(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2025-0103103
(43) 공개일자 2025년07월07일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
A61B 5/00 (2021.01) *G01L 1/22* (2006.01)
G10L 15/00 (2006.01) *H04R 1/46* (2006.01)
(52) CPC특허분류
A61B 5/4803 (2013.01)
A61B 5/6822 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2023-0195445
(22) 출원일자 2023년12월28일
심사청구일자 2023년12월28일

(71) 출원인
고려대학교 산학협력단
서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)
(72) 발명자
오승주
서울특별시 중구 청구로 64, 113동 104호(신당동, 청구e편한세상)
최형진
경기도 용인시 수지구 동천로 64, 506동 502호
(74) 대리인
김연권

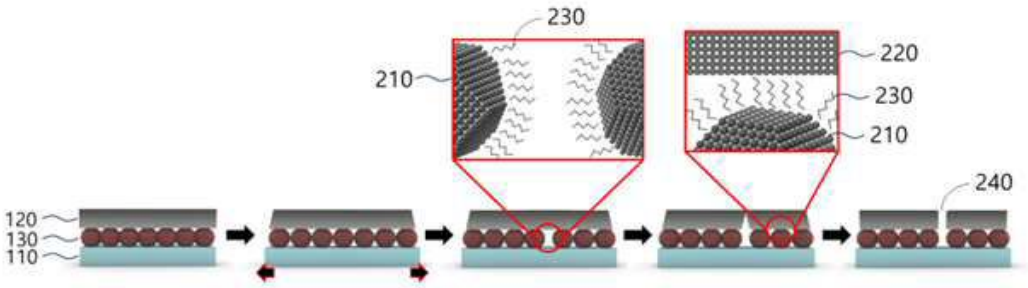
전체 청구항 수 : 총 11 항

(54) 발명의 명칭 **고감도 스트레인 센서 및 이의 제조 방법**

(57) 요 약

본 발명은 고감도 스트레인 센서 및 이의 제조 방법에 관한 것이다. 보다 상세하게는 스트레인 센서는 나노 입자층 및 금속층을 포함하는 이중층 구조 기반의 스트레인 센서에 관한 것이다. 본 발명의 실시예에 따르면, 고민감도, 고전도성 및 빠른 응답 속도를 나타내는 스트레인 센서를 제공할 수 있다.

대 표 도 - 도2d



(52) CPC특허분류
G01L 1/2287 (2013.01)
G10L 15/00 (2013.01)
A61B 2562/0261 (2013.01)
A61B 2562/12 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1711181946
과제번호 2018M3D1A1059001
부처명 과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명 한국연구재단
연구사업명 (원천)미래소재디스커버리사업
연구과제명 Small form-factor용 초고효율 적외선 흡수 소재 개발
기 여 율 1/3
과제수행기관명 고려대학교
연구기간 2023.01.16 ~ 2024.01.15
이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1711190047
과제번호 2022R1A2C4001517
부처명 과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명 한국연구재단
연구사업명 (이공)중견연구자지원사업(신진중견연계)
연구과제명 픽셀리스 적외선 이미지 센서 구현을 위한 광증폭 양자점 박막 소재 연구
기 여 율 1/3
과제수행기관명 고려대학교
연구기간 2023.03.01 ~ 2024.02.29
이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1711195464
과제번호 2020M3H4A3081833
부처명 과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명 한국연구재단
연구사업명 나노소재기술개발
연구과제명 고전도 나노입자 합성 및 표면제어를 통한 전도성 산화안정성 향상 연구
기 여 율 1/3
과제수행기관명 고려대학교
연구기간 2023.01.01 ~ 2023.12.31

명 세 서

청구범위

청구항 1

기판;

상기 기판 상에 배치되고, 다작용기 리간드를 포함하는 나노 입자층으로 이루어진 감지부; 및

상기 나노 입자층 상에 배치된 금속층으로 이루어진 전극부;

를 포함하고,

외부 자극에 따라 상기 감지부 및 상기 전극부에 크랙(crack)이 생성되며, 상기 크랙으로 인해 발생하는 전기적 변화에 의해 상기 외부 자극의 변화량을 측정하는 것을 특징으로 하는 고감도 스트레인 센서.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 기판은 상면에 가교제가 도포되는 것을 특징으로 하는 고감도 스트레인 센서.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 가교제는 상기 기판과 상기 나노 입자층의 접착력을 제어하는 것을 특징으로 하는 고감도 스트레인 센서.

청구항 4

제2항에 있어서,

상기 가교제는 아미노기를 포함하는 것을 특징으로 하는 고감도 스트레인 센서.

청구항 5

제2항에 있어서,

상기 가교제는 알킬티올(alkylthiol) 계열 또는 알콕시실란(alkoxysilane) 계열을 포함하는 것을 특징으로 하는 고감도 스트레인 센서.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 다작용기 디티올(thiol) 리간드, 시스테아민(cysteamine), 머캅토에탄올(mercaptoethanol), 머캅토아세트산(mercaptoacetic acid) 및 머캅토프로피온산(mercaptopropionic acid)으로 이루어진 군에서 선택되는 어느 하나를 포함하는 것을 특징으로 하는 고감도 스트레인 센서.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 감지부는 상기 외부 자극에 의해 직선형의 크랙이 유도되는 것을 특징으로 하는 고감도 스트레인 센서.

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 전극부는 상기 외부 자극에 의해 직선형의 크랙이 유도되는 것을 특징으로 하는 고감도 스트레인 센서.

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 다작용기 리간드는 상기 감지부와 상기 전극부 간의 결합력을 제어하여 상기 감지부의 크랙을 상기 전극부로 전달하는 것을 특징으로 하는 고감도 스트레인 센서.

청구항 10

기판 상에 유기 리간드로 둘러싸인 나노 입자 용액을 도포하는 단계;

상기 유기 리간드를 다작용기 리간드로 치환하여 나노 입자층으로 이루어진 감지부를 형성하는 단계; 및

상기 나노 입자층 상에 금속을 도포하여 금속층으로 이루어진 전극부를 형성하는 단계

를 포함하는 고감도 스트레인 센서의 제조 방법.

청구항 11

제10항에 있어서,

상기 나노 입자 용액을 도포하는 단계 이전에 상기 기판을 가교제 처리하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 고감도 스트레인 센서의 제조 방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 고감도 스트레인 센서 및 이의 제조 방법에 관한 것이다. 보다 상세하게는 상기 스트레인 센서는 크랙 기반 저항 변화형 스트레인 센서로, 고전도성 및 고민감성을 가진다.

배 경 기 술

[0003] 최근 대중들의 건강에 대한 관심이 높아짐에 따라 실시간으로 자신의 신체 상태를 모니터링할 수 있는 웨어러블 센서 기술에 대한 관심이 덩달아 높아지고 있다. 그 중 음성의 경우 후두질환과 호흡계 질환, 나아가 파킨슨병 등을 진단할 수 있고 음성 기반 디지털 자물쇠 등에 적용할 수 있는 등 활용성이 높다. 그러나 기존의 마이크 기반으로 음성 감지 시 외부 잡음에 의한 신호 왜곡이 심하고 피부 부착형으로 만들기 부적절하여 성대 진동 감지형 센서의 필요성이 대두되고 있다. 그러나 이런 성대 진동 감지형 센서는 5 kHz까지 분포하는 미세한 고진동수 떨림을 정확히 측정하기 위해 높은 민감도, 빠른 반응속도와 더불어 낮은 노이즈 신호를 위한 높은 전기 전도도를 지녀야 하므로 제작에 어려움이 있다.

[0005] 성대 진동 감지형 웨어러블 음성인식 센서 제작에 다양한 방식의 소자가 응용 가능하나 이중 촉망받는 구동 방법은 크랙 기반 저항변화형 스트레인 센서이다. 저항변화는 쉽게 측정이 가능하여 기기 단순화 및 소형화가 용이하고 크랙 기반 소자는 외부 자극에 의한 즉각적인 변형을 동반하여 빠른 응답속도를 확보할 수 있다. 특히 방향성이 균일하고 길게 이어진 채널 크랙이 형성되는 경우 높은 민감도 또한 기대할 수 있다.

[0006] 이러한 크랙 기반 스트레인 센서 제작에 있어 금속과 나노 입자는 매우 촉망받는 소재이다. 금속의 경우 전기 전도도가 높고, 종류에 따라 생체친화적 유연 기판에 증착하여 활용하기 용이하다는 장점이 있고, 나노 입자는 큰 저항변화를 유발하는 채널 크랙 형성이 용이하고 전 용액 공정을 통한 생산성과 경제성으로 인해 각광받고 있다. 그러나 금속은 채널 크랙을 잘 형성하지 못하여 민감도가 낮은 경우가 많고, 나노 입자는 박막에서 전자가 나노 입자 간 홉핑 메커니즘을 따라 이동하여 전도도가 낮고 폴리디메틸실록산 (polydimethylsiloxane; PDMS) 등 생체친화적 기판에는 낮은 접합력 때문에 활용하기 어렵다는 단점이 있다.

[0008] 본 연구진은 앞서 언급한 문제를 해결하기 위하여 나노 입자 박막과 그 위의 금속으로 이루어진 이중층 구조를 제작하여 높은 민감도와 빠른 응답속도를 유지한 채 높은 전기 전도도를 가지는 센서를 개발하였다.

선행기술문헌

특허문헌

[0010] (특허문헌 0001) 한국 등록특허공보 제10-1107306호, "압력센서용 금속 박막형 스트레인 게이지 및 이를 포함하는 압력센서"

발명의 내용

해결하려는 과제

[0011] 본 발명의 일 목적은 피부에 부착 가능한 성대 진동 감지형 웨어러블 음성 인식 센서를 제공하는 것이다.

[0012] 본 발명의 다른 목적은 음성 인식 시 외부 소음에 의한 신호 왜곡을 최소화한 스트레인 센서를 제공하는 것이다.

[0013] 본 발명의 또 다른 목적은 높은 민감도와 빠른 응답 속도를 갖는 스트레인 센서를 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0015] 본 발명에 따른 고감도 스트레인 센서는 기판, 상기 기판 상에 배치되고, 다작용기 리간드를 포함하는 나노 입자층으로 이루어진 감지부 및 상기 나노 입자층 상에 배치된 금속층으로 이루어진 전극부를 포함하고, 외부 자극에 따라 상기 감지부 및 상기 전극부에 크랙(crack)이 생성되며, 상기 크랙으로 인해 발생하는 전기적 변화에 의해 상기 외부 자극의 변화량을 측정한다.

[0016] 일 실시형태에 따라서는, 상기 기판은 상면에 가교제가 도포될 수 있다.

[0017] 일 실시형태에 따라서는, 상기 가교제는 상기 기판과 상기 나노 입자층의 접착력을 제어할 수 있다.

[0018] 일 실시형태에 따라서는, 상기 가교제는 아미노기를 포함할 수 있다.

[0019] 일 실시형태에 따라서는, 상기 가교제는 알킬티올(alkylthiol) 계열 또는 알콕시실란(alkoxysilane) 계열을 포함할 수 있다.

[0020] 일 실시형태에 따라서는, 상기 다작용기 디티올(thiol) 리간드, 시스테아민(cysteamine), 머캅토에탄올(mercaptoethanol), 머캅토아세트산(mercaptoacetic acid) 및 머캅토프로피온산(mercaptopropionic acid)으로 이루어진 군에서 선택되는 어느 하나를 포함할 수 있다.

[0021] 일 실시형태에 따라서는, 상기 감지부는 상기 외부 자극에 의해 직선형의 크랙이 유도될 수 있다.

[0022] 일 실시형태에 따라서는, 상기 전극부는 상기 외부 자극에 의해 직선형의 크랙이 유도될 수 있다.

[0023] 일 실시형태에 따라서는, 상기 다작용기 리간드는 상기 감지부와 상기 전극부 간의 결합력을 제어하여 상기 감지부의 크랙을 상기 전극부로 전달할 수 있다.

[0024] 본 발명에 따른 고감도 스트레인 센서의 제조 방법은 기판 상에 유기 리간드로 둘러싸인 나노 입자 용액을 도포하는 단계, 상기 유기 리간드를 다작용기 리간드로 치환하여 나노 입자층으로 이루어진 감지부를 형성하는 단계 및 상기 나노 입자층 상에 금속을 도포하여 금속층으로 이루어진 전극부를 형성하는 단계를 포함한다.

[0025] 일 실시형태에 따라서는, 상기 나노 입자 용액을 도포하는 단계 이전에 상기 기판을 가교제 처리하는 단계를 더 포함할 수 있다.

발명의 효과

[0027] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 반응속도는 증가되고, 노이즈 신호는 감소한 스트레인 센서를 제작할 수 있다.

[0028] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 15 kHz까지 분포하는 미세한 고진동수 떨림을 정확히 측정 가능한 고민감도의 스트레인 센서를 제작할 수 있다.

[0029] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 용액 공정과 열증착 기반의 단순 공정을 통해 스트레인 센서를 제작하므로 경제성이 증가하고, 대면적 제작이 용이하다.

[0030] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 기계적 내구도가 향상된 스트레인 센서를 제작할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0032] 도 1a 내지 도 1c는 각각 비교예 1, 비교예 2 및 실시예 1을 대상으로 한 변형 전후의 전류-전압(I-V) 그래프이다.

도 1d는 실시예 1, 비교예 1 및 비교예 2을 대상으로 한 변형 전후의 전기 전도도 및 게이지 팩터의 그래프이다.

도 2a 내지 도 2c는 비교예 1, 비교예 2 및 실시예 1에 스트레인에 의해 크랙이 형성되는 모식도와 크랙의 SEM 이미지이다.

도 2d는 실시예 1이 스트레인에 의해 크랙이 형성되는 과정을 나타낸 모식도이다.

도 2e는 고감도 스트레인 센서의 내부 구성 및 결합을 나타낸 모식도이다.

도 3a는 상용화 마이크와 실시예 1의 스트레인 센서를 이용하여 조용한 환경과 시끄러운 환경에서 단어 "N", "E", "L"을 발음하여 녹음 및 고속 푸리에 변환을 진행한 이미지이다.

도 3b는 상용화 마이크와 실시예 1의 스트레인 센서를 이용하여 단어 "Bid"을 서로 다른 세기로 발성하여 녹음 및 고속 푸리에 변환을 진행한 이미지이다.

도 4a 내지 도 4d는 실시예 1의 스트레인 센서를 이용하여 감지 가능한 음성의 진동수를 시험한 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0033] 이하 첨부 도면들 및 첨부 도면들에 기재된 내용들을 참조하여 본 발명의 실시예를 상세하게 설명하지만, 본 발명이 실시예에 의해 제한되거나 한정되는 것은 아니다.

[0034] 본 명세서에서 사용된 용어는 실시예들을 설명하기 위한 것이며 본 발명을 제한하고자 하는 것은 아니다. 본 명세서에서, 단수형은 문구에서 특별히 언급하지 않는 한 복수형도 포함한다. 명세서에서 사용되는 "포함한다(comprises)" 및/또는 "포함하는(comprising)"은 언급된 구성요소, 단계, 동작 및/또는 소자는 하나 이상의 다른 구성요소, 단계, 동작 및/또는 소자의 존재 또는 추가를 배제하지 않는다.

[0035] 본 명세서에서 사용되는 "실시예", "예", "측면", "예시" 등은 기술된 임의의 양상(aspect) 또는 설계가 다른 양상 또는 설계들보다 양호하다거나, 이점이 있는 것으로 해석되어야 하는 것은 아니다.

[0036] 또한, '또는' 이라는 용어는 배타적 논리합 'exclusive or'이기보다는 포함적인 논리합 'inclusive or'를 의미한다. 즉, 달리 언급되지 않는 한 또는 문맥으로부터 명확하지 않는 한, 'x가 a 또는 b를 이용한다'라는 표현은 포함적인 자연 순열들(natural inclusive permutations) 중 어느 하나를 의미한다.

[0037] 또한, 본 명세서 및 청구항들에서 사용되는 단수 표현("a" 또는 "an")은, 달리 언급하지 않는 한 또는 단수 형태에 관한 것이라고 문맥으로부터 명확하지 않는 한, 일반적으로 "하나 이상"을 의미하는 것으로 해석되어야 한다.

[0038] 또한, 막, 층, 영역, 구성 요청 등의 부분이 다른 부분 "위에" 또는 "상에" 있다고 할 때, 다른 부분의 바로 위에 있는 경우뿐만 아니라, 그 중간에 다른 막, 층, 영역, 구성 요소 등이 개재되어 있는 경우도 포함한다.

[0040] 본 발명에 따른 고감도 스트레인 센서는 기판(110), 기판(110) 상에 배치되고, 다작용기 리간드를 포함하는 나노 입자층(130)으로 이루어진 감지부 및 나노 입자층(130) 상에 배치된 금속층(120)으로 이루어진 전극부를 포함하고, 외부 자극에 따라 감지부 및 전극부에 크랙(crack)이 생성되며, 크랙으로 인해 발생하는 전기적 변화에 의해 상기 외부 자극의 변화량을 측정할 수 있다.

[0041] 다작용기 리간드는 2개 이상의 작용기를 포함하는 리간드를 의미한다.

[0042] 이때, 금속층은 나노 입자층과 같이 외부 자극을 측정하는 역할을 수행하므로, 금속층은 전극부이면서 동시에 감지부일 수 있다. 즉, 나노 입자층을 제1 감지부라고 하면, 금속층은 제2 감지부라고 할 수 있다.

[0044] 고감도 스트레인 센서는 저항 변화형 스트레인 센서일 수 있고, 구체적으로는 크랙(crack) 기반 저항 변화형 스트레인 센서일 수 있다. 다양한 종류의 스트레인 센서들 중에서 저항 변화형 스트레인 센서, 특히 크랙 기반 저항 변화형 스트레인 센서는 저항 변화를 쉽게 측정할 수 있고, 센서 구조의 단순화 및 센서의 소형화가 용이하다. 또한, 크랙 기반 저항 변화형 스트레인 센서는 외부 자극에 의해 즉각적인 크랙(변형)을 동반함으로써 자극을 감지하기 때문에 빠른 응답속도를 확보할 수 있다는 장점이 있고, 크랙의 방향성이 균일하고 길게 이어진 채널(channel) 형태의 크랙(이하, 채널 크랙)이 형성되는 경우 높은 민감도 또한 기대할 수 있다.

[0045] 저항 변화형 스트레인 센서에서 외부 자극을 감지하기 위한 소재로는 금속 소재 또는 나노 입자 소재를 사용할 수 있다. 금속 소재의 장점은 전기 전도도가 높고, 금속의 종류에 따라 생체 친화적 유연 기판에 증착하여 활용하는 것이 용이하다는 것이다. 생체 친화적이고, 유연한 기판 소재는 웨어러블(wearable) 스트레인 센서를 제작하기 위한 필수 조건이다. 하지만, 금속 소재는 채널 크랙의 형성이 어려워 스트레인 센서의 민감도가 낮다는 문제점이 있다. 채널 크랙은 외부 자극의 크기가 같을 때 더 큰 저항 변화를 유발하기 때문에 스트레인 센서의 민감도를 향상시키는데 중요한 요인이 된다.

[0046] 한편, 나노 입자 소재는 금속 소재와는 반대로 채널 크랙 형성이 용이하고, 나노 입자 제조를 위한 전 공정이 용액 공정으로 진행되어 생산성과 경제성이 높다는 장점이 있다. 하지만, 나노 입자 소재에서 전자는 나노 입자 간 홉핑(hopping) 매커니즘을 따라 이동하므로 전기 전도도가 낮고, 생체 친화적 기판에 대한 접착력이 낮다는 문제점이 있다.

[0047] 이에 본 발명에서는 금속 나노 소재와 나노 입자 소재를 동시에 활용하여 나노 입자층 및 금속층으로 이루어진 이중층 구조를 포함하는 고감도 스트레인 센서를 제공하고자 한다. 이와 같이 제조된 고감도 스트레인 센서는 비간섭적으로 음성 감지가 가능하고, 높은 민감도와 빠른 응답속도를 유지한 채 높은 전기 전도도를 가지며, 성대 진동형 음성 감지가 가능하다.

[0049] 상기 기판은 웨어러블 형태로 활용하기 위해 유연한 소재의 기판을 사용할 수 있고, 또한 피부 부착형으로 활용하기 위해 생체 친화적 소재의 기판을 포함할 수 있다. 유연 기판 또는 생체 친화적 기판으로는 바람직하게는 PDMS(polydimethylsiloxane), SEBS(styrene ethylene/butylene styrene), ecoflex, polyurethane, PET(polyethylene terephthalate) 및 PI(polyimides)로 이루어진 군에서 선택되는 어느 하나를 포함하는 기판을 사용할 수 있다. 다만, 이와 같은 소재의 기판은 나노 입자와의 접착력이 낮아 상용화가 어렵다는 문제점이

있다.

[0051] 일 실시형태에 따라서는, 기판은 상면에 가교제가 도포될 수 있다. 또한, 기판은 상면 및 하면에 가교제가 도포될 수 있다. 이때 가교제는 기판과 나노 입자층의 접착력을 제어할 수 있다. 즉, 가교제는 상술된 기판과 나노 입자층의 낮은 접착력을 개선하기 위해 사용될 수 있으며, 가교제를 처리함으로써 나노 입자층과 생체 친화적 유연 기판 사이의 접착력을 높일 수 있다. 이로 인해 나노 입자층이 기판에서 쉽게 탈착되지 않으므로 기계적 내구도가 향상되도록 조절된 스트레인 센서를 구현할 수 있다.

[0053] 일 실시형태에 따라서는, 가교제는 아미노기를 포함할 수 있다.

[0054] 일 실시형태에 따라서는, 가교제는 알킬티올(alkylthiol) 계열 또는 알콕시실란(alkoxysilane) 계열을 포함할 수 있다. 알콕시실란(alkoxysilane) 계열 가교제는 APTES(3-aminopropyltriethoxysilane), OTS(octadecyltrichlorosilane) 및 MPTS((3-mercaptopropyl)trimethoxysilane)에서 선택되는 어느 하나일 수 있다. 또한, 상기 화합물들은 모두 아미노기를 포함할 수 있다.

[0056] 한편, 나노 와이어를 스트레인 센서의 감지부 소재로 사용할 경우, 나노 와이어로 이루어진 네트워크 구조는 크랙이 성장하기 매우 힘든 구조이므로, 나노 와이어는 외부 자극으로 인해 스트레칭되어도 저항이 크게 변하지 않는다. 이로 인해 나노 와이어를 포함하는 스트레인 센서는 낮은 게이지 팩터 즉, 낮은 민감도를 나타내어 성대의 미세한 떨림을 감지하는 것이 불가능하다. 반면, 나노 입자는 기본적으로 잘 부러지는(brittle) 특성을 지녀 약간의 외부 자극(스트레인, strain)으로도 쉽게 크랙이 형성되고, 크랙에 스트레인이 모두 집중되어 외력에 따른 저항 변화가 매우 크게 나타난다. 따라서 음성 인식용 스트레인 센서로 사용이 가능하다.

[0057] 나노 입자는 Ag, Au, Cu 및 Sn를 포함하는 금속 중 어느 하나로 이루어지거나, PbS, ZnO, CdSe, InAs, PbSe 및 $AgBiS_2$를 포함하는 양자점 중 어느 하나로 이루어질 수 있다. 나노 입자는 바람직하게는 은(Ag) 나노 입자일 수 있다. 은(Ag)은 합성이 용이하고 가격이 비교적 저렴하다.

[0058] 금속층을 구성하는 금속은 전기 전도도가 우수한 소재로써, Au, Cu, Pt, Ti 및 Zn로 이루어진 군에서 선택되는 어느 하나일 수 있다. 금속층을 구성하는 금속은 바람직하게는 은(Ag)일 수 있다. 은(Ag)은 전기 전도도가 매우 높고 가격이 비교적 저렴하며 산화에 강하다는 장점이 있다.

[0060] 일 실시형태에 따라서는 다작용기 리간드는 디티올(thiol) 리간드, 시스테아민(cysteamine), 머캅토에탄올(mercaptoethanol), 머캅토아세트산(mercaptoacetic acid) 및 머캅토프로피온산(mercaptopropionic acid)으로 이루어진 군에서 선택되는 어느 하나일 수 있다. 또한, 디티올 리간드는 양 말단이 티올(thiol)기인 리간드를 의미하며, 디티올 리간드는 부탄디티올(butanedithiol), 에탄디티올(ethanedithiol), 벤젠디티올(benzenedithiol) 및 프로판디티올(propanedithiol)로 이루어진 군에서 선택되는 어느 하나일 수 있다.

[0061] 다작용기 리간드로 바람직하게는 디티올 리간드를 사용할 수 있고, 더욱 바람직하게는 부탄디티올(BDT)을 사용할 수 있다. 부탄디티올은 적절한 리간드 치환 속도를 갖고, 티올기들 간의 적당한 상호작용(interaction)을 하는 특성이 있어 부탄디티올을 사용하여 스트레인 센서 제작 시 가장 내구도가 높고 적절한 크랙이 형성될 수 있고, 이로 인해 높은 게이지 팩터를 확보할 수 있다.

[0063] 고감도 스트레인 센서를 살펴보면, 기판 상에 나노 입자층이 존재하고, 나노 입자층 상에 금속층이 존재하는데, 나노 입자층 내에서 다작용기 리간드는 나노 입자 주위를 둘러싼 형태로 존재할 수 있다. 다작용기 리간드의 작용기는 나노 입자층 및 금속층 사이에 화학 결합을 형성할 수 있다. 보다 상세하게는 디티올기 리간드에 포함된 티올기는 금속층의 금속 입자와 결합을 형성할 수 있다.

[0065] 일 실시형태에 따라서는, 감지부는 외부 자극에 의해 직선형의 크랙이 유도될 수 있다. 감지부를 구성하는 나노 입자들은 약한 결합력을 가져 균일하고 길게 이어진 직선형의 채널 크랙(channel crack)이 형성되는 것이 용이

하다. 하지만, 전극부를 구성하는 금속 입자들은 강한 금속 결합으로 인해 일자로 길게 이어진 크랙을 형성하는 것이 불가능하다. 이에 본 발명에서는 리간드 치환 방식을 이용하고자 한다. 다작용기 리간드는 감지부(나노 입자층)와 전극부(금속층) 간의 결합력을 제어하여 감지부(나노 입자층)의 크랙을 전극부(금속층)로 전달할 수 있다.

[0066] 전극부(금속층)는 감지부(나노 입자층)의 상면에 위치하고, 감지부(나노 입자층)에 포함된 티올기는 전극부(금속층)와의 결합력을 강화할 수 있다. 따라서, 외부 자극(힘)에 의해 감지부(나노 입자층)는 쉽게 직선형의 크랙이 형성되고, 이에 따라 감지부(나노 입자층)와 강하게 결합된 전극부(금속층)도 외부 자극에 의해 직선형의 크랙이 유도될 수 있다. 직선형의 크랙은 스트레인 센서가 높은 게이지 팩터를 갖도록 유도하며, 이는 곧 외부 자극을 민감하게 감지함을 의미한다.

[0068] 감지부(나노 입자층)로 인해 전극부(금속층)는 크랙이 형성되어 실제 저항 변화가 실현되는 부분이다. 따라서 금속층은 외부 자극을 감지하는 감지부의 역할을 하며, 동시에 금속의 높은 전기 전도도 특성으로 인해 전극부의 역할도 함께 수행할 수 있다. 금속층의 높은 전기 전도성은 나노 입자층의 큰 저항을 보완할 수 있다. 저항이 큰 소재는 센서의 구동에 고전압이 수반되므로 전력 소모가 심하고, 노이즈가 심해 웨어러블 기기의 활용에 적합하지 않다.

[0070] 본 발명의 일 실시예에 따른 스트레인 센서는 나노 입자층 및 금속층에 모두 구조적 변화(크랙)가 일어나 전기 저항을 변화시키므로, 감지부가 나노 입자층 및 금속층으로 이루어진 이중층 구조라는 특징이 있다.

[0072] 고감도 스트레인 센서는 외부 자극(스트레인)을 미세하게 감지할 수 있다. 외부 자극이 소리일 경우에는 1Hz 내지 15 kHz 또는 0.02 kHz 내지 15 kHz의 영역에 분포하는 진동수를 감지할 수 있다. 특히 음성을 감지해야 하는 경우, 성대의 떨림은 미세하고 수천 Hz에 달하는 빠른 진동 자극이므로, 고민감도, 고전도성, 빠른 감지 성능이 필수적이다. 높은 전기 전도성은 외부 잡음인 노이즈가 감지되는 것을 방지할 수 있고, 전력 소모를 낮추는 효과를 구현한다.

[0073] 또한, 고감도 스트레인 센서는 변형 전 저항(초기 저항)이 $3.58 \pm 1.27 \times 10^{-5}$ Ω cm 로 매우 작은 값을 나타낼 수 있다.

[0075] 본 발명에 따른 고감도 스트레인 센서의 제조 방법은 기판 상에 유기 리간드로 둘러싸인 나노 입자 용액을 도포하는 단계, 유기 리간드를 다작용기 리간드로 치환하여 나노 입자층으로 이루어진 감지부를 형성하는 단계 및 나노 입자층 상에 금속을 도포하여 금속층으로 이루어진 전극부를 형성하는 단계를 포함한다. 이때 유기 리간드는 긴 탄소사슬을 포함하는 리간드이다.

[0077] 이하에서는, 상술한 고감도 스트레인 센서의 내용과 중복되는 설명은 생략하기로 한다.

[0079] 상기 유기 리간드는 탄소사슬이 긴 리간드일 수 있다. 보다 상세하게는, 상기 유기 리간드는 올레산(oleic acid), 올레일아민(oleylamine) TOPO(trioctylphosphineoxide) 및 옥타데칸올(octadecanol)로 이루어진 군에서 선택되는 어느 하나 이상일 수 있다.

[0081] 상기 나노 입자 용액에 포함된 나노 입자는 금속 나노 입자일 수 있고, 나노 입자 용액은 금속염 및 유기 리간드를 반응시켜 합성할 수 있다.

[0083] 상기 기판은 주제와 경화제를 경화시켜 형성할 수 있다. 고감도 스트레인 센서를 웨어러블 센서로 제작하기 위해서는, 유연 기판으로 생체 친화적인 소재를 사용할 수 있다. 또한, 스트레인 센서에서 기판은 외부 스트레인

(strain)의 증가에 따라 크랙이 형성되는 매커니즘을 활용하므로, 스트레인을 가하더라도 기판이 파손되지 않도록 하기 위하여 유연 기판을 사용할 수 있다.

[0085] 일 실시형태에 따라서는, 나노 입자 용액을 도포하는 단계 이전에 상기 기판을 가교제 처리하는 단계를 더 포함할 수 있다. 가교제는 기판과 나노 입자층 사이에서 화학 결합을 형성하여 접착력을 증가시킬 수 있다.

[0086] 기판을 가교제 처리하는 단계에서, 기판을 가교제 용액에 담지하여 기판의 상면 및 하면에 고르게 가교제가 도포되도록 할 수 있다. 또한, 가교제를 도포하기 전에 자외선/오존(UV/Ozone) 전처리를 수행할 수 있다.

[0087] 기판 상에 유기 리간드로 둘러싸인 나노 입자 용액을 도포하는 단계에서 나노 입자 용액은 스핀코팅 방식을 통해 기판의 상면에 고르게 코팅할 수 있다. 바람직하게는 상면에 가교제가 도포되어 있고, 가교제의 상면에 나노 입자 용액이 도포될 수 있다.

[0089] 유기 리간드를 다작용기 리간드로 치환하여 나노 입자층으로 이루어진 감지부를 형성하는 단계에서, 나노 입자 용액이 코팅된 기판에 다작용기 리간드가 분산된 용액을 처리하여 리간드 치환을 수행할 수 있다. 다작용기 리간드가 분산된 용액을 처리하는 방법은 분사, 적하 또는 담지하는 방법을 사용할 수 있다.

[0090] 다작용기 리간드의 작용기는 나노 입자와 강한 상호작용(interaction)을 형성하여 유기 리간드의 카르복실기와 같은 작용기가 나노 입자에 결합하는 것보다 에너지적으로 안정하기 때문에 리간드 치환이 수행될 수 있다.

[0092] 다작용기 리간드로 둘러싸인 나노 입자를 포함하는 나노 입자층은 기판 위 또는 가교제 위에 형성될 수 있다. 나노 입자층을 둘러싼 다작용기 리간드는 금속층의 금속 입자들과 강력한 결합을 형성할 수 있다. 이로 인해 나노 입자층 및 금속층이 단단하게 연결되어 외력에 의해 고감도 스트레인 센서가 쉽게 파손되지 않는 장점이 있다. 또한, 다작용기 리간드로 치환된 나노 입자층과 금속층이 연결되어 있으므로, 나노 입자층이 외부 자극(장력)에 의해 일직선의 크랙 성장시 금속층에도 힘이 전달되어 금속층에 일직선 형태의 크랙을 형성시키기 용이하다.

[0094] 나노 입자층 상에 금속을 도포하여 금속층으로 이루어진 전극부를 형성하는 단계에서 금속은 나노 입자층 상면에 증착시킬 수 있으며, 바람직하게는 열 증착 공정을 통해 박막 형태로 금속층을 형성시킬 수 있다. 금속층은 고감도 스트레인 센서에서 전극부의 역할과 감지부의 역할을 동시에 수행할 수 있다.

[0096] 이와 같이 나노 입자층과 금속층으로 이중 구조를 형성한 스트레인 센서는 나노 입자층과 금속층의 장점을 동시에 가져갈 수 있고, 이에 더해 시너지 효과를 나타낼 수 있다.

[0097] 나노 입자층의 채널 크랙 형성이 용이한 특성으로 인해 1 Hz 내지 15 kHz까지 분포하는 미세한 고진동수 떨림을 정확히 측정 가능한 고민감성 저항 변화형 스트레인 센서를 제작할 수 있다. 또한, 나노 입자층은 용액 기반의 공정으로 제조되므로 비용이 절감되며, 대면적화가 용이하다.

[0098] 금속층의 우수한 전기 전도성으로 인해 외부 자극에 대한 반응 속도가 빠르고 노이즈로 인한 간섭 현상을 최소화할 수 있다. 또한, 금속층은 열증착 기반의 공정으로 간단히 형성할 수 있어 이중층 구조를 비교적 손쉽게 제조할 수 있다.

[0099] 또한, 기판과 이중층 구조 사이의 접착성이 우수하고, 생체 친화적 기판의 사용으로 인해 웨어러블 디바이스로 활용도 용이하다. 또한, 가교제 및 리간드 치환으로 인해 기계적 내구도를 향상시킨 스트레인 센서는 성대의 진동을 정확히 감지할 수 있어 개인 맞춤형 헬스케어 시스템, 음성 기반 보안 시스템(디지털 자물쇠) 및 후두질환 진단 키트 등의 다양한 분야에 활용이 가능하다.

[0101] 이하, 실시예를 통하여 본 발명을 보다 상세히 설명하고자 한다. 이들 실시예는 본 발명을 보다 구체적으로 설명하기 위한 것으로 본 발명의 범위가 이들 실시예에 의해 한정되는 것은 아니다.

[0103] **[실시예 1] 금속층-나노 입자층 구조의 스트레인 센서**

[0104] 3-neck 플라스크에 $AgNO_3$, OA, OAm을 투입하고 진공 환경에서 70℃로 2시간 동안 가열하여 산소와 수분을 제거하였다. 이후 플라스크를 질소 환경으로 바꾸고, 180℃까지 1분에 1℃의 속도로 일정하게 온도를 상승시켜 Ag 나노 입자 용액을 합성하였다. Ag 나노 입자 용액은 35℃까지 상온에서 냉각시키고, 톨루엔과 에탄올을 혼합한 후 원심분리를 3회 진행하였다. 이후 Ag 나노 입자를 세척하고 균일한 크기의 입자만을 선별하였다. Ag 나노 입자는 농도 제어를 위해 헥산(hexane)에 분산 후 헥산을 증발시켜 입자 질량을 측정하고 200mg/mL의 농도로 옥탄(octane)에 재분산시켜 Ag 나노 입자 용액을 준비하였다.

[0105] PDMS 주제와 경화제를 10:1의 비율로 섞고, 48시간동안 자연 경화시켜 PDMS 기판을 제작하였다. PDMS 기판은 UV 및 오존으로 처리한 후 APTES 용액에 30분 이상 담지하였다.

[0106] PDMS 기판은 증류수로 세척하고 Ag 나노 입자 용액을 3000rpm에 30초간 스핀코팅하여 Ag 나노 입자층을 형성하였다.

[0107] Ag 나노 입자층이 코팅된 PDMS 기판을 아세토니트릴에 용해된 0.02 vol%의 BDT 용액에 30초간 담지하였다.

[0108] Ag 나노 입자층 상에 Ag 시료를 60 nm 두께로 전면에 열 증착시켜 Ag층-Ag 나노 입자층(이중층) 구조 스트레인 센서를 완성하였다.

[0110] **[비교예 1] 금속층 구조의 스트레인 센서**

[0111] PDMS 주제와 경화제를 10:1의 비율로 섞고, 48시간동안 자연 경화시켜 PDMS 기판을 제작하였다. PDMS 기판은 UV 및 오존으로 처리한 후 APTES 용액에 30분 이상 담지하였다.

[0112] BDT가 코팅된 PDMS 기판 상에 Ag 시료를 60 nm 두께로 전면에 열 증착시켜 Ag층(단일층) 구조 스트레인 센서를 완성하였다.

[0114] **[비교예 2] 나노 입자층 구조의 스트레인 센서**

[0115] 3-neck 플라스크에 $AgNO_3$, OA, OAm을 투입하고 진공 환경에서 70℃로 2시간 동안 가열하여 산소와 수분을 제거하였다. 이후 플라스크를 질소 환경으로 바꾸고, 180℃까지 1분에 1℃의 속도로 일정하게 온도를 상승시켜 Ag 나노 입자 용액을 합성하였다. Ag 나노 입자 용액은 35℃까지 상온에서 냉각시키고, 톨루엔과 에탄올을 혼합한 후 원심분리를 3회 진행하였다. 이후 Ag 나노 입자를 세척하고 균일한 크기의 입자만을 선별하였다. Ag 나노 입자는 농도 제어를 위해 헥산(hexane)에 분산 후 헥산을 증발시켜 입자 질량을 측정하고 200mg/mL의 농도로 옥탄(octane)에 재분산시켜 Ag 나노 입자 용액을 준비하였다.

[0116] PDMS 주제와 경화제를 10:1의 비율로 섞고, 48시간동안 자연 경화시켜 PDMS 기판을 제작하였다. PDMS 기판은 UV 및 오존으로 처리한 후 APTES 용액에 30분 이상 담지하였다.

[0117] PDMS 기판은 증류수로 세척하고 Ag 나노 입자 용액을 3000rpm에 30초간 스핀코팅하여 Ag 나노 입자층을 형성하였다.

[0118] Ag 나노 입자층이 코팅된 PDMS 기판을 아세토니트릴에 용해된 0.02 vol%의 BDT 용액에 30초간 담지하여 Ag 나노 입자층(단일층) 구조 스트레인 센서를 완성하였다.

[0120] **[실험예 1] 저항 변화 측정**

[0121] 실시예 1, 비교예 1 및 비교예 2의 스트레인 센서에 1%의 스트레인(strain, 변형)을 가하며 스트레인 전후의 저항 변화를 측정하였다. 상기 1%의 스트레인은 Linear actuator를 활용하여 감지부의 길이를 단방향으로 기존 길이의 101%까지 늘리는 것을 의미한다. 이후 초기 저항 대비 저항 변화량을 가한 스트레인으로 나누어 게이지 팩터를 계산하였다. 게이지 팩터가 높을수록 높은 민감도를 지녔음을 의미한다.

[0123] 이하, 첨부한 도면을 참조하여 본 발명의 실시예를 상세하게 설명하기로 한다.

[0125] 도 1a 내지 도 1c는 각각 비교예 1, 비교예 2 및 실시예 1을 대상으로 한 변형 전후의 전류-전압(I-V) 그래프이다.

[0126] 도 1d는 실시예 1, 비교예 1 및 비교예 2을 대상으로 한 변형 전후의 전기 전도도 및 게이지 팩터의 그래프이다.

[0127] 도 1a를 참고하면, 비교예 1(금속 단일층 구조)은 스트레인을 가하기 전에도 전류가 잘 흐르고, 스트레인을 가하더라도 동일한 양상을 나타내었다. 도 1d를 참고하면, 비교예 1은 스트레인을 가하면 높은 전기 전도도와 낮은 게이지 팩터를 나타내어, 민감도가 좋지 않은 스트레인 센서가 제작된 것을 확인하였다.

[0128] 도 1b를 참고하면, 비교예 2(나노 입자 단일층 구조)는 스트레인을 가하기 전에도 전류가 잘 흐르지 않고, 스트레인을 가하면 이 수치가 더 낮아지는 것을 확인할 수 있다. 도 1d를 참고하면, 비교예 2는 낮은 전기 전도도와 높은 게이지 팩터를 나타내어, 전기 전도성이 좋지 않은 스트레인 센서가 제작된 것을 확인하였다.

[0129] 도 1c를 참고하면, 실시예 1(금속-나노 입자 이중층 구조)의 경우, 스트레인을 가하기 전에는 비교예 1과 비슷한 정도의 전류가 흐르고, 스트레인이 가해지면 전류의 세기가 조금 약해지는 것을 확인할 수 있다. 도 1d를 참고하면, 실시예 1은 비교예 1 수준의 전기 전도도와 가장 높은 게이지 팩터를 나타내어 전기 전도성이 우수하면서도 가장 민감도가 좋은 스트레인 센서가 제작된 것을 확인하였다.

[0131] 도 2a 내지 도 2c는 비교예 1, 비교예 2 및 실시예 1에 스트레인에 의해 크랙이 형성되는 모식도와 크랙의 SEM 이미지이다.

[0132] 도 2a를 참고하면, 비교예 1(금속 단일층 구조)의 스트레인 센서(100)는 금속층(120)을 구성하는 금속 결합들의 세기가 강하기 때문에 스트레인(화살표로 표시)을 가하더라도 한방향으로 크랙이 쉽게 생성되는 것이 아니라, 일정한 방향성 없이 부분적으로 크랙(240)이 형성되었다.

[0133] 도 2b를 참고하면, 비교예 2(나노 입자 단일층 구조)의 스트레인 센서(100)는 스트레인(화살표로 표시)이 가해지는 방향과 수직인 방향으로 길다란 크랙(240)들이 형성되었다. 스트레인이 가해지면 일부 영역에서 크랙(240)이 형성되기 시작하고, 스트레인이 지속적으로 가해지면 크랙의 양 끝단에 스트레인이 집중되므로 비교예 2 제조시 BDT 치환을 하였더라도 나노 입자층(130)을 구성하는 나노 입자들 간의 결합력이 금속 결합에 비해 상대적으로 약해 쉽게 균열이 일어난다.

[0134] 도 2c를 참고하면, 실시예 1(금속-나노 입자 이중층 구조)의 스트레인 센서(100)는 스트레인(화살표로 표시)이 가해지는 방향과 수직인 방향으로 방향성을 가지고 크랙(240)들이 균일하게 성장하는 모습을 보였다. 실시예 1과 같이 나노 입자층(130) 위에 금속층(120)이 강하게 결합되어 있을 경우, 우선적으로 생성된 나노 입자의 크랙(240)에 스트레인이 집중되고, 이로 인해 실시예 1에서도 비교예 2와 유사하게 일직선 형태의 긴 크랙(240)이 형성되는 것이다.

[0135] 또한, 유연한 특성의 기판(110)과 기판(110)과 나노 입자층(130) 사이에서 접착제 역할을 하는 가교제(미도시)로 인해 스트레인을 가하더라도 기판(110)에 기계적 손상이 발생하지 않고 나노 입자층(130)이 기판(110)으로부터 탈착되지 않는다.

[0136] 도 2d는 실시예 1이 스트레인(화살표로 표시)에 의해 크랙(240)이 형성되는 과정을 나타낸 모식도이다. 도 2d의 세번째 그림을 참고하면, 스트레인으로 인해 실시예 1에서 상대적으로 약한 부분인 나노 입자층(구형 입자로 표시됨, 130)에서 나노 입자(210) 간의 균열이 발생하기 시작하고, 이에 따라 네번째 그림에서 나노 입자(210) 간의 크랙(240)이 일어난 영역의 바로 위에 위치한 금속층(은색 영역으로 표시됨, 120)에 크랙(240)이 발생하기 시작하는 것을 확인할 수 있다. 하지만 네번째 그램의 확대된 영역을 참고하면, 나노 입자층(130)의 다작용기 리간드(230)로 인해 나노 입자층(130)과 금속층(120)은 단단히 결합하여 이 영역에는 탈착되거나 균열이 생성되지 않고 잘 결합되어 있는 모습을 확인할 수 있다. 다섯번째 그림을 참고하면, 다작용기 리간드(230)로 인해 나노 입자층(130)과 금속층(120) 간의 결합력이 강화되어 나노 입자층(130)에 형성된 직선형의 크랙(240)이 금속

층(120)으로 그대로 전달되어 금속층(120)에 크랙(240)이 형성된다.

[0138] 도 2e는 고감도 스트레인 센서의 내부 구성 및 결합을 나타낸 모식도이다. 도 2e를 참고하면, 고감도 스트레인 센서는 PDMS 기판, Ag 나노 입자층 및 Ag 금속층을 포함하고, PDMS 기판과 Ag 나노 입자층 사이에 APTES 가교제, Ag 나노 입자층과 Ag 금속층 사이에 BDT 리간드가 존재하는 모습을 확인할 수 있다. 또한, 도 2e에는 생략되어 있지만 Ag 나노 입자층을 구성하는 각 Ag 나노 입자들 사이에는 BDT 리간드가 존재할 수 있다. 보다 상세하게는 (Ag 나노 입자)-(BDT 리간드)-(BDT 리간드)-(Ag 나노 입자)와 같은 형태로 결합하고 있다. 이때 Ag 나노 입자와 BDT 리간드 간의 결합력은 강하므로 분리되기 쉽지 않다. 반면, BDT 리간드와 BDT 리간드 간의 결합력은 비교적 약하므로 Ag 나노 입자끼리는 분리되기 쉽고, 이로 인해 나노 입자층에 직선형의 채널 크랙이 형성되기 용이하다.

[0139] APTES 가교제의 아민기는 Ag 나노 입자와 강한 상호작용(interaction)을 하므로 Ag 나노 입자 코팅 이후 즉시 유기 리간드를 대체하여 Ag 나노 입자와 결합할 수 있다. Ag 나노 입자와의 상호작용에 있어 유기 리간드의 작용기(예를 들어, 올레산의 카르복실기)의 경우 티올기보다 결합력이 크게 부족하여 쉽게 치환되기 때문이다. 이로 인해 APTES 가교제는 PDMS 기판과 Ag 나노 입자층 간의 접착력을 강화시켜 고감도 스트레인 센서의 기계적 내구성을 향상시킬 수 있다. 이때 BDT 리간드를 처리하더라도 아민기는 티올기와 비교하여 결합력에 크게 차이가 나지 않으므로 APTES 가교제가 BDT로 쉽게 치환되지 않는다.

[0140] APTES 가교제는 PDMS 기판의 표면에서 Ag 나노 입자층과 PDMS 기판 사이의 결합력을 강화하는 역할을 수행한다. PDMS와 같은 유연 소재 또는 생체 친화적인 소재는 에너지적으로 매우 안정적이기 때문에 소재의 표면에 나노 입자층을 형성하는 것이 어렵다. 이에 본 발명에서는 PDMS에 자외선-오존(UV-ozone) 처리를 통해 표면에 OH기를 형성한 후 APTES 가교제를 처리한다. APTES 가교제의 아민기가 out-plane 방향으로 형성되도록 OH기와 APTES 가교제가 결합되어 PMDS의 표면에 나노 입자와 같은 다른 물질이 결합하기 쉬운 상태로 전환된다.

[0141] 또한, BDT 리간드는 Ag 나노 입자층과 Ag 금속층 간의 결합력을 강화시켜 Ag 나노 입자층에 크랙이 형성되면 이를 Ag 금속층에 전달하여 Ag 금속층에 크랙을 형성시키는 역할을 한다.

[0143] 도 3a는 상용화 마이크와 실시예 1의 스트레인 센서를 이용하여 조용한 환경과 시끄러운 환경에서 단어 "N", "E", "L"을 발음하여 녹음 및 고속 푸리에 변환을 진행한 이미지이다. 상용화 마이크 및 실시예 1의 이중층 구조 스트레인 센서를 목에 부착 후 발성하였고, 시끄러운 환경은 100dB 이상의 백색소음이 있는 환경을 의미한다.

[0144] 도 3a를 참고하면, 조용한 환경에서는 상용화 마이크 및 실시예 1 모두 음성 신호를 제대로 감지하였다. 하지만, 시끄러운 환경에서 음성 인식을 진행하였을 때에는 상용화 마이크는 음성 신호가 소음에 의해 가려졌지만, 실시예 1의 경우에는 조용한 환경과 동일한 신뢰도로 음성 신호를 감지하였다.

[0145] 종래의 마이크는 음성 감지시 외부의 잡음에 의해 신호 왜곡이 심하게 일어나는데, 본 발명의 일 실시예에 따른 고감도 스트레인 센서는 비간섭적으로 음성을 감지할 수 있다. 즉, 외부 소음에 의해 영향을 받지 않고 원하는 음성 자극만을 감지하므로 성대 진동 감지형 스트레인 센서로 활용하기 적합하다.

[0147] 도 3b는 상용화 마이크와 실시예 1의 스트레인 센서를 이용하여 단어 "Bid"을 서로 다른 세기로 발성하여 녹음 및 고속 푸리에 변환을 진행한 이미지이다. 상용화 마이크 및 실시예 1의 이중층 구조 스트레인 센서를 목에 부착 후 발성하였고, 상기 단어를 각각 보통 목소리, 강한 목소리, 약한 목소리로 발성하였다.

[0148] 도 3b를 참고하면, 상용화 마이크보다 실시예 1이 목소리의 세기에 따라 출력되는 음성 신호의 강도를 더욱 민감하게 구분하였다. 또한, 상용화 마이크와 실시예 1에서는 각 목소리 세기에 따라 목소리를 구성하는 주요 진동수가 다르게 측정되었다. 이러한 현상을 통해 음성을 감지할 때 음의 높낮이 뿐 아니라 소리의 크기, 소리의 질감, 성대의 변화에 대한 정보를 얻을 수 있다.

[0150] 도 4a 내지 도 4d는 실시예 1의 스트레인 센서를 이용하여 감지 가능한 음성의 진동수를 시험한 그래프이다. 도 4a 내지 도 4d를 참고하면, 1Hz에서 15kHz(15000Hz)까지 분포하는 진동수를 감지할 수 있으며, 이를 통해 높은

진동수를 정확히 측정할 수 있는 민감도가 높은 성대 진동 감지형 스트레인 센서가 제작되었음을 확인할 수 있다.

[0152] 이상과 같이 본 발명은 비록 한정된 실시예와 도면에 의해 설명되었으나, 본 발명은 상기의 실시예에 한정되는 것은 아니며, 본 발명이 속하는 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 이러한 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다. 그러므로, 본 발명의 범위는 설명된 실시예에 국한되어 정해져서는 아니되며, 후술하는 특허청구범위뿐 아니라 이 특허청구범위와 균등한 것들에 의해 정해져야 한다.

부호의 설명

[0154] 100: 스트레인 센서

110: 기판

120: 금속층

130: 나노 입자층

140: 이중층

210: 나노 입자

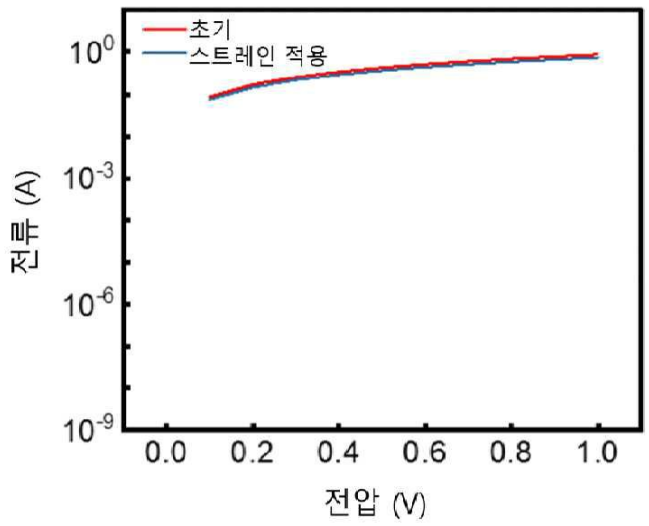
220: 금속

230: 다작용기 리간드

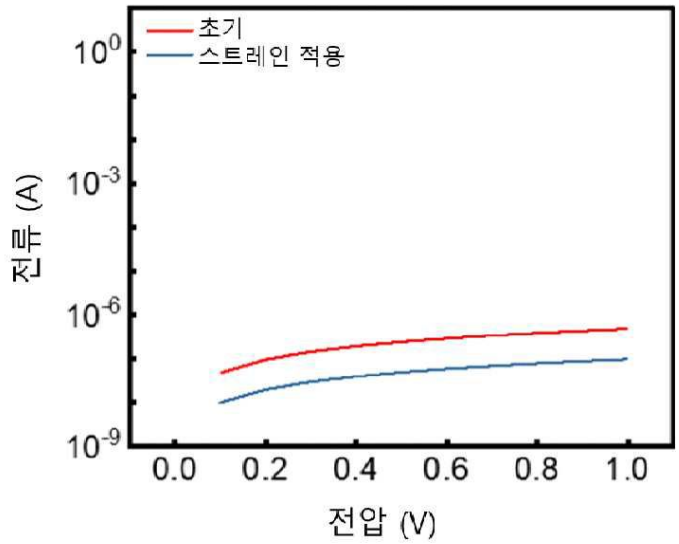
240: 크랙

도면

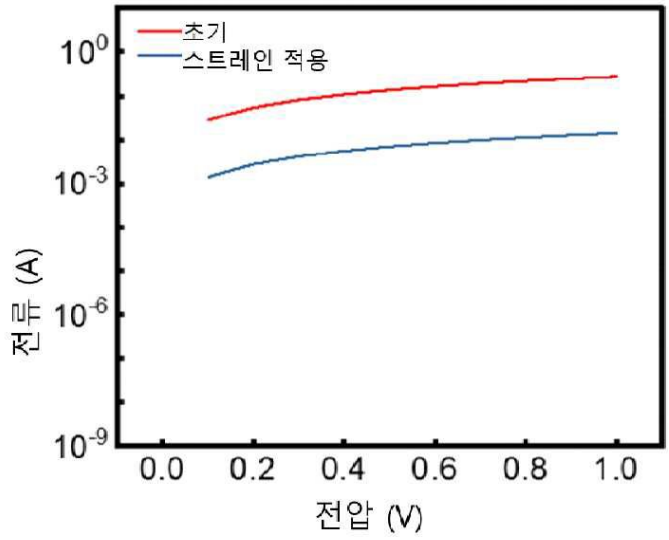
도면1a



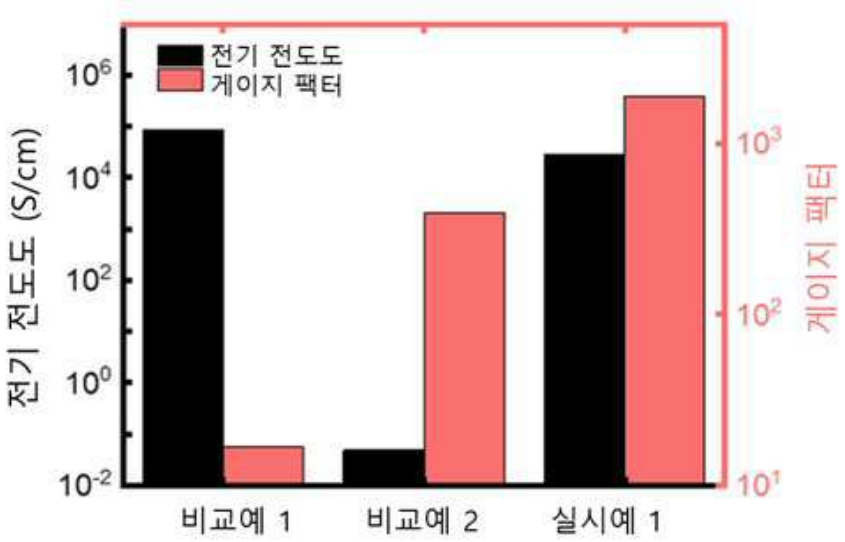
도면1b


초기
스트레인 적용
10^{0}
10^{-3}
10^{-6}
10^{-9}
전류 (A)
0.0
0.2
0.4
0.6
0.8
1.0
전압 (V)

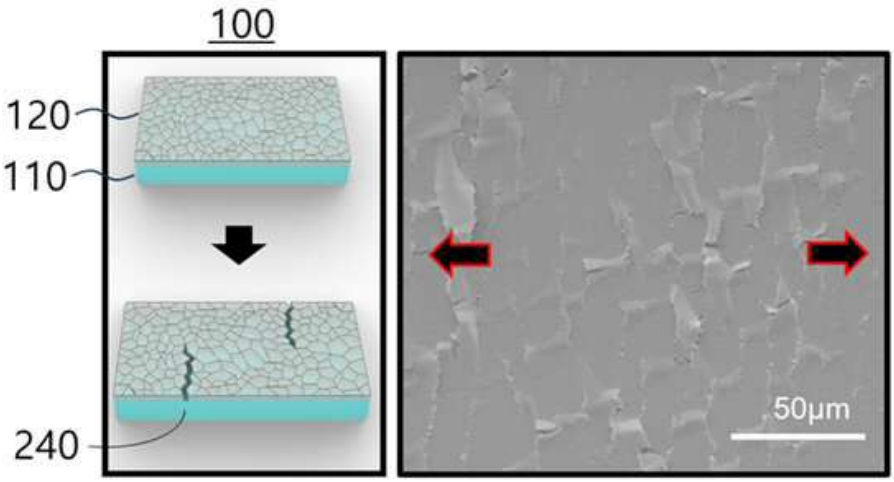
도면1c


초기
스트레인 적용
10^{0}
10^{-3}
10^{-6}
10^{-9}
전류 (A)
0.0
0.2
0.4
0.6
0.8
1.0
전압 (V)

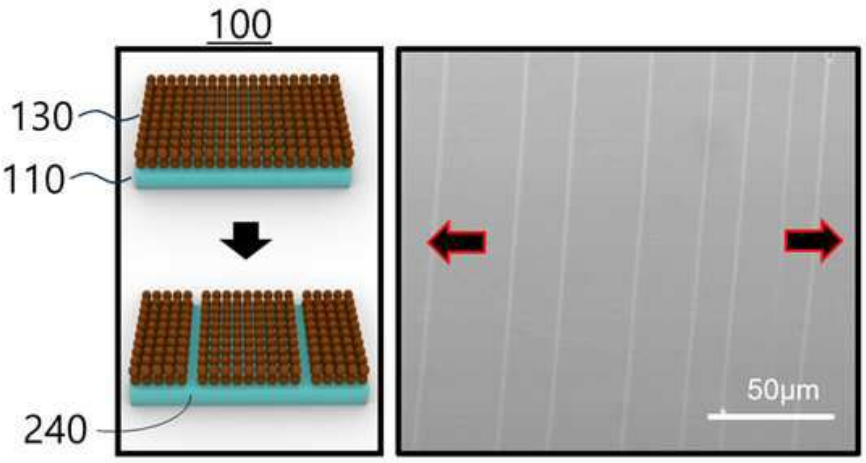
도면1d



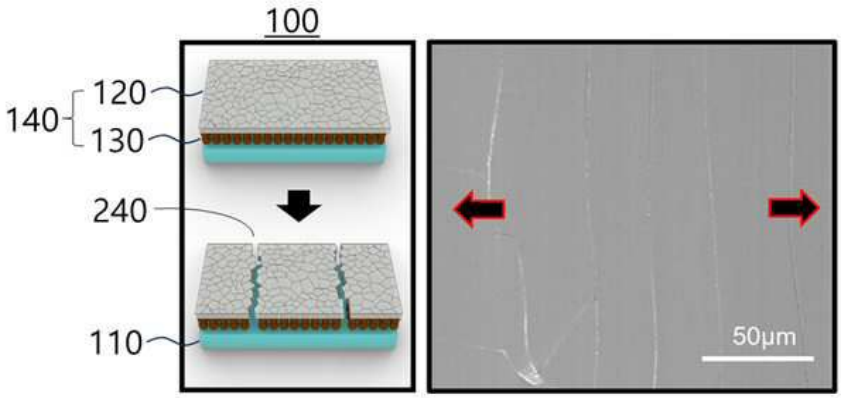
도면2a



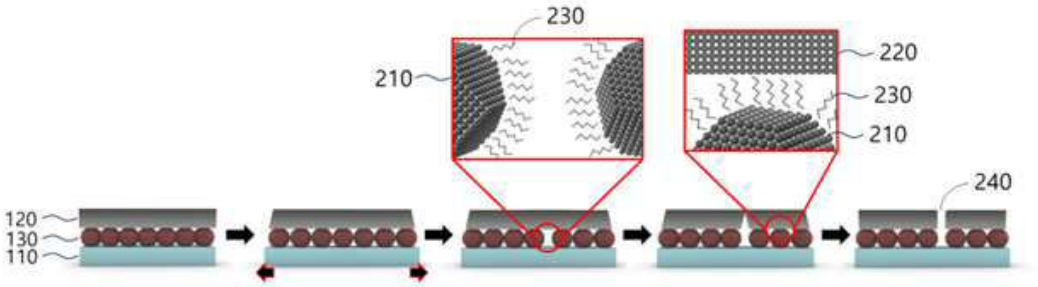
도면2b



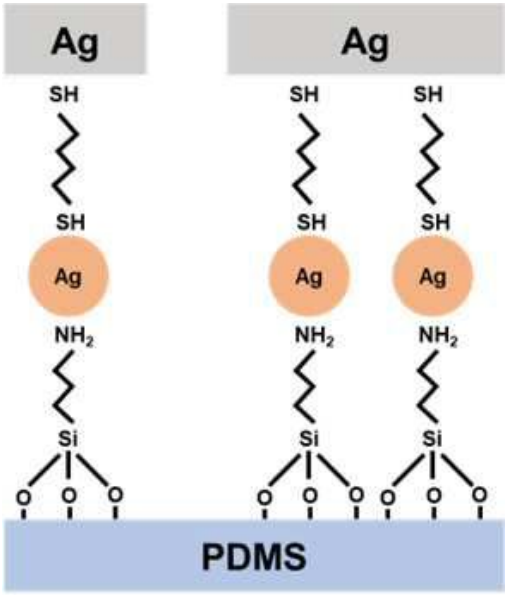
도면2c



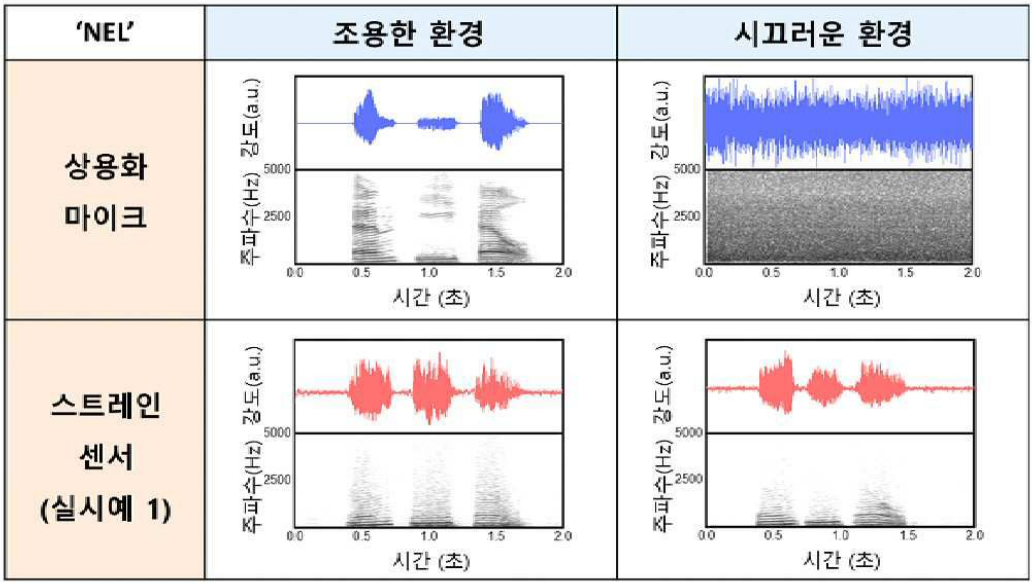
도면2d



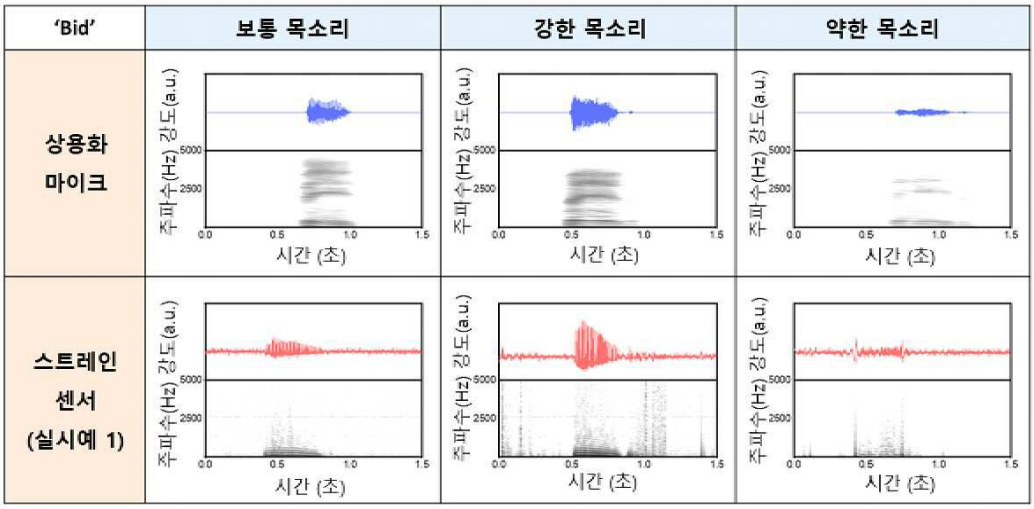
도면2e



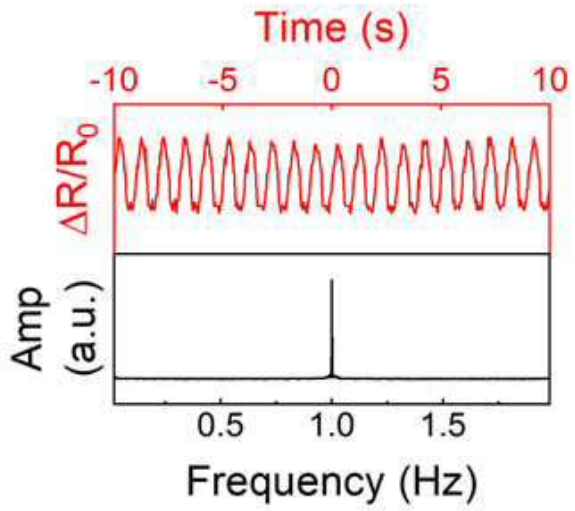
도면3a


'NEL'
조용한 환경
시끄러운 환경
상용화 마이크
스트레인 센서 (실시예 1)
강도(a.u.)
주파수(Hz)
5000
2500
0.0
0.5
1.0
1.5
2.0
시간 (초)

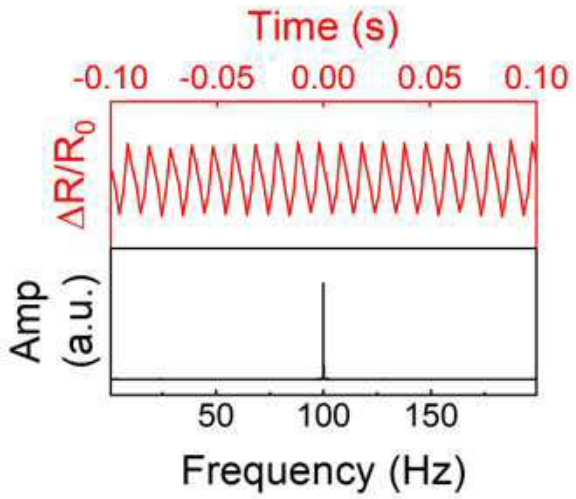
도면3b


'Bid'
보통 목소리
강한 목소리
약한 목소리
상용화 마이크
스트레인 센서 (실시예 1)
강도(a.u.)
주파수(Hz)
5000
2500
0.0
0.5
1.0
1.5
시간 (초)

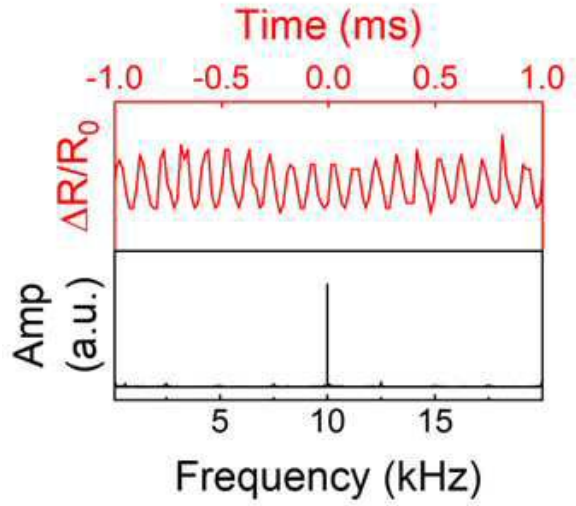
도면4a


Time (s)
-10
-5
0
5
10
ΔR/R0
Amp
(a.u.)
0.5
1.0
1.5
Frequency (Hz)

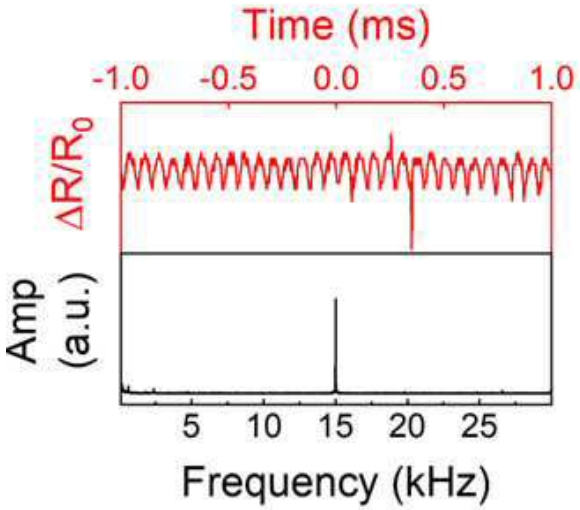
도면4b


Time (s)
-0.10
-0.05
0.00
0.05
0.10
ΔR/R0
Amp
(a.u.)
50
100
150
Frequency (Hz)

도면4c


Time (ms)
-1.0
-0.5
0.0
0.5
1.0
ΔR/R0
Amp
(a.u.)
5
10
15
Frequency (kHz)

도면4d


Time (ms)
-1.0
-0.5
0.0
0.5
1.0
ΔR/R0
Amp
(a.u.)
5
10
15
20
25
Frequency (kHz)