



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2025-0033777
(43) 공개일자 2025년03월10일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H02N 1/04 (2006.01) H02N 2/00 (2006.01)
H10N 30/857 (2023.01)
(52) CPC특허분류
H02N 1/04 (2013.01)
H02N 2/0075 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2023-0116326
(22) 출원일자 2023년09월01일
심사청구일자 2023년09월01일

(71) 출원인
경희대학교 산학협력단
경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732 (서천동, 경희대학교 국제캠퍼스내)
(72) 발명자
유재수
서울특별시 강남구 역삼로 438, 603호(대치동, 팜라이프아파트)
손타이아나 아도니자 그라함
경기도 수원시 영통구 청명로59번길 48, B02호(영통동)
(74) 대리인
김연권

전체 청구항 수 : 총 16 항

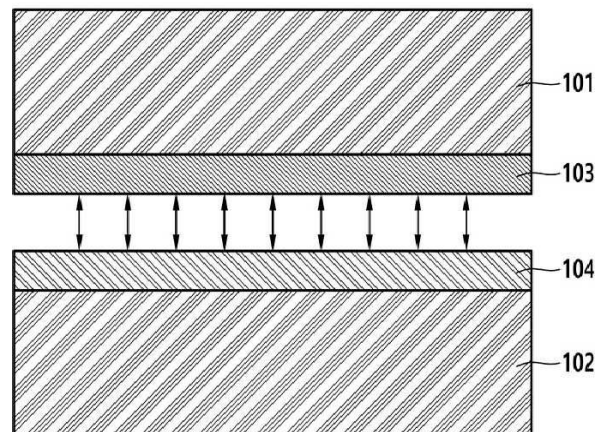
(54) 발명의 명칭 나노 발전소자 및 이의 제조 방법 그리고 나노 발전소자와 전력 관리 집적 회로를 이용한 전력 관리 시스템

(57) 요약

본 발명은 나노 발전소자 및 이의 제조 방법 그리고 나노 발전소자와 전력 관리 집적 회로를 이용한 전력 관리 시스템에 관한 것으로, 본 발명의 일실시예에 따른 나노 발전소자는 제1 전극, 상기 제1 전극을 마주보게 위치하는 제2 전극, 상기 제1 전극 상에 형성되는 제1 마찰전기층 및 상기 제2 전극 상에 형성되는 제2 마찰전기층을 포함하고, 상기 제1 마찰 전기층은 불소(F) 및 산소(O) 함유 중합체를 셀룰로오스(cellulose)와 결합하여 전하 변조 공정을 수행함에 따라 혼합된 양전하 혼합 중합체에 기반하여 형성될 수 있다.

대표도 - 도1

100



(52) CPC특허분류

H02N 2/22 (2013.01)

H10N 30/857 (2023.02)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1345364576
과제번호	2018R1A6A1A03025708
부처명	교육부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	대학중점연구소지원사업
연구과제명	[대학중점연구소] 융복합 에너지 자율형 다기능 센서 플랫폼 연구 2단계(3/3)
기 여 율	1/1
과제수행기관명	경희대학교 산학협력단
연구기간	2018.06.01 ~ 2027.02.28

명세서

청구범위

청구항 1

제1 전극;

상기 제1 전극을 마주보게 위치하는 제2 전극;

상기 제1 전극 상에 형성되는 제1 마찰전기층; 및

상기 제2 전극 상에 형성되는 제2 마찰전기층을 포함하고,

상기 제1 마찰 전기층은 불소(F) 및 산소(O) 함유 중합체를 셀룰로오스(cellulose)와 결합하여 전하 변조 공정을 수행함에 따라 혼합된 양전하 혼합 중합체에 기반하여 형성되는 것을 특징으로 하는

나노 발전소자.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 제1 마찰 전기층은 상기 양전하 혼합 중합체인 PHC(PVDF-HFP(poly(vinylidene fluoride-cohexafluoropropylene) loaded cellulose)를 포함하고,

상기 제2 마찰 전기층은 MP-DMC(micropatterned dimethicone)로 형성되는 것을 특징으로 하는

나노 발전소자.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 PHC는 불소(F) 원자의 전류 밀도에 기반하여 제2 물질인 상기 불소(F) 함유 중합체와 산소(O) 원자의 전류 밀도에 기반하여 제1 물질인 상기 산소(O) 함유 중합체를 프로브 초음파 처리에 기반하여 분해한 셀룰로오스(cellulose)와 결합하여 형성되고, 상기 셀룰로오스의 중량비(wt%)를 0.5wt% 내지 4.5wt%로 포함하는 것을 특징으로 하는

나노 발전소자.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 PHC의 정전기 전위는 상기 중량비(wt%)가 증가할수록, 음의 영역에서 양의 영역으로 이동하는 것을 특징으로 하는

나노 발전소자.

청구항 5

제3항에 있어서,

상기 PHC는 상기 중량비에 기반하여 일함수, 표면 거칠기, 전폭 반값 중 적어도 하나도 결정되는 것을 특징으로 하는

나노 발전소자.

청구항 6

제1 전극과 상기 제1 전극을 마주보게 위치하는 제2 전극을 준비하는 단계;

상기 제1 전극 상에 형성되는 제1 마찰전기층을 형성하는 단계; 및

상기 제2 전극 상에 형성되는 제2 마찰전기층을 형성하는 단계를 포함하고,

상기 제1 마찰 전기층은 불소(F) 및 산소(O) 함유 중합체를 셀룰로오스(cellulose)와 결합하여 전하 변조 공정을 수행함에 따라 혼합된 양전하 혼합 중합체에 기반하여 형성되는 것을 특징으로 하는

나노 발전소자의 제조 방법.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 제1 마찰 전기층은 상기 양전하 혼합 중합체인 PHC(PVDF-HFP(poly(vinylidene fluoride-cohexafluoropropylene) loaded cellulose)를 포함하고,

상기 제2 마찰 전기층은 MP-DMC(micropatterned dimethicone)로 형성되는 것을 특징으로 하는

나노 발전소자의 제조 방법.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 PHC는 불소(F) 원자의 전류 밀도에 기반하여 제2 물질인 상기 불소(F) 함유 중합체와 산소(O) 원자의 전류 밀도에 기반하여 제1 물질인 상기 산소(O) 함유 중합체를 프로브 초음파 처리에 기반하여 분해한 셀룰로오스(cellulose)와 결합하여 형성되고, 상기 셀룰로오스의 중량비(wt%)를 0.5wt% 내지 4.5wt%로 포함하는 것을 특징으로 하는

나노 발전소자의 제조 방법.

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 PHC의 정전기 전위는 상기 중량비(wt%)가 증가할수록, 음의 영역에서 양의 영역으로 이동하는 것을 특징으로 하는

나노 발전소자의 제조 방법.

청구항 10

제8항에 있어서,

상기 PHC는 상기 중량비(wt%)에 기반하여 일함수, 표면 거칠기, 전폭 반값 중 적어도 하나도 결정되는 것을 특징으로 하는

나노 발전소자의 제조 방법.

청구항 11

제1 전극, 상기 제1 전극을 마주보게 위치하는 제2 전극, 상기 제1 전극 상에 불소(F) 및 산소(O) 함유 중합체를 셀룰로오스(cellulose)와 결합하여 전하 변조 공정을 수행함에 따라 혼합된 양전하 혼합 중합체에 기반하여 형성되는 제1 마찰전기층 및 상기 제2 전극 상에 형성되는 제2 마찰전기층을 포함하는 나노 발전소자; 및

상기 나노 발전소자와 연결되고, 상기 나노 발전소자의 입력 전력을 사용하여 81.5% 이상의 에너지 전달 효율을 획득하는 전력 관리 집적 회로를 포함하는

전력 관리 시스템.

청구항 12

제11항에 있어서,

상기 제1 마찰 전기층은 상기 양전하 혼합 중합체인 PHC(PVDF-HFP(poly(vinylidene fluoride-

cohexafluoropropylene) loaded cellulose)를 포함하고,

상기 제2 마찰 전기층은 MP-DMC(micropatterned dimethicone)으로 형성되는 것을 특징으로 하는 전력 관리 시스템.

청구항 13

제12항에 있어서,

상기 PHC는 불소(F) 원자의 전류 밀도에 기반하여 제2 물질인 상기 불소(F) 함유 중합체와 산소(O) 원자의 전류 밀도에 기반하여 제1 물질인 상기 산소(O) 함유 중합체를 프로브 초음파 처리에 기반하여 분해한 셀룰로오스(cellulose)와 결합하여 형성되고, 상기 셀룰로오스의 중량비(wt%)를 0.5wt% 내지 4.5wt%로 포함하는 것을 특징으로 하는

전력 관리 시스템.

청구항 14

제12항에 있어서,

상기 전력 관리 집적 회로는 상기 나노 발전소자의 등가 임피던스와 입력 임피던스를 매칭하는 MPPT(maximum power point tracking) 컨트롤러와 역전류를 제어하는 ZCS(zero current sensing) 컨트롤러를 포함하는 것을 특징으로 하는

전력 관리 시스템.

청구항 15

제12항에 있어서,

상기 전력 관리 집적 회로는 180 nm 고전압 BCD(Bipolar CMOS(Complementary Metal-Oxide Semiconductor) DMOS(diffusion Metal-Oxide Semiconductor))로 구현되는 것을 특징으로 하는

전력 관리 시스템.

청구항 16

제11항에 있어서,

상기 나노 발전소자는 손가락 탭에 기반하여 상기 입력 전력을 생성하고,

상기 전력 관리 집적 회로는 상기 생성된 입력 전력을 전달하며,

상기 전달된 입력 전력은 점(dot)으로 프로그래밍(programming)되거나 모스 부호 생성을 위한 대시(dash)로 프로그래밍되는 것을 특징으로 하는

전력 관리 시스템.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 나노 발전소자 및 이의 제조 방법 그리고 나노 발전소자와 전력 관리 집적 회로를 이용한 전력 관리 시스템에 관한 것으로, 보다 구체적으로, 서로 다른 두개의 폴리머를 혼합하여 전하 극성을 변조한 마찰 전기 필름 기반 나노 발전소자 및 나노 발전소자와 전력 관리 집적 회로를 이용하여 낮은 입력 전력을 사용하여 높은 에너지 전달 효율을 달성하는 전력 관리 시스템을 구현하는 기술에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 최근 주변 환경에서 기계적 에너지 하베스팅은 자율적인 자체 전원 공급 장치, 센서 및 기타 다양한 전자 응용 프로그램을 개발하기 위한 유망한 기술 중 하나로 간주되고 있다.

[0003] 마찰 전기 나노 발전소자(triboelectric nanogenerator, TENG)는 주변 에너지를 효율적으로 수확하여 전기로 변

환하는 능력 때문에 엄청난 관심을 받고 있는 최근 기술 중 하나이다.

- [0004] 마찰 전기 나노 발전소자는 다양한 주변의 풍부한 기계 에너지를 전기로 변환하여 자체 구동 능동 감지 시스템, 환경 모니터링 시스템 등을 만들 수 있다.
- [0005] 마찰 전기 나노 발전소자는 간단하고 효율적이며 환경 친화적이고 비용 효율적이며 근본적으로 새로운 제품이다.
- [0006] 다양한 마찰 전기 나노 발전소자 기반 시스템은 화석 연료의 부정적인 환경 영향을 줄이기 위해 기존 에너지 기술을 보완할 수 있는 바람, 비, 파도와 같은 대규모 재생 에너지를 수확하는 능력을 보여주었다.
- [0007] 마찰 전기 나노 발전소자의 개발에는 1) 재료 선택, 2) 재료 특성 개선, 3) 나노 발전소자 조립, 4) 성능 평가, 5) 나노 발전소자의 출력 추출, 6) 응용의 6가지 기본 단계를 고려할 수 있다.
- [0008] 최대 전기 출력 추출과 함께 마찰 전기 나노 발전소자의 마찰 대전 효과 현상은 완전히 이해되지 않고 있다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0009] (특허문헌 0001) 한국등록특허 제10-2553838호, "마찰전기 발전기"
- (특허문헌 0002) 한국공개특허 제10-2018-0071134호, "신발형 접촉 대전 발전기와 스마트 인솔 탑재 신발 및 그 제조 방법"
- (특허문헌 0003) 한국공개특허 제10-2520769호, "에너지 발전 소자를 이용하여 정전기 발생을 방지하는 정전기 방지 장치 및 방법"

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0010] 본 발명은 서로 다른 두개의 폴리머를 혼합하여 전하 극성을 변조한 마찰 전기 필름 기반 나노 발전소자 및 나노 발전소자와 전력 관리 집적 회로를 이용하여 낮은 입력 전력을 사용하여 높은 에너지 전달 효율을 달성하는 전력 관리 시스템을 구현하는 것을 목적으로 한다.
- [0011] 본 발명은 불소와 산소 원자를 사용하여 마찰 전기 필름의 수용 및 주입 전자를 변조하여 반대로 대전된 마찰 전기 필름에 기반한 마찰 전기 나노 발전소자를 제공하는 것을 목적으로 한다.
- [0012] 본 발명은 나노 발전소자의 유효 임피던스를 일치시키면서 상대적으로 낮은 입력 전력을 사용하여 높은 에너지 전달 효율을 달성하여 최첨단 성능을 제공하는 전력 관리 집적 회로를 구현하는 것을 목적으로 한다.
- [0013] 본 발명은 나노 발전소자 및 전력 관리 집적 회로를 이용한 전력 관리 시스템에 기반하여 나노 발전소자가 일상 생활에서 기계 에너지를 수확하고 다양한 IoT(Internet Of Things) 애플리케이션(application)을 위한 다양한 휴대용 전자 장치에 전원을 공급하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

- [0014] 본 발명의 일실시예에 따른 나노 발전소자는 제1 전극, 상기 제1 전극을 마주보게 위치하는 제2 전극, 상기 제1 전극 상에 형성되는 제1 마찰전기층 및 상기 제2 전극 상에 형성되는 제2 마찰전기층을 포함하고, 상기 제1 마찰 전기층은 불소(F) 및 산소(O) 함유 중합체를 셀룰로오스(cellulose)와 결합하여 전하 변조 공정을 수행함에 따라 혼합된 양전하 혼합 중합체에 기반하여 형성될 수 있다.
- [0015] 상기 제1 마찰 전기층은 상기 양전하 혼합 중합체인 PHC(PVDF-HFP(poly(vinylidene fluoride-cohexafluoropropylene) loaded cellulose)를 포함하고, 상기 제2 마찰 전기층은 MP-DMC(micropatterned dimethicone)로 형성될 수 있다.
- [0016] 상기 PHC는 불소(F) 원자의 전류 밀도에 기반하여 제2 물질인 상기 불소(F) 함유 중합체와 산소(O) 원자의 전류 밀도에 기반하여 제1 물질인 상기 산소(O) 함유 중합체를 프로브 초음파 처리에 기반하여 분해한 셀룰로오스

(cellulose)와 결합하여 형성되고, 상기 셀룰로오스의 중량비(wt%)를 0.5wt% 내지 4.5wt%로 포함할 수 있다.

- [0017] 상기 PHC의 정전기 전위는 상기 중량비(wt%)가 증가할수록, 음의 영역에서 양의 영역으로 이동할 수 있다.
- [0018] 상기 PHC는 상기 중량비에 기반하여 일함수, 표면 거칠기, 전폭 반값 중 적어도 하나도 결정될 수 있다.
- [0019] 본 발명의 일실시예에 따른 나노 발전소자의 제조 방법은 제1 전극과 상기 제1 전극을 마주보게 위치하는 제2 전극을 준비하는 단계, 상기 제1 전극 상에 형성되는 제1 마찰전기층을 형성하는 단계 및 상기 제2 전극 상에 형성되는 제2 마찰전기층을 형성하는 단계를 포함하고, 상기 제1 마찰 전기층은 불소(F) 및 산소(O) 함유 중합체를 셀룰로오스(cellulose)와 결합하여 전하 변조 공정을 수행함에 따라 혼합된 양전하 혼합 중합체에 기반하여 형성될 수 있다.
- [0020] 본 발명의 일실시예에 따른 전력 관리 시스템은 제1 전극, 상기 제1 전극을 마주보게 위치하는 제2 전극, 상기 제1 전극 상에 불소(F) 및 산소(O) 함유 중합체를 셀룰로오스(cellulose)와 결합하여 전하 변조 공정을 수행함에 따라 혼합된 양전하 혼합 중합체에 기반하여 형성되는 제1 마찰전기층 및 상기 제2 전극 상에 형성되는 제2 마찰전기층을 포함하는 나노 발전소자 및 상기 나노 발전소자와 연결되고, 상기 나노 발전소자의 입력 전력을 사용하여 81.5% 이상의 에너지 전달 효율을 획득하는 전력 관리 집적 회로를 포함할 수 있다.
- [0021] 상기 전력 관리 집적 회로는 상기 나노 발전소자의 등가 임피던스와 입력 임피던스를 매칭하는 MPPT(maximum power point tracking) 컨트롤러와 역전류를 제어하는 ZCS(zero current sensing) 컨트롤러를 포함할 수 있다.
- [0022] 상기 전력 관리 집적 회로는 180 nm 고전압 BCD(Bipolar CMOS(Complementary Metal-Oxide Semiconductor) DMOS(diffusion Metal-Oxide Semiconductor))로 구현될 수 있다.
- [0023] 상기 나노 발전소자는 손가락 탭에 기반하여 상기 입력 전력을 생성하고, 상기 전력 관리 집적 회로는 상기 생성된 입력 전력을 전달하며, 상기 전달된 입력 전력은 점(dot)으로 프로그래밍(programming)되거나 모스 부호 생성을 위한 대시(dash)로 프로그래밍될 수 있다.

발명의 효과

- [0024] 본 발명은 서로 다른 두개의 폴리머를 혼합하여 전하 극성을 변조한 마찰 전기 필름 기반 나노 발전소자 및 나노 발전소자와 전력 관리 집적 회로를 이용하여 낮은 입력 전력을 사용하여 높은 에너지 전달 효율을 달성하는 전력 관리 시스템을 구현할 수 있다.
- [0025] 본 발명은 불소와 산소 원자를 사용하여 마찰 전기 필름의 수용 및 주입 전자를 변조하여 반대로 대전된 마찰 전기 필름에 기반한 마찰 전기 나노 발전소자를 제공할 수 있다.
- [0026] 본 발명은 나노 발전소자의 유효 임피던스를 일치시키면서 상대적으로 낮은 입력 전력을 사용하여 높은 에너지 전달 효율을 달성하여 최첨단 성능을 제공하는 전력 관리 집적 회로를 구현할 수 있다.
- [0027] 본 발명은 나노 발전소자 및 전력 관리 집적 회로를 이용한 전력 관리 시스템에 기반하여 나노 발전소자가 일상 생활에서 기계 에너지를 수확하고 다양한 IoT(Internet Of Things) 애플리케이션(application)을 위한 다양한 휴대용 전자 장치에 전원을 공급할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0028] 도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 나노 발전소자의 구성을 설명하는 도면이다.
- 도 2a 내지 도 2c는 본 발명의 일실시예에 따른 나노 발전소자에서 마찰전기층을 설명하는 도면이다.
- 도 3a 및 도 3b는 본 발명의 일실시예에 따른 나노 발전소자에서 마찰전기층의 접촉 대전 및 전위 매핑을 설명하는 도면이다.
- 도 4a 내지 도 4g는 본 발명의 일실시예에 따른 나노 발전소자에서 마찰전기층의 특성을 설명하는 도면이다.
- 도 5a 및 도 5b는 본 발명의 일실시예에 따른 나노 발전소자의 동작 특성을 설명하는 도면이다.
- 도 6a 및 도 6b는 본 발명의 일실시예에 따른 나노 발전소자의 제조 방법 및 제조 결과를 설명하는 도면이다.
- 도 7a 내지 도 8c는 본 발명의 일실시예에 따른 나노 발전소자의 전기 출력 및 안정성을 설명하는 도면이다.
- 도 9a 내지 도 9d는 본 발명의 일실시예에 따른 나노 발전소자의 구동 정보 변환 애플리케이션을 설명하는 도면

이다.

도 10a 내지 도 10c는 본 발명의 일실시예에 따른 나노 발전소자의 애플리케이션 적용을 위한 전기적 성능을 설명하는 도면이다.

도 11a 내지 도 11d는 본 발명의 일실시예에 따른 전력 관리 집적 회로를 설명하는 도면이다.

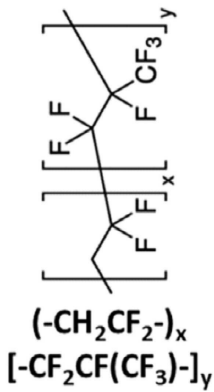
도 12는 본 발명의 일실시예에 따른 나노 발전소자와 전력 관리 집적 회로를 이용한 전력 관리 시스템을 설명하는 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0029] 이하, 본 문서의 다양한 실시 예들이 첨부된 도면을 참조하여 기재된다.
- [0030] 실시 예 및 이에 사용된 용어들은 본 문서에 기재된 기술을 특정한 실시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 해당 실시 예의 다양한 변경, 균등물, 및/또는 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다.
- [0031] 하기에서 다양한 실시 예들을 설명에 있어 관련된 공지 기능 또는 구성에 대한 구체적인 설명이 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명을 생략할 것이다.
- [0032] 그리고 후술되는 용어들은 다양한 실시 예들에서의 기능을 고려하여 정의된 용어들로서 이는 사용자, 운용자의 의도 또는 관례 등에 따라 달라질 수 있다. 그러므로 그 정의는 본 명세서 전반에 걸친 내용을 토대로 내려져야 할 것이다.
- [0033] 도면의 설명과 관련하여, 유사한 구성요소에 대해서는 유사한 참조 부호가 사용될 수 있다.
- [0034] 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함할 수 있다.
- [0035] 본 문서에서, "A 또는 B" 또는 "A 및/또는 B 중 적어도 하나" 등의 표현은 함께 나열된 항목들의 모든 가능한 조합을 포함할 수 있다.
- [0036] "제1," "제2," "첫째," 또는 "둘째," 등의 표현들은 해당 구성요소들을, 순서 또는 중요도에 상관없이 수식할 수 있고, 한 구성요소를 다른 구성요소와 구분하기 위해 사용될 뿐 해당 구성요소들을 한정하지 않는다.
- [0037] 어떤(예: 제1) 구성요소가 다른(예: 제2) 구성요소에 "(기능적으로 또는 통신적으로) 연결되어" 있다거나 "접속되어" 있다고 언급된 때에는, 상기 어떤 구성요소가 상기 다른 구성요소에 직접적으로 연결되거나, 다른 구성요소(예: 제3 구성요소)를 통하여 연결될 수 있다.
- [0038] 본 명세서에서, "~하도록 구성된(또는 설정된)(configured to)"은 상황에 따라, 예를 들면, 하드웨어적 또는 소프트웨어적으로 "~에 적합한," "~하는 능력을 가지는," "~하도록 변경된," "~하도록 만들어진," "~를 할 수 있는," 또는 "~하도록 설계된"과 상호 호환적으로(interchangeably) 사용될 수 있다.
- [0039] 어떤 상황에서는, "~하도록 구성된 장치"라는 표현은, 그 장치가 다른 장치 또는 부품들과 함께 "~할 수 있는" 것을 의미할 수 있다.
- [0040] 예를 들면, 문구 "A, B, 및 C를 수행하도록 구성된(또는 설정된) 프로세서"는 해당 동작을 수행하기 위한 전용 프로세서(예: 임베디드 프로세서), 또는 메모리 장치에 저장된 하나 이상의 소프트웨어 프로그램들을 실행함으로써, 해당 동작들을 수행할 수 있는 범용 프로세서(예: CPU 또는 application processor)를 의미할 수 있다.
- [0041] 또한, '또는' 이라는 용어는 배타적 논리합 'exclusive or' 이기보다는 포함적인 논리합 'inclusive or' 를 의미한다.
- [0042] 즉, 달리 언급되지 않는 한 또는 문맥으로부터 명확하지 않는 한, 'x가 a 또는 b를 이용한다' 라는 표현은 포함적인 자연 순열들(natural inclusive permutations) 중 어느 하나를 의미한다.
- [0043] 이하 사용되는 '..부', '..기' 등의 용어는 적어도 하나의 기능이나 동작을 처리하는 단위를 의미하며, 이는 하드웨어나 소프트웨어, 또는, 하드웨어 및 소프트웨어의 결합으로 구현될 수 있다.
- [0045] 도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 나노 발전소자의 구성을 설명하는 도면이다.
- [0046] 도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 나노 발전소자의 구성과 관련하여 구성 요소를 예시한다.

- [0047] 도 1을 참고하면, 본 발명의 일실시예에 따른 나노 발전소자(100)는 제1 전극(101), 제2 전극(102), 제1 마찰 전기층(103) 및 제2 마찰 전기층(104)을 포함한다.
- [0048] 제1 전극(101)과 제2 전극(102)은 상호 마주보게 위치한다.
- [0049] 제1 마찰 전기층(103)은 제1 전극(101) 상에 형성되고, 제2 마찰 전기층(104)은 제2 전극(102) 상에 형성된다.
- [0050] 제1 마찰 전기층(103)은 불소(F) 및 산소(O) 함유 중합체를 셀룰로오스(cellulose)와 결합하여 전하 변조 공정을 수행함에 따라 혼합된 양전하 혼합 중합체에 기반하여 형성될 수 있다.
- [0051] 예를 들어, 제1 마찰 전기층(103)은 서로 다른 중합체인 불소 함유 중합체와 산소 함유 중합체의 혼합체에 기반하여 셀룰로오스의 중량비에 따라 음극에서 양극으로 전하 변조 공정이 이루어져서 형성될 수 있다.
- [0052] 일례로, 제1 마찰 전기층(103)은 양전하 혼합 중합체인 PHC(PVDF-HFP(poly(vinylidene fluoride-cohexafluoropropylene) loaded cellulose)로 형성될 수 있다.
- [0053] 한편, 제2 마찰 전기층(104)은 MP-DMC(micropatterned dimethicone)로 형성될 수 있다.
- [0054] 예를 들어, 제1 마찰 전기층(103)은 양극 마찰 전기층이고, 제2 마찰 전기층(104)은 음극 마찰 전기층일 수 있으며, 제1 전극(101)은 양극이고, 제2 전극(102)은 음극일 수 있다.
- [0055] 예를 들어, PHC는 불소(F) 원자의 전류 밀도에 기반하여 제2 물질(음극 물질)인 불소(F) 함유 중합체와 산소(O) 원자의 전류 밀도에 기반하여 제1 물질(양극 물질)인 산소(O) 함유 중합체를 프로브 초음파 처리에 기반하여 분해한 셀룰로오스(cellulose)와 결합하여 형성된다.
- [0056] 예를 들어, 프로브 초음파 처리는 40%의 진폭에서 20kHz의 고주파수로 작동되는 750W의 초음파 탐침 초음파 처리기를 이용하여 고주파 고진폭에서 셀룰로오스의 분해를 진행한다.
- [0057] 예를 들어, PHC는 셀룰로오스의 중량비(wt%)를 0.5wt% 내지 4.5wt%로 포함할 수 있다.
- [0058] PHC의 정전기 전위는 중량비(wt%)가 증가할수록, 음의 영역에서 양의 영역으로 이동할 수 있다.
- [0059] 즉, 제1 마찰 전기층은 셀룰로오스의 중량비가 증가함에 따라 양극 마찰 전기층의 특성을 나타낸다.
- [0060] 예를 들어, PHC는 중량비에 기반하여 일함수, 표면 거칠기, 전폭 반값 중 적어도 하나도 결정될 수 있다.
- [0061] 바람직하게 PHC는 셀룰로오스의 중량비를 2.5wt%로 로딩할 시, 가장 높은 일함수인 16.4 eV를 가지고, 22.48nm의 표면 거칠기를 나타내며, 제2 마찰 전기층(104)에 대하여 가장 높은 전기 출력을 가진다.
- [0062] 예를 들어, 나노 발전소자(100)는 생성된 전압, 전류 및 전하 밀도 값이 각각 200V, 4uA 및 $60\mu\text{C}/\text{m}^2$ 일 수 있다.
- [0063] 따라서, 본 발명은 서로 다른 두개의 폴리머를 혼합하여 전하 극성을 변조한 마찰 전기 필름 기반 나노 발전소자 및 나노 발전소자와 전력 관리 집적 회로를 이용하여 낮은 입력 전력을 사용하여 높은 에너지 전달 효율을 달성하는 전력 관리 시스템을 구현할 수 있다.
- [0065] 도 2a 내지 도 2c는 본 발명의 일실시예에 따른 나노 발전소자에서 마찰전기층을 설명하는 도면이다.
- [0066] 도 2a 및 도 2b는 본 발명의 일실시예에 따른 나노 발전소자에서 마찰전기층 중 양극 마찰 전기층을 형성하기 위한 PVDF-HFP 폴리머의 화학 구조와 함께 분자 정전기 전위 매핑(molecular electrostatic potential, MEP)을 예시한다.
- [0067] 도 2a는 본 발명의 일실시예에 따른 양극 마찰 전기층을 형성하기 위한 PHC의 구성에서 불소 원자(200)를 나타낸다.
- [0068] 불소 원자(200)는 하기 화학식 1과 같이 구성된다.

[0069] [화학식 1]



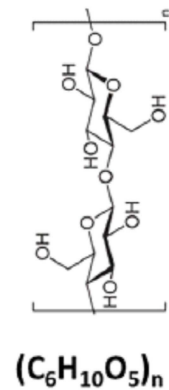
[0070]

[0071] 불소 원자(200)는 양의 정전기 전위가 전자 밀도가 낮아서 원자핵에 의한 양성자의 반발로 마찰전기 음극 물질(재료)에 해당된다.

[0072] 도 2a는 본 발명의 일실시예에 따른 양극 마찰 전기층을 형성하기 위한 PHC의 구성에서 산소 원자(210)를 나타낸다.

[0073] 산소 원자(210)는 하기 화학식 2와 같이 구성된다.

[0074] [화학식 2]



[0075]

[0076] 산소 원자(210)는 음의 정전기 전위가 분자 내 집중된 전자 밀도에 의한 양성자의 인력에 해당하고, 전자 밀도가 높아서 마찰전기 양극 물질(재료)에 해당된다.

[0077] 도 2c는 본 발명의 일실시예에 따른 나노 발전소자에서 마찰전기층 중 양극 마찰 전기층을 형성하기 위한 PVDF-HFP 폴리머와 결합되는 셀룰로오스의 분해 및 합성에 따른 PHC 형성 과정을 예시한다.

[0078] 도 2c를 참고하면, 이미지(220)는 동결건조된 셀룰로오스의 전계방출형 주사전자현미경(FE-SEM) 이미지를 보여주며, 셀룰로오스의 클러스터로 인해 시트처럼 보인다.

[0079] 용액(221)에 프로브 초음파 처리가 적용되어, 셀룰로오스를 PVDF-HFP 매트릭스에 혼합하여 PHC를 형성한다.

[0080] 프로브 초음파 처리기는 음파의 높은 주파수와 진폭으로 인해 셀룰로오스 시트는 작은 입자로 분해되어 폴리머와 잘 결합되도록 한다.

[0081] PHC 필름(222)은 복합 고분자 용액을 추가로 접시에서 건조하여 형성되고, 이미지(223)는 PHC의 FE-SEM 이미지를 예시한다.

[0082] 따라서, 본 발명은 불소와 산소 원자를 사용하여 마찰 전기 필름의 수용 및 주입 전자를 변조하여 반대로 대전된 마찰 전기 필름에 기반한 마찰 전기 나노 발전소자를 제공할 수 있다.

[0084] 도 3a 및 도 3b는 본 발명의 일실시예에 따른 나노 발전소자에서 마찰전기층의 접촉 대전 및 전위 매핑을 설명

하는 도면이다.

- [0085] 도 3a는 본 발명의 일실시예에 따른 나노 발전소자에서 마찰전기층의 접촉 대전으로, PHC와 MPDMC 마찰전기 필름 사이의 접촉 대전을 설명하는 원자 규모 전자구름 전위 우물 모델을 예시한다.
- [0086] 도 3a를 참고하면, 나노 발전소자에서 PHC와 MP-DMC 사이의 접촉 분리의 정전기 유도 과정의 원자 규모 전자 구름 전위 우물 모델을 개략적으로 예시한다.
- [0087] 접촉 전기화 및 정전기 유도는 나노 발전소자가 기계적 에너지를 전기로 변환하는 데 사용하는 두 가지 주요 현상일 수 있다.
- [0088] 여기서 전자 구름은 특정 원자 또는 분자 내에 공간적으로 국한되어 특정 원자 또는 분자 궤도를 차지하는 전자에 의해 형성될 수 있다.
- [0089] 원자는 외부 껍질 전자가 느슨하게 묶여 원자 또는 분자의 전자 구름을 형성하는 전위 우물로 표시된다.
- [0090] 단계(S301)에서 전자 구름 전위 우물 모델은 전자 구름 사이의 거리는 d 로 표시되며 EA와 EB는 PHC(300)와 MP-DMC(301)에서 전자가 점유한 에너지 준위를 나타낸다.
- [0091] E1과 E2는 전자가 PHC(300)와 MP-DMC(301)의 표면에서 빠져나가는 데 필요한 위치 에너지일 수 있다.
- [0092] EA와 EB는 각각 E1과 E2보다 작고, PHC(300)와 MP-DMC(301)가 접촉하기 전에는 전위 우물의 국부적 트래핑 효과로 인해 전자가 이동할 수 없다.
- [0093] 원자 규모의 전자 구름 전위 우물 모델에 따르면 두 물질의 원자가 서로 멀리 떨어져 있으면 전자 구름이 겹치지 않고 분리되고 전자는 높은 탈출 에너지 장벽으로 원래 궤도에 단단히 갇혀 있다.
- [0094] 단계(S302)에 표시된 것과 같이, 외부의 기계적 힘이 가해지면 두 물질의 원자는 점차 서로 가까워지고 두 물질 사이의 스크리닝(screening)으로 인해 전자 구름이 겹친다.
- [0095] 여기서 단일 전위 우물은 이중 전위 우물이 되어 비대칭 이중 우물 전위가 발생할 수 있다.
- [0096] 이후, 원자 간 전위 장벽이 크게 감소한 후 단계(S302)과 같이 전자가 PHC(300)에서 MP-DMC(301)로 이동할 수 있다.
- [0097] 따라서 더 높은 에너지를 갖는 PHC(300)의 일부 전자는 감소된 전위 장벽을 쉽게 극복하고 MP-DMC(301)로 이동하여 평형을 달성할 수 있다.
- [0098] 단계(S303)을 보면, 두 물질이 분리된 후 전달된 전자와 정공은 각각 PHC(300)와 MP-DMC(301) 표면에 정전하로 남아 있다.
- [0099] PHC 필름의 전하 변조는 다양한 비율의 셀룰로오스를 로딩(추가)하여 수행되었다. 셀룰로오스에 산소(O) 원자가 존재하기 때문에 PHC의 음전하 전위는 다양하다.
- [0101] 도 3b는 본 발명의 일실시예에 따른 나노 발전소자에서 마찰전기층의 전위 매핑을 예시한다.
- [0102] 도 3b를 참고하면, EFM은 필름 표면과 바이어스(bias)된 AFM 팁 사이의 정전기력을 감지하여 샘플 표면의 전기적 특성을 매핑한다.
- [0103] 모든 다른 PHC 필름에 대해 1Hz의 스캔 속도에서 $5\mu\text{m}$ 의 샘플 크기가 사용되었다.
- [0104] 이미지(310)에서 볼 수 있듯이 원래의 PVDF-HFP 필름은 높은 음의 정전기 전위를 나타낸다.
- [0105] 그러나 고분자 매트릭스 내 셀룰로오스의 담지 농도를 증가시키면서 정전기 전위에 매우 큰 차이가 관찰되었다.
- [0106] 이미지(311), 이미지(312) 및 이미지(313)에서 볼 수 있듯이 PHC의 정전기 전위는 음의 영역에서 양의 영역으로 변화하기 시작한다.
- [0107] 이 결과는 PVDF-HFP에 의해 생성된 음의 정전기 전위가 셀룰로오스의 산소 원자의 양의 정전기 전위에 의해 지배된다는 것을 나타낸다.

- [0108] PVDF-HFP는 음의 마찰전기 필름으로 간주되지만 마찰전기 표면 전위는 전하 운반체에 따라 달라질 수 있다.
- [0110] 도 4a 내지 도 4g는 본 발명의 일실시예에 따른 나노 발전소자에서 마찰전기층의 특성을 설명하는 도면이다.
- [0111] 도 4a는 본 발명의 일실시예에 따른 나노 발전소자에서 마찰 전기층의 특성과 관련하여 표면 거칠기 측정 결과를 나타낸다.
- [0112] 도 4a를 참고하면, 이미지(400)는 원시(pristine), 이미지(401)는 0.5 wt%의 셀룰로오스, 이미지(402)는 2.5 wt%의 셀룰로오스, 이미지(403)는 4.5 wt%의 셀룰로오스로 형성된 PHC와 같은 준비된 필름의 표면 거칠기 측정 결과를 나타낸다.
- [0113] 이미지(400) 내지 이미지(403)에 도시된 필름은 3.450 nm의 표면 거칠기(Sq)를 가졌으나, 셀룰로오스가 폴리머 매트릭스에 로딩되면 표면 거칠기가 변화한다.
- [0114] 다양한 중량%의 셀룰로오스를 0.5, 2.5, 4.5로 폴리머에 담았을 때 표면거칠기가 달라진다.
- [0115] 0.2 PHC는 22.48 nm의 표면 거칠기를 보였으며, 로딩 농도를 2.5 중량%로 증가시키면 29.08 nm로 향상된다.
- [0116] 그러나 셀룰로오스 로딩 농도를 4.5wt%로 더 증가시키면 4.5 PHC의 표면 거칠기가 8.799nm로 감소한다.
- [0117] 이러한 감소는 주로 폴리머 내 셀룰로오스의 과부하로 인해 발생한다.
- [0118] 예를 들어, MP-DMC 필름은 미세 패터닝(patterned)되어 88.93 nm의 높은 표면 거칠기를 달성될 수 있다.
- [0119] 도 4b는 본 발명의 일실시예에 따른 나노 발전소자의 마찰 전기층의 일함수(work function) 측정 및 전위 이미지를 예시한다.
- [0120] 도 4b를 참고하면, 그래프(410)는 PHC의 일함수 변화를 나타내고, 그래프(411)는 MP-DMC의 일함수 변화를 나타낸다.
- [0121] 일함수는 물질에서 표면으로 전자를 제거하는 데 필요한 최소 열역학적 에너지와 관련이 있다.
- [0122] 게다가 전하 이동량 역시 일함수와 밀접한 관련이 있고, 두 마찰전기 물질의 일함수가 같으면 전자 이동이 적어 전기화가 많이 일어나지 않는다.
- [0123] 그래프(410)는 다양한 농도의 셀룰로오스에 대한 PHC의 일함수를 보여준다.
- [0124] 폴리머 매트릭스에서 셀룰로오스 농도가 증가함에 따라 일함수도 증가하지만 4.5 PHC의 경우 일함수가 감소하는 것으로 관찰되고, 2.5 PHC가 가장 높은 일함수를 갖기 때문에 2.5 PHC와 MP-PHC의 에너지가 계산될 수 있다.
- [0125] 2.5 PHC의 E1 값은 16.4 eV였고, MP-DMC는 E2 = 5.4 eV일 수 있다.
- [0126] 그래프(411)는 MP-DMC의 일함수, 정전기 전위 매핑 및 전위 진폭을 예시하고, 정전기 매핑을 통해 MP-DMC가 매우 부정적일 수 있다.
- [0127] MP-DMC의 일함수가 PHC보다 낮을 때 페르미(Fermi) 준위는 평준화되는 경향이 있고 표면 에너지 상태는 아래로 이동하며 전자는 PHC에서 역방향으로 흘러 MP-DMC의 빈 표면 상태를 채우고, 정렬된 페르미 준위에 도달할 수 있다.
- [0128] 따라서, MP-DMC는 음전하를 띠고 PHC는 양전하를 띠는 것을 확인할 수 있다.
- [0129] 도 4c는 본 발명의 일실시예에 따른 나노 발전소자의 전기 마찰층을 형성하는 PHC 및 MP-DMC의 X선 회절(XRD) 분석결과를 나타낸다.
- [0130] 그래프(420)는 깨끗한 필름은 $2\theta = 20^\circ$ 에서 우세한 넓은 피크를 보였으며 이는 (020) 결정 피크에 해당할 수 있다.
- [0131] 넓은 피크의 존재는 결정성 영역이 비정질 상과 혼합되어 있는 폴리머의 반결정성 특성을 나타낼 수 있다.
- [0132] 로딩 농도가 증가함에 따라 PHC에 셀룰로오스 강도 피크가 나타나기 시작했고, 22.7° , 20° , 17° , 14.5° 의 회절 피크는 각각 (210), (012), (110) 및 (101)의 셀룰로오스 평면에 해당한다.
- [0133] 2.5 PHC는 결정성이 높기 때문에 다른 PHC에 비해 피크 강도가 더 높았고, 각 폴리머에는 특징적인 피크가

있다.

- [0134] 결정성, 반결정성, 비정질 폴리머를 구별하기 위해 XRD 패턴에 나타나는 피크의 특성에 따라 결정성이 결정되며, 날카로운 피크는 결정성이 높음을 나타내고 보드 피크는 비정질 폴리머를 나타낼 수 있다.
- [0135] 그래프(421)에 표시된 XRD 분석에서 0.5 및 4.5 PHC는 넓은 피크를 갖는 반면 2.5 PHC는 더 선명하고 높은 강도의 피크를 갖는 것으로 관찰된다.
- [0136] PHC에 0.5wt% 셀룰로오스가 로딩되었을 때 XRD 패턴의 보드 피크는 0.5PHC가 비정질 상태에 있음을 나타낸다.
- [0137] 그러나 PHC에 2.5wt% 셀룰로오스를 첨가하면 날카롭고 매우 강렬한 피크가 관찰되어 고분자 필름의 결정성이 증가했음을 의미한다.
- [0138] 결정질 물질은 3D 공간에 주기적으로 배열된다. 비정질 물질에는 이러한 주기성이 없으며 원자는 3D 공간에 무작위로 분포된다.
- [0139] 원자의 주기적인 배열이 있을 때 X선은 특정 방향으로 산란되며 결과적으로 높은 강도의 피크를 관찰할 수 있다.
- [0140] 비정질상에서는 X선이 다양한 방향으로 산란되어 고강도의 좁은 피크 대신 넓은 2θ 범위에 분포하는 넓은 피크가 생성된다.
- [0141] 도 4d는 본 발명의 일실시예에 따른 나노 발전소자의 전기 마찰층을 형성하는 PHC 및 MP-DMC의 자외선 통한 흡수 및 에너지 밴드갭을 예시한다.
- [0142] 도 4d를 참고하면, 그래프(430)는 2.5wt% 셀룰로오스를 첨가된 PHC의 자외선 통한 흡수 및 에너지 밴드갭을 나타내고, 그래프(431)는 MP-DMC의 자외선 통한 흡수 및 에너지 밴드갭을 나타낼 수 있다.
- [0143] 그래프(430)에서 PHC에 대하여 계산된 E_g 값은 1.88 eV이고, MP-DMC의 계산된 E_g 값은 1.3 eV일 수 있다.
- [0144] 도 4e는 본 발명의 일실시예에 따른 나노 발전소자의 전기 마찰층을 형성하는 PHC의 FWHM(full width at half maximum)을 나타낸다.
- [0145] 도 4e를 참고하면, 그래프(440), 그래프(441) 및 그래프(442)에 표시된 대로 22.7° 에서 고강도 2θ 피크에 대한 가우스 피팅을 사용하여 반치폭(full width at half maximum, FWHM)을 계산될 수 있고, FWHM은 각각 1.04° , 0.92° , 0.99° 일 수 있다.
- [0146] 2.5 PHC는 FWHM이 낮고 피크 강도가 높아 0.5 PHC에 비해 결정 특성이 향상되었음을 알 수 있다.
- [0147] 더욱이, 2.5 PHC의 높은 강도는 또한 중합체 필름 내 원자의 주기적인 배열을 결정한다.
- [0148] 게다가 4.5 PHC는 넓은 피크를 보였다. 이는 고분자 필름에 셀룰로오스가 과부하되어 결정질의 중수소화가 발생한다.
- [0149] 그 결과, 2.5 PHC는 다른 필름에 비해 결정성이 높아 높은 강도의 피크를 나타낼 수 있다.
- [0150] 도 4f는 본 발명의 일실시예에 따른 나노 발전소자의 전기 마찰층을 형성하는 PHC의 유전 특성(Dielectric properties)을 예시한다.
- [0151] 도 4f를 참고하면, 그래프(450)는 유전상수(dielectric constant)를 나타내고, 그래프(451)는 유전손실(dielectric loss)를 나타낸다.
- [0152] 다양한 주파수에서 LCR 미터를 사용하여 다양한 PHC 필름의 유전 상수 및 유전 손실을 예시한다.
- [0153] 깨끗한 PVDF-HFP 필름은 1MHz 이상에서 각각 ~7과 0.22의 높은 유전 상수와 손실 값을 가진다.
- [0154] 그러나 PVDF-HFP 고분자에 셀룰로오스를 서로 다른 중량%로 담지하면 유전특성이 점차 감소한다.
- [0155] 앞서 논의한 바와 같이, 유전 상수의 감소는 다양한 이유에 의해 영향을 받을 수 있다.
- [0156] PHC 필름 준비 공정에서는 DMF를 용매로 사용하여 셀룰로오스와 PVDF-HFP를 균질하게 혼합하기 위해 프로브 초음파 처리 기술을 사용한다.
- [0157] 프로브 초음파 처리 중에 고강도 초음파로 인해 셀룰로오스 입자가 PVDF-HFP 폴리머 매트릭스 전체에 분산되는

더 작은 입자로 분해된다.

- [0158] 이는 두 폴리머의 균질한 혼합물로 이어진다. 게다가, 초음파 처리 공정은 폴리머 필름에 더 많은 공극을 생성하여 유전 상수를 감소시킬 수도 있다.
- [0159] 폴리머 매트릭스의 공극은 표면적을 증가시키지만 공극에 공기가 갇히기 때문에 유전 특성이 감소할 수 있다.
- [0160] 더욱이, 셀룰로오스 구조의 용매 또는 비극성(CH) 부분도 복합 필름의 유전 상수에 영향을 미칠 수 있다.
- [0161] 도 4g는 본 발명의 일실시예에 따른 나노 발전소자의 전기 마찰층을 형성하는 PHC의 응력-변형 곡선을 예시한다.
- [0162] 도 4g를 참고하면, 그래프(460)는 로딩 농도가 증가함에 따라 PHC 필름의 강도가 증가하고, 복합 필름의 강화된 강도는 나노 발전소자 제조에 도움이 될 수 있다.
- [0164] 도 5a 및 도 5b는 본 발명의 일실시예에 따른 나노 발전소자의 동작 특성을 설명하는 도면이다.
- [0165] 도 5a는 본 발명의 일실시예에 따른 나노 발전소자의 동작 매커니즘(mechanism)을 예시한다.
- [0166] 도 5a를 참고하면, PHC와 MP-DMC를 각각 양극 및 음극 마찰전기 재료로 사용하는 나노 발전소자 장치의 작동 메커니즘을 개략적으로 보여준다.
- [0167] 나노 발전소자는 마찰 전기 효과와 정전기 유도라는 두 가지 기본 원리를 기반으로 전기 출력을 생성할 수 있다.
- [0168] 그러나 PHC는 전자를 잃는 경향이 강해 표면에 양전하를 유도하는 양극 마찰전기 재료로 사용된다.
- [0169] 음마찰전기재료로 사용되는 MP-DMC는 전자를 얻으려는 경향이 강해 표면에 음전하를 유도한다.
- [0170] 초기 단계에서는 나노 발전소자의 활성물질 전체에 전하가 생성되지 않는 반면 두 마찰전기 물질은 모두 특정 거리로 분리되어 층 전체에 걸쳐 전위가 0으로 생성될 수 있다.
- [0171] 나노 발전소자에 일정한 힘이 가해지면 마찰전기 재료는 구조도(500)와 같이 서로 접촉하게 된다.
- [0172] 결과적으로, 접촉 대전으로 인해 PHC에는 양전하가 유도되고 MP-DMC 표면에는 음전하가 유도된다.
- [0173] 구조도(501)와 같이 가해진 힘이 제거되면, 외부 회로를 통해 두 물질 사이에 전하 이동이 발생하며, 여기서 전위차는 양의 신호를 생성한다.
- [0174] 구조도(502)와 같이, 이후 가해진 힘이 완전히 제거되면, 두 마찰전기 물질이 완전히 분리되어 정전기적 평형 상태에 들어가며 전위차가 0이 되는 것을 확인할 수 있다.
- [0175] 구조도(503)와 같이, 나노 발전소자에 다시 힘이 가해지면 PHC와 MP-DMC가 서로 가깝게 움직이기 시작하여 그들 사이에 역전위차가 발생하여 음의 신호가 발생할 수 있다.
- [0176] 따라서, 마찰전기재료의 접촉과 분리가 반복되면서 전위차가 발생하여 교류전압과 전류가 출력된다.
- [0177] 도 5b는 본 발명의 일실시예에 따른 나노 발전소자의 컴솔(COMSOL) 시뮬레이션 결과를 예시한다.
- [0178] 도 5b를 참고하면, 이미지(510), 이미지(511), 이미지(512) 및 이미지(513)는 마찰전기 재료가 완전히 접촉 및 분리된 상태에서 최소 전위가 얻어지는 것을 보여주는데, 그러나, 이격 및 접근 상태에서 최대 출력 전위가 관찰됨을 보여준다.
- [0180] 도 6a 및 도 6b는 본 발명의 일실시예에 따른 나노 발전소자의 제조 방법 및 제조 결과를 설명하는 도면이다.
- [0181] 도 6a는 본 발명의 일실시예에 따른 나노 발전소자의 제조 방법으로 나노 발전소자 셀을 제작하기 위해 3D 프린팅 기술이 사용되는 것을 나타낸다.
- [0182] 도 6a를 참고하면, 본 발명의 일실시예에 따른 나노 발전소자의 제조 방법(600)은 준비된 PHC는 AI 전극으로 부착되고 양의 마찰 전기 매체로 작용하는 나노 발전소자 셀 내부에 조립되는 것을 나타낸다.
- [0183] 또한, MP-DMC는 금속 전극에 부착되어 PHC에 대해 작동하기 위한 음의 마찰 전기 매체로 사용되었으며 3D 인쇄

된 나노 발전소자 셀에 조립된다.

- [0184] 일례로, 나노 발전소자의 제조 방법은 제1 전극과 제1 전극을 마주보게 위치하는 제2 전극을 준비하는 단계, 제1 전극 상에 형성되는 제1 마찰전기층을 형성하는 단계 및 제2 전극 상에 형성되는 제2 마찰전기층을 형성하는 단계를 포함한다.
- [0185] 상술한 단계를 통해서 제조되는 나노 발전소자는 도 1에서 설명된 나노 발전소자에 대응될 수 있다.
- [0186] 도 6b는 본 발명의 일실시예에 따른 나노 발전소자의 제조 결과를 예시한다.
- [0187] 도 6b를 참고하면, 나노 발전소자(612) 및 나노 발전소자(612)를 구성하는 PHC 필름(610) 및 MP-DMC 필름(611)을 예시한다.
- [0190] 도 7a 내지 도 8c는 본 발명의 일실시예에 따른 나노 발전소자의 전기 출력 및 안정성을 설명하는 도면이다.
- [0191] 도 7a는 본 발명의 일실시예에 따른 나노 발전소자를 구성하는 PHC의 전기 출력 측정 결과를 예시한다.
- [0192] 도 7a를 참고하면, 그래프(700)는 전압 변화를 나타내고, 그래프(701)는 전류 변화를 나타내며, 그래프(702)는 전하 밀도 변화를 나타낸다.
- [0193] 그래프(700) 내지 그래프(702)에서는 셀룰로오스의 중량비가 0, 0.5, 2.5 및 4.5wt%일 수 있다.
- [0194] 이 측정 동안에는 각각 7N과 5Hz의 일정한 힘과 주파수가 유지되었고, 예상대로 TENG의 전기 출력 성능은 셀룰로오스 로딩 농도를 증가시키고, 농도를 더 높이면 감소한다.
- [0195] 그러나 2.5 PHC 나노 발전소자는 각각 ~200V, ~4 μ A 및 ~60 μ C/cm²의 최대 전압, 전류 및 전하 밀도를 나타내는 것을 확인할 수 있다.
- [0196] 도 7b는 본 발명의 일실시예에 따른 나노 발전소자에서 PHC 필름에 대응하도록 다양한 마찰전기 재료를 음극 마찰전기층으로 형성하는 경우를 예시한다.
- [0197] 도 7b를 참고하면, 그래프(710)는 전압 변화를 나타내고, 그래프(711)는 전류 변화를 나타내며, 그래프(712)는 전하 밀도 변화를 나타낸다.
- [0198] 음극 마찰전기층으로 형성 재료는 PVA, Cu, PTFE, Nylon, DMC 및 MP-DMC를 예시한다.
- [0199] MP-DMC가 가장 높은 전기적 특성을 나타내는 것을 확인할 수 있다.
- [0200] 도 8a는 본 발명의 일실시예에 따른 나노 발전소자에 인가되는 힘의 변화에 따라 5Hz의 일정한 주파수를 유지하면서 각각 4, 5, 6 및 7N의 서로 다른 외부 힘이 가해질 때 전압, 전류 및 전하 밀도 곡선을 예시한다.
- [0201] 도 8a를 참고하면, 그래프(800)는 전압 변화를 나타내고, 그래프(801)는 전류 변화를 나타내며, 그래프(802)는 전하 밀도 변화를 나타낸다.
- [0202] 이러한 결과는 적용된 힘이 4N에서 7N으로 증가함에 따라 TENG의 전압, 전류 및 전하 밀도가 향상됨을 시사한다.
- [0203] 도 8b는 본 발명의 일실시예에 따른 나노 발전소자에 인가되는 주파수의 변화에 일정한 외부 힘이 가해질 때 전압, 전류 및 전하 밀도 곡선을 예시한다.
- [0204] 도 8b를 참고하면, 그래프(810)는 전압 변화를 나타내고, 그래프(811)는 전류 변화를 나타내며, 그래프(812)는 전하 밀도 변화를 나타낸다.
- [0205] 주파수가 증가함에 따라 평균 전압, 전류 및 전하 밀도가 증가한다.
- [0206] 제작된 나노 발전소자는 높고 안정적인 전기 출력을 가진다.
- [0207] 여기서 7N과 5Hz는 이 조건에서 나노 발전소자의 가장 높은 전기 출력이 얻어졌기 때문에 나노 발전소자의 최적화된 작동 힘과 주파수로 간주된다.
- [0208] 도 8c는 본 발명의 일실시예에 따른 나노 발전소자의 안정성 테스트에 따른 전압 및 전류 변화를 나타낸다.

- [0209] 도 8c를 참고하면, 그래프(820) 및 그래프(821)는 각각 7N과 5Hz의 일정한 힘과 주파수에서 작동할 때 10,000사이클 이상에 대한 나노 발전소자의 안정성 테스트를 보여준다.
- [0210] 나노 발전소자의 평균 전기 출력은 매우 긴 사이클링 테스트에서 거의 일정했다.
- [0211] 이는 나노 발전소자를 장기간에 걸쳐 탁월한 에너지 수확 장치로 검증한다.
- [0213] 도 9a 내지 도 9d는 본 발명의 일실시예에 따른 나노 발전소자의 구동 정보 변환 애플리케이션을 설명하는 도면이다.
- [0214] 도 9a는 본 발명의 일실시예에 따른 나노 발전소자의 구동 정보 변환 애플리케이션 동작을 예시한다.
- [0215] 도 9a를 참고하면, 단계(S901)에서 나노 발전소자(TENG1)와 나노 발전소자(TENG2)를 터치하여 신호를 생성한다.
- [0216] TENG1과 TENG2는 손가락으로 두드릴 때 각각 점(*)과 대시(—)를 생성하도록 지정된다.
- [0217] 단계(S902)에서 전력 관리 회로(power management circuit, PMC)가 나노 발전소자들로부터 전력을 전달받는 클리핑 동작을 수행한다.
- [0218] 단계(S903)에서 MCU(microcontroller unit)가 피크가 감지 및 도트 및 대시를 배정하고, 메시지를 디코딩한다.
- [0219] 단계(S904)에서 무선 통신 장치가 무선 전송을 수행한다. 예를 들어, 무선 통신 장치는 블루투스(Bluetooth)를 포함한다.
- [0220] 단계(S905)에서 휴대용 단말 장치에서 무선 전송된 신호를 수신한다.
- [0221] 도 9b는 본 발명의 일실시예에 따른 나노 발전소자의 구동 정보 변환 애플리케이션 동작을 수행하는 회로를 예시한다.
- [0222] 도 9b를 참고하면, 동작회로(900)는 휴대용 단말 장치(910)로 도 9a에서 설명된 모스 부호를 전달한다.
- [0223] 동작회로(900)에서 제너 다이오드가 연결되어 클리퍼 회로로 기능한다.
- [0224] 클리퍼 회로는 TENG의 전압을 감소시키고 MCU를 보호한다.
- [0225] TENG 출력 임피던스는 MCU 입력 임피던스보다 훨씬 높으므로 전압은 각각 TENG와 MCU의 출력 및 입력 임피던스 비율에 따라 구분된다.
- [0226] 이러한 분할로 인해 입력 전압은 3.3V(디지털 하이(High) 값에 대한 MCU 임계값 전압은 3.3V일 수 있다.) 미만이다.
- [0227] TENG 전기 출력은 가해진 힘에 따라 달라질 수 있으므로 전압이 임계 전압에 도달하지 못할 수 있다.
- [0228] 여기서는 아날로그-디지털 변환기를 사용하여 0~5V 펄스 신호의 전압을 감지한다.
- [0229] TENG의 전압은 디지털 값으로 변환되어 임계값 및 설정값과 비교된다.
- [0230] 디지털 임계값은 MCU에 대해 수동으로 프로그래밍되었으며 TENG 성능에 따라 수정될 수 있다.
- [0231] TENG1 및 TENG2 출력 디지털 값이 230을 초과하면 MCU는 신호를 각각 점과 대시로 간주한다.
- [0232] MCU는 TENG의 모스 부호 신호를 식별하여 이를 액정 디스플레이(LCD)에 직접 표시하고 무선으로 휴대폰에 표시하도록 프로그래밍된다.
- [0233] 도 9c는 본 발명의 일실시예에 따른 나노 발전소자의 구동 정보 변환 애플리케이션 동작에 따른 점과 대시로 표시된 표준 모스 부호 생성 패턴(920)을 예시한다.
- [0234] 도 9d는 본 발명의 일실시예에 따른 나노 발전소자의 구동 정보 변환 애플리케이션 동작에 따른 생성 결과를 예시한다.
- [0235] 도 9d를 참고하면, 손가락으로 두드리는 동안 TENG1과 TENG2에 의해 생성된 전압 신호를 보여준다.
- [0236] 도트의 전압 신호는 TENG1에 의해 생성되고 대시의 전압 신호는 TENG2에 의해 생성된다.
- [0237] 처음에는 TENG1과 TENG2에 의해 생성된 전압 신호가 모든 알파벳에 대한 표준 모스 부호 패턴을 기반으로 연구

된다.

- [0238] 점/대시 신호가 필요할 때마다 기계적 압력이 해당 TENG에 적용된다.
- [0239] 이미지(930)는 본 발명의 일실시예에 따른 나노 발전소자의 구동 정보 변환 애플리케이션 동작에 따른 생성 결과로서 "MORSE CODE"를 예시한다.
- [0240] 이미지(931)는 본 발명의 일실시예에 따른 나노 발전소자의 구동 정보 변환 애플리케이션 동작에 따른 생성 결과로서 "SOS"를 예시한다.
- [0242] 도 10a 내지 도 10c는 본 발명의 일실시예에 따른 나노 발전소자의 애플리케이션 적용을 위한 전기적 성능을 설명하는 도면이다.
- [0243] 도 10a는 본 발명의 일실시예에 따른 나노 발전소자의 애플리케이션 적용을 위한 전기적 성능과 관련하여 부하 저항(RL)의 함수로서 단위 크기($A = 2 \times 2 \text{ cm}^2$)를 갖는 단일 TENG의 측정된 순간 전력 밀도를 예시한다.
- [0244] 도 10a를 참고하면, 그래프(1000)는 전력 밀도를 나타내는데, 실험 중에 $fV = 5\text{Hz}$ 의 정현파 진동 주파수와 $FM = 5\text{N}$ 의 힘이 고려된다. 따라서 $RL = 200\text{M}\Omega$ 일 때 최대값 15.6W/m^2 를 얻을 수 있다.
- [0245] 도 10b는 본 발명의 일실시예에 따른 나노 발전소자의 애플리케이션 적용을 위한 전기적 성능과 관련하여 단일 나노 발전소자의 성능을 예시한다.
- [0246] 도 10b를 참고하면, 그래프(1010)는 $C_{OUT} = 10 \mu\text{F}$ 의 출력 커패시터를 사용하여 210초 동안 $V_{OUT} = 5\text{V}$ 의 출력 전압을 충전한 다음 디지털 클럭을 통해 방전한다.
- [0247] 게다가 디지털 클럭이 연결되면 V_{OUT} 은 즉시 3V 로 감소하고, 그런 다음 V_{OUT} 은 디지털 클럭에 전원을 공급하는 동안 60초 동안 1V 보다 낮은 전압으로 기하급수적으로 감소한다.
- [0248] 일반적으로 디지털 시계와 같은 상용 저전력 전자 장치는 $V_{OUT} = 1.5\text{V}$ 에서 약 $5.1 \mu\text{W}$ 를 소비한다.
- [0249] 이는 클럭의 임피던스와 유사한 관련 $RL = 455\text{k}\Omega$ 을 제공함에, 따라서 이 최소 구동 전력을 충족하기 위해 $A = 2 \times (4 \times 4 \text{ cm}^2)$ 를 사용하여 나노 발전소자를 수정한다.
- [0250] 도 10c는 본 발명의 일실시예에 따른 나노 발전소자의 애플리케이션 적용을 위한 전기적 성능과 관련하여 총 면적 $A = 2 \times (4 \times 4 \text{ cm}^2)$ 인 한 쌍의 나노 발전소자를 사용하여 구현된 제안된 구성을 예시한다.
- [0251] 도 10c를 참고하면, 한 쌍의 나노 발전소자를 사용하여 구현된 제안된 구성(1020)은 두 개의 나노 발전소자는 다중 브리지 정류기를 사용하여 병렬로 연결되며 입력 커패시터(C_{IN})는 입력으로 PMIC(power management integrated circuit)에 공급되는 마찰 전기 펄스 전압(V_{IN} , TENG)을 조정하는 데 사용한다.
- [0253] 도 11a 내지 도 11d는 본 발명의 일실시예에 따른 전력 관리 집적 회로를 설명하는 도면이다.
- [0254] 도 11a는 본 발명의 일실시예에 따른 전력 관리 집적 회로에 대하여 코어 면적이 1.5mm^2 인 전력 관리 집적 회로의 현미경 사진을 예시한다.
- [0255] 도 11a를 참고하면, 현미경 사진(1100)에 따른 전력 관리 집적 회로는 $2 \mu\text{m}$ 두께의 금속 옵션을 갖춘 180nm 고전압 BCD(Bipolar CMOS DMOS) 공정으로 구현될 수 있다.
- [0256] 즉, 전력 관리 집적 회로는 180 nm 고전압 BCD(Bipolar CMOS(Complementary Metal-Oxide Semiconductor) DMOS(diffusion Metal-Oxide Semiconductor))로 구현될 수 있다.
- [0257] 도 11b는 본 발명의 일실시예에 따른 전력 관리 집적 회로의 단순화된 시스템 블록 다이어그램을 예시한다.
- [0258] 도 11b를 참고하면, 회로도(1110)는 2개의 전원 스위치(SP & SN), 최대 전력 지점 추적(MPPT) 컨트롤러, 체로 전류 감지(ZCS) 컨트롤러, 커패시터(C_{IN} 및 C_{OUT}) 및 인덕터($L = 20\text{mH}$)로 구성된다.
- [0259] MPPT 컨트롤러는 전원 스위치 SP를 제어하는 펄스 신호 Φ_P 의 온 타임을 조정한다.

- [0260] MPPT 컨트롤러에서 MPPT 작동의 정상 상태 동안 PMIC의 입력 임피던스(R_{IN})는 나노 발전소자 구성의 등가 임피던스(R_{TENG})와 거의 유사하다.
- [0261] ZCS(zero current sensing) 컨트롤러는 PMIC로의 역전류를 최소화하여 효율성을 높이는 데 도움이 된다.
- [0262] 도 11c는 본 발명의 일실시예에 따른 전력 관리 집적 회로에 브리지 정류기를 함수로 사용하여 제안된 구성의 측정된 평균 전력(P_{OUT})을 보여준다.
- [0263] 도 11c를 참고하면, 그래프(1120)는 전력 관리 집적 회로가 나노 발전소자의 입력 전력을 사용하여 81.5% 이상의 에너지 전달 효율을 획득하는 것을 나타낸다.
- [0264] 도 11d는 본 발명의 일실시예에 따른 전력 관리 집적 회로에서 시작 및 MPPT 작동 영역을 포함하여 클록에 전원이 공급될 시 측정된 파형을 예시한다.
- [0265] 도 11d를 참고하면, 그래프(1130)에서 MPPT 컨트롤러는 R_{IN} 을 R_{TENG} 와 일치시키면서 입력 전력(P_{IN})을 평가하고 V_{OUT} 이 증가한다.
- [0266] R_{IN} 과 R_{TENG} 이 동일한 경우, MPPT 작동 중에 V_{IN} 및 나노 발전소자는 10V와 20V 사이에서 반복적으로 변화하고 V_{OUT} 은 1.5V로 조정된다.
- [0267] 클록에 전달되는 전력은 $V_{OUT} = 1.5V$ 에서 $3.45 \mu W$ 이며, 이는 $R_L = 652k\Omega$ 에 해당될 수 있다.
- [0268] 전력 관리 집적 회로와 결합하면 나노 발전소자의 평균 전력이 증가하고 부하 저항이 감소하여 IoT 애플리케이션에 적용할 수 있다.
- [0269] 따라서, 본 발명은 나노 발전소자 및 전력 관리 집적 회로를 이용한 전력 관리 시스템에 기반하여 나노 발전소자가 일상 생활에서 기계 에너지를 수확하고 다양한 IoT(Internet Of Things) 애플리케이션(application)을 위한 다양한 휴대용 전자 장치에 전원을 공급할 수 있다.
- [0271] 도 12는 본 발명의 일실시예에 따른 나노 발전소자와 전력 관리 집적 회로를 이용한 전력 관리 시스템을 설명하는 도면이다.
- [0272] 도 12는 본 발명의 일실시예에 따른 나노 발전소자와 전력 관리 집적 회로를 이용한 전력 관리 시스템의 회로도 예시한다.
- [0273] 도 12를 참고하면, 본 발명의 일실시예에 따른 전력 관리 시스템(1200)은 제1 나노 발전소자(1210), 제2 나노 발전소자(1211) 및 전력 관리 집적 회로(1220)를 포함하고, 전류 미터(1230) 및 전압 미터(1240)를 더 포함한다.
- [0274] 제1 나노 발전소자(1210)는 전류 나노 발전소자이고, 제2 나노 발전소자(1211)는 전압 나노 발전소자일 수 있다.
- [0275] 제1 나노 발전소자(1210) 및 제2 나노 발전소자(1211)는 제1 전극, 제1 전극을 마주보게 위치하는 제2 전극, 제1 전극 상에 불소(F) 및 산소(O) 함유 중합체를 셀룰로오스(cellulose)와 결합하여 전하 변조 공정을 수행함에 따라 혼합된 양전하 혼합 중합체에 기반하여 형성되는 제1 마찰전기층 및 제2 전극 상에 형성되는 제2 마찰전기층을 포함할 수 있다.
- [0276] 전력 관리 집적 회로(1220)는 제1 나노 발전소자(1210) 및 제2 나노 발전소자(1211)의 입력 전력을 사용하여 81.5% 이상의 에너지 전달 효율을 획득할 수 있다.
- [0277] 따라서, 본 발명은 나노 발전소자의 유효 임피던스를 일치시키면서 상대적으로 낮은 입력 전력을 사용하여 높은 에너지 전달 효율을 달성하여 최첨단 성능을 제공하는 전력 관리 집적 회로를 구현할 수 있다.
- [0279] 이상과 같이 실시예들이 비록 한정된 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, 영역, 장치, 회로 등의 구성요소들이 설명된 방법과 다른 형태로 결합 또

는 조합되거나, 다른 구성요소 또는 균등물에 의하여 대치되거나 치환되더라도 적절한 결과가 달성될 수 있다.

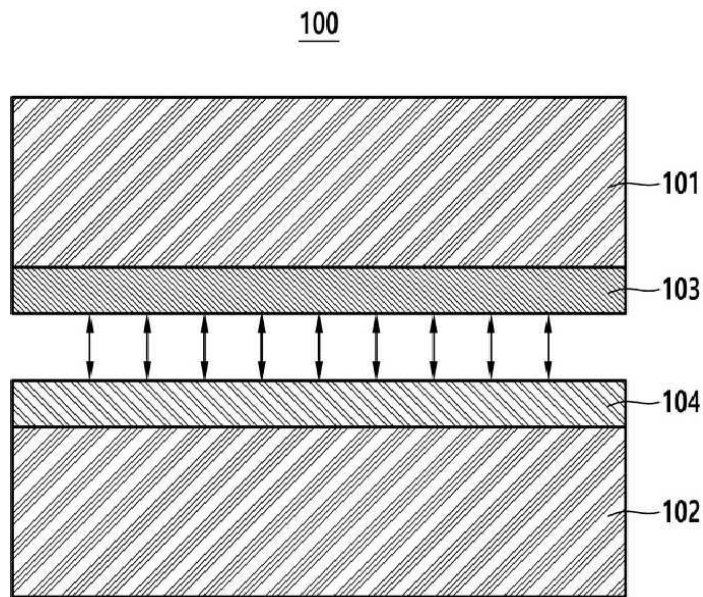
[0280] 그러므로, 다른 구현들, 다른 실시예들 및 특허청구범위와 균등한 것들도 후술하는 특허청구범위의 범위에 속한다.

부호의 설명

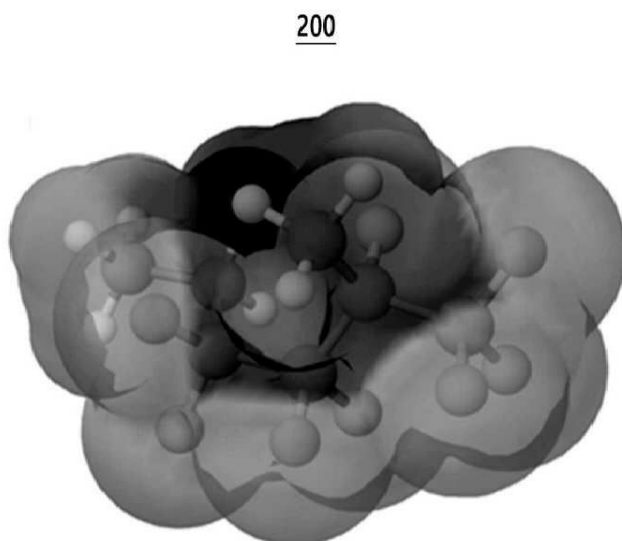
[0281] 100: 나노 발전소자 101: 제1 전극
102: 제2 전극 103: 제1 마찰 전기층
104: 제2 마찰 전기층

도면

도면1

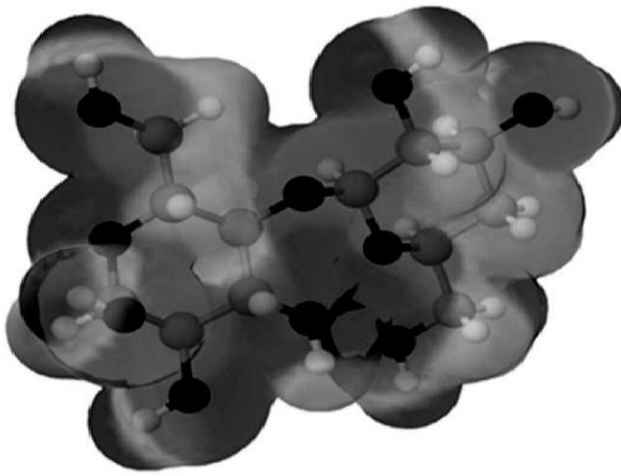


도면2a

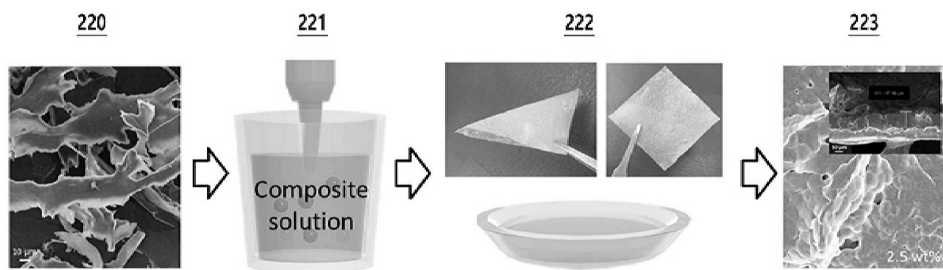


도면2b

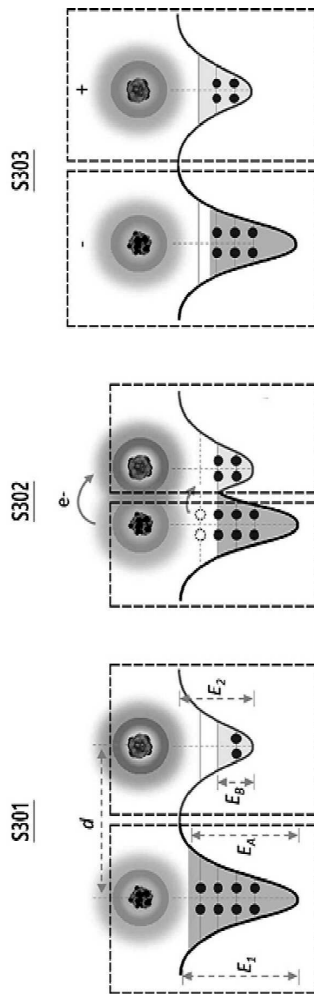
210



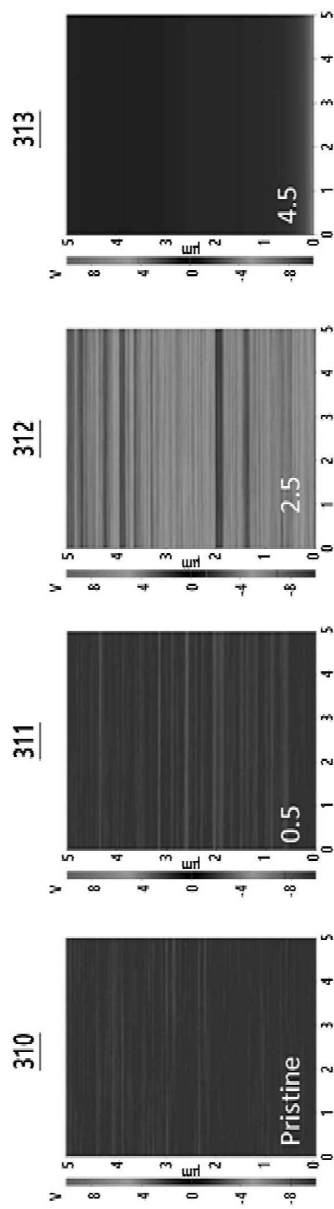
도면2c



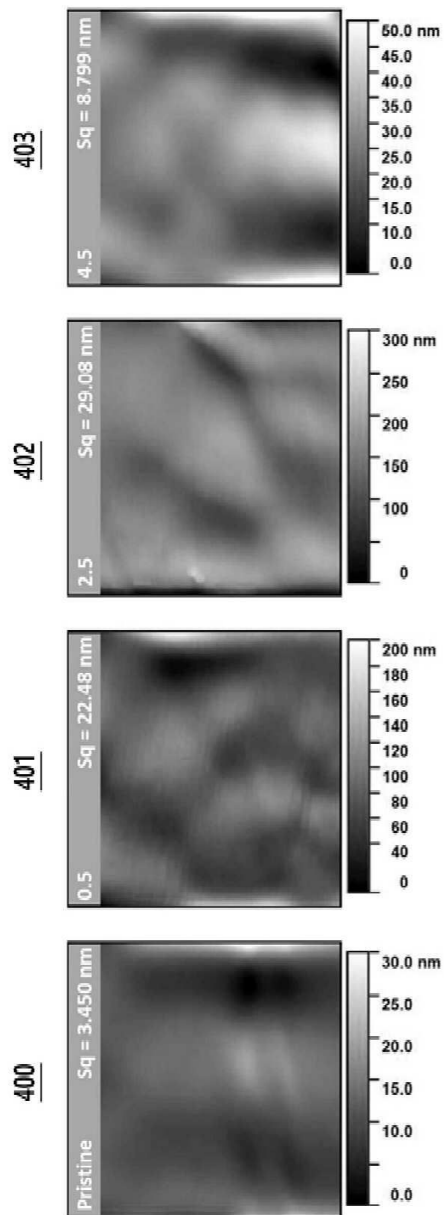
도면3a



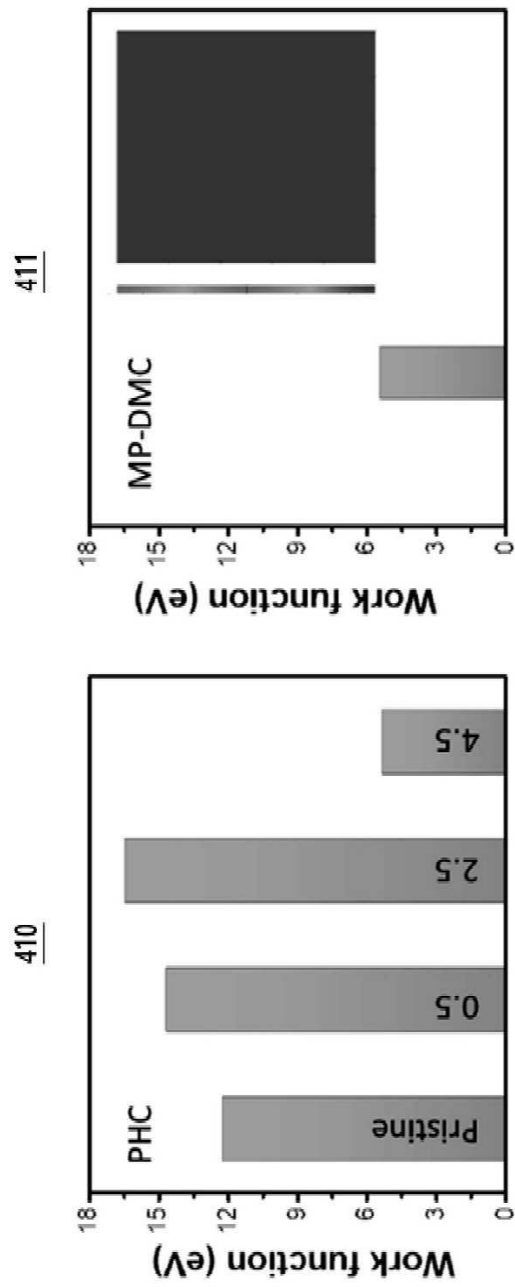
도면3b



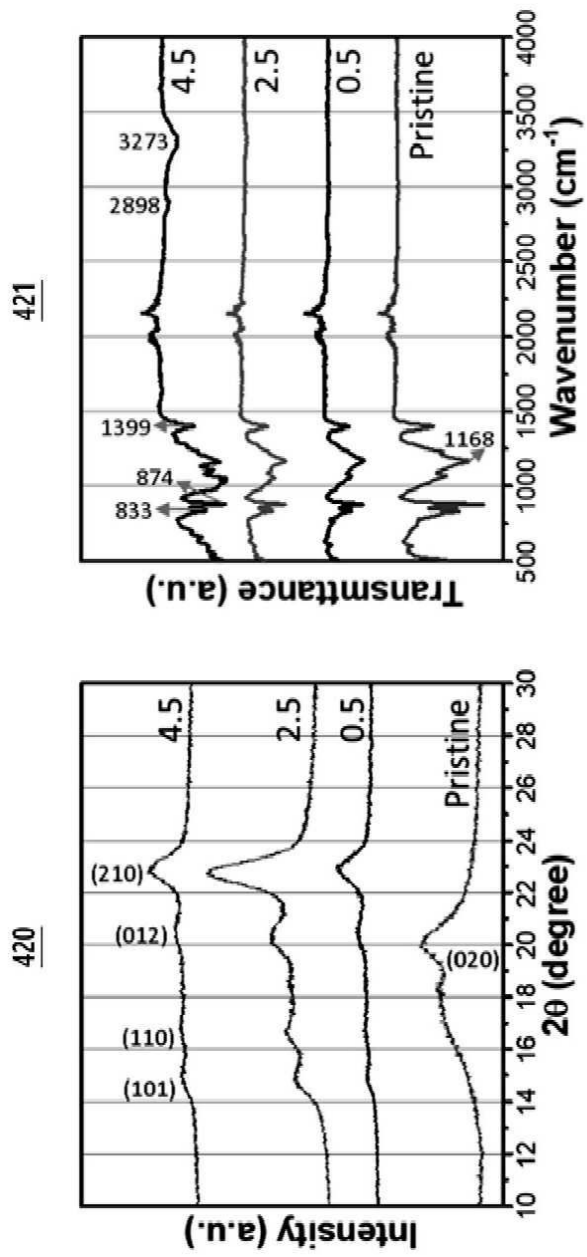
도면4a



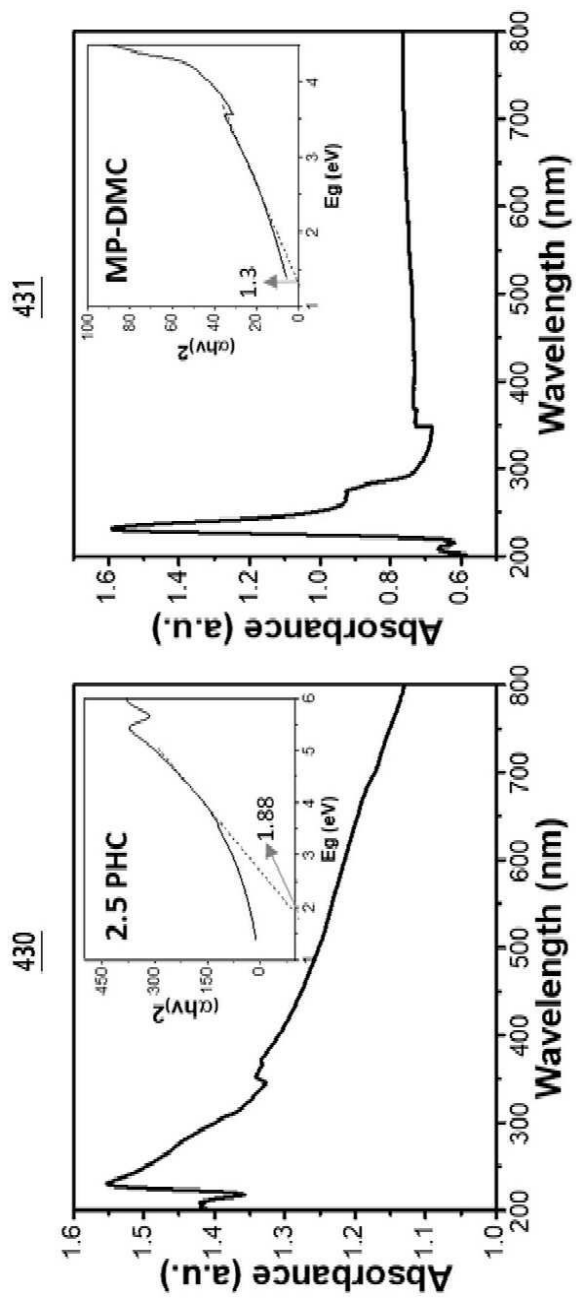
도면4b



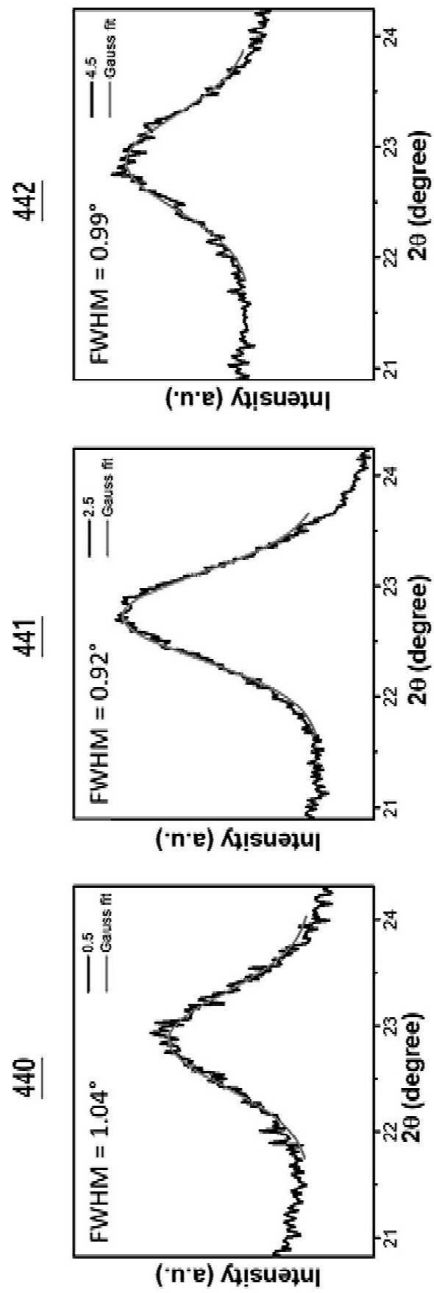
도면4c



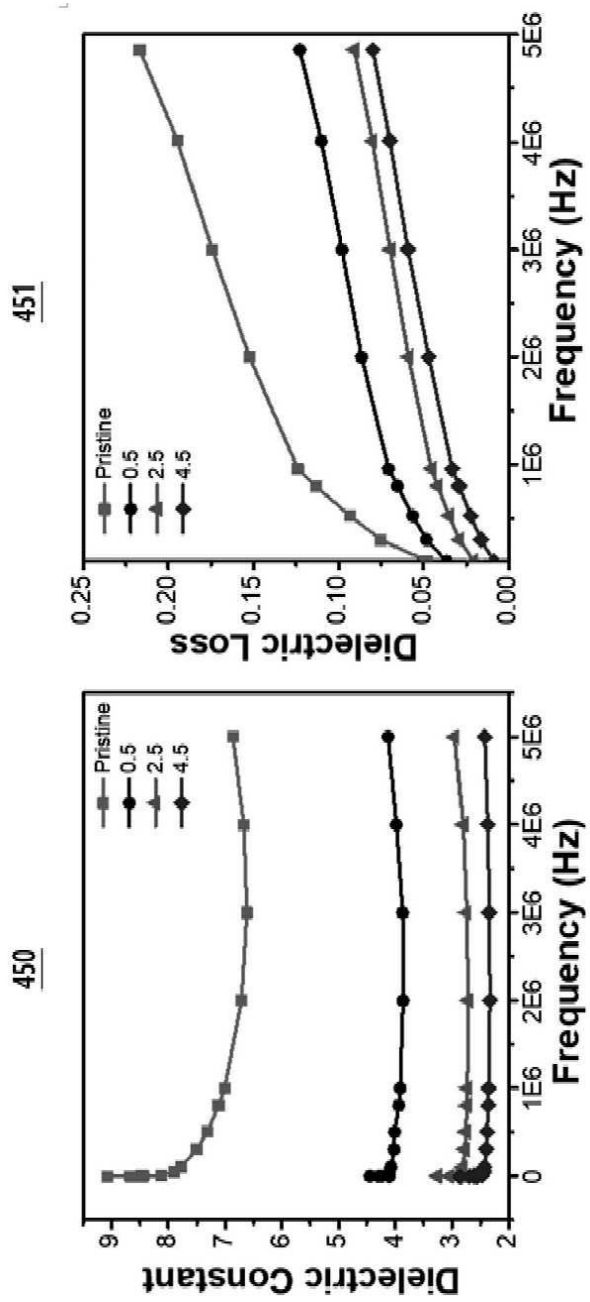
도면4d



도면4e

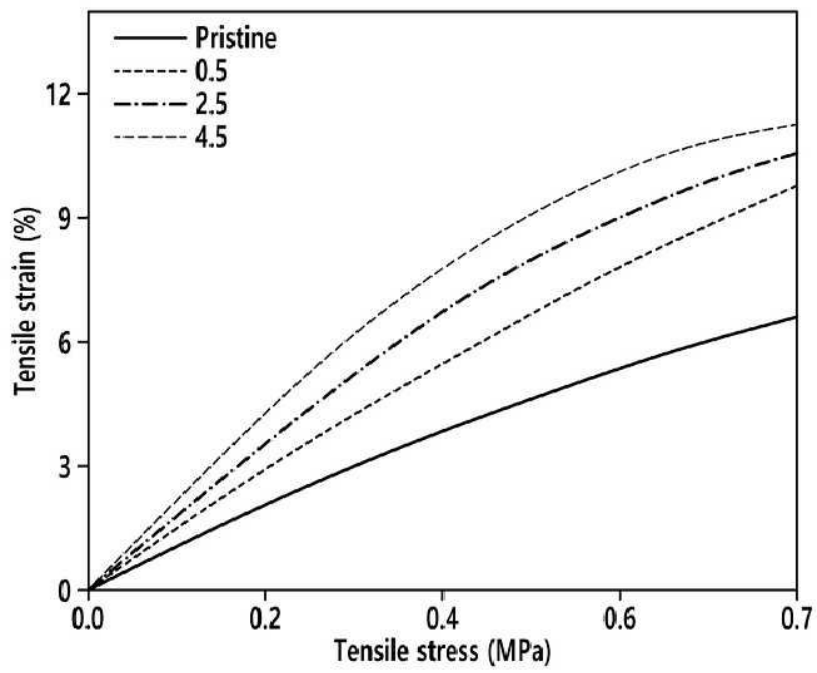


도면4f

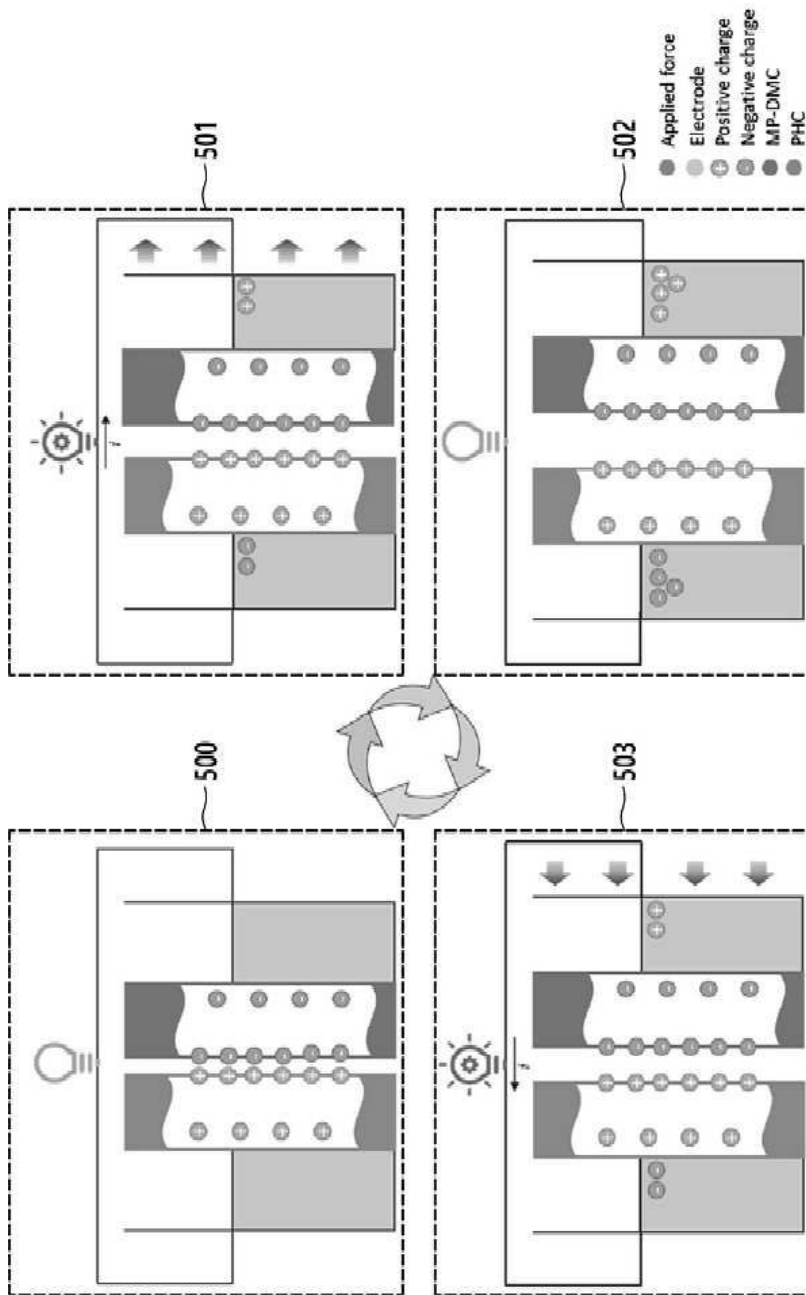


도면4g

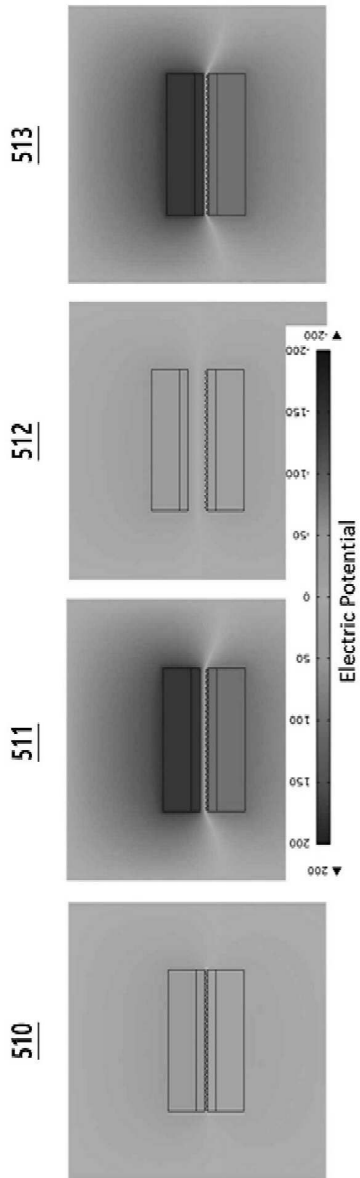
460



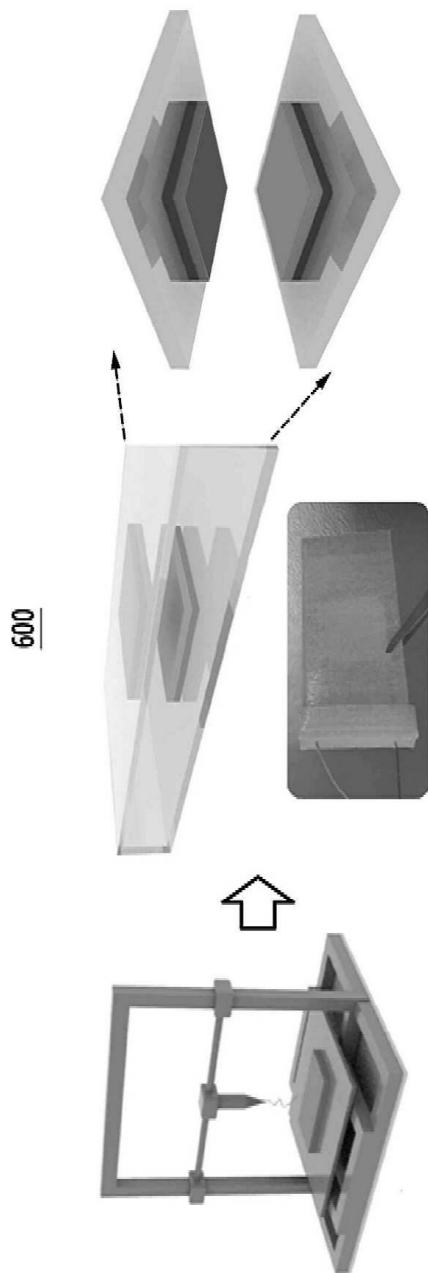
도면5a



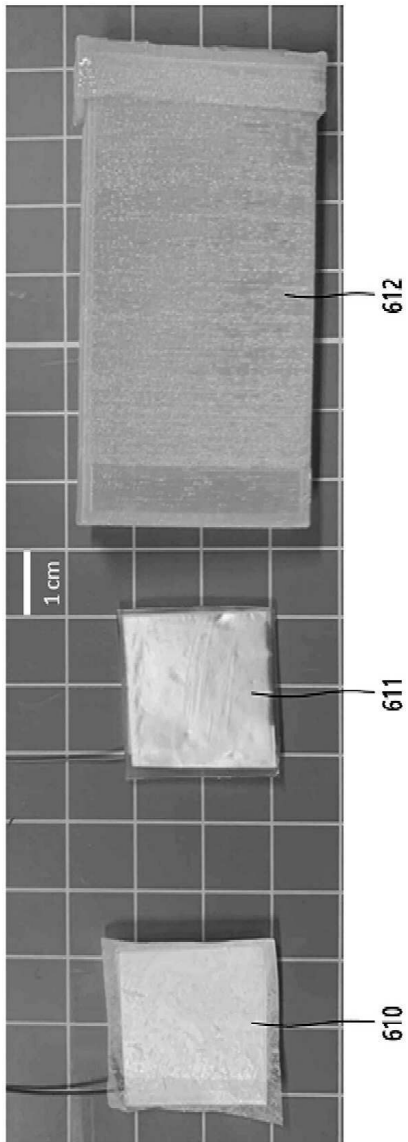
도면5b



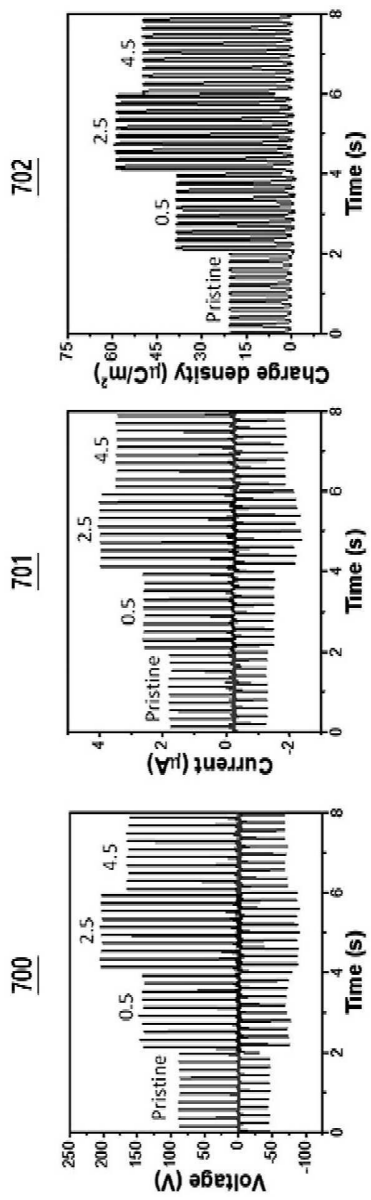
도면6a



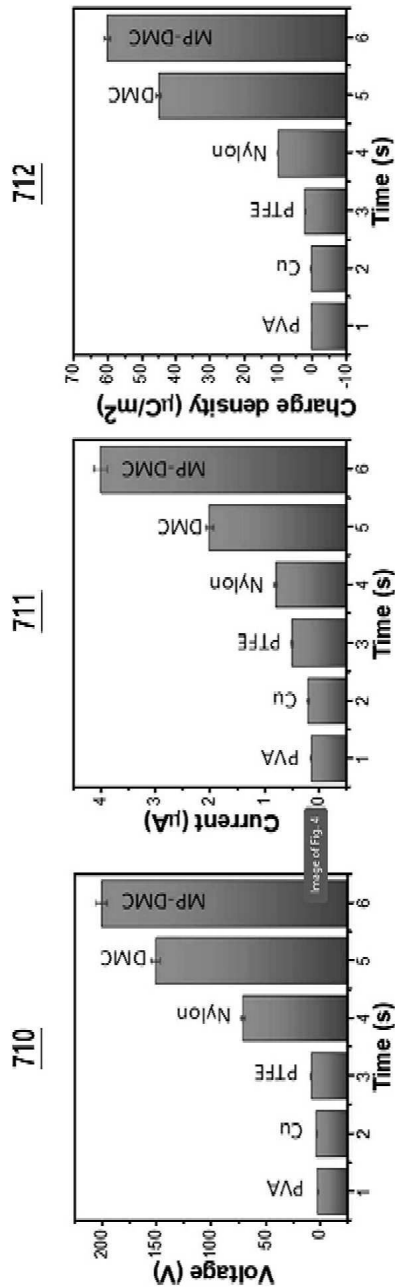
도면6b



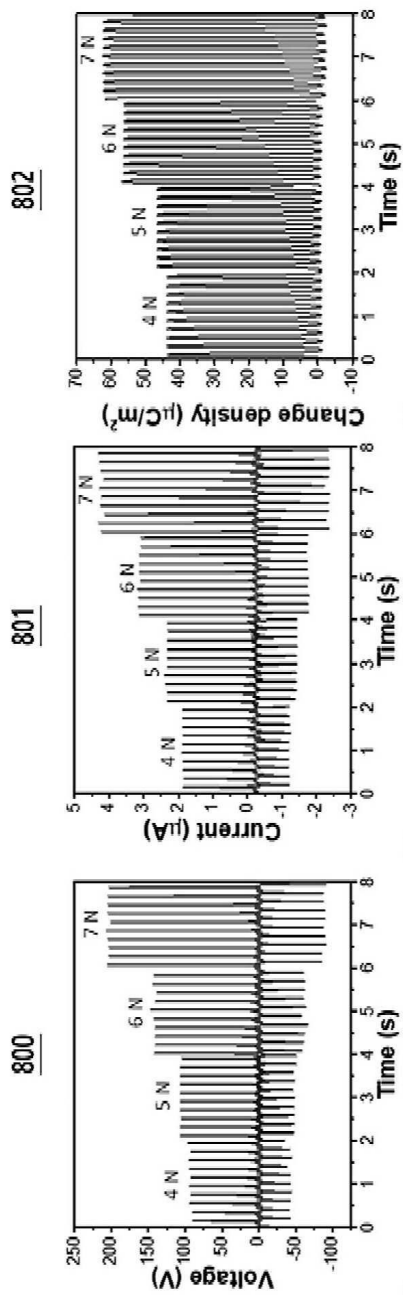
도면7a



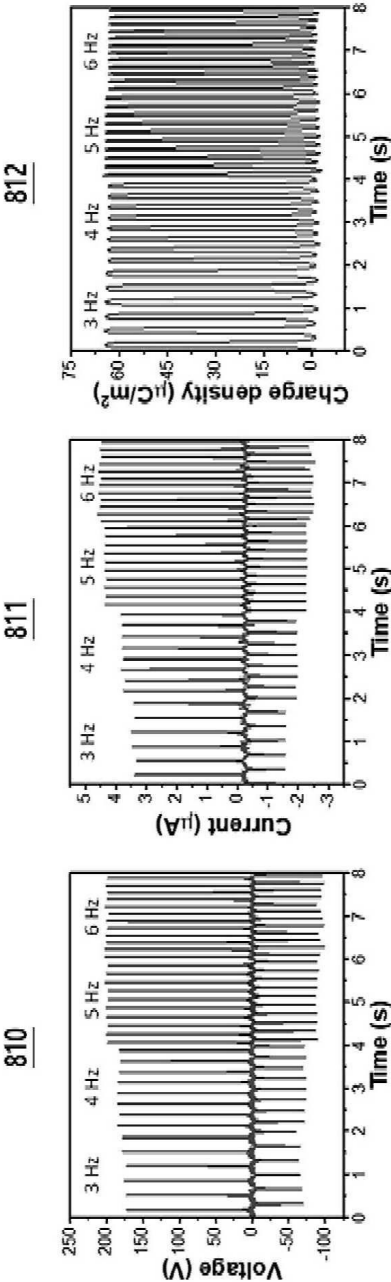
도면7b



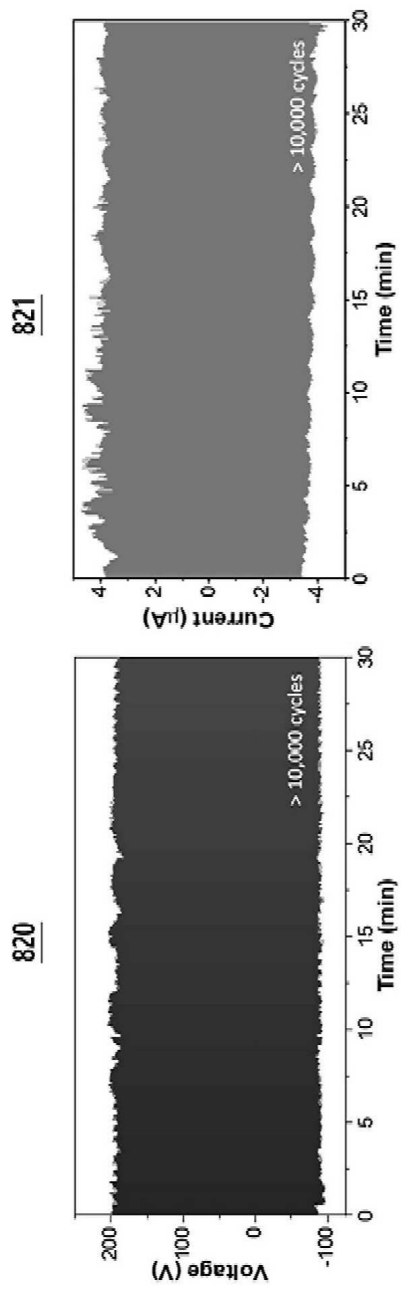
도면8a



도면8b



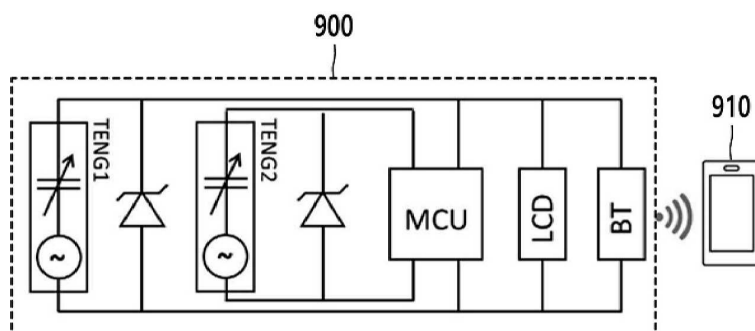
도면8c



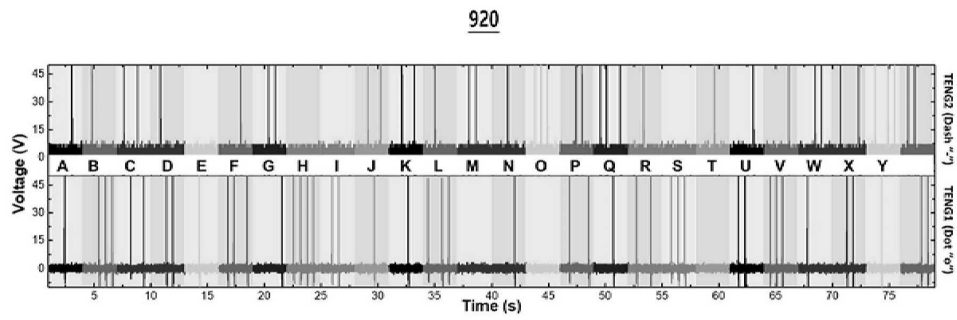
도면9a



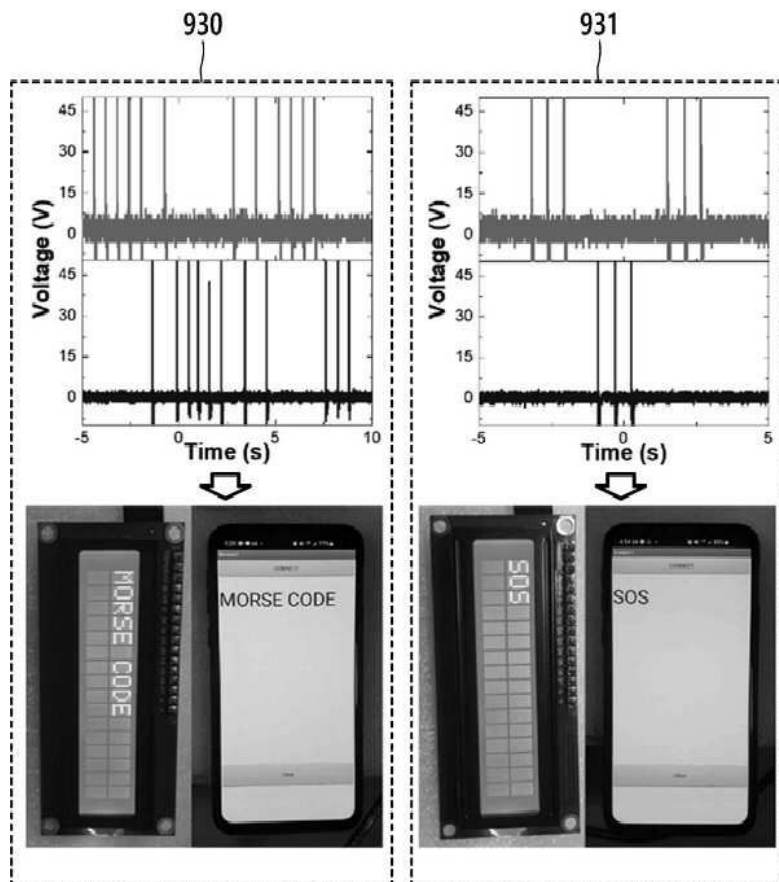
도면9b



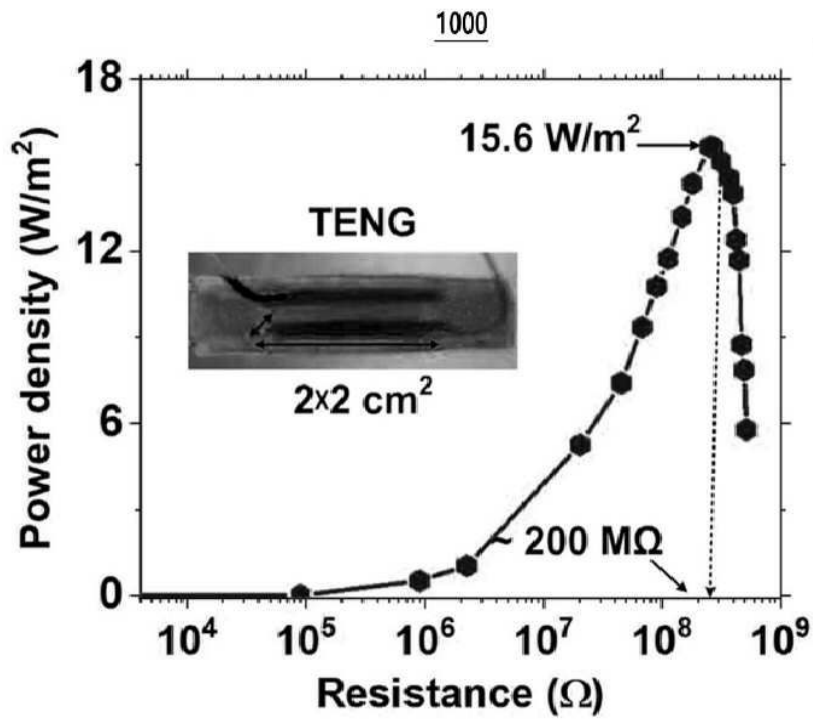
도면9c



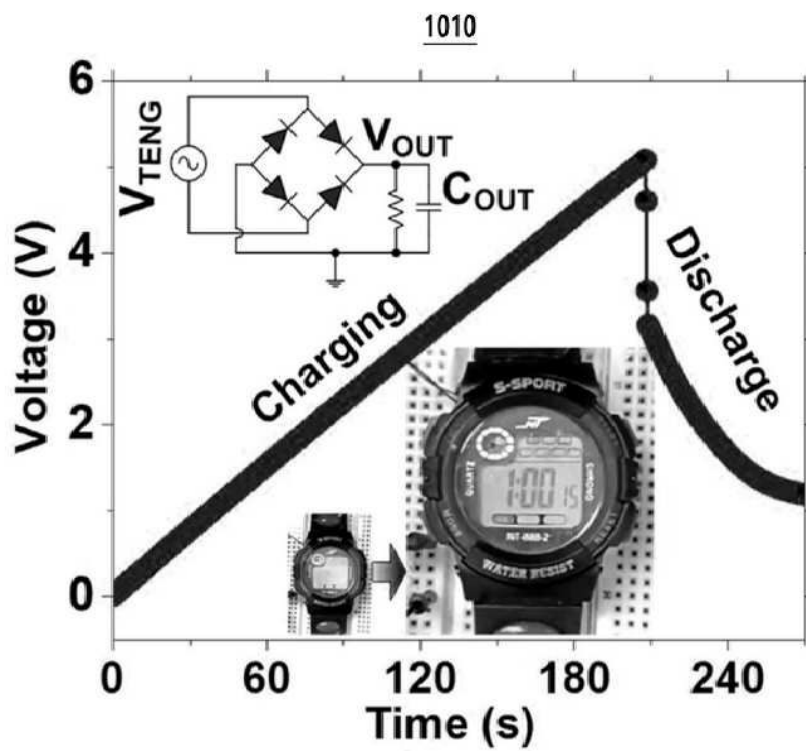
도면9d



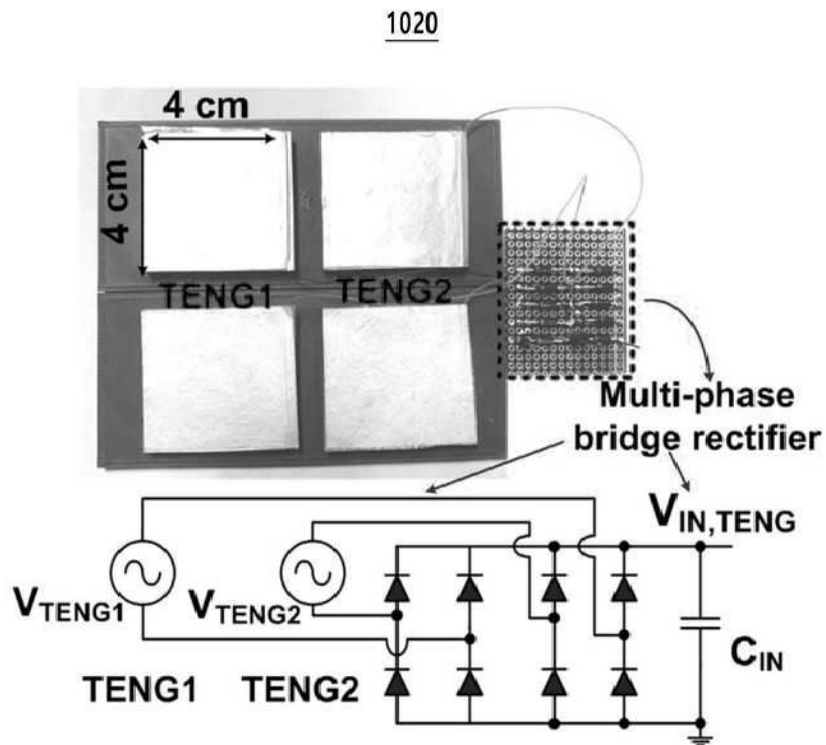
도면10a



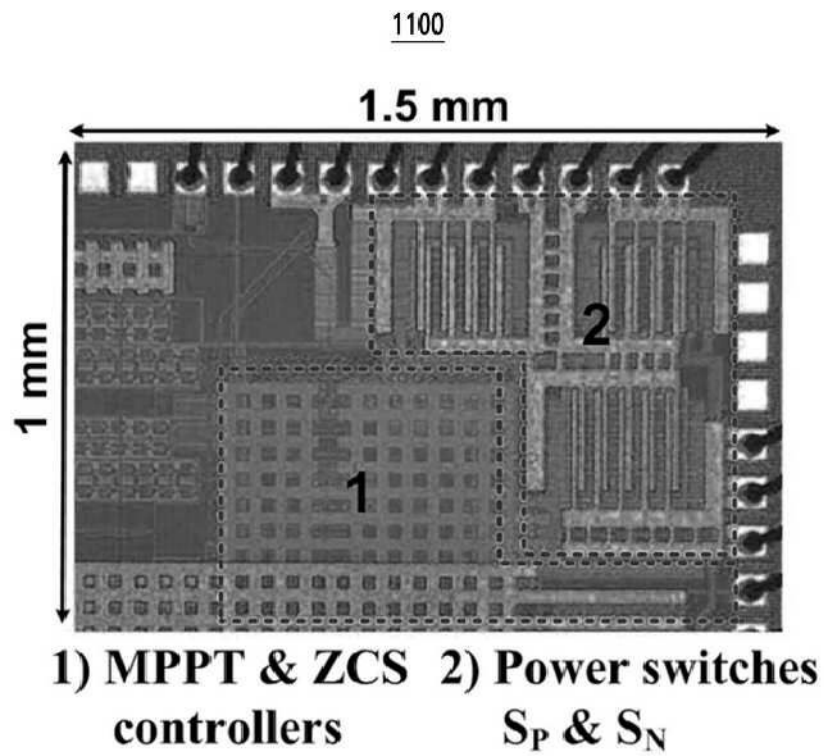
도면10b



도면10c

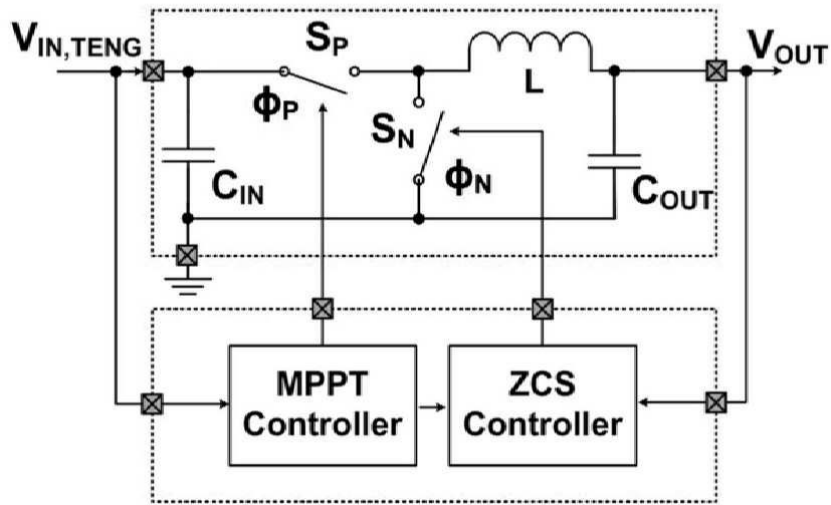


도면11a



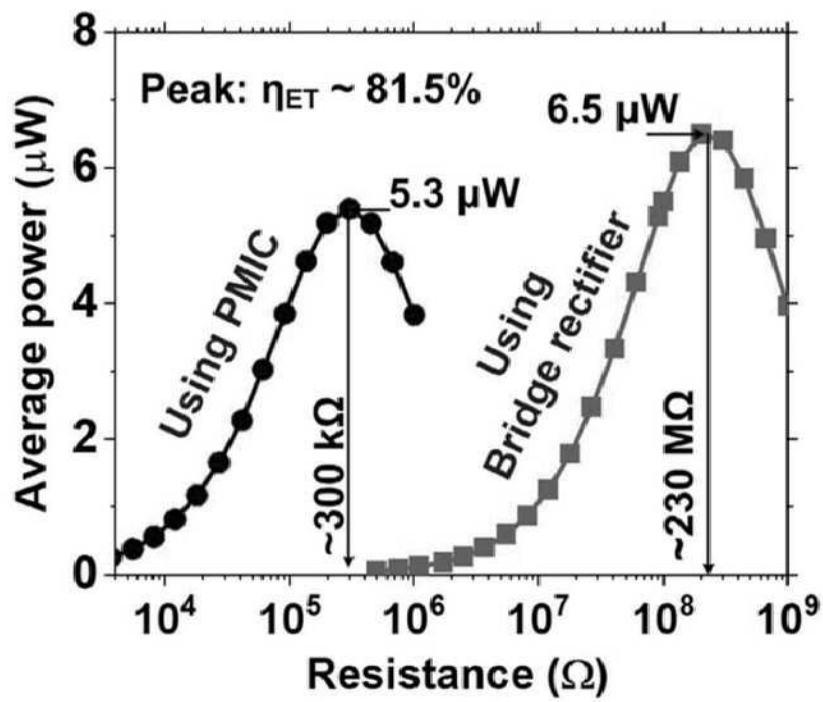
도면11b

1110



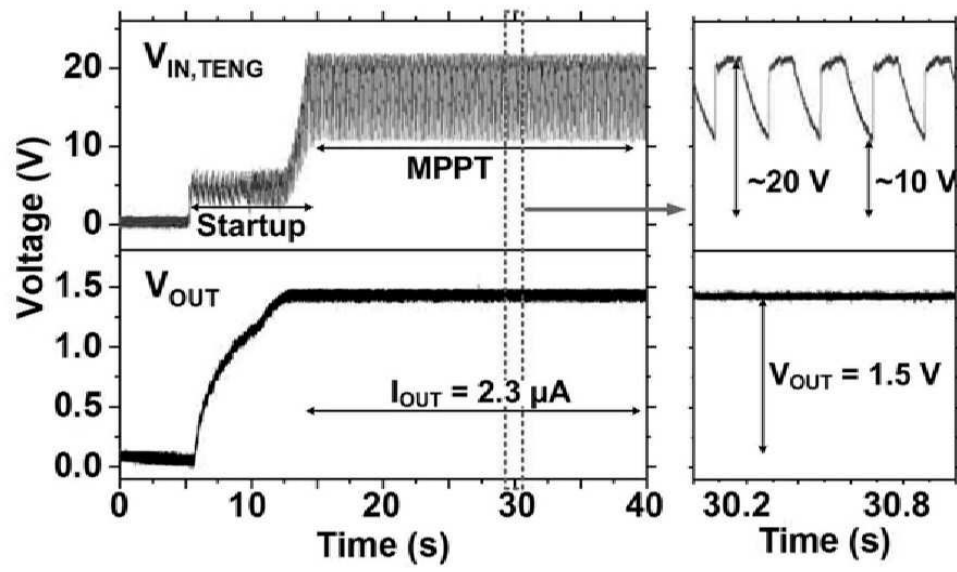
도면11c

1120



도면11d

1130



도면12

