



(12) 등록특허공보(B1)

(24) 등록일자 2020년11월13일

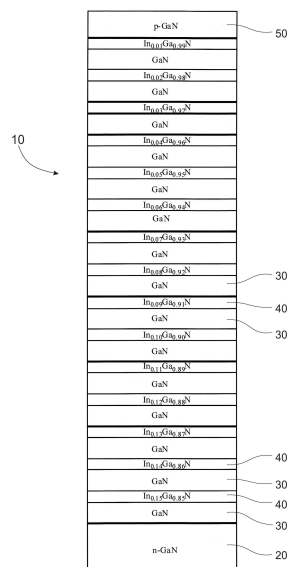
- (73) 특허권자
갈리움 엔터프라이즈즈 피티와이 엘티디
 오스트레일리아 뉴 사우스 웨일즈 2128 실버워드
 애스퀴쓰 스트리트 74
- (72) 발명자
바릭, 사티아나라얀
 오스트레일리아 2142 뉴 사우스 웨일즈 홀로이드
 비101/42-50 브릭웍스 드라이브
- (74) 대리인
박영우

심사관 : 오규환

(54) 발명의 명칭 가변 밴드갭 태양 전지

개선된 다중 양자 우물 태양 전지는 각 양자 우물 얇은 층의 밴드갭이 다른 이러한 층들과 비교하여 균일하지 않게 확보함에 의해 구현될 수 있다. 적어도 2개의 II족 내지 VI족 원소들의 함량을 변화시킴 및/또는 연속하는 양자 우물 층들의 두께를 변화시킴에 의한 연속하여 형성되는 양자 우물들 내의 밴드갭의 단계적 변화는 이용 가능한 태양 스펙트럼의 보다 큰 범위에 걸쳐 흡수의 증가를 제공한다.

대표도 - 도1



(56) 선행기술조사문헌

JP62128182 A*

JP61120480 A*

KR1020090116724 A*

US06372980 B1*

US06437233 B1

US20040135222 A1

US20050211291 A1

US20050247339 A1

US20070158638 A1

US20080156366 A1

US20080237633 A1

US20080251118 A1

KR100753147 B1*

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

명세서

청구범위

청구항 1

(a) p형 제1 접합층(junction layer);

(b) n형 제2 접합층; 및

(c) 상기 p형 제1 접합층 및 상기 n형 제2 접합층 사이에 끼워지고 상기 제1 및 제2 접합층들 모두에 직접 접촉되는 다중 양자 우물 영역을 포함하고, 상기 다중 양자 우물 영역은 각기 장벽층들(barrier layers) 사이에 끼워지는 복수의 응력의(strained) i형 양자 우물 층들(quantum well layers)을 포함하며, 각각의 상기 응력의 i형 양자 우물 층을 형성하는 물질은 독립적으로 III족 질화물이고,

연속하는 응력의 i형 양자 우물 층들은 질소의 비율이 동일하게 남으면서 알루미늄, 갈륨 및 인듐으로 이루어진 그룹으로부터 선택되는 적어도 2개의 구성 원소들의 다른 조성들로 인하여 다른 밴드갭(bandgap) 값들을 가져, 상기 적어도 2개의 구성 요소들의 하나가 상기 p형 제1 접합층 및 상기 n형 제2 접합층 사이를 이동하면서 상기 응력의 i형 양자 우물 층들 내에서 그 상대적인 양의 전체적인 증가를 나타내며, 각각의 응력의 i형 양자 우물 층은 5nm 보다 작은 두께를 가지고,

개개의 i형 양자 우물 층들의 조성은 상기 양자 우물 층을 통해 하나의 인접하는 장벽층에 접촉되는 영역으로부터 다음의 인접하는 장벽층에 접촉되는 영역까지 진행함에 따라 연속적인 형태로 변화되는 것을 특징으로 하는 태양 전지.

청구항 2

제 1 항에 있어서, 연속하는 i형 양자 우물 층들의 밴드갭이 사용 시에 태양광이 입사되는 상기 태양 전지의 표면으로부터 멀어지게 이동함에 따라 감소되는 것을 특징으로 하는 태양 전지.

청구항 3

제 2 항에 있어서, 상기 연속하는 i형 양자 우물 층들 내의 상기 구성 원소들의 적어도 하나의 함량은 사용 시에 상기 태양광이 입사되는 상기 태양 전지의 면적으로부터 더 멀리 이동함에 따라 증가되는 것을 특징으로 하는 태양 전지.

청구항 4

제 1 항에 있어서, 개개의 i형 양자 우물 층들의 조성은 이들의 면적에 걸쳐 일정한 것을 특징으로 하는 태양 전지.

청구항 5

삭제

청구항 6

제 1 항에 있어서, 인듐, 알루미늄 및 갈륨으로 이루어진 그룹으로부터 선택되는 적어도 2개의 III족 원소들의 상대적인 함량이 변화되는 것을 특징으로 하는 태양 전지.

청구항 7

제 1 항에 있어서, 상기 i형 양자 우물 층들을 형성하는 III족 질화물 물질은 인듐 갈륨 질화물, 알루미늄 인듐 갈륨 질화물, 인듐 알루미늄 질화물 그리고 알루미늄 갈륨 질화물로 이루어진 그룹으로부터 선택되는 것을 특징으로 하는 태양 전지.

청구항 8

제 7 항에 있어서, 상기 i형 양자 우물 층들은 인듐 갈륨 질화물을 포함하며, 인듐 및 갈륨 함량들이 연속하는 양자 우물 층들 사이에서 변화하는 것을 특징으로 하는 태양 전지.

청구항 9

제 8 항에 있어서, 가장 높은 밴드갭을 가지며 태양광을 수용하도록 적용된 표면에 가장 가까운 상기 태양 전지의 단부에 위치하는 상기 i형 양자 우물 층이 가장 낮은 인듐 함량을 갖는 상기 i형 양자 우물 층인 것을 특징으로 하는 태양 전지.

청구항 10

제 1 항에 있어서, 각 i형 양자 우물 층은 1nm부터 5nm 보다 작은 두께인 것을 특징으로 하는 태양 전지.

청구항 11

제 1 항에 있어서, 상기 장벽층들은 갈륨 질화물, 알루미늄 질화물, 인듐 갈륨 질화물, 인듐 알루미늄 질화물 및 알루미늄 인듐 갈륨 질화물로 이루어진 그룹으로부터 선택되는 물질을 포함하는 것을 특징으로 하는 태양 전지.

청구항 12

제 1 항에 있어서, 상기 장벽층들은 상기 장벽층들의 밴드갭들이 상기 끼워지는 i형 양자 우물 층의 밴드갭 보다 높도록 선택되는 것을 특징으로 하는 태양 전지.

청구항 13

제 1 항에 있어서, 상기 태양 전지는 하나 또는 그 이상의 차단층들(blocking layers)을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 태양 전지.

청구항 14

제 13 항에 있어서, 상기 태양 전지는 상기 p형 제1 접합층 이전 및 상기 n형 제2 접합층 이후에 존재하는 적어도 하나의 차단층을 가지도록 성장되는 것을 특징으로 하는 태양 전지.

청구항 15

제 1 항에 있어서, 상기 태양 전지 표면에 가장 가까운 상기 p형 또는 n형 층은 후속하는 상기 i형 양자 우물 또는 장벽층들 보다 높은 밴드갭을 가지는 것을 특징으로 하는 태양 전지.

청구항 16

다중 양자 우물 구조를 구비하는 태양 전지를 형성하는 방법에 있어서,

- (a) 장벽층을 형성하는 단계;
- (b) 상기 장벽층 상부에 III족 질화물로 형성되는 원하는 두께의 i형 양자 우물 층을 형성하는 단계;
- (c) 상기 i형 양자 우물 층이 2개의 장벽층들 사이에 끼워지도록 노출된 상기 i형 양자 우물 층 상부에 다른 장벽층을 형성하는 단계;
- (d) 노출된 상기 다른 장벽층 상부에 III족 질화물로 형성되는 원하는 두께의 다른 i형 양자 우물 층을 형성하는 단계; 및
- (e) 상기 단계 (c) 내지 상기 단계 (d)를 반복하여 원하는 숫자의 응력의 i형 양자 우물들을 형성하는 단계를 포함하며, 연속하는 i형 양자 우물 층들은 질소의 비율이 동일하게 남으면서 알루미늄, 갈륨 및 인듐으로 이루어진 그룹으로부터 선택되는 적어도 2개의 구성 원소들의 다른 조성들로 인하여 다른 밴드갭 값들을 가져, 상기 적어도 2개의 구성 요소들의 하나가 p형 접합층 및 n형 접합층 사이를 이동하면서 상기 응력의 i형 양자 우물 층들 내에서 그 상대적인 양의 전체적인 증가를 나타내며, 각각의 i형 양자 우물 층은 5nm 보다 작은 두께를 가지고,

개개의 i형 양자 우물 층들의 조성은 상기 양자 우물 층을 통해 하나의 인접하는 장벽층에 접촉되는 영역으로부

터 다음의 인접하는 장벽층에 접촉되는 영역까지 진행함에 따라 연속적인 형태로 변화되며,
이에 따라 다중 양자 우물 구조를 구비하는 태양 전지를 형성하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 17

제 16 항에 있어서, 상기 i형 양자 우물 층들은 인듐 갈륨 질화물 층들이며, 인듐 및 갈륨 함량이 연속하는 층들에서 변화되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 18

제 16 항에 있어서, 기판 상에 접합층을 형성하고, 상기 접합층 상에 상기 단계 (a)의 장벽층 또는 양자 우물 층을 후속하여 형성하는 단계를 포함하며, 상기 접합층은 p형 또는 n형 층인 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 19

제 18 항에 있어서, 형성되는 최종적인 i형 양자 우물 층 상부에 다른 접합층을 형성하는 단계를 포함하며, 제 18 항에 따른 접합층이 n형일 때에 상기 다른 접합층은 p형이고, 제 18 항에 따른 접합층이 p형일 때에 상기 다른 접합층은 n형인 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 20

제 18 항에 있어서, 상기 기판은 투명한 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 21

제 17 항에 있어서, 가장 낮은 인듐 함량을 갖는 상기 i형 양자 우물 층들을 보다 높은 인듐 함량들을 갖는 것들 이전에 성장시키는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 22

삭제

청구항 23

삭제

청구항 24

삭제

청구항 25

삭제

청구항 26

삭제

청구항 27

삭제

청구항 28

삭제

청구항 29

삭제

청구항 30

삭제

청구항 31

삭제

청구항 32

삭제

청구항 33

삭제

청구항 34

삭제

청구항 35

삭제

청구항 36

삭제

청구항 37

삭제

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 태양 전지에 관한 것이며, 특히 다중 양자 우물들(multiple quantum wells)을 포함하는 태양 전지에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 인듐 갈륨 질화물(InGaN) 셀들과 같은 반도체 태양 전지들은 현재의 태양 에너지 포획 기술의 효율을 개선하는 가능성을 가진다. InGaN은, 특히, $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 층 내의 인듐 함량이 0.0으로부터 1.0까지 변화되고 이에 따라 대부분의 전체 태양 스펙트럼에 걸쳐 흡수를 보여주기 때문에 약 0.67eV으로부터 약 3.4eV까지 변화될 수 있는 이의 조정 가능한 직접형 밴드갭으로 인해 태양 전지 반도체 물질로서 매우 유망하며하다. InGaN은 높은 캐리어 이동도, 높은 포화 속도 및 높은 온도와 방사에 대한 적절한 저항과 같은 보다 유용한 성질들을 가진다.

[0003] 통상적으로, 이러한 태양 전지들의 형성에 있어서, GaN 층들은 그 상부에 상대적으로 높은 인듐 함량의 InGaN 층들이 구현되는 원하는 흡수 효율을 가질 수 있도록 성장되는 베이스 또는 하부의 에피택셜층으로 적용될 것이다. 이러한 접근의 하나의 문제점은 상 분리 및 불일치 전위들(misfit dislocation)과 같은 원하지 않는 결과들을 유도할 수 있는 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 및 GaN 사이의 큰 격자 불일치(lattice mismatch)로 인해 발달되는 높은 응력이다. 이는 실제로는 달성하기 어려운 태양 에너지의 흡수를 증가시키기 위해 유용할 수 있는 상대적으로 두꺼운 InGaN 층들의 성장을 가져온다.

[0004] 제시되어온 하나의 해결책은 상기 구조 내에 다중 양자 우물들(multiple quantum wells: MQW)을 이용하는 것이다. 각 양자 우물(QW)은 낮은 밴드갭을 보이고 보다 높은 밴드갭의 2개의 장벽층들 사이에 끼워지는 매우 얇은 반도체 물질의 층이다. 다중 양자 우물들의 이용은 높은 광학 흡수 계수들을 가지고 이에 따라 물질의 매우 얇은 층들이 충분한 레벨의 흡수를 제공할 수 있는 InGaN과 같은 반도체 물질들을 다룰 때에 실행 가능한 접근이다.

[0005] 예를 들면 InGaN의 이들 낮은 차원의 다중 양자 우물들의 이용은 보다 두꺼운 InGaN 층들에 비하여 고품질의 결정층들을 형성가능하게 하며, 이에 따라 양자화된 에너지 레벨들의 이점을 더 제공하면서 층간 응력과 상분리가

크게 감소된다.

- [0006] 그러나, 현재까지 태양 전지 내에 다중 양자 우물들을 이용하는 종래의 예들은 최적의 광 흡수 보다 낮을 뿐만 아니라 상당한 분극 관련된 전하들에 따라 태양광의 전기 에너지로의 상대적으로 낮은 에너지 변환을 가져오는 문제점들이 있었다.
- [0007] 미국 공개 특허 제2011/0220190호는 태양 전지 내에 InGaAs, GaAs, AlGaAs, InGaP, AlGaInP 및 AlGaInAs를 포함할 수 있는 차등 버퍼층의 이용을 제시한다. 이들 물질들은 V족 원소들이 비소(As) 및/또는 인(P)인 III족-V족(다중-접합) 태양 전지들을 위해 사용된다.
- [0008] 미국 공개 특허 제2011/0197956호에는 전이층 또는 a-Si와 같은 큰 밴드갭의 광 흡수층과 c-Si와 같은 작은 밴드갭의 광 흡수층 사이의 터널링 접합으로서 아몰퍼스 SiGe 층, 또는 a-Si 및 μ c-Si의 혼합된 층, 혹은 a-Si 및 poly-Si의 혼합된 층을 포함하는 층들의 이용이 기재되어 있다. 상기 전이층이, 예를 들면, 막 형성 동안에 처리 가스 내의 수소 함량을 계속적으로 변화시켜 구현되는 점진적으로 변화하는 밴드갭을 가질 수 있고 이에 따라 상기 Si 층의 결정화도를 변화시키는 점이 고려된다. 예를 들면, a-Si(결정화도=0%)의 층이 c-Si(결정화도=60% 내지 100%)로 점차로 변화되었다.
- [0009] 미국 공개 특허 제2009/0255580호에는 양자점(quantum dot) 태양 전지 내에 다른 크기의 양자점들의 이용이 기재되어 있다. 양자점 태양 전지들 및 양자 우물 태양 전지들은 비교의 도출이 신뢰성이 없는 점을 의미하는 상이한 구조로 인하여 산업계에서 별도로 다루어진다. 따라서, 비양자점 태양 전지들을 위해서는, 이러한 문헌은 작은 도움이 된다.
- [0010] 국제 공개 특허 제WO 2000/077861호에는 증가하지 않고 감소하는 밴드갭들을 갖는 수직 스택 내에 배열되는 수많은 다른 파장 선택적 액티브층들을 포함하는 장치가 기재되어 있다. 각 층 내에서, 상기 밴드갭은 동일하게 남는 반면, 아래의 후속하는 층 내에서 밴드갭은 감소한다. 콘택들은 각 층의 측부들 상에 분리되어 만들어진다. 상기 문헌은 가능한 태양 전지 응용예들을 위한 박막 층 구조들의 이용을 언급하고 있지만 주된 강조점이 가상적인 응용예들을 바탕으로 하고 있다. 이는 극히 넓은 밴드갭의 반도체들 또는 절연체들을 갖는 양자 우물들의 이용이 상기 스택 내의 층들에 걸쳐 필수적인 옴릭 콘택들(ohmic contacts)을 가능하지 않게 하는 점을 언급하고 있다. 이러한 문헌은 따라서 앞에서 논의한 문제들에 대한 만족스러운 해결을 제공하지 못하고 있다.
- [0011] 광 흡수를 증진시키고 이에 따라 전체적인 효율을 개선하면서 다중 양자 우물들의 이점들을 활용할 수 있는 태양 전지에 대한 필요성이 존재한다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0012] 본 발명의 목적은 다중 양자 우물들을 포함하는 태양 전지를 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

- [0013] 넓은 하나의 유형에 있어서, 본 발명은 각 양자 우물의 조성이 이웃하거나 연속하는 양자 우물 층들의 경우와 다른 다중 양자 우물 활성 영역을 포함하는 태양 전지에 관한 것이다.
- [0014] 제1 측면에 있어서, 비록 유일하거나 실제로 가장 넓은 유형일 필요는 없지만, 본 발명은,
- [0015] (a) 제1 접합층(junction layer);
- [0016] (b) 제2 접합층; 및
- [0017] (c) 상기 제1 및 제2 접합층들 사이의 액티브 영역을 포함하고, 상기 액티브 영역이 각기 장벽층들 사이에 끼워지는 복수의 양자 우물 층들을 포함하며,
- [0018] 연속하는 양자 우물 층들이 상기 층들의 두께의 변화들 및/또는 이들이 이들의 구성 원소들의 적어도 하나의 다른 조성들을 가짐으로 인해 다른 밴드갭(bandgap) 값들을 가지는 태양 전지에 관한 것이다.
- [0019] 바람직하게는, 연속하는 양자 우물 층들의 밴드갭은 사용 시에 태양광이 입사되는 상기 태양 전지의 표면으로부터 멀리 이동함에 따라 감소된다.

- [0020] 적절하게는, 상기 구성 원소는 적어도 2개의 II족 내지 VI족 원소들이 될 수 있다.
- [0021] 상기 구성 원소가 II족 원소일 때, 이는 아연, 마그네슘, 베릴륨 및 카드뮴으로 이루어진 그룹으로부터 선택될 수 있다.
- [0022] 상기 구성 원소가 III족 원소일 때, 이는 붕소, 알루미늄, 갈륨 및 인듐으로 이루어진 그룹으로부터 선택될 수 있다.
- [0023] 상기 구성 원소가 IV족 원소일 때, 이는 탄소, 실리콘, 게르마늄 및 티타늄으로 이루어진 그룹으로부터 선택될 수 있다.
- [0024] 상기 구성 원소가 V족 원소일 때, 이는 질소, 인, 비소 및 안티몬으로 이루어진 그룹으로부터 선택될 수 있다.
- [0025] 상기 구성 원소가 VI족 원소일 때, 이는 산소, 텔루륨, 셀레늄 및 황으로 이루어진 그룹으로부터 선택될 수 있다.
- [0026] 상기 인접하는 양자 우물 층들은 다른 양자화된 에너지 레벨들에 존재할 수 있다.
- [0027] 바람직하게는, 연속하는 양자 우물 층들 내의 상기 적어도 하나의 II족 내지 VI족 원소의 함량은 사용 시에 태양광이 입사되는 상기 태양 전지의 면적으로부터 더 멀리 이동함에 따라 증가한다.
- [0028] 연속하는 양자 우물 층들 내의 하나의 II족 내지 VI족 원소의 함량이 사용 시에 태양광이 입사되는 상기 태양 전지의 면적으로부터 더 멀리 이동함에 따라 증가하는 반면, 다른 하나의 II족 내지 VI족 원소 함량이 감소될 수 있는 점을 이해할 수 있을 것이다. 예를 들면, 상기 양자 우물 층들이 InGaN으로 구성되는 경우, 그러면 사용 시에 태양광이 입사되는 상기 태양 전지의 면적으로부터 더 멀리 이동함에 따라 상기 인듐 함량이 증가될 수 있고 상기 갈륨 함량이 감소될 수 있다. 따라서 II족 내지 VI족 원소들의 전체적인 균형이 유지된다.
- [0029] 선택적으로 또는 조합되어, 연속하는 양자 우물 층들의 두께가 사용 시에 태양광이 입사되는 상기 태양 전지의 면적으로부터 더 멀리 이동함에 따라 감소된다.
- [0030] 일 실시예에 있어서, 개개의 양자 우물 층들의 조성은 이들의 전체 면적에 걸쳐 실질적으로 일정하다.
- [0031] 선택적인 실시예에 있어서, 개개의 양자 우물 층들의 조성은 상기 양자 우물 층에 걸쳐 하나의 인접하는 장벽층에 접촉되는 영역으로부터 다른 하나의 인접하는 장벽층에 접촉되는 영역까지 진행함에 따라 연속적인 형태로 변화될 수 있다.
- [0032] 연속하는 양자 우물 층들의 부분들의 원소의 조성 사이에 중첩이 있을 수 있지만, 일반적인 경향이 적어도 하나의 구성 원소의 상대적인 함량이 증가할 것이며, 상기 태양을 마주하는 층으로부터 이들이 더 멀리 이동하면서 상기 양자 우물 층들의 밴드갭들이 감소하는 방식으로 사용 시에 입사되는 상기 태양광에 가장 가까운 양자 우물 층으로부터 멀리 이동함에 따라 연속하는 양자 우물 층들 내에서 연관되거나 동반하는 원소의 상대적인 함량이 감소하게 될 것인 점을 이해할 수 있을 것이다.
- [0033] 적절하게는, 상기 양자 우물 층들은 둘 또는 그 이상의 구성 원소들을 포함하며, 적어도 2개의 이들 원소들의 상대적인 함량이 다른 층들 사이에서 변화된다.
- [0034] 바람직하게는, 양자 우물 층들 사이에서 함량이 다른 상기 적어도 하나의 구성 원소는 인듐, 알루미늄 및 갈륨으로 이루어진 그룹으로부터 선택되는 III족 원소이다.
- [0035] 보다 바람직하게는, 양자 우물 층들 사이에서 함량이 다른 상기 III족 원소는 인듐이다.
- [0036] 상기 양자 우물 층들을 형성하는 물질은 바람직하게는 II족 내지 VI족 질화물(nitride), 비화물(arsenide) 또는 인화물(phosphide)이다.
- [0037] 바람직하게는, 상기 양자 우물 층들을 형성하는 물질은 III족 질화물, 비화물 또는 인화물이다.
- [0038] 보다 바람직하게는, 상기 양자 우물 층들을 형성하는 물질은 인듐 갈륨 질화물, 알루미늄 인듐 갈륨 질화물, 인듐 알루미늄 질화물, 알루미늄 갈륨 질화물, 인듐 갈륨 비화물, 인듐 갈륨 비화물-질화물, 알루미늄 인듐 갈륨 비화물-질화물, 인듐 갈륨 인화물, 인듐 갈륨 비화물-인화물, 인듐 비소 인화물, 인듐 알루미늄 비화물 및 인듐 알루미늄 갈륨 비화물로 이루어진 그룹으로부터 선택된다.
- [0039] 심지어 보다 바람직하게는, 상기 양자 우물 층들을 형성하는 물질은 인듐 갈륨 질화물이다.

- [0040] 상기 양자 우물 층들이 인듐 갈륨 질화물로부터 형성되는 바람직한 실시예에 있어서, 가장 높은 밴드갭을 갖고 태양광을 수용하도록 적용된 표면에 가장 가까운 태양 전지의 단부에 위치하는 상기 양자 우물 층들이 가장 낮은 인듐 함량을 갖는 양자 우물 층이 될 것이다.
- [0041] 절적하게는, 각 양자 우물 층은 15nm 보다 작은, 바람직하게는 10nm 보다 작은, 보다 바람직하게는 7nm 보다 작은 두께이다.
- [0042] 바람직하게는, 각 양자 우물 층은 1nm 내지 5nm 정도의 두께, 보다 바람직하게는 약 3nm의 두께이다.
- [0043] 상기 장벽층들은 상기 양자 우물 층들과 동일하거나 다른 물질들로 형성될 수 있다.
- [0044] 바람직하게는, 상기 장벽층들은 갈륨 질화물, 알루미늄 질화물, 인듐 갈륨 질화물, 인듐 알루미늄 질화물 및 알루미늄 인듐 갈륨 질화물로 이루어진 그룹으로부터 선택되는 물질을 포함하여, 상기 장벽층들의 밴드갭들이 상기 끼워지는 양자 우물 층의 밴드갭 보다 높다.
- [0045] 일 실시예에 있어서, 상기 태양 전지는 하나 또는 그 이상의 차단층들(blocking layers)을 더 포함한다.
- [0046] 바람직하게는, 상기 하나 또는 그 이상의 차단층들은 상기 양자 우물 또는 장벽층들 보다 높은 밴드갭을 가질 것이다.
- [0047] 적절하게는, $p-i-n$ InGaN/GaN 태양 전지를 위하여, p -AlGaIn 층이 상기 p -GaN 층 전에 존재하고 n -AlGaIn 층이 상기 n -GaN 층 후에 존재한다.
- [0048] 바람직하게는, 상기 태양 전지는 사파이어, 아연, 유리 및 다른 실리콘계 기판들로 이루어진 그룹으로부터 선택되는 기판 상에 성장된다. 패터닝된 사파이어 기판들(patterned sapphire substrates)이 특히 바람직하다.
- [0049] 제2 측면에 있어서, 본 발명은 다중 양자 우물 구조를 구비하는 태양 전지를 형성하는 방법과 관련되며, 상기 방법은,
- [0050] (a) 장벽층을 형성하는 단계;
- [0051] (b) 상기 장벽층 상부에 적어도 하나의 II족 내지 VI족 원소를 포함하는 원하는 두께의 양자 우물 층을 형성하는 단계;
- [0052] (c) 상기 양자 우물 층이 2개의 장벽층들 사이에 끼워지도록 노출된 양자 우물 층의 상부에 다른 장벽층을 형성하는 단계;
- [0053] (d) 노출된 상기 다른 장벽층 상부에 적어도 하나의 II족 내지 VI족 원소를 포함하는 원하는 두께의 다른 양자 우물 층을 형성하는 단계; 및
- [0054] (e) 상기 단계 (c) 내지 상기 단계 (d)를 반복하여 원하는 숫자의 양자 우물 층들을 형성하는 단계를 포함하며, 연속하는 양자 우물 층들이 상기 층들의 두께의 변화들 및/또는 이들이 상기 적어도 하나의 II족 내지 VI족 원소의 다른 함량들을 가짐으로 인해 다른 밴드갭 값들을 가지고,
- [0055] 이에 따라 다중 양자 우물 구조를 포함하는 태양 전지가 형성된다.
- [0056] 바람직한 일 실시예에 있어서, 연속하는 양자 우물 층들 내의 상기 적어도 하나의 II족 내지 VI족 원소의 함량은 사용 시에 태양광이 입사되는 상기 태양 전지의 면적으로부터 더 멀리 이동함에 따라 증가한다.
- [0057] 일 실시예에 있어서, 개개의 양자 우물 층들 내의 상기 적어도 하나의 II족 내지 VI족 원소 함량은 실질적으로 일정하다.
- [0058] 선택적인 실시예에 있어서, 개개의 양자 우물 층들 내의 상기 적어도 하나의 II족 내지 VI족 원소 함량은 상기 양자 우물 층에 걸쳐 하나의 인접하는 장벽층에 접촉되는 영역으로부터 다른 하나의 인접하는 장벽층에 접촉되는 영역까지 진행함에 따라 연속적인 형태로 변화될 수 있다.
- [0059] 상기 방법은 기판 상에 집합층을 형성하고, 후속하여 상기 집합층 상에 상기 제1 장벽층 또는 양자 우물 층을 형성하는 단계를 더 포함할 수 있다.
- [0060] 상기 방법은 형성되는 최종적인 양자 우물 층 상부에 다른 집합층을 형성하는 단계를 더 포함할 수 있다.
- [0061] 선택적인 실시예에 있어서, 상기 방법은, 연속하는 양자 우물 층들 내의 상기 적어도 하나의 II족 내지 VI족 원소의 함량이 사용 시에 태양광이 입사되는 상기 태양 전지의 면적으로부터 더 멀리 이동함에 따라 감소되도록

상기 다중 양자 우물 구조를 형성하는 단계를 포함할 수 있다.

[0062] 이러한 선택적인 실시예에 있어서, 상기 방법은, 하부에 놓인 기판으로부터 상기 다중 양자 우물 구조를 분리하며, 연속하는 양자 우물 층들 내의 상기 적어도 하나의 II족 내지 VI족 원소의 함량이 사용 시에 태양광이 입사되는 상기 태양 전지의 면적으로부터 더 멀리 이동함에 따라 증가하도록 상기 구조를 반전시키는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0063] 이러한 선택적인 실시예의 태양 전지는 투명한 기판 상에 형성될 수 있다.

[0064] 제3 측면에 있어서, 본 발명은 상기 제2 측면의 방법에 의해 형성되는 태양 전지와 관련된다.

[0065] 제4 측면에 있어서, 본 발명은 상기 제3 측면의 태양 전지의 용도와 관련된다.

[0066] 본 발명의 다른 특징들은 다음의 상세한 설명으로부터 명확해질 것이다.

[0067] 본 명세서에 있어서, 본 문서에서 다르게 요구하지 많은 한 "포함하다", "구비하다" 및 "포함하는"이라는 표현들은 기재된 정수 또는 정수의 그룹의 포함하지만, 임의의 다른 정수나 정수의 그룹을 배제하지는 않는 점을 의미하는 것으로 이해될 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0068] 본 발명이 쉽게 이해될 수 있고 실제로 실행되기 위하여, 이하에서 바람직한 실시예들이 첨부된 도면들을 참조하여 예시적으로 기재될 것이다.

도 1은 다중 양자 우물 태양 전지의 제1 실시예를 개략적으로 나타낸다.

도 2는 다중 양자 우물 태양 전지의 제2 실시예를 개략적으로 나타낸다.

도 3은 실험적으로 얻어진 도 1의 다중 양자 우물 태양 전지의 I-V 특성들을 도식적으로 나타낸다.

도 4는 실험적으로 얻어진 2개의 다중 양자 우물 태양 전지들의 I-V 특성들을 도식적으로 나타낸다.

도 5는 실험적으로 수득된 도 4의 다중 양자 우물 태양 전지들의 외부 양자 효율 및 내부 양자 효율 특성들을 도식적으로 나타낸다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0069] 본 발명은 개선된 다중 양자 우물 태양 전지(multiple quantum well solar cell)가 각 양자 우물 얇은 층들의 밴드갭(bandgap)이 다른 이러한 층들과 비교하여 균일하지 않은 것을 확보함에 의해 구현될 수 있는 점의 발견에 근거한다. 적어도 하나의 그리고 통상적으로는 InGaN 내의 인듐(indium) 및 갈륨(gallium)의 상대적 함량들과 같은 적어도 2개의 II족 내지 VI족 원소들의 함량을 변화시킴에 의한 연속적으로 형성된 양자 우물들 내의 상기 밴드갭의 단계적 변화(gradation)가 이용 가능한 태양 스펙트럼의 보다 큰 범위에 걸쳐 적어도 흡수에서의 증가의 이점들을 제공하는 점이 발견되었다. 동일한 이점들이 대신하여 또는 결합되어 연속하는 양자 우물 층들의 두께를 변화시키는 것에 의해 얻어질 수 있다.

[0070] 본 태양 전지들과 함께 적용될 수 있고, 이에 따라 상기 층들의 성질이 형성될 수 있는 반도체 물질들은 특별히 한정되지는 않는다. 비록 여기에 실시되는 실시예들이 대체로 상기 양자 우물(QW) 물질로서 InGaN을 적용하고 장벽(barrier) 및 p - 및 n -접합층들(junction layers)을 위해 GaN을 적용하지만, 본 발명의 유용성이 이에 한정되는 것은 아니다.

[0071] 도 1은 다중 양자 우물(MQW) 태양 전지(PV A)의 제1 실시예를 개략적으로 나타내는 도면이다. 도 1은 개개의 층들에 대해 보다 상세한 사항들을 제공하는 표 1 내에 나타난 구조와 동등하다. 태양 전지(10)는 대체로 약 1,000nm의 두께 및 cm^3 당 1×10^{19} 의 도펀트(dopant) 농도를 갖는 n -GaN 층인 제1 접합층(20)을 갖는 p - i - n 접합 구조를 포함하는 것으로 나타난다. 액티브 영역이 상기 제1 접합층(20) 상에 위치하여 존재하며, 교번하는 장벽 층들(30) 및 QW 층들(40)로 구성된다. 각 QW 층(40)은 이에 따라 2개의 장벽층들(30) 사이에 끼워져 양자 우물을 형성한다.

[0072] 도시된 실시예에 있어서, i -InGaN 반도체 물질은 상기 QW 층들(40)을 형성하며, 각 층(40)의 조성이 인접하는 층(40)의 경우와 다른 점에 주목한다. 제2 접합층(50)은 p -GaN 층이며, 상기 제1 접합층(20)과 상기 제2 접합층(50) 사이에 위치하는 상기 액티브 영역을 야기한다. 표 1은 상기 p -GaN 층이 cm^3 당 1×10^{18} 의 도핑 농도를 갖

는 대략 150nm의 두께인 점을 나타낸다.

- [0073] 도 1 및 표 1에 의해 나타난 실시예에 있어서, 상기 태양 전지(10)는 상기 제2 접합층(50)을 포함하는 단부가 태양에 노출되도록 설계된다. 상기 제1 접합층(20)으로부터 상기 제2 접합층(50)까지 진행함에 있어서, 각 연속하는 QW 층(40)의 인듐 함량이 표 1의 3번 층(15% 인듐 함량) 내의 $\text{In}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ 의 최대로부터 표 1의 31번 층(1% 인듐 함량) 내의 $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$ 의 최소까지 단계적인 형태로 감소되는 점을 볼 수 있다. 따라서, 각 개별 QW 층(40) 내의 상기 인듐 함량은 실질적으로 일정하지만, 하나의 층(50)으로부터 다른 것까지는 변화된다.
- [0074] 각 양자 우물 층의 두께는 15nm 보다 작고, 바람직하게는 10nm 보다 작으며, 보다 바람직하게는 7nm 보다 작은 두께이다.
- [0075] 바람직하게는, 각 양자 우물 층은 1nm 내지 5nm의 두께, 보다 바람직하게는 약 3nm의 두께이다.
- [0076] 비록 도 1에 도시하지는 않았지만, 상기 태양 전지(10)는 사파이어(sapphire)와 같은 적절한 기판 상에 성장될 것이다. 또한, 도 1에는 도시되지 않지만 상기 태양 전지(10)의 작동을 위해서는 필수적일 수 있고 숙련자들에게는 명백할 수 있는 p - 및 n -콘택들, 태양에 마주하는 측부 상의 반사방지층들, 후면에서의 광 리플렉터들(light reflectors), 터널링(tunnelling) 층들 등과 같은 표준 구성 요소들도 존재할 수 있다.
- [0077] 상기 표 1에서는 31번 층인 유입되는 태양광에 가장 가까운 상기 QW 층(40)이 보다 높은 밴드갭을 가져야 하며, 이에 따라 후속하는 QW 층들(40) 보다 낮은 인듐 함량을 가져야 하는 것이 바람직하다. 상기 유입되는 태양광에 가장 가까운 상기 QW 층의 인듐 함량은 0% 내지 100%, 바람직하게는 0.5% 내지 50%, 보다 바람직하게는 1% 내지 40%가 될 수 있다. 후속하는 QW 층들은 이러한 값으로부터 원하는 최대까지 점증적으로 증가하는 인듐 함량을 가질 수 있다.
- [0078] 상기 QW 층들(40)은 둘 또는 그 이상의 II족 내지 VI족 원소들을 포함하는 임의의 적합한 반도체 물질로부터 형성될 수 있다. 바람직하게는, 상기 II족 내지 VI족 원소들의 적어도 하나는 인듐, 알루미늄 및 갈륨으로 구성되는 그룹으로부터 선택되는 III족 원소이고, 다른 하나는 질소, 인, 비소 및 안티몬으로 이루어진 그룹으로부터 선택되는 V족 원소이다.
- [0079] 상기 QW 층들(40)을 형성하는 물질은 바람직하게는 III족 질화물(nitride), III족 비화물(arsenide), III족 비화물-질화물 또는 III족 비화물-인화물(phosphide)이다.
- [0080] 바람직하게는, 상기 QW 층들(40)을 형성하는 물질은 인듐 갈륨 질화물, 알루미늄 인듐 갈륨 질화물, 인듐 알루미늄 질화물, 알루미늄 갈륨 질화물, 인듐 갈륨 비화물, 인듐 갈륨 비화물-질화물, 알루미늄 인듐 갈륨 비화물-질화물, 인듐 갈륨 인화물, 인듐 갈륨 비화물-인화물, 인듐 비화물-인화물, 인듐 알루미늄 비화물 그리고 인듐 알루미늄 갈륨 비화물로 이루어진 그룹으로부터 선택된다.
- [0081] 보다 바람직하게는, 상기 양자 우물 층들을 형성하는 물질은 인듐 갈륨 질화물이다. 상술한 바와 같이, InGaN은 이의 조정 가능한 직접적인 밴드갭 및 거의 대부분의 전체 태양 스펙트럼에 걸치는 흡수뿐만 아니라 높은 캐리어 이동도(carrier mobility), 높은 포화 속도(saturation velocity) 및 고온과 방사에 대한 적절한 저항으로 인하여 태양 전지 반도체 물질로서 큰 가능성을 나타낸다.
- [0082] 상기 MQW 태양 전지 구조들의 상이한 실시예들은 존재하는 양자 우물들의 실제 숫자의 넓은 범위에 존재할 수 있다. 2내지 약 150 사이의 개개의 양자 우물들의 임의의 숫자가 결과적인 구조가 태양광의 흡수를 적절하게 수행할 수 있는 한 적절할 수 있다. 바람직하게는, 약 5 내지 약 100 정도의 양자 우물 층들이 상기 태양 전지 내에 존재할 수 있고, 보다 바람직하게는, 약 5 내지 약 80 정도가 존재할 수 있다.
- [0083] 각 장벽층(30)은 상기 QW 층들(40)과 동일하거나 다른 물질들로 형성될 수 있다. 예를 들면, 상기 장벽층들(30)은 갈륨 질화물, 알루미늄 질화물, 인듐 갈륨 질화물, 인듐 알루미늄 질화물 또는 알루미늄 인듐 갈륨 질화물로 형성될 수 있으므로, 상기 장벽층들의 밴드갭들은 사이에 끼워진 양자 우물 층의 밴드갭 보다 높다. 바람직하게는, 상기 장벽층들은 갈륨 질화물 층들이다.
- [0084] 상기 장벽층들(30)은 3nm 내지 100nm 정도의 두께일 수 있고, 바람직하게는 7nm 내지 50nm 정도의 두께일 수 있으며, 보다 바람직하게는 10nm 내지 30nm 정도의 두께일 수 있고, 더욱 보다 바람직하게는 10nm 내지 20nm 정도의 두께일 수 있다.
- [0085] 상기 장벽층들(30)은 이들 사이에 끼이는 상기 QW 층(40) 보다 높은 밴드갭을 가져야 한다. 이는 상기 장벽층들(30) 물질 및/또는 두께의 선택에 의해 구현될 수 있다. 이와는 달리, 상기 장벽층들(30)의 성질이 특히 제한되

지는 않는다.

- [0086] 비록, 도 1의 실시예가 논의된 바와 같이 $p-i-n$ 구조, 즉 상기 태양 전지의 태양을 마주하는 단부가 상기 기관 단부에 인접하는 p -층 및 n -층이지만, 상기 태양 전지의 태양을 마주하는 측부가 n -층이고 상기 p -층이 상기 기관 단부에 인접하는 $n-i-p$ 태양 전지들을 제공하는 것도 본 발명의 범주 내에 속하는 것으로 여겨진다. 상기 n - 및 p -층들의 두께는 이들의 성장 순서에 기초하여 선택될 수 있으며, 바람직하게는 약 2,500nm 내지 약 30nm, 바람직하게는 약 1,000nm 내지 약 50nm의 범위일 수 있다. 통상적으로, 상기 태양을 마주하는 n - 또는 p -층은 둘 중에서 보다 얇은 것이다. 상기 n 및 p 층들은 분극 효과를 최소화하는 데 도움이 되도록 고농도로 도핑될 수 있다. 상기 QW 층들(40)의 도핑 레벨, 즉 상기 i -층 또는 표 1에 나타낸 진성층(intrinsic layer)은 상대적으로 낮게 유지되어야 한다.
- [0087] 도 2는 다중 양자 우물 태양 전지의 제2 실시예를 개략적으로 나타낸다. 도 1에서 볼 수 있는 바와 같이, 상기 태양 전지(100)는 n -GaN의 제1 접합층(120)과 p -GaN의 제2 접합층(150) 사이에 끼워진 MQW들의 액티브 영역을 포함한다. 상기 액티브 영역 MQW들은 QW 층들(140)을 사이에 끼우는 장벽층들(130)로 구성된다. 도 2에 도시된 실시예와 도 1의 경우 사이의 유일한 차이가 상기 QW 층들(140)의 유효한 순서인 이들의 인듐 함량의 면에서 반전되었다는 점인 것을 인지할 수 있을 것이다. 즉, 1% 인듐의 가장 낮은 인듐 함량의 층이 상기 n -GaN 제1 접합층(120)에 가장 가까이 위치하고 이에 따라 입사되는 태양광으로부터 가장 멀리 있게 된다. 각 후속하는 또는 연속하는 QW 층(140)의 인듐 함량은 상기 태양 전지(100)의 태양을 마주하는 표면에 가장 가까운 상기 QW 층(140) 내에서 15%까지 단계적인 형태로 증가한다. 이와는 달리, 물질의 성질 및 n - 및 p -층들의 위치 등과 같이 도 1에 도시한 실시예와 관련하여 기재된 모든 설명들이 도 2에 도시한 실시예에 동등하게 적용될 수 있다.
- [0088] 도 2의 설계에 의해 제공되는 이점은 성장될 수 있는 상기 양자 층들(140)의 품질에 있다. InGaN은 고온들에서는 열화될 수 있으며 이에 따라 가장 높은 인듐 함량의 층들이 먼저 성장되는 도 1에 도시한 실시예에서는 상대적으로 낮은 온도들이 이용되어야 한다. 연속적인 QW 층들(40)이 보다 낮은 인듐 함량으로 성장될 때, 이들 층들은 그 자신이 보다 높은 성장 온도들에 견딜 수 있지만, 이미 형성된 높은 인듐 함량의 층들은 열화될 수 있고 이에 따라 모든 남아 있는 QW 층들(40)이 이들이 첫 번째 성장되는 가장 높은 인듐 함량의 층에 의해 성장될 수 있는 온도에 한정된다. 보다 높은 인듐 함량들을 갖는 InGaN 층들은 낮은 인듐 함량을 갖는 것들 보다는 인접하는 GaN 층들과 상대적으로 높은 격자 불일치를 가지게 될 것이며, 연속적인 QW 층들(40) 및 장벽층들(30)을 구성하기 위해 제공되는 플랫폼이 최적 보다 낮아진다.
- [0089] 이러한 문제점은 상기 태양 전지(100)의 다양한 층들을 도 2에 나타낸 순서로 성장시킴에 의해 회피될 수 있다. 상기 가장 낮은 인듐 함량의 층들이 처음으로 성장되고 이는 이들이 보다 우수한 장치 특성들을 갖는 개선된 품질의 InGaN QW 층(140)을 생성하는 보다 높은 온도들에서 성장될 수 있는 것을 의미한다. 연속적인 QW 층들(140)이 형성되면서, 상기 성장 온도는 형성되는 층의 특정 인듐 함량에 알맞도록 계속하여 낮아질 수 있고, 이는 각 QW 층(140)이 최적의 온도에서 성장될 수 있으며 이에 따라 보다 낮은 격자 불일치와 이에 따른 응력 및 개선된 장치 특성들을 갖는 구조가 제공된다.
- [0090] 도 1과 관련하여 언급된 바와 같이, 상기 가장 높은 밴드갭, 즉 가장 낮은 인듐 함량의 QW 층(140)이 태양의 광선이 입사되는 표면에 가장 가까워야 하는 것이 바람직하다. 상기 태양 전지(100)의 경우에 있어서, 투명한 기관이 적용될 수 있고, 상기 전지(100)는 상기 기관이 입사광에 근접하여 이러한 일이 일어나도록 배향된다. 선택적으로는, 상기 제2 접합층(120)과 이에 따른 상기 MQW들 및 이의 상부에 성장되는 제2 접합층(150)은 상기 기관으로부터 분리될 수 있고 상기 구조가 본질적으로 거꾸로 뒤집혀질 수 있으므로 상기 가장 낮은 인듐 함량의 층이 태양에 대해 상기 가장 가까운 QW 층(140)이 된다. 도 1에서 논의된 바와 같이, 상기 n -GaN 및 p -GaN의 위치가 바뀌질 수 있으므로 $p-i-n$ 및 $n-i-p$ 구조들 모두가 고려된다. 따라서, 도 2에 도시한 실시예는 단지 최적의 응력 및 장치 특성들을 갖는 성장된 상태 그대로의 구조를 나타낼 수 있지만, 이는 이후의 사용 시에 도 1의 구성의 보다 가깝게 닮도록 배향될 것이다.
- [0091] 도 1 및 도 2에 도시되고 표 1에 예시된 경우들에 대한 선택적인 실시예에 있어서, 상기 II족 내지 VI족 원소 함량, 예를 들면, 각 개개의 QW 층(40 및 140)내의 상기 상대적인 인듐 및 갈륨 함량은 하나의 인접하는 상부의 장벽층(30 또는 130)에 접촉되는 영역으로부터 다른 하나의 하부의 인접하는 장벽층(30 또는 130)에 접촉되는 영역까지 진행함에 따라 연속적인 형태로 변화될 수 있다.
- [0092] 예를 들면, 도 1의 상기 가장 낮은 인듐 함량의 QW 층(40)은 바로 옆에 인접하는 $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$ 의 제2 접합층(50)의 영역 내의 조성을 가질 수 있지만, 이러한 층의 인듐 함량은 상기 인접하는 장벽층(30)에 가장 가까운

영역 내에서 상기 조성이 $\text{In}_{0.02}\text{Ga}_{0.98}\text{N}$ 과 보다 유사해질 때까지 점차적으로 증가한다.

- [0093] 연속하는 QW 층들(40)의 부분들의 상기 II족 내지 VI족 원소 함량들 사이에 중첩이 있을 수 있지만, 일반적인 경향이 상기 II족 내지 VI족 원소의 전체적인 함량이 도 1에 도시한 방식으로 연속하는 양자 우물 층들 내에서 증가하게 되는 점인 것을 이해할 수 있을 것이다. 예를 들면, 바로 옆 상부의(제2 접합층(50)에 가장 가까운) 논의된 상기 QW 층(40)은 변화하는 인듐 함량을 가질 수 있으므로 이는 $\text{In}_{0.00}\text{Ga}_{1.00}\text{N}$ 으로부터 $\text{In}_{0.02}\text{Ga}_{0.98}\text{N}$ 까지 진행되며, 상기 후속하는 QW 층(40)은 $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$ 에서 시작되고 이의 보다 하부의 면적(extent)에서 약 $\text{In}_{0.03}\text{Ga}_{0.97}\text{N}$ 까지 변화되는 인듐 함량을 가진다. 따라서, 보다 높은 인듐 함량들을 향한 후속하는 QW 층들(40)의 경향은 층들 사이에 일부 중첩이 명백한 때에도 유지된다.
- [0094] 등급이 나누어진 QW 층들을 포함하는 이러한 실시예는 상기 MQW들에 걸쳐 구현되는 상대적인 인듐 및 갈륨 함량의 변화로 인하여 유용한 흡수의 범위를 갖는 태양 전지를 제공할 것이다. 개개의 층들의 성질 및 접합층들을 바꾸는 능력 등은 도 1 및 도 2와 관련하여 논의된 경우에 대해서와 같이 이러한 실시예에 알맞게 적용 가능하다.
- [0095] 본 발명의 개개의 중요한 요소인 양자 우물 층들의 밴드갭의 변화는 동일한 조성의 연속하는 양자 우물 층들을 형성함 및 이들 층들의 두께를 변화시킴에 의해 선택적으로 구현될 수 있다. 이는 성장 조건들과 시간들의 조절에 의해 구현될 수 있다.
- [0096] 상기 개개의 양자 우물 층들의 밴드갭의 변화는 또한 상기 조성뿐만 아니라 연속하는 양자 우물 층들의 두께를 변화시킴에 의해 구현될 수 있다.
- [0097] 여기서 논의되는 실시예들에서 다른 변형들이 구현될 수 있다. 예를 들면, 상기 장벽층들(30 또는 130) 내의 II족 내지 VI족 원소 함량은 필수적으로 상기 태양 전지(10 또는 100)에 걸쳐 일정하게 남아 있을 필요는 없다. 따라서, 도 1 및 도 2의 상기 장벽층들(30 및 130)은 어떤 인듐 함량을 가질 수 있으며 이는 상기 QW 층들(40 및 140)을 위해 기술된 바와 같은 방식으로 하나의 장벽층으로부터 다음의 보다 많은 것까지 인듐 함량과 관련하여 변화될 수 있다.
- [0098] 일 실시예에 있어서, 각 개개의 장벽층(30 및 130) 내의 상기 인듐 함량은 일정하지만, 증가하게 될 것이며 이에 따라 상기 갈륨 함량은 후속하는 입사되는 태양광 표면으로부터 더 멀리 이동함에 따라 장벽층들(30 및 130) 내에서 단계적인 방식으로 상대적으로 감소된다. 상기 가장 낮은 인듐 함량을 갖는 장벽층(30 또는 130)은 상기 입사되는 태양광 표면에 가장 가까워야 하며 이들의 전체적인 밴드갭들은 양자 우물 층들의 경우 보다 높아야 한다.
- [0099] 선택적인 실시예에 있어서, 각 장벽층(30 또는 130) 내의 상기 인듐 함량은 개별적인 QW 층들(40 및 140)을 위해 기술한 정확한 방식으로 이의 면적에 걸쳐 변화될 수 있다. 상기 변화는 약 0.5 내지 2.0%의 작은 범위일 것이며 후속하는 장벽층들(30 또는 130)은 인듐 함량의 중첩을 나타낼 수 있지만, 전체적인 경향은 상기 태양광 표면으로부터 장벽층들(30 및 130)을 더 이동시킴에 따라 보다 높은 상대적인 인듐 함량들을 향할 것이다. 상기 장벽층들(30 또는 130)에 걸친 상대적인 인듐 함량의 변화는 상기 태양 전지(10 또는 100)의 개선된 흡수 특성들을 보조할 수 있으며 문제가 되는 분극 문제들을 감소시키는 데 기여할 수 있다.
- [0100] 단계적이고 등급이 나누어진 형태 모두로 장벽층들(30 및 130) 내의 상대적인 인듐 함량의 변화에서 유일한 제한은 임의의 장벽층(30 또는 130)의 밴드갭이 임의의 상기 QW 층들(40 또는 140)의 경우 보다 높아야 한다는 점이다. 따라서, 상기 QW 층들(40 또는 140)의 상대적인 인듐 함량이 15%의 최소로부터 30%의 최대까지 변화하는 경우, 그러면 상기 장벽층들(30 또는 130)의 상대적인 인듐 함량은 다만 0%로부터 14.99%까지 변화될 수 있다.
- [0101] 다른 실시예에 있어서, 상기 제1 및 제2 접합층들, 즉 도 1 및 도 2에서 GaN으로 도핑된 상기 p - 및 n -층들이 InGaN으로 형성될 수 있으며, 상기 2개 및 각 층 내 모두의 상대적인 인듐 함량은 상기 QW 및/또는 장벽층들과 관련하여 앞서 논의된 바와 같이 변화될 수 있다. 이에 대한 주요한 제한은 p - 또는 n -층이 될 수 있는 상기 태양광 표면에 가장 가까운 상기 접합층이 후속하는 QW 또는 장벽층들 보다 높은 밴드갭을 가져야 하는 점이다. 상기 접합층들 내의 인듐 함량은 분극 문제들을 감소시키는 데 기여할 수 있다.
- [0102] 또 다른 실시예에 있어서, 상기 실시예들의 임의의 하나에 기재된 상기 태양 전지 구조들은 일부 응력 균형(strain balancing) QW 층들을 포함할 수 있으며, 이는 상기 구조 내에 축적된 응력의 적어도 일부를 감소시키는 데 기여할 것이다. 예를 들면, 상기 InGaN/GaN MQW 태양 전지 구조들은 일부 AlGaIn 또는 AlN 얇은 층들을 함유할 수 있고, 이는 GaN 상에 성장될 때에 InGaN으로부터 야기되는 경우에 비해 대향하는 응력을 제공할 수 있

다. 이들 AlGaIn 또는 AlN 얇은 층들은 이에 따라 상기 구조의 전체적인 응력을 감소시키는 데 기여할 것이며 상기 태양 전지들의 성능을 향상시킬 수 있다. 상기 구조들은 또한 다른 형태들의 응력 균형 얇은 또는 QW 층들을 포함할 수 있다.

- [0103] 바람직한 일 실시예에 있어서, 상기 태양 전지 구조는 하나 또는 그 이상의 차단층들(blocking layers)을 더 포함할 수 있다. 상기 차단층들은 상기 접합층들의 전에 또는 후에 형성될 수 있다.
- [0104] 바람직하게는, 상기 차단층들은 상기 QW 층들 및 장벽층들 보다 높은 밴드갭들을 가질 것이며, 상기 p - 또는 n -콘택들로의 대향하는/원치 않는 캐리어들의 흐름을 감소시키거나 차단할 수 있어야 한다. 예를 들면, 하나의 차단층이 태양 전지의 p -콘택으로의 전자들의 흐름을 차단하거나 감소시킬 수 있고, 다른 하나의 차단층이 태양 전지의 n -콘택으로의 정공들의 흐름을 차단하거나 감소시킬 수 있다.
- [0105] 상기 차단층들은 AlGaIn, InAlGaIn, AlN 및 선택적으로 적절하게 도핑될 수 있는 다른 유사한 물질들로 구성될 수 있다.
- [0106] 적절하게는, p - i - n InGaIn/GaN 태양 전지를 위하여, p -AlGaIn 층이 상기 p -GaN 층 전에 존재하며, 이는 상기 p -GaN 층으로의 전자들의 흐름을 차단하거나 감소시키며, 상기 n -GaN 층으로의 정공들의 흐름을 차단하거나 감소시키는 n -AlGaIn 층이 상기 n -GaN 층 후에 존재한다.
- [0107] 여기서 설명하는 경과들에 나타난 바와 같이 상기 차단층들이 태양 전지의 효율을 향상시킬 수 있는 점이 발견되었다. 이상적인 태양 전지에 있어서, 정공들만이 p -콘택으로 흐를 것이고 전자들은 n -콘택으로 흐를 것이다. 그러나, 실제로는 일부 전자들이 필연적으로 상기 p -콘택으로 흐를 것이고 일부 정공들이 n -콘택으로 흐를 것이며, 이는 태양 전지 효율의 손실을 가져오는 점이다. 본 발명자는, 도 1 및 도 2에 기술한 경우와 같은 p - i - n InGaIn/GaN계 태양 전지에 있어서, p -AlGaIn 층이 상기 p -GaN 층 전에 성장되고 n -AlGaIn이 상기 n -GaN 층 후에 성장될 경우, 앞서 언급한 현상이 크게 감소될 수 있고 전지 효율이 대응하여 향상되는 점을 발견하였다. AlGaIn/GaN 층들이 성장되며, 상기 QW 층들 내의 인듐 함량이 15%-20%로 변화되는 변형된 구조(PV B)를 형성하도록 태양 전지 구조 내로 통합된다. 이러한 구조는 표 2에 나타나 있다.
- [0108] InGaIn QW 층들 내의 인듐 함량이 증가함에 따라, 상기 구조 내의 전체적인 응력이 증가하며 이에 따라 성장된 층들의 품질이 열화되어 상기 태양 전지의 효율을 감소시키는 결과를 야기하는 점도 인지되었다. 이러한 문제점을 완화시키기 위해, 다른 바람직한 실시예에 있어서, 본 태양 전지들은 평탄한 사파이어 기판 대신에 태양 전지들(PV A 및 PV B)의 생성에 사용되었던 패터닝된 사파이어 기판(PSS) 상에 성장될 수 있다. PV B 내와 같이 정확하게 동일한 순서 및 층들의 함량을 포함하는(상술한 바와 같이) 새로운 구조(PV C)가 PSS 상에 성장되었다. 상기 구조는 표 3에 나타나 있다. 표 2 및 표 3에 나타난 층들의 숫자(N)가 한정되는 것으로 간주되지는 않으며 단지 예로써 나타난 것을 이해할 수 있을 것이다. 셀 내의 층들의 숫자는 제조 관점들, 특정 응용 등을 포함하는 수많은 인자들에 따라 보다 많거나 작을 수 있다. 이는 지나친 실험 없이 층들의 바람직한 숫자를 알아낼 수 있는 통상의 지식을 가진 자에게 이해될 수 있을 것이다.
- [0109] 상부에 상기 태양 전지 구조가 성장되는 상기 기판은 유리, 실리콘 및 사파이어를 포함하는 사용 가능한 기판들의 범위에서 선택될 수 있으며, 이들 모두는 변경되거나 변경되지 않을 수 있다. 변경된 기판들은 적절하게 도핑될 수 있다. 패터닝된 사파이어 기판이 특히 바람직하다.
- [0110] 가변 밴드갭(varying bandgap) 태양 전지들을 나타내는 광기전력 효과(photovoltaic effect)들을 보이는 양 구조들(PV B 및 PV C)은 높은 에너지 전환 효율을 구현하고 InGaIn/GaN 태양 전지들에 대해 현재에 문제가 되는 문제점들의 일부를 처리하거나 완화시키도록 선택적으로 실시 가능하다.
- [0111] 이에 따라, 가변 밴드갭들을 갖는 InGaIn 양자 우물 층들을 포함하는 태양 전지가, 상기 액티브층 내에서 광의 증가된 흡수, 상기 구조 내에서 감소된 전체적인 응력 그리고 n - i - p 구조들(Ga-표면의 GaN/InGaIn 구조들) 내의 개선된 유리한 분극 효과들과 함께 p - i - n 구조들(Ga-표면의 GaN/InGaIn 구조들) 내에서 감소된 유해한 분극 효과들을 제공하는 면에서 특히 그리고 예상치 않게 유리하다는 점이 발견되었다.
- [0112] 이에 따라, 매우 바람직한 일 실시예에 있어서, 태양 전지는,
- [0113] (a) 제1 접합층;
- [0114] (b) 제2 접합층; 및
- [0115] (c) 상기 제1 및 제2 접합층들 사이의 액티브 영역을 포함하고, 상기 액티브 영역은 각기 장벽층들 사이에 끼워

지는 복수의 InGaN 양자 우물 층들을 포함하며,

- [0116] 연속하는 양자 우물 층들이 이들의 인듐 및 갈륨 함량의 변화들로 인해 다른 밴드갭 값들을 가지고, 상기 연속하는 양자 우물 층들의 인듐 함량이 사용 시에 태양광이 입사되는 태양 전지의 표면으로부터 멀어지게 이동함에 따라 증가한다.
- [0117] 도 1 및 도 2와 관련하여 기재된 설명들 및 여기에 기술되는 실시예들은 필요한 부분만 약간 수정되어 상기 실시예에 적용된다.
- [0118] 제2 측면에 있어서, 본 발명은 다중 양자 우물 구조를 포함하는 태양 전지를 형성하는 방법에 관련되며, 상기 방법은,
- [0119] (a) 장벽층을 형성하는 단계;
- [0120] (b) 상기 장벽층 상부에 적어도 하나의 II족 내지 VI족 원소를 포함하는 원하는 두께의 양자 우물 층을 형성하는 단계;
- [0121] (c) 상기 양자 우물 층이 2개의 상기 장벽층들 사이에 끼워지도록 노출된 양자 우물 층 상부에 다른 장벽층을 형성하는 단계;
- [0122] (d) 상기 다른 장벽층 상부에 적어도 하나의 II족 내지 VI족 원소를 포함하는 원하는 두께의 다른 양자 우물 층을 형성하는 단계; 및
- [0123] (e) 단계 (c) 내지 단계 (d)를 반복하여 원하는 숫자의 양자 우물들을 형성하는 단계를 포함하며, 연속하는 양자 우물 층들은 상기 층들의 두께의 변화들 및/또는 이들이 상기 적어도 하나의 II족 내지 VI족 원소의 다른 함량들을 가짐으로 인하여 다른 밴드갭 값들을 가지며,
- [0124] 이에 따라 다중 양자 우물 구조를 포함하는 태양 전지가 형성된다.
- [0125] 바람직한 일 실시예에 있어서, 연속하는 양자 우물 층들 내의 상기 적어도 하나의 II족 내지 VI족 원소의 함량은 사용 시에 태양광이 입사되는 상기 태양 전지의 면적으로부터 멀리 이동함에 따라 증가한다.
- [0126] 일 실시예에 있어서, 개개의 양자 우물 층들 내의 상기 적어도 하나의 II족 내지 VI족 원소 함량은 실질적으로 일정하다.
- [0127] 선택적인 실시예에 있어서, 개개의 양자 우물 층들 내의 상기 적어도 하나의 II족 내지 VI족 원소 함량은 하나의 인접하는 장벽층에 접촉되는 영역으로부터 다른 하나의 인접하는 장벽층들에 접촉되는 영역까지 상기 양자 우물 층들 통해 진행함에 따라 연속적인 형태로 변화될 수 있다.
- [0128] 상기 방법은 기판 상에 접합층을 형성하고, 후속하여 상기 접합층 상에 상기 제1 접합층 또는 양자 우물 층을 형성하는 단계를 더 포함할 수 있다.
- [0129] 상기 방법은 형성되는 최종적인 양자 우물 층의 상부에 다른 접합층을 형성하는 단계를 더 포함할 수 있다.
- [0130] 선택적인 실시예에 있어서, 상기 방법은, 연속하는 양자 우물 층들 내의 상기 적어도 하나의 II족 내지 VI족 원소의 함량이 사용 시에 태양광이 입사되는 상기 태양 전지의 면적으로부터 더 멀리 이동함에 따라 감소되도록 상기 다중 양자 우물 구조를 형성하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0131] 이러한 선택적인 실시예에 있어서, 상기 방법은, 연속하는 양자 우물 층들 내의 상기 적어도 하나의 II족 내지 VI족 원소의 함량이 사용 시에 태양광이 입사되는 상기 태양 전지의 면적으로부터 더 멀리 이동함에 따라 증가하도록 하부에 놓인 기판으로부터 상기 다중 양자 우물 구조를 분리시키고 상기 구조를 반전시키는 단계를 더 포함할 수 있다.
- [0132] 이러한 선택적인 실시예의 태양 전지는 투명한 기판 상에 형성될 수 있다.
- [0133] 상기 방법은 여기에 설명하는 바와 같이 하나 또는 그 이상의 차단층들을 형성하는 단계를 더 포함할 수 있다.
- [0134] 본 발명의 범주 내의 상기 태양 전지들은, 이에 제한되는 것은 아니지만, 금속 유기 화학 기상 증착(MOCVD), 리모트 플라즈마 화학 기상 증착(RPCVD) 및 플라즈마-보조 분자 빔 에피택시(PAMBE)를 포함하는 수많은 표준 증착 방법들을 이용하여 형성될 수 있다. 연속적인 양자 우물들 내의 인듐 함량의 조절에서 중요한 변수들은 증가하는 인듐 함량을 갖는 층들을 위해 낮아야 하는 상기 성장 온도, 그리고 트리메틸 인듐(trimethyl indium) 시약의 인듐 흐름 또는 유량 및 트리메틸 갈륨(trimethyl gallium) 시약의 갈륨 흐름 또는 유량이다.

- [0135] 매우 바람직한 실시예에 있어서, 상기 양자 우물 층들은 InGaN을 포함한다. 가장 낮은 인듐 함량을 갖는 상기 양자 우물 층이 먼저 성장되고 증가하는 인듐 함량을 갖는 연속하는 양자 우물 층들이 이후에 성장하는 점이 바람직할 수 있다. 이는 낮은 인듐 함량의 층들을 위한 보다 높은 온도들의 이용을 가능하게 하며, 이는 이러한 온도들에서 덜 열화될 수 있다. 보다 높은 온도들의 이용은 격자 불일치와 이에 따라 상기 태양 전지 내의 응력을 감소시킨다.
- [0136] 제3 측면에 있어서, 본 발명은 상기 제2 측면의 방법에 의해 형성되는 태양 전지에 관련된다.
- [0137] 여기에 기술하는 결과들로부터 명백해질 것과 같이, 이러한 태양 전지들은 종래 기술의 경우에 비해 구변되는 기능적인 이점들을 제공한다.
- [0138] 제4 측면에 있어서, 본 발명은 상기 제3 측면의 태양 전지의 이용에 관련된다.
- [0139] 본 발명의 다양한 특징들 및 실시예들이 상술한 개개의 부분들에 대해 언급한 바와 같이 다른 부분들에도 적절하게 필요한 부분만 약간 수정되어 적용되는 점을 이해할 수 있을 것이다. 따라서 하나의 부분에 특정된 특징들이 적절하게 다른 부분들에 특정되는 특징들과 결합될 수 있을 것이다.
- [0140] 실현
- [0141] PV A
- [0142] 태양 전지(PV A)는 표 1에 기재되고 도 1에 나타난 구조에 따라 성장되었다. 층들의 성장이 MOCVD와 같은 잘 개발된 기술들을 이용하는 표준 방식으로 수행되었다. 성장 조건들도 사실 상 표준적이고 해당 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 잘 알려져 있을 것이다.
- [0143] 이러한 셀은 이후에 테스트되었고 도 3에 도시한 바와 같이 약 1.4%의 에너지 변환 효율(η)을 가지는 것으로 나타났다. 도 3은 또한 테스트 조건들 하에서 단락 전류(short-circuit current)(I_{sc})가 11.7A이고, 개회로 전압(open circuit voltage)(V_{oc})이 ~2.95V이며, 충전율(fill factor)이 ~55.6%인 점을 나타낸다. 보고된 종래의 InGaN 태양 전지들을 위한 에너지 변환 효율 값들의 관점에서, 이는 개선된 특성을 나타낸다.
- [0144] 이러한 구조의 광발전 시뮬레이션도 세미컨덕터 테크놀로지 리서치사(STR)에 의해 개발된 SCSim 소프트웨어를 이용하여 수행되었다. 상기 시뮬레이션 결과는 이러한 구조를 위한 이론적인 충전율(FF)이 약 72%이고, 이는 각기 15%의 고정된 인듐 함량을 가지거나 그렇지 않으면 도 1에 도시한 바와 같은 동일한 구조를 제공하는 양자 우물 층들을 구비하는 MQW 태양 전지 구조를 위해 계산된 약 43%의 FF보다 높다. 하나의 층으로부터 다음 것으로 변화되는 인듐 함량을 갖는 양자 우물 층들(40)을 구비하는 도 1에 나타난 상기 태양 전지(10)가 상기 FF의 증가를 위해 제공되며 이에 따라 태양 전지들의 효율을 잠재적으로 증가시킬 수 있는 점을 나타낸다.
- [0145] 다른 예에 있어서, 도 1의 경우와 유사한 각 양자 우물 층의 인듐 및 갈륨의 함량이 일정한 태양 전지가 합성될 수 있었다. 밴드갭의 요구되는 변화는 대신에 연속적으로 형성되는 양자 우물 층들의 두께를 변화시켜 구현될 수 있었다. 태양 전지 내에 5개의 양자 우물 층들이 포함되는 제한적이지 않은 하나의 예에 있어서, 각 층의 두께는 바닥(처음에 형성되는 층)으로부터 상단(태양을 마주하고 마지막에 형성되는 층)으로 진행하면서 4.5nm, 4nm, 3.5nm, 3nm 및 2.5nm가 될 수 있다.
- [0146] 상기 양자 우물 층들의 두께의 변화는 또한 요구되는 밴드갭 변화를 구현하도록 조성 내의 변화들과 결합되어 적용될 수 있다.
- [0147] PV B
- [0148] 태양 전지(PV B)는 표 2에 기재된 구조에 따라 사파이어 기판 상에 성장되었다. AlGaIn 차단층들은 상기 n -GaIn 층 후에 성장된 상기 p -GaIn 층 및 n -AlGaIn 층 이전에 성장된 p -AlGaIn 층과 함께 놓였다. 태양 전지 시뮬레이션은 이러한 구조를 위해 수행되었고, 결과들은 이러한 가변 밴드갭 태양 전지 구조 내의 에너지 변환 효율이 모든 다른 변수들을 동일하게 유지하는 동안에 상기 QW 층들 내의 인듐 퍼센티지가 17.5%의 평균 인듐 퍼센티지로 일정하였던 구조에 비하여 22% 개선되는 점을 보여준다.

- [0149] PV C
- [0150] 태양 전지(PV C)가 표 3에 기재한 구조에 따라 패터닝된 사파이어 기판 상에 성장되었다. 상기 패터닝된 사파이어 기판의 사용은 단지 PV B 및 PV C 사이의 구조적인 차이였다.
- [0151] 샘플 PV B 및 PV C의 I-V 특성들이 도 4에 도시된다. PV C는 PV B에 비해 증가된 단락 전류 밀도를 보여주며, 이는 PV C가 개선된 구조적인 품질들을 가지는 점을 나타낸다. PV C의 태양 전지 효율은 표 4에 도시한 바와 같이 PV B의 경우(~0.9 %) 보다 상당히 우수한 ~1.28 %이다. 이들 값들은 적용되는 인듐 함량을 위한 특별한 현재의 태양 전지 디자인과 비교하여 유리하다. PV B에 대한 PV C의 개선된 품질은 또한 도 5에 도시한 바와 같은 외부 양자 효율(external quantum efficiency: EQE) 및 내부 양자 효율(internal quantum efficiency: IQE) 측정 결과들로부터 분명해진다. PV C의 최대 EQE 및 IQE는 각기 43.6% 및 44.9%이다. 종래의 InGaN 태양 전지들을 위해 보고된 양자 효율 값들의 관점에서, 이들은 개선된 특성들을 나타낸다. 이들 EQE 및 IQE 값들은 또한 각기 28.7% 및 31.9%의 최대 EQE 및 IQE를 갖는 PV B의 경우들 보다 높다.
- [0152] 비록 어떤 특정 이론에 의해 한정되기를 의도한 것은 아니지만, 앞에서 실험적으로 입증된 효과는 적어도 부분적으로 태양 스펙트럼에 걸친 개선된 흡수율과 이에 따른 전자-정공 쌍들의 보다 높은 생성뿐만 아니라 특정 태양 전지 디자인으로 인한 분극 관련 문제들의 감소된 영향에 기인할 수 있다.
- [0153] 명세서 전체에 걸쳐 본 발명을 임의의 하나의 실시예나 특징들의 특정한 집합들에 제한함이 없이 본 발명의 바람직한 실시예들을 기술하는 것을 목표로 하였다. 이에 따라 해당 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게는 개시된 바의 관점에서 본 발명의 범주를 벗어나지 않고 다양한 변형들과 변화들이 예시한 특정 실시예들에서 이루어질 수 있는 점이 이해될 수 있을 것이다.
- [0154] [표 1]
- [0155] 개개의 QW 층들 사이에서 다른 인듐 함량을 나타내는 MQW 태양 전지 구조의 일 실시예. 특정한 다른 층들 및 도펀트 농도들(cc 당)도 도시된다.

N	명칭	두께 (nm)	물질	도핑
32	p-GaN	150	GaN	$N_a = 1e18$
31	i-InGaN	3	$In_{0.01}Ga_{0.99}N$	$N_d = 5e16$
30	GaN	12	GaN	$N_d = 5e16$
29	i-InGaN	3	$In_{0.02}Ga_{0.98}N$	$N_d = 5e16$
28	GaN	12	GaN	$N_d = 5e16$
27	i-InGaN	3	$In_{0.03}Ga_{0.97}N$	$N_d = 5e16$
26	GaN	12	GaN	$N_d = 5e16$
25	i-InGaN	3	$In_{0.04}Ga_{0.96}N$	$N_d = 5e16$
24	GaN	12	GaN	$N_d = 5e16$
23	i-InGaN	3	$In_{0.05}Ga_{0.95}N$	$N_d = 5e16$
22	GaN	12	GaN	$N_d = 5e16$
21	i-InGaN	3	$In_{0.06}Ga_{0.94}N$	$N_d = 5e16$
20	GaN	12	GaN	$N_d = 5e16$
19	i-InGaN	3	$In_{0.07}Ga_{0.93}N$	$N_d = 5e16$
18	GaN	12	GaN	$N_d = 5e16$
17	i-InGaN	3	$In_{0.08}Ga_{0.92}N$	$N_d = 5e16$
16	GaN	12	GaN	$N_d = 5e16$
15	i-InGaN	3	$In_{0.09}Ga_{0.91}N$	$N_d = 5e16$
14	GaN	12	GaN	$N_d = 5e16$
13	i-InGaN	3	$In_{0.10}Ga_{0.90}N$	$N_d = 5e16$
12	GaN	12	GaN	$N_d = 5e16$
11	i-InGaN	3	$In_{0.11}Ga_{0.89}N$	$N_d = 5e16$
10	GaN	12	GaN	$N_d = 5e16$
9	i-InGaN	3	$In_{0.12}Ga_{0.88}N$	$N_d = 5e16$
8	GaN	12	GaN	$N_d = 5e16$
7	i-InGaN	3	$In_{0.13}Ga_{0.87}N$	$N_d = 5e16$
6	GaN	12	GaN	$N_d = 5e16$
5	i-InGaN	3	$In_{0.14}Ga_{0.86}N$	$N_d = 5e16$
4	GaN	12	GaN	$N_d = 5e16$
3	i-InGaN	3	$In_{0.15}Ga_{0.85}N$	$N_d = 5e16$
2	GaN	12	GaN	$N_d = 5e16$
1	n-GaN	2000	GaN	$N_d = 1e19$

[0156]

[0157]

[표 2]

[0158]

개개의 QW 층들 사이에서 다른 인듐 함량을 나타내고 AlGaIn/GaN 차단층들을 포함하는 사파이어 기판 상에 성장된 MQW 태양 전지 구조.

N	명칭	두께(nm)	물 질
46	p-GaN	178	GaN
45	p-AlGaN	1.19	$Al_{0.15}Ga_{0.85}N$
44	p-GaN	2.02	GaN
43	i-InGaN	2.55	$In_{0.20}Ga_{0.80}N$
42	GaN	6.50	GaN
41	i-InGaN	2.55	$In_{0.1974}Ga_{0.8026}N$
40	GaN	6.50	GaN
39	i-InGaN	2.55	$In_{0.1947}Ga_{0.8053}N$
38	GaN	6.50	GaN
37	i-InGaN	2.55	$In_{0.1921}Ga_{0.8079}N$
36	GaN	6.50	GaN
35	i-InGaN	2.55	$In_{0.1895}Ga_{0.8105}N$
34	GaN	6.50	GaN
33	i-InGaN	2.55	$In_{0.1868}Ga_{0.8132}N$
32	GaN	6.50	GaN
31	i-InGaN	2.55	$In_{0.1842}Ga_{0.8158}N$
30	GaN	6.50	GaN
29	i-InGaN	2.55	$In_{0.1816}Ga_{0.8184}N$
28	GaN	6.50	GaN
27	i-InGaN	2.55	$In_{0.1789}Ga_{0.8211}N$
26	GaN	6.50	GaN
25	i-InGaN	2.55	$In_{0.1763}Ga_{0.8237}N$
24	GaN	6.50	GaN
23	i-InGaN	2.55	$In_{0.1737}Ga_{0.8263}N$
22	GaN	6.50	GaN
21	i-InGaN	2.55	$In_{0.1710}Ga_{0.8290}N$
20	GaN	6.50	GaN
19	i-InGaN	2.55	$In_{0.1684}Ga_{0.8316}N$
18	GaN	6.50	GaN
17	i-InGaN	2.55	$In_{0.1658}Ga_{0.8342}N$
16	GaN	6.50	GaN
15	i-InGaN	2.55	$In_{0.1632}Ga_{0.8368}N$
14	GaN	6.50	GaN
13	i-InGaN	2.55	$In_{0.1605}Ga_{0.8395}N$
12	GaN	6.50	GaN
11	i-InGaN	2.55	$In_{0.1579}Ga_{0.8421}N$

10	GaN	6.50	GaN
9	i-InGaN	2.55	$In_{0.1553}Ga_{0.8447}N$
8	GaN	6.50	GaN
7	i-InGaN	2.55	$In_{0.1526}Ga_{0.8474}N$
6	GaN	6.50	GaN
5	i-InGaN	2.55	$In_{0.15}Ga_{0.85}N$
4	GaN	6.50	GaN
3	n-AlGaN	1.19	$Al_{0.15}Ga_{0.85}N$
2	n-GaN	2.02	GaN
1	n-GaN	200	GaN
버퍼 GaN(-3 μm)			
사파이어 기판			

[표 3]

개개의 QW 층들 사이에서 다른 인듐 함량을 나타내고 AlGaIn/GaN 차단층들을 포함하는 패터닝된 사파이어 기판 (PSS) 상에 성장된 MQW 태양 전지 구조.

N	명칭	두께(nm)	물 질
46	p-GaN	178	GaN
45	p-AlGaN	1.19	$Al_{0.15}Ga_{0.85}N$
44	p-GaN	2.02	GaN
43	i-InGaN	2.55	$In_{0.20}Ga_{0.80}N$
42	GaN	6.50	GaN
41	i-InGaN	2.55	$In_{0.1974}Ga_{0.8026}N$
40	GaN	6.50	GaN
39	i-InGaN	2.55	$In_{0.1947}Ga_{0.8053}N$
38	GaN	6.50	GaN
37	i-InGaN	2.55	$In_{0.1921}Ga_{0.8079}N$
36	GaN	6.50	GaN
35	i-InGaN	2.55	$In_{0.1895}Ga_{0.8105}N$
34	GaN	6.50	GaN
33	i-InGaN	2.55	$In_{0.1868}Ga_{0.8132}N$
32	GaN	6.50	GaN
31	i-InGaN	2.55	$In_{0.1842}Ga_{0.8158}N$
30	GaN	6.50	GaN
29	i-InGaN	2.55	$In_{0.1816}Ga_{0.8184}N$
28	GaN	6.50	GaN
27	i-InGaN	2.55	$In_{0.1789}Ga_{0.8211}N$
26	GaN	6.50	GaN
25	i-InGaN	2.55	$In_{0.1763}Ga_{0.8237}N$
24	GaN	6.50	GaN
23	i-InGaN	2.55	$In_{0.1737}Ga_{0.8263}N$
22	GaN	6.50	GaN
21	i-InGaN	2.55	$In_{0.1710}Ga_{0.8290}N$
20	GaN	6.50	GaN
19	i-InGaN	2.55	$In_{0.1684}Ga_{0.8316}N$
18	GaN	6.50	GaN
17	i-InGaN	2.55	$In_{0.1658}Ga_{0.8342}N$
16	GaN	6.50	GaN
15	i-InGaN	2.55	$In_{0.1632}Ga_{0.8368}N$
14	GaN	6.50	GaN
13	i-InGaN	2.55	$In_{0.1605}Ga_{0.8395}N$
12	GaN	6.50	GaN
11	i-InGaN	2.55	$In_{0.1579}Ga_{0.8421}N$

10	GaN	6.50	GaN
9	i-InGaN	2.55	$In_{0.1553}Ga_{0.8447}N$
8	GaN	6.50	GaN
7	i-InGaN	2.55	$In_{0.1526}Ga_{0.8474}N$
6	GaN	6.50	GaN
5	i-InGaN	2.55	$In_{0.15}Ga_{0.85}N$
4	GaN	6.50	GaN
3	n-AlGaN	1.19	$Al_{0.15}Ga_{0.85}N$
2	n-GaN	2.02	GaN
1	n-GaN	200	GaN
버퍼 GaN(-3 μm)			
패터닝된 사파이어 기판(PPS)			

[표 4]

PV B 및 PV C의 특성들 및 태양 전지 효율.

샘플	기판 형태	$I_{sc}(mA)$	$J_{sc}(mA/cm^2)$	$V_{oc}(V)$	FF(%)	η (%)
PV B	사파이어	0.0789	0.877	2.0039	51.8	0.9103
PV C	PSS	0.1147	1.275	1.9825	50.6	1.2791

[0168] [표 5]

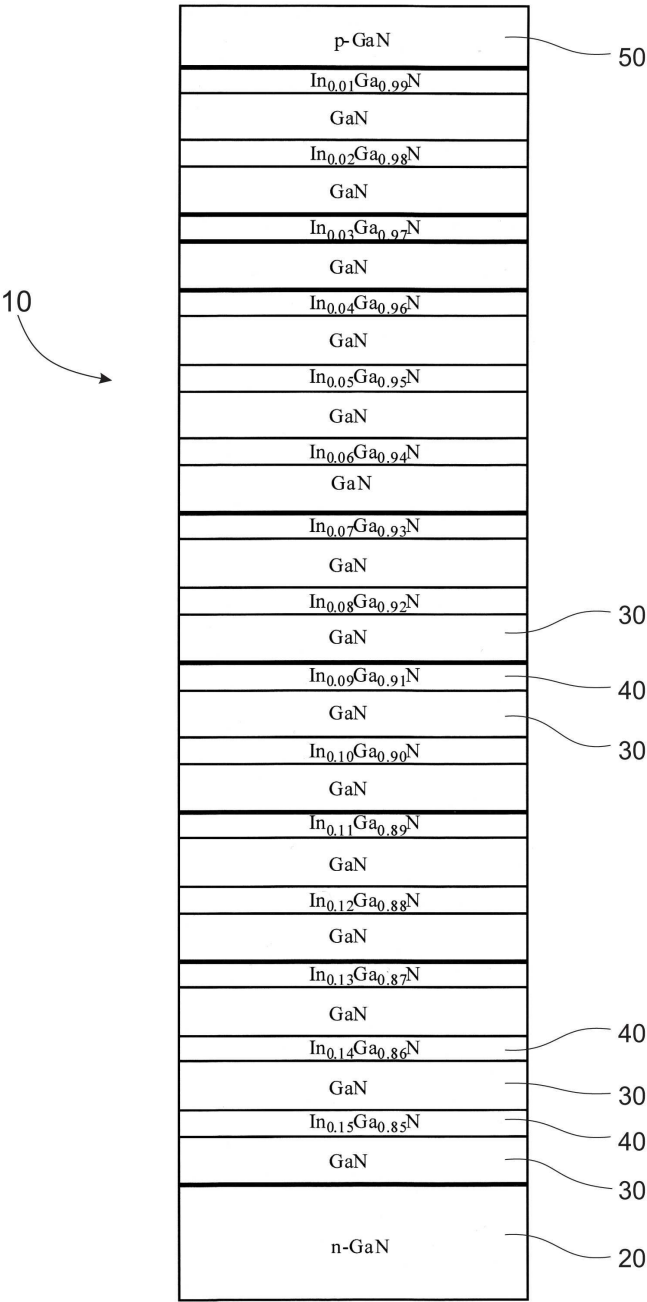
[0169] PV B 및 PV C의 외부(EQE) 및 내부(IQE) 양자 효율.

샘플	기관 형태	최대 EQE (%)	대응하는 파장(nm)	최대 IQE (%)	대응하는 파장(nm)
PV B	사파이어	28.7	390	31.9	390
PV C	PSS	43.6	390	44.9	400

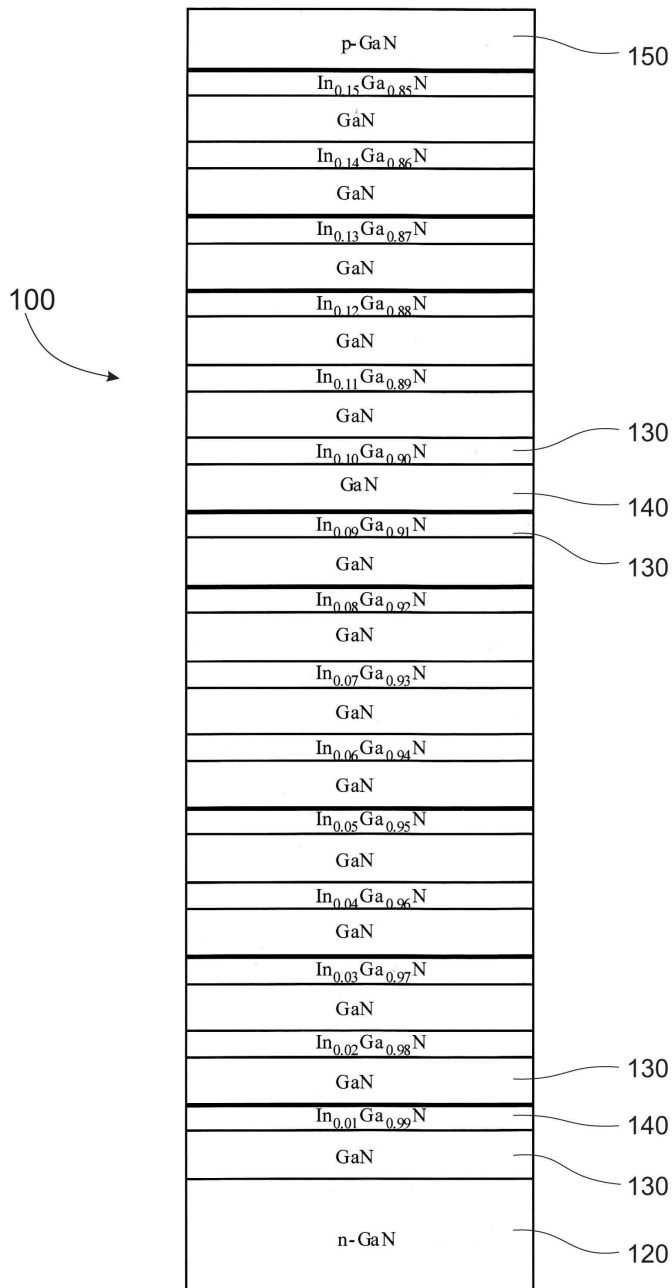
[0170]

도면

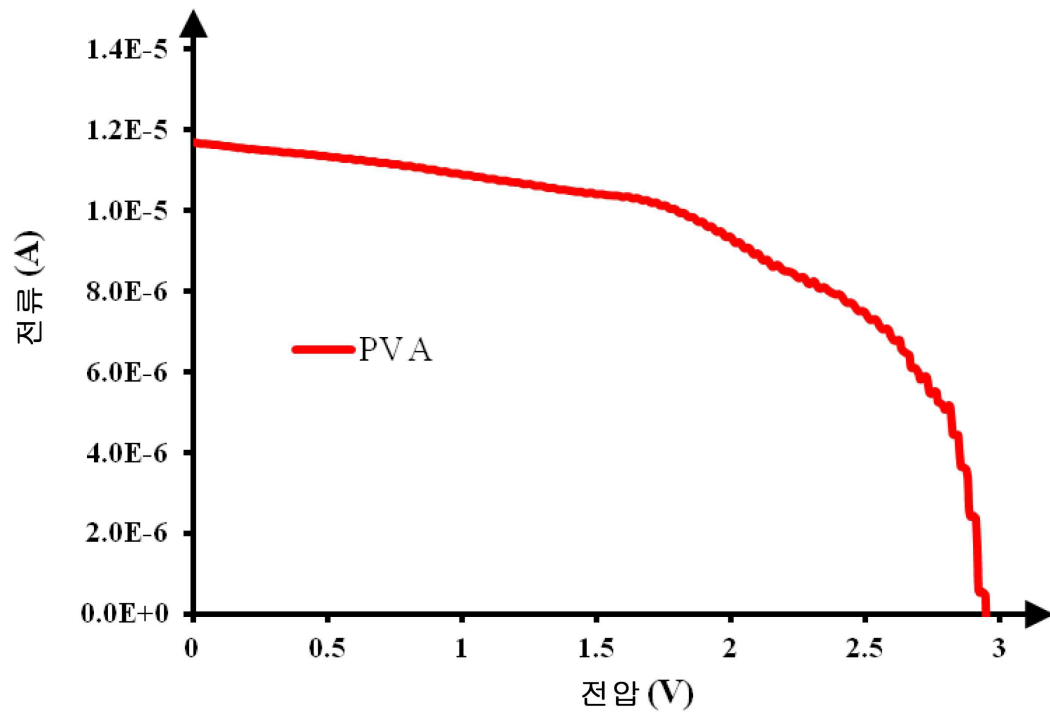
도면1



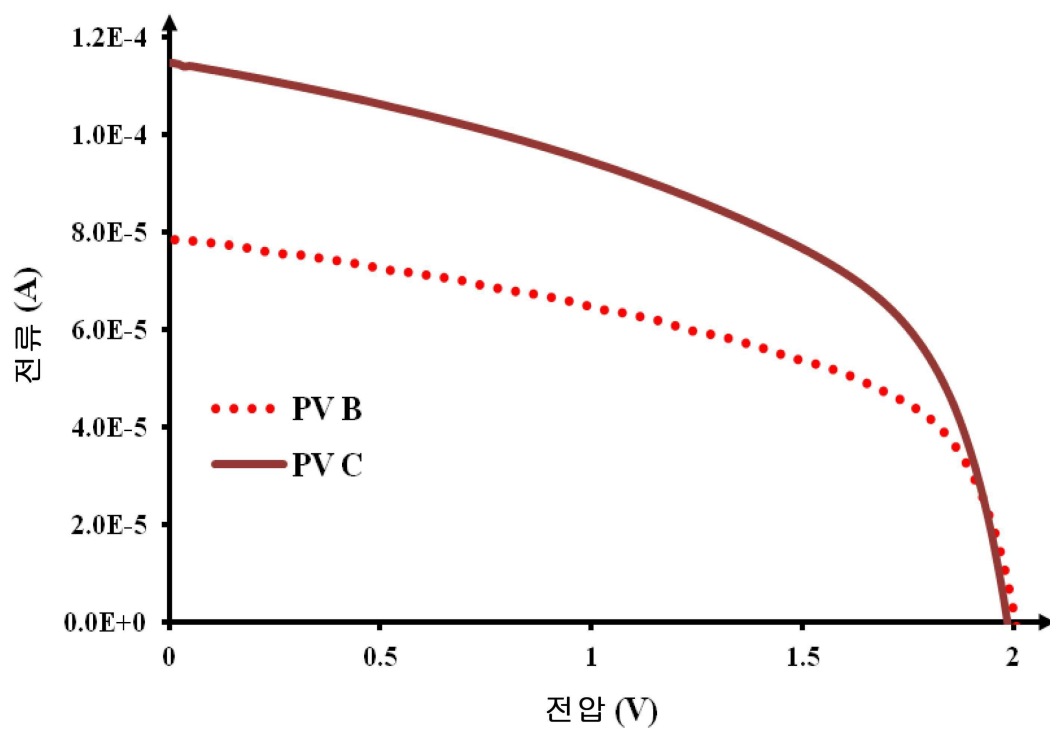
도면2



도면3



도면4



도면5

