(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2019-0054747
(43) 공개일자 2019년05월22일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01K 7/18 (2006.01) *G01D 5/16* (2006.01)
G01K 7/20 (2006.01) *G06F 17/10* (2006.01)
(52) CPC특허분류
G01K 7/186 (2013.01)
G01D 5/16 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2017-0151673
(22) 출원일자 2017년11월14일
심사청구일자 2017년11월14일

(71) 출원인
고려대학교 산학협력단
서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)
(72) 발명자
오승주
서울특별시 중구 청구로 64, 113동 104호
조형목
서울특별시 영등포구 여의나루로 126, 1동 312호
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
정은열

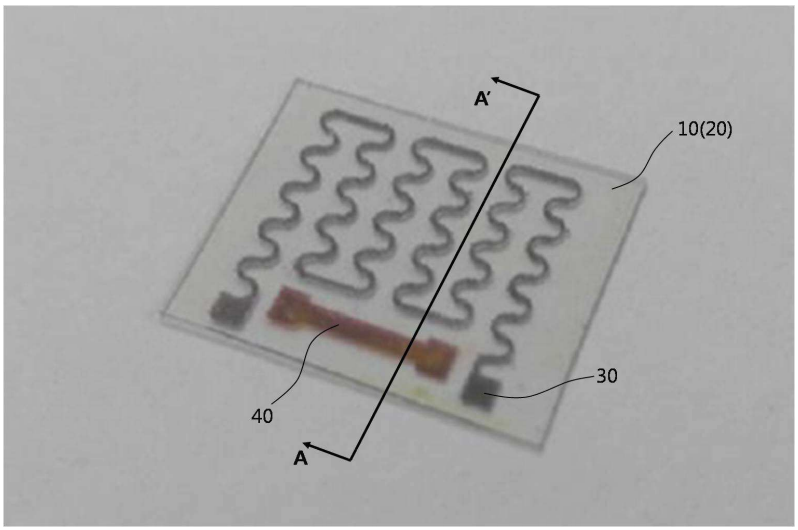
전체 청구항 수 : 총 11 항

(54) 발명의 명칭 **온도센서 및 그 제조방법**

(57) 요 약

본 발명은 온도센서 및 그 제조방법에 관한 것으로, 본 발명에 따른 온도센서는 온도측정 대상물에 접촉되는 유연한 하부기판(10), 상기 하부기판(10)과 밀착 결합되는 유연한 상부기판(20), 표면 리간드가 무기 리간드로 교환된 제1 은 나노입자(31)를 포함하고, 박막 형태로, 하부기판(10)과 상부기판(20) 사이에 배치되며, 대상물의 온도에 의해 전기저항이 변하는 제1 감지층(30), 및 표면 리간드가 유기 리간드로 교환된 제2 은 나노입자(41)를 포함하고, 박막 형태로, 하부기판(10)과 상부기판(20) 사이에, 제1 감지층(30)과 이격되어 배치되며, 대상물의 온도에 의해 전기저항이 변하는 제2 감지층(40)을 포함하여, 제1 감지층(30) 및 제2 감지층(40)의 전기저항 변화를 측정하여 상기 대상물의 온도를 감지한다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류
G01K 7/20 (2013.01)
G06F 17/10 (2013.01)
(72) 발명자
이승욱
서울특별시 동대문구 무학로49길 58, 502호
성민기
대구광역시 북구 중앙대로118길 9, 301호
이우석
서울특별시 용산구 이촌로71길 10, 212동 603호

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 2016006534
부처명 미래창조과학부
연구관리전문기관 한국연구재단
연구사업명 개인연구원(신진연구지원사업)
연구과제명 자기조립 기반 나노결정 초격자를 이용한 신축성 반도체 나노소재 개발
기 여 율 1/1
주관기관 고려대학교 산학협력단
연구기간 2016.06.01 ~ 2017.05.31

명 세 서

청구범위

청구항 1

온도측정 대상물에 접촉되는 유연한 하부기판;

상기 하부기판과 밀착 결합되는 유연한 상부기판;

표면 리간드가 무기 리간드로 교환된 제1 은 나노입자를 포함하고, 박막 형태로, 상기 하부기판과 상기 상부기판 사이에 배치되며, 상기 대상물의 온도에 의해 전기저항이 변하는 제1 감지층; 및

표면 리간드가 유기 리간드로 교환된 제2 은 나노입자를 포함하고, 박막 형태로, 상기 하부기판과 상기 상부기판 사이에, 상기 제1 감지층과 이격되어 배치되며, 상기 대상물의 온도에 의해 전기저항이 변하는 제2 감지층;

을 포함하여, 상기 제1 감지층 및 상기 제2 감지층의 전기저항 변화를 측정하여 상기 대상물의 온도를 감지하는 온도센서.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 무기 리간드는

NH_4Cl, tetra-n-butyl ammonium bromide (TBAB), 및 NH_4SCN으로 구성된 군에서부터 선택되는 적어도 하나 이상을 포함하는 온도센서.

청구항 3

청구항 1에 있어서,

상기 유기 리간드는

3-mercaptopropionic acid (MPA), 및 1,2-ethanedithiol (EDT)으로 구성된 군으로부터 선택되는 적어도 하나 이상을 포함하는 온도센서.

청구항 4

청구항 1에 있어서,

상기 제1 감지층은 지그재그 형태로 배치되되, 일단과 타단이 서로 이격되어 마주보도록 배치되고,

상기 제2 감지층은 상기 제1 감지층의 일단과 타탄 사이에 배치되는 온도센서.

청구항 5

청구항 1에 있어서,

상기 하부기판과 상기 상부기판 사이에 중성역학층 (Neutral Mechanical Plane, NMP)이 형성되는 온도센서.

청구항 6

청구항 5에 있어서,

상기 하부기판에 스트레인 (strain)이 가해질 때에, 하기 [수학식 1], 및 하기 [수학식 2]를 연립하여, 상기 대상물의 온도를 감지하는 온도센서.

[수학식 1]

$$\frac{\Delta R_1}{R_{01}} = \alpha\Delta T + G_1\varepsilon$$

,

[수학식 2]

$$\frac{\Delta R_2}{R_{02}} = e\left(\frac{E_a}{K_B}\Delta\left(\frac{1}{T}\right)\right)^{e^{(G_2\varepsilon)}} - 1$$

(여기서, R_{01}는 제1 감지층의 기준저항값, ΔR_1은 제1 감지층의 저항변화값, α는 제1 감지층의 저항온도계수 (temperature coefficient of resistance, TCR), G_1은 제1 감지층의 게이지 팩터값, R_{02}는 제2 감지층의 기준저항값, ΔR_2는 제2 감지층의 저항변화값, K_B는 볼츠만 상수 (Boltzmann constant), Ea는 열 유도 호핑 활성화 에너지값(activation energy for thermally induced hopping), G_2는 제2 감지층의 게이지 팩터값, ΔT는 대상물의 온도변화값, ε은 스트레인값)

청구항 7

청구항 1에 있어서,

상기 하부기판과 상기 상부기판의 두께 비가 1:40 ~ 1:45로 형성되어, 상기 대상물의 스트레인 (strain) 및 상기 대상물의 온도를 동시에 측정하는 온도센서.

청구항 8

청구항 7에 있어서,

하기 [수학식 1]에 의한 제1 플롯, 및 하기 [수학식 2]에 의한 제2 플롯을 생성하고, 상기 제1 플롯과 상기 제2 플롯의 교점에서 상기 대상물의 스트레인, 및 상기 대상물의 온도가 정해지는 온도센서.

[수학식 1]

$$\frac{\Delta R_1}{R_{01}} = \alpha\Delta T + G_1\varepsilon$$

,

[수학식 2]

$$\frac{\Delta R_2}{R_{02}} = e\left(\frac{E_a}{K_B}\Delta\left(\frac{1}{T}\right)\right)^{e^{(G_2\varepsilon)}} - 1$$

(여기서, R_{01}는 제1 감지층의 기준저항값, ΔR_1은 제1 감지층의 저항변화값, α는 제1 감지층의 저항온도계수 (temperature coefficient of resistance, TCR), G_1은 제1 감지층의 게이지 팩터값, R_{02}는 제2 감지층의 기준저항값, ΔR_2는 제2 감지층의 저항변화값, K_B는 볼츠만 상수 (Boltzmann constant), Ea는 열 유도 호핑 활성화 에너지값(activation energy for thermally induced hopping), G_2는 제2 감지층의 게이지 팩터값, ΔT는 대상물의 온도변화값, ε은 스트레인값)

청구항 9

(a) 하부기판 상에 포토레지스트를 도포한 후에, 박막 형태의 제1 감지층 및 제2 감지층에 대응되는 패턴으로 노광하고 현상하는 단계;

(b) 상기 패턴에 은 나노입자를 코팅하여, 은 나노입자 박막을 형성하는 단계;

(c) 상기 포토레지스트를 리프트 오프 (lift off) 하는 단계;

(d) 상기 제1 감지층에 대응되는 패턴에 코팅된 제1 은 나노입자 박막을 무기 리간드 교환 용액에 담지하여 상기 제1 감지층을 형성하고, 상기 제2 감지층에 대응되는 패턴에 코팅된 제2 은 나노입자 박막을 유기 리간드 교환 용액에 담지하여 상기 제2 감지층을 형성하는 단계; 및

(e) 상기 제1 감지층, 및 상기 제2 감지층이 커버되도록, 상기 하부기판 상에 상부기판을 형성하는 단계;

를 포함하는 온도센서 제조방법.

청구항 10

(a) 하부기판 상에 제1 포토레지스트를 도포한 후에, 박막 형태의 제1 감지층에 대응되는 제1 패턴으로 노광하고 현상하는 단계;

(b) 상기 제1 패턴에 은 나노입자를 코팅하여, 제1 은 나노입자 박막을 형성하는 단계;

(c) 상기 제1 포토레지스트를 리프트 오프 (lift off) 하는 단계;

(d) 상기 제1 은 나노입자 박막을 무기 리간드 교환 용액에 담지하여, 상기 제1 감지층을 형성하는 단계;

(e) 상기 하부기판 상에 제2 포토레지스트를 도포한 후에, 박막 형태의 제2 감지층에 대응되는 제2 패턴으로 노광하고 현상하는 단계;

(f) 상기 제2 패턴에 은 나노입자를 코팅하여, 제2 은 나노입자 박막을 형성하는 단계;

(g) 상기 제2 포토레지스트를 리프트 오프하는 단계;

(h) 상기 제2 나노입자 박막을 유기 리간드 교환 용액에 담지하여, 상기 제2 감지층을 형성하는 단계; 및

(i) 상기 제1 감지층, 및 상기 제2 감지층이 커버되도록, 상기 하부기판 상에 상부기판을 형성하는 단계;

를 포함하는 온도센서 제조방법.

청구항 11

청구항 9 또는 청구항 10에 있어서,

상기 (a) 단계 이전에, 유리기판 상에 PDMS (Polydimethylsiloxane) 필름을 배치하고, 상기 PDMS 필름 상에 상기 하부기판을 배치하는 단계; 및

상기 상부기판을 형성한 후에, 상기 유리기판 및 상기 PDMS 필름을 제거하는 단계;

를 더 포함하는 온도센서 제조방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 온도센서 및 그 제조방법에 관한 것으로, 보다 상세하게는 용액공정 및 은 나노입자 기반의 유연하고 착용가능한 (flexible and wearable) 온도센서 및 그 제조방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0003] 건강 모니터링, 환경관리, 화학물질 취급, 질병 진단 등 다양한 산업 분야에서 온도 측정이 필요하다. 실제 온도와 측정된 온도 사이의 편차는 건강에 대한 정보 왜곡, 질병 오진 등과 같은 결과를 야기하므로 온도의 정확한 측정이 매우 중요하다. 온도를 정확히 측정하기 위한 센서로서는 하기 선행기술의 특허문헌(실용신안공보)에 개시된 바와 같이, RTD (Resistance Temperature Detector)가 있다. 물질은 온도변화에 따라 저항의 변화를 보이는데, RTD는 이러한 성질을 이용한 온도센서이다. RTD는 주로 백금 등의 귀금속을 사용하여, 저항변화로서 온도를 측정한다.

[0004] 정밀하게 온도를 측정하기 위해서는 온도측정 대상물의 표면에 온도센서를 직접 접촉해야 한다. 그러나 그 대상물의 표면이 평평하지 않고 곡면인 경우, 리지드 (rigid) 온도센서를 사용해서는 정확한 온도측정이 어려운바, 최근에는 유연하고 착용가능한 (flexible and wearable) 온도센서의 중요성이 강조되고 있다. 그러나 종래 웨어러블 온도센서의 경우, 외부 자극 및 대상물의 표면 형태에 취약한 단점이 있다. 따라서, 센서에 가해지는 스트레인 (strain)으로 인해 저항변화가 야기되고, 이로 인해 정확한 온도 측정이 곤란하다. 또한, 제조시에, 소재로서 백금 등을 사용하고, 고진공이나 복잡한 공정을 거치며 고가의 장비를 활용하므로 제조비용이 높다. 나아가, 고온 조건이 요구되어 200 ℃ 이상의 온도에서 손상되는 폴리에틸렌테레프탈레이트(PET), 폴리에틸렌나프탈레이트 등과 같은 가용성 기판의 사용에도 제한이 있다.

[0005] 이에 종래 웨어러블 온도센서의 문제점을 해결하기 위한 방안이 절실히 요구되고 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0007] (특허문헌 0001) KR 1993-0004428 Y1

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 본 발명은 상술한 종래기술의 문제점을 해결하기 위한 것으로, 본 발명의 일 측면은 무기 및 유기 리간드로 각각 처리한 은 나노입자 박막으로 서로 다른 감지층을 형성하고, 그 감지층을 중성역학층 (Neutral Mechanical Plane, NMP) 내에 배치함으로써, 스트레인 (strain) 효과를 상쇄하여 정확하게 온도를 측정하고, 나아가 온도와 함께 스트레인을 동시에 측정할 수 있는 온도센서를 제공하고자 하는 것이다.

[0010] 또한, 본 발명의 다른 측면은 은 나노입자의 합성부터 리간드 교환 등 모든 공정이 상압, 저온의 용액공정을 통해 이루어지는 온도센서 제조방법을 제공하는데 있다.

과제의 해결 수단

[0012] 본 발명에 따른 온도센서는 온도측정 대상물에 접촉되는 유연한 하부기판; 상기 하부기판과 밀착 결합되는 유연한 상부기판; 표면 리간드가 무기 리간드로 교환된 제1 은 나노입자를 포함하고, 박막 형태로, 상기 하부기판과 상기 상부기판 사이에 배치되며, 상기 대상물의 온도에 의해 전기저항이 변하는 제1 감지층; 및 표면 리간드가 유기 리간드로 교환된 제2 은 나노입자를 포함하고, 박막 형태로, 상기 하부기판과 상기 상부기판 사이에, 상기 제1 감지층과 이격되어 배치되며, 상기 대상물의 온도에 의해 전기저항이 변하는 제2 감지층;을 포함하여, 상기 제1 감지층 및 상기 제2 감지층의 전기저항 변화를 측정하여 상기 대상물의 온도를 감지한다.

[0013] 또한, 본 발명에 따른 온도센서에 있어서, 상기 무기 리간드는 NH_4Cl, tetra-n-butyl ammonium bromide (TBAB), 및 NH_4SCN으로 구성된 군에서부터 선택되는 적어도 하나 이상을 포함한다.

[0014] 또한, 본 발명에 따른 온도센서에 있어서, 상기 유기 리간드는 3-mercaptopropionic acid (MPA), 및 1,2-ethanedithiol (EDT)으로 구성된 군으로부터 선택되는 적어도 하나 이상을 포함한다.

[0015] 또한, 본 발명에 따른 온도센서에 있어서, 상기 제1 감지층은 지그재그 형태로 배치되되, 일단과 타단이 서로 이격되어 마주보도록 배치되고, 상기 제2 감지층은 상기 제1 감지층의 일단과 타탄 사이에 배치된다.

[0016] 또한, 본 발명에 따른 온도센서에 있어서, 상기 하부기판과 상기 상부기판 사이에 중성역학층 (Neutral Mechanical Plane, NMP)이 형성된다.

[0017] 또한, 본 발명에 따른 온도센서에 있어서, 상기 하부기판에 스트레인 (strain)이 가해질 때에, 하기 [수학식 1], 및 하기 [수학식 2]를 연립하여, 상기 대상물의 온도를 감지한다.

[0018] [수학식 1]

[0019] $$\frac{\Delta R_1}{R_{01}} = \alpha\Delta T + G_1\varepsilon$$,

[0020] [수학식 2]

[0021] $$\frac{\Delta R_2}{R_{02}} = e\left(\frac{E_a}{K_B}\Delta\left(\frac{1}{T}\right)\right)e^{(G_2\varepsilon)} - 1$$

[0022] (여기서, R_{01}는 제1 감지층의 기준저항값, ΔR_1은 제1 감지층의 저항변화값, α는 제1 감지층의 저항온도계수 (temperature coefficient of resistance, TCR), G_1은 제1 감지층의 게이지 팩터값, R_{02}는 제2 감지층의 기준저항값, ΔR_2는 제2 감지층의 저항변화값, K_B는 볼츠만 상수 (Boltzmann constant), Ea는 열 유도 호핑 활성화 에너지값(activation energy for thermally induced hopping), G_2는 제2 감지층의 게이지 팩터값, ΔT는 대상물의 온도변화값, ε은 스트레인값)

[0023] 또한, 본 발명에 따른 온도센서에 있어서, 상기 하부기판과 상기 상부기판의 두께 비가 1:40 ~ 1:45로 형성되어, 상기 대상물의 스트레인 (strain) 및 상기 대상물의 온도를 동시에 측정한다.

[0024] 또한, 본 발명에 따른 온도센서에 있어서, 하기 [수학식 1]에 의한 제1 플롯, 및 하기 [수학식 2]에 의한 제2 플롯을 생성하고, 상기 제1 플롯과 상기 제2 플롯의 교점에서 상기 대상물의 스트레인, 및 상기 대상물의 온도가 정해진다.

[0025] [수학식 1]

[0026] $$\frac{\Delta R_1}{R_{01}} = \alpha\Delta T + G_1\varepsilon$$,

[0027] [수학식 2]

[0028] $$\frac{\Delta R_2}{R_{02}} = e\left(\frac{E_a}{K_B}\Delta\left(\frac{1}{T}\right)\right)e^{(G_2\varepsilon)} - 1$$

[0029] (여기서, R_{01}는 제1 감지층의 기준저항값, ΔR_1은 제1 감지층의 저항변화값, α는 제1 감지층의 저항온도계수 (temperature coefficient of resistance, TCR), G_1은 제1 감지층의 게이지 팩터값, R_{02}는 제2 감지층의 기준저항값, ΔR_2는 제2 감지층의 저항변화값, K_B는 볼츠만 상수 (Boltzmann constant), Ea는 열 유도 호핑 활성화 에너지값(activation energy for thermally induced hopping), G_2는 제2 감지층의 게이지 팩터값, ΔT는 대상물의 온도변화값, ε은 스트레인값)

[0030] 한편, 본 발명에 따른 온도센서 제조방법은 (a) 하부기판 상에 포토레지스트를 도포한 후에, 박막 형태의 제1 감지층 및 제2 감지층에 대응되는 패턴으로 노광하고 현상하는 단계; (b) 상기 패턴에 은 나노입자를 코팅하여, 은 나노입자 박막을 형성하는 단계; (c) 상기 포토레지스트를 리프트 오프 (lift off) 하는 단계; (d) 상기 제1 감지층에 대응되는 패턴에 코팅된 제1 은 나노입자 박막을 무기 리간드 교환 용액에 담지하여 상기 제1 감지층을 형성하고, 상기 제2 감지층에 대응되는 패턴에 코팅된 제2 은 나노입자 박막을 유기 리간드 교환 용액에 담지하여 상기 제2 감지층을 형성하는 단계; 및 (e) 상기 제1 감지층, 및 상기 제2 감지층이 커버되도록, 상기 하

부기판 상에 상부기판을 형성하는 단계;를 포함한다.

[0031] 또한, 본 발명에 다른 온도센서 제조방법은 (a) 하부기판 상에 제1 포토레지스트를 도포한 후에, 박막 형태의 제1 감지층에 대응되는 제1 패턴으로 노광하고 현상하는 단계; (b) 상기 제1 패턴에 은 나노입자를 코팅하여, 제1 은 나노입자 박막을 형성하는 단계; (c) 상기 제1 포토레지스트를 리프트 오프 (lift off) 하는 단계; (d) 상기 제1 은 나노입자 박막을 무기 리간드 교환 용액에 담지하여, 상기 제1 감지층을 형성하는 단계; (e) 상기 하부기판 상에 제2 포토레지스트를 도포한 후에, 박막 형태의 제2 감지층에 대응되는 제2 패턴으로 노광하고 현상하는 단계; (f) 상기 제2 패턴에 은 나노입자를 코팅하여, 제2 은 나노입자 박막을 형성하는 단계; (g) 상기 제2 포토레지스트를 리프트 오프하는 단계; (h) 상기 제2 나노입자 박막을 유기 리간드 교환 용액에 담지하여, 상기 제2 감지층을 형성하는 단계; 및 (i) 상기 제1 감지층, 및 상기 제2 감지층이 커버되도록, 상기 하부기판 상에 상부기판을 형성하는 단계;를 포함한다.

[0032] 또한, 본 발명에 따른 온도센서 제조방법에 있어서, 상기 (a) 단계 이전에, 유리기판 상에 PDMS (Polydimethylsiloxane) 필름을 배치하고, 상기 PDMS 필름 상에 상기 하부기판을 배치하는 단계; 및 상기 상부기판을 형성한 후에, 상기 유리기판 및 상기 PDMS 필름을 제거하는 단계;를 더 포함한다.

[0034] 본 발명의 특징 및 이점들은 첨부도면에 의거한 다음의 상세한 설명으로 더욱 명백해질 것이다.

[0036] 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

[0038] 본 발명에 따른 온도센서에 의하면, 무기 및 유기 리간드로 각각 처리한 은 나노입자 박막으로 서로 다른 감지층을 형성하여 그 감지층마다 온도에 따른 저항변화 특성 및 게이지 팩터를 서로 달리하고, 감지층을 하부기판과 상부기판 사이의 중성역학층 (Neutral Mechanical Plane, NMP) 내에 배치함으로써, 스트레인에 의한 저항변화 효과를 효과적으로 상쇄하여, 정밀하게 온도를 측정할 수 있다.

[0040] 또한, 상기 감지층을 서로 다른 두께의 하부기판과 상부기판 사이에 배치하여, 온도와 함께 스트레인을 측정할 수 있다.

[0042] 한편, 본 발명에 따른 온도센서 제조방법에 의하면, 은 나노입자의 합성부터 리간드 교환 등 모든 공정이 상압, 저온의 용액공정을 통해 이루어지므로, 제조비용을 절감할 수 있고, 고온 공정이 요구되지 않아서 열손상 없이 유연 기판에 센서 적용이 가능하다.

도면의 간단한 설명

[0044] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 온도센서의 사진이다.

도 2는 A-A' 라인에 따른 단면도이다.

도 3은 상부기판을 제거한 본 발명의 실시예에 따른 온도센서의 사시도이다.

도 4는 본 발명의 실시예에 따른 리간드 처리된 은 나노입자 박막의 온도에 따른 저항변화를 나타내는 그래프이다.

도 5는 본 발명의 실시예에 따른 리간드 처리된 은 나노입자 박막의 온도변화 사이클에 대한 저항변화를 나타내는 그래프이다.

도 6은 본 발명의 실시예에 따른 온도센서 제조방법의 공정도이다.

도 7은 본 발명의 실시예에 따른 온도센서에 의해 측정된 온도 및 스트레인 결과이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0045] 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.

[0047] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시형태를 상세히 설명하기로 한다.

[0049] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 온도센서의 사진이고, 도 2는 A-A' 라인에 따른 단면도이며, 도 3은 상부기판을 제거한 본 발명의 실시예에 따른 온도센서의 사시도이고, 도 4는 본 발명의 실시예에 따른 리간드 처리된 은 나노입자 박막의 온도에 따른 저항변화를 나타내는 그래프이며, 도 5는 본 발명의 실시예에 따른 리간드 처리된 은 나노입자 박막의 온도변화 사이클에 대한 저항변화를 나타내는 그래프이다.

[0050] 도 1 내지 도 3에 도시된 바와 같이, 본 발명에 따른 온도센서는 온도측정 대상물에 접촉되는 유연한 하부기판(10), 상기 하부기판(10)과 밀착 결합되는 유연한 상부기판(20), 표면 리간드가 무기 리간드로 교환된 제1 은 나노입자(31)를 포함하고, 박막 형태로, 하부기판(10)과 상부기판(20) 사이에 배치되며, 대상물의 온도에 의해 전기저항이 변하는 제1 감지층(30), 및 표면 리간드가 유기 리간드로 교환된 제2 은 나노입자(41)를 포함하고, 박막 형태로, 하부기판(10)과 상부기판(20) 사이에, 제1 감지층(30)과 이격되어 배치되며, 대상물의 온도에 의해 전기저항이 변하는 제2 감지층(40)을 포함하여, 제1 감지층(30) 및 제2 감지층(40)의 전기저항 변화를 측정하여 상기 대상물의 온도를 감지한다.

[0052] 본 발명에 따른 온도센서는 온도를 측정하고자 하는 대상물에 접촉하여 대상물의 온도를 측정하는 센서로서, 그 대상물의 표면이 곡면인 경우에도 그 곡면을 따라 휘어지면서 접촉할 수 있도록 유연한 플렉시블 (flexible) 센서이며, 인체에 착용될 수도 있는 웨어러블 (wearable) 센서에 관한 것이다. 종래 웨어러블 센서의 경우 온도에 따라 전기저항이 변하는 백금 등을 사용하였는데, 센서에 가해지는 스트레인 (strain)으로 인한 저항변화가 야기되어 정확한 온도측정이 불가능한바, 이에 대한 문제점을 해결하기 위한 방안으로서 본 발명에 따른 온도센서가 안출되었다.

[0053] 여기서, 온도측정 대상물은 그 외면이 평면 또는 곡면인 물체, 및 인간이나 동물 등을 포함하여, 온도를 측정하고자 하는 대상이면 특별한 제한이 없다.

[0055] 구체적으로, 본 발명에 따른 온도센서는 하부기판(10), 상부기판(20), 제1 감지층(30), 및 제2 감지층(40)을 포함한다.

[0056] 하부기판(10)은 온도측정 대상물에 접촉하는 기재이다. 여기서, 하부기판(10)은 대상물의 만곡된 표면에 접촉할 수 있도록 유연하고, 인체에 착용가능한 소재로 형성된다. 그 소재로서는 예를 들어, 폴리에테르술폰(PES), 폴리에틸렌테레프탈레이트(PET), 폴리카보네이트(PC), 폴리이미드(PI), 폴리에틸렌나프탈레이트(PEN) 등을 포함할 수 있다. 다만, 하부기판(10)의 소재가 반드시 상기 폴리머에 한정되는 것은 아니다. 한편, 하부기판(10)의 일면에는 상부기판(20)이 배치된다.

[0058] 상부기판(20)은 하부기판(10)과 밀착 결합되는 기재로서, 유연성을 가지므로, 상기 하부기판(10)과 동일한 소재로 이루어질 수 있다. 다만, 상부기판(20)의 소재가 반드시 하부기판(10)과 동일해야 하는 것은 아니고, 이와 다르더라도 무방하다. 여기서, 상부기판(20)은 하부기판(10)과 밀착되면서, 하부기판(10) 상에 배치되는 제1 감

지층(30) 및 제2 감지층(40)을 커버한다.

[0060] 제1 감지층(30)은 제1 은 나노입자(Ag nanoparticle, 31)가 박막 형태로, 하부기판(10) 상에 배치되어 형성된다. 은 나노입자는 금, 백금 등의 귀금속 나노입자에 비해 가격이 상대적으로 저렴하고, 전도성이 높기 때문에 센서물질로 적합하다. 은 나노입자는 질산은 ($AgNO_3$), 올레산 (Oleic acid), 올레일아민 (Oleylamine)을 혼합한 혼합용액을 탈기한 후, 실온 냉각하여 합성할 수 있다. 이러한 은 나노입자가 혼합된 용액을 하부기판(10)에 스핀코팅하여, 박막 형태의 제1 감지층(30)이 구현될 수 있다.

[0061] 한편, 합성된 은 나노입자 박막의 경우, 본래의 표면 리간드가 올레산 리간드와 같이 긴 리간드로 둘러싸여 있기 때문에, 그 자체로서는 전기적으로 절연성을 갖는다. 따라서, 제1 감지층(30)은 제1 은 나노입자 박막의 표면 리간드가 길이가 짧은 무기 리간드로 치환되어, 입자 간 거리가 감소함에 따라 전기 전도성이 향상되고 기계적 특성이 개선된다. 또한, 제1 감지층(30)은 대상물의 온도에 따라 전기저항이 선형적으로 변하는 특성을 가지며, 온도가 변했다가 처음 온도로 되돌아오면 전기저항도 초기 저항으로 회복된다.

[0062] 여기서, 제1 감지층(30)의 전하수송 거동은 금속수송 거동 (metallic transport behavior)으로서, 비저항이 매우 낮고, 저항온도계수 (temperature coefficient of resistance, TCR)는 양 (positive)의 값을 가진다. TCR이 높으면 외부 온도 변화에 대해 상대적으로 저항변화가 크다는 것을 의미하므로, 높은 TCR을 이용하여 센서의 민감도와 정밀도를 향상시킬 수 있다.

[0063] 한편, 리간드 교환에 사용되는 무기 리간드는 NH_4Cl, tetra-n-butyl ammonium bromide (TBAB), 및 NH_4SCN으로 구성된 군에서부터 선택되는 적어도 하나 이상을 포함할 수 있다. TBAB 및 NH_4Cl로 각각 처리된 은 나노입자 박막의 경우, 각각의 비저항은 $2.0 (\pm 0.78) \times 10^{-5}$, $3.2 (\pm 1.83) \times 10^{-5}$ Ω㎝이고, TCR 값은 1.34×10^{-3} K^{-1}, 1.03×10^{-3} K^{-1} 이다. TBAB로 리간드 교환된 은 나노입자 박막이 NH_4Cl로 리간드 교환된 은 나노입자 박막의 경우에 비해 상대적으로, 비저항이 낮고, TCR 값이 높기 때문에, 바람직하게는 TBAB를 사용하는 것이 적합하다. 다만, 그 무기 리간드의 종류가 반드시 상술한 리간드에 한정되어야 하는 것은 아니다.

[0064] 제1 감지층(30)은 온도 변화에 따라 전기저항이 변하지만, 플렉시블 및 웨어러블 센서에 적용되기 위해서는 주로 사람의 움직임으로 인한 스트레인 조건을 견딜 수 있어야 한다. 게이지 팩터 (gauge factor, G), 즉 기계적 스트레인에 대한 저항변화의 비(ratio)가 상대적으로 작은 물질일수록 스트레인에 영향을 덜 받는다. 무기 리간드로 치환된 제1 은 나노입자 박막의 경우, 낮은 게이지 팩터를 가지므로, 제1 감지층(30)은 내구성과 안정성이 우수하다. 일례로, TBAB 처리된 은 나노입자 박막에 대한 구겨짐 테스트 (crumple test)를 시행한 결과, 저항변화율이 3.15%에 불과했다. 따라서, 제1 감지층(30)에 대하여 반복적인 스트레인이 가해지더라도, 안정적인 회복이 가능하다. 또한, 고온의 온도변화 사이클에서도 제1 감지층(30)은 전기저항이 완전히 회복되는 특성을 보인다 (도 5의 (a) 참조).

[0065] 한편, 웨어러블 센서에 있어서, 사람의 움직임에 의해서 저항변화가 일어날 수 있다. 즉, 온도 이외에, 스트레인이 물질의 전기저항을 변화시키는 요인으로 작용할 수 있다. 따라서, 스트레인이 하부기판(10)을 통해 제1 감지층(30)에 가해지는 경우, 제1 감지층(30)에 저항변화가 나타날 수 있다. 이때, 제1 감지층(30)의 기준저항에 대한 저항변화는 하기 [수학식 1]에 의해 산출할 수 있다.

수학식 1

[0066] $$\frac{\Delta R_1}{R_{01}} = \alpha \Delta T + G_1 \varepsilon$$

[0067] 여기서, R_{01}는 제1 감지층(30)의 기준저항값, ΔR_1은 제1 감지층(30)의 저항변화값, α는 제1 감지층(30)의 TCR, G_1은 제1 감지층(30)의 게이지 팩터값, ΔT는 대상물의 온도변화값, ε은 스트레인값이다. 이때, ΔT는 대상물의 온도에서 기준온도를 뺀 값이다.

[0068] 상기 [수학식 1]에서 알 수 있듯이, 제1 감지층(30)의 전기저항은 온도 및 스트레인에 비례한다. 여기서, 스트레인이 가해지지 않는 경우 ($\varepsilon=0$), TCR 값이 양 (positive)이므로, 제1 감지층(30)의 전기저항은 온도에 비례

하여 선형적으로 증가하게 된다. 도 4의 (a)에서 TBAB 및 NH_4Cl로 각각 처리된 은 나노입자 박막이 온도변화에 따라 전기저항이 선형적으로 증가하는 것을 확인할 수 있다.

[0070] 한편, 제2 감지층(40)은 제2 은 나노입자 (Ag nanoparticle, 41)가 박막 형태로, 하부기판(10) 상에 배치되어 형성되는데, 이때 제2 은 나노입자 박막은 표면 리간드가 유기 리간드로 교환된 박막이다. 제2 감지층(40)은 제1 감지층(30)과 동일한 방식으로, 즉 합성된 은 나노입자가 혼합된 용액을 하부기판(10)에 스핀코팅함으로써, 박막 형태로 구현할 수 있다.

[0071] 다만, 제2 감지층(40)을 구성하는 제2 은 나노입자 박막은 유기 리간드로 교환된다. 유기 리간드는 무기 리간드에 비해 길이가 길기 때문에, 제2 감지층(40)은 제1 감지층(30)과 다른 특성을 나타낸다. 리간드 교환에 의해 제2 감지층(40)도 전기 전도성을 가지지만, 유기 리간드 처리로 인해 입자 간 거리가 제1 감지층(30)에 비해 상대적으로 길어져, 비저항이 제1 감지층(30)보다 크다.

[0072] 유기 리간드의 일례로는 3-mercaptopropionic acid (MPA), 1,2-ethanedithiol (EDT) 등을 들 수 있는데, MPA 및 EDT 각각으로 처리된 은 나노입자 박막의 경우, 그 비저항은 1.2 ± 0.7, 및 23.4 ± 5.0 Ωcm 이다. 다만, 제2 감지층(40)의 리간드 교환에 사용되는 유기 리간드는 MPA+EDT 하이브리드 리간드를 사용할 수도 있는데, 이에 대해서는 후술한다.

[0073] 제2 감지층(40)의 TCR은 음 (negative)의 값을 가진다. 또한, 제2 감지층(40)의 전하수송 거동은 호핑수송(hopping transport)에 의하는바, 온도가 증가함에 따라서 전기저항은 지수적으로 감수한다. 한편, 제2 감지층(40)에 스트레인이 가해지는 경우에도 입자 간 거리가 변하여 전기저항에 영향을 미치므로, 온도측정에 있어서 스트레인이 고려되어야 한다. 제2 감지층(40)의 기준저항에 대한 저항변화는 하기 [수학식 2]에 의해서 결정될 수 있다.

수학식 2

[0074]
$$\frac{\Delta R_2}{R_{02}} = e\left(\frac{E_a}{K_B}\Delta\left(\frac{1}{T}\right)\right)e^{(G_2\varepsilon)} - 1$$

[0075] 여기서, R_{02}는 제2 감지층(40)의 기준저항값, ΔR_2는 제2 감지층(40)의 저항변화값, K_B는 볼츠만 상수(Boltzmann constant), Ea는 열 유도 호핑 활성화 에너지값(activation energy for thermally induced hopping), G_2는 제2 감지층(40)의 게이지 팩터값, ΔT는 대상물의 온도변화값, ε 은 스트레인값이다.

[0076] 상기 [수학식 2] 및 도 4의 (b)를 참고로, 제2 감지층(40)의 전기저항은 온도가 증가할 때에 지수적으로 감소하게 된다. 여기서, 도 4의 (b)는 MPA 및 EDT 각각으로 처리된 은 나노입자 박막의 온도변화에 따른 저항변화를 나타낸다.

[0077] 한편, 유기 리간드로 처리된 은 나노입자 박막은 온도변화시에 저항 회복이 일어나지 않는 경우가 있다. 다수의 온도변화 사이클을 반복하는 경우, EDT로 처리된 은 나노입자 박막은 전반적으로 전기저항이 증가하는 반면, MPA로 처리된 은 나노입자 박막은 전기저항이 감소하는 경향이 있다 (도 5의 (b) 참조). 이에, 본 발명에 따른 제2 감지층(40)은 먼저 MPA로 처리한 다음에, EDT로 처리한 MPA+EDT 하이브리드 리간드 교환을 통해 얻어질 수 있다. MPA+EDT 처리된 은 나노입자 박막의 전기저항은 온도를 높이면 선형적으로 감소하다가, 온도를 낮추면 원래 값으로 되돌아 가는 특성을 가진다. 이는 EDT의 티올기와 MPA의 카르복실기가 존재하여, 반대의 경향을 제거하고 안정한 성능을 이끌어내는 것으로 추측된다.

[0078] 여기서, 활성화 에너지값 (Ea)은 EDT로 처리된 은 나노입자 박막의 경우에는 1.33×10^{-2}, MPA로 처리된 은 나노입자 박막의 경우에는 2.40×10^{-2}, MPA+EDT 처리된 은 나노입자 박막의 경우에는 2.27×10^{-2} eV이다.

[0080] 한편, 제1 감지층(30)과 제2 감지층(40)은 하부기판(10) 상의 다른 영역에 서로 이격되어 배치되는데, 이때 제1 감지층(30)은 지그재그 형태로 배치되되, 일단과 타단이 서로 이격되어 마주보도록 배치되고, 제2 감지층(40)은

제1 감지층(30)의 일단과 타단 사이에 배치될 수 있다.

[0082] 상술한 바와 같이 형성된 본 발명에 따른 온도센서는 인간의 움직임으로부터 생기는 스트레인에 의한 저항변화를 효과적으로 상쇄시키고, 나아가 스트레인과 온도를 동시에 측정할 수 있는데, 이하에서 자세히 설명한다.

[0084] 스트레인 효과를 상쇄시키기 위해서, 본 발명에 따른 온도센서의 제1 감지층(30), 및 제2 감지층(40)은 중성역학층 (Neutral Mechanical Plane, NMP) 내에 배치될 수 있다. 물체가 상향으로 만곡되게 구부러지는 경우에, 상부에는 인장응력이 작용하고, 하부에는 압축응력이 작용하는데, 이때 상부와 하부 사이에 이론 변형률이 '0'인 중성역학층이 존재하게 된다. 이러한 중성역학층은 서로 결합되는 하부기판(10)과 상부기판(20)의 두께 조절을 통해 구현할 수 있다. 일 실시예로서, 두께 6 ㎛ PET 필름을 하부기판(10)과 상부기판(20)으로 사용하는 경우 그 경계에서 중성역학층이 형성될 수 있다. 이러한 중성역학층을 이용하는 경우, 하부기판(10)에 대해 수직방향(종방향)으로 작용하는 움직임에 인한 스트레인 효과가 상쇄된다.

[0085] 또한, 서로 다른 게이지 팩터 및 TCR을 갖는 제1 감지층(30)과 제2 감지층(40)이 배치됨으로써, 횡방향 움직임으로 인한 스트레인 효과도 상쇄할 수 있다. 구체적으로, 상기 [수학식 1]과 [수학식 2]를 연립함으로써, 스트레인 효과를 상쇄하고 대상물의 온도를 측정할 수 있다. 예를 들어, TBAB 처리된 은 나노입자 박막으로 제1 감지층(30)이, MPA+EDT 처리된 은 나노입자 박막으로 제2 감지층(40)이 형성된 경우, 각각의 게이지 팩터값은 1.71, 9.80이고, 제2 감지층(40)의 활성화 에너지는 2.27×10^{-2} eV이며, 각각의 저항값은 전류를 통하여 측정 가능하므로, [수학식 1]과 [수학식 2]를 연립하면, 대상물의 온도변화값을 구할 수 있다. 그 대상물의 온도변화값은 대상물의 온도와 기준온도의 차이이므로, 이로부터 스트레인 효과가 상쇄된 대상물의 온도를 정확히 측정할 수 있다.

[0087] 한편, 본 발명에 따른 온도센서를 사용하여 스트레인과 온도를 측정하기 위해서는, 하부기판(10)과 상부기판(20)에 두께차를 둔다. 여기서, 하부기판(10)과 상부기판(20)의 두께 비가 1:40 ~ 1:45로 형성될 수 있고, 구체적으로, 하부기판(10)은 두께 250 ㎛ PET 필름을, 상부기판(20)은 두께 6 ㎛ PET 필름을 사용할 수 있다.

[0088] 스트레인과 온도를 동시에 측정하기 위해서는, 상기 [수학식 1]에 의한 제1 플롯과 상기 [수학식 2]에 의한 제2 플롯을 생성하고, 그 제1 플롯 및 제2 플롯 각각의 라인이 교차하는 교점을 읽음으로써, 스트레인 및 온도를 얻을 수 있다 (도 7 참조).

[0090] 종합적으로, 본 발명에 따른 온도센서에 의하면, 무기 및 유기 리간드로 각각 처리한 은 나노입자 박막으로 서로 다른 감지층을 형성하여 그 감지층마다 온도에 따른 저항변화 특성 및 게이지 팩터를 서로 달리하고, 감지층을 하부기판(10) 과 상부기판(20) 사이의 중성역학층 (Neutral Mechanical Plane, NMP) 내에 배치함으로써, 스트레인에 의한 저항변화 효과를 효과적으로 상쇄하여, 정밀하게 온도를 측정할 수 있다. 또한, 상기 감지층을 서로 다른 두께의 하부기판(10)과 상부기판(20) 사이에 배치하여, 온도와 함께 스트레인을 측정할 수도 있다.

[0092] 이하에서는 상술한 온도센서를 제조하는 방법에 대해 설명한다.

[0093] 도 4는 본 발명의 실시예에 따른 온도센서 제조방법의 공정도이다.

[0094] 도 4에 도시된 바와 같이, 본 발명에 따른 온도센서는 선택적 리간드 교환 (selective ligand exchange)과, 2단계 포토리소그래피 (two-step photolithography) 방식으로 제조될 수 있다. 본 발명에 따른 온도센서에 대해서는 상술하였는바, 중복되는 내용에 대해서는 설명을 생략하거나 간단하게만 기술한다.

[0095] 선택적 리간드 교환 방식은 포토리소그래피 공정을 한번 거치는 방법으로, 이에 의한 제조방법은 (a) 하부기판 상에 포토레지스트를 도포(iv)한 후에, 박막 형태의 제1 감지층 및 제2 감지층에 대응되는 패턴으로 노광하고 현상하는 단계(v), (b) 패턴에 은 나노입자를 코팅하여, 은 나노입자 박막을 형성하는 단계(vi), (c) 포토레지스트를 리프트 오프 (lift off)하는 단계(vii), (d) 제1 감지층에 대응되는 패턴에 코팅된 제1 은 나노입자 박막을 무기 리간드 교환 용액에 담지하여 제1 감지층을 형성(viii)하고, 제2 감지층에 대응되는 패턴에 코팅된 제2

은 나노입자 박막을 유기 리간드 교환 용액에 담지하여 제2 감지층을 형성(ix)하는 단계(ⅹ), 및 (e) 제1 감지층, 및 제2 감지층이 커버되도록, 하부기판 상에 상부기판을 형성하는 단계(ⅹⅰ)를 포함한다.

[0096] 본 방식에 의하면, 포토레지스트 공정에 의하는바, 먼저 (iv) 하부기판 상부에 포지티브 포토레지스트를 도포한 후, (ⅴ) 박막 형태의 제1 감지층 및 제2 감지층에 대응되도록, 포토레지스트 층을 노광하고, 현상하여 패터닝한다. 이어서, (vi) 은 나노입자를 그 패턴 상에 스핀코팅하고, (vii) 리프트-오프 공정을 거친다. 이때 은 나노입자 박막만 남게 된다. 다음으로, 딥 코팅 공정에 따라, (viii) 제1 감지층에 대응되는 패턴에 코팅된 제1 은 나노입자 박막에 TBAB 리간드 교환 물질을 노출시키고, 및 (ix) 제2 감지층에 대응되는 패턴에 코팅된 제2 은 나노입자 박막에 MPA+EDT 리간드 교환 물질을 노출시킴으로써, (ⅹ) 하부기판에 제1 감지층 및 제2 감지층을 형성한다. 그리고, (ⅹⅰ) NMP 내에 제1 및 제2 감지층을 배치시키거나, 또는 온도와 스트레인을 동시에 측정하기 위해서, 제1 및 제2 감지층을 커버하면서 하부기판에 상부기판을 결합한다.

[0098] 한편, 2 단계 포토리소그래피 방식은 포토리소그래피 공정을 두 차례 반복하는데, 이에 의한 온도센서 제조방법은 (a) 하부기판 상에 제1 포토레지스트를 도포(iv)한 후에, 박막 형태의 제1 감지층에 대응되는 제1 패턴으로 노광하고 현상하는 단계(ⅴ), (b) 제1 패턴에 은 나노입자를 코팅하여, 제1 은 나노입자 박막을 형성하는 단계(vi), (c) 제1 포토레지스트를 리프트 오프 (lift off) 하는 단계, (d) 제1 은 나노입자 박막을 무기 리간드 교환 용액에 담지하여, 제1 감지층을 형성하는 단계(vii), (e) 하부기판 상에 제2 포토레지스트를 도포(viii)한 후에, 박막 형태의 제2 감지층에 대응되는 제2 패턴으로 노광하고 현상하는 단계, (f) 제2 패턴에 은 나노입자를 코팅하여, 제2 은 나노입자 박막을 형성하는 단계(ix), (g) 제2 포토레지스트를 리프트 오프하는 단계, (h) 제2 나노입자 박막을 유기 리간드 교환 용액에 담지하여, 제2 감지층을 형성하는 단계(ⅹ), 및 (i) 제1 감지층, 상기 제2 감지층이 커버되도록, 하부기판 상에 상부기판을 형성하는 단계(ⅹⅰ)를 포함한다.

[0099] 본 방식은 상술한 선택적 리간드 교환 방식을 반복한 것으로, (iv) ~ (vii)에서 통상적인 포토리소그래피 공정을 통해 무기 리간드로 은 나노입자 박막을 처리하여 제1 감지층을 형성하고, (viii) ~ (ⅹ)에서 유기 리간드 교환 물질을 은 나노입자 박막에 노출시켜 제2 감지층을 형성한다. (ⅹⅰ)에서는 NMP 내에 제1 및 제2 감지층을 배치시키거나, 또는 온도와 스트레인을 동시에 측정하기 위해서, 제1 및 제2 감지층을 커버하면서 하부기판에 상부기판을 결합한다.

[0101] 상술한 2가지 방식에서, 하부기판에 포토레지스트 도포 전, 즉 (iv) 단계 이전에 (ⅰ) 세척된 유리기판을 준비하고, (ii) 유리기판 상에 PDMS (Polydimethylsiloxane) 필름을 배치한 후에, (iii) 그 PDMS 필름 상에 하부기판을 배치할 수 있다. 여기서, (ⅹii) 유리기판 및 PDMS 필름은 상부기판이 하부기판에 결합된 후 제거될 수 있다.

[0103] 이하에서는 구체적 실시예 및 평가예를 통해 본 발명을 더욱 상세히 설명한다.

[0105] 실시예 1: 은 나노입자의 합성

[0106] 올레일아민 (Oleylamine) 5mL, 올레산 (Oleic acid) 45mL를 질산은 ($AgNO_3$)과 함께 100mL 3-Neck 플라스크에 넣는다. 70° C에서 1.5시간동안 진공상태에서 탈기 (Degassing) 한 다음, 180° C까지 분당 1℃의 속도로 온도를 올렸다. 상기의 과정 중에는 Magnetic stirring bar을 이용하여 계속 교반했다. 이후 공기 중에서 플라스크를 식히고 Toluene, ethanol을 1:2 정도의 비율을 넣어서 흔들어 주고 Centrifuge를 통해 은 나노입자를 석출한다. 이러한 세척 과정을 3번 반복하여, Hexane에 100~200mg/mL의 농도로 분산시켜 은 나노입자 용액을 만들었다.

[0108] 실시예 2: 온도센서 제조

[0109] 은 나노입자 박막을 만들기 위해 실시예 1에서 합성된 용액을 1000 RPM의 속도로 1분 동안 스핀코팅을 한다. 이때, 하부기판으로는 Polyethylene Terephtalete (PET)를 사용하였으며, 스핀코팅 전에 Acetone, Isopropanol, deionized water로 각각 5분 동안 초음파분해 처리를 통하여 세척하였다. Tetrabutylammonium Bromide (TBAB) 30mM, Mercaptopropionic Acid (MPA) 0.05% 농도의 리간드 교환 용액을 Methanol을 이용하여 제조했고,

Ethanedithiol (EDT) 5mM 농도의 리간드 교환 용액을 Acetonitrile 용액을 이용해 제조했다. 은 나노입자 박막을 리간드 교환 용액으로 처리를 하였다. 무기 리간드의 경우에는 TBAB 리간드 교환 용액으로 5분 동안 처리하고, 유기리간드의 경우 MPA 리간드 교환 용액으로 1분 동안 처리 후 EDT 리간드 교환 용액으로 2시간 처리를 하였다. 이로써, TBAB 처리된 제1 감지층을, MPA+EDT 처리된 제2 감지층을 형성했다.

[0110] 여기서, NMP를 이용하여 스트레인의 영향을 상쇄시키는 센서 (샘플 1)의 경우에 하부기판은 두께 6 ㎛의 PET 필름을 사용했고, 스트레인 및 온도를 동시에 측정할 수 있는 센서 (샘플 2)의 하부기판은 두께 250 ㎛의 PET 필름을 사용했다. 또한, 두께 6 ㎛의 PET 필름을 상부기판으로 하부기판 상에 배치하였다.

[0112] 평가예: 스트레인 및 온도 측정

[0113] 도 7은 본 발명의 실시예에 따른 온도센서에 의해 측정된 온도 및 스트레인 결과이다.

[0114] 실시예 2에서 제조된 샘플 2를 사용하여, 스트레인 및 온도를 측정하였다.

[0115] 먼저, 샘플 2를 398 K 온도의 평평한 표면에 놓고 저항을 측정한다. 그런 다음, 핫플레이트 상에 4㎝의 굽힘 반경을 갖는 곡선 금속 표면에 샘플 2를 놓아 0.3125%의 스트레인을 가했다. IR 온도 센서에 의해 확인한바, 그 온도는 314.5 K까지 상승했다. TBAB 및 MPA+EDT에 의해 처리된 은 나노입자의 $\Delta R/R_0$는 각각 0.02436 및 -0.06262이다. 이에, 그림 7과 같이, TBAB 및 MPA+EDT 처리된 박막에 대해 상기 [수학식 1] 및 [수학식 2]를 사용하여 2 개의 시뮬레이션 플롯을 구성하고, 각 결과에 대한 등가 저항 라인 (equivalent resistance line)을 생성했다. TBAB 라인과 MPA+EDT 라인의 교점을 읽음으로써, 314.75 K의 온도와 0.305%의 스트레인을 얻었다.

[0116] 그 결과에 있어서, 약간의 편차가 존재했지만, 1개의 TCR을 갖는 단일 센서와 비교하여 본 발명에 따른 온도센서는 온도와 스트레인을 모두 측정할 수 있고, 온도 및 스트레인이 변하는 다양한 조건하에서도 저항이 안정적 변화를 보이며, 웨어러블 센서에 적합하다는 것이 입증되었다.

[0118] 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.

[0120] 본 발명의 단순한 변형 내지 변경은 모두 본 발명의 영역에 속한 것으로 본 발명의 구체적인 보호 범위는 첨부된 특허청구범위에 의하여 명확해질 것이다.

부호의 설명

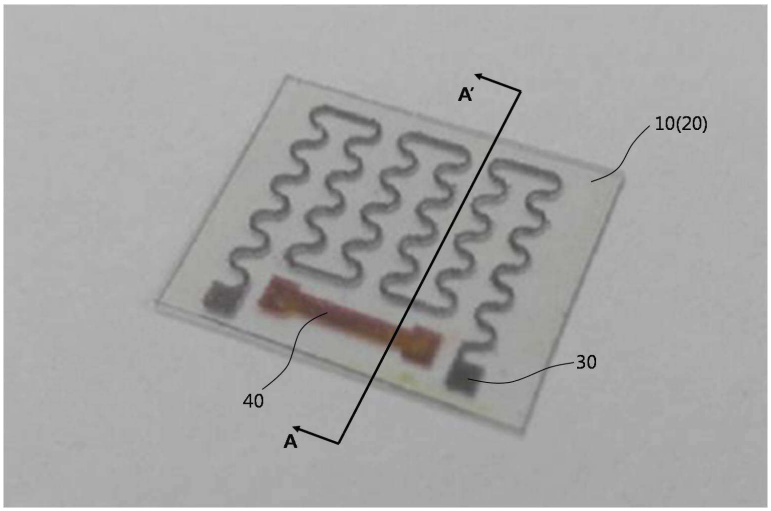
[0122] 10: 하부기판 20: 상부기판

30: 제1 감지층 31: 제1 은 나노입자

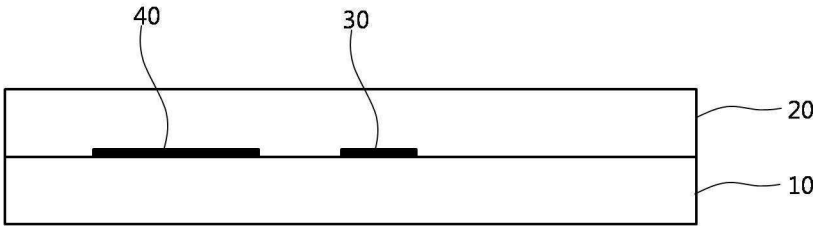
40: 제2 감지층 41: 제2 은 나노입자

도면

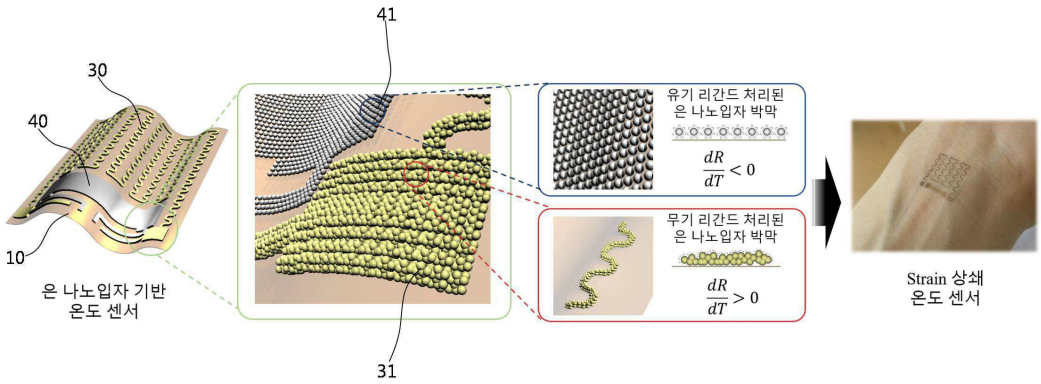
도면1



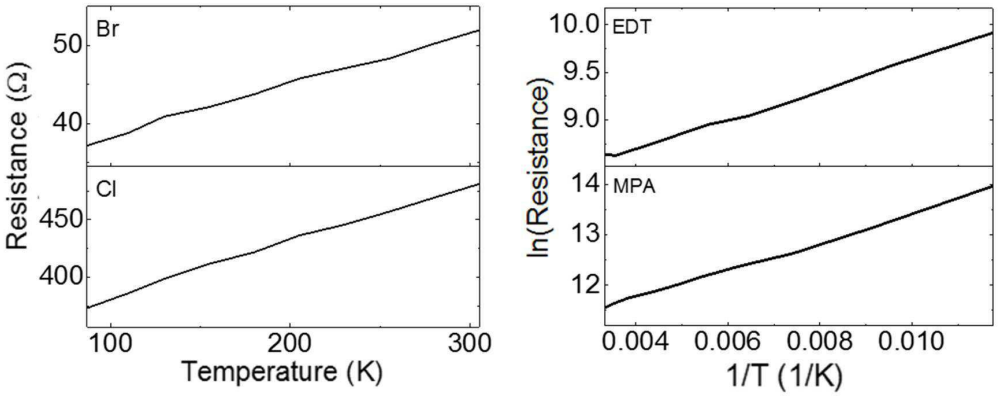
도면2



도면3

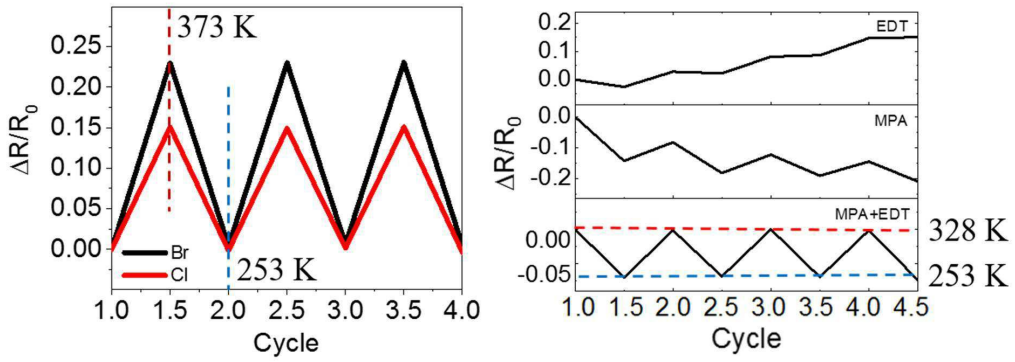


도면4


Br
Cl
Resistance (Ω)
50
40
450
400
100
200
300
Temperature (K)
EDT
MPA
ln(Resistance)
10.0
9.5
9.0
14
13
12
0.004
0.006
0.008
0.010
1/T (1/K)

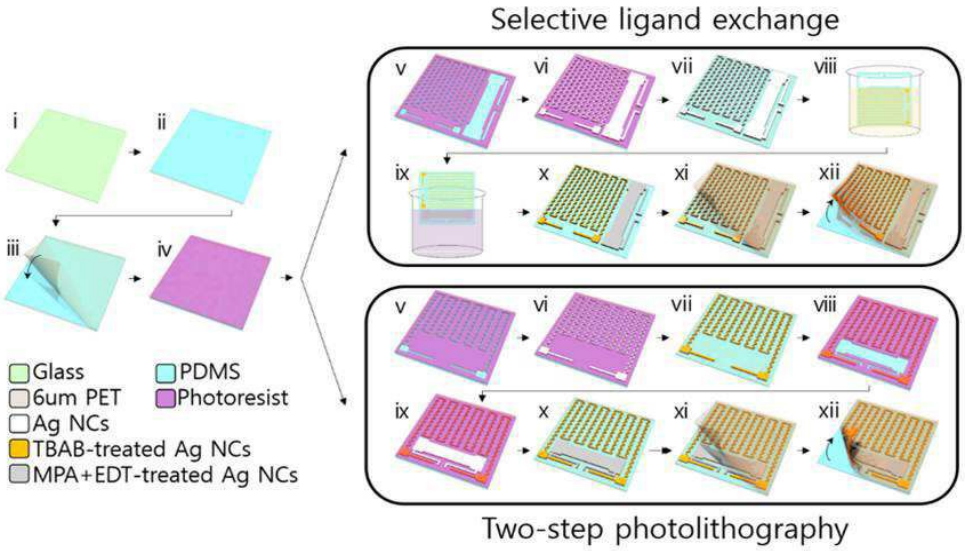
(a) (b)

도면5

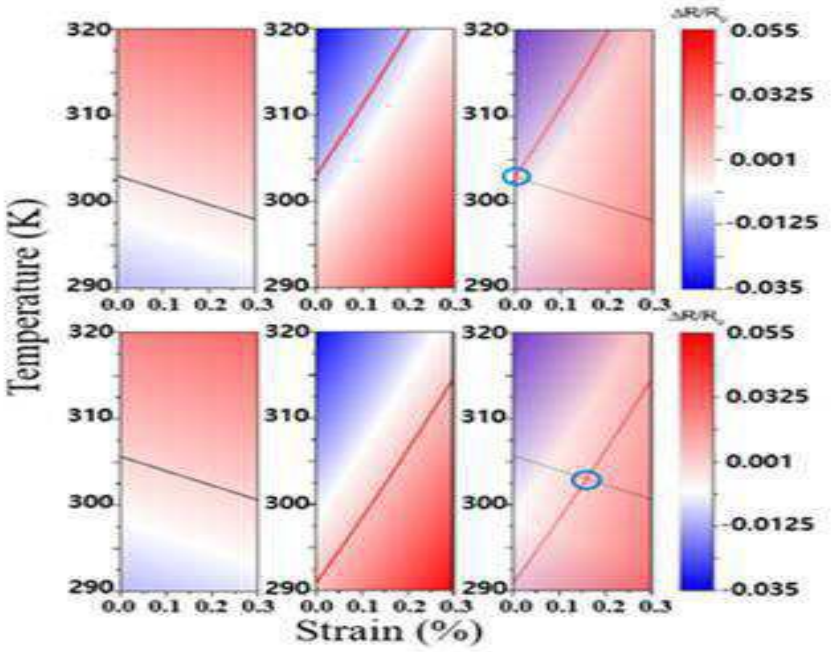

373 K
253 K
Br
Cl
ΔR/R0
0.25
0.20
0.15
0.10
0.05
0.00
1.0
1.5
2.0
2.5
3.0
3.5
4.0
Cycle
EDT
MPA
MPA+EDT
0.2
0.1
0.0
-0.1
-0.2
-0.05
328 K
253 K
4.5

(a) (b)

도면6


Selective ligand exchange
i
ii
iii
iv
v
vi
vii
viii
ix
x
xi
xii
Glass
PDMS
6um PET
Photoresist
Ag NCs
TBAB-treated Ag NCs
MPA+EDT-treated Ag NCs
Two-step photolithography

도면7


Temperature (K)
Strain (%)
ΔR/R0
0.055
0.0325
0.001
-0.0125
-0.035