



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2019-0143744
(43) 공개일자 2019년12월31일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

H01L 31/06 (2006.01) H01L 31/0224 (2006.01)

H01L 31/0236 (2006.01) H01L 31/0376 (2006.01)

H01L 31/0392 (2006.01) H01L 31/046 (2014.01)

H01L 31/18 (2006.01)

(52) CPC특허분류

H01L 31/06 (2013.01)

H01L 31/022425 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2018-0071647

(22) 출원일자 2018년06월21일

심사청구일자 2018년06월21일

(71) 출원인

(주)프런티어에너지솔루션

울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50, 제1공학관104동 804-1호(울산과학기술대학교)

(72) 발명자

김동제

경기도 성남시 분당구 정자로 143, 201동 201호 (정자동, 한솔마을LG아파트)

노성호

울산광역시 중구 남외1길 105, 109동 1004호 (남외동, 일신 에일런의 뜰 아파트)

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

리앤목특허법인

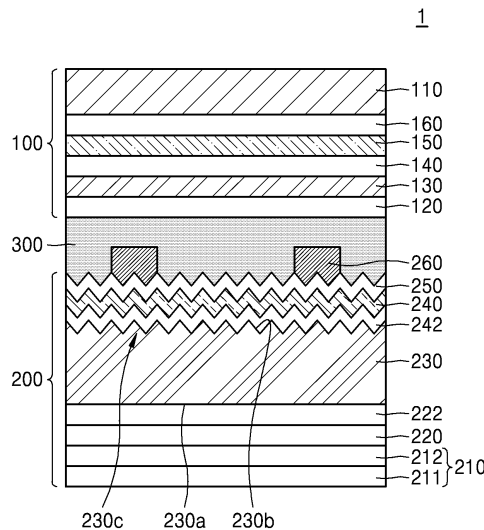
전체 청구항 수 : 총 9 항

(54) 발명의 명칭 다중접합 태양전지 및 이의 제조방법

(57) 요약

본 발명은 광 흡수 영역이 확대되어 광전변환효율이 향상된 다중접합 태양전지를 위하여, 페로브스카이트 물질을 포함하는 광활성층을 갖고, 제1 파장 영역의 광을 흡수하는, 제1 태양전지모듈; 결정질 실리콘을 포함하는 실리콘 기관층을 갖고, 상기 제1 파장 보다 큰 제2 파장 영역의 광을 흡수하는, 제2 태양전지모듈; 및 상기 제1 태양전지모듈과 상기 제2 태양전지모듈 사이에 개재되고, 상기 제1 태양전지모듈과 접하는 제1 면 및 상기 제2 태양전지모듈과 접하는 제2 면을 가지며, 상기 제2 면은 상기 제1 면보다 구조화된, 평탄화층을 구비하는, 다중접합 태양전지를 제공한다.

대표도 - 도2



(52) CPC특허분류

H01L 31/02366 (2013.01)

H01L 31/0376 (2013.01)

H01L 31/0392 (2013.01)

H01L 31/046 (2015.01)

H01L 31/18 (2013.01)

Y02E 10/50 (2013.01)

(72) 발명자

강동우

울산광역시 남구 남부순환도로 25, 303호 (무거동)

석상일

울산광역시 동구 화진길 100, 109동 2303호 (화정동, 엠코타운 이스턴베이)

명세서

청구범위

청구항 1

페로브스카이트 물질을 포함하는 광활성층을 갖고, 제1 파장 영역의 광을 흡수하는, 제1 태양전지모듈;
결정질 실리콘을 포함하는 실리콘 기관층을 갖고, 상기 제1 파장 보다 큰 제2 파장 영역의 광을 흡수하는, 제2 태양전지모듈; 및
상기 제1 태양전지모듈과 상기 제2 태양전지모듈 사이에 개재되고, 상기 제1 태양전지모듈과 접하는 제1 면 및 상기 제2 태양전지모듈과 접하는 제2 면을 가지며, 상기 제2 면은 상기 제1 면보다 구조화된, 평탄화층;
을 구비하는, 다중접합 태양전지.

청구항 2

제1항에 있어서,
상기 평탄화층의 상기 제1 면은 평탄화면인, 다중접합 태양전지.

청구항 3

제1항에 있어서,
제1 태양전지모듈은,
상기 광활성층을 사이에 두고 상기 광활성층의 앞면 및 상기 일면의 반대측에 위치하는 타면 상에 각각 배치되는, 제1 하부전극 및 제1 상부전극;
상기 제1 상부전극 상에 배치되는, 기관;
상기 제1 하부전극과 상기 광활성층 사이에 개재되는, 정공수송층;
상기 제1 상부전극과 상기 광활성층 사이에 개재되는, 전자수송층; 및
제1 상부전극 상에 배치되는 제1 버스전극;을 더 포함하는, 다중접합 태양전지.

청구항 4

제3항에 있어서,
상기 제2 태양전지모듈은,
상기 실리콘 기관층을 사이에 두고 상기 실리콘 기관층의 일면 및 상기 일면의 반대측에 위치하는 타면 상에 각각 배치되는, 제2 하부전극 및 제2 상부전극;
상기 제2 하부전극과 상기 실리콘 기관층 사이에 개재되는, 제1 비정질 실리콘층;
상기 제1 상부전극과 상기 실리콘 기관층 사이에 개재되는, 제2 비정질 실리콘층; 및
상기 제2 상부전극 상에 배치되는 제2 버스전극;을 더 포함하는, 다중접합 태양전지.

청구항 5

제4항에 있어서,
상기 실리콘 기관층의 타면의 적어도 일부는 요철면을 갖고,
상기 실리콘 기관층 상에 배치된 상기 제2 상부전극의 적어도 일부는 상기 요철면을 따르는 요철 구조를 갖는, 다중접합 태양전지.

청구항 6

제4항에 있어서,

상기 제1 태양전지모듈의 상기 제1 하부전극과 상기 제2 태양전지모듈의 상기 제2 상부전극은 상기 평탄화층을 사이에 두고 서로 대향하도록 배치되는, 다중접합 태양전지.

청구항 7

제1항에 있어서,

태양광은 상기 제1 태양전지모듈 측에서 상기 제2 태양전지모듈 방향으로 입사되는, 다중접합 태양전지.

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 평탄화층은 투광성을 갖는 접착제를 포함하는, 다중접합 태양전지.

청구항 9

제1항에 있어서,

상기 제1 태양전지모듈과 상기 제2 태양전지모듈은 각각 개별적으로 구동되는, 다중접합 태양전지.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 다중접합 태양전지 및 이의 제조방법에 관한 것으로서, 더 상세하게는 광 흡수 영역이 확대되어 광전 변환효율이 향상된 다중접합 태양전지 및 이의 제조방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 일반적으로 태양전지는 태양에너지를 전기에너지로 변환하는 장치로서, 태양에너지를 흡수하여 전자와 전공을 발생하는 광기전 효과를 이용하여 전류-전압을 생성한다. 이러한 태양전지는 자원의 고갈 및 환경문제에 직면한 화석 에너지의 대체 에너지로 세계적인 관심을 받고 있다. 다만, 태양전지는 고효율화를 위해 매우 순도가 높은 소재를 사용해야 하므로, 원소재의 정제에 많은 에너지가 소모된다. 또한, 원소재를 이용하여 단결정 혹은 박막화하는 과정에서 고가의 공정 장비가 사용되므로, 태양전지의 제조에 상당한 비용이 소요되고, 이는 태양전지의 활용에 장애요인으로 작용하고 있다.

[0003] 이러한 태양전지의 제조비용을 낮추기 위해서 고안된 것 중 하나가 페로브스카이트 태양전지이다. 페로브스카이트 태양전지는 페로브스카이트 결정 구조를 가지는 소재를 활용한 태양전지이다. 이러한 태양전지에 사용되는 페로브스카이트는 부도체·반도체·도체 성질과 함께 초전도 현상까지 보이는 매우 특별한 구조를 갖는다. 이러한 페로브스카이트 태양전지는 제조비용이 저렴하고 용액공정으로 박막제작이 가능하므로, 다양한 분야에 응용될 수 있어 차세대 박막 태양전지로 각광받고 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0004] 본 발명은 이러한 페로브스카이트 태양전지를 활용하여, 광 흡수 영역이 확대되어 광전변환효율이 향상된 다중접합 태양전지 및 이의 제조방법을 제공하는 것을 목적으로 한다. 그러나 이러한 과제는 예시적인 것으로, 이에 의해 본 발명의 범위가 한정되는 것은 아니다.

과제의 해결 수단

[0005] 본 발명의 일 관점에 따르면, 페로브스카이트 물질을 포함하는 광활성층을 갖고, 제1 파장 영역의 광을 흡수하는, 제1 태양전지모듈; 결정질 실리콘을 포함하는 실리콘 기판층을 갖고, 상기 제1 파장 보다 큰 제2 파장 영역의 광을 흡수하는, 제2 태양전지모듈; 및 상기 제1 태양전지모듈과 상기 제2 태양전지모듈 사이에 개재되고, 상

기 제1 태양전지모듈과 접하는 제1 면 및 상기 제2 태양전지모듈과 접하는 제2 면을 가지며, 상기 제2 면은 상기 제1 면보다 구조화된, 평탄화층을 구비하는, 다중접합 태양전지가 제공된다.

[0006] 본 실시예에 따르면, 상기 평탄화층의 상기 제1 면은 평탄화면일 수 있다.

[0007] 본 실시예에 따르면, 제1 태양전지모듈은, 상기 광활성층을 사이에 두고 상기 광활성층의 앞면 및 상기 일면의 반대측에 위치하는 타면 상에 각각 배치되는, 제1 하부전극 및 제1 상부전극; 상기 제1 상부전극 상에 배치되는, 기관; 상기 제1 하부전극과 상기 광활성층 사이에 개재되는, 정공수송층; 상기 제1 상부전극과 상기 광활성층 사이에 개재되는, 전자수송층; 및 제1 상부전극 상에 배치되는 제1 버스전극;을 더 포함할 수 있다.

[0008] 본 실시예에 따르면, 상기 제2 태양전지모듈은, 상기 실리콘 기관층을 사이에 두고 상기 실리콘 기관층의 일면 및 상기 일면의 반대측에 위치하는 타면 상에 각각 배치되는, 제2 하부전극 및 제2 상부전극; 상기 제2 하부전극과 상기 실리콘 기관층 사이에 개재되는, 제1 비정질 실리콘층; 상기 제1 상부전극과 상기 실리콘 기관층 사이에 개재되는, 제2 비정질 실리콘층; 및 상기 제2 상부전극 상에 배치되는 제2 버스전극;을 더 포함할 수 있다.

[0009] 본 실시예에 따르면, 상기 실리콘 기관층의 타면의 적어도 일부는 요철면을 갖고, 상기 실리콘 기관층 상에 배치된 상기 제2 상부전극의 적어도 일부는 상기 요철면을 따르는 요철 구조를 가질 수 있다.

[0010] 본 실시예에 따르면, 상기 제1 태양전지모듈의 상기 제1 하부전극과 상기 제2 태양전지모듈의 상기 제2 상부전극은 상기 평탄화층을 사이에 두고 서로 대향하도록 배치될 수 있다.

[0011] 본 실시예에 따르면, 태양광은 상기 제1 태양전지모듈 측에서 상기 제2 태양전지모듈 방향으로 입사될 수 있다.

[0012] 본 실시예에 따르면, 상기 평탄화층은 투광성을 갖는 접착제를 포함할 수 있다.

[0013] 본 실시예에 따르면, 상기 제1 태양전지모듈과 상기 제2 태양전지모듈은 각각 개별적으로 구동될 수 있다.

[0014] 전술한 것 외의 다른 측면, 특징, 이점이 이하의 도면, 특허청구범위 및 발명의 상세한 설명으로부터 명확해질 것이다.

[0015] 이러한 일반적이고 구체적인 측면이 시스템, 방법, 컴퓨터 프로그램, 또는 어떠한 시스템, 방법, 컴퓨터 프로그램의 조합을 사용하여 실시될 수 있다.

발명의 효과

[0016] 상기한 바와 같이 이루어진 본 발명의 일 실시예에 따르면, 광 흡수 영역이 확대되어 광전변환효율이 향상된 태양전지 및 이의 제조방법을 구현할 수 있다. 물론 이러한 효과에 의해 본 발명의 범위가 한정되는 것은 아니다.

도면의 간단한 설명

[0017] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 관한 다중접합 태양전지를 개략적으로 도시하는 단면도이다.

도 2는 도 1의 다중접합 태양전지의 적층 구조를 개략적으로 도시하는 단면도이다.

도 4는 본 발명의 다른 일 실시예에 관한 다중접합 태양전지(2)를 개략적으로 도시한 단면도이다.

도 5는 본 발명의 또 다른 일 실시예에 관한 다중접합 태양전지(3)를 개략적으로 도시한 단면도이다.

도 6A 내지 도 6E는 본 발명의 일 실시예에 관한 제1 태양전지모듈의 제조과정을 개략적으로 도시하는 단면도들이다.

도 7A 내지 도 7C는 본 발명의 일 실시예에 관한 제2 태양전지모듈의 제조과정을 개략적으로 도시하는 단면도들이다.

도 8는 본 발명의 일 실시예에 관한 다중접합 태양전지의 제조과정을 개략적으로 도시하는 단면도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0018] 본 발명은 다양한 변환을 가할 수 있고 여러 가지 실시예를 가질 수 있는 바, 특정 실시예들을 도면에 예시하고 상세한 설명에 상세하게 설명하고자 한다. 본 발명의 효과 및 특징, 그리고 그것들을 달성하는 방법은 도면과 함께 상세하게 후술되어 있는 실시예들을 참조하면 명확해질 것이다. 그러나 본 발명은 이하에서 개시되는 실시

예들에 한정되는 것이 아니라 다양한 형태로 구현될 수 있다.

- [0019] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 실시예들을 상세히 설명하기로 하며, 도면을 참조하여 설명할 때 동일하거나 대응하는 구성 요소는 동일한 도면부호를 부여하고 이에 대한 중복되는 설명은 생략하기로 한다.
- [0020] 이하의 실시예에서, 제1, 제2 등의 용어는 한정적인 의미가 아니라 하나의 구성 요소를 다른 구성 요소와 구별하는 목적으로 사용되었다. 또한, 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다.
- [0021] 한편, 포함하다 또는 가지다 등의 용어는 명세서상에 기재된 특징, 또는 구성요소가 존재함을 의미하는 것이고, 하나 이상의 다른 특징들 또는 구성요소가 부가될 가능성을 미리 배제하는 것은 아니다. 또한, 막, 영역, 구성 요소 등의 부분이 다른 부분 "위에" 또는 "상에" 있다고 할 때, 다른 부분의 "바로 위에" 또는 "바로 상에" 있는 경우뿐만 아니라, 그 중간에 다른 막, 영역, 구성 요소 등이 개재되어 있는 경우도 포함한다.
- [0022] 도면에서는 설명의 편의를 위하여 구성 요소들이 그 크기가 과장 또는 축소될 수 있다. 예컨대, 도면에서 나타난 각 구성의 크기 및 두께는 설명의 편의를 위해 임의로 나타내었으므로, 본 발명이 반드시 도시된 바에 한정되지 않는다.
- [0023] x축, y축 및 z축은 직교 좌표계 상의 세 축으로 한정되지 않고, 이를 포함하는 넓은 의미로 해석될 수 있다. 예를 들어, x축, y축 및 z축은 서로 직교할 수도 있지만, 서로 직교하지 않는 서로 다른 방향을 지칭할 수도 있다.
- [0024] 어떤 실시예가 달리 구현 가능한 경우에 특정한 공정 순서는 설명되는 순서와 다르게 수행될 수도 있다. 예를 들어, 연속하여 설명되는 두 공정이 실질적으로 동시에 수행될 수도 있고, 설명되는 순서와 반대의 순서로 진행될 수 있다.
- [0025] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 관한 다중접합 태양전지를 개략적으로 도시하는 단면도이다.
- [0026] 도 1을 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 관한 다중접합 태양전지는 제1 과장($\lambda 1$) 영역의 광을 흡수하는 제1 태양전지모듈(100), 제1 과장($\lambda 1$) 보다 큰 제2 과장($\lambda 2$) 영역의 광을 흡수하는 제2 태양전지모듈(200) 및 제1 태양전지모듈(100)과 제2 태양전지모듈(200) 사이에 개재되어 제1 태양전지모듈(100)과 제2 태양전지모듈(200)을 결합시키는 평탄화층(300)을 포함한다.
- [0027] 본 실시예에 따른 다중접합 태양전지는 제2 태양전지모듈(200), 제2 태양전지모듈(200) 상에 배치된 평탄화층(300), 평탄화층(300) 상에 배치된 제1 태양전지모듈(100)이 적층된 구조를 가질 수 있다. 제1 태양전지모듈(100)과 제2 태양전지모듈(200)은 평탄화층(300)을 통해 기계적으로 결합할 수 있다. 제1 태양전지모듈(100)과 제2 태양전지모듈(200)이 기계적으로 결합한다고 함은 제1 태양전지모듈(100)과 제2 태양전지모듈(200)이 각각 개별적으로 구동하는 것으로 이해될 수 있다.
- [0028] 본 발명의 일 실시예에 따른 다중접합 태양전지는 4-단자(4-terminal) 구조를 구비할 수 있다. 이러한 제1 태양전지모듈(100)과 제2 태양전지모듈(200)은 직렬 또는 병렬로 서로 연결되지 않고, 별개의 전지로서 구동할 수 있다.
- [0029] 한편, 본 실시예에 따른 다중접합 태양전지는 위쪽에서부터 제1 태양전지모듈(100), 평탄화층(300), 제2 태양전지모듈(200)이 순차적으로 배치될 수 있다. 따라서, 태양광은 제1 태양전지모듈(100) 측에서 제2 태양전지모듈(200) 방향으로 입사될 수 있다.
- [0030] 본 실시예에서, 제1 태양전지모듈(100)은 광을 투과하는 투광성으로 구비될 수 있다. 따라서, 제1 태양전지모듈(100)로 입사된 태양광의 일부는 제1 태양전지모듈(100)에 흡수되고, 제1 태양전지모듈(100)을 투과한 태양광의 나머지 일부는 제2 태양전지모듈(200)에 흡수될 수 있다.
- [0031] 구체적으로, 제1 태양전지모듈(100)은 제1 과장($\lambda 1$) 영역의 광을 흡수하고, 제2 태양전지모듈(200)은 제2 과장($\lambda 2$) 영역의 광을 흡수하여 발전할 수 있다. 이때, 제2 과장($\lambda 2$)은 제1 과장($\lambda 1$) 보다 클 수 있다. 즉, 제1 태양전지모듈(100)은 태양광 중 제1 과장($\lambda 1$) 영역에 해당하는 광만을 흡수하고, 제1 과장($\lambda 1$) 보다 큰 제2 과장($\lambda 2$) 영역에 해당하는 광은 통과시킬 수 있다. 상대적으로 제2 과장($\lambda 2$)은 장파장일 수 있으며, 제1 과장($\lambda 1$)은 단파장일 수 있으며, 예컨대, 제1 과장($\lambda 1$)은 약 10nm 내지 770nm로 자외선 및 가시광선에 해당하는 영역일 수 있으며, 제2 과장($\lambda 2$)은 약 720nm 내지 1100nm로 적외선에 해당하는 영역일 수 있다.
- [0032] 본 발명의 일 실시예에 따른 제1 태양전지모듈(100)은 약 80% 이상의 투과도를 확보함으로써, 적외선과 같은 장

과장 영역의 광을 투과시킬 수 있다. 투과된 장파장 영역의 광은 제1 태양전지모듈(100) 하부에 배치된 제2 태양전지모듈(200)에 입사되어 발전함으로써 문턱 파장(threshold wavelength)을 장파장 쪽으로 이동시킬 수 있으며, 결과적으로 전체 태양전지가 흡수하는 파장대를 넓혀 기존 태양전지 대비 광전변환효율을 20% 이상 증가시킬 수 있다.

[0033] 이러한 제1 태양전지모듈(100)은 페로브스카이트 물질을 포함하는 전지로 구비되고, 제2 태양전지모듈(200)은 결정질 실리콘 기판을 포함하는 전지로 구비될 수 있다. 특히, 제1 태양전지모듈(100)은 페로브스카이트 물질 특성 상 매우 얇은 박막으로 형성할 수 있다. 제1 태양전지모듈(100)의 두께(T1)는 약 2 μ m 로, 약 150 μ m 내지 250 μ m의 두께(T2)를 갖는 제2 태양전지모듈(200)에 비해 초박형으로 구현이 가능하다.

[0034] 도 2 및 도 3은 도 1의 다중접합 태양전지의 적층 구조의 일 예를 개략적으로 도시하는 단면도이다.

[0035] 도 2를 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 다중접합 태양전지는 제1 태양전지모듈(100), 제2 태양전지모듈(200) 및 제1 태양전지모듈(100)과 제2 태양전지모듈(200)의 사이에 개재되는 평탄화층(300)을 포함한다.

[0036] 제1 태양전지모듈(100)은 도면의 아래에서부터 순차적으로 적층된 제1 하부전극(120), 정공수송층(130), 광활성층(140), 전자수송층(150), 제1 상부전극(160) 및 기판(110)을 포함할 수 있다.

[0037] 제1 하부전극(120)은 투광성을 갖는 도전성 소재를 포함할 수 있다. 본 실시예에 따른 제1 태양전지모듈(100)은 투광성을 가져야 하므로, 제1 하부전극(120)은 일반적인 불투명 금속성 소재의 전극 대신 장파장 영역의 광을 투과할 수 있는 투광성 소재로 형성되는 것이 바람직하다. 이러한 제1 하부전극(120)은 단층 또는 다층구조로 형성될 수 있다.

[0038] 투광성을 갖는 도전성 소재는, 예컨대 투명 전도성 산화물, 탄소질 전도성 소재 및 금속성 소재 등을 포함할 수 있다. 투명 전도성 산화물로는, 예컨대 ITO(Indium Tin Oxide), ICO(Indium Cerium Oxide), IWO(Indium Tungsten Oxide), ZITO(Zinc Indium Tin Oxide), ZIO(Zinc Indium Oxide), ZTO(Zinc Tin Oxide), GITO(Gallium Indium Tin Oxide), GIO(Gallium Indium Oxide), GZO(Gallium Zinc Oxide), AZO(Aluminum doped Zinc Oxide), FTO(Fluorine Tin Oxide), ZnO 등이 사용될 수 있다. 탄소질 전도성 소재로는, 예컨대 그래핀 또는 카본나노튜브 등이 사용될 수 있으며, 금속성 소재로는, 예컨대 금속(Ag) 나노 와이어, Au, Ag, Cu, Mg, Mo, Ti 또는 이들의 화합물로 형성된 금속 박막을 포함할 수 있다.

[0039] 제1 하부전극(120) 상에는 정공수송층(130)이 배치될 수 있다. 정공수송층(130)을 통해 광활성층(140)에서 발생한 홀(정공)을 제1 하부전극(120)으로 전달할 수 있다. 정공수송층(130)은 전도성 고분자를 포함할 수 있으며, 예컨대 폴리아닐린, 폴리피롤, 폴리싸이오펜, 폴리-3,4-에틸렌다이옥시싸이오펜-폴리스타이렌설폰에이트(PEDOT-PSS), 폴리-[비스(4-페닐)(2,4,6-트리메틸페닐)아민](PTAA), 스피로-미오타드(Spiro-MeOTAD: 2,2',7,7'-tetrakis-(N,N-di-p-methoxyphenyl-amine)-9,9'spirobifluorene), 폴리아닐린-캄포설폰산(PANI-CSA) 등이 사용될 수 있다. 이러한 정공수송층(130)은 필요에 따라 n형 또는 p형 도펀트를 더 포함할 수 있다.

[0040] 정공수송층(130) 상에는 광활성층(140)이 배치될 수 있다. 광활성층(140)은 페로브스카이트(perovskite) 구조를 가지는 화합물을 포함하는 광 활성층으로서, 페로브스카이트 구조를 가지는 화합물은 부도체·반도체·도체 성질 등 다양한 전기적 특성의 제어가 가능하다. 페로브스카이트 구조는 그 구조적 특수성으로 인해 높은 전하 운반 이동성과 긴 확산거리를 가지게 되어 생성된 전자와 정공이 에너지 손실 없이 장거리를 이동할 수 있게 한다. 따라서 본 실시예와 같이 광활성층(140)을 구비한 다중접합 태양전지는 전자와 정공의 이동을 활발하게 하여 더 넓은 파장에서 더 많은 광에너지를 흡수할 수 있다.

[0041] 이러한 광활성층(140)은 전자와 정공을 분리시켜 전류를 만들어내는 광전변환층으로서의 역할을 수행할 수 있다. 페로브스카이트 구조를 광활성층(140)에 도입한 경우, 정공수송층(130)의 HOMO 준위와 전자수송층(150)의 LUMO 준위 각각이 페로브스카이트의 가전자대 및 전도대와 잘 매칭되어 전자는 전자수송층(150) 쪽으로, 정공은 정공수송층(130) 쪽으로 잘 전달될 수 있다.

[0042] 또한, 페로브스카이트 화합물은 용액의 도포 및 건조라는 극히 간단하고 용이하며 저가의 단순한 공정을 통해 광활성층(140)을 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.

[0043] 이러한 페로브스카이트 화합물은 ABX₃ (여기서, A는 1가의 유기 암모늄 양이온 또는 금속 양이온, B는 2가의 금속 양이온, X는 할로젠 음이온을 의미한다) 구조로 표시될 수 있으며, 예컨대, CH₃NH₃PbI₃, CH₃NH₃PbI_xCl_{3-x}, MAPbI₃, CH₃NH₃PbI_xBr_{3-x}, CH₃NH₃PbCl_xBr_{3-x}, HC(NH₂)₂PbI₃, HC(NH₂)₂PbI_xCl_{3-x}, HC(NH₂)₂PbI_xBr_{3-x}, HC(NH₂)₂PbCl_xBr_{3-x}

x , $(\text{CH}_3\text{NH}_3)(\text{HC}(\text{NH}_2)_2)_{1-y}\text{PbI}_3$, $(\text{CH}_3\text{NH}_3)(\text{HC}(\text{NH}_2)_2)_{1-y}\text{PbI}_x\text{Cl}_{3-x}$, $(\text{CH}_3\text{NH}_3)(\text{HC}(\text{NH}_2)_2)_{1-y}\text{PbI}_x\text{Br}_{3-x}$, $(\text{CH}_3\text{NH}_3)(\text{HC}(\text{NH}_2)_2)_{1-y}\text{PbCl}_x\text{Br}_{3-x}$ 등이 사용될 수 있다. ($0 \leq x, y \leq 1$) 또한, ABX₃의 A에 Cs가 일부 도핑된 화합물도 사용될 수 있다.

[0044] 광활성층(140) 상에는 전자수송층(150)이 배치될 수 있다. 전자수송층(150)은 광활성층(140)에서 생성된 전자가 제1 상부전극(160)으로 용이하게 전달되도록 하는 기능을 할 수 있다. 전자수송층(150)은 금속 산화물을 포함할 수 있으며, 예컨대 Ti 산화물, Zn 산화물, In 산화물, Sn 산화물, W 산화물, Nb 산화물, Mo 산화물, Mg 산화물, Zr 산화물, Sr 산화물, Yr 산화물, La 산화물, V 산화물, Al 산화물, Y 산화물, Sc 산화물, Sm 산화물, Ga 산화물, SrTi 산화물 등이 사용될 수 있다. 본 실시예에서는, 컴팩트한 구조의 TiO₂를 포함하나, 다른 실시예로서 SnO₂, WO₃ 및 TiSrO₃ 등을 포함할 수도 있다.

[0045] 전자수송층(150) 상에는 제1 상부전극(160)이 위치할 수 있다. 제1 상부전극(160)은 투광성을 갖는 도전성 소재를 포함할 수 있다. 제1 상부전극(160)은 상술한 제1 하부전극(120)과 동일한 소재로 형성될 수도 있고, 서로 상이한 소재로 형성될 수도 있다. 제1 상부전극(160)은 단층 또는 다층구조로 형성될 수 있다. 본 실시예에서는, 제1 태양전지모듈(100)에 구비되는 제1 하부전극(120) 및 제1 상부전극(160) 모두 투광성을 갖는 도전성 소재로 형성됨에 따라, 제1 태양전지모듈(100)의 적외선 투과도를 향상시킬 수 있다.

[0046] 제1 상부전극(160) 상에 위치하는 기관(110)은 소자 전체를 보호하는 밀봉용 기관일 수 있는 데, 투명한 소재의 글라스 및/또는 플라스틱 기관이 적용될 수 있다.

[0047] 한편, 제2 태양전지모듈(200)은 도면의 아래에서부터 순차적으로 적층된 제2 하부전극(210), 제1 비정질 실리콘층(220), 실리콘 기관층(230), 제2 비정질 실리콘층(240), 제2 상부전극(250)을 포함할 수 있다.

[0048] 제2 하부전극(210)은 (반)투명 전극 및/또는 반사형 전극으로 형성될 수 있다. (반)투명 전극은 ITO, IZO, ZnO, In₂O₃, IGO 또는 AZO를 포함할 수 있다. 반사형 전극은 Ag, Mg, Al, Pt, Pd, Au, Ni, Nd, Ir, Cr 및 이들의 화합물 등으로 형성된 반사막을 포함할 수 있다. 물론 본 발명이 이에 한정되는 것은 아니고 다양한 재질로 형성될 수 있으며, 그 구조 또한 단층 또는 다층이 될 수 있는 등 다양한 변형이 가능하다.

[0049] 본 실시예에 따르면, 제2 하부전극(210)은 제2-1 하부전극(211) 및 제2-1 하부전극(211) 상에 배치된 제2-2 하부전극(212)을 포함할 수 있다. 본 실시예에서, 제2-1 하부전극(211)은 반사 전극으로 형성되고, 제2-2 하부전극(212)은 (반)투명 전극으로 형성될 수 있다.

[0050] 제2 하부전극(210) 상에는 실리콘 기관층(230)이 배치될 수 있다. 실리콘 기관층(230)은 결정질 실리콘 재질을 포함할 수 있다. 실리콘 기관층(230)은 P-N 접합을 형성하기 위해, n형 반도체 특성 및 p형 반도체 특성 중 하나의 특성을 갖는 실리콘 재질로 형성될 수 있다. 일 실시예로, 실리콘 기관층(230)이 n형 반도체 특성을 갖는 경우, 실리콘 기관층(230)에는 인(P), 비소(As), 안티몬(Sb) 등의 원소가 도핑될 수 있고, 다른 실시예로, 실리콘 기관층(230)이 p형 반도체 특성을 갖는 경우, 실리콘 기관층(230)에는 붕소(B), 갈륨(Ga), 인듐(In) 등의 원소가 도핑될 수 있다.

[0051] 이러한 실리콘 기관층(230)의 일면(230a) 또는 타면(230b)의 적어도 일부는 광효율을 향상시키기 위하여 텍스처링(texturing)될 수 있다. 본 실시예에서는, 실리콘 기관층(230)의 타면(230b)의 적어도 일부에 텍스처링된 요철면(230c)을 구비할 수 있다. 이러한 요철면(230c)은 광이 입사하는 방향에 구비되어, 요철면(230c)을 통해 입사하는 광의 광 산란 효과를 통해 실리콘 기관층(230)으로 입사되는 광의 경로를 증가시킬 수 있다.

[0052] 실리콘 기관층(230) 상에는 제2 상부전극(250)이 배치될 수 있다. 제2 상부전극(250)은 투과성을 갖는 도전 물질로 형성될 수 있다. 따라서 제2 상부전극(250)은 (반)투명 전극으로 구비될 수 있다. (반)투명 전극은 예컨대, ITO, IZO, ZnO, In₂O₃, IGO 또는 AZO로 형성될 수 있다. 물론 본 발명이 이에 한정되는 것은 아니고 다양한 재질로 형성될 수 있으며, 그 구조 또한 단층 또는 다층이 될 수 있는 등 다양한 변형이 가능하다.

[0053] 제2 상부전극(250) 상에는 버스전극(260)이 위치할 수 있다. 버스전극(260)은 제2 상부전극(250) 상에 패터닝되어 구비될 수 있다. 버스전극(260)은 제2 상부전극(250)을 형성할 수 있는 물질로 형성될 수 있는데, 대체로 제2 상부전극(250)과 동일하거나 제2 상부전극(250)보다 전기전도도가 높은 금속재를 포함할 수 있다.

[0054] 한편, 실리콘 기관층(230)을 사이에 두고, 실리콘 기관층(230)의 일면(230a)과 제2 하부전극(210) 사이에는 제1 비정질 실리콘층(220)이 개재되고, 및/또는 실리콘 기관층(230)의 타면(230b)과 제2 상부전극(250) 사이에는 제2 비정질 실리콘층(240)이 개재될 수 있다. 이러한 제1 비정질 실리콘층(220) 또는 제2 비정질 실리콘층(240) 중 적어도 하나는 수소화된 비정질 실리콘(Hydrogenated Amorphous Silicon)을 포함할 수 있으며, n형 반도체 특

성 및 p형 반도체 특성 중 하나의 특성을 갖도록 도핑될 수 있다. 제1, 2 비정질 실리콘층(220, 240)의 특성은 실리콘 기판층(230)의 도전형에 따라 적절한 도전형을 선택하여 설계될 수 있다.

- [0055] 일 실시예로, 실리콘 기판층(230)이 n형 단결정 실리콘 기판인 경우, 제2 비정질 실리콘층(240)은 p형 비정질 실리콘층인 것이 바람직하다. 즉, 장파장 영역의 광이 최초로 제2 태양전지모듈(200)로 입사됨에 따라 수광량이 상대적으로 높은 전면에서의 캐리어 이동도를 향상시키기 위해 n형 결정질 실리콘 기판의 타면(230b)(즉, 전면(前面))에 p형 비정질 실리콘층을 위치시켜 역접합(P-N 접합)을 구성하는 것이 바람직하며, 이에 따라 캐리어의 수집 효율을 향상시킬 수 있다. 이 경우, 제1 비정질 실리콘층(220)은 이면 전체 효과를 얻기 위해 n형 비정질 실리콘층을 사용할 수 있다.
- [0056] 본 실시예에서는, 제1 비정질 실리콘층(220)은 n형 반도체 특성을 갖도록 구비되고, 제2 비정질 실리콘층(240)은 p형 반도체 특성을 갖도록 구비될 수 있다.
- [0057] 실리콘 기판층(230)의 일면(230a)과 제1 비정질 실리콘층(220) 사이에는 제1 배리어층(222)이 개재될 수 있고, 실리콘 기판층(230)의 타면(230b)과 제2 비정질 실리콘층(240) 사이에는 제2 배리어층(242)이 개재될 수 있다. 제1 배리어층(222) 및 제2 배리어층(242)은 각각 실리콘 기판층(230)의 일면(230a) 및 타면(230b) 상에 직접 배치될 수 있다.
- [0058] 제1, 2 배리어층(222, 242)은 산화물, 질화물 등과 같은 절연 물질 또는 실질적으로 도펀트를 포함하지 않는 i형(진성) 반도체 물질을 포함할 수 있다. 본 실시예에서는, 제1, 2 배리어층(222, 242)은 수소화된 i형 비정질 실리콘을 포함할 수 있다.
- [0059] 한편, 제1 태양전지모듈(100)과 제2 태양전지모듈(200) 사이에는 평탄화층(300)이 개재될 수 있다. 평탄화층(300)은 제1 태양전지모듈(100)과 제2 태양전지모듈(200)을 기계적으로 결합하는 역할을 수행할 수 있다. 이때 '기계적 결합'이라고 함은 제1 태양전지모듈(100)과 제2 태양전지모듈(200)이 서로 전기적으로 분리되어, 각각 별개의 전지로써 동작하는 것으로 이해될 수 있다.
- [0060] 평탄화층(300)은 접착 특성을 가질 수 있다. 다만, 제1 태양전지모듈(100)을 통과한 장파장의 광이 제2 태양전지모듈(200)에 최대한 수광되기 위해서는 평탄화층(300)은 투광성을 갖고, 절연 특성을 갖는 물질로 형성되는 것이 바람직하다.
- [0061] 상술한 것과 같이, 본 발명의 일 실시예에 따른 다중접합 태양전지는 별도로 제작된 실리콘 기반의 제1 태양전지모듈(100) 및 페로브스카이트 기반의 제2 태양전지모듈(200)을 결합하여 구비할 수 있다. 제1 태양전지모듈(100)이 단파장의 광을 흡수하고, 제2 태양전지모듈(200)이 장파장의 광을 흡수하도록 함으로써, 광흡수 효율을 향상시켜 결과적으로 광전변환효율이 향상된 다중접합 태양전지를 구현할 수 있다.
- [0062] 또한, 제1 태양전지모듈(100) 및 제2 태양전지모듈(200)에 각각 단자(즉, 4-terminal)를 형성하여 개별적으로 구동시킴에 따라, 하나의 태양전지모듈의 미작동 환경에서도 나머지 태양전지모듈이 작동시킬 수 있고, 각각의 태양전지모듈을 분리 및 교체가 가능하여, 가동률 및 실패전량을 증대시킬 수 있다.
- [0063] 지금까지는 다중접합 태양전지에 대해서만 주로 설명하였으나, 본 발명이 이에 한정되는 것은 아니다. 예컨대 이러한 다중접합 태양전지를 제조하기 위한 다중접합 태양전지의 제조방법 역시 본 발명의 범위에 속한다고 할 것이다.
- [0064] 도 3은 도 2의 다중접합 태양전지의 평탄화층(300)을 중심으로 도시한 단면을 나타낸다.
- [0065] 평탄화층(300)은 제1 태양전지모듈(100)과 제2 태양전지모듈(200)의 사이에 개재된 층으로, 접착력 있는 소재로 형성될 수 있다. 또한, 장파장의 광이 평탄화층(300)을 통과해 제2 태양전지모듈(200)로 입사하므로, 평탄화층(300)은 예컨대, OCA와 같은 투광성 접착제를 포함할 수 있다.
- [0066] 평탄화층(300)은 제1 태양전지모듈(100)과 직접 접하는 제1 면(300a)과 제2 태양전지모듈(200)과 직접 접하는 제2 면(300b)을 갖는다. 제1 면(300a)은 제1 태양전지모듈(100)의 제1 하부전극(120)의 하면과 접촉하고, 제2 면(300b)은 제2 태양전지모듈(200)의 제2 상부전극(250)의 상면과 접촉할 수 있다. 물론, 제2 면(300b)은 제2 태양전지모듈(200)의 버스전극(260)과도 직접 접촉할 수 있다. 평탄화층(300)의 제2 면(300b)은 버스전극(260)의 상면(260a) 및 측면(260b)과 직접 접촉할 수 있다.
- [0067] 본 실시예에서, 평탄화층(300)의 제1 면(300a)은 평탄화면으로 형성되고, 제2 면(300b)은 상기 제1 면(300a)보다 구조화(structured)된 면, 예컨대 요철을 갖는 면으로 형성될 수 있다. 제2 면(300b)의 요철은 평탄화층

(300)의 하부에 위치한 제1 태양전지모듈(100)의 최상면의 형상을 따라 형성되는 것으로 이해될 수 있다. 제1 태양전지모듈(100)의 최상면의 형상이라 함은, 제2 상부전극(250) 및 버스전극(260)의 형상을 의미할 수 있다.

[0068] 제2 면(300b)의 일부는 제2 상부전극(250)의 상면(250a)의 요철 구조(250c)를 따라 구비될 수 있다. 즉, 도 3에 도시된 것과 같이, 제2 상부전극(250)의 상면(250a)은 실리콘 기판층(230)의 요철면(230c)을 따라 형성되는 요철 구조(250c)를 가질 수 있는데, 평탄화층(300)의 제2 면(300b)이 제2 상부전극(250)의 상면(250a)과 직접 접하여 형성됨에 따라, 제2 면(300b)은 제2 상부전극(250)의 상면(250a)의 요철 구조(250c)를 그대로 따라 형성될 수 있다.

[0069] 본 실시예에서, 평탄화층(300)의 제1 면(300a)의 표면 조도(surface roughness)는 제2 면(300b)의 표면 조도보다 작을 수 있다. 표면 조도란, 대상물 표면의 미세한 요철의 정도를 일컫는 것으로, KS 규격에 따르면 표면 조도는 최대 높이(Rmax), 십점 평균 거칠기(Rz), 중심선 평균 거칠기(Ra) 방법으로 측정할 수 있다.

[0070] 이러한 구조에 따라 제1 면(300a) 상에 위치하는 제1 태양전지모듈(100)이 보다 평탄한 면 상에 위치할 수 있기 때문에 제1 태양전지모듈(100), 특히 제1 태양전지모듈(100)의 전극 구조의 변형을 방지할 수 있다. 또한, 제1 면(300a)을 통해 평탄화층(300)으로 입사하는 태양광이 그대로 제2 면(300b)의 요철 구조로 전달됨에 따라 평탄화층(300)에서의 광 손실을 방지할 수 있다.

[0071] 본 실시예에 따른 평탄화층(300)의 높이(H1)는 버스전극(260)의 높이(H2) 보다 높게 형성될 수 있다. 즉, 제2 상부전극(250)의 상면(250a)에서 평탄화층(300)의 제1 면(300a)까지를 제1 높이(H1)라 하고, 제2 상부전극(250)의 상면(250a)에서 버스전극(260)의 상면(260a)까지를 제2 높이(H2)라 할 때, 제1 높이(H1)는 제2 높이(H2)보다 클 수 있다. 이에 따라 평탄화층(300)이 버스전극(260)까지 완전히 덮을 수 있게 되고, 버스 전극(260)이 제1 태양전지 모듈(100)과 콘택되는 것을 방지할 수 있다. 이는 평탄화층(300)에 의한 제1태양전지 모듈(100)과 제2 태양전지모듈(200)의 결합력을 안정적으로 유지하도록 할 수 있다.

[0072] 한편, 상술한 것과 같이 제2 상부전극(250)의 상면(250a)은 요철 구조(250c)를 갖는데, 이러한 요철 구조(250c)는 반복적으로 형성된 돌출부(C1) 및 인입부(C2)를 포함할 수 있다.

[0073] 본 실시예에서, 평탄화층(300)의 제1 면(300a)에서 돌출부(C1)까지의 거리(D1)는 평탄화층(300)의 제1 면(300a)에서 인입부(C2)까지의 거리(D2)보다 작을 수 있다. 이에 따라 평탄화층(300)의 제1 면(300a)이 대체로 평탄한 면으로 형성되고, 이는 제1 태양전지모듈(100)의 하부면 전체가 제2 태양전지모듈(200)에 접합되는 데에 기여하기 때문에 제1태양전지 모듈(100)과 제2 태양전지모듈(200)의 결합력을 안정적으로 유지하도록 할 수 있다.

[0074] 또한, 평탄화층(300)의 제1 면(300a)에서 버스전극(260)의 상면(260c)까지의 거리(D3)는, $[D1 > D2 > D3]$ 와 같은 수학적식을 만족할 수 있다. 즉, 평탄화층(300)의 제1 면(300a)을 기준으로, 돌출부(C1)까지의 거리(D1)가 가장 크고, 인입부(C2)까지의 거리(D2)는 D1 보다 작으며, 버스전극(260)의 상면(260c)까지의 거리(D3)는 D2보다 작을 수 있다. 이에 따라 전술한 바와 같이 평탄화층(300)이 버스전극(260)까지 완전히 덮을 수 있게 되고, 버스 전극(260)이 제1 태양전지 모듈(100)과 콘택되는 것을 방지할 수 있다. 이는 평탄화층(300)에 의한 제1태양전지 모듈(100)과 제2 태양전지모듈(200)의 결합력을 안정적으로 유지하도록 할 수 있다.

[0075] 한편, 상기와 같은 실시예들에서, 제1 태양전지모듈(100)과 제2 태양전지모듈(200)의 서로 대향된 전극들, 예컨대, 제1 하부전극(120)과 제2 상부전극(250)은 서로 동일한 극성을 갖는 것일 수 있다. 즉, 제1 하부전극(120)과 제2 상부전극(250)은 +전극 또는 -전극일 수 있다. 이렇게 제1 태양전지모듈(100)과 제2 태양전지모듈(200)의 서로 인접하게 배치된 전극들을 동일한 극성의 전극으로 형성함으로써, 제1 태양전지모듈(100)과 제2 태양전지모듈(200)이 서로 전기적 단락을 일으킬 염려를 줄일 수 있으며, 4-터미널 구조의 다중접합 태양전지를 외부 소자와 연결할 때에 보다 쉽게 병렬 및/또는 직렬 접속 구조를 이룰 수 있다.

[0076] 도 4는 본 발명의 다른 일 실시예에 관한 다중접합 태양전지(2)를 개략적으로 도시한 단면도이다.

[0077] 도 4의 실시예는 제1 태양전지모듈(100)의 구성에서 전술한 도 2, 3의 실시예와 차이가 있다. 제1 태양전지모듈(100) 이하의 구성들(예컨대, 평탄화층(300), 제2 태양전지모듈(200))은 동일한 바, 이하에서는 차이점을 위주로 설명한다.

[0078] 도 4를 참조하면, 도 3에서 전술한 것과 같이, 평탄화층(300)의 제1 면(300a)은 평탄화하게 구비될 수 있다. 따라서, 본 실시예에 따른 다중접합 태양전지(2)에서는 평탄화층(300) 상에 제1 태양전지모듈(100)을 연속적으로 제작할 수 있다. 도 6A 이하에서 자세히 설명하겠지만, 전술한 다중접합 태양전지(1)에서는 제1 태양전지모듈(100)과 제2 태양전지모듈(200)을 별개의 기판에 형성하여 이를 평탄화층(300)을 통해 접합하는 방식으로 제조

할 수 있다.

- [0079] 이와는 다르게, 본 실시예의 다중접합 태양전지(2)에서는 평탄화층(300) 상에 제1 태양전지모듈(100)을 직접 제작할 수 있어, 공정을 간소화시킬 수 있다.
- [0080] 이 경우, 제1 태양전지모듈(100)과 평탄화층(300) 사이에는 기재층(400)이 개재될 수 있다. 기재층(400)은 평탄화층(300)의 제1 면(300a) 상에 배치될 수 있다. 이러한 기재층(400)은 예컨대, 글라스재, 및/또는 플라스틱재로 형성될 수 있고, 또는 유기층, 무기층, 유/무기 복합층으로 형성될 수도 있다. 기재층(400)은 제1 하부전극(120)과의 마찰력을 향상시키고, 제조과정에서 평탄화층(300)으로부터 불순물이 유입되는 것을 방지하는 기능을 수행할 수 있다.
- [0081] 도 5는 본 발명의 또 다른 일 실시예에 관한 다중접합 태양전지(3)를 개략적으로 도시한 단면도이다.
- [0082] 도 5의 실시예는 제1 태양전지모듈(100)의 구성에서 전술한 도 2, 3의 실시예와 차이가 있다. 제1 태양전지모듈(100) 이하의 구성들(예컨대, 평탄화층(300), 제2 태양전지모듈(200))은 동일한 바, 이하에서는 차이점을 위주로 설명한다.
- [0083] 도 5는 도 4의 다른 실시예로서, 제1 상부전극(160) 상에 제1 상부전극(160)과 전기적으로 연결된 제1 버스전극(170)이 배치될 수 있다. 제1 버스전극(170)은 제1 상부전극(160) 상에 패터닝되어 구비될 수 있다. 제1 버스전극(170)은 제1 상부전극(160)을 형성할 수 있는 물질로 형성될 수 있는데, 대체로 제1 상부전극(160)과 동일하거나 제1 상부전극(160)보다 전기전도도가 높은 금속재를 포함할 수 있다. 상기 제1 버스전극(170)은 반드시 투명 도전체로 형성하여야 하는 것은 아니며, 불투명한 도전체로 형성할 수도 있다.
- [0084] 본 실시예에서, 제1 버스전극(170)은 하부에 위치한 제2 버스전극(260)이 배치된 위치에 대응되도록 얼라인될 수 있다. 전술한 일 실시예에서 제1 버스전극(170)과 제2 버스전극(260)이 광 투과율이 낮은 도전체를 사용하 경우, 위와 같은 배치를 통해 다중접합 태양전지(3) 전체 개구율을 최대로 향상시킬 수 있다.
- [0085] 도 6A 내지 도 6E는 본 발명의 일 실시예에 관한 제1 태양전지모듈(100)의 제조과정을 개략적으로 도시하는 단면도들이고, 도 7A 내지 도 7E는 본 발명의 일 실시예에 관한 제2 태양전지모듈(200)의 제조과정을 개략적으로 도시하는 단면도들이며, 도 8는 본 발명의 일 실시예에 관한 다중접합 태양전지의 제조과정을 개략적으로 도시하는 단면도이다.
- [0086] 본 발명의 일 실시예에 관한 다중접합 태양전지는, 제1 태양전지모듈(100)과 제2 태양전지모듈(200)을 별도로 제작하여, 이를 접합시켜 형성할 수 있다.
- [0087] 먼저, 도 6A 내지 도 3E를 참조하여 제1 태양전지모듈(100)의 제조방법을 설명한다.
- [0088] 도 6A를 참조하면, 기판(110) 상에 제1 상부전극(160)을 형성할 수 있다.
- [0089] 기판(110)은 글라스재, 플라스틱재 등 다양한 재료로 형성된 것일 수 있는 데, 광투과성일 수 있고, 외부 충격에 견딜 수 있는 강성을 가질 수 있다.
- [0090] 기판(110) 상에는 제1 상부전극(160)을 형성할 수 있는데, 제1 상부전극(160)은 투광성을 갖는 도전성 소재를 포함할 수 있다. 전술한 것과 같이, 제1 태양전지모듈(100)은 장파장 영역의 광을 투과시켜야 하므로, 약 720nm 내지 1100nm의 장파장 영역에서 투과율이 높은 소재를 사용하는 것이 바람직하다. 투광성을 갖는 도전성 소재로는 예컨대, 투명 전도성 산화물, 탄소질 전도성 소재 및 금속성 소재 등이 사용될 수 있다. 투명 전도성 산화물로는, 예컨대 ITO(Indium Tin Oxide), FTO(Fluorine Tin Oxide) 등이 사용될 수 있다.
- [0091] 도 6B를 참조하면, 제1 상부전극(160) 상에 전자수송층(150)을 형성할 수 있다. 전자수송층(150)은 광활성층(140)에서 생성된 전자가 제1 상부전극(160)으로 용이하게 전달되도록 하는 기능을 할 수 있다. 전자수송층(150)은 예컨대, 컴팩트한 구조의 TiO_2 로 형성될 수 있다. 제1 상부전극(160) 및 전자수송층(150)은 예컨대, 물리적 증착법, 화학적 증착법 또는 인쇄법 등을 통해 형성될 수 있으나, 본 발명이 반드시 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0092] 도 6C를 참조하면, 전자수송층(150) 상에 광활성층(140)을 형성할 수 있다. 광활성층(140)은 페로브스카이트 전구체 용액을 전자수송층(150) 상에 도포하여 형성할 수 있다. 광활성층(140)은 예컨대, 스핀 코팅법 등으로 형성될 수 있다. 광활성층(140)을 스핀 코팅법으로 형성하는 경우에는 기판(110) 상에 광활성층(140)을 형성할 액적을 적하하고 기판(110)을 회전시켜 기판(110) 상에 광활성층(140)을 코팅할 수 있다.

- [0093] 이러한 광활성층(140)은 예컨대, $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$, $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_x\text{Cl}_{3-x}$, MAPbI_3 , $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_x\text{Br}_{3-x}$, $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbCl}_x\text{Br}_{3-x}$, $\text{HC}(\text{NH}_2)_2\text{PbI}_3$, $\text{HC}(\text{NH}_2)_2\text{PbI}_x\text{Cl}_{3-x}$, $\text{HC}(\text{NH}_2)_2\text{PbI}_x\text{Br}_{3-x}$, $\text{HC}(\text{NH}_2)_2\text{PbCl}_x\text{Br}_{3-x}$, $(\text{CH}_3\text{NH}_3)(\text{HC}(\text{NH}_2)_2)_{1-y}\text{PbI}_3$, $(\text{CH}_3\text{NH}_3)(\text{HC}(\text{NH}_2)_2)_{1-y}\text{PbI}_x\text{Cl}_{3-x}$, $(\text{CH}_3\text{NH}_3)(\text{HC}(\text{NH}_2)_2)_{1-y}\text{PbI}_x\text{Br}_{3-x}$, $(\text{CH}_3\text{NH}_3)(\text{HC}(\text{NH}_2)_2)_{1-y}\text{PbCl}_x\text{Br}_{3-x}$ 등으로 형성될 수 있다.
- [0094] 도 6D를 참조하면, 광활성층(140) 상에 정공수송층(130)을 형성할 수 있다. 정공수송층(130)은 광활성층(140)과 마찬가지로 예컨대, 스핀 코팅법으로 형성될 수 있으나, 본 발명이 반드시 이에 한정되는 것은 아니다. 이러한 정공수송층(130)을 통해 광활성층(140)에서 발생한 홀(정공)을 제1 하부전극(120)으로 전달할 수 있다. 정공수송층(130)은 전도성 고분자를 포함할 수 있으며, 예컨대 폴리-3,4-에틸렌다이옥시사이오펜-폴리스타이렌셀포네이트(PEDOT-PSS), 스파이로-미오타드(Spiro-MeOTAD: 2,2',7',7'-tetrakis-(N,N-di-p-methoxyphenyl-amine)-9,9'spirobifluorene), 등이 사용될 수 있다.
- [0095] 그 후 도 6E를 참조하면, 정공수송층(130) 상에 제1 하부전극(120)을 형성할 수 있다. 제1 하부전극(120)은 제1 상부전극(160)과 마찬가지로 투광성을 갖는 도전성 소재로 형성될 수 있다. 투광성을 갖는 도전성 소재로는 예컨대, 투명 전도성 산화물, 탄소질 전도성 소재 및 금속성 소재 등이 사용될 수 있다. 투명 전도성 산화물로는, 예컨대 ITO(Indium Tin Oxide), FTO(Fluorine Tin Oxide) 등이 사용될 수 있다. 제1 하부전극(120)과 제1 상부전극(160)은 동일한 물질로 형성될 수도 있고, 서로 상이한 물질로 형성될 수도 있다. 또한, 제1 하부전극(120)과 제1 상부전극(160)은 단층 또는 다층 구조로 형성될 수 있는 등 다양한 변형이 가능하다.
- [0096] 이하에서는 도 7A 내지 도 7C를 참조하여 제2 태양전지모듈(200)의 제조방법을 설명한다.
- [0097] 도 7A를 참조하면, 결정질 실리콘을 포함하는 실리콘 기판층(230)을 형성할 수 있다. 실리콘 기판층(230)은 일면(230a) 및 일면(230a)의 반대측에 위치하는 타면(230b)을 가지며 각각의 일면(230a) 및 타면(230b) 상에 각종 층을 형성하는 기판으로서의 역할을 할 수 있다.
- [0098] 실리콘 기판층(230)의 일면(230a)은 화학적으로 평탄화시키고, 타면(230b)의 적어도 일부는 텍스처링 처리하여 요철면(230c)을 형성할 수 있다. 요철면(230c)은 반도체의 특정한 결정면을 따라 형성된 외면을 가지는 일정한 형상(일 예로, 피라미드 형상)을 가질 수 있다. 이와 같은 텍스처링에 의해 실리콘 기판층(230) 일부에 요철면(230c)이 형성되어 표면 거칠기가 증가되면, 요철면(230c)을 통해 입사되는 광의 반사율을 낮출 수 있고, 따라서 p-n접합까지 도달하는 광의 양을 증가시킬 수 있어 광 손실을 최소화할 수 있다.
- [0099] 이러한 요철면(230c)은 실리콘 기판층(230)의 일면(230a) 또는 타면(230b)의 적어도 일부, 또는 실리콘 기판층(230)의 양면에 형성될 수도 있다. 본 실시예에서는, 실리콘 기판층(230)의 타면(230b)의 일부만이 요철면(230c)을 갖는 것으로 형성하였으나, 본 발명이 반드시 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0100] 이러한 요철면(230c)은 예컨대, 습식화학에칭법, 건식화학에칭법, 전기화학에칭법, 기계적에칭법 등을 이용할 수 있으나, 반드시 이에 한정되는 것은 아니다. 일 실시예로, 실리콘 기판층(230)의 일면(230a) 및 타면(230b)을 염기성 수용액 내에서 식각하여(습식화학에칭법) 양면에 요철면을 형성한 후, 실리콘 기판층(230)의 일면(230a)에 대한 선택적 에칭을 통해 일면(230a)은 평탄화되되 타면(230b)에 텍스처 구조가 도입된 실리콘 기판층(230)을 얻을 수 있다. 다른 실시예로, 실리콘 기판층(230)의 일면(230a)에 대한 선택적 에칭은 타면(230b)에 배리어층을 형성한 후 에칭을 수행하거나 실리콘 기판층(230)의 일면(230a)에만 에칭액을 분사함으로써 수행될 수 있다.
- [0101] 한편, 본 실시예에서 실리콘 기판층(230)의 일면(230a)은 요철면(230c)보다 표면 거칠기가 작은 상대적으로 평탄한 면을 가질 수 있다. 실리콘 기판층(230)의 일면(230a)은 요철면(230c)보다 상대적으로 평탄한 면으로 형성함으로써 패시베이션 특성을 향상시킬 수 있다.
- [0102] 도 7B를 참조하면, 실리콘 기판층(230)의 일면(230a) 및 타면(230b) 상에 각각 제1 배리어층(222) 및 제2 배리어층(242)을 형성할 수 있다. 그 후 제1 배리어층(222) 및 제2 배리어층(242) 상에 각각 제1 비정질 실리콘층(220) 및 제2 비정질 실리콘층(240)을 형성할 수 있다. 제1, 2 배리어층(222, 242)은 산화물, 질화물 등과 같은 절연 물질 또는 실질적으로 도펀트를 포함하지 않는 i형(진성) 반도체 물질로 형성될 수 있다.
- [0103] 또한, 제1, 2 비정질 실리콘층(220, 240)은 수소화된 비정질 실리콘(Hydrogenated Amorphous Silicon)을 포함할 수 있으며, n형 반도체 특성 및 p형 반도체 특성 중 하나의 특성을 갖도록 도핑되어 도전성을 나타낼 수 있다. 본 실시예에서, 제1 비정질 실리콘층(220)은 n형 도펀트로 도핑되고, 제2 비정질 실리콘층(240)은 p형 도펀트로

도평될 수 있다.

- [0104] 이러한, 제1, 2 배리어층(222, 242) 및 제1, 2 비정질 실리콘층(220, 240)은 예컨대, 화학기상증착법(Chemical Vapor Deposition; CVD) 등을 이용하여 형성할 수 있다. 또한, 제2 배리어층(242) 및 제2 비정질 실리콘층(240)의 일부는 실리콘 기판층(230)의 요철면(230c)을 따라 형성될 수 있다.
- [0105] 그 후 도 7C를 참조하면, 제1 비정질 실리콘층(220) 및 제2 비정질 실리콘층(240) 상에 각각 제2 하부전극(210) 및 제2 상부전극(250)을 형성할 수 있다. 제2 하부전극(210) 및 제2 상부전극(250)은 (반)투명 전극 또는 반사형 전극으로 형성될 수 있다. (반)투명 전극으로 형성될 때에는 예컨대 ITO, IZO, ZnO, In₂O₃, IGO 또는 AZO로 형성될 수 있다. 반사형 전극으로 형성될 때에는 Ag, Mg, Al, Pt, Pd, Au, Ni, Nd, Ir, Cr 및 이들의 화합물 등으로 형성된 반사막과, ITO, IZO, ZnO, In₂O₃, IGO 또는 AZO로 형성된 층을 가질 수 있다.
- [0106] 그 후, 도 8에 도시된 것과 같이, 제1 태양전지모듈(100)과 제2 태양전지모듈(200)을 접합시킬 수 있다. 본 실시예에서는, 제2 태양전지모듈(200) 상에 평탄화층(300)을 형성한 후, 평탄화층(300)을 사이에 두고 제1 태양전지모듈(100)과 접합하나, 다른 실시예로 평탄화층(300)을 제2 태양전지모듈(200) 상에 형성한 후, 제1 태양전지모듈(100)과 제2 태양전지모듈(200)을 결합할 수도 있다.
- [0107] 평탄화층(300)은 접착제 등으로 형성될 있으며, 제1 태양전지모듈(100)과 제2 태양전지모듈(200)을 기계적으로 결합할 수 있으면 족하고 특정 물질에 제한되지 않는다. 다만, 제1 태양전지모듈(100)을 통과한 장파장의 광이 제2 태양전지모듈(200)에 최대한 수광되기 위해서는 평탄화층(300)은 투광성을 갖는 물질로 형성되는 것이 바람직하다.
- [0108] 제1 태양전지모듈(100)과 제2 태양전지모듈(200)을 접합할 때, 제2 태양전지모듈(200)의 기판(110)이 최상부에 오도록 할 수 있다. 이렇게 결합된 본 발명의 일 실시예에 관한 다중접합 태양전지는, 평탄화층(300)을 사이에 두고 제1 태양전지모듈(100)의 제1 하부전극(120)과 제2 태양전지모듈(200)의 제2 상부전극(250)이 대향하도록 배치될 수 있다.
- [0109] 상술한 것과 같이, 본 발명의 일 실시예에 따른 다중접합 태양전지는 별도로 제작된 실리콘 기반의 제1 태양전지모듈(100) 및 페로브스카이트 기반의 제2 태양전지모듈(200)을 결합하여 구비할 수 있다. 제1 태양전지모듈(100)이 단파장의 광을 흡수하고, 제2 태양전지모듈(200)이 장파장의 광을 흡수하도록 함으로써, 광흡수 효율을 향상시켜 결과적으로 광전변환효율이 향상된 태양전지를 구현할 수 있다.
- [0110] 또한, 제1 태양전지모듈(100) 및 제2 태양전지모듈(200)에 각각 단자(즉, 4-terminal)를 형성하여 개별적으로 구동시킴에 따라, 하나의 태양전지모듈의 미작동 환경에서도 나머지 태양전지모듈이 작동시킬 수 있고, 각각의 태양전지모듈을 분리 및 교체가 가능하여, 가동률 및 실패전량을 증대시킬 수 있다.
- [0111] 본 발명은 도면에 도시된 실시예를 참고로 설명되었으나 이는 예시적인 것에 불과하며, 당해 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 다른 실시예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 따라서 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 특허청구범위의 기술적 사상에 의하여 정해져야 할 것이다.

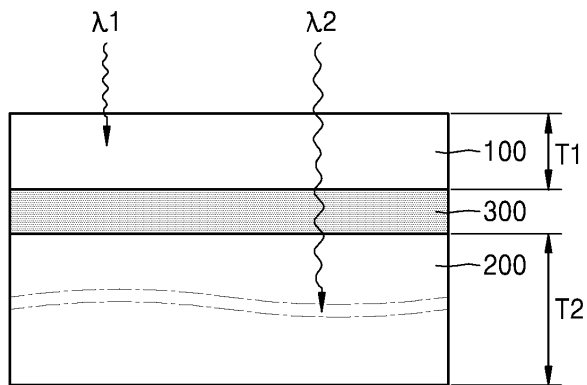
부호의 설명

- [0112] 100: 제1 태양전지모듈
110: 기판
120: 제1 하부전극
130: 정공수송층
140: 광활성층
150: 전자수송층
160: 제1 상부전극
200: 제2 태양전지모듈
210: 제2 하부전극
220: 제1 비정질 실리콘층

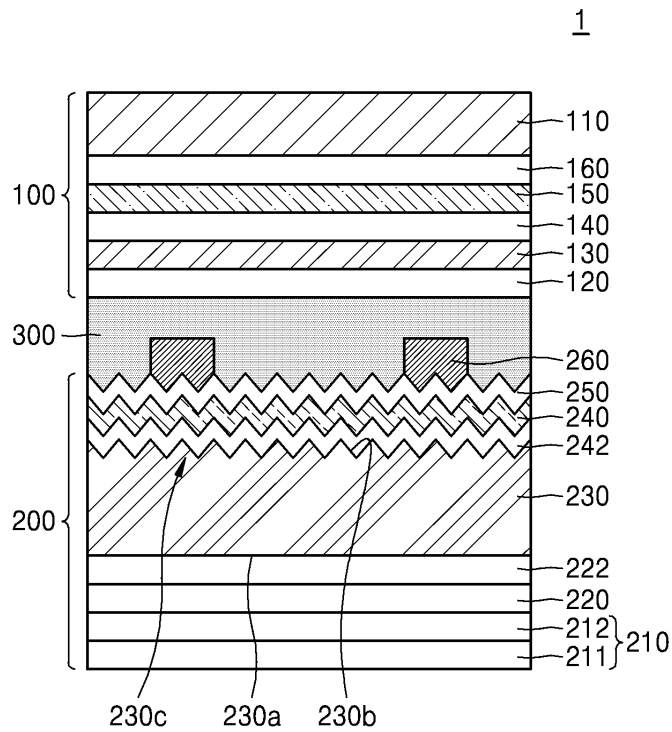
- 222: 제1 배리어층
- 230: 실리콘 기판층
- 240: 제2 비정질 실리콘층
- 242: 제2 배리어층
- 250: 제2 상부전극
- 300: 평탄화층

도면

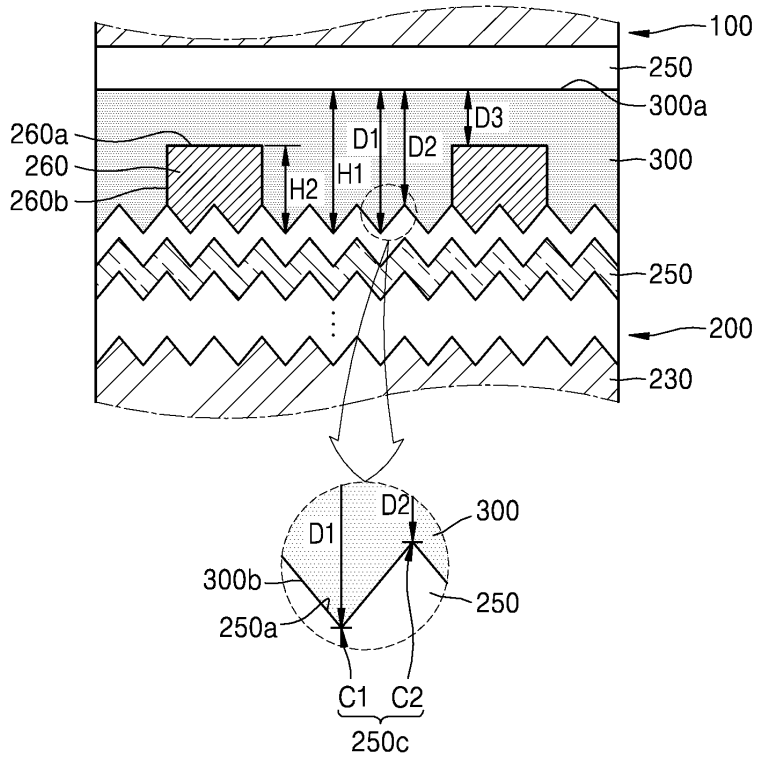
도면1



도면2

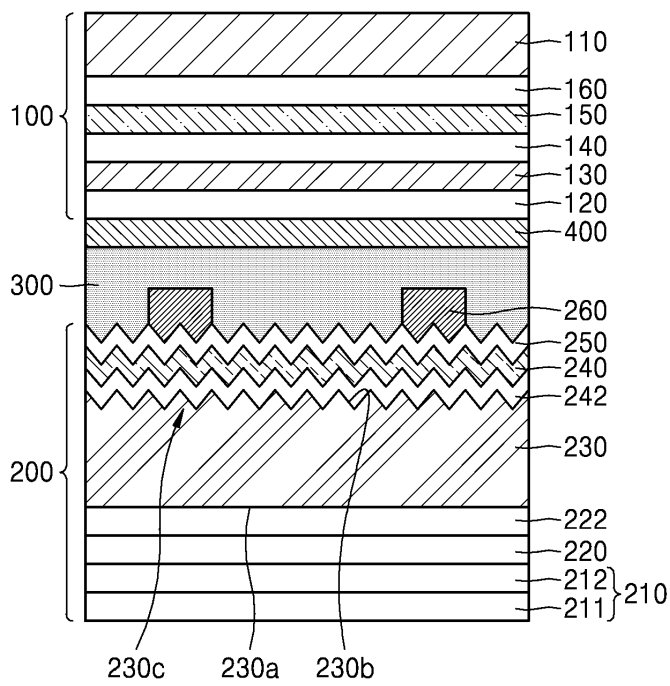


도면3



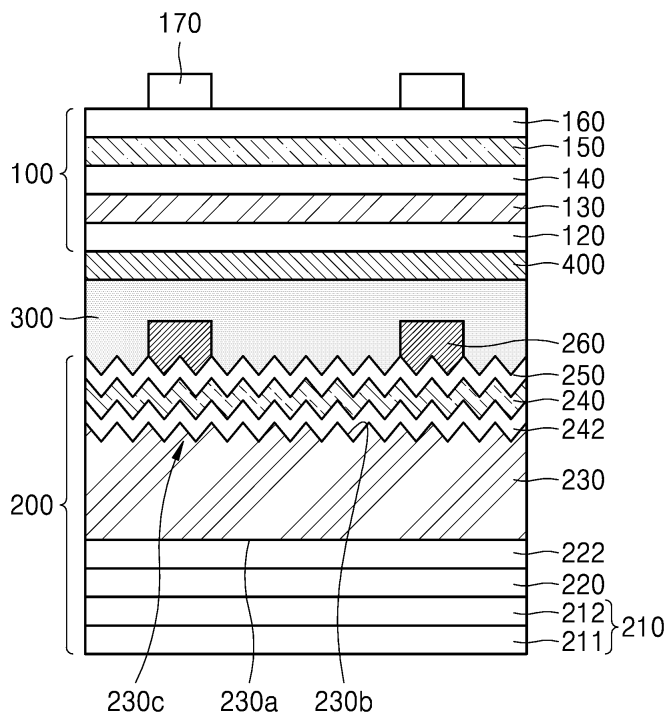
도면4

2



도면5

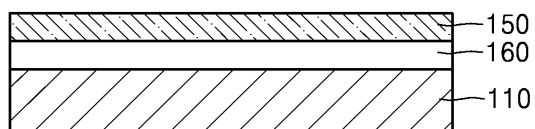
3



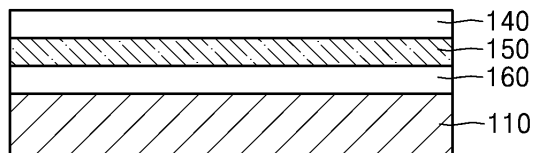
도면6a



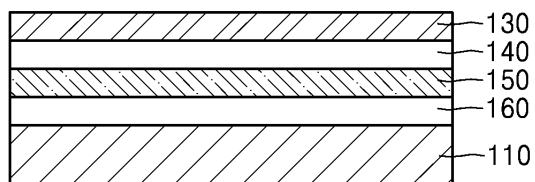
도면6b



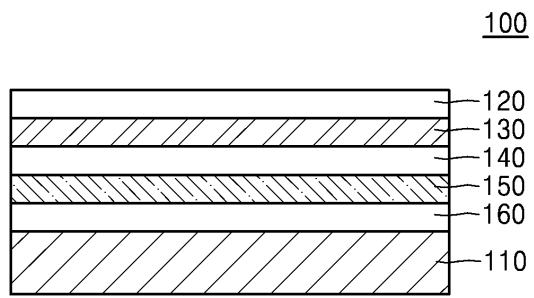
도면6c



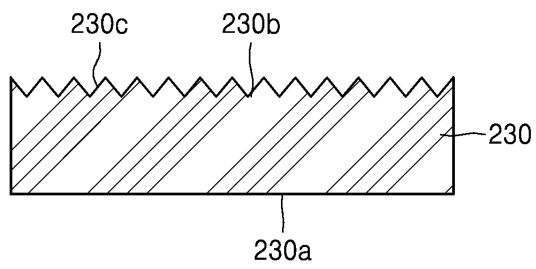
도면6d



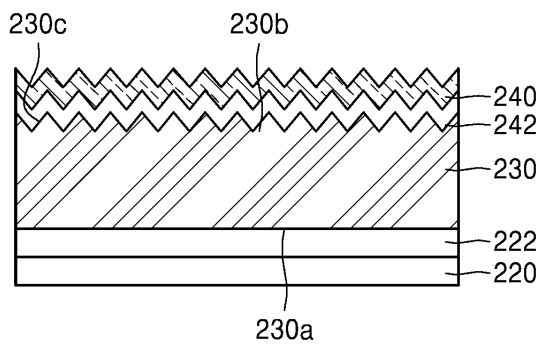
도면6e



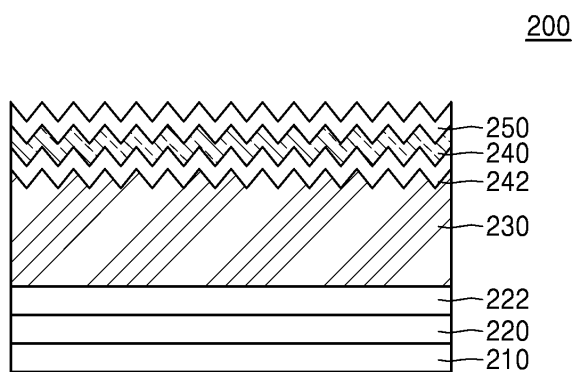
도면7a



도면7b



도면7c



도면8

