



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2020-0007653
(43) 공개일자 2020년01월22일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H02N 11/00 (2006.01) C08J 7/04 (2020.01)
D21H 19/10 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H02N 11/002 (2013.01)
C08J 7/04 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2019-0076703
(22) 출원일자 2019년06월27일
심사청구일자 2019년06월27일
(30) 우선권주장
1020180081603 2018년07월13일 대한민국(KR)

(71) 출원인
충남대학교산학협력단
대전광역시 유성구 대학로 99 (궁동, 충남대학교)
(72) 발명자
최호석
대전광역시 유성구 배울1로 147, 203동 403호 (용산동, 대덕테크노밸리푸르지오하임2단지아파트)
(74) 대리인
김원준

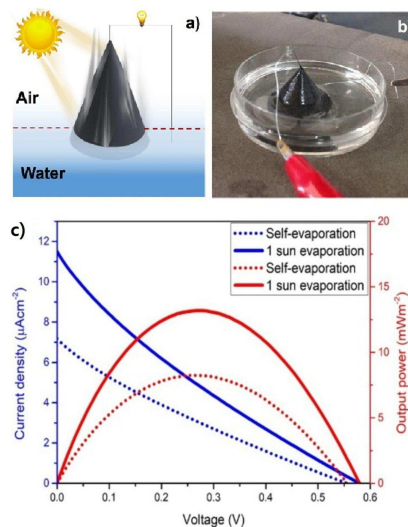
전체 청구항 수 : 총 9 항

(54) 발명의 명칭 수증기 및 전기 동시 생산용 장치

(57) 요약

본 발명은 별개의 장치를 병합하지 않더라도 수증기 및 전기의 동시 생산이 가능하며, 전기 생산 효율이 우수한 단순한 구조의 수증기 및 전기 동시 생산용 장치에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 금속 전극을 제1전극으로, 속이 빈 원뿔, 각뿔, 원뿔대 또는 각뿔대의 구조를 갖는 다공성의 친수성 고분자 기재 상에 증착된 탄소구조체층을 제2전극으로 하며, 상기 제1전극이 잠겨진 물에 상기 친수성 고분자 기재의 밑면이 접촉하여 부유된 상태로 사용되는 것을 특징으로 하는 수증기 및 전기 동시 생산용 장치에 관한 것이다.

대표도 - 도7



(52) CPC특허분류

D21H 19/10 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2017R1A4A1015360

부처명 과학기술정보통신부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 기초연구실지원사업(BRL)

연구과제명 고효율, 광대역 플라즈몬 흡수체 기반 태양-수증기 생성 기초연구실

기 여 율 1/1

주관기관 충남대학교 산학협력단

연구기간 2017.06.01 ~ 2020.02.29

명세서

청구범위

청구항 1

금속 전극을 제1전극으로,

속이 빈 원뿔, 각뿔, 원뿔대 또는 각뿔대의 구조를 갖는 다공성의 친수성 고분자 기재 상에 증착된 탄소구조체를 제2전극으로 하며,

상기 제1전극이 잠겨진 물에 상기 친수성 고분자 기재의 밑면이 접촉하여 부유된 상태로 사용되는 것을 특징으로 하는 수증기와 전기 동시 생산용 장치.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 제1전극은 Fe, Zn, Al, Ni, Mg으로 이루어진 군으로부터 선택된 하나의 금속 또는 둘 이상의 금속의 합금인 것을 특징으로 하는 수증기와 전기 동시 생산용 장치.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 친수성 고분자는 종이, 면, 셀룰로오스계 수지, 폴리아크릴로니트릴, 폴리비닐알콜, 폴리아미드, 폴리에테르설폰, 폴리에틸렌글리콜 및 친수성 폴리우레탄으로 이루어진 군으로부터 선택된 하나 이상으로 이루어진 것을 특징으로 하는 수증기와 전기 동시 생산용 장치.

청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 탄소구조체는 카본블랙, 폴러렌, 카본나노튜브, 그래핀, 카본닷, 탄소섬유 및 전도성 카본으로 이루어진 군으로부터 선택된 하나 이상인 것을 특징으로 하는 수증기와 전기 동시 생산용 장치.

청구항 5

제 1 항 내지 제 4 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 카본나노튜브층은 10~100 μm 두께인 것을 특징으로 하는 수증기와 전기 동시 생산용 장치.

청구항 6

제 1 항 내지 제 4 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 원뿔, 각뿔, 원뿔대 또는 각뿔대의 꼭지각은 10~170° 인 것을 특징으로 하는 수증기와 전기 동시 생산용 장치.

청구항 7

제 1 항 내지 제 4 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 수증기와 전기 동시 생산용 장치는 광조사 여부와 무관하게 전기를 생산하는 것을 특징으로 하는 수증기와 전기 동시 생산용 장치.

청구항 8

제 1 항 내지 제 4 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 물에는 전해질이 용해되어 있는 것을 특징으로 하는 수증기와 전기 동시 생산용 장치.

청구항 9

제 1 항 내지 제 4 항 중 어느 한 항에 의한 수증기와 전기 동시 생산용 장치를 직렬 또는 병렬로 연결한 것을 특징으로 하는 수증기와 전기 동시 생산용 장치.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 별개의 장치를 병합하지 않더라도 수증기 및 전기의 동시 생산이 가능하며, 전기 생산 효율이 우수한 단순한 구조의 수증기 및 전기 동시 생산용 장치에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 전통적인 화석 에너지가 고갈되고 환경문제에 대한 관심이 고조되면서, 자연상태에서 변형 또는 소멸되는 에너지를 획득하여 가용의 에너지로 변환시키는 무공해 재생에너지가 에너지 위기에 대한 효율적인 해결책으로 제시되고 있다. 재생에너지원으로는 바람, 태양, 지열 및 물을 예로 들 수 있다. 태양에너지는 이 중에서도 보편적이고, 깨끗하며, 친환경적이고, 지속가능한 특성으로 인하여 가장 많은 관심을 받고 있으며, 수소의 생산이나, 발전, 광촉매, 정수, 담수화 등에 폭넓게 사용되어 왔다. 연간 지구 표면에 도달하는 태양에너지는 약 285만 EJ로 그 양에 있어서도 세계 연간 에너지 소비량의 약 10,000배에 달하는 광대한 에너지원이다. 그럼에도 불구하고 아직까지 태양에너지의 사용량은 매우 제한적이다. 물은 우리 체내 뿐 아니라 강, 호수, 바다 등에 광범위하고 풍부하게 존재하는 유망하고 매력적인 에너지원이다. 종래 흐르는 물로부터 막대한 에너지를 수확하기 위해서는 댐이나 수차와 같은 크고 복잡한 장치들이 통상적으로 사용되었다. 그러나 이들은 개인적인 사용이나 소형화 또는 이식 가능성을 요하는 생물 의학 장치들에는 적용이 불가능하다. 따라서 소형화된 고효율의 발전기를 개발하는 것은 현재 물을 이용한 재생에너지 분야에서 여전히 도전 과제로 남아있다.

[0003] 2001년 Kral과 Shapiro(Phys. Rev. Lett. 2001, 86, 131-134)는 이론적 계산을 통하여 흐르는 액체에 담긴 금속 카본 나노튜브(CNT)에서 전류가 생성될 수 있음을 제안하였다. 이후 2003년 Sood 등(Science 2003, 299, 1042-1044)이 단일벽 CNT 번들 상의 액체의 흐름 방향을 따라 시료에서 전압이 유도되는 것을 발견하였으며, Guo 등(Nat. Nanotechnol. 2014, 9, 378-383)은 대기 조건에서 단층의 그래핀 조각 위에 움직이는 바닷물 또는 이온용액의 액적의 이동에 의해 수 mV의 전압이 생성되는 것을 보고하였다. 이를 기반으로 거시적으로 배열된 CNT 사(絲), 꼬임 및 인장 고분자 근육, 배열된 다중벽 CNT 시트, 초친수성 3차원 그래핀 산화물(GO) 골조, GO-금속 나노하이드리드 물질 등에 기반한 나노발전기(nanogenerator)들이 개발되었다. 그러나, 상기 나노발전기들이 전기를 생성하기 위해서는 물이 흐를 수 있도록 별도의 에너지 및/또는 복잡한 장비를 필요로 할 뿐만 아니라 전기 전도도가 작은 탄소물질을 사용해야 하는 문제로 인하여 발생하는 낮은 전류 밀도를 더 증가시킬 수 없는 근본적인 문제를 갖고 있다. 따라서, 이들 나노발전기들은 매우 적은 전력을 생산하는데 적합하다.

[0004] 한편 물의 증발은 대기 환경으로부터 열 에너지를 수확하는 아주 흔하고 자연적인 현상이다. 에너지 하베스팅 장치에서도 물의 증발에 의한 수증기 생산이 이용되어져 왔다. 전통적으로는 화석연료를 사용하여 수증기 엔진에서 대량의 물을 가열하여 수증기를 생산하였으나, 최근에는 태양광을 열로 변환하는 효율이 높은 흡수체를 이용하여 태양광으로부터 수증기를 생산하는 태양광 유도 수증기 생산 시스템이 주목을 받고 있다.

[0005] 그러나 이러한 태양광 유도 수증기 생산 시스템을 사용한다고 하더라도 물의 증발로부터 전기를 얻기 위해서는,

태양광으로부터 수증기를 생성하는 장치가 전기 생산을 위한 별도의 장치와 통합되어야 하며, 얻어지는 전기의 양 역시 제한적이다. 예를 들면, Ho 등(Adv. Energy Mater. 2018, 1702149)은 탄소 스폰지 태양광-증발로부터 열기계 반응을 수확하기 위하여 강유전성 불화고분자인 polyvinylidene fluoride(PVDF)를 사용하였다. Ma 등(Nano Energy 2016, 22, 19-26)은 다른 에너지 장치 없이 수증기에 의한 자급의 고분자 초전(pyroelectric) 나노발전기를 보고하였다. Zhou 등(Adv. Energy Mater. 2018, 1702149)은 CNT에 의해 수식된 여과지와 상용 Nafion 막에 기반한 하이브리드 시스템을 채용하는 것에 의해 1 sun의 조사 시에 최대 광열 효율 75%를 달성하였으며, 1 W/m^2 의 전력을 유도하였다. 그럼에도 불구하고 이들은 두 개의 장비를 결합하여야 하므로 시스템이 복잡하다는 문제가 있다. 이에 더하여 상기 시스템들은 빛에 의해서만 수증기의 생성이 가능하기 때문에 암조건에서는 전기를 생산할 수 없거나, 생산된다고 하더라도 전기 생산량이 상대적으로 낮다.

[0006] 한편 철, 아연, 알루미늄과 같은 금속을 음극으로 사용하고, 공기극을 양극으로, 공기 중의 산소를 양극 활성물질로 사용하는 금속 공기전지가 고에너지 밀도 전지로 주목받고 있다. 금속 공기전지는 음극으로 값싼 금속을 사용하고, 전지 내부에 금속산화물 대신 탄소와 산소를 이용하여 기존 2차전지보다 에너지 밀도가 훨씬 높으며, 무게가 가벼워 실용성이 높다. 금속 공기전지 중 리튬 공기전지의 용량은 리튬 이온전지의 5~10배에 달하는 것으로 알려져 있다. 하지만 열로 인해 충전된 전기 중 1/3이 손실되고, 전극 온도 상승에 따른 위험요소가 있으며, 전력의 저장 기간이 길지 않다는 문제가 있다.

선행기술문헌

비특허문헌

- [0007] (비특허문헌 0001) Phys. Rev. Lett. 2001, 86, 131-134
(비특허문헌 0002) Science 2003, 299, 1042-1044
(비특허문헌 0003) Nat. Nanotechnol. 2014, 9, 378-383
(비특허문헌 0004) Adv. Energy Mater. 2018, 1702149
(비특허문헌 0005) Nano Energy 2016, 22, 19-26
(비특허문헌 0006) Adv. Energy Mater. 2018, 1702149

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0008] 본 발명은 두 개의 장치를 병합하지 않더라도, 간단한 구조의 하나의 장치에서 수증기와 전기를 동시에 효율적으로 생산할 수 있는 장치를 제공하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

- [0009] 전술한 목적을 달성하기 위한 본 발명은 금속 전극을 제1전극으로, 속이 빈 원뿔, 각뿔, 원뿔대 또는 각뿔대의 구조를 갖는 다공성의 친수성 고분자 기재 상에 증착된 탄소구조체층을 제2전극으로 하며, 상기 제1전극이 잠겨진 물에 상기 친수성 고분자 기재의 밑면이 접촉하여 부유된 상태로 사용되는 것을 특징으로 하는 수증기와 전기 동시 생산용 장치에 관한 것이다.
- [0010] 본 명세서에서 원뿔, 각뿔의 "상부"는 겉 표면에 있는 탄소구조체층 쪽을, "하부"는 그 친수성 고분자 기재 쪽을 의미한다.
- [0011] 또한 본 명세서에서 원뿔의 "꼭지각(apex angle)"이란 원뿔의 꼭지점에서 원뿔의 꼭지점을 이루는 두 선 사이의 각도를, 원뿔대의 "꼭지각"은 원뿔대의 가상의 꼭지점을 이루는 두 선 사이의 각도를 의미한다. 각뿔의 "꼭지각"은 각 빗면에서 꼭지점과 이웃한 두 변사이의 각도의 평균값을, 각뿔대의 "꼭지각"은 각 빗면에서 가상의 꼭지점을 이루는 두 변사이의 각도의 평균값으로 정의한다.
- [0012] 본 명세서에서 상기 고분자 기재의 "밑면"은 원뿔(대) 또는 각뿔(대)의 (가상의) 꼭지점과 반대부분을 일컫는다.

- [0013] 본 발명의 장치는 물에 부유한 상태로 사용되는 것으로서 소재와 구조로 인하여 별개의 장치를 병합하지 않고 하나의 장치에서 수증기와 전기를 동시에 생산할 수 있는 것에 특징이 있다. 본 발명의 장치는 종래의 태양광 유도 생산 시스템과, 탄소구조물 상의 액적의 이동에 의해 전기가 발생하는 나노발전기 및 금속 공기전지의 복합적인 작용에 의한 것이다. 본 발명의 장치는 빛이 조사되지 않는 상태에서는 금속 공기전지에 의해 주로 전류가 발생하며, 광조사하에서는 흡수체에 의한 광조사에 의해 수증기 발생이 증가하고 이로 인한 나노발전기의 전류 발생 비율이 증가한다.
- [0014] 본 발명의 장치에서 상기 제1전극은 나노발전기의 제1전극이자 금속 공기전지의 양극으로 작용한다. 상기 제1전극은 Fe, Zn, Al, Ni, Mg으로 이루어진 군으로부터 선택된 하나의 금속 또는 둘 이상의 금속의 합금일 수 있다.
- [0015] 본 발명의 장치에서 상기 제2전극은 다공성의 친수성 고분자 기재 상에 형성되어 있는 탄소구조체층인 것을 특징으로 하며, 상기 태양광의 흡수체, 액적의 흐름에 의해 탄소구조체의 표면에서 전류를 발생시키는 나노발전기의 제2전극 및 금속 공기전지의 양극으로 작용한다. 본 발명의 장치에서 다공성의 친수성 고분자 기재는 탄소구조체의 지지체로 작용할 뿐 아니라 모세관 현상에 의해 지속적으로 수분을 제공하는 역할을 한다. 하기 실시예에서는 친수성 고분자 소재로서 종이만을 예시하였으나, 다공성 구조를 통하여 물의 이동이 가능한 것이라면 어떤 것이라도 무관하다. 즉, 상기 친수성 고분자는 천연 고분자 또는 합성 고분자일 수 있으며, 종이나 면, 셀룰로오스계 수지, 폴리아크릴로니트릴, 폴리비닐알콜, 폴리아미드, 폴리에테르설폰, 폴리에틸렌글리콜 및 친수성 폴리우레탄으로 이루어진 군으로부터 선택된 하나 이상으로 이루어질 수 있으나, 이에 한정되지 않는다. 전도성을 더욱 증가시키기 위해서 상기 고분자는 이온성 액체 고분자를 포함한 고분자 전해질과 가교된 형태일 수 있다.
- [0016] 상기 다공성의 친수성 고분자 기재의 두께는 1 μm ~ 5 mm 인 것이 바람직하다. 기재의 두께가 너무 얇으면 지지체로서의 안정성이 부족하고 수분 공급량이 제한될 수 있으며, 기재의 두께가 너무 두꺼우면 열손실이 일어날 수 있다. 최적의 두께는 재질에 따라 공극율이나 공극의 크기, 공극간 간격을 고려하여 설정될 수 있을 것이며, 이는 당업자에게는 용이할 것이다. 공극의 크기나, 공극간 간격, 공극율 역시 재질 및 세부 구조에 따라 용이하게 최적의 조건을 설정할 수 있을 것이다.
- [0017] 본 발명의 장치는 금속을 제1전극, 탄소구조체층을 제2전극으로 금속 공기전지로 작동하여 제1전극에서 금속을 산화시키고, 제2전극에서 공기 중의 산소를 환원시키는 것에 의해 전기를 발생시킨다. 이에 더하여, 금속 공기전지의 작동에 의해 발생하는 열은 탄소구조체층에서 물을 증발시켜 수증기를 생산시키며, 이로 인해 탄소구조체층 표면 온도가 과열되지 않도록 제어하는 역할을 한다. 또한 상기 친수성 고분자 기재 상에 형성된 탄소구조체는 광범위한 파장의 빛에 대해 높은 흡광율을 나타내며 광열변환 효율이 높으므로, 조사된 빛에 의해 공급된 물이 효율적으로 증발되어 수증기를 생산할 수 있도록 한다. 탄소구조체의 표면에서의 물의 흐름은 종래기술에서 알려진 바와 같이 전기를 발생시키므로, 본 발명의 장치에서 역시 수증기의 증발에 의해 야기된 탄소구조체 표면에서의 물의 흐름이 추가적으로 전기를 발생시키게 된다. 이와 같은 상호작용에 의해 물의 흐름을 위한 장치와 전기 발생을 위한 별도의 장치를 병합하지 않고도 하나의 장치에서 수증기와 전기를 동시에 생산할 수 있게 된다.
- [0018] 상기 탄소구조체로는 광조사 시 광열 변환 효율을 증가시키고, 물의 흐름에 의해 전해질을 유입시켜 전기를 유도할 수 있으며, 산소를 활성물질로 하여 환원반응을 유도할 수 있는 카본블랙, 풀러렌, 카본나노튜브, 그래핀, 카본닷, 탄소섬유 및 전도성 카본으로 이루어진 군으로부터 선택된 하나 이상을 사용할 수 있다. 하기 실시예에서는 카본나노튜브만을 예시하였으나, 다른 탄소구조체 역시 물의 흐름에 의해 전해질을 유입시켜 전기를 유도할 수 있고, 금속 공기전지의 양극으로 작용할 수 있으므로 본 발명의 수증기 및 전기 동시 생산용 장치에 적용이 가능함은 당연하다.
- [0019] 상기 탄소구조체층의 두께는 10~100 μm 인 것이 바람직하였는데, 탄소구조체층의 두께가 증가할수록 광열변환 효율이 증가하여 수증기 생성 속도가 증가하고, 수증기 생성 속도가 증가할수록 전해질의 공급이 촉진된다. 따라서 탄소구조체층의 두께가 너무 얇으면 수증기와 전기 생산 효율이 감소하므로 10 μm 이상인 것이 바람직하다. 반면 탄소구조체층의 두께가 증가할수록 다공성이 감소하며, 두께가 100 μm 이상인 경우에는 균일한 탄소구조체층의 형성이 어려웠다. 그러나 100 μm 보다 두껍더라도 다공성을 갖는 균일한 층의 형성이 가능하다면, 제외되는 것은 아니다.
- [0020] 기재 상에 탄소구조체층을 형성하는 것은 예를 들면, 탄소구조체의 분산액을 드랍코팅하거나, 스크린 인쇄하거나, 닥터 블레이드(doctor blade)로 코팅하거나, 스프레이로 뿌려주거나, 실시예와 같이 진공증착하거나, 분산

액에 침지 코팅하는 등의 여러 가지 방법을 사용할 수 있으며, 기재에 탄소구조체층을 균일하게 형성할 수 있다면 어떠한 방법을 사용하여도 무방하다.

[0021] 하기 실시예에서 사용한 진공증착법은 기재의 일측에만 탄소구조체층이 형성되지만, 예를 들면 침지 코팅에 의하거나, 양면에 진공증착하는 것에 의해 탄소구조체층을 기재의 양면에 형성할 수도 있다.

[0022] 본 발명의 장치는 구조적으로는 원뿔, 각뿔, 원뿔대 또는 각뿔대의 형태를 갖는다. 원뿔은 직원뿔일 수도 있으며, 빗원뿔 역시 포함한다. 각뿔 역시 직각뿔과 빗각뿔을 포함한다. 하기에서는 설명의 편의를 위하여 원뿔 구조로 예시하여 본 발명의 장치를 설명한다.

[0023] 입체적인 원뿔구조로 인하여 본 발명의 장치는 편평한 형태의 단순 흡수체에 비해 표면적이 넓고, 방향과 무관하게 많은 양의 빛을 흡수할 수 있기 때문에 수증기 생산 효율이 높다.

[0024] 이에 더하여, 본 발명의 장치는 광조사 시 꼭대기의 온도가 바닥(원뿔의 수평 단면인 원의 반지름이 넓은 쪽)에 비해 높기 때문에, 바닥보다 꼭지점 부근에서 물의 증발 속도가 높아 모세관력에 더하여 원뿔의 바닥으로부터 꼭지점으로의 물의 흐름을 야기하여 두 전극 사이의 공극내로 전해질의 유입을 촉진함으로써 더 많은 전기가 발생하도록 해준다. 본 발명의 장치에서 물의 이동이 많을수록 전기 생산이 효율적이므로, 제2전극을 전선과 연결할 때에는 원뿔이나 각뿔의 경우 꼭지점 쪽, 원뿔대나 각뿔대의 경우 단면적이 작은 쪽과 가까운 곳에 연결하는 것이 더욱 바람직하다.

[0025] 원뿔의 꼭지각도 수증기 및 전기 생산 효율에 영향을 미친다. 꼭지각이 너무 크거나 작은 경우에는 원뿔 구조로 인한 효과가 감소하여 수증기 및 전기 생산의 효율성이 저하된다. 따라서 원뿔의 꼭지각은 10~170° 인 것이 바람직하다.

[0026] 원뿔은 하부 공간에 채워진 공기로 인하여 안정적으로 물에 부유할 수 있는 추가적인 장점을 갖는다. 원뿔대는 원뿔의 꼭지점 부분이 잘린 것으로 원뿔에 비해 수증기의 증발 면적이 감소하는 반면, 기재의 양면에서 수증기의 증발이 일어날 수 있어 역시 수증기와 전기가 효과적으로 동시에 생산될 수 있다. 밑면이 원이 아니라 다각형인 직뿔이나, 직뿔대 역시 동일한 원리에 의해 수증기와 전기를 동시에 생산할 수 있다.

[0027] 본 발명의 장치는 금속 공기전지로 작동하여 전기가 발생하는 것과 동시에, 물에 부유하여 흡수되는 물의 증발에 의해 기재와 탄소구조체층과 친수성고분자층의 다공구조를 통해 이동한 물이 전해질로 작용하여 탄소구조체 전극과 금속전 간의 전위차이로 인해 전기가 발생하는 것으로, 전술한 원뿔 구조의 특성으로 인하여 압조건에서도 수증기와 전기의 생산이 가능하기 때문에 광조사 여부와 무관하게 전기를 생산하는 것이 가능하다. 압조건에 비해 광조사 조건에서 수증기의 증발이 더 활발하게 이루어지고 그에 따른 탄소구조체 표면에서 물의 이동이 증가할 것이므로, 본 발명의 장치에서는 압조건에 비해 광조사 조건에서 전기 생산에 대한 나노발전기의 기여가 증가할 것으로 사료된다.

[0028] 이때, 본 발명의 장치는 부유되는 상기 물에 전해질이 용해되어 있는 경우, 전기 생산 능력이 더욱 우수하다. 상기 전해질의 종류 역시 본 발명에 의한 장치의 전기 출력에 영향을 미치는데, 음이온의 크기가 증가할수록 출력이 우수하였다. 양이온은 광조사 시에는 $K^+ > Ca^{2+} > Na^+$ 순서로, 압조건에서는 $Ca^{2+} > K^+ > Na^+$ 순서로 출력이 높았다. 전해질의 종류에 따라 최적의 농도를 설정하는 것은 용이할 것이다. 하기 일실시예에 의한 금속-공기 전지에서 0.6M NaBr을 전해질로 사용한 경우 1 sun 광도에서의 출력은 505.69 mW/m²으로 종래기술의 어떠한 하이브리드 시스템에 비해서도 높은 출력을 나타내었다.

[0029] 본 발명의 장치의 출력이나 전압을 더욱 향상시키기 위해서는 통상의 배터리와 마찬가지로 직렬연결이나 병렬연결에 의해 복수의 장치를 전기적으로 연결하여 사용할 수 있음은 당연하다. 직렬연결에 의해 4개의 장치를 연결한 실시예에서 55,000초(~15.3시간) 동안 개로전압을 관측한 결과, 안정적인 전압의 공급이 가능함을 확인할 수 있었다.

발명의 효과

[0030] 이상과 같이 본 발명의 수증기와 전기 동시 생산용 장치에 의하면, 금속 공기전지로 작동됨과 동시에, 셀룰로오스와 카본나노튜브의 친수성 다공구조가 물의 흐름을 위한 이상적인 채널을 제공하며, 원뿔구조의 하부보다 상부에서 수증기 생성 속도가 빠르기 때문에 원뿔구조의 하부에서 상부로의 물의 흐름이 유도되므로, 물의 흐름을 유도하기 위하여 별도의 에너지를 소모할 필요가 없이 나노발전기로도 작동하므로 별도의 장치와 병합하지 않고도 수증기와 전기를 동시에 우수한 효율로 생산할 수 있다.

[0031] 또한 본 발명의 수증기와 전기 동시 생산용 장치는 종래 금속 이온전지에서 열로 손실되는 에너지가 수증기 생산에 기여하여 압조건에서도 수증기와 전기를 생산할 수 있어 밤과 낮의 구분없이 동작이 가능하며, 수증기 생산으로 인해 전극 표면의 온도를 일정 온도로 유지할 수 있어 더욱 안전하게 사용될 수 있다.

[0032] 또한 본 발명의 수증기와 전기 동시 생산용 장치는 복잡한 장치 없이 간단한 구조를 갖기 때문에 경제적으로 대량생산이 가능하고, 크기 조절이 자유로우며, 광범위한 빛에 대해 안정하고, 독성 물질을 사용하지 않으며, 생분해성이 우수하여 친환경적인 대체 에너지 생산 수단으로 사용될 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0033] 도 1은 본 발명의 일실시예에 의해 제조된 탄소나노튜브가 증착된 셀룰로오스 구조체 및 원뿔구조 수증기와 전기 동시 생산용 장치의 사진.

도 2는 본 발명의 일실시예에 의한 탄소나노튜브가 증착된 셀룰로오스 구조체의 물리·화학적 특성을 보여주는 SEM, TEM 이미지 및 XPS, 라만 및 UV 스펙트럼.

도 3은 본 발명의 일실시예에 의한 수증기와 전기 동시 생산용 장치의 수증기 생산 효율 평가를 위한 실험의 사진 및 적외선 사진.

도 4는 본 발명의 일 실시예에서 탄소나노튜브 층의 두께에 따라 제조된 셀룰로오스 구조체의 사진.

도 5는 탄소나노튜브 층의 두께에 따른 수증기와 전기 동시 생산용 장치의 수증기 생산 효율을 보여주는 사진 및 그래프.

도 6은 수증기와 전기 동시 생산용 장치의 원뿔구조의 꼭지각에 따른 수증기 생산 효율을 보여주는 그래프.

도 7은 본 발명의 일실시예에 의한 수증기와 전기 동시 생산용 장치의 전기 생산 효율 평가를 위한 실험 사진 및 결과 그래프.

도 8은 본 발명의 수증기와 전기 동시 생산용 장치의 삼차원 구조적 효능을 보여주는 사진 및 그래프.

도 9는 각종 전해질 용액에서의 수증기와 전기 동시 생산용 장치의 전기 생산 효율을 보여주는 그래프.

도 10은 직렬연결 및 병렬연결된 수증기와 전기 동시 생산용 장치의 전기 생산 효율을 보여주는 그래프 및 실험 사진.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0034] 이하 첨부된 실시예를 들어 본 발명을 보다 상세히 설명한다. 그러나 이러한 실시예는 본 발명의 기술적 사상의 내용과 범위를 쉽게 설명하기 위한 예시일 뿐, 이에 의해 본 발명의 기술적 범위가 한정되거나 변경되는 것은 아니다. 이러한 예시에 기초하여 본 발명의 기술적 사상의 범위 안에서 다양한 변형과 변경이 가능함은 당업자에게는 당연할 것이다.

[0035] [실시예]

[0036] 실시예 1 : 수증기와 전기 동시 생산용 원뿔구조 장치의 제조

[0037] 다중벽 탄소나노튜브(MWCNTs, 한화나노테크)를 300℃ 공기 중에서 60분간 열처리하였다. 이후 37% 염산과 혼합하여 1시간 동안 초음파 처리한 후, 여액의 pH가 중성이 될 때까지 여과하고 증류수로 세척하는 공정을 5회 반복하였다. 이후 70℃ 오븐에서 24시간 건조하여 정제하였다.

[0038] 정제된 MWCNT 20 mg을 200 ml DI수에 현탁한 용액을 사용하여 진공 보조 증착에 의해 셀룰로오스 여과지에 MWCNT를 코팅하고, 70℃에서 24시간 건조하였다.

[0039] 상기 MWCNT가 코팅된 셀룰로오스를 사용하여 2/3 원으로부터 원뿔의 꼭지각이 60°, 바닥 직경이 18 mm가 되도록 원뿔구조를 만들고 경계면은 에폭시 레진을 사용하여 접착시켰다. 원뿔의 꼭지점에 철선을 통해 전극을 연결하고 물에 부유시켰으며, 제1전극으로 사용할 철선은 물에 담겼을 때 제2전극인 탄소구조체층과 접촉하는 것을 방지하기 위하여 움직임을 제한하도록 셀룰로오스 여과지에 고정시켰다. 이에 의해, 제1전극은 물과 접촉하지만, 탄소구조체층과는 절연된 상태이다.

[0040] 도 1의 a)와 b)는 각각 MWCNT가 코팅된 셀룰로오스 및 이를 이용한 원뿔구조 수증기와 전기 동시 생산용 장치의

사진이다.

[0041] 실시예 2 : 탄소나노튜브가 코팅된 셀룰로오스 구조체의 구조적 특성 분석

[0042] 셀룰로오스 여과지에 흡착된 탄소나노튜브의 모폴로지와 두께를 고해상도 주사전자현미경(HRSEM; Hitachi S-4800, Hitachi) 및 투과전자현미경(TEM; JEM-2100F HR, JEOL)으로 측정하였으며, 표면 화학 상태와 전자 구조는 monochromatic Al K α (1486.65 eV) X-ray radiation이 장착된 Multilab 2000 spectrometer로 10⁻¹⁰ Torr하에서 관측하였다. 결합 에너지 스케일은 83.98 eV에서의 Au 4f_{7/2} core level의 결합 에너지 위치로 보정하였다. 라만 스펙트라는 532 nm DPSS laser로 기록하였다.

[0043] 도 2는 그 결과를 보여주는 도면으로 a)의 SEM 이미지는 셀룰로오스 섬유 필름 상에 72 μ m 두께의 MWCNT 필름이 얻어짐을 보여준다. b)는 MWCNT의 표면 이미지를 보여주는 것으로 MWCNT 셀룰로오스 종이 모두에 의해 다공성 구조가 형성되어 물의 공급을 위한 이상적인 채널로 작용할 수 있음을 시사한다. c)의 X-선 광전자(XPS) 스펙트럼은 MWCNT 표면에 O-C=O, C=O, C-O 결합이 존재함을 보여주며, 이는 FTIR(Thermo Scientific)에서도 확인할 수 있었다(데이터 미도시). Guo 등은 밀도함수이론(DFT)을 이용한 계산을 통하여 다른 작용기를 갖는 그래핀 플레이크에 물이 흡착되는 것에 의해 전하 재배열이 야기됨을 보고하였다. 계산 결과에 의하면, 물과 그래핀의 계면에 전하 이중층이 형성되며, C-O-C기에 3층의 물이 덮이면 약 0.7e가 소모되며, C-O-C기가 제거되면 이는 0.003e로 떨어진다. 따라서 상기와 같은 MWCNT의 작용기들은 전기의 생성에 필수적이다.

[0044] MWCNT는 느슨하게 쌓여진 무질서한 그래핀 플레이크(flakes)로 구성됨은 d)의 TEM 이미지에서 확인할 수 있는데, 이는 e)의 라만 스펙트럼에서도 확인할 수 있다. 실시예 1에서 제조한 구조체의 접촉각을 측정한 결과 MWCNT 박막은 친수성을 나타냄을 확인할 수 있었는데, 이는 셀룰로오스 지지체에 더하여 MWCNT의 다공구조를 따라 모세관 현상에 의해 물이 이동할 수 있음을 의미한다.

[0045] 종래기술에 의하면, 물과 MWCNT의 상호작용, 특히 다공성 MWCNT 필름 내부에서 물의 증발에 의해 유도된 물의 흐름이 전기 생성의 주된 이유로 간주된다. 따라서, 상기 실시예에 의해 제조된 구조체를 이용하여 원뿔구조체를 제조하면, 태양광에 의하거나 혹은 자가 증발(self-evaporation)에 의해 물이 증발됨에 따라 모세관현상에 의해 구조체의 상부로 물이 흐름을 유발하여 전기를 생성할 수 있으므로 별도의 장치를 사용하지 않더라도 수증기와 전기를 동시에 생성할 수 있을 것으로 기대된다.

[0046] 도 2의 f)는 태양광 흡수 효율을 평가하기 위하여 상기 흡수체의 굴절 및 투과 특성을 UV-Vis-NIR 스펙트로미터(Solidspec-3700, Shimadzu)를 사용하여 측정하고 그 결과를 도시한 것이다. 상기 도면에서 본 구조체는 250~800 nm의 투과율이 0으로 광범위한 파장의 빛이 MWCNT에 의해 차단됨을 알 수 있다.

[0047] 실시예 3 : 수증기와 전기 동시 생산용 장치의 실험실 내 수증기 생산능 평가

[0048] 1) 수증기 생산능 평가 장치

[0049] 실시예 1에서 제조된 수증기와 전기 동시 생산용 장치의 광열변환 효율을 계산하기 위하여, 1 sun 조사에 의한 수증기 생산능을 실시간 무게 변화로 평가하기 위한 장치를 설계하였다.

[0050] 수증기와 전기 동시 생산용 장치의 물 증발 속도를 측정을 위하여 폴리스티렌 폼으로 코팅된 50 mL 용기를 컴퓨터에 연결된 저울 위에 올려놓고 상부에 모의 태양광(350~1800 nm, solar simulator, Hal 320 W, ASAHI)을 위치시켰다. 2×2 cm 크기로 확장시킨 폴리스티렌폼(EPS) 접시를 내벽이 폴리스티렌폼으로 코팅된 컵에 넣고, 2×4 cm의 하얀 셀룰로오스 종이를 EPS 접시의 가운데에 올려놓고 양 말단을 안으로 접어 추후 물에 잠길 수 있도록 하였다. 종이 위에 원뿔구조의 상기 장치를 올리고, 수위가 EPS 접시보다 아래에 있으면서 종이의 양 말단이 물에 잠길만큼 컵 안에 물을 넣었다. 상기 장치와 용기 사이의 틈에서 물의 증발을 최소화하기 위하여 용기의 상면은 폴리스티렌폼으로 덮어주었다. 상기 원뿔구조 장치의 수면 위의 높이는 16 mm이고, 원뿔의 꼭대기에서 물과 공기의 경계면까지의 거리는 8 mm 였다. 상기 장치가 완전히 젖으면 모의 태양광을 켜고 10초마다 무게를 측정하여 증발량을 계산하였다. 증발과정에서의 온도변화는 열화상 카메라(SEEK)와 K 써모커플 온도 프로브(Testo735)를 사용하여 측정하였다.

[0051] 도 3의 a)는 수증기 생산능 평가를 위한 실험 장치의 대표적인 광학 이미지이고, b)와 c)는 1 sun 광도의 빛을 30분 조사하였을 때의 원뿔구조 장치에 대한 대표적인 적외선 이미지이다. 실험 시 주변 온도는 22℃, 상대습도는 40%였으며, 자가증발 시의 장치의 표면온도는 주변온도와 유사하였다. 그러나 1 sun 광도의 광조사 시에는 광조사 30분 후, 상기 장치의 온도는 34℃로 증가하였으며, 원뿔구조의 꼭대기가 가장 온도가 높고 아래로 내려갈수록 온도가 감소하였다. 따라서 원뿔구조체의 위로 갈수록 물의 증발속도가 증가하며, 흡수체의 하부에

서 상부로의 물의 이동을 촉진하게 된다.

[0052] 2) CNT 층의 두께에 따른 수증기 생산능 평가

[0053] 1)에서 설계한 장치를 사용하여 CNT 층의 두께가 수증기 생산에 미치는 영향을 평가하였다. 이를 위하여 실시예 1에서 정제된 MWCNT 100 mg을 1000 ml DI수에 현탁한 후, 각 용액을 50, 100, 200 또는 300 ml를 사용하여 진공 보조 증착에 의해 셀룰로오스 여과지에 MWCNT를 코팅하고, 70℃에서 24시간 건조한 후 실시예 1과 동일한 방법에 의해 수증기와 전기 동시 생산용 원뿔구조 장치를 제조하였다.

[0054] 도 4는 상기 방법에 의해 MWCNT가 증착된 구조체의 사진으로 300 ml 용액을 사용한 경우에는 균일한 MWCNT 층이 형성되지 않았다. 이에 50, 100 및 200 ml의 용액을 사용하여 각각 제조한 원뿔구조체를 사용하여 1)과 동일한 방법에 의해 수증기 생산능을 평가하고 그 결과를 도 5에 도시하였다.

[0055] 도 5의 a)~d)는 셀룰로오스와 MWCNT가 증착된 셀룰로오스의 SEM 이미지로, MWCNT 용액의 사용량이 증가할수록 MWCNT 층의 두께가 31, 50 및 72 μm 로 점차 증가하는 반면, 다공성은 감소함을 보여준다. e)는 태양광스펙트럼과 각 샘플들의 흡광도를 보여주는 것으로, 31, 50 및 72 μm 두께의 MWCNT 층이 형성된 셀룰로오스의 흡광도는 각각 98.1, 98.5 및 98.4%로 모든 두께에서 광범위한 파장에 대해 우수한 흡광도를 나타내었다. f)는 물이 없는 상태에서 원뿔구조체에 1 sun 광도의 빛을 조사하였을 때 본 장치에서 원뿔구조 꼭대기의 온도를 측정하는 것으로, 3분이내에 평형온도인 45~50℃로 온도가 상승함을 보여준다. 수증기와 전기 동시 생산용 장치를 물에 띄웠을 때는 g)에 도시하였듯이 최고 온도가 다소 감소하였는데, 이는 물이 없는 경우에는 흡수된 에너지가 열로 방출되지만, 물이 있는 경우에는 수증기 생성에 사용되기 때문으로 사료된다. 물에 띄워진 장치에서는 온도 평형에 약 200~300초가 소요되었다. Zhao 등(Nat. Nanotech., 2018, doi: 10.1038/s41565-018-0097-z)은 다른 에너지 소비형태에서 표면온도와 시간 사이의 상관관계가 상이함을 보고한 바 있다. 따라서 초반의 빠른 온도 상승 구간에서는 대부분의 에너지가 온도를 상승시키는 것에 사용되었으며, 이후 평형 구간에서는 에너지가 주로 증발에 사용된 것으로 해석된다. h)는 온도-시간 그래프의 변곡점을 확인한 것으로, 물의 가열과 증발에 에너지 균형 값이 존재함을 보여준다. MWCNT 층의 두께가 두꺼울수록 변곡 온도 역시 감소하여, 물의 증발 효율이 증가할 것임을 예측할 수 있다. i)와 j)는 수증기 생성량과 생성속도를 보여주는 그래프로, MWCNT 층의 두께가 증가함에 따라 수증기 생성량이나 증발속도가 증가함을 보여준다. MWCNT 층의 두께가 0에서 72 μm 로 증가함에 따라 1 sun 광도의 광조사 시 증발속도는 0.439에서 1.651 kg/m².h로 증가하였다.

[0056] 또한 도 4는 광조사 시 뿐 아니라 압조건에서 역시 수증기의 증발이 일어남을 확인할 수 있었는데, 이는 금속 공기전지로 작동함에 의해 낮과 밤 모두 수증기가 생성될 수 있음을 의미한다.

[0057] 3) 수증기와 전기 동시 생산용 장치의 꼭지각에 따른 수증기 생산능 평가

[0058] 수증기와 전기 동시 생산용 장치의 원뿔구조가 수증기 생산에 미치는 영향을 확인하기 위하여 실시예 1에서 제조한 MWCNT가 증착된 셀룰로오스를 사용하여, 꼭지각이 45, 60 및 90° 인 원뿔구조 금속-공기 전지를 제조하였다.

[0059] 도 6의 a)는 상기 수증기와 전기 동시 생산용 장치에 1 sun 광도의 빛을 조사하였을 때의 온도변화를 도시한 것으로, 내부 도면은 물이 없는 상태에서의 온도변화(좌)와 변곡점(우)을 도시한 것이다. a)에 의하면, 꼭지각이 60° 인 경우 변곡온도가 가장 낮아 수증기 생산 속도가 가장 높을 것으로 예측할 수 있다. 실제 측정 결과인 b)와 c)에서 역시 꼭지각이 60° 인 원뿔구조 장치의 수증기 생산능이 가장 높은 것을 확인할 수 있으며, 꼭지각이 60° 인 원뿔구조 장치에서의 압조건 및 1 sun 광도 광조사 시의 증발 속도는 각각 0.618 및 1.651 kg/m².h였다.

[0060] 도 6의 d)에 광조사 시 MWCNT 층의 두께와 원뿔구조의 꼭지각에 따른 증발속도를 정리하여 도시하였다. 내부 도면은 자가 증발 시의 증발속도를 나타낸다.

[0061] 실시예 4 : 수증기와 전기 동시 생산용 장치의 실험실 내 전기 생산능 평가

[0062] 1) 전기 생산능 평가

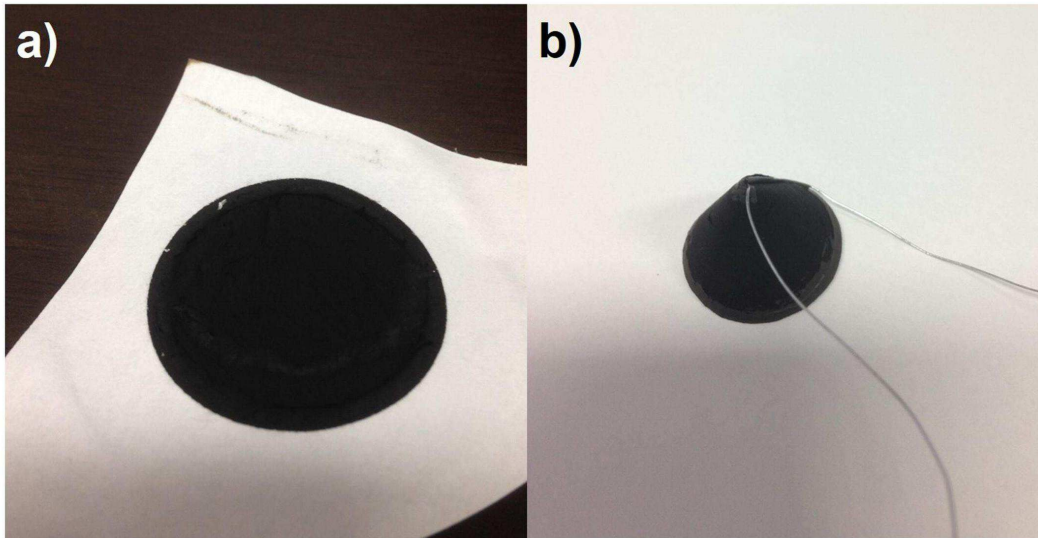
[0063] 실시예 1에서 제조한 원뿔구조체의 전기 생산능을 평가하기 위하여 실시예 1에서 제조한 원뿔구조 장치를 DI수가 들어 있는 페트리디쉬에 띄웠다. 바닥과 꼭대기에 장착된 철선에 전극을 연결한 후 전류 및 전압 신호를 각각 J-t 곡선(간격 : 10 초) 및 V-t 곡선(간격 : 10 초)을 통해 전위차계 (IVIUMSTAT)에 수집하여 기록하였다.

- [0064] 도 7의 a)는 본 실험의 모식도이며, b)는 실제 실험 사진이다. 도 7의 c)는 b)의 실험에 의해 측정된 암조건 및 1 sun 광도의 광조사 시의 I-V 곡선 및 I-V 곡선으로부터 계산된 출력 곡선이다. 1 sun 광도의 광조사 시에는 암조건에 비해 개로전압과 단락전류가 모두 증가함에 따라 실시예 1의 장치의 1 sun 광도에서의 출력은 13.18 mW/m^2 으로 암조건에서의 출력인 8.24 mW/m^2 에 비해 1.6배 정도 증가하였다.
- [0065] 암조건에서의 출력은 공기 이온전지로서의 작동에 의한 전기의 생산과 함께, 공기 이온전지의 작동 시 발생하는 열 및 자연 건조에 따른 수증기 생성에 기인한 물의 이동에 따른 나노발전기의 전기 생산에 기여하는 것으로 해석된다. 광조사 조건에서는 수증기 생성에 의한 물의 이동이 증가함에 따라 나노발전기에 의한 출력이 증가하게 되므로, 암조건에 비해 광조사 조건에서 전체 출력이 증가함을 확인할 수 있다.
- [0066] 2) 수증기와 전기 동시 생산용 장치에서의 구조에 의한 효능 평가
- [0067] 큰 구조체와 장방형의 장치를 사용하여 전기 생산능에서 큰 구조체가 미치는 영향을 추가적으로 확인하였다.
- [0068] 이를 위하여 실시예 1에서와 동일한 방법에 의해 셀룰로오스 상에 MWCNT를 진공증착하고, 이를 사용하여 원뿔의 높이 및 밑면 직경과 동일하게 장방형 및 삼각형 구조를 제작하였다. 장방형 및 삼각형 금속-공기 전지의 상부와 하부를 각각 철선을 통해 전극을 연결하였다. 실시예 1에서와 마찬가지로 하부에 연결된 철선은 먼저 MWCNT 상에 에폭시 레진을 도포하여 철선이 물과는 접촉하지 MWCNT와는 직접 접촉하지 않도록 하였다.
- [0069] 상기 방법으로 제조된 장방형 장치와 삼각형 장치를 사용하여 암조건에서 전기 생산능을 평가하였다. 도 8은 실제 실험을 보여주는 사진과 그 결과 시간에 따른 전압을 보여주는 그래프이다.
- [0070] 도 8에서 삼각형 장치는 전체 면적이 장방형 장치의 1/2에 불과함에도 불구하고, 약 2배 가량 높은 전압의 전기를 생산함을 확인할 수 있다. 이는 본 발명의 수증기와 전기 동시 생산용 장치에서 원뿔, 원뿔대, 각뿔, 각뿔대와 같은 3차원 구조가 중요한 역할을 담당함을 의미한다.
- [0071] 3) 전해질 용액을 사용한 전기 생산능 평가
- [0072] 물은 이온 농도가 매우 낮기 때문에 전해질 용액을 사용하여 이온이 본 수증기와 전기 동시 생산용 장치의 출력을 향상시킬 수 있는 지 확인하였다. 실험은 물 대신 전해질 용액을 사용한 것을 제외하고는 1)과 동일한 방법에 의해 실시하였다.
- [0073] 도 9는 각종 전해질에서의 본 장치의 출력을 보여주는 그래프이다. a)는 NaCl의 농도에 따른 출력을 보여주는 것으로, NaCl의 농도가 0.6 M까지 증가함에 따라 출력 역시 증가하다가 NaCl의 농도가 더 증가하면 오히려 출력은 감소하였다. 이는 NaCl의 농도가 너무 높은 경우 원뿔구조의 상부에서 물이 증발함에 따라 NaCl이 석출되기 때문으로 사료된다. 0.6 M NaCl에서의 출력은 107.79 mW/m^2 으로 물에서의 출력에 비해 8배 이상 향상되었다.
- [0074] 전해질이 출력 향상에 유리한 것을 확인함에 따라 양이온 또는 음이온의 종류가 출력에 미치는 영향을 파악하였다. 이때 전해질의 농도는 0.6 M로 고정하였다. 도 9의 b)는 음이온의 영향을, c)는 양이온의 영향을 보여주는 것으로, 음이온은 크기가 증가할수록 출력이 향상되어 0.6M NaBr을 사용한 경우 출력이 255.67 mW/m^2 까지 향상되었다. 양이온은 크기에 따른 경향성을 나타내지는 않았으며, 0.6M KCl을 사용한 경우 505.69 mW/m^2 으로 종래기술의 하이브리드 시스템에 비해서도 높은 출력을 나타내었다. 더욱 괄목할만한 점은 양이온에 따라 암조건에서의 출력 역시 크게 증가하여 0.6M KCl을 사용한 경우 252.4 mW/m^2 , 0.6M CaCl_2 를 사용한 경우 266.2 mW/m^2 의 값을 나타내었다.
- [0075] 연못 물이나 바닷물은 다양한 이온을 함유하는 것으로 알려져 있다. 이에 충남대학교 연못에서 채취한 물과, 바닷물을 사용하여 출력을 측정하였다. d)는 그 결과를 보여준 것으로 이들 역시 물 보다는 높은 출력을 나타내었다.
- [0076] 4) 직렬연결 및 병렬연결에 의한 전기 생산능 평가
- [0077] 수증기와 전기 동시 생산용 장치의 출력을 직렬연결과 병렬연결을 통해 증폭시킬 수 있을 것으로 예상하고, 이를 실시예를 통하여 확인하였다.
- [0078] 실시예 1에 기재된 방법에 의해 동일한 원뿔구조의 장치 4개를 제조한 후, 각각의 장치와 4개의 장치를 직렬로 연결한 장치 및 4개의 장치를 병렬로 연결한 장치에 대해 암조건에서 I-V 곡선 및 I-V 곡선으로부터 계산된 출력 곡선을 얻었다. 도 10의 a)와 b)는 그 결과를 보여주는 그래프로, 먼저 4개의 장치 각각은 개로전압이 0.65 V, 단락전류가 $27 \mu\text{A}$ 로 재현성이 우수함을 확인할 수 있다. 직렬연결에 의해 장치의 개로전압은 2.3V로 증폭되

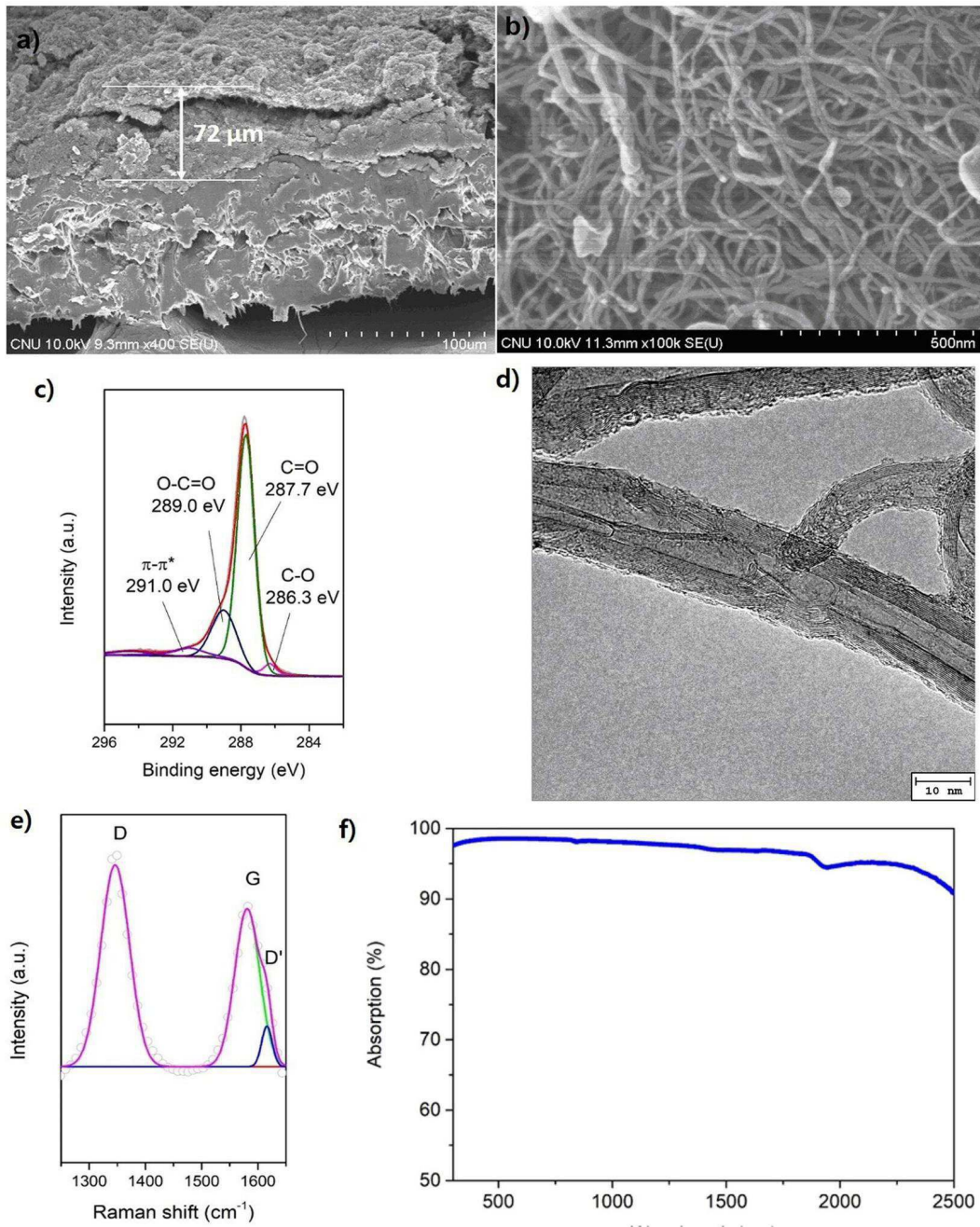
었으며, 병렬연결에 의해 단락전류가 $120\ \mu\text{A}$ 로 증가하였다. c)는 직렬연결된 장치의 사진과 개로전압을 시간의 함수로 나타낸 그래프로, 55,000초 동안 일정한 개로전압 2.3 V를 유지하는 것을 보여주어 본 발명의 장치가 장기간 전기 생산을 위한 실질적인 수증기와 전기 동시 생산용 장치로 사용될 수 있음을 보여준다.

도면

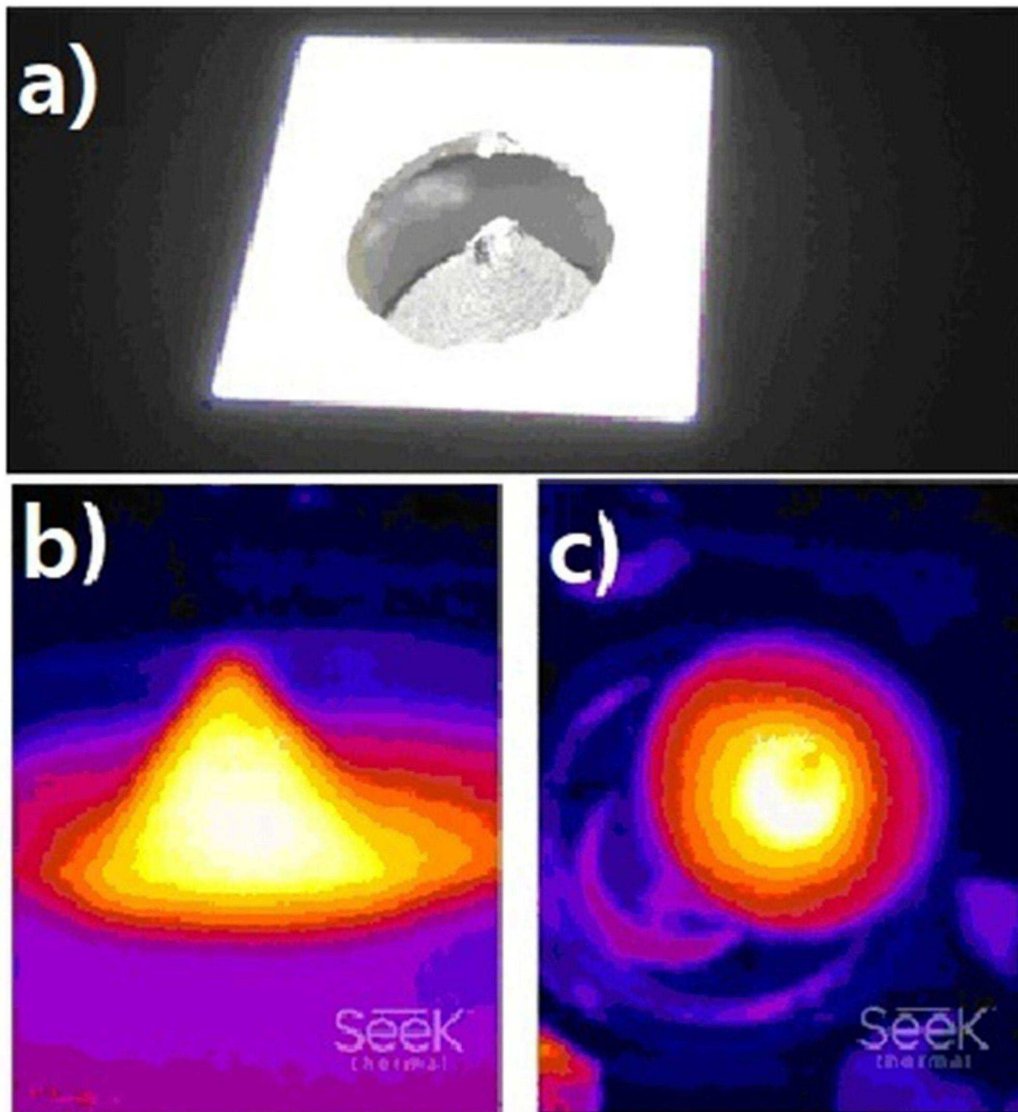
도면1



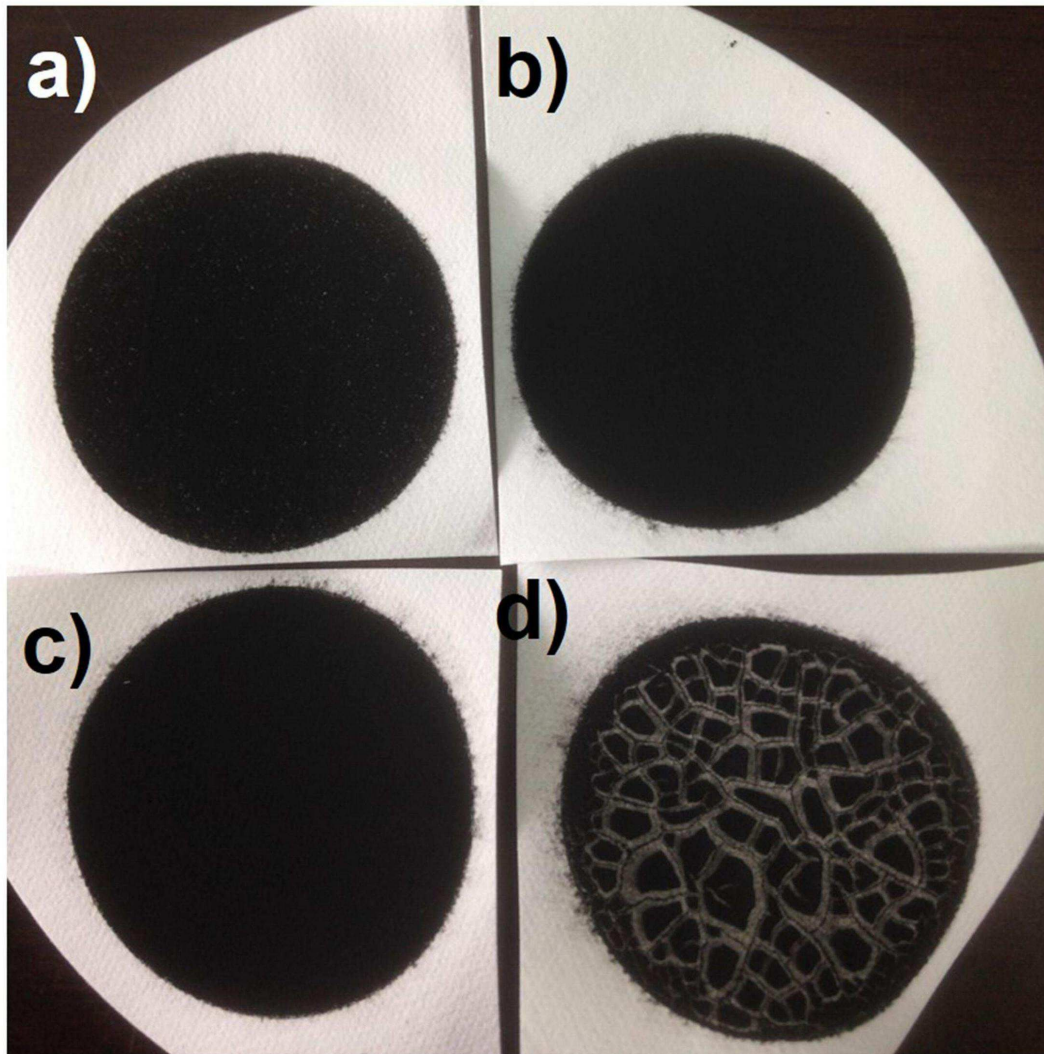
도면2



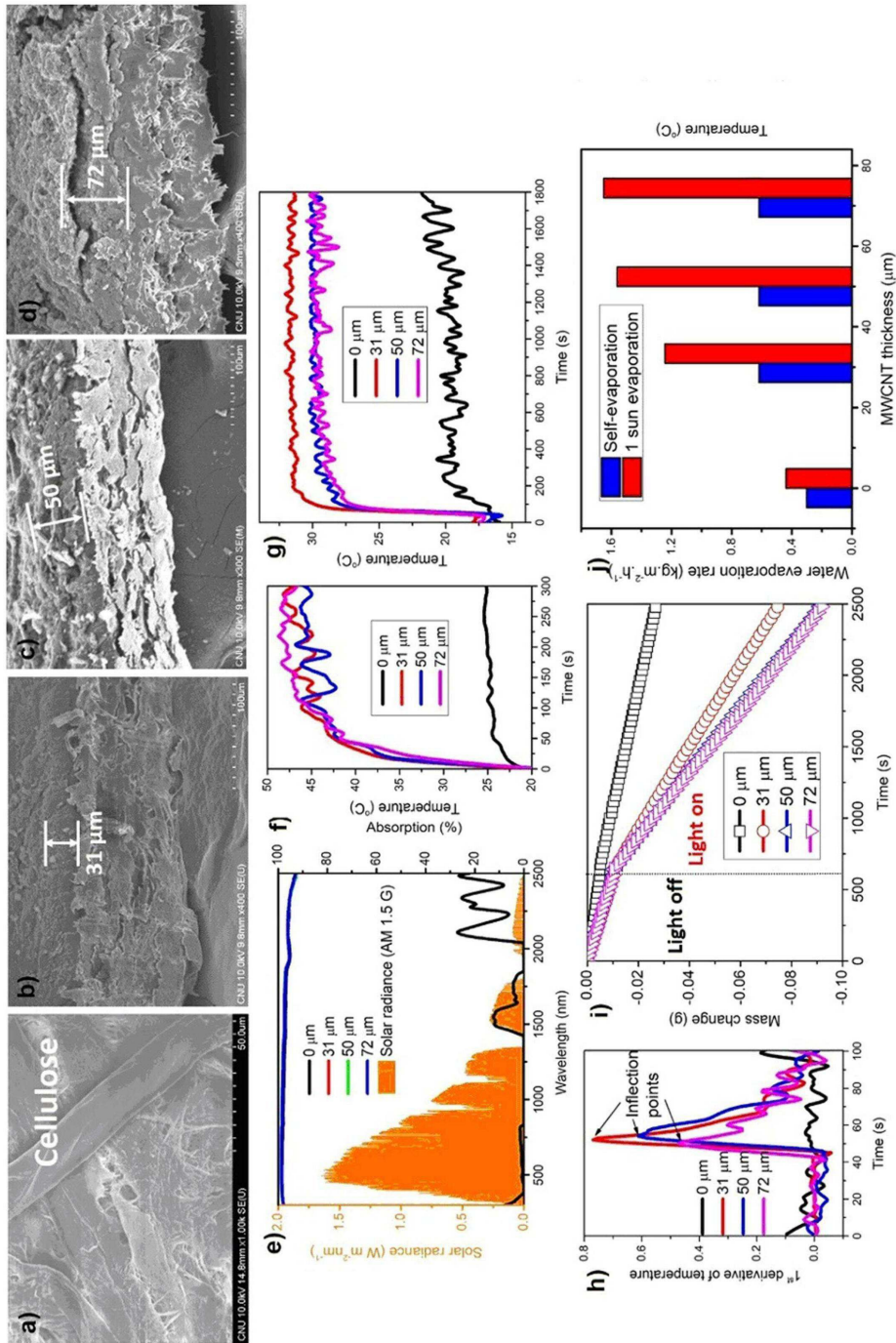
도면3



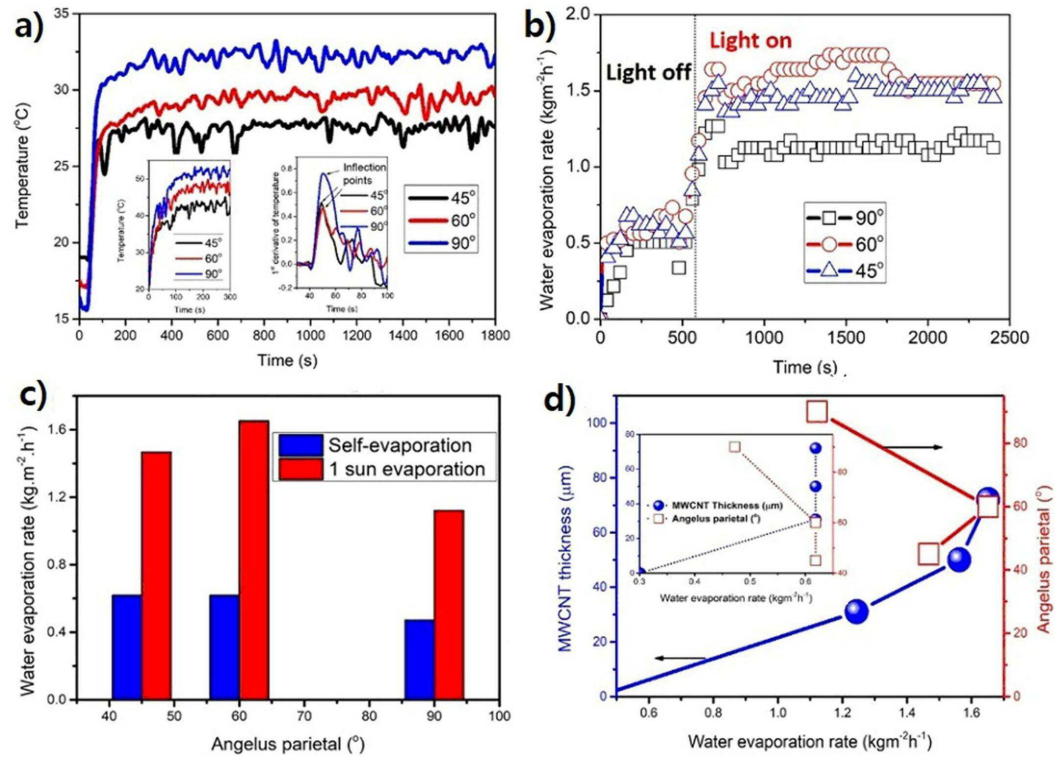
도면4



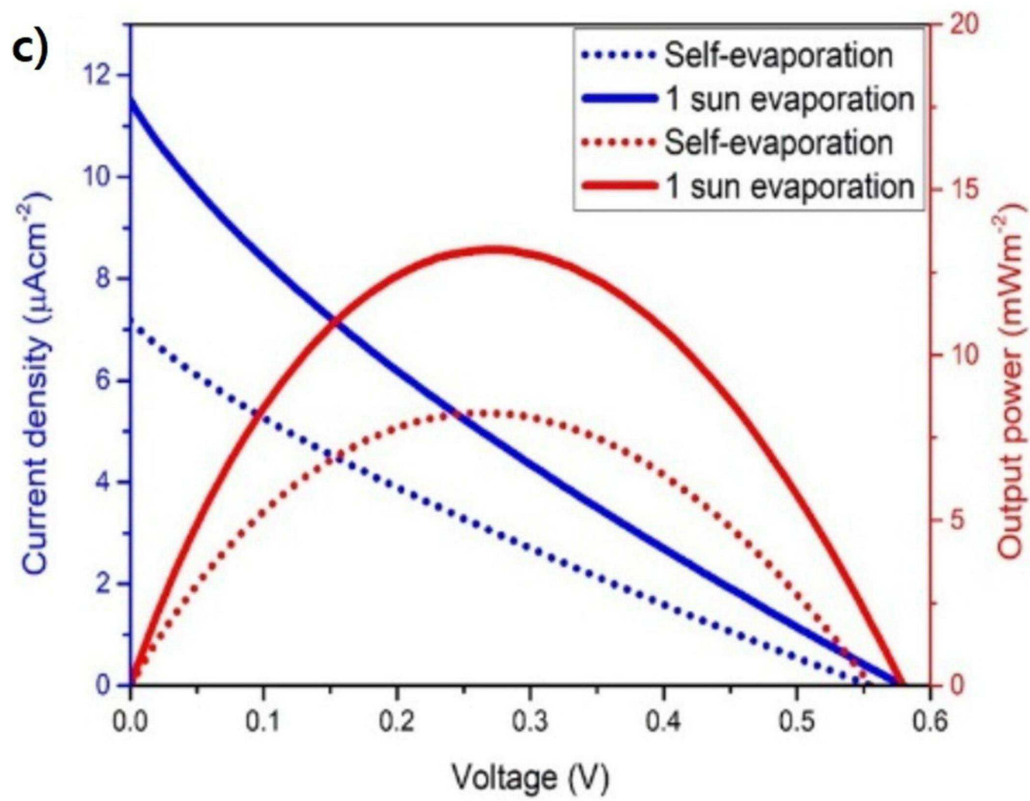
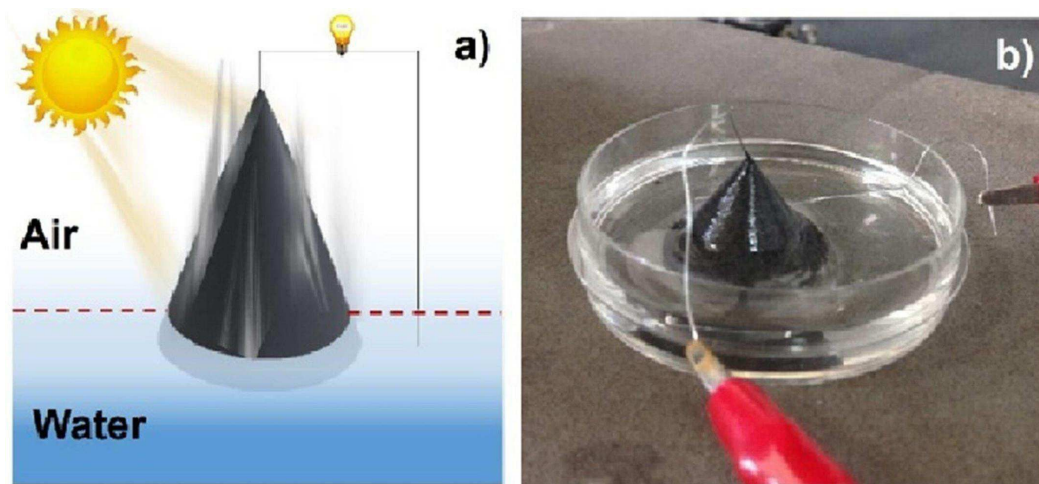
도면5



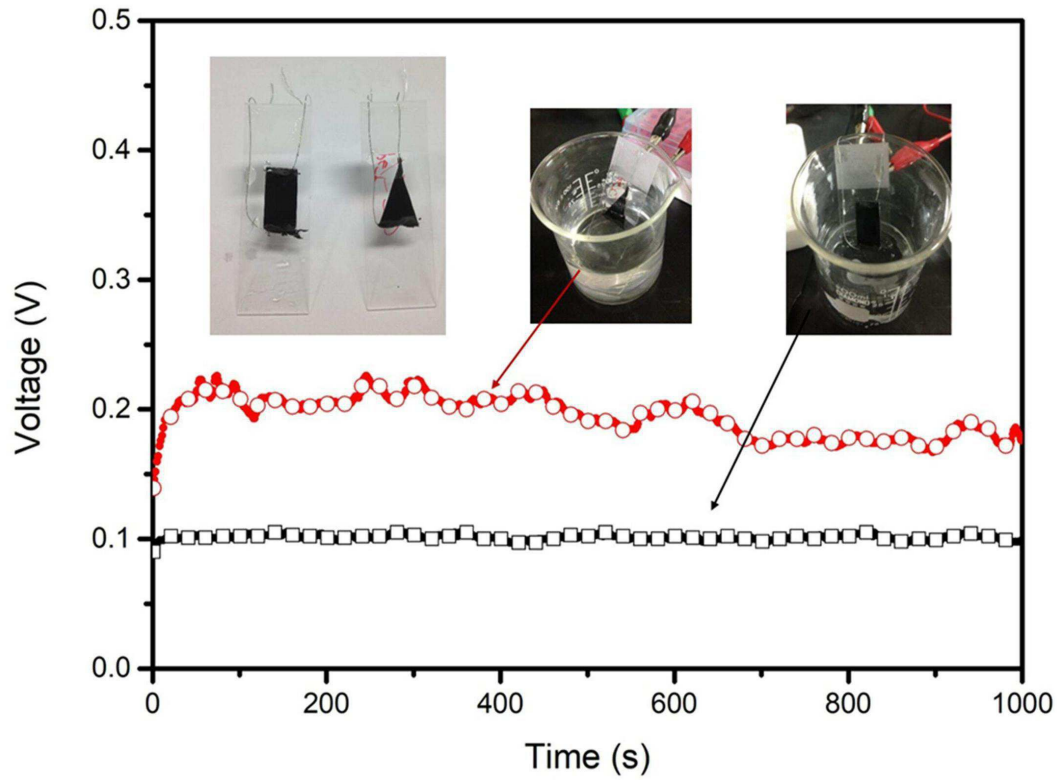
도면6



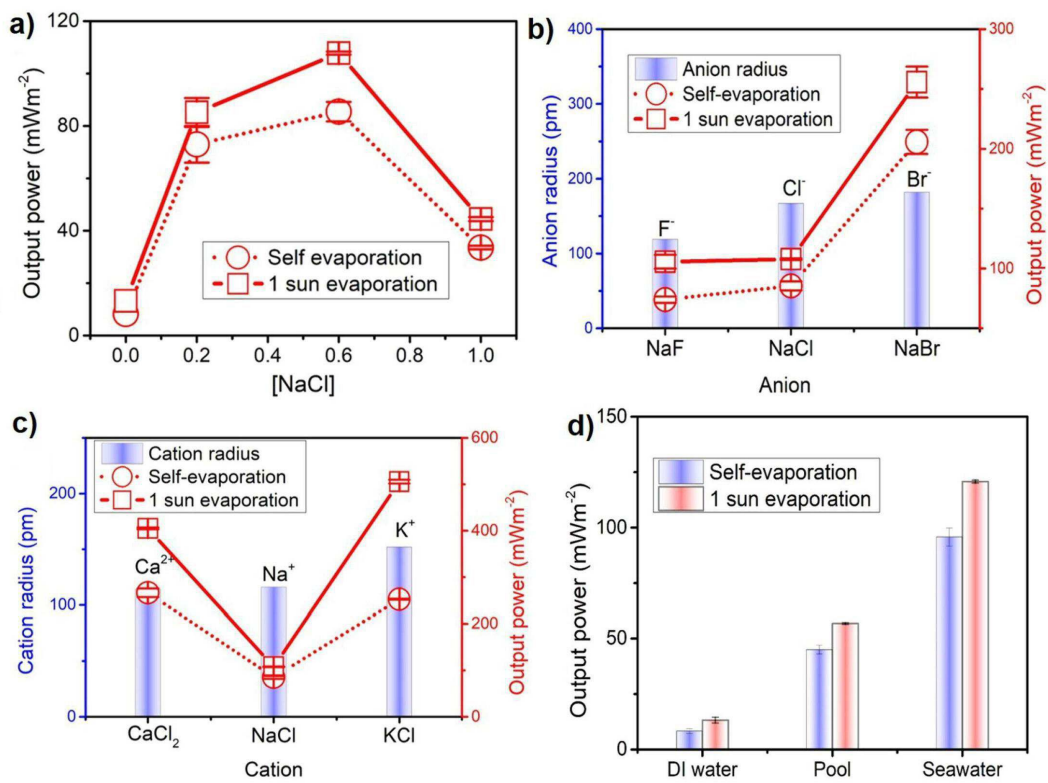
도면7



도면8



도면9



도면10

