



- (51) 국제특허분류:
B01J 19/08 (2006.01) C10G 2/00 (2006.01)
C07C 1/02 (2006.01) C01B 3/02 (2006.01)
- (21) 국제출원번호: PCT/KR2012/003365
- (22) 국제출원일: 2012 년 4 월 30 일 (30.04.2012)
- (25) 출원언어: 한국어
- (26) 공개언어: 한국어
- (30) 우선권정보:
10-2011-0040947 2011 년 4 월 29 일 (29.04.2011) KR
- (71) 출원인 (US 을(를) 제외한 모든 지정국에 대하여): 서강
대학교산업협력단 (INDUSTRY-UNIVERSITY CO-
OPERATION FOUNDATION SOGANG UNIVER-
SITY) [KR/KR]; 서울 마포구 백범로 35 (신수동, 서강
대학교), 121-742 Seoul (KR).
- (72) 발명자: 겸
- (75) 발명자/출원인 (US 에 한하여): 윤정병 (YOON, Kyung
Byung) [KR/KR]; 서울 종로구 평창동 345-123 번지,
110-847 Seoul (KR).
- (74) 대리인: 특허법인 엠에이피에스 (MAPS INTELLEC-
TUAL PROPERTY LAW FIRM); 서울 서초구 사평대

로 343 4 층 (반포동, 제일약품빌딩), 137-810 Seoul
(KR).

- (81) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의
국내 권리의 보호를 위하여): AE, AG, AL, AM, AO,
AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA,
CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ,
EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR,
HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KZ, LA,
LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK,
MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE,
PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG,
SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ,
UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

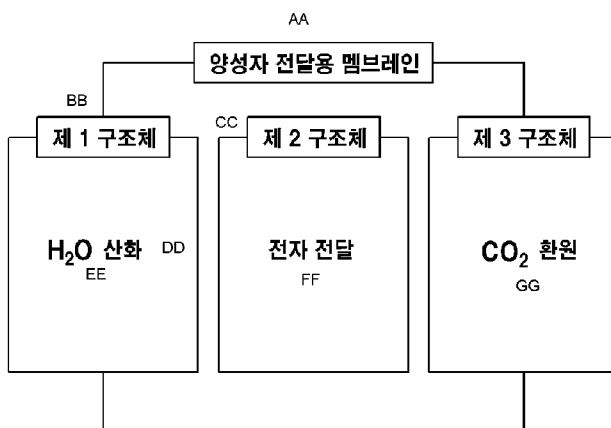
- (84) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의
역내 권리의 보호를 위하여): ARIPO (BW, GH, GM,
KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG,
ZM, ZW), 유라시아 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ,
TM), 유럽 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE,
ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC,
MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR),
OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML,
MR, NE, SN, TD, TG).

[다음 쪽 계속]

(54) Title: COMPOSITE STRUCTURE FOR AN ARTIFICIAL PHOTOSYNTHESIS REACTION AND INTEGRATED REACTION DEVICE FOR ARTIFICIAL PHOTOSYNTHESIS INCLUDING SAME, AND COMPOSITE STRUCTURE FOR A WATER SPLITTING REACTION AND INTEGRATED REACTION DEVICE FOR WATER SPLITTING INCLUDING SAME

(54) 발명의 명칭: 인공광합성 반응용 복합 구조체 및 상기를 포함하는 인공광합성용 통합 반응 장치, 및 물 분해 반응용 복합 구조체 및 상기를 포함하는 물 분해용 통합 반응 장치

[Fig. 1]



AA ... Membrane for transferring protons
BB ... First structure
CC ... Second structure
DD ... Third structure
EE ... H₂O oxidation
FF ... Electron transfer
GG ... CO₂ reduction

(57) Abstract: The present invention relates to a novel composite structure for an artificial photosynthesis reaction and an integrated reaction device for artificial photosynthesis including same, and a novel composite structure for a water splitting reaction and an integrated reaction device for water splitting including same.

(57) 요약서: 본원은, 신규 인공광합성 반응용 복합 구조체 및 상기를 포함하는 인공광합성용 통합 반응 장치, 및 신규 물 분해 반응용 복합 구조체 및 상기를 포함하는 물 분해용 통합 반응 장치에 관한 것이다.



공개:

- 국제조사보고서 없이 공개하며 보고서 접수 후 이를 별도 공개함 (규칙 48.2(g))

명세서

발명의 명칭: 인공광합성 반응용 복합 구조체 및 상기를 포함하는 인공광합성용 통합 반응 장치, 및 물 분해 반응용 복합 구조체 및 상기를 포함하는 물 분해용 통합 반응 장치

기술분야

- [1] 본원은 신규 인공광합성 반응용 복합 구조체 및 상기를 포함하는 인공광합성용 통합 반응 장치, 및 물 분해 반응용 복합 구조체 및 상기를 포함하는 물 분해 반응용 통합 반응 장치에 관한 것이다.

배경기술

- [2] 광합성은 태양광을 에너지로 사용하여 이산화탄소와 물을 산소와 녹말로 전환하는 반응이다. 이러한 광합성은 녹색식물과 광합성 박테리아 내에서는 이러한 광합성이 활발하게 일어나고 있다. 이러한 자연계의 광합성에 대응하여, 태양광을 에너지로 사용하여 이산화탄소와 물을 산소와 액체연료 등으로 전환시키는 반응을 인공광합성이라고 한다.
- [3] 화학적 측면에서 이산화탄소(CO_2)와 물(H_2O)은 위치 에너지가 매우 낮은 물질이고 연료와 산소는 위치 에너지가 상대적으로 높은 물질이다. 자연계의 식물들은 태양에너지(Sun)를 이용하여 광합성 작용을 통해 이산화탄소와 물을 보다 위치 에너지가 높은 물질인 탄수화물과 산소(O_2)로 전환시킨다. 전환된 탄수화물과 산소를 다시 반응시키면 이는 다시 이산화탄소와 물로 전환되고 두 반응물질의 위치 에너지 차이만큼 열이 외부로 방출된다.
- [4] 한편, 인류는 화석연료의 연소를 통하여, 즉 화석연료를 산소와 반응시켜 이산화탄소와 물을 생성하는 반응을 통해 에너지를 얻고 있다. 이로 인하여 대기 중에 이산화탄소의 농도는 나날이 증가하고 있으며 지구온난화의 주된 원인으로 여겨지고 있다. 현재 급속도로 진행되고 있는 이러한 지구온난화는 지구 환경 문제의 중요 원인들 중 하나로 인식되고 있다.
- [5] 따라서 화석연료 대신에 태양에너지, 수력, 풍력, 조력, 지열, 바이오 연료 등의 재생에너지의 활용도를 높이기 위한 노력이 전세계적으로 진행되고 있다. 이중 가장 유망한 재생에너지는 태양에너지이다.
- [6] 종래 개발된 태양에너지 활용 방법은 태양열과 태양광을 전기에너지로 전환하는 방법이 있다. 그러나, 전 세계에서 생산되는 전력 중에서 태양에너지를 이용하여 생산되는 전력량은 무시할 정도로 작습니다. 더욱이 태양전지의 효율은 이미 거의 한계에 다다랐으며 태양전지 생산단가는 증가추세에 있습니다. 따라서 태양광과 물과 이산화탄소를 이용하여 유용한 물질을 생산하는 인공광합성의 구현에 대한 필요성이 점점 증가하고 있다.
- [7] 그러나, 이러한 인공광합성은 지난 세기 내내 수 많은 과학자들이 많은 노력을 하였음에도 불구하고 아직도 인공광합성은 실험실 수준에서조차 구현되지

못하고 있다. 따라서, 이러한 인공광합성 연구의 성공은 지구환경의 개선 및 과학기술 발전에 현저한 기여를 할 것으로 예상된다.

발명의 상세한 설명

기술적 과제

- [8] 본원은, 신규 인공광합성 반응용 복합 구조체 및 상기를 포함하는 인공광합성용 통합 반응 장치, 및 물 분해 반응용 복합 구조체 및 상기를 포함하는 물 분해용 통합 반응 장치를 제공하고자 한다.
- [9] 그러나, 본원이 해결하고자 하는 과제는 이상에서 언급한 과제로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 과제들은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제 해결 수단

- [10] 본원의 제 1 측면은, 하기를 포함하는, 인공광합성 반응용 복합 구조체를 제공할 수 있다:
- [11] 빛 조사 하 물의 산화 반응용 제 1 구조체;
- [12] 상기 제 1 구조체와 접합되며 상기 제 1 구조체에서 물 산화 반응에 의하여 생성된 전자를 전달하기 위한 제 2 구조체;
- [13] 상기 제 2 구조체에 접합되며 이산화탄소 환원 반응용 제 3 구조체; 및,
- [14] 양성자 전달용 멤브레인을 포함하며,
- [15] 상기 제 1 구조체 내지 제 3 구조체는 상기 양성자 전달용 멤브레인 내에 배치되고 상기 제 1 구조체의 적어도 일부 및 상기 제 3 구조체의 적어도 일부는 상기 양성자 전달용 멤브레인 외부로 노출되어 있으며,
- [16] 상기 제 1 구조체에서 물 산화에 의하여 형성된 전자 및 양성자는 각각 상기 제 2 구조체 및 상기 양성자 전달용 멤브레인을 통하여 상기 제 3 구조체에 전달되어 상기 제 3 구조체에 공급되는 이산화탄소와 반응하여 탄화수소를 포함하는 연료 물질을 생성하는 것임.
- [17] 본원의 제 2 측면은, 상기 본원의 제 1 측면에 따른 인공광합성 반응용 복합 구조체를 포함하는, 인공 광합성용 통합 반응 장치를 제공할 수 있다. 상기 인공 광합성용 통합 반응 장치에 있어서 상기 인공광합성 반응용 복합 구조체의 복수개가 어레이 형태로 배열되어 있는 것일 수 있다. 상기 인공 광합성용 통합 반응 장치는 하기를 포함할 수 있다:
- [18] 적어도 하나 이상의 광투과성 투명부를 포함하며, 하나 이상의 물 광산화 반응부 및 하나 이상의 이산화탄소 환원 반응부가 각각 순차적으로 교대로 배치되어 있는 반응 챔버;
- [19] 상기 교대로 배치된 물 광산화 반응부 및 이산화탄소 환원 반응부 사이에 배치되는 하나 이상의 상기 인공광합성 반응용 복합 구조체의 어레이(array);
- [20] 상기 하나 이상의 물 광산화 반응부 각각의 일측에 형성된 물 공급부 및 타측에 형성되는 산소 배출부;

- [21] 상기 하나 이상의 이산화탄소 환원 반응부 각각의 일측에 형성된 이산화탄소 공급부, 및 타측에 형성되는 생성물 배출부;를 포함하며,
- [22] 여기서, 상기 어레이 각각에 포함된 상기 제 1 구조체는 상기 물 광산화 반응부 측에 접하고 상기 제 3 구조체는 상기 이산화탄소 환원 반응부 측에 접하도록 배치되는 것임.
- [23] 본원의 제 3 측면은, 하기를 포함하는, 인공광합성 반응용 복합 구조체를 제공할 수 있다:
- [24] 양성자 전달용 멤브레인;
- [25] 빛 조사 하에서 물의 산화 반응용 제 1' 구조체;
- [26] 전자 전달용 제 2' 구조체; 및,
- [27] 이산화탄소 환원 반응용 제 3' 구조체
- [28] 를 포함하며,
- [29] 여기서,
- [30] 상기 제 2' 구조체는 그의 양 말단이 상기 양성자 전달용 멤브레인 외부로 각각 노출되도록 상기 양성자 전달용 멤브레인 내에 형성되며, 상기 제 1' 구조체 및 상기 제 3' 구조체는 상기 제 2' 구조체의 양측의 각각에 형성되며,
- [31] 상기 제 1' 구조체에서 빛 조사 하에서 물 산화에 의하여 생성된 전자 및 양성자는 각각 상기 제 2' 구조체 및 상기 양성자 전달용 멤브레인을 통하여 상기 제 3' 구조체에 전달되어 상기 제 3' 구조체에 공급되는 이산화탄소와 반응하여 탄화수소를 포함하는 연료 물질을 생성하는 것임.
- [32] 본원의 제 4 측면은, 상기 본원의 제 3 측면에 따른 인공광합성 반응용 복합 구조체를 포함하는, 인공 광합성용 통합 반응 장치를 제공할 수 있다. 상기 인공 광합성용 통합 반응 장치에 있어서, 상기 인공광합성 반응용 복합 구조체의 복수개가 어레이 형태로 배열되어 있는 것일 수 있다. 상기 인공 광합성용 통합 반응 장치는 하기를 포함할 수 있다:
- [33] 적어도 하나 이상의 광투과성 투명부를 포함하며, 하나 이상의 물 광산화 반응부 및 하나 이상의 이산화탄소 환원 반응부가 각각 순차적으로 교대로 배치되어 있는 반응 챔버;
- [34] 상기 교대로 배치된 물 광산화 반응부 및 이산화탄소 환원 반응부 사이에 배치되는 하나 이상의 상기 인공광합성 반응용 복합 구조체의 어레이(array);
- [35] 상기 하나 이상의 물 광산화 반응부 각각의 일측에 형성된 물 공급부 및 타측에 형성되는 산소 배출부;
- [36] 상기 하나 이상의 이산화탄소 환원 반응부 각각의 일측에 형성된 이산화탄소 공급부, 및 타측에 형성되는 생성물 배출부를 포함하며,
- [37] 여기서, 상기 어레이 각각에 포함된 상기 제 1' 구조체는 상기 물 광산화 반응부 측에 접하고 상기 제 3' 구조체는 상기 이산화탄소 환원 반응부 측에 접하도록 배치되는 것임.
- [38] 본원의 제 5 측면은, 하기를 포함하는, 물 분해 반응용 복합 구조체를 제공할 수

있다:

- [39] 양성자 전달용 멤브레인;
- [40] 빛 조사 하에서 물의 산화 반응용 제 1" 구조체;
- [41] 전자 전달용 제 2" 구조체; 및,
- [42] 양성자 환원 반응용 제 3" 구조체
- [43] 를 포함하며,
- [44] 여기서,
- [45] 상기 제 2" 구조체는 그의 양 말단이 상기 양성자 전달용 멤브레인 외부로 각각 노출되도록 상기 양성자 전달용 멤브레인 내에 형성되며, 상기 제 1" 구조체 및 상기 제 3" 구조체는 상기 제 2" 구조체의 양측의 각각에 형성되며,
- [46] 상기 제 1" 구조체에서 빛 조사 하에서 물 산화에 의하여 생성된 전자 및 양성자는 각각 상기 제 2" 구조체 및 상기 양성자 전달용 멤브레인을 통하여 상기 제 3" 구조체에 전달되어 상기 제 3" 구조체에서 환원되어 수소를 생성하는 것임.
- [47] 본원의 제 6 측면은, 상기 본원의 제 5 측면에 따른 물 분해 반응용 복합 구조체를 포함하는, 물 분해용 통합 반응 장치를 제공할 수 있다. 상기 물 분해용 통합 반응 장치에 있어서, 상기 물 분해 반응용 복합 구조체의 복수개는 어레이 형태로 배열되어 있는 것일 수 있다. 상기 물 분해 반응용 반응 장치는 하기를 포함할 수 있다:
- [48] 적어도 하나 이상의 광투과성 투명부를 포함하며, 하나 이상의 물 광산화 반응부를 포함하며 상기 물 광산화 반응부 각각의 사이에 상기 물 분해 반응용 복합 구조체의 어레이(array)가 배치되어 있는 반응 챔버;
- [49] 상기 물 광산화 반응부 각각의 일측에 형성된 물 공급부 및 타측에 형성된 수소 배출부를 포함하며,
- [50] 상기 물 광산화 반응부의 일측에 빛을 조사하여 상기 제 1" 구조체에서 물 산화 반응에 의하여 생성된 전자 및 양성자가 각각 상기 제 2" 구조체 및 상기 양성자 전달용 멤브레인을 통하여 상기 제 3" 구조체로 전달되어 환원되어 수소를 생성하는 것임.

발명의 효과

- [51] 본원에 의하면, 물과 이산화탄소를 원료로 사용하고 태양광을 에너지로 사용하여 수소, 탄화수소, 알코올류 등의 액체 연료를 제조할 수 있다. 특히, 저렴하고 흔한 원소들을 이용한 물질들을 사용하여 인공광합성 반응용 복합 구조체 및 상기를 포함하는 인공광합성용 통합 반응 장치, 및 물 분해 반응용 복합 구조체 및 상기를 포함하는 물 분해용 통합 반응 장치를 제공하며, 이를 이용하여 인공광합성을 구현함으로써 인공광합성 방법의 응용의 다양화 및 실용화에 기여할 수 있다. 또한, 본원에 따른 인공광합성 반응용 복합 구조체 및 상기를 포함하는 인공광합성용 통합 반응 장치, 및 물 분해 반응용 복합 구조체 및 상기를 포함하는 물 분해용 통합 반응 장치는, 인공광합성 반응 및 물 분해

반응 각각에 있어서 외부 전압의 인가가 필요없이 인공광합성 반응 및 물 분해 반응의 에너지 효율 향상을 증가시킬 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [52] 도 1은 본원의 일 구현예에 따른 인공광합성 반응용 복합 구조체를 나타내는 개략도이다.
- [53] 도 2는 본원의 일 구현예에 따른 인공 광합성용 통합 반응 장치를 나타내는 개략도이다.
- [54] 도 3은 본원의 일 구현예에 따른 인공광합성 반응용 복합 구조체를 나타내는 개략도이다.
- [55] 도 4는 도 3에 있어서 전도층을 추가 포함하는 본원의 일 구현예에 따른 인공광합성 반응용 복합 구조체를 나타내는 개략도이다.
- [56] 도 5는 도 3에 있어서 전도층 및 절연층을 추가 포함하는 본원의 일 구현예에 따른 인공광합성 반응용 복합 구조체를 나타내는 개략도이다.
- [57] 도 6은 본원의 일 구현예에 따른 물 분해 반응용 복합 구조체를 나타내는 개략도이다.
- [58] 도 7은 도 6에 있어서 전도층을 추가 포함하는 본원의 일 구현예에 따른 물 분해 반응용 복합 구조체를 나타내는 개략도이다.
- [59] 도 8은 도 6에 있어서 전도층 및 절연층을 추가 포함하는 본원의 일 구현예에 따른 물 분해 반응용 복합 구조체를 나타내는 개략도이다.
- [60] 도 9는 본원의 일 실시예에 따른 인공광합성 반응용 복합 구조체의 모식도 (a) 및 SEM 이미지 (b)를 나타낸다.
- [61] 도 10은 본원의 일 실시예에 따른 물 분해 반응용 복합 구조체의 모식도 (a), SEM 이미지 (b), 및 상기 물 분해 반응용 복합 구조체를 이용하여 물의 광산화에 의한 수소를 생성한 결과를 보여주는 그래프 (c)이다.

발명의 실시를 위한 최선의 형태

- [62] 이하, 본원이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 본원의 구현예 및 실시예를 상세히 설명한다.
- [63] 그러나 본원은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며 여기에서 설명하는 구현예 및 실시예에 한정되지 않는다.
- [64] 명세서 전체에서, 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성 요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미한다. 본 명세서에서 사용되는 정도의 용어 "약", "실질적으로" 등은 언급된 의미에 고유한 제조 및 물질 허용오차가 제시될 때 그 수치에서 또는 그 수치에 근접한 의미로 사용되고, 본원의 이해를 돕기 위해 정확하거나 절대적인 수치가 언급된 개시 내용을 비양심적인 침해자가 부당하게 이용하는 것을 방지하기 위해 사용된다. 또한, 본원 명세서 전체에서, "~ 하는 단계" 또는 "~의 단계"는 "~를 위한 단계"를 의미하지 않는다.

- [65] 이하, 본원의 신규 인공광합성 반응용 복합 구조체 및 상기를 포함하는 인공광합성용 통합 반응 장치, 및 물 분해 반응용 복합 구조체 및 상기를 포함하는 물 분해용 통합 반응 장치 각각에 대하여 구현예 및 실시예와 도면을 참조하여 구체적으로 설명하도록 한다. 그러나, 본원이 이러한 구현예 및 실시예와 도면에 제한되는 것은 아니다.
- [66] 본원의 제 1 측면은, 하기를 포함하는, 인공광합성 반응용 복합 구조체를 제공할 수 있다:
- [67] 빛 조사 하 물의 산화 반응용 제 1 구조체;
- [68] 상기 제 1 구조체와 접합되며 상기 제 1 구조체에서 물 산화 반응에 의하여 생성된 전자를 전달하기 위한 제 2 구조체;
- [69] 상기 제 2 구조체에 접합되며 이산화탄소 환원 반응용 제 3 구조체; 및,
- [70] 양성자 전달용 멤브레인을 포함하며,
- [71] 상기 제 1 구조체 내지 제 3 구조체는 상기 양성자 전달용 멤브레인 내에 배치되고 상기 제 1 구조체의 적어도 일부 및 상기 제 3 구조체의 적어도 일부는 상기 양성자 전달용 멤브레인 외부로 노출되어 있으며,
- [72] 상기 제 1 구조체에서 물 산화에 의하여 형성된 전자 및 양성자는 각각 상기 제 2 구조체 및 상기 양성자 전달용 멤브레인을 통하여 상기 제 3 구조체에 전달되어 상기 제 3 구조체에 공급되는 이산화탄소와 반응하여 탄화수소를 포함하는 연료 물질을 생성하는 것임.
- [73] 상기 인공광합성 반응용 복합 구조체 (도 1 참조)에 있어서, 상기 제 1 구조체에서 물 산화에 의하여 형성된 전자 및 양성자는 각각 상기 제 2 구조체 및 상기 양성자 전달용 멤브레인을 통하여 상기 제 3 구조체에 전달되어 상기 제 3 구조체에 공급되는 이산화탄소와 반응하여 탄화수소를 포함하는 연료 물질을 생성하는 과정에서 외부 전압을 인가할 필요가 없어, 상기 인공광합성 반응용 복합 구조체를 인공광합성 반응에 응용하는 경우 에너지 변환 효율을 향상시킬 수 있다.
- [74] 일 구현예에 있어서, 상기 제 1 구조체 내지 제 3 구조체 각각은 나노크기를 가지고 상기 인공광합성반응용 복합 구조체는 마이크로 크기를 가지는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [75] 일 구현예에 있어서, 상기 제 1 구조체는 광활성 물질을 포함하여 형성될 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 예를 들어, 상기 광활성 물질은 가시광, 자외선 및/또는 적외선에 대하여 활성을 가지는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [76] 일 구현예에 있어서, 상기 제 3 구조체는 광활성 물질을 포함하여 형성될 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 예를 들어, 상기 광활성 물질은 가시광, 자외선 및/또는 적외선에 대하여 활성을 가지는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [77] 일 구현예에 있어서, 상기 제 1 구조체 내지 제 3 구조체는 일렬로 배열된 단위

복합체를 형성하고, 상기 인공광합성 반응용 복합 구조체는 상기 단위 복합체를 하나 이상 포함하는 것일 수 있으나 (도 2 참조), 이에 제한되는 것은 아니다.

- [78] 일 구현예에 있어서, 상기 빛 조사 하 물의 산화 반응용 제 1 구조체를 형성하는 물질, 상기 생성된 전자를 전달하기 위한 제 2 구조체를 형성하는 물질 및 상기 이산화탄소 환원 반응용 제 3 구조체를 형성하는 물질 각각은 서로 상이한 에너지 준위를 가지는 물질들 중에서 선택될 수 있다. 또한, 상기 제 1 구조체를 형성하는 광활성 물질의 원자가 대역(valence band)의 에너지 준위는 물의 산화/환원 전위 보다 낮고 상기 제 1 구조체를 형성하는 광활성 물질의 전도 대역의 에너지 준위는 물의 산화/환원 전위 보다 높은 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [79] 예시적 구현예에 있어서, 상기 제 2 구조체를 형성하는 물질은, 상기 제 1 구조체를 형성하는 광활성 물질의 원자가 대역(valence band)의 전자가 빛에 의하여 흥분(excitation)되어 전도 대역(conduction band)로 광전이 되는 경우 상기 광전이된 전자를 받아들일 수 있는 에너지 준위를 가지는 물질을 포함하고, 상기 제 3 구조체를 형성하는 물질은 상기 제 2 구조체에 전이되어 전달되는 전자를 받아들일 수 있는 에너지 준위를 가지는 물질을 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 예를 들어, 상기 제 2 구조체를 형성하는 물질의 전도 대역 에너지 준위는 상기 제 1 구조체를 형성하는 물질의 전도 대역 에너지 준위보다 낮고, 상기 제 3 구조체를 형성하는 물질의 전도 대역 에너지 준위는 상기 제 2 구조체를 형성하는 물질의 전도 대역 에너지 준위보다 낮은 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 다만, 상기 제 2 구조체를 형성하는 물질 및 상기 제 3 구조체를 형성하는 물질의 전도 대역의 에너지 준위는 물의 산화/환원 전위보다 높아야 한다.
- [80] 다른 예시적 구현예에 있어서, 상기 제 3 구조체는 광활성 물질을 포함할 수 있으며, 상기 광활성 물질의 원자가 대역 (또는 HOMO)의 에너지 준위는 상기 제 2 구조체를 형성하는 물질의 전도 대역 에너지 준위보다 낮고 상기 광활성 물질의 전도 대역 (또는 LUMO)의 에너지 준위는 상기 제 2 구조체를 형성하는 물질의 전도 대역 에너지 준위보다 높은 것일 수 있다. 이 경우, 빛 조사에 의하여 상기 제 3 구조체를 형성하는 광활성 물질의 원자가 대역의 전자가 흥분되어 전도 대역으로 전이되어 상기 원자가 대역에 정공이 발생하며, 상기 제 2 구조체를 통하여 전달된 전자가 상기 제 3 구조체에 생성된 정공으로 전이되고, 상기 제 3 구조체의 전도 대역으로 광전이된 전자는 공급되는 이산화탄소 및/또는 양성자를 포함하는 반응 물질과 반응하여 수소, 탄화수소, 알코올류 등의 연료물질을 생성할 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [81] 상기 제 1 구조체 내지 상기 제 3 구조체 간의 에너지 준위 관계 및 특성에 대한 기술은 후술하는 제 1' 구조체 내지 제 3' 구조체 및 제 1" 구조체 내지 제 3" 구조체에 대하여도 적용될 수 있다.
- [82] 일 구현예에 있어서, 상기 제 1 구조체는 제 1 지지체 입자 및 상기 제 1 지지체

입자의 표면에 형성된 물의 산화반응용 광촉매 입자를 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 상기 물의 산화반응용 광촉매로서 당업계에 공지된 것 및 빛 조사 하에서 물의 산화 활성을 가지는 촉매 물질들을 특별히 제한없이 사용할 수 있다. 예를 들어, 상기 물의 산화반응용 광촉매로서 당업계에 공지된 것 및 빛 조사 하에서 물의 산화 활성을 가지는 촉매 물질들을 중 가시 광선, 자외선, 적외선 또는 이들의 조합을 포함하는 광 조사 하에서 물의 산화 활성을 가지는 촉매 물질을 사용할 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 일 구현예에 있어서, 상기 물의 산화반응용 광촉매로서 광활성 물질을 포함할 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 예를 들어, 상기 광활성 물질이 반도체를 포함할 수 있으며, 상기 반도체는 그의 전도대의 전자가 상기 제 2 구조체로 전달되고, 그의 원자가 전자대의 정공이 물을 산화하고 산소를 발생할 수 있는 포텐셜(potential)을 가지고, 반응 중에 안정하다 라는 조건을 충족시킬 필요가 있다. 예를 들어, 상기 광활성 물질은 p-형 반도체, 반도체를 포함할 수 있으며, 이러한 p-형 반도체의 비제한적 예로서, TiO_2 , ZnO , SrTiO_3 , Ta_2O_5 , ZrO_2 , WO_3 , BiVO_4 , Pb_4Ti_3 , CdIn_2O_4 , Fe_2TiO_5 , CrNbO_4 , $\text{Cr}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$, CdS , MoS_2 , CdTe , CdZnTe , ZnTe , HgTe , HgZnTe , HgSe , 및 이들의 조합 등을 들 수 있다. 또한, 상기 TiO_2 는 Y, V, Mo, Cr, Cu, Al, Ta, B, Ru, Mn, Fe, Li, Nb, In, Pb, Ge, C, N, S, Sb 또는 이들의 조합으로 도핑될 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 예시적 구현예에 있어서, 상기 물의 산화반응용 광촉매는 상기 광활성 물질에 추가하여 감광응성 물질을 추가 포함할 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 상기 광감응성 물질의 비제한적 예로서 당업계에 공지된 유기 염료, 금속 착화합물 염료, 양자점 등을 들 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.

[83] 일 구현예에 있어서, 상기 제 3 구조체는 제 2 지지체 입자 및 상기 제 2 지지체 입자의 표면에 형성된 이산화탄소의 환원반응용 촉매 입자를 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 상기 이산화탄소의 환원반응용 촉매로서 당업계에 공지된 것 및 이산화탄소의 환원 활성을 가지는 촉매 물질들을 특별히 제한없이 사용할 수 있다. 예시적 구현예에 있어서, 상기 이산화탄소의 환원반응용 촉매로서 빛 조사 하에서 이산화탄소의 환원 활성을 가지는 촉매 물질을 사용할 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 예를 들어, 상기 빛은 가시 광선, 자외선, 적외선 또는 이들의 조합을 포함하는 광을 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.

[84] 일 구현예에 있어서, 상기 양성자 전달용 멤브레인은, 홀을 가지는 다공성 박막을 이용하여 제조되며, 입자 형태의 상기 제 1 구조체, 상기 제 2 구조체 및 상기 제 3 구조체가 상기 다공성 박막의 홀에 순차적으로 접합되어 배치되어 있는 것일 수 있으나 (도 10b 참조), 이에 제한되는 것은 아니다.

[85] 일 구현예에 있어서, 상기 제 1 구조체 내지 제 3 구조체는 각각 나노막대 형태를 가지는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.

[86] 일 구현예에 있어서, 상기 양성자 전달용 멤브레인으로서 당업계에 공지된

것들 및 양성자 전달 능력을 가지는 물질을 특별히 제한없이 사용할 수 있다, 예시적 구현예에 있어서, 상기 양성자 전달용 멤브레인은 양성자 전달용 고분자, 양성자 전달용 유리 또는 비결정질 물질, 또는 양성자 전달용 결정질 물질을 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 다른 예시적 구현예에 있어서, 상기 양성자 전달용 멤브레인은, 양성자 전달 능력을 가지는 유기 고분자, 무기 고분자, 또는 유-무기 하이브리드 고분자를 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 예를 들어, 상기 양성자 전달용 멤브레인은 수소이온-교환가능기를 가지는 유기 고분자, 무기 고분자 또는 유-무기 하이브리드 고분자를 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.

[87] 일 구현예에 있어서, 상기 양성자 전달용 멤브레인은 불소-함유 양성자 전달용 고분자, 또는 상기 불소-함유 양성자 전달용 고분자/LDH 복합체를 포함하는

[88] 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 예를 들어, 상기 양성자 전달용 멤브레인은 나피온, 나피온/LDH 복합체, 또는 포스포실리케이트를 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.

[89] 일 구현예에 있어서, 상기 제 2 구조체는 전자 전달을 위한 전도성 유기물, 전도성 무기물, 유기물 반도체, 무기물 반도체, 또는 이들의 조합을 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 예를 들어, 상기 제 2 구조체는 금속, 반도체, 또는 이들의 조합; 전도성 유기물, 유기물 반도체, 또는 이들의 조합; 및 이들의 조합으로 이루어진 군에서 선택되는 것을 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 상기 전자 전달을 위한 물질은 전도대의 에너지가 충분히 높아 전자를 상기 제 3 구조체로 전달하여 줄 수 있는 물질이면 특별히 제한 없이 사용할 수 있다. 예를 들어, 상기 전자 전달을 위한 물질은 TiO_2 , ZnO 또는 이들의 조합을 포함할 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 또한, 상기 전자 전달을 위한 물질은 TiO_2 , ZnO 또는 이들의 조합을 포함하는 물질의 단결정 형태의 물질을 사용함으로써 이들의 LUMO를 통하여 전자가 용이하게 전달될 수 있다.

[90] 본원의 제 2 측면은, 상기 본원의 제 1 측면에 따른 인공광합성 반응용 복합 구조체를 포함하는, 인공 광합성용 통합 반응 장치를 제공할 수 있다. 상기 인공 광합성용 통합 반응 장치에 있어서 상기 인공광합성 반응용 복합 구조체의 복수개가 어레이 형태로 배열되어 있는 것일 수 있다. 상기 인공 광합성용 통합 반응 장치는 하기를 포함할 수 있다:

[91] 적어도 하나 이상의 광투과성 투명부를 포함하며, 하나 이상의 물 광산화 반응부 및 하나 이상의 이산화탄소 환원 반응부가 각각 순차적으로 교대로 배치되어 있는 반응 챔버;

[92] 상기 교대로 배치된 물 광산화 반응부 및 이산화탄소 환원 반응부 사이에 배치되는 하나 이상의 상기 인공광합성 반응용 복합 구조체의 어레이(array);

[93] 상기 하나 이상의 물 광산화 반응부 각각의 일측에 형성된 물 공급부 및 타측에 형성되는 산소 배출부;

[94] 상기 하나 이상의 이산화탄소 환원 반응부 각각의 일측에 형성된 이산화탄소

- 공급부, 및 타측에 형성되는 생성물 배출부; 를 포함하며,
- [95] 여기서, 상기 어레이 각각에 포함된 상기 제 1 구조체는 상기 물 광산화 반응부 측에 접하고 상기 제 3 구조체는 상기 이산화탄소 환원 반응부 측에 접하도록 배치되는 것임.
- [96] 일 구현예에 있어서, 상기 인공 광합성용 통합 반응 장치에 있어서 (도 2 참조), 상기 물 광산화 반응부 측에 빛을 조사하여 상기 제 1 구조체에서 물 산화 반응에 의하여 생성된 전자 및 양성자가 각각 상기 제 2 구조체 및 상기 양성자 전달용 멤브레인을 통하여 상기 이산화탄소 환원용 제 3 구조체로 전달되고, 상기 제 3 구조체에 공급되는 이산화탄소와 상기 전자 및 양성자가 반응하여 탄화수소를 포함하는 연료 물질을 생성하는 것 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 특히, 상기 본원에 따른 상기 인공 광합성용 통합 반응 장치를 이용하는 경우 물 광산화에 의하여 생성된 전자가 상기 제 2 구조체에 의하여 상기 이산화탄소 환원용 제 3 구조체로 전달되며 이러한 과정에서 외부 전압을 인가할 필요가 없어, 상기 인공광합성 반응의 에너지 효율을 향상시킬 수 있다.
- [97] 일 구현예에 있어서, 상기 인공 광합성용 통합 반응 장치는 태양 전지 및/또는 태양열 집광 장치와 조합되는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 상기 태양전지는, 필요한 경우, 상기 제 1 구조체로부터 물 산화에 의하여 발생된 전자의 제 3 구조체로의 전달을 더욱 촉진하기 위하여 상기 제 2 구조체에 연결되어 상기 전자 전달에 필요한 과전압을 공급하거나 또는 상기 제 1 구조체와 상기 제 3 구조체 사이의 상기 전자 전달에 필요한 과전압을 공급할 수 있도록 연결될 수 있으나, 이에 제한되는 것을 아니다. 상기 태양열 집광 장치는 필요한 경우 상기 인공 광합성용 통합 반응 장치 내에서 일어나는 반응의 온도를 향상시키기 위한 열을 공급하기 위하여 사용될 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [98] 본원의 제 3 측면은, 하기를 포함하는, 인공광합성 반응용 복합 구조체를 제공할 수 있다:
- [99] 빛 조사 하에서 물의 산화 반응용 제 1' 구조체;
- [100] 전자 전달용 제 2' 구조체; 및,
- [101] 이산화탄소 환원 반응용 제 3' 구조체
- [102] 를 포함하며,
- [103] 여기서,
- [104] 상기 제 2' 구조체는 그의 양 말단이 상기 양성자 전달용 멤브레인 외부로 각각 노출되도록 상기 양성자 전달용 멤브레인 내에 형성되며, 상기 제 1' 구조체 및 상기 제 3' 구조체는 상기 제 2' 구조체의 양측의 각각에 형성되며,
- [105] 상기 제 1' 구조체에서 빛 조사 하에서 물 산화에 의하여 생성된 전자 및 양성자는 각각 상기 제 2' 구조체 및 상기 양성자 전달용 멤브레인을 통하여 상기 제 3' 구조체에 전달되어 상기 제 3' 구조체에 공급되는 이산화탄소와 반응하여 탄화수소를 포함하는 연료 물질을 생성하는 것임.

- [106] 상기 인공광합성 반응용 복합 구조체 (도 3 참조)에 있어서, 상기 제 1' 구조체에서 물 산화에 의하여 형성된 전자 및 양성자는 각각 상기 제 2' 구조체 및 상기 양성자 전달용 멤브레인을 통하여 상기 제 3' 구조체에 전달되어 상기 제 3' 구조체에 공급되는 이산화탄소와 반응하여 탄화수소를 포함하는 연료 물질을 생성하는 과정에서 외부 전압을 인가할 필요가 없어, 상기 인공광합성 반응용 복합 구조체를 인공광합성 반응에 응용하는 경우 에너지 변환 효율을 향상시킬 수 있다.
- [107] 일 구현예에 있어서, 상기 제 1' 구조체는 광활성 물질을 포함하여 형성될 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 예를 들어, 상기 광활성 물질은 가시광, 자외선 및/또는 적외선에 대하여 활성을 가지는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [108] 일 구현예에 있어서, 상기 제 3' 구조체는 광활성 물질을 포함하여 형성될 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 예를 들어, 상기 광활성 물질은 가시광, 자외선 및/또는 적외선에 대하여 활성을 가지는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [109] 일 구현예에 있어서, 상기 제 2' 구조체는 나노 크기 내지 마이크로 크기의 막대 형태를 가지는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [110] 일 구현예에 있어서, 상기 인공광합성 반응용 복합 구조체는 상기 제 2' 구조체에 형성된 전도층을 추가 포함하는 것일 수 있으나 (도 4 참조), 이에 제한되는 것은 아니다. 일 구현예에 있어서, 상기 전도층은 전도성 무기물, 전도성 유기물 또는 이들의 조합을 포함할 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 예를 들어, 상기 전도성 무기물은 전이금속 또는 전도성 탄소 물질을 포함할 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 상기 전이금속은 백금, 금, 팔라듐, 니켈, 은, 티타늄, 또는 이들의 조합을 포함할 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 상기 전도성 탄소 물질은 그래핀, CNT, 흑연, 또는 이들의 조합을 포함할 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [111] 일 구현예에 있어서, 상기 인공광합성 반응용 복합 구조체는 상기 제 2' 구조체에 형성된 절연층을 추가 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [112] 일 구현예에 있어서, 상기 인공광합성 반응용 복합 구조체는 상기 제 2' 구조체에 형성된 전도층 및 상기 전도층 상에 형성된 절연층을 추가 포함하는 것일 수 있으나 (도 5 참조), 이에 제한되는 것은 아니다.
- [113] 예를 들어, 상기 절연층은 절연성 무기물, 절연성 유기물 또는 이들의 조합을 포함할 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 상기 절연성 무기물, 및 상기 절연성 유기물은 당업계에 공지된 것들을 특별히 제한 없이 사용할 수 있다. 예를 들어, 상기 절연성 무기물은 절연성 금속 산화물, 절연성 무기 고분자 또는 이들의 조합을 포함할 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 예를 들어, 상기 절연성 유기물은, 절연성 유기 고분자를 포함할 수 있으나, 이에 제한되는 것은

아니다. 상기 절연성 유기 고분자의 비제한적 예로서, 폴레에틸렌계 고분자, 폴리프로필렌계 고분자, 폴리아크릴레이트계 고분자(예: PMMA 등) 또는 폴리스티렌계 고분자를 포함할 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.

[114] 일 구현예에 있어서, 상기 제 1' 구조체 및 제 3' 구조체는 각각 나노입자 형태를 가지는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.

[115] 일 구현예에 있어서, 상기 양성자 전달용 멤브레인으로서 당업계에 공지된 것들 및 양성자 전달 능력을 가지는 물질을 특별히 제한없이 사용할 수 있다, 예시적 구현예에 있어서, 상기 양성자 전달용 멤브레인은 양성자 전달용 고분자, 양성자 전달용 유리 또는 비결정질 물질, 또는 양성자 전달용 결정질 물질을 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 다른 예시적 구현예에 있어서, 상기 양성자 전달용 멤브레인은, 양성자 전달 능력을 가지는 유기 고분자, 무기 고분자, 또는 유-무기 하이브리드 고분자를 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 예를 들어, 상기 양성자 전달용 멤브레인은 수소이온-교환가능기를 가지는 유기 고분자, 무기 고분자 또는 유-무기 하이브리드 고분자를 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.

[116] 일 구현예에 있어서, 상기 양성자 전달용 멤브레인은 불소-함유 양성자 전달용 고분자, 또는 상기 불소-함유 양성자 전달용 고분자/LDH 복합체를 포함하는

[117] 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 예를 들어, 상기 양성자 전달용 멤브레인은 나피온, 나피온/LDH 복합체, 또는 포스포실리케이트를 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.

[118] 일 구현예에 있어서, 상기 제 2' 구조체는 전자 전달을 위한 전도성 유기물, 전도성 무기물, 유기물 반도체, 무기물 반도체, 또는 이들의 조합을 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 예를 들어, 상기 제 1' 구조체는 금속, 반도체, 또는 이들의 조합; 전도성 유기물, 유기물 반도체, 또는 이들의 조합; 및 이들의 조합으로 이루어진 군에서 선택되는 것을 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.

[119] 본원의 제 4 측면은, 상기 본원의 제 3 측면에 따른 인공광합성 반응용 복합 구조체를 포함하는, 인공 광합성용 통합 반응 장치를 제공할 수 있다. 상기 인공 광합성용 통합 반응 장치에 있어서, 상기 인공광합성 반응용 복합 구조체의 복수개가 어레이 형태로 배열되어 있는 것일 수 있다. 상기 인공 광합성용 통합 반응 장치는 하기를 포함할 수 있다:

[120] 적어도 하나 이상의 광투과성 투명부를 포함하며, 하나 이상의 물 광산화 반응부 및 하나 이상의 이산화탄소 환원 반응부가 각각 순차적으로 교대로 배치되어 있는 반응 챔버;

[121] 상기 교대로 배치된 물 광산화 반응부 및 이산화탄소 환원 반응부 사이에 배치되는 하나 이상의 상기 인공광합성 반응용 복합 구조체의 어레이(array);

[122] 상기 하나 이상의 물 광산화 반응부 각각의 일측에 형성된 물 공급부 및 타측에 형성되는 산소 배출부;

- [123] 상기 하나 이상의 이산화탄소 환원 반응부 각각의 일측에 형성된 이산화탄소 공급부, 및 타측에 형성되는 생성물 배출부;를 포함하며,
- [124] 여기서, 상기 어레이 각각에 포함된 상기 제 1' 구조체는 상기 물 광산화 반응부 측에 접하고 상기 제 3'구조체는 상기 이산화탄소 환원 반응부 측에 접하도록 배치되는 것임.
- [125] 일 구현예에 있어서, 상기 인공 광합성용 통합 반응 장치에 있어서, 상기 물 광산화 반응부 측에 빛을 조사하여 상기 제 1' 구조체에서 물 산화 반응에 의하여 생성된 전자 및 양성자가 각각 상기 제 2' 구조체 및 상기 양성자 전달용 멤브레인을 통하여 상기 이산화탄소 환원용 제 3' 구조체로 전달되고, 상기 제 3' 구조체에 공급되는 이산화탄소와 상기 전자 및 양성자가 반응하여 탄화수소를 포함하는 연료 물질을 생성하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 특히, 상기 본원에 따른 상기 인공 광합성용 통합 반응 장치를 이용하는 경우 상기 제 1' 구조체에서 물 광산화에 의하여 생성된 전자가 상기 제 2' 구조체에 의하여 상기 이산화탄소 환원용 제 3' 구조체로 전달되며 이러한 과정에서 외부 전압을 인가할 필요가 없어, 상기 인공광합성 반응의 에너지 효율을 향상시킬 수 있다.
- [126] 일 구현예에 있어서, 상기 인공 광합성용 통합 반응 장치는 태양 전지 및/또는 태양열 집광 장치와 조합되는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 상기 태양전지는, 필요한 경우, 상기 제 1' 구조체로부터 물 산화에 의하여 발생된 전자의 제 3' 구조체로의 전달을 더욱 촉진하기 위하여 상기 제 2' 구조체에 연결되어 상기 전자 전달에 필요한 과전압을 공급하거나 또는 상기 제 1' 구조체와 상기 제 3' 구조체 사이의 상기 전자 전달에 필요한 과전압을 공급할 수 있도록 연결될 수 있으나, 이에 제한되는 것을 아니다. 상기 태양열 집광 장치는 필요한 경우 상기 인공 광합성용 통합 반응 장치 내에서 일어나는 반응의 온도를 향상시키기 위한 열을 공급하기 위하여 사용될 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [127] 본원의 제 5 측면은, 하기를 포함하는, 물 분해 반응용 복합 구조체를 제공할 수 있다:
- [128] 양성자 전달용 멤브레인;
- [129] 빛 조사 하에서 물의 산화 반응용 제 1" 구조체;
- [130] 전자 전달용 제 2" 구조체; 및,
- [131] 양성자 환원 반응용 제 3" 구조체
- [132] 를 포함하며,
- [133] 여기서,
- [134] 상기 제 2" 구조체는 그의 양 말단이 상기 양성자 전달용 멤브레인 외부로 각각 노출되도록 상기 양성자 전달용 멤브레인 내에 형성되며, 상기 제 1" 구조체 및 상기 제 3" 구조체는 상기 제 2" 구조체의 양측의 각각에 형성되며,
- [135] 상기 제 1" 구조체에서 빛 조사 하에서 물 산화에 의하여 생성된 전자 및

- 양성자는 각각 상기 제 2" 구조체 및 상기 양성자 전달용 멤브레인을 통하여 상기 제 3' 구조체에 전달되어 상기 제 3" 구조체에서 환원되어 수소를 생성하는 것임.
- [136] 일 구현예에 있어서, 상기 제 1" 구조체는 광활성 물질을 포함하여 형성될 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 예를 들어, 상기 광활성 물질은 가시광, 자외선 및/또는 적외선에 대하여 활성을 가지는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [137] 일 구현예에 있어서, 상기 제 3" 구조체는 광활성 물질을 포함하여 형성될 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 예를 들어, 상기 광활성 물질은 가시광, 자외선 및/또는 적외선에 대하여 활성을 가지는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [138] 일 구현예에 있어서, 상기 제 2" 구조체는 나노 크기 내지 마이크로 크기의 막대 형태를 가지는 것일 수 있으나 (도 6 참조), 이에 제한되는 것은 아니다.
- [139] 일 구현예에 있어서, 상기 물 분해 반응용 복합 구조체는 상기 제 2" 구조체에 형성된 전도층을 추가 포함하는 것일 수 있으나 (도 7 참조), 이에 제한되는 것은 아니다. 일 구현예에 있어서, 상기 전도층은 전도성 무기물, 전도성 유기물 또는 이들의 조합을 포함할 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 예를 들어, 상기 전도성 무기물은 전이금속 또는 전도성 탄소 물질을 포함할 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 상기 전이금속은 백금, 금, 팔라듐, 니켈, 은, 티타늄, 또는 이들의 조합을 포함할 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 상기 전도성 탄소 물질은 그래핀, CNT, 흑연, 또는 이들의 조합을 포함할 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [140] 일 구현예에 있어서, 상기 물 분해 반응용 복합 구조체는 상기 제 2" 구조체에 형성된 절연층을 추가 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [141] 일 구현예에 있어서, 상기 물 분해 반응용 복합 구조체는 상기 제 2" 구조체에 형성된 전도층 및 상기 전도층 상에 형성된 절연층을 추가 포함하는 것일 수 있으나 (도 8 참조), 이에 제한되는 것은 아니다.
- [142] 예를 들어, 상기 절연층은 절연성 무기물, 절연성 유기물 또는 이들의 조합을 포함할 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 상기 절연성 무기물, 및 상기 절연성 유기물은 당업계에 공지된 것들을 특별히 제한 없이 사용할 수 있다. 예를 들어, 상기 절연성 무기물은 절연성 금속 산화물, 절연성 무기 고분자 또는 이들의 조합을 포함할 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 예를 들어, 상기 절연성 유기물은, 절연성 유기 고분자를 포함할 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 상기 절연성 유기 고분자의 비제한적 예로서, 폴레에틸렌계 고분자, 폴리프로필렌계 고분자, 폴리아크릴레이트계 고분자 (예: PMMA 등) 또는 폴리스티렌계 고분자를 포함할 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [143] 일 구현예에 있어서, 상기 제 1" 구조체 및 제 3" 구조체는 각각 나노입자 형태를 가지는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [144] 일 구현예에 있어서, 상기 양성자 전달용 멤브레인으로서 당업계에 공지된

것들 및 양성자 전달 능력을 가지는 물질을 특별히 제한없이 사용할 수 있다, 예시적 구현예에 있어서, 상기 양성자 전달용 멤브레인은 양성자 전달용 고분자, 양성자 전달용 유리 또는 비결정질 물질, 또는 양성자 전달용 결정질 물질을 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 다른 예시적 구현예에 있어서, 상기 양성자 전달용 멤브레인은, 양성자 전달 능력을 가지는 유기 고분자, 무기 고분자, 또는 유-무기 하이브리드 고분자를 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 예를 들어, 상기 양성자 전달용 멤브레인은 수소이온-교환가능기를 가지는 유기 고분자, 무기 고분자 또는 유-무기 하이브리드 고분자를 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.

[145] 일 구현예에 있어서, 상기 양성자 전달용 멤브레인은 불소-함유 양성자 전달용 고분자, 또는 상기 불소-함유 양성자 전달용 고분자/LDH 복합체를 포함하는

[146] 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 예를 들어, 상기 양성자 전달용 멤브레인은 나피온, 나피온/LDH 복합체, 또는 포스포실리케이트를 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.

[147] 일 구현예에 있어서, 상기 제 2" 구조체는 전자 전달을 위한 전도성 유기물, 전도성 무기물, 유기물 반도체, 무기물 반도체, 또는 이들의 조합을 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 예를 들어, 상기 제 2" 구조체는 금속, 반도체, 또는 이들의 조합; 전도성 유기물, 유기물 반도체, 또는 이들의 조합; 및 이들의 조합으로 이루어진 군에서 선택되는 것을 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.

[148] 본원의 제 6 측면은, 상기 본원의 제 5 측면에 따른 물 분해 반응용 복합 구조체를 포함하는, 물 분해용 통합 반응 장치를 제공할 수 있다. 상기 물 분해용 통합 반응 장치에 있어서, 상기 물 분해 반응용 복합 구조체의 복수개는 어레이 형태로 배열되어 있는 것일 수 있다. 상기 물 분해 반응용 반응 장치는 하기를 포함할 수 있다:

[149] 적어도 하나 이상의 광투과성 투명부를 포함하며, 하나 이상의 물 광산화 반응부를 포함하며 상기 물 광산화 반응부 각각의 사이에 상기 물 분해 반응용 복합 구조체의 어레이(array)가 배치되어 있는 반응 챔버;

[150] 상기 물 광산화 반응부 각각의 일측에 형성된 물 공급부 및 타측에 형성된 수소 배출부를 포함하며,

[151] 상기 물 광산화 반응부의 일측에 빛을 조사하여 상기 제 1" 구조체에서 물 산화 반응에 의하여 생성된 전자 및 양성자가 각각 상기 제 2" 구조체 및 상기 양성자 전달용 멤브레인을 통하여 상기 제 3" 구조체로 전달되어 환원되어 수소를 생성하는 것임.

[152] 일 구현예에 있어서, 상기 물 분해 반응용 반응 장치에 있어서, 상기 물 광산화 반응부 측에 빛을 조사하여 상기 제 1" 구조체에서 물 산화 반응에 의하여 생성된 전자 및 양성자가 각각 상기 제 2" 구조체 및 상기 양성자 전달용 멤브레인을 통하여 상기 이산화탄소 환원용 제 3" 구조체로 전달되고, 상기 제 3" 구조체에

공급되는 이산화탄소와 상기 전자 및 양성자가 반응하여 탄화수소를 포함하는 연료 물질을 생성하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 특히, 상기 본원에 따른 상기 물 분해 반응용 복합 구조체를 이용하는 경우 상기 제 1" 구조체에서 물 광산화에 의하여 생성된 전자가 상기 제 2" 구조체에 의하여 상기 제 3" 구조체로 전달되며 이러한 과정에서 외부 전압을 인가할 필요가 없어, 상기 물 분해 반응의 에너지 효율을 향상시킬 수 있다.

- [153] 일 구현예에 있어서, 상기 물 분해 반응용 반응 장치는 태양 전지 및/또는 태양열 집광 장치와 조합되는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 상기 태양전지는, 필요한 경우, 상기 제 1" 구조체로부터 물 산화에 의하여 발생된 전자의 제 3" 구조체로의 전달을 더욱 촉진하기 위하여 상기 제 2" 구조체에 연결되어 상기 전자 전달에 필요한 과전압을 공급하거나 또는 상기 제 1" 구조체와 상기 제 3" 구조체 사이의 상기 전자 전달에 필요한 과전압을 공급할 수 있도록 연결될 수 있으나, 이에 제한되는 것을 아니다. 상기 태양열 집광 장치는 필요한 경우 상기 인공 광합성용 통합 반응 장치 내에서 일어나는 반응의 온도를 향상시키기 위한 열을 공급하기 위하여 사용될 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.

발명의 실시를 위한 형태

- [154] 이하, 본원에 대하여 실시예를 이용하여 좀더 구체적으로 설명하나, 본원이 이에 제한되는 것은 아니다.
- [155] [실시예 1]
- [156] 도 9는 본원의 일 실시예에 따른 인공광합성 반응용 복합 구조체의 모식도 (a) 및 SEM 사진(b)이다. 문지르기를 이용하여 세 종류의 입자를 규칙적으로 배열하여 본원의 일 실시예에 따른 인공광합성 반응용 복합 구조체를 제조하였다. 상기 세 종류의 입자는 각각 빛 조사 하 물의 산화 반응용 제 1 구조체, 상기 제 1 구조체와 접합되며 상기 제 1 구조체에서 물 산화 반응에 의하여 생성된 전자를 전달하기 위한 제 2 구조체, 및 상기 제 2 구조체에 접합되며 이산화탄소 환원 반응용 제 3 구조체에 해당하는 것이다.
- [157] 도 10은 본원의 일 실시예에 따른 물 분해 반응용 복합 구조체의 SEM 사진 및 수소 생성 실험 결과를 나타내는 것이다.
- [158] 구체적으로, 상기 본원의 일 실시예에 따른 물 분해 반응용 복합 구조체는 구체적으로, PMMA로 이루어진 홀을 가지는 다공성 박막을 형성하고 상기 다공성 박막 상에 스퍼터링 공정에 의해 CdS 광촉매층을 증착함으로써 CdS 광촉매층을 형성하였다. 상기 CdS 광촉매층의 홀은 매우 규칙적으로 배열되어 있음을 알 수 있다. 또한, 도 9를 참조하면, 상기 PMMA로 이루어진 홀을 가지는 박막 상에 상기 CdS 광촉매층이 형성되어 있음을 XPS(X-ray Photoelectron Spectroscopy)를 사용하여 추가로 확인할 수 있었다.
- [159] 도 10은 본원의 일 실시예에 따라 상기 CdS 광촉매층의 홀 내부에 나피온을

수소 이온 이송 물질로 사용하여 주입함으로써 형성된 물 분해 반응용 복합 구조체의 단면을 주사전자현미경으로 관찰한 단면도와 수소 생성량을 관찰한 그래프를 나타낸다.

- [160] 보다 구체적으로 도 10을 참조하면, 비교예로서 제조된 분말 형태의 광촉매를 사용하여, 상기 본원의 일 실시예에 따른 물 분해 반응용 복합 구조체를 이용한 수소 생성량을 비교한 결과이다. 모두 반응 조건을 동일하게 유지하였으며, 보다 구체적으로 수소 이온 소스는 0.1 ml 포름산을 사용하였고 상기 각 멤브레인에 100 mW/cm²의 가시광선(태양광)을 약 1 시간 내지 약 5 시간 동안 조사하여 생성되는 H₂의 양을 비교 관찰하였다. 도 10에서와 같이, 다공성 구조의 광촉매층을 포함하는 상기 본원의 일 실시예에 따른 물 분해 반응용 복합 구조체는 분말 형태의 CdS (0.1 mg) 광촉매보다 수소 생성량이 많았으며, 반응시간이 지날 수록, 상기 생성량의 차이는 커지는 것을 확인할 수 있었다. 예를 들어, 5 시간 반응 후에는 상기 광촉매층을 사용한 경우와 분말 광촉매층을 사용한 경우의 수소 생성량은 각각 약 1.6 μ mol/h, 약 0.15 μ mol/h로 약 10 배 이상 차이가 나는 것을 확인하였다.
- [161] 이상, 실시예를 들어 본원을 상세하게 설명하였으나, 본원은 상기 구현에 및 실시예들에 한정되지 않으며, 여러 가지 다양한 형태로 변형될 수 있으며, 본원의 기술적 사상 내에서 당 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의하여 여러 가지 많은 변형이 가능함이 명백하다.

청구범위

- [청구항 1] 빛 조사 하 물의 산화 반응용 제 1 구조체;
 상기 제 1 구조체와 접합되며 상기 제 1 구조체에서 물 산화 반응에 의하여 생성된 전자를 전달하기 위한 제 2 구조체;
 상기 제 2 구조체에 접합되며 이산화탄소 환원 반응용 제 3 구조체;
 및,
 양성자 전달용 멤브레인을 포함하며,
 상기 제 1 구조체 내지 제 3 구조체는 상기 양성자 전달용 멤브레인 내에 배치되고 상기 제 1 구조체의 적어도 일부 및 상기 제 3 구조체의 적어도 일부는 상기 양성자 전달용 멤브레인 외부로 노출되어 있으며,
 상기 제 1 구조체에서 물 산화에 의하여 형성된 전자 및 양성자는 각각 상기 제 2 구조체 및 상기 양성자 전달용 멤브레인을 통하여 상기 제 3 구조체에 전달되어 상기 제 3 구조체에 공급되는 이산화탄소와 반응하여 탄화수소를 포함하는 연료 물질을 생성하는 것인,
 인공광합성 반응용 복합 구조체.
- [청구항 2] 제 1 항에 있어서,
 상기 제 1 구조체 내지 제 3 구조체 각각은 나노미터 크기 내지 마이크로미터 크기를 가지는 것인, 인공광합성 반응용 복합 구조체.
- [청구항 3] 제 1 항에 있어서,
 상기 제 1 구조체 내지 제 3 구조체는 순차적으로 배열된 단위 복합체를 형성하고 상기 단위 복합체를 하나 이상 포함하는, 인공광합성 반응용 복합 구조체.
- [청구항 4] 제 1 항에 있어서,
 상기 제 1 구조체는 제 1 지지체 입자 및 상기 제 1 지지체 입자의 표면에 형성된 물의 산화반응용 광촉매 입자를 포함하는 것인, 인공광합성 반응용 복합 구조체.
- [청구항 5] 제 1 항에 있어서,
 상기 제 3 구조체는 제 2 지지체 입자 및 상기 제 2 지지체 입자의 표면에 형성된 이산화탄소의 환원반응용 촉매 입자를 포함하는 것인, 인공광합성 반응용 복합 구조체.
- [청구항 6] 제 1 항에 있어서,
 상기 양성자 전달용 멤브레인은, 홀을 가지는 다공성 박막을 이용하여 제조되며, 입자 형태의 상기 제 1 구조체, 상기 제 2 구조체 및 상기 제 3 구조체는 상기 다공성 박막의 홀에

- 순차적으로 접합되어 배치되어 있는 것인, 인공광합성 반응용 복합 구조체.
- [청구항 7] 제 1 항에 있어서,
상기 제 1 구조체 내지 제 3 구조체는 각각 나노입자 형태를 가지는 것인, 인공광합성 반응용 복합 구조체.
- [청구항 8] 제 1 항에 있어서,
상기 제 1 구조체 내지 제 3 구조체는 각각 나노막대 형태를 가지는 것인, 인공광합성 반응용 복합 구조체.
- [청구항 9] 제 1 항에 있어서,
상기 양성자 전달용 멤브레인은 양성자 전달용 고분자, 양성자 전달용 유리 또는 비결정질 물질, 또는 양성자 전달용 결정질 물질을 포함하는 것인, 인공광합성 반응용 복합 구조체.
- [청구항 10] 제 9 항에 있어서,
상기 양성자 전달용 멤브레인은 불소-함유 양성자 전달용 고분자, 상기 불소-함유 양성자 전달용 고분자/LDH 복합체, 또는 포스포실리케이트를 포함하는 것인, 인공광합성 반응용 복합 구조체.
- [청구항 11] 제 10 항에 있어서,
상기 불소-함유 양성자 전달용 고분자는 나피온을 포함하는 것인, 인공광합성 반응용 복합 구조체.
- [청구항 12] 제 1 항에 있어서,
상기 제 2 구조체는 전자 전달을 위한 전도성 유기물, 전도성 무기물, 유기물 반도체, 무기물 반도체, 또는 이들의 조합을 포함하는 것인, 인공광합성 반응용 복합 구조체.
- [청구항 13] 제 12 항에 있어서,
상기 제 2 구조체는,
백금, 금, 팔라듐, 니켈, 은, 티타늄, 구리, 그래핀, CNT, 흑연, 또는 이들의 조합을 포함하는, 전도성 물질;
n-형 실리콘, p-형 실리콘, 화합물 반도체, 산화물 반도체 또는 이들의 조합을 포함하는 반도체;
전도성 유기 고분자, 전도성 무기 고분자, 또는 이들의 조합을 포함하는 전도성 고분자; 또는,
이들의 조합을 포함하는 것인,
인공광합성 반응용 복합 구조체.
- [청구항 14] 제 1 항 내지 제 13 항 중 어느 한 항에 따른 인공광합성 반응용 복합 구조체를 포함하는, 인공 광합성용 통합 반응 장치.
- [청구항 15] 제 14 항에 있어서,
상기 인공광합성 반응용 복합 구조체의 복수개가 어레이 형태로

[청구항 16]

배열되어 있는 것인, 인공 광합성용 통합 반응 장치.

제 14 항에 있어서,

적어도 하나 이상의 광투과성 투명부를 포함하며, 하나 이상의 물 광산화 반응부 및 하나 이상의 이산화탄소 환원 반응부가 각각 순차적으로 교대로 배치되어 있는 반응 챔버;

상기 교대로 배치된 물 광산화 반응부 및 이산화탄소 환원 반응부 사이에 배치되는 하나 이상의 상기 인공광합성 반응용 복합 구조체의 어레이(array);

상기 하나 이상의 물 광산화 반응부 각각의 일측에 형성된 물 공급부 및 타측에 형성되는 산소 배출부;

상기 하나 이상의 이산화탄소 환원 반응부 각각의 일측에 형성된 이산화탄소 공급부, 및 타측에 형성되는 생성물 배출부;를 포함하며,

여기서, 상기 어레이 각각에 포함된 상기 제 1 구조체는 상기 물 광산화 반응부 측에 접하고 상기 제 3 구조체는 상기 이산화탄소 환원 반응부 측에 접하도록 배치되는 것인,

인공 광합성용 통합 반응 장치.

[청구항 17]

제 16 항에 있어서,

상기 물 광산화 반응부 측에 빛을 조사하여 상기 제 1 구조체에서 물 산화 반응에 의하여 생성된 전자 및 양성자가 각각 상기 제 2 구조체 및 상기 양성자 전달용 멤브레인을 통하여 상기 이산화탄소 환원용 제 3 구조체로 전달되고, 상기 제 3 구조체에 공급되는 이산화탄소와 상기 전자 및 양성자가 반응하여 탄화수소를 포함하는 연료 물질을 생성하는 것인, 인공 광합성용 통합 반응 장치.

[청구항 18]

양성자 전달용 멤브레인;

빛 조사 하에서 물의 산화 반응용 제 1'구조체;

전자 전달용 제 2' 구조체; 및,

이산화탄소 환원 반응용 제 3' 구조체

를 포함하며,

여기서,

상기 제 2' 구조체는 그의 양 말단이 상기 양성자 전달용 멤브레인 외부로 각각 노출되도록 상기 양성자 전달용 멤브레인 내에 형성되며, 상기 제 1' 구조체 및 상기 제 3' 구조체는 상기 제 2' 구조체의 양측의 각각에 형성되며,

상기 제 1' 구조체에서 빛 조사 하에서 물 산화에 의하여 생성된 전자 및 양성자는 각각 상기 제 2' 구조체 및 상기 양성자 전달용 멤브레인을 통하여 상기 제 3' 구조체에 전달되어 상기 제 3'

- 구조체에 공급되는 이산화탄소와 반응하여 탄화수소를 포함하는
연료 물질을 생성하는 것인,
인공광합성 반응용 복합 구조체.
- [청구항 19] 제 18 항에 있어서,
상기 제 2' 구조체는 나노미터 크기 내지 마이크로미터 크기의
막대 형태를 가지는 것인, 인공광합성 반응용 복합 구조체.
- [청구항 20] 제 18 항에 있어서,
상기 제 2' 구조체는 도체, 반도체, 반도체 또는 이들의 조합을
포함하여 형성된 것인, 인공광합성 반응용 복합 구조체.
- [청구항 21] 제 18 항에 있어서,
상기 제 2' 구조체는 반도체를 포함하는 코어(core) 및 상기 코어
표면에 형성된 전도층을 포함하여 형성된 것인, 인공광합성
반응용 복합 구조체.
- [청구항 22] 제 21 항에 있어서,
상기 제 2' 구조체는 상기 전도층에 형성된 절연층을 추가
포함하는 것인, 인공광합성 반응용 복합 구조체.
- [청구항 23] 제 18 항에 있어서,
상기 제 2' 구조체는 전자 전달을 위한 전도성 유기물, 전도성
무기물, 유기물 반도체, 무기물 반도체, 또는 이들의 조합을
포함하여 형성되는 것인, 인공광합성 반응용 복합 구조체.
- [청구항 24] 제 23 항에 있어서,
상기 제 2' 구조체는,
백금, 금, 팔라듐, 니켈, 은, 티타늄, 구리, 그래핀, CNT, 흑연, 또는
이들의 조합을 포함하는, 전도성 물질;
n-형 실리콘, p-형 실리콘, 화합물 반도체, 산화물 반도체 또는
이들의 조합을 포함하는 반도체;
전도성 유기 고분자, 전도성 무기 고분자, 또는 이들의 조합을
포함하는 전도성 고분자; 또는,
이들의 조합을 포함하는 것인,
인공광합성 반응용 복합 구조체.
- [청구항 25] 제 18 항에 있어서,
상기 제 1' 구조체 및 제 3' 구조체는 각각 나노입자 형태를 가지는
것인, 인공광합성 반응용 복합 구조체.
- [청구항 26] 제 18 항에 있어서,
상기 양성자 전달용 멤브레인은 양성자 전달용 고분자, 양성자
전달용 유리 또는 비결정질 물질, 또는 양성자 전달용 결정질
물질을 포함하는 것인, 인공광합성 반응용 복합 구조체.
- [청구항 27] 제 18 항에 있어서,

상기 양성자 전달용 멤브레인은 불소-함유 양성자 전달용 고분자, 상기 불소-함유 양성자 전달용 고분자/LDH 복합체, 또는 포스포실리케이트를 포함하는 것인, 인공광합성 반응용 복합 구조체.

[청구항 28] 제 27 항에 있어서,
상기 불소-함유 양성자 전달용 고분자는 나피온을 포함하는 것인, 인공광합성 반응용 복합 구조체.

[청구항 29] 제 18 항 내지 제 28 항 중 어느 한 항에 따른 복합 구조체를 포함하는, 인공 광합성용 통합 반응 장치.

[청구항 30] 제 29 항에 있어서,
상기 복합 구조체의 복수개가 어레이 형태로 배열되어 있는 것인, 인공 광합성용 통합 반응 장치.

[청구항 31] 제 29 항에 있어서,
적어도 하나 이상의 광투과성 투명부를 포함하며, 하나 이상의 물 광산화 반응부 및 하나 이상의 이산화탄소 환원 반응부가 각각 순차적으로 교대로 배치되어 있는 반응 챔버;
상기 교대로 배치된 물 광산화 반응부 및 이산화탄소 환원 반응부 사이에 배치되는 하나 이상의 상기 인공광합성 반응용 복합 구조체의 어레이(array);
상기 하나 이상의 물 광산화 반응부 각각의 일측에 형성된 물 공급부 및 타측에 형성되는 산소 배출부;
상기 하나 이상의 이산화탄소 환원 반응부 각각의 일측에 형성된 이산화탄소 공급부, 및 타측에 형성되는 생성물 배출부;를 포함하며,
여기서, 상기 어레이 각각에 포함된 상기 제 1' 구조체는 상기 물 광산화 반응부 측에 접하고 상기 제 3' 구조체는 상기 이산화탄소 환원 반응부 측에 접하도록 배치되는 것인,
인공 광합성용 통합 반응 장치.

[청구항 32] 제 31 항에 있어서,
상기 물 광산화 반응부 측에 빛을 조사하여 상기 제 1' 구조체에서 물 산화 반응에 의하여 생성된 전자 및 양성자가 각각 상기 제 2' 구조체 및 상기 양성자 전달용 멤브레인을 통하여 상기 이산화탄소 환원용 제 3' 구조체로 전달되고, 상기 제 3' 구조체에 공급되는 이산화탄소와 상기 전자 및 양성자가 반응하여 탄화수소를 포함하는 연료 물질을 생성하는 것인, 인공 광합성용 통합 반응 장치.

[청구항 33] 양성자 전달용 멤브레인;
빛 조사 하에서 물의 산화 반응용 제 1" 구조체;

전자 전달용 제 2" 구조체; 및,
 양성자 환원 반응용 제 3" 구조체
 를 포함하며,
 여기서,
 상기 제 2" 구조체는 그의 양 말단이 상기 양성자 전달용 멤브레인
 외부로 각각 노출되도록 상기 양성자 전달용 멤브레인 내에
 형성되며, 상기 제 1" 구조체 및 상기 제 3" 구조체는 상기 제 2"
 구조체의 양측의 각각에 형성되며,
 상기 제 1" 구조체에서 빛 조사 하에서 물 산화에 의하여 생성된
 전자 및 양성자는 각각 상기 제 2" 구조체 및 상기 양성자 전달용
 멤브레인을 통하여 상기 제 3" 구조체에 전달되어 상기 제 3"
 구조체에서 환원되어 수소를 생성하는 것인, 물 분해 반응용 복합
 구조체.

[청구항 34]

제 33 항에 있어서,
 상기 제 2" 구조체는 나노미터 크기 내지 마이크로미터 크기의
 막대 형태를 가지는 것인, 물 분해 반응용 복합 구조체.

[청구항 35]

제 33 항에 있어서,
 상기 제 2" 구조체는 도체, 부도체, 반도체 또는 이들의 조합을
 포함하여 형성된 것인, 물 분해 반응용 복합 구조체.

[청구항 36]

제 33 항에 있어서,
 상기 제 2" 구조체는 부도체를 포함하는 코어(core) 및 상기 코어
 표면에 형성된 전도층을 포함하여 형성된 것인, 물 분해 반응용
 복합 구조체.

[청구항 37]

제 36 항에 있어서,
 상기 제 2" 구조체는 상기 전도층에 형성된 절연층을 추가
 포함하는 것인, 물 분해 반응용 복합 구조체.

[청구항 38]

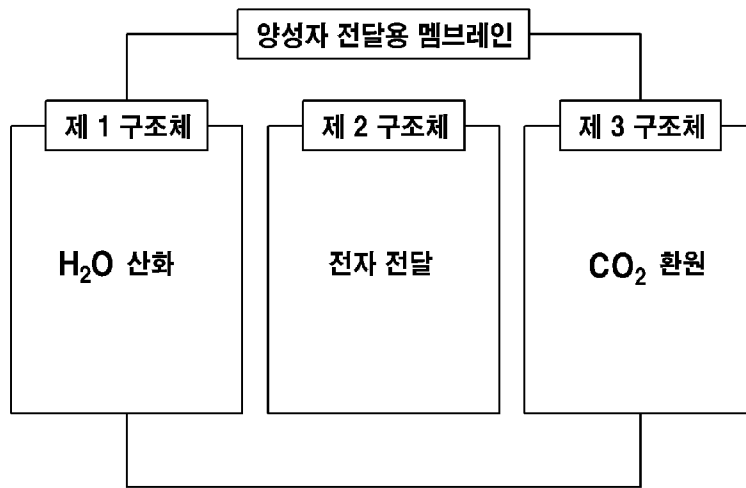
제 33 항에 있어서,
 상기 제 2" 구조체는 전자 전달을 위한 전도성 유기물, 전도성
 무기물, 유기물 반도체, 무기물 반도체, 또는 이들의 조합을
 포함하여 형성되는 것인, 물 분해 반응용 복합 구조체.

[청구항 39]

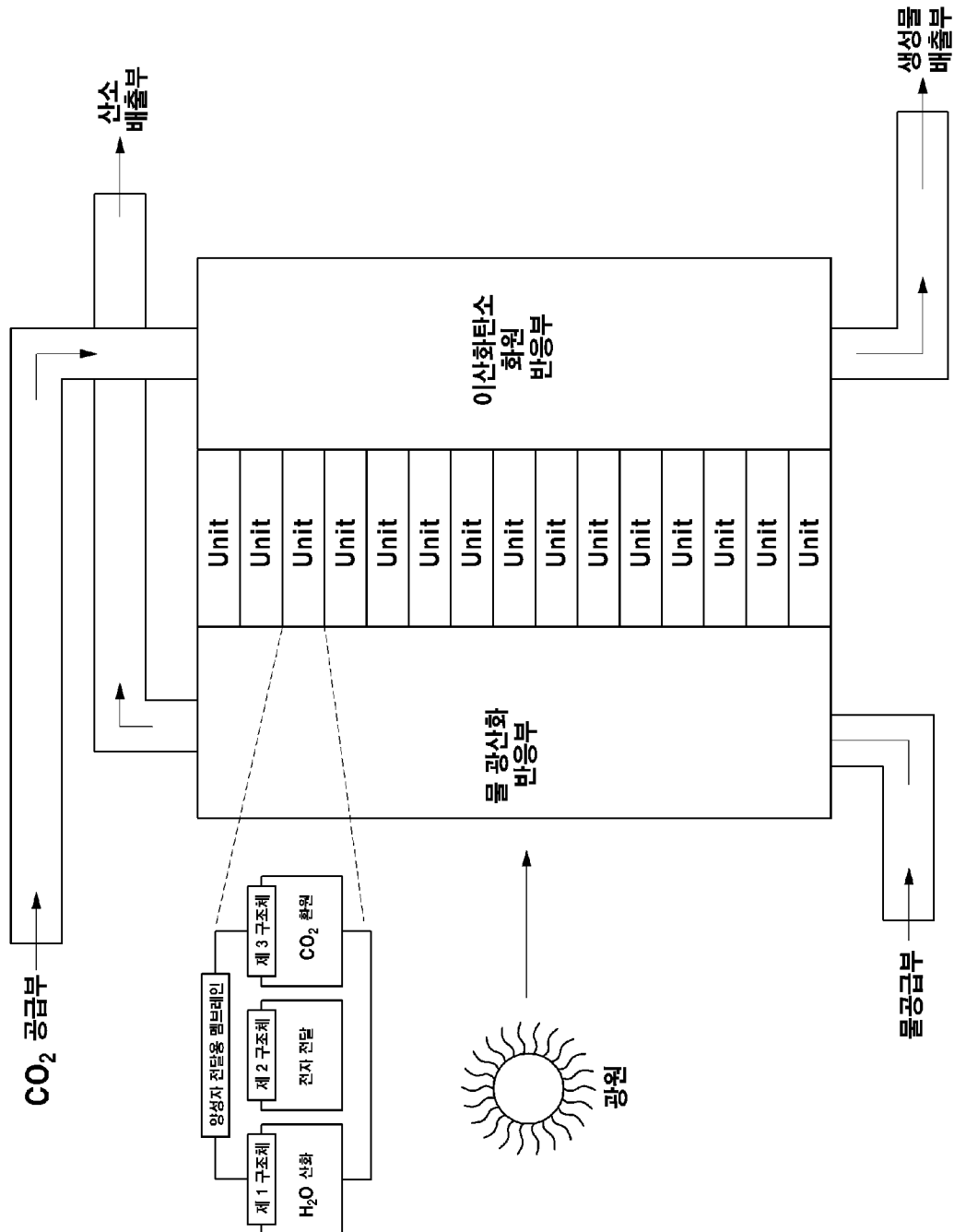
제 38 항에 있어서,
 상기 제 2" 구조체는,
 백금, 금, 팔라듐, 니켈, 은, 티타늄, 구리, 그래핀, CNT, 흑연, 또는
 이들의 조합을 포함하는, 전도성 물질;
 n-형 실리콘, p-형 실리콘, 화합물 반도체, 산화물 반도체 또는
 이들의 조합을 포함하는 반도체;
 전도성 유기 고분자, 전도성 무기 고분자, 또는 이들의 조합을
 포함하는 전도성 고분자; 또는,

- 이들의 조합을 포함하는 것인,
물 분해 반응용 복합 구조체.
- [청구항 40] 제 33 항에 있어서,
상기 제 1" 구조체 및 제 3" 구조체는 각각 나노입자 형태를 가지는
것인, 물 분해 반응용 복합 구조체.
- [청구항 41] 제 33 항에 있어서,
상기 양성자 전달용 멤브레인은 양성자 전달용 고분자, 양성자
전달용 유리 또는 비결정질 물질, 또는 양성자 전달용 결정질
물질을 포함하는 것인, 물 분해 반응용 복합 구조체.
- [청구항 42] 제 33 항에 있어서,
상기 양성자 전달용 멤브레인은 불소-함유 양성자 전달용 고분자,
상기 불소-함유 양성자 전달용 고분자/LDH 복합체, 또는
포스포실리케이트를 포함하는 것인, 물 분해 반응용 복합 구조체.
- [청구항 43] 제 33 항에 있어서,
상기 불소-함유 양성자 전달용 고분자는 나피온을 포함하는 것인,
물 분해 반응용 복합 구조체.
- [청구항 44] 제 33 항 내지 제 43 항 중 어느 한 항에 따른 복합 구조체를
포함하는, 물 분해용 통합 반응 장치.
- [청구항 45] 제 44 항에 있어서,
상기 복합 구조체의 복수개가 어레이 형태로 배열되어 있는 것인,
물 분해용 통합 반응 장치.
- [청구항 46] 제 44 항에 있어서,
적어도 하나 이상의 광투과성 투명부를 포함하며, 하나 이상의 물
광산화 반응부를 포함하며 상기 물 광산화 반응부 각각의 사이에
상기 물 분해 반응용 복합 구조체의 어레이(array)가 배치되어 있는
반응 챔버;
상기 물 광산화 반응부 각각의 일측에 형성된 물 공급부 및 타측에
형성된 수소 배출부를 포함하며,
상기 물 광산화 반응부의 일측에 빛을 조사하여 상기 제 1"
구조체에서 물 산화 반응에 의하여 생성된 전자 및 양성자가 각각
상기 제 2" 구조체 및 상기 양성자 전달용 멤브레인을 통하여 상기
제 3" 구조체로 전달되어 환원되어 수소를 생성하는 것인,
물 분해용 통합 반응 장치.

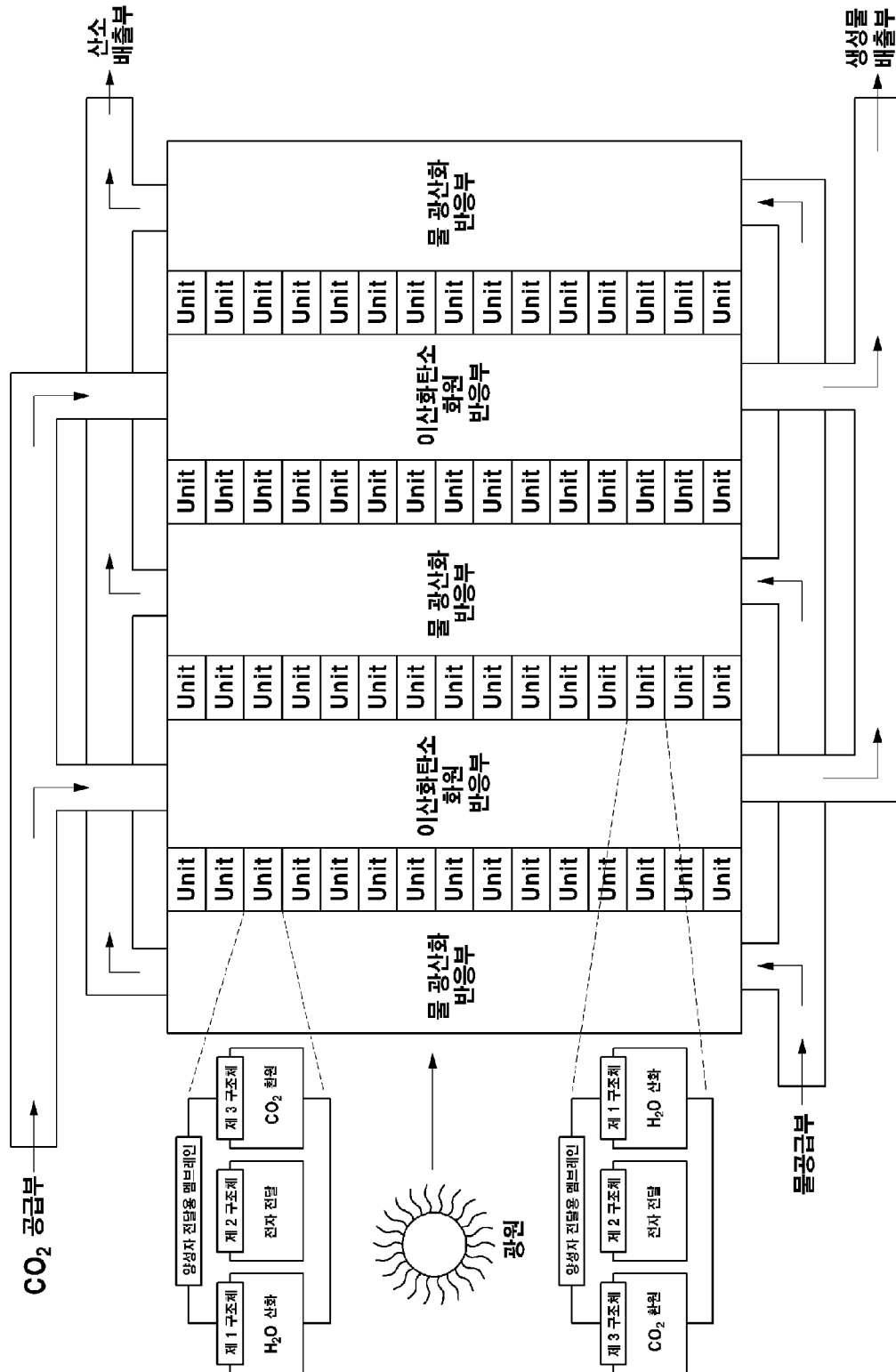
[Fig. 1]



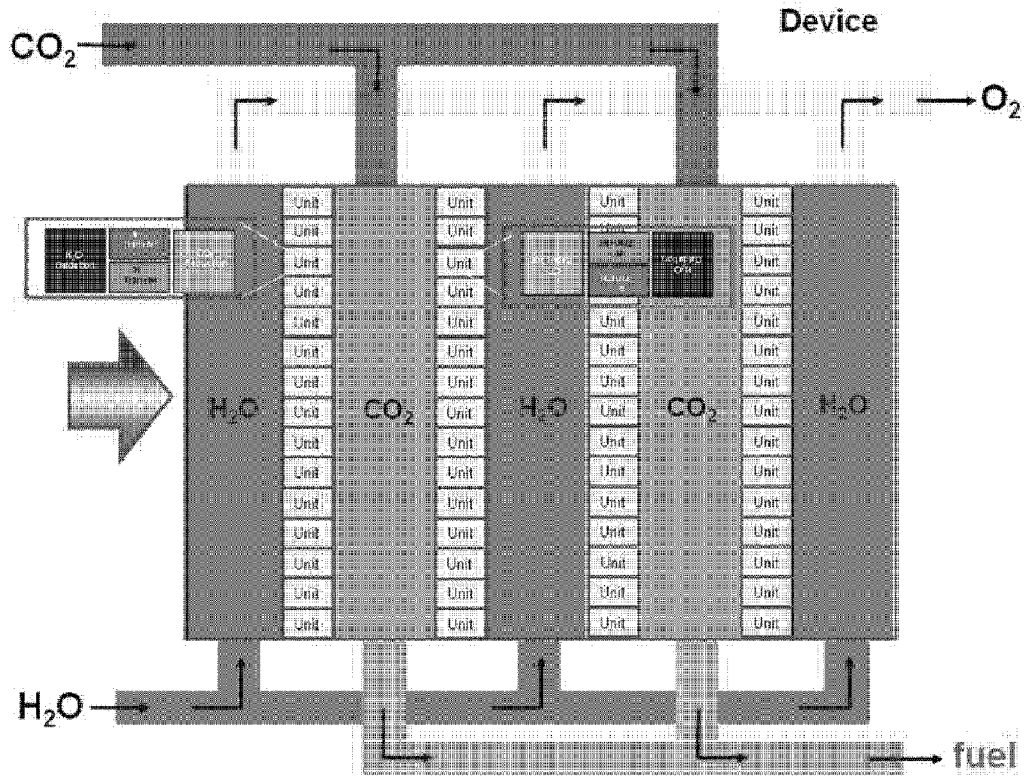
[Fig. 2a]



[Fig. 2b]

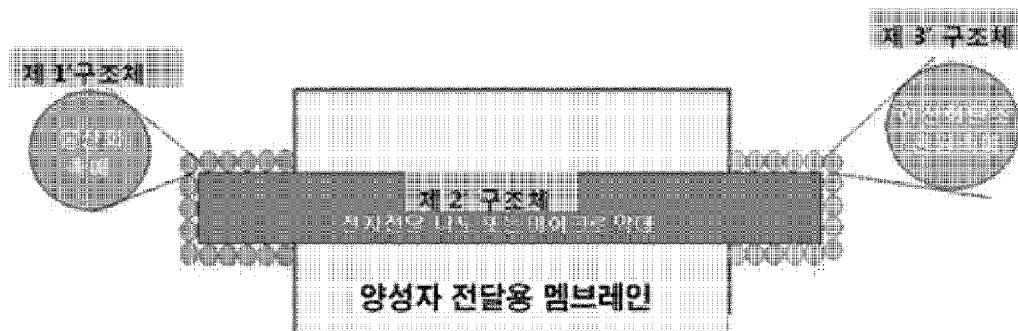


[Fig. 2c]



[Fig. 3]

< 인공광합성 반응용 복합 구조체 >

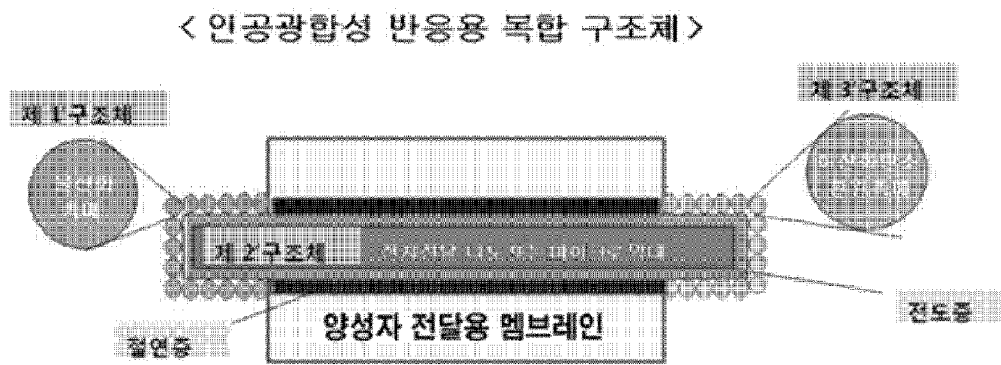


[Fig. 4]

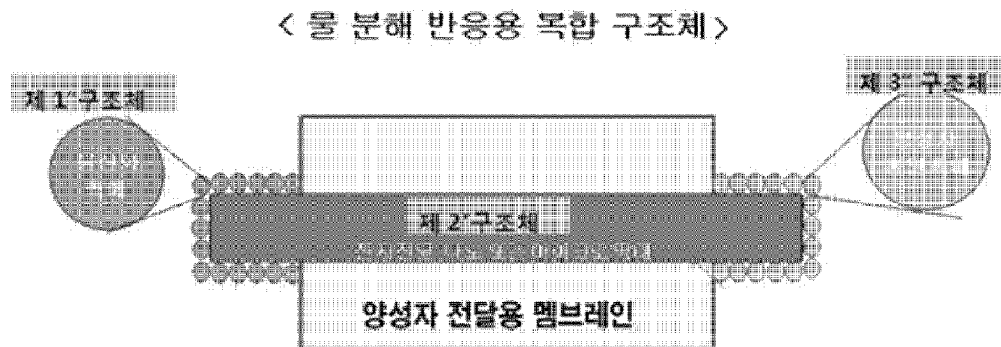
< 인공광합성 반응용 복합 구조체 >



[Fig. 5]



[Fig. 6]



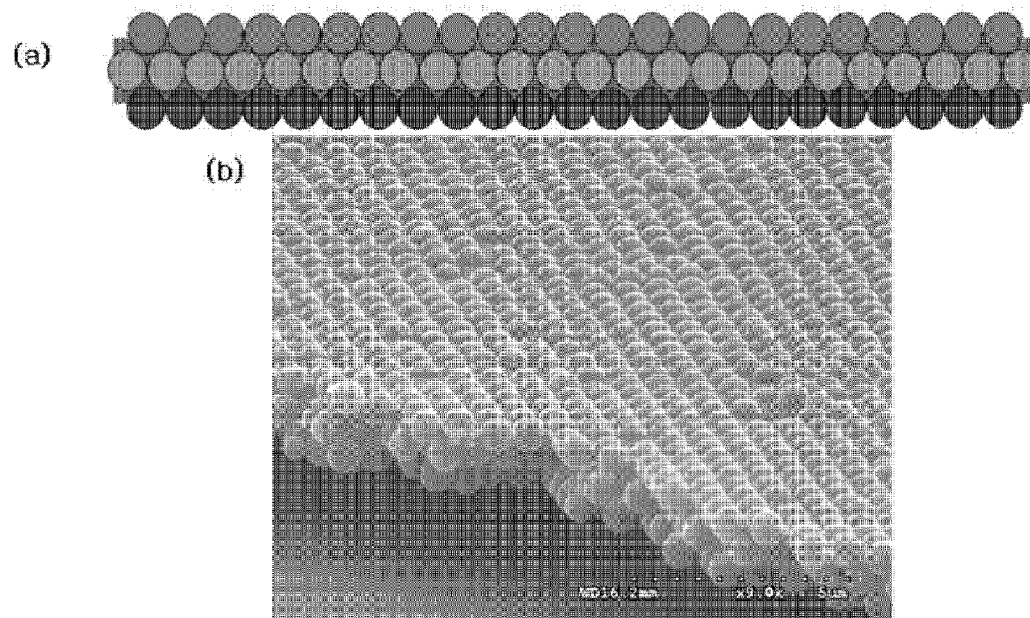
[Fig. 7]



[Fig. 8]



[Fig. 9]



[Fig. 10]

