TiO₂ 이중접합이 투명 광전자 응용 장치(transparent optoelectronic applications)에 활용할 수 있다는 것을 보여준다.

[0100] Ag/NiO/TiO₂/FTO와 Ag/TiO₂/FTO장치에 대한 에너지선도(energy diagram)가 TiO₂를 기반으로 하는 광검출장치에서 광 생산된 운반체의 동적 거동(dynamic behavior)을 더 잘 이해하기 위해 도시되었다. 도 4의 d에는 TiO₂의 전도성 밴드(conduction band)가 4.3 eV로 Ag의 일함수(work function)(Φ_{Ag} =4.7 eV)보다 높고(higher), FTO의 전도성 밴드와 같은 것을 도시한다. 이것은 TiO₂/Ag의 계면(interface)에서 쇼트키 장벽(Schottky barrier)이 생성되었음을 알려주고, 도 3의 e에 도시된 Ag/TiO₂/FTO의 비선형 dark 전류-전압 특성으로 쇼트키 장벽이 생성된 것을 입증할 수 있다.

[0102] 도 4의 e는 Ag/TiO₂/FTO 장치의 Ag/TiO₂ 쇼트키 접점(Schottky interface)에서의 에너지 장벽 높이(energy barrier height)가 0.4 eV이고 NiO를 적층하면서 TiO₂와 이중접합 구조(heterostructure)를 형성하면서 에너지 장벽 높이가 2.9 eV로 급격히 증가하는 것을 도시한다. NiO/TiO₂ 구조는 스테거드 접합 타입(staggered junction type)을 형성하고, 이는 광 생산된 전하 분리 과정(photogenerated charge separation process)에서 중요한 역할을 한다.

[0104] 도 4의 h에서 Ag/NiO 접점에서 쇼트키 접합이 생성될 가능성(the possibility of a Schottky junction)이 Ag/NiO/FTO 샘플의 선형 전류-전압 곡선에서 배제되었음을 도시한다. TiO₂를 기반으로 하는 광검출장치에 태양광이 공급될 때, TiO₂에서 광 생산된 전자-정공 쌍이 생산되고 전기장을 생성하는 쇼트키 접합(Ag/TiO₂)과 이중접합(NiO/TiO₂)에서 분리될 수 있다. 더 높은 에너지 장벽 높이는 NiO/TiO₂ 이중접합이 Ag/TiO₂ 쇼트키 접합보다 더 효율적으로 광 생산된 전하를 분리하고 모으게 할 수 있음을 보여준다.

[0106] 도 4의 b와 c에 NiO/TiO₂ 접합의 더 높은 광검출장치 성능을 도시한다.

[0108] 물리적 모델(Physical model)뿐만 아니라, Ag/TiO₂와 NiO/TiO₂ 접합의 특성은 공간 전하 영역에서의 확산전위와 폭(width)의 관점에서 구분될 수 있다. Ag/TiO₂/FTO와 Ag/NiO/TiO₂/FTO의 Mott-Schottky 특성에 관해 표시한 $(A/C)^2$ 곡선으로 전압 축을 추정해서(extrapolate) 확산전위 값을 도출한다. A는 장치의 활성 영역(active area)이고 C는 정전 용량(capacitance)이다.

[0110] 도 4의 i에 장치의 Mott-Schottky 프로파일이 도시된다. NiO가 적층되거나 적층되지 않을 때 TiO₂를 기반으로

하는 광검출장치의 V_{in} 은 각각 0.45, 0.24 eV이다. V_{in} 의 값이 더 크다는 것은 NiO/TiO₂ 구조의 접합점(junction interface)에서의 전기장이 Ag/TiO₂의 쇼트키 접합에서의 전기장보다 더 크다는 것을 보여준다. 공간 전하 영역 폭(Space charge region width, W_{SCR})은 효율적으로 전하를 모을 수 있는지를 알 수 있는 또 다른 기준이 될 수 있다.

[0111] 도 4의 i의 (b)는 Ag/NiO/TiO₂/FTO 장치의 Mott-Schottky 특성 중 가장 중요한 $((A/C)^2-V)$ 관계식의 양의 기울기를 도시하고, TiO₂가 NiO보다 운반체 컨센트레이션(carrier concentration)이 낮다는 것을 보여준다. TiO₂의 운반체 컨센트레이션(N_D)은 다음과 같은 방정식으로 Ag/TiO₂/FTO 장치의 Mott-Schottky 관계식의 기울기로부터 계산될 수 있다.

[0112]
$$N_D = \frac{2}{q\epsilon_r\epsilon_0 A^2} \frac{dV}{d(1/C^2)}$$
에서

[0113] ϵ_0 와 ϵ_r 은 각각 진공 유전 상수($8.854 \times 10^{12} \text{ F m}^{-1}$), TiO₂의 유전 상수이다.

[0114] TiO₂의 N_D 의 계산값은 $1.14 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 으로 기존에 알려진 NiO의 운반체 컨센트레이션($N_A=1.8 \times 10^{19}$)보다 작다. 그래서 공간 전하 영역 폭은 다음의 간소화된 방정식으로 계산될 수 있다.

[0115]
$$W_{SCR} = \sqrt{\frac{2\epsilon_0\epsilon_r V_{in}}{q N_D}}$$

[0116] 그래서 Ag/TiO₂ 쇼트키 접합과 NiO/TiO₂ 이중접합의 공간 전하 영역 폭은 각각 15 nm, 21 nm이다. Ag/NiO/TiO₂/FTO 장치는 Ag/TiO₂/FTO 장치보다 공간 전하 영역 폭이 넓다. 그러므로, Ag/NiO/TiO₂/FTO 장치는 광 생산된 전자-정공 쌍을 더 쉽게 모을 수 있고 광전류도 더 많이 흐를 수 있다.

[0118] 도 4의 j에서는 NiO/TiO₂ 장치는 과도 광전류 신호가 급격히 변화하는(sharp spike transient photocurrent signal) 입사 파장을 검출할 수 있지만 단일 TiO₂ 장치는 검출하지 못하는 것을 도시한다. 가시 광선을 공급했을 때 광생산된 운반체는 Ti^{3+} 상태에 trapped 될 수 있다. Trapped된 전하는 공간 영역의 전기장에 영향을 줄 수 있고, 과도 광전류에서 급격한 변화를 만들 수 있다. Ti^{3+} 의 공간 전하 영역에서의 상대 위치로 Wavelength-induced spike magnitude 값이 결정될 수 있다. 그래서 NiO/TiO₂의 넓은 공간 전하 영역 폭은 Ag/TiO₂의 좁은 공간 전하 영역 폭보다 trapped된 운반체로부터 영향을 더 받고, 과도 광전류 형태(shape)가 다르다는 것을 보여준다.

[0120] 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 광검출장치의 빛의 세기에 대한 성능, 광전류 및 안정성에 대하여 도시한다.

[0121] 투명 NiO/TiO₂를 기반으로 하는 광검출장치의 광대역 검출성에 대한 신뢰도는 입사되는 빛의 세기에 변화를 주었을 때 광검출장치의 검출성을 확인해서 평가할 수 있다. 모든 특징값들은 zero-bias 조건에서 측정된다.

[0122] 도 5의 a에 넓은 파장영역(자외선-가시광선)에서 빛의 세기가 커질수록 광전류가 증가하는 것을 도시한다. 광력(light power)이 높을수록 장치에서 생산되는 운반체가 많아진다. 광전류가 증가하는 것은 NiO/TiO₂ 이중접합이 효율적으로 광 생산된 운반체를 서로 분리하고 모을 수 있고, 광검출장치가 넓은 범위의 빛의 세기에 대한 감도(sensitivity)가 좋은 것을 보여준다.

[0124] 도 5의 b와 c에서 빛의 강도의 변화에 따른 Ag/NiO/TiO₂/FTO 장치의 반응성과 검출성 프로파일을 각각

도시한다. 광전류의 경향과는 반대로, 빛의 세기가 증가하면서 모든 검출 파장에서의 반응성과 검출성이 감소한다. 이와 같은 감소는 광검출장치에서 광생산된 운반체의 trap 또는 재결합의 복잡한 과정 때문에 발생할 수 있다. 투명 NiO/TiO₂ 이중접합 구조는 0.43 A W⁻¹ (P_{light}=0.5 mW cm⁻²), 4.3 mA W⁻¹ (P_{light}=1.4 mW cm⁻²), 0.39 mA W⁻¹ (P_{light}=1.4 mW cm⁻²), 및 12 μA W⁻¹ (P_{light}=62.3 mW cm⁻²)의 반응성으로 각각 365, 460, 520 및 620 nm의 파장을 검출했다. 그때의 검출성은 각각 8.6×10⁹, 8.5×10⁷, 7.7×10⁶ 및 2.5×10⁵ Jones이다.

[0126] 안정성은 광대역 투명 광검출장치장치가 실제로 활용되는데 중요한 기준이 될 수 있다. 도 5의 e에 입사 광선의 온오프식(on-off state)으로 투명 NiO/TiO₂ 이중접합 구조의 여러가지 파장에 대한 광반응을 수천 번 기록한 것을 도시한다. 광검출장치는 모든 파장영역에서 20,000번 검출할 때 입사 광선의 온오프 상태에 따라 흐르는 광전류의 양이 달랐다. 이것은 NiO/TiO₂ 이중접합 구조의 안정성을 보여준다. NiO/TiO₂를 기반으로 하는 광검출장치는 광대역의 빛을 빠른 속도로 검출할 수 있다.

[0128] 도 5의 d에서 장치에서 광검출의 rise and fall times가 전체 자외선-가시광선 스펙트럼에서 5 ms이하라는 것을 도시한다. NiO/TiO₂를 기반으로 하는 광검출장치는 전체 광범위 스펙트럼에서 빠르게 광반응할 수 있다. 본 발명의 실시예들에 따른 NiO/TiO₂ 이중접합 구조는 투과율 67%로 투과성이 좋고 이러한 사실은 NiO/TiO₂가 고속 투명 광전자 응용 장치(high-speed transparent optoelectronic application)에 적절하다는 것을 보여준다. NiO/TiO₂ 접촉면에서의 충분히 높은 확산전위(V_{bi}=0.45 eV)는 TiO₂에서 광생산된 전자-정공 쌍을 효율적으로 분리할 수 있다. 분리된 광생산된 운반체는 전기장 때문에 공핍지역(depletion region)에서 전극으로 곧바로 이동하고 이것은 광검출장치의 빠른 광반응성을 보여준다.

[0130] 이하에서는 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 광검출장치의 제조방법에 대하여 상세하게 서술하기로 한다.

[0132] 상기 기판층을 형성하기 위해서는 5 내지 15분, 바람직하게는 10분 동안 초음파 아래에서 아세톤, 메탄올, 및 증류수를 순서대로 사용해서 세척하고, 질소 가스를 이용해서 건조시킨다.

[0133] 상기 루타일 TiO₂를 포함하는 제1 산화물반도체층을 형성하기 위해서는 Ti를 DC 스퍼터링을 한 후에 급속 열 처리(Rapid Thermal Processing: RTP)로 산화하는 방법이 있다.

[0134] DC 스퍼터링으로 증착하기 위해서 30 내지 70 sccm, 바람직하게는 50 sccm의 Ar 분위기에서 2 내지 8분, 바람직하게는 5분 동안 300 W급의 DC 전력, 3 mTorr 내지 7 mTorr, 바람직하게는 5 mTorr 크기의 압력을 가해서 Ti을 타겟으로 하여 스퍼터링을 수행한다.

[0135] 상기 루타일 TiO₂를 형성하기 위해서는 Ti/FTO/유리를 300 내지 800° C에서 5분 내지 1시간 동안 가열한다. 바람직하게는, 루타일 TiO₂를 형성하기 위해서는 600° C에서 15분동안 가열한다.

[0136] 상기 루타일 TiO₂를 형성하기 위해서는 가열된 Ti/FTO/유리를 300 내지 900° C에서 5 내지 25분 동안 Ar 분위기에서 급속 열 처리로 어닐링한다. 바람직하게는, 루타일 TiO₂를 형성하기 위해서는 600° C에서 15분동안 Ar 분위기에서 급속 열 처리로 어닐링한다.

[0137] 상기 NiO 필름을 증착하기 위해서는 10/3 내지 30/7 sccm, 바람직하게는 20/5 sccm의 Ar/O₂ 분위기에서 5 내지 20분, 바람직하게는 10분 동안 50 W급의 DC 전력, 1 mTorr 내지 5 mTorr, 바람직하게는 3 mTorr 크기의 압력을 가해서 Ni를 타겟으로 스퍼터링을 수행한다.

[0138] 스퍼터링 공정을 실시하기 전에 기본 압력을 3×10⁻⁶ Torr로 설정한다.

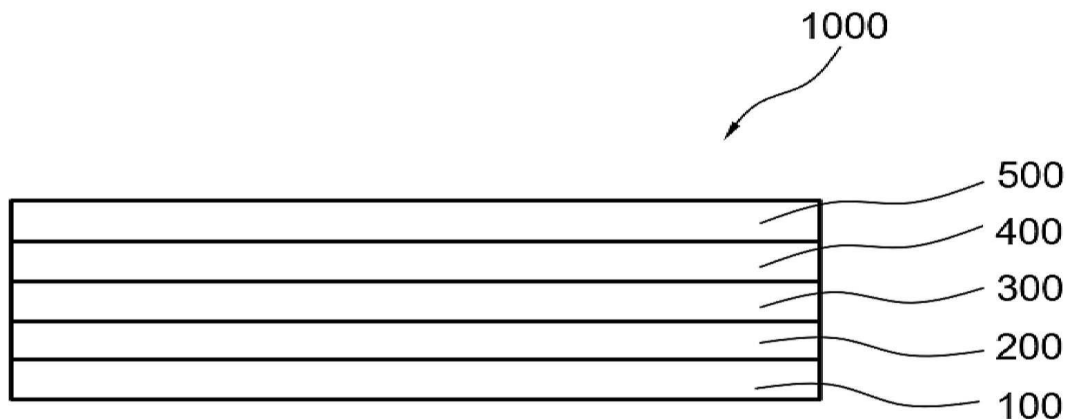
[0139] 프리-스퍼터링(Pre-sputtering) 공정이 5 내지 20분, 바람직하게는 10분 진행되고, 기판을 3 내지 8 rpm, 바람

직하계는 5 rpm으로 회전시켜서 기판이 균일(uniformity)하게 한다.

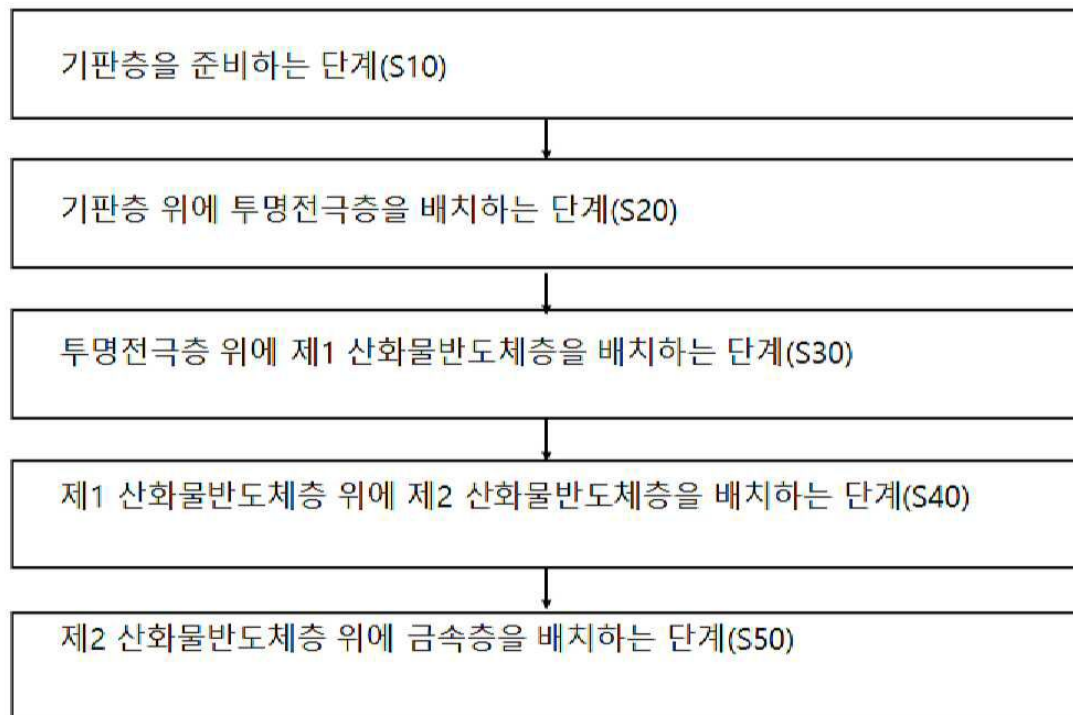
- [0141] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 투명 자가동력 광검출장치를 이용하여,
- [0142] 빠른 반응성과 검출성을 가지면서 여러 번 작동시켜도 성능을 유지하는 안정성으로 센서나 메모리 응용장치 등 투명 광전자기기에 이용될 수 있는 투명 자가동력 광검출장치 및 이의 제조방법을 제공할 수 있다.
- [0143] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 전체 가시광선 파장에서 투과율이 65% 이상인 광검출장치를 구현할 수 있다.
- [0144] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 자외선 조명을 받았을 때 0.42 A W^{-1} 이상의 높은 반응성과 $8.5 \times 10^9 \text{ Jones}$ 이상의 높은 검출성을 가지는 광검출장치를 구현할 수 있다.
- [0145] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 20,000회 이상 작동을 해도 일정한 반응성과 검출성을 가지는 광검출장치를 구현할 수 있다.
- [0147] 제시된 실시예들에 대한 설명은 임의의 본 발명의 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 본 발명을 이용하거나 또는 실시할 수 있도록 제공된다. 이러한 실시예들에 대한 다양한 변형들은 본 발명의 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 명백할 것이며, 여기에 정의된 일반적인 원리들은 본 발명의 범위를 벗어남이 없이 다른 실시예들에 적용될 수 있다. 그리하여, 본 발명은 여기에 제시된 실시예들로 한정되는 것이 아니라, 여기에 제시된 원리들 및 신규한 특징들과 일관되는 최광의의 범위에서 해석되어야 할 것이다.

도면

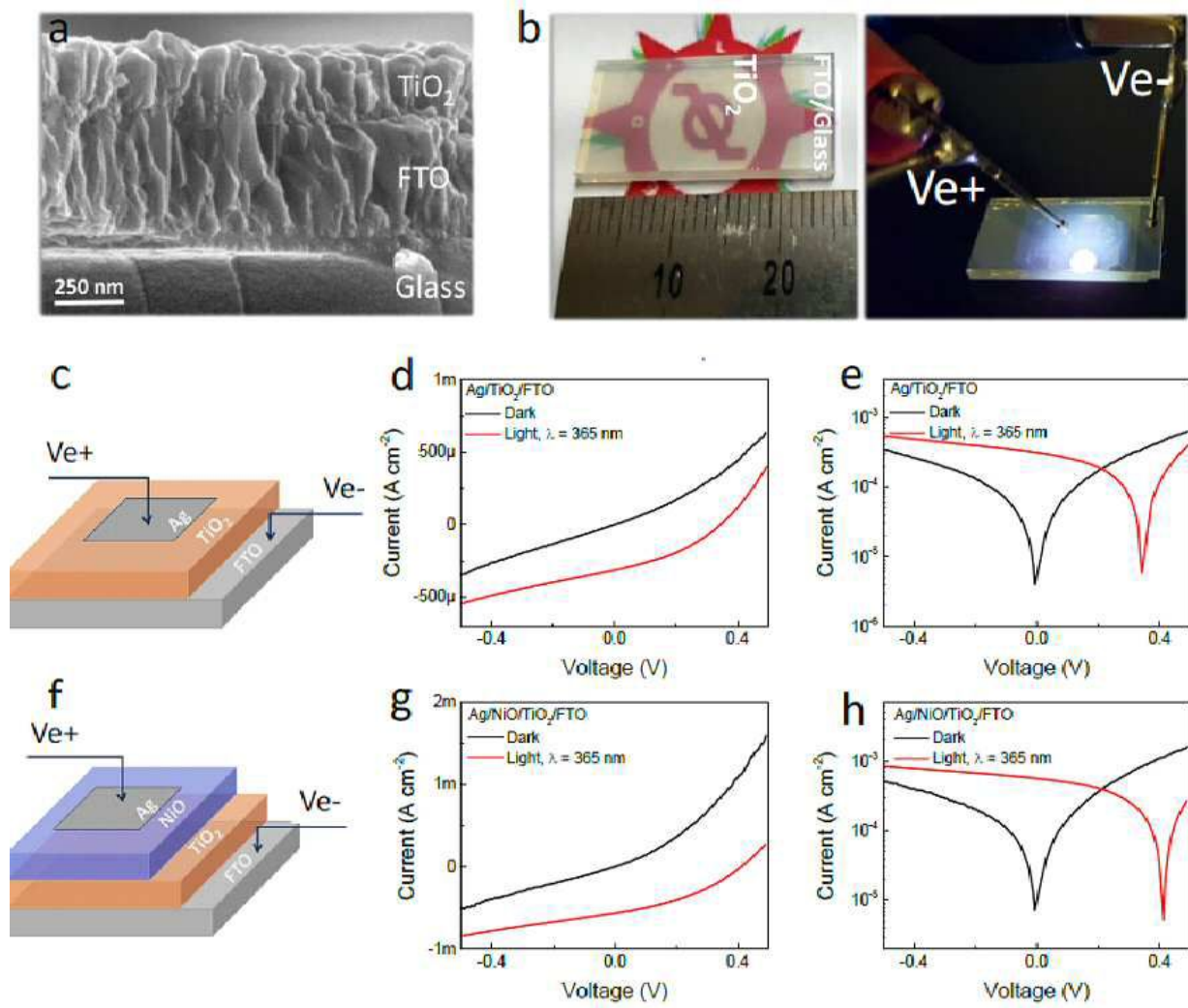
도면1



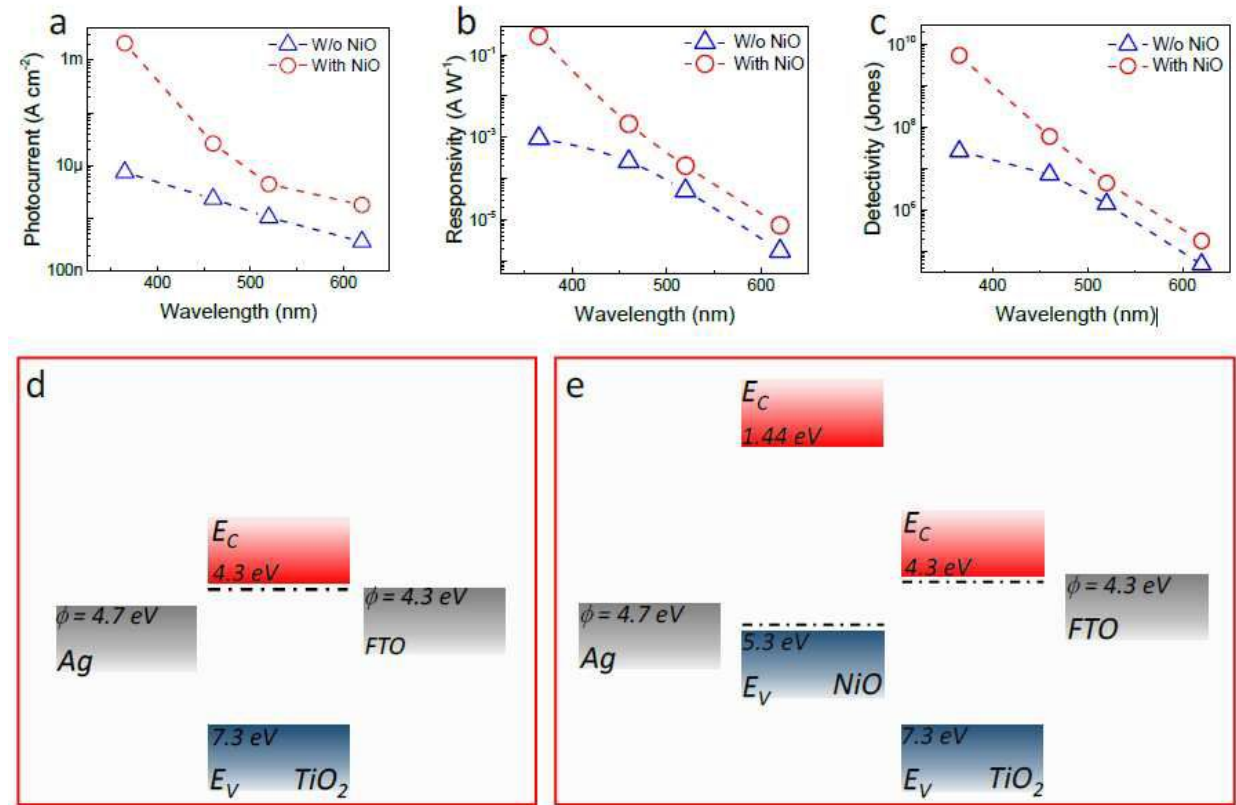
도면2



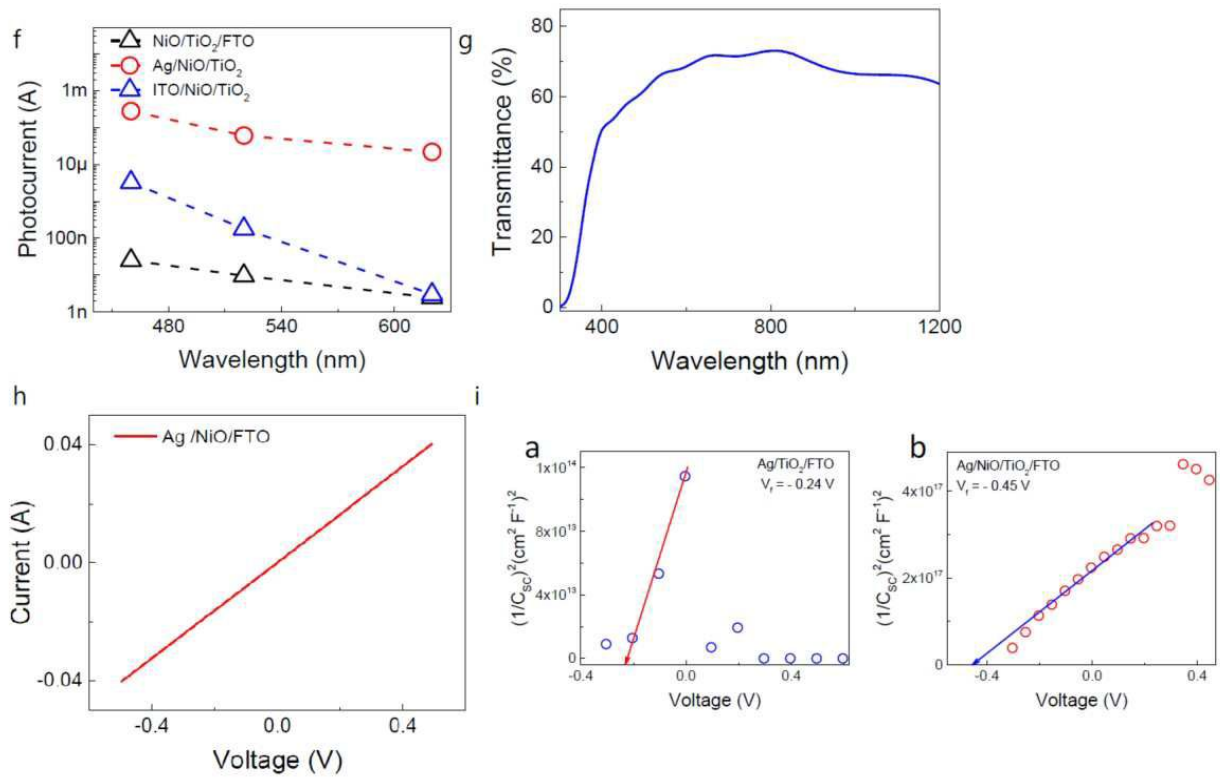
도면3



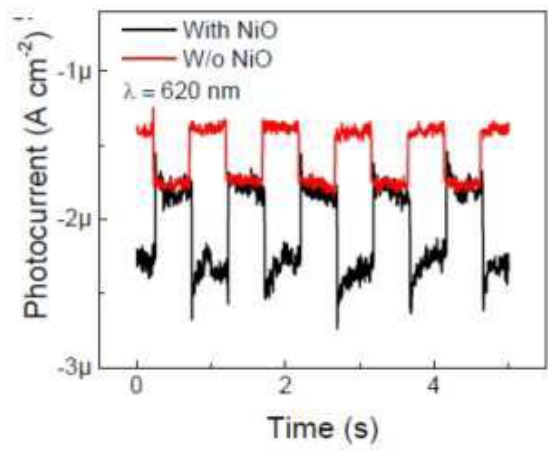
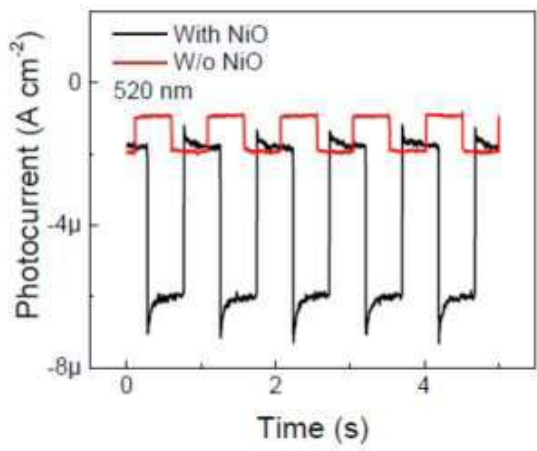
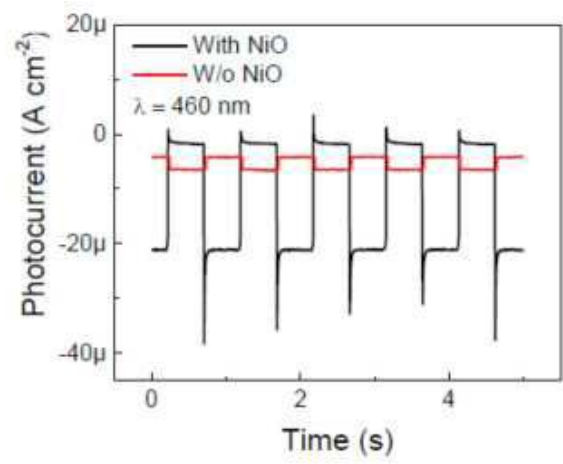
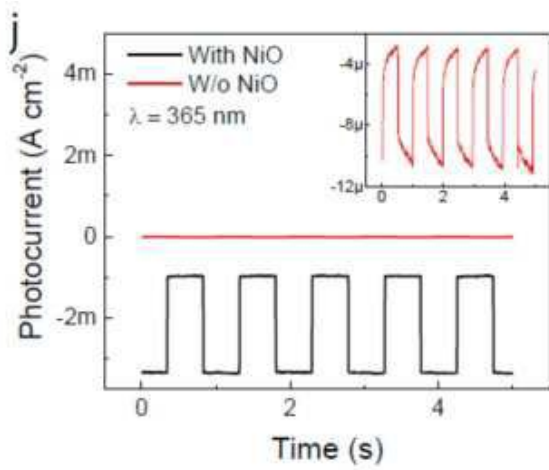
도면4a



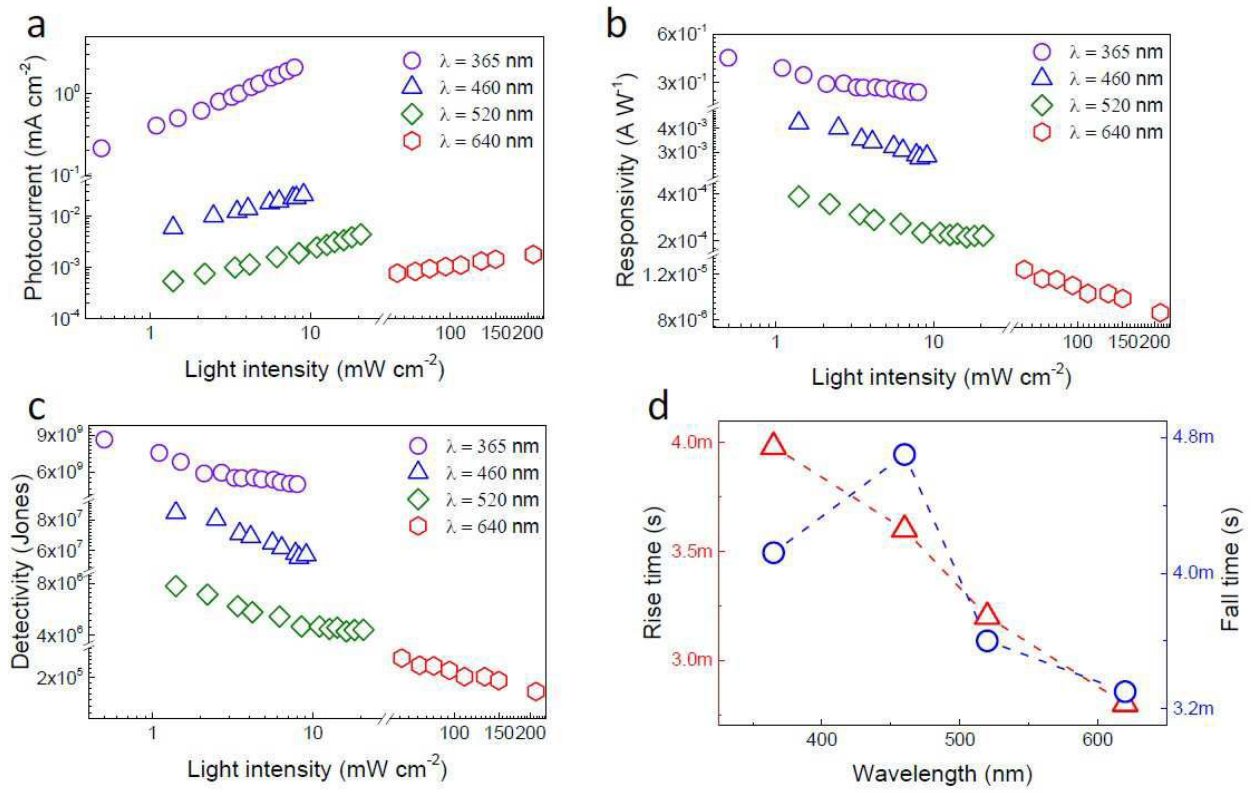
도면4b



도면4c



도면5a



도면5b

