



등록특허 10-2238865



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2021년04월12일
(11) 등록번호 10-2238865
(24) 등록일자 2021년04월06일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 51/44 (2006.01) H01L 51/00 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H01L 51/445 (2013.01)
H01L 51/0014 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2019-0137405
(22) 출원일자 2019년10월31일
심사청구일자 2019년10월31일
(56) 선행기술조사문헌
JP2016171317 A*
KR1020150016335 A*
KR101608504 B1*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
울산대학교 산학협력단
울산광역시 남구 대학로 93(무거동)
(72) 발명자
조신욱
울산광역시 울주군 범서읍 구영로 75-9, 310동
1405호(우미린1차아파트)
전 홍 난
울산광역시 남구 대학로121번길 44, 201호
(74) 대리인
특허법인다나

전체 청구항 수 : 총 13 항

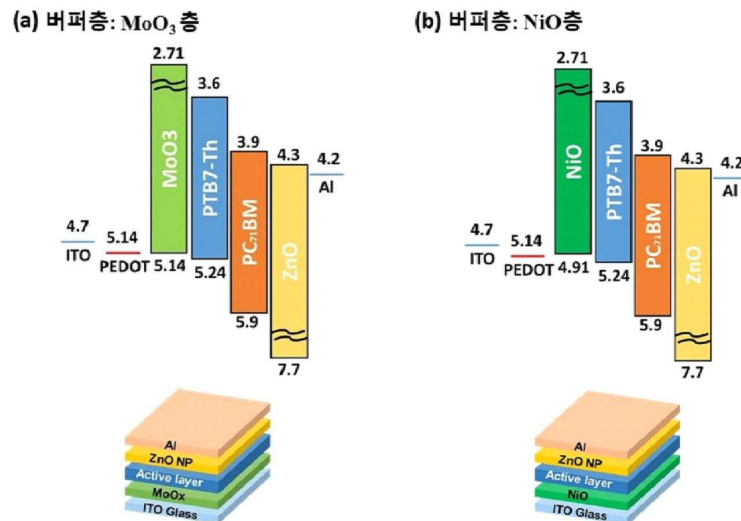
심사관 : 정미나

(54) 발명의 명칭 저온 용액 공정이 가능한 벌크 헤테로정선 고분자 태양 전지 및 이의 제조방법

(57) 요약

본 발명은 벌크 헤테로 정선 고분자 태양 전지 및 이의 제조방법에 관한 것으로, 금속 산화물 원료와 함께 탄소 수 1 내지 4의 알코올을 일정 비율로 함유하는 수용액으로 구성되는 버퍼층 형성 조성물을 이용하여 100 °C 이하의 낮은 온도에서 태양 전지의 버퍼층 형성이 가능하므로 플렉서블 태양 전지에 적용 가능하고, 제조된 태양 전지의 효율이 우수한 이점이 있다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

H01L 51/0021 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	2017R1A2B4003583
부처명	과기부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	중견연구자지원사업
연구과제명	용액공정 기반의 도핑된 OMO 하이브리드 전극을 활용한 반투명 유기태양전지 개발
기 여 율	50/100
과제수행기관명	울산대학교
연구기간	2017.03.01 ~ 2020.02.29

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	2019R1A6A1A11053838
부처명	교육부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	대학중점연구소지원(후속)
연구과제명	그린에너지 하베스트-스토리지 소재/소자 연구
기 여 율	25/100
과제수행기관명	울산대학교
연구기간	2019.06.01 ~ 2020.02.29

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	2017M2A2A6A01018599
부처명	과기부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	방사선융합기술개발(기초)
연구과제명	방사선-화학 방법으로 처리된 금속산화물을 이용한 반투명 유기태양전지
기 여 율	25/100
과제수행기관명	울산대학교
연구기간	2017.05.02 ~ 2020.01.31

명세서

청구범위

청구항 1

제1 전극;

상기 제1 전극 상에 위치하고, 몰리브덴(Mo) 및 니켈(Ni)을 포함하는 금속 산화물로 구성되는 버퍼층;

상기 버퍼층 상에 위치하는 광활성층; 및

상기 광활성층 상에 위치하는 제2 전극을 포함하고,

상기 버퍼층은 푸리에 변환-적외선 분광(FT-IR) 측정 시, 물(H₂O) 분자 피크인 $1620 \pm 3 \text{ cm}^{-1}$ 및 $3300 \pm 0.6 \text{ cm}^{-1}$ 에서 피크를 갖는 태양 전지.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 버퍼층은 푸리에 변환-적외선 분광(FT-IR) 측정 시, $565 \pm 3 \text{ cm}^{-1}$, $750 \pm 3 \text{ cm}^{-1}$, $880 \pm 3 \text{ cm}^{-1}$ 및 $960 \pm 3 \text{ cm}^{-1}$ 에서 나타나는 피크 중 어느 하나 이상 갖는 태양 전지.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 버퍼층은 푸리에 변환-적외선 분광(FT-IR) 측정 시, $425 \pm 3 \text{ cm}^{-1}$, $610 \pm 3 \text{ cm}^{-1}$, $1385 \pm 3 \text{ cm}^{-1}$ 에서 나타나는 피크 중 어느 하나 이상 피크를 갖는 태양 전지.

청구항 4

제1항에 있어서,

버퍼층은 산화몰리브덴 (MoO_x, 단, $2 \leq x \leq 3$) 및 산화니켈(NiO)의 금속 산화물을 포함하는 태양 전지.

청구항 5

제1항에 있어서,

버퍼층은 광활성층이 맞닿는 면의 표면 거칠기가 1 nm 내지 10 nm인 태양 전지.

청구항 6

제1항에 있어서,

태양 전지는 광활성층과 제2 전극 사이에 전자 수송층을 더 포함하는 태양 전지.

청구항 7

제6항에 있어서,

전자 수송층은 산화아연(ZnO), 산화티타늄(TiO_2), 스트론튬 티타네이트 (SrTiO_3), 산화텅스텐 (WO_3), 하프늄 옥사이드(HfO_2) 및 지르코늄 옥사이드(ZrO_2)로 이루어진 군으로부터 선택되는 1종 이상의 금속 산화물을 포함하는 태양 전지.

청구항 8

제1항에 있어서,

광활성층은,

PTB7, PTB7-Th, PCDTBT, F8TBT, PPV, MDMO-PPV, MEH-PPV, P3HT, PBDTTT-CF, F8BT, PSBTBT, PBTPD 및 TQ1로 이루어진 군으로부터 선택되는 1종 이상의 전자 도너 화합물, 및

C60, C70, C84, PC71BM, PC61BM, ICBA, 및 ICMA로 이루어진 군으로부터 선택되는 1종 이상의 플러렌계 전자 억셉터 화합물을 포함하는 태양 전지.

청구항 9

제1항에 있어서,

태양 전지의 전력 변환 효율 (PCE)은 7% 이상인 태양 전지.

청구항 10

제1 전극 상에 도포된 버퍼층 형성 조성물을 30 °C 내지 60 °C에서 열처리하여 버퍼층을 형성하는 단계;

형성된 버퍼층 상에 광활성층을 형성하는 단계; 및

형성된 광활성층 상에 제2 전극을 형성하는 단계를 포함하고,

상기 버퍼층 형성 조성물은 몰리브덴(Mo) 및 니켈(Ni)을 포함하는 금속 산화물 원료가 용해된 수용액이며,

상기 수용액은 물과 탄소수 1 내지 4의 알코올의 혼합물이고, 탄소수 1 내지 4의 알코올의 함량은 물 100 부피부에 대하여 5 내지 60 부피부이고,

상기 버퍼층은 푸리에 변환-적외선 분광(FT-IR) 측정 시, 물(H_2O) 분자 피크인 $1620 \pm 3 \text{ cm}^{-1}$ 및 $3300 \pm 0.6 \text{ cm}^{-1}$ 에서 피크를 갖는 태양 전지의 제조방법.

청구항 11

제10항에 있어서,

몰리브덴 금속 산화물 원료는 $\text{MoO}_2(\text{acac})_2$ 및 $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$ 로 이루어진 군으로부터 선택되는 1종 이상인 태양 전지의 제조방법.

청구항 12

제10항에 있어서,

니켈 산화물 원료는 Ni(OH)_2 , $\text{Ni(CH}_3\text{COO)}_2$, Nickel(II) nitrate ($\text{Ni(NO}_3)_2$), 및 NiCl_2 로 이루어진 군으로부터 선택되는 1종 이상인 태양 전지의 제조방법.

청구항 13

삭제

청구항 14

제10항에 있어서,

열처리 시간은 5분 내지 60분인 태양 전지의 제조방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 저온 용액 공정이 가능한 벌크 헤테로 정션 고분자 태양 전지 및 이의 제조방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 3 세대 태양 전지로 정의되는 고분자 태양 전지는 가볍고, 제조가 쉽고, 제조 비용이 저렴하며, 대면적 장치 등에 적용이 가능하다는 장점으로 인해 많은 주목을 받고 있다. 고분자 태양 전지의 전력 변환 효율 (PCE)은 초기 몇 퍼센트 효율에서 14 퍼센트 효율로 증가되었으며 전도성 고분자 재료의 개선으로 인해 현재도 여전히 증가하고 있다. 효율이 증가된 고분자 태양 전지는 전도성 고분자 재료의 개발뿐만 아니라 전극 버퍼층으로 사용되는 소재의 개발에서 비롯된 것이다. 전극 버퍼층은 고분자 활성층과 전극의 계면에서 전하 수송 및 전하 재조합을 최적화함으로써 고분자 태양 전지의 안정성에 상당한 영향을 미친다. 또한, 상기 전극 버퍼층은 누설 전류의 형성을 감소시키기 위한 전하 차단층으로서 작용이 가능하므로 고분자 태양 전지의 효율에 영향을 미친다.

[0003] PEDOT:PSS는 일반적인 p형 고분자의 HOMO 수준에 비해 높은 전도성과 높은 일함수를 가져 폴리머 태양 전지의 애노드 버퍼층 (또는 정공 수송층)으로 통상적으로 적용되는 전도성 고분자 중 하나이다. 그러나, PEDOT:PSS의 산도 특성은 ITO 전극의 식각을 유발하여 고분자 태양 전지의 효율을 떨어뜨릴 수 있고, 태양 전지 제조 시 150 °C의 열 처리 공정을 수반하기 때문에 고온 공정 시 성능이 저하되는 플렉서블 전지에 적용하기 어려운 문제가 있다.

[0004] 한편, 최근들어 MoO_3 , V_2O_5 , NiO , WO_3 와 같은 전이금속 산화물들이 높은 전도도 및 높은 안정성으로 인해 태양 전지의 애노드 버퍼층으로 활용되고 있다. 이러한 전이금속 산화물들은 졸-겔과 같은 용액 처리 방법에서 열 증착, 화학 기상 증착, 펄스 레이저 증착 등과 같은 진공 증착 처리 방법에 이르기까지 다양한 방법으로 형성이 가능하다. 가장 일반적으로 졸겔법이 활용되고 있는데, 졸겔법 역시 전이금속 산화물층 형성 후 유기 리간드를 제거하기 위하여 높은 온도에서 열처리를 수행해야 하므로 플렉서블 기판에 적용하기 쉽지 않은 한계가 있다.

[0005] 따라서, 높은 효율을 갖는 플렉서블 태양 전지를 위하여, 높은 전하 이동도와 안정성을 나타낼 뿐만 아니라, 100 °C 미만의 낮은 온도에서 제조가 가능한 전극 버퍼층에 대한 개발이 요구되고 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0006] (특허문헌 0001) 대한민국 공개특허공보 제10-2019-0098570호

(특허문헌 0002) 대한민국 공개특허공보 제10-2019-0115382호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 본 발명의 목적은 높은 전하 이동도와 안정성을 나타낼 뿐만 아니라, 100 ℃미만의 낮은 온도에서 제조가 가능한 전극 버퍼층을 구비하는 태양 전지 및 이의 제조방법을 제공하는데 있다.

과제의 해결 수단

[0008] 상기 과제를 해결하기 위하여,
 [0009] 본 발명은 일실시예에서,
 [0010] 제1 전극;
 [0011] 상기 제1 전극 상에 위치하고, 몰리브덴(Mo) 및 니켈(Ni) 중 어느 하나 이상을 포함하는 금속 산화물로 구성되는 버퍼층;
 [0012] 상기 버퍼층 상에 위치하는 광활성층; 및
 [0013] 상기 광활성층 상에 위치하는 제2 전극을 포함하고,
 [0014] 상기 버퍼층은 푸리에 변환-적외선 분광(FT-IR) 측정 시, $1620 \pm 3 \text{ cm}^{-1}$ 및 $3300 \pm 0.6 \text{ cm}^{-1}$ 에서 피크를 갖는 태양 전지를 제공한다.
 [0016] 또한, 본 발명은 일실시예에서,
 [0017] 제1 전극 상에 도포된 버퍼층 형성 조성물물을 30℃ 내지 100 ℃에서 열처리하여 버퍼층을 형성하는 단계;
 [0018] 형성된 버퍼층 상에 광활성층을 형성하는 단계; 및
 [0019] 형성된 광활성층 상에 제2 전극을 형성하는 단계를 포함하고,
 [0020] 상기 버퍼층 형성 조성물은 몰리브덴(Mo) 및 니켈(Ni) 중 어느 하나 이상의 금속을 포함하는 금속 산화물 원료가 용해된 수용액인 것을 특징으로 하는 태양 전지의 제조방법을 제공한다.

발명의 효과

[0021] 본 발명에 따르면, 금속 산화물 원료와 함께 탄소수 1 내지 4의 알코올을 일정 비율로 함유하는 수용액으로 구성되는 버퍼층 형성 조성물을 이용하여 100 ℃ 이하의 낮은 온도에서 태양 전지의 버퍼층 형성이 가능하므로 플렉서블 태양 전지에 적용 가능하고, 제조된 태양 전지의 효율이 우수한 이점이 있다.

도면의 간단한 설명

[0022] 도 1은 본 발명에 따른 태양 전지의 에너지 레벨을 나타낸 이미지로서, (a)는 버퍼층이 MoO_3 층인 경우이고, (b)는 버퍼층이 NiO 층인 경우이다.
 도 2는 실시예 1, 비교예 2 및 비교예 3에 구비된 버퍼층의 표면 거칠기를 원자간력 현미경(AFM)으로 분석한 이미지이다.
 도 3은 실시예 1, 비교예 2 및 비교예 3에 구비된 버퍼층의 푸리에 변환 적외선 분광 (FT-IR)을 측정한 그래프이다.
 도 4는 버퍼층 형성 조성물의 용매 조건에 따른 버퍼층 형성 메커니즘을 도시한 이미지이다.
 도 5는 실시예 1, 비교예 2 및 비교예 3에 구비된 버퍼층의 X선 광전자 분광 (XPS)을 측정한 그래프이다.
 도 6은 실시예 3, 비교예 4 및 비교예 6에 구비된 버퍼층의 X선 광전자 분광 (XPS)을 측정한 그래프이다.
 도 7은 실시예 및 비교예에서 준비된 태양 전지의 성능 평가 결과를 나타낸 그래프로서, (a)는 인가 전압에 따른 전류의 히스테리시스 (J-V 히스테리시스)를 나타낸 것이고, (b)는 태양 전지의 외부 양자 효율 (EQE)을 나타낸 것이며, (c)는 파장에 따른 광 투과도를 나타낸 것이다.
 도 8은 실시예 및 비교예에서 준비된 태양 전지의 에너지 밴드 다이어그램이다.
 도 9는 (a)는 전하 추출 전류 과도(charge extraction (CE) current transient)를 나타낸 그래프이고, (b)는

시간에 따른 전하 추출 밀도를 나타낸 그래프이며, (c)는 photo-CELIV를 측정한 그래프이고, (d)는 전기 화학적 임피던스 분광 (EIS)으로부터 도출된 나이퀴스트 플롯 (Nyquist plot)이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0023] 본 발명은 다양한 변경을 가할 수 있고 여러 가지 실시예를 가질 수 있는 바, 특정 실시예들을 도면에 예시하고 상세한 설명에 상세하게 설명하고자 한다.
- [0024] 그러나, 이는 본 발명을 특정한 실시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변경, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다.
- [0025] 본 발명에서, "포함한다" 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.
- [0026] 또한, 본 발명에서 첨부된 도면은 설명의 편의를 위하여 확대 또는 축소하여 도시된 것으로 이해되어야 한다.
- [0028] 본 발명은 벌크 헤테로 정션 고분자 태양 전지 및 이의 제조방법에 관한 것이다.
- [0030] 고분자 태양 전지의 효율 증가는 전도성 고분자 재료의 개발뿐만 아니라 전극 버퍼층으로 사용되는 새로운 소재의 개발에서 비롯된 것이다. 전극 버퍼층은 고분자 활성층과 전극의 계면에서 전하 수송 및 전하 재조합을 최적화함으로써 고분자 태양 전지의 안정성에 상당한 영향을 미친다. 또한, 상기 전극 버퍼층은 누설 전류의 형성을 감소시키기 위한 전하 차단층으로서 작용이 가능하므로 고분자 태양 전지의 효율에 영향을 미친다.
- [0031] 이러한 태양 전지의 전극 버퍼층으로서 종래 전도성 고분자인 PEDOT:PSS나 MoO_3 , V_2O_5 , NiO , WO_3 와 같은 전이금속 산화물 등이 사용되어 왔다. 그러나, PEDOT:PSS는 높은 산도를 나타내므로, ITO 등으로 이루어진 전극의 식각을 유발하여 고분자 태양 전지의 효율을 떨어뜨릴 수 있는 문제가 있다. 또한, PEDOT:PSS나 전이금속 산화물 등은 모두 태양 전지 제조 시 전지의 전지 효율을 향상시키기 위해서 150°C 의 열 처리 공정이 수반되어야 하는데, 종래 통용되고 플렉서블 기판은 고온에서 손상이 일어나므로 플렉서블 태양 전지에 적용이 어려운 한계가 있다.
- [0032] 이에, 본 발명은 저온 용액 공정으로 제조가 가능한 벌크 헤테로 정션 고분자 태양 전지 및 이의 제조방법을 제공한다.
- [0033] 본 발명은 금속 산화물 원료와 함께 탄소수 1 내지 4의 알코올을 일정 비율로 함유하는 수용액으로 구성되는 버퍼층 형성 조성물을 이용하여 100°C 이하의 낮은 온도에서 태양 전지의 버퍼층 형성이 가능하므로 저온에서 플렉서블 태양 전지의 제조가 가능하고, 이렇게 제조된 태양 전지의 효율이 우수한 이점이 있다.
- [0035] 이하, 본 발명을 보다 상세히 설명한다.
- [0037] **태양 전지**
- [0038] 본 발명은 일실시예에서,
- [0039] 제1 전극;
- [0040] 상기 제1 전극 상에 위치하고, 몰리브덴(Mo) 및 니켈(Ni) 중 어느 하나 이상을 포함하는 금속 산화물로 구성되는 버퍼층;
- [0041] 상기 버퍼층 상에 위치하는 광활성층; 및
- [0042] 상기 광활성층 상에 위치하는 제2 전극을 포함하는 태양 전지를 제공한다.
- [0044] 본 발명에 따른 태양 전지는 제1 전극 및 제2 전극 사이에 광활성층을 포함하고, 상기 광활성층과 제1 전극 사이에 버퍼층을 포함하는 구조를 갖고, 상기 광활성층에 공액 고분자와 플러렌 화합물을 포함하는 벌크 헤테로정션 고분자 태양 전지일 수 있다.
- [0045] 도 1은 본 발명에 따른 태양 전지의 구조 및 에너지 레벨을 나타낸 단면도로서, 도 1을 참고하여 상기 태양 전지의 각 구성을 보다 상세히 설명한다.
- [0047] 먼저, 본 발명의 태양 전지는 제1 전극으로서 전도성 투명 기재를 포함한다. 전도성 투명기재로는 인듐 주석 산

화물 (ITO), 불소화된 주석산화물 (FTO), $\text{ZnO-Ga}_2\text{O}_3$, $\text{ZnO-Al}_2\text{O}_3$, 주석계 산화물, 산화아연, 및 이들의 조합들로 이루어진 군으로부터 선택되는 물질을 함유하는 유리 기재 또는 플라스틱 기재를 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되지 않을 수 있다. 상기 전도성 투명 기재는 전도성 및 투명성을 가지는 물질이라면 특별히 제한되지 않고 사용할 수 있다. 예를 들어, 상기 플라스틱 기재는 폴리에틸렌테레프탈레이트, 폴리에틸렌나프탈레이트, 폴리카보네이트, 폴리프로필렌, 폴리이미드, 트리아세틸셀룰로오스, 및 이들의 조합들로 이루어진 군으로부터 선택되는 것을 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되지 않을 수 있다. 하나의 예로서, 상기 제1 전극은 전도성 투명 기재로서 유리 기재 상에 증착된 인듐 주석 산화물 (ITO) 박막을 사용할 수 있으며, 이때 상기 인듐 주석 산화물 (ITO)은 패터닝된 형태를 가질 수 있다.

[0049] 다음으로, 본 발명의 태양 전지는 제1 전극과 광활성층 사이에 버퍼층을 포함한다. 상기 버퍼층은 광활성층과 전극의 계면에서 전하 수송 및 전하의 재조합을 최적화하여 태양 전지의 안정성을 개선하고, 누설 전류의 형성을 방지하여 태양 전지의 효율을 향상시키는 기능을 수행하며, 이를 위하여 몰리브덴(Mo) 및 니켈(Ni) 중 어느 하나 이상을 포함하는 금속 산화물로 구성된다. 구체적으로 상기 버퍼층은 몰리브덴(Mo) 및/또는 니켈(Ni)을 포함하는 산화몰리브덴 (MoO_x , 단, $2 \leq x \leq 3$), 산화니켈(NiO) 등을 단독으로 포함하거나 병용하여 포함할 수 있으며, 상기 산화몰리브덴(MoO_x)은 삼산화몰리브덴 (MoO_3), 이산화몰리브덴 (MoO_2)일 수 있다.

[0050] 하나의 예로서, 본 발명의 태양 전지는 제1 전극과 광활성층 사이에 삼산화몰리브덴 (MoO_3)을 포함하는 버퍼층을 구비하거나 산화니켈(NiO)을 포함하는 버퍼층을 구비할 수 있다.

[0051] 또한, 상기 버퍼층은 500 내지 4000 cm^{-1} 범위에서 푸리에 변환-적외선 분광(FT-IR) 측정 시, $1620 \pm 3 \text{ cm}^{-1}$ 및 $3300 \pm 0.6 \text{ cm}^{-1}$ 에서 피크를 나타낼 수 있다. 본 발명은 버퍼층 형성 시 금속 산화물 원료를 포함하는 수용액을 이용하여 100°C 이하의 낮은 온도에서 제조되므로 버퍼층 내부에 물 분자(H_2O)를 내포할 수 있으며, 이에 따라 물(H_2O)의 밴딩 및 스트레칭 진동을 각각 나타내는 피크를 $1620 \pm 3 \text{ cm}^{-1}$ 및 $3300 \pm 0.6 \text{ cm}^{-1}$ 에 포함할 수 있다.

[0052] 아울러, 상기 버퍼층은 상기 피크들 이외에 금속 산화물을 나타내는 피크들을 1000 cm^{-1} 에서 가질 수 있다. 구체적으로, 상기 버퍼층은 삼산화몰리브덴 (MoO_3)으로 구성되는 경우 $565 \pm 3 \text{ cm}^{-1}$, $750 \pm 3 \text{ cm}^{-1}$, $880 \pm 3 \text{ cm}^{-1}$ 및 $960 \pm 3 \text{ cm}^{-1}$ 중에서 하나 이상의 피크를 나타낼 수 있으며, 산화니켈(NiO)로 구성되는 경우, $425 \pm 3 \text{ cm}^{-1}$, $610 \pm 3 \text{ cm}^{-1}$, $1385 \pm 3 \text{ cm}^{-1}$ 중에서 하나 이상의 피크를 나타낼 수 있다.

[0053] 아울러, 상기 버퍼층은 광활성층과 맞닿는 면의 표면 거칠기가 일정 범위로 조절될 수 있다. 태양 전지는 전지의 광전 변환 효율을 높이기 위해서 버퍼층과 광활성층 계면에서의 정공 수집이 용이해야 하는데, 이러한 정공 수집은 표면 거칠기에 영향을 받을 수 있다. 구체적으로, 본 발명은 광활성층과 맞닿는 버퍼층의 표면 거칠기를 높게 유지함으로써 광활성층 계면에서 정공 수집을 증가시킬 수 있으며, 이를 위해 상기 버퍼층은 광활성층과 맞닿는 면의 표면 거칠기가 1 nm 내지 10 nm 일 수 있고, 보다 구체적으로는 3 nm 내지 10 nm , 4 nm 내지 8 nm , 4 nm 내지 6 nm , 1 nm 내지 8 nm , 1 nm 내지 6 nm , 1 nm 내지 5 nm , 2 nm 내지 6 nm , 3 nm 내지 6 nm 또는 3.5 nm 내지 4.5 nm 일 수 있다.

[0054] 이와 더불어, 상기 버퍼층의 평균 두께는 특별히 제한되는 것은 아니나, 태양 전지의 전체 두께 및 전력 변환 효율 (PCE)을 고려하여, 50 nm 내지 150 nm 일 수 있고, 구체적으로는 80 nm 내지 120 nm 일 수 있다.

[0056] 다음으로, 본 발명의 태양 전지는 버퍼층과 제2 전극 사이에 광활성층을 포함하며, 상기 광활성층은 전자 도너(donor)인 공액 고분자와 전자 억셉터(acceptor)인 플러렌계 화합물을 포함할 수 있다.

[0057] 구체적으로, 상기 광활성층은 공액 고분자로서, 폴리({4,8-비스[(2-에틸헥실)옥시]벤조[1,2-b:4,5-b']디티오펜-2,6-디일}{3-플루오로-2-[(2-에틸헥실)카보닐]티에노[3,4-b]티오펜디일}) (Poly({4,8-bis[(2-ethylhexyl)oxy]benzo[1,2-b:4,5-b']dithiophene-2,6-diyl}{3-fluoro-2-[(2-ethylhexyl)carbonyl]thieno[3,4-b]thiophenediyl}), PTB7), 폴리([2,6'-4,8-디(5-에틸헥실티에닐)벤조[1,2-b:3,3-b]디티오펜]{3-플루오로-2[(2-에틸헥실)카보닐]티에노[3,4-b]티오펜디일}) (Poly([2,6'-4,8-di(5-ethylhexylthienyl)benzo[1,2-b:3,3-b]dithiophene){3-fluoro-2[(2-ethylhexyl)carbonyl]thieno[3,4-b]thiophenediyl}), PTB7-Th), 폴리[[9-(1-옥틸노닐)-9H-카바졸-2,7-디일]-2,5-티오펜디일-2,1,3-벤조티아디아졸-4,7-디일-2,5-티오펜디일] (Poly[[9-(1-octylnonyl)-9H-carbazole-2,7-diyl]-2,5-thiophenediyl-2,1,3-benzothiadiazole-4,7-diyl-2,5-

thiophenediyl], PCDTBT), 폴리[(9,9-디옥틸플루오렌)-2,7-다이알-alt-(4,7-비스(3-헥실티엔-5-일)-2,1,3-벤조티아디아졸)-2',2"-다이알] (Poly[(9,9-dioctylfluorene)-2,7-diyl-alt-(4,7-bis(3-hexylthien-5-yl)-2,1,3-benzothiadiazole)-2',2"-diyl], F8TBT), 폴리(p-페닐렌 비닐렌) (Poly(p-phenylene vinylene), PPV), 폴리[2-메톡시-5-(3',7'-디메틸옥틸옥시)-1,4-페닐렌비닐렌] (Poly[2-methoxy-5-(3',7'-dimethyloctyloxy)-1,4-phenylenevinylene], MDMO-PPV), 폴리[2-메톡시-5-(2-에틸헥실옥시)-1,4-페닐렌비닐렌] (Poly[2-methoxy-5-(2-ethylhexyloxy)-1,4-phenylenevinylene], MEH-PPV), 폴리(3-헥실티오펜-2,5-다이알) (Poly(3-hexylthiophene-2,5-diyl), P3HT), 폴리[1-(6-{4,8-비스[(2-에틸헥실)옥시]-6-메틸벤조[1,2-b:4,5-b']디티오펜-2-일}-3-플루오로-4-메틸티에노[3,4-b]티오펜-2-일)-1-옥타논] (Poly[1-(6-{4,8-bis[(2-ethylhexyl)oxy]-6-methylbenzo[1,2-b:4,5-b']dithiophen-2-yl}-3-fluoro-4-methylthieno[3,4-b]thiophen-2-yl)-1-octanone], PBDTTT-CF), 폴리(9,9-디옥틸플루오렌-alt-벤조티아디아졸) (Poly(9,9-dioctylfluorene-alt-benzothiadiazole), F8BT), 폴리[(4,4'-비스(2-에틸헥실)디티에노[3,2-b:2',3'-d]실롤)-2,6-다이알-alt-(2,1,3-벤조티아디아졸)-4,7-다이알] (Poly[(4,4'-bis(2-ethylhexyl)dithieno[3,2-b:2',3'-d]silole)-2,6-diyl-alt-(2,1,3-benzothiadiazole)-4,7-diyl], PSBTBT), 폴리[[5-(2-에틸헥실)-5,6-디하이드로-4,6-디옥소-4H-티에노[3,4-c]피롤-1,3-다이알](4,4'-디도데실[2,2'-바이티오펜]-5,5'-다이알)] (Poly[[5-(2-ethylhexyl)-5,6-dihydro-4,6-dioxo-4H-thieno[3,4-c]pyrrole-1,3-diyl](4,4'-didodecyl[2,2'-bithiophene]-5,5'-diyl)], PBTTPD) 및 폴리[[2,3-비스(3-옥틸옥시페닐)-5,8-퀴녹살리딘]-2,5-티오펜다이알] (Poly[[2,3-bis(3-octyloxyphenyl)-5,8-quinoxalinediyl]-2,5-thiophenediyl], TQ1) 로 이루어진 군으로부터 선택되는 1종 이상을 포함할 수 있다.

- [0058] 또한, 상기 광활성층은 플러렌계 화합물로서 C60, C70, C84, PC71BM, PC61BM, ICBA 및 ICMA로 이루어진 군으로부터 선택되는 1종 이상을 포함할 수 있다.
- [0059] 하나의 예로서, 상기 태양 전지는 폴리[(2,6'-4,8-디(5-에틸헥실티에닐)벤조[1,2-b:3,3-b]디티오펜){3-플루오로-2[(2-에틸헥실)카보닐]티에노[3,4-b]티오펜다이알}] (PTB7-Th)와 PC71BM이 혼합된 형태(PTB7-Th:PC71BM)의 광활성층을 구비할 수 있다.
- [0061] 다음으로, 본 발명의 태양 전지는 제2 전극으로서 백금 (Pt), 금 (Au), 니켈 (Ni), 구리 (Cu), 은 (Ag), 인듐 (In), 루테튬 (Ru), 팔라듐 (Pd), 로듐 (Rh), 이리듐 (Ir), 오스뮴 (Os), 탄소 (C), 전도성 고분자, 및 이들의 조합들로 이루어진 군으로부터 선택되는 것을 포함하는 것일 수 있다. 하나의 예로서, 안정성인 높은 금속인 알루미늄 (Al)을 사용할 수 있으며, 이 경우, 본원의 태양 전지의 장기 안정성을 향상시킬 수 있다.
- [0063] 나아가, 본 발명의 태양 전지는 제2 전극과 광활성층 사이에 전자 수송층 (Electron Transport Layer, ETL)을 더 포함할 수 있고, 상기 전자 수송층 (ETL)은 이산화티타늄 (TiO₂), 산화아연 (ZnO), 스트론튬 티타나이트 (SrTiO₃), 산화텅스텐 (WO₃), 하프늄 옥사이드(HfO₂) 및 지르코늄 옥사이드(ZrO₂) 또는 이들의 혼합물로부터 선택되는 금속산화물을 포함하는 것일 수 있다. 하나의 예로서, 상기 전자 수송층 (ETL)은 산화아연 (ZnO) 박막을 포함할 수 있다.
- [0065] 본 발명에 따른 태양 전지는 상기와 같은 구성을 가짐으로써 전력 변환 효율 (Power Conversion Efficiency, PCE)가 우수할 수 있다. 구체적으로, 상기 태양 전지는 전력 변환 효율 (PCE)이 7% 이상일 수 있으며, 보다 구체적으로는 8% 이상, 7% 내지 15%, 7.5 내지 13%, 7.5% 내지 11%, 7.5% 내지 10%, 8% 내지 11%, 8% 내지 10%, 8.5% 내지 15%, 8.5% 내지 9.5%, 또는 8.7% 내지 9.5%일 수 있다. 이 경우, 표준 편차는 0.5 이하일 수 있다.
- [0067] **태양 전지의 제조방법**
- [0068] 또한, 본 발명은 일실시예에서,
- [0069] 제1 전극 상에 도포된 버퍼층 형성 조성물을 30 °C 내지 100 °C에서 열처리하여 버퍼층을 형성하는 단계;
- [0070] 형성된 버퍼층 상에 광활성층을 형성하는 단계; 및
- [0071] 형성된 광활성층 상에 제2 전극을 형성하는 단계를 포함하고,
- [0072] 상기 버퍼층 형성 조성물은 몰리브덴(Mo) 및 니켈(Ni) 중 어느 하나 이상의 금속을 포함하는 금속 산화물 원료가 용해된 수용액인 것을 특징으로 하는 태양 전지의 제조방법을 제공한다.
- [0074] 본 발명에 따른 태양 전지의 제조방법은 제1 전극 상에 버퍼층, 전자 수송층, 광활성층 및 제2 전극을 순차적으로 형성함으로써 수행될 수 있다.
- [0075] 구체적으로, 상기 제조방법은 제1 전극 상에 버퍼층 형성 조성물을 도포하고, 공기(air) 조건 하에서 열처리하

여 버퍼층을 형성하고, 형성된 버퍼층 상에 광활성층을 형성한 다음, 제2 전극을 형성함으로써 수행될 수 있다.

- [0076] 여기서, 상기 버퍼층 형성 조성물은 금속 산화물 원료가 용매에 용해, 희석 및/또는 분산된 형태를 가질 수 있으며, 이때 상기 금속 산화물 원료는 몰리브덴(Mo) 및 니켈(Ni) 중 어느 하나 이상을 포함하는 금속 화합물일 수 있다. 구체적으로, 상기 금속 산화물 원료는 몰리브덴(Mo) 및 니켈(Ni) 중 어느 하나 이상을 함유하고, 별도의 첨가제 없이 열에 의해 가수분해가 되는 금속 화합물일 수 있다. 보다 구체적으로, 상기 금속 산화물 원료는 $\text{MoO}_2(\text{acac})_2$, $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$, $\text{Ni}(\text{OH})_2$, $\text{Ni}(\text{CH}_3\text{COO})_2$, $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$ 및 NiCl_2 로 이루어진 군으로부터 선택되는 1종 이상을 포함할 수 있다.
- [0077] 하나의 예로서, 상기 금속 산화물 원료는 $\text{MoO}_2(\text{acac})_2$ 또는 $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$ 일 수 있다.
- [0078] 또한, 상기 버퍼층 형성 조성물은 용매의 주성분으로서 물 (H_2O)을 포함할 수 있다. 여기서, "주성분으로 한다"란 버퍼층 형성 조성물에 포함된 전체 용매 100 부피부에 대하여 30 부피부 이상, 구체적으로는 40 부피부 이상, 보다 구체적으로는 50 부피부 이상 포함하는 것을 의미할 수 있다.
- [0079] 상기 용매는 주성분인 물 (H_2O)과 함께 탄소수 1 내지 4의 알코올을 더 포함할 수 있으며, 이를 통해 버퍼층 형성 시 100 °C 이하의 저온에서도 성능이 우수한 버퍼층을 용이하게 제조할 수 있다. 이때, 상기 알코올로는 메탄올, 에탄올, n-프로판올, 및/또는 iso-프로판올을 사용할 수 있으며, 바람직하게는 에탄올을 사용할 수 있다. 또한, 상기 알코올의 함량은 물 (H_2O) 100 부피부에 대하여 5 내지 80 부피부일 수 있으며, 구체적으로는 물 (H_2O) 100 부피부에 대하여 5 내지 60 부피부, 5 내지 50 부피부, 5 내지 40 부피부, 5 내지 30 부피부, 5 내지 20 부피부, 5 내지 15 부피부, 10 내지 80 부피부, 20 내지 80 부피부, 30 내지 80 부피부, 40 내지 80 부피부, 40 내지 60 부피부, 50 내지 80 부피부, 8 내지 35 부피부, 8 내지 13 부피부, 10 내지 20 부피부, 10 내지 30 부피부, 15 내지 25 부피부, 20 내지 40 부피부 또는 30 내지 85 부피부일 수 있다.
- [0080] 하나의 예로서, 상기 탄소수 1 내지 4의 알코올의 함량은 태양 전지에 구비되는 버퍼층이 산화몰리브덴(MoO_x , 단, $2 \leq x \leq 3$)인 경우 물 (H_2O) 100 부피부에 대하여 10 내지 14 부피부일 수 있고, 버퍼층이 산화니켈(NiO)인 경우 물 (H_2O) 100 부피부에 대하여 45 내지 55 부피부일 수 있다.
- [0081] 나아가, 상기 버퍼층 형성 조성물은 저온에서 버퍼층을 형성하기 위하여 금속 산화물 원료를 용매에 용해, 희석 및/또는 분산한 후 5~15일, 구체적으로는 7~15일 또는 9~11일 동안 숙성시킨 것일 수 있다. 상기 버퍼층 형성 조성물은 일정 시간 동안 숙성됨으로써 에 따라 저온 공정에서도 버퍼층을 형성할 수 있다.
- [0082] 아울러, 도포된 버퍼층 형성 조성물을 열처리하는 온도는 30°C 내지 100°C일 수 있으며, 구체적으로는 30°C 내지 90°C, 30°C 내지 80°C, 30°C 내지 70°C, 30°C 내지 60°C, 40°C 내지 60°C 또는 45 °C 내지 55 °C일 수 있다.
- [0083] 또한, 상기 열처리 시간은 5분 내지 60분일 수 있고, 보다 구체적으로는 5분 내지 40분, 5분 내지 30분, 20분 내지 60분, 10분 내지 30분, 15분 내지 30분, 또는 15분 내지 25분일 수 있다.
- [0084] 이와 더불어, 상기 광활성층은 도너(donor)인 공액 고분자와 억셉터(acceptor)인 플러렌계 화합물을 포함하는 광활성층용 조성물을 버퍼층 상에 도포하고, 이를 건조시킴으로써 제조될 수 있다.
- [0085] 이때, 상기 공액 고분자로는, 폴리({4,8-비스[(2-에틸헥실)옥시]벤조[1,2-b:4,5-b']디티오펜-2,6-디일}{3-플루오로-2-[(2-에틸헥실)카보닐]티에노[3,4-b]티오펜디일}} (PTB7), 폴리([2,6'-4,8-디(5-에틸헥실티에닐)벤조[1,2-b:3,3-b']디티오펜}{3-플루오로-2[(2-에틸헥실)카보닐]티에노[3,4-b]티오펜디일}} (PTB7-Th), 폴리[[9-(1-옥틸노닐)-9H-카바졸-2,7-디일]-2,5-티오펜디일-2,1,3-벤조티아디아졸-4,7-디일-2,5-티오펜디일] (PCDTBT), 폴리[(9,9-디옥틸플루오렌)-2,7-디일-alt-(4,7-비스(3-헥실티엔-5-일)-2,1,3-벤조티아디아졸)-2',2"-디일] (F8TBT), 폴리(p-페닐렌 비닐렌) (PPV), 폴리[2-메톡시-5-(3',7'-디메틸옥틸옥시)-1,4-페닐렌비닐렌] (MDMO-PPV), 폴리[2-메톡시-5-(2-에틸헥실옥시)-1,4-페닐렌비닐렌] (MEH-PPV), 폴리(3-헥실티오펜-2,5-디일) (P3HT), 폴리[1-(6-{4,8-비스[(2-에틸헥실)옥시]-6-메틸벤조[1,2-b:4,5-b']디티오펜-2-일}-3-플루오로-4-메틸티에노[3,4-b]티오펜-2-일)-1-옥타논] (PBDTTT-CF), 폴리(9,9-디옥틸플루오렌-alt-벤조티아디아졸) (F8BT), 폴리[(4,4'-비스(2-에틸헥실)디티에노[3,2-b:2',3'-d]실롤)-2,6-디일-alt-(2,1,3-벤조티아디아졸)-4,7-디일] (PSBTBT), 폴리[[5-(2-에틸헥실)-5,6-디하이드로-4,6-디옥소-4H-티에노[3,4-c]피롤-1,3-디일](4,4'-디도데실[2,2'-바이티오펜]-5,5'-디일)] (PBTPD) 및 폴리[[2,3-비스(3-옥틸옥시페닐)-5,8-퀴녹살린디일]-2,5-티오펜디일] (TQ1)로

이루어진 군으로부터 선택되는 1종 이상을 포함할 수 있다.

- [0086] 또한, 상기 플러렌계 화합물로는 C60, C70, C84, PC71BM, PC61BM, ICBA 및 ICMA로 이루어진 군으로부터 선택되는 1종 이상을 포함할 수 있다.
- [0087] 나아가, 상기 태양 전지의 제조방법은 광활성층 상에 제2 전극을 형성하기 이전에 전자 수송층을 형성하는 단계를 더 포함할 수 있다. 구체적으로, 상기 전자 수송층은 이산화티타늄 (TiO_2), 산화아연 (ZnO), 스트론튬 티타네이트 (SrTiO_3), 산화텅스텐 (WO_3) 또는 이들의 혼합물로부터 선택되는 금속산화물이 분산된 조성물을 광활성층 상에 도포하고, 이를 건조시킴으로써 형성될 수 있다.
- [0088] 이때, 상기 조성물은 용매로서 버퍼층 형성 조성물과 동일한 용매를 사용할 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0090] 이하, 본 발명을 실시예 및 실험예에 의해 보다 상세히 설명한다.
- [0091] 단, 하기 실시예 및 실험예는 본 발명을 예시하는 것일 뿐, 본 발명의 내용이 하기 실시예 및 실험예에 한정되는 것은 아니다.
- [0093] **실시예 1.**
- [0094] 몰리브덴 디옥시디아세틸아세토네이트 ($\text{MoO}_2(\text{acac})_2$, 99%)를 1 mL의 무수 에탄올 99.9 % (Sigma-Aldrich)과 9 mL의 탈 이온수의 혼합용매($\text{EtOH}:\text{H}_2\text{O}=11.1:100$ v/v)로 희석시켰다. 희석액을 1 시간 동안 교반하여 용액의 색상이 담청색으로 변하면 실온($22\pm 2^\circ\text{C}$)에서 10일 이상 숙성시켜 진한 파란색의 희석액을 얻었다. 그런 다음, 희석액에 Triton X-100 (Sigma-Aldrich)을 2:4 (mg:mL)의 비율로 첨가하고, 2 시간 동안 초음파 처리하여 버퍼층 형성 조성물을 얻었다.
- [0095] 패터화된 인듐-주석 산화물 (ITO) 기판을 각각 탈 이온수, 아세톤 및 이소 프로필 알코올에서 초음파 처리하고, 100°C 오븐에서 건조시켰다. 그 후, 기판을 60 분간 UV 처리하여 표면의 친수성을 증가시키고, 앞서 준비된 버퍼층 형성 조성물을 5000 rpm으로 스핀 코팅한 후 공기 조건하에서 $50\pm 1^\circ\text{C}$ 로 20분간 열처리하여 버퍼층(MoO_3 층)을 100 ± 5 nm 두께로 형성하고 실온에서 냉각시켰다.
- [0096] 이와 별도로, PTB₇-Th 및 PC₇₁BM (1:1.5 중량 비율)이 클로로벤젠에 분산된 혼합 용액에 PTB₇-Th 및 PC₇₁BM의 총 중량에 대하여 3중량%의 1,8-디아이오도옥탄(DIO)을 상분리를 위해 첨가하고 1일 동안 교반하였다. 그런 다음, 혼합 용액을 0.45 μm PTFE 시린지 필터로 여과하여 광활성층용 조성물을 준비하였다.
- [0097] 그런 다음, 질소(N_2) 가스로 충전된 글로브 박스 내에서, 앞서 버퍼층이 형성된 인듐-주석 산화물 (ITO) 기판에 광활성층용 조성물을 900 rpm 내지 1100 rpm 범위의 스핀 속도로 스핀 코팅하여 100 ± 5 nm 두께의 광활성층을 형성하였다.
- [0098] 그 후, 이소프로필 알코올과 탈 이온수가 1:5 (vol./vol.)의 비율로 혼합된 혼합 용매에 산화아연(ZnO) 나노 입자를 이소프로필 알코올에 대하여 2.5 중량%가 되도록 혼합하고, 5000 rpm의 속도로 광활성층 상에 코팅한 후 실온의 글로브 박스 내에서 1시간 동안 건조시켜 전자 수송층을 형성하였다.
- [0099] 이어서, 전자 수송층이 형성된 기판을 증착 장치에 고정하고, 10^{-6} Torr 미만의 고진공 압력 하에서 전자 수송층 상에 100 nm 두께의 알루미늄(Al)을 증착하여 알루미늄 전극이 형성된 태양 전지(구조: ITO/ MoO_x /PTB₇-Th:PC₇₁BM/ ZnO /Al)를 제조하였다. 이때, 상기 태양 전지는 금속 새도 마스크에 의해 정의된 활성 표면적이 0.13 cm^2 이었다.
- [0101] **실시예 2 내지 7.**
- [0102] 버퍼층 형성 시 금속 산화물 원료로서 니켈 나이트레이트 ($\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$, 99.9%)를 사용하고, 버퍼층 형성 조성물의 용매 조건과 열처리 온도 조건을 하기 표 1에 나타난 바와 같이 제어하는 것을 제외하고, 실시예 1과 동일한 방법을 수행하여 태양 전지(구조: ITO/ NiO /PTB₇-Th:PC₇₁BM/ ZnO /Al)를 제조하였다.

표 1

[0103]

	버퍼층 형성 조성물의 용매 조건			열처리 온도 ($^{\circ}\text{C}$)
	에탄올 함량	탈 이온수 함량	에탄올:탈 이온수의 비율 (vol./vol.)	
실시예 2	5 mL	5 mL	1:1	50 ± 1
실시예 3	3.33 mL	6.67 mL	1:2	50 ± 1
실시예 4	2.5 mL	7.5 mL	1:3	50 ± 1
실시예 5	1.67 mL	8.3 mL	1:5	50 ± 1
실시예 6	1.25 mL	8.75 mL	1:7	50 ± 1
실시예 7	3.33 mL	6.67 mL	1:2	100 ± 1

[0104]

비교예 1.

[0105]

버퍼층으로서 MoO_3 층 대신 PEDOT:PSS층을 100nm 두께로 형성하여 150°C 에서 열처리하고, 알루미늄 전극 대신은 전극을 형성한 것을 제외하고, 상기 실시예 1과 동일한 방법으로 수행하여 태양 전지(구조: ITO/PEDOT:PSS/PTB₇-Th:PC₇₁BM/ZnO/Ag)를 제조하였다.

[0107]

비교예 2 및 3.

[0108]

몰리브덴 디옥시디아세틸아세토네이트 ($\text{MoO}_2(\text{acac})_2$, 99%)가 12 mg/mL의 농도로 10 mL 무수 에탄올 99.9 %로 희석하여 형성된 버퍼층 형성 조성물을 사용하고, 버퍼층 형성 조성물이 스핀 코팅된 인듐-주석 산화물 (ITO) 기판을 각각 50°C 및 200°C 에서 열처리한 것을 제외하고 상기 실시예 1과 동일한 방법으로 수행하여 태양 전지(구조: ITO/ MoO_x /PTB₇-Th:PC₇₁BM/ZnO/Al)를 제조하였다.

[0110]

비교예 4 내지 8.

[0111]

버퍼층 형성 시 금속 산화물 원료로서 니켈 나이트레이트 ($\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$, 99.9%)를 사용하고, 버퍼층 형성 조성물의 용매 조건과 열처리 온도 조건을 하기 표 2에 나타난 바와 같이 제어하는 것을 제외하고, 실시예 1과 동일한 방법을 수행하여 태양 전지(구조: ITO/NiO/PTB₇-Th:PC₇₁BM/ZnO/Al)를 제조하였다.

표 2

[0112]

	버퍼층 형성 조성물의 용매 조건			열처리 온도 ($^{\circ}\text{C}$)
	에탄올 함량	탈 이온수 함량	에탄올:탈 이온수의 비율 (vol./vol.)	
비교예 4	10 mL	-	1:0	50 ± 1
비교예 5	10 mL	-	1:0	100 ± 1
비교예 6	10 mL	-	1:0	200 ± 1
비교예 7	3.33 mL	6.67 mL	1:2	150 ± 1
비교예 8	3.33 mL	6.67 mL	1:2	200 ± 1

[0114]

실험예 1.

[0115]

본 발명에 따른 버퍼층의 형태 및 표면 거칠기, 결정학적 구조 등을 평가하고, 버퍼층의 형성 메커니즘을 확인하기 위하여 실시예 1 및 3과 비교예 1 내지 4 및 6과 동일한 방법으로 버퍼층을 형성한 시편을 준비하고, 상기 시편들을 대상으로 ① 원자간력 현미경 (atomic force microscope, AFM), ② 푸리에 변환 적외선 분광 (Fourier-transform infrared spectroscopy, FT-IR), ③ X선 광전자 분광 (X-ray Photoelectron Spectroscopy, XPS) 분석을 수행하여 그 결과를 도 2 내지 6에 나타내었다. 구체적인 분석 조건은 다음과 같다:

[0116]

- 원자간력 현미경 (AFM) 분석: 원자력 현미경 (AFM, Nanoscope, SII NanoTechnology)을 이용하여 버퍼층 표면을 촬영하여 표면 거칠기 (RMS)를 측정하였다.

[0117]

- 푸리에 변환 적외선 분광 (FT-IR) 분석: Bruker Invenio R 분광계를 이용하여 500 내지 4000 cm^{-1} 범위에서 스펙트럼을 측정하였다.

[0118] - X선 광전자 분광 (XPS): Thermo Fish사의 X선 광전자 분광기로 단색 AlK α 방사선 ($h\nu = 1486.6$ eV)을 이용하여 약 10^{-7} Torr에서 100 eV 내지 900 eV의 결합 에너지 범위에서 X선 광전자분광 (XPS)을 측정하였으며, 모든 결합 에너지는 내부 표준으로서 C1s 피크로 정규화되었다.

[0120] 도 2 내지 6을 살펴보면, 본 발명에 따라 형성되는 버퍼층은 금속 산화물 원료를 포함하는 수용액을 이용하여 낮은 온도에서 용이하게 제조됨을 알 수 있다.

[0121] 구체적으로, 도 2는 아연-주석 산화물(ITO) 기판과, 산화몰리브덴(MoO_3)으로 구성되는 실시예 1, 비교예 2 및 3의 버퍼층을 원자력 현미경 (AFM)으로 촬영한 이미지이다. 상기 이미지를 참고하면, 버퍼층 형성 조성물에 용매로서 수분을 포함하지 않는 에탄올을 사용하여 형성된 비교예 2 및 3의 버퍼층과 버퍼층 형성 조성물의 용매로 에탄올과 물을 일정 비율로 포함하는 실시예 1의 버퍼층은 표면에 금속 산화물 입자가 응집된 유사 형태를 갖는 것으로 확인되었다.

[0122] 그러나, 각 버퍼층의 표면 거칠기 (RMS)는 하기 표에 나타난 바와 같이 버퍼층 형성 조성물의 용매 조건과 열처리 온도에 따라 상이한 것을 알 수 있다. 버퍼층의 표면 거칠기는 광활성층인 $\text{PTB}_7\text{-Th:PC}_{71}\text{BM}$ 과의 계면 접촉 면적을 증가시켜 인터페이스 근처에서의 정공 수집을 위한 보다 효율적인 경로를 제공할 수 있다.

표 3

	표면 거칠기 (RMS)
ITO 기판	2.48 nm
실시예 1의 버퍼층	4.14 nm
비교예 2의 버퍼층	1.81 nm
비교예 3의 버퍼층	3.49 nm

[0125] 따라서, 버퍼층의 표면 거칠기가 큰 경우 버퍼층과 광활성층과의 계면 접촉 면적이 보다 증가하므로 실시예 1의 버퍼층이 보다 정공 수집 효율이 높음을 알 수 있다.

[0127] 또한, 도 3은 실시예 1, 비교예 2 및 3의 버퍼층을 푸리에 변환 적외선 분광 (FT-IR) 분석한 그래프이다.

[0128] 도 3을 살펴보면, 용매로 무수 에탄올을 사용한 버퍼층 형성 조성물을 이용하여 50℃ 열처리 조건에서 형성된 비교예 2의 버퍼층은 금속 산화물 원료인 $\text{MoO}_2(\text{acac})_2$ 의 가수분해가 완료되지 않아 $\text{MoO}_2(\text{acac})_2$ 을 나타내는 특정 피크가 확인되었다. 구체적으로, 비교예 2의 버퍼층은 $\text{MoO}_2(\text{acac})_2$ 의 특정 피크로서 1573cm^{-1} 에서 C=C 결합의 스트레칭을 나타내는 피크, 1530cm^{-1} 에서 C=O 결합의 스트레칭을 나타내는 피크, 1422cm^{-1} 에서 CH=O 결합의 스트레칭과 -CH 결합의 굽힘을 나타내는 피크, 1354cm^{-1} 에서 -CH $_3$ 결합의 대칭 굽힘을 나타내는 피크, 1280cm^{-1} 에서 C=C 결합의 스트레칭과 -C-CH $_3$ 결합의 스트레칭을 나타내는 피크, 1029cm^{-1} 에서 -CH $_3$ 결합의 록킹을 나타내는 피크를 갖는 것이 확인되었다. 또한, 비교예 2의 버퍼층은 3300cm^{-1} 에서 에탄올로부터 유래되는 OH 결합의 스트레칭을 나타내는 피크를 갖는 것으로 확인되었다.

[0129] 아울러, 비교예 2의 버퍼층은 800cm^{-1} 에서 Mo-O-Mo 결합의 스트레칭을 나타내는 피크와 함께 아세틸아세토네이트 리간드로부터 유래되는 CH 결합의 평면 외 굽힘을 나타내는 피크가 뚜렷하게 나타났다. 구체적으로 비교예 2의 버퍼층은 cis-MoO $_2$ 의 O=Mo=O 결합이 갖는 스트레칭과 Mo-O-Mo 결합이 갖는 굽힘을 나타내는 피크와 아세틸아세토네이트 리간드가 갖는 피크를 나타내는 이는 비교예 2의 버퍼층이 몰리브덴 산화물 (MoO_3)이 아닌 금속 산화물 원료인 $\text{MoO}_2(\text{acac})_2$ 와 용매인 에탄올로부터 유래되는 폴리 디옥소몰리브데넘 ($\text{Mo}_2\text{O}_5(\text{acac})_2(\text{EtOH})_2$)를 포함함을 나타낸다.

[0130] 또한, 용매로 무수 에탄올을 사용한 버퍼층 형성 조성물을 이용하여 형성된 비교예 3의 버퍼층은 200 ℃에서 열처리되어 금속 산화물 원료인 $\text{MoO}_2(\text{acac})_2$ 를 나타내는 피크는 물론 용매인 에탄올로부터 유도되는 피크의 강도가 현저히 줄어들고, 800cm^{-1} 에서 나타나는 아세틸아세토네이트 리간드 유래 CH 결합의 벤딩을 나타내는 피크는 뚜

렷하게 나타나지 않았다. 이와 더불어, 960cm^{-1} 과 880cm^{-1} 에서 몰리브덴 산화물 (MoO_x)이 나타내는 Mo=O 및 O=Mo=O 결합의 스트레칭 피크가 확인되었다.

[0131] 이는, 버퍼층 형성용 조성물의 용매가 탄소수 1 내지 4의 알코올만 포함하는 무수 조건인 경우 $200\text{ }^\circ\text{C}$ 의 열처리 조건에서는 금속 산화물 원료인 $\text{MoO}_2(\text{acac})_2$ 가 완전히 분해되어 금속 산화물인 MoO_3 을 형성되나, 열처리 온도가 $150\text{ }^\circ\text{C}$ 이하이면 금속 산화물 원료가 불완전 분해됨을 의미한다. 이 경우 최종적으로 제조되는 태양 전지의 효율이 현저히 저감될 수 있다.

[0132] 나아가, 용매로 에탄올과 물을 일정 비율로 포함하는 버퍼층 형성 조성물을 이용하여 형성된 실시예 1의 버퍼층은 몰리브덴 산화물 (MoO_3)이 나타내는 전형적인 피크를 갖는 것으로 확인되었다. 구체적으로 상기 실시예 1의 버퍼층은 960cm^{-1} 과 880cm^{-1} 에서 Mo-O-Mo 결합의 스트레칭을 나타내는 이중 피크와 750cm^{-1} 및 562cm^{-1} 에서 각각 Mo-O-Mo 결합의 스트레칭과 굽힘을 나타내는 피크를 갖는 것으로 나타났다.

[0133] 이는 도 4에 나타난 바와 같이 금속 산화물 원료인 ($\text{MoO}_2(\text{acac})_2$)가 에탄올과 탈 이온수의 혼합 용매에 희석될 때 수화물 형태의 $\text{Mo}_2\text{O}_5(\text{acac})_2 \cdot (\text{H}_2\text{O})_2$ 를 즉각적으로 형성하고, 10일의 숙성기간을 거치면서 최종적으로 전구체인 (MoO_3)_n · (H_2O)_{2n+1}을 이루며, 이렇게 형성된 (MoO_3)_n · (H_2O)_{2n+1}은 $100\text{ }^\circ\text{C}$ 이하의 온도에서 분해됨을 의미한다.

[0134] 이러한 결과로부터, 본 발명은 에탄올과 물을 일정 비율로 포함하는 혼합 용매를 사용한 버퍼층 형성 조성물을 이용하여 $100\text{ }^\circ\text{C}$ 이하의 낮은 온도에서 금속 산화물을 포함하는 버퍼층을 용이하게 형성할 수 있음을 알 수 있다.

[0136] 마지막으로, 도 5 및 6은 각 시편의 X선 광전자 분광 (XPS) 분석한 그래프로서, 상기 도 5를 참고하면, 실시예 1, 비교예 2 및 3의 버퍼층들은 $232.8 \pm 0.5\text{ eV}$ 와 $236.05 \pm 0.5\text{ eV}$ 에서 산화수 6의 몰리브덴 이온 (Mo^{6+})의 결합 에너지 피크와 $231.7 \pm 0.5\text{ eV}$ 와 $234.5 \pm 0.5\text{ eV}$ 에서 산화수 5의 몰리브덴 이온 (Mo^{5+})의 결합 에너지 피크를 갖는 것으로 나타났다.

[0137] 아울러, 상기 버퍼층들은 $530.8 \pm 1\text{ eV}$ 에서 몰리브덴 원자와 결합하는 산소 원자의 낮은 결합 에너지 (Oxygen-LBE) 피크와 $533.4 \pm 0.5\text{ eV}$ 에서 아세틸아세토네이트 리간드와 결합하는 산소 원자의 높은 결합 에너지 (Oxygen-HBE) 피크를 갖는 것으로 확인되었다.

[0138] 이와 더불어, 버퍼층에 존재하는 각 몰리브덴과 산소 원자의 형태에 따른 농도는 각각 상기 산화수 6의 몰리브덴 이온과 산화수 5의 몰리브덴 이온의 피크 면적 비율 ($\text{Mo}^{6+} / \text{Mo}^{5+}$)과 몰리브덴 원자와 결합된 산소 원자의 낮은 결합 에너지 (Oxygen-LBE)와 아세틸아세토네이트 리간드와 결합된 산소 원자의 높은 결합 에너지 (Oxygen-HBE)의 피크 면적 비율 (LBE/HBE)에 의해 결정되는데, 실시예 1, 비교예 2 및 3의 각 피크 면적 비율은 몰리브덴 원자($\text{Mo}^{6+} / \text{Mo}^{5+}$)의 경우 각각 4.59 ± 0.4 , 3.86 ± 0.2 및 5.13 ± 0.05 이고, 산소 원자 (LBE/HBE)의 경우 각각 0.94 ± 0.25 , 1.28 ± 0.05 및 0.41 ± 0.05 인 것으로 확인되었다.

[0139] 이는 버퍼층 형성 조성물의 용매로서 에탄올만 사용하는 경우, 비교예 3의 버퍼층은 비교예 2의 버퍼층에 비해 보다 높은 몰리브덴 이온의 피크 면적 비율 ($\text{Mo}^{6+} / \text{Mo}^{5+}$)과 보다 낮은 산소 원자의 피크 면적 비율 (LBE/HBE)을 나타내는데, 이는 Mo^{5+} 가 Mo^{6+} 로 산화되고, 아세틸아세토네이트 리간드의 분해됨을 의미한다.

[0140] 또한, 실시예 1의 버퍼층은 동일한 온도 ($50\text{ }^\circ\text{C}$ 에서 열처리된 비교예 2의 버퍼층과 비교하여 Mo^{6+} 의 비율이 높고, 낮은 산소 원자의 피크 면적 비율 (LBE/HBE)을 갖는 것을 확인할 수 있다. 이는 버퍼층 형성 시 조성물 내에 존재하는 물(H_2O)이 금속 산화물 원료인 $\text{MoO}_2(\text{acac})_2$ 에서 아세틸 아세토네이트 리간드를 제거하고 $\text{MoO}_2(\text{acac})_2$ 의 몰리브덴 원자를 Mo^{5+} 에서 Mo^{6+} 으로 산화시키는 것을 의미한다.

[0141] 이와 더불어, 실시예 1, 비교예 2 및 3의 버퍼층은 모두 몰리브덴 원자와 산소 원자의 함량 비율이 1:3 미만인 것으로 나타났다. 이는 모든 금속 산화물층이 MoO_x (단, $2 \leq x \leq 3$)으로 구성됨을 의미한다.

[0143] 이러한 결과로부터, 본 발명에 따른 태양 전지는 용매로서 탄소수 1 내지 4의 알코올과 물을 일정 비율로 포함하는 버퍼층 형성 조성물을 이용하여 $100\text{ }^\circ\text{C}$ 이하의 낮은 온도에서 금속 산화물로 구성된 버퍼층을 용이하게 형

성할 수 있음을 알 수 있다.

[0145] 실험예 2.

[0146] 본 발명에 따른 태양 전지의 성능을 평가하기 위하여 실시예 및 비교예에서 제조된 태양 전지를 대상으로 ① 광 전 성능 파라미터 및 J-V 특성을 측정하고, ② 외부 양자 효율 (EQE) 스펙트럼을 측정하여 EQE 곡선을 도출하였으며, ③ ITO와 버퍼층 간의 전하 수송능을 평가하기 위하여 자외선 광전자 분광 (UPS) 및 UV-Vis 흡수 및 투과 스펙트럼을 측정하여 태양 전지의 에너지 밴드 다이어그램을 도출하였다. 또한, 태양 전지의 버퍼층으로 적용된 금속 산화물층의 전기적 특성을 확인하기 위하여 ④ CE 및 photo-CELIV 분석과 ⑤ 임피던스 분광 분석을 수행하였다. 각 시험의 구체적인 수행방법은 다음과 같으며, 측정되거나 산출된 결과는 도 7 내지 9에 나타내었다.

[0147] - 전류 밀도-전압 (J-V) 곡선 분석: KG-3 필터 (Newport Co., Oriel)가 장착된 표준 Si 광 다이오드 검출기로 햇빛의 강도를 교정하여 AM1.5G 시뮬레이션 조명 ($100\text{mW}/\text{cm}^2$) 하에서 Keithley 2401 소스 측정 장치를 사용하여 전류 밀도-전압 (J-V)을 측정하였다. 이때, 모든 장치는 질소 가스(N_2)로 채워진 글로브 박스 안에 위치하였다.

[0148] - 태양 전지의 외부 양자 효율 (EQE): IQE-200B (Newport Co., Oriel)를 이용하여 AM1.5 조건하에서 측정하였다.

[0149] - UV-Vis 흡수 및 투과 스펙트럼: UV-VIS 분광 광도계 (Varian, Carry 5000)를 사용하여 측정 하였다.

[0150] - CE 및 photo-CELIV 분석: AM1.0 및 V_{oc} 조건 하에서 유기 반도체 파라미터 테스트 시스템 (McScience T4000)의 CE 및 CELIV 분석기 기능을 사용하여 수행되었다.

[0151] - 임피던스 분광 (Impedance spectroscopy, IS) 분석: 암 조건에서 임피던스 분석기 (IVIUM 기술, IviumStat)를 사용하여 0.9V의 전압으로 작동하는 태양 전지의 임피던스를 측정하였으며, 1MHz에서 1Hz의 주파수 범위에서 광전자 주파수 응답을 측정하였다.

[0153] 도 7은 실시예 및 비교예에서 준비된 태양 전지의 성능 평가 결과를 나타낸 그래프로서, (a)는 인가 전압에 따른 전류의 히스테리시스 (J-V 히스테리시스)를 나타낸 것이고, (b)는 태양 전지의 외부 양자 효율 (EQE)을 나타낸 것이며, (c)는 파장에 따른 광 투과도를 나타낸 것이다.

[0154] 도 7(a) 및 (b)를 참고하면, 용매로 무수 에탄올을 사용한 버퍼층 형성 조성물을 이용하여 형성된 비교예 2 및 3의 태양 전지는 버퍼층 형성 시 열처리 온도가 증가함에 따라 태양 전지의 효율이 향상되는 것으로 나타났다. 구체적으로, 버퍼층 형성 시 50°C 에서 열처리된 비교예 2의 태양 전지는 $4.25\text{mA}/\text{cm}^2$ 의 단락 전류 밀도 (J_{sc}), 0.68V의 개방 회로 전압 (V_{oc}), 48%의 충전 계수 (FF) 및 1.37%의 전력 변환 효율 (PCE)을 갖는 반면, 200°C 에서 열처리된 비교예 3의 태양 전지는 $16.60\text{mA}/\text{cm}^2$ 의 단락 전류 밀도 (J_{sc}), 0.79V의 개방 회로 전압 (V_{oc}), 68%의 충전 계수 (FF) 및 8.96%의 전력 변환 효율 (PCE)을 갖는 것으로 나타났다. 이는 버퍼층으로서 PEDOT:PSS 층을 구비하는 비교예 1의 태양 전지와 동등하거나 유사한 성능을 나타내는 것으로, 무수 용매 조건 하에서 버퍼층을 형성하는 경우 고온에서의 열처리를 수행하여야 전기적 물성이 우수함을 의미한다.

표 4

	버퍼층 형성 조건			J_{sc} [mA/cm^2]	V_{oc} [V]	FF [%]	PCE [%]
	버퍼층 종류	버퍼층 형성 조성물 용매 조건 (vol./vol.)	열처리 온도 ($^\circ\text{C}$)				
비교예 1	PEDOT:PSS	EtOH:H ₂ O=1:9	150	15.67	0.79	0.67	8.27
실시예 1	MoO ₃	EtOH:H ₂ O=1:9	50	16.69	0.79	0.67	8.81
실시예 8		EtOH:H ₂ O=1:2	50				
실시예 9		EtOH:H ₂ O=1:10	50				
비교예 2		EtOH:H ₂ O=1:0	50	4.25	0.68	0.48	1.37
비교예 3		EtOH:H ₂ O=1:0	150	16.60	0.79	0.68	8.96
실시예 3	NiO	EtOH:H ₂ O=1:2	50	16.40	0.79	0.65	8.34
비교예 4		EtOH:H ₂ O=1:0	50	16.61	0.77	0.42	4.96
비교예 6		EtOH:H ₂ O=1:0	200	16.01	0.78	0.65	8.15

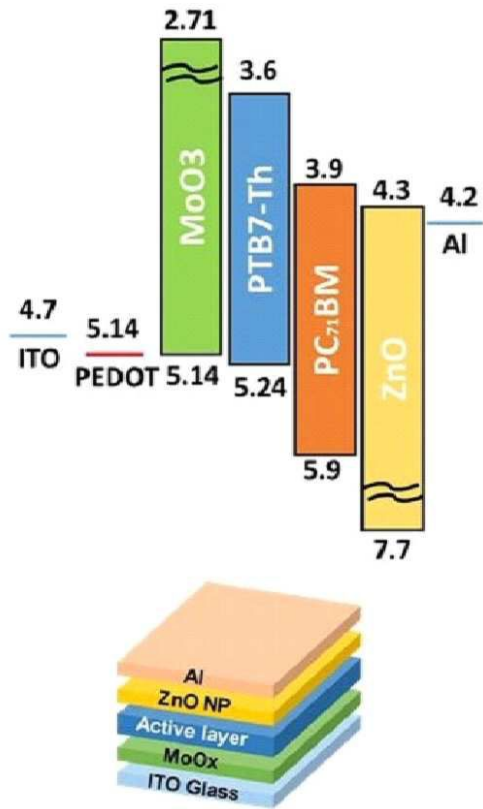
- [0157] 이에 반해, 용매로 에탄올과 물을 일정 비율로 포함하는 버퍼층 형성 조성물을 이용하여 버퍼층을 형성한 실시예 1의 태양 전지는 에탄올과 물의 비율이 1:9 (vol./vol.)일 때 효율이 가장 좋은 것으로 확인되었으며, 이 경우 물을 포함하지 않는 버퍼층 형성 조성물을 이용하여 150℃에서 열처리한 비교예 3의 태양 전지와 동등하거나 우수한 성능을 나타내는 것으로 확인되었다. 이는 태양 전지에 금속 산화물로 구성된 버퍼층을 도입하는 경우 고온의 열처리를 수행하지 않아도 높은 성능을 구현할 수 있음을 의미한다.
- [0158] 또한, 도 7(c)을 참고하면, 실시예 1과 비교예 2 및 3의 버퍼층은 PEDOT:PSS로 구성된 비교예 1의 버퍼층과 비교하여 가시광 영역에서 높은 광 투과율을 갖는 것을 알 수 있다. 이는 제1 전극인 ITO 기판에서 광활성층으로 보다 많은 광이 전달됨을 나타내는 것으로 태양 전지의 단락 전류 밀도 (J_{sc})의 증가를 초래한다.
- [0160] 아울러, 도 8은 실시예 및 비교예에서 준비된 태양 전지의 자외선 광전자 분광 (UPS) 및 UV-Vis 흡수 및 투과 스펙트럼을 측정하여 태양 전지의 에너지 밴드 다이어그램이다. 전극 계면층의 일함수는 유기/전극 계면에서 보다 나은 에너지 수준 정렬을 통해 전하의 흐름을 촉진함으로써 태양 전지의 성능에 중요한 역할을 한다. 이를 고려하여 살펴보면, 비교예 2 및 3에서 형성된 버퍼층의 경우 일함수가 열처리 온도가 증가함에 따라 증가하는 것을 확인할 수 있다. 또한, 열처리 온도의 증가로 인해 높은 전자 주입 장벽과 낮은 정공 주입 장벽을 갖는 것을 알 수 있다. 이는 비교예 3의 버퍼층이 비교예 2의 버퍼층과 비교하여 정공 수송 및 전자 차단에 보다 유리하여, 전력 변환 효율 (PCE)가 크게 증가됨을 의미한다. 또한, 실시예 1의 버퍼층은 50℃의 낮은 온도에서 열처리 되었음에도 높은 전자 주입 장벽과 낮은 정공 주입 장벽을 가져 비교예 3의 버퍼층과 동등한 성능을 구현하는 것을 알 수 있다.
- [0162] 나아가, 도 9는 (a)는 전하 추출 전류 과도(charge extraction (CE) current transient)를 나타낸 그래프이고, (b)는 시간에 따른 전하 추출 밀도를 나타낸 그래프이며, (c)는 photo-CELIV를 측정한 그래프이고, (d)는 전기 화학적 임피던스 분광 (EIS)으로부터 도출된 나이퀴스트 플롯 (Nyquist plot)이다.
- [0163] 도 9(a) 및 (b)는 AM1.0 및 V_{oc} 조건 하에서 측정된 전하 추출 (CE) 전류 과도와 이로부터 산출된 전하 추출 (CE) 밀도를 도시한 것으로, 이를 살펴보면 실시예 1 및 비교예 3의 버퍼층은 비교예 1 및 2의 버퍼층과 비교하여 전하 추출 (CE) 밀도가 높은 것을 알 수 있다.
- [0164] 또한, 도 9(c)는 photo-CELIV (선형적으로 전압을 증가시킴으로써 광-유도된 전하 캐리어 추출)을 분석한 그래프로서, 상기 photo-CELIV는 일반적으로 유기 반도체에서 전하 운반체 이동도 (전자와 정공 운반체의 평균 이동도로 간주 됨)를 평가하는 데 사용된다.
- [0165] 상기 도 9(c)를 살펴보면, 비교예 1 내지 3에서 제조된 태양 전지는 이동도가 $5.02\sim 6.78 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 인데 반해 실시예 1에서 제조된 태양 전지는 이동도가 $7.0 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 이상의 높은 이동도를 갖는 것을 나타냈다.
- [0166] 이러한 이동도의 향상은 정공 주입 장벽의 감소를 나타내며, 이로부터 정공 추출이 용이하여 전자와 정공 운반체의 평균 이동도 뿐만 아니라 정공 이동도가 증가됨을 의미한다.
- [0167] 또한, 도 9(d)를 살펴보면, 태양전지의 임피던스 분광 (IS)을 분석한 나이퀴스트 곡선로서, 실시예 1과 비교예 1 내지 3의 태양 전지들은 저주파 영역에서 전송 라인 (TL)이 없는 반원을 나타내는 것을 알 수 있다. TL의 부재는 재결합 저항 (R_{rec})이 수송 저항 (R_{tr})보다 높을 때 발생하는데, 이는 태양 전지가 강한 재결합을 겪는다는 것을 나타낸다. 이러한 현상은 R_{rec} 및 R_{tr} 의 곱의 제공근을 Gerischer 저항 (RG)으로 설명할 수 있는 게리처 (Gerischer) 임피던스 모델을 사용하여 해석할 수 있다.
- [0168] 실시예 1과 비교예 2 및 3의 태양 전지는 유사한 적층 구조를 가지므로 전자-정공 재조합의 차이는 에너지 레벨 정렬을 통한 버퍼층 계면에서의 전하 수송 및 전하 재조합 과정에서 비롯된다. 실시예 1과 비교예 3의 태양 전지는 버퍼층 형성 시 상이한 열 처리 온도 조건에서 수행되나, 비교예 1 및 2의 태양 전지와 비교하여 높은 게리처 (Gerischer) 저항 (또는 재조합 속도에 반비례하는 재조합 저항)을 나타내고, 유사한 재조합 속도와 전하 캐리어 이동성을 나타내는 것으로 확인되었다.
- [0169] 이러한 결과로부터, 본 발명에 따른 태양 전지는 용매로서 탄소수 1 내지 4의 알코올과 물을 일정 비율로 포함하는 버퍼층 형성 조성물을 이용하여 100 ℃ 이하의 낮은 온도에서 금속 산화물로 구성된 버퍼층을 용이하게 형성할 수 있고, 이렇게 형성된 버퍼층은 무수 용매를 포함하는 버퍼층 형성 조성물을 150 ℃ 이상의 고온에서 열처리하여 형성된 버퍼층을 구비하는 태양전지와 동등하거나 우수한 성능을 나타내므로, 그 성능이 우수할 뿐만

아니라 제조 시 저온 공정이 요구된 플렉서블 태양 전지에 적용이 가능한 것을 알 수 있다.

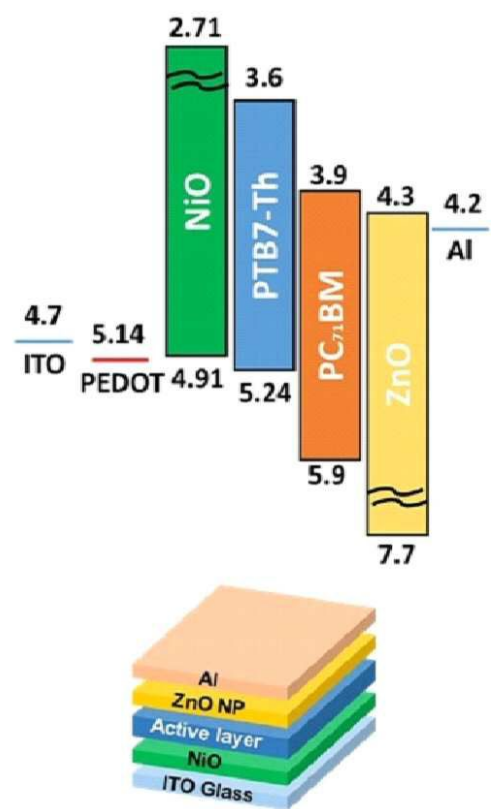
도면

도면1

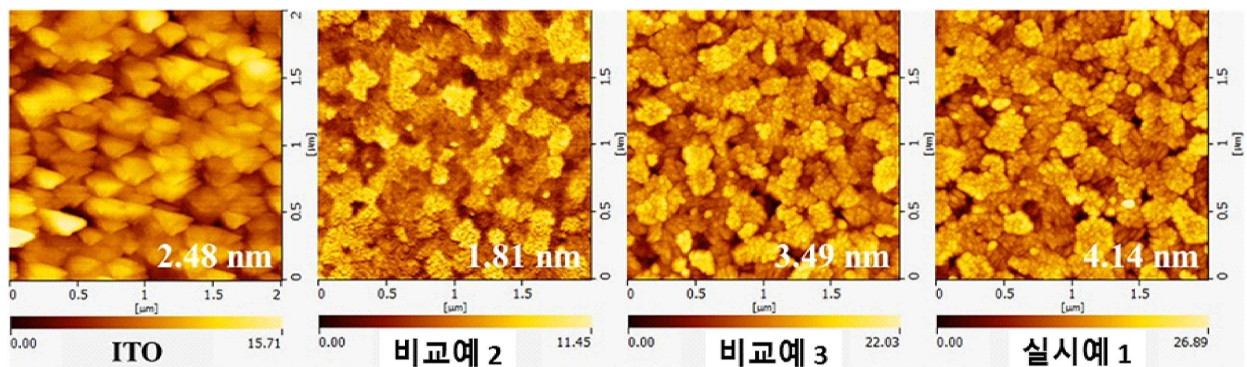
(a) 버퍼층: MoO₃ 층



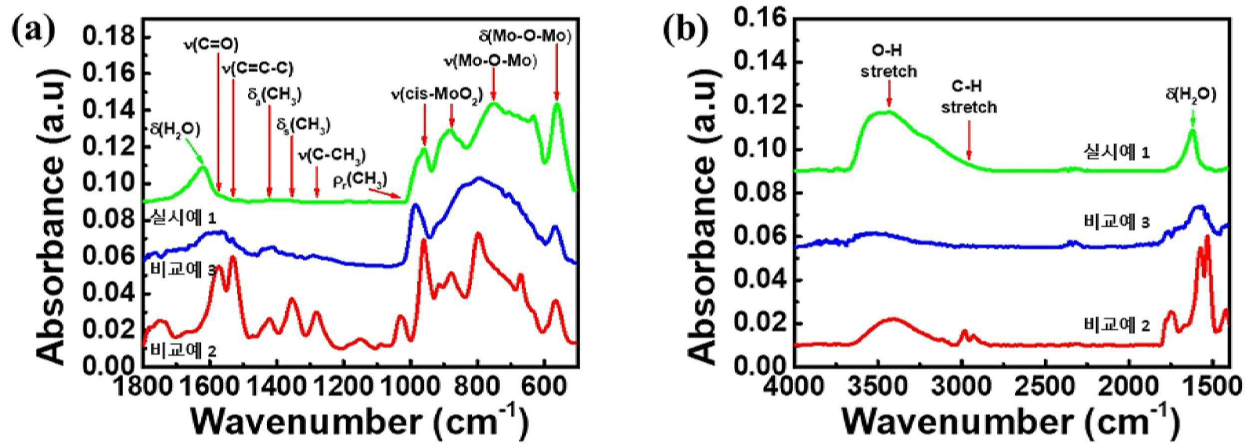
(b) 버퍼층: NiO 층



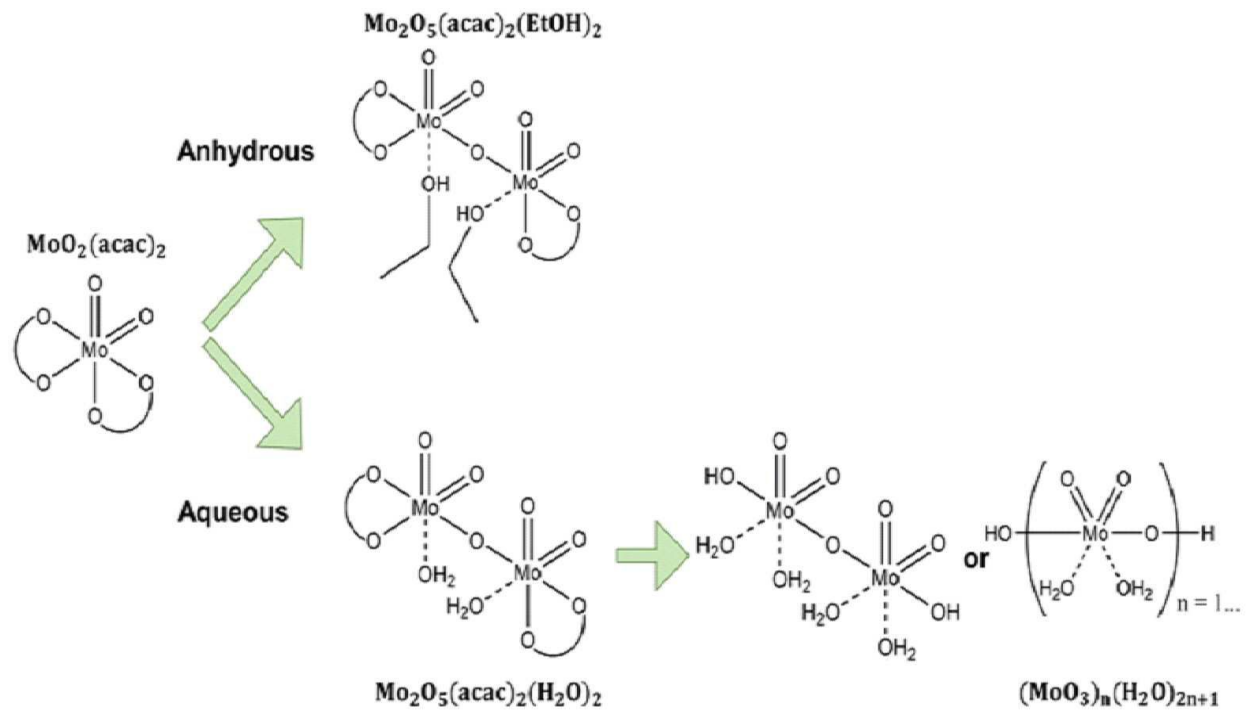
도면2



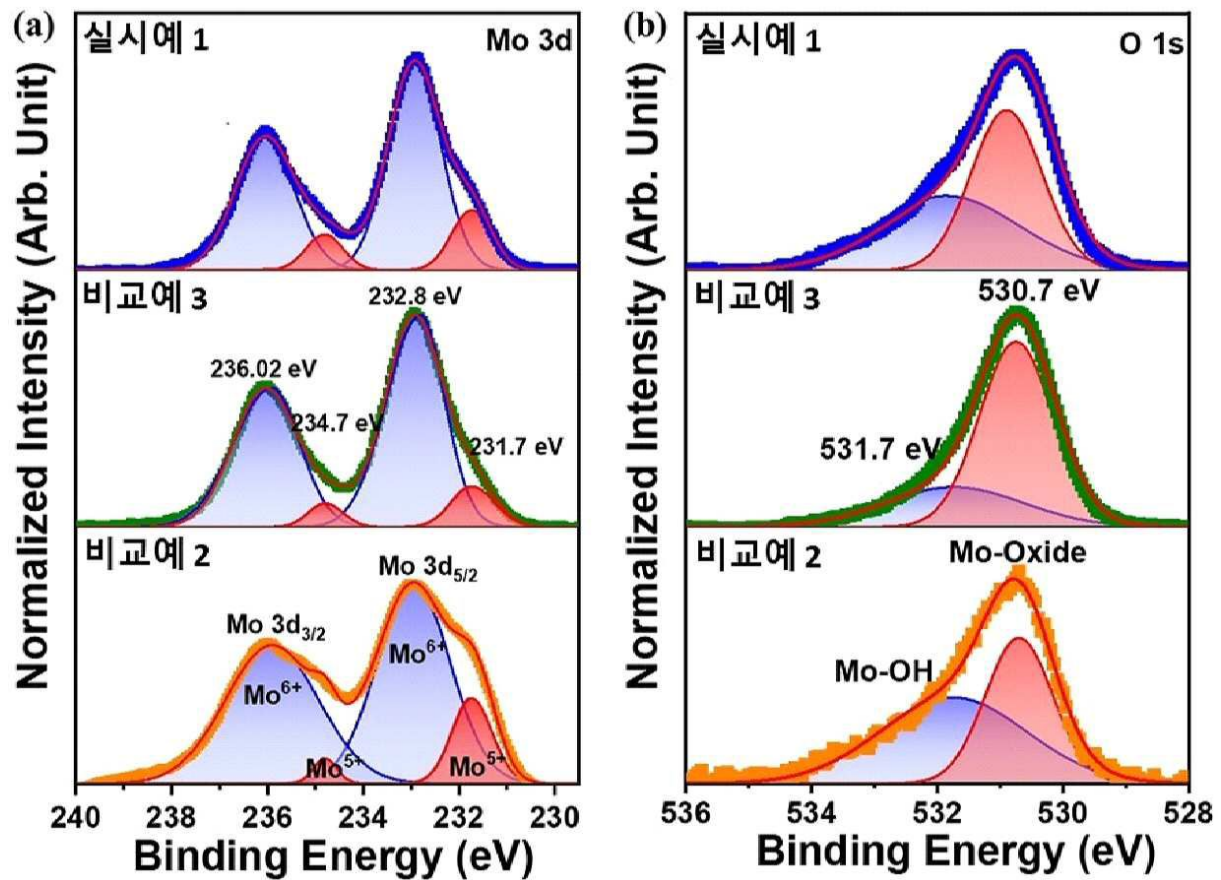
도면3



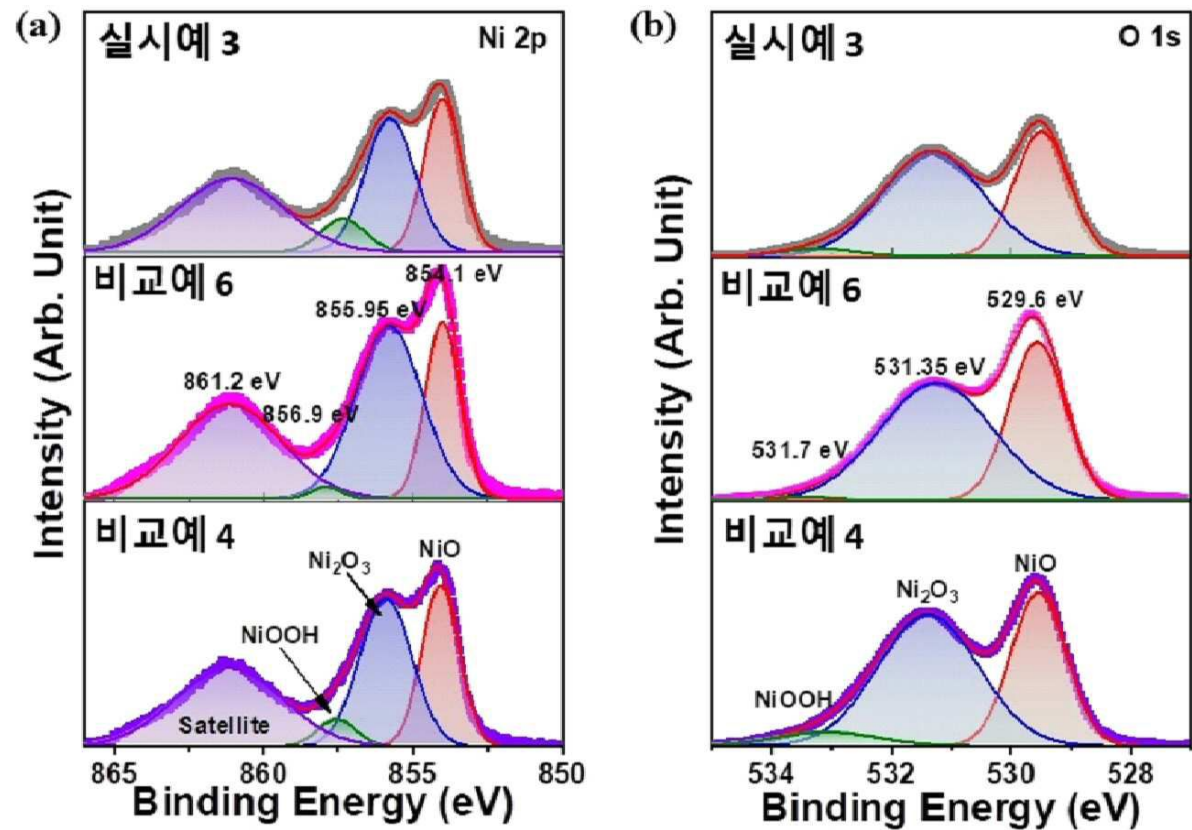
도면4



도면5

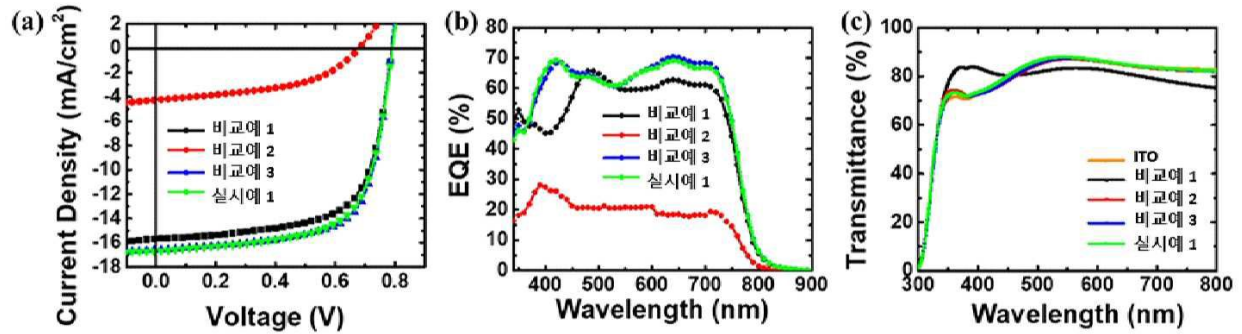


도면6

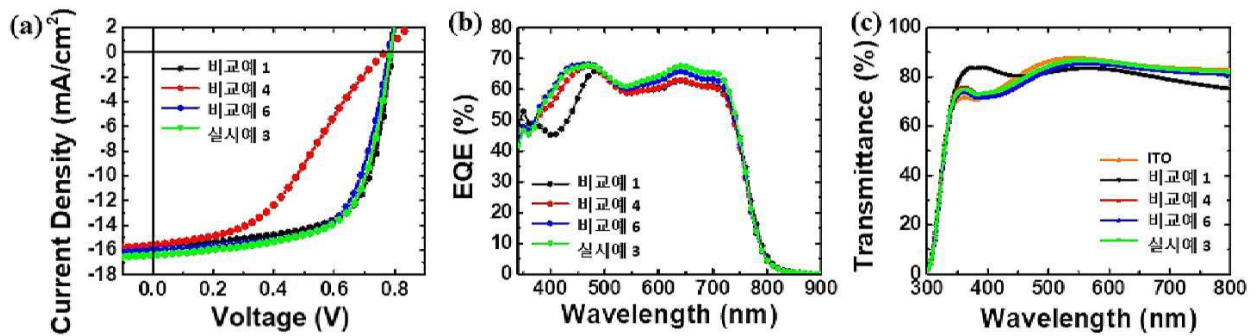


도면7

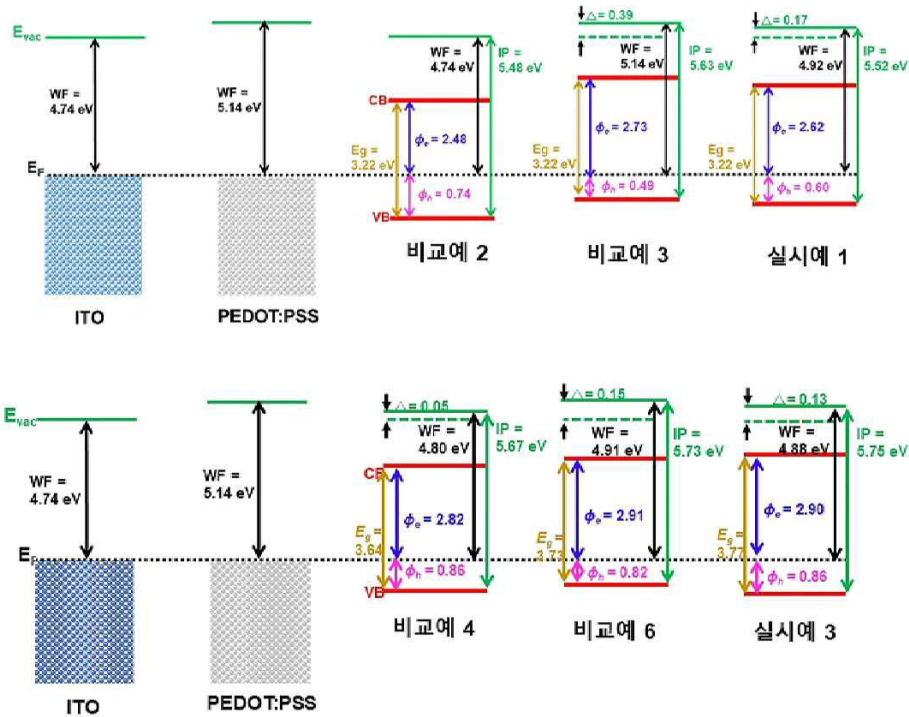
- 버퍼층: MoO₃ 층



- 버퍼층: NiO 층



도면8



Δ : interfacial dipole, IP : ionization potential, ϕ_e : electron injection barrier, ϕ_h : hole injection barrier, E_F : Fermi energy level

도면9

