(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2025-0104592
(43) 공개일자 2025년07월08일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H10K 71/00 (2023.01) *H10K 30/15* (2023.01)
H10K 30/40 (2023.01) *H10K 30/50* (2023.01)
H10K 30/81 (2023.01) *H10K 30/85* (2023.01)
H10K 30/86 (2023.01) *H10K 85/50* (2023.01)
(52) CPC특허분류
H10K 71/00 (2023.02)
H10F 10/17 (2025.01)
(21) 출원번호 10-2023-0197162
(22) 출원일자 2023년12월29일
심사청구일자 2023년12월29일

(71) 출원인
충남대학교산학협력단
대전광역시 유성구 대학로 99 (궁동, 충남대학교)
(72) 발명자
송슬기
대전광역시 서구 도산로 8, 809-601
최현태
대전광역시 유성구 문화원로 119, 517호
(74) 대리인
특허법인 플러스

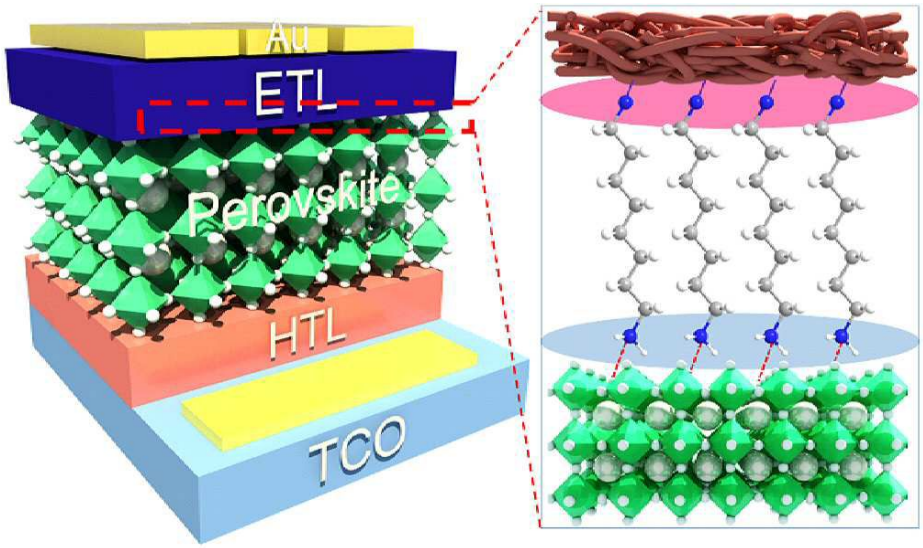
전체 청구항 수 : 총 22 항

(54) 발명의 명칭 **높은 안정성 및 높은 효율을 가지는 페로브스카이트 광전소자의 제조방법**

(57) 요 약

본 발명은 높은 안정성 및 높은 광전변환효율을 가지는 페로브스카이트 광전소자 및 이의 제조방법에 관한 것이다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류
H10F 77/12 (2025.01)
H10K 30/15 (2023.02)
H10K 30/40 (2023.02)
H10K 30/50 (2023.02)
H10K 30/81 (2023.02)
H10K 30/85 (2023.02)
H10K 30/86 (2023.02)
H10K 85/50 (2023.02)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1345374760
과제번호	RS-2023-00271313
부처명	교육부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	박사후국내연수
연구과제명	상용화 기반 고안정성 대면적 페로브스카이트 태양전지 개발
기 여 율	1/1
과제수행기관명	충남대학교
연구기간	2023.09.01 ~ 2025.08.31

명 세 서

청구범위

청구항 1

(S1) 제1전극 상에 페로브스카이트 박막을 적층하는 단계;

(S2) 상기 페로브스카이트 박막 상에 첨가제를 도포하는 단계;

(S3) 상기 첨가제 상에 버퍼층을 적층하는 단계;

(S4) 상기 첨가제와 상기 페로브스카이트 박막을 반응시키는 단계;

(S5) 상기 첨가제와 상기 버퍼층을 반응시키는 단계; 및

(S6) 상기 버퍼층 상에 제2전극을 적층하는 단계; 를 포함하고,

상기 첨가제의 분자는 제1반응부 및 제2반응부를 포함하며,

상기 제1반응부는 상기 페로브스카이트 박막과 반응하여 상호작용으로 결합하고,

상기 제2반응부는 상기 버퍼층과 반응하여 상호작용으로 결합하는, 페로브스카이트 광전소자의 제조방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 버퍼층은 정공전달층 또는 전자전달층인, 페로브스카이트 광전소자의 제조방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 제1반응부는 양이온성 작용기 또는 음이온성 작용기를 포함하는, 페로브스카이트 광전소자의 제조방법.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 제1반응부는 $-NH4^{+}$, $-PO_4^{-}$, -C=O, -OH, -COOH 및 -SH를 포함하는 군에서 선택되는 작용기를 포함하는, 페로브스카이트 광전소자의 제조방법.

청구항 5

제1항에 있어서

상기 제1반응부와 상기 페로브스카이트 박막과의 상호작용으로 인한 결합은 배위결합 및 이온결합을 포함하는 군에서 선택되는, 페로브스카이트 광전소자의 제조방법.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 제2반응부는 감광성 작용기인, 페로브스카이트 광전소자의 제조방법.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 제2반응부는 상기 제2반응부는 -N3, -Br 및 -C=C을 포함하는 군에서 선택되는 작용기를 포함하는, 페로브스카이트 광전소자의 제조방법.

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 제2반응부와 상기 버퍼층과의 상호작용으로 인한 결합은 공유결합 및 이온결합을 포함하는 군에서 선택되는, 페로브스카이트 광전소자의 제조방법.

청구항 9

제1항에 있어서,

상기 페로브스카이트 박막은 하기 화학식 1 또는 화학식 2로 표시되는 페로브스카이트 결정을 포함하는, 페로브스카이트 광전소자의 제조방법.

(화학식 1)

ABX_3

(화학식 2)

A_2BX_4

(상기 화학식 1 및 화학식 2에서, A는 1가의 알킬암모늄계 양이온; 1가의 아미디늄계 양이온; Li^+; Na^+; K^+; Rb^+; Cs^+; Fr^+; $Cu(I)^+$; $Ag(I)^+$ 및 $Au(I)^+$의 조합으로 이루어진 군으로부터 선택되는 하나 이상의 1가 양이온을 포함하고, B는 2가 금속양이온이며, X는 I^-, Br^-, Cl^- 또는 이들의 조합인 할로겐 음이온이다.)

청구항 10

제1항에 있어서,

상기 버퍼층은 알킬기를 포함하는, 페로브스카이트 광전소자의 제조방법.

청구항 11

제1항에 있어서,

상기 첨가제는 상기 제1반응부, 상기 제2반응부 및 알킬기를 포함하는 분자인, 페로브스카이트 광전소자의 제조방법.

청구항 12

제1전극;

상기 제1전극 상에 위치하는 페로브스카이트 박막;

상기 페로브스카이트 박막 상에 위치하는 버퍼층; 및

상기 버퍼층 상에 위치하는 제2전극을 포함하고,

상기 페로브스카이트 박막과 상기 버퍼층의 계면에는 첨가제 분자가 위치하며,

상기 첨가제 분자는 제1반응부 및 제2반응부를 포함하고,

상기 제1반응부는 상기 페로브스카이트 박막과 반응하여 상호작용으로 결합하며

상기 제2반응부는 상기 버퍼층과 반응하여 상호작용으로 결합하고,

상기 첨가제 분자로 인하여 상기 페로브스카이트 박막과 상기 버퍼층은 가교(crosslinking) 되는, 페로브스카이트 광전소자.

청구항 13

제12항에 있어서,

상기 버퍼층은 정공전달층 또는 전자전달층인, 페로브스카이트 광전소자.

청구항 14

제12항에 있어서,

상기 제1반응부는 양이온성 작용기 또는 음이온성 작용기를 포함하는, 페로브스카이트 광전소자.

청구항 15

제12항에 있어서,

상기 제1반응부는 $-NH4^{+}$, $-PO_4^{-}$, -C=O, -OH, -COOH 및 -SH를 포함하는 군에서 선택되는 작용기를 포함하는, 페로브스카이트 광전소자.

청구항 16

제12항에 있어서

상기 제1반응부와 상기 페로브스카이트 박막과의 상호작용으로 인한 결합은 배위결합 및 이온결합을 포함하는 군에서 선택되는, 페로브스카이트 광전소자.

청구항 17

제12항에 있어서,

상기 제2반응부는 감광성 작용기인, 페로브스카이트 광전소자.

청구항 18

제12항에 있어서,

상기 제2반응부는 -N3, -Br 및 -C=C을 포함하는 군에서 선택되는 작용기를 포함하는, 페로브스카이트 광전소자.

청구항 19

제12항에 있어서,

상기 제2반응부와 상기 버퍼층과의 상호작용으로 인한 결합은 공유결합 및 이온결합을 포함하는 군에서 선택되는, 페로브스카이트 광전소자.

청구항 20

제12항에 있어서,

상기 페로브스카이트 박막은 하기 화학식 1 또는 화학식 2로 표시되는 페로브스카이트 결정을 포함하는, 페로브스카이트 광전소자.

(화학식 1)

ABX_3

(화학식 2)

A_2BX_4

(상기 화학식 1 및 화학식 2에서, A는 1가의 알킬암모늄계 양이온; 1가의 아미디늄계 양이온; Li^{+}; Na^{+}; K^{+}; Rb^{+}; Cs^{+}; Fr^{+}; $Cu(I)^{+}$; $Ag(I)^{+}$ 및 $Au(I)^{+}$의 조합으로 이루어진 군으로부터 선택되는 하나 이상의 1가 양이온을 포함하고, B는 2가 금속양이온이며, X는 I^{-}, Br^{-}, Cl^{-} 또는 이들의 조합인 할로겐 음이온이다.)

청구항 21

제12항에 있어서,

상기 버퍼층은 알킬기를 포함하는, 페로브스카이트 광전소자.

청구항 22

제12항에 있어서,

상기 첨가제 분자는 상기 제1반응부, 상기 제2반응부 및 알킬기를 포함하는 분자인, 페로브스카이트 광전소자.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 높은 안정성 및 높은 광전변환효율을 가지는 페로브스카이트 광전소자 및 이의 제조방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 최근, 유무기 하이브리드 페로브스카이트 물질은 높은 광흡수율, 높은 외부양자효율(external quantum efficiency; EQE), 빠른 전하전달속도 및 용액공정 가능성 등의 장점으로 인해 차세대 광전소자의 핵심 물질로 각광받고 있다. 지난 10년간 페로브스카이트 물질은 태양전지를 중심으로 많은 연구가 수행되었으며 최고 광전변환효율이 25%에 달하는 등 상용화를 앞두고 있다. 그러나 페로브스카이트 광전소자 광전소자의 상용화를 위해서는 광, 열 및 수분에 대한 안정성 향상, 전하전달 효율 개선, 독성 물질 저감 및 저비용 대면적 페로브스카이트 박막 제조방법 개발 등과 같이 해결해야할 과제들이 다수 남아있어 활발한 연구가 진행되고 있다.

[0003] 페로브스카이트 광전소자의 버퍼층은 광활성물질인 페로브스카이트 박막에서 생성된 자유전하를 분리하여 전자 또는 정공을 이동시키는 역할을 하며 이는 고효율 및 고안정성의 페로브스카이트 광전소자를 제조하는데 매우 중요한 구성요소이다. 상기 버퍼층은 정공전달물질 또는 전자전달물질을 포함하며, 상기 페로브스카이트 박막에서 생성된 전자 및 정공을 음극 및 양극으로 더욱 원활하게 이동시킴으로써 높은 광전변환효율을 갖는 페로브스카이트 광전소자의 제작을 가능하게 한다.

[0004] 한편, 페로브스카이트 광전소자는 높은 광전변환효율을 가짐에도 불구하고 페로브스카이트 물질이 온도 및 수분에 극히 민감하여 소자의 신뢰성이 매우 낮은 문제가 있다. 따라서, 최근 페로브스카이트 광전소자의 연구동향은 페로브스카이트 광전소자의 광전변환효율 향상 보다는 소자의 대기중 안정성 및 신뢰성 향상에 더욱 주목하고 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 본 발명의 목적은 외부의 온도 및 습도로부터 안정성이 높은 페로브스카이트 광전소자 및 이의 제조방법을 제공하는 것이다.

[0006] 본 발명의 다른 목적은 안정성이 높으면서도 높은 광전변환효율을 갖는 페로브스카이트 광전소자 및 이의 제조방법을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0007] 본 발명은 페로브스카이트 광전소자의 제조방법을 제공하며, 상기 페로브스카이트 광전소자의 제조방법은 (S1) 제1전극 상에 페로브스카이트 박막을 적층하는 단계; (S2) 상기 페로브스카이트 박막 상에 첨가제를 도포하는 단계; (S3) 상기 첨가제 상에 버퍼층을 적층하는 단계; (S4) 상기 첨가제와 상기 페로브스카이트 박막을 반응시키는 단계; (S5) 상기 첨가제와 상기 버퍼층을 반응시키는 단계; 및 (S6) 상기 버퍼층 상에 제2전극을 적층하는 단계; 를 포함하고, 상기 첨가제의 분자는 제1반응부 및 제2반응부를 포함하며, 상기 제1반응부는 상기 페로브스카이트 박막과 반응하여 상호작용으로 결합하고, 상기 제2반응부는 상기 버퍼층과 반응하여 상호작용으로 결합한다.

[0008] 본 발명에 따른 페로브스카이트 광전소자의 제조방법에 있어, 상기 버퍼층은 정공전달층 또는 전자전달층일 수

있다.

[0009] 본 발명에 따른 페로브스카이트 광전소자의 제조방법에 있어, 상기 제1반응부는 양이온성 작용기 또는 음이온성 작용기를 포함할 수 있다.

[0010] 본 발명에 따른 페로브스카이트 광전소자의 제조방법에 있어, 상기 제1반응부는 $-NH4^{+}$, $-PO_4^{-}$, -C=O, -OH, -COOH 및 -SH를 포함하는 군에서 선택되는 작용기를 포함할 수 있다.

[0011] 본 발명에 따른 페로브스카이트 광전소자의 제조방법에 있어, 상기 제1반응부와 상기 페로브스카이트 박막과의 상호작용으로 인한 결합은 배위결합 및 이온결합을 포함하는 군에서 선택될 수 있다.

[0012] 본 발명에 따른 페로브스카이트 광전소자의 제조방법에 있어, 상기 제2반응부는 감광성 작용기일 수 있다.

[0013] 본 발명에 따른 페로브스카이트 광전소자의 제조방법에 있어, 상기 제2반응부는 상기 제2반응부는 -N3, -Br 및 -C=C을 포함하는 군에서 선택되는 작용기를 포함할 수 있다.

[0014] 본 발명에 따른 페로브스카이트 광전소자의 제조방법에 있어, 상기 제2반응부와 상기 버퍼층과의 상호작용으로 인한 결합은 공유결합 및 이온결합을 포함하는 군에서 선택될 수 있다.

[0015] 본 발명에 따른 페로브스카이트 광전소자의 제조방법에 있어, 상기 페로브스카이트 박막은 하기 화학식 1 또는 화학식 2로 표시되는 페로브스카이트 결정을 포함할 수 있다.

[0016] (화학식 1)

[0017] ABX_3

[0018] (화학식 2)

[0019] A_2BX_4

[0020] (상기 화학식 1 및 화학식 2에서, A는 1가의 알킬암모늄계 양이온; 1가의 아미디늄계 양이온; Li^{+}; Na^{+}; K^{+}; Rb^{+}; Cs^{+}; Fr^{+}; $Cu(I)^{+}$; $Ag(I)^{+}$ 및 $Au(I)^{+}$의 조합으로 이루어진 군으로부터 선택되는 하나 이상의 1가 양이온을 포함하고, B는 2가 금속양이온이며, X는 I^{-}, Br^{-}, Cl^{-} 또는 이들의 조합인 할로겐 음이온이다.)

[0021] 본 발명에 따른 페로브스카이트 광전소자의 제조방법에 있어, 상기 버퍼층은 알킬기를 포함할 수 있다.

[0022] 본 발명에 따른 페로브스카이트 광전소자의 제조방법에 있어, 상기 첨가제는 상기 제1반응부, 상기 제2반응부 및 알킬기를 포함하는 분자일 수 있다.

[0023] 본 발명은 페로브스카이트 광전소자를 제공하며, 상기 페로브스카이트 광전소자는 제1전극; 상기 제1전극 상에 위치하는 페로브스카이트 박막; 상기 페로브스카이트 박막 상에 위치하는 버퍼층; 및 상기 버퍼층 상에 위치하는 제2전극을 포함하고, 상기 페로브스카이트 박막과 상기 버퍼층의 계면에는 첨가제 분자가 위치하며, 상기 첨가제 분자는 제1반응부 및 제2반응부를 포함하고, 상기 제1반응부는 상기 페로브스카이트 박막과 반응하여 상호작용으로 결합하며 상기 제2반응부는 상기 버퍼층과 반응하여 상호작용으로 결합하고, 상기 첨가제 분자로 인하여 상기 페로브스카이트 박막과 상기 버퍼층은 가교(crosslinking) 된다.

[0024] 본 발명에 따른 페로브스카이트 광전소자에 있어, 상기 버퍼층은 정공전달층 또는 전자전달층일 수 있다.

[0025] 본 발명에 따른 페로브스카이트 광전소자에 있어, 상기 제1반응부는 양이온성 작용기 또는 음이온성 작용기를 포함할 수 있다.

[0026] 본 발명에 따른 페로브스카이트 광전소자에 있어, 상기 제1반응부는 $-NH4^{+}$, $-PO_4^{-}$, -C=O, -OH, -COOH 및 -SH를 포함하는 군에서 선택되는 작용기를 포함할 수 있다.

[0027] 본 발명에 따른 페로브스카이트 광전소자에 있어, 상기 제1반응부와 상기 페로브스카이트 박막과의 상호작용으로 인한 결합은 배위결합 및 이온결합을 포함하는 군에서 선택될 수 있다.

[0028] 본 발명에 따른 페로브스카이트 광전소자에 있어, 상기 제2반응부는 감광성 작용기일 수 있다.

[0029] 본 발명에 따른 페로브스카이트 광전소자에 있어, 상기 제2반응부는 -N3, -Br 및 -C=C을 포함하는 군에서 선택

되는 작용기를 포함할 수 있다.

[0030] 본 발명에 따른 페로브스카이트 광전소자에 있어, 상기 제2반응부와 상기 버퍼층과의 상호작용으로 인한 결합은 공유결합 및 이온결합을 포함하는 군에서 선택될 수 있다.

[0031] 본 발명에 따른 페로브스카이트 광전소자에 있어, 상기 페로브스카이트 박막은 하기 화학식 1 또는 화학식 2로 표시되는 페로브스카이트 결정을 포함할 수 있다.

[0032] (화학식 1)

[0033] ABX_3

[0034] (화학식 2)

[0035] A_2BX_4

[0036] (상기 화학식 1 및 화학식 2에서, A는 1가의 알킬암모늄계 양이온; 1가의 아미디늄계 양이온; Li^+; Na^+; K^+; Rb^+; Cs^+; Fr^+; $Cu(I)^+$; $Ag(I)^+$ 및 $Au(I)^+$의 조합으로 이루어진 군으로부터 선택되는 하나 이상의 1가 양이온을 포함하고, B는 2가 금속양이온이며, X는 I^-, Br^-, Cl^- 또는 이들의 조합인 할로겐 음이온이다.)

[0037] 본 발명에 따른 페로브스카이트 광전소자에 있어, 상기 버퍼층은 알킬기를 포함할 수 있다.

[0038] 본 발명에 따른 페로브스카이트 광전소자에 있어, 상기 첨가제 분자는 상기 제1반응부, 상기 제2반응부 및 알킬기를 포함하는 분자일 수 있다.

발명의 효과

[0039] 본 발명은 높은 온도 및 높은 습도 등 극한의 외부환경에서도 광전변환효율의 저하가 현저히 적은 페로브스카이트 광전소자를 제공할 수 있다.

[0040] 본 발명에 따른 페로브스카이트 광전소자 및 이의 제조방법은 페로브스카이트 박막을 후처리하여 패시베이션(passivation) 하여 페로브스카이트 박막의 안정성을 높이면서도 동시에 페로브스카이트 광전소자의 광전변환효율이 높을 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0041] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 페로브스카이트 광전소자의 모식도를 도시한 도면이다.

도 2는 본 발명의 다른 일 실시예에 따른 페로브스카이트 광전소자의 모식도를 도시한 도면이다.

도 3은 푸리에 변환 적외선 분광법(Fourier transform infrared spectroscopy; FT-IR)을 사용하여 실시예 1(After Crosslinking) 및 비교예 1(Before Crosslinking)에 따른 페로브스카이트 태양전지의 첨가제 및 정공전달층 간의 가교결합을 분석하여 도시한 도면이다.

도 4는 실시예 1(Additive-induced crosslinked film) 및 비교예 2(Pristine film)에 따른 페로브스카이트 태양전지를 Chlorobenzene 용매로 3회 spin-coating을 통해 세척한 후의 이미지를 광학카메라로 촬영하여 도시한 도면이다.

도 5는 자외선 가시광선 분광법(ultraviolet-visible spectroscopy; UV-vis)를 사용하여 실시예 1에 따른 페로브스카이트 태양전지(Bare) 및 실시예 1에 따른 페로브스카이트 태양전지의 1회(1 wash), 2회(2 wash) 및 3회(3 wash) 세척시의 흡광도를 측정하여 도시한 도면이다.

도 6은 X선 광전자 분광법(X-ray photoelectron spectroscopy; XPS)를 사용하여 실시예 1에 따른 페로브스카이트 태양전지의 페로브스카이트 박막의 Pb 4f 피크를 측정하여 도시한 도면이다.

도 7은 공간 전하 제한 전류(space charge limited current; SCLC)법을 사용하여 실시예 1(Additive treated) 및 비교예 2에 따른 페로브스카이트 태양전지의 결함농도를 측정하여 도시한 도면이다.

도 8은 실시예 1 및 비교예 2에 따른 페로브스카이트 태양전지의 광발광(photoluminescence; PL)특성(도 8의 좌측) 및 시간에 따른 광발광 변화(도 8의 우측)을 측정하여 도시한 도면이다.

도 9는 실시예 1(Additive after crosslinking), 비교예 1(Additive before crosslinking) 및 비교예 2(Bare Perovskite)에 따른 페로브스카이트 태양전지의 1 SUN 광조건에 따른 전류밀도-전압 곡선을 측정하여 도시한 도면이다.

도 10은 실시예 1(Additive with crosslinking), 비교예 1(Additive without crosslinking) 및 비교예 2(Bare Perovskite)에 따른 페로브스카이트 태양전지의 외부 환경에 대한 안정성을 측정하여 도시한 도면이다.

도 11은 실시예 1(additive) 및 비교예 2(Bare)에 따른 페로브스카이트 태양전지의 수접촉각(water contact angle)을 측정하여 도시한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0042] 본 명세서에 기재된 실시 형태는 여러 가지 다른 형태로 변형될 수 있으며, 일 구현예에 따른 기술이 이하 설명하는 실시형태로 한정되는 것은 아니다. 또한 일 구현예의 실시 형태는 당해 기술분야에서 평균적인 지식을 가진 자에게 본 개시를 더욱 완전하게 설명하기 위해서 제공되는 것이다. 이때, 사용되는 기술 용어 및 과학 용어에 있어서 다른 정의가 없다면, 이 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 통상적으로 이해하고 있는 의미를 가지며, 하기의 설명 및 첨부 도면에서 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있는 공지 기능 및 구성에 대한 설명은 생략한다.

[0043] 또한, 본 명세서 및 첨부된 특허청구범위에서 사용되는 단수 형태는 문맥에서 특별한 지시가 없는 한 복수 형태도 포함하는 것으로 의도할 수 있다.

[0044] 또한, 본 명세서 및 첨부된 특허청구범위에서 제1, 제2 등의 용어는 한정적인 의미가 아니라 하나의 구성 요소를 다른 구성 요소와 구별하는 목적으로 사용된다.

[0045] 또한, 본 명세서 및 첨부된 특허청구범위에서, 막(층), 영역 또는 구성요소 등의 부분이 다른 부분 “상에”, “상부에”, “상단에”, “하에”, “하부에”, “하단에” 위치하고 있다고 할 때, 이는 어떤 부분이 다른 부분에 접해 있는 경우 뿐만 아니라 두 부분 사이에 또 다른 부분이 존재하는 경우도 포함한다.

[0046] 또한, 본 명세서 및 첨부된 특허청구범위에서 사용되는 정도의 용어 “약”, “실질적으로” 등은 언급된 의미에 고유한 제조 및 물질 허용오차가 제시될 때 그 수치에서 또는 그 수치에 근접한 의미로 사용되고, 본 명세서 및 첨부된 특허청구범위의 이해를 돕기 위해 정확하거나 절대적인 수치가 언급된 개시 내용을 비양심적인 침해자가 부당하게 이용하는 것을 방지하기 위하여 사용된다.

[0047] 또한, 본 명세서에서 사용되는 수치 범위는 하한치와 상한치와 그 범위 내에서의 모든 값, 정의되는 범위의 형태와 폭에서 논리적으로 유도되는 증분, 이중 한정된 모든 값 및 서로 다른 형태로 한정된 수치 범위의 상한 및 하한의 모든 가능한 조합을 포함한다.

[0048] 나아가, 본 명세서 및 첨부된 특허청구범위에서 포함하다 또는 가지다 등의 용어는 명세서상에 기재된 특징, 또는 구성요소가 존재함을 의미하는 것이고, 특별히 한정하지 않는 한, 하나 이상의 다른 특징들 또는 구성요소가 부가될 가능성을 미리 배제하는 것은 아니다.

[0049] 이하, 본발명의 페로브스카이트 광전소자 및 페로브스카이트 광전소자의 제조방법에 대해 상세히 설명한다.

[0050] 본 발명은 페로브스카이트 광전소자의 제조방법을 제공하며, 상기 페로브스카이트 광전소자의 제조방법은 (S1) 제1전극 상에 페로브스카이트 박막을 적층하는 단계; (S2) 상기 페로브스카이트 박막 상에 첨가제를 도포하는 단계; (S3) 상기 첨가제 상에 버퍼층을 적층하는 단계; (S4) 상기 첨가제와 상기 페로브스카이트 박막을 반응시키는 단계; (S5) 상기 첨가제와 상기 버퍼층을 반응시키는 단계; 및 (S6) 상기 버퍼층 상에 제2전극을 적층하는 단계; 를 포함하고, 상기 첨가제의 분자는 제1반응부 및 제2반응부를 포함하며, 상기 제1반응부는 상기 페로브스카이트 박막과 반응하여 상호작용으로 결합하고, 상기 제2반응부는 상기 버퍼층과 반응하여 상호작용으로 결합한다.

[0051] 일 구현예에 따르면, 상기 버퍼층은 정공전달층 또는 전자전달층일 수 있다.

[0052] 일 예로, 상기 정공전달층은 정공전도성 유기물 또는 무기물을 포함하는 박막일 수 있다. 구체적으로, poly(3,4-ethylenedioxythiophene) polystyrene sulfonate(PEDOT:PSS) 또는 copper phthalocyanine(CuPc)등과 같은 정공전도성 유기박막 또는 텅스텐 산화물, 몰리브데넘 산화물, 바나듐 산화물, 니켈산화물 또는 이들의 복합물 등과 같은 금속산화물 박막일 수 있으나, 상기 정공전달층, 즉, 버퍼층은 상기 첨가제의 제2반응부와 상호

작용으로 결합할 수 있음에 따라 정공전도성 유기물을 포함하는 박막일 때 유리할 수 있다.

[0053] 다른 일 예로, 상기 전자전달층은 전자전도성 유기물 또는 무기물을 포함하는 박막일 수 있다. 구체적으로, 2,9-dimethyl-4,7-diphenyl-1,10-phenanthroline(BCP)와 같은 전자전도성 유기박막 또는 타이타늄 산화물, 아연 산화물, 인듐 산화물, 주석 산화물, 텅스텐 산화물, 나이오븀 산화물, 몰리브데넘 산화물, 마그네슘 산화물, 지르코늄 산화물, 스트론튬 산화물, 란타넘 산화물, 바나듐 산화물, 알루미늄 산화물, 이트륨 산화물, 갈륨 산화물 또는 이들의 복합물 등과 같은 금속산화물 박막일 수 있으나, 상기 전자전달층, 즉, 버퍼층은 상기 첨가제의 제2반응부와 상호작용으로 결합할 수 있음에 따라 전자전도성 유기물을 포함하는 박막일 때 유리할 수 있다.

[0054] 일 구현예에 따르면, 상기 페로브스카이트 박막은 페로브스카이트 결정구조로 하기 화학식 1의 ABX_3의 화학식을 만족하는 3차원 입체구조의 페로브스카이트 구조, 또는 하기 화학식 2의 A_2BX_4의 화학식을 만족하는 2차원 평면구조의 페로브스카이트 구조일 수 있다.

[0055] (화학식 1)

[0056] ABX_3

[0057] (화학식 2)

[0058] A_2BX_4

[0059] 상기 화학식 1 및 화학식 2에서 A는 1가의 알킬암모늄계 양이온; 1가의 아미디늄계 양이온; Li^+; Na^+; K^+; Rb^+; Cs^+; Fr^+; $Cu(I)^+$; $Ag(I)^+$ 및 $Au(I)^+$의 조합으로 이루어진 군으로부터 선택되는 하나 이상의 1가 양이온을 포함하고, B는 2가 금속양이온이며, X는 I^-, Br^-, Cl^- 또는 이들의 조합인 할로겐 음이온일 수 있다. 상술한 구조 및 조성의 페로브스카이트 결정은 상기 페로브스카이트 결정의 밴드갭에 따라 특정 파장대역의 광 조사시 광전효과를 나타낼 수 있으며, 이를 이용하여 광전소자를 구현할 수 있다.

[0060] 일 구현예에 따르면, 상기 제1반응부는 양이온성 작용기 또는 음이온성 작용기를 포함할 수 있다. 유리한 일 예로, 상기 제1반응부는 반응부는 $-NH4^+$, $-COO^-$ 및 $-O^-$를 포함하는 군에서 선택되는 작용기를 포함할 수 있다. 상기 제1반응부는 상기 페로브스카이트 박막과 상호작용할 수 있고, 상기 페로브스카이트 박막은 금속 및 비금속 이온을 포함하는 이온결합임에 따라, 상기 제1반응부가 양이온성 또는 음이온성 작용기를 포함하여 상기 페로브스카이트 박막이 포함하는 음이온 또는 양이온과 상호작용하여 배위결합 또는 이온결합할 수 있다. 상기 제1반응부는 상술한 작용기 이외에도 상술한 조건을 만족시키는 양이온성 작용기 또는 음이온성 작용기가 적절히 선택될 수 있다.

[0061] 일 구현예에 따르면, 상기 제2반응부는 감광성 작용기일 수 있다. 상기 제2반응부는 감광성 작용기로 상기 첨가제 상에 상기 버퍼층이 위치하고, 광을 조사하여 상기 감광석 작용기, 즉, 제2반응부가 활성화되며 상기 첨가제와 상기 버퍼층이 가교(crosslinking)될 수 있다. 따라서, 일 구현예에 따르면, 상기 제2반응부와 상기 버퍼층과의 상호작용으로 인한 결합은 가교되는 공유결합 또는 이온결합일 수 있다. 유리한 일 예로, 상기 제2반응부는 광가교결합을 유도할 수 있는 $-N_3$, -Br 및 -C=C을 포함하는 군에서 선택되는 작용기를 포함할 수 있다. 일 구현예에 따르면, 상기 제2반응부는 상기 감광성 가교반응이 아닌 타 반응으로 인하여 상기 버퍼층과 가교(crosslinking)될 수 있다. 상기 타 반응은 물리적 접촉에 의한 화학반응, 개시제에 의한 반응 등 당업계에서 가교반응의 개시에 사용되는 일반적인 방법으로 가교가 수행될 수 있다. 따라서, 상기 제2반응부는 상기 버퍼층과 가교가 개시되기에 적합한 작용기 및 작용방법을 수행하기 위하여 적절하게 선택될 수 있다.

[0062] 일 구현예에 따르면, 상기 첨가제는 상기 첨가제 분자의 양 끝단 각각에 제1반응부 및 제2반응부를 포함하는 단분자 또는 고분자일 수 있다. 상기 첨가제의 양 끝단에 위치하는 제1반응부 및 제2반응부는 각각 상기 페로브스카이트층 및 상기 버퍼층과 상호작용하여 결합할 수 있다. 상기 첨가제 분자의 상기 제1반응부 및 제2반응부 사이에는 탄소 사슬 등이 위치할 수 있다. 비 한정적인 일 예로, 상기 탄소 사슬은 C1 내지 C10의 알킬 사슬일 수 있으나 본 발명이 이에 한정되는 것은 아니며, 상기 제1반응부 및 상기 제2반응부 사이의 탄소는 직쇄, 분지쇄, 고리형 탄소 및 방향족 탄소 등에서 적절히 선택될 수 있다.

[0063] 일 구현예에 따르면, 상기 버퍼층은 알킬기를 포함할 수 있다. 상기 버퍼층은 알킬기를 포함하여 상기 첨가제의 제2반응부와 상기 알킬기가 반응하며 가교(crosslinking)될 수 있다. 따라서, 일 구현예에 따르면, 상기 첨가제

는 상기 제1반응부, 상기 제2반응부 및 알킬기를 포함하는 분자일 수 있다. 유리한 일 예로, 상기 첨가제는 alkyl ammonium azide, phenyl ammonium azide, alkyl ammonium bromide, phenyl ammonium bromide, 를 포함하는 군에서 하나 이상 선택될 수 있다.

[0064] 일 구현예에 따르면, 상기 제1전극은 상기 페로브스카이트 박막과 오믹(ohmic)접합되는 전도성 전극이면 무방하다. 비 한정적인 일 예로, 상기 제1전극은 투명 전도성 전극일 수 있으며, 상기 투명 전도성 전극은 불소 함유 산화주석(FTO; Fluorine doped Tin Oxide), 인듐 함유 산화주석(ITO; Indium doped Tin Oxide), 산화 아연, 탄소나노튜브(carbon nanotube), 그래핀(graphene) 및 이들의 복합물의 조합으로 이루어지는 군에서 선택되는 하나 이상일 수 있으나, 본 발명이 이에 한정되는 것은 아니다.

[0065] 일 구현예에 따르면, 상기 제2전극은 상기 페로브스카이트 박막 및/ 또는 상기 버퍼층과 오믹(ohmic)접합되는 전도성 전극일 수 있으며 상기 제1전극과의 일함수(work function)가 상이하여 상기 페로브스카이트 박막에서 광전효과로 발생한 전자 및 정공이 제1전극 및 제2전극 각각에 전달되어 광전류가 발생할 수 있으면 무방하다. 비 한정적인 일 예로, 상기 제2전극은 금(Au), 은(Ag), 백금(Pt), 팔라듐(Pd), 구리(Cu), 알루미늄(Al), 탄소, 황화코발트, 황화구리, 산화니켈 및 이들의 복합물의 조합으로 이루어지는 군에서 선택되는 하나 이상일 수 있으나 본 발명이 이에 한정되는 것은 아니다.

[0066] 본 발명은 페로브스카이트 광전소자를 제공하며, 상기 페로브스카이트 광전소자는 제1전극; 상기 제1전극 상에 위치하는 페로브스카이트 박막; 상기 페로브스카이트 박막 상에 위치하는 버퍼층; 및 상기 버퍼층 상에 위치하는 제2전극을 포함하고, 상기 페로브스카이트 박막과 상기 버퍼층의 계면에는 첨가제 분자가 위치하며, 상기 첨가제 분자는 제1반응부 및 제2반응부를 포함하고, 상기 제1반응부는 상기 페로브스카이트 박막과 반응하여 상호작용으로 결합하며 상기 제2반응부는 상기 버퍼층과 반응하여 상호작용으로 결합하고, 상기 첨가제 분자로 인하여 상기 페로브스카이트 박막과 상기 버퍼층은 가교(crosslinking) 된다.

[0067] 상기 페로브스카이트 광전소자를 서술함에 있어, 제1전극, 제2전극, 버퍼층, 첨가제 및 상호작용 등은 앞서 상술한 페로브스카이트 광전소자에서의 용어와 동일 내지 유사함에 따라, 본 발명에 따른 페로브스카이트 광전소자는 앞서 페로브스카이트 광전소자의 제조방법에서 상술한 모든 내용을 포함한다.

[0068] 상기 제1전극 상 및 상기 페로브스카이트 박막 하에는 정공전달층 또는 전자전달층인 제2버퍼층이 더 위치할 수 있다. 이 때, 상기 버퍼층이 정공전달층이라면 상기 제2버퍼층은 전자전달층일 수 있고; 또는, 상기 버퍼층이 전자전달층이라면 상기 제2버퍼층은 정공전달층일 수 있다. 상기 버퍼층 및 제2버퍼층은 각각 정공 및 전자를 각각 제1전극과 제2전극에 원활히 전달하는 역할을 하여 상기 페로브스카이트 광전소자의 광전변환효율 및 타 성능지표를 향상시킬 수 있다.

[0070] 이하, 실시예 및 실험예를 하기에 구체적으로 예시하여 설명한다. 다만, 후술하는 실시예 및 실험예는 일부를 예시하는 것일 뿐, 본 명세서에 기재된 기술이 이에 한정되는 것은 아니다.

[0072] (실시예 1)

[0073] 기판으로 인듐 주석 산화물(Indium Tin Oxide; ITO) 전극이 적층된 2.5 cm x 2.5 cm 크기의 유리기판을 사용하였다. 상기 기판을 아세톤, 아이소프로필 알코올로 세척하고 자외선-오존(UV-Ozone) 표면세정기를 사용하여 15분동안 표면처리하였다.

[0074] 염화주석수화물($SnCl_2 2H_2O$)을 아이소프로필알코올(isopropyl alcohol)에 50 mM의 농도로 용해하여 주석산화물 용액을 제조하였다. 상기 주석산화물 용액을 상기 기판 상에 적하한 후 3000 rpm으로 30초간 스핀코팅(spin-coating)하고 190℃에서 1시간 열처리하여 상기 인듐주석산화물 전극 상에 주석산화물 전자전달층을 제조하였다.

[0075] 아이오딘화납(PbI_2) 641 mg, 아이오딘화 포름아미디늄(formamidinium iodide; FAI) 217 mg, 브롬화납($PbBr_2$) 23 mg 및 브롬화 메틸암모늄(methylammonium bromide; MABr) 7 mg을 디메틸포름아미드(N-dimethylformamide; DMF) 0.88 ml 및 디메틸설폭사이드(dimethylsulfoxide; DMSO) 0.11 ml의 혼합용매에 용해하여 페로브스카이트 전구체 용액을 제조하였다.

[0076] 상기 주석산화물 전자전달층을 자외선-오존(UV-Ozone) 표면세정기를 사용하여 15분동안 표면처리한 후 상기 페

로브스카이트 전구체 용액을 상기 주석산화물 전자전달층 상에 적하하여 500 rpm 에서 5초, 1000 rpm에서 10초, 5000 rpm 에서 30초간 스핀코팅 하였다. 이 때, 상기 스핀코팅이 10초간 진행된 직후 디에틸에테르(diethlyl ether) 1 ml를 회전하는 도중에 적하하고 스핀코팅을 완료한 후 100℃에서 1시간동안 열처리하여 상기 주석산화물 전자전달층 상에 페로브스카이트 박막을 제조하였다.

[0077] 상기 페로브스카이트 박막 상에 첨가제인 octylammonium azide 용액 1 ml를 적하한 후 3000 rpm 에서 30초간 스핀코팅하여 상기 페로브스카이트 박막을 후처리하였다.

[0078] spiro-OMeTAD(2,2',7,7'-Tetrakis[N,N-di(4-methoxyphenyl)amino]-9,9'-spirobifluorene) 100 mg, Li-TFSI(lithium bis(trifluoromethanesulfonyl)imide) 23 μL, 테트라부틸피리딘(4-tert-butylpyridine; tBP) 39μL 및 FK209 Co(III) TFSI 염 10 μL을 클로로벤젠 1.1 mL에 용해하여 정공전달층 혼합물을 제조하였다.

[0079] 상기 정공전달층 혼합물을 상기 후처리된 페로브스카이트 박막 상에 적하한 후 3000 rpm 에서 30초간 스핀코팅하여 정공전달층을 적층하였다.

[0080] 이후, 상기 정공전달층 상에 254 nm 파장대역의 광을 10분간 조사하여 상기 페로브스카이트 박막, 상기 첨가제 및 상기 정공전달층간의 가교(crosslinking)반응을 수행하였다.

[0081] 상기 정공전달층 상에 금(Au) 100 nm를 물리기상증착법을 사용하여 증착하여 페로브스카이트 태양전지를 제조하였다.

[0083] (비교예 1)

[0084] 실시예 1에서, 상기 가교반응을 수행하지 않는 것을 제외하고, 실시예 1과 동일한 방법으로 페로브스카이트 태양전지를 제조하였다.

[0086] (비교예 2)

[0087] 실시예 1에서, 상기 후처리를 수행하지 않는 것을 제외하고, 실시예 1과 동일한 방법으로 페로브스카이트 태양전지를 제조하였다.

[0089] (실험예 1)

[0090] 푸리에 변환 적외선 분광법(Fourier transform infrared spectroscopy; FT-IR)을 사용하여 실시예 1(After Crosslinking) 및 비교예 1(Before Crosslinking)에 따른 페로브스카이트 태양전지의 첨가제 및 정공전달층 간의 가교결합을 분석하여 도 3에 도시하였다.

[0091] 도 3을 참조하여, 2100 cm^{-1} 위치에서 N_3 피크가 줄어드는 것을 통하여 가교결합이 형성되는 것을 확인하였다.

[0093] (실험예 2)

[0094] 실시예 1(Additive-induced crosslinked film) 및 비교예 2(Pristine film)에 따른 페로브스카이트 태양전지를 Chlorobenzene 용매로 3회 spin-coating을 통해 세척한 후의 이미지를 광학카메라로 촬영하여 도 4에 도시하였다.

[0095] 도 4의 상단 이미지를 참조하여, 비교예 2에 따른 페로브스카이트 태양전지의 페로브스카이트 박막 및 정공전달층은 완전히 씻겨나간 것을 확인하였다.

[0096] 반면, 도 4의 하단 이미지를 참조하여, 실시예 1에 따른 페로브스카이트 태양전지의 페로브스카이트 박막 및 정공전달층은 3회의 세척에도 일정부분 유지되어 높은 내구성을 가짐을 확인하였다.

[0097] 또한, 자외선 가시광선 분광법(ultraviolet-visible spectroscopy; UV-vis)를 사용하여 실시예 1에 따른 페로브스카이트 태양전지(Bare) 및 실시예 1에 따른 페로브스카이트 태양전지의 1회(1 wash), 2회(2 wash) 및 3회(3 wash) 세척시의 흡광도를 측정하여 도 5에 도시하였다.

[0098] 도 5를 참조하여, 1회 세척시에는 흡광도가 급격히 감소하였으나, 2회 및 3회 세척시에는 흡광도의 감소가 거의 없는 것을 확인하였다. 이는 벌크(bulk)상태의 정공전달층이 전부 가교결합되지 않고 페로브스카이트와 정공전달층의 계면에서만 가교결합이 일어났기 때문으로 사료된다.

[0100] (실험예 3)

[0101] X선 광전자 분광법(X-ray photoelectron spectroscopy; XPS)를 사용하여 실시예 1에 따른 페로브스카이트 태양전지의 페로브스카이트 박막의 Pb 4f 피크를 측정하여 도 6에 도시하였다.

[0102] 도 6을 참조하여, 첨가제가 추가되어 첨가제와 페로브스카이트 박막이 상호작용으로 결합되어 피크의 이동이 일어났음을 확인하였다.

[0104] (실험예 4)

[0105] 공간 전하 제한 전류(space charge limited current; SCLC)법을 사용하여 실시예 1(Additive treated) 및 비교예 2에 따른 페로브스카이트 태양전지의 결함농도를 측정하여 도 7에 도시하였다.

[0106] 트랩 충전 제한 전압(trap-filled-limit voltage; V_{TFL})로 알려진 I-V곡선의 꼬임점(kink point)는 전하 트랩 밀도 (N_t)에 정비례한다고 당업계에서 알려져있다.

[0107] 도 7을 참조하여, 실시예 1에 따른 페로브스카이트 태양전지의 트랩 충전 제한 전압은 0.26 V로 측정되었고, 전하 트랩 밀도는 3.68 x 10^{15}/cm^3으로 계산되었다. 반면, 비교예 2에 따른 페로브스카이트 태양전지의 트랩 충전 제한 전압은 0.36 V로 측정되었고, 전하 트랩 밀도는 5.09 x 10^{15}/cm^3으로 계산되어 실시예 1에 따른 페로브스카이트 태양전지의 결함밀도가 트랩 및 첨가제와의 상호작용으로 인하여 감소되는 것을 확인하였다.

[0109] (실험예 5)

[0110] 실시예 1 및 비교예 2에 따른 페로브스카이트 태양전지의 광발광(photoluminescence; PL)특성(도 8의 좌측) 및 시간에 따른 광발광 변화(도 8의 우측)을 측정하여 도 8에 도시하였다. 실시예 1에 따른 페로브스카이트 태양전지의 광발광 특성(Additive treated) 및 시간에 따른 광발광 변화(τ_2)는 모두 비교예 2에 따른 페로브스카이트 태양전지의 광발광 특성(Bare) 및 시간에 따른 광발광 변화(τ_2) 보다 뛰어남을 확인하였다. 이에, 페로브스카이트 박막에 존재하는 결함이 상기 첨가제와의 상호작용으로 인하여 효과적으로 부동화됨을 확인하였다.

[0112] (실험예 6)

[0113] 실시예 1(Additive after crosslinking), 비교예 1(Additive before crosslinking) 및 비교예 2(Bare Perovskite)에 따른 페로브스카이트 태양전지의 1 SUN 광조건에 따른 전류밀도-전압 곡선을 측정하여 도 9에 도시하였다. 도 9의 Rev는 역방향(reverse) 스캔(scan), For는 정방향(forward) 스캔을 의미한다.

[0114] 상기 페로브스카이트 태양전지의 단락전류밀도(J_{sc}), 개방전압(V_{oc}), 필팩터(FF) 및 광전변환효율(power conversion efficiency; PCE)를 하기 표 1에 표기하였다.

표 1

[0115]

	스캔 방향	J_{sc} (mA/cm^2)	V_{oc} (V)	FF (%)	PCE (%)
실시예 1	역방향	23.2	1.12	76.9	20.0
	정방향	23.2	1.11	76.1	19.7
비교예 1	역방향	23.1	1.11	77.1	19.8
	정방향	23.0	1.12	76.5	19.7

비교예 2	역방향	22.3	0.96	64.2	13.6
	정방향	22.0	1.02	62.0	13.8

[0116] 도 9 및 표 1을 참조하여, 실시예 1에 따른 페로브스카이트 태양전지는 광전변환효율이 크게 향상됨을 확인하였다. 비교예 1에 따른 페로브스카이트 태양전지 또한 광전변환효율이 크게 향상되었다. 그러나, 실험예 2에서 확인한 바와 같이, 비교예 1에 따른 페로브스카이트 태양전지는 내구성이 떨어져 실시예 1에 따른 페로브스카이트 태양전지가 안정성의 면에서 확연한 우위에 있을 것으로 사료된다.

[0118] (실험예 7)

[0119] 실시예 1(Additive with crosslinking), 비교예 1(Additive without crosslinking) 및 비교예 2(Bare Perovskite)에 따른 페로브스카이트 태양전지의 외부 환경에 대한 안정성을 측정하여 도 10에 도시하였다. 페로브스카이트 태양전지의 보관 조건은 RH 50~60% 및 상온이었다.

[0120] 도 10을 참조하여, 실시예 1에 따른 페로브스카이트 태양전지는 상기 조건에서 500시간 보관 후에도 초기 효율의 90%을 유지하였다. 비교예 1에 따른 페로브스카이트 태양전지는 상기 조건에서 500시간 이후 초기 효율의 82%를 유지하였다. 반면, 비교예 2에 따른 페로브스카이트 태양전지는 상기 조건에서 500시간 이후 초기 효율의 38%를 유지하는 것에 그쳐 실시예 1에 따른 페로브스카이트 태양전지의 안정성이 우위에 있는 것을 확인하였다.

[0121] 이는 실시예 1 및 비교예 1의 첨가제가 소수성을 띄어 외부 수분을 방지하고, 가교될 경우 더 높은 결합력으로 인하여 박막간의 결합을 높이기 때문인 것으로 사료된다.

[0123] (실험예 8)

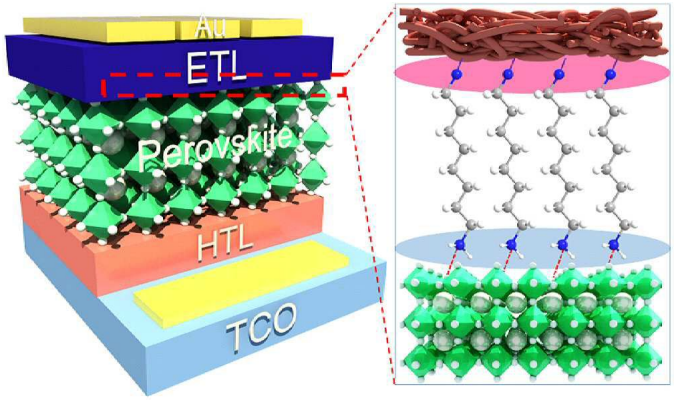
[0124] 실시예 1(additive) 및 비교예 2(Bare)에 따른 페로브스카이트 태양전지의 수접촉각(water contact angle)을 측정하여 도 11에 도시하였다.

[0125] 도 11을 참조하여, 실시예 1에 따른 페로브스카이트 태양전지는 소수성 첨가제의 코팅으로 인하여 64.1° 의 높은 소수성 표면을 가지는 것을 확인하였다. 반면, 비교예 2에 따른 페로브스카이트 태양전지의 수접촉각은 46.0° 로 확인되었다.

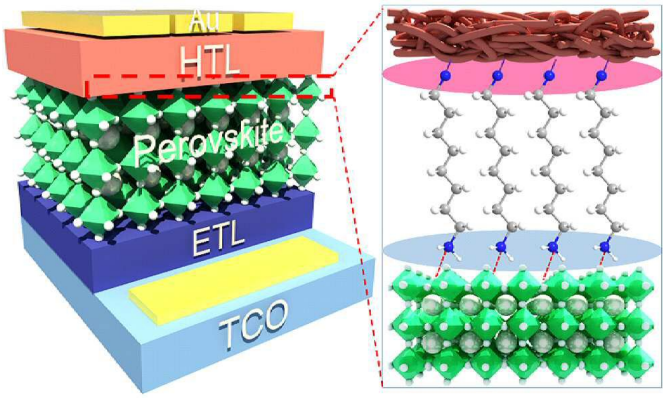
[0127] 이상과 같이 본 명세서에서는 특정된 사항들과 한정된 실시예에 의해 본 발명이 설명되었으나 이는 본 발명의 보다 전반적인 이해를 돕기 위해서 제공된 것일 뿐, 본 발명이 상기의 실시예에 한정되는 것은 아니며, 본 발명이 속하는 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 이러한 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다. 따라서, 본 명세서에 기재된 사상은 설명된 실시예에 국한되어 정해져서는 아니되며, 후술하는 특허청구범위 뿐만 아니라 이 특허청구범위와 균등하거나 등가적 변형이 있는 모든 것들은 본 명세서에 기재된 사상의 범주에 속한다고 할 것이다.

도면

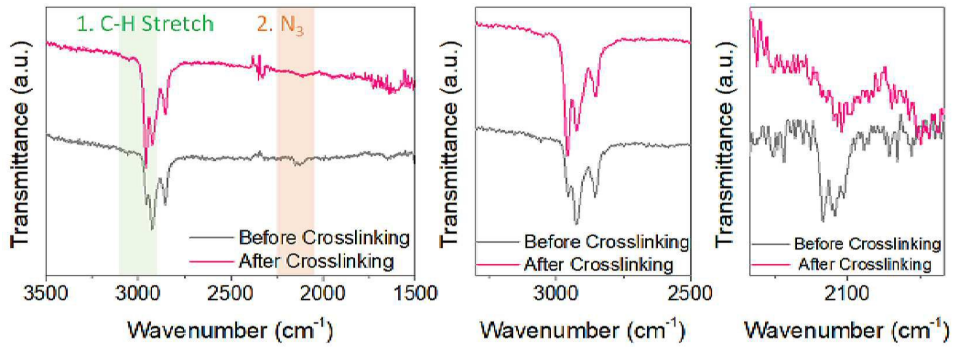
도면1



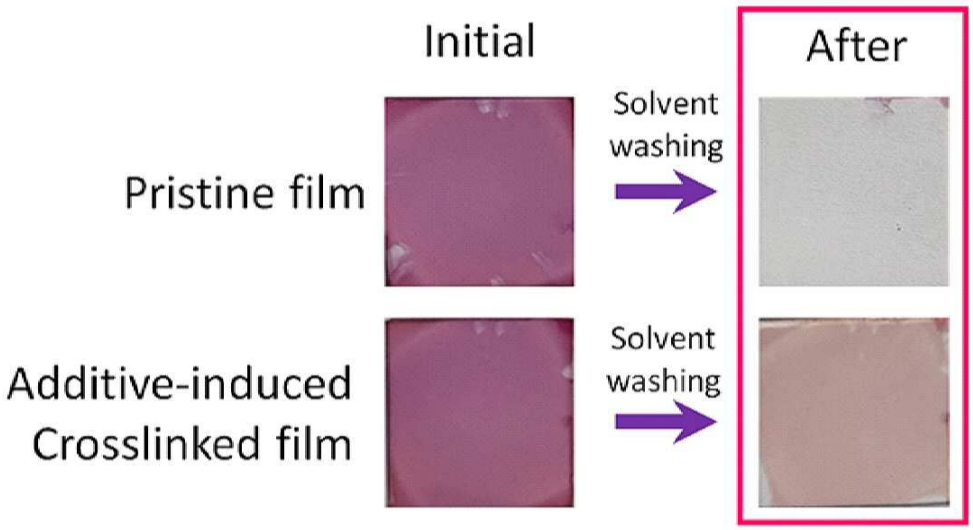
도면2



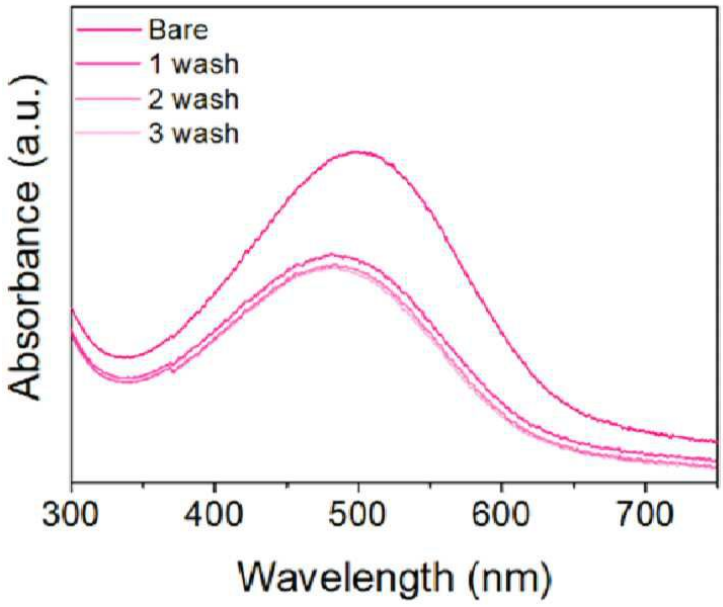
도면3



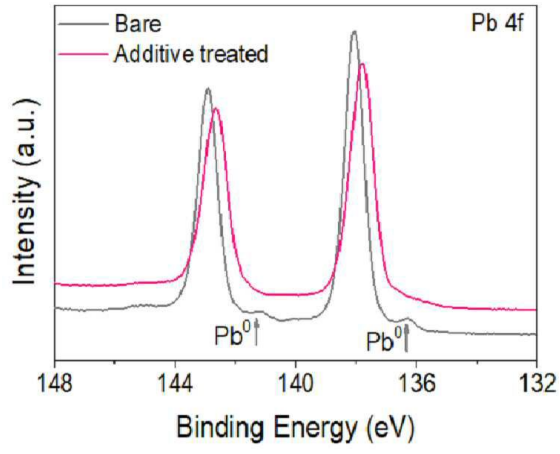
도면4


Initial
After
Pristine film
Solvent washing
Additive-induced Crosslinked film
Solvent washing

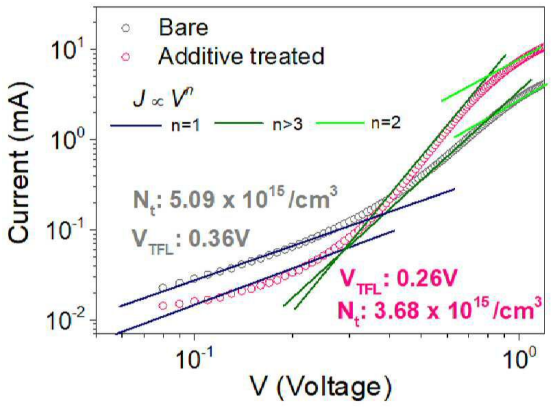
도면5


Bare
1 wash
2 wash
3 wash
Absorbance (a.u.)
300
400
500
600
700
Wavelength (nm)

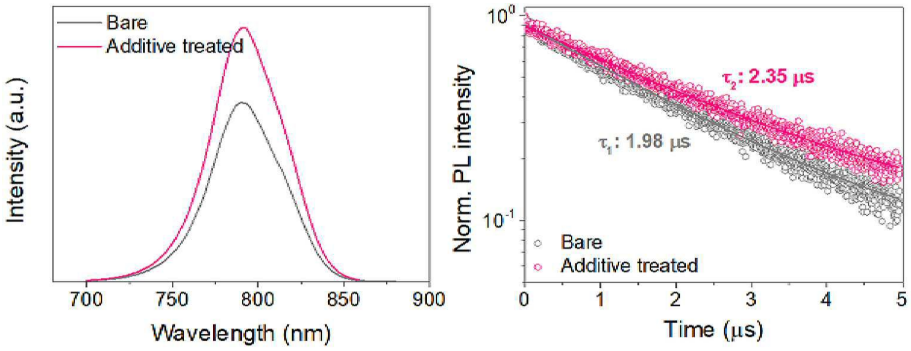
도면6


Bare
Additive treated
Pb 4f
Intensity (a.u.)
Pb0
Pb0
148
144
140
136
132
Binding Energy (eV)

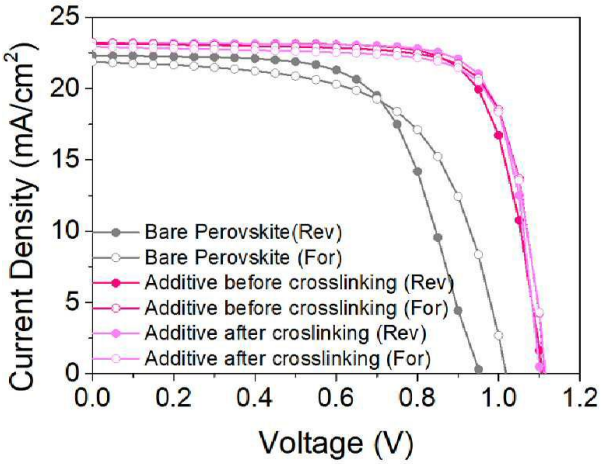
도면7


Bare
Additive treated
$J \propto V^n$
n=1
n>3
n=2
N_t: 5.09 x 10^{15}/cm^3
V_{TFL}: 0.36V
V_{TFL}: 0.26V
N_t: 3.68 x 10^{15}/cm^3
Current (mA)
V (Voltage)

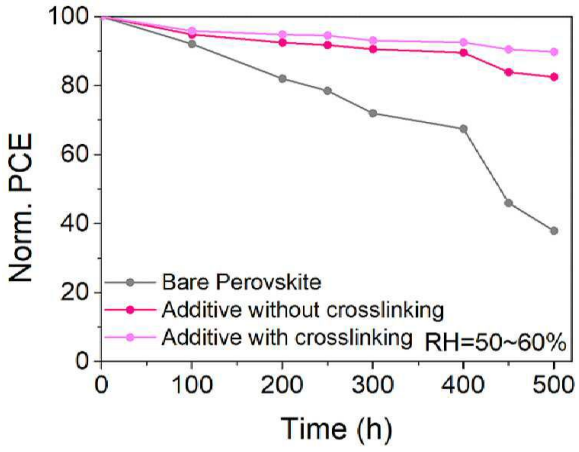
도면8


Bare
Additive treated
Intensity (a.u.)
Wavelength (nm)
τ_2: 2.35 μs
τ_1: 1.98 μs
Norm. PL intensity
Time (μs)

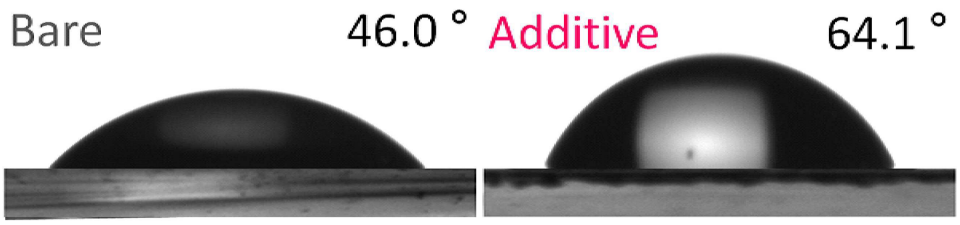
도면9


Bare Perovskite(Rev)
Bare Perovskite (For)
Additive before crosslinking (Rev)
Additive before crosslinking (For)
Additive after croslinking (Rev)
Additive after crosslinking (For)
Current Density (mA/cm^2)
Voltage (V)

도면10


100
80
60
40
20
0
Norm. PCE
0
100
200
300
400
500
Time (h)
Bare Perovskite
Additive without crosslinking
Additive with crosslinking
RH=50~60%

도면11


Bare
46.0 °
Additive
64.1 °