



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2020-0034637
(43) 공개일자 2020년03월31일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 51/42 (2006.01) H01L 51/44 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H01L 51/4213 (2013.01)
H01L 51/447 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2019-0116149
(22) 출원일자 2019년09월20일
심사청구일자 없음
(30) 우선권주장
1020180113932 2018년09월21일 대한민국(KR)

(71) 출원인
주식회사 엘지화학
서울특별시 영등포구 여의대로 128 (여의도동)
(72) 발명자
김세용
대전광역시 유성구 문지로 188 LG화학 기술연구
원
(74) 대리인
정순성

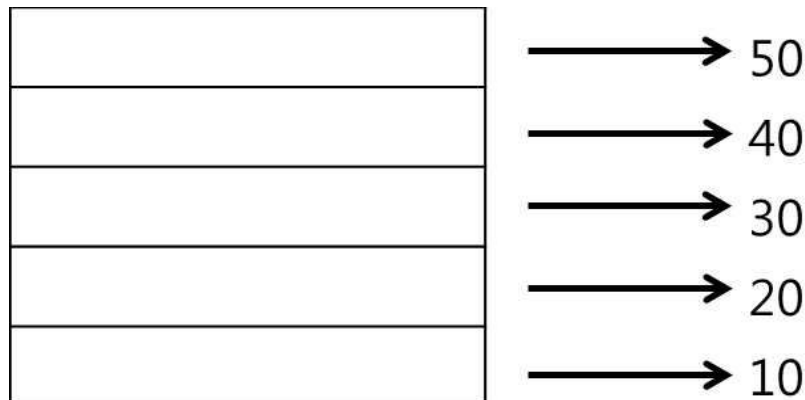
전체 청구항 수 : 총 6 항

(54) 발명의 명칭 유-무기 복합 태양전지

(57) 요약

본 명세서는 제1 전극; 상기 제1 전극 상에 구비된 페로브스카이트 구조의 화합물을 포함하는 광흡수층; 상기 광흡수층 상에 구비된 삽입층; 상기 삽입층 상에 구비된 정공수송층; 및 상기 정공수송층 상에 구비된 제2 전극을 포함하고, 상기 광흡수층은 불소계 첨가제를 더 포함하며, 상기 삽입층은 CuSCN, CuI, CuBr, CuCl, CuPc 및 Cu-doped NiO 중 1 종 이상을 포함하는 것인 유-무기 복합 태양전지를 제공한다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류
Y10S 977/812 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

제1 전극;

상기 제1 전극 상에 구비된 페로브스카이트 구조의 화합물을 포함하는 광흡수층;

상기 광흡수층 상에 구비된 삽입층;

상기 삽입층 상에 구비된 정공수송층; 및

상기 정공수송층 상에 구비된 제2 전극을 포함하고,

상기 광흡수층은 불소계 첨가제를 더 포함하며,

상기 삽입층은 CuSCN, CuI, CuBr, CuCl, CuPc 및 Cu-doped NiO 중 1 종 이상을 포함하는 것인 유-무기 복합 태양전지.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 삽입층의 가전자대 에너지(valence band energy)는 상기 페로브스카이트 구조의 화합물의 HOMO 레벨과 상기 정공수송층의 HOMO 레벨 사이의 에너지 레벨을 가지는 것인 유-무기 복합 태양전지.

청구항 3

청구항 1에 있어서,

상기 삽입층의 가전자대 에너지(valence band energy)는 4.8eV 내지 5.6eV인 것인 유-무기 복합 태양전지.

청구항 4

청구항 1에 있어서,

상기 삽입층의 두께는 1nm 내지 500nm인 것인 유-무기 복합 태양전지.

청구항 5

청구항 1에 있어서,

상기 제1 전극과 광흡수층 사이에 전자수송층을 더 포함하는 것인 유-무기 복합 태양전지.

청구항 6

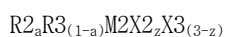
청구항 1에 있어서,

상기 페로브스카이트 구조의 화합물은 하기 화학식 1 내지 3 중 어느 하나로 표시되는 것인 유-무기 복합 태양전지:

[화학식 1]



[화학식 2]



[화학식 3]

$R4_b R5_c R6_d M3 X4_z' X5_{(3-z')}$

상기 화학식 1 내지 3에 있어서,

R2 및 R3는 서로 상이하고,

R4, R5 및 R6는 서로 상이하하며,

R1 내지 R6는 각각 독립적으로 $C_n H_{2n+1} NH_3^+$, NH_4^+ , $HC(NH_2)_2^+$, Cs^+ , Rb^+ , NF_4^+ , NCI_4^+ , PF_4^+ , PCl_4^+ , $CH_3PH_3^+$, $CH_3AsH_3^+$, $CH_3SbH_3^+$, PH_4^+ , AsH_4^+ 및 SbH_4^+ 에서 선택되는 1가의 양이온이며,

M1 내지 M3는 서로 같거나 상이하고, 각각 독립적으로 Cu^{2+} , Ni^{2+} , Co^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} , Cr^{2+} , Pd^{2+} , Cd^{2+} , Ge^{2+} , Sn^{2+} , Bi^{2+} , Pb^{2+} 및 Yb^{2+} 에서 선택되는 2가의 금속 이온이고,

X1 내지 X5는 서로 같거나 상이하고, 각각 독립적으로 할로젠 이온이며,

n은 1 내지 9의 정수이고,

a는 $0 < a < 1$ 의 실수이며,

b는 $0 < b < 1$ 의 실수이고,

c는 $0 < c < 1$ 의 실수이며,

d는 $0 < d < 1$ 의 실수이고,

b + c + d는 1이고,

z는 $0 < z < 3$ 의 실수이며,

z'은 $0 < z' < 3$ 의 실수이다.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 출원은 2018년 9월 21일에 한국특허청에 제출된 한국 특허 출원 제10-2018-0113932의 출원일의 이익을 주장하며, 그 내용 전부는 본 명세서에 포함된다.

[0002] 본 명세서는 유-무기 복합 태양전지에 관한 것이다.

배경 기술

[0003] 화석 에너지의 고갈과 이의 사용에 의한 지구 환경적인 문제를 해결하기 위해 태양에너지, 풍력, 수력과 같은 재생 가능하며, 청정한 대체 에너지원에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이 중에서 태양 빛으로부터 직접 전기적 에너지를 변화시키는 태양전지에 대한 관심이 크게 증가하고 있다. 여기서 태양전지란 태양빛으로부터 광 에너지를 흡수하여 전자와 정공을 발생하는 광기전 효과를 이용하여 전류-전압을 생성하는 전지를 의미한다.

[0004] 유-무기 복합 페로브스카이트 물질은 흡광계수가 높고, 용액 공정을 통해 쉽게 합성이 가능한 특성 때문에 최근 유-무기 복합 태양전지 광흡수 물질로서 각광 받고 있다.

[0005] 그러나, 기존의 페로브스카이트 물질을 적용한 유-무기 복합 태양전지의 경우, 높은 효율에도 불구하고, 정공수송층에 적용되는 p형 도펀트의 열적 안정성 및 p형 도펀트에 의한 광흡수층의 열화 문제로 인해 장기 구동 안정성이 저하되는 문제가 있다. 특히, p형 도펀트가 페로브스카이트 층으로 확산하여 반응하고 이로 인하여 페로브스카이트 층이 열화되는 문제가 있다. 소자의 온도가 높아지는 경우, 이러한 반응이 더욱 더 심화되어 소자의 고온 안정성에 심각한 문제를 야기한다.

[0006] 따라서, 이러한 내구성 및 공정성 향상을 해결하기 위하여 p형 도펀트의 확산을 방지하는 기능층의 도입이 필요하다

선행기술문헌

비특허문헌

[0007] (비특허문헌 0001) Adv. Mater. 2014, 26, 4991-4999

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 본 명세서는 유-무기 복합 태양전지를 제공한다.

과제의 해결 수단

[0009] 본 명세서의 일 실시상태는 제1 전극;

[0010] 상기 제1 전극 상에 구비된 페로브스카이트 구조의 화합물을 포함하는 광흡수층;

[0011] 상기 광흡수층 상에 구비된 삽입층;

[0012] 상기 삽입층 상에 구비된 정공수송층; 및

[0013] 상기 정공수송층 상에 구비된 제2 전극을 포함하고,

[0014] 상기 광흡수층은 불소계 첨가제를 더 포함하며,

[0015] 상기 삽입층은 CuSCN, CuI, CuBr, CuCl, CuPc 및 Cu-doped NiO 중 1 종 이상을 포함하는 것인 유-무기 복합 태양전지를 제공한다.

발명의 효과

[0016] 본 명세서의 일 실시상태에 따른 유-무기 복합 태양전지는 상온 및 고온에서 장기 안정성이 우수하다.

[0017] 본 명세서의 일 실시상태에 따른 유-무기 복합 태양전지는 넓은 광스펙트럼을 흡수할 수 있어, 광 에너지 손실이 줄고, 에너지 변환 효율이 상승하는 효과가 있다.

[0018] 본 명세서의 일 실시상태에 따른 유-무기 복합 태양전지는 이력현상(hysteresis)이 개선되는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

[0019] 도 1 및 2는 본 명세서의 실시상태에 따른 유-무기 복합 태양전지의 구조를 예시한 도이다.

도 3은 실시예 1에서 제조된 유-무기 복합 태양전지의 reverse scan 및 forward scan 측정 결과를 나타낸 도이다.

도 4는 실시예 2 및 3에서 제조된 유-무기 복합 태양전지의 reverse scan 및 forward scan 측정 결과를 나타낸 도이다.

도 5는 비교예 1에서 제조된 유-무기 복합 태양전지의 reverse scan 및 forward scan 측정 결과를 나타낸 도이다.

도 6은 비교예 2에서 제조된 유-무기 복합 태양전지의 reverse scan 및 forward scan 측정 결과를 나타낸 도이다.

도 7은 실시예 1 및 비교예 1에서 제조된 유-무기 복합 태양전지의 85℃에서의 안정성 평가 결과를 나타낸 도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0020] 이하, 본 명세서를 상세히 설명한다.

[0021] 본 명세서에 있어서, 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미한다.

- [0022] 본 명세서에 있어서, 어떤 부재가 다른 부재 "상에" 위치하고 있다고 할 때, 이는 어떤 부재가 다른 부재에 접하여 있는 경우뿐만 아니라, 두 부재 사이에 또 다른 부재가 존재하는 경우도 포함한다.
- [0023] 본 명세서의 일 실시상태는 제1 전극;
- [0024] 상기 제1 전극 상에 구비된 페로브스카이트 구조의 화합물을 포함하는 광흡수층;
- [0025] 상기 광흡수층 상에 구비된 삽입층;
- [0026] 상기 삽입층 상에 구비된 정공수송층; 및
- [0027] 상기 정공수송층 상에 구비된 제2 전극을 포함하고,
- [0028] 상기 광흡수층은 불소계 첨가제를 더 포함하며,
- [0029] 상기 삽입층은 CuSCN, CuI, CuBr, CuCl, CuPc 및 Cu-doped NiO 중 1 종 이상을 포함하는 것인 유-무기 복합 태양전지를 제공한다.
- [0030] 상기 삽입층 물질은 정공 수송 특성이 우수한 p형 무기 화합물로 페로브스카이트 계면과 적합한 가전자대 에너지 크기를 가지며 상부에 올라갈 정공 수송층과의 가전자대 에너지 크기와 상충됨이 없으므로 정공 수송 특성에 문제가 없다. 또한 밴드갭이 커 가시광 흡수가 작고 효과적인 전자 막힘 특성 (Electron block)이 있어 정공 수송층 내의 재결합 없이 효과적인 정공수송을 가능하게 한다. 또한 전도도도 높아 광 흡수층과 삽입층 계면에서의 전하 축적이 적어 소자 이력 특성을 감소시킬 수 있다.
- [0031] 본 명세서의 일 실시상태에 있어서, 상기 삽입층은 Cu 복합물 또는 Cu가 도핑된 산화물을 포함한다. 상기 Cu 복합물은 CuSCN, CuI, CuBr, CuCl 및 CuPc 중 1 종 이상이다.
- [0032] 본 명세서에 있어서, 상기 Cu-doped NiO는 Cu가 도핑된 NiO를 의미한다.
- [0033] 본 명세서의 일 실시상태에 있어서, 상기 삽입층은 CuSCN, CuI, CuBr, CuCl, CuPc 및 Cu-doped NiO 중 1종 내지 3종을 포함한다.
- [0034] 도 1은 본 명세서의 일 실시상태에 따른 유-무기 복합 태양전지를 나타내었다. 구체적으로, 도 1은 제1 전극(10), 광흡수층(20), 삽입층(30), 정공수송층(40) 및 제2 전극(50)이 순차적으로 적층된 유-무기 복합태양전지를 나타내었다.
- [0035] 본 명세서의 일 실시상태에 있어서, 상기 삽입층의 가전자대 에너지(valence band energy)는 상기 페로브스카이트 구조의 화합물의 HOMO 레벨과 상기 정공수송층의 HOMO 레벨 사이의 에너지 레벨을 가진다.
- [0036] 즉, 상기 삽입층과 광활성층 간의 가전자대 에너지 차이는, 정공수송층과 광활성층 간의 가전자대 에너지 차이보다 작다. 이에 따라, 광흡수층과 정공수송층간의 전하 주입 장벽을 줄여 계면에서 발생하는 전하 누적에 의한 이력현상을 개선할 수 있다.
- [0037] 본 명세서의 일 실시상태에 있어서, 상기 가전자대 에너지는 UPS (ultra violet photoelectron spectroscopy) 분석 장비를 이용하여 측정된다. 구체적으로 수십 eV의 에너지를 갖는 자외선을 조사하여 시료의 가전자대 최외각의 전자들을 여기시켜 방출되는 것을 측정함으로써 가전자대 에너지를 측정한다.
- [0038] 본 명세서의 일 실시상태에 있어서, 상기 삽입층의 가전자대 에너지(valence band energy)는 4.8eV 내지 5.6eV이다. 구체적으로, 상기 삽입층의 가전자대 에너지는 5.0eV 내지 5.4eV이다.
- [0039] 일반적으로, 정공수송층은 정공수송물질(예컨대, spiro-OMETAD) 및 p형 도펀트(예컨대, Li(TFSi))를 포함하고 있다. 종래의 유-무기 복합 태양전지는 정공수송층과 광흡수층이 접하여 구비되므로, 상기 p형 도펀트가 광흡수층과 접촉된다. 이에 따라, 광흡수층 내에서 화학반응을 통한 공극을 형성시키므로 소자가 열화되는 문제 및 장기 안정성이 하락되는 문제점을 발생시킨다. 또한, 정공수송물질의 가전자대와 광흡수층의 가전자대의 차이가 커서 정공수송시에 장벽에 의한 전하 누적 및 이력현상이 발생하므로 소자의 성능이 저하되는 문제점이 있다.
- [0040] 반면에, 본 명세서의 일 실시상태는 광흡수층과 정공수송층 사이에 삽입층을 도입함으로써, 광흡수층 내 이온들이 정공수송층으로 확산되는 것을 방지하고, 각 층 간의 가전자대 에너지를 조절하여, 전술한 문제점(열화, 장기 안정성 하락, 성능 저하)들을 개선하는 효과를 나타낸다.
- [0041] 본 명세서에 있어서, 상기 “이력 현상”은 하기 식 1을 통해 이력도를 구함으로써 비교할 수 있다.

$$\text{이력도(Hysteresis Index)} = \frac{J_{0.8V_{oc}}^{rev} - J_{0.8V_{oc}}^{fwd}}{J_{0.8V_{oc}}^{rev}}$$

식 (1):

$$J_{0.8V_{oc}}^{rev}$$

상기 식 (1)에 있어서, $J_{0.8V_{oc}}^{rev}$ 는 reverse scan에서, 개방전압(V_{oc})의 80%에 해당하는 전압 인가 시 측정된 전류밀도이다.

$$J_{0.8V_{oc}}^{fwd}$$

상기 식 (1)에 있어서, $J_{0.8V_{oc}}^{fwd}$ 는 forward scan에서, 개방전압(V_{oc})의 80%에 해당하는 전압 인가 시 측정된 전류밀도이다.

상기 reverse scan은 개방전압에서 단락전류 방향으로 IV 스캔을 진행한 것이며, 상기 forward scan은 단락전류에서 개방전압 방향으로 IV 스캔을 진행한 것이다.

상기 이력도는 소자의 이력정도를 나타내는 지수로 0 내지 1의 값을 가지며, 0에 가까울수록 이력이 없다는 것을 의미한다.

본 명세서에 있어서, “가전자대 에너지”는 에너지의 크기를 의미하는 것이다. 따라서, 전도대의 마이너스(-) 방향으로 가전자대 에너지가 표시되는 경우에도, 가전자대 에너지는 해당 에너지 값의 절대값을 의미하는 것으로 해석된다. 예컨대, HOMO(highest occupied molecular orbital) 에너지 준위란 전도대로부터 최고 점유 분자 오비탈까지의 거리를 의미한다. 또한, LUMO(lowest unoccupied molecular orbital) 에너지 준위란 전도대로부터 최저 비점유 분자 오비탈까지의 거리를 의미한다.

본 명세서의 일 실시상태에 있어서, 상기 삽입층의 두께는 1nm 내지 500nm이다. 구체적으로, 상기 삽입층의 두께는 10nm 내지 100nm이다.

삽입층의 두께가 상기 범위를 만족할 경우, 광흡수층의 표면 거칠기를 평탄화시켜 계면에서 발생하는 전하 누적 등의 현상을 감소 시키고, 삽입층에 미세 구멍 발생을 억제하여 상부의 정공 수송층으로부터 확산되는 도펀트를 효과적으로 막아줄 수 있다.

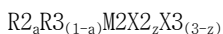
본 명세서의 일 실시상태에 있어서, 상기 광흡수층은 페로브스카이트 구조의 화합물을 포함한다.

본 명세서의 일 실시상태에 있어서, 상기 페로브스카이트 구조의 화합물은 하기 화학식 1 내지 3 중 어느 하나로 표시된다.

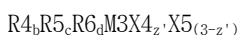
[화학식 1]



[화학식 2]



[화학식 3]



상기 화학식 1 내지 3에 있어서,

R2 및 R3는 서로 상이하고,

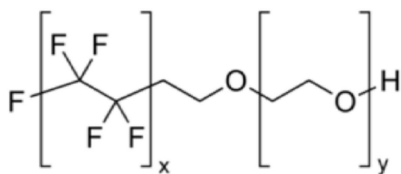
R4, R5 및 R6는 서로 상이하며,

R1 내지 R6는 각각 독립적으로 $C_nH_{2n+1}NH_3^+$, NH_4^+ , $HC(NH_2)_2^+$, Cs^+ , Rb^+ , NF_4^+ , $NC1_4^+$, PF_4^+ , $PC1_4^+$, $CH_3PH_3^+$, $CH_3AsH_3^+$,

$\text{CH}_3\text{SbH}_3^+$, PH_4^+ , AsH_4^+ 및 SbH_4^+ 에서 선택되는 1가의 양이온이며,

- [0062] M1 내지 M3는 서로 같거나 상이하고, 각각 독립적으로 Cu^{2+} , Ni^{2+} , Co^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} , Cr^{2+} , Pd^{2+} , Cd^{2+} , Ge^{2+} , Sn^{2+} , Bi^{2+} , Pb^{2+} 및 Yb^{2+} 에서 선택되는 2가의 금속 이온이고,
- [0063] X1 내지 X5는 서로 같거나 상이하고, 각각 독립적으로 할로젠 이온이며,
- [0064] n은 1 내지 9의 정수이고,
- [0065] a는 $0 < a < 1$ 의 실수이며,
- [0066] b는 $0 < b < 1$ 의 실수이고,
- [0067] c는 $0 < c < 1$ 의 실수이며,
- [0068] d는 $0 < d < 1$ 의 실수이고,
- [0069] $b + c + d$ 는 1이고,
- [0070] z는 $0 < z < 3$ 의 실수이며,
- [0071] z'은 $0 < z' < 3$ 의 실수이다.
- [0072] 본 명세서의 일 실시상태에 있어서, 상기 광흡수층의 페로브스카이트 구조의 화합물은 단일 양이온을 포함할 수 있다. 본 명세서에 있어서 단일 양이온이란, 한 종류의 1가 양이온을 사용한 것을 의미한다. 즉, 화학식 1에 있어서 R1으로 한 종류의 1가 양이온만 선택된 것을 의미한다. 예컨대, 상기 화학식 1의 R1은 $\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{NH}_3^+$ 이고, n은 1 내지 9의 정수일 수 있다.
- [0073] 본 명세서의 일 실시상태에 있어서, 상기 광흡수층의 페로브스카이트 구조의 화합물은 복합 양이온을 포함할 수 있다. 본 명세서에 있어서 복합 양이온이란, 두 종류 이상의 1가 양이온을 사용한 것을 의미한다. 즉, 화학식 2에서 R2 및 R3가 각각 서로 상이한 1가 양이온이 선택되고, 화학식 3에서 R4 내지 R6가 각각 서로 상이한 1가의 양이온이 선택된 것을 의미한다. 예컨대, 상기 화학식 2의 R2는 $\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{NH}_3^+$, R3는 $\text{HC}(\text{NH}_2)_2^+$ 일 수 있다. 또한, 상기 화학식 3의 R4는 $\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{NH}_3^+$, R5는 $\text{HC}(\text{NH}_2)_2^+$, R6는 Cs^+ 일 수 있다.
- [0074] 본 명세서의 일 실시상태에 있어서, 상기 페로브스카이트 구조의 화합물은 화학식 1으로 표시된다.
- [0075] 본 명세서의 일 실시상태에 있어서, 상기 페로브스카이트 구조의 화합물은 화학식 2로 표시된다.
- [0076] 본 명세서의 일 실시상태에 있어서, 상기 페로브스카이트 구조의 화합물은 화학식 3으로 표시된다.
- [0077] 본 명세서의 일 실시상태에 있어서, 상기 R1 내지 R6는 각각 $\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{NH}_3^+$, $\text{HC}(\text{NH}_2)_2^+$ 또는 Cs^+ 이다. 이때, R2와 R3는 서로 상이하고, R4 내지 R6는 서로 상이하다.
- [0078] 본 명세서의 일 실시상태에 있어서, 상기 R1은 CH_3NH_3^+ , $\text{HC}(\text{NH}_2)_2^+$ 또는 Cs^+ 이다.
- [0079] 본 명세서의 일 실시상태에 있어서, 상기 R2 및 R4는 각각 CH_3NH_3^+ 이다.
- [0080] 본 명세서의 일 실시상태에 있어서, 상기 R3 및 R5는 각각 $\text{HC}(\text{NH}_2)_2^+$ 이다.
- [0081] 본 명세서의 일 실시상태에 있어서, 상기 R6는 Cs^+ 이다.
- [0082] 본 명세서의 일 실시상태에 있어서, 상기 M1 내지 M3는 각각 Pb^{2+} 이다.
- [0083] 본 명세서의 일 실시상태에 있어서, 상기 X2 및 X3는 서로 상이하다.
- [0084] 본 명세서의 일 실시상태에 있어서, 상기 X4 및 X5는 서로 상이하다.

- [0085] 본 명세서의 일 실시상태에 있어서, 상기 X1 내지 X5는 각각 F^- 또는 Br^- 이다.
- [0086] 본 명세서의 일 실시상태에 있어서, 상기 R2 및 R3의 합이 1이 되기 위하여, a는 $0 < a < 1$ 의 실수이다. 또한, 상기 X2 및 X3의 합이 3이 되기 위하여, z는 $0 < z < 3$ 의 실수이다.
- [0087] 본 명세서의 일 실시상태에 있어서, 상기 R4, R5 및 R6의 합이 1이 되기 위하여, b는 $0 < b < 1$ 의 실수이고, c는 $0 < c < 1$ 의 실수이며, d는 $0 < d < 1$ 의 실수이고, $b+c+d$ 는 1이다. 또한, 상기 X4 및 X5의 합이 3이 되기 위하여, z'는 $0 < z' < 3$ 의 실수이다.
- [0088] 본 명세서의 일 실시상태에 있어서, 상기 페로브스카이트 구조의 화합물은 $CH_3NH_3PbI_3$, $HC(NH_2)_2PbI_3$, $CH_3NH_3PbBr_3$, $HC(NH_2)_2PbBr_3$, $(CH_3NH_3)_a(HC(NH_2)_2)_{(1-a)}PbI_zBr_{(3-z)}$ 또는 $(HC(NH_2)_2)_b(CH_3NH_3)_cCs_dPbI_zBr_{(3-z')}$ 이고, a는 $0 < a < 1$ 의 실수, b는 $0 < b < 1$ 의 실수, c는 $0 < c < 1$ 의 실수, d는 $0 < d < 1$ 의 실수, $b+c+d$ 는 1, z는 $0 < z < 3$ 의 실수, z'은 $0 < z' < 3$ 의 실수이다.
- [0089] 본 명세서의 일 실시상태에 있어서, 상기 광흡수층을 불소계 첨가제를 더 포함한다.
- [0090] 본 명세서에 있어서, 상기 불소계 첨가제는 화합물의 주쇄 내에 불소를 포함하는 화합물을 의미한다.
- [0091] 본 명세서의 일 실시상태에 있어서, 상기 불소계 첨가제는 화합물의 주쇄 내에 플루오린기, 플루오로알킬기로 이루어진 군에서 1종 이상을 포함한다.
- [0092] 본 명세서의 일 실시상태에 있어서, 플루오로알킬기는 알킬기가 적어도 하나의 플루오린기(F)로 치환된 것을 의미한다. 예컨대, 상기 플루오로알킬기는 퍼플루오로알킬(perfluoro alkyl)기 일 수 있다.
- [0093] 본 명세서의 일 실시상태에 있어서, 상기 불소계 첨가제는 엑시톤 발생층 내에서 계면활성제 역할을 한다. 예컨대, 상기 불소계 첨가제는 불소계 계면활성제를 포함한다.
- [0094] 본 명세서에 있어서, 상기 불소계 계면활성제는 계면활성제의 주쇄 내에 불소를 포함하고 있는 계면활성제를 의미한다.
- [0095] 본 명세서의 일 실시상태에 있어서, 상기 불소계 첨가제는 당업계에서 사용되는 물질이라면 제한 없이 사용 가능하다. 구체적으로, 주쇄가 친수성기, 친유성기 및 플루오린기를 포함하는 화합물; 주쇄가 친수성기, 친유성기 및 플루오로알킬(fluoro alkyl)기를 포함하는 화합물; 주쇄가 친수성기, 친유성기 및 퍼플루오로알킬(perfluoro alkyl)기를 포함하는 화합물; 또는 주쇄가 친수성기, 친유성기, 플루오린기 및 퍼플루오로알킬(perfluoro alkyl)기를 포함하는 화합물일 수 있으나 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0096] 본 명세서의 일 실시상태에 있어서, 상기 불소계 첨가제는 하기 화학식 A로 표시될 수 있다.
- [0097] [화학식 A]



- [0098] 상기 화학식 A에 있어서, x 및 y는 각각 1 내지 10의 정수이다.
- [0099] 구체적으로, 상기 불소계 첨가제로 Dupont社 FS-31, Zonyl社 FS-300, DIC社 RS-72-K 또는 3M社 FC-4430가 사용될 수 있다.
- [0101] 본 명세서의 일 실시상태에 있어서, 상기 광흡수층은 불소계 첨가제를 광흡수층 100wt% 기준으로 0.005wt% 내지 0.5wt% 포함한다. 구체적으로, 상기 광흡수층은 상기 불소계 첨가제를 광흡수층 100wt% 기준으로 0.01wt% 내지 0.2wt% 포함한다.
- [0102] 본 명세서의 일 실시상태에 있어서, 상기 광흡수층은 페로브스카이트 구조의 화합물; 및 불소계 첨가제를 포함한다.
- [0103] 본 명세서의 일 실시상태에 있어서, 상기 광흡수층의 두께는 100nm 내지 1 μ m이다.
- [0104] 본 명세서의 일 실시상태에 있어서, 상기 광흡수층은 스핀 코팅, 딥 코팅, 잉크젯 프린팅, 그라비아 프린팅, 스

프레이 코팅, 닥터 블레이드, 바 코팅, 브러쉬 페인팅, 열증착 등의 방법을 통해 도입될 수 있다.

- [0105] 본 명세서의 일 실시상태에 있어서, 상기 제1 전극과 광흡수층 사이에 전자수송층을 더 포함한다.
- [0106] 본 명세서의 일 실시상태에 있어서, 상기 유-무기 복합 태양전지는 n-i-p 구조이다.
- [0107] 본 명세서에 있어서, n-i-p 구조는 제1 전극, 광흡수층, 삽입층, 정공수송층 및 제2 전극이 순차적으로 적층된 구조 또는 제1 전극, 전자수송층, 광흡수층, 삽입층, 정공수송층 및 제2 전극이 순차적으로 적층된 구조를 의미한다.
- [0108] 도 2는 본 명세서의 일 실시상태에 따른 유-무기 복합 태양전지를 나타내었다. 구체적으로, 도 1은 제1 전극(10), 전자수송층(60), 광흡수층(20), 삽입층(30), 정공수송층(40) 및 제2 전극(50)이 순차적으로 적층된 유-무기 복합태양전지를 나타내었다.
- [0109] 본 명세서의 일 실시상태에 있어서, 상기 유-무기 복합 태양전지는 제1 전극 하부에 기판을 추가로 포함할 수 있다.
- [0110] 본 명세서의 일 실시상태에 있어서, 상기 기판은 투명성, 표면평활성, 취급 용이성 및 방수성이 우수한 기판을 사용할 수 있다. 구체적으로, 유리 기판, 박막유리 기판 또는 플라스틱 기판을 사용할 수 있다. 상기 플라스틱 기판은 폴리에틸렌테라프탈레이트(polyethylene terephthalate, PET), 폴리에틸렌나프탈레이트(polyethylene naphthalate, PEN), 폴리에테르에테르케톤(polyether ether ketone) 및 폴리이미드(polyimide) 등의 유연한 필름이 단층 또는 복층의 형태로 포함될 수 있다. 다만, 상기 기판은 이에 한정되지 않으며, 유-무기 복합 태양전지에 통상적으로 사용되는 기판을 사용할 수 있다.
- [0111] 본 명세서에 있어서, 상기 제1 전극은 애노드이고, 상기 제2 전극은 캐소드일 수 있다. 또한, 상기 제1 전극은 캐소드이고, 상기 제2 전극은 애노드일 수 있다.
- [0112] 본 명세서의 일 실시상태에 있어서, 상기 제1 전극은 투명 전극이고, 상기 태양전지는 상기 제1 전극을 경유하여 빛을 흡수하는 것일 수 있다.
- [0113] 본 명세서의 일 실시상태에 있어서, 상기 제1 전극이 투명전극인 경우, 상기 제1 전극은 유리 및 석영판 이외에 폴리에틸렌테라프탈레이트(polyethylene terephthalate, PET), 폴리에틸렌나프탈레이트(polyethylene naphthalate, PEN), 폴리프로필렌(polypropylene, PP), 폴리이미드(polyimide, PI), 폴리카보네이트(polycarbonate, PC), 폴리스티렌(polystyrene, PS), 폴리옥시에틸렌(polyoxyethylene, POM), AS 수지(acrylonitrile styrene copolymer), ABS 수지(acrylonitrile butadiene styrene copolymer), 트리아세틸셀룰로오스(Triacetyl cellulose, TAC) 및 폴리아릴레이트(polyarylate, PAR) 등의 플라스틱과 같은 유연하고 투명한 물질 위에 전도성을 갖는 물질이 도핑된 것이 사용될 수 있다. 구체적으로, 상기 제1 전극은 산화주석인듐(indium tin oxide, ITO), 불소함유 산화주석(fluorine doped tin oxide; FTO), 알루미늄이 도핑된 징크 옥사이드(aluminium doped zinc oxide, AZO), IZO(indium zinc oxide), ZnO-Ga₂O₃, ZnOAl₂O₃ 및 ATO(antimony tin oxide) 등이 될 수 있으며, 보다 구체적으로 상기 제1 전극은 ITO일 수 있다.
- [0114] 본 명세서의 일 실시상태에 있어서, 상기 제1 전극은 반투명 전극일 수도 있다. 상기 제1 전극이 반투명 전극인 경우, 은(Ag), 금(Au), 마그네슘(Mg) 또는 이들의 합금 같은 금속으로 제조될 수 있다.
- [0115] 본 명세서에 있어서, 상기 전자수송층은 금속 산화물을 포함할 수 있다. 금속 산화물은 구체적으로, Ti 산화물, Zn 산화물, In 산화물, Sn 산화물, W 산화물, Nb 산화물, Mo 산화물, Mg 산화물, Zr 산화물, Sr 산화물, Yr 산화물, La 산화물, V 산화물, Al 산화물, Y 산화물, Sc 산화물, Sm 산화물, Ga 산화물, SrTi 산화물 및 이들의 복합물 중에서 1 또는 2 이상 선택된 것이 사용 가능하나, 이에만 한정되는 것은 아니다.
- [0116] 본 명세서의 일 실시상태에 있어서, 상기 정공수송층은 터셔리부틸피리딘(tertiary butyl pyridine, tBP), 리튬비스(트리플루오로메탄설포닐)이미드(Lithium Bis(Trifluoro methanesulfonyl)Imide, Li(TFSi)), 폴리(3,4-에틸렌디옥시티오펜):폴리(4-스티렌설포네이트)(PEDOT:PSS), 2,2',7,7'-테트라키스(N,N-디-p-메톡시페닐아민)-9,9'-스피로비플루오렌(2,2',7,7'-tetrakis(N,N-di-p-methoxyphenylamine)-9,9'-spirobifluorene, Spiro-OMeTAD) 등을 사용할 수 있으나, 이에만 한정되는 것은 아니다.
- [0117] 본 명세서의 일 실시상태에 있어서, 상기 정공수송층은 p형 도펀트로서 Li 계열 도펀트, Co 계열 도펀트, Li(TFSi), V₂O₄, WO_x, MoO_x 및 FK209 등을 사용할 수 있으나, 이에만 한정되는 것은 아니다.

- [0118] 본 명세서의 일 실시상태에 있어서, 상기 정공수송층의 두께는 10nm 내지 1 μ m이다.
- [0119] 정공수송층의 두께가 상기 범위를 만족할 경우 하부 층에 핀홀 등의 결함 없이 균일한 막을 형성 할 수 있으며, 상부 전극과 하부 삽입층과의 접촉을 막을 수 있어 효과적으로 구동할 수 있는 소자 구조를 얻을 수 있다.
- [0120] 본 명세서의 일 실시상태에 있어서, 상기 정공수송층은 스핀 코팅, 딥 코팅, 잉크젯 프린팅, 그라비아 프린팅, 스프레이 코팅, 닥터 블레이드, 바 코팅, 브러쉬 페인팅, 열증착 등의 방법을 통해 도입될 수 있다.
- [0121] 본 명세서의 일 실시상태에 있어서, 상기 삽입층은 스핀 코팅, 딥 코팅, 잉크젯 프린팅, 그라비아 프린팅, 스프레이 코팅, 닥터 블레이드, 바 코팅, 브러쉬 페인팅, 열증착 등의 방법을 통해 도입될 수 있다.
- [0122] 이하, 본 명세서를 구체적으로 설명하기 위해 실시예를 들어 상세하게 설명하기로 한다. 그러나, 본 명세서에 따른 실시예들은 여러 가지 다른 형태로 변형될 수 있으며, 본 명세서의 범위가 아래에서 상술하는 실시예들에 한정되는 것으로 해석되지 않는다. 본 명세서의 실시예들은 당업계에서 평균적인 지식을 가진 자에게 본 명세서를 보다 완전하게 설명하기 위해 제공되는 것이다.
- [0123] 실시예 1.
- [0124] 산화주석인듐(indium tin oxide, ITO)이 코팅된 유리 기판(40 Ω /sq)을 초음파를 이용하여 이소프로필알코올에서 20분간 세척하였다. 상기 ITO 기판 상에 SnCl 전구체(0.1M)를 포함하는 전구체 용액 250 μ l를 2,000rpm의 속도로 스핀 코팅하고, 200 $^{\circ}$ C에서 1시간 동안 열처리하여 전자수송층을 형성하였다.
- [0125] 상기 전자수송층 상에 페로브스카이트 전구체((HC(NH₂)₂)_x(CH₃NH₃)_yCs_{1-x-y}PbI_zBr_{3-z}(0<x<1, 0<y<1, 0.8<x+y<1, 0<z<3))와 페로브스카이트 전구체 대비 0.05wt%의 불소계 계면활성제(3M 社, FC-4430)를 디메틸포름아미드(dimethylformamide)에 녹인 용액을 5,000rpm으로 스핀 코팅한 후 150 $^{\circ}$ C에서 30분간 열처리하여 광흡수층을 형성하였다.
- [0126] CuSCN을 디에틸설파이드(diethylsulfide)에 35mg/ml의 농도로 녹인 후 1시간 동안 교반한 용액을 상기 광흡수층 상에 3000rpm의 속도로 스핀 코팅하여 삽입층을 형성하였다.
- [0127] Spiro-OMeTAD를 클로로벤젠에 녹인 후 (농도: 80 mg/mL) Li(TFSi)의 아세토니트릴 용액 (농도: 520mg/ml) 17.5 μ L와 tBP 28.5 μ L를 첨가하고 혼합한 용액 100 μ L를 삽입층 상에 5,000rpm의 속도로 스핀 코팅하여 정공수송층을 형성하였다.
- [0128] 상기 정공수송층 상에 금(Au)을 10⁻⁸ torr 이하의 압력에서 70nm의 두께로 증착하여 제2 전극을 형성함으로써 유기 복합 태양전지를 완성하였다.
- [0129] 실시예 2.
- [0130] 산화주석인듐(indium tin oxide, ITO)이 코팅된 유리 기판(40 Ω /sq)을 초음파를 이용하여 이소프로필알코올에서 20분간 세척하였다. 상기 ITO 기판 상에 SnCl 전구체(0.1M)를 포함하는 전구체 용액 250 μ l를 2,000rpm의 속도로 스핀 코팅하고, 200 $^{\circ}$ C에서 1시간 동안 열처리하여 전자수송층을 형성하였다.
- [0131] 상기 전자수송층 상에 페로브스카이트 전구체((HC(NH₂)₂)_x(CH₃NH₃)_yCs_{1-x-y}PbI_zBr_{3-z}(0<x<1, 0<y<1, 0.8<x+y<1, 0<z<3))와 페로브스카이트 전구체 대비 0.05wt%의 불소계 계면활성제(3M 社, FC-4430)를 디메틸포름아미드(dimethylformamide)에 녹인 용액을 5,000rpm으로 스핀 코팅한 후 150 $^{\circ}$ C에서 30분간 열처리하여 광흡수층을 형성하였다.
- [0132] CuPc (Copper(II) phthalocyanine)을 클로로벤젠(Chlorobenzene)에 5mg/ml의 농도로 녹인 후 3시간 동안 교반한 용액을 상기 광흡수층 상에 5,000rpm의 속도로 스핀 코팅하여 삽입층을 형성하였다.
- [0133] Spiro-OMeTAD를 클로로벤젠에 녹인 후 (농도: 80 mg/mL) Li(TFSi)의 아세토니트릴 용액 (농도: 520mg/ml) 17.5 μ L와 tBP 28.5 μ L를 첨가하고 혼합한 용액 100 μ L를 광흡수층 상에 5,000rpm의 속도로 스핀 코팅하여 정공수송층을 형성하였다.
- [0134] 상기 정공수송층 상에 금(Au)을 10⁻⁸ torr 이하의 압력에서 70nm의 두께로 증착하여 제2 전극을 형성함으로써 유기 복합 태양전지를 완성하였다.
- [0135] 실시예 3.

- [0136] 산화주석인듐(indium tin oxide, ITO)이 코팅된 유리 기판($40 \text{ } \Omega/\text{sq}$)을 초음파를 이용하여 이소프로필알코올에서 20분간 세척하였다. 상기 ITO 기판 상에 SnCl 전구체(0.1M)를 포함하는 전구체 용액 $250 \mu\text{l}$ 를 $2,000\text{rpm}$ 의 속도로 스핀 코팅하고, 200°C 에서 1시간 동안 열처리하여 전자수송층을 형성하였다.
- [0137] 상기 전자수송층 상에 페로브스카이트 전구체 $((\text{HC}(\text{NH}_2)_2)_x(\text{CH}_3\text{NH}_3)_y\text{Cs}_{1-x-y}\text{PbI}_2\text{Br}_{3-z})$ ($0 < x < 1$, $0 < y < 1$, $0.8 < x+y < 1$, $0 < z < 3$)와 페로브스카이트 전구체 대비 $0.05\text{wt}\%$ 의 불소계 계면활성제(3M 社, FC-4430)를 디메틸포름아미드(dimethylformamide)에 녹인 용액을 $5,000\text{rpm}$ 으로 스핀 코팅한 후 150°C 에서 30분간 열처리하여 광흡수층을 형성하였다.
- [0138] CuI를 아세토니트릴(Acetonitrile)에 10 mg/ml 의 농도로 녹인 후 1시간 동안 교반한 용액을 상기 광흡수층 상에 $5,000\text{rpm}$ 의 속도로 스핀 코팅하여 삽입층을 형성하였다.
- [0139] Spiro-OMeTAD를 클로로벤젠에 녹인 후 (농도: 80 mg/mL) Li(TFSi)의 아세토니트릴 용액 (농도: 520mg/ml) $17.5 \mu\text{L}$ 와 tBP $28.5 \mu\text{L}$ 를 첨가하고 혼합한 용액 $100 \mu\text{L}$ 를 광흡수층 상에 $5,000\text{rpm}$ 의 속도로 스핀 코팅하여 정공수송층을 형성하였다.
- [0140] 상기 정공수송층 상에 금(Au)을 10^{-8} torr 이하의 압력에서 70nm 의 두께로 증착하여 제2 전극을 형성함으로써 유기-무기 복합 태양전지를 완성하였다.
- [0141] 비교예 1.
- [0142] 산화주석인듐(indium tin oxide, ITO)이 코팅된 유리 기판($40 \text{ } \Omega/\text{sq}$)을 초음파를 이용하여 이소프로필알코올에서 20분간 세척하였다. 상기 ITO 기판 상에 SnCl 전구체(0.1M)를 포함하는 전구체 용액 $250 \mu\text{l}$ 를 $2,000\text{rpm}$ 의 속도로 스핀 코팅하고, 200°C 에서 1시간 동안 열처리하여 전자수송층을 형성하였다.
- [0143] 상기 전자수송층 상에 페로브스카이트 전구체 $((\text{HC}(\text{NH}_2)_2)_x(\text{CH}_3\text{NH}_3)_y\text{Cs}_{1-x-y}\text{PbI}_2\text{Br}_{3-z})$ ($0 < x < 1$, $0 < y < 1$, $0.8 < x+y < 1$, $0 < z < 3$)와 페로브스카이트 전구체 대비 $0.05\text{wt}\%$ 의 불소계 계면활성제(3M 社, FC-4430)를 디메틸포름아미드(dimethylformamide)에 녹인 용액을 $5,000\text{rpm}$ 으로 스핀 코팅한 후 150°C 에서 30분간 열처리하여 광흡수층을 형성하였다.
- [0144] Spiro-OMeTAD를 클로로벤젠에 녹인 후 (농도: 80 mg/mL) Li(TFSi)의 아세토니트릴 용액 (농도: 520mg/ml) $17.5 \mu\text{L}$ 와 tBP $28.5 \mu\text{L}$ 를 첨가하고 혼합한 용액 $100 \mu\text{L}$ 를 광흡수층 상에 $5,000\text{rpm}$ 의 속도로 스핀 코팅하여 정공수송층을 형성하였다.
- [0145] 상기 정공수송층 상에 금(Au)을 10^{-8} torr 이하의 압력에서 70nm 의 두께로 증착하여 제2 전극을 형성함으로써 유기-무기 복합 태양전지를 완성하였다.
- [0146] 비교예 2.
- [0147] 산화주석인듐(indium tin oxide, ITO)이 코팅된 유리 기판($40 \text{ } \Omega/\text{sq}$)을 초음파를 이용하여 이소프로필알코올에서 20분간 세척하였다. 상기 ITO 기판 상에 SnCl 전구체(0.1M)를 포함하는 전구체 용액 $250 \mu\text{l}$ 를 $2,000\text{rpm}$ 의 속도로 스핀 코팅하고, 200°C 에서 1시간 동안 열처리하여 전자수송층을 형성하였다.
- [0148] 상기 전자수송층 상에 페로브스카이트 전구체 $((\text{HC}(\text{NH}_2)_2)_x(\text{CH}_3\text{NH}_3)_y\text{Cs}_{1-x-y}\text{PbI}_2\text{Br}_{3-z})$ ($0 < x < 1$, $0 < y < 1$, $0.8 < x+y < 1$, $0 < z < 3$)와 페로브스카이트 전구체 대비 $0.05\text{wt}\%$ 의 불소계 계면활성제(3M 社, FC-4430)를 디메틸포름아미드(dimethylformamide)에 녹인 용액을 $5,000\text{rpm}$ 으로 스핀 코팅한 후 150°C 에서 30분간 열처리하여 광흡수층을 형성하였다.
- [0149] 상기 페로브스카이트 광흡수층 위에 NiO 나노입자 분산액 (입경 $\sim 15 \text{ nm}$, 분산매: 톨루엔, 고형분 $1.5 \text{ wt}\%$)을 $150 \mu\text{L}$ 를 도포한 후, 5000 rpm 의 속도로 스핀 코팅 한 후에 60°C 열처리를 10분 동안 수행 하였다.
- [0150] 이후, Spiro-OMeTAD를 클로로벤젠에 녹인 후 (농도: 80 mg/mL) Li(TFSi)의 아세토니트릴 용액 (농도: 520mg/ml) $17.5 \mu\text{L}$ 와 tBP $28.5 \mu\text{L}$ 를 첨가하고 혼합한 용액 $100 \mu\text{L}$ 를 상기 NiO 상에 $5,000\text{rpm}$ 의 속도로 스핀 코팅하여 정공수송층을 형성하였다.
- [0151] 상기 정공수송층 상에 금(Au)을 10^{-8} torr 이하의 압력에서 70nm 의 두께로 증착하여 제2 전극을 형성함으로써 유기-무기 복합 태양전지를 완성하였다

- [0152] 비교예 3.
- [0153] 산화주석인듐(indium tin oxide, ITO)이 코팅된 유리 기판(40 Ω/sq)을 초음파를 이용하여 이소프로필알코올에서 20분간 세척하였다. 상기 ITO 기판 상에 SnCl 전구체(0.1M)를 포함하는 전구체 용액 250 μl 를 2,000rpm의 속도로 스핀 코팅하고, 200 $^{\circ}\text{C}$ 에서 1시간 동안 열처리하여 전자수송층을 형성하였다.
- [0154] 상기 전자수송층 상에 페로브스카이트 전구체($(\text{HC}(\text{NH}_2)_2)_x(\text{CH}_3\text{NH}_3)_y\text{Cs}_{1-x-y}\text{PbI}_z\text{Br}_{3-z}$ ($0 < x < 1$, $0 < y < 1$, $0.8 < x+y < 1$, $0 < z < 3$))를 디메틸포름아미드(dimethylformamide)에 녹인 용액을 5,000rpm으로 스핀 코팅한 후 150 $^{\circ}\text{C}$ 에서 30분간 열처리하여 광흡수층을 형성하였다.
- [0155] CuPc (Copper(II) phthalocyanine)을 클로로벤젠(Chlorobenzene)에 5mg/ml의 농도로 녹인 후 3시간 동안 교반한 용액을 상기 광흡수층 상에 5,000rpm의 속도로 스핀 코팅하여 삽입층을 형성하였다.
- [0156] Spiro-OMeTAD를 클로로벤젠에 녹인 후 (농도: 80 mg/mL) Li(TFSi)의 아세토니트릴 용액 (농도: 520mg/ml) 17.5 μL 와 tBP 28.5 μL 를 첨가하고 혼합한 용액 100 μL 를 광흡수층 상에 5,000rpm의 속도로 스핀 코팅하여 정공수송층을 형성하였다.
- [0157] 상기 정공수송층 상에 금(Au)을 10^{-8} torr 이하의 압력에서 70nm의 두께로 증착하여 제2 전극을 형성함으로써 유-무기 복합 태양전지를 완성하였다.
- [0158] 제조된 유-무기 복합 태양전지의 성능을 측정하기 위하여, 하기와 같은 방법을 사용하였다. 먼저 태양광 모사기(Solar Simulator)를 설치하고 표준 실리콘 셀을 사용하여 1 Sun($100 \text{ mW}/\text{cm}^2$)의 세기로 보정한다. 이후 전류-전압측정 장비(Keithley 2420 및 구동 컴퓨터, 소프트웨어)와 유-무기 복합 태양전지를 연결하여 상기 실시예 1 내지 3 및 비교예 1 내지 3에서 제조된 유-무기 복합 태양 전지의 성능을 측정하였다.
- [0159] 표 1에는 상기 실시예 1 내지 3 및 비교예 1 내지 3에서 제조된 유-무기 복합 태양 전지의 성능 측정 결과를 나타내었다.

표 1

[0160]

		J_{sc} (mA/cm^2)	V_{oc} (V)	FF	η (%)	이력도
실시예 1	Reverse scan	19.9	1.00	72.0	14.3	0.067
	Forward scan	19.6	0.99	69.2	13.4	
실시예 2	Reverse scan	19.7	0.972	68.6	13.2	0.091
	Forward scan	19.8	1.015	73.5	14.8	
실시예 3	Reverse scan	16.7	1.081	65.3	11.8	0.025
	Forward scan	16.7	1.079	69.0	12.5	
비교예 1	Reverse scan	20.6	1.01	72.6	15.2	0.375
	Forward scan	20.6	0.97	54.2	10.9	
비교예 2	Reverse scan	17.5	0.68	46.3	5.5	0.509
	Forward scan	18.4	0.80	32.3	4.8	
비교예 3	Reverse scan	18.5	0.964	62.4	11.1	-

- [0161] 상기 표 1에서 V_{oc} 는 개방전압을, J_{sc} 는 단락전류밀도를, FF는 충전율(Fill factor)을, η 은 에너지 변환 효율을 의미한다. 개방전압과 단락전류밀도는 각각 전압-전류 밀도 곡선의 4사분면에서 X축과 Y축 절편이며, 이 두 값이 높을수록 태양 전지의 효율은 바람직하게 높아진다. 또한 충전율(Fill factor)은 곡선 내부에 그릴 수 있는

직사각형의 넓이를 단락전류밀도와 개방전압의 곱으로 나눈 값이다. 에너지 변환 효율(η)은 상기 개방전압(V_{oc}), 단락전류밀도(J_{sc}) 및 충전율(FF)의 곱을 입사된 빛의 세기(P_{in})로 나누면 구할 수 있으며(하기 식 2 참고), 이 값이 높을수록 바람직하다.

$$\eta = \frac{V_{oc} J_{sc} FF}{P_{in}}$$

식 (2):

상기 표 1에서 이력도는 하기 식 (1)을 통해 계산되었다.

$$\text{이력도(Hysteresis Index)} = \frac{J_{0.8V_{oc}}^{rev} - J_{0.8V_{oc}}^{fwd}}{J_{0.8V_{oc}}^{rev}}$$

식 (1):

상기 식 (1)에 있어서, $J_{0.8V_{oc}}^{rev}$ 는 reverse scan에서, 개방전압(V_{oc})의 80%에 해당하는 전압 인가 시 측정된 전류밀도이다.

상기 식 (1)에 있어서, $J_{0.8V_{oc}}^{fwd}$ 는 forward scan에서, 개방전압(V_{oc})의 80%에 해당하는 전압 인가 시 측정된 전류밀도이다.

상기 reverse scan은 개방전압에서 단락전류 방향으로(약 1.2V에서 0V 방향으로) IV 스캔을 진행한 것이며, 상기 forward scan은 단락전류에서 개방전압 방향으로(0V에서 1.2V 방향으로) IV 스캔을 진행한 것이다.

도 3에는 실시예 1에서 제조된 유-무기 복합 태양전지의 reverse scan 및 forward scan 측정 결과를, 도 4에는 실시예 2 및 3에서 제조된 유-무기 복합 태양전지의 reverse scan 및 forward scan 측정 결과를, 도 5에는 비교예 1에서 제조된 유-무기 복합 태양전지의 reverse scan 및 forward scan 측정 결과를, 도 6에는 비교예 2에서 제조된 유-무기 복합 태양전지의 reverse scan 및 forward scan 측정 결과를 나타내었다.

표1 및 도 3 내지 6로부터, 실시예 1 내지 3의 reverse scan 및 forward scan의 전류-전압 특성이 거의 차이가 없음을 알 수 있다. 이는 실시예에서 사용된 CuSCN, CuPC 및 CuI가 광 흡수층과 정공 수송층과의 가전자대 에너지가 상충하지 않으므로 계면에서 전하의 누적 없이 효과적으로 이동시켜 주는 효과가 탁월하기 때문이다. 반면에, 비교예 1 및 2의 경우, reverse scan 및 forward scan의 전류-전압 특성 차이가 큰 것을 확인할 수 있다.

또한, 표 1로부터 광흡수층이 불소계 계면활성제를 포함하지 않을 경우(비교예 3), 불소계 계면활성제를 포함한 경우(실시예 2)에 비하여 성능이 저하되는 것을 확인할 수 있다.

본 명세서의 일 실시상태에 따른 유-무기 복합 태양전지의 고온에서의 안정성을 평가하기 위하여, 상기 실시예 1 및 비교예 1에서 제조된 유-무기 복합 태양전지를 85℃ 습도제어 없는 조건(습도 50% 이내)에서 보관한 뒤 일정 시간 마다 꺼내어 효율을 측정하여 평가하였다. 도 7에는 실시예 1 및 비교예 1에서 제조된 유-무기 복합 태양전지의 85℃에서의 안정성 평가 결과를 나타내었다.

도 7로부터, 실시예 1의 경우, 85℃에서 400시간이 지난 후에도 태양전지의 효율이 70% 이상 유지되는 반면에, 비교예 1의 경우 85℃에서 시간이 지남에 따라 효율이 급격히 감소하는 것을 확인할 수 있다. 이로부터, 본 명세서의 일 실시상태에 따른 유-무기 복합 태양전지의 고온 안정성이 우수한 것을 확인할 수 있다.

부호의 설명

10: 제1 전극

20: 광흡수층

30: 삽입층

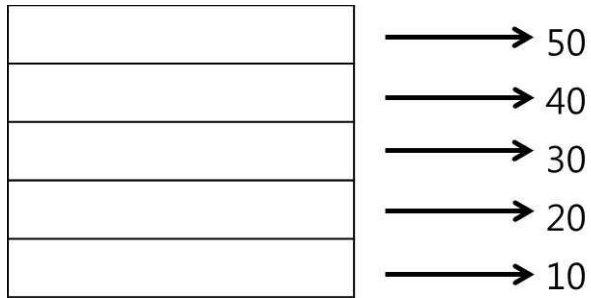
40: 정공수송층

50: 제2 전극

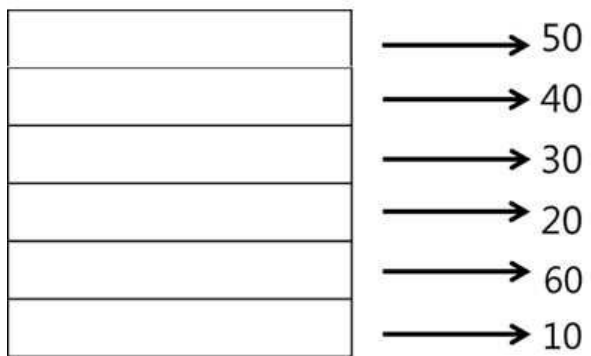
60: 전자수송층

도면

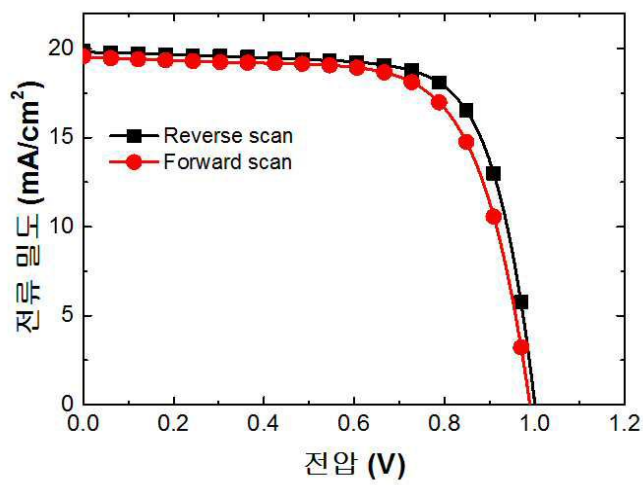
도면1



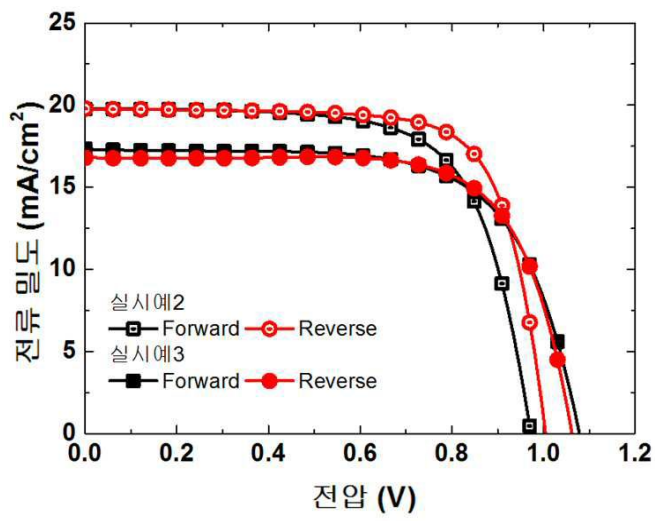
도면2



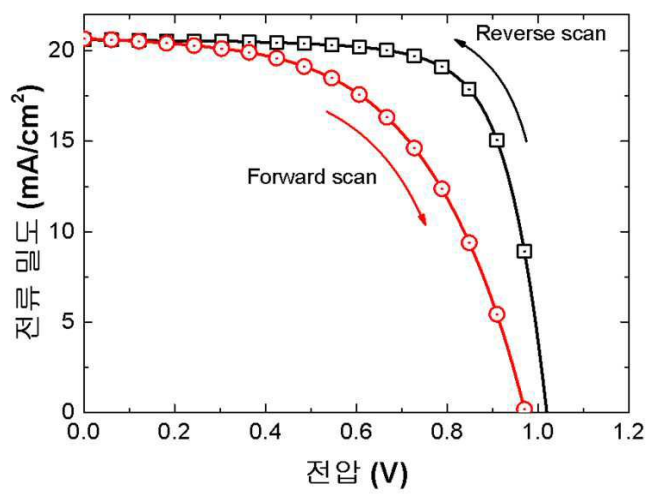
도면3



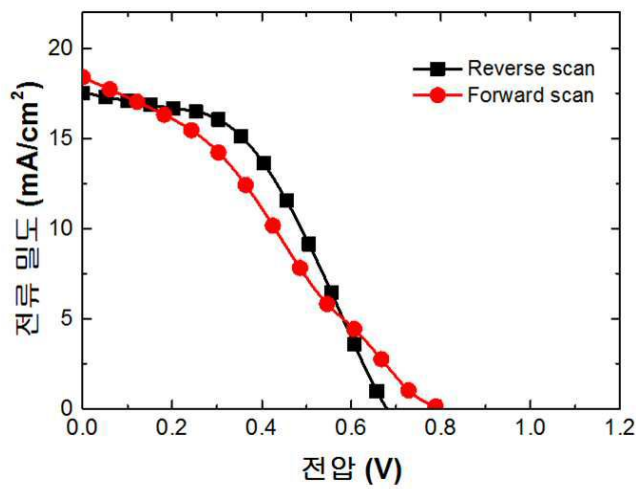
도면4



도면5



도면6



도면7

