



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2022-0088126
(43) 공개일자 2022년06월27일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 31/0725 (2012.01) H01G 9/20 (2006.01)
H01L 31/0224 (2006.01) H01L 31/0232 (2014.01)
H01L 31/0236 (2006.01) H01L 31/0352 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H01L 31/0725 (2013.01)
H01G 9/2072 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2020-0178849
(22) 출원일자 2020년12월18일
심사청구일자 2020년12월18일

(71) 출원인
고려대학교 산학협력단
서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)
(72) 발명자
이현
서울특별시 서초구 동광로 89-5, 105동 602호(방배동, 방배3차이편한세상)
전준호
서울특별시 성북구 개운사1길 38, 104호(안암동5가)
주수철
서울특별시 동대문구 무학로49길 42, 102호(용두동, 월드빌)
(74) 대리인
김연권

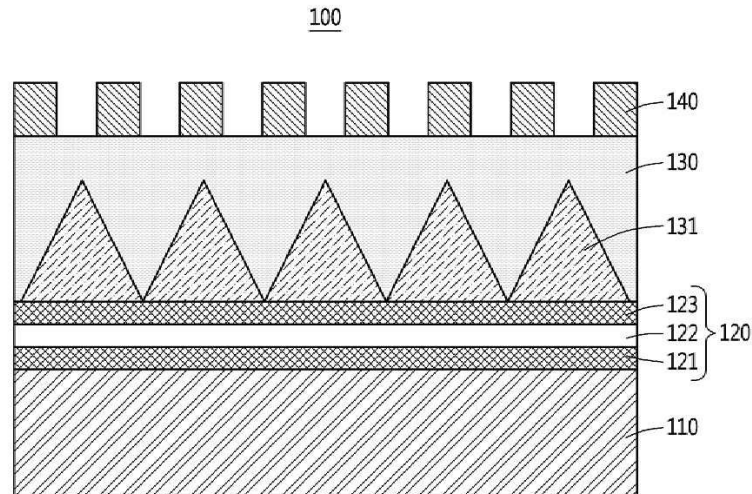
전체 청구항 수 : 총 7 항

(54) 발명의 명칭 탠덤형 구조의 광전기화학셀

(57) 요약

본 발명은 탠덤형 구조의 광전기화학셀에 관한 것으로, 보다 상세하게는 태양광 활용 최대화를 위한 태양광 분배 최적화형의 탠덤형 광전기화학셀에 관한 것이며, 태양광 전체 파장 영역에서의 에너지를 효율적으로 분배함에 따라 최종 화학에너지 변환효율이 높은 탠덤형 광전기화학셀을 제공하는 효과가 있다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

H01L 31/022466 (2013.01)

H01L 31/02327 (2013.01)

H01L 31/02366 (2013.01)

H01L 31/035218 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711115236
과제번호	R2001091
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	(이공)(유형2)중견연구(연평균연구비 2억원~4억원이내)
연구과제명	태양광 100% 활용을 위한 광제어 아키텍처 기반 수소생산장치
기 여 율	1/1
과제수행기관명	고려대학교
연구기간	2020.03.01 ~ 2021.02.28

명세서

청구범위

청구항 1

장파장 흡수층;

상기 장파장 흡수층 상에 형성되는 중간층;

상기 중간층 상에 형성되는 광제어구조층; 및

상기 광제어구조층 상에 형성되는 단파장 흡수층을 포함하는 탠덤형 구조의 광전기화학셀.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 장파장 흡수층은 실리콘(Si), 페로브스카이트(perovskite), 게르마늄(Ge), 양자점(Quantum dot) 및 염료감응형 태양전지 중 어느 하나 이상의 물질로 형성되는 것인 탠덤형 구조의 광전기화학셀.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 중간층은

상기 장파장 흡수층 상에 형성되는 제1 투명전극;

상기 제1 투명전극 상에 형성되는 기판; 및

상기 기판 상에 형성되는 제2 투명전극을 포함하는 것인 탠덤형 구조의 광전기화학셀.

청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 광제어구조층은 마이크로 콘 형상의 구조물을 포함하는 것인 탠덤형 구조의 광전기화학셀.

청구항 5

제 4 항에 있어서,

상기 마이크로 콘 형상의 구조물은 표면은 다이크로닉 미러(dichroic mirror)로 구성되는 것인 탠덤형 구조의 광전기화학셀.

청구항 6

제 1 항에 있어서,

상기 단파장 흡수층은 종횡비를 가지는 메쉬 패턴의 전도층을 포함하는 것인 탠덤형 구조의 광전기화학셀

청구항 7

제 6 항에 있어서,

상기 단파장 흡수층은 상기 메쉬 패턴의 전도층 상에 형성되는 광흡수층을 포함하는 것인 탠덤형 구조의 광전기화학셀.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 탠덤형 구조의 광전기화학셀에 관한 것으로, 보다 상세하게는 태양광 활용 최대화를 위한 태양광 분배최적화형의 탠덤형 광전기화학셀에 관한 것이다.

배경 기술

[0003] 광전기화학셀(Photoelectrochemical cell, PEC Cell)은 태양광 에너지를 통해 물/CO₂와 같은 물질을 분해하여 수소, 산소, 염소, 탄화수소와 같은 화학에너지를 생성할 수 있는 소자를 의미한다. 광전기화학셀은 양극/음극의 2부분이 회로로 연결되어있으며 태양광의 흡수를 2부분 전체 혹은 양극/음극 중 한가지 부분소자에서 이뤄진다.

[0004] 일반적으로 광전기화학셀의 효율, 즉 에너지를 생성하는 효율은 전체 태양에너지에 대비하는 생성된 에너지 효율로 나타낸다. 예를 들어 수소생산의 경우 Solar-to-hydrogen (STH) 효율을 지표로 사용한다. 이때, 광전기화학셀의 효율은 큰 3가지 주요 메커니즘의 효율로 나타낼 수 있고 그 3가지 주요 효율지표는 흡수효율/전자-정공 분리효율/촉매반응 효율로 나타내진다.

[0005] 태양광에너지는 적외선(300-400nm)/가시광선(400-700nm)/자외선(700-2500nm)의 파장의 에너지로 이루어져 있다. 광전기화학셀의 광흡수체로는 밴드갭이 약 2-3 eV의 반도체 물질을 사용하는데 이 경우 전체 에너지, 대부분의 사용되는 물질은 밴드갭의 한계에 의해 실제로 흡수할 수 있는 태양광량은 전체 태양에너지의 20% 미만이다.

[0006] 탠덤형 광전기화학셀은 이러한 낮은 태양광에너지 사용량의 한계를 극복하기 위해 다양한 밴드갭을 갖는 반도체 재료를 적층시켜 최대한 많은 태양에너지를 흡수 및 사용하는 것을 목표로 한다. 이러한 방식을 통해 광전기화학셀의 경우 후면에 사용되는 Si 태양전지, 염료감응형 태양전지, 페로브스카이트 태양전지 등을 통한 장파장 에너지의 흡수하고 이를 외부전원 대신 사용하여 태양광 활용도를 높였다.

[0007] 하지만 현재의 탠덤형 광전기화학셀 또한 문제점을 가지고 있다. 현재의 탠덤형 광전기화학셀의 경우 단순히 여러 물질을 적층한 형태로, 이로 인해 효과적으로 태양광이 분배되지 못하고 반사 및 태양광 과다흡수 등으로 인해 효율이 제한된다. 이로 인해 실제 탠덤형 장치의 후면부분(장파장 흡수층)의 경우 탠덤형이 아닌 경우에 비해 그 효율이 극히 제한되고 있다.

[0008] 따라서, 만일 각 파장에 따라 흡수를 달리하는 여러 층의 광흡수층에 각각에 맞는 파장의 태양광을 최대한 많이 넣어줄 수 있다면 탠덤형 태양광 장치의 효율을 높이는 방안이 될 수 있다. 기존의 광전기화학셀의 구조상 빛이 후면전극에 도달하기까지 수많은 계층을 만나게 되며 이에 따른 손실이 발생한다. 따라서 다양한 광학적 설계를 통하여 각 층별 투과/흡수 특성을 조절할 수 있는 구조에 대한 기술 개발이 필요하다. 동시에, 기존의 광전극 층의 효율을 하하지 않는 점 또한 고려되어야 한다.

선행기술문헌

특허문헌

[0010] (특허문헌 0001) 한국등록특허공보 제10-2095100호(2020.03.24)

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0011] 본 발명은 모든 태양광 파장의 스펙트럼(300-2500 nm)을 효율적으로 사용하기 위하여 각각 구성층에서 요구되는 빛을 효율적으로 분배함으로써 태양광을 흡수 효율을 향상시킨 광전기화학셀을 제공함으로써, 기존 탠덤형 광전기화학셀 소자에서의 비효율적인 태양광 분배를 해결하는 것에 목적이 있다. 보다 자세하게, 단파장 흡수를 진행하는 탠덤형 광전기화학셀의 전면부 및 전극부분에 의해 장파장을 흡수하는 후면 부분의 효율 감소를 해결하고자 한다. 따라서, 고종횡비 고투과 전면부와 파장에 따라 빛의 경로를 제어할 수 있는 광제어구조층을 전/후면 광전기화학셀 사이에 삽입함으로써 태양광 전파장에서의 에너지를 효과적으로 이용해 화학연료의 생성효율을 높이는 것이다.

과제의 해결 수단

- [0013] 해결하고자 하는 과제의 달성을 위하여, 본 발명의 일 형태에 따른 탠덤형 구조의 광전기화학셀은 장파장 흡수층; 상기 장파장 흡수층 상에 형성되는 중간층; 상기 중간층 상에 형성되는 광제어구조층; 및 상기 광제어구조층 상에 형성되는 단파장 흡수층을 포함한다.
- [0014] 상기 장파장 흡수층은 실리콘(Si), 페로브스카이트(perovskite), 게르마늄(Ge), 양자점(Quantum dot) 및 염료감응형 태양전지 중 어느 하나 이상의 물질로 형성되는 것일 수 있다.
- [0015] 상기 중간층은 상기 장파장 흡수층 상에 형성되는 제1 투명전극; 상기 제1 투명전극 상에 형성되는 기판; 및 상기 기판 상에 형성되는 제2 투명전극을 포함할 수 있다.
- [0016] 상기 광제어구조층은 마이크로 콘 형상의 구조물을 포함할 수 있다.
- [0017] 상기 마이크로 콘 형상의 구조물은 표면은 다이크로닉 미러(dichroic mirror)로 구성될 수 있다.
- [0018] 상기 단파장 흡수층은 종횡비를 가지는 메쉬 패턴의 전도층을 포함할 수 있으며, 상기 단파장 흡수층은 상기 메쉬 패턴의 전도층 상에 형성되는 광흡수층을 포함하는 것일 수 있다.

발명의 효과

- [0020] 본 발명의 일 형태에 따르면, 태양광 전체 파장 영역에서의 에너지를 효율적으로 분배함에 따라 최종 화학에너지 변환효율이 높은 탠덤형 광전기화학셀을 제공하는 효과가 있다.
- [0021] 또한, 파장별 광제어가 가능한 구조체를 제공함으로써 단순히 광전기화학셀 뿐만 아니라 파장별 에너지의 효율적인 분배를 필요로 하는 모든 태양전지, fabry-perot층 등의 모든 디바이스에 응용할 수 있는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

- [0023] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 탠덤형 구조의 광전기화학셀의 구성도를 도시한 것이다.
- 도 2은 본 발명의 일 실시예에 따른 탠덤형 구조의 광전기화학셀의 광제어구조층의 제조공정의 일례를 도시한 것이다.
- 도 3a 및 도 3b는 본 발명의 일 실시예에 따른 탠덤형 구조의 광전기화학셀의 광제어구조층 다이크로닉 미러의 일례 및 광 반사도 시뮬레이션 측정 결과를 도시한 것이다.
- 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 광제어구조층에 입사되어 반사되는 태양광의 경로를 도시한 것이다.
- 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 탠덤형 구조의 광전기화학셀의 단파장흡수층의 형성과정을 도시한 것이다.
- 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 탠덤형 구조의 광전기화학셀의 추가 구성도를 도시한 것이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0024] 이하 첨부 도면들 및 첨부 도면들에 기재된 내용들을 참조하여 본 발명의 실시예를 상세하게 설명하지만, 본 발

명이 실시예에 의해 제한되거나 한정되는 것은 아니다.

- [0025] 본 명세서에서 사용된 용어는 실시예들을 설명하기 위한 것이며 본 발명을 제한하고자 하는 것은 아니다. 본 명세서에서, 단수형은 문구에서 특별히 언급하지 않는 한 복수형도 포함한다. 명세서에서 사용되는 "포함한다(comprises)" 및/또는 "포함하는(comprising)"은 언급된 구성요소, 단계, 동작 및/또는 소자는 하나 이상의 다른 구성요소, 단계, 동작 및/또는 소자의 존재 또는 추가를 배제하지 않는다.
- [0026] 본 명세서에서 사용되는 "실시예", "예", "측면", "예시" 등은 기술된 임의의 양상(aspect) 또는 설계가 다른 양상 또는 설계들보다 양호하다거나, 이점이 있는 것으로 해석되어야 하는 것은 아니다.
- [0027] 아래 설명에서 사용되는 용어는, 연관되는 기술 분야에서 일반적이고 보편적인 것으로 선택되었으나, 기술의 발달 및/또는 변화, 관례, 기술자의 선호 등에 따라 다른 용어가 있을 수 있다. 따라서, 아래 설명에서 사용되는 용어는 기술적 사상을 한정하는 것으로 이해되어서는 안 되며, 실시예들을 설명하기 위한 예시적 용어로 이해되어야 한다.
- [0028] 또한, 특정한 경우는 출원인이 임의로 선정한 용어도 있으며, 이 경우 해당되는 설명 부분에서 상세한 그 의미를 기재할 것이다. 따라서 아래 설명에서 사용되는 용어는 단순한 용어의 명칭이 아닌 그 용어가 가지는 의미와 명세서 전반에 걸친 내용을 토대로 이해되어야 한다.
- [0029] 한편, 제1, 제2 등의 용어는 다양한 구성 요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 구성 요소들은 용어들에 의하여 한정되지 않는다. 용어들은 하나의 구성 요소를 다른 구성 요소로부터 구별하는 목적으로만 사용된다.
- [0030] 또한, 막, 층, 영역, 구성 요청 등의 부분이 다른 부분 "위에" 또는 "상에" 있다고 할 때, 다른 부분의 바로 위에 있는 경우 뿐만 아니라, 그 중간에 다른 막, 층, 영역, 구성 요소 등이 개재되어 있는 경우도 포함한다.
- [0031] 다른 정의가 없다면, 본 명세서에서 사용되는 모든 용어(기술 및 과학적 용어를 포함)는 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 공통적으로 이해될 수 있는 의미로 사용될 수 있을 것이다. 또 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 용어들은 명백하게 특별히 정의되어 있지 않는 한 이상적으로 또는 과도하게 해석되지 않는다.
- [0032] 한편, 본 발명을 설명함에 있어서, 관련된 공지 기능 또는 구성에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는, 그 상세한 설명을 생략할 것이다. 그리고, 본 명세서에서 사용되는 용어(terminology)들은 본 발명의 실시예를 적절히 표현하기 위해 사용된 용어들로서, 이는 사용자, 운용자의 의도 또는 본 발명이 속하는 분야의 관례 등에 따라 달라질 수 있다. 따라서, 본 용어들에 대한 정의는 본 명세서 전반에 걸친 내용을 토대로 내려져야 할 것이다.
- [0034] 이하, 본 발명의 실시예를 첨부된 도면을 참조하여 상세하게 설명한다.
- [0035] 도 1은 본 발명의 일 형태에 따른 탠덤형 구조의 광전기화학셀을 도시한 것이다. 이하 도 1을 참조하여 상세하게 설명한다.
- [0036] 본 발명의 일 형태에 따른 탠덤형 구조의 광기화학셀(100)은 장파장 흡수층(110); 장파장 흡수층(110) 상에 형성되는 중간층(120); 중간층(120) 상에 형성되는 광제어구조층(130); 및 광제어구조층(130) 상에 형성되는 단파장 흡수층(140)을 포함한다.
- [0038] 장파장 흡수층(110)은 탠덤형 구조의 광전기화학셀(100)의 후면부에 위치하는 것이며 장파장(또는 고파장)의 태양광을 흡수하는 다양한 재료 또는 재료들의 적층으로 구성될 수 있으며, 구체적으로 장파장 흡수층(110)은 실리콘(Si), 페로브스카이트(perovskite), 게르마늄(Ge), 양자점(Quantum dot) 및 염료감응형 태양전지 중 어느 하나 이상의 물질로 형성되는 것일 수 있다. 상기 페로브스카이트는 $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ (Methylammonium lead iodide, MAPbI₃), $\text{HC}(\text{NH}_2)\text{PbI}_3$ (formadinium lead iodide, FAPbI₃), $\text{MAPbI}_{3-x}\text{Cl}_x$ ($0 < x < 1$), CsPbBr_3 , CsGeI_3 및 MAGeI_3 으로 이루어진 군에서 선택되는 1 이상일 수 있다. 상기 양자점은 PbS 및 PbSe 중 어느 하나 이상일 수 있으며, PbS 및 PbSe 중 어느 하나 이상에 대하여 크기를 변화시키거나 다양한 도핑 물질을 포함시킬 수 있다.
- [0039] 또한, 장파장 흡수층(110)은 탠덤형 구조의 광기화학셀(100)에 대하여 보다 높은 전압을 인가하기 위하여 후면 전극을 소분하여 연결될 수 있다.

- [0041] 장파장 흡수층(110)은 광제어구조층(130) 및 중간층(120)을 통과하는 장파장의 태양광을 흡수하는 것일 수 있으며, 바람직하게는 600 nm이상의 장파장을 흡수하는 것일 수 있다.
- [0043] 중간층(120)은 장파장 흡수층(110) 상에 형성되는 제1 투명전극(121); 제1 투명전극(121) 상에 형성되는 기관(122); 및 기관(122) 상에 형성되는 제2 투명전극(123)을 포함하는 것일 수 있다. 제1 투명전극(121) 및 제2 투명전극(123)은 투면 전도성 산화물(TCO)로 구성되는 것일 수 있다.
- [0045] 광제어구조층(130)은 탠덤형 구조의 광기화학셀(100)의 전면부를 통과한 태양광에너지를 전/후면 각각의 목표파장에 맞게 나눠주는 역할을 한다. 광제어구조층(130)은 파장별 투과/산란/반사를 제어할 수 있는 것이며, 광제어구조층(130)은 반사를 통하여 산란된 300-600 nm 파장의 태양광을 상기 전면부에는 분배하며, 산란된 600-850 nm의 태양광을 상기 후면부에는 분배하는 것일 수 있다. 이때, 분리되는 파장대는 전면 및 후면의 물질에 따라서 다르게 설계될 수 있다. 상기 전면부는 단파장 흡수층(140)을 일 수 있으며, 상기 후면부는 장파장 흡수층(110)일 수 있다.
- [0046] 광제어구조층(130)은 마이크로 콘 형상의 구조물(131)을 포함할 수 있으며, 마이크로 콘 형상의 구조물(131)은 입사되는 태양광(빛)의 반 사각 및 산란도 등을 조절하는 것 일 수 있다.
- [0047] 마이크로 콘 형상의 구조물(131)은 도 2에 공정에 따라 제조될 수 있다. 도 2를 참조하면, 고분자 물질로서 PDMS(polydimethylsiloxane)에 대하여 마이크로 콘 형상을 갖는 마스터 스탬프(Master stamp)를 이용하여 고분자 몰드(mold)를 형성한다. 고분자 몰드는 PDMS를 스탬프 위에 부어 준 후 80도에서 2 시간(h) 동안 경화한 후에 스탬프에서 분리하여준다. 형성된 고분자 몰드에 레진(resin)을 스핀 코팅을 해준다. 구체적인 레진(resin)으로는 SiO_2 나노 입자, HSQ(hydrogen silsesquioxane), TiO_2 나노입자 또는 SnO_2 나노입자일 수 있다. 스핀 코팅의 RPM은 나노입자의 농도와 패턴의 높이 등의 조건에 맞춰 조절해서 코팅을 진행한다. 이 후, 나노임프린트(nano-imprint)를 통하여 기관 위에 구조물을 형성을 해준다. 압력은 5 bar를 넣어준 상태로 UV를 5분간 조사한 후, 고분자 몰드를 제거(detach)함으로써, 마이크로 콘 형상의 구조물(131)을 형성할 수 있다. 최종적으로 UV-Ozone 처리를 20분간 진행하여 마이크로 콘 형상의 구조물(131)을 경화시킨다.
- [0049] 마이크로 콘 형상의 구조물(131)은 표면은 다이크로닉 미러(dichroic mirror) 로 구성되는 것일 수 있으며, 상기 다이크로닉 미러(이색 거울)는 굴절률 n 값을 이용하여 파장별 산란/반사 제어가 가능한 것일 수 있다. 상기 다이크로닉 미러는 굴절률이 상이한 물질로 이루어지며, 구체적으로 저굴절률 물질과 고굴절률 물질의 적층 구조로 이루어지는 것이다. 저굴절률 물질로는 용융 실리카(Fused silica; SiO_2) 또는 MgF_2 일 수 있으며, 고굴절률 물질로는 TiO_2 , Nb_2O_5 , Ta_2O_5 , TiO_2 , 또는 ZrO_2 일 수 있다. 상기 다이크로닉 미러는 상기 저굴절률 물질과 고굴절률 물질이 순차적으로 교차되어 적층된 6 내지 30층의 구조일 수 있으며, 태양광의 파장에 따라 적층 수를 제어할 수 있다.
- [0050] 일례로서, 약 600 nm를 기준으로 빛을 산란/반사하는 다이크로닉 미러의 경우, $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$, $\text{SiO}_2/\text{ZrO}_2$ 또는 $\text{SiO}_2/\text{Ta}_2\text{O}_5$ 의 저굴절률 물질/고굴절률 물질의 적층 구조를 형성할 수 있으며, 필터링되는 파장 영역에 따라 다이크로닉 미러의 적층 두께가 조절될 수 있다
- [0051]
- [0052] 상기 다이크로닉 미러는 박막간섭현상(thin-film interference)를 이용하는 이색 필터(dichroic filter) 층으로 이뤄질 수 있는 것이며, 일례로서, 도 3a를 참조하면, 각각 상이한 굴절률을 가지는 TiO_2 와 SiO_2 를 반복적으로 적층하여 총 17층(layer)의 구조를 형성하여 각각의 층에 대한 두께를 하기 표 1에 정리하였으며, 도 3a에서의 다이크로닉 미러에 대한 광 반사도를 시뮬레이션 측정하여 도 3b에 도시하였다.

표 1

[0053]

층 위치	각 층의 물질	각 층의 두께(nm)
17층	TiO ₂	47.7
16층	SiO ₂	74
15층	TiO ₂	51.5
14층	SiO ₂	67.4
13층	TiO ₂	34.0
12층	SiO ₂	62.5
11층	TiO ₂	49.7
10층	SiO ₂	79.9
9층	TiO ₂	55.1
8층	SiO ₂	87.5
7층	TiO ₂	58.2
6층	SiO ₂	87.8
5층	TiO ₂	61.2
4층	SiO ₂	93.4
3층	TiO ₂	61.7
2층	SiO ₂	80.2
1층	TiO ₂	54.5

[0054]

표 1는 도 3a의 층 17층의 구조에서 상부층에서 하부층으로 물질 및 각 층의 두께를 정리한 것이며, 도 3a 및 도 3을 참조하면, 가시광 영역에서 우수한 빔 스플리터(beam splitter)를 제공할 수 있다.

[0056]

마이크로 콘 형상의 구조물(131)의 형태 및 다이크로닉 미러(dichroic mirror)의 표면으로 인하여 파장별 투과/반사 및 경로를 효과적으로 조절할 수 있다. 마이크로 콘 형상의 구조물(131)은 중간층(120) 상에 형성되며, 중간층(120)의 제2 투명전극(123) 상면과 소정의 각도를 형성하는 경사면을 가지는 것일 수 있다.

[0058]

도 4는 광제어구조층(130)의 마이크로 콘 형성의 구조물(131) 표면에서의 입사되어 반사되는 태양광의 경로를 도시한 것이다.

[0059]

도 4를 참조하면, 마이크로 콘 구조물(131, 미도시)들 사이에 트렌치(trench) 구조물(132)가 형성되며, 트렌치 구조물(132)의 소정의 직경(d), 소정의 높이(h), 소정의 경사도(s)를 가지는 것일 수 있으며, 상기 직경(d), 상기 높이(h), 상기 경사도(s)는 각각 독립적으로 입사되는 태양광의 경로를 고려하여 다양하게 조절될 수 있다. 일례로서, 도 4를 참조하면, 트렌치 구조물(132)은 직경(d) 2.7 μm , 높이(h) 0.8 μm , 경사도(s) 30°의 트렌치(trench) 구조물일 수 있으며, 트렌치 구조물(132)의 경사면은 마이크로 콘 구조물(131)의 다이크로닉 미러에 해당된다. 도 4에서 입사되는 태양광(실선)의 입사 및 반사 경로를 확인할 수 있다.

[0061]

단파장 흡수층(140)은 탠덤형 구조의 광기화학셀(100)의 전면부에 위치하는 것이며 장파장(또는 고파장)의 태양광을 흡수하는 다양한 재료 또는 재료들의 적층으로 구성될 수 있으며, 단파장 흡수층(140)은 탠덤형 구조의 광전기화학셀(100)의 전면부용 고투과광전극에 해당한다.

[0062]

단파장 흡수층(140)은 종횡비를 가지는 메쉬 패턴의 전도층을 포함하며, 상기 전도층은 전극에 해당한다. 상기 메쉬 패턴의 전도층 상에 형성되는 광흡수층을 포함하는 것일 수 있다. 이 중 메쉬 패턴의 전도층은 5~10%의 커

버리지(coverage)를 가지며 수직형으로 형성되는 것일 수 있으며, 광제어구조층(130) 및 장파장 흡수층(110)에 충분하게 광(빛)을 투과시킬 수 있도록 형성될 수 있다. 또한, 전도층 상에 형성되는 광흡수층까지 포함한 면적의 경우 10 내지 50%까지 광흡수층 물질 및 광제어구조층(130)의 구조에 따라 변화할 수 있다.

[0063] 메쉬 패턴의 종횡비는 특정 값으로 확정되는 것은 아니며, 광제어구조층(130)에서 반사되어 반사된 후 도달하는 광(빛)이 80% 이상 흡수되도록 메쉬 패턴의 높이를 조절할 수 있으며, 또한, 광제어구조층(130)에서 반사되어 광흡수층으로 입사되는 각도에 따라 메쉬 패턴의 높이를 조절할 수 있다.

[0065] 단파장 흡수층(140)은 광흡수층을 통하여 태양광의 단파장을 흡수는 것일 수 있으며, 바람직하게는 300-600 nm 파장의 태양광을 흡수하는 것일 수 있으며, 이외의 태양광은 광제어구조층(130)으로 통과시키는 것일 수 있다.

[0067] 메쉬 패턴의 전도층은 금속을 기반으로 하는 고전도층에 해당하는 것이며, 고전도층인 메쉬 패턴의 전도층은 기재 상의 면적에 대하여 수직 배향을 가지는 것이며, 상기 광흡수층은 상기 메쉬 패턴의 전도층 상에 형성되는 것일 수 있다. 광흡수층 물질로는 BiVO_4 , ZnO_2 , SnO_2 , TiO_2 , WO_3 , Fe_2O_3 , Mo-doped BiVO_4 및 Ti-doped Fe_2O_3 으로 이루어진 군에서 선택되는 1 또는 2 이상의 물질이 조합된 것일 수 있으며, 일례로서 2 이상의 물질이 조합된 광흡수층으로 $\text{WO}_3/\text{BiVO}_4$ 또는 $\text{TiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$ 일 수 있다.

[0068] 상기 광흡수층은 스퍼터링(Sputter), 원자층 증착법(Atomic layer deposition), 전기도금(Electrodeposition) 및 광 보조 전기도금(Photo assisted-electrodeposition) 중 어느 하나에 의하여 형성되는 것일 수 있다.

[0069]

[0070] 도 5를 참조하면, 단파장 흡수층(140)의 형성과정을 도식한 것이다.

[0071] 도 5를 참조하면, 단파장 흡수층(140)의 메쉬 패턴의 전도층 및 광흡수층의 형성은 기판(141)에 대하여 회생층을 형성한 후, 회생층에 리소그래피를 통하여 원하는 메쉬 패턴을 형성하여 기판의 상면부의 일부분을 노출시킨 후, 노출된 기판의 상면부의 영역에 대하여 금속 물질로 충전하여 메쉬 패턴의 전도층(142)을 형성한다. 이때 충전 방법으로는 증착 공정(e-beam evaporation, sputter, atomic layer deposition 등) 혹은 전기 도금 등을 이용하여 금속 물질을 충전 후 lift-off 공정을 통해 회생층을 제거해 준다. 그 후, 증착 공정(e-beam evaporation, sputter, atomic layer deposition 등) 또는 전기 도금 등을 이용하여 광흡수층(143)을 메쉬 패턴의 전도층(142) 상에 형성하는 형식으로 이루어질 수 있다.

[0072] 기판(141)은 투명 전도성 산화물(Transparent Conductive Oxide, TCO) 기판일 수 있으며, 보다 구체적으로는 ITO(Indium doped tin oxide), IZO(Indium doped Zinc Oxide), AZO(antimony doped Zinc Oxide), ATO(antimony doped Tin Oxide) 또는 FTO(Fluorine doped tin oxide)일 수 있다.

[0073] 상기 리소그래피는 광리소그래피(photolithography) 또는 나노임프린트 리소그래피(nanoimprint lithography)일 수 있다.

[0074] 전도층(142)의 금속은 구리(Cu), 니켈(Ni), 철(Fe), 아연(Zn), 알루미늄(Al), 금(Au), 백금(Pt), 은(Ag) 및 몰리브덴(Mo)으로 이루어진 군에서 선택되는 것일 수 있다.

[0075] 상기 증착공정은 전자빔 진공증착(e-beam evaporation), 스퍼터링(sputter) 또는 원자층 증착(atomic layer deposition)에 의하여 수행되는 것일 수 있다.

[0077] 또한, 본 발명의 일 형태에 따른 탠덤형 구조의 광기화학셀(100)은 장파장 흡수층(110) 하부에 형성되는 근적외선(NIR) 흡수층(150)을 더 포함할 수 있으며, 구체적으로, 도 6을 참조하면, 근적외선(NiR) 흡수층(150); 근적외선 흡수층(150)상에 형성되는 장파장 흡수층(110); 장파장 흡수층(110) 상에 형성되는 중간층(120); 중간층(120) 상에 형성되는 광제어구조층(130); 및 광제어구조층(130) 상에 형성되는 단파장 흡수층(140)을 포함한다.

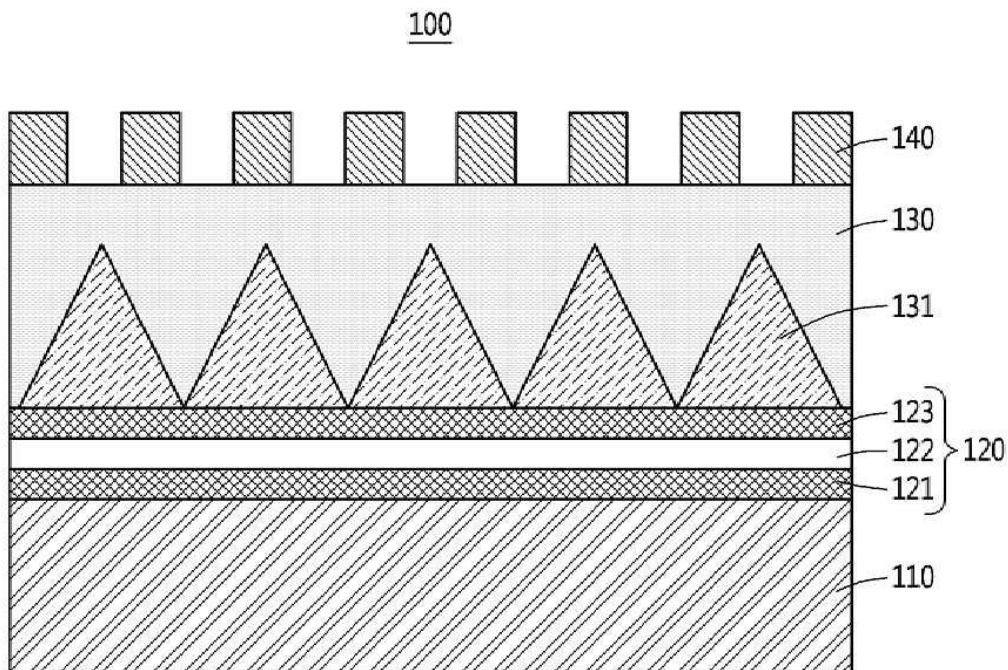
[0079] 근적외선(NIR) 흡수층(150)은 장파장흡수층(140)에서 흡수하지 않은 파장대역의 태양광을 흡수하는 것으로, 바람직하게는 850 nm 이상의 파장영역의 태양광을 흡수하는 것일 수 있다.

[0081] 이하, 실시예를 통하여 본 발명을 보다 상세히 설명하고자 한다. 이들 실시예는 본 발명을 보다 구체적으로 설명하기 위한 것으로, 본 발명의 범위가 이들 실시예에 의해 한정되는 것은 아니다.

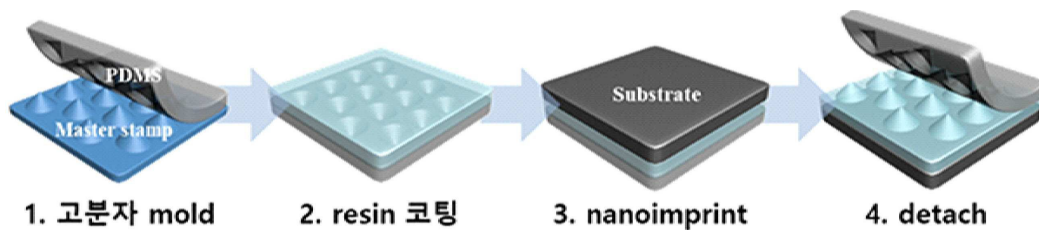
[0083] 한편, 본 명세서와 도면에 개시된 본 발명의 실시 예들은 이해를 돕기 위해 특정 예를 제시한 것에 지나지 않으며, 본 발명의 범위를 한정하고자 하는 것은 아니다. 여기에 개시된 실시 예들 이외에도 본 발명의 기술적 사상에 바탕을 둔 다른 변형 예들이 실시 가능하다는 것은, 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 자명한 것이다.

도면

도면1



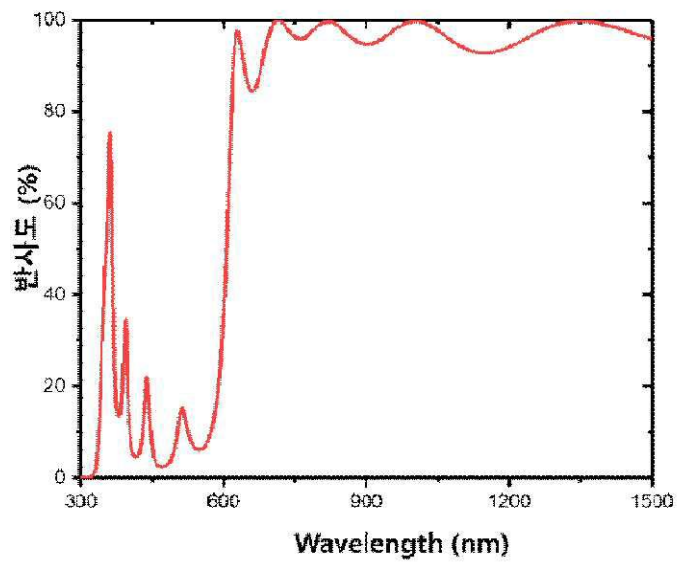
도면2



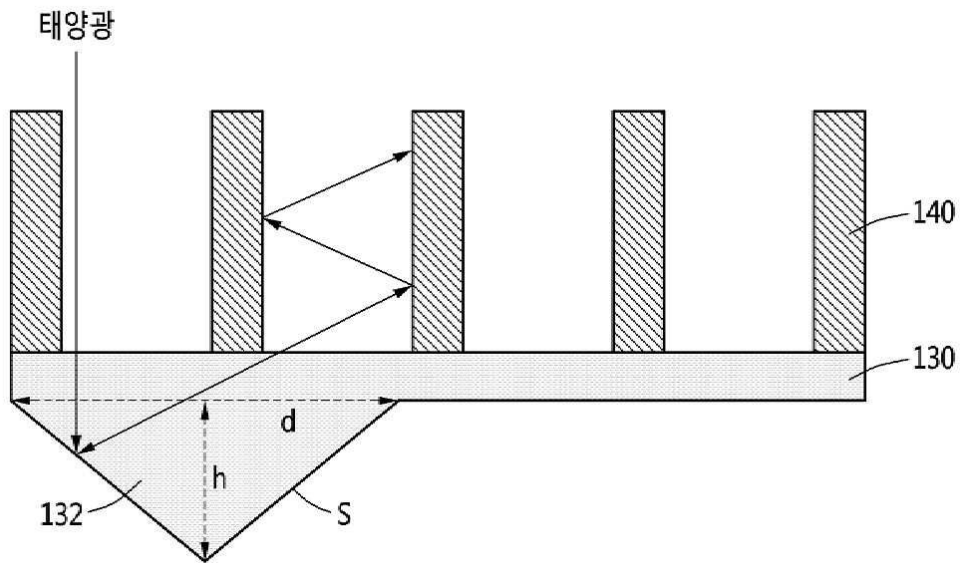
도면3a



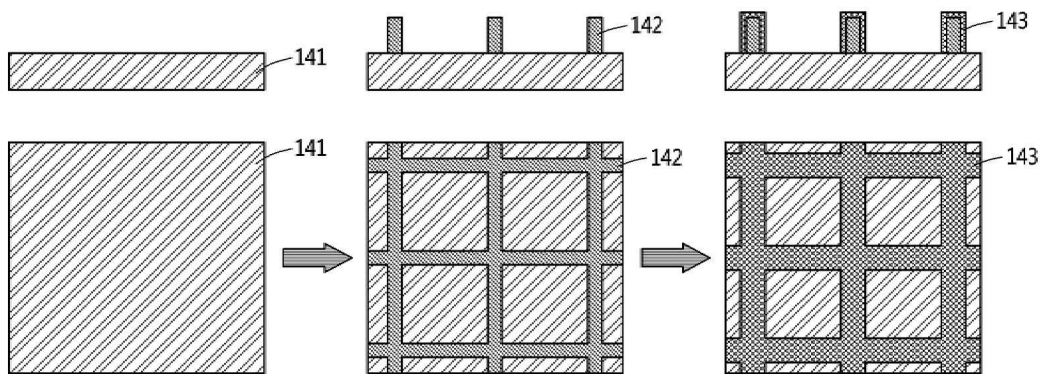
도면3b



도면4



도면5



도면6

