



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0097340
(43) 공개일자 2024년06월27일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 31/075 (2006.01) C25B 5/00 (2021.01)
H01G 9/20 (2006.01) H01L 31/0224 (2006.01)
H01L 31/028 (2024.01) H01L 31/0376 (2006.01)
H01L 31/0445 (2014.01) H01L 31/18 (2006.01)
H01L 31/20 (2006.01)
- (52) CPC특허분류
H01L 31/075 (2024.01)
C25B 5/00 (2021.01)
- (21) 출원번호 10-2022-0179297
(22) 출원일자 2022년12월20일
심사청구일자 2022년12월20일
- (71) 출원인
인천대학교 산학협력단
인천광역시 연수구 갯벌로 27, 인천대학교 이노베이션센터(송도동)
- (72) 발명자
김준동
인천광역시 연수구 컨벤시아대로130번길 32 송도자이하버뷰2단지아파트 207동 1402호
- 파텔 말케시 쿠마르
인천광역시 연수구 송도국제대로 261 송도더샵센트럴시티 202동 502호
- (74) 대리인
강정빈, 심찬

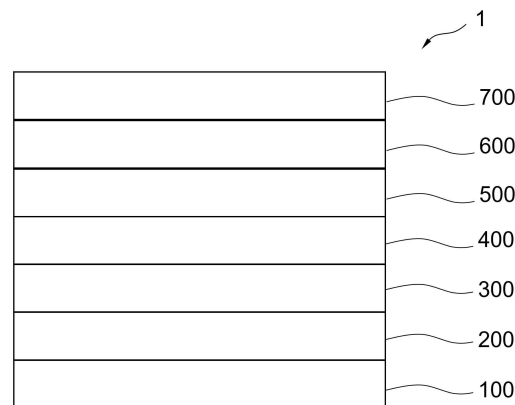
전체 청구항 수 : 총 9 항

(54) 발명의 명칭 투명 태양전지 기반 투명 광화학전지 시스템 및 이의 제조방법

(57) 요약

본 발명은 투명 태양전지 기반 투명 광화학전지 시스템 및 이의 제조방법에 대한 것으로서, 더욱 상세하게는 비정질실리콘에 의하여 형성된 p-i-n접합구조를 포함하는 투명 태양전지를 광캐소드로 활용함으로써 전력발전 및 수소 생산을 하고 지속가능한 발전 시스템을 제공할 수 있는, 투명 태양전지 기반 투명 광화학전지 시스템 및 이의 제조방법에 관한 것이다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

H01G 9/2031 (2013.01)
H01L 31/022466 (2013.01)
H01L 31/028 (2024.01)
H01L 31/03762 (2024.01)
H01L 31/0445 (2015.01)
H01L 31/1884 (2013.01)
H01L 31/202 (2024.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711161972
과제번호	2020R1A2C1009480
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	이공분야기초연구사업, 중견연구자지원사업
연구과제명	고체형 반도체 투명 태양광 프레임 개발: 다기능 2D 활성층을 이용한 신개념 투명
태양전지 및 응용 기술	
기 여 율	1/3
과제수행기관명	인천대학교
연구기간	2020.03.01 ~ 2023.02.28

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711164045
과제번호	2021H1D3A2A02096147
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	교육인력양성사업, 인재활용확산지원, 해외우수과학자유치사업(BP)
연구과제명	고체형 투명 태양전지 모듈 및 응용 기술 개발
기 여 율	1/3
과제수행기관명	인천대학교
연구기간	2021.10.01 ~ 2023.12.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711161384
과제번호	2020H1D3A2A02085884
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	교육인력양성사업, 인재활용확산지원, 해외우수과학자유치사업(BP)
연구과제명	고성능 반도체 투명 태양광 에너지 시스템 및 순환 에너지 기술 개발
기 여 율	1/3
과제수행기관명	인천대학교
연구기간	2020.07.01 ~ 2022.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

투명 태양전지 기반의 투명 광화학전지 시스템으로서,

유리기판층;

상기 유리기판층 위에 배치되는 제1투명전극층;

상기 제1투명전극층 위에 배치되고, 복수의 비정질실리콘을 포함하는 활성층;

상기 활성층 위에 배치되는 버퍼층;

상기 버퍼층 위에 배치되는 제2투명전극층;

상기 제2투명전극층 위에 배치되는 전해질층; 및

상기 전해질층 위에 배치되는 상대전극층;을 포함하고,

상기 복수의 비정질실리콘에 의하여 형성된 p-i-n접합구조를 포함하는, 투명 태양전지 기반의 투명 광화학전지 시스템.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 유리기판층, 제1투명전극층, 활성층, 버퍼층, 및 제2투명전극층이 상기 투명 태양전지의 역할을 수행하고,

상기 투명 광화학전지 시스템에서, 상기 투명 태양전지는 광캐소드의 역할을 수행하고, 상기 상대전극층이 광애노드의 역할을 수행하는, 투명 태양전지 기반의 투명 광화학전지 시스템.

청구항 3

청구항 2에 있어서,

상기 활성층은 1 내지 1000MHz의 주파수, 및 1 내지 $1000\text{mW}/\text{cm}^2$ 의 RF 전력, 1 내지 1000sccm의 실레인(SiH_4)유량, 1 내지 1000sccm의 수소(H_2)유량 하에서, PECVD에 의하여 1 내지 1000nm 두께의 비정질실리콘으로 이루어진 p-i-n 접합구조를 형성하는, 투명 태양전지 기반의 투명 광화학전지 시스템.

청구항 4

청구항 1에 있어서,

상기 유리기판층은 유리기판을 포함하고, 상기 제1투명전극층은 FTO를 포함하고, 상기 활성층은 p-Si, i-Si, 및 n-Si으로 형성되는 비정질 실리콘 p-i-n 접합구조를 포함하고, 상기 버퍼층은 AZO를 포함하고, 상기 제2투명전극층은 TiO_2 , AgNW, 및 Pt나노입자를 포함하는, 투명 태양전지 기반의 투명 광화학전지 시스템.

청구항 5

청구항 1에 있어서,

상기 제2투명전극층은,

TiO₂를 포함하는 층; 및

상기 TiO₂를 포함하는 층 위에 TiO₂/AgNW/Pt 나노입자를 포함하는 층;을 포함하고,

상기 TiO₂/AgNW/Pt 나노입자는 1 내지 100nm의 입자사이지를 가지는, 투명 태양전지 기반의 투명 광화학전지 시스템.

청구항 6

투명 태양전지 기반의 투명 광화학전지 시스템의 제조방법으로서,

유리기판층을 배치하는 단계;

상기 유리기판층 위에 제1투명전극층을 배치하는 단계;

상기 제1투명전극층 위에, 복수의 비정질실리콘을 포함하는 활성층을 배치하는 단계;

상기 활성층 위에 버퍼층을 배치하는 단계;

상기 버퍼층 위에 제2투명전극층을 배치하는 단계;

상기 제2투명전극층 위에 전해질층을 배치하는 단계; 및

상기 전해질층 위에 상대전극층을 배치하는 단계;를 포함하고,

상기 복수의 비정질실리콘에 의하여 형성된 p-i-n접합구조를 포함하는, 투명 태양전지 기반의 투명 광화학전지 시스템의 제조방법.

청구항 7

청구항 6에 있어서,

상기 유리기판층, 제1투명전극층, 활성층, 버퍼층, 및 제2투명전극층이 상기 투명 태양전지의 역할을 수행하고,

상기 투명 광화학전지 시스템에서, 상기 투명 태양전지는 광캐소드의 역할을 수행하고, 상기 상대전극층이 광애노드의 역할을 수행하는, 투명 태양전지 기반의 투명 광화학전지 시스템의 제조방법.

청구항 8

청구항 6에 있어서,

상기 활성층을 배치하는 단계는, 1 내지 1000MHz, 및 1 내지 1000mW/cm²의 RF 전력, 1 내지 1000sccm의 실레인(SiH₄)유량, 1 내지 1000sccm의 수소(H₂)유량 하에서, PECVD에 의하여 1 내지 1000nm 두께의 비정질실리콘으로 이루어진 p-i-n 접합구조를 형성하는, 투명 태양전지 기반의 투명 광화학전지 시스템의 제조방법.

청구항 9

청구항 6에 있어서,

상기 제2투명전극층을 배치하는 단계는,

TiO₂를 포함하는 층을 배치하는 단계; 및

상기 TiO₂를 포함하는 층 위에 TiO₂/AgNW/Pt 나노입자를 배치하는 단계;를 포함하고,

상기 TiO₂/AgNW/Pt 나노입자는 1 내지 100nm의 입자사이지를 가지는, 투명 태양전지기반의 투명 광화학전지 시스템

템의 제조방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 투명 태양전지 기반 투명 광화학전지 시스템 및 이의 제조방법에 대한 것으로서, 더욱 상세하게는 비정질실리콘에 의하여 형성된 p-i-n접합구조를 포함하는 투명 태양전지를 광캐소드로 활용함으로써 전력발전 및 수소 생산을 하고 지속가능한 발전 시스템을 제공할 수 있는, 투명 태양전지 기반 투명 광화학전지 시스템 및 이의 제조방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0003] 태양에너지는 지속 가능한 성장을 지원할 수 있는 청정 에너지원이다. 현대 사회의 에너지 수요 증가는 전력 변환 효율(PCE)이 높고 비용이 저렴한 태양전지의 상용화를 필요로 한다.

[0004] 다만 태양에너지는 날씨, 및 외부 요인에 따라 간헐적으로 에너지를 생산하기 때문에 생산량에 대한 예측이 불가능하다는 문제점이 있다. 이에 따라, 안정적인 전력발전을 수행하고 과도하게 생산된 전력을 저장하는 시스템이 필요한 실정이다.

[0005] 또한 현재 제로 에미션(zero emission) 건물, 즉 건물에서 사용되는 에너지가 재생 가능한 에너지원에서 나오거나 현장(on-site)발전에 의해 제공되어야 하는 건물에 대한 수요가 증가하고 있다. 건물 일체형 광전소자(Building Integrated Photovoltaics, BIPV)는 상기 수요에 대한 해결책이 될 수 있으며, 이를 실현하기 위해서는 태양광 스펙트럼의 400nm 내지 800nm 파장범위에 해당하는 가시광선을 투과하여 실내 조명으로 활용하고, 태양광 스펙트럼의 나머지 파장범위를 전력으로 변환하는 투명한 에너지 시스템이 구현되어야 한다.

[0007] 이를 해결하기 위하여, 본 발명에서는 비정질실리콘을 포함하는 투명 태양전지를 광캐소드의 역할로 사용함으로써 투명한 광화학전지 시스템을 구현하고자 한다. 상기 투명 광화학전지 시스템은 우수한 광전 특성을 가지며, 안정적인 수소 생성이 가능하다.

[0008] 상기 투명 광화학전지는 투명 태양전지를 광캐소드로 활용함으로써 현장(on-site) 전력발전이 가능하고, 상기 전력발전을 통해 과도하게 생산된 전력을 화학에너지인 수소(H_2)로 변환하여 저장함으로써 에너지의 누수를 방지하는 효과를 발휘할 수 있다. 상기 수소(H_2)는 부가가치 제품을 얻을 수 있는 다른 에너지 변환 시스템으로 전송될 수 있다.

[0009] 또한 상기 투명 광화학전지 시스템은 건물의 투명한 창 역할을 하며, 자외선의 방사선을 흡수하여 전력을 발전시킬 수 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0011] 본 발명은 비정질실리콘에 의하여 형성된 p-i-n접합구조를 포함하는 투명 태양전지를 광캐소드로 활용함으로써 전력발전 및 수소 생산을 하고 지속가능한 발전 시스템을 제공할 수 있는, 투명 태양전지 기반 투명 광화학전지 시스템을 제공하는 것을 그 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

[0013] 상기과 같은 과제를 해결하기 위하여 본 발명의 일 실시예는, 투명 태양전지 기반의 투명 광전기화학전지 시스템으로서, 유리기판층; 상기 유리기판층 위에 배치되는 제1투명전극층; 상기 제1투명전극층 위에 배치되고, 복

수의 비정질실리콘을 포함하는 활성층; 상기 활성층 위에 배치되는 버퍼층; 상기 버퍼층 위에 배치되는 제2투명전극층; 상기 제2투명전극층 위에 배치되는 전해질층; 및 상기 전해질층 위에 배치되는 상대전극층;을 포함하고, 상기 복수의 비정질실리콘에 의하여 형성되는 p-i-n접합구조를 포함하는, 투명 태양전지 기반의 투명 광전기화학전지 시스템을 제공한다.

[0014] 본 발명의 몇 실시예에서는, 상기 유리기관층, 제1투명전극층, 활성층, 버퍼층, 및 제2투명전극층은 상기 투명 태양전지의 역할을 수행하고, 상기 투명 광전기화학전지 시스템에서, 상기 투명 태양전지는 광캐소드의 역할을 수행하고, 상기 상대전극층이 광애노드의 역할을 수행할 수 있다.

[0015] 본 발명의 몇 실시예에서는, 상기 활성층은 PECVD 공정을 통해, 1 내지 1000MHz의 주파수, 및 1 내지 1000mW/cm²의 RF 전력, 1 내지 1000sccm의 실레인(SiH₄)유량, 1 내지 1000sccm의 수소(H₂)유량 하에서, 1 내지 1000nm의 두께를 갖도록 형성된 복수의 비정질실리콘을 포함할 수 있다.

[0016] 본 발명의 몇 실시예에서는, 상기 유리기관층은 유리기관을 포함하고, 상기 제1투명전극층은 FTO를 포함하고, 상기 활성층은 제1비정질실리콘층, 제2비정질실리콘층, 및 제3비정질실리콘층을 포함하고, 상기 버퍼층은 AZO를 포함하고, 상기 제2투명전극층은 TiO₂, AgNW, 및 Pt나노입자를 포함할 수 있다.

[0017] 본 발명의 몇 실시예에서는, 상기 제2투명전극층은, 제1TiO₂층; 및 상기 제1TiO₂층 위에 TiO₂/AgNW/Pt나노입자를 포함하는 제2TiO₂층;을 포함하고, 상기 TiO₂/AgNW/Pt나노입자는 1 내지 100nm의 입자사이즈를 가질 수 있다.

[0019] 상기과 같은 과제를 해결하기 위하여 본 발명의 일 실시예에서는, 투명 태양전지 기반의 투명 광전기화학전지 시스템의 제조방법으로서, 유리기관층을 배치하는 단계; 상기 유리기관층 위에 제1투명전극층을 배치하는 단계; 상기 제1투명전극층 위에, 복수의 비정질실리콘을 포함하는 활성층을 배치하는 단계; 상기 활성층 위에 버퍼층을 배치하는 단계; 상기 버퍼층 위에 제2투명전극층을 배치하는 단계; 상기 제2투명전극층 위에 전해질층을 배치하는 단계; 및 상기 전해질층 위에 상대전극층을 배치하는 단계;를 포함하고, 상기 복수의 비정질실리콘에 의하여 형성된 p-i-n접합구조를 포함하는, 투명 태양전지 기반의 투명 광전기화학전지 시스템의 제조방법을 제공한다.

[0020] 본 발명의 몇 실시예에서는, 상기 유리기관층, 제1투명전극층, 활성층, 버퍼층, 및 제2투명전극층은 상기 투명 태양전지의 역할을 수행하고, 상기 투명 광전기화학전지 시스템에서, 상기 투명 태양전지는 광캐소드의 역할을 수행할 수 있다.

[0021] 본 발명의 몇 실시예에서는, 상기 활성층을 배치하는 단계는 PECVD 공정을 통해, 1 내지 1000MHz의 주파수, 및 1 내지 1000mW/cm²의 RF 전력, 1 내지 1000sccm의 실레인(SiH₄)유량, 1 내지 1000sccm의 수소(H₂)유량 하에서, 1 내지 1000nm의 두께를 갖도록 형성된 복수의 비정질실리콘을 배치할 수 있다.

[0022] 본 발명의 몇 실시예에서는, 상기 제2투명전극층을 배치하는 단계는,

[0023] 제1TiO₂층을 배치하는 단계; 및 상기 제1TiO₂층 위에 TiO₂/AgNW/Pt나노입자를 포함하는 제2TiO₂층을 배치하는 단계;를 포함하고, 상기 TiO₂/AgNW/Pt나노입자는 1 내지 100nm의 입자사이즈를 가질 수 있다.

발명의 효과

[0025] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 비정질실리콘으로 이루어진 층을 기반으로 상면에 Pt나노입자를 증착한 구조를 가진 투명 태양전지를 포함하는 광화학전지 시스템을 최초로 제공할 수 있다.

[0026] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 활성층을 이루는 비정질실리콘은 직접 밴드갭 및 우수한 흡수계수를 가짐으로써, 투명 태양전지가 우수한 광전압을 제공할 수 있는 효과를 발휘할 수 있다.

[0027] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 저온증착이 가능한 비정질실리콘으로 활성층을 형성함에 따라, 활성층을 포함하는 투명 광화학전지 시스템은 가시적 투명성을 확보하면서도 낮은 가격에 제작할 수 있고, 투명 광화학전지 시스템을 넓은 영역에서 구현 가능하도록 하는 효과를 발휘할 수 있다.

[0028] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 투명 광화학전지 시스템은 투명 태양전지 및 광화학전지를 통합함으로써, 안정

적으로 광발생된 수소를 생산할 수 있는 효과를 발휘할 수 있다.

- [0029] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 투명 광화학전지 시스템은 광발생 수소를 생산함으로써, 과도 생성된 전류를 화학에너지의 형태로 저장할 수 있을 뿐만 아니라 수소를 부가가치 제품을 생산하는 다른 에너지 변환 시스템으로 전송할 수 있는 효과를 발휘할 수 있다.
- [0030] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 제2투명전극층이 제1TiO₂층 위에 Pt나노입자를 포함하는 제2TiO₂층의 구조를 가짐으로써, 투명 광화학전지 시스템은 물 분해 성능이 향상되고, 투명 태양전지 영역에서 생산되는 광전류가 향상되는 효과를 발휘할 수 있다.
- [0031] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 투명 광화학전지 시스템은 전하의 생성 및 물의 분해 반응이 서로 다른 층에서 일어나도록 함으로써, 효율적이고 안정적인 물 환원을 달성할 수 있도록 하는 효과를 발휘할 수 있다.
- [0032] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 투명 광화학전지 시스템은 투명도를 확보하는 구조를 가짐에 따라, 현장(on-site) 전력발전, 수소 생성, 채광 성능, 및 건물 일체형 에너지 시스템을 실현하는 효과를 발휘할 수 있다.
- [0033] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 투명 광화학전지 시스템이 건물에 적용되는 경우, 투명한 창 역할을 함으로써, 자외선 방사선을 흡수하면서 가시광선 투과를 강화하는 효과를 발휘할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0035] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 태양전지 기반의 투명 광화학전지 시스템의 층상구조를 개략적으로 도시한다.
- 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 광화학전지 시스템을 도입한 건물 일체형 투명 에너지 시스템의 개략, 태양광 파장범위, 및 투명 광화학전지 시스템의 구조에 대한 사항을 도시한다.
- 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 광화학전지 시스템에 포함된 투명 태양전지의 특성, 및 에너지밴드 다이어그램에 대한 사항을 도시한다.
- 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 광화학전지 시스템의 디지털 사진 및, 광화학전지의 특성에 대한 사항을 도시한다.
- 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 광화학전지 시스템에 증착된 Pt나노입자의 형태에 대한 사항을 도시한다.
- 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 광화학전지 시스템에 Pt나노입자를 증착하는 공정의 실제 사진에 대해 도시한다.
- 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 광화학전지 시스템에 증착된 Pt나노입자 및 비교예의 에너지 분산 스펙트럼(EDS)에 대한 사항을 도시한다.
- 도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 광화학전지 시스템의 안정성에 대한 사항을 도시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0036] 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.
- [0037] 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.

- [0038] 본 명세서에서 사용되는 "실시예", "예", "양상", "예시" 등은 기술되는 임의의 양상 또는 설계가 다른 양상 또는 설계들보다 양호하다거나, 이점이 있는 것으로 해석되지 않을 수도 있다.
- [0039] 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.
- [0040] 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/또는이라는 용어는 복수의 관련된 기재된 항목들의 조합 또는 복수의 관련된 기재된 항목들 중의 어느 항목을 포함한다.
- [0041] 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.
- [0043] 태양에너지는 저렴하면서도 지속 가능한 성장을 지원하는 청정 에너지원이지만, 외부 요인에 따라 간헐적으로 전력발전의 생산량이 달라진다는 문제점이 있다. 이에 따라, 안정적인 전력발전을 수행하고 과도하게 생산된 전력을 저장하는 시스템이 필요한 실정이다.
- [0044] 또한, 건물 표면에 적용되어 건물의 에너지 효율을 향상시키는 건물 일체형 광전소자(Building Integrated Photovoltaic, BIPV)에 대한 증가하는 수요를 충족하기 위하여, 본 발명에서는 다음과 같은 에너지 시스템을 제안한다.
- [0046] 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 광화학전지 시스템(1)은 복수의 비정질실리콘(amorphous Silicon, a-Si)층이 p-i-n 접합구조를 이루는 활성층(300), 및 Pt나노입자가 일부에 배치된 제2투명전극층(500)을 포함하는 투명 태양전지를 기반으로 한다. 또한 상기의 투명 태양전지는 전력발전을 할 수 있고, 상기 투명 광화학전지 시스템(1)의 광캐소드로 사용되어 수소 생산을 할 수 있다.
- [0048] 더욱 상세하게는, 상기 활성층(300)은 p형 불순물로 도핑된 비정질실리콘(p-Si)을 포함하는 제1비정질실리콘층, 진성 비정질 실리콘(i-Si)을 포함하는 제2비정질실리콘층, 및 n형 불순물로 도핑된 비정질실리콘(n-Si)을 포함하는 제3비정질실리콘층으로 구성되어 있다. 상기 활성층(300)은 제1비정질실리콘층, 제2비정질실리콘층, 및 제3비정질실리콘 층으로 구성된 p-i-n 접합구조를 포함한다.
- [0049] 상기 복수의 비정질실리콘층은 직접 밴드갭, 및 우수한 흡수계수를 가짐으로써 상기 투명 광화학전지 시스템(1)이 우수한 광전압을 가질 수 있고, 상기 비정질실리콘층은 저온증착이 가능한 재료이므로 제작비용을 낮추면서도 넓은 영역에서 상기 투명 광화학전지시스템이 구현 가능하도록 할 수 있다.
- [0050] 또한 상기 제2투명전극층(500)은 제1TiO₂층, 및 제2TiO₂층으로 구성되며, 상기 제2TiO₂층은 Pt나노입자를 포함하고 있다. Pt나노입자는 전하 캐리어가 상기 제2투명전극층(500) 계면에서 효과적으로 수집되고 이동하도록 하는 특징을 가지고 있다. 상기의 특징으로 인하여, 상기 투명 태양전지의 영역에서는 광전효과의 성능을 향상시키며, 상기 투명 광화학전지 시스템(1)의 영역에서는 물분해를 촉진시키는 조촉매의 역할을 수행한다.
- [0052] 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 광화학전지 시스템(1)은 복수의 비정질실리콘층으로 이루어진 활성층(300), 및 일부에 Pt나노입자가 포함된 투명전극층을 포함하는 최초의 투명 광화학전지 시스템(1)을 제공한다. 상기 구조로 인해 상기 투명 광화학전지 시스템(1)은 AM1.5G의 태양광 하에서, 0.852V의 개방회로전압(V_{oc}), 3.744ma/cm²의 단락전류밀도(J_{sc}), 및 1.66%의 전력변환효율(PCE)를 구현할 수 있고, RHE 대비 -0.5V의 전압 하

에서, $4\text{mA}/\text{cm}^2$ 의 광전류밀도를 가짐으로써 안정적인 광생성 수소를 유도할 수 있다.

- [0053] 한편, 상기 투명 광화학전지 시스템(1)은 투명도를 확보하는 구조를 가짐에 따라, 현장(on-site) 전력발전, 수소 생성, 채광 성능, 및 건물 일체형 에너지 시스템을 실현하는 효과를 발휘할 수 있다.
- [0055] 이하에서는 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 태양전지 기반 투명 광화학전지 시스템(1) 및 이의 제조방법에 대하여 상세하게 서술하기로 한다.
- [0057] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 태양전지 기반의 투명 광화학전지 시스템(1)의 층상구조를 개략적으로 도시한다.
- [0059] 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 태양전지 기반의 투명 광화학전지 시스템(1)으로서, 유리기관층(100); 상기 유리기관층(100) 위에 배치되는 제1투명전극층(200); 상기 제1투명전극층(200) 위에 배치되고, 복수의 비정질실리콘을 포함하는 활성층(300); 상기 활성층(300) 위에 배치되는 버퍼층(400); 상기 버퍼층(400) 위에 배치되는 제2투명전극층(500); 상기 제2투명전극층(500) 위에 배치되는 전해질층(600); 및 상기 전해질층(600) 위에 배치되는 상대전극층(700);을 포함하고, 상기 복수의 비정질실리콘에 의하여 형성된 p-i-n접합구조를 형성할 수 있다.
- [0061] 상기 유리기관층(100)은 유리기관을 포함하고, 상기 제1투명전극층(200)은 FTO를 포함할 수 있다.
- [0062] 종래의 투명한 광전소자에서 사용될 수 있는 투명한 전극층은 인듐 주석 산화물(Indium Tin Oxide, ITO), 불소가 도핑된 주석 산화물(Fluorine doped Tin Oxide, FTO), 및 알루미늄이 도핑된 징크 산화물(Aluminium-doped Zinc Oxide)와 같은 투명 전도성 산화물(Transparent Conducting Oxide, TCO)이 있다. 본 발명의 일 실시예에서는 FTO를 제1투명전극층(200)으로 사용할 수 있다. 또한 제1투명전극층(200)은 유리기관층(100)에 코팅된 상태로 사용될 수 있다.
- [0064] 상기 활성층(300)은 p-Si, i-Si, 및 n-Si으로 형성되는 비정질 실리콘 p-i-n 접합구조를 포함한다.
- [0065] 종래의 투명한 광전소자에서 사용될 수 있는 투명한 전극층은 SiC, 비정질실리콘(a-Si), Cu(In,Ga)Se_2 , 및 염료 감응형 페로브스카이트와 같은 흡수체가 있다. Rajanna et al.은 우수한 단락전류밀도(J_{sc} , $15.03\text{mA}/\text{cm}^2$)를 가지면서, 유연한 투명(투과도 76.3%) p타입복합전극을 포함하는 수소화된 a-Si(a-Si:H) 기반 투명 태양전지를 제작하여 8.8%의 전력 변환 효율을 제공했다. 일부 최근 연구에서, a-Si 기반의 양면 투명 태양전지를 제작했으며, 이를 통해 BIPV 시스템에 대한 가능성을 제시했다.
- [0067] 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 광화학전지 시스템(1)은 비정질실리콘을 기반으로 한다.
- [0068] 상기 활성층(300)을 이루는 비정질실리콘(a-Si)는 결정질실리콘(c-Si)와 구분되는 특징을 가진다. a-Si는 1.70 내지 1.75eV의 직접 밴드갭을 가지고, 500nm 파장범위를 가진 광원 하에서 10^5cm^{-1} 이상의 우수한 흡수계수를 가지고 있어 광전소자의 재료로 적합하다. 이때, 직접 밴드갭은 전자가 대역간 여기될 때 에너지 손실이 적은 밴드갭을 말한다. 이러한 특징으로 인해 상기 a-Si를 포함하는 활성층(300)은 상대적으로 높은 광전압을 구현할 수 있다.
- [0069] 따라서, 활성층(300)을 이루는 비정질실리콘은 직접 밴드갭 및 우수한 흡수계수를 가짐으로써, 투명 태양전지가 우수한 광전압을 제공할 수 있는 효과를 발휘할 수 있다. 또한, 활성층(300)을 이루는 비정질실리콘은 저온 증착이 가능하기 때문에, 가시적 투명성을 확보하면서도 낮은 가격에 제작할 수 있고, 상기 투명 광화학전지 시스템(1)을 넓은 영역에서 구현을 가능하도록 하는 효과를 발휘할 수 있다.

- [0071] 상기 버퍼층(400)은 AZO를 포함하고, 상기 제2투명전극층(500)은 TiO_2 , AgNW, 및 Pt나노입자를 포함할 수 있다. 본 발명의 일 실시예에서 상기 제2투명전극층(500)은, TiO_2 를 포함하는 층; 및 상기 TiO_2 층 위에 $\text{TiO}_2/\text{AgNW}/\text{Pt}$ 나노입자를 포함하는 층;을 가질 수 있다.
- [0072] Pt나노입자와 같은 전기 촉매는 고성능 광화학전지 시스템의 필수적인 구성 요소이다. 예를 들어, GaN, C, Ni-Fe전기촉매, 및 Cu_2O , Si, 및 BiVO_4 와 같은 광흡수제 재료의 조합은 고성능 광화학전지의 응용을 가능하게 하는 구성 요소에 해당한다. 다만, 상기 재료의 조합들은 검은색 내지 어두운 외관을 가지고 있어 투명 광화학전지 시스템(1)의 구현에 적합하지 않다는 문제점이 있다.
- [0073] 상기와 같은 문제점으로 인해, 본 발명의 일 실시예에서는 AVT를 저해하지 않는 재료의 조합을 포함한다.
- [0075] 상기 $\text{TiO}_2/\text{AgNW}/\text{Pt}$ 나노입자 1 내지 100nm의 입자사이지를 가질 수 있다. 바람직하게는, 상기 $\text{TiO}_2/\text{AgNW}/\text{Pt}$ 나노입자는 10 내지 40nm의 입자사이지를 가질 수 있다. 더욱 바람직하게는, 상기 $\text{TiO}_2/\text{AgNW}/\text{Pt}$ 나노입자는 20 내지 30nm의 입자사이지를 가질 수 있다.
- [0077] 이와 같은 구성에서, 상기 유리기관층(100), 제1투명전극층(200), 활성층(300), 버퍼층(400), 및 제2투명전극층(500)이 상기 투명 태양전지의 역할을 수행할 수 있다. 또한, 상기 투명 광화학전지 시스템(1)에서 상기 투명 태양전지는 광캐소드의 역할, 및 상기 상대전극층(700)이 광애노드의 역할을 수행할 수 있다.
- [0079] 본 발명의 일 실시예에 따른 상기 전해질층(600)은 0.1M의 Na_2SO_3 전해질 수용액을 포함할 수 있다. 또한 본 발명의 일 실시예에 따른 상대전극층(700)에는 Pt-mesh가 적용될 수 있고, 상기 상대전극층(700)을 포함한 상기 투명 광화학전지 시스템(1)은 양전극 시스템에 해당할 수 있다. 이때, 상대전극(counter electrode)란 본 발명에 따른 투명 광화학전지 시스템 안에서 전하가 용이하게 운송될 수 있도록 전기적 회로를 완성시키는 역할을 하는 전극을 말한다.
- [0081] 상기 투명 태양전지에서는, 제1투명전극층(200)(FTO) 및 제2투명전극층(500)($\text{TiO}_2/\text{AgNW}/\text{Pt}$)을 통해 전하 캐리어를 전달하고, 상기 전하 캐리어는 외부 회로를 통해 전해질 및 상대전극층(700)으로 전달될 수 있다. 상기 p-i-n 접합구조를 포함하는 비정질실리콘으로 이루어진 활성층(300)은 빛을 조사함에 따라 전력을 생산하는 광전효과를 구현할 수 있다.
- [0082] 상기 투명 광화학전지 시스템(1)에서는 투명 태양전지가 포함하는 광캐소드의 기능 및 상대전극층(700)이 수행하는 광애노드 기능을 통해, 투명 태양전지의 제2투명전극층(500) 및 전해질층(600)의 계면에서 광생성된 수소를 생성할 수 있고, 상대전극층(700) 및 전해질층(600)의 계면에서 산소를 생성할 수 있다.
- [0084] 즉, 본 발명의 일 실시예에 따르면, 투명 광화학전지 시스템(1)은 광발생 수소를 생산함으로써, 과도 생성된 전류를 화학에너지의 형태로 저장할 수 있을 뿐만 아니라 수소를 부가가치 제품을 생산하는 다른 에너지 변환 시스템으로 전송할 수 있는 효과를 발휘할 수 있다.
- [0086] 한편, 상기의 투명 광화학전지 시스템(1)은 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 광화학전지 시스템(1)을 제작하는 제조방법을 통해 구현될 수 있다.
- [0087] 바람직하게는 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 광화학전지 시스템(1)의 제조방법으로서, 유리기관층(100)을 배치하는 단계; 상기 유리기관층(100) 위에 제1투명전극층(200)을 배치하는 단계; 상기 제1투명전극층(200) 위에, 복수의 비정질실리콘을 포함하는 활성층(300)을 배치하는 단계; 상기 활성층(300) 위에 버퍼층(400)을 배치하는 단계; 상기 버퍼층(400) 위에 제2투명전극층(500)을 배치하는 단계; 상기 제2투명전극층(500) 위에 전해질층

(600)을 배치하는 단계; 및 상기 전해질층(600) 위에 상대전극층(700)을 배치하는 단계;를 포함하고, 상기 복수의 비정질실리콘에 의하여 형성된 p-i-n접합구조를 포함하는 활성층(300)을 제작할 수 있다.

[0089] 유리기관층(100) 상부에 제1투명전극층(200)이 배치된 기관은 아세톤, 메탄올, 및 탈이온수(DI water) 용매를 각각 사용하여 1 내지 60분의 시간동안 세척될 수 있고, 바람직하게는, 10분의 시간동안 세척될 수 있다. 이후, 상기 유리기관층(100) 상부에 제1투명전극층(200)이 배치된 기관은 N_2 가스 스트림을 사용하여 건조될 수 있다.

[0091] 상기 활성층(300)을 배치하는 단계는, PECVD(Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition) 공정을 통해, 1 내지 1000MHz의 주파수, 및 1 내지 $1000\text{mW}/\text{cm}^2$ 의 RF 전력, 1 내지 1000sccm의 실레인(SiH_4)유량, 1 내지 1000sccm의 수소(H_2)유량 하에서, 1 내지 1000nm의 두께를 형성하는 비정질실리콘층을 배치할 수 있다. 바람직하게는, PECVD공법을 통하여, 상기 활성층(300)은 13.56MHz의 주파수, 및 $56\text{mW}/\text{cm}^2$ 의 RF전력, 10sccm의 실레인 유량, 40sccm의 수소 유량 하에서, 20nm 내지 40nm의 두께의 비정질실리콘층을 배치할 수 있다.

[0093] 상기 제2투명전극층(500)을 배치하는 단계는, 제1 TiO_2 층을 배치하는 단계; 및 상기 제1 TiO_2 층 위에 $\text{TiO}_2/\text{AgNW}/\text{Pt}$ 나노입자를 포함하는 제2 TiO_2 층을 배치하는 단계를 포함한다.

[0094] 버퍼층(400)을 배치하는 단계, 및 제2투명전극층(500)의 제1 TiO_2 층을 배치하는 단계는, 상온에서 마그네트론 스퍼터링 공법을 사용함으로써 구현될 수 있다. 이때, 상기 마그네트론 스퍼터링 챔버의 기본 압력은 2×10^{-6} Torr 일 수 있다.

[0095] 상기 버퍼층(400) 및 제2투명전극층(500)의 TiO_2 는 1 내지 $1000\text{mW}/\text{cm}^2$ 의 RF전력, 1 내지 1000sccm의 아르곤(Ar) 유량, 및 1 내지 1000mTorr의 작동압력에서 형성될 수 있다. 바람직하게는, 상기 버퍼층(400) 및 제2투명전극층(500)의 TiO_2 는 $50\text{mW}/\text{cm}^2$ 의 RF전력, 50sccm의 아르곤(Ar) 유량, 및 5mTorr의 작동압력에서 형성될 수 있다.

[0097] 상기 제1 TiO_2 층 상면에 $\text{TiO}_2/\text{AgNW}/\text{Pt}$ 나노입자를 포함하는 제2 TiO_2 층을 배치하는 단계는 다음과 같은 제조방법으로 구현될 수 있다.

[0098] AgNW(은나노와이어)는 이소프로필 알코올이 포함된 AgNW잉크를 유리기관층(100), 제1투명전극층(200), 활성층(300), 버퍼층(400), 및 제2투명전극층(500)의 제1 TiO_2 층이 적층된 기관 위에 스핀코팅함으로써 구현될 수 있다. 상기 스핀코팅된 AgNW는 AgNW 네트워크를 형성하여 전극의 특성을 가질 수 있다. 이때 상기 AgNW는 투명 광화학전지 시스템(1)의 상면 전체에 배치될 수 있다.

[0099] Pt나노입자는 스퍼터링 공법을 통해 실온, 및 1 내지 1000W의 DC전력하에서 1 내지 100초의 시간동안 형성될 수 있다.

[0101] 즉 이와 같은 투명 광화학전지 시스템(1)의 제조방법을 통해서, 투명 광화학전지 시스템(1)은 전하의 생성 및 물의 분해 반응이 서로 다른 층에서 일어나도록 제조됨으로써, 효율적이고 안정적인 물 환원을 달성할 수 있도록 하는 효과를 발휘할 수 있다.

[0103] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 광화학전지 시스템(1)을 도입한 건물 일체형 투명 에너지 시스템의 개략, 태양광 파장범위, 및 투명 광화학전지 시스템(1)의 구조에 대한 사항을 도시한다.

[0105] 가정 및 상업용 건물은 막대한 에너지 소비를 유발하며 전 세계 에너지 소비의 거의 40%를 차지한다. 본 발명에

서 제안하는 투명 광화학전지 시스템(1)의 설계는 넓은 파장범위의 태양광 스펙트럼에 걸쳐 우수한 투명도를 가지며, 우수한 광투과 특성을 제공한다. 이를 통해서 건물 일체형 광전소자를 도입한 제로 에미션 건물을 수립할 수 있고 현장발전을 가능하게 한다.

[0107] 도 2a의 파란색 선은 인간의 눈이 응답성을 가지는 광원의 파장범위인 포토픽 비전(photopic vision)에 해당하는 파장을 도시하였다. 상기 포토픽 비전은 380nm 내지 780nm 파장범위를 의미하며 555nm 파장범위에서 강한 피크를 가진다.

[0109] 도 2b는 투명 에너지 시스템(Transparent Energy System, TES)을 개략적으로 도시한다. 본 발명에 따른 투명 광화학전지 시스템(1)은 단일 에너지 플랫폼에서 다양한 형태의 에너지(태양에너지에서 전기에너지, 및 태양에너지에서 화학에너지)를 생산할 수 있다. TES의 일반적인 규칙은 인간의 가시성을 확보하면서 TES를 실현하는 것이다. 또한 TES 분야의 발전은 가정 및 상업용 건물 일체형 광전소자를 사용한 건물 일체형 에너지 플랫폼을 현장에 적용하기 위한 필수적인 요소이다. 건물 일체형 에너지 플랫폼을 실제 적용하기 위해서는 태양에너지로 전기를 생산함과 동시에 수소를 생성함으로써 에너지를 화학적으로 변환하여 저장할 수 있는 기술이 사용될 수 있다. 본 발명의 투명 광화학전지 시스템(1)은 환경 친화적이고 지속 가능한 투명한 에너지를 제공하며, 도 2b에 도시된 요구사항을 충족할 수 있다.

[0111] 도 2c 및 도 2d는 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 광화학전지 시스템(1)의 투명 태양전지 즉, 광캐소드의 개략도, 실제 제작된 사진, 및 그 단면을 촬영한 사진에 대한 사항을 도시한다. 이때, 투명 태양전지의 단면은 전계 방출 투과 전자 현미경(FETEM; JEM-2100F; JEOL)을 사용하여 특성화될 수 있다.

[0112] 본 발명에서는 FTO 코팅된 유리기판층(100) 상부에 초박형 p-Si(p타입실리콘), i-Si(진성실리콘), 및 n-Si(n타입실리콘)를 배치함으로써 p-i-n접합구조를 갖는 활성층(300)을 제작하고, 제2투명전극층(500) 상부에 Pt나노입자를 증착한 투명 태양전지를 갖는 투명 광화학전지 시스템(1)을 제안한다.

[0113] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 비정질실리콘을 기반으로 상면에 Pt나노입자를 증착한 구조를 가진 투명 태양전지를 포함하는 광화학전지 시스템을 최초로 제공할 수 있다.

[0114] 상기의 투명 태양전지는 투명 광화학전지 시스템(1)에서 투명 광캐소드로 사용될 수 있다. n-Si/i-Si/p-Si 접합구조를 포함하는 상기 투명 태양전지로 광전효과를 구현할 수 있다. 상기 p-i-n 접합구조는 제1투명전극층(200)(FTO) 및 제2투명전극층(500)을 통해 전하 캐리어를 전달하고, 상기 전하캐리어는 외부회로를 통해 전해질 및 상대전극층(700)으로 전달될 수 있다.

[0115] 또한, 제2투명전극층(500) 상면에 증착된 Pt나노입자는 전하 캐리어가 광활성 n-Si/i-Si/p-Si 접합구조 계면에서 효과적으로 이동하도록 하는 특성을 가진다. 이런 특성으로 인해 본 발명의 투명 광화학전지 성능이 향상되는 효과를 발휘할 수 있다.

[0116] 상기 Pt나노입자는 대면적의 습식 화학물질이 필요 없는 스퍼터링 공법을 사용하여 증착되었고, 이는 상기 투명 태양전지가 우수한 광학적, 전기적, 및 촉매적 특성을 가지게 할 수 있다.

[0118] 도 2d에 도시된 바와 같이, 투명 광화학전지 시스템(1)에 포함된 투명 태양전지는 a-Si로 구성되어 있으며, 제2투명전극층(500)은 Pt나노입자가 증착되어 있을 수 있다. a-Si의 두께, 및 Pt나노입자의 크기는 TEM, 및 ImageJ 소프트웨어를 사용하여 측정될 수 있고, 그 결과를 하기의 표 1에 정리하였다.

표 1

a-Si 두께 (nm)	AgNW/TiO ₂ /Pt나노입자 사이즈 (nm)
38.013	23.022
37.202	23.087
32.558	23.537

29.411	12.728
32.558	18.028
33.287	29.614
35.805	22.136
29.833	21.024
27.313	21.190
30.265	24.597
평균: 32.624	평균: 21.896

[0121] 도 2d에 도시된 바와 같이, $\text{TiO}_2/\text{AgNW}/\text{Pt}$ 나노입자는 균일하게 분포되어 있다.

[0123] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 광화학전지 시스템(1)에 포함된 투명 태양전지의 특성, 및 에너지밴드 다이어그램에 대한 사항을 도시한다.

[0125] 도 3a는 a-Si 기반 투명 광화학전지 시스템(1)의 성능을 나타내는 전류-전압 거동에 대해 도시한다. 투명 광화학전지 시스템(1)의 광학적 특성은 분광광도계(Shimadzu, UV-2600)를 사용하여 UV, 가시광선 및 근적외선 파장 범위를 가진 광원 하에서 측정하였다. 또한 상기 투명 광화학전지 시스템(1)의 전류-전압 특성을 측정하기 위해 20mV/s의 주기적 스캔 속도로 potentiostat/galvanostat(PGState, WonATech, ZIVE SP2)를 사용하여 선형 스윕 전압전류법(LSV)을 수행한다. 또한 상기 측정은 음전위에서 양전위로, 양전위에서 음전위로 스캔되며 각각 수행될 수 있다.

[0127] a-Si 기반 투명 광화학전지 시스템(1)은 전력변환효율(PCE)이 상당히 향상될 수 있다. 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 광화학전지 시스템(1)은 0.852V의 개방회로전압(V_{oc}), 3.744 mA/cm^2 의 단락전류밀도(J_{sc}), 52%의 충전율(FF) 및 1.66%의 효율(η)을 가질 수 있다. (표2)

표 2

[0128]

광원	장치	단락전류밀도 (mA/cm^2)	개방회로전압(V)	충진률 (%)	효율 (%)	직렬저항 (Ω/sq)	병렬저항 (Ω/sq)	광화학전지에 공급한 전류밀도 (mW/cm^2)
AM1.5G (100mA/cm^2)	Pt (10초)	3.744	0.852	52.00	1.66	5.22	1744	1.66
백색LED (100mA/cm^2)	베어	11.01	0.789	18.55	1.61	334.00	53.44	1.61
	Pt (10초)	15.34	0.924	40.00	5.68	33.66	345.22	5.68
	Pt(20초)	15.02	0.922	39.40	5.46	33.85	385.12	5.46

[0129] a-Si 기반 투명 광화학전지 시스템(1)의 우수한 성능은 투명 태양전지의 단락전류밀도 및 개방회로전압에 기인하며, 이는 활성층(300)의 a-Si, 및 이의 p-i-n 접합구조의 향상된 품질을 반영한다. 또한 높은 FF(충진율)은 더 나은 계면 특성에 기인하며, 이는 10초동안 Pt나노입자를 증착한 투명 광화학전지 시스템(1)(이하, Pt(10초) 시스템)에서 관찰된 높은 병렬저항 및 낮은 직렬저항 값을 통해 확인할 수 있다.

[0130] 본 발명의 투명 광화학전지 시스템(1)은 개선된 인터페이스를 가지고 있으며, 상기 투명 광화학전지 시스템(1)은 투명 태양전지 역할을 하는 레이어, 및 투명 광화학전지 역할을 하는 레이어가 분리되어 있기 때문에 우수한 광학적 특성을 가질 수 있다. Pt나노입자가 상면에 증착된 상기 투명 광화학전지는 종래에 보고된 0.51%의 PCE보다 3배 나은 성능(1.66%)를 가질 수 있다.

[0132] 도 3b는 Pt나노입자 증착 유무, 및 Pt나노입자 증착시간에 따른 투명 광화학전지 시스템(1)의 투과도를 비교하여 도시한다. 투명 광화학전지 시스템(1)의 투과율 프로파일을 확인하기 위한 기준선으로 사용되는 공기 중의 블랭크 측정과 함께 확산 통합 구에 보관될 수 있다. 또한, 투명 광화학전지 시스템(1)의 투시 구조와 장치의 광전기화학적 성능은 표준 태양광 시뮬레이터(AM 1.5G, 100mW/cm², McScience-K3000, 한국)와 백색LED 광원(100mW/cm²)에서 측정될 수 있다.

[0133] 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 광화학전지는 광범위한 파장범위에서 높은 투명도를 제공할 수 있다. 가시광선 파장영역(380nm 내지 780nm)을 가진 광원 하에서, 평균가시투과율(AVT)은 다음의 도식을 사용하여 계산된다.

[0134]

$$AVT = \frac{\int_{380nm}^{780nm} S(\lambda)P(\lambda)T(\lambda)d\lambda}{\int_{380nm}^{780nm} S(\lambda)P(\lambda)d\lambda}$$

[0135] 여기서, λ 는 파장, T는 투과율, P는 포토픽 비전 파장, 및 S는 태양 광자 플럭스에 해당한다. 본 발명의 일 실시예는 다음의 3가지 경우를 비교한다. 이때, 베어 시스템은 Pt나노입자가 증착되어 있지 않은 투명 광화학전지 시스템(1), Pt(10초) 시스템은 Pt나노입자가 10초의 시간동안 증착된 투명 광화학전지 시스템(1), 및 Pt(20초) 시스템은 Pt나노입자가 20초의 시간동안 증착된 투명 광화학전지 시스템(1)에 해당한다. 최대 AVT(33.2%)는 베어 시스템에서 측정될 수 있다. AVT는 각각 Pt(10초) 시스템, 및 Pt(20초) 시스템에 대해 28.3% 및 24.3%의 값을 가질 수 있다. Pt나노입자의 증착이 투명 광화학전지 시스템(1)의 투과율을 감소시킬 수 있다.

[0136] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 투명 광화학전지 시스템(1)은 투명한 창 역할을 함으로써, 자외선 방사선을 흡수하면서 가시광선 투과를 강화하는 효과를 발휘할 수 있다.

[0138] 한편, 금속 나노입자는 우수한 수소발생반응(Hydrogen Evolution Reaction, HER) 활성화, 및 광대역 투과율을 제공할 수 있다. 따라서 Pt나노입자를 투명 광화학전지 시스템(1) 표면에 증착하여 우수한 성능을 구현할 수 있다.

[0139] 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 광화학전지 시스템(1)의 투명도는 Pt(20초) 시스템보다 Pt(10초) 시스템에서 높았다. 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 광화학전지 시스템(1)은 종래에 보고된 광화학전지보다 AVT값이 낮음에도 불구하고 높은 PCE를 가질 수 있다.

[0140] 상기 투명 광화학전지 시스템(1)은 Pt나노입자를 TiO₂/AgNW로 구성된 제2투명전극층(500)에 증착하면 AVT가 하락할 수 있다. 다만, 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 광화학전지 시스템(1)은 제1투명전극층(200)에서 광원이 입사하는 시스템 구조를 가지고 있기 때문에 상기 시스템의 성능은 AVT에 영향받지 않을 수 있다.

[0142] 건물 일체형 에너지 시스템은 건물의 조명을 에너지 생산의 주체로 사용할 수 있다는 장점이 있다. 예를 들어, LED광원을 조명으로 사용하면 투명 광화학전지 시스템(1)의 기능 중 하나인 전력발전이 가능하다. 따라서 백색 LED 광원 하에서, 투명 광화학전지 시스템(1)의 성능을 측정했다. 상기 투명 광화학전지 시스템(1)의 광발전 성능은 백색LED 광원(100mW/cm²) 하에서 측정되었으며, 추정된 매개변수는 표 1을 참고하였다.

[0143] 상기 Pt(10초) 시스템은 5.68%의 우수한 PCE를 가질 수 있다. 이는 광원의 파장 스펙트럼 중에서 짧은 파장범위를 갖는 광원의 파장 스펙트럼에 기인한다.

[0144] 따라서 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 광화학전지 시스템(1)은 낮에 햇빛으로부터 전력을 발전할 수 있고, 햇빛이 없을 때는 백색LED 광원으로부터 전력을 발전할 수 있다. 또한 Pt나노입자는 상기 투명 광화학전지 시스템(1)에서 생성된 전하 캐리어(즉, 전자) 수집을 용이하게 하여, 수소 생성을 효율적이게 만드는 효과를 발휘할 수 있다.

[0146] 도 3c는 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 광화학전지 시스템(1)의 외부양자효율(External Quantum Efficiency, EQE)와 색온도 5000K의 AM1.5G 및 LED 광원 파장 스펙트럼을 요약한 사항에 대해 도시한다. 상기 투명 광화학전지 시스템(1)의 외부 양자 효율(EQE)은 양자 측정 시스템(QEX10, PV Measuring Inc.), 록인 앰프, 모노크로메

이터(Oriel Cornerstone 130 1/8m Monochromator), 및 소스 측정 유닛(2440, Keithley)을 이용하여 측정될 수 있다.

[0147] 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 광화학전지(1)는 a-Si를 포함하는 흡수층이 얇기 때문에, 300nm 내지 600nm 파장 범위를 가진 광원 하에서 우수한 EQE를 가질 수 있고, 400nm 파장범위를 가진 광원 하에서 EQE가 43.95%의 피크 값을 가질 수 있다. 또한 상기 투명 광화학전지 시스템(1)은 350nm 내지 500nm 파장범위를 가진 광원 하에서 30%보다 높은 EQE를 가질 수 있다. 이는 본 발명의 투명 광화학전지 시스템(1)이 우수한 EQE를 가지는 파장 스펙트럼 영역이 LED광원의 파장 스펙트럼이 강한 피크를 가지는 파장영역과 상응한다는 특징에 해당한다. 이러한 특징은 상기 광화학전지 시스템이 LED광원을 사용하여 전력발전을 할 수 있도록 한다.

[0149] 도 3d는 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 광화학전지 시스템(1)이 방사조도플롯을 이용해 LED 및 AM1.5G 광원 스펙트럼에 대해 400nm 내지 500nm, 500nm 내지 800nm, 및 400nm 내지 800nm 파장 간격에서 계산된 광자의 총 전력을 도시한다.

[0150] 상기 투명 광화학전지 시스템(1)은 백색LED 광원 및 400nm 내지 500nm 파장 간격에서 $61.1\text{mW}/\text{cm}^2$ 의 최대 에너지 밀도를, AM1.5G 광원 및 상기와 상응한 파장 간격에서 $14.09\text{mW}/\text{cm}^2$ 의 에너지밀도를 가질 수 있다. 이를 통해, 400nm 내지 500nm 파장 간격에서 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 광화학전지 시스템(1)은 백색LED 광원 하에서 더 우수한 에너지밀도를 포함함을 알 수 있다. 특히, 500nm 내지 800nm 파장 간격 하에서 백색LED 광원, 및 AM1.5G 광원은 최대 $40\text{mW}/\text{cm}^2$ 의 에너지밀도를 가질 수 있고, 이는 가시광선 영역에 해당한다.

[0151] 또한 백색LED 광원은 AM1.5G 광원에 비해 자외선, 및 근적외선 파장범위에 해당하는 광자가 부족할 수 있다. 따라서 280nm 내지 1400nm 파장 간격에서 백색LED 광원 및 AM1.5G 광원의 총 에너지밀도는 각각 $100\text{mW}/\text{cm}^2$, 및 $83.70\text{mW}/\text{cm}^2$ 를 가질 수 있다.

[0152] 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 광화학전지 시스템(1)의 에너지수율은 EQE 특성을 사용하여 계산될 수 있다. AM1.5G 및 백색LED 광원에 대한 상기 투명 광화학전지 시스템(1)의 통합 단락전력밀도(Integrated J_{sc})는 하기의 도식을 통해 계산될 수 있다.

[0153]
$$\text{Integrated } J_{sc} = q \times \int_{280\text{nm}}^{1400\text{nm}} \text{EQE}(\lambda) \times \Gamma(\lambda) \times d\lambda$$

[0154] 여기서, q는 전자의 전하, λ 는 광자의 파장, EQE는 측정된 외부양자효율, 및 Γ 는 AM1.5G 또는 LED 광원의 분 광방사조도에 해당한다. AM1.5G 및 LED 광원에 대한 광자 파장의 함수로 얻은 통합 J_{sc} 값은 도 3d에 도시되어 있다.

[0155] 도 3d에 도시된 바와 같이, 광원의 파장 스펙트럼은 투명 광화학전지 시스템(1)의 성능에 영향을 미칠 수 있다. 자외선, 및 가시광선 파장범위를 가진 광원 하에서, 상기 투명 광화학전지 시스템(1) 통합 단락전류밀도는 급격하게 상승하며, 이는 400nm 내지 500nm 파장 간격에서 통합 에너지밀도가 $61.1\text{mW}/\text{cm}^2$ 을 갖기 때문일 수 있다.

[0157] 도 3e는 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 광화학전지 시스템(1)의 에너지밴드 다이어그램에 대한 사항을 도시한다.

[0158] 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 광화학전지 시스템(1)은, $100\text{mW}/\text{cm}^2$ (AM1.5G) 전력밀도를 갖는 광원 하에서 RHE(Reversible Hydrogen Electrode) 대비 0V, -0.25V, 및 -0.5V를 가질 때, 베어 시스템, Pt(10초) 시스템, 및 Pt(20초) 시스템의 광전류밀도가 측정될 수 있다. 이때 광원은 제1투명전극층(200)을 통해 입사하고 광자는 i-Si층에 흡수되어 광생성 캐리어를 형성한 다음, p-i-n 접합구조에 의해 생성된 강력한 내장 전기장을 통해 분리될 수 있다.

[0159] 광생성 전자는 이후 AZO 및 $\text{TiO}_2/\text{AgNW}/\text{Pt}$ 나노입자를 통해 수소발생 조촉매(cocatalyst)로 운반되어 물의 환원을 촉진하는 촉매의 역할을 할 수 있다. 동시에 광생성 정공은 제1투명전극층(200) 계면에서 수집되어 외부 회로를 통해 상대전극층(700)으로 운반될 수 있다.

- [0160] 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 광화학전지 시스템(1)의 설계는 전하 생성과 물의 환원에 의한 화학반응이 서로 다른 재료 층에서 일어나도록 함으로써, 상기 투명 광화학전지 시스템(1)이 효율적이고 안정적인 물 환원을 달성할 수 있도록 할 수 있다.
- [0161] 또한 본 발명의 일 실시예에 따르면, 투명 광화학전지 시스템(1)은 Pt나노입자를 증착함으로써, 물 분해 성능을 향상시키는 효과를 발휘할 수 있다. 이는 Pt나노입자가 제2투명전극층(500)/전해질층(600) 계면에서 수소 이온의 흡착을 돕고 용매의 엔트로피를 증가시켜 Gibbs 자유 에너지를 최소화하는 특징을 가지기 때문이다. 이러한 특징은 정전기 전위를 0으로 만들고 전기장을 없앤다.
- [0162] 상기 투명 광화학전지 시스템(1)의 투명 태양전지 역할을 하는 영역에서 광원은 대부분 흡수되어 전력(전압 및 전류)로 변환될 수 있다. 상기 전력은 투명 광화학전지 시스템(1)에 공급되어 물을 수소와 산소로 분리할 수 있다.
- [0163] 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 광화학전지 시스템(1)의 p-Si/i-Si/n-Si 접합구조는 높은 전기장을 생성하고, 투명한 광캐소드의 역할을 하며, 투명 태양전지의 역할을 수행할 수 있어 전력 생산이 가능하다. 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 광화학전지 시스템(1)은 FTO가 증착되어 있는 유리기판층(100), p-Si/i-Si/n-Si 접합구조와 AZO, 및 $\text{TiO}_2/\text{AgNW}/\text{Pt}$ 나노입자를 투명 태양전지 및 투명 광캐소드로 사용될 수 있게 한다.
- [0165] 도 3f는 광원이 있는 조건, 및 광원이 없는 조건 하에서, 양전극을 갖춘 본 발명의 투명 광화학전지 시스템(1)의 크로노포텐시오메트리 플롯에 대한 사항을 도시한다. 이때, V 대비 상대전극층(700)에서 측정된 전위 및 Nernst 방정식을 적용하여 RHE 스케일로 변환된 전위 및 전해질의 pH는 11.2이다.
- [0166] 투명 광화학전지에 포함된 광캐소드의 광전압은 전위의 음의 방향으로 이동하여 Si/graphene/ $\text{TiO}_2/\text{FeNiCoO}$ (420mV), n-Si/Ni(300mV), n-Si/ $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{NiO}_x$ (247mV), TiO_2 (430mV), 및 n-Si/ $\text{SiO}_x/\text{Co}/\text{CoOOH}$ (450mV)의 광에너지에 대해 종래에 보고된 것보다 높은 900mV 값을 가질 수 있다. 이와 같이, p-i-n 접합구조는 높은 광전압을 가지는 고성능 투명 광캐소드를 구현하기 위한 구동력을 제공하는 구조에 해당할 수 있다.
- [0168] 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 광화학전지 시스템(1)의 디지털 사진 및, 광화학전지의 특성에 대한 사항을 도시한다.
- [0170] 도 4a는 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 광화학전지 시스템(1)의 디지털 사진에 해당한다. 상기 투명 광화학전지 시스템(1)은 광캐소드 및 애노드 단자로 구성된 전극을 갖출 수 있다.
- [0172] 도 4b, 도 4c, 및 도 4d는 AM1.5G 펄스광원 하에서, 베어 시스템, Pt(10초) 시스템, 및 Pt(20초) 시스템에 포함된 전극에 대한 선형 스윙 전압-전류 거동(LSV)을 도시한다.
- [0174] 도 4e는 RHE 대비 0, -0.25, 및 -0.5V에서 LSV곡선으로부터 추정된 광전류밀도를 도시한다. RHE 대비 -0.5V 하에서 Pt(10초) 시스템, 및 Pt(20초) 시스템의 광전류밀도는 베어 시스템에 비교하여 각각 3.25 및 $0.45\text{mA}/\text{cm}^2$ 씩 증가할 수 있다.
- [0175] 이때 Pt(10초) 시스템의 광전류밀도는 베어 시스템 및 Pt(20초) 시스템에 비교하여 상당히 높을 수 있다. 또한 본 발명의 일 실시예에서 관찰된 광전류의 최대값은 투명 광캐소드에 기반한 광화학전지 시스템의 종래 보고된 값보다 우수한 값에 해당한다. 따라서 상기 투명 광화학전지 시스템(1)은 Pt나노입자를 증착함으로써, 투명 태양전지에서 생산되는 광전류를 향상시키는 효과를 발휘할 수 있다.
- [0177] 도 4f는 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 광화학전지 시스템(1)의 ABPE(Applied Bias to Photocurrent

Efficiency)를 도시하며, 상기 ABPE는 전류밀도-전압 곡선에서 추정할 수 있고, 하기의 도식을 통해 계산할 수 있다.

$$ABPE (\%) = \frac{J_{ph} \times V_b}{P_{total}} \times 100\%$$

[0178]

[0179]

여기서 J_{ph} 는 광전류밀도, V_b 는 적용된 바이어스 및 P_{total} 는 총 입사광 전력(즉, $100\text{mW}/\text{cm}^2$)에 해당한다. 그림 3f는 다양한 작동 전위에서 상기 시스템의 ABPE 값을 도시한다.

[0180]

0.5V의 바이어스 전압 하에서 상기 베어 시스템은 0.5%, 상기 Pt(10초) 시스템은 3%, 및 상기 Pt(20초) 시스템은 0.75%의 ABPE값을 가질 수 있다. 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 광화학전지 시스템(1)은 종래에 Pt나노입자가 포함된 불투명한 광화학전지가 보인 3.3%의 ABPE값과 비교하여 우수하다.

[0182]

도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 광화학전지 시스템(1)에 증착된 Pt나노입자의 형태에 대한 사항을 도시하고, 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 광화학전지 시스템(1)에 Pt나노입자를 증착하는 공정의 실제 사진에 대해 도시하며, 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 광화학전지 시스템(1)에 증착된 Pt나노입자 및 비교예의 에너지 분산 스펙트럼(EDS)에 대한 사항을 도시한다.

[0184]

상기 Pt나노입자는 0.05mbar의 작동압력 하에서 스퍼터링 공법을 수행함으로써 증착될 수 있다.

[0185]

도 5a는 a-Si층 상면에 Pt나노입자를 증착하여 촬영한 SEM이미지에 해당한다. 증착시간 변화(10초 및 20초)에 따른 상기 a-Si층의 표면형상을 비교하기 위해, 기준이 될 노출된 a-Si층 샘플과 함께 비교하여 촬영한 SEM이미지를 도시한다.

[0186]

상기 투명 광화학전지 시스템(1)의 SEM이미지는 Pt나노입자의 증착시간이 증가함에 따라 Pt나노입자의 형태를 명확히 드러낼 수 있고, 이는 노출된 Si기판 샘플의 SEM이미지와 상응할 수 있다. Pt나노입자가 포함된 클러스터의 크기는 증착시간이 10초일 경우 최대 4nm를 가질 수 있으며, 증착시간이 20초일 경우 최대 8nm의 크기를 가질 수 있다. 또한 Pt(10초) 시스템은 고밀도의 클러스터를 제공하고, Pt(20초) 시스템은 저밀도의 클러스터를 제공한다. Pt(10초) 시스템은 상대적으로 높은 HER을 제공함에 따라, 본 발명의 일 실시예에서 Pt나노입자의 증착시간은 10초인 것이 바람직하다.

[0188]

도 5d, 도 5e, 및 도 5f는 AZO/AgNW층 상면에 Pt나노입자를 증착하여 촬영한 SEM이미지에 해당한다. Pt나노입자를 포함하는 클러스터의 분포는 상기 a-Si층 상면에 Pt나노입자를 증착하여 촬영한 SEM이미지와 상응한다.

[0190]

도 5g, 도 5h, 및 도 5i는 Zn, Ag, Si 및 Pt의 원소 매핑을 요약하여 도시한다. 도 7의 원소 매핑은 Pt나노입자의 존재를 AgNW 및 Si표면에서의 분포를 확인할 수 있도록 한다.

[0192]

도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 광화학전지 시스템(1)의 안정성에 대한 사항을 도시한다. 상기 투명 광화학전지 시스템(1)의 안정성 시험은 시간전류법(chronoamperometry) 방법을 사용하여 수행될 수 있다.

[0194]

광화학전지에 사용되는 전해질 용액, 및 광캐소드의 안정성은 상업적 어플리케이션에서 매우 주의해야 하는 사항에 해당한다. 본 발명에서는 크로노암페로메트리(도 8a)를 사용하여 Pt가 증착된 상기 투명 광화학전지 시스템(1)뿐만 아니라 베어(Pt나노입자가 증착되지 않은) 상기 투명 광화학전지 시스템(1)에 대해서도 안정성에 대한 평가를 수행한다.(도 8b)

[0195]

다만 Pt나노입자가 증착된 상기 투명 광화학전지 시스템(1)의 전극은 인가 전위가 높기 때문에 안정성이 낮아질 수 있고, 이에 따라 시간에 따른 광전류의 예상치 못한 느린 변화가 발생할 수 있다. 또한 도 8b에 도시된 바와 같이, 안정성 테스트를 수행한 영역에서 색상의 변화가 관찰될 수 있다. 안정성 평가에서 관찰된 초기 광전류는

1.6mA/cm²에 해당하고, 상기 초기 광전류는 90초 이내에 1.8mA/cm²씩 증가할 수 있다.

[0197] 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 광화학전지 시스템(1)은 자외선 파장범위를 가진 광원을 사용하여 전력변환할 수 있으며, 수소 에너지 생산이 적용되어 기존 태양광 에너지 시스템이 가지고 있던 어두운 환경에서 태양발전이 불가능하다는 문제점을 극복할 수 있다.

[0198] 또한 본 발명의 일 실시예에 따르면, 투명 광화학전지 시스템(1)은 투명 태양전지 및 광화학전지를 통합함으로써, 안정적인 광발생 수소를 생산할 수 있는 효과를 발휘할 수 있다. 상기 투명 광화학전지 시스템(1)은 광발생 수소를 생산함으로써, 과도 생성된 전류를 화학에너지의 형태로 저장할 수 있을 뿐만 아니라 수소를 부가가치 제품을 생산하는 다른 에너지 변환 시스템으로 전송할 수 있는 효과를 발휘할 수 있다.

[0200] 표 3은 광화학전지의 성능을 비교예와 함께 요약하여 정리한다.

표 3

재료	장치 구조	투과율(%) (활성 영역(cm ²))	광전류밀도 (mA/cm ²) (V vs. RHE)	개시전위 (V vs. RHE)	비고
CuFeO ₂	FTO/CuFeO ₂ /NiFe/RGO	N/A (0.8)	2.45 (0.4)	0.8	비교예1
Cu ₂ O	FTO/Au/Cu ₂ O/AZO/TiO ₂ /RuO ₂	60 (0.057)	6.0 (0.0)	0.5	비교예2
CuO	FTO/CuO	60 (0.49)	6.4 (0.3)	0.96	비교예3
Cu ₂ O	FTO/CuO/NiO/Cu ₂ O/AZO/TiO ₂ /RuO ₂	50 (N/A)	5.2 (0.0)	0.62	비교예4
Co ₃ O ₄	FTO/Co ₃ O ₄	35 (1.0)	6.5 (2.0)	-	비교예5
a-Si:H	ITO/a-Si(n-i-p)/CoO _x	50 (0.2)	3.67 (1.23)	0.84	비교예6
a-Si	FTO/a-Si(p-i-n)/Pt/electrolyte/Co ₃ O ₄ /a-Si(n-i-p)/FTO	N/A (N/A)	1.5 (0.0)	0.81	비교예7
a-Si	FTO/a-Si(p-i-n)/AZO/AgNW/TiO ₂ /Pt	46 (1.0)	4.0 (-0.5)	0.900	실시예

[0203] 표 3에 도시된 바와 같이, 종래의 광화학전지는 장치는 CuO, Cu₂O, a-Si, a-Si:H 및 Co₃O₄를 포함하여 제작된다. 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 광화학전지 시스템(1)은 완전히 투명한 에너지 시스템으로 적용되었으며, 최초의 a-Si 기반 투명 광화학전지 시스템(1)이다. 또한 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 광화학전지 시스템(1)은 지속 가능한 에너지 체인의 필수 기능인 건물 일체형의 지속적이고 본질적으로 청정한 에너지 변환을 위한 투명한 에너지 시스템의 잠재력을 보인다.

[0205] 종래의 투명 태양전지 및 투명 광화학전지는 활성 크기가 작기 때문에 상업용 어플리케이션의 최종 목표에 상응하는 성능을 제시하지 못했고, 그에 따라 전력 생산이 제한될 수 있다. 투명 태양전지 및 투명 광화학전지의 성능을 개선하기 위한 추가 가능한 경로는 2차원(2D)층(SnS 및 Sb₂S₃)과 같은 기능성 광 흡수체의 사용 등이 있다. 다만 현재에는 2D 반도체를 이용한 대규모 제조 및 제한적인 발전과 같은 문제가 해결되지 않은 채 남아 있다. 한편, 상기의 신흥 물질은 더 높은 흡수 계수(>10⁴cm⁻¹)로 인해 더 많은 양의 빛을 흡수하기에 적합한 밴드갭을 가지고 있어 실생활에 적용 가능한 투명 태양전지의 재료로 각광받고 있다. 또한 얇은 수소화 a-Si 필름은 높은 안정성, 내구성 및 저온 처리로 인해 중요한 역할을 할 수 있으며, 가시적 투명성을 손상시키지 않고 투명 광화학전지 시스템(1)에서 사용될 수 있다.

[0206] Si 기반 광화학전지 시스템의 성능을 더욱 향상시키기 위해서는 집광 향상을 위한 다양한 형태로 Si 표면을 변

형할 수 있고, 대부분 활성층(300) 계면에서 발생하는 재결합 손실을 줄이기 위한 밴드 구조 공학을 조정할 수 있다. 또한 장기 안정성을 달성하기 위해 적층 설계를 수정할 수 있고, 광화학전지 반응을 가속화할 수 있는 조촉매를 추가할 수 있다.

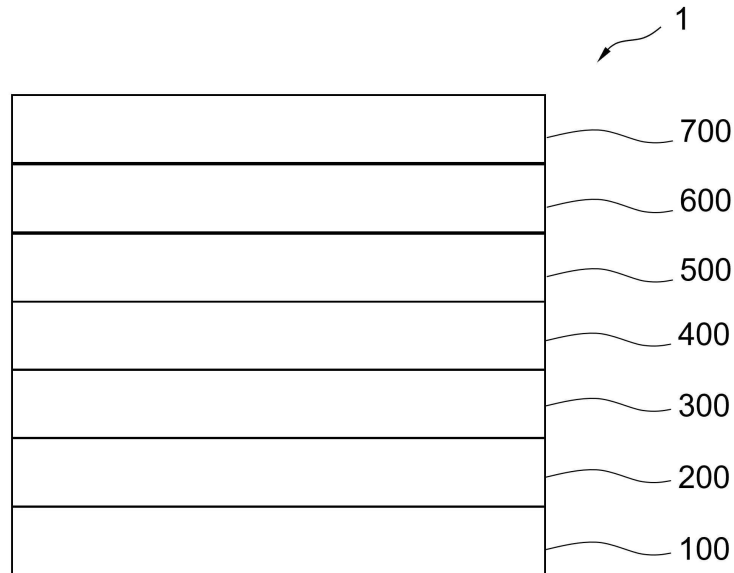
- [0208] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 비정질실리콘으로 이루어진 층을 기반으로 상면에 Pt나노입자를 증착한 구조를 가진 투명 태양전지를 포함하는 광화학전지 시스템을 최초로 제공할 수 있다.
- [0209] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 활성층을 이루는 비정질실리콘은 직접 밴드갭 및 우수한 흡수계수를 가짐으로써, 투명 태양전지가 우수한 광전압을 제공할 수 있는 효과를 발휘할 수 있다.
- [0210] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 저온증착이 가능한 비정질실리콘으로 활성층을 형성함에 따라, 활성층을 포함하는 투명 광화학전지 시스템은 가시적 투명성을 확보하면서도 낮은 가격에 제작할 수 있고, 투명 광화학전지 시스템을 넓은 영역에서 구현 가능하도록 하는 효과를 발휘할 수 있다.
- [0211] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 투명 광화학전지 시스템은 투명 태양전지 및 광화학전지를 통합함으로써, 안정적으로 광발생된 수소를 생산할 수 있는 효과를 발휘할 수 있다.
- [0212] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 투명 광화학전지 시스템은 광발생 수소를 생산함으로써, 과도 생성된 전류를 화학에너지의 형태로 저장할 수 있을 뿐만 아니라 수소를 부가가치 제품을 생산하는 다른 에너지 변환 시스템으로 전송할 수 있는 효과를 발휘할 수 있다.
- [0213] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 제2투명전극층이 제1TiO₂층 위에 Pt나노입자를 포함하는 제2TiO₂층의 구조를 가짐으로써, 투명 광화학전지 시스템은 물 분해 성능이 향상되고, 투명 태양전지 영역에서 생산되는 광전류가 향상되는 효과를 발휘할 수 있다.
- [0214] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 투명 광화학전지 시스템은 전하의 생성 및 물의 분해 반응이 서로 다른 층에서 일어나도록 함으로써, 효율적이고 안정적인 물 환원을 달성할 수 있도록 하는 효과를 발휘할 수 있다.
- [0215] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 투명 광화학전지 시스템은 투명도를 확보하는 구조를 가짐에 따라, 현장(on-site) 전력발전, 수소 생성, 채광 성능, 및 건물 일체형 에너지 시스템을 실현하는 효과를 발휘할 수 있다.
- [0216] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 투명 광화학전지 시스템이 건물에 적용되는 경우, 투명한 창 역할을 함으로써, 자외선 방사선을 흡수하면서 가시광선 투과를 강화하는 효과를 발휘할 수 있다.
- [0217] 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

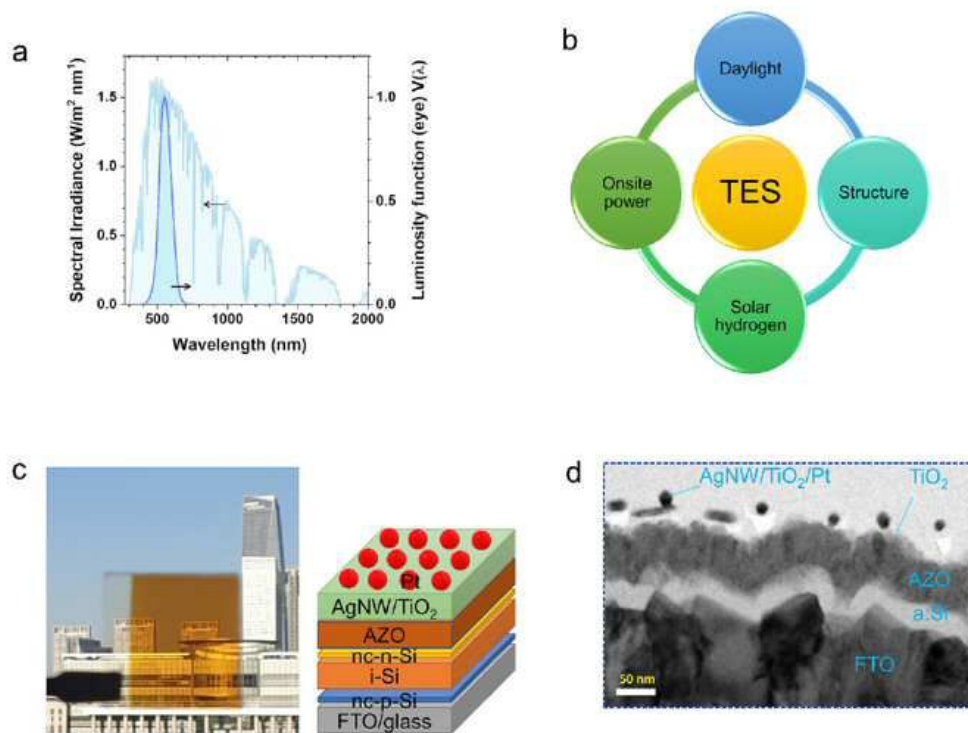
- [0219] 1: 투명 광화학전지 시스템
- 100: 유리기판층 200: 제1투명전극층
- 300: 활성층 400: 버퍼층
- 500: 제2투명전극층 600: 전해질층
- 700: 상대전극층

도면

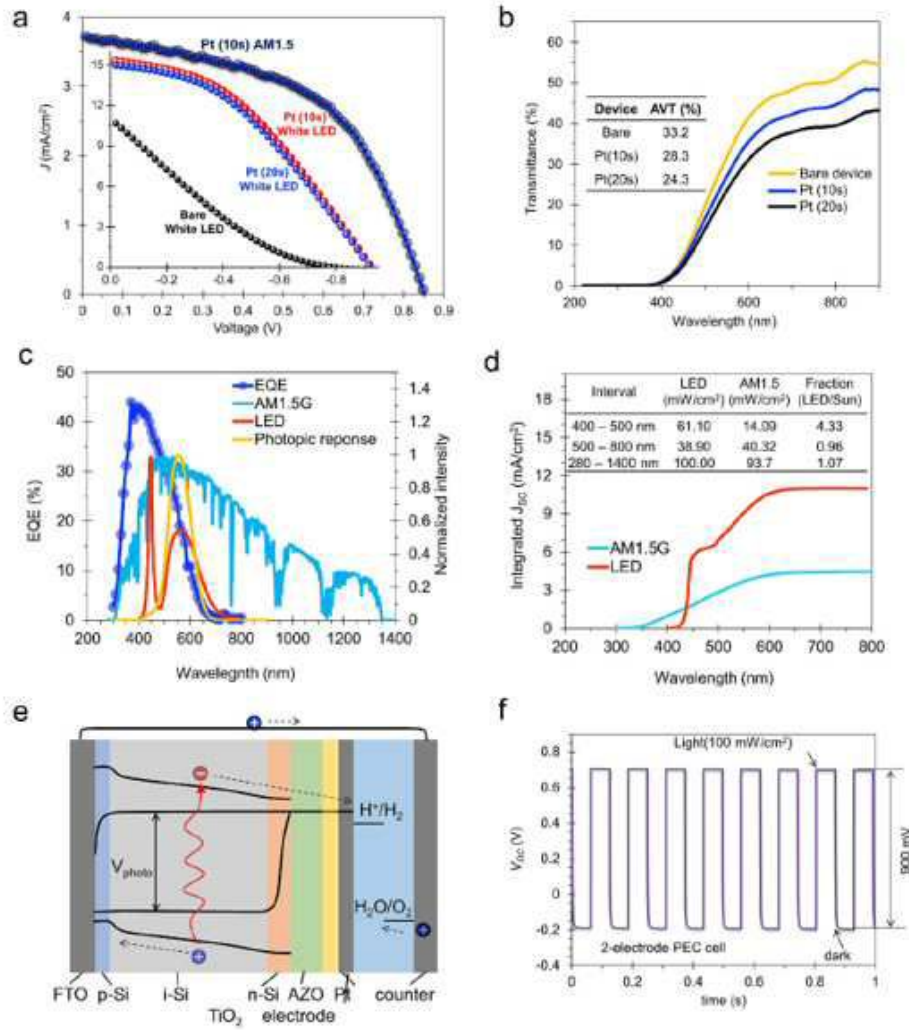
도면1



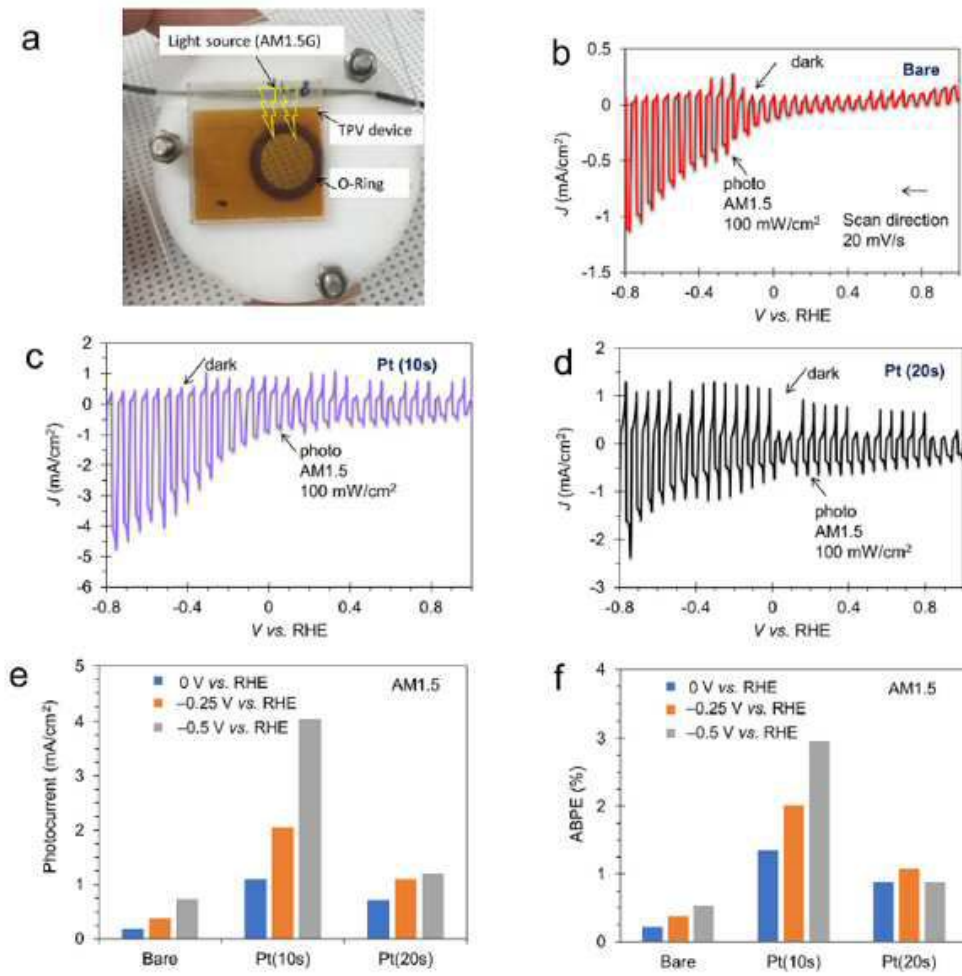
도면2



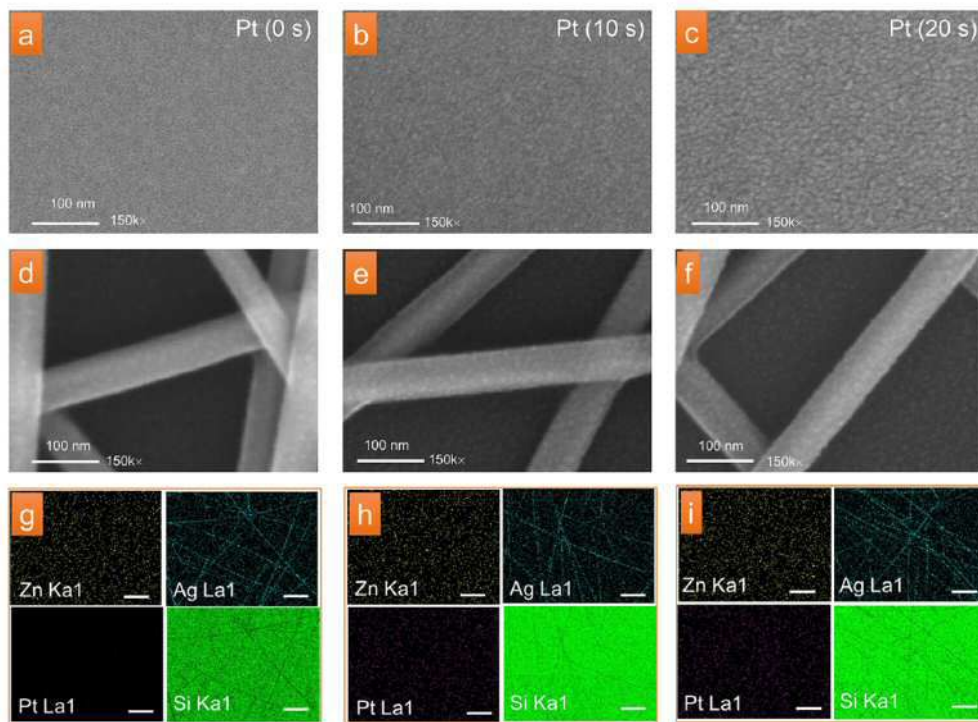
도면3



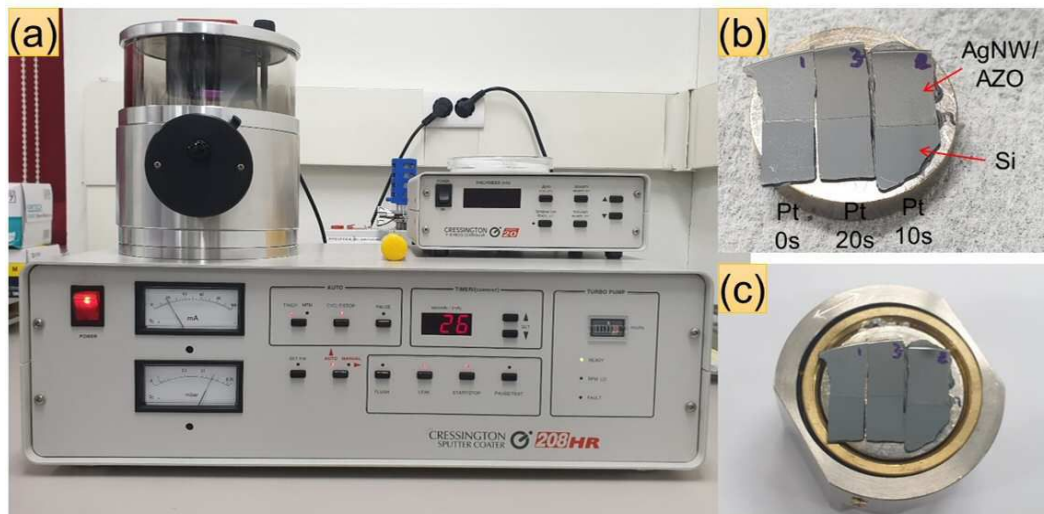
도면4



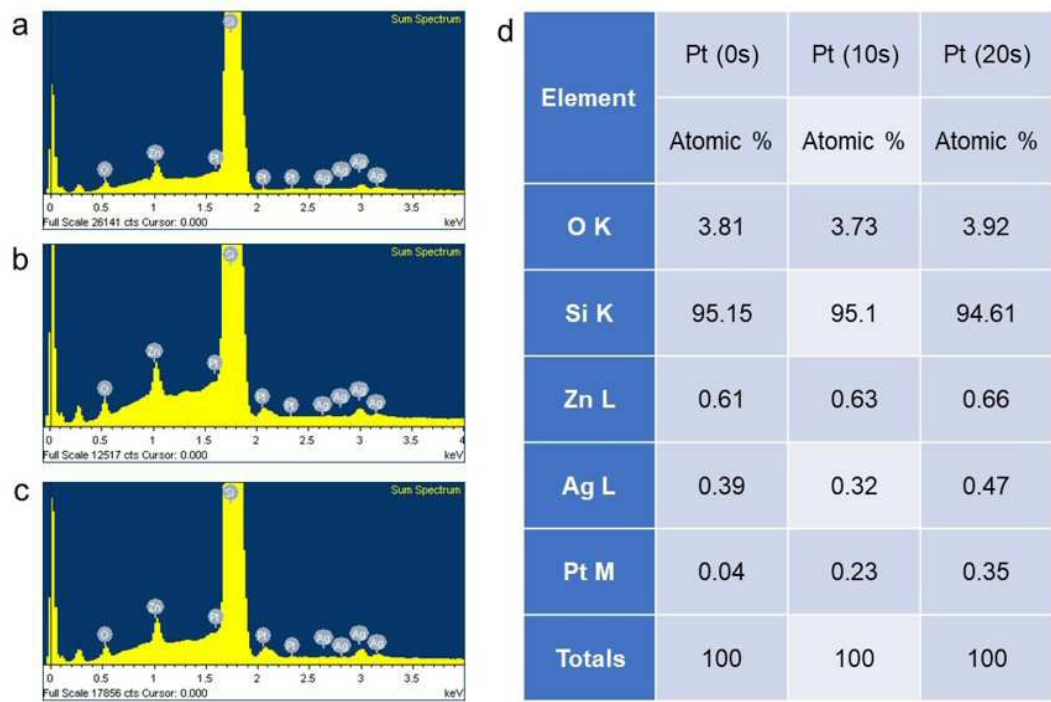
도면5



도면6



도면7



도면8

