(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0172791
(43) 공개일자 2024년12월10일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 31/0232 (2014.01) *H01L 31/0224* (2006.01)
H01L 31/054 (2014.01) *H01L 31/072* (2006.01)
H01L 31/18 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H01L 31/02327 (2013.01)
H01L 31/022466 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2023-0071257
(22) 출원일자 2023년06월02일
심사청구일자 2023년06월02일

(71) 출원인
인천대학교 산학협력단
인천광역시 연수구 갯벌로 27, 인천대학교 이노베이션센터(송도동)
(72) 발명자
김준동
인천광역시 연수구 컨벤시아대로252번길 50 송도더샵퍼스트파크 1403동 1203호
김상호
대전광역시 유성구 동서대로 725 어울림아파트 1209동 502호
(74) 대리인
강정빈, 심찬

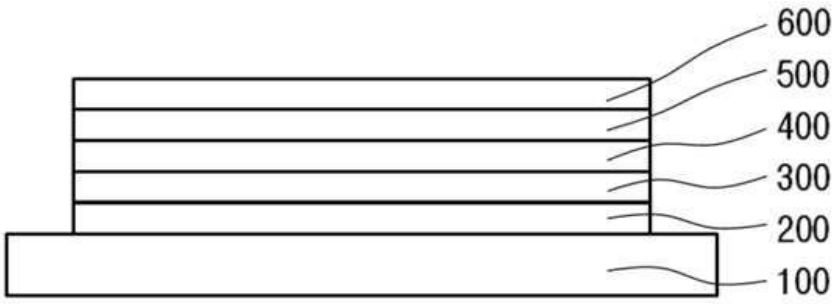
전체 청구항 수 : 총 15 항

(54) 발명의 명칭 **태양광 및 인도어광에서 전력생산이 가능한 가변컬러형 태양광발전장치**

(57) 요 약

본 발명은 태양광 및 인도어광에서 전력생산이 가능한 가변컬러형 태양광발전장치에 관한 것으로서, n형 ZnO와 p형 NiO 사이의 헤테로 접합에 의하여, 자발적으로 강한 전기장을 가진 공간 전하 영역을 형성하고, 헤테로 접합부에 추가적인 얇은 Si 박막을 도입하고, ZnO 기반의 백리플렉션을 이용함으로써, 태양 전지 성능을 효과적으로 향상시켜 실내 조명에서도 발전에 유용하도록 하고, 건물 및 차량의 창문과 같은 일반적인 구조물의 에너지를 활용하여 지속 가능성 수준에 도달할 수 있으며, 투명태양광발전장치(TPV, Transparent PhotoVoltaics) 색상 조정 방식을 통합하여 적용 범위를 넓힐 수 있는 태양광 및 인도어광에서 전력생산이 가능한 가변컬러형 태양광발전장치에 관한 것이다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류
H01L 31/054 (2015.01)
H01L 31/072 (2013.01)
H01L 31/1884 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1711161972
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 1/2
과제수행기관명 인천대학교 산학협력단
연구기간 2020.03.01 ~ 2023.05.31
이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1711177536
과제번호 2022-IT-RD-0209
부처명 과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명 연구개발특구진흥재단
연구사업명 2022년 강소특구 지역 특성화 육성 사업(인천특구) 환경기술융합혁신과제
연구과제명 환경 유해 자외선 및 전자파 차단 기능을 갖는 고성능 투명 에너지 필름 개발
기 여 율 1/2
과제수행기관명 (주)솔라라이트, 인천대학교 산학협력단
연구기간 2022.12.01 ~ 2023.05.31

명 세 서

청구범위

청구항 1

투명태양광발전장치로서,

제1투명전극층;

상기 제1투명전극층 위에 배치되고, NiO를 포함하는 제1산화물반도체층;

상기 제1산화물반도체층 위에 배치되는 Si박막층;

상기 Si박막층 위에 배치되고, 후면 리플렉터 역할을 하는 ZnO를 포함하는 제2산화물반도체층; 및

상기 제2산화물반도체층 위의 제2투명전극층;를 포함하는, 투명태양광발전장치.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 Si박막층은 비정질(amorphous) Si를 포함하는, 투명태양광발전장치.

청구항 3

청구항 1에 있어서,

상기 Si박막층은 p타입 Si층, 진성(intrinsic) Si층, 및 n타입 Si층을 포함하고,

상기 진성 Si층은 상기 p타입 Si층 혹은 n타입 Si층보다 두께가 얇은, 투명태양광발전장치.

청구항 4

청구항 1에 있어서,

상기 제2산화물반도체층의 두께를 조절함에 따라 전체적인 색상이 변경되는, 투명태양광발전장치.

청구항 5

청구항 1에 있어서,

상기 제2산화물반도체층의 두께는 30nm 내지 120nm인, 투명태양광발전장치.

청구항 6

청구항 1에 있어서,

상기 제1산화물반도체층의 두께는 1 내지 1000nm이고,

상기 Si박막층의 두께는 10 내지 300nm이고,

상기 제2산화물반도체층의 두께는 1 내지 1000nm인, 투명태양광발전장치.

청구항 7

투명태양광발전장치의 제조방법으로서,

제1투명전극층을 준비하는 단계;

스퍼터링 방식으로, 상기 제1투명전극층 위에 배치되고, NiO를 포함하는 제1산화물반도체층을 형성하는 단계;

PECVD(Plasma-Enhanced Chemical Vapor Deposition) 방식으로 상기 제1산화물반도체층 위에 배치되는 Si박막층를 형성하는 단계;

스퍼터링 방식으로, 상기 Si박막층 위에 배치되고, 후면 리플렉터 역할을 하는 ZnO를 포함하는 제2산화물반도체층을 형성하는 단계; 및

상기 제2산화물반도체층 위의 제2투명전극층을 형성하는 단계;를 포함하는, 투명태양광발전장치의 제조방법.

청구항 8

청구항 7에 있어서,

상기 Si박막층은 p타입 Si층, 진성(intrinsic) Si층, 및 n타입 Si층을 포함하고,

상기 진성 Si층은 상기 p타입 Si층 혹은 n타입 Si층보다 두께가 얇은, 투명태양광발전장치의 제조방법.

청구항 9

투명태양광발전장치로서,

제1투명전극층;

상기 제1투명전극층 위에 배치되고, NiO를 포함하는 제1산화물반도체층;

상기 제1산화물반도체층 위에 배치되는 Si박막층;

상기 Si박막층 위에 배치되고, 제1후면리플렉터 역할을 하는 ZnO를 포함하는 제2산화물반도체층;

상기 제2산화물반도체층 위의 제2투명전극층; 및

상기 제2산화물반도체층 위에 배치되고, 제2후면리플렉터 역할을 하는 ZnO를 포함하는 제3산화물반도체층; 을 포함하는, 투명태양광발전장치.

청구항 10

청구항 9에 있어서,

상기 Si박막층은 비정질(amorphous) Si를 포함하는, 투명태양광발전장치.

청구항 11

청구항 9에 있어서,

상기 Si박막층은 p타입 Si층, 진성(intrinsic) Si층, 및 n타입 Si층을 포함하고,

상기 진성 Si층은 상기 p타입 Si층 혹은 n타입 Si층보다 두께가 얇은, 투명태양광발전장치.

청구항 12

청구항 9에 있어서,

상기 제2산화물반도체층 혹은 제3산화물반도체층의 두께를 조절함에 따라 전체적인 색상이 변경되는, 투명태양광발전장치.

청구항 13

청구항 9에 있어서,

상기 제2산화물반도체층의 두께는 30nm 내지 120nm인, 투명태양광발전장치.

청구항 14

청구항 9에 있어서,

상기 제3산화물반도체층의 두께는 50nm 내지 300nm인, 투명태양광발전장치.

청구항 15

투명태양광발전장치의 제조방법으로서,

제1투명전극층을 준비하는 단계;

스퍼터링 방식으로, 상기 제1투명전극층 위에 배치되고, NiO를 포함하는 제1산화물반도체층을 형성하는 단계;

PECVD(Plasma-Enhanced Chemical Vapor Deposition) 방식으로 상기 제1산화물반도체층 위에 배치되는 Si박막층를 형성하는 단계;

스퍼터링 방식으로, 상기 Si박막층 위에 배치되고, 후면 리플렉터 역할을 하는 ZnO를 포함하는 제2산화물반도체층을 형성하는 단계;

상기 제2산화물반도체층 위의 제2투명전극층을 형성하는 단계; 및

상기 제2산화물반도체층 위에 배치되고, 제2후면리플렉터 역할을 하는 ZnO를 포함하는 제3산화물반도체층을 형성하는 단계;를 포함하는, 투명태양광발전장치의 제조방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 태양광 및 인도어광에서 전력생산이 가능한 가변컬러형 태양광발전장치에 관한 것으로서, n형 ZnO와 p형 NiO 사이의 헤테로 접합에 의하여, 자발적으로 강한 전기장을 가진 공간 전하 영역을 형성하고, 헤테로 접합부에 추가적인 얇은 Si 박막을 도입하고, ZnO 기반의 백리플렉션을 이용함으로써, 태양 전지 성능을 효과적으로 향상시켜 실내 조명에서도 발전에 유용하도록 하고, 건물 및 차량의 창문과 같은 일반적인 구조물의 에너지를 활용하여 지속 가능성 수준에 도달할 수 있으며, 투명태양광발전장치(TPV, Transparent PhotoVoltaics) 색상 조정 방식을 통합하여 적용 범위를 넓힐 수 있는 태양광 및 인도어광에서 전력생산이 가능한 가변컬러형 태양광발전장치에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0003] 최근에, 투명태양광발전장치에 대한 연구는 일반적으로 유기, 페로브스카이트, 및 염료감응형(dye-sensitized) 태양광발전장치의 유형에서 용액-페이즈(solution-phase) 공정에 초점을 맞추고 있다. 그러나, 이와 같은 습식(wet-type) 태양광발전장치는 여전히 제한된 스케일(scale) 및 낮은 투명성이라는 문제점을 갖는다. 또한, 대기

환경의 불안정성은 용액 처리 된 태양 전지의 전형적인 문제점에 해당한다.

[0004] 안정적인 성능으로 인해 많은 전자장치에 금속 산화물 재료가 채택되었다. 또한, 환경 친화적인 금속 산화물은 일반적으로 비독성이며 가격이 저렴하다는 이점을 갖는다. 또한, 금속 산화물의 고 에너지 밴드갭의 특징은 유해한 UV 광자를 흡수하는 데 효과적이다.

[0005] 전통적인 에너지원(화석 연료)에 대한 과도한 의존은 심각한 기후 변화를 초래했다. 에너지를 생산하기 위한 친환경적이고 지속 가능한 접근 방식을 찾는 것이 시급해졌다. 현재 에너지 생산 시스템의 많은 복잡성 중 하나는 에너지 생산 현장의 위치와 에너지 소비 현장 사이의 큰 거리이다.

[0006] 이를 위해서는 긴 송전선로와 시스템의 유지관리가 필요하며, 이들의 건설에 따른 재정적 부담 외에도 상당한 전력 손실이 수반됩니다. 최근에는 창문을 포함한 건물에서 태양 에너지를 수확하여 연중 에너지를 공급하는 제로 에너지 건물이 자급식 전력 공급을 지원하게 되었다. 이러한 현장 에너지 생산 체계는 기존 시스템에서 벗어나 선회하는 데 도움이 될 수 있다.

[0007] 에너지 생산의 지름길과 관련하여, 현장 전원 공급 장치가 매우 바람직하다. 또한, 보이지 않거나 거의 보이지 않는 장치를 사용할 수 있다면 건물의 창문과 같은 일반적인 물체와 운송 차량 및 디스플레이와 같은 기타 표면에서 광범위한 에너지 생산을 개방할 수 있다. 이를 실현하기 위해 투명 태양광 발전(투명태양광발전장치)을 사용할 수 있다. 이러한 장치는 도시 환경에서 사용되어 재정적 및 공간적 비용을 동시에 절감할 수 있다.

[0008] 최근 실리콘, 퀀텀닷, 유기, 페로브스카이트 재료와 같은 투명태양광발전장치 재료에 대해 주목할 만한 진전이 보고되고 있다. 유기 분자 구조 및유연성을 사용한 전력 변환 효율(, 17%)과 색상 기능 측면에서 진보된 결과가 보고되었다.

[0009] 이러한 최근 보고에도 불구하고, 투명태양광발전장치의 결정적인 돌파구는 평균 가시 투과율(AVT), 색상 특징, 안정성, 환경 친화성 및 기타 요인과 같은 속성에 대한 더 많은 작업을 필요로 합니다.

[0010] 투명태양광발전장치는 가시광선에 투명하기 때문에 건물 또는 기타 일반 물체의 창문을 포함한 고유한 방식으로 설치할 수 있다. 이는 건물 통합형 태양광 발전(BIPV)에 대한 유망한 접근 방식이다.

선행기술문헌

특허문헌

[0012] (특허문헌 0001) 한국등록특허 10-1869337 B1 “황화주석 박막 및 그 형성 방법, 박막 태양광발전장치 및 그 제조방법” (2016.4.27 등록)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0013] 본 발명의 목적은 n형 ZnO와 p형 NiO 사이의 헤테로 접합에 의하여, 자발적으로 강한 전기장을 가진 공간 전하 영역을 형성하고, 헤테로 접합부에 추가적인 얇은 Si 박막을 도입하고, ZnO 기반의 백리플렉션을 이용함으로써, 태양 전지 성능을 효과적으로 향상시켜 실내 조명에서도 발전에 유용하도록 하고, 건물 및 차량의 창문과 같은 일반적인 구조물의 에너지를 활용하여 지속 가능성 수준에 도달할 수 있으며, 투명태양광발전장치(Transparent PhotoVoltaics) 색상 조정 방식을 통합하여 적용 범위를 넓힐 수 있는 태양광 및 인도어광에서 전력생산이 가능한 가변컬러형 태양광발전장치를 제공하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

[0015] 상기와 같은 과제를 해결하기 위하여 본 발명의 일 실시예는, 투명태양광발전장치로서, 제1투명전극층; 상기 제1투명전극층 위에 배치되고, NiO를 포함하는 제1산화물반도체층; 상기 제1산화물반도체층 위에 배치되는 Si박막층; 상기 Si박막층 위에 배치되고, 후면 리플렉터 역할을 하는 ZnO를 포함하는 제2산화물반도체층; 및 상기 제2

산화물반도체층 위의 제2투명전극층;를 포함하는, 투명태양광발전장치를 제공한다.

[0016] 본 발명의 일 실시예에서는, 상기 Si박막층은 비정질(amorphous) Si를 포함할 수 있다.

[0017] 본 발명의 일 실시예에서는, 상기 Si박막층은 p타입 Si층, 진성(intrinsic) Si층, 및 n타입 Si층을 포함하고, 상기 진성 Si층은 상기 p타입 Si층 혹은 n타입 Si층보다 두께가 얇을 수 있다.

[0018] 본 발명의 일 실시예에서는, 상기 제2산화물반도체층의 두께를 조절함에 따라 전체적인 색상이 변경될 수 있다.

[0019] 본 발명의 일 실시예에서는, 상기 제2산화물반도체층의 두께는 30nm 내지 120nm일 수 있다.

[0020] 본 발명의 일 실시예에서는, 상기 제1산화물반도체층의 두께는 30 내지 100nm이고, 상기 Si박막층의 두께는 40 내지 150nm이고, 상기 제2산화물반도체층의 두께는 30 내지 120nm일 수 있다.

[0022] 상기와 같은 과제를 해결하기 위하여, 본 발명의 일 실시예에서는, 투명태양광발전장치의 제조방법으로서, 제1투명전극층을 준비하는 단계; 스퍼터링 방식으로, 상기 제1투명전극층 위에 배치되고, NiO를 포함하는 제1산화물반도체층을 형성하는 단계; PECVD(Plasma-Enhanced Chemical Vapor Deposition) 방식으로 상기 제1산화물반도체층 위에 배치되는 Si박막층를 형성하는 단계; 스퍼터링 방식으로, 상기 Si박막층 위에 배치되고, 후면 리플렉터 역할을 하는 ZnO를 포함하는 제2산화물반도체층을 형성하는 단계; 및 상기 제2산화물반도체층 위의 제2투명전극층을 형성하는 단계;를 포함하는, 투명태양광발전장치의 제조방법을 제공한다.

[0023] 본 발명의 일 실시예에서는, 상기 Si박막층은 p타입 Si층, 진성(intrinsic) Si층, 및 n타입 Si층을 포함하고, 상기 진성 Si층은 상기 p타입 Si층 혹은 n타입 Si층보다 두께가 얇을 수 있다.

[0025] 상기와 같은 과제를 해결하기 위하여, 본 발명의 일 실시예에서는, 투명태양광발전장치로서, 제1투명전극층; 상기 제1투명전극층 위에 배치되고, NiO를 포함하는 제1산화물반도체층; 상기 제1산화물반도체층 위에 배치되는 Si박막층; 상기 Si박막층 위에 배치되고, 제1후면리플렉터 역할을 하는 ZnO를 포함하는 제2산화물반도체층; 상기 제2산화물반도체층 위의 제2투명전극층; 및 상기 제2산화물반도체층 위에 배치되고, 제2후면리플렉터 역할을 하는 ZnO를 포함하는 제3산화물반도체층;를 포함하는, 투명태양광발전장치를 제공한다.

[0026] 본 발명의 일 실시예에서는, 상기 Si박막층은 비정질(amorphous) Si를 포함할 수 있다.

[0027] 본 발명의 일 실시예에서는, 상기 Si박막층은 p타입 Si층, 진성(intrinsic) Si층, 및 n타입 Si층을 포함하고, 상기 진성 Si층은 상기 p타입 Si층 혹은 n타입 Si층보다 두께가 얇을 수 있다.

[0028] 본 발명의 일 실시예에서는, 상기 제2산화물반도체층 혹은 제3산화물반도체층의 두께를 조절함에 따라 전체적인 색상이 변경될 수 있다.

[0029] 본 발명의 일 실시예에서는, 상기 제2산화물반도체층의 두께는 30nm 내지 120nm일 수 있다.

[0030] 본 발명의 일 실시예에서는, 상기 제2산화물반도체층의 두께는 50nm 내지 300nm일 수 있다.

[0032] 상기와 같은 과제를 해결하기 위하여, 본 발명의 일 실시예에서는, 투명태양광발전장치의 제조방법으로서, 제1투명전극층을 준비하는 단계; 스퍼터링 방식으로, 상기 제1투명전극층 위에 배치되고, NiO를 포함하는 제1산화물반도체층을 형성하는 단계; PECVD(Plasma-Enhanced Chemical Vapor Deposition) 방식으로 상기 제1산화물반도체층 위에 배치되는 Si박막층를 형성하는 단계; 스퍼터링 방식으로, 상기 Si박막층 위에 배치되고, 후면 리플렉터 역할을 하는 ZnO를 포함하는 제2산화물반도체층을 형성하는 단계; 상기 제2산화물반도체층 위의 제2투명전극층을 형성하는 단계; 및 상기 제2산화물반도체층 위에 배치되고, 제2후면리플렉터 역할을 하는 ZnO를 포함하는 제3산화물반도체층을 형성하는 단계;를 포함하는, 투명태양광발전장치의 제조방법을 제공한다.

도면의 간단한 설명

[0034] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 투명태양광발전장치의 구조를 개략적으로 도시한다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 투명태양광발전장치의 구조를 개략적으로 도시한다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 투명태양광발전장치를 도시한다.

도 4은 본 발명의 일 실시예에 따른 투명태양광발전장치의 제조과정을 도시한다.

도 5은 본 발명의 일 실시예에 따른 투명태양광발전장치의 전체적인 구조 및 사진들을 도시한다.

도 6는 본 발명의 일 실시예에 따른 단일의 ZnO 백리플렉터를 사용한 투명태양광발전장치의 광학적, 전기적 실험결과를 도시한다.

도 7는 본 발명의 일 실시예에 따른 이중의 ZnO 백리플렉터를 사용한 투명태양광발전장치의 광학적, 전기적 실험결과를 도시한다.

도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 투명태양광발전장치의 전기적 실험결과를 도시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0035] 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.

[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] 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.

[0038] 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.

[0039] 또한, 본 명세서에서 명백하게 다른 내용을 지시하지 않는 “한” 과, “상기” 와 같은 단수 표현들은 복수 표현들을 포함한다는 것이 이해될 수 있을 것이다.

[0040] 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.

[0041] 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.

[0042] 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 정

의하지 않는 한, 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미로 해석되지 않는다.

[0044] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 투명태양광발전장치의 구조를 개략적으로 도시한다.

[0045] 본 발명에서는, 건물과 다른 물체의 미관을 유지하기 위해 색상 조정 가능한 투명태양광발전장치를 제공한다. 본 발명에서는, 전극의 후면에 광학적 흡수를 향상시키고 보다 높은 전류 발생을 위한 캐리어 수집을 향상시킬 수 있는 부가적인 층인 백 리플렉터(백 리플렉터)를 사용하여 빛을 관리할 수 있다.

[0046] 백리플렉터는 광-액티브 층을 통과하는 다수의 광을 통과시킴으로써 광-트래핑 기능을 가능하게 하고, 태양광발전장치성능을 크게 향상시킬 것입니다.

[0047] 또한, 본 발명에서는, 현장에서의 전원 공급을 가능하게 하고, 비정질 Si(a-Si)를 이용하여, 높은 가시광, 투광성 및 크기 개선을 도모할 수 있다.

[0048] 수용체 유기 반투명 태양 전지와 비교하여, 본 발명에서는 a-Si을 도입함으로써, 도핑 제어, 전기장 유도 전하 분리, 높은 개방 회로 전압 및 대규모 처리에 의해 전기 및 광학 특성을 조정하는 이점을 제공할 수 있다.

[0049] 또한, 본 발명의 실시예들에 따른 투명태양광발전장치는 실내 조명에서 전력을 생산할 수 있는 효과를 발휘할 수 있다. 태양과 인공 광원의 방사조도 스펙트럼은 큰 차이를 가지고 있으나, 본 발명에서는 이에 대한 광 맞춤 기능을 제공할 수 있다.

[0050] 본 발명의 투명태양광발전장치의 기본 구조는 n형 ZnO 및 p형 NiO 이종 접합을 사용하고, 헤테로 접합부에 얇은 a-Si 층이 내장되어 광 유도 광반송파를 효과적으로 증가시켜 전류 출력을 향상시킨다.

[0051] 본 발명의 일 실시예에서는, 순수한 투명태양광발전장치 구조를 형성하는 ZnO 층은 투명태양광발전장치의 표면에 사용된다. 플루오린이 도핑된 주석 산화물 FTO/p-NiO/(p-i-n)a-Si/n-ZnO층의 구조에서, ZnO는 백리플렉터 역할을 하여 색상을 능동적으로 조정하고 빛을 가두는 이점을 제공한다.

[0053] 도 1에 도시된 투명태양광발전장치는 투명기판(예를들어 유리)(100)위에 구성될 수 있다.

[0054] 본 발명의 실시예에 따른 투명태양광발전장치는 제1투명전극층(200); 상기 제1투명전극층 위에 배치되고, NiO를 포함하는 제1산화물반도체층(300); 상기 제1산화물반도체층 위에 배치되는 Si박막층(400); 상기 Si박막층 위에 배치되고, 후면 리플렉터 역할을 하는 ZnO를 포함하는 제2산화물반도체층(500); 및 상기 제2산화물반도체층 위의 제2투명전극층(600);를 포함한다.

[0056] 바람직하게는, 상기 Si박막층은 비정질(amorphous) Si를 포함한다.

[0058] 바람직하게는, 상기 Si박막층은 p타입 Si층, 진성(intrinsic) Si층, 및 n타입 Si층을 포함하고, 상기 진성 Si층은 상기 p타입 Si층 혹은 n타입 Si층보다 두께가 얇다.

[0060] 바람직하게는, 상기 제2산화물반도체층의 두께를 조절함에 따라 전체적인 색상이 변경된다.

[0062] 상기 제1산화물반도체층의 두께는 1 내지 1000nm이고,

[0063] 상기 Si박막층의 두께는 10 내지 300nm이고,

[0064] 상기 제2산화물반도체층의 두께는 1 내지 1000nm이다.

[0066] 바람직하게는, 상기 제2산화물반도체층의 두께는 30nm 내지 120nm이다.

[0067] 더욱 바람직하게는, 상기 제2산화물반도체층의 두께는 40 내지 80nm이다.

[0068] 더욱 바람직하게는, 상기 제2산화물반도체층의 두께는 50 내지 70nm이다.

[0070] 바람직하게는, 상기 제1산화물반도체층의 두께는 30 내지 100nm이고, 상기 Si박막층의 두께는 40 내지 150nm이고, 상기 제2산화물반도체층의 두께는 30 내지 120nm이다.

[0071] 더욱 바람직하게는, 상기 제1산화물반도체층의 두께는 25 내지 65nm이고, 상기 Si박막층의 두께는 50 내지 100nm이고, 상기 제2산화물반도체층의 두께는 40 내지 80nm이다.

[0072] 더욱 바람직하게는, 상기 제1산화물반도체층의 두께는 40 내지 50nm이고, 상기 Si박막층의 두께는 65 내지 85nm이고, 상기 제2산화물반도체층의 두께는 50 내지 70nm이다.

[0074] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 투명태양광발전장치의 구조를 개략적으로 도시한다.

[0076] 본 발명의 일 실시예에 따른 투명태양광발전장치의 제조방법은 제1투명전극층을 준비하는 단계(S100); 스퍼터링 방식으로, 상기 제1투명전극층 위에 배치되고, NiO를 포함하는 제1산화물반도체층을 형성하는 단계(S200); PECVD(Plasma-Enhanced Chemical Vapor Deposition) 방식으로 상기 제1산화물반도체층 위에 배치되는 Si박막층를 형성하는 단계(S300); 스퍼터링 방식으로, 상기 Si박막층 위에 배치되고, 후면 리플렉터 역할을 하는 ZnO를 포함하는 제2산화물반도체층을 형성하는 단계(S400); 및 상기 제2산화물반도체층 위의 제2투명전극층을 형성하는 단계(S500);를 포함한다.

[0077] 본 발명의 실시예들에 따른 투명태양광발전장치는 금속 산화물 층과 FTO 코팅 유리 위에 수소화된(hydrogenated) a(amorphous)-Si 층을 가지고 있다. ZnO 및 NiO 층은 4인치 스퍼터링 시스템(Solarlight Inc., Korea)을 사용하여 증착될 수 있다.

[0078] 모든 금속 산화물 필름은 1 내지 20mTorr, 바람직하게는 약 5 mTorr의 작동 압력으로 증착되었고, 기본 압력은 2×10^{-6} Torr이다.

[0079] FTO 코팅된 유리기판(제품번호 735159 Aldrich, 시트저항 7Ω/□)은 아세톤, 메탄올, 탈이온수를 사용하여 각각 10분간 초음파 세척하고 흐르는 N2 가스를 사용하여 건조하는 단계를 수행한다.

[0080] TPV 구조(p-NiO/a-Si/n-ZnO)를 형성하기 위해 해당 층을 순차적으로 준비한다.

[0081] p형 금속산화물 형성의 경우 직류(DC) 전원(55 W)을 이용하여 상온에서 Ar/O_2 가스 흐름(20/4.5 sccm)으로 Ni 타겟(iTASCO, 순도 99.99%)을 반응성 스퍼터링하여 NiO 피막(약 45 nm)을 증착하였다.

[0082] Si 공정에는 플라즈마 강화 화학기상증착(PECVD) 시스템이 사용되었다.

[0084] 한편, p-type(p도핑된) Si층은 10 내지 100nm, 바람직하게는 20 내지 40nm, 더욱 바람직하게는 약 30 nm로 NiO 필름 위에 직접 형성되었다.

[0086] 이후 5 내지 80nm의 진성(intrinsic) Si층이 p-type Si층 위에 형성된다. 바람직하게는, 5 내지 30nm의 진성(intrinsic) Si층이 p-type Si층 위에 형성된다. 더욱 바람직하게는, 약 15 nm의 진성(intrinsic) Si층이 p-type Si층 위에 형성된다.

[0088] 이후, n-type(n도핑된) Si층은 10 내지 100nm, 바람직하게는 20 내지 40nm, 더욱 바람직하게는 약 30 nm로 진성 Si층 위에 형성되었다.

[0090] 실란(SiH_4)과 수소(H_2) 가스 혼합물의 글로우 방전 분해는 무선 주파수(RF) 전력(13.56MHz, 56mW/cm^2)이 사용되

었다.

[0092] ZnO 필름은 RF magnetron sputtering 시스템에서 처리되었으며, 목표물(iTasco, Ø 4인치, 순도 99.99%)은 실온에서 Ar 가스(50 sccm)가 흐르는 상태에서 300W로 구동되었다.

[0094] 한편, TPV 장치에는 양방향으로 투명 전극이 있어야 한다. FTO층은 자발적으로 한쪽 면에 작용하고, 다른 한쪽 면은 은 나노와이어(AgNWs)와 얇은 ZnO 필름의 하이브리드 구조로 형성되며, AgNWs는 다공성 네트워크 형성으로 인해 전기 전도성과 광학 투명성이 우수하여 우수한 투명 전극을 형성할 수 있다.

[0095] 투명 전극을 형성하기 위해 상업용 AgNW 잉크(Nanopyrix Inc., South Korea)가 사용되었고, 백리플렉터에는 2차 ZnO 층이 적용되어 전체 TPV 구조를 통한 전파를 능동적으로 제어할 수 있다.

[0097] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 투명태양광발전장치를 도시한다.

[0099] 본 발명의 실시예에 따른 투명태양광발전장치는 제1투명전극층(200); 상기 제1투명전극층 위에 배치되고, NiO를 포함하는 제1산화물반도체층(300); 상기 제1산화물반도체층 위에 배치되는 Si박막층(400); 상기 Si박막층 위에 배치되고, 후면 리플렉터 역할을 하는 ZnO를 포함하는 제2산화물반도체층(500); 및 상기 제2산화물반도체층 위의 제2투명전극층(600);를 포함한다.

[0101] 도 3에 도시된 투명태양광발전장치는 도 1에 도시된 투명태양광발전장치와 비교시, 상기 제2산화물반도체층 위에 배치되고, 제2후면리플렉터 역할을 하는 ZnO를 포함하는 제3산화물반도체층(700);를 더 포함한다.

[0103] 바람직하게는, 상기 Si박막층은 비정질(amorphous) Si를 포함한다.

[0105] 바람직하게는, 상기 Si박막층은 p타입 Si층, 진성(intrinsic) Si층, 및 n타입 Si층을 포함하고, 상기 진성 Si층은 상기 p타입 Si층 혹은 n타입 Si층보다 두께가 얇다.

[0107] 바람직하게는, 상기 제2산화물반도체층의 두께를 조절함에 따라 전체적인 색상이 변경된다.

[0109] 바람직하게는, 상기 제2산화물반도체층의 두께는 30nm 내지 120nm이다.

[0110] 더욱 바람직하게는, 상기 제2산화물반도체층의 두께는 40 내지 80nm이다.

[0111] 더욱 바람직하게는, 상기 제2산화물반도체층의 두께는 50 내지 70nm이다.

[0113] 바람직하게는, 상기 제1산화물반도체층의 두께는 30 내지 100nm이고, 상기 Si박막층의 두께는 40 내지 150nm이고, 상기 제2산화물반도체층의 두께는 30 내지 120nm이다.

[0114] 더욱 바람직하게는, 상기 제1산화물반도체층의 두께는 25 내지 65nm이고, 상기 Si박막층의 두께는 50 내지 100nm이고, 상기 제2산화물반도체층의 두께는 40 내지 80nm이다.

[0115] 더욱 바람직하게는, 상기 제1산화물반도체층의 두께는 40 내지 50nm이고, 상기 Si박막층의 두께는 65 내지 85nm이고, 상기 제2산화물반도체층의 두께는 50 내지 70nm이다.

[0117] 바람직하게는, 상기 제3산화물반도체층의 두께는 50nm 내지 300nm이다.

[0118] 더욱 바람직하게는, 상기 제3산화물반도체층의 두께는 75nm 내지 200nm이다.

[0119] 더욱 바람직하게는, 상기 제3산화물반도체층의 두께는 100nm 내지 200nm이다.

[0121] 도 4은 본 발명의 일 실시예에 따른 투명태양광발전장치의 제조과정을 도시한다.

[0123] 본 발명의 일 실시예에 따른, 투명태양광발전장치의 제조방법은, 제1투명전극층을 준비하는 단계(S100); 스퍼터링 방식으로, 상기 제1투명전극층 위에 배치되고, NiO를 포함하는 제1산화물반도체층을 형성하는 단계(S200); PECVD(Plasma-Enhanced Chemical Vapor Deposition) 방식으로 상기 제1산화물반도체층 위에 배치되는 Si박막층를 형성하는 단계(S300); 스퍼터링 방식으로, 상기 Si박막층 위에 배치되고, 후면 리플렉터 역할을 하는 ZnO를 포함하는 제2산화물반도체층을 형성하는 단계(S400); 상기 제2산화물반도체층 위의 제2투명전극층을 형성하는 단계(S500); 및 상기 제2산화물반도체층 위에 배치되고, 제2후면리플렉터 역할을 하는 ZnO를 포함하는 제3산화물반도체층을 형성하는 단계(S600);를 포함한다.

[0125] 도 5은 본 발명의 일 실시예에 따른 투명태양광발전장치의 전체적인 구조 및 사진들을 도시한다.

[0127] 도 5a는 백리플렉터 내장 투명태양광발전장치 셀을 나타낸 것으로, 향상된 h, 선명한 색상, 우수한 안정성 등의 독특한 장점을 가지고 있다. 이 구조는 전력 변환 과정에서 광생성 캐리어의 구동력인 얇은 Si 필름을 통해 공간 전하 영역에 내장된 잠재력을 제공한다. NiO와 ZnO의 금속 산화물 층의 선택은 각각 구멍과 전자에 대한 선택적 접촉의 상당한 이점을 제공한다.

[0128] 투명태양광발전장치 장치에는 유리/FTO/NiO/(p-i-n)a-Si/ZnO/AgNWs(은나노와이어)가 있다. 여기서 ZnO 막은 백리플렉터(백리플렉터) 층으로 작용하고 Si 막은 장치 성능을 위한 기능 층으로 작용한다.

[0130] 도 5b는 투명태양광발전장치 소자의 단면을 나타낸 것으로, ZnO 층과 NiO 층 사이의 Si의 샌드위치 구조를 나타낸 것이다. 이러한 금속 산화물 플랫폼 구조는 친환경 소재, 건식 합성을 통한 대면적 소자 제조 및 소자를 통한 높은 투과율을 특징으로 한다.

[0131] 도 5c는 ZnO의 백 리플렉터가 내장된 대면적(10cm 10cm) 투명태양광발전장치 셀과 상용 윈도우 틴팅 필름을 비교한 것이다. 색채, 투명도 등 광학적 특성이 뛰어나 건물과의 통합에 적합함을 보여준다.

[0132] 도 5d는 다양한 백 리플렉터 층 두께가 선명한 색상과 현장 발전을 달성하는 컬러풀 버전을 보여주고 있고, 도 5e는 백 리플렉터 내장 투명태양광발전장치 셀을 건물 외부에 통합하여 컬러풀한 시스루 기능을 제공할 수도 있다.

[0133] 본 발명의 투명태양광발전장치가 채용된 자동차와 건물은 미적 기준을 유지하면서 전기를 생산할 것이다. 이런 종류의 전기는 공기에 사용될 수 있다.

[0134] 투명도가 높은 투명태양광발전장치는 도 5f와 같이 건물 또는 차량의 창문에서 활성 발전기로 사용될 수 있다.

[0135] 또한, 투명태양광발전장치는 휴대용 전자 장치의 전력을 증가시킬 수 있는 휴대용 전자 장치와 같은 인간 인터페이스 전자 장치에 높은 자유도를 제공할 수 있다(도 5g).

[0137] 도 6는 본 발명의 일 실시예에 따른 단일의 ZnO 백리플렉터를 사용한 투명태양광발전장치의 광학적, 전기적 실험결과를 도시한다.

[0139] 흡수계수(a), 밴드갭(Eg), 굴절률(n), 소멸계수(k)를 포함한 광학적 특성을 위하여, ZnO 필름은 0.8~5.1 eV의

에너지 범위에서 분광 타원 측정(VASE, Woollam, 240 nm < l < 1700 nm)으로 측정하였다.

[0140] 도 6a는 n과 k의 넓은 스펙트럼 범위 분산을 보여준다. 다양한 ZnO 필름의. 모든 ZnO 막은 약 380 nm(3.2 eV)의 파장에서 n 값의 좁은 피크를 갖는다. ZnO는 60 또는 120 nm의 두께에서 550 nm의 파장에서의 n 값은 1.94 또는 1.99로 벌크 ZnO와 유사한 반면, 얇은 ZnO(30 nm)의 n값은 1.75로 얇은 ZnO이 두꺼운 ZnO보다 비정질상으로 빛을 전달하는 경향이 있음을 알 수 있다.

[0141] k의 값은 이 두께와 무관하며 Eg의 값에 가까운 0으로 가정한다. ZnO 박막은 Wurtzite의 결정 구조를 가지며, 직접갭 (direct gap) (II-VI) 반도체이다.

[0142] 광 밴드 갭은 120 nm 두께의 ZnO 박막은 밴드 엣지가 날카롭고 ZnO 박막(30 nm)이 얇다. 필름의 비정질상으로 인해 흡수 계수가 낮을 수 있다. 두꺼운 ZnO 막의 경우 Eg 값은 3.22 eV로 고정된다.

[0144] 투명태양광발전장치는 사람의 눈에 보이지 않고 현장에서 전력을 생산할 수 있도록 보장해야 한다. 투명도(T)는 투명태양광발전장치 애플리케이션에서 중요한 요소입니다. T는 연관된 반사율 R 및 흡수율 A에 의해 정의될 수 있다. 따라서, 표면의 반사율을 감소시키는 것이 투과율을 향상시키는 효율적인 방법이다.

[0145] 장치 표면의 R 프로파일을 줄이기 위해 ZnO의 백 리플렉터 필름의 광학적 특성을 조정하여 T 값을 개선했다. n 개 값의 변화는 프레넬의 관계로 추정할 수 있는 R 프로파일에 영향을 미칠 수 있다. 다층 투명태양광발전장치 구조는 타원 측정을 사용하여 각각 FTO(1.98), NiO(2.0), a-Si(3.8) 및 ZnO(60nm에 대해 1.94)의 n개 값을 사용하여 조사된다.

[0147] 도 6b에서는, 수치 시뮬레이션(Essential MacLeod)을 수행하여 광학적 특성을 조사하였으며, 이는 ZnO의 백 리플렉터를 사용하거나 사용하지 않는 투명태양광발전장치 장치의 추정 T 및 R 프로파일을 제시한다.

[0148] 결과는 가시 파장의 투과 영역에서 상당한 개선을 보여준다. ZnO의 백 리플렉터 필름의 삽입은 450~700 nm 파장에서의 반사율 감소로 인해 T(도 6c)를 향상시켰다. ZnO의 백 리플렉터가 내장된 투명태양광발전장치의 흡수층이 a-Si 막임을 고려하면, 지배적인 흡수 파장은 가시광선 영역이다.

[0149] 400~700 nm의 파장 영역에서 반사가 감소하면 장치 성능이 크게 향상된다. 30 nm, 60 nm, 120 nm의 두께를 갖는 ZnO로 이루어진 백 리플렉터 가 내장되어 있거나 내장되어 있지 않은 디바이스는 추정 T 및 R이 상이하다.

[0150] 상당히 개선된 반사값(R)은 투과율에 대한 상당한 튜닝 효과를 발휘할 수 있다. 도 6c에서와 같이, 550 nm 파장에서 ZnO의 백 리플렉터는 투과율을 32.0%에서 45.3%까지 향상시킨다.

[0152] 백 리플렉터 내장 투명태양광발전장치(투명태양광발전장치) 셀의 필수적인 특징은 전력 및 색상 외관이다.

[0153] ZnO 필름을 기능 접합 파트너링 및 후면 리플랙터를 통해 n(refractive index)값에서 중요한 역할을 하는 a-Si의 초박형 흡수층에 적용했다. 먼저, 본 발명에서는, ZnO 층 두께가 투명태양광발전장치 셀의 접합과 n에 미치는 영향을 검토하였다.

[0154] 도 6d의 그림은 투명태양광발전장치 장치에서 ZnO 층 위치를 나타낸다. 본 발명에서는 ZnO의 두께는 0 내지 120 nm에서 가변될 수 있고, 접합 효과에 따라 최대 출력을 확인할 수 있었다.

[0155] 투명태양광발전장치 셀에서의 발전기능은 그림 2e와 같이 표준 AM1.5G(100mW/cm^2)에 따른 전류밀도-전압(J-V) 특성에 의해 실험되었다. 이 결과는 60 nm 두께의 ZnO 내장 투명태양광발전장치 셀이 2.56 mA/cm^2의 단락 전류밀도(JSC) 값과 0.641 V의 개방 전압(VOC) 값을 제공함을 확인할 수 있다.

[0156] ZnO의 역할과 관련하여, 본 발명의 다른 실시예들에서는, ZnO 층을 튜닝하여 투명태양광발전장치의 성능을 얻었다. 투명태양광발전장치 구조에서 ZnO는 Si 막에 인접하고 전자 집전체층(collector)의 역할을 효과적으로 수행한다. ZnO 층이 없다면, 투명태양광발전장치는 상대적으로 낮은 태양광 전력 효율(VOC 25 mV와 JSC 0.75 mA/cm2)을 갖는다. 해당 광전지 거동은 ZnO 막의 두께 변화에 의해 영향을 받는다.

[0157] 계면과 접합은 태양광발전장치의 성능을 제어하는 데 있어서 공간 전하 영역 및 전기장에 내장된 전위의 형성과

함께 중요하며, 이는 전기를 생산하기 위해 캐리어를 분할 운반하는 데 있어서 매우 중요하다. J-V 그림으로부터, 60 nm의 ZnO 층은 h 값이 ~0.58%인 전기 발전을 가능하게 하는 적절한 접합을 제공하는 것을 확인할 수 있다.

[0158] .

[0159] 투명태양광발전장치 장치의 스펙트럼 특성을 평가하기 위해 EQE에 따라 실험되었다. 도 6f에 나타난 바와 같이, 투명태양광발전장치 장치의 광대역 스펙트럼 응답과 함께, 더 높은 JSC 성능을 얻는 데 있어 첫 번째 ZnO의 백 리플렉터층의 역할을 명확히 확인할 수 있다.

[0160] 초박형 a-Si층에 의한 꾸준한 광 흡수에도 불구하고, EQE 값은 적절한 두께의 ZnO층에 의해 넓어지고 강화된다. 예를 들어, ZnO가 없는 투명태양광발전장치는 480 nm에서 ~5%의 EQE를 나타냈으며, 이는 60 nm 두께의 ZnO백 리플렉터를 투명태양광발전장치에 내장했을 때 25%로 크게 향상되었다. 이는 ZnO백 리플렉터가 투과율 향상 외에도 중요한 역할을 한다는 것을 보여준다. 또한 전하 캐리어 분리 및 수집을 증가시켜 J_{SC} 증가를 통해 성능을 향상시킨다.

[0161] 광자 균형(photon balance)의 계산은 조명 광원과 배경의 아티팩트(artifacts)를 피하기 위해 투명태양광발전장치 장치에서는 중요하다. 정량적 검사를 위해 EQE 스펙트럼 응답(통합(integrated) J_{SC}라고 함)에서 JSC 값을 계산했다. EQE(λ)의 통합 J_{SC} 값은 다음 관계를 사용하여 얻었다(단위 전자/홀 쌍 생성 고려).

$$Integrated\ J_{SC} = q \times \int_{280\ nm}^{1400\ nm} (EQE(\lambda) \times AM1.5G(\lambda))d\lambda$$

[0163]

[0164] 여기서 q는 기본 전하, λ는 파장, AM1.5G는 태양 복사 조도이다. 도 6f (통합 J_{SC}의 2차축)와 같이 두께가 60 nm인 ZnO의 백 리플렉터를 갖는 투명태양광발전장치 셀에 대한 J_{SC} 값 2.5 mA/cm2를 확인하였다. 투명태양광발전장치 셀은 태양광 발전 성능을 향상시켰으며, 이는 접합 특성과 광 흡수에 의해 확실하게 기인할 수 있다.

[0165] 내장된(built-in) 전기장은 광생성 전하 캐리어의 분리를 촉진한다. 따라서, 본 발명에서는, 역 바이어스 조건을 적용하는 확장 전기장에 대해 투명태양광발전장치의 EQE 응답을 조사했다. 도 6g에 나타난 바와 같이 ZnO의 백 리플렉터 필름을 이용한 투명태양광발전장치 셀의 EQE 스펙트럼의 현저한 개선이 관찰되었다. 역 바이어스를 갖는 확장된 공간 전하 영역으로 인해 ZnO의 백 리플렉터가 내장된 투명태양광발전장치는 향상된 EQE를 보였다. 특히 350 nm에서 550 nm까지의 파장 영역에서 ZnO의 백 리플렉터가 임베디드된 투명태양광발전장치에 대한 음의 편향의 영향이 두드러진다. 해당 스펙트럼 파장은 ZnO 층에 전자 흐름을 제공하고 NiO 측에 홀을 제공하는 활성 광 흡수체로서 Si에게 유리한 역할을 할 수 있다.

[0166] EQE 프로파일은 표준 광자 플럭스(flux) 에 따라 가능한 광전류 값을 추정할 수 있다. 도 6g에 도시된 바와 같이, ZnO가 없는 투명태양광발전장치 장치의 값(0.43 mA/cm^2)보다 ZnO 내장 투명태양광발전장치 장치에서 더 선명하고 높은 광전류(2.74 mA/cm^2)를 얻을 수 있다. ZnO 기반의 투명태양광발전장치는 역편향(0.5V)을 적용하여 향상된 J_{photo} 값(3.6 mA/cm^2, 제로편향 조건 대비 132% 개선)을 나타내었다.

[0167] 그러나 ZnO가 없는 투명태양광발전장치 장치에서는 유의미한 개선이 발견되지 않았다. 이는 트랩 캐리어를 줄임으로써 투명태양광발전장치를 개선할 수 있는 추가적인 가능성을 시사한다.

[0168] 백 리플렉터가 (Back reflector) 내장된 투명태양광발전장치의 작동 메커니즘에 대한 추측적 해석은 EQE 분석을 통해 도 6h에 설명되어 있으며, 여기에는 ZnO의 백 리플렉터가 포함되거나 포함되지 않은 셀의 에너지 밴드 다이어그램이 포함된다. 백 리플렉터가 없는 투명태양광발전장치의 경우, n-Si 층은 AgNWs에, p-Si 층은 NiO에 부가된다. a-Si의 p-n 접합으로 인해 내장 전위가 형성되고, 헤테로 접합은 공간 전하 영역에서 강한 전기장을 생성한다. 부수적인 광자가 투명태양광발전장치로 전달됨에 따라, 전자-구멍 쌍은 내장된 전기장이 전자 캐리어와 구멍 캐리어를 분리하는 공간 전하 영역에 형성된다. 전자는 p-Si에서 n-Si로 이동하고, 홀은 반대 방향으로 늘어난다.

[0169] 역반사(back-reflected) 광자로 인해, 백 리플렉터 내장 투명태양광발전장치는 광자 흡수 증가로 인해 더 많은 광 발생 캐리어를 가지고 있다. 이 ZnO 임베디드 층은 광 이용을 개선하기 위해 백 리플렉터 역할을 성공적으로 수행한다. 결과는 ZnO의 백 리플렉터가 선명하고 다채로운 아키텍처로 얇은 흡수체의 광전류를 보완한다는 것을 보여준다.

[0170] 광학적 일관성(optical consistency)을 조사하기 위해 흡수(A) 스펙트럼은 그림의 식(A=1-T-R)으로 요약된다. 프로파일은 UV 및 짧은 가시 파장 범위에서 흡수 향상을 분명히 나타낸다. 증가된 광학 흡수는 백 리플렉터로서의 ZnO 층의 역할을 명확하게 보여준다.

[0172] 도 7는 본 발명의 일 실시예에 따른 이중의 ZnO 백리플렉터를 사용한 투명태양광발전장치의 광학적, 전기적 실험결과를 도시한다.

[0173] 색감 및 색상 일치는 건물과 차량과 같은 물체와 구조물에 사용될 투명태양광발전장치의 필수 시각적 기능이다. 그러나 이러한 표면을 시각적으로 일치시키는 것은 중요한 과제이다.

[0174] 색상이 나타날 수 있도록 본 발명의 다른 실시예에서는, 이중구조의 ZnO 필름을 투명태양광발전장치에 적용합니다. 본 발명에서는, 도 7a에 도시된 바와 같이 추가적인 2번째 ZnO의 백 리플렉터층이 추가된다.

[0175] 이하에서는, 기준 투명태양광발전장치는 p-NiO/a-Si/n-ZnO/AgNW의 구조에 1차 ZnO 필름을 포함한다. 이때부터 1차 ZnO(첫 번째 ZnO 백 리플렉터) 두께는 전술한 실험에서와 같이 가장 성능이 좋았던 60nm로 고정된다. 2차 ZnO의 두께는 도 6b 및 7c에 도시된 바와 같이 색상 및 투과 특성을 조정하는 데 중요하다.

[0176] 두 번째 ZnO 막의 두께는 AgNW 위에서 75~200nm까지 다양하게 조절됨으로써, 이에 따라 T와 R의 튜닝이 가능하다. 75~200nm의 두 번째 ZnO 층은 투과율 및 반사율 변조에 의해 각도 의존적인 색상을 제공한다.

[0177] 투명태양광발전장치 기반 응용장치/건물의 경우 전체 장치의 투과도와 색상을 고려해야 한다. AVT는 투명태양광발전장치 셀을 분류하는 데 사용할 수 있으며, 다음 관계를 사용하여 T(λ)를 인간 눈의 광학 반응 P(λ)및 태양 광자 플럭스 S(λ) 를 사용하여 얻을 수 있다:

[0179]
$$AVT = \frac{\int_{380nm}^{825nm} T(\lambda)\, P(\lambda)\, S(\lambda)\, d\lambda}{\int_{380nm}^{825nm} P(\lambda)\, S(\lambda)\, d\lambda}$$

[0180] 투명태양광발전장치 장치의 T 프로파일을 이용한 추정 AVT 값은 그림 7d와 같으며, 시스루 장치로서 동작할 수 있음을 확인할 수 있다.

[0181] 이는 2차 ZnO 백 리플렉터를 구현한 투명태양광발전장치 셀의 AVT 값이 ~44.9 내지 50.4%임을 보여준다. 75nm 및 150nm의 2차 ZnO 층 두께에서 500nm 이하의 광자 파장의 흡수와 광응답이 향상된다. 이는 또한 백 리플렉터 내장 투명태양광발전장치에 의한 광전류 이득에 기여한다. T와 R의 특성 모두, 2중 ZnO의 백리플렉터층을 가진다면, 조정 가능한 광학 요소로 확인되었으며, 이는 윈도우 응용분야에서의 외관을 조절하는 역할을 수행할 수 있다.

[0182] 또한, 본 발명에서는, 국제 조명 위원회(CIE) 1931 다이어그램의 표준을 통해 투명태양광발전장치 셀의 색상 조정이 가능하다. 색도 좌표 x와 y는 보충 정보의 색 분석 모델 섹션에서 정의된다. 투명태양광발전장치 셀의 색상 특성을 평가하기 위한 기준 광원으로 표준 일광 조명등 AM1.5G(0.320, 0.332) 및 D65(0.312, 0.329)가 일반적으로 선택된다. 이는 CIE 1931 색도(도 8e)에서 동일한 상대 광도로 색상을 표준화하는 데 도움이 된다.

[0183] 다양한 백 리플렉터-투명태양광발전장치의 투과율 프로파일에 있어서, 예를 들면, 백 리플렉터를 갖는 투명태양광으로서, ZnO의 두께가 각각 75, 100, 150, 200 nm인 백 리플렉터-투명태양광발전장치의 (0.440, 0.408), (0.418, 0.400), (0.419, 0.413), (0.439, 0.408), 및 백 리플렉터가 없는 투명태양광발전장치의 (0.423, 0.399)에서 뚜렷한 색도 좌표를 나타낸다

[0184] 두 가지 색상 영역은 CIE 그림에서 정의되며, T 특성에 따른 색상 좌표에 대한 빨간색 영역과 R 특성에 대한 파

란색 영역이 있다(도 7e, 오른쪽). R을 통한 백 리플렉터-투명태양광발전장치의 색상 외관은 CIE에서 넓은 영역을 제공한다. 이는 두께 제어를 통한 백 리플렉터-투명태양광발전장치의 색상 조정성이 선명한 색상 외관으로 이어진다는 것을 보여준다. ZnO의 백 리플렉터 소자는 노란색(75 nm), 금색(100 nm), 분홍색(150 nm), 옅은 녹색(200 nm) 등 선명한 색상을 보였다.

[0185] 두 번째 ZnO 층을 갖는 투명태양광발전장치 장치는 태양 전지 성능을 위해 조사되었다. 제2 백 리플렉터-투명태양광발전장치 셀은 도 7f에서 보는 바와 같이 ~720 mV의 향상된 V_{OC} 값을 나타내었다. V_{OC} 값은 75~200nm의 두께 변화에 대해 일관성을 보였다. 특히, 이 장치들은 AM 1.5G 조명에 대해 3.1~3.81mA의 I_{SC}를 보였다.

[0186] 이러한 성능은 백색 배경(white background)을 통해 전송된 광자를 재처리함으로써 더욱 향상되었다. 기능적인 ZnO 백리플렉터 필름에 의해 얻어진 효율은 BIPV와 같은 투명태양광발전장치에 대한 응용가능성을 보여준다.

[0187] 그림 7g에 나타낸 제2 ZnO 백 리플렉터의 두께에 따른 n과 I_{SC}의 성능은 일관된 출력을 보여준다. n와 J_{SC} 모두 AM 1.5G 하에서 백색 배경을 통해 광생성 전하의 수집이 개선되어 향상된 성능을 보였다. 특히, 200nm ZnO 내장 투명태양광발전장치 소자에서 나타나는 배경효과(background effect)는 AM 1.5G보다 30% 많은 0.80%의 h 값을 보였다.

[0188] 도 7h는 ZnO가 내장된 AgNW 나노 구조를 나타내는 투명태양광발전장치의 상단 전극 지형을 보여준다 . 스퍼터링 법을 통해 상온에서 성장한 대면적 ZnO는 서브 나노미터 두께 조절로 컨포멀(conformal) 코팅을 제공하였다.

[0189] 도 8i는 ZnO/AgNW 시료의 원소 분석 및 고각 환상 다크 필드(high-angle annular dark-field) 영상을 나타낸다. 결과는 AgNW 상단 전극에서 ~10nm의 등각(conformal) 두께로 ZnO 막 두께가 정밀하게 제어되는 것을 확인할 수 있다.

[0191] 백 리플렉터 구현과 함께, 투명태양광발전장치의 양면 작동에 따라, 본 발명의 실시예에 따른 투명태양광발전장치에서의 전면(FTO) 및 후면(AgNW/ZnO) 측에서도 높은 성능을 발휘할 수 있다. 이 결과는 AM1.5G 조명에서 전면 및 후면의 발전을 보여준다. 이 장치는 전면 조명 방향과 백라이트 조명 방향으로 각각 0.72%, 0.67%의 전력 변환 효율을 제공한다.

[0193] 도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 투명태양광발전장치의 전기적 실험결과를 도시한다.

[0194] 투명태양광발전장치의 큰 장점 중 하나는 약한 빛 환경에서 전력을 생산할 수 있다는 것이다. 저조도에서의 발전은 사물인터넷의 센서, 액추에이터 및 통신 객체와 같은 소형 전력 전자 장치를 지원할 수 있는 실내 광 태양광 발전에 매우 바람직하다.

[0195] 스펙트럼 의존성을 구별하기 위해, 발광 다이오드(LED)와 AM 1.5G의 스펙트럼 조사율을 비교하였다. LED 방사광도는 450 nm 부근의 강렬한 피크와 가시적인 파장을 따라 결합된 영역을 보여준다. 백 리플렉터가 내장된 투명태양광발전장치는 도 8a와 같이 흰색 LED 조명 아래 실내 태양광 발전용으로 시연되었으며 현장 전력 생산을 제공하였다.

[0196] 전력(1mW/cm^2에서 50mW/cm2)을 변화시킴으로써, 투명태양광발전장치가 증가하는 LED 광강도 (Light intensity)로 추가적인 태양광 전력을 생성한다는 것을 알 수 있다.

[0197] JSC는 LED 광강도가 감소함에 따라 급격하게 감소하지만 VOC는 낮은 광강도에서도 유지된다.

[0198] AM 1.5G와 LED 실내광 사이의 백 리플렉터-투명태양광발전장치 성능을 비교하기 위해 통합 JSC는 도 8b는 광 강도에 따른 전류특성을 표시된다. AM 1.5G와 실내 LED 조명에서 투명태양광발전장치 장치의 통합 J_{SC}에서 상당한 차이가 나타난다. LED 광원의 스펙트럼 조사도는 450nm에서 높은 광자 플럭스와 이 영역에서 다루는 총 전력의 상당 부분을 제공한다.

[0199] 한편, 총 100 mW/cm^2의 AM 1.5G의 스펙트럼 조사는 UV(~9 mW/cm^2), 가시광선(~54.4 mW/cm^2), IR(~30.2 mW/cm^2)의 광대역 영역에 걸쳐 분포한다.

[0200] 그러나, 백 리플렉터-투명태양광발전장치의 EQE 값에서 볼 수 있듯이, 얇은 Si는 주로 근청색 파장 영역에서 전

력을 발생시킨다는 것을 고려하면, 백 리플렉터-투명태양광발전장치는 동일한 강도의 AM 1.5G보다 실내 LED 광원에서 더 효율적인 전력을 생성한다.

[0201] 정량적 비교를 위해 그림 8c는 AM 1.5G와 실내 LED 조명의 다양한 강도에서 통합된 JSC를 보여준다. 한편, 하기의 표는 J_{SC}와 AM 1.5G인 J_{SC}를 나누어 얻은 JSC 비율을 비교하여 각 광원의 성능을 비교한다.

[0203]

Absorber material	Light source	P_{light} (mW/cm^2)	AVT (%)	A (cm^2)	V_{OC} (V)	I_{SC} (mA)	J_{SC} (mA/cm^2)	FF (%)	η (%)	P_{out} (mW)	Ref.
a-Si	AM 1.5G	100	44.9	16	0.787	40.8	2.55	33.9	0.68	10.88	This study
				10.24	0.792	26.5	2.59	31.5	0.66	6.61	
				4	0.771	11.29	2.67	31.5	0.65	2.74	
				1.4	0.7	3.74	2.67	30.8	0.58	0.81	
	White LED	2			0.662	0.518	0.37	31	3.80	0.11	
		3.8			0.645	0.924	0.66	31.5	3.53	0.19	
		8			0.61	1.96	1.4	31.5	3.36	0.38	
		12.5			0.57	2.94	2.1	33.9	3.25	0.57	
	UV-390 nm	20			0.7	7.00	5.00	34.0	5.96	1.66	
ZnO	UV	40	60	1	0.54	7.73	7.73	28	2.92	1.74	[57]
TiO_2	UV	120	60	2	0.80	25	25	30	5.00	12.65	[58]
SnS	UV	60	56	1	0.764	18.5	18.5	42	9.89	5.94	[44]
Lead halide	AM1.5G	100	69	0.05	1.07	0.101	2.02	55	1.19	0.06	[59]
Organic	AM1.5G	100	37.4	0.04	0.74	0.8	20	69.9	10.3	0.41	[60]
Organic	AM1.5G	100	21.4	0.1	0.76	2.108	21.08	58.1	9.37	0.93	[40]
Organic	AM1.5G	100	41.6	0.04	0.71	0.556	13.9	62.6	6.2	0.248	[61]

[0205] 실내 조명(빨간색)에 통합된 J_{SC}는 AM 1.5G(파란색)와 동일한 광도에서 훨씬 높은 전류를 생성한다. 두 광원의 통합 J_{SC} 비율은 백 리플렉터-투명태양광발전장치에 대한 광원의 주목할 만한 역할을 나타낸다. 이는 백 리플렉터가 내장된 투명태양광발전장치가 AM 1.5G보다 저강도 실내광에서 351% 더 많은 전류를 발생시킨다는 것을 보여준다.

[0207] 무기질 투명태양광발전장치의 가장 적합한 특징은 재생성 및 환경 안정성이다. 본 발명은 대면적으로도 생성이 가능하고 규모의 이점을 강조하기 위해 백 리플렉터-투명태양광발전장치는 1.4~16cm^{2}의 면적에 대해 준비되었다. 다양한 크기의 디바이스들의 I_{SC} 및 J_{SC} 값은 도 8d와 같이 정비례 스케일링을 보여준다.

[0208] I_{SC} 전류는 16cm^{2}의 투명태양광발전장치 크기의 경우 40.64 mA, 1.4cm^{2}의 투명태양광발전장치 크기의 경우 2.55 mA/cm^{2}의 JSC와 동등하거나 2.67 mA/cm^{2}였다.

[0209] 외부 조건에 노출된 건물과 물체에 사용할 수 있는 신뢰할 수 있는 발전을 보장하기 위해서도 투명태양광발전장치의 환경 안정성은 필수적이다. 백 리플렉터-투명태양광발전장치 장치는 도 8f와 같이 100일 동안 모니터링되었다. 특별한 캡슐화나 보호 체계가 없어도 전력 요인(광유도 전압 및 전류)은 다른 유형의 투명태양광발전장치와 달리 장기적으로 안정적인 성능을 보여주었다.

[0210] 무기질 투명태양광발전장치의 독특한 장점은 스케일업 기능과 장기적인 안정성이며, 수상 태양광 발전과 같은 독특한 장점을 제공할 것이다. 대형 투명태양광발전장치(16cm^2)는 표준 AM 1.5 G에서 0.68%의 효율(h)을 가지며 흰색 배경에서 0.8%의 효율을 갖는다. AM 1.5 G (1,000 W/m^2)의 전력으로, 대면적 투명태양광발전장치는 7 W/m^2 이상의 현장 독립 전력을 제공할 수 있다.

[0211] 건물 및 차량의 백 리플렉터-투명태양광발전장치 셀은 쾌적하고 선명한 색상으로 현장 전력을 생성할 수 있다. 이들은 도 8g에 표시된 것처럼 자체 지속 가능한 에너지 시스템을 위한 건축 재료로 사용할 수 있다. 고유 밴드갭으로 인해 백 리플렉터-투명태양광발전장치는 가시광선 및 IR 광자의 높은 투과율을 제공하며 나중에 전체 스펙트럼 활용을 달성할 수 있다.

[0213] 또한, 본 발명의 실시예에 따른 투명태양광발전장치는 자연적인 태양 조건에서 선풍기에 전력을 공급하여 장치를 구현할 수 있다. 도 8h와 같이, 본 발명의 실시예에 따른 투명태양광발전장치는 자연적인 햇빛(약 83mW/cm^2) 아래에서 DC 팬(7.5mW 부하)을 작동시키는 현장 전력을 생산했다.

[0214] Al-doped ZnO(AZO)의 경우, 보다 낮은 저항을 갖는 ZnO 물질의 유도체로서, 표 1과 같이 투명태양광발전장치 성

능이 3.02% 크게 향상될 수 있다.

[0216] 이상과 같이, 본 발명에서는 마그네트론 스퍼터링 방법으로 상온에서 준비된 대규모 고유 ZnO 필름이 실제 투명 태양광발전장치 셀에서 후면 리플렉터 필름으로 사용될 수 있음을 입증했다. ZnO 막은 기본 초박막 a-Si 층과 더 나은 접합을 성공적으로 형성한다. 백 리플렉터 기능이 있는 후속 AgNW 탑 전극에도 유용하다.

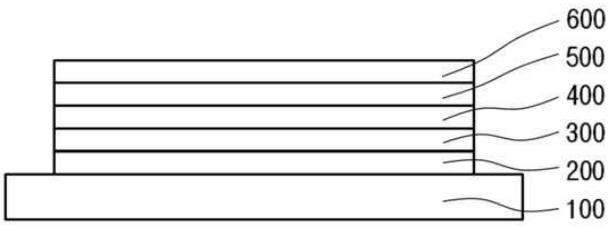
[0217] 다양한 유형의 백 리플렉터-투명태양광발전장치는 장치 성능을 현저하게 향상시킬 수 있으며 투과율과 반사율 모두를 참조하여 다채로운 장치를 생성할 수 있다. ZnO을 포함하는 백 리플렉터를 갖는 a-Si 투명태양광발전장치 셀은 AVT >40%를 나타내며 골드, 옐로우, 핑크, 연두색 등 외부 관찰자가 볼 수 있는 선명한 색상을 보여준다

[0218] 또한, 본 발명의 실시예에 따르면, 표준 AM 1.5G의 경우 0.68%, 실내 LED의 경우 3.8%, UV의 경우 5.96%의 일관된 n값을 제공한다.밝은 조명. 백 리플렉터 내장 투명태양광발전장치는 실제 저강도 실내 LED 광원에 더 적합한 현장 발전기로 유용한 것으로 입증되었다. 또한, 본 발명에 따른 백 리플렉터 임베디드 투명태양광발전장치 셀은 100일 이상 환경 안정성이 우수한 현장 전력 생산을 시연했다. 이 접근법은 햇빛만으로 선풍기를 가동할 수 있는 충분한 전력이 현장 (on-site)에서 즉시적으로 생산될 수 있는 것을 확인하였다. 이러한 기술의 진보를 통해서 건물과 차량 등의 구조물에 적용되어 필요한 전기를 현장에서 즉시적으로 생산할 수 있는 가능성을 보여준다.

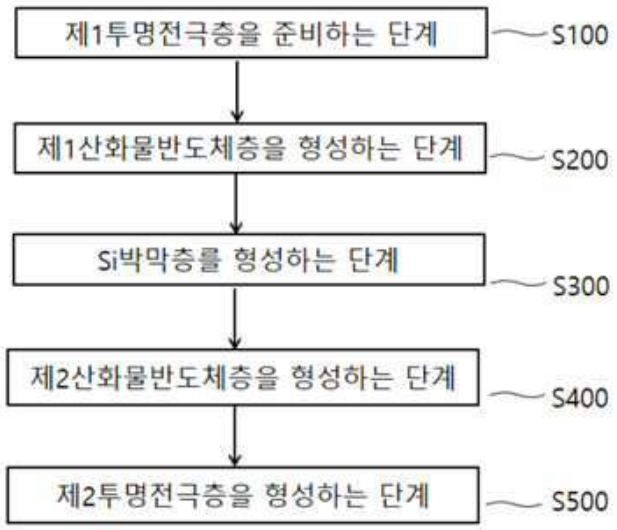
[0220] 제시된 실시예들에 대한 설명은 임의의 본 발명의 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 본 발명을 이용하거나 또는 실시할 수 있도록 제공된다. 이러한 실시예들에 대한 다양한 변형들은 본 발명의 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 명백할 것이며, 여기에 정의된 일반적인 원리들은 본 발명의 범위를 벗어남이 없이 다른 실시예들에 적용될 수 있다. 그리하여, 본 발명은 여기에 제시된 실시예들로 한정되는 것이 아니라, 여기에 제시된 원리들 및 신규한 특징들과 일관되는 최광의의 범위에서 해석되어야 할 것이다.

도면

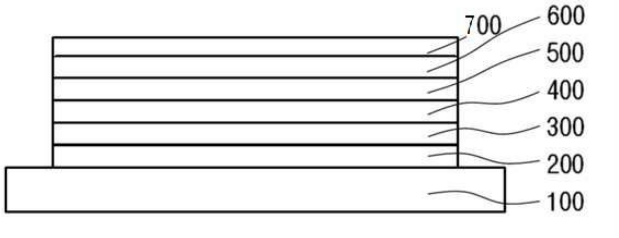
도면1



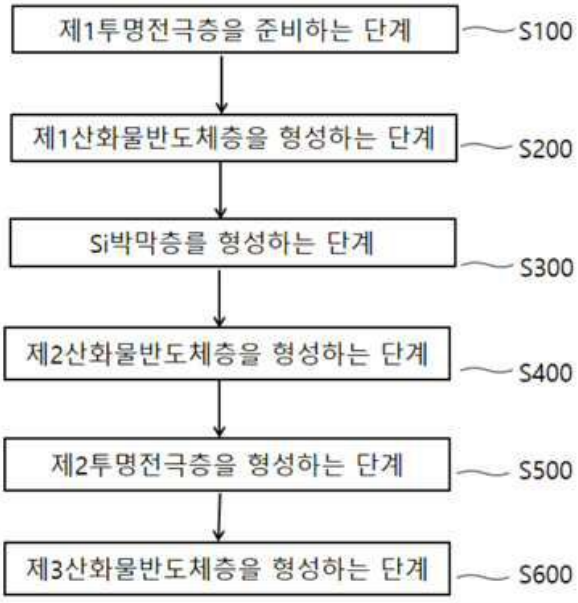
도면2


제1투명전극층을 준비하는 단계
S100
제1산화물반도체층을 형성하는 단계
S200
Si박막층를 형성하는 단계
S300
제2산화물반도체층을 형성하는 단계
S400
제2투명전극층을 형성하는 단계
S500

도면3


700
600
500
400
300
200
100

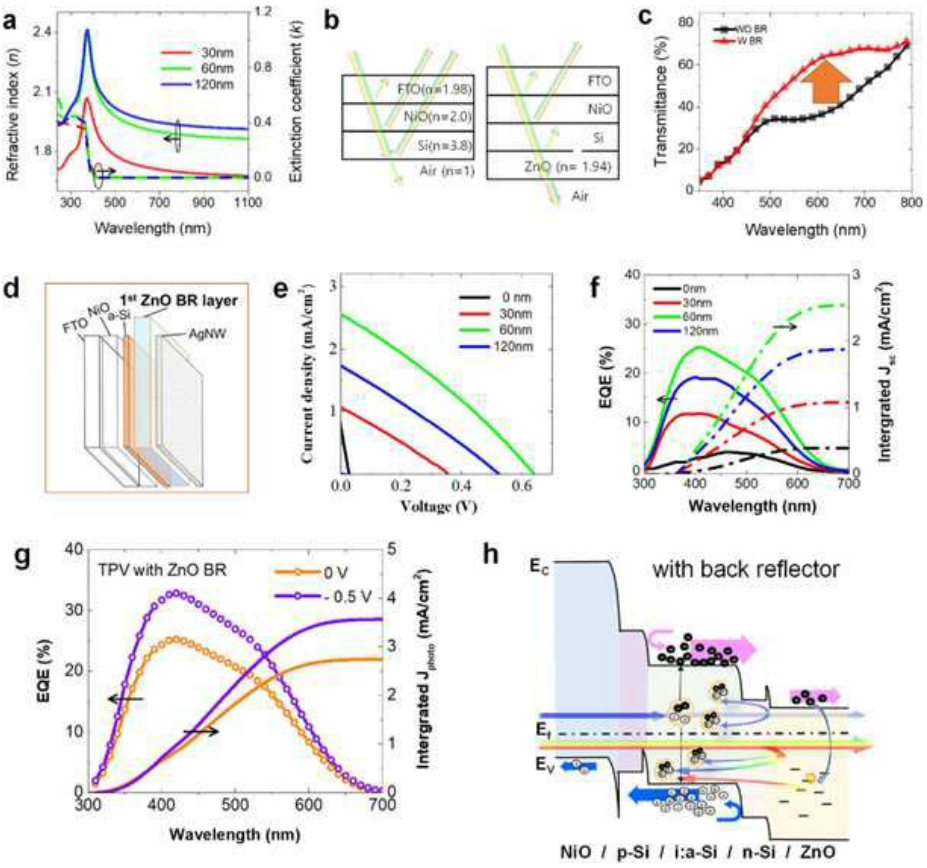
도면4


제1투명전극층을 준비하는 단계
S100
제1산화물반도체층을 형성하는 단계
S200
Si박막층를 형성하는 단계
S300
제2산화물반도체층을 형성하는 단계
S400
제2투명전극층을 형성하는 단계
S500
제3산화물반도체층을 형성하는 단계
S600

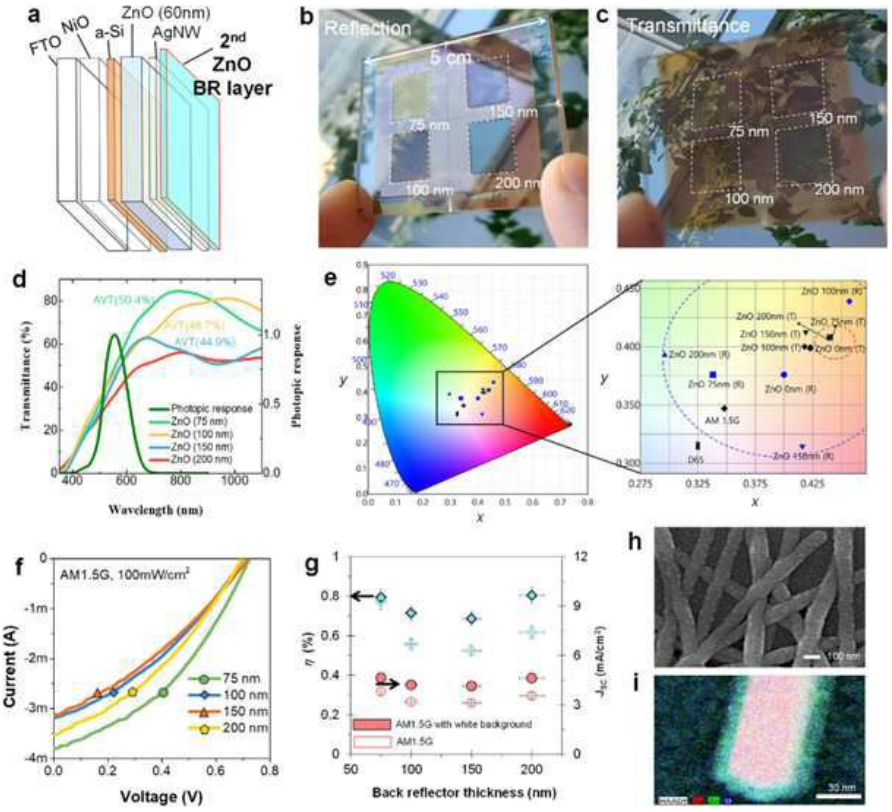
도면5


a
FTO
NiO
a-Si
ZnO (1st) Back reflector
AgNW
ZnO (2nd) Back reflector
Onsite power
b
ZnO
Si
NiO
100nm
c
Window Tinting Film
Transparent photovoltaic
d
ZnO back reflector embedded TPV
e
f
Wind-shield & Sunroof
TPV
g
TPV
16cm² Si-TPV

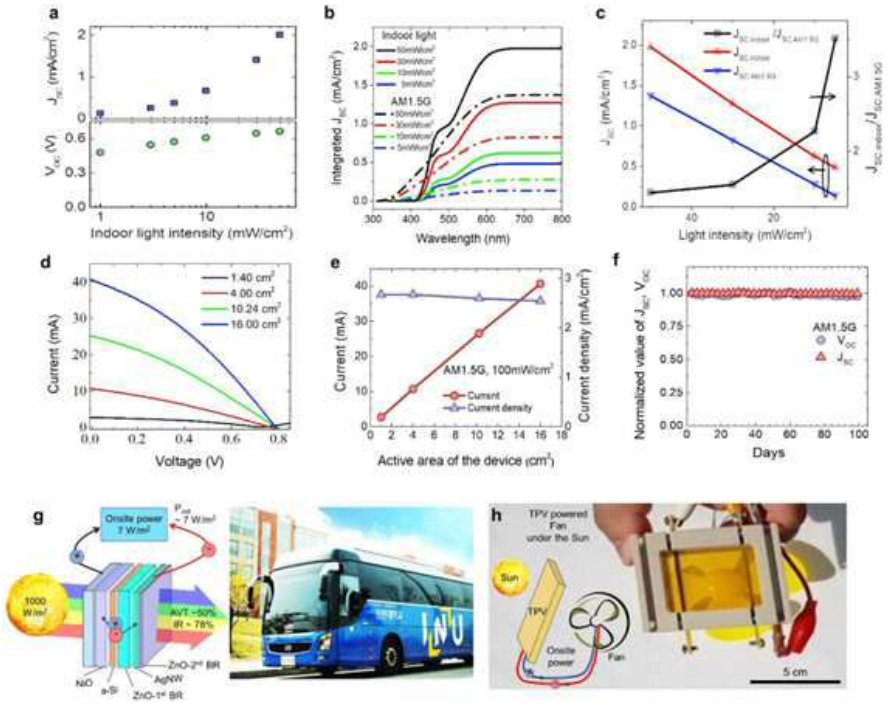
도면6


a
Refractive index (n)
Extinction coefficient (k)
30nm
60nm
120nm
Wavelength (nm)
b
FTO(n=1.98)
NiO(n=2.0)
Si(n=3.8)
Air (n=1)
FTO
NiO
Si
ZnO (n= 1.94)
Air
c
W/O BR
W BR
Transmittance (%)
Wavelength (nm)
d
1st ZnO BR layer
FTO
NiO
a-Si
AgNW
e
Current density (mA/cm²)
0 nm
30nm
60nm
120nm
Voltage (V)
f
EQE (%)
Intergrated Jsc (mA/cm²)
Wavelength (nm)
g
TPV with ZnO BR
0 V
- 0.5 V
EQE (%)
Intergrated Jphoto (mA/cm²)
Wavelength (nm)
h
Ec
with back reflector
Ef
Ev
NiO / p-Si / i:a-Si / n-Si / ZnO

도면7


a
FTO
NiO
a-Si
ZnO (60nm)
AgNW
2nd ZnO BR layer
b
Reflection
5 cm
75 nm
150 nm
100 nm
200 nm
c
Transmittance
75 nm
150 nm
100 nm
200 nm
d
Transmittance (%)
Photopic response
Wavelength (nm)
Photopic response
ZnO (75 nm)
ZnO (100 nm)
ZnO (150 nm)
ZnO (200 nm)
e
x
y
AM 1.5G
D65
f
AM1.5G, 100mW/cm²
Current (A)
Voltage (V)
75 nm
100 nm
150 nm
200 nm
g
η (%)
Back reflector thickness (nm)
AM1.5G with white background
AM1.5G
h
100 nm
i
50 nm

도면8


a
Indoor light intensity (mW/cm²)
b
Indoor light
AM1.5G
Integrated J_SC (mA/cm²)
Wavelength (nm)
c
Light intensity (mW/cm²)
d
1.40 cm²
4.00 cm²
10.24 cm²
16.00 cm²
Current (mA)
Voltage (V)
e
AM1.5G, 100mW/cm²
Current
Current density
Current (mA)
Current density (mA/cm²)
Active area of the device (cm²)
f
AM1.5G
Normalized value of J_SC, V_OC
Days
g
Onsite power
1000 W/m²
ZnO-2nd BR
AgNW
NiO
a-Si
ZnO-1st BR
h
TPV powered Fan under the Sun
Sun
TPV
Onsite power
Fan
5 cm