



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2018년01월24일
(11) 등록번호 10-1821678
(24) 등록일자 2018년01월18일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 31/0224 (2006.01) H01L 31/02 (2006.01)
H01L 31/0216 (2014.01) H01L 31/032 (2006.01)
H01L 31/0392 (2006.01)
- (52) CPC특허분류
H01L 31/022441 (2013.01)
H01L 31/02 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2016-0094810
(22) 출원일자 2016년07월26일
심사청구일자 2016년07월26일
- (56) 선행기술조사문헌
KR101568148 B1*
JP2006165148 A*
JP2005150570 A
JP06151915 A
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌
- (73) 특허권자
한밭대학교 산학협력단
대전광역시 유성구 동서대로 125 (덕명동)
- (72) 발명자
정중희
서울특별시 강동구 상암로27길 28-16 (천호동) 2층
- (74) 대리인
특허법인 플러스

전체 청구항 수 : 총 8 항

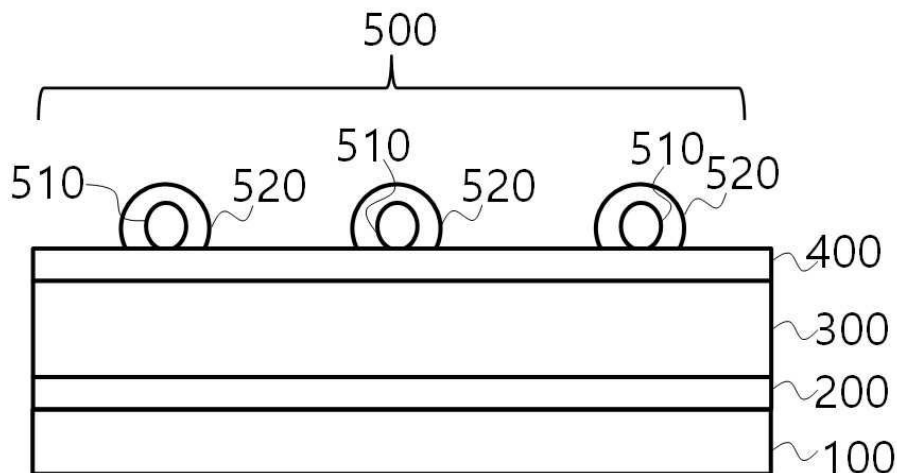
심사관 : 이규재

(54) 발명의 명칭 메쉬형 전극이 구비된 화합물 반도체 태양전지 및 이의 제조방법

(57) 요약

본 발명은 화합물 반도체 태양전지에 관한 것으로, 상세하게, 후면전극이 형성된 기재; 상기 후면전극 상부에 위치하며 화합물 반도체인 광흡수층; 상기 광흡수층 상부에 위치하며, 상기 광흡수층과 접하는 반도체층; 및 상기 반도체층 상부에 반도체층 표면과 접하여 위치하는 메쉬형 전면전극;을 포함하며, 상기 메쉬형 전면전극은 전도성 와이어 네트워크를 포함하고, 상기 반도체층과 면접촉하는 특징이 있다.

대표도 - 도2



(52) CPC특허분류

H01L 31/02167 (2013.01)
H01L 31/022425 (2013.01)
H01L 31/0322 (2013.01)
H01L 31/0324 (2013.01)
H01L 31/0392 (2013.01)
H01L 31/0445 (2015.01)
Y02E 10/50 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

후면전극이 형성된 기재;

상기 후면전극 상부에 위치하며 화합물 반도체인 광흡수층;

상기 광흡수층 상부에 위치하고, 상기 광흡수층과 접하며, 표면 요철을 갖는 반도체층;

상기 반도체층 상부에 반도체층 표면과 접하여 위치하는 메쉬형 전면전극;을 포함하며,

상기 메쉬형 전면전극은 전도성 와이어의 네트워크를 포함하는 다공성 네트워크 구조를 가지며,

상기 전도성 와이어는 상기 반도체층의 요철을 갖는 표면과 평행한 표면 영역을 포함하며, 상기 표면 영역과 반도체층의 표면이 면접촉하며,

상기 전도성 와이어는 단축 직경이 5 내지 500nm인 나노 와이어이며,

상기 메쉬형 전면전극은 전도성 와이어의 표면을 감싸며, 상기 전도성 와이어의 적어도 일부를 반도체층 표면에 결합시키는 캡핑 층(capping layer)을 포함하며,

상기 캡핑 층은 반도체인 화합물 반도체 태양전지.

청구항 2

삭제

청구항 3

제 1항에 있어서,

상기 전도성 와이어의 네트워크는 압착에 의해 상기 반도체층의 표면과 평행한 표면 영역이 형성되도록 물리적으로 변형된 전도성 와이어가 불규칙적으로 얹힌 구조체인 화합물 반도체 태양전지.

청구항 4

삭제

청구항 5

제 1항에 있어서,

상기 반도체층은 n형 도펀트로 도핑되거나, 도핑되지 않은, ZnS(O,OH), Zn(O,S), ZnS, CdS, $Zn_xCd_{1-x}S$ ($0 < x < 1$ 인 실수), In_2S_3 , In(OH,S), SnS_2 , CdSe 및 ZnSe에서 하나 이상 선택되는 물질인 화합물 반도체 태양전지.

청구항 6

제 1항에 있어서,

상기 캡핑층은 1 내지 100nm 두께인 화합물 반도체 태양전지.

청구항 7

제 1항에 있어서,

상기 광흡수층의 화합물 반도체는 구리 및 12족 내지 14족에서 하나 또는 둘 이상 선택된 원소의 칼코젠화합물인 화합물 반도체 태양전지.

청구항 8

- a) 후면전극이 형성된 기재 상 화합물 반도체인 광흡수층을 형성하는 단계;
 - b) 상기 광흡수층 상, 상기 광흡수층과 접하도록 반도체층을 형성하는 단계;
 - c) 상기 반도체층 표면에 전도성 와이어를 도포하여 전도성 와이어 네트워크를 형성함에 따라 메쉬형 전면전극을 형성하는 단계; 및
 - d) 상기 전도성 와이어의 표면을 감싸며, 상기 전도성 와이어의 적어도 일부를 반도체층 표면에 결착시키는 캡핑 층(capping layer)을 형성하는 단계;
- 를 포함하며,
- 상기 메쉬형 전면전극은 전도성 와이어의 네트워크를 포함하는 다공성 네트워크 구조를 가지며,
- 상기 전도성 와이어는 상기 반도체층의 요철을 갖는 표면과 평행한 표면 영역을 포함하며, 상기 표면 영역과 반도체층의 표면이 면접촉하며,
- 상기 전도성 와이어는 단축 직경이 5 내지 500nm인 나노 와이어이며,
- 상기 캡핑 층은 반도체인 화합물 반도체 태양전지의 제조방법.

청구항 9

제 8항에 있어서,

상기 c) 단계는,

c1) 반도체층 표면에 전도성 와이어를 도포하여 전도성 와이어가 불규칙적으로 엮인 구조체를 제조하는 단계; 및

c2) 상기 구조체를 압착하여 물리적으로 변형시키는 단계;

를 포함하는 화합물 반도체 태양전지의 제조방법.

청구항 10

제 8항에 있어서,

상기 d) 단계의 캡핑층은 증착 또는 전해도금에 의해 형성되는 화합물 반도체 태양전지의 제조방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 화합물 반도체 기반 태양전지 및 이의 제조방법에 관한 것으로, 상세하게, 매우 단순한 구조를 가져 대량생산 및 상업화에 적합하면서도, 종래의 구조에 버금가는 광전변환효율을 가지며, 신뢰성이 향상된 메쉬형 전극이 구비된 화합물 반도체 기반 태양전지에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 최근 환경문제와 천연자원의 고갈에 대한 관심이 높아지면서, 환경오염에 대한 문제가 없으며 에너지 효율이 높은 대체 에너지로서의 태양전지에 대한 관심이 높아지고 있다. 태양전지는 구성성분에 따라 실리콘 반도체 태양전지, 화합물 반도체 태양전지, 적층형 태양전지 등으로 분류되며, CIGS로 대표되는 화합물 반도체 기반 태양전지는 실리콘 반도체 태양전지에 버금가는 효율을 가질 뿐만 아니라, 전기 광학적으로 극히 안정하여, 실리콘 반도체 태양전지를 대체할 수 있는 차세대 태양전지로 각광받고 있다.

[0003] 그러나, 화합물 반도체 기반 태양전지는 기재-후면전극-광흡수층-버퍼층-다층 구조를 갖는 윈도우층-금속 그리드 전극등 그 적층구조가 복잡하고, 각 층을 제조하기 위해서는 정교한 진공장비와 같이 막대한 초기설비 투자가 필요한 상황이며, 양산성이 떨어지는 공정이 요구됨에 따라, 상업화에 걸림돌이 되고 있다.

[0004] 이러한 문제점을 해결하고자, 본 출원인은 대한민국 등록특허 제10-1568148호를 통해, 보다 간단한 구조를 가지

며 상업적 대량 생산이 가능한 구조의 화합물 반도체 기반 태양전지를 제공한 바 있다. 그러나, 지속적인 연구를 수행한 결과, 대한민국 등록특허 제10-1568148호를 통해 제공한 바와 같이, 금속 그리드-윈도우층-버퍼층이 단일한 복합층으로 구현된 화합물 반도체 태양전지의 경우, 그 효율 향상에 한계가 있음을 확인하였다. 이에 단순한 구조를 가지면서도 금속 그리드-윈도우층-버퍼층이 구비되는 종래의 태양전지 및 대한민국 등록특허 제10-1568148호에서 제공하는 태양전지보다도 우수한 효율을 갖는 태양전지를 개발하기 위해 각고의 노력을 기울인 결과, 본 발명을 완성하기에 이르렀다.

선행기술문헌

특허문헌

[0005] (특허문헌 0001) 대한민국 등록특허 제10-1568148호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 본 발명의 목적은 극히 간단한 적층 구조를 가져 제조 공정의 단순화 및 비용 절감이 가능하고 상업화에 유리하면서도, 우수한 광전변환효율을 가지며, 신뢰성이 향상되어 장기간 구동 가능한 박막형 화합물 반도체 태양전지 및 이의 제조방법을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0007] 본 발명에 따른 태양전지는 화합물 반도체 태양전지이며, 후면전극이 형성된 기재; 상기 후면전극 상부에 위치하며 화합물 반도체인 광흡수층; 상기 광흡수층 상부에 위치하며, 상기 광흡수층과 접하는 반도체층; 상기 반도체층 상부에 반도체층 표면과 접하여 위치하는 메쉬형 전면전극;을 포함하며, 상기 메쉬형 전면전극은 전도성 와이어의 네트워크를 포함하고, 상기 반도체층과 면접촉하는 특징이 있다.

[0008] 본 발명의 일 실시예에 따른 태양전지에 있어, 상기 메쉬형 전면전극은 상기 전도성 와이어의 표면을 감싸며, 상기 전도성 와이어의 적어도 일부를 반도체층 표면에 결착시키는 캡핑 층(capping layer)을 포함할 수 있다.

[0009] 본 발명의 일 실시예에 따른 태양전지에 있어, 상기 전도성 와이어의 네트워크는 압착에 의해 상기 반도체층의 표면과 평행한 표면 영역이 형성되도록 물리적으로 변형된 전도성 와이어가 불규칙적으로 엮힌 구조체일 수 있다.

[0010] 본 발명의 일 실시예에 따른 태양전지에 있어, 상기 캡핑층은 금속, 투명전도성산화물 또는 반도체일 수 있다.

[0011] 본 발명의 일 실시예에 따른 태양전지에 있어, 상기 반도체층은 n형 도펀트로 도핑되거나, 도핑되지 않은, $\text{ZnS}(\text{O}, \text{OH})$, $\text{Zn}(\text{O}, \text{S})$, ZnS , CdS , $\text{Zn}_x\text{Cd}_{1-x}\text{S}$ ($0 < x < 1$ 인 실수), In_2S_3 , $\text{In}(\text{OH}, \text{S})$, SnS_2 , CdSe 및 ZnSe 에서 하나 또는 둘 이상 선택될 수 있다.

[0012] 본 발명의 일 실시예에 따른 태양전지에 있어, 상기 캡핑층의 두께는 1 내지 100nm일 수 있다.

[0013] 본 발명의 일 실시예에 따른 태양전지에 있어, 상기 광흡수층의 화합물 반도체는 구리 및 12족 내지 14족에서 하나 또는 둘 이상 선택된 원소의 칼코젠화합물인 화합물일 수 있다.

[0014] 본 발명에 따른 화합물 반도체 태양전지의 제조방법은 a) 후면전극이 형성된 기재 상 화합물 반도체인 광흡수층을 형성하는 단계; b) 상기 광흡수층 상, 상기 광흡수층과 접하도록 반도체층을 형성하는 단계; c) 상기 반도체층 표면에 전도성 와이어를 도포하여 전도성 와이어 네트워크를 형성하는 단계; 및 d) 상기 전도성 와이어의 표면을 감싸며, 상기 전도성 와이어의 적어도 일부분을 반도체층 표면에 결착시키는 캡핑 층(capping layer)을 형성하는 단계;를 포함하는 특징이 있다.

[0015] 본 발명의 일 실시예에 따른 제조방법에 있어, 상기 c) 단계는, c1) 반도체층 표면에 전도성 와이어를 도포하여 전도성 와이어가 불규칙적으로 엮힌 구조체를 제조하는 단계; 및 c2) 상기 구조체를 압착하여 물리적으로 변형시키는 단계;를 포함할 수 있다.

[0016] 본 발명의 일 실시예에 따른 제조방법에 있어, 상기 d) 단계의 캡핑층은 증착 또는 전해도금에 의해 형성될 수

있다.

발명의 효과

- [0017] 본 발명에 따른 태양전지는, 기재-후면전극-광흡수층-버퍼층-인트린직 및 엑스트린직의 다층 구조를 갖는 원도우층-금속 그리드의 종래 복잡한 적층막 구조가 아닌, 기재-후면전극-광흡수층-반도체층-메쉬형 전면전극의 단순한 구조를 가져, 소자구조 및 제작공정의 단순화가 가능하여, 태양전지를 저가로 대량생산할 수 있어 상업화에 유용한 장점이 있다.
- [0018] 또한, 본 발명에 따른 태양전지는, 반도체층에 전도성 네트워크가 함입된 구조가 아닌, 반도체층 및 반도체층과 면접촉하는 메쉬형 전면전극이 서로 독립되어 구비됨에 따라, 금속 그리드-원도우층-버퍼층이 단일한 복합층으로 복합화된 태양전지보다도 현저하게 향상된 효율을 가질 수 있으며, 금속 그리드-원도우층-버퍼층이 구비되는 종래의 태양전지와 동등 내지 보다 우수한 효율을 가질 수 있다.
- [0019] 또한, 본 발명에 따른 태양전지는, 반도체층에 전도성 네트워크가 함입된 구조가 아닌, 반도체층 및 반도체층과 면접촉하는 메쉬형 전면전극이 구비됨에 따라, 열화에 취약한 투명 전도성 전극을 배제할 수 있어, 향상된 신뢰성을 갖는 장점이 있다.

도면의 간단한 설명

- [0020] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 태양전지의 단면을 도시한 일 단면도이며,
- 도 2는 본 발명의 다른 일 실시예에 따른 태양전지의 단면을 도시한 일 단면도이며,
- 도 3은 본 발명의 또 다른 일 실시예에 따른 태양전지의 단면을 도시한 일 단면도이며,
- 도 4는 본 발명의 일 실시예에 있어, 전도성 와이어 네트워크 형성 과정을 도시한 일 공정도이며,
- 도 5는 본 발명의 일 실시예에 있어, 반도체층 및 반도체층과 면 접촉하는 메쉬형 전면전극 부분을 도시한 일 단면도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0021] 이하 첨부한 도면들을 참조하여 본 발명의 화합물 반도체 태양전지 및 이의 제조방법을 상세히 설명한다. 다음에 소개되는 도면들은 당업자에게 본 발명의 사상이 충분히 전달될 수 있도록 하기 위해 예로서 제공되는 것이다. 따라서, 본 발명은 이하 제시되는 도면들에 한정되지 않고 다른 형태로 구체화될 수도 있으며, 이하 제시되는 도면들은 본 발명의 사상을 명확히 하기 위해 과장되어 도시될 수 있다. 이때, 사용되는 기술 용어 및 과학 용어에 있어서 다른 정의가 없다면, 이 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 통상적으로 이해하고 있는 의미를 가지며, 하기의 설명 및 첨부 도면에서 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있는 공지 기능 및 구성에 대한 설명은 생략한다.
- [0022] 본 발명은 금속 그리드-원도우층-버퍼층-화합물 반도체 기반 광흡수층-후면전극 구조를 갖는 종래의 화합물 반도체 태양전지보다, 단순한 구조를 가지면서도, 종래 구조를 갖는 화합물 반도체 태양전지 및 본 출원인이 제안한 대한민국 등록특허 제10-1568148호에서 제공하는 태양전지보다도 우수한 광전변환효율을 갖는 태양전지를 제공한다.
- [0023] 본 발명에 따른 화합물 반도체 태양전지는, 후면전극이 형성된 기재; 상기 후면전극 상부에 위치하며 화합물 반도체인 광흡수층; 상기 광흡수층 상부에 위치하며, 상기 광흡수층과 접하는 반도체층; 상기 반도체 상부에 반도체 표면과 접하여 위치하는 메쉬형 전면전극;을 포함하며, 상기 메쉬형 전면전극은 전도성 와이어 네트워크를 포함하고, 상기 반도체층과 면접촉하는 특징이 있다.
- [0024] 반도체층 상부에 반도체층과 접하여 위치하며 반도체층과 면접촉하는 메쉬형 전면전극은, 광전류의 소멸을 방지하고, 또한, 반도체층과 접하여 위치하는 전면전극이 다공 구조임에 따라 광의 투과를 보다 증진시켜 광전변환 효율을 향상시킬 수 있다. 나아가, 원도우층과 금속 그리드가 배제된, 보다 간단한 구조를 가질 수 있다.
- [0025] 본 발명의 일 실시예에 따른 태양전지에 있어, 메쉬형 전면전극과 반도체층간의 면접촉은, 전도성 와이어 네트워크 자체 또는 전도성 와이어 네트워크를 감싸는 캡핑 층(capping layer)에 의해 이루어질 수 있다. 즉, 메쉬형 전면전극은 전도성 와이어 네트워크 자체이거나, 전도성 와이어 네트워크와 전도성 와이어 네트워크를 이루는 전도성 와이어의 표면을 감싸며, 전도성 와이어의 적어도 일부를 반도체층 표면에 결착시키는 캡핑 층

(capping layer)을 포함할 수 있다.

- [0026] 상세하게, 도 1에 도시한 일 예와 같이, 본 발명의 일 실시예에 따른 태양전지는, 기재(100), 기재(100)상 위치하는 후면전극(200), 후면전극(200) 상부에 위치하며 화합물 반도체인 광흡수층(300), 광흡수층(300) 상부에 위치하며, 광흡수층(300)과 접하는 반도체층(400), 반도체층(400) 상부에 반도체층(400) 표면과 접하여 위치하는 메쉬형 전면전극(500)을 포함하되, 메쉬형 전면전극(500)은 전도성 와이어(510)의 네트워크를 포함하며, 전도성 와이어(510)가 반도체층(400)과 면접촉할 수 있다.
- [0027] 이와 달리, 도 2에 도시한 일 예와 같이, 본 발명의 일 실시예에 따른 태양전지는, 기재(100), 기재(100)상 위치하는 후면전극(200), 후면전극(200) 상부에 위치하며 화합물 반도체인 광흡수층(300), 광흡수층(300) 상부에 위치하며, 광흡수층(300)과 접하는 반도체층(400), 반도체층(400) 상부에 반도체층(400) 표면과 접하여 위치하는 메쉬형 전면전극(500)을 포함하되, 메쉬형 전면전극(500)은 전도성 와이어(510)의 네트워크 및 전도성 와이어(510) 네트워크의 표면을 감싸며, 전도성 와이어(510) 네트워크를 반도체층(400) 표면에 결합시키는 캡핑 층(520)을 포함할 수 있고, 메쉬형 전면전극(500)은 캡핑 층(520)에 의해 반도체층(400)과 면접촉할 수 있다.
- [0028] 메쉬형 전면전극(500)이 캡핑 층(520)을 포함하는 경우, 전면 전극은 전도성 와이어 네트워크와 대응되는 형상을 가질 수 있다. 상세하게, 전도성 와이어 네트워크와 대응되는 형상을 갖는 전면 전극의 의미는, 전면전극이 전도성 와이어 네트워크의 형상과 동일한 형상을 갖되, 그 크기가 동일 내지 확대된 것을 의미할 수 있다. 이때, 동일한 형상은 의도적인 형상 변형이 이루어지지 않음을 의미할 수 있다. 즉, 전면 전극은 전도성 와이어 네트워크와 동일한 형상을 갖되, 캡핑층에 의해 그 크기가 증가한 구조를 가질 수 있다.
- [0029] 상세하게, 도 1 및 도 2의 일 예와 같이, 본 발명의 일 실시예에 따른 태양전지는 반도체층의 모든 표면이 전면전극에 의해 덮이지 않으며, 전면전극이 전도성 와이어의 네트워크에 기인한 다공성 네트워크 구조임에 따라 전면전극으로 덮이지 않고 표면으로 노출되는 영역(반도체층의 영역)이 존재하고, 전면전극으로 덮이는 영역(반도체층의 영역)과 전면전극으로 덮이지 않아 표면으로 노출되는 영역(반도체층의 영역)이 균일하게 혼재하는 구조를 가질 수 있다.
- [0030] 이와 함께, 도 1에 도시한 바와 같이, 저 저항의 광이동 경로를 제공하는 전도성 와이어 네트워크 자체가 반도체층과 면접촉할 수 있으며, 도 2에 도시한 바와 같이, 전면전극이 캡핑층에 의해 반도체층과 면접촉할 수 있다. 또한, 도 3에 도시한 일 예와 같이, 전면전극(500)이 전도성 와이어(510)의 네트워크와 캡핑층(520)을 포함하되, 전도성 와이어(510)의 네트워크 및 캡핑층(520) 모두가 반도체층과 면접촉할 수도 있다.
- [0031] 도 2에 도시한 일 예와 같이, 전면 전극이 캡핑층과 함께, 부드럽게 곡물진 단면을 갖는 전도성 와이어들의 네트워크를 포함하는 경우, 전도성 와이어를 반도체층 표면에 도포한 후, 전도성 와이어에 캡핑층을 형성하는 극히 단순하고 용이한 공정에 의해, 안정적인 전기전도도를 가지며, 반도체층과 강하게 결합된 메쉬형 전면전극이 형성될 수 있어 보다 상업적이다.
- [0032] 또한, 제조방법적으로, 도 1과 같은 띠 형상의 전도성 부재가 규칙 또는 불규칙적으로 연결된 다공성의 네트워크 구조는 증착 마스크등을 이용한 증착 공정에 의해 제조될 수 있다. 그러나, 마스크 자체가 고가임에 따라 비용 상승이 불가피하며, 나아가 증착 공정 또한 고 진공이 요구되거나 고가의 전구체 물질이 요구되며, 처리 속도 또한 느려, 공정 비용의 증가와 함께 생산성을 감소시킨다.
- [0033] 이러한 문제점을 해결하는 방안으로, 도 1과 같이 반도체층과 면접촉하는 전도성 와이어 네트워크는 압착에 의해 반도체층의 표면과 평행한 표면 영역이 형성되도록 물리적으로 변형된 전도성 와이어가 불규칙적으로 얹힌 구조체일 수 있다.
- [0034] 상세하게, 도 4는 도 1 또는 도 3의 전도성 와이어 네트워크의 형성 과정을 도시한 일 공정도이다. 도 4에 도시한 일 예와 같이, 인위적인 물리적 변형이 수행되지 않고 제조 직후(as-fabricated, 또는 구입된) 상태 그대로의 전도성 와이어(510')를 반도체층(400) 표면에 도포하는 단계; 및 도포된 전도성 와이어(510')를 압착(pressing)하여 반도체층(400)의 표면과 평행한 표면 영역을 갖는 물리적으로 변형된 전도성 와이어(510)를 제조하는 단계;를 포함할 수 있다. 도 4의 일 공정도와 같이, 고비용 및 까다로운 공정 제어가 요구되는 증착을 이용하지 않고도, 물리적 압착에 의해 반도체층(400)과 면접촉하는 전도성 와이어(510)의 네트워크가 형성될 수 있다. 이때, 압착에 의해 금속 와이어들이 서로 결합하여 일체를 이룰 수 있다. 또한, 변형 정도 및 금속 와이어의 종류에 따라, 변형을 위한 압축력이 적절히 조절될 수 있음은 물론이다. 구체적이며 비 한정적인 일 예로, 금속 와이어가 은과 같은 FCC 구조의 금속인 경우, 1 내지 100MPa의 압력으로 압착될 수 있다.
- [0035] 압착에 의해 반도체층의 표면과 평행한 표면 영역이 형성되도록 물리적으로 변형된 전도성 와이어에 의해 전도

성 와이어 네트워크가 반도체층과 면접촉하는 경우에도, 캡핑층이 구비되는 것이 좋다.

- [0036] 이는, 전도성 와이어의 물리적 변형에 의해, 전도성 와이어 네트워크와 반도체층간 면접촉이 이루어진다 하더라도, 전도성 와이어와 반도체층간의 계면 결합력이 약하고 균일한 면접촉이 어려워 계면 저항이 증가할 위험이 있기 때문이다.
- [0037] 도 2 및 도 3을 기반으로 상술한 바와 같이, 메쉬형 전면전극이 전도성 와이어 네트워크와 함께, 전도성 와이어 네트워크를 감싸며 전도성 와이어 네트워크를 반도체층에 결합시키는 캡핑층을 포함하는 것이 좋다.
- [0038] 전도성 와이어 네트워크를 감싸며 전도성 와이어 네트워크를 반도체층에 결합시키는 캡핑층은, 전도성 와이어 네트워크와 반도체층 간의 결합력을 크게 향상시킬 수 있으며, 또한, 캡핑층에 의해 전도성 와이어들이 보다 강하고 안정적으로 서로 접촉할 수 있어, 전도성 와이어 간의 접촉 저항을 감소시킬 수 있다. 이는 전도성 와이어 네트워크 자체의 저항, 전면전극과 반도체층간의 계면 저항을 포함하는 태양전지의 내부 저항이 캡핑층에 의해 현저히 감소될 수 있음을 의미한다.
- [0039] 나아가, 캡핑층은 광전류의 흐름에 방향성을 부여하여, 광전류를 전도성 와이어 네트워크 쪽으로 인도(guide)하는 역할을 수행할 수 있고, 전도성 와이어와 반도체층간의 급격한 에너지 레벨 차를 완화시키는 역할 또한 수행할 수 있다. 뿐만 아니라, 전도성 와이어 네트워크를 감싸는 캡핑층은 전도성 와이어 네트워크를 외부 환경으로부터 보호하여, 전도성 와이어 네트워크의 전기적 특성이 열화되는 것을 방지할 수 있어, 전도성 와이어 네트워크를 보호하는 보호층의 역할 또한 수행할 수 있다.
- [0040] 특히, 캡핑층의 캡핑 물질이 전도성 와이어 네트워크를 감싸되, 전도성 와이어 네트워크의 빈 공간을 모두 채우지 않고, 캡핑층이 형성된 후에도 전면전극이 전도성 와이어 네트워크 형상에 대응되는 형상을 유지할 수 있도록 하는 것이 매우 중요하다.
- [0041] 이는, 캡핑층의 캡핑 물질이 전도성 와이어 네트워크의 빈 공간을 모두 채워, 실질적으로 전도성 와이어 네트워크가 캡핑층의 캡핑 물질에 함입(embedded)된 구조가 형성되는 경우, 광손실이 발생하여 광전변환효율이 감소되기 때문이다.
- [0042] 반도체층과의 결합력 향상, 인-플레인 방향으로의 전하 이동에 의한 광전류 손실 방지, 다공 구조에 의한 입사광량의 증가 측면에서, 캡핑층의 두께는 1 내지 100nm인 것이 좋다.
- [0043] 본 발명의 일 실시예에 따른 태양전지에 있어, 캡핑층의 캡핑 물질은 금속, 투명 전도성 산화물 또는 반도체 물질일 수 있다. 이때, 전도성 와이어의 산화 방지등, 전도성 와이어를 외부로부터 보호하는 보호층의 역할을 함과 동시에, 반도체층과 전도성 와이어간의 안정적인 전기 접촉이 이루어질 수 있도록 캡핑층의 캡핑 물질은 반도체 물질인 것이 좋다.
- [0044] 본 발명의 일 실시예에 따른 태양전지에 있어, 광흡수층을 이루는 화합물 반도체는 구리 및 12족 내지 14족에서 하나 또는 둘 이상 선택된 원소의 칼코젠화합물일 수 있다. 구체적으로, 화합물 반도체는 구리-인듐-칼코젠 화합물, 구리-인듐-갈륨-칼코젠 화합물 또는 구리-아연-주석-칼코젠 화합물을 포함할 수 있다. 보다 구체적으로, 화합물 반도체는 CIS(Cu-In-Se 또는 Cu-In-S), CIGS(Cu-In-Ga-Se 또는 Cu-In-Ga-S), CIGSS(Cu-In-Ga-Se-S), CZTS(Cu-Zn-Sn-Se 또는 Cu-Zn-Sn-S) 또는 CZTSS(Cu-Zn-Sn-Se-S)일 수 있다. 보다 더 구체적으로, 화합물 반도체는 $\text{CuIn}_x\text{Ga}_{1-x}\text{Se}_2$ ($0 < x < 1$ 인 실수), $\text{CuIn}_x\text{Ga}_{1-x}\text{S}_2$ ($0 < x < 1$ 인 실수), $\text{CuIn}_x\text{Ga}_{1-x}(\text{Se}_y\text{S}_{1-y})_2$ ($0 < x < 1$ 인 실수, $0 < y < 1$ 인 실수), $\text{Cu}_2\text{Zn}_x\text{Sn}_{1-x}\text{Se}_4$ ($0 < x < 1$ 인 실수), $\text{Cu}_2\text{Zn}_x\text{Sn}_{1-x}\text{S}_4$ ($0 < x < 1$ 인 실수) 또는 $\text{Cu}_2\text{Zn}_x\text{Sn}_{1-x}(\text{Se}_y\text{S}_{1-y})_4$ ($0 < x < 1$ 인 실수, $0 < y < 1$ 인 실수)일 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니며, 통상적인 화합물 반도체 기반 태양전지에서 사용되는 광흡수층으로 칼코젠화합물이면 족하다. 광흡수층의 두께는 통상적인 화합물 반도체기반 태양전지에서 사용되는 두께이면 족하며, 구체적이고 비 한정적인 일 예로, 1.5 내지 $3\mu\text{m}$ 를 들 수 있으나, 본 발명이 광흡수층의 두께에 의해 한정될 수 없음은 물론이다.
- [0045] 광흡수층 상부에 구비되는 반도체층은 광흡수층과 빌트인 포텐셜(p-n 정션, 공핍층)을 형성하여, 선택적이며 자발적으로 전자가 광흡수층으로부터 반도체층으로 이동할 수 있으며, 광흡수층을 이루는 화합물 반도체의 격자상수와 유사한 격자 상수를 가져 고품질의 계면을 형성할 수 있는 물질이면 사용 가능하다. 구체적인 일 예로, 화합물 반도체가 구리 및 12족 내지 14족에서 하나 또는 둘 이상 선택된 원소의 칼코젠화합물인 경우, 반도체층은 종래의 화합물 반도체 태양전지에서 버퍼층으로 사용되는 버퍼 물질을 포함할 수 있다.
- [0046] 상세하게, 반도체층은 n형 도펀트로 도핑되거나, n형 도펀트로 도핑되지 않은, $\text{ZnS}(\text{O}, \text{OH})$, $\text{Zn}(\text{O}, \text{S})$, ZnS , CdS ,

$Zn_xCd_{1-x}S$ ($0 < x < 1$ 인 실수), In_2S_3 , $In(OH, S)$, SnS_2 , $CdSe$ 및 $ZnSe$ 에서 하나 또는 둘 이상 선택되는 물질일 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다. 이하, n형 도펀트로 도핑된 경우를 엑스트린직(extrinsic)으로 칭하며, n형 도펀트 및 p형 도펀트를 포함하는 전도성 불순물로 도핑되지 않은 경우를 인트린직(intrinsic)으로 칭한다. 보다 상세하게, 반도체층은 엑스트린직(extrinsic) $ZnS(O, OH)$, 엑스트린직 $Zn(O, S)$, 엑스트린직 ZnS , 엑스트린직 CdS , 엑스트린직 $Zn_xCd_{1-x}S$ ($0 < x < 1$ 인 실수), 엑스트린직 In_2S_3 , 엑스트린직 $In(OH, S)$, 엑스트린직 SnS_2 , 엑스트린직 $CdSe$, 엑스트린직 $ZnSe$, 인트린직(intrinsic) $ZnS(O, OH)$, 인트린직 $Zn(O, S)$, 인트린직 ZnS , 인트린직 CdS , 인트린직 $Zn_xCd_{1-x}S$ ($0 < x < 1$ 인 실수), 인트린직 In_2S_3 , 인트린직 $In(OH, S)$, 인트린직 SnS_2 , 인트린직 $CdSe$ 및 인트린직 $ZnSe$ 에서 하나 또는 둘 이상 선택될 수 있다.

[0047] 이때, 반도체층이 n형 도펀트를 함유하는 경우(엑스트린직 반도체 물질을 함유하는 경우), 이는 반도체층의 적어도 일부 영역이 n형 도펀트로 도핑된 것을 의미한다. 반도체층이 n형 도펀트로 도핑된 경우, 반도체층의 광흡수층과 접하는 면으로부터 그 대향면으로의 방향인 두께 방향으로 n형 도펀트의 농도가 변화될 수 있다. 상세하게, 반도체층은 광흡수층과 접하는 면으로부터 그 대향면으로의 방향인 두께 방향으로 n형 도펀트의 농도가 연속적 또는 불연속적으로 증가할 수 있다. 이때, 불연속적 증가는, n형 도펀트로 미 도핑된 인트린직 영역 상부에 n형 도펀트로 도핑된 엑스트린직 영역이 위치하는 구조 또한 포함하며, 엑스트린직 영역의 n형 도펀트의 도핑 프로파일(두께 방향으로의 도핑 프로파일)이 연속적 또는 불연속적으로 증가할 수 있음은 물론이다. 인트린직 영역은 인트린직(intrinsic) $ZnS(O, OH)$, 인트린직 $Zn(O, S)$, 인트린직 ZnS , 인트린직 CdS , 인트린직 $Zn_xCd_{1-x}S$ ($0 < x < 1$ 인 실수), 인트린직 In_2S_3 , 인트린직 $In(OH, S)$, 인트린직 SnS_2 , 인트린직 $CdSe$ 및 인트린직 $ZnSe$ 에서 하나 또는 둘 이상 선택된 물질을 포함할 수 있으며, 엑스트린직 영역은 엑스트린직 $ZnS(O, OH)$, 엑스트린직 $Zn(O, S)$, 엑스트린직 ZnS , 엑스트린직 CdS , 엑스트린직 $Zn_xCd_{1-x}S$ ($0 < x < 1$ 인 실수), 엑스트린직 In_2S_3 , 엑스트린직 $In(OH, S)$, 엑스트린직 SnS_2 , 엑스트린직 $CdSe$ 및 엑스트린직 $ZnSe$ 에서 하나 또는 둘 이상 선택된 물질을 포함할 수 있다. 이때, 반도체층이 인트린직 영역과 엑스트린직 영역이 두께 방향으로 순차적으로 형성된 구조이거나, n형 도펀트가 두께 방향으로(광흡수층에서 전면 전극 방향으로) 연속적 또는 불연속적으로 증가하는 프로파일을 가질 수 있다.

[0048] n형 도펀트는 Al, Ga, B, Sn, Sb, F, Cl, Mn, Co, Ni, Fe, Ti, Mo, Nb, P, O, In, Cr 및 Zn에서 하나 또는 둘 이상 선택되는 원소, 보다 구체적으로 Ga, Al, B, In, F, Cr 및 Zn에서 하나 또는 둘 이상 선택되는 원소를 들 수 있다.

[0049] 반도체층이 n형 도펀트를 함유하며, n형 도펀트가 반도체층의 두께 방향으로 연속적 또는 불연속적으로 증가하는 농도 프로파일을 가짐으로써, 광흡수층과 반도체층 간에 안정적이고 넓은 공핍층이 형성될 수 있어 효과적으로 광전자를 분리 및 이동시킬 수 있다.

[0050] 전도성 와이어 네트워크의 전도성 와이어는 금속 와이어일 수 있으며, 전도성 와이어 네트워크는 금속 와이어와 함께, 탄소 나노튜브, 전도성 탄소 와이어(전도성 탄소 섬유), 그래핀과 같은 전도성 탄소체를 더 포함할 수 있다. 즉, 전도성 와이어 네트워크는 금속 와이어가 불규칙적으로 서로 접촉하여 연속적인 전류이동경로를 제공하는 네트워크 구조이거나, 금속 와이어간, 전도성 탄소체간 및 금속 와이어와 전도성 탄소체가 불규칙적으로 서로 접촉하여 연속적인 전류이동경로를 제공하는 네트워크 구조일 수 있다. 금속 와이어의 금속은 금, 은, 알루미늄 및 구리등에서 하나 또는 둘 이상 선택되는 물질일 수 있으나, 이에 한정되지 않으며, 안정적이며 우수한 전기전도도를 갖는 물질이면 사용 가능하다. 탄소 나노튜브는 단일벽(Single-walled), 이중벽(Double walled), 얇은 다중벽(Thin multi-walled), 다중벽(Multi-walled), 다발형(Roped) 또는 이들의 혼합물일 수 있다. 그래핀은 단층 그래핀, 다층 그래핀 또는 이들의 혼합물일 수 있다.

[0051] 전도성 와이어의 단축 직경은 5nm 내지 100 μm 일 수 있으며, 전도성 와이어간의 단순 접촉에 의해서도 원활한 전류이동 경로 제공 측면에서 전도성 와이어의 장단축비는 50 내지 20000일 수 있다. 도 4를 기반으로 상술한 바와 같이, 물리적으로 변형된 전도성 와이어에 의해 전도성 와이어와 반도체층간의 면접촉이 이루어지는 경우, 전도성 와이어는 마이크로 와이어인 것이 유리하다. 구체적인 일 예로, 마이크로 와이어는 단축 직경이 0.5 μm 내지 100 μm 인 와이어를 의미할 수 있다. 또한, 열 또는 광에 의해 불규칙하게 서로 접촉하거나 얹힌 금속 와이어들을 일체로 결합시켜, 전도성 와이어 네트워크가 물리적으로 일체인 경우, 전도성 와이어는 나노 와이어인 것이 유리하다. 구체적인 일 예로 나노 와이어는 단축 직경이 5 내지 500nm, 보다 구체적으로는 5 내지 100nm인 와이어를 의미할 수 있다.

- [0052] 전도성 와이어 네트워크는 전도성 와이어들이 물리적으로 서로 접촉하거나 얹힌 구조체이거나, 전도성 와이어들이 서로 접하는 부분이 용융 결합된 일체의 구조체일 수 있다. 상세하게, 전도성 와이어 네트워크는 전도성 와이어들이 랜덤하게 서로 접촉하되, 열 또는 광에 의해 서로 접촉하는 접촉 영역이 용융 결합된 전도성 와이어의 구조체일 수 있다. 열처리 온도나 광의 조사 조건등은 전도성 와이어의 물질에 따라 적절히 조절될 수 있음은 물론이다. 구체적이며 비 한정적인 일 예로, 전도성 와이어가 은인 경우, 열처리 온도는 80 내지 250℃일 수 있으며, 광의 조사는, 제논 램프를 포함하는 백색 광원을 5 내지 50 J/cm²의 강도로 단펄스 또는 다펄스 조사하는 것일 수 있다.
- [0053] 전도성 와이어 네트워크는, 전도성 와이어 네트워크가 위치하는 반도체층 표면을 기준으로, 전도성 와이어 네트워크의 투영 이미지(projection image)상, 전도성 와이어 네트워크에 의해 반도체층 표면이 덮인 면적인 표면 커버리지가 1% 내지 15% 일 수 있다. 구체적으로, 표면 커버리지는 전도성 네트워크의 투영 이미지 상, 전도성 와이어 네트워크에 의해 반도체층의 표면이 덮이는 면적을 전도성 와이어 네트워크가 위치하는 반도체층의 표면 면적으로 나눈 값*100(%)일 수 있다. 이때, 전도성 와이어 네트워크의 투영 이미지는 광흡수층과 반도체층의 적층 방향으로 평행 광을 조사하여 형성되는 전도성 와이어 네트워크의 2차원 이미지일 수 있다. 전도성 와이어 네트워크가 이러한 표면 커버리지를 갖는 경우, 전류 이동경로가 안정적으로 형성됨과 동시에, 전면전극에 의한 광 투과율 저하를 방지할 수 있다. 즉, 본 발명의 일 실시예에 따른 태양전지는 상술한 표면 커버리지가 1% 내지 15%, 종계는 2내지 10%, 보다 종계는 3 내지 5%가 되도록 전도성 와이어 네트워크를 함유할 수 있는데, 표면 커버리지가 1% 이상인 경우 전도성 와이어 네트워크는 수십Ω/□(Ω/sq.) 이하의 면저항을 가질 수 있다. 또한 표면 커버리지가 10% 이상인 경우 전도성 와이어 네트워크는 수Ω/□(Ω/sq.) 이하의 면저항을 가질 수 있다. 수Ω/□(Ω/sq.) 이하의 면저항은 종래 금속 그리드 전극과 유사 내지 동등한 전기전도도이다.
- [0054] 캡핑층은 서로 불규칙하게 접촉하는 전도성 와이어를 감싸는 표면 코팅층일 수 있으며, 그 두께는 1 내지 100nm, 안정적인 면 접촉 측면에서 종계는 5 내지 50nm, 보다 종계는 10 내지 30nm일 수 있다.
- [0055] 상세하게, 캡핑층의 캡핑 물질은 금, 은, 알루미늄 및 구리등에서 선택되는 금속; 불소 함유 산화주석(FTO; Ffourine doped Tin Oxide), 인듐 함유 산화주석(ITO; Indium doped Tin Oxide) 및 갈륨 함유 산화아연(GZO; Ga doped ZnO)등에서 선택되는 투명전도성산화물; n형 도펀트로 도핑되거나, n형 도펀트로 도핑되지 않은, ZnS(O,OH), Zn(O,S), ZnS, CdS, Zn_xCd_{1-x}S(0<x<1인 실수), In₂S₃, In(OH,S), SnS₂, CdSe 및 ZnSe에서 하나 또는 둘 이상 선택되는 물질에서 선택되는 반도체;일 수 있다. 이때, n형 도펀트는 Al, Ga, B, Sn, Sb, F, Cl, Mn, Co, Ni, Fe, Ti, Mo, Nb, P, O, In, Cr 및 Zn에서 하나 또는 둘 이상 선택되는 원소, 보다 구체적으로 Ga, Al, B In, F, Cr 및 Zn에서 하나 또는 둘 이상 선택되는 원소를 들 수 있다.
- [0056] 기재(100)는 지지체의 역할을 수행할 수 있으며, 리지드 기재 또는 플렉시블 기재를 포함할 수 있다. 리지드 기재의 구체적인 일 예로 소다라임 유리를 포함하는 유리 기재, 알루미늄과 같은 세라믹 기재, 스테인레스 스틸, 구리와 같은 금속 기재를 들 수 있다. 플렉시블 기재의 구체적인 일 예로, 폴리이미드와 같은 고분자 기재, 스테인레스 스틸 포일과 같은 금속 포일(metal foil)등을 들 수 있으나 본 발명이 기재의 물질에 의해 한정될 수 없음은 물론이다.
- [0057] 후면전극(200)은 높은 전기전도도를 가지며, 광흡수층(300)의 화합물 반도체와 옴릭 접합(ohmic contact)을 이룰 수 있으며, 칼코젠 분위기에서 안정한 물질이면 무방하며, 통상적인 화합물 반도체기반 태양전지에서 후면전극으로 사용되는 물질이면 족하다. 구체적인 후면전극의 일 예로, 몰리브덴(Mo)을 들 수 있으나, 본 발명이 후면전극(배면전극)의 물질에 의해 한정될 수 없음은 물론이다. 후면전극의 두께는 통상적인 화합물 반도체기반 태양전지에서 사용되는 두께이면 족하며, 구체적이고 비 한정적인 일 예로, 0.5 내지 2μm를 들 수 있으나, 본 발명이 후면전극(배면전극)의 두께에 의해 한정될 수 없음은 물론이다.
- [0058] 상술한 바와 같이, 본 발명의 일 실시예에 따른 태양전지는, 반도체층 표면에 접하여 메쉬형 전면전극이 구비될 수 있으며, 메쉬형 전면전극의 다공성은 전면전극이 전도성 와이어 네트워크와 대응되는 형상을 가지는 것에 기인할 수 있다. 즉, 전면전극이 캡핑층을 포함하더라도, 전도성 와이어가 불규칙적으로 서로 접촉하여 형성되는 전도성 와이어 네트워크의 표면을 코팅하는 코팅막의 형태로 캡핑층이 구비됨에 따라, 전면전극은 전도성 와이어 네트워크와 대응되는 형상을 가짐과 동시에 전도성 와이어 네트워크의 다공성이 유지되는 것이다.
- [0059] 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 태양전지에서, 메쉬형 전면전극과 반도체층(400) 및 광흡수층(300) 영역의 단면을 도시한 일 단면도이다. 도 5(a)의 단면은 전도성 네트워크를 이루는 일 전도성 와이어의 길이 방향에 따른 단면이며, 도 5(b)는 전도성 네트워크를 이루는 일 전도성 와이어의 길이 방향에 수직인 방향으로의 단면을

도시한 단면도로, 상세하게, 도 5(a)의 A-A, B-B, 및 C-C에서의 단면을 도시한 도면이다.

- [0060] 태양전지의 광전변환효율을 향상시키기 위해서는 기본적으로 광흡수층이 다결정체의 결정질이어야 하며, 나아가, 화합물 반도체의 결정립들이 보다 조대할수록 유리하다. 이에 따라, 화합물 반도체 기반 태양전지에서, 광흡수층의 표면은 결정립(화합물 반도체의 결정립) 간의 단차가 존재하는 것이 통상적이다. 즉, 광흡수층은 실질적으로 완전한 평면 형태의 표면을 갖지 않고 일정한 요철들이 존재하는 거친 표면을 갖게 되며, 결정립들이 조대화되는 경우 조대한 결정립에 의해 이러한 요철간의 단차가 보다 커지게 된다. 이러한 광흡수층의 표면 요철(단차)에 의해 광흡수층 상에 위치하는 반도체층 또한 광흡수층과 유사한 표면 요철(단차)을 갖게 된다.
- [0061] 도 5(a)에 도시한 일 예와 같이, 반도체층 표면의 불가피한 표면 요철에 의해, 전도성 와이어 네트워크를 이루는 전도성 와이어는 일부분이 반도체층과 접함과 동시에 다른 일부분들은 반도체층과 접하지 않은 상태로 반도체층 상부에 떠 있을 수 있다. 이에 따라, 전도성 와이어의 도포에 의해 반도체층 표면에 전도성 와이어의 네트워크를 형성하는 경우 전도성 와이어의 네트워크의 일부분이 랜덤하게 반도체층과 접하고 나머지 부분은 반도체층과 물리적으로 접촉하지 않게 되어, 전도성 와이어 네트워크와 반도체층간 계면 저항의 증가 뿐만 아니라, 물리적으로도 불안정한 접촉이 이루어지게 된다. 캡핑층은 솔더링과 같이 전도성 와이어 네트워크를 반도체층에 견고하게 부착시키며, 전도성 와이어로의 안정적이며 방향성 있는 전류 이동 경로를 제공할 수 있다. 이때, 메쉬형 전면전극은 도 5(a) 및 도 5(b)에서, A-A의 단면도로 도시한 경우와 같이 전도성 와이어(510)가 반도체층(400)과 접한 상태에서 캡핑층(520)에 의해 반도체층(400)에 결합되고 면접촉할 수 있으며, 도 5(a) 및 도 5(b)에서, C-C의 단면도로 도시한 경우와 같이, 전도성 와이어(510) 자체는 반도체층(400)과 접촉하지 않는 상태에서, 전도성 와이어(510)가 캡핑층(520)을 통해 반도체층(400)과 결합되며 캡핑층(520)에 의해 반도체층(400)과 면접촉할 수 있다. 이때, 반도체층에 결합되지 않은 전도성 와이어 네트워크의 부분은 도 5(a) 및 도 5(b)에서, B-B의 단면도로 도시한 경우와 같이 캡핑층에 의해 캡핑된 상태일 수 있으며, 반도체층과 미접촉된 상태로 반도체층 상부에 떠 있는 형태일 수 있다.
- [0062] 도 5에 도시된 일 예와 같이, 본 발명의 일 실시예에 따른 태양전지는 광흡수층의 표면에 미세 요철이 존재하는 보다 현실적인 경우에 특히 효과적이다.
- [0063] 본 발명은 상술한 화합물 반도체 태양전지의 제조방법을 제공한다. 이때, 각 층의 물질, 구조 및 형상(크기)등은 앞서 상술한 화합물 반도체 태양전지와 동일 내지 유사하다.
- [0064] 본 발명에 따른 제조방법은 a) 후면전극이 형성된 기재 상 화합물 반도체인 광흡수층을 형성하는 단계; b) 상기 광흡수층 상, 상기 광흡수층과 접하도록 반도체층을 형성하는 단계; c) 상기 반도체층 표면에 전도성 와이어를 도포하여 전도성 와이어 네트워크를 형성하는 단계; 및 d) 상기 전도성 와이어의 표면을 감싸며, 상기 전도성 와이어의 적어도 일부를 반도체층 표면에 결합시키는 캡핑 층(capping layer)을 형성하는 단계;를 포함한다.
- [0065] a) 단계에서, 광흡수층은 공지의 칼코젠화합물 기반 광흡수층을 제조하는 방법을 이용할 수 있다. 예를 들어, 대한민국 특허 공개번호 제2009-0043245호, 미국 특허 등록번호 제7,547,569호, 미국 특허 등록번호 제6,258,620호, 미국 특허 등록번호 제5,981,868호 등에 공지된 광흡수층 성장 방법을 이용할 수 있다. 비 한정적인 일 예로, 광흡수층은 동시증발법(Evaporation), 스퍼터링-셀렌화법(Sputtering + Selenization), 전착법(Electrodeposition), 분말 또는 콜로이드 상태의 전구체 잉크를 도포하고 반응 소결시키는 잉크프린팅, 또는 스프레이 열분해법등을 이용하여 제조될 수 있다.
- [0066] b) 단계에서 반도체층은 통상의 공지된 증착 방법을 사용하여 수행될 수 있다. 일 예로, 반도체층은 CBD(chemical bath deposition), SILAR(successive ionic layer adsorption and reaction), 스핀코팅, 스프레이코팅, 딥코팅, 화학기상증착법(유기금속화학증착법), 원자층 증착법, 스퍼터링법(반응성 스퍼터링법), 증발증착법, 산화법, 황화법등을 사용하여 제조될 수 있다. 이때, 반도체층이 n형 도펀트를 함유하는 경우, 반도체층의 반도체 물질의 증착시 단지 n형 도펀트의 공급 유무나 공급량을 조절함으로써 반도체층의 두께에 따른 n형 도펀트의 농도 프로파일을 제어할 수 있다.
- [0067] c) 단계는 전도성 와이어가 분산된 분산액을 반도체층에 도포 및 건조하여 전도성 와이어 네트워크를 형성하거나, 이미 일체로 제조된 전도성 와이어 네트워크를 반도체층과 접하도록 반도체 상부에 위치시키는 단계일 수 있다. 이때, 전도성 와이어 분산액의 도포는 스핀코팅, 스프레이 코팅, 딥코팅, 진공 여과법(Vacuum filtration), 메이어 로드 코팅법(Meyer rod coating)등을 이용할 수 있다.
- [0068] d) 단계의 캡핑층은 증착 또는 전해도금에 의해 형성될 수 있다. 상세하게, 전해도금은 전도성 와이어 네트워크를 일 전극으로 하여 수행될 수 있으며, 보다 상세하게, 캡핑 물질을 이루는 원소의 이온을 함유한 도금욕에 전

도성 와이어 네트워크가 형성된 기재를 장입하고, 전도성 와이어 네트워크를 일 전극으로 하여 전류를 인가함으로써 수행될 수 있다. 이때, 다른 일 전극이 전해도금시의 이온 공급원일 수 있음은 물론이다. 전해도금은 캡핑층의 물질에 따라 종래 알려진 도금욕 및 조건으로 수행되면 무방하다. 구체적인 일 예로, 캡핑층이 구리와 같은 금속인 경우, 통상적으로 알려진 바와 같이 황산구리, 황산, 염소, 광택제등을 함유하는 구리 도금욕을 이용하고 직류(DC) 또는 펄스(pulse) 형태로 전류를 인가하여 도금이 수행될 수 있다. 구체적인 일 예로, 캡핑층이 CdS와 같은 반도체인 경우, 알려진 바와 같이 CdCl_2 및 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 를 함유하는 도금욕을 이용하여 도금이 수행될 수 있다. 이와 달리, 캡핑층은 증착에 의해 형성될 수 있으며, 증착은 종래 알려진 화학기상증착법(유기금속화학증착법)등을 이용하여 수행될 수 있으며, 증착시 전도성 와이어 네트워크가 보다 우선적인 핵생성 장소를 제공할 수 있다.

[0069] 본 발명의 일 실시예에 따른 제조방법에 있어, 상기 c) 단계는, c1) 반도체층 표면에 전도성 와이어를 도포하여 전도성 와이어가 불규칙적으로 엮인 구조체를 제조하는 단계; 및 c2) 상기 구조체를 압착하여 물리적으로 변형시키는 단계;를 포함할 수 있다. c1) 단계는 전도성 와이어가 분산된 분산액을 반도체층에 도포 및 건조하여 구조체를 제조하는 단계일 수 있으며, 분산액의 도포는 스핀코팅, 스프레이 코팅, 딥코팅, 진공 여과법(Vacuum filtration), 메이어 로드 코팅법(Meyer rod coating)등을 이용할 수 있다. c2) 단계는 편평한 판 형태 또는 물러 형태의 가압 부재를 이용하여, c1) 단계에서 제조된 구조체를 압착함으로써 수행될 수 있다. 변형을 위한 압축력은 변형 정도 및 전도성 와이어의 물질을 고려하여 적절히 조절될 수 있음은 물론이다. 구체적이며 비 한정적인 일 예로, 금속 와이어가 은과 같은 FCC 구조의 금속인 경우, 1내지 100MPa의 압력으로 압착될 수 있다. c2) 단계의 압착에 의해 구조체를 이루는 금속 와이어가 물리적으로 변형됨과 동시에, 금속 와이어간의 결합이 이루어질 수 있다.

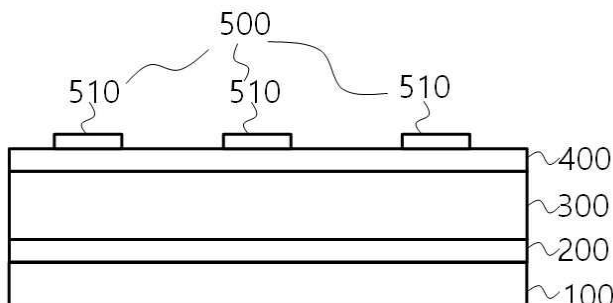
[0070] 이와 달리, c) 단계는, c1) 단계 후, c2단계 전 혹은 후에 c3) 구조체에 광 또는 열을 인가하여 전도성 와이어가 서로 접촉하는 접촉 영역을 용융 결합시키는 단계를 포함할 수 있다. 즉, 전도성 와이어가 서로 랜덤하게 접촉하거나 엮인 구조체에 광 또는 열을 인가함으로써, 전도성 와이어간의 접촉 영역을 용융 결합시켜, 개별적인 와이어가 아닌, 물리적으로 단일한 일체의 네트워크를 제조하는 것이다. 이러한 일체의 네트워크는 전도성 와이어간의 접촉 저항이 현저하게 낮아 전기전도에 유리하며, 반복되는 물리적 변형에도 네트워크가 안정적으로 유지될 수 있어, 플렉시블 태양전지에 유리하다.

[0071] 이상과 같이 본 발명에서는 특정된 사항들과 한정된 실시예 및 도면에 의해 설명되었으나 이는 본 발명의 보다 전반적인 이해를 돕기 위해서 제공된 것일 뿐, 본 발명은 상기의 실시예에 한정되는 것은 아니며, 본 발명이 속하는 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 이러한 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다.

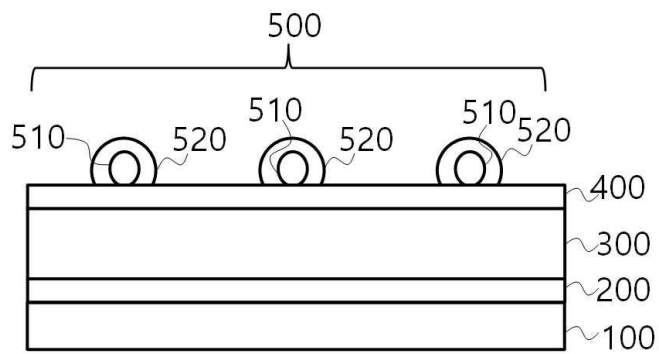
[0072] 따라서, 본 발명의 사상은 설명된 실시예에 국한되어 정해져서는 아니되며, 후술하는 특허청구범위뿐 아니라 이 특허청구범위와 균등하거나 등가적 변형이 있는 모든 것들은 본 발명 사상의 범주에 속한다고 할 것이다.

도면

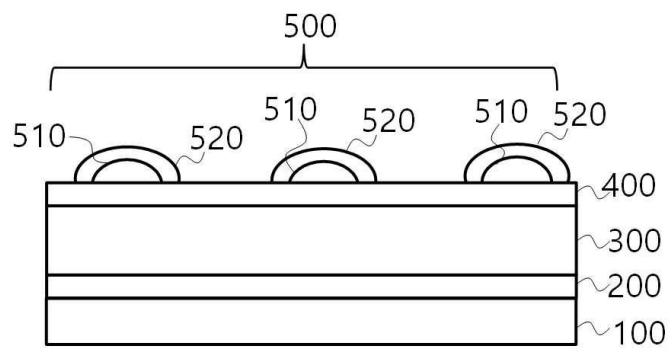
도면1



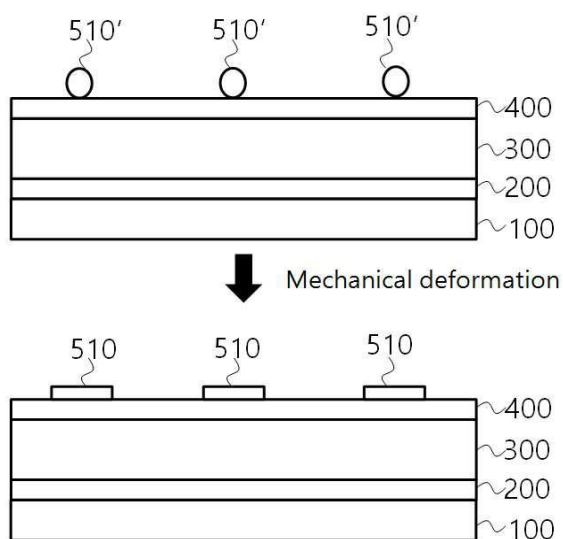
도면2



도면3



도면4



도면5

