



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2025-0075301
(43) 공개일자 2025년05월28일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G01K 7/01 (2006.01) H10K 10/46 (2023.01)
H10K 10/82 (2023.01) H10K 10/88 (2023.01)
H10K 77/10 (2023.01)

(52) CPC특허분류

G01K 7/01 (2013.01)
H10K 10/468 (2023.02)

(21) 출원번호 10-2023-0162616

(22) 출원일자 2023년11월21일

심사청구일자 2023년11월21일

(71) 출원인

경희대학교 산학협력단

경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732 (서천동, 경희대학교 국제캠퍼스내)

(72) 발명자

오진영

경기도 안양시 동안구 흥안대로145번길 5 스위트홈 A-502(호계동)

정민우

경기도 광명시 광덕산로 26, 106동 3601호(하안동, 광명 두산위브 트레지움)

김준수

경기도 용인시 기흥구 서그내로53번길 3-1, 302호

(74) 대리인

김연권

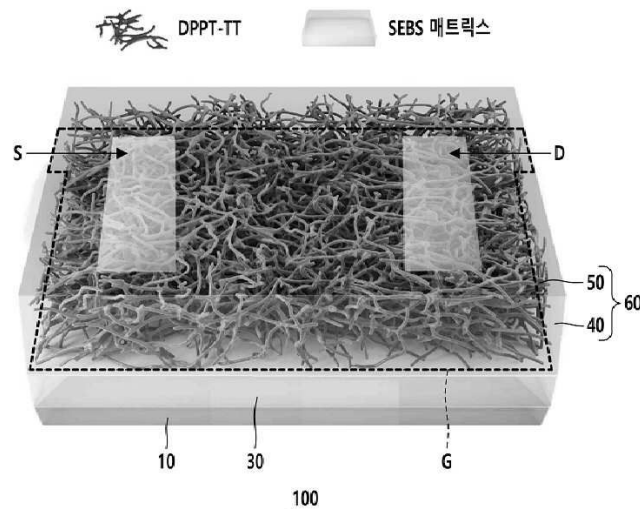
전체 청구항 수 : 총 20 항

(54) 발명의 명칭 신축성 OTFT 소자, 피부 부착형 온도 센서 및 그 제작 방법

(57) 요약

본 발명은 하위 임계값 영역에서의 변형 또는 열로서 유도된 전하 트랩 밀도로 인한 불안정성을 해소한 온도 센서 소자로서 고감도 및 저전력 특성을 갖는 신축성 OTFT 소자를 제공한다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

H10K 10/82 (2023.02)

H10K 10/88 (2023.02)

H10K 77/111 (2023.02)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1711180462
과제번호 2021R1C1C1009925
부처명 과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명 한국연구재단
연구사업명 우수신진연구
연구과제명 다이나믹 분자 결합 기반 자가치유 고분자 반도체 소재 연구(3/5)
기 여 율 70/100
과제수행기관명 경희대학교 산학협력단
연구기간 2021.03.01 ~ 2026.02.28

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1345311787
과제번호 2019R1A6C101052
부처명 교육부
과제관리(전문)기관명 한국연구재단
연구사업명 기초과학 연구역량 강화사업(카드발급용)
연구과제명 기초연구역량강화사업(핵심연구지원센터조성사업)
기 여 율 5/100
과제수행기관명 경희대학교 산학협력단
연구기간 2019.07.01 ~ 2020.02.29

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1415184819
과제번호 20016252
부처명 산업통상자원부
과제관리(전문)기관명 한국산업기술기획평가원
연구사업명 전자부품산업기술개발-선도형차세대센서기술개발(2021)
연구과제명 로봇의 정교한 조작을 위한 하이브리드형 고성능 멀티모달 전자피부 센서 및 확장형

모듈(3/3)

기 여 율 5/100
과제수행기관명 (주)피지오닉스
연구기간 2021.04.01 ~ 2023.12.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1415185327
과제번호 20015898
부처명 산업통상자원부
과제관리(전문)기관명 한국산업기술기획평가원
연구사업명 소재부품기술개발-패키지형(혁신법)
연구과제명 서스테이너블 소재 적용 친환경 타이어용 고무배합 기술 개발(3/4)
기 여 율 5/100
과제수행기관명 (주)미래에스아이
연구기간 2021.04.01 ~ 2024.12.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1415186478
과제번호 20012710
부처명 산업통상자원부

과제관리(전문)기관명	한국산업기술기획평가원
연구사업명	전략핵심소재자립화기술개발
연구과제명	고내열 고감성 실리콘계 엔지니어링 열가소성 탄성체 개발-2단계 1차년도(4/5)
기 여 율	5/100
과제수행기관명	(주)영폴리머
연구기간	2020.08.01 ~ 2024.12.31
이 발명을 지원한 국가연구개발사업	
과제고유번호	1345366155
과제번호	2020R1A6A1A03048004
부처명	교육부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	중점연구소지원(이공계분야)
연구과제명	[대응교비_대학중점연구소] 미래형 친환경 디스플레이 기술 연구(4/10)
기 여 율	5/100
과제수행기관명	경희대학교 산학협력단
연구기간	2020.06.01 ~ 2029.05.31
이 발명을 지원한 국가연구개발사업	
과제고유번호	1415183135
과제번호	P0017363
부처명	산업통상자원부
과제관리(전문)기관명	한국산업기술진흥원
연구사업명	기능성유무기복합소재실용화전문인력양성사업
연구과제명	기능성 유무기 복합소재 실용화 전문인력양성(3/5)
기 여 율	5/100
과제수행기관명	한국석유화학협회
연구기간	2021.03.01 ~ 2026.02.28

명세서

청구범위

청구항 1

게이트 전극;

상기 게이트 전극의 상부에 엘라스토머로 적층된 유전층;

상기 유전층의 상부에 적층된 활성층;

상기 활성층의 상부에서 서로 이격되어 형성된 소스 전극 및 드레인 전극을 포함하고,

상기 활성층은,

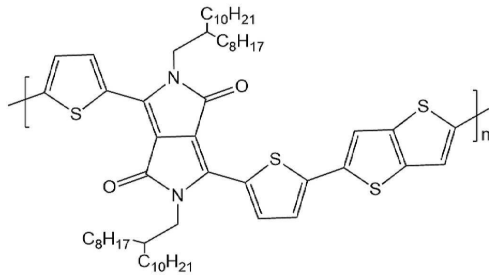
상기 엘라스토머 매트릭스 내에 유기 반도체 나노 섬유가 혼합된 엘라스토머 매트릭스 유기 반도체 나노 섬유 혼합 필름으로 형성되는 신축성 OTFT 소자.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 유기 반도체 나노 섬유를 형성하는 유기 반도체는 하기 화학식 1로 표시되는 DPPT-TT인 신축성 OTFT 소자.

[화학식 1]

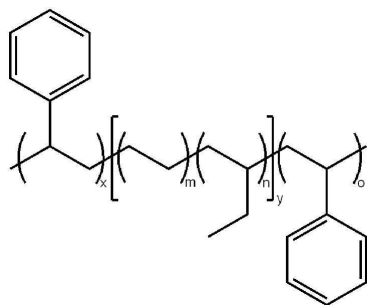


청구항 3

제1항에 있어서,

상기 엘라스토머는, 하기 화학식 2로 표시되는 SEBS(styrene-ethylene-butylene-styrene) 유기 탄성중합체인 신축성 OTFT 소자.

[화학식 2]



청구항 4

제3항에 있어서,

상기 SEBS는, 상기 (x+o) 대 (m+n)는 18:82 ~ 20:80의 조성비를 가지는 신축성 OTFT 소자.

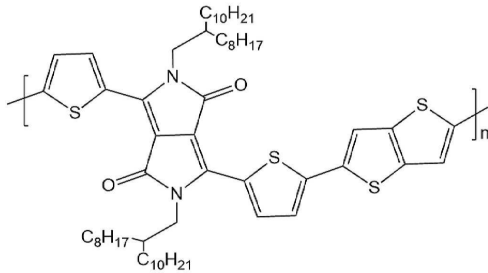
청구항 5

제1항에 있어서,

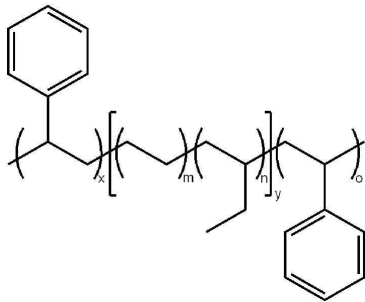
상기 엘라스토머 매트릭스 유기 반도체 나노 섬유 혼합 필름은,

하기의 화학식 1로 표시되는 DPPT-TT와 화학식 2로 표시되는 SEBS를 화학식 3의 물질에 1~3 : 7~9의 중량비로 0.6 ~ 0.8 중량% 농도로 용해시켜 제조되는 신축성 OTFT 소자.

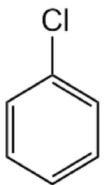
[화학식 1]



[화학식 2]



[화학식 3]

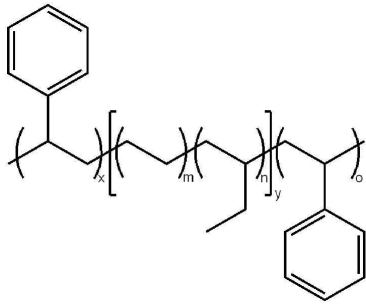


청구항 6

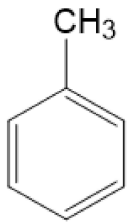
제1항에 있어서,

상기 기판은, 하기 화학식 2의 물질을 하기의 화학식 4의 물질에 90~110mg/mL의 농도로 혼합한 후 강체 기판 상에 스핀 코팅을 수행하여 제작되는 신축성 OTFT 소자.

[화학식 2]



[화학식 4]

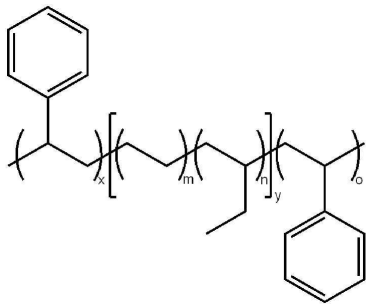


청구항 7

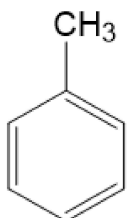
제1항에 있어서,

상기 유전층은, 하기 화학식 2의 물질을 하기 화학식 4의 물질에 50~70mg/mL의 농도로 혼합한 후 강체 기판 상에 스핀 코팅을 수행하여 제작된 SEBS 매트릭스인 신축성 OTFT 소자.

[화학식 2]



[화학식 4]



청구항 8

제1항에 있어서,

상기 게이트 전극 및 상기 소스 전극과 드레인 전극 각각은 열적으로 증발된 금속도체의 금속화를 사용하는 전사 인쇄 방법에 의해 상기 기판과 상기 활성층의 상부 각각에 형성되는 OTFT 소자.

청구항 9

엘라스토머로 형성된 기판;

하나 이상의 게이트 전극을 포함하여 상기 기판 상에 형성된 제1 전극층;

상기 기판과 상기 제1 전극층 상부에 상기 엘라스토머로 적층된 유전층;

상기 유전층의 상부에 적층된 활성층;

하나 이상의 소스 전극 및 드레인 전극을 포함하여 상기 활성층의 상부에 적층된 제2 전극층; 및

상기 제2 전극층의 상부를 밀봉하는 캡슐층을 포함하고,

상기 활성층은,

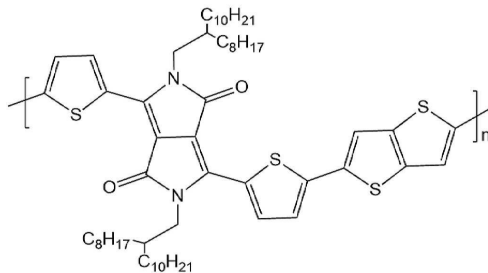
상기 엘라스토머 매트릭스 내에 유기 반도체 나노 섬유가 혼합된 엘라스토머 매트릭스 유기 반도체 나노 섬유 혼합 필름으로 형성되는 피부 부착형 온도 센서.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 유기 반도체 나노 섬유를 형성하는 유기 반도체는 하기 화학식 1로 표시되는 DPPT-TT인 피부 부착형 온도 센서.

[화학식 1]

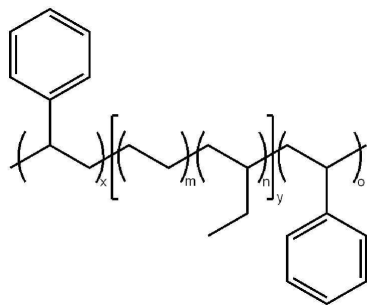


청구항 11

제9항에 있어서,

상기 엘라스토머는, 하기 화학식 2로 표시되는 SEBS(styrene-ethylene-butylene-styrene) 유기 탄성중합체인 피부 부착형 온도 센서.

[화학식 2]



청구항 12

제11항에 있어서,

상기 SEBS는, 상기 (x+o) 대 (m+n)는 18:82 ~ 20:80의 조성비를 가지는 피부 부착형 온도 센서.

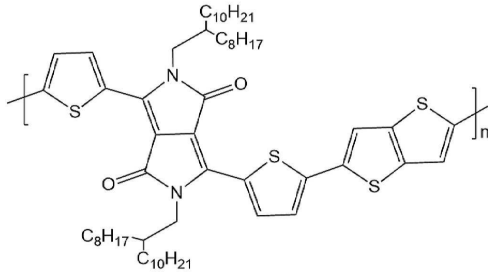
청구항 13

제9항에 있어서,

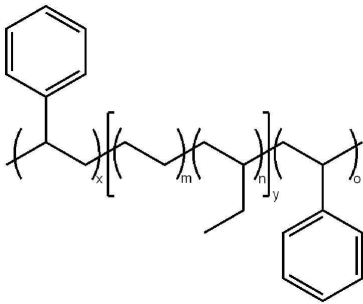
상기 엘라스토머 매트릭스 유기 반도체 나노 섬유 혼합 필름은, 하기의 화학식 1로 표시되는 DPPT-TT와 화학식

2로 표시되는 SEBS를 화학식 3의 물질에 1~3 : 7~9의 중량비로 0.6 ~ 0.8 중량% 농도로 용해시켜 제조되는 피부 부착형 온도 센서.

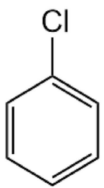
[화학식 1]



[화학식 2]



[화학식 3]

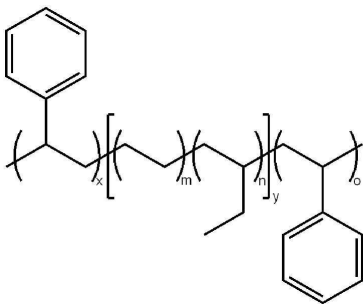


청구항 14

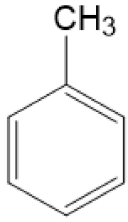
제9항에 있어서,

상기 기관은, 하기 화학식 2의 물질을 하기의 화학식 4의 물질에 90~110mg/mL의 농도로 혼합한 후 강체 기관 상에 스핀 코팅을 수행하여 제작되는 피부 부착형 온도 센서.

[화학식 2]



[화학식 4]

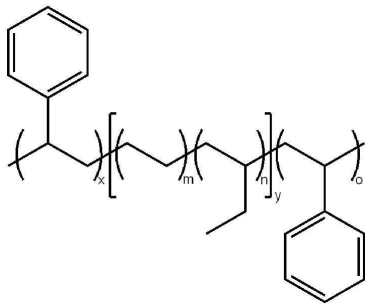


청구항 15

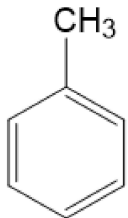
제9항에 있어서,

상기 유전층은, 하기 화학식 2의 물질을 하기 화학식 4의 물질에 50~70mg/mL의 농도로 혼합한 후 강체 기판 상에 스핀 코팅을 수행하여 제작된 SEBS 매트릭스인 피부 부착형 온도 센서.

[화학식 2]



[화학식 4]



청구항 16

제1항에 있어서,

상기 제1 전극층 및 상기 제2 전극층 각각은 열적으로 증발된 금속도체의 금속화를 사용하는 전사 인쇄 방법의 의해 상기 기판과 상기 활성층의 상부 각각에 형성되는 피부 부착형 온도 센서.

청구항 17

분리된 웨이퍼 또는 유리 기판 각각에서 동시에 또는 순차적으로 기판, 유전층 및 활성층을 제작하는 기판, 유전층 및 활성층 제작 단계;

패터닝 마스크를 사용하여 진공 하에서 열 증착을 통해 상기 기판 위에 신축성 하나 이상의 게이트 전극을 형성하는 제1 전극층 형성 단계;

상기 활성층의 상부에 하나 이상의 소스 전극 및 드레인 전극을 형성하는 제2 전극층 형성 단계; 및

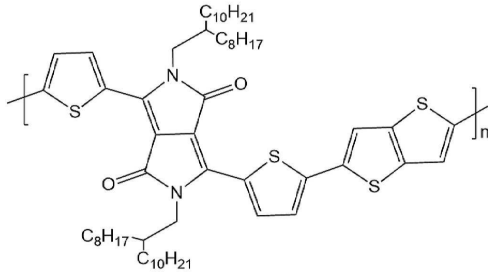
상기 유전층을 상기 제1 전극층이 형성된 상기 기판 상에 전사하고, 상기 제2 전극층이 상부에 위치되도록 상기 유전층의 상부에 상기 활성층을 전사하는 유전층 및 활성층 전사 단계를 포함하고,

상기 기판, 유전층 및 활성층 제작 단계에서 상기 활성층은,

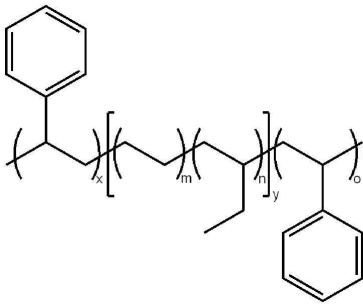
하기의 화학식 1의 유기 반도체 나노 섬유와 화학식 2의 엘라스토머를 화학식 3의 물질을 포함하는 용매에 혼합

하여 제작되는 피부 부착형 온도 센서 제작 방법.

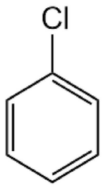
[화학식 1]



[화학식 2]



[화학식 3]

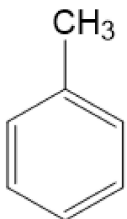


청구항 18

제17항에 있어서,

상기 기관, 유전층 및 활성층 제작 단계에서 상기 기관의 제작은 상기 화학식 2의 물질을 하기의 화학식 4의 물질에 90~110mg/mL의 농도로 혼합한 후 강체 기관 상에 스핀 코팅을 수행하여 상기 신축성 기관을 제작하는 것인 피부 부착형 온도 센서 제작 방법.

[화학식 4]



청구항 19

제17항에 있어서,

상기 기관, 유전층 및 활성층 제작 단계에서 상기 유전층의 제작은 상기 화학식 2의 물질을 상기 화학식 4의 물질에 50~70mg/mL의 농도로 혼합한 후 강체 기관 상에 스핀 코팅을 수행하여 SEBS 매트릭스를 형성하는 것인 피

부 부착형 온도 센서 제작 방법.

청구항 20

제17항에 있어서,

상기 기판, 유전층 및 활성층 제작 단계에서 상기 활성층의 제작은,

강성 기판 상에 전체 중량에 대하여 화학식 1로 표시되는 DPPT-TT와 화학식 2로 표시되는 SEBS를 1~3:7~9의 중량비로 화학식 3의 물질에 0.6 ~ 0.8 중량% 농도로 용해시킨 후 여과한 여과 용액을 하고, 여과 용액을 스핀코팅 후 어닐링을 수행하여 상기 활성층으로서 SEBS 매트릭스 내에 유기 반도체 나노 섬유 막이 형성된 DPPT-TT:SEBS 혼합 필름을 제작하는 것인 피부 부착형 온도 센서 제작 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 온도 센서에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는, 신축성 온도 감지 활성 매트릭스 유기 박막 전계 효과 트랜지스터(Organic Thin Film Field Effect Transistor, 이하, 'OTFT 소자'라 함), 상기 OTFT 기반으로 제작된 피부 부착형 온도 센서 및 그 제작 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 많은 질병은 체온의 변화로 식별되며, 이를 상시 모니터링하는 것은 현재 건강 상태에 대한 정보를 얻는 것과 동시에 전염병에 대한 예방이 가능하다. 최근 인플루엔자, 코로나19 등 감염병 확산이 유행함에 따라, 실시간 체온 측정은 필수 전제조건으로 자리잡고 있다. 이러한 요구를 충족하기 위해 피부와 유사한 온도 센서가 직접 인체와 통합되거나 피부에 부착되는 것은 신체의 움직임에도 견고하며 이물감이 없기 때문에 주목받고 있다.

[0003] 유기 반도체 내 전하 수송체의 호핑 수송(Hopping transport)에 있어 고유한 기계적 부드러움과 높은 온도 의존성을 기반으로 하는 유기 박막 전계 효과 트랜지스터(OTFT, Organic Thin Film Field Effect Transistor)는 서미스터, 커패시터 등 기존 2 단자 온도 센서에 비해 교차 감도가 뛰어나다. 이런 이유로 활성 매트릭스 어레이를 통한 전자 피부와 같은 온도 센서의 유망한 후보가 된다. 최근 본질적으로 신축성이 있는 유기 반도체 재료, 특히 유기 고분자의 급속한 개발로 인해 피부와 유사한 센서로서 OTFT의 잠재력이 주목받고 있다.

[0004] 신축성 있는 웨어러블 센서는 궁극적으로 낮은 전력 소비와 피부 순응성을 갖춘 생리적 신호에 대한 높은 반응을 요구한다. 그러나 전력-응답 트레이드오프와 변형에 따른 감지 불안정성은 전자 피부(e-skin) 센서의 주요 과제로 남아 있습니다. 따라서, 신축성 OTFT가 피부에 부착되는 온도 센서로 응용되기 위해서는 낮은 온도 감도와 변형 시 전기적 불안정성을 극복해야 한다. 또한, 제한된 충전식 배터리의 전기적 용량을 고려할 때 전력 소비를 줄이기 위해 작동 전압을 낮춰야 한다.

[0005] 이에 따라, 전계 효과 트랜지스터 기반 센서 응용에서 높은 신호 이득과 낮은 전력 소비를 위해 작동 전압이 거의 0 전압에 가깝고 가장 높은 상호 컨덕턴스 효율(gm/I_D)을 갖는 하위 임계값 방식이 제안되었다. 상기 I_D 는 드레인 전류이다.

[0006] 그러나 하위 임계값 영역에서의 변형 또는 열로서 유도된 전하 트랩 밀도로 인한 불안정성은 OTFT의 고감도 및 저전력 신축성 센서 응용에 대한 한계로 제시되고 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0007] (특허문헌 0001) 대한민국 공개특허 제10-2020-0094337호(2020.11.23. 공개)

(특허문헌 0002) 대한민국 공개특허 제10-2016-0136894호(2016.11.30. 공개)

비특허문헌

[0008] (비특허문헌 0001) X.Wu, Y. Ma, G. Zhang, Y. Chu, J. Du, Y. Zhang, Z. Li, Y. Duan, Z. Fan, J. Huang,

Adv. Funct. Mater. 2015, 25, 2138.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0009] 본 발명은 하위 임계값 영역에서의 변형 또는 열로서 유도된 전하 트랩 밀도로 인한 불안정성을 해소한 온도 센서 소자로서 고감도 및 저전력 특성을 갖는 신축성 OTFT 소자를 제공하는 것을 목적으로 한다.
- [0010] 본 발명은 신축성 소재를 적용하여 피부 유사 활성 매트릭스 온도 센서 어레이를 구현하여 제작된 피부 부착형 온도 센서를 제공하는 것을 목적으로 한다.
- [0011] 본 발명은 신축성 소재를 적용하여 피부 유사 활성 매트릭스 온도 센서 어레이를 구현하여 제작된 피부 부착형 온도 센서 제작 방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.
- [0012] 본 발명은 높은 트랜스 컨덕턴스(transconductance)를 갖는 하위 임계값 영역에서 온도를 검출하는 신축성 유기 트랜지스터 기반 고감도 및 저전력 특성을 갖는 피부 부착형 온도 센서를 제공하는 것을 다른 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

- [0013] 실시예는, 게이트 전극; 상기 게이트 전극의 상부에 엘라스토머로 적층된 유전층; 상기 유전층의 상부에 적층된 활성층; 상기 활성층의 상부에서 서로 이격되어 형성된 소스 전극 및 드레인 전극을 포함하고, 상기 활성층은, 상기 엘라스토머 매트릭스 내에 유기 반도체 나노 섬유가 혼합된 엘라스토머 매트릭스 유기 반도체 나노 섬유 혼합 필름으로 형성되는 신축성 OTFT 소자를 제공한다.
- [0014] 실시예는, 엘라스토머로 형성된 기판; 하나 이상의 게이트 전극을 포함하여 상기 기판 상에 형성된 제1 전극층; 상기 기판과 상기 제1 전극층 상부에 상기 엘라스토머로 적층된 유전층; 상기 유전층의 상부에 적층된 활성층; 하나 이상의 소스 전극 및 드레인 전극을 포함하여 상기 활성층의 상부에 적층된 제2 전극층; 및 상기 제2 전극층의 상부를 밀봉하는 캡슐층을 포함하고, 상기 활성층은, 상기 엘라스토머 매트릭스 내에 유기 반도체 나노 섬유가 혼합된 엘라스토머 매트릭스 유기 반도체 나노 섬유 혼합 필름으로 형성되는 피부 부착형 온도 센서를 제공한다.
- [0015] 실시예는 분리된 웨이퍼 또는 유리 기판 각각에서 동시에 또는 순차적으로 기판, 유전층 및 활성층을 제작하는 기판, 유전층 및 활성층 제작 단계; 패터닝 마스크를 사용하여 진공 하에서 열 증착을 통해 상기 기판 위에 신축성 하나 이상의 게이트 전극을 형성하는 제1 전극층 형성 단계; 상기 활성층의 상부에 하나 이상의 소스 전극 및 드레인 전극을 형성하는 제2 전극층 형성 단계; 및 상기 유전층을 상기 제1 전극층이 형성된 상기 기판 상에 전사하고, 상기 제2 전극층이 상부에 위치되도록 상기 유전층의 상부에 상기 활성층을 전사하는 유전층 및 활성층 전사 단계를 포함하고, 상기 기판, 유전층 및 활성층 제작 단계에서 상기 활성층은, 하기의 화학식 1의 유기 반도체 나노 섬유와 화학식 2의 엘라스토머를 화학식 3의 물질을 포함하는 용매에 혼합하여 제작되는 피부 부착형 온도 센서 제작 방법을 제공한다.

발명의 효과

- [0016] 본 발명의 실시예는 신축성 기판, 유전층, 제1 전극층, 유기 반도체 나노 섬유 엘라스토머 혼합 필름층인 활성층, 제2 전극층을 통해 신축성 하위 임계값(subthreshold) 활성 매트릭스 어레이 온도 센서인 피부 부착형 온도 센서를 용이하게 제작할 수 있다.
- [0017] 본 발명의 실시예는 종래기술에 비해 높은 온도 감도 및 낮은 소비 전력, 빠른 응답 시간 등의 향상된 특성을 갖는 차세대 신축성 피부 유사 온도센서를 용이하게 제공할 수 있다.
- [0018] 본 발명의 실시예는 저전압(-1V)에서 작동하는 본질적으로 신축 가능한 유기 하위 임계값 트랜지스터가 제시되어, 초저전력 소비(<1nW) 특성을 가지면서도 매우 감도가 높은 피부 부착형 온도 센서를 제공할 수 있다.
- [0019] 본 발명의 실시예는 완전히 신축 가능한 하위 임계값 트랜지스터의 온도 의존성이 높은 호핑 전송에 의해 높은 온도 감도(9.4% ° C⁻¹)와 최대 100% 변형률까지 뛰어난 감지 안정성을 가지는 피부 부착형 온도 센서를 제공할 수 있다.

[0020] 본 발명의 효과는 이상에서 언급된 것들에 한정되지 않으며, 언급되지 아니한 다른 효과들은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

도면의 간단한 설명

[0021] 도 1은 실시예에 따르는 신축성 온도 감지 활성 매트릭스 OTFT 소자(100)의 사시도이다.

도 2는 실시예에 따르는 도 1의 OTFT 소자(100)들의 배열인 OTFT 어레이(200)를 가지는 피부 부착형 온도 센서(1)의 적층 구조를 나타내는 도면이다.

도 3은 실시예의 OTFT 소자(100)(도 3의 a)와 온도 센서(1)(도 3의 b)를 나타내는 광학현미경(Optical Microscopy, OM) 사진이다.

도 4는 온도 변화에 따른 전달 곡선의 턴온 및 하위 임계값 영역에서 드레인 전류 변화를 나타내는 그래프이다.

도 5은 실시예의 피부 부착형 온도 센서 제작 방법의 처리과정을 나타내는 순서도이다.

도 6은 미세 상 분리 구조를 평가하기 위한 신축성 반도체의 원자힘 현미경(Atomic Force Microscope, AFM) 사진이다.

도 7은 드레인 전압(V_D)에 따른 신축성 온도 감지 활성 매트릭스 OTFT 소자(100)의 전송 곡선 및 출력 곡선 변화를 나타내는 그래프이다.

도 8은 드레인 전압에 따른 하위 임계값 기울기 및 전하 트랩 밀도 변화를 나타내는 그래프이다.

도 9는 하위 임계값 영역에서 단일 신축성 OTFT 소자(100)의 온도에 따른 전기적 성능 변화를 나타내는 그래프이다.

도 10은 포화 영역에서의 단일 신축성 OTFT 소자(100)의 온도 변화에 따른 전기적 성능 및 특성 평가 결과를 나타내는 그래프이다.

도 11은 단일 신축성 OTFT 소자(100)의 게이트 전압에 따른 온도 감도 평가 결과를 나타내는 그래프이다.

도 12는 포화 영역 및 하위 임계값 영역에서의 단일 신축성 OTFT 소자(100)의 활성화 에너지를 비교한 그래프이다.

도 13은 온도에 따른 NS-전류 및 V_{th} 변화를 평가한 결과를 나타내는 그래프이다.

도 14는 녹색 발광 고분자 반도체의 인장에 따른 결정성 변화를 나타내는 그래프이다.

도 15는 온도 변화에 따른 유전 특성 변화 평가 결과를 나타내는 그래프이다.

도 16은 온도 변화에 따른 활성층(60)에 포함되는 반도체 표면 모폴로지 변화 평가 결과를 나타내는 그래프이다.

도 17은 온도 변화에 따른 반도체 막 UV-vis 흡수 스펙트럼 변화 평가 결과를 나타내는 그래프이다.

도 18은 온도 변화에 따른 접촉 저항 변화 평가 결과를 나타내는 그래프이다.

도 19는 온도 변화에 따른 OTFT 소자(100)의 전송 모드 변화 평가 결과를 나타내는 그래프이다.

도 20은 채널 수평 방향으로 인장 변형 환경에서의 반도체 막 온도 민감성 평가 결과를 나타내는 그래프이다.

도 21은 채널 수직 방향으로 인장 변형 환경에서의 반도체 막 온도 민감성 평가 결과를 나타내는 그래프이다.

도 22는 5 x 5 OTFT 어레이(200)의 전기적 특성 평가 결과를 나타내는 그래프이다.

도 23은 온도 변화에 따른 OTFT 어레이(200)의 하위 임계값 영역 전송 곡선(a) 및 출력 곡선(b)을 나타내는 그래프이다.

도 24는 OTFT 어레이(200)의 인장 변형에 따른 온도 반응성 평가 결과를 나타내는 그래프이다.

도 25는 온도 센서(1)의 체온 유사 범위에서 실시간 온도에 따른 드레인 전류(I_D)의 변화 평가 결과를 나타내는 그래프이다.

도 26은 OTFT 어레이(200)를 이용한 온도 센서 중 설계 중점 요소에 따른 신축성 및 온도 감도 비교 평가 결과를 나타내는 그래프이다.

도 27은 유연 및 신축성 트랜지스터 온도 센서 소자 중 소비 전력 비교 평가 결과를 나타내는 그래프이다.

도 28은 역방향 및 순방향 온도 변화에 따른 전류 반응 속도 비교 평가 결과를 나타내는 그래프이다.

도 29는 다양한 변형 환경 내 전류 안정성 평가 결과를 나타내는 그래프이다.

도 30은 차가운 혹은 뜨거운 금속구를 이용한 NS-전류 및 변형 3D 매핑을 나타내는 그래프이다.

도 31은 차가운 혹은 뜨거운 금속구에 의해 변화된 NS-전류를 이용한 온도 센싱 정확성 평가 결과를 나타내는 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0022] 본 명세서에 개시되어 있는 본 발명의 개념에 따른 실시예들에 대해서 특정한 구조적 또는 기능적 설명들은 단지 본 발명의 개념에 따른 실시예들을 설명하기 위한 목적으로 예시된 것으로서, 본 발명의 개념에 따른 실시예들은 다양한 형태로 실시될 수 있으며 본 명세서에 설명된 실시예들에 한정되지 않는다.
- [0023] 본 발명의 개념에 따른 실시예들은 다양한 변경들을 가할 수 있고 여러 가지 형태들을 가질 수 있으므로 실시예들을 도면에 예시하고 본 명세서에 상세하게 설명하고자 한다. 그러나, 이는 본 발명의 개념에 따른 실시예들을 특정한 개시형태들에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 변경, 균등물, 또는 대체물을 포함한다.
- [0024] 제1 또는 제2 등의 용어를 다양한 구성요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 상기 구성요소들은 상기 용어들에 의해 한정되어서는 안 된다. 상기 용어들은 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하는 목적으로만, 예를 들어 본 발명의 개념에 따른 권리 범위로부터 이탈되지 않은 채, 제1 구성요소는 제2 구성요소로 명명될 수 있고, 유사하게 제2 구성요소는 제1 구성요소로도 명명될 수 있다.
- [0025] 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "연결되어" 있다거나 "접속되어" 있다고 언급된 때에는, 그 다른 구성요소에 직접적으로 연결되어 있거나 또는 접속되어 있을 수도 있지만, 중간에 다른 구성요소가 존재할 수도 있다고 이해되어야 할 것이다. 반면에, 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "직접 연결되어" 있다거나 "직접 접속되어" 있다고 언급된 때에는, 중간에 다른 구성요소가 존재하지 않는 것으로 이해되어야 할 것이다. 구성요소들 간의 관계를 설명하는 표현들, 예를 들어 "~사이에"와 "바로~사이에" 또는 "~에 직접 이웃하는" 등도 마찬가지로 해석되어야 한다.
- [0026] 본 명세서에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시예들을 설명하기 위해 사용된 것으로, 본 발명을 한정하려는 의도가 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 명세서에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 실시된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것이 존재함으로 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.
- [0027] 다르게 정의되지 않는 한, 기술적이거나 과학적인 용어를 포함해서 여기서 사용되는 모든 용어들은 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 가진다. 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 것과 같은 용어들은 관련 기술의 문맥상 가지는 의미와 일치하는 의미를 갖는 것으로 해석되어야 하며, 본 명세서에서 명백하게 정의하지 않는 한, 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미로 해석되지 않는다.
- [0028] 이하, 실시예들을 첨부된 도면을 참조하여 상세하게 설명한다. 그러나 특허출원의 범위가 이러한 실시예들에 의해 제한되거나 한정되는 것은 아니다. 각 도면에 제시된 동일한 참조 부호는 동일한 부재를 나타낸다.
- [0029] 도 1은 실시예에 따르는 신축성 온도 감지 활성 매트릭스 OTFT 소자(100)의 사시도이다.
- [0030] 도 1과 같이, 상기 OTFT 소자(100)는 게이트 전극(G), 상기 게이트 전극(G)의 상부에 엘라스토머(elastomer)로 적층된 유전층(30), 상기 유전층(30)의 상부에 적층된 활성층(60), 상기 활성층(60)의 상부에 형성된 소스 전극(S) 및 드레인 전극(D)을 포함하여 신축성을 가지도록 구성될 수 있다. 상기 소스 전극(S)과 드레인 전극(D)의 사이의 상기 활성층(60) 영역이 소스 전극(S)과 드레인 전극(D) 사이에 전류를 흐르게 하는 채널을 형성하는 활성 영역(active region)일 수 있다.

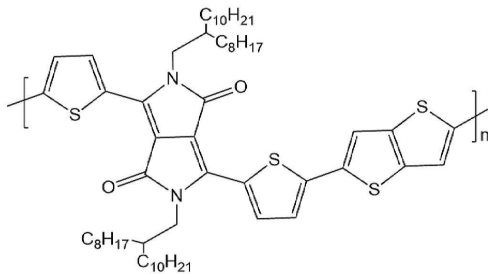
[0031] 도 2는 실시예에 따르는 도 1의 OTFT 소자(100)들의 배열인 OTFT 어레이(200)를 가지는 피부 부착형 온도 센서(1)(이하, '온도 센서(1)'라 함)의 적층 구조를 나타내는 도면이다.

[0032] 도 2와 같이, 상기 온도 센서(1)는 엘라스토머로 형성된 기관(10), 하나 이상의 게이트 전극(G)을 포함하여 상기 기관(10) 상에 형성된 제1 전극층(20), 상기 기관(10)과 상기 제1 전극층(20)의 상부에 상기 엘라스토머로 적층된 유전층(30), 상기 유전층(30)의 상부에 적층된 활성층(60), 하나 이상의 소스 전극(S) 및 드레인 전극(D)을 포함하여 상기 활성층(60)의 상부에 적층된 제2 전극층(70) 및 상기 제2 전극층(70)의 상부를 밀봉하는 캡슐층(80)을 포함하여 구성될 수 있다.

[0033] 도 1 및 도 2에서 상기 활성층(60)은 상기 엘라스토머 매트릭스 내에 유기 반도체 나노 섬유(50)가 혼합된 엘라스토머 매트릭스 유기 반도체 나노 섬유 혼합 필름으로 형성될 수 있다.

[0034] 상기 유기 반도체 나노 섬유(50)를 형성하는 유기 반도체는 하기 화학식 1로 표시되는 [폴리-[2,5-비스(2-옥틸도데실)-3,6-디(티오펜-2-일) 피롤로 [3,4-c]피롤-1,4(2H, 5H)-디옥셀-알트-티에노[3, 2-b]티오펜]](poly-[2, 5-bis(2-octyldodecyl)-3, 6-di(thiophen-2-yl) pyrrolo [3, 4-c]pyrrole-1,4(2H, 5H)-dione]-alt-thieno [3, 2-b]thiophene])인 DPPT-TT일 수 있다.

[0035] [화학식 1]

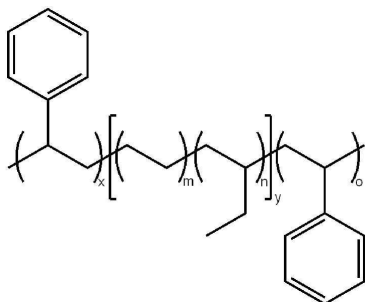


[0036]

[0037] 상기 DPPT-TT는 중량평균분자량이 100,000 g/mol 이상일 수 있다

[0038] 상기 엘라스토머는 하기 화학식 2로 표시되는 SEBS(styrene-ethylene-butylene-styrene) 유기 탄성중합체일 수 있다.

[0039] [화학식 2]



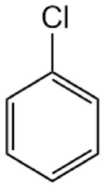
[0040]

[0041] 상기 화학식 2의 SEBS에서, 상기 (x+o) 대 (m+n)는 18:82 ~ 20:80의 조성비를 가질 수 있다.

[0042] 상기 활성층(60)을 형성하는 상기 엘라스토머 매트릭스 유기 반도체 나노 섬유 혼합 필름은 나노 구속 효과에 의해 SEBS 매트릭스(40) 내에 유기 반도체 나노 섬유(50)의 막이 형성된 DPPT-TT 나노 섬유 SEBS 혼합 필름(DPPT-TT:SEBS 혼합 필름)일 수 있다.

[0043] 상기 DPPT-TT:SEBS 혼합 필름은, 하기의 화학식 1로 표시되는 DPPT-TT와 화학식 2로 표시되는 SEBS를 화학식 3의 물질에 1~3 : 7~9의 중량비로 0.6 ~ 0.8 중량% 농도로 용해시켜 제조될 수 있다.

[0044] [화학식 3]

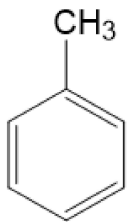


[0045]

[0046] 상기 기판(10)은 상기 화학식 2의 물질을 하기의 화학식 4의 물질에 90~110mg/mL의 농도로 혼합한 후 강체 기판 상에 스핀 코팅을 수행하여 제작될 수 있다.

[0047] 상기 유전층(30)은 상기 화학식 2의 물질을 상기 화학식 4의 물질에 50~70mg/mL의 농도로 혼합한 후 강체 기판 상에 스핀 코팅을 수행하여 제작된 SEBS 매트릭스일 수 있다.

[0048] [화학식 4]



[0049]

[0050] 상기 제1 전극층(20) 및 상기 제2 전극층(70) 각각은 열적으로 증발된 Ag 금속화를 사용하는 전사 인쇄 방법에 의해 각각이 유리 기판 등의 강체 기판 상에 형성된 상기 기판(10)과 상기 활성층(60) 상부 각각에 형성될 수 있다.

[0051] 이후, 상기 제1 전극층(20)이 상기 기판(10)과 상기 활성층(60)을 상기 제1 전극층(20)이 상기 기판(10)과 상기 활성층(60)의 사이에 위치되고, 상기 제2 전극층(70)이 상기 제1 전극층(20)이 형성된 면의 반대면인 상기 활성층(60)의 상부에 위치되도록 상기 강체 기판 상의 상기 기판(10)을 상기 활성층(60)으로 전사하여 신축성 온도 센서(1)가 제작될 수 있다.

[0052] 도 3은 실시예의 OTFT 소자(100)(도 3의 a)와 온도 센서(1)(도 3의 b)를 나타내는 광학현미경(Optical Microscopy, OM) 사진이다.

[0053] 도 3의 a와 같이, 상기 OTFT 소자(100)는 게이트 전극(G)의 상부에 위치되는 DPPT-TT:SEBS 혼합 필름으로 형성되는 활성층(60)과, 상기 활성층(60)의 상부에 형성되는 소스 전극(S) 및 드레인 전극(D)을 포함하여 구성될 수 있다.

[0054] 도 3의 b와 같이, 상기 온도 센서(1)는 도 1 및 도 2의 기판(10)과 상기 활성층(60)의 상부에 각각 형성되는 게이트 전극(G)들, 소스 전극(S)들 및 드레인 전극(D)들에 의해 형성되는 OTFT 소자(100)들이 배열로 형성된 OTFT 어레이(200)를 포함하여 사람의 피부(도 3의 경우 손목 안 쪽 피부)에 부착될 수 있도록 제작될 수 있다.

[0055] 도 4는 온도 변화에 따른 전달 곡선의 턴온 및 하위 임계값 영역에서 드레인 전압(V_D)에 따른 드레인 전류 변화를 나타내는 그래프이다.

[0056] 상기 OTFT 소자(100)는 도 4와 같이, OTFT 소자(100)의 전송 곡선의 하위 임계값 기울기가 더 가파르게 된다. 이는 낮은 드레인 전압(V_D)에서 상호 컨덕턴스 효율이 높아져 낮은 전력 소비로 열 자극에 대한 높은 응답을 얻을 수 있음을 나타낸다.

[0057] 도 5는 실시예의 피부 부착형 온도 센서 제작 방법의 처리과정을 나타내는 순서도이다.

[0058] 도 5와 같이 실시예의 피부 부착형 온도 센서 제작 방법은, 기판, 유전층 및 활성층 제작 단계(S10), 제1 전극층 형성 단계(S20), 제2 전극층 형성 단계(S30) 및 유전층 및 활성층 전사 단계(S40)를 포함할 수 있다.

[0059] 상기 기판, 유전층 및 활성층 제작 단계(S10)에서 상기 기판(10), 유전층(30) 및 활성층(60)의 제작은 각각 분

리된 웨이퍼 또는 유리 기판에서 동시에 또는 순차적으로 수행될 수 있다.

- [0060] 상기 기판, 유전층 및 활성층 제작 단계(S10)에서 상기 기판(10)의 제작은 상기 화학식 2의 물질을 상기 화학식 4의 물질에 90~110mg/mL의 농도로 혼합한 후 강체 기판 상에 스핀 코팅을 수행하여 상기 신축성 기판(10)을 제작하는 것일 수 있다.
- [0061] 상기 화학식 2의 물질이 상기 화학식 4의 물질에 90mg/mL 미만 또는 110mg/mL을 초과하는 농도로 혼합되는 경우 상기 기판(10)의 신축성이 감소될 수 있다.
- [0062] 상기 기판(10)을 제조하기 위한 용액의 농도는 기판의 두께를 좌우한다. 기판(10)을 제조하기 위한 용액의 농도가 90mg/ml 보다 적은 경우, 기판(10)이 너무 얇아 제어하기 어려워 공정성이 떨어질 수 있다. 기판(10)을 제공하기 위한 용액의 농도가 110mg/ml를 초과하는 경우, 기판(10)이 너무 두꺼워져 기판(10) 자체의 인장강도가 커짐과 동시에 피부 등과 같은 다른 곳에 부착할 때의 등각접촉이 어려운 문제가 생길 수 있다.
- [0063] 상기 기판, 유전층 및 활성층 제작 단계(S10)에서 상기 유전층(30)의 제작은 상기 화학식 2의 물질을 상기 화학식 4의 물질에 50~70mg/mL의 농도로 혼합한 후 강체 기판 상에 스핀 코팅을 수행하여 유전층(30)으로서 SEBS 매트릭스를 형성하는 것일 수 있다.
- [0064] 상기 화학식 2의 물질이 상기 화학식 4의 물질에 50mg/mL 미만 또는 70mg/mL 초과되는 농도로 혼합되는 경우 상기 유전층(30)의 신축성이 감소될 수 있다.
- [0065] 유전층(30)의 경우 두께에 따라 절연특성이 확연히 달라질 수 있다. 따라서 상기 화학식 2의 물질이 50mg/ml 미만의 농도로 혼합되는 경우 절연특성이 매우 떨어질 수 있다. 상기 화학식 2의 물질이 70mg/ml가 초과되는 경우 소자의 온 전류(on-current)가 떨어질 수 있다.
- [0066] 상기 기판, 유전층 및 활성층 제작 단계(S10)에서 상기 활성층(60)의 제작은, 강성 기판 상에 전체 중량에 대하여 화학식 1로 표시되는 DPPT-TT와 화학식 2로 표시되는 SEBS를 1~3 : 7~9의 중량비로 화학식 3의 물질에 0.6 ~ 0.8 중량% 농도로 용해시킨 후 여과하고, 여과 용액을 산화막이 형성된 웨이퍼 상에 스핀코팅 후 어닐링을 수행하여 SEBS 매트릭스 내에 유기 반도체 나노 섬유 막이 형성된 DPPT-TT:SEBS 혼합 필름을 제작하는 것일 수 있다.
- [0067] 상기 화학식 1의 물질이 화학식 2에 대한 중량비가 1:9 미만으로 되는 경우 상기 활성층(60)의 반도체 특성이 감소될 수 있다. 상기 화학식 1의 물질이 화학식 2에 대한 중량비가 3:7을 초과하는 경우 상기 활성층(60)의 반도체 특성 및 신축성이 감소될 수 있다.
- [0068] 반도체 층의 경우 혼합비가 신축성과 관련이 매우 크다. 반도체 층의 혼합비가 가지는 의미는 신축성, 필름의 모폴로지 혹은 전기적인 특성이 된다. 혼합되는 기 화학식 1의 물질과 화학식 2의 중량비가 1:9 미만으로 되는 경우 신축성은 매우 커질 수 있으나 전기적 성능이 매우 떨어질 수 있다. 그러나 3:7을 초과하는 경우 반대로 전기적 성능은 상승할 수 있으나 신축성이 떨어질 수 있고, 필름 모폴로지가 균일하지 않게 될 수 있다.
- [0069] 상기 제1 전극층 형성 단계(S20)는, 패터닝 마스크를 사용하여 고진공(5.0 x 10⁻⁶ torr 이하) 하에서 열 증착을 통해 상기 신축성 기판(10) 위에 신축성 Ag(50nm) 게이트 전극(G)을 형성하는 것일 수 있다.
- [0070] 상기 제2 전극층 형성 단계(S30)는, 신축성 반도체 층인 상기 활성층(60) 위에 패터닝 마스크를 사용하여 열 증착을 통해 신축성 있는 Ag(50nm) 소스 전극(S) 및 드레인 전극(D)을 형성하는 단계일 수 있다. 상기 제2 전극층 형성 단계(S30)는 상기 DPPT-TT:SEBS 혼합 필름 상에 하나 이상의 소스 전극 및 드레인 전극을 형성하는 단계일 수 있다.
- [0071] 상기 유전층 및 활성층 전사 단계(S40)는, 상기 유전층(30)을 상기 게이트 전극이 형성된 기판(10) 상에 전사하고, 상기 유전층(30)의 상부에 상기 활성층(60)을 전사하여 OTFT 어레이(200)를 가지는 신축성 피부 부착형 온도 센서(1)를 제작하는 단계일 수 있다.
- [0072] 이 후, 상기 온도 센서(1)의 보호를 위해 상기 제2 전극층(70) 및 상기 활성층(60)의 상부에 SEBS 매트릭스를 증착하여 캡슐층(80)이 형성될 수 있다.
- [0073] <실시예>
- [0074] 1. 재료
- [0075] 폴리[2,5-(2-옥틸도데실)-3, 6-디케토피롤로피롤-alt-5, 5-(2, 5-디(티에닐) 티에노[3, 2b]티오펜)](DPPT-

TT)을 Derthon에서 구입했다. 폴리머의 분자량과 다분산지수(PDI)는 $M_n > 33k$ 이고 $PDI = 3.0$ 이었다.

- [0076] 스티렌-에틸렌-부틸렌-스티렌(SEBS) 엘라스토머는 AsahiKASEI에서 제공되었다. H1062(18% 스티렌 함량) 및 H1052(20% 스티렌 함량)는 각각 반도체층으로서 유기 반도체 나노 섬유(50)의 막, 탄성중합체 기관(10) 및 유전층(30)의 혼합 성분으로 사용되었다. 모든 재료는 구입한 대로 사용되었다.
- [0077] 2. 장치 제조 - 강성 기관 기반 OTFT
- [0078] 신축성 반도체 필름인 활성층(60)인 DPPT-TT:SEBS 혼합 필름을 제조하기 위해 DPPT-TT와 SEBS H1062를 무수 클로로벤젠에 2:8 중량비로 0.7 중량% 농도로 용해시켰다. 용액을 120℃에서 3시간 동안 용해시켰다.
- [0079] 반도체 필름으로서 DPPT-TT:SEBS 혼합 필름 제조를 위해 0.2 μm PTFE-D 필터를 사용하여 여과한 용액을 옥타데실트리메톡시실란(octadecyltrimethoxysilane, OTS) 처리된 Si 웨이퍼에 300 nm의 SiO₂를 사용하여 1000 rpm에서 1분 동안 스핀 코팅한 다음 N₂ 대기 글로브박스(H₂O <0.01ppm, O₂ <0.01ppm)에서 180 ° C로 1시간 동안 어닐링하여 신축성 반도체 필름인 DPPT-TT:SEBS 혼합 필름을 제조하였다(기관, 유전층 및 활성층 제작 단계(S10) 중 활성층 제작 단계).
- [0080] 마지막으로 열 증발기(W: 1000 μm, L: 150 μm)를 사용하여 은을 증발시켜 소스 전극(S) 및 드레인 전극(D)을 형성하여 강성 기관 기반 유기 박막 전계 효과 트랜지스터(OTFT, Organic Thin Film Field Effect Transistor) 어레이(200)를 제작했다(제2 전극층 형성 단계(S30)).
- [0081] 신축성 유전층(30)은 SEBS H1052 용액(톨루엔 중 60mg/mL)을 ITO(Indium Tin Oxide, 게이트 전극, 초기 저항 20Ω)가 형성된 유리 기관 위에 스핀 코팅하여 준비했다((기관, 유전층 및 활성층 제작 단계(S10) 중 유전층 제작 단계).
- [0082] 그런 다음 PDMS(polydimethyl siloxane) 스탬프를 사용하여 OTS 처리된 Si 웨이퍼에서 SEBS/ITO 유리 기관으로 엘라스토머 매트릭스 기관(10)을 전사했다.
- [0083] 3. 장치 제작 - 신축성 온도 감지 활성 매트릭스 OTFT 어레이(200)
- [0084] OTFT 어레이(200)를 위한 기관(10)은 10mL의 SEBS H1062 용액(톨루엔 중 100mg/mL)을 슬라이드 유리 위에 캐스팅하여 준비하였다. 제조된 신축성 기관(10)의 두께는 약 0.05mm였다(기관, 유전층 및 활성층 제작 단계(S10)에서 기관 제작 단계).
- [0085] 그런 다음 패터닝 마스크를 사용하여 고진공(5.0 x 10⁻⁶ torr 이하) 하에서 열 증착을 통해 신축성 기관(10) 위에 신축성 Ag(50nm) 게이트 전극(G)을 제조했다(제1 전극층 형성 단계(S20)).
- [0086] 스핀 코팅된 신축성 유전층(30)(톨루엔의 SEBS H1052)과 온도 감지를 위한 SEBS 매트릭스(40) 내에 유기 반도체 나노 섬유(50)의 막을 포함하는 활성층(60)을 OTS-Si 웨이퍼에서 Ag 게이트 전극(G)이 준비된 신축성 기관(10)으로 순차적으로 전사 인쇄했다(유전층 및 활성층 전사 단계(S40)).
- [0087] 그런 다음 신축성 반도체 층인 활성층(60) 위에 패터닝 마스크를 사용하여 열 증착을 통해 신축성 있는 Ag(50nm) 소스 전극(S) 및 드레인 전극(D)을 형성하여 OTFT 어레이(200)를 가지는 실시예의 온도 센서(1)를 제작했다.
- [0088] 4. 특성화(Characterization) - OTFT 어레이(200)의 온도 의존적 전기적 특성화
- [0089] 피부 부착형 온도 센서(1)의 전기적 특성화는 맞춤형 LabVIEW(National Instruments) 프로그램과 함께 Keithely 2400A 소스 미터를 사용하여 수행되었다.
- [0090] 작동 온도를 변경하기 위해 제벡(Seebeck) 효과 가열 프로브 스테이션을 Keithely 2400A 소스 미터와 연결했다. 특히 모든 전기 측정은 주변 조건에서 수행되었으며 가열 프로브 변형의 온도 포화에 대해 1분의 안정화 시간을 가졌다.
- [0091] 5. 특성화(Characterization)- 필름 형태의 온도 센서(1)의 특성화
- [0092] AFM(Atomic Force Microscopy) 이미지는 MULTIMOE-8J를 사용하여 획득했다. 모든 UV/가시광/NIR 흡수 스펙트럼은 JASCO V-770을 사용하여 획득하였다. UV-vis 분광 측정을 위해 OTS 웨이퍼에 스핀 코팅하고 어닐링하여 온도 센서(1)의 샘플을 준비한 다음 PDMS 스탬프를 통해 깨끗한 유리 위에 옮겼다. 형성된 응집체에 대한 온도의 영향을 조사하기 위해 하나의 온도 센서(1)를 각각 30분 동안 0, 50 및 100 ° C의 환경에 노출시킨 후 각 측정 전

에 천천히 실온으로 되돌렸다.

- [0093] 6. 특성화(Characterization) - 온도 센서(1)의 실시간 온도 감지
- [0094] 온도를 감지하는 OTFT 어레이(200)를 포함하는 온도 센서(1)의 실시간 전기 측정은 Keithely 2400A를 사용하여 수행되었다.
- [0095] 인간의 피부 움직임에 따른 변형을 측정하기 위해 소스 전극(S), 드레인 전극(D), 게이트 전극(G)이 각각 프로브와 금선으로 연결된 온도 센서(1)를 도 3의 b와 같이 인간의 손목에 부착하였다.
- [0096] 신장 조건에 따라 변화하는 다양한 온도에 대한 I_D 의 3D 매핑을 위해 어레이를 얼음으로 냉각 및 가열하고 어레이의 각 가장자리 뒤에 압력이 있는 물이 들어 있는 유리병을 고정했다.
- [0097] 7. 특성 평가
- [0098] <신축성 반도체 필름의 미세 구조 평가>
- [0099] 도 6은 미세 상 분리 구조를 평가하기 위한 신축성 반도체 필름의 원자힘 현미경(Atomic Force Microscope, AFM) 사진이다.
- [0100] 도 6은 유기체 반도체인 고분자 반도체와 엘라스토머를 혼합했을 때 일어나는 미세 상 분리 구조를 나타낸다.
- [0101] 도 6의 a는 고분자 반도체는 엘라스토머와 혼합 시 나노 섬유 구조를 띄며 전반적인 엘라스토머 매트릭스 내에서 균일하게 분포하고 있는 것을 나타낸다.
- [0102] 도 6의 b는 높이(height) 이미지로서 제작된 신축성 반도체 필름의 표면거칠기가 높지 않음을 나타낸다.
- [0103] <드레인 전압에 따른 제조된 신축성 온도 감지 활성 매트릭스 OTFT 소자(100)의 전기적 성능 및 특성 변화 평가>
- [0104] 도 7은 드레인 전압(V_D)에 따른 제조된 신축성 온도 감지 활성 매트릭스 OTFT 소자(100)의 전송 곡선 및 출력 곡선 변화를 나타내는 그래프이고, 도 8은 드레인 전압(V_D)에 따른 하위 임계값 기울기 및 전하 트랩 밀도 변화를 나타내는 그래프이다.
- [0105] 도 7 및 도 8은 OTFT 소자(100) 작동 시 드레인 전압(V_D)에 따른 소자의 전기적 성능 및 특성 변화를 나타낸다.
- [0106] 도 7의 a는 온도 변화에 따른 OTFT 어레이(200) 내의 단일 OTFT 소자(100)의 전달 특성을 나타낸다. 측정 온도는 0°C 에서 50°C 로 10°C 증가했다.
- [0107] 도 7의 b는 5×5 OTFT 어레이(200) 내의 단일 OTFT 소자(100)의 출력 특성을 나타낸다.
- [0108] 도 7의 a 및 b는 각각 전하 트랩과 관련된 이중 기울기가 없는 전송 및 출력 곡선을 나타냈다. 드레인 전압(V_D)의 변화에도 각 전송 곡선이 매우 일치하는 경향을 보이며, 출력 곡선 또한 초기 곡선 간 분리 및 선형성이 잘 유지되었다.
- [0109] 또한, 도 8과 같이, 드레인 전압(V_D)에 관계없이 $0 \sim -2\text{ V}$ 사이의 게이트 전압(V_G)에서 무시할 수 있는 임계 전압(V_{th})을 갖는 동일한 하위 임계값 기울기(SS)를 나타냈다. 이는 하위 임계값 영역에서 트랩 없는 정공 수송을 나타낸다. SS(0.8 V/dec)의 함수로 계산된 전하 트랩 밀도(N_t , $1.5 \times 10^{11}/\text{cm}^2 \cdot \text{eV}$)는 -30 V 에서 -1 V 사이의 드레인 전압(V_D) 범위에서 거의 변하지 않았다. 이는, 높은 전압을 이용한 성능과 비교했을 때 낮은 드레인 전압(V_D) 및 게이트 전압(V_G)을 이용하여도 OTFT 소자(100)가 전기적 성능 강하 없이 안정적으로 작동하는 것을 나타낸다.
- [0110] <하위 임계값 영역에서의 온도 감도 특성 평가>
- [0111] 도 9는 하위 임계값 영역에서 단일 신축성 OTFT 소자(100)의 온도에 따른 전기적 성능 변화를 나타내는 그래프이고, 도 10은 포화 영역에서의 단일 신축성 OTFT 소자(100)의 온도 변화에 따른 전기적 성능 및 특성 평가 결과를 나타내는 그래프이다.
- [0112] 도 9와 같이, $0 \sim 50^{\circ}\text{C}$ 의 온도 변화에 따라 V_D , $V_G = -1\text{V}$ 영역에서 V_{th} 및 전류가 변화함을 보였다. 이러한 데이터의 근간이 되는 전송 곡선의 이상성을 나타내는 평균 신뢰성은 0.99 였다. 전송 곡선의 이상성은 1에 근접

할 수 록 이상적이며, 0에 가까울수록 비이상적이다.

- [0113] 전류는 29pA에서 317pA로 기하 급수적으로 증가한 면 V_{th} 는 $-3.3 \pm 0.5V$ 로 유지되어 하위 임계값 전류가 트랩 없는 호핑 전송으로 인해 발생했으며, 도 10과 같이 포화 상태 영역에서의 전하 수송체 전송보다 더 높은 열 활성화 에너지가 필요함을 나타낸다.
- [0114] 도 11은 단일 신축성 OTFT 소자(100)의 게이트 전압에 따른 온도 감도 평가 결과를 나타내는 그래프이고, 도 12는 포화 영역 및 하위 임계값 영역에서의 단일 신축성 OTFT 소자(100)의 활성화 에너지를 비교한 그래프이다.
- [0115] 도 11과 같이, 정규화된 하위 임계값 전류(Normalized Subthreshold 전류(NS 전류), V_D 에서 $I_D/I_D^{25^\circ C}$, $V_D = -1V$)를 V_G 의 함수로 나타내어 온도에 대한 하위 임계값 전류 반응을 평가했을 때, 온도에 따른 감도는 $9.4\%/^\circ C$ 까지 증가했다. 이는 이전에 보고된 고분자 반도체 중 가장 높은 온도 감이다. 더욱이 하위 임계값 영역에서의 응답은 포화 영역($1.2\%/^\circ C$)보다 7.5배 더 높았다. 이는 도 12와 같이 전하 수송체 드리프트에 비해 하위 임계값 영역에서 전하 수송체 확산에 대한 더 높은 활성화 에너지를 반영한다.
- [0116] <온도에 따른 NS-전류 장기 안정성 평가>
- [0117] 도 13은 온도에 따른 NS-전류 및 V_{th} 변화를 평가한 결과를 나타내는 그래프이고, 도 14는 녹색 발광 고분자 반도체의 인장에 따른 결정성 변화를 나타내는 그래프이다.
- [0118] 도 13 및 도 14와 같이, 지속적인 온도 감지를 위한 지표로 NS 전류를 사용할 가능성을 확인하기 위해 다양한 온도에서 시간에 따른 NS 전류 및 V_{th} 의 변화를 측정했다. 30분 동안 안정적인 성능을 보여주었으며, 도 14와 같이 제작된 OTFT 소자(100)의 일반적인 온도 감지 분해능은 $0.5^\circ C$ 로 추정되었다.
- [0119] <온도 변화에 따른 트랜지스터 구성 요소 안정성 평가>
- [0120] 도 15는 온도 변화에 따른 유전 특성 변화 평가 결과를 나타내는 그래프이며, 도 16은 온도 변화에 따른 활성층(60)에 포함되는 반도체 표면 모폴로지 변화 평가 결과를 나타내는 그래프이고, 도 17은 온도 변화에 따른 반도체 막 UV-vis 흡수 스펙트럼 변화 평가 결과를 나타내는 그래프이며, 도 18은 온도 변화에 따른 접촉 저항 변화 평가 결과를 나타내는 그래프이다.
- [0121] 도 15 내지 도 18과 같이, 온도 변화에 따라 유전층(30)의 유전 특성은 매우 안정적이었다. 최대 $100^\circ C$ 까지 가열하는 동안 AFM 상 반도체() 막의 표면 모폴로지는 변화없이 잘 유지되었다. 또한, UV-vis 흡수 스펙트럼에서 볼 수 있는 고분자 반도체의 응집 특성은 $100^\circ C$ 에서 10분 동안 가열한 후에도 잘 유지되었다. OTFT 소자(100)의 접촉 저항은 냉각 및 가열에 대한 큰 변화 없이 안정한 것을 확인하였다.
- [0122] 도 19는 온도 변화에 따른 OTFT 소자(100)의 전송 모드 변화 평가 결과를 나타내는 그래프이다.
- [0123] 도 15 내지 도 18의 결과는, 도 19와 같이, 하위 임계값 OTFT 소자(100)가 전하 트랩과 관련된 전기적 불안정성에 직면하지 않고 온도 유지 시간 동안 안정적인 전하 주입 및 전송을 갖는다는 것을 확인하였다. 특히, 전송 모드 측면에서 OTFT는 3D 전송에 비해 더 빠른 전하 전송을 위해 현재 경로의 길이를 줄일 수 있는 2D 전하 캐리어 전송을 보여주었다.
- [0124] <인장 변형 환경에서의 반도체 막의 온도 민감성 평가>
- [0125] 도 20은 채널 수평 방향으로 인장 변형 환경에서의 반도체 막 온도 민감성 평가 결과를 나타내는 그래프이고, 도 21은 채널 수직 방향으로 인장 변형 환경에서의 반도체 막 온도 민감성 평가 결과를 나타내는 그래프이다.
- [0126] 도 20 및 도 21과 같이, DPPT-TT:SEBS 혼합 필름의 전기적 특성에 대한 변형률과 온도의 결합 효과를 조사하기 위해 먼저 연신된 필름을 사용하여 OTFT 어레이(200)를 제작한 다음 변형률에 대한 다른 구성 요소의 영향을 배제하기 위해 ITO/유리(glass) 기판에 전사하였다. 채널 길이에 평행 및 수직인 변형 방향에 대하여 $0 \sim 50^\circ C$ 의 온도 범위에서 초기 NS 전류값과 온도 응답은 양방향에서 최대 100% 변형까지 낮은 $V_{th}(<1V)$ 로 안정적으로 유지되었다.
- [0127] 이러한 결과로 나노 구속된(nanoconfined) DPPT-TT 나노 섬유가 100% 변형에서도 활성층을 형성하는 엘라스토머 매트릭스 내에서 상호 연결된 네트워크를 유지하여 변형에 의해 반도체와 유전층 사이의 계면에서 생성된 낮은 계면 트랩 및 전하 산란으로 효율적인 호핑 전송을 가능하게 하는 것을 확인하였다.
- [0128] 계면 트랩 및 전하 산란과 결합된 V_{th} 는 $0 \sim 50^\circ C$ 의 온도 범위 전체에서 100% 변형까지 $-2.5 \pm 0.5V$ 로 종래기술

(X.Wu, Y. Ma, G. Zhang, Y. Chu, J. Du, Y. Zhang, Z. Li, Y. Duan, Z. Fan, J. Huang, Adv. Funct. Mater. 2015, 25, 2138. 등)에서 보고된 연구보다 훨씬 작은 값을 나타내는 것을 확인하였다.

- [0129] 이러한 결과를 고려하여 냉각 및 가열 사이클을 반복하여 다양한 온도에서의 반도체 필름 신뢰성을 추가로 시험하였다.
- [0130] 도 20의 c와 도 21의 c는 다양한 변형에 대한 25 ~ 0℃의 다중 냉각 및 20 ~ 50℃의 다중 가열 주기 동안 NS 전류 변화를 나타냈다. 반도체 막은 여러 냉각 및 가열 주기 동안 변형 및 연신 방향에 관계없이 I_D 변화의 동일한 온도 의존성을 나타냈다. 이러한 결과는 NS 전류가 변형 효과 없이 매우 안정적인 온도 응답을 가지는 것을 명확하게 증명한다.
- [0131] <신축성 능동 매트릭스 어레이 소자의 전기적 성능 및 온도 응답 특성 평가>
- [0132] 온도 반응형 엘라스토머 매트릭스 유기 반도체 나노 섬유 혼합 필름으로 형성된 활성층(60)을 사용하여 신축 가능한 하위 임계값 OTFT 소자(100)가 5x5 OTFT 어레이(200)로 배치된 피부와 같은 온도 센서(1)를 제작하였다. 여기서, 활성 매트릭스 트랜지스터인 OTFT 어레이(200)의 신축 가능한 게이트 전극(G)을 포함하는 제1 전극층(20)과 소스 전극(S)과 드레인 전극(D)을 포함하는 제2 전극층(70)을 열 증발 Ag 금속화를 사용하는 전사 인쇄 방법을 사용하여 각각 신축성 기판(10)과 활성층(60)에 형성하였다. 이후 유기 기판에 형성된 제1 전극층(20)이 형성된 신축성 기판(10)을 활성층(60)에 전사하여 온도 센서(1)를 제작하였다.
- [0133] 이에 의해, 제작된 온도 센서(1)는 도 3과 같이 OM 이미지 상에서 정형화된 트랜지스터 구조의 OTFT 소자(100) (도 3의 a)와 손목 안쪽에 매끄럽게 맞을 정도로 얇고 부드러운 특성(도 3의 b)을 갖는 것이 확인되었다.
- [0134] 도 22는 5 x 5 OTFT 어레이(200)의 전기적 특성 평가 결과를 나타내는 그래프이다.
- [0135] 도 22와 같이, 온도 센서(1)에 배열된 OTFT 소자(100)는 균일한 전계 효과 이동도와 V_{th} 를 보이며 성공적으로 작동하였다.
- [0136] 도 23은 온도 변화에 따른 OTFT 어레이(200)의 하위 임계값 영역 전송 곡선(a) 및 출력 곡선(b)을 나타내는 그래프이다.
- [0137] 도 23의 a와 같이, 제작된 온도 센서(1)는 신뢰성 계수(γ)가 0.99인 일반적인 전송 곡선을 갖는 것을 확인하였다. 이는 유기 트랜지스터의 전계효과 이동도가 과대 평가되지 않았음을 나타낸다.
- [0138] 도 23의 b는 제작된 온도 센서(1)의 출력 곡선을 나타낸다. 도 23의 b의 출력 곡선은 Ag 금속화의 접촉 저항을 나타내며, 분명하게 나뉘어진 V_D 에 따른 I_D 는 OTFT 어레이(200)가 낮은 접촉 저항을 가지고 있음을 나타낸다.
- [0139] 도 24는 OTFT 어레이(200)의 인장 변형에 따른 온도 반응성 평가 결과를 나타내는 그래프이다.
- [0140] 도 24는 OTFT 어레이(200)에서 OTFT 소자(100)의 평균 NS 전류는 적용된 변형률의 다양한 진폭과 방향에 따라 0에서 50℃까지 온도 변조에 의해 기하급수적으로 증가하였다. 완전히 신축 가능한 하위 임계값 OTFT 소자(100)는 단단한 기판의 단일 하위 임계값 OTFT 소자(100)와 비교하여 하위 임계값 전류의 저하를 나타내지 않았다. 이는 변형으로 인한 채널 형상 및 유전체 두께의 변화가 OTFT 소자(100)의 하위 임계값 영역에서 정공 수송을 거의 변조하지 않음을 나타낸다. 또한, 온도 반응은 강성 기판에 제작된 단일 OTFT 소자(100)의 반응과 거의 동일하며 이는 변형 시 OTFT 어레이(200)의 임계값 이하 전류가 변형으로 인한 채널 형상 및 유전체 두께의 변화에 영향을 받지 않음을 나타낸다.
- [0141] <변형에 민감하지 않은 OTFT 어레이(200)의 온도 감도 평가>
- [0142] 도 25는 온도 센서(1)의 체온 유사 범위에서 실시간 온도에 따른 I_D 변화 평가 결과를 나타내는 그래프이고, 도 26은 OTFT 어레이(200)를 이용한 온도 센서 중 설계 중점 요소에 따른 신축성 및 온도 감도 비교 평가 결과를 나타내는 그래프이다.
- [0143] 도 25와 같이, 연속적인 온도 변화에 따른 OTFR 어레이의 픽셀 OTFT 소자(100)의 하위 임계값 영역(V_D , V_G = -1V)에서 하위 임계값 영역 전류-시간 응답 곡선을 나타낸다. 도 25와 같이, 0 ~ 50℃ 사이에서 가열 및 냉각 시 온도에 따라 전류가 기하급수적으로 증가하고 감소하는 것을 확인하였다. 온도 센서(1)의 감도는 기존 트랜지스터 기반 신축성 온도 센서 중 가장 높은 값인 9%/℃ 이상이었으며, 도 26은 종래 기술들과의 비교를 나타낸다.

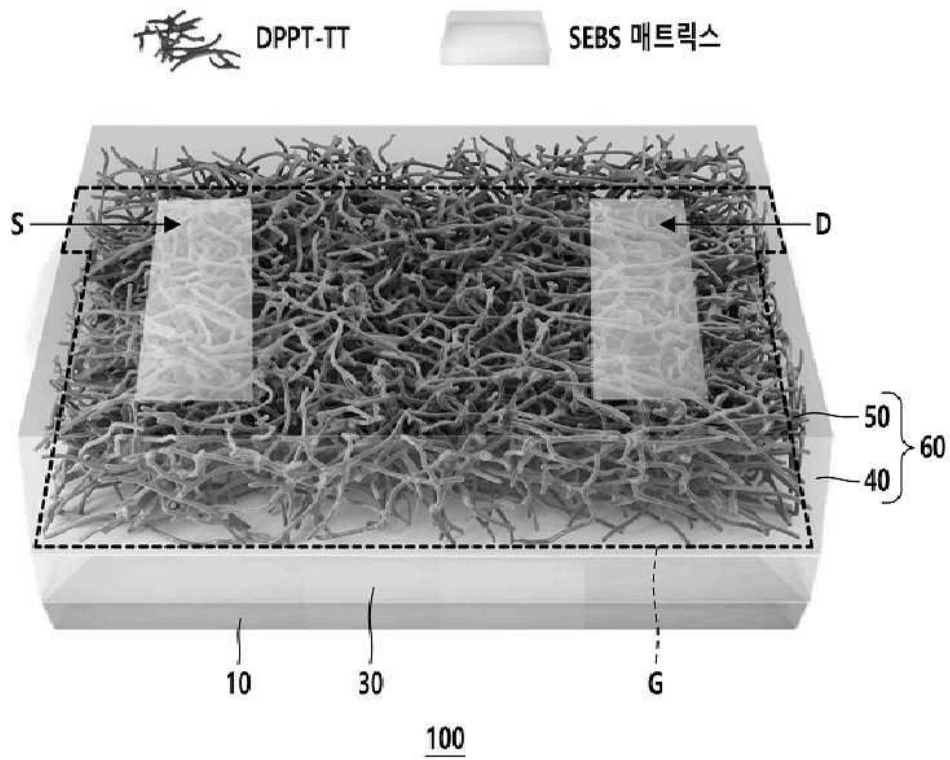
- [0144] 도 27은 유연 및 신축성 트랜지스터 온도 센서 소자 중 소비 전력 비교 평가 결과를 나타내는 그래프이다.
- [0145] 도 27과 같이, 대부분의 유기 트랜지스터에는 높은 구동 전압이 필요하다는 점을 고려하면 소비 전력은 무선 및 안전한 작동을 위한 중요한 매개 변수로, $-1\text{ V}(V_D \text{ 및 } V_G)$ 에서 작동하는 OTFT는 이전에 보고된 것 중에서 가장 낮은 소비 전력인 pW 수준 전력(최대 670pW)를 소비하였다.
- [0146] 도 28은 역방향 및 순방향 온도 변화에 따른 전류 반응 속도 비교 평가 결과를 나타내는 그래프이다.
- [0147] 도 28은 OTFT 소자(100)의 순방향 및 역방향 온도 단계 변화에 대한 센서 응답 시간의 조사 결과를 나타낸다. 실시예의 OTFT 소자(100)는 종래기술에서 보고된 유연하고 신축 가능한 트랜지스터 기반 온도 센서 중 가장 빠른 응답 시간인 300ms의 응답 시간을 나타냈다.
- [0148] 도 29는 다양한 변형 환경 내 전류 안정성 평가 결과를 나타내는 그래프이다.
- [0149] 도 29와 같이, 사람 손목 안쪽에 장착된 온도 센서(1)의 움직임에 따른 현재 시간 응답 곡선에서, 온도 센서(1)는 순차적인 굽힘, 압축 및 비틀림에도 불구하고 일관된 반응을 나타냈다. 이로 인해 온도 센서(1)의 형상 변화가 온도 측정에 영향을 미치지 않음을 확인하였다.
- [0150] 도 30은 차가운 혹은 뜨거운 금속구를 이용한 NS-전류 및 변형 3D 매핑을 나타내는 그래프이고, 도 31은 차가운 혹은 뜨거운 금속구에 의해 변화된 NS-전류를 이용한 온도 센싱 정확성 평가 결과를 나타내는 그래프이다.
- [0151] 도 30 및 도 31과 같이, 금속구 압흔에 의한 변형된 온도 센서(1)의 각 하위 임계값 전류는 25°C 에서 94.9%의 정확도를 가지며 온도 값으로 변환되었다. 이에 따라 표면 온도 매핑이 성공적으로 수행되었다. 실온에서 3D 변형 시 최대 45% 변형에 의한 온도 센서 감도의 저하가 없었다. 각각 차가운 금속 볼 압입 아래에 있는 온도 센서(1)의 NS 전류 매핑 결과 열화상 스캐닝 결과와 동일한 NS 전류 매핑에서 변환된 온도 분포를 보였다.

부호의 설명

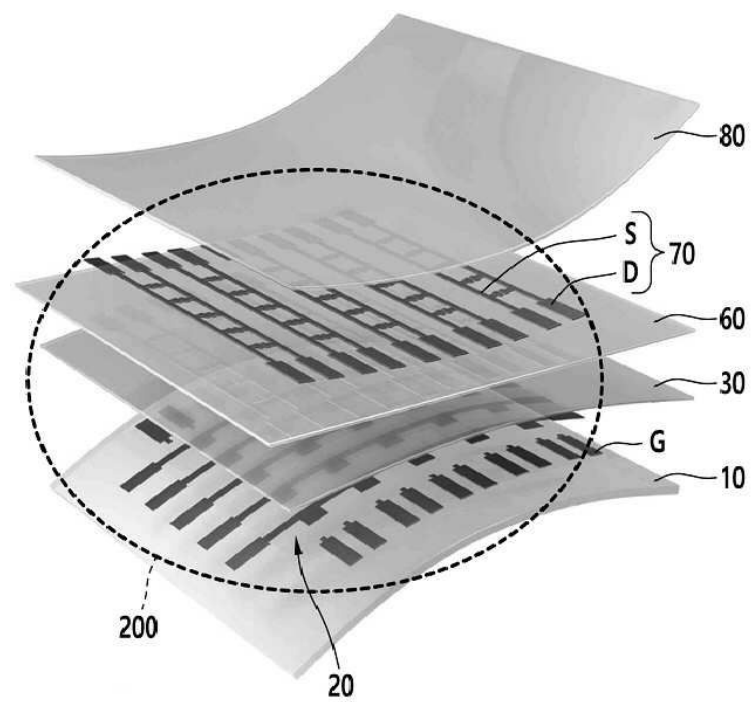
- [0152] 1: 온도 센서
 10: 기판
 20: 제1 전극층
 30: 유전층
 40: SEBS 매트릭스
 50: 유기 반도체 나노섬유
 60: 활성층
 70: 제2 전극층
 80: 캡슐층
 100: OTFT 소자
 200: OTFT 어레이
 S: 소스 전극
 D: 드레인 전극
 G: 게이트 전극

도면

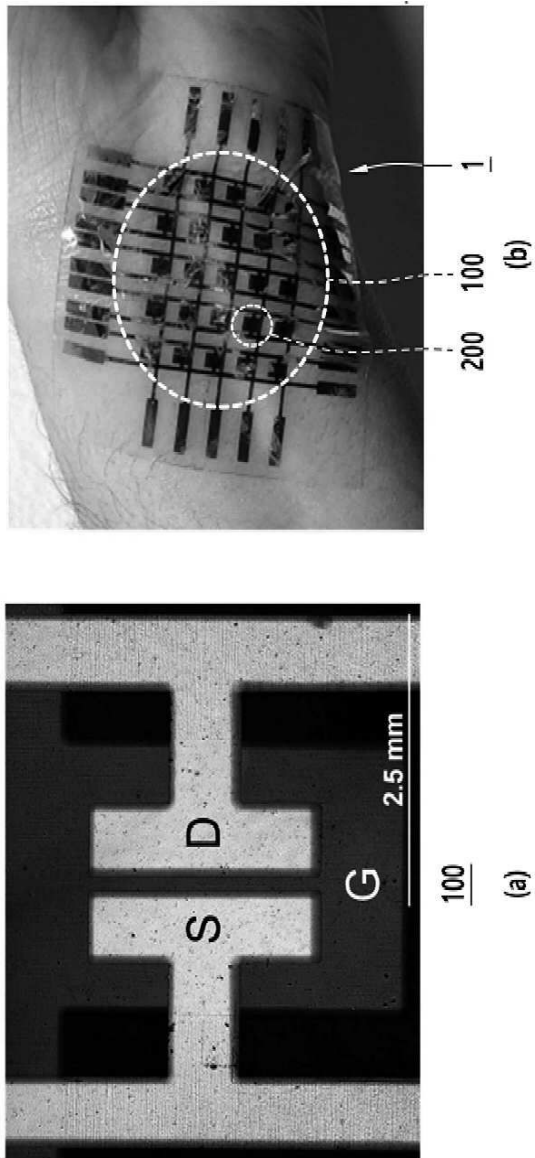
도면1



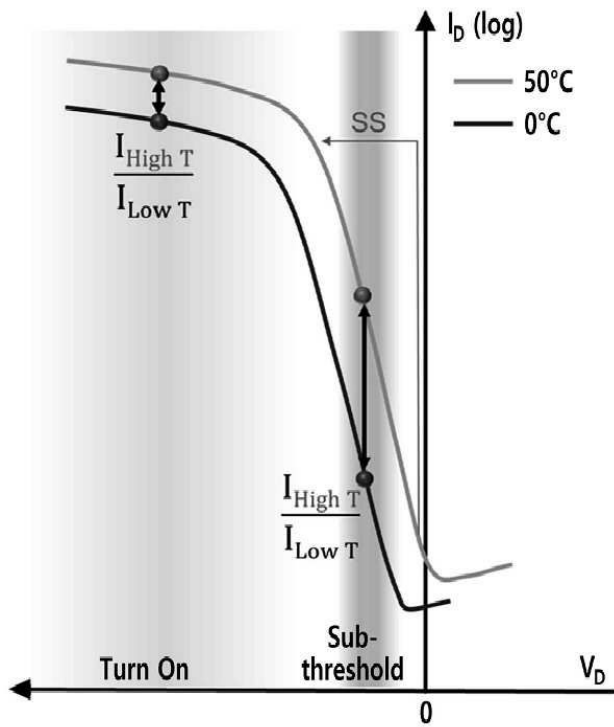
도면2



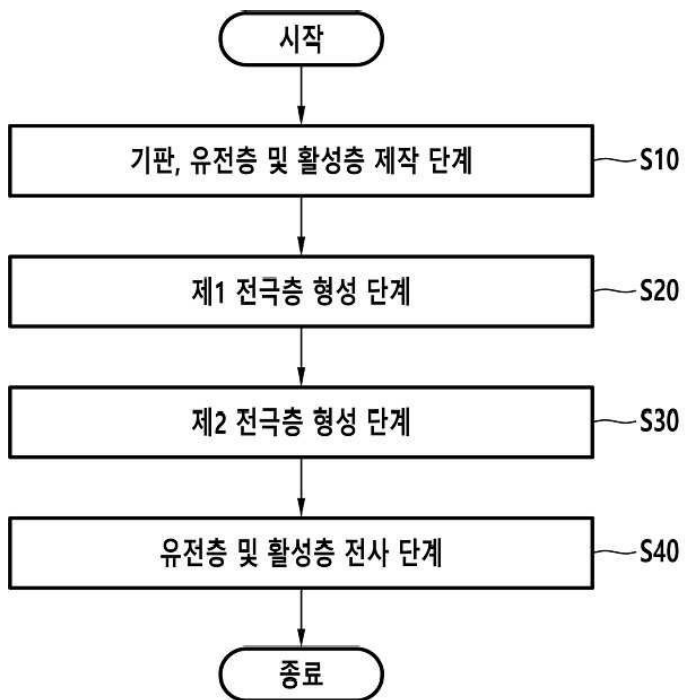
도면3



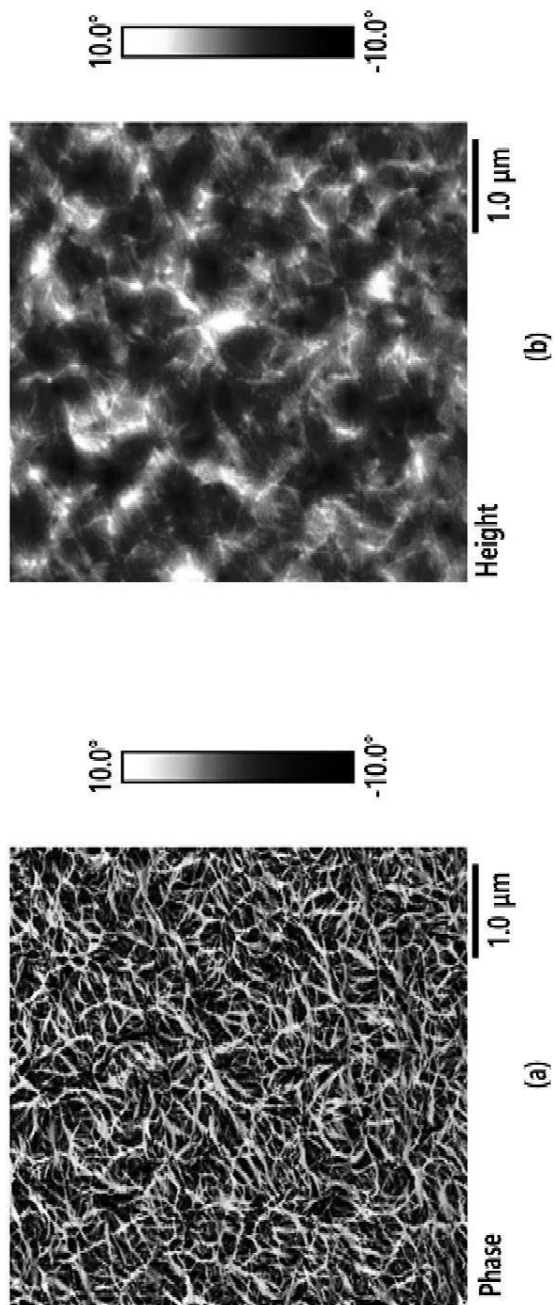
도면4



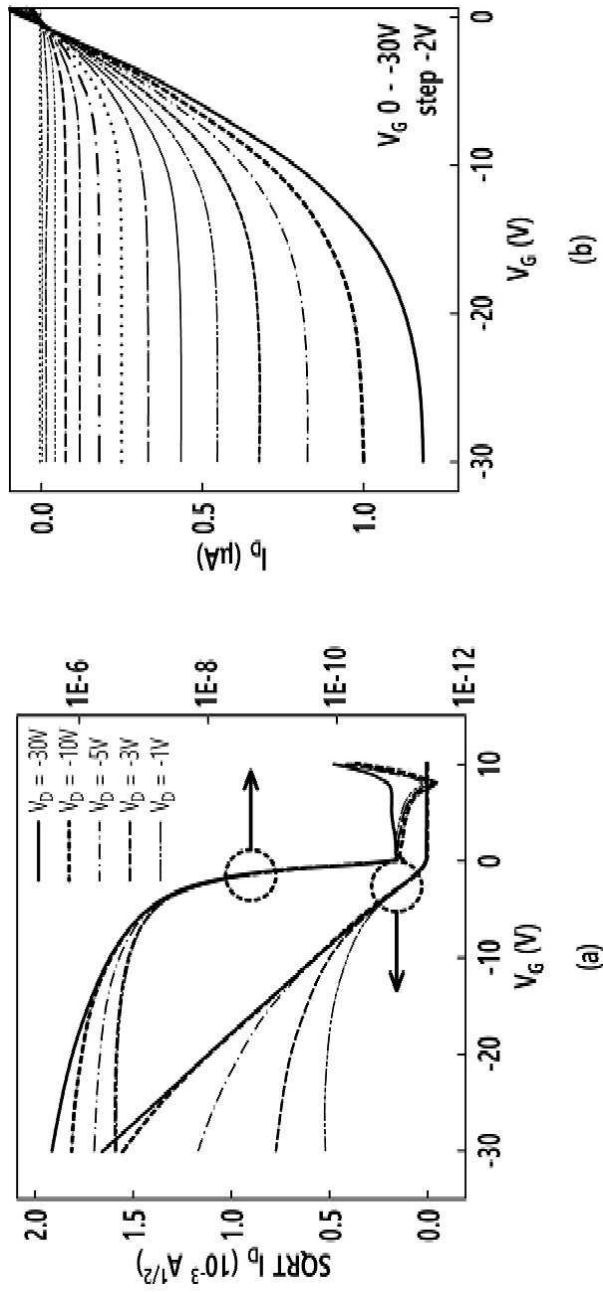
도면5



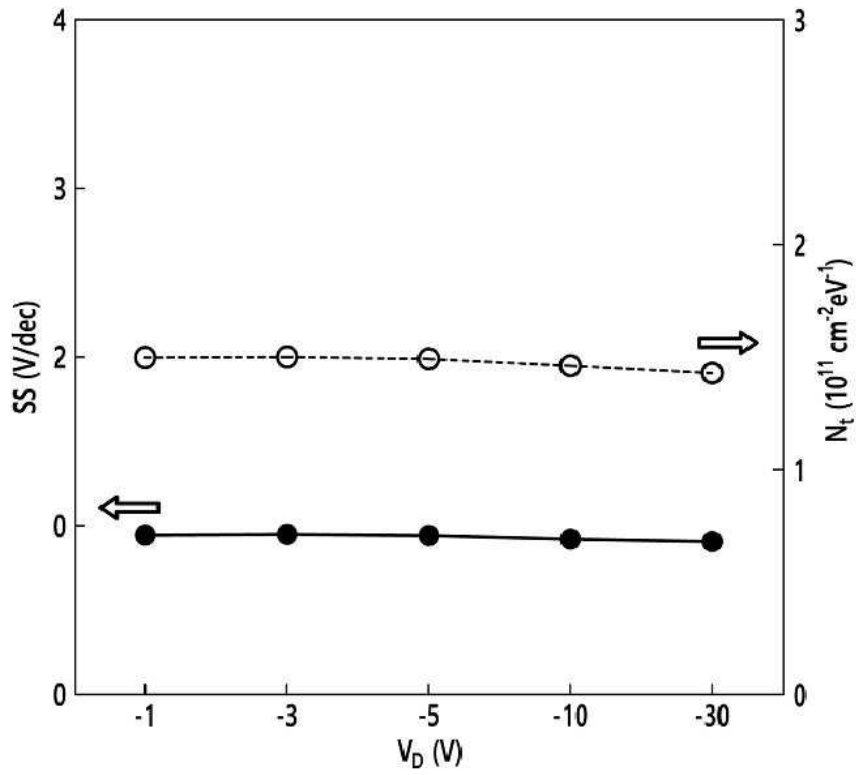
도면6



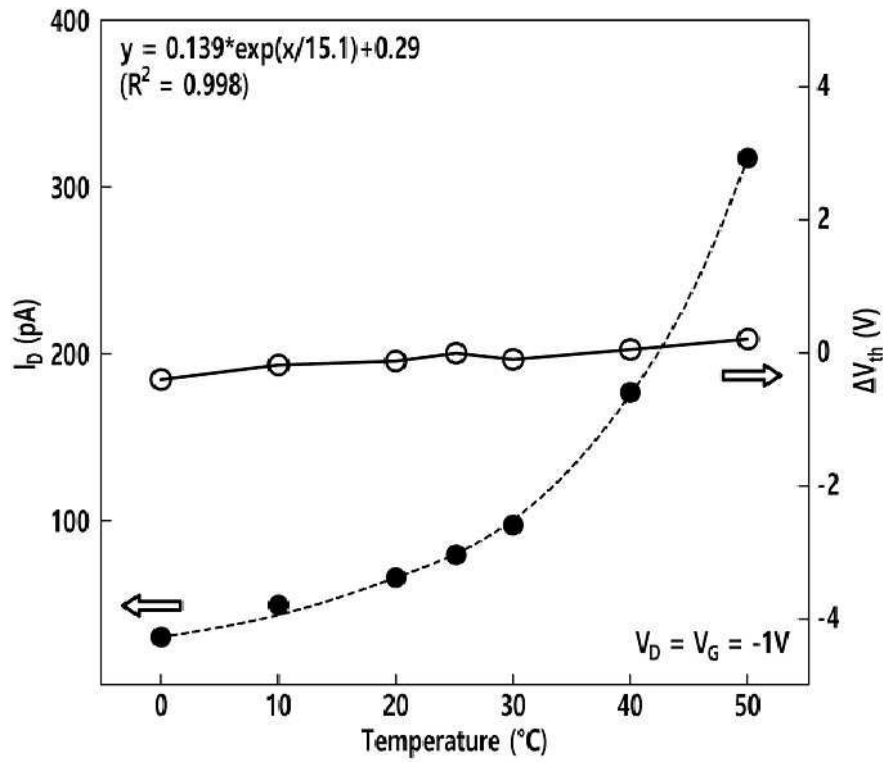
도면7



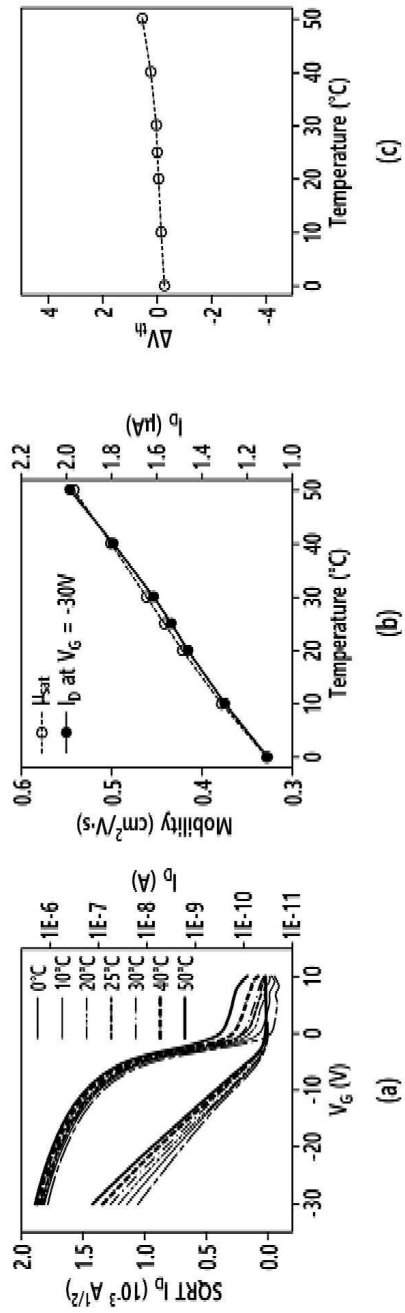
도면8



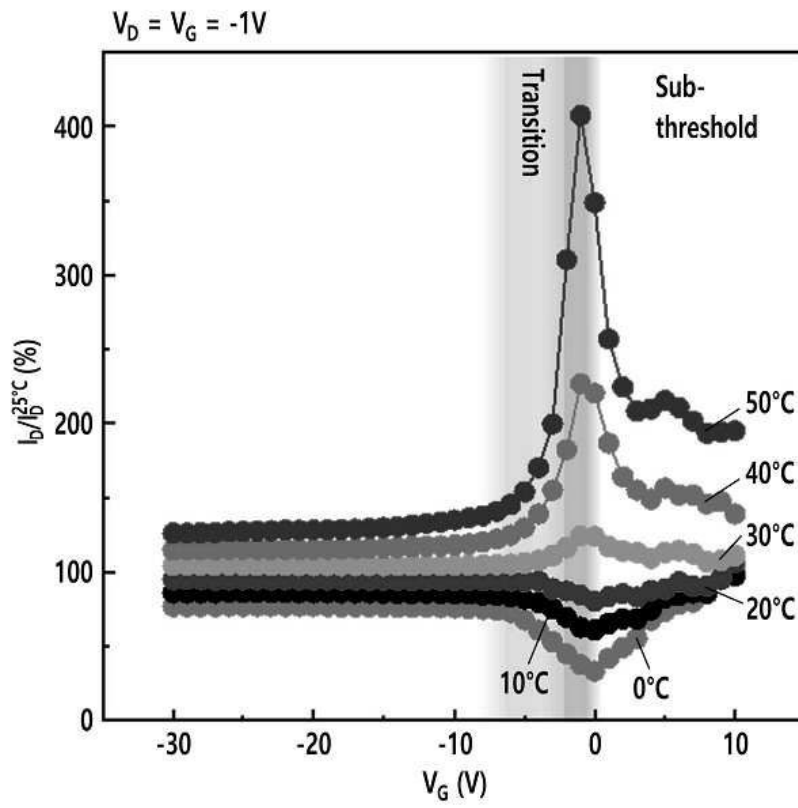
도면9



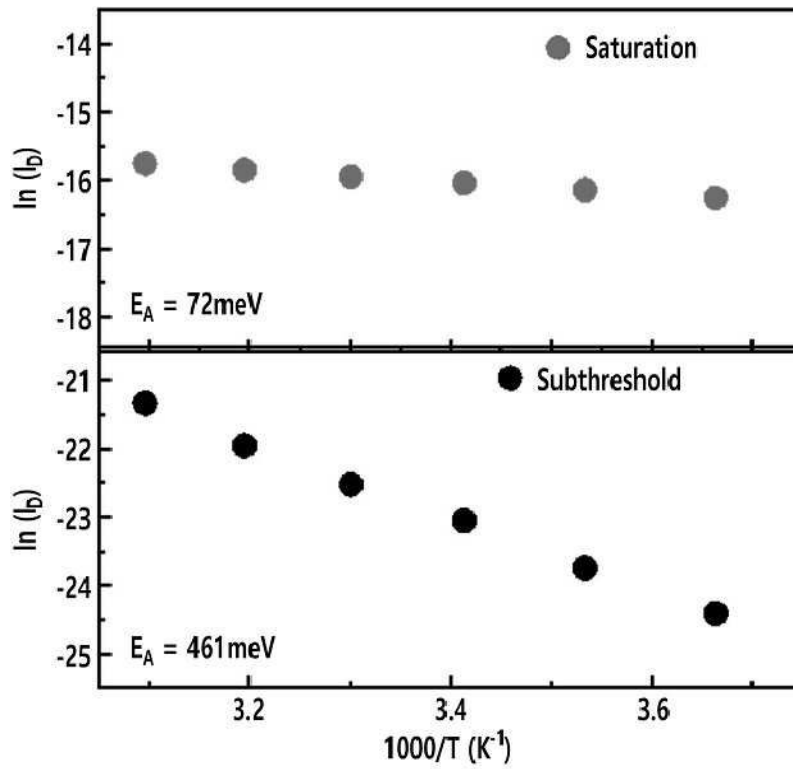
도면10



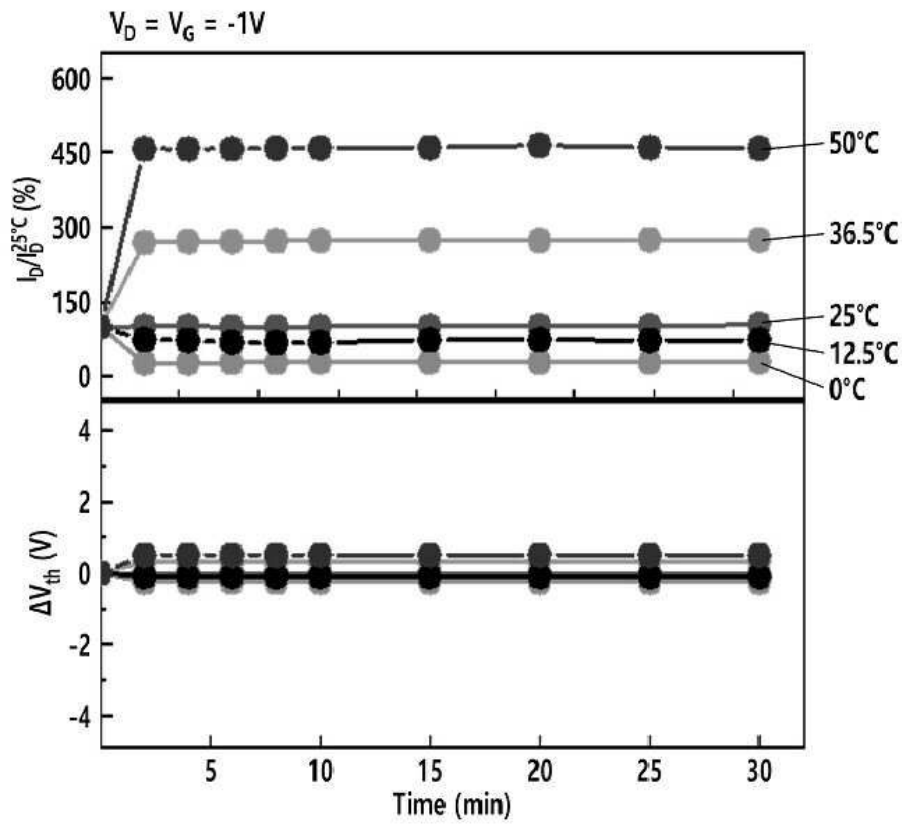
도면11



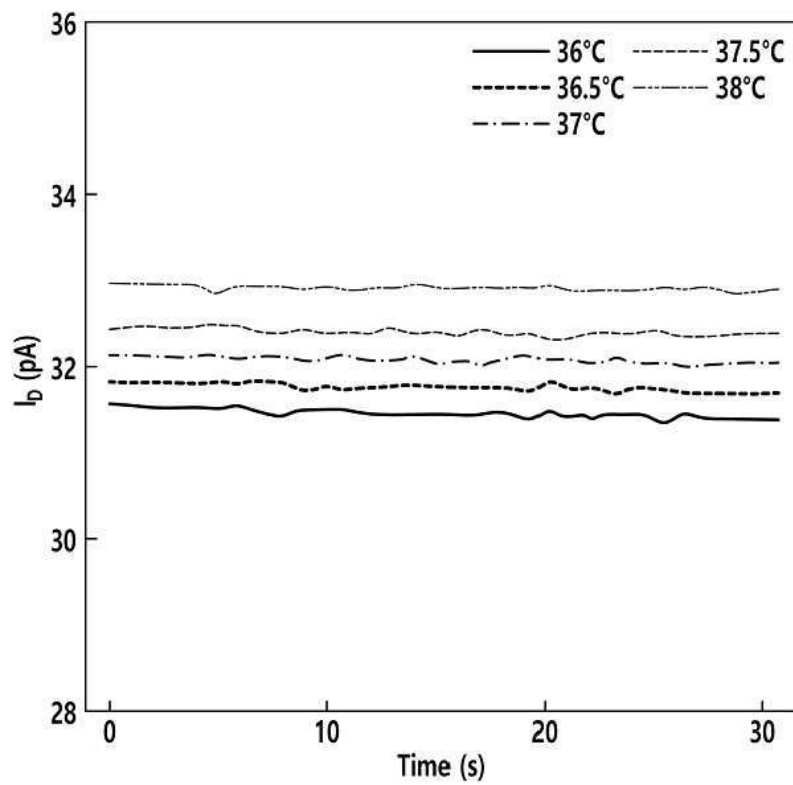
도면12



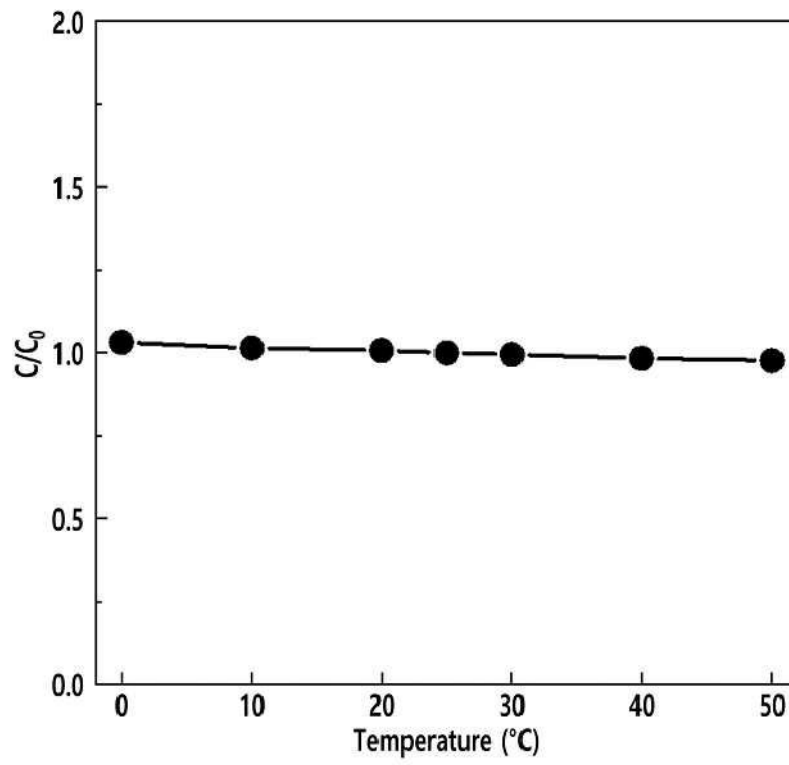
도면13



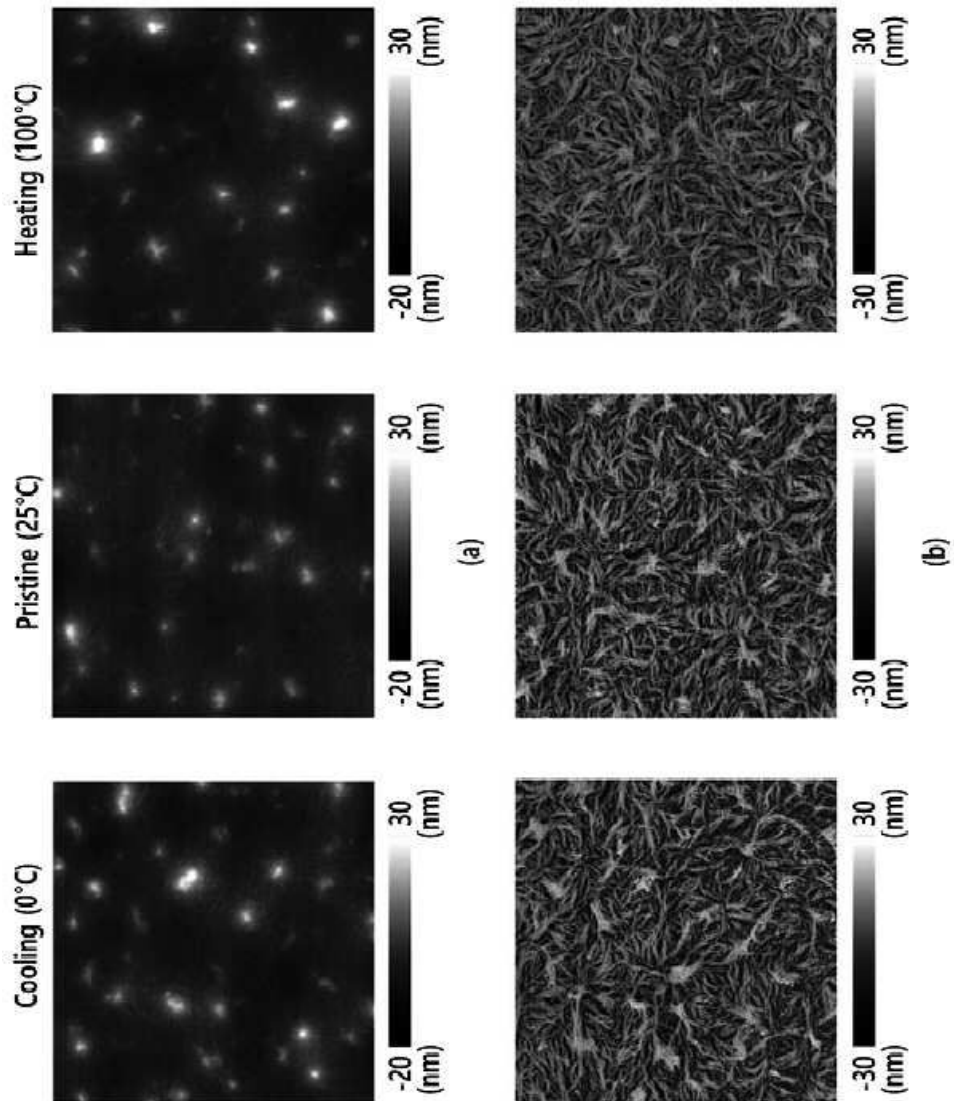
도면14



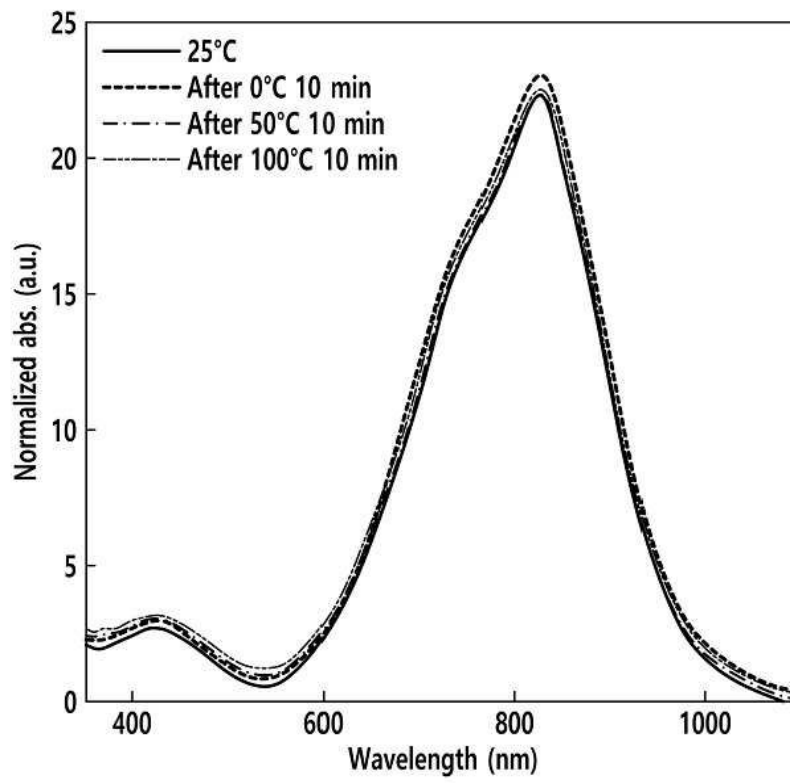
도면15



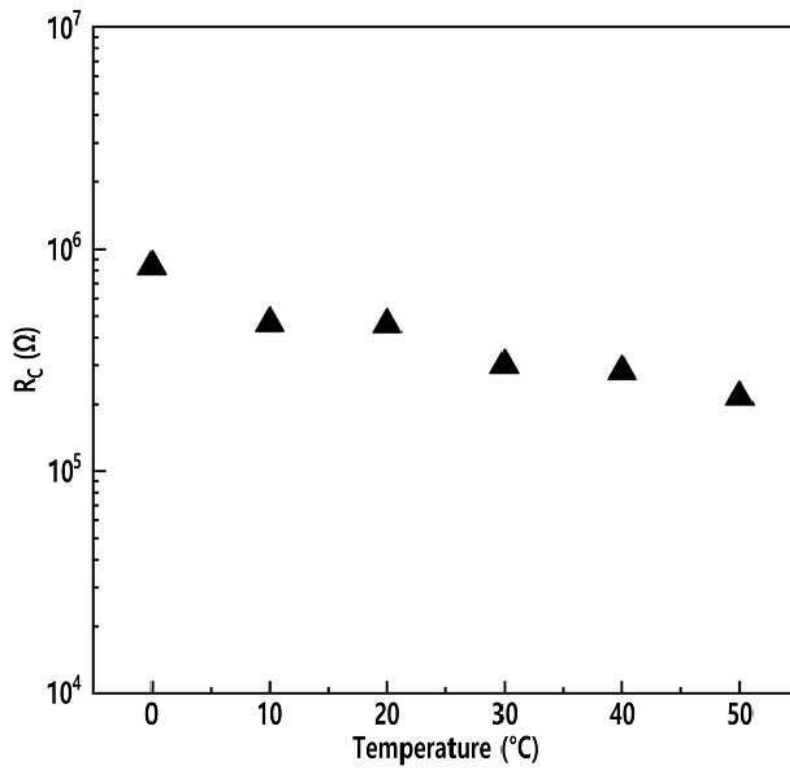
도면16



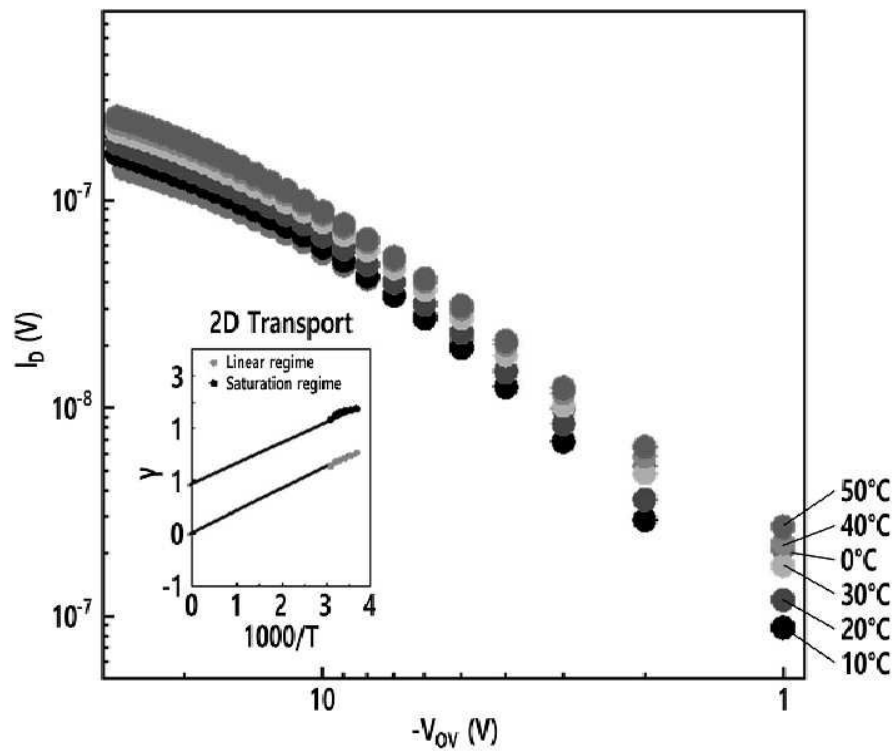
도면17



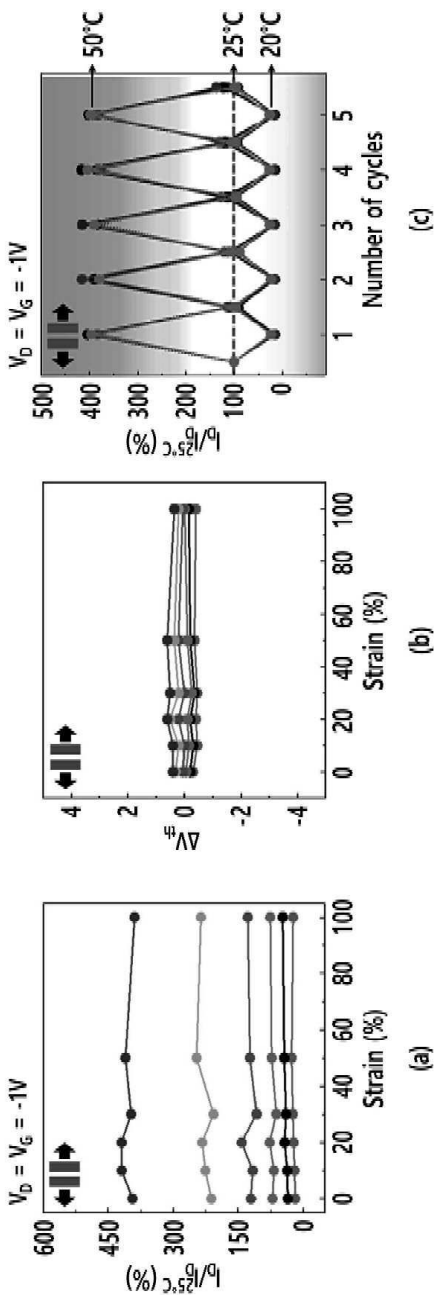
도면18



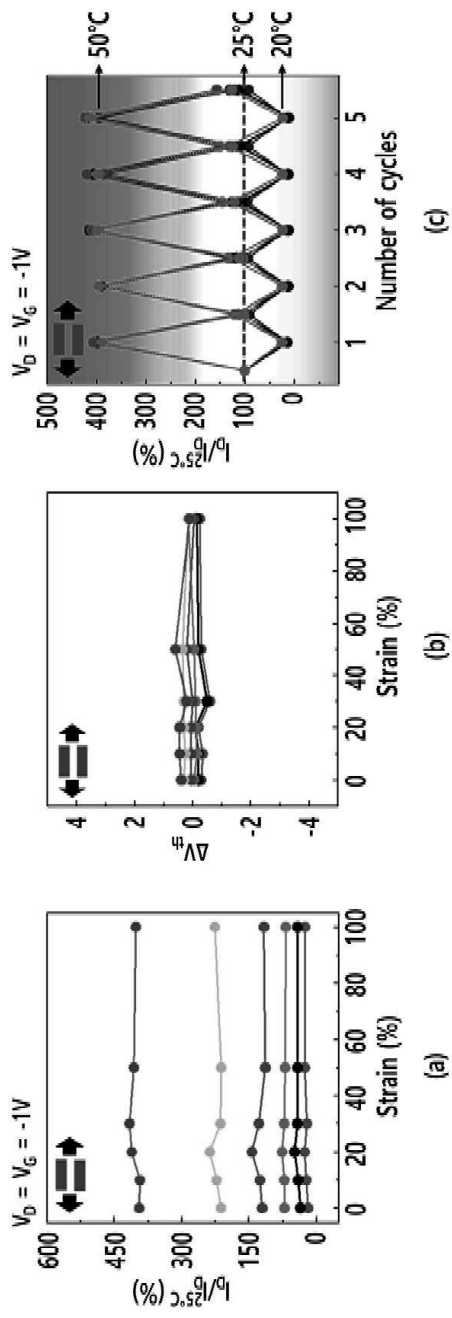
도면19



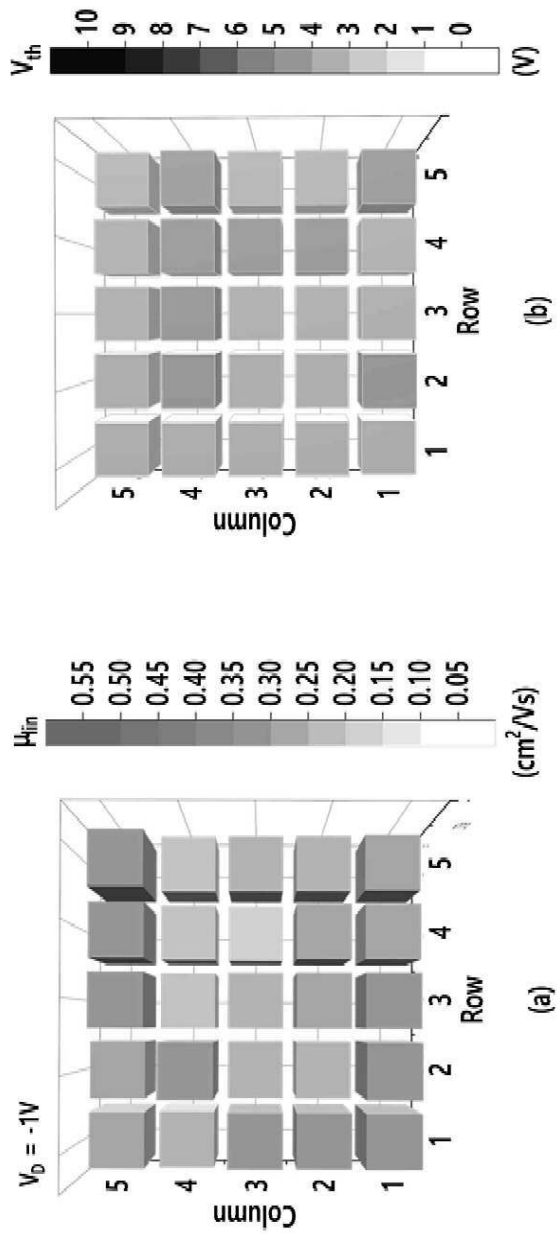
도면20



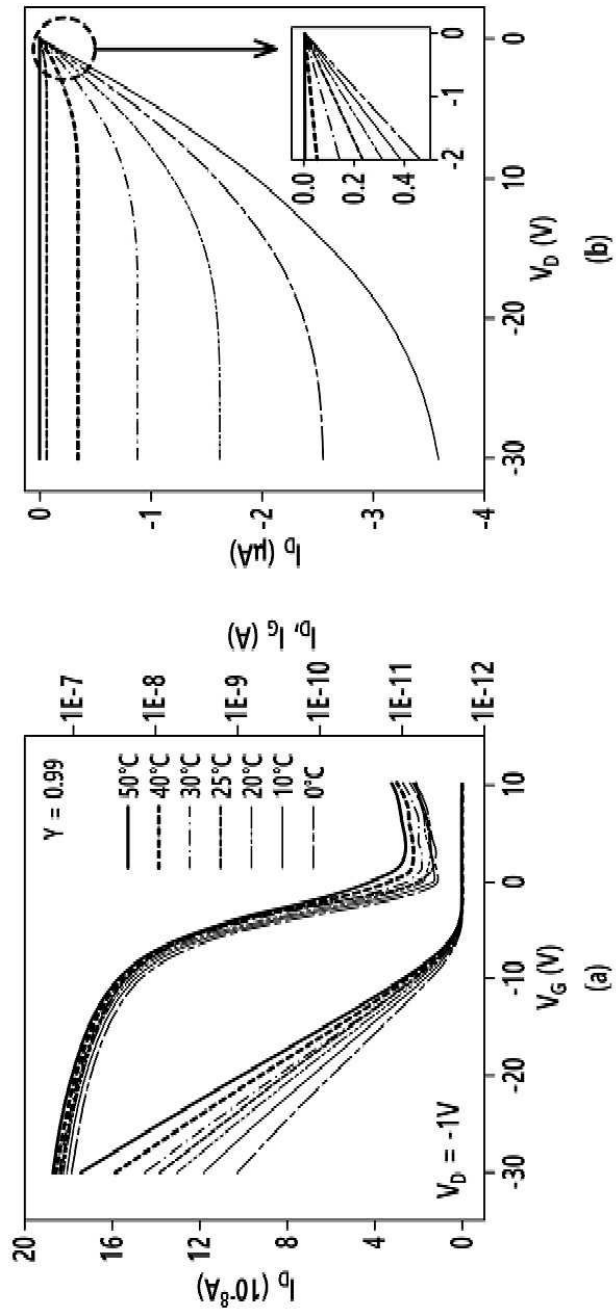
도면21



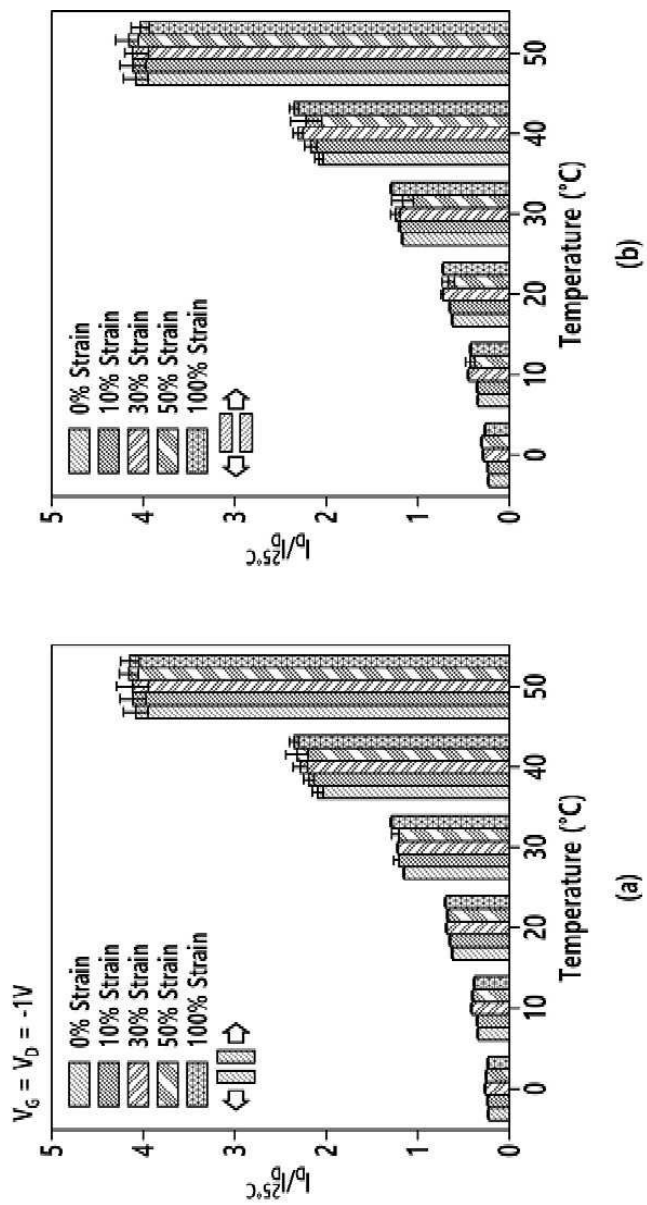
도면22



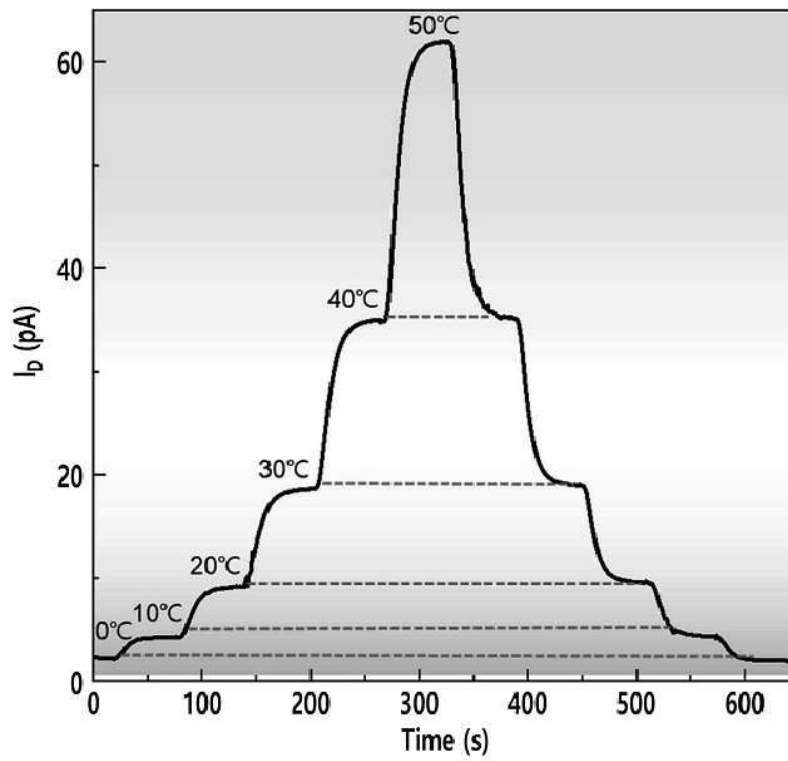
도면23



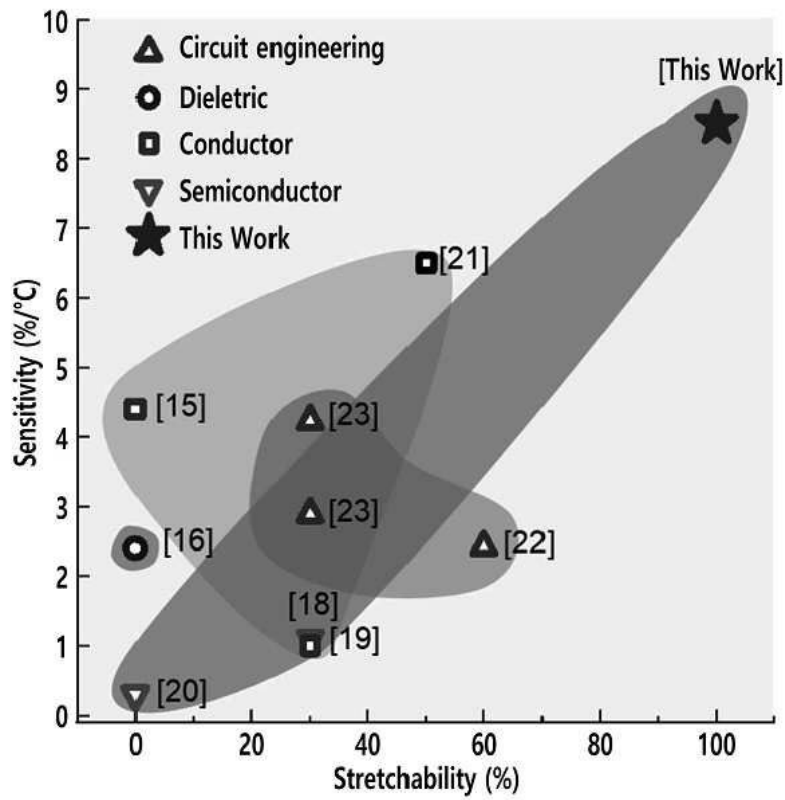
도면24



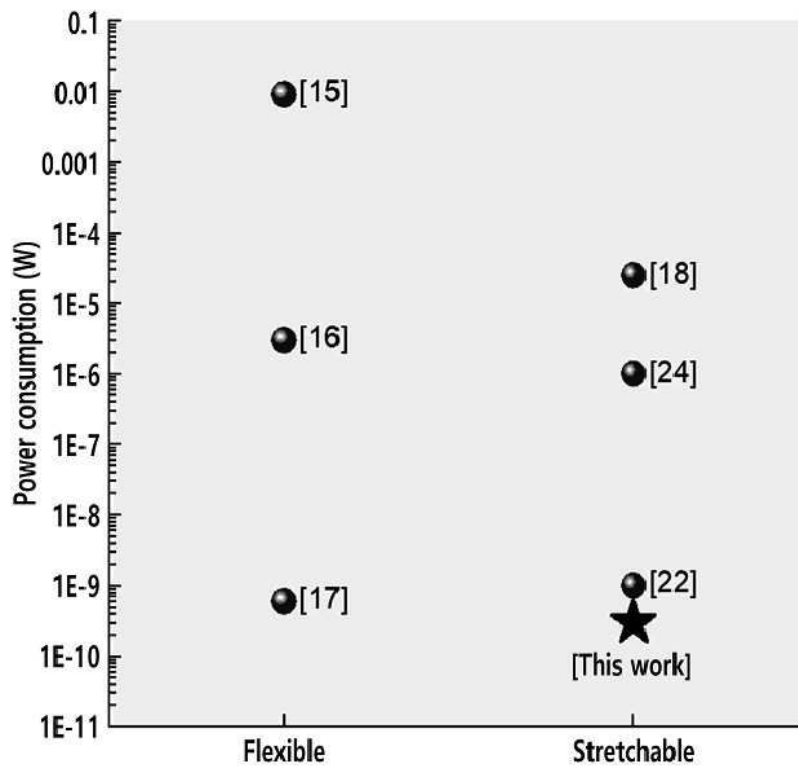
도면25



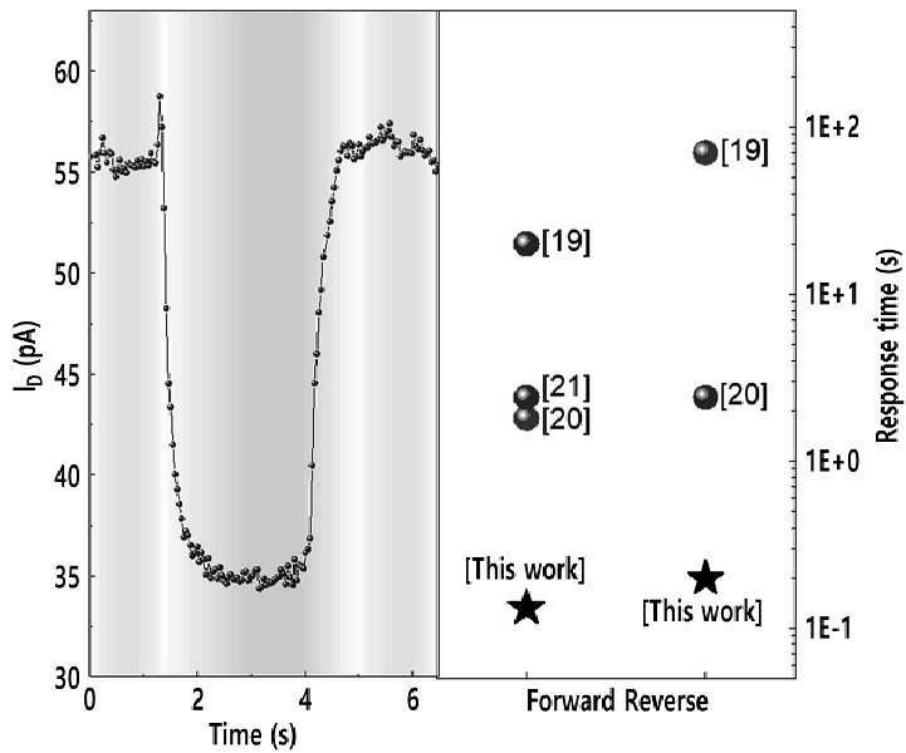
도면26



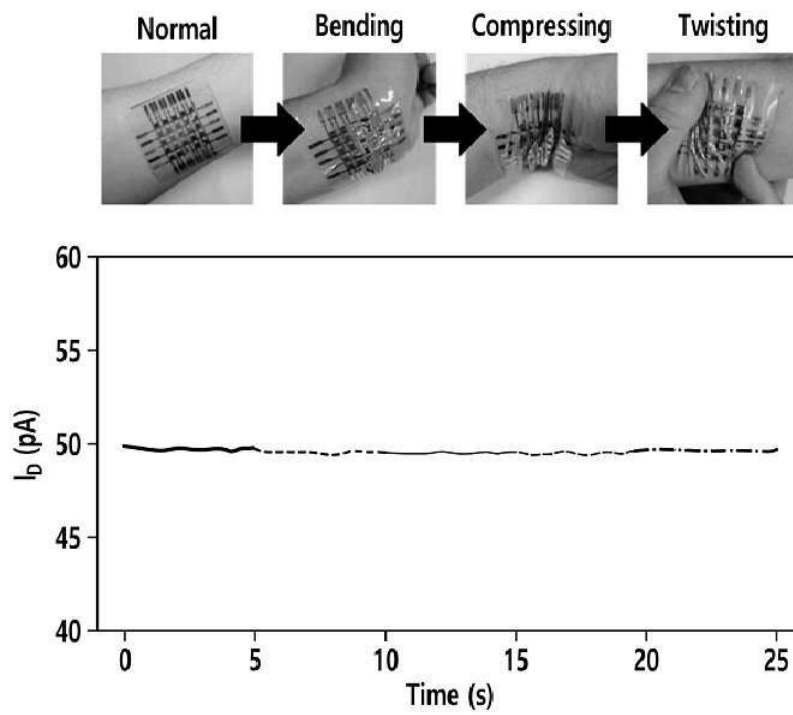
도면27



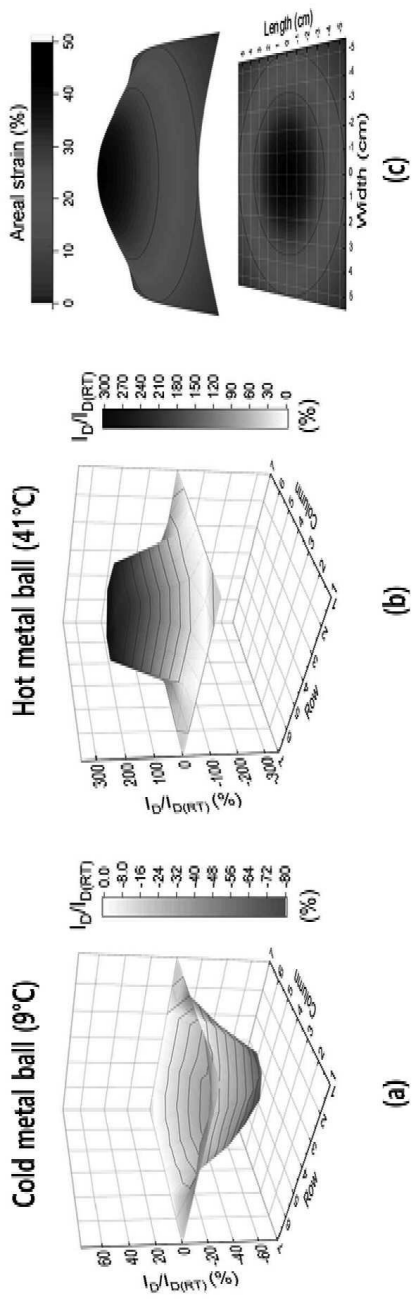
도면28



도면29



도면30



도면31

