



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2018년01월18일
(11) 등록번호 10-1809869
(24) 등록일자 2017년12월11일

- | | |
|--|--|
| <p>(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 31/18 (2006.01) H01L 31/0216 (2014.01)
H01L 31/0224 (2006.01) H01L 31/042 (2014.01)</p> <p>(52) CPC특허분류
H01L 31/18 (2013.01)
H01L 31/02167 (2013.01)</p> <p>(21) 출원번호 10-2017-0026709
(22) 출원일자 2017년02월28일
심사청구일자 2017년02월28일</p> <p>(56) 선행기술조사문헌
JP2008176998 A*
KR101571528 B1*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌</p> | <p>(73) 특허권자
고려대학교 산학협력단
서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)</p> <p>(72) 발명자
임상혁
경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732, 화학공학과 (서천동, 경희대학교국제캠퍼스)
허진혁
경기도 수원시 영통구 영일로 8, 301호(영통동, 메가플러스)</p> <p>(74) 대리인
김연권</p> |
|--|--|

전체 청구항 수 : 총 14 항

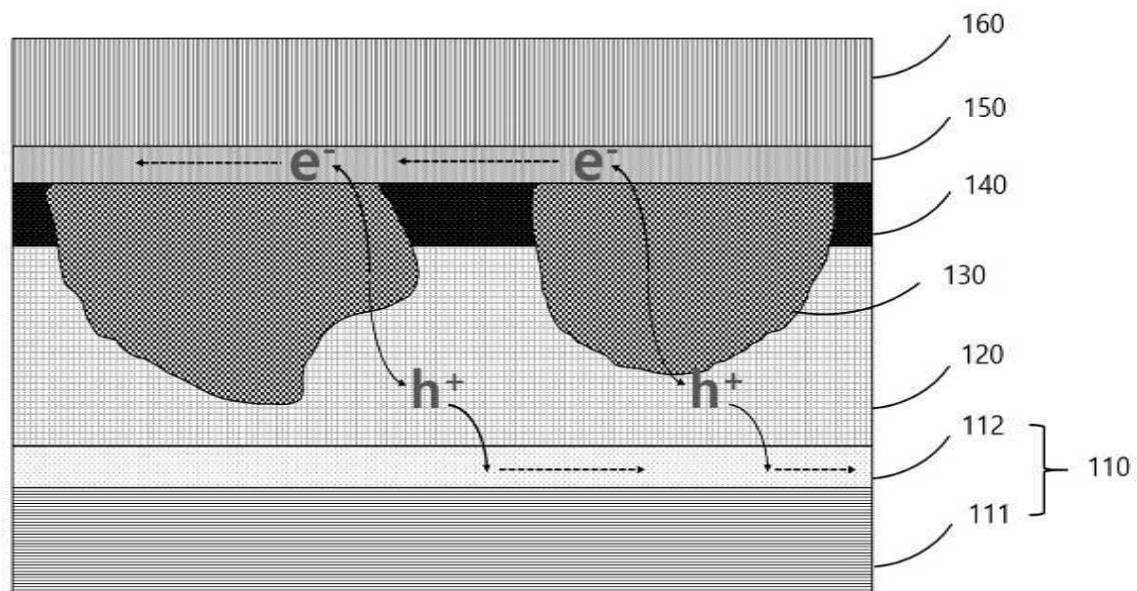
심사관 : 안지현

(54) 발명의 명칭 태양전지 및 이의 제조 방법

(57) 요약

본 발명은 태양전지 및 이의 제조 방법을 개시한다. 본 발명의 실시예에 따른 태양전지는 제1 기판 및 보조 전극을 포함하는 카운터 전극(counter electrode); 상기 카운터 전극 상에 형성된 정공 전달층; 상기 정공 전달층 상에 형성되고, 정공과 전자의 재결합을 방지하는 패시베이션층; 상기 정공 전달층과 상기 패시베이션층에 아일 랜드 형태로 형성된 복수개의 광흡수체; 상기 패시베이션층과 상기 광흡수체 상에 형성된 전자 전달층; 및 상기 전자 전달층 상에 형성된 제2 기판;을 포함하는것을 특징으로 한다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

H01L 31/022425 (2013.01)

H01L 31/042 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2014R1A5A1009799
부처명 미래창조과학부
연구관리전문기관 한국연구재단
연구사업명 선도연구센터지원사업
연구과제명 결정 기능화 공정기술 센터
기 여 율 1/3
주관기관 경희대학교 산학협력단
연구기간 2014.05.01 ~ 2018.02.28

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2015M1A2A2055631
부처명 한국연구재단 (학술진흥)
연구관리전문기관 한국연구재단
연구사업명 기후 변화대응 기술 개발 사업
연구과제명 고효율 무연 페로브스카이트형 태양전지 기술개발
기 여 율 1/3
주관기관 경희대학교 산학협력단
연구기간 2016.10.19 ~ 2017.04.30

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 20163010012470
부처명 산업통상자원부
연구관리전문기관 한국에너지기술평가원
연구사업명 에너지기술개발사업
연구과제명 고효율(16% 이상) 대면적 (15 cm x 15 cm) 인쇄공정 기반 페로브스카이트 태양전지 모듈
제조 기술 개발
기 여 율 1/3
주관기관 한국화학연구원
연구기간 2016.10.01 ~ 2020.09.30
공지예외적용 : 있음

명세서

청구범위

청구항 1

전극으로 사용되는 제1 기판 및 고분자 물질로 형성되는 보조 전극을 포함하는 카운터 전극(counter electrode);

상기 카운터 전극 상에 형성된 정공 전달층;

상기 정공 전달층 상에 형성되고, 정공과 전자의 재결합을 방지하는 패시베이션층;

상기 정공 전달층과 상기 패시베이션층에 아일랜드 형태로 형성된 복수개의 광흡수체;

상기 패시베이션층과 상기 광흡수체 상에 형성된 전자 전달층; 및

상기 전자 전달층 상에 형성된 제2 기판;

을 포함하고,

상기 패시베이션층은 상기 광흡수체가 형성되지 않은 상기 정공 전달층 상에만 형성되고,

상기 제1 기판 및 상기 제2 기판으로 인해 샌드위치 구조를 갖는 것을 특징으로 하는 태양전지.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 광흡수체는 페로브스카이트 화합물을 포함하는 것을 특징으로 하는 태양전지.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 광흡수체는 하기 화학식 1으로 표시되는 페로브스카이트 화합물인 것을 특징으로 하는 태양전지.

[화학식 1]



(상기 화학식 1에서, A는 유기암모늄 또는 알칼리금속 물질이고, M은 금속 물질이며, X는 할로젠 원소임.)

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 광흡수체는 하기 화학식 2으로 표시되는 페로브스카이트 화합물인 것을 특징으로 하는 태양전지.

[화학식 2]



(상기 화학식 2에서, A는 유기암모늄 또는 알칼리금속 물질이고, M은 금속 물질이며, X는 할로젠 원소임.)

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 광흡수체는 하기 화학식 3로 표시되는 페로브스카이트 화합물인 것을 특징으로 하는 태양전지.

[화학식 3]



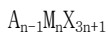
(상기 화학식 3에서, A는 유기암모늄 또는 알칼리금속 물질이고, M은 금속 물질이며, X는 할로겐 원소임.)

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 광흡수체는 하기 화학식 4로 표시되는 페로브스카이트 화합물인 것을 특징으로 하는 태양전지.

[화학식 4]



(상기 화학식 4에서, A는 유기암모늄 또는 알칼리금속 물질이고, M은 금속 물질이고, X는 할로겐 원소이며, n은 2 내지 6 사이의 정수임.)

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 패시베이션층은 폴리스티렌(polystyrene), P2VP(poly(2-vinylpyridine)), P4VP (poly(4-vinylpyridine)), PMMA(poly(methyl methacrylate)), 폴리락타이드(polyactide) 및 폴리부타디엔(polybutadiene)으로 이루어진 군에서 선택된 1종 이상인 것을 특징으로 하는 태양전지.

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 제1 기관 및 상기 제2 기관은 인듐 틴 옥사이드(ITO), 플루오린 틴 옥사이드(FTO), 안티몬 틴 옥사이드(ATO), 알루미늄 도핑된 징크 옥사이드(AZO), 갈륨 도핑된 징크 옥사이드(GZO), 은 나노 입자, 은 나노 와이어 및 탄소 나노 튜브(CNT)로 이루어진 군에서 선택되는 1종 이상인 것을 특징으로 하는 태양전지.

청구항 9

제1항에 있어서,

상기 전자 전달층은 티타늄디옥사이드(TiO_2), 징크옥사이드(ZnO) 및 알루미늄 도핑된 징크옥사이드(Al-doped ZnO), 틴다이옥사이드(SnO_2), 또는 세슘 카보네이트(Cs_2CO_3)로 이루어진 군에서 선택되는 1종 이상인 것을 특징으로 하는 태양전지.

청구항 10

제1항에 있어서,

상기 정공 전달층은 PTAA(poly(triarylamine)), spiro-MeOTAD(2,2',7'-tetrakis-(N,N-di-p-methoxyphenyl-amine)-9,9'-spirobifluorene), 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-octylthiophene)), P3DT(poly(3-decylthiophene)), P3DDT(poly(3-dodecylthiophene)), PPV(poly(p-phenylene vinylene)), TFB(poly(9,9'-dioctylfluorene-co-N-(4-butylphenyl)diphenylamine)), 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]), PBDTPD(poly((4,8-diethylhexyloxy)benzo[1,2-b:4,5-b']dithiophene)-2,6-diyl-alt-((5-octylthieno[3,4-c]pyrrole-4,6-dione)-1,3-diyl)), 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-dioctylsilafluorene)-2,7-diyl-alt-(4,7-bis(2-thienyl)-2,1,3-benzothiadiazole)-5,5'-diyl]), PSBTBT(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]), 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-co-benzothiadiazole)), PEDOT (poly(3,4-ethylenedioxythiophene)), PEDOT:PSS (poly(3,4-ethylenedioxythiophene):poly(styrenesulfonate)), poly(4-butylphenyl-diphenylamine) 및 이들의 공중합체로 이루어진 군에서 선택된 1종 이상인 것을 특징으로 하는 태양전지.

청구항 11

제1항에 있어서,

상기 보조 전극은 PEDOT:PSS (poly(3,4-ethylenedioxythiophene):poly(styrenesulfonate)) 또는 아닐린(aniline) 계 물질인 것을 특징으로 하는 태양전지.

청구항 12

전극으로 사용되는 제1 기판 상에 고분자 물질로 형성되는 보조 전극을 형성하여, 상기 제1 기판 및 상기 보조 전극을 포함하는 카운터 전극을 형성하는 단계;

제2 기판 상에 전자 전달층을 형성하는 단계;

상기 전자 전달층 상에 아일랜드 형태를 갖는 복수개의 광흡수체를 형성하는 단계;

상기 전자 전달층 상에 정공과 전자의 재결합을 방지하는 패시베이션층 패시베이션층을 형성하는 단계;

상기 광흡수체 및 상기 패시베이션층 상에 정공 전달층을 형성하는 단계; 및

상기 정공 전달층 상에 상기 카운터 전극을 부착하는 단계

를 포함하고,

상기 패시베이션층은 상기 광흡수체가 형성되지 않은 상기 정공 전달층 상에만 형성되고,

상기 제1 기판 및 상기 제2 기판으로 인해 샌드위치 구조를 갖는 것을 특징으로 하는 태양전지 제조 방법.

청구항 13

제12항에 있어서,

상기 광흡수체는 스핀 코팅으로 형성하는 것을 특징으로 하는 태양전지 제조 방법.

청구항 14

제12항에 있어서,

상기 패시베이션층은 스핀 코팅으로 형성하는 것을 특징으로 하는 태양전지 제조 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 태양 전지 및 이의 제조 방법에 관한 것으로, 보다 상세하게는 정공 전달층과 패시베이션층에 아일랜드 형태로 형성된 복수개의 광흡수체를 포함하는 태양전지 및 그 제조 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0003] 태양전지는 태양광으로부터 직접적으로 전기를 생산할 수 있는 발전 장치로서 최근 고유가, 환경 문제에 따라 가장 주목 받는 미래 에너지 생산 방법이다.

[0004] 이러한 태양전지의 제작을 위해서는 다양한 무기 반도체들 또는 유기물 반도체들이 응용되고 있으나, 현재까지 상업화 단계에 도달한 대표적인 예는 실리콘(Si)을 주 소재로 사용하는 실리콘 태양전지와 CIGS 계열의 화합물 박막 태양전지이다.

[0005] 실리콘 태양전지와 화합물 박막 태양전지는 높은 광전환 효율과 안정성을 보인다는 장점이 있지만, 진공 공정을 이용하기 때문에 고가의 제조 비용이 들며, 불투명한 전극 기재를 사용하기 때문에 태양광이 태양전지를 투과할 수 없게 된다. 또한, 공간의 제약을 많이 받는 한국과 같은 경우 이러한 태양전지를 설치하기에는 다소 어려움이 있다.

[0006] 공간 제약의 문제를 해결할 수 있는 건물일체형 태양광 발전(BIPV)은 향후 급속한 시장 성장이 예측되는 태양전지 분야이며, 특히, 창호용 태양전지는 높은 발전 효율뿐만 아니라 높은 광 투과율 또한 요구되는 차세대 태양전지 분야라고 할 수 있다. 현재 창호용 BIPV로 응용 가능성이 있는 태양전지로는 염료감응형 태양전지(DSSC)가 알려져 있다.

[0007] DSSC는 n형 반도체 나노 입자의 분산성 및 막두께 조절을 통하여 발전부의 투과율 조절이 가능하고 색상이나 이미지를 도입할 수 있다는 점에서 창호용 BIPV로 적합하다고 할 수 있다. 하지만, DSSC는 태양전지는 액체 전해질이 사용되고 있어 파손 시 전해질 누수로 인한 안정성 문제가 있다.

[0008] 이에 반해, 페로브스카이트 박막 태양전지는 페로브스카이트 물질이 가지는 특성에 의해 용액공정이 가능하여싼 가격으로, 고효율의 태양전지를 제작할 수 있다는 장점이 있다. 하지만, 페로브스카이트가 가지는 높은 흡광 계수로 인해 BIPV용 태양전지로는 사용하기 힘들다는 문제점이 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0010] (특허문헌 0001) 대한민국등록특허공보 제10-1633479호, "알킬화된 시클로텍스트린 조성물 및 이의 제조 및 사용 방법"

(특허문헌 0002) 대한민국등록특허공보 제10-2016-0008658 호, "술포알킬 에테르 시클로텍스트린 함유 분말의 제조 방법 및 그 분말"

발명의 내용

해결하려는 과제

[0011] 본 발명의 실시예는 태양전지 및 그 제조 방법에 관한 것으로, 보다 상세하게는 정공 전달층과 패시베이션층에 아일랜드 형태로 형성된 복수개의 광흡수체를 포함하는 태양전지 및 그 제조 방법을 제공하고자 한다.

과제의 해결 수단

[0013] 본 발명의 실시예에 따른 태양전지는 제1 기판 및 보조 전극을 포함하는 카운터 전극(counter electrode); 상기

카운터 전극 상에 형성된 정공 전달층; 상기 정공 전달층 상에 형성되고, 정공과 전자의 재결합을 방지하는 패시베이션층; 상기 정공 전달층과 상기 패시베이션층에 아일랜드 형태로 형성된 복수개의 광흡수체; 상기 패시베이션층과 상기 광흡수체 상에 형성된 전자 전달층; 및 상기 전자 전달층 상에 형성된 제2 기관;을 포함한다.

[0014] 상기 광흡수체는 페로브스카이트 화합물을 포함할 수 있다.

[0015] 상기 광흡수체는 하기 화학식 1으로 표시되는 페로브스카이트 화합물일 수 있다.

[0016] [화학식 1]

[0017] AMX_3

[0018] (상기 화학식 1에서, A는 유기암모늄 또는 알칼리금속 물질이고, M은 금속 물질이며, X는 할로젠 원소임.)

[0019] 상기 광흡수체는 하기 화학식 2으로 표시되는 페로브스카이트 화합물일 수 있다.

[0020] [화학식 2]

[0021] A_2MX_4

[0022] (상기 화학식 2에서, A는 유기암모늄 또는 알칼리금속 물질이고, M은 금속 물질이며, X는 할로젠 원소임.)

[0023] 상기 광흡수체는 하기 화학식 3로 표시되는 페로브스카이트 화합물일 수 있다.

[0024] [화학식 3]

[0025] AMX_4

[0026] (상기 화학식 3에서, A는 유기암모늄 또는 알칼리금속 물질이고, M은 금속 물질이며, X는 할로젠 원소임.)

[0027] 상기 광흡수체는 하기 화학식 4로 표시되는 페로브스카이트 화합물일 수 있다.

[0028] [화학식 4]

[0029] $A_{n-1}M_nX_{3n+1}$

[0030] (상기 화학식 4에서, A는 유기암모늄 또는 알칼리금속 물질이고, M은 금속 물질이고, X는 할로젠 원소이며, n은 2 내지 6 사이의 정수임.)

[0031] 상기 패시베이션층은 폴리스티렌(polystyrene), P2VP(poly(2-vinylpyridine)), P4VP (poly(4-vinylpyridine)), PMMA(poly(methyl methacrylate)), 폴리락타이드(polyactide), 폴리부타디엔(polybutadiene) 및 풀러렌(fullerene)으로 이루어진 군에서 선택된 1종 이상일 수 있다.

[0032] 상기 제1 기관 및 상기 제2 기관은 인듐 틴 옥사이드(ITO), 플루오린 틴 옥사이드(FTO), 안티몬 틴 옥사이드(ATO), 알루미늄 도핑된 징크 옥사이드(AZO), 갈륨 도핑된 징크 옥사이드(GZO), 은 나노 입자, 은 나노 와이어 및 탄소 나노 튜브(CNT)로 이루어진 군에서 선택되는 1종 이상일 수 있다.

[0033] 상기 전자 전달층은 티타늄디옥사이드(TiO_2), 징크옥사이드(ZnO) 및 알루미늄 도핑된 징크옥사이드(Al-doped ZnO), 틴다이옥사이드(SnO_2), 또는 세슘 카보네이트(Cs_2CO_3)로 이루어진 군에서 선택되는 1종 이상일 수 있다.

[0034] .

[0035] 상기 정공 전달층은 PTAA(poly(triarylamine)), spiro-MeOTAD(2,2',7'-tetrakis-(N,N-di-p-methoxyphenyl-amine)-9,9'spirobifluorene), 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-octylthiophene)), P3DT(poly(3-decylthiophene)), P3DDT(poly(3-dodecylthiophene)), PPV(poly(p-phenylene vinylene)), TFB(poly(9,9'-dioctylfluorene-co-N-(4-butylphenyl)diphenylamine)), 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)]), PBDTPD(poly((4,8-diethylhexyloxy)benzo[1,2-b:4,5-b']dithiophene-2,6-diyl-alt-((5-octylthieno[3,4-c]pyrrole-4,6-dione)-1,3-diyl))), 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]), PSBTBT(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]), 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-co-benzothiadiazole), PEDOT (poly(3,4-ethylenedioxythiophene)), PEDOT:PSS (poly(3,4-ethylenedioxythiophene):poly(styrenesulfonate)), poly(4-butylphenyl-diphenyl-amine) 및 이들의 공중합체로 이루어진 군에서 선택된 1종 이상일 수 있다.

[0036] 상기 보조 전극은 PEDOT:PSS (poly(3,4-ethylenedioxythiophene):poly(styrenesulfonate)) 또는 아닐린(aniline)계 물질일 수 있다.

[0037] 본 발명의 실시예에 따른 태양전지 제조 방법은 제1 기판 상에 보조 전극을 형성하여, 상기 제1 기판 및 상기 보조 전극을 포함하는 카운터 전극을 형성하는 단계; 제2 기판 상에 전자 전달층을 형성하는 단계; 상기 전자 전달층 상에 아일랜드 형태를 갖는 복수개의 광흡수체를 형성하는 단계; 상기 전자 전달층 상에 정공과 전자의 재결합을 방지하는 패시베이션층 패시베이션층을 형성하는 단계; 상기 광흡수체 및 상기 패시베이션층 상에 정공 전달층을 형성하는 단계; 및 상기 정공 전달층 상에 상기 카운터 전극을 부착하는 단계를 포함한다.

[0038] 상기 광흡수체는 스핀 코팅으로 형성할 수 있다.

[0039] 상기 패시베이션층은 스핀 코팅으로 형성할 수 있다.

발명의 효과

[0041] 본 발명의 실시예에 따른 태양전지는 전자 전달층과 정공 전달층 사이에 패시베이션층을 도입함으로써, 광흡수체가 형성되지 않은 영역의 전자 전달층 및 정공 전달층 사이의 전자 및 정공의 재결합을 방지하여, 높은 안정성 및 투과율을 구현할 수 있어, 고효율뿐만 아니라 안정성 면에서도 월등한 창호형 건물일체형태양광발전(Building-integrated photovoltaics; bipv) 태양전지를 제조 할 수 있다.

[0042] 본 발명의 실시예에 따른 태양전지는 아일랜드 형태의 광흡수체는 전자 전달층 및 정공 전달층 사이에 부분적으로 형성되기 때문에, 투과율을 향상시켜, 높은 투과율을 가지는 태양전지를 제조할 수 있다.

[0043] 또한, 본 발명의 실시예에 따른 태양전지는 광흡수층의 양면에 투명 기판(제1 기판 및 제2 기판)으로 막혀있는 샌드위치 구조로 형성됨으로써, 자가-패시베이션층(self-passivation) 효과로 인해 안정성이 향상되고, 태양전지의 양면이 투명하기 때문에 투과율을 보다 향상시킬 수 있다.

[0044] 또한, 본 발명의 실시예에 따른 태양전지는 페로브스카이트 화합물을 포함하는 광흡수체를 사용함으로써, 흡광도를 증가시켜 태양전지의 광전류를 향상시킬 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0046] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 태양전지를 도시한 단면도이다.

도 2는 본 발명의 실시예에 따른 태양전지의 제조 방법을 도시한 흐름도이다.

도 3a 및 도 3b는 패시베이션층이 형성된 본 발명의 실시예에 따른 태양 전지의 표면 및 단면을 도시한 전자주사현미경(SEM) 이미지이다.

도 3c 및 도 3d는 패시베이션층이 형성되지 않은 비교예에 따른 태양 전지의 표면 및 단면을 도시한 전자주사현미경(SEM) 이미지이다.

도 4는 패시베이션층이 형성(w/o PS)되지 않은 비교예 및 패시베이션층이 형성(w PS)된 본 발명의 실시예에 따른 태양전지의 자외선-가시광선 스펙트럼(UV-visible absorption spectra)을 도시한 그래프이다.

도 5는 패시베이션층이 형성(w/o PS)되지 않은 비교예 및 패시베이션층이 형성(w PS)된 본 발명의 실시예에 따른 태양전지의 외부 양자 효율(external quantum efficiency; EQE) 스펙트럼 및 투과율(transmission)을 도시한 그래프이다.

도 6a는 패시베이션층이 형성(w PS)된 본 발명의 실시예에 따른 태양전지의 전압(voltage)에 따른 전류 밀도

(current density)를 도시한 그래프이고, 도 6b는 패시베이션층이 형성(w/o PS)되지 않은 비교예 따른 태양전지의 전압(voltage)에 따른 전류 밀도(current density)를 도시한 그래프이다.

도 7은 패시베이션층이 형성(w/o PS)되지 않은 비교예 및 패시베이션층이 형성(w PS)된 본 발명의 실시예에 따른 태양전지의 평균 효율(average efficiency)을 도시한 그래프이다.

도 8은 패시베이션층이 형성(w/o PS)되지 않은 비교예 및 패시베이션층이 형성(w PS)된 본 발명의 실시예에 따른 태양전지의 저장 시간(storage time)에 따른 평균 효율(average efficiency) 및 상대 습도(relative humidity)를 도시한 그래프이다.

도 9a는 패시베이션층이 형성(w/o PS)되지 않은 비교예 및 패시베이션층이 형성(w PS)된 본 발명의 실시예에 따른 태양전지의 강도 조절 광전류 스펙트로스코피(intensity modulated photocurrent spectroscopy; IMPS) 측정으로 얻은 확산 계수(diffusion coefficient; D_n)를 도시한 그래프 이다.

도 9b는 패시베이션층이 형성(w/o PS)되지 않은 비교예 및 패시베이션층이 형성(w PS)된 본 발명의 실시예에 따른 태양전지의 강도 조절 광전압 스펙트로스코피(intensity modulated photovoltage spectroscopy; IMVS) 측정으로 얻은 전하 캐리어 수명(charge carrier's life time; τ_n)을 도시한 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0047] 이하 첨부 도면들 및 첨부 도면들에 기재된 내용들을 참조하여 본 발명의 실시예를 상세하게 설명하지만, 본 발명이 실시예에 의해 제한되거나 한정되는 것은 아니다.
- [0048] 본 명세서에서 사용된 용어는 실시예들을 설명하기 위한 것이며 본 발명을 제한하고자 하는 것은 아니다. 본 명세서에서, 단수형은 문구에서 특별히 언급하지 않는 한 복수형도 포함한다. 명세서에서 사용되는 "포함한다(comprises)" 및/또는 "포함하는(comprising)"은 언급된 구성요소, 단계, 동작 및/또는 소자는 하나 이상의 다른 구성요소, 단계, 동작 및/또는 소자의 존재 또는 추가를 배제하지 않는다.
- [0049] 본 명세서에서 사용되는 "실시예", "예", "측면", "예시" 등은 기술된 임의의 양상(aspect) 또는 설계가 다른 양상 또는 설계들보다 양호하다거나, 이점이 있는 것으로 해석되어야 하는 것은 아니다.
- [0050] 또한, '또는' 이라는 용어는 배타적 논리합 'exclusive or'이기보다는 포함적인 논리합 'inclusive or'를 의미한다. 즉, 달리 언급되지 않는 한 또는 문맥으로부터 명확하지 않는 한, 'x가 a 또는 b를 이용한다'라는 표현은 포함적인 자연 순열들(natural inclusive permutations) 중 어느 하나를 의미한다.
- [0051] 또한, 본 명세서 및 청구항들에서 사용되는 단수 표현("a" 또는 "an")은, 달리 언급하지 않는 한 또는 단수 형태에 관한 것이라고 문맥으로부터 명확하지 않는 한, 일반적으로 "하나 이상"을 의미하는 것으로 해석되어야 한다.
- [0052] 또한, 막, 층, 영역, 구성 요청 등의 부분이 다른 부분 "위에" 또는 "상에" 있다고 할 때, 다른 부분의 바로 위에 있는 경우뿐만 아니라, 그 중간에 다른 막, 층, 영역, 구성 요소 등이 개재되어 있는 경우도 포함한다.
- [0054] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 태양전지를 도시한 단면도이다.
- [0055] 도 1을 참조하면, 본 발명의 실시예에 따른 태양전지는 제1 기관(111) 및 보조 전극(112)을 포함하는 카운터 전극(110; counter electrode), 카운터 전극(110) 상에 형성된 정공 전달층(120), 정공 전달층(120) 상에 형성되고, 정공과 전자의 재결합을 방지하는 패시베이션층(140), 정공 전달층(120)과 패시베이션층(140)에 아일랜드 형태로 형성된 복수개의 광흡수체(130), 패시베이션층(140)과 광흡수체(130) 상에 형성된 전자 전달층(150) 및 전자 전달층(150) 상에 형성된 제2 기관(160)을 포함한다.
- [0056] 태양 전지는 태양광이 입사되면 광양자가 광흡수체(130)에 흡수되고, 광흡수체(130) 내의 광흡수물 분자는 기저 상태에서 여기 상태로 전자 전이하여 전자-정공 쌍을 만들며, 여기 상태의 전자는 반도체 미립자 계면의 전도대(conduction band)로 주입될 수 있다.
- [0057] 주입된 전자는 전자 전달층(150)을 통해 제2 기관(160)으로 전달되고, 이후 외부 회로를 통해 대향하고 있는 카운터 전극(110)으로 이동할 수 있다.
- [0058] 한편, 전자 전이 결과 산화된 광흡수물 분자는 정공 전달층(120) 내의 산화-환원 커플의 이온에 의해 환원되고, 산화된 이온은 전하 중성(charge neutrality)을 이루기 위해 카운터 전극(110)의 계면에 도달한 전자와 환원 받

응함으로써 태양 전지가 작동될 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.

- [0059] 카운터 전극(110)은, 제1 기관(111) 및 보조 전극(112)을 포함하고, 제1 기관(111)은 전극으로 사용될 수 있다.
- [0060] 제1 기관(111)은 투명 기관이 사용될 수 있고, 예를 들면, 인듐 틴 옥사이드(ITO), 플루오린 틴 옥사이드(FTO), 안티몬 틴 옥사이드(ATO), 알루미늄 도핑된 징크 옥사이드(AZO), 갈륨 도핑된 징크 옥사이드(GZO), 은 나노 입자, 은 나노 와이어 및 탄소 나노 튜브(CNT)로 이루어진 군에서 선택되는 1종 이상이 사용될 수 있다.
- [0061] 보조 전극(112)은 PEDOT:PSS (poly(3,4-ethylenedioxythiophene):poly(styrenesulfonate)) 또는 아닐린(aniline) 계 물질일 수 있다.
- [0062] 무기물의 제1 기관(111)과 고분자 물질의 정공 전달층(120)은 서로 물성이 달라, 접합 특성이 좋지 않다. 따라서, 무기물의 제1 기관(111)과 고분자 물질의 정공 전달층(120) 사이에 코팅이 잘되는 고분자 물질의 보조 전극(112)을 형성함으로써, 제1 기관(111)과 정공 전달층(120)의 접합성을 향상시켜, 접합 수율을 향상시킬 수 있다.
- [0063] 정공 전달층(hole transporting layer; 120)은 카운터 전극(110) 상에 형성된다.
- [0064] 정공 전달층(120)은 PTAA(poly(triarylamine)), spiro-MeOTAD(2,2',7'-tetrakis-(N,N-di-p-methoxyphenyl-amine)-9,9'spirobifluorene), 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-octylthiophene)), P3DT(poly(3-decylthiophene)), P3DDT(poly(3-dodecylthiophene)), PPV(poly(p-phenylene vinylene)), TFB(poly(9,9'-dioctylfluorene-co-N-(4-butylphenyl)diphenylamine)), 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]), PBDTPD(poly((4,8-diethylhexyloxy)benzo[1,2-b:4,5-b']dithiophene)-2,6-diyl-alt-((5-octylthieno[3,4-c]pyrrole-4,6-dione)-1,3-diyl)), 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-dioctylsilafluorene)-2,7-diyl-alt-(4,7-bis(2-thienyl)-2,1,3-benzothiadiazole)-5,5'-diyl]), PSBTBT(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]), 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-co-benzothiadiazole), PEDOT (poly(3,4-ethylenedioxythiophene)), PEDOT:PSS (poly(3,4-ethylenedioxythiophene):poly(styrenesulfonate)), poly(4-butylphenyl-diphenyl-amine) 및 이들의 공중합체로 이루어진 군에서 선택된 1종 이상을 포함할 수 있고, 바람직하게는 PTAA(poly(triarylamine))가 사용될 수 있다.
- [0065] 패시베이션층(140)은 정공 전달층(120) 상에 형성되고, 정공과 전자의 재결합을 방지한다.
- [0066] 즉, 패시베이션층(140)은 광흡수체(130)가 형성되지 않은 영역의 정공 전달층(120) 및 전자 전달층(150)가 직접적으로 접촉하는 것을 차단함으로써, 전자 및 정공이 정공 전달층(120)과 전자 전달층(150) 사이에서 재결합(recombination)이 일어나 소자의 효율이 감소되는 것을 차단할 수 있다.
- [0067] 패시베이션층(140)은 폴리스티렌(polystyrene), P2VP(poly(2-vinylpyridine)), P4VP(poly(4-vinylpyridine)), PMMA(poly(methyl methacrylate)), 폴리락타이드(polyactide), 폴리부타디엔(polybutadiene) 및 풀러렌(fullerene)으로 이루어진 군에서 선택된 1종 이상일 수 있다.
- [0068] 또한, 패시베이션층(140)은 정공 전달층(120)과 전자 전달층(150) 사이의 접합성을 향상시킬 수 있다.
- [0069] 종래에 사용되는 아일랜드 형태의 광흡수체의 경우, 정공 전달층(120)과 전자 전달층(150)이 직접적으로 맞닿게 되는 구조를 갖기 때문에 소자 효율이 감소되는 문제가 있다. 그러나, 본 발명의 실시예에 따른 태양전지는 정공 전달층(120)과 전자 전달층(150) 사이에 패시베이션층(140)을 도입함으로써, 높은 안정성 및 투과율을 구현할 수 있어, 고효율뿐만 아니라 안정성을 향상시킬 수 있다.
- [0070] 또한, 이러한 구조로 인해, 고효율뿐만 아니라 안정성이 월등한 창호형 건물일체형태양광발전(Building-

integrated photovoltaics; bipv) 태양전지를 제조 할 수 있다.

- [0071] 복수개의 광흡수체(130)는 정공 전달층(120)과 패시베이션층(140)에 아일랜드 형태로 형성된다.
- [0072] 광흡수체(130)는 패시베이션층을 관통하여 정공 전달층(120) 내부에 형성될 수 있다.
- [0073] 광흡수체(130)는 태양광을 흡수하여 전자-정공 쌍을 생성하며, 물질 고유의 특성에 의존한 밴드갭 또는 입자의 크기가 작은 경우 양자 구속 효과(quantum-confinement effect)에 의해 나노입자 크기에 따라 물질 고유의 특성으로부터 변화된 밴드갭 에너지를 가질 수 있다.
- [0074] 아일랜드 형태의 광흡수체가 아닌 전자 전달층 및 정공 전달층 사이에 고르게 형성되는 광흡수체는 높은 흡광 계수로 인해 BIPV용 태양전지로는 사용하기 힘들다는 문제점이 있다. 하지만, 본 발명의 실시예에 따른 아일랜드 형태의 광흡수체는 전자 전달층 및 정공 전달층 사이에 부분적으로 형성되어 있어, 높은 투과율을 가지기 때문에 투과율이 향상된 태양전지를 제조할 수 있다.
- [0075] 본 발명의 실시예에 따른 광흡수체(130)는 페로브스카이트 화합물을 포함할 수 있고, 페로브스카이트 화합물은 하기 화학식 1 내지 화학식 4로 표시되는 물질일 수 있다.
- [0076] [화학식 1]
- [0077] AMX_3
- [0078] [화학식 2]
- [0079] A_2MX_4
- [0080] [화학식 3]
- [0081] AMX_4
- [0082] [화학식 4]
- [0083] $A_{n-1}M_nX_{3n+1}$
- [0084] 화학식 1 내지 화학식 4에서, A는 유기암모늄 또는 알칼리금속 물질이고, M은 금속 물질이고, X는 할로젠 원소이며, n은 2 내지 6 사이의 정수이다.
- [0085] 예를 들어, A는 $(CH_3NH_3)_n$, $((CzH_2Z_{+1})nNH_3)_2(CH_3NH_3)_n$, $(RNH_3)_2$, $(CnH_{2n+1}NH_3)_2$, (CF_3NH_3) , $(CF_3NH_3)_n$, $((CzF_{2z+1})nNH_3)_2(CF_3NH_3)_n$, $((CzF_{2z+1})nNH_3)_2$ 또는 $(CnF_{2n+1}NH_3)_2$ (n은 1이상인 정수, z는 1이상인 정수)일 수 있다.
- [0086] M은 2가의 전이 금속, 희토류 금속, 알칼리 토류 금속, Pb, Sn, Ge, Ga, In, Al, Sb, Bi, Po 또는 이들의 조합이고, X는 Cl, Br, I 또는 이들의 조합일 수 있다.
- [0087] 이때의 희토류 금속은 예컨대 Ge, Sn, Pb, Eu 또는 Yb일 수 있다. 또한, 알칼리 토류 금속은 예컨대, Ca 또는 Sr일 수 있다.
- [0088] 바람직하게는, 광흡수체는 $CH_3NH_3PbI_3$ 이 사용될 수 있다.
- [0089] 또한, 페로브스카이트 화합물은 페로브스카이트 나노결정입자(nanocrystal particle)일 수 있다.
- [0090] 페로브스카이트 나노결정입자는 페로브스카이트 나노결정입자 표면 상에 페로브스카이트 나노결정입자의 표면을 둘러싸도록 형성된 유기 리간드를 더 포함할 수 있다.
- [0091] 또한, 페로브스카이트 나노결정입자는 코어-셸(core-shell) 구조를 가질 수 있다.
- [0092] 코어-셸 구조의 페로브스카이트 나노결정입자는 제1 페로브스카이트 나노결정입자 코어 및 제1 페로브스카이트 나노결정입자 코어를 감싸며 제2 페로브스카이트 나노결정입자를 포함하는 셸을 포함할 수 있다. 여기서, 제1 페로브스카이트 나노결정입자 및 제2 페로브스카이트 나노결정입자는 서로 상이한 물질이 사용될 수 있다.
- [0093] 코어-셸 구조의 유무기 하이브리드 페로브스카이트 나노결정입자 또는 코어-셸 구조의 무기금속할라이드 페로브스카이트 나노결정입자는 코어보다 밴드갭이 큰 물질로 셸을 형성함으로써 엑시톤이 코어에 더욱 잘 구속되도록 할 수 있다.

- [0094] 또한, 셀을 공기 중에 안정한 제2 페로브스카이트 나노결정입자, 무기 반도체 혹은 유기 고분자를 사용하여 제1 페로브스카이트 나노결정입자 코어가 공기중에 노출되지 않도록 하여 나노결정의 내구성을 향상시킬 수 있다.
- [0095] 페로브스카이트 화합물은 이차원적인 구조 또는 삼차원적인 구조를 가질 수 있다. 삼차원적인 결정구조를 갖는 페로브스카이트 화합물은 AMX_3 구조일 수 있다. 또한, 이차원적인 결정구조를 갖는 페로브스카이트 화합물은 AMX_3 , A_2MX_4 , AMX_4 또는 $A_{n-1}M_nX_{3n+1}$ (n 은 2 내지 6사이의 정수)의 구조일 수 있다.
- [0096] 본 발명의 실시예에 따른 태양전지는 페로브스카이트 화합물을 포함하는 광흡수체를 사용함으로써, 흡광도를 증가시켜 태양전지의 광전류를 향상시킬 수 있다.
- [0097] 전자 전달층(150)은 패시베이션층(140)과 광흡수체(130) 상에 형성된다.
- [0098] 전자 전달층(150)은 티타늄디옥사이드(TiO_2), 징크옥사이드(ZnO) 및 알루미늄 도핑된 징크옥사이드(Al -doped ZnO), 틴다이옥사이드(SnO_2), 또는 세슘 카보네이트(Cs_2CO_3)로 이루어진 군에서 선택되는 1종 이상일 수 있다.
- [0099] 제2 기관(160)은 전자 전달층(150) 상에 형성되고, 제2 기관(160)은 전극으로 사용될 수 있다.
- [0100] 또한, 제2 기관(160)은 투명 기관이 사용될 수 있고, 예를 들면, 인듐 틴 옥사이드(ITO), 플루오린 틴 옥사이드(FTO), 안티몬 틴 옥사이드(ATO), 알루미늄 도핑된 징크 옥사이드(AZO), 갈륨 도핑된 징크 옥사이드(GZO), 은 나노 입자, 은 나노 와이어 및 탄소 나노 튜브(CNT)로 이루어진 군에서 선택되는 1종 이상이 사용될 수 있다.
- [0101] 또한, 제1 기관(110) 및 제2 기관(160)은 동일한 물질로 형성될 수 도 있다.
- [0102] 또한, 본 발명의 실시예에 따른 태양전지는 광흡수체(130)의 양면에 투명 기관(제1 기관(111) 및 제2 기관(160))으로 막혀있는 샌드위치 구조로 형성됨으로써, 자가-패시베이션층(self-passivation) 효과로 인해 안정성이 향상되고, 태양전지의 양면이 투명하기 때문에 투과율을 향상시킬 수 있다.
- [0103] 또한, 본 발명의 실시예에 따른 태양전지는 광흡수체(130)의 양면에 투명 기관(제1 기관(111) 및 제2 기관(160))으로 형성함으로써, 반투과형 페로브스카이트 하이브리드 태양전지를 제조할 수 있다.
- [0105] 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 태양전지의 제조 방법을 도시한 흐름도이다.
- [0106] 도 2는 도 1의 태양 전지와 중복되는 구성요소에 대해서는 생략하기로 한다.
- [0107] 도 2를 참조하면, 본 발명의 실시예에 따른 태양전지는 제1 기관 상에 보조 전극을 형성하여, 제1 기관 및 보조 전극을 포함하는 카운터 전극을 형성하는 단계(S110), 제2 기관 상에 전자 전달층을 형성하는 단계(S120), 전자 전달층 상에 아일랜드 형태를 갖는 복수개의 광흡수체를 형성하는 단계(S130), 전자 전달층 상에 정공과 전자의 재결합을 방지하는 패시베이션층을 형성하는 단계(S140), 광흡수체 및 패시베이션층 상에 정공 전달층을 형성하는 단계 (S150) 및 정공 전달층 상에 카운터 전극을 부착하는 단계(S160)를 포함한다.
- [0108] 제1 기관 상에 보조 전극을 형성하여, 제1 기관 및 보조 전극을 포함하는 카운터 전극을 형성하는 단계(S110)를 진행한다.
- [0109] 제1 기관은 투명 기관이 사용될 수 있고, 예를 들면, 인듐 틴 옥사이드(ITO), 플루오린 틴 옥사이드(FTO), 안티몬 틴 옥사이드(ATO), 알루미늄 도핑된 징크 옥사이드(AZO), 갈륨 도핑된 징크 옥사이드(GZO), 은 나노 입자, 은 나노 와이어 및 탄소 나노 튜브(CNT)로 이루어진 군에서 선택되는 1종 이상이 사용될 수 있고, 바람직하게는, 제1 기관은 인듐 틴 옥사이드(ITO)가 사용될 수 있다.
- [0110] 보조 전극은 PEDOT:PSS (poly(3,4-ethylenedioxythiophene):poly(styrenesulfonate)) 또는 아닐린(aniline) 계 물질일 수 있다.
- [0111] 보조 전극은 스핀 코팅(Spin-coating), 슬릿 다이 코팅(Slit dye coating), 잉크젯 프린팅(Ink-jet printing), 스프레이 코팅(spray coating) 및 딥 코팅(dip coating)으로 이루어진 군에서 선택되는 어느 하나의 방법으로 형성될 수 있고, 바람직하게는, 보조 전극은 스핀 코팅으로 형성될 수 있다.
- [0112] 제2 기관 상에 전자 전달층을 형성하는 단계(S120)를 진행한다.
- [0113] 제2 기관은 투명 기관이 사용될 수 있고, 예를 들면, 인듐 틴 옥사이드(ITO), 플루오린 틴 옥사이드(FTO), 안티몬 틴 옥사이드(ATO), 알루미늄 도핑된 징크 옥사이드(AZO), 갈륨 도핑된 징크 옥사이드(GZO), 은 나노 입자, 은 나노 와이어 및 탄소 나노 튜브(CNT)로 이루어진 군에서 선택되는 1종 이상이 사용될 수 있고,

바람직하게는, 제2 전극은 플루오린 틴 옥사이드(FTO)이 사용될 수 있다.

- [0114] 전자 전달층은 열분무법, RF 마그네트론 스퍼터링, DC 마그네트론 스퍼터링, MF 마그네트론 스퍼터링, 열증발법 및 전자빔증발법으로 이루어진 군에서 선택되는 어느 하나의 방법으로 형성될 수 있고, 바람직하게는, 전자 전달층은 열분무법으로 형성될 수 있다.
- [0115] 전자 전달층 상에 아일랜드 형태를 갖는 복수개의 광흡수체를 형성하는 단계(S130)를 진행한다.
- [0116] 광흡수체는 페로브스카이트 화합물을 포함할 수 있고, 페로브스카이트 화합물은 하기 화학식 1 내지 화학식 4로 표시되는 물질일 수 있다.
- [0117] [화학식 1]
- [0118] AMX_3
- [0119] [화학식 2]
- [0120] A_2MX_4
- [0121] [화학식 3]
- [0122] AMX_4
- [0123] [화학식 4]
- [0124] $A_{n-1}M_nX_{3n+1}$
- [0125] 화학식 1 내지 화학식 4에서, A는 유기암모늄 또는 알칼리금속 물질이고, M은 금속 물질이고, X는 할로젠 원소이며, n은 2 내지 6 사이의 정수이다.
- [0126] 바람직하게는, 광흡수체는 $CH_3NH_3PbI_3$ 이 사용될 수 있다.
- [0127] 광흡수체는 스핀 코팅(Spin-coating), 슬릿 다이 코팅(Slit dye coating), 잉크젯 프린팅(Ink-jet printing), 스프레이 코팅(spray coating) 및 딥 코팅(dip coating)으로 이루어진 군에서 선택되는 어느 하나의 방법으로 형성될 수 있고, 바람직하게는, 광흡수체는 스핀 코팅으로 형성될 수 있다.
- [0128] 페로브스카이트 화합물은 이온 결정 형태를 갖기 때문에 용매가 증발하게 되면 결정이 형성되게 된다. 따라서, 본 발명의 실시예에 따른 태양전지에 사용되는 광흡수체는, 페로브스카이트 화합물을 스핀 코팅한 다음, 용매를 증발시켜 페로브스카이트 화합물을 결정화시킴으로써, 아일랜드 형태의 광흡수체를 형성할 수 있다.
- [0129] 전자 전달층 상에 정공과 전자의 재결합을 방지하는 패시베이션층을 형성하는 단계(S140)를 진행한다.
- [0130] 패시베이션층은 폴리스티렌(polystyrene), P2VP(poly(2-vinylpyridine)), P4VP(poly(4-vinylpyridine)), PMMA(poly(methyl methacrylate)), 폴리락타이드(polyactide), 폴리부타디엔(polybutadiene) 및 풀러렌(fullerene)으로 이루어진 군에서 선택된 1종 이상일 수 있고, 바람직하게는, 패시베이션층은 폴리스티렌(polystyrene)이 사용될 수 있다.
- [0131] 패시베이션층은 스핀 코팅(Spin-coating), 슬릿 다이 코팅(Slit dye coating), 잉크젯 프린팅(Ink-jet printing), 스프레이 코팅(spray coating) 및 딥 코팅(dip coating)으로 이루어진 군에서 선택되는 어느 하나의 방법으로 형성될 수 있고, 바람직하게는, 패시베이션층은 스핀 코팅으로 형성될 수 있다.
- [0132] 패시베이션층을 스핀 코팅으로 형성함으로써, 얇은 두께의 패시베이션층을 빠른 시간 내에 균일하게 형성할 수 있다.
- [0133] 광흡수체 및 패시베이션층 상에 정공 전달층을 형성하는 단계(S150)를 진행한다.
- [0134] 바람직하게는, 정공 전달층은 PTAA(poly(triarylamine))가 사용될 수 있다.
- [0135] 정공 전달층은 스핀 코팅(Spin-coating), 슬릿 다이 코팅(Slit dye coating), 잉크젯 프린팅(Ink-jet printing), 스프레이 코팅(spray coating) 및 딥 코팅(dip coating)으로 이루어진 군에서 선택되는 어느 하나의 방법으로 형성될 수 있고, 바람직하게는, 정공 전달층은 스핀 코팅으로 형성될 수 있다.

- [0136] 마지막으로, 정공 전달층 상에 카운터 전극을 부착하는 단계(S160)를 진행한다.
- [0137] 정공 전달층 상에 카운터 전극을 부착하는 단계(S180)는 정공 전달층까지 형성된 제2 기관 상에 카운터 전극을 덮고 클립으로 고정하여 완전히 건조시켜 본 발명의 실시예에 따른 태양전지를 제조할 수 있다.
- [0138] 클립으로 인해 정공 전달층까지 형성된 제2 기관과 카운터 전극 사이에 일정한 압력이 가해지기 때문에, 정공 전달층 상에 카운터 전극을 부착시킬 수 있다.
- [0140] **제조예**
- [0141] **[페로브스카이트 화합물]**
- [0142] 메틸아민(45 mL, 메탄올 중 40%, TCI) 및 요오드화수소산(50 mL, 물 중 57%, Aldrich)을 0℃ 에서 혼합하여, 1 시간 동안 교반시켰다. 교반 시킨 용액을 증발기(evaporator)를 이용하여 50℃에서 1 시간 동안 증발 시킴으로써, $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{I}$ 파우더를 얻었다. 얻은 $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{I}$ 파우더의 순도를 높이기 위하여, 에탄올에 다시 녹이고, 디에틸 에테르를 이용하여 재결정 한 뒤, 24시간 동안 진공 오븐에서 건조하여 순수한 $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{I}$ 파우더를 합성하였다. 40 wt%의 $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ 용액을 준비하기 위하여, 합성한 $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{I}$ 와 PbI_2 (Aldrich)를 1:1의 몰 비율로 γ -부틸로락톤(γ -butyloractone) 내에서 혼합하여 60 ℃에서 30분간 반응 시켰다.
- [0144] **[비교예]**
- [0145] FTO 기관(pilkington, TEC-8)을 20분 동안 에탄올 속에서 초음파분쇄기(ultrasonicator)를 이용하여 세척한 뒤, 남아있는 유기물을 제거하기 위하여 플라즈마(plasma) 처리를 하였다. TiO_2 전자 전달층을 형성하기 위하여, 에탄올 (99.5% SAMCHUN) 용액 중 20 mM의 티타늄 다이소프로폭사이드 비스(아세틸아세토네이트) (이소프로판올 중 75 %, Aldrich)를 이용하여 450 ℃에서 열분무 방법을 통해 형성하였다.
- [0146] 아일랜드 형태의 $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ 박막을 형성하기 위하여, TiO_2 전자 전달층이 형성된 FTO 기관 위에 50 μL $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ 용액을 도포한 뒤, 5000 rpm에서 120 초 동안 스핀코팅하여 100 ℃ 핫플레이트(hot plate) 위에서 2 분 동안 건조하였다.
- [0147] 카운터 전극을 형성 하기 위해서, 세척된 ITO 기관 위에 필터한 PEDOT:PSS/메탄올 (1:2 vol:vol) 용액을 50 μL 도포후, 3000 rpm에서 60 초 동안 스핀 코팅한 후, 150℃ hot plate 위에서 20분 동안 건조한다.
- [0148] 정공 전달체 용액은 1mL의 톨루엔 용액에 폴리트리아릴아민 20mg 을 용해 후, 15 μL 의 Li-TFSI/아세토나이트릴 (170mg/1mL) 용액과 30 μL t-TBP/아세토나이트릴 (1mL/1mL)용액을 첨가하여 준비한다. 준비된 정공 전달체 용액을 아일랜드 형태의 $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ 위에 도포 후, 카운터 전극을 덮고 클립으로 고정하여 완전히 건조시켜 태양전지를 제작하였다.
- [0150] **[실시예]**
- [0151] FTO 기관(pilkington, TEC-8)을 20분 동안 에탄올 속에서 초음파분쇄기(ultrasonicator)를 이용하여 세척한 뒤, 남아있는 유기물을 제거하기 위하여 플라즈마(plasma) 처리를 하였다. TiO_2 전자 전달층을 형성하기 위하여, 에탄올 (99.5% SAMCHUN) 용액 중 20 mM의 티타늄 다이소프로폭사이드 비스(아세틸아세토네이트) (이소프로판올 중 75 %, Aldrich)를 이용하여 450 ℃에서 열분무 방법을 통해 형성하였다.
- [0152] 아일랜드 형태의 $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ 박막을 형성하기 위하여, TiO_2 전자 전달층이 형성된 FTO 기관 위에 50 μL $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ 용액을 도포한 뒤, 5000 rpm에서 120 초 동안 스핀코팅하여 100 ℃ 핫플레이트(hot plate) 위에서 2 분 동안 건조하였다.
- [0153] 전자 전달층과 정공 전달층의 직접적인 접합을 통한 전자 정공의 재결합을 막기 위해, 폴리스타이렌(PS) 페시베이션 층을 형성한다. 폴리스타이렌 페시베이션 층을 형성하기 위하여, 폴리스타이렌 (MW =192,000, Aldrich)/톨루엔 (0.1g/mL) 용액 500 μL 를 아일랜드 형태의 $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ 박막 위에 도포 후 5000 rpm에서 30초 동안 스핀 코팅한다. $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ 위에 형성된 폴리스타이렌 페시베이션 층을 제거 하기 위해서, 5000 rpm 에서 스핀 코팅 중, 톨루엔 200 μL 를 도포하여 제거한다.
- [0154] 카운터 전극을 형성 하기 위해서, 세척된 ITO 기관 위에 필터한 PEDOT:PSS/메탄올 (1:2 vol:vol) 용액을 50 μL

도포후, 3000 rpm에서 60 초 동안 스핀 코팅한 후, 150°C hot plate 위에서 20분 동안 건조한다.

- [0155] 정공 전달체 용액은 1mL의 톨루엔 용액에 폴리트리아릴아민 20mg 을 용해 후, 15 μ L의 Li-TFSI/아세트나이트릴 (170mg/1mL) 용액과 30 μ L t-TBP/아세트나이트릴 (1mL/1mL)용액을 첨가하여 준비한다. 준비된 정공 전달체 용액을 아일랜드 형태의 $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ 위에 도포 후, 카운터 전극을 덮고 클립으로 고정하여 완전히 건조시켜 태양전지를 제작하였다.
- [0157] 이하에서는 도 3a 내지 도 9b를 참조하여, 본 발명의 실시예에 따른 태양전지의 특성을 설명하기로 한다.
- [0158] 도 3a 및 도 3b는 패시베이션층이 형성된 본 발명의 실시예에 따른 태양 전지의 표면 및 단면을 도시한 전자주사현미경(SEM) 이미지이다.
- [0159] 도 3a 및 도 3b를 참조하면, 노출된 노출된 전자 전달층 표면이 패시베이션층으로 완전히 덮혀 있는 것을 알 수 있다.
- [0160] 도 3c 및 도 3d는 패시베이션층이 형성되지 않은 태양 전지의 표면 및 단면을 도시한 전자주사현미경(SEM) 이미지이다.
- [0161] 도 3c 및 도 3d를 참조하면, 패시베이션층이 형성되지 않은 비교예에 따른 태양전지의 표면은 TiO_2 전자 전달층이 형성된 FTO 기판 표면에 광흡수체가 부분적으로 형성되어 있는 것을 알 수 있다.
- [0163] 도 4는 패시베이션층이 형성(w/o PS)되지 않은 비교예 및 패시베이션층이 형성(w PS)된 본 발명의 실시예에 따른 태양전지의 자외선-가시광선 스펙트럼(UV-visible absorption spectra)을 도시한 그래프이다.
- [0164] 도 4를 참조하면, 패시베이션층이 형성(w PS) 된 본 발명의 실시예에 따른 태양전지의 파장에 따른 흡광도는 패시베이션층이 형성(w/o PS)되지 않은 비교예에 따른 태양전지와 유사한 거동을 나타낸다.
- [0166] 도 5는 패시베이션층이 형성(w/o PS)되지 않은 비교예 및 패시베이션층이 형성(w PS)된 본 발명의 실시예에 따른 태양전지의 외부 양자 효율(external quantum efficiency; EQE) 스펙트럼 및 투과율(transmission)을 도시한 그래프이다.
- [0167] 도 5를 참조하면, 패시베이션층이 형성(w/o PS)되지 않은 비교예에 따른 태양전지 및 패시베이션층이 형성 (w PS) 된 본 발명의 실시예에 따른 태양전지의 평균 가시광 투과율(average visible transmittance; AVT)은 각각 ~18.6% 및 ~20.9%이었다.
- [0168] 또한, 패시베이션층이 형성(w PS)된 본 발명의 실시예에 따른 태양전지는 패시베이션층이 형성(w/o PS)되지 않은 비교예에 따른 태양전지보다 더 큰 외부 양자 효율 값을 나타내는 것을 알 수 있다.
- [0169] 외부 양자 효율을 이용하여 계산된 광전류 밀도는(photocurrent density; J_{sc})는 패시베이션층이 형성(w/o PS)되지 않은 비교예에 따른 태양전지 및 패시베이션층이 형성 (w PS) 된 본 발명의 실시예에 따른 태양전지는 각각 ~12.1 mA cm^{-2} 및 ~15.3 mA cm^{-2} 이었다.
- [0171] 도 6a는 패시베이션층이 형성(w PS)된 본 발명의 실시예에 따른 태양전지의 전압(voltage)에 따른 전류 밀도(current density)를 도시한 그래프이고, 도 6b는 패시베이션층이 형성(w/o PS)되지 않은 비교예에 따른 태양전지의 전압(voltage)에 따른 전류 밀도(current density)를 도시한 그래프이다.
- [0172] 도 6a 및 도 6b는 정방향 주사 상태(forward scan condition), 역방향 주사 상태(reverse scan direction) 및 암 상태에서 측정하였다.
- [0173] 도 6a 및 도 6b를 참조하면, 패시베이션층이 형성(w PS)된 본 발명의 실시예에 따른 태양전지는 패시베이션층이 형성(w/o PS)되지 않은 비교예에 따른 태양전지보다 더 높은 전류 밀도(current density)를 나타내는 것을 알 수 있다.
- [0174] 특히, 정방향 주사 상태(forward scan condition), 역방향 주사 상태(reverse scan direction)에서 큰 차이를 나타내었다.
- [0176] 도 7은 패시베이션층이 형성(w/o PS)되지 않은 비교예 및 패시베이션층이 형성(w PS)된 본 발명의 실시예에 따른 태양전지의 평균 효율(average efficiency)을 도시한 그래프이다.
- [0177] 도 7은 40개의 샘플을 이용하여 측정하였다.

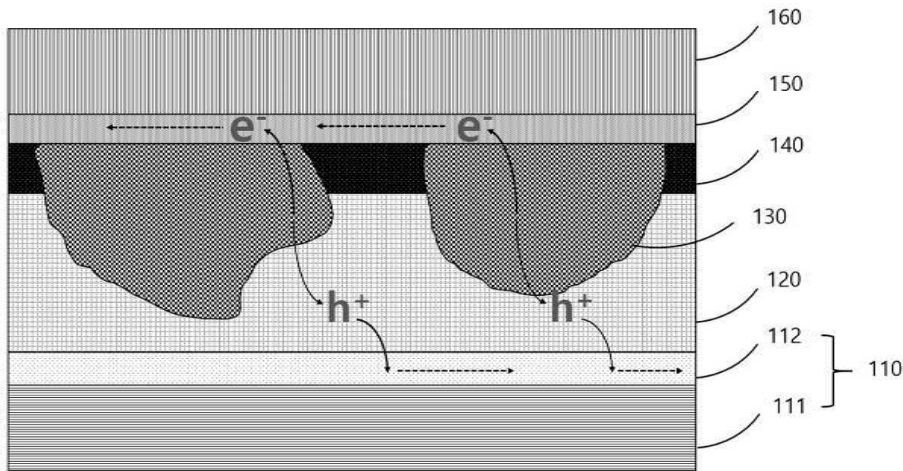
- [0178] 도 7을 참조하면, 패시베이션층이 형성(w/o PS)되지 않은 비교예에 따른 태양전지 및 패시베이션층이 형성 (w PS) 된 본 발명의 실시예에 따른 태양전지의 평균 장치 효율(average device efficiency; havg)은 각각, 2.93 ± 1.57 및 6.17 ± 2.32 로 나타났다.
- [0179] 이로 인해, 패시베이션층이 형성(w PS)된 본 발명의 실시예에 따른 태양전지의 평균 장치 효율(average device efficiency; havg)이 향상되는 것을 알 수 있다.
- [0181] 도 8은 패시베이션층이 형성(w/o PS)되지 않은 비교예 및 패시베이션층이 형성(w PS)된 본 발명의 실시예에 따른 태양전지의 저장 시간(storage time)에 따른 평균 효율(average efficiency) 및 상대 습도(relative humidity)를 도시한 그래프이다.
- [0182] 도 8을 참조하면, 패시베이션층이 형성(w/o PS)되지 않은 비교예에 따른 태양전지의 평균 효율은 6.25%에서 5.69%로 감소하였고, 패시베이션층이 형성(w PS)된 본 발명의 실시예에 따른 태양전지의 평균 효율은 10.4%에서 9.92%로 감소하는 점으로 보아, 평균 효율은 비슷한 동향을 나타내었다.
- [0183] 따라서, 패시베이션층이 형성(w PS)된 본 발명의 실시예에 따른 태양전지는 우수한 공기 및 습도 안정성을 나타내는 것을 알 수 있다.
- [0185] 도 9a는 패시베이션층이 형성(w/o PS)되지 않은 비교예 및 패시베이션층이 형성(w PS)된 본 발명의 실시예에 따른 태양전지의 강도 조절 광전류 스펙트로스코피(intensity modulated photocurrent spectroscopy; IMPS) 측정으로 얻은 확산 계수(diffusion coefficient; D_n)를 도시한 그래프 이다.
- [0186] 도 9b는 패시베이션층이 형성(w/o PS)되지 않은 비교예 및 패시베이션층이 형성(w PS)된 본 발명의 실시예에 따른 태양전지의 강도 조절 광전압 스펙트로스코피(intensity modulated photovoltage spectroscopy; IMVS) 측정으로 얻은 전하 캐리어 수명(charge carrier's life time; τ_n)을 도시한 그래프 이다.
- [0187] 도 9a 및 도 9b를 참조하면, 패시베이션층이 형성(w PS)된 본 발명의 실시예에 따른 태양전지는 패시베이션층이 형성(w/o PS)되지 않은 비교예에 따른 태양전지와 비교하여 확산계수 및 전하 캐리어 수명은 각각, 1.47배 및 1.57배 증가하였다.
- [0188] 이로 인해, 태양 전지의 전자 전달층 및 정공 전달층 사이에 패시베이션층을 도입함으로써, 전자 전달층 및 정공 전달층 사이에서의 전자 및 정공의 재조합이 현저하게 억제되는 것을 알 수 있다.
- [0190] 이상과 같이 본 발명은 비록 한정된 실시예와 도면에 의해 설명되었으나, 본 발명은 상기의 실시예에 한정되는 것은 아니며, 본 발명이 속하는 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 이러한 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다.
- [0191] 그러므로, 본 발명의 범위는 설명된 실시예에 국한되어 정해져서는 아니 되며, 후술하는 특허청구범위뿐 아니라 이 특허청구범위와 균등한 것들에 의해 정해져야 한다.

부호의 설명

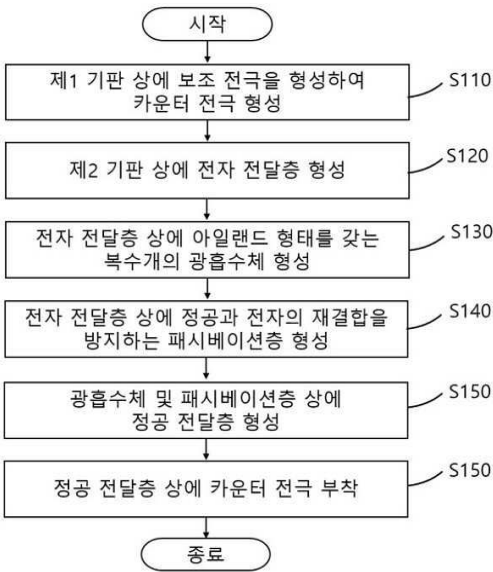
- | | | |
|--------|-------------|-------------|
| [0193] | 111: 제1 기판 | 112: 보조 전극 |
| | 110: 카운터 전극 | 120: 정공 전달층 |
| | 130: 광흡수체 | 140: 패시베이션층 |
| | 150: 전자 전달층 | 160: 제2 기판 |

도면

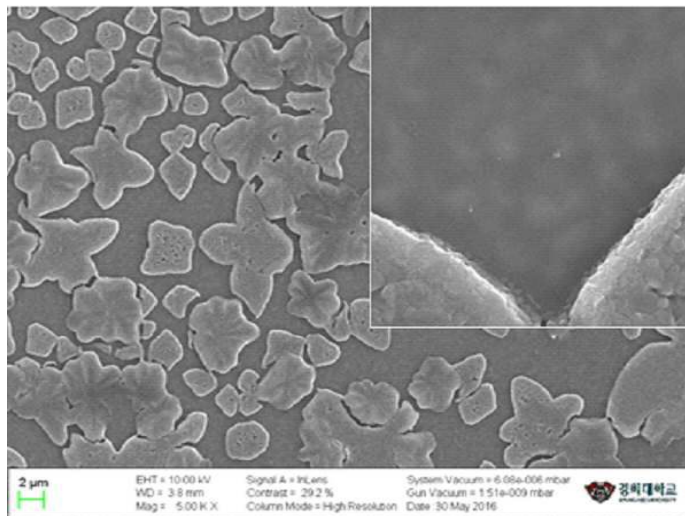
도면1



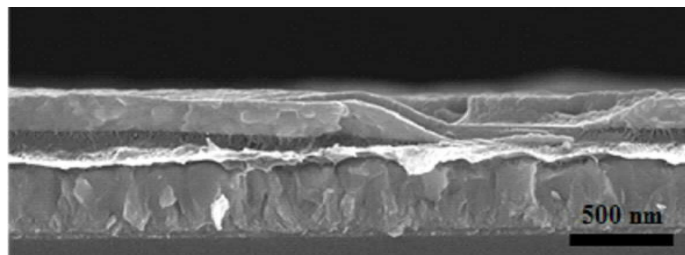
도면2



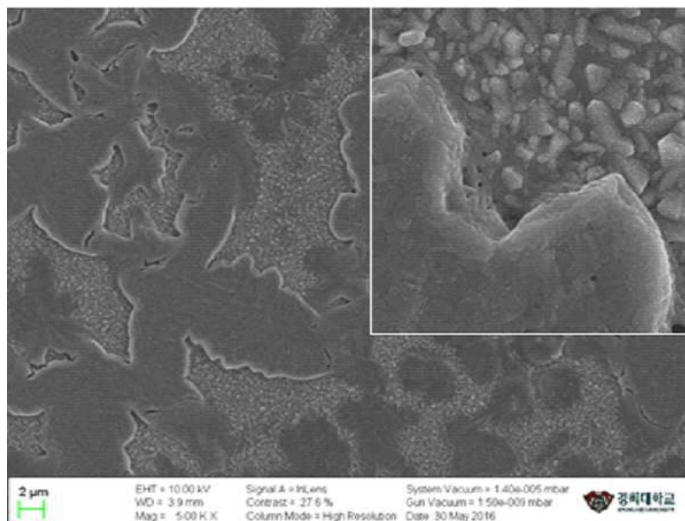
도면3a



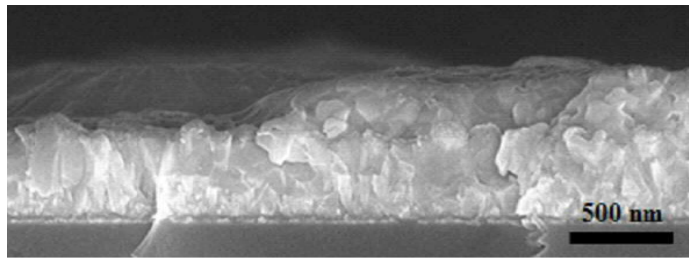
도면3b



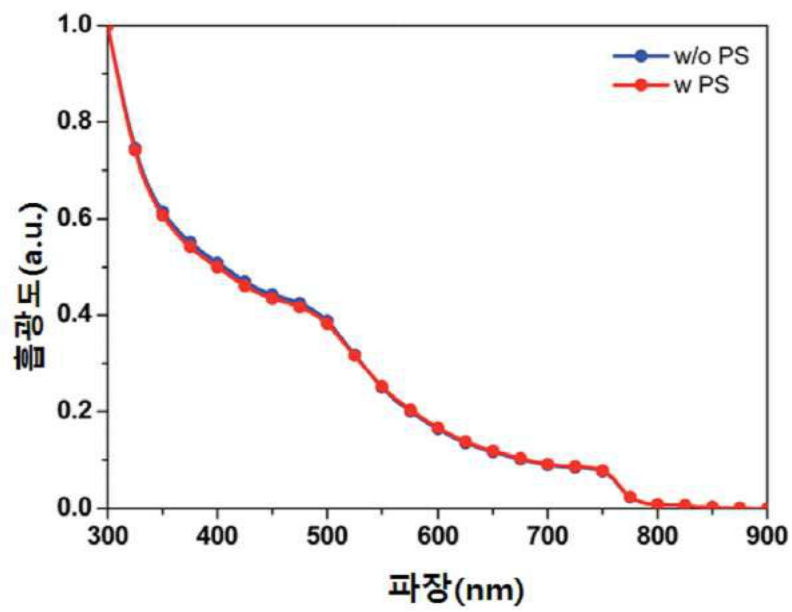
도면3c



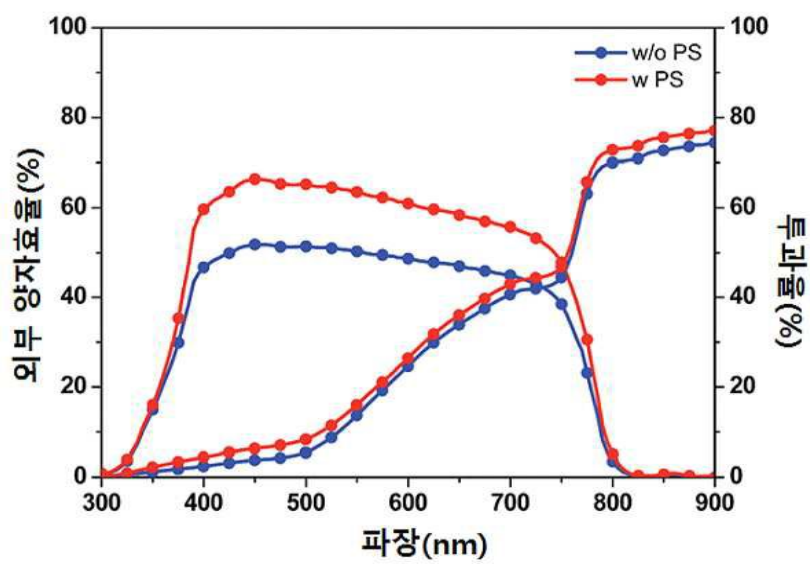
도면3d



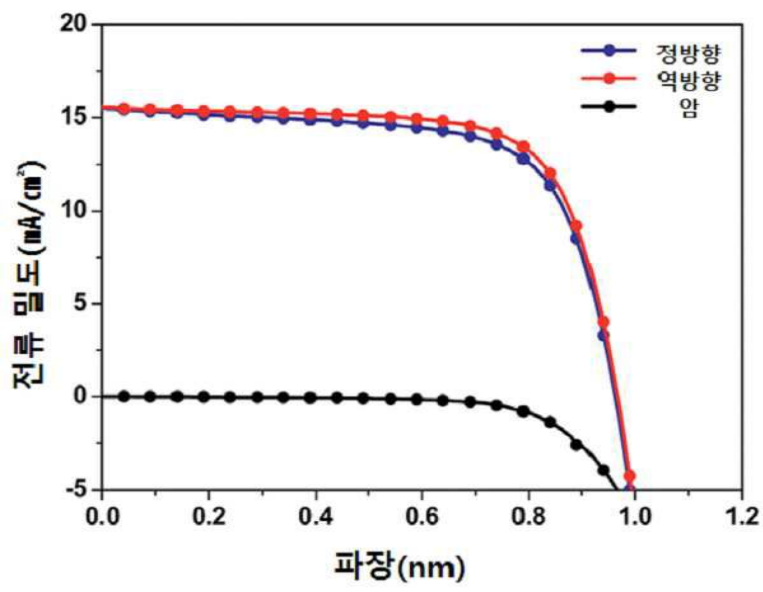
도면4



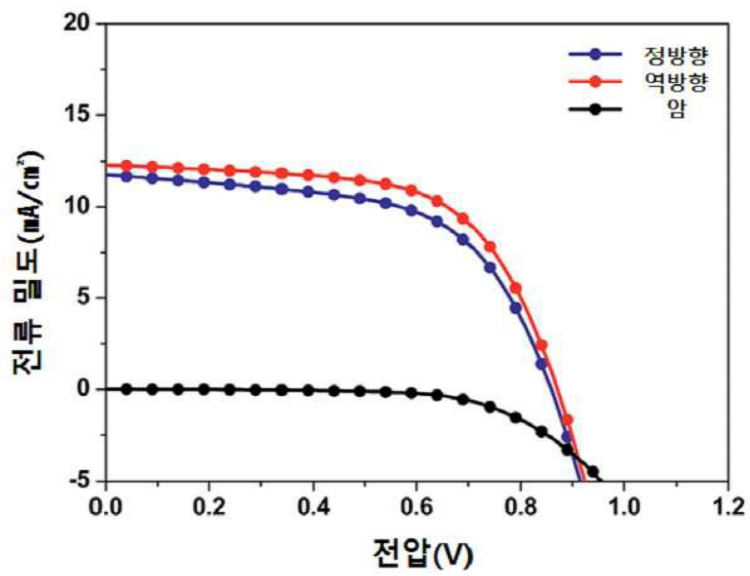
도면5



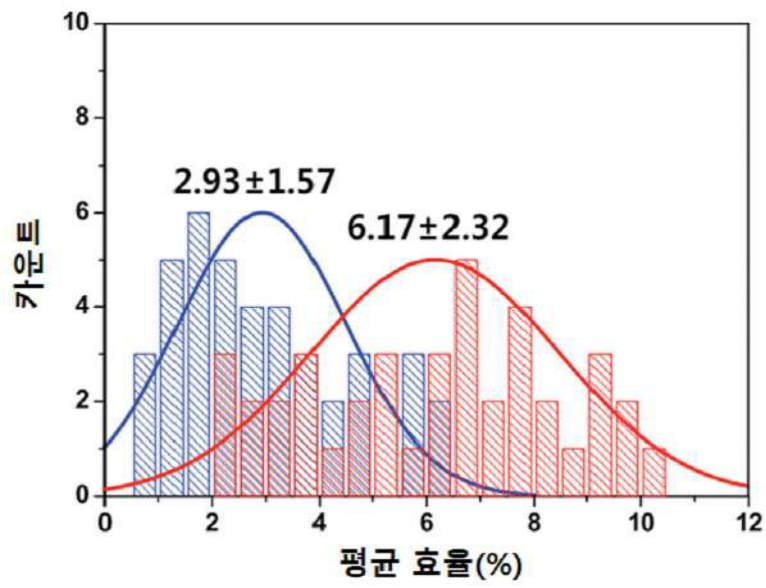
도면6a



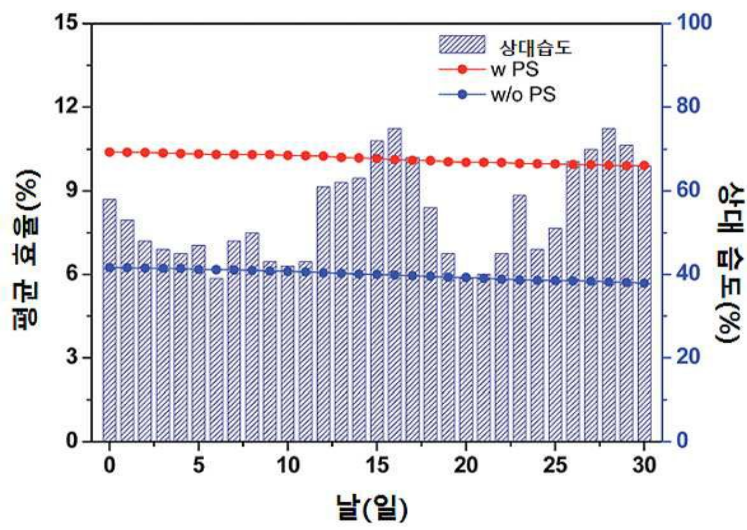
도면6b



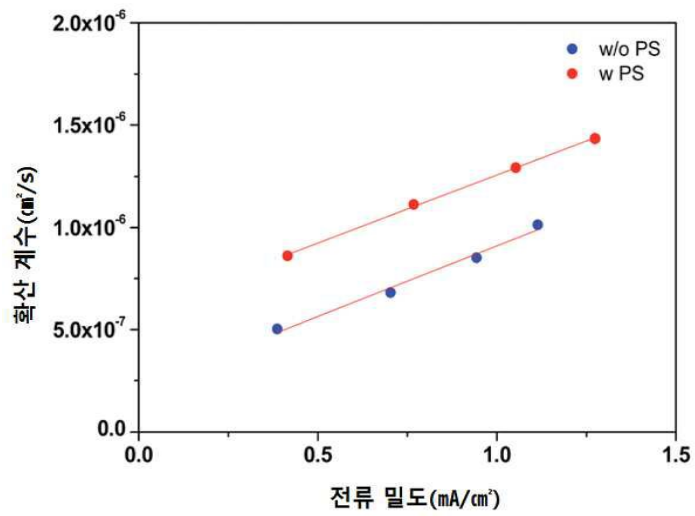
도면7



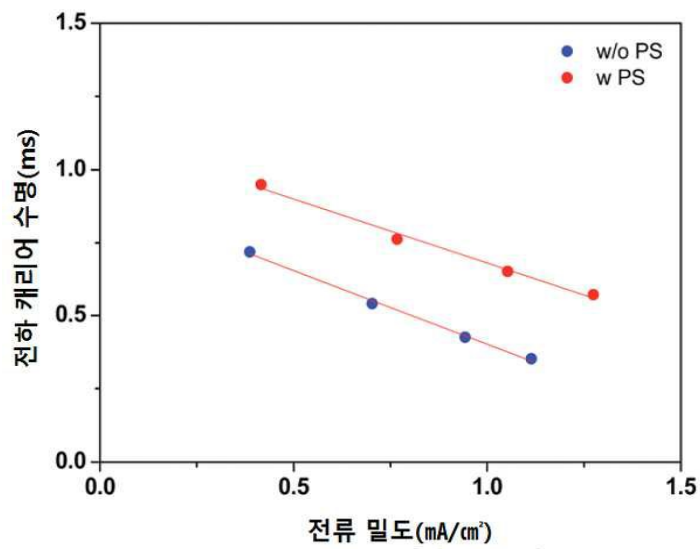
도면8



도면9a



도면9b



【심사관 직권보정사항】

【직권보정 1】

【보정항목】 청구범위

【보정세부항목】 청구항 7

【변경전】

제1항에 있어서, 제1항에 있어서,

【변경후】

제1항에 있어서,