(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0097337
(43) 공개일자 2024년06월27일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 31/072 (2006.01) *H01L 31/0224* (2006.01)
H01L 31/0336 (2024.01) *H01L 31/0445* (2014.01)
H01L 31/18 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H01L 31/072 (2013.01)
H01L 31/022466 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2022-0179294
(22) 출원일자 2022년12월20일
심사청구일자 2022년12월20일

(71) 출원인
인천대학교 산학협력단
인천광역시 연수구 갯벌로 27, 인천대학교 이노베이션센터(송도동)
(72) 발명자
김준동
인천광역시 연수구 컨벤시아대로130번길 32 송도자이하버뷰2단지아파트 207동 1402호
파텔 말케시 쿠마르
인천광역시 연수구 송도국제대로 261 송도더샵센트럴시티 202동 502호
이우찬
인천광역시 연수구 아카데미로 119 인천대학교 08-245
(74) 대리인
강정빈, 심찬

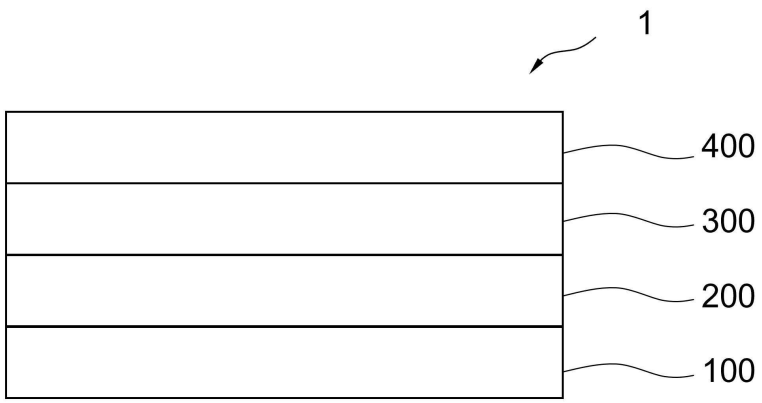
전체 청구항 수 : 총 9 항

(54) 발명의 명칭 **금속산화물 기반 투명 광전소자 및 이의 제조방법**

(57) 요 약

본 발명은 금속산화물 기반 투명 광전소자 및 이의 제조방법에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 더욱 상세하게는 Co_3O_4 기반의 금속산화물 이종접합 구조를 구비하여 광학특성 및 광검출특성이 향상된, 금속산화물 기반 투명 광전소자 및 이의 제조방법에 관한 것이다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류
H01L 31/0336 (2024.01)
H01L 31/0445 (2015.01)
H01L 31/1864 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1711161972
과제번호 2020R1A2C1009480
부처명 과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명 한국연구재단
연구사업명 이공분야기초연구사업,중견연구자지원사업
연구과제명 고체형 반도체 투명 태양광 프레임 개발: 다기능 2D 활성층을 이용한 신개념 투명 태양전지 및 응용 기술
기 여 율 1/3
과제수행기관명 인천대학교
연구기간 2020.03.01 ~ 2023.02.28
이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1711164045
과제번호 2021H1D3A2A02096147
부처명 과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명 한국연구재단
연구사업명 교육인력양성사업,인재활용확산지원,해외우수과학자유치사업(BP)
연구과제명 고체형 투명 태양전지 모듈 및 응용 기술 개발
기 여 율 1/3
과제수행기관명 인천대학교
연구기간 2021.10.01 ~ 2023.12.31
이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1711161384
과제번호 2020H1D3A2A02085884
부처명 과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명 한국연구재단
연구사업명 교육인력양성사업,인재활용확산지원,해외우수과학자유치사업(BP)
연구과제명 고성능 반도체 투명 태양광 에너지 시스템 및 순환 에너지 기술 개발
기 여 율 1/3
과제수행기관명 인천대학교
연구기간 2020.07.01 ~ 2022.12.31

명 세 서

청구범위

청구항 1

금속산화물 기반 투명 광전소자로서,

유리기판층;

상기 유리기판층 위에 배치되는 투명전극층;

상기 투명전극층 위에 배치되는 n타입산화물층; 및

상기 n타입산화물층 위에 배치되고, Co_3O_4를 포함하는 p타입산화물층;을 포함하고,

상기 n타입산화물층 및 p타입산화물층에 의하여 p-n이종접합 구조가 형성되는, 투명 광전소자.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 n타입산화물층은 ZnO, TiO_2, 및 SnO_2 중 어느 하나를 포함하고,

상기 투명 광전소자는 상기 n타입산화물층 및 p타입산화물층에 의하여 형성된 p-Co_3O_4/n-ZnO, p-Co_3O_4/n-TiO_2, 및 p-Co_3O_4/n-SnO_2 중 어느 하나의 p-n이종접합 구조를 포함하는, 투명 광전소자.

청구항 3

청구항 1에 있어서,

상기 p타입산화물층은, Co 타켓을 사용하여, 1 내지 1000sccm의 아르곤(Ar) 유량, 1 내지 1000mTorr의 작동압력, 및 1 내지 1000W/cm^2의 DC전력의 조건 하에서, 1 내지 60분의 시간동안 형성되는, 금속 산화물 기반의 투명 태양전지.

청구항 4

청구항 1에 있어서,

상기 투명 광전소자는,

열처리온도를 상온에서 제1온도까지 1차적으로 상승시킨 후에, 상기 제1온도에서 제2온도까지 2차적으로 상승시키는 온도상승단계; 상기 제2온도를 1 내지 120분 동안 유지시키는 온도유지단계; 및 열처리온도를 상기 제2온도에서 상온까지 하강시키는 온도하강단계;를 포함하는 급속열처리공정을 통해 열처리되는, 투명 광전소자.

청구항 5

청구항 4에 있어서,

상기 제1온도는 150℃ 내지 400℃의 온도를 포함하고,

상기 제2온도는 450℃ 내지 700℃의 온도를 포함하고,

상기 온도상승단계는 0.01 내지 100L/min의 산소(O_2)유량 하에서 1 내지 120분 동안 수행하는, 투명 광전소자.

청구항 6

금속산화물 기반 투명 광전소자의 제조방법으로서,

유리기판층을 배치하는 단계;

상기 유리기판층 위에 투명전극층을 배치하는 단계;

상기 투명전극층 위에 n타입산화물층을 배치하는 단계; 및

상기 n타입산화물층 위에 Co_3O_4를 포함하는 p타입산화물층을 배치하는 단계;를 포함하고,

상기 n타입산화물층 및 p타입산화물층에 의하여 p-n이종접합 구조를 형성하는, 투명 광전소자의 제조방법.

청구항 7

청구항 6에 있어서,

상기 p타입산화물층을 배치하는 단계는, Co 타켓을 사용하여, 1 내지 1000sccm의 아르곤(Ar) 유량, 1 내지 1000mTorr의 작동압력, 및 1 내지 1000W/cm^2의 DC전력의 조건 하에서, 1 내지 60분의 박막성장시간을 통해 상기 p타입산화물층을 형성하는, 금속 산화물 기반의 투명 태양전지의 제조방법.

청구항 8

청구항 6에 있어서,

상기 투명 광전소자의 제조방법은,

열처리온도를 상온에서 제1온도까지 1차적으로 상승시킨 후에, 상기 제1온도에서 제2온도까지 2차적으로 상승시키는 온도상승단계; 상기 제2온도를 1 내지 120분 동안 유지시키는 온도유지단계; 및 열처리온도를 상기 제2온도에서 상온까지 하강시키는 온도하강단계;를 포함하는 급속열처리공정에 의하여 형성되는, 투명 광전소자의 제조방법.

청구항 9

청구항 8에 있어서,

상기 제1온도는 150℃ 내지 400℃의 온도를 포함하고,

상기 제2온도는 450℃ 내지 700℃의 온도를 포함하고,

상기 온도상승단계는 0.01 내지 100L/min의 산소(O_2)유량 하에서 1 내지 120분 동안 수행되는, 투명 광전소자.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 금속산화물 기반 투명 광전소자 및 이의 제조방법에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 Co_3O_4 기반의 금속산화물 이종접합 구조를 구비하여 광학특성 및 광검출특성이 향상된, 금속산화물 기반 투명 광전소자 및 이의 제조방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0003] 광전소자의 성능은 어플리케이션의 종류에 상관없이 광전소자를 이루는 재료에 의해 결정되는 경향이 있다. 한편, 금속산화물은 초용량성 및 초전도성을 포함하는 강력한 성능, 비교적 간단한 제조기술 및 밴드갭 구조를 조정할 수 있다는 특성으로 인해 광전소자 제작 분야에서 유망한 소재로 부상했다.

[0004] 다만 종래의 금속산화물을 이용한 광전소자들은 활성층의 최적화 미비로 인하여 자외선 파장범위를 가진 광원 하에서의 활용이 제한적이었다. 따라서 금속산화물이 가진 우수한 광학특성들을 효과적으로 활용할 방안을 찾아야 한다는 과제가 남아있다.

[0005] 또한 효율적인 광전소자의 활용을 위해서 높은 광자 에너지를 보유한 자외선 파장범위의 광원을 활용하는 것이 이상적이지만, 자외선 파장범위를 가진 광원은 눈과 피부의 질병, 및 암을 포함하는 해로운 영향을 인체에 미칠 수 있다는 문제점이 있다.

[0007] 이를 해결하기 위해, 본 발명에서는 Co_3O_4 기반의 금속산화물 이종접합 구조를 구비한 투명 광전소자를 제공한다.

[0008] 상기 투명 광전소자는 모든 재료가 금속산화물로 이루어짐으로써, 금속산화물 반도체 재료가 가지는 강력한 성능 및 편리성을 보유하고 있고, 대부분의 자외선 파장범위를 가진 광원을 흡수한다. 또한 상기의 투명 광전소자는 가시광선을 투과함으로서, 가시광선 파장범위를 가진 광원에 대해 60% 이상의 투과성을 보유하고 있다.

[0009] 상기 투명 광전소자는 우수한 광학특성 및 자외선 흡수도를 통해, 휴대폰의 화면, 디스플레이, 및 창문이나 물체(자동차, 건물)의 표면 등과 같은 다양한 곳에 설치가 가능하다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0011] 본 발명은 투명 광전소자는 Co_3O_4 기반의 금속산화물 이종접합 구조를 구비하여 광학특성 및 광검출특성이 향상된 금속산화물 기반 투명 광전소자 및 이의 제조방법을 제공하는 것을 그 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

[0013] 상기와 같은 과제를 해결하기 위하여 본 발명의 일 실시예는, 금속산화물 기반 투명 광전소자로서, 유리기판층; 상기 유리기판층 위에 배치되는 투명전극층; 상기 투명전극층 위에 배치되는 n타입산화물층; 및 상기 n타입산화물층 위에 배치되고, Co_3O_4를 포함하는 p타입산화물층;을 포함하고, 상기 n타입산화물층 및 p타입산화물층에 의하여 p-n이종접합 구조가 형성되는, 투명 광전소자를 제공한다.

[0014] 본 발명의 몇 실시예에서는, 상기 n타입산화물층은 ZnO, TiO_2, 및 SnO_2 중 어느 하나를 포함하고, 상기 투명 광전소자는 상기 n타입산화물층 및 p타입산화물층에 의하여 형성된 p-Co_3O_4/n-ZnO, p-Co_3O_4/n-TiO_2, 및 p-Co_3O_4/n-SnO_2 중 어느 하나의 p-n이종접합 구조를 포함할 수 있다.

[0015] 본 발명의 몇 실시예에서는, 상기 p타입산화물층은, Co 타겟을 사용하여, 1 내지 1000sccm의 아르곤(Ar) 유량, 1 내지 1000mTorr의 작동압력, 및 1 내지 1000W/cm^2의 DC전력의 조건 하에서, 1 내지 60분의 시간동안 형성될 수 있다.

[0016] 본 발명의 몇 실시예에서는, 상기 투명 광전소자는, 열처리온도를 상온에서 제1온도까지 1차적으로 상승시킨 후에, 상기 제1온도에서 제2온도까지 2차적으로 상승시키는 온도상승단계; 상기 제2온도를 1 내지 120분 동안 유지시키는 온도유지단계; 및 열처리온도를 상기 제2온도에서 상온까지 하강시키는 온도하강단계;를 포함하는 급

속열처리공정을 통해 열처리될 수 있다.

[0017] 본 발명의 몇 실시예에서는, 상기 제1온도는 150℃ 내지 400℃의 온도를 포함하고, 상기 제2온도는 450℃ 내지 700℃의 온도를 포함하고, 상기 온도상승단계는 0.01 내지 100L/min의 산소(O_2)유량 하에서 1 내지 120분 동안 수행될 수 있다.

[0019] 상기와 같은 과제를 해결하기 위하여 본 발명의 일 실시예는, 금속산화물 기반 투명 광전소자의 제조방법으로서, 유리기판층을 배치하는 단계; 상기 유리기판층 위에 투명전극층을 배치하는 단계; 상기 투명전극층 위에 n타입산화물층을 배치하는 단계; 및 상기 n타입산화물층 위에 Co_3O_4를 포함하는 p타입산화물층을 배치하는 단계;를 포함하고, 상기 n타입산화물층 및 p타입산화물층에 의하여 p-n이종접합 구조를 형성하는, 투명 광전소자의 제조방법을 제공한다.

[0020] 본 발명의 몇 실시예에서는, 상기 p타입산화물층을 배치하는 단계는, Co 타겟을 사용하여, 1 내지 1000sccm의 아르곤(Ar) 유량, 1 내지 1000mTorr의 작동압력, 및 1 내지 1000W/cm^2의 DC전력의 조건 하에서, 1 내지 60분의 박막성장시간을 통해 상기 p타입산화물층을 형성할 수 있다.

[0021] 본 발명의 몇 실시예에서는, 상기 투명 광전소자의 제조방법은, 열처리온도를 상온에서 제1온도까지 1차적으로 상승시킨 후에, 상기 제1온도에서 제2온도까지 2차적으로 상승시키는 온도상승단계; 상기 제2온도를 1 내지 120분 동안 유지시키는 온도유지단계; 및 열처리온도를 상기 제2온도에서 상온까지 하강시키는 온도하강단계;를 포함하는 급속열처리공정에 의하여 형성될 수 있다.

[0022] 본 발명의 몇 실시예에서는, 상기 제1온도는 150℃ 내지 400℃의 온도를 포함하고, 상기 제2온도는 450℃ 내지 700℃의 온도를 포함하고, 상기 온도상승단계는 0.01 내지 100L/min의 산소(O_2)유량 하에서 1 내지 120분 동안 수행될 수 있다.

발명의 효과

[0024] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 투명 광전소자는 Co_3O_4 기반의 금속산화물 p-n 이종접합 구조를 구비함으로써, 비옴(non-Ohmic) 특성을 나타내는 효과를 발휘할 수 있다.

[0025] 본 발명의 일 실시예에 따르면, Co_3O_4 기반의 금속산화물 이종접합 구조를 구비한 투명 광전소자는 비옴 특성을 나타내는 효과를 가짐으로써, 내장전위를 형성할 수 있고 이로 인해 외부 전압 없이 작동할 수 있도록 자체적인 전력발전을 하여 현장(on-site)발전에 용이하도록 하는 효과를 발휘할 수 있다.

[0026] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 투명 광전소자는 금속산화물로 이루어진 이종접합을 구조로 가짐에 따라 60% 이상의 투명도를 나타내는 효과를 발휘할 수 있다.

[0027] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 투명 광전소자는 Co_3O_4 기반의 금속산화물 이종접합 구조를 구비함으로써, UV 파장범위를 가진 광원에서 가장 높은 흡수도를 보이고, 이는 투명 광전소자의 활용가능한 광원의 파장범위를 확장시키는 효과를 발휘할 수 있다.

[0028] 본 발명의 일 실시예에 따르면, Co_3O_4 기반의 금속산화물 이종접합 구조를 구비한 투명 광전소자의 제작방법은 광전소자의 소수 캐리어의 수명을 증가시킴에 따라 투명 광전소자의 광학적 특성을 향상시키는 효과를 발휘할 수 있다.

[0029] 본 발명의 일 실시예에 따르면, Co_3O_4 기반의 금속산화물 이종접합 구조를 구비한 투명 광전소자의 제작방법은 투명 광전소자가 지속적인 광전도성을 나타낼 수 있도록 하는 효과를 발휘할 수 있다.

[0030] 본 발명의 일 실시예에 따르면, Co_3O_4 기반의 금속산화물 이종접합 구조를 구비한 투명 광전소자는 우수한 응답성, 및 응답시간을 나타내어 고속 자외선 광검출기를 구현하는 효과를 발휘할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0032] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 광전소자의 층상구조를 개략적으로 도시한다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 광전소자의 에너지밴드 및 전력-전압 거동에 대한 사항을 도시한다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 광전소자의 광투과도 및 광흡수도에 대한 사항을 도시한다.

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 광전소자의 FESEM 단면 및 전압에 따른 광전력밀도 실험에 대한 사항을 도시한다.

도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 광전소자의 광원 유무에 따른 광전압에 대한 사항을 도시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0033] 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.

[0034] 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.

[0035] 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.

[0036] 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.

[0037] 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.

[0038] 또한, 본 발명의 실시예들에서, 별도로 다르게 정의되지 않는 한, 기술적이거나 과학적인 용어를 포함해서 이때 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.

[0040] 광전소자의 성능은 어플리케이션의 종류에 상관없이 광전소자를 이루는 재료에 의해 결정되는 경향이 있다. 종래의 광전소자의 과제는 선택적인 파장영역을 가진 광원에 대해서 흡수율이 높은 활성층을 선택하는 것이 주요 과제로 지적되는 실정이다.

[0042] 이를 해결하기 위하여, 본 발명에서는 Co_3O_4 기반의 금속산화물 이종접합 구조를 구비한 투명 광전소자(1)를 구현하였다.

[0043] 본 발명의 투명 광전소자(1)는 유리기판층(100), 투명전극층(200), n타입산화물층(300), 및 p타입산화물층(400)의 적층에 의해 구현될 수 있다. 상기 n타입산화물층(300) 및 p타입산화물층(400)은 상기 투명 광전소자(1)의

활성층을 이루며, n-TiO_2, n-ZnO, 및 n-SnO_2 중 어느 하나와 p-Co_3O_4가 p-n 이종접합 구조를 이루는 특징이 있다. 이러한 특징에 의하여, 본 발명의 투명 광전소자(1)는 가시광선 파장범위를 가진 광원 하에서 각각 80%, 74%, 및 66%의 투과도를 가질 수 있다.

[0044] 또한 상기 투명 광전소자(1)는 특유의 에너지밴드에 의하여 비옴(non-Ohmic) 특성이 특성화되어 내장전위를 형성할 수 있고, 이로 인해 외부 전압 없이 작동할 수 있도록 자체적인 전력발전을 하여 현장(on-site)발전에 용이하도록 하는 효과를 발휘할 수 있다.

[0046] 한편 상기 투명 광전소자(1)의 제조방법은 급속열처리공정(Rapid Thermal Processing, RTP)을 포함하는 특징이 있다. 이러한 특징에 의하여, 상기 투명 광전소자(1)는 소수 캐리어 수명이 증가하고 광전 특성이 향상되는 효과를 발휘할 수 있다.

[0048] 본 발명에서는 상기 투명 광전소자(1)의 실시예를 통하여 후술하는 바와 같이, 투명 태양전지, 및 투명 광검출기 등이 구현될 수 있다. 즉, 본 발명의 투명 광전소자(1)는 투명 태양전지 및 투명 광검출기를 구현할 수 있으면서, 금속산화물 재료가 자외선 파장범위를 갖는 광원 하에서도 우수한 성능을 구현할 수 있도록 하는 투명 광전소자(1)이다.

[0050] 이하에서는 본 발명의 일 실시예에 따른 금속산화물 기반 투명 광전소자(1) 및 이를 통하여 구현된 투명 태양전지, 투명 광검출기에 대한 사항을 서술하기로 한다.

[0052] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 광전소자(1)의 층상구조를 개략적으로 도시한다.

[0054] 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 광전소자(1)는 유리기판층(100); 상기 유리기판층(100) 위에 배치되는 투명전극층(200); 상기 투명전극층(200) 위에 배치되는 n타입산화물층(300); 및 상기 n타입산화물층(300) 위에 배치되고, Co_3O_4를 포함하는 p타입산화물층(400);을 포함하고, 상기 n타입산화물층(300) 및 p타입산화물층(400)에 의하여 p-n이종접합 구조를 형성할 수 있다.

[0055] 본 발명의 일 실시예에서, 상기 투명 광전소자(1)는 투명도를 확보하기 위해 유리기판층(100)을 활용할 수 있다. 또한 상기 유리기판층(100)의 상부에는 투명전극층(200)이 코팅될 수 있다.

[0057] 본 발명의 일 실시예에 따른 p타입산화물층(400)은 코발트 산화물(Co_3O_4)을 포함한다. 상기 Co_3O_4는 스피넬 구조에 해당할 수 있고, 2개의 양이온을 가지는 한편, 1.5 내지 2.2eV에서 이중 광학 밴드갭을 가지는 금속산화물이다. Co_3O_4는 가격이 저렴하고 자연적으로 풍부하며 환경 친화적이다. Co_3O_4와 같은 p타입산화물층(400)은 다른 다수 캐리어로부터 내부 전기장 전위를 증가시키기 위해 n타입산화물층(300)과 결합하여 p-n접합을 이룬다. 본 발명의 p타입산화물층(400) 및 n타입산화물층(300)은 p-n 이종접합 구조를 형성하고, 상기 p-n 이종접합은 p-n 접합의 계면 영역에 전기장을 갖는 공핍층을 형성할 수 있다.

[0059] 상기 n타입산화물층(300)은 ZnO, TiO_2, 및 SnO_2 중 어느 하나를 포함할 수 있다.금속산화물은 가시광선 파장범위를 가진 광원에서 생성되는 광자를 흡수하기 위한 상당한 흡수력을 가지고 있고, 특히 이산화주석(SnO_2), 산화티타늄(TiO_2), 및 산화아연(ZnO)는 금속산화물 중에서도 지구상에 풍부한 산화물이며, 전기, 및 화학적 성질이 안정하다. 본 발명의 일 실시예에 따르면, 투명 광전소자(1)는 금속산화물로 이루어진 이종접합을 구조로 가짐에 따라 60% 이상의 투명도를 나타낼 수 있다. 바람직하게는, 상기 투명 광전소자(1)는 상기 n타입산화물층(300) 및 p타입산화물층(400)에 의하여 형성된 p-Co3O4/n-ZnO, p-Co3O4/n-TiO_2, 및 p-Co3O4/n-SnO_2 중 어느 하나의 p-n이종접합 구조를 포함할 수 있다. 더욱 구체적으로는, TiO_2를 n타입산화물층(300)으로 활용한 상기 투명 광전

소자(1)는 80%, ZnO를 n타입산화물층(300)으로 활용한 상기 투명 광전소자(1)는 74%, SnO_2를 n타입산화물층(300)으로 활용한 상기 투명 광전소자(1)는 60%의 투명도를 나타내었다.

[0061] 한편 상기의 투명 광전소자(1)는 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 광전소자(1)를 제작하는 제조방법을 통해 구현될 수 있다.

[0062] 바람직하게는 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 광전소자(1)의 제조방법으로서, 유리기판층(100)을 배치하는 단계; 상기 유리기판층(100) 위에 투명전극층(200)을 배치하는 단계; 상기 투명전극층(200) 위에 n타입산화물층(300)을 배치하는 단계; 및 상기 n타입산화물층(300) 위에 Co_3O_4를 포함하는 p타입산화물층(400)을 배치하는 단계;의 적층단계를 포함할 수 있다. 또한 상기의 적층단계 이후 급속열처리공정(Rapid Thermal Processing, RTP)을 수행할 수 있다.

[0064] 상기 유리기판층(100) 위에 투명전극층(200)을 배치하는 단계 이후, 상기 투명전극층(200)이 상부에 배치된 유리기판층(100)은 아세톤, 메탄올, 및 탈이온수 각각을 용매로 사용한 초음파세척을 1 내지 60분의 시간동안 수행하여 세척될 수 있다. 바람직하게는 10분의 시간동안 수행되어 세척될 수 있다. 또한 상기 투명전극층(200)이 상부에 배치된 유리기판층(100)은 질소(N_2) 분위기 하에서 건조될 수 있다.

[0065] 본 발명의 일 실시예에서, 상기 투명전극층(200) 위에 n타입산화물층(300)을 배치하는 단계; 및 상기 n타입산화물층(300) 위에 Co_3O_4를 포함하는 p타입산화물층(400)을 배치하는 단계는 DC스퍼터링(Solarlight Ltd., Korea)을 사용하여 층별로 적층될 수 있다.

[0066] 본 발명의 일 실시예에서, 상기 p타입산화물층(400)을 배치하는 단계는 Co 타겟을 이용하여, 1 내지 1000sccm의 아르곤(Ar)유량, 1 내지 1000mTorr의 작동압력, 및 1 내지 1000W/cm^2의 DC전력의 조건 하에서, 1 내지 60분의 시간동안 수행될 수 있다. 바람직하게는, 50sccm의 아르곤(Ar)유량, 5mTorr의 작동압력, 및 10W/cm^2의 DC전력의 조건 하에서, 4분의 시간동안 수행되는 것이 바람직하다. 이때, 상기 p타입산화물층(400)을 배치하는 단계에서는 터보 분자 펌프를 사용하여 초기의 2×10^{-6}Torr의 기본압력을 5mTorr의 작동압력으로 변환할 수 있다.

[0068] 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 광전소자(1)를 제작하는 방법에서는 적층단계 이후 급속열처리공정(Rapid Thermal Processing, RTP)을 수행할 수 있다.

[0069] 본 발명의 일 실시예에 따른 급속열처리공정단계에서는, 열처리온도를 상온에서 제1온도까지 1차적으로 상승시킨 후에, 상기 제1온도를 제2온도까지 2차적으로 상승시키는 온도상승단계; 상기 제2온도를 1 내지 120분동안 유지시키는 온도유지단계; 및 열처리온도를 상기 제2온도에서 상온까지 하강시키는 온도하강단계;를 포함할 수 있다. 바람직하게는, 상기 온도상승단계는 5분, 상기 온도유지단계는 10분, 및 상기 온도하강단계는 5분의 시간동안 수행되는 것이 바람직하다. 본 발명의 일 실시예에서 상기 상온은 25℃에 해당한다.

[0070] 한편 상기 제1온도는 150℃ 내지 400℃의 온도를 포함하고, 상기 제2온도는 450℃ 내지 700℃의 온도를 포함한다. 바람직하게는, 상기 제1온도는 300℃, 및 상기 제2온도는 550℃의 온도를 형성한다. 또한 상기 온도상승단계는 0.01 내지 100L/min의 산소(O_2)유량 하에서 1 내지 120분 동안 수행될 수 있다. 바람직하게는, 0.8L/min의 산소(O_2)유량 하에서 수행되는 것이 바람직하다.

[0071] 상기 투명 광전소자(1)는 RTP를 수행함에 따라 소수 캐리어의 수명이 증가하고 광학적 특성이 향상되는 효과를 발휘할 수 있다. 또한 후술할 도면에서 보인 바와 같이, 더 높은 온도범위에서 RTP를 수행함으로써, 더 높은 소수 캐리어의 수명을 얻을 수 있다.

[0073] 즉 이와 같은 투명 광전소자(1)의 제조방법에서, 상기 투명 광전소자(1)는 가시광선 파장범위를 가진 광원 하에서 60% 이상의 투명도를 가질 수 있고, 소수 캐리어가 증가함에 따라 과도 광전압이 느린 감쇠를 보이는 특성을 구현할 수 있다.

[0075] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 광전소자(1)의 에너지밴드 및 전력-전압 거동에 대한 사항을 도시한다.

[0077] 상기 투명 광전소자(1)의 전류-전압 특성은 potentiostats/galvanostats(PGSTAT, WonA Tech, ZIVE SP2)를 사용하여 특성화될 수 있다.

[0079] 도 2(a)는 Co_3O_4, TiO_2, ZnO, 및 SnO_2의 에너지준위에 대한 사항을 도시한다.

[0080] 본 발명의 일 실시예에 따른 p타입산화물층(400)의 Co_3O_4는 흡수층으로 사용되는 반면, TiO_2, ZnO, 및 SnO_2 중 어느 하나는 n타입산화물층(300) 및 p타입산화물층이 p-n접합을 이룰 수 있도록 하는 대응물로서 사용될 수 있다.

[0081] 또한 상기 p타입산화물층(400)은 정공수송층의 역할을 하고, 상기 n타입산화물층(300)은 전자수송층의 역할을 한다.

[0082] 본 발명의 일 실시예에서 상기 p타입산화물층(400)을 형성하는 방법은 Kirkendall-diffusion 공정에 따라 대기 분위기에서 후산화에 의해 형성하는 방법, 및 스퍼터링된 Co박막 형성 중 현장(in situ) 산화에 의해 형성하는 방법이 있다. 상기의 p타입산화물층(400)을 형성하는 방법들은 모두 광에 의해 활성화되는 Co_3O_4를 형성할 수 있으나, 현장(in situ) 산화에 의해 형성하는 방법으로 형성된 Co_3O_4는 우수한 광전 특성으로 인해 더 선호될 수 있다.

[0084] 도 2(b)는 p-Co_3O_4를 포함한 p-n 이종접합 구조의 에너지밴드 정렬을 도시한다.

[0085] 상기 에너지밴드 다이어그램은 평탄한 플랫 밴드 구성에 해당한다. 투명전극층(200)(FTO)는 광원을 이종접합(n-type 및 Co_3O_4) 근처에서 강하게 흡수한다. 이후 상기 광원에 의해 발생한 광발생 전자-정공쌍은 전면 및 후면 접점(n-type/FTO 및 Co_3O_4/TCO)에서 분리 후 흡수된다. 금속산화물의 흡수 엣지(absorption edge)는 하기의 식으로 계산할 수 있다.

[0086] $$\cong E(eV) = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \cong 1240\ /\ \lambda$$

[0087] 에너지밴드 오프셋은 광전소자에서 광생성 캐리어의 전송에 중요한 영향을 미친다. 에너지밴드 오프셋에는 두 가지 유형이 있을 수 있다.

[0088] 첫 번째, 스파이크형 밴드 오프셋은 윈도우층(window layer)의 컨덕션밴드 에너지 최소값(CBM)이 흡수체의 CBM보다 높은 밴드 오프셋을 가진 밴드 오프셋에 해당한다. 두 번째, 절벽형 밴드 오프셋은 윈도우층의 CBM이 흡수체의 CBM보다 낮은 밴드 오프셋을 가진 밴드 오프셋에 해당한다. 이종접합 구조의 에너지밴드 정렬은 p타입산화물층(400) 및 n타입산화물층(300)의 전자 친화도 차이에 따라 달라질 수 있다.

[0089] 도 2(b)에 도시된 바와 같이, 상기 에너지밴드는 명확한 type Ⅱ의 지그재그 정렬을 가진다. 컨덕션밴드 오프셋 및 밸런스밴드 오프셋의 존재는 광생성 전하 캐리어의 방향을 결정할 수 있다. 본 발명의 일 실시예에서 Co_3O_4/TiO_2, Co_3O_4/ZnO, 및 Co_3O_4/SnO_2의 컨덕션밴드 오프셋(E_C)은 각각 -0.65, 1.05, 및 -0.95eV을 가질 수 있다. Co_3O_4/TiO_2, Co_3O_4/ZnO, 및 Co_3O_4/SnO_2의 밴런스밴드 오프셋(E_V)은 각각 2.35, 2.85 및 3.05eV을 가질 수 있다.

[0090] 과도한 음의 에너지밴드 오프셋은 경계면에서 잠재적인 백 캐리어 재결합 소스로 이어지며, 여기서 윈도우층의 전자는 흡수체층의 정공과 재결합할 수 있다. 또한 절벽형 밴드 오프셋은 이종접합의 내장전압(V_{bi})을 제한하여 개방회로전압(V_{OC})을 낮출 수 있다. 단락전류밀도(J_{SC}) 및 개방회로전압(V_{OC})는 효율적인 장치를 개발하는 데 중요한 역할을 할 수 있다. 따라서 효율적인 광전소자 장치를 위해서는 우수한 밴드 오프셋이 중요하다.

[0091] 광발생 캐리어는 광발생 전자(E_{fn}) 및 정공(E_{fp})에 해당하는 준페르미준위를 유도할 수 있다. 광발생 전자-정공쌍의 분리는 공간 전하 영역(SCR)에서 전기장(ε)을 통해 발생한다. 25nm 영역범위의 SCR폭은 자체적으로 전력발전하는 광전소자를 개발하는 데 중요할 수 있다. 지나치게 얇은 인터페이스, 즉 10nm 이하의 인터페이스는 Co_3O_4의 정공이 광전소자의 성능에 적대적인 것으로 입증된 n형금속산화물층의 컨덕션밴드로 터널링 되도록 유도할 수 있다.

[0093] 이와 같은 구성에서, 상기 투명 광전소자(1)는 p-Co3O4 기반으로 금속산화물 이종접합을 이루는 구조를 가짐으로써, 비옴(non-Ohmic) 특성을 나타내는 효과를 발휘할 수 있다.

[0095] 도 2(c) 및 도 2(d)는 Co_3O_4를 포함하는 투명 광전소자(1)의 전류밀도-전압 특성 플롯에 대한 사항을 도시한다.

[0096] AM1.5G 조명 하에서, Co_3O_4/ZnO 및 Co_3O_4/TiO_2 의 광전류밀도는 0.563mW/cm^2를 가지고, 이는 상기 금속산화물 이종접합 구조가 광전효과를 통한 전력발전을 한다는 것에 해당할 수 있다.

[0097] 본 발명의 일 실시예에서, 상기 p타입산화물층(400)은 $10^{16}cm^{-3}$ 내지 $10^{17}cm^{-3}$캐리어 밀도를 가질 수 있고, ZnO 및 TiO_2 중 어느 하나를 n타입산화물층(300)으로 설정하였을 때 상기 n타입산화물층(300)은 $10^{19}cm^{-3}$의 캐리어 밀도를 가질 수 있다. 이때 전력변환효율(PCE)은 상기 p타입산화물층(400)이 $10^{17}cm^{-3}$의 캐리어밀도를 가질 때 눈에 띄게 개선됨을 확인하였다.

[0098] 도 2(c)에 삽입된 태양광 매개변수(photovoltaic parameters)는 Co_3O_4/TiO_2 이종접합으로 구성된 상기 투명 광전소자(1)에 대해 0.66V의 V_{OC}, 2.72mA/cm^2의 J_{SC}, 및 1.39%의 PCE를 가질 수 있다.

[0100] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 광전소자(1)의 광투과도 및 광흡수도에 대한 사항을 도시한다.

[0102] 상기 광투과도 및 광습수도에 대한 사항은 UV-Vis 분광광도계(Shimadzu, UV-2600)를 사용하여 특성화될 수 있다.

[0104] 투명 광전소자(1)는 상부전극과 하부전극이 모두 투명해야 투명한 상기 상부 및 하부전극를 통해 가시광선의 높은 투과도를 가질 수 있다. 본 발명의 일 실시예에서, 상부전극은 광활성층(상기 p타입산화물층(400) 및 n타입산화물층(300)) 상면에 증착된 전극이고, 하부전극은 유리기판층(100) 상면에 코팅된 전극이다. 본 발명의 일 실시예에서, 하부전극 및 투명전극층(200) 역할을 하는 FTO는 유리기판층(100) 상면에 코팅된 구조를 이룰 수 있다.

[0106] 도 3(a)에 도시된 바와 같이, Co_3O_4/TiO_2, Co_3O_4/ZnO, 및 Co_3O_4/SnO_2의 이종접합 구조는 자외선 파장범위를 가진 광원의 영역에서 최대 흡수도를 가질 수 있다. 상기 이종접합 구조들의 흡수도는 광원의 파장이 증가함에 따라 감소하는 것으로 나타났다. 다만, TiO_2, ZnO, 및 SnO_2는 가시광선 파장범위를 가진 광원(400 내지 800nm 파장범위)에서 본질적으로 무시할 수 있는 흡수도를 가질 수 있다. 특히 상기 이종접합 구조들은 자외선 파장범위를 가진 광원 하에서 향상된 흡수도를 보였으며, 이는 Co_3O_4의 우수한 광학 특성에 기인할 수 있다.

[0108] TiO_2, ZnO 및 SnO_2에 대한 가시광선 파장범위의 광원에서의 평균 투과도는 도 3(b)에서와 같이 각각 80%, 74% 및 65%를 가질 수 있다. 상기 투과도는 창 유형의 투명 태양전지 어플리케이션에서 필요한 40%보다 훨씬 높은

투과도에 해당한다.

[0109] Co_3O_4/TiO_2, Co_3O_4/ZnO, 및 Co_3O_4/SnO_2 이종접합 구조의 투과도는 가시광선 파장범위를 가진 광원 하에서는 기록되지 않았다. 다만 근적외선 파장범위를 가진 광원 하에서는, 상기 Co_3O_4/TiO_2, Co_3O_4/ZnO, 및 Co_3O_4/SnO_2 이종접합 구조는 평균 26%의 투과도를 가질 수 있다. 이를 통해, 얇은 TiO_2, ZnO, 및 SnO_2는 가시광선 파장범위를 가진 광원 하에서는 충분한 투명도를 지니며, 상기 투명 광전소자(1)의 투명도가 어플리케이션의 주요한 요인일 경우, ZnO이 포함된 상기 투명 광전소자(1)를 사용하는 것이 바람직함을 확인할 수 있다. 표 1은 본 발명의 일 실시예에서 선택된 4개의 금속산화물이 가지는 추정된 결정 구조를 나타낸다.

표 1

[0111]

재료	결정계	격자 파라미터
Co_3O_4(p-type)	Cubic	a=0.809nm
ZnO(n-type)	Hexagonal	a=0.325nm; c=0.52nm
TiO_2(n-type)	Tetragonal rutile	a=0.436nm; c=0.302nm
SnO_2(n-type)	Tetragonal rutile	a=0.474nm; c=0.319nm

[0112] 즉, 본 발명의 일 실시예에 따르면, 투명 광전소자(1)는 p-Co_3O_4를 n-TiO_2, n-ZnO, 및 n-SnO_2 중 어느 하나와 이종접합 구조를 형성시킴으로써, UV 파장범위를 가진 광원에서 가장 높은 흡수도를 보이고, 이는 투명 광전소자(1)의 활용가능한 광원의 파장범위를 확장시키는 효과를 발휘할 수 있다.

[0114] 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 광전소자(1)의 FESEM 단면 및 전압에 따른 광생성전력밀도 실험에 대한 사항을 도시한다.

[0116] 상기 투명 광전소자(1)의 FESEM 단면은 15kV 필드 전압, 50kX 배율 및 10mm 작동 거리를 갖는 전계 방출 주사전자 현미경(FESEM, JSM7800F, Jeol)을 사용하여 특성화 될 수 있다.

[0118] 도 4(a)는 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 광전소자(1)의 FESEM 단면 이미지를 도시한다. 상기 투명 광전소자(1)는 FTO/TiO_2/Co_3O_4의 구조로 이루어졌다.

[0120] 도 4(b) 내지 도 4(f)는 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 광전소자(1)에 -1V 내지 +1V 범위의 전압을 인가하고, 500㎼의 강도 및 자외선 파장범위를 가진 펄스광원 하에서 측정한 전류-전압 거동에 대한 사항을 도시한다. 이때 펄스광원이란, 짧은 단위의 시간동안 on/off가 반복되는 광원을 뜻한다.

[0121] 자외선 파장범위를 갖는 펄스광원으로 인해, 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 광전소자(1)의 광학적 특성 및 전류-전압 특성 플롯은 어두운 조건과 광원이 있는 조건 모두에서 보일 수 있다.

[0123] 도 4(b)는 전류-전압 측정 환경을 개략적으로 도시하였고, 도 4(c)는 본 발명의 일 실시예에서 상기 측정 환경이 실제 시연된 사진이다.

[0125] 도 4(d)에 도시된 바와 같이, Co_3O_4/SnO_2를 포함하는 투명 광전소자(1)는 비대칭적인 전류-전압 특성을 보이며, 이는 이종접합 구조의 특징이다. 다만 상기 SnO_2/Co_3O_4를 포함하는 투명 광전소자(1)의 전압-전류 특성 플롯에는 자외선 파장범위를 가진 광원 하에서 펄스 특성이 드러나지 않는다. 한편 도 4(e)에 도시된 바와 같이,

Co_3O_4/ZnO 를 포함하는 투명 광전소자(1)의 전류-전압 특성 플롯은 펄스 특성이 뚜렷하다.

[0127] 태양광에 의한 거동은 상기 전류-전압 특성 플롯들의 4사분면에서 확인 가능하다. 이를 통해서, 본 발명의 투명 광전소자(1)는 자체적인 전력발전이 가능함을 확인할 수 있다. 상기 투명 광전소자(1)는 광생성 전하를 분리하는 내장전위와의 접합 형성을 통해 자체적인 전력발전을 한다.

[0129] 도 4(f)는 Co_3O_4/TiO_2 를 포함하는 투명 광전소자(1)의 전류-전압 특성을 도시한다. Co_3O_4/TiO_2 이종접합 구조는 상대적으로 높은 내장전위로 인해 광전 성능이 크게 향상되었다. 제로 바이어스 및 0.35V의 개방회로전압(V_{OC})에서 0.5nA의 광전류를 나타낼 수 있다.

[0131] 즉 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 광전소자(1)는 광전 효과에 의해 자체적인 전력발전을 제공하며, 이는 광생성 전하를 분리하는 내장 전위의 형성 때문이다.

[0133] 다이오드 방정식을 계산하는 식은 다음과 같다.

[0134] $$I = I_{photo} + I_S\left[\exp\left(\frac{\eta qV}{kT}\right) - 1\right]$$

[0135] 여기서, I_{photo}는 광전류, I는 포화전류, V는 접합 계면에서의 순전압, η는 다이오드 이상 계수, 및 q는 순전하에 해당한다.

[0136] 광전류를 계산하는 식은 다음과 같다.

[0137] $$I_{photo} = \eta\frac{I_0 A}{\left(\frac{hc}{\lambda}\right)}q$$

[0138] 여기서, I_0는 다이오드에 주어지는 광원의 밀도(W/m^2), 및 A는 광원이 주어지는 영역에 해당한다.

[0139] 즉, 광전류는 입사광의 세기에 정비례한다. 광전류는 단위 시간당 광자 흡수에 의해 생성되는 전자-정공쌍의 수에 따라 달라지며, 이는 $\Delta n = \Delta p = \eta\alpha I/h\nu$로 표시된다. 여기서 α는 흡수계수, 및 I는 광원의 전력밀도에 해당한다.

[0141] 원칙적으로, 조사(irradiation) 과정에서 흡수된 에너지의 양은 시간에 따라 선형적으로 증가하기 때문에 캐리어의 양도 선형적으로 증가한다. 다만 여기된 전자-정공쌍은 유한한 수명을 가지므로 (10^7 내지 10^2초) 전자-정공쌍의 재결합이 발생한다. 전자-정공쌍에 관련된 소수 캐리어의 수명은 이 과정과 관련된 수명이다. 상기 재결합 과정으로 인해, 광생성 캐리어가 무한하게 증가하지 않는다.

[0143] 본 발명의 일 실시예에서, 상기 Co_3O_4/TiO_2, Co_3O_4/ZnO, 및 Co_3O_4/SnO_2 중 어느 하나를 포함하는 투명 광전소자(1)는 인가 전압이 증가함에 따라 광전류가 증가한다. 상기 투명 광전소자(1)가 생성하는 광전류는 음의 전압이 증가하면 초기에 급격하게 상승하고 결국 0V의 전압에서 0의 광전류에 도달한다.

[0145] 도 4(e)에서 도시하는 바와 같이, Co_3O_4/ZnO를 포함하는 투명 광전소자(1)는 비옴 특성을 보인다. 이는 접합부의 계면 결함 때문일 수 있다.

[0147] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 투명 광전소자(1)로 구현한 광검출기는 우수한 응답성, 및 응답시간을 나타내어 고속 자외선 광검출기를 구현하는 효과를 발휘할 수 있다.

[0149] 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 광전소자(1)의 광원 유무에 따른 광전압 감쇠 특성에 대한 사항을 도시한다. 또한 도 5는 급속열처리공정(RTP) 종류와 온도에 대한 광전압 감쇠 특성을 확인할 수 있다. 이때, 상기 광전압 감쇠 특성은 시간의 경과에 따른 캐리어의 감쇠를 사용하여, 과도 광전압 및 캐리어의 수명을 조사하였다.

[0151] 상기 또한 상기 투명 광전소자(1)는 펄스 광 조사 하에서 장치의 과도 특성은 크로노암페로메트리 기능을 사용하여 특성화될 수 있다. 또한 상기 투명 광전소자(1)의 광전압 감쇠는 오실로스코프(TBS 1102B-EDU, Tektronix)를 사용하여 특성화될 수 있다.

[0153] 본 발명의 일 실시예에서는 50%의 듀티 사이클, 및 자외선 파장범위를 가진 펄스 광원(365nm의 파장, 0.5Hz, 및 7mW/cm^2)이 사용되었다.

[0155] 광전소자의 광생성 캐리어의 수명은 광전 프로세스에 의해서 제어된다. 따라서 광생성 캐리어의 확산길이는 다음의 식에 의해서 계산될 수 있다.

[0156] $$L = (D\tau)^{1/2}$$

[0157] 여기서 $D = \mu K_B T/q$ 는 확산계수에 해당하고, 상기 확산계수는 광생성 캐리어의 수명을 결정한다.

[0159] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 투명 광전소자(1)의 제작방법인 RTP는 광전소자의 소수 캐리어의 수명을 증가시킴에 따라 광학적 특성이 향상되는 효과를 발휘할 수 있다. 또한, 상기 투명 광전소자(1)의 제작방법은 투명 광전소자(1)가 지속적인 광전도성을 나타내는 효과를 발휘할 수 있다.

[0161] 도 5에 도시되는 과도 피크의 붕괴를 설명하기 위해 다음과 같은 메커니즘을 제시한다.

[0162] 과도 피크의 붕괴는 재결합 속도를 향상시키는 캐리어 밀도가 증가했기 때문일 수 있다. 트랩된 캐리어, 즉 전자가 상기 투명 광전소자(1) 구조에 축적됨에 따라 내부 전기장의 국부적 강하를 유발하여 전자-정공쌍 캐리어의 분리효율이 낮아질 수 있다. 상기 전자-정공쌍 캐리어의 분리는 자기장에 의존적인 Onsager-Braun 유형의 프로세스로 설명할 수 있다. Onsager-Braun 유형의 프로세스에 의하면, 전기장의 세기가 감소하는 경우 상기 전자-정공쌍 캐리어의 분리 순효율이 감소한다. 차례로 광흡수층에서의 캐리어 생성은 감소한다. 이러한 프로세스는 트랩된 캐리어의 도움 없이 진행될 수 있다. 캐리어의 축적은 전하의 제한된 이동성으로 인해 발생할 수 있다. 다만 이러한 상황에서 트랩된 캐리어의 이동 시간은 장치가 평행을 유지하는 데에 필요한 시간과 상응해야 한다.

[0163] 또한, 트래핑 시간보다 짧은 시간 단위를 가지는 펄스 광원의 경우, 트래핑 되지 않은 캐리어의 이동시간이 과도 피크의 역학보다 훨씬 짧기 때문일 수 있다. 따라서, 전자-정공쌍 캐리어 재결합의 증가는 공간전하효과를 통해 간접적으로 트랩된 캐리어의 축적에 의해 매개된다는 결론을 내릴 수 있다.

[0164] 캐리어는 안정된 상태에서 일정한 속도로 지속적으로 생성된다. 상기 캐리어의 밀도는 캐리어의 수명이 긴 재료에서 높아지는 반면, 재결합 속도가 빠른 재료에서 낮아진다.

[0165] 종래의 열처리공정(pristine thermal processing)을 수행한 Co_3O_4/TiO_2를 포함하는 투명 광전소자(1)의 광전압 감쇠 플롯은 Co_3O_4/TiO_2 이종접합 구조의 소수 캐리어 수명을 나타낼 수 있다. 본 발명의 일 실시예에 따른 RTP를 수행한 투명 광전소자(1)는 소수 캐리어의 수명이 증가했음을 확인할 수 있다. 또한 550℃의 높은 온도범위

에서 상기 RTP를 수행한 투명 광전소자(1)는 500℃의 온도범위에서 상기 RTP를 수행한 투명 광전소자(1)보다 소수 캐리어 수명이 증가함을 확인했다.

[0166] 즉, 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 광전소자(1)로 구현한 광검출기는 우수한 응답성, 및 응답시간을 나타내어 고속 자외선 광검출기를 구현하는 효과를 발휘할 수 있다.

[0168] 표 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 광전소자(1)가 자체적으로 전력발전하는 고속 자외선 광검출기를 제작함에 있어 이점이 있음을 비교예와 함께 도시한다.

표 2

[0170]

장치 구조	접합 종류	기판	전압 (V)	광전압 (mV)	응답 시간 (ms)	전력발전 여부	비고
SiC/4H/ITO	p-i-n	SiC	1.5	-	1.7	-	비교예1
In_2O_4/TiO_2	n-n	SiO2/Si	2	-	300	-	비교예2
ZnSnO/NiO	p-n	FTO/glass	3	-	960	-	비교예3
MgZnO/ZnO	n-n	Al2O3	6	-	-	-	비교예4
In:ZnO/ZnO	M-S	glass	1	-	3002	-	비교예5
ZnO/PEDOT:PSS	p-n	ITO/PET	0	0.7	1.4	-	비교예6
ZnO/V_2O_5	n-n	FTO/glass	4	-	13	-	비교예7
Ga_2O_3/IZO	M-S	PET	5	-	2300	-	비교예8
Ga_2O_3/NiO	p-n hetero	Al2O3	15	-	4.6	-	비교예9
Ga_2O_3/V_2O_5	n-n	Al2O3	0	-	320	-	비교예10
SnO_2/Co_3O_4	p-n hetero	FTO/glass	0	-	-	-	실시예
ZnO/Co_3O_4			0	430	3.2	○	
TiO_2/Co_3O_4			0	640	3.16	○	

[0171] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 투명 광전소자는 Co_3O_4 기반의 금속산화물 p-n 이종접합 구조를 구비함으로써, 비옴(non-Ohmic) 특성을 나타내는 효과를 발휘할 수 있다.

[0172] 본 발명의 일 실시예에 따르면, Co_3O_4 기반의 금속산화물 이종접합 구조를 구비한 투명 광전소자는 비옴 특성을 나타내는 효과를 가짐으로써, 내장전위를 형성할 수 있고 이로 인해 외부 전압 없이 작동할 수 있도록 자체적인 전력발전을 하여 현장(on-site)발전에 용이하도록 하는 효과를 발휘할 수 있다.

[0173] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 투명 광전소자는 금속산화물로 이루어진 이종접합을 구조로 가짐에 따라 60% 이상의 투명도를 나타내는 효과를 발휘할 수 있다.

[0174] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 투명 광전소자는 Co_3O_4 기반의 금속산화물 이종접합 구조를 구비함으로써, UV 파장범위를 가진 광원에서 가장 높은 흡수도를 보이고, 이는 투명 광전소자의 활용가능한 광원의 파장범위를 확장시키는 효과를 발휘할 수 있다.

[0175] 본 발명의 일 실시예에 따르면, Co_3O_4 기반의 금속산화물 이종접합 구조를 구비한 투명 광전소자의 제작방법은 광전소자의 소수 캐리어의 수명을 증가시킴에 따라 투명 광전소자의 광학적 특성을 향상시키는 효과를 발휘할 수 있다.

[0176] 본 발명의 일 실시예에 따르면, Co_3O_4 기반의 금속산화물 이종접합 구조를 구비한 투명 광전소자의 제작방법은 투명 광전소자가 지속적인 광전도성을 나타낼 수 있도록 하는 효과를 발휘할 수 있다.

[0177] 본 발명의 일 실시예에 따르면, Co_3O_4 기반의 금속산화물 이종접합 구조를 구비한 투명 광전소자는 우수한 응답

성, 및 응답시간을 나타내어 고속 자외선 광검출기를 구현하는 효과를 발휘할 수 있다.

[0179] 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

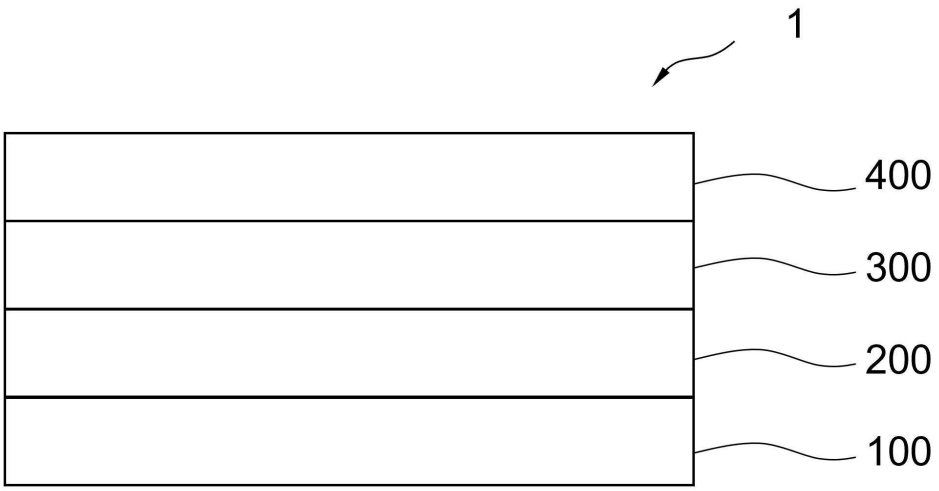
[0182] 1: 투명 광전소자

100: 유리기판층 200: 투명전극층

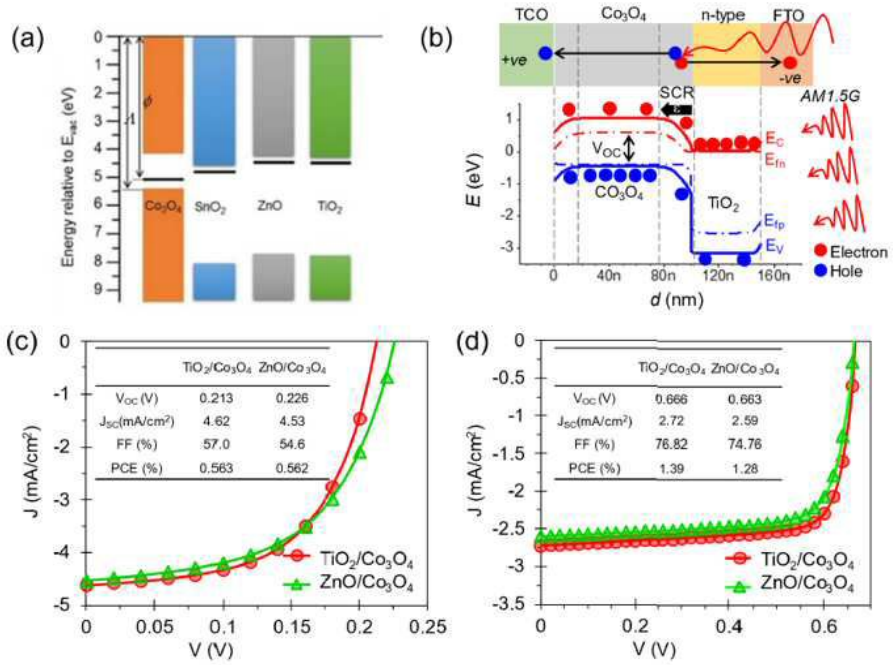
300: n타입산화물층 400: p타입산화물층

도면

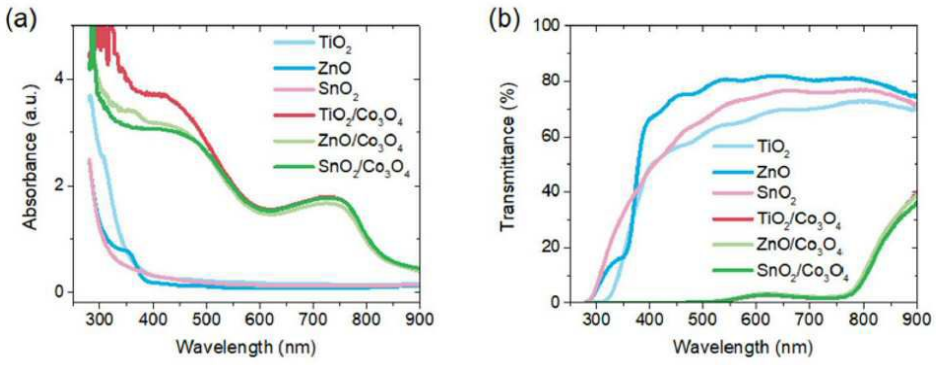
도면1



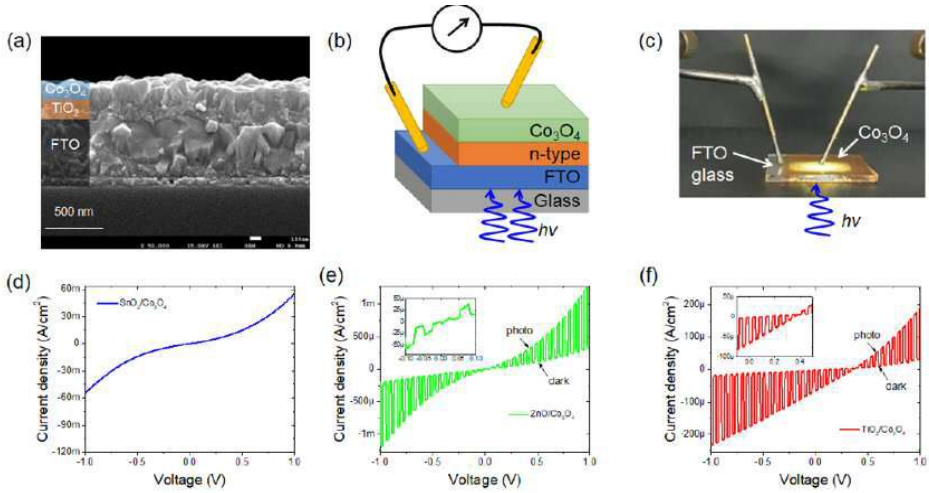
도면2


(a)
Energy relative to E_{vac} (eV)
ϕ
χ
Co_3O_4
SnO_2
ZnO
TiO_2
(b)
TCO
Co_3O_4
n-type
FTO
+ve
-ve
SCR
AM1.5G
V_{OC}
E_C
E_{fn}
E_{fp}
E_V
CO_3O_4
TiO_2
Electron
Hole
E (eV)
d (nm)
(c)
J (mA/cm²)
V (V)
TiO_2/Co_3O_4 ZnO/Co_3O_4
V_{OC} (V) 0.213 0.226
J_{SC}(mA/cm²) 4.62 4.53
FF (%) 57.0 54.6
PCE (%) 0.563 0.562
TiO_2/Co_3O_4
ZnO/Co_3O_4
(d)
J (mA/cm²)
V (V)
TiO_2/Co_3O_4 ZnO/Co_3O_4
V_{OC} (V) 0.666 0.663
J_{SC}(mA/cm²) 2.72 2.59
FF (%) 76.82 74.76
PCE (%) 1.39 1.28
TiO_2/Co_3O_4
ZnO/Co_3O_4

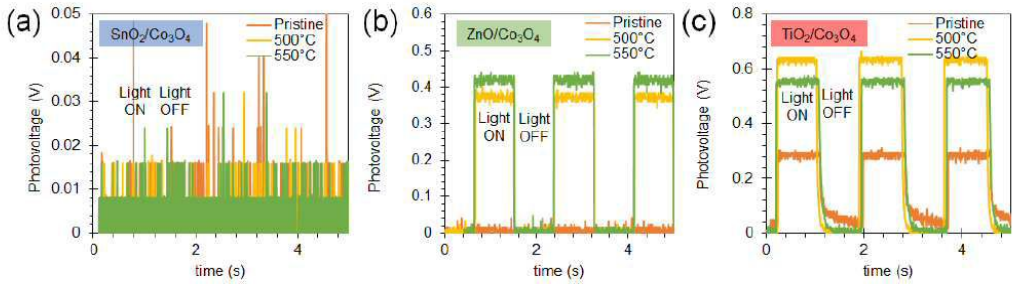
도면3


(a)
Absorbance (a.u.)
Wavelength (nm)
TiO_2
ZnO
SnO_2
TiO_2/Co_3O_4
ZnO/Co_3O_4
SnO_2/Co_3O_4
(b)
Transmittance (%)
Wavelength (nm)
TiO_2
ZnO
SnO_2
TiO_2/Co_3O_4
ZnO/Co_3O_4
SnO_2/Co_3O_4

도면4


(a)
FTO
500 nm
(b)
Co_3O_4
n-type
FTO
Glass
hv
(c)
FTO
glass
Co_3O_4
hv
(d)
Current density (A/cm²)
Voltage (V)
(e)
photo
dark
Current density (A/cm²)
Voltage (V)
(f)
photo
dark
Current density (A/cm²)
Voltage (V)

도면5


(a)
SnO_2/Co_3O_4
Pristine
500°C
550°C
Light ON
Light OFF
Photovoltage (V)
time (s)
(b)
ZnO/Co_3O_4
Pristine
500°C
550°C
Light ON
Light OFF
Photovoltage (V)
time (s)
(c)
TiO_2/Co_3O_4
Pristine
500°C
550°C
Light ON
Light OFF
Photovoltage (V)
time (s)