(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2021-0121502
(43) 공개일자 2021년10월08일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H02N 1/04 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H02N 1/04 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2020-0038268
(22) 출원일자 2020년03월30일
심사청구일자 2020년03월30일

(71) 출원인
울산과학기술원
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
(72) 발명자
고현협
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50 울산과학기술원
신영은
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50 울산과학기술원
(74) 대리인
특허법인지원

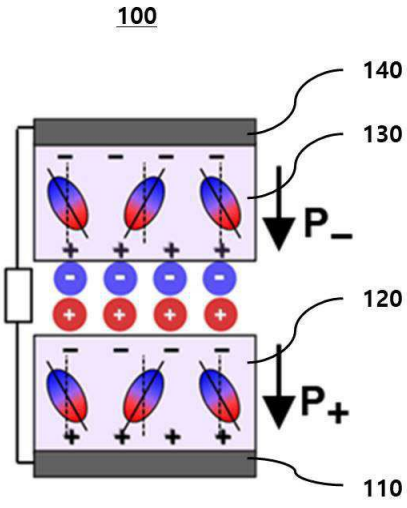
전체 청구항 수 : 총 8 항

(54) 발명의 명칭 **마찰전기 및 초전기 멀티모달 센서**

(57) 요 약

본 발명은 마찰전기 및 초전기 멀티모달 센서에 관한 것이다. 본 발명의 일 실시예에 따른 마찰전기 및 초전기 멀티모달 센서는 제1 전극; 상기 제1 전극 상에 형성되는 양(positive) 분극된 제1 강유전성 공중합체층; 상기 제1 강유전성 공중합체층 상에 형성되는 음(negative) 분극된 제2 강유전성 공중합체층; 및 상기 제2 강유전성 공중합체층 상에 형성되는 제2 전극;을 포함할 수 있다.

대 표 도 - 도1



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711083069
과제번호	2018R1A2A1A05079100
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	도약연구
연구과제명	지문패턴 whisker 어레이 기반 촉각인지 인터페이스 소자 개발
기 여 율	1/1
과제수행기관명	울산과학기술원
연구기간	2019.03.01 ~ 2020.02.29

명 세 서

청구범위

청구항 1

제1 전극;

상기 제1 전극 상에 형성되는 양(positive) 분극된 제1 강유전성 공중합체층;

상기 제1 강유전성 공중합체층 상에 형성되는 음(negative) 분극된 제2 강유전성 공중합체층; 및

상기 제2 강유전성 공중합체층 상에 형성되는 제2 전극;

을 포함하는,

마찰전기 및 초전기 멀티모달 센서.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 제1 강유전성 공중합체층과 상기 제2 강유전성 공중합체층은, 상이한 마찰전기를 띄는 접촉 쌍으로, 동일한 물질로 구성된,

마찰전기 및 초전기 멀티모달 센서.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 제1 강유전성 공중합체층과 상기 제2 강유전성 공중합체층은, P(VDF-TrFE)(poly(vinylidenefluoride-co-trifluoroethylene))를 포함하는,

마찰전기 및 초전기 멀티모달 센서.

청구항 4

제1항에 있어서,

외부 전기장에 따라, 상기 제1 강유전성 공중합체층의 쌍극자와 상기 제2 강유전성 공중합체층의 쌍극자가 정렬되는,

마찰전기 및 초전기 멀티모달 센서.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 제1 강유전성 공중합체층과 상기 제2 강유전성 공중합체층 사이에 스페이서층

을 더 포함하는,

마찰전기 및 초전기 멀티모달 센서.

청구항 6

제1항에 있어서,

외부 압력에 따라 상기 제1 전극과 상기 제2 전극 사이의 마찰전기(triboelectric)에 대한 제1 전자 흐름이 발생되고,

외부 온도에 따라 상기 제1 전극과 상기 제2 전극 사이의 초전기(pyroelectric)에 대한 제2 전자 흐름이 발생되는,

마찰전기 및 초전기 멀티모달 센서.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 외부 온도가 임계값보다 큰 경우, 상기 제1 전자 흐름의 방향과 상기 제2 전자 흐름의 방향은 동일하고,

상기 외부 온도가 상기 임계값보다 작은 경우, 상기 제1 전자 흐름의 방향과 상기 제2 전자 흐름의 방향은 반대인,

마찰전기 및 초전기 멀티모달 센서.

청구항 8

제6항에 있어서,

상기 외부 압력에 따라, 상기 제1 전극과 상기 제2 전극 사이의 마찰전기 출력 신호의 크기가 조절되고,

상기 외부 온도에 따라, 상기 제1 전극과 상기 제2 전극 사이의 초전기 출력 신호의 크기가 조절되는,

마찰전기 및 초전기 멀티모달 센서.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 멀티모달 센서에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 마찰전기 및 초전기 멀티모달 센서에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0003] 석탄 및 석유 등 화석 에너지를 이용할 수 있게 된 이후, 기술의 개발에 의해 에너지 수요가 급증하게 되면서, 화석 에너지의 고갈에 대한 염려가 증가하고 있다. 더군다나 에너지 자립도가 낮은 나라들은 대부분의 화석 에너지를 수입에 의존하고 있어, 국가의 경제 발전에 저해요소로 작용하고 있다.

[0004] 이에 따라서, 빛, 열, 진동 등의 주변 환경에서 버려지는 에너지를 수확하여 전기 에너지로 생산 및 이용하는 에너지 하베스팅(Energy Harvesting) 기술에 관한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 에너지 하베스팅 기술은 온도, 빛, 전자기장, 마찰 등 다양한 형태로 소모되고 있는 에너지를 전기 에너지로 변환하는 방식으로 연구되고 있다.

[0005] 이 중, 기계적인 운동에서 버려지는 에너지를 마찰 대전 기반의 에너지 수확 원리를 이용하여 전기 에너지로 수확하는 기술 역시 연구가 활발하게 이루어지고 있다.

[0006] 그러나, 이러한 마찰 대전 기술을 이용한 효율적인 센서 장치에 대한 연구는 미흡한 실정이다.

선행기술문헌

특허문헌

[0007] (특허문헌 0001) [특허문헌 1] 한국공개특허 제10-2020-0007362호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 본 발명은 전술한 문제점을 해결하기 위하여 창출된 것으로, 마찰전기 및 초전기 멀티모달 센서를 제공하는 것을 그 목적으로 한다.

[0009] 또한, 본 발명은 전기 분극에 의해 강유전성 공중합체의 마찰전기 분극의 변조를 통해 동일한 접촉 쌍 재료로 고성능 마찰전기 및 초전기 기반 멀티모달 센서를 제공하는 것을 그 목적으로 한다.

[0010] 본 발명의 목적들은 이상에서 언급한 목적들로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 목적들은 아래의 기재로부터 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

[0012] 상기한 목적들을 달성하기 위하여, 본 발명의 일 실시예에 따른 마찰전기 및 초전기 멀티모달 센서는 제1 전극; 상기 제1 전극 상에 형성되는 양(positive) 분극된 제1 강유전성 공중합체층; 상기 제1 강유전성 공중합체층 상에 형성되는 음(negative) 분극된 제2 강유전성 공중합체층; 및 상기 제2 강유전성 공중합체층 상에 형성되는 제2 전극;을 포함할 수 있다.

[0013] 실시예에서, 상기 제1 강유전성 공중합체층과 상기 제2 강유전성 공중합체층은, 상이한 마찰전기를 띄는 접촉 쌍으로, 동일한 물질로 구성될 수 있다.

[0014] 실시예에서, 상기 제1 강유전성 공중합체층과 상기 제2 강유전성 공중합체층은, P(VDF-TrFE)(poly(vinylidenefluoride-co-trifluoroethylene))를 포함할 수 있다.

[0015] 실시예에서, 외부 전기장에 따라, 상기 제1 강유전성 공중합체층의 쌍극자와 상기 제2 강유전성 공중합체층의 쌍극자가 정렬될 수 있다.

[0016] 실시예에서, 상기 마찰전기 및 초전기 멀티모달 센서는, 상기 제1 강유전성 공중합체층과 상기 제2 강유전성 공중합체층 사이에 스페이서층을 더 포함할 수 있다.

[0017] 실시예에서, 외부 압력에 따라 상기 제1 전극과 상기 제2 전극 사이의 마찰전기(triboelectric)에 대한 제1 전자 흐름이 발생되고, 외부 온도에 따라 상기 제1 전극과 상기 제2 전극 사이의 초전기(pyroelectric)에 대한 제2 전자 흐름이 발생될 수 있다.

[0018] 실시예에서, 상기 외부 온도가 임계값보다 큰 경우, 상기 제1 전자 흐름의 방향과 상기 제2 전자 흐름의 방향은 동일하고, 상기 외부 온도가 상기 임계값보다 작은 경우, 상기 제1 전자 흐름의 방향과 상기 제2 전자 흐름의 방향은 반대일 수 있다.

[0019] 실시예에서, 상기 외부 압력에 따라, 상기 제1 전극과 상기 제2 전극 사이의 마찰전기 출력 신호의 크기가 조절되고, 상기 외부 온도에 따라, 상기 제1 전극과 상기 제2 전극 사이의 초전기 출력 신호의 크기가 조절될 수 있다.

[0020] 상기한 목적들을 달성하기 위한 구체적인 사항들은 첨부된 도면과 함께 상세하게 후술될 실시예들을 참조하면 명확해질 것이다.

[0021] 본 발명은 이하에서 개시되는 실시예들에 한정되는 것이 아니라, 서로 다른 다양한 형태로 구성될 수 있으며, 본 발명의 개시가 완전하도록 하고 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자(이하, "통상의 기술자")에게 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위해서 제공되는 것이다.

발명의 효과

[0023] 본 발명의 일 실시예에 의하면, 역분극된 강유전체 공중합체를 통해 마찰전기 및 초전기 출력을 발생시켜 압력 및 온도를 동시에 구별하여 검출할 수 있다.

[0024] 본 발명의 효과들은 상술된 효과들로 제한되지 않으며, 본 발명의 기술적 특징들에 의하여 기대되는 잠정적인 효과들은 아래의 기재로부터 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

도면의 간단한 설명

[0026] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 마찰전기 및 초전기 멀티모달 센서의 기능적 구성을 도시한 도면이다.

도 2a는 본 발명의 일 실시예에 따른 FT-IR 스펙트럼을 도시한 도면이다.

도 2b는 본 발명의 일 실시예에 따른 XRD 피크 그래프를 도시한 도면이다.

도 3는 본 발명의 일 실시예에 따른 PFM 이미지를 도시한 도면이다.

도 4a는 본 발명의 일 실시예에 따른 다양한 분극에 대한 쌍극자 정렬을 도시한 도면이다.

도 4b는 본 발명의 일 실시예에 따른 다양한 분극에 대한 마찰전기 출력 신호를 도시한 도면이다.

도 4c는 본 발명의 일 실시예에 따른 다양한 분극에 대한 표면 전위를 도시한 도면이다.

도 4d는 본 발명의 일 실시예에 따른 마찰전기 시리즈를 도시한 도면이다.

도 5a는 본 발명의 일 실시예에 따른 표면 전하를 도시한 도면이다.

도 5b는 본 발명의 일 실시예에 따른 비분극에 대한 마찰전기 출력 신호를 도시한 도면이다.

도 5c는 본 발명의 일 실시예에 따른 음의 분극에 대한 마찰전기 출력 신호를 도시한 도면이다.

도 5d는 본 발명의 일 실시예에 따른 양의 분극에 대한 마찰전기 출력 신호를 도시한 도면이다.

도 6a는 본 발명의 일 실시예에 따른 접촉 및 분리에 대한 접촉 대전 및 정전기 유도를 도시한 도면이다.

도 6b는 본 발명의 일 실시예에 따른 접촉 및 분리에 대한 마찰전기 출력 신호를 도시한 도면이다.

도 6c는 본 발명의 일 실시예에 따른 멀티모달 센서의 실시간 압력 감지를 도시한 도면이다.

도 6d 및 6e는 본 발명의 일 실시예에 따른 다양한 압력 영역에 대한 감도 그래프를 도시한 도면이다.

도 7a는 본 발명의 일 실시예에 따른 부하 저항에 대한 출력 신호를 도시한 도면이다.

도 7b는 본 발명의 일 실시예에 따른 정류 시스템을 이용한 출력 신호를 도시한 도면이다.

도 8a는 본 발명의 일 실시예에 따른 쌍극자 진동에 대한 초전성을 도시한 도면이다.

도 8b는 본 발명의 일 실시예에 따른 가열 상태에 대한 초전기 출력 신호 그래프를 도시한 도면이다.

도 8c는 본 발명의 일 실시예에 따른 냉각 상태에 대한 초전기 출력 신호 그래프를 도시한 도면이다.

도 8d는 본 발명의 일 실시예에 따른 초전기 센서의 온도 감지 그래프를 도시한 도면이다.

도 9a는 본 발명의 일 실시예에 따른 가열 상태에서의 온도 감소에 대한 초전기 신호 그래프를 도시한 도면이다.

도 9b는 본 발명의 일 실시예에 따른 냉각 상태에서의 온도 상승에 대한 초전기 신호 그래프를 도시한 도면이다.

도 9c는 본 발명의 일 실시예에 따른 냉각 및 가열 상태에 대한 감도 그래프를 도시한 도면이다.

도 10a는 본 발명의 일 실시예에 따른 분극된 멀티모달 센서에 대한 초전기 출력 신호를 도시한 도면이다.

도 10b는 본 발명의 일 실시예에 따른 비분극 센서에 대한 초전기 출력 신호를 도시한 도면이다.

도 10c는 본 발명의 일 실시예에 따른 스위칭 연결 시 분극된 멀티모달 센서에 대한 초전기 출력 신호를 도시한 도면이다.

도 10d는 본 발명의 일 실시예에 따른 반대 분극으로 구성된 멀티모달 센서에 대한 초전기 출력 신호를 도시한 도면이다.

도 11a는 본 발명의 일 실시예에 따른 다양한 분극 조합에 대한 멀티모달 센서를 도시한 도면이다.

도 11b 내지 11h는 본 발명의 일 실시예에 따른 다양한 분극 조합에 대한 멀티모달 센서의 출력 신호를 도시한 도면이다.

도 12a 내지 12c는 본 발명의 일 실시예에 따른 외부 압력 및 온도에 대한 멀티모달 센서의 전자 흐름을 도시한 도면이다.

도 13a는 본 발명의 일 실시예에 따른 외부 압력 및 온도에 대한 멀티모달 센서를 도시한 도면이다.

도 13b는 본 발명의 일 실시예에 따른 외부 압력에 대한 멀티모달 센서의 출력 신호를 도시한 도면이다.

도 13c는 본 발명의 일 실시예에 따른 외부 온도에 대한 멀티모달 센서의 출력 신호를 도시한 도면이다.

도 13d는 본 발명의 일 실시예에 따른 가열 상태에서의 외부 압력에 대한 멀티모달 센서의 출력 신호를 도시한 도면이다.

도 13e는 본 발명의 일 실시예에 따른 냉각 상태에서의 외부 압력에 대한 멀티모달 센서의 출력 신호를 도시한 도면이다.

도 13f는 본 발명의 일 실시예에 따른 다양한 외부 압력에서의 가열 상태에 대한 멀티모달 센서의 출력 신호를 도시한 도면이다.

도 13g는 본 발명의 일 실시예에 따른 다양한 외부 압력에서의 냉각 상태에 대한 멀티모달 센서의 출력 신호를 도시한 도면이다.

도 14a는 본 발명의 일 실시예에 따른 멀티모달 센서의 적용을 도시한 도면이다.

도 14b 및 14c는 본 발명의 일 실시예에 따른 맥박 압력에 대한 마찰전기 출력 신호를 도시한 도면이다.

도 14d 및 14e는 본 발명의 일 실시예에 따른 운동 전후의 맥박 신호를 도시한 도면이다.

도 14f 및 14g는 본 발명의 일 실시예에 따른 운동 전후의 확대 지수 그래프를 도시한 도면이다.

도 15a 및 15b는 본 발명의 일 실시예에 따른 따뜻한 손가락의 터치 압력에 대한 멀티모달 센서의 출력 신호를 도시한 도면이다.

도 15c 및 15d는 본 발명의 일 실시예에 따른 차가운 손가락의 터치 압력에 대한 멀티모달 센서의 출력 신호를 도시한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0027] 본 발명은 다양한 변경을 가할 수 있고, 여러 가지 실시예들을 가질 수 있는 바, 특정 실시예들을 도면에 예시하고 이를 상세히 설명하고자 한다.

[0028] 청구범위에 개시된 발명의 다양한 특징들은 도면 및 상세한 설명을 고려하여 더 잘 이해될 수 있을 것이다. 명세서에 개시된 장치, 방법, 제법 및 다양한 실시예들은 예시를 위해서 제공되는 것이다. 개시된 구조 및 기능상의 특징들은 통상의 기술자로 하여금 다양한 실시예들을 구체적으로 실시할 수 있도록 하기 위한 것이고, 발명의 범위를 제한하기 위한 것이 아니다. 개시된 용어 및 문장들은 개시된 발명의 다양한 특징들을 이해하기 쉽게 설명하기 위한 것이고, 발명의 범위를 제한하기 위한 것이 아니다.

[0029] 본 발명을 설명함에 있어서, 관련된 공지기술에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우, 그 상세한 설명을 생략한다.

[0030] 이하, 본 발명의 일 실시예에 따른 마찰전기(Triboelectric) 및 초전기(Pyroelectric) 멀티모달(Multimodal) 센서를 설명한다.

[0032] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 마찰전기 및 초전기 멀티모달 센서(100)의 기능적 구성을 도시한 도면이다.

[0033] 도 1을 참고하면, 마찰전기 및 초전기 멀티모달 센서(100)는 제1 전극(110), 제1 강유전성 공중합체층(120), 제2 강유전성 공중합체층(130) 및 제2 전극(140)을 포함할 수 있다.

[0034] 일 실시예에서, 제1 강유전성 공중합체층(120)은 제1 전극(110) 상에 형성되는 양(positive) 분극된 강유전성 공중합체(ferroelectric copolymer)를 포함할 수 있다.

[0035] 일 실시예에서, 제2 강유전성 공중합체층(130)은 제1 강유전성 공중합체층(120) 상에 형성되는 음(negative) 분극된 강유전성 공중합체를 포함할 수 있다.

[0036] 일 실시예에서, 제1 강유전성 공중합체층(120)과 제2 강유전성 공중합체층(130)은 서로 다른 분극을 가질 수 있으며, 예를 들어, 제1 강유전성 공중합체층(120)은 양으로 분극될 수 있고, 제2 강유전성 공중합체층(130)은 음으로 분극될 수 있다.

[0037] 일 실시예에서, 제1 강유전성 공중합체층(120)과 제2 강유전성 공중합체층(130)은 상이한 마찰전기를 띄는 접촉쌍(contact pair)으로, 동일한 물질로 구성될 수 있다.

[0038] 일 실시예에서, 제1 강유전성 공중합체층(120)과 제2 강유전성 공중합체층(130)은 P(VDF-TrFE)(poly(vinylidenefluoride-co-trifluoroethylene))를 포함할 수 있다.

[0039] 일 실시예에서, 외부 전기장에 따라, 제1 강유전성 공중합체층(120)의 쌍극자(dipole)와 제2 강유전성 공중합체층(130)의 쌍극자가 정렬될 수 있다.

[0040] 일 실시예에서, 인가된 외부 전기장은 강유전성 중합체에서 정렬된 쌍극자에 의존하는 분극 상태에 크게 영향을 주기 때문에, 분극 조정된(polarization-tuned) 강유전성 중합체에 기초하여 멀티모달 센서(100)가 동작할 수 있다.

[0041] 일 실시예에서, 마찰전기 및 초전기 멀티모달 센서(100)는 제1 강유전성 공중합체층(120)와 제2 강유전성 공중합체층(130) 사이에 스페이서층(미도시)을 더 포함할 수 있다.

[0042] 일 실시예에서, 외부 압력에 따라 제1 전극(110)과 제2 전극(140) 사이의 마찰전기에 대한 제1 전자 흐름이 발생될 수 있다.

[0043] 일 실시예에서, 외부 온도에 따라 제1 전극(110)과 제2 전극(140) 사이에 초전기에 대한 제2 전자 흐름이 발생될 수 있다.

[0044] 일 실시예에서, 외부 온도가 임계값보다 큰 경우, 제1 전자 흐름의 방향과 제2 전자 흐름의 방향은 동일할 수 있다. 반면, 외부 온도가 임계값보다 작은 경우, 제1 전자 흐름의 방향과 제2 전자 흐름의 방향은 반대일 수 있다.

[0045] 일 실시예에서, 외부 압력에 따라, 제1 전극(110)과 제2 전극(140) 사이의 마찰전기 출력 신호의 크기가 조절될 수 있다. 또한, 외부 온도에 따라, 제1 전극(110)과 제2 전극(140) 사이의 초전기 출력 신호의 크기가 조절될 수 있다. 예를 들어, 출력 신호는 전압 및 전류 중 적어도 하나를 의미할 수 있다.

[0046] 일 실시예에서, 제1 강유전성 공중합체층(120), 제2 강유전성 공중합체층(130)에 대해 동일한 재료가 마찰전기 접촉 쌍에 사용되지만, 인가된 분극 바이어스(polarization bias)에 따라 쌍극자의 정렬된 방향을 전환함으로써 접촉 대전이 제어될 수 있기 때문에 현저한 마찰전기 출력 성능이 얻어질 수 있다.

[0047] 또한, 본 발명에 따른 멀티모달 센서(100)는 강유전체 분극에 의해 현저한 초전기 출력 성능을 달성할 수 있다.

[0048] 일 실시예에서, 제1 강유전성 공중합체층(120) 및 제2 강유전성 공중합체층(130)은 P(VDF-TrFE) 필름을 포함할 수 있으며, 설명의 편의를 위하여 분극된 P(VDF-TrFE) 필름 또는 이와 동등한 기술적 의미를 갖는 용어로 지칭될 수 있으나, 물질은 이에 제한되지 않는다.

[0049] 이 경우, P(VDF-TrFE) 필름은 β-상(phase) 구조를 가질 수 있다.

[0050] 일 실시예에서, P(VDF-TrFE) 필름의 β-상(phase) 구조를 제조하기 위하여, 70/30 P(VDF-TrFE) 공중합체(copolymer) 분말을 99.5% N, N-디메틸포름아미드(dimethylformamide, DMF)에 용해시켜 P(VDF-TrFE) 용액

(20wt%)을 제조할 수 있다.

[0051] P(VDF-TrFE) 용액을 Cu 기판에 스핀 코팅(예: 1000rpm, 60초)한 후, 70℃에서 1시간 동안 건조시켜 DMF 용매를 제거할 수 있다.

[0052] 이후, β-상의 결정성(crystallinity)을 향상시키기 위해, P(VDF-TrFE) 필름을 140℃에서 2시간 동안 어닐링 한 후, 실온으로 점차 자연 냉각시킬 수 있다.

[0053] 전기 폴링을 외부 전기장(예: 50MVm^{-1})하에 30분 동안 수행하여 전기 쌍극자를 정렬시킬 수 있다.

[0054] 일 실시예에서, 독립형 마찰전기 장치(~2x2cm^{2})의 제조를 위해, 스페이서로서 또한 사용된 폴리이미드 양면테이프를 사용하여 Cu 전극 상에 제조된 P(VDF-TrFE) 필름을 서로 부착시킬 수 있다.

[0056] 도 2a는 본 발명의 일 실시예에 따른 FT-IR(Fourier transform infrared) 스펙트럼을 도시한 도면이다. 도 2b는 본 발명의 일 실시예에 따른 XRD 피크 그래프를 도시한 도면이다. 도 3는 본 발명의 일 실시예에 따른 PFM(piezoresponse force microscopy) 이미지를 도시한 도면이다.

[0057] 도 2a 및 2b를 참고하면, P(VDF-TrFE) 필름은 모든 트랜스(TTT) 평면 지그재그 구조(trans planar zigzag structure)(β-상)를 가질 때, 뚜렷한 쌍극자(dipole)를 가지며, 이는 푸리에 변환 적외선 분광법(Fourier transform infrared spectroscopy, FTIR) 및 X-선 회절에 의해 확인할 수 있다.

[0058] 1288cm^{-1} 및 850cm^{-1}의 흡수대(absorption band)는 FTIR 스펙트럼에서 강유전체 β-상과 관련이 있으며(도 2a), 2θ=19.9° 에서의 높은 XRD 피크는 결정성 β-상의 (110) 및 (200) 반사(reflection)와 관련이 있다(도 2b).

[0059] 또한, β-상 구조를 갖는 P(VDF-TrFE) 필름에서 중합체 체인의 추가 정렬(alignment)은 포스트 전기 폴링 공정(post electrical poling process)에 의해 수행될 수 있다.

[0060] 도 3을 참고하면, 인-시츄(in-situ) β-상 분극(polarized) P(VDF-TrFE) 필름의 압전 응답력 현미경 (piezo response force microscopy, PFM) 토폴로지, 위상 및 진폭 분석을 확인할 수 있다.

[0061] 일 실시예에서, 양(positive) 및 음(negative)의 분극 P(VDF-TrFE) 필름 사이의 위상과 진폭의 명확한 대조를 확인할 수 있다. PFM 결과는 적용된 바이어스 방향에 따라 P(VDF-TrFE) 필름이 음과 양으로 분극될 수 있음을 나타낸다.

[0062] P(VDF-TrFE)의 전기 분극 전에, 쌍극자가 β-상에서 무작위로 배열될 때 순 전하(net charge)는 0일 수 있다. 큰 바이어스가 필름을 가로질러 가해지면, 쌍극자는 P(VDF-TrFE) 필름으로 정렬되어 필름의 순 전하를 유도할 수 있다.

[0064] 도 4a는 본 발명의 일 실시예에 따른 다양한 분극에 대한 쌍극자 정렬을 도시한 도면이다. 도 4b는 본 발명의 일 실시예에 따른 다양한 분극에 대한 마찰전기 출력 신호를 도시한 도면이다. 도 4c는 본 발명의 일 실시예에 따른 다양한 분극에 대한 표면 전위를 도시한 도면이다. 도 4d는 본 발명의 일 실시예에 따른 마찰전기 시리즈를 도시한 도면이다.

[0065] 도 4a를 참고하면, 전기 분극된 P(VDF-TrFE) 필름은 특정 방향으로 쌍극자가 정렬되는 반면, 비분극 필름은 무작위로 배향된 쌍극을 가질 수 있다.

[0066] Al 전극과 마찰 시, 음의 분극된 P(VDF-TrFE) 필름은 음으로 대전되고, 양의 분극된 P(VDF-TrFE) 필름은 양으로 대전될 수 있다.

[0067] 도 4b를 참고하면, 다른 분극의 마찰전기 출력 신호를 확인할 수 있다. 분극된 P(VDF-TrFE) 필름은 정렬된 쌍극자에 의해 비분극 필름에 비해 현저하게 향상된 마찰전기 출력 신호를 유도할 수 있다. 또한, 상이한 분극 방향은 상이한 형태의 마찰전기 출력 신호를 야기할 수 있다.

[0068] 음으로 분극된 필름을 Al 전극으로 가압(press)하면 상승 피크가 나타나고, 릴리스(release)되면 하강 피크가

나타날 수 있다.

[0069] 한편, 양으로 분극된 필름에서는 반대 행동이 관찰될 수 있다. 즉, 양으로 분극된 필름을 Al 전극으로 가압하면 하강 피크가 나타나고, 릴리스되면 상승 피크가 나타날 수 있다.

[0070] 이 결과는 동일한 P(VDF-TrFE) 필름의 마찰전기 분극이 전기 분극을 통해 반대 방향으로 전환될 수 있음을 나타낸다.

[0071] 도 4c를 참고하면, 켈빈 프로브 힘 현미경(Kelvin probe force microscope, KPFM) 표면 전위 측정은 각각 비분극, 음의 분극 및 양의 분극에 대해 -1.5V, +0.8V 및 -2.7V의 표면 전위를 나타낼 수 있다.

[0072] 도 4d를 참고하면, P(VDF-TrFE) 필름의 마찰전기 분극이 전기 분극에 의해 조정될 수 있음을 나타내며, 이는 마찰전기 시리즈의 개략도에 표시될 수 있다.

[0073] 또한, 일 실시예에서, 분극된 P(VDF-TrFE) 필름에서 정렬된 쌍극자에 대해, 쌍극자가 전기 폴링 후에 필름에 수직으로 정렬되기 때문에, 표면 전하가 필름의 양면에 대해 서로 반대일 수 있다.

[0075] 도 5a는 본 발명의 일 실시예에 따른 분극된 P(VDF-TrFE) 필름 양면의 표면 전하를 도시한 도면이다. 도 5b는 본 발명의 일 실시예에 따른 비분극에 대한 마찰전기 출력 신호를 도시한 도면이다. 도 5c는 본 발명의 일 실시예에 따른 음의 분극에 대한 마찰전기 출력 신호를 도시한 도면이다. 도 5d는 본 발명의 일 실시예에 따른 양의 분극에 대한 마찰전기 출력 신호를 도시한 도면이다.

[0076] 도 5a 내지 5d를 참고하면, 분분극된 P(VDF-TrFE) 필름의 양면에 대해 표면 전하가 서로 반대임을 나타낼 수 있다.

[0078] 도 6a는 본 발명의 일 실시예에 따른 접촉 및 분리에 대한 접촉 대전 및 정전기 유도를 도시한 도면이다. 도 6b는 본 발명의 일 실시예에 따른 접촉 및 분리에 대한 마찰전기 출력 신호를 도시한 도면이다. 도 6c는 본 발명의 일 실시예에 따른 멀티모달 센서의 실시간 압력 감지를 도시한 도면이다. 도 6d 및 6e는 본 발명의 일 실시예에 따른 다양한 압력 영역에 대한 감도 그래프를 도시한 도면이다.

[0079] 도 6a를 참고하면, 분극된 P(VDF-TrFE) 필름에 기초한 멀티모달 센서의 작동 메커니즘 및 성능을 도시한다.

[0080] 멀티모달 센서는 반복된 접촉 및 분리 사이클 동안 접촉 대전 및 정전기 유도를 기반으로 동작할 수 있다.

[0081] 반대편의 분극 방향을 갖는 2개의 P(VDF-TrFE) 필름이 서로 접촉되면, 2개의 필름의 계면(interface)에서 마찰전기 표면 전하가 발생하여, 양 및 음의 분극된 P(VDF-TrFE) 필름에서 각각 양 및 음의 대전 표면이 생성될 수 있다.

[0082] 일 실시예에서, 접촉이란 물리적 접촉 뿐만 아니라 두 개의 필름의 거리가 가까워지는 것을 의미할 수 있다.

[0083] 2개의 P(VDF-TrFE) 필름이 분리되는 동안, 전극의 각 측면에 보상 전하(compensating charge)가 축적되어 축적된 전하에 의해 평형 상태에 도달할 때까지 외부 회로를 통해 전자 흐름이 발생할 수 있다.

[0084] 2개의 P(VDF-TrFE) 필름이 다시 서로 접근하면, 전하 균형을 위해 전자가 역으로 흐를 수 있다.

[0085] 도 6b를 참고하면, 따라서, 두 필름 사이의 반복된 접촉 분리 운동에 응답하여 연속 교차(alternating) 마찰 전류 및 전압 신호가 나타난다.

[0086] 도 6c를 참고하면, 98Pa~98kPa(예를 들어, 센서 영역: $10\times10mm^2$)의 넓은 압력 범위에서 역분극 P(VDF-TrFE) 필름 기반 멀티모달 센서의 실시간 압력 감지를 확인할 수 있다.

[0087] 마찰전기 출력 신호는 외부 압력이 증가함에 따라 증가하며 미묘한 압력 범위에서도 서로 구별할 수 있다.

[0088] 도 6d 및 6e를 참고하면, 멀티모달 센서는 저압 영역(<19.6kPa), 중압 영역(19.6-58.8kPa) 및 고압 영역(58.8-98kPa)에서 40, 11.5 및 $3.7nAkPa^{-1}$의 세 가지 마찰전기 전류 감도를 갖는다.

[0089] 또한, 저압, 중압 및 고압 영역에서 각각 1.4, 0.4 및 $0.1VkPa^{-1}$의 마찰전기 전압 감도를 갖는다.

[0090] 특히, 저압 범위(<19.6 kPa)에서의 감도(40nAkPa^{-1}, 1.4VkPa^{-1})는 다른 고분자 기반 멀티모달 센서의 감도에 대해 경쟁력을 가지며, 종래의 PVDF 기반 멀티모달 센서의 감도와 비교하여 가장 높다.

[0092] 도 7a는 본 발명의 일 실시예에 따른 부하 저항에 대한 출력 신호를 도시한 도면이다. 도 7b는 본 발명의 일 실시예에 따른 정류 시스템을 이용한 출력 신호를 도시한 도면이다.

[0093] 도 7a를 참고하면, 부하 저항의 함수로서 출력 전류 밀도와 전압을 확인할 수 있다. 부하 저항이 증가함에 따라 전류 밀도가 감소하고 전압이 증가하며, 100MΩ 부하 저항에 대해 최대 전력 밀도(147 $\mu W/cm^2$)가 획득될 수 있다.

[0094] 도 7b를 참고하면, 이 자체 구동식(self-power) 멀티모달 센서는 정류 시스템(rectifying system)을 사용하여 녹색 LED를 점등할 수 있다.

[0095] 본 발명에 따른 멀티모달 센서의 전력 밀도는 이전의 자체 구동식 마찰전기 압력 센서의 전력 밀도와 비교하여 가장 높다.

[0096] 또한, 기존 단일 재료 기반 센서의 성능과 비교할 때, 본 발명에 따른 멀티모달 센서는 추가적인 화학적 기능화 없이 우수한 감도 및 출력 성능을 갖는다.

[0098] 도 8a는 본 발명의 일 실시예에 따른 쌍극자 진동에 대한 초전성을 도시한 도면이다. 도 8b는 본 발명의 일 실시예에 따른 가열 상태에 대한 초전기 출력 신호 그래프를 도시한 도면이다. 도 8c는 본 발명의 일 실시예에 따른 냉각 상태에 대한 초전기 출력 신호 그래프를 도시한 도면이다. 도 8d는 본 발명의 일 실시예에 따른 초전기 센서의 온도 감지 그래프를 도시한 도면이다.

[0099] 도 8a를 참고하면, 분극 P(VDF-TrFE) 필름은 외부 온도에 따라 다른 쌍극자 진동에 의한 자발적 분극(spontaneous polarization)의 변화로 인해 초전성(pyroelectricity)을 나타낼 수 있다.

[0100] 멀티모달 센서가 가열 상태($\Delta T > 0$)에 있을 때, P(VDF-TrFE) 필름의 전기 쌍극자는 주변 상태($\Delta T = 0$)에 비해 정렬 축으로부터 더 크게 진동하여, 더 낮은 레벨의 자발적 분극을 야기할 수 있다.

[0101] 결과적으로, 전극에서의 유도 전하의 양이 감소되어, 전자가 하부 전극으로부터 상부 전극으로 흐를 수 있다.

[0102] 한편, 멀티모달 센서가 냉각 상태에 있을 때($\Delta T < 0$), P(VDF-TrFE) 필름의 전기 쌍극자는 정렬 축으로부터 더 작은 각도로 진동하여, 더 높은 레벨의 자발적 분극을 야기할 수 있다.

[0103] 결과적으로, 전극에서 유도된 전하의 양이 증가하여, 역 전자 흐름을 초래할 수 있다. 따라서, 도 8b 및 8c를 참고하면, 반복되는 온도 변화 사이클에 응답하여 지속적으로 교차하는 초전기 전류 신호가 나타난다. 또한, 가열 및 냉각 상태에서 서로 반대 방향의 초전기 출력 신호가 나타난다.

[0104] 인가 및 인출(applying and withdrawing) 열원에 대한 초전기 출력 신호의 응답 시간은 각각 0.16 및 0.09초이며, 이는 종래의 초전기 장치에 비해 현저히 빠름을 확인할 수 있다.

[0105] 도 8d를 참고하면, -20~20℃ (~177㎟)의 ΔT에 대해 역분극 P(VDF-TrFE) 필름 기반 멀티모달 센서의 실시간 온도 감지 기능을 확인할 수 있다.

[0106] 초전기 출력 전류는 인가된 온도 변화(ΔT)에 매우 민감하며, 온도 변화의 절대값($|\Delta T|$)이 증가함에 따라 증가한다.

[0108] 도 9a는 본 발명의 일 실시예에 따른 가열 상태에서의 온도 감소에 대한 초전기 신호 그래프를 도시한 도면이다. 도 9b는 본 발명의 일 실시예에 따른 냉각 상태에서의 온도 상승에 대한 초전기 신호 그래프를 도시한 도면이다. 도 9c는 본 발명의 일 실시예에 따른 냉각 및 가열 상태에 대한 감도 그래프를 도시한 도면이다.

[0109] 도 9a 및 9b를 참고하면, 온도가 서서히 변화하는 물체가 멀티모달 센서와 반복적으로 접촉하고 분리될 때 실시

간으로 멀티모달 센서의 초고속 반응 성능을 확인할 수 있다.

[0110] 뜨거운 물체의 온도 감소 그래프(도 9a)와 차가운 물체의 온도 증가 그래프(도 9b)는 각각 해당 초전기 신호의 변화하는 그래프와 매우 일치함을 확인할 수 있다.

[0111] 도 9c를 참고하면, 멀티모달 센서는 냉각 및 가열 상태에서 각각 0.38 및 0.27nA$^{\circ C^{-1}}$의 높은 감도를 나타낼 수 있다.

[0113] 도 10a는 본 발명의 일 실시예에 따른 분극된 멀티모달 센서에 대한 초전기 출력 신호를 도시한 도면이다. 도 10b는 본 발명의 일 실시예에 따른 비분극 센서에 대한 초전기 출력 신호를 도시한 도면이다. 도 10c는 본 발명의 일 실시예에 따른 스위칭 연결 시 분극된 멀티모달 센서에 대한 초전기 출력 신호를 도시한 도면이다. 도 10d는 본 발명의 일 실시예에 따른 반대 분극으로 구성된 멀티모달 센서에 대한 초전기 출력 신호를 도시한 도면이다.

[0114] 도 10a 내지 10d를 참고하면, 분극이 조정된 P(VDF-TrFE) 필름의 초전기 효과에 의해 유도된 신호를 검증하기 위해 다양한 조합의 멀티모달 센서의 초전기 출력 신호를 비교할 수 있다.

[0115] 양의 분극 및 음의 분극된 P(VDF-TrFE) 필름을 각각 하부 및 상부 구성 요소로 구성한 멀티모달 센서(도 10a)와 비교할 때, 비분극 P(VDF-TrFE) 필름이 있는 장치는 무시할 수 있는 출력 신호를 나타낸다(도 10b).

[0116] 도 10c 및 10d를 참고하면, 전극 분극의 연결이 전환된(swtiched) 경우(도 10c) 또는 멀티모달 센서가 하단 및 상단 구성 요소로서 각각 음의 분극 및 양의 분극된 P(VDF-TrFE) 필름으로 구성한 경우 (도 10d), 기준 멀티모달 센서(도 10a)의 출력 신호와 비교하여 반대 방향 출력 신호가 나타난다. 따라서 측정 시스템에서 발생 가능한 허위 신호를 배제할 수 있다.

[0118] 도 11a는 본 발명의 일 실시예에 따른 다양한 분극 조합에 대한 멀티모달 센서를 도시한 도면이다. 도 11b 내지 11h는 본 발명의 일 실시예에 따른 다양한 분극 조합에 대한 멀티모달 센서의 출력 신호를 도시한 도면이다.

[0119] 도 11a를 참고하면, 비분극(0), 양의 분극(+) 및 음의 분극(-) P(VDF-TrFE) 필름의 다양한 조합으로 구성된 장치에서 마찰전기 및 초전기 출력 성능을 비교할 수 있다.

[0120] 도 11b 내지 11e를 참고하면, 각 장치 조합에 따른 마찰전기 출력 전류 및 전압을 확인할 수 있다.

[0121] 비분극 P(VDF-TrFE) 필름(0/0) 기반 장치의 무시할 수 있는 출력(~22nA, ~0.9V)과 비교할 때, 역분극 P(VDF-TrFE) 필름 (-/+) 기반 장치는 ~106 및 ~126배 더 높은 출력 전류(~2.4$^{\mu A}$) 및 출력 전압(~111V)을 나타낸다.

[0122] 도 11f를 참고하면, 이 결과는 P(VDF-TrFE) 필름의 서로 다른 분극 조합의 접촉 전후에 표면 전위 변화를 분석하여 확인할 수 있다.

[0123] 비분극 P(VDF-TrFE) 필름 사이의 접촉 또는 음의 분극된 P(VDF-TrFE) 필름 사이의 접촉에 대해 무시할만한 (ΔV=-0.07V) 또는 작은(ΔV=+0.92V) 표면 전위 변화를 각각 확인할 수 있다.

[0124] 반면에, 반대로 분극된 P(VDF-TrFE) 필름 사이의 접촉은 표면 전위의 현저한 변화(ΔV=+9.4V)를 유도함을 확인할 수 있다.

[0125] 도 11g 및 11h를 참고하면, 초전기 출력 성능은 각 장치의 다양한 분극 조합에 따른 마찰전기 출력 성능과 비슷한 경향을 보임을 확인할 수 있다.

[0126] 역분극 P(VDF-TrFE) 필름(-/+) 기반 장치는 현저하게 향상된 출력 전류(4.7nA)를 나타내며, 이는 비분극 P(VDF-TrFE) 필름(0/0)기반 장치(0.4nA)보다 ~12배 더 높을 수 있다.

[0128] 도 12a 내지 12c는 본 발명의 일 실시예에 따른 외부 압력 및 온도에 대한 멀티모달 센서의 전자 흐름을 도시한 도면이다.

[0129] 도 12a 내지 12c를 참고하면, 마찰전기 및 초전기 효과가 동시에 있는 본 발명에 따른 멀티모달 센서는 멀티 모

달 성능을 나타낼 수 있다.

[0130] 압력 검출은 역분극된 P(VDF-TrFE) 필름의 반복 접촉 및 분리 동안 접촉 대전 및 정전기 유도에 기초할 수 있다.

[0131] 한편, 온도 감지는 멀티모달 센서와 온도 제어된 외부 물체 사이의 반복된 접촉 및 분리 동안 상이한 쌍극자 진동에 의한 자발적 분극 변화에 기초할 수 있다.

[0132] 실온(room temperature, RT)보다 높은 온도가 압력과 동시에 가해지면, 하부 전극에서 상부 전극으로 동일한 방향의 전자 흐름이 발생할 수 있다. 결과적으로, 같은 방향의 예리한 마찰전기 및 점진적 초전기 신호가 발생할 수 있다.

[0133] 한편, 실온보다 낮은 온도가 압력과 동시에 적용되는 경우, 반대 방향의 전자 흐름으로 마찰전기 및 초전기 신호가 발생할 수 있다.

[0134] 예를 들어, 마찰전기 전자 흐름은 하부 전극에서 상부 전극으로 유도되고, 초전기 전자 흐름은 상부 전극에서 하부 전극으로 유도될 수 있다.

[0135] 결과적으로, 멀티모달 신호는 서로 다른 방향의 예리한 마찰전기 및 점진적인 초전기 출력 신호로 분리될 수 있다.

[0136] 또한, 마찰전기 및 초전기 효과의 응답 시간이 다르기 때문에, 두 신호의 포화 시간이 다를 수 있다.

[0137] 0.5Hz의 반복된 접촉 분리 과정에서 초전기 출력 신호가 마찰전기 출력 신호보다 포화 시간이 길기 때문에, 초전기 출력 신호는 마찰전기 신호에 의해 차단될 수 있다.

[0138] 여기에서, P_c(접촉점) 및 P_s(분리점)는 각각 자극을 인가 및 해제(release)하는 후속 신호에 의한 절단점(cut point)을 의미한다. 또한, P_c와 P_s 사이의 간격 거리(gap distance)는 ΔT 의 부호에 관계없이 동시에 적용된 압력과 온도를 구별하기 위해 사용될 수 있다.

[0140] 도 13a는 본 발명의 일 실시예에 따른 외부 압력 및 온도에 대한 멀티모달 센서를 도시한 도면이다. 도 13b는 본 발명의 일 실시예에 따른 외부 압력에 대한 멀티모달 센서의 출력 신호를 도시한 도면이다. 도 13c는 본 발명의 일 실시예에 따른 외부 온도에 대한 멀티모달 센서의 출력 신호를 도시한 도면이다. 도 13d는 본 발명의 일 실시예에 따른 가열 상태에서의 외부 압력에 대한 멀티모달 센서의 출력 신호를 도시한 도면이다. 도 13e는 본 발명의 일 실시예에 따른 냉각 상태에서의 외부 압력에 대한 멀티모달 센서의 출력 신호를 도시한 도면이다. 도 13f는 본 발명의 일 실시예에 따른 다양한 외부 압력에서의 가열 상태에 대한 멀티모달 센서의 출력 신호를 도시한 도면이다. 도 13g는 본 발명의 일 실시예에 따른 다양한 외부 압력에서의 냉각 상태에 대한 멀티모달 센서의 출력 신호를 도시한 도면이다.

[0141] 도 13a를 참고하면, 음의 온도 변화(ΔT <0)에서 멀티모달 센서는 분리된 마찰 전기 및 초전기 신호(decoupled signal)에 의해 동시에 가해진 압력과 온도를 구별하는데 사용될 수 있다.

[0142] 도 13b를 참고하면, 온도 변화 ΔT 가 -20℃ 일 때 압력에 따른 출력 신호를 확인할 수 있다.

[0143] 마찰전기 스파이크 신호(triboelectric spike signal)는 압력이 증가함에 따라 증가하는 반면, 반대 방향의 초전기 신호는 동일한 온도에서 일정할 수 있다.

[0144] 도 13c를 참고하면, 490Pa 하에서의 온도에 따른 출력 신호를 확인할 수 있다. 초전기 출력 신호는 온도 변화의 절대값($|\Delta T|$)이 감소함에 따라 감소할 수 있다.

[0145] 여기서, P_c와 P_s 사이의 간격 거리(gap distance)는 ΔT 의 부호에 관계없이 동시에 적용된 압력과 적용된 온도를 구별하기 위해 사용될 수 있다.

[0146] 도 13d 및 13e를 참고하면, 각각 가열 및 냉각 조건 하에서 압력에 따른 출력 신호를 확인할 수 있다.

[0147] 적용된 압력이 증가함에 따라 마찰전기 스파이크 신호가 증가하는 반면, P_c와 P_s 사이의 간격 거리는 다른 압력

에서도 동일한 온도 변화에서 일정함을 확인할 수 있다.

[0148] 도 13f 및 13g를 참고하면, 서로 다른 압력 하에서 가열 및 냉각 온도에 따른 출력 신호를 확인할 수 있다. P_c와 P_s 사이의 간격 거리는 온도 변화에 따라 달라지는 반면, 마찰전기 스파이크 신호는 압력에 따라 달라질 수 있다.

[0149] 따라서, 동시에 적용된 온도 및 압력은 분리된 멀티모달 신호 및 P_c와 P_s 사이의 간격 거리에 의해 구별될 수 있다.

[0150] 외부 바이어스 없이, 동시에 적용되는 자극을 구별하는 본 발명에 따른 멀티모달 센서의 기능은 이전의 다중 모드 장치와 비교하여 지속 가능한 웨어러블 장치에 보다 효율적으로 적용될 수 있다.

[0152] 도 14a는 본 발명의 일 실시예에 따른 멀티모달 센서의 적용을 도시한 도면이다. 도 14b 및 14c는 본 발명의 일 실시예에 따른 맥박 압력에 대한 마찰전기 출력 신호를 도시한 도면이다. 도 14d 및 14e는 본 발명의 일 실시예에 따른 운동 전후의 맥박 신호를 도시한 도면이다. 도 14f 및 14g는 본 발명의 일 실시예에 따른 운동 전후의 확대 지수 그래프를 도시한 도면이다.

[0153] 도 14a를 참고하면, 의료 및 휴먼 머신 인터페이스 애플리케이션과 관련하여, 본 발명에 따른 멀티모달 센서는 자가 동력 진단 센서에 적용하여 인간의 건강을 실시간으로 모니터링할 수 있다. 특히 저압 영역에서 센서의 고압 감도는 경동맥의 약한 맥박 압력을 모니터링하는데 적용될 수 있다.

[0154] 도 14b 및 14c를 참고하면, 맥박 압력에 대한 3개의 구별 가능한 마찰전기 출력 신호(P_1, P_2 및 P_3)를 확인할 수 있다.

[0155] 여기서, P_1은 심장 수축에 의해 토출된 혈류에 의한 주 맥박 압력이고, P_2 및 P_3은 주변 부위로부터 반사된 파에 의한 반사파 압력을 나타낼 수 있다.

[0156] 상기 매개 변수를 사용하면 요골 동맥 확대 지수($AIr=P_2/P_1$)와 손 주변부의 반사파 왕복 시간(T_r)을 추출할 수 있으며, 이는 연령에 따른 동맥 강성(arterial stiffness)과 관련이 있다.

[0157] 도 14d 및 14e를 참고하면, 신체 운동 전후의 맥박 신호를 나타낼 수 있다. 신체 운동 후, 증가된 심장 출력으로 인해 혈액을 활성화된 근육에 빠르게 공급하게 된다. 이는 증가된 맥박수 및 신호 강도로 나타낼 수 있다.

[0158] 도 14f 및 14g를 참고하면, 신체 운동 후 확대 지수(augmentation index, AIr)가 0.48에서 0.16으로 감소함을 확인할 수 있다. 이는 근육 동맥의 혈관 확장으로 인한 동맥 강성이 감소했음을 나타낼 수 있다.

[0160] 도 15a 및 15b는 본 발명의 일 실시예에 따른 따뜻한 손가락의 터치 압력에 대한 멀티모달 센서의 출력 신호를 도시한 도면이다. 도 15c 및 15d는 본 발명의 일 실시예에 따른 차가운 손가락의 터치 압력에 대한 멀티모달 센서의 출력 신호를 도시한 도면이다.

[0161] 역분극된 P(VDF-TrFE) 필름 기반의 멀티모달 센서는 손가락 터치의 압력과 온도를 실시간으로 동시에 모니터링할 수 있다.

[0162] 도 15a 및 15b를 참고하면, 멀티모달 센서에 따뜻한(예: ~29℃) 손가락과 차가운(예: ~16℃) 손가락의 온도가 가해질 때, 멀티모달 센서는 온도에 따른 출력 신호를 나타낼 수 있다.

[0163] 도 15c 및 15d를 참고하면, 차가운 손가락의 출력 신호는 두 개의 반대 방향인 피크(I_1, I_2)로 구성되는 반면, 따뜻한 손가락의 출력 신호는 같은 방향의 두 피크(I_1, I_2)로 구성될 수 있다.

[0164] 여기서, 예리한 전류 피크(I_1)는 터치 압력에 의해 생성된 마찰전기 신호이고, 점진 전류 피크(I_2)는 인가된 온도에 의해 생성된 초전기 신호를 나타낼 수 있다.

[0165] 따라서, 본 발명에 따른 멀티모달 센서, 즉, 마찰전기-초전기 하이브리드 센서는 웨어러블 인공 지능 시스템 및 인간-기계 인터페이스에서의 응용에 적용할 수 있다.

[0167] 또한, 멀티모달 센서는 온도와 압력 감지 및 식별을 위한 두 가지 접근 방식을 제공할 수 있다.

[0168] 하나는 음의 온도 변화(ΔT <0) 하에서, 반대 방향의 전자 흐름에 의한 마찰전기 및 초전기 효과의 반대 방향성 신호를 기반으로 한다.

[0169] 다른 하나는 마찰전기 및 초전기 효과의 서로 다른 반응 및 포화 시간을 기반으로 한다.

[0170] 본 발명에 따른 멀티모달 센서는 높은 감지 성능과 독특한 구조로 경동맥의 약한 맥박 압력 및 멀티모달 터치 모니터링에 활용할 수 있다.

[0172] 적용된 분극 바이어스 방향에 따라 P(VDF-TrFE) 필름에서 쌍극자의 정렬된 방향을 쉽게 전환할 수 있다.

[0173] 결과적으로, 역분극된 P(VDF-TrFE) 필름 기반의 멀티모달 센서는 비분극된 장치에 비해 ~106 및 ~126배 더 높은 출력 전류 및 전압 값으로 현저하게 개선된 마찰전기 출력 성능을 가질 수 있다.

[0174] 예를 들어, 멀티모달 센서는 $40nAkPa^{-1}$($1.4VkPa^{-1}$)의 압력 감도와 $147\mu W/cm^2$의 출력 전력을 보여 주었으며, 이는 종래의 PVDF 기반 자체 구동 센서와 비교할 때 가장 높은 값이다.

[0175] 또한, 역분극 P(VDF-TrFE) 필름 기반의 멀티모달 센서는 비분극 장치와 비교하여 ~12배 더 높은 출력 전류 값으로 뛰어난 초전기 출력 성능을 나타낸다.

[0176] 본 발명에 따른 멀티모달 센서는 냉각 및 가열 상태에서 각각 0.38 및 $0.27nA℃^{-1}$의 높은 감도를 나타냈으며, 이는 종래의 온도 센서와 비교할 때 경쟁력 있는 값을 나타낸다.

[0178] 마찰전기 분극 조절을 통한 멀티모달 센서는 추가적인 화학적 기능화 또는 기계적 변형 없이도 동일한 물질을 접촉 쌍으로 이용할 수 있으며, 이를 기반으로 한 멀티모달 장치의 출력 성능을 현저하게 향상시킬 수 있는 경로를 제공할 수 있다.

[0179] 또한, 자체 전원 센서는 신호 간섭 없이 여러 압력과 온도를 구별 할 수 있는 새로운 접근 방식을 제공하므로, 자체 전원 멀티모달 헬스 케어 센서, 인공 지능 시스템 및 인간-기계 인터페이스에서 다양한 애플리케이션을 적용할 수 있다.

[0181] 이상의 설명은 본 발명의 기술적 사상을 예시적으로 설명한 것에 불과한 것으로, 통상의 기술자라면 본 발명의 본질적인 특성이 벗어나지 않는 범위에서 다양한 변경 및 수정이 가능할 것이다.

[0182] 따라서, 본 명세서에 개시된 실시예들은 본 발명의 기술적 사상을 한정하기 위한 것이 아니라, 설명하기 위한 것이고, 이러한 실시예들에 의하여 본 발명의 범위가 한정되는 것은 아니다.

[0183] 본 발명의 보호범위는 청구범위에 의하여 해석되어야 하며, 그와 동등한 범위 내에 있는 모든 기술 사상은 본 발명의 권리범위에 포함되는 것으로 이해되어야 한다.

부호의 설명

[0185] 100: 마찰전기 및 초전기 멀티모달 센서

110: 제1 전극

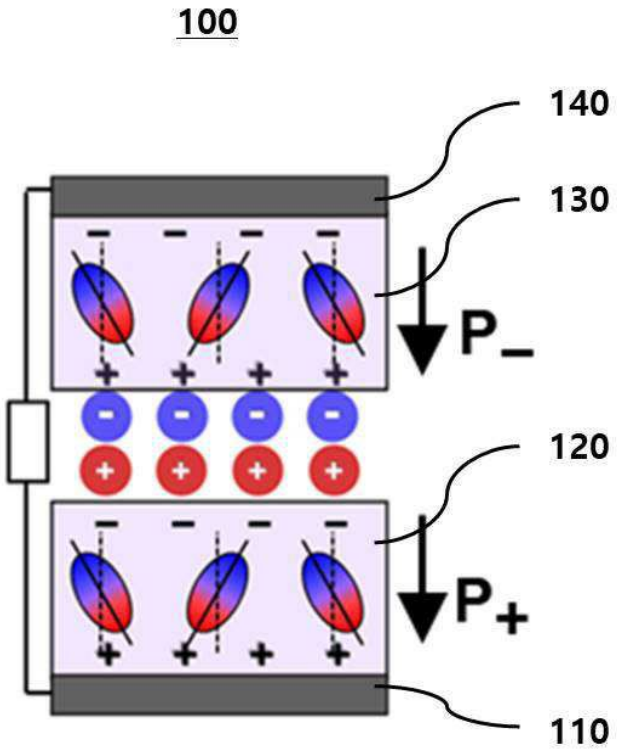
120: 제1 강유전성 공중합체층

130: 제2 강유전성 공중합체층

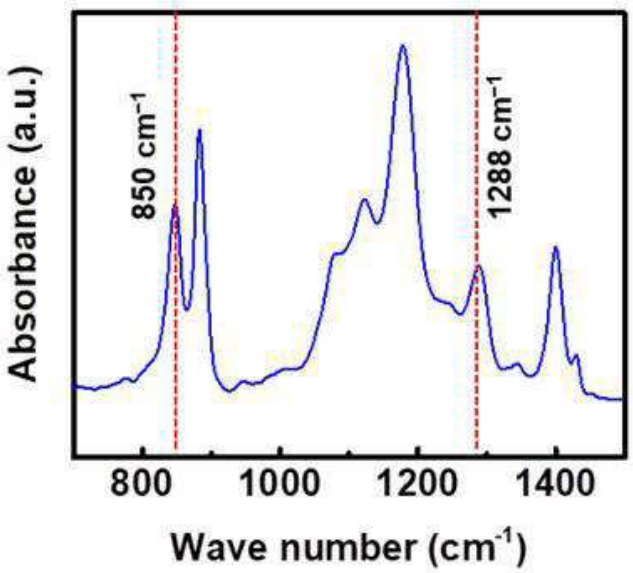
140: 제2 전극

도면

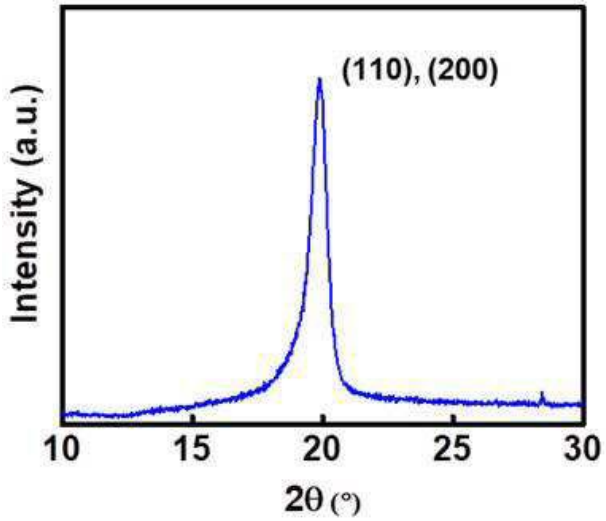
도면1


100
140
130
P_
120
P+
110

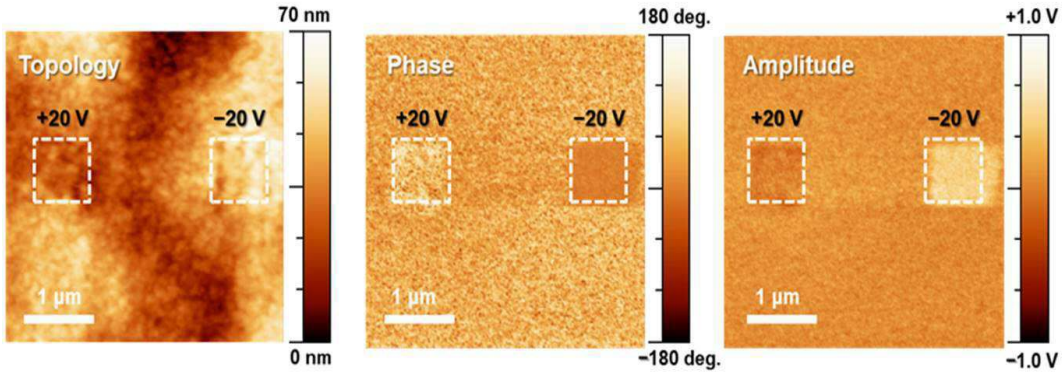
도면2a


Absorbance (a.u.)
850 cm-1
1288 cm-1
800
1000
1200
1400
Wave number (cm-1)

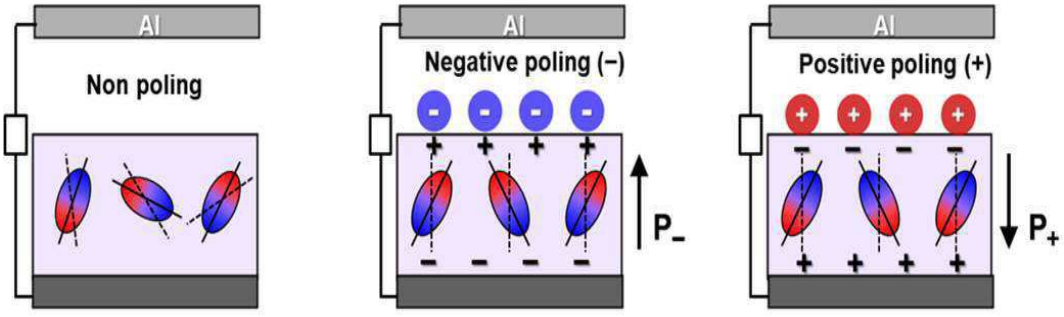
도면2b



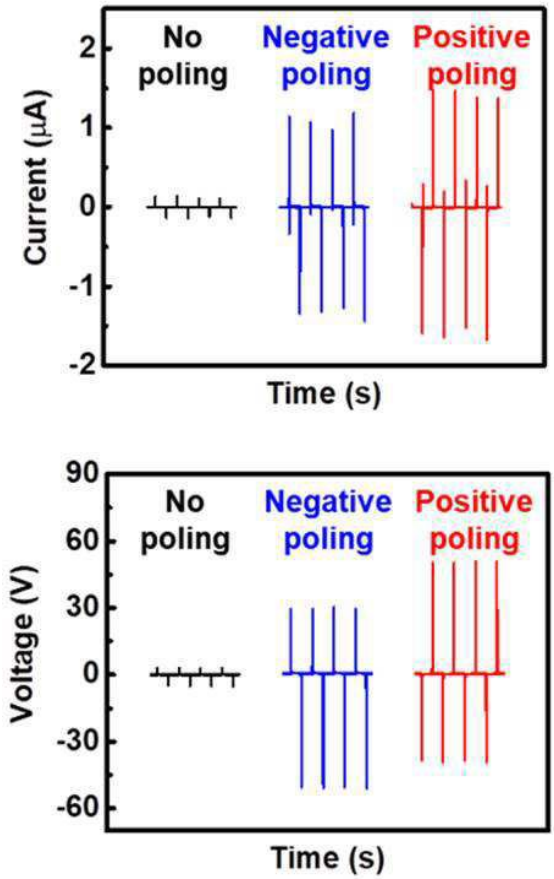
도면3



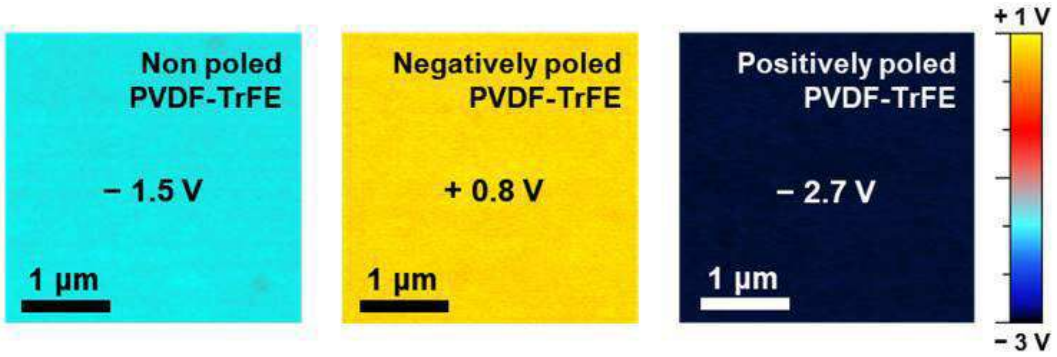
도면4a



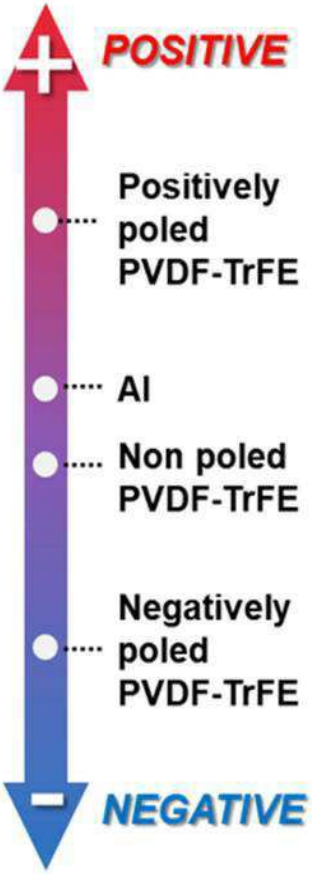
도면4b


No poling
Negative poling
Positive poling
Current (μA)
2
1
0
-1
-2
Time (s)
No poling
Negative poling
Positive poling
Voltage (V)
90
60
30
0
-30
-60
Time (s)

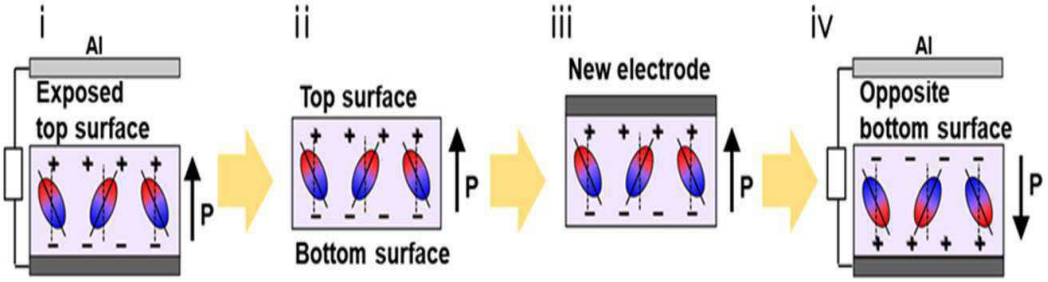
도면4c


Non poled PVDF-TrFE
− 1.5 V
1 μm
Negatively poled PVDF-TrFE
+ 0.8 V
1 μm
Positively poled PVDF-TrFE
− 2.7 V
1 μm
+ 1 V
− 3 V

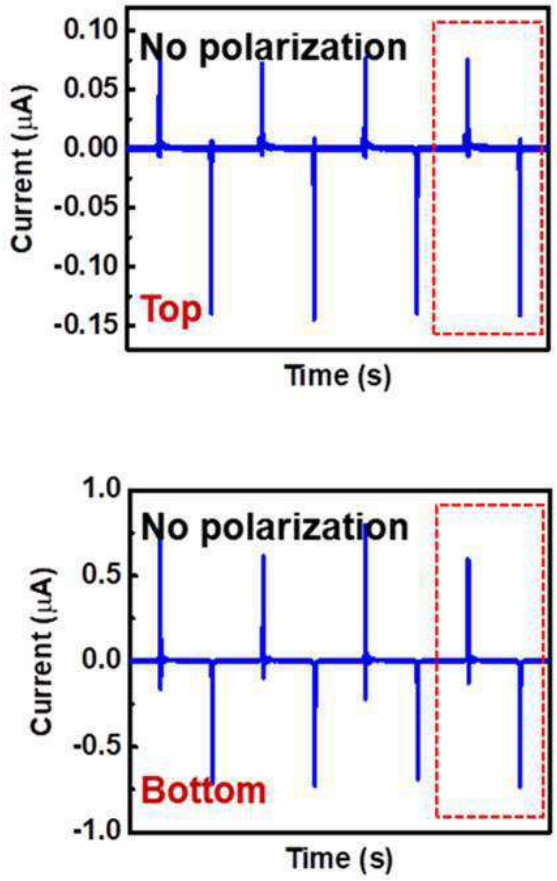
도면4d


POSITIVE
Positively poled PVDF-TrFE
Al
Non poled PVDF-TrFE
Negatively poled PVDF-TrFE
NEGATIVE

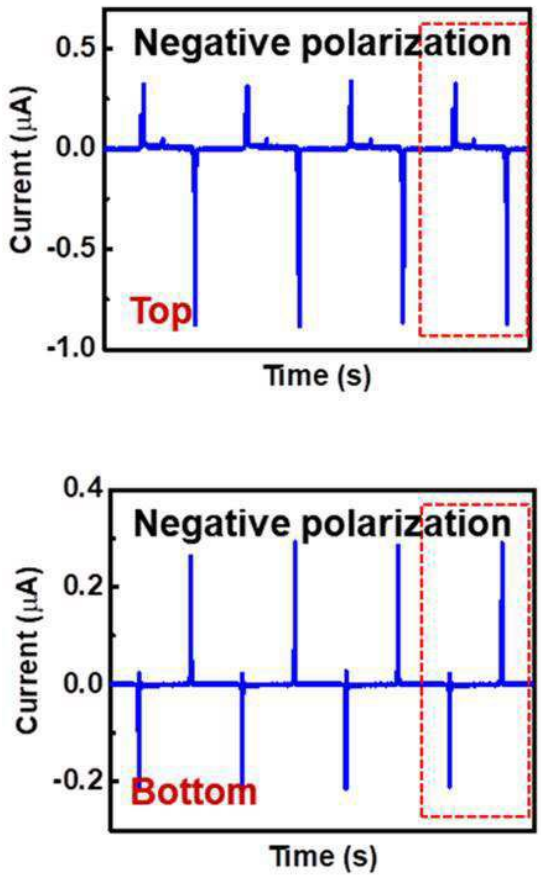
도면5a


i
Al
Exposed top surface
P
ii
Top surface
P
Bottom surface
iii
New electrode
P
iv
Al
Opposite bottom surface
P

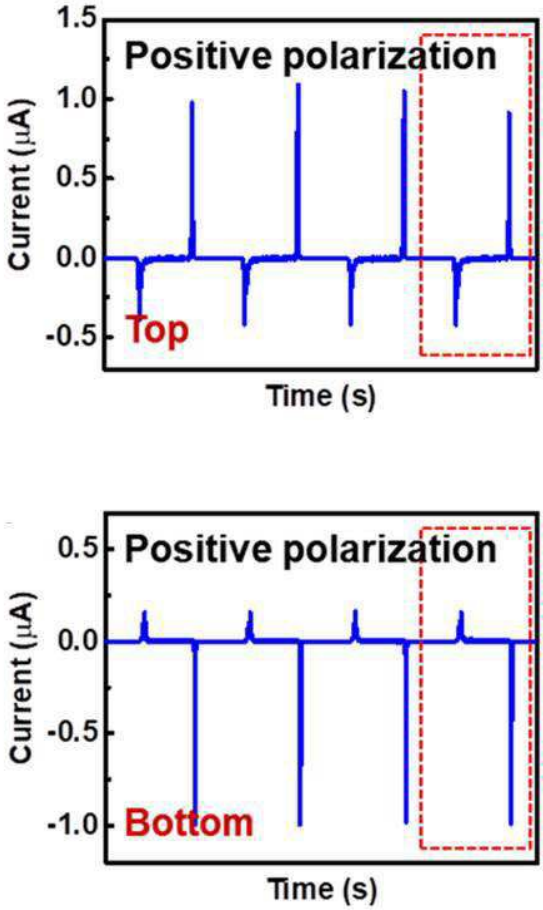
도면5b


No polarization
Top
Current (μA)
Time (s)
0.10
0.05
0.00
-0.05
-0.10
-0.15
No polarization
Bottom
Current (μA)
Time (s)
1.0
0.5
0.0
-0.5
-1.0

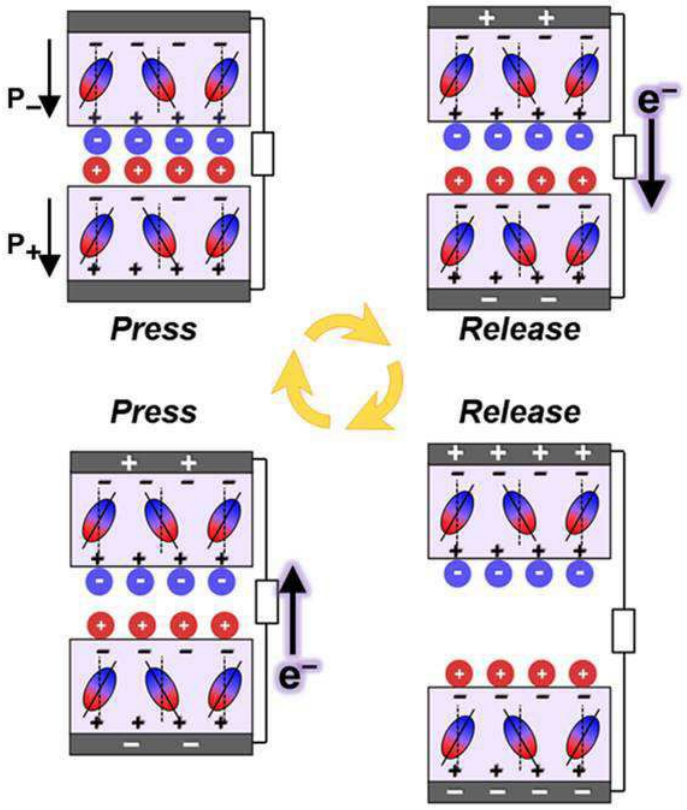
도면5c


Negative polarization
Top
Current (μA)
Time (s)
0.5
0.0
-0.5
-1.0
Negative polarization
Bottom
Current (μA)
Time (s)
0.4
0.2
0.0
-0.2

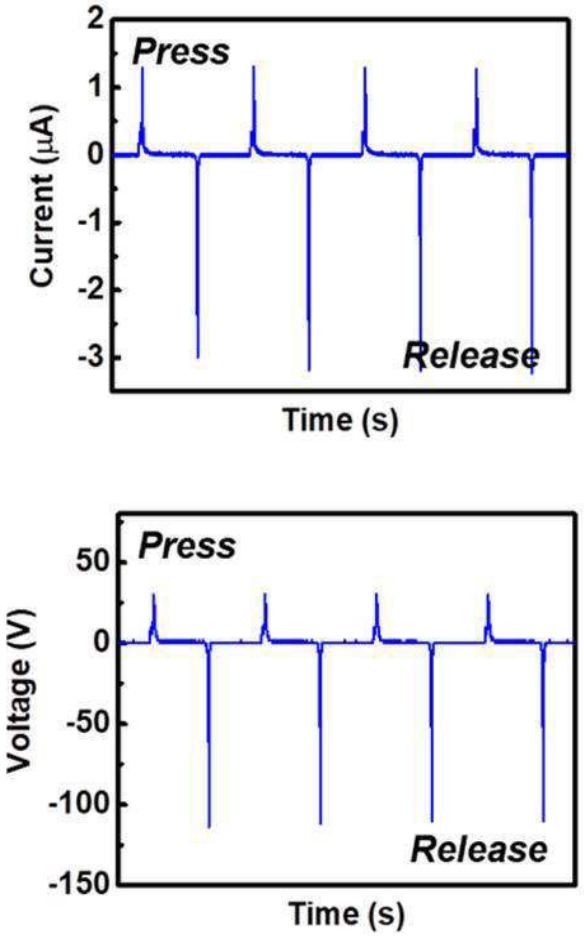
도면5d


Positive polarization
Current (μA)
1.5
1.0
0.5
0.0
-0.5
Top
Time (s)
Positive polarization
Current (μA)
0.5
0.0
-0.5
-1.0
Bottom
Time (s)

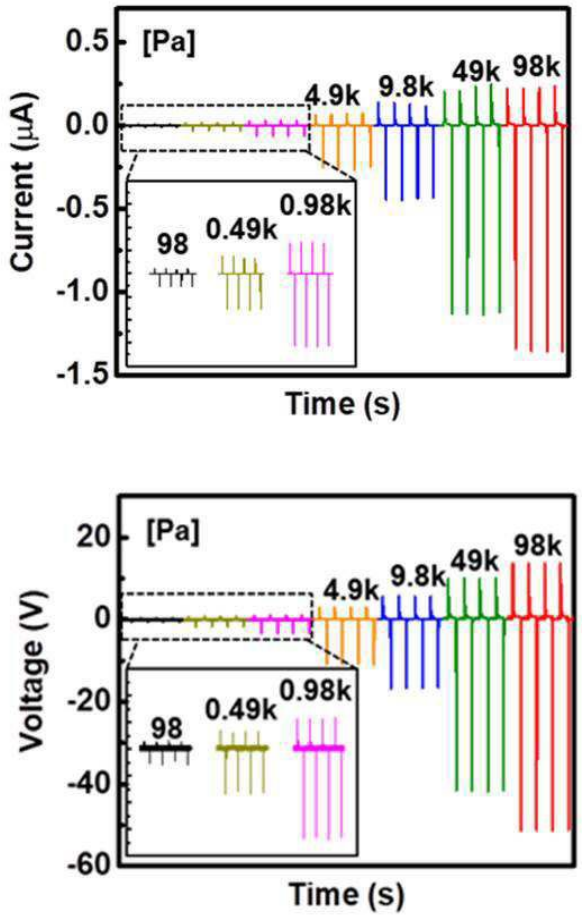
도면6a


P−
P+
Press
Release
e−
Press
Release
e−

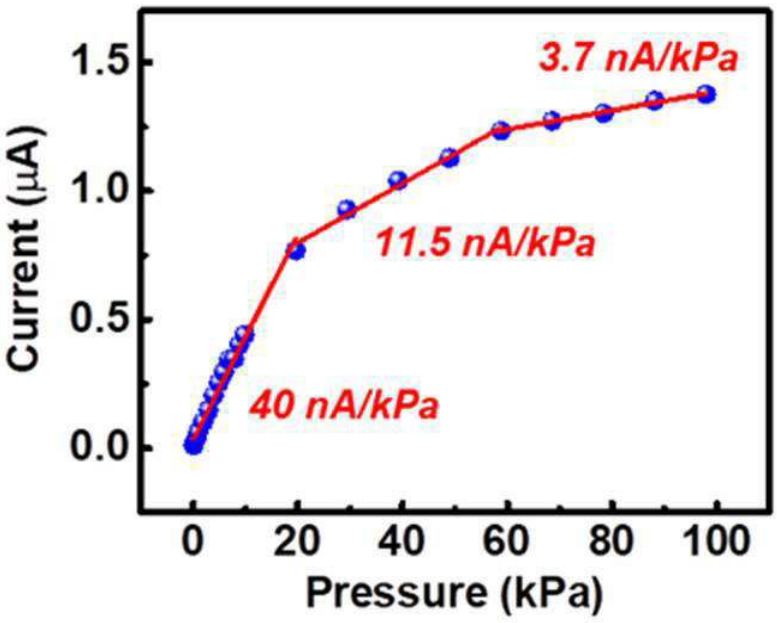
도면6b


Press
Release
Current (μA)
2
1
0
-1
-2
-3
Time (s)
Press
Release
Voltage (V)
50
0
-50
-100
-150
Time (s)

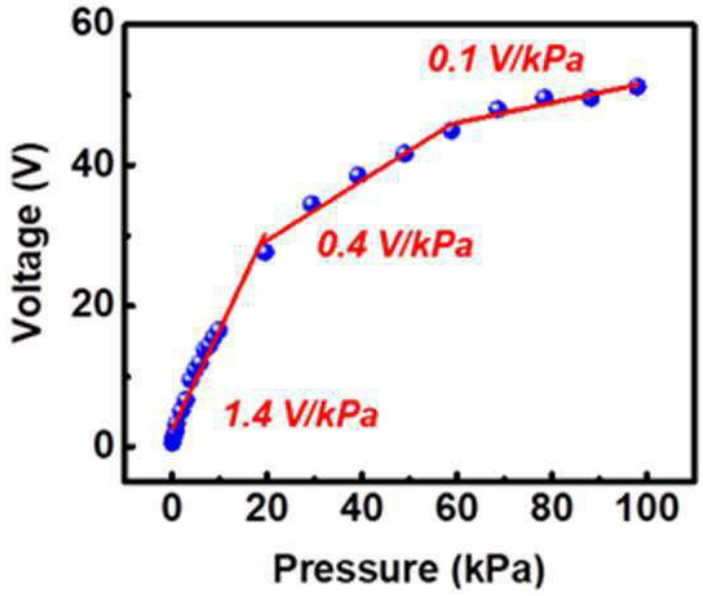
도면6c


[Pa]
4.9k
9.8k
49k
98k
0.98k
0.49k
98
Current (μA)
Time (s)
Voltage (V)

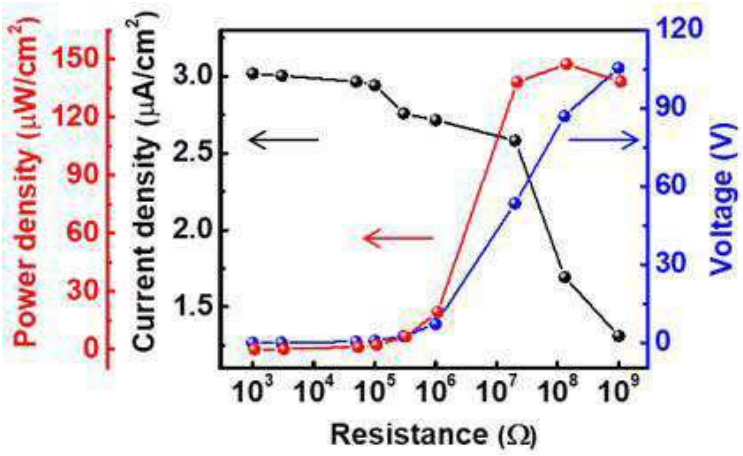
도면6d


3.7 nA/kPa
11.5 nA/kPa
40 nA/kPa
Current (μA)
Pressure (kPa)

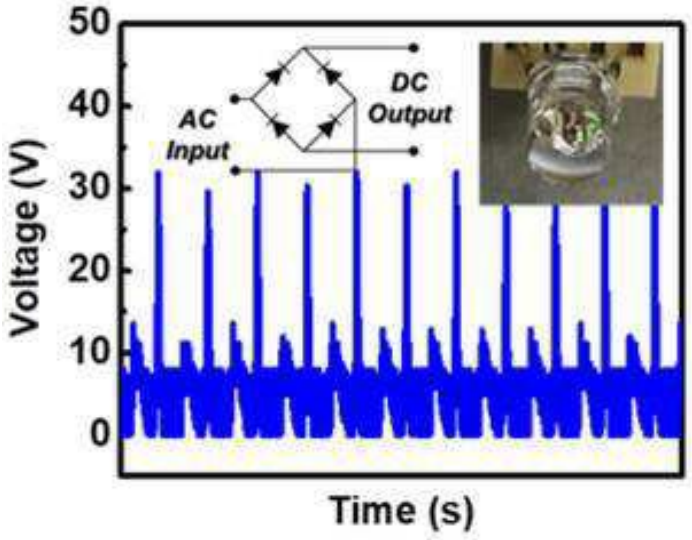
도면6e



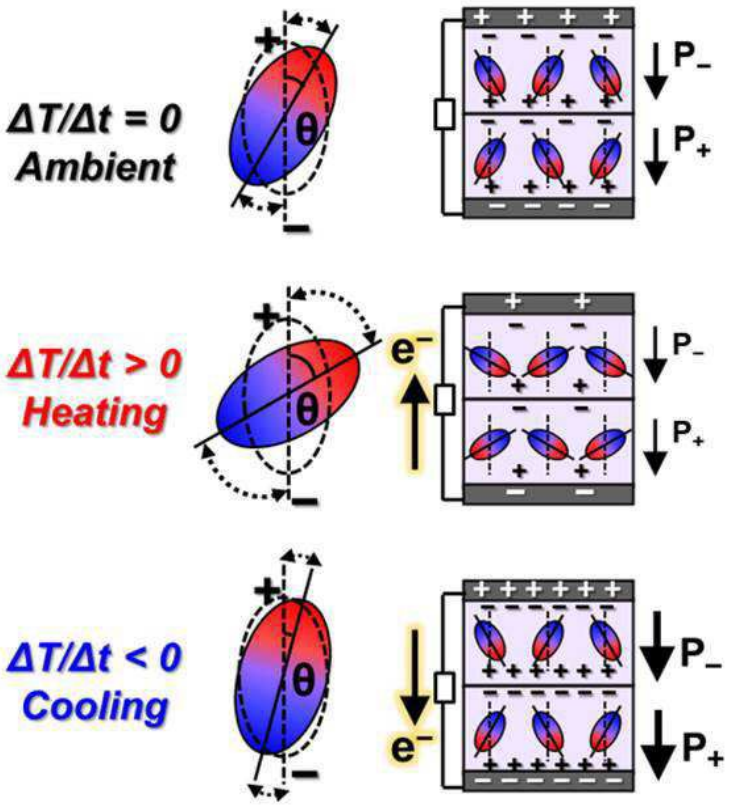
도면7a



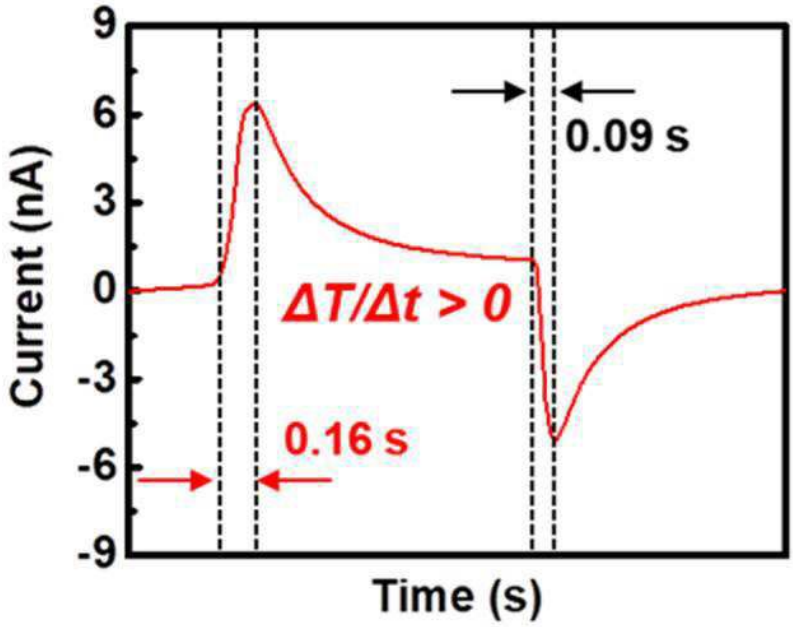
도면7b



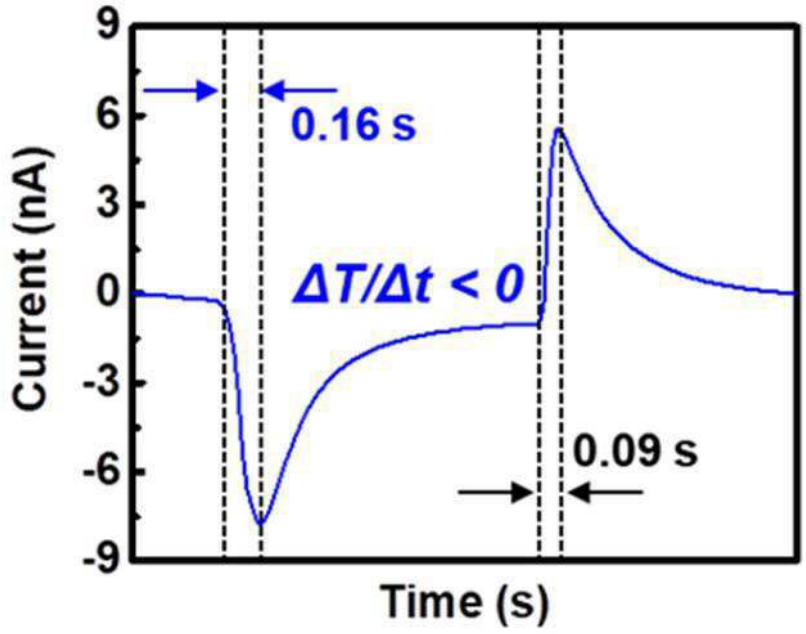
도면8a


ΔT/Δt = 0
Ambient
θ
P−
P+
ΔT/Δt > 0
Heating
e⁻
ΔT/Δt < 0
Cooling

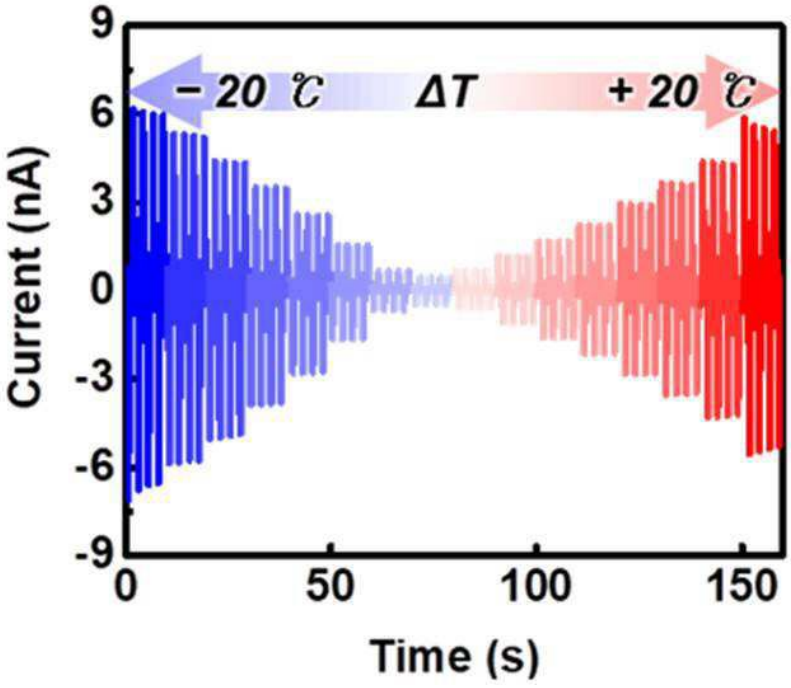
도면8b


9
6
3
0
-3
-6
-9
Current (nA)
Time (s)
0.09 s
0.16 s
ΔT/Δt > 0

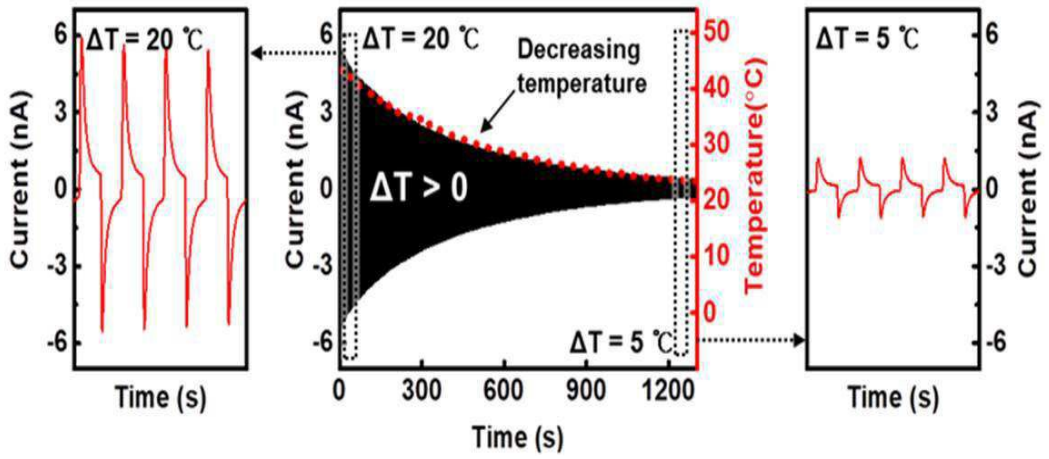
도면8c


9
6
3
0
-3
-6
-9
Current (nA)
0.16 s
ΔT/Δt < 0
0.09 s
Time (s)

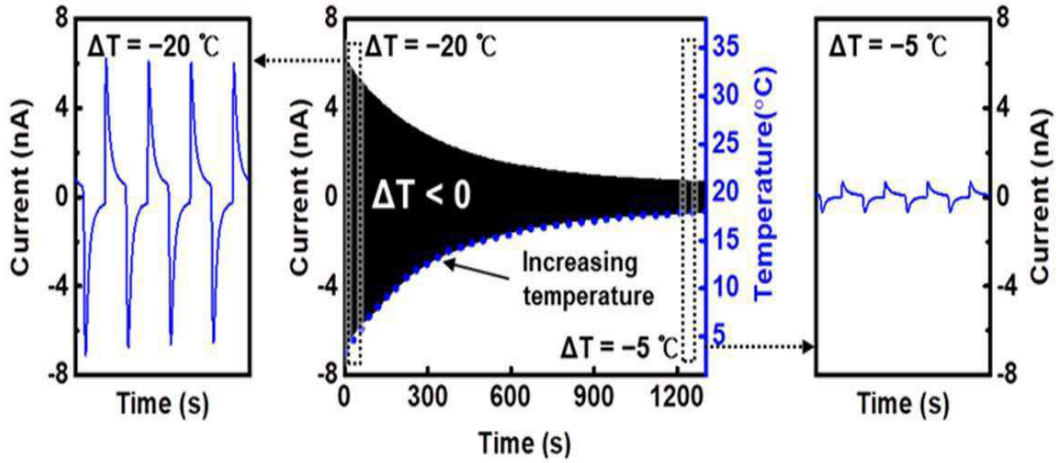
도면8d


9
6
3
0
-3
-6
-9
Current (nA)
− 20 ℃
ΔT
+ 20 ℃
0
50
100
150
Time (s)

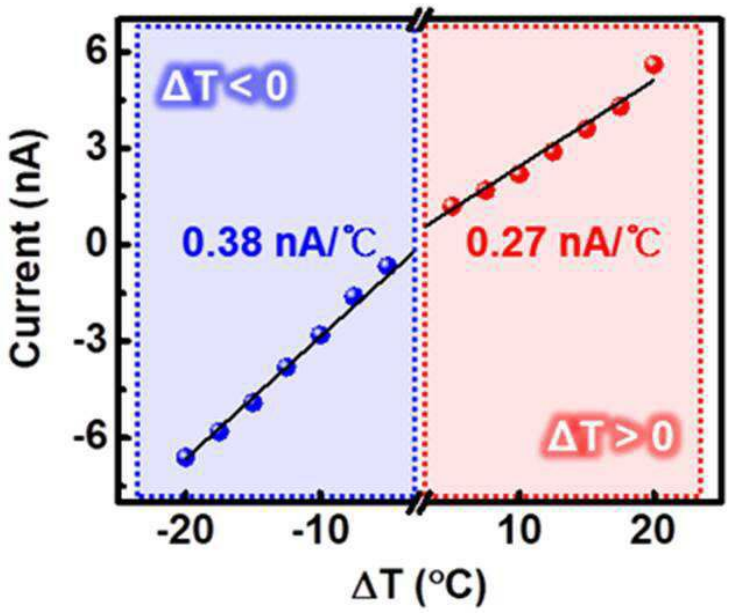
도면9a



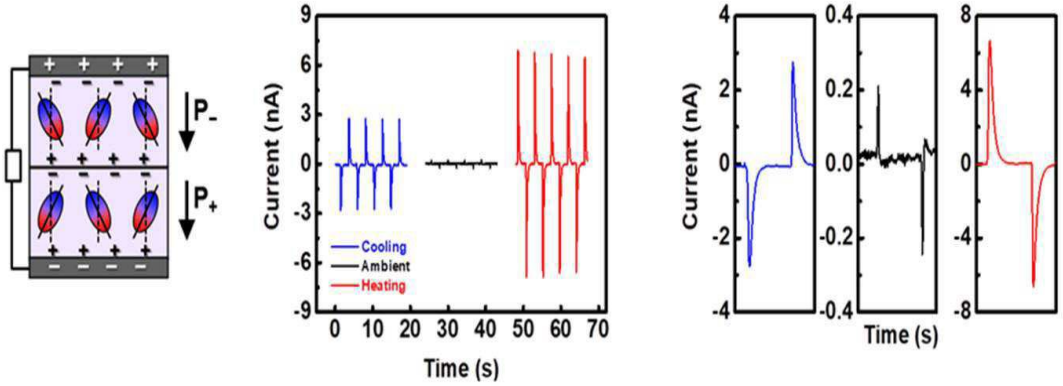
도면9b



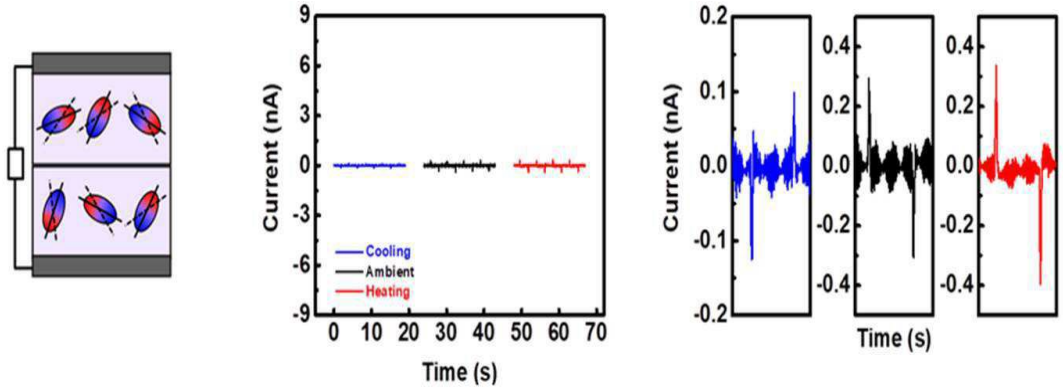
도면9c



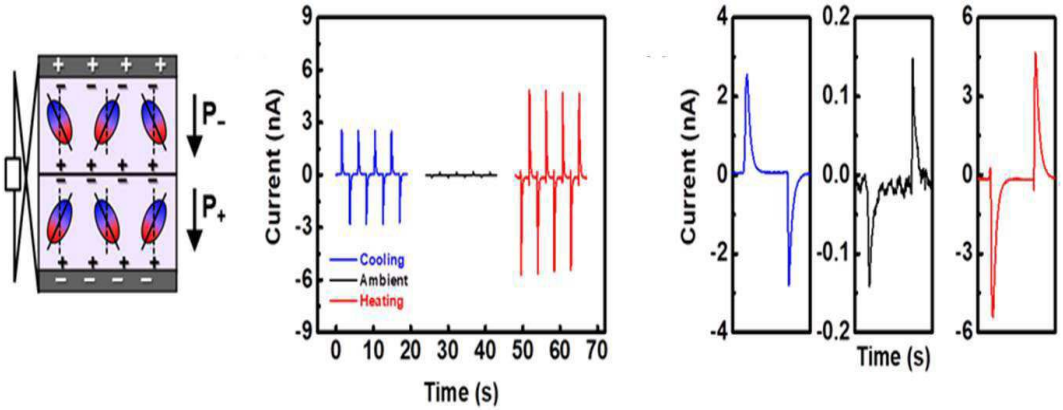
도면10a



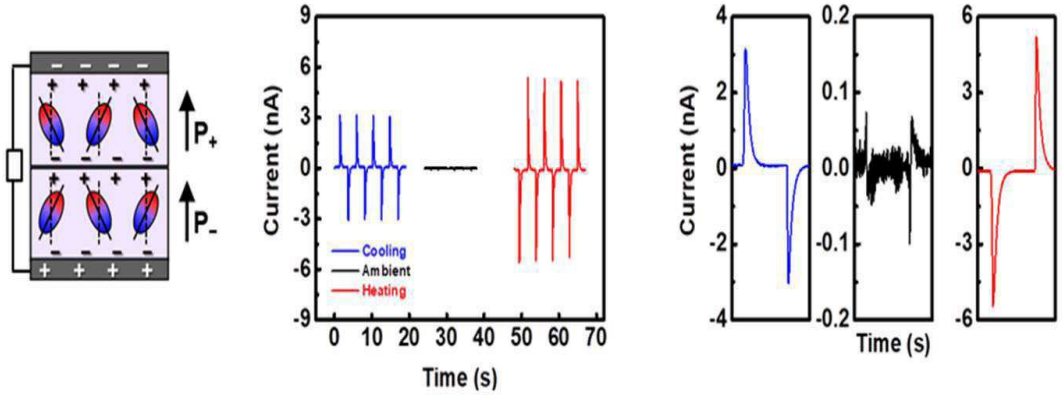
도면10b



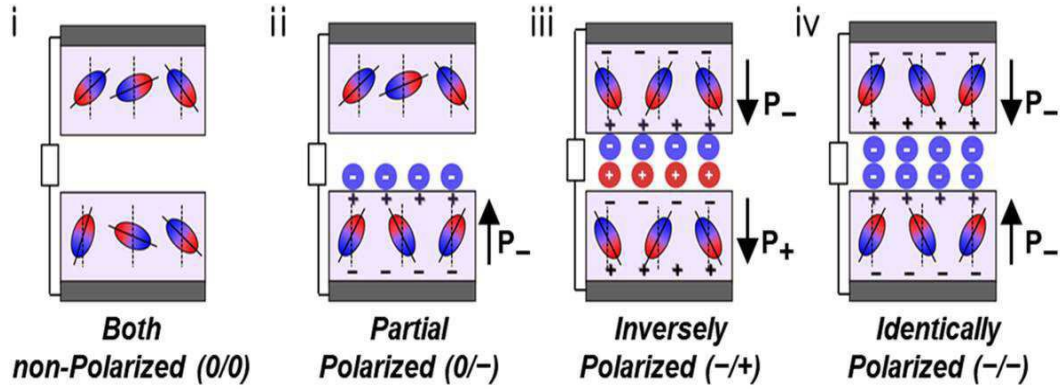
도면10c



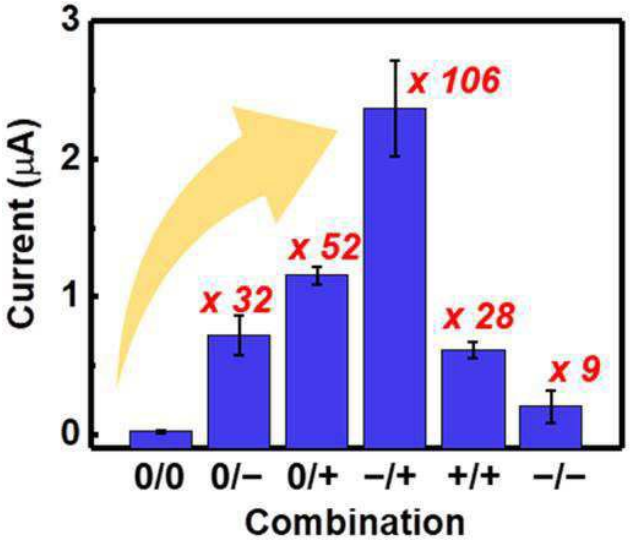
도면10d



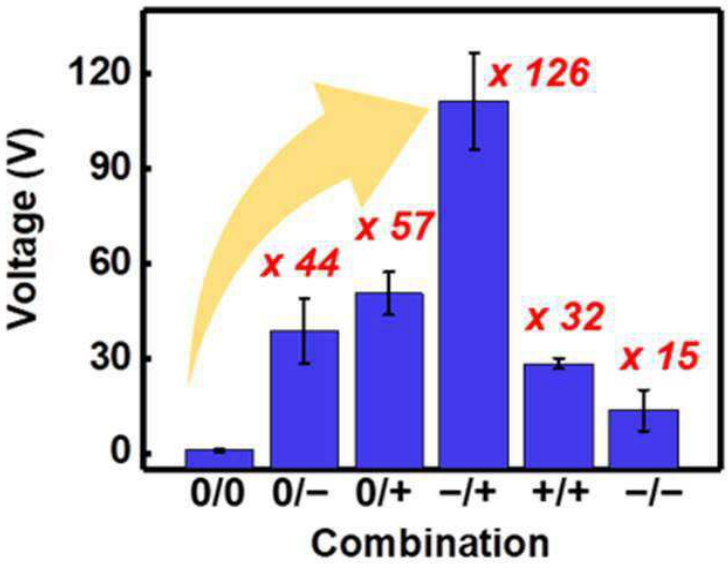
도면11a



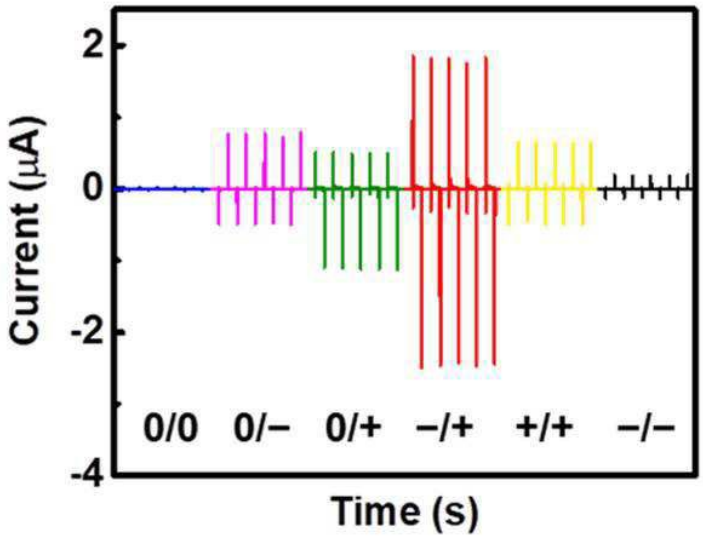
도면11b



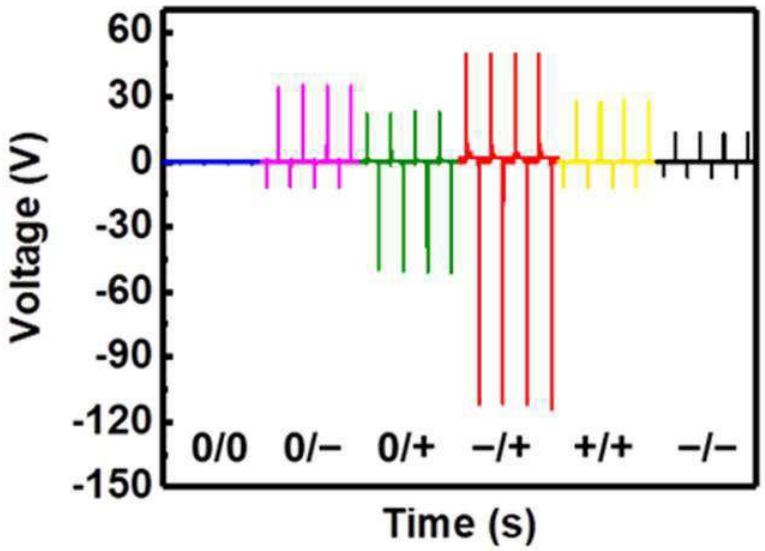
도면11c


Voltage (V)
120
90
60
30
0
x 126
x 57
x 44
x 32
x 15
0/0
0/–
0/+
–/+
+/+
–/–
Combination

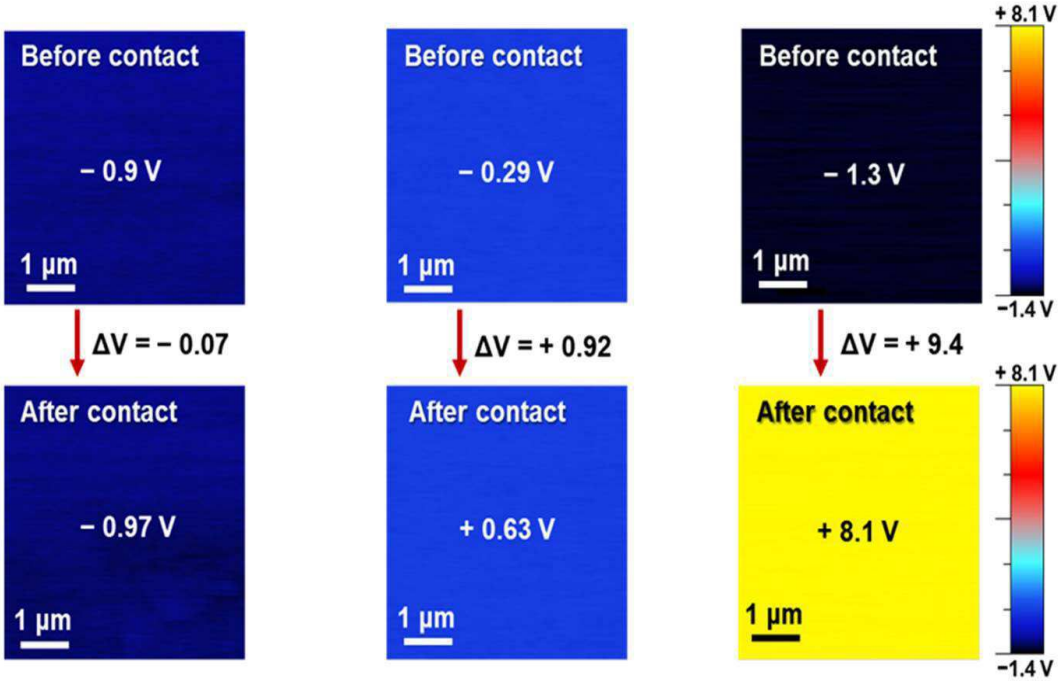
도면11d


Current (μA)
2
0
-2
-4
0/0
0/–
0/+
–/+
+/+
–/–
Time (s)

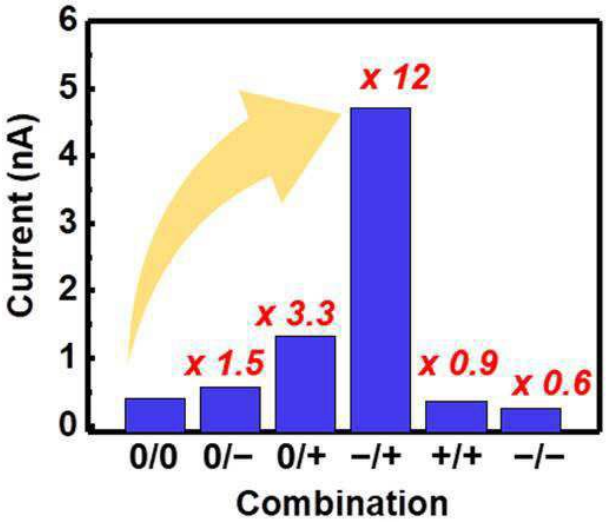
도면11e


60
30
0
-30
-60
-90
-120
-150
Voltage (V)
0/0
0/−
0/+
−/+
+/+
−/−
Time (s)

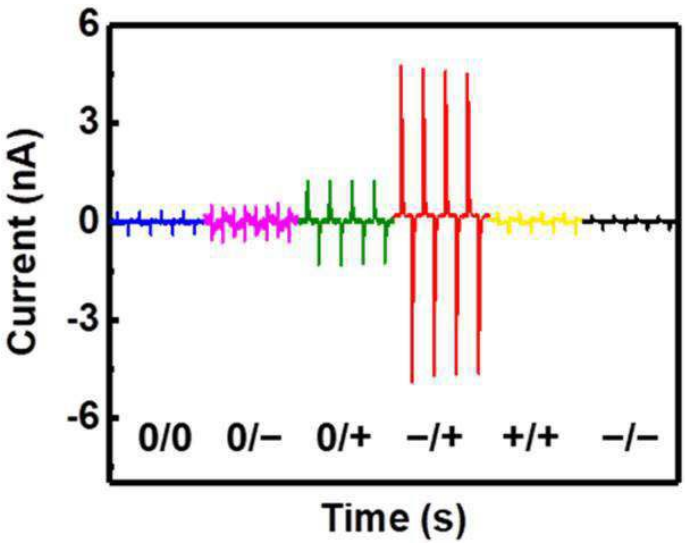
도면11f


Before contact
− 0.9 V
1 μm
ΔV = − 0.07
After contact
− 0.97 V
1 μm
Before contact
− 0.29 V
1 μm
ΔV = + 0.92
After contact
+ 0.63 V
1 μm
Before contact
− 1.3 V
1 μm
ΔV = + 9.4
After contact
+ 8.1 V
1 μm
+ 8.1 V
−1.4 V
+ 8.1 V
−1.4 V

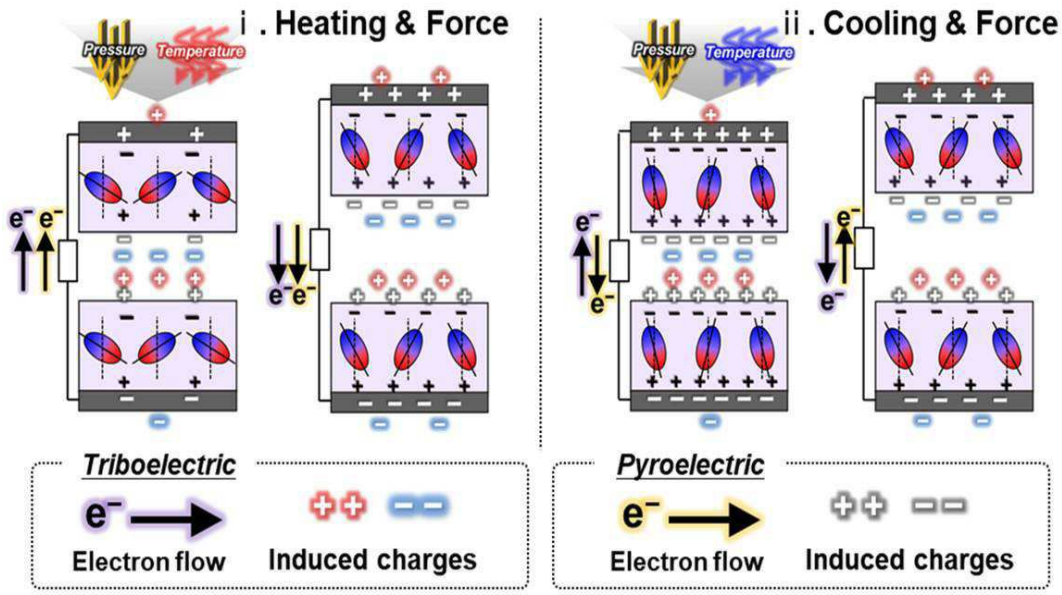
도면11g


Current (nA)
6
5
4
3
2
1
0
x 12
x 3.3
x 1.5
x 0.9
x 0.6
0/0
0/−
0/+
−/+
+/+
−/−
Combination

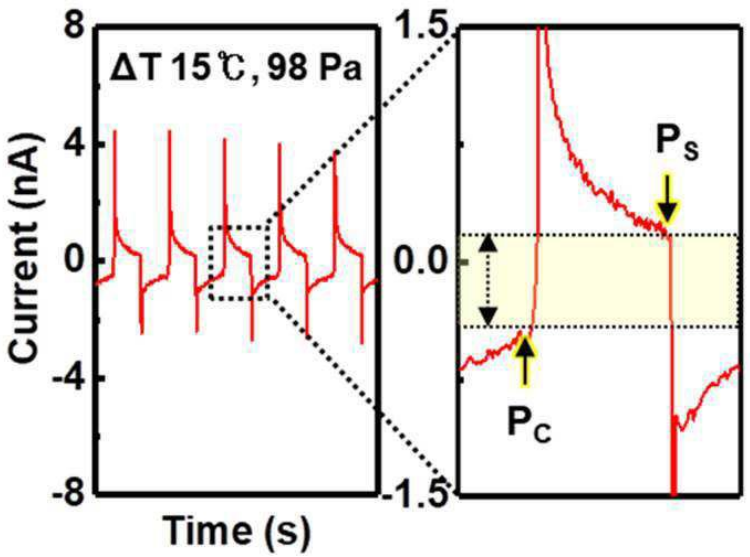
도면11h


Current (nA)
6
3
0
-3
-6
0/0
0/−
0/+
−/+
+/+
−/−
Time (s)

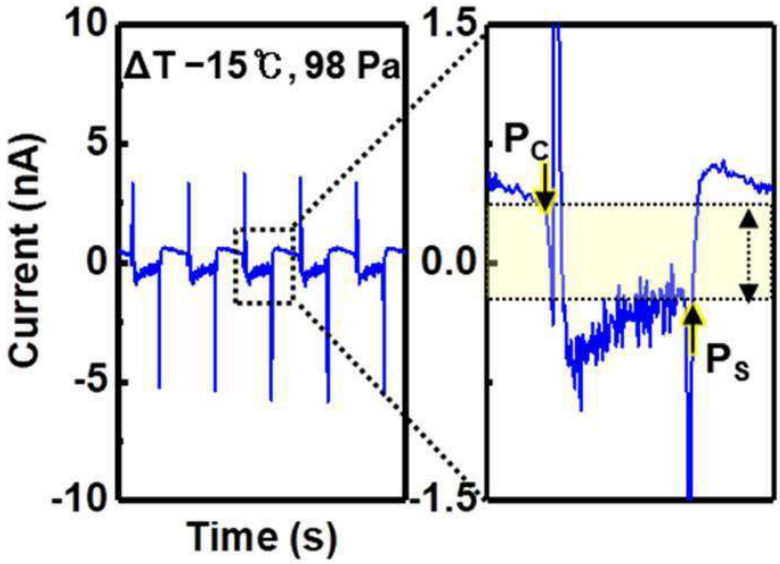
도면12a


i . Heating & Force
ii . Cooling & Force
Pressure
Temperature
Triboelectric
Pyroelectric
Electron flow
Induced charges

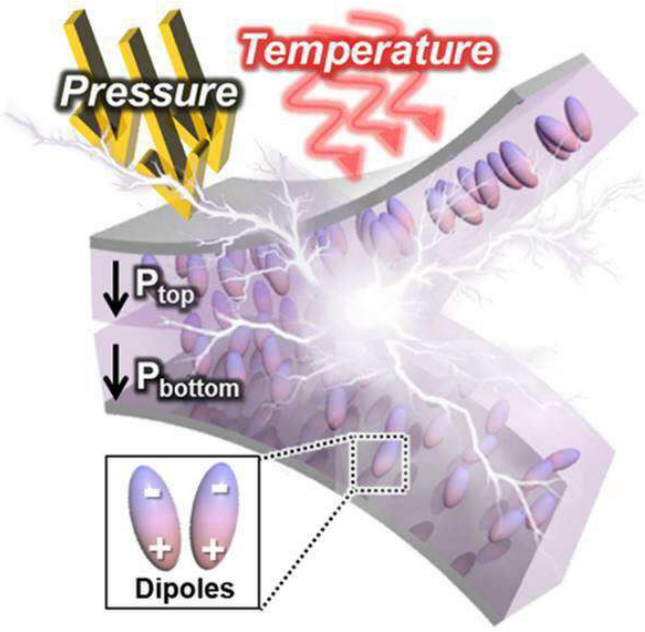
도면12b


ΔT 15℃, 98 Pa
Current (nA)
Time (s)
8
4
0
-4
-8
1.5
0.0
-1.5
Ps
Pc

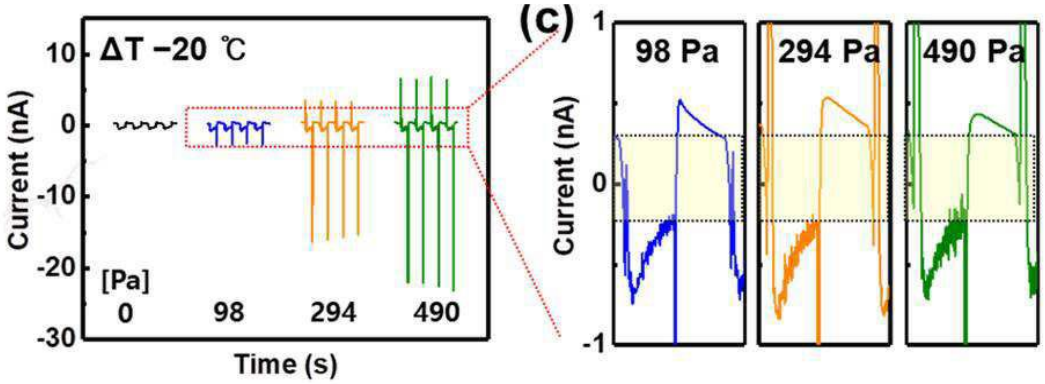
도면12c



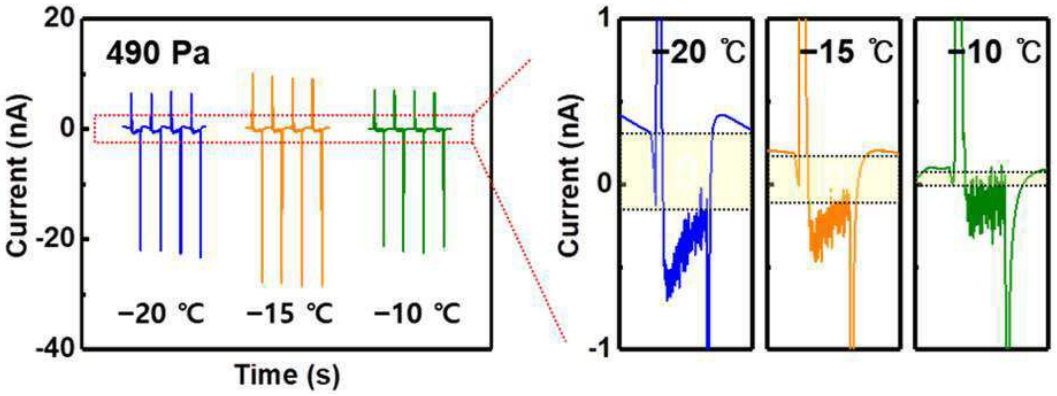
도면13a



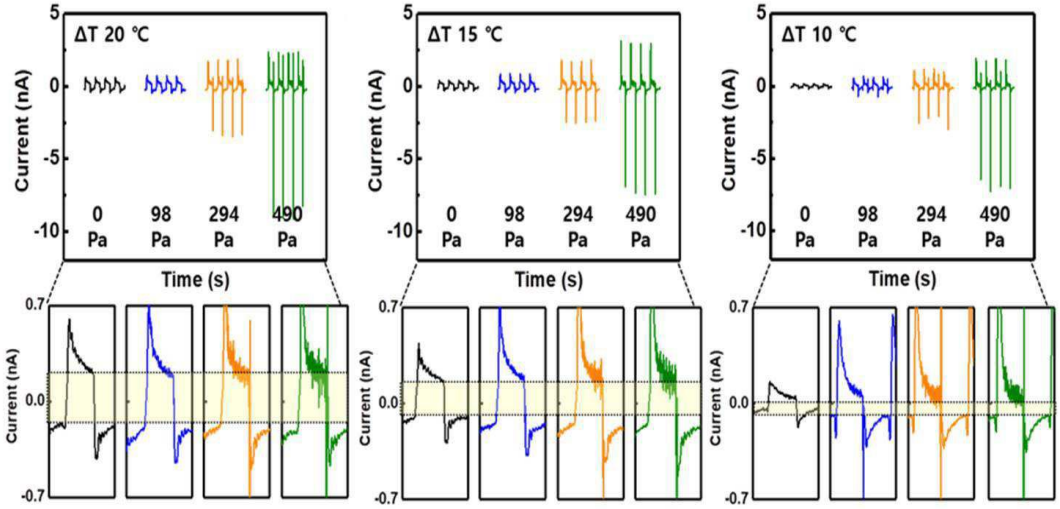
도면13b



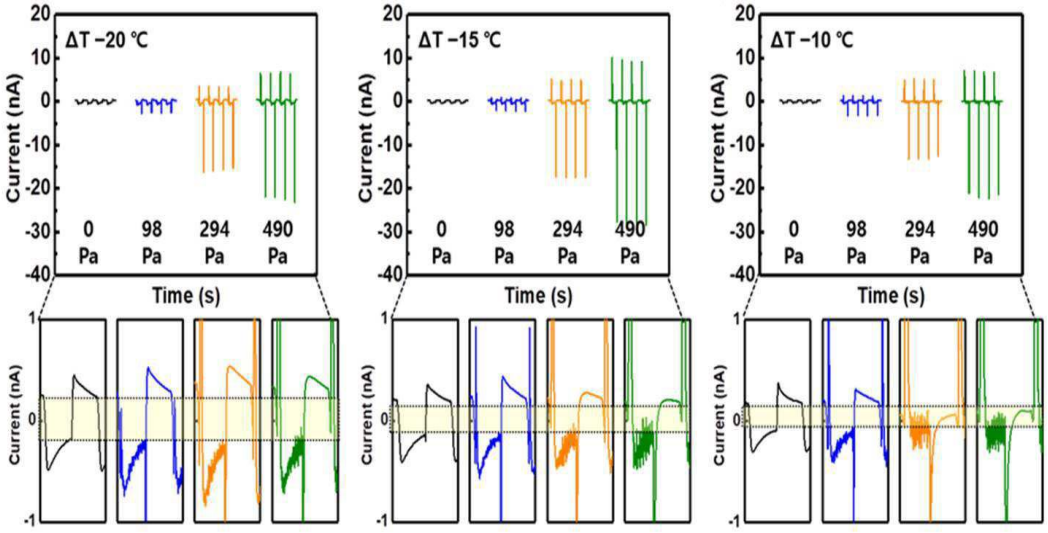
도면13c



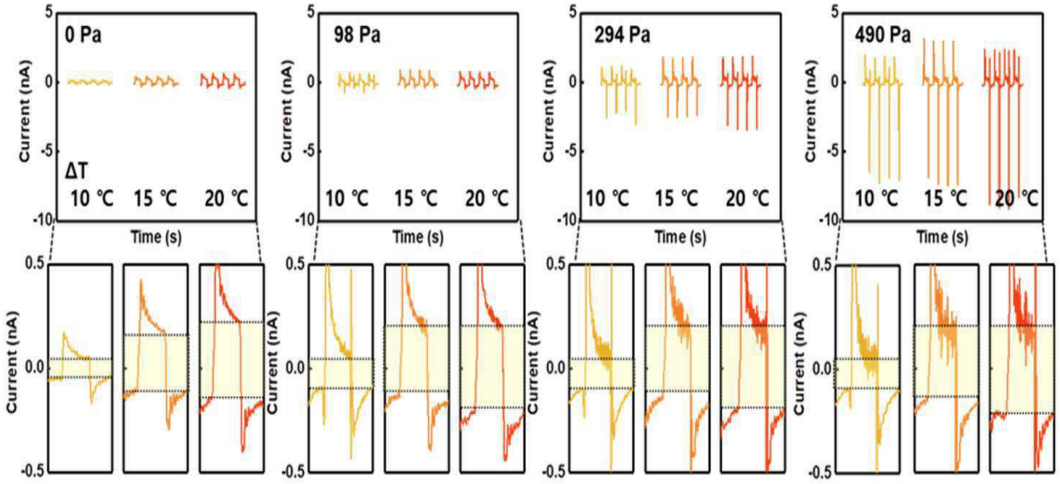
도면13d



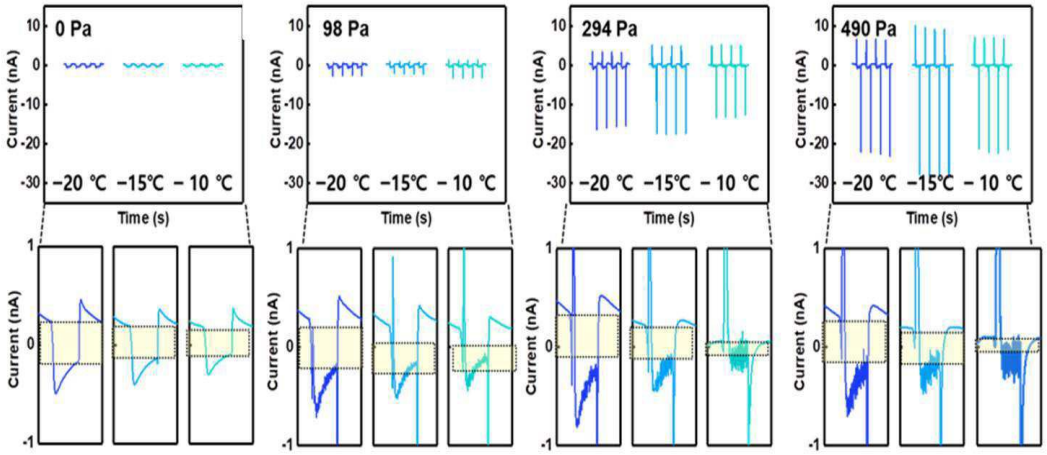
도면13e



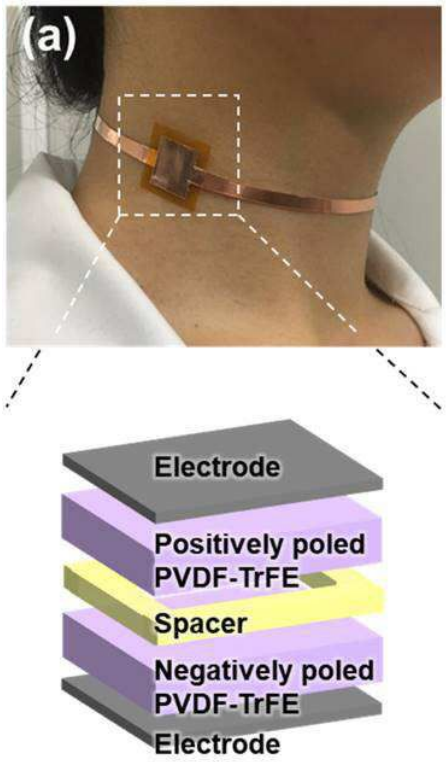
도면13f


0 Pa
98 Pa
294 Pa
490 Pa
ΔT
10 ℃ 15 ℃ 20 ℃
Current (nA)
Time (s)

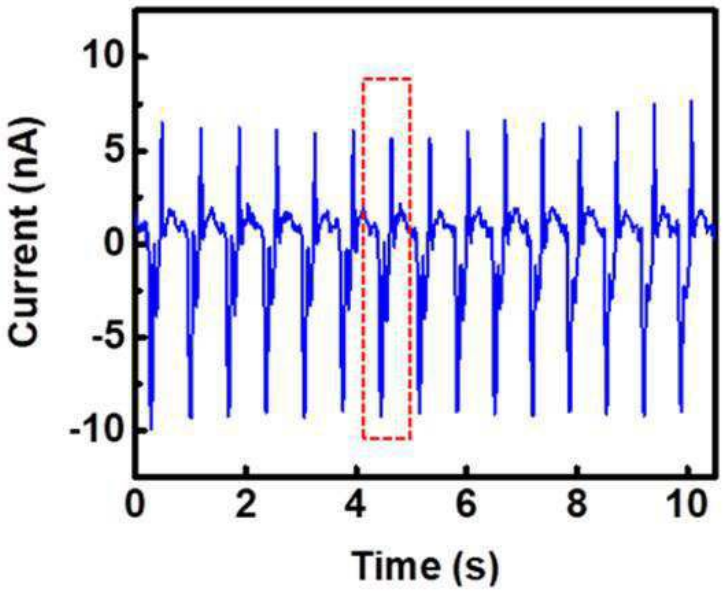
도면13g


0 Pa
98 Pa
294 Pa
490 Pa
−20 ℃ −15℃ − 10 ℃
Current (nA)
Time (s)

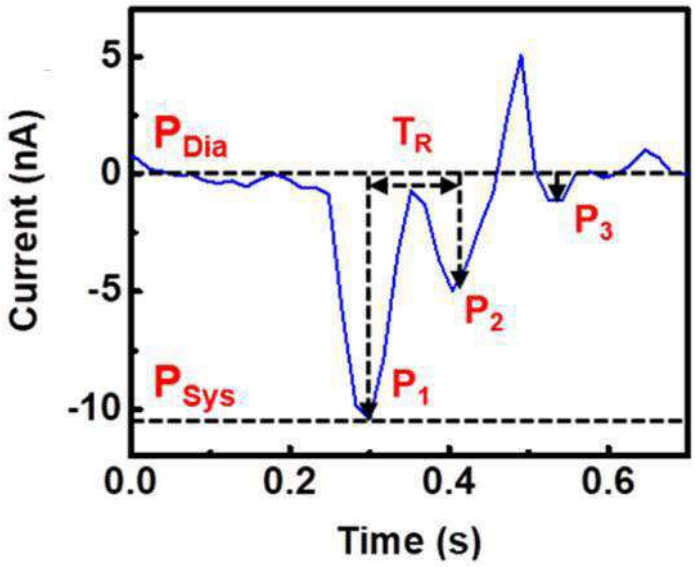
도면14a


(a)
Electrode
Positively poled
PVDF-TrFE
Spacer
Negatively poled
PVDF-TrFE
Electrode

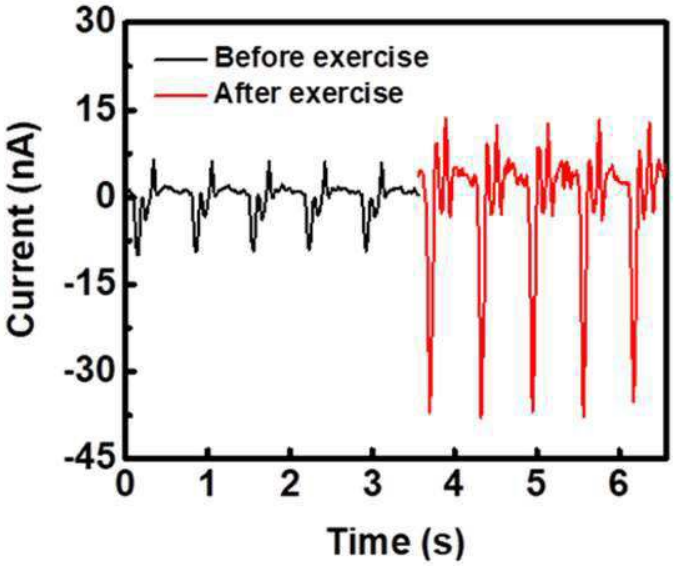
도면14b


Current (nA)
10
5
0
-5
-10
0
2
4
6
8
10
Time (s)

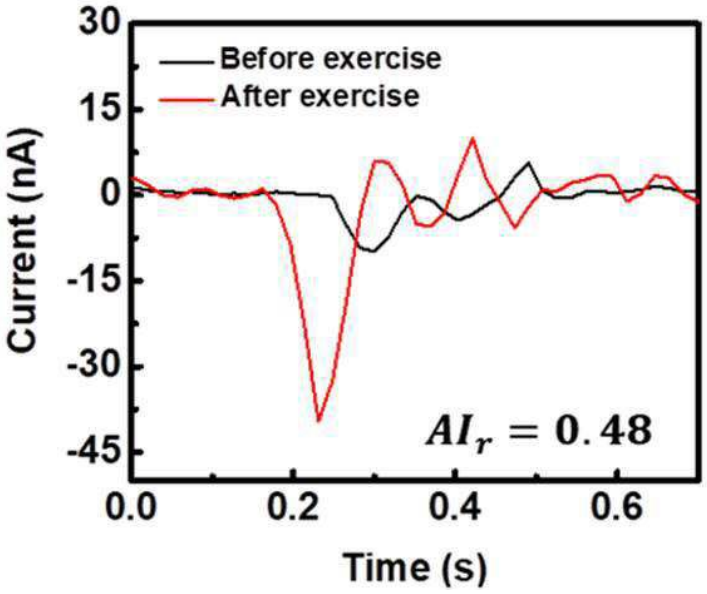
도면14c


5
0
-5
-10
Current (nA)
P Dia
T R
P 3
P 2
P Sys
P 1
0.0
0.2
0.4
0.6
Time (s)

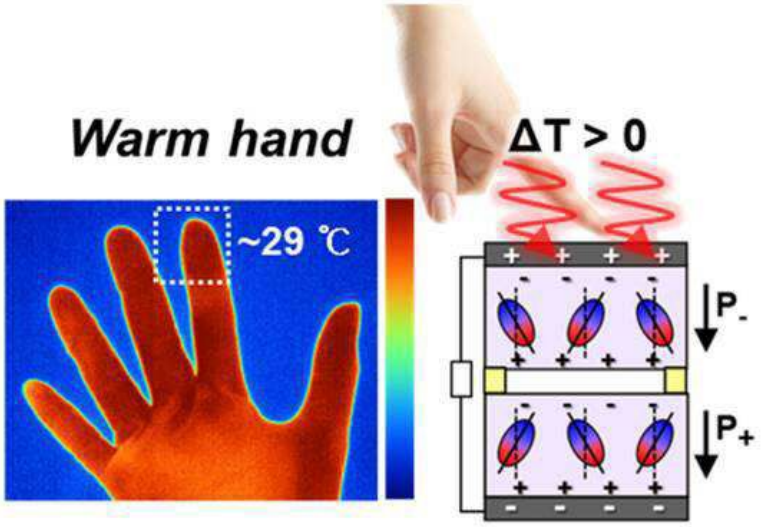
도면14d


30
15
0
-15
-30
-45
Current (nA)
Before exercise
After exercise
0
1
2
3
4
5
6
Time (s)

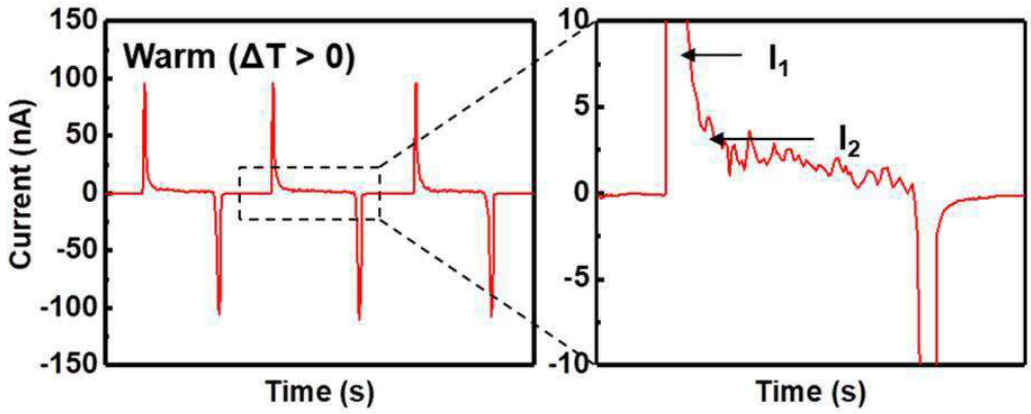
도면14e



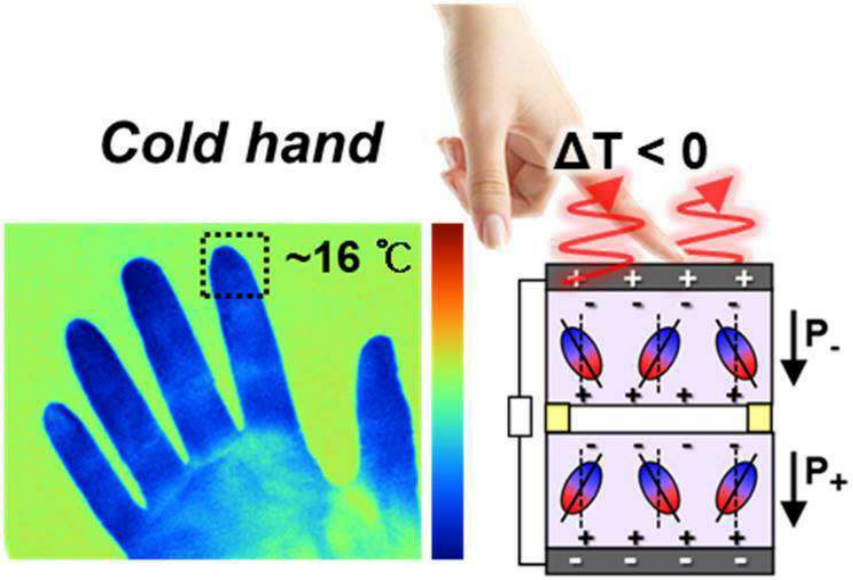
도면15a



도면15b



도면15c



도면15d

