(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2023-0060262
(43) 공개일자 2023년05월04일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 31/072 (2006.01) *H01L 31/0224* (2006.01)
H01L 31/18 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H01L 31/072 (2013.01)
H01L 31/022466 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2021-0144784
(22) 출원일자 2021년10월27일
심사청구일자 2021년10월27일

(71) 출원인
인천대학교 산학협력단
인천광역시 연수구 아카데미로 119 (송도동)
(72) 발명자
김준동
인천광역시 연수구 컨벤시아대로130번길 32 (송도동, 송도자이하버뷰2단지아파트) 207동 1402호
파텔 말케시 쿠마르
인천광역시 연수구 송도동 아카데미로 119, 인천대학교 전기공학과
(74) 대리인
강정빈, 심찬, 송두현

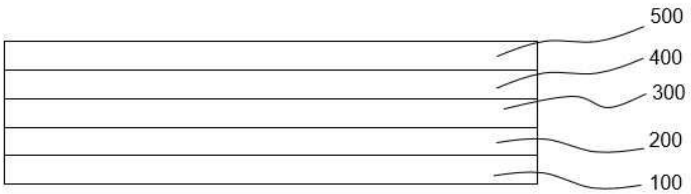
전체 청구항 수 : 총 8 항

(54) 발명의 명칭 **광투과층의 두께가 조절된 투명태양전지 및 그 제조방법**

(57) 요 약

본 발명은 광투과층의 두께가 조절된 투명태양전지 및 그 제조방법에 관한 것으로서, TiO_2 및 NiO을 포함하는 광투과층의 두께를 조절함으로써 가시광선에서 양호한 투명성을 유지하면서도 발전효율을 개선시킬 수 있는, 광투과층의 두께가 조절된 투명태양전지 및 그 제조방법에 관한 것이다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류
H01L 31/1864 (2013.01)
H01L 31/1884 (2013.01)

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 8/10
과제수행기관명 인천대학교
연구기간 2020.03.01 ~ 2023.02.28
이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1711119637
과제번호 2020H1D3A2A02085884
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

명 세 서

청구범위

청구항 1

광투과층의 두께가 조절된 투명태양전지의 제조방법으로서,

기판을 준비하는 단계;

상기 기판위에 제1투명전극층을 배치하는 단계;

상기 제1투명전극층 위에 TiO_2를 포함하는 제1금속산화물층을 배치하는 단계;

상기 제1금속산화물층 위에 NiO를 포함하는 제2금속산화물층을 배치하는 단계; 및

상기 제2금속산화물층 위에 제2투명전극층을 배치하는 단계를 포함하고,

상기 제1금속산화물층 및 상기 제2금속산화물층은 이종접합 구조를 형성하는, 투명태양전지의 제조방법.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 제1금속산화물층은 1 내지 500nm의 두께 범위를 갖고,

상기 제2금속산화물층은 1 내지 500nm의 두께 범위를 갖는, 투명태양전지의 제조방법.

청구항 3

청구항 1에 있어서,

상기 제1금속산화물층의 두께와 상기 제2금속산화물층의 두께는 100:1 내지 1:100의 비율을 갖는, 투명태양전지의 제조방법.

청구항 4

청구항 1에 있어서,

상기 제1금속산화물층을 배치하는 단계는,

DC스퍼터링 공정으로 상기 제1금속산화물층을 형성하는 단계; 및

급속열처리 공정으로 상기 제1금속산화물층에 열처리를 수행하는 단계;를 포함하고,

상기 DC스퍼터링 공정의 수행시간을 조절하여 상기 제1금속산화물층의 두께를 조절하는, 투명태양전지의 제조방법.

청구항 5

청구항 1에 있어서,

상기 제1금속산화물층을 배치하는 단계 및 상기 제2금속산화물층을 배치하는 단계는,

반응성 스퍼터링 공정을 기반으로 O_2 와 Ar의 비율이 1:1 내지 1:200의 비율에서 조절하여 형성하는, 투명태양전지의 제조방법.

청구항 6

청구항 1에 있어서,

상기 투명태양전지의 단위 모듈은,

직렬접합하거나 병렬접합하거나 직병렬을 혼합하여 구성할 수 있는, 투명태양전지의 제조방법.

청구항 7

청구항 1에 있어서,

상기 투명태양전지는 400 내지 800nm의 파장의 범위를 갖는 광에 대하여 30% 이상의 투과율을 갖는, 투명태양전지의 제조방법.

청구항 8

광투과층의 두께가 조절된 투명태양전지로서,

기판;

상기 기판위에 배치되는 제1투명전극층;

상기 제1투명전극층 위에 배치되는 TiO_2를 포함하는 제1금속산화물층;

상기 제1금속산화물층 위에 배치되는 NiO를 포함하는 제2금속산화물층; 및

상기 제2금속산화물층 위에 배치되는 제2투명전극층를 포함하고

상기 제1금속산화물층 및 상기 제2금속산화물층은 이종접합 구조를 형성하는, 투명태양전지.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 광투과층의 두께가 조절된 투명태양전지 및 그 제조방법에 관한 것으로서, TiO_2 및 NiO을 포함하는 광투과층의 두께를 조절함으로써 가시광선에서 양호한 투명성을 유지하면서도 발전효율을 개선시킬 수 있는, 광투과층의 두께가 조절된 투명태양전지 및 그 제조방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0003] 온실 효과로 인한 지구온난화 현상은 지구상에서 살아온 인류에게 심각한 위협으로 다가오고 있다. 과거의 에너지 생산은 주로 석탄, 석유 및 천연가스 등의 화석연료를 사용해왔고 이러한 화석연료의 사용은 온실 가스(greenhouse gas)의 생성을 필연적으로 동반해왔다. 이러한 온실 가스는 해수면 상승 및 자외선의 필터링을 담당하는 오존의 파괴를 불러일으켜왔다. 이러한 온실 가스의 증가로 인해서 인류는 살아갈 대지의 면적의 부족과 숨쉴 산소의 부족을 겪고 있다. 나아가, 과도한 자외선 복사가 인간의 신체에 직접 닿게 되어 피부의 변색, 면역 기능 감소, 광 피부 노화 및 피부암 등의 심각한 위험을 불러일으킨다. 이러한 문제로 풍력, 수력, 원자력 및 해양에너지 등과 같이 친환경적이고 지속가능한 발전을 가능할 수 있게 하는 신재생 에너지 자원의 필요성이 대두되고 있다. 태양 전지(solar cell)에 의한 태양에너지는 가장 광범위하고 쉽게 구할 수 있는 청정 에너지 자원으로 온실 가스의 생산 없이 발전할 수 있는 가장 궁극적인 형태 중 하나이다. 태양 전지로 대표되는 태양광 모듈은 전기자동차, 건물, 차량, 전자기기 및 방산기기 등 다양한 분야에서 응용되어 활용되고 있다. 그러나 이런 수많은 응용분야에도 불구하고 기존의 태양광 모듈은 대부분 검은색 계통의 불투명재질이기 때문에 사용자

의 시야를 차단하는 문제점이 있고 광투과성이 필요한 스마트윈도우와 같은 장치에 활용하기에 난해한 문제점이 있었다. 따라서 이런 단점을 보완한 투명하면서도 고효율의 에너지를 생산할 수 있는 투명 태양광 패널 및 투명 태양광 전지에 대한 연구에 대한 필요성이 대두되고 있다. 투명태양전지는 가시 광선에서 높은 투명성을 갖는 태양전지로 사용자는 투명태양전지의 존재를 크게 인식하지 않으면서도 특정 모듈에서 전기 에너지를 생성할 수 있다.

[0004] 파장에 있어서, 가시광선은 무지개색을 가지며, 이는 태양 스펙트럼의 에너지 양의 약 50 %를 차지한다. 사람의 눈은 가시광선을 볼 수 있지만 자외선(UV) 또는 적외선(IR)과 같은 단파장 또는 장파장 조명을 보지는 못한다. 상대적으로 긴 파장을 갖는 적외선(IR) 광은 광자 에너지가 적고 태양전지에서의 전력생성은 비효율적이다. 그러나, 상대적으로 짧은 파장을 갖는 자외선(UV) 광은 높은 광자 에너지를 가지고, 또한 눈 질환과 피부암 등을 야기할 수도 있다.

[0005] 따라서, 강한 자외선(UV)광의 흡수는 태양전지의 발전에 있어서는 효과적이고, 사람의 건강 및 물질에 대한 자외선으로 유도되는 손상을 제거하거나 감소시킬 수 있는 이점이 있다.

[0006] 한편, 태양복사에너지에서 높은 에너지를 갖는 광자의 비율은 약 7%정도로 전체 스펙트럼에서 차지하는 비율이 상대적으로 낮다. 따라서, 고효율의 전력 에너지를 생산하기 위해서는 전체 태양복사스펙트럼에서 높은 에너지를 갖는 광자만을 검출할 필요성이 있다. 최근에, 투명태양전지에 대한 연구는 일반적으로 NiO/ZnO, TiO_2/Co_3O_4 및 TiO_2/NiO와 같이 건식 프로세스 또는 습식 프로세스에 의해 형성된 이종접합 구조의 투명태양전지가 연구되어 왔다.

[0007] 이중 넓은 밴드갭, 뛰어난 전기적 특성 및 무독성 특성을 갖는 TiO_2/NiO 이종접합 형태의 투명태양전지에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 넓은 밴드갭을 갖는 TiO_2 및 NiO는 자외선 / 가시 광선 / 근적외선 영역에서 50% 이상의 광투명도로 발현되며 이는 일반적으로 창문형태의 태양광 모듈에서 요구되는 수치를 상회한다. 또한 자외선에 대한 TiO_2의 높은 민감도는 TiO_2/NiO 이종접합 형태의 투명태양전지를 자가 광검출기로 활용할 수 있게 한다.

[0008] 이러한 TiO_2/NiO 이종접합 형태의 투명태양전지를 개선하기 위해 루타일 및 아나타제상 등 다양한 형태의 TiO_2 또는 Ti^{3+}자기 도핑방식이 연구되어 투명태양전지의 전력변환 효율성을 향상시키기 위한 연구가 진행되고 있다. 반면에 종래의 연구 및 개발은 대부분 투명태양전지의 전력변환 효율성 개선에 관한 것으로서 광 투명도에 대한 연구 및 개발은 상대적으로 발전이 더뎌 왔다. 따라서 기존의 불투명재질로 사용자의 시야를 차단하는 문제점을 해결하면서 높은 전력변환 효율성을 갖는 투명태양전지에 대한 연구 및 개발에 대한 필요성이 대두되고 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0010] (특허문헌 0001) 한국등록특허 10-1869337 B1 “황화주석 박막 및 그 형성 방법, 박막 태양전지 및 그 제조방법” (2016.4.27 등록)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0011] 본 발명의 목적은 TiO_2 및 NiO을 포함하는 광투과층의 두께를 조절함으로써 가시광선에서 양호한 투명성을 유지하면서도 발전효율을 개선시킬수 있는 광투과층의 두께가 조절된 투명태양전지 및 그 제조방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

[0013] 상기와 같은 과제를 해결하기 위하여 본 발명의 일 실시예는, 광투과층의 두께가 조절된 투명태양전지의 제조방법으로서, 기판을 준비하는 단계; 상기 기판위에 제1투명전극층을 배치하는 단계; 상기 제1투명전극층 위에 TiO_2를 포함하는 제1금속산화물층을 배치하는 단계; 상기 제1금속산화물층 위에 NiO를 포함하는 제2금속산화물층을 배치하는 단계; 및 상기 제2금속산화물층 위에 제2투명전극층을 배치하는 단계를 포함하고, 상기 제1금속산화물층 및 상기 제2금속산화물층은 이종접합 구조를 형성하는, 투명태양전지의 제조방법을 제공한다.

[0014] 본 발명의 일 실시예에서는, 상기 제1금속산화물층은 1 내지 500nm의 두께 범위를 갖고, 상기 제2금속산화물층은 1 내지 500nm의 두께 범위를 가질 수 있다.

[0015] 본 발명의 일 실시예에서는, 상기 제1금속산화물층의 두께와 상기 제2금속산화물층의 두께는 100:1 내지 1:100의 비율을 가질 수 있다.

[0016] 본 발명의 일 실시예에서는, 상기 제1금속산화물층을 배치하는 단계는, DC스퍼터링 공정으로 상기 제1금속산화물층을 형성하는 단계; 및 급속열처리 공정으로 상기 제1금속산화물층에 열처리를 수행하는 단계;를 포함하고, 상기 DC스퍼터링 공정의 수행시간을 조절하여 상기 제1금속산화물층의 두께를 조절할 수 있다.

[0017] 본 발명의 일 실시예에서는, 상기 제1금속산화물층을 배치하는 단계 및 상기 제2금속산화물층을 배치하는 단계는, 반응성 스퍼터링 공정을 기반으로 O_2와 Ar의 비율이 1:1 내지 1:200의 비율에서 조절하여 형성할 수 있다.

[0018] 본 발명의 일 실시예에서는, 상기 투명태양전지의 단위 모듈은 직렬접합하거나 병렬접합하거나 직병렬을 혼합하여 구성할 수 있다.

[0019] 본 발명의 일 실시예에서는, 상기 투명태양전지는 400 내지 800nm의 파장의 범위를 갖는 광에 대하여 30% 이상의 투과율을 가질 수 있다.

[0020] 상기와 같은 과제를 해결하기 위하여, 본 발명의 일 실시예에서는, 광투과층의 두께가 조절된 투명태양전지로서, 기판; 상기 기판위에 제1투명전극층; 상기 제1투명전극층 위에 배치되는 TiO_2를 포함하는 제1금속산화물층; 상기 제1금속산화물층 위에 배치되는 NiO를 포함하는 제2금속산화물층; 및 상기 제2금속산화물층 위에 배치되는 제2투명전극층를 포함하고 상기 제1금속산화물층 및 상기 제2금속산화물층은 이종접합 구조를 형성하는, 투명태양전지를 제공한다.

발명의 효과

[0022] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 기존의 금속 산화물 기반의 투명태양전지에 비하여 자외선 광 뿐만 아니라 다른 파장대의 광을 더욱 흡수하고, 캐리어 수집을 보다 용이하게 함으로써, 발전효율을 현저하게 개선할 수 있는 효과를 발휘할 수 있다.

[0023] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 스퍼터링 공정 시간을 조절함으로써 금속산화물층의 두께를 조절하여, 사용자 목적에 부합하는 두께, 광투과율 및 전력효율을 갖는 투명태양전지를 구현할 수 있는 효과를 발휘할 수 있다.

[0024] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 투명태양전지로서 290 - 1400 nm의 파장을 갖는 광원 아래에서 40% 이상의 가시광 투과성을 가져 사용자의 시계를 제한하지 않는 투명태양전지로서 빌딩, 자동차 등에서 응용될 수 있는 창문 유형의 투명태양모듈로서 활용될 수 있는 효과를 발휘할 수 있다.

[0025] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 투명태양전지로서 290 - 1400 nm의 파장을 갖는 광원 아래에서 2.5 mA 내지 6.0 mA의 범위의 광전류 및 600mV 내지 800mV의 범위의 광전압을 갖는 전력을 생산할 수 있는 투명태양전지를 구현할 수 있는 효과를 발휘할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0027] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 투명태양전지의 구조를 개략적으로 도시한다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 투명태양전지의 광학특성에 대한 사항들을 도시한다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 투명태양전지의 전기적특성에 대한 사항들을 도시한다.

도 4은 본 발명의 일 실시예에 따른 투명태양전지의 I-V 특성에 대한 사항들을 도시한다.

도 5은 본 발명의 일 실시예에 따른 투명태양전지의 광전류 및 광전압의 원리에 대한 사항들을 도시한다

도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 투명태양전지의 에너지 밴드 다이어그램에 대한 사항들을 도시한다.

도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 투명태양전지의 전기적 구동방식에 대해 개략적으로 도시한다.

도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 투명태양전지를 적용한 일 예의 사진을 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, "X는A 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] 후술하는 광투과층의 두께가 조절된 투명태양전지는 TiO_2/NiO 이종접합 투명태양전지, 제1금속산화물층(300)은

TiO_2 박막층, 제2금속산화물층(400)은 NiO박막층, 제1금속산화물층(300)과 제2금속산화물층(400)의 이종접합구조는 TiO_2/NiO 이종접합부, 제2투명전극층(500)은 은나노와이어층 등으로 설명의 편의성을 위한 다른 표현법이 사용될 수 있다.

[0039] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 투명태양전지의 구조를 개략적으로 도시한다.

[0041] 도 1에서 도시된 바와 같이, 광투과층의 두께가 조절된 투명태양전지로서, 기판; 상기 기판위에 제1투명전극층; 상기 제1투명전극층 위에 배치되는 TiO_2를 포함하는 제1금속산화물층; 상기 제1금속산화물층 위에 배치되는 NiO를 포함하는 제1금속산화물층; 및 상기 제1금속산화물층 위에 제2투명전극층을 포함하고 상기 제1금속산화물층 및 상기 제2금속산화물층은 이종접합 구조를 형성한다.

[0043] 본 발명의 기초가 되는 투명태양전지는 상술한 바와 같이 불소 도핑 된 산화 주석(Fluorine-doped Tin Oxide, FTO)가 코팅된 유리(100)를 기판으로 제1금속산화물층(300), 제2금속산화물층(400) 및 제2투명전극층(500)을 증착하여 형성할 수 있다. 구체적으로 제1투명전극층(200)은 불소 도핑 된 산화 주석(FTO)을 포함할 수 있고, 제1금속산화물층(300)은 TiO_2 박막층을 포함할 수 있고, 제1금속산화물층(400)은 NiO박막층을 포함할 수 있고, 제2투명전극층(500)은 은나노와이어층을 포함할 수 있다. 바람직하게는 제1금속산화물층(300) 및 제2금속산화물층(400)은 이종 접합형태로 구성될 수 있고 제1투명전극층은 전면 투명전극으로 기능할 수 있고 제2투명전극층(500)은 후면 전극으로 기능할 수 있다. 이와 같이 기초가 되는 투명태양전지는 유리 / FTO / TiO_2 / NiO / AgNW 의 구성을 갖는다.

[0045] 이하에서는 본 발명의 일 실시예에 따른 광투과층의 두께가 조절된 투명태양전지의 제조방법에 대하여 설명하도록 한다.

[0046] 투명태양전지는 유리 기판(100) 상에 투명한 금속 산화물 층을 증착시켜 형성할 수 있다. 본 발명의 일 실시예에서는 4 인치 스퍼터링 설비를 사용하여 FTO, TiO_2, NiO 및 AgNW 층의 박막을 순차적으로 증착하였다. 모든 금속 산화물 막은 5 mTorr의 작동 압력에서 증착되었고, 기본 압력은 5×10^{-6} Torr이다. 2.5 × 2.5 cm 크기의 불소 도핑된 산화 주석 (FTO)(200)이 코팅된 유리 기판(100)(735159 Aldrich, 표면 저항 7Ω / cm^2)을 아세톤, 메탄올 및 탈 이온수 (DI) 수를 사용하여 10 분 동안 초음파 세정 하였다. 초음파 세정 후 기판을 흐르는 N_2 가스를 사용하여 건조시켰다.

[0047] 이어서, TiO_2 박막층을 포함하는 제1금속산화물층(300)은 두 가지 단계에 의해 증착하였다. 첫번째 단계는 DC 스퍼터링 공정에 의해 Ti박막층을 증착하는 단계이고 두 번째 단계는 급속 열 처리(rapid thermal annealing, RTA)에 의해 Ti박막층에 산화반응을 일으켜 TiO_2 박막층을 형성하는 단계이다.

[0048] 구체적으로, Ti(iTASCO, 순도 99.99%)의 타겟은 5mTorr 압력의 Ar 가스 (50 sccm)가 흐르는 상태에서 300W로 구동된다. Ti박막층에 스퍼터링 공정을 수행하는 시간에 비례하여 Ti박막층의 두께를 조절할 수 있다. 바람직하게는 5분간 DC 스퍼터링 공정을 수행하여 100nm의 두께를 갖는 Ti박막층을 형성할 수 있다.

[0049] 이어서 Ti박막층에 급속 열처리(RTA)공정을 수행하여 TiO_2층을 형성할 수 있다. 구체적으로 Ti박막층에 600 ° C의 온도조건에서 15분간 급속 열처리공정(RTA)을 수행하여 TiO_2 박막층을 형성할 수 있다.

[0050] 이어서, 제1금속산화물층(300) 위에 반응성 스퍼터링 공정을 수행하여 NiO박막층을 포함하는 제2금속산화물층(400)을 증착하였다. 구체적으로, Ni(iTASCO, 순도 99.99%)의 타겟은 3mTorr 압력의 Ar 가스 (20 sccm), O2 가스 (5 sccm)가 흐르는 상태에서 50W로 구동된다. 바람직하게는 균일성을 유지하기 위해 5rpm의 회전속도에서 반응성 스퍼터링 공정을 수행하여 20 nm의 두께를 갖는 NiO박막층을 형성할 수 있다.

[0051] 이어서, TiO_2/NiO 이종접합 박막층에 스핀 코팅공정을 수행하여 은나노와이어를 포함하는 제2투명전극층(500)을

증착하였다. 이어서 100 ° C의 온도조건에서 2분간 건조시켰다.

[0052] 결과적으로 투명태양전지의 투명전극의 한쪽은 FTO 층에 의해 구현되고, 다른 쪽은 은나노와이어 (AgNW)에 의해 형성된다. AgNW는 다공성 네트워크 형성으로 우수한 전기 전도성으로 인해 우수한 투명 전극을 만들어 높은 광 투과율을 보장할 수 있다. 상용 AgNW 잉크를 사용하여 NiO 층 위에 투명 전극을 형성하였다.

[0053] 이와 같이 제조된 본 발명의 일 실시예에 따른 투명태양전지는 기판 / 제1투명전극층 / 제1금속산화물층 / 제2금속산화물층 / 제2투명전극층의 구성을 갖는다. 구체적으로 투명태양전지는 유리 / FTO / TiO_2 / NiO / AgNW 의 구성을 갖는다.

[0055] 또한 본 발명의 일 실시예에 따른 투명태양전지는 1 이상의 측정장치를 이용하여 특성을 도출할 수 있다. 구체적으로 본 발명의 일 실시예에서는 전계방출주사전자현미경 (FE-SEM,JEOL, JSM_7001F)을 사용하여 TiO_2 박막층의 두께와 투명태양전지의 단면을 관찰했다. 투명태양전지의 광학적 특성은 자외선-가시광선-근적외선 분광 광도계(Shimadzu, UV-2600)로 분석할 수 있는 광투과도와 흡광도를 이용하여 도출할 수 있다.

[0056] 또한 투명태양전지의 전기적 특성은 290 - 1400 nm의 파장을 갖는 광 스펙트럼에서 정전위기 및 정전류기 (PGStat, WonA tech, Zive SP2)를 이용하여 도출할 수 있다.

[0057] 또한 스캔 속도가 100mV/s인 선형스위프주사전위법(Linear sweep voltammetry)을 사용하여 I-V 특성을 도출할 수 있다. 투명태양전지의 I-V 특성은 파장 395(LZ4-00UA00-0000) 및 365(LZ1-10UV00-0000) nm의 파장을 갖는 발광다이오드가 광원으로 사용되고 이중 조정식 전원 공급 장치(MCH-305DII) 및 함수 발생기(MFG-3013A, MCH Instruments)에 연결되어 도출할 수 있다. 또한 일사량계(KUSAM-MECO, KM-SPM-11)와 자외선계(Lutron, UV-340A)를 사용하여 광원을 보정할 수 있다.

[0059] 바람직하게는, 상기 TiO_2 박막층을 포함하는 제1금속산화물층(300)의 두께는 40 내지 340 nm 이다. 이와 같은 제1금속산화물층(300)의 두께는 투명성과 광전효율 조절 목적에 따라 가변할 수 있으나, 위의 범위에서 캐리어 수집을 용이하게 하여 광전효율을 증가시키면서, 투명성에 대한 저하를 최소화할 수 있다.

[0061] 바람직하게는, 상기 NiO박막층을 포함하는 제2금속산화물층(400)의 두께는 20nm이다. 이와 같은 제2금속산화물층(400)의 두께는 투명성과 광전효율 조절 목적에 따라 가변할 수 있으나, 위의 범위에서 캐리어 수집을 용이하게 하여 광전효율을 증가시키면서, 투명성에 대한 저하를 최소화할 수 있다.

[0063] 바람직하게는, 상기 은나노와이어(AgNW)를 포함하는 제2투명전극층(500)은 20nm 의 직경, 20㎛의 두께를 갖는다. 이와 같은 제2투명전극층(500)의 직경 및 두께는 투명성과 광전효율 조절 목적에 따라 가변할 수 있으나, 위의 범위에서 캐리어 수집을 용이하게 하여 투명성 및 광전효율을 보다 균질하게 확보할 수 있고, 또한 제조과정에서의 용이성을 도모할 수 있다.

[0065] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 투명태양전지의 광학특성에 대한 사항들을 도시한다.

[0067] 도 2는 40 nm에서 340 nm의 두께를 갖는 TiO_2 박막층의 광학적 특성을 도시하고 있다. 본 발명의 일 실시예에 따른 투명태양전지는 가시광선에서 높은 광투과성을 보장하므로 TiO_2/NiO 이종접합부에서 UV-vis 광분광법을 이용하여 광학특성을 평가하였다.

[0068] 도 2의 (A) 및 (B)는 TiO_2 박막층의 두께 및 광원의 파장을 달리하였을 때 TiO_2/NiO 이종접합부에서 나타나는 광투과도 및 흡광도 스펙트럼을 도시하고 있다. TiO_2/NiO 이종접합부의 광 투과도 및 흡광도는 TiO_2 박막층의 두께 및 광원의 파장에 대하여 현저하게 감소/증가한다.

[0069] 구체적으로 TiO_2/NiO 이종접합부의 광 투과도 및 흡광도는 TiO_2 박막층의 두께가 40 nm에서 340 nm로 증가함에 따라 증감하고, 광원이 350 nm 이하의 파장일 때 현저하게 증감하고, 350 nm 이상의 파장일 때 비교적 일정하게 유지된다.

[0070] 바람직하게는 TiO_2 박막층의 두께에 대한 광 투과율은 도 2의 (B)에 도시된 바와 같이 매질의 성질과 빛의 감쇠 현상에 대한 비어-람베르트 법칙 (Beer-Lambert law)에 의해 하기와 같이 표현될 수 있다.

[0071] $$I_T = I_0 e^{-\beta t}$$

[0072] 여기서 It는 투과된 광도, I_0는 입사 광도, β는 흡수 계수 및 t는 광투과재질의 두께이다. 본 발명의 일 실시예에 따른 투명태양전지는 가시광선 및 근적외선 영역에서 최적의 광흡수량과 광투명도를 선정하기 위해 광흡수층의 두께를 가변적으로 조절하여 높은 전력변환 효율성을 지니면서도 양호한 광투과성을 가질 수 있다.

[0073] 도 2의 (C)는 100nm의 두께를 갖는 TiO_2 박막층을 포함하는 TiO_2/NiO 이종접합부에서 나타나는 광 투과도 및 흡광도 스펙트럼과 본 발명의 일 실시예에 따른 투명태양전지를 적용했을 때의 사용자의 시계를 도시하고 있다. 도 2의 (A) 및 (B)에 도시된 바와 같이 TiO_2/NiO 이종접합부에서 나타나는 광 투과도 및 흡광도 스펙트럼은 TiO_2 박막층의 두께 및 광원의 파장에 기초하여 현저하게 증가/감소한다. 따라서, 투명태양전지의 양호한 광투과율을 보장하기 위해 본 발명의 일 실시예에서는 100nm의 두께를 갖는 TiO_2 박막층을 사용하였다. 가시광 영역에서 70% 이상, 근적외선 영역에서 투광도 60%의 광투과율을 보장함으로써 사용자의 시계를 보장할 수 있으며 이는 일반적인 창문형 태양광 모듈에서 요구하는 수치를 상회한다.

[0074] 도 2의 (D)는 광학측정장비를 이용해 가장 이상적인 형태의 TiO_2/NiO 이종접합부의 형상을 촬영한 이미지를 도시하고 있다. 구체적으로 전계방출주사전자현미경을 사용하여 100nm의 두께를 갖는 TiO_2 박막층을 포함하는 투명태양전지의 단면을 관찰했다. TiO_2/NiO 이종접합부에서 나타나는 높은 광투과성은 TiO_2와 NiO의 넓은 밴드갭에 기인한다. TiO_2와 NiO의 밴드갭 특성은 타우 그래프(Tauc plot)을 이용하여 확인할 수 있고 구체적으로 TiO_2와 NiO는 3.1 eV 와 3.8 eV의 밴드갭을 갖는다. 이러한 TiO_2와 NiO의 밴드갭 특성은 가시광선 및 근적외선 영역에서 사용자의 시계를 확보할 수 있는 우수한 광투과성의 요인이 된다.

[0076] 본 발명의 일 실시예에 따른 투명태양전지는 가시광 및 근적외선 영역에서 사용자의 시계를 방해하지 않는 투명태양전지로서 활용될 수 있다. 구체적으로 40 내지 340 nm의 두께 범위를 갖는 TiO_2 박막층의 두께를 100nm로 구체화함으로써 295 내지 1400nm의 파장의 범위를 갖는 광에 대하여 40% 이상의 광투광율을 갖는 투명태양전지를 구현할 수 있다. 또한 상기 광투과율의 수치는 일반적인 빌딩 및 차량에서 활용될 수 있는 투명태양전지로서의 요구조건을 상회하는 수치이다

[0078] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 투명태양전지의 전기적특성에 대한 사항들을 도시한다.

[0079] 도 3의 (A) 및 (B)는 40 nm에서 340 nm로 TiO_2 박막층의 두께가 조절된 TiO_2/NiO 이종접합부를 포함하는 복수의 투명태양전지를 도시하고 있다. 도 3의 (B)에 도시된 바와 같이 TiO_2 박막층의 두께는 DC스퍼터링 공정으로 제1 금속산화물층(300)을 형성하는 단계의 공정 시간을 증감함으로써 조절할 수 있다. 본 발명의 일 실시예에 따른 복수의 투명태양전지의 전기적 특성은 290 - 1400 nm의 파장을 갖는 광 스펙트럼에서 정전위기 및 정전류기를 이용하여 도출할 수 있다.

[0080] 도 3의 (C), (D), (E) 및 (F)는 서로 다른 파장과 광도를 가진 광원에 대한 TiO_2/NiO 이종접합부를 포함하는 투명태양전지의 광전압 및 광전류 특성을 도시하고 있다. 구체적으로 도 3의 (C), (D)는 파장이 395 nm이고 광도가 10 mW/cm^2인 광원에 대한 TiO_2/NiO 이종접합부를 포함하는 투명태양전지의 광전압 및 광전류 특성을 도시하고 있고 도 3의 (E), (F)는 파장이 365 nm이고 광도가 70 mW/cm^2인 광원에 대한 TiO_2/NiO 이종접합부를 포함하는 투명태양전지의 광전압 및 광전류 특성을 도시하고 있다.

[0081] 구체적으로 도 3의 (C), (D), (E) 및 (F)에 도시된 바와 같이 투명태양전지의 광전압 및 광전류 특성은 TiO_2층의 두께가 40 nm에서 100 nm 일 때 비례하여 증가한 반면 100 nm를 초과한 범위에서 지속적으로 감소한다. 또한 파장이 395 nm이고 광도가 10 mW/cm^2인 광원보다 파장이 365 nm이고 광도가 70 mW/cm^2인 고광도의 광원에서 투명태양전지의 광전압 및 광전류 특성이 더 우수하다.

[0082] 또한 광발생 캐리어는 광원의 전력강도에 비례하여 증가한다. 이는 TiO_2/NiO 이종접합 투명태양전지의 우수한 광전압 및 광전류 특성은 고광도 광원에 의해 다수의 광발생 캐리어가 발생하기 때문이다. 구체적으로 광도는 70 mW/cm^2, 광원의 파장은 365nm의 조건에서 100nm 두께를 갖는 TiO_2 층을 포함하는 TiO_2/NiO 이종접합 투명태양전지의 광전압 특성이 685.00±68.06 mW, 광전류 특성이 4.42±1.35 mA로 가장 우수했다.

[0083] 한편 암전류는 개방전압, 단락전류 외에 투명태양전지의 전기적 특성을 결정짓는 주요 요소 중 하나이다. 따라서 본 발명의 일 실시예에 따른 투명태양전지는 암전류 특성 또한 고려하여 우수한 전기적 특성을 구현하고자 한다. 암전류의 크기는 하기의 식에 의해 결정되며 추가적으로 재료의 성질과 인터페이스 구성에 따라 달라질 수 있다. 일반적으로 암전류의 크기를 최소화할수록 투명태양전지의 전기적 특성을 향상시킬 수 있다.

[0084]
$$I_0 = \frac{I_{sc}}{\exp\left(\frac{qV_{oc}}{K_B T}\right)}$$

[0085] 여기서 I_o는 암전류, I_{sc}는 단락전류, V_{OC}는 개방전압, K_B는 볼츠만 상수 및 T는 온도이다. 본 발명의 일 실시예에 따른 투명태양전지의 단락전류(I_{sc}) 및 개방전압(V_{OC})은 광도 70 mW/cm^2, 광원의 파장 365nm의 광원아래에서 측정되었고 40, 100, 160, 220, 280 및 340 nm 두께의 TiO_2 박막층에서 0.17, 6.33 × 10^{11} ,2.44 × 10^2, 5.85 × 10^6, 2.56 × 10^5 및 4.57 × 10^5 mA의 암전류 값을 갖는다. 바람직하게는 본 발명의 일 실시예에 따른 투명태양전지는 100 nm 두께의 TiO_2 박막층을 포함하는 투명태양전지로서 암전류를 최소화할 수 있고 접합품질이 우수하고 캐리어 재결합센터 수(carrier trapping center)를 최소화할 수 있는 특성을 보유할 수 있다. 또한 100 nm 두께의 TiO_2 박막층을 포함하는 투명태양전지의 암전류는 종래의 가장 우수하다고 알려진 c-Si 이종접합 태양전지의 암전류($I_o \approx 2 \times 10^{11}$ mA)와 유사한 수치를 나타내고 있다.

[0087] 도 4은 본 발명의 일 실시예에 따른 투명태양전지의 전류-전압(I-V) 특성에 대한 사항들을 도시한다. 도 4의 (A) 및 (B)는 암전상태에서의 TiO_2/NiO 이종접합 투명태양전지의 전류-전압(I-V) 특성을 도시하는 선형 및 반대수 그래프이다. 도 4의 (C) 및 (D)는 광도 70 mW/cm^2, 광원의 파장 365nm의 광원아래에서 TiO_2/NiO 이종접합 투명태양전지의 I-V 특성을 도시하는 선형 및 반대수 그래프이다.

[0088] 광원아래서 투명태양전지가 발생시키는 광전류 및 광전압은 투명태양전지의 전기적 특성을 결정짓는 주요한 요소 중 하나이다. 따라서 본 발명의 일 실시예에서는 최대 광전류, 광전압을 발생시키는 TiO_2/NiO 이종접합부를 구현해 최대전력을 생산하는 TiO_2/NiO 이종접합 투명태양전지를 구현하였다.

[0090] 도 4의 (A) 및 (B)에 도시된 바와 같이 40 nm 두께의 TiO_2 박막층을 갖는 투명태양전지를 제외하면 암전상태에서의 TiO_2/NiO 이종접합 투명태양전지는 일반적으로 다이오드로 동작한다. 반면에 도 4의 (A)에 도시된 바와 같이 지나치게 얇은 두께를 갖는 TiO_2 박막층을 갖는 투명태양전지는 비다이오드적 동작특성을 갖는다.

[0091] TiO_2 박막층의 두께가 너무 얇으면 션트 저항을 유발할 수 있다. 션트 저항의 생성은 광전류의 경로에 대한 대체 경로를 생성함으로써 투명태양전지의 성능을 저해할 우려가 있다. 도 4의 (C)에 도시된 바와 같이 TiO_2/NiO 이종접합 투명태양전지에 전원을 인가하면 광전류가 발생하고 점차 증가해 음성이 된다. 또한 투명태양전지의 I-V 특성곡선이 1사분면에서 4사분면으로 이동하는 것을 통해 TiO_2/NiO 이종접합 투명태양전지가 자가 전력생산 장치

로서 구동되는 것을 도출할 수 있다.

[0092] 구체적으로 상술한 바와 같이 100nm 두께의 TiO_2 박막층을 갖는 투명태양전지가 가장 우수한 전기적 특성을 가지며 100nm를 초과하는 두께의 TiO_2 박막층을 갖는 투명태양전지의 전기적 특성은 감소한다. 이는 TiO_2 박막층의 두께가 100nm를 초과하면서 캐리어 재결합센터 수(carrier trapping centers), 즉 산소결손이 증가했음을 의미한다. 금속산화물에서 산소결손은 금속산화물의 밴드갭에 결함을 유발하고 전기적 특성을 저해하는 캐리어 재결합 센터로 작용한다.

[0093] 이러한 금속산화물의 산소결손을 결정짓는 요소로 금속산화물의 두께가 주목되어왔다.

[0094] 구체적으로 금속산화물의 이단접합부에서 발생하는 산소 결원은 다수의 캐리어 재결합 센터로 작용해 금속산화물에서 발생시키는 광전류 및 광전압의 감소를 유발한다. 따라서 지나치게 두꺼운 두께를 갖는 TiO_2 박막층은 더 많은 캐리어 재결합 센터를 포함하고 있어 광전류 및 광전압과 같은 전기적 특성이 가장 낮았다. 한편 이때의 단락전류는 일반적으로 개방전압에 의존하기 때문에 금속산화물층의 두께에 대비해 변화율이 적었으나 개방전압의 크기는 금속산화물층의 두께 의존성이 큰 경향을 보여주고 있다. 이러한 경향은 금속산화물층의 캐리어 재결합 센터의 부피에 기인한다. 금속산화물층의 두께가 얇은 경우 흡수되는 광량이 감소하지만 캐리어 재결합 센터의 부피 또한 감소하므로 높은 개방전압을 나타내고 금속산화물층의 두께가 두꺼울 경우 캐리어 재결합 센터의 부피 증가로 낮은 개방전압을 나타낸다.

[0096] 본 발명의 일 실시예에 따른 투명태양전지는 가시광 및 근적외선 영역에서 고효율의 전력생산 모듈로서 활용될 수 있다. 구체적으로 295 내지 1400nm의 파장의 범위를 갖는 광에 대하여 2.5 내지 6.0 mA의 범위의 광전류 및 600 내지 800mV의 범위의 광전압을 갖는 투명태양전지를 구현할 수 있다. 이는 기존의 투명태양전지가 사용자의 시계를 방해하지 않는 40% 이상의 광투과율을 갖음에 따라 현저하게 저하되는 전력생산효율을 상당부분 개선한 수치이다.

[0098] 도 5은 본 발명의 일 실시예에 따른 투명태양전지의 광전류 및 광전압의 원리에 대한 사항들을 도시한다

[0099] 본 발명의 일 실시예에서는 최적의 전기적 특성을 갖는 투명태양전지를 구현하기 위해 0.02에서 4.54mW/cm^2의 강도로 자외선광을 조절하여 자외선 광도에 의한 광전류 및 광전압 측정을 수행했다. 또한 상기 과정을 40, 100, 220, 340 nm의 TiO_2 박막층 두께를 갖는 투명태양전지에 반복 수행하였다.

[0100] 도 5에 도시된 바와 같이 본 발명의 일 실시예에 따른 투명태양전지는 자외선 광도가 증가함에 따라 금속산화물층의 광자 흡수가 향상되어 광전류가 증가한다. 또한 모든 두께의 TiO_2 박막층에 대해서 동일한 경향을 가지고 있다. 이러한 경향은 하기의 식과 같이 수학적으로 표현될 수 있다.

[0101] $$I \propto P^{\alpha}$$

[0102] 여기서 I는 광전류, P는 전력강도, α는 반도체 소재에서 전자-홀 쌍의 재결합 과정과 트래핑에 기초하여 결정되는 상수이다. 이론적으로 α값이 1에 근접하면 전자-홀 쌍의 재결합 상태가 줄어들고 광발생 캐리어의 트래핑이 감소한다는 것을 의미한다. 구체적으로 40, 100, 220 및 340 nm의 두께를 갖는 TiO_2 박막층에서 각각 0.34, 0.94, 0.91 및 0.84의 α값을 갖는다. 이는 α값이 가장 낮은 40 nm의 두께를 갖는 TiO_2 박막층이 가장 낮은 전기적 특성을 지니고 α값이 1에 가장 근접한 100 nm의 두께를 TiO_2 박막층이 가장 좋은 전기적 특성을 갖는 것을 의미한다. 본 발명의 일 실시예에 따른 TiO_2/NiO 이종접합 투명태양전지는 100 nm의 두께를 갖는 TiO_2 박막층을 사용함으로써 캐리어 재결합센터 수를 최소화하고 우수한 전기적 특성을 지닐 수 있다.

[0104] 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 투명태양전지의 에너지 밴드 다이어그램에 대한 사항들을 도시한다. 본 발명의 일 실시예에 따른 투명태양전지를 구현하기 위해 에너지 밴드 다이어그램을 활용한다. 구체적으로 높은 광전류 및 광전압을 갖고 낮은 암전류를 갖는 것을 특징으로 하는 투명태양전지를 구현하기 위해 에너지 밴드 다이어그램의 분석이 필요하다.

[0105] 도 6의 (A)는 100 nm의 두께를 TiO_2 박막층을 포함하는 투명태양전지의 에너지 밴드 다이어그램이다. 도 6의 (B)는 100 nm의 두께를 초과하는 160, 220, 280 및 340 nm의 TiO_2 박막층을 포함하는 투명태양전지의 에너지 밴드 다이어그램이다.

[0106] 도 6의 (A) 및 (B)에 도시된 바와 금속산화물층 내의 산소결핍(oxygen vacancies)(vo, vo+ 및 vo++)은 금속산화물층 내에서 캐리어 재결합센터로 활동하며 이는 상술한 에너지 밴드 다이어그램을 통해 도출할 수 있다. 이종접합부의 낮은 내장 전위(built-in potential)로 인해 캐리어 재결합센터에 의해 결합된 광전자는 결과적으로 낮은 광전류 및 광전압 특성을 갖게 하는 요인이 된다. 또한 TiO_2/NiO 이종접합부의 내장 전위는 TiO_2 및 NiO의 페르미 준위(Fermi level)차에 의해 결정될 수 있다. 발명의 일 실시예에서는 NiO에서 TiO_2으로의 전자 전달을 용이하게 하기 위해 이종접합 n형-TiO_2/p형-NiO을 사용하였다.

[0108] 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 투명태양전지의 전기적 구동방식에 대해 개략적으로 도시한다. 도 7의 (A)는 상술한 과정으로 본 발명의 일 실시예에 따른 2종의 투명태양전지를 생산한 모습을 도시하고 있고, 도 7의 (B)에서 2종의 투명태양전지의 전기적 특성을 상세히 도시하고 있다. 구체적으로 도 7의 (A)에서 투명태양전지의 높은 광투과성을 알 수 있고, 도 7의 (B)에서 투명태양전지의 높은 전기적 특성을 알 수 있다. 바람직하게는 100 nm의 TiO_2 박막층 두께, 120mW/cm^2의 조명 강도 하에서 각각 최대 전력(P_{max}) 값 6.45, 6.25mW, 전력 변환 효율 3.4%, 3.27%을 갖는 투명태양전지이다.

[0109] 도 7의 (C)는 본 발명의 일 실시예에 따른 투명태양전지의 직렬 및 병렬로 연결된 구동방식을 개략적으로 도시하고 있다. 도 7의 (C)에 도시된 바와 같이 2종의 모듈을 직/병렬로 연결함으로써 최대전력 P_{max}의 값을 증가시킬 수 있다. 구체적으로 직렬로 연결된 2개 이상의 모듈의 전압의 합은 $V = V_1 + V_2 + \cdots + V_n$으로 표현되고 전압이 증가함으로써 얻을 수 있는 최대전력의 값이 증가한다. 이 경우 두 모듈의 전류를 일치시키는 것이 필수적이다. 또한 병렬로 연결된 2 이상의 모듈의 전류의 합은 $I = I_1 + I_2 + \cdots + I_n$으로 표현되고 전류가 증가함으로써 얻을 수 있는 최대전력의 값이 증가한다. 이 경우 두 모듈의 전압을 일치시키는 것이 필수적이다.

[0110] 도 7의 (D)는 본 발명의 일 실시예에 따른 2종의 투명태양전지가 직렬 및 병렬로 연결된 구동방식과 이에 따른 I-V 특성곡선 및 최대전력을 도시하고 있다. 도 7의 (D)에 도시된 바와 같이 직렬 및 병렬로 연결된 모듈의 최대전력은 각각 12.36 및 12.65mW로 각각의 모듈이 따로 구동되었을 때의 최대전력(6.45 및 6.25mW)의 합과 유사하다. 또한 2 이상의 모듈을 병렬로 연결했을 때의 전기적 특성이 2 이상의 모듈을 직렬로 연결했을 때의 전기적 특성보다 우수하다. 이는 병렬 구동방식이 일정한 광전압을 출력함으로써 일반적인 전력생산방식에서 이점이 있는 것에 기인한다.

[0112] 도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 투명태양전지를 적용한 일 예의 사진을 도시한다.

[0113] 도 8에서는 120mW/cm^2의 광도를 갖는 광원아래에서 2개의 TiO_2/NiO 이종접합 투명태양전지를 이용하여 팬을 구동하는 모습을 도시한다. 구체적으로 두 투명태양전지는 병렬로 연결하였고 각각 0.34 V의 광전압 및 35.6 mA의 광전류로 12mW의 전력을 생산하고 있다.

[0115] 2종의 TiO_2/NiO 이종접합 투명태양전지는 0.34 V 및 35.6 mA이상의 전력을 팬에 공급함을 확인하였다. 또한, TiO_2/NiO 이종접합 투명태양전지의 경우 무기물 기반이기 때문에, 강한 안정성을 보였고, 별도의 보호 패키지가 없이 안정적인 팬 구동을 구현함을 확인하였다. 이와 같은 투명태양전지는 우수한 광투과율을 보장함으로써 스마트폰 디스플레이, 스크린, 차량, 빌딩의 유리 등에도 사용될 수 있는 가능성을 보이고 있다.

[0116] 결과적으로 본원 발명의 광투과층의 두께가 조절된 투명태양전지는 TiO_2를 포함하는 제1금속산화물층의 두께를 100 nm로 결정함으로써 가시 영역에서 높은 광 투명성을 가지면서 우수한 전력변환효율을 갖는 투명태양전지를 구현할 수 있다.

[0118] 구체적으로 본 발명의 일 실시예에 따르면, 기존의 금속 산화물 기반의 투명태양전지에 비하여 자외선 광 뿐만 아니라 다른 파장대의 광을 더욱 흡수하고, 캐리어 수집을 보다 용이하게 함으로써, 발전효율을 현저하게 개선할 수 있는 효과를 발휘할 수 있다.

[0119] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 스퍼터링 공정 시간을 조절함으로써 금속산화물층의 두께를 조절하여, 사용자 목적에 부합하는 두께, 광투과율 및 전력효율을 갖는 투명태양전지를 구현할 수 있는 효과를 발휘할 수 있다.

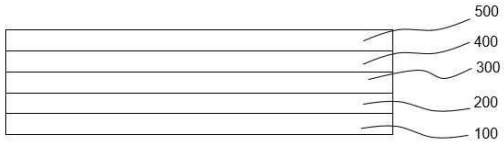
[0120] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 투명태양전지로서 290 - 1400 nm의 파장을 갖는 광원 아래에서 40% 이상의 가시광 투과성을 가져 사용자의 시계를 제한하지 않는 투명태양전지로서 빌딩, 자동차 등에서 응용될 수 있는 창문 유형의 투명태양모듈로서 활용될 수 있는 효과를 발휘할 수 있다.

[0121] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 투명태양전지로서 290 - 1400 nm의 파장을 갖는 광원 아래에서 2.5 mA 내지 6.0 mA의 범위의 광전류 및 600mV 내지 800mV의 범위의 광전압을 갖는 전력을 생산할 수 있는 투명태양전지를 구현할 수 있는 효과를 발휘할 수 있다.

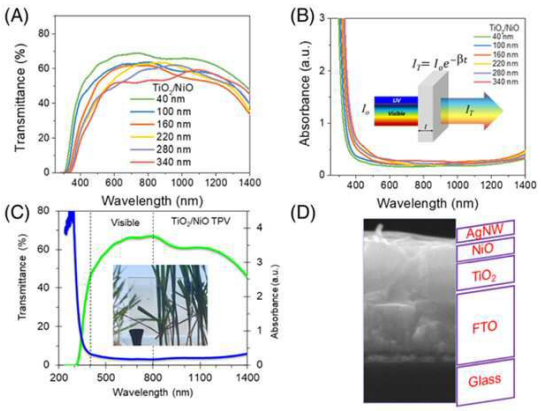
[0123] 제시된 실시예들에 대한 설명은 임의의 본 발명의 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 본 발명을 이용하거나 또는 실시할 수 있도록 제공된다. 이러한 실시예들에 대한 다양한 변형들은 본 발명의 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 명백할 것이며, 여기에 정의된 일반적인 원리들은 본 발명의 범위를 벗어남이 없이 다른 실시예들에 적용될 수 있다. 그리하여, 본 발명은 여기에 제시된 실시예들로 한정되는 것이 아니라, 여기에 제시된 원리들 및 신규한 특징들과 일관되는 최광의의 범위에서 해석되어야 할 것이다.

도면

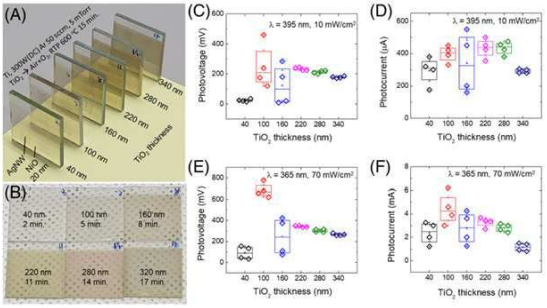
도면1



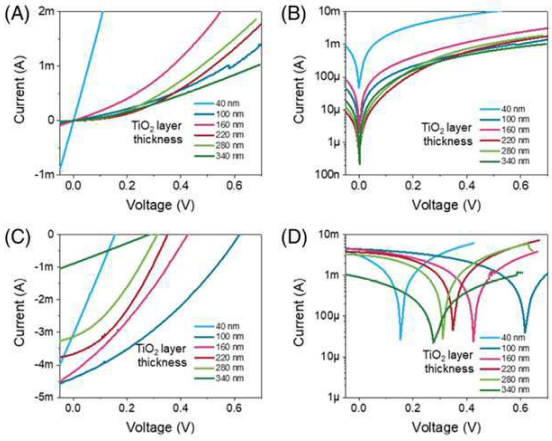
도면2



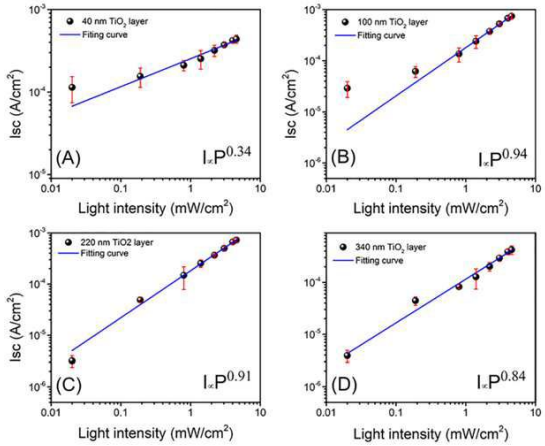
도면3


(A)
(B)
(C)
(D)
(E)
(F)
λ = 395 nm, 10 mW/cm²
λ = 365 nm, 70 mW/cm²
Photovoltage (mV)
Photocurrent (μA)
Photocurrent (mA)
TiO2 thickness (nm)
40 nm 2 min.
100 nm 5 min.
160 nm 8 min.
220 nm 11 min.
280 nm 14 min.
320 nm 17 min.

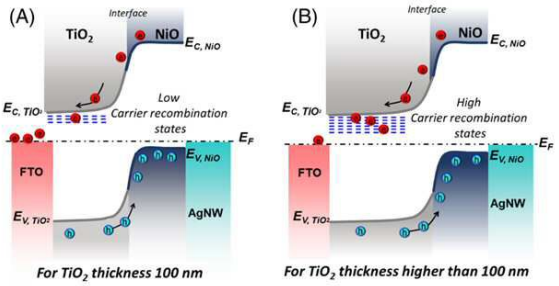
도면4


(A)
(B)
(C)
(D)
Current (A)
Voltage (V)
TiO2 layer thickness
40 nm
100 nm
160 nm
220 nm
280 nm
340 nm

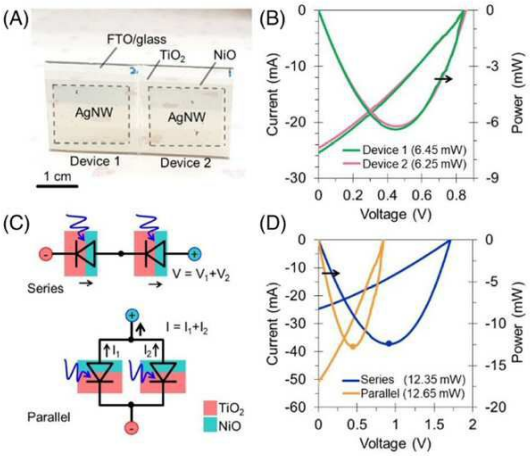
도면5


40 nm TiO2 layer
100 nm TiO2 layer
220 nm TiO2 layer
340 nm TiO2 layer
Fitting curve
Isc (A/cm²)
Light intensity (mW/cm²)
(A) I∝P^0.34
(B) I∝P^0.94
(C) I∝P^0.91
(D) I∝P^0.84

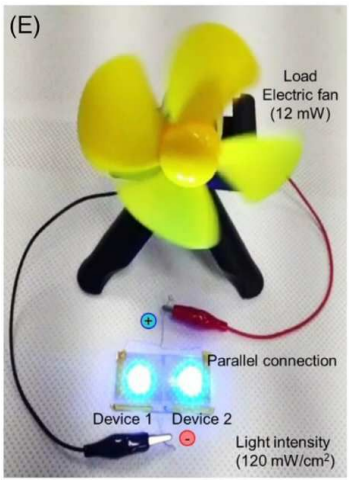
도면6


(A)
Interface
TiO2
NiO
EC, NiO
EC, TiO2
Low
Carrier recombination
states
EF
FTO
EV, NiO
EV, TiO2
AgNW
For TiO2 thickness 100 nm
(B)
Interface
TiO2
NiO
EC, NiO
EC, TiO2
High
Carrier recombination
states
EF
FTO
EV, NiO
EV, TiO2
AgNW
For TiO2 thickness higher than 100 nm

도면7


(A)
FTO/glass
TiO2
NiO
AgNW
AgNW
Device 1
Device 2
1 cm
(B)
Current (mA)
Power (mW)
Device 1 (6.45 mW)
Device 2 (6.25 mW)
Voltage (V)
(C)
Series
V = V1+V2
I = I1+I2
Parallel
TiO2
NiO
(D)
Current (mA)
Power (mW)
Series (12.35 mW)
Parallel (12.65 mW)
Voltage (V)

도면8


(E)
Load
Electric fan
(12 mW)
Parallel connection
Device 1
Device 2
Light intensity
(120 mW/cm2)