(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2025년04월15일
(11) 등록번호 10-2796811
(24) 등록일자 2025년04월11일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H10N 30/30 (2023.01) *H02N 1/04* (2006.01)
H02N 2/18 (2006.01) *H10N 30/85* (2023.01)
H10N 39/00 (2023.01)
(52) CPC특허분류
H10N 30/30 (2023.02)
H02N 1/04 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2024-0017923
(22) 출원일자 2024년02월06일
심사청구일자 2024년02월06일
(56) 선행기술조사문헌
Arash Rayegani et al., 'Recent Advances in Self-PoweredWearable Sensors Based on Piezoelectric and Triboelectric Nanogenerators', Biosensors, 13, 37 (2022.12.27)*
Chunlin Zhao et al., 'Hybrid piezo/triboelectric nanogenerator for highly efficient and stable rotation energy harvesting', Nano Energy, 57, 440-449 (2018.12.21)*
Punnarao Manchi et al., 'High-Efficiency Poly(Vinylidene Fluoride-Co-Hexafluoropropylene) Loaded 3D Marigold Flower-Like Bismuth Tungstate Triboelectric Films for Mechanical Energy Harvesting and Sensing Applications', Small 2022, 18, 2200822 (2022.04.14)*
장종범 등, 'Bi2WO6 로딩 PDMS 고분자 필름기반 나노발전소자의 제작 및 특성', 2022년도 한국통신학회 추계종합학술발표회, 0344-0345 (2022.11.16)*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
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 10 항 심사관 : 안경민

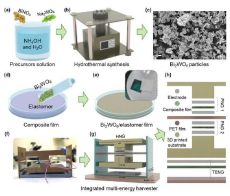
(54) 발명의 명칭 **비스무트 텅스텐 산화물을 포함하는 나노발전기**

(57) 요 약

본 마찰 전기를 발생시키는 나노발전기와 압전을 발생시키는 나노발전기, 또는 상기 두 종류의 나노발전기를 동시에 포함하는 이중 나노발전기에 관한 것이다. 본 발명에 따른 나노발전기는 Bi_2WO_6(BWO) 입자가 고분자 내 분산된 복합 필름을 포함하여, 유전 특성이 개선되었으며 이에 따라 동시에 우수한 압전 성능과 마찰 전기 발생 성능

(뒷면에 계속)

대 표 도 - 도3



을 나타낼 수 있다.

(52) CPC특허분류
H02N 2/18 (2013.01)
H10N 30/852 (2023.02)
H10N 39/00 (2023.08)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1345364576
과제번호 2018R1A6A1A03025708
부처명 과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명 한국연구재단
연구사업명 대학중점연구소지원사업
연구과제명 [대학중점연구소] 융복합 에너지 자율형 다기능 센서 플랫폼 연구 2단계(3/3)
과제수행기관명 경희대학교 산학협력단
연구기간 2018.06.01 ~ 2027.02.28
공지예외적용 : 있음

명 세 서

청구범위

청구항 1

수열 합성(hydrothermal synthesis) 기법을 통해 제조되어 이중 오목(Biconcave) 형상을 갖는 Bi_2WO_6(BWO) 입자가 PDMS(Polydimethylsiloxane) 기반의 고분자 내 분산된 제1 복합 필름;

상기 제1 복합 필름의 상면에 제공된 제1 전극부; 및

상기 제1 복합 필름과 이격되어 제공되는 제2 전극부를 포함하고,

상기 제1 복합 필름과 상기 제2 전극부의 접촉-이격에 따라 마찰 전기를 발생시키는, 나노발전기.

청구항 2

수열 합성(hydrothermal synthesis) 기법을 통해 제조되어 이중 오목(Biconcave) 형상을 갖는 Bi_2WO_6(BWO) 입자가 PDMS(Polydimethylsiloxane) 기반의 고분자 내 분산된 제3 복합 필름;

상기 제3 복합 필름의 상면에 제공된 제4 전극부; 및

상기 제3 복합 필름의 배면에 제공된 제5 전극부를 포함하고,

상기 제3 복합 필름에 수직한 방향으로 작용하는 힘에 따라 압전 효과로 상기 제4 전극부와 상기 제5 전극부 사이에 전위차를 생성하여 압전을 발생시키는, 나노발전기.

청구항 3

제1항에 따른 나노발전기와 제2항에 따른 나노발전기를 포함하는, 나노발전기.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 제1 복합 필름 또는 상기 제3 복합 필름은 각각 독립적으로 Bi_2WO_6(BWO) 입자의 함량이 1.25 중량% 내지 5 중량%인, 나노발전기.

청구항 5

제3항에 있어서,

상기 고분자는 폴리디메틸실록산을 포함하는, 나노발전기.

청구항 6

제3항에 있어서,

제1항에 따른 나노발전기는 하부에 위치하고,

제2항에 따른 나노발전기는 제1항에 따른 나노발전기 상에 제공되는, 나노발전기.

청구항 7

제1항에 따른 나노발전기와 제2항에 따른 나노발전기를 포함하는, 센서 장치.

청구항 8

제7항에 있어서,

마찰 전기를 발생시키는 나노발전기는 커패시터와 연결되어, 상기 커패시터를 충전하기 위한 충전 장치로 기능

하는, 센서 장치.

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 커패시터는 디스플레이 장치와 연결되는, 센서 장치.

청구항 10

제7항에 있어서,

압전을 발생시키는 나노발전기는 아두이노와 연결되어 힘 센서로 기능하는, 센서 장치.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 비스무트 텅스텐 산화물을 포함하는 나노발전기에 관한 것으로, 구체적으로는 비스무트 텅스텐 산화물과 고분자가 혼합된 복합 필름을 마찰 전기층 또는 압전 매질로 활용함으로써 마찰 전기 나노발전기 및/또는 압전 발전기를 구현하는 것이다. 본 발명에 따르면, 유전 특성이 향상된 복합 필름을 활용함으로써 마찰 전기 나노발전기, 압전 발전기의 발전 효율을 향상시키고, 하나의 필름으로 복합 발전기를 구현할 수 있다.

[0002] 본 발명은 경기도청의 지원을 받아 수행된 연구과제의 결과물이며, 연구과제의 구체적인 정보는 표 A와 같다.

【표 A】

과제고유번호	GRRC경희2023-B03
중앙부처명	경기도
전문기관	경기도청
연구사업명	경기지역협력연구센터사업 (GRRC)
연구과제명	하이브리드 소재기반 유연 반도체 공정 및 소자/패키징 기술 연구
기여율	1/2
주관연구기관	경희대학교 산학협력단
연구기간	2023-07-01 ~ 2024-06-30

배 경 기 술

[0003] 일상생활에서 흔히 경험하는 정전기는 대부분 부정적인 현상으로 인식되고 있다. 서로 반대 전하를 띠는 두 물체가 마찰할 때 발생하는 표면 전하를 이용해 전기를 발생시키는 마찰 전기 나노발전기(Triboelectric Nanogenerator; TENG)가 제안되었다.

[0004] 마찰 전기 나노발전기(TENG)는 제작이 쉽고 비용이 저렴하며 마찰 소재를 다양하게 선택할 수 있어 차세대 에너지 하베스팅 장치로 각광받고 있다. 또한, 마찰 전기 나노발전기(TENG)는 외부 자극에 따라 전기 출력이 달라져 센서로도 활용이 가능하다. 낭비되는 많은 주변 에너지를 마찰 전기 나노발전기(TENG)를 통해 전기 신호로 변환할 수 있기 때문이다. 주변 에너지의 특성에 따라 다양한 인가력 하에서 작동하도록 마찰 전기 나노발전기(TENG)의 구조는 변형될 수 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 본 발명은 유전 특성이 우수한 BWO 기반 복합 소재를 제공하는 것을 목적으로 한다.

[0006] 또한, 본 발명은 유전 특성이 우수한 BWO 기반 복합 소재를 활용하여 전기적 특성과 안정성이 우수한 마찰 전기 나노발전기 및/또는 압전 나노발전기를 제공하는 것을 목적으로 한다.

[0007] 또한, 본 발명은 유전 특성이 우수한 BWO 기반 복합 소재를 활용하여 나노발전기를 제공하고, 나노발전기에 디스플레이, 통신 장치 등을 연결하여 센서를 제공하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

[0008] 해결하고자 하는 과제의 달성을 위하여, 본 발명의 나노발전기는 Bi_2WO_6(BWO) 입자가 고분자 내 분산된 제1 복합 필름; 상기 제1 복합 필름의 상면에 제공된 제1 전극부; 및 상기 제1 복합 필름과 이격되어 제공되는 제2 전극부를 포함하고, 상기 제1 복합 필름과 상기 제2 전극부의 접촉-이격에 따라 마찰 전기를 발생시킨다.

[0009] 해결하고자 하는 과제의 달성을 위하여, 본 발명의 나노발전기는 Bi_2WO_6(BWO) 입자가 고분자 내 분산된 제3 복합 필름; 상기 제3 복합 필름의 상면에 제공된 제4 전극부; 및 상기 제3 복합 필름의 배면에 제공된 제5 전극부를 포함하고, 상기 제3 복합 필름에 수직한 방향으로 작용하는 힘에 따라 압전 효과로 상기 제4 전극부와 상기 제5 전극부 사이에 전위차를 생성하여 압전을 발생시킨다.

[0010] 또한, 본 발명의 나노발전기는 상기 제1 복합 필름 또는 상기 제3 복합 필름은 각각 독립적으로 Bi_2WO_6(BWO) 입자의 함량이 1.25 중량% 내지 5 중량%일 수 있다.

[0011] 또한, 본 발명의 나노발전기는 상기 고분자는 폴리디메틸실록산을 포함할 수 있다.

[0012] 또한, 본 발명의 나노발전기는 하부에 위치한 나노발전기와 그 위에 제공된 나노발전기를 포함할 수 있다.

[0013] 해결하고자 하는 과제의 달성을 위하여 본 발명의 센서 장치는 나노발전기를 포함한다.

[0014] 또한, 센서 장치는 마찰 전기를 발생시키는 나노발전기는 커패시터와 연결되어, 상기 커패시터를 충전하기 위한 충전 장치로 기능할 수 있다.

[0015] 또한, 센서 장치는 상기 커패시터가 디스플레이 장치와 연결될 수 있다.

[0016] 또한, 센서 장치는 압전을 발생시키는 나노발전기가 아두이노와 연결되어 힘 센서로 기능할 수 있다.

발명의 효과

[0017] 본 발명의 일 형태에 따르면, 유전 특성이 우수한 BWO 기반 복합 필름을 활용하여 나노발전기를 제공함으로써, 더 많은 전하를 생성하고 더 나은 전기적 성능을 얻을 수 있다.

[0018] 본 발명의 일 형태에 따르면, 기계적 및 진동 소스에서 동시에 에너지를 수확하기 위해 마찰 전기 효과 및 압전 효과를 동시에 활용하는 하이브리드 나노발전기가 제공할 수 있다.

[0019] 본 발명의 일 양태에 따르면, 센서 시스템의 무선 신호 전송과 더 나아가 무선 전력 전송 설정에도 BWO 기반 하이브리드 나노발전기(HNG)가 사용되어, 전기 전자 분야에서의 다양한 응용이 가능하다.

[0020] 본 발명의 일 양태에 따르면, BWO 기반 복합 필름은 제조가 간단하고 저렴하다는 장점이 있다.

도면의 간단한 설명

[0021] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 마찰 전기를 발생시키는 나노발전기의 개략적인 단면도이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 압전을 발생시키는 나노발전기의 개략적인 단면도이다.

도 3은 BWO의 합성 절차, 복합 필름 준비 및 하이브리드 나노발전기(HNG) 구조를 나타낸 것이다.

도 4는 합성된 BWO의 특성 분석 결과이다.

도 5은 하나의 구조에서 마찰 전기와 압전 효과가 발생하는 하이브리드 나노발전기(HNG)의 작동 메커니즘을 나타낸 것이다.

도 6는 하이브리드 나노발전기(HNG)의 전기 출력 성능 분석 결과이다.

도 7은 다양한 나노발전기의 전기 출력과 그 시너지 효과를 분석한 결과이다.

도 8은 전자기기에 전력을 공급하고 센서로 활용되는 이중 나노발전기의 응용을 나타낸 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0022] 이하 첨부 도면들 및 첨부 도면들에 기재된 내용들을 참조하여 본 발명의 실시예를 상세하게 설명하지만, 본 발명이 실시예에 의해 제한되거나 한정되는 것은 아니다.

[0023] 본 명세서에서 사용된 용어는 실시예들을 설명하기 위한 것이며 본 발명을 제한하고자 하는 것은 아니다. 본 명세서에서, 단수형은 문구에서 특별히 언급하지 않는 한 복수형도 포함한다. 명세서에서 사용되는 "포함한다(comprises)" 및/또는 "포함하는(comprising)"은 언급된 구성요소, 단계, 동작 및/또는 소자는 하나 이상의 다른 구성요소, 단계, 동작 및/또는 소자의 존재 또는 추가를 배제하지 않는다.

[0024] 본 명세서에서 사용되는 "실시예", "예", "측면", "예시" 등은 기술된 임의의 양상(aspect) 또는 설계가 다른 양상 또는 설계들보다 양호하다거나, 이점이 있는 것으로 해석되어야 하는 것은 아니다.

[0025] 아래 설명에서 사용되는 용어는, 연관되는 기술 분야에서 일반적이고 보편적인 것으로 선택되었으나, 기술의 발달 및/또는 변화, 관례, 기술자의 선호 등에 따라 다른 용어가 있을 수 있다. 따라서, 아래 설명에서 사용되는 용어는 기술적 사상을 한정하는 것으로 이해되어서는 안 되며, 실시예들을 설명하기 위한 예시적 용어로 이해되어야 한다.

[0026] 또한, 특정한 경우는 출원인이 임의로 선정한 용어도 있으며, 이 경우 해당되는 설명 부분에서 상세한 그 의미를 기재할 것이다. 따라서 아래 설명에서 사용되는 용어는 단순한 용어의 명칭이 아닌 그 용어가 가지는 의미와 명세서 전반에 걸친 내용을 토대로 이해되어야 한다.

[0027] 한편, 제1, 제2 등의 용어는 다양한 구성 요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 구성 요소들은 용어들에 의하여 한정되지 않는다. 용어들은 하나의 구성 요소를 다른 구성 요소로부터 구별하는 목적으로만 사용된다.

[0028] 또한, 막, 층, 영역, 구성 요청 등의 부분이 다른 부분 "위에" 또는 "상에" 있다고 할 때, 다른 부분의 바로 위에 있는 경우 뿐만 아니라, 그 중간에 다른 막, 층, 영역, 구성 요소 등이 개재되어 있는 경우도 포함한다.

[0029] 다른 정의가 없다면, 본 명세서에서 사용되는 모든 용어(기술 및 과학적 용어를 포함)는 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 공통적으로 이해될 수 있는 의미로 사용될 수 있을 것이다. 또 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 용어들은 명백하게 특별히 정의되어 있지 않는 한 이상적으로 또는 과도하게 해석되지 않는다.

[0030] 한편, 본 발명을 설명함에 있어서, 관련된 공지 기능 또는 구성에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는, 그 상세한 설명을 생략할 것이다. 그리고, 본 명세서에서 사용되는 용어(terminology)들은 본 발명의 실시예를 적절히 표현하기 위해 사용된 용어들로서, 이는 사용자, 운용자의 의도 또는 본 발명이 속하는 분야의 관례 등에 따라 달라질 수 있다. 따라서, 본 용어들에 대한 정의는 본 명세서 전반에 걸친 내용을 토대로 내려져야 할 것이다.

[0031] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 마찰 전기를 발생시키는 나노발전기의 개략적인 단면도이다.

[0032] 도 1을 참고하면, Bi_2WO_6(BWO) 입자(111)가 고분자(112) 내 분산된 제1 복합 필름(110); 상기 제1 복합 필름(110)의 상면에 제공된 제1 전극부(210); 및 상기 제1 복합 필름(110)과 이격되어 제공되는 제2 전극부(220)를 포함하고, 상기 제1 복합 필름(110)과 상기 제2 전극부(220)의 접촉-이격에 따라 마찰 전기를 발생시키는, 나노발전기가 제공된다.

[0033] 마찰 전기 나노발전기(TENG)는 일상적인 환경에서 에너지를 수확하는 데 활용될 수 있다. 마찰 전기 나노발전기(TENG)의 전기 출력을 최대화하려면 표면 전하 밀도, 유전 상수와 같은 유전체 필름의 특성 개선이 필요하다. 본 발명의 일 양태에 따르면, 이중오목(biconcave) 비스무트 텅스텐 산화물[Bi_2WO_6(BWO)] 미립자(111)를 합성하고 이를 매트릭스 형태의 고분자(112)에 삽입하여 에너지 수확 및 센싱 애플리케이션을 위한 이중 목적 나노발전기를 제공될 수 있다.

[0034] 마찰 전기 나노발전기(TENG)는 두 물체가 같은 축을 따라 움직일 때 접촉 분리 모드와 단일 전극 모드로 작동하며, 서로 접촉하면 전기 출력을 생성할 수 있다. 본 발명의 일 양태에 따르면, 접촉-분리 모드의 마찰 전기 나노발전기(TENG)를 사용하여 가해진 기계적 힘 하에서 전기를 생산할 수 있다.

[0035] 제1 복합 필름(110)은 Bi_2WO_6(BWO) 입자(111)와 고분자(112)를 포함하는 복합 필름이다. 제1 복합 필름(110)은 마찰 전기 층(triboelectric layer)으로 기능한다.

[0036] Bi_2WO_6(BWO) 입자(111)는 오목한 원형 형태를 가질 수 있다. Bi_2WO_6(BWO) 입자(111)는 제1 복합 필름(110) 내 함량이 1.25 중량% 내지 5 중량%일 수 있다. 상술한 함량의 Bi_2WO_6(BWO) 입자(111)를 제1 복합 필름(110) 내 제공함으로써 필름의 유전 특성을 개선하고 이를 통해 높은 효율로 전기를 생산할 수 있는 나노발전기를 제공할 수

있다. 이때 Bi_2WO_6(BWO) 입자(111)는 고분자(112) 내 분산되어 제공될 수 있다.

[0037] Bi_2WO_6(BWO) 입자(111)는 수열 합성 기법을 통해 제조될 수 있다.

[0038] 고분자(112)는 매트릭스 형태로 제공되며 Bi_2WO_6(BWO) 입자(111)를 지지(support)한다. 고분자(112)의 매트릭스 형태는 나노발전기의 형태에 따라 달라질 수 있다. 고분자(112)는 폴리디메틸실록산을 포함할 수 있다. 폴리디메틸실록산은 제조가 간단하고 저렴하며 유전체 특성을 쉽게 변형할 수 있다는 장점이 있다. 그러나, 필요에 따라서는 폴리디메틸실로산 외 다른 적절한 유전체 특성을 나타내는 고분자(112)를 활용할 수 있다.

[0039] 제1 전극부(210)와 제2 전극부(220)는 전기 전도성이 우수하며, 전하를 띨 수 있는 물질로 제작될 수 있다. 제1 전극부(210)는 제1 복합 필름(110)의 상면에 제공되고, 제2 전극부(220)는 제1 복합 필름(110)과 마주보되 이격되어 제공된다.

[0040] 제1 전극부(210)와 제2 전극부(220)는 알루미늄으로 제작될 수 있다. 알루미늄(Al) 필름은 표면 전하를 증가시킬 수 있어 마찰 전기 나노발전기(TENG)의 성능을 향상시킬 수 있다.

[0041] 유전율은 두 개의 전도성 판과 그 사이에 있는 물질 사이에 형성된 정전 용량의 비율로, 전기 에너지를 저장하는 능력을 측정하는 척도이다. 따라서 유전율이 높을수록 접촉-분리 모드에서 작동할 때 더 많은 전하를 생성하고 더 나은 전기적 성능을 얻을 수 있다. 본 발명의 일 양태에 따르면 유전율이 우수한 제1 복합 필름(110)을 사용함으로써 마찰 전기 나노발전기(TENG)의 성능을 향상시킬 수 있다.

[0042] 처음에 외력이 가해지지 않을 때는 제1 복합 필름(110) 표면에 전하가 생성되지 않는다. 그러나 전하 친화도가 다른 제1 복합 필름(110)과 제2 전극부(220)가 물리적으로 접촉하면 제1 복합 필름(110) 표면에 전하가 생성된다. 제1 복합 필름(110)의 우수한 유전 특성은 제1 복합 필름(110) 표면에 더 많은 전하를 생성하는 데 기여한다. 다음으로, 제1 복합 필름(110)과 제2 전극부(220)가 분리되면 제1 전극부(210)를 가로질러 전위가 유도된다.

[0043] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 압전을 발생시키는 나노발전기의 개략적인 단면도이다.

[0044] Bi_2WO_6(BWO) 입자(301)가 고분자(302) 내 분산된 제3 복합 필름(300); 상기 제3 복합 필름(300)의 상면에 제공된 제4 전극부(410); 및 상기 제3 복합 필름(300)의 배면에 제공된 제5 전극부(420)를 포함하고, 상기 제3 복합 필름(300)에 수직한 방향으로 작용하는 힘에 따라 압전 효과로 상기 제4 전극부(410)와 상기 제5 전극부(420) 사이에 전위차를 생성하여 압전을 발생시키는 나노발전기가 제공된다.

[0045] 압전을 발생시키는 나노발전기의 경우, (i) 압전 효과로 인해 전기 쌍극자가 한 방향을 따라 정렬하여 상단과 하단 전극에 전위차를 생성한다. 생성된 전위는 전자가 외부 회로를 통해 한 전극에서 다른 전극으로 흐르도록 유도한다. (ii) 힘이 풀리면 전기 쌍극자가 반전되고 해당 전위로 인해 전류가 다시 흐른다. 따라서 교류(AC) 전기 신호는 반복적인 외부 힘에 의해 주기적으로 생성된다. 여기서 Bi_2WO_6(BWO) 입자가 고분자 내 분산된 제3 복합 필름(300)은 압전 현상을 일으키는 압전 매질(piezoelectric medium)로 기능한다.

[0046] 본 발명의 일 양태에 따르면, BWO 기반 복합 소재는 기계적 및 진동 소스에서 동시에 에너지를 수확하기 위해 마찰 전기 효과 및 압전 효과를 동시에 활용하는 하이브리드 나노발전기(HNG) 형태로 제공될 수 있다. 예를 들어, 마찰 전기 나노발전기는 하부에 위치하고 압전 나노발전기는 마찰 전기 나노발전기 상에 제공될 수 있다. 이와 같이 여러 개의 에너지 하베스팅 기술을 결합하면 전기 출력이 크게 향상될 수 있다. 수확된 에너지는 휴대용 전자기기에 전력을 공급하는 데 사용될 수 있다.

[0047] 또한, 본 발명의 일 양태에 따르면, 센서 시스템의 무선 신호 전송과 더 나아가 무선 전력 전송 설정에도 BWO 기반 하이브리드 나노발전기(HNG)가 사용되어, 전기 전자 분야에서의 다양한 응용이 가능하다. 예를 들어, 이들은 센서 장치로 구현될 수 있다. 이때 마찰 전기를 발생시키는 나노발전기는 커패시터와 연결되어, 상기 커패시터를 충전하기 위한 충전 장치로 기능할 수 있다. 또한, 커패시터는 디스플레이 장치와 연결되고, 압전을 발생시키는 나노발전기는 아두이노와 연결되어 힘 센서로 기능할 수 있다.

[0048] 새로운 이중 나노발전기/하이브리드 나노발전기(HNG)의 구조는 3D 프린팅하여 제공될 수 있다.

[0049] 이중 나노발전기/하이브리드 나노발전기(HNG)에서 복합 필름은 마찰 전기 층(triboelectric layer)과 압전 매질(piezoelectric medium)로 기능할 수 있다.

[0050] 제작된 이중 나노발전기는 기계적 에너지를 수확하여 소형 전자기기에 전력을 공급하고 센서로서 무선 전력 전

송 시스템과 함께 사용될 수 있다.

[0051] 도 3은 BWO의 합성 절차, 복합 필름 준비 및 하이브리드 나노발전기(HNG) 구조를 나타낸 것이다.

[0052] **제조예 1. BWO의 합성**

[0053] 도 3의 a는 BWO 분말 합성을 위한 전구체 용액 준비 과정을 나타낸 것이다. BWO 분말 합성을 위한 전구체 용액 준비를 위하여, 약 0.8488 g의 25 mmol $Bi(NO_3)_3 \cdot 5H_2O$와 약 0.2886 g의 12.5 mmol $Na_2WO_4 \cdot 2H_2O$를 탈이온수(DI) 약 70 mL에 첨가하고 1 시간 동안 교반했으며, 동시에 약 1 mL의 NH_4OH와 9 mL의 탈이온수를 혼합하고 1 시간 동안 교반한 후 위에서 언급한 두 용액을 함께 혼합하여 균질한 전구체 용액을 형성했다.

[0054] 다음으로, 도 3의 b와 같이 전구체 용액을 오토클레이브로 옮겨 약 180 ℃에서 약 15 시간 동안 수열 합성 반응시켰다. 반응이 완료된 전구체 용액을 실온에서 완전히 식힌 후, 4000 rpm/5 분 동안 원심분리 과정을 통해 분말을 액체에서 분리했다.

[0055] 도 3의 c는 합성된 BWO 분말의 전계 방출 주사 전자 현미경(FE-SEM) 이미지이다. 이 분말은 직경이 약 ~1.5㎛인 이중 오목(biconcave)한 모양을 하고 있다.

[0056] **제조예 2. 마찰 전기 및 하이브리드 필름의 준비.**

[0057] 도 3의 d와 e는 BWO/PDMS 필름의 준비 과정을 나타낸 것이다.

[0058] 먼저, 순수 PDMS 필름을 만들기 위해 엘라스토머 베이스 약 0.5 g과 경화제 약 0.5 g을 10:1의 비율로 혼합하고 약 30 분 동안 교반한 후 진공 건조하여 재료 내부의 기포를 제거했다. 준비된 PDMS 용액은 약 70 ℃에서 약 2 시간 동안 건조시켰다.

[0059] BWO/PDMS 복합 필름은 각각 1.25, 2.5, 5 wt.%의 BWO 분말을 PDMS에 로드하여 제조했다. 복합 필름은 순수 PDMS 필름과 동일하게 제조되었다. 그러나 서로 다른 중량% 값(1.25, 2.5 및 5 중량%)의 BWO 분말을 폴리머 용액에 첨가한 다음 마노 유발(agate mortar)를 사용하여 균일한 복합체가 형성될 때까지 함께 분쇄했다. 그 후, 복합 용액을 페트리 접시에 옮겨 진공 건조하여 기포를 제거한 다음 70 ℃에서 2시간 동안 열풍 오븐에서 건조시켰다.

[0060] **제조예 3. 하이브리드 나노발전기(HNG) 제작**

[0061] PDMS/BWO 필름이 마찰 전기 및 압전 출력을 모두 생성할 수 있는지 테스트하기 위해 특정 구조를 제조했다. 도 3의 f 내지 h는 제작된 하이브리드 나노발전기(HNG) 구조의 개략도와 사진 이미지이다. 이 구조는 PLA+ 필라멘트를 사용하여 3D 프린터를 사용하여 인쇄되었다. 먼저 전체 구조물 하단에 마찰 전기 효과를 나타내는 부분을 제작했다. 바닥 부분에는 전극 역할과 함께 양의 마찰 전기 재료로 기능하는 알루미늄(Al) 필름을 부착하고, 스테인리스 스틸 스프링을 스페이서로 사용했다. 또한, 상부에는 제조된 PDMS/BWO 필름을 부착하여 음의 마찰 전기 재료로 사용하고, 전극으로는 Al 필름을 사용했다. 3D 프린팅 구조물 중간에 Al/PDMS/BWO/Al 압전부를 구성하여, 필름의 변형을 통해 전력을 발생시키는 구조로 제작하였다. 마지막으로, 가해진 힘에 의해 구조물을 움직일 수 있는 부품을 Al/PDMS/BWO/Al 층에 부착했다. 이렇게 완성된 구조는 하이브리드 나노발전기(HNG) 상단에서 힘을 가했을 때 중간 부분의 압전 출력과 하단 부분의 마찰 전기 출력을 모두 생성할 수 있다.

[0062] **[BWO 분말의 형태 분석]**

[0063] BWO 분말의 제조를 확인하기 위해 다양한 방법으로 측정했다. 도 4는 합성된 BWO의 특성 분석 결과이다.

[0064] 먼저, 도 4의 a는 수열법으로 합성된 BWO 분말의 FE-SEM 이미지이다. 도면을 참고하면, 직경 약 1.5 μm의 얇은 이중 오목한 원형 분말이 명확하게 확인된다.

[0065] 도 4의 b는 BWO 분말의 XRD 패턴 분석 결과이다. 회절각, 2θ 및 XRD 강도로 표현되는 BWO의 피크 값은 (131), (200), (151), (202), (133), (262), (400), (102), (204), (462) 및 (393)의 결정면을 갖는 국제 회절 데이터 센터 (ICDD) 표준의 # 39-0256(사방 정계 결정계(orthorhombic crystal system))과 일치하였다.

[0066] **[BWO/PDMS 복합 필름의 유전 특성 분석]**

[0067] 다음으로, 다양한 조성의 복합 필름의 유전 상수를 조사하여 BWO 분말이 PDMS 매트릭스의 유전 상수에 미치는 영향을 확인했다. 주파수에 따른 각 필름의 유전 상수는 도 4의 c에 나와 있다. 최소 주파수 설정은 100 Hz에서

시작하여 최대 주파수인 3 MHz까지 높여서 측정했다.

[0068] 유전율 측정을 위해 BWO/PDMS 필름을 직경 1 cm의 원형으로 잘라 유전 특성을 테스트했다. 순수 PDMS는 100 Hz에서 약 2의 유전 상수를 나타냈다. 비교를 위해 BWO 분말이 각각 1.25, 2.5, 5 wt.%로 혼합된 PDMS/BWO 필름의 유전 상수를 측정했다. BWO 분말이 혼합된 모든 필름은 깨끗한 PDMS보다 유전율이 더 높았다. 특히 2.5 wt %의 BWO가 혼합된 필름은 100Hz에서 4.7의 가장 높은 유전 상수를 보였다.

[0069] 도 4의 c는 상온에서 100 Hz ~ 3 MHz의 주파수 범위에서 일반 필름과 다양한 복합 필름의 유전율을 보여준다. 일반 필름의 유전 상수는 다양한 주파수에서 거의 일정하게 유지된다. 이와 대조적으로 복합 필름은 주파수가 증가함에 따라 유전율이 감소하는 경향을 보이며, 이는 일반적인 주파수 의존성을 의미한다. 이러한 주파수 의존적 거동은 서로 다른 주파수 단계에서 뚜렷한 분극 기여도에 기인합니다. 복합 필름의 유전 상수는 나머지 범위에서 주파수가 증가함에 따라 감소하는데, 이는 서로 다른 주파수에서 서로 다른 분극 기여도에 기인하며 일반적인 주파수 의존성을 보여준다. 매체의 분극은 전자 분극, 이온 분극, 쌍극자 분극 및 공간 전하 분극으로 나뉜다. 공간 전하 분극은 유전체 특성에 중요한 역할을 하는 저주파수 위상(102~106Hz)이며, 주파수가 증가함에 따라 이온 분극과 전자 분극이 주요 영향 요인이 된다. BWO/PDMS와 같은 이종 재료에서는 2상 인터페이스를 통과하는 작은 전자기파 유도 전류로 인해 전하 집중이 발생한다. 이 집중은 두 상 사이의 전기 전도도 변화로 인해 서로 다른 이완 시간(relaxation times)으로 인해 2상 계면에서 발생한다. 결과적으로 이 현상은 재료의 유전 상수를 크게 증가시킨다. 예상대로 일반 필름의 유전 상수는 다른 복합 필름의 유전 상수와 비교했을 때 더 낮았다.

[0070] **[BWO의 화학적 조성 및 표면 구조 상태 분석]**

[0071] BWO의 화학적 조성 및 표면 구조 상태는 X선 광전자 분광법(XPS) 기법을 사용하여 분석했다. BWO의 XPS 분석 결과 Bi, W, O 원소의 존재가 확인되었다. 합성된 BWO의 고해상도 XPS 스펙트럼은 도 4의 d-f에 나타나 있다.

[0072] BWO는 158.2 eV (Bi $4f_{7/2}$) 및 163.5 eV (Bi $4f_{5/2}$)에 위치한 Bi 4f, 35.2 eV (W $4f_{7/2}$) 및 37.3 eV (W $4f_{5/2}$)에 위치한 W 4f, 529.8 eV에 위치한 O 1의 결합 에너지 피크의 존재를 보여준다.

[0073] 도 4의 g 내지 i는 합성된 BWO 분말의 에너지 분산 X-선 원소 매핑 이미지이다. 원소 매핑 이미지에서 BWO 입자 전체에 원소가 고르게 분포되어 있음을 알 수 있다.

[0074] **[하이브리드 나노발전기(HNG)의 작동 메커니즘 분석]**

[0075] 도 5은 하나의 구조에서 마찰 전기와 압전 효과가 발생하는 하이브리드 나노발전기(HNG)의 작동 메커니즘을 나타낸 것이다.

[0076] 도 5의 a 내지 c는 마찰 전기 및 압전 효과와 같은 두 가지 작동 모드를 가진 하이브리드 나노발전기(HNG)의 작동 메커니즘을 보여준다. 마찰 대전과 정전기 유도는 나노발전기가 전기를 생성하는 데 있어 두 가지 핵심 요소이다. 처음에 외력이 가해지지 않을 때는 도 5의 a (i)과 같이 표면에 전하가 생성되지 않는다. 그러나 전하 친화도가 다른 두 개의 마찰 전기 필름이 물리적으로 접촉하면 도 5의 a (ii)와 같이 표면에 전하가 생성된다.

[0077] 복합 필름의 향상된 유전 특성은 복합 필름 표면에 더 많은 전하를 생성하는 데 추가적으로 기여한다. 도 5의 a (iii)과 같이 마찰 전기 필름이 분리되면 전도성 전극을 가로질러 전위가 유도된다. 발생된 전위는 도 5의 a (iv)와 같이 외부 회로를 통해 전자의 흐름을 유도하여 전도성 전극 사이의 전하 평형을 달성한다. 도 5의 a (v)와 같이 하이브리드 나노발전기(HNG)에 힘을 다시 가하면 변위된 전자는 다시 원래 위치로 흐르게 된다.

[0078] 다음으로, 압전 나노발전기(PNG)의 작동 메커니즘은 도 5의 c에 나와 있다. 하이브리드 나노발전기(HNG)에 외부 힘이 가해지면 (i) 압전 효과로 인해 전기 쌍극자가 한 방향을 따라 정렬하여 상단과 하단 전극에 전위차를 생성한다. 생성된 전위는 전자가 외부 회로를 통해 한 전극에서 다른 전극으로 흐르도록 유도한다. (ii) 힘이 풀리면 전기 쌍극자가 반전되고 해당 전위로 인해 전류가 다시 흐른다. 따라서 교류(AC) 전기 신호는 반복적인 외부 힘에 의해 주기적으로 생성된다. 하이브리드 나노발전기(HNG)구조의 전하 발생은 다중 물리 시뮬레이션 소프트웨어인 COMSOL을 사용하여 시뮬레이션됐다.

[0079] 하이브리드 나노발전기(HNG) 구조는 도 5의 d 내지 f와 같이 접촉 및 분리된 압전 나노발전기(PNG)와 마찰 전기 나노발전기(TENG)로 구성된다. 도 5의 d는 힘이 가해지지 않은 상태의 하이브리드 나노발전기(HNG) 구조를 보여주며, 전위가 관찰되지 않았음을 알 수 있다. 하이브리드 나노발전기(HNG)에 외력이 가해지면 도 5의 e, f에 각각 표시된 것처럼 PNG와 TENG 모두에 표면 전위가 생성된다. COMSOL 시뮬레이션에서 복합 필름과 Al 전극의 두

께는 각각 400 및 100 μm로 유지되었다.

[0080] 복합 필름과 Al 층의 유전 상수는 각각 5와 1.6이었다. 마찰 전기 나노발전기(TENG) 구조의 경우, 하이브리드 나노발전기(HNG)의 상단과 하단은 약 0 내지 200 μm로 변화시켰다.

[0081] 하이브리드 나노발전기(HNG) 구조의 압전 나노발전기(PNG) 및 마찰 전기 나노발전기(TENG) 구성 요소에 걸쳐 분포된 생성된 전위는 도 5의 e, f에 나와 있다. 표면 전위 색상 눈금에서 볼 수 있듯이 진한 빨간색은 양의 전위를 나타내고 진한 파란색은 최대 음의 전위를 나타낸다.

[0082] **[하이브리드 나노발전기(HNG)의 전기 출력 성능 분석]**

[0083] 도 6은 하이브리드 나노발전기(HNG)의 전기 출력 성능 분석 결과이다.

[0084] 마찰 전기 나노발전기(TENG)는 9N의 힘과 4.5Hz의 주파수로 작동됐다. 도 6의 a 내지 c는 PDMS에 혼합된 BWO 분말의 함량을 변경했을 때 마찰 전기 나노발전기(TENG)의 전기 출력을 보여준다.

[0085] 먼저, 순수 PDMS와 Al 필름 조합의 전기 출력은 ~90V, ~1 μA, ~ 1.5 nC였다. 이에 비해 BWO 분말이 2.5 중량% 함유된 PDMS/BWO 필름은 전압, 전류, 전하가 각각 ~ 180V, ~ 4 μA, ~ 4.5nC로 가장 높은 출력 전력 성능을 보였다. 이 결과는 BWO가 유전 상수를 개선하기 때문이다. 이 결과는 전극을 통해 이동하는 전자의 수가 증가하면서 BWO 필름과 Al 필름이 접촉해 표면에 마찰 전하가 발생하고, BWO 필름이 어느 정도 변형된 데 따른 것이다. 또한. 전기 출력 결과는 필름의 유전 상수 추세와 일치한다. BWO가 2.5 중량% 혼합된 PDMS 복합 필름의 유전율이 가장 높았던 것처럼 전압, 전류, 전하의 출력 성능도 다른 필름에 비해 가장 높았다. 이중 나노발전기는 하나의 구조체에서 압전뿐만 아니라 마찰전기를 생산할 수 있으며, 중앙에 위치한 필름이 변형되어 전기를 발생시켰다.

[0086] 가해진 힘에 따라 PNG에서 발생하는 전기 출력은 도 6의 d 내지 f에 나와 있다. 전기 측정 시 힘은 1 N에서 9 N으로 증가시켰고 주파수는 5 Hz로 설정했다. 1 N의 힘을 가했을 때 약 0.9 V, 0.06 μA, 1.5 nC의 전기 출력이 관찰되었다. 그러나 9 N의 힘을 가했을 때는 약 ~ 7V, ~ 0.3μA 및 0.3 nC의 전기 출력이 얻어졌다. HNG 나노발전기에 가해지는 힘의 크기에 따라 생성되는 전기 출력은 도 6의 g 내지 i에 나와 있다. 가해진 힘은 1N에서 시작하여 최대 9N까지 증가하였으며, 주파수는 5Hz로 고정하였다. 1N의 힘을 가했을 때는 5V, 1 μA, 0.6 nC 미만의 매우 작은 전기 출력이 발생했으며, 가해지는 힘이 증가함에 따라 전기 출력도 증가하여 9N의 가해지는 힘에서는 약 ~ 180V, ~ 4 μA, ~ 5 nC로 나타났다. 이중 나노발전기에 가해지는 힘이 증가함에 따라 변형 정도가 증가하여 전압과 전류 출력 모두 향상되었다.

[0087] 도 7은 다양한 나노발전기의 전기 출력과 그 시너지 효과를 분석한 결과이다.

[0088] 도 7의 a 내지 c는 각각 4N과 5Hz의 인가된 힘과 주파수에서 작동했을 때 개별 나노발전기의 전기 출력을 보여준다. PNG 1과 PNG 2는 각각 ~5V, ~ 025 μA, ~ 0.25μA, ~ 0.2nC의 전압, 전류, 전하 출력을 나타냈다. TENG의 경우 ~ 100V, ~ 3 μA, ~ 2.5nC의 전기 출력을 나타냈다.

[0089] 다음으로, 여러 나노발전기를 결합하여 HNG의 시너지 전기 출력을 연구했다. 도 7의 d에서 PNG 1의 전압 출력은 ~ 5 V였으며, PNG 2를 결합했을 때 전기 출력이 향상되는 것을 관찰할 수 있었다. 또한 PNG 1, PNG 2 및 TENG를 모두 결합한 경우 ~125V의 향상된 전기 출력이 관찰되었다. 이러한 측정 결과는 여러 나노발전기를 결합하면 전체 전기 출력을 향상시킬 수 있음을 시사한다. 도 7의 e는 부하 저항 증가에 따른 HNG의 전압 및 전류 출력의 변화를 측정한 그래프이다. 실시간 HNG 적용을 위해서는 유효 전기 출력이 필요하다. 따라서 100Ω에서 1GΩ 사이의 부하 저항(RL)에서 전기 출력(전압 및 전류)을 계산하여 유효 전력을 결정했다. 도 7의 e는 각각 4N 및 5Hz의 압축력과 주파수에서 부하 저항의 함수로서 HNG 출력 전압과 전류를 보여준다. RL이 100Ω에서 1GΩ으로 증가함에 따라 HNG 피크 출력은 증가하거나 감소했다. 유효 전력 밀도(W_{eff})는 측정값을 사용하여 I^2R/A로 평가 및 결정되었으며, 여기서 I는 외부 부하의 출력 전류, R은 부하 저항, A는 유효 면적이다. 여기서는 세 개의 활성 레이어(8.6 cm^2 면적의 PNG 디바이스 2개와 7 cm^2 면적의 TENG 디바이스)의 활성 면적을 모두 합쳐 총 15.6 cm^2의 면적을 고려했다. HNG의 전력 밀도는 도 7의 f에 표시되어 있으며, 400 MΩ에서 최대 순간 전력 밀도 364 mW/m^2를 달성했다. 이러한 높은 성능의 HNG는 다양한 휴대용 전자 기기에 전력을 공급하는 데 사용할 수 있으며 스토리지 및 센서 시스템에도 사용할 수 있다.

[0090] 도 7의 g는 HNG의 안정성을 보여준다. 도 7의 g에 표시된 것처럼 TENG의 전기 출력 안정성은 ~ 35분/10,500 사

이클 동안 테스트되었다. 이 테스트에서는 각각 9N과 4.5Hz의 일정한 힘과 주파수를 사용했다. HNG의 전기 출력은 매우 긴 기간 동안 가장 안정적이었다. 표 1에서 볼 수 있듯이, 본 발명의 일 양태에 따른 HNG는 이전에 제안된 HNG보다 우수한 성능을 나타냈다.

표 1

[0091]

활성 물질	유형	전압	출력 전류	출력 전력	비고
ZnO	하이브리드	25 V	0.3 μA	0.042 W/m^2	
$BaTiO_3$@PDMS	하이브리드	60 V	1 μA	97.4 m W/m^2	
PVDF/PTFE	하이브리드	50 V	1.2	2.75 mW/m^2	
$BaTiO_3$/PVDF	하이브리드	161.66 V	-	2.22 W/m^2	
PVDF/ Silicone rubber	하이브리드	25.8 V	8.82 μA	-	
PVDF-TrFe/PDMS	하이브리드	190 V	-	16.46 μW	
MoS_2-PVDF	하이브리드	50 V	30 nA	0.18 mW/m^2	
Ti/Ag@ BTO/PDMS	하이브리드	150 V	0.32 $\mu A/cm^2$	~320 μ W/m^2	
ZnO/PMDS	하이브리드	62.5 V	26.8 $\mu A/cm^2$	~6.22 m W/m^2	
BaTiO3/Chitosan	하이브리드	110.8 V	10 μA	431.8 μW	
BWO/PDMS	하이브리드	~200 V	~ 4 μA	164 m W/m^2	본 발명

[0092] 도 8은 전자기기에 전력을 공급하고 센서로 활용되는 이중 나노발전기의 응용을 나타낸 도면이다.

[0093] 도 8의 a는 22μF 커패시터를 HNG로 충전했을 때의 전압 출력을 보여준다. 커패시터가 충전될 때 9N의 힘과 4.5Hz의 주파수가 적용되었다. HNG에 의해 생성된 전기 출력은 AC 전기 신호이다. 여기서는 커패시터를 변경하기 전에 풀 브리지 정류기를 사용하여 AC 신호를 직류 신호로 변환했다.

[0094] 등가 회로도는 도 8의 a의 삽입물에 나와 있다. 커패시터는 도 8의 b와 같이 약 400초 동안 충전되어 휴대용 타이머에 전원을 공급하는 데 사용되었다. 도 8의 b는 HNG를 사용하여 켜진 소형 타이머의 액정 디스플레이(LCD)를 촬영한 사진 이미지이다.

[0095] HNG는 센서 애플리케이션에도 사용되었다. 제작된 HNG 구조는 두 부분으로 구성된 이중 나노발전기다. 마찰 전기 부분은 전력을 공급하고 압전 부분은 힘 센서 역할을 수행한다. 압전 부분으로 도 8의 c,d와 같이 블루투스 센서로서의 응용을 시도했다. 압전부는 아두이노의 아날로그 입력 포트에 연결되었다. 아두이노는 아날로그 값을 그대로 받을 수 없기 때문에 0~5V의 아날로그 전압을 0~1024의 값으로 변환하여 신호를 받는다. 기준 전압을 임의로 설정하고 아두이노의 아날로그 입력 포트에 일정 전압 값 이상이 들어오면 특정 연산을 수행하는 코드가 작성되고, 발광다이오드(LED)가 켜지도록 설정하였다.

[0096] 앞선 실험에서는 1~9N까지 힘을 증가시켜 압전성을 측정했는데, 이중 나노발전기에 7N의 힘을 가했을 때 최소 ~5V의 전압이 발생했기 때문에 특정 신호가 아두이노에 들어오면 반응하도록 코드를 작성했다. 아두이노 내부에서 ~5V가 변환되었기 때문에 더 높은 값을 읽으면 LED에 연결된 핀이 "높음" 값을 가졌다. 아두이노에 일정 전압 이상의 전압이 입력되면 LED가 켜지는 것을 확인하는 것 외에도 블루투스로 데이터를 전송하여 사람이 직접 모니터에 입력된 값을 확인할 수 있도록 시스템을 고안했다. 힘 센서를 제작하여 이중 나노발전기에 7N 이상의 힘이 가해졌음을 LED가 켜지는 것을 통해 확인할 수 있었다.

[0097] 도 8의 c는 아두이노와 신호 송신기에 연결된 PNG의 전체 연결도를 보여주고 있으며, 생성된 신호가 스마트폰으로 수신 및 전송되는 과정을 보여준다. 결과적으로 이러한 결과를 통해 BWO/PDMS 필름을 사용한 3D 프린팅 이중 나노발전기가 에너지 하베스터와 힘 센서로서 잘 작동한다는 것을 확인할 수 있었다. HNG는 무선 전력 전송 시스템에서 전기의 흐름을 제어하는 스위치로도 사용할 수 있다. 여기서는 도 8의 e에 표시된 회로를 통해 HNG를 무선 전력 전송 코일에 연결했다. 무선 전력 수신 코일은 금속 산화물 반도체 전계 효과 트랜지스터, 아두이노 및 LED에 연결된다. 아두이노는 브리지 정류기 및 HNG와 연결된다. 무선 전력 전송 코일이 서로 겹쳐지고 HNG에 압력이나 진동이 가해지면 LED가 켜진다.

[0098] 도 8의 f는 무선 코일을 분리하여 접촉했을 때 무선 전력 전송 설정의 사진 이미지를 보여준다. 코일이 접촉하

고 HNG에 압력이 가해졌을 때, 도 8의 f의 삽입 이미지와 같이 연결된 LED가 빛났다. 이는 HNG를 진동 또는 압력 센서로도 사용할 수 있음을 의미한다.

[0099] 도 8의 g는 사람이 손으로 압력을 가하거나 의자에 앉았다 일어설 때 의자가 진동하는 등 일상 생활에서 발생하는 압력이나 진동을 받았을 때 HNG의 전압 출력을 보여준다. 이 연구에서 보여준 다양한 응용 사례는 일상 생활에서 다양하게 활용될 수 있는 HNG의 다용도성을 보여준다.

[0100] 본 발명의 일 양태에 따르면, 에너지 하베스팅과 센서 응용 분야 모두에 적용될 수 있는, BWO가 적층된 PDMS 고분자 필름을 기반으로 3D 프린팅된 이중 나노발전기가 제공된다. 본 발명의 일 양태에 따르면, 강유전체 물질인 BWO를 PDMS 필름에 적재함으로써 TENG의 성능을 향상시킬 수 있다.

[0101] 또한, 수열 합성 기법을 통해 BWO 미립자를 제조할 수 있다. HNG의 두 물질이 접촉하면 마찰 전기 효과뿐만 아니라 필름이 변형되면서 압전 효과도 더해져 전기적 성능이 향상될 수 있다. 최적화된 네거티브 마찰 전기 BWO/PDMS 필름은 2.5 wt%의 BWO와 혼합되어 제공될 수 있다. 마찰 전기 외에도, BWO/PDMS 필름은 압전성을 생성하기 때문에 PNG로도 사용할 수 있다.

[0102] 대부분의 강유전체 소재는 압전 효과를 나타낼 수 있기 때문에 HNG는 하나의 구조에서 마찰 전기 부품과 압전 부품으로 동시에 기능할 수 있다. 이중 나노발전기에 힘/압력을 가하면 압전성과 압전성이 동시에 발생하여 다양한 응용 분야에 활용될 수 있다.

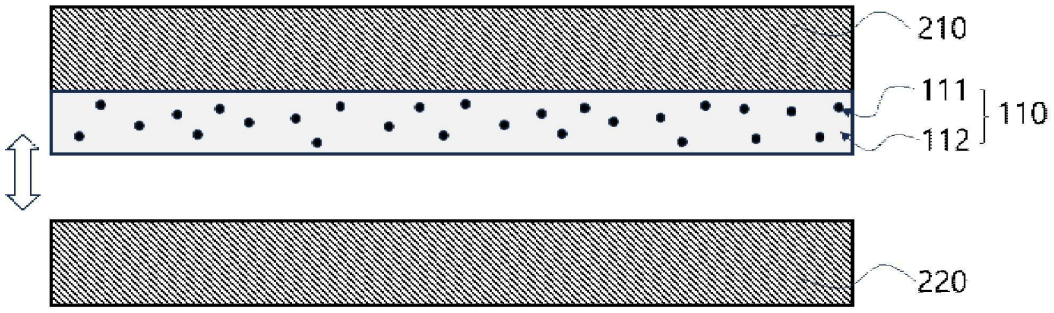
[0103] 마찰 전기 부분의 경우, 브릿지 정류기로 전압을 정류한 후 커패시터를 충전하여 타이머의 LCD를 켜는 데 사용될 수 있다. 압전 부품의 경우 아두이노에 연결하여 힘 센서로 활용될 수 있다.

[0104] 또한, 본 발명의 일 양태에 따른 이중 나노발전기는 무선 전력 전송 시스템과 함께 전자기기에 전력을 공급할 수 있다. 이러한 결과는 제안한 HNG가 일상 생활에서 다양한 진동과 기계적 압력을 수집하는 데에도 활용될 수 있음을 시사한다.

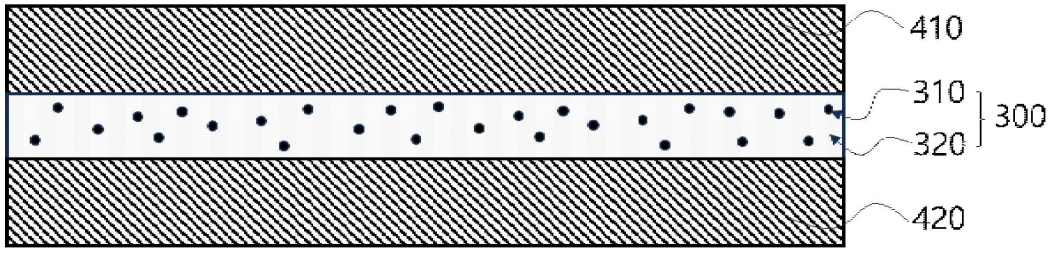
[0105] 한편, 본 명세서와 도면에 개시된 본 발명의 실시 예들은 이해를 돕기 위해 특정 예를 제시한 것에 지나지 않으며, 본 발명의 범위를 한정하고자 하는 것은 아니다. 여기에 개시된 실시 예들 이외에도 본 발명의 기술적 사상에 바탕을 둔 다른 변형 예들이 실시 가능하다는 것은, 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 자명한 것이다.

도면

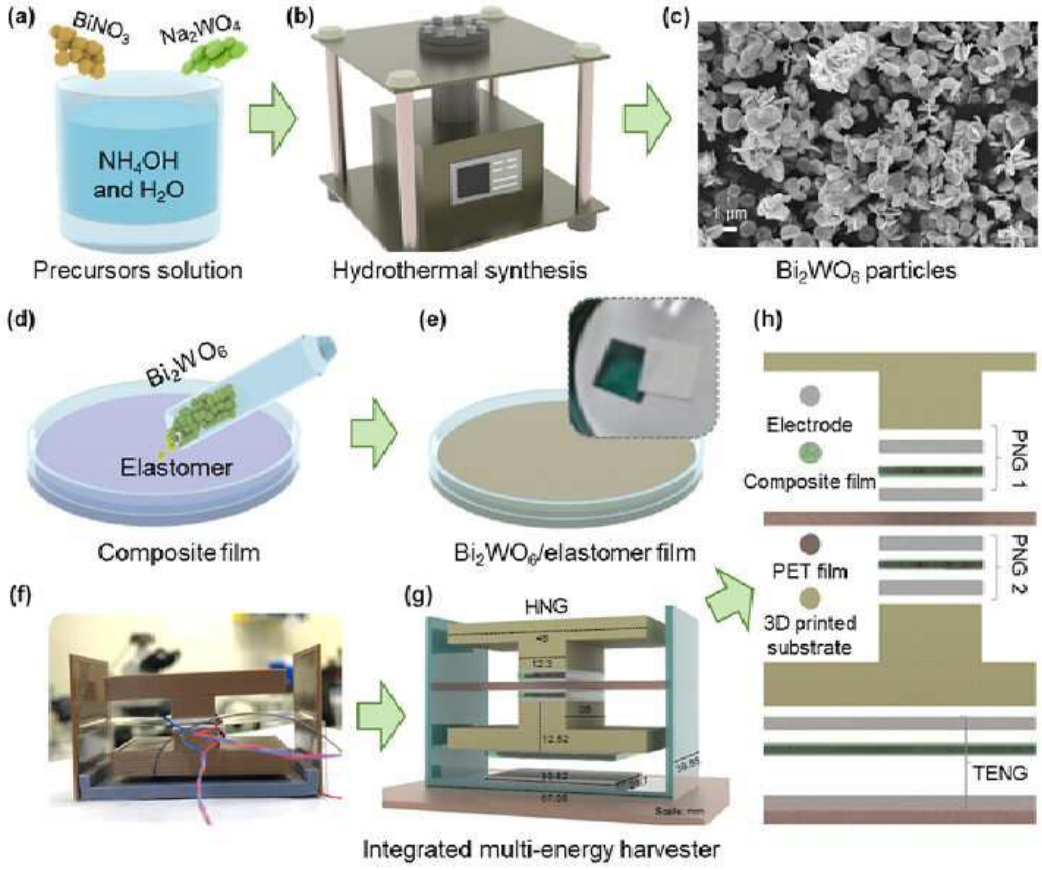
도면1



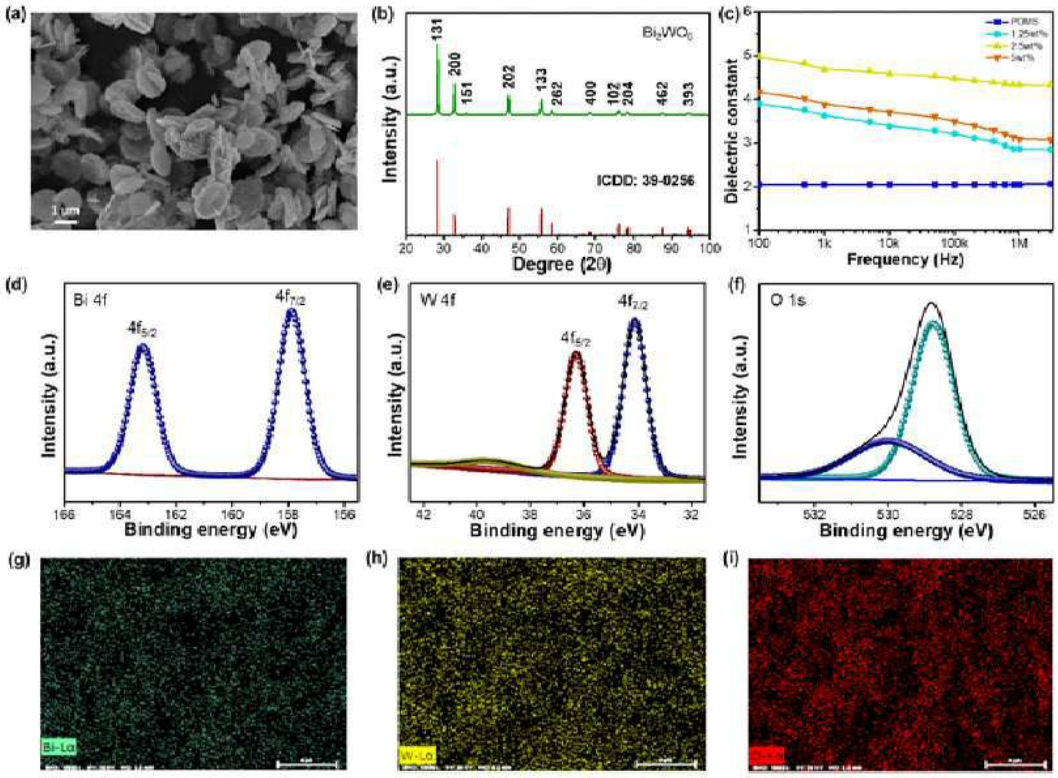
도면2



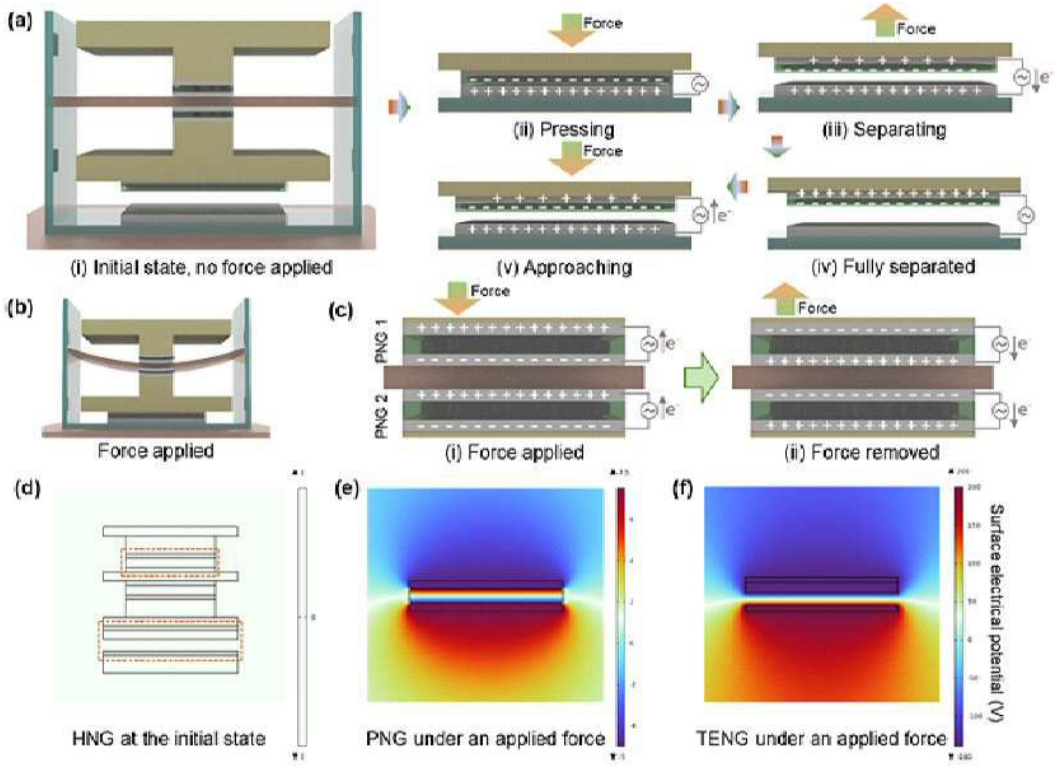
도면3


(a)
$BiNO_3$
Na_2WO_4
NH_4OH and H_2O
Precursors solution
(b)
Hydrothermal synthesis
(c)
1 μm
Bi_2WO_6 particles
(d)
Bi_2WO_6
Elastomer
Composite film
(e)
Bi_2WO_6/elastomer film
(h)
Electrode
Composite film
PNG 1
PET film
3D printed substrate
PNG 2
TENG
(f)
(g)
HNG
Integrated multi-energy harvester

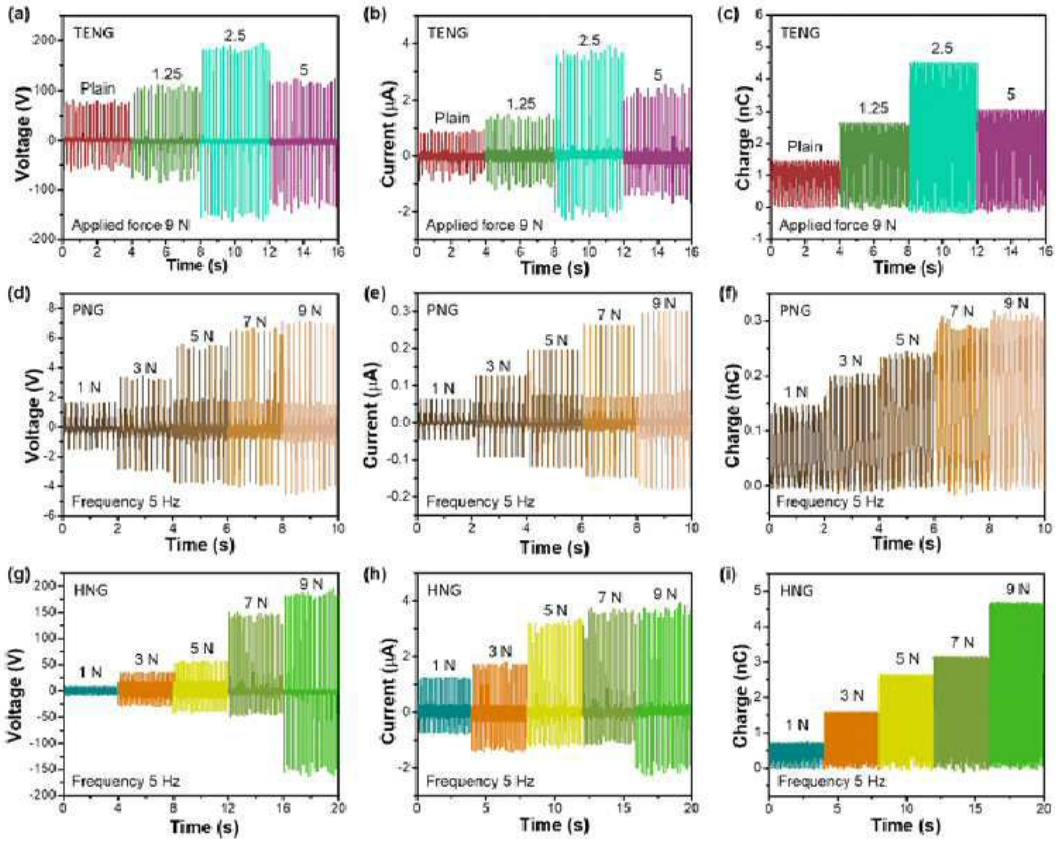
도면4


(a)
1 μm
(b)
Intensity (a.u.)
131
200
151
202
133
262
400
102
204
462
393
ICDD: 39-0256
Degree (2θ)
(c)
Dielectric constant
Frequency (Hz)
(d)
Bi 4f
4f5/2
4f7/2
Intensity (a.u.)
Binding energy (eV)
(e)
W 4f
4f5/2
4f7/2
Intensity (a.u.)
Binding energy (eV)
(f)
O 1s
Intensity (a.u.)
Binding energy (eV)
(g)
Bi-La
(h)
W-La
(i)

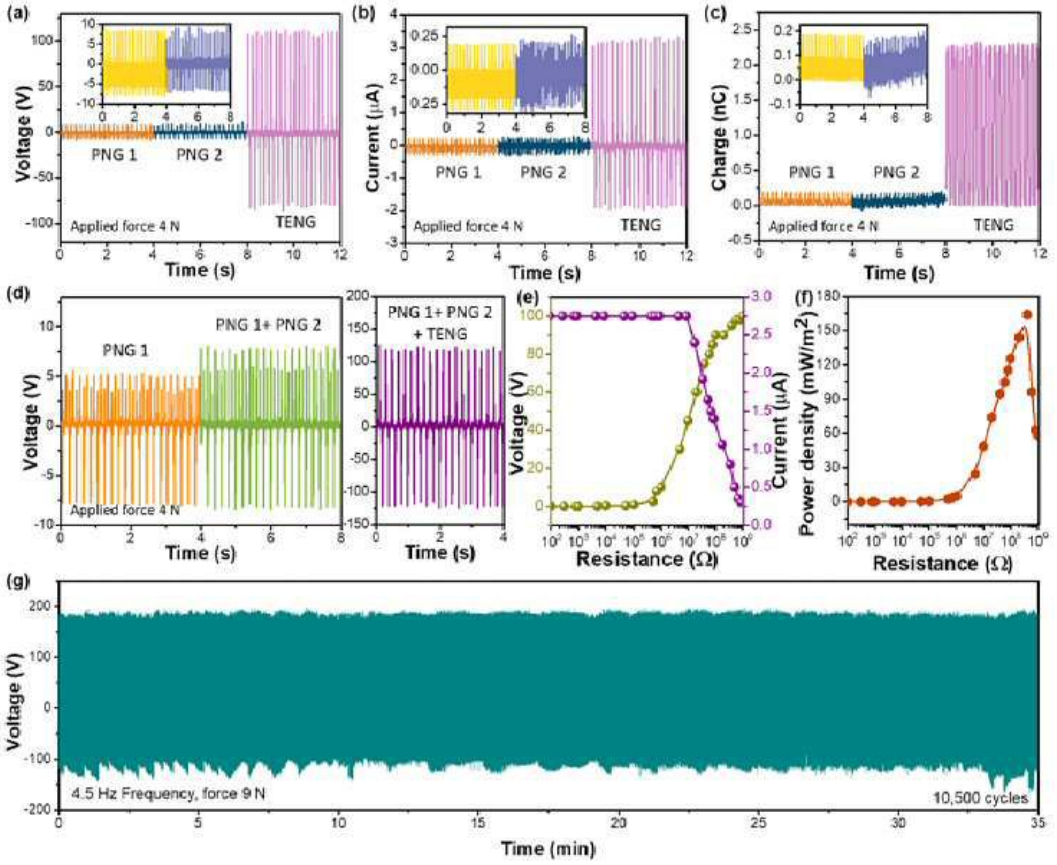
도면5


(a)
(i) Initial state, no force applied
Force
(ii) Pressing
(iii) Separating
(iv) Fully separated
(v) Approaching
(b)
Force applied
(c)
PNG 1
PNG 2
(i) Force applied
(ii) Force removed
(d)
HNG at the initial state
(e)
PNG under an applied force
(f)
TENG under an applied force
Surface electrical potential (V)

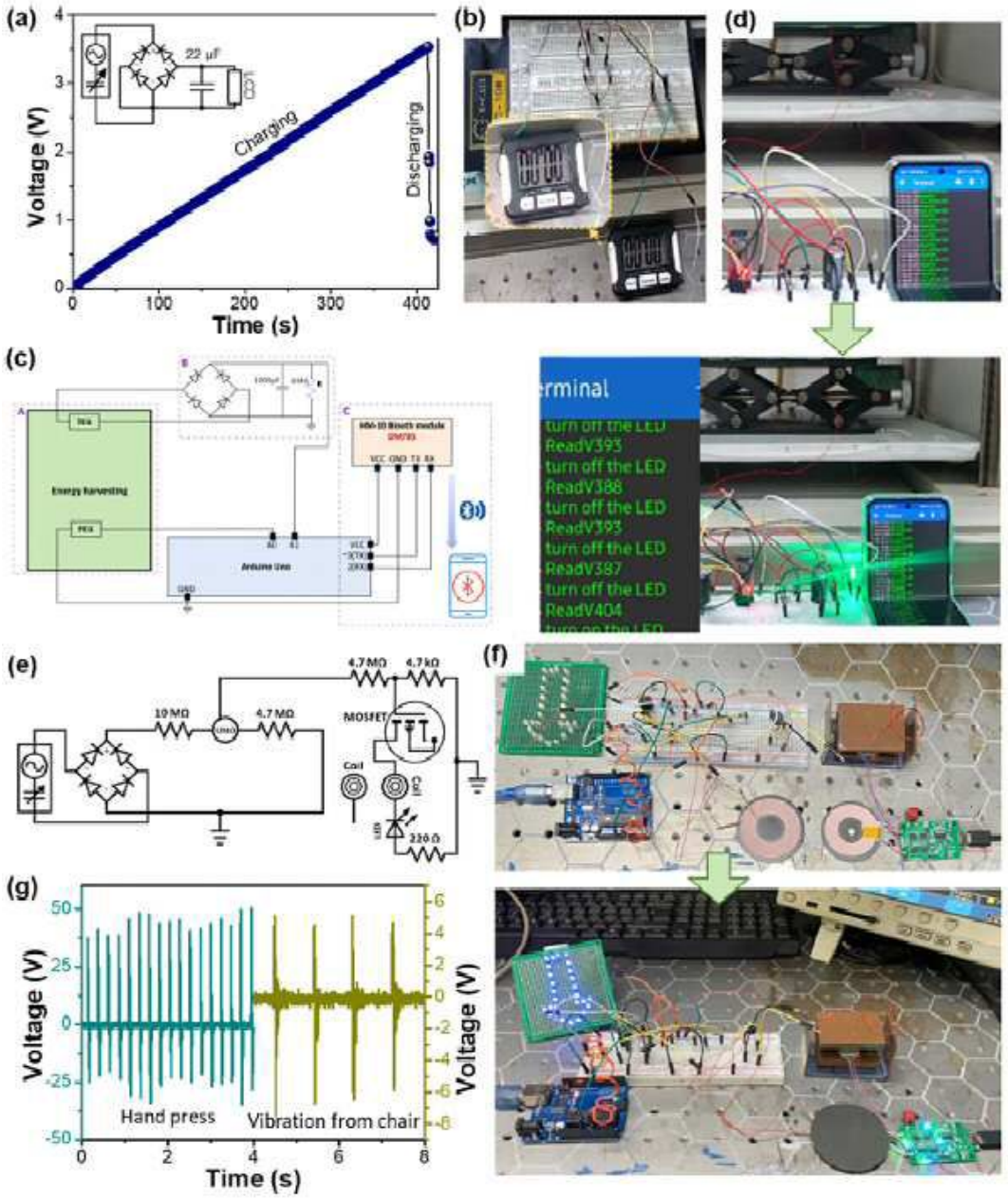
도면6


(a)
TENG
Plain
1.25
2.5
5
Applied force 9 N
Voltage (V)
Time (s)
(b)
TENG
Plain
1.25
2.5
5
Applied force 9 N
Current (μA)
Time (s)
(c)
TENG
Plain
1.25
2.5
5
Applied force 9 N
Charge (nC)
Time (s)
(d)
PNG
1 N
3 N
5 N
7 N
9 N
Frequency 5 Hz
Voltage (V)
Time (s)
(e)
PNG
1 N
3 N
5 N
7 N
9 N
Frequency 5 Hz
Current (μA)
Time (s)
(f)
PNG
1 N
3 N
5 N
7 N
9 N
Frequency 5 Hz
Charge (nC)
Time (s)
(g)
HNG
1 N
3 N
5 N
7 N
9 N
Frequency 5 Hz
Voltage (V)
Time (s)
(h)
HNG
1 N
3 N
5 N
7 N
9 N
Frequency 5 Hz
Current (μA)
Time (s)
(i)
HNG
1 N
3 N
5 N
7 N
9 N
Frequency 5 Hz
Charge (nC)
Time (s)

도면7


(a)
PNG 1
PNG 2
TENG
Applied force 4 N
Voltage (V)
Time (s)
(b)
PNG 1
PNG 2
TENG
Applied force 4 N
Current (μA)
Time (s)
(c)
PNG 1
PNG 2
TENG
Applied force 4 N
Charge (nC)
Time (s)
(d)
PNG 1
PNG 1+ PNG 2
Applied force 4 N
PNG 1+ PNG 2 + TENG
Voltage (V)
Time (s)
(e)
Voltage (V)
Current (μA)
Resistance (Ω)
(f)
Power density (mW/m²)
Resistance (Ω)
(g)
4.5 Hz Frequency, force 9 N
10,500 cycles
Voltage (V)
Time (min)

도면8


(a)
22 μF
Charging
Discharging
Voltage (V)
Time (s)
(b)
(d)
(c)
Energy harvesting
Arduino Uno
rminal
turn off the LED
ReadV393
turn off the LED
ReadV388
turn off the LED
ReadV393
turn off the LED
ReadV387
turn off the LED
ReadV404
(e)
10 MΩ
4.7 MΩ
4.7 MΩ
4.7 kΩ
MOSFET
Coil
330 Ω
(f)
(g)
Voltage (V)
Hand press
Vibration from chair
Time (s)
Voltage (V)