



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2019-0101065
(43) 공개일자 2019년08월30일

- | | |
|--|--|
| <p>(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
 <i>H01L 31/0687</i> (2012.01) <i>G02B 19/00</i> (2006.01)
 <i>H01L 31/0236</i> (2006.01) <i>H01L 31/036</i> (2006.01)
 <i>H01L 31/0392</i> (2006.01) <i>H01L 31/0445</i>
 (2014.01)
 <i>H01L 31/18</i> (2006.01)
 (52) CPC특허분류
 <i>H01L 31/0687</i> (2013.01)
 <i>G02B 19/0042</i> (2013.01)
 (21) 출원번호 10-2018-0020990
 (22) 출원일자 2018년02월22일
 심사청구일자 2018년02월22일</p> | <p>(71) 출원인
 한국과학기술원
 대전광역시 유성구 대학로 291(구성동)
 (72) 발명자
 이정용
 대전광역시 유성구 구성동 한국과학기술원
 조창순
 대전광역시 유성구 대학로 291 (구성동, 한국과학기술원)
 (74) 대리인
 양성보</p> |
|--|--|

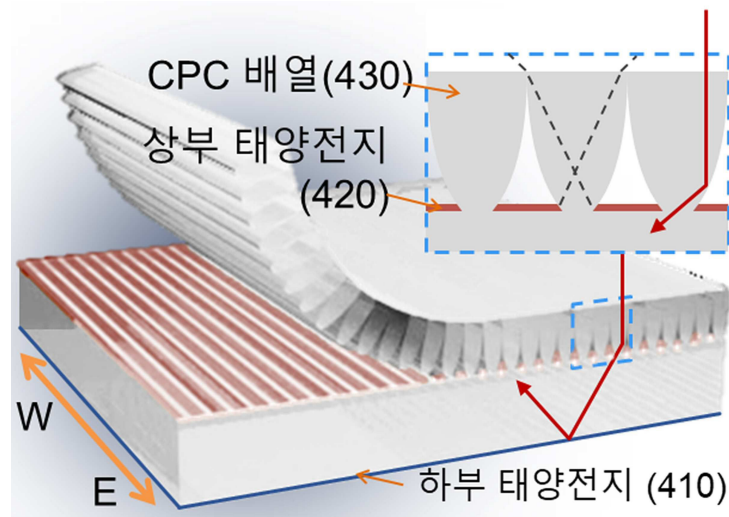
전체 청구항 수 : 총 14 항

(54) 발명의 명칭 마이크로 광학 구조를 이용한 4단자 다중 집합 태양전지

(57) 요약

마이크로 광학 구조를 이용한 4단자 다중 집합 태양전지 및 그 공정 방법이 제시된다. 본 발명에서 제안하는 마이크로 광학 구조를 이용한 4단자 다중 집합 태양전지의 공정 방법은 제1 밴드갭 및 제1 전압 특성을 나타내는 제1 물질을 포함하는 하부 태양전지를 기판의 하부에 위치시키는 단계, 상기 제1 밴드갭보다 낮은 제2 밴드갭 및 상기 제1 밴드갭보다 낮은 제2 전압 특성을 나타내고 흡광대역이 넓은 제2 물질을 포함하는 상부 태양전지를 기판의 상부에 위치시키는 단계 및 스펙트럼 분리 기술을 이용하여 상기 제1 물질을 통해 스펙트럼을 분리하는 단계를 포함하고, 상기 하부 태양전지 및 상기 상부 태양전지는 마이크로 구조 내부에서 복수의 형태로 배열된다.

대표도 - 도4



(52) CPC특허분류

H01L 31/02366 (2013.01)
H01L 31/035218 (2013.01)
H01L 31/036 (2013.01)
H01L 31/03923 (2013.01)
H01L 31/0445 (2015.01)
H01L 31/18 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 20163030013620

부처명 산업통상자원부

연구관리전문기관 한국산업기술평가관리원

연구사업명 산업기술혁신사업

연구과제명 (RCMS)유기태양전지 시장진입을 위한 사용 환경별 장기안전성(수명 5년이상 확보) 기술 개발(2017)

기 여 율 33/100

주관기관 한국과학기술연구원

연구기간 2017.01.01 ~ 2017.12.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2015057509

부처명 미래창조과학부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 거대과학연구개발사업

연구과제명 In-free, PEDOT-free 전극이 적용된 고안정성 플렉서블 소자개발

기 여 율 34/100

주관기관 한국과학기술원

연구기간 2015.10.19 ~ 2016.10.18

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 N0000895

부처명 산업통상자원부

연구관리전문기관 한국산업기술평가관리원

연구사업명 국제공동기술개발사업

연구과제명 양자구조체기반 고효율 초저가 태양전지 기술개발

기 여 율 33/100

주관기관 한국기계연구원

연구기간 2017.02.01 ~ 2018.01.31

명세서

청구범위

청구항 1

제1 밴드갭 및 제1 전압 특성을 나타내는 제1 물질을 포함하는 하부 태양전지를 기관의 하부에 위치시키는 단계;

상기 제1 밴드갭보다 낮은 제2 밴드갭 및 상기 제1 전압보다 낮은 제2 전압 특성을 나타내고 흡광대역이 넓은 제2 물질을 포함하는 상부 태양전지를 기관의 상부에 위치시키는 단계; 및

스펙트럼 분리 기술을 이용하여 상기 제1 물질을 통해 스펙트럼을 분리하는 단계

를 포함하고,

상기 하부 태양전지 및 상기 상부 태양전지는 마이크로 구조 내부에서 복수의 형태로 배열되는

다중 접합 태양전지의 공정 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 스펙트럼 분리 기술은 복합 포물형 집광기를 이용하는 스펙트럼 분리 기술을 포함하고, 복합 포물형 집광기를 이용하는 스펙트럼 분리 기술을 이용하여,

상기 제1 물질과 상기 제2 물질을 결합한 탠덤 태양전지는 빛이 1차적으로 제1 물질에 흡수되도록 복합 포물형 집광기로 빛을 가이드하는

다중 접합 태양전지의 공정 방법.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 제1 물질은 미리 정해진 길이 이상의 파장대역을 갖는 빛은 흡수하지 않아 스펙트럼을 분리하고, 흡수되지 않은 장파장 빛은 집광기의 입구 사이에 위치된 제2 물질에 흡수되는

다중 접합 태양전지의 공정 방법.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 스펙트럼 분리 기술은 표면 텍스처링 구조를 이용하는 스펙트럼 분리 기술을 포함하고, 표면 텍스처링 구조를 이용하는 스펙트럼 분리 기술을 이용하여,

표면 텍스처링 구조는 유리, PMMA, COC, PC, PDMS, 아크릴을 포함하는 투명 물질들을 깎아내거나 또는 깎아진 금형에 몰드를 떠 내는 방식으로 제작되고, 구조간의 접착을 위해 상기 투명물질의 굴절율과 미리 정해진 범위 내의 유사한 굴절율을 갖는 접착물질을 이용하는

다중 접합 태양전지의 공정 방법.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 제1 물질과 상기 제2 물질을 기관의 반대면에 위치하도록 결합함으로써 물리적으로도 분리되어 각각의 전력을 별도로 수확 가능한

다중 접합 태양전지의 공정 방법.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 제1 물질은 페로브스카이트 또는 유기물을 포함하는 고 밴드갭 및 고전압 특성을 나타내는 물질이고,

상기 제2 물질은 양자점 물질, 결정질 실리콘 또는 CIGS(Copper Indium Gallium Selenide)을 포함하는 저 밴드갭 및 저전압 특성을 나타내고 흡광대역이 넓은 물질인

다중 접합 태양전지의 공정 방법.

청구항 7

제1 밴드갭 및 제1 전압 특성을 나타내는 제1 물질을 포함하고, 기관의 하부에 위치하는 하부 태양전지; 및

상기 제1 밴드갭보다 낮은 제2 밴드갭 및 상기 제1 전압보다 낮은 제2 전압 특성을 나타내고 흡광대역이 넓은 제2 물질을 포함하고, 상기 기관의 상부에 위치하는 상부 태양전지

를 포함하고,

상기 하부 태양전지 및 상기 상부 태양전지를 마이크로 구조 내부에서 복수의 형태로 배열하고,

스펙트럼 분리 기술을 이용하여 상기 제1 물질을 통해 스펙트럼을 분리하는

다중 접합 태양전지.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 하부 태양전지는,

스펙트럼 분리 기술 중 복합 포물형 집광기를 이용하는 스펙트럼 분리 기술을 이용하여 상기 제1 물질을 통해 미리 정해진 길이 이상의 파장대역을 갖는 빛은 흡수하지 않아 스펙트럼을 분리하는

다중 접합 태양전지.

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 상부 태양전지는,

상기 하부 태양전지가 흡수되지 않은 장파장 빛을 흡수하는

다중 접합 태양전지.

청구항 10

제7항에 있어서,

상기 하부 태양전지는,

스펙트럼 분리 기술 중 표면 텍스처링 구조를 이용하는 스펙트럼 분리 기술을 이용하여, 유리, PMMA, COC, PC, PDMS, 아크릴을 포함하는 투명 물질들을 깎아내거나 또는 깎아진 금형에 몰드를 떠 내는 방식으로 표면 텍스처링 구조를 제작하고, 구조간의 접착을 위해 상기 투명물질의 굴절율과 미리 정해진 범위 내의 유사한 굴절율을 갖는 접착물질을 이용하는

다중 접합 태양전지.

청구항 11

제7항에 있어서,

상기 하부 태양전지 및 상기 상부 태양전지는 기관의 반대면에 위치하도록 결합됨으로써 물리적으로도 분리되어

각각의 전력을 별도로 수확 가능한

다중 접합 태양전지.

청구항 12

제7항에 있어서,

상기 제1 물질은 페로브스카이트 또는 유기물을 포함하는 고 밴드갭 및 고전압 특성을 나타내는 물질이고,

상기 제2 물질은 양자점 물질, 결정질 실리콘 또는 CIGS(Copper Indium Gallium Selenide)을 포함하는 저 밴드갭 및 저전압 특성을 나타내고 흡광대역이 넓은 물질인

다중 접합 태양전지.

청구항 13

제7항에 있어서,

미세조류 배양을 위한 광합성 시스템 상에 상기 다중 접합 태양전지를 적용하여, 가시광을 이용하여 광합성을 하고 적외선을 포함하는 나머지 빛을 이용하여 전기를 생산하는

다중 접합 태양전지.

청구항 14

제7항에 있어서,

기판의 상부 물질을 조명 소자로 대체 가능하며, 상기 조명 소자를 이용하여 외부의 채광이 가능함과 동시에 인공조명으로도 작동 가능한

다중 접합 태양전지.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 마이크로 광학 구조를 이용한 4단자 다중 접합 태양전지 및 그 공정 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 탄소 배출을 제한하는 파리기후변화협약이 발표되고 대한민국을 비롯한 세계 각국의 탈원전 흐름이 가속화되면서, 이를 대체할 친환경 태양광 에너지의 수요는 급격하게 증가하고 있다. 그러나 상용 실리콘 태양전지는 오랜 연구에도 불구하고 실험실 규모에서 27%, 시장에서는 20% 미만의 효율만을 나타내며 충분한 경제성을 확보하지 못하고 있다. 태양전지의 효율을 가장 크게 제한하는 요소는 단일 밴드갭 반도체의 내재적 에너지 손실이다.

[0003] 도 1은 종래기술에 따른 단일 밴드갭 태양전지 및 다중 밴드갭 태양전지의 효율 한계를 나타내는 그래프이다.

[0004] 도 1(a)와 같이, 밴드갭보다 작은 에너지를 갖는 광자는 태양전지에 흡수가 되지 않는 반면, 큰 에너지를 가진 광자는 밴드갭 이상의 잉여에너지를 열로 손실하는 것이다. 따라서 단일 밴드갭 반도체 태양전지의 효율은 33.7%를 넘지 못하며, 이를 SQ(Shockley-Queisser) 한계라 한다. SQ한계 극복을 위한 기술로, 도 1(b)와 같이 서로 다른 밴드갭을 가진 반도체들이 다른 파장대의 빛을 흡수하여 효율을 높이는 탠덤형 다중밴드갭 태양전지가 있다. 그러나 현재 탠덤형 태양전지는 많은 관심에도 불구하고, 값비싼 III-V족 무기화합물을 제외하면 유의미한 성과를 내지 못하고 있다. 이는 적층된 반도체의 상이한 격자구조 등 화학적 요소와, 반도체의 직렬 연결에 따른 전류 손실 및 파장 선택성 미비에 의한 광에너지 손실 등 물리적 요소들에 기인한다.

[0005] 종래 기술에 따른 다중접합 실리콘 및 박막형 태양전지를 아래에서 비교한다. 대부분의 다중접합 태양전지는 2단자 탠덤구조로 이뤄져 있다. 2단자 구조의 경우 각 단위소자의 광전류가 똑같도록 매칭을 해주어야 하며 공정상으로도 단위 셀 간의 간섭이 없어야 하는 많은 제약조건이 있다. 실제로 이와 같은 2단자 다중접합 태양전지의 효율은 현재 단일접합 태양전지들의 최고효율조차 거의 넘어서지 못하고 있다.

[0006] 4단자의 반투명태양전지의 경우, 반투명 고 밴드갭 태양전지를 일반 저 밴드갭 태양전지 위에 올려놓고 각각의

파워를 따로 뽑아내는 4단자 기술이 있으나, 반투명 태양전지는 양면에 투명전극을 쓰기 때문에 광학적으로도 광 경로 길이가 기존 소자의 절반에 불과하지만, 전기적으로도 투명전극의 낮은 전도도에 의한 에너지 손실이 존재한다.

- [0007] 4단자의 파장분리형 전지의 경우, 태양전지를 완전히 분리해놓고 파장 선택 층 등을 이용하여 빛을 나누어주는 기술이 발표된 바 있으나, 이와 같은 비평면형 구조는 공정이 복잡하며 가격이 비싸고, 빛의 입사각이 조금만 변해도 성능이 크게 달라지는 문제가 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0008] 본 발명이 이루고자 하는 기술적 과제는 종래의 탠덤소자의 적층형 패러다임을 벗어나서 스펙트럼 분리 기술을 도입하여 그 한계를 극복하고, 다중접합을 활용하여 30-50% 이상의 초고효율 소자를 달성하며, 실리콘이나 박막형 태양전지의 가격경쟁력을 유지하면서도 기존 기술을 뛰어넘는 고효율 시스템을 달성하는데 있다.

과제의 해결 수단

- [0009] 일 측면에 있어서, 본 발명에서 제안하는 마이크로 광학 구조를 이용한 4단자 다중 접합 태양전지의 공정 방법은 제1 밴드갭 및 제1 전압 특성을 나타내는 제1 물질을 포함하는 하부 태양전지를 기판의 하부에 위치시키는 단계, 상기 제1 밴드갭보다 낮은 제2 밴드갭 및 상기 제1 밴드갭보다 낮은 제2 전압 특성을 나타내고 흡광대역이 넓은 제2 물질을 포함하는 상부 태양전지를 기판의 상부에 위치시키는 단계 및 스펙트럼 분리 기술을 이용하여 상기 제1 밴드갭 및 제1 전압 특성을 나타내는 제1 물질을 통해 스펙트럼을 분리하는 단계를 포함하고, 상기 하부 태양전지 및 상기 상부 태양전지는 마이크로 구조 내부에서 복수의 형태로 배열된다.
- [0010] 상기 스펙트럼 분리 기술은 복합 포물형 집광기를 이용하는 스펙트럼 분리 기술을 포함하고, 복합 포물형 집광기를 이용하는 스펙트럼 분리 기술을 이용하여, 상기 제1 물질과 상기 제2 물질을 결합한 탠덤 태양전지는 빛이 1차적으로 제1 물질에 흡수되도록 복합 포물형 집광기로 빛을 가이드한다.
- [0011] 상기 제1 물질은 800 nm 이상의 파장대역을 갖는 빛은 흡수하지 않아 스펙트럼을 분리하고, 흡수되지 않은 장파장 빛은 집광기의 입구 사이에 위치한 제2 물질에 흡수된다.
- [0012] 상기 스펙트럼 분리 기술은 표면 텍스처링 구조를 이용하는 스펙트럼 분리 기술을 포함하고, 표면 텍스처링 구조를 이용하는 스펙트럼 분리 기술을 이용하여, 표면 텍스처링 구조는 유리, PMMA, COC, PC, PDMS, 아크릴을 포함하는 투명 물질들을 깎아내거나 또는 깎아진 금형에 몰드를 떠 내는 방식으로 제작되고, 구조간의 접착을 위해 상기 투명물질과 유사한 굴절율을 가진 접착물질을 이용할 수 있다.
- [0013] 상기 제1 물질과 상기 제2 물질을 기판의 반대면에 위치하도록 결합함으로써 물리적으로도 분리되어 각각의 전력을 별도로 수확 가능하다.
- [0014] 상기 제1 물질은 페로브스카이트 또는 유기물을 포함하는 고 밴드갭 및 고전압 특성을 나타내는 물질이고, 상기 제2 물질은 양자점 물질, 결정질 실리콘 또는 CIGS(Copper Indium Gallium Selenide)을 포함하는 저 밴드갭 및 저전압 특성을 나타내고 흡광대역이 넓은 물질이다.
- [0015] 또 다른 일 측면에 있어서, 본 발명에서 제안하는 마이크로 광학 구조를 이용한 4단자 다중 접합 태양전지는 제1 밴드갭 및 제1 전압 특성을 나타내는 제1 물질을 포함하고, 기판의 하부에 위치하는 하부 태양전지 및 상기 제1 밴드갭보다 낮은 제2 밴드갭 및 상기 제1 밴드갭보다 낮은 제2 전압 특성을 나타내고 흡광대역이 넓은 제2 물질을 포함하고, 상기 기판의 상부에 위치하는 상부 태양전지를 포함하고, 상기 하부 태양전지 및 상기 상부 태양전지를 마이크로 구조 내부에서 복수의 형태로 배열하고, 스펙트럼 분리 기술을 이용하여 상기 제1 물질을 통해 스펙트럼을 분리한다.
- [0016] 상기 하부 태양전지는 스펙트럼 분리 기술 중 복합 포물형 집광기를 이용하는 스펙트럼 분리 기술을 이용하여 상기 제1 물질을 통해 800 nm 이상의 파장대역을 갖는 빛은 흡수하지 않아 스펙트럼을 분리한다.
- [0017] 상기 상부 태양전지는 상기 하부 태양전지가 흡수되지 않은 장파장 빛을 흡수한다.
- [0018] 상기 하부 태양전지는 스펙트럼 분리 기술 중 표면 텍스처링 구조를 이용하는 스펙트럼 분리 기술을 이용하여, 유리, PMMA, COC, PC, PDMS, 아크릴을 포함하는 투명 물질들을 깎아내거나 또는 깎아진 금형에 몰드를 떠 내는

방식으로 표면 텍스처링 구조를 제작하고, 접착물질의 굴절율을 이용하여 구조간의 접착이 이루어지도록 한다.

[0019] 상기 하부 태양전지 및 상기 상부 태양전지는 기관의 반대면에 위치하도록 결합됨으로써 물리적으로도 분리되어 각각의 전력을 별도로 수확 가능하다.

[0020] 상기 제1 물질은 페로브스카이트 또는 유기물을 포함하는 고 밴드갭 및 고전압 특성을 나타내는 물질이고, 상기 제2 물질은 양자점 물질, 결정질 실리콘 또는 CIGS(Copper Indium Gallium Selenide)을 포함하는 저 밴드갭 및 저전압 특성을 나타내고 흡광대역이 넓은 물질이다.

[0021] 미세조류 배양을 위한 광합성 시스템 상에 상기 다중 접합 태양전지를 적용하여, 하부 태양전지를 광합성 배양기로 대체하고, 가시광을 이용하여 광합성을 하고 적외선을 포함하는 나머지 빛을 이용하여 전기를 생산한다.

[0022] 기관의 상부에 위치한 상기 물질을 조명 소자로 대체 가능하며, 상기 조명 소자를 이용하여 외부의 채광이 가능함과 동시에 인공조명으로도 작동 가능하다.

발명의 효과

[0023] 본 발명의 실시예들에 따르면 스펙트럼 분리 기술을 도입하여 종래의 탠덤소자의 적층형 구조의 한계를 극복하고, 3중, 4중, 5중 이상의 다중접합을 활용하여 40~50% 이상의 초고효율 소자를 달성하며, 실리콘이나 박막형 태양전지의 가격경쟁력을 유지하면서도 기존 기술을 뛰어넘는 고효율 시스템을 달성할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0024] 도 1은 종래기술에 따른 단일 밴드갭 태양전지 및 다중 밴드갭 태양전지의 효율 한계를 나타내는 그래프이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 마이크로 광학 구조를 이용한 4단자 다중 접합 태양전지의 공정 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 외부양자효율 시뮬레이션 결과이다.

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 마이크로 광학 구조를 이용한 4단자 다중 접합 태양전지의 구조를 나타내는 도면이다.

도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 표면 텍스처링 구조를 나타내는 도면이다.

도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 마이크로 광학 구조를 이용한 4단자 다중 접합 태양전지의 응용 예시를 나타내는 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0025] 이하, 본 발명의 실시 예를 첨부된 도면을 참조하여 상세하게 설명한다.

[0027] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 마이크로 광학 구조를 이용한 4단자 다중 접합 태양전지의 공정 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.

[0028] 제안하는 마이크로 광학 구조를 이용한 4단자 다중 접합 태양전지의 공정 방법은 제1 밴드갭 및 제1 전압 특성을 나타내는 제1 물질, 예를 들어 페로브스카이트 물질을 포함하는 하부 태양전지를 기관의 하부에 위치시키는 단계(210), 상기 제1 밴드갭보다 낮은 제2 밴드갭 및 상기 제1 밴드갭보다 낮은 제2 전압 특성을 나타내고 흡광대역이 넓은 제2 물질, 예를 들어 양자점 물질을 포함하는 상부 태양전지를 기관의 상부에 위치시키는 단계(220) 및 스펙트럼 분리 기술을 이용하여 상기 제1 물질을 통해 스펙트럼을 분리하는 단계(230)를 포함한다. 상기 제1 물질은 페로브스카이트 또는 유기물을 포함하는 고 밴드갭 및 고전압 특성을 나타내는 물질일 수 있고, 상기 제2 물질은 양자점 물질, 결정질 실리콘 또는 CIGS(Copper Indium Gallium Selenide)을 포함하는 저 밴드갭 및 저전압 특성을 나타내고 흡광대역이 넓은 물질일 수 있다.

[0029] 본 발명의 일 실시예에 따르면 단계(210)에서, 고 밴드갭 및 고전압 특성을 나타내는 페로브스카이트 물질을 포함하는 하부 태양전지를 기관의 하부에 위치시킨다.

[0030] 단계(220)에서, 저 밴드갭 및 저전압 특성을 나타내고 흡광대역이 넓은 양자점 물질을 포함하는 상부 태양전지를 기관의 상부에 위치시킨다.

- [0031] 상기 하부 태양전지의 페로브스카이트 물질과 상기 상부 태양전지의 양자점 물질을 기관의 반대면에 위치하도록 결합함으로써 물리적으로도 분리되어 각각의 전력을 별도로 수확 가능하다.
- [0032] 이러한 양자점 물질의 다중 엑시톤 생성(multiple exciton generation) 효과 및 상이한 밴드갭을 갖는 상기 페로브스카이트 물질을 결합하여 다중 밴드갭을 형성할 수 있다.
- [0033] 단계(230)에서, 스펙트럼 분리 기술을 이용하여 상기 고 밴드갭 및 고전압 특성을 나타내는 페로브스카이트 물질을 통해 스펙트럼을 분리한다.
- [0034] 본 발명의 실시예에 따른 스펙트럼 분리 기술은 복합 포물형 집광기를 이용하는 스펙트럼 분리 기술 및 표면 텍스처링 구조를 이용하는 스펙트럼 분리 기술을 포함한다.
- [0035] 본 발명의 실시예에 따른 복합 포물형 집광기를 이용하는 스펙트럼 분리 기술을 이용하여, 상기 페로브스카이트 물질과 상기 양자점 물질을 결합한 탠덤 태양전지는 빛이 1차적으로 고 밴드갭 및 고전압 특성을 나타내는 페로브스카이트 물질에 흡수되도록 복합 포물형 집광기로 빛을 가이드할 수 있다. 상기 고 밴드갭 및 고전압 특성을 나타내는 페로브스카이트 물질은 800 nm 이상의 파장대역을 갖는 빛은 흡수하지 않아 스펙트럼을 분리하고, 흡수되지 않은 장파장 빛은 집광기의 입구 사이에 위치한 양자점 물질에 흡수된다.
- [0036] 본 발명의 실시예에 따른 표면 텍스처링 구조를 이용하는 스펙트럼 분리 기술을 이용하여, 표면 텍스처링 구조는 유리, PMMA, COC, PC, PDMS, 아크릴을 포함하는 투명 물질들을 깎아내거나 또는 깎아진 금형에 몰드를 떠 내는 방식으로 제작되고, 접착물질의 굴절율을 이용하여 구조간의 접착이 이루어지도록 할 수 있다.
- [0038] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 외부양자효율 시뮬레이션 결과이다.
- [0039] 본 발명은 기존 탠덤소자의 적층형 패러다임을 벗어나 스펙트럼 분리 기술을 도입하여 그 한계를 극복하는 것을 목표로 한다. 도 3은 밴드갭이 크고 고전압 특성을 나타내는 페로브스카이트 물질과 밴드갭과 전압이 낮은 대신 흡광대역이 넓은 PbS 양자점 물질을 결합한 탠덤 태양전지의 양자효율 특성을 시뮬레이션한 결과를 나타낸다.
- [0040] 페로브스카이트와 양자점 태양전지는 나노박막으로 구성되어 가격이 저렴하며, 10% 미만인 효율이 최근 수 년 사이에 각각 22%와 13%를 돌파하는 등 관심이 급증하고 있다. 두 물질은 밴드갭의 차이가 크기 때문에 경제성 있는 다중 밴드갭 태양전지의 구현에 있어 최적의 조합으로 간주할 수 있다. 많은 장점과 상보적 흡광대역에도 불구하고 지금까지 페로브스카이트와 양자점을 이용한 탠덤형 태양전지는 유의미한 결과를 보고하지 못하고 있는데, 그 이유는 도 3(a)를 통해 알 수 있다. 도 3(a)는 단위 효율이 각각 20.4% 및 11.3%인 페로브스카이트(Perov.) 및 양자점(QD) 태양전지를 유리 기관에 적층하고, 각각의 두께를 최적화 했을 때 얻을 수 있는 외부양자효율 특성을 나타낸다. 적층형 구조의 경우 스펙트럼 분리가 완전하지 않고 직렬 전류를 맞추어주어야 하기 때문에 높은 에너지의 단파장 빛이 필연적으로 저밴드갭 반도체(다시 말해, 양자점(QD) 태양전지)에 일부 흡수가 되며, 그만큼 큰 에너지 손실을 수반한다. 이와 같은 적층형 태양전지의 효율은 최적화된 구조에서조차 16% 안팎으로 나타나며, 이는 페로브스카이트 단일 소자에도 미치지 못하는 값이다.
- [0041] 반면에 도 3(b)와 같이 두 반도체층을 기관의 반대면에 구현하고 포물형 집광기로 빛을 가이드하면, 모든 빛이 1차로 고 밴드갭 페로브스카이트 층에 흡수된다. 페로브스카이트는 800 nm 이상의 파장대역은 흡수하지 못하므로 그 자체로 스펙트럼을 분리하는 역할을 하며, 흡수되지 않은 장파장 빛은 집광기의 입구 사이에 구현된 양자점층에 흡수된다.
- [0042] 따라서 단파장 및 장파장 빛이 확실하게 분리되어 흡수되며, 이 때 페로브스카이트와 양자점 태양전지 각각의 부분 효율은 21.1% 및 2.4%로 계산된다. 본 발명의 실시예에 따른 구조는 적층형과 달리 두 태양전지가 물리적으로도 분리되어있으므로 각각의 전력을 별도로 수확할 수 있으며, 전체 효율은 각 단위소자를 크게 상회하는 23.5%가 된다.
- [0043] 이와 같이 제안하는 방법은 기존의 방식으로 성공하지 못했던 다양한 조합의 다중 밴드갭 태양전지를 효과적으로 구현할 수 있을 뿐만 아니라, 개별 단위 소자의 성능 개선과 더불어 SQ한계를 넘는 초고효율 시스템으로의 방향성을 제시한다. 이는 수십년간 해결되지 않은 태양전지 효율의 한계를 극복하는 학문적 성과는 물론, 경제성이 뛰어난 박막형 태양전지를 활용함으로써 실용성까지 확보할 수 있다.
- [0045] 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 마이크로 광학 구조를 이용한 4단자 다중 집합 태양전지의 구조를 나타내는

도면이다.

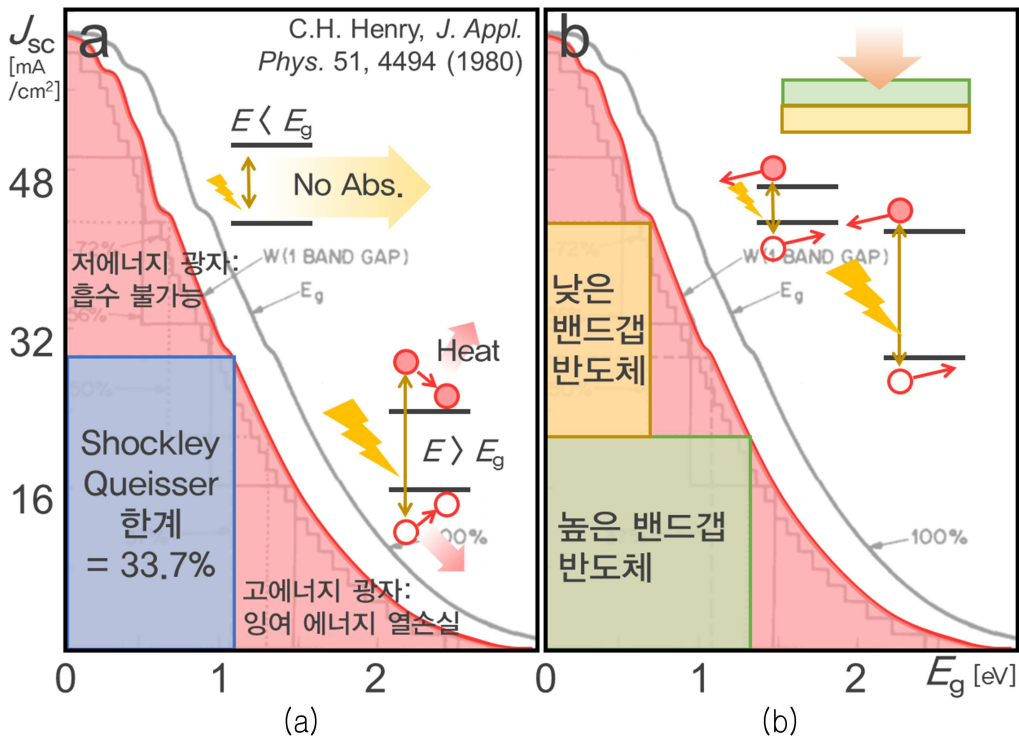
- [0046] 제안하는 마이크로 광학 구조를 이용한 4단자 다중 접합 태양전지는 하부 태양전지(410) 상부 태양전지(420)를 포함한다. 본 발명의 실시예에 따른 마이크로 광학 구조를 같은 종류의 양자점 태양전지 위에 올렸을 때 하부 태양전지(410)의 성능이 레퍼런스 대비 최고 95%까지 나타난다. 다시 말해, 본 CPC 배열(430)의 광학효율이 95% 정도라고 할 수 있으며, 상부 태양전지(420)에서 추가효율을 달성한다면 전체 시스템 효율은 단일 태양전지에 비해 훨씬 높아질 것이다.
- [0047] 하부 태양전지(410)는 고 밴드갭 및 고전압 특성을 나타내는 페로브스카이트 물질 또는 유기물을 포함하고, 기관의 하부에 위치하고, 상부 태양전지(420)는 저 밴드갭 및 저전압 특성을 나타내고 흡광대역이 넓은 양자점 물질, 결정질 실리콘 또는 CIGS(Copper Indium Gallium Selenide)을 포함하고, 상기 기관의 상부에 위치한다.
- [0048] 하부 태양전지(410)의 페로브스카이트 물질과 상부 태양전지(420)의 양자점 물질을 기관의 반대면에 위치하도록 결합함으로써 물리적으로도 분리되어 각각의 전력을 별도로 수확 가능하다.
- [0049] 이러한 양자점 물질의 다중 엑시톤 생성(multiple exciton generation) 효과 및 상이한 밴드갭을 갖는 상기 페로브스카이트 물질을 결합하여 다중 밴드갭을 형성할 수 있다.
- [0050] 상부 태양전지(420) 및 하부 태양전지(410)를 마이크로 구조 내부에서 복수의 형태로 배열하고, 스펙트럼 분리 기술을 이용하여 상기 고 밴드갭 및 고전압 특성을 나타내는 페로브스카이트 물질을 통해 스펙트럼을 분리한다.
- [0051] 하부 태양전지(410)는 스펙트럼 분리 기술 중 복합 포물형 집광기를 이용하는 스펙트럼 분리 기술을 이용하여 상기 고 밴드갭 및 고전압 특성을 나타내는 페로브스카이트 물질을 통해 800 nm 이상의 파장대역을 갖는 빛은 흡수하지 않아 스펙트럼을 분리할 수 있고, 상부 태양전지(420)는 하부 태양전지(410)가 흡수되지 않은 장파장 빛을 흡수할 수 있다.
- [0052] 하부 태양전지(410)는 표면 텍스처링 구조를 이용하는 스펙트럼 분리 기술을 이용하여, 표면 텍스처링 구조는 유리, PMMA, COC, PC, PDMS, 아크릴을 포함하는 투명 물질들을 깎아내거나 또는 깎아진 금형에 몰드를 떠 내는 방식으로 제작되고, 접착물질의 굴절율을 이용하여 구조간의 접착이 이루어지도록 할 수 있다.
- [0053] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 미세조류 배양을 위한 광합성 시스템 상에 상기 다중 접합 태양전지를 적용하여, 가시광을 이용하여 광합성을 하고 적외선을 포함하는 나머지 빛을 이용하여 전기를 생산할 수 있는 광합성+태양전지를 제안할 수 있다.
- [0054] 본 발명의 또 다른 일 실시예에 따르면, 기관의 상부 물질을 조명 소자로 대체 가능하며, 상기 조명 소자를 이용하여 외부의 채광이 가능함과 동시에 인공조명으로도 작동 가능하다.
- [0056] 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 표면 텍스처링 구조를 나타내는 도면이다.
- [0057] 광학구조 도입을 통한 스펙트럼 분리는 III-V족 태양전지 분야에서 여러 아이디어들이 제안된 바 있다. 그러나 III-V족과 일반 태양전지는 그 목적부터 상이하다. III-V족의 경우 가격이 비싸 이미 상용화는 불가능하며, 다중접합을 활용하여 30-50% 이상의 초고효율 소자를 달성하는 것을 목표로 하고 있다. 다시 말해, 공정상의 복잡도나 허용입사각 범위 등 실질적인 요인들은 고려대상에 거의 포함되지 않다. 반면 일반 태양전지의 경우 2중접합조차도 유의미한 효율 증가를 얻은 사례가 많지 않다. 본 구조는 III-V족 기술들에 비해 훨씬 간단하고 실용성이 뛰어나므로, 실리콘이나 박막형 태양전지의 가격경쟁력을 유지하면서도 기존 기술을 뛰어넘는 고효율 시스템을 달성할 것으로 기대된다.
- [0058] 도 5(a), (b), (c) 각각은, 본 발명의 실시예에 따른 고 밴드갭(High E_g) 및 고전압 특성을 나타내는 페로브스카이트 물질을 포함하는 하부 태양전지 및 저 밴드갭(Low E_g) 및 저전압 특성을 나타내고 흡광대역이 넓은 양자점 물질을 포함하는 상부 태양전지의 표면 텍스처링 구조를 나타내는 실시예이다.
- [0059] 표면 텍스처링 구조를 이용하는 스펙트럼 분리 기술을 이용하여, 유리, PMMA, COC, PC, PDMS, 아크릴을 포함하는 투명 물질들을 깎아내거나 또는 깎아진 금형에 몰드를 떠 내는 방식으로 제작되고, 접착물질의 굴절율을 이용하여 구조간의 접착이 이루어지도록 할 수 있다.
- [0061] 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 마이크로 광학 구조를 이용한 4단자 다중 접합 태양전지의 응용 예시를 나

타내는 도면이다.

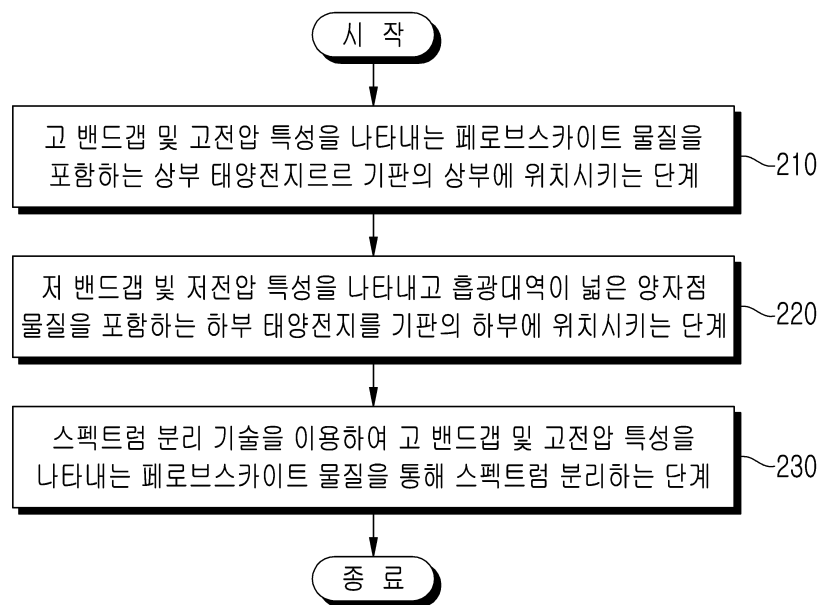
- [0062] 도 6(a)는 페로브스카이트 물질과 양자점 물질로 구성된 태양전지의 예시(Perov + QD), 도 6(b)는 양자점 물질과 양자점 물질로 구성된 태양전지의 예시(QD + QD), 도 6(c)는 미세조류 배양을 위한 광합성 시스템 상에 제한하는 다중 접합 태양전지를 적용한 예시(Hybrid: Algae + QD), 도 6(d)는 창문과 OLED의 결합으로 구성된 태양전지의 예시(Window + OLED)를 나타내는 도면이다.
- [0063] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 미세조류 배양을 위한 광합성 시스템 상에 상기 다중 접합 태양전지를 적용하여, 가시광을 이용하여 광합성을 하고 적외선을 포함하는 나머지 빛을 이용하여 전기를 생산할 수 있다.
- [0064] 본 발명의 또 다른 일 실시예에 따르면, 기관의 상부 물질을 조명 소자로 대체 가능하며, 상기 조명 소자를 이용하여 외부의 채광이 가능함과 동시에 인공조명으로도 작동 가능하다.
- [0065] 본 발명은 제안하는 구조의 스펙트럼 분리형 다중 밴드갭 태양광 변환 시스템을 실제로 구현하고 기존의 박막형 태양전지 기술 대비 최고 수준의 고효율을 달성하는 것을 목표로 한다. 시스템 구현에 있어서는 나노 박막 내부의 파동광학과 마이크로 구조에서의 기하광학을 동시에 다루는 광학 설계를 비롯하여, 고효율 태양전지 반도체와 마이크로 패턴 구조를 실현할 수 있는 화학 및 재료 공학 기술이 함께 수반되어야 한다.
- [0066] 이러한 목표를 확장하고, 심도 있는 광학 설계를 통해 SQ한계(33.7%)의 극복 가능성을 실제적으로 확인하고자 한다. 양자점 태양전지의 경우 나노 입자에서의 에너지 준위 양자화 현상에 기반한 다중 여기자 생성(multiple exciton generation, MEG) 현상을 유도하여, 단일 반도체에서 낮은 밴드갭과 높은 밴드갭을 동시에 활용할 수 있다. 다만 MEG는 두 밴드갭의 차이가 최소 2배 이상인 제약이 있는데, 차이가 큰 두 밴드갭 사이에 스펙트럼 분리기술을 통해 중간밴드갭을 도입함으로써 3중 또는 그 이상의 밴드갭을 활용할 수 있는 장점이 있다.
- [0067] 최근 십여 년 간 국내외에서 이뤄진 태양전지 반도체 재료 분야의 급속한 발전에도 불구하고, 적층형 탠덤 태양전지의 성능은 각 단위 태양전지의 수준을 넘어서지 못하는 등 실용성을 확보하지 못하고 있다. 본 발명은 기존의 화학 공학 연구에 광학이라는 새로운 해법을 융합하여 주어진 문제를 해결하고 SQ 한계 극복을 위한 방향성을 제시한다.
- [0068] 또한 가격이 저렴한 대신 단일 소재 성능이 실리콘 태양전지에 미치지 못하는 페로브스카이트 및 양자점 등 신 물질들의 잠재력을 끌어내고 그 활용도를 증진시킨다. 이는 MEG 및 플라스몬 공명에 대한 심층 연구와 더불어 장차 광학은 물론 반도체 및 재료공학 등 다양한 분야에 폭넓은 파급력을 미칠 것으로 기대된다.
- [0069] 이상과 같이 실시예들이 비록 한정된 실시예와 도면에 의해 설명되었으나, 해당 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 상기의 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다. 예를 들어, 설명된 기술들이 설명된 방법과 다른 순서로 수행되거나, 및/또는 설명된 시스템, 구조, 장치, 회로 등의 구성요소들이 설명된 방법과 다른 형태로 결합 또는 조합되거나, 다른 구성요소 또는 균등물에 의하여 대치되거나 치환되더라도 적절한 결과가 달성될 수 있다.
- [0070] 그러므로, 다른 구현들, 다른 실시예들 및 특허청구범위와 균등한 것들도 후술하는 특허청구범위의 범위에 속한다.

도면

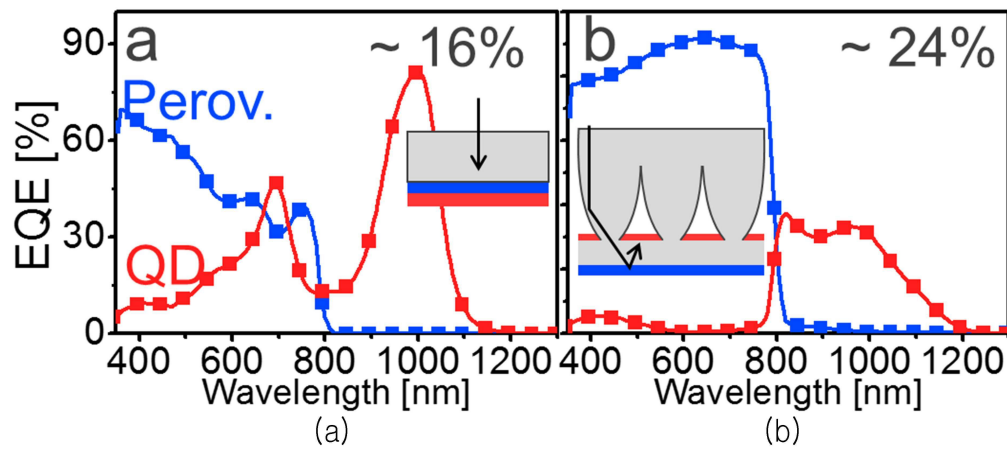
도면1



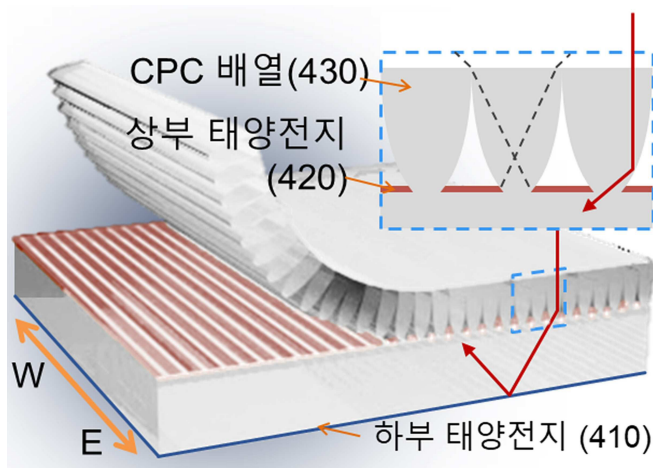
도면2



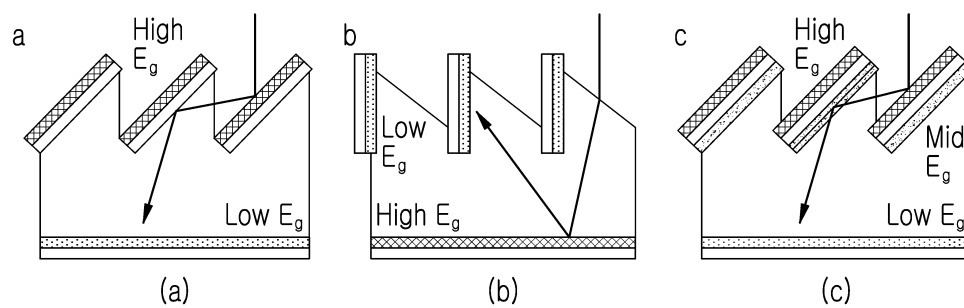
도면3



도면4



도면5



도면6

