



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0158770
(43) 공개일자 2024년11월05일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01L 1/18 (2006.01) G01L 5/162 (2020.01)
(52) CPC특허분류
G01L 1/18 (2013.01)
G01L 5/162 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2024-0015090
(22) 출원일자 2024년01월31일
심사청구일자 2024년01월31일
(30) 우선권주장
1020230055435 2023년04월27일 대한민국(KR)

(71) 출원인
고려대학교 산학협력단
서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)
(72) 발명자
한창수
서울특별시 용산구 이촌로 347, 16동 203호(서빙고동, 신동아아파트)
서승환
서울특별시 성북구 지봉로24길 6-6 (보문동2가)
(74) 대리인
김연권

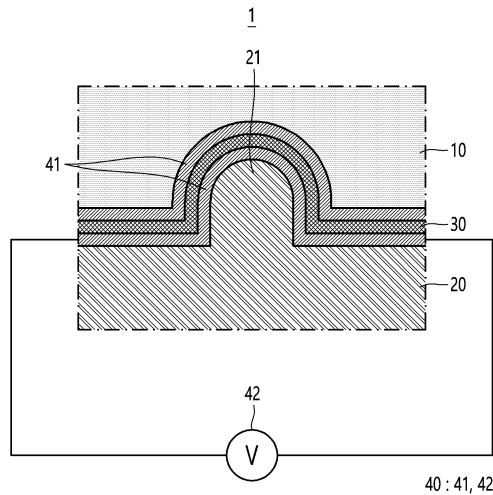
전체 청구항 수 : 총 26 항

(54) 발명의 명칭 인공 마이스너 촉각 센서장치 및 이의 제조 방법

(57) 요약

개시된 본 발명에 의한 인공 촉각 센서장치는, 강성 및 탄성을 가지는 제1물질부, 제1물질부와 같거나 다른 크기의 강성 및 탄성을 가지고 제1물질부에 밀착되는 제2물질부, 제1 및 제2물질부 사이의 계면에 마련되되, 제1 및 제2물질부 중 어느 하나로부터 다른 하나를 향해 돌출된 돌기에 마련되어, 1 및 제2물질부 중 어느 하나로부터 입력된 자극에 의해 변형되는 변형부 및, 변형부의 변형을 전기적으로 감지하는 전극부를 포함한다. 이러한 구성에 의하면, 인체의 피부 촉감을 모사할 수 있어, 진동 자극, 전단응력(shear stress) 등과 같은 여러 방향으로 부터 들어오는 자극을 측정할 수 있는 고 성능의 촉각 센서를 제공할 수 있다.

대표도 - 도1



40: 41, 42

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711191255
과제번호	2021R1A2B5B03001811
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	(이공)중견연구자지원-중견연구(후속)
연구과제명	기계적수용기, 이온채널, 신경신호, 뇌인지의 통합적 모사기반 지능형 인공촉각 기

술

과제수행기관명	고려대학교
연구기간	2023.03.01 ~ 2024.02.29

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711197330
과제번호	00255584
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	(이공)리더연구자지원_창의연구
연구과제명	체성감각 및 인지 시스템의 분자레벨 공학적 모사
과제수행기관명	고려대학교산학협력단
연구기간	2023.06.01 ~ 2024.02.29

명세서

청구범위

청구항 1

강성 및 탄성을 가지는 제1물질부;

상기 제1물질부와 같거나 다른 크기의 강성 및 탄성을 가지고, 상기 제1물질부에 밀착되는 제2물질부;

상기 제1 및 제2물질부 사이의 계면에 마련되되, 상기 제1 및 제2물질부 중 어느 하나로부터 다른 하나를 향해 돌출된 돌기에 마련되어, 상기 제1 및 제2물질부 중 어느 하나로부터 입력된 자극에 의해 변형되는 변형부; 및

상기 변형부의 변형을 전기적으로 감지하는 전극부;

를 포함하는 인공 촉각 센서장치.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 제1 및 제2물질부는 상기 변형부를 사이에 두고 상호 적층되어 마련되되, 상기 자극이 들어오는 쪽에 배치된 상기 제1 및 제2물질부 중 어느 하나의 물질부의 강성이 다른 하나의 강성과 같거나 크도록 마련되는 인공 촉각 센서장치.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 제1 및 제2물질부는 상기 변형부의 상부 및 하부에 각각 밀착되되, 서로 다른 강성을 가지는 겔 재료의 고분자 물질을 각각 포함하여, 피부의 표피 및 진피를 각각 모사하는 인공 촉각 센서장치.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 제1 및 제2물질부는 상기 변형부의 상부 및 하부에 각각 밀착되는 단층 형상으로 마련되어 상호 적층 마련되되, 상기 제1물질부의 영률(Young's modulus)이 상기 제2물질부의 영률 보다 2 내지 5배 이상인 인공 촉각 센서장치.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 돌기가 마련되지 않은 상기 제1물질부가 상기 제2물질부 보다 영률(Young's modulus)이 2배 이상 큰 인공 촉각 센서장치.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 돌기는 반구, 기둥, 피라미드 및 원뿔 중 적어도 어느 하나의 형상으로 상기 제1 및 제2물질부 중 어느 하나로부터 돌출 마련되어, 피부의 진피유두를 모사하는 인공 촉각 센서장치.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 변형부는 자극에 의해 물리적 성질이 변형되는 3차원 셸(Shell) 형태의 피에조 물질(Piezoelectric material)로 마련되는 인공 촉각 센서장치.

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 변형부는 상기 돌기의 두께보다 1/10 내지 1/100 얇은 두께로 마련되는 인공 촉각 센서장치.

청구항 9

제1항에 있어서,

상기 변형부는 자극에 의해 물리적 성질이 변형되는 피에조 물질(Piezoelectric material)로 마련된 피에조 필름 또는 피에조 겔을 포함하여, 상기 돌기를 덮도록 마련되는 인공 촉각 센서장치.

청구항 10

제1항에 있어서,

상기 변형부는 자극에 의해 물리적 성질이 변형되는 피에조 물질(Piezoelectric material)이 유연 소재에 입자 형태로 포함된 복합재로 마련되는 인공 촉각 센서장치.

청구항 11

제1항에 있어서,

상기 변형부는 자극에 의해 물리적 성질이 변하는 그래핀, 탄소나노튜브, 몰리브덴(MoS₂), 이셀레늄화 몰리브덴(MoSe₂) 및 맥신(MXene) 중 적어도 어느 하나를 포함하는 2차원 나노 물질을 포함하는 인공 촉각 센서장치.

청구항 12

제1항에 있어서,

상기 전극부는,

상기 변형부의 상부 및 하부를 덮도록 코팅되거나, 양측으로부터 연장된 전극라인; 및

상기 전극라인과 전기적으로 연결되어, 전기 신호를 발생시키는 검출기;

를 포함하는 인공 촉각 센서장치.

청구항 13

제1항에 있어서,

상기 제1물질부는 상기 제2물질부보다 상기 강성이 2 내지 5배 이상 큰 물질로 마련되고,

상기 제2물질부는 상기 돌기가 마련되되, 상기 제1물질부보다 낮은 강성을 가지고 마련되어 상기 돌기에 마련된 상기 변형부의 변형을 지지하는 인공 촉각 센서장치.

청구항 14

제1항에 있어서,

상기 제1물질부는 PDMS(Polydimethylsiloxane)을 포함하는 유기규소 화합물로 마련되고,

상기 제2물질부는 상기 제1물질부 보다 영률(Young's modulus)이 2 내지 5배 이상 낮은 에코플렉스(Ecoflex)를 포함하는 실리콘계열의 겔(silicon-based gel)로 마련되며,

상기 제3물질부는 피에조 물질(Piezoelectric material)로 마련되는 인공 촉각 센서장치.

청구항 15

피부의 진피유두를 모사하는 모사홈이 마련된 몰드를 마련하는 몰드단계;

상기 몰드에 피에조 물질(Piezoelectric material)을 포함하는 변형부를 상기 몰드의 상기 모사홈에 코팅하는 변형부 코팅단계;

상기 변형부에 전극부를 연결시키는 전극부 연결단계;

상기 변형부가 마련된 상기 몰드에 상기 피부의 진피를 모사하는 제2물질부를 마련하는 제2물질부 마련단계; 및
상기 인체 피부의 표피를 모사하는 제1물질부를 마련하여, 상기 몰드로부터 분리된 상기 제2물질부에 상기 변형부를 사이에 두고 상기 제1물질부를 적층시키는 제1물질부 마련단계;

를 포함하는 인공 촉각 센서장치의 제조 방법.

청구항 16

제15항에 있어서,

상기 몰드는 3D 프린터에 의해 마련되는 인공 촉각 센서장치의 제조 방법.

청구항 17

제15항에 있어서,

상기 모사홈은 반구, 기둥, 피라미드 및 원뿔 중 적어도 어느 하나의 형상으로 상기 몰드에 인입되어 마련되는 인공 촉각 센서장치의 제조 방법.

청구항 18

제15항에 있어서,

상기 변형부 코팅단계는 자극에 의해 물리적 성질이 변형되는 3차원 셸(Shell) 형태의 상기 피에조 물질을 이용하여 피에조 필름 또는 피에조 겔 형태로 마련되거나, 그래핀, 탄소나노튜브, 몰리브덴(MoS₂), 이셀레늄화 몰리브덴(MoSe₂) 및 맥신(MXene) 중 적어도 어느 하나를 포함하는 2차원 나노 물질로 마련되는 인공 촉각 센서장치의 제조 방법.

청구항 19

제15항에 있어서,

상기 변형부 코팅단계는,

PVDF-TrFe를 포함하는 상기 피에조 물질을 테트라하이드로푸란(tetrahydrofuran, THF)에 용해한 피에조 용액을 마련하는 단계;

상기 피에조 용액을 상기 몰드에 채운 후, 건조시키는 단계; 및

건조된 상기 피에조 용액으로부터 상기 테트라하이드로푸란을 기화시켜 상기 변형부를 마련하는 단계;

를 포함하는 인공 촉각 센서장치의 제조 방법.

청구항 20

제15항에 있어서,

상기 변형부는 상기 돌기의 두께보다 1/10 내지 1/100 얇은 두께로 마련되는 인공 촉각 센서장치의 제조 방법.

청구항 21

제15항에 있어서,

상기 전극부 연결단계는 상기 변형부에 대해 스퍼터링(sputtering)으로 전극라인을 전기적으로 연결시키는 인공 촉각 센서장치의 제조 방법.

청구항 22

제21항에 있어서,

상기 전극부 연결단계는,

상기 몰드에 마련된 상기 변형부의 일면에 스퍼터링(sputtering)으로 제1전극라인을 전기적으로 연결시키는 단계; 및

상기 제2물질부 마련단계 이후에, 상기 몰드로부터 상기 변형부 및 제2물질부가 분리되어 노출된 상기 변형부의 타면에 상기 스퍼터링으로 상기 제2전극라인을 전기적으로 연결시키는 단계;

를 포함하는 인공 촉각 센서장치의 제조 방법.

청구항 23

제15항에 있어서,

상기 제2물질부 마련단계는 에코플렉스(Ecoflex)를 포함하는 실리콘 겔을 상기 몰드의 일측에 공급하여 경화시킴으로써, 상기 제2물질부를 마련하는 인공 촉각 센서장치의 제조 방법.

청구항 24

제15항에 있어서,

상기 제1물질부 마련단계는 유기규소 화합물인 PDMS(Polydimethylsiloxane)로 상기 제1물질부를 마련하는 인공 촉각 센서장치의 제조 방법.

청구항 25

제15항에 있어서,

상기 제1 및 제2물질부는 상기 변형부를 사이에 두고 각각 밀착되도록 마련되되, 상기 제1물질부의 영률(Young's modulus)이 상기 제2물질부의 영률보다 2 내지 5배 이상인 인공 촉각 센서장치의 제조 방법.

청구항 26

제15항에 있어서,

상기 제1물질부는 상기 제2물질부보다 상기 강성이 2 내지 5배 이상 큰 물질로 마련되고,

상기 제2물질부는 상기 제1물질부보다 낮은 강성을 가지고 마련되어 상기 변형부의 변형을 지지하는 인공 촉각 센서장치의 제조 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 인공 촉각 센서장치 및 이의 제조 방법에 관한 것으로서, 피부의 수용체인 마이스너 소체를 모사하여 다방향으로 들어오는 자극을 감지할 수 있는 인공 촉각 센서장치 및 이의 제조 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 기계적 수용체는 인체의 피부에 존재하는 기관으로써, 촉각 구현의 핵심적인 역할을 하는 조직이다. 이러한 기계적 수용체는 인체의 피부 중 진피(dermis) 층에서 주로 찾아볼 수 있으며, 근육 및 관절 등 내부 기관에서도 찾아볼 수 있는 수용체이다. 기계적 수용체는 압력, 접촉, 진동, 인장 등 기계적 자극을 감지하는 역할을 하며, 이를 기반으로 신체의 움직임과 위치 등을 인지하는 것을 의미하는 체성감각(somatosensory)을 구성하는데 큰 역할을 한다.

[0003] 한편, 기계적 수용체의 내부에는 A β afferent, A δ afferent과 같은 감각신경들이 분포한다. 그로 인해, 피부로 전달된 기계적 자극이 기계적 수용체로 전달되면, 기계적 수용체 내부의 감각신경을 통해 기계적 자극이 신경 신호의 형태로 전환되어 전달되어 중추신경계(Central Nerve System)로 수렴하여 측두엽 대뇌피질의 감각 피질(sensory cortex)에서 촉각을 감지하게 된다.

[0004] 기계적 수용체는 측정하는 기계적 자극의 종류와 자극에 따라 선택적으로 반응하는 자극이 있다. 기계적 수용체는 대표적으로 마이스너 소체(Meissner corpuscle), 촉각 말단(Merkel ending), 파시니안 소체(Pacinian corpuscle) 및 루피니 말단(Ruffini ending)이 있다고 알려져 있다. 각각의 소체들은 피부의 각기 다른 위치에

분포해 있으며, 각각의 소체마다 구조적 특징과 관장하는 자극의 종류가 상이하다. 기계적 수용체는 기계적 자극에 반응하여 신경 신호를 생성하는데, 이 기계적 자극에 빠르게 적응하여 신경 신호를 비교적 짧은 시간만 생성하는 기계적 수용체가 있는 한편, 기계적 자극이 오랜 기간 적용되어도 적응에 필요한 시간이 길어 기계적 자극이 제거되지 않는 한 신경신호를 지속적으로 생성하는 기계적 수용체가 있다. 이를 각각 빠른 적응(Rapid adaptation, RA), 느린 적응(Slow adaptation, SA)로 불리며, 적응 형태에 따라 기계적 수용체를 분류할 수 있다.

[0005] 한편, 인체 피부의 진피층에 분포하는 기계적 수용체 중 마이스너 소체는 진피층과 표피층 사이의 계면에 위치한다. 특히, 진피층과 표피층의 계면을 이루는 특징적 구조인 진피유두(dermal papillae)에 마이스너 소체가 마루 부분에 끼어들어 있는 형태로 위치한다. 진피층과 표피층 각각의 층을 이루고 있는 세포들의 특성이 달라 기계적 강성 차이가 존재한다. 표피층은 남성 손바닥을 기준으로 $1.1 \pm 0.2 \text{MPa}$ 의 영 상수 즉, 영률(Young's modulus)을 가지며, 진피층은 남성 손바닥을 기준으로 평균 250 kPa의 영률을 가진다.

[0006] 기계적 자극이 피부에 가해지면 표피층과 진피층의 영률 차이로 인해 진피유두(dermal papillae)의 위치에 따라 응력(Stress)의 분포가 다르게 발생한다. 법선 응력(Normal Stress)이 가해질 때에는 진피 유두(dermal papillae)의 골 부분에 집중되며, 전단 응력(Shear Stress)이 가해질 때에는 진피유두(dermal papillae)의 측면을 자극하는 방향으로 집중된다. 이러한 현상으로 인해 마이스너 소체에 전단 응력이 집중되어 전단 응력에 기반한 자극이 가해질 때 민감하게 반응할 수 있다는 특징이 있다.

[0007] 기존의 촉각센서들은 piezoelectric, triboelectric, piezoresistive, capacitive 등 다양한 메커니즘을 기반으로 두고 있다. 이러한 메커니즘들은 전기적 특성을 변화시키거나 전위차를 발생시켜 촉각을 구현하는 데에 적합하나, 다양한 방향에서 입력되는 자극에 대한 인지에서는 한계가 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0008] (특허문헌 0001) 대한민국 공개특허공보 제10-2022-0038007호
(특허문헌 0002) 대한민국 등록특허공보 제10-1979680호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0009] 본 발명의 목적은 피부의 수용체인 마이스너 소체(Meissner corpuscle)의 구조적 및 위치적 특징을 모사하여 다양한 방향에서의 동적인 자극에 대한 표면 인지 및 촉각 구현이 가능한 인공 촉각 센서장치를 제공하기 위한 것이다.

[0010] 본 발명의 다른 목적은 상기 목적이 달성된 인공 촉각 센서장치의 제조 방법을 제공하기 위한 것이다.

과제의 해결 수단

[0011] 상기 목적을 달성하기 위한 본 발명에 의한 인공 촉각 센서장치는, 강성 및 탄성을 가지는 제1물질부, 상기 제1물질부와 같거나 다른 크기의 강성 및 탄성을 가지고, 상기 제1물질부에 밀착되는 제2물질부, 상기 제1 및 제2물질부 사이의 계면에 마련되되, 상기 제1 및 제2물질부 중 어느 하나로부터 다른 하나를 향해 돌출된 돌기에 마련되어, 상기 제1 및 제2물질부 중 어느 하나로부터 입력된 자극에 의해 변형되는 변형부 및, 상기 변형부의 변형을 전기적으로 감지하는 전극부를 포함한다.

[0012] 또한, 상기 제1 및 제2물질부는 상기 변형부를 사이에 두고 상호 적층되어 마련되되, 상기 자극이 들어오는 쪽에 배치된 상기 제1 및 제2물질부 중 어느 하나의 물질부의 강성이 다른 하나의 강성과 같거나 크도록 마련될 수 있다.

[0013] 또한, 상기 제1 및 제2물질부는 상기 변형부의 상부 및 하부에 각각 밀착되되, 서로 다른 강성을 가지는 겔 재료의 고분자 물질을 각각 포함하여, 피부의 표피 및 진피를 각각 모사할 수 있다.

- [0014] 또한, 상기 제1 및 제2물질부는 상기 변형부의 상부 및 하부에 각각 밀착되는 단층 형상으로 마련되어 상호 적층 마련되되, 상기 제1물질부의 영률(Young's modulus)이 상기 제2물질부의 영률 보다 2 내지 5배 이상일 수 있다.
- [0015] 또한, 상기 돌기가 마련되지 않은 상기 제1물질부가 상기 제2물질부 보다 영률(Young's modulus)이 2배 이상 클 수 있다.
- [0016] 또한, 상기 돌기는 반구, 기둥, 피라미드 및 원뿔 중 적어도 어느 하나의 형상으로 상기 제1 및 제2물질부 중 어느 하나로부터 돌출 마련되어, 피부의 진피유두를 모사할 수 있다.
- [0017] 또한, 상기 변형부는 자극에 의해 물리적 성질이 변형되는 3차원 셸(Shell) 형태의 피에조 물질(Piezoelectric material)로 마련될 수 있다.
- [0018] 또한, 상기 변형부는 상기 돌기의 두께보다 1/10 내지 1/100 얇은 두께로 마련될 수 있다.
- [0019] 또한, 상기 변형부는 자극에 의해 물리적 성질이 변형되는 피에조 물질(Piezoelectric material)로 마련된 피에조 필름 또는 피에조 겔을 포함하여, 상기 돌기를 덮도록 마련될 수 있다.
- [0020] 또한, 상기 변형부는 자극에 의해 물리적 성질이 변형되는 피에조 물질(Piezoelectric material)이 유연 소재에 입자 형태로 포함된 복합체로 마련될 수 있다.
- [0021] 또한, 상기 변형부는 자극에 의해 물리적 성질이 변하는 그래핀, 탄소나노튜브, 몰리브덴(MoS₂), 이셀레늄화 몰리브덴(MoSe₂) 및 맥신(MXene) 중 적어도 어느 하나를 포함하는 2차원 나노 물질을 포함할 수 있다.
- [0022] 또한, 상기 전극부는, 상기 변형부의 상부 및 하부를 덮도록 코팅되거나, 양측으로부터 연장된 전극라인 및, 상기 전극라인과 전기적으로 연결되어, 전기 신호를 발생시키는 검출기를 포함할 수 있다.
- [0023] 또한, 상기 제1물질부는 상기 제2물질부보다 상기 강성이 2 내지 5배 이상 큰 물질로 마련되고, 상기 제2물질부는 상기 돌기가 마련되되, 상기 제1물질부보다 낮은 강성을 가지고 마련되어 상기 돌기에 마련된 상기 변형부의 변형을 지지할 수 있다.
- [0024] 또한, 상기 제1물질부는 PDMS(Polydimethylsiloxane)을 포함하는 유기규소 화합물로 마련되고, 상기 제2물질부는 상기 제1물질부 보다 영률(Young's modulus)이 2 내지 5배 이상 낮은 에코플렉스(Ecoflex)를 포함하는 실리콘계열의 겔(silicon-based gel)로 마련되며, 상기 제3물질부는 피에조 물질(Piezoelectric material)로 마련될 수 있다.
- [0025] 본 발명의 바람직한 일 실시예에 의한 인공 촉각 센서장치의 제조 방법은, 피부의 진피유두를 모사하는 모사홈이 마련된 몰드를 마련하는 몰드단계, 상기 몰드에 피에조 물질(Piezoelectric material)을 포함하는 변형부를 상기 몰드의 상기 모사홈에 코팅하는 변형부 코팅단계, 상기 변형부에 전극부를 연결시키는 전극부 연결단계, 상기 변형부가 마련된 상기 몰드에 상기 피부의 진피를 모사하는 제2물질부를 마련하는 제2물질부 마련단계 및, 상기 인체 피부의 표피를 모사하는 제1물질부를 마련하여, 상기 몰드로부터 분리된 상기 제2물질부에 상기 변형부를 사이에 두고 상기 제1물질부를 적층시키는 제1물질부 마련단계를 포함한다.
- [0026] 또한, 상기 몰드는 3D 프린터에 의해 마련될 수 있다.
- [0027] 또한, 상기 모사홈은 반구, 기둥, 피라미드 및 원뿔 중 적어도 어느 하나의 형상으로 상기 몰드에 인입되어 마련될 수 있다.
- [0028] 또한, 상기 변형부 코팅단계는 자극에 의해 물리적 성질이 변형되는 3차원 셸(Shell) 형태의 상기 피에조 물질을 이용하여 피에조 필름 또는 피에조 겔 형태로 마련되거나, 그래핀, 탄소나노튜브, 몰리브덴(MoS₂), 이셀레늄화 몰리브덴(MoSe₂) 및 맥신(MXene) 중 적어도 어느 하나를 포함하는 2차원 나노 물질로 마련될 수 있다.
- [0029] 또한, 상기 변형부 코팅단계는, PVDF-TrFe를 포함하는 상기 피에조 물질을 테트라하이드로푸란(tetrahydrofuran, THF)에 용해한 피에조 용액을 마련하는 단계, 상기 피에조 용액을 상기 몰드에 채운 후, 건조시키는 단계 및, 건조된 상기 피에조 용액으로부터 상기 테트라하이드로푸란을 기화시켜 상기 변형부를 마련하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0030] 또한, 상기 변형부는 상기 돌기의 두께보다 1/10 내지 1/100 얇은 두께로 마련될 수 있다.
- [0031] 또한, 상기 전극부 연결단계는 상기 변형부에 대해 스퍼터링(sputtering)으로 전극라인을 전기적으로 연결시킬

수 있다.

[0032] 또한, 상기 전극부 연결단계는, 상기 몰드에 마련된 상기 변형부의 일면에 스퍼터링(sputtering)으로 제1전극라인을 전기적으로 연결시키는 단계 및, 상기 제2물질부 마련단계 이후에, 상기 몰드로부터 상기 변형부 및 제2물질부가 분리되어 노출된 상기 변형부의 타면에 상기 스퍼터링으로 상기 제2전극라인을 전기적으로 연결시키는 단계를 포함할 수 있다.

[0033] 또한, 상기 제2물질부 마련단계는 에코플렉스(Ecoflex)를 포함하는 실리콘 겔을 상기 몰드의 일측에 공급하여 경화시킴으로써, 상기 제2물질부를 마련할 수 있다.

[0034] 또한, 상기 제1물질부 마련단계는 유기규소 화합물인 PDMS(Polydimethylsiloxane)로 상기 제1물질부를 마련할 수 있다.

[0035] 또한, 상기 제1 및 제2물질부는 상기 변형부를 사이에 두고 각각 밀착되도록 마련되되, 상기 제1물질부의 영률(Young's modulus)이 상기 제2물질부의 영률 보다 2 내지 5배 이상일 수 있다.

[0036] 또한, 상기 제1물질부는 상기 제2물질부보다 상기 강성이 2 내지 5배 이상 큰 물질로 마련되고, 상기 제2물질부는 상기 제1물질부보다 낮은 강성을 가지고 마련되어 상기 변형부의 변형을 지지할 수 있다.

발명의 효과

[0037] 상기와 같은 구성을 가지는 본 발명에 의하면, 인체 피부의 표피 및 진피 사이에서 위치하는 기계적 수용체인 마이스너 소체(Meissner corpuscle)를 모사함으로써, 수직 압력 및 전단 응력(shear stress) 등과 같은 여러 방향으로부터 들어오는 자극을 측정할 수 있는 촉각 센서를 제공할 수 있다.

[0038] 또한, 외부 압력 자극을 단순 압력 측정뿐만 아니라, 표면 특성의 감지도 가능하여, 접촉한 물체의 형상과 표면 특성 유추도 가능하여 정량적 분석이 가능하다.

[0039] 또한, 인체의 촉각 특성을 그대로 모사할 수 있음으로써, 인체와 인공 의수, 로봇과의 상호작용을 강화할 수 있는 신기술에 대한 새로운 패러다임 개척에 유리하다.

도면의 간단한 설명

[0040] 도 1은 본 발명의 바람직한 일 실시예에 의한 인공 촉각 센서장치를 개략적으로 도시한 도면이다.

도 2는 도 1에 도시된 바람직한 일 실시예에 의한 인공 촉각 센서장치의 다양한 변형예들을 개략적으로 도시한 도면들이다.

도 3은 도 1에 도시된 일 실시예에 의한 인공 촉각 센서장치의 제작된 이미지를 개략적으로 도시한 이미지이다.

도 4는 도 1에 도시된 일 실시예에 의한 인공 촉각 센서장치의 수직 압력에 따른 반응성을 개략적으로 도시한 그래프이다.

도 5는 도 1에 도시된 일 실시예에 의한 인공 촉각 센서장치의 압력에 대한 측정 감도 실험 결과를 개략적으로 도시한 그래프이다. 그리고,

도 6은 도 1에 도시된 일 실시예에 의한 인공 촉각 센서장치의 수평 압력에 따른 반응성을 개략적으로 도시한 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0041] 이하, 본 발명의 바람직한 일 실시예를 첨부된 도면을 참고하여 설명한다. 다만, 본 발명의 사상이 그와 같은 실시예에 제한되지 않고, 본 발명의 사상은 실시예를 이루는 구성요소의 부가, 변경 및 삭제 등에 의해서 다르게 제안될 수 있을 것이나, 이 또한 발명의 사상에 포함되는 것이다.

[0043] 도 1을 참고하면, 본 발명의 바람직한 일 실시예에 의한 인공 촉각 센서장치(1)는 제1물질부(10), 제2물질부(20), 변형부(30) 및 전극부(40)를 포함한다.

[0044] 참고로, 인체의 피부에 있는 촉각수용기로는 메르켈(Merkel) 충판, 마이스너 소체(Meissner corpuscle), 모근중말, 파시니(Pacinian) 소체 및 골지-마조니(Golgi-Mazzoni) 소체 등이 있다. 본 발명에서 설명하는 인공 촉각

센서장치(1)는 촉각수용기 중 기계적 수용체 중 하나인 마이스너 소체의 구조적 및 위치적 특성을 모사하여, 촉각을 감지하는 것으로 예시한다.

- [0046] 제1물질부(10)는 소정 강성을 가지는 유연한 재질로 마련된다. 이러한 제1물질부(10)는 인체 피부의 표피(Epidermis)층을 모사하는 것으로서, 단층 형상으로 마련될 수 있다. 본 실시예에서는 제1물질부(10)가 표피와 유사한 강성을 구현할 수 있는 유기규소화합물인 PDMS(Polydimethylsiloxane)을 포함하는 재질로 마련되는 것으로 예시하며, 이에 대해서는 보다 자세히 후술한다.
- [0047] 제2물질부(20)는 제1물질부(10)와 같거나 다른 강성을 가진다. 이러한 제2물질부(20)는 인체 피부의 진피(Dermis)를 모사하는 것으로서, 본 실시예에서는 에코플렉스(Ecoflex)와 같은 실리콘계열의 젤(silicon-based gel)을 포함하는 것으로 예시한다. 또한, 제2물질부(20)는 후술할 변형부(30)를 사이에 두고 제1물질부(10)와 마주하되, 변형부(30)의 하부에 위치하는 단층 형상으로 마련될 수 있다.
- [0048] 한편, 인체 피부의 표피는 진피보다 영률(Young's modulus)이 2배 이상 큰 것을 특징으로 한다. 이에 따라, 표피와 진피를 각각 모사하는 제1 및 제2물질부(10)(20) 중 표피를 모사하는 제1물질부(10)의 강성이 큰 것이 좋다. 바람직하게는 제1 및 제2물질부(10)(20) 사이의 영률 차이는 2 내지 5배 이상인 것이 바람직하며, 본 실시예에서는 2배 이상인 것으로 예시한다.
- [0049] 이상과 같은 영률 차이를 가지는 대표적인 물질로는 PDMS와 에코플렉스(Ecoflex) 등이 있으며, 이를 각각 표피와 진피를 모사하는 제1 및 제2물질부(10)(20)가 포함함이 바람직하다. 정리하면, 자극이 들어오는 제1물질부(10)의 강성이 변형부(30)를 사이에 두고 마주하는 제2물질부(20)의 강성보다 상대적으로 높도록 마련되는 것이다. 이로 인해, 변형부(30)가 상대적으로 강성이 낮은 제2물질부(20)에 의해 지지되어, 외부 자극에 의한 변형을 지지할 수 있게 된다.
- [0050] 또한, 진동과 같은 외부에서 가해지는 자극 측정을 위해서는 제1 및 제2물질부(10)(20)의 영률과 함께 점탄성(viscoelasticity)도 촉각 센싱 모사를 위한 중요한 변수이다. 이에 따라, 제1 및 제2물질부(10)(20)는 진피 및 표피의 특성과 유사한 겔 재질의 고분자 물질을 포함함이 좋다. 이러한 물질로는 PDMS, 에코플렉스(Ecoflex), 실리콘 계열 겔 및 Rubber계열 겔 등이 있으며, PDMS를 비롯한 실리콘 계열 겔은 모제와 경화제(agent)의 비율을 조절하여 영률과 점탄성 조절에 유리한 특징을 가진다. 이에 따라, 인공 촉각 센서장치(1)의 주파수 대역에 대한 한계값(Threshold)을 변경하거나 민감도를 변경하기 쉽다는 장점이 있기 때문에, 표피 및 진피를 모사하는 인공 촉각 센서장치(1)의 제1 및 제2물질부(10)(20)에 보다 적합하다. 또한, 재료적 측면에서 제1 및 제2물질부(10)(20)는 유연한(Soft) 특성을 가진 복합재, 나노소재 및 다른 계열의 소재를 사용할 수 있다.
- [0051] 변형부(30)는 제1 및 제2물질부(10)(20)의 사이에 마련되어, 제1 및 제2물질부(10)(20) 중 적어도 어느 하나를 통해 입력된 외력에 의해 변형된다. 이러한 변형부(30)는 3차원 쉘(shell) 형태의 피에조 물질(Piezoelectric material)로 마련됨으로써, 표피와 진피를 모사하도록 서로 다른 강성을 가지는 제1 및 제2물질부(10)(20)의 계면에 위치하는 촉각 소체인 마이스너 소체(Meissner corpuscle)를 모사한다.
- [0052] 변형부(30)가 모사하는 마이스너 소체는 내부에 동전 모양 슈반(Schwann) 세포가 겹겹이 쌓인 얇은 층상 구조인 라멜라(lamellar) 구조를 이루고, A $\hat{a}$ afferent가 슈반(Schwann) 세포 사이에 끼어 들어가 있는 구조를 가진다. 이러한 마이스너 소체에 외부로부터 전달된 기계적 자극이 전달되면, 마이스너 소체와 표피 사이에 연결된 콜라겐 섬유(Collagen fiber)가 인장을 받게 된다. 이러한 콜라겐 섬유의 인장이 마이스너 소체 내부에 있는 신경을 당기어 변형을 일으키게 된다. 이 때, 마이스너 소체 내부의 신경에 결합되어 있는 민감한(Mechanosensitive) 이온채널로부터 촉각 신호가 발생하게 된다. 따라서, 본 발명에서 설명하는 변형부(30)는 인체 피부의 콜라겐 섬유와 마이스너 소체 내부의 신경을 피에조 물질로써 대응시킴으로써, 마이스너 소체의 간소화된 모사가 가능하다.
- [0053] 한편, 본 발명에 의한 인공 촉각 센서장치(1)는 마이스너 소체의 구조적 특징을 비롯하여, 마이스너 소체가 위치하는 진피유두(dermal papillae)의 구조도 모사에 반영하여 동적인 자극을 민감하게 측정할 수 있다. 여기서, 진피유두는 표피와 진피가 요철 형상으로 맞물려 있는 형상으로, 두 조직의 영률(Young's modulus) 차이에 의해 진피유두의 골 부분과 마루 부분에 응력 집중이 형성되는 특징이 있다. 이로 인해, 영률이 다른 제1 및 제2물질부(10)(20)를 활용함으로써, 진피와 표피의 기계적 특성을 모사하는 것이 인공 촉각 구현에 보다 더

적합하다. 이에 따라, 제1 및 제2물질부(10)(20)가 각각 모사하는 진피 및 표피는 잘 결합할 수 있는 유사한 특성을 지니는 고분자 재질을 활용하는 것이 세라믹 또는 금속물질을 활용하는 것보다 더 적합하다.

[0054] 참고로, 본 발명에서는 마이스너 소체가 표피에 콜라겐 섬유에 의해 매달린 형상으로 해석하였다. 이에 대응하여, 마이스너 소체가 모사하는 변형부(30)는 표피에 매달린 타원 형상의 반구 형태를 가지도록 제2물질부(20)로부터 돌출되어 진피유두를 모사하는 돌기(21)에 밀착되는 것으로 예시한다. 그러나, 꼭 이에 한정하는 것은 아니며, 변형부(30)가 밀착되는 제2물질부(20)로부터 돌출된 돌기(21)의 형상은 도 2의 (a) 내지 (c)에 도시된 피라미드, 원뿔 또는 다양한 형태의 기둥(pillar or cylinder)과 같이 다양하게 변형될 수 있음은 당연하다.

[0055] 또한, 변형부(30)는 진피유두 모사 구조의 크기는 일정하게 유지되는 것이 바람직하나, 측정하고자 하는 주파수 대역의 범위가 진피유두 모사 구조의 영향을 받을 수 있기 때문에, 측정하고자 하는 주파수 대역에 따라 변경이 가능하다.

[0056] 정리하면, 인공 촉각 센서장치(1)에서 변형부(30)는 마이스너 소체의 콜라겐 섬유(collagen fiber)와 신경 사이의 신호 생성 및 전달을 위해, 피에조 특성을 가지는 물질이 적합하다. 이러한 피에조 특성을 가지는 물질인 PVDF, PZT 등과 같이, 일반적으로 알려진 피에조 물질을 변형부(30)로 활용할 수 있다. 그러나, 상술한 진피유두의 구조 변형의 경우와 같이, 인공 촉각 센서장치(1)의 구조를 적절히 변형시켜 활용하기 위해 가공이 용이하고 유연한 피에조 물질이 더 바람직하다. 특히, 피에조 소재를 겔 또는 필름형태로 제작하는 것이 큰 변형을 유도할 수 있기 때문에, 변형부(30)로 적용함에 보다 더 바람직하다. 이러한 유연한 피에조 특성을 가지는 물질 중에 PVDF 또는 PVDF-TrFe가 사용될 수 있다. 한편, 겔 또는 필름 형태로 가공이 쉬운 대신에 전위차를 생성하는 피에조 특성은 세라믹 재질의 피에조 물질에 비해 현저히 떨어진다. 이에 따라, 변형부(30)의 성능 개선을 위해서는 세라믹 재질이나 금속 계열의 피에조 물질을 활용하는 것 역시 가능하다. 이러한 물질로는 ZnO, 금속원소가 도핑된 ZnO계열, PZT(PbZrTiO), PTO(PbTiO), BTO(BiTiO), BLT(BiLaTiO), SBT(SrBiTaO) 등이 있다. 또한, 기존의 유연한 소재에 피에조 물질을 입자의 형태로 포함시켜 복합재로서 변형부(30)를 마련하는 것으로 가능하다.

[0057] 또한, 변형부(30)를 구성하는 피에조 물질 대신에 이러한 센싱 물질로 그래핀, 탄소나노튜브, 몰리브덴(MoS₂), 이셀레늄화 몰리브덴(MoSe₂) 및 맥신(MXene)과 같은 2차원 나노 물질을 사용하는 것이 가능하며, 이러한 압전 저항형(Piezoresistive) 형태의 물질은 동적인 특성에 반응할 뿐만 아니라, 정적인 특성을 측정하는 데도 유리하나, 자가 구동면에서 불리하다. 변형부(30)는 피에조 물질 대신에 2차원 나노 물질을 비롯하여, 자극에 의해 물리적성질이 크게 변해서 신호측정에 활용될 수 있는 다양한 물질이 활용될 수 있다.

[0058] 아울러, 변형부(30)는 가능한 얇은 두께를 가지는 것이 바람직하지만, 변형의 정도, 발생하는 신호의 크기를 고려해 적절한 두께를 설정할 필요가 있다. 이에 따라, 본 실시예에서는 변형부(30)의 두께가 제2물질부(20)로부터 변형부(30)를 향해 돌출된 요철 형상의 돌기(21) 크기의 1/10 ~ 1/100 이하로 얇게 제작함으로써, 외력에 의한 변형으로부터 자유로움이 좋다. 즉, 변형부(30)의 두께는 피에조 물질의 변형이 발생되지 않는 범위내에서 얇은 두께임이 좋다.

[0059] 참고로, 피에조 물질로 마련된 변형부(30)가 제1물질부(10)보다 상대적으로 낮은 강성을 가지는 제2물질부(20)에 지지됨으로써, 외부 자극에 의한 변형부(30)의 변형을 제2물질부(20)가 보다 유연하게 지지하게 된다. 그로 인해, 제1 및 제2물질부(10)(20)는 각각 피부의 표피 및 진피를 모사하고, 변형부(30)는 마이스너 소체를 모사하게 된다.

[0060] 전극부(40)는 변형부(30)의 변형을 전기적으로 감지한다. 이러한 전극부(40)는 도 1에 도시된 바와 같이, 제1 및 제2물질부(10)(20) 사이에 밀착되어 마련된 변형부(30)의 상부 및 하부 즉, 양단을 커버하도록 마련된 전극라인(41) 및 전극라인(41)과 전기적으로 연결되는 검출기(42)를 포함한다.

[0061] 전극라인(41)은 변형부(30)의 상부 및 하부 즉, 양면에 스퍼터링(sputtering) 코팅되어 마련될 수 있다. 이러한 전극라인(41)은 변형부(30)의 변형에 따른 전기적 신호 변화를 전기적으로 연결된 검출기(42)로 제공함으로써, 촉각 센서로서의 전기적 신호를 발생시킨다. 참고로, 전극라인(41)은 변형부(30)의 상부 및 하부에 코팅되지 않고, 변형부(30)의 양측에 연결되어 신호를 검출하는 변형에도 가능하다.

[0063] 한편, 본 발명에서 설명하는 인공 촉각 센서장치(1)는 그 개체가 단일 혹은 복수로 배치될 수 있다. 또한, 인공 촉각 센서장치(1)는 여러 개가 어레이(Array)형태로 배치되어, 전체적으로 동시에 신호를 센싱하거나, 각각의 개체를 전기적으로 분리시켜 촉각의 자극이 표면에서 움직이거나 이동할 때의 동적인 특성을 측정할 수

있다. 복수의 개체를 하나의 인공 촉각 센서장치(1)로 활용할 경우에는 넓은 영역에서 발생한 신호를 측정할 수 있는 장점이 있으며, 각각 독립된 개체를 어레이 형태로 만들 경우에는 시공간적으로 자극의 변화를 측정할 수 있는 장점이 있다.

- [0065] 본 발명의 일 실시예에 의한 인공 촉각 센서장치(1)의 제조 방법을 설명하면 다음과 같다.
- [0066] 우선, 3D 프린터를 활용하여 진피유두를 모사하는 몰드(미도시)를 마련한다. 이렇게 제작된 몰드는 도 1과 같이, 반구형 형태의 진피유두를 모사하기 위한 모사홈(미도시)이 인입되어 마련될 수 있으나, 모사홈(미도시)의 형상은 도 2와 같이 다양한 돌기(21) 형태에 대응하여 변형 가능함은 당연하다.
- [0067] 제작된 몰드를 활용하여, 마이스너 소체(Meissner corpuscle)의 진동 자극 및 동적 자극 측정 기능을 모사하기 위해, 피에조 물질로 마련된 변형부(30)를 제2물질부(20)의 돌기(21)에 코팅한다. 여기서, 피에조 물질은 형상 제작 및 가공이 용이하도록 PVDF-TrFe일 수 있으며, 테트라하이드로푸란(tetrahydrofuran, THF)에 용해하여 피에조 용액으로 마련할 수 있다. 이 후, 피에조 용액을 몰드에 일정량 채운 후 건조하여 테트라하이드로푸란(THF)를 기화시킴으로써, 몰드의 모사홈에 PVDF-TrFe층 즉, 피에조 물질층을 코팅시킨다.
- [0068] 몰드에 코팅된 PVDF-TrFe층인 변형부(30)에 스퍼터링(sputtering)을 진행하여 변형부(30)의 일면에 전기적으로 연결되는 전극라인(41)을 포함하는 전극부(40)을 제작한다.
- [0069] 이 후, 인체 피부의 진피층을 모사하기 위해, 에코플렉스(Ecoflex) 00-30 실리콘 겔을 활용하여 제2물질부(20)를 몰드에 마련한다. 이 때, 에코플렉스(Ecoflex) 00-30 실리콘 겔의 영률이 진피의 영률과 비슷한 범위의 값을 가진다. 에코플렉스(Ecoflex) 실리콘 겔이 경화되면 이를 몰드로부터 분리시킨 후, 뒤집은 상태에서 스퍼터링(Sputtering)을 진행하여 PVDF-TrFe층 즉, 변형부(30)의 노출된 타면에 전극라인(41)을 포함하는 전극부(40)을 배치시킨다. 이로 인해, 변형부(30)의 상부 및 하부에 모두 전극라인(41)이 연결되게 된다.
- [0070] 이후, 표피층을 모사하는 제1물질부(10)를 PDMS를 활용하여 제조하되, 주재(Silicon elastomer)와 경화제(curing agent)의 비율은 20:1로 예시한다. 이러한 비율로 인해, 마련된 PDMS로 마련된 제1물질부(10)는 표피의 영률과 비슷한 범위를 가진다. 즉, 제조된 PDMS와 에코플렉스(Ecoflex)는 약 4배 정도의 영률 차이를 가질 수 있으나, 한정 사항은 아니다. 이상과 같은 제조 방법에 의해 마련된 인공 촉각 센서장치(1)의 일 예가 도 3에 개략적으로 도시된다.
- [0071] 한편, 마이스너 소체가 촉각 및 표면 인지에서 큰 역할을 하는 이유는 진동 자극 및 전단응력(shear stress) 자극에도 반응하는 것뿐만 아니라, 접촉에 대한 인지도 가능하기 때문이다. 이로 인해, 마이스너 소체는 수직 압력에 대해서 충격 및 자극의 속도에 대한 정량적 분석으로도 확인할 수 있다.
- [0072] 본 발명의 일 실시예에 의한 인공 촉각 센서장치(1)를 활용하여, 수직 및 수평 압력에 따른 반응성을 진행한 결과가 도 4 내지 도 6에 개략적으로 도시된다.
- [0073] 도 4에는 본 발명의 일 실시예에 의한 인공 촉각 센서장치(1)의 수직 압력에 대한 반응성을 실험한 결과가 개략적으로 도시되며, 도 5에는 인공 촉각 센서장치(1)의 압력에 대한 측정 감도를 실험한 결과가 도시된다.
- [0074] 도 4 및 도 5와 같이, 3.2 kPa부터 31.8 kPa 까지의 압력이 가해지는 상황에 대해서 인공 촉각 센서장치(1)의 민감도를 측정하였다. 압력 자극이 가해졌을 때, 큰 자극이 가해질수록 더 큰 반응을 보임으로써, 접촉에 대한 인지 및 정량화가 가능하다는 것을 확인할 수 있다. 아울러, 가해지는 압력을 수직인 방향과 기울어진 방향에서 가했을 때, 신호가 발생함을 확인할 수 있었다.
- [0075] 또한, 도 6을 참고하면, 수평 진동에 대하여 변형부(30)는 50Hz의 진동 자극이 가해질 때 한계값(Threshold)이 가장 낮으며, 한계값 보다 큰 주파수의 진동 자극에 대해서는 한계값이 급격하게 높아진다. 이러한 한계값은 마이스너 소체를 모사하는 변형부(30)가 50 Hz의 진동 자극에 가장 민감하다는 것을 의미하며, 50Hz 이상의 주파수 대역의 진동 자극에는 둔감하게 반응한다는 것을 의미한다. 참고로, 변형부(30)가 모사하는 마이스너 소체의 이러한 특성이 촉각의 표면 인지에 주된 역할을 하게 된다.
- [0076] 이상과 같이, 본 발명에서 설명하는 인공 촉각 센서장치(1)는 인체 피부의 표피, 진피 및 마이스너 소체를 구조적 및 위치적 특성까지 모사함으로써, 수직 압력을 비롯하여 전단 응력 등과 같은 다방향으로 입력되는 자극에 대한 촉각 센싱이 가능하다. 뿐만 아니라, 외부 압력 자극을 표면 특성의 감도까지도 가능하여, 다양한 분량에서 활용 가능한 인공 촉각 센서로써 활용될 수 있다.

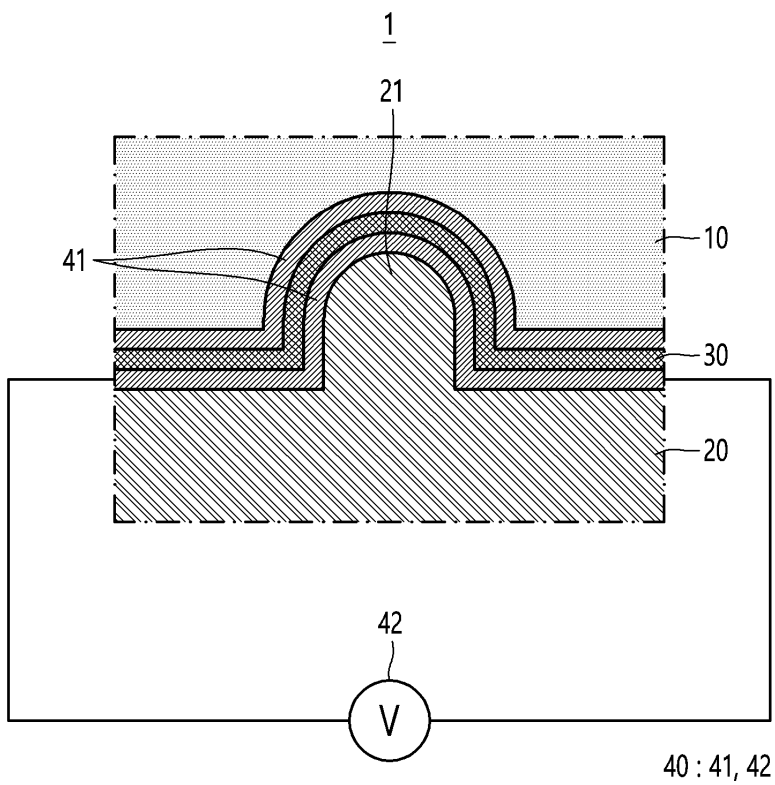
[0078] 상술한 바와 같이, 본 발명의 바람직한 실시예를 참조하여 설명하였지만 해당 기술분야의 숙련된 당업자라면 하기의 청구범위에 기재된 본 발명의 사상 및 영역으로부터 벗어나지 않는 범위 내에서 본 발명을 다양하게 수정 및 변경시킬 수 있음을 이해할 수 있을 것이다.

부호의 설명

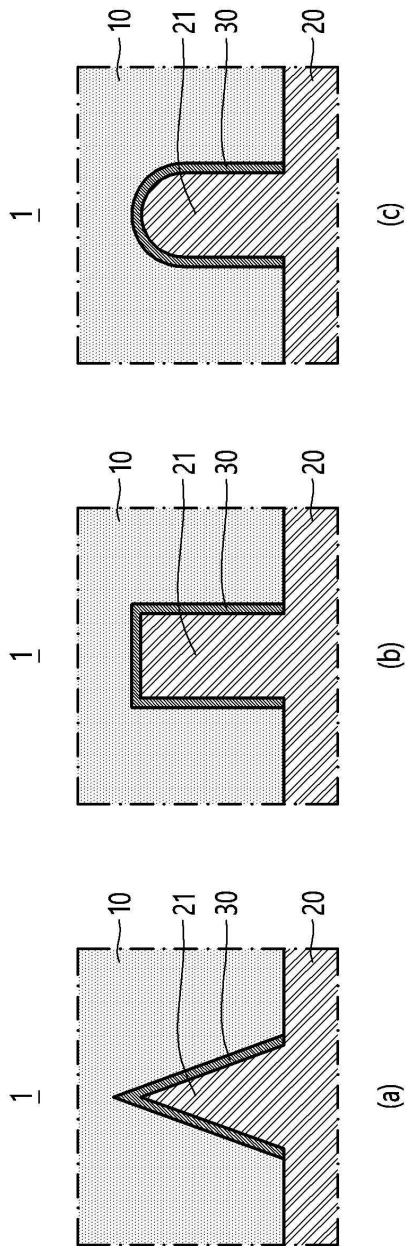
[0079] 1: 인공 촉각 센서장치
10: 제1물질부
20: 제2물질부
21: 돌기
30: 변형부
40: 전극부

도면

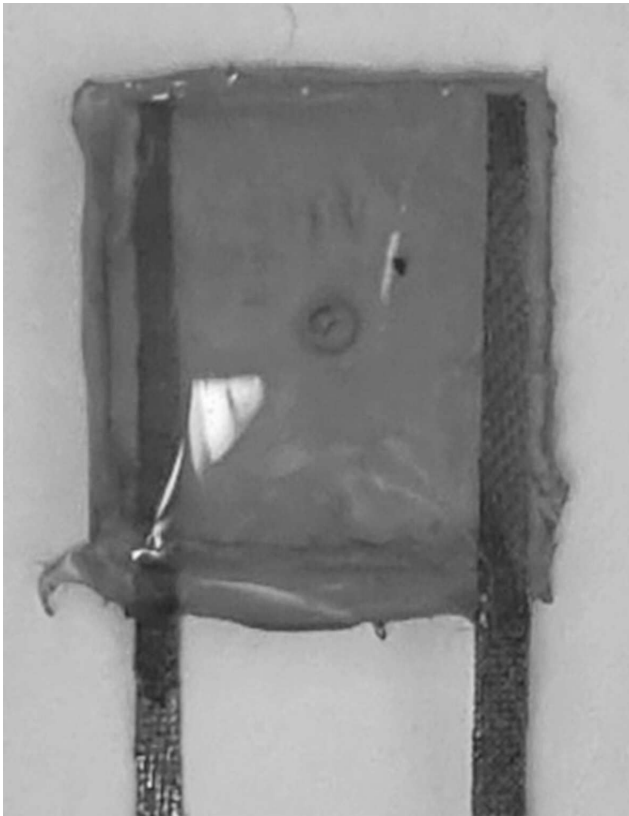
도면1



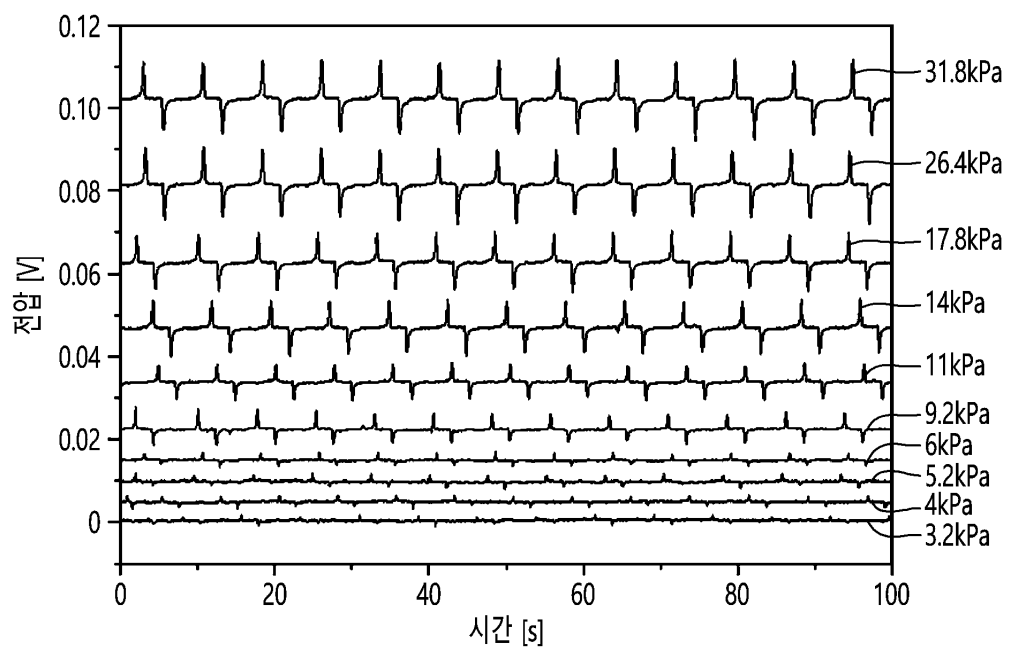
도면2



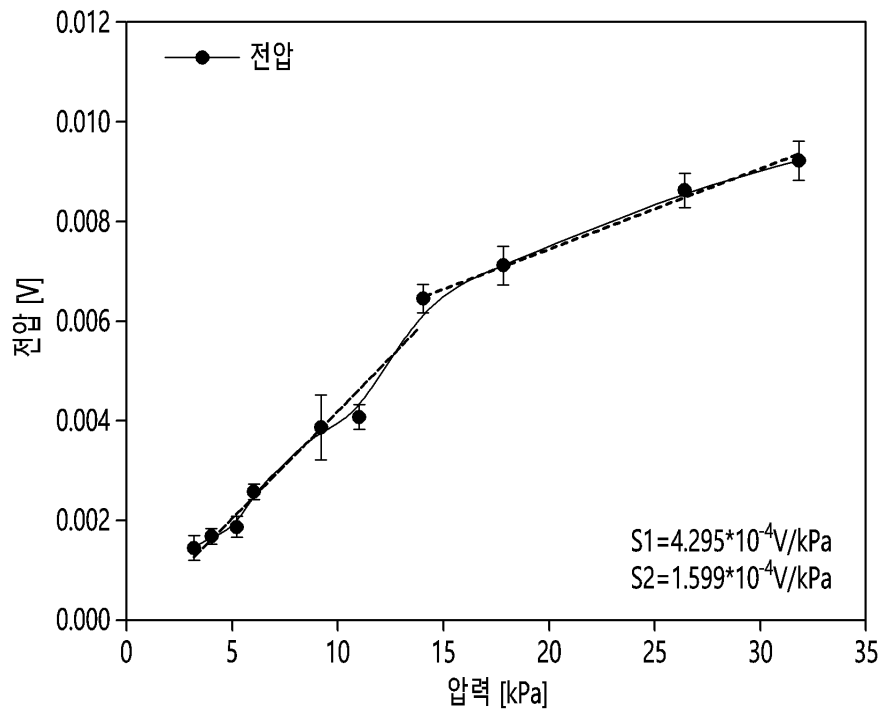
도면3



도면4



도면5



도면6

