



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2025년05월20일

(11) 등록번호 10-2810865

(24) 등록일자 2025년05월16일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

H10F 10/16 (2025.01) H10F 71/00 (2025.01)

H10F 77/20 (2025.01) H10F 77/40 (2025.01)

(52) CPC특허분류

H10F 10/16 (2025.01)

H10F 71/00 (2025.01)

(21) 출원번호 10-2024-0154803

(22) 출원일자 2024년11월05일

심사청구일자 2024년11월05일

(56) 선행기술조사문헌

KR101264368 B1*

(뒷면에 계속)

(73) 특허권자

인천대학교 산학협력단

인천광역시 연수구 갯벌로 27, 인천대학교 이노베이션센터(송도동)

(72) 발명자

김준동

서울특별시 송파구 올림픽로 99, 149동 2203호

말케시쿠마 파텔

인천광역시 연수구 송도국제대로 261, 202동 502호

(74) 대리인

강정빈, 심찬

전체 청구항 수 : 총 18 항

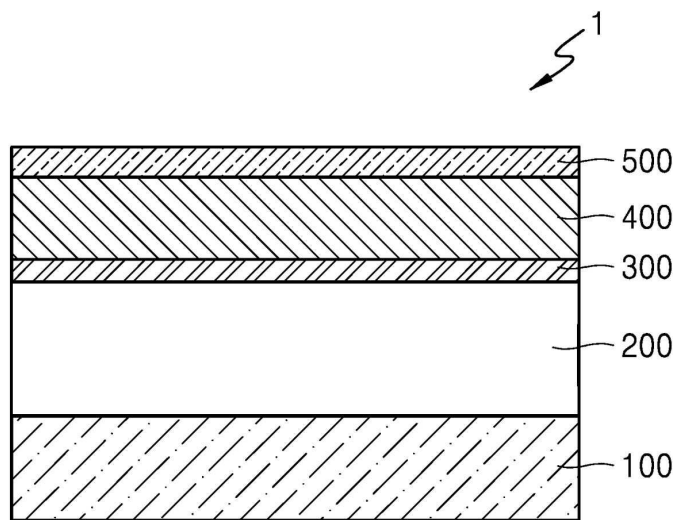
심사관 : 전병식

(54) 발명의 명칭 산화물 반도체 투명태양전지, 이의 제조방법, 및 산화물 반도체 투명태양전지를 이용한 수중태양광 시스템

(57) 요약

본 발명은 산화물 반도체 투명태양전지, 이의 제조방법, 및 산화물 반도체 투명태양전지를 이용한 수중태양광 시스템으로서, 더욱 상세하게는 더욱 상세하게는 상기 투명태양전지는 산화물 반도체, 특히 $\text{Cu}_2\text{O}/\text{Ga}_2\text{O}_3$ 이중접합을 포함하고, Cu_2O 를 광흡수층으로 사용하는 투명태양광모듈을 형성할 수 있고, 상기 투명태양광모듈은 수중환경에서 수중태양광발전이 가능하고, 수중태양광발전 시 상기 투명태양광모듈의 상층에 배치된 물을 집광렌즈로 사용함으로써 전력변환효율을 향상시킬 수 있는, 산화물 반도체 투명태양전지, 이의 제조방법, 및 산화물 반도체 투명태양전지를 이용한 수중태양광 시스템에 관한 것이다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

H10F 77/211 (2025.01)

H10F 77/40 (2025.01)

(56) 선행기술조사문헌

KR1020240079476 A*

KR101027377 B1

KR101529232 B1

KR101741334 B1

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2710004971

과제번호 00348832

부처명 과학기술정보통신부

과제관리(전문)기관명 한국연구재단

연구사업명 중견연구

연구과제명 금속-산화물 초월성 반도체 특성 기반의 도심형 투명 에너지 변환 시스템 및 인터페

이스 개발

과제수행기관명 인천대학교 산학협력단

연구기간 2024.05.01 ~ 2029.04.30

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2710003362

과제번호 00283263

부처명 과학기술정보통신부

과제관리(전문)기관명 한국연구재단

연구사업명 해외우수과학자유치사업

연구과제명 태양광 기반 투명 이동형 에너지 소자 및 바이오닉스 고도화 기술

과제수행기관명 인천대학교 산학협력단

연구기간 2023.11.01 ~ 2025.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

p/n 이종접합을 포함하는 산화물반도체로 형성된, 수중에서 동작할 수 있는 투명태양광모듈로서,
 전도성 물질을 포함하는 유리기관층;
 상기 유리기관층 위에 배치되는 p타입산화물층;
 상기 p타입산화물층 위에 배치되는 n타입산화물층; 및
 상기 n타입산화물층 위에 배치되는 상부전극층;을 포함하고,
 상기 투명태양광모듈은 투과도가 20% 이상이고, 대기 중에서 동작하여 광에너지를 전기에너지로 변환할 수 있고,
 상기 p타입산화물층 및 상기 n타입산화물층 중 1 이상을 각각 복수 개 포함하고, 상기 n타입산화물층을 복수 개 포함하는 경우에, 상기 n타입산화물층 복수 개 중 어느 하나를 제외한 나머지의 n타입산화물층은 와이드밴드갭층의 역할을 수행하고, 상기 와이드밴드갭층은 상기 n타입산화물층 복수 개 중 어느 하나의 하측에 배치되고,
 상기 투명태양광모듈이 수중에서 동작하는 경우에, 상기 투명태양광모듈의 상측면 및 상기 투명태양광모듈의 상측에 인접하게 배치된 물 사이의 계면에서 전기이중층(Electric double layer)이 형성되고,
 상기 투명태양광모듈에 빛이 조사되는 경우에, 상기 전기이중층이 상기 빛에 의한 전기장의 생성 및 상기 투명태양광모듈에서 발생한 광전하의 이동을 촉진시키는 역할을 수행함으로써 상기 투명태양광모듈은 공기와 접촉되는 환경보다 수중환경에서 전력변환효율(Power conversion efficiency, PCE)이 더 높은, 투명태양광모듈.

청구항 2

p/n 이종접합을 포함하는 산화물반도체로 형성된, 수중에서 동작할 수 있는 투명태양광모듈로서,
 전도성 물질을 포함하는 유리기관층;
 상기 유리기관층 위에 배치되는 n타입산화물층;
 상기 n타입산화물층 위에 배치되는 p타입산화물층; 및
 상기 p타입산화물층 위에 배치되는 상부전극층;을 포함하고,
 상기 투명태양광모듈은 투과도가 20% 이상이고, 대기 중에서 동작하여 광에너지를 전기에너지로 변환할 수 있고,
 상기 p타입산화물층 및 상기 n타입산화물층 중 1 이상을 각각 복수 개 포함하고, 상기 n타입산화물층을 복수 개 포함하는 경우에, 상기 n타입산화물층 복수 개 중 어느 하나를 제외한 나머지의 n타입산화물층은 와이드밴드갭층의 역할을 수행하고, 상기 와이드밴드갭층은 상기 n타입산화물층 복수 개 중 어느 하나의 하측에 배치되고,
 상기 투명태양광모듈이 수중에서 동작하는 경우에, 상기 투명태양광모듈의 상측면 및 상기 투명태양광모듈의 상측에 인접하게 배치된 물 사이의 계면에서 전기이중층(Electric double layer)이 형성되고,
 상기 투명태양광모듈에 빛이 조사되는 경우에, 상기 전기이중층이 상기 빛에 의한 전기장의 생성 및 상기 투명태양광모듈에서 발생한 광전하의 이동을 촉진시키는 역할을 수행함으로써 상기 투명태양광모듈은 공기와 접촉되는 환경보다 수중환경에서 전력변환효율(Power conversion efficiency, PCE)이 더 높은, 투명태양광모듈.

청구항 3

청구항 1에 있어서,

상기 투명태양광모듈은,

상기 p타입산화물층은 NiO, CuO, Cu₂O, 내지 Co₃O₄ 중 1 이상을 포함하고,

상기 n타입산화물층은 Ga₂O₃, ZnO, In₂O₃, SnO₂, 내지 BiVO₄ 중 1 이상을 포함하는, 투명태양광모듈.

청구항 4

삭제

청구항 5

Cu₂O/Ga₂O₃ 이종접합을 포함하고 수중에서 동작할 수 있는 투명태양광모듈로서,

전도성 물질을 포함하는 유리기관층;

상기 유리기관층 위에 배치되고, Cu₂O를 포함하는 p타입산화물층;

상기 p타입산화물층 위에 배치되고, Ga₂O₃를 포함하는 와이드밴드갭층;

상기 와이드밴드갭층 위에 배치되는 n타입산화물층; 및

상기 n타입산화물층 위에 배치되는 상부전극층;을 포함하고,

상기 투명태양광모듈은 수중에서 동작하여 광에너지를 전기에너지로 변환할 수 있고,

상기 p타입산화물층 및 상기 n타입산화물층 중 1 이상을 각각 복수 개 포함하고, 상기 n타입산화물층을 복수 개 포함하는 경우에, 상기 n타입산화물층 복수 개 중 어느 하나를 제외한 나머지의 n타입산화물층은 와이드밴드갭층의 역할을 수행하고, 상기 와이드밴드갭층은 상기 n타입산화물층 복수 개 중 어느 하나의 하층에 배치되고,

상기 투명태양광모듈이 수중에서 동작하는 경우에, 상기 투명태양광모듈의 상측면 및 상기 투명태양광모듈의 상측에 인접하게 배치된 물 사이의 계면에서 전기이중층(Electric double layer)이 형성되고,

상기 투명태양광모듈에 빛이 조사되는 경우에, 상기 전기이중층이 상기 빛에 의한 전기장의 생성 및 상기 투명태양광모듈에서 발생한 광전하의 이동을 촉진시키는 역할을 수행함으로써 상기 투명태양광모듈은 공기와 접촉되는 환경보다 수중환경에서 전력변환효율(Power conversion efficiency, PCE)이 더 높은, 투명태양광모듈

청구항 6

청구항 5에 있어서,

상기 투명태양광모듈은,

상기 p타입산화물층 및 와이드밴드갭층에 의하여 Cu₂O/Ga₂O₃ 이종접합 구조가 형성되는, 투명태양광모듈

청구항 7

삭제

청구항 8

청구항 1에 있어서,

상기 투명태양광모듈은 수중에서 동작할 때, 물의 굴절률에 의하여 빛의 직진성이 개선됨으로써 필팩터(Fill Factor, FF)가 10% 이상인, 투명태양광모듈.

청구항 9

청구항 1에 있어서,

상기 투명태양광모듈은 수중에서 동작할 때 전력변환효율(Power conversion efficiency, PCE)이 1% 이상인, 투명태양광모듈.

청구항 10

청구항 5에 있어서,

상기 n타입산화물층 및 상부전극층은 각각이 1 내지 1000nm의 두께를 가지고, 단층 혹은 복층구조로 형성되는, 투명태양광모듈.

청구항 11

청구항 5에 있어서,

상기 p타입산화물층은 1 내지 500W의 스퍼터링전력, 1 내지 100sccm의 아르곤(Ar) 가스유량, 0.1 내지 50sccm의 산소(O₂) 가스유량, 1 내지 50 mTorr의 작동압력, 및 100 내지 800℃의 온도조건 하에서 1 내지 60분 동안 마그네트론 스퍼터링을 통해 형성되는, 투명태양광모듈.

청구항 12

청구항 5에 있어서,

상기 와이드밴드갭층 및 n타입산화물층은 각각이 1 내지 100W의 RF전력, 0.1 내지 10sccm의 아르곤(Ar) 가스유량, 및 1 내지 10mTorr의 작동압력 조건 하에서 1 내지 60분 동안 마그네트론 스퍼터링을 통해 형성되는, 투명태양광모듈

청구항 13

청구항 1에 있어서,

상기 투명태양광모듈은,

수중에서 동작하여 광에너지를 전기에너지로 변환하는 수중태양광발전을 할 수 있고,

상기 수중태양광발전을 하는 경우에, 상기 투명태양광모듈의 상측에 인접하게 배치된 물이 집광렌즈로 기능할 수 있는, 투명태양광모듈.

청구항 14

삭제

청구항 15

청구항 1에 있어서,

상기 투명태양광모듈은,

대기(Air ambient) 및 수중환경에서 동작할 수 있고,

상기 수중환경은 바닷물, 민물, 수돗물, 및 증류수 중 1 이상을 포함하는, 투명태양광모듈.

청구항 16

청구항 1에 있어서,

상기 투명태양광모듈은,

자연 태양광 및 LED인공광이 조사되는 경우에 동작 가능한, 투명태양광모듈.

청구항 17

p/n 이종접합을 포함하는 산화물반도체로 형성된, 수중에서 동작할 수 있는 투명태양광모듈의 제조방법으로서,

전도성 물질을 포함하는 유리기관층을 배치하는 기관준비단계;

상기 유리기관층 위에, p타입산화물층을 배치하는 p타입산화물층형성단계;

상기 p타입산화물층 위에, n타입산화물층을 배치하는 n타입산화물층형성단계; 및

상기 n타입산화물층 위에, 상부전극층을 배치하는 상부전극형성단계;를 포함하고,

상기 투명태양광모듈은 투과도가 20% 이상이고, 대기 중에서 동작하여 광에너지를 전기에너지로 변환할 수 있고,

상기 p타입산화물층 및 상기 n타입산화물층 중 1 이상을 각각 복수 개 포함하고, 상기 n타입산화물층을 복수 개 포함하는 경우에, 상기 n타입산화물층 복수 개 중 어느 하나를 제외한 나머지의 n타입산화물층은 와이드밴드갭층의 역할을 수행하고, 상기 와이드밴드갭층은 상기 n타입산화물층 복수 개 중 어느 하나의 하층에 배치되고,

상기 투명태양광모듈이 수중에서 동작하는 경우에, 상기 투명태양광모듈의 상측면 및 상기 투명태양광모듈의 상측에 인접하게 배치된 물 사이의 계면에서 전기이중층(Electric double layer)이 형성되고,

상기 투명태양광모듈에 빛이 조사되는 경우에, 상기 전기이중층이 상기 빛에 의한 전기장의 생성 및 상기 투명태양광모듈에서 발생한 광전하의 이동을 촉진시키는 역할을 수행함으로써 상기 투명태양광모듈은 공기와 접촉되는 환경보다 수중환경에서 전력변환효율(Power conversion efficiency, PCE)이 더 높은, 투명태양광모듈의 제조방법.

청구항 18

$\text{Cu}_2\text{O}/\text{Ga}_2\text{O}_3$ 이종접합을 포함하고 수중에서 동작할 수 있는 투명태양광모듈의 제조방법으로서,

전도성 물질을 포함하는 유리기관층을 배치하는 기관준비단계;

상기 유리기관층 위에, Cu_2O 를 포함하는 p타입산화물층을 배치하는 p타입산화물층형성단계;

상기 p타입산화물층 위에, Ga_2O_3 를 포함하는 와이드밴드갭층을 배치하는 와이드밴드갭층형성단계;

상기 와이드밴드갭층 위에, n타입산화물층을 배치하는 n타입산화물층형성단계; 및

상기 n타입산화물층 위에, 상부전극층을 배치하는 상부전극형성단계;를 포함하고,

상기 투명태양광모듈은 수중에서 동작하여 광에너지를 전기에너지로 변환할 수 있고,

상기 p타입산화물층 및 상기 n타입산화물층 중 1 이상을 각각 복수 개 포함하고, 상기 n타입산화물층을 복수 개 포함하는 경우에, 상기 n타입산화물층 복수 개 중 어느 하나를 제외한 나머지의 n타입산화물층은 와이드밴드갭층의 역할을 수행하고, 상기 와이드밴드갭층은 상기 n타입산화물층 복수 개 중 어느 하나의 하층에 배치되고,

상기 투명태양광모듈이 수중에서 동작하는 경우에, 상기 투명태양광모듈의 상측면 및 상기 투명태양광모듈의 상

층에 인접하게 배치된 물 사이의 계면에서 전기이중층(Electric double layer)이 형성되고,

상기 투명태양광모듈에 빛이 조사되는 경우에, 상기 전기이중층이 상기 빛에 의한 전기장의 생성 및 상기 투명태양광모듈에서 발생한 광전하의 이동을 촉진시키는 역할을 수행함으로써 상기 투명태양광모듈은 공기와 접촉되는 환경보다 수중환경에서 전력변환효율(Power conversion efficiency, PCE)이 더 높은, 투명태양광모듈의 제조방법.

청구항 19

청구항 18에 있어서,

상기 n타입산화물층 및 상부전극층은 각각이 1 내지 1000nm의 두께를 가지고, 단층 혹은 복층구조로 형성되는, 투명태양광모듈의 제조방법.

청구항 20

청구항 18에 있어서,

상기 p타입산화물층은 1 내지 500W의 스퍼터링전력, 1 내지 100sccm의 아르곤(Ar) 가스유량, 0.1 내지 50sccm의 산소(O₂) 가스유량, 1 내지 50 mTorr의 작동압력, 및 100 내지 800℃의 온도조건 하에서 1 내지 60분 동안 마그네트론 스퍼터링을 통해 형성되는, 투명태양광모듈의 제조방법.

청구항 21

청구항 18에 있어서,

상기 와이드밴드갭층 및 n타입산화물층은 각각이 1 내지 100W의 RF전력, 0.1 내지 10sccm의 아르곤(Ar) 가스유량, 및 1 내지 10mTorr의 작동압력 조건 하에서 1 내지 60분 동안 마그네트론 스퍼터링을 통해 형성되는, 투명태양광모듈의 제조방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 산화물 반도체 투명태양전지, 이의 제조방법, 및 산화물 반도체 투명태양전지를 이용한 수중태양광 시스템으로서, 더욱 상세하게는 상기 투명태양전지는 산화물 반도체 특히 Cu₂O/Ga₂O₃ 이중접합을 포함하고, Cu₂O를 광흡수층으로 사용하는 투명태양광모듈을 형성할 수 있고, 상기 투명태양광모듈은 수중환경에서 수중태양광발전이 가능하고, 수중태양광발전 시 상기 투명태양광모듈의 상층에 배치된 물을 집광렌즈로 사용함으로써 전력변환효율을 향상시킬 수 있는, 산화물 반도체 투명태양전지, 이의 제조방법, 및 산화물 반도체 투명태양전지를 이용한 수중태양광 시스템에 관한 것이다.

배경 기술

[0003] 태양광발전은 탄소중립을 위한 차세대 에너지원으로 지상 및 수상 에너지플랜트, 우주개발 등 많은 분야에서 연구되고 있다. 그러나 수중태양광발전에 관한 부분은 여전히 연구가 부족한 실정이다.

[0004] 수중에 태양광모듈을 설치하는 경우, 지상에 비해 설치 면적에 구애를 받지 않을 수 있고, 태양광모듈이 물에 의해 자동적으로 냉각될 수 있다는 장점을 갖는다. 따라서 수중태양광발전이 실현되는 경우, 수중전력생산, 해양연구를 위한 원격센싱, 자동조작, 및 네비게이션 등의 분야에 활용될 수 있을 것으로 예상된다.

[0005] 그러나 종래에 사용되는 태양광모듈은 대부분 실리콘 기반의 불투명소자로, 수중에서 사용하는 경우, 해저에 입사되던 태양광을 차단함으로써 기존의 생태계에 문제를 초래할 수 있다는 위험성이 존재한다. 종래에는 투명소

자를 사용하는 수중태양광발전이 연구되었으나, 일부 자외선 및 600nm이상의 빛을 흡수하는 물의 특성 상 수중에 배치된 태양광모듈에서 사용할 수 있는 빛의 영역대가 제한되어 전력변환효율이 저하된다는 문제점이 발생하였다.

[0006] 즉, 수중에서 높은 전력변환효율을 가지며 투명성을 갖는 태양광발전소자가 필요한 실정이다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 본 발명은 산화물 반도체 투명태양전지, 이의 제조방법, 및 산화물 반도체 투명태양전지를 이용한 수중태양광 시스템으로서, 상기 투명태양전지는 산화물 반도체, 특히 $\text{Cu}_2\text{O}/\text{Ga}_2\text{O}_3$ 이종접합을 포함하고, Cu_2O 를 광흡수층으로 사용하는 투명태양광모듈을 형성할 수 있고, 상기 투명태양광모듈은 수중환경에서 수중태양광발전이 가능하고, 수중태양광발전 시 상기 투명태양광모듈의 상층에 배치된 물을 집광렌즈로 사용함으로써 전력변환효율을 향상시킬 수 있는, 산화물 반도체 투명태양전지, 이의 제조방법, 및 산화물 반도체 투명태양전지를 이용한 수중태양광 시스템을 제공하는 것을 그 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

[0010] 상기와 같은 과제를 해결하기 위하여 본 발명의 일 실시예는, p/n 이종접합을 포함하는 산화물반도체로 형성된, 수중에서 동작할 수 있는 투명태양광모듈로서, 전도성 물질을 포함하는 유리기관층; 상기 유리기관층 위에 배치되는 p타입산화물층; 상기 p타입산화물층 위에 배치되는 n타입산화물층; 및 상기 n타입산화물층 위에 배치되는 상부전극층;을 포함하고, 상기 투명태양광모듈은 투과도가 20% 이상이고, 대기 중에서 동작하여 광에너지를 전기에너지로 변환할 수 있는, 투명태양광모듈을 제공한다.

[0011] 상기와 같은 과제를 해결하기 위하여 본 발명의 일 실시예는, p/n 이종접합을 포함하는 산화물반도체로 형성된, 수중에서 동작할 수 있는 투명태양광모듈로서, 전도성 물질을 포함하는 유리기관층; 상기 유리기관층 위에 배치되는 n타입산화물층; 상기 n타입산화물층 위에 배치되는 p타입산화물층; 및 상기 p타입산화물층 위에 배치되는 상부전극층;을 포함하고, 상기 투명태양광모듈은 투과도가 20% 이상이고, 대기 중에서 동작하여 광에너지를 전기에너지로 변환할 수 있는, 투명태양광모듈을 제공한다.

[0012] 본 발명의 몇 실시예에서는, 상기 투명태양광모듈은, 상기 p타입산화물층 및 상기 n타입산화물층 중 1 이상을 각각 복수 개 포함하고, 상기 p타입산화물층은 NiO , CuO , Cu_2O , 내지 Co_3O_4 중 1 이상을 포함하고, 상기 n타입산화물층은 Ga_2O_3 , ZnO , In_2O_3 , SnO_2 , 내지 BiVO_4 중 1 이상을 포함할 수 있다.

[0013] 본 발명의 몇 실시예에서는, 상기 투명태양광모듈이 상기 n타입산화물층을 복수 개 포함하는 경우에, 상기 복수 개의 n타입산화물층 중 어느 하나를 제외한 나머지의 n타입산화물층은 와이드밴드갭층의 역할을 수행할 수 있다.

[0015] 상기와 같은 과제를 해결하기 위하여 본 발명의 일 실시예는, $\text{Cu}_2\text{O}/\text{Ga}_2\text{O}_3$ 이종접합을 포함하고 수중에서 동작할 수 있는 투명태양광모듈로서, 유리기관층; 상기 유리기관층 위에 배치되고, Cu_2O 를 포함하는 p타입산화물층; 상기 p타입산화물층 위에 배치되고, Ga_2O_3 를 포함하는 와이드밴드갭층; 상기 와이드밴드갭층 위에 배치되는 n타입산화물층; 상기 n타입산화물층 위에 배치되는 상부전극층;을 포함하고, 상기 투명태양광모듈은 수중에서 동작하여 광에너지를 전기에너지로 변환할 수 있는, 투명태양광모듈을 제공한다.

[0016] 본 발명의 몇 실시예에서는, 상기 투명태양광모듈은, 상기 p타입산화물층 및 와이드밴드갭층에 의하여 $\text{Cu}_2\text{O}/\text{Ga}_2\text{O}_3$ 이종접합 구조가 형성될 수 있다.

[0017] 본 발명의 몇 실시예에서는, 상기 투명태양광모듈은 공기와 접촉되는 환경보다 수중환경에서 전력변환효율(Power conversion efficiency, PCE)이 높을 수 있다.

[0018] 본 발명의 몇 실시예에서는, 상기 투명태양광모듈은 수중에서 동작할 때, 물의 굴절률에 의하여 빛의 직진성이 개선됨으로써 필팩터(Fill Factor, FF)가 10% 이상일 수 있다.

[0019] 본 발명의 몇 실시예에서는, 상기 투명태양광모듈은 수중에서 동작할 때 전력변환효율(Power conversion efficiency, PCE)이 1% 이상일 수 있다.

- [0020] 본 발명의 몇 실시예에서는, 상기 n타입산화물층 및 상부전극층은 각각이 1 내지 1000nm의 두께를 가지고, 단층 혹은 복층구조로 형성될 수 있다.
- [0021] 본 발명의 몇 실시예에서는, 상기 p타입산화물층은 1 내지 500W의 스퍼터링전력, 1 내지 100sccm의 아르곤(Ar) 가스유량, 0.1 내지 50sccm의 산소(O₂) 가스유량, 1 내지 50 mTorr의 작동압력, 및 100 내지 800℃의 온도조건 하에서 1 내지 60분 동안 마그네트론 스퍼터링을 통해 형성될 수 있다.
- [0022] 본 발명의 몇 실시예에서는, 상기 와이드밴드갭층 및 n타입산화물층은 각각이 1 내지 100W의 RF전력, 0.1 내지 10sccm의 아르곤(Ar) 가스유량, 및 1내지 10mTorr의 작동압력 조건 하에서 1 내지 60분 동안 마그네트론 스퍼터링을 통해 형성될 수 있다.
- [0023] 본 발명의 몇 실시예에서는, 상기 투명태양광모듈은, 수중에서 동작하여 광에너지를 전기에너지로 변환하는 수중태양광발전을 할 수 있고, 상기 수중태양광발전을 하는 경우에, 상기 투명태양광모듈의 상측에 인접하게 배치된 물이 집광렌즈로 기능할 수 있다.
- [0024] 본 발명의 몇 실시예에서는, 상기 투명태양광모듈은, 수중에서 동작하는 경우에, 상기 투명태양광모듈의 상측면 및 상기 투명태양광모듈의 상측에 인접하게 배치된 물 사이의 계면에서 전기이중층(Electric double layer)를 형성하고, 상기 전기이중층은, 상기 투명태양광모듈에 빛이 조사되는 경우에, 상기 빛에 의한 전기장의 생성 및 상기 투명태양광모듈에서 발생한 광전하의 이동을 촉진시키는 역할을 수행할 수 있다.
- [0025] 본 발명의 몇 실시예에서는, 상기 투명태양광모듈은, 대기(Air ambient) 및 수중환경에서 동작할 수 있고, 상기 수중환경은 바닷물, 민물, 수돗물, 및 증류수 중 1 이상을 포함할 수 있다.
- [0026] 본 발명의 몇 실시예에서는, 상기 투명태양광모듈은, 자연 태양광 및 LED인공광이 조사되는 경우에 동작 가능할 수 있다.
- [0028] 상기와 같은 과제를 해결하기 위하여 본 발명의 일 실시예는, p/n 이종접합을 포함하는 산화물반도체로 형성된, 수중에서 동작할 수 있는 투명태양광모듈의 제조방법으로서, 전도성 물질을 포함하는 유리기관층을 배치하는 기판준비단계; 상기 유리기관층 위에, p타입산화물층을 배치하는 p타입산화물층형성단계; 상기 p타입산화물층 위에, n타입산화물층을 배치하는 n타입산화물층형성단계; 및 상기 n타입산화물층 위에, 상부전극층을 배치하는 상부전극형성단계;를 포함하고, 상기 투명태양광모듈은 투과도가 20% 이상이고, 대기 중에서 동작하여 광에너지를 전기에너지로 변환할 수 있는, 투명태양광모듈의 제조방법을 제공한다.
- [0030] 상기와 같은 과제를 해결하기 위하여 본 발명의 일 실시예는, Cu₂O/Ga₂O₃ 이종접합을 포함하고 수중에서 동작할 수 있는 투명태양광모듈의 제조방법으로서, 전도성 물질을 포함하는 유리기관층을 배치하는 기판준비단계; 상기 유리기관층 위에, Cu₂O를 포함하는 p타입산화물층을 배치하는 p타입산화물층형성단계; 상기 p타입산화물층 위에, Ga₂O₃를 포함하는 와이드밴드갭층을 배치하는 와이드밴드갭층형성단계; 상기 와이드밴드갭층 위에, n타입산화물층을 배치하는 n타입산화물층형성단계; 상기 n타입산화물층 위에, 상부전극층을 배치하는 상부전극형성단계;를 포함하고, 상기 투명태양광모듈은 수중에서 동작하여 광에너지를 전기에너지로 변환할 수 있는, 투명태양광모듈의 제조방법을 제공한다.
- [0031] 본 발명의 몇 실시예에서는, 상기 n타입산화물층 및 상부전극층은 각각이 1 내지 1000nm의 두께를 가지고, 단층 혹은 복층구조로 형성될 수 있다.
- [0032] 본 발명의 몇 실시예에서는, 상기 p타입산화물층은 1 내지 500W의 스퍼터링전력, 1 내지 100sccm의 아르곤(Ar) 가스유량, 0.1 내지 50sccm의 산소(O₂) 가스유량, 1 내지 50 mTorr의 작동압력, 및 100 내지 800℃의 온도조건 하에서 1 내지 60분 동안 마그네트론 스퍼터링을 통해 형성될 수 있다.
- [0033] 본 발명의 몇 실시예에서는, 상기 와이드밴드갭층 및 n타입산화물층은 각각이 1 내지 100W의 RF전력, 0.1 내지 10sccm의 아르곤(Ar) 가스유량, 및 1내지 10mTorr의 작동압력 조건 하에서 1 내지 60분 동안 마그네트론 스퍼터링을 통해 형성될 수 있다.

발명의 효과

- [0035] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 투명태양광모듈이 수중에 배치되는 경우에, 투명태양광모듈의 상측에 배치되는 물이 투명태양광모듈에 대해 집광렌즈로 기능하여 수중환경에 배치된 투명태양광모듈에 입사되는 빛의 임계각을

증가시키고, 넓은 각도 범위에서 입사되는 빛을 포집하여 상기 투명태양광모듈에 전달함으로써 수중태양광발전의 전력변환효율을 향상시키는 효과를 발휘할 수 있다.

[0036] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 투명태양광모듈은 빛 투과성을 가지므로 수중태양광발전에 사용하는 경우에, 수중으로 입사되는 태양광을 차단하지 않아 수중생태계에 대한 영향을 최소화할 수 있어 환경친화성이 향상되는 효과를 발휘할 수 있다.

[0037] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 투명태양광모듈은 Cu_2O 를 광흡수층으로 사용하여 수중으로 입사되는 400 내지 600nm 영역대의 빛을 흡수하고, 투명태양광모듈이 수중에 설치되는 경우에 대기중에 설치되는 경우보다 더 깊은 빛의 투과깊이를 가짐으로써 수중태양광발전의 효율을 향상시키는 효과를 발휘할 수 있다.

[0038] 본 발명의 일 실시예에 따르면, p타입산화물층, 와이드밴드갭층, 및 n타입산화물층은 마그네트론 스퍼터링 장치를 사용하여 유리기판층 위에 순차적으로 증착됨으로써 하나의 장치로 상기 p타입산화물층형성단계, 와이드밴드갭층형성단계, 및 n타입산화물층형성단계를 처리하여 공정의 편의성을 향상시키는 효과를 발휘할 수 있다.

[0039] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 수층은 투명태양광모듈과 전기적으로 상호작용함으로써 상기 투명태양광모듈 내층의 공간전하영역을 증가시키고 계면의 에너지장벽을 낮춤으로써 상기 투명태양광모듈에서 발생한 광전하가 재결합되지 않고 출력전력으로 사용될 수 있게 하여 수중태양광발전의 효율을 향상시키는 효과를 발휘할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0041] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 투명태양광모듈의 층상구조를 개략적으로 도시한다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 투명태양광모듈의 제조단계를 개략적으로 도시한다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 투명태양광모듈, 투명태양광모듈의 단면 TEM이미지, EDS이미지, 흡광도, 흡광계수, 투과도, 및 색좌표에 대한 사항을 도시한다.

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 투명태양광모듈, 및 투명태양광모듈의 전기적특성에 대한 사항을 도시한다.

도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 투명태양광모듈의 광전변환효율(Incident photon-to-current conversion efficiency, IPCE), 및 전력변환효율(Power conversion efficiency, PCE)에 대한 사항을 도시한다.

도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 투명태양광모듈을 대기중에 설치하는 경우, 수중환경(증류수)에 설치하는 경우, 수중환경(수돗물)에 설치하는 경우, 및 수중환경(소금물)에 설치하는 경우 각각에서 측정된 전기적특성에 대한 사항을 도시한다.

도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 투명태양광모듈에 대한 입사광의 입사각에 따른 전기적특성에 대한 사항을 도시한다.

도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 투명태양광모듈을 대기중에 설치하는 경우, 및 수중환경에 설치하는 경우의 개략도, 및 투명태양광모듈의 밴드 다이어그램을 개략적으로 도시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0042] 이하에서는, 다양한 실시예들 및/또는 양상들이 이제 도면들을 참조하여 개시된다. 하기 설명에서는 설명을 목적으로, 하나 이상의 양상들의 전반적 이해를 돕기 위해 다수의 구체적인 세부사항들이 개시된다. 그러나, 이러한 양상(들)은 이러한 구체적인 세부사항들 없이도 실행될 수 있다는 점 또한 본 발명의 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 인식될 수 있을 것이다. 이후의 기재 및 첨부된 도면들은 하나 이상의 양상들의 특정한 예시적인 양상들을 상세하게 기술한다. 하지만, 이러한 양상들은 예시적인 것이고 다양한 양상들의 원리들에서의 다양한 방법들 중 일부가 이용될 수 있으며, 기술되는 설명들은 그러한 양상들 및 그들의 균등물들을 모두 포함하고자 하는 의도이다.

[0043] 또한, 다양한 양상들 및 특징들이 다수의 디바이스들, 컴포넌트들 및/또는 모듈들 등을 포함할 수 있는 시스템에 의하여 제시될 것이다. 다양한 시스템들이, 추가적인 장치들, 컴포넌트들 및/또는 모듈들 등을 포함할 수 있다는 점 그리고/또는 도면들과 관련하여 논의된 장치들, 컴포넌트들, 모듈들 등 전부를 포함하지 않을 수도 있다는 점 또한 이해되고 인식되어야 한다.

[0044] 본 명세서에서 사용되는 "실시예", "예", "양상", "예시" 등은 기술되는 임의의 양상 또는 설계가 다른 양상 또

는 설계들보다 양호하다거나, 이점이 있는 것으로 해석되지 않을 수도 있다.

- [0045] 또한, "포함한다" 및/또는 "포함하는"이라는 용어는, 해당 특징 및/또는 구성요소가 존재함을 의미하지만, 하나 이상의 다른 특징, 구성요소 및/또는 이들의 그룹의 존재 또는 추가를 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.
- [0046] 또한, 제1, 제2 등과 같이 서수를 포함하는 용어는 다양한 구성요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 상기 구성요소들은 상기 용어들에 의해 한정되지는 않는다. 상기 용어들은 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하는 목적으로만 사용된다. 예를 들어, 본 발명의 권리 범위를 벗어나지 않으면서 제1 구성요소는 제2 구성요소로 명명될 수 있고, 유사하게 제2 구성요소도 제1 구성요소로 명명될 수 있다. 및/또는 이라는 용어는 복수의 관련된 기재된 항목들의 조합 또는 복수의 관련된 기재된 항목들 중의 어느 항목을 포함한다.
- [0047] 또한, 본 발명의 실시예들에서, 별도로 다르게 정의되지 않는 한, 기술적이거나 과학적인 용어를 포함해서 이 때 사용되는 모든 용어들은 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 가지고 있다. 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 것과 같은 용어들은 관련 기술의 문맥 상 가지는 의미와 일치하는 의미를 가지는 것으로 해석되어야 하며, 본 발명의 실시예에서 명백하게 정의하지 않는 한, 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미로 해석되지 않는다.
- [0049] 수중에서 태양광발전을 하는 경우, 태양광모듈 설치 면적의 설정이 지상에 비해 자유롭고, 물에 의한 자동 냉각 효과를 얻을 수 있다는 장점이 존재한다. 따라서 수중태양광발전이 실현되는 경우, 수중전력생산 및 해양연구 분야에 널리 활용될 것으로 예상되지만, 현재까지 수중태양광발전에 대한 연구는 부족한 실정이다.
- [0050] 종래의 상용화된 태양광모듈은 실리콘 기반의 불투명소자이므로 수중태양광발전에 사용 시 해저 입사광을 차단하여 수중생태계에 영향을 미칠 수 있다는 위험성을 가진다. 따라서 수중태양광발전에 투명태양광소자를 활용하는 방안이 연구되었으나, 투명태양광소자는 전력변환효율이 낮거나 수중 안정성이 부족하다는 문제점이 존재한다. 또한 물이 일부 자외선 및 적외선 영역의 빛을 흡수하기 때문에 수중에 배치된 태양광모듈에서 사용 가능한 빛의 영역대가 제한된다는 문제점이 발생하였다.
- [0051] 이를 해결하기 위하여 본 발명에서는 산화물 반도체 투명태양전지, 이의 제조방법, 및 산화물 반도체 투명태양전지를 이용한 수중태양광 시스템을 개시한다.
- [0052] 보다 상세하게는, 상기 투명태양전지는 산화물 반도체, 특히 $\text{Cu}_2\text{O}/\text{Ga}_2\text{O}_3$ 이종접합을 포함하고, Cu_2O 를 광흡수층으로 사용하는 투명태양광모듈(1)을 형성할 수 있다. 상기 투명태양광모듈(1)은 2.1eV의 밴드갭을 갖는 Cu_2O 를 광흡수층으로 사용함으로써 수중에 입사되는 400 내지 600nm 영역대의 빛을 전기에너지로 변환할 수 있고, 넓은 밴드갭을 갖는 Ga_2O_3 는 상기 Cu_2O 와 이종접합을 형성함으로써 상기 Cu_2O 에서 생성된 광전하의 재결합을 방지할 수 있다. 또한 상기 투명태양광모듈(1)은 수중태양광발전 시 상기 투명태양광모듈(1)의 상측에 배치된 물을 집광렌즈로 사용할 수 있다.
- [0054] 즉, 본 발명은 Cu_2O 를 광흡수층으로 사용함으로써 물이 흡수하는 적외선 및 일부 자외선 영역대의 빛이 아닌 수중으로 입사되는 400 내지 600nm 영역대의 빛을 흡수하여 전기에너지를 생산함으로써 수중태양광발전 소자로서의 적합성을 향상시키는 효과를 발휘할 수 있다.
- [0055] 또한, 본 발명의 일 실시예에 따른 투명태양광모듈(1)이 수중에 배치되는 경우에, 상기 투명태양광모듈(1)의 상측에 배치되는 물이 상기 투명태양광모듈(1)에 대해 집광렌즈로 기능함으로써 수중태양광발전의 전력변환효율을 향상시키는 효과를 발휘할 수 있다.
- [0056] 본 발명의 일 실시예에 따른 투명태양광모듈(1)은 빛 투과성을 가지므로 수중태양광발전에 사용하는 경우에, 수중으로 입사되는 태양광을 차단하지 않아 수중생태계에 대한 영향을 최소화할 수 있고 이에 따라 환경친화성이 향상되는 효과를 발휘할 수 있다.
- [0058] 이하에서는 본 발명의 일 실시예에 따른 $\text{Cu}_2\text{O}/\text{Ga}_2\text{O}_3$ 이종접합을 포함하는 투명태양광모듈(1) 및 이의 제조방법에 대하여 상세하게 서술하기로 한다.
- [0060] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 투명태양광모듈(1)의 층상구조를 개략적으로 도시한다.
- [0062] 본 발명의 일 실시예에 따른 p/n 이종접합을 포함하는 산화물반도체로 형성된, 수중에서 동작할 수 있는 투명태양광모듈(1)로서, 전도성 물질을 포함하는 유리기판층(100); 상기 유리기판층(100) 위에 배치되는 p타입산화물층(200); 상기 p타입산화물층(200) 위에 배치되는 n타입산화물층(400); 및 상기 n타입산화물층(400) 위에 배치

되는 상부전극층(500);을 포함하고, 상기 투명태양광모듈(1)은 투과도가 20% 이상이고, 대기 중에서 동작하여 광에너지를 전기에너지로 변환할 수 있는, 투명태양광모듈(1)을 제공할 수 있다.

[0063] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 투명태양광모듈(1)은, 상기 p타입산화물층(200) 및 상기 n타입산화물층(400) 중 1 이상을 각각 복수 개 포함하고, 상기 p타입산화물층(200)은 NiO, CuO, Cu₂O, 내지 Co₃O₄ 중 1 이상을 포함하고, 상기 n타입산화물층(400)은 Ga₂O₃, ZnO, In₂O₃, SnO₂, 내지 BiVO₄ 중 1 이상을 포함할 수 있으며, 상기 투명태양광모듈(1)이 상기 n타입산화물층(400)을 복수 개 포함하는 경우에, 상기 n타입산화물층(400) 복수 개 중 어느 하나를 제외한 나머지의 n타입산화물층(400)은 복수 개의 와이드밴드갭층(300)의 역할을 수행할 수 있다.

[0064] 상세하게는, 본 발명의 일 실시예에 따른 Cu₂O/Ga₂O₃ 이종접합을 포함하고 수중에서 동작할 수 있는 투명태양광모듈(1)로서, 전도성 물질을 포함하는 유리기관층(100); 상기 유리기관층(100) 위에 배치되고, Cu₂O를 포함하는 p타입산화물층(200); 상기 p타입산화물층(200) 위에 배치되고, Ga₂O₃를 포함하는 와이드밴드갭층(300); 상기 와이드밴드갭층(300) 위에 배치되는 n타입산화물층(400); 상기 n타입산화물층(400) 위에 배치되는 상부전극층(500);을 포함하고, 상기 투명태양광모듈(1)은 수중에서 동작하여 광에너지를 전기에너지로 변환할 수 있는, 투명태양광모듈(1)을 제공할 수 있다.

[0065] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 투명태양광모듈(1)은, 상기 p타입산화물층(200) 및 와이드밴드갭층(300)에 의하여 Cu₂O/Ga₂O₃ 이종접합 구조가 형성될 수 있다.

[0066] 또한, 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 n타입산화물층(400) 및 상부전극층(500) 각각은 ZnO를 포함할 수 있다.

[0068] 도 1에 도시된 바와 같이, 상기 투명태양광모듈(1)은 유리기관층(100), p타입산화물층(200), 와이드밴드갭층(300), n타입산화물층(400), 및 상부전극층(500)을 포함할 수 있다.

[0069] 구체적으로, 상기 유리기관층(100)은 투명전도성산화물(Transparent conductive oxide, TCO)이 포함된 전극일 수 있다. 바람직하게는, 상기 유리기관층(100)은 상층에 FTO(Fluorine-doped tin oxide)를 포함하는 것이 바람직하다.

[0070] 상기 유리기관층(100)의 위에는 상기 p타입산화물층(200)이 배치될 수 있고, 상기 p타입산화물층(200)은 Cu₂O를 포함할 수 있다. 상기 Cu₂O는 약 2.1eV의 밴드갭을 가지며, 입방정계(cubic structure)의 구조를 나타내고 p타입 전도성을 갖는 반도체물질일 수 있다. 상기 Cu₂O에 태양광을 조사하는 경우에, 상기 Cu₂O는 약 2.1eV의 밴드갭에 의하여 약 600nm 이상의 단파장을 흡광하는 것이 가능할 수 있다. 즉, 상기 Cu₂O는 가시광선 영역대의 빛을 흡수하여 광전자를 발생시키는 광촉매적 특성을 포함하므로 본 발명의 일 실시예에 따른 상기 p타입산화물층(200)은 상기 투명태양광모듈(1)의 광흡수층 역할을 수행할 수 있다. 상기 p타입산화물층(200)에 대한 보다 상세한 설명은 후술하는 도면에서 설명하기로 한다.

[0071] 상기 p타입산화물층(200)의 위에는 상기 와이드밴드갭층(300)이 배치될 수 있고, 상기 와이드밴드갭층(300)은 Ga₂O₃를 포함할 수 있다. 상기 투명태양광모듈(1)은 상기 와이드밴드갭층(300)을 상기 p타입산화물층(200)의 위에 배치함으로써 상기 Cu₂O/Ga₂O₃ 이종접합 구조를 형성할 수 있다. 상기 와이드밴드갭층(300)에 포함되는 상기 Ga₂O₃는 약 4.9eV에 해당하는 넓은 밴드갭을 갖는 투명전도성산화물일 수 있고, 낮은 전도대 오프셋을 포함함으로써 상기 p타입산화물층(200)에서 발생한 광전자를 상기 p타입산화물층(200)으로부터 상기 n타입산화물층(400) 및 상부전극층(500)으로 이동시키는 역할을 수행할 수 있다. 상기 와이드밴드갭층(300)에 대한 보다 상세한 설명은 후술하는 도면에서 설명하기로 한다.

[0072] 상기 와이드밴드갭층(300)의 위에는 상기 n타입산화물층(400)이 배치될 수 있다. 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 n타입산화물층(400)은 ZnO를 포함할 수 있다. 상기 ZnO는 n타입 전도성을 갖는 반도체물질로, 무독성, 높은 안정성, 및 투명성을 가지며 가격대가 낮고, 합성이 쉬워 태양광소자로서 널리 사용되는 물질에 해당한다. 상기 투명태양광모듈(1)에서 상기 n타입산화물층(400)은 상기 p타입산화물층(200)과 p-n접합을 형성하고, 상기 p타입산화물층(200)에서 발생한 광전자를 전달받아 상기 상부전극층(500)으로 이동시키는 역할을 수행할 수 있다.

- [0073] 상기 n타입산화물층(400)에 대한 보다 상세한 설명은 후술하는 도면에서 설명하기로 한다.
- [0074] 상기 n타입산화물층(400)의 위에는 상기 상부전극층(500)이 배치될 수 있다. 바람직하게는, 상기 상부전극층(500)은 상기 ZnO를 포함할 수 있고, Ag나노와이어를 더 포함할 수 있다. 상기 상부전극층(500)에 대한 보다 상세한 설명은 후술하는 도면에서 설명하기로 한다.
- [0075] 전술한 바와 같이, 상기 투명태양광모듈(1)이 상기 n타입산화물층(400)을 복수 개 포함하는 경우에, 상기 복수 개의 상기 n타입산화물층(400) 중 어느 하나를 제외한 나머지의 상기 n타입산화물층(400)은 와이드밴드갭층(300)의 역할을 수행할 수 있다. 구체적으로, 상기 복수 개의 n타입산화물층(400) 중 어느 하나는 상기 p타입산화물층(200)에 인접하게 배치될 수 있고, 상기 복수 개의 n타입산화물층(400) 중 다른 하나는 상기 상부전극층(500)에 인접하게 배치될 수 있다. 이러한 경우에, 상기 복수 개의 상기 n타입산화물층(400) 중 상기 상부전극층(500)에 인접하게 배치된 다른 하나를 제외한 나머지의 상기 n타입산화물층(400)은 모두 와이드밴드갭층(300)의 역할을 수행할 수 있다.
- [0077] 한편, 전술한 바와 같이, 상기 Ga_2O_3 및 ZnO는 투명성을 가질 수 있으므로 상기 투명태양광모듈(1)은 조사되는 빛에 대한 투과도가 20% 이상일 수 있다.
- [0078] 즉, 본 발명의 일 실시예에 따른 상기 유리기관층(100), 와이드밴드갭층(300), n타입반도체층, 및 상부전극층(500)은 투명성을 갖는 물질을 포함함으로써 상기 투명태양광모듈(1)의 투과도를 향상시키는 효과를 발휘할 수 있다.
- [0079] 또한, 본 발명의 일 실시예에 따른 상기 투명태양광모듈(1)은 Cu_2O/Ga_2O_3 이중접합 구조를 포함함으로써 상기 p타입산화물층(200)에서 발생한 광전자의 재결합을 방지하여 광전변환효율을 향상시키는 효과를 발휘할 수 있다.
- [0081] 한편, 도면에는 도시되지 않았지만, 본 발명의 일 실시예에 따르면 p/n 이중접합을 포함하는 산화물반도체로 형성된, 수중에서 동작할 수 있는 투명태양광모듈(1)로서, 전도성 물질을 포함하는 유리기관층(100); 상기 유리기관층(100) 위에 배치되는 n타입산화물층(400); 상기 n타입산화물층(400) 위에 배치되는 p타입산화물층(200); 및 상기 p타입산화물층(200) 위에 배치되는 상부전극층(500);을 포함하고, 상기 투명태양광모듈(1)은 투과도가 20% 이상이고, 대기 중에서 동작하여 광에너지를 전기에너지로 변환할 수 있는, 투명태양광모듈(1)을 제공할 수 있다.
- [0082] 구체적으로, 상기 투명태양광모듈(1)은 상기 유리기관층(100) 위에 상기 p타입산화물층(200)이 아닌 상기 n타입산화물층(400)이 먼저 배치될 수 있다. 상기 유리기관층(100) 위에 상기 p타입산화물층(200)이 아닌 상기 n타입산화물층(400)이 먼저 배치되는 경우에, 상기 n타입산화물층(400)의 위에는 상기 p타입산화물층(200)이 배치될 수 있고, 상기 p타입산화물층(200) 위에는 상기 상부전극층(500)이 배치될 수 있다.
- [0084] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 투명태양광모듈(1)의 제조단계를 개략적으로 도시한다.
- [0086] 본 발명의 일 실시예에 따른 p/n 이중접합을 포함하는 산화물반도체로 형성된, 수중에서 동작할 수 있는 투명태양광모듈(1)의 제조방법으로서, 전도성 물질을 포함하는 유리기관층(100)을 배치하는 기관준비단계(S10); 상기 유리기관층(100) 위에, p타입산화물층(200)을 배치하는 p타입산화물층형성단계(S20); 상기 p타입산화물층(200) 위에, n타입산화물층(400)을 배치하는 n타입산화물층형성단계(S40); 및 상기 n타입산화물층(400) 위에, 상부전극층(500)을 배치하는 상부전극형성단계(S50);를 포함하고, 상기 투명태양광모듈(1)은 투과도가 20% 이상이고, 대기 중에서 동작하여 광에너지를 전기에너지로 변환할 수 있는, 투명태양광모듈(1)의 제조방법을 제공할 수 있다.
- [0087] 상세하게는, 본 발명의 일 실시예에 따른 Cu_2O/Ga_2O_3 이중접합을 포함하고 수중에서 동작할 수 있는 투명태양광모듈(1)의 제조방법으로서, 전도성 물질을 포함하는 유리기관층(100)을 배치하는 기관준비단계(S10); 상기 유리기관층(100) 위에, Cu_2O 를 포함하는 p타입산화물층(200)을 배치하는 p타입산화물층형성단계(S20); 상기 p타입산화물층(200) 위에, Ga_2O_3 를 포함하는 와이드밴드갭층(300)을 배치하는 와이드밴드갭층형성단계(S30); 상기 와이드밴드갭층(300) 위에, n타입산화물층(400)을 배치하는 n타입산화물층형성단계(S40); 상기 n타입산화물층(400) 위에, 상부전극층(500)을 배치하는 상부전극형성단계(S50);를 포함하고, 상기 투명태양광모듈(1)은 수중에서 동작하여 광에너지를 전기에너지로 변환할 수 있는, 투명태양광모듈(1)의 제조방법을 제공할 수 있다.
- [0088] 또한, 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 p타입산화물층(200)은 1 내지 500W의 스퍼터팅전력, 1 내지 100sccm

의 아르곤(Ar) 가스유량, 0.1 내지 50sccm의 산소(O₂) 가스유량, 1 내지 50 mTorr의 작동압력, 및 100 내지 800 ℃의 온도조건 하에서 1 내지 60분 동안 마그네트론 스퍼터링을 통해 형성될 수 있고, 상기 와이드밴드갭층(300) 및 n타입산화물층(400)은 각각이 1 내지 100W의 RF전력, 0.1 내지 10sccm의 아르곤(Ar) 가스유량, 및 1 내지 10mTorr의 작동압력 조건 하에서 1 내지 60분 동안 마그네트론 스퍼터링을 통해 형성될 수 있다.

[0089] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 n타입산화물층(400) 및 상부전극층(500)은 각각이 1 내지 1000nm의 두께를 가질 수 있고, 단층 혹은 복층구조로 형성될 수 있다. 특히, 상기 상부전극층(500)은, 상기 n타입산화물층(400)의 위에 배치되는 나노와이어층; 및 상기 나노와이어층 위에 배치되는 산화물박막층;을 포함할 수 있다.

[0090] 또한, 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 n타입산화물층(400)의 위에 1 이상의 전극패턴이 형성된 패턴마스크를 배치하고, 상기 패턴마스크 위에 100 내지 10000rpm의 속도조건에서 1내지 60분 동안 스핀코팅하고, 0 내지 500℃의 온도조건에서 1 내지 1000초 동안 열처리함으로써 상기 나노와이어층이 형성되고, 상기 나노와이어층 위에 1 내지 100W의 RF전력, 0.1 내지 10sccm의 아르곤(Ar) 가스유량, 및 1내지 10mTorr의 작동압력 조건 하에서 1 내지 60분 동안 RF스퍼터링을 통해 상기 산화물박막층이 형성되고, 상기 패턴마스크를 제거함으로써 상기 n타입산화물층(400)의 위에 상기 전극패턴의 형상에 상응하는 1이상의 패턴전극을 포함하는 상기 상부전극층(500)이 형성될 수 있다.

[0092] 도 2에 도시된 바와 같이, 상기 투명태양광모듈(1)의 제조방법은 기판준비단계(S10), p타입산화물층형성단계(S20), 와이드밴드갭층형성단계(S30), n타입산화물층형성단계(S40), 및 상부전극형성단계(S50)를 포함할 수 있다.

[0094] 구체적으로, 상기 기판준비단계(S10)에서는 상기 유리기관층(100)을 배치할 수 있다. 전술한 바와 같이, 상기 유리기관층(100)은 FTO를 포함하는 FTO글라스일 수 있다. 상기 유리기관층(100)은 아세톤, 메탄올, 및 증류수 각각에서 10분간 초음파세척될 수 있고, 질소가스로 건조될 수 있고, 상기 p타입산화물층(200)을 형성하기 위한 기기에 기판으로써 배치될 수 있다.

[0095] 상기 p타입산화물층형성단계(S20)에서는 상기 유리기관층(100) 위에 상기 Cu₂O를 포함하는 상기 p타입산화물층(200)을 형성할 수 있다. 전술한 바와 같이, 상기 Cu₂O를 포함하는 상기 p타입산화물층(200)은 상기 투명태양광모듈(1)의 광흡수층 역할을 수행할 수 있다. 상기 p타입산화물층(200)은 마그네트론 스퍼터링 장치를 이용해 상기 유리기관층(100) 위에 증착됨으로써 형성될 수 있다.

[0096] 상기 마그네트론 스퍼터링 장치의 내측의 일측에는 구리 타겟이 배치되고, 타측에는 상기 유리기관층(100)이 배치될 수 있다. 상기 p타입산화물층형성단계(S20)에서 상기 마그네트론 스퍼터링 장치는 1 내지 500W의 스퍼터링 전력, 1 내지 100sccm의 아르곤(Ar) 가스유량, 0.1 내지 50sccm의 산소(O₂) 가스유량, 1 내지 50mTorr의 작동압력, 및 100 내지 800℃의 온도조건 하에서 동작하고, 상기 p타입산화물층(200)은 상기 마그네트론 스퍼터링 장치에 의해 1 내지 100nm/min의 증착속도로 1 내지 60분 동안 300 내지 800nm의 두께로 형성될 수 있다.

[0097] 바람직하게는, 상기 마그네트론 스퍼터링 장치는 200 내지 400W의 스퍼터링전력, 20 내지 70sccm의 아르곤 가스유량, 1 내지 20sccm의 산소 가스유량, 3 내지 20mTorr의 작동압력, 및 300 내지 600℃의 온도조건 하에서 동작하고, 상기 p타입산화물층(200)은 10 내지 60nm/min의 증착속도로 5 내지 50분 동안 400 내지 750nm의 두께로 형성될 수 있다.

[0098] 더욱 세부적으로는, 상기 마그네트론 스퍼터링 장치는 300W의 스퍼터링전력, 30sccm의 아르곤 가스유량, 7sccm의 산소 가스유량, 7mTorr의 작동압력, 및 450℃의 온도조건 하에서 동작하고, 상기 p타입산화물층(200)은 33nm/min의 증착속도로 10 내지 30 동안 650nm의 두께로 형성될 수 있다.

[0099] 한편, 상기 와이드밴드갭층형성단계(S30)에서는 상기 p타입산화물층(200) 위에 상기 Ga₂O₃를 포함하는 상기 와이드밴드갭층(300)을 형성할 수 있고, 상기 n타입산화물층형성단계(S40)에서는 상기 와이드밴드갭층(300) 위에 상기 n타입산화물층(400)을 형성할 수 있다. 전술한 바와 같이 상기 n타입산화물층(400)은 ZnO를 포함할 수 있다. 상기 와이드밴드갭층(300) 및 n타입산화물층(400) 각각은 상기 p타입산화물층(200)과 상응하게 마그네트론 스퍼터링 장치로 증착될 수 있으며, 상기 와이드밴드갭층(300)과 상기 n타입산화물층(400)의 증착조건은 서로 상응할 수 있다.

[0100] 구체적으로, 상기 와이드밴드갭층형성단계(S30) 및 n타입산화물층형성단계(S40)에서 상기 마그네트론 스퍼터링 장치에서 순서대로 진행될 수 있다. 상기 마그네트론 스퍼터링 장치의 내측의 일측에는 Ga₂O₃타겟 및 ZnO타겟이

배치되고, 상기 와이드밴드갭층형성단계(S30)에서는 상기 Ga_2O_3 타겟이 사용되고, 상기 n타입산화물층형성단계(S40)에서는 상기 ZnO타겟이 사용되도록 설정될 수 있다. 상기 와이드밴드갭층형성단계(S30) 및 n타입산화물층형성단계(S40)에서 상기 마그네트론 스퍼터링 장치는 1 내지 100W의 RF전력, 0.1 내지 10sccm의 아르곤(Ar) 가스유량, 및 1 내지 10mTorr의 작동압력에서 동작할 수 있다.

[0101] 바람직하게는, 상기 마그네트론 스퍼터링 장치는 20 내지 70W의 RF전력, 1 내지 7sccm의 아르곤 가스유량, 2 내지 7mTorr의 작동압력에서 동작할 수 있다.

[0102] 보다 세부적으로는, 상기 마그네트론 스퍼터링 장치는 50W의 RF전력, 5sccm의 아르곤 가스유량, 5mTorr의 작동압력에서 동작할 수 있다.

[0103] 위와 같은 조건에서 상기 와이드밴드갭층(300)은 상기 p타입산화물층(200)의 위에 0.1 내지 3nm/min의 증착속도로 1 내지 60분 동안 상기 1 내지 50nm의 두께로 증착될 수 있다. 바람직하게는, 상기 와이드밴드갭층(300)은 0.5 내지 2nm/min의 증착속도로 5 내지 50분 동안 5 내지 30nm 두께로 증착될 수 있다. 보다 세부적으로는, 상기 와이드밴드갭층(300)은 1nm/min의 증착속도로 10 내지 30분 동안 14nm의 두께로 증착될 수 있다.

[0104] 상기 와이드밴드갭층형성단계(S30)가 완료되면 상기 마그네트론 스퍼터링 장치에서는 상기 와이드밴드갭층(300) 위에 상기 n타입산화물층(400)을 형성하는 상기 n타입산화물층형성단계(S40)가 수행될 수 있다. 상기 n타입산화물층(400)은 전술한 조건 하에서 0.1 내지 10nm/min의 증착속도로 1 내지 120분 동안 증착되어 최종적으로 10 내지 1000nm의 두께를 가질 수 있다. 바람직하게는, 상기 n타입산화물층(400)은 0.5 내지 5nm/min의 증착속도로 10 내지 100분 동안 30 내지 200nm의 두께로 증착될 수 있다. 더욱 세부적으로는, 상기 n타입산화물층(400)은 1.5nm/min의 증착속도로 30 내지 80분 동안 85nm의 두께로 증착될 수 있다.

[0105] 상기 상부전극형성단계(S50)에서는 상기 n타입산화물층(400) 위에 상기 상부전극층(500)을 형성할 수 있다. 전술한 바와 같이, 상기 n타입산화물층(400) 및 상부전극층(500)은 각각이 단층 혹은 복층구조로 형성될 수 있다. 또한, 상기 상부전극층(500)은 ZnO 및 Ag나노와이어를 포함할 수 있다.

[0106] 구체적으로, 상기 상부전극층(500)은 n타입산화물층(400) 위에 배치되는 나노와이어층 및 상기 나노와이어층 위에 배치되는 산화물박막층을 포함할 수 있고, 상기 나노와이어층은 상기 Ag나노와이어를 포함하고, 상기 산화물박막층은 상기 ZnO를 포함할 수 있다.

[0107] 상기 상부전극형성단계(S50)에서는 상기 나노와이어층을 형성하고, 상기 나노와이어층 위에 산화물박막층을 형성할 수 있다. 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 상부전극형성단계(S50)에서는 상기 n타입산화물층(400) 위에 1 이상의 전극패턴이 형성된 패턴마스크를 배치할 수 있다. 이하에서는 상기 패턴마스크가 배치된 상기 n타입산화물층(400)을 중간기판이라고 칭하기로 한다. 상기 중간기판은 스펀코팅 장치에 배치되고, 상기 중간기판을 100 내지 10000rpm의 속도로 1 내지 60분 동안 회전시키면서 상기 Ag나노와이어를 포함하는 나노와이어용액을 상기 중간기판의 상측에서 공급함으로써 상기 나노와이어층을 스펀코팅할 수 있다. 스펀코팅 된 상기 나노와이어층은 0 내지 500℃의 온도조건에서 1 내지 1000초 동안 열처리됨으로써 내측에 Ag나노와이어로 구성된 네트워크를 포함할 수 있다.

[0108] 바람직하게는, 상기 나노와이어층은 상기 중간기판을 1000 내지 5000rpm의 속도로 10 내지 50분 동안 회전시키며 스펀코팅하고, 10 내지 300℃의 온도조건에서 30 내지 500초 동안 열처리하여 형성할 수 있다.

[0109] 더욱 세부적으로는, 상기 나노와이어층은 상기 중간기판을 2000rpm의 속도로 30분 동안 회전시키며 스펀코팅하고, 100℃의 온도조건에서 60 내지 360초 동안 열처리하여 형성할 수 있다.

[0110] 열처리된 상기 나노와이어층의 위에는 상기 산화물박막층이 형성될 수 있고, 상기 산화물박막층은 상기 n타입산화물층형성단계(S40)에 상응하는 조건에서 형성될 수 있다. 상기 마그네트론 스퍼터링 장치의 내측의 일측에는 상기 ZnO타겟이 배치될 수 있고, 상기 나노와이어층이 형성된 상기 중간기판은 상기 마그네트론 스퍼터링 장치 내측의 타측에 배치될 수 있고, 상기 마그네트론 스퍼터링 장치는 1 내지 100W의 RF전력, 0.1 내지 10sccm의 아르곤 가스유량, 1 내지 10mTorr의 작동압력에서 동작할 수 있다. 전술한 조건에서 상기 산화물박막층은 상기 나노와이어층의 위에 1 내지 60분 동안 1 내지 1000nm의 두께로 증착될 수 있다.

[0111] 바람직하게는, 상기 마그네트론 스퍼터링 장치는 20 내지 70W의 RF전력, 1 내지 7sccm의 아르곤 가스유량, 1 내지 7mTorr의 작동압력에서 동작하고, 상기 산화물박막층은 5 내지 50분 동안 5 내지 30nm의 두께로 증착될 수 있다.

- [0112] 더욱 세부적으로는, 상기 마그네트론 스퍼터링 장치는 50W의 RF전력, 5sccm의 아르곤 가스유량, 5mTorr의 작동 압력에서 동작하고, 상기 산화물박막층은 10분 동안 12nm의 두께로 증착될 수 있다.
- [0113] 상기 산화물박막층이 형성된 후에, 상기 중간기판에 배치된 상기 패턴마스크는 상기 나노와이어층 및 산화물박막층이 형성된 상기 중간기판으로부터 제거될 수 있다. 상기 패턴마스크를 제거함으로써 상기 n타입산화물층(400)의 위에는 상기 패턴마스크의 상기 전극패턴의 형상에 상응하는 1 이상의 패턴전극을 포함하는 상기 상부전극층(500)이 형성될 수 있고, 상기 상부전극층(500)의 상기 패턴전극은 상기 나노와이어층 및 산화물박막층을 포함할 수 있다. 상기 상부전극층(500)이 형성됨으로써 상기 투명태양광모듈(1)이 형성될 수 있다.
- [0115] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 p타입산화물층(200), 와이드밴드갭층(300), 및 n타입산화물층(400)은 마그네트론 스퍼터링 장치를 사용하여 상기 유리기판층(100) 위에 순차적으로 증착됨으로써 하나의 장치로 상기 p타입산화물층형성단계(S20), 와이드밴드갭층형성단계(S30), 및 n타입산화물층형성단계(S40)를 처리하여 공정의 편의성을 향상시키는 효과를 발휘할 수 있다.
- [0117] 본 발명에서는 상기 투명태양광모듈(1)이 대기중에서 태양광발전을 하는 경우의 성능 및 수중환경에서 태양광발전을 하는 수중태양광발전 성능 모두를 확인하기 위하여 하기와 같은 투명태양광모듈(1)의 실시예를 준비하였다. 본 발명의 일 실시예에 따른 투명태양광모듈(1)의 실시예 #1 내지 실시예 #3은 전술한 FTO를 포함하는 유리기판층(100), Cu_2O 를 포함하는 p타입산화물층(200), Ga_2O_3 를 포함하는 와이드밴드갭층(300), ZnO 를 포함하는 n타입산화물층(400), 및 Ag나노와이어를 포함하는 나노와이어층 및 ZnO 를 포함하는 산화물박막층을 포함하는 상부전극층(500)을 모두 포함할 수 있고, 상기 투명태양광모듈(1)의 실시예 #1 내지 실시예 #3의 제조단계는 도 2에서 서술한 상기 투명태양광모듈(1)의 제조단계에 상응할 수 있다.
- [0119] 실시예#1
- [0120] FTO를 포함하는 유리기판층(100), 650nm 두께의 Cu_2O 를 포함하는 p타입산화물층(200), 14nm 두께의 Ga_2O_3 를 포함하는 와이드밴드갭층(300), 및 85nm 두께의 ZnO 를 포함하는 n타입산화물층(400), 및 상부전극층(500)을 포함하고, 상기 상부전극층(500)은 상기 n타입산화물층(400) 위에 가로폭 및 세로폭이 각각 6mm, 7mm인 사각형상의 패턴전극 4개가 일렬로 배치된 구조이고, 각각의 상기 패턴전극은 Ag나노와이어를 포함하는 나노와이어층, 및 12nm 두께의 ZnO 를 포함하는 산화물박막층을 포함하는 투명태양광모듈(1).
- [0122] 실시예#2
- [0123] FTO를 포함하는 유리기판층(100), 650nm 두께의 Cu_2O 를 포함하는 p타입산화물층(200), 14nm 두께의 Ga_2O_3 를 포함하는 와이드밴드갭층(300), 및 85nm 두께의 ZnO 를 포함하는 n타입산화물층(400), 및 상부전극층(500)을 포함하고, 상기 상부전극층(500)은 상기 n타입산화물층(400) 위에 가로폭 및 세로폭이 각각 4mm, 5mm인 사각형상의 패턴전극이 총 9개 배치된 구조이고, 각각의 상기 패턴전극은 Ag나노와이어를 포함하는 나노와이어층, 및 12nm 두께의 ZnO 를 포함하는 산화물박막층을 포함하는 투명태양광모듈(1).
- [0125] 실시예#3
- [0126] FTO를 포함하는 유리기판층(100), 650nm 두께의 Cu_2O 를 포함하는 p타입산화물층(200), 14nm 두께의 Ga_2O_3 를 포함하는 와이드밴드갭층(300), 및 85nm 두께의 ZnO 를 포함하는 n타입산화물층(400), 및 상부전극층(500)을 포함하고, 상기 상부전극층(500)은 상기 n타입산화물층(400) 위에 가로폭 및 세로폭이 각각 3mm, 4mm인 사각형상의 패턴전극이 총 16개 배치된 구조이고, 각각의 상기 패턴전극은 Ag나노와이어를 포함하는 나노와이어층, 및 12nm 두께의 ZnO 를 포함하는 산화물박막층을 포함하는 투명태양광모듈(1).
- [0128] 실시예 #1, #2, 및 #3 각각은 상기 상부전극층(500)의 패턴전극의 크기 및 개수의 차이가 있으나 상기 실시예 #1, #2, 및 #3 각각의 유리기판층(100), p타입산화물층(200), 와이드밴드갭층(300), n타입산화물층(400), 및 상부전극층(500)은 서로 상응하는 두께 및 물질을 갖는다. 이하에서는 상기 실시예 #1, #2, 및 #3을 기반으로 상기 투명태양광모듈(1)의 특성을 분석한 실험 결과에 대해 설명한다. 하기 도 3 내지 도 8에 도시된 FTO 및 glass는 상기 유리기판층(100)에 상응하고, Cu_2O , Ga_2O_3 , 및 ZnO 는 각각이 상기 p타입산화물층(200), 와이드밴드갭층(300), 및 n타입산화물층(400)에 상응하고, AgNW 및 AgNW의 상층에 배치된 ZnO 내지 AgNW/ ZnO 는 상기 상부전극층(500)에 상응한다.
- [0129] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 투명태양광모듈(1), 투명태양광모듈(1)의 단면 TEM이미지, EDS이미지, 흡광

도, 흡광계수, 투과도, 및 색좌표에 대한 사항을 도시한다.

- [0131] 도 3(a)는 상기 실시예#1을 투명한 큐벳에 삽입하여 상기 유리기관층(100)의 하측을 상기 투명한 큐벳의 일면에 고정하고, 상기 투명한 큐벳의 내측에 물을 유입시킨 상태 및 상기 실시예#1의 상측이 물과 접촉한 상태의 개략도를 도시하고, 도 3(b)는 상기 실시예#1의 단면 TEM 이미지를 도시하고, 도 3(c)는 상기 실시예#1의 상부전극층(500)을 확대한 단면 TEM 이미지를 도시하고, 도 3(d)는 상기 실시예#1의 EDS이미지를 도시한다. 또한 도 3(e), 도 3(f), 도 3(g), 및 도 3(h) 각각은 상기 실시예#1을 대기중에 설치하는 경우 및 수중환경에 설치하는 경우의 흡광도, 흡광계수, 투과도, 및 색좌표에 대한 사항을 도시한다.
- [0133] 전술한 바와 같이, 본 발명의 일 실시예에 따른 투명태양광모듈(1)의 상부전극층(500)은, 상기 n타입산화물층(400)의 위에 형성되는 1 이상의 패턴전극을 포함하고, 상기 패턴전극은, 상기 n타입산화물층(400)의 위에 배치되는 나노와이어층 및 상기 나노와이어층 위에 배치되는 산화물박막층을 포함할 수 있다. 도 3(a)에 도시된 바와 같이, 상기 실시예#1은 일렬로 배치된 4개의 패턴전극을 포함하는 상부전극층(500)을 포함한다. 상기 실시예#1이 수중환경에 설치되는 경우에, 상기 실시예#1의 상부전극층(500)의 상측에 배치되는 물은 하나의 층으로 고려될 수 있다. 이하에서는 본 발명의 일 실시예에 따른 투명태양광모듈(1)이 수중환경에 설치되는 경우에, 상기 투명태양광모듈(1)의 상측에 배치되는 물을 수층이라고 지칭한다.
- [0134] 도 3(b)에 도시된 바와 같이, 상기 실시예#1의 p타입산화물층(200)은 200nm의 폭과 650nm의 높이를 갖는 기둥형 결정립을 포함하는 Cu_2O 가 상기 유리기관층(100)의 위에 배치된 형상을 가질 수 있다. 또한, 도 3(c)에 도시된 바와 같이, 상기 실시예#1의 상부전극층(500)은 Ag나노와이어에 의한 네트워크 구조를 포함하고, 상기 Ag나노와이어의 지름은 25nm일 수 있다.
- [0136] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 상부전극층(500)에 포함된 Ag나노와이어에 의한 네트워크는 상기 투명태양광모듈(1)의 투명도 및 전도성을 향상시키고, 전기적 및 열적 안정성을 향상시키는 효과를 발휘할 수 있다.
- [0138] 도 3(d)에 도시된 바와 같이, 상기 실시예#1은 규소(Si), 산소(O), 주석(Sn), 구리(Cu), 갈륨(Ga), 아연(Zn), 및 은(Ag)을 포함할 수 있다. 상기 규소 및 주석은 상기 실시예#1의 하측에서 집중적으로 검출되므로 상기 규소 및 주석은 상기 유리기관층(100)에 포함된 것일 수 있다. 상기 구리는 상기 주석이 검출된 부위의 상측에서 집중적으로 검출되는 것을 확인할 수 있고, 상기 유리기관층(100) 위에 배치된 것은 p타입산화물층(200)이므로 상기 구리는 상기 p타입산화물층(200)에 포함된 Cu_2O 의 성분일 수 있다. 상기 갈륨은 상기 구리의 검출부위의 상측에서 집중적으로 검출되고, 상기 아연은 상기 갈륨의 검출부위의 상측에서 집중적으로 검출된다. 즉, 상기 갈륨은 상기 와이드밴드갭층(300)에 포함된 물질일 수 있고, 상기 아연은 상기 n타입산화물층(400)에 포함된 물질일 수 있다. 상기 은은 상기 아연의 검출부위의 상측에서 검출되고, 하나의 층이 아닌 점의 형태로 검출됨으로써 전술한 상부전극층(500)에 포함된 Ag나노와이어에 의한 네트워크 구조를 확인할 수 있다. 상기 유리기관층(100), p타입산화물층(200), 와이드밴드갭층(300), 및 n타입산화물층(400)은 모두 산화물을 포함하므로 상기 산소는 상기 실시예#1의 단면의 전체부위에서 검출될 수 있다.
- [0140] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 투명태양광모듈(1)은, 대기(Air ambient) 및 수중환경에서 동작할 수 있고, 상기 수중환경은 바닷물, 민물, 수돗물, 및 증류수를 포함할 수 있다.
- [0141] 또한, 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 투명태양광모듈(1)은, 자연 태양광 및 LED인공광이 조사되는 경우에 동작 가능할 수 있다.
- [0143] 구체적으로, 상기 투명태양광모듈(1)이 바닷물, 민물, 수돗물, 혹은 증류수에 담지된 상태에서 작동하는 경우에, 상기 투명태양광모듈(1)이 상기 수중환경에 설치되었다고 지칭할 수 있다.
- [0145] 이하에서는, 상기 실시예#1, 실시예#2, 및 실시예#3 각각이 대기중에 설치되는 경우를 실시예#1(대기), 실시예#2(대기), 및 실시예#3(대기)라고 지칭하고, 상기 실시예#1, 실시예#2, 및 실시예#3 각각이 수중환경에 설치되는 경우를 실시예#1(수중), 실시예#2(수중), 및 실시예#3(수중)이라고 지칭한다.
- [0146] 상기 실시예#1(수중)은 상기 도 3(a)에 도시된 바와 같이 상기 실시예#1을 투명한 큐벳에 삽입하여 상기 유리기관층(100)의 하측을 상기 투명한 큐벳의 일면에 고정하고, 상기 투명한 큐벳의 내측에 물을 유입시킨 상태일 수 있다.
- [0148] 도 3(e)에 도시된 바와 같이, 실시예#1(대기) 및 실시예#1(수중)은 300 내지 1050nm 영역대의 파장에서 인공광을 조사하여 흡광도를 측정하는 경우에 약 300 내지 500nm에서 상대적으로 높은 흡광도를 가질 수 있다. 실시예#1(수중)은 상기 실시예#1의 상측에 배치된 수층을 포함하고, 상기 수층에 의해 상기 실시예#1의 표면에 입사되

는 자외선이 감쇠됨으로써 상기 실시예#1(대기)에 비해 억제된 자외선 및 450nm 영역대의 흡광도를 가질 수 있다.

[0149] 한편, 도 3(f)는 도 3(e)에서 측정된 실시예#1(대기) 및 실시예#1(수중)의 흡광도를 기반으로 흡광계수(α)를 계산한 결과를 도시한다. 상기 흡광계수를 하기와 같은 식에 대입하는 경우에 상기 실시예#1(대기) 및 실시예#1(수중)에 대한 빛의 투과깊이를 계산하는 것이 가능할 수 있다.

[0150] [식 1]

$$\alpha(\lambda) = \frac{1}{d_t} \ln \left(\frac{1}{T(\lambda)} \right)$$

[0152] 이때 [식 1]에서 α 는 흡광계수이고, d_t 는 실시예#1의 두께인 700nm이고, 상기 T는 투과도이고, λ 는 빛의 파장에 해당한다. 상기 식에 상기 흡광계수를 대입하여 도출한 상기 실시예#1(대기) 및 실시예#1(수중)의 투과도를 도 3(g)에 도시하였다. 도 3(g)에 도시된 바와 같이, 상기 실시예#1(대기) 및 실시예#1(수중)은 500nm 이상의 파장을 갖는 빛에 대해 높은 투과도를 가질 수 있다. 또한 상기 실시예#1(수중)의 투과도는 상기 실시예#1(대기)의 투과도보다 높은 값을 가지며, 이는 상기 실시예#1(수중)에 입사된 빛이 상기 실시예#1(대기)에 입사된 빛보다 상기 실시예#1의 내측으로 더 깊이 침투할 수 있다는 의미일 수 있다. 460nm의 빛에서 상기 실시예#1(수중) 및 상기 실시예#1(대기)의 투과깊이는 각각 62.5nm 및 50nm로 상기 실시예#1(수중)에 입사되는 빛은 상기 실시예#1(대기)에 입사되는 빛에 비해 약 10 내지 12nm 이상 더 깊이 상기 실시예#1의 내측으로 침투할 수 있다.

[0154] 즉, 본 발명의 일 실시예에 따른 상기 투명태양광모듈(1)은 수중환경에 설치되는 경우에 대기중에 설치되는 경우보다 더 깊은 빛의 투과깊이를 가짐으로써 입사되는 빛이 상기 투명태양광모듈(1)의 더 깊은 곳으로 침투할 수 있게 하여 표면 흡수를 억제하고 광발전효율을 향상시키는 효과를 발휘할 수 있다.

[0155] 또한 본 발명의 일 실시예에 따른 상기 투명태양광모듈(1)은 가시광선 영역대의 빛에서 50%이상의 투과도를 가지고 높은 투명성을 나타냄으로써 장치의 응용범위를 확대시키는 효과를 발휘할 수 있다.

[0157] 도 3(h)는 상기 실시예#1(대기) 및 실시예#1(수중)의 색좌표를 도시한다. 상기 실시예#1(대기) 및 실시예#1(수중) 각각은 육안으로 관찰하는 경우에 베이지 내지 황금색 계열의 색을 나타낼 수 있다. 단, 전술한 바와 같이 상기 실시예#1(대기) 및 실시예#1(수중)은 500nm 이상의 파장을 갖는 가시광선 영역대의 빛에서 높은 투과도를 가질 수 있으므로 육안으로 관찰하는 경우에 베이지 내지 황금색 계열의 반투명 내지 투명한 기기로 보일 수 있다.

[0159] 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 투명태양광모듈(1), 및 투명태양광모듈(1)의 전기적특성에 대한 사항을 도시한다.

[0161] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 투명태양광모듈(1)은 공기와 접촉되는 환경보다 수중환경에서 전력변환효율(Power conversion efficiency, PCE)이 더욱 높을 수 있다.

[0162] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 투명태양광모듈(1)은 수중에서 동작할 때, 물의 굴절률에 의하여 빛의 직진성이 개선됨으로써 필팩터(Fill Factor, FF)가 10% 이상일 수 있다.

[0163] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 투명태양광모듈(1)은 수중에서 동작할 때 전력변환효율(Power conversion efficiency, PCE)이 1% 이상일 수 있다.

[0165] 도 4(a)는 실시예#3을 도시하고, 도 4(b)는 상기 실시예#3을 수중환경에 설치한 실시예#3(수중)의 모습을 도시하고, 도 4(c)는 상기 실시예#3(대기) 및 실시예#3(수중)의 전류밀도-전압 곡선을 도시하고, 도 4(d)는 상기 실시예#3(대기) 및 실시예#3(수중)의 전류밀도-전압 곡선을 도시하고, 도 4(e), 도 4(f), 도 4(g), 및 도 4(h)는 각각이 상기 실시예#3(대기) 및 실시예#3(수중)의 단락전류, 개방전압, 필팩터, 및 전력변환효율을 도시한다.

[0167] 도 4(a)에 도시된 실시예#3은 도 3(b)에 도시된 바와 같이 수중환경에 설치될 수 있다. 도 3(b)에 도시된 실시예#3(수중)은 상부전극층(500)을 음극으로 사용하고, 유리기판층(100)을 양극으로 사용할 수 있다. 상기 실시예#3(수중)은 1.2cm 깊이의 물 속에 배치되고, 상기 실시예#3(수중)의 수층은 평평한 표면을 가질 수 있다. 상기 실시예#3(수중) 및 실시예#3(대기)에 조사되는 빛은 AM1.5G 조건에서 $100\text{mW}/\text{cm}^2$ 의 강도를 갖고, 상기 실시예#3(수중) 및 실시예#3(대기)의 상측에서 지면을 향해 수직방향으로 조사될 수 있다.

- [0168] 도 4(c)에 도시된 바와 같이, 상기 실시예#3(대기) 및 실시예#3(수중) 각각은 빛이 조사되고, 양의 값을 갖는 전압이 인가되는 경우에 전류밀도 값이 음의 값을 나타내는 태양광 발전 특성을 나타낼 수 있다.
- [0169] 도 4(d)는 상기 도 4(c)에서 측정된 상기 실시예#3(대기) 및 실시예#3(수중)의 전류-전압 곡선을 기반으로 전압에 따른 출력전력을 도시한 것이다. 도 4(d)에 도시된 바와 같이, 상기 실시예#3(수중)의 최대출력전력(P_{max})은 약 $3.05\text{mW}/\text{cm}^2$ 이고, 상기 실시예#3(대기)의 최대출력전력은 약 $2.5\text{mW}/\text{cm}^2$ 으로 상기 실시예#3(수중)이 상기 실시예#3(대기)보다 약 22% 증가된 최대출력전력 값을 가질 수 있다.
- [0170] 도 4(e)에 도시된 바와 같이, 상기 실시예#3(수중)의 단락전류(J_{sc})는 약 $-8.21\text{mA}/\text{cm}^2$ 로 상기 실시예#3(대기)의 단락전류 값인 $-7.14\text{mA}/\text{cm}^2$ 보다 약 $1\text{mA}/\text{cm}^2$ 이상 향상된 값을 가질 수 있다. 본 발명의 일 실시예에 따른 투명태양광모듈(1)의 수중 단락전류 값인 $-8.21\text{mA}/\text{cm}^2$ 는 종래에 연구된 InGaP, DSSC 셀, 및 BiFeO₃기반 수중 광발전 기기에서 보고된 단락전류보다 큰 값에 해당할 수 있다.
- [0171] 도 4(f)에 도시된 바와 같이, 상기 실시예#3(수중)의 개방전압(V_{oc})은 0.7914V이고, 실시예#3(대기)의 개방전압은 0.751V일 수 있다. 또한 도 4(g)에 도시된 필팩터는 하기와 같은 식으로 구할 수 있다.
- [0172] [식 2]
- [0173]
$$FF = (P_{max}) / (J_{sc} \times V_{oc})$$
- [0174] [식 2]에서 FF는 필팩터(fill factor)일 수 있고, P_{max} 는 전술한 최대출력전력 값일 수 있고, J_{sc} 는 단락전류 값일 수 있고, V_{oc} 는 개방전압 값에 해당한다. 필팩터는 태양광모듈의 품질 평가에서 몹시 중요한 척도로 상기 태양광모듈의 효율을 의미할 수 있으며, 100%에 가까울수록 이상적인 태양광모듈로 평가될 수 있다. 도 4(g)에 도시된 바와 같이 상기 실시예#3(수중) 및 실시예#3(대기)의 필팩터 값은 약 46.8%로 서로 상응하는 값을 가질 수 있다.
- [0175] 상기 필팩터 값을 기반으로 상기 실시예#3(수중) 및 실시예#3(대기)의 전력변환효율(Power conversion efficiency, PCE)을 계산할 수 있다. 상기 실시예#3(수중)은 도 4(h)에 도시된 바와 같이 2.59%의 전력변환효율을 나타낼 수 있고, 상기 실시예#3(대기)는 2.13%의 전력변환효율을 나타낼 수 있다. 본 발명의 일 실시예에 따른 투명태양광모듈(1)의 전력변환효율은 종래의 유기물질, 비정질 실리콘, ZnO 와이드밴드갭 물질 등을 기반으로 하는 광변환 전력소자보다 최대 21.1% 개선된 전력변환효율을 가질 수 있다.
- [0176] 상기 실시예#3(수중)은 수중에서 동작함으로써 상기 실시예#3(수중)의 상층에 배치된 물의 굴절률에 의하여 조사되는 빛의 직진성이 개선될 수 있고, 상기 조사되는 빛의 직진성이 개선됨으로써 상기 실시예#3(대기)보다 향상된 태양광모듈의 성능을 나타낼 수 있다. 상기 물의 굴절률에 대한 보다 상세한 설명은 후술하는 도면에서 설명하기로 한다.
- [0178] 즉, 본 발명의 일 실시예에 따른 상기 투명태양광모듈(1)은 수중환경에 설치되는 경우에 수층을 포함함으로써 상기 투명태양광모듈(1)이 대기중에 설치되는 경우보다 더 높은 단락전류, 개방전압, 및 전력변환효율을 가져 기기성능이 향상되는 효과를 발휘할 수 있다.
- [0180] 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 투명태양광모듈(1)의 광전변환효율(Incident photon-to-current conversion efficiency, IPCE), 및 전력변환효율(Power conversion efficiency, PCE)에 대한 사항을 도시한다.
- [0182] 도 5(a)는 상기 실시예#3의 광전변환효율(Incident photon-to-current conversion efficiency, IPCE)에 대한 사항을 도시하고, 도 5(b)는 상기 실시예#3의 전력변환효율(Power conversion efficiency, PCE)에 대한 사항을 도시한다.
- [0184] 도 5(a)에 도시된 바와 같이, 본 발명의 일 실시예에 따른 실시예#3(수중) 및 실시예#3(대기)는 365 내지 480nm의 파장범위에서 80% 이상의 광전변환효율 값을 가질 수 있고, 상기 실시예#3(수중)의 광전변환효율이 상기 실시예#3(대기)의 광전변환효율보다 더 높은 값을 가질 수 있다.
- [0185] 전술한 바와 같이, 상기 실시예#1은 300 내지 500nm의 파장범위에서 높은 흡광도를 가질 수 있으므로 상기 실시예#1과 상응하는 구조를 갖되 상기 상부전극층(500)의 패턴전극의 크기 및 개수만 다른 상기 실시예#3는 상기 실시예#1에 상응하는 광학적 특성을 포함할 수 있다. 즉, 상기 실시예#3은 300 내지 500nm의 파장범위에서 높은

흡광도를 갖고, 특히 상기 실시예#3(수중)은 상기 수층을 포함함으로써 상기 실시예#3(대기)에 비해 더 깊은 빛의 투과깊이를 가질 수 있으므로 상기 실시예#3(수중)은 365 내지 480nm의 파장범위에서 상기 실시예#3(대기)보다 높은 광전변환효율을 가질 수 있다.

- [0186] 도 5(b)에 도시된 바와 같이, 상기 실시예#3(수중) 및 실시예#3(대기)에 각 파장 별로 단색광을 조사하는 경우에 상기 실시예#3(수중) 및 실시예#3(대기)의 전력변환효율 각각은 부분적으로 상응하는 값을 가질 수 있다. 특히, 상기 실시예#3(대기)는 365 내지 470nm의 파장범위에서 약 6%의 전력변환효율을 달성할 수 있고, 상기 실시예#3(수중)은 470nm의 단색광이 조사되는 경우에 전력변환효율이 약 10.25%까지 증가할 수 있다.
- [0188] 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 투명태양광모듈(1)을 대기중에 설치하는 경우, 수중환경(증류수)에 설치하는 경우, 수중환경(수돗물)에 설치하는 경우, 및 수중환경(소금물)에 설치하는 경우 각각에서 측정된 전기적특성에 대한 사항을 도시한다.
- [0190] 도 6(a)는 실시예#2를 수중환경에 설치하여 수중태양광발전 특성을 파악하는 모습을 개략적으로 도시하고, 도 6(b)는 상기 실시예#2가 설치된 수중환경의 깊이에 따른 상기 실시예#2의 출력전력 특성에 대한 사항을 도시하고, 도 6(c)는 상기 실시예#2가 설치된 수중환경의 종류에 따른 상기 실시예#2의 전력변환효율에 대한 사항을 도시한다.
- [0192] 구체적으로, 본 발명의 일 실시예에 따른 투명태양광모듈(1)을 수중환경에 설치하고, 수층의 두께 내지 수층의 성분에 따른 수중태양광발전 특성을 파악하기 위해 상기 실시예#2를 도 6(a)에 도시된 바와 같은 장치에 설치할 수 있다. 상기 실시예#2(수중)은 상부전극층(500)의 위에 0-링 고무패킹을 포함하는 0-링 챔버가 배치될 수 있고, 상기 0-링 챔버에 물을 주입함으로써 상기 실시예#2(수중)의 수층의 두께를 조절할 수 있다. 또한 0-링 챔버에 주입하는 물의 종류를 바꾸는 경우에 상기 실시예#2(수중)에 포함되는 상기 수층의 성분을 조절할 수 있다.
- [0193] 상기 실시예#2(수중)의 상기 수층은 0 내지 20mm의 두께를 가질 수 있다. 도 6(b)에 도시된 바와 같이, 상기 실시예#2는 상기 수층의 두께가 0mm인 실시예#2(대기)의 경우에 $2.193\text{mW}/\text{cm}^2$ 의 최대출력전력 값을 가질 수 있다. 한편 상기 실시예#2(수중)은 상기 수층의 두께가 12mm인 경우에 최대출력전력 값이 $3.611\text{mW}/\text{cm}^2$ 까지 향상될 수 있고, 상기 수층의 두께가 20mm로 증가하는 경우에 상기 실시예#2(수중)의 최대출력전력 값은 $2.516\text{mW}/\text{cm}^2$ 으로 다시 감소할 수 있다. 단, 상기 실시예#2(수중)의 상기 수층의 두께가 증가하는 경우에도 상기 실시예#2(대기)의 최대출력전력 값보다 더 큰 값을 갖는 것을 확인할 수 있다.
- [0195] 한편, 상기 수층의 성분에 따른 상기 실시예#2(수중)의 전력변환효율은 도 6(c)에 도시된 바와 같을 수 있다. 구체적으로, 상기 실시예#2(수중)은 증류수, 수돗물, 및 소금물 환경에서 수중태양광발전 특성을 측정할 수 있고, 상기 증류수, 수돗물, 및 소금물을 포함하는 각각의 수층의 두께는 0 내지 20mm일 수 있다. 상기 소금물은 바닷물에서의 수중태양광발전을 시뮬레이션하기 위해 사용될 수 있다. 이하에서는 상기 실시예#2(수중)의 수층이 증류수인 경우를 실시예#2(수중/증류수)로 지칭하고, 상기 실시예#2(수중)의 수층이 수돗물인 경우를 실시예#2(수중/수돗물)로 지칭하고, 상기 실시예#2(수중)의 수층이 소금물인 경우를 실시예#2(수중/소금물)로 지칭한다.
- [0196] 도 6(c)에 도시된 바와 같이, 실시예#2(수중/증류수), 실시예#2(수중/수돗물), 및 실시예#2(수중/소금물) 각각은 0 내지 20mm의 범위에서 약 12.5mm의 수층을 포함하는 경우에 가장 높은 전력변환효율을 가질 수 있다. 상기 수층의 두께가 약 12.5mm인 경우에, 상기 실시예#2(수중/증류수), 실시예#2(수중/수돗물), 및 실시예#2(수중/소금물)의 각각의 전력변환효율은 3.61%, 3.78%, 및 3.41%일 수 있다. 상기 실시예#2(수중/수돗물)의 최대출력전력은 약 $3.78\text{mW}/\text{cm}^2$ 로 상기 실시예#2(대기)보다 80% 이상 높은 최대출력전력 값을 가질 수 있다. 상기 실시예#2(수중/소금물)은 상기 실시예#2(대기)보다 높은 전력변환효율을 갖는 반면, 상기 실시예#2(수중/증류수) 및 실시예#2(수중/수돗물)에 비하여 상대적으로 낮은 전력변환효율을 가질 수 있다.
- [0197] 즉, 상기 수층은 본 발명의 일 실시예에 따른 투명태양광모듈(1)의 광전하 생성 및 재결합에 영향을 미칠 수 있으며, 상기 수층의 두께 및 성분에 따라 상기 투명태양광모듈(1)에 미치는 영향이 달라질 수 있다고 해석할 수 있다.
- [0199] 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 투명태양광모듈(1)에 대한 입사광의 입사각에 따른 전기적특성에 대한 사항을 도시한다.

- [0201] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 투명태양광모듈(1)은, 수중에서 동작하여 광에너지를 전기에너지로 변환하는 수중태양광발전을 할 수 있고, 상기 수중태양광발전을 하는 경우에, 상기 투명태양광모듈(1)의 상측에 인접하게 배치된 물이 집광렌즈로 기능할 수 있다.
- [0203] 도 7(a)는 본 발명의 일 실시예에 따른 투명태양광모듈(1)이 수중환경에 설치된 경우에 다양한 각도에서 빛이 입사되는 모습의 개략도를 도시하고, 도 7(b)는 상기 실시예#3이 수중환경에 설치된 경우에 다양한 각도에서 빛이 입사되는 모습을 도시하고, 도 7(c) 및 도 7(d) 각각은 상기 실시예#3에 입사된 빛의 각도에 따른 상기 실시예#3의 단락전류 및 전력변환효율에 대한 사항을 도시하고, 도 7(e) 및 도 7(f) 각각은 상기 실시예#2를 수중환경에 설치하고, 프레넬렌즈로 태양광을 집광하고, 상기 실시예#2에 전기팬을 설치한 모습의 개략도 및 실제 모습을 도시한다.
- [0205] 구체적으로, 본 발명의 일 실시예에 따른 투명태양광모듈(1)이 수중환경에 설치되는 경우에, 상기 투명태양광모듈(1)에 입사되는 빛은 0 내지 60°의 각도범위에서 입사될 수 있다. 상기 실제 햇빛이 상기 투명태양광모듈(1)에 입사된다고 가정하는 경우에, 상기 햇빛은 계절 및 시간대에 따라 상기 투명태양광모듈(1) 방향으로 입사되는 각도가 변화할 수 있다. 또한 기본적으로, 빛이 공기 중에서 이동을 하다가 다른 매질에 입사되는 경우에, 상기 빛은 상기 공기 및 다른 매질의 경계면에서 일부가 반사되고, 반사되지 않은 일부는 굴절되어 상기 다른 매질의 내측으로 입사될 수 있다.
- [0206] 지속적으로 입사되는 각도가 변화하는 실제 햇빛에 대응하기 위해서는 모든 각도의 입사각에 대하여 우수한 성능을 갖는 태양광모듈을 형성하는 것이 바람직하다. 본 발명의 일 실시예에 따른 투명태양광모듈(1)은 0 내지 60°의 각도에서 약 2%의 전력변환효율을 유지할 수 있어 빛이 입사되는 각도가 변화하는 경우에도 일정량의 출력전력을 생산할 수 있는 안정성을 가지므로 실제 적용에 적합하다.
- [0208] 이하에서는 상기 투명태양광모듈(1)이 대기중에 설치되는 경우를 투명태양광모듈(대기)라고 하고, 상기 투명태양광모듈(1)이 수중환경에 설치됨으로써 수층을 포함하는 경우를 투명태양광모듈(수중)이라고 지칭한다.
- [0209] 도 7(a)에 도시된 바와 같이, 상기 투명태양광모듈(1)에는 다양한 각도의 빛이 입사될 수 있고, 상기 투명태양광모듈(수중)은 상기 투명태양광모듈(대기)와 달리 공기와 다른 굴절률(n)을 갖는 수층을 포함함으로써 상기 투명태양광모듈(수중)으로 입사되는 빛은 굴절될 수 있다. 또한 상기 굴절률(n) 및 상기 빛의 입사각(θ_i)에 따라 상기 빛은 입사된 물질 내측에서 전반사 될 수 있다. 상기 빛이 하나의 매질(n1)에서 다른 매질(n2)로 이동하는 경우에, 임계각은 하기와 같은 식으로 계산될 수 있다.
- [0210] [식 3]
- [0211]
$$\sin(\theta_c) = \frac{n_2}{n_1}$$
- [0212] [식 3]에서 θ_c 는 상기 임계각이고, n1은 상기 하나의 매질의 굴절률이고, 상기 n2는 상기 빛이 입사되는 상기 다른 매질의 굴절률에 해당한다. 상기 임계각이 매질에 입사되는 빛의 입사각보다 큰 경우에($\theta_c > \theta_i$), 상기 입사되는 빛은 상기 매질을 통과할 수 있고, 상기 임계각이 상기 매질에 입사되는 빛의 입사각보다 작은 경우에($\theta_c < \theta_i$), 상기 입사되는 빛은 상기 매질의 표면에서 반사될 수 있다.
- [0213] 한편, 상기 투명태양광모듈(1)에 550nm의 파장을 갖는 빛이 입사되는 경우에, 상기 투명태양광모듈(1)의 유리기판층(100)에 포함되는 유리 및 FTO, p타입산화물층(200)에 포함되는 Cu_2O , 와이드밴드갭층(300)에 포함되는 Ga_2O_3 , 및 n타입산화물층(400) 및 상부전극층(500)에 포함되는 ZnO는 상기 550nm의 파장을 갖는 빛에 대해 각각이 1.55, 1.85, 2.75, 1.8, 및 1.98의 굴절률을 가질 수 있다. 이하에서는 상기 550nm의 파장을 갖는 빛을 빛이라고 지칭한다.
- [0214] 상기 빛이 공기에서 상기 ZnO에 입사되는 경우의 임계각은 30.4° 이고, 상기 빛이 수층에서 상기 ZnO에 입사되는 경우의 임계각은 48.9° 일 수 있다. 즉, 상기 투명태양광모듈(수중)은 표면으로 입사되는 빛에 대해 상기 투명태양광모듈(대기)보다 큰 임계각을 가지므로 더 넓은 각도범위에서 입사되는 빛을 반사하는 대신 투과시켜 상기 투명태양광모듈(수중)의 내측으로 포집할 수 있다.
- [0215] 즉, 전술한 바와 같이 상기 수층은 물의 굴절률에 의하여 빛의 직진성을 개선할 수 있으며, 대기중에서 입사되는 빛을 반사시키는 대신 포집하여 상기 투명태양광모듈(수중)측으로 전달함으로써 공기 및 상기 투명태양광모

들(1) 사이의 굴절률 불일치에 의하여 발생하는 상기 투명태양광모듈(1) 표면의 반사를 절감하고, 상기 입사되는 빛이 더 넓은 각도 범위에서 상기 투명태양광모듈(수중)으로 침투할 수 있도록 돕는 역할을 수행할 수 있다.

[0216] 또한 상기 투명태양광모듈(수중)의 내측으로 포집된 빛은 상기 유리기관층(100), p타입산화물층(200), 와이드밴드갭층(300), 및 n타입산화물층(400)의 계면에서 전반사를 발생시켜 상기 투명태양광모듈(수중)의 외부로 방출되지 않고 상기 투명태양광모듈(수중)의 내측에서 트래핑될 수 있다. 상기 투명태양광모듈(수중)의 내측에서 전반사되어 트래핑된 빛은 상기 투명태양광모듈(1)의 광흡수층인 p타입산화물층(200)에 흡수되어 광전하를 발생시킬 수 있다.

[0218] 즉, 본 발명의 일 실시예에 따른 상기 수층은 수중환경에 배치된 상기 투명태양광모듈(1)에 입사되는 빛의 임계각을 증가시키고, 넓은 각도 범위에서 입사되는 빛을 포집하여 상기 투명태양광모듈(1)에 전달하는 집광렌즈의 역할을 수행함으로써 상기 투명태양광모듈(1)의 수중태양광발전 효율을 향상시키는 효과를 발휘할 수 있다.

[0220] 도 7(b)에 도시된 바와 같이, 상기 실시예#3(수중)은 다양한 각도에서 빛이 조사될 수 있다. 상기 실시예#3(수중) 및 실시예#3(대기)의 빛의 입사각에 따른 단락전류 및 전력변환효율은 도 7(c) 및 도 7(d)에 도시된 바와 같다. 전술한 바와 같이, 상기 실시예#3(수중)은 수층을 포함함으로써 더 많은 빛을 포집하여 광발전을 수행할 수 있으므로, 상기 실시예#3(대기)보다 높은 단락전류 값을 가질 수 있고, 더 높은 전력변환효율을 가질 수 있다. 특히 상기 실시예#3(수중) 및 실시예#3(대기)는 20 내지 40°의 각도범위 내에서 우수한 전력변환효율을 나타낼 수 있고, 실시예#3(수중)은 빛이 20°로 입사되는 경우에 3.35%의 전력변환효율을 갖는 것을 확인할 수 있다.

[0221] 도 7(e) 및 도 7(f)는 본 발명의 일 실시예에 따른 상기 투명태양광모듈(1)의 실제 수중태양광발전 성능을 테스트하기 위한 시험장치의 도면 및 실험물을 도시한 것이다. 상기 시험장치의 상기 투명태양광모듈(1)에는 상기 실시예#2(수중)이 사용될 수 있고, 상기 실시예#2(수중)에 태양광을 집중적으로 조사하기 위하여 장치의 상측에 초점거리가 약 120mm인 프레넬 렌즈가 배치될 수 있다. 상기 시험장치에 설치된 팬은 상기 실시예#2(수중)에 연결되고, 상기 실시예#2(수중)에서 수중태양광발전을 통해 발생한 광전류를 이용해 가동될 수 있다.

[0222] 상기 시험장치에 태양광이 조사되는 경우에 상기 실시예#2(수중)은 광전류를 발생시켜 상기 팬을 가동시키는 것을 확인하였으며, 이에 따라 본 발명의 일 실시예에 따른 상기 투명태양광모듈(1)은 현실에 적용이 가능하며, 적절한 조명을 조사하는 경우에 실시간으로 팬을 가동시킬 수 있는 수준의 출력전력을 지속적으로 생산할 수 있음을 뒷받침할 수 있다.

[0224] 도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 투명태양광모듈(1)을 대기중에 설치하는 경우, 및 수중환경에 설치하는 경우의 개략도, 및 투명태양광모듈(1)의 밴드 다이어그램을 개략적으로 도시한다.

[0226] 도 8(a)은 본 발명의 일 실시예에 따른 투명태양광모듈(1)을 대기중에 설치하는 경우, 및 수중환경에 설치하는 경우의 단면을 각각 개략적으로 도시하고, 도 8(b)는 상기 투명태양광모듈(1)의 모트-쇼트키 특성에 대한 사항을 도시하고, 도 8(c)는 상기 투명태양광모듈(1)의 에너지레벨을 개략적으로 도시하고, 도 8(d) 및 도 8(e) 각각은 상기 투명태양광모듈(1)이 대기중에 설치되어 작동하는 경우, 및 수중환경에 설치되어 작동하는 경우의 에너지밴드 다이어그램을 개략적으로 도시한다.

[0228] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 투명태양광모듈(1)이 수중태양광발전을 하는 경우에, 상기 투명태양광모듈(1)의 상측에 인접하게 배치된 물은 전술한 집광렌즈의 역할을 수행하는 동시에 상기 투명태양광모듈(1)의 전기화학적 특성에 영향을 미칠 수 있다.

[0229] 구체적으로, 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 투명태양광모듈(1)은, 수중에서 동작하는 경우에, 상기 투명태양광모듈(1)의 상측면 및 상기 투명태양광모듈(1)의 상측에 인접하게 배치된 물 사이의 계면에서 전기이중층(Electric double layer)을 형성하고, 상기 전기이중층은, 상기 투명태양광모듈(1)에 빛이 조사되는 경우에, 상기 빛에 의한 전기장의 생성 및 상기 투명태양광모듈(1)에서 발생한 광전하의 이동을 촉진시키는 역할을 수행할 수 있다.

[0231] 더욱 상세하게는, 상기 물은 물분자를 포함하고, 물분자가 이온화되며 형성된 하이드록실 이온(H_3O^+) 및 수산화물(OH^-) 등의 이온을 더 포함할 수 있다. 상기 물에 포함된 상기 이온은 국소적인 영역에서 전하 캐리어 역할을 수행할 수 있고, 전기적 특성을 포함하므로 상기 투명태양광모듈(수중)의 전기장에 영향을 미칠 수 있다.

[0232] 도 8(a)에 도시된 바와 같이, 상기 투명태양광모듈(대기)는 대기와 상부전극층(500) 사이에 전기화학적 상호작용

용이 발생하지 않는 반면, 상기 투명태양광모듈(수중)은 상기 수층에 포함된 이온 및 상부전극층(500) 사이에 전기적인 상호작용이 발생하여 전기이중층(Electric double layer, EDL)이 형성될 수 있다. 상기 투명태양광모듈(대기) 및 투명태양광모듈(수중)은 각각이 포함하고 있는 층 사이의 접합에 의하여 내측에 공간전하영역(Space charge region, SCR)을 형성하고, 상기 공간전하영역의 하측에 준중성영역(quasi-neutral region)을 형성할 수 있다. 상기 공간전하영역에서는 정전기적 구동력에 의하여 전하가 이동하는 한편 상기 준중성영역에서는 정전기적 구동력이 아닌 소수캐리어의 확산작용에 의하여 전하의 이동이 발생할 수 있다. 따라서 상기 준중성영역의 두께가 상기 전하의 확산거리보다 두꺼운 경우에, 상기 전하는 상기 준중성영역에서 확산되던 중간에 재결합되어 사라질 수 있다. 반면 공간전하영역은 준중성영역에 비하여 상대적으로 재결합이 발생할 확률이 낮기 때문에 전하 이동 효율이 더 높고, 공간전하영역이 넓을수록 더 우수한 광전변환효율 및 전력변환효율을 얻을 수 있다.

[0233] 상기 투명태양광모듈(수중)의 내측에 형성된 공간전하영역은 상기 상부전극층(500) 위에 형성된 상기 전기이중층에 의하여 상기 투명태양광모듈(대기)의 내측에 형성된 공간전하영역보다 두께가 증가할 수 있다. 상기 투명태양광모듈(수중)의 상기 공간전하영역의 두께가 증가함으로써 상기 투명태양광모듈(수중)의 준중성영역의 두께는 상기 투명태양광모듈(대기)의 준중성영역의 두께보다 감소할 수 있다. 상기 공간전하영역의 두께가 증가하며 상기 투명태양광모듈(수중)의 p타입산화물층(200)의 내측까지 침투한 빛이 발생시킨 광전자는 상기 준중성영역이 아닌 상기 공간전하영역에서 이동할 가능성이 높아질 수 있다. 따라서 상기 투명태양광모듈(수중)은 투명태양광모듈(대기)에 비하여 더 넓은 공간전하영역과 좁은 준중성영역을 가짐으로써 발생한 광전하의 재결합 확률이 감소되고, 더 높은 전력변환효율을 얻을 수 있다.

[0235] 한편, 본 발명의 일 실시예에 따른 투명태양광모듈(수중)의 전기화학적 특성을 추가로 분석하기 위하여 모트-쇼트키 측정을 할 수 있다. 상기 투명태양광모듈(수중)은 각각 증류수, 수돗물, 및 소금물을 수층으로 하는 수중 환경에 배치되어 모트-쇼트키 측정을 진행할 수 있다. 도 8(b)에 도시된 바와 같이 상기 투명태양광모듈(수중)은 수층의 성분에 따라 다른 기울기를 가질 수 있다. 투명태양광모듈(수중)의 수층이 증류수인 경우, 수돗물인 경우, 및 소금물인 경우 각각의 플랫폼포텐셜(flat band potential)은 1.15V, 1.35V, 및 0.7V일 수 있다. 투명태양광모듈(대기)의 경우 플랫폼포텐셜은 0.95V일 수 있다.

[0236] 도 8(c)에 도시된 바와 같이 상기 투명태양광모듈(1)에 포함되는 각 물질의 에너지 준위는 모두 다른 값을 가질 수 있고, 도 8(d)에 도시된 바와 같이 접합이 형성되며 구부러진 밴드의 형상을 가질 수 있다. 상기 투명태양광모듈(대기)의 p타입산화물층(200)의 Cu_2O 는 상기 와이드밴드갭층(300)의 Ga_2O_3 와 p-n접합을 형성할 수 있고, 상기 p타입산화물층(200) 및 와이드밴드갭층(300)의 계면에서는 상기 p-n접합에 의해 밴드가 구부러짐으로써 상기 p타입산화물층(200)에서 발생한 광전하가 상기 와이드밴드갭층(300)의 방향으로 방해받지 않고 이동할 수 있다. 그러나 상기 와이드밴드갭층(300) 및 n타입산화물층(400)의 계면에는 에너지장벽이 형성될 수 있기 때문에 상기 와이드밴드갭층(300)으로 이동한 광전하가 상기 n타입산화물층(400)으로 이동하지 못하고 재결합될 수 있다.

[0237] 상기 투명태양광모듈(수중)은 상기 투명태양광모듈(대기)에 상응하는 구부러진 밴드의 형상을 가질 수 있다. 단, 도 8(e)에 도시된 바와 같이, 상기 투명태양광모듈(수중)의 전기장에 영향을 미치는 상기 수층을 더 포함함으로써 상기 구부러진 밴드의 구부러진 정도가 변형될 수 있다. 상기 수층은 상기 투명태양광모듈(수중)의 내측에 발생하는 와이드밴드갭층(300) 및 n타입산화물층(400)의 계면의 에너지장벽을 감소시킬 수 있고, 상기 에너지장벽이 감소함으로써 상기 와이드밴드갭층(300)으로 이동한 광전하가 상기 n타입산화물층(400)으로 용이하게 이동함으로써 상기 광전하가 재결합되지 않고 출력전력으로 사용될 수 있다.

[0239] 즉, 본 발명의 일 실시예에 따른 상기 수층은 상기 투명태양광모듈(1)과 전기적으로 상호작용함으로써 상기 투명태양광모듈(1) 내측의 공간전하영역을 증가시키고 계면의 에너지장벽을 낮춤으로써 상기 투명태양광모듈(1)에서 발생한 광전하가 재결합되지 않고 출력전력으로 사용될 수 있게 하여 수중태양광발전의 효율을 향상시키는 효과를 발휘할 수 있다.

[0241] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 투명태양광모듈은 Cu_2O 를 광흡수층으로 사용함으로써 물이 흡수하는 적외선 및 일부 자외선 영역대의 빛이 아닌 수중으로 입사되는 400 내지 600nm 영역대의 빛을 흡수하여 전기에너지를 생산함으로써 수중태양광발전 소자로서의 적합성을 향상시키는 효과를 발휘할 수 있다.

[0242] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 투명태양광모듈이 수중에 배치되는 경우에, 상기 투명태양광모듈의 상측에 배치되는 물이 상기 투명태양광모듈에 대해 집광렌즈로 기능함으로써 수중태양광발전의 전력변환효율을 향상시키는 효과를 발휘할 수 있다.

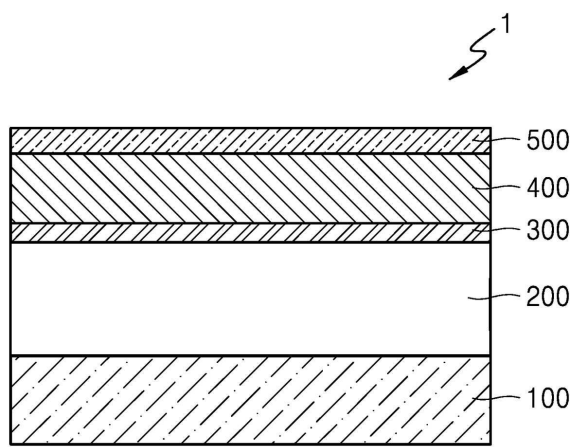
- [0243] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 투명태양광모듈은 빛 투과성을 가지므로 수중태양광발전에 사용하는 경우에, 수중으로 입사되는 태양광을 차단하지 않아 수중생태계에 대한 영향을 최소화할 수 있는, 환경친화성이 향상되는 효과를 발휘할 수 있다.
- [0244] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 유리기관층, 와이드밴드갭층, n타입반도체층, 및 상부전극층은 투명성을 갖는 물질을 포함함으로써 투명태양광모듈의 투과도를 향상시키는 효과를 발휘할 수 있다.
- [0245] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 투명태양광모듈은 $\text{Cu}_2\text{O}/\text{Ga}_2\text{O}_3$ 이중접합 구조를 포함함으로써 상기 p타입산화물층에서 발생한 광전자의 재결합을 방지하여 광전변환효율을 향상시키는 효과를 발휘할 수 있다.
- [0246] 본 발명의 일 실시예에 따르면, p타입산화물층, 와이드밴드갭층, 및 n타입산화물층은 마그네트론 스퍼터링 장치를 사용하여 유리기관층 위에 순차적으로 증착됨으로써 하나의 장치로 상기 p타입산화물층형성단계, 와이드밴드갭층형성단계, 및 n타입산화물층형성단계를 처리하여 공정의 편의성을 향상시키는 효과를 발휘할 수 있다.
- [0247] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상부전극층에 포함된 Ag나노와이어에 의한 네트워크는 투명태양광모듈의 투명도 및 전도성을 향상시키고, 전기적 및 열적 안정성을 향상시키는 효과를 발휘할 수 있다.
- [0248] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 투명태양광모듈은 수중환경에 설치되는 경우에 대기중에 설치되는 경우보다 더 깊은 빛의 투과깊이를 가짐으로써 입사되는 빛이 상기 투명태양광모듈의 더 깊은 곳으로 침투할 수 있게 하여 표면 흡수를 억제하고 광발전효율을 향상시키는 효과를 발휘할 수 있다.
- [0249] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 투명태양광모듈은 가시광선 영역대의 빛에서 50%이상의 투과도를 가지고 높은 투명성을 나타냄으로써 장치의 응용범위를 확대시키는 효과를 발휘할 수 있다.
- [0250] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 투명태양광모듈은 수중환경에 설치되는 경우에 수층을 포함함으로써 상기 투명태양광모듈이 대기중에 설치되는 경우보다 더 높은 단락전류, 개방전압, 및 전력변환효율을 가져 기기성능이 향상되는 효과를 발휘할 수 있다.
- [0251] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 수층은 수중환경에 배치된 투명태양광모듈에 입사되는 빛의 임계각을 증가시키고, 넓은 각도 범위에서 입사되는 빛을 포집하여 상기 투명태양광모듈에 전달하는 집광렌즈의 역할을 수행함으로써 상기 투명태양광모듈의 수중태양광발전 효율을 향상시키는 효과를 발휘할 수 있다.
- [0252] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 수층은 투명태양광모듈과 전기적으로 상호작용함으로써 상기 투명태양광모듈 내층의 공간전하영역을 증가시키고 계면의 에너지장벽을 낮춤으로써 상기 투명태양광모듈에서 발생한 광전하가 재결합되지 않고 출력전력으로 사용될 수 있게 하여 수중태양광발전의 효율을 향상시키는 효과를 발휘할 수 있다.
- [0254] 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. 그러므로, 다른 구현들, 다른 실시예들 및 특허청구범위와 균등한 것들도 후술하는 특허청구범위의 범위에 속한다.

부호의 설명

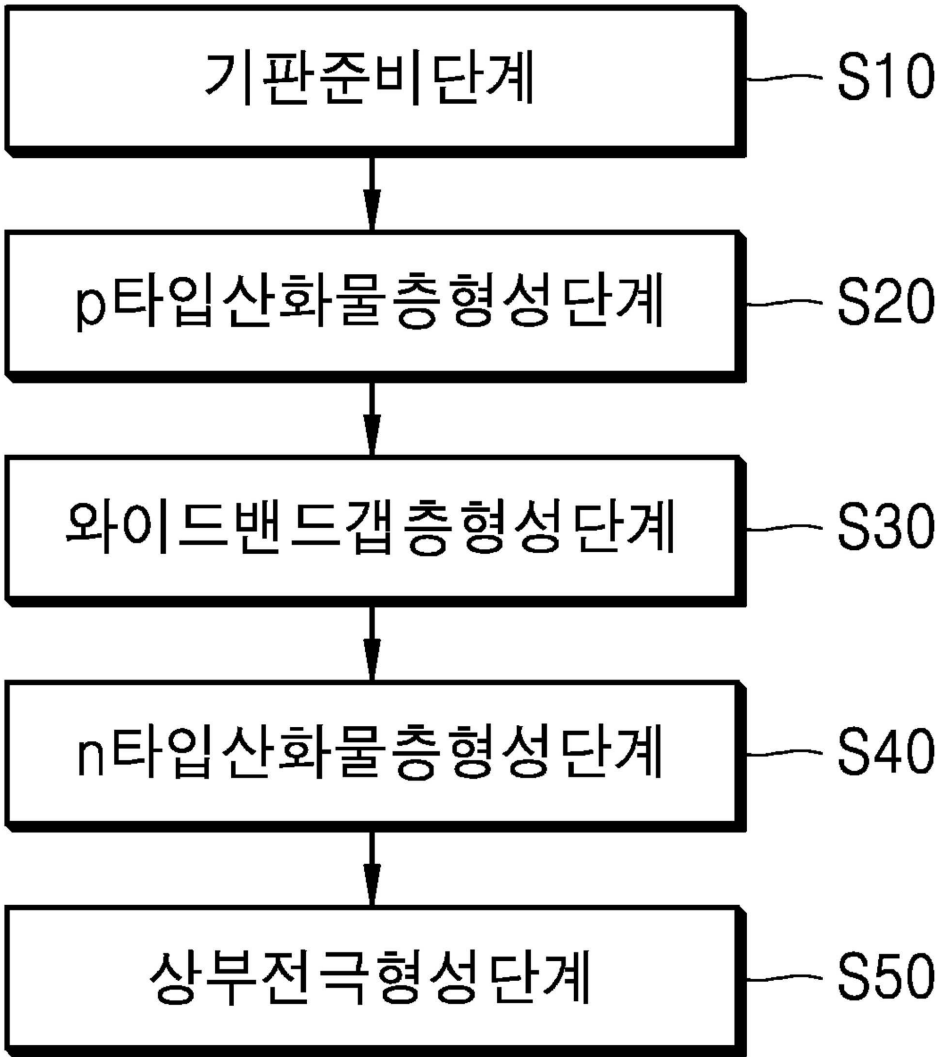
- [0257] 1: 투명태양광모듈 100: 유리기관층
 200: p타입산화물층 300: 와이드밴드갭층
 400: n타입산화물층 500: 상부전극층
 S10: 기관준비단계 S20: p타입산화물층형성단계
 S30: 와이드밴드갭층형성단계 S40: n타입산화물층형성단계
 S50: 상부전극형성단계

도면

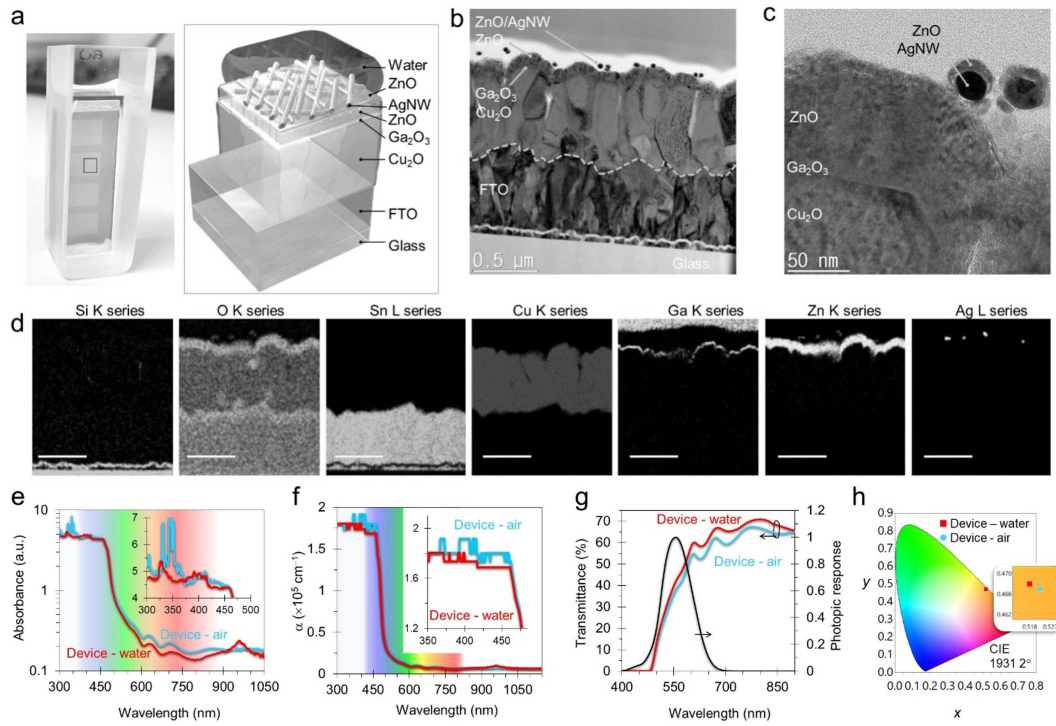
도면1



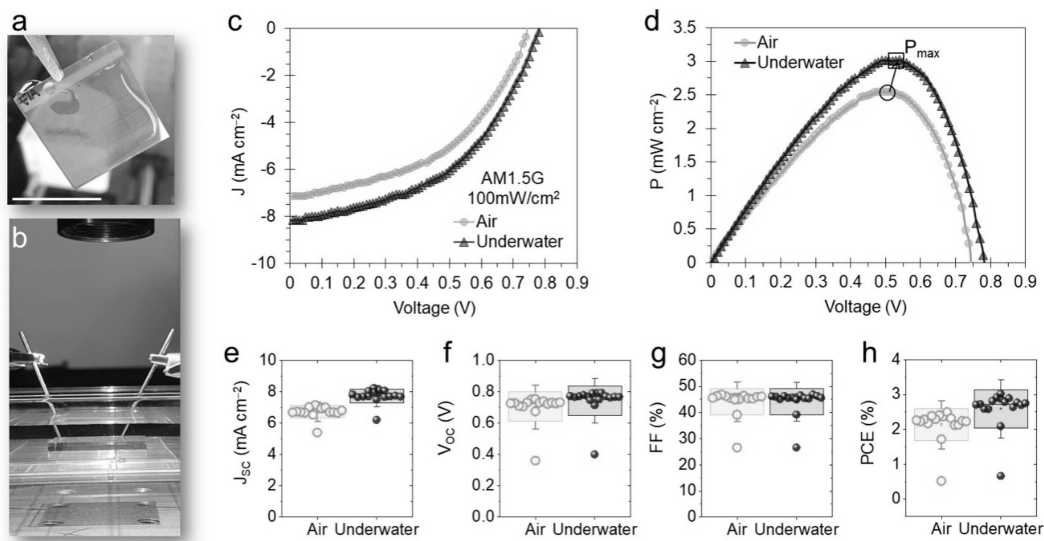
도면2



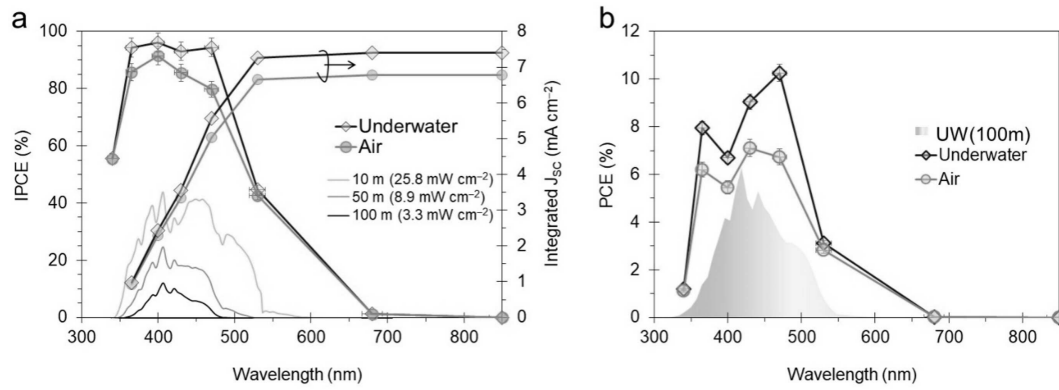
도면3



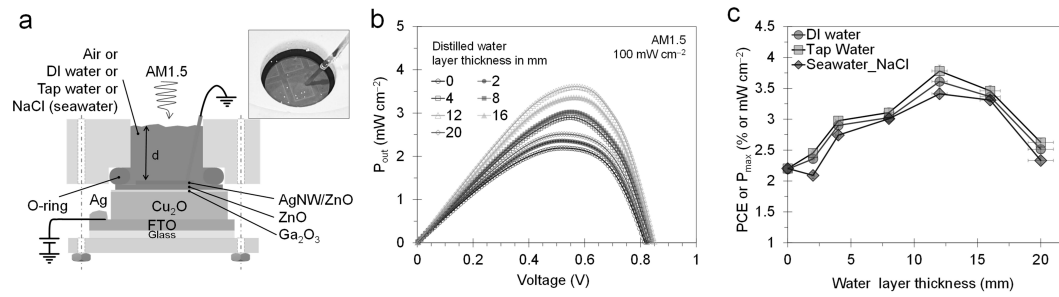
도면4



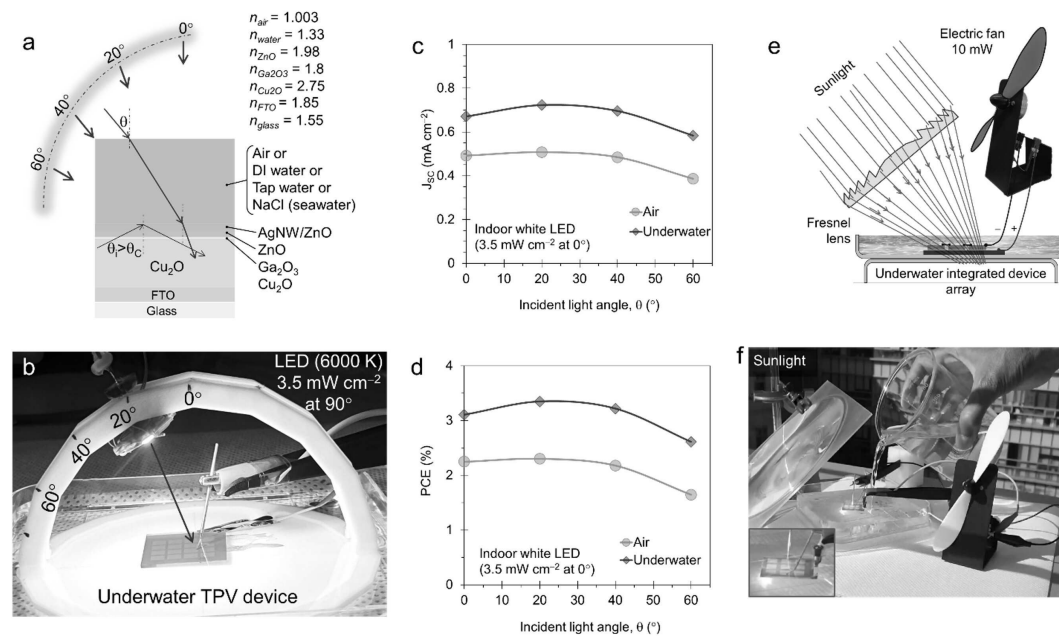
도면5



도면6



도면7



도면8

