



등록특허 10-2690582



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2024년07월30일

(11) 등록번호 10-2690582

(24) 등록일자 2024년07월26일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

H10K 30/57 (2023.01) H10K 102/00 (2023.01)

H10K 30/15 (2023.01) H10K 30/40 (2023.01)

H10K 30/81 (2023.01) H10K 85/50 (2023.01)

(52) CPC특허분류

H10K 30/57 (2023.02)

H10K 30/15 (2023.02)

(21) 출원번호 10-2023-0069748

(22) 출원일자 2023년05월31일

심사청구일자 2023년05월31일

(56) 선행기술조사문헌

JP2009152577 A*

KR1020120038407 A*

KR102536664 B1*

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

세종대학교산학협력단

서울특별시 광진구 능동로 209 (군자동, 세종대학교)

(72) 발명자

김희동

서울시 노원구 공릉로 126, 두산힐스빌아파트 10
2동 2104호

이두원

경기도 수원시 권선구 호매실로 166번길 33, 180
6동 2103호

(74) 대리인

특허법인이상

전체 청구항 수 : 총 11 항

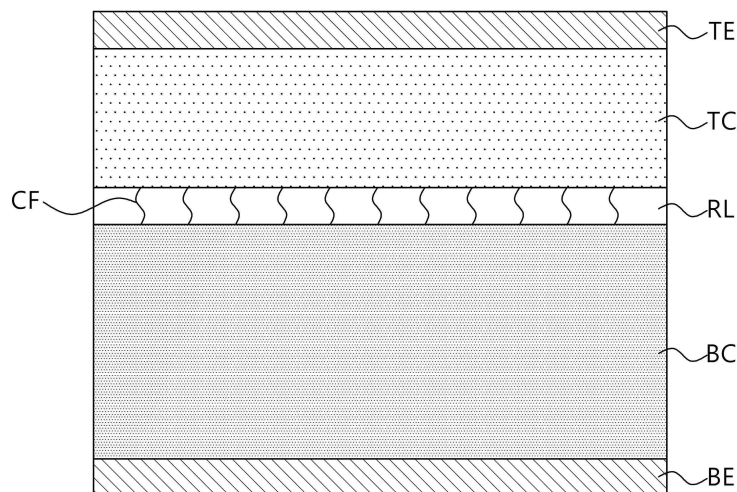
심사관 : 김진우

(54) 발명의 명칭 텐덤 태양전지

(57) 요약

텐덤 태양전지를 제공한다. 상기 태양전지는 상부 광흡수층을 포함하는 상부 서브셀, 하부 광흡수층을 포함하는 하부 서브셀, 상기 상부 서브셀의 상부면에 배치된 전면전극, 상기 하부 서브셀의 하부면에 배치된 배면전극, 및 상기 상부 서브셀과 상기 하부 서브셀 사이에 위치하고 전도성 필라멘트들을 포함하는 절연체층인 재결합층을 포함한다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

H10K 30/40 (2023.02)

H10K 30/81 (2023.02)

H10K 85/50 (2023.02)

H10K 2102/351 (2023.02)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711160792
과제번호	2020R1F1A1048423(20200813)
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	이공학개인지초연구지원
연구과제명	Gasistor 기반의 재사용 가능한 다종가스 센서 어레이 소자 연구
기 여 율	1/1
과제수행기관명	세종대학교 산학협력단
연구기간	2022.03.01 ~ 2023.02.28

명세서

청구범위

청구항 1

상부 광흡수층을 포함하는 상부 서브셀;

하부 광흡수층을 포함하는 하부 서브셀;

상기 상부 서브셀의 상부면에 배치된 전면전극;

상기 하부 서브셀의 하부면에 배치된 배면전극; 및

상기 상부 서브셀과 상기 하부 서브셀 사이에 위치하고 전도성 필라멘트들을 포함하는 절연체층인 재결합층을 포함하고,

상기 전도성 필라멘트는 산소공공 필라멘트인 텐덤 태양전지.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 전도성 필라멘트의 하단부는 상기 하부 서브셀에 전기적으로 접속하고 상단부는 상기 상부 서브셀에 전기적으로 접속하는 텐덤 태양전지.

청구항 3

청구항 1에 있어서,

상기 전도성 필라멘트를 포함하는 절연체층인 상기 재결합층은 상기 상하부 서브셀들이 흡수하는 파장의 밴드갭보다 큰 밴드갭을 갖는 텐덤 태양전지.

청구항 4

삭제

청구항 5

청구항 1에 있어서,

상기 재결합층은 상기 산소공공 필라멘트를 포함하는 절연성 금속 산화물막인 텐덤 태양전지.

청구항 6

청구항 5에 있어서,

상기 절연성 금속 산화물막은 알루미늄 산화물막, 하프늄 산화물막, 또는 실리콘 산화물막인 텐덤 태양전지.

청구항 7

청구항 6에 있어서,

상기 절연성 금속 산화물막 내 산소의 원자비는 화학양론을 만족하는 값 대비 50% 초과 100% 미만인 텐덤 태양전지.

청구항 8

청구항 7에 있어서,

상기 절연성 금속 산화물막은 실리콘 산화물막이고,

상기 실리콘 산화물막은 SiO_x ($1 < x < 2$)의 화학식으로 표시되는 텐덤 태양전지.

청구항 9

상부 광흡수층을 포함하는 상부 서브셀;

하부 광흡수층을 포함하는 하부 서브셀;

상기 상부 서브셀의 상부면에 배치된 전면전극;

상기 하부 서브셀의 하부면에 배치된 배면전극; 및

상기 상부 서브셀과 상기 하부 서브셀 사이에 위치하고 전도성 필라멘트들을 포함하는 절연체층인 재결합층을 포함하고,

상기 전도성 필라멘트는 질소공공 필라멘트인 텐덤 태양전지.

청구항 10

청구항 9에 있어서,

상기 재결합층은 상기 질소공공 필라멘트를 포함하는 절연성 금속 질화물막인 텐덤 태양전지.

청구항 11

청구항 1 또는 청구항 9에 있어서,

상기 재결합층은 1 내지 20nm의 두께로 형성되는 텐덤 태양전지.

청구항 12

청구항 1 또는 청구항 9에 있어서,

상기 하부 광흡수층은 실리콘 광흡수층이고,

상기 상부 광흡수층은 페로브스카이트 광흡수층인 텐덤 태양전지.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 전지에 관한 것으로, 보다 상세하게는 태양전지에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 최근 에너지 자원의 고갈 위기 극복 및 지구 온난화 등의 환경 문제를 극복하기 위한 신재생 에너지들이 주목받고 있다. 이러한 에너지원 중 태양광을 이용하여 전기에너지로 변화시키는 태양전지는 무공해, 무소음, 그리고 고갈될 위험이 없는 태양광을 이용하는 점에서 급격한 성장세를 보이고 있다.

[0003] 이러한 태양전지는 단일접합(single junction) 태양전지의 형태로 상용화되어 있다. 그러나 단일접합 태양전지는 태양광 에너지의 크게 제한적인 일부를 전기에너지로 변환시킬 수 있다. 이에, 텐덤 태양전지(tandem solar cell 또는 double-junction solar cell)와 같이 다양한 에너지 밴드갭을 갖는 재료들을 이용하여 단일접합 태양전지보다 넓은 스펙트럼 영역의 광에너지를 효과적으로 전기에너지로 변환할 수 있다.

[0004] 이러한 텐덤 태양전지는 상하부 서브셀들 사이에 상하부 서브셀들로부터 전달된 전자와 정공을 재결합하는 도전층이 필요하다. 이러한 도전층으로 ITO(Indium Tin Oxide)층이 이용되고 있다. 그러나, ITO층은 가시광 영역에서는 투명하지만 500nm 이하의 영역에서는 투과율이 급격하게 떨어져 이로 인해 태양전지의 전류밀도가 감소할 수 밖에 없으며, 비교적 가격이 비싼 재료이며, 상하부 층들과의 쇼트키 접촉을 함에 따라 접촉저항이 큰 문제점이 있는 것으로 알려져 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 따라서, 본 발명이 해결하고자 하는 과제는, 낮은 가격의 재료를 사용하면서도 우수한 광투과율과 더불어 상하

부층들에 대해 접촉저항이 낮으며, 또한 절연특성이 있어 패시베이션 특성이 뛰어난 재결합층을 갖는 탠덤 태양 전지를 제공함에 있다.

[0006] 본 발명의 기술적 과제들은 이상에서 언급한 기술적 과제로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 기술적 과제들은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

[0007] 상기 기술적 과제를 이루기 위하여 본 발명의 일 측면은 탠덤 태양전지의 일 예를 제공한다. 상기 태양전지는 상부 광흡수층을 포함하는 상부 서브셀, 하부 광흡수층을 포함하는 하부 서브셀, 상기 상부 서브셀의 상부면에 배치된 전면전극, 상기 하부 서브셀의 하부면에 배치된 배면전극, 및 상기 상부 서브셀과 상기 하부 서브셀 사이에 위치하고 전도성 필라멘트들을 포함하는 절연체층인 재결합층을 포함한다.

[0008] 상기 전도성 필라멘트의 하단부는 상기 하부 서브셀에 전기적으로 접속하고 상단부는 상기 상부 서브셀에 전기적으로 접속할 수 있다. 상기 전도성 필라멘트를 포함하는 절연체층인 상기 재결합층은 상기 상하부 서브셀들이 흡수하는 파장의 밴드갭 보다 큰 밴드갭을 가질 수 있다.

[0009] 상기 전도성 필라멘트는 산소공공 필라멘트일 수 있다. 상기 재결합층은 상기 산소공공 필라멘트를 포함하는 절연성 금속 산화물막일 수 있다. 상기 절연성 금속 산화물막은 알루미늄 산화물막, 하프늄 산화물막, 또는 실리콘 산화물막일 수 있다. 상기 절연성 금속 산화물막 내 산소의 원자비는 화학양론을 만족하는 값 대비 50% 초과 100% 미만일 수 있다. 상기 절연성 금속 산화물막은 실리콘 산화물막이고, 상기 실리콘 산화물막은 SiO_x ($1 < x < 2$)의 화학식으로 표시될 수 있다.

[0010] 다른 예에서, 상기 전도성 필라멘트는 질소공공 필라멘트일 수 있다. 상기 재결합층은 상기 질소공공 필라멘트를 포함하는 절연성 금속 산화물막일 수 있다.

[0011] 상기 재결합층은 1 내지 20nm의 두께로 형성될 수 있다.

[0012] 상기 하부 광흡수층은 실리콘 광흡수층이고, 상기 상부 광흡수층은 페로브스카이트 광흡수층일 수 있다.

발명의 효과

[0013] 상술한 바와 같이 본 발명에 따르면, 재결합층을 전도성 필라멘트들을 포함하는 절연체층으로 형성함에 따라 기존의 전도층 대비 비교적 가격이 저렴하여 공정단가를 감소시킬 수 있고; 절연체층 내 전도성 필라멘트는 상/하 부층에 대해 오픈 컨택을 이룰 수 있고, 기존의 전도층 대비 밴드갭이 커서 상하부 서브셀들이 흡수하는 파장을 흡수하지 않을 수 있어 높은 투과율을 나타내므로 또한 광효율을 향상시킬 수 있고, 또한 절연체층임에 따른 안정적인 패시베이션 품질을 제공함으로 개방전압을 향상시킬 수 있다.

[0014] 그러나, 본 발명의 효과들은 이상에서 언급한 효과로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 효과들은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

도면의 간단한 설명

[0015] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 탠덤 태양전지를 개략적으로 나타낸 단면도이다.

도 2는 도 1을 참조하여 기술한 탠덤 태양전지의 일 예를 보여주는 단면도이다.

도 3은 제조예에 따른 탠덤 태양전지와 비교예에 따른 단층 태양전지의 암(dark) 상태의 IV 커브를 나타낸 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0016] 이하, 본 발명을 보다 구체적으로 설명하기 위하여 본 발명에 따른 바람직한 실시예를 첨부된 도면을 참조하여 보다 상세하게 설명한다. 그러나, 본 발명은 여기서 설명되어지는 실시예에 한정되지 않고 다른 형태로 구체화될 수도 있다. 도면들에 있어서, 층이 다른 층 또는 기판 "상"에 있다고 언급되어지는 경우에 그것은 다른 층 또는 기판 상에 직접 형성될 수 있거나 또는 그들 사이에 제 3의 층이 개재될 수도 있다. 본 실시예들에서 "제 1", "제 2", 또는 "제 3"은 구성요소들에 어떠한 한정을 가하려는 것은 아니며, 다만 구성요소들을 구별하기 위한 용어로서 이해되어야 할 것이다.

- [0018] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 탠덤 태양전지를 개략적으로 나타낸 단면도이다.
- [0019] 도 1을 참조하면, 탠덤 태양전지는 배면전극(BE), 하부 서브셀(BC), 재결합층(RL), 상부 서브셀(TC), 및 전면전극(TE)를 포함한다.
- [0020] 전면전극(TE)는 광원 즉, 태양을 바라보는 면에 배치될 수 있다. 상기 전면전극(TE)은 상하부 서브셀들(TC, BC)에서 흡수되는 파장영역의 광을 투과시킬 수 있는 투명전극일 수 있다. 상기 전면전극(TE)은 ITO(indium tin oxide) 또는 도핑된 ZnO 박막으로 형성될 수 있다. 그러나 상기 전면전극(TE)이 상기 상부 서브셀(TC)의 일부분 상에 상부 전극 라인의 형태로 형성되는 경우에는 불투명 도전체로 형성될 수도 있다.
- [0021] 상기 하부 서브셀(BC)과 상기 상부 서브셀(TC) 각각은 입사된 광 예를 들어, 태양광에 의해 전자-정공 쌍을 생성하는 광흡수층 및 상기 광흡수층에서 생성된 전자-정공쌍을 분리하여 전자와 정공을 각각 전도하는 전자전도층과 정공전도층을 구비한다. 상기 상부 서브셀(TC) 내의 광흡수층 즉, 상부 광흡수층 밴드갭은 상기 하부 서브셀(BC) 내의 광흡수층 즉, 하부 광흡수층의 밴드갭 대비 커서 입사되는 태양광 중 짧은 파장 영역을 흡수할 수 있다. 상기 하부 서브셀(BC)는 실리콘 광흡수층을 포함하고, 상기 상부 서브셀(TC)는 페로브스카이트 광흡수층을 포함하나 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0022] 상기 배면전극(BE)은 상기 배면전극(BE)에 도달한 광을 반사시켜, 상기 상하부 서브셀들(TC, BC) 내의 광 흡수율을 향상시킬 수 있는 반사전극일 수 있다. 상기 배면전극(BE)은 상기 하부 서브셀(BC)의 하부면 전체에 형성된 것으로 도시되었으나 이에 한정되지 않고, 상기 하부 서브셀(BC)의 하부면 중 일부분 상에 하부 전극 라인의 형태로 형성될 수도 있다. 상기 배면전극(BE)은 금속 박막 일 예로서, 니켈(Ni), 구리(Cu), 은(Ag), 알루미늄(Al), 주석(Sn), 아연(Zn), 인듐(In), 티타늄(Ti), 금(Au)으로 형성될 수 있다.
- [0023] 상기 재결합층(RL)은 상기 상부 서브셀(TC)로부터 전도된 전자와 정공 중 어느 하나와 상기 하부 서브셀(BC)로부터 전도된 전자와 정공 중 다른 하나가 재결합되는층을 의미한다. 이 때, 상기 재결합층(RL)은 전도성 필라멘트(CF)를 포함하는 절연체층일 수 있다. 상기 전도성 필라멘트(CF)의 하단부는 상기 하부 서브셀(BC)에 전기적으로 접속하고 상단부는 상기 상부 서브셀(TC)에 전기적으로 접속하여 상기 상하부 서브셀들(TC, BC)로부터 전도된 전자와 정공을 재결합할 수 있다. 다시 말해서 상기 전도성 필라멘트(CF)는 상기 재결합층(RL)을 관통하도록 형성될 수 있다.
- [0024] 상기 전도성 필라멘트(CF)를 포함하는 절연체층인 상기 재결합층(RL)은 상기 상하부 서브셀들(TC, BC)이 흡수하는 파장영역의 광의 밴드갭 보다 큰 밴드갭을 가질 수 있다. 이 경우 상기 재결합층(RL)에 의해 광흡수가 일어나지 않아 태양전지의 광효율이 향상될 수 있다.
- [0025] 상기 재결합층(RL)은 일 예로서, 상기 전도성 필라멘트(CF)로서 산소공공 필라멘트를 포함하는 절연성 금속 산화물막 또는 상기 전도성 필라멘트(CF)로서 질소공공 필라멘트를 포함하는 절연성 금속 질화물막일 수 있다. 이 때 금속은 준금속을 포함하는 개념일 수 있다.
- [0026] 상기 절연성 금속 산화물막은 알루미늄 산화물막, 하프늄 산화물막, 또는 실리콘 산화물막일 수 있고, 내부에 산소공공 필라멘트가 형성되기 위해서는 산소의 원자비가 화학양론을 만족하는 값에 비해 작을 수 있다. 일 예로서, 산소의 원자비는 화학양론을 만족하는 값 대비 50% 초과 100% 미만일 수 있다. 예를 들어, 상기 절연성 금속 산화물막이 실리콘 산화물막인 경우, 산소의 원자비는 화학양론을 만족하는 값인 2 대비 50% 초과 100% 미만인 1초과 2 미만의 값을 가질 수 있다. 구체적으로, 실리콘 산화물막은 SiO_x ($1 < x < 2$)의 화학식으로 표시될 수 있다.
- [0027] 상기 절연성 금속 질화물막은 알루미늄 질화물막, 하프늄 질화물막, 또는 실리콘 질화물막일 수 있다. 또한, 내부에 질소공공 필라멘트가 형성되기 위해서는 질소의 원자비가 화학양론을 만족하는 값에 비해 작을 수 있다. 일 예로서, 질소의 원자비는 화학양론을 만족하는 값 대비 50% 초과 100% 미만일 수 있다.
- [0028] 이러한 재결합층(RL)은 위와 같이 산소 또는 질소의 원자비가 화학양론을 만족하는 값에 비해 작아 절연체의 형성단계에서 상기 전도성 필라멘트가 생성될 수 있다. 일 예로서, 상기 재결합층(RL)은 스퍼터링 또는 증발법 등의 물리기상증착법(PVD), 화학기상증착법(CVD), 스핀코팅 또는 스프레이 코팅법등의 액상코팅법으로 형성될 수 있다. 상기 재결합층(RL)의 가장 얇은 영역의 두께는 상기 전도성 필라멘트(CF)가 상기 재결합층(RL)을 관통하기에 충분히 얇은 두께 일 예로서, 약 1 내지 20nm의 두께로 형성될 수 있다. 또한, 상기 재결합층(RL)의 가장 얇은 영역의 두께는 절연체층의 터널링이 가능하지 않는 두께 이상으로 형성될 수 있다.
- [0029] 이러한 재결합층(RL)은 기존의 전도층 대비 비교적 가격이 저렴한 절연체층을 사용함에 따라 공정단가를 감소

시킬 수 있고; 절연체층 내 전도성 필라멘트는 상/하부층에 대해 오픈 콘택을 이룰 수 있고, 기존의 전도층 대비 밴드갭이 커서 상하부 서브셀들이 흡수하는 파장을 흡수하지 않을 수 있어 높은 투과율을 나타내므로 또한 광효율을 향상시킬 수 있고, 또한 절연체층임에 따른 안정적인 패시베이션 퀄리티를 제공함으로써 개방전압을 향상시킬 수 있다.

[0031] 도 2는 도 1을 참조하여 기술한 탠덤 태양전지의 일 예를 보여주는 단면도이다. 구체적으로, 도 2는 도 1의 하부 서브셀(BC)이 실리콘 광흡수층을 포함하고, 상기 상부 서브셀(TC)이 페로브스카이트 광흡수층을 포함하는 예를 도시한다. 따라서, 하기에서는 필요한 경우를 제외하고는 도 1에서 기술된 부분을 반복하지 않을 수 있다.

[0032] 도 2를 참조하면, 하부 광흡수층(100)이 제공된다. 상기 하부 광흡수층(100)은 반도체층으로, 실리콘층, CIGS(copper indium gallium selenide)층, 또는 CdTe(Cadmium-Telluride)층일 수 있다. 일 예로서, 상기 하부 광흡수층(100)은 제1 도전형질을 갖는 반도체층으로, 제1 도전형질을 갖는 결정질 실리콘 기판 일 예로서, 단결정 또는 다결정 실리콘 기판일 수 있다. 일 예로서, 상기 하부 광흡수층(100)은 n형 또는 p형 단결정 실리콘 기판일 수 있다.

[0033] 상기 하부 광흡수층(100)은 태양광이 주로 입사되는 수광면인 전면(front surface)과 이의 반대면인 배면(back surface)을 가질 수 있다.

[0034] 상기 하부 광흡수층(100)의 적어도 일면 일 예로서, 전면은 텍스처링(texturing)될 수도 있다. 그러나, 이에 한정되지 않고 전면과 더불어 배면 또한 텍스처링될 수 있다. 구체적으로, 상기 하부 광흡수층(100)의 텍스처링된 면은 다수의 불규칙한 요철구조 즉, 요부와 상기 요부들에 의해 정의되는 철부를 가질 수 있다. 일 예로서, 상기 하부 광흡수층(100)의 텍스처링된 면에는 요부로서 다수의 피라미드들이 형성되고, 이들 피라미드들 사이에 이 피라미드들에 의해 정의되는 철부가 형성될 수 있다. 상기 피라미드들은 마이크로미터 사이즈의 폭과 높이 일 예로서 약 3 내지 10 μm 의 폭과 높이를 갖는 것들일 수 있다. 상기 텍스처링에 의해 생성된 요철구조는 입사되는 태양광의 반사율을 감소시키고 또한 내부 반사를 유도하여 흡수되는 빛의 양을 증가시키는 역할을 할 수 있다. 또한, 이러한 텍스처링은 등방성 혹은 이방성 식각으로 수행할 수 있으며, 일 예로서 습식식각에 의해 진행할 수 있다.

[0035] 상기 하부 광흡수층(100)의 전면 상에 에미터층(114)이 형성될 수 있다. 일 예에서, 상기 에미터층(114)은 상기 제1 도전형질의 반대형인 제2 도전형질의 반도체층일 수 있다. 일 예로서, 상기 제1 도전형질이 n형인 경우 상기 제2 도전형질은 p형일 수 있고, 상기 제1 도전형질이 p형인 경우 상기 제2 도전형질은 n형일 수 있다. 상기 에미터층(114)은 비정질 실리콘층일 수 있다. 상기 하부 광흡수층(100)이 제1 도전형질을 갖는 반도체층인 경우, 상기 하부 광흡수층(100)과 상기 에미터층(114) 사이에는 PN 접합이 형성되고, 입사된 태양광에 의해 생성된 전자-정공 쌍은 PN 접합에 의한 전기장에 의해 전자는 n형 반도체로 이동하고 정공은 p형 반도체로 이동하여 분리될 수 있다.

[0036] 상기 에미터층(114)을 형성하기 전에, 상기 하부 광흡수층(100)의 전면 상에 전면 터널 절연막(112)과 전면 진성 반도체층(113) 중 적어도 하나의 층을 형성할 수 있다. 상기 전면 터널 절연막(112)과 상기 전면 진성 반도체층(front intrinsic semiconductor layer, 113)은 상기 전자와 정공의 재결합을 방지하는 역할을 하는 층들일 수 있다. 상기 전면 터널 절연막(112)은 일 예로서, 알루미늄 산화막, 실리콘 산화막, 실리콘 질화막, 또는 이들의 조합일 수 있다. 또한, 상기 전면 터널 절연막(112)은 전하의 터널링이 가능할 정도로 얇은 두께 일 예로서, 수 옹스트롬 내지 수 나노미터로 형성될 수 있다. 상기 전면 진성 반도체층(113)은 일 예로서 진성 비정질 실리콘층일 수 있다.

[0037] 상기 에미터층(114) 상에 제1 투명한전극(115)을 형성할 수 있다. 상기 제1 투명한전극(115)은 광을 투과시킬 수 있으면서도 상기 에미터층(114)의 대부분의 면적 상에 형성되어 접촉 저항 또한 감소시킬 수 있다. 상기 제1 투명한전극(115)은 ITO(indium tin oxide) 또는 도핑된 ZnO 박막으로 형성될 수 있다. 다만, 이에 한정되지 않고 상기 제1 투명한전극(115)은 생략될 수 있다.

[0038] 상기 전면 터널 절연막(112), 상기 전면 진성 반도체층(113), 상기 에미터층(114), 및 상기 제1 투명한전극(115)은 상기 하부 광흡수층(100)의 요철구조를 평탄화시키지 않을 정도의 두께를 갖고 또한 상기 요철구조 상에 컨포멀(conformal)하게 형성될 수 있다. 이에 따라, 상기 하부 광흡수층(100)에 형성된 표면 요철구조는 상기 에미터층(114) 및 상기 제1 투명한전극(115) 상에서도 유지될 수 있다.

[0039] 상기 제1 투명한전극(115) 상에 혹은 상기 제1 투명한전극(115)이 생략된 경우 상기 에미터층(114) 상에 도 1을 참조하여 설명한 재결합층(RL)을 형성할 수 있다. 상기 재결합층(RL)은 상기 광흡수층(100) 요철구조의 요부에 비

하여 철부(100a) 상에서는 얇은 두께로 형성될 수 있다. 따라서, 상기 재결합층(RL)의 상기 철부(100a) 상에 위치한 부분에서 전도성 필라멘트(CF)가 더 용이하게 형성될 수 있다. 그 이유는 전도성 필라멘트(CF)는 결함의 일종이므로, 편평한 부분 보다는 상대적으로 뽕족한 부분 상에 형성될 때 결함형성 가능성이 높아지기 때문으로 추정된다. 이 경우, 상기 재결합층(RL)은 상기 철부(100a) 상에 위치한 부분의 두께 즉, 상기 재결합층(RL)이 가장 얇은 영역의 두께가 상기 전도성 필라멘트(CF)가 상기 재결합층(RL)을 관통하기에 충분히 얇은 두께 즉, 약 20nm 이하의 두께로 형성될 수 있다. 또한, 상기 재결합층(RL)은 상기 철부(100a) 상에 위치한 부분의 두께 즉, 상기 재결합층(RL)이 가장 얇은 영역의 두께가 절연체층의 터널링이 가능하지 않는 두께 이상으로 형성될 수 있다.

[0040] 상기 광흡수층(100)의 배면 상에 배면 전계층(back-surface field layer, BSF layer)(124) 즉, 제1 도전형의 반도체층이 형성될 수 있다. 이 때, 상기 배면 전계층(124)은 상기 광흡수층(100) 대비 제1 도전형의 도펀트 농도가 더 높은 층으로 배면에서의 전자-정공 재결합을 억제하는 역할을 할 수 있다. 상기 배면 전계층(124)은 제1 도전형의 비정질 실리콘층일 수 있다.

[0041] 상기 배면 전계층(124)을 형성하기 전에, 상기 광흡수층(100)의 배면 상에 배면 터널 절연막(122)과 배면 진성 반도체층(123) 중 적어도 하나의 층이 형성될 수 있다. 상기 배면 터널 절연막(122)과 상기 배면 진성 반도체층(123)은 전자와 정공의 재결합을 방지하는 역할을 하는 패시베이션층들일 수 있다. 상기 배면 터널 절연막(122)은 일 예로서, 알루미늄 산화막, 실리콘 산화막, 실리콘 질화막, 또는 이들의 조합일 수 있다. 또한, 상기 배면 터널 절연막(122)은 전하의 터널링이 가능할 정도로 얇은 두께 일 예로서, 수 옹스트롬 내지 수 나노미터로 형성될 수 있다. 상기 배면 진성 반도체층(123)은 진성 비정질 실리콘층일 수 있다.

[0042] 상기 배면 터널 절연막(122), 상기 배면 진성 반도체층(123), 및 상기 배면 전계층(124)은 상기 광흡수층(100) 배면 상에 형성된 요철구조를 평탄화시키지 않을 정도의 두께를 갖고 또한 상기 요철구조 상에 컨포말(conformal)하게 형성될 수 있다.

[0043] 상기 배면 전계층(124) 상에 배면전극(BE)이 형성될 수 있다. 상기 배면전극(BE) 또한 상기 요철구조를 평탄화시키지 않을 정도의 두께를 갖고 또한 상기 요철구조 상에 컨포말하게 형성될 수 있으나 이에 한정되지 않고, 도시된 바와 같이 요철구조를 충분히 덮을 수 있는 구조로 형성될 수도 있다.

[0044] 상기 재결합층(RL) 상에 제2 중간 투명전극(225)을 형성할 수 있다. 상기 제2 중간 투명전극(225)은 광을 투과시킬 수 있으면서도 상기 재결합층(RL)의 대부분의 면적 상에 형성되어 접촉 저항 또한 감소시킬 수 있다. 상기 제2 중간 투명전극(225)은 ITO(indium tin oxide) 또는 도핑된 ZnO 박막으로 형성될 수 있다. 다만, 이에 한정되지 않고 상기 제2 중간 투명전극(225)은 생략될 수 있다.

[0045] 상기 제2 중간 투명전극(225), 혹은 상기 제2 중간 투명전극(225)이 생략된 경우 상기 재결합층(RL) 상에 제1 전하전달층(224), 페로브스카이트 광흡수층(200), 제2 전하 전달층(214), 및 상부 투명전극(TE)를 순차적으로 적층하여 상부 서브셀(TC)을 형성할 수 있다. 상기 제1 전하전달층(224)은 상기 배면 전계층(124)과 동일한 도전형을 가질 수 있고, 상기 제2 전하 전달층(214)은 상기 에미터층(114)과 동일한 도전형을 가질 수 있다. 이 경우, 텐덤 태양전지는 상기 하부 셀(BC)과 상기 상부 서브셀(TC)이 직렬로 연결될 수 있다.

[0046] 페로브스카이트 광흡수층(200)은 태양으로부터 빛 에너지를 받아 정공-전자쌍을 생성하고, 생성된 전자-정공 쌍은 전기장에 의해 전자는 n형 반도체로 이동하고 정공은 p형 반도체로 이동하여 분리될 수 있다. 상기 배면 전계층(124)이 p형 반도체이고 상기 에미터층(114)이 n형 반도체인 경우, 상기 제1 전하전달층(225)은 정공 전달층일 수 있고 상기 제2 전하 전달층(214)은 전자 전달층일 수 있다. 이 경우, 상기 재결합층(RL) 내의 상기 전도성 필라멘트(CF)에서 상기 제1 전하전달층(225)으로부터 전달된 정공과 상기 에미터층(114)으로부터 전달된 전자가 재결합될 수 있다. 그러나, 이에 한정되지 않고 상기 배면 전계층(124)이 n형 반도체이고 상기 에미터층(114)이 p형 반도체인 경우, 상기 제1 전하전달층(225)은 전자 전달층일 수 있고 상기 제2 정공 전달층(214)은 전자 전달층일 수 있다. 이 경우, 상기 재결합층(RL) 내의 상기 전도성 필라멘트(CF)에서 상기 제1 전하전달층(225)으로부터 전달된 전자와 상기 에미터층(114)으로부터 전달된 정공이 재결합될 수 있다.

[0047] 페로브스카이트 광흡수층(200)은 AMX_3 으로 표시될 수 있다. 여기서, A는 1가의 유기 암모늄 양이온 구체적으로 C1 내지 C10의 알킬암모늄 양이온 또는 금속 양이온일 수 있고, M은 2가의 금속 양이온일 수 있고, X는 할로젠 음이온일 수 있다. 구체적으로, A는 Cs^+ , $C_nH_{2n+1}NH_3^+$ (n은 1 내지 9의 정수, 일 예로서 n은 1 내지 2의 정수), NH_4^+ , 및 $HC(NH_2)_2^+$ 로 이루어진 군으로부터 선택되는 적어도 어느 하나의 1가의 양이온이고, M는 Pb^{2+} , Sb^{2+} , Ge^{2+}

등의 2가의 금속 양이온이고, X는 F^- , Cl^- , Br^- , I^- 및 이들의 조합으로 이루어진 군으로부터 선택되는 어느 하나를 포함하는 할로젠 음이온일 수 있다.

[0048] 페로브스카이트 광흡수층(200)은 예를 들어, $CH_3NH_3PbI_3$, $CH_3NH_3PbI_xCl_{3-x}$, $CH_3NH_3PbI_xBr_{3-x}$, $CH_3NH_3PbCl_xBr_{3-x}$, $HC(NH_2)_2PbI_3$, $HC(NH_2)_2PbI_xCl_{3-x}$, $HC(NH_2)_2PbI_xBr_{3-x}$, $HC(NH_2)_2PbCl_xBr_{3-x}$, $(CH_3NH_3)_y(HC(NH_2)_2)_{1-y}PbI_3$, $(CH_3NH_3)_y(HC(NH_2)_2)_{1-y}PbI_xCl_{3-x}$, $(CH_3NH_3)_y(HC(NH_2)_2)_{1-y}PbI_xBr_{3-x}$, 또는 $(CH_3NH_3)_y(HC(NH_2)_2)_{1-y}PbCl_xBr_{3-x}$ 일 수 있다($0 \leq x, y \leq 1$). 또한, AMX3의 A에 Cs가 일부 도핑된 화합물도 사용될 수 있다.

[0049] 페로브스카이트 광흡수층(200)은 스핀코팅(spin-coating), 기상증착법(vapor deposition method) 및 기상도움 용액공정법(vapor-assisted solution process)으로 형성할 수 있다.

[0050] 상기 제1 전하전달층(225)과 상기 제1 전하전달층(225) 중 전자 전달층은 투명 전도성 산화물(transparent conductive oxide, TCO) 또는 탄소질 전도성 소재를 포함할 수 있다. 상기 전자 전달층을 구현하는 투명 전도성 산화물은 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, In 산화물 및 SrTi 산화물 등이 있다. 바람직하게 전자전달층은 ZnO , TiO_2 , SnO_2 , WO_3 및 $TiSrO_3$ 로부터 선택되는 적어도 하나 이상을 포함할 수 있다. 나아가, 상기 탄소질 전도성 소재로는 그래핀, 카본나노튜브 또는 풀러렌(Fullerene, C60)이 사용될 수 있다.

[0051] 상기 제1 전하전달층(225)과 상기 제1 전하전달층(225) 중 정공 전달층은 전도성 고분자로 형성될 수 있다. 상세하게, 전도성 고분자로는 폴리아닐린, 폴리피롤, 폴리싸이오펜, 폴리-3,4-에틸렌다이옥시싸이오펜-폴리스타이렌설포네이트(PEDOT-PSS), 폴리-[비스(4-페닐)(2,4,6-트리메틸페닐)아민](PTAA), 스파이로-미오타드(Spiro-MeOTAD) 또는 폴리아닐린-캄포설포산(PANI-CSA) 등이 사용될 수 있다.

[0052] 상부 투명전극(TE)은 상기 전자 전달층을 구현하는 투명 전도성 산화물 대비 전기 전도성이 더 우수한 물질로 형성할 수 있다. 일 예로서, 상부 투명전극(TE)은 ITO(Indium Tin Oxide)층일 수 있다.

[0054] 이하, 본 발명을 보다 구체적으로 설명하기 위하여 본 발명에 따른 바람직한 실험예를 첨부된 도면을 참조하여 보다 상세하게 설명한다. 그러나, 본 발명은 여기서 설명되어지는 실시예에 한정되지 않고 다른 형태로 구체화될 수도 있다.

[0056] 비교예: 단층 태양전지

[0057] 150 마이크로미터 실리콘 기판의 양면에 8 nm의 intrinsic hydrogenated amorphous silicon(a-Si:H)층을 PECVD 공정을 통해 형성하였다. 이때의 공정 온도는 200도에 H_2 가스, SiH_4 가스가 사용되었다. 그 다음 전면 4 nm의 n 도핑된 a-Si:H층을 후면에는 6 nm의 p 도핑된 a-Si:H 층을 증착하였다. n 도핑된 a-Si:H 층은 PH_3 , H_2 , SiH_4 가스를 200도에서 챔버에 주입하여 증착하였다. p도핑된 a-Si:H 층은 B_2H_6 , H_2 , SiH_4 가스를 200도의 챔버에 주입하여 증착하였다. 그 후 전후면에 80 nm의 ITO를 스퍼터를 통하여 증착하였다. 이 후, 후면에 Ti 10 nm와 Ag 1마이크로를 이베포레이터를 사용하여 증착하여 후면 전극을 형성하였다. 이에 따라, ITO/n-type a-Si:H/i-type a-Si:H/c-Si/i-type a-Si:H/p-type a-Si:H/ITO/Ti/Ag 구조의 단층 태양전지를 제조하였다.

[0059] 제조예: 텐덤 태양전지

[0060] 상기 비교예에 따른 단층 태양전지를 하부 서브셀로 하고, 상기 하부 서브셀의 전면 ITO 층 상에 $SiO_x(x=1.2)$ 을 5nm의 두께로 증착하여 재결합층을 형성하였다. 이때 $SiO_x(x=1.2)$ 는 350도에서 PECVD공정을 사용하여 증착하였다. preheat을 위해서 N_2O 1000 sccm을 흘려준 다음 가스의 안정화를 위해서 1500 sccm의 N_2O 와 5% SiH_4/N_2 500 sccm을 흘려주었다. 가스 안정화 후 100W의 파워로 플라즈마를 형성하여 $SiO_x(x=1.2)$ 를 증착하였다.

[0061] 상기 재결합층 상에 Spiro-OMeTAD를 1000RPM의 스핀코팅을 통해 100 nm의 두께로 형성하고 120도에서 5분간 열처리를 하였다. 그 다음 클로로벤젠에 용해된 $CH_3NH_3PbI_3$ 를 1500 RPM과 4000 RPM의 스핀코팅하여, Spiro-OMeTAD 층위에 500 nm의 두께로 $CH_3NH_3PbI_3$ 층을 형성하였다. 상기 $CH_3NH_3PbI_3$ 층 상에 TiO_2 를 스퍼터링을 통해 40 nm의 두께로 증착하고, 80 nm의 ITO를 증착한 후, 전면 전극인 1 마이크로미터의 Ag 전극을 증발법을 사용하여 증착하였다. 얻어진 상부 서브셀은 Ag/ITO/ETL(TiO_2)/perovskite/HTL(Spiro-OMeTAD)의 구조를 갖는다.

[0062] 이 때, $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ 를 얻는 과정은 다음과 같다. 초순수(DIW)에 질산납(Lead nitrate, $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$)과 요오드화 칼륨(Potassium iodide, KI)을 혼합하여 요오드화납(PbI_2)를 합성하고 세척하고, 디메틸포름아미드(anhydrous dimethylformamide, DMF)와 디메틸설폭사이드(dimethyl sulfoxide, DMSO)로 구성된 용액에서 PbI_2 와 요오드화 메틸암모늄(methylammonium iodide, $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{I}$)를 혼합하여 용액을 얻은 후, 얻어진 용액을 100도의 온도에서 5 시간동안 가열하여 $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ 를 형성한 후 냉각하였다. 이 후, 얻어진 $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ 를 에탄올을 사용하여 세척하였다.

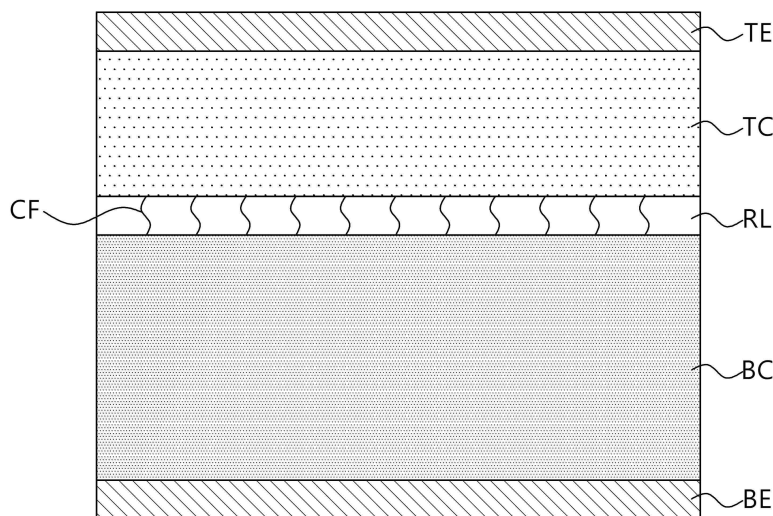
[0064] 도 3은 제조예에 따른 텐덤 태양전지와 비교예에 따른 단층 태양전지의 암(dark) 상태의 IV 커브를 나타낸 그래프이다.

[0065] 도 3을 참조하면, 비교예에 따른 단층 태양전지(Si로 표시됨)와 비교했을 때 텐덤 태양전지(Tandem으로 표시됨)의 I-V curve가 오른쪽으로 쉬프팅 된 것을 관찰할 수 있다. 이는 태양전지가 Tandem 구조로 됨에 따라 전압이 높아졌기 때문이다. 이는 상하부 서브셀들이 전기적으로 연결된 것을 의미하며, 절연체인 $\text{SiO}_x(x=1.2)$ 재결합층 내에 전도성 필라멘트가 생성되었음을 의미할 수 있다. 이 때, 전면전극과 배면전극에 전도성 필라멘트 생성을 위한 전계를 인가하는 단계를 따로 진행하지 않았으므로, 상기 전도성 필라멘트는 포밍과정 없이 생성된 것으로 추정할 수 있다.

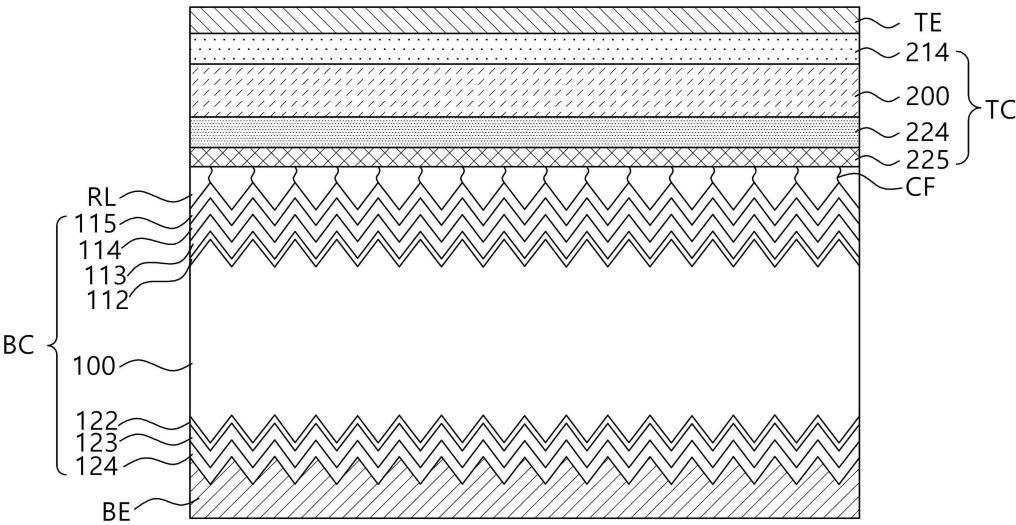
[0067] 이상, 본 발명을 바람직한 실시예를 들어 상세하게 설명하였으나, 본 발명은 상기 실시예에 한정되지 않고, 본 발명의 기술적 사상 및 범위 내에서 당 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의하여 여러가지 변형 및 변경이 가능하다.

도면

도면1



도면2



도면3

