



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2022-0165087
(43) 공개일자 2022년12월14일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

H01L 51/42 (2006.01) H01L 27/30 (2006.01)
H01L 31/078 (2006.01) H01L 51/00 (2006.01)
H01L 51/44 (2006.01)

(52) CPC특허분류

H01L 51/4213 (2013.01)
H01L 27/302 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2021-0073621

(22) 출원일자 2021년06월07일

심사청구일자 2021년06월07일

(71) 출원인

고려대학교 산학협력단

서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)

(72) 발명자

이해석

서울특별시 송파구 위례광장로 185, 102동 802호
(장지동, 위례신도시 송파푸르지오)

김동환

경기도 양평군 서종면 당목뿌리길 54

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

백두진, 김정연, 권성현, 유광철, 강일신

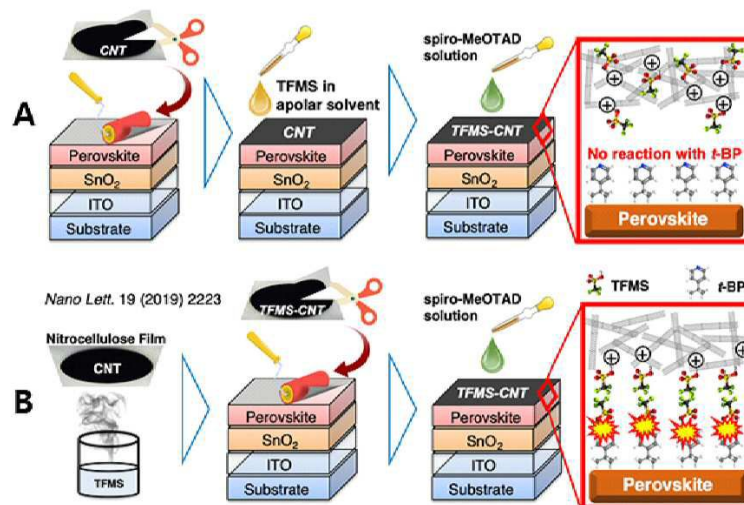
전체 청구항 수 : 총 12 항

(54) 발명의 명칭 탠덤 태양전지 및 이의 제조 방법

(57) 요약

본 발명은 기관, 상기 기관 상에 형성된 하부 셀 및 상기 하부 셀 상에 배치된 상부 셀을 포함하는 탠덤 태양전지에 있어서, 상기 상부 셀은 페로브스카이트 구조의 상부 광흡수층, 상기 상부 광흡수층 하면에 직접 적층되며, 탄소 나노 튜브로 구성된 전극층; 및 상기 전극층의 적어도 일부를 에워싸며, 상기 상부 광흡수층 하면에 직접 적층된 전공 전달층을 포함하는 탠덤 태양전지 및 이의 제조 방법을 개시한다.

대표도 - 도5



(52) CPC특허분류

H01L 31/078 (2013.01)

H01L 51/0003 (2013.01)

H01L 51/0048 (2013.01)

H01L 51/44 (2013.01)

(72) 발명자

강윤목

서울특별시 성북구 보문사길 111, 103동 505호(보문동6가, 보문파크뷰자이)

전일

부산광역시 금정구 식물원로 64, 115동 2001호

이상원

경기도 의왕시 안양관교로 64, 3동 1304호

이창현

서울특별시 동대문구 이문로 38, 704호

최동진

서울특별시 동대문구 왕산로 72, 903호

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1415168343

과제번호 20188550000450

부처명 산업통상자원부

과제관리(전문)기관명 한국에너지기술평가원

연구사업명 에너지국제공동연구(R&D)

연구과제명 고효율 태양전지 양산화를 위한 효율 24.5%급 전하선택형 실리콘 태양전지 및 모듈

화 기술 개발

기 여 율 1/2

과제수행기관명 고려대학교산학협력단

연구기간 2018.11.01 ~ 2021.10.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1711126694

과제번호 2021R1C1C1009200

부처명 과학기술정보통신부

과제관리(전문)기관명 한국연구재단

연구사업명 개인기초연구(과기정통부)(R&D)

연구과제명 고성능 투명태양전지 실현을 위한 고투과/고전도성 탄소나노튜브-고분자 전하수송

복합체 전극 개발

기 여 율 1/2

과제수행기관명 부산대학교

연구기간 2021.03.01 ~ 2022.02.28

명세서

청구범위

청구항 1

기관, 상기 기관 상에 형성된 하부 셀 및 상기 하부 셀 상에 배치된 상부 셀을 포함하는 탠덤 태양전지에 있어서,

상기 상부 셀은

페로브스카이트 구조의 상부 광흡수층,

상기 상부 광흡수층 하면에 직접 적층되며, 탄소 나노 튜브로 구성된 전극층; 및

상기 전극층의 적어도 일부를 에워싸며, 상기 상부 광흡수층 하면에 직접 적층된 전공 전달층을 포함하는 탠덤 태양전지.

청구항 2

제 1항에 있어서,

상기 전공 전달층의 두께는 상기 전극층의 두께 보다 큰 탠덤 태양전지.

청구항 3

제 1항에 있어서,

상기 전극층은 도펀트가 분산된 탠덤 태양전지.

청구항 4

제 1항에 있어서,

상기 전극층의 탄소 나노 튜브는 에어로졸화된 단일벽 탄소 나노 튜브인 탠덤 태양전지.

청구항 5

제 2항에 있어서,

상기 전극층은 가시광선 파장대역에서 80% 내지 99%의 광투과도를 갖는 탠덤 태양전지.

청구항 6

제 2항에 있어서,

상기 전극층의 두께는 20nm 내지 50nm인 탠덤 태양전지.

청구항 7

기관, 상기 기관 상에 형성된 하부 셀 및 상기 하부 셀 상에 배치된 상부 셀을 포함하는 탠덤 태양전지를 제조하는 방법에 있어서,

페로브스카이트 구조의 상부 광흡수층 하면에 탄소 나노 튜브를 적층하여, 전극층을 형성하는 단계; 및
상기 전극층의 적어도 일부를 에워싸도록 상기 상부 광흡수층 하면에 전공 전달 용액을 코팅하여 전공 전달층을 형성하는 단계; 를 포함하는 탠덤 태양전지 제조 방법.

청구항 8

제 7항에 있어서,

상기 전공 전달층을 형성하는 단계에서, 상기 전공 전달층의 두께는 상기 전극층의 두께 보다 큰 탠덤 태양전지 제조 방법.

청구항 9

제 7항에 있어서,

상기 전극층을 형성하는 단계와 상기 전공 전달층을 형성하는 단계 사이에서,

상기 전극층에 도펀트 용액을 코팅하는 도펀트 코팅 단계를 더 포함하고,

상기 도펀트 용액은 무극성 용매와 분산된 도펀트를 포함하는 탠덤 태양전지 제조 방법.

청구항 10

제 7에 있어서,

상기 전극층을 형성하는 단계에서,

상기 전극층의 탄소 나노 튜브는 에어로졸화된 단일벽 탄소 나노 튜브인 탠덤 태양전지 제조 방법.

청구항 11

제 8에 있어서,

상기 전극층은 가시광선 파장대역(300 nm - 800 nm) 및 근적외선 파장대역(800 nm - 1400 nm)에서 60% 내지 99%의 광투과도를 갖는 탠덤 태양전지 제조 방법.

청구항 12

제 8항에 있어서,

상기 전극층의 두께는 20nm 내지 50nm인 탠덤 태양전지 제조 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 탠덤 태양전지 및 그의 제조 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0003] 세계적으로 지구온난화 문제가 심화되고 있다. 이를 극복하기 위해 2015년 세계는 지구의 평균 기온 상승을 2도 이내보다 낮은 수준으로 유지하기로 하는 파리기후변화협약을 체결하였다. 따라서, 지구온난화를 막기 위해 기

존의 화석에너지의 사용을 줄이고 이를 대체할 수 있는 신재생에너지 개발이 필수적이다.

- [0004] 신재생에너지는 기존의 화석 연료를 재활용하거나 재생 가능한 에너지를 변환시켜 이용하는 에너지로 태양에너지, 지열 에너지, 해양 에너지, 바이오 에너지 등이 있다.
- [0005] 이 중 태양에너지, 태양광은 오염이 없고, 무한하며 지구 어느 곳에서도 이용이 가능하다는 장점이 있다. 태양 전지는 이를 활용하기 위해 개발되었으며, 광기전력 효과를 이용하여 태양으로부터 생성된 빛 에너지를 전기 에너지로 변환하는 소자이다.
- [0006] 유기, 무기, 유무기 하이브리드를 이용한 다양한 태양전지가 개발되었으나, 아직까지 전체 전력 생산량 중 태양 전지를 이용하여 발전된 전력의 사용은 낮은 수준이다. 이는 태양전지의 발전단가가 화석 연료를 사용해 생산한 일반 전력비용에 비해 높기 때문이다. 태양전지 효율은 태양전지의 발전단가를 결정하는 중요한자로, 가격 경쟁력을 높이기 위해서는 태양전지 효율 향상이 중요하다.
- [0007] 최근 26% 이상의 실리콘 태양전지 개발에 성공하며 꾸준한 성장을 보이고 있으나, 현재 구조의 실리콘 태양전지를 이용하여 구현 가능한 이론적 효율은 29.4%로 효율 향상의 한계가 있다.
- [0008] 현재 상용화 되어 있는 태양전지 구조는 단일 접합 구조로 되어 있어, 태양으로부터 오는 빛을 전체적으로 이용하는 것에 한계가 있다. 이를 극복하기 위해서 특정 파장대를 흡수할 수 있는 밴드갭으로 이루어진 태양전지를 적층하여 태양광 스펙트럼을 보다 효율적으로 이용하는 다중접합 태양전지 구현이 필요하다. 이때 이론적 효율 한계는 최대 87%까지 증가된다.
- [0009] 한편, 페로브스카이트 태양전지는 2009년 일본의 미야사카 교수팀이 기존의 염료 감응 태양전지에 유무기 복합 소재인 메틸암모늄납요오드화물을 적용하면서 연구가 시작되었으며, 당시 3.8%에 불과하였던 효율이 빠른 속도로 성장하며 최근 25%이상의 효율을 기록하였다.
- [0100] 페로브스카이트 태양전지 개발 전까지 III-V족 태양전지를 제외하고 다중접합의 상부 셀로 적용 가능한 높은 밴드갭을 가진 고효율 태양전지가 없었으나, 고효율 페로브스카이트 태양전지가 개발되면서 기존에 개발된 태양전지와 이중접합한 구조인 탠덤 구조로 효율을 높이는 연구가 활발히 진행되고 있다.
- [0111] 기존의 태양전지를 하부 셀로, 페로브스카이트 태양전지를 상부 셀로 이용한 탠덤 태양전지를 구현할 수 있다.
- [0122] 단파장 영역에서 더 많은 빛을 흡수하는 페로브스카이트 태양전지를 상부셀로 이용하고, 장파장 영역에서 광흡수에 용이한 실리콘 태양전지를 하부셀로 이용하여 고효율의 탠덤 태양전지를 제작함으로써 높은 변환효율을 얻을 수 있다. 상부셀과 하부셀은 따로 제작되어 결합하는 기계적 결합식으로, 페로브스카이트 상부셀의 투과도가 하부셀의 효율에 영향을 미치게 되므로 인듐 주석 산화물과 같은 투명한 금속산화물을 탠덤 태양전지에 주로 사용하고 있다.
- [0133] 하지만, 탠덤 태양전지의 상부셀에서 사용되는 금속산화물의 경우, 대부분이 스퍼터링 공정으로 증착되게 되어 페로브스카이트 소자에 손상을 주게 된다. 이러한 손상을 감소시키기 위해 물리브데늄 산화물을 열증착기를 통해 증착하게 되며 이는 광투과를 방해하는 역할을 한다. 또한 높은 진공이 필요한 기술이며 가격 및 대면적 소자 제작에 문제점을 가지고 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0155] 본 발명은 페로브스카이트 태양전지 셀에 손상을 주지 않으면서 고투과성 및 고효율의 발현이 가능한 탠덤 태양전지 및 이의 제조 방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.
- [0166] 한편, 본 발명에서 이루고자 하는 기술적 과제들은 이상에서 언급한 기술적 과제들로 제한되지 않으며, 언급하지 않은 또 다른 기술적 과제들은 아래의 기재로부터 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

- [0018] 본 발명의 실시예에 따른 탠덤 태양전지는 기관, 상기 기관 상에 형성된 하부 셀 및 상기 하부 셀 상에 배치된 상부 셀을 포함하는 탠덤 태양전지에 있어서, 상기 상부 셀은 페로브스카이트 구조의 상부 광흡수층, 상기 상부 광흡수층 하면에 직접 적층되며, 탄소 나노 튜브로 구성된 전극층; 및 상기 전극층의 적어도 일부를 에워싸며, 상기 상부 광흡수층 하면에 직접 적층된 전공 전달층을 포함할 수 있다.
- [0019] 또한, 상기 전공 전달층의 두께는 상기 전극층의 두께 보다 클 수 있다.
- [0020] 또한, 상기 전극층은 도펀트가 분산될 수 있다.
- [0021] 또한, 상기 전극층의 탄소 나노 튜브는 에어로졸화된 단일벽 탄소 나노 튜브일 수 있다.
- [0022] 또한, 상기 전극층은 가시광선 파장대역(300 nm - 800 nm) 및 근적외선 파장대역(800 nm - 1400 nm)에서 60% 내지 99%의 광투과도를 가질 수 있다.
- [0023] 또한, 상기 전극층의 두께는 20nm 내지 50nm일 수 있다.
- [0025] 또한, 본 발명의 실시예에 따른 탠덤 태양전지의 제조 방법은 기관, 상기 기관 상에 형성된 하부 셀 및 상기 하부 셀 상에 배치된 상부 셀을 포함하는 탠덤 태양전지를 제조하는 방법에 있어서, 페로브스카이트 구조의 상부 광흡수층 하면에 탄소 나노 튜브를 적층하여, 전극층을 형성하는 단계; 및 상기 전극층의 적어도 일부를 에워싸도록 상기 상부 광흡수층 하면에 전공 전달 용액을 코팅하여 전공 전달층을 형성하는 단계; 를 포함할 수 있다.
- [0026] 또한, 상기 전공 전달층을 형성하는 단계에서, 상기 전공 전달층의 두께는 상기 전극층의 두께 보다 클 수 있다.
- [0027] 또한, 상기 전극층을 형성하는 단계와 상기 전공 전달층을 형성하는 단계 사이에서, 상기 전극층에 도펀트 용액을 코팅하는 도펀트 코팅 단계를 더 포함하고, 상기 도펀트 용액은 무극성 용매와 분산된 도펀트를 포함할 수 있다.
- [0028] 또한, 상기 전극층을 형성하는 단계에서, 상기 전극층의 탄소 나노 튜브는 에어로졸화된 단일벽 탄소 나노 튜브일 수 있다.
- [0029] 또한, 상기 전극층은 가시광선 파장대역에서 80% 내지 99%의 광투과도를 가질 수 있다.
- [0030] 또한, 상기 전극층의 두께는 20nm 내지 50nm일 수 있다.

발명의 효과

- [0032] 본 발명의 실시예에 따르면, 페로브스카이트 태양전지 셀에 손상을 주지 않으면서 고투과성 및 고효율의 발현이 가능하다.
- [0033] 한편, 본 발명에서 얻을 수 있는 효과는 이상에서 언급한 효과들로 제한되지 않으며, 언급하지 않은 또 다른 효과들은 아래의 기재로부터 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

도면의 간단한 설명

- [0035] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 태양전지를 개략적으로 나타낸 예시도이다.
- 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 탠덤 태양전지를 분리하여 나타낸 예시도이다.
- 도 3은 본 발명의 실시예에 따른 탠덤 태양전지 중 상부셀을 개략적으로 나타낸 예시도이다.
- 도 4는 본 발명의 실시예 및 비교예에 따른 상부셀의 구조를 비교하여 나타낸 예시도이다.
- 도 5는 본 발명의 다른 실시예 및 비교예에 따른 상부셀의 제조 방법을 비교하여 나타낸 예시도이다.
- 도 6은 본 발명의 실시예에 따른 태양전지에서 도펀트의 농도에 따른 특성을 나타낸 그래프이다.

도 7 내지 도 9는 본 발명의 실시예에 따른 탠덤 태양전지의 특성을 나타낸 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0036] 이하, 본 발명의 실시 예를 첨부된 도면들을 참조하여 더욱 상세하게 설명한다. 본 발명의 실시 예는 여러 가지 형태로 변형할 수 있으며, 본 발명의 범위가 아래의 실시 예들로 한정되는 것으로 해석되어서는 안 된다. 본 실시 예는 당업계에서 평균적인 지식을 가진 자에게 본 발명을 더욱 완전하게 설명하기 위해 제공되는 것이다. 따라서 도면에서의 요소의 형상은 보다 명확한 설명을 강조하기 위해 과장되었다.
- [0037] 본 발명이 해결하고자 하는 과제의 해결 방안을 명확하게 하기 위한 발명의 구성을 본 발명의 바람직한 실시 예에 근거하여 첨부 도면을 참조하여 상세히 설명하되, 도면의 구성요소들에 참조번호를 부여함에 있어서 동일 구성요소에 대해서는 비록 다른 도면상에 있더라도 동일 참조번호를 부여하였으며 당해 도면에 대한 설명 시 필요한 경우 다른 도면의 구성요소를 인용할 수 있음을 미리 밝혀둔다.
- [0038] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 태양전지를 개략적으로 나타낸 예시도이고, 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 탠덤 태양전지를 분리하여 나타낸 예시도이다.
- [0039] 도 1을 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 탠덤 태양전지는 상대적으로 큰 밴드갭을 갖는 흡수층을 포함하는 단일접합 태양전지와 상대적으로 밴드갭이 작은 흡수층을 포함하는 단일접합 태양전지가 중간층(터널 접합층, 접합층 또는 inter-layer 라고도 한다)을 매개로 하여 접합된다.
- [0040] 이 중, 상대적으로 큰 밴드갭을 가지는 흡수층을 포함하는 단일접합 태양전지를 페로브스카이트(perovskite) 태양전지로 사용하는 페로브스카이트/결정질 실리콘 탠덤 태양전지로 사용할 수 있다.
- [0041] 또한, 도 2를 참조하면, 도 2A와 같이 상부셀은 페로브스카이트(perovskite) 태양전지로 구성될 수 있고, 도 2B와 같이 하부셀은 결정질 실리콘 태양전지로 구성될 수 있다.
- [0042] 한편, 본 발명에서는 하부셀은 다양한 형태의 실리콘 태양전지로 구성될 수 있으며, 본 발명에서 이를 한정하는 것은 아니다.
- [0043] 따라서, 이하에서는 탠덤 태양전지에서 상부셀에 대해 구체적으로 설명한다.
- [0044] 도 3은 본 발명의 실시예에 따른 탠덤 태양전지 중 상부셀을 개략적으로 나타낸 예시도이고, 도 4는 본 발명의 실시예 및 비교예에 따른 상부셀의 구조를 비교하여 나타낸 예시도이다.
- [0045] 도 3을 참조하면, 상부 셀(100)은 광흡수층(110), 전극층(120), 전공 전달층(130), 패시베이션층(140), 투명 전극(150) 및 기판(160)을 포함할 수 있다.
- [0046] 광흡수층(110)은 하부 셀의 광흡수층(하부 흡수층)(미도시)보다 에너지 밴드갭이 클 수 있으며, 중파장 및 단파장의 광을 흡수할 수 있다.
- [0047] 여기서, 중파장의 파장 대역은 500 nm ~ 900 nm 이고, 단파장의 파장 대역은 300 nm ~ 700 nm 일 수 있다.
- [0048] 광흡수층(110)은 태양전지에 조사된 단파장의 광을 흡수하며 여기 상태의 전자정공 쌍 즉, 엑시톤(exiton)을 형성할 수 있다.
- [0049] 여기서, 광흡수층(110)은 광활성 물질로 페로브스카이트(perovskites) 화합물로 구성될 수 있다. 페로브스카이트는 직접형 밴드갭(direct bandgap)을 가지면서 광흡수계수가 550nm에서 $1.5 \times 10^4 \text{cm}^{-1}$ 정도로 높고, 전하 이동 특성이 우수하며 결함에 대한 내성이 뛰어나다는 장점이 있다.
- [0050] 또한, 페로브스카이트 화합물은 용액의 도포 및 건조라는 극히 간단하고 용이하며 저가의 단순한 공정을 통해 광활성층을 이루는 광흡수체를 형성할 수 있는 장점이 있고, 도포된 용액의 건조에 의해 자발적으로 결정화가 이루어져 조대 결정립의 광흡수체 형성이 가능하며, 특히 전자와 정공 모두에 대한 전도도가 우수하다.
- [0051] 이러한 페로브스카이트 화합물은 ABX_3 (A는 C1-C20의 알킬기, 1개의 금속(예를들어, Li, Na, Cs, Rb 등), 1개의 유기 암모늄 이온 또는 공명구조를 가지는 formamidinium이며, B는 2개의 금속 이온이며, X는 할로젠 이온이다.)의 화학식으로 나타낼 수 있다.
- [0052] 전극층(120)은 광흡수층(110)의 일면에 형성된 에어로졸 합성 CNT로 구성될 수 있다. 이를 통해, 전극층(120)의 투과도를 향상시킬 수 있고, 장파장 대역의 광을 투과하여, 하부셀에서의 광전 효율을 향상시킬 수 있다.

- [0053] 여기서, 전극층(120)은 가시광선 파장대역에서 80% 내지 99%의 광투과도를 갖는 것이 바람직하며, 두께는 20nm 내지 50nm인 것이 바람직하다.
- [0054] 전극층(120)이 20nm 미만인 경우, 전극의 전도도가 떨어져 전자 및 전공을 수집하는데 문제가 있을 수 있고, 50nm를 초과하는 경우 투과도가 급격하게 떨어져서 탠덤 태양전지의 상부 셀로서 빛을 투과하는데 문제가 있을 수 있다.
- [0055] 한편, 임의적 배향의 네트워크를 갖는 SWCNT를 에어로졸 합성 방법으로 형성한 한 CNT 박막을 광흡수층(110) 일면에 적층하여 전극층(120)을 형성할 수 있다.
- [0056] 한편, 전극층(120)은 CNT의 치밀에 따라 투과도를 용이하게 조절할 수 있다.
- [0057] 한편, 전극층(120)은 도펀트(미도시)가 분산되어 배치될 수 있다. 이는 도 6을 참조하여 후술한다.
- [0058] 정공 전달층(130)은 Spiro-MeOTAD (2,2',7,7'-tetrakis(diphenylamino)-9,9'-spirobifluorene)로 구성될 수 있고, 전극층(120) 상에 용액 형태로 도포(예를 들어, 스핀코팅)될 수 있어, 전극층(120)의 네트워크 사이를 통과하여 광흡수층(110)의 일면에 직접 접촉되어 형성될 수 있다.
- [0059] 여기서, 전극층(120)의 두께(T1)는 정공 전달층(130)의 두께(T2)에 비해 크게 형성될 수 있다.
- [0060] 이를 통해, 상부셀(100)의 전극층(120)이 하부셀의 전극에 맞닿아 전기적으로 연결될 수 있다. 또한, 전극층이 최 외측에 존재하므로 하부셀과의 연결이 용이한 장점이 있다.
- [0061] 정공 전달층(130)은 외부의 수분이 광흡수층(110)으로 침투하는 것을 억제할 수 있다.
- [0062] 도 4A는 본 발명의 실시예에 따른 태양전지(상부 셀)의 구조를 개략적으로 나타낸 것이고, 도 4B는 종래의 태양전지(상부 셀)의 구조를 개략적으로 나타낸 것이다.
- [0063] 우선, 도 4A를 참조하면, 본 발명에 따른 전극층(120)은 광흡수층(110)에 직접 맞닿아 있어, 광흡수층(110)으로부터 음이온이 이동되는 것을 차단하고, 양이온의 이동이 용이할 수 있다.
- [0064] 이에 반해, 도 4B에 도시된 태양전지는 정공 전달층(Spiro-MeOTAD)의 일면에 전극(Au)이 적층됨에 따라, 전극(Au)과 광흡수층이 이격되어 배치될 수 있다. 따라서, 정공 전달층(Spiro-MeOTAD)을 통해 광흡수층으로부터 음이온 및 양이온이 전극(Au)에 침투될 수 있다.
- [0065] 패시베이션층(140)은 광흡수층(110)의 타측 상에 배치되며, 투광성의 절연막으로 구성될 수 있으며, 산화막 및 질화막 계열의 절연성막이 사용될 수 있다.
- [0066] 투명 전극(150)은 ZnO(Zinc Oxide), ITO(Indium Tin Oxide) 및 AZO(Aluminum-doped zinc oxide)와 같은 물질을 이용하여 투명 전도층으로 형성될 수 있다.
- [0067] 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), 은나노 입자, 은 나노 와이어 및 탄소 나노 튜브(CNT)로 이루어진 군에서 선택되는 1종 이상이 사용될 수 있다.
- [0069] 이하에서는 도 5 및 도 6을 참조하여, 본 발명의 실시예에 따른 탠덤 태양전지 중 상부셀의 제조 방법에 대해 설명한다.
- [0070] 도 5는 본 발명의 다른 실시예 및 비교예에 따른 상부셀의 제조 방법을 비교하여 나타낸 예시도이고, 도 6은 본 발명의 실시예에 따른 태양전지에서 도펀트의 농도에 따른 특성을 나타낸 그래프이다.
- [0072] 실시예
- [0073] 인듐 주석 산화물이 패터닝 된 유리 기관을 아세톤, IPA, 증류수로 세척한 후 UV-ozone 처리를 진행하여 기관의 오염을 세척한다.
- [0074] 투명전극층(SnO₂)을 형성하기 위해 SnCl₂·2H₂O 용액을 스핀코팅 한 후, 열처리를 진행하고 상온에서 식혀준다.
- [0075] 열처리 온도와 시간을 달리하며 해당 공정을 반복한 후 해당 기관에 페로브스카이트 전구체 용액을 스핀 코팅으

로 광흡수층을 형성한다.

- [0076] 열처리를 통해 짙은 갈색의 페로브스카이트 필름을 형성한 후 $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3/\text{SnO}_2/\text{ITO}/\text{glass}$ 기판에 각각 다른 투과도를 가지는 탄소나노튜브 필름을 press-transfer 방식으로 전사하여 CNT로 구성된 전극층을 형성한다.
- [0077] 이후 정공 전달 물질인 spiro-MeOTAD를 혼합용액에 분산시켜 준비된 기판 위에 스핀코팅시켜 전공전달층을 형성하여, 페로브스카이트 상부셀을 완성한다.
- [0078] 여기서, spiro-MeOTAD 분말은 클로로벤젠에 72.3 mg/mL의 농도로 실온에서 혼합할 수 있다. 이때 탄소나노튜브 전극에 적용되는 spiro-MeOTAD 혼합용액에는 일반적으로 사용되는 농도인 72.3 mg/mL (spiro-MeOTAD 분말을 클로로벤젠에 실온에서 혼합)보다 약 1.01배에서 2배 사이의 높은 농도의 비율을 사용한다.
- [0079] 이러한 높은 농도를 사용하는 것이 본 발명의 실시예에 따른 탄소나노튜브 전극을 사용하는 페로브스카이트 태양전지에서 보다 높은 광전효율을 얻을 수 있는 방법이다.
- [0080] 이렇게 완성된 페로브스카이트 상부셀을 실리콘 하부셀 상에 올려 필터로 사용할 수 있으며 이때 측정되는 실리콘 하부셀의 효율과 페로브스카이트 효율의 합이 4터미널 탠덤 태양전지의 효율이 된다.
- [0081] 또한, 도 6을 참조하면, 도펀트(triflic acid(TFMS))의 농도가 높게 되면 spiro-MeOTAD 용액에 첨가되는 4-tert-Butylpyridine과 반응하게 됨으로 도펀트(triflic acid(TFMS))의 농도는 0.015 wt%정도가 충분한 도핑 성능을 유도하면서 4-tert-Butylpyridine와의 반응을 최소화한다.
- [0083] 이하, 도 7 내지 도 9를 참조하여, 본 발명에 따른 탠덤 태양전지의 특성에 대해 설명한다.
- [0084] 도 7 내지 도 9는 본 발명의 실시예에 따른 탠덤 태양전지의 특성을 나타낸 그래프이다.
- [0085] 도 7을 참조하면, 페로브스카이트 태양전지에서 투명전극으로 많이 쓰는 ITO와 탄소나노튜브 전극의 투과도 비교하였고(7A), 각각의 전극으로 페로브스카이트 코팅 및 최종 셀을 제작한 후 투과도(7B) 및 효율(7C)을 비교하였다.
- [0086] 도 7A를 참조하면 기존 페로브스카이트 태양전지에서 사용하는 ITO/MoOx 전극과 CNT 전극의 투과율을 비교했을 시, 900nm ~ 1200nm 영역에서 CNT 전극이 투과율이 더 높은 것을 확인할 수 있다.
- [0087] 또한, 도 7B를 통해 각각의 전극들이 실제 페로브스카이트에 적용되더라도 장파장 영역에서 빛 흡수가 유리한 것을 확인할 수 있다.
- [0088] 또한, 도 7C를 참조하면, 탄소나노튜브 전극을 갖는 페로브스카이트 태양전지의 효율이 더 높은 것을 확인할 수 있다.
- [0089] 도 8을 참조하면, 본 발명의 실시예에 따른 4단자형 페로브스카이트-실리콘 탠덤 태양전지의 특성 결과를 확인할 수 있다.
- [0090] 여기서, 8A는 탄소나노튜브 전극을 사용한 페로브스카이트 상부셀, 실리콘 하부 셀의 외부 양자 효율을 나타내는 그래프이고, 8B는 상부셀, 하부셀 IV 측정 결과를 나타내는 그래프이다.
- [0091] 구체적으로 도 8A를 참조하면 상부셀로 사용되는 탄소 나노 튜브 전극을 이용한 페로브스카이트 셀의 양자 변환 효율 및 해당 필터를 씌운 하부셀의 양자효율 값을 확인할 수 있고, 도 8B를 참조하면 탄소 나노 튜브 전극을 갖는 페로브스카이트 태양전지의 효율과 하부셀로 사용된 실리콘 태양전지의 필터를 씌우기 전 후의 변환 효율을 확인할 수 있다.
- [0092] 또한, 도 9를 참조하면, 투과도에 따른 탄소 나노 튜브의 특성을 확인할 수 있다.
- [0093] 구체적으로 도 9b~e를 참조하면 탄소 나노 튜브의 사이즈가 커질수록 투과도가 높아지는 것을 확인할 수 있으며 튜브의 직경이 커질수록 투과도가 높아지는 것 또한 확인할 수 있다.
- [0095] 이상의 상세한 설명은 본 발명을 예시하는 것이다. 또한 기술한 내용은 본 발명의 바람직한 실시 형태를 나타내어 설명하는 것이며, 본 발명은 다양한 다른 조합, 변경 및 환경에서 사용할 수 있다. 즉 본 명세서에 개시된 발명의 개념의 범위, 저술한 개시 내용과 균등한 범위 및/또는 당업계의 기술 또는 지식의 범위내에서 변경 또

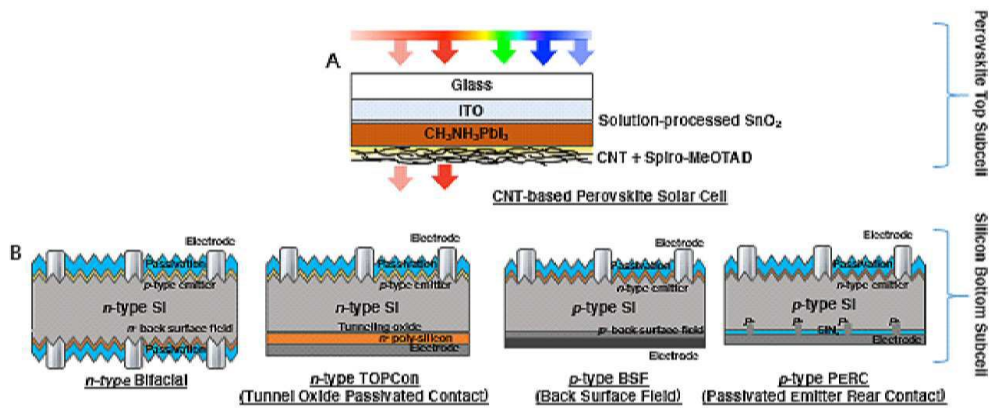
는 수정이 가능하다. 저술한 실시예는 본 발명의 기술적 사상을 구현하기 위한 최선의 상태를 설명하는 것이며, 본 발명의 구체적인 적용 분야 및 용도에서 요구되는 다양한 변경도 가능하다. 따라서 이상의 발명의 상세한 설명은 개시된 실시 상태로 본 발명을 제한하려는 의도가 아니다. 또한 첨부된 청구범위는 다른 실시 상태도 포함하는 것으로 해석되어야 한다.

도면

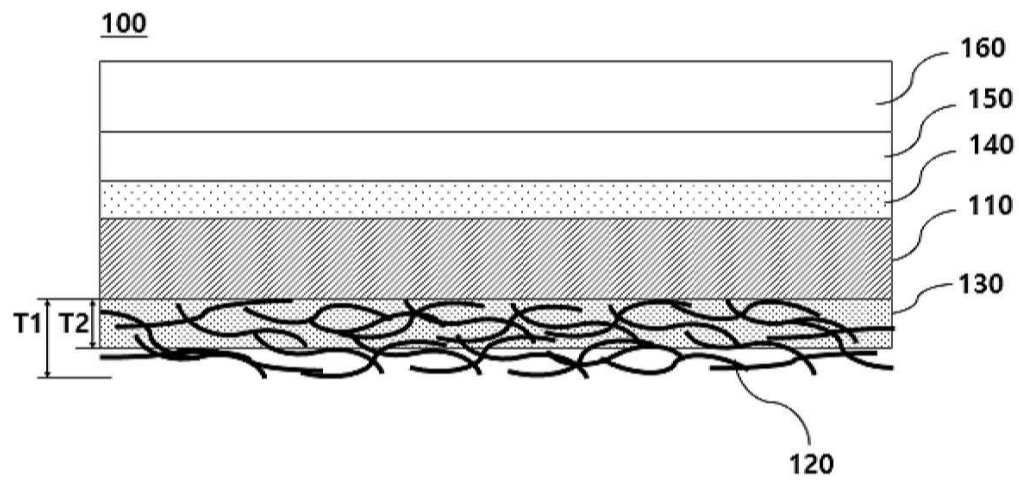
도면1



도면2



도면3



도면4

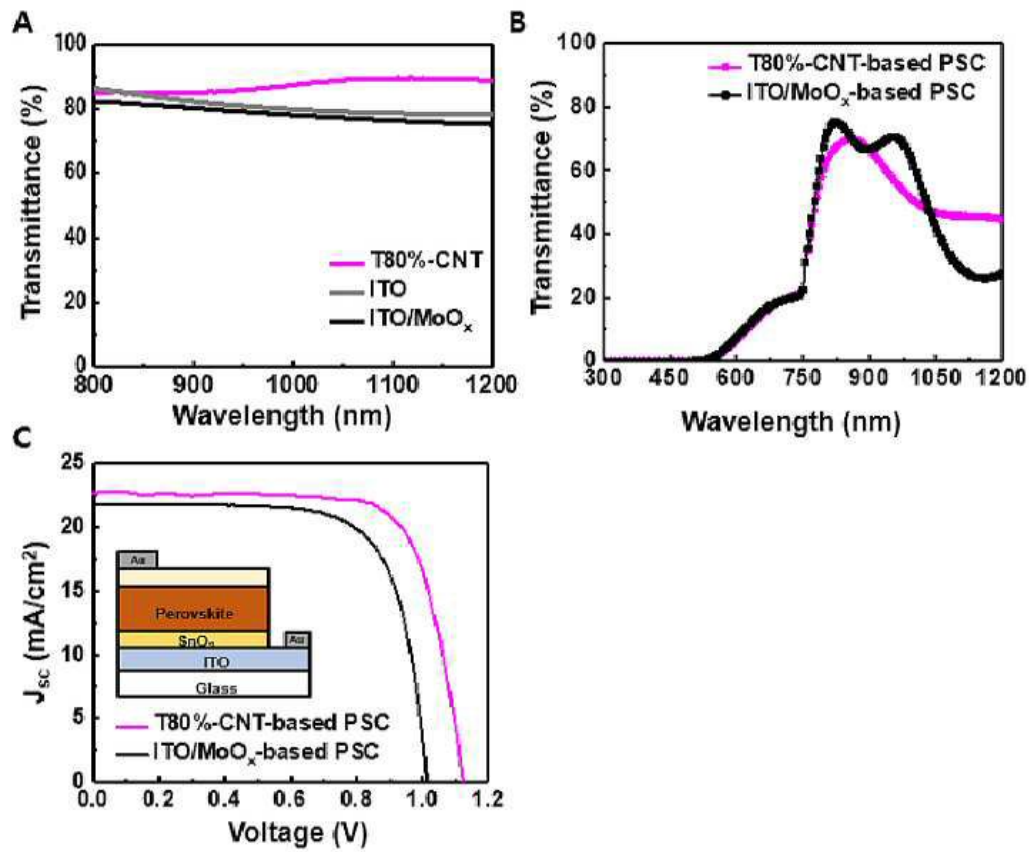


A

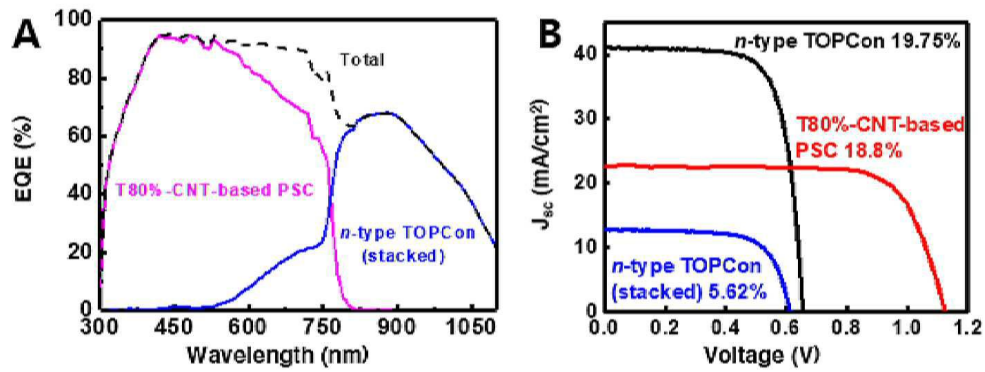


B

도면7



도면8



도면9

