



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2025-0062445
(43) 공개일자 2025년05월08일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01K 11/12 (2021.01) H02N 1/04 (2006.01)
H10N 30/092 (2023.01) H10N 30/30 (2023.01)
H10N 30/85 (2023.01) H10N 39/00 (2023.01)
(52) CPC특허분류
G01K 11/12 (2021.01)
H02N 1/04 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2023-0147429
(22) 출원일자 2023년10월31일
심사청구일자 2023년10월31일

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

전체 청구항 수 : 총 13 항

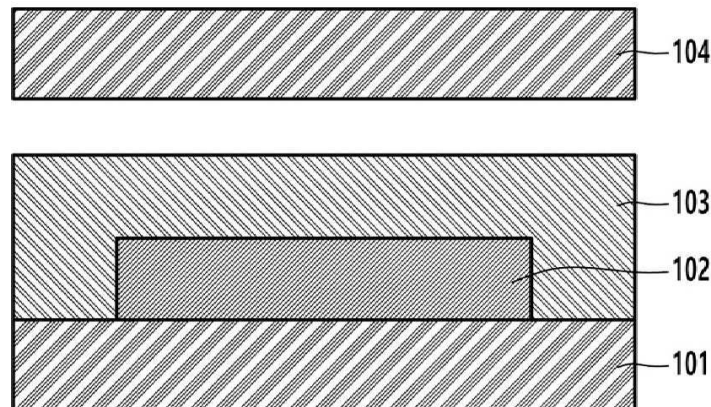
(54) 발명의 명칭 하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서 및 이의 제조 방법

(57) 요약

본 발명은 하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서 및 이의 제조 방법에 관한 것으로, 본 발명의 일실시예에 따른 하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서는 전극, 상기 전극 상에 형성된 압전 복합층 및 상기 전극 상에 상기 압전 복합층을 감싸는 형태로 형성된 마찰 열변색층을 포함하고, 상기 마찰 열변색층은 마찰 전기층과 접촉 또는 분리되고, 상기 압전 복합층은 상기 마찰 전기층에 가해지는 힘에 기반하여 압전 효과를 발생하며, 상기 마찰 열변색층은 기준온도보다 증가 또는 감소되는 주변 온도의 변화에 따른 색변화를 나타내고, 상기 마찰 전기층은 상기 마찰 열변색층과 상호 간에 접촉 및 분리되면서 마찰 전기 효과를 발생하며, 상기 전극은 상기 압전 효과와 상기 마찰 전기 효과를 결합하여 변환된 전기적 에너지의 수확을 지원할 수 있다.

대표도 - 도1

100



(52) CPC특허분류

H10N 30/092 (2023.02)

H10N 30/30 (2023.02)

H10N 30/852 (2023.02)

H10N 39/00 (2025.05)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1345347193
과제번호	2018R1A6A1A03025708
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	(혁신법)이공분야기초연구사업/기초연구기반구축사업/대학중점연구소지원사업
연구과제명	[대학중점연구소] 융복합 에너지 자율형 다기능 센서 플랫폼 연구 2단계(2/3)
기 여 율	1/1
과제수행기관명	경희대학교 산학협력단
연구기간	2018.06.01 ~ 2027.02.28

명세서

청구범위

청구항 1

전극;

상기 전극 상에 형성된 압전 복합층; 및

상기 전극 상에 상기 압전 복합층을 감싸는 형태로 형성된 마찰 열변색층을 포함하고,

상기 마찰 열변색층은 마찰 전기층과 접촉 또는 분리되고,

상기 압전 복합층은 상기 마찰 전기층에 가해지는 힘에 기반하여 압전 효과를 발생하며,

상기 마찰 열변색층은 기준온도보다 증가 또는 감소되는 주변 온도의 변화에 따른 색변화를 나타내고,

상기 마찰 전기층은 상기 마찰 열변색층과 상호 간에 접촉 및 분리되면서 마찰 전기 효과를 발생하며,

상기 전극은 상기 압전 효과와 상기 마찰 전기 효과를 결합하여 변환된 전기적 에너지의 수확을 지원하는 것을 특징으로 하는

하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 압전 복합층은 니오브산칼륨(potassium niobate, KN) 입자, 압전 폴리머(piezoelectric polymer) 및 다중벽 탄소 나노튜브(multi-walled carbon nanotubes, MWCNTs)로 구성되는 것을 특징으로 하는

하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 압전 복합층은 K_2CO_3 와 Nb_2O_5 의 혼합물에 기반하여 형성된 상기 니오브산칼륨 입자에 의해 압전특성과 유전 특성을 가지고, 상기 다중벽 탄소 나노튜브가 추가되어서 상기 압전특성 및 상기 유전 특성이 증가되는 것을 특징으로 하는

하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서.

청구항 4

제2항에 있어서,

상기 압전 복합층은 상기 다중벽 탄소 나노튜브를 전체 중량 대비 0.05 wt% 내지 0.1wt%로 포함하는 것을 특징으로 하는

하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 마찰 열변색층은 탄성중합체(elastomer)와 열 변색 염료(thermochromic dye, TCD)를 혼합하여 형성되고, 상기 탄성중합체에 대비하여 열 변색 염료가 0.15wt% 내지 0.25wt%로 혼합되는 것을 특징으로 하는

하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 마찰 열변색층은 상기 압전 복합층을 외부 환경 노출로부터 보호하는 것을 특징으로 하는 하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 전극은 상기 가해지는 힘이 사람의 손에 기반한 탭 동작인 경우, 상기 가해지는 힘에 기반한 압전 효과와 마찰 전기 효과를 결합하여 90V 이하 및 8 μ A의 전기 에너지의 수확을 지원하고, 상기 수확된 전기 에너지를 출력하는 것을 특징으로 하는

하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서.

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 가해지는 힘에 기반하여 변환된 전기적 에너지의 수확에 따른 전기 출력에 기반하여 상기 가해지는 힘에 따른 진동의 변화를 감지하는 것을 특징으로 하는

하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서.

청구항 9

전극 상에 압전 복합층을 형성하는 단계; 및

상기 전극 상에 상기 압전 복합층을 감싸는 형태로 마찰 열변색층을 형성하는 단계를 포함하고,

상기 마찰 열변색층은 마찰 전기층과 접촉 또는 분리되고,

상기 압전 복합층은 상기 마찰 전기층에 가해지는 힘에 기반하여 압전 효과를 발생하며,

상기 마찰 열변색층은 기준온도보다 증가 또는 감소되는 주변 온도의 변화에 따른 색변화를 나타내고,

상기 마찰 전기층은 상기 마찰 열변색층과 상호 간에 접촉 및 분리되면서 마찰 전기 효과를 발생하며,

상기 전극은 상기 압전 효과와 상기 마찰 전기 효과를 결합하여 변환된 전기적 에너지의 수확을 지원하는 것을 특징으로 하는

하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서의 제조 방법.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 전극 상에 압전 복합층을 형성하는 단계는,

니오브산칼륨(potassium niobate, KN) 입자를 합성하는 단계; 및

상기 니오브산칼륨 입자와 압전 폴리머(piezoelectric polymer) 및 다중벽 탄소 나노튜브(multi-walled carbon nanotubes, MWCNTs)를 결합하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는

하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서의 제조 방법.

청구항 11

제10항에 있어서,

상기 전극 상에 압전 복합층을 형성하는 단계는,

K_2CO_3 와 Nb_2O_5 의 혼합물에 기반하여 형성된 상기 니오브산칼륨 입자에 의해 압전특성과 유전 특성을 부여하는 단

계; 및

상기 다중벽 탄소 나노튜브가 추가하여 상기 압전특성 및 상기 유전 특성이 증가시키는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는

하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서의 제조 방법.

청구항 12

제10항에 있어서,

상기 니오브산칼륨 입자와 압전 폴리머(piezoelectric polymer) 및 다중벽 탄소 나노튜브(multi-walled carbon nanotubes, MWCNTs)를 결합하는 단계는,

상기 다중벽 탄소 나노튜브를 전체 중량 대비 0.05 wt% 내지 0.1wt%로 포함시키는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는

하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서의 제조 방법.

청구항 13

제9항에 있어서,

상기 전극 상에 상기 압전 복합층을 감싸는 형태로 마찰 열변색층을 형성하는 단계는,

탄성중합체(elastomer)와 열 변색 염료(thermochromic dye, TCD)를 혼합하되, 상기 탄성중합체에 대비하여 열 변색 염료가 0.15wt% 내지 0.25wt%로 혼합하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는

하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서의 제조 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서 및 이의 제조 방법에 관한 것으로, 보다 구체적으로, 여러 유형의 에너지를 동시에 수확할 수 있는 하이브리드 나노발전소자 기반하여 에너지 하베스팅 및 실시간 온도 모니터링을 함께 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] 최근 몇 년 동안 전자 장치에 전원을 공급하는 데 사용할 수 있는 재생 가능 에너지원에 대한 수요가 증가하고 있다.

[0004] 이 분야의 새로운 기술 중 하나는 기계적 에너지, 열적 에너지, 전자기적 에너지와 같은 다양한 형태의 에너지를 전기 에너지로 변환하는 나노발전소자의 개발이다.

[0005] 압전 나노발전소자(piezoelectric nanogenerator, PNG) 및 마찰전기 나노발전소자(triboelectric nanogenerator, TENG)는 널리 연구된 두 가지 유형이다.

[0006] PNG와 TENG는 각각 압전 효과와 마찰 전기 효과를 활용하여 기계적 에너지에서 전기를 생성한다.

[0007] 그러나 각 유형의 나노 발전기는 낮은 출력 전력, 좁은 주파수 응답 범위, 제조 어려움, 재료 제한, 제한된 응용 등 고유한 한계와 단점이 있다.

[0008] 이러한 장애물을 극복하고 나노발전소자의 성능을 향상시키기 위해 연구자들은 여러 유형의 에너지를 동시에 수확할 수 있는 하이브리드 나노발전소자(hybrid nanogenerator, HNG)의 개발을 모색해 왔다.

[0009] 다른 한편으로 웰빙의 일환으로 건강검진이 빠르게 확대되고 있다.

[0010] 열전대는 중요한 건강 지표인 체온에 액세스하는 데 사용할 수 있는 광학 적외선 센서이다.

- [0011] 적외선 센서를 사용하면 수많은 사람의 체온을 빠르게 확인할 수 있지만 열전쌍은 휴대성을 제공한다.
- [0012] 그러나 전력 요구 사항 및 접근성 문제로 인해 이러한 방법은 실시간 자율 모니터링에 적합하지 않다.
- [0013] 접근이 쉽고 운영 절차가 간단한 장기 자율 운영을 위한 솔루션이 필요하다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0014] (특허문헌 0001) 한국등록특허 제10-2271962호, "비스무트 티타네이트 기반 연성 강유전체 서미스터 장치 및 그 제조방법, 비스무트 티타네이트 적용 복합 층-기반 압전 나노제너레이터 및 그 제조방법, 상기 장치를 적용하는 자가 발전 구조의 실시간 환경 온도 모니터링 시스템"
- (특허문헌 0002) 한국공개특허 제10-1610738호, "하이브리드 에너지 발생 장치"
- (특허문헌 0003) 한국공개특허 제10-2052907호, "하이브리드 방식의 전력발전소자 및 이의 제조방법"

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0015] 본 발명은 여러 유형의 에너지를 동시에 수확할 수 있는 하이브리드 나노발전소자 기반하여 압전 및 마찰 전기 효과를 사용하여 기계적 에너지를 수확하는 에너지 하베스팅 및 온도를 시각적으로 표시하는 고급 감온 변색 기능에 기반한 실시간 온도 모니터링을 수행하는 하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서를 제공하는 것을 목적으로 한다.
- [0016] 본 발명은 추가 장비나 복잡한 절차 없이도 온도 변화를 실시간으로 시각적으로 식별할 수 있는 열변색 특성을 가지고, 마찰 전기 및 열 변색 효과의 역할을 통해서 지역 온도 변화를 모니터링하여 즉각적인 피드백을 제공하여 웨어러블 장치, 의류 또는 산업 장비에 쉽게 통합될 수 있는 작고 가벼운 폼 팩터(form factor) 형태의 어플리케이션으로서 하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서를 제공하는 것을 목적으로 한다.
- [0017] 본 발명은 대량 생산 및 산업화에 적합한 비용 효율적이고 확장 가능한 제조 공정으로 설계 및 제작가능한 하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서를 제공하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

- [0018] 본 발명의 일실시예에 따른 하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서는 전극, 상기 전극 상에 형성된 압전 복합층 및 상기 전극 상에 상기 압전 복합층을 감싸는 형태로 형성된 마찰 열변색층을 포함하고, 상기 마찰 열변색층은 마찰 전기층과 접촉 또는 분리되고, 상기 압전 복합층은 상기 마찰 전기층에 가해지는 힘에 기반하여 압전 효과를 발생하며, 상기 마찰 열변색층은 기준온도보다 증가 또는 감소되는 주변 온도의 변화에 따른 색변화를 나타내고, 상기 마찰 전기층은 상기 마찰 열변색층과 상호 간에 접촉 및 분리되면서 마찰 전기 효과를 발생하며, 상기 전극은 상기 압전 효과와 상기 마찰 전기 효과를 결합하여 변환된 전기적 에너지의 수확을 지원할 수 있다.
- [0019] 상기 압전 복합층은 니오브산칼륨(potassium niobate, KN) 입자, 압전 폴리머(piezoelectric polymer) 및 다중벽 탄소 나노튜브(multi-walled carbon nanotubes, MWCNTs)로 구성될 수 있다.
- [0020] 상기 압전 복합층은 K_2CO_3 와 Nb_2O_5 의 혼합물에 기반하여 형성된 상기 니오브산칼륨 입자에 의해 압전특성과 유전 특성을 가지고, 상기 다중벽 탄소 나노튜브가 추가되어서 상기 압전특성 및 상기 유전 특성이 증가될 수 있다.
- [0021] 상기 압전 복합층은 상기 다중벽 탄소 나노튜브를 전체 중량 대비 0.05 wt% 내지 0.1wt%로 포함할 수 있다.
- [0022] 상기 마찰 열변색층은 탄성중합체(elastomer)와 열 변색 염료(thermochromic dye, TCD)를 혼합하여 형성되고, 상기 탄성중합체에 대하여 열 변색 염료가 0.15wt% 내지 0.25wt%로 혼합될 수 있다.
- [0023] 상기 마찰 열변색층은 상기 압전 복합층을 외부 환경 노출로부터 보호할 수 있다.
- [0024] 상기 전극은 상기 가해지는 힘이 사람의 손에 기반한 탭 동작인 경우, 상기 가해지는 힘에 기반한 압전 효과와

마찰 전기 효과를 결합하여 90V 이하 및 8 μ A의 전기 에너지의 수확을 지원하고, 상기 수확된 전기 에너지를 출력할 수 있다.

[0025] 상기 하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서는 상기 가해지는 힘에 기반하여 변환된 전기적 에너지의 수확에 따른 전기 출력에 기반하여 상기 가해지는 힘에 따른 진동의 변화를 감지할 수 있다.

[0026] 본 발명의 일실시예에 따른 하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서의 제조 방법은 전극 상에 압전 복합층을 형성하는 단계 및 상기 전극 상에 상기 압전 복합층을 감싸는 형태로 마찰 열변색층을 형성하는 단계를 포함하고, 상기 마찰 열변색층은 마찰 전기층과 접촉 또는 분리되고, 상기 압전 복합층은 상기 마찰 전기층에 가해지는 힘에 기반하여 압전 효과를 발생하며, 상기 마찰 열변색층은 기준온도보다 증가 또는 감소되는 주변 온도의 변화에 따른 색변화를 나타내고, 상기 마찰 전기층은 상기 마찰 열변색층과 상호 간에 접촉 및 분리되면서 마찰 전기 효과를 발생하며, 상기 전극은 상기 압전 효과와 상기 마찰 전기 효과를 결합하여 변환된 전기적 에너지의 수확을 지원할 수 있다.

[0027] 상기 전극 상에 압전 복합층을 형성하는 단계는, 니오브산칼륨(potassium niobate, KN) 입자를 합성하는 단계 및 상기 니오브산칼륨 입자와 압전 폴리머(piezoelectric polymer) 및 다중벽 탄소 나노튜브(multi-walled carbon nanotubes, MWCNTs)를 결합하는 단계를 포함할 수 있다.

[0028] 상기 전극 상에 압전 복합층을 형성하는 단계는, K_2CO_3 와 Nb_2O_5 의 혼합물에 기반하여 형성된 상기 니오브산칼륨 입자에 의해 압전특성과 유전 특성을 부여하는 단계 및 상기 다중벽 탄소 나노튜브가 추가하여 상기 압전특성 및 상기 유전 특성이 증가시키는 단계를 포함할 수 있다.

[0029] 상기 니오브산칼륨 입자와 압전 폴리머(piezoelectric polymer) 및 다중벽 탄소 나노튜브(multi-walled carbon nanotubes, MWCNTs)를 결합하는 단계는, 상기 다중벽 탄소 나노튜브를 전체 중량 대비 0.05 wt% 내지 0.1wt%로 포함시키는 단계를 포함할 수 있다.

[0030] 상기 전극 상에 상기 압전 복합층을 감싸는 형태로 마찰 열변색층을 형성하는 단계는, 탄성중합체(elastomer)와 열 변색 염료(thermochromic dye, TCD)를 혼합하되, 상기 탄성중합체에 대비하여 열 변색 염료가 0.15wt% 내지 0.25wt%로 혼합하는 단계를 포함할 수 있다.

발명의 효과

[0031] 본 발명은 여러 유형의 에너지를 동시에 수확할 수 있는 하이브리드 나노발전소자 기반하여 압전 및 마찰 전기 효과를 사용하여 기계적 에너지를 수확하는 에너지 하베스팅 및 온도를 시각적으로 표시하는 고급 감온 변색 기능에 기반한 실시간 온도 모니터링을 수행하는 하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서를 제공할 수 있다.

[0032] 본 발명은 추가 장비나 복잡한 절차 없이도 온도 변화를 실시간으로 시각적으로 식별할 수 있는 열변색 특성을 가지고, 마찰 전기 및 열 변색 효과의 역할을 통해서 지역 온도 변화를 모니터링하여 즉각적인 피드백을 제공하여 웨어러블 장치, 의류 또는 산업 장비에 쉽게 통합될 수 있는 작고 가벼운 폼 팩터(form factor) 형태의 어플리케이션으로서 하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서를 제공할 수 있다.

[0033] 본 발명은 대량 생산 및 산업화에 적합한 비용 효율적이고 확장 가능한 제조 공정으로 설계 및 제작가능한 하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서를 제공할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0034] 도 1 및 도 2는 본 발명의 일실시예에 따른 하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서를 설명하는 도면이다.

도 3은 본 발명의 일실시예에 따른 하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서의 웨어러블 장치로서의 응용(application)을 설명하는 도면이다.

도 4는 본 발명의 일실시예에 따른 하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서의 동작을 설명하는 도면이다.

도 5a 내지 도 5e는 본 발명의 일실시예에 따른 하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서의 압전 복합층을 구성하는 니오브산칼륨(potassium niobate, KN) 입자를 설명하는 도면이다.

도 6a는 본 발명의 일실시예에 따른 하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서의 압전 복합층의 유전 특성을 설명하는 도면이다.

도 6b는 본 발명의 일실시예에 따른 하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서의 압전 복합층에서 MWCNT의 함

량에 따른 전기적 특성 변화를 설명하는 도면이다.

도 7a 내지 도 7c는 본 발명의 일실시예에 따른 하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서의 견고성 및 안정성을 설명하는 도면이다.

도 8a 내지 도 8g는 본 발명의 일실시예에 따른 하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서의 마찰 열변색층을 설명하는 도면이다.

도 9a 내지 도 9e는 본 발명의 일실시예에 따른 하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서의 웨어러블 장치로서의 응용(application)과 시뮬레이션 데이터를 설명하는 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0035] 이하, 본 문서의 다양한 실시 예들이 첨부된 도면을 참조하여 기재된다.
- [0036] 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.
- [0037] 하기에 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.
- [0038] 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.
- [0039] 도면의 설명과 관련하여, 유사한 구성요소에 대해서는 유사한 참조 부호가 사용될 수 있다.
- [0040] 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함할 수 있다.
- [0041] 본 문서에서, "A 또는 B" 또는 "A 및/또는 B 중 적어도 하나" 등의 표현은 함께 나열된 항목들의 모든 가능한 조합을 포함할 수 있다.
- [0042] "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.
- [0043] 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.
- [0044] 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.
- [0045] 어떤 상황에서는, "~하도록 구성된 장치"라는 표현은, 그 장치가 다른 장치 또는 부품들과 함께 "~할 수 있는" 것을 의미할 수 있다.
- [0046] 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.
- [0047] 또한, '또는'이라는 용어는 배타적 논리합 'exclusive or' 이기보다는 포함적인 논리합 'inclusive or' 를 의미한다.
- [0048] 즉, 달리 언급되지 않는 한 또는 문맥으로부터 명확하지 않는 한, 'x가 a 또는 b를 이용한다'라는 표현은 포괄적인 자연 순열들(natural inclusive permutations) 중 어느 하나를 의미한다.
- [0049] 이하 사용되는 '..부', '..기' 등의 용어는 적어도 하나의 기능이나 동작을 처리하는 단위를 의미하며, 이는 하드웨어나 소프트웨어, 또는, 하드웨어 및 소프트웨어의 결합으로 구현될 수 있다.
- [0051] 도 1 및 도 2는 본 발명의 일실시예에 따른 하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서를 설명하는 도면이다.

- [0052] 도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서의 구성 요소 및 동작 특성을 예시한다.
- [0053] 도 1을 참고하면, 본 발명의 일실시예에 따른 하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서(100)에서 전극(101), 전극(101) 상에 형성된 압전 복합층(102), 전극(101) 상에 압전 복합층(102)을 감싸는 형태로 형성된 마찰 열변색층(103)으로 구성된다.
- [0054] 추가적으로, 마찰 열변색층(103)과 접촉 또는 분리되는 마찰 전기층(104)을 포함한다.
- [0055] 마찰 전기층(104)은 마찰 열변색층(103)과 마찰되어서 마찰 전기 효과를 발생시키는 구성으로서, 양극 마찰전기 물질(사람의 손, 알루미늄(Al) 등)이고, 마찰 열변색층(103)과 접촉하면 마찰 효과에 의한 기계적 전기 에너지를 형성하는 구성이다.
- [0056] 즉, 마찰 전기층(104)은 주변에서 위치하는 양극 마찰전기 물질로 다양하게 형성 가능하다.
- [0057] 압전 복합층(102)은 마찰 전기층(104)에 가해지는 힘에 기반하여 압전 효과를 발생한다.
- [0058] 마찰 열변색층(103)은 기준온도보다 증가 또는 감소되는 주변 온도의 변화에 따른 색변화를 나타낼 수 있다.
- [0059] 마찰 전기층(104)은 마찰 열변색층(103)과 상호 간에 접촉 및 분리되면서 마찰 전기 효과를 발생한다.
- [0060] 전극(101)은 압전 효과와 마찰 전기 효과를 결합하여 변환된 전기적 에너지의 수확을 지원할 수 있다.
- [0061] 즉, 전극(101)은 압전 복합층(102), 마찰 열변색층(103) 및 마찰 전기층(104)에 기반하여 기계적 에너지가 전기적 에너지로 변환된 이후에 해당 전기적 에너지를 전달하는 역할을 수행함에 따라서 전기적 에너지의 수확(harvesting)을 지원할 수 있다.
- [0062] 압전 복합층(102)은 니오브산칼륨(potassium niobate, KN) 입자, 압전 폴리머(piezoelectric polymer) 및 다중벽 탄소 나노튜브(multi-walled carbon nanotubes, MWCNTs)로 구성될 수 있다.
- [0063] 압전 복합층(102)은 K_2CO_3 와 Nb_2O_5 의 혼합물에 기반하여 형성된 니오브산칼륨 입자에 의해 압전특성과 유전 특성을 가지고, 다중벽 탄소 나노튜브가 추가되어서 압전특성 및 상기 유전 특성이 증가될 수 있다.
- [0064] 압전 복합층(102)은 다중벽 탄소 나노튜브를 전체 중량 대비 0.05 wt% 내지 0.1wt%로 포함할 수 있다.
- [0065] 마찰 열변색층(103)은 탄성중합체(elastomer)와 열 변색 염료(thermochromic dye, TCD)를 혼합하여 형성되고, 탄성중합체에 대비하여 열 변색 염료가 0.15wt% 내지 0.25wt%로 혼합될 수 있다.
- [0066] 마찰 열변색층(103)은 압전 복합층(102)을 외부 환경 노출로부터 보호할 수 있다.
- [0067] 전극(101)은 외부로부터 가해지는 힘이 사람의 손의 움직임에 기반한 탭 동작인 경우, 가해지는 힘에 기반한 압전 효과와 마찰 전기 효과를 결합하여 90V 이하 및 8 μA 의 전기 에너지의 수확을 지원하고, 수확된 전기 에너지를 출력할 수 있다.
- [0068] 일례로, 하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서(100)는 가해지는 힘에 기반하여 변환된 전기적 에너지의 수확에 따른 전기 출력에 기반하여 상기 가해지는 힘에 따른 진동의 변화를 감지할 수 있다.
- [0069] 예를 들어, 진동의 변화는 가해지는 힘이 사람의 브레스(breath)인 경우 들숨과 날숨의 변화를 나타낼 수 있다.
- [0070] 예를 들어, 진동의 변화는 가해지는 힘이 파이프에 흐르는 수압의 세기인 경우 파이프에서의 수압의 변화를 나타낼 수 있다.
- [0071] 예를 들어, 본 발명의 일실시예에 따른 하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서(100)는 에너지 하베스터 및 감지 패치(energy harvesting and sensing patch, EHSP)로 지칭되거나 활용될 수 있다.
- [0072] 본 발명의 일실시예에 따른 하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서(100)는 하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서의 제조 방법에 기반하여 형성될 수 있다.
- [0073] 본 발명은 여러 유형의 에너지를 동시에 수확할 수 있는 하이브리드 나노발전소자 기반하여 마찰 전기 효과를 사용하여 기계적 에너지를 수확하는 에너지 하베스팅 및 온도를 시각적으로 표시하는 고급 감온 변색 기능에 기반한 실시간 온도 모니터링을 수행하는 하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서를 제공할 수 있다.
- [0074] 도 2는 본 발명의 일실시예에 따른 하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서를 구성하는 압전 복합층과 마찰

열변색층을 보충 설명한다.

- [0075] 도 2를 참고하면, 본 발명의 일실시예에 따른 하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서를 구성하는 전극(200)과 마찰 열변색층(202) 사이에 압전 복합층(201)이 위치하고, 샌드위치 구조로 형성된다.
- [0076] 압전 복합층(201)의 내부(210)는 니오브산칼륨 입자(211), 압전 폴리머(213) 및 다중벽 탄소 나노튜브(212)로 구성된다.
- [0077] 압전 폴리머(213)는 PVDF(polyvinylidene difluoride)를 포함한다.
- [0078] 예를 들어, 압전 복합층(201)은 KN 복합층 및 압전층으로 지칭될 수 있다.
- [0080] 도 3은 본 발명의 일실시예에 따른 하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서의 웨어러블 장치로서의 응용(application)을 설명하는 도면이다.
- [0081] 도 3은 본 발명의 일실시예에 따른 하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서의 웨어러블 장치로서의 응용(application)을 예시한다.
- [0082] 도 3을 참고하면, 본 발명의 일실시예에 따른 하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서의 응용 환경(300)에서 하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서는 다양한 웨어러블 장치로 활용될 수 있다.
- [0083] 하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서는 마스크에 부착되어서 브레스 센서(310)로 활용될 수 있다.
- [0084] 또한, 하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서는 피부에 부착된 피부 부착형 센서(320)로 제작되어서 실시간 온도 변화를 보여줄 수 있다.
- [0085] 또한, 하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서는 EHSP(energy harvesting and sensing patch) 형태로 패치형 센서(330)로 제작될 수 있다.
- [0086] 응용 환경(300)은 예시일 뿐으로, EHSP의 신체 부착 애플리케이션을 보여주며, 이는 다양한 일상 애플리케이션으로 추가 확장될 수 있다.
- [0088] 도 4는 본 발명의 일실시예에 따른 하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서의 동작을 설명하는 도면이다.
- [0089] 도 4는 본 발명의 일실시예에 따른 하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서의 동작 매커니즘을 예시한다.
- [0090] 마찰 전기층이 포함되는 구조를 예시하나, 하나의 전극만 부착되거나 그 자체가 마찰전기층 역할을 할 수도 있다.
- [0091] 하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서의 구조에서 마찰전기 역할은 압전 복합층과 그 아래 전극을 덮는 마찰 열변색층에 의해 수행될 수 있다.
- [0092] 압전 복합층, 음의 마찰 전기층으로서 이용되는 마찰 열변색층과 메쉬 전극의 조합으로 형성된다.
- [0093] 예를 들어, 마찰 열변색층은 다른 물질에 부딪치는 형태일 경우에 마찰 전기층이 부치는 대상일 수 있다.
- [0094] 도 4를 참고하면, 단계(S401)에서 하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서는 마찰 전기층과 마찰 열변색층이 외부의 힘에 의해 완전한 접촉과 평형을 이룬다.
- [0095] 단계(S402)에서 하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서는 마찰 전기층과 마찰 열변색층이 외부의 힘이 전달되지 않아서 상호 분리된다.
- [0096] 단계(S403)에서 하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서는 마찰 전기층과 마찰 열변색층이 외부의 힘에 의해 완전한 접촉과 평형을 이룬다.
- [0097] 단계(S404)에서 하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서는 마찰 전기층과 마찰 열변색층이 외부의 힘이 유지되면서 접촉 상태를 유지한다.
- [0098] 하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서는 단계(S401) 내지 단계(S404)를 진행하여서 압전 효과 및 마찰 효과에 기반한 전기 에너지를 생성한다.

- [0099] 하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서의 압전 복합층은 기계적 응력이나 압력에 반응하여 전하를 생성할 수 있는 물질일 수 있다.
- [0100] 압전 복합층에 기계적 힘이나 압력이 가해지면 물질이 변형되거나 형태가 바뀌어 물질 내에 전하가 발생하게 될 수 있다.
- [0101] 마찰 열변색층은 압전 복합층에 대한 기계적 지지 및 보호 역할을 한다.
- [0102] 이는 외부 소스의 기계적 힘이나 압력을 압전 복합층으로 전달하는 데 도움을 주어 변형 및 전하 생성을 가능하게 한다.
- [0103] 마찰 열변색층은 음의 마찰전기 매체로도 기능할 수 있다.
- [0104] 따라서, 마찰 전기층으로서 양극 마찰전기 물질(사람의 손, 알루미늄(Al) 등)이 접촉하면 전하가 발전될 수 있다.
- [0105] 하단에 위치하는 메쉬 전극은 압전 복합층에서 생성된 전하의 전도성 경로를 제공할 수 있다.
- [0106] 이를 통해 전하가 장치 밖으로 흘러나와 외부 장치에 전원을 공급하거나 나중에 사용할 수 있도록 저장하는 데 활용될 수 있다.
- [0107] 예를 들어, 마찰 전기층은 상부에서 마찰전기 양극재료로서 인간의 손 또는 금속(Al 등) 층이 활용될 수 있다.
- [0108] 양극 마찰전기 물질과 음극 마찰전기 물질이 접촉 및 분리되면서 마찰전기가 발생하고 이로 인해 전하가 이동한다.
- [0109] 포지티브 마찰전기 재료에 외력이 가해지면 마찰 열변색층과 접촉 및 분리되면서 마찰전기 효과가 발생한다.
- [0110] 단계(S401)에 따르면 양극 마찰전기 물질에 외력이 가해지면 음극 마찰전기 물질과 접촉하여 이들 사이에서 전하 이동이 일어난다.
- [0111] 마찰전기 현상은 외력이 가해지면 +ve 마찰전기층(본 발명의 마찰 전기층)에는 양전하가, -ve 마찰전기층(본 발명의 마찰 열변색층)에는 음전하가 생성되는 현상이다.
- [0112] 또한, 단계(S401)에서 평형 상태에서는 반대 극성을 가진 마찰 전하가 유도되어 전자 흐름이 발생한다.
- [0113] 적용된 힘이 제거되면 두 층이 분리되고, 단계(S402)에서 마찰 열변색층의 음전하는 하단 전극에 양전하를 유도하여 전극에서 접지로 자유 전자의 흐름을 생성할 수 있다.
- [0114] 단계(S403)에서 정전기 유도는 출력 전압/전류 신호를 생성할 수 있으며, 이는 탄성중합체에 음의 마찰 전하가 발생하여 탄성중합체에 유도된 양전하를 거의 무효화한다.
- [0115] 단계(S404)에서 +ve 마찰전기층이 탄성중합체에 접근하면 전극에 유도된 양전하가 감소하고 +ve 마찰전기 층과 탄성중합체가 다시 완전히 접촉할 때까지 전자가 접지에서 전극으로 흐른다.
- [0116] 이로 인해 출력 전압/전류 신호가 반전되고, 양극 및 음극 마찰전기 물질에 의해 생성된 마찰전하와 변형된 압전 복합층에 의해 생성된 압전 전하가 복합적으로 작용하여 하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서의 전하 생성이 전반적으로 향상된다.
- [0117] 따라서, 본 발명은 추가 장비나 복잡한 절차 없이도 온도 변화를 실시간으로 시각적으로 식별할 수 있는 열변색 특성을 가지고, 마찰 전기 및 열 변색 효과의 역할을 통해서 지역 온도 변화를 모니터링하여 즉각적인 피드백을 제공하여 웨어러블 장치, 의류 또는 산업 장비에 쉽게 통합될 수 있는 작고 가벼운 폼 팩터(form factor) 형태의 어플리케이션으로서 하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서를 제공할 수 있다.
- [0119] 도 5a 내지 도 5e는 본 발명의 일실시예에 따른 하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서의 압전 복합층을 구성하는 니오브산칼륨(potassium niobate, KN) 입자를 설명하는 도면이다.
- [0120] 도 5a는 본 발명의 일실시예에 따른 하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서의 압전 복합층을 구성하는 니오브산칼륨 입자의 도식적 결정 구조를 예시한다.
- [0121] 도 5a를 참고하면, 도식적 결정 구조(500)는 NbO₆ 팔면체의 반복 단위 셀과 간질 부위를 차지하는 K 이온으로

구성된 결정 구조를 갖는 페로브스카이트형 산화물 화합물일 수 있다.

- [0122] KN의 결정 구조는 입방체 페로브스카이트(cubic perovskite)로 설명할 수 있는데, 각 단위 셀의 중앙에 하나의 칼륨 이온(K^+)이 있고, 12개의 산소 이온(O_2^-)으로 둘러싸여 있어 왜곡된 입방체 팔면체를 형성한다.
- [0123] 각 팔면체는 인접한 팔면체와 모서리를 공유하고 모서리를 공유하는 팔면체의 3차원 네트워크를 형성한다.
- [0124] 팔면체 구조 내에서 니오븀(Nb) 이온은 팔면체의 중심을 차지하고 6개의 산소 이온이 Nb 이온과 결합을 형성한다.
- [0125] Nb 이온은 정육면체의 중심에서 이동하여 정팔면체가 뒤틀리고 결정 대칭성이 저하된다.
- [0126] 구조는 고도로 대칭적이고 높은 결정성을 나타내므로 전자, 광학 및 촉매 분야의 다양한 응용 분야에 유용한 재료일 수 있다.
- [0127] 게다가, KN은 이러한 원자 구조로 인해 높은 압전 특성을 갖고, 제조된 KN의 압전 특성은 압전 테스트 장비를 사용하여 연구되었고, 예를 들어, KN 펠릿(pellet)의 d33 값이 29pC/N일 수 있다.
- [0128] 도 5b는 본 발명의 일실시예에 따른 하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서의 압전 복합층을 구성하는 니오브산칼륨 입자의 표준과 비교한 합성 KN 입자의 XRD 패턴을 예시한다.
- [0129] 도 5b를 참고하면, XRD 패턴에 대한 그래프(510)는 X선을 회절시킬 수 있는 결정 구조 내의 원자의 서로 다른 평면에 해당하는 일련의 날카롭고 잘 정의된 피크를 보여주는 준비된 KN 입자의 X선 회절(x-ray diffraction, XRD) 패턴을 보여준다.
- [0130] KN의 XRD 패턴은 여러 개의 두드러진 피크를 나타냈으며, 가장 강렬한 피크는 (020) 평면에 해당한다.
- [0131] 도 5c는 본 발명의 일실시예에 따른 하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서의 압전 복합층을 구성하는 니오브산칼륨 입자의 주사전자현미경 이미지를 예시한다.
- [0132] 도 5c를 참고하면, 주사 현미경 이미지(520)는 그 위에 잔해가 없는 마이크로미터 범위의 입자를 나타낸다.
- [0133] 도 5d는 본 발명의 일실시예에 따른 하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서의 압전 복합층을 구성하는 니오브산칼륨 입자의 X선 광전자 분광법(XPS) 분석을 예시한다.
- [0134] 도 5d를 참고하면, 그래프(530), 그래프(531) 및 그래프(532)는 복합 $KNbO_3$ 분말의 X선 광전자 분광법 분석을 보여준다.
- [0135] X선 광전자 분광법은 재료의 화학적 조성과 전자적 상태에 대한 정보를 제공하는 표면 감응 분석 기술이다.
- [0136] KN 입자의 XPS 스펙트럼은 화합물에 존재하는 원소, 즉 K, Nb 및 O에 해당하는 피크와 산화 상태를 보여준다.
- [0137] 그래프(530)에 표시된 대로 결합 에너지 290.7eV 및 293.6eV에서 K 요소의 두 피크는 각각 K 2p_{3/2} 및 K 2p_{1/2} 수준에 해당한다.
- [0138] Nb 요소는 각각 Nb5+ 3d_{5/2} 및 Nb5+ 3d_{3/2} 수준에 해당하는 206.1eV 및 209eV의 결합 에너지에서 그래프(531)에 표시된 대로 두 개의 피크를 나타낸다.
- [0139] 그래프(532)의 O 1s 피크는 두 개의 피크로 나누어졌으며, 그 중 529.1과 530.4의 피크는 각각 격자 산소와 표면 산소였다.
- [0140] 도 5e는 본 발명의 일실시예에 따른 하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서의 압전 복합층을 구성하는 니오브산칼륨 입자의 유전 특성을 예시한다.
- [0141] 도 5e를 참고하면, 그래프(540)에서 KN 펠릿은 100Hz의 적용 RF에서 ~200의 개념을 이해할 수 있을 수 있다.
- [0143] 도 6a는 본 발명의 일실시예에 따른 하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서의 압전 복합층의 유전 특성을 설명하는 도면이다.
- [0144] 도 6a는 본 발명의 일실시예에 따른 하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서의 압전 복합층의 유전 특성을 예시한다.

- [0145] 도 6a를 참고하면, 그래프(600), 그래프(601) 및 그래프(602)에 따르면 KN-PVDF-HFP 층(KN 층)의 유전 특성은 순수(즉, 0wt%), 각각 0.025, 0.05, 0.075 및 0.1wt%와 같은 다양한 농도의 MWCNT를 도입함으로써 향상되었다.
- [0146] KN 층에서 MWCNT의 함유량이 0.075wt% 이상으로 증가함에 따라 층은 유연성을 잃어 파손되기 시작한다.
- [0147] 제조된 복합층의 유전특성은 100Hz에서 1MHz까지의 넓은 적용주파수 범위에서 측정되었다.
- [0148] 그래프(600)에서 순수 KN 층의 유전율 값은 2였으나, KN 층에서 MWCNT의 함유량이 0.025wt%에서 0.075wt%로 증가함에 따라 유전율이 향상된다.
- [0149] 0.075wt% KN 층의 경우 최대값 5.5가 관찰되고, KN 층의 MWCNT 농도를 0.1wt%로 추가로 증가시키면 유전 특성이 감소하는데, 이는 과부하로 인해 KN 층에 클러스터와 균열이 형성되기 때문일 수 있다.
- [0150] 유전 상수와 유사하게, 다양한 KN 복합 층의 AC 전도도와 유전 손실도 각각 그래프(601) 및 그래프(602)에 표시된 것처럼 다양했다.
- [0151] MWCNT는 KN 층의 전도성을 증가시키기 때문에 PNG(piezoelectric nanogenerators) 작업 메커니즘에서 전하 이동을 쉽게 하는 데 도움이 되는 향상된 전도성이 있었다.
- [0152] 도 6b는 본 발명의 일실시예에 따른 하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서의 압전 복합층에서 MWCNT의 함량에 따른 전기적 특성 변화를 예시한다.
- [0153] 도 6b를 참고하면, 그래프(611)는 MWCNT의 함량 변화에 따른 전압 변화를 나타내고, 그래프(612)는 MWCNT의 함량 변화에 따른 전류 변화를 나타내고, 그래프(613)는 MWCNT의 함량 변화에 따른 전하 변화를 나타낸다.
- [0154] 그래프(611) 내지 그래프(613)에 따르면 MWCNT의 농도가 증가함에 따라 전기 출력이 급격히 증가한다.
- [0155] 다양한 함유 농도의 MWCNT를 갖는 하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서로서 서로 다른 전기 출력을 생성한다.
- [0156] 유전체 측정과 유사하게, 0.075wt% KN 복합 층을 함유한 하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서는 ~1.2V, 13nA 및 0.04nC의 상대적으로 높은 전기 출력을 나타낸다.
- [0157] 하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서는 에너지 하베스터 장치로서의 전기 출력 성능은 적용된 외부 추진력 및 주파수와 같은 다양한 외부 요인에 의해 영향을 받을 수 있다.
- [0158] 따라서 다양한 적용 힘과 주파수에서 에너지 수확기의 전기 출력 성능을 측정하는 것은 여러 가지 이유로 중요할 수 있다.
- [0160] 도 7a 내지 도 7c는 본 발명의 일실시예에 따른 하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서의 견고성 및 안정성을 설명하는 도면이다.
- [0161] 도 7a는 본 발명의 일실시예에 따른 하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서의 견고성과 관련하여 적용된 힘이 5N으로 유지되는 동안 다양한 적용된 주파수에서 전압, 전류 및 전하 곡선을 예시한다.
- [0162] 도 7a를 참고하면, 그래프(700)는 전압의 변화를 나타내고, 그래프(701)는 전류의 변화를 나타내며, 그래프(702)는 전하의 변화를 나타낸다.
- [0163] 그래프(700) 내지 그래프(702)는 본 발명의 일실시예에 따른 하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서가 다양한 주파수에서 기계적 에너지를 수확할 수 있음을 시사한다.
- [0164] 하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서는 저주파에서 높은 전기 출력을 보였다. 이는 탄성중합체의 끈적끈적한 특성 때문이다.
- [0165] 더 낮은 주파수에서는 +ve 마찰전기 재료가 탄성중합체에서 분리되는 시간이 더 높은 주파수에 비해 길어지므로 더 많은 전하가 전극을 통해 흐르게 되어 더 높은 전기 출력이 발생한다.
- [0166] 그러나 하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서는 더 높은 주파수에서 작동되었으며 각 접촉 분리 주기 사이의 시간 감소로 인해 전기 출력이 감소시킨다.
- [0167] 도 7b는 본 발명의 일실시예에 따른 하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서의 견고성과 관련하여 5Hz의 일

정한 주파수를 유지하면서 각각 2, 3, 5, 7 및 9N의 서로 다른 외부 힘이 적용된 전압, 전류 및 전하 곡선을 예시한다.

- [0168] 도 7b를 참고하면, 그래프(710)는 전압의 변화를 나타내고, 그래프(711)는 전류의 변화를 나타내며, 그래프(712)는 전하의 변화를 나타낸다.
- [0169] 적용된 힘이 4N에서 7N으로 증가함에 따라 하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서의 전기 출력 성능이 향상되었다.
- [0170] 도 7c는 본 발명의 일실시예에 따른 하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서의 안정성과 관련하여 각각 5N과 5Hz의 일정한 힘과 주파수에서 작동했을 때 10,000 사이클 이상에서 테스트 결과를 예시한다.
- [0171] 도 7c의 그래프(720)를 참고하면, 본 발명의 일실시예에 따른 하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서의 평균 전기 출력은 매우 긴 사이클링 테스트에서 거의 일정했다.
- [0172] 본 발명의 일실시예에 따른 하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서 구조가 장기간 에너지 수확을 위한 탁월한 장치임을 입증한다.
- [0174] 도 8a 내지 도 8g는 본 발명의 일실시예에 따른 하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서의 마찰 열변색층을 설명하는 도면이다.
- [0175] 도 8a는 본 발명의 일실시예에 따른 하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서의 마찰 열변색층에서 탄성중합체의 함량에 따른 유전 특성을 예시한다.
- [0176] 도 8a를 참고하면, 그래프(800)는 탄성중합체가 마찰 열변색층에서 0.05wt%의 함량인 경우에 대한 유전 특성을 나타내고, 그래프(801)는 탄성중합체가 마찰 열변색층에서 0.15wt%의 함량인 경우에 대한 유전 특성을 나타내며, 그래프(802)는 탄성중합체가 마찰 열변색층에서 0.25wt%의 함량인 경우에 대한 유전 특성을 나타낸다.
- [0177] 순수(bare) 층과 비교했을 때 탄성중합체/TCD의 유전 특성이 크게 증가한 것으로 관찰된다.
- [0178] 이 결과는 하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서의 전기 출력 성능이 탄성중합체에 TCD를 함유함으로써 향상될 수 있음을 보여준다.
- [0179] 0.25wt% 탄성중합체/TCD 층은 다른 농도에 비해 유전 특성이 향상되어 최적의 함유 농도로 간주될 수 있다.
- [0180] 도 8b는 본 발명의 일실시예에 따른 하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서의 마찰 열변색층에서 탄성중합체의 함량과 서로 다른 온도에 적용한 상태에 대하여 시각적 변화를 예시한다.
- [0181] 도 8b를 참고하면, 외부 온도에 노출되었을 때 다양한 탄성중합체/TCD 층의 색상 변화에 대한 사진 이미지(810)는 다양한 탄성중합체/TCD 층의 열변색 반응을 평가하기 위해 순수(bare) 0.5, 0.15 및 0.25wt% 탄성중합체/TCD 층을 서로 다른 온도에 적용하고 색상 변화를 시각적으로 관찰한 결과를 보여준다. 여기서, 탄성중합체/TCD 층은 탄성중합체와 TCD 결합으로 생성된 본 발명의 일실시예에 따른 마찰 열변색층을 지칭한다.
- [0182] 탄성중합체/TCD 층에 적용할 외부 온도는 층을 온도 조절 가능한 핫 플레이트에 배치하여 조심스럽게 조절한다.
- [0183] 탄성중합체에서 TCD의 함유량 조절이 증가함에 따라 층의 색상 대비가 향상되는 것이 관찰되었다.
- [0184] 0wt% 탄성중합체/TCD 층은 탄성중합체에 TCD가 담지되어 있지 않기 때문에 다양한 온도 조건을 적용한 후에도 열변색 효과가 관찰되지 않는다.
- [0185] 0.25wt% 탄성중합체/TCD 층은 향상된 고대비를 나타내어 육안으로 색상 변화를 쉽게 확인할 수 있게 되었다.
- [0186] 또한, 0.25wt% 탄성중합체/TCD 층의 색상 변화는 27.6~40° C의 열에 노출되었을 때 다른 탄성중합체/TCD 층보다 더 잘 보인다.
- [0187] 따라서 0.25wt% 탄성중합체/TCD 층은 추가 실험에 사용될 최적화된 열변색 층으로 간주되었다.
- [0188] 탄성중합체/TCD 층의 열변색 효과는 열원과 층 사이의 거리에 따라 달라질 수 있다.
- [0189] 도 8c는 본 발명의 일실시예에 따른 하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서의 마찰 열변색층과 관련하여 열

원과 층 사이의 거리를 0에서 3cm까지 변화시킬 때 탄성중합체/TCD 층의 열변색 반응을 예시한다.

- [0190] 도 8c의 그래프(820)를 참고하면, 이 실험에서는 탄성중합체/TCD 층을 0° C에 놓고 거리가 변할 때마다 열원을 가한다.
- [0191] 처음에는 탄성중합체/TCD 층을 열원에 직접 배치했으며 열변색 효과는 0° C에서 실온까지 0.13초에 불과했다.
- [0192] 탄성중합체/TCD 층과 열원 사이의 거리는 3cm까지 점차 증가했으며 소요 시간은 0.98초로 기록되었다.
- [0193] 이는 탄성중합체/TCD가 열원에 직접 부착되지 않은 상태에서도 온도를 감지할 수 있음을 의미한다.
- [0194] 도 8d는 본 발명의 일실시예에 따른 하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서의 마찰 열변색층과 관련하여 0.25wt% 탄성중합체/TCD 층의 열변색 순환 안정성 결과를 예시한다.
- [0195] 도 8d의 그래프(830)를 참고하면, 탄성중합체/TCD 층의 열변색 감지 성능의 신뢰성/가역성은 10주기 동안 수행되었다.
- [0196] 여기서 탄성중합체/TCD 층은 0° C의 차가운 온도에 배치되었다.
- [0197] 색상이 어두운 핀으로 변한 후 약 80° C의 열원에 놓아 열은 색상으로 변했다.
- [0198] 이 과정은 여러 번 반복되었으며 열변색 효과는 여러 사이클 동안 안정적이고 가역적인 것으로 관찰되었다.
- [0199] 도 8d는 본 발명의 일실시예에 따른 하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서의 마찰 열변색층이 마찰나노발전소자(triboelectric nanogenerators, TENG) 적용되는 경우에 따른 전압, 전류 및 충전 곡선의 변화를 예시한다.
- [0200] 도 8d를 참고하면, 그래프(840)는 전압의 변화를 나타내고, 그래프(841)는 전류의 변화를 나타내며, 그래프(842)는 전하의 변화를 나타내고, 순수, 0.05wt%, 0.15 wt% 및 0.25 wt% 과 본 발명에 따른 하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서를 비교한다.
- [0201] 탄성중합체에서 TCD의 함유(loadings) 농도가 증가함에 따라 TENG의 전기 출력 성능이 향상되는 것으로 관찰된다.
- [0202] 전기적 반응의 이러한 증가는 탄성중합체/TCD 층의 유전 특성이 향상되었기 때문일 수 있다.
- [0203] 0.25wt% 탄성중합체/TCD TENG는 가장 높은 전기적 반응과 열변색 효과를 나타낸다.
- [0204] 따라서 0.25wt% 탄성중합체/TCD 층이 EHSP 제조를 위한 최적의 농도로 간주된다.
- [0205] 마지막으로, 하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서는 최적화된 KN 복합 및 열변색 층을 사용하여 제작되었다.
- [0206] 하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서의 전기적 응답은 각각 약 80V, 3 μ A, 25nC의 전압, 전류 및 전하 출력으로 향상되었다.
- [0207] 이렇게 제작된 하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서는 다양한 기타 측정 및 응용 분야에도 사용되었다.
- [0208] 도 8f는 본 발명의 일실시예에 따른 하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서의 전력 밀도를 예시한다.
- [0209] 도 8f를 참고하면, 그래프(850)는 본 발명의 일실시예에 따른 하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서의 측정된 순간 전력 밀도를 부하 저항(RL)의 함수로 예시한다.
- [0210] 이 측정 동안 적용된 주파수와 힘은 각각 5N과 5Hz로 유지되었고, 6.5mW/m²의 최대 전력 밀도 값이 관찰되었다.
- [0211] 본 발명의 일실시예에 따른 하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서에서 생성된 에너지는 직접 저장하거나 사용할 수 있다.
- [0212] 도 8g는 본 발명의 일실시예에 따른 하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서의 에너지를 수확하고 디스플레이에 전력을 공급하기 위해 저장하는 현상을 예시한다.
- [0213] 도 8g를 참고하면, 그래프(860)는 습도 감지 디스플레이에 전원을 공급하기 위해 하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서로서 EHSP 장치에서 생성된 에너지에 의한 22F 커패시터의 충전 곡선을 보여준다.

- [0214] 그래프(860)에서 디스플레이에 전원을 공급하는 데 사용되는 측정 설정의 회로도를 보여준다.
- [0216] 도 9a 내지 도 9e는 본 발명의 일실시예에 따른 하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서의 웨어러블 장치로서의 응용(application)과 시물레이션 데이터를 설명하는 도면이다.
- [0217] 도 9a는 본 발명의 일실시예에 따른 하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서의 다양한 센서 장치로서의 응용(application)을 예시한다.
- [0218] 도 9a를 참고하면, 본 발명의 일실시예에 따른 하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서의 응용 환경(900)에서 하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서는 다양한 센서 장치로 활용될 수 있다.
- [0219] 하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서는 파이프에 부착되어서 파이프 온도 센서(910)로 활용될 수 있다.
- [0220] 하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서는 마스크에 부착되어서 브레스 센서(920)로 활용될 수 있다.
- [0221] 또한, 하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서는 EHSP(energy harvesting and sensing patch) 형태로 패치형 센서(930)로 제작될 수 있다.
- [0222] 예를 들어, 패치형 센서(930)는 웨어러블 터치 키보드로 사용되어서 무선 신호를 전달하는 기능으로 활용될 수 있다.
- [0223] 또한, 하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서는 피부에 부착된 피부 부착형 센서(930)로 제작되어서 실시간 온도 변화를 보여줄 수 있다.
- [0224] 본 발명의 일실시예에 따른 하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서는 파이프 온도 센서(910), 브레스 센서(920), 패치형 센서(930) 및 피부 부착형 센서(930) 중 어느 하나의 센서일 수 있다.
- [0225] 패치형 센서(930)는 손 또는 손가락의 움직임의 변화에 따라서 문자 또는 숫자의 변화를 디스플레이 상에 표현할 수 있는 키보드 장치로 활용될 수 있다.
- [0226] 응용 환경(900)은 예시일 뿐으로, EHSP의 신체 부착 애플리케이션을 보여주며, 이는 다양한 일상 애플리케이션으로 추가 확장될 수 있다.
- [0227] 도 9b는 본 발명의 일실시예에 따른 하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서가 파이프 온도 센서로 활용되는 경우의 이미지 및 데이터를 예시한다.
- [0228] 도 9b를 참고하면, 이미지(911)는 파이프 온도 센서의 적용에 대하여 온도 변화를 측정하는 것을 예시하고, 그래프(912)는 파이프 내 물의 흐름에 따라서 전기를 생성하는 것을 나타낸다.
- [0229] 이미지(911) 및 그래프(912)에 기반하여 본 발명의 일실시예에 따른 하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서는 온도를 식별하고 액체의 흐름을 감지하기 위해 산업에서 활용될 수 있다.
- [0230] 이미지(911)는 하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서의 열변색 효과로 파이프 안의 액체가 $\sim 20^{\circ}\text{C}$ 와 $\sim 56^{\circ}\text{C}$ 일 때 각각 어둡고 밝은 색상을 나타내어 내부 액체의 온도를 나타낸다.
- [0231] 그래프(912)는 파이프(또는 튜브)에 액체의 흐름이 있을 때 생성된 전압 신호를 보여준다.
- [0232] 도 9c는 본 발명의 일실시예에 따른 하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서가 브레스 센서로 활용되는 경우의 이미지 및 데이터를 예시한다.
- [0233] 도 9c를 참고하면, 이미지(921)는 브레스 센서의 적용에 대하여 온도 변화를 측정하는 것을 예시하고, 그래프(922)는 브레스 센서에 대하여 브레스 정도에 따라서 전기를 생성하는 것을 나타낸다.
- [0234] 이미지(921) 및 그래프(922)에 기반하여 본 발명의 일실시예에 따른 하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서는 브레스에 따른 온도의 변화를 식별하고 브레스의 흐름을 감지하기 위해 산업에서 활용될 수 있다.
- [0235] 이미지(921)는 하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서의 열변색 효과로 브레스의 존재에 따라 각각 어둡고 밝은 색상을 나타내어 브레스의 존재에 따른 온도 변화를 나타낸다.
- [0236] 그래프(922)는 공기를 들이마시거나 내쉴 때마다 각각 0 V 에서 2.1V 또는 2.1 V 에서 0 V 으로 이동하는 피크로서 브레스 센싱(breath sensing) 결과를 보여준다.

- [0237] 즉, 본 발명의 일실시예에 따른 하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서는 호흡 중 에너지, 호기 온도를 수확하고 흡입 및 호기를 감지하는 데 사용될 수 있다.
- [0238] 도 9d는 본 발명의 일실시예에 따른 하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서가 패치형 센서로 활용되는 경우의 이미지 및 데이터를 예시한다.
- [0239] 도 9d를 참고하면, 이미지(931)는 패치형 센서가 웨어러블 터치 키보드로 적용되는 것을 예시하고, 이미지(932)는 패치형 센서에 대하여 입력되는 전압에 따라서 숫자로 형성하는 것을 예시하며, 그래프(933)는 전압과 숫자 간의 관계를 예시한다.
- [0240] 키보드 애플리케이션을 시연하기 위해 여러 개의 동일한 하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서를 제작하고 마이크로 처리 장치와 결합했다.
- [0241] 마이크로 처리 장치는 복수의 하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서를 숫자 키보드로 사용하도록 프로그래밍되었다.
- [0242] 또한 마이크로 처리 장치는 블루투스 시스템과 결합되어 하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서에서 생성된 신호를 무선으로 전송한다.
- [0243] 복수의 하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서는 자신에게 가해지는 압력을 감지할 수도 있다.
- [0244] 이미지(932)와 그래프(933)는 전압 신호와 함께 컴퓨터와 휴대폰 모두에서 다중 EHSP 키보드에 입력된 숫자를 보여준다.
- [0245] 탄성중합체/TCD 층은 특정 시각적 또는 기능적 효과를 제공하기 위해 칩의 오버레이로 사용할 수 있다.
- [0246] 열변색성 탄성중합체를 유도하는 열변색 재료는 온도 변화에 따라 색상이 변하기 때문에 열변색 층을 사용하면 이러한 포장 영역을 개선할 수 있다.
- [0247] 칩 위에 열변색성 탄성중합체를 오버레이하면 칩이나 주변 환경의 온도 변화를 시각적으로 나타내는 역할을 할 수 있다.
- [0248] 이는 온도에 민감한 애플리케이션을 모니터링하거나 잠재적인 과열 문제를 식별하는 데 도움이 될 수 있다.
- [0249] 회로 기판의 열변색 응용을 시연하기 위해 이미지(931)와 같이 EHSP를 회로 기판에 배치했다.
- [0250] 칩의 온도가 증가함에 따라 EHSP의 색상이 변경되어 회로 기판의 가열 요소를 시각적으로 표시할 수 있다.
- [0251] 도 9e는 본 발명의 일실시예에 따른 하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서가 피부 부착형 센서로 활용되는 경우의 이미지 및 데이터를 예시한다.
- [0252] 도 9e를 참고하면, 이미지(941)는 피부 부착형 센서의 적용에 대하여 온도 변화를 측정하는 것을 예시하고, 그래프(942)는 피부 부착형 센서에 손가락(finger) 및 손(hand)의 탭(tap)에 따른 전압 변화를 예시하며, 그래프(943)는 피부 부착형 센서에 손가락(finger) 및 손(hand)의 탭(tap)에 따른 전류 변화를 예시한다.
- [0253] 이미지(941)는 체온이 각각 35° C와 37.4° C로 인간의 손에 놓인 EHSP를 보여준다.
- [0254] 일반 성인의 경우 체온이 37° C 이상이면 발열이 있을 가능성이 높다고 본다.
- [0255] 이미지(941)는 열화상에서 볼 수 있듯이 EHSP를 사람의 손에 올려놓는 것만으로 사람의 체온을 시각적으로 확인할 수 있다.
- [0256] 또한 EHSP는 사람의 손가락이나 손으로 장치를 터치하는 것만으로도 전기를 생성하는 데 사용할 수도 있다.
- [0257] 그래프(942) 및 그래프(943)에서 볼 수 있듯이 EHSP를 손가락으로 두드리는 것만으로도 ~50V 및 2μA의 전압 및 전류 신호가 생성되었으며, 사람 손으로 장치를 두드리면 ~90V 및 8μA가 생성되었다.
- [0258] 이는 EHSP가 에너지 수확 및 감지 애플리케이션을 위한 웨어러블 장치로 사용될 수 있음을 시사한다.
- [0259] 따라서, 본 발명은 대량 생산 및 산업화에 적합한 비용 효율적이고 확장 가능한 제조 공정으로 설계 및 제작 가능한 하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서를 제공할 수 있다.
- [0261] 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 또는 조합되거나, 다른 구성요소 또는 균등물에 의하여 대치되거나 치환되더라도 적절한 결과가 달성될 수 있다.

[0262] 그러므로, 다른 구현들, 다른 실시예들 및 특허청구범위와 균등한 것들도 후술하는 특허청구범위의 범위에 속한다.

부호의 설명

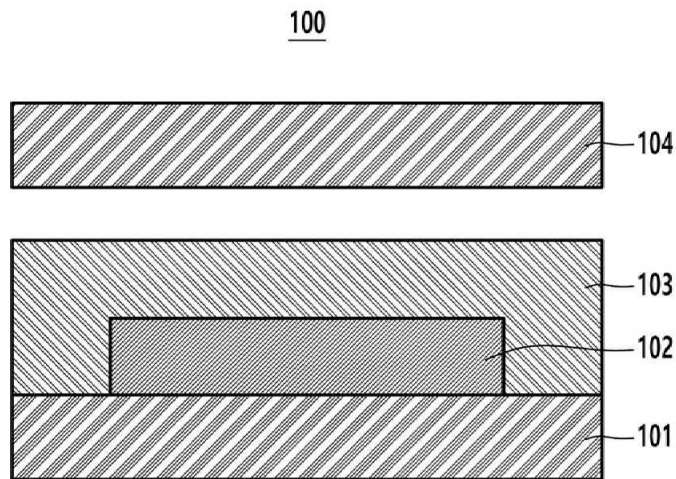
[0263] 100: 하이브리드 나노발전소자 기반 열변색 센서

101: 전극 102: 압전 복합층

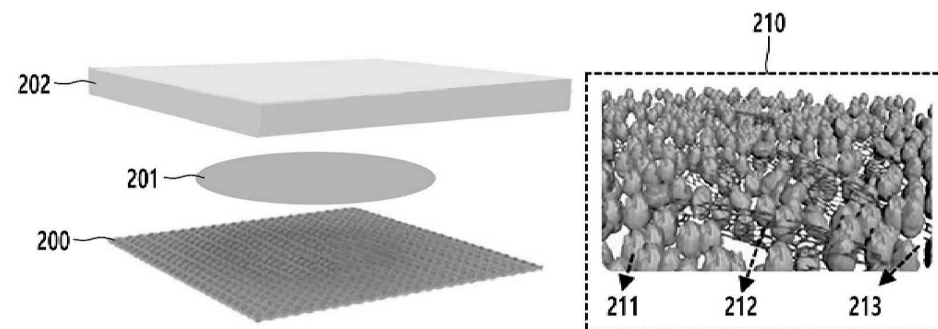
103: 마찰 열변색층 104: 마찰 전기층

도면

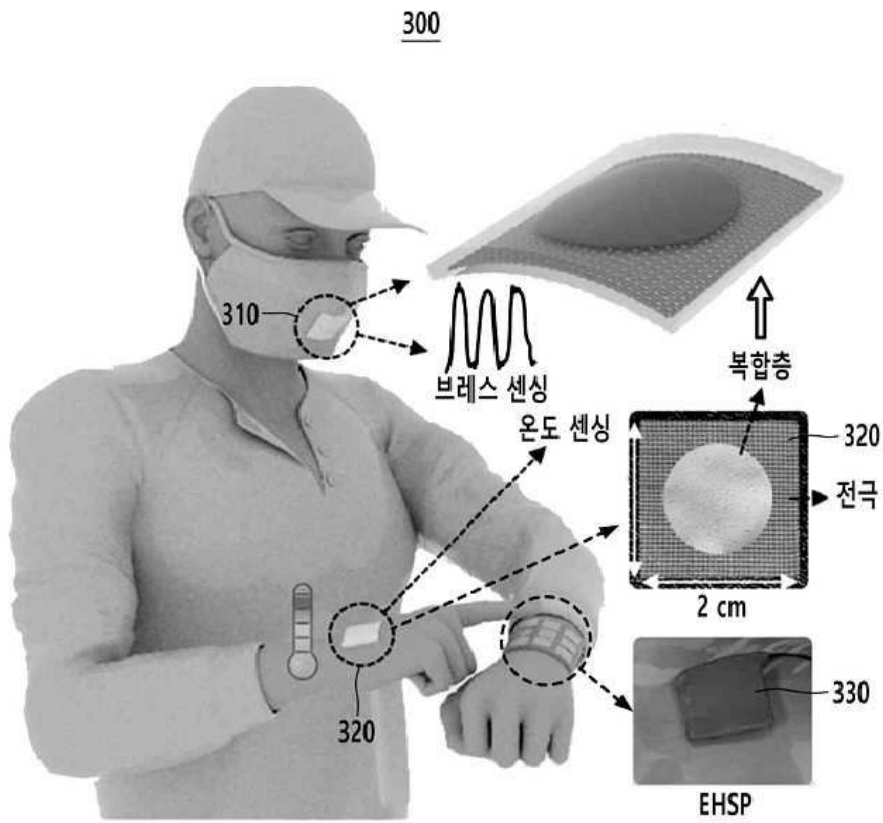
도면1



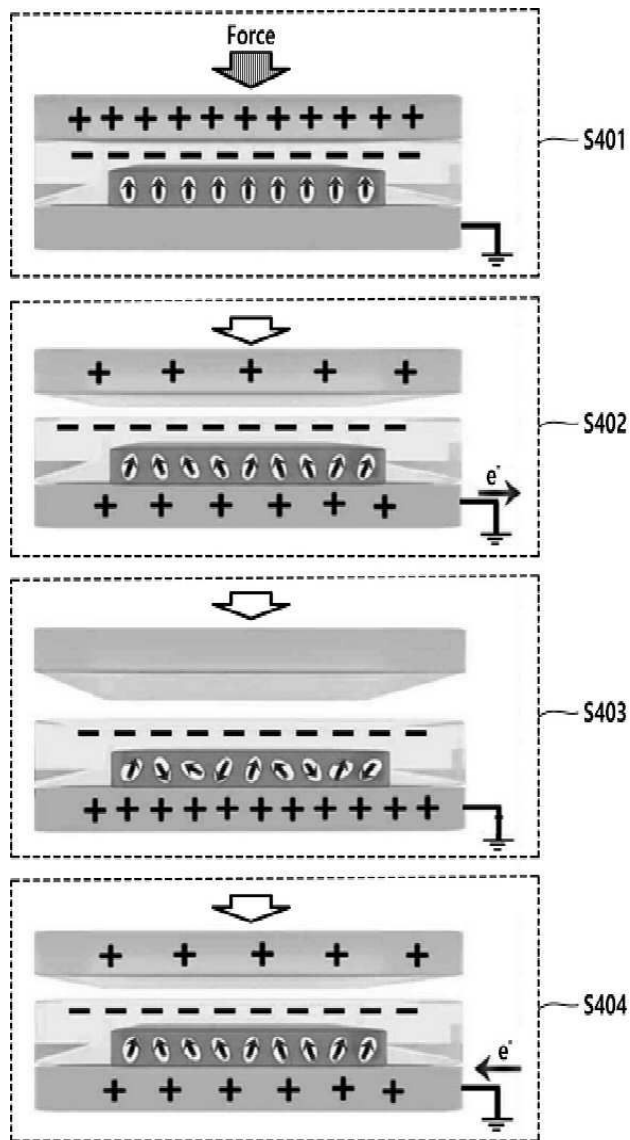
도면2



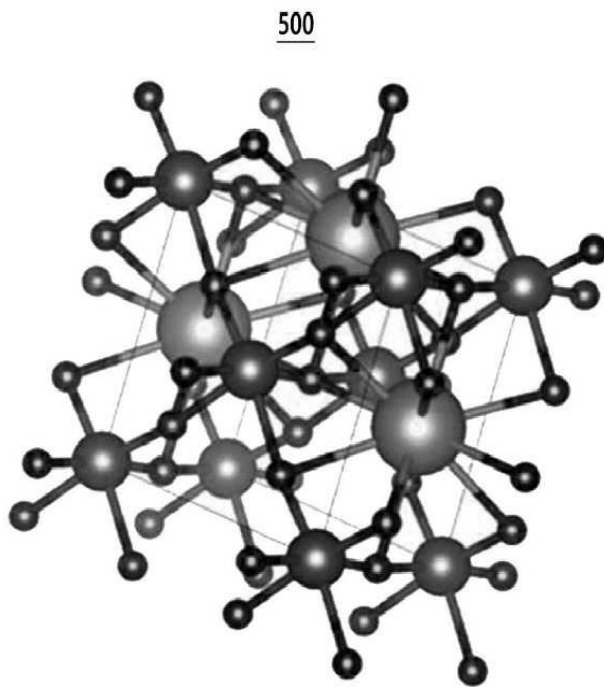
도면3



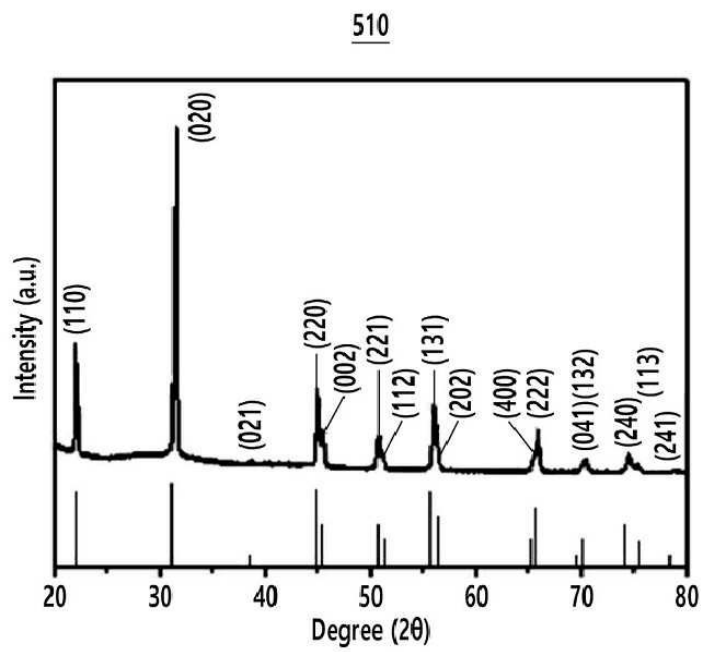
도면4



도면5a

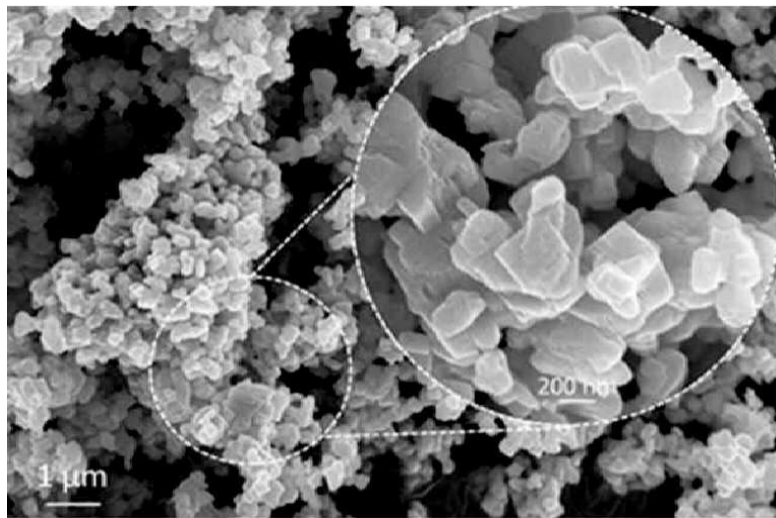


도면5b

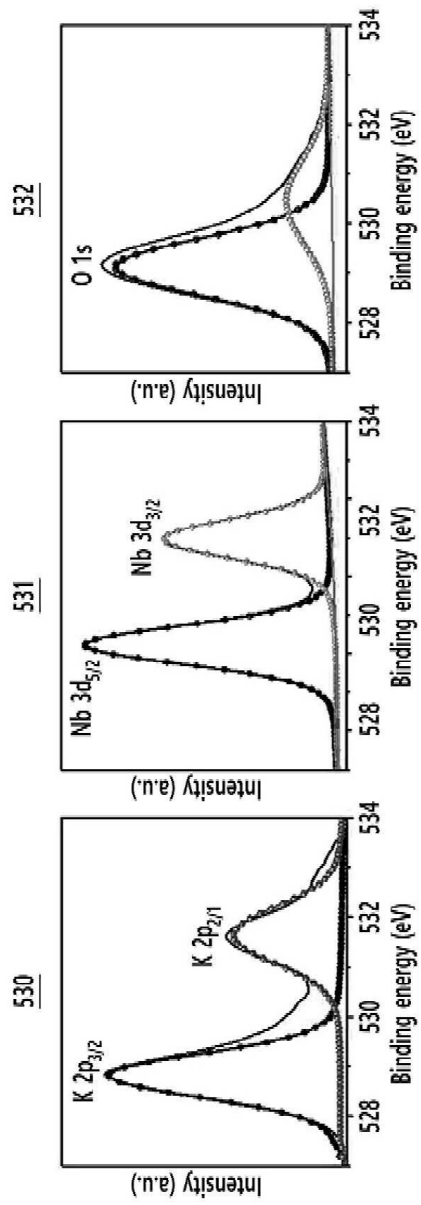


도면5c

520

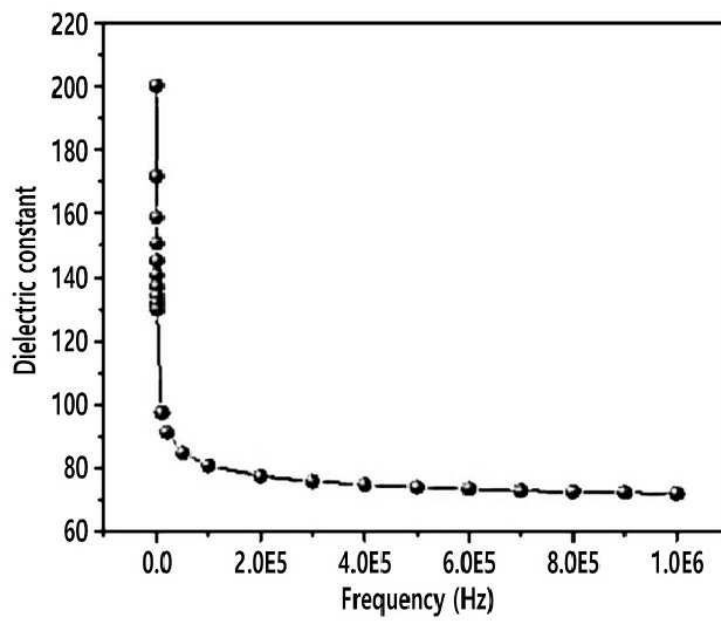


도면5d

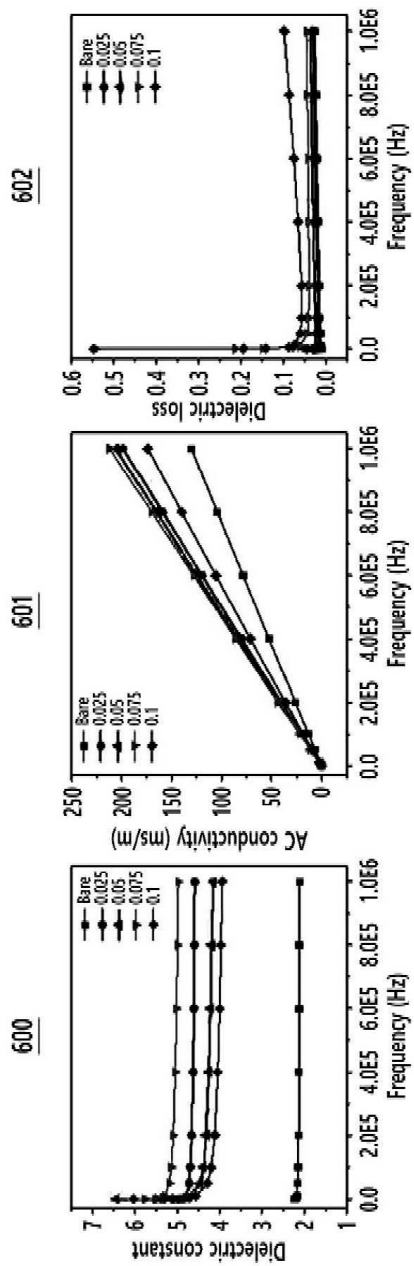


도면5e

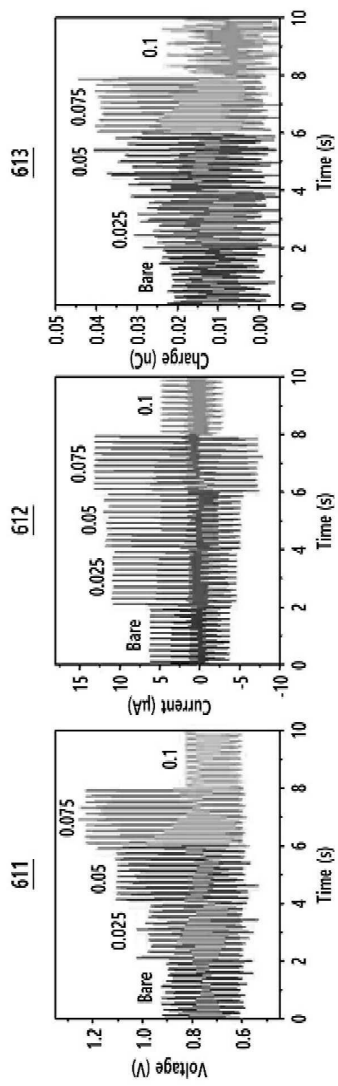
540



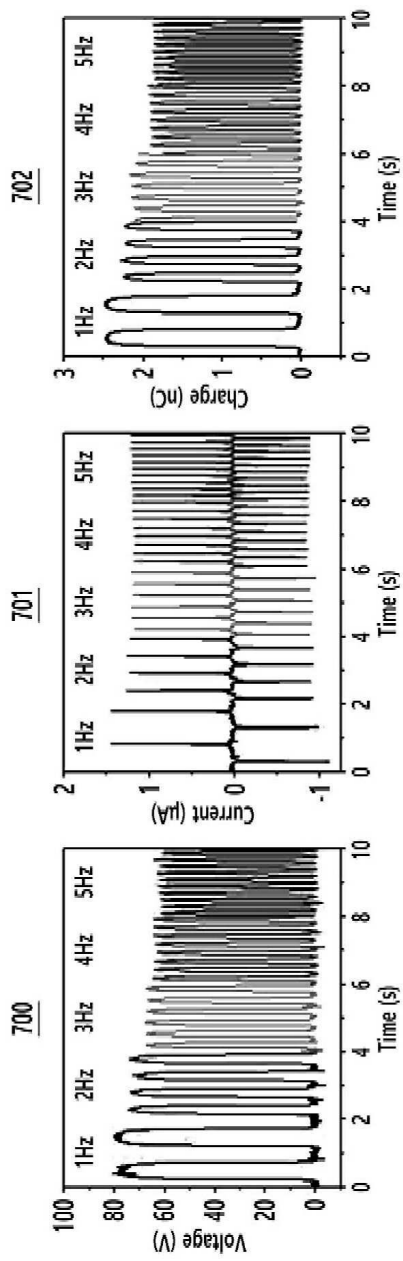
도면6a



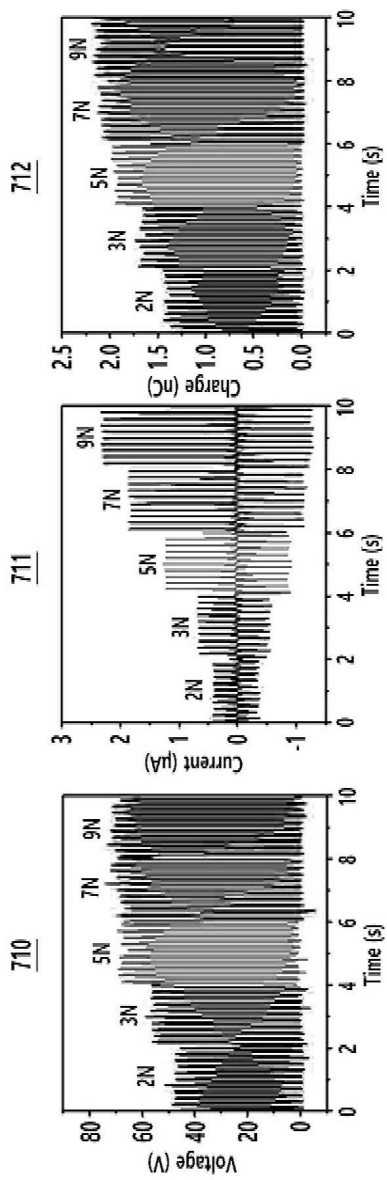
도면6b



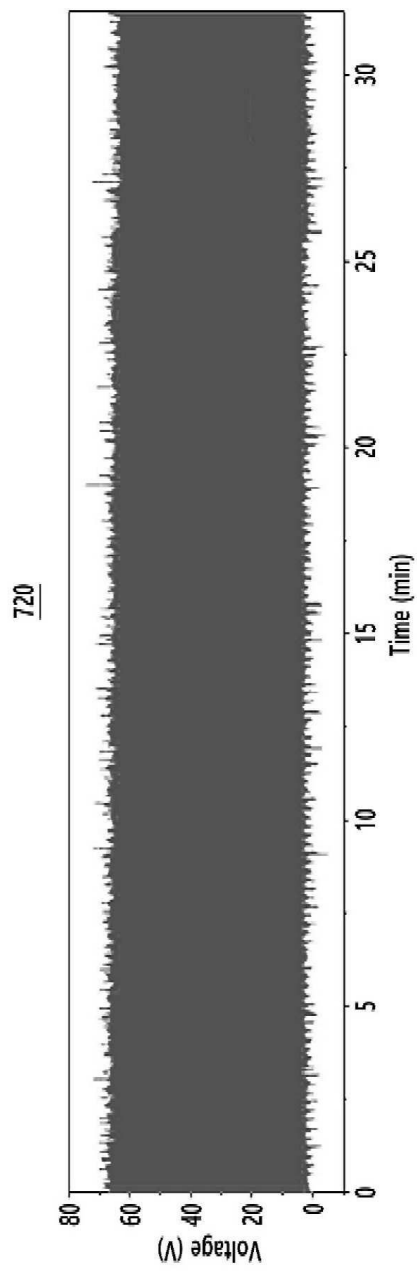
도면7a



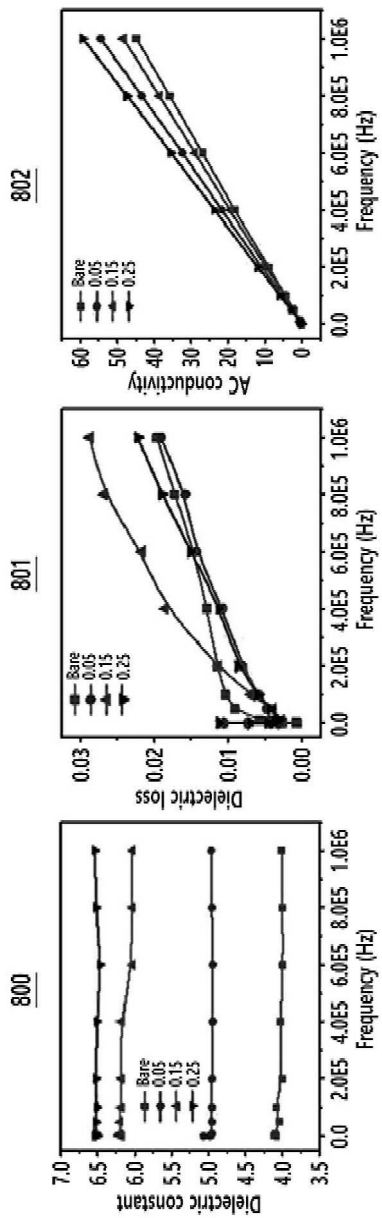
도면7b



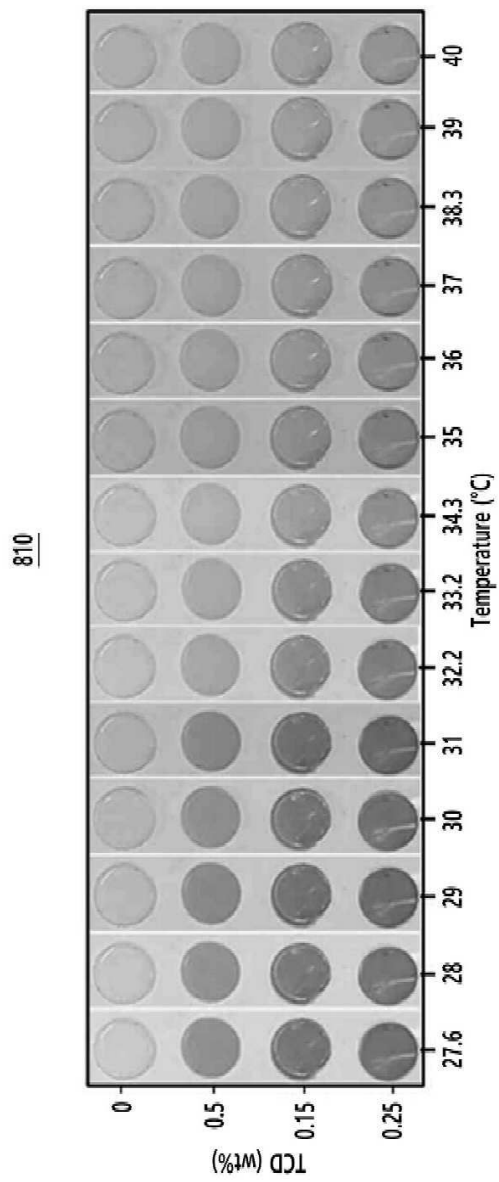
도면7c



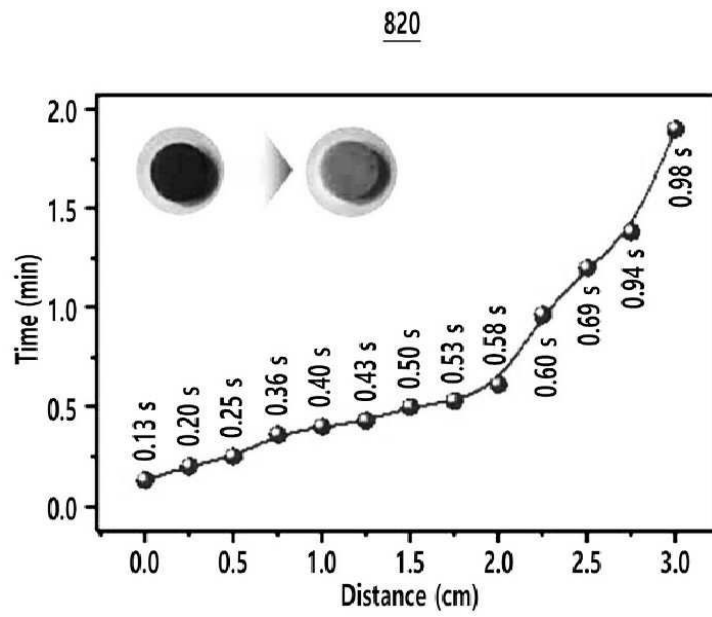
도면8a



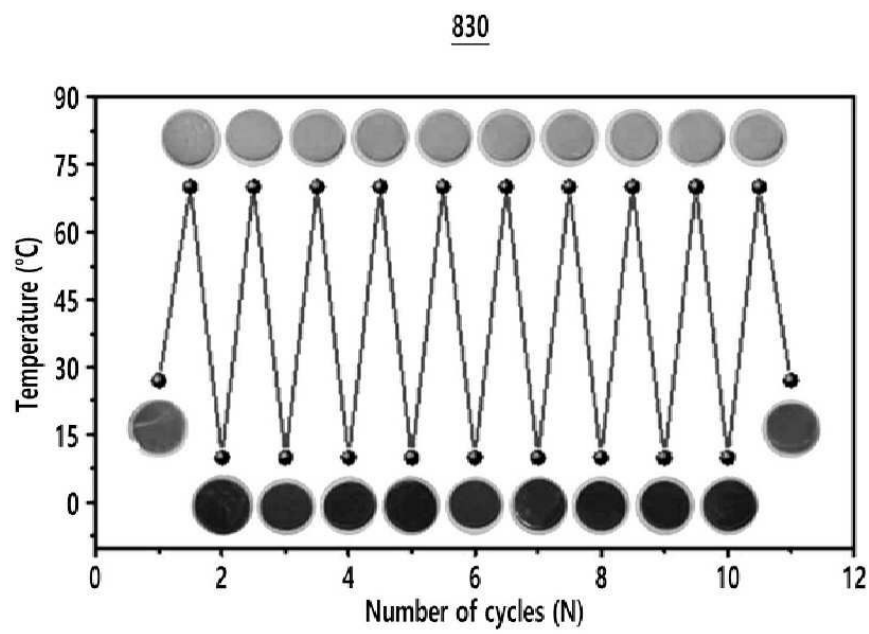
도면8b



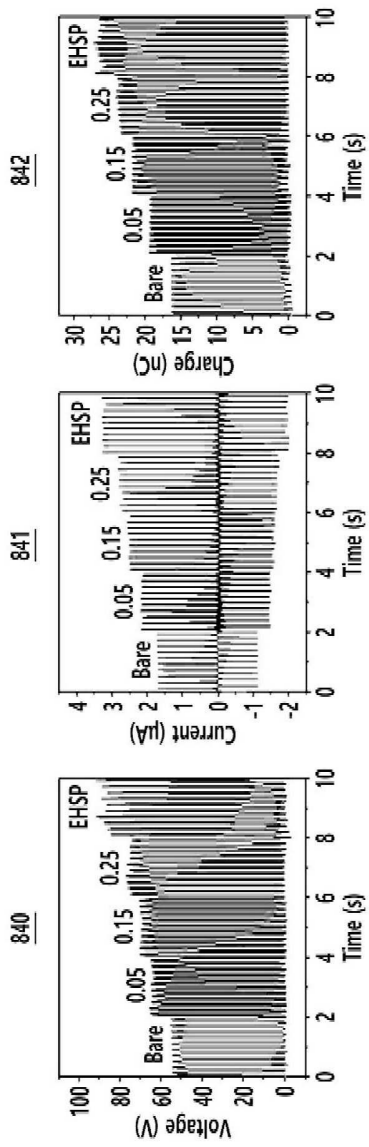
도면8c



도면8d

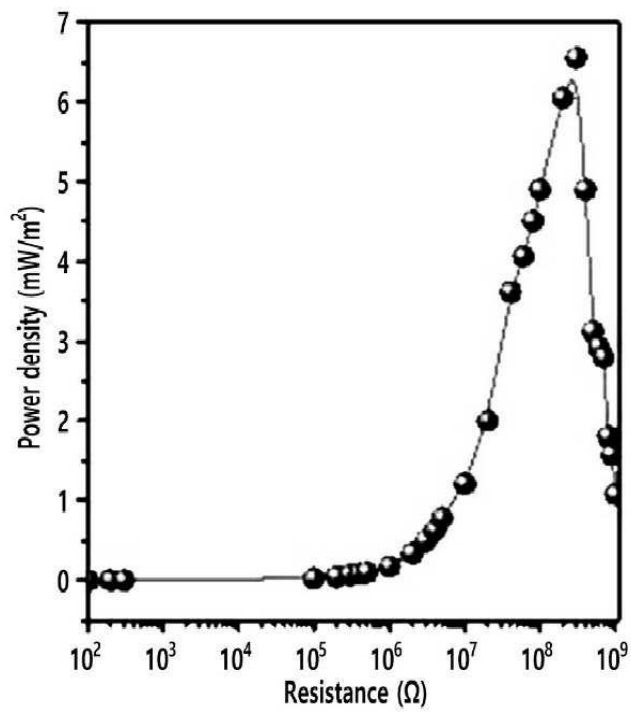


도면8e



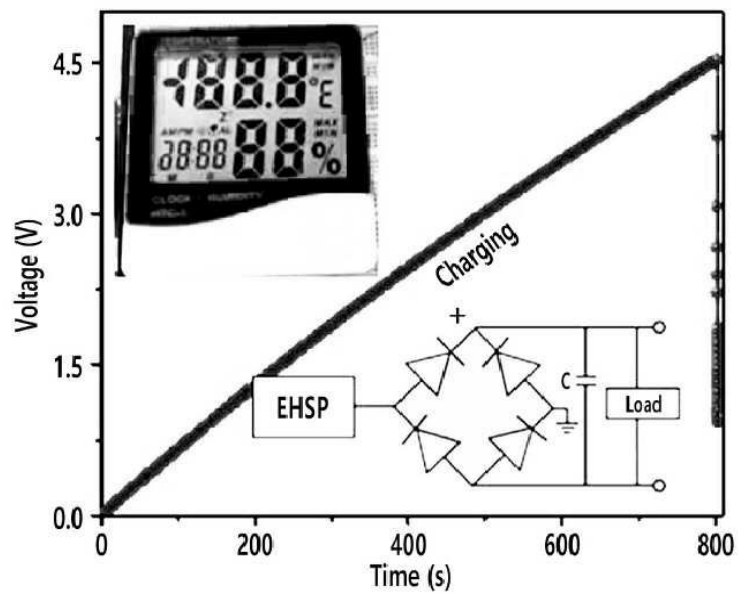
도면8f

850



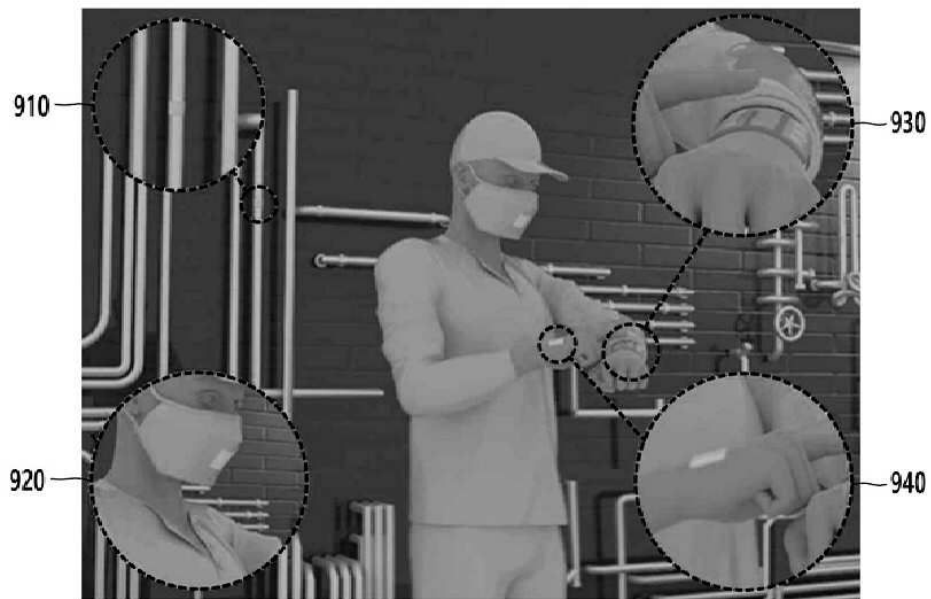
도면8g

860



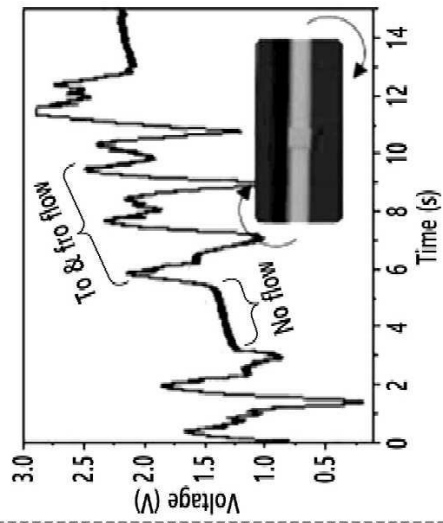
도면9a

900

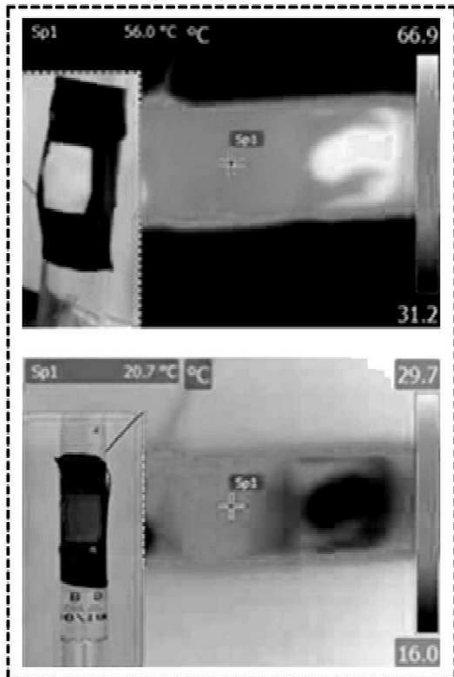


도면9b

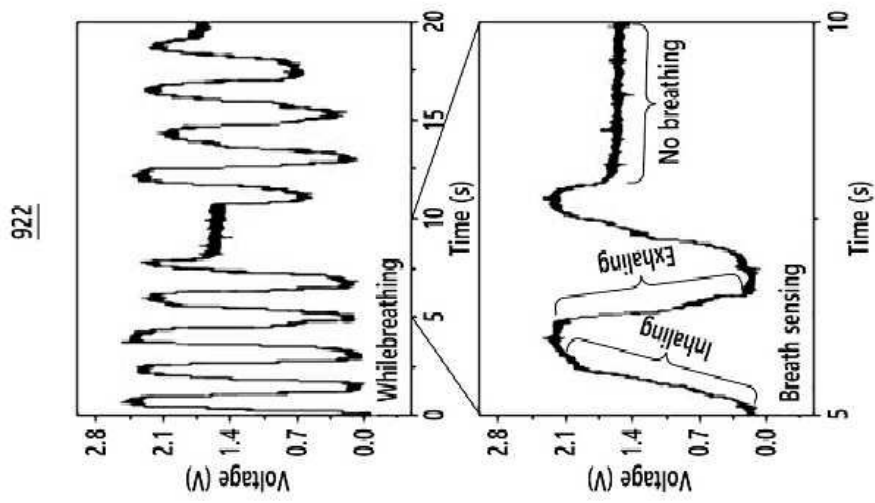
912



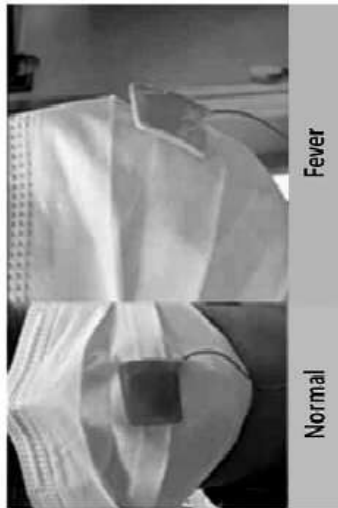
911



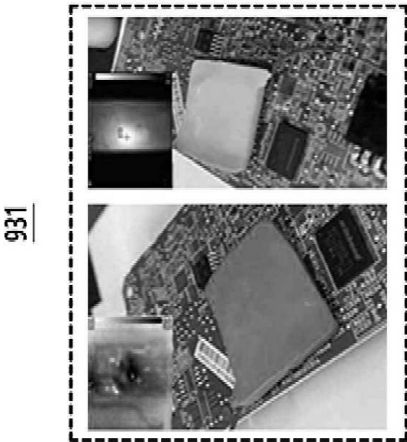
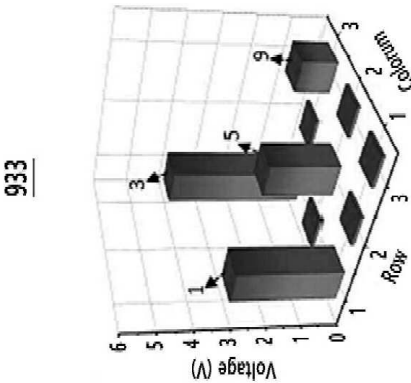
도면9c



921

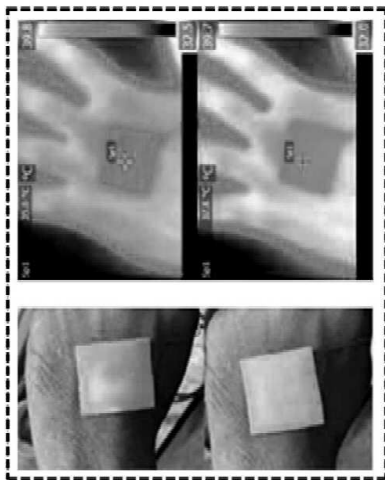


도면9d

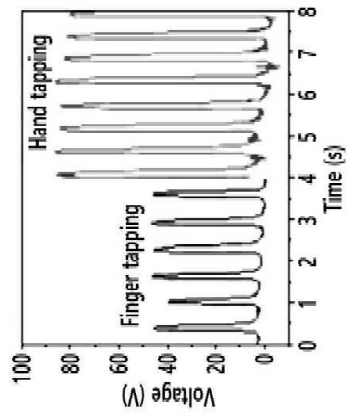


도면9e

941



942



943

