



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2011-0093046
(43) 공개일자 2011년08월18일

(51) Int. Cl.

H01L 31/042 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2010-0012841

(22) 출원일자 2010년02월11일

심사청구일자 없음

(71) 출원인

엘지전자 주식회사

서울특별시 영등포구 여의도동 20번지

(72) 발명자

이승윤

서울 서초구 우면동 16번지 LG전자 전자기술원

안세원

서울 서초구 우면동 16번지 LG전자 전자기술원

(74) 대리인

특허법인로얄

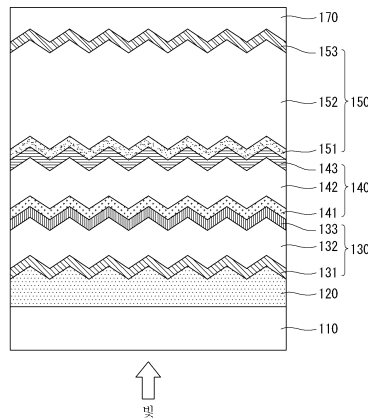
전체 청구항 수 : 총 16 항

(54) 실리콘 박막 태양전지 및 그 제조 방법

(57) 요약

본 발명의 실시예에 따른 실리콘 박막 태양전지는 태양광이 입사하는 기관; 및 상기 기관 위에 위치하는 제1 전극, 적어도 3개 이상의 광전 변환부 및 제2 전극을 포함하고, 상기 적어도 3개 이상의 광전 변환부는 상기 제1 전극 위에 순차적으로 위치하는 제1 광전 변환부, 제2 광전 변환부 및 제3 광전 변환부를 포함하며, 상기 제2 광전 변환부는 p형 도핑층, 진성 반도체층 및 n형 도핑층을 포함하고, 상기 p형 도핑층 및 n형 도핑층은 수소화된 미세 결정 실리콘($\mu\text{c-Si:H}$) 또는 수소화된 미세 결정 실리콘 산화물($\mu\text{c-SiO}_x\text{:H}$) 중에서 선택된 어느 한 물질로 각각 이루어지며, 상기 진성 반도체층은 수소화된 미세 결정 실리콘 산화물($\mu\text{c-SiO}_x\text{:H}$)로 이루어진다.

대표도 - 도1



특허청구의 범위

청구항 1

태양광이 입사하는 기관; 및

상기 기관 위에 순차적으로 위치하는 제1 전극, 적어도 3개 이상의 광전 변환부 및 제2 전극

을 포함하고,

상기 적어도 3개 이상의 광전 변환부는 상기 제1 전극 위에 순차적으로 위치하는 제1 광전 변환부, 제2 광전 변환부 및 제3 광전 변환부를 포함하며,

상기 제2 광전 변환부는 p형 도핑층, 진성 반도체층 및 n형 도핑층을 포함하고, 상기 p형 도핑층 및 n형 도핑층은 수소화된 미세 결정 실리콘($\mu\text{c-Si:H}$) 또는 수소화된 미세 결정 실리콘 산화물($\mu\text{c-SiO}_x\text{:H}$) 중에서 선택된 어느 한 물질로 각각 이루어지며, 상기 진성 반도체층은 수소화된 미세 결정 실리콘 산화물($\mu\text{c-SiO}_x\text{:H}$)로 이루어지는 실리콘 박막 태양전지.

청구항 2

제1항에서,

상기 제2 광전 변환부의 진성 반도체층 내의 산소 함량이 1% 내지 15%인 실리콘 박막 태양전지.

청구항 3

제2항에서,

상기 제1 광전 변환부의 진성 반도체층은 수소화된 비정질 실리콘(a-Si:H)으로 이루어지는 실리콘 박막 태양전지.

청구항 4

제2항에서,

상기 제3 광전 변환부의 진성 반도체층은 수소화된 미세 결정 실리콘($\mu\text{c-Si:H}$)으로 이루어지는 실리콘 박막 태양전지.

청구항 5

제2항에서,

상기 제3 광전 변환부의 진성 반도체층은 수소화된 미세 결정 실리콘 게르마늄($\mu\text{c-SiGe:H}$)으로 이루어지는 실리콘 박막 태양전지.

청구항 6

제2항에서,

상기 제1 내지 제3 광전 변환부의 사이에 적어도 하나의 중간 반사층이 위치하는 실리콘 박막 태양전지.

청구항 7

제1항에서,

상기 제2 광전 변환부의 진성 반도체층은 15% 내지 50%의 결정화도를 갖는 실리콘 박막 태양전지.

청구항 8

제7항에서,

상기 제1 광전 변환부의 진성 반도체층은 수소화된 비정질 실리콘(a-Si:H)으로 이루어지는 실리콘 박막 태양전지.

지.

청구항 9

제7항에서,

상기 제3 광전 변환부의 진성 반도체층은 수소화된 미세 결정 실리콘($\mu\text{c-Si:H}$)으로 이루어지는 실리콘 박막 태양전지.

청구항 10

제7항에서,

상기 제3 광전 변환부의 진성 반도체층은 수소화된 미세 결정 실리콘 게르마늄($\mu\text{c-SiGe:H}$)으로 이루어지는 실리콘 박막 태양전지.

청구항 11

제7항에서,

상기 제1 내지 제3 광전 변환부의 사이에 적어도 하나의 중간 반사층이 위치하는 실리콘 박막 태양전지.

청구항 12

적어도 3개 이상의 광전 변환부를 갖는 다중 접합형 태양전지의 제조 방법으로서,

제1 전극이 형성된 기판의 한 표면 위에 제1 광전 변환부를 형성하는 단계;

상기 제1 광전 변환부 위에 제2 광전 변환부를 형성하는 단계; 및

상기 제2 광전 변환부 위에 제3 광전 변환부를 형성하는 단계

를 포함하고,

상기 제2 광전 변환부를 형성하는 단계는,

수소화된 미세 결정 실리콘($\mu\text{c-Si:H}$) 또는 수소화된 미세 결정 실리콘 산화물($\mu\text{c-SiOx:H}$) 중에서 선택된 어느 한 물질로 p형 도핑층을 형성하는 단계;

수소화된 미세 결정 실리콘 산화물($\mu\text{c-SiOx:H}$)로 진성 반도체층을 형성하는 단계; 및

수소화된 미세 결정 실리콘($\mu\text{c-Si:H}$) 또는 수소화된 미세 결정 실리콘 산화물($\mu\text{c-SiOx:H}$) 중에서 선택된 어느 한 물질로 n형 도핑층을 형성하는 단계

를 포함하는 실리콘 박막 태양전지의 제조 방법.

청구항 13

제12항에서,

상기 제1 광전 변환부를 형성하는 단계는,

수소화된 비정질 실리콘(a-Si:H)으로 제1 전극 위에 진성 반도체층을 형성하는 단계를 포함하는 실리콘 박막 태양전지의 제조 방법.

청구항 14

제12항에서,

상기 제3 광전 변환부를 형성하는 단계는,

수소화된 미세 결정 실리콘($\mu\text{c-Si:H}$)으로 제2 광전 변환부 위에 진성 반도체층을 형성하는 단계를 포함하는 실리콘 박막 태양전지의 제조 방법.

청구항 15

제12항에서,

상기 제3 광전 변환부를 형성하는 단계는,

수소화된 미세 결정 실리콘 게르마늄($\mu\text{c-SiGe:H}$)으로 제2 광전 변환부 위에 진성 반도체층을 형성하는 단계를 포함하는 실리콘 박막 태양전지의 제조 방법.

청구항 16

제12항에서,

상기 제1 내지 제3 광전 변환부의 사이에 적어도 하나의 중간 반사층을 형성하는 단계를 더 포함하는 실리콘 박막 태양전지의 제조 방법.

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 실리콘 박막 태양전지에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 삼중 접합 이상의 접합을 갖는 다중 접합형 실리콘 박막 태양전지 및 그 제조 방법에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 태양전지는 거의 무한한 에너지원인 태양을 에너지원으로 하고, 발전 과정에서 공해 물질을 거의 생성하지 않으며, 수명이 20년 이상으로 매우 길다는 장점과 더불어, 관련 산업분야로의 파급 효과가 크다는 장점으로 인해 매우 주목받고 있으며, 그로 인해 많은 국가에서 태양전지를 차세대 주요산업으로 육성하고 있다.

[0003] 현재 태양전지의 90% 이상은 단결정 또는 다결정 실리콘 웨이퍼(Si wafer)를 기반으로 하여 제작 판매되고 있으며, 이외에 박막형 실리콘 기반의 태양전지가 소규모로 제작 판매되고 있다.

[0004] 태양전지의 가장 큰 문제점은 발전 단가가 타 에너지원에 비해 매우 높다는 것이다. 따라서 차후 청정에너지의 수요를 충족시키기 위해서는 발전단가를 큰 폭으로 낮춰야 한다.

[0005] 하지만, 현재 단결정 혹은 다결정 실리콘 웨이퍼를 기반으로 한 이른바 벌크(bulk)형 실리콘 태양전지는 필요한 원재료 양이 최소 150 μm 두께 이상이므로, 원가의 많은 부분을 재료비, 즉 실리콘 원재료가 차지하고 있는데, 원재료의 공급이 급격히 늘어나는 수요를 따라가지 못해 원가를 낮출 수 있는 가능성이 용이하지 않은 실정이다.

[0006] 이에 비해, 박막형 태양전지는 그 두께가 2 μm 이내이므로 벌크형 태양전지에 비해 원재료의 사용량이 매우 적어 재료비를 비약적으로 낮출 수 있다. 따라서 발전 단가 면에서 벌크형 태양전지에 비해 큰 장점을 가지고 있다. 하지만 박막형 태양전지는 벌크형 태양전지에 비해 같은 면적 대비 발전 성능이 절반 정도로 매우 낮다.

[0007] 일반적으로 태양전지의 효율을 표현할 때는 100mW/cm²의 광량에서 얻을 수 있는 전력의 크기를 %로 나타내는데, 벌크형 태양전지의 효율은 12% 내지 20%이지만, 박막형 태양전지의 효율은 8% 내지 9% 정도이다. 따라서 박막형 태양 전지의 효율은 벌크형 태양전지에 비해 낮은 편이다.

[0008] 박막형 태양전지의 가장 기본적인 모델은 단일 접합(single junction)형의 구조를 갖는다. 여기에서 단일 접합형 박막 태양전지는 광 흡수용 진성 반도체층(intrinsic layer)과, 광 생성된 전하 분리를 위한 내부 전계를 형성하기 위해 진성 반도체층의 상부 및 하부에 각각 배치되는 p형 도핑층 및 n형 도핑층을 포함하는 광전 변환부가 기판 위에 형성된 태양전지를 말한다.

[0009] 그런데 상기 단일 접합형 박막 태양전지는 효율이 낮은 편이다. 따라서 효율을 높이기 위해 2개의 광전 변환부를 적층한 이중 접합(tandem 또는 double junction)형 및 3개의 광전 변환부를 적층한 삼중 접합(triple junction)형 박막 태양전지가 개발되고 있다.

[0010] 상기한 이중 접합형 및 삼중 접합형 박막 태양전지는 밴드갭(Eg: band gap)이 다른 여러 종류의 물질로 서로 다른 광전 변환부의 광 흡수용 진성 반도체층을 형성함으로써, 광 흡수 스펙트럼 대역을 확장시키고 개방전압(Voc)을 높여 효율을 향상시키도록 구성한 것이다.

[0011] 이 중에서 삼중 접합형 박막 태양전지에 대해 살펴 보면, 태양광이 먼저 흡수되는 제1 광전 변환부의 진성 반도체

체층은 광학 밴드갭(Eg: bandgap)이 높은 반도체 물질(예를 들어, 비정질 실리콘(a-Si))로 형성되고, 제1 광전 변환부 위에 위치하는 제2 광전 변환부의 진성 반도체층은 광학 밴드갭이 낮은 반도체 물질(예를 들어, 비정질 실리콘 게르마늄(a-SiGe) 또는 미세 결정 실리콘($\mu\text{c-Si}$))로 형성되며, 제2 광전 변환부 위에 위치하는 제3 광전 변환부의 진성 반도체층은 제2 광전 변환부의 진성 반도체층을 형성하는 물질보다 게르마늄(Ge) 함량이 높은 비정질 실리콘 게르마늄 또는 미세 결정 실리콘 게르마늄($\mu\text{c-Si(Ge)}$)으로 형성된 것이 공지되어 있다.

[0012] 이러한 구성의 삼중 접합형 박막 태양전지는 기관을 통해 입사된 태양광의 성분 중에서 주로 단파장의 태양광이 제1 광전 변환부의 진성 반도체층에서 흡수되고, 제1 광전 변환부에서 흡수되지 못한 파장의 태양광 성분이 제2 광전 변환부 및 제3 광전 변환부의 진성 반도체층에서 흡수된다.

[0013] 그런데, 제1 광전 변환부 내지 제3 광전 변환부의 각각의 진성 반도체층이 a-Si/a-SiGe/ $\mu\text{c-Si}$ 로 이루어진 삼중 접합형 태양 전지와 a-Si/ $\mu\text{c-Si}/\mu\text{c-Si}$ 로 이루어진 삼중 접합형 태양전지의 양자 효율(QE: Quantum Efficiency)을 비교하면, 전자의 태양전지는 진성 반도체층이 a-SiGe로 이루어진 제2 광전 변환부의 전류가 진성 반도체층이 $\mu\text{c-Si}$ 로 이루어진 제3 광전 변환부의 전류보다 낮아 제2 광전 변환부에 제한(limit)이 걸리는 소자 형태가 되는 경우가 많으므로 효율을 높이는데 한계가 있지만, 후자의 태양전지는 제2 광전 변환부 및 제3 광전 변환부의 진성 반도체층이 모두 $\mu\text{c-Si}$ 로 이루어지므로 제2 광전 변환부에서 충분한 전류를 생산할 수 있어 전류 측면에서는 후자의 태양전지가 효율을 높이는데 유리한 소자 구조를 갖는다.

[0014] 하지만 개방전압(Voc) 측면에서 살펴 보면, 전자의 태양전지는 제1 광전 변환부의 개방전압이 1.0V, 제2 광전 변환부의 개방전압이 0.75V, 제3 광전 변환부의 개방전압이 0.5V로 총 2.25V의 개방전압을 얻을 수 있다. 하지만 후자의 태양전지는 제1 및 제3 광전 변환부의 개방전압이 전자의 태양전지와 동일한 반면에 제2 광전 변환부의 개방전압이 0.5V가 되어 총 개방전압이 2.0V가 되므로 개방전압 측면에서는 전자의 태양전지가 유리한 소자 구조를 갖는다.

[0015] 즉, 전자의 태양전지는 전류 측면에서, 그리고 후자의 태양전지는 전압 측면에서 효율을 더욱 상승시키기에 어려운 소자 구조를 가지므로, 전자 및 후자의 태양전지는 모두 13.5% 이상의 효율을 달성하는 것이 용이하지 않다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0016] 본 발명이 이루고자 하는 기술적 과제는 삼중 접합 이상의 다중 접합형으로 이루어지며 효율이 향상된 실리콘 박막 태양전지를 제공하는 것이다.

[0017] 본 발명이 이루고자 하는 다른 기술적 과제는 다중 접합형 실리콘 박막 태양전지의 제조 방법을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0018] 본 발명의 실시예에 따른 실리콘 박막 태양전지는, 태양광이 입사하는 기관; 및 상기 기관 위에 위치하는 제1 전극, 적어도 3개 이상의 광전 변환부 및 제2 전극을 포함하고, 상기 적어도 3개 이상의 광전 변환부는 상기 제1 전극 위에 순차적으로 위치하는 제1 광전 변환부, 제2 광전 변환부 및 제3 광전 변환부를 포함하며, 상기 제2 광전 변환부는 p형 도핑층, 진성 반도체층 및 n형 도핑층을 포함하고, 상기 p형 도핑층 및 n형 도핑층은 수소화된 미세 결정 실리콘($\mu\text{c-Si:H}$) 또는 수소화된 미세 결정 실리콘 산화물($\mu\text{c-SiO}_x\text{:H}$) 중에서 선택된 어느 한 물질로 각각 이루어지며, 상기 진성 반도체층은 수소화된 미세 결정 실리콘 산화물($\mu\text{c-SiO}_x\text{:H}$)로 이루어진다.

[0019] 제2 광전 변환부의 진성 반도체층 내의 산소 함량은 1% 내지 15%이며, 제2 광전 변환부의 진성 반도체층의 결정화도는 15% 내지 50%이다.

[0020] 제1 광전 변환부의 진성 반도체층은 수소화된 비정질 실리콘(a-Si:H)으로 이루어질 수 있고, 제3 광전 변환부의 진성 반도체층은 수소화된 미세 결정 실리콘($\mu\text{c-Si:H}$) 또는 수소화된 미세 결정 실리콘 게르마늄($\mu\text{c-SiGe:H}$)으로 이루어질 수 있다. 그리고 제1 내지 제3 광전 변환부의 사이에는 적어도 하나의 중간 반사층이 위치할 수 있다.

[0021] 이러한 구성의 실리콘 박막 태양전지는, 제1 전극이 형성된 기관의 한 표면 위에 제1 광전 변환부를 형성하는 단계; 제1 광전 변환부 위에 제2 광전 변환부를 형성하는 단계; 및 제2 광전 변환부 위에 제3 광전 변환부를 형

성하는 단계를 포함하고, 제2 광전 변환부를 형성하는 단계는, 수소화된 미세 결정 실리콘($\mu\text{c-Si:H}$) 또는 수소화된 미세 결정 실리콘 산화물($\mu\text{c-SiO}_x\text{:H}$) 중에서 선택된 어느 한 물질로 p형 도핑층을 형성하는 단계; 수소화된 미세 결정 실리콘 산화물($\mu\text{c-SiO}_x\text{:H}$)로 진성 반도체층을 형성하는 단계; 및 수소화된 미세 결정 실리콘($\mu\text{c-Si:H}$) 또는 수소화된 미세 결정 실리콘 산화물($\mu\text{c-SiO}_x\text{:H}$) 중에서 선택된 어느 한 물질로 n형 도핑층을 형성하는 단계를 포함하는 실리콘 박막 태양전지의 제조 방법에 의해 제조할 수 있다.

[0022] 제1 광전 변환부를 형성하는 단계는 수소화된 비정질 실리콘(a-Si:H)으로 제1 전극 위에 진성 반도체층을 형성하는 단계를 포함할 수 있으며, 제3 광전 변환부를 형성하는 단계는 수소화된 미세 결정 실리콘($\mu\text{c-Si:H}$)으로 제2 광전 변환부 위에 진성 반도체층을 형성하거나, 수소화된 미세 결정 실리콘 게르마늄($\mu\text{c-SiGe:H}$)으로 제2 광전 변환부 위에 진성 반도체층을 형성하는 단계를 포함할 수 있다.

발명의 효과

[0023] 이러한 특징에 따르면, 단락 전류 밀도 측면에서는 제2 광전 변환부의 진성 반도체층을 형성하는 수소화된 미세 결정 실리콘 산화물이 비정질 실리콘 게르마늄보다 밴드갭이 낮으므로 단락 전류 밀도를 높일 수 있고, 개방 전압 측면에서는 수소화된 미세 결정 실리콘 산화물이 미세 결정 실리콘보다 밴드갭이 높으므로 개방 전압을 높일 수 있다. 따라서, 실리콘 박막 태양전지의 효율을 높일 수 있다.

[0024] 또한 제2 광전 변환부의 진성 반도체층에 함유되는 산소 원자의 함량을 조절하여 적절한 밴드갭을 중간 반사층 및 후면 반사층이 모두 도핑된 미세 결정 실리콘 산화물로 이루어지는 경우에는 각 반사층의 두께를 최적화 하여 각 광전 변환부에 흐르는 전류의 균형을 맞추므로써 고효율 태양전지를 구현할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0025] 도 1은 본 발명의 제1 실시예에 따른 삼중 접합형 실리콘 박막 태양전지의 부분 단면도이다.

도 2는 본 발명의 제1 실시예에 따른 삼중 접합형 실리콘 박막 태양전지의 효율 및 특성치를 나타내는 표이다.

도 3은 본 발명의 제2 실시예에 따른 삼중 접합형 실리콘 박막 태양전지의 부분 단면도이다.

도 4는 본 발명의 제3 실시예에 따른 삼중 접합형 실리콘 박막 태양전지의 부분 단면도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0026] 아래에서는 첨부한 도면을 참고로 하여 본 발명의 실시예에 대하여 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 상세히 설명한다. 그러나 본 발명은 여러 가지 다양한 형태로 구현될 수 있으며 여기에서 설명하는 실시예에 한정되지 않는다. 그리고 도면에서 본 발명을 명확하게 설명하기 위해서 설명과 관계없는 부분은 생략하였으며, 명세서 전체를 통하여 유사한 부분에 대해서는 유사한 도면 부호를 부여하였다.

[0027] 도면에서 여러 층 및 영역을 명확하게 표현하기 위하여 두께를 확대하여 나타내었다. 층, 막, 영역, 판 등의 부분이 다른 부분 "위에" 있다고 할 때, 이는 다른 부분 "바로 위에" 있는 경우뿐 아니라 그 중간에 다른 부분이 있는 경우도 포함한다. 반대로 어떤 부분이 다른 부분 "바로 위에" 있다고 할 때에는 중간에 다른 부분이 없는 것을 뜻한다.

[0028] 그러면 첨부한 도면을 참고로 하여 본 발명의 실시예를 설명한다.

[0029] 도 1은 본 발명의 제1 실시예에 따른 실리콘 박막 태양전지의 개략도로서, 삼중 접합형 태양전지의 부분 단면도이다. 하지만, 이하에서 설명하는 본원 발명은 4개 이상의 광전 변환부를 갖는 실리콘 박막 태양전지에도 적용이 가능하다.

[0030] 도 1을 참고로 하면, 본 실시예에 따른 삼중 접합형 실리콘 박막 태양전지는 기판(110)을 통해 빛이 입사되는 상판(superstrate)형 구조를 갖는다.

[0031] 좀 더 자세히 설명하면, 삼중 접합형 실리콘 박막 태양전지는 유리 또는 투명 플라스틱 등으로 이루어진 기판(110), 기판(110) 위에 위치하는 도전성 투명 전극(transparent conductive oxide, TCO)(120), 투명 전극(120) 위에 위치하는 제1 광전 변환부(130), 제1 광전 변환부(130) 위에 위치하는 제2 광전 변환부(140), 제2 광전 변환부(140) 위에 위치하는 제3 광전 변환부(150), 제3 광전 변환부(150) 위에 위치하는 후면 전극(170)을 구비한다. 이때, 투명 전극(120)은 제1 전극이고, 후면 전극(170)은 제2 전극이다.

- [0032] 도전성 투명 전극(120)은 기판(110)의 전체 면에 형성되어 있으며, 제1 광전 변환부(130)과 전기적으로 연결되어 있다. 따라서 도전성 투명 전극(120)은 빛에 의해 생성된 캐리어(carrier) 중 하나, 예를 들어 정공을 수집하여 출력한다. 도전성 투명 전극(120)은 또한 반사 방지막의 기능도 수행할 수 있다.
- [0033] 도전성 투명 전극(120)의 상부 표면은 랜덤(random)한 피라미드 구조를 갖는 복수 개의 요철(도시하지 않음)을 구비한 텍스처링 표면(texturing surface)으로 형성된다. 이와 같이, 도전성 투명 전극(120)의 표면을 텍스처링 표면으로 형성하면, 도전성 투명 전극의 빛 반사도가 감소되어 빛의 흡수율이 증가되므로, 태양 전지의 효율이 향상된다. 이때 형성되는 요철의 높이는 약 1 μ m 내지 10 μ m일 수 있다.
- [0034] 도전성 투명 전극(120)은 대부분의 빛이 통과하며 전기가 잘 흐를 수 있도록 높은 광 투과도와 높은 전기 전도도가 요구된다. 이러한 도전성 투명 전극(120)은 인듐 틴 옥사이드(indium tin oxide: ITO), 주석계 산화물(SnO₂ 등), AgO, ZnO-(Ga₂O₃ 또는 Al₂O₃), 플루오린 틴 옥사이드(fluorine tin oxide: FTO) 및 이들의 혼합물로 이루어진 군에서 선택되는 것으로 형성될 수 있다. 도전성 투명 전극(120)의 비저항 범위는 약 10⁻² Ω -cm 내지 10⁻¹¹ Ω -cm일 수 있다.
- [0035] 제1 광전 변환부(130)는 수소화된 비정질 실리콘(hydrogenated amorphous silicon: a-Si:H)을 이용하는 비정질 실리콘 셀로 이루어질 수 있으며, 약 1.7eV의 광학 밴드갭을 갖고, 근자외선, 보라, 파랑 등과 같은 단파장 대역의 빛을 주로 흡수한다.
- [0036] 이러한 제1 광전 변환부(130)는 도전성 투명 전극(120) 위에 순차적으로 적층된 제1 도전성 타입의 반도체층인 제1 p형 도핑층(131), 제1 진성 반도체층(132), 그리고 제1 도전성 타입과 반대인 제2 도전성 타입의 반도체층인 제1 n형 도핑층(133)을 포함한다.
- [0037] 제1 p형 도핑층(131)은 실리콘(Si)을 포함한 원료 가스에 붕소, 갈륨, 인듐 등과 같은 3가 원소의 불순물을 포함하는 가스를 혼합하여 형성될 수 있다. 본 실시예에서 제1 p형 도핑층(131)은 수소화된 비정질 실리콘(a-Si:H)으로 형성되지만, 수소화된 비정질 실리콘 외의 다른 물질로 형성하는 것도 가능하다.
- [0038] 제1 진성 반도체층(132)은 캐리어의 재결합률을 줄이고 광을 흡수하기 위한 것으로, 전자와 정공과 같은 캐리어가 이곳에서 주로 생성된다. 이러한 제1 진성 반도체층(132)은 수소화된 비정질 실리콘(a-Si:H)으로 형성될 수 있고, 약 200nm 내지 300nm의 두께를 가질 수 있다.
- [0039] 제1 n형 도핑층(133)은 실리콘을 포함한 원료 가스에 인(P), 비소(As), 안티몬(Sb) 등과 같이 5가 원소의 불순물을 포함하는 가스를 혼합하여 형성될 수 있다. 본 실시예에서 제1 p형 도핑층(131)은 제1 n형 도핑층(133)과 마찬가지로 수소화된 비정질 실리콘(a-Si:H)으로 형성되지만, 수소화된 비정질 실리콘 외의 다른 물질로 형성하는 것도 가능하다.
- [0040] 이러한 제1 광전 변환부(130)는 플라즈마 화학 기상 증착법(plasma enhanced chemical vapor deposition, PECVD)과 같은 화학 기상 증착법(chemical vapor deposition, CVD)에 의해 형성될 수 있다.
- [0041] 제1 광전 변환부(130)의 제1 p형 도핑층(131) 및 제1 n형 도핑층(133)과 같은 도핑층은 제1 진성 반도체층(132)을 사이에 두고 p-n 접합을 형성하고, 이로 인한 광기전력 효과(photovoltaic effect)에 의하여 제1 진성 반도체층(132)에서 생성된 전자와 정공은 접촉 전위차에 의해 분리되어 서로 다른 방향으로 이동된다. 예를 들어, 정공은 제1 p형 도핑층(131)을 통해 도전성 투명 전극(120)쪽으로 이동하고, 전자는 제1 n형 도핑층(133)을 통해 후면 전극(170)쪽으로 이동한다.
- [0042] 제1 광전 변환부(130) 위에 위치하는 제2 광전 변환부(140)는 제1 광전 변환부(130)와 유사하게 제1 n형 도핑층(133) 위에 순차적으로 형성된 제2 p형 도핑층(141), 제2 진성 반도체층(142), 그리고 제2 n형 도핑층(143)을 포함하며, 이들 층(141 내지 143)은 제1 광전 변환부(130)과 동일하게 PECVD와 같은 CVD로 형성될 수 있다.
- [0043] 제2 광전 변환부(140)는 개방 전압과 단락 전류 밀도를 조절하여 실리콘 박막 태양전지의 광 효율을 향상시키기 위한 것으로, 본 실시예에서 제2 p형 도핑층(141), 제2 진성 반도체층(142) 및 제2 n형 도핑층(143)은 모두 수소화된 미세 결정 실리콘 산화물(μ c-SiOx:H)로 형성된다. 하지만, 제2 p형 도핑층(141) 및 제2 n형 도핑층(143)은 수소화된 미세 결정 실리콘(μ c-Si:H)으로 형성될 수도 있다.
- [0044] 제2 진성 반도체층(142)은 인가되는 장파장 대역의 빛을 주로 흡수하여 전자와 정공을 생성한다. 본 실시예에서, 제2 진성 반도체층(142)은 약 1500nm 내지 2000nm의 두께를 가질 수 있다.

- [0045] 제1 광전 변환부(130)와 유사하게, 제2 광전 변환부(140)의 제2 p형 및 n형 도핑층(141, 143)은 제2 진성 반도체층(142)을 사이에 두고 p-n 접합을 형성하고, 이로 인하여 생성된 정공은 제2 p형 도핑층(141)을 통해 도전성 투명 전극(120)쪽으로 이동하여 수집되고, 생성된 전자는 제2 n형 도핑층(143)을 통해 후면 전극(170)쪽으로 이동하여 수집된다.
- [0046] 이때, 제2 진성 반도체층(142) 내의 산소 함량 및 결정화도는 개방전압(Voc) 및 단락 전류 밀도(Jsc)를 조절하는 데 중요하게 작용한다.
- [0047] 이에, 본 발명인의 실험 결과, 상기 제2 진성 반도체층(142) 내의 산소 함량은 1% 내지 15%가 적절한 것을 알 수 있었는데, 그 이유는 산소 함량이 1% 미만일 경우 밴드갭 증가 효과를 얻을 수 없으며, 산소 함량이 15%를 초과하는 경우 결함 증가 및 밴드갭의 과도한 증가로 인해 박막의 품질이 저하되기 때문이다.
- [0048] 또한, 결정화도의 경우, 라만 스펙트로스코피(raman spectroscopy)를 사용하여 제2 진성 반도체층(142)의 결정화도를 측정할 때 15% 내지 50% 내의 범위 내에 있는 것이 적절하다.
- [0049] 제2 광전 변환부(140) 위에 위치하는 제3 광전 변환부(150)는 수소화된 미세 결정 실리콘($\mu\text{c-Si:H}$) 또는 수소화된 미세 결정 실리콘 게르마늄($\mu\text{c-SiGe:H}$)을 이용한 미세 결정 실리콘 셀로서, 적색에서 근적외선까지의 장파장 대역의 빛을 주로 흡수한다.
- [0050] 제3 광전 변환부(150)는 제2 광전 변환부(140)의 제1 n형 도핑층(143) 위에 순차적으로 형성된 제3 p형 도핑층(151), 제3 진성 반도체층(152), 그리고 제3 n형 도핑층(153)을 포함하며, 이들 층(151 내지 153)은 제1 및 제2 광전 변환부(130, 140)과 동일하게 PECVD와 같은 CVD로 형성될 수 있다.
- [0051] 본 실시예에서, 제3 p형 도핑층(151), 제3 진성 반도체층(152) 및 제3 n형 도핑층(153)은 수소화된 미세 결정 실리콘($\mu\text{c-Si:H}$) 또는 수소화된 미세 결정 실리콘 게르마늄($\mu\text{c-SiGe:H}$)으로 형성된다. 하지만, 제3 p형 도핑층(151) 및 제3 n형 도핑층(153)은 수소화된 미세 결정 실리콘($\mu\text{c-Si:H}$) 및 수소화된 미세 결정 실리콘 게르마늄($\mu\text{c-SiGe:H}$) 외의 다른 물질로도 형성될 수 있다.
- [0052] 후면 전극(170)은 제3 광전 변환부(150)의 전체 면 위에 위치하며, 전기적으로 제3 광전 변환부(150)의 제3 n형 도핑층(153)과 연결되어 있다. 이러한 후면 전극(170)은 p-n 접합을 통해 생성된 캐리어 중 전자를 수집하여 출력한다.
- [0053] 한편, 빛의 흡수율을 증가시키기 위해, 제1 광전 변환부(130), 제2 광전 변환부(140) 및 제3 광전 변환부(150)도 텍스처링 표면을 갖도록 형성할 수 있다.
- [0054] 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 삼중 접합형 실리콘 박막 태양전지의 효율 및 특성치를 나타낸 것이다.
- [0055] 도 2에서, Voc는 개방 전압을 말하고, Jsc는 단락 전류 밀도를 말하며, FF는 충전 효율(Fill Factor)을 말하고, Eff는 효율을 말한다.
- [0056] 도 2에 도시한 바와 같이, 제1 광전 변환부, 제2 광전 변환부 및 제3 광전 변환부의 진성 반도체층들이 각각 수소화된 비정질 실리콘(a-Si:H)/수소화된 미세 결정 실리콘 산화물($\mu\text{c-SiOx:H}$)/수소화된 미세 결정 실리콘($\mu\text{c-Si:H}$)으로 형성된 실시예 1의 태양전지는 충전 팩터(FF)가 종래에 1(a-Si:H/a-SiGe:H/ $\mu\text{c-Si:H}$) 및 종래에 2(a-Si:H/ $\mu\text{c-Si:H}$ / $\mu\text{c-Si:H}$)와 동일하다. 그러나 개방 전압(Voc)은 종래에 1에 비해서는 낮지만 종래에 2에 비해서는 높으며, 단락 전류 밀도(Jsc)는 종래에 2와 동일하지만 종래에 1에 비해서는 높다.
- [0057] 따라서, 실시예 1의 실리콘 박막 태양전지는 종래에 2와 단락 전류 밀도가 동일하지만 개방 전압이 증가되어 종래에 1 및 종래에 2에 비해 효율이 1% 정도 향상된다.
- [0058] 또한, 제1 광전 변환부, 제2 광전 변환부 및 제3 광전 변환부의 진성 반도체층들이 각각 수소화된 비정질 실리콘(a-Si:H)/수소화된 미세 결정 실리콘 산화물($\mu\text{c-SiOx:H}$)/수소화된 미세 결정 실리콘 게르마늄($\mu\text{c-SiGe:H}$)으로 형성된 실시예 2의 태양전지는 충전 팩터(FF)가 종래에 1(a-Si:H/a-SiGe:H/ $\mu\text{c-Si:H}$)과 종래에 2(a-Si:H/ $\mu\text{c-Si:H}$ / $\mu\text{c-Si:H}$) 및 실시예 1과 동일하고, 개방 전압(Voc)은 실시예 1과 동일하며, 단락 전류 밀도(Jsc)는 실시예 1에 비해 더 높다.
- [0059] 따라서, 실시예 2의 실리콘 박막 태양전지는 실시예 1에 비해 단락 전류 밀도가 증가되어 종래에 1 및 종래에 2에 대해서는 1% 정도, 그리고 실시예 1에 대해서는 1.5% 정도 효율이 더 향상된다.
- [0060] 도 3은 본 발명의 제2 실시예에 따른 삼중 접합형 실리콘 박막 태양전지의 부분 단면도를 도시한 것으로, 제2

광전 변환부(140)와 제3 광전 변환부(150) 사이에 중간 반사층(180)이 위치하는 것을 제외하면 전술한 도 1의 실시예와 동일한 구성을 갖는다.

- [0061] 중간 반사층(180)은 단파장의 태양광 성분을 제2 광전 변환부(140)를 향해 반사하는 한편, 장파장의 태양광 성분은 제3 광전 변환부(150)쪽으로 투과한다. 이러한 작용을 하는 중간 반사층(180)은 알루미늄화된 산화아연(ZnO:Al)로 형성될 수 있다.
- [0062] 도 3은 중간 반사층(180)이 제2 광전 변환부(140)와 제3 광전 변환부(150) 사이에 형성된 것을 도시하고 있지만, 중간 반사층(180)은 제1 광전 변환부(130)와 제2 광전 변환부(140) 사이에 위치하거나, 제1 광전 변환부(130)와 제2 광전 변환부(140) 사이 및 제2 광전 변환부(140)와 제3 광전 변환부(150) 사이에 모두 위치하거나 할 수 있다.
- [0063] 도 4는 본 발명의 제3 실시예에 따른 실리콘 박막 태양전지의 부분 단면도를 도시한 것으로, 제3 광전 변환부(150)와 후면 전극(170) 사이에 후면 반사층(back reflector, 160)이 위치하는 것을 제외하면 전술한 도 1의 실시예와 동일한 구성을 갖는다.
- [0064] 후면 반사층(160)은 제3 광전 변환부(150)을 통과한 빛을 제3 광전 변환부(150)쪽으로 반사시켜, 제3 광전 변환부(150)의 동작 효율을 향상시키는 것으로, 전술한 중간 반사층(180)과 동일한 재질로 형성될 수 있다.
- [0065] 한편, 구체적으로 도시하지는 않았지만 후면 반사층(160)은 상기 중간 반사층(180)과 함께 사용될 수도 있다.
- [0066] 이하, 본원 발명의 실시예에 따른 실리콘 박막 태양전지의 제조 방법을 설명한다.
- [0067] 이하에서 설명하는 제조 방법은 제1 광전 변환부(130), 제2 광전 변환부(140) 및 제3 광전 변환부(150)의 진성 반도체층들이 각각 수소화된 비정질 실리콘(a-Si:H)/수소화된 미세 결정 실리콘 산화물($\mu\text{c-SiO}_x\text{:H}$)/수소화된 미세 결정 실리콘($\mu\text{c-Si:H}$)으로 형성되는 실시예 1에 관한 것이지만, 제3 광전 변환부(150)의 진성 반도체층이 수소화된 미세 결정 실리콘 게르마늄($\mu\text{c-SiGe:H}$)으로 형성되는 실시예 2의 태양전지도 실시예 1의 태양 전지를 제조하는 방법과 유사한 방법으로 제조할 수 있다.
- [0068] 먼저, 유리나 플라스틱과 같은 투명한 재료로 이루어진 기판(110) 위에 도전성 투명 전극(120)을 형성한다. 도전성 투명 전극(120)은 도전성 투명 전극 형성용 페이스트를 기판(110) 상에 도포한 후 열처리하여 형성하거나, 스퍼터링 공정 등을 이용한 증착법 또는 도금법 등의 공정을 통해 형성될 수 있다.
- [0069] 도전성 투명 전극(120)은 인듐 틴 옥사이드(indium tin oxide: ITO), 주석계 산화물(SnO_2 등), AgO, ZnO-(Ga_2O_3 또는 Al_2O_3), 플루오린 틴 옥사이드(fluorine tin oxide: FTO) 및 이들의 혼합물로 이루어진 군에서 선택되는 것으로 형성될 수 있다.
- [0070] 다음, 도전성 투명 전극(120)의 표면을 텍스처링하여 도전성 투명 전극(120)에 복수의 요철(도시하지 않음)을 형성한다.
- [0071] 텍스처링은 예를 들어 약 0.5%의 염화 수소(HCl)와 같은 표면 식각 용액이 담긴 욕조(bath)에 일정 시간, 예컨대 15초 동안 반도체 기판(100)을 담가 놓은 것으로 이루어질 수 있다. 상기한 공정에 의하면, 식각 용액과 접촉한 도전성 투명 전극(120)의 표면이 식각되어 랜덤한 피라미드 구조 등을 갖는 요철이 형성된다.
- [0072] 이때, 요철은 투명 전극(120)의 결정 방향에 따른 식각 속도의 차이에 의해 생성된다. 형성되는 요철의 높이, 즉 각 피라미드 구조의 높이는 식각 용액의 농도, 식각 시간 등에 따라 가변하며, 약 $1\mu\text{m}$ 내지 $10\mu\text{m}$ 일 수 있다.
- [0073] 다음, PECVD와 같은 CVD를 이용하여 제1 p형 도핑층(131), 제1 진성 반도체층(132) 및 제1 n형 도핑층(133)을 차례로 형성하여 제1 광전 변환부(130)를 형성한다.
- [0074] 이때, 실리콘(Si)을 포함하는 원료 가스에 불순물의 종류를 변경하여 제1 p형 도핑층(131), 제1 진성 반도체층(132) 및 제2 n형 도핑층(133)을 형성한다. 이때, 사용되는 원료 가스는 SiH_4 , Si_2H_6 , Si_3H_8 등의 가스를 사용할 수 있고, 이런 원료 가스를 분해하기 위한 플라즈마 형성을 위한 가스로는 H_2 , He 등을 사용할 수 있다.
- [0075] 그리고, p형 불순물을 위한 가스로는 붕소(B)와 같은 3가 원소를 포함하는 가스(B_2H_6)를 혼합하며, n형 불순물을 위한 가스로는 인(P)과 같은 5가 원소를 포함하는 가스(PH_3)를 혼합한다.
- [0076] 제1 p형 도핑층(131)을 형성하기 위한 한 예로서, 원료 가스(SiH_4)에 H_2 와 B_2H_6 및 CH_4 를 더한 혼합 가스를 준비

한 후 약 0.5 Torr 내지 1 Torr의 압력 하에서 약 20W 내지 100W의 고주파(radio frequency) 전력으로 PECVD를 행한다. 이때, 도전성 투명 전극(120)을 구비한 기판의 온도는 약 200℃일 수 있다.

- [0077] 또한, 수소화된 비정질 실리콘(a-Si:H)으로 이루어진 제1 진성 반도체층(132)을 형성하기 위한 한 예로서, 원료 가스(SiH₄)에 H₂를 혼합하여 약 0.5 Torr 내지 1 Torr의 압력 하에서, 약 20 내지 50W의 고주파 전력으로 PECVD를 행한다. 이때의 기판 온도 또한 약 200℃일 수 있다.
- [0078] 그리고 제1 n형 도핑층(133)을 형성하기 위한 예로서, 원료 가스(SiH₄)에 H₂와 PH₃를 혼합하여 약 0.5 Torr 내지 1 Torr의 압력 하에서, 약 20 내지 100W의 고주파 전력으로 PECVD를 행한다. 이때, 기판 온도는 약 200℃일 수 있다.
- [0079] 다음, 제1 광전 변환부(130) 위에 제2 p형 도핑층(141), 제2 진성 반도체층(142) 및 제2 n형 도핑층(143)을 차례로 형성하여, 제2 광전 변환부(140)를 형성한다.
- [0080] 제2 광전 변환부(140)는 제1 광전 변환부(130)와 유사하게, 실리콘(Si)을 포함하는 원료 가스에 불순물의 종류를 변경하여 제2 p형 도핑층(141), 제2 진성 반도체층(142) 및 제2 n형 도핑층(143)을 형성할 수 있다.
- [0081] 제2 p형 도핑층(141)은 수소화된 미세 결정 실리콘(μ c-Si:H) 또는 수소화된 미세 결정 실리콘 산화물(μ c-SiO_x:H)로 이루어질 수 있다.
- [0082] 제2 p형 도핑층(141)이 수소화된 미세 결정 실리콘 산화물(μ c-SiO_x:H)로 이루어진 경우, 제2 p형 도핑층(141)을 형성하기 위한 한 예로서, 원료 가스(SiH₄)에 H₂와 B₂H₆ 및 CO₂를 더한 혼합 가스를 준비한 후 약 0.5 Torr 내지 1 Torr의 압력 하에서, 약 20 내지 100W의 고주파 전력으로 PECVD를 행하여 형성한다. 이때, 기판의 온도는 약 200℃일 수 있다.
- [0083] 또한, 수소화된 미세 결정 실리콘 산화물(μ c-SiO_x:H)로 형성된 제2 진성 반도체층(142)을 형성하기 위한 한 예로서, 원료 가스(SiH₄)에 H₂ 및 CO₂를 혼합하여 약 0.5 Torr 내지 1 Torr의 압력 하에서, 약 20W 내지 200W의 고주파 전력으로 PECVD를 행한다. 이때, 기판 온도는 약 200℃일 수 있다.
- [0084] 제2 n형 도핑층(143)은 수소화된 미세 결정 실리콘(μ c-Si:H) 또는 수소화된 미세 결정 실리콘 산화물(μ c-SiO_x:H)로 이루어질 수 있다.
- [0085] 제2 n형 도핑층(143)이 수소화된 미세 결정 실리콘 산화물(μ c-SiO_x:H)로 이루어진 경우, 제2 n형 도핑층(143)을 형성하기 위한 한 예로서, 원료 가스(SiH₄)에 H₂와 PH₃를 혼합하여 약 0.5 Torr 내지 1 Torr의 압력 하에서, 약 20W 내지 100W의 고주파 전력으로 PECVD를 행한다. 이때, 기판 온도는 약 200℃일 수 있다.
- [0086] 다음, 제2 광전 변환부(140) 위에 제3 p형 도핑층(151), 제3 진성 반도체층(152) 및 제3 n형 도핑층(153)을 차례로 형성하여 제3 광전 변환부(150)를 형성한다.
- [0087] 제3 p형 도핑층(151)을 형성하기 위한 한 예로서, 원료 가스(SiH₄)에 H₂와 B₂H₆ 및 CO₂를 더한 혼합 가스를 준비한 후 약 0.5 Torr 내지 1 Torr의 압력 하에서 약 20W 내지 100W의 고주파(radio frequency) 전력으로 PECVD를 행한다. 이때, 기판(110)의 온도는 약 200℃일 수 있다.
- [0088] 또한, 수소화된 미세 결정 실리콘(μ c-Si:H)으로 이루어진 제3 진성 반도체층(152)을 형성하기 위한 한 예로서, 원료 가스(SiH₄)에 H₂를 혼합하여 약 0.5 Torr 내지 1 Torr의 압력 하에서, 약 20 내지 50W의 고주파 전력으로 PECVD를 행한다. 이때의 기판 온도 또한 약 200℃일 수 있다.
- [0089] 그리고 제3 n형 도핑층(153)을 형성하기 위한 예로서, 원료 가스(SiH₄)에 H₂와 PH₃를 혼합하여 약 0.5 Torr 내지 1 Torr의 압력 하에서, 약 20 내지 100W의 고주파 전력으로 PECVD를 행한다. 이때, 기판 온도는 약 200℃일 수 있다.
- [0090] 실리콘 박막 태양전지가 후면 반사층(160)을 구비하는 경우, 알루미늄화된 산화아연(ZnO:Al)와 같은 투명한 도전성 물질로 후면 반사층(160)을 형성하고, 후면 반사층(160) 위에 후면 전극(170)을 형성하여 태양 전지를 완성한다.
- [0091] 실리콘 박막 태양전지가 중간 반사층(180)을 구비하는 경우, 제1 광전 변환부(130)를 형성한 후, 및/또는 제2 광전 변환부(140)를 형성한 후에 알루미늄화된 산화아연(ZnO:Al)와 같은 투명한 도전성 물질로 중간 반사층

(180)을 형성한다.

[0092] 후면 전극(170)은 도전성 금속 물질로 형성할 수 있으며, 그 형성 방법에 따라 다양한 물질로 형성될 수 있다. 예를 들어, 스크린 인쇄법으로 후면 전극(170)을 제조할 경우, 은(Ag), 알루미늄(Al) 및 이들의 조합으로 이루어진 군에서 선택되는 것을 사용할 수 있고, 잉크젯이나 디스펜싱법(dispensing)으로 제조할 경우 니켈(Ni), 은(Ag) 및 이들의 조합으로 이루어진 군에서 선택되는 것을 사용할 수 있다.

[0093] 또한 도금법으로 후면 전극(170)을 형성할 경우에는 니켈(Ni), 구리(Cu), 은(Ag) 및 이들의 조합으로 이루어진 군에서 선택되는 것을 사용할 수 있고, 증착법으로 후면 전극(50)을 형성할 경우에는 알루미늄(Al), 니켈(Ni), 구리(Cu), 은(Ag), 티타늄(Ti), 납(Pd), 크롬(Cr), 텅스텐(W) 및 이들의 조합으로 이루어진 군에서 선택되는 것을 사용할 수 있다. 또한 스크린 인쇄법으로 후면 전극(170)을 형성할 경우, 은(Ag)과 도전성 고분자의 혼합물을 사용할 수 있다.

[0094] 이상의 실시예에서는 제1 내지 제3 광전 변환부를 갖는 실리콘 박막 태양전지에 대해 설명하였다. 하지만, 본 원 발명은 중간 위치에 형성되는 광전 변환부가 전술한 실시예에 따른 제2 광전 변환부와 동일한 구조를 갖는 경우, 4개 이상의 광전 변환부를 갖는 실리콘 박막 태양전지에도 적용이 가능하다. 예를 들면 사중 접합형 실리콘 박막 태양전지의 경우 제2 광전 변환부 및/또는 제3 광전 변환부를 전술한 실시예에 따른 제2 광전 변환부와 동일한 구조로 형성할 수 있다.

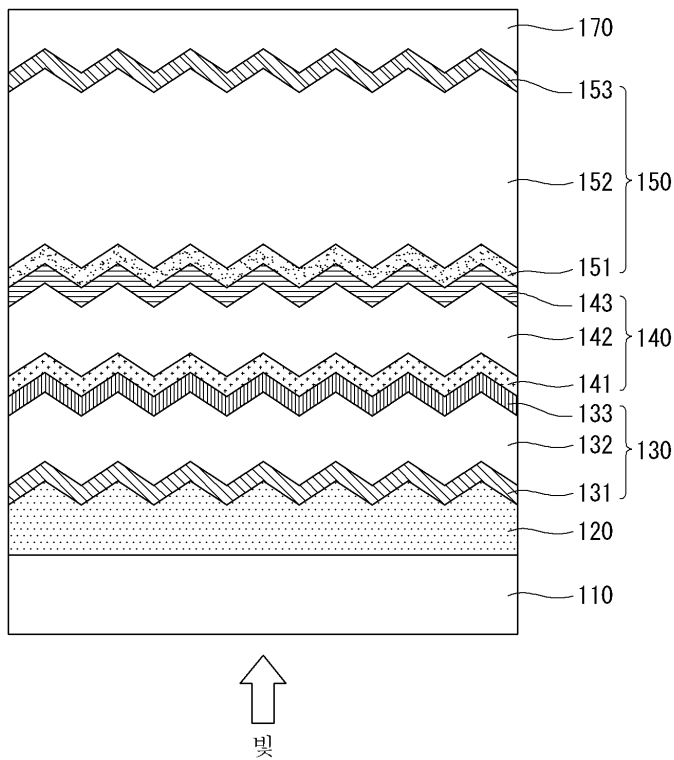
[0095] 이상에서 본 발명의 실시예에 대하여 상세하게 설명하였지만 본 발명의 권리범위는 이에 한정되지 않으며, 다음의 청구범위에서 정의하고 있는 본 발명의 기본 개념을 이용한 당업자의 여러 변형 및 개량 형태 또한 본 발명의 권리범위에 속한다.

부호의 설명

- | | | |
|--------|----------------|----------------|
| [0096] | 110: 기판 | 120: 투명 전극 |
| | 130: 제1 광전 변환부 | 140: 제2 광전 변환부 |
| | 150: 제3 광전 변환부 | 160: 후면 반사층 |
| | 170: 후면 전극 | 180: 중간 반사층 |

도면

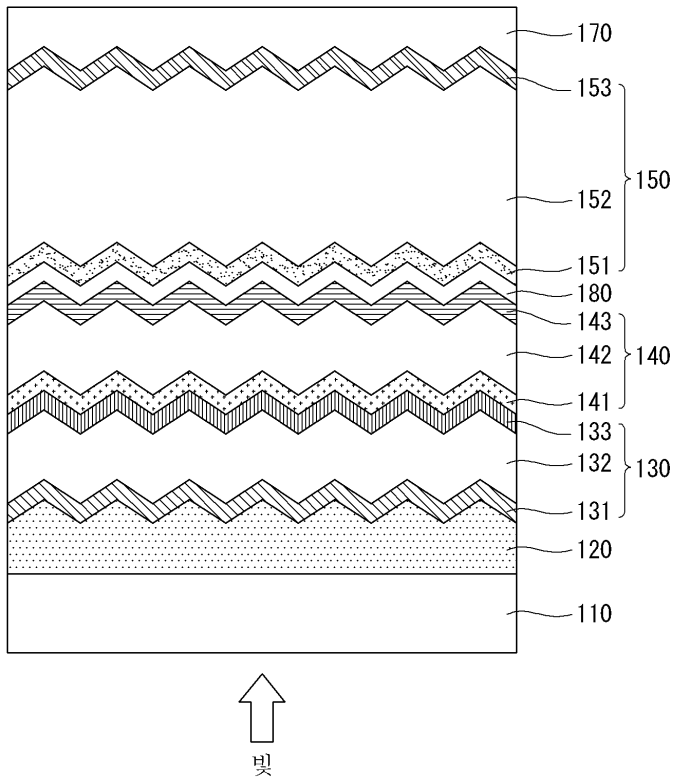
도면1



도면2

	Voc (V)	Jsc (mA/cm ²)	FF	Eff (%)
종래예 1	2.25	8	0.75	13.5
종래예 2	2.0	9	0.75	13.5
실시예 1	2.15	9	0.75	14.5
실시예 2	2.15	10	0.75	16.1

도면3



도면4

