



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2019년10월01일

(11) 등록번호 10-1996607

(24) 등록일자 2019년06월28일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 31/0445 (2014.01) **H01L 21/78** (2006.01)
H01L 31/0304 (2006.01) **H01L 31/0687** (2012.01)
H01L 31/0693 (2012.01) **H01L 31/18** (2006.01)
(21) 출원번호 10-2014-7002202
(22) 출원일자(국제) 2012년07월06일
심사청구일자 2017년06월02일
(85) 번역문제출일자 2014년01월27일
(65) 공개번호 10-2014-0043805
(43) 공개일자 2014년04월10일
(86) 국제출원번호 PCT/US2012/045778
(87) 국제공개번호 WO 2013/006803
국제공개일자 2013년01월10일
(30) 우선권주장 61/505,014 2011년07월06일 미국(US)
(56) 선행기술조사문헌
WO2011066029 A2*
WO2010026415 A2*
JP2010120088 A
US20090038678 A1
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
더 리첸츠 오브 더 유니버시티 오브 미시간
미국 48109 미시간주 앤 아버 세컨드 플로어 휴론
파크웨이 1600 오피스 오브 테크놀로지 트랜스퍼
(72) 발명자
포레스트 스티븐 알
미국 48104 미시간주 앤 아버 락 크릭 코트 336
렌쇼 크리스토퍼 카일
미국 60611 일리노이주 시카고 엔. 워배쉬 405 유
닛 2609
스루트스키 마이클
미국 48105 미시간주 앤 아버 맥긴트라이 스트리
트 1939
(74) 대리인
김진희

전체 청구항 수 : 총 20 항

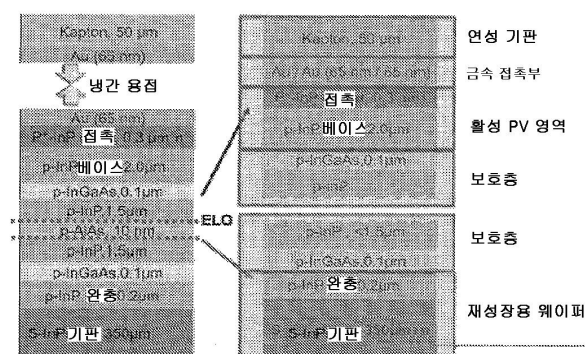
심사관 : 방기인

(54) 발명의 명칭 **에피택셜 리프트 오프 및 냉간 용접 결합된 반도체 태양 전지를 사용한 일체형 태양열 집열기**

(57) 요약

본 발명은 초고 효율 단일 및 다중 접합 박막 태양 전지에 관한 것이다. 본 발명은 또한 복합 포물형 금속 호일 집광기(compound parabolic metal foil concentrator) 내에서 형성되는 기관에 결합시키는, 예컨대 플라스틱 또는 금속 호일에 결합시키는, 접착제 없이 믿을만한 경량 냉간 용접을 사용하는 기관 손상 없는 에피택셜 리프트 오프("ELO"; epitaxial lift-off) 공정에 관한 것이다. 일체형 집열기(collector) 내에서 형성되는 호일 기관 상에서 태양 강도 집광된 박막 태양 전지의 초고효율과 저비용의 태양 전지 제법을 결합시킴으로써, 본원에 기술된 바와 같이, 기반시설의 상당한 비용 절감뿐만 아니라 더 낮은 비용의 모듈이 실현된다.

대표도 - 도1



명세서

청구범위

청구항 1

일체화된 태양열 집열기(solar collector)가 있는 박막 태양 전지로서,

활성 광전 영역;

상기 활성 광전 영역에 결합되는 금속 접촉부(metal contact); 및

기판을 포함하고,

상기 금속 접촉부는 기판의 금속 표면에 결합되고, 상기 기판은 전자기 방사선을 상기 활성 광전 영역 상에 집광할 수 있는 복합 포물형 집열기 형상을 가지는 박막 태양 전지.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 기판은 플라스틱 막 또는 금속 호일을 포함하는 것인 박막 태양 전지.

청구항 3

제2항에 있어서, 상기 플라스틱 막은 폴리이미드를 포함하는 것인 박막 태양 전지.

청구항 4

일체화된 태양열 집열기가 있는 박막 태양 전지로서,

활성 광전 영역;

상기 활성 광전 영역에 결합되는 금속 접촉부;

상기 금속 접촉부에 결합되는 기판; 및

반사막을 포함하고,

박막 태양 전지의 상기 기판은 반사막의 표면상에 결합되고, 상기 반사막은 전자기 방사선을 박막 태양 전지의 상기 활성 광전 영역 상에 집광할 수 있는 복합 포물형 집열기 형상을 가지는 박막 태양 전지.

청구항 5

제4항에 있어서, 상기 기판은 플라스틱 막 또는 금속 호일을 포함하는 것인 박막 태양 전지.

청구항 6

제5항에 있어서, 상기 플라스틱 막은 폴리이미드를 포함하는 것인 박막 태양 전지.

청구항 7

일체화된 태양열 집열기가 있는 박막 태양 전지의 제조 방법으로서,

활성 광전 영역, 상기 활성 광전 영역에 결합되는 금속 접촉부, 및 기판을 포함하고, 상기 금속 접촉부는 기판의 금속 표면에 결합하는 박막 태양 전지를 제공하는 단계; 및

상기 기판을 전자기 방사선을 박막 태양 전지의 상기 활성 광전 영역 상에 집광할 수 있는 복합 포물형 집열기로 성형하는 단계를 포함하는 제조 방법.

청구항 8

제7항에 있어서, 상기 기판은 열적으로 전도되거나 또는 활성적으로 냉각된 예비형태로 배치됨으로써 성형되는 제조 방법.

청구항 9

제7항에 있어서, 상기 기관은 플라스틱 막 또는 금속 호일을 포함하는 것인 제조 방법.

청구항 10

제9항에 있어서, 상기 플라스틱 막은 폴리이미드를 포함하는 것인 제조 방법.

청구항 11

일체화된 태양열 집열기가 있는 박막 태양 전지의 제조 방법으로서,

활성 광전 영역, 상기 활성 광전 영역에 결합되는 금속 접촉부, 및 상기 금속 접촉부에 결합되는 기관을 포함하는 전지를 제공하는 단계;

박막 태양 전지의 기관을 반사막 표면 상에 결합하는 단계; 및

상기 반사막을 전자기 방사선을 박막 태양 전지의 상기 활성 광전 영역 상에 집광할 수 있는 복합 포물형 집열기로 성형하는 단계를 포함하는 제조 방법.

청구항 12

제11항에 있어서, 상기 기관은 열적으로 전도되거나 또는 활성적으로 냉각된 예비형태로 배치됨으로써 성형되는 제조 방법.

청구항 13

제11항에 있어서, 상기 기관은 플라스틱 막 또는 금속 호일을 포함하는 것인 제조 방법.

청구항 14

제13항에 있어서, 상기 플라스틱 막은 폴리이미드를 포함하는 것인 제조 방법.

청구항 15

일체화된 태양열 집열기가 있는 박막 태양 전지의 제조 방법으로서,

제1 기관상에 하나 이상의 제1 보호층을 성장시키는 단계;

희생층을 성장시키는 단계;

하나 이상의 제2 보호층을 성장시키는 단계;

제2 보호층의 상부 위에 하나 이상의 활성 광전지 층을 증착하고, 상기 활성 광전지 층을 금속으로 코팅하고, 제2 기관을 금속으로 코팅하고, 두 개의 금속 표면을 함께 가압하여 냉간 용접 결합을 형성하여, 전지를 증착하는 단계;

에칭에 의해 상기 희생층을 제거하여 상기 전지를 분리하는 단계;

전지의 상기 제2 기관을 반사막의 표면에 결합하는 단계; 및

상기 반사막을 전자기 방사선을 전지의 상기 활성 광전지 층 상에 집광할 수 있는 복합 포물형 집열기로 성형하는 단계를 포함하는 제조 방법.

청구항 16

제15항에 있어서, 상기 반사막은 열적으로 전도되거나 또는 활성적으로 냉각된 예비형태로 배치됨으로써 성형되는 제조 방법.

청구항 17

제15항에 있어서, 상기 제2 기관은 플라스틱 막 또는 금속 호일을 포함하는 것인 제조 방법.

청구항 18

제17항에 있어서, 상기 플라스틱 막은 폴리이미드를 포함하는 것인 제조 방법.

청구항 19

제15항에 있어서, 상기 금속은 Au, Ag, 또는 Cu로부터 선택되는 하나 이상의 금속을 포함하는 것인 제조 방법.

청구항 20

제15항에 있어서, 상기 희생층은 AlAs인 제조 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 관련 출원의 상호 참조

[0002] 본 출원은 미국 가출원 번호 제61/505,014호(2011년 7월 6일 출원)를 우선권으로 주장하며, 이의 전문은 본원에 참고 인용된다.

발명의 내용

[0003] 공동 연구 협약

[0004] 청구된 본 발명은 공동 산학 연구 협약에 따라 하기 당사자 중 하나 이상에 의해, 및/또는 하기 당사자 중 하나 이상을 위해, 및/또는 하기 당사자 중 하나 이상과 연계에 의해 이루어졌다: 미시간 유니버시티 및 글로벌 포토닉 에너지 코포레이션. 이 협약은 청구한 발명이 만들어진 당일 및 그 전일부터 유효하고, 청구된 발명은 상기 협약의 범주에서 수행된 활동 결과로서 이루어진 것이다.

[0005] 본 발명은 초고 효율 단일 및 다중 집합 박막 태양 전지에 관한 것이다. 본 발명은 또한 복합 포물형 금속 호일 집광기(compound parabolic metal foil concentrator) 내에서 성형되는 기관에 결합시키는, 예컨대 플라스틱 또는 금속 호일에 결합시키는, 접착제 없이 믿을만한 경량 냉간 용접을 사용하는 기관 손상 없는 에피택셜 리프트 오프("ELO"; epitaxial lift-off) 공정에 관한 것이다.

[0006] 광전자 소자는 전자적으로 전자기 방사선을 생성 또는 감지하거나 또는 주위 전자기 방사선으로부터 전기를 발생시키는 재료의 광학적 및 전자적 특성에 의존한다.

[0007] 감광성 광전자 소자는 전자기 방사선을 전기로 전환시킨다. 태양 전지, 또한 소위 광전 (PV) 소자는, 특별히 전력을 발생시키는 데 사용되는 감광성 광전자 소자 유형이다. 태양광 이외의 광원으로부터 전기 에너지를 발생시킬 수 있는 PV 소자는 전력 소비 부하(load)를 구동시키는데 사용되어, 예를 들어 조명, 난방을 제공하거나, 또는 전자 회로 또는 소자, 예컨대 계산기, 라디오, 컴퓨터 또는 원격 모니터링 또는 통신 기기를 작동시킬 수 있다. 이러한 발전 적용에는 또한 종종 태양 또는 다른 광원으로부터의 직접 조명이 이용가능하지 않거나 또는 적용예의 요건이 특정한 PV 소자의 전력 출력의 균형을 맞출 때 조작을 계속할 수 있도록 배터리 또는 다른 에너지 저장 소자의 충전을 수반한다. 본원에 사용된 용어 "저항성 부하"란 임의의 전력을 소비하거나 또는 저장하는 회로, 소자, 장치 또는 시스템을 지칭한다.

[0008] 또다른 유형의 감광성 광전자 소자는 광전도체 전지이다. 이의 기능에서, 신호 감지 회로(detection circuitry)는 흡광으로 인한 변화를 감지하는 소자의 저항을 모니터링한다.

[0009] 또다른 유형의 감광성 광전자 소자는 광검출기이다. 가동 중, 광검출기는 광검출기가 전자기 방사선에 노출되고 바이어스 전압을 인가시킬 수 있을 때 발생된 전류를 측정하는 전류 감지 회로와 함께 사용된다. 본원에 사용된 감지 회로는 바이어스 전압을 광검출기에 제공하고 전자기 방사선에 대한 광검출기의 전자적 반응을 측정할 수 있다

[0010] 이러한 세 부류의 감광성 광전자 소자는 하기 정의된 정류 집합이 존재하는지 여부에 따라 그리고 또한 소자가 또한 바이어스 또는 바이어스 전압으로 공지된 외부 인가된 전압으로 작동하는지 여부에 따라 특성화될 수 있다. 광전도체 전지는 정류 집합을 갖지 않고 통상 바이어스에 의해 작동된다. PV 소자는 하나 이상의 정류 집합을 갖고 바이어스 없이 작동된다. 광검출기는 하나 이상의 정류 집합을 갖고 통상 바이어스에 의해 작동하지

만 항상 그렇지는 않다. 일반적으로, 광전지는 회로, 소자 또는 장치에 전력을 제공하지만, 감지 회로를 제어하는 신호 또는 전류, 또는 감지 회로로부터의 정보의 출력을 제공하지는 않는다. 대조적으로, 광검출기 또는 광전도체는 감지 회로를 제어하는 신호 또는 전류, 또는 감지 회로로부터의 정보의 출력을 제공하지만 회로, 소자 또는 장치에 전력을 제공하지는 않는다.

[0011] 전형적으로, 감광성 광전자 소자는 다수의 무기 반도체, 예컨대 결정질, 다결정질 및 비정질 실리콘, 비화갈륨, 텔루르화 카드뮴 등으로 구성되었다. 본원에서 용어 "반도체"는 전하 담체가 열적 또는 전자기적 여기에 의해 유도된 경우 전기를 전도시킬 수 있는 재료를 나타낸다. 용어 "광전도성"은 일반적으로 전자기적 방사 에너지가 흡수되고 이에 의해 담체가 재료에서 전하를 전도, 즉 수송할 수 있도록 전하 담체의 여기 에너지로 전환되는 과정에 관한 것이다. 본원에 사용된 용어 "광전도체" 및 "광전도성 재료"는 전하 담체를 발생시키는 전자기 방사선을 흡수하는 특성에서 선택되는 반도체 재료를 지칭한다.

[0012] PV 소자는 입사 태양열 전력을 유용한 전력으로 전환시킬 수 있는 효율을 특징으로 할 수 있다. 결정질 또는 비정질 실리콘을 이용하는 소자는 상업 용도가 두드러지며, 일부는 23% 이상의 효율을 실현하였다. 하지만, 효율적이고 특히 표면적이 거대한 결정질계 소자는 유의적인 효율 저하 결함 없이 커다란 결정을 생성하는 것에 있어 고유한 문제로 인해 생성하는 데 어려움이 있고 고비용이 든다. 반면, 고효율 비정질 실리콘 소자는 여전히 안정성에 대한 문제로 곤란을 겪고 있다. 현재 구입 가능한 비정질 실리콘 전지는 4~8%의 안정화된 효율을 갖고 있다. 더욱 최근의 노력은 유기 광전지를 사용하여 경제적인 생산 비용과 허용가능한 광전 전환 효율을 실현하는 것에 중점을 두었다.

[0013] PV 소자는 광전류와 광전압의 최대 곱에 대하여 표준 조명 조건(즉, 1000 W/m^2 , AM 1.5 스펙트럼 조명인 표준 테스트 조건) 하에서 최대 전력 발생에 최적화될 수 있다. 표준 조명 조건 하에서 상기 전지의 전력 전환 효율은 다음의 3가지 매개변수에 따라 달라진다: (1) 제로 바이어스 하의 전류, 즉 단락 전류 I_{sc} (암페어), (2) 개회로 조건 하의 광전압, 즉 개회로 전압 V_{oc} (볼트), 및 (3) 충전율(fill factor)(ff).

[0014] PV 소자는 부하 전체에 걸쳐 연결되고 광으로 조사되는 경우 광발생된 전류를 생성한다. 무한 부하(infinite load) 하에 조사될 경우, PV 소자는 이의 최대 가능 전압, V 개회로, 또는 V_{oc} 를 발생시킨다. 단락된 이의 전기 접촉부로 조사되는 경우, PV 소자는 이의 최대 가능 전류, I 단락, 또는 I_{sc} 를 발생시킨다. 사실상 전력을 발생시키는 데 사용되는 경우, PV 소자는 유한한 저항성 부하에 연결되고 전력 출력은 전류와 전압의 곱, 즉 $I \times V$ 에 의해 제공된다. PV 소자에 의해 발생된 최대 총 전력은 본질적으로 $I_{sc} \times V_{oc}$ 의 산물을 초과할 수 없다. 부하없이 최대 전력 추출에 최적화된 경우, 전류 및 전압은 각각 I_{max} 및 V_{max} 의 값을 갖는다.

[0015] PV 소자의 성능 지수는 하기 (1)로 정의되는 충전율(ff)이다:

$$ff = \{ I_{max} V_{max} \} / \{ I_{sc} V_{oc} \} \quad (1)$$

[0017] 상기 식에서, I_{sc} 및 V_{oc} 는 실제 사용 중에 절대로 동시에 획득되지 않기 때문에, ff는 항상 1 미만이다. 그럼에도 불구하고, ff가 1에 접근하면, 소자는 직렬 또는 내부 저항이 더 적어지고 이에 따라 최적의 조건 하에 부하에 대해 I_{sc} 와 V_{oc} 곱의 더 큰 백분율을 산출하게 된다. P_{inc} 가 소자 상의 전력 입사인 경우, 소자의 전력 효율(γ_p)은 다음과 같이 계산될 수 있다:

$$\gamma_p = ff * (I_{sc} * V_{oc}) / P_{inc}$$

[0019] 적절한 에너지의 전자기 방사선이 반전도성 유기 재료, 예컨대 유기 분자 결정(OMC) 재료, 또는 중합체 상에 입사되는 경우, 광자가 흡수되어 여기된 분자 상태를 생성할 수 있다. 이는 상징적으로 $S_0 + h\nu \rightarrow S_0^*$ 로서 표시된다. 여기서, S_0 및 S_0^* 는 각각 접지된(ground) 및 여기된 분자 상태를 나타낸다. 이러한 에너지 흡수는 B-결합일 수 있는 HOMO 에너지 준위의 결합 상태(bound state)에서 B^* -결합일 수 있는 LUMO 에너지 준위로의 전자의 증량(promotion), 또는 동등하게, LUMO 에너지 준위에서 HOMO 에너지 준위로의 정공의 증량과 연관된다. 유기 박막 광전도체에서, 발생된 분자 상태는 일반적으로 준입자로서 수송되는 결합 상태에서 여기자, 즉 전자-정공 쌍일 것으로 여겨진다. 여기자는 다른 쌍으로부터의 정공 또는 전자와 재결합하는 것과 대조적으로 원래의 전자

및 정공이 서로와 재결합하는 과정을 나타내는 제짝 재결합(geminate recombination) 이전에 상당한 수명을 가질 수 있다. 광전류를 생성하기 위해, 전자-정공 쌍은 통상 2개의 유사하지 않은 접촉 유기 박막 사이에 공여체-수용체 계면에서 분리된다. 전하가 분리되지 않는 경우, 이들은 또한 켄칭(quenching)으로 공지된 제짝 재결합 과정에서 입사광보다 낮은 에너지 광의 방출에 의해 방사적으로, 또는 열의 생성에 의해 비방사적으로 재결합될 수 있다. 이러한 결과는 감광성 광전자 소자에 바람직하지 않다.

[0020] 접촉부에서의 불균일성(inhomogeneity) 또는 전계는 여기자가 공여체-수용체 계면에서 해리되기보다는 켄칭되도록 하여, 전류에 대한 순기여도(net contribution)가 없도록 한다. 따라서, 광발생된 여기자는 접촉부로부터 멀리 떨어지는 것이 바람직하다. 이것은 연관된 전계가 접합부 근처의 여기자의 해리에 의해 유리되는 전하 담체를 분리시킬 기회를 증가시키도록 접합부 근처의 영역에 여기자의 확산을 제한하는 효과를 갖는다.

[0021] 상당한 부피를 차지하는 내부 발생된 전계를 생성하기 위한 통상의 방법은 적절하게 선택된, 특히 분자 양자 에너지 상태의 분포와 관련된 전도 특성을 갖는 2개의 재료층을 병치시키는 것이다. 이러한 2개의 재료의 계면은 광전 이중접합부로 지칭된다. 전형적인 반도체 이론에서, PV 이중접합을 형성하는 재료는 일반적으로 n형 또는 p형인 것으로 나타낸 바 있다. 여기서 n형은 대부분의 담체 유형이 전자인 것을 의미한다. 이것은 비교적 자유 에너지 상태의 수많은 전자를 갖는 재료로서 여겨질 수 있다. p형은 대부분의 담체 유형이 정공인 것을 의미한다. 그러한 재료는 비교적 자유 에너지 상태에서 수많은 정공을 갖는다. 백그라운드 유형, 즉 광발생되지 않은, 대부분의 담체의 농도는 결합 또는 불순물에 의해 비의도적으로 도핑되는 것에 따라 주로 달라진다. 불순물의 유형 및 농도는 최고 점유 분자 오비탈(HOMO) 에너지 준위와 최저 비점유 분자 오비탈(LUMO) 에너지 준위 사이의 갭, 소위 HOMO-LUMO 갭 내의 Fermi 에너지, 또는 준위의 값을 결정한다. Fermi 에너지는 점유 가능성이 1/2 인 에너지 값을 의미하는 분자 양자 에너지 상태의 통계적 점유를 특징으로 한다. LUMO 에너지 준위 부근의 Fermi 에너지는 전자가 우세한 담체인 것을 나타낸다. HOMO 에너지 준위 부근의 Fermi 에너지는 정공이 우세한 담체인 것을 나타낸다. 따라서, Fermi 에너지는 전형적인 반도체의 주요 특징적인 특성이고 원형의 PV 이중접합부는 전형적으로 p-n 계면이었다.

[0022] 용어 "정류화"는 특히, 계면이 비대칭적 전도 특성을 갖고, 즉 계면이 바람직하게는 한 방향으로 전자 전하 수송을 지지하는 것을 의미한다. 정류는 적절하게 선택된 재료 사이의 이중접합에서 발생하는 내장 전계와 통상 연관된다.

[0023] 본원에 사용된 바와 같이, 그리고 당업자에게 통상 이해되는 바와 같이, 제1 "최고 점유 분자 오비탈"(HOMO) 또는 "최저 비점유 분자 오비탈"(LUMO) 에너지 준위는 제1 에너지 준위가 진공 에너지 준위에 근접하는 경우, 제2 HOMO 또는 LUMO 에너지 준위보다 "크거나" 또는 "높다". 이온화 전위(IP)가 진공 준위에 비해 음성 에너지로서 측정되기 때문에, 더 높은 HOMO 에너지 준위는 절대값이 더 작은 IP(덜 음성인 IP)에 상응한다. 유사하게, 더 높은 LUMO 에너지 준위는 절대값이 더 작은 전자 친화성(EA)(덜 음성인 EA)에 상응한다. 정상부에서 진공 준위를 갖는 기존의 에너지 준위 다이어그램 상에서, 재료의 LUMO 에너지 준위는 동일한 재료의 HOMO 에너지 준위보다 더 높다. "더 높은" HOMO 또는 LUMO 에너지 준위는 "더 낮은" HOMO 또는 LUMO 에너지 준위보다 상기 다이어그램의 정상부에 더 가까운 것으로 여겨진다.

[0024] 유기 재료의 맥락 중, 용어 "공여체" 및 "수용체"는 접촉하지만 상이한 2개의 유기 재료의 HOMO 및 LUMO 에너지 준위의 상대 위치를 지칭한다. 이는 대조적으로 무기 맥락에서 이러한 용어를 사용하고, 여기서 "공여체" 및 "수용체"는 각각 무기 n형 및 p형 층을 생성하는 데 사용될 수 있는 도펀트 유형을 지칭할 수 있다. 유기 맥락에서, 또다른 재료와 접촉하는 한 재료의 LUMO 에너지 준위가 더 낮은 경우, 그 재료는 수용체이다. 그렇지 않은 경우에는 공여체이다. 외부 바이어스의 부재 하에, 공여체-수용체 접합에서 전자를 수용체 재료로 이동시키는 것, 그리고 정공을 공여체 재료로 이동시키는 것이 에너지적(energetically)으로 유리하다.

[0025] 유기 반도체 내 중요한 특성은 담체 이동도이다. 이동도는 전하 담체가 전계에 대해 반응하여 전도성 재료를 통해 이동할 수 있는 것의 용이성을 측정한다. 유기 감광성 디바이스의 맥락 중, 높은 전자 이동도로 인해 전자에 의해 우선적으로 전도되는 재료를 포함하는 층은 전자 수송 층, 또는 ETL로서 지칭될 수 있다. 높은 정공 이동도로 인해 정공에 의해 우선적으로 전도되는 재료를 포함하는 층은 정공 수송 층, 또는 HTL로서 지칭될 수 있다. 바람직하기는 하지만, 꼭 그럴 필요는 없이, 수용체 재료는 ETL이고 공여체 재료는 HTL이다.

[0026] 기존의 무기 반도체 PV 전지는 내부 전계를 확립하는 데 p-n 접합을 이용한다. 예를 들어, 문헌[Tang, Appl. Phys Lett. 48, 183 (1986)]에 보고된 초기 유기 박막 전지는, 기존의 무기 PV 전지에 사용된 것과 유사한 이중 접합을 함유한다. 하지만, p-n형 접합의 확립 이외에도, 이중접합의 에너지 준위 오프셋은 또한 중요한 역할을 한다는 것이 인식되어 있다.

[0027] 유기 D-A 이중접합에서 에너지 준위 오프셋은 유기 재료의 광발생 공정의 본질로 인해 유기 PV 소자의 조작에 중요한 것으로 여겨진다. 유기 재료의 광학적 여기시, 국소화된 Frenkel 또는 전하-이동 여기자가 발생된다. 발생하는 전기 감지 또는 전류 발생을 위해, 결합된 여기자는 구성성분 전자 및 정공으로 해리되어야 한다. 이러한 공정은 내장 전계에 의해 유도될 수 있지만, 유기 소자($F \sim 10^6$ V/cm)에서 통상 발견되는 전계의 효율은 낮다. 유기 재료에서 가장 효율적인 여기자 해리는 공여체-수용체(D-A) 계면에서 발생한다. 그러한 계면에서, 이온화 전위가 낮은 공여체 재료는 전자 친화도가 높은 수용체 재료와 이중접합을 형성한다. 공여체 및 수용체 재료의 에너지 준위의 정렬에 따라, 여기자의 해리는 그러한 계면에서 에너지적으로 유리해져서, 수용체 재료의 자유 전자 플라톤 및 공여체 재료의 자유 정공 플라톤을 유도한다.

[0028] 유기 PV 전지는 전형적인 규소계 소자와 비교하였을 때 수많은 잠재적 장점을 갖는다. 유기 PV 전지는 중량이 가볍고, 재료 사용이 경제적이며, 저렴한 비용의 기관, 예컨대 연성 플라스틱 호일 상에 증착될 수 있다. 하지만, 유기 PV 소자는 통상 비교적 낮은 양자 효율(전기 변환 효율에 대한 전자기 방사선 또는 발생된 담체 쌍에 대해 흡수된 광자의 비율)을 갖고, 1% 이하 범위이다. 이는, 부분적으로, 고유의 광전도성 공정의 이차적 성질로 인한 것으로 사료된다. 즉, 담체 발생은 여기자 발생, 확산 및 이온화 또는 수집을 필요로 한다. 이러한 공정과 각각 관련된 효율 γ 이 존재한다. 첨자는 다음과 같이 사용될 수 있다: 전력 효율의 경우 P, 외부 양자 효율의 경우 EXT, 광자 흡수의 경우 A, 확산의 경우 ED, 수집의 경우 CC, 및 내부 양자 효율의 경우 INT. 다음의 표기법을 사용한다:

$$\gamma_P \sim \gamma_{EXT} = \gamma_A * \gamma_{ED} * \gamma_{CC}$$

$$\gamma_{EXT} = \gamma_A * \gamma_{INT}$$

[0029]

[0030] 여기자의 확산 길이(L_D)는 통상 광학적 흡수 길이($\sim 500 \Delta$)보다 훨씬 더 짧아서($L_D \sim 50 \Delta$), 두껍고 이에 따라 저항성이 있으며 계면이 다중으로 또는 고도로 폴딩된 전지, 또는 광학적 흡수 효율이 낮은 얇은 전지를 사용하여 그 사이의 균형(trade-off)을 필요로 한다.

[0031] 균일한 흡수 매질을 통해 전자기 방사선의 입사 플럭스의 강도의 저하(falloff)는 일반적으로 $I = I_0 e^{-\alpha x}$ 로 제시되며, 여기서 I_0 는 초기 위치($x=0$)에서의 강도이고, α 는 흡수 상수이고 x 는 $x=0$ 의 깊이이다. 따라서, 강도는 플럭스가 매질을 통해 진행됨에 따라 기하급수적으로 감소한다. 따라서, 두께가 더 두꺼운 흡수성 매질에 의해 또는 흡수 상수가 증가될 수 있는 경우에 더 많은 광이 흡수된다. 일반적으로, 제시된 광전도성 매질의 흡수 상수는 조절될 수 없다. 일정한 광전도성 재료, 예컨대 3,4,9,10 퍼틸렌테트라카르복실계-비스-벤즈이미다졸(PTCBI), 또는 구리 프탈로시아닌(CuPc)의 경우, 높은 벌크 저항성으로 인해 매우 두꺼운 층은 바람직하지 못하다.

[0032] 광전도성 재료의 제공된 박막을 통해 수차례 적당하게 재반사되는 광 또는 재순환되는 광에 의해 제공된 광전도성 재료를 통한 광학적 거리(path)는 실질적으로 추가의 벌크 저항을 발생시키는 일 없이 실질적으로 증가될 수 있다. 전자기적 플럭스를 효과적으로 수집하고 광전도성 재료를 함유하는 공동으로 전달되지만 또한 흡수할 수 있도록 공동으로 전달된 플럭스를 한정하는 솔루션이 필요하다.

[0033] 현재 더 저렴한 화석 연료와 비교하여 태양열 발전을 만들고자 함에 있어 전력을 광발생시키는 덜 비싸고 더욱 효율적인 소자를 모색하였다. 잠재적 원가 절감으로 인해 유기 광전 소자(OPV)용 재료로서 유기 광전도체, 예컨대 CuPc 및 PTCBI를 구하였다. 상기 언급된 높은 벌크 저항에는 비교적 박막의 상기 재료를 이용하는 것이 바람직하다. 하지만, 유기 감광성 초박층의 이용은 효율적인 소자의 제조에 다른 장애물을 발생시킨다. 상기 설명한 바와 같이, 감광성 초박층은 입사 방사선의 적은 부분을 흡수하여 이에 따라 외부 양자 효율을 감소시킨다.

[0034] 또다른 문제는 초박막(very thin film)이 전극 재료의 침투로 인해 단락과 같은 결함이 더 많은 대상이라는 점이다. 본원에 참고 인용되는 미국 특허 번호 제6,333,458호에는 초박막 OPV에 의한 문제 중 일부를 해결하는 하나 이상의 여기자 차단층을 포함하는 감광성 헤테로구조가 기술된다. 하지만, 막이 유기 또는 무기 광전도체인 여부에 따라 초박막에 의한 낮은 광흡착 문제를 해결하는 다른 솔루션이 필요하다.

[0035] 윈스턴 집열기(Winston collector)로서 공지된 광학적 집광기의 사용은 태양열 에너지 변환 분야에서 통상적이다. 그러한 집광기는 높은 열적 구배가 바람직한 열적 태양열 수집 소자에서 주로 사용되었다. 더 적은 정도로, 이들은 광전 태양열 변환 소자로 사용되었다. 하지만, 그러한 적용에는 활성 광전도성 매질 상에 광의 초기 입사시 광흡착이 발생할 것으로 기대된 소자에 관한 것으로 여겨진다. 광전도체 초박층이 사용되는 경우, 대단히

집중된 방사선은 흡수되지 않을 것이다. 이는 소자 환경 내에 다시 반영되거나, 기관에 의해 흡수되거나 또는 기관이 투명할 경우 단지 통과될 수 있다. 따라서, 집광기의 단독 사용은 광전도성 박층에 의해 낮은 광흡착의 문제를 해결하지 못한다. 방사선 감지용 광학적 집광기는 또한 광전자 증배("PM")관(photomultiplier tube)에 의한 Cerenkov 또는 다른 방사선의 감지에 사용되었다. PM관은 본 발명의 OPV와 같은 고상 검출기와 전적으로 상이한 원칙, 즉 광전 효과에 따라 작동한다. PM관에서, 광흡수성 매질, 즉 금속성 전극의 낮은 광흡착은 문제가 되지 않지만, PM관은 본원에 개시된 OPV와는 달리 높은 작동 전압을 필요로 한다.

[0036] 광의 집중(focusing) 및 포집(trapping)은 박막 광전 태양 전지 및 광검출기의 성능을 상승시키는 데 있어 중요한 방안이다. 하지만, 그러한 계획에 통상 사용되는 거울은 거울의 스펙트럼 흡수로 인해 입사 광자의 막대한 손실을 초래할 수 있는 금속, 예컨대 은 또는 금을 이용한다. 따라서, 거대한 스펙트럼 범위에 걸쳐 손실이 감소된 박막 광전 태양 전지 또는 광검출기에서 광 포집을 증가시키는 구조를 제공하는 것이 유리할 것이다.

[0037] 본 발명자들은 최근 에피택셜 성장 후 고비용의 모 기관으로부터 "리프트 오프"된 얇고, 높은 효율의 III-V 반도체 태양 전지의 분자 빔 에피택시(MBE)를 통한 성장을 입증한 바 있다. 그러한 과정은 "보호층"이 통상 에칭되어 모 기관으로부터 활성 소자 에피택시($\sim 2 \mu\text{m}$ 두께)를 분리시키는 "ELO 희생층" 주변에 성장된다는 점에서 지난 20년에 걸쳐 사용된 통상의 ELO 기법과 상당히 상이하다. 이러한 공정은 본원에 전문이 참고 인용된 미국 특허 출원 번호 제13/099,850호에 기술되어 있다. 복합 보호층 구조를 사용함으로써 모 웨이퍼의 화학적 및 표면 형태학적 분해는 도 1에 도시된 바와 같이 제거된다.

[0038] 따라서, 가공된 웨이퍼의 표면은 개시 웨이퍼보다 더 평활하게 제조될 수 있고, 이의 표면 화학성은 변하지 않도록 남아 있게 되고, 이로써 추가의 그리고 또한 궁극적으로 제거가능한 에피택셜 층의 성장에 대한 재사용 이전에 웨이퍼를 재연마할 필요가 없어진다. 따라서, 모 웨이퍼는 무한정 재사용될 수 있는데, 그 이유는 원래의 모 웨이퍼가 공정 동안 소모되거나 변경되지 않기 때문이다. 실제로, 오직 박막의 단결정인, 고효율 태양 전지 활성 영역을 포함하는 에피택셜 활성층만이 전체 웨이퍼 표면으로부터 제거되고, 이어서 제2의 박막 "호스트" 기관에 (비용이 추가되고 무거우며 실패 가능성이 있는 접착제 없이) 냉간 용접된다.

[0039] 기관은 공정에 사용되는 가장 고비용의 재료이기 때문에, 다중 재사용 전략은 재료의 비용으로서 웨이퍼를 제거하고, 이의 취득을 자본 비용으로 전환하여, 단결정 III-V계 태양 전지의 비용 구조를 근본적으로 변화시키게 된다. 태양 전지의 활성 에피택셜 초박층이 또한 접착제 없이 금속 또는 금속화된 플라스틱 호일에 결합되는 경우, 생성된 모듈의 비용, 중량 및 형태 인자에 또한 유리하게 영향을 미치게 된다.

[0040] 앞서 기술된 필요성 중 적어도 일부를 해결하고자 하는 노력으로, 초고 효율 단일 및 다중 접합 박막 태양 전지가 개시되고 있다. 본 발명은 또한 접착제 없이, 믿을만한 경량 냉간 용접을 사용하여 복합 포물형 금속 호일 집광기 내에서 성형되는 기관에 결합시키는, 예를 들어 플라스틱 또는 금속 호일에 결합시키는 기관 손상 없는 에피택셜 리프트 오프("ELO") 공정에 관한 것이다. 본 발명자들은 일체형 집열기 내에서 성형되는 호일 기관 상에서 태양 강도 집광된 박막 태양 전지의 초고효율과 저비용의 태양 전지 제법을 결합시키는 것이 모듈 자체의 더 낮은 비용뿐만 아니라, 무거운 모듈을 전력 밀도가 6 W/gm 을 초과하는 (저비용의 일체형 집광기를 포함한) 호일 상의 초경량 전지로 대체함으로써 기반시설에 상당한 비용 절감을 유도할 수 있다는 것을 발견하였다.

[0041] 일 구체예에서, 본 발명은 제1 기관; 상기 제1 기관에 결합되는 금속 접촉부(metal contact); 상기 금속 접촉부에 결합되는 활성 광전 영역; 하나 이상의 제1 보호층; AlAs 층; 하나 이상의 제2 보호층; 및 제2 기관을 포함하는 박막 태양 전지에 관한 것이다.

[0042] 또다른 구체예에서, 본 발명은 제1 기관; 상기 제1 기관에 결합되는 금속 접촉부; 상기 금속 접촉부에 결합되는 활성 광전 영역; 하나 이상의 제1 보호층으로서, 상기 제1 보호층 중 하나 이상은 InGaP, GaAs, InGaAs, InP, 및 InAlP에서 선택된 하나 이상의 화합물을 포함하는 제1 보호층; AlAs 층; 하나 이상의 제2 보호층으로서, 상기 제2 보호층 중 하나 이상은 InGaP, GaAs, InGaAs, InP, 및 InAlP에서 선택된 하나 이상의 화합물을 포함하는 제2 보호층; 및 GaAs 및 InP에서 선택된 하나 이상의 화합물을 포함하는 제2 기관을 포함하는 박막 태양 전지에 관한 것이다.

[0043] 추가 구체예에서, 본 발명은 제1 기관 상에 하나 이상의 제1 보호층을 성장시키는 단계; AlAs 층을 성장시키는 단계; 하나 이상의 제2 보호층을 성장시키는 단계; 제2 보호층의 상부 상에 하나 이상의 활성 광전지 층을 증착시키는 단계; 상부 활성 광전지 층을 금속으로 코팅하는 단계; 제2 기관을 금속으로 코팅하는 단계; 2개의 금속 표면을 함께 가압하여 냉간 용접 결합을 형성하는 단계; 및 AlAs 층을 선택적 화학적 에칭제(etchant)로 제거하는 단계를 포함하는, 에피택셜 리프트 오프 공정의 수행 방법에 관한 것이다.

[0044] 또다른 구체예에서, 본 발명은 제1 기판 상에 하나 이상의 제1 보호층을 성장시키는 단계로서, 상기 보호층 중 하나 이상이 InGaP, GaAs, InGaAs, InP, 및 InAlP에서 선택된 화합물을 포함하는 단계; AlAs 층을 성장시키는 단계; 하나 이상의 제2 보호층을 성장시키는 단계로서, 상기 보호층 중 하나 이상이 InGaP, GaAs, InGaAs, InP, 및 InAlP에서 선택된 화합물을 포함하는 것인 단계; 제2 보호층의 상부 상에 하나 이상의 활성 광전지 층을 증착시키는 단계; 상부 활성 광전지 층을 금속으로 코팅하는 단계; 제2 기판을 금속으로 코팅하는 단계; 2개의 금속 표면을 함께 가압하여 냉간 용접 결합을 형성하는 단계; 및 AlAs 층을 선택적 화학적 에칭제로 제거하는 단계를 포함하는, 에피택셜 리프트 오프 공정의 수행 방법에 관한 것이다.

[0045] 상기 논의된 청구 대상 이외에, 본 발명은 다수의 기타 예시적 특징, 예컨대 이하 설명되는 것을 포함한다. 당업자라면 전술된 설명 및 하기 설명이 단지 예시에 불과하다는 것을 이해하여야 한다.

[0046] 첨부된 도면은 본 명세서에 포함되고 본 명세서의 일부를 구성한다.

도면의 간단한 설명

[0047] 도 1은 InP계 태양 전지에 대한 본 발명에 따른 ELO 공정을 도시하는 개략도이다.

도 2는 Au 코팅된 Kapton 시트에 리프트 오프되고 결합된 2인치 InP 에피택셜 층의 사진이다. ITO 접촉부는 Schottky 태양 전지를 형성한다.

도 3은 원래의 에피-레디(epi-ready) InP 기판 및 보호층을 사용하거나 사용하지 않는, 제1 및 제2 ELO 공정 이후 회수된 표면의 원자력 현미경 이미지이다.

도 4는 전지 매개변수를 제시하는 테스트 데이터 및 대표적인 GaAs PV 전지 층 구조이다.

도 5는 재사용된 웨이퍼 상에 성장한 22.8% 효율 전지 및 23.9% 효율 제1 성장 전지의 외부 양자 효율(삽도) 및 제4 분위수 전류 전압을 도시하는 테스트 데이터이다.

도 6은 본 발명에 따른 InP 재료에 적용되는 ELO 공정을 제시하는 개략도이다.

도 7은 AlAs 층 및 AlAs 리프트 오프 층을 갖는 3층 보호 계획의 개략도이다.

도 8은 본 발명에 따른 제안된 다중 접합 전지 구조의 개략도이다.

도 9는 감소된 터널링 배리어를 도시하는 (a) 기존의 N/P 터널 접합, 및 (b) N/ErP/P 접합의 개략도이다.

도 10은 ELO 다중 접합 전지가 냉간 용접 결합된 일체형 반사장치의 개략도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0048] ELO 공정의 일 구체예는 도 1에 개략적으로 도시되었다. 이는 InGaAs 및 InP로 이루어진 화학적으로 구별된, 얇은 "보호층", AlAs의 희생층, InP 및 InGaAs의 보호층의 제2 세트, 및 마지막으로 활성 광전지 층의 에피택셜 성장으로 시작되었다. 다음으로, 매우 얇은 플라스틱(예, KaptonTM, DuPont로 표시된 폴리이미드 막) 호스트 기판과 같이, 상부 에피택셜 층을 Au로 코팅하였다. 단지 어느 정도의 kPa 압력으로 2개의 청정한 Au 표면을 함께 가압함으로써, 이는 단일 벌크 Au 막과 구별이 어려운 특성을 갖는 전자적으로 연속적이고 영구적이며, 접착제 없이 냉간 용접 결합을 형성하였다.

[0049] 일단 플라스틱 핸들에 결합되면, 웨이퍼는 ELO에 대한 준비가 된 것이다. 냉간 용접 결합은 ELO 공정(리프트 오프 이전에 에피-층을 호일 기판에 영구적으로 부착시켜, 궁극적인 재사용을 위해 모 기판을 박리시키는 것) 뿐만 아니라 또한 결과적으로 태양 전지가 제작되는 신규 호스트 기판에 대한 접착체로서도 사용되었다.

[0050] 리프트 오프에서 기존에 사용된 접착제의 냉간 용접으로의 대체는 몇가지 이점을 갖는다: (i) 호일 기판에 대한 접착이 간단하고 제작 순서의 필수적인 요소가 됨, (ii) 접착층을 완전하게 제거하여 경량이 됨, (iii) 냉간 용접 계면이 대부분의 막과 구별이 어려워지기 때문에 열적으로 그리고 전기적으로 "투명"해짐, 그리고 (iv) 견고하고 결합에 대한 저항성이 있음. 선택적 화학적 에칭제, 예컨대 HF: H₂O(1:10)를 사용하여 4 nm~10 nm 두께의 AlAs ELO 희생층을 제거하고, 전체 웨이퍼를 광전 에피택셜 층으로부터 분리시켜서, 보호층이 노출되도록 하였다. AlAs ELO 층에 가장 근접하는 보호층(이 경우에는, InP)의 목적은 에칭 선택비 >10⁸:1을 제공하는 것이며 InGaAs 보호층 표면에서 중지되는 제2 습윤 에칭(HCl:H₃PO₄, 3:1)을 갖는 분리된 에피택셜 층 및 기판을 모두

제거하는 것이다. 제2 보호층의 요건은 InP 기판에서 계단식으로(abruptly) 중지되는 습윤 에칭제로 제거될 수 있는 것이다. $\text{H}_2\text{SO}_4:\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{O}(1:1:10)$, 및 다음으로 $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7:\text{H}_2\text{O}_2(20:1)$ 를 사용하여 웨이퍼에서 InGaAs 층을 제거하며, 이때 상기 둘은 InP 기판, InP 완충층, 및 에피택셜 층에 대해 선택성이 높고 선행된 에칭 후에 잔류하는 임의의 잔사물 또는 돌기(asperity)의 제거를 돕는다. 인듐 산화 주석(ITO) Schottky 접촉부를 스퍼터링함으로써 KaptonTM 헨들에 결합된 에피택셜 층 상에 태양 전지를 제작하였다. 1 sun AM 1.5G 조명 하에 효율이 ~15%인, 생성된 연성 InP-ITO Schottky 태양 전지를 도 2에 도시하였다. 이렇게 결합된 에피택셜 시트를 박리 없이 >200℃로 반복하여 순환시켰다.

[0051] 후속 성장 이전에, 기판을 용매 세정하고, UV/오존에의 노출을 통해 의도적인 산화물을 성장시킨 후, 성장 챔버로 반송시켰다. 공정에 단일 기판을 여러 차례 사용함으로써 InP 웨이퍼의 열화가 없는 재사용을 입증하고, 도 3에 도시된 바와 같이, 초기에 사용된 상용 에피-레디 웨이퍼의 것보다 표면의 평활도가 향상되어 원칙적으로 무한정 재사용될 수 있다.

[0052] 본 발명자들은 최근 모 웨이퍼 상에서 제작된 GaAs계 단일 p-n 접합 광전지에 대해 이러한 손상이 없는 재성장 공정을 확장시켜, 23.9%의 효율을 유도한 바 있다. 도 4는 그러한 전지의 개략적인 대표도이다. 리프트 오프 공정은, InP에 사용된 2-보호-층 계획이 3층(InGaP/GaAs/InGaP), (AlAs 희생 층에 대해) 완전하게 격자-대응되는 시스템으로 대체되지만, InP 전지에 사용되는 것과 유사하다. 이는 ELO 공정에서 발생한 표면 러프닝(roughening) 또는 잔사물을 제거하면서 층 사이의 에칭-선택비를 향상시킨다. HF에서 AlAs 층을 제거하고, 이후 InGaP 및 GaAs 보호층을 각각 $\text{HCl}:\text{H}_3\text{PO}_4(1:1)$ 및 $\text{H}_3\text{PO}_4:\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{O}(3:1:25)$ 로 제거하였다.

[0053] 이러한 공정 후, 제2 전지를 모 웨이퍼 상에 성장시켜, 22.8%의 효율에 도달하였다. 제1 및 제2 성장 사이의 전력 전환 효율의 약간의(1%) 감소는 건식 메사-단리(mesa-isolation) 에칭 레시피의 선택으로 인한 것이며, 충전율에 약간의 감소를 유도한다(도 4 참조). 더하여, 반사방지 코팅 두께는 최적이지 않아서, 도 5에 도시된 바와 같이 외부 양자 효율 및 단락 전류가 감소되었다. 하지만, 코팅 두께가 최적화되는 경우에는 심지어 더 높은, 예를 들어 25% 초과 효율이 기대된다.

[0054] 일 구체예에서는, 완전하게 격자 대응되는 InGaP/GaAs/InGaP 3층을 기초로 하는 보호층 계획이 사용될 수 있다. 이러한 3층은 보호층을 재현가능하게 제거하고 본래의 (물리적으로 그리고 화학적으로 비손상된) 표면을 노출시키는 데 필요한 층 사이에 비율 선택성이 충분한 에칭 화학을 공급한다. 일 구체예에서, 재성장한 박막 전지를 냉간 용접을 통해 Au 코팅된 플라스틱(KaptonTM) 기판에 결합시켰다. 이는 제1 성장 웨이퍼에 대해 $\text{PCE}=23.9\%$, 그리고 재사용된 웨이퍼에 대해 $\text{PCE}=22.8\%$ 를 실현할 수 있고, 차세대 광전변환공학 II 미터법(Next Generation Photovoltaics II metric)으로 20%를 초과하는 것을 확인하였다(도 5 참조). 실제 ELO 공정 장치 및 방법의 설명은 도 6에 도시되었다.

[0055] 각각의 재사용 후, 모 웨이퍼 및 리프트 오프된 에피택셜 층을 모두 손상 또는 미세한 열화에 대해 철저하게 연구할 수 있다. 이러한 방법은 성장 및 재성장 표면에 대한 화학적 변화를 측정하는 x선 광전자 분광학(XPS), 원자력 현미경관찰, 주사 전자 현미경관찰, 및 표면 형태 변화를 측정하는 표면 프로파일로메트리, 대부분의 에피택시 내에 발생하는 결함을 조사하는 횡단면 투과 전자 현미경관찰, 및 이차 이온 질량 분광학(SIMS)을 사용하는 조성 깊이 프로파일링을 포함한다.

[0056] 또한 표준 조명 조건(1 sun, AM 1.5G 스펙트럼)을 사용하여 반사방지 코팅을 포함한 완전한 전지를 전기적으로 테스트할 수 있다. 측정하고자 하는 매개변수는 PCE, 충전율(FF), 개회로 전압(Voc), 단락 전류(Jsc), 직렬 및 병렬 저항을 포함한다.

[0057] HF에 대해 Ga-함유 화합물(즉, GaAs, 및 보다 적은 정도의 InGaP)의 연장된 노출(>2일)은 제거가 어려운 표면 오염을 초래하는 것을 발견하였다. 하지만, 이러한 반응은 7일 이상 동안 HF에 노출된 InP 표면에 대해서는 부재하다. 일 구체예에서, AlAs 희생층 아래에 즉시 배치되는 변형된 InP의 박막은 도 7에 도시된 바와 같이 표면의 적합도를 향상시킨다.

[0058] InP의 두께는 변형 완화를 방지하는 것에 제한되어, 후속 성장한 PV 층의 품질을 감소시킬 수 있다. GaAs 상의 InP의 임계 두께는 ~1.7 nm에 상응하는 5~6개의 단층이다. 이러한 경우에, 보호층 계획은 InGaP/GaAs/InP 또는 InGaP/GaAs/InGaP/InP를 포함하고, 여기서 후자의 구조에서 추가의 InGaP 층은 GaAs보다 향상된 보호를 제공한다.

[0059] 또다른 구체예에서, 에칭 선택비 및 구매 상태 그대로의 웨이퍼 품질의 보존은 추가의 재료 조합을 사용하여,

예를 들어 InAlP에 인접한 InGaP 층을 대체함으로써 수행되었다. InAlP/InGaP/GaAs/InAlP 구조는 InAlP가 GaAs(>400:1 에칭 비율)에서 계단식으로 증지되는 HCl:H₂O(1:5)로 에칭될 수 있기 때문에 유리할 수 있는 반면, InGaP를 에칭하는 데 사용되는 HCl:H₃PO₄(1:1)는 서서히 GaAs를 어택(attack)하여 러프닝을 초래한다. AlAs 층에 인접하게 InAlP를 배치함으로써, InAlP는 HF에 의해 어택되고 리프트 오프 공정을 수행시킬 수 있는 산화비소의 누적을 감소시킨다. 또한, InGaP는 GaAs 에칭에 대한 에칭 중단(H₃PO₄:H₂O₂:H₂O, 3:1:25)으로서 사용되어 더 낮은 InAlP 층이 최종 에칭 단계에서만 제거되는 것을 보장할 수 있다.

[0060] 금속 호일 기관, 예컨대 Au 코팅된 Cu 호일에의 결합, 냉간 용접을 위한 저렴한 금속의 사용(예, Au 대신에 Ag), HF 소비의 감소, 보호층 두께의 감소, 및 리프트 오프 공정의 가속화에 의해 추가의 비용 절감이 가능할 수 있다. AlAs 회생층을 용해시키는 데 사용되는 HF에 대한 연장된 노출은 사용할 수 있는 금속 호스트 기관의 선택을 제한한다. 일 구체예에서, 냉간 용접에 사용될 수 있는 Cu 호일은 이를 사용하는 것이 Au와 같은 귀금속으로 호일을 코팅하는 것보다 더 간단할 수 있기 때문에 HF에 대한 노출시 저항성을 증가시키는 데 사용된다. Cu 호일을 사용하는 것의 추가 이점은 집열된 전지로부터 열을 추출하는 데 활용할 수 있는 이의 높은 열 전도성($\sim 4\text{W cm}^{-1} \text{C}^{-1}$)이다.

[0061] 또한, 도 8에 도시된 2개의 전지 예시 구조 이후에 매우 높은 효율 다중 접합(GaAs/InGaP) 태양 전지가 개시된다.

[0062] 고안은 접착제 없이 냉간 용접 공정에 사용되는 "뒤집힌(upside down)" 결합 기하구조를 수용하는 기존의 다중 접합 전지 성장 순서와 관련하여 역전되며; 상기 구조는 25% GaAs 전지 구성물을 포함한다. 이러한 경우에, GaAs 전지 두께는, 반사하는, 전체 범위의 음 접축이 소자 활성 영역을 통해 입사광의 두가지 패스를 허용하기 때문에 2 μm (기존의 기관계 전지의 50%)로 감소된다. 주요 초점은 최대 효율을 위한 탠덤 PV 구조를 최적화하는 것, InGaP 전지 고안(층 두께, 윈도우 층, 층 조성 등)을 포함하는 것, 스택 내 부재 사이에서 넓은 간격의 터널 접합(TJ)을 향상시키는 것, 및 상기 다중 접합 전지에 대해 대면적 상에서 다중 리프트 오프 공정을 완료하는 것이다.

[0063] 태양 전지는 p형 층의 상부 상에서 n형 재료로 성장하는 반면, 터널 접합은 반대 극성에 의해 성장하여야 한다. 전지는, 탄소가 기존의 p-도펀트, Be와 같이 성장 표면으로 쉽게 이동하지 못하기 때문에, 전부 또는 몇몇의 p형 층에서 탄소 도핑을 사용할 수 있다. 탠덤 전지가 통상 GaAs 전지에서 전류에 의해 제한되기 때문에, InGaP 전지 두께는 InGaP 및 GaAs 전지를 전류 대응하도록 조절되어야 하며; InGaP 층의 두께는 0.55~0.80 μm 의 범위로 기대된다.

[0064] 효율적인 터널 접합(TJ)은 고성능 탠덤 전지에 중요하다. 이는 전압 및 흡수 둘다에서 거의 손실이 없는 것이 필요하다. MJ 전지에서 InGaP TJ를 사용하여 3%만큼 높을 수 있는 GaAs TJ 흡수를 피하는 것이 유리하다. 기존의 TJ는 전자가 n형 면 상의 전도 대역에서 p형 면 상의 원자가 대역으로 직접 터널링될 수 있는 P+/N+ 계단식 접합이다(도 9(a)). 1 sun 조명에서 발생된 전류를 수송하기에 충분히 높은 도핑 전위가 MBE를 사용하여 기록되었지만, MBE 성장한 넓은 간격의 TJ 상에서 적은 작업이 수행되었다.

[0065] 일 구체예는 1 sun으로 수십의 mV의 전압 강하를 갖는 InGaP 터널 접합에 관한 것이다. 조사에서는 Be 및 Si가 (각각 3.7×10^{19} 및 $1.8 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 의 밀도를 달성하는) 적당한 도펀트인 것으로 시사하고 있다. 하지만, 감소된 터널링 저항이 필요한 경우, P+/N+ 계면에서의 조작된 결합의 사용은, 예를 들어 GaAs 터널 접합에 ErAs를 첨가함으로써 실시될 수 있다. 이러한 경우에, ErP 또는 LuP는 도 9b에 도시된 바와 같이 사용될 수 있다. ErP 또는 LuP는 ~ 4 단층 두께이고, 금속성이며, 터널링 공정을 유의적으로 더 높은 터널링 가능성을 갖는 두개의 단계로 나누는, 반도체 표면 상의 에피택셜 아일랜드를 형성한다. TJ에서 ErP를 사용함으로써, 터널링 전류에서 수 자릿수의 증가가 발생하고, 제작된 PV 전지에서 예상되는 전류에 대한 서브-mV 범위 내에서 전압 강하를 유도할 수 있다.

[0066] 단일 접합 전지의 경우에서와 같이, 다중 접합 전지는 성장-ELO-재사용 순환의 각 반복(iteration) 후 미세하게 그리고 화학적으로 조사할 수 있다. 반사방지 코팅을 포함하는 완전한 전지는 표준 조명 조건(AM 1.5G 스펙트럼)을 사용하지만, 10 sun 이하의 강도 범위 이상에서 전기적으로 테스트될 수 있다. 측정하고자 하는 매개변수는 단일 접합 전지의 경우에서와 같이 PCE, 충전율, 개회로 전압, 단락 전류, 직렬 및 병렬 저항을 포함한다.

[0067] 반사성 및 연성 기관 상에 결합된 박막 다중 접합 전지는 상당한 추가 비용이 드는 일 없이 태양열 집열기와 박

막 전지를 일체화시키는 특별한 기회를 제공한다. 도 10에는 ELO 다중 접합 전지로 이루어진 스트립이 더 거대하고, 연성인 반사막의 중앙에 결합되는 것이 도시된다. 이후 (열적으로 전도되거나 또는 활성적으로 냉각된 예비형태로 배치됨으로써) 복합 포물형 집열기 (예, CPC, 또는 윈스톤 집열기)의 형상으로 막을 성형하였다. 이러한 기하구조는 수용 콘(acceptance cone) 내에 산란광을 수집할뿐만 아니라 평행한 태양 광선을 전지 스트립의 초점에서 전지 스트립에 집중시킨다.

[0068] 원통형 윈스톤형 집열기에 통상 사용되는 적은 수준의 집광(4~10X)은 집광기가 상당히 효율적이라도 하고, 전지 내에 상당한 양의 산란광을 작용시키도록 한다. 수집의 효율은 $CEff = T_{CPC}$ 로 제시되고, 여기서 T_{CPC} 는 통상의 반사장치 재료에 대해 ~2%인 다중 바운스의 손실을 포함하는 CPC의 효율적인 투과성이다. 산란광의 보정은 $\gamma = 1 - (1 - 1/C)G_{diff}/G_{dir}$ 이고, 여기서 C는 의도된 집광이고, G_{diff}/G_{dir} 은 총 입사광에 대한 산란 분획이다. 통상, 낮은 수준의 흐린 날의 경우 $G_{diff}/G_{dir} \sim 0.11$ 임. 그리고나서 C=4의 경우, AM 1.5D에서 이용 가능한 전력과 비교가능한 AM 1.5G에서의 $\gamma = 90\%$ 임.

[0069] 4X CPC의 경우, 그리고 1 cm의 태양 전지 스트립 폭을 가정하여, 이후 구경(aperture)은 4 cm의 폭 x 10 cm의 깊이여서, 단독 주택에 사용되는 판넬과 호환되는 실질적인 형태 인자를 제공한다. 더 많은 집광시, 집광기의 크기는 상당히 증가된다. 예를 들면, 동일한 1 cm 폭의 전지 스트립으로 사용된 10X 집광은 깊이가 ~55 cm인 10 cm의 구경을 필요로 한다. 이것은 집광 효율에 무시할만한 효과를 갖는 ~40 cm로 감소될 수 있다. [25] 필요한 반사 재료의 양은 4X 집광에 대해 4~5배 더 많아지고, 10X 집광에 대해 8~11배 많아진다.

[0070] 사용된 적은 집광에 대한 추가의 이점은 (하루마다 또는 계절마다, 집열기의 배향에 따라) 단일축 트래킹(tracking)의 이용이 허용되고, 더 많은 집광에 대해 필요한 것보다 수동 냉각이 간편해진다는 점을 포함한다. 실제로, 사용되는 매우 얇은 기판은 열 전달이 상당히 간편해졌고: 계산법은 수동 냉각된 Cu 열 싱크에 배치된 10X 집광 및 25 mm 두께의 KaptonTM 기판이 단지 5~20℃의 온도 상승을 유도하여, 더욱 공격적인 냉각 방법에 대한 필요성을 배제한다는 것을 나타낸다.

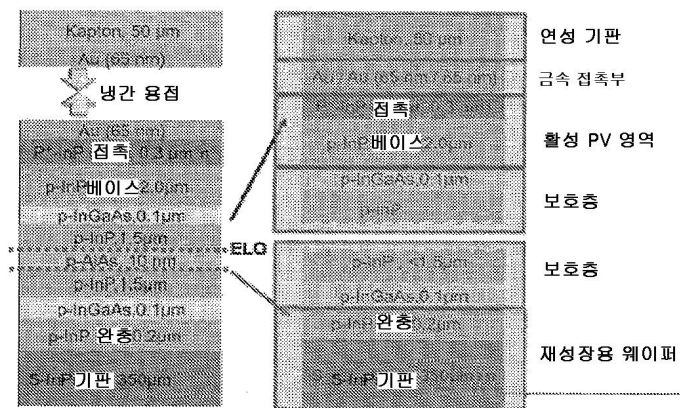
[0071] ELO 전지 기법은 또한 집광 계수가 큰 시스템에 적용될 수 있지만; 본원에서는 주택 시스템에 적용가능한 간단하고 경제적인 고안을 유도하는 더 작은 집광에 초점을 맞추고 있음을 유념한다. 이러한 일체형 태양열 집열기 + ELO 다중 접합 집광기 전지 어셈블리의 비용 절감은 (높은 PCE로 인한) 풋프린팅뿐만 아니라 집광 시스템의 비용을 철저하게 절감할 것으로 기대된다.

[0072] 달리 제시하지 않는 한, 명세서 및 청구범위에 사용된 성분, 반응 조건 등의 양을 표시하는 모든 수치는 모든 경우에 용어 "약"에 의해 변형되는 것으로 이해되어야 한다. 따라서, 반대로 제시하지 않는 한, 하기 명세서 및 첨부된 청구범위에 제시된 수치적 매개변수는 본 발명에 의해 수득하고자 하는 목적하는 특성에 따라 달라질 수 있는 근사치이다.

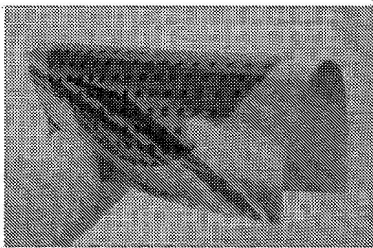
[0073] 본 발명의 다른 구체에는 본원에 개시된 본 발명의 실시예 및 특정예의 고려사항으로부터 당업자에게 자명할 것이다. 특정예 및 실시예는 단지 예시로서 고려되고, 본 발명의 참 범위는 하기 청구범위에 의해 제시되는 것으로 간주된다.

도면

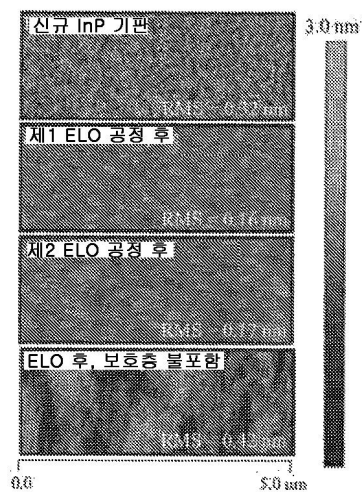
도면1



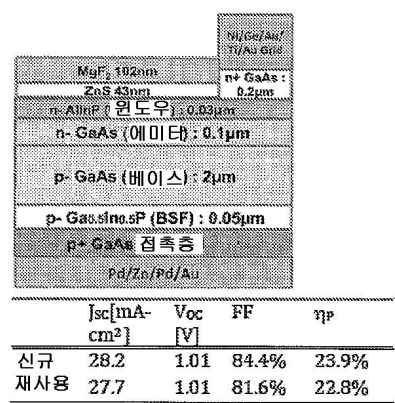
도면2



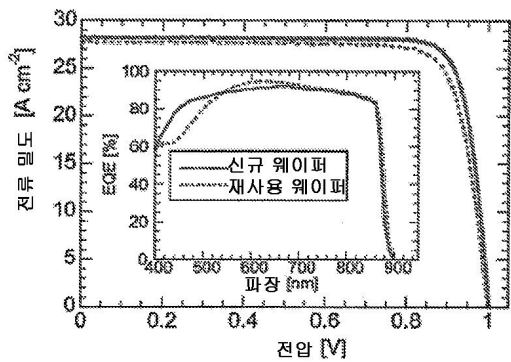
도면3



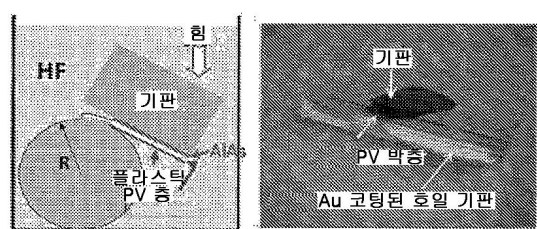
도면4



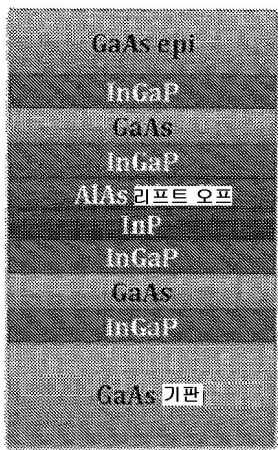
도면5



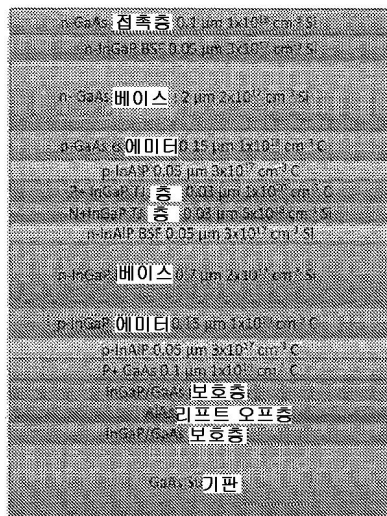
도면6



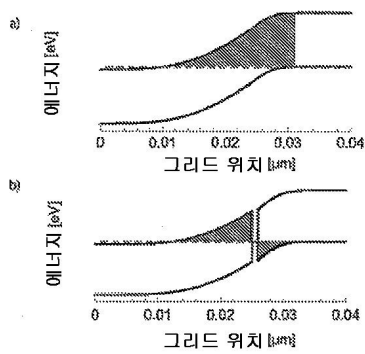
도면7



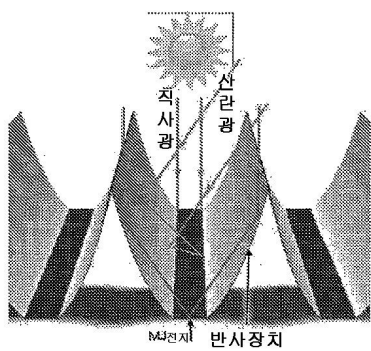
도면8



도면9



도면10



【심사관 직권보정사항】

【직권보정 1】

【보정항목】 청구범위

【보정세부항목】 청구항 15

【변경전】

상기 활성 광전 영역

【변경후】

상기 활성 광전지 층

【식권보정 2】

【보정항목】 청구범위

【보정세부항목】 청구항 15

【변경전】

상기 상부 활성 광전지 층

【변경후】

상기 활성 광전지 층