



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2020년09월24일

(11) 등록번호 10-2159453

(24) 등록일자 2020년09월17일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G01L 1/14 (2006.01) C08L 27/16 (2006.01)

G01L 9/12 (2006.01) G06F 3/044 (2006.01)

(52) CPC특허분류

G01L 1/14 (2013.01)

C08L 27/16 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2019-0076923

(22) 출원일자 2019년06월27일

심사청구일자 2019년06월27일

(56) 선행기술조사문헌

KR1020180069990 A

KR1020180099958 A

KR1020190011431 A

KR101872143 B1

(73) 특허권자

연세대학교 산학협력단

서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)

(72) 발명자

박철민

서울특별시 서대문구 연세로 50 제2공학관 217호 (신촌동)

김강립

서울특별시 서대문구 연세로 50 첨단과학기술관 109호 (신촌동, 연세대학교)

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

김권석

전체 청구항 수 : 총 16 항

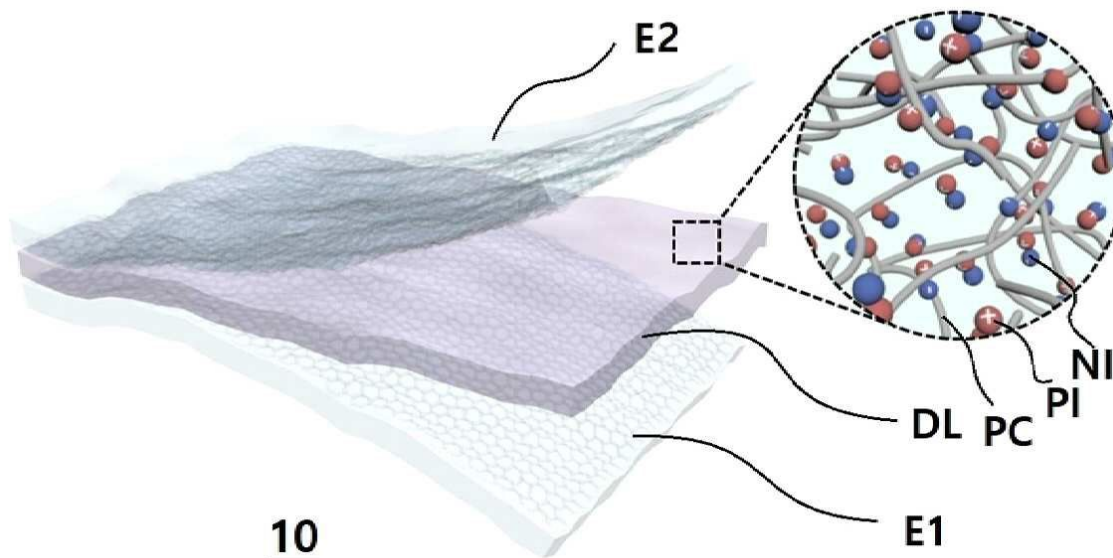
심사관 : 김병수

(54) 발명의 명칭 정전용량형 압력 센서 및 이의 제조 방법

(57) 요약

본 발명은 정전용량형 압력 센서 및 이의 제조 방법에 관한 것이다. 본 발명의 일 실시예에 따른 상기 정전용량형 압력 센서는 제 1 전극층; 상기 제 1 전극층 상에 배치되고, 결정성 고분자 및 상기 결정성 고분자 내에 함침된 이온성 액체를 포함하는 이온성 겔 층을 포함하며, 상기 이온성 겔 층의 상기 결정성 고분자의 사슬(chain)의 재결정화에 의해 제어된 표면 거칠기를 갖는 유전체층; 및 상기 유전체층 상에 배치된 제 2 전극층을 포함할 수 있다.

대표도 - 도1a



(52) CPC특허분류

G01L 9/12 (2013.01)

G06F 3/044 (2019.05)

(72) 발명자

안종현

서울특별시 서대문구 연세로 50 제3공학관 C310호
(신촌동, 연세대학교)

이재복

서울특별시 서대문구 신촌로7길 45 화현주택 404호

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2017R1A2A1A05001160

부처명 과학기술정보통신부

과제관리(전문)기관명 한국연구재단

연구사업명 중견연구자지원사업

연구과제명 (후속)사용자 상호작용 교류기반 디스플레이/센싱 소재 및
소자(3/3)(2017.3.1~2020.2.29)

기 여 율 1/2

과제수행기관명 연세대학교 산학협력단

연구기간 2019.03.01 ~ 2020.02.29

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2018M3D1A1058536

부처명 과학기술정보통신부

과제관리(전문)기관명 한국연구재단

연구사업명 원천기술개발사업

연구과제명 [Ezbaro] (총괄/3세부)인공 공감각 일렉트로닉스 플랫폼 개발 (1단계)(2/3)

기 여 율 1/2

과제수행기관명 연세대학교 산학협력단

연구기간 2019.01.16 ~ 2020.01.15

명세서

청구범위

청구항 1

제 1 전극층;

상기 제 1 전극층 상에 배치되고, 결정성 고분자 및 상기 결정성 고분자 내에 함침된 이온성 액체를 포함하는 이온성 겔 층을 포함하며, 상기 이온성 겔 층의 상기 결정성 고분자의 사슬(chain)의 재결정화에 의해 제어된 표면 거칠기를 갖는 유전체층; 및

상기 유전체층 상에 배치된 제 2 전극층을 포함하는 정전용량형 압력 센서.

청구항 2

제 1 항에 있어서

상기 정전용량형 압력 센서는,

상기 제 1 전극층 및 상기 제 2 전극층 중 어느 하나와 상기 유전체층 사이에 상기 표면 거칠기를 통해 형성된 에어 갭을 더 포함하는 정전용량형 압력 센서.

청구항 3

제 1 항에 있어서

상기 정전용량형 압력 센서는,

상기 제 1 전극층 및 상기 제 2 전극층 중 어느 하나와 상기 유전체층의 계면 사이에 형성된 전기 이중층(Electric Double Layer: EDL)을 더 포함하는 정전용량형 압력 센서.

청구항 4

제 1 항에 있어서

상기 표면 거칠기는 미소 섬유(micro-fibril) 형태의 토폴로지를 포함하는 정전용량형 압력 센서.

청구항 5

제 1 항에 있어서

상기 결정성 고분자의 사슬(chain)의 재결정화는 상기 결정성 고분자의 사슬(chain)이 상기 유전체 층의 표면 법선에 평행으로 정렬되는 것을 포함하며,

상기 결정성 고분자는 상기 사슬이 굽힘 형태에 의해 판상모형(platelet)의 결정 형태를 가지며, 상기 유전체 층의 표면 법선을 기준으로 라멜라 구조를 갖는 정전용량형 압력 센서.

청구항 6

제 1 항에 있어서

상기 표면 거칠기의 제곱 평균(root mean square: RMS)은 0.5 nm 내지 500 nm 범위를 갖는 정전용량형 압력 센서.

청구항 7

제 1 항에 있어서

상기 결정성 고분자 내에 함침된 이온성 액체의 함량은 0 중량% 초과 60 중량% 이하 범위를 갖는 정전용량형 압력 센서.

청구항 8

제 1 항에 있어서

상기 결정성 고분자는 PVDF, P(VDF-TrFE), P(VDF-CTFE), P(VDF-CFE), P(VDF-HFP), P(VDF-TrFE-CTFE), P(VDF-TrFE-CFE) 및 P(VDF-TrFE-HFP)를 포함하는 PVDF 기재 공중합체인 정전용량형 압력 센서.

청구항 9

제 1 항에 있어서

상기 이온성 액체는 EMI-TFSA, BMIM TFSI, OMIM TFSI, EMIM TFSI, EMIM-BF₄, EMIM-TCB, BMIM-TFSI, EMIM-SO₄, BMIM-BF₄, DMIM-BF₄, DMIM-TFSI 중 적어도 하나를 포함하는 정전용량형 압력 센서.

청구항 10

제 1 항에 있어서

상기 제 1 전극층 및 상기 제 2 전극층 중 적어도 하나는 고분자 기판 상에 형성되고,

상기 제 1 전극층 및 상기 제 2 전극층 중 적어도 하나는 상기 고분자 기판 상에 라인 패턴화된 제 1 및 제2 그래핀 층을 포함하며,

상기 정전용량형 압력 센서는 상기 라인 패턴화된 제 1 그래핀 층과 상기 라인 패턴화된 제 2 그래핀 층사이의 복수의 교차점들에 각각 정의되는 커패시터 셀들의 배열을 갖는 정전용량형 압력 센서.

청구항 11

제 1 전극층을 형성하는 단계;

상기 제 1 전극층 상에, 상기 제 1 전극층 상에 배치되고, 결정성 고분자 및 상기 결정성 고분자 내에 함침된 이온성 액체를 포함하는 이온성 겔 층을 포함하며, 상기 이온성 겔 층의 상기 결정성 고분자의 사슬(chain)의 재결정화에 의해 제어된 표면 거칠기를 갖는 유전체층을 형성하는 단계; 및

상기 유전체층 상에 제 2 전극층을 형성하는 단계를 포함하는 정전용량형 압력 센서의 제조 방법.

청구항 12

제 11 항에 있어서,

상기 유전체층을 형성하는 단계는,

상기 결정성 고분자와 상기 이온성 액체를 준비하는 단계;

상기 결정성 고분자와 상기 이온성 액체를 혼합하여 이온성 혼합 용액을 형성하는 단계;

상기 이온성 혼합 용액을 제 1 전극층에 코팅하여, 이온성 겔 층을 형성하는 단계; 및

상기 이온성 겔 층을 열처리하여, 상기 결정성 고분자의 사슬을 재결정화시키는 단계를 포함하는 정전용량형 압력 센서의 제조 방법.

청구항 13

제 12 항에 있어서,

상기 열처리의 온도는 상기 결정성 고분자의 용융 온도보다 높은 정전용량형 압력 센서의 제조 방법.

청구항 14

제 12 항에 있어서,

상기 이온성 겔 층의 냉각 속도를 조절하는 단계를 더 포함하는 정전용량형 압력 센서의 제조 방법.

청구항 15

제 14 항에 있어서,

상기 냉각 속도는 5.0 ℃/분 내지 0.1 ℃/분 범위를 갖는 정전용량형 압력 센서의 제조 방법.

청구항 16

제 11 항에 있어서,

상기 제 1 전극층 및 상기 제 2 전극층 중 적어도 하나는 고분자 기판 상에 형성되고,

상기 제 1 전극층 및 상기 제 2 전극층 중 적어도 하나는 상기 고분자 기판 상에 라인 패턴화된 제 1 및 제2 그레핀 층을 포함하며,

상기 정전용량형 압력 센서는 상기 라인 패턴화된 제 1 그레핀 층과 상기 라인 패턴화된 제 2 그레핀 층사이의 복수의 교차점들에 각각 정의되는 커패시터 셀들의 배열을 갖는 정전용량형 압력 센서의 제조 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 센서 기술에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 정전용량형 압력 센서 및 이의 제조 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0003] 압력 센서는 소프트 로봇, 인공 전자 스킨(e-스킨), 헬스 모니터링 및 모바일 디스플레이를 포함하는 많은 웨어러블 전자 장치에 잠재적으로 응용 가능하기 때문에 최근에 활발히 연구되고 있다. 상기 압력 센서는, 특히 웨어러블 및/또는 온 바디(on-body) 전자 기기에 적용하기 위해서, 압력 감도 및 신뢰성뿐만 아니라 광학적 투명성 및 기계적 유연성을 확보하는 것이 중요하다.

[0004] 상기 압력 센서는 일반적으로 압전기식, 압전저항식 및 정전용량식 감지 방식으로 분류될 수 있다. 이들 중 상기 정전용량식 감지 방식의 압력 센서는 압력 전후의 유전체 필름의 압력에 민감한 정전 용량 변화를 기반으로 하는 것이어서, 빠른 응답 시간, 저전력 동작 및 단순한 디바이스 아키텍처라는 장점으로, 콤팩트한 회로 레이아웃을 구현할 수 있어 다른 방식들에 비하여 유리하다.

[0005] 일반적으로 탄성중합체 기반의 유전체는 센서의 감도를 더욱 향상시키기 위해 다양한 마이크로 스케일의 표면 주름진(corrugated) 아키텍처와 결합될 수 있다. 이러한 표면 주름진 아키텍처의 기반 기술은 서스펜션 구조(suspended structure)를 갖는 합성 탄성중합체 발포체, 얇은 다공성 필름, 탄성중합체/SiO₂ 나노입자 복합 유전체층, 거친 종이 표면에 코팅된 탄성중합체 그리고 위상적으로(topologically) 미세 구조화된 표면을 갖는 탄성중합체로 구성된다. 그러나, 이와 같은 방식에 의해서는, 상기 탄성중합체 자체의 낮은 유전상수로 인하여, 정전용량의 변화량이 적어 저압 영역에서의 감도가 낮은 문제점이 있다.

[선행기술문헌]

[특허문헌]

(특허문헌 0001) 한국특허 공개번호 제10-2019-0059252호 " 압력센서용 유전체 및 그 제조방법과 정전용량형 압력센서"(공개일자: 2019.05.30.)

(특허문헌 0002) 한국특허 등록번호 제10-1215919호 " 정전용량형 압력센서 및 그의 제조방법"(공고일자: 2012.12.27.)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 따라서, 본 발명이 해결하고자 하는 기술적 과제는, 투명성과 유연성이 뛰어날뿐만 아니라 수 Pa부터 수십 kPa까지의 광범위한 외부 압력에 대하여 우수한 감도를 가지며, 낮은 구동 전압을 갖는 정전용량형 압력 센서를 제

공하는 것이다.

[0008] 또한, 본 발명이 해결하고자 하는 다른 기술적 과제는, 저비용으로 제조 공정이 간단한 고감도의 투명하고 유연한 정전용량형 압력 센서의 제조 방법을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0010] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 제 1 전극층; 상기 제 1 전극층 상에 배치되고, 결정성 고분자 및 상기 결정성 고분자 내에 함침된 이온성 액체를 포함하는 이온성 겔 층을 포함하며, 상기 이온성 겔 층의 상기 결정성 고분자의 사슬(chain)의 재결정화에 의해 제어된 표면 거칠기를 갖는 유전체층; 및 상기 유전체층 상에 배치된 제 2 전극층을 포함하는 정전용량형 압력 센서가 제공될 수 있다.

[0011] 상기 정전용량형 압력 센서는, 상기 제 1 전극층 및 상기 제 2 전극층 중 어느 하나와 상기 유전체층 사이에 상기 표면 거칠기를 통해 형성된 에어 갭을 더 포함할 수 있다. 상기 정전용량형 압력 센서는, 상기 제 1 전극층 및 상기 제 2 전극층 중 어느 하나와 상기 유전체층의 계면 사이에 형성된 전기 이중층 Electric Double Layer: EDL을 더 포함할 수 있다. 상기 표면 거칠기는 미소 섬유(micro-fibril) 형태의 토폴로지를 포함할 수 있다. 상기 결정성 고분자의 사슬(chain)의 재결정화는 상기 결정성 고분자의 사슬(chain)이 상기 유전체 층의 표면 법선에 평행으로 정렬되는 것을 포함하며, 상기 결정성 고분자는 상기 사슬이 굽힘 형태에 의해 판상모형(platelet)의 결정 형태를 가지며, 상기 유전체 층의 표면 법선을 기준으로 라멜라 구조를 가질 수 있다. 상기 표면 거칠기의 제곱 평균(root mean square: RMS)은 0.5 nm 내지 500 nm 범위를 가질 수 있다. 상기 결정성 고분자 내에 함침된 이온성 액체의 함량은 0 중량% 초과 60 중량% 이하 범위를 가질 수 있다. 상기 결정성 고분자는 PVDF, P(VDF-TrFE), P(VDF-CTFE), P(VDF-CFE), P(VDF-HFP), P(VDF-TrFE-CTFE), P(VDF-TrFE-CFE) 및 P(VDF-TrFE-HFP)를 포함하는 PVDF 기재 공중합체일 수 있다. 상기 이온성 액체는 EMI-TFSA, BMIM TFSI, OMIM TFSI, EMIM TFSI, EMIM-BF₄, EMIM-TCB, BMIM-TFSI, EMIM-SO₄, BMIM-BF₄, DMIM-BF₄, DMIM-TFSI 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.

[0012] 일 실시예에서, 상기 제 1 전극층 및 상기 제 2 전극층 중 적어도 하나는 고분자 기판 상에 형성되고, 상기 제 1 전극층 및 상기 제 2 전극층 중 적어도 하나는 상기 고분자 기판 상에 라인 패턴화된 제 1 및 제2 그래핀 층을 포함하며, 상기 정전용량형 압력 센서는 상기 라인 패턴화된 제 1 그래핀 층과 상기 라인 패턴화된 제 2 그래핀 층사이의 복수의 교차점들에 각각 정의되는 커패시터 셀들의 배열을 가질 수 있다.

[0013] 본 발명의 다른 실시예에 따르면, 제 1 전극층을 형성하는 단계; 상기 제 1 전극층 상에, 상기 제 1 전극층 상에 배치되고, 결정성 고분자 및 상기 결정성 고분자 내에 함침된 이온성 액체를 포함하는 이온성 겔 층을 포함하며, 상기 이온성 겔 층의 상기 결정성 고분자의 사슬(chain)의 재결정화에 의해 제어된 표면 거칠기를 갖는 유전체층을 형성하는 단계; 및 상기 유전체층 상에 제 2 전극층을 형성하는 단계를 포함하는 정전용량형 압력 센서의 제조 방법이 제공될 수 있다.

[0014] 일 실시예에서, 상기 유전체층을 형성하는 단계는, 상기 결정성 고분자와 상기 이온성 액체를 준비하는 단계; 상기 결정성 고분자와 상기 이온성 액체를 혼합하여 이온성 혼합 용액을 형성하는 단계; 상기 이온성 혼합 용액을 제 1 전극층에 코팅하여, 이온성 겔 층을 형성하는 단계; 및 상기 이온성 겔 층을 열처리하여, 상기 결정성 고분자의 사슬을 재결정화시키는 단계를 포함할 수 있다. 상기 열처리의 온도는 상기 결정성 고분자의 용융 온도보다 높을 수 있다. 상기 열처리 단계 후 상기 이온성 겔 층의 냉각 속도를 조절하는 단계를 더 포함할 수 있다. 상기 냉각 속도는 5.0 °C/분 내지 0.1 °C/분 범위를 가질 수 있다. 상기 제 1 전극층 및 상기 제 2 전극층 중 적어도 하나는 고분자 기판 상에 형성되고, 상기 제 1 전극층 및 상기 제 2 전극층 중 적어도 하나는 상기 고분자 기판 상에 라인 패턴화된 제 1 및 제2 그래핀 층을 포함하며, 상기 정전용량형 압력 센서는 상기 라인 패턴화된 제 1 그래핀 층과 상기 라인 패턴화된 제 2 그래핀 층사이의 복수의 교차점들에 각각 정의되는 커패시터 셀들의 배열을 가질 수 있다.

발명의 효과

[0016] 본 발명의 실시예에 따르면, 결정성 고분자 및 상기 결정성 고분자 내에 함침된 이온성 액체를 포함하는 이온성 겔 층을 포함하며, 상기 이온성 겔 층의 상기 결정성 고분자의 사슬(chain)의 재결정화에 의해 제어된 표면 거칠기를 갖는 유전체층을 이용함으로써, 수 Pa부터 수십 kPa까지의 광범위의 외부 압력에 대하여 민감도가 뛰어나며, 낮은 구동 전압을 갖는 유연한 정전용량형 압력 센서를 제공할 수 있다.

[0017] 또한, 몰드를 사용하지 않고(mold free), 열처리 및 냉각 속도를 제어하여, 결정성 고분자의 재결정화를 수행함

으로써, 저비용으로 간단하게 정전용량형 압력 센서의 제조 방법을 제공할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0019]

도 1a는 본 발명의 일 실시예에 따른 정전용량형 압력 센서를 도시한 분해 사시도이며, 도 1b는 정전용량형 압력 센서의 단면도이고, 도 1c는 본 발명의 일 실시예에 따른 정전용량형 압력 센서의 라멜라 구조를 갖는 유전체층의 사시도이다.

도 2a는 본 발명의 일 실시예에 따른 정전용량형 압력 센서의 제조 방법을 설명하기 위한 도면이고, 도 2b는 본 발명의 일 실시예에 따른 정전용량형 압력 센서의 투명성 및 유연성을 보여주는 이미지이고, 도 2c는 본 발명의 일 실시예에 따른 정전용량형 압력 센서의 투명율을 보여주는 그래프이다.

도 3a 내지 도 3c는 본 발명의 일 실시예에 따른 열처리 온도에 따른 정전용량형 압력 센서의 유전체층의 고분자 결정을 설명하기 위한 도면이고, 도 3d 내지 도 3f는 도 3a 내지 도 3c의 유전체층의 2 차원 그레이징 입사 X-선 회절(GIXD) 패턴을 보여주는 도면이다.

도 4a 내지 도 4c 그리고 도 4e 내지 도 4g는 본 발명의 일 실시예에 따른 열처리 온도에 따른 정전용량형 압력 센서의 유전체층의 AFM(atomic force microscopy) 이미지이고, 도 4d는 본 발명의 일 실시예에 따른 열처리 온도에 따른 정전용량형 압력 센서의 유전체층의 SEM(scanning electron microscopy) 이미지이다.

도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 열처리 온도 및 냉각 속도에 따른 정전용량형 압력 센서의 제곱 평균(root mean square: RMS) 거칠기를 나타내는 그래프이다.

도 6a는 본 발명의 일 실시예에 따른 압력 감지 시스템의 개략도이고, 도 6b는 이온성 액체의 함유량에 따른 커패시턴스의 변화를 나타내는 그래프이고, 도 6c는 냉각 속도에 따른 커패시턴스의 변화를 나타내는 그래프이고, 도 6d는 냉각 속도에 따른 정전용량형 압력 센서의 민감도를 나타내는 그래프이고, 도 6e는 500Hz에서의 압력 부하의 변화에 따른 커패시턴스의 변화를 나타내는 그래프이고, 도 6f는 100 kHz에서 측정된 특정 압력에 따른 변화율이며 커패시턴스 값의 시간 변화를 나타내는 그래프이며, 도 6g는 압력 로딩과 언로딩의 반복 횟수에 따른 정전용량형 압력 센서의 커패시턴스의 변화를 나타내는 그래프이다.

도 7a는 알루미늄 펜릿에 의한 정전용량형 압력 센서의 커패시턴스의 변화를 나타내는 그래프이고, 도 7b는 소프트 손가락 터치에 의한 정전용량형 압력 센서의 커패시턴스의 변화를 나타내는 그래프이고, 도 7c는 손가락 움직임에 의한 정전용량형 압력 센서의 커패시턴스의 변화를 나타내는 그래프이며, 도 7c는 굽힘 반복에 따른 정전용량형 압력 센서의 커패시턴스의 변화를 나타내는 그래프이다.

도 8a는 12 x 12 압력 센서 매트릭스의 개략도이고, 도 8b는 패턴화된 그래 핀과 유전체층으로 제작된 압력 센서 어레이의 이미지 사진이고, 도 8c는 12 x 12 압력 센서 매트릭스의 등가 회로를 보여주는 도면이고, 도 8d는 멀티 터치로 커패시턴스 변화의 크기를 보여주는 그래프이다.

도 9a는 본 발명의 일 실시예에 따른 열처리 온도에 따른 정전용량형 압력 센서의 유전체층의 AFM(atomic force microscopy) 높이 프로파일이고, 도 9b는 열처리 온도에 따른 정전용량형 압력 센서의 유전체층의 AFM(atomic force microscopy) 3D 높이 이미지이고, 도 9c는 열처리 온도에 따른 정전용량형 압력 센서의 유전체층의 표면 거칠기의 높이 차를 보여주는 그래프이다.

도 10a 내지 도 10c는 압력 로딩과 압력 언로딩에 따른 정전용량형 압력 센서의 커패시턴스의 변화를 나타내는 그래프이다.

도 11a는 무부하 압력에서 따른 주파수 변화에 따른 정전용량형 압력 센서의 커패시턴스의 변화를 나타내는 그래프이고, 도 11b는 금속 전극이 증착되어 에어 갭이 존재하지 않은 상태에서 주파수 변화에 따른 정전용량형 압력 센서의 커패시턴스의 변화를 나타내는 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0020]

이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예를 상세히 설명하기로 한다.

[0021]

본 발명의 실시예들은 당해 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 본 발명을 더욱 완전하게 설명하기 위하여 제공되는 것이며, 하기 실시예는 여러 가지 다른 형태로 변형될 수 있으며, 본 발명의 범위가 하기 실시예에 한정되는 것은 아니다. 오히려, 이들 실시예는 본 개시를 더욱 충실하고 완전하게 하고, 당업자에게 본 발명의

사상을 완전하게 전달하기 위하여 제공되는 것이다.

- [0022] 도면에서 동일 부호는 동일한 요소를 지칭한다. 또한, 본 명세서에서 사용된 바와 같이, 용어 "및/또는"은 해당 열거된 항목 중 어느 하나 및 하나 이상의 모든 조합을 포함한다.
- [0023] 본 명세서에서 사용된 용어는 실시예를 설명하기 위하여 사용되며, 본 발명의 범위를 제한하기 위한 것이 아니다. 또한, 본 명세서에서 단수로 기재되어 있다 하더라도, 문맥상 단수를 분명히 지적하는 것이 아니라면, 복수의 형태를 포함할 수 있다. 또한, 본 명세서에서 사용되는 "포함한다(comprise)" 및/또는 "포함하는(comprising)"이란 용어는 언급한 형상들, 숫자, 단계, 동작, 부재, 요소 및/또는 이들 그룹의 존재를 특정하는 것이며, 다른 형상, 숫자, 동작, 부재, 요소 및/또는 그룹들의 존재 또는 부가를 배제하는 것이 아니다.
- [0024] 본 명세서에서 기관 또는 다른 층 "상에(on)" 형성된 층에 대한 언급은 상기 기관 또는 다른 층의 바로 위에 형성된 층을 지칭하거나, 상기 기관 또는 다른 층 상에 형성된 중간 층 또는 중간 층들 상에 형성된 층을 지칭할 수도 있다. 또한, 당해 기술 분야에서 숙련된 자들에게 있어서, 다른 형상에 "인접하여(adjacent)" 배치된 구조 또는 형상은 상기 인접하는 형상에 중첩되거나 하부에 배치되는 부분을 가질 수도 있다.
- [0025] 본 명세서에서, "아래로(below)", "위로(above)", "상부의(upper)", "하부의(lower)", "수평의(horizontal)" 또는 "수직의(vertical)"와 같은 상대적 용어들은, 도면들 상에 도시된 바와 같이, 일 구성 부재, 층 또는 영역들이 다른 구성 부재, 층 또는 영역과 갖는 관계를 기술하기 위하여 사용될 수 있다. 이들 용어들은 도면들에 표시된 방향뿐만 아니라 소자의 다른 방향들도 포괄하는 것임을 이해하여야 한다.
- [0026] 이하에서, 본 발명의 실시예들은 본 발명의 이상적인 실시예들(및 중간 구조들)을 개략적으로 도시하는 단면도들을 참조하여 설명될 것이다. 이들 도면들에 있어서, 예를 들면, 부재들의 크기와 형상은 설명의 편의와 명확성을 위하여 과장될 수 있으며, 실제 구현 시, 도시된 형상의 변형들이 예상될 수 있다. 따라서, 본 발명의 실시예는 본 명세서에 도시된 영역의 특정 형상에 제한된 것으로 해석되어서는 아니 된다. 또한, 도면의 부재들의 참조 부호는 도면 전체에 걸쳐 동일한 부재를 지칭한다.
- [0027] 도 1a는 본 발명의 일 실시예에 따른 정전용량형 압력 센서(10)를 도시한 분해 사시도이며, 도 1b는 정전용량형 압력 센서의 단면도이고, 도 1c는 본 발명의 일 실시예에 따른 정전용량형 압력 센서의 라벨라 구조를 갖는 유전체층(DL)의 사시도이다.
- [0028] 도 1a와 도 1b를 참조하면, 정전용량형 압력 센서(10)는 제 1 전극층(E1), 제 1 전극층(E1) 상에 배치되고, 결정성 고분자 및 상기 결정성 고분자 내에 함침된 이온성 액체(PI, NI)를 포함하는 이온성 겔 층을 포함하며, 상기 이온성 겔 층의 상기 결정성 고분자의 사슬(PC)의 재결정화에 의해 제어된 표면 거칠기를 갖는 유전체층(DL) 및 유전체층(DL) 상에 배치된 제 2 전극층(E2)을 포함할 수 있다. 정전용량형 압력 센서(10)는 제 1 전극층(E1)과 유전체층(DL) 사이에 상기 표면 거칠기를 통해 형성된 에어 갭(GA)을 포함할 수 있다. 에어 갭(GA)을 제 1 전극층(E1)과 유전체층(DL) 사이에 형성함으로써 상기 결정성 고분자의 점탄성 특성을 개선하고 스트레인 변화량을 크게 할 수 있다. 도시하지 않았지만, 선택적으로, 제 2 전극층(E2)과 유전체층(DL) 사이에 상기 표면 거칠기를 통해 형성된 에어 갭(GA)을 포함할 수 있다. 상기 이온성 액체는 상기 결정성 고분자의 기공 사이에 분산되어, 유전체층(DL) 내부에 트랩됨으로써, 유전체층(DL)이 안정된 이온성 겔 타입을 가질 수 있다. 일 실시예에서, 상기 결정성 고분자는 결정성 영역과 비정질 영역을 포함하며, 상기 이온성 액체는 상기 결정성 고분자의 비정질 영역에 배치될 수 있다.
- [0029] 일 실시예에서, 정전용량형 압력 센서(10)는 제 1 전극층(E1)과 유전체층(DL)의 계면과 제 2 전극층(E2)과 유전체층(DL)의 계면 사이에 형성된 전기 이중층(Electric Double Layer: EDL)을 포함할 수 있다. 상기 전기 이중층은 유전체층(DL)의 제 1 면과 인접하는 제 1 전극층(E1)의 제 1 면의 전체 또는 일부 영역 그리고 유전체층(DL)의 제 2 면과 인접하는 제 2 전극층(E1)의 제 2 면의 전체 또는 일부 영역에 걸쳐서 형성될 수 있다. 구체적으로 제 1 전극층(E1)과 유전체층(DL)의 계면 사이 양이온(positive ion)이 형성되고 제 2 전극층(E2)과 유전체층(DL)의 계면 사이 음이온(negative ion)이 형성되거나, 제 1 전극층(E1)과 유전체층(DL)의 계면 사이 음이온이 형성되고 제 2 전극층(E2)과 유전체층(DL)의 계면 사이 양이온이 형성될 수 있다. 상기 전기 이중층은 센서 소자에 전압이 인가될 때, 제 1 전극층(E1)과 유전체층(DL)의 계면 사이에 형성되며, 형성된 상기 전기 이중층은 인가되는 압력 비례하여 상기 전기 이중층의 접합면적은 커질 수 있다. 반면, 센서 소자에 압력이 인가해지더라도, 전압이 인가되지 않으면 상기 전기 이중층은 형성되지 않고 이온성 액체의 양이온/음이온은 랜덤하게 존재할 수 있다.
- [0030] 상기 전기 이중층(EDL)에서 비휘발성 양이온(PI) 및 전하가 비편재된(charge-delocalized) 음이온(NI)을 갖는

이온성 액체의 사용으로, 고유전 상수 및 물리화학적 안정성을 갖는 압력 민감도를 향상시킬 수 있다.

- [0031] 본 발명의 일 실시예에서, 상기 표면 거칠기는 미소 섬유(micro-fibril) 형태의 토폴로지를 포함할 수 있다. 상기 미소 섬유 형태의 토폴로지는 후술할 정전용량형 압력 센서(10)의 제조 방법에서 상기 이온성 겔 층의 열처리 온도 및 냉각 속도를 제어함으로써 형성될 수 있다. 상기 표면 거칠기의 제곱 평균(root mean square: RMS)은 0.5 nm 내지 500 nm 범위를 갖는다. 상기 표면 거칠기의 제곱 평균이 0.5 nm 이하인 경우, 인가된 압력을 제거할 경우 정전용량형 압력 센서(10)의 커패시턴스의 낮은 초기 상태로 복구되지 않으며, 500 nm 범위 이상인 경우, 광이 완전히 투과되지 않고 산란되는 문제로 인하여 소자의 투명도가 현저히 감소할 수 있다.
- [0032] 상기 결정성 고분자 내에 함침된 이온성 액체의 함량은 0 중량% 초과 60 중량% 이하 범위를 갖는다. 상기 이온성 액체의 함량이 0 중량%인 경우에는, 상기 전기 이중층(EDL)이 형성되지 않아, 정전용량형 압력 센서(10)의 커패시턴스의 변화 폭을 크게 하는데 어려움이 있으며, 광범위한 외부 압력에 대하여 우수한 감도의 성능을 가질 수 없고, 상기 이온성 액체의 함량이 60 중량%를 초과하는 경우에는, 유전체층(DL)이 고점탄성 및 고점착성을 갖게 되어, 압력 감지 속도와 회복 속도가 느려질 질 수 있다. 상기 결정성 고분자의 결정도는 50% 이상일 수 있다. 상기 결정성 고분자의 결정도가 50% 미만일 경우, 정전용량형 압력 센서(10)의 광범위한 외부 압력에 대하여 고민감도를 위한 표면 거칠기가 형성되지 않을 수 있다.
- [0033] 도 1c를 참조하면, 결정성 고분자의 사슬(PC)은 접힌 형태에 의해 판상모형(platelet)의 결정 형태를 가지며, 유전체층(DL)의 표면 법선(N)을 기반으로 라멜라 구조를 가질 수 있다.
- [0034] 이러한, 상기 라멜라 구조는 후술할 열처리 단계에서 열처리 온도에 따라 배향성이 결정될 수 있다. 구체적으로, 열처리되지 않거나(as cast) 115 °C로 열처리된 경우 상기 접힌 상태의 고분자 사슬은 바늘형 섬유(needle like fibril) 형태의 결정 형태를 가지며, 라멜라 구조가 유전체층(DL)의 표면 법선(N)에 수직한 방향으로 배치되는 형태를 가질 수 있다. 그리고 상기 결정성 고분자의 용융 온도보다 높은 온도(예 185 °C)로 열처리된 경우, 상기 접힌 형태의 고분자 사슬(PC)은 유전체층(DL)의 표면 법선(N)에 평행으로 정렬될 수 있다. 또한, 상기 라멜라 구조는 이중 적층 형태를 가질 수 있다.
- [0035] 일 실시예에서, 상기 결정성 고분자의 사슬(PC)의 재결정화는 상기 접힌 형태의 고분자 사슬(PC)은 유전체층(DL)의 표면 법선(N)에 평행으로 정렬되는 것을 포함할 수 있으며, 용융상태로부터 결정화된 결정의 형태일 수 있다.
- [0036] 본 발명의 일 실시예에서, 상기 결정성 고분자는 PVDF, P(VDF-TrFE), P(VDF-CTFE), P(VDF-CFE), P(VDF-HFP), P(VDF-TrFE-CTFE), P(VDF-TrFE-CFE) 및 P(VDF-TrFE-HFP)를 포함하는 PVDF 계열 고분자를 포함할 수 있으나, 이에 한정되지 않는다. 예를 들면, 상기 결정성 고분자로서 고유전 상수를 가지며, 점탄성 거동을 갖는 플루오르화 공중합체가 이용될 수 있다.
- [0037] 상기 이온성 액체는 양이온(PI)과 음이온(NI)을 포함하며, 양이온(PI)은 Ammonium, Imidazolium, Oxazolium, Piperidinium, Pyrazinium, Pyrazolium, Pyridazinium, Pyridinium, Pyrimidinium, Pyrrolidinium, Pyrrolinium, Pyrrolium, Thiazolium, Triazolium 로 구성된 군에서 선택되고, 음이온(NI)은 F^- , Cl^- , Br^- , I^- , NO_3^- , $N(CN)_2^-$, BF_4^- , ClO_4^- , RSO_3^- , $RCOO^-$ (여기서 R은 C1 ~C9 알킬기 또는 페닐기임); PF_6^- , $(CF_3)_2PF_4^-$, $(CF_3)_3PF_3^-$, $(CF_3)_4PF_2^-$, $(CF_3)_5PF^-$, $(CF_3)_6P^-$, $(CF_3SO_3)_2^-$, $(CF_2CF_2SO_3)_2^-$, $(CF_3SO_3)_2N^-$, $CF_3CF_2(CF_3)_2CO^-$, $(CF_3SO_2)_2CH^-$, $(SF_5)_3C^-$, $(CF_3SO_2)_3C^-$, $CF_3(CF_2)_7SO_3^-$, $CF_3CO_2^-$, $CH_3CO_2^-$ 로 구성된 군에서 선택될 수 있다. 바람직하게, 상기 이온성 액체는 EMI-TFSA, BMIM TFSI, OMIM TFSI, EMIM TFSI, EMIM-BF4, EMIM-TCB, BMIM-TFSI, EMIM-SO4, BMIM-BF4, DMIM-BF4, DMIM-TFSI 중 적어도 하나를 포함할 수 있으나, 이에 한정되지 않는다.
- [0038] 상기 이온성 액체는 비휘발성이기 때문에 증기압이 없으며, 이온전도도가 높다. 특히 극성이 커서 무기 및 유기 금속 화합물을 잘 용해시키며 넓은 온도범위에서 액체로 존재하는 독특한 특성을 갖고 있기 때문에, 촉매, 분리, 전기화학 등 광범위한 화학 분야에 응용될 수 있다. 그리고 낮은 대칭성, 약한 분자간 인력과 양이온에서의 전하 분포 등이 녹는점을 감소시킨다. 또한, 상기 이온성 액체는 무독성, 비가연성, 우수한 열적 안정성을 가질 뿐만 아니라, 액체로서의 넓은 온도 범위, 높은 용매화 능력, 비배위 결합성 등 기존의 독성 유기 용매를 대체할 수 있는 환경친화성 차세대 용매로서의 물리화학적 특성을 지니고 있다. 이러한 이온성 액체의 독특한 물리적, 화학적 성질은 이온성 액체의 양이온과 음이온의 구조에 따라 크게 영향을 받으며 사용자의 이용 목적에 따라 최적화를 꾀할 수 있다.

- [0039] 예컨대, 휘발성 성분이 없는 상기 이온성 액체는, 벤딩과 같은 각종 변형과 외력으로부터 유전체층(DL)의 형태가 변형되지 않고 장시간 탄성을 보존할 뿐만 아니라 이온성 혼합 용액을 유전체층(DL) 내에 안정적으로 유지함으로써, 정전용량형 압력 센서(10)의 수명을 연장하고, 높은 압력 범위에서 센싱을 가능하게 할 수 있다. 상기 예시된 EMI:TFSA는 대표적인 휘발성 성분을 갖지 않는 이온성 액체로서, 본 발명의 실시예에 따르면, 장수명을 확보하면서도 높은 압력을 감지할 수 있는 정전용량형 압력 센서(10)가 제공될 수 있다.
- [0040] 또한, 효과적으로 압력을 감지를 위해서는 압력에 따른 센서의 빠른 응답속도와 짧은 이온 이완 시간이 요구될 수 있다. 본 발명의 실시예에 따른 유전체층(DL)의 결정서 고분자로서 P(VDF-TrFE-CFE) 내에 EMI:TFSA를 분산 시킴으로써 저압력 인가에서도 고탄성을 확보하여 저압력 인가에서도 압력 측정이 가능한 고민감도 정전용량형 압력 센서(10)를 제공할 수 있다.
- [0041] 또한, 상기 이온성 액체는 이온쌍을 포함하고, 유전체층(DL) 내에 상기 이온쌍이 분산된 고분자 복합 폴리머인 이온성 겔을 형성하므로, 제 1 전극(E1, E2)과의 계면에 나노 미터 스케일의 두께를 갖는 전기 이중층(EDL, electrical double layer)을 형성하여, 후술하는 바와 같이, 정전용량형 압력 센서(10)는 20 kPa에서 10.14 kPa-1의 고민감도, 30 ms 미만의 빠른 응답 시간 및 반복되는 ON/OFF 시퀀스로 4,000 사이클의 내구성을 가질 수 있다.
- [0042] 도 1b를 참조하면, 제 1 및 2 전극들(E1, E2)에 각각 일정하고 서로 다른 레벨의 전압 V1, V2이 인가되고, 유전체층(DL)의 유전율과 전극들(E1, E2) 사이의 거리(d)에 의해 수학식 1과 같이 결정되는 정전 용량 C가 제 1 및 2 전극(E1, E2) 사이에서 결정된다.
- [0043] [수학식 1] $C = \epsilon * A * d^{-1}$
- [0044] C : 제 1 및 2 전극들(E1, E2) 사이의 정전용량
- [0045] A : 제 1 및 2 전극(E1, E2)의 대향 면적
- [0046] d : 제 1 및 2 전극(E1, E2) 사이의 거리
- [0047] ϵ : 유전체층(DL)의 유전율
- [0048] 수학식 1에 나타난 바와 같이, 유전체층(DL)이 갖는 정전 용량(C)은 제 1 및 2 전극(E1, E2) 사이의 대향 면적(A)과 거리(d), 및 유전체층(DL)의 유전율(ϵ)에 의하여 결정될 수 있다.
- [0049] 여기서, 유전체층(DL)의 유전율(ϵ)과 제 1 및 2 전극(E1, E2) 사이의 대향 면적(A)은 압력 센서가 제조된 이후에는 변하지 않으므로, 압력에 따른 정전 용량(C)의 변화는 제 1 및 2 전극(E1, E2) 사이의 거리(d)에 의해서 결정될 수 있다. 일 실시예에서, 저전압 및 고전압 영역에서 고감도를 갖기 위한 유전체층(DL)의 두께(d)는 300 nm 내지 200 μ m일 수 있다. 유전체층(DL)의 두께가 300 nm 미만인 경우에는, 충분한 표면 거칠기가 형성되지 않아서 센서에 적합한 유전체층 형성이 어려우며, 유전체층(DL)의 두께가 200 μ m를 초과하는 경우에는, 커패시턴스 값을 읽기 위한 전압이 1V 보다 커져서 구동전압이 증가할 수 있다.
- [0050] 또한, 미소 섬유(micro-fibril) 형태의 토폴로지를 포함하는 표면 거칠기는 외부의 압력에 대하여 변위(displacement)와 변형(deformation)되도록 탄성을 가질 수 있다. 유전체층(DL)의 표면에 형성된 표면 거칠기는 수십 nm의 제곱 평균을 가질 수 있다. 평평한 유전체층과 달리 본 실시예에 의한 유전체층(DL)의 표면 거칠기에 의해, 작은 압력에도 제 1 및 2 전극(E1, E2) 사이의 거리가 크게 변화될 수 있다. 특히, 압력이 직접적으로 가해지는 유전체층(DL)의 표면 거칠기에 변위(displacement)되는 부분과 변형(deformation)이 일어나는 부분이 동시에 일어남에 따라, 변위가 없이 변형만 일어나는 평평한 유전층에 비하여 변형되는 부분이 현저히 감소하므로, 미세한 압력에도 제 1 및 2 전극(E1, E2) 사이의 거리에 큰 변화가 발생하게 된다. 이에 본 실시예에서의 미소 섬유(micro-fibril) 형태의 토폴로지를 갖는 유전체층(DL)은 저압에 대한 민감도가 현저히 향상될 수 있다.
- [0051] 일 실시예에서, 선택적으로, 제 1 전극층(E1) 및 제 2 전극층(E2) 중 적어도 하나는 유연하고 투명한 고분자 기판(SE) 상에 형성되고, 제 1 전극층(E1) 및 제 2 전극층(E2) 중 적어도 하나는 상기 고분자 기판 상에 라인 패턴화된 제 1 및 제2 그래핀 층을 포함할 수 있다. 또한, 정전용량형 압력 센서(10)는 상기 라인 패턴화된 제 1 그래핀 층과 상기 라인 패턴화된 제 2 그래핀 층사이의 복수의 교차점들에 각각 정의되는 커패시터 셀들의 배열을 포함할 수 있다. 상기 기판은 폴리에틸렌테레프탈레이트(poly(ethylene terephthalate) 또는 PET), 폴리이미드(polyimide PI), 폴리메틸메타크릴산(polymethyl methacrylate, PMMA)와 같은 베이스 필름일 수

있으나, 이에 제한되지 않는다.

- [0052] 전술한 바와 같이, 탄성중합체의 표면에 미소 섬유(micro-fibril) 형태의 토폴로지를 포함하는 표면 거칠기를 형성함으로써 센서 성능과 반응속도 및 회복속도, 안정성 측면을 모두 개선시킬 수 있다. 또한, 탄성중합체의 표면에 미소 섬유(micro-fibril) 형태의 토폴로지를 포함하는 표면 거칠기를 도입하여 점탄성 특성을 개선하여 정전용량형 압력 센서(10)의 성능을 획기적으로 개선시킬 수 있다. 미소 섬유(micro-fibril) 형태의 구조의 특성상, 전극간의 거리(d)와 상대유전율(ϵ)을 동시에 조절할 수 있기 때문에, 투명성과 유연성이 뛰어나지만 아니라 수 Pa부터 수십 kPa까지의 광범위한 외부 압력에 대하여 우수한 감도를 가지며, 낮은 구동 전압을 갖는 정전용량형 압력 센서를 제공할 수 있다.
- [0054] 도 2a는 본 발명의 일 실시예에 따른 정전용량형 압력 센서의 제조 방법을 설명하기 위한 도면이고, 도 2b는 본 발명의 일 실시예에 따른 정전용량형 압력 센서의 투명성 및 유연성을 보여주는 이미지이고, 도 2c는 본 발명의 일 실시예에 따른 정전용량형 압력 센서의 투명율을 보여주는 그래프이다.
- [0055] 도 2a를 참조하면, 제 1 전극층(E1)을 형성하는 단계(S10); 제 1 전극층(E1) 상에, 상기 제 1 전극층 상에 배치되고, 결정성 고분자 및 상기 결정성 고분자 내에 함침된 이온성 액체(NI, PI)를 포함하는 이온성 겔 층을 포함하며, 상기 이온성 겔 층의 상기 결정성 고분자의 사슬(chain)(PC)의 재결정화에 의해 제어된 표면 거칠기를 갖는 유전체층(DL)을 형성하는 단계(S20); 및 유전체층(DL) 상에 제 2 전극층(E2)을 형성하는 단계(S30)를 포함하는 정전용량형 압력 센서의 제조 방법이 제공될 수 있다.
- [0056] 일 실시예에서, 제 1 전극층(E1)을 형성하는 단계(S10)는 상기 결정성 고분자와 상기 이온성 액체를 준비하는 단계; 상기 결정성 고분자와 상기 이온성 액체를 혼합하여 이온성 혼합 용액을 형성하는 단계; 상기 이온성 혼합 용액을 제 1 전극층에 코팅하여, 이온성 겔 층을 형성하는 단계; 및 상기 이온성 겔 층을 열처리하여, 상기 결정성 고분자의 사슬을 재결정화시키는 단계를 포함할 수 있다. 상기 열처리의 온도는 상기 결정성 고분자의 용융 온도보다 높을 수 있다. 상기 결정성 고분자의 용융 온도보다 높은 온도에서 열처리함으로써, 유전체층(DL)은 결정성 고분자의 사슬(PC)이 접힌 형태에 의해 판상모형(platelet)의 결정 형태를 가지며, 유전체층(DL)의 표면 법선(N)을 기준으로 라멜라 구조를 형성할 수 있다. 여기서, 상기 접힌 형태의 고분자 사슬(PC)은 유전체층(DL)의 표면 법선(N)에 평행으로 정렬될 수 있다. 상기 코팅 방법은 페인트 브러싱(Paint Brushing), 스프레이 코팅(Spray Coating), 닥터 블레이드(Doctor Blade), 침지-인상법(Dip-Drawing), 스핀 코팅(Spin Coating) 또는 이들의 조합을 포함할 수 있으나, 이들에 제한되지 않는다.
- [0057] 일 실시예에서, 상기 열처리 단계 후 상기 이온성 겔 층의 냉각 속도를 조절하는 단계가 더 포함될 수 있다. 구체적으로, 상기 이온성 겔 층의 냉각 속도가 빠를수록 표면 거칠기의 제곱 평균 값은 작아지며, 상기 이온성 겔 층의 냉각 속도가 느릴수록 표면 거칠기의 제곱 평균 값은 커질 수 있다. 상기 냉각 속도는 5.0 °C/분 내지 0.1 °C/분 범위를 가지며, 상기 냉각 속도가 5.0 °C/분을 초과하는 경우 정전용량형 압력 센서의 고감도 성능을 위한 표면 거칠기가 낮아지는 문제점이 있으며, 상기 냉각 속도가 0.1 °C/분 미만인 경우 박막 제작에 많은 시간이 소요되며, 거칠기가 너무 커져서 가시광선 파장의 광에 대하여 회절이 일어나 투명도가 저하될 수 있다.
- [0058] 본 발명의 일 실시예에서, [EMI][TFSA](1-ethyl-3-methylimidazolium bis (trifluoromethylsulfonyl)amide)와 혼합된 P(VDF-TrFE-CFE)(poly(vinylidene fluoride-co-trifluoroethylene-co-chlorofluoroethylene))로 구성된 이온성 겔 층의 열처리 온도 제어를 통해 상기 결정성 고분자의 용융 재결정화를 수행함으로써, 상기 결정성 고분자의 표면에 미소 섬유(micro-fibril) 형태의 토폴로지를 포함하는 표면 거칠기가 형성될 수 있다.
- [0059] 상기 이온성 액체의 중량 농도는 고민감도 압력 센서용 필름의 유전 거동(dielectric behavior)을 최적화하기 위해 매트릭스 고분자에 대해 0 내지 60 중량%로 조절될 수 있다. 바람직하게, 상기 이온성 액체의 함량은 0 중량% 초과 45 중량% 이하 범위를 가질 수 있다. 또한, 상기 이온성 겔 층은 결정성 고분자의 용융 온도보다 높은 대략 185 °C에서 12 시간 동안 열처리하여 표면에 거대한 라멜라 성장을 촉진하여 거친 표면을 유도할 수 있다.
- [0060] 일 실시예에서, 상기 제 1 전극층 및 상기 제 2 전극층 중 적어도 하나는 유연한 고분자 기판 상에 형성되고, 상기 제 1 전극층 및 상기 제 2 전극층 중 적어도 하나는 상기 고분자 기판 상에 라인 패턴화된 제 1 및 제2 그레핀 층을 포함할 수 있다. 전극의 라인 패턴을 형성을 위해, 투명 전도성의 전극으로서 대면적의 그레핀은 서브 마스크를 이용한 건식 에칭에 의한 패턴링을 수행함으로써, 화학 기상 증착(CVD)에 의해 성장되어 PET 기판 상에 전사될 수 있다. 또 다른 실시예에서, 단층 그레핀은 금속 포일(예: 구리 포일)에서 화학 기상 증착(CVD) 방법으로 합성될 수 있다. 그레핀 층은 PMMA 희생층의 증착과 황산 암모늄 용액에 의한 금속 포일의 습식 에칭

후에 타겟 PET 기판 상으로 전사될 수 있으며, PMMA 층은 PET/Graphene/PMMA 구조체를 아세톤에 대략 수십 분 동안 담겨서 제거시키고, 금속 마스크를 통한 산소 플라즈마 식각 공정을 통해 그래핀 층의 라인 패턴화가 형성될 수 있으나, 이들 방법에 제한되지 않는다. 또한, 상기 정전용량형 압력 센서는 상기 라인 패턴화된 제 1 그래핀 층과 상기 라인 패턴화된 제 2 그래핀 층사이의 복수의 교차점들에 각각 정의되는 커패시터 셀들의 배열을 포함할 수 있다.

- [0061] 전술한 바와 같이, 열처리를 통해 결정성 고분자의 표면에 미소 섬유(micro-fibril) 형태의 토폴로지를 포함하는 표면 거칠기가 형성하고, 제 1 그래핀 층과 상기 라인 패턴화된 제 2 그래핀 층사이의 복수의 교차점들에 각각 정의되는 커패시터 셀들의 배열이 형성될 수 있기 때문에, 투명하고 유연한 실시간 매핑 터치 패널에 적합한 $N \times N$ 배열의 픽셀화되고, 경량의 객체에서 사람의 움직임으로부터의 압력을 광범위한 감지가 가능한 압력 센서가 제공될 수 있다. 여기서, N 은 자연수이다.
- [0062] 도 2b와 도 2c를 참조하면, 그래핀/PET 기판 상에 대면적 이온성 겔 층은 가시 범위에서 기계적으로 유연하고 투명한 것을 알 수 있으며, 기판의 투과율은 PET와 그래핀/PET의 경우 각각 약 90.8 %와 약 87.9 %였고, 약 550nm의 파장에서 소자의 투과율은 여전히 80 % 이상임을 알 수 있다.
- [0064] 실험예
- [0065] 재료: 삼원 중합체(terpolymer)인 P(VDF-TrFE-CFE)는 프랑스의 Piezotech 회사에서 구입하였다. [EMI] [TFSA]는 Sigma-Aldrich로부터 구입하였다.
- [0066] 그래핀 합성, 전사(transferring) 및 패턴닝(patterning): 단층 그래핀(Monolayer Graphene)은 구리 포일(Alpha Aesar)에서 화학 기상 증착(CVD) 방법으로 합성되었다. 그래핀 층은 PMMA 희생 층의 증착과 황산 암모늄 용액에 의한 구리 포일의 습식 에칭 후에 타겟 PET 기판 상으로 전사되었다. PMMA 층은 PET/Graphene/PMMA 구조체를 아세톤에 30 분 동안 담겨서 제거하였다. 그래핀 전극 배열은 금속 마스크를 통한 산소 플라즈마 식각 공정으로 제조된다.
- [0067] 압력 센서 장치 제조: [EMI][TFSA]의 다양한 양(중합체에 대하여 0, 15, 30, 45 및 60 중량%)을 갖는 15 중량%의 P(VDF-TrFE-CFE) 용액이 아세톤에서 준비되었다. 이온성 액체/폴리머 용액을 75 °C에서 1 시간 동안 교반하고 그래핀/PET 기판 상에 1,000 rpm으로 스핀 코팅한 다음 질소로 충전된 글러브 박스에서 열적으로 어닐링 하였다. 마지막으로, 상부 그래핀/PET 기판을 하부 PET/그래핀/STCIG 상에 배치하였다.
- [0068] 미세 구조 및 장치 특성: 이온성 겔의 미세 구조는 주사 전자 현미경(FE-SEM, JEOL-7001F) 및 원자력 현미경(Nanoscope Iva Digital Instruments)을 사용하여 얻었다. 투과율은 UV-Vis 분광기(Lambda 750, PerkinElmer)에 의해 얻어졌다. 압력으로 인한 커패시턴스 변화는 컴퓨터 제어 범용 원격조정기(Teraleader)를 갖는 LCR(인덕턴스, 커패시턴스, 저항) 미터(Agilent E4980A)를 사용하여 측정되었다. 2D-GIXD 패턴은 한국의 포항 가속기 연구실에서 획득했다. 방사 입사각이 $0.12^\circ \sim 0.15^\circ$ 인 단색화된 X 선($\lambda = 0.10608$ nm)으로 필름을 조사했다.
- [0070] 도 3a 내지 도 3c는 본 발명의 일 실시예에 따른 열처리 온도에 따른 정전용량형 압력 센서의 유전체층의 고분자 결정을 설명하기 위한 도면이고, 도 3d 내지 도 3f는 도 3a 내지 도 3c의 유전체층의 2 차원 그레이징 입사 X-선 회절(GIXD) 패턴을 보여주는 도면이다.
- [0071] 도 3a 및 도 3d를 참조하면, 열처리되지 않은 이온성 겔 층(ascast)은 바늘 형태의 P(VDF-TrFE-CFE) 결정들이 고분자 사슬 축이 표면 법선에 수직인 방향을 선호하며, 자오선 영역(meridian regions)에서 (110) 또는 (200) 면으로 배향되는 것을 알 수 있다.
- [0072] 도 3b 및 도 3e를 참조하면, 고분자의 용융 온도보다 낮은 115 °C에서 열처리된 이온성 겔 층은 이온성 겔의 결정성이 증가하나 도 3a의 열처리되지 않은 이온성 겔 층의 고분자 사슬 모양과 배향 상태가 유지됨을 알 수 있다.
- [0073] 도 3c 및 도 3f를 참조하면, 185 °C에서 용융되어 재결정화된 이온성 겔 층 내의 고분자의 사슬 축이 기판에 수직 방향(표면 법선에 평행한 방향)으로 배향될 수 있으며, 2D GIXD 그래프에서 자오선 영역이 아닌 자오선에서 대략 60° 회전한 위치(그래프에서는 오른쪽 아래에 놓이는 부분)에 피크(peak)가 나타날 수 있다.
- [0074] 다른 실시예에서, 유전체층의 두께가 10 μm 이상인 경우에 2D GIXD 패턴이 넓은 링 패턴으로 관찰될 수도 있다. 이는 그래핀 표면에는 고분자의 에피택시와 같은 반응으로 인하여 고분자의 사슬 축이 기판 표면 법선에 수직하게 놓일 수 있으나, 유전체층의 상부로 갈수록 기판과의 에피택시 영향은 미미하여, 고분자의 사슬 축은 기판

표면 법선에 평행하게 정렬될 수 있다. 따라서, 2D GIXD 패턴은 링 패턴으로 보이나, 기관 표면의 분석 결과 전형적인 펄트 후 재결정화되는 특징이 나타날 수 있다.

[0076] 도 4a 내지 도 4g는 본 발명의 일 실시예에 따른 열처리 온도에 따른 정전용량형 압력 센서의 유전체층의 AFM(atomic force microscopy) 및 SEM 이미지이며, 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 열처리 온도 및 냉각 속도에 따른 정전용량형 압력 센서의 제곱 평균(root mean square: RMS) 거칠기를 나타내는 그래프이다.

[0077] 도 4a는 30 중량%의 이온성 액체를 포함하는 열처리되지 않은 이온성 겔 층(ascast)의 AFM 이미지이며, 도 4b는 30 중량%의 이온성 액체를 포함하는 115 °C에서 열처리된 이온성 겔 층의 AFM 이미지이고, 도 4c는 30 중량%의 이온성 액체를 포함하는 115 °C에서 열처리되어 5.0 °C/분의 냉각속도로 재결정화된 이온성 겔 층의 AFM 이미지이고, 도 4d는 30 중량%의 이온성 액체를 포함하는 185 °C에서 열처리되어 5.0 °C/분의 냉각속도로 재결정화된 이온성 겔 층의 SEM 이미지이고, 도 4e는 30 중량%의 이온성 액체를 포함하는 185 °C에서 열처리되어 1.6 °C/분의 냉각속도로 재결정화된 이온성 겔 층의 AFM 이미지이고, 도 4f는 30 중량%의 이온성 액체를 포함하는 185 °C에서 열처리되어 0.4 °C/분의 냉각속도로 재결정화된 이온성 겔 층의 AFM 이미지이고, 도 4g는 30 중량%의 이온성 액체를 포함하는 185 °C에서 열처리되어 0.1 °C/분의 냉각속도로 재결정화된 이온성 겔 층의 AFM 이미지이다.

[0078] 도 4a 내지 도 4g 및 도 5를 참조하면, 이온성 겔 층의 열처리를 통해 결정상을 촉진시킴으로써 제어될 수 있음을 알 수 있다. 도 4a의 열처리하지 않은 이온성 겔 층의 표면은 제곱 평균(root mean square: RMS)의 거칠기(Rq)가 대략 4.15 nm이고, 도 4b의 이온성 겔 층은 용융 온도(Tm, 140 °C)보다 낮은 115 °C에서 열처리된 것으로서, 제곱 평균의 거칠기(Rq)가 대략 4.0 nm이며, 도 4c의 185 °C에서 열처리되어 5.0 °C/분의 냉각속도로 재결정화된 이온성 겔 층의 표면은 제곱 평균의 거칠기(Rq)가 대략 23.5 nm이고, 도 4e의 185 °C에서 열처리되어 1.6 °C/분의 냉각속도로 재결정화된 이온성 겔 층의 표면은 제곱 평균의 거칠기(Rq)가 대략 40.1 nm이고, 도 4f의 185 °C에서 열처리되어 0.4 °C/분의 냉각속도로 재결정화된 이온성 겔 층의 표면은 제곱 평균의 거칠기(Rq)가 대략 45.2 nm이고, 도 4g의 185 °C에서 열처리되어 0.1 °C/분의 냉각속도로 재결정화된 이온성 겔 층의 표면은 제곱 평균의 거칠기(Rq)가 대략 79 nm임을 알 수 있다.

[0079] 도 4d를 참조하면, 대조적으로, Tm보다 높은 185 °C에서의 열처리된 이온성 겔 층은 표면 상에 15 nm 내지 90 nm 두께의 미세섬유성(microfibrillar) 구조를 포함하는 독특한 형태를 나타내는 것을 확인할 수 있다. 특히, 이온성 겔 층의 미세 구조는 반결정질 매트릭스 폴리머의 거동에 의존하며 P(VDF-TrFE) 및 P(VDF-TrFE-CFE)에서 용융-재결정화 후 거칠기가 큰 독특한 미세섬유 형태가 전체적으로 관찰됨을 알 수 있다.

[0080] 전술한 바와 같이, Tm 이상의 열 어닐링 후 제어된 냉각 시간으로 결정화 속도를 최적화함으로써 이온성 겔의 거칠기가 제어될 수 있음을 알 수 있다. 구체적으로, 느린 냉각 속도로, 핵의 수가 감소하고 결정 영역(crystallites)은 대면적 중합체 결정을 성장시키기에 충분한 시간을 갖는 것으로부터 유추된다. 결과적으로, 제어된 결정화 속도에 의해 크게 성장된 고분자 결정을 통해 매우 거친 표면이 형성될 수 있다. 냉각 속도를 5.0에서 0.1 °C/분으로 조절하면 용융 재결정 이온성 겔의 표면 거칠기가 각각 23.5 nm에서 79 nm로 증가하는 것을 알 수 있다.

[0082] 도 6a는 본 발명의 일 실시예에 따른 압력 감지 시스템의 개략도이고, 도 6b는 이온성 액체의 함유량에 따른 커패시턴스의 변화를 나타내는 그래프이고, 도 6c는 냉각 속도에 따른 커패시턴스의 변화를 나타내는 그래프이고, 도 6d는 냉각 속도에 따른 정전용량형 압력 센서의 민감도를 나타내는 그래프이고, 도 6e는 500Hz에서의 압력 부하의 변화에 따른 커패시턴스의 변화를 나타내는 그래프이고, 도 6f는 100 kHz에서 측정된 특정 압력에 따른 변화율이며 커패시턴스 값의 시간 변화를 나타내는 그래프이며, 도 6g는 압력 로딩과 언로딩의 반복 횟수에 따른 정전용량형 압력 센서의 커패시턴스의 변화를 나타내는 그래프이다.

[0083] 도 6a를 참조하면, 커패시턴스 값을 측정하여 투명한 용량성 압력 센서의 압력 감지 기능을 조사하기 위해, 스텝핑 모터(steppping motor)를 이용하여 0 ~ 20kPa의 압력 범위를 PET/상부 그래핀/이온성 겔 층(STCIG)/하부 그래핀/유리의 구조를 갖는 커패시터 압력 센서에 인가하였다. 유연한 PET 기관 모두가 커패시터 장치에 균일한 압력을 실현하기 위해 단단한 유리 기관에 단단히 배치하였다. 먼저, 다양한 조건에서 열처리 후 30 중량%의 이온성 겔을 함유한 STCIG로 압력을 로딩하고 언 로딩 한 후의 커패시턴스 변화 응답을 시간 함수로 조사했다. 압력이 가해지면, STCIG를 포함한 압력 센서는 STCIG와 상부 그래핀/PET 사이의 에어 갭의 감소와 이온성 액체 및 상부/하부 전극 인터페이스 모두에서 음이온/전극 및 양이온/전극의 나노 미터 두께 전기 이중층(Electric Double Layer: EDL)의 형성으로 인해 빠르게 커패시턴스 응답을 증가시킬 수 있다. STCIG의 용융-재결정화의 특징적 형태가 없으면, 주조(as-cast) 및 Tm 이하에서 열적으로 어닐링된 STCIG의 표면은 점탄성 및

접착성 특징을 가져, 상부 전극과의 부착될 수 있으며, 따라서, 커패시턴스 값은 압력을 제거한 후에 감소하지 않았으므로 결과적으로 느린 압력 감지가 발생할 수 있다. 대조적으로, 용융-재결정화된 STCIG 센서는 빠르고 재현 가능한 감지 거동을 보여주며, STCIG 표면의 미소 섬유와 같은 형태는 고민감도 센서로서 고분자 층의 탄성 거동과 신뢰할 수 있는 커패시터 구조의 충분한 에어 갭 볼륨을 허용하는 것을 의미한다.

[0084] 도 6b를 참조하면, 용융-재결정화되어 미소 섬유와 같은 형태를 갖는 이온성 겔 층 내에 0 중량%, 15 중량%, 30 중량% 및 45 중량%의 이온성 액체가 함유될 때의 커패시턴스 값의 변화를 보면, 30 중량%의 이온성 액체 로딩에서 5.12 kPa-1까지 증가하지만, 이온성 액체가 45 중량%로 로딩될 때 감소하는 것을 볼 수 있다. 이는 60 % 이상의 높은 이온성 액체 분율을 갖는 STCIG는 응집된 이온성 액체의 고르지 않은 형태를 갖는 점성 및 점탄성 표면으로 인해 이온성 겔 층으로부터 상부 전극의 느린 분리로 인해서 감도가 떨어지는 것으로 판단된다. 특히, 30 중량%의 이온성 액체를 갖는 용융-재결정화된 STCIG 표면의 미소 섬유와 같은 형태는 STCIG와 그래핀 전극 사이의 계면 내에서 높은 에어 갭 체적을 허용하여 높은 감도는 물론 장치의 신뢰성있는 감지가 가능함을 할 수 있다.

[0085] 도 6c를 참조하면, 냉각 속도가 느릴수록 커패시턴스 값의 변화가 큰 것을 알 수 있으며, 도 6d를 참조하면, 냉각 속도가 느릴수록 센서의 감도가 증가하는 것을 알 수 있다. 이온성 겔 층이 용융되어 0.1 °C/분의 냉각 비율로 재결정화 될 때, 이온성 겔 층의 거친 표면은 20kPa까지의 넓은 압력 감지 영역에서 10.14 kPa-1의 가장 높은 감도를 나타내는 것을 알 수 있다. 이는 이온 겔과 전극 사이의 계면에서 에어 갭을 갖는 이온성 겔 층의 표면으로부터 기인한 것으로 보인다. 그리고, 빠른 냉각 속도로 제조된 센서는 각각 0.4 °C/분 및 1.6 °C/분에 대해 6.52 kPa-1 및 5.13 kPa-1의 낮은 감도를 보였다.

[0086] 도 6e를 참조하면, 이온성 겔 층은 고감도뿐만 아니라 미소 섬유의 형태를 갖는 토폴로지 특성은 1에서 20kPa의 광범위한 적용 압력에 대해 압력을 로딩/언로딩함으로써 커패시턴스 변화의 빠른 응답 시간을 허용함을 알 수 있다.

[0087] 도 6f를 참조하면, 커패시턴스 값은 100kHz에서 2.5kPa의 압력으로 30ms 이내에 급격히 상승 및 하강하여 센서의 탄성 변형 및 복구를 나타낸다. 이온성 겔 층의 표면의 토폴로지 형태에 기인한 센서의 빠른 응답 시간은 탄성중합체와 인위적으로 미세 구조화된 이온성 겔을 기반으로 하는 것이며, 이는 이온성 겔 층이 약한 점탄성 거동을 나타낸다는 것으로 보인다.

[0088] 도 6g를 참조하면, 5kPa 압력으로 4,000 회 이상의 내구성 압축/해제 사이클(각 로딩 및 언로딩 간격에 대해 5 초)에서, 커패시턴스 변화의 열화없이 우수한 주기적 안정성을 보여주며, 이는 센서의 높은 기계적 내구성과 강건함을 확인할 수 있다.

[0090] 압력 센서의 응용 제품을 상용화하기 위해 본 발명의 이온성 겔 층을 이용하여 고민감도의 압력 센서가 경량 객체로부터 사람의 움직임까지 광범위한 압력에서 동작할 수 있다. 특히 본 발명의 압력 센서는 폭 넓은 압력 범위에서 높은 감도가 요구되며 유연성과 투명성을 가질 수 있다.

[0091] 도 7a는 알루미늄 펠릿에 의한 정전용량형 압력 센서의 커패시턴스의 변화를 나타내는 그래프이고, 도 7b는 소프트 손가락 터치에 의한 정전용량형 압력 센서의 커패시턴스의 변화를 나타내는 그래프이고, 도 7c는 손가락 움직임에 의한 정전용량형 압력 센서의 커패시턴스의 변화를 나타내는 그래프이며, 도 7c는 굽힘 반복에 따른 정전용량형 압력 센서의 커패시턴스의 변화를 나타내는 그래프이다.

[0092] 도 7a를 참조하면, 본 발명의 압력 센서의 정전 용량은 100 Pa의 압력으로 무게 80 mg의 Al 펠릿에 의해 변화되는 것을 알 수 있다

[0093] 도 7b 및 도 7c를 참조하면, 압력 센서는 5 kPa 내지 10 kPa 그리고 10 kPa 내지 15 kPa에서 각각 적용되는 미세한 손가락 터치(도 7b) 및 굽힘 동작(도 7c)과 같은 사람의 동작을 성공적으로 감지할 수 있다. 더욱 센서의 신뢰성있는 기계적 유연성을 검증하기 위해 하부 PET/그래핀/STCIG 그리고 상부 그래핀/PET를 외부 유연 기판과 함께 캡슐화하여 배치된 상부 그래핀/PET 기판의 박리를 방지하였다.

[0094] 도 7d를 참조하면, 내구성은 굽힘 반경이 5 mm 인 150 사이클에 걸쳐 수동으로 굽힘/해제 사이클 테스트를 반복하여 얻은 결과로서, 커패시턴스 변화의 열화없이 우수한 주기적 안정성을 보여준다.

[0096] 도 8a는 12 x 12 압력 센서 매트릭스의 개략도이고, 도 8b는 패턴화된 그래 핀과 유전체층으로 제작된 압력 센서 어레이의 이미지 사진이고, 도 8c는 12 x 12 압력 센서 매트릭스의 등가 회로를 보여주는 도면이고, 도 8d는 멀티 터치로 커패시턴스 변화의 크기를 보여주는 그래프이다. 앞에서 기술한 바와 같이, 각각의 상단 및 하단

전극에 라인 패턴을 갖는 그래핀 배열은 대면적 이온성 겔 층을 픽셀화 과정없이 $n \times n$ (예: 12×12) 커패시터 배열로 픽셀화할 수 있으며, 이를 이용하여 실시간 촉각 감지 터치 패널을 구현할 수 있다.

[0097] 도 8a 및 도 8c를 참조하면, 이온성 겔 층을 포함하는 압력 센서의 배열은 하단 라인 패턴화된 그래핀 및 상단 그래핀 배열에 교차 배치하여 매트릭스 어레이를 구현할 수 있다. 도 8a 및 도 8c의 이미지는 12×12 압력 센서 어레이를 보여준다.

[0098] 도 8b를 참조하면, 12×12 압력 센서 어레이를 단일 및 다중 터치하는 것을 보여주는 것이며, 도 8d를 참조하면, 도 8b의 단일 및 다중 터치의 촉각 압력의 감지된 위치와 크기를 시각적으로 보여주는 것이다.

[0100] 도 9a는 본 발명의 일 실시예에 따른 열처리 온도에 따른 정전용량형 압력 센서의 유전체층의 AFM(atomic force microscopy) 높이 프로파일이고, 도 9b는 열처리 온도에 따른 정전용량형 압력 센서의 유전체층의 AFM(atomic force microscopy) 3D 높이 이미지이고, 도 9c는 열처리 온도에 따른 정전용량형 압력 센서의 유전체층의 표면 거칠기의 높이 차를 보여주는 그래프이다. 도 9a 내지 도 9c를 참조하면, 냉각 속도를 5.0에서 0.1 $^{\circ}\text{C}/\text{분}$ 으로 조절하여 용융 재결정 이온성 겔의 표면 거칠기에 대한 높이 프로파일과 3D AFM 이미지를 보면, 냉각 속도가 느릴수록 결정화가 천천히 일어나며, 위상 차가 높아지는 것을 알 수 있다.

[0102] 도 10a 내지 도 10c는 압력 로딩과 압력 언로딩에 따른 정전용량형 압력 센서의 커패시턴스의 변화를 나타내는 그래프이다. 도 10a 내지 도 10c를 참조하면, 20 kPa의 압력을 로딩하고 언 로딩 한 후의 커패시턴스 변화를 시간 함수로 보여주는 것이며, 먼 거칠기가 거칠수록 센서의 응답 속도가 빨라지는 것을 알 수 있다.

[0104] 도 11a와 도 11b는 무부하 압력에서 다른 주파수 변화에 따른 정전용량형 압력 센서의 커패시턴스의 변화를 나타내는 그래프이다. 전술한 이온성 겔과 전극 인터페이스 모두에서 EDL이 유도되어 센서는 더 높은 커패시턴스 값을 가질 수 있다. 이러한 EDL의 효과적인 형성을 실현하기 위해, 주파수 변화에 따른 용량 변화를 측정하였다.

[0105] 도 11a와 도 11b를 참조하면, 0.02에서 10 kHz의 주파수 범위에서 주파수가 증가할수록 용량 변화가 작아지는 것을 알 수 있다. 이는 주파수가 대략 1 kHz 이상에서 EDL은 효과적으로 형성되지 않았고 결과적으로 커패시턴스 값이 감소하는 것을 판단된다. 또한, 유전체층(DL)의 에어 갭이 크면 약한 주파수에 영향을 받는 정전용량이 감소될 수 있다. 대조적으로, 열적으로 증착된 상부 금속 전극을 갖는 에어 갭이 없는 유전체층은 1 kHz보다 높은 주파수에서 정전 용량 감소를 보였다. 압력 센서의 최대 감도를 얻기 위해 대략 500Hz에서 EDL이 효과적으로 형성되는 것으로 보인다.

[0107] 앞의 실험 결과로부터, P(VDF-TrFE-CFE) 고분자와 [EMIM][TFSI] 이온성 액체로 구성된 이온성 겔 층으로 매우 민감하고 투명하며 유연한 압력 센서 배열을 구현할 수 있다. 이온성 겔 층은 중합체의 용융-결정화 동안 분자 구조로부터 수득된 거친 표면 형태로 높은 감도를 나타낸다. 용융 재결정화된 이온성 겔 층의 표면의 토폴로지 특성은 20 kPa의 범위에서 대략 11.2 kPa-1의 높은 감도 측정이 가능하다. 또한, 본 발명의 용량성 압력 센서는 감지 속도가 50ms 미만이고 4,000 번의 로딩/언로딩 사이클 동안 신뢰성있는 사이클을 나타낸다. 신뢰성 있는 센서는 경량의 객체, 사람의 접촉 및 움직임을 감지하는데 적합할 수 있다. 또한, $n \times n$ 터치 패널은 이온성 겔을 포함하는 유전체 층 및 그래핀 배열로 구현될 수 있다. 이러한, 본 발명의 표면 거칠기를 갖는 이온성 겔 층을 포함하며, 투명하고 유연한 압력 센서는 소프트 로봇, 전자 피부, 건강 모니터링 및 모바일 디스플레이를 포함한 웨어러블 전자 기기에 적합할 수 있다.

[0109] 이상에서 설명한 본 발명이 전술한 실시예 및 첨부된 도면에 한정되지 않으며, 본 발명의 기술적 사상을 벗어나지 않는 범위 내에서 여러가지 치환, 변형 및 변경이 가능하다는 것은, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 있어 명백할 것이다.

부호의 설명

[0111] 10: 정전용량형 압력 센서

E1: 제 1 전극층

DL: 유전체 층

E2: 제 2 전극층

PC: 결정성 고분자

PI, NI: 이온성 액체

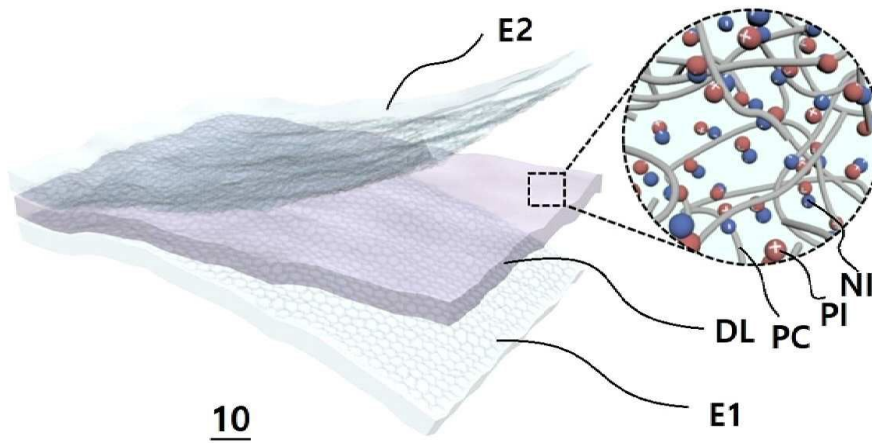
PC: 고분자의 사슬(chain)

AG: 에어 겹

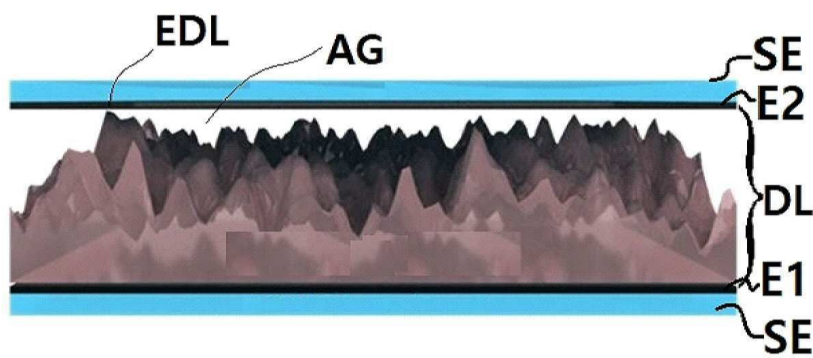
EDL: 전기 이중층

도면

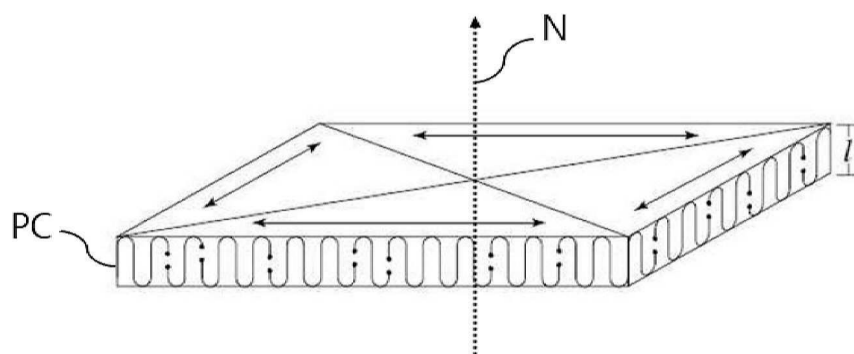
도면1a



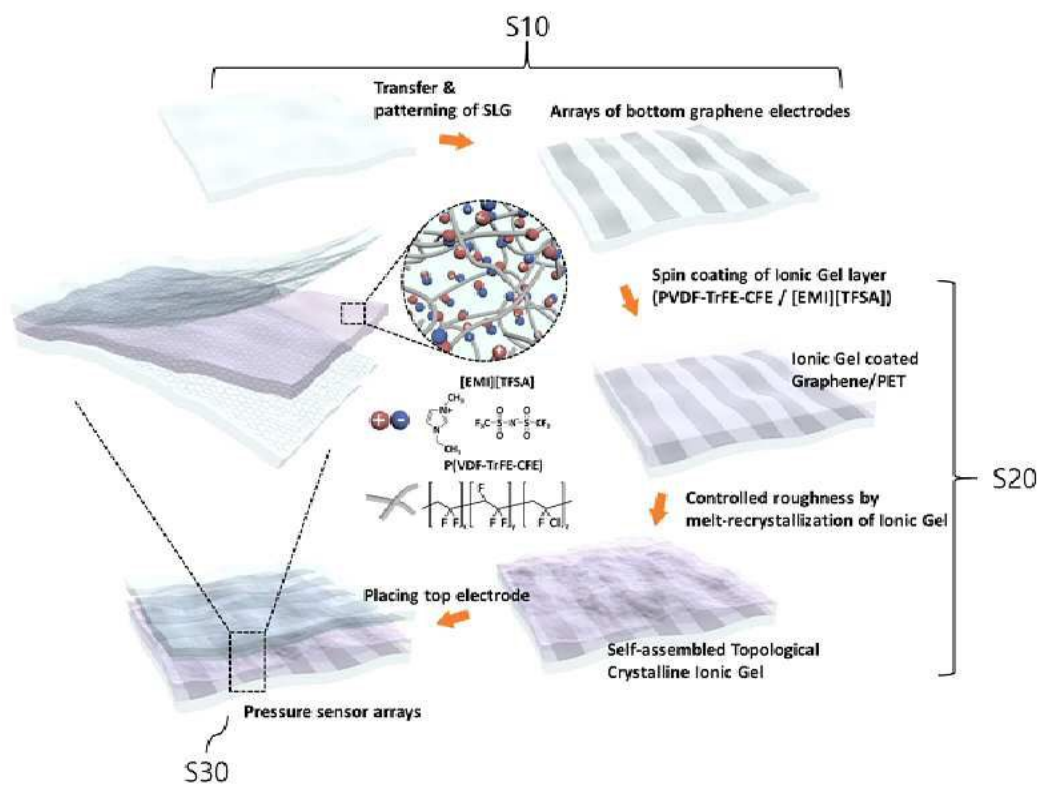
도면1b



도면1c



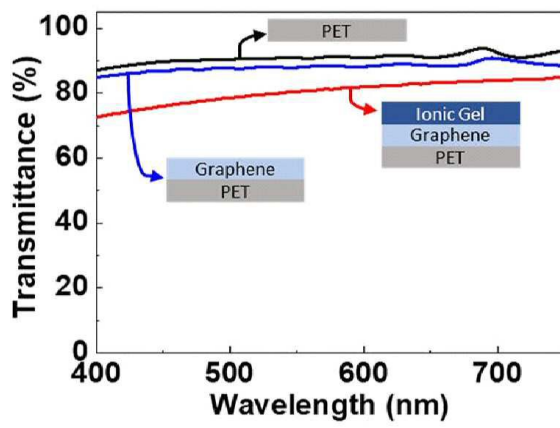
도면2a



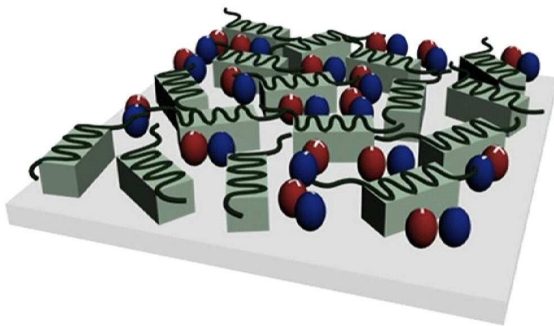
도면2b



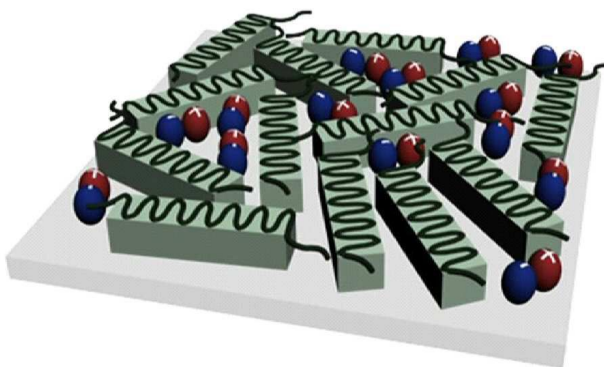
도면2c



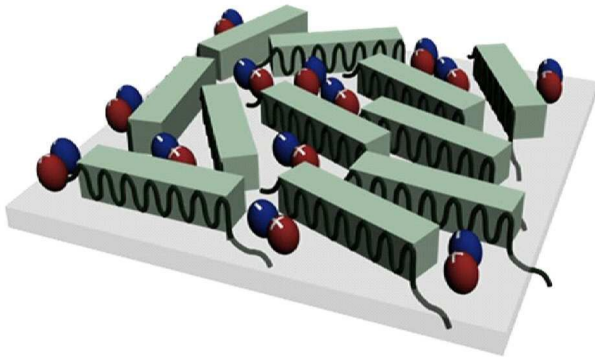
도면3a



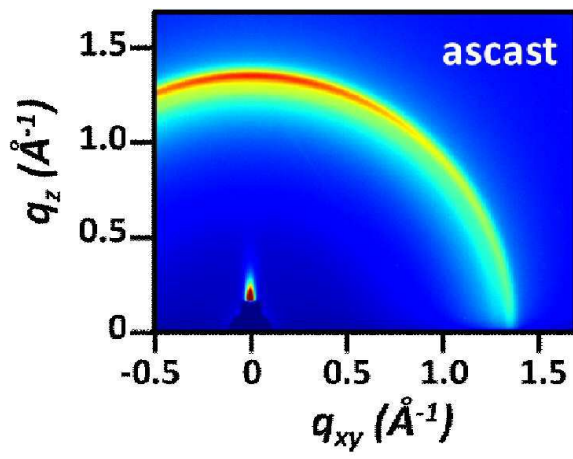
도면3b



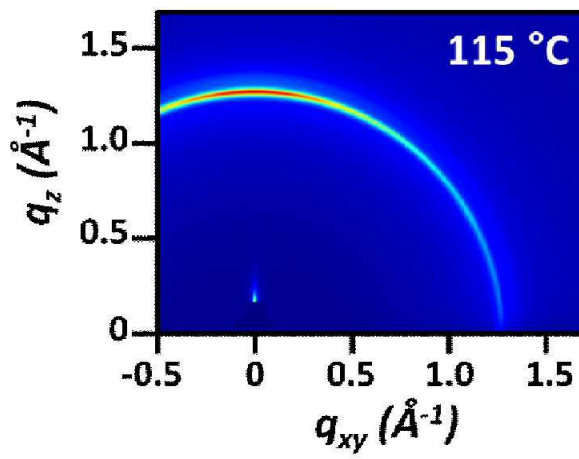
도면3c



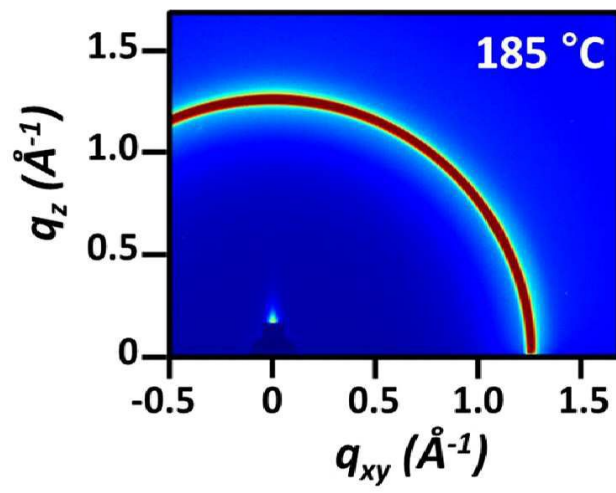
도면3d



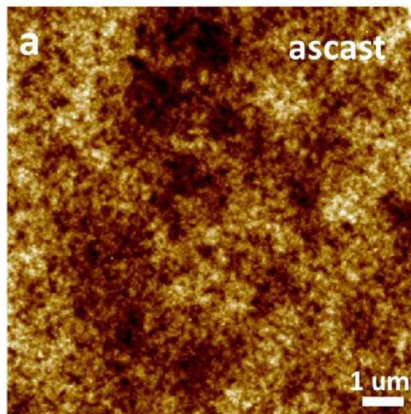
도면3e



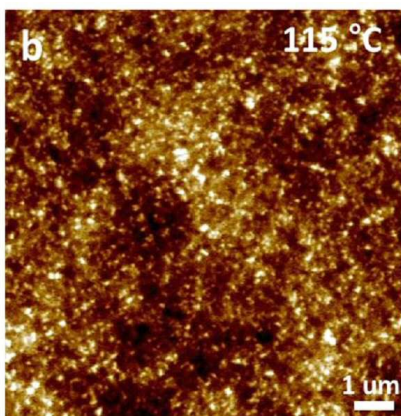
도면3f



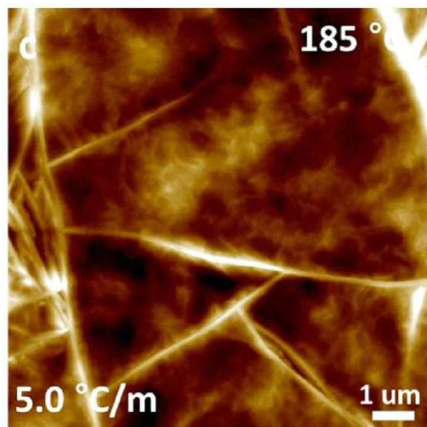
도면4a



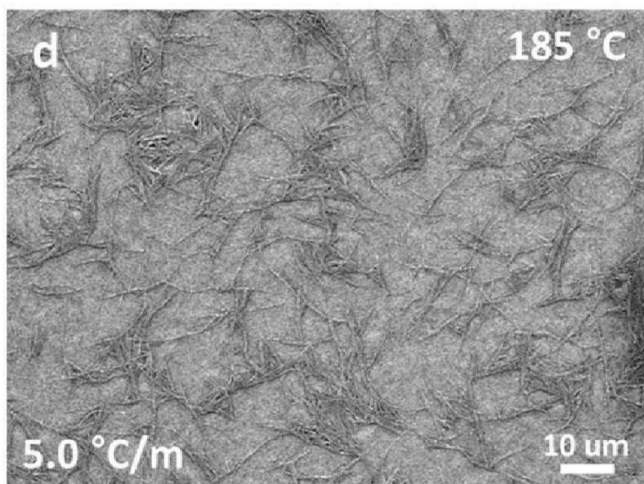
도면4b



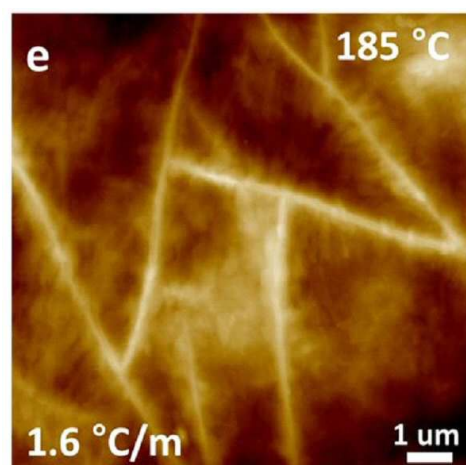
도면4c



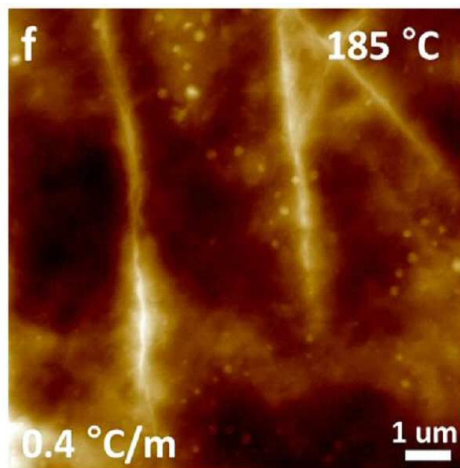
도면4d



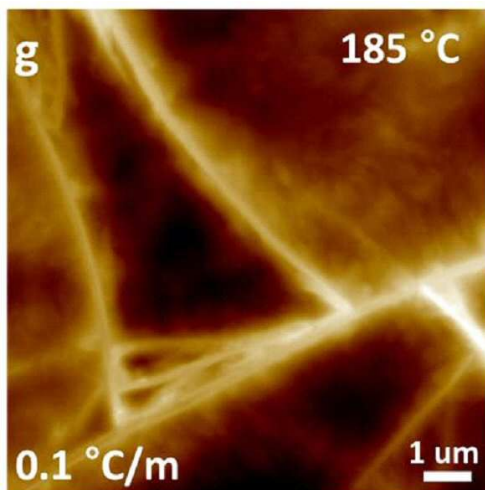
도면4e



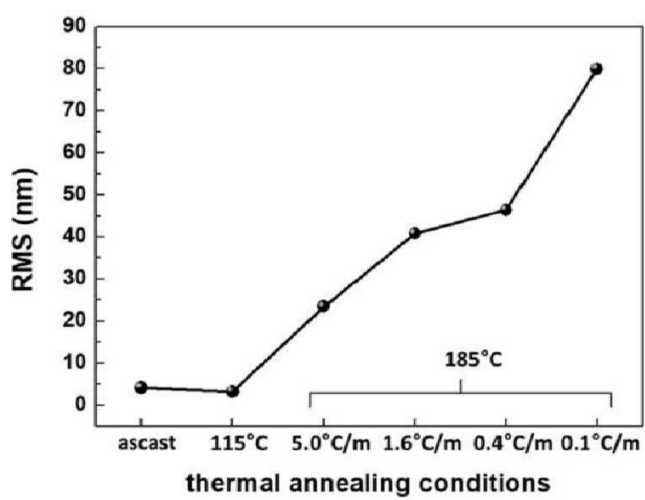
도면4f



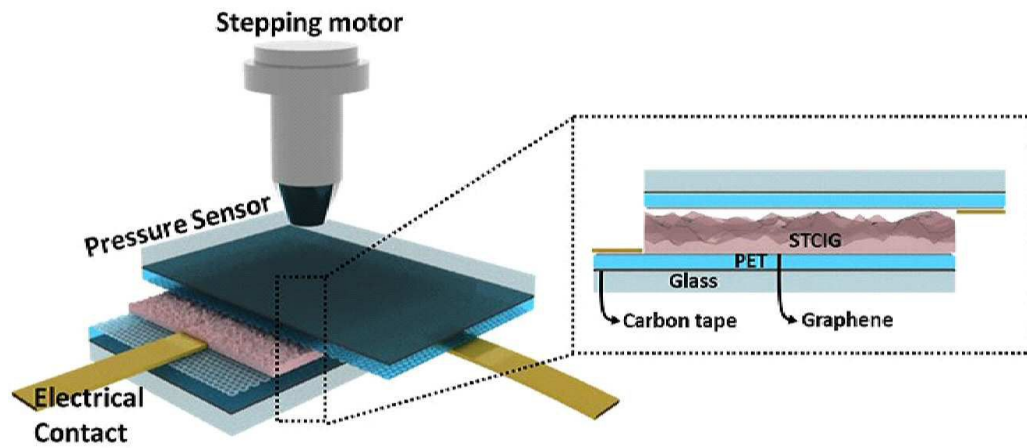
도면4g



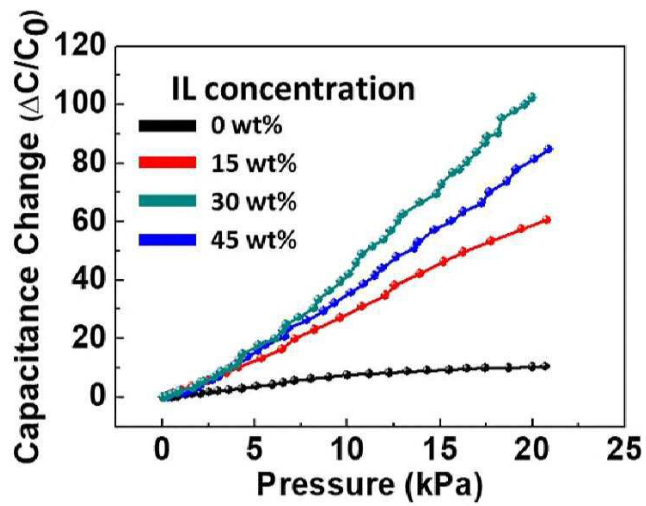
도면5



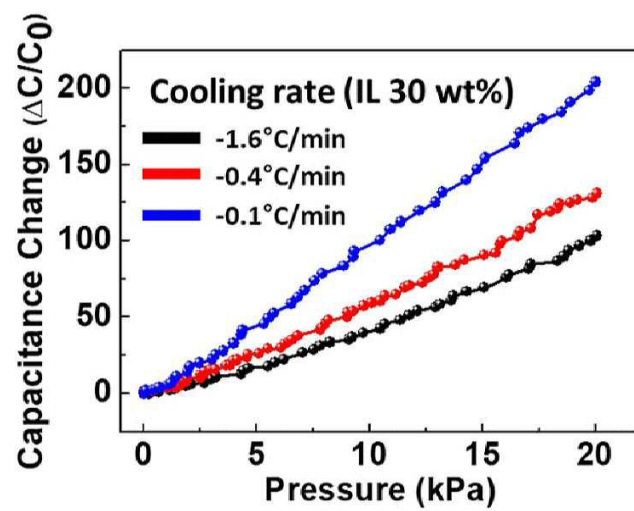
도면6a



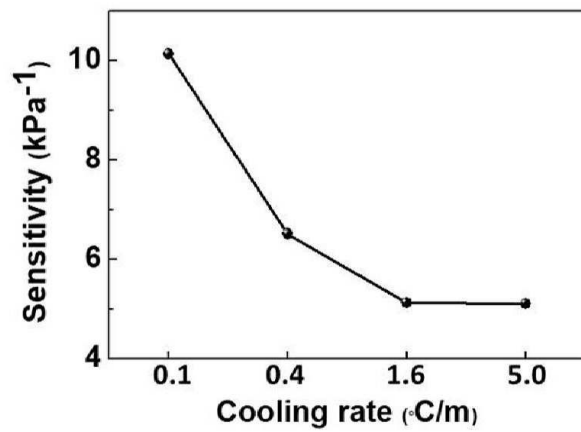
도면6b



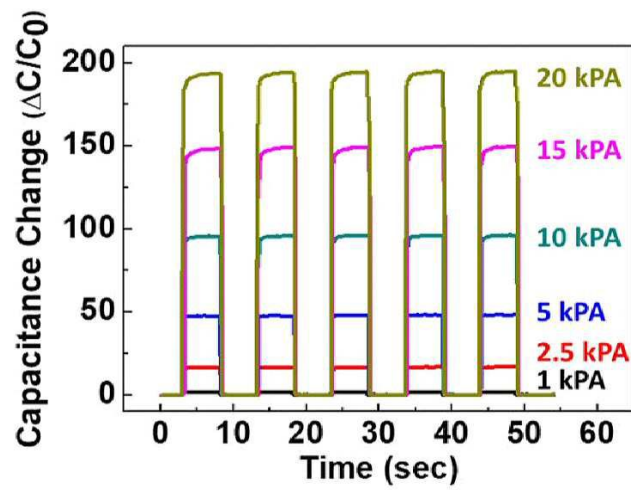
도면6c



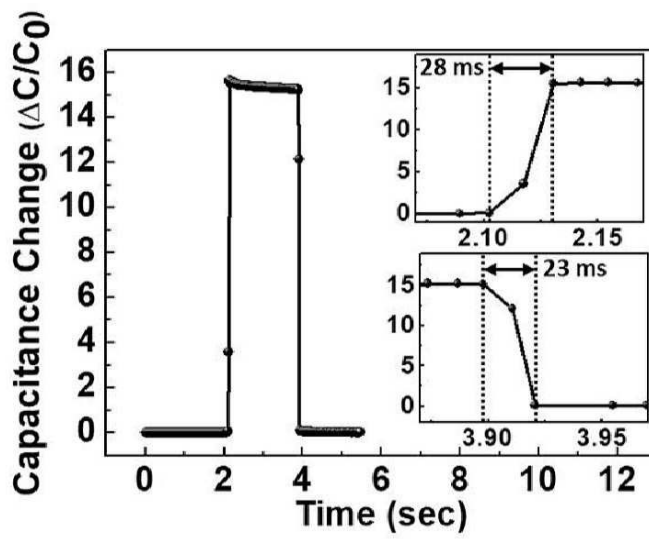
도면6d



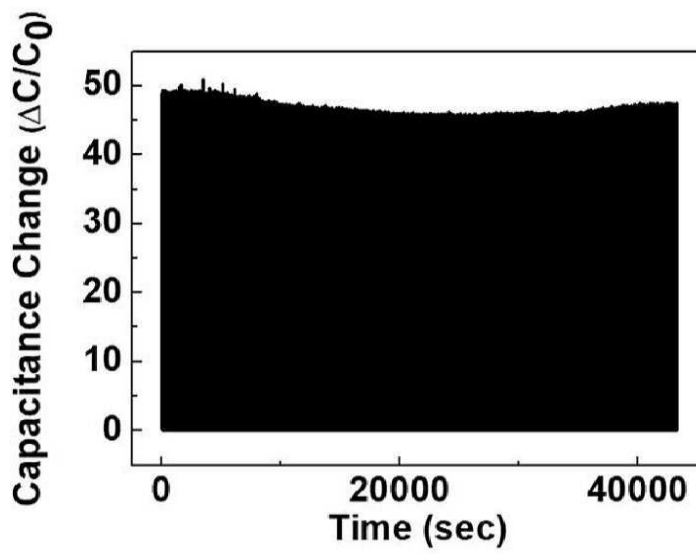
도면6e



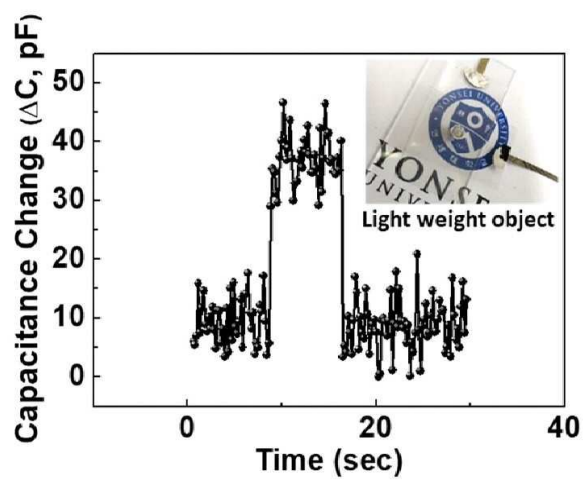
도면6f



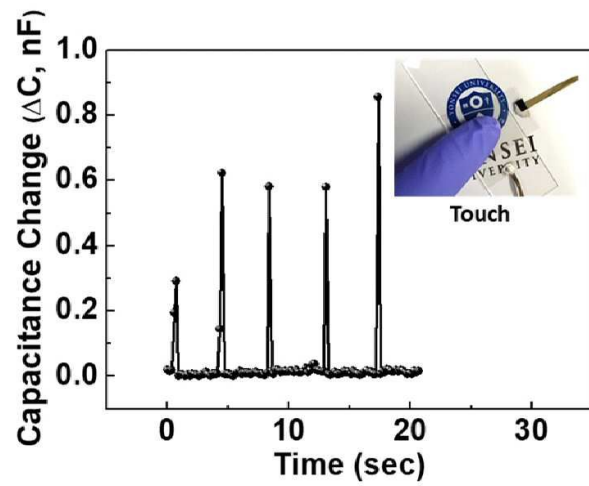
도면6g



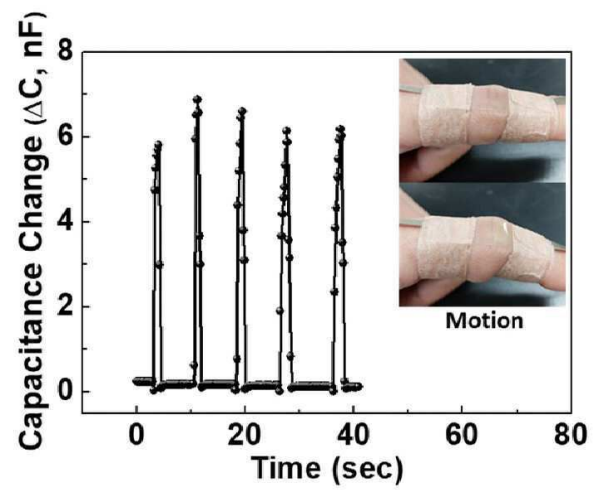
도면7a



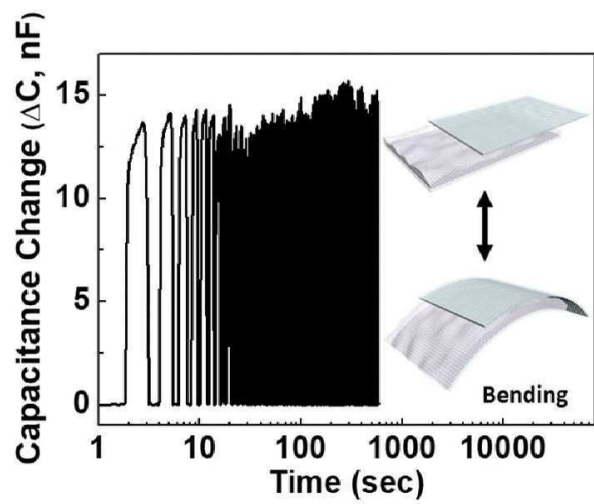
도면7b



도면7c



도면7d



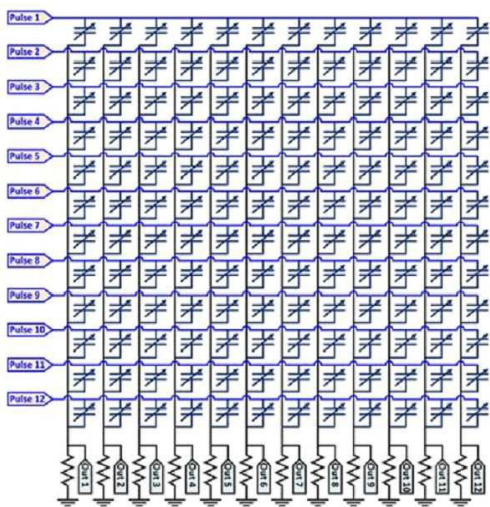
도면8a



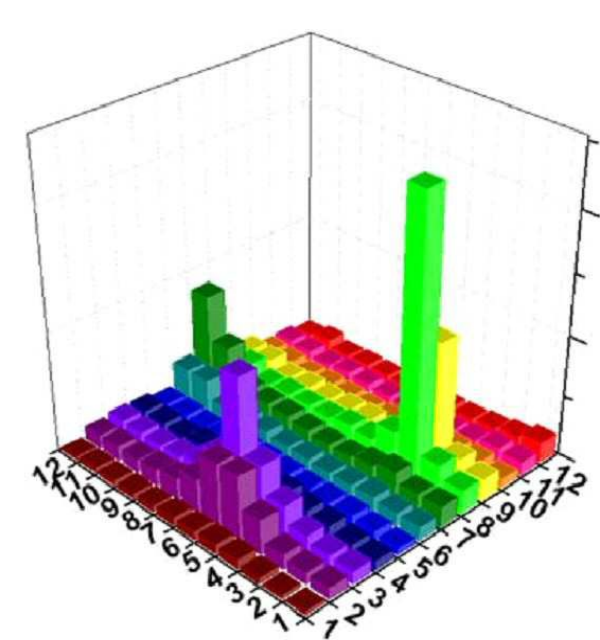
도면8b



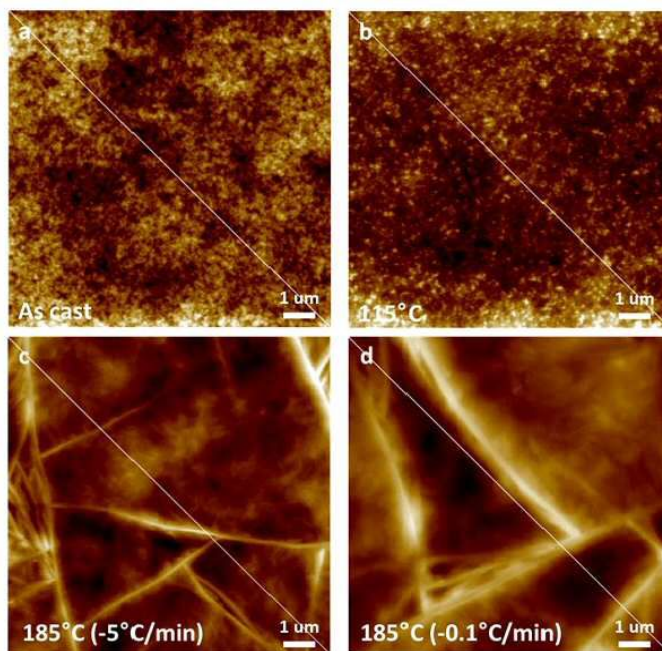
도면8c



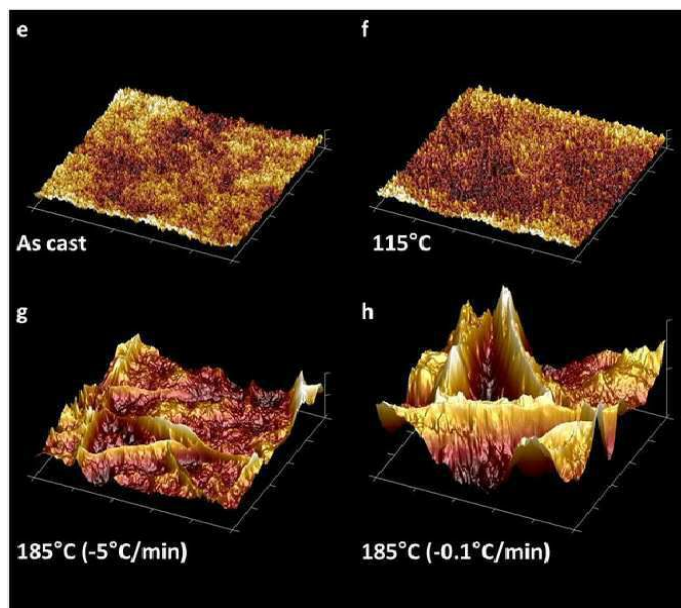
도면8d



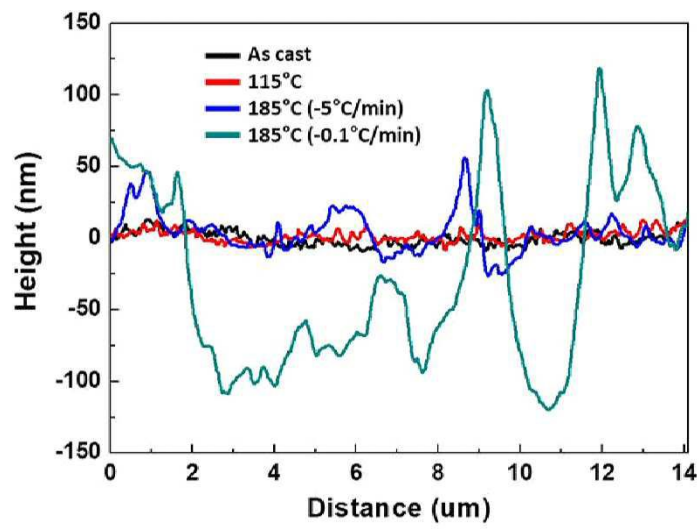
도면9a



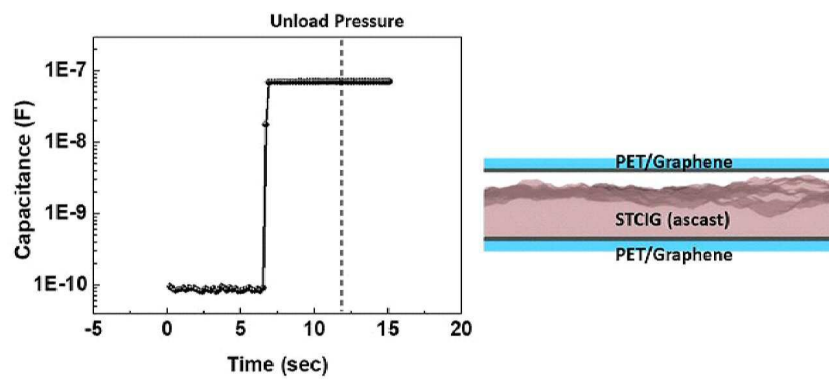
도면9b



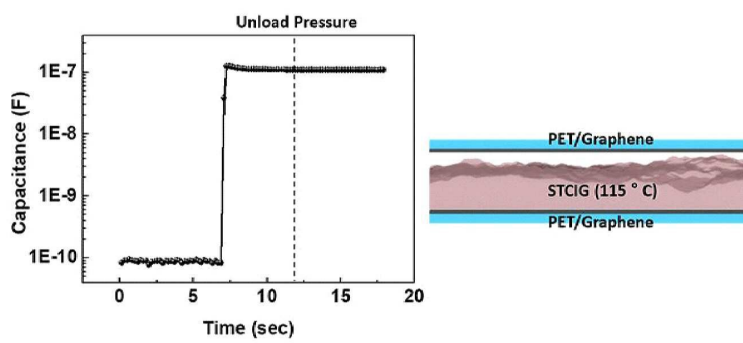
도면9c



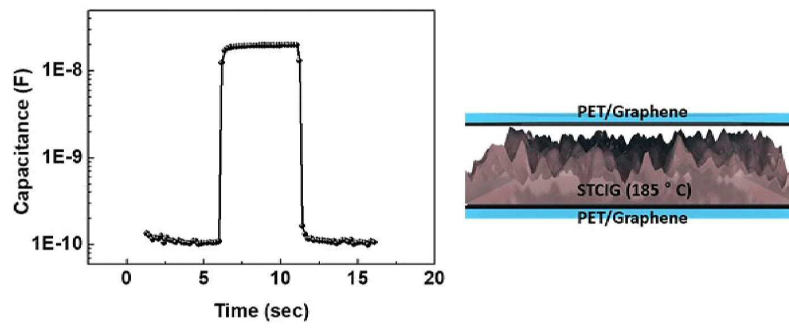
도면10a



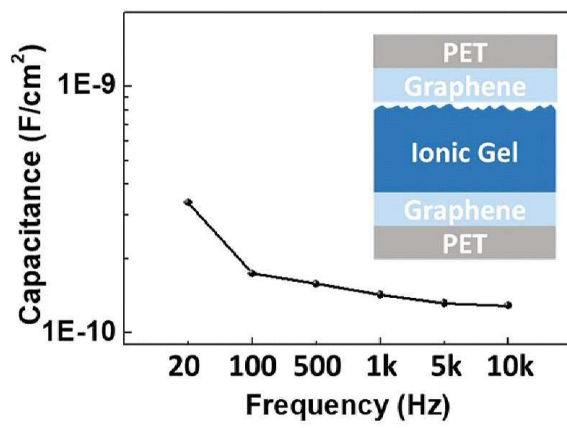
도면10b



도면10c



도면11a



도면11b

