



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2020년03월27일
(11) 등록번호 10-2094134
(24) 등록일자 2020년03월23일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01L 1/22 (2006.01) B05D 1/00 (2006.01)
B05D 7/24 (2006.01) B22F 1/00 (2006.01)
H01B 1/02 (2006.01) B82Y 40/00 (2017.01)
(52) CPC특허분류
G01L 1/22 (2013.01)
B05D 1/005 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2019-0016128
(22) 출원일자 2019년02월12일
심사청구일자 2019년02월12일
(56) 선행기술조사문헌
KR1020180120992 A
<논문 1>
<논문 2>
US20050241075 A1

(73) 특허권자
고려대학교 산학협력단
서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)
(72) 발명자
오승주
서울특별시 중구 청구로 64, 113동 104호(신당동, 청구 e편한세상)
이승욱
서울특별시 동대문구 무학로49길 58, 502호(용두동)
이우석
서울특별시 용산구 이촌로71길 10, 212동 603호(이촌동, 한가람아파트)
(74) 대리인
김연권

전체 청구항 수 : 총 19 항

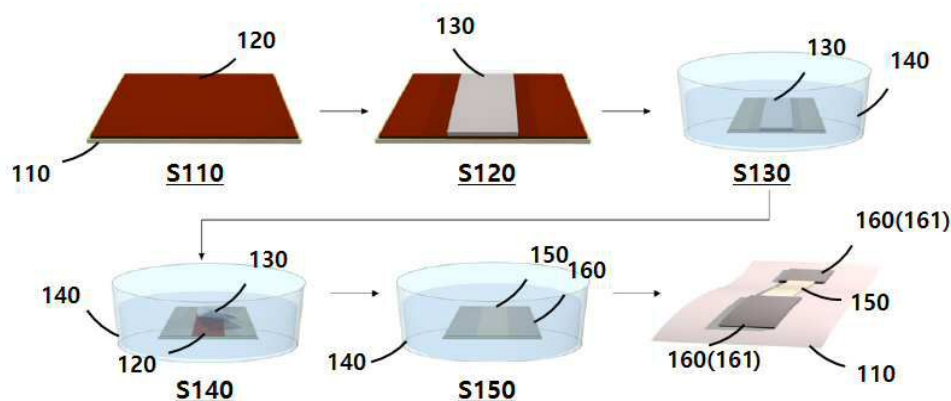
심사관 : 김병수

(54) 발명의 명칭 스트레인 센서의 제조 방법 및 이를 통해 제조된 스트레인 센서

(57) 요약

본 발명은 스트레인 센서의 제조 방법 및 이를 통해 제조된 스트레인 센서를 개시한다. 본 발명의 실시예에 따른 스트레인 센서의 제조 방법은 유연한 절연성 기판 상에 제1 표면 리간드를 포함하는 금속 나노 입자를 코팅하여 감지부 영역 및 전극부 영역을 포함하는 금속 나노 입자 박막을 형성하는 단계; 상기 금속 나노 입자 박막의 감지부 영역 상에 마스크 패턴을 형성하는 단계; 상기 마스크 패턴이 형성된 금속 나노 입자 박막을 제2 표면 리간드가 분산된 리간드 치환 용액에 접촉시키는 제1 치환 단계; 상기 금속 나노 입자 박막의 감지부 영역 상에 형성된 상기 마스크 패턴을 제거하는 단계; 및 상기 마스크 패턴이 제거된 상기 금속 나노 입자 박막을 상기 제2 표면 리간드가 분산된 리간드 치환 용액에 접촉시켜 감지부 및 전극부를 형성하는 제2 치환 단계를 포함하고, 상기 제2 표면 리간드는 상기 제1 표면 리간드 대비 리간드 길이가 짧은 것을 특징으로 한다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

B05D 7/24 (2013.01)
B22F 1/0044 (2013.01)
B22F 1/007 (2013.01)
H01B 1/02 (2013.01)
B82Y 40/00 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	2018029666
부처명	과학기술정보통신부
연구관리전문기관	한국연구재단
연구사업명	신진연구자지원-신진연구
연구과제명	자기조립 기반 나노결정 초격자를 이용한 신축성 반도체 나노소재 개발
기 여 율	1/1
주관기관	고려대학교
연구기간	2018.04.01 ~ 2019.02.28
공지예외적용	: 있음

명세서

청구범위

청구항 1

유연한 절연성 기판 상에 제1 표면 리간드를 포함하는 금속 나노 입자를 코팅하여 감지부 영역 및 전극부 영역을 포함하는 금속 나노 입자 박막을 형성하는 단계;

상기 금속 나노 입자 박막의 감지부 영역 상에 마스크 패턴을 형성하는 단계;

상기 마스크 패턴이 형성된 금속 나노 입자 박막을 제2 표면 리간드가 분산된 리간드 치환 용액에 접촉시키는 제1 치환 단계;

상기 금속 나노 입자 박막의 감지부 영역 상에 형성된 상기 마스크 패턴을 제거하는 단계; 및

상기 마스크 패턴이 제거된 상기 금속 나노 입자 박막을 상기 제2 표면 리간드가 분산된 리간드 치환 용액에 접촉시켜 감지부 및 전극부를 형성하는 제2 치환 단계;

를 포함하고,

상기 제2 표면 리간드는 상기 제1 표면 리간드 대비 리간드 길이가 짧은 것을 특징으로 하는 스트레인 센서의 제조 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 감지부는 상기 제1 표면 리간드 및 상기 제2 표면 리간드를 포함하는 금속 나노 입자로 이루어져 금속-절연체 전이(metal-insulating transition) 구조를 갖는 것을 특징으로 하는 스트레인 센서의 제조 방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 제1 표면 리간드는 제1 유기 리간드를 포함하고,

상기 제2 표면 리간드는 제2 유기 리간드 및 무기 리간드 중 적어도 어느 하나를 포함하는 것을 특징으로 하는 스트레인 센서의 제조 방법.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 제1 유기 리간드는 8개 내지 18개의 탄소 사슬을 포함하는 것을 특징으로 하는 스트레인 센서의 제조 방법.

청구항 5

제3항에 있어서,

상기 제1 유기 리간드는 트리옥틸포스핀(trioctylphosphine), 트리옥틸포스핀 산화물(trioctylphosphine oxide), 올레산(Oleic acid) 및 올레일아민(Oleylamine) 중 어느 하나를 포함하는 것을 특징으로 하는 스트레인 센서의 제조 방법.

청구항 6

제3항에 있어서,

상기 제2 유기 리간드는 1개 내지 3개의 탄소 사슬을 포함하는 것을 특징으로 하는 스트레인 센서의 제조 방법.

청구항 7

제3항에 있어서,

상기 제2 유기 리간드는 3-메르카토프로피온산(3-mercaptopropionic acid, MPA) 및 1,2-에테인다이티올(1,2-ethanedithiol, EDT) 중 어느 하나를 포함하는 것을 특징으로 하는 스트레인 센서의 제조 방법.

청구항 8

제3항에 있어서,

상기 무기 리간드는 염화 암모늄(NH_4Cl), 테트라-n-부틸 암모늄브로마이드(tetra-n-butyl ammonium bromide, TBAB), 및 티오시아산 암모늄(NH_4SCN) 중 어느 하나를 포함하는 것을 특징으로 하는 스트레인 센서의 제조 방법.

청구항 9

제1항에 있어서,

상기 감지부는 내부에 크랙(crack)을 포함하는 것을 특징으로 하는 스트레인 센서의 제조 방법.

청구항 10

제1항에 있어서,

상기 제1 치환 단계는,

공정 시간이 25초 내지 45초인 것을 특징으로 하는 스트레인 센서의 제조 방법.

청구항 11

제1항에 있어서,

상기 제2 치환 단계는,

공정 시간이 5초 내지 15초인 것을 특징으로 하는 스트레인 센서의 제조 방법.

청구항 12

제1항에 있어서,

상기 전극부는 상기 제1 치환 단계 및 상기 제2 치환 단계에서 상기 금속 나노 입자의 제1 표면 리간드가 상기 제2 표면 리간드로 치환되고,

상기 감지부는 상기 제2 치환 단계에서 상기 금속 나노 입자의 제1 표면 리간드가 부분적으로 제2 표면 리간드로 치환되는 것을 특징으로 하는 스트레인 센서의 제조 방법.

청구항 13

제11항에 있어서,

상기 감지부에 포함되는 상기 제1 표면 리간드와 상기 제2 표면 리간드의 비는 33:67 내지 10:90인 것을 특징으로 하는 스트레인 센서의 제조 방법.

청구항 14

제1항에 있어서,

상기 리간드 치환 용액의 농도는 1mM 내지 5mM인 것을 특징으로 하는 스트레인 센서의 제조 방법.

청구항 15

제1항에 있어서,

상기 전극부 영역은 상기 감지부 영역의 일단에 형성된 제1 전극 영역 및 상기 감지부 영역의 타단에 형성된 제2 전극 영역을 포함하는 것을 특징으로 하는 스트레인 센서의 제조 방법.

청구항 16

제1항에 있어서,

상기 금속 나노 입자는 은(Ag), 구리(Cu), 금(Au), 백금(Pt), 철(Fe) 및 팔라듐(Pd) 중 어느 하나로 이루어진 단일 나노 입자 또는 합금 나노 입자를 포함하는 것을 특징으로 하는 스트레인 센서의 제조 방법.

청구항 17

유연한 절연성 기판;

상기 유연한 절연성 기판 상에 형성되고, 제1 표면 리간드 및 제2 표면 리간드를 포함하는 금속 나노 입자로 이루어져 금속-절연체 전이(metal-insulating transition) 구조를 갖는 감지부; 및

상기 감지부의 일단 및 타단에 형성되는 제1 전극 및 제2 전극을 포함하되, 상기 제1 전극 및 제2 전극은 상기 제2 표면 리간드를 포함하는 금속 나노 입자로 이루어진 전극부

를 포함하고,

상기 제2 표면 리간드는 상기 제1 표면 리간드 대비 리간드 길이가 짧은 것을 특징으로 하는 스트레인 센서.

청구항 18

제17항에 있어서,

상기 감지부에 포함되는 상기 제1 표면 리간드와 상기 제2 표면 리간드의 비는 33:67 내지 10:90인 것을 특징으로 하는 스트레인 센서.

청구항 19

제17항에 있어서,

상기 감지부는 내부에 크랙(crack)을 포함하는 것을 특징으로 하는 스트레인 센서.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 스트레인 센서의 제조 방법 및 이를 통해 제조된 스트레인 센서에 관한 것으로, 보다 상세하게는, 금속 나노 입자의 리간드 치환 처리 시간을 조절하여 제조된 감지부 및 전극부를 포함하는 고성능 스트레인 센서의 제조 방법 및 이를 통해 제조된 스트레인 센서에 관한 것이다.

배경 기술

[0003] 일반적으로 스트레인 게이지나 스트레인 센서는 기계적인 미세한 변화(Strain)를 전기신호로 변환하여 검출하는 센서이다. 보다 구체적으로, 스트레인 센서란 항공기 구조물, 자동차의 구조물, 각종 공작기계, 교량, 선박 등의 다양한 구조물의 인장 또는 압축 등의 스트레인을 측정함으로써 정적 및 동적 시험, 구조 안정성 시험 등을 효과적으로 수행할 수 있도록 하는 장치이며 일반적으로 얇은 에폭시 필름상에 스트레인 게이지(strain gauge)를 부착하고 전선을 연결하여 구성된다.

[0004] 전선에 전류를 가하면 전선에 발생하는 저항은 전선의 단면적에 반비례, 길이에 비례하게 되는데, 시편에 스트레인 센서를 부착하고 하중을 가하면 시편은 하중에 따라 늘어나거나 줄어들고 스트레인 센서 내의 전선의 길이와 단면적의 변화가 생기게 되며, 이러한 길이와 단면적의 변화로 인한 저항의 변화를 측정하여 스트레인을 측정하는 것이 스트레인 센서의 기본적인 원리이다.

[0005] 더 나아가, 유연성을 가지면서 변형을 감지할 수 있는 스트레인 센서는 동작 감지 분야, 로봇 분야, 다양한 생물 또는 의학 응용 분야 등 다양한 분야에서 활용될 수 있다.

[0006] 특히, 인공피부의 경우, 다양한 사람의 동작 및 외부의 자극에 따른 피부의 변형을 민감하게 감지할 수 있어야 하며, 부드럽고 곡률을 가는 부위에 적용할 수 있어야 하며, 상당한 유연성 및 내구성을 필요로 한다.

[0007] 종래 스트레인 센서는 절연기판의 상부면에 금속 저항선이 접착체로 고정되고, 금속 저항선의 양말단 각각이 리드선에 연결되는 구조로 이루어진다. 여기서, 절연기판의 하부면에 피측정물에 부착되므로, 피측정물에 외력이 가해져 변형(인장 또는 압축)이 일어나면, 절연기판이 신축되면서 금속 저항선의 단면적과 길이가 변하게 되고, 이로써 저항선의 전기저항에 변화가 생긴다. 따라서, 리드선을 통해 전기저항의 변화 정도를 전류 값 등의 전기적 신호로 수신하고, 그 정보로부터 변형률을 산정하게 된다.

[0008] 최근 들어서, 나노입자를 센서 분야에 적용하고자 하는 연구가 활발히 진행 중인데, 스트레인 센서의 경우에는 센서물질로서 금, 백금, 팔라듐 등의 나노입자가 사용되고 있다. 그러나 이러한 나노입자는 귀금속을 기반으로 하는바, 생산 비용 증가의 원인이 된다. 또한, 종래 스트레인 센서는 저항선과 전극의 재료를 달리 사용하고, 특히 전극은 고가의 진공장비를 사용해 제작되므로, 공정과정이 복잡하고, 생산 시간이 길어지는 문제가 있다.

[0009] 이에 종래 스트레인 게이지의 문제점을 해결하기 위한 방안이 절실히 요구되고 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0011] (특허문헌 0001) 대한민국 등록특허 제10-1072436호, "금속 박막형 스트레인 게이지 압력센서"
(특허문헌 0002) 대한민국 등록특허 제10-1813074호, "스트레인 센서의 제조 방법, 스트레인 센서 및 이를 포함하는 웨어러블 디바이스"

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0012] 본 발명의 실시예는 금속 나노 입자의 리간드 치환 처리 시간을 조절하여 감지부 및 전극부를 제조함으로써 민감도를 향상시킬 수 있는 스트레인 센서의 제조 방법을 제공하고자 한다.
- [0013] 본 발명의 실시예는 제2 표면 리간드가 분산된 리간드 치환 용액의 농도를 조절하여 감지부 및 전극부를 제조함으로써 민감도를 향상시킬 수 있는 스트레인 센서의 제조 방법을 제공하고자 한다.
- [0014] 본 발명의 실시예는 상온 및 상압 하에서 용액 공정을 진행하여 감지부 및 전극부를 제조함으로써 공정 비용을 절감하는 동시에 대량 생산이 가능한 금속 나노 입자를 포함하는 웨어러블 스트레인 센서의 제조 방법을 제공하고자 한다.
- [0015] 본 발명의 실시예는 금속 나노 입자의 리간드 치환 처리 시간 및 농도를 조절하여 형성된 감지부가 금속-절연체 전이 구조 및 크랙을 포함하여 민감도가 향상된 스트레인 센서를 제공하고자 한다.
- [0016] 본 발명의 실시예는 금속 나노 입자의 리간드 치환 처리 시간 및 농도를 조절하여 200의 게이지 팩터(스트레인 게이지의 민감도)를 갖는 스트레인 센서를 제공하고자 한다.

과제의 해결 수단

- [0018] 본 발명의 실시예에 따른 스트레인 센서의 제조 방법은 유연한 절연성 기판 상에 제1 표면 리간드를 포함하는 금속 나노 입자를 코팅하여 감지부 영역 및 전극부 영역을 포함하는 금속 나노 입자 박막을 형성하는 단계; 상기 금속 나노 입자 박막의 감지부 영역 상에 마스크 패턴을 형성하는 단계; 상기 마스크 패턴이 형성된 금속 나노 입자 박막을 제2 표면 리간드가 분산된 리간드 치환 용액에 접촉시키는 제1 치환 단계; 상기 금속 나노 입자 박막의 감지부 영역 상에 형성된 상기 마스크 패턴을 제거하는 단계; 및 상기 마스크 패턴이 제거된 상기 금속 나노 입자 박막을 상기 제2 표면 리간드가 분산된 리간드 치환 용액에 접촉시켜 감지부 및 전극부를 형성하는 제2 치환 단계;를 포함하고, 상기 제2 표면 리간드는 상기 제1 표면 리간드 대비 리간드 길이가 짧다.
- [0019] 상기 감지부는 상기 제1 표면 리간드 및 상기 제2 표면 리간드를 포함하는 금속 나노 입자로 이루어져 금속-절연체 전이(metal-insulating transition) 구조를 가질 수 있다.
- [0020] 상기 제1 표면 리간드는 제1 유기 리간드를 포함하고, 상기 제2 표면 리간드는 제2 유기 리간드 및 무기 리간드 중 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다.
- [0021] 상기 제1 유기 리간드는 8개 내지 18개의 탄소 사슬을 포함할 수 있다.
- [0022] 상기 제1 유기 리간드는 트리옥틸포스핀(trioctylphosphine), 트리옥틸포스핀 산화물(trioctylphosphine oxide), 올레산(Oleic acid) 및 올레일아민(Oleylamine) 중 어느 하나를 포함할 수 있다.
- [0023] 상기 제2 유기 리간드는 1개 내지 3개의 탄소 사슬을 포함할 수 있다.
- [0024] 상기 제2 유기 리간드는 3-메르카토프로피온산(3-mercaptopropionic acid, MPA) 및 1,2-에테인다이티올(1,2-ethanedithiol, EDT) 중 어느 하나를 포함할 수 있다.
- [0025] 상기 무기 리간드는 염화 암모늄(NH_4Cl), 테트라-n-부틸 암모늄브로마이드(tetra-n-butyl ammonium bromide, TBAB), 및 티오시아산 암모늄(NH_4SCN) 중 어느 하나를 포함할 수 있다.
- [0026] 상기 감지부는 내부에 크랙(crack)을 포함할 수 있다.
- [0027] 상기 제1 치환 단계는, 공정 시간이 25초 내지 45초일 수 있다.
- [0028] 상기 제2 치환 단계는, 공정 시간이 5초 내지 15초일 수 있다.
- [0029] 상기 전극부는 상기 제1 치환 단계 및 상기 제2 치환 단계에서 상기 금속 나노 입자의 제1 표면 리간드가 상기 제2 표면 리간드로 치환되고, 상기 감지부는 상기 제2 치환 단계에서 상기 금속 나노 입자의 제1 표면 리간드가 부분적으로 제2 표면 리간드로 치환될 수 있다.
- [0030] 상기 감지부에 포함되는 상기 제1 표면 리간드와 상기 제2 표면 리간드의 비는 33:67 내지 10:90일 수 있다.
- [0031] 상기 리간드 치환 용액의 농도는 1mM 내지 5mM일 수 있다.
- [0032] 상기 전극부 영역은 상기 감지부 영역의 일단에 형성된 제1 전극 영역 및 상기 감지부 영역의 타단에 형성된 제

2 전극 영역을 포함할 수 있다.

- [0033] 상기 금속 나노 입자는 은(Ag), 구리(Cu), 금(Au), 백금(Pt), 철(Fe) 및 팔라듐(Pd) 중 어느 하나로 이루어진 단일 나노 입자 또는 합금 나노 입자를 포함할 수 있다.
- [0034] 본 발명의 실시예에 따른 스트레인 센서는 유연한 절연성 기판; 상기 유연한 절연성 기판 상에 형성되고, 제1 표면 리간드 및 제2 표면 리간드를 포함하는 금속 나노 입자로 이루어져 금속-절연체 전이(metal-insulating transition) 구조를 갖는 감지부; 및 상기 감지부의 일단 및 타단에 형성되는 제1 전극 및 제2 전극을 포함하되, 상기 제1 전극 및 제2 전극은 상기 제2 표면 리간드를 포함하는 금속 나노 입자로 이루어진 전극부를 포함하고, 상기 제2 표면 리간드는 상기 제1 표면 리간드 대비 리간드 길이가 짧다.
- [0035] 상기 감지부에 포함되는 상기 제1 표면 리간드와 상기 제2 표면 리간드의 비는 33:67 내지 10:90일 수 있다.
- [0036] 상기 감지부는 내부에 크랙(crack)을 포함할 수 있다.

발명의 효과

- [0038] 본 발명의 실시예에 따르면, 금속 나노 입자의 리간드 치환 처리 시간을 조절하여 감지부 및 전극부를 제조함으로써 민감도를 향상시킬 수 있는 스트레인 센서의 제조 방법을 제공할 수 있다.
- [0039] 본 발명의 실시예에 따르면, 제2 표면 리간드가 분산된 리간드 치환 용액의 농도를 조절하여 감지부 및 전극부를 제조함으로써 민감도를 향상시킬 수 있는 스트레인 센서의 제조 방법을 제공할 수 있다.
- [0040] 본 발명의 실시예에 따르면, 상온 및 상압에서 용액 공정을 진행하여 감지부 및 전극부를 제조함으로써 공정 비용을 절감하는 동시에 대량 생산이 가능한 금속 나노 입자를 포함하는 웨어러블 스트레인 센서의 제조 방법을 제공할 수 있다.
- [0041] 본 발명의 실시예에 따르면, 금속 나노 입자의 리간드 치환 처리 시간 및 농도를 조절하여 형성된 감지부가 금속-절연체 전이 구조 및 크랙을 포함하여 민감도가 향상된 스트레인 센서를 제공할 수 있다.
- [0042] 본 발명의 실시예에 따르면, 금속 나노 입자의 리간드 치환 처리 시간 및 농도를 조절하여 200의 게이지 팩터(스트레인 게이지의 민감도)를 갖는 스트레인 센서를 제공할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0044] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 스트레인 센서의 제조 방법을 도시한 개략도이다.
- 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 스트레인 센서를 도시한 평면도이다.
- 도 3은 본 발명의 실시예에 따른 스트레인 센서를 도시한 개략도 및 리간드 치환 처리 시간에 따른 저항률/게이지 팩터를 도시한 그래프이다.
- 도 4는 리간드 치환 처리 시간에 따른 금속 나노 입자의 표면 리간드 변화를 도시한 개략도이다.
- 도 5는 본 발명의 실시예에 따른 스트레인 센서의 감지부에 포함되는 크랙의 변화를 도시한 개략도이다.
- 도 6 내지 도 11은 리간드 치환 처리 시간에 따른 금속 나노 입자의 변화를 도시한 투과 전자 현미경(TEM) 결과를 도시한 이미지이다.
- 도 12는 리간드 치환 처리가 진행되지 않은 금속 나노 입자 박막의 전자 주사 현미경(SEM) 결과를 도시한 이미지이고, 도 13은 15초 동안 리간드 치환 처리가 진행된 금속 나노 입자 박막의 주사 전자 현미경 결과를 도시한 이미지이며, 도 14는 60초 동안 리간드 치환 처리가 진행된 금속 나노 입자 박막의 주사 전자 현미경 결과를 도시한 이미지이다.
- 도 15는 리간드 치환 처리 시간에 따른 금속 나노 입자 박막의 저항 온도 계수 및 게이지 팩터를 도시한 그래프이다.
- 도 16은 리간드 치환 처리 시간에 따른 금속 나노 입자 박막의 게이지 팩터를 도시한 그래프이다.
- 도 17은 리간드 치환 처리 시간에 따른 금속 나노 입자 박막의 푸리에변환 적외분광 분석(FTIR) 결과를 도시한 그래프이고, 도 18은 자외선-가시광선 흡광도(UV-vis absorption)를 도시한 그래프이며, 도 19는 엑스선 회절 분석(XRD) 결과를 도시한 그래프이고, 도 20은 에너지 분산 엑스선 스펙트럼(EDX spectra)을 도시한

그래프이다.

도 21은 리간드 치환 처리 시간에 따른 금속 나노 입자 박막의 저항률을 도시한 그래프이다.

도 22는 리간드 치환 처리 시간에 따른 금속 나노 입자 박막의 전류-전압 곡선을 도시한 그래프이다.

도 23은 본 발명의 실시예에 따른 게이지 센서의 감지부의 온도에 따른 저항률을 도시한 그래프이고, 도 24는 본 발명의 실시예에 따른 게이지 센서의 전극부의 온도에 따른 저항률을 도시한 그래프이다.

도 25는 본 발명의 실시예에 따른 스트레인 센서를 손가락에 부착하였을 때의 이미지를 도시한 것이고, 도 26은 손가락의 변형(strain) 및 해소(release) 움직임 주기에 따른 본 발명의 실시예에 따른 스트레인 센서의 저항 변화를 도시한 그래프이다.

도 27은 본 발명의 실시예에 따른 스트레인 센서를 목에 부착하였을 때의 이미지를 도시한 것이고, 도 28은 본 발명의 실시예에 따른 스트레인 센서의 시간에 따른 저항 변화를 도시한 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0045] 이하에서 본 발명을 설명함에 있어서, 관련된 공지 기능 또는 구성에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐리는 경우 그 상세한 설명을 생략하기로 한다. 또한, 후술되는 용어들은 본 발명에서의 기능을 고려하여 설정된 용어들로서 이는 생산자의 의도 또는 당업계의 관례에 따라 달라질 수 있으므로 그 정의는 본 명세서 전반에 걸친 내용을 토대로 내려져야 할 것이다.
- [0047] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 스트레인 센서의 제조 방법을 도시한 개략도이다.
- [0048] 본 발명의 실시예에 따른 스트레인 센서의 제조 방법은 유연한 절연성 기판(110) 상에 제1 표면 리간드를 포함하는 금속 나노 입자를 코팅하여 감지부 영역 및 전극부 영역을 포함하는 금속 나노 입자 박막(120)을 형성하는 단계(S110), 금속 나노 입자 박막(120)의 감지부 영역 상에 마스크 패턴을 형성하는 단계(S120), 마스크 패턴(130)이 형성된 금속 나노 입자 박막(120)을 제2 표면 리간드가 분산된 리간드 치환 용액(140)에 접촉시키는 제 1 치환 단계(S130), 금속 나노 입자 박막(120)의 감지부 영역 상에 형성된 상기 마스크 패턴을 제거하는 단계(S140) 및 마스크 패턴이 제거된 상기 금속 나노 입자 박막(120)을 제2 표면 리간드가 분산된 리간드 치환 용액(140)에 접촉시켜 감지부(150) 및 전극부(160)을 형성하는 제2 치환 단계(S150)을 포함한다.
- [0049] 또한, 제2 표면 리간드는 제1 표면 리간드 대비 리간드 길이가 짧고, 이때, 제1 표면 리간드는 제1 유기 리간드를 포함할 수 있고, 제2 표면 리간드는 제2 유기 리간드 및 무기 리간드 중 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다.
- [0050] 본 발명의 실시예에 따른 스트레인 센서의 제조 방법은 금속 나노 입자의 리간드 치환 처리 시간 및 농도를 조절하여 감지부 및 전극부를 제조함으로써 민감도를 향상시킬 수 있는 스트레인 센서를 제조할 수 있다.
- [0051] 본 발명의 실시예에 따른 스트레인 센서의 제조 방법은 유연한 절연성 기판(110) 상에 제1 표면 리간드를 포함하는 금속 나노 입자를 코팅하여 감지부 영역 및 전극부 영역을 포함하는 금속 나노 입자 박막(120)을 형성하는 단계(S110)를 진행한다.
- [0052] 유연한 절연성 기판(110)은 외력이 가해져 변형을 일으키는 피측정물에 부착되어 함께 변형되어야 하므로 유연해야 한다. 또한 그 일면에 전류가 통하는 감지부(150) 및 전극부(160)가 배치되므로, 전류가 피측정물로 흐르지 않도록 절연성이 있어야 한다.
- [0053] 따라서, 유연한 절연 기판(110)은 폴리에스테르(Polyester), 폴리비닐(Polyvinyl), 폴리카보네이트(Polycarbonate), 폴리에틸렌(Polyethylene), 폴리아세테이트(Polyacetate), 폴리이미드(Polyimide, PI), 폴리에테르술폰(Polyethersulphone; PES), 폴리아크릴레이트(Polyacrylate; PAR), 폴리에틸렌나프탈레이트(Polyethylenenaphthalate; PEN) 및 폴리에틸렌테레프탈레이트(Polyethyleneterephthalate; PET) 중 적어도 어느 하나를 포함할 수 있으나, 유연한 절연성 기판(110)은 유연성 및 절연성을 가지는 한, 그 소재가 한정되는 것은 아니다.
- [0054] 금속 나노 입자 박막(120)은 유연한 절연성 기판(110) 상에 형성되고, 금속 나노 입자 박막(120)은 추후에 감지부(150) 및 전극부(160)가 되는 감지부 영역 및 전극부 영역을 포함할 수 있다. 특히, 전극부 영역은 감지부 영역의 일단에 형성되고, 제1 전극(161)되는 제1 전극 영역 및 감지부 영역의 타단에 형성되며, 제2 전극(162)이 되는 제2 전극 영역을 포함할 수 있다.

- [0055] 또한, 금속 나노 입자 박막(120)은 제1 표면 리간드를 포함하는 금속 나노 입자를 합성한 다음, 합성된 제1 표면 리간드를 포함하는 금속 나노 입자를 포함하는 용액을 유연한 절연성 기판(110) 상에 코팅하여 형성될 수 있다.
- [0056] 일반적으로, 금속 나노 입자 박막(120)의 전기 저항은 호핑 수송(hopping transport)에 의해 지배되고, 금속 나노 입자를 둘러싸는 표면 리간드의 길이에 의해 정해지는 금속 나노 입자 간 거리에 비례할 수 있다.
- [0057] 제1 표면 리간드는 제2 표면 리간드 보다 비교적 길이가 긴 탄소 사슬을 포함하고 있기 때문에, 금속 나노 입자 사이의 거리가 멀어져 전기적으로 절연되어, 제1 표면 리간드를 포함하는 금속 나노 입자 박막(120)은 절연성을 나타낼 수 있다.
- [0058] 제1 표면 리간드는 제1 유기 리간드를 포함할 수 있고, 제1 유기 리간드는 8개 내지 18개의 탄소 사슬을 포함할 수 있고, 제1 유기 리간드의 탄소 사슬이 8개 미만이면, 유기 용매 내의 분산성(분산 안정성)이 감소하여 금속 나노 입자가 뭉치는 문제가 있고, 18개를 초과하면 이미 리간드 길이가 충분히 길기에 큰 변화를 나타내지 않아 불필요하다.
- [0059] 제1 유기 리간드는 금속 나노 입자 합성 시에 금속 나노 입자의 모양 및 크기를 제어하고, 금속 나노 입자를 둘러싸고 있어 유기 용매 내에서 금속 나노 입자가 잉크처럼 분산될 수 있게 해주며, 제1 유기 리간드-제1 유기 리간드 간 반발력으로 금속 나노 입자가 뭉쳐 석출되는 것을 방지할 수 있다.
- [0060] 바람직하게는, 제1 유기 리간드는 트리옥틸포스핀(trioctylphosphine), 트리옥틸포스핀 산화물(trioctylphosphine oxide), 올레산(Oleic acid) 및 올레일아민(Oleylamine) 중 어느 하나를 포함할 수 있다.
- [0061] 금속 나노 입자는 은(Ag), 구리(Cu), 금(Au), 백금(Pt), 철(Fe) 및 팔라듐(Pd) 중 어느 하나로 이루어진 단일 나노 입자 또는 합금 나노 입자를 포함할 수 있다.
- [0062] 바람직하게는, 금속 나노 입자는 금속 나노 와이어일 수 있고, 금속 나노 와이어는 은(Ag) 나노 와이어, 구리(Cu) 나노 와이어, 금(Au) 나노 와이어, 백금(Pt) 나노 와이어, 철(Fe) 나노 와이어 및 팔라듐(Pd) 나노 와이어 중 어느 하나로 이루어진 단일 나노 와이어 또는 합금 나노 와이어를 포함할 수 있다.
- [0063] 은 나노 입자는 금, 백금 등의 귀금속 나노 입자에 비해 가격이 상대적으로 저렴하고, 전도성이 높기 때문에 스트레인 센서 물질로 적합하다.
- [0064] 금속 나노 입자 박막(120)의 코팅 방법으로는 스핀 코팅(Spin-coating), 슬릿 다이 코팅(Slit dye coating), 잉크젯 프린팅(Ink-jet printing), 스프레이 코팅(spray coating) 및 딥 코팅(dip coating) 중 어느 하나의 용액 공정을 이용하여 코팅되어 형성될 수 있고, 바람직하게는, 금속 나노 입자 박막(120)은 스핀 코팅 방법으로 코팅될 수 있으며, 스핀 코팅은 유연한 절연성 기판(110) 상에 용액을 일정량 떨어뜨리고 유연한 절연성 기판(110)을 고속으로 회전시켜서 용액에 가해지는 원심력으로 코팅하는 방법이다.
- [0065] 예를 들어, 유연한 절연성 기판(110) 상에 제1 표면 리간드를 포함하는 금속 나노 입자를 코팅하여 감지부 영역 및 전극부 영역을 포함하는 금속 나노 입자 박막(120)을 형성하는 단계(S110)는 질산은(AgNO_3), 올레산(Oleic acid) 및 올레일아민(Oleylamine)을 혼합한 혼합용액을 탈기한 후, 실온 냉각하여 합성하여 은 나노 입자는 제조한 다음, 이러한 은 나노 입자가 혼합된 용액을 유연한 절연성 기판(110)에 스핀 코팅함으로써, 은 나노 입자 박막을 형성할 수 있다. 이때, 합성된 은 나노 입자는 구형으로 직경이 대략 4nm 내지 5nm 정도일 수 있고, 바람직하게는, 은 나노 입자의 직경은 3nm일 수 있다.
- [0066] 본 발명의 실시예에 따른 스트레인 센서의 제조 방법은 금속 나노 입자 박막(120)의 감지부 영역 상에 마스크 패턴(130)을 형성하는 단계(S120)를 진행한다.
- [0067] 마스크 패턴(130)은 금속 나노 입자 박막(120) 상에 마스크 패턴(130)을 형성하기 위한 용액을 코팅한 다음, 포토리소그래피를 진행하여 감지부 영역을 덮도록 패터닝할 수 있다.
- [0068] 본 발명의 실시예에 따른 스트레인 센서의 제조 방법은 금속 나노 입자 박막(120)의 감지부 영역의 상부에만 마스크 패턴(130)을 형성함으로써, 추후 진행되는 리간드 치환 처리 공정의 공정 시간을 조절할 수 있다.
- [0069] 마스크 패턴(130)은 폴리디메틸실록산(PDMS)을 포함할 수 있다.
- [0070] 본 발명의 실시예에 따른 스트레인 센서의 제조 방법은 마스크 패턴(130)이 형성된 금속 나노 입자 박막(120)을 제2 표면 리간드가 분산된 리간드 치환 용액(140)에 접촉시키는 제1 치환 단계(S130)를 진행한다.

- [0071] 제1 치환 단계(S130)는 금속 나노 입자 박막(120)에 포함되는 금속 나노 입자의 표면 리간드를 제1 표면 리간드에서 제2 표면 리간드로 치환시켜 금속 나노 입자 박막(120)의 전기 전도도를 향상시키고, 기계적 특성을 개선할 수 있다.
- [0072] 제2 표면 리간드는 제1 표면 리간드 대비 리간드 길이가 짧고, 제2 표면 리간드는 제2 유기 리간드 및 무기 리간드 중 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다.
- [0073] 제2 유기 리간드는 1개 내지 3개의 탄소 사슬을 포함할 수 있고, 제2 유기 리간드의 탄소 사슬이 3개를 초과하면 리간드 길이가 너무 길어지져 전도성이 너무 낮아지는 문제가 있다.
- [0074] 바람직하게는, 제2 유기 리간드는 3-메르카토프로피온산(3-mercaptopropionic acid, MPA) 및 1,2-에테인다이티올(1,2-ethanedithiol, EDT) 중 어느 하나를 포함할 수 있다.
- [0075] 또한, 무기 리간드는 염화 암모늄(NH_4Cl), 테트라-n-부틸 암모늄브로마이드(tetra-n-butyl ammonium bromide, TBAB), 및 티오시아산 암모늄(NH_4SCN) 중 어느 하나를 포함할 수 있고, 바람직하게는, 무기 리간드는 TBAB일 수 있다.
- [0076] 예를 들어, 제1 치환 단계(S130)는 NH_4Cl , TBAB, 또는 NH_4SCN 등을 메탄올 또는 아세토니트릴(acetonitrile) 등에 분산시킨 리간드 치환 용액에, 금속 나노 입자 박막(120)을 접촉시키는 방식으로 처리될 수 있다. 제1 치환 단계(S130)에 의해 제1 표면 리간드가 제2 표면 리간드로 치환되면, 금속 나노 입자들은 서로 융합되어 미세 클러스터(microclusters)를 형성함으로써, 금속 나노 입자의 크기가 증가하게 되고, 금속 나노 입자 간의 거리가 감소될 수 있다.
- [0077] 무기 나노 입자 표면의 리간드 치환을 조절하는 인자(factor)로는 리간드 치환 용액(140)의 농도 및 치환 처리 시간(제1 치환 단계 및 제2 치환 단계의 공정 시간)이 될 수 있다.
- [0078] 리간드 치환 용액(140)의 농도는 1mM 내지 5mM일 수 있고, 리간드 치환 용액(140)의 농도가 1mM 미만이면 리간드 치환 반응이 잘 일어나지 않는 문제가 있고, 5mM를 초과하면 너무 급격하게 리간드 치환 반응이 일어나 금속 나노 입자 박막(120)이 유연한 절연성 기판(110)에서 박리되는 현상이 발생 하는 문제가 있다.
- [0079] 제1 치환 단계(S130)는, 공정 시간이 25초 내지 45초일 수 있고, 공정 시간이 25초 미만이면, 리간드 치환이 충분히 일어나지 않아 충분히 전도성이 확보되지 않는 문제가 있고, 공정 시간이 45초를 초과하면 큰 차이를 보이지 않아 불필요한 공정시간이 소요되는 문제가 있다.
- [0080] 보다 구체적으로, 제1 치환 단계(S130)의 경우, 금속 나노 입자 박막(120)의 감지부 영역은 마스크 패턴(130)에 의해 리간드 치환 용액(140)에 접촉되지 않고, 전극부 영역만 리간드 치환 용액(140)에 접촉될 수 있다.
- [0081] 따라서, 금속 나노 입자 박막(120)의 감지부 영역은 제1 치환 단계(S130)에서는 리간드 치환 용액(140)에 접촉되지 않으므로, 제2 치환 단계(S140)에서 금속 나노 입자 표면의 제1 표면 리간드가 제2 표면 리간드로 부분적으로 치환될 수 있고, 전극부 영역은 제1 치환 단계(S130) 및 제2 치환 단계(S150)에서 모두 리간드 치환 용액(140)에 접촉되어 금속 나노 입자 표면의 제1 표면 리간드가 모두 제2 표면 리간드로 치환될 수 있다.
- [0082] 본 발명의 실시예에 따른 스트레인 센서의 제조 방법은 금속 나노 입자 박막(120)의 감지부 영역 상에 형성된 마스크 패턴(130)을 제거하는 단계(S140)를 진행한다.
- [0083] 본 발명의 실시예에 따른 스트레인 센서의 제조 방법은 감지부 영역의 금속 나노 입자의 표면 리간드를 제1 표면 리간드에서 제2 표면 리간드로 치환시키기 위해 금속 나노 입자 박막(120)의 감지부 영역을 덮고 있는 마스크 패턴(130)을 제거할 수 있다.
- [0084] 마스크 패턴(130)을 제거하는 방법은 특별히 제한되지 않는다.
- [0085] 본 발명의 실시예에 따른 스트레인 센서의 제조 방법은 마스크 패턴(130)이 제거된 금속 나노 입자 박막(120)을 제2 표면 리간드가 분산된 리간드 치환 용액(140)에 접촉시켜 감지부(150) 및 전극부(160)를 형성하는 제2 치환 단계(S150)를 진행한다.
- [0086] 제2 치환 단계(S150)는 금속 나노 입자 박막(120)의 감지부 영역 및 전극부 영역이 모두 리간드 치환 용액(140)에 접촉될 수 있다.
- [0087] 제2 치환 단계(S150)의 방법은 공정 시간이 상이한 것을 제외하면, 제1 치환 단계(S130)와 동일한 방법으로 금

속 나노 입자 박막(120)의 감지부 영역 및 전극부 영역을 치환 처리할 수 있다.

- [0088] 제2 치환 단계(S150)는, 공정 시간이 5초 내지 15초일 수 있고, 공정 시간이 5초 미만이면, 리간드 치환이 거의 일어나지 않아 절연적인 특성을 보이는 문제가 있고, 15초를 초과하면, 리간드 치환이 많이 일어나 금속 성질을 나타내는 문제가 있다.
- [0089] 금속 나노 입자 박막(120)의 감지부 영역은 제2 치환 단계(S150)에서만 금속 나노 입자의 표면 리간드가 제1 표면 리간드에서 제2 표면 리간드로 치환되어 감지부(150)를 형성할 수 있고, 전극부 영역은 제1 치환 단계(S130) 및 제2 치환 단계(S150)에서 모두 금속 나노 입자의 표면 리간드가 제1 표면 리간드에서 제2 표면 리간드로 치환되어 전극부(160)을 형성할 수 있다.
- [0090] 따라서, 감지부(150)는 금속 나노 입자의 표면 리간드가 부분적으로 제2 표면 리간드로 치환되어, 금속 나노 입자가 표면 리간드로 제1 표면 리간드 및 제2 표면 리간드를 모두 포함하여 금속-절연체 전이(metal-insulating transition) 구조를 가질 수 있고, 전극부(160)는 금속 나노 입자의 표면 리간드가 제1 표면 리간드에서 제2 표면 리간드로 모두 치환되어, 금속성을 나타낼 수 있다.
- [0091] 보다 구체적으로, 금속 나노 입자 박막(120)은 리간드 치환 처리 시간에 따라 금속 나노 입자 박막(120)의 전기적 상태가 변화될 수 있고, 리간드 치환 처리 시간은 제1 치환 단계(S130) 및 제2 치환 단계(S150)가 진행된 공정 시간의 합을 의미한다.
- [0092] 따라서, 감지부(150)는 제2 치환 단계(S150)에서만 리간드 치환 용액에 접촉되기 때문에, 비교적 짧은 리간드 치환 처리 시간(제2 치환 단계(S150)의 공정 시간만큼만 리간드 치환 처리 시간을 가짐)을 갖고, 전극부(160)는 제1 치환 단계(S130) 및 제2 치환 단계(S150)에서 모두 리간드 치환 용액에 접촉되기 때문에 비교적 긴 리간드 치환 처리 시간(제1 치환 단계(S130) 및 제2 치환 단계(S150)의 공정 시간의 합만큼 리간드 치환 처리 시간을 가짐)을 가질 수 있다.
- [0093] 감지부(150)의 리간드 치환 처리 시간은 5초 내지 15초일 수 있고, 5초 미만이면 리간드 치환이 거의 일어나지 않아 절연적인 특성을 보이는 문제가 있고, 15초를 초과하면 리간드 치환이 많이 일어나 금속성질을 나타내는 문제가 있다.
- [0094] 따라서, 감지부(150)는 중간상이 나타나고, 중간상은 전도성 및 스트레인에 민감한 특성을 나타낸다.
- [0095] 전극부(150)의 리간드 치환 처리 시간은 30초 내지 60초일 수 있고, 공정 시간이 30초 미만이면 금속 나노 입자 표면에 제1 표면 리간드 및 제2 표면 리간드를 모두 포함하여 금속-절연체 전이 구조를 가지는 문제가 있고, 60초를 초과하면 이미 금속 나노 입자 표면의 제1 표면 리간드가 모두 제2 표면 리간드로 치환되었기에 불필요하게 공정 시간이 증가하는 문제가 있다.
- [0096] 또한, 감지부(150)에 포함되는 제1 표면 리간드와 제2 표면 리간드의 비는 33:67 내지 10:90일 수 있고, 감지부(150)에 포함되는 제1 표면 리간드 및 제2 표면 리간드의 비가 33:67미만이면 절연 성질 특성을 나타내는 문제가 있고, 10:90를 초과하면 금속 성질을 나타내는 문제가 있다.
- [0097] 예를 들어, 감지부(150)의 리간드 치환 처리 시간이 5초동안 진행되는 경우, 제1 표면 리간드와 제2 표면 리간드의 비는 33:67를 나타낼 수 있고, 감지부(150)의 리간드 치환 처리 시간이 15초동안 진행되는 경우, 제1 표면 리간드와 제2 표면 리간드의 비는 10:90를 나타낼 수 있다.
- [0098] 또한, 감지부(150)는 금속 나노 입자의 제1 표면 리간드가 부분적으로 제2 표면 리간드로 치환되어, 내부에 크랙(crack)을 포함할 수 있다.
- [0099] 크랙(crack)은 제1 치환 단계(S130) 또는 제2 치환 단계(S150)을 진행함으로써, 자연적으로 형성될 수 있고, 제1 치환 단계(S130) 및 제2 치환 단계(S150)가 모두 진행되지 않거나, 모두 진행되면 크랙은 제거될 수 있다.
- [0100] 보다 구체적으로, 감지부(150)는 제2 치환 단계(S150)에 의해 금속 나노 입자의 제1 표면 리간드가 제2 표면 리간드로 부분적으로 치환되어, 금속 나노 입자 사이의 거리가 가까워져, 금속 나노 입자끼리 융합되어 미세 클러스터가 형성될 수 있다. 그러나, 감지부(150)에 포함되는 금속 나노 입자의 표면에 여전히 제1 표면 리간드가 존재하기 때문에, 금속 나노 입자의 표면의 제1 표면 리간드에 의해 금속 나노 입자가 모두 융합되는 것을 방지함으로써, 미세 클러스터들 사이가 이격되어 크랙이 형성될 수 있다.
- [0101] 따라서, 본 발명의 실시예에 따른 스트레인 센서의 감지부(150)는 변형이 인가되면, 미세 클러스터들 사이의 크랙의 폭이 증가하여 미세 클러스터들 간에 전하가 이동되는 것을 막아 저항이 증가되고, 변형이 해소되면, 미세

클러스터들 사이의 크랙의 폭이 다시 감소하여 미세 클러스터들 간에 전하가 이동되어 저항이 감소됨으로써 스트레인 센서의 변형을 감지할 수 있다.

- [0102] 본 발명의 실시예에 따른 스트레인 센서의 제조 방법은 리간드 치환 용액을 이용하여 상온 및 상압에서 용액 공정을 진행하여 감지부(150) 및 전극부(160)를 제조함으로써 공정 비용을 절감하는 동시에 대량 생산이 가능한 금속 나노 입자를 포함하는 웨어러블 스트레인 센서를 제조할 수 있다.
- [0103] 실시예에 따라, 제2 치환 단계(S150)를 진행한 다음, 감지부(150) 및 전극부(160)가 형성(변환)된 금속 나노 입자 박막(120)을 패터닝하는 단계를 더 포함할 수 있다.
- [0104] 제2 치환 단계(S150)를 진행하면, 금속 나노 입자 박막(120)은 넓은 면적의 감지부(150) 및 전극부(160)를 형성하고 있으므로, 사용자의 선호 또는 피측정물에 대응하는 형상으로 제조하기 위해, 감지부(150) 및 전극부(160)를 포함하는 금속 나노 입자 박막(120)을 패터닝할 수 있다.
- [0105] 예를 들어, 본 발명의 실시예에 따른 스트레인 센서는 감지부(150) 및 전극부(160)를 포함하는 금속 나노 입자 박막(120)을 패터닝하여 유연한 절연성 기판(110) 상에 제1 전극(161) 및 제2 전극(162)을 포함하는 전극부(160)가 더 넓은 면적을 갖도록 아령 형상으로 제조할 수 있다.
- [0107] 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 스트레인 센서를 도시한 평면도이다.
- [0108] 본 발명의 실시예에 따른 스트레인 센서는 본 발명의 실시예에 따른 스트레인 센서의 제조 방법에 의해 제조되므로, 동일한 구성요소에 대해서는 생략하기로 한다.
- [0109] 본 발명의 실시예에 따른 스트레인 센서는 유연한 절연성 기판(210), 유연한 절연성 기판(210) 상에 형성되고, 제1 표면 리간드 및 제2 표면 리간드를 포함하는 금속 나노 입자로 이루어져 금속-절연체 전이(metal-insulating transition) 구조를 갖는 감지부(220) 및 감지부(220)의 일단 및 타단에 형성되는 제1 전극(231) 및 제2 전극(232)을 포함하되, 제1 전극(231) 및 제2 전극(232)은 제2 표면 리간드를 포함하는 금속 나노 입자로 이루어진 전극부(230)를 포함하고, 제2 표면 리간드는 제1 표면 리간드 대비 리간드 길이가 짧다.
- [0110] 본 발명의 실시예에 따른 스트레인 센서는 금속 나노 입자의 리간드 치환 처리 시간 및 농도를 조절하여 형성된 감지부(220)가 금속-절연체 전이 구조 및 크랙을 포함하여 민감도가 향상된 스트레인 센서를 제조할 수 있다.
- [0111] 본 발명의 실시예에 따른 스트레인 센서는 금속 나노 입자의 리간드 치환 처리 시간 및 농도를 조절하여 200의 게이지 팩터(스트레인 게이지의 민감도)를 갖는 스트레인 센서를 제조할 수 있다.
- [0112] 본 발명의 실시예에 따른 스트레인 센서는 유연한 절연성 기판(210)을 포함한다.
- [0113] 유연한 절연성 기판(210)은 외력이 가해져 변형을 일으키는 피측정물에 부착되어 함께 변형되어야 하므로 유연해야 한다. 또한 그 일면에 전류가 통하는 감지부(150) 및 전극부(160)가 배치되므로, 전류가 피측정물로 흐르지 않도록 절연성이 있어야 한다.
- [0114] 본 발명의 실시예에 따른 스트레인 센서는 감지부(220)를 포함하고, 감지부(220)는 제1 표면 리간드 및 제2 표면 리간드를 포함하는 금속 나노 입자로 이루어져 금속-절연체 전이(metal-insulating transition) 구조를 가진다.
- [0115] 보다 구체적으로, 본 발명의 실시예에 따른 스트레인 센서의 감지부(220)는 제1 표면 리간드를 포함하는 금속 나노 입자를 제1 표면 리간드보다 상대적으로 리간드 길이가 짧은 제2 표면 리간드로 부분적으로 치환시켜, 금속 나노 입자가 제1 표면 리간드 및 제2 표면 리간드를 모두 포함함으로써, 금속-절연체 전이 구조 및 크랙에 의해 높은 게이지 팩터 및 민감도를 가질 수 있다.
- [0116] 제1 표면 리간드는 제1 유기 리간드를 포함하고, 제2 표면 리간드는 제2 유기 리간드 및 무기 리간드 중 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다.
- [0117] 제1 유기 리간드는 8개 내지 18개의 탄소 사슬을 포함할 수 있고, 예를 들어, 제1 유기 리간드는 트리옥틸포스핀(trioctylphosphine), 트리옥틸포스핀 산화물(trioctylphosphine oxide), 올레산(Oleic acid) 및 올레일아민(Oleylamine) 중 어느 하나를 포함할 수 있다.
- [0118] 제2 유기 리간드는 1개 내지 3개의 탄소 사슬을 포함할 수 있고, 예를 들어, 제2 유기 리간드는 3-메르캅토프로피온산(3-mercaptopropionic acid, MPA) 및 1,2-에테인다이티올(1,2-ethanedithiol, EDT) 중 어느 하나를 포함할 수 있으며, 무기 리간드는 염화 암모늄(NH₄Cl), 테트라-n-부틸 암모늄브로마이드(tetra-n-butyl ammonium

bromide, TBAB), 및 티오시안산 암모늄(NH_4SCN) 중 어느 하나를 포함할 수 있다.

- [0119] 또한, 감지부(220)의 제1 표면 리간드 및 크랙은 비저항 및 게이지 팩터를 증가시키는 절연 성분으로 사용될 수 있고, 제2 표면 리간드는 상대적으로 짧은 길이에 의해 금속 성분으로 사용될 수 있다.
- [0120] 따라서, 본 발명의 실시예에 따른 스트레인 센서는 감지부(220)가 서로 다른 길이를 갖는 제1 표면 리간드 및 제2 표면 리간드를 포함함으로써, 금속-절연체 전이 구조 및 크랙을 포함하여 높은 게이지 팩터 및 민감도를 가질 수 있다.
- [0121] 감지부(220)에 포함되는 제1 표면 리간드와 제2 표면 리간드의 비는 33:67 내지 10:90일 수 있고, 감지부(220)에 포함되는 유제1 표면 리간드와 제2 표면 리간드의 비가 33:67 미만이면 절연 성질을 나타내는 문제가 있고, 10:90을 초과하면 금속 성질을 나타내는 문제가 있다.
- [0122] 종래의 금속 나노 입자를 포함하는 스트레인 센서는 민감도가 매우 낮아 미세한 신체 신호를 감지하기 어려웠으나, 본 발명의 실시예에 따른 스트레인 센서는 감지부(220)가 제1 표면 리간드 및 제2 표면 리간드를 포함하는 금속 나노 입자로 이루어져, 금속-절연체 전이 구조 및 자연적인 크랙을 통한 퍼콜레이션(percolation)을 이용하여 스트레인 센서의 민감도를 향상시켜 동작 인식 또는 목소리 인식과 같은 미세한 신체 신호를 감지할 수 있다.
- [0123] 퍼콜레이션은 무질서(random state)를 설명하는 이론 가운데 가장 기본이 되는 개념으로서, 일정 공간 안에서 무질서하게 존재하는 물질들에 대한 확률 값으로 표시된다. 무질서하게 섞여 있는 금속성 물질이 특정 조건 이상에서 전도가 일어나기 시작할 때, 이러한 조건을 퍼콜레이션 문턱(percolation threshold)이라 한다.
- [0124] 따라서, 금속-절연체 전이 구조에서, 제2 표면 리간드가 증가할수록 전도도가 증가하게 되고, 특히 퍼콜레이션 임계(percolation threshold)를 넘어서게 되면 급격한 저항 감소를 나타내어, 절연체에서 금속으로 전기적 특성이 변하게 된다.
- [0125] 이 때, 퍼콜레이션 임계 근처에서, 이러한 시스템은 변형과 같은 외부 자극에 급격한 저항 변화를 나타내게 되며, 본 발명의 실시예에 따른 스트레인 센서는 이런 원리를 이용하여, 금속-절연체 스트레인 게이지를 제조하여 민감도를 향상시킬 수 있다.
- [0126] 본 발명의 실시예에 따른 스트레인 센서는 일단 및 타단에 형성되는 제1 전극(231) 및 제2 전극(232)을 포함하는 전극부(230)를 포함하고, 전극부(230)는 제2 표면 리간드를 포함하는 금속 나노 입자로 이루어져 금속성을 나타낸다.
- [0127] 전극부(230)의 금속 나노 입자는 제1 표면 리간드를 포함하지 않고, 제2 표면 리간드만 포함함으로써, 금속성을 나타낼 수 있다.
- [0128] 본 발명의 실시예에 따른 스트레인 센서의 감지부(220) 및 전극부(230)의 특성에 대해서는 도 3을 참조하여 보다 상세히 설명하도록 한다.
- [0130] 도 3은 본 발명의 실시예에 따른 스트레인 센서를 도시한 개략도 및 리간드 치환 처리 시간에 따른 저항률/게이지 팩터를 도시한 그래프이다.
- [0131] 본 발명의 실시예에 따른 스트레인 센서의 감지부(220) 및 전극부(230, 231, 232)로 사용되는 금속 나노 입자 박막은 리간드 치환 처리 시간에 따라, 3가지 상태로 변화될 수 있다.
- [0132] 먼저, 본 발명의 실시예에 따른 스트레인 센서의 감지부(220) 및 전극부(230)로 사용되는 금속 나노 입자 박막에 리간드 치환 처리가 진행되지 않으면(제1 치환 단계 및 제2 치환 단계가 모두 진행되지 않은 상태), 금속 나노 입자 박막 내에 포함되는 금속 나노 입자는 표면 리간드로 제1 표면 리간드를 포함하고 있기 때문에, 상대적으로 길이가 긴 탄소 사슬에 의해 금속 나노 입자 사이의 거리가 길어져 절연성을 나타낼 수 있다.
- [0133] 따라서, 리간드 치환 처리가 진행되지 않은 금속 나노 입자 박막은 절연성을 나타내므로 저항률 및 게이지 팩터가 매우 큰 값을 가질 수 있다.
- [0134] 본 발명의 실시예에 따른 스트레인 센서의 감지부(220)는 금속 나노 입자 박막에 리간드 치환 처리가 일정 시간 진행(제2 치환 단계에서만 리간드 치환 용액에 접촉된 상태)되어, 금속 나노 입자 박막 내에 포함되는 금속 나노 입자의 제1 표면 리간드가 부분적으로 제2 표면 리간드로 치환되어, 금속-절연체 전이 구조를 나타낼 수 있다.

- [0135] 보다 구체적으로, 본 발명의 실시예에 따른 스트레인 센서의 감지부(220)는 금속 나노 입자의 표면 리간드가 제2 표면 리간드로 일부 치환되어 금속 나노 입자 사이의 거리가 가까워져, 금속 나노 입자끼리 융합되어 미세 클러스터가 형성될 수 있다. 그러나, 본 발명의 실시예에 따른 스트레인 센서의 감지부(220)에 포함되는 금속 나노 입자의 제1 표면 리간드가 모두 제2 표면 리간드로 치환되지 않았기 때문에, 금속 나노 입자의 표면에 남아 있는 제1 표면 리간드에 의해 금속 나노 입자가 모두 융합되는 것을 방지함으로써, 미세 클러스터들 사이가 이격되어 자연적으로 크랙이 형성될 수 있다.
- [0136] 따라서, 본 발명의 실시예에 따른 스트레인 센서의 감지부(220)에 변형(strain)이 인가되면, 미세 클러스터들 사이의 크랙의 폭이 증가하여 미세 클러스터들 간에 전하가 이동되는 것을 막아 저항이 증가되고, 변형이 해소되면, 미세 클러스터들 사이의 크랙의 폭이 다시 감소하여 미세 클러스터들 간에 전하가 이동되어 저항이 감소됨으로써, 스트레인 센서의 변형을 감지할 수 있다.
- [0137] 따라서, 본 발명의 실시예에 따른 스트레인 센서의 감지부(220)는 금속-절연체 전이 구조를 가짐으로써, 저항률 및 게이지 팩터가 감소될 수 있지만, 게이지 팩터는 미세한 변형을 측정하기에 충분히 큰 값을 나타낸다.
- [0138] 본 발명의 실시예에 따른 스트레인 센서의 전극부(230)는 금속 나노 입자 박막에 리간드 치환 처리가 오랜 시간 진행(제1 치환 단계 및 제2 치환 단계에 모두 리간드 치환 용액에 접촉된 상태)되어, 금속 나노 입자 박막 내에 포함되는 금속 나노 입자의 제1 표면 리간드가 모두 제2 표면 리간드로 치환되어, 금속성을 나타낼 수 있다.
- [0139] 보다 구체적으로, 본 발명의 실시예에 따른 스트레인 센서의 전극부(230)는 금속 나노 입자의 제1 표면 리간드가 모두 제2 표면 리간드로 치환되었기 때문에, 기존의 제1 표면 리간드보다 짧은 리간드 길이로 인해, 금속 나노 입자 간의 거리가 거의 0에 가깝게 짧아져 미세 클러스터 간의 융합이 모두 진행됨으로써, 금속성을 나타낼 수 있다.
- [0140] 따라서, 본 발명의 실시예에 따른 스트레인 센서의 전극부(230)는 매우 낮은 저항률 및 게이지 팩터를 나타낼 수 있다.
- [0142] 도 4는 리간드 치환 처리 시간에 따른 금속 나노 입자의 표면 리간드 변화를 도시한 개략도이다.
- [0143] 본 발명의 실시예에 따른 스트레인 센서의 제조 방법은 리간드 치환 처리 시간(감지부 또는 전극부에 가해지는 제1 치환 단계 및 제2 치환 단계의 공정 시간의 합)에 따라, 금속 나노 입자(10) 표면의 제2 표면 리간드(미도시)의 비율이 조절되고, 금속 나노 입자(10) 표면의 제2 표면 리간드의 비율에 따라 금속 나노 입자 박막의 전기적 특성이 변화될 수 있다.
- [0144] 예를 들어, 금속 나노 입자 박막에 리간드 치환 처리 공정이 진행되지 않으면, 금속 나노 입자(10)는 표면에 상대적으로 길이가 긴 제1 표면 리간드(20)를 포함하여 고르게 분포되어 있고, 금속 나노 입자(10)의 표면에 형성된 제1 표면 리간드(20)에 의해 전기적으로 절연성을 나타낼 수 있다.
- [0145] 만약, 금속 나노 입자 박막에 비교적 짧은 시간 동안, 약 15초 동안 리간드 치환 처리(제2 치환 단계만 진행된 감지부가 이에 대응될 수 있다)를 진행하면, 금속 나노 입자(10) 표면의 제1 표면 리간드(20)가 부분적으로 제2 표면 리간드로 치환되어 금속 나노 입자가 융합됨으로써, 금속 나노 입자끼리 서로 연결되어 미세 클러스터(11)를 형성하여 금속 나노 입자 박막 내부에 나노 크랙(nanocrack, C)이 형성될 수 있다.
- [0146] 보다 구체적으로, 금속 나노 입자 박막에 비교적 단 시간 동안 리간드 치환 처리(제2 치환 단계만 진행된 감지부가 이에 대응될 수 있다)를 진행하면 금속 나노 입자(10)의 표면에 제2 표면 리간드에 의해 치환되지 않고 잔류하는 제1 표면 리간드(20)가 미세 클러스터(11)의 특정면을 차단하여 금속 원자가 추가적으로 이동되어 융합되는 것을 완화시킬 수 있다. 따라서, 제1 표면 리간드(20)는 미세 클러스터(11)가 완전히 성장하는 것을 방지하여 금속 나노 입자 박막 내에 나노 크랙(C)을 형성할 수 있다.
- [0147] 따라서, 금속 나노 입자 박막은 부분적으로 제2 표면 리간드가 치환되어 전체 표면적(surface area)이 감소되기는 하나, 표면 에너지(surface energy) 또한 감소되어 준안정적(metastable) 상태를 나타낼 수 있다.
- [0148] 즉, 비교적 단 시간 동안 리간드 치환 처리된 금속 나노 입자 박막(제2 치환 단계만 진행된 감지부가 이에 대응될 수 있다)은 금속 나노 입자(10) 표면에 제1 표면 리간드(20) 및 제2 표면 리간드를 모두 포함함으로써, 전기적으로 절연성을 갖는 금속 나노 입자 박막에서 전도성이 있는 금속 나노 입자 박막으로의 전이 상태가 나타나 금속-절연체 전이 구조를 가질 수 있다.
- [0149] 그러나, 금속 나노 입자 박막에 비교적 긴 시간 동안, 약 60초 동안 리간드 치환 처리(제1 치환 단계 및 제2 치

환 단계가 모두 진행된 전극부가 이에 대응될 수 있다)를 진행하면, 금속 나노 입자(10) 표면의 제1 표면 리간드(20)가 제2 표면 리간드로 치환됨에 따라, 금속 나노 입자(10) 표면의 제1 표면 리간드(20)가 모두 제2 표면 리간드로 치환됨으로써, 금속 나노 입자(10)의 미세 클러스터(11)가 계속 융합되어 금속 나노 입자 박막의 두께 및 표면 거칠기가 감소될 수 있다.

[0150] 따라서, 금속 나노 입자(10)의 제1 표면 리간드(20)가 모두 제2 표면 리간드로 치환됨으로써, 미세 클러스터(11)가 융합되어 나노 크랙(C)과 같은 공극이 채워지고, 금속 나노 입자 박막의 표면 에너지가 더욱 감소하여 금속성을 나타낼 수 있다.

[0152] 도 5는 본 발명의 실시예에 따른 스트레인 센서의 감지부에 포함되는 크랙의 변화를 도시한 개략도이다.

[0153] 도 5를 참조하면, 본 발명의 실시예에 따른 스트레인 센서의 감지부는 내부에 크랙(C)을 포함하고, 크랙(C)은 감지부 내에 포함되는 금속 나노 입자의 미세 클러스터들 사이의 이격된 공간을 나타낼 수 있다.

[0154] 만약, 본 발명의 실시예에 따른 스트레인 센서에 변형이 인가되면, 크랙(C)의 폭이 증가하여 미세 클러스터에서 인접한 미세 클러스터로 전하가 이동되는 것을 막아 저항이 증가되고, 본 발명의 실시예에 따른 스트레인 센서에 변형이 해소되면, 크랙(C)의 폭이 다시 감소하여 미세 클러스터에서 인접한 미세 클러스터로 전하가 이동될 수 있어 저항이 감소되어, 저항 변화에 따라 변형률을 산정할 수 있다.

[0155] 이하에서는, 도 6 내지 도 28을 참고하여, 본 발명의 실시예에 따른 스트레인 센서의 특성에 대해 설명하기로 한다.

[0157] 제조예

[0158] 1.7g의 질산은(AgNO_3), 45 mL의 올레산(oleic acid) 및 5 mL의 올레일아민(oleylamine)을 혼합하여 합성 용액을 제조하고, 제조된 합성 용액을 1.5시간 동안 75°C에서 탈기시킨 다음, $1^\circ\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$ 의 승온 속도로 온도를 180°C로 증가시킨 후, 냉각시켜 제1 유기 리간드를 포함하는 은 나노 입자를 합성하였다.

[0159] 제1 유기 리간드를 포함하는 은 나노 입자를 톨루엔 및 에탄올로 5000rpm에서 5분간 원심 분리하여 세척하는 세척 공정을 3회 반복 진행하여 침전된 제1 유기 리간드를 포함하는 은 나노 입자를 옥탄에 분산시켜 $200 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 의 농도를 갖는 제1 유기 리간드를 포함하는 은 나노 입자 용액을 제조하였다.

[0160] 제1 유기 리간드를 포함하는 은 나노 입자 용액을 MPTS 처리된 폴리에틸렌테레프탈레이트(PET, $100 \mu\text{m}$) 기판 상에 100rpm으로 스핀 코팅하여 은 나노 입자 박막을 형성한 다음, 메탄올 및 TBAB(10 mM)을 포함하는 리간드 치환 용액을 사용하여 리간드 치환 처리를 진행하였다.

[0161] 이때, 리간드 치환 처리는 공정 시간을 2초, 5초, 15초, 30초 및 60초로 조절하여 진행하였다.

[0163] 도 6 내지 도 11은 리간드 치환 처리 시간에 따른 금속 나노 입자의 변화를 도시한 투과 전자 현미경(TEM) 결과를 도시한 이미지이다.

[0164] 도 6은 리간드 치환 처리가 진행되지 않은 초기 금속 나노 입자를 도시한 것이고, 도 7은 2초 동안 리간드 치환 처리를 진행한 금속 나노 입자를 도시한 것이며, 도 8은 5초 동안 리간드 치환 처리를 진행한 금속 나노 입자를 도시한 것이고, 도 9는 15초 동안 리간드 치환 처리를 진행한 금속 나노 입자를 도시한 것이고, 도 10은 30초 동안 리간드 치환 처리를 진행한 금속 나노 입자를 도시한 것이고, 도 11은 30초 동안 리간드 치환 처리를 진행한 금속 나노 입자를 도시한 것이다.

[0165] 도 6 내지 도 11은 스케일 바가 20nm를 의미한다.

[0166] 도 6을 참조하면, 리간드 치환 처리가 진행되지 않은 초기의 금속 나노 입자는 $3.52 \pm 1.09 \text{ nm}$ 의 직경 및 $2.72 \pm 0.36 \text{ nm}$ 의 금속 나노 입자 간 거리를 갖는 구형 형상을 나타내나, 도 7을 참조하면, 2초 동안 리간드 치환 처리를 진행하는 경우, 금속 나노 입자의 직경은 동일하나 금속 나노 입자 간 거리가 감소하여 금속 나노 입자의 중첩이 나타나는 것을 알 수 있다.

[0167] 도 8을 참조하면, 5초 동안 리간드 치환 처리를 진행하는 경우, 금속 나노 입자의 직경이 거의 변화되지 않아 $3.66 \pm 0.67 \text{ nm}$ 의 직경을 가지는 금속 나노 입자 및 표면 에너지를 감소시키기 위해 금속 원자가 이동하여 금속 나노 입자가 합체(Coalescence) 및 성장(growth)되어 $19.03 \pm 2.27 \text{ nm}$ 의 직경을 갖는 금속 나노 입자를 포함함으로써, 서로 다른 직경을 갖는 금속 나노 입자를 포함하는 것을 알 수 있다.

- [0168] 또한, 직경이 거의 변화되지 않은 3.66 ± 0.67 nm의 직경의 금속 나노 입자는 금속 나노 입자의 표면에 부분적으로 잔류하는 제1 표면 리간드에 의해 성장 반응에 참여하지 않아, 비교적 작은 크기의 금속 나노 입자를 갖는 것을 알 수 있다.
- [0169] 도 9를 참조하면, 15초 동안 리간드 치환 처리를 진행하는 경우, 금속 나노 입자는 평균 직경이 31.4 ± 8.7 nm인 큰 사이즈의 금속 나노 입자만 남아 있고, 큰 사이즈의 금속 나노 입자가 서로 인접해 있는 것을 알 수 있다.
- [0170] 큰 사이즈의 금속 나노 입자는 비교적 작은 사이즈의 금속 나노 입자의 방향성 있는 부착(oriented attachment)에 의해 큰 사이즈의 금속 나노 입자로 성장되는 것을 알 수 있다.
- [0171] 도 10 및 도 11을 참조하면, 30초 또는 60초로 리간드 치환 처리를 진행하는 경우, 비특이적인 방향으로 금속 나노 입자의 합체(Coalescence) 및 성장(growth)이 진행되어 더 큰 직경의 금속 나노 입자가 형성되고, 구형을 형성하기 위한 계면 활성제로 작용하는 제1 유기 리간드가 완전히 제거되어 48.58 ± 19.83 nm의 평균 직경을 갖는 금속 나노 입자가 불규칙한 형태를 갖는 것을 알 수 있다.
- [0172] 도 12는 리간드 치환 처리가 진행되지 않은 금속 나노 입자 박막의 전자 주사 현미경(SEM) 결과를 도시한 이미지이고, 도 13은 15초 동안 리간드 치환 처리가 진행된 금속 나노 입자 박막의 주사 전자 현미경 결과를 도시한 이미지이며, 도 14는 60초 동안 리간드 치환 처리가 진행된 금속 나노 입자 박막의 주사 전자 현미경 결과를 도시한 이미지이다.
- [0173] 도 12 내지 도 14는 스케일 바가 $2\mu\text{m}$ 를 의미한다.
- [0174] 도 12 내지 도 14를 참조하면, 리간드 치환 처리가 진행되지 않은 초기 금속 나노 입자 박막은 구멍이나 크랙이 형성되지 않은 부드럽고 고른 표면을 나타내나, 15초 동안 리간드 치환 처리가 진행된 금속 나노 입자 박막은 바운더리(boundaries) 및 크랙이 발생하여 다수개의 미세 클러스터들(multiple micro-sized clusters)을 생성하는 것을 알 수 있다. 또한, 이 때의 금속 미세 클러스터는 $1.28 \pm 0.41 \mu\text{m}^2$ 의 크기를 가지며, 크랙 밀도는 $1.03 \pm 0.11 \mu\text{m}^2$ 인 것을 알 수 있다.
- [0175] 더 나아가, 60초 동안 리간드 치환 처리를 진행하면, 금속 나노 입자 박막에 형성되었던 크랙은 사라지고 상대적으로 거친 표면을 형성하는 것을 알 수 있다.
- [0177] 도 15는 리간드 치환 처리 시간에 따른 금속 나노 입자 박막의 저항 온도 계수 및 게이지 팩터를 도시한 그래프이다.
- [0178] 도 15를 참조하면, 금속 나노 입자 박막은 리간드 치환 처리 시간에 따라, 전기적 특성이 변화되고, 2초 또는 5초 동안 리간드 치환 처리가 진행됐을 때는 절연성, 15초 동안 리간드 치환 처리가 진행됐을 때는 금속-절연체 전이 구조 및 30초 또는 60초 동안 리간드 치환 처리가 진행됐을 때는 금속성을 갖는 3가지 영역으로 구분될 수 있다.
- [0179] 먼저, 2초 또는 5초 동안 무기 리간드(TBAB)를 사용하여 리간드 치환 처리를 진행하면 금속 나노 입자 박막(은 나노 입자 박막)은 금속 나노 입자의 표면 리간드로 제1 표면 리간드를 매우 많이 포함하고 있기 때문에 절연성이 너무 높아 게이지 팩터 및 TCR을 측정할 수 없다.
- [0180] 그러나, 15초 동안 리간드 치환 처리를 진행하면 금속 나노 입자 박막의 금속 나노 입자의 제1 표면 리간드가 부분적으로 무기 리간드로 치환되어 금속-절연체 전이 구조를 갖게 되어 중간 상태를 나타낼 수 있다. 이 때의 금속 나노 입자 박막의 저항률은 $10^1 \Omega \cdot \text{cm}$ 내지 $10^3 \Omega \cdot \text{cm}$ 의 넓은 범위를 나타내고, 불완전하게 융합된 금속 나노 입자 및 크랙을 통해 높은 비저항 및 대부분 음의 TCR 값을 갖는다.
- [0181] 또한, 본 발명의 실시예에 따른 스트레인 센서에 인가되는 변형 여부에 따라, 금속 나노 입자 박막 내에 형성된 크랙의 폭이 증가(변형 인가) 또는 감소(변형 해소)되어 미세 클러스터에서 다른 미세 클러스터로 전하가 이동되는 것을 막거나(변형 인가), 이동(변형 해소)되도록 하여 변형률을 측정할 수 있고, 이에 따라, 높은 게이지 팩터를 가질 수 있다.
- [0182] 그러나, 30초 또는 60초 동안 리간드 치환 처리를 진행하면, 금속 나노 입자의 제1 유기 리간드가 모두 무기 리간드로 치환되어 금속 나노 입자 표면에 형성된 표면 리간드의 길이가 짧아져, 금속 나노 입자 간의 거리가 거의 0에 가깝게 가까워져 금속성을 나타낼 수 있다. 이 때의 금속 나노 입자 박막은 매우 낮은 저항률, 낮은 게

이지 팩터 및 양의 TCR 값을 갖는 것을 알 수 있다.

- [0183] 또한, 비교적 긴 리간드 치환 처리 시간 때문에 금속 나노 입자는 완전히 용합되어 전자 경로(electron pathway) 형성하고, 형성된 전자 경로는 2%와 같은 극단적인 변형에 의해 파손되지 않아 뛰어난 안정성을 갖고, 게이지 팩터가 감소되는 것을 알 수 있다.
- [0185] 도 16은 리간드 치환 처리 시간에 따른 금속 나노 입자 박막의 게이지 팩터를 도시한 그래프이다.
- [0186] 도 16을 참조하면, 15초 동안 리간드 치환 처리를 진행하는 경우, 높은 게이지 팩터 값을 나타내고, 15초 이후부터는 리간드 치환 처리 시간이 증가함에 따라 게이지 팩터가 감소되는 것을 알 수 있다.
- [0188] 도 17은 리간드 치환 처리 시간에 따른 금속 나노 입자 박막의 푸리에변환 적외분광 분석(FTIR) 결과를 도시한 그래프이고, 도 18은 자외선-가시광선 흡광도(UV-vis absorption)를 도시한 그래프이며, 도 19는 엑스선 회절 분석(XRD) 결과를 도시한 그래프이고, 도 20은 에너지 분산 엑스선 스펙트럼(EDX spectra)을 도시한 그래프이다.
- [0189] 도 17 내지 도 20에서, 적색 그래프 선은 리간드 치환 처리 시간이 0초이고, 주황색 그래프 선은 리간드 치환 처리 시간이 2초이며, 황색 그래프 선은 리간드 치환 처리 시간이 5초이고, 녹색 그래프 선은 리간드 치환 처리 시간이 15초이며, 청색 그래프 선은 리간드 치환 처리 시간이 30초이고, 보라색 그래프 선은 리간드 치환 처리 시간이 60초이다.
- [0190] 도 17을 참조하면, 올레산염 리간드(oleate ligand, 제1 유기 리간드)로부터 발생하는 CH 밴드(CH stretching vibration band)는 약 2850^{-1} 내지 3000 cm^{-1} 의 파상수(Wavenumber)에서 검출되고, CH 밴드의 강도는 리간드 치환 처리 시간이 증가함에 따라 감소되는 것을 알 수 있다.
- [0191] 특히, 15초 동안 리간드 치환 처리를 진행하는 경우, 피크 강도는 현저히 감소하여 적은 양의 제1 유기 리간드만 존재하는 것을 알 수 있고, 30초 및 60초 동안 리간드 치환 처리를 진행하는 경우, 제1 표면 리간드가 모두 사라져 CH 밴드가 검출되지 않는 것을 알 수 있다.
- [0192] 도 18을 참조하면, 리간드 치환 처리가 진행되지 않은 금속 나노 입자 박막은 약 450nm에서 국부적인 표면 플라즈몬 공명 피크(localized surface plasmonic resonance peak, LSPR peak)를 나타내고, LSPR 피크는 리간드 치환 처리가 진행됨에 따라 약해지는 것을 알 수 있다.
- [0193] 2초 및 3초의 짧은 시간 동안 리간드 치환 처리가 진행되면, LSPR 피크는 여전히 존재하고, 15초 동안 리간드 치환 처리를 진행하면 LSPR 피크가 완전히 사라지는 않고 피크 강도가 감소하는 것을 알 수 있다. 하지만, 리간드 치환 처리 시간이 30초를 넘어가면 LSPR 피크는 완전히 사라져 고립된 금속 나노 입자(isolated NCs)의 특성(예; 크랙)이 금속 나노 입자 박막에서 사라지는 것을 알 수 있다.
- [0194] 도 19를 참조하면, 리간드 치환 처리가 진행되지 않은 금속 나노 입자 박막의 프로파일은 (111)은 결정면(Ag crystal plane)에 기인한 38.3° 에서 피크를 나타내고, 리간드 치환 처리가 15초 이상 진행되는 경우, 은 (200) 결정면에 기인한 44.2° 에서 피크가 형성되는 것을 알 수 있다.
- [0195] 리간드 치환 처리 시간이 증가함에 따라, 피크의 봉우리는 강해지고, 날카로워지며, 이를 통해 금속 나노 입자의 크기가 증가하는 것을 알 수 있다.
- [0196] 디바이세리고리 방정식(Debye Scherrer equation)에 따르면, 무기 나노 입자 치환 처리 시간이 2초, 5초, 15초, 30초 및 60초인 경우, 금속 나노 입자의 크기는 각각 2.94nm, 3.28nm, 5.18nm, 6.56nm, 16.20nm, 및 21 nm를 나타내는 것을 알 수 있다.
- [0197] 또한, 리간드 치환 처리 시간이 15초 이후부터는, AgBr(200)에 해당하는 30.7° 에서 새로운 피크가 나타났고, 이는 브롬(Br^-) 이온 무기 리간드가 제1 유기 리간드를 치환시켜 Br^- 이온이 Ag에 결합하여 AgBr을 형성하는 것을 알 수 있다.
- [0198] 따라서, 리간드 치환 처리 시간이 증가함에 따라 30.7° 에서 나타나는 피크가 점차 증가하는 것을 알 수 있다.
- [0199] 도 20을 참조하면, 리간드 치환 처리가 진행되지 않은 금속 나노 입자 박막은 2.99eV에서 은의 피크가 관찰되고, 리간드 치환 처리가 15초 진행되면 1.5keV에서 Br에 해당하는 작은 피크가 관찰되는 것을 알 수 있다.

- [0200] 또한, 리간드 치환 처리 시간이 증가함에 따라, Br의 피크는 뚜렷하고 날카로워지며 올레산염 제1 유기 리간드에서 Br⁻ 무기 리간드로 치환이 일어나는 것을 알 수 있다.
- [0202] 도 21은 리간드 치환 처리 시간에 따른 금속 나노 입자 박막의 저항률을 도시한 그래프이다.
- [0203] 도 21을 참조하면, 리간드 치환 처리가 진행되지 않은 금속 나노 입자 박막은 금속 나노 입자 표면에 형성된 제1 유기 리간드에 의해 절연성이 높아 전기 저항이 측정되지 않고, 리간드 치환 처리 시간이 증가할수록 금속 나노 입자 박막의 전기 전도성이 증가하는 것을 알 수 있다.
- [0204] 특히, 15초 동안 리간드 치환 처리가 진행된 경우, 금속 나노 입자 박막의 저항률은 $5.31 \pm 6.88 \times 10^2 \Omega \cdot \text{cm}$ 을 나타내고, 60초 동안 리간드 치환 처리가 진행된 경우, 금속 나노 입자 박막의 저항률은 $8.98 \pm 1.92 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$ 로 포화되는 것을 알 수 있다. 따라서, 15초 동안 리간드 치환 처리가 진행된 금속 나노 입자 박막의 내부 형성된 크랙의 수가 감소되고, 미세 클러스터가 융합됨으로써 전하 수송 경로가 생성되는 것을 알 수 있다.
- [0206] 도 22는 리간드 치환 처리 시간에 따른 금속 나노 입자 박막의 전류-전압 곡선을 도시한 그래프이다.
- [0207] 도 22에서 상부 그래프는 본 발명의 실시예에 따른 게이지 전세의 감지부를 나타내고, 하부 그래프는 본 발명의 실시예에 따른 게이지 센서의 전극부를 나타내며, 검은색 그래프 선은 변형이 가해졌을 때를 나타내고, 적색 그래프 선은 변형이 해소 되었을 때를 나타낸다.
- [0208] 도 22를 참조하면, 본 발명의 실시예에 따른 게이지 센서의 전극부는 0.4%의 변형을 인가하여도 전류 변화가 거의 나타나지 않지만, 본 발명의 실시예에 따른 게이지 센서의 감지부는 0.4%의 변형을 인가하면, 저항이 134% 증가하였고, 게이지 팩터는 335를 나타내는 것을 알 수 있다.
- [0210] 도 23은 본 발명의 실시예에 따른 게이지 센서의 감지부의 온도에 따른 저항률을 도시한 그래프이고, 도 24는 본 발명의 실시예에 따른 게이지 센서의 전극부의 온도에 따른 저항률을 도시한 그래프이다.
- [0211] 도 23을 참조하면, 본 발명의 실시예에 따른 게이지 센서의 감지부는 저항 대 온도가 음의 기울기를 나타내어, 금속의 특성에 반대되고, 음의 TCR 값을 금속 나노 입자 박막에서 전하 수송을 위한 호핑 메커니즘(hopping mechanism)을 나타내는 것을 알 수 있다.
- [0212] 도 24를 참조하면, 본 발명의 실시예에 따른 게이지 센서의 전극부는 저항 대 온도가 양의 기울기를 나타내고, 전하 수송 메커니즘(charge transport mechanism)이 금속 박막과 동일한 메커니즘을 나타내어, 금속성 수송(metallic transport) 특성을 갖는 것을 알 수 있다.
- [0214] 도 25는 본 발명의 실시예에 따른 스트레인 센서를 손가락에 부착하였을 때의 이미지를 도시한 것이고, 도 26은 손가락의 변형(strain) 및 해소(release) 움직임 주기에 따른 본 발명의 실시예에 따른 스트레인 센서의 저항 변화를 도시한 그래프이다.
- [0215] 도 25 및 도 26을 참조하면, 손가락에 부착된 본 발명의 실시예에 따른 스트레인 센서는 손가락의 변형(strain) 및 해소(release) 움직임이 반복 진행될 동안 안정적으로 유지되고, 손가락에 부착된 본 발명의 실시예에 따른 스트레인 센서는 손가락의 움직임에 따라 약 125%의 저항 변화를 나타내는 것을 알 수 있다.
- [0217] 도 27은 본 발명의 실시예에 따른 스트레인 센서를 목에 부착하였을 때의 이미지를 도시한 것이고, 도 28은 본 발명의 실시예에 따른 스트레인 센서의 시간에 따른 저항 변화를 도시한 그래프이다.
- [0218] 도 27 및 도 28을 참조하면, 목에 부착된 본 발명의 실시예에 따른 스트레인 센서는 삼키는 것과 같은 작은 근육 움직임에도 1%의 저항 변화가 나타나, 실시간으로 작은 근육의 변형도 감지할 수 있는 것을 알 수 있다.
- [0220] 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 아니 되며, 후술하는 특허청구범위뿐만 아니라 이 특허청구범위와 균등한 것들에 의해 정해져야 한다.

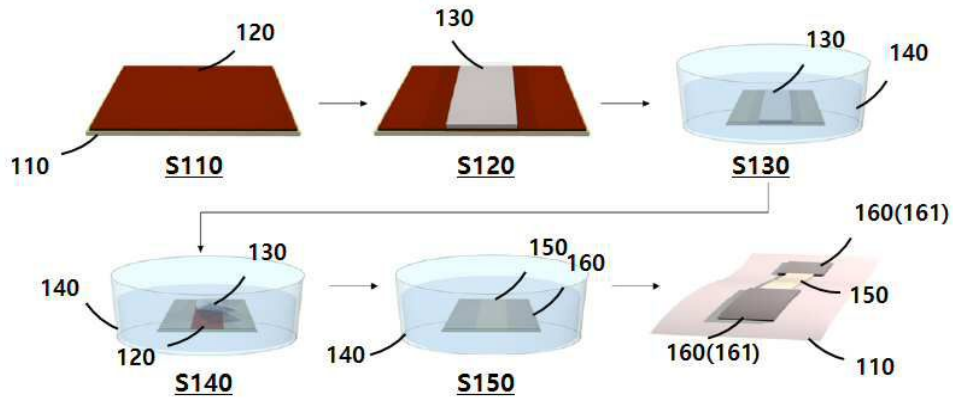
부호의 설명

- [0222] 10: 금속 나노 입자 20: 제1 표면 리간드

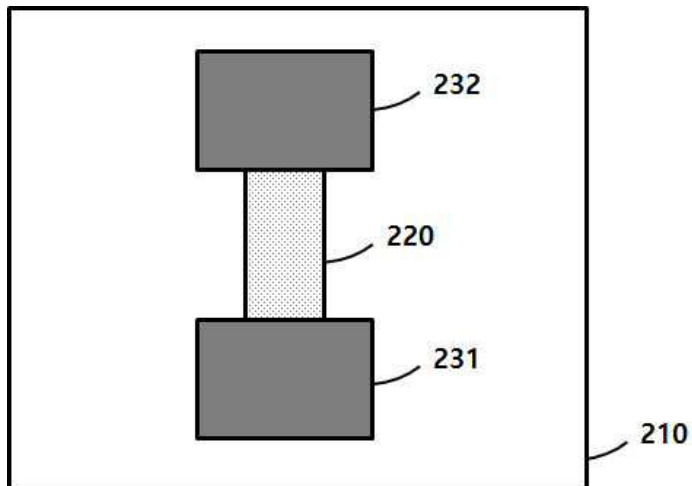
110, 210: 유연한 절연성 기판 120: 금속 나노 입자 박막
 130: 마스크 패턴 140: 리간드 치환 용액
 150, 220: 감지부 160, 230: 전극부
 161, 231: 제1 전극 162, 232: 제2 전극부
 C: 크랙

도면

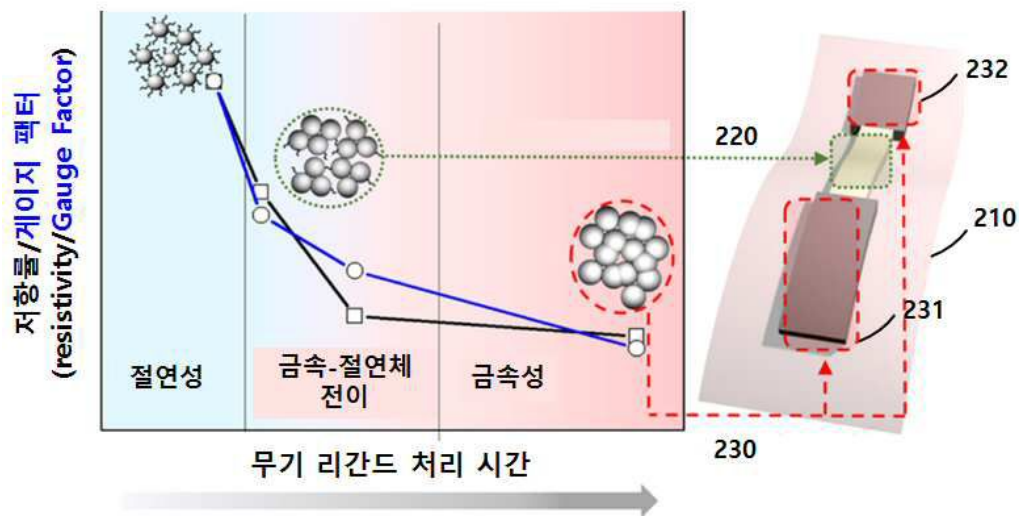
도면1



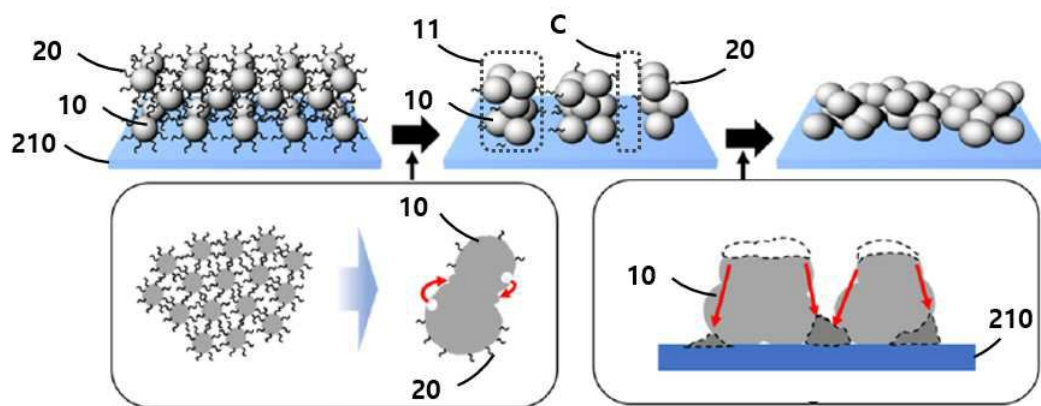
도면2



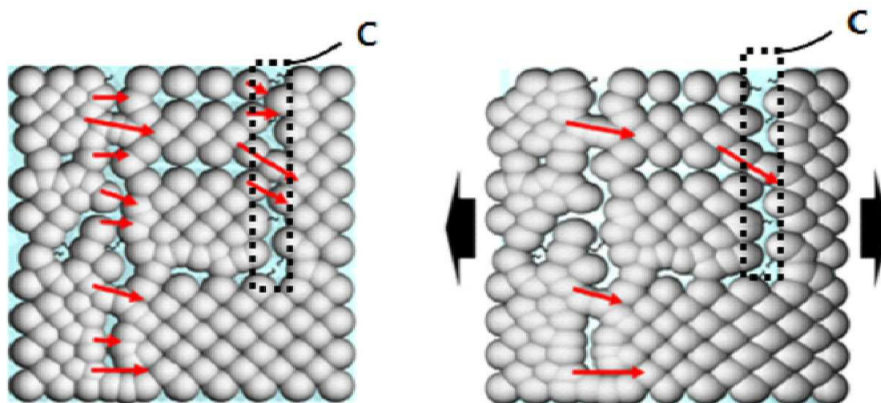
도면3



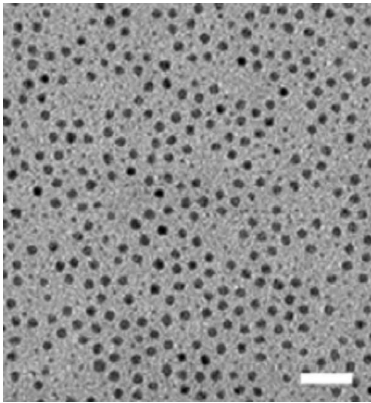
도면4



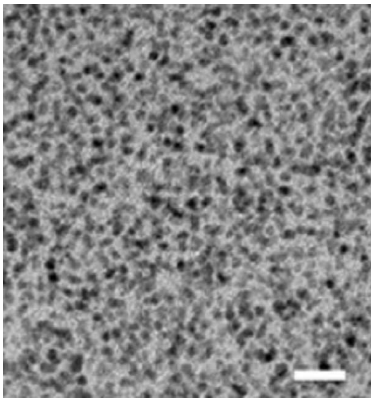
도면5



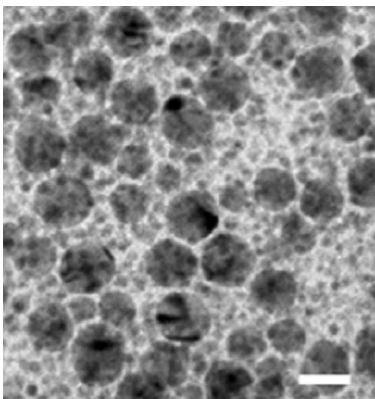
도면6



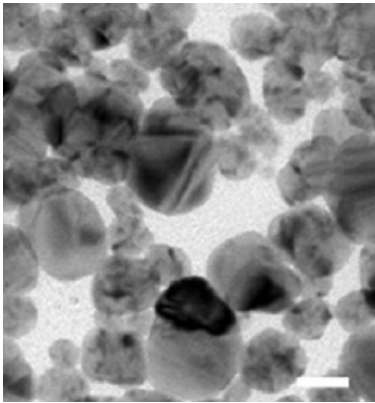
도면7



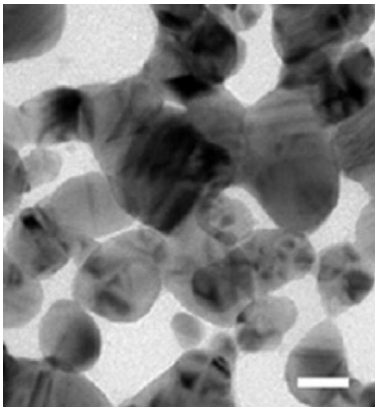
도면8



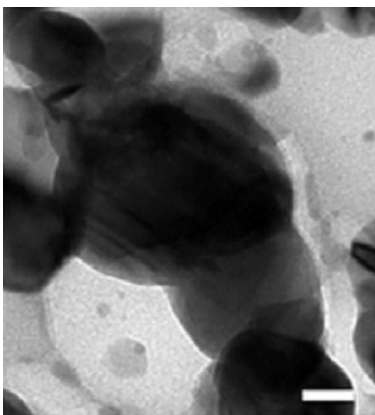
도면9



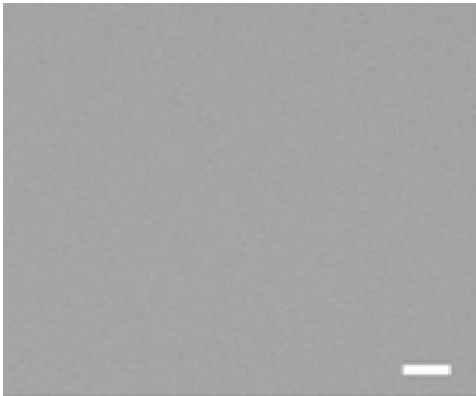
도면10



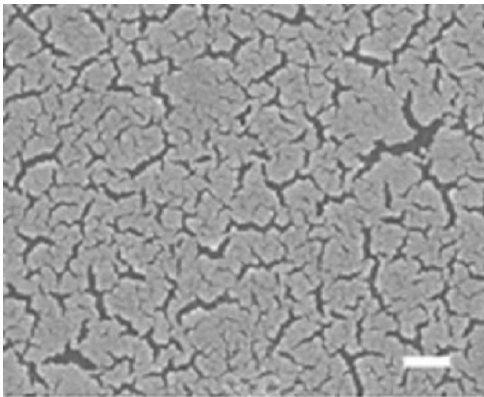
도면11



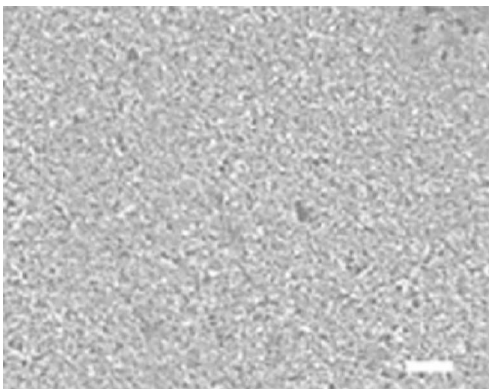
도면12



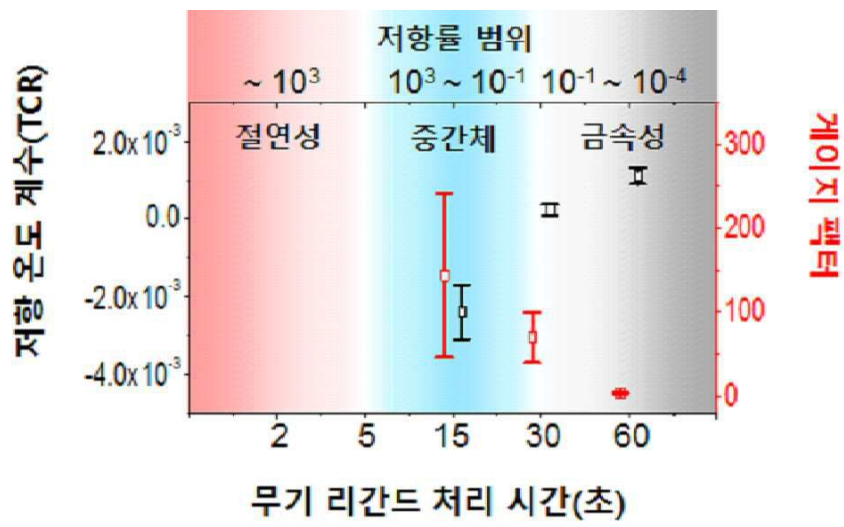
도면13



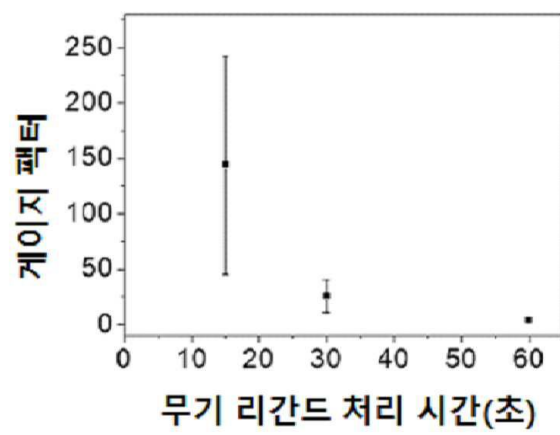
도면14



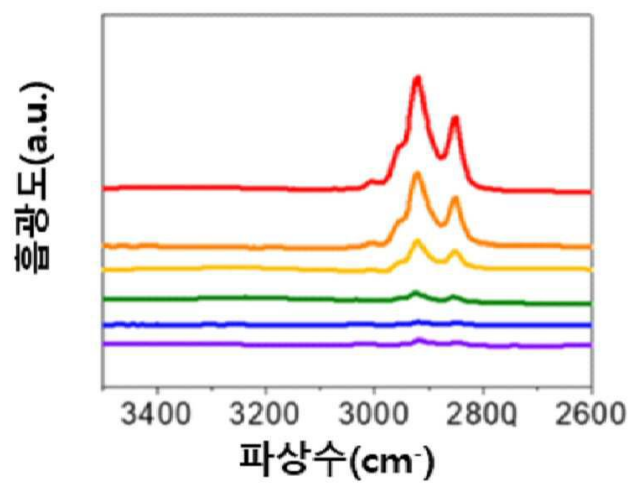
도면15



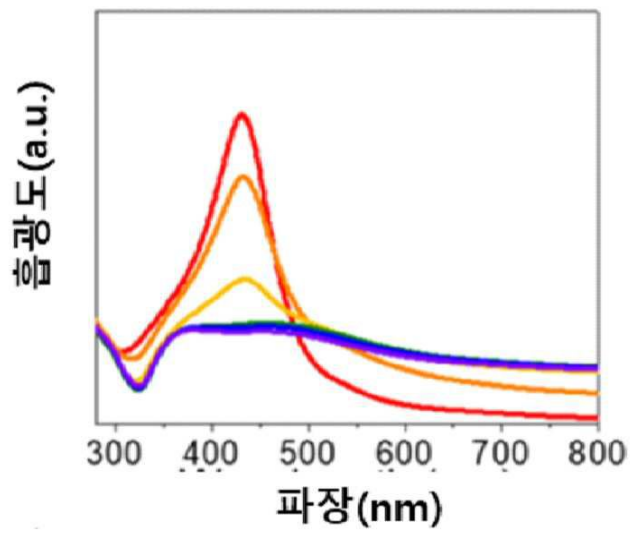
도면16



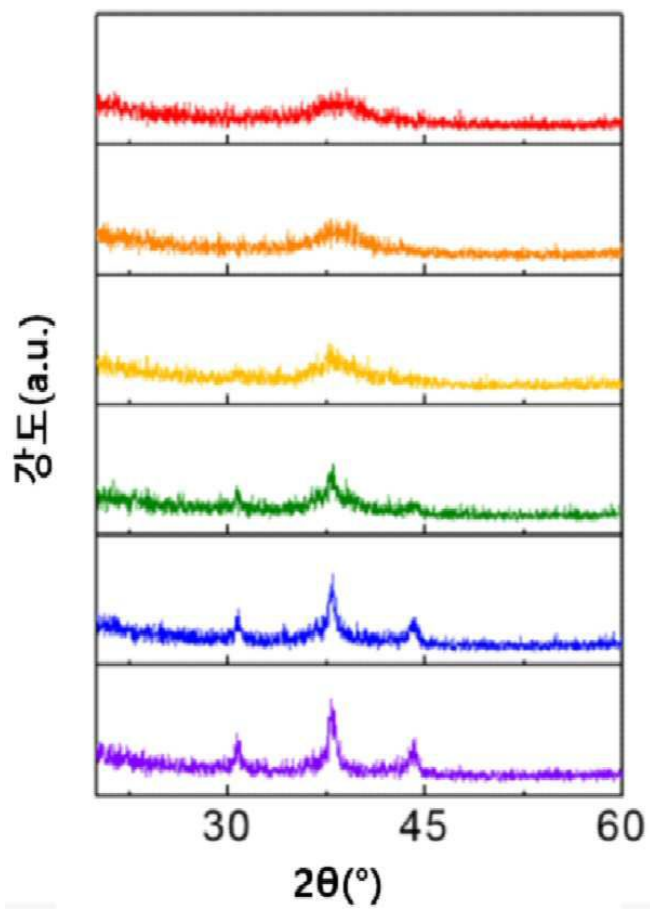
도면17



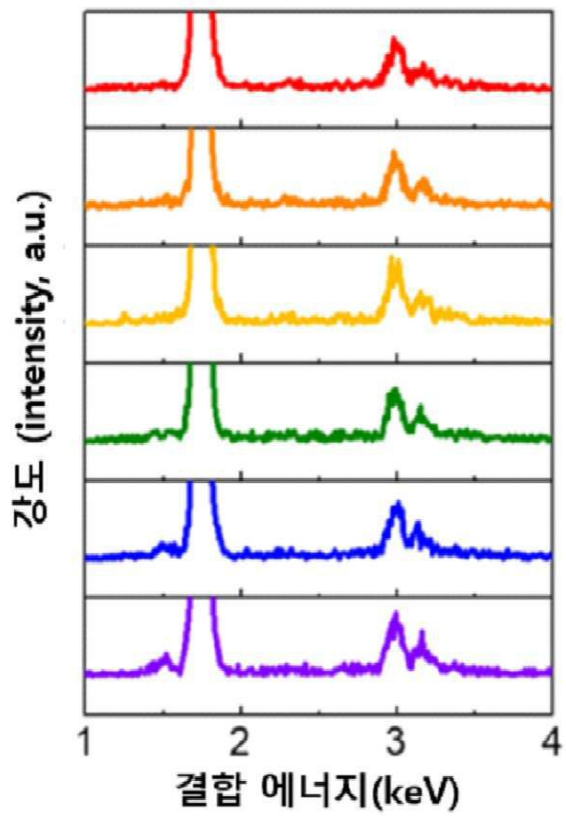
도면18



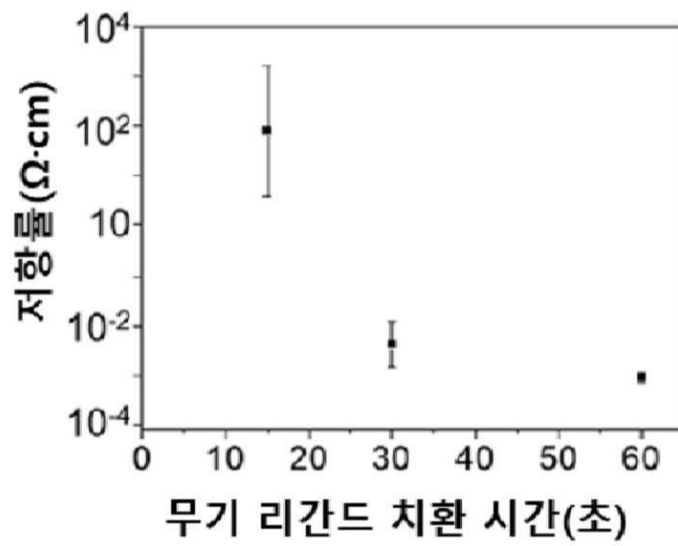
도면19



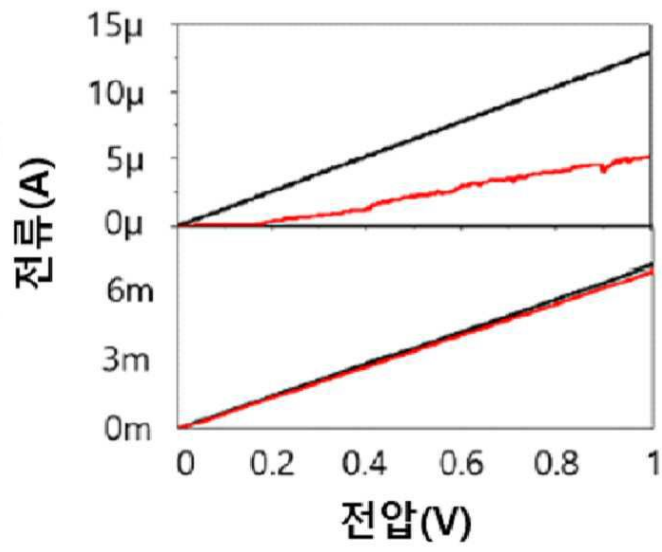
도면20



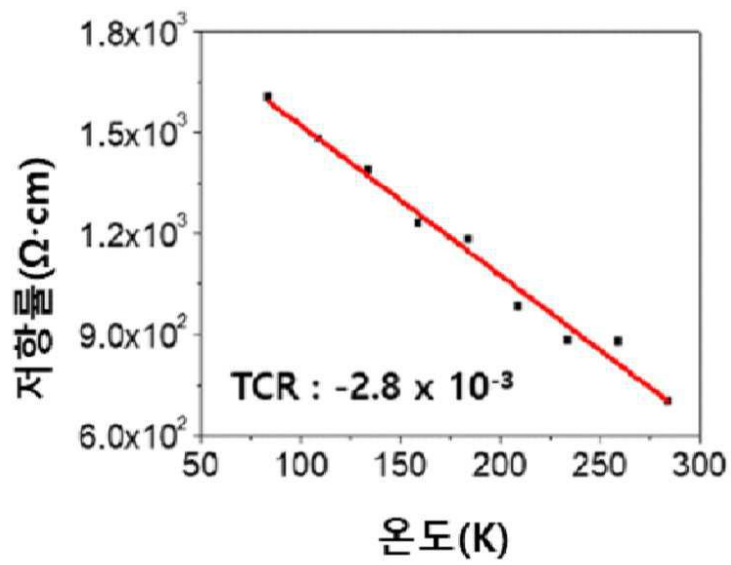
도면21



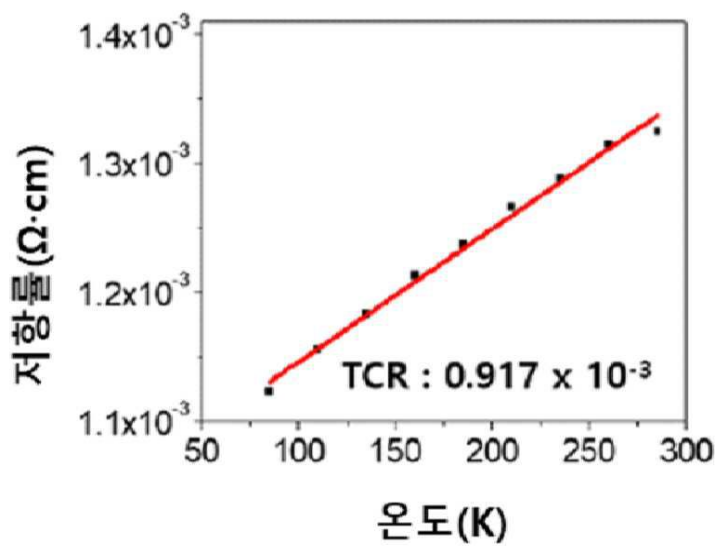
도면22



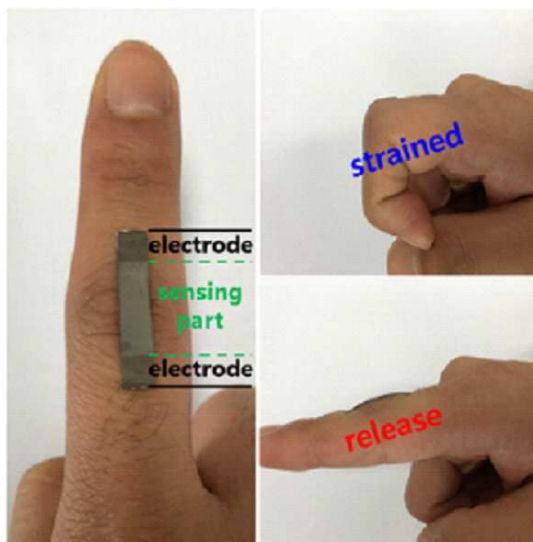
도면23



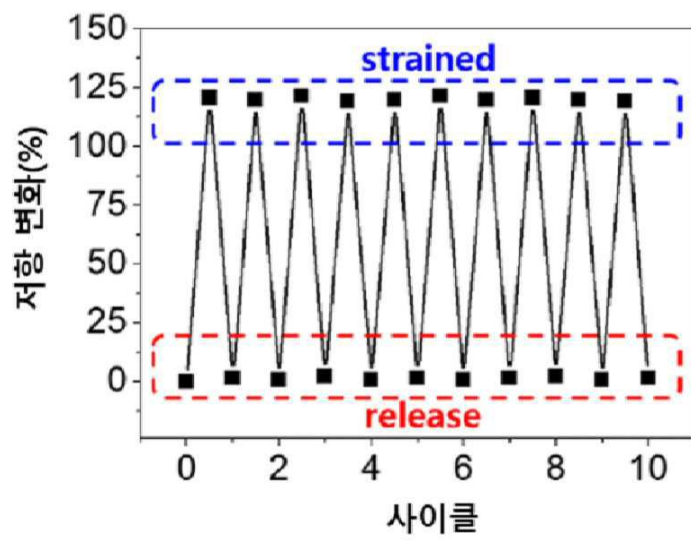
도면24



도면25



도면26



도면27



도면28

