



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2022년11월02일
(11) 등록번호 10-2462209
(24) 등록일자 2022년10월28일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 51/44 (2006.01) C09C 3/08 (2006.01)
C09D 5/02 (2006.01) H01L 51/42 (2006.01)
B82Y 40/00 (2017.01)

(52) CPC특허분류
H01L 51/44 (2013.01)
C09C 3/08 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2020-0148473

(22) 출원일자 2020년11월09일

심사청구일자 2020년11월09일

(65) 공개번호 10-2022-0062827

(43) 공개일자 2022년05월17일

(56) 선행기술조사문헌

KR1020200094467 A*

Junke Wang et al., Adv. Funct. Mater., 2019, 29, 1905883(2019.9.16.)*

Dhrubojyoti Roy et al., Applied Surface Science, 490 (2019) 492(2019.6.11.)*

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

한화솔루션 주식회사

서울특별시 중구 청계천로 86 (장교동)

(72) 발명자

염은주

경기도 구리시 동구릉로85번길 17, 102동 204호(인창동, 아름마을원일아파트)

정광호

경기도 의왕시 내손중앙로 11, 1105동 2503호 (내손동, 의왕내손이편한세상)

(74) 대리인

특허법인이름리온

전체 청구항 수 : 총 8 항

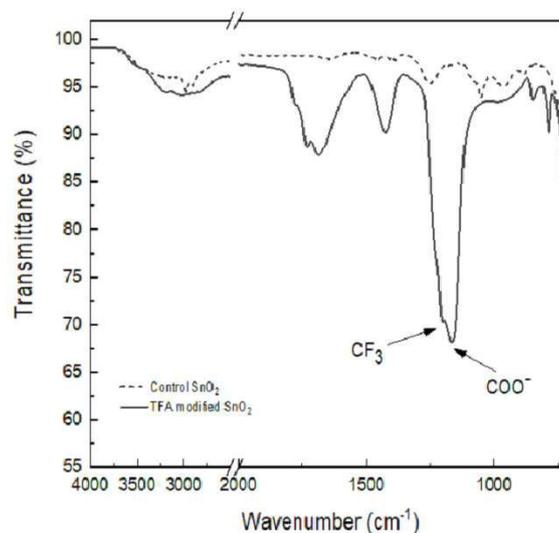
심사관 : 정미나

(54) 발명의 명칭 역구조 페로브스카이트 태양전지의 전자전달층용 코팅제 및 역구조 페로브스카이트 태양전지

(57) 요약

본 발명은 전자전달층(또는 전자수송층) 형성용 코팅제로서, 표면 개질된 금속산화물 나노입자를 분산액 타입으로 제조된 코팅제로 제공하고, 이를 이용하여 전자전달층이 형성된 역구조 페로브스카이트에 관한 것이다.

대표도 - 도3



(52) CPC특허분류

C09D 5/02 (2013.01)

H01L 51/422 (2013.01)

B82Y 40/00 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1415174234
과제번호	20203040010320
부처명	산업통상자원부
과제관리(전문)기관명	한국에너지기술평가원
연구사업명	신재생에너지핵심기술개발(R&D)
연구과제명	발전량 증대를 위한 효율 26%급, 6인치 페로브스카이트/결정질 실리콘 탠덤 태양전
지 셀 제작기술 개발	
기 여 율	1/1
과제수행기관명	한화솔루션 주식회사
연구기간	2020.10.01 ~ 2023.09.30

명세서

청구범위

청구항 1

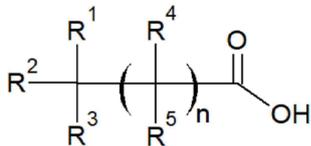
유기용매에 표면 개질된 금속산화물이 분산된 분산액을 포함하며,

상기 유기용매는 유전상수가 20 이하이며, 상기 유기용매는 이소프로필 알코올, 부틸 알코올, 2-메톡시 에탄올 및 에틸 아세테이트 중에서 선택된 1종 이상을 포함하고,

상기 표면 개질된 금속산화물은 금속산화물 나노입자를 하기 화학식 1로 표시되는 화합물과 반응시켜 표면 개질시킨 것이며,

상기 금속산화물 나노입자는 주석(Sn), 지르코늄(Zr), 스트론튬(Sr), 아연(Zn), 바나듐(V), 몰리브덴(Mo), 텅스텐(W), 니오븀(Nb), 알루미늄(Al) 및 갈륨(Ga) 중에서 선택된 1종 또는 2종 이상을 포함하는 금속의 산화물을 포함하는 것을 특징으로 하는 역구조 페로브스카이트 태양전지의 전자전달층용 코팅제;

[화학식 1]



상기 화학식 1에서 R¹ 내지 R⁵은 독립적으로 수소원자 또는 할로젠 원자이고, n은 0~5이다.

청구항 2

제1항에 있어서, 표면 개질된 금속산화물 0.50 ~ 3.00 중량% 및 잔량의 유기용매를 포함하는 것을 특징으로 하는 역구조 페로브스카이트 태양전지의 전자전달층용 코팅제.

청구항 3

삭제

청구항 4

삭제

청구항 5

삭제

청구항 6

제1항에 있어서, 금속산화물 나노입자는 평균입경 2 ~ 10nm 인 것을 특징으로 하는 역구조 페로브스카이트 태양전지의 전자전달층용 코팅제.

청구항 7

제1항, 제2항 또는 제6항의 코팅제로 형성된 코팅층을 포함하는 역구조 페로브스카이트 태양전지의 전자전달층.

청구항 8

제7항에 있어서, 상기 코팅층은 두께 20 ~ 30 nm일 때, 500 ~ 550nm 의 파장에 대한 광투과도(transmittance)가 88 ~ 95% 인 것을 특징으로 하는 역구조 페로브스카이트 태양전지의 전자전달층.

청구항 9

제7항의 전자전달층을 포함하는 것을 특징으로 하는 역구조 페로브스카이트 태양전지.

청구항 10

제9항에 있어서, 전도성 기관, 드레인 전극(drain electrode), 정공수송층(Hole transport layer), 광흡수층, 전자전달층(Electron Transporting Layer) 및 소스 전극(source electrode)이 차례대로 적층된 구조를 포함하는 것을 특징으로 하는 역구조 페로브스카이트 태양전지.

청구항 11

제10항에 있어서, 상기 광흡수층 및 전자전달층 사이에 패시베이션(passivation)층을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 역구조 페로브스카이트 태양전지.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 태양전지의 전자전달층 형성용 코팅제 및 이를 이용하여 형성된 전자전달층을 포함하는 역구조 페로브스카이트 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.

[0004] 이 중에서 태양 빛으로부터 직접 전기적 에너지를 변화시키는 태양전지에 대한 관심이 크게 증가하고 있다. 여기서 태양전지란 태양 빛으로부터 광 에너지를 흡수하여 전자와 정공을 발생하는 광기전 효과를 이용하여 전류-전압을 생성하는 전지를 의미한다.

[0005] 현재 광에너지 변환효율이 20%가 넘는 n-p 다이오드형 실리콘(Si) 단결정 기반 태양전지의 제조가 가능하여 실제 태양광 발전에 사용되고 있으며, 이보다 더 변환효율이 우수한 갈륨아세나이드(GaAs)와 같은 화합물 반도체를 이용한 태양전지도 있다. 그러나 이러한 무기 반도체 기반의 태양전지는 고효율화를 위하여 매우 고순도로 정제한 소재가 필요하므로 원소재의 정제에 많은 에너지가 소비되고, 또한 원소재를 이용하여 단결정 혹은 박막화 하는 과정에 고가의 공정 장비가 요구되어 태양전지의 제조비용을 낮게 하는 데에는 한계가 있어 대규모적인 활용에 걸림돌이 되어왔다.

[0006] 이에 따라 태양전지를 저가로 제조하기 위해서는 태양전지에 핵심으로 사용되는 소재 혹은 제조 공정의 비용을 대폭 감소시킬 필요가 있으며, 무기 반도체 기반 태양전지의 대안으로 저가의 소재와 공정으로 제조가 가능한 페로브스카이트 태양전지에 대한 연구가 진행되고 있다.

[0007] 최근 페로브스카이트 구조의 할로젠 화합물인 $(\text{NH}_3\text{CH}_3)\text{PbX}_3$ (X=I, Br, Cl)를 광활성체로 사용하는 페로브스카이트 태양전지가 개발되어 상업화를 위한 연구가 진행되고 있다. 페로브스카이트 구조의 일반적인 구조식은 ABX_3 구조이며 X 자리에는 음이온이 위치하며, A 자리에는 크기가 큰 양이온이 위치하고 B 자리에는 크기가 작은 양이온이 위치하는 구조를 지닌다.

[0008] 분자식 $(\text{CH}_3\text{NH}_3)\text{PbX}_3$ 의 유기금속 할로젠화합물인 페로브스카이트 태양전지는 2009년 에 처음으로 태양전지의 광

활성체로 사용되었다. 이후 2012년 현재와 같은 구조의 고체형 페로브스카이트 태양 전지가 개발된 이래, 급속히 효율향상이 이루어졌다. 통상의 페로브스카이트 태양전지는 전자전달층으로 금속산화물을 사용하고 정공수송층(HTL)으로 spiro-OMETAD와 같은 유기물 또는 고분자물질을 주로 사용한다. 즉, FTO와 같은 투명전극에 금속산화물 다공성 막 또는 박막을 제작하고 페로브스카이트 물질을 코팅하며, 이후 정공수송층을 코팅한 후 금(Au) 또는 은(Ag)과 같은 전극층을 증착한다.

[0009] 페로브스카이트 태양전지의 상업화를 위한 중요한 과제는 안정성의 확보 및 플렉서블(flexible) 기술인데, 광활성층에 상부에 금속산화물을 이용하여 형성된 기존 전자전달층은 광활성층(또는 광흡수층) 상부에 금속산화물을 증착 또는 금속산화물을 코팅시킨 후, 그 위에 별도의 유기바인더 코팅층을 형성시켰다. 그런데, 금속산화물을 증착시켜 형성시키는 경우, 제조공정이 복잡다단하여 제조비용을 크게 향상시키고, 증착 공정 과정에서 발생하는 물리적, 화학적 에너지에 의해 광흡수층이 손상될 수 있는 불리한 문제가 있다. 그리고, 유기 바인더 코팅층을 형성시키는 방법은 코팅층 형성을 위해 고온 열처리를 하는데 페로브스카이트 물질은 200℃ 이상의 고온에서는 분해되는 문제가 있으며, 태양전지의 플렉서블성을 떨어뜨려서 페로브스카이트 태양전지의 적용 범위를 협소하게 만드는 문제가 있다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0011] (특허문헌 0001) 한국 등록번호 10-0876947호(공고일 2008.12.24)
- (특허문헌 0002) 한국 공개특허번호 10-2016-0133988호(공개일 2016.11.23)

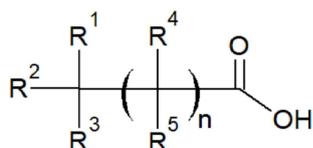
발명의 내용

해결하려는 과제

[0012] 본 발명은 상술한 문제를 극복하기 위해 안출된 것으로, 전자전달층(또는 전자수송층, ETL, Electron Transporting Layer) 형성용 코팅제로서, 표면 개질된 금속산화물 나노입자를 분산액 타입으로 제조된 코팅제 제공하고, 이를 이용하여 전자전달층이 형성된 역구조 페로브스카이트를 제공하고자 한다.

과제의 해결 수단

- [0014] 상술한 과제를 해결하기 위해 본 발명은 역구조 페로브스카이트 태양전지의 전자전달층용 코팅제에 관한 것으로서, 유기용매에 표면 개질된 금속산화물이 분산된 분산액을 포함한다.
- [0015] 본 발명의 바람직한 일실시예로서, 본 발명의 상기 전자전달층용 코팅제는 표면 개질된 금속산화물 0.50 ~ 3.00 중량% 및 잔량의 유기용매를 포함할 수 있다.
- [0016] 본 발명의 바람직한 일실시예로서, 상기 유기용매는 유전상수가 20 이하일 수 있다.
- [0017] 본 발명의 바람직한 일실시예로서, 상기 유기용매는 이소프로필 알코올, 부틸 알코올, 2-메톡시 에탄올 및 에틸 아세테이트 중에서 선택된 1종 이상을 포함할 수 있다.
- [0018] 본 발명의 바람직한 일실시예로서, 상기 표면 개질된 금속산화물은 금속산화물 나노입자를 하기 화학식 1로 표시되는 화합물과 반응시켜 표면 개질시킨 것일 수 있다.
- [0019] [화학식 1]



- [0020]
- [0021] 상기 화학식 1에서 R¹ 내지 R⁵은 독립적으로 수소원자 또는 할로젠 원자이고, n은 0 ~ 5이다.
- [0022] 본 발명의 바람직한 일실시예로서, 상기 금속산화물 나노입자는 주석(Sn), 지르코늄(Zr), 스트론튬(Sr), 아연

(Zn), 바나듐(V), 몰리브데넘(Mo), 텅스텐(W), 니오븀(Nb), 알루미늄(Al) 및 갈륨(Ga) 중에서 선택된 1종 또는 2종 이상을 포함하는 금속의 산화물을 포함할 수 있다.

- [0023] 본 발명의 바람직한 일실시예로서, 상기 금속산화물 나노입자는 평균입경 2 ~ 10nm일 수 있다.
- [0025] 본 발명의 다른 목적은 앞서 설명한 전자전달층용 코팅제로 형성된 코팅층을 포함하는 역구조 페로브스카이트 태양전지의 전자전달층에 관한 것이다.
- [0026] 본 발명의 바람직한 일실시예로서, 상기 코팅층은 두께 20 ~ 30 nm일 때, 500 ~ 550nm 의 파장에 대한 광투과도(transmittance)가 88 ~ 95%일 수 있다.
- [0028] 본 발명의 또 다른 목적은 상기 전자전달층을 포함하는 역구조 페로브스카이트 태양전지에 관한 것이다.
- [0029] 본 발명의 바람직한 일실시예로서, 역구조 페로브스카이트 태양전지는 전도성 기판, 드레인 전극(drain electrode), 정공수송층(Hole transport layer), 광흡수층, 전자전달층(Electron Transporting Layer) 및 소스 전극(source electrode)이 차례대로 적층된 구조를 포함할 수 있다.
- [0030] 본 발명의 바람직한 일실시예로서, 역구조 페로브스카이트 태양전지는 상기 광흡수층 및 전자전달층 사이에 패시베이션(passivation)층을 더 포함할 수도 있다.

발명의 효과

- [0032] 본 발명의 전자전달층 형성용 코팅제는 박막 형성을 위한 고온 처리 과정 없이 200℃ 이하의 저온 열처리를 통해서 1 ~ 20 nm 두께의 초박막을 형성시킬 수 있기 때문에, 페로브스카이트 광흡수층의 손상을 방지할 수 있으며, 본 발명의 코팅액으로 형성된 전자전달층은 높은 박막 균일도를 가지는 바, 태양전지의 V_{oc} (open-circuit voltage) 및 FF(fill factor)가 우수하고, 높은 광 투과도(transmittance)로 J_{sc} (short-circuit current)가 우수하여, 광-전 변환 효율이 뛰어난 태양전지를 제작할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0034] 도 1은 실시예 1에서 제조한 SnO₂ 나노입자의 TEM 측정 이미지이다.
- 도 2는 실시예 1에서 제조한 SnO₂ 나노입자의 XRD 측정 그래프이다.
- 도 3은 실시예 1에서 제조한 표면 개질된 SnO₂ 나노입자의 FT-IR 측정 그래프이다.
- 도 4의 (a)는 개질되지 않은 SnO₂ 나노입자를 이소프로판 알코올에 분산시킨 용액을 찍은 사진이고, (b)는 실시예 1에서 제조한 전자전달층 형성용 코팅액을 찍은 사진이다.
- 도 5는 실시예 1의 전자전달층 형성용 코팅액을 이용하여 제조한 박막의 투과율을 측정한 결과이다.
- 도 6은 제조예 1에서 제조한 역구조 페로브스카이트 태양전지 구조 도면 및 단면 SEM 측정 이미지이다.
- 도 7은 제조예 1에서 제조한 역구조 페로브스카이트 태양전지의 전류밀도를 측정한 결과이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

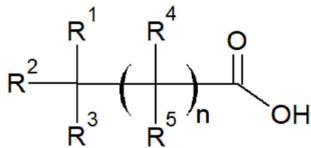
- [0035] 이하, 본 발명을 보다 상세하게 설명한다.
- [0036] 본 발명은 역구조 페로브스카이트 태양전지의 전자전달층(또는 전자수송층, ETL, Electron Transporting Layer) 형성용 코팅제에 관한 것으로서, 표면 개질된 금속산화물 나노입자가 유기용매에 분산된 분산액을 포함한다.
- [0037] 본 발명의 코팅제는 전체 중량 중 상기 표면 개질된 금속산화물 0.50 ~ 3.00 중량% 및 잔량의 유기용매를, 바람직하게는 상기 표면 개질된 금속산화물 0.58 ~ 2.88 중량% 및 잔량의 유기용매를, 더욱 바람직하게는 상기 표면 개질된 금속산화물 0.65 ~ 1.91 중량% 및 잔량의 유기용매를 포함한다.
- [0038] 이때, 코팅제 내 표면 개질된 금속산화물 함량이 0.50 중량% 미만이면 SnO₂ 함량이 충분하지 않아 SnO₂ 박막 형성 시 광흡수층이 노출되는 문제가 있을 수 있고, 3.00 중량%를 초과하면 SnO₂ 박막 두께가 증가하여 태양전지의 단락전류(J_{sc}) 및 개방전압(V_{oc}) 값이 감소하는 문제가 있을 수 있으므로 상기 범위 내로 표면 개질된 금속

산화물을 포함하는 것이 좋다.

[0039] 그리고, 상기 유기용매는 유전상수(dielectric constant)이 20 이하, 바람직하게는 유전상수 5 ~ 15인 용매를 사용할 수 있다. 이러한, 유기용매의 구체적인 예로는 이소프로필 알코올, 부틸 알코올, 2-메톡시 에탄올 및 에틸 아세테이트 등이 있으며, 이를 본 발명의 유기용매로 단독, 또는 혼합하여 사용할 수 있다. 만일, 유전율이 20을 초과하는 용매를 사용하는 경우, SnO₂ 입자와 극성용매간 인력이 증가하여 SnO₂ 입자가 응집되는 문제(분산성 및 분산안정성 저하)가 있을 수 있으며, SnO₂ 박막을 형성 과정에서 극성 용매에 광흡수체인 페로브스카이트 물질이 분해되는 문제가 있을 수 있다.

[0040] 상기 표면 개질된 금속산화물 나노입자는 금속산화물 나노입자를 제조하는 1단계; 상기 금속산화물을 하기 화학식 1로 표시되는 화합물과 반응시켜 표면 개질된 금속산화물 나노입자를 제조하는 2단계;를 포함하는 공정을 수행하여 제조할 수 있다.

[0041] [화학식 1]



[0042] 상기 화학식 1에서 R¹ 내지 R⁵은 독립적으로 수소원자 또는 할로겐원자이고, 바람직하게는 할로겐원자이며, 더욱 바람직하게는 -F이다. 그리고, n은 0 ~ 5이고, 바람직하게는 0 ~ 3이며, 더욱 바람직하게는 0 ~ 2이다.

[0044] 좀 더 구체적으로, 상기 1단계는 금속 전구체 및 초순수를 혼합하여 금속 전구체 용액을 제조하는 1-1단계; 상기 금속 전구체 용액에 염기성 수용액을 첨가하여 반응 용액을 제조하는 1-2단계; 상기 반응 용액을 수열합성을 수행하고, 수열합성물로부터 금속산화물 나노입자를 수득하는 1-3단계;를 포함하는 공정을 수행하여 제조할 수 있다..

[0045] 상기 1-1단계의 금속 전구체 용액은 금속 전구체 및 초순수를 포함할 수 있고, 금속 전구체 용액 내 금속 전구체의 농도는 0.15 ~ 0.7 M, 바람직하게는 0.16 ~ 0.5 M을 포함할 수 있다. 이때, 금속 전구체 용액 내 금속 전구체 농도가 0.15 M 미만이면 금속산화물 나노입자 수득량이 너무 적을 수 있고, 금속 전구체 용액 내 금속 전구체 농도가 0.7 M을 초과하면 금속 전구체 수용액 점도가 증가하여, 동일 공정 조건 하에서 제조시 금속산화물 나노입자의 크기가 불균일하게 형성되어 균일한 나노입자를 수득할 수 없는 문제가 있을 수 있다.

[0047] 상기 1-2단계의 염기성 수용액은 KOH 수용액, NaOH 수용액, 하이드라진(Hydrazine) 수용액 및 NH₄OH 수용액 중에서 선택된 1종 이상을 포함할 수 있다. 그리고, 염기성 수용액의 사용량은 반응 용액의 pH가 8.0 이상, 바람직하게는 pH 8.0 ~ pH 9.0, 더욱 바람직하게는 pH 8.2 ~ 8.8 정도가 되도록 금속 전구체 용액에 투입을 하며, 이때, pH가 8 미만이면 금속산화물 나노입자 수득량이 너무 적을 수 있고, 또한, 금속 전구체 용액이 겔(Gel)화되어 교반이 잘 되지 않는 문제가 있을 수 있고, pH가 너무 높으면 금속 산화물 입자의 입경이 너무 커지는 문제가 있을 수 있다.

[0049] 상기 1-3단계의 수열합성은 당업계에서 사용하는 일반적인 수열합성법을 적용하여 수행할 수 있고, 상기 수열합성은 100 ~ 200℃, 바람직하게는 120 ~ 190℃, 더욱 바람직하게는 140 ~ 180℃ 하에서 6 ~ 48시간 동안, 바람직하게는 10 ~ 24 시간, 더욱 바람직하게는 12 ~ 18시간 동안 수행하는 것이 좋다. 이때, 수열합성 온도가 100℃ 미만이면 금속산화물의 결정성이 낮은 문제가 있을 수 있고, 200℃를 초과하면 금속산화물 입자의 크기가 증가하는 문제가 있을 수 있다. 또한, 수열합성 시간이 6 시간 미만이면 금속산화물 나노입자의 수율이 너무 떨어지는 문제가 있을 수 있고, 48시간을 초과하면 수열합성물의 크기가 너무 커지는 문제가 있을 수 있으므로 상기 시간 내에서 수열합성을 수행하는 것이 좋다.

[0050] 수열합성을 통해 수득한 금속산화물 나노입자를 초순수 및 에탄올을 이용하여 3 ~ 5 차례 반복 세척할 수 있다.

[0051] 이렇게 수득된 금속산화물 나노입자는 평균입경 2 ~ 10 nm, 바람직하게는 평균입경 2 ~ 8 nm, 더욱 바람직하게는 평균입경 3 ~ 5 nm일 수 있다.

[0052] 그리고, 상기 금속산화물 나노입자의 금속산화물은 주석(Sn), 티타늄(Ti), 징크(Zn), 세륨(Ce), 지르코늄(Zr), 스트론튬(Sr), 아연(Zn), 바나듐(V), 몰리브데넘(Mo), 텅스텐(W), 니오븀(Nb), 알루미늄(Al) 및 갈륨(Ga) 중에

서 선택된 1종 또는 2종 이상을 포함하는 금속의 산화물일 수 있으며, 일구현예를 들면, 상기 금속산화물은 SnO₂, TiO₂, ZnO, CeO₂ 및/또는 Zn₂SnO₄ 등을 포함할 수 있고, 바람직하게는 SnO₂ 및/또는 ZnO를 포함할 수 있다.

- [0054] 다음으로, 2단계는 1단계에서 수득한 금속산화물 나노입자의 표면을 개질시키는 공정으로서, 상기 금속산화물 나노입자 및 초순수를 혼합하여 용액을 제조하는 2-1단계; 상기 용액에 상기 화학식 1로 표시되는 화합물을 첨가하여 반응 용액을 제조하는 2-2단계; 상기 반응 용액을 환류 반응을 수행하는 2-3 단계; 환류 반응을 수행한 용액으로부터 반응생성물을 분리하고, 분리한 반응생성물을 세척하는 2-4단계; 및 세척한 반응생성물을 건조하여 표면 개질된 금속산화물 나노입자를 수득하는 2-5단계;를 포함하는 공정을 수행할 수 있다.
- [0055] 상기 반응 용액은 금속산화물 나노입자 100 중량부에 대하여 초순수 100 ~ 700 중량부 및 상기 화학식 1로 표시되는 화합물 300 ~ 1,500 중량부를 포함할 수 있고, 바람직하게는 금속산화물 나노입자 100 중량부에 대하여 초순수 350 ~ 600 중량부 및 상기 화합물 400 ~ 1,200 중량부를 포함할 수 있으며, 더욱 바람직하게는 초순수 350 ~ 550 중량부 및 상기 화합물 450 ~ 850 중량부를 포함할 수 있다. 이때, 초순수 사용량이 100 중량부 미만이면 표면개질 공정 중 용매의 환류가 충분히 이뤄지지 않아 표면 개질이 고르게 이뤄지지 않는 문제가 있을 수 있고, 700 중량부를 초과하면 환류 반응시간이 너무 길어지는 문제가 있을 수 있다. 그리고, 상기 화합물 사용량이 300 중량부 미만이면 금속 산화물 표면의 개질 정도가 너무 부족 또는 불균일하여 금속 산화물 입자가 고르게 용매에 고르게 분산되지 않고 침전되는 문제가 있을 수 있고, 1,500 중량부를 초과하면 비경제적이며, 오히려 미반응 화합물로 인해 태양전지의 소자 특성이 저하되는 문제가 있을 수 있으므로 상기 범위 내로 사용하는 것이 좋다.
- [0056] 2-3단계의 환류 반응은 80 ~ 140℃ 하에서, 바람직하게는 80 ~ 120℃ 하에서 수행할 수 있으며, 이때, 환류 반응 온도가 80℃ 미만이면 환류가 충분히 이뤄지지 않는 문제가 있을 수 있고, 140℃를 초과하면 금속 산화물 표면이 너무 많이 개질되어 태양전지 소자 구동을 저해하는 문제가 있을 수 있다. 그리고, 환류 반응 시간은 1 ~ 4 시간 정도, 바람직하게는 1.5 ~ 3 시간 정도가 적절하다.
- [0057] 2-4단계의 분리 및/또는 세척은 당업계에서 사용하는 일반적인 방법으로 수행할 수 있으며, 일 구현예를 들면, 원심분리를 수행하여 반응용액으로부터 환류 반응 생성물을 수득한 후, 이를 초순수 등으로 세척하여 수행할 수 있다.
- [0058] 2-5단계의 건조는 당업계에서 사용하는 일반적인 방법으로 수행할 수 있으며, 일 구현예를 들면, 세척을 수행하여 수득한 반응 생성물을 50 ~ 80℃ 오븐에서 열을 가하여 수행할 수 있다.
- [0059]
- [0060] 앞서 설명한 본 발명의 전자전달층 형성용 코팅제는 스핀 코팅(spin coating), 블레이드 코팅(blade coating), 바 코팅(bar coating), 스프레이 코팅(spray coating), 그라비아 코팅, 다이 코팅 등 일반적인 코팅 방법으로 코팅을 수행할 수 있으며, 일구현예를 들면, 코팅 후 200℃ 이하로 열처리 가공하여 두께 100 nm 이하, 바람직하게는 두께 1 ~ 40 nm, 더욱 바람직하게는 1 ~ 20 nm 두께의 초박막을 형성시킬 수도 있다.
- [0062] 이러한, 본 발명의 상기 코팅제를 이용하여 역구조(inverted) 또는 핀 구조 페로브스카이트 태양전지를 다음과 같이 제조할 수 있다.
- [0063] 본 발명의 역구조 페로브스카이트 태양전지는 전도성 기관, 드레인 전극(drain electrode), 정공수송층(HTL, Hole transport layer), 광흡수층(또는 광활성층), 전자전달층(또는 전자수송층, ETL, Electron Transporting Layer) 및 소스 전극(source electrode)이 차례대로 적층된 구조의 태양전지일 수 있다.
- [0064] 또한, 본 발명의 역구조 페로브스카이트 태양전지는 전도성 기관, 드레인 전극, 정공수송층, 광흡수층, 전자전달층 및 소스전극이 차례대로 적층된 형태가 1개의 세트를 구성하고, 상기 세트가 단층 또는 다수층으로 적층되어 형성될 수도 있다.
- [0066] 상기 전도성 기관은 당업계에서 사용하는 일반적인 전도성 기관을 사용할 수 있으며, 일례를 들면, 폴리에틸렌 테레프탈레이트, 폴리에틸렌나프탈레이트, 폴리에테르술폰, 방향족 폴리에스테르, 또는 폴리이미드 등의 소재로 제조된 투명 플라스틱 기관, 유리 기관, 석영 기관, 실리콘 기관 등을 사용할 수 있다.
- [0068] 상기 드레인 전극은 전도성 금속, 전도성 금속의 합금, 금속산화물 및 전도성 고분자 중에서 선택된 1종 이상을 포함하는 소재로 제조할 수 있으며, 바람직한 일례를 들면, ITO(Indium Tin Oxide), FTO(Fluorine doped Tin Oxide), ATO (Sb₂O₃ doped Tin Oxide), GTO(Gallium doped Tin Oxide), ZTO(tin doped zinc oxide),

ZTO:Ga(gallium doped ZTO), IGZO(Indium gallium zinc oxide, IZO(Indium doped zinc oxide) 및/또는 AZO(Aluminum doped zinc oxide) 등을 포함할 수 있다.

[0070] 그리고, 상기 정공수송층(HTL)은 무기 및/또는 유기 정공전달물질을 포함할 수 있다. 상기 무기 정공전달물질은 니켈산화물(NiOx), CuSCN, CuCrO₂ 및 CuI 중에서 선택된 1종 이상을 포함할 수 있다.

[0071] 상기 유기 정공전달물질은 카르바졸 유도체, 폴리아릴알칸 유도체, 페닐렌디아민 유도체, 아릴아민 유도체, 아미노 치환 칼콘 유도체, 스티릴안트라센 유도체, 플루오렌 유도체, 하이dra존 유도체, 스티벤유도체, 실라잔 유도체, 방향족 제 3 급 아민 화합물, 스티릴아민 화합물, 방향족 디메틸리딘계 화합물, 포르피린계 화합물, 프탈로시아닌계 화합물, 폴리티오펜 유도체, 폴리피롤 유도체, 폴리파라페닐렌비닐렌 유도체, 펜타센(pentacene), 쿠마린 6(coumarin 6, 3-(2-benzothiazolyl)-7-(diethylamino)coumarin), ZnPC(zinc phthalocyanine), CuPC(copper phthalocyanine), TiOPC(titanium oxide phthalocyanine), Spiro-MeOTAD(2,2',7,7'-tetrakis(N,N-p-dimethoxyphenylamino)-9,9'-spirobifluorene), F16CuPC(copper(II) 1,2,3,4,8,9,10,11,15,16,17,18,22,23,24,25-hexadecafluoro-29H,31H-phthalocyanine), SubPc(boron subphthalocyanine chloride) 및 N3(cis-di(thiocyanato)-bis(2,2'-bipyridyl-4,4'-dicarboxylic acid)-ruthenium(II)), P3HT(poly[3-hexylthiophene]), MDMO-PPV(poly[2-methoxy-5-(3',7'-dimethyloctyloxy)]-1,4-phenylene vinylene), MEH-PPV(poly[2-methoxy-5-(2''-ethylhexyloxy)-p-phenylene vinylene]), P3OT(poly(3-octyl thiophene)), POT(poly(octyl thiophene)), P3DT(poly(3-decyl thiophene)), P3DDT(poly(3-dodecyl thiophene)), PPV(poly(p-phenylene vinylene)), TFB(poly(9,9'-dioctylfluorene-co-N-(4-butylphenyl)diphenyl amine), 폴리아닐린(Polyaniline), Spiro-MeOTAD([2,22',7,77' -tetrkis (N,N-dimethoxyphenyl amine)-9,9,9' -spirobi fluorine]), CuSCN, CuI, PCPDTBT(Poly[2,1,3-benzothiadiazole-4,7-diyl[4,4-bis(2-ethylhexyl-4H-cyclopenta [2,1-b:3,4-b']dithiophene-2,6-diyl]], Si-PCPDTBT(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]), PBDTTPD(poly((4,8-diethylhexyloxy), PFDTBT(poly[2,7-(9-(2-ethylhexyl)-9-hexyl-fluorene)-alt-5,5-(4',7, -di-2-thienyl-2',1', 3'-benzothiadiazole])), PFO-DBT(poly[2,7-.9,9-(dioctyl-fluorene)-alt-5,5-(4',7'-di-2-.thienyl-2', 1', 3'-benzothiadiazole])), PSiFDTBT(poly[(2,7-dioctylsilafuorene)-2,7-diyl-alt-(4,7-bis(2-thienyl)-2,1,3-benzothiadiazole)-5,5' -diyl]), PCDTBT(Poly [[9-(1-octylnonyl)-9H-carbazole-2,7-diyl] -2,5-thiophenediyl-2,1,3-benzothiadiazole-4,7-diyl-2,5-thiophenediyl]), PFB(poly(9,9' -dioctylfluorene-co-bis(N,N' -(4-butylphenyl))bis(N,N' -phenyl-1,4-phenylene)diamine), F8BT(poly(9,9' -dioctylfluorene-cobenzothiadiazole), PEDOT (poly(3,4-ethylenedioxythiophene)), PEDOT:PSS poly(3,4-ethylenedioxythiophene) poly(styrenesulfonate), PTAA (poly(triarylamine)), 2-PACz, 및/또는 MeO-2PACz을 포함할 수 있다.

[0072] 그리고, 상기 정공수송층의 형성 방법으로는 도포법, 및 진공 증착법 등을 들 수 있으며, 도포법으로는 그라비아 도포법, 바 도포법, 인쇄법, 스프레이법, 스핀 코팅법, 딥법 및 다이 코트법 등을 들 수 있다.

[0074] 또한, 본 발명 태양전지 구성 중 상기 광흡수층은 태양전지의 광흡수층에 적용되는 일반적으로 페로브스카이트 소재를 포함할 수 있으며, 바람직한 일례를 들면, 하기 화학식 2로 표시되는 페로브스카이트 물질을 포함할 수 있다.

[0075] [화학식 2]

[0076] CMX₃

[0077] 화학식 2에서, C는 1가 양이온으로서, 아민, 암모늄, 1족 금속, 2족 금속, 및/또는 다른 양이온 또는 양이온-유사 화합물을 포함할 수 있고, 바람직하게는 포름아미디늄(FA, formamidinium), 메틸암모늄(MA, methylammonium), FAMA, CsFAMA 또는 N(R)₄⁺(여기서, R은 동일하거나 또는 상이한 기일 수 있고, R은 탄소수 1 ~ 5의 직쇄형 알킬기, 탄소수 3 ~ 5의 분쇄형 알킬기, 페닐기, 알킬페닐기, 알콕시페닐기 또는 알킬할라이드이다.),

[0078] 또한, 화학식 2의 M은 2가 양이온으로서, Fe, Co, Ni, Cu, Sn, Pb, Bi, Ge, Ti, Eu 및 Zr 중에서 선택된 1종 또는 2종을 포함할 수 있다.

[0079] 또한, 화학식 2의 X는 1가 음이온으로서, F, Cl, Br 및 I 중에서 선택된 1종 이상의 할라이드 원소 및/또는 16

족 음이온을 포함할 수 있으며, 바람직한 일례를 들면, X는 I_xBr_{3-x} ($0 \leq x \leq 3$)일 수 있다.

[0080] 그리고, 상기 화학식 2의 바람직한 일구현예를 들면, $FAPbI_xBr_{3-x}$ ($0 \leq x \leq 3$), $MAPbI_xBr_{3-x}$ ($0 \leq x \leq 3$), $CSMAFAPbI_xBr_{3-x}$ ($0 \leq x \leq 3$), $CH_3NH_3PbX_3$ ($X = Cl, Br, I, BrI_2, \text{ 또는 } Br_2I$), $CH_3NH_3SnX_3$ ($X = Cl, Br \text{ 또는 } I$), $CH(=NH)NH_3PbX_3$ ($X = Cl, Br, I, BrI_2, \text{ 또는 } Br_2I$), $CH(=NH)NH_3SnX_3$ ($X = Cl, Br \text{ 또는 } I$) 등이 있다.

[0081] 그리고, 본 발명의 태양전지에 있어서, 상기 광흡수층은 동일한 페로브스카이트 물질로 구성된 단층이거나, 또는 다른 페로브스카이트 물질로 구성된 층이 다수 적층된 다층 구조일 수도 있으며, 1종의 페로브스카이트 물질로 이루어진 광흡수층 내부에 기둥형상, 판형상, 침상, 와이어 형상, 막대 형성 등의 필라 형상을 가지는 상기 1종의 페로브스카이트 물질과 다른 이종의 페로브스카이트 물질을 포함할 수도 있다.

[0083] 본 발명의 태양전지 구성 중 전자전달층은 앞서 설명한 본 발명의 코팅제(표면 개질된 금속산화물 나노입자가 유기용매에 분산된 분산액)을 코팅액을 코팅 처리한 후, 200°C 이하, 바람직하게는 30 ~ 100°C 이하에서 저온 열처리하여 박막 형태의 코팅층을 형성시켜서 전자전달층을 광흡수층 상부에 형성시킬 수 있다.

[0084] 이때, 상기 코팅은 스핀 코팅(spin coating), 블레이드 코팅(blade coating), 바 코팅(bar coating), 스프레이 코팅(spray coating), 그라비아 코팅 또는 다이 코팅을 수행할 수 있다.

[0085] 그리고, 상기 전자전달층의 두께가 100nm 이하, 바람직하게는 1 ~ 40 nm, 더욱 바람직하게는 1 ~ 20 nm로 형성시키는 것이 좋으며, 이때, 전자전달층 두께가 100 nm를 초과하면 태양전지의 단락전류(J_{sc}) 및 개방전압(V_{oc})가 감소하는 하는 문제가 있을 수 있으므로, 상기 범위 내의 두께로 형성시키는 것이 좋다.

[0086] 이렇게 형성된 코팅층, 즉 전자전달층의 표면은 거칠기가 매우 낮게 형성될 수 있으며, RMS(root mean square) 거칠기(roughness)가 30 nm 이하, 바람직하게는 17.0 ~ 25.0 nm, 더욱 바람직하게는 17.5 ~ 24.0 nm를 만족할 수 있다.

[0087]

[0088] 그리고, 본 발명의 태양전지 구성 중 상기 소스 전극은 Pt, Au, Ni, Cu, Ag, In, Ru, Pd, Rh, Ir, Os, C 및 전도성 고분자 중에서 선택된 1종 이상의 물질을 코팅 또는 증착시켜서 형성시킬 수 있다.

[0090] 또한, 본 발명의 태양전지는 상기 광흡수층 및 전자전달층 사이에 패시베이션(passivation)층을 더 포함할 수도 있다.

[0092] 이하에서는 실시예를 통하여 본 발명을 더욱 구체적으로 설명하기로 하지만, 하기 실시예가 본 발명의 범위를 제한하는 것은 아니며, 이는 본 발명의 이해를 돕기 위한 것으로 해석되어야 할 것이다.

[0093] [실시예]

[0094] 실시예 1 : 전자전달층(ETL) 형성을 위한 코팅액의 제조

[0095] (1) SnO_2 나노입자의 제조

[0096] $SnCl_4 \cdot 5H_2O$ 를 초순수가 들어있는 비이커에 투입하고 교반하여 $SnCl_4$ 농도 0.33 M인 금속 전구체 용액을 제조한 다음, 금속전구체 용액 265 ml에 염기성 수용액인 NH_4OH 35 ml를 첨가하여 수용액의 pH가 약 8.0 ~ 8.5 인 반응 용액을 제조하였다.

[0097] 상기 반응성 용액을 압력용기(Autoclave or hydrothermal reactor)에 넣고 180°C에서 12 시간 동안 수열 합성을 실시하였다.

[0098] 다음으로, 수열 합성을 통해 수득한 수득물을 초순수 및 에탄올을 이용하여 3~5차례 세척하여 SnO_2 나노입자를 제조하였다.

[0099] 제조된 SnO_2 나노입자의 평균입경은 3 ~ 5 nm 였다.

[0100] 그리고, 제조한 SnO_2 나노입자의 TEM 측정 이미지를 도 1에 나타내었고, XRD 측정 결과를 도 2에 나타내었다.

[0101] (2) 표면 개질된 SnO_2 나노입자의 제조

[0102] 앞서 제조한 상기 SnO₂ 나노입자 8g을 초순수 40mL가 들어있는 둥근 바닥플라스크에 투입하고 교반한 다음, TFA(Trifluoroacetic acid) 54g을 첨가하여 반응용액을 제조하였다. 제조된 반응 용액을 포함하고 있는 둥근 바닥플라스크에 냉각기 (condenser)를 장착하고, 90℃에서 2시간 동안 환류 반응을 실시하였다.

[0103] 다음으로, 상기 환류 반응시키 반응 용액을 원심분리기를 이용하여 나노입자를 분리한 다음 60℃의 오븐에서 건조하여 표면 개질된 SnO₂ 나노입자를 제조하였다.

[0104] 그리고, 제조한 표면 개질된 SnO₂ 나노입자의 FT-IR 측정 결과를 도 3에 나타내었다.

[0105] **(3) 표면 개질된 SnO₂ 나노입자의 분산용액(코팅액) 제조**

[0106] 앞서 제조한 상기 표면 개질된 SnO₂ 나노입자 30 mg을 극성이 낮은 이소프로필 알코올(유전상수(dielectric constant) ≤ 20) 4 ml에 첨가한 뒤 초음파분쇄기를 이용하여 분산 용액 타입의 전자전달층 형성용 코팅액(표면 개질된 금속산화물 약 0.74 중량%)을 제조하였다.

[0107] 그리고, 분산 용액 타입의 전자전달층 형성용 코팅액을 찍은 사진을 도 4의 b에 나타내었으며, 도 4의 a는 표면 개질되지 않은 SnO₂ 나노입자 30mg을 이소프로필 알코올에 첨가한 후, 초음파분쇄기를 이용하여 분산시킨 후 찍은 사진이다.

[0109] **비교예 1**

[0110] 실시예 1의 (1)에서 제조한 SnO₂ 나노입자를 표면 개질 공정 없이 준비하였다.

[0111] 그리고, 상기 표면 개질 되지 않은 SnO₂ 나노입자를 30 mg을 이소프로필 알코올 4 ml에 첨가한 후, 초음파분쇄기를 이용하여 분산 용액 타입의 전자전달층 형성용 코팅액을 제조하였다. 제조한 코팅액을 찍은 사진을 도 4의 a에 나타내었다.

[0113] **실시예 2 ~ 실시예 3 및 비교예 2 ~ 비교예 3**

[0114] 상기 실시예 1과 동일하게 전자전달층 형성용 코팅액을 제조하되, 하기 표 1과 같은 조성을 가지는 표면 개질된 SnO₂ 나노입자를 제조한 후, 표면 개질된 SnO₂ 나노입자를 유기용매와 혼합한 다음 초음파분쇄기를 이용하여 분산 용액 타입의 전자전달층 형성용 코팅액을 각각 제조하여, 실시예 2 ~ 3 및 비교예 2 ~ 3을 실시하였다.

[0116] **비교예 4**

[0117] 상기 실시예 1과 동일하게 전자전달층 형성용 코팅액을 제조하되, 실시예 1의 상기 표면 개질된 SnO₂ 나노입자를 유전 상수가 25인 에틸알코올과 혼합한 다음 초음파분쇄기를 이용하여 분산 용액 타입의 전자전달층 형성용 코팅액을 각각 제조하여, 비교예 6을 실시하였다.

표 1

[0118]

구분	표면 개질된 SnO ₂ 나노입자				유기용매
	SnO ₂ 나노입자		초순수	TFA	
	사용량	평균입경	사용량	사용량	
실시예 1	100 중량부	3 - 5 nm	500 중량부	675 중량부	이소프로필알코올
실시예 2	100 중량부	3 - 5 nm	500 중량부	350 중량부	이소프로필알코올
실시예 3	100 중량부	3 - 5 nm	500 중량부	1,350 중량부	이소프로필알코올
비교예 1	100 중량부	3 - 5 nm	-	-	이소프로필알코올
비교예 2	100 중량부	3 - 5 nm	500 중량부	270 중량부	이소프로필알코올
비교예 3	100 중량부	3 - 5 nm	500 중량부	1570 중량부	이소프로필알코올
비교예 4	100 중량부	3 - 5 nm	500 중량부	675 중량부	에틸알코올

[0120] **실험예 1 : 초박막 제조 및 코팅층의 표면거칠기, 광투과율 측정**

[0121] 상기 실시예 및 비교예에서 제조한 코팅액 각각을 유리 기판과 유리기판을 포함하는 페로브스카이트 박막 상부

에 스핀 코팅한 후, 30℃로 열처리하여 20 nm 두께의 초박막을 제조하였다.

[0122] 그리고, 유리기판을 포함하는 페로브스카이트 박막 상부에 형성한 초박막의 표면 거칠기를 비접촉식 방법으로 측정된 다음, 거칠기의 제곱평균제곱근(root-mean-square, rms)으로 산출한 것이며, 임의의 3 포인트(point)의 표면 거칠기를 측정된 다음, 측정된 3 포인트의 표면 거칠기 평균값을 하기 표 2에 나타내었다.

[0123] 또한, 유리기판에 형성한 상기 초박막을 UV 스펙트럼 측정 방법으로 근적외선 광선을 초박막이 형성된 기판에 주사하여 시료에 대한 흡광도와 광투과율(transmittance, %)을 측정하였고, 그 결과를 하기 표 2에 나타내었으며, 실시예 1에 대한 광투과율 측정 결과를 도 5에 나타내었다. 이때, 광투과율은 파장 500 ~ 550nm에서의 광투과율이다.

표 2

구분	RMS(root mean square) 거칠기	광투과율(%)
실시예 1	19.8 nm	91.1%
실시예 2	21.5 nm	90.9%
실시예 3	22.7 nm	91.0%
비교예 1	71.4 nm	88.9%
비교예 2	35.7 nm	89.3%
비교예 3	24.8 nm	90.2%
비교예 4	측정 불가	측정 불가

[0125] 상기 표 2의 RMS 거칠기 및 광투과를 살펴보면, 상기 실시예 1 ~ 3의 경우, RMS 거칠기 18.0 ~ 23.0 nm로 매우 낮은 표면 거칠기를 가지며, 광투과도 90% 이상의 우수한 광학적 특성을 가지는 것을 확인할 수 있었다.

[0126] 이에 반해, 표면 개질된 SnO₂ 나노입자 합성시 TFA를 300 중량부 미만인 270 중량부만 사용하여 제조한 표면 개질된 SnO₂ 나노입자를 이용한 코팅액인 비교예 2의 경우, 실시예 1 또는 실시예 2와 비교할 때, 광투과율이 저조할뿐만 아니라, 거칠기가 상대적으로 너무 높은 문제가 있었고, TFA를 1500 중량부 초과한 1570 중량부를 사용한 비교예 3의 경우, 실시예 3과 비교할 때, 오히려 거칠기로도 증가하고 부분적으로 광투과율이 떨어지는 부분이 있었는데, 이는 표면 개질된 SnO₂ 나노입자 중 일부 나노입자간 뭉침 현상에 의한 것으로 판단된다.

[0127] 그리고, 비교예 4의 경우, SnO₂ 입자가 분산되지 않아 응집된 입자가 유리기판 상단에 섬 형태로 코팅되어 박막이 형성되지 못하는 문제가 있었다.

[0129] **제조예 1: 표면 개질된 SnO₂ 나노입자가 적용된 역구조 페로브스카이트(Perovskite) 태양전지의 제조**

[0130] 드레인 전극(source electrode)으로서, 산화주석인듐(indium tin oxide, ITO)이 약 110 nm 두께로 코팅된 유리기판(두께 1.1 mm, 15.0 Ω/sq)을 아세톤 및 이소프로필 알콜(isopropyl alcohol, IPA)로 순차적으로 초음파 세정기를 이용하여 1시간씩 세척하였다.

[0131] 다음으로, 상기 ITO 기판 상에 E-beam 진공증착 방법 조건을 통해 30 nm 두께의 정공수송층(NiO_x)을 형성시켰다.

[0132] 다음으로, 상기 정공수송층 상부에 다이메틸포름아마이드(dimethylformamide, DMF) 및 다이메틸설폭사이드(Dimethyl sulfoxide, DMSO)에 용해시켜 형성한 황색 광흡수층 용액을 스핀 코팅을 통해 형성하고, 100℃에서 20분간 열처리함으로써 NiO_x 정공수송층과 450 ~ 500 nm 두께의 페로브스카이트 결정구조를 가지는 광흡수층(CSMAFAPbI_xBr_{3-x} (0 ≤ x ≤ 3))을 형성시켰다.

[0133] 다음으로, 상기 광흡수층 상부에 열증착(thermal evaporation) 방법 조건을 통해 13 nm 두께의 패시베이션층(C₆₀ 풀러렌)을 형성시켰다.

[0134] 다음으로, 상기 패시베이션층 상부에 실시예 1에서 제조한 표면 개질된 코팅액을 1,500 rpm 으로 1분 간 조건으로 스핀 코팅한 다음, 30℃로 열처리하여 20 nm 두께의 전자전달층을 형성시켰다.

[0135] 다음으로, 전자전달층 상부에 은(Ag)을 1X10⁻⁸ torr의 압력에서 150nm의 두께로 증착하여 소스전극(source electrode)을 형성함으로써 역 구조의 페로브스카이트 태양전지를 제조하였다.

[0136] 그리고, 제조한 태양전지의 SEM 측정 이미지를 도 6에 나타내었다.

[0138] **제조예 2 ~ 3 및 비교제조예 1 ~ 3**

[0139] 상기 제조예 1과 동일한 방법으로 역 구조의 페로브스카이트 태양전지를 제조하되, 실시예 1의 코팅제 대신 실시예 2 ~ 3 및 비교예 1 ~ 3의 코팅제 각각을 사용하여 전자전달층을 형성시킨 태양전지 각각을 제조하여 제조예 2 ~ 3 및 비교제조예 1 ~ 3을 각각 실시하였다.

[0141] **실험예 2 : 태양전지의 성능 측정**

[0142] 상기 제조예 1에서 제조한 태양전지의 전류-전압 특성 및 효율을 측정하였고, 그 결과를 하기 표 3에 나타내었다. 그리고, 제조예 1에 대한 단락전류밀도 측정 결과를 도 7에 나타내었다.

표 3

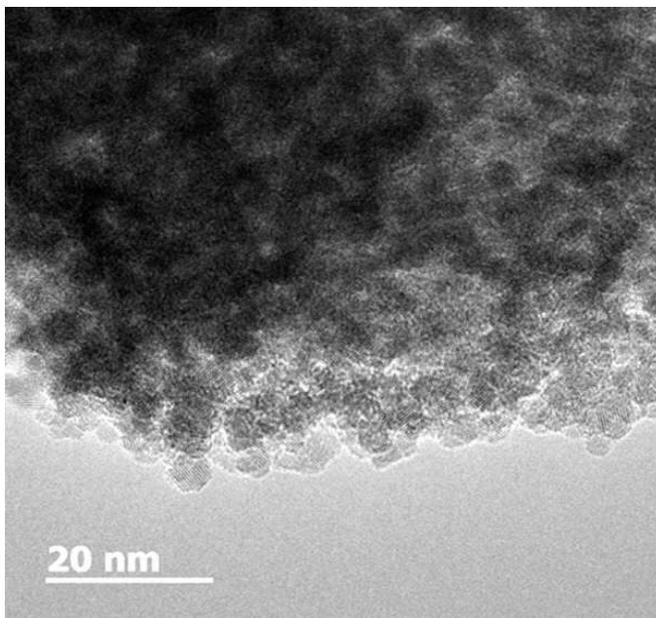
[0143]

구분	전자전달층	개방전압 (V_{oc} , V)	단락 전류밀도 (J_{sc} , mA/cm^2)	필 팩터 (FF)	광전 변환효율 (%)
제조예 1	실시예 1	0.958	22.08	69.98	14.81
제조예 2	실시예 2	0.939	21.87	67.47	13.86
제조예 3	실시예 3	0.889	21.34	56.01	10.63
비교제조예 1	비교예 1	0.755	12.71	33.14	3.18

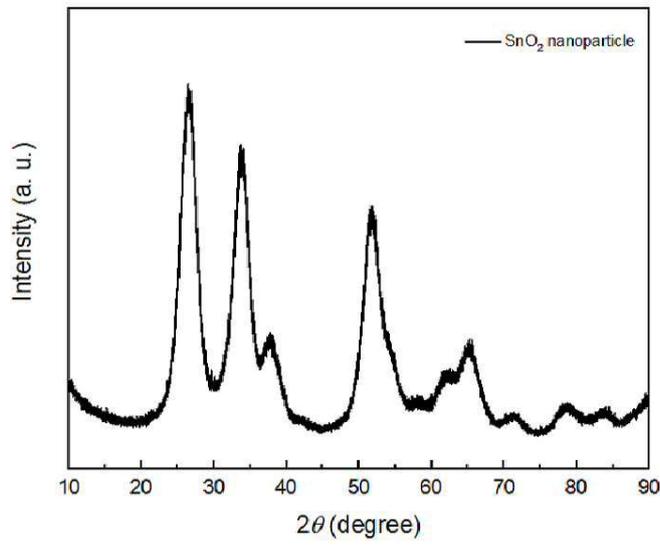
[0144] 상기 표 3 및 도 7의 태양전지의 전류-전압 특성 및 효율 측정 결과를 살펴보면, 매우 높은 필 팩터 및 광전 변환효율을 가지는 것을 확인할 수 있다.

도면

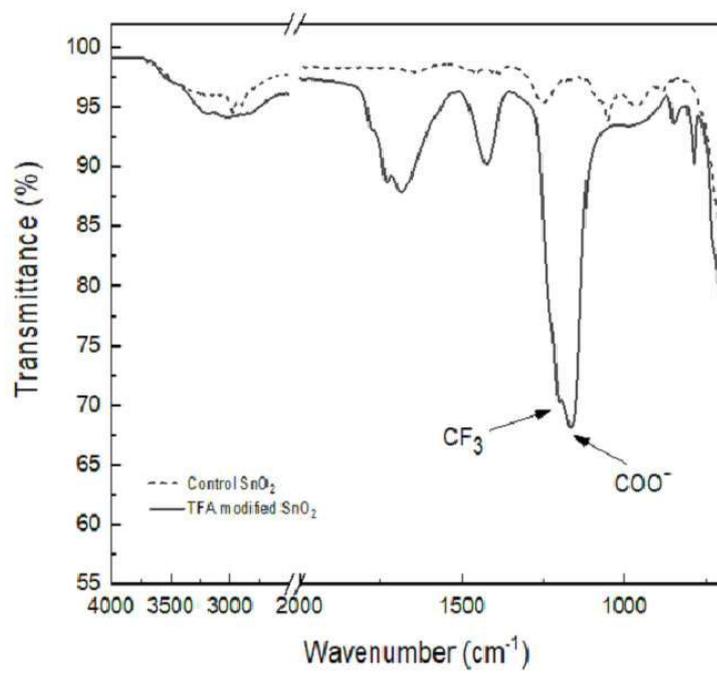
도면1



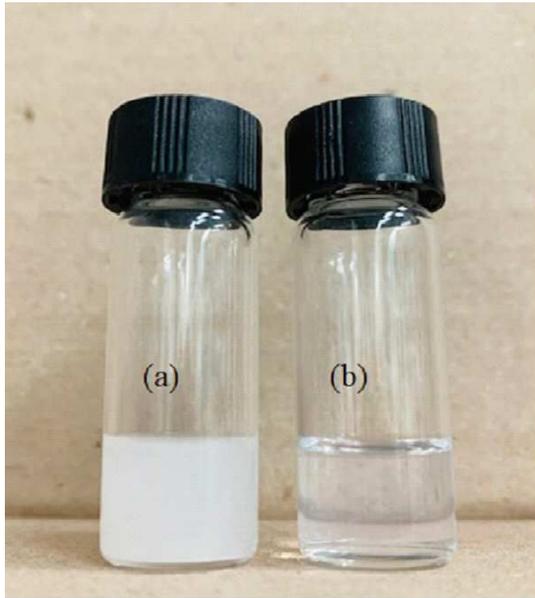
도면2



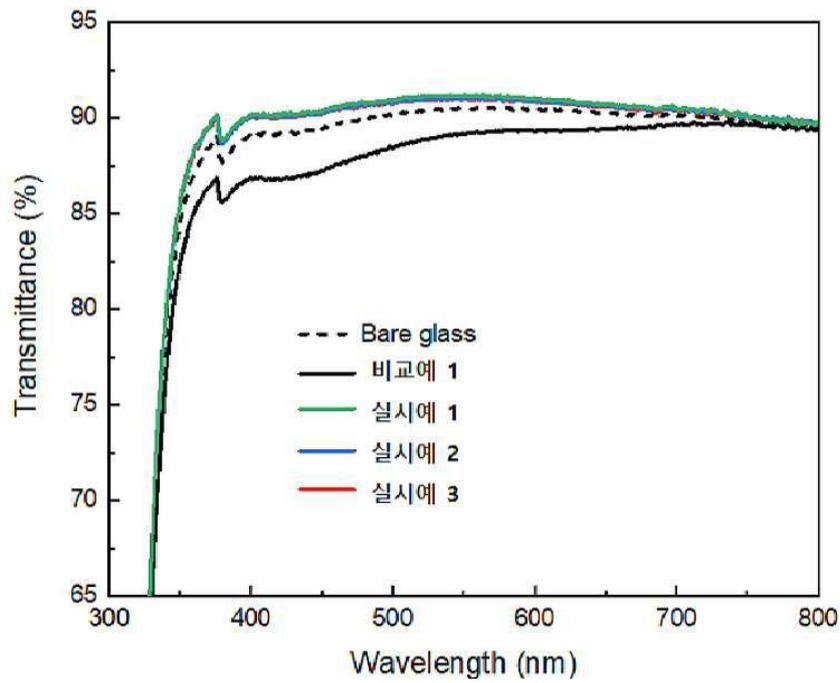
도면3



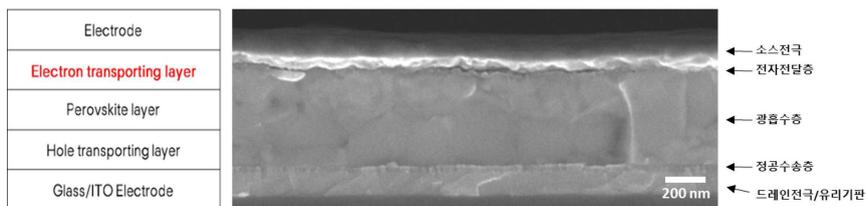
도면4



도면5



도면6



도면7

