



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0106342
(43) 공개일자 2024년07월08일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G01N 21/31 (2006.01) G01B 11/24 (2006.01)

G01N 27/00 (2021.01) G01R 1/067 (2006.01)

G01R 19/00 (2021.01) G01R 29/12 (2006.01)

H01L 31/0216 (2014.01) H01L 31/0328

(2006.01)

H01L 31/072 (2006.01) H01L 31/18 (2006.01)

(52) CPC특허분류

G01N 21/31 (2013.01)

G01B 11/24 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2022-0189104

(22) 출원일자 2022년12월29일

심사청구일자 2022년12월29일

(71) 출원인

인천대학교 산학협력단

인천광역시 연수구 갯벌로 27, 인천대학교 이노베이션센터(송도동)

이화여자대학교 산학협력단

서울특별시 서대문구 이화여대길 52 (대현동, 이화여자대학교)

(72) 발명자

김준동

인천광역시 연수구 컨벤시아대로130번길 32 송도자이하버뷰2단지아파트 207동 1402호

파텔 말케시 쿠마르

인천광역시 연수구 송도국제대로 261 송도더샵센트럴시티 202동 502호

김동욱

서울특별시 영등포구 국제금융로7길 20 대교아파트 3동 207호

(74) 대리인

강정빈, 심찬

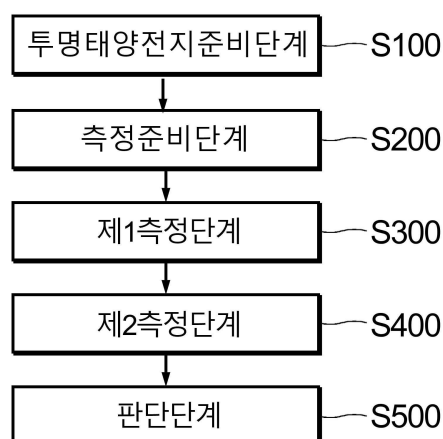
전체 청구항 수 : 총 8 항

(54) 발명의 명칭 투명 태양전지의 광학적 특성을 분석하는 방법 및 장치

(57) 요약

본 발명은 투명 태양전지의 광학적 특성을 분석하는 방법 및 장치에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 투명 태양전지의 파장 선택성에 따른 광 흡수 캐리어 생성-수집 거동을 보다 용이하게 파악할 수 있어, 상기 투명 태양전지의 성능이 SQ한계에 상응하는 수준으로 도달할 수 있도록 하는, 투명 태양전지의 광학적 특성을 분석하는 방법 및 장치에 관한 것이다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

G01N 27/002 (2013.01)
G01R 1/06711 (2013.01)
G01R 19/0084 (2013.01)
G01R 29/12 (2013.01)
H01L 31/02167 (2013.01)
H01L 31/0328 (2013.01)
H01L 31/072 (2013.01)
H01L 31/1884 (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

명세서

청구범위

청구항 1

투명 태양전지의 광학적 특성을 분석하는 방법으로서,

투명 태양전지를 준비하는 투명태양전지준비단계;

상기 투명 태양전지의 광학적 특성을 측정하기 위해 환경을 조성하는 측정준비단계;

캘빈프로브를 포함하는 캔틸레버 상면에 적외선 레이저 다이오드를 조사하여 상기 투명 태양전지의 표면형상을 측정하는 제1측정단계;

상기 투명 태양전지의 상면에 자외선 내지 가시광선을 포함하는 광원을 조사하여 상기 투명 태양전지의 상면과 측정장치 사이의 접촉전위차(CPD)를 측정하는 제2측정단계; 및

상기 측정값을 기반으로 상기 투명 태양전지 내부에서의 캐리어 거동을 판단하는 판단단계;를 포함하는, 투명 태양전지의 광학적 특성을 분석하는 방법.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 제2측정단계는,

상기 투명 태양전지의 상면에 광원을 조사하는 광원조사단계;

상기 투명 태양전지 내부의 캐리어 거동을 측정하는 측정장치에 1 내지 5V의 진폭, 및 1 내지 50kHz의 주파수를 갖는 AC전압을 인가하는 전압인가단계; 및

상기 투명 태양전지의 상면과 측정장치 사이의 접촉전위차를 측정하는 CPD측정단계;를 포함하는, 투명 태양전지의 광학적 특성을 분석하는 방법.

청구항 3

청구항 1에 있어서,

상기 판단단계에서는,

상기 제2측정단계를 통해 측정된 측정값을 기반으로, 상기 투명 태양전지의 실제 공간의 시각화데이터를 구현하는 시각화데이터구현단계; 및

상기 시각화데이터를 기반으로, 상기 광원 하에서 상기 투명 태양전지 내부에서의 대역간 광여기캐리어 및 결합 매개 광여기캐리어 거동을 판단하는 광캐리어거동판단단계;를 포함하는, 투명 태양전지의 광학적 특성을 분석하는 방법.

청구항 4

청구항 1에 있어서,

상기 투명태양전지준비단계는,

유리기판층을 배치하는 단계;

상기 유리기판층 위에 제1투명전극층을 배치하는 단계;

상기 제1투명전극층 위에 버퍼층을 배치하는 단계;
 상기 버퍼층 위에 n타입산화물층을 배치하는 단계;
 상기 n타입산화물층 위에 p타입산화물층을 배치하는 단계;
 상기 p타입산화물층 위에 제2투명전극층을 배치하는 단계; 및
 상기 제2투명전극층 위에 보호층을 배치하는 단계;를 포함하고,
 상기 n타입산화물층 및 p타입산화물층에 의해 p-n 이종접합 구조가 형성되는, 투명 태양전지의 광학적 특성을 분석하는 방법.

청구항 5

청구항 4에 있어서,
 상기 n타입산화물층은 1 내지 1000nm의 두께를 가지는, 투명 태양전지의 광학적 특성을 분석하는 방법.

청구항 6

투명 태양전지의 광학적 특성을 분석하는 장치로서,
 투명 태양전지를 준비하는 투명태양전지준비부;
 상기 투명 태양전지를 측정하기 위해 환경을 조성하는 측정준비부;
 켈빈프로브를 포함하는 캔틸레버 상면에 적외선 레이저 다이오드를 조사하여 상기 투명 태양전지의 표면형상을 측정하는 제1측정부;
 상기 투명 태양전지의 상면에 자외선 내지 가시광선을 포함하는 광원을 조사하여 상기 투명 태양전지의 상면과 측정장치 사이의 접촉전위차(CPD)를 측정하는 제2측정부; 및
 상기 측정값을 기반으로 상기 투명 태양전지 내부에서의 캐리어 거동을 판단하는 판단부;를 포함하는, 투명 태양전지의 광학적 특성을 분석하는 장치.

청구항 7

청구항 6에 있어서,
 상기 제2측정부는,
 상기 투명 태양전지의 상면에 광원을 조사하는 광원조사부;
 상기 투명 태양전지 내부의 캐리어 거동을 측정하는 측정장치에 1 내지 5V의 진폭, 및 1 내지 50kHz의 주파수를 갖는 AC전압을 인가하는 전압인가부; 및
 상기 투명 태양전지의 상면과 측정장치 사이의 접촉전위차를 측정하는 CPD측정부;를 포함하는, 투명 태양전지의 광학적 특성을 분석하는 장치.

청구항 8

청구항 6에 있어서,
 상기 판단부는,
 상기 제2측정단계를 통해 측정된 측정값을 기반으로, 상기 투명 태양전지의 실제 공간의 시각화데이터를 구현하는 시각화데이터구현부; 및

상기 시각화데이터를 기반으로, 상기 광원 하에서 상기 투명 태양전지 내부에서의 대역간 광여기캐리어 및 결합 매개 광여기캐리어 거동을 판단하는 광캐리어거동판단부;를 포함하는, 투명 태양전지의 광학적 특성을 분석하는 장치.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 투명 태양전지의 광학적 특성을 분석하는 방법 및 장치에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 투명 태양전지의 파장 선택성에 따른 광 흡수 캐리어 생성-수집 거동을 보다 용이하게 파악할 수 있어, 상기 투명 태양전지의 성능이 SQ한계에 상응하는 수준으로 도달할 수 있도록 하는, 투명 태양전지의 광학적 특성을 분석하는 방법 및 장치에 관한 것이다.

배경 기술

[0003] 종래의 투명 태양전지는 페로브스카이트를 포함하는 다양한 2차원 무기물 및 금속 산화물을 포함하는 구조를 가지고 있어서 0.1 내지 0.4%의 전력변환효율(PCE)을 구현한다고 보고되고 있다. 다만 이는 자외선 광을 선택적으로 흡수하는 투명 태양전지의 SQ한계인 3.66%보다 상당히 낮은 실정이다. 이때, SQ한계란 단일 태양전지가 구현할 수 있는 최대의 PCE를 뜻한다.

[0004] 투명 태양전지의 산업용 목표는 최대의 PCE를 가지면서 가시성을 보장하는 데에 있지만, 상기의 두 목표가 상충하기 때문에 이와 같은 문제점이 발생한다. 이를 해결하기 위해서, 투명 태양전지의 광캐리어의 거동 프로세스 및 메커니즘을 나노스케일로 연구할 수 있는 분석방법 및 장치가 필요한 실정이다.

[0005] 한편 켈빈프로브 포스 마이크로스코피(Kelvin Probe Force Microscopy, KPFM, 이하 켈빈프로브)를 이용하여 태양전지의 효율을 개선하기 위한 연구가 진행중이다. 켈빈프로브는 국부영역에서 개방회로전압(V_{oc})과 표면전위변화를 조사하기 위한 유용한 나노스코픽 특성화 도구이다. 종래에는 켈빈프로브를 이용한 분석을 통해 태양전지의 실시간 V_{oc} 역학, 전자 확산 길이, 및 캐리어 수명과 입자 크기의 상호관계가 태양전지의 성능을 결정하는 주요한 요인으로 제안된 바 있다.

[0006] 다만 상기 연구는 가시광선을 투과하고 자외선을 흡수하여 전력발전시키는 자외선을 선택적으로 이용하는 투명 태양전지에 대해서는 진행된 바가 없다.

[0007] 본 발명에서는 켈빈프로브를 이용한 투명 태양전지의 광학적 특성을 100nm 스케일의 분해능으로 시각화하고, 이를 사용하여 투명 태양전지의 광학적 특성을 분석하는 방법 및 장치를 제안한다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0009] 본 발명은 투명 태양전지의 광학적 특성을 분석하는 방법 및 장치에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 투명 태양전지의 파장 선택성에 따른 광 흡수 캐리어 생성-수집 거동을 보다 용이하게 파악할 수 있어, 상기 투명 태양전지의 성능이 SQ한계에 상응하는 수준으로 도달할 수 있도록 하는, 투명 태양전지의 광학적 특성을 분석하는 방법 및 장치를 제공하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

[0011] 상기와 같은 과제를 해결하기 위하여 본 발명의 일 실시예는, 투명 태양전지의 광학적 특성을 분석하는 방법으로서, 투명 태양전지를 준비하는 투명태양전지준비단계; 상기 투명 태양전지의 광학적 특성을 측정하기 위해 환경을 조성하는 측정준비단계; 상기 투명 태양전지에 적외선 레이저 다이오드를 조사하여 상기 투명 태양전지의 표면형상을 측정하는 제1측정단계; 상기 투명 태양전지의 상면에 자외선 내지 가시광선을 포함하는 광원을 조사하여 상기 투명 태양전지의 상면과 측정장치 사이의 접촉전위차(CPD)를 측정하는 제2측정단계; 및 상기 측정값

을 기반으로 상기 투명 태양전지 내부에서의 캐리어 거동을 판단하는 판단단계;를 포함하는, 투명 태양전지의 광학적 특성을 분석하는 방법을 제공한다.

[0012] 본 발명의 몇 실시예에서는, 상기 제2측정단계는, 상기 투명 태양전지의 상면에 광원을 조사하는 광원조사단계; 상기 투명 태양전지 내부의 캐리어 거동을 측정하는 측정장치에 1 내지 5V의 진폭, 및 1 내지 50kHz의 주파수를 갖는 AC전압을 인가하는 전압인가단계; 및 상기 투명 태양전지의 상면과 측정장치 사이의 접촉전위차를 측정하는 CPD측정단계;를 포함할 수 있다.

[0013] 본 발명의 몇 실시예에서는, 상기 판단단계에서는, 상기 제2측정단계를 통해 측정된 측정값을 기반으로, 상기 투명 태양전지의 실제 공간의 시각화데이터를 구현하는 시각화데이터구현단계; 및 상기 시각화데이터를 기반으로, 상기 광원 하에서 상기 투명 태양전지 내부에서의 대역간 여기 광캐리어 및 결합매개 여기 광캐리어 거동을 판단하는 캐리어거동판단단계;를 포함할 수 있다.

[0014] 본 발명의 몇 실시예에서는, 상기 투명태양전지준비단계는, 유리기판층을 배치하는 단계; 상기 유리기판층 위에 제1투명전극층을 배치하는 단계; 상기 제1투명전극층 위에 버퍼층을 배치하는 단계; 상기 버퍼층 위에 n타입산화물층을 배치하는 단계; 상기 n타입산화물층 위에 p타입산화물층을 배치하는 단계; 상기 p타입산화물층 위에 제2투명전극층을 배치하는 단계; 및 상기 제2투명전극층 위에 보호층을 배치하는 단계;를 포함할 수 있다.

[0015] 본 발명의 몇 실시예에서는, 상기 n타입산화물층은 1 내지 1000nm의 두께를 가질 수 있다.

[0017] 상기과 같은 과제를 해결하기 위하여 본 발명의 일 실시예는, 투명 태양전지의 광학적 특성을 분석하는 장치로서, 투명 태양전지를 준비하는 투명태양전지준비부; 상기 투명 태양전지를 측정하기 위해 환경을 조성하는 측정준비부; 상기 투명 태양전지에 적외선 레이저 다이오드를 조사하여 상기 투명 태양전지의 표면형상을 측정하는 제1측정부; 상기 투명 태양전지의 상면에 자외선 내지 가시광선을 포함하는 광원을 조사하여 상기 투명 태양전지의 상면과 측정장치 사이의 접촉전위차(CPD)를 측정하는 제2측정부; 및 상기 측정값을 기반으로 상기 투명 태양전지 내부에서의 캐리어 거동을 판단하는 판단부;를 포함하는, 투명 태양전지의 광학적 특성을 분석하는 장치 제공한다.

[0018] 본 발명의 몇 실시예에서는, 상기 제2측정부는, 상기 투명 태양전지의 상면에 광원을 조사하는 광원조사부; 상기 투명 태양전지 내부의 캐리어 거동을 측정하는 측정장치에 1 내지 5V의 진폭, 및 1 내지 50kHz의 주파수를 갖는 AC전압을 인가하는 전압인가부; 및 상기 투명 태양전지의 상면과 측정장치 사이의 접촉전위차를 측정하는 CPD측정부;를 포함할 수 있다.

[0019] 본 발명의 몇 실시예에서는, 상기 판단부에서는, 상기 제2측정단계를 통해 측정된 측정값을 기반으로, 상기 투명 태양전지의 실제 공간의 시각화데이터를 구현하는 시각화데이터구현부; 및 상기 시각화데이터를 기반으로, 상기 광원 하에서 상기 투명 태양전지 내부에서의 대역간 여기된 광캐리어 및 결합매개된 광캐리어 거동을 판단하는 캐리어거동판단부;를 포함할 수 있다.

발명의 효과

[0021] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 투명 태양전지의 파장 선택성에 따른 광흡수 및 캐리어 생성-수집 거동을 보다 용이하게 파악할 수 있어, 투명 태양전지의 성능이 SQ한계에 상응하는 수준으로 도달할 수 있도록 하는 투명 태양전지의 광학적 특성 분석방법을 제공할 수 있는 효과를 발휘할 수 있다.

[0022] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 투명 태양전지의 광학적 특성을 분석하는 방법은 투명 태양전지의 광여기캐리어 거동 프로세스를 확인할 수 있다.

[0023] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 투명 태양전지의 광학적 특성을 분석하는 방법은 자외선 및 가시광선 파장영역에서 대역간 광여기캐리어 및 결합매개 광여기캐리어의 판단에 대한 증거를 제공할 수 있다.

[0024] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 투명 태양전지의 광학적 특성을 분석하는 방법은 접촉전위차와 표면광전압을 나노스케일 공간분해능으로 시각화함으로써, 투명 태양전지 구조가 광전지 성능에 일정하게 기여하는지에 대한 여부를 판단할 수 있다.

[0025] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 투명 태양전지의 광학적 특성을 분석하는 방법을 이용하여 투명 태양전지에서의

광생성 캐리어의 거동 프로세스 및 메커니즘을 판단함으로써, 연구자에게 투명 태양전지의 성능을 향상시키기 위한 방향을 제시하는 효과를 발휘할 수 있다.

[0026] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 투명 태양전지의 광학적 특성을 분석함으로써, 투명 태양전지가 우수한 광학적 투명성을 구현하기 위한 성능을 도출할 수 있는 효과를 발휘할 수 있다.

[0027] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 투명 태양전지가 우수한 광학적 투명성을 구현하고 중성색(neutral color)을 확보함으로써, 건물 및 차량의 표면에 용이하게 적용되어 on-site 방식으로 전력을 생산할 수 있는 효과를 발휘할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0029] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 태양전지의 광학적 특성을 분석하는 방법을 개략적으로 도시한다.
- 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 태양전지가 구현된 실제 사진, 상기 투명 태양전지의 투과전자현미경(TEM) 단면, 및 상기 투명태양전지의 광학적 특성을 도시한다.
- 도 3는 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 태양전지의 파장에 따른 광흡수율을 도시한다.
- 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 태양전지가 어두운 환경에서 갖는 정류효과에 대한 사항을 도시한다.
- 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 태양전지의 광특성을 측정하는 장치의 개략도 및 개방회로전압에 대한 사항을 도시한다.
- 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 태양전지의 KPFM 측정값 및 이를 시각화한 매핑에 대한 사항을 도시한다.
- 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 태양전지의 광학적 특성을 분석하는 방법에서 사용되는 캘빈프로브 포스 마이크로스코피의 개략도를 도시한다.
- 도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 측정준비단계를 수행한 투명 태양전지와 그렇지 않은 투명 태양전지의 CPD를 비교하여 도시한다.
- 도 9 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 태양전지가 보이는 CPD 거동에 대한 사항을 도시한다.
- 도 10은 본 발명의 일 실시예에 따른 제2투명전극층과 계면을 이루는 보호층 상면(AgNW/ZnO) 및 p타입산화물층과 계면을 이루는 보호층 상면(NiO/ZnO) 간의 CDP 히스토그램에 대한 사항을 비교하여 도시한다.
- 도 11은 본 발명의 일 실시예에 따른 n타입산화물층의 두께 및 광원의 파장에 따른 광흡수율에 대한 사항을 도시한다.
- 도 12는 본 발명의 일 실시예에 따른 n타입산화물층의 두께가 투명 태양전지에 의해서 생산된 전력에 대해 미치는 영향, 및 광캐리어의 광여기 메커니즘에 대한 사항을 도시한다.
- 도 13은 본 발명의 일 실시예에 따른 상기 n타입산화물층과 p타입산화물층 박막의 Mott-Schottky 특성 플롯 및 이를 활용하여 계산한 에너지밴드 다이어그램 값에 대한 사항을 도시한다.
- 도 14는 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 태양전지의 평균가시투과율(AVT)계산에 사용된 광자 플럭스에 대한 사항을 도시한다.
- 도 15는 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 태양전지의 광학적 특성에 대한 사항을 도시한다.
- 도 16은 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 태양전지의 CIE 색도 다이어그램에 대한 사항을 도시한다.
- 도 17은 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 태양전지가 실제 현장발전에 사용된 실시예를 예시적으로 도시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0030] 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.

[0031] 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.

[0032] 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.

[0033] 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.

[0034] 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.

[0035] 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.

[0037] 투명 태양전지의 광캐리어의 거동 프로세스 및 메커니즘을 나노스케일로 연구할 수 있는 방법으로서, 켈빈프로브 포스 마이크로스코피(Kelvin Probe Force Microscopy, KPFM)가 이용되고 있다. 종래에는 켈빈프로브 포스 마이크로스코피를 이용한 분석을 통해 태양전지의 실시간 V_{oc} 역학, 전자 확산 길이, 및 캐리어 수명과 입자 크기의 상호관계가 태양전지의 성능을 결정하는 주요한 요인으로 제안된 바 있으나, 가시광선을 투과하고 자외선을 흡수하여 전력발전시키는 자외선을 선택적으로 이용하는 투명 태양전지에 대해서는 진행된 바가 없는 실정이다.

[0039] 본 발명에서는 켈빈프로브 포스 마이크로스코피를 이용하여, 투명 태양전지의 광캐리어의 거동과 생성 메커니즘을 상세하게 분석하는 방법을 제시한다.

[0040] 보다 상세하게는, 본 발명의 투명 태양전지의 광학적 특성을 분석하는 방법(이하, 분석방법)은 켈빈프로브 포스 마이크로스코피를 사용하여 상기 투명 태양전지의 상면의 표면지형을 측정하고, 상기 켈빈프로브 포스 마이크로스코피의 탐침(probe)과 상기 투명 태양전지 상면 사이의 접촉전위차(Contact Potential Difference, 이하 CDP)를 나노스코픽(nanosopic)하게 측정하는 것이 특징이다.

[0041] 이와 같은 특징에 의하여, 본 발명의 분석방법은 투명 태양전지에서의 광생성 전하의 공간분포를 용이하게 분석할 수 있고, 이를 통해 투명 태양전지에서의 광생성된 캐리어의 거동을 명확하게 분석할 수 있어 광여기된 캐리어의 여기 메커니즘을 효과적으로 분석할 수 있도록 한다.

[0043] 즉 본 발명의 분석방법은 투명 태양전지의 파장 선택성에 따른 광흡수 및 캐리어 생성-수집 거동을 보다 용이하게 파악할 수 있어, 투명 태양전지의 성능이 SQ한계에 상응하는 수준으로 도달할 수 있도록 한다.

[0045] 이하에서는 본 발명의 일 실시예에 따른 분석방법에 대하여 상세하게 서술하기로 한다.

- [0047] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 태양전지의 광학적 특성을 분석하는 방법을 개략적으로 도시한다.
- [0049] 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 태양전지의 광학적 특성을 분석하는 방법으로서, 투명 태양전지를 준비하는 투명태양전지준비단계(S100); 상기 투명 태양전지의 광학적 특성을 측정하기 위해 환경을 조성하는 측정준비단계(S200); 캘빈프로브를 포함하는 캔틸레버 상면에 적외선 레이저 다이오드를 조사하여 상기 투명 태양전지의 표면형상을 측정하는 제1측정단계(S300); 상기 투명 태양전지의 상면에 자외선 내지 가시광선을 포함하는 광원을 조사하여 상기 투명 태양전지의 상면과 측정장치 사이의 접촉전위차(CPD)를 측정하는 제2측정단계(S400); 및 상기 측정값을 기반으로 상기 투명 태양전지 내부에서의 캐리어 거동을 판단하는 판단단계(S500);를 포함할 수 있다.
- [0051] 상기 투명태양전지준비단계(S100)는 본 발명을 통해 분석하고자 하는 투명 태양전지를 준비하는 단계에 해당한다.
- [0052] 바람직하게는, 본 발명의 일 실시예에 따른 상기 투명태양전지준비단계(S100)는 유리기관층을 배치하는 단계(S110); 상기 유리기관층 위에 제1투명전극층을 배치하는 단계(S120); 상기 제1투명전극층 위에 버퍼층을 배치하는 단계(S130); 상기 버퍼층 위에 n타입산화물층을 배치하는 단계(S140); 상기 n타입산화물층 위에 p타입산화물층을 배치하는 단계(S150); 상기 p타입산화물층 위에 제2투명전극층을 배치하는 단계(S160); 및 상기 제2투명전극층 위에 보호층을 배치하는 단계(S170);를 포함할 수 있다.
- [0054] 상기 유리기관층을 배치하는 단계(S110), 및 상기 유리기관층 위에 제1투명전극층을 배치하는 단계(S120)에서는, 유리기관 상부에 제1투명전극층(이하, FTO/glass)을 형성할 수 있다. 본 발명의 일 실시예에서, 상기 FTO/glass는 $7\Omega/\square$ 의 시트저항값을 가지는 것이 바람직하다.
- [0055] 본 발명의 일 실시예에서는, 상기 FTO/glass는 메틸 알코올, 아세톤, 및 증류수 각각을 용매로 사용한 초음파세척을 1 내지 30분의 시간동안 수행하여 세척될 수 있고, 바람직하게는 10분의 시간동안 수행하여 세척될 수 있다. 세척된 상기 FTO/glass는 질소 가스 분위기 하에서 건조될 수 있다.
- [0056] 상기 세척된 FTO/glass는 폭 3mm, 및 두께 60 μm 의 캡톤 테이프를 마스크링될 수 있다. 상기 마스크링된 FTO/glass는 로딩암을 사용하여 진공상태의 증착 챔버에 로딩될 수 있다.
- [0058] 본 발명의 일 실시예에서, 상기 투명 태양전지는 마그네트론 스퍼터링을 사용하여 층별로 적층될 수 있다.
- [0059] 상기 버퍼층을 배치하는 단계(S130)에서는, AZO($\text{Al}:\text{ZnO}$) 타겟을 이용하여, 1 내지 100sccm의 아르곤(Ar) 유량, 1 내지 100mTorr의 작동압력, 및 1 내지 1000W의 RF전력의 조건 하에서, 1 내지 100nm의 두께로 상기 제1투명전극층 위에 상기 버퍼층을 형성할 수 있고, 바람직하게는, 50sccm의 아르곤(Ar) 유량, 5mTorr의 작동압력, 및 300W의 RF전력의 조건 하에서, 10nm의 두께로 상기 제1투명전극층 위에 상기 버퍼층을 형성할 수 있다.
- [0060] 이때, 상기 버퍼층은 0.01 내지 100nm/min의 박막 성장속도, 바람직하게는 1nm/min의 박막 성장속도로 형성되는 것이 바람직하다.
- [0062] 상기 n타입산화물층(이하, ZnO)을 배치하는 단계(S140)에서는, ZnO 타겟을 이용하여, 1 내지 100sccm의 아르곤(Ar) 유량, 1 내지 100mTorr의 작동압력, 및 1 내지 1000W의 RF전력의 조건 하에서 상기 버퍼층 위에 ZnO를 형성할 수 있고, 바람직하게는, 50sccm의 아르곤(Ar) 유량, 5mTorr의 작동압력, 및 300W의 RF전력의 조건 하에서, 상기 버퍼층 위에 ZnO를 형성할 수 있다.
- [0063] 이때 상기 ZnO는 1 내지 100nm/min의 박막 성장속도, 바람직하게는 6.6nm/min의 박막 성장속도로 형성되는 것이 바람직하다.
- [0064] 본 발명의 일 실시예에서, 상기 n타입산화물층은 1 내지 1000nm의 두께를 가질 수 있다. 바람직하게는, 상기 n타입산화물층은 50 내지 80nm, 더욱 바람직하게는 60 내지 67nm의 두께를 가질 수 있다.

- [0066] 상기 p타입산화물층(이하, NiO)을 배치하는 단계(S150)에서는, Ni 타겟을 이용하여, 1 내지 100sccm의 아르곤(Ar) 유량, 1 내지 100sccm의 산소(O₂) 유량, 1 내지 100mTorr의 작동압력, 및 1 내지 1000W의 DC전력의 조건 하에서, 반응성 스퍼터링법을 통해 상기 n타입산화물층 위에 상기 NiO를 형성할 수 있고, 바람직하게는, 20sccm의 아르곤(Ar) 유량, 5sccm의 산소(O₂) 유량, 3mTorr의 작동압력, 및 50W의 DC전력의 조건 하에서, 반응성 스퍼터링법을 통해 상기 n타입산화물층 위에 상기 NiO를 형성할 수 있다.
- [0067] 이때 상기 NiO는 1 내지 100nm/min의 박막 성장속도, 바람직하게는 2nm/min의 박막 성장속도로 형성되는 것이 바람직하다.
- [0068] 또한 상기 NiO는 상기 ZnO와 이종접합을 이루며 상기 n타입산화물층 상부에 NiO의 박막 형태로 형성되는 것이 바람직하다.
- [0070] 상기 제2투명전극층을 배치하는 단계(S160)에서는, 1차적으로 은나노와이어 잉크를 1 내지 5000rpm으로 스핀코팅하고, 2차적으로 1 내지 500 μ l의 은나노와이어 잉크를 스핀코팅한 후에, 1 내지 100mTorr의 진공하에서 1 내지 60분의 시간 동안 1 내지 500° C의 온도에서 열처리하여 상기 NiO 위에 상기 제2투명전극층을 형성할 수 있고, 바람직하게는, 1차적으로 은나노와이어 잉크를 2000rpm으로 스핀코팅 후, 2차적으로 90 μ l의 은나노와이어 잉크를 스핀코팅한 후에, 6mTorr의 진공하에서 2분의 시간 동안 150° C의 온도에서 열처리하여 상기 NiO 위에 상기 제2투명전극층을 형성할 수 있다.
- [0071] 이때 상기 제2투명전극층은 4cm²의 전극면을 형성하는 것이 바람직하다.
- [0073] 상기 보호층을 배치하는 단계(S170)에서는, 1 내지 100sccm의 아르곤(Ar) 유량, 1 내지 100mTorr의 작동압력, 및 1 내지 1000W의 스퍼터링 전력의 조건 하에서, 1 내지 120분의 시간 동안 상기 제2투명전극층 위에 상기 보호층을 형성할 수 있고, 바람직하게는, 50sccm의 아르곤(Ar) 유량, 5mTorr의 작동압력, 및 50W의 스퍼터링 전력의 조건 하에서, 10분의 시간 동안 상기 제2투명전극층 위에 상기 보호층을 형성할 수 있다.
- [0074] 이때 상기 보호층은 0.01 내지 100nm/min의 박막 성장속도로 형성될 수 있고, 바람직하게는, 1.5nm/min의 성장속도로 형성되는 것이 바람직하다. 즉 상기 보호층은 제2투명전극층 위에 증착하여 형성됨으로써 ZnO 초박막(ultra-thin layer)의 형태로 형성될 수 있다.
- [0075] 상기 투명 태양전지의 광학적 특성은 후술에서 상세하게 설명하기로 한다.
- [0077] 상기 측정준비단계(S200)는 상기 투명태양전지준비단계(S100)에서 제작된 상기 투명 태양전지의 광학적 특성을 외부 요인의 방해 없이 정확하게 측정하기 위해 준비하는 단계에 해당한다.
- [0078] 상기 측정준비단계(S200)에서는 상기 투명 태양전지의 상면은 365nm의 파장범위, 및 44mW/cm²의 전력밀도(P_{opt})를 갖는 광에 노출되어 가스 흡착물이 제거된 후, 측정이 이루어지는 챔버는 N₂로 퍼지될 수 있다. 흡착물이 제거된 상기 투명 태양전지를 1 내지 120분 동안, 바람직하게는 60분 동안 암실에 놓아둘 수 있다. 이때, 상기 투명 태양전지의 상면은 상기 광원이 조사되어 CPD를 측정하는 표면에 해당한다. 이때 상대 습도는 상기 측정준비단계(S200) 전반에서 10% 미만으로 유지되었다.
- [0079] 본 발명의 일 실시예에서, 상기 365nm의 파장범위를 갖는 광은 UV(자외선)광 혹은 UV에 해당할 수 있다.
- [0080] 이와 같이 상기 측정준비단계(S200)를 통해 상기 투명 태양전지의 상면의 가스 흡착물을 제거함으로써, 상기 투명 태양전지의 광학적 특성을 보다 효과적으로 분석할 수 있다.
- [0081] 상기 측정준비단계(S200)가 상기 투명 태양전지에 미치는 영향에 대해서는 후술하는 도면을 통해 상세하게 설명하기로 한다.

- [0083] 상기 제1측정단계(S300)는 상기 투명 태양전지의 상면의 표면지형을 측정하기 위해 수행하기 위한 단계에 해당한다. 이때, 적외선 레이저 다이오드(IR-LD)는 후술하는 투명 태양전지의 광학적 특성을 분석하는 장치의 일부의 편향을 감지하기 위하여 상기 일부의 상면에 조사된다.
- [0084] 이와 같이 상기 제1측정단계(S300)를 통해 분석장치의 편향을 감지함으로써, 상기 투명 태양전지의 상면의 실제적인 위치에 기반하여 표면지형을 효과적으로 분석할 수 있다.
- [0085] 본 발명의 일 실시예에서, 상기 투명 태양전지의 광학적 특성을 분석하는 장치의 일부는 캔틸레버에 해당할 수 있다.
- [0087] 상기 제2측정단계(S400)는 상기 투명 태양전지의 상면과 측정장치 사이의 접촉전위차를 측정하는 단계에 해당한다.
- [0088] 상기 제2측정단계(S400)는 상기 투명 태양전지의 상면에 광원을 조사하는 광원조사단계(S410); 상기 투명 태양전지 내부의 캐리어 거동을 측정하는 측정장치에 1 내지 5V의 진폭, 및 1 내지 50kHz의 주파수를 갖는 AC전압을 인가하는 전압인가단계(S420); 및 상기 투명 태양전지의 상면과 측정장치 사이의 접촉전위차를 측정하는 CPD측정단계(S430);를 포함할 수 있다.
- [0089] 더욱 바람직하게는, 상기 전압인가단계(S420)에서는 2V의 진폭, 및 17kHz의 주파수를 갖는 AC전압의 진폭 변조 KPFM 모드를 사용하여 측정할 수 있다.
- [0091] 한편 본 발명의 일 실시예에서, 상기 제1측정단계(S300) 및 제2측정단계(S400) 각각에서는, 상기 측정이 이루어지는 챔버의 내부를 건조한 N_2 가스를 이용하여 퍼지하고, 1 내지 20%의 상대습도를 갖도록 유지할 수 있고, 바람직하게는 10% 미만의 상대습도를 갖도록 유지할 수 있다.
- [0093] 상기 판단단계(S500)에서는, 상기 제1측정단계(S300) 및 제2측정단계(S400)에서 얻은 측정값(접촉전위차)을 기반으로, 상기 투명 태양전지의 상면을 나노스케일의 분해능으로 시각화하는 단계에 해당한다.
- [0094] 본 발명의 일 실시예에서, 상기 분석방법은 상기 판단단계(S500)를 통해 상기 투명 태양전지의 상면을 시각화데이터를 형성하고, 상기 시각화데이터는 상기 투명 태양전지에서의 광흡수 및 캐리어의 생성-수집 거동을 용이하게 파악하도록 할 수 있다.
- [0095] 상기 판단단계(S500)는, 상기 제2측정단계(S400)를 통해 측정된 측정값을 기반으로, 상기 투명 태양전지의 실제 공간의 시각화데이터를 구현하는 시각화데이터구현단계(S510); 및 상기 시각화데이터를 기반으로, 상기 광원 하에서 상기 투명 태양전지 내부에서의 대역간 광여기캐리어 및 결합매개 광여기캐리어 거동을 판단하는 광캐리어 거동판단단계(S520);를 포함할 수 있다.
- [0096] 상기 판단단계(S500)에서 도출된 시각화데이터와 이를 해석한 판단은 후술하여 상세하게 설명하기로 한다.
- [0098] 즉, 본 발명의 일 실시예에서는, 캘빈프로브 포스 마이크로스코피를 이용하여 투명 태양전지의 광학적 특성을 분석하는 방법을 제공할 수 있고, 이와 같은 본 발명의 분석방법을 통해 투명 태양전지의 파장 선택성에 따른 광흡수 및 캐리어 생성-수집 거동을 보다 용이하게 파악할 수 있게 한다.
- [0099] 또한, 연구자에게 투명 상기 투명 태양전지의 성능이 SQ한계에 상응하는 수준으로 도달할 수 있도록 하는 방향성을 제시할 수 있다.
- [0101] 한편 상기의 분석방법은 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 태양전지의 광학적 특성을 분석하는 장치를 통해 수행될 수 있다.
- [0102] 바람직하게는 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 태양전지의 광학적 특성을 분석하는 장치로서, 투명 태양전지를 준비하는 투명태양전지준비부; 상기 투명 태양전지를 측정하기 위해 환경을 조성하는 측정준비부;캘빈프로브를

포함하는 캔틸레버 상면에 적외선 레이저 다이오드를 조사하여 상기 투명 태양전지의 표면형상을 측정하는 제1 측정부; 상기 투명 태양전지의 상면에 자외선 내지 가시광선을 포함하는 광원을 조사하여 상기 투명 태양전지의 상면과 측정장치 사이의 접촉전위차(CPD)를 측정하는 제2측정부; 및 상기 측정값을 기반으로 상기 투명 태양전지 내부에서의 캐리어 거동을 판단하는 판단부;를 포함할 수 있다.

[0103] 본 발명의 일 실시예에서, 상기 투명 태양전지의 광학적 특성을 분석하는 장치는 켈빈프로브 포스 마이크로스코피에 해당할 수 있다.

[0105] 즉 이와 같은 구성의 장치에서, 상기 투명 태양전지의 접촉전위차와 표면광전압을 나노스케일 공간분해능으로 시각화함으로써, 투명 태양전지 구조가 광전지 성능에 일정하게 기여하는지에 대한 여부를 판단할 수 있다.

[0107] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 태양전지가 구현된 실제 사진, 상기 투명 태양전지의 투과전자현미경(TEM) 단면, 및 상기 투명태양전지의 광학적 특성을 도시하고, 도 3는 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 태양전지의 파장에 따른 광흡수율을 도시하고, 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 태양전지가 어두운 환경에서 갖는 정류효율에 대한 사항을 도시한다.

[0109] 도 2(a)는 본 발명의 일 실시예에서 구현된 실제 투명 태양전지이며, 도 2(b) 및 2(c)는 상기 투명 태양전지 구조를 확인하기 위한 TEM 도면이다.

[0110] 본 발명의 일 실시예에서, 투명 태양전지는 제2투명전극층, p타입산화물층과 n타입산화물층의 이중접합으로 이루어진 활성층, 및 제1투명전극층을 포함하는 유리기관층으로 구성되어 있을 수 있다. 이때 상기 활성층은 금속 산화물인 ZnO/NiO 이중접합 구조를 형성함으로써 광기전 효과를 발휘하고, 비교적 큰 밴드갭에너지로 인해 가시광선 영역에서 높은 투과율을 갖는다.

[0111] 한편, 제2투명전극층은 은나노와이어를 사용하여 상기 활성층 위에 배치될 수 있다. 이때 은나노와이어는 높은 다공성으로 인해 상기 투명 태양전지에 높은 광투과율을 제공한다.

[0112] 상기 보호층은 ZnO 초박막(ultra-thin layer)로 구성되어 있으면서 열 및 전기 스트레스로 인한 변형으로부터 상기 제2투명전극층을 보호하는 효과를 발휘한다. 이를 통해 상기 보호층은 상기 투명 태양전지의 전기전도성, 안정성, 및 광학가시성을 향상시키는 효과를 발휘할 수 있다.

[0113] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 투명 태양전지 구조는 1 내지 100cm 거리의 근거리 및 최대 1 내지 3km 범위의 원거리에서 초점이 받는 곳의 모양과 색상 특징을 명확하게 인지할 수 있는 투과성을 제공한다.

[0115] 도 2(d)는 상기 투명 태양전지의 투과율과 포토픽 비전(photopic vision) 파장을 비교하여 도시한다.

[0116] 이때 포토픽 비전 파장이란 충분한 광원의 강도가 주어진다는 조건 하에서 인간의 눈이 가장 잘 볼 수 있는 범위의 파장을 말한다. 상기 투명 태양전지의 광투과율 그래프는 가장 높은 투과율을 보이는 파장범위와 포토픽 비전 파장범위가 중첩됨을 나타낸다. 상기 투명 태양전지는 가시광선 파장범위에서 63% 이상의 투과율을 제공할 수 있다.

[0117] 도 3에 도시된 바와 같이, 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 태양전지는 400nm 이하의 파장범위인 단파장의 빛을 흡수한다. 도 2(d)의 파장에 따른 광투과율 값을 고려할 때, 상기 투명 태양전지는 자외선 영역의 광을 흡수하여 광기전에 사용하고, 가시광선 영역의 빛을 투과하여 인간에게 가시성을 제공한다고 판단할 수 있다. 이는 인간의 눈에 투명한 투명 태양전지의 필수 조건이다.

[0119] 한편 도 4에서와 같이 상기 투명 태양전지의 정류비율은 광원이 없는 환경 및 $\pm 1V$ 전압의 진동 하에서 325이다. 이를 통해서, 상기 투명 태양전지가 ZnO/NiO의 금속산화물 이중접합을 포함하고 있고, 캐리어의 비대칭 이동을 유도하는 내장 전위장벽을 형성한다는 것을 판단할 수 있다.

- [0121] 도 2(e)는 표준 태양광광원(AM1.5G)하에서, 상기 투명 태양전지의 광전지 특성에 대해 도시한다.
- [0122] 상기 투명 태양전지의 단락전류밀도(J_{sc})는 $0.45\text{mA}/\text{cm}^2$ 이고, 실질적인 개방회로전압(V_{oc})은 0.547V 이다. 상기 J_{sc} 는 어두운 조건에서의 J_{sc} 가 $2.25 \times 10^{-10} \text{A}/\text{cm}^2$ 인 것과 비교하여 상당히 높다고 할 수 있다. 이는 금속산화물 이중 접합의 장점 중 하나인 낮은 누설 전류이다.
- [0124] 도 2(f)는 투명 태양전지의 파장에 따른 광전압생성에 대해 도시한다.
- [0125] 이를 통해, 단파장은 광전압 생성에 상당히 기여하고, 장파장은 광전압 생성에 적게 기여하는 것을 알 수 있다. 이는 투명 태양전지의 가시적 투명도를 보장하는 요소이다. 이는 후술에서 더욱 상세하게 설명하기로 한다.
- [0127] 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 태양전지의 광특성을 측정하는 장치의 개략도 및 개방회로전압에 대한 사항을 도시한다.
- [0129] 도 5(a)는 상기 투명 태양전지의 광전압을 측정하기 위한 장치의 개략도를 도시한다. 도 5(b)는 상기 투명 태양전지의 개방회로전압을 300 내지 800nm 파장범위의 광원 하에서 측정한 사항을 도시한다. 이때의 광원의 전력밀도, 광자 에너지 및 광자 플럭스는 하기 표 1에 나타내었다.
- [0130] 상기 투명 태양전지는 365, 400, 및 410nm의 파장범위를 갖는 광원 각각에서 전원의 on/off에 명확하게 반응했고 따라서 상기 투명 태양전지는 단파장의 광원에 의존한다고 할 수 있다. 장파장의 파장범위의 광원은 상기 투명 태양전지의 on/off에 영향을 주지 못했다.

표 1

파장 (nm)	광자 에너지 (eV)	전력밀도 (W/m^2)	광자 플럭스 ($1/\text{m}^2 \text{ s}$)
320	3.88	2	3.219×10^{18}
340	3.65	2	3.420×10^{18}
365	3.40	40	7.343×10^{19}
385	3.22	84	1.626×10^{20}
400	3.10	43	8.651×10^{19}
410	3.02	78	1.608×10^{20}
460	2.70	43	9.949×10^{19}
530	2.34	360	9.416×10^{20}
623	1.99	1500	4.700×10^{21}
660	1.88	1200	3.983×10^{21}

- [0132] 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 태양전지의 KPFM 측정값 및 이를 시각화한 맵핑에 대한 사항을 도시하고, 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 태양전지의 광학적 특성을 분석하는 방법에서 사용되는 캘빈프로브 포스 마이크로스코피의 개략도를 도시하고, 도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 측정준비단계를 수행한 투명 태양전지와 그렇지 않은 투명 태양전지의 CPD를 비교하여 도시하고, 도 9 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 태양전지가 보이는 CPD 거동에 대한 사항을 도시한다.
- [0134] 도 6(a) 및 도 6(b)는 본 발명의 일 실시예에서, 상기 투명 태양전지의 상면의 표면지형을 측정하는 제1측정단

계(S300)와 접촉전위차(CPD)를 측정하는 제2측정단계(S400)의 결과값을 시각화 하여 도시한 것이다.

- [0135] 보다 상세하게는, 상기 제2측정단계(S400)의 결과값은, 광원의 전력밀도(P_{opt})가 $40\text{mW}/\text{cm}^2$ 일 때 365nm의 파장범위 및 530nm의 파장범위를 갖는 각각의 광원 하에서 각각의 CPD를 매핑함으로써 도 6(a) 및 도 6(b)에 도시된 바와 같이 시각화될 수 있다.
- [0137] 진술한 바와 같이 본 발명의 투명 태양전지의 광학적 특성을 분석하는 방법은 캘빈프로브 포스 마이크로스코피를 이용하여 수행할 수 있다. 상기 캘빈프로브 포스 마이크로스코피는, 도 7에 도시된 바와 같이 국부영역에서 상기 투명 태양전지의 상면의 표면지형을 측정하는 동시에, 표면과 프로브간의 정전력 차이를 감지함으로써, 접촉전위차(CPD)와 표면광전압(SPV)을 측정하기에 유용한 나노스코픽 특성화도구이다.
- [0138] 본 발명의 일 실시예에서, 상기 광원조사단계는 광원이 없는 환경, UV 파장범위의 광원을 조사하는 환경, 및 가시광선 파장범위의 광원을 조사하는 환경을 포함할 수 있다. 상기 제1측정단계(S300) 및 제2측정단계(S400) 동안, 챔버는 건조한 N_2 가스로 퍼지되었고, 상대습도는 10% 미만으로 유지되었다.
- [0139] 한편 상기 제1측정단계(S300)에서, 적외선 레이저 다이오드(IR-LD)는 캔틸레버(cantilever)의 편향을 감지하는 데에 사용되었다. 상기 제2측정단계(S400)에서, UV광 및 가시광선 범위의 파장을 조사하는 레이저 다이오드(LD)는 CPD 및 SPV를 측정하기 위한 광원으로 사용되었다. 상기 제1측정단계(S300) 및 제2측정단계(S400) 전반에서 광원의 전력밀도는 중성밀도필터(neutral density filter) 및 컨트롤러를 사용하여 조정되었다. 또한 자외선 레이저 다이오드(UV-LD)는 상기 투명 태양전지 상면에 존재할 수 있는 주변 가스 흡착물을 제거하는 데에 사용되었다.
- [0141] 도 8(a)는 상기 준비단계를 수행하지 않았을 때, 광원이 없는 환경 하에서 처음 측정된 CPD(CPD_{bi}), 365nm의 파장범위를 갖는 광원이 조사된 환경 하에서 측정된 CPD(CPD_L), 및 광원을 제거한 환경 하에서 나중 측정된 CPD(CPD_{dr})를 도시한다. 여기서 상기 준비단계를 거치지 않았을 경우 CPD_{dr} 는 CPD_{bi} 로 돌아오지 않았음을 확인할 수 있다.
- [0142] 도 8(b)는 상기 준비단계를 수행한 후, 도 2(a)와 상응하는 조건을 갖추어 측정한 CPD 즉, CPD_{bi} , CPD_L , 및 CPD_{dr} 를 도시한다. 이때의 CPD_{dr} 는 CPD_{bi} 와 상응함을 확인할 수 있다. 이와 같은 거동은 주변 공기로부터 상기 투명 태양전지의 상면에 산소 및 물 분자와 같은 흡착물에 의해 생성된 쌍극자 형성하기 때문일 수 있다. 상기 상면에 흡착된 분자들은 상기 투명태양전지 상면에 전자를 제공하거나 가져온다. 이렇게 형성된 광캐리어는 투명 태양전지 자체의 CPD 측정을 방해할 수 있다.
- [0143] 이러한 도 8의 비교실험 데이터는 상기 준비단계가 초기와 나중 CPD_0 를 일정하게 복구하는 효과를 발휘함을 보인다.
- [0145] 상기 제2측정단계(S400)에서, 상기 투명 태양전지는 어두운 환경에서의 CPD(CPD_0) 및 광원 환경에서의 CPD(CPD_L)가 비교되었다. 또한 상기 투명 태양전지는 UV 및 가시광선 레이저 다이오드를 사용하여 각각 365nm의 파장범위, 및 530nm의 파장범위를 갖는 광원으로부터 유도된 CPD 변화를 측정했다. 본 발명의 일 실시예에서, 상기 530nm의 파장범위를 갖는 광원은 가시광선에 해당할 수 있다.
- [0146] 두 광원의 전력밀도(P_{opt})는 $40\text{mW}/\text{cm}^2$ 의 전력밀도 범위에서 측정되었다. 365nm의 파장범위 및 530nm의 파장범위를 갖는 광원 각각에서의 CPD 데이터는 각각 $\text{CPD}_L[365\text{nm}]$ 및 $\text{CPD}_L[530\text{nm}]$ 로 표시한다.
- [0147] 한편, 상기 투명 태양전지의 CPD는 팁의 일함수(WF_{tip})과 상기 투명 태양전지의 일함수(WF_{sample})의 차이로 정의된다.

$$CPD = \frac{WF_{tip} - WF_{sample}}{e}$$

[0148]

[0149]

여기서 e 는 기본전하이다.

[0151]

본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 제2투명전극층(AgNW)과 계면을 이루는 상기 보호층(ZnO) 국부영역의 상면(AgNW/ZnO)은 비교적 큰 CPD를 가지고, 상기 p타입산화물층(NiO)과 계면을 이루는 상기 보호층(ZnO) 국부영역의 상면(NiO/ZnO)은 비교적 작은 CPD를 갖는다. 이는 AgNW/ZnO 계면이 상대적으로 낮은 에너지장벽을 가지고 있으며, 캐리어인 전자의 이동이 활발하다는 것을 나타낸다.

[0153]

또한 도 6(a) 및 도 6(b)에서와 같이, 광원 하에서, 상기 투명 태양전지의 CPD_L은 증가하고, 이는 표면에 양전하가 축적되었음을 나타낸다. 365nm의 파장범위를 갖는 광원의 경우, 상기 투명 태양전지는 p타입산화물층 및 n타입산화물층 모두에서 전자-정공쌍을 생성함을 알 수 있다. p-n 이종접합 계면에 내장된 전기장은 광생성 전자-정공쌍을 분리할 수 있으며, 분리된 광생성 캐리어(전자 및 정공)은 이종접합을 형성하는 지정된 에너지준위로 이동한다. 정공은 p타입산화물층의 계면을 통해 제2투명전극층으로 이동하고, 전자는 n타입산화물층의 계면을 통해 제1투명전극층으로 이동한다. 이러한 전하 분리는 전류-전압 특성 중 투명 태양전지의 특성에 중요한 V_{oc} 를 결정한다.

[0154]

본 발명의 일 실시예에 따르면, 365nm의 파장범위를 갖는 광원은 530nm의 파장범위를 갖는 광원보다 높은 P_{opt} 를 가지며, 이에 따라 더 많은 전하 캐리어를 생성하여 더 높은 표면 전하, 및 더 높은 CPD_L이 발생한다.

[0156]

도 6(c)는 광원의 전력밀도에 따른 표면광전압(SVP)에 대해 도시한다.

[0157]

CPD_L과 CPD_b의 차이는 V_{oc} 와 직접적으로 관련된 표면광전압(SPV)에 해당한다. 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 투명 태양전지의 SPV 신호는 광원의 파장에 의존하고 있음을 확인할 수 있다. 530nm의 파장범위를 갖는 광원의 광자 에너지는 2.3eV이며, 이는 상기 투명 태양전지 활성층의 재료인 ZnO(3.2eV) 및 NiO(3.8eV)의 밴드갭에너지보다 작다.

[0158]

이를 통해 530nm의 파장범위를 갖는 광원 하에서, 상기 투명 태양전지를 구성하는 층과 각 계면은 결함매개 캐리어를 생성함을 판단할 수 있다. 530nm의 파장범위를 갖는 광원의 SPV는 동일한 P_{opt} 에서 365nm의 파장범위를 갖는 광원의 SPV보다 작다. 이러한 파장 의존 SPV 신호는 도 2(f) 및 도 9의 스펙트럼 광전압 데이터 및 CPD 데이터와 상응한다.

[0160]

도 10은 본 발명의 일 실시예에 따른 제2투명전극층과 계면을 이루는 보호층 상면(AgNW/ZnO) 및 p타입산화물층과 계면을 이루는 보호층 상면(NiO/ZnO) 간의 CDP 히스토그램에 대한 사항을 비교하여 도시한다.

[0162]

상기 투명 태양전지는 광원이 없는 경우 및 광원이 있는 경우 모두 AgNW/ZnO의 CPD 신호가 높았다. 다만 365nm의 파장범위를 갖는 광원 하에서 AgNW/ZnO의 국부 CPD 신호는 NiO/ZnO의 신호와 유사하다. 이는 365nm의 파장범위를 갖는 광원 하에서 국부영역의 구조 차이가 상기 태양전지의 성능에 영향을 적게 미치는 것을 의미한다.

[0163]

본 발명의 분석방법은 나노스케일 공간 분해능을 활용함으로써, V_{oc} 의 실제 공간 시각화를 가능하게 하는 효과를 발휘한다. 이는 상기 투명 태양전지의 국부구조가 광전지 성능에 일정하게 기여하는지에 대한 여부를 판단할 수 있도록 한다.

[0164]

본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 투명 태양전지의 국부구조는 365 nm의 파장범위를 갖는 광원 하에서 광전지 성능에 일정하게 기여함을 나타낸다. 반면 530nm의 파장범위를 갖는 광원 하에서 NiO/ZnO의 CPD는 AgNW/ZnO의 신호보다 비교적 낮다. 상기 투명 태양전지는 530nm의 파장범위를 갖는 광원에서 결함매개 광캐리어 및 특정 영역의 계면결함상태에 의해 성능이 결정되는 것을 확인할 수 있다.

- [0166] 도 11은 본 발명의 일 실시예에 따른 n타입산화물층의 두께 및 광원의 파장에 따른 광흡수율에 대한 사항을 도시한다. 도 12는 본 발명의 일 실시예에 따른 n타입산화물층의 두께가 투명 태양전지에 의해서 생산된 전력에 대해 미치는 영향, 및 광캐리어의 광여기 매커니즘에 대한 사항을 도시하고,
- [0168] 도 11에 도시된 바와 같이 본 발명의 일 실시예에서, 상기 n타입산화물층은 30 내지 400nm의 두께를 포함할 수 있으며, 상기 n타입산화물층의 상면에 제2투명전극층 및 보호층이 배치된다.
- [0169] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 투명 태양전지의 n타입산화물층은 1 내지 1000nm의 두께를 가질 수 있고, 바람직하게는 50 내지 80nm의 두께를 가질 수 있다. 더욱 바람직하게는 60 내지 70nm의 두께를 가질 수 있다.
- [0170] 상기 투명 태양전지의 수명을 결정하는 요인은 n타입산화물층과 p타입산화물층의 두께로 인해 결정되는 광흡수 효율 및 광생성 캐리어의 수집효율이다. 두꺼운 상기 n타입산화물층 및 p타입산화물층의 층은 비교적 높은 흡수율을 보이는 반면, 광생성 캐리어의 수집효율은 낮추는 효과를 가진다.
- [0171] 즉 본 발명의 일 실시예에서, 상기 투명 태양전지는 UV파장범위의 광원에서 비교적 높은 흡수율을 보였으며, 광흡수율은 상기 n타입산화물층의 두께가 두꺼울수록 좋은 비교적 높은 값을 가질 수 있다.
- [0173] 도 12(a)는 365nm의 파장범위를 갖는 광원 하에서, 상기 투명 태양전지의 n타입산화물층의 두께에 따른 단락전류밀도(J_{sc})를 도시한다.
- [0174] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 n타입산화물층의 두께가 67nm일 때 J_{sc} 는 $7.8\text{mA}/\text{cm}^2$ 에 도달했다. 상기 n타입산화물층의 두께가 50nm미만인 구간은 상당한 선폭전류로 인해 신뢰할 수 있는 J_{sc} 를 측정할 수 없었다. J_{sc} 의 급격한 감소가 일어나는 구간은 상기 n타입산화물층의 두께가 50 내지 67nm인 구간이고, 이는 상기 n타입산화물층이 매우 얇아서 광흡수가 제한되기 때문일 수 있다. J_{sc} 의 점진적인 감소가 일어나는 구간은 상기 n타입산화물층의 두께가 67nm 이상인 구간이고, 이는 상기 n타입산화물층이 두꺼워짐에 따라 전하수송이 제한되기 때문일 수 있다.
- [0175] 본 발명의 일 실시예에서, 상기 투명 태양전지는 60nm의 상기 n타입산화물층의 두께를 가졌을 때 가장 적합한 구조를 갖췄음을 판단할 수 있다.
- [0177] 도 12(b)는 전력밀도(P_{opt}) $80\ \mu\text{W}/\text{cm}^2$ 내지 $4\text{mW}/\text{cm}^2$ 범위에 대한 J_{sc} 를 도시한다.
- [0178] J_{sc} 의 P_{opt} 의존성은 상기 투명 태양전지의 캐리어의 재조합 및 트래핑 프로세스에 대한 정보를 제공한다. 본 발명의 일 실시예에서의 P_{opt} 의 전력밀도 범위는 1.46×10^{14} 내지 $7.34 \times 10^{15}\ \text{cm}^{-2}\ \text{s}^{-1}$ 의 광자 플럭스 범위에 해당하며, 이는 대역간 여기를 통한 광생성 캐리어의 낮은 수준 주입에 해당한다.
- [0179] J_{sc} 의 광자플럭스 및 전력밀도 종속성은 거둬제곱법피팅에서 결정할 수 있으며, 이는 하기의 식을 따른다.
- [0180]
$$J_{sc}(P_{opt}) = AP_{opt}\alpha$$
- [0181] 여기서 A는 상수, 및 지수 α 는 광생성 캐리어의 재조합 프로세스 및 트래핑을 나타내는 값에 해당한다. 지수 α 는 이상적인 조건에서 1에 접근하고, 이때 광생성 캐리어인 전하의 재결합 및 트래핑 이벤트가 더 적다.
- [0182] 본 발명의 일 실시예에서, n타입산화물층의 J_{sc} 는 n타입산화물층의 두께가 67nm일 때 최대값을 가지고 이는 지수 α 가 0.97로 1에 가까운 값을 가졌을 것으로 추정되기 때문이다.
- [0183] 도 12(c) 및 도 12(d)는 UV와 가시광선 광원 하에서 각각 광생성 캐리어의 거동을 도시한다.
- [0184] 상기 투명 태양전지는 n타입산화물층과 p타입산화물층의 계면에서 반대방향을 따라 구동력을 제공하는 밴드오프셋과 전위 구배를 받아 전자와 정공을 분리한다. 이에 따라 정공은 상기 p타입산화물층을 통해 수집되는 반면,

전자는 상기 버퍼층(AZO)을 통해 수집된다. 상기 n타입산화물층 및 p타입산화물층의 효율적인 캐리어 수집 영역을 결정하는 요인은 소수 캐리어의 확산 길이이다.

[0185] 도 12(c) 및 도 12(d)의 에너지밴드 다이어그램은 본 발명의 분석방법을 기반으로 해석하여 제시된다. 대역간 여기 및 결합매개 여기를 통해 생성된 캐리어는 준페르미준위(E_{fn} 및 E_{fp})의 분할을 유발한다. UV 및 가시광선 파장범위의 광원 실험에서, 두 가지 별개의 여기 메커니즘 즉 대역간 여기 및 결합매개 여기는 명확하게 드러나고, 준페르미준위의 분할은 광전압을 발생시킴을 확인할 수 있다.

[0187] 도 13은 본 발명의 일 실시예에 따른 상기 n타입산화물층과 p타입산화물층 박막의 Mott-Schottky 특성 플롯 및 이를 활용하여 계산한 에너지밴드 다이어그램 값에 대한 사항을 도시한다.

[0189] 전술한 도 11(c) 및 11(d)에 설명된 에너지밴드 다이어그램은 Mott-Schottky 특성 플롯을 사용하여 계산되었다.

[0190] 본 발명의 일 실시예에서, 상기 n타입산화물층의 재료는 ZnO이고, p타입산화물층의 재료는 NiO이다. 상기 ZnO 및 NiO 박막은 Mott-Schottky 분석이 수행되었다. 이때 쇼트키 다이오드와 유사한 고체-액체 인터페이스를 사용하면 다수 캐리어의 유형, 농도, 및 플랫밴드전위를 추정할 수 있다. 상기 플랫밴드전위는 전해질 산화환원 전위에 대한 반도체 박막의 플랫밴드 위치에 필요한 전위를 나타낸다.

[0191] 본 발명의 일 실시예에서, 상기 ZnO 및 NiO 박막의 Mott-Schottky 특성 플롯은 0.1M Na_2SO_4 및 0.1M KOH 전해질에서 얻어졌다. 기준 Ag/AgCl 전극에 대해 작동 전극에 인가된 전위는 아래의 Nernst 관계식을 사용하여 표준 가역 수소 전극(RHE)으로 전환될 수 있다.

$$E_{RHE} = E_{Ag/AgCl} + 0.059 \times pH + E_{Ag/AgCl}^0$$

[0193] 여기서, $E_{Ag/AgCl}^0$ 은 0.197V이다.

[0195] 도 13(a) 및 13(b)는 각각 ZnO 및 NiO 박막의 Mott-Schottky 특성 플롯을 도시한다. 상기 ZnO 박막의 양의 기울기는 도너(즉, 전자)가 다수 캐리어임을 나타낸다. 반면 상기 NiO 박막의 음의 기울기는 억셉터(즉, 정공)가 다수 캐리어임을 나타낸다. 캐리어 밀도는 특성 플롯의 기울기를 이용하면 추정할 수 있다.

$$\left(\frac{A}{C}\right)^2 = \frac{2}{q\epsilon_r\epsilon_o N} \left(V - V_{FB} - \frac{k_b T}{q}\right)$$

[0197] 여기서 q는 원소전하, ϵ_r 는 상대유전상수, ϵ_o 는 진공유전율, N은 다수 캐리어 밀도, k_b 는 볼츠만 상수, T는 절대 온도, A는 샘플, 및 C는 얻은 커패시턴스에 해당한다.

[0198] 상기 수식으로부터 얻은 ZnO 및 NiO 박막의 다수 캐리어 밀도는 각각 3.89×10^{17} 및 $8.46 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 이다. 상기 다수 캐리어 밀도는 n타입산화물층의 전도대 에너지 최대값과 p타입산화물층의 가전자대 에너지 최소값에 대한 페르미준위를 계산할 수 있도록 한다.

[0199] 도 13(c)는 ZnO 및 NiO 박막의 추정 매개변수들을 요약한 표를 도시한다. 이를 통해 계산한 결과를 도 13(d) 및 13(e)에 도시하였고, 각각은 집합 형성 전 및 후의 상기 ZnO 및 NiO 박막의 에너지밴드 다이어그램이다.

[0201] 도 14는 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 태양전지의 평균가시투과율(AVT)계산에 사용된 광자 플럭스에 대한 사항을 도시한다.

[0203] 평균가시투과율(Average Visible Transmittance, AVT) 및 색좌표(coordinates)는 각각 가시 투명도와 미적 품질에 대한 투명 태양전지의 성능지수에 해당한다. 창 응용 분야에 대한 ISO표준에 따라, 이하의 관계식을 사용

하여 AVT를 추정할 수 있다.

$$AVT = \frac{\int_{380nm}^{780nm} S(\lambda)P(\lambda)T(\lambda)d\lambda}{\int_{380nm}^{780nm} S(\lambda)P(\lambda)d\lambda}$$

여기서 $S(\lambda)$ 는 AM1.5 G 광원의 스펙트럼 특성(도 14), $P(\lambda)$ 는 색상 인식에 대한 인간 눈의 광응답, 및 $T(\lambda)$ 는 투명 태양전지에서 측정된 투과율, $d\lambda$ 는 극소 광자 파장 단계에 해당한다.

도 15는 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 태양전지의 광학적 특성에 대한 사항을 도시하고, 도 16은 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 태양전지의 CIE 색도 다이어그램에 대한 사항을 도시한다.

도 16에서와 같이 표준 CIE 1931 다이어그램은 장치의 색상을 정의하는 색상 좌표를 매핑함으로써, 투명 태양전지의 색상을 특성화할 수 있다. CIE 표준 관찰자의 색상 일치 기능에서 삼자극 값(X, Y, Z)을 얻어 빨강, 녹색 및 파랑 시각적 인식을 나타낼 수 있고, 색상 좌표는 다음 값을 사용하여 얻을 수 있다.

$$x = \frac{X}{X + Y + Z}$$

$$y = \frac{Y}{X + Y + Z}$$

도 15(a)는 n타입산화물층의 두께에 따른 상기 투명 태양전지의 투과율을 도시한다.

본 발명의 몇 실시예에 따르면, 30 내지 400nm의 n타입산화물층의 두께범위를 가진 투명 태양전지는 포토픽 비전 과정에서 투과율 60% 이상을 나타낸다. 상기 투명 태양전지는 30nm 두께범위의 n타입산화물층을 가진 구조에서 67.9%의 AVT값을 나타냈다. 또한 상기 투명 태양전지는 400nm 두께범위의 n타입산화물층을 갖는 구조에서 64.15%의 AVT값을 나타냈다. AVT가 60% 이상이면 착색되지 않은 유리나 상응하기 때문에, 상기 투명 태양전지들은 창으로 인식된다.

도 15(b)는 상기 투명 태양전지의 AVT를 n타입산화물층 두께에 대해 도시한다. 이를 통해 상기 n타입산화물층의 두께는 전체 AVT에 영향을 미치지 않는다고 판단할 수 있다.

도 15(c)는 상기 n타입산화물층에 대한 상기 투명 태양전지의 색좌표에 대해 도시한다.

흑체계적(도 15(c)에서 검은선)은 상기 투명 태양전지의 외관을 파악할 수 있도록 하며, 이는 광원을 나타낸다. 또한 상기 투명 태양전지 및 착색되지 않은 유리의 색상 매개변수는 도 15(c)에 삽입된 표에 정리되어 있다. 이는 본 발명의 투명 태양전지가 흑체계적플롯에 가깝고 중립적인 색상 외관을 나타내는 일관된 색좌표에 해당한다. 또한 상관색온도(Correlated Color Temperature, 이하 CCT)는 광대역 광원의 색과 온도로부터 결정된다. 하기의 McCamy 공식 및 상기 투명 태양전지의 색좌표(x,y)를 이용하여 상기 투명 태양전지의 CCT를 추정할 수 있다.

$$CCT = 449n^3 + 3522n^2 + 6823.3n + 5520.33$$

여기서 $n = (x-0.3320)/(0.1858-y)$ 이다. 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 투명 태양전지는 상업용 LED 광원과 상응하는 4546 내지 4590K 범위의 CCT 값에 해당한다.

도 17은 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 태양전지가 실제 현장발전에 사용된 실시예를 예시적으로 도시한다.

도 17(a)는 투명 태양전지들(이하 TPV-1, 및 TPV-2)이 병렬로 연결된 트윈 투명 태양전지 모듈의 실제 사진으로, TPV-1, 및 TPV-2는 측면이 25mm임을 도시한다.

- [0225] 도 17(b)는 Kirchhoff의 현행법칙을 도시한다. 이는 상기 TPV-1 및 TPV-2가 병렬로 연결됨으로써 전류를 추가하는 원리를 나타낸다. 이때 상기 트윈 투명 태양전지 모듈의 전력 시스템은 외부 부하(DC모터, 1.5mW)에 직접 연결되었다. 이때 DC모터의 초기 토크는 상대적으로 높으며, 이는 현장 전원 공급기로써의 투명 태양전지의 실제적인 시연이라고 할 수 있다.
- [0227] 도 17(c)는 상기 TPV-1(갈색 곡선), TPV-2(파란색 곡선), 및 상기 투명 태양전지 모듈의 I-V 거동을 도시한다. 상기 트윈 투명 태양전지 모듈의 전류는 각 TPV-1, 및 TPV-2 전류의 합계이며, 이는 상기 투명 태양전지의 성능이 종래의 태양 전지 작동과 유사함을 나타낸다. 본 발명의 일 실시예에서, 상기 트윈 투명 태양전지 모듈의 최대 전력 작동 지점은 282mV 전압에서 6.17mA였다. 상기 트윈 투명 태양전지 모듈의 PCE는 4.725%임을 확인하였다.
- [0229] 도 17(d)는 부하가 있는 상기 트윈 투명 태양전지 모듈의 회로를 도시한다. 포고 편을 상기 트윈 투명 태양전지 모듈 전극에 연결하였고, DC모터의 전기 부하를 확인하기 위해 3색 프로펠러를 배치하였다.
- [0231] 도 17(e)는 상기 트윈 투명 태양전지 모듈이 연결된 전력 시스템의 측면도를 도시한다. 광원 하에서, 상기 3색 프로펠러는 DC모터가 작동함에 따라 순간적으로 회전하고, 광원을 제거하면 회전이 중지하였다. 이를 통해 상기 트윈 투명 태양전지 모듈은 빛에너지에 따라 전력을 확보하는 태양전지의 특성을 포함하고 있음을 시연하였다.
- [0233] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 투명 태양전지의 파장 선택성에 따른 광흡수 및 캐리어 생성-수집 거동을 보다 용이하게 파악할 수 있어, 상기 투명 태양전지의 성능이 SQ한계에 상응하는 수준으로 도달할 수 있도록 하는 투명 태양전지의 광학적 특성 분석방법을 제공할 수 있는 효과를 발휘할 수 있다.
- [0234] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 투명 태양전지의 광학적 특성을 분석하는 방법은 투명 태양전지의 광여기캐리어 거동 프로세스를 확인할 수 있다.
- [0235] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 투명 태양전지의 광학적 특성을 분석하는 방법은 자외선 및 가시광선 파장영역에서 대역간 광여기캐리어 및 결합매개 광여기캐리어의 판단에 대한 증거를 제공할 수 있다.
- [0236] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 투명 태양전지의 광학적 특성을 분석하는 방법은 접촉전위차와 표면광전압을 나노스케일 공간분해능으로 시각화함으로써, 투명 태양전지 구조가 광전지 성능에 일정하게 기여하는지에 대한 여부를 판단할 수 있다.
- [0237] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 투명 태양전지의 광학적 특성을 분석하는 방법을 이용하여 투명 태양전지에서의 광생성 캐리어의 거동 프로세스 및 메커니즘을 판단함으로써, 연구자에게 투명 태양전지의 성능을 향상시키기 위한 방향을 제시하는 효과를 발휘할 수 있다.
- [0238] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 투명 태양전지의 광학적 특성을 분석함으로써, 투명 태양전지가 우수한 광학적 투명성을 구현하기 위한 성능을 도출할 수 있는 효과를 발휘할 수 있다.
- [0239] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 투명 태양전지가 우수한 광학적 투명성을 구현하고 중성색(neutral color)을 확보함으로써, 건물 및 차량의 표면에 용이하게 적용되어 on-site방식으로 전력을 생산할 수 있는 효과를 발휘할 수 있다.
- [0241] 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 범

위에 속한다.

부호의 설명

[0243]

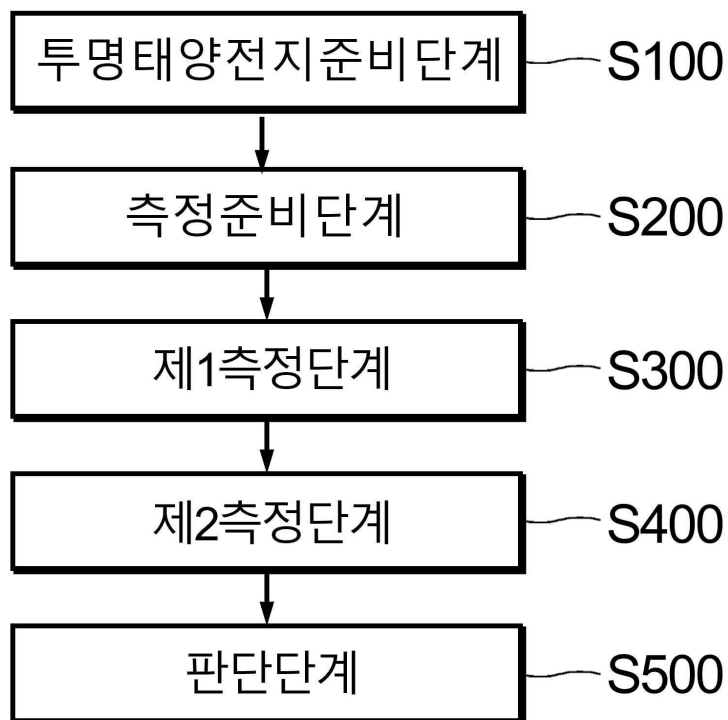
S100: 투명태양전지준비단계 S200: 측정준비단계

S300: 제1측정단계 S400: 제2측정단계

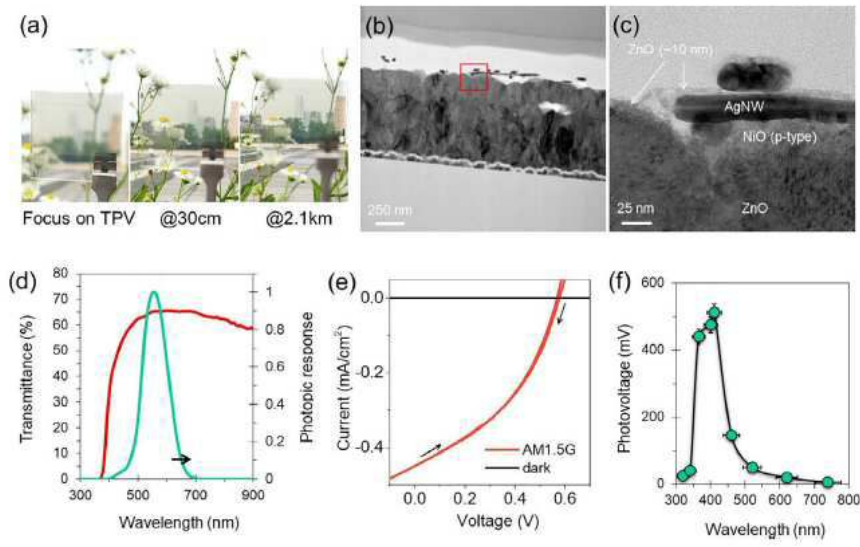
S500: 판단단계

도면

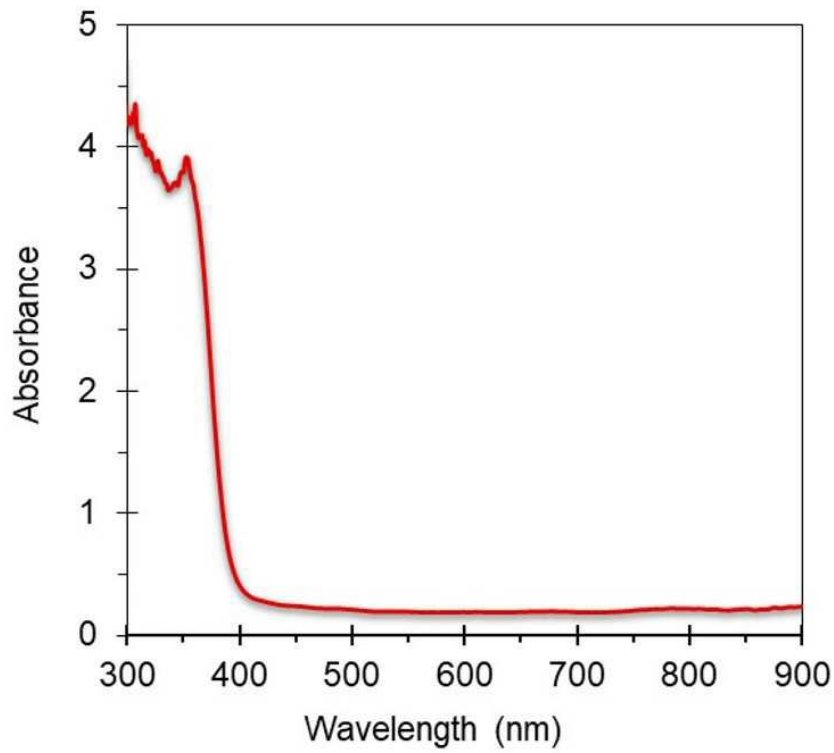
도면1



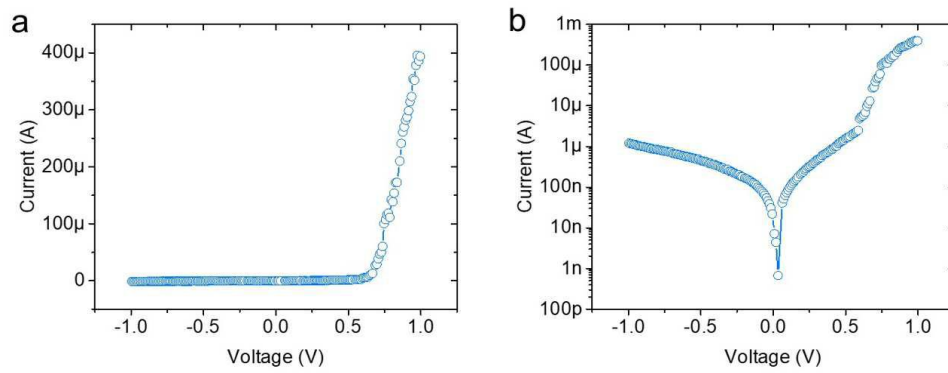
도면2



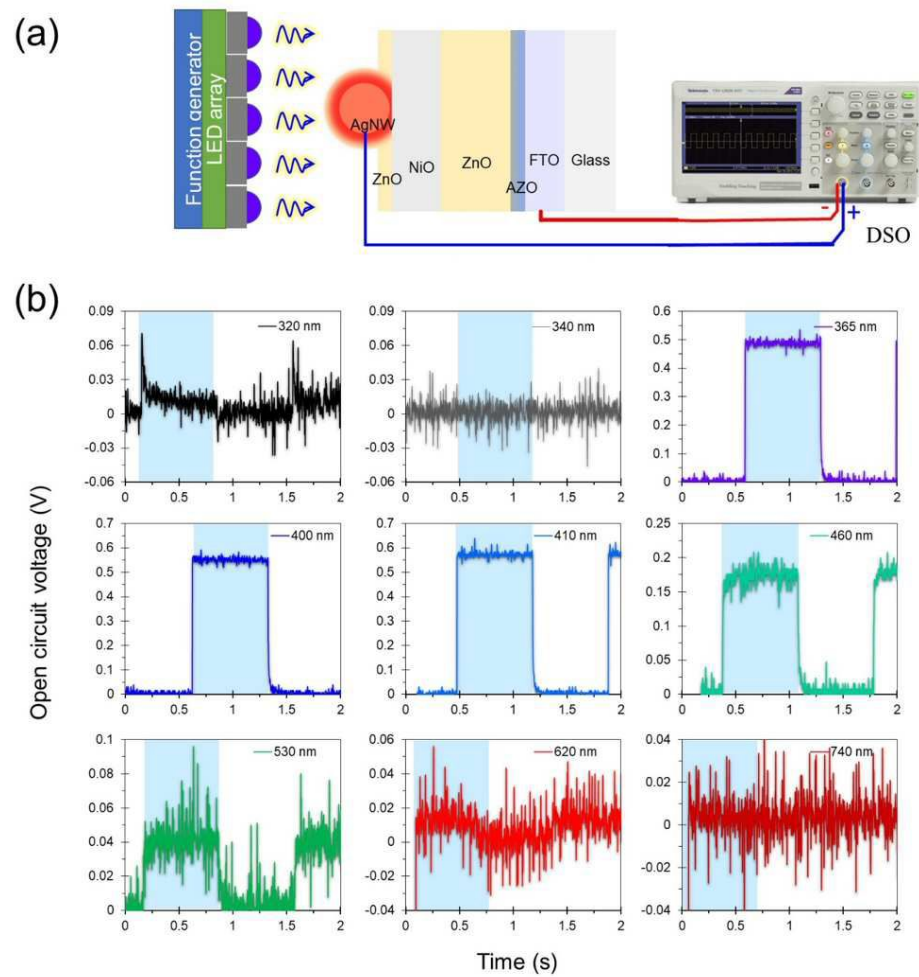
도면3



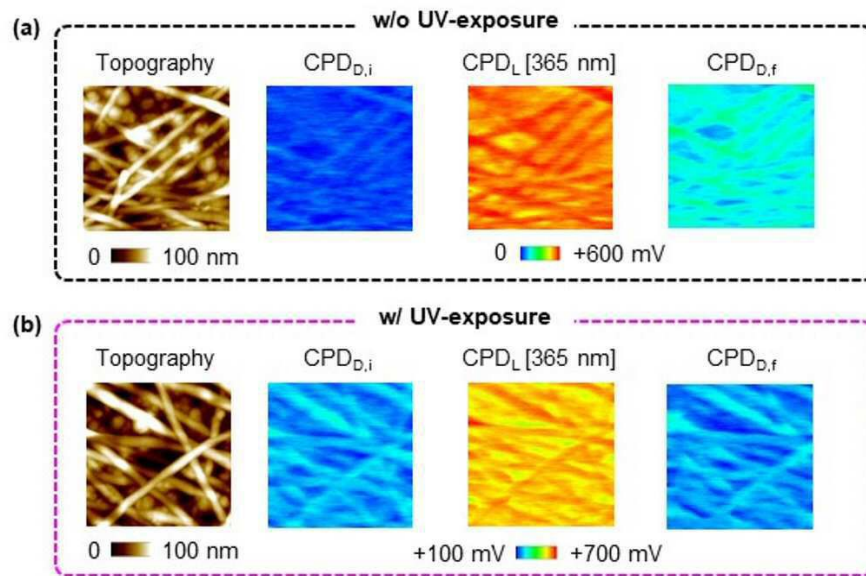
도면4



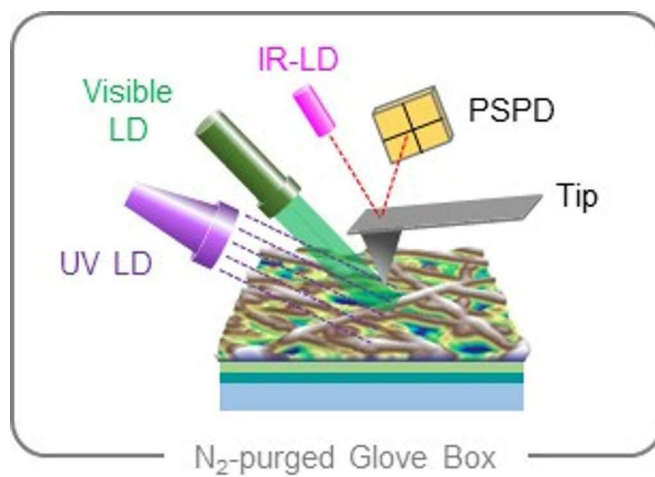
도면5



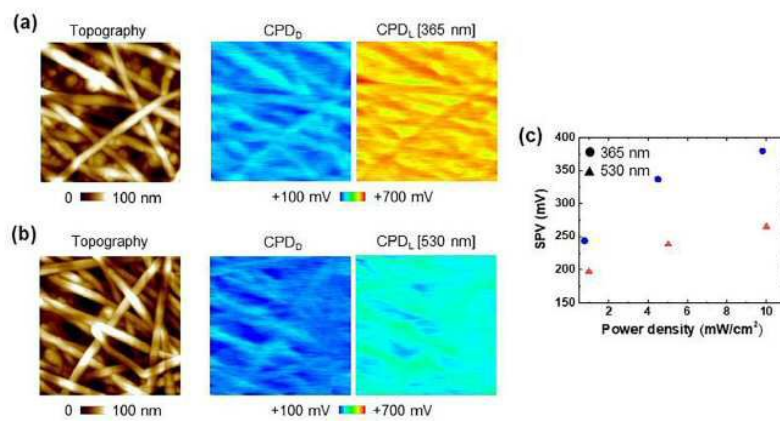
도면6



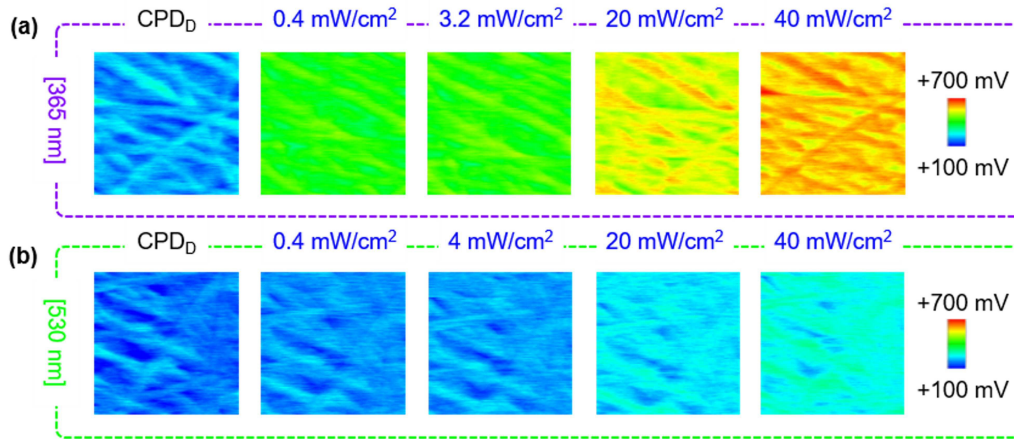
도면7



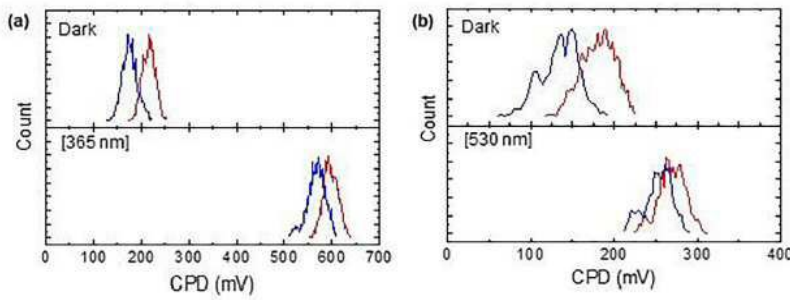
도면8



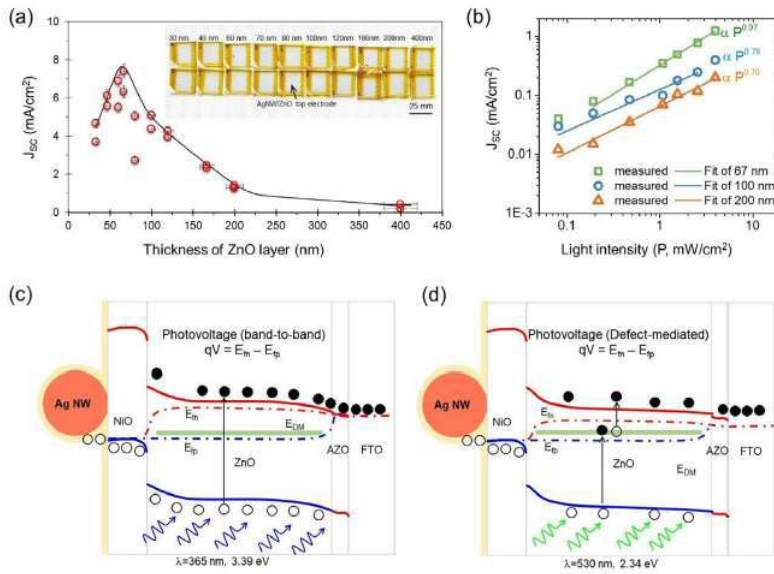
도면9



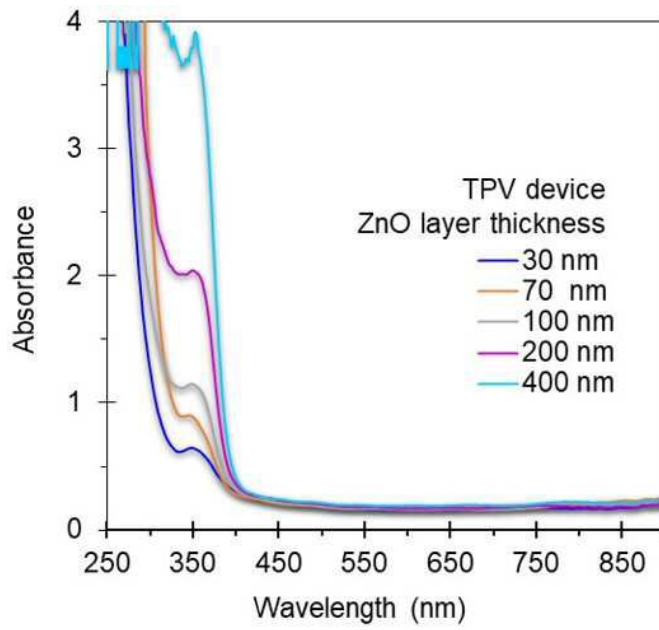
도면10



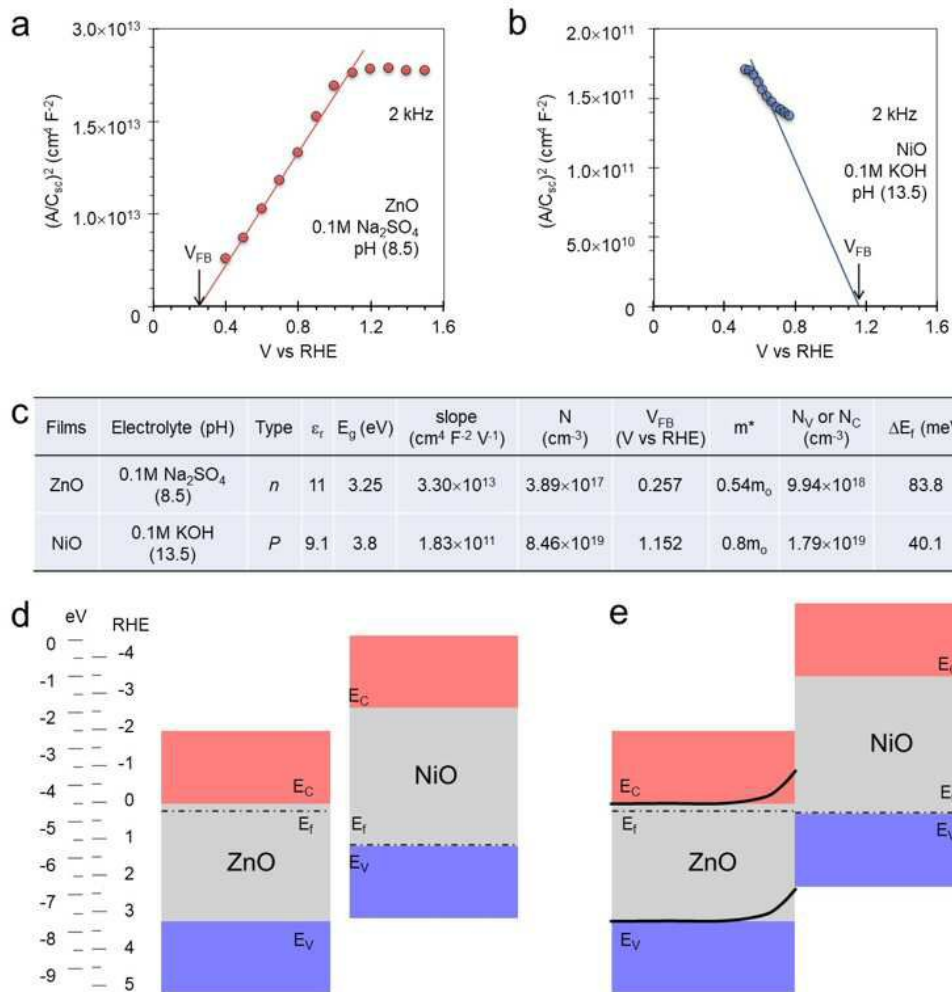
도면11



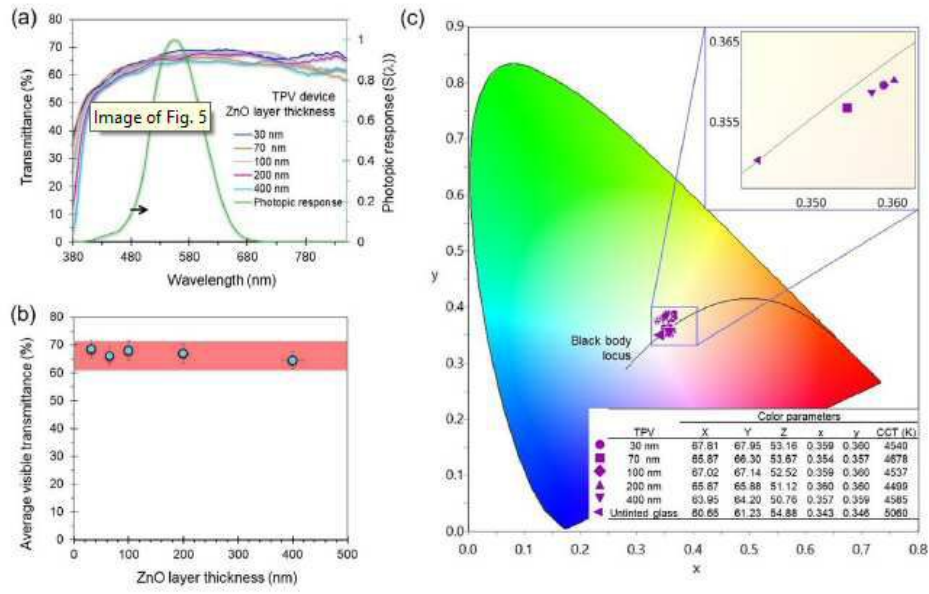
도면12



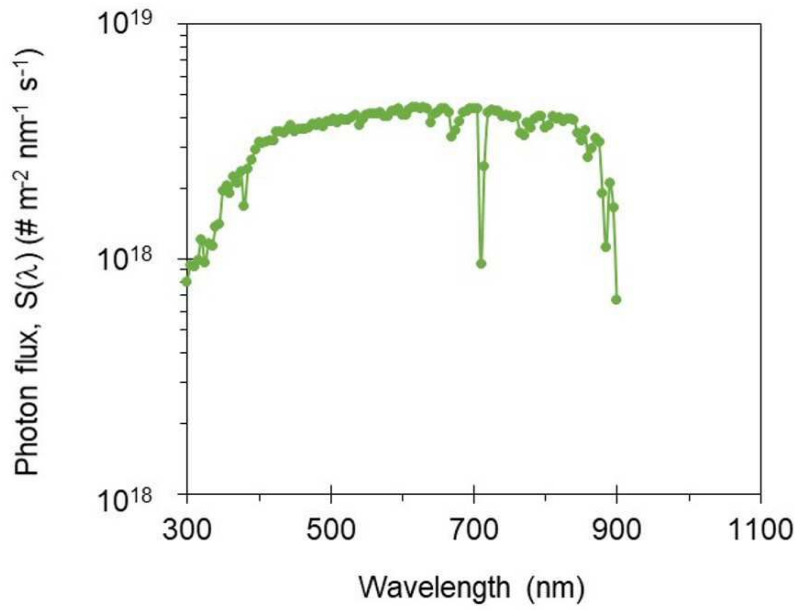
도면13



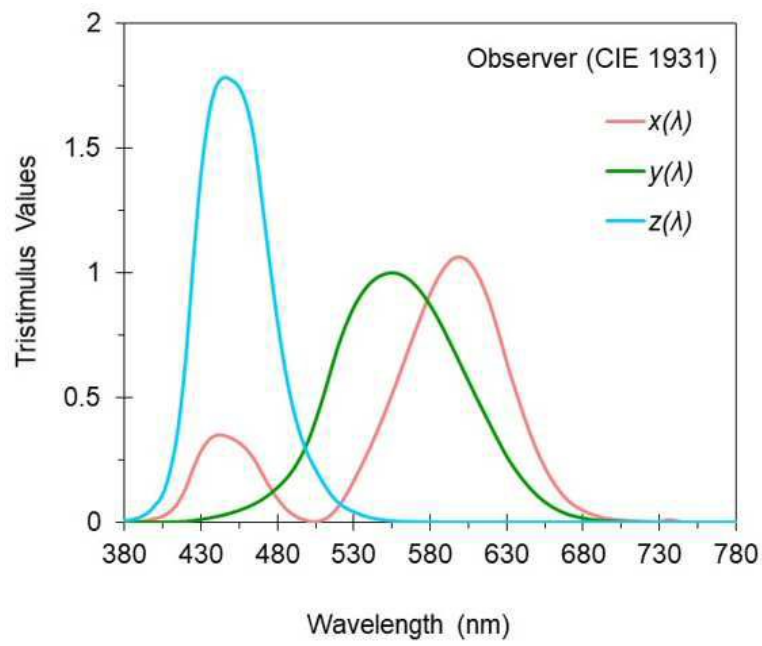
도면14



도면15



도면16



도면17

