



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2019년07월30일
(11) 등록번호 10-2005666
(24) 등록일자 2019년07월24일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01L 1/20 (2006.01) H01B 1/02 (2006.01)
H01B 3/02 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G01L 1/20 (2013.01)
H01B 1/02 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2018-0011614
(22) 출원일자 2018년01월30일
심사청구일자 2018년01월30일
(56) 선행기술조사문헌
KR1020150064707 A*
KR1020160118159 A*
US20080191177 A1
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
고려대학교 산학협력단
서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암
동5가)
(72) 발명자
오승주
서울특별시 중구 청구로 64, 113동 104호
이우석
서울특별시 용산구 이촌로71길 10, 212동 603호
(74) 대리인
(뒷면에 계속)
정은열

전체 청구항 수 : 총 13 항

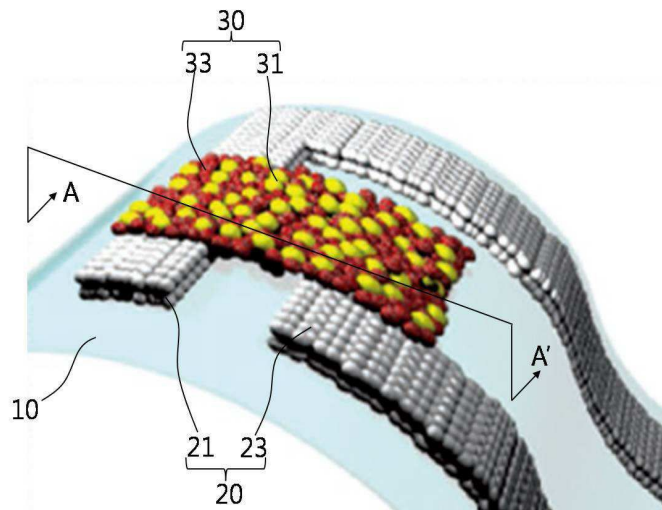
심사관 : 김주대

(54) 발명의 명칭 스트레인 게이지 센서 및 그 제조방법

(57) 요약

본 발명은 스트레인 게이지 센서에 관한 것으로, 본 발명에 따른 스트레인 게이지 센서는, 유연한 절연성 기판(10); 서로 이격 배치되는 박막 형태의 제1 전극(21) 및 제2 전극(23)을 포함하고, 기판(10)의 일면에 배치되는 전극부(20); 및 서로 혼합된 전도성 나노입자(31) 및 절연성 나노입자(33)를 포함하고, 박막 형태로, 일단은 제1 전극(21)에, 타단은 제2 전극(23)에 각각 전기적으로 연결되고, 스트레인(strain)이 가해질 때에 전기저항이 변하는 감지부(30);를 포함한다.

대표도 - 도2



(52) CPC특허분류

H01B 3/025 (2013.01)

(72) 발명자

이승욱

서울특별시 동대문구 무학로49길 58, 502호

성민기

대구광역시 북구 중앙대로118길 9, 301호

조형목

서울특별시 영등포구 여의나루로 126, 1동 312호

강민수

서울특별시 동작구 현충로 151, 103동 1101호

김한은

서울특별시 성북구 개운사1길 14, 203호

김동규

경기도 남양주시 늘을2로 90-36, 1401동 1703호

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2017044887

부처명 미래창조과학부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 개인연구지원(신진연구지원사업)

연구과제명 자기조립 기반 나노결정 초격자를 이용한 신축성 반도체 나노소재 개발

기 여 율 1/1

주관기관 고려대학교 산학협력단

연구기간 2017.06.01 ~ 2018.03.31

공지예외적용 : 있음

명세서

청구범위

청구항 1

유연한 절연성 기판;

서로 이격 배치되는 박막 형태의 제1 전극 및 제2 전극을 포함하고, 상기 기판의 일면에 배치되는 전극부; 및

전도성 금속 나노입자 및 절연성 나노입자를 포함하고, 상기 전도성 금속 나노입자가 배열되어 형성된 전도성 금속 나노입자 매트릭스에 상기 절연성 나노입자가 분산 배치된 금속-절연체 헤테로 구조를 이루며, 일단이 상기 제1 전극에 연결되고 타단이 상기 제2 전극에 연결되는 박막 형태로 형성되고, 스트레인(strain)이 가해질 때에 전기저항이 변하는 감지부;

를 포함하는 스트레인 게이지 센서.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 전도성 나노입자 및 절연성 나노입자 각각은, 표면 리간드가 유기 리간드로 치환되는 스트레인 게이지 센서.

청구항 3

청구항 2에 있어서,

상기 전도성 나노입자는, 금(Au) 나노입자이고,

상기 절연성 나노입자는, 셀렌화카드뮴(CdSe) 나노입자이며,

상기 유기 리간드는, 3-mercaptopropionic acid(MPA), 및 1,2-ethanedithiol(EDT) 으로 구성된 군 중에서 선택되는 적어도 어느 하나 이상인 스트레인 게이지 센서.

청구항 4

청구항 3에 있어서,

상기 금 나노입자와 상기 셀렌화카드뮴 나노입자는, 부피비가 2:8 ~ 8:2로 혼합되는 스트레인 게이지 센서.

청구항 5

청구항 1에 있어서,

상기 제1 전극 및 제2 전극은, 각각 표면 리간드가 무기 리간드로 치환된 은(Ag) 나노입자로 형성되는 스트레인 게이지 센서.

청구항 6

청구항 1에 있어서,

상기 감지부는, 나노크랙(nanocrack)을 구비하는 스트레인 게이지 센서.

청구항 7

유연한 절연성 기판의 일면에, 서로 이격되도록 은(Ag) 나노입자를 코팅하여 박막 형태의 제1 전극 및 제2 전극을 형성하는 단계;

무기 리간드가 분산된 제1 리간드 치환 용액을, 상기 제1 전극 및 상기 제2 전극에 접촉시켜, 상기 은 나노입자의 표면 리간드가 상기 무기 리간드로 치환된 전극부를 형성하는 단계;

전도성 금속 나노입자 및 절연성 나노입자가 혼합 분산된 용액을 코팅하여, 상기 전도성 금속 나노입자가 배열되어 형성된 전도성 금속 나노입자 매트릭스에 상기 절연성 나노입자가 분산 배치된 금속-절연체 헤테로 구조를 이루며, 일단이 상기 제1 전극에 연결되고, 타단이 상기 제2 전극에 연결되는 박막 형태로, 금속-절연체 나노입자 박막을 형성하는 단계; 및

유기 리간드가 분산된 제2 리간드 치환 용액을, 상기 금속-절연체 나노입자 박막에 접촉시켜, 상기 금속-절연체 나노입자 박막의 표면 리간드가 상기 유기 리간드로 치환된 감지부를 형성하는 단계;

를 포함하는 스트레인 게이지 센서 제조방법.

청구항 8

청구항 7에 있어서,

상기 제1 전극 및 제2 전극을 형성하는 단계는,

상기 기판의 일면에 제1 포토레지스트를 코팅하는 단계;

상기 제1 전극 및 제2 전극의 형상에 대응되도록, 코팅된 상기 제1 포토레지스트를 패터닝하는 단계;

패터닝된 상기 제1 포토레지스트 상에, 상기 은 나노입자가 분산된 제1 용액을 스핀코팅하는 단계; 및

상기 제1 포토레지스트를 리프트 오프(lift off)하는 단계;

를 포함하는 스트레인 게이지 센서 제조방법.

청구항 9

청구항 7에 있어서,

상기 금속-절연체 나노입자 박막을 형성하는 단계는,

상기 전극부가 형성된 상기 기판의 일면에 제2 포토레지스트를 코팅하는 단계;

상기 금속-절연체 나노입자 박막의 형상에 대응되도록, 코팅된 상기 제2 포토레지스트를 패터닝하는 단계; 및

패터닝된 상기 제2 포토레지스트 상에, 상기 전도성 금속 나노입자 및 절연성 나노입자가 혼합 분산된 용액을 스핀코팅하는 단계;

를 포함하는 스트레인 게이지 센서 제조방법.

청구항 10

청구항 9에 있어서,

상기 감지부를 형성하는 단계 이후에, 상기 제2 포토레지스트를 리프트 오프(lift off)하는 단계;

를 더 포함하는 스트레인 게이지 센서 제조방법.

청구항 11

청구항 7에 있어서,

상기 전도성 나노입자는, 금(Au) 나노입자이고,

상기 절연성 나노입자는, 셀렌화카드뮴(CdSe) 나노입자이며,

상기 유기 리간드는, 3-mercaptopropionic acid(MPA), 및 1,2-ethanedithiol(EDT) 으로 구성된 군 중에서 선택되는 적어도 어느 하나 이상인 스트레인 게이지 센서 제조방법.

청구항 12

청구항 11에 있어서,

상기 금 나노입자와 상기 셀렌화카드뮴 나노입자는, 부피비가 2:8 ~ 8:2로 혼합되는 스트레인 게이지 센서 제조방법.

청구항 13

청구항 7에 있어서,

상기 감지부를 형성하는 단계 이후에, 상기 감지부에 예비 스트레인(prestrain)을 가하여, 나노크랙(nanocrack)을 형성하는 단계;

를 더 포함하는 스트레인 게이지 센서 제조방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 스트레인 게이지 센서 및 그 제조방법에 관한 것으로, 보다 상세하게는 금속-절연성 이중 나노입자 구조를 기반으로 하는 스트레인 게이지 센서 및 그 제조방법에 관한 것이다.

[0002]

배경 기술

[0003] 스트레인 게이지 센서(strain gauge sensor)는 피측정물에 부착되어 물리적인 변형(strain)을 전기적 신호로 전환하여 그 변형을 측정하는 센서이다. 도 1을 참고로, 종래 스트레인 게이지 센서는 절연기관(1)의 상부면에 금속 저항선(3)이 접착제로 고정되고, 금속 저항선(3)의 양말단 각각이 리드선(5)에 연결되는 구조로 이루어진다. 여기서, 절연기관(1)의 하부면이 피측정물에 부착되어, 피측정물에 외력이 가해져 변형(인장 또는 압축)이 일어나면, 절연기관(1)이 신축되면서 금속 저항선(3)의 단면적과 길이가 변하게 되어, 저항선(3)의 전기저항에 변화가 생긴다. 따라서, 리드선(5)을 통해 전기저항의 변화 정도를 전류 값 등의 전기적 신호로 수신하고, 그 정보로부터 변형률을 산정하게 된다.

[0004] 최근 들어, 스트레인 게이지 센서는 전자피부(electronic skin), 웨어러블 전자소자(wearable electronics), 로봇 등에 적용되어 인간의 움직임, 심박, 호흡, 음성 등을 감지함으로써, 헬스케어 모니터링 시스템(healthcare monitoring systems)의 핵심 기술로 주목받고 있다. 스트레인 게이지 센서가 웨어러블 헬스케어 시스템에 구현되기 위해서는 민감도가 높고, 저비용으로 간단하게 제조될 수 있어야 한다. 다양한 스트레인 센서 중에서, 전기 저항을 기반으로 스트레인을 감지하는 저항형 스트레인 센서(resistive type strain sensor)가 간단하면서도 효과적인 센서의 형태이므로, 상기 어플리케이션에 적용하기에 가장 적합하다. 이러한 저항성 스트

레인 센서의 성능을 증진시키기 위해서, 그래핀, 나노튜브, 나노와이어 등과 같은 다양한 물질이 사용되고 있다. 그러나 이러한 물질을 사용하는 경우, 높은 민감도를 달성할 수는 있지만, 물질 합성 및 장치 제조에 고온 및 고진공 공정이 요구되어 제조에 고비용이 소요되고 공정이 복잡해지는 문제가 있다.

[0005] 이러한 문제를 해결하기 위한 대체 물질로서, 콜로이드 나노입자(colloidal nanocrystal, NC)가 주목받고 있다. 왜냐하면, 나노입자는 습식 화학적 방법(wet chemical method)을 통해 대규모로 합성될 수 있으며, 용액공정을 기반으로 적용이 가능하므로 저비용으로 디바이스에 통합될 수 있고, 나노입자의 특성이 크기, 형태, 표면 리간드, 및 조성에 의해 정밀하게 변화될 수 있기 때문이다.

[0006] 또한, 나노입자의 독특한 호핑 수송 메커니즘(hopping transfer mechanism)이 센서의 민감도를 향상시키는 데 유리하게 이용될 수도 있다. 나노입자 박막에서 전자는 전하수송을 위해 인접한 나노입자 사이의 거리를 뛰어넘어야 한다. 스트레인이 가해짐에 따라 증가하는 입자 간 거리는 나노입자 박막의 저항을 증가시키는데, 이러한 원리가 저항성 스트레인 게이지 시스템에 적용되어, 스트레인 게이지 센서를 구현하게 된다.

[0007] 그러나 나노입자 기반의 스트레인 센서는 저비용으로 쉽게 제조되고, 벌크 물질(bulk materials)에 비해 감도가 좋지만, 전체적으로 센서 민감도가 떨어지는 편이며, 내구성 및 안정성이 낮고, 비대칭 히스테리시스(asymmetric hysteresis) 및 느린 응답시간이 단점으로 지적되고 있다.

[0008] 이러한 단점은 헬스케어 정보를 모니터링하는 웨어러블 장치에 스트레인 게이지 센서를 적용하는 제한으로 작용하므로, 종래 스트레인 게이지 센서의 문제점을 해결하기 위한 방안이 절실히 요구되고 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0010] (특허문헌 0001) KR 10-2011-0075256 A

발명의 내용

해결하려는 과제

[0011] 본 발명은 상술한 종래기술의 문제점을 해결하기 위한 것으로, 본 발명의 일 측면은 절연성 나노입자가 전도성 나노입자 매트릭스에 통합되어 금속-절연체 헤테로 구조의 박막형 감지부를 형성함으로써 센서의 민감도가 향상된 스트레인 게이지 센서를 제공하는 데 있다.

[0013] 또한, 본 발명의 다른 측면은 박막형 감지부에 나노크랙(nanocrack)이 도입되어 센서의 민감도가 더욱 향상된 스트레인 게이지 센서를 제공하고자 하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0015] 본 발명에 따른 스트레인 게이지 센서는 유연한 절연성 기판; 서로 이격 배치되는 박막 형태의 제1 전극 및 제2 전극을 포함하고, 상기 기판의 일면에 배치되는 전극부; 및 서로 혼합된 전도성 나노입자 및 절연성 나노입자를 포함하고, 박막 형태로, 일단은 상기 제1 전극에, 타단은 상기 제2 전극에 각각 전기적으로 연결되고, 스트레인(strain)이 가해질 때에 전기저항이 변하는 감지부;를 포함한다.

[0016] 또한, 본 발명에 따른 스트레인 게이지 센서에 있어서, 상기 전도성 나노입자 및 절연성 나노입자 각각은, 표면 리간드가 유기 리간드로 치환된다.

[0017] 또한, 본 발명에 따른 스트레인 게이지 센서에 있어서, 상기 전도성 나노입자는, 금(Au) 나노입자이고, 상기 절연성 나노입자는, 셀렌화카드뮴(CdSe) 나노입자이며, 상기 유기 리간드는, 3-mercaptopropionic acid(MPA), 및 1,2-ethanedithiol(EDT) 으로 구성된 군 중에서 선택되는 적어도 어느 하나 이상일 수 있다.

[0018] 또한, 본 발명에 따른 스트레인 게이지 센서에 있어서, 상기 금 나노입자와 상기 셀렌화카드뮴 나노입자는, 부피비가 2:8 ~ 8:2로 혼합될 수 있다.

[0019] 또한, 본 발명에 따른 스트레인 게이지 센서에 있어서, 상기 제1 전극 및 제2 전극은, 각각 표면 리간드가 무기 리간드로 치환된 은(Ag) 나노입자로 형성될 수 있다.

- [0020] 또한, 본 발명에 따른 스트레인 게이지 센서에 있어서, 상기 감지부는, 나노크랙(nanocrack)을 구비할 수 있다.
- [0021] 한편, 본 발명에 따른 스트레인 게이지 센서 제조방법은 (a) 유연한 절연성 기판의 일면에, 서로 이격되도록 은(Ag) 나노입자를 코팅하여 박막 형태의 제1 전극 및 제2 전극을 형성하는 단계; (b) 무기 리간드가 분산된 제1 리간드 치환 용액을, 상기 제1 전극 및 제2 전극에 접촉시켜, 상기 은 나노입자의 표면 리간드가 상기 무기 리간드로 치환된 전극부를 형성하는 단계; (c) 전도성 나노입자 및 절연성 나노입자를 혼합하고, 박막 형태로, 일단은 상기 제1 전극에, 타단은 상기 제2 전극에 연결되도록 코팅하여, 금속-절연체 나노입자 박막을 형성하는 단계; 및 (d) 유기 리간드가 분산된 제2 리간드 치환 용액을, 상기 금속-절연체 나노입자 박막에 접촉시켜, 상기 금속-절연체 나노입자 박막의 표면 리간드가 상기 유기 리간드로 치환된 감지부를 형성하는 단계;를 포함한다.
- [0022] 또한, 본 발명에 따른 스트레인 게이지 센서 제조방법에 있어서, 상기 (a) 단계는, 상기 기판의 일면에 제1 포토레지스트를 코팅하는 단계; 상기 제1 전극 및 제2 전극의 형상에 대응되도록, 코팅된 상기 제1 포토레지스트를 패터닝하는 단계; 패터닝된 상기 제1 포토레지스트 상에, 상기 은 나노입자가 분산된 제1 용액을 스핀코팅하는 단계; 및 상기 제1 포토레지스트를 리프트 오프(lift off)하는 단계;를 포함할 수 있다.
- [0023] 또한, 본 발명에 따른 스트레인 게이지 센서 제조방법에 있어서, 상기 (c) 단계는, 상기 전극부가 형성된 상기 기판의 일면에 제2 포토레지스트를 코팅하는 단계; 상기 금속-절연체 나노입자 박막의 형상에 대응되도록, 코팅된 상기 제2 포토레지스트를 패터닝하는 단계; 및 패터닝된 상기 제2 포토레지스트 상에, 상기 전도성 나노입자 및 절연성 나노입자가 분산된 제2 용액을 스핀코팅하는 단계;를 포함할 수 있다.
- [0024] 또한, 본 발명에 따른 스트레인 게이지 센서 제조방법에 있어서, 상기 (d) 단계 이후에, 상기 제2 포토레지스트를 리프트 오프(lift off)하는 단계;를 더 포함할 수 있다.
- [0025] 또한, 본 발명에 따른 스트레인 게이지 센서 제조방법에 있어서, 상기 전도성 나노입자는, 금(Au) 나노입자이고, 상기 절연성 나노입자는, 셀렌화카드뮴(CdSe) 나노입자이며, 상기 유기 리간드는, 3-mercaptopropionic acid(MPA), 및 1,2-ethanedithiol(EDT) 으로 구성된 군 중에서 선택되는 적어도 어느 하나 이상일 수 있다.
- [0026] 또한, 본 발명에 따른 스트레인 게이지 센서 제조방법에 있어서, 상기 금 나노입자와 상기 셀렌화카드뮴 나노입자는, 부피비가 2:8 ~ 8:2로 혼합될 수 있다.
- [0027] 또한, 본 발명에 따른 스트레인 게이지 센서 제조방법에 있어서, 상기 감지부에 예비 스트레인(prestrain)을 가하여, 나노크랙(nanocrack)을 형성하는 단계;를 더 포함할 수 있다.
- [0029] 본 발명의 특징 및 이점들은 첨부도면에 의거한 다음의 상세한 설명으로 더욱 명백해질 것이다.
- [0031] 이에 앞서 본 명세서 및 청구범위에 사용된 용어나 단어는 통상적이고 사전적인 의미로 해석되어서는 아니 되며, 발명자가 그 자신의 발명을 가장 최선의 방법으로 설명하기 위해 용어의 개념을 적절하게 정의할 수 있다는 원칙에 입각하여 본 발명의 기술적 사상에 부합하는 의미와 개념으로 해석되어야만 한다.

발명의 효과

- [0033] 본 발명에 따르면, 금속-절연체 형태로 구조의 박막형 감지부의 금속 나노입자가 전도성 퍼콜레이션 경로(percolation path)를 형성하고, 절연성 나노입자가 불순물로 작용하여 전도성 성분과 절연 성분의 비율을 제어함으로써, 스트레인이 작용할 때에 감지부에서 상당한 저항변화가 일어나 센서의 감도가 증가되고, 매우 우수한 내구성으로 안정적인 성능을 발휘할 수 있으며, 광범위한 주파수에서도 히스테리시스(hysteresis)가 거의 없이 안정적으로 응답할 수 있다.
- [0035] 또한, 박막형 감지부에 의도적으로 도입된 나노크랙(nanocrack)이 전기적 경로의 수를 조절하여, 센서의 민감도가 더욱 향상된다.
- [0037] 나아가, 나노입자를 기반으로 하므로 센서의 모든 제조공정이 상온, 상압에서 용액 공정으로 진행될 수 있어 제조비용을 절감하면서 대량생산을 가능하게 한다. 이뿐만 아니라, 높은 민감도와 안정성을 기반으로 멀티 어레이 센서를 구성함으로써, 혈압, 맥박, 동작, 음성 등을 인식하는 웨어러블 센서(wearable sensor)를 구현할 수 있다.

[0038]

도면의 간단한 설명

[0039]

도 1은 종래 스트레인 게이지 센서를 도시한 평면도이다.

도 2는 본 발명에 따른 스트레인 게이지 센서를 도시한 사시도이다.

도 3은 도 2의 A-A'에 따른 단면도이다.

도 4는 본 발명에 따른 스트레인 게이지 센서 제조방법의 공정도이다.

도 5의 (a)는 리간드 치환 전후 다양한 나노입자 박막에 대한 FTIR(Fourier transform infrared) 스펙트럼, (b)는 UV-vis(Ultraviolet-visible) 스펙트럼, (c) 및 (d)는 투과전자 현미경(transmission electron microscopy, TEM) 이미지, (e)는 SEM-EDX 맵핑(mapping) 이미지이다.

도 6의 (a)는 리간드 치환된 순수 금 나노입자 박막과 77% CdSe 나노입자 박막의 전류-전압 곡선, (b)는 나노크랙을 구비하는 리간드 치환 순수 금 나노입자 박막과 77% CdSe 나노입자 박막의 전류-전압 곡선, (c)는 스트레인이 증가할 때에 나노크랙을 구비하는 리간드 치환 순수 금 나노입자 박막과 77% CdSe 나노입자 박막의 저항 변화를 나타내는 그래프, (d)는 0.2% 스트레인 하에서의 굽힘 사이클 동안 나노크랙을 구비하는 리간드 치환 순수 금 나노입자 박막과 77% CdSe 나노입자 박막의 저항 변화를 나타내는 그래프, (e)는 스트레인을 적용하고 해제하는 동안 77% CdSe 나노입자 박막의 스트레인 응답을 나타내는 그래프, (f)는 77% CdSe 나노입자 박막의 히스테리시스(hysteresis)를 나타내는 그래프이다.

도 7의 (a)는 나노크랙 형성 전 금 나노입자 박막(black) 및 77% CdSe 나노입자 박막(olive)과, 나노크랙 형성 후 금 나노입자 박막(red) 및 77% CdSe 나노입자 박막(blue)의 $1/T(K)$ 에 대한 전도도를 나타내는 그래프이고, (b)는 나노크랙 유무에 따른 금 나노입자 박막 및 77% CdSe 나노입자 박막의 활성화 에너지를 나타내는 그래프이며, (c)는 스트레인이 가해지지 않은 경우 나노크랙을 구비하는 77% CdSe 나노입자 박막의 SEM 이미지, (d)는 1%의 스트레인이 가해진 경우 나노크랙을 구비하는 77% CdSe 나노입자 박막의 SEM 이미지이다.

도 8은 나노크랙을 구비하는 77% CdSe 나노입자 박막의 CdSe 나노입자의 농도에 따른 비저항 및 게이지 팩터를 나타내는 그래프이다.

도 9의 (a)는 본 발명에 따른 스트레인 게이지 센서의 손가락 굽힘 동작에 따른 응답 특성을, (b)는 맥박 인식 특성을, (c)는 음성 인식 특성을 각각 나타내는 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0040]

본 발명의 목적, 특정한 장점들 및 신규한 특징들은 첨부된 도면들과 연관되어지는 이하의 상세한 설명과 바람직한 실시 예들로부터 더욱 명백해질 것이다. 본 명세서에서 각 도면의 구성요소들에 참조번호를 부가함에 있어서, 동일한 구성 요소들에 한해서는 비록 다른 도면상에 표시되더라도 가능한 한 동일한 번호를 가지도록 하고 있음에 유의하여야 한다. 또한, "제1", "제2" 등의 용어는 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하기 위해 사용되는 것으로, 구성요소가 상기 용어들에 의해 제한되는 것은 아니다. 이하, 본 발명을 설명함에 있어서, 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있는 관련된 공지 기술에 대한 상세한 설명은 생략한다.

[0042]

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

[0044]

도 2는 본 발명에 따른 스트레인 게이지 센서를 도시한 사시도이고, 도 3은 도 2의 A-A'에 따른 단면도이다.

[0045]

도 2 및 도 3에 도시된 바와 같이, 본 발명에 따른 스트레인 게이지 센서는, 유연한 절연성 기판(10); 서로 이격 배치되는 박막 형태의 제1 전극(21) 및 제2 전극(23)을 포함하고, 기판(10)의 일면에 배치되는 전극부(20); 및 서로 혼합된 전도성 나노입자(31) 및 절연성 나노입자(33)를 포함하고, 박막 형태로, 일단은 제1 전극(21)에, 타단은 제2 전극(23)에 각각 전기적으로 연결되고, 스트레인(strain)이 가해질 때에 전기저항이 변하는 감지부(30);를 포함한다.

[0047]

본 발명은 피측정대상에 부착되어 물리적인 스트레인(strain, 변형)을 전기적 신호로 전환하여 그 스트레인을 측정하는 저항형 스트레인 센서로서, 나노입자를 기반으로 한다. 스트레인 게이지 센서는 이미 다양한 산업분야에서 광범위하게 사용되고 있지만, 전자피부, 헬스케어 모니터링 시스템 등과 같은 신산업분야의 등장으로 인해 그 관심과 수요가 지속적으로 증가될 전망이다. 그러나 종래 나노입자 기반의 스트레인 센서는 전체적으로 센서 민감도가 낮은 편이며, 내구성 및 안정성이 떨어지고, 비대칭 히스테리시스(asymmetric hysteresis) 및 느린 응답시간이 문제점으로 지적되고 있다. 이에, 이러한 스트레인 게이지 센서의 문제점을 해결하기 위한

방안으로서, 본 발명에 따른 스트레인 게이지 센서가 안출되었다.

- [0049] 구체적으로, 본 발명에 따른 스트레인 게이지 센서는, 기관(10), 전극부(20), 및 감지부(30)를 포함한다.
- [0050] 기관(10)은 전극부(20), 및 감지부(30)를 지지하고, 소정의 원인에 의해 변형을 일으키는 피측정대상에 부착되는 기재이다. 이때, 기관(10)은 피측정대상의 움직임 등에 의해 함께 변형되어야 하므로 유연한 소재로 이루어진다. 또한, 그 일면에 전류가 통하는 전극부(20) 및 감지부(30)가 배치되므로, 그 전류가 피측정대상으로 통하지 않도록 절연성을 가진다. 따라서, 기관(10)은 플렉시블(flexible) 절연성 기관(10)으로서, 예를 들어 PET, PI 등의 고분자 물질로 이루어질 수 있다. 다만, 기관(10)이 유연성 및 절연성을 가지는 한, 그 소재가 반드시 상기 물질에 한정되어야 하는 것은 아니다. 한편, 피측정대상은 고형의 물체로서, 인간의 피부도 포함되는바, 본 발명에 따른 스트레인 게이지 센서는 인간 피부에 부착되어 혈압, 맥박, 음성, 동작 등을 인식할 수 있다.
- [0052] 전극부(20)는, 제1 전극(21) 및 제2 전극(23)을 포함한다. 제1 전극(21) 및 제2 전극(23)은 박막 형태로 형성되어 기관(10)의 일면에 배치되는데, 이때 제1 전극(21)과 제2 전극(23)은 서로 이격되고, 박막형 감지부(30)에 의해 서로 전기적으로 연결된다.
- [0053] 여기서, 박막 형태의 제1 전극(21) 및 제2 전극(23)은 전도성 물질로 이루어질 수 있는데, 그 일례로 전도성 물질은 은 나노입자(Ag nanoparticle)일 수 있다. 은 나노입자는 금, 백금 등의 귀금속 나노입자에 비해 가격이 상대적으로 저렴하며, 전도성 및 기계적 안정성이 높고, 게이지 팩터가 낮기 때문에 전극물질로 적합하다. 은 나노입자는 질산은(AgNO_3), 올레산(Oleic acid), 올레일아민(Oleylamine)을 혼합한 혼합용액을 탈기하고, 실온 냉각하여 합성할 수 있다. 합성된 은 나노입자는 구형으로 직경이 대략 4 ~ 5 nm 정도인데, 이러한 은 나노입자가 혼합된 용액을 기관(10)에 스핀코팅함으로써, 박막 형태의 제1 전극(21) 및 제2 전극(23)을 구현할 수 있다.
- [0054] 일반적으로 나노입자 박막의 전기저항은 호핑 수송(hopping transport)에 의해 지배되고, 그 나노입자를 둘러싸는 표면 리간드의 길이에 의해 정해지는 입자 간 거리에 비례하는데, 제1 전극(21) 및 제2 전극(23)을 구현하는 은 나노입자 박막의 경우에는, 올레산의 본래 리간드가 입자 간 거리를 길게 하므로, 그 자체로는 전기 전도성이 떨어진다.
- [0055] 이에 본 발명에 따른 은 나노입자의 표면 리간드는 무기 리간드로 치환되고, 이에 따라 제1 전극(21) 및 제2 전극(23)의 전기 전도성이 향상되며, 기계적 특성이 개선될 수 있다. 여기서, 무기 리간드는 NH_4Cl , tetra-n-butyl ammonium bromide (TBAB), 및 NH_4SCN 으로 구성된 군 중에서 선택되는 적어도 어느 하나 이상일 수 있다. 다만, 무기 리간드가 반드시 이에 한정되는 것은 아니다. 이때, 리간드 치환은 NH_4Cl , TBAB, 또는 NH_4SCN 등을 메탄올 또는 아세토니트릴(acetonitrile) 등에 분산시킨 용액에, 은 나노입자 박막을 접촉시키는 방식으로 처리할 수 있다. 이렇게 리간드가 치환되면, 은 나노입자의 크기가 커지면서 입자 간의 거리가 줄어들어, 은 나노입자 박막의 비저항이 현저히 감소하므로, 결국 제1 전극(21) 및 제2 전극(23)의 전기 전도성이 향상된다.
- [0057] 감지부(30)는 기관(10)의 일면에 박막 형태로 형성되되, 그 일단은 제1 전극(21)에, 타단은 제2 전극(23)에 연결된다. 따라서, 전극(21, 23)을 통해 유입되는 전류는 감지부(30)를 통과하게 되는데, 이때 감지부(30)에 기계적 변형이 일어나면 전기저항이 변하므로, 그 전기신호의 변화를 감지하여 스트레인(변형)을 측정할 수 있다.
- [0058] 여기서, 감지부(30)는, 전도성 나노입자(31), 및 절연성 나노입자(33)를 포함한다. 전도성 나노입자(31)는 금(Au), 백금(Pt), 구리(Cu), 팔라듐(Pd), 은(Ag) 등 모든 금속성 물질로 이루어진 나노입자를 포함할 수 있는데, 대표적으로는 금 나노입자(Au nanoparticle)를 사용할 수 있다. 절연성 나노입자(33)는 나노 크기 이하의 절연성 물질 입자로, 그 일례로는 셀렌화카드뮴(CdSe), 황화카드뮴(CdS), 산화아연(ZnO), 황화아연(ZnS), 셀렌화아연(ZnSe), 이산화규소(SiO_2), 산화 알루미늄(Al_2O_3) 등을 포함하는 절연성 물질로 구성된 나노입자일 수 있다. 본 발명의 전도성 나노입자(31), 및 절연성 나노입자(33)는, 이하에서 금 나노입자와 셀렌화카드뮴 나노입자를 예로 들어 설명하지만, 이는 설명을 간단히 하기 위한 것에 불과하고, 이에 의해 본 발명의 권리범위가 한정되는 것은 아니다.
- [0059] 한편, 전도성 나노입자(31)와 절연성 나노입자(33)는 서로 혼합된 상태로 감지부(30)를 구현한다. 이때, 절연성 나노입자(33)의 절연체 원자가 전도성 나노입자(31)의 금속 원자에 통합되어 금속-절연체 heterostructure를 만들게 된다. 이러한 금속-절연체 하이브리드(hybrid) 구조는 그 구성 요소의 농도에 따라 특유한 저항 거동을 나타내는데, 그 저항 거동은 퍼콜레이션(percolation)으로 설명될 수 있다. 퍼콜레이션 이론은 일반적으로 전도성 또는 금속성 성분과 절연성 성분이 혼합된 구조에서 전하 소송을 연구하는 데 사용된다. 퍼콜레이션 이론에 따르면, 금속성 성분(절연성 성분)의 비율이 퍼콜레이션 문턱값(percolation

threshold)보다 낮으면(높으면) 전기 저항이 거의 제로(zero)가 되고, 금속성 성분의 비율이 증가할수록, 전도성 구성요소들로 구성된 클러스터(cluster)의 크기가 증가한다. 따라서, 퍼콜레이션 문턱값 이상에서, 2개의 외부 전극을 연결하는 무한 클러스터가 나타나고 성장하여, 전도 경로를 생성하게 된다. 이에 본 발명의 전도성 나노입자(31)는 전도성 퍼콜레이션 경로를 형성하고, 절연성 나노입자(33)는 불순물로 작용하여 금속과 절연성분의 비율을 제어함으로써, 퍼콜레이션 문턱값 부근에서 감지부(30)는 스트레인에 따른 상당한 저항변화를 보이게 되고, 이로 인해 스트레인 게이지 센서의 민감도가 향상된다.

[0060] 다만, 상기 전극부(20)에서 설명한 바와 같이, 전도성 금속 나노입자(31)와 절연성 나노입자(33)에 의해 박막 형태로 형성된 감지부(30)의 경우에도, 길이가 긴 나노입자의 표면 리간드로 인해 전기적으로 절연될 수 있다. 이에 본 발명의 감지부(30)의 표면 리간드도 치환될 수 있다. 이때 치환되는 리간드는 유기 리간드로서, 예를 들어 3-mercaptopropionic acid(MPA), 및 1,2-ethanedithiol(EDT)으로 구성된 군 중에서 선택되는 적어도 어느 하나 이상일 수 있다. 일례로, 전도성 나노입자(31)가 금(Au) 나노입자이고, 절연성 나노입자(33)가 셀렌화카드뮴(CdSe) 나노입자인 경우, 1,2-ethanedithiol(EDT)로 리간드를 치환하여, 전기 전도성 및 전기 기계적 성질을 향상시킬 수 있다.

[0061] 한편, 전도성 나노입자(31)와 절연성 나노입자(33)가 혼합되는 경우, 전도성 나노입자(31) 대 절연성 나노입자(33)의 부피비는 2:8 ~ 8:2, 바람직하게는 23:77일 수 있다. 다만, 그 부피비는 전도성 나노입자(31)와 절연성 나노입자(33)의 종류에 따라 달라질 수 있으므로, 반드시 이에 한정되는 것은 아니다.

[0062] 감지부(30) 형성 과정의 일실시예에 대해 설명하면, 금(Au) 나노입자(15 mg/ml)와 셀렌화카드뮴(CdSe) 나노입자(15 mg/ml)를 23:77의 부피비로 혼합하여 헥센(hexen) 용매에 분산시키고, 이를 기관(10)에 스펀코팅한 후, 1,2-ethanedithiol(EDT)로 리간드를 치환함으로써, 감지부(30)를 형성할 수 있다.

[0064] 종합적으로, 본 발명에 따르면, 금속-절연체 헤테로 구조의 박막형 감지부(30)의 금속 나노입자(31)가 전도성 퍼콜레이션 경로(percolation path)를 형성하고, 절연성 나노입자(33)가 불순물로 작용하여 전도성 성분과 절연성분의 비율을 제어함으로써, 스트레인이 작용할 때에 감지부(30)에서 상당한 저항변화가 일어나 센서의 감도가 증가되고, 매우 우수한 내구성으로 안정적인 성능을 발휘할 수 있으며, 광범위한 주파수에서도 히스테리시스(hysteresis)가 거의 없는 안정적인 응답 특성을 가지게 된다.

[0066] 또한, 본 발명에 따른 스트레인 게이지 센서는 멀티 어레이 센서(도시되지 않음)를 구성할 수 있다. 전술한 전극부(20) 및 감지부(30)는 각각 하나씩 서로 일대일로 대응되어 하나의 기관(10)에 배치될 수 있지만, 이와 달리 일대일로 대응되는 전극부(20) 및 감지부(30)를 한 쌍으로 하여, 다수 개의 쌍이 하나의 기관(10)에 배열될 수도 있다. 이렇게 다수 개의 쌍이 하나의 기관(10)에 배열되어 형성된 멀티 어레이 센서는, 높은 민감도와 안정성을 기반으로 하여, 신체 부위 등에 배치됨으로써, 혈압, 맥박, 동작, 음성 등을 인식하는 웨어러블 센서(wearable sensor)를 구현할 수 있다.

[0068] 한편, 본 발명에 따른 감지부(30)는, 나노크랙(nanocrack, 35)을 구비할 수 있다.

[0069] 나노크랙(35)은 의도적인 예비 스트레인(prestrain)을 가하여 나노크기의 균열로 형성되는데, 이때 예비 스트레인은 1회뿐 아니라, 여러 번 반복적으로 가해질 수 있다. 감지부(30)에 나노크랙(35)이 균일하게 형성되는 경우, 감지부(30)는 전기 전도도를 가지면서도 저항이 증가하는 특성을 보이는데, 스트레인이 가해질 때에 저항 변화율도 상승하므로 센서의 민감도가 향상된다. 여기서, 의도적인 나노크랙(35) 이외에, 추가적으로 감지부(30)에 크랙이 발생하기 위해서는, 예비 스트레인보다 높은 스트레인이 가해져야 하므로, 예비 스트레인의 범위 내에서 스트레인이 가해지는 경우 본 발명에 따른 센서는 안정적으로 작동한다. 따라서, 예비 스트레인은 센서의 허용 스트레인을 결정하는 요인이 되는데, 그 허용 스트레인에 따라 예비 스트레인을 정할 수 있다. 일례로 1.5 ~ 2.5%의 예비 스트레인을 적어도 1회 이상 가하여 나노크랙(35)을 형성할 수 있다.

[0071] 이하에서는 본 발명에 따른 스트레인 게이지 센서를 제조하는 방법에 대해 설명한다. 스트레인 게이지 센서에 대해서는 전술하였는데, 중복되는 내용에 대해서는 설명을 생략하거나 간단하게만 기술한다. 도 4는 본 발명에 따른 스트레인 게이지 센서 제조방법의 공정도이다.

[0072] 도 4에 도시된 바와 같이, 본 발명에 따른 스트레인 게이지 센서 제조방법은, (a) 유연한 절연성 기관의 일면에, 서로 이격되도록 은 나노입자(Ag NC)를 코팅하여 박막 형태의 제1 전극 및 제2 전극을 형성하는 단계(S100); (b) 무기 리간드가 분산된 제1 리간드 치환 용액을, 제1 전극 및 제2 전극에 접촉시켜, 은 나노입자의 표면 리간드가 무기 리간드로 치환된 전극부를 형성하는 단계(S200); (c) 전도성 나노입자 및 절연성 나노입자를 혼합하고, 박막 형태로, 일단은 제1 전극에, 타단은 제2 전극에 연결되도록 코팅하여, 금속-절연체 나노입자

박막을 형성하는 단계(S300); 및 (d) 유기 리간드가 분산된 제2 리간드 치환 용액을, 금속-절연체 나노입자 박막에 접촉시켜, 금속-절연체 나노입자 박막의 표면 리간드가 상기 유기 리간드로 치환된 감지부를 형성하는 단계(S400);를 포함한다.

- [0074] 구체적으로, 본 발명에 따른 스트레인 게이지 센서 제조방법은, 제1 전극 및 제2 전극 형성단계(S100), 무기 리간드 치환단계(S200), 금속-절연체 나노입자 박막 형성단계(S300), 및 유기 리간드 치환단계(S400)를 포함한다.
- [0075] 제1 전극 및 제2 전극 형성단계(S100)에서는, 유연한 절연성 기판의 일면에, 은(Ag) 나노입자를 2개의 박막 형태로, 서로 이격되도록 코팅하여 제1 전극 및 제2 전극을 형성한다.
- [0076] 이러한 공정은 포토리소그래피(photolithography) 공정을 통해 구현될 수 있다. 일실시예로, 기판의 일면에 제1 포토레지스트(photoresist)를 코팅하고, 제1 전극 및 제2 전극의 형상에 대응되도록 제1 포토레지스트를 패터닝한 후에, 은 나노입자가 분산된 제1 용액을 스핀코팅하여 제1 전극 및 제2 전극을 형성할 수 있다. 이렇게 제1 전극 및 제2 전극이 형성된 다음에는, 후술하는 공정을 위해 제1 포토레지스트를 리프트 오프(lift off)할 수 있다.
- [0078] 무기 리간드 치환단계(S200)는, 제1 전극 및 제2 전극의 표면 리간드를 치환하는 공정으로, 무기 리간드가 분산된 제1 리간드 치환 용액을 준비하고, 그 치환 용액을 제1 전극 및 제2 전극에 접촉시킴으로써, 은 나노입자의 표면 리간드를 무기 리간드로 치환하여 전극부를 형성한다. 여기서, 무기 리간드는 NH_4Cl , tetra-n-butyl ammonium bromide (TBAB), 및 NH_4SCN 으로 구성된 군 중에서 선택되는 적어도 어느 하나 이상일 수 있지만, 반드시 이에 한정되는 것은 아니다. 제1 리간드 치환 용액은 무기 리간드를 메탄올 또는 아세토니트릴(acetonitrile) 등에 분산시켜 제조할 수 있다.
- [0080] 금속-절연체 나노입자 박막 형성단계(S300)에서는, 전도성 나노입자와 절연성 나노입자를 서로 혼합하고, 박막 형태로 코팅하여 금속-절연체 나노입자 하이브리드 박막을 형성하되, 그 금속-절연체 나노입자 박막의 일단은 제1 전극에, 그 타단은 제2 전극에 연결되도록 배열한다.
- [0081] 상기 단계도 포토리소그래피 공정에 의할 수 있는바, 일례로 전극부가 형성된 기판의 일면에 제2 포토레지스트를 코팅하고, 금속-절연체 나노입자 박막의 형상에 대응되도록 제2 포토레지스트를 패터닝한 후, 전도성 나노입자와 절연성 나노입자가 분산된 제2 용액을 스핀코팅하여 금속-절연체 나노입자 박막을 형성할 수 있다.
- [0082] 여기서, 전도성 나노입자는 금(Au), 백금(Pt), 구리(Cu), 팔라듐(Pd), 은(Ag) 등 모든 금속성 물질로, 절연성 나노입자는 셀렌화카드뮴(CdSe), 황화카드뮴(CdS), 산화아연(ZnO), 황화아연(ZnS), 셀렌화아연(ZnSe), 이산화규소(SiO_2), 산화 알루미늄(Al_2O_3) 등을 포함하는 절연성 물질로 각각 이루어질 수 있다. 보다 구체적으로, 금(Au) 나노입자와 셀렌화카드뮴(CdSe) 나노입자를 2:8 ~ 8:2의 부피비로 혼합하여 헥센(hexen) 용매에 분산시켜 기판에 스핀코팅하여, Au-CdSe 나노입자(NC) 박막을 형성할 수 있다.
- [0084] 유기 리간드 치환단계(S400)는, 상기 금속-절연체 나노입자 박막의 표면 리간드를 유기 리간드로 치환하는 공정으로, 유기 리간드가 분산된 제2 리간드 치환 용액을 금속-절연체 나노입자 박막에 접촉시켜 리간드를 치환한다.
- [0085] 유기 리간드는, 3-mercaptopropionic acid(MPA), 및 1,2-ethanedithiol(EDT) 으로 구성된 군 중에서 선택되는 적어도 어느 하나 이상일 수 있다. 제2 리간드 치환 용액에 사용되는 용매로는, 탈이온수(deionized (DI) water)를 사용할 수 있다. 일반적으로 사용될 수 있는 메탄올(methanol) 또는 아세토니트릴(acetonitrile)의 경우에는 제2 포토레지스트와 반응하여 리간드 치환이 일어나는 동안에 포토레지스트가 박리되고, 이소프로판올(isopropanol), 및 에탄올(ethanol) 등을 용매로 사용하면 포토레지스트가 용해되는바, 탈이온수가 용매로서 적합하다. 다만, 그 용매가 반드시 탈이온수에 한정되어야 하는 것은 아니고, 제2 포토레지스트에 영향을 미치지 않는 한 다양한 용매의 사용도 가능하다.
- [0086] 여기서, 금속-절연체 나노입자 박막 증착, 및 유기 리간드 치환은 퍼콜레이션 경로를 형성하기 위해서 여러 번 반복적으로 수행될 수 있다.
- [0087] 유기 리간드가 치환된 다음에는 포토리소그래피 공정에서 코팅된 제2 포토레지스트를 리프트 오프(lift off)하여, 최종적으로 스트레인 게이지 센서를 제조할 수 있다.
- [0089] 이렇게 나노입자를 기반으로 한 스트레인 게이지 센서의 모든 제조공정이 상온, 상압에서 용액 공정으로 진행될 수 있으므로, 제조비용을 절감하면서 센서를 대량생산할 수 있다.

- [0091] 이하에서는 구체적인 실시예 및 평가예를 통해 본 발명의 효과를 중심으로 보다 상세하게 본 발명을 설명한다.
- [0093] 실시예 1: 금-CdSe 나노입자 하이브리드 박막 제조
- [0094] 입경이 10 nm인 금 나노입자와 6.7 nm인 CdSe 나노입자를 합성하였다. 이때, 합성된 금 나노입자와 CdSe 나노입자는 올레일아민(oleylamine)과 올레산(oleic acid)으로 각각 둘러싸인다. 이러한 금 나노입자와 CdSe 나노입자를 헥센(hexane) 용매에 분산시켜, 금-CdSe가 혼합된 나노입자 용액을 준비했다. 이때, 금과 CdSe의 중량비(금:CdSe)는 8:2 및 5:5이고, 금 나노입자의 중량은 15 mg/ml이다. (3-Mercaptopropyl)trimethoxysilane(MPTS)으로 처리된 PET(polyethylene terephthalate) 기판에 나노입자 용액을 스핀캐스팅(spincasting)하여 나노입자 하이브리드 박막을 형성했다. 여기서, 금과 CdSe의 중량비가 8:2, 5:5인 나노입자 하이브리드 박막에서, 금 나노입자와 CdSe 나노입자의 총부피에 대한 CdSe의 부피비는 각각 45%, 77% (금 나노입자 부피:CdSe 나노입자 부피=55:45, 23:77)이다. 합성된 나노입자 하이브리드 박막은 길이가 긴 리간드를 가지기 때문에 입자 간 거리가 멀어서, 전기적으로 절연되어 있다. 이에 전기 전도성 및 전기 기계적 성질을 향상시키기 위해서, 리간드 치환 용액에 담지하여 1,2 ethanedithiol(EDT)로 기존 리간드를 치환하고 세척하였다. 여기서, 리간드 치환 용액은 0.01 M의 EDT가 분산된 아세토나이트릴(acetonitrile)을 사용했고, 세척은 그 모액(mother solution)을 사용하였다. 고전도성을 구현하기 위해, 나노입자 박막 증착, 리간드 치환, 및 세척 공정을 여러 차례 반복하여, 최종적으로 2종류의 감지부를 제조하였다.
- [0095] 또한, 전술한 과정에 따라, 금 나노입자와 CdSe 나노입자의 총부피에 대한 CdSe의 부피비가 23%, 59%인 나노입자 하이브리드 박막을 이용하여 추가적으로 2종류의 감지부를 더 제조하였다.
- [0097] 실시예 2: 나노크랙을 구비하는 금-CdSe 나노입자 하이브리드 박막 제조
- [0098] 실시예 1에 따라 제조된 금-CdSe 나노입자 하이브리드 박막에 2%의 예비 스트레인을 가하여 기판을 소성변형시킴으로써, 금-CdSe 나노입자 하이브리드 박막에 인위적으로 나노크랙을 형성하였다.
- [0100] 비교예 1: 순수한 금 나노입자 및 CdSe 나노입자 박막 제조
- [0101] 15 mg/ml의 순수한(pure) 금 나노입자(금 나노입자:CdSe 나노입자=10:0) 용액과 순수한(pure) CdSe 나노입자(금 나노입자:CdSe 나노입자=0:10) 용액을 각각 준비하고, 전술한 실시예 1의 공정에 따라, 순수한 금 나노입자 박막과 CdSe 나노입자 박막을 제조하고, 이에 대해 리간드 치환 및 세척 공정을 수행하였다.
- [0103] 비교예 2: 나노크랙을 구비한 순수한 금 나노입자 및 CdSe 나노입자 박막 제조
- [0104] 비교예 1에 제조된 순수한 금 나노입자 및 CdSe 나노입자 박막에 실시예 2와 같이 예비 스트레인을 가하여, 나노입자 박막에 나노크랙을 형성하였다.
- [0106] 평가예 1: 화학적 특성 평가
- [0107] 도 5의 (a)는 리간드 치환 전후 다양한 나노입자 박막에 대한 FTIR(Fourier transform infrared) 스펙트럼을 도시한다.
- [0108] 실시예 1 및 비교예 1에 따른 나노입자 박막의 표면 화학성(surface chemistry)을 측정하기 위해서, 각각에 대해 FTIR(Fourier transform infrared) 측정을 수행하고, 도 5의 (a)에 결과를 도시하였다. 그 결과, 리간드 치환 이전(실선)의 모든 나노입자 박막에서는 올레일아민 또는 올레산 본래 리간드의 CH-스트레치(strech)에 해당하는 피크치가 관찰되었으나, 리간드 치환 후(점선)에는 피크 강도가 현저하게 감소하였는바, 이로부터 리간드 치환이 성공적으로 이루어졌음을 알 수 있다.
- [0110] 평가예 2: 광학적 특성 평가
- [0111] 도 5의 (b)는 UV-vis(Ultraviolet-visible) 스펙트럼을 도시한다.
- [0112] 평가예 2에서는, 실시예 1 및 비교예 1에 따른 나노입자 박막 각각의 광학적 특성을 평가한다.
- [0113] 도 5의 (b)의 실선은 리간드 치환 전의 나노입자 박막에 대한 UV-vis(Ultraviolet-visible) 스펙트럼을 나타낸다. 금-CdSe 나노입자 하이브리드 박막의 경우에, 순수한 금 나노입자 박막과 CdSe 나노입자 박막과 다른 위치에서, 표면 플라즈몬 공명(LSPR) 피크가 발견되었다. 이는 약한 near-field coupling에 기인한 것으로, 하이브리드 나노입자 박막의 경우, CdSe 나노입자가 금 나노입자 매트릭스 내에 결합되면서, 금 나노입자 사이의 평균 거리가 증가하여 커플링(coupling) 정도가 감소하는 것이다.

- [0114] 도 5의 (b)의 점선과 같이, EDT와의 리간드 치환 후, 모든 나노입자 박막에서 LSPR 피크가 퀸치되었는데(quenched), 이는 각각의 나노입자 사이의 파동 함수(wave function)의 강력한 중첩에 따른 것으로, EDT와 성공적으로 리간드가 치환되고 입자 간 거리가 감소하였음을 나타낸다.
- [0116] 평가예 3: 구조적 특성 평가
- [0117] 도 5의 (c) 및 (d)는 투과전자 현미경(transmission electron microscopy, TEM) 이미지이다.
- [0118] 실시예 1 및 평가예 1에 따른 나노입자 박막의 형태 및 구조적 특성을 분석하기 위해서, 투과전자 현미경(transmission electron microscopy, TEM) 이미지를 관찰하였다.
- [0119] 도 5의 (c)는 리간드 치환 전, 도 5의 (d)는 리간드 치환 후의 나노입자 박막의 TEM 이미지로, 각각의 도면의 좌측은 순수한 금 나노입자 박막의 TEM 이미지이고, 도면의 우측은 77% CdSe 나노입자 하이브리드 박막의 TEM 이미지이다.
- [0120] 리간드 치환 전의 순수한 금 나노입자 박막과 CdSe 나노입자 박막의 경우, 각각의 나노입자의 크기는 10.3 ± 1.3 , 및 6.7 ± 0.6 nm이고, 입자 간 거리는 2.0 ± 0.4 nm이다. 한편, 금-CdSe 나노입자 하이브리드 박막에서 금과 CdSe 나노입자는 균일하게 혼합되어 있다(도 5의 (c), 및 도 5의 (d) 우측).
- [0121] 리간드 치환 후에는, 금-금, 금-CdSe, 및 CdSe-CdSe 나노입자 사이의 입자 간 거리가 크게 감소되는바, 나노입자 간에 강력한 상호작용이 가능해졌음을 알 수 있다.
- [0123] 평가예 4: 금-CdSe 나노입자 하이브리드 박막의 조성분포 평가
- [0124] 도 5의 (e)는 SEM-EDX 맵핑(mapping) 이미지이다
- [0125] 실시예 1에 따라 리간드 치환된 금-CdSe 나노입자 하이브리드 박막(77% CdSe)의 조성분포를 확인하기 위해서, SEM-EDX 측정을 실행하여, 그 EDX 맵핑(mapping) 이미지를 도 5의 (e)에 나타냈다.
- [0126] EDX 맵핑(mapping) 이미지에서는 금, Cd, 및 Se 원소의 균일한 분포를 관찰할 수 있는데, 이는 원거리(long range)에 걸쳐 금과 CdSe 나노입자가 균일하게 분포됨을 의미한다. 이러한 원거리 무작위 금속-절연체 하이브리드 구조(long range random metal-insulator hybrid structure)는 스트레인 센서의 고감도를 달성하는 중요한 요소가 된다. 나노입자가 3000 rpm의 속도로 스핀코팅되는 때에, 열역학에 비해 동역학이 우세하여, UV-vis, TEM, 및 EDX에서 분석된 바와 같이, 넓은 영역에 걸쳐 나노입자가 무작위로 혼합되는 것으로 판단된다.
- [0128] 평가예 5: 전기적 특성 평가
- [0129] 실시예 1 및 비교예 1의 나노입자 박막에 있어, 리간드 치환 시 나노입자 간 거리의 변화와, CdSe 나노입자가 금 나노입자 매트릭스로 도입되는 경우, 나노입자 박막의 전기적 특성에 어떠한 영향을 미치는지를 확인하기 위해서, 2 프로브 전기측정(two probe electrical measurements)을 실행하였다.
- [0130] 여기서, 2프로브 전기측정은, 채널 길이가 1mm이고 너비가 5mm인 전극이 미리 패터닝된 PET 기판에, 순수한 금 나노입자 박막, 27%, 45%, 59%, 77%의 CdSe 나노입자 하이브리드 박막, 및 순수한 CdSe 나노입자 박막을 배치하여, 나노입자 박막 각각에 대해 실행하였다.
- [0131] 그 결과, EDT 리간드 치환 전에는, 모든 나노입자 박막이 전기적으로 절연되어 있었다.
- [0132] EDT 리간드 치환 후, 순수한 금 나노입자 박막의 비저항은 현저하게 감소된 $90.1 \Omega\text{cm}$ 를 나타냈다. 순수한 CdSe 나노입자 박막은 전기 전열성을 나타내었는데, 이는 CdSe 나노입자가 고농도로 도핑(doped)되지 않으면, 넓은 밴드 갭(band gap)으로 인해 매우 낮은 전자 밀도를 가지기 때문으로 사료된다. 27%, 45%, 59%, 77%의 CdSe 나노입자 하이브리드 박막은 각각 비저항이 1.7×10^2 , 4.4×10^2 , 4.1×10^3 , $4.6 \times 10^5 \Omega\text{cm}$ 인 전기적 특성을 나타냈다. 금-CdSe 나노입자 박막의 증가된 저항은 CdSe 나노입자가 금 나노입자 내에 위치함으로써, 효율적인 전자 수송을 차단하는 절연성 불순물로 작용하기 때문이다.
- [0134] 평가예 6: 전기 기계적 특성 평가
- [0135] 도 6의 (a)는 리간드 치환된 순수 금 나노입자 박막과 77% CdSe 나노입자 박막의 전류-전압 곡선, (b)는 나노크랙을 구비하는 리간드 치환 순수 금 나노입자 박막과 77% CdSe 나노입자 박막의 전류-전압 곡선, (c)는 스트레인 증가할 때에 나노크랙을 구비하는 리간드 치환 순수 금 나노입자 박막과 77% CdSe 나노입자 박막의 저항 변화를 나타내는 그래프, (d)는 0.2% 스트레인 하에서의 굽힘 사이클 동안 나노크랙을 구비하는 리간드 치환 순

수 금 나노입자 박막과 77% CdSe 나노입자 박막의 저항 변화를 나타내는 그래프, (e)는 스트레인을 적용하고 해제하는 동안 77% CdSe 나노입자 박막의 스트레인 응답을 나타내는 그래프, (f)는 77% CdSe 나노입자 박막의 히스테리시스(hysteresis)를 나타내는 그래프이다.

[0136] 도 7의 (a)는 나노크랙 형성 전 금 나노입자 박막(black) 및 77% CdSe 나노입자 박막(olive)과, 나노크랙 형성 후 금 나노입자 박막(red) 및 77% CdSe 나노입자 박막(blue)의 $1/T(K)$ 에 대한 전도도를 나타내는 그래프이고, (b)는 나노크랙 유무에 따른 금 나노입자 박막 및 77% CdSe 나노입자 박막의 활성화 에너지를 나타내는 그래프이다.

[0137] 실시예 1 및 비교예 1에 따라 EDT 처리된 금-CdSe 나노입자 하이브리드 박막과, 순수 금 나노입자 박막을 250 μm 의 PET 기판에 패터닝하여, 각각에 대한 전기 기계적 특성을 조사하였다.

[0138] CdSe 나노입자의 함유량이 77% 이상에서는 하이브리드 박막이 완전히 절연되기 때문에, 그 함유량을 77%까지로 제한하여 스트레인 센서에 사용하였다. 제작된 나노입자 박막 스트레인 센서의 성능은, 각각의 나노입자 박막을 구부리는 방식으로 스트레인을 가하여, 전기적 저항 변화를 모니터링함으로써 평가하였다.

[0139] 스트레인 센서의 감도는 아래 [수학식 1]로 계산되는 게이지 팩터(G)로 설명할 수 있다.

[0140] [수학식 1]

[0141]
$$G = (\Delta R/R_0)/\epsilon$$

[0143] 여기서, ΔR 은 저항 변화, R_0 는 초기 저항, ϵ 는 변형률이다.

[0145] 한편, 유기 리간드로 처리된 나노입자 박막의 전하 수송은, 아래 [수학식 2]와 같이, 일반적으로 터널링 및 호핑 수송(tunneling and hopping transport)으로 표현된다.

[0146] [수학식 2]

[0147]
$$\sigma = \sigma_0 \exp(-\beta d) \exp\left(-\frac{E_a}{k_B T}\right)$$

[0149] 여기서, σ_0 는 전도도의 예비지수 인자(preexponential factor of conductance), β 는 전자결합항(electron coupling term), d 는 입자 간 거리, k_B 는 볼츠만 상수(Boltzmann constant), T 는 켈빈 온도, E_a 는 활성화 에너지이다.

[0151] 상기 [수학식 1]과 [수학식 2]로부터 아래의 [수학식 3]을 얻을 수 있다.

[0152] [수학식 3]

[0153]
$$G = \frac{\Delta R}{R_0} = \frac{\exp(\beta \Delta d) \exp\left(\frac{\Delta E_a}{k_B}\right) - 1}{\epsilon}$$

[0155] 여기서, Δd 는 외부 스트레인에 의한 입자 간 거리 변화량이고, ΔE_a 는 활성화 에너지 변화량이다.

[0157] [수학식 3]으로부터, d 또는 β 의 증가는 감도를 향상시키지만, 전기 전도도를 크게 낮추어 스트레인 센서의 실 제적 사용을 제한할 수 있음을 알 수 있다.

[0158] 이에, 본 발명에서는, 위의 문제를 해결하기 위하여, CdSe 양자점 나노입자를 금 나노입자 박막 매트릭스에 통합하여, 새로운 매개 변수로 퍼콜레이션 전략을 개발하였다.

[0159] 도 6의 (a)를 참고로(상부는 순수한 금 나노입자 박막의 전류-전압 곡선, 하부는 77% CdSe 나노입자 하이브리드 박막의 전류-전압 곡선), 45%, 77% CdSe 나노입자 하이브리드 박막은 동일한 스트레인 하에서, 각각 게이지 팩터 12.8과 26.9에 대응되는 2.6%, 5.4%의 저항 변화를 나타냈다. 27%, 45%, 59%, 77%의 CdSe 나노입자 하이브리드 박막 각각의 평균 게이지 팩터는 10.7 ± 1.4 , 13.4 ± 2.6 , 14.9 ± 4.2 , 및 25.6 ± 7.8 을 나타낸다. 또한, 그

나노입자 하이브리드 박막은 우수한 반복성과 안정성을 보인다. 이로써, CdSe 나노입자가 금 나노입자 매트릭스 내에 통합됨으로써, 민감도가 성공적으로 향상됨을 알 수 있다.

- [0161] 한편, 실시예 2 및 비교예 2에 따라 나노크랙이 형성된 나노입자 박막의 전기 기계적 특성을 평가하였는바, 이하에서 그 결과를 설명한다.
- [0162] 0.2% 스트레인 하에서, 나노 크랙을 구비하는 순수한 금 나노입자 박막의 경우, 평균 30.9 ± 3.0 에서 32의 게이지 팩터에 대응되는, 6.4%의 저항 변화율이 나타났다(도 6의 (b) 상부). 도 6의 (b) 하부를 참고로, 나노크랙을 구비하는 45%, 및 77%의 CdSe 나노입자 하이브리드 박막은 각각 9.4%, 및 192%의 저항 변화율을 나타낸다(이는 각각 게이지 팩터 47.2, 및 960에 대응). 나노크랙을 구비하는 27%, 45%, 59%, 77%의 CdSe 나노입자 하이브리드 박막 각각의 평균 게이지 팩터는 0.6 ± 4.5 , 47.2 ± 5.7 , 76.4 ± 13.1 , 및 1004 ± 358 이다. 이로써, CdSe 양자점 나노입자가 도입되고, 나노크랙이 형성됨에 따라 민감도가 매우 크게 향상되는 것을 알 수 있다.
- [0164] 나노크랙을 구비하는 순수한 나노입자 박막, 45%, 77% CdSe 나노입자 하이브리드 박막에 대해 추가적으로 전기 기계적 성질을 평가하였다.
- [0165] 위의 나노입자 박막의 경우, 나노크랙을 구비하지 않은 나노입자 박막과 대비할 때에, 인장 스트레인이 증가할수록 선형적인 저항 변화를 나타냈다(도 6의 (c) 참조). 또한, CdSe 나노입자를 금 나노입자 박막에 도입하고 나노크랙을 형성하는 경우, 압축 스트레인 하에서도 민감도가 향상된다.
- [0166] 게이지 팩터가 최대 5045에 이르는 고민감도는 나노크랙을 구비한 77% CdSe 나노입자 박막에서 얻을 수 있고, 가장 높은 민감도를 갖는 경우, 0.2 ~ 1%의 스트레인 범위에서, 게이지 팩터가 대략 5000에 이른다(도 6의 (c) 참조). 이러한 나노입자 박막은 0.2%, 0.6%, 및 1%의 스트레인 하에서의 수차례 굽힘 사이클 동안 안정적인 저항 변화를 나타낸다(도 6의 (d) 참조). 10,000 사이클 넘게 스트레인을 적용하고 해제하는 동안에도 뛰어난 내구성을 보였다(도 6의 (e) 참조).
- [0167] 또한, 나노크랙을 구비한 77% CdSe 나노입자 박막의 경우, 센서의 주파수 안정성도 발견되었다. 0.006 ~ 10 Hz의 고속 스위칭의 주파수 범위에서도 신뢰성 있는 응답을 보였다. 다양한 속도로 스트레인이 적용되고 제거될 때에, 본 나노입자 박막은 히스테리시스를 무시할 수 있을 정도로 매우 안정된 응답을 나타낸다(도 6의 (f) 참조). 이러한 결과는 센서가 긴 작업 수명과 높은 안정성 및 고민감도를 가지고 있어서, 2%의 예비 스트레인이 적용된 후에 추가적인 크랙이 발생하지 않음을 나타낸다. 나노크랙을 형성하기 위해서는 외부 에너지가 필요하고, 추가 크랙이 발생하기 위해서는 예비 스트레인보다 높은 스트레인이 가해져야 한다. 따라서, 본 발명에 따른 센서는 2%의 예비 스트레인 범위에서는 안정적으로 동작을 할 수 있다.
- [0169] 나노입자 박막의 전하 수송 거동을 조사하기 위해서, EDT로 처리된 순수한 금속 나노입자, 45%, 및 77% CdSe 나노입자 하이브리드 박막에 대해, 85K에서부터 실온까지 온도(T)를 상승시키면서, 온도 가변 전기 측정을 수행하였다(도 7의 (a)).
- [0170] EDT 처리된 순수 금속 나노입자, 45%, 및 77% CdSe 나노입자 하이브리드 박막은 온도가 상승함에 따라, 상기 [수학식 2]에서 예상되는 바와 같이, 열 활성화 호핑 메커니즘(thermally activated hopping mechanism)에 따라, 저항이 감소하였다. [수학식 2]의 아레니우스 플롯(Arrhenius plots) 기울기로부터, 활성화 에너지(Ea)가 추출되는데(도 7의 (b)), EDT 처리된 순수 금속 나노입자, 45%, 및 77% CdSe 나노입자 하이브리드 박막의 Ea는 각각 8.1 ± 1.3 , 11.6 ± 1.5 , and 13.7 ± 2.2 meV로 나타났다.
- [0171] CdSe 나노입자의 농도가 증가함에 따라, Ea가 증가하는데, 이는 CdSe 나노입자가 도입됨에 따라 효과적인 전하 수송이 방해된다는 것을 나타낸다. Ea 값의 증가는 게이지 팩터 향상과 직접적인 연관이 없다. 나노크랙을 구비하는 나노입자 박막의 Ea도 유사한 값을 보이는데, 이 또한 Ea가 민감도 향상의 원인이 아님을 나타낸다. 하이브리드 나노입자 박막에서 Ea 값의 증가는 단분산(monodisperse) 나노입자 박막의 활성화 에너지를 제어하는 쿨롱 에너지(Coulomb energy, 중성 나노입자에서 다른 중성 나노입자로 전자를 이동시키는 데 필요한 에너지)의 변화 때문이다. 쿨롱 에너지는 가장 인접한 나노입자의 수에 의해 영향을 받는다. 쿨롱 에너지에 대한 자세한 조사결과, 금 나노입자 주위에 가장 유효하게 근접한 금 나노입자의 수는, 45%, 및 77%의 CdSe 나노입자 하이브리드 박막에서, 각각 8.1과 6.8이었다. 이는 CdSe 나노입자에 의해 둘러싸인 금 나노입자 사슬이 퍼콜레이션 경로를 통한 전자 수송을 가능하게 함을 나타낸다.
- [0173] 평가예 7: 나노크랙의 구조적 특성 평가
- [0174] 도 7의 (c)는 스트레인이 가해지지 않은 경우 나노크랙을 구비하는 77% CdSe 나노입자 박막의 SEM 이미지, (d)

는 1%의 스트레인이 가해진 경우 나노크랙을 구비하는 77% CdSe 나노입자 박막의 SEM 이미지이다.

- [0175] 퍼콜레이션 경로 이외에, 전하 수송에서의 나노크랙의 영향을 분석하고자, 스트레인이 적용될 때, 나노크랙의 구조적 변화 및 형태를 SEM을 사용하여 관찰하였다(도 7의 (c), 및 (d)). 금-CdSe 나노입자 하이브리드 박막의 나노크랙은 매우 얇고 단속적이다. 여기서, 전하 캐리어(charge carrier)는 얇은 나노크랙을 통해(도 7의 (c)의 화살표), 어느 하나의 결정(grain)에서 다른 결정으로 터널링할 수 있다.
- [0176] 스트레인 하에서의 나노크랙의 형태 변화를 관찰하기 위해서, 1%의 스트레인을 적용하였다.(도 7의 (d)). 스트레인 적용 하에서, 나노크랙의 틈새(gap) 사이즈는 100 nm까지 증가하는데, 이때 캐리어가 더 이상 크랙을 통과하지 못하므로(도 7의 (d)의 "X" 표시), 전류가 감소하게 된다.
- [0178] 퍼콜레이션 이론은 일반적으로 전도성 또는 금속성 성분과 절연성 성분이 혼합된 구조에서 전하 수송을 연구하는 데 사용된다. 퍼콜레이션 이론에 따르면, 금속성 성분(절연성 성분)의 비율이 퍼콜레이션 문턱값보다 낮으면(높으면) 전기 저항이 거의 제로(zero)가 되고, 금속성 성분의 비율이 증가할수록, 전도성 구성요소들로 구성된 클러스터(cluster)의 크기가 증가한다. 퍼콜레이션 문턱값 이상에서, 2개의 외부 전극을 연결하는 무한 클러스터가 나타나고 성장하여, 전도 경로를 생성하게 된다.
- [0179] 도 8은 나노크랙을 구비하는 77% CdSe 나노입자 박막의 CdSe 나노입자의 농도에 따른 비저항 및 게이지 팩터를 나타내는 그래프로서, 상기 현상은 도 8에서 정확히 볼 수 있다. CdSe 나노입자 농도가 77% 이상에서 퍼콜레이션 금속-절연체 전이가 일어날 때에, 비저항의 급격한 증가가 나타난다. 하이브리드 나노입자 스트레인 센서의 게이지 팩터는 CdSe 나노입자 함유량이 증가함에 따라 증가하여, CdSe 나노입자 함량에 따른 저항성 거동과 유사한 태양을 보인다.
- [0181] 실시예 3: 스트레인 게이지 센서 제작
- [0182] 77% CdSe 나노입자 하이브리드 박막이 가장 높은 민감도를 보이므로, 이를 감지부의 구성요소로 사용하고, 무리간드로 처리된 은(Ag) 나노입자 박막은 전도성 및 기계적 안정성이 높고 게이지 팩터가 낮기 때문에 전극부로 사용하였다.
- [0183] 보다 구체적으로, 포토리소그래피 공정을 통해, PET 기판 위에 은 나노입자 박막을 패터닝하고, TABA(tetra-n-butylammonium bromide)를 사용하여 리간드를 치환함으로써 전도성 전극부 형성하였다.
- [0184] TABA로 처리된 은 나노입자 박막은 $7.8 \times 10^{-4} \pm 2.8 \times 10^{-5} \Omega \text{cm}$ 의 낮은 비저항을 가지고, 2%의 예비 스트레인을 가한 후에도 넓은 스트레인 범위에서 1.8 ± 0.5 의 낮은 게이지 팩터를 갖는다.
- [0185] 금-CdSe 나노입자 하이브리드 박막도 포토리소그래피 공정에 의해 패터닝되고, EDT로 리간드 치환된다. 전술한 바와 같이, 금-CdSe 하이브리드 박막 증착 및 리간드 치환은 퍼콜레이션 경로를 형성하기 위해서 여러 번 반복된다. 여기서, 금-CdSe 나노입자의 리간드 치환을 위해 탈이온수를 EDT 리간드 치환 용액의 용매로 사용하였다. 이러한 리간드 치환 용액에 의해 리간드 치환된 금-CdSe 나노입자 하이브리드 박막의 리간드는 아세토니트릴 용매를 이용하여 치환된 리간드와 비교하여, 2% 예비 스트레인을 적용한 후에도 동일한 전기 및 전기 기계적 특성을 보인다.
- [0187] 평가예 8: 스트레인 게이지 센서의 기능 평가
- [0188] 도 9의 (a)는 본 발명에 따른 스트레인 게이지 센서의 손가락 굽힘 동작에 따른 응답 특성을, (b)는 맥박 인식 특성을, (c)는 음성 인식 특성을 각각 나타내는 그래프이다.
- [0189] 실시예 3에 따라 제조된 스트레인 게이지 센서의 기능을 검증하기 위해서, 인간의 손가락의 3개의 관절과, 각각의 관절과 관절 사이에 센서를 배치하여 손가락 굽힘 동작에 따른 감지부의 변화를 관찰하였다(도 9의 (a)). 손가락 관절이 움직일 때에, 손가락 관절에 배치된 감지부는 관절 움직임에 따라 저항 변화를 보였지만, 관절과 관절 사이에 배치된 감지부에서는 무시할 수 있을 정도의 저항 변화를 보였다. 그 결과는 스트레인 게이지 센서의 선택적인 스트레인 감지 능력을 입증한다.
- [0190] 또한, 스트레인 게이지 센서는 빠른 응답 시간을 갖기 때문에, 맥박(pulse), 음성 인식에 사용될 수 있다. 도 5의 (b)에서는 센서를 실시간 맥박 모니터링에 사용하였다. 우측 삽입 그림에서 보듯이, 본 발명에 따른 센서로 충격파(percussion wave, P), 타이들 웨이브(tidal wave, T), 이완기파(diastolic wave, D)가 측정되었다.
- [0191] 다음으로, 본 발명에 따른 스트레인 게이지 센서를 목(neck)에 배치하여, 말하는 동안 미세한 피부 움직임을 포

착하여 음성을 인식할 수 있었다(도 9의 (e) 참조).

[0193] 이상 본 발명을 구체적인 실시 예를 통하여 상세히 설명하였으나, 이는 본 발명을 구체적으로 설명하기 위한 것으로, 본 발명은 이에 한정되지 않으며, 본 발명의 기술적 사상 내에서 당 분야의 통상의 지식을 가진 자에 의해 그 변형이나 개량이 가능함이 명백하다.

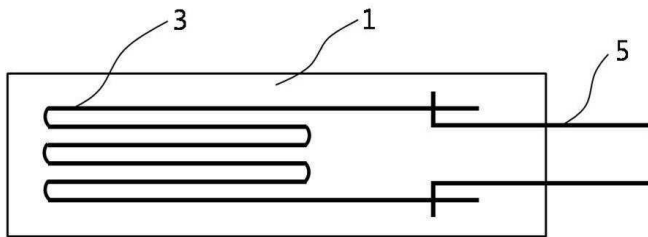
[0195] 본 발명의 단순한 변형 내지 변경은 모두 본 발명의 영역에 속한 것으로 본 발명의 구체적인 보호 범위는 첨부된 특허청구범위에 의하여 명확해질 것이다.

부호의 설명

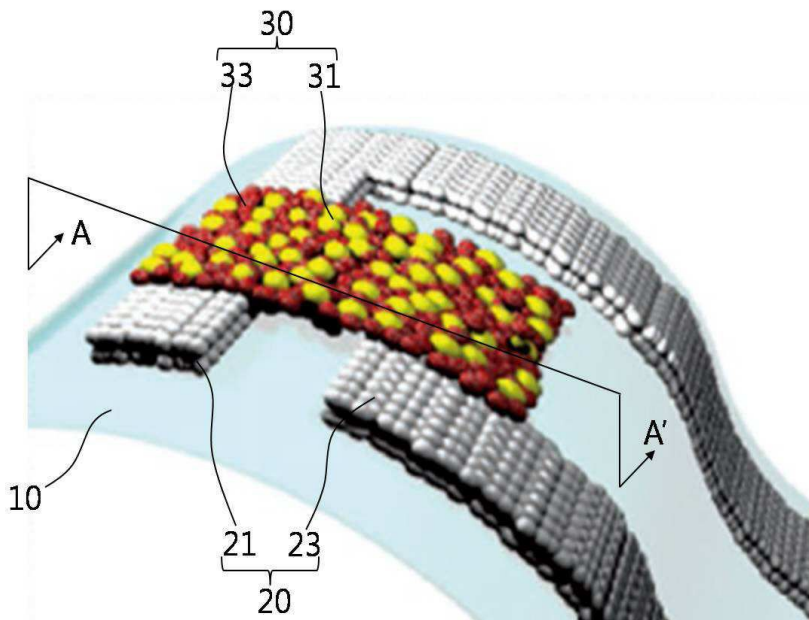
[0197]	10: 기판	20: 전극부
	21: 제1 전극	23: 제2 전극
	30: 감지부	31: 전도성 나노입자
	33: 절연성 나노입자	35: 나노크랙

도면

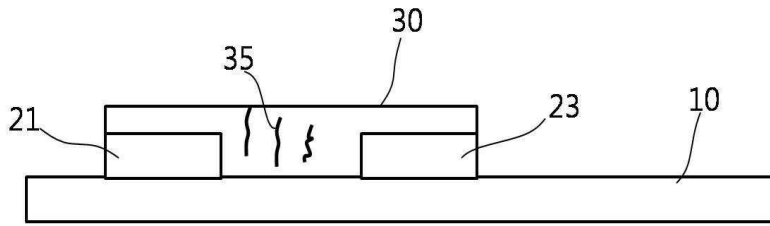
도면1



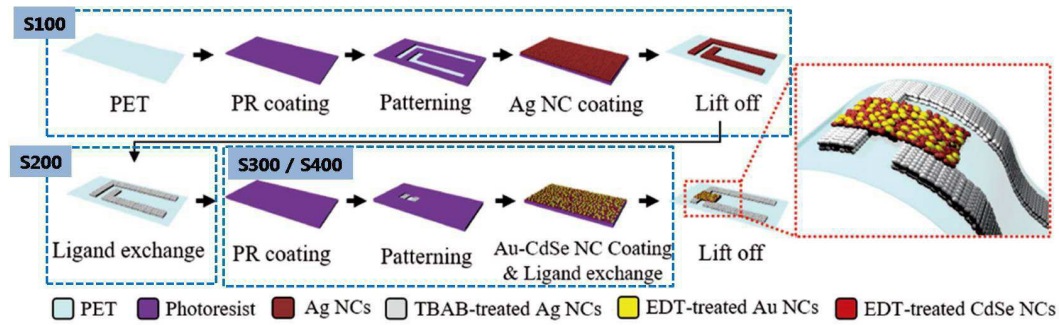
도면2



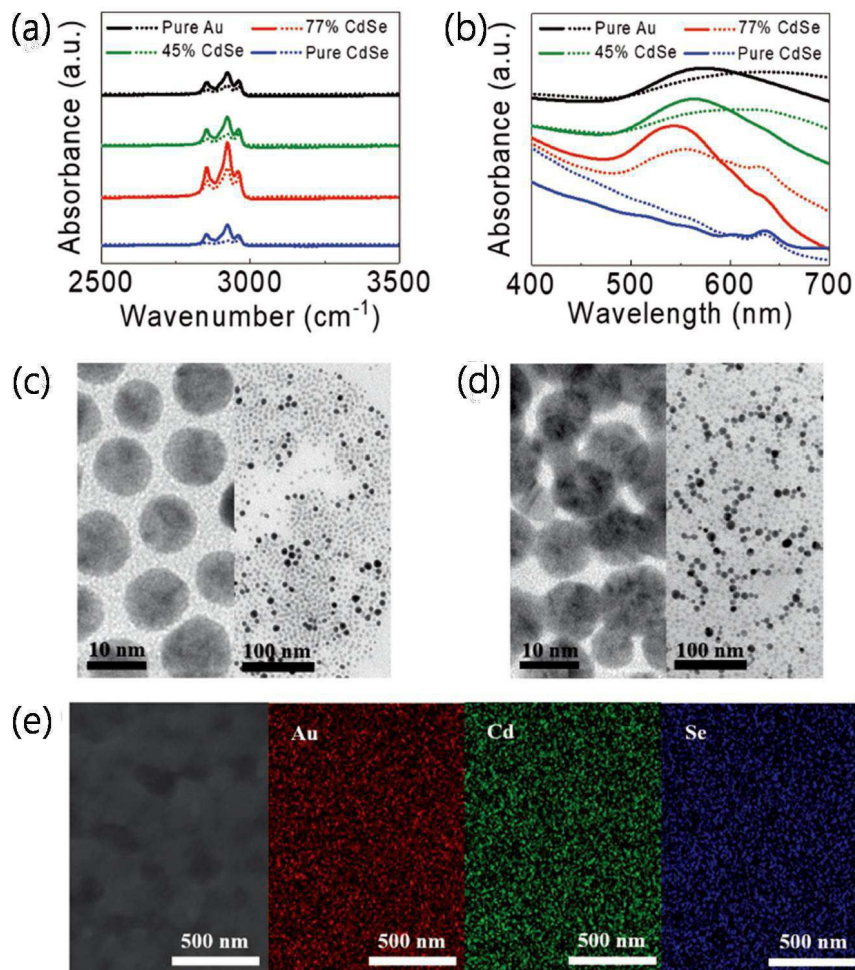
도면3



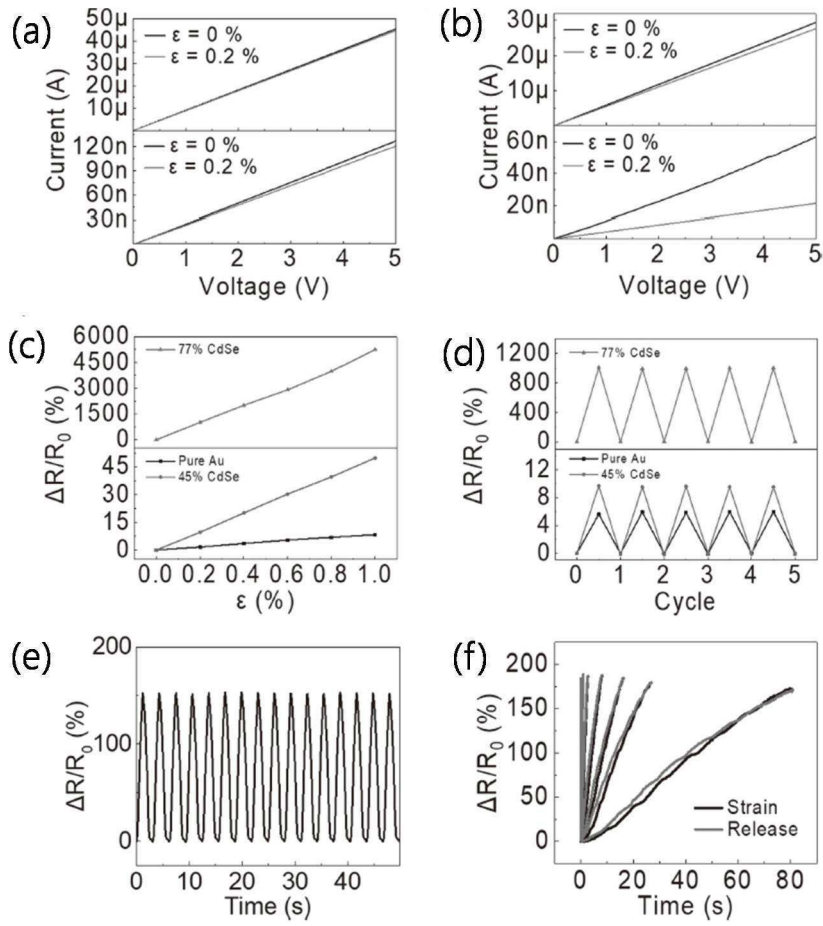
도면4



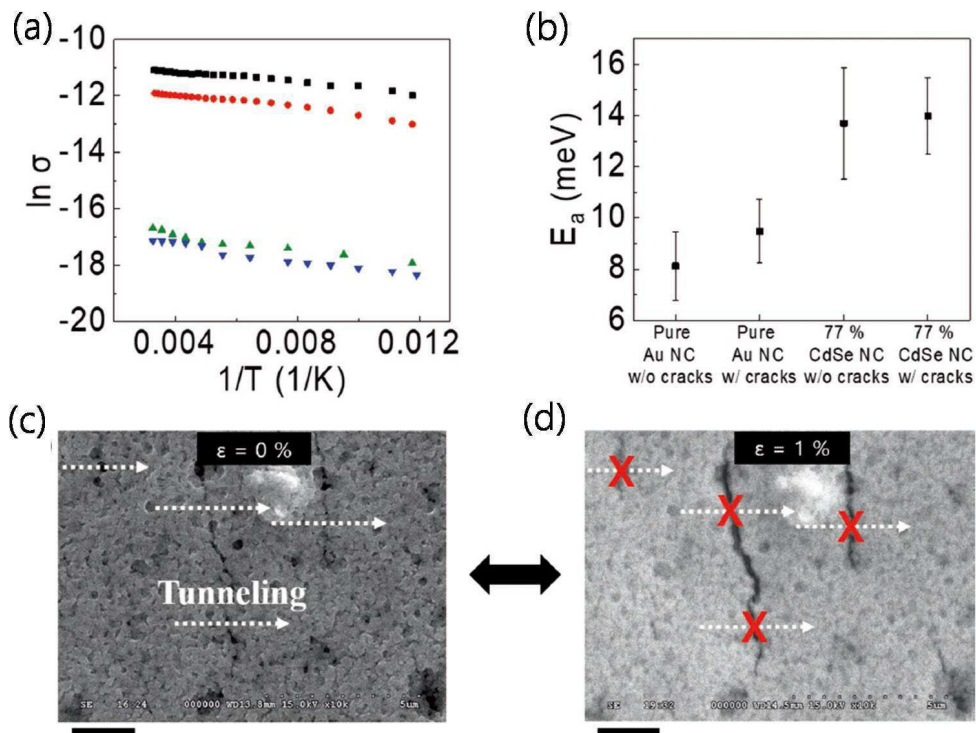
도면5



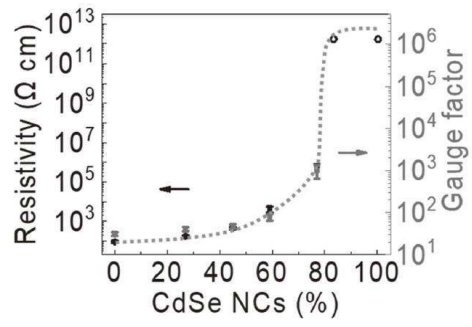
도면6



도면7



도면8



도면9

