

(12) 특허협력조약에 의하여 공개된 국제출원

(19) 세계지식재산권기구
국제사무국

(43) 국제공개일
2017년 6월 8일 (08.06.2017)



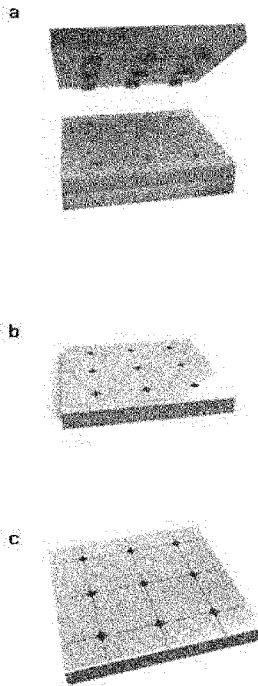
(10) 국제공개번호
WO 2017/095097 A1

- (51) 국제특허분류:
G01B 7/16 (2006.01) A61B 5/024 (2006.01)
G01L 1/20 (2006.01) A61B 5/00 (2006.01)
G01L 5/00 (2006.01)
- (21) 국제출원번호: PCT/KR2016/013789
- (22) 국제출원일: 2016년 11월 28일 (28.11.2016)
- (25) 출원언어: 한국어
- (26) 공개언어: 한국어
- (30) 우선권정보:
10-2015-0169195 2015년 11월 30일 (30.11.2015) KR
10-2016-0097970 2016년 8월 1일 (01.08.2016) KR
- (71) 출원인: 재단법인 멀티스케일 에너지시스템 연구단 (GLOBAL FRONTIER CENTER FOR MULTISCALE ENERGY SYSTEMS) [KR/KR]; 08826 서울시 관악구 관악로 1, Seoul (KR). 서울대학교산학협력단 (SEOUL NATIONAL UNIVERSITY R&DB FOUNDATION) [KR/KR]; 08826 서울시 관악구 관악로 1, Seoul (KR).
- (72) 발명자: 최용환 (CHOI, Yong Whan); 05852 서울시 송파구 위례광장로 136 103 동 601 호, Seoul (KR). 이태민 (LEE, Taemin); 13595 경기도 성남시 분당구 황새울로 200 번길 9-7 917 호, Gyeonggi-do (KR). 이건희 (LEE, Gunhee); 08799 서울시 관악구 낙성대역 8 길 49-7 201 호, Seoul (KR). 최만수 (CHOI, Man Soo); 06305 서울시 강남구 언주로 107 205 동 703 호, Seoul (KR). 강대식 (KANG, Daeshik); 08790 서울시 관악구 남부순환로 230 길 93 601 호, Seoul (KR). 페트로 피키토사 (PETRO, Pikhitsa); 08799 서울시 관악구 낙성대역 8 길 50-10 203 호, Seoul (KR).
- (74) 대리인: 김애라 (KIM, Aera); 06211 서울시 강남구 테헤란로 322 동관 1301 호, Seoul (KR).
- (81) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 국내 권리의 보호를 위하여): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME,

[다음 쪽 계속]

(54) Title: HIGH-SENSITIVITY SENSOR CONTAINING LINEARLY INDUCED CRACKS AND METHOD FOR MANUFACTURING SAME

(54) 발명의 명칭 : 직선으로 유도된 크랙 함유 고감도 센서 및 그의 제조 방법



(57) Abstract: Provided is a high-sensitivity sensor having a conductive thin film containing linearly induced cracks. The high-sensitivity sensor relates to a sensor, obtained by forming linearly induced microcracks on a conductive thin film formed on a support, for measuring external tensile and pressure by measuring a change in the electrical resistance due to modification, short - circuiting, or openings in micro - joining structures formed by the microcracks. The high-sensitivity conductive crack sensor may be applied to high-precision measurements or artificial skins, and may be utilized as a positioning detection sensor by pixelating the sensor. Thus, the high-sensitivity sensor may be effectively used in the fields of precise measurements, bio-measurement devices through human skin, human motion measuring sensors, display panel sensors, etc.

(57) 요약서: 직선으로 유도된 크랙 함유 전도성 박막을 구비하는 고감도 센서가 제공된다. 상기 고감도 센서는 지지체 상에 형성된 전도성 박막에 직선으로 유도된 미세 크랙을 형성하여 얻어지며, 상기 미세 크랙이 형성하는 미세 접합구조에서의 변화, 단락 또는 개방에 의한 전기적 저항변화의 측정으로 외부의 인장 및 압력을 측정하는 센서에 관한 것으로, 이와 같은 고감도 전도성 크랙 센서는 정밀도가 높은 계측, 또는 인공 피부에 적용이 가능하며, 상기 센서를 픽셀화하여 포지셔닝 디텍팅 센서로도 활용 가능하여, 정밀 계측 분야, 인체 피부 등을 통한 생체 측정 디바이스, 사람의 모션의 측정 센서, 디스플레이 패널 센서 등의 분야에서 유용하게 사용할 수 있다.

WO 2017/095097 A1



MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

- (84) **지정국** (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 역내 권리의 보호를 위하여): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 유라시아 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 유럽 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU,

LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

규칙 4.17에 의한 선언서:

- 신규성을 해치지 아니하는 개시 또는 신규성 상실의 예외에 관한 선언 (규칙 4.17(v))

공개:

- 국제조사보고서와 함께 (조약 제 21 조(3))

명세서

발명의 명칭: 직선으로 유도된 크랙 함유 고감도 센서 및 그의 제조 방법

기술분야

- [1] 본 발명은 직선으로 유도된 크랙 함유 고감도 센서 및 그의 제조방법에 관한 것으로, 직선으로 유도된 미세한 크랙이 형성된 전도성 박막을 사용하여, 인장력 및 압력을 감지하는 높은 정밀도가 요구되는 계측 또는 인공 피부에 적용이 가능한 고감도 센서에 관한 것이다.

배경기술

- [2] 일반적으로 고감도 센서는 미세한 신호를 감지하여 이를 전기적 신호 등의 데이터로 전달하는 장치로서 현대산업에서 필수적으로 요구되는 부품 중 하나이다.
- [3] 이와 같은 센서 중 압력이나 인장력을 측정하는 센서로서는 정전용량(capacitive) 센서, 압전기(piezoelectric) 센서, 스트레인 게이지 등이 알려져 있다.
- [4] 기존의 인장 센서인 스트레인 게이지 센서는 기계적인 미세한 변화를 전기신호로 해서 검출하는 센서로서, 기계나 구조물의 표면에 접착해두면, 그 표면에서 생기는 미세한 치수의 변화, 즉 스트레인(strain)을 측정하는 것이 가능하고, 스트레인의 크기로부터 강도나 안전성을 확인하는데 중요한 역할을 알 수 있다.
- [5] 또한, 스트레인 게이지는 금속저항 소자의 저항치 변화에 따라 피 측정물의 표면의 변형을 측정하는 것으로, 일반적으로 금속 재료의 저항치는 외부로부터의 힘에 의해 늘어나면 증가하고 압축되면 감소하는 성질을 가지고 있다. 스트레인 게이지는 힘, 압력, 가속도, 변위 및 토크(torque) 등의 물리량을 전기신호로 바꾸기 위한 센서의 수감 소자로도 응용되고, 실험, 연구뿐만 아니라 계측제어용으로도 널리 이용되고 있다.
- [6] 그러나, 기존의 스트레인 게이지 센서는 금속선을 이용함에 따라, 부식에 약하며, 민감도가 매우 떨어질 뿐만 아니라, 출력 값이 작아서, 작은 신호를 보상하기 위해, 추가 회로가 필요하며, 반도체 인장 센서는 열에 민감한 단점을 가진다.
- [7] 압력 센서란 표면에 가해지는 압력을 측정할 수 있는 센서로, 인공 피부 제작 시 필수적인 요소이다. 스트레인은 표면에 가해지는 수평적 길이변화를 나타내지만, 압력은 표면에 수직으로 가해지는 힘을 나타낸다.
- [8] 기존의 압력 센서는 박막으로 제작된 실리콘 필름이 압력에 의해 변화하는 저항 값을 측정하며, 연구용이나 계측용뿐만 아니라 산업에서도 널리 쓰이고 있다.

- [9] 그러나, 기존의 압력 센서는 민감도가 매우 낮기 때문에 작은 압력을 구분할 수 없다는 단점이 있으며 휘어질 수 없다. 이러한 단점은 인공피부로의 적용이 불가하게 하므로, 작은 압력을 감지하면서도 휘어질 수 있는 센서의 제작이 필요하다.
- [10] 상기와 같은 문제점에 의해서, 상기의 센서는 특정 환경에서만 구동이 가능하거나, 다양한 환경적 요인에 의해 영향을 받아 측정값의 정확성이 저하되는 등의 문제가 존재함과 동시에 반복 구동 시 일정한 측정값을 확보하기 곤란한 문제가 있다. 또한, 이들 센서는 자체의 구조적인 문제로 인하여 플렉시블 구조체를 제조하기 곤란한 문제가 있다.
- [11] 착용형 의료 및 인공적 전자 피부 장치 및 고성능 센서의 개발에 대한 연구에 대한 관심이 높아짐에 따라, 나노와이어, 실리콘 고무, 압전 및 외부 정보를 축적하는 유기박막 트랜지스터를 기반으로 하는 다양한 유형의 압력 센서가 개발되어왔다.
- [12] 크랙은 일반적으로 결함으로 간주되어 기피되어 왔지만, 크랙, 나노와이어 생산을 위한 박막의 크래킹 및 인터 컨넥터(interconnector)와 같은 크랙과 관련된 연구가 최근에 보고되고 있다.
- [13] 또한, 카본나노튜브, 나노섬유, 그래핀 혈소판 및 기계적 크랙을 기반으로 하는 스트레인 센서가 보고된 바 있다.
- [14] 크랙 센서는 거미의 감각 시스템에 의해 영향을 받았다. 거미의 감각 센서는 스트레인과 진동에 매우 민감한 것으로 알려져 있다.
- [15] 크랙은 일반적으로 피해야 할 결함으로 간주되었으나, 크랙에 의한 패터닝에 대한 연구로서, 최근에는 나노와이어 및 인터커넥터 등의 제작을 위해 박막 필름 크랙 형성이 보고되어 있으며, 거미의 감각 시스템과 유사한 크랙 센서는 스트레인과 진동에 매우 민감한 것으로 보고되어 있으나, 단지 2%의 변형률을 갖는다는 한계가 있다.
- [16] 따라서, 이러한 문제점을 보완할 수 있는 새로운 고감도 센서의 개발이 요구된다.

발명의 상세한 설명

기술적 과제

- [17] 본 발명에서 해결하고자 하는 기술적 과제는 환경에 의한 영향을 적게 받으면서 반복적인 사용에도 측정값의 정확도가 유지되며, 유연성을 가지고 있어 다양한 분야에 응용 가능한 인장 및 압력의 변화를 감지할 수 있는 고감도 센서를 제공하는 것이다.
- [18] 본 발명이 해결하고자 하는 다른 기술적 과제는 상기 고감도 센서의 제조방법을 제공하는 것이다.

과제 해결 수단

- [19] 상기의 기술적 과제를 해결하기 위해서 본 발명은,

- [20] 홀(hole) 패턴이 형성된 유연 지지체; 및
- [21] 상기 지지체의 적어도 일면 상에 형성되는 전도성 박막;을 구비하며,
- [22] 상기 전도성 박막은, 서로 마주하면서 적어도 일부 면이 서로 접촉하고 있는 크랙면을 갖는 직선으로 유도된 크랙을 포함하며,
- [23] 상기 크랙면은 상기 유연 지지체에 형성된 규칙적인 홀(hole) 패턴에 의해 직선 형태로 유도되고,
- [24] 외부 물리적 자극에 따라 상기 크랙면이 이동하면서 접촉면적이 변화하거나 단락 혹은 재접촉에 의해 발생하는 전기적 변화의 측정에 의한 외부자극을 측정하는 고감도 센서를 제공한다.
- [25] 본 발명은 또한,
- [26] 유연 지지체에 규칙적 홀 패턴을 형성하는 단계;
- [27] 상기 유연 지지체의 적어도 일면 상에 전도성 박막을 형성하는 단계; 및
- [28] 상기 전도성 박막을 인장하여 직선상의 크랙을 유도하는 단계;를 포함하는 고감도 센서의 제조방법을 제공한다.

발명의 효과

- [29] 본 발명의 고감도 센서는 지지체의 일면 상에 직선으로 유도된 크랙이 형성된 전도성 박막을 이용하여, 높은 감도로 인장 및/또는 압력을 측정할 수 있을 뿐만 아니라, 유연성을 가지고 있어 여러 분야에 응용 가능하다. 상기와 같은 고감도 센서는 정밀도가 높은 계측, 또는 인공 피부에 적용이 가능하며, 상기 센서를 픽셀화하여 포지셔닝 디텍팅 센서로도 활용 가능하며, 정밀 계측 분야, 인체 피부 등을 통한 생체 측정 디바이스, 사람의 모션의 측정 센서, 디스플레이 패널 센서 등의 분야에서 유용하게 사용할 수 있다.
- [30] 또한, 상기 고감도 센서는 간단한 공정으로 대량 생산이 가능하므로 매우 높은 경제성을 갖는다.

도면의 간단한 설명

- [31] 도 1은 크기 1의 결정립을 갖는 크랙 립(crack lip)을 모델링 한 것이다.
- [32] 도 2는 집적화 윤곽에 의해 둘러싸인 복소 평면 부분을 나타낸 것이다.
- [33] 도 3은 일 실시예에 따른 크랙 센서의 제조공정의 개략도이다.
- [34] 도 4는 일 실시예에 따른 크랙 센서를 당기기 전 및 당긴 후의 센서 표면의 변화(a, b) 및 전도성 박막상의 크랙의 변화를 도시한 SEM 이미지(c, d)이다.
- [35] 도 5는 인장력이 가해지기 전(a) 및 가해진 이후 크랙립을 따라 크랙이 형성(b, c)되는 것을 나타내는 SEM 이미지 이다.
- [36] 도 6은 다양한 간극의 길이에서 크랙이 형성되는 양상을 나타내는 SEM 이미지이다.
- [37] 도 7은 다양한 간극의 길이에서 크랙 형성 패턴의 차이(a) 및 이를 규명하기 위한 FEM 시뮬레이션 결과(c)를 나타내며, 크랙 형성의 차이에 따른 저항 변화를 나타내는 그래프(b, d)이다.

- [38] 도 8은 패턴화 없이 무질서하게 형성된 크랙 기반 센서의 표면 및 이를 이용하여 측정된 저항변화의 그래프이다.
- [39] 도 9는 인장 방향에 따른 저항 변화 양상을 나타내는 개념도 및 결과 그래프이다.
- [40] 도 10은 압력 및 인장에 의한 변화를 측정하기 위한 로드 셀이다.
- [41] 도 11은 변화율의 범위에 따른 로딩 및 언로딩에 의한 저항의 변화 및 반복실험을 통한 재현성을 나타낸 그래프이다.
- [42] 도 12는 변화율 범위에 따른 로딩 및 언로딩에 의한 저항변화 측정 결과 및 이의 히스테리시스를 나타낸다.
- [43] 도 13은 식 6에 의한 이론적 값과 크랙센서에 의해 측정된 실험 값을 비교한 정규화된 저항 vs 변형을 곡선을 나타낸다.
- [44] 도 14는 갑작스런 변화에 대한 반응속도를 측정한 그래프이다.
- [45] 도 15는 0 내지 10kPa의 압력 범위(a), 작은 개미에 의한 압력(b) 및 손목 맥박에 의한 압력(c, d)의 여러 가지 가압 조건에 의한 저항변화를 나타내는 실험 결과를 나타낸다.
- [46] 도 16은 다중 픽셀 어레이를 이용하여 위치 및 압력을 동시에 나타낼 수 있는 고감도 센서 및 이를 이용하여 측정된 결과를 나타낸다.

발명의 실시를 위한 최선의 형태

- [47] 본 발명은 다양한 변환을 가할 수 있고 여러 가지 실시예를 가질 수 있는 바, 특정 실시예들을 도면에 예시하고 상세한 설명에 상세하게 설명하고자 한다. 그러나, 이는 본 발명을 특정한 실시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변환, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다. 본 발명을 설명함에 있어서 관련된 공지 기술에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 흐릴 수 있다고 판단되는 경우 그 상세한 설명을 생략한다.
- [48] 최근, 변형 및 진동에 대한 높은 감도를 갖는 무 균열의 병렬 시스템을 사용하는 기계적 크랙 기반의 센서가 보고되었다. 그러나, 초고속 성능을 달성하기 위해서는, 힘에 대한 감도가 균열의 형성을 통한 높은 신축성 및 제어성에 의해 증폭되어야 한다.
- [49] 본 발명은, 규칙적인 마이크로 스케일 패턴 내에서 보다 정밀한 기계적 크랙의 유도 형성을 기반으로 한 저가의 초 고감도 스트레인 및 압력 센서를 제공한다.
- [50] 본 발명에 따른 센서는 디바이스 표면에 홀(hole)을 패터닝함으로써, 홀을 중심으로 특정 지역에 스트레스를 집중시킬 수 있으며, 이로부터 상기 홀을 연결하는 균일한 크랙을 정밀하게 형성할 수 있다.
- [51] 본 발명의 센서는 인장률을 측정하고, 표면에 가해지는 압력을 측정할 수 있는 센서이다. 폴리머 위에 금속 박막을 증착한 후 기계적인 크랙을 발생시켜 제작한다. 웨어러블 헬스케어에도 효과적으로 적용될 수 있으며, 기존의 연신

센서나 압력 센서를 대체할 수 있다.

- [52] 이하, 본 발명의 구현예에 따른 직선으로 유도된 크랙 함유 전도성 박막을 구비하는 고감도 센서에 대하여 보다 상세하게 설명한다.
- [53] 본 발명에 따른 고감도 센서는
- [54] 홀(hole) 패턴이 형성된 유연 지지체; 및
- [55] 상기 지지체의 적어도 일면 상에 형성되는 전도성 박막;을 구비하며,
- [56] 상기 전도성 박막은, 서로 마주하면서 적어도 일부 면이 서로 접촉하고 있는 크랙면을 갖는 직선으로 유도된 크랙을 포함하며,
- [57] 상기 크랙면은 상기 유연 지지체에 형성된 규칙적인 홀(hole) 패턴에 의해 직선 형태로 유도되고,
- [58] 외부 물리적 자극에 따라 상기 크랙면이 이동하면서 접촉면적이 변화하거나 단락 혹은 재접촉에 의해 발생하는 전기적 변화의 측정에 의한 외부자극을 측정하는 고감도 센서를 제공한다.
- [59] 또한, 본 발명은,
- [60] 유연 지지체에 규칙적 홀 패턴을 형성하는 단계;
- [61] 상기 유연 지지체의 적어도 일면 상에 전도성 박막을 형성하는 단계; 및
- [62] 상기 전도성 박막을 인장하여 직선상의 크랙을 유도하는 단계;를 포함하는 고감도 센서의 제조방법을 제공한다.
- [63] 본 발명에 따른 고감도 센서는, 상기 유연 지지체 상에 형성된 홀 패턴에 의해 상기 홀 패턴을 따라 직선으로 균일하게 형성된 크랙을 형성할 수 있으며, 이러한 직선 형태의 크랙의 형성은 센서의 민감도를 보다 향상시킬 수 있다.
- [64] 본 발명에 따른 크랙센서는, 상기 유연 지지체 상에 형성된 홀 패턴상에 형성된 전도성 박막이 인장 또는 압력에 의한 외부 물리적 자극이 가해지는 경우 상기 유연 지지체 상에 형성된 홀이 위치한 곳을 중심으로 응력(stress)이 집중됨으로써, 상기 홀과 홀의 사이의 접촉면을 따라 균일하게 크랙면이 형성될 수 있다.
- [65] 상기 크랙면은 인접하는 도 4의 c 및 d에 도시된 바와 같이 홀과 홀 사이에 형성되는 것이며, 도 7a에 도시된 바와 같이 상기 크랙면의 길이(G)는 상기 홀의 중심과 인접하는 홀의 중심을 이은 직선의 길이(P)에 대해 50% 이상의 길이를 가질 수 있으며, 바람직하게는 60% 이상의 길이를 갖는 것이 바람직할 수 있다.
- [66] 상기 G의 길이가 상기 P의 길이에 대해 50% 미만의 길이를 갖는 경우 크랙이 직선으로 형성되지 않을 수 있으며, 이는 도 6a 및 도 7a에 도시된 것과 같이 여러 개의 크랙이 직선이 아닌 형태로 형성될 수 있어 민감도가 저하될 수 있다.
- [67] 일 실시예에 따르면, 상기 홀(hole) 패턴은 원형, 타원형, 사각형, 마름모, 별표, 십자형 등 어떠한 형태라도 가능하며, 바람직하게는 도 4의 c, d에 도시된 것과 같이 곡선으로 이루어진 마름모형, 즉, 4개의 호(arc)가 결합되어 4개의 꼭지점을 갖는 십자 형태 또는 곡선으로 이루어진 마름모가 적합할 수 있다.
- [68] 상기한 홀 패턴은 각각의 꼭지점으로 크랙의 생성에 있어서 방향성을

- 제공함으로써, 보다 곧은 형태의 크랙을 균일하게 형성하는 데 유리할 수 있다.
- [69] 본 발명에 따른 크랙센서는 도 4c, d에 도시된 바와 같이 홀 패턴에 의해 외력에 의해 응력이 2개의 인접하는 홀 팬에 집중되어 발생되며, 외력에 의해 도 4d 및 도 6b에 도시된 것과 같이 홀 패턴을 따라 크랙이 직선으로 형성될 수 있다.
- [70] 인장력이 패턴화된 크랙에 적용될 때, 상기 인장력에 의해 가해진 힘의 축에 대해 수직으로 형성된 크랙은 열리고, 병렬(수평하게)로 형성된 크랙은 닫히게 된다.
- [71] 도 4c와 같이 단단히 닫힌 크랙에 연신에 의한 변형을 가함으로써 도 4d와 같이 크랙의 간격이 넓어짐으로써, 크랙면 사이의 접촉면적이 감소될 수 있으며, 이는 전기 저항을 증가시키게 된다. 단절된 크랙면 상이에는 전도성이 없기 때문에, 단절에 의해 개방된 크랙에 의해 금속층의 저항이 급격히 증가할 수 있다.
- [72] 드물게는, 크랙립(crack lip) 사이의 브릿지, 금속 접촉이 저항의 높은 변형 감도를 도출할 수도 있다.
- [73] 본 발명의 고감도 센서는 0 내지 10%의 변형율에서 1 내지 1×10^6 의 민감도($\Delta R/R_0$)를 나타낼 수 있다.
- [74] 본 발명에 따른 고감도 센서의 게이지 팩터는 $(\Delta R/R_0)/\epsilon$ 으로 정의되며, 상기 게이지 팩터가 0 내지 10%의 스트레인(strain)범위에서 2×10^6 이상일 수 있다.
- [75] 본 발명에 따른 고감도 센서는 7 내지 10 kPa 범위의 압력에서 2×10^4 이상의 민감도($\Delta R/R_0$)를 나타낼 수 있으며, 바람직하게는 8 내지 9.5 kPa 범위의 압력에서 1×10^5 이상의 민감도를 나타낼 수 있다.
- [76] 본 발명은 압력 감도에 의한 높은 감도를 나타내며, 이는 도 15c 및 도 15d에 도시된 것과 같이 손목에 부착함으로써 맥박과 같은 생리 신호를 측정하는데 사용될 수 있다. 도 15c에는 본 발명에 따른 고감도 센서를 손목에 부착하여 맥박을 얻은 결과이며, 도 15d는 본 발명에 따른 고감도 센서가 맥박의 percussion wave, tidal wave, diastolic wave와 같은 3단계의 미세한 차이를 구별할 수 있을 정도로 높은 정밀도를 갖는다는 것을 의미한다.
- [77] 일 실시예에 따르면, 상기 외부 물리적 자극은 상기 크랙면에 대해 여러 각도에서 가해질 수 있으며, 상기 외부 물리적 자극이 상기 크랙면에 대해 힘을 가하는 방향에 대한 힘의 축이 수직(90°) 또는 45° 의 각도로 가해지는 경우에 보다 우수한 민감도를 나타낼 수 있다. 즉, 외부 물리적 자극이 홀(hole) 패턴의 모양 또는 크랙에 의해 형성된 전도성 박막의 패턴의 모양에 대해 대칭적으로 균등하게 외력을 가해지는 경우에 보다 민감도가 크게 나타날 수 있으며, 즉, 게이지 팩터(gauge factor)의 변화가 더 크게 나타날 수 있으며, 보다 바람직하게는 크랙면에 $90^\circ \pm 10^\circ$ 의 각도 범위에서 외력이 가해질 수 있다.
- [78] 상기 고감도 센서는 전도성 박막에 형성된 크랙이 인장이나 압력에 따라 간격이 벌어지며 그에 따른 전도성 박막의 저항 변화를 측정하여 외부의 인장이나 압력을 계측하는 센서이다.
- [79] 즉, 전도성 박막에 형성시킨 크랙 중에 서로 마주하면서 적어도 일부면이 서로

접촉하고 있는 크랙면을 갖는 크랙이 존재하게 되고 인장이나 압력 변화와 같은 외부 자극을 가할 경우 접촉되어 있던 크랙면이 이동하면서 접촉 면적이 바뀔에 따라 전기적 저항이 변화하거나 전기적 단락(short)이나 개방(open)이 형성되어 상기 전도성 박막상의 저항값의 변화가 크게 발생하게 되며, 이를 검출함으로써 상기 전도성 박막 구조체를 인장센서, 압력센서 등으로 활용이 가능하게 된다.

- [80] 기존의 스트레인 게이지 센서의 경우, 금속 박막이 연신됨에 따라 저항이 증가하는 것을 이용하나, 본 발명의 경우 금속 박막의 크랙 틈이 벌어지게 됨을 이용한다. 크랙 틈이 벌어지면서 전기적인 단락이 증가하게 되고, 저항이 급격히 증가게 된다. 상기와 같은 이유로 기존의 스트레인 게이지 센서보다 월등히 높은 민감도를 갖게 된다.
- [81] 일구현예에 따르면, 상기 전도성 박막에 존재하는 크랙은 유연 지지체에 형성된 홀 패턴에 따라 직선으로 유도될 수 있으며, 상기 크랙이 발생하는 정도 또한 구멍형상의 간격, 모양, 전도성 박막의 두께, 형성 조건 등에 따라 달라질 수 있으며 특별히 제한되지 않는다.
- [82] 본 발명의 고감도 센서에 있어서, 상기 유연 지지체는 폴리우레탄아크릴레이트(PUA), 폴리디메틸실록세인(PDMS), 폴리에틸렌테레프탈레이트(PET), 폴리프로필렌(PP) 및 폴리에틸렌(PE) 등으로 이루어지는 그룹으로부터 선택되는 어느 하나 또는 이들의 조합인 것이 바람직하며, 가장 바람직하게는 폴리우레탄아크릴레이트(PUA), 일 수 있다.
- [83] 본 발명의 고감도 센서에 있어서, 상기 전도성 박막은 Au, Ag, Pt, Cu, Cr, Pt 등으로 이루어지는 그룹으로부터 선택되는 어느 하나 또는 이들의 조합인 것이 바람직하며, 가장 바람직하게는 Cr/Pt 조합일 수 있다.
- [84] 일구현예에 따르면, 상기 전도성 박막은 그 두께가 한정되는 것은 아니나 인장 및 구부림 등의 기계적 방법에 의해 크랙이 형성될 수 있는 정도의 두께를 갖는 것이 바람직하며, 이와 같은 크랙의 형성 조건은 전도성 박막 및 유연 지지체의 종류에 따라 달라질 수 있다.
- [85] 본 발명의 고감도 센서에 있어서, 상기 전도성 박막의 두께가 0.1 nm 내지 1 μ m 인 것이 바람직하며, 더욱 바람직하게는 10 nm 내지 50 nm, 더욱 더 바람직하게는 20 nm 내지 30 nm 일 수 있다. 또한, 전도성 박막의 영계수는 10^{10} 내지 10^{12} 일 수 있다.
- [86] 본 발명의 고감도 센서에 있어서, 상기 고감도 센서의 게이지 팩터가(gage factor) 1×10^5 내지 1×10^6 (1 ~ 10% 인장 범위) 일 수 있다. 게이지 팩터란 발생한 스트레인(strain)에 대한 스트레인 게이지의 저항 변화율을 의미한다.
- [87] 본 발명의 고감도 센서에 있어서, 상기 고감도 센서의 유연성은 최소 반지름 1 mm 이상으로 구부릴 수 있는 것을 의미한다.
- [88] 상기와 같은 특성에 의해서 본 발명의 고감도 센서는 압력센서, 인장센서, 인공 피부 등의 다양한 분야에서 응용할 수 있으며, 상기 센서를 픽셀화 하여 포지셔닝 디텍팅 센서로도 활용 가능하다.

[89] 본 발명은 저항 vs 변형률 데이터의 이론적인 분석을 수행하였으며, 상기 이론적 분석 결과는 너무 크지 않은 변형에서의 실험적 데이터의 결과와 일치하였다.

[90] 본 발명자들은 신축성이 작은 고분자 상에서 크랙화된 입자형의 균일한 20nm Pt 필름 상에 형성된 평행 크랙을 기반으로 하는 스트레인 센서에 대한 보편적인 메커니즘을 밝힌 바 있다. 상기 센서는, 큰 단방향 스트레인을 생성하는 기술에 의해, 자유 크랙이 센서 스트립을 절단한다. 하기 식(1)로 정의되는 센서의 정규화 컨덕턴스 S vs 변형률 ε 은 크랙립(crack lip) 사이의 접촉을 형성하는 크랙립 상의 계단(steps)의 확률 분포 함수(probability distribution function, pdf) $P(x)$ 에 의해 결정된다.

$$[91] \quad S = \int_{\varepsilon}^{\infty} P(x) dx \quad (1)$$

[92] 자유 크랙의 경우, 식 $P(x)$ 는 오직 크기와 관련된 매개 변수를 가진다.

[93] 변형률(strain) ε_0 는 크랙 간극의 폭 $k\varepsilon_0$ 에 대응하고, $k\varepsilon_0$ 는 결정립 크기인 $x_0 = k\varepsilon_0$ 이다.

$$[94] \quad P(x) = P(1/x)/x^2 \quad (2)$$

[95] 상기 식에 있어서, $x = \varepsilon/\varepsilon_0$ 이고, k 는 변형률(strain)에 대한 크랙 간극 폭과 관련되어 정의한 비례 계수이다. k 는 병렬 크랙 시스템을 구성하는 재료에 따라 상이할 수 있으며, 이는 실험으로부터 얻을 수 있다.

[96] 물리적으로, 식 2는 결정립(grain)의 이동(shift)에 의해 형성된 크랙 돌기의 작은 계단이 결정립의 누적에 의해 형성된 큰 계단과 동일한 분포임을 나타내며, 이는 스케일 및 어떠한 길이 특성을 갖지 않는 기관의 탄성 영역이 존재하기 때문에, 크고 작은 사행(meandering) 돌기를 구별할 수 없을 수 있다.

[97] 식 2의 해결책 중 하나는 로그 정규(log-normal) pdf

$$[98] \quad P(\varepsilon) = \frac{1}{\varepsilon \mu \sqrt{\pi}} \exp\left(-\frac{(\ln(\varepsilon/\varepsilon_0))^2}{\mu^2}\right) \quad (3)$$

[99] 또는 거의 동일한 로그-로지스틱(log-logistic) pdf를 선택할 수 있다.

$$[100] \quad P(\varepsilon) = \frac{B}{\varepsilon_0} \frac{(\varepsilon/\varepsilon_0)^{B-1}}{(1 + (\varepsilon/\varepsilon_0)^B)^2} \quad (4)$$

[101] 상기 식에서 μ 및 B 는 pdf의 변수이다.

[102] 식 3의 분포 및 식 4의 분포는 모두 소위 롱 테일(long tail)을 갖는 비대칭 분포의 분류에 속한다.

[103] 크랙립(crack lip) 사이의 드문 접촉을 제외한 대형의 비-제로 확률은 크랙을 통한 전도 메커니즘의 본질에 있으며, 그러므로 롱 테일(long tail) 분포와 일치한다.

[104] 식 3과 식 1은 변형률의 함수로서 저항 $R=1/S$ 을 다음과 같이 제공한다:

[105]
$$R = 2 / \left(1 - \operatorname{erf} \left(\frac{\ln \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} \right)}{\mu} \right) \right) \quad (5)$$

[106] $\operatorname{erf}(x)$ 는 오차 함수이다. 식 5는 정규화된 저항을 렌더링한다. 상기 정규화된 저항은 2% 까지의 변형율에 의한 실험결과와 현저하게 일치한다.

[107] 동시에, 식 4의 로그-로지스틱 pdf는 식 1과 함께 하기 식을 유도할 수 있다.

[108]
$$R = 1 + (\varepsilon / \varepsilon_0)^B \quad (6)$$

[109] 상기 식은 피팅 매개변수 $\varepsilon_0=0.39$ 및 $B=2.39$ 의 실험과 일치하며, 식 5의 로그 정규 pdf와 같은 정밀도를 갖는다.

[110] 단, 식 6의 지수 법칙 함수(*power-law function*)는 식 5의 오차함수보다 훨씬 간단하다.

[111] 본 발명은 자유 평행 크랙 연구를 하는 실험자에 의한 데이터 피팅을 위해 범용의 지수 법칙을 제안할 수 있다.

[112] 아주 놀랍게도, 균일한 Pt막 스트립을 훨씬 더 신장 가능한 고분자(도 4a) 상에 패턴화된 스트립으로 변경한 후, 저항의 변형율 의존성이 5% 이상의 넓은 변형율 범위에서 식 6의 지수 법칙으로부터 지수함수까지 엄청나게 변했다. 세미-로그 플롯에서 직선 양상이 나타나는 것을 도 11d에서 나타내고 있다.

[113] 여기서 이 현상의 기본 메커니즘에 대해 설명한다.

[114] 이전의 연구와 본 발명에서 형성된 크랙의 중요한 차이점을 도 5b, 5c에 도시하였다.

[115] 패턴 패치 사이의 크랙은 금속/고분자 필름상의 주름의 "마루(crests)"에 근접하게 따른다.

[116] 즉, 이는 상기 크랙 통로가 매우 직접적이며, 오직 근접하게 이웃하는 백금 입자만 상기 크랙립을 따라 분리되었다는 것을 의미한다(도 1).

[117] 이와 관련하여, 상기 로컬 편차는 결정립의 크기와 관련된 것이며, 그러므로, 자유 크랙 생성을 위한 변경 식 1을 만족하지 않을 수 있다.

[118] 한편, 도 5b에 도시된 바와 같이 패턴 패치는 변형 방향에 수평 및 수직인 방향으로 서로 가압되었으며, 이는 고무상 물질의 고유 특성인 0.5의 Poisson 비 때문이다.

[119] 따라서, 시스템은 현재 수평 방향으로 줄지어진 사각형의 무리에 위치하는 크랙을 통한 절단을 갖는 1차원 상에서는 사실상 달라지지 않는다(도 5).

[120] 본 연구와 유사하게, 스텝(step) pdf를 계산하기에 충분하다.

[121] 도 1에 따르면, 크랙(크랙 웨드)립을 따라 각각의 i 번째 입자가 1/2의 확률 및 y_i 이동으로 위 아래로 이동할 수 있다(변형 방향으로).

[122] 크랙 스텝(crack step) 크기는 여러 인접 입자에 의한 상향(하향) 궤적의 이동 거리를 의미한다.

[123] 도 1에 도시된 바와 같이, 가령, 한 방향으로 이루어지는 세개의 결정립 이동의

합은 X 크기의 스텝을 생성한다. 로컬 결정립 이동이 로컬 pdf P(y)로 분포된다고 가정해보자.

[124] $y_1, \dots, y_2$ 의 작은 스텝에 수직하게 이동하는 정규화된 사이즈 1에 이웃하는 결정립은 스텝 크기 x 의 전반적인 pdf P(x) 함수를 가질 수 있다.

[125]
$$P(x) = \iiint_0^1 \sum_n \delta(y_1 + \dots + y_n - x) \frac{1}{2^n} P(y_1) \dots P(y_n) dy_1 \dots dy_n$$

(7)

[126] 상기 식에 있어서,

[127]
$$\int_0^1 P(y) dy = 1 \quad (8)$$

[128] δ 는 델타 함수이고, $n=1,2,\dots$,이다. 상기 델타함수는 식 $y_1 + \dots + y_n - x = 0$ 을 만족하는 방향에서 양(positive)의 값 n의 이동으로 구성된 스텝의 미세한 pdf를 나타낸다.

[129] 상기 식에 의하면 가정한바 대로, 입자의 상하 이동의 확률은 1/2 이다.

[130] 그러므로, 총 상향 이동으로서의 스텝을 정의하면, n의 작은 스텝들에 주어진 구성의 확률은 $1/2^n$ 에 비례 한다.

[131] 그런 다음, 델타함수를 푸리에 적분으로 식 7을 다시 쓰면,

[132]
$$P(x) = 1/2\pi \int_{-\infty}^{\infty} \iiint_0^1 \sum_n \exp(i\alpha(y_1 + \dots + y_n - x)) \frac{1}{2^n} P(y_1) \dots P(y_n) dy_1 \dots dy_n d\alpha \quad (9a)$$

[133] 또는 각각의 y_i 를 통해 독립적인 적분을 하기 위해 식 9a를 하기와 같이 단순화한 후

[134]
$$P(x) = 1/2\pi \int_{-\infty}^{\infty} \sum_n \exp(-i\alpha x) \left[\frac{1}{2} f(\alpha) \right]^n d\alpha \quad (9)$$

[135] 상기 식에서,

[136]
$$f(\alpha) = \int_0^1 P(y) \exp(i\alpha y) dy \quad (10)$$

[137] 이다.

[138] 식 9의 기하학적 시리즈는 하기 식 11로 직접적으로 변환될 수 있다.

[139]
$$P(x) = 1/2\pi \int_{-\infty}^{\infty} \exp(-i\alpha x) \frac{\frac{1}{2}f(\alpha)}{1 - \frac{1}{2}f(\alpha)} d\alpha \quad (11)$$

[140] 식 11의 Cauchy 적분은 일반적인 용어로 분석될 수 있다.

[141] 큰값의 x에서 함수 P(x)의 붕괴는 거의 지수함수적일 수 있고, P(y)의 특정 형태에 거의 독립적일 수 있음을 나타낼 수 있다.

[142] (12)

$$P(x) \sim \exp(-z_0 x) \text{ for } x \gg 1 \text{ and } z_0 > 0$$

[143] 만약, 식 11의 분모에서 하나의 극이 지배적인 역할을 하는 경우,

[144] $1 - \frac{1}{2}f(-iz_0) = 0 \quad (13)$

[145] 식 13에서 가장 낮은 실제 값 $z_0 > 0$ 이다.

[146] 다른 모든 극(식 13의 모든 솔루션)은 복잡할 수 있으며, 복소 평면의 하단에 놓일 수 있다(도 2의 예를 참조).

[147] 식 10에서 알 수 있는 것은, 이와 같이 단일의 순수한 상상의 극인 $\alpha = -iz_0$ 가 항상 존재한다는 것이고, 그렇지 않으면 상반부에서 극을 가질 때 식 10의 적분이 2와 동일하게 되는 것이 불가능하기 때문이다.

[148] 실제로, 만약 $\alpha = -iz_0$ 이고, 그리고 $|\exp(i\alpha y)| = |\exp(-z_0 y)| \leq 1$ 이며, 1보다 큰 값을 갖는 식 10의 $f(\alpha)$ 의 적분이 불가능하다면, 이는 상기 적분이 정규화된 확률 함수를 포함하고 있기 때문이고, 식 10에서 모든 y 에 대해 $|\exp(i\alpha y)|$ 가 정확히 1인 경우에도 최대값은 오직 1로만 주어진다.

[149] 그러나, 식 13은 $f(\alpha) = 2 > 1$ 이기 때문에 만족하지 않는다.

[150] 편리하게, 하단면(도 2)에서 무한히 큰 반원에 의해 식 11의 코시(Cauchy) 적분 통합 형상을 폐쇄함으로써, 극의 나머지의 합으로써 $P(x)$ 를 얻으며, 극 $-iz_0$ 에 의해 지배되는 지수항의 가장 큰 값은 큰 x 에서 우세하게 나타날 것이다. 이 극에 의해 그 자체를 제한하는 경우에는, 정규화된 확률을 가져올 수 있다.

[151] $P(x) = \exp(-z_0 x) z_0 \quad (14)$

[152] 이는 식 1로부터 컨덕턴스 S 가 큰 변형율에서 뿐만 아니라,

[153] $S = \int_{\varepsilon}^{\infty} \exp(-z_0 x) z_0 dx = \exp(-z_0 \varepsilon) \quad (15)$

[154] 저항에 의한 변형율의 지수함수도 되는 것임을 분명히 하고 있다.

[155] $R = 1/S = \exp(z_0 \varepsilon) \equiv \exp(\varepsilon/\varepsilon_0) \quad (16)$

[156] 지수 법칙 함수와 지수함수가 식 6과 식 16 사이의 차이점이라고 볼 수 있다.

[157] 각자에 이웃하는 임의의 결정립의 위치를 가정하는 $P(y)=1$ 의 가장 일반적인 예를 고려해본 다음, 도 1에서 결정립(grain)의 균일한 분포를 크랙립을 따라 이동시킨다. 이 경우 식 10은 하기 식 17을 제고하고,

[158] $f(\alpha) = (\exp(i\alpha) - 1)/i\alpha \quad (17)$

[159] 그 다음 식 13이 하기 형식을 갖춘다.

[160] $2z_0 + 1 - \exp(z_0) = 0. \quad (18)$

[161] 식 17의 해답은 수치적으로 확인할 수 있다. 가장 낮은 $z_0 = 1.256$ 이고, 다른 극은 $2.789 \pm 7.438i, 3.360 \pm 13.866i, \dots$ 이다(도 2 참조).

[162] 도 13에서 우리는 실험 데이터와 이론 사이의 일치하는 것을 보기 위해, 식 16(검은색 선)의 순수한 지수함수와 함께 정규화된 저항 vs $P(y)=1$ 로 계산된 변형율(적색 선)을 제공한다. 반면, 점근 함수(asymptotic) 식 16은, 예를 들면, 결정립의 균일한 pdf으로 계산된 저항 vs 변형율, 도 11d에서 실험의 선형

기울기와 일치하도록 상기 변형을 $\alpha=7$ 배로 리스케일 해야 한다.

[163] 물리적으로 그것은 결정립의 이동을 30%까지 제한하고, 따라서 크랙립이 평탄화하는 것을 의미한다.

[164] 그러므로, 저항은 반대수(the semi-logarithmic) 스케일에서 저항의 기울기를 증가시킴으로써 평탄화하는 것과 같이 반응한다.

[165] 매개 변수는 크랙립의 평탄도를 측정한다.

[166] 도 1로부터, 스텝 돌기의 최대 기울기는 α 에 의해 제한되는 것을 알 수 있으며, α 는 최대 경사 각도의 탄젠트 값이다.

[167] $P(y)=1$ 에서의 최대 경사 각도는 탄젠트 $\alpha=1$ 인 45도(°)이다.

[168] 물론, 크랙립이 어떠한 이동도 없이 $\alpha=0$ 인 완벽하게 평평한 경우에는, 크랙립의 갑작스런 분리 및 R/R_0 의 무한한 기울기를 가질 수 있다.

[169] 도 2e의 피팅에 따르면, %로 측정된 변형률의 매개변수는

$$\varepsilon_0 = \frac{\alpha}{z_0} = \frac{0.7}{z_0} \approx 0.6 \text{ 이다.}$$

[170] 이러한 근접한 추정치를 가지고, 특정한 결정립 크기 x_0 를 계산할 수 있었다.

[171] SEM 이미지에 의하면, 간극의 거리 x 는 변형률 $x=k\varepsilon$ 에 비례하는 것으로 나타났고, 이때, %에서 ε 을 갖는 $k \approx 50\text{nm}$ 이고, 상기 입도 $x_0 = k\varepsilon_0 = 30\text{nm}$ 는,

입자화된 Pt 막의 1차입자 크기 구성요소와 상당히 근접할 수 있다.

발명의 실시를 위한 형태

[172] 이하, 본 발명의 이해를 돕기 위하여 실시예를 제시하나, 하기 실시예는 본 발명을 예시하는 것일 뿐 본 발명의 범주 및 기술사상 범위 내에서 다양한 변경 및 수정이 가능함은 본 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 있어서 명백한 것이며, 이러한 변형 및 수정이 첨부된 특허청구범위에 속하는 것도 자명한 것이다.

[173]

[174] <실시예 1> 유도 크랙 기반 고감도 센서의 제작

[175] 도 3a 내지 3c에 도시된 것과 같이 크랙 센서를 제조하였다.

[176] 구체적으로, 스핀 코팅된 100 μm 의 폴리디메틸실록산(PDMS;

polydimethylsiloxane)를 플라즈마 표면처리기 CUTE-1MPR(Femto Science Inc.)를 사용한 산소 플라즈마로 처리하여 유리 위에 결합시켰다. 20 μl 폴리우레탄 아크릴레이트(PUA; polyurethane acrylate)를 PDMS/glass 몰드에 떨어뜨린 후, 필러 패터닝된 실리콘 몰드를 덮은 후에, 350 nm UV (약 12 mJ/cm²)를 조사하였다. 패터닝된 10 nm 크롬층은 열 증착기(thermal evaporator; Selcos Inc.)에 의한 열 증착에 의해 형성하고, 스퍼터링 된 20 nm 백금층을 증착하였다. 금속 층 증착 PUA 필름을 PDMA/glass 몰드로부터 조심스럽게 떼어낸 후, 맞춤형 스트레처를 사용하여 x/y 방향으로 5% 인장하였다. 인장 전 후의 크랙 센서를 도 4에 도시하였다.

- [177] 그 후, 센서에 전기적 신호를 연결 할 수 있도록 전도성 폴리머를 이용해 전선을 부착하였다. 이와 같이 제작한 고감도 센서를 도 4 및 도 5에 도시하였다. 도 4 및 도 5는 상기 고감도 센서에 변형이 가해짐에 따라 크랙이 벌어지는 것을 나타낸다.
- [178]
- [179] <실시에 2> 다중 픽셀 어레이 샘플 제조
- [180] 기계적 진동 및 압력을 검출하기 위한 장치의 확장성 및 능력을 입증하기 위하여, 도 16b에 나타낸 바와 같이 $6 \times 6 \text{ cm}^2$ 면적에 16 픽셀($4 \times 4 \text{ pixel array}$)의 센서 네트워크를 제공한다. 다중 픽셀 시스템의 개략도는 도 16a 및 16c에 나타내었다. 각 픽셀($1 \times 1 \text{ cm}^2 \text{ islands}$)은 구멍 패턴을 가지는 $100 \mu\text{m}$ PUA/ 10nm Cr/ 20nm Pt의 두께로 구성된 후에, 크랙을 발생시키기 위해 10% 이축(bi-axially)으로 신장하여 연신하였다. 크랙이 형성된 Pt와 Lab View-based PXI-4071 system (NI instrument Inc.) 사이의 전기적 연결은 웨도우 마크법을 사용한 PET 필름 상에 증착된 골드라인(Au, 50 nm thick)에 의해 형성되었다. 제조된 각 픽셀은 전도성 고분자(CW2400, circuitworks)에 의해 PET 필름에 자립형으로 배치되거나 골드라인에 의해 전기적으로 연결되었다.
- [181]
- [182] <실험에 1> 크랙 간극의 길이에 따른 저항의 변화(게이지 팩터) 측정
- [183] 실시예 1의 고감도 센서를 이용하여 직선 크랙의 효과를 확인하기 위해, 세 가지 다른 구멍 패턴을 사용하여 크랙을 형성하였다.
- [184] 도 7a에 도시된 바와 같이 P는 홀 중심의 최단 거리이고, 테스트되는 세개의 패턴에서 모두 동일하고, G는 간극의 길이이며, 간극은 구멍의 선단 사이의 최단 거리를 나타낸다.
- [185] G의 길이가 $10 \mu\text{m}$, $15 \mu\text{m}$, $20 \mu\text{m}$ 일 때 크랙의 형성 양상 및 저항의 변화를 도 6의 a, b 및 도 7의 a 내지 d에 나타내었다.
- [186] 도 6a은 간극(G)의 길이가 $10 \mu\text{m}$, $15 \mu\text{m}$ 일 때, 여러 개의 크랙이 유도될 수 있음을 나타내며, 6b는 G가 $20 \mu\text{m}$ 일 때 매우 곧은 크랙을 발생시킬 수 있음을 나타낸다. 도 6a에 도시된 것과 같은 다수의 곧지 않은 크랙의 발생은 저항의 변화에 대한 민감도를 저하시킬 수 있으며, 이러한 결과는 도 7b 및 7d에 도시되어있다.
- [187] 이러한 불균일성을 이해하기 위해, 우리는 FEM(finite element method) 시뮬레이션을 수행하였으며, 상기 시뮬레이션 결과를 도 7c에 나타내었다. 도 7c의 결과에 의하며, 좁은 패턴 간극이 간극 거리내에 크랙이 나타나는 모든 곳을 자극하는 높은 응력의 더 넓은 분포를 생성함을 나타내고 있다. 또한, 간극의 길이 G가 P에 대해 충분한 길이를 가지고 있지 않으면, 크랙이 발생하는 크랙면에 응력이 작용하는 구간이 너무 넓고 다양해질 수 있으며, 이로부터 여러 지점에서 응력이 발생하여 크랙을 유도할 수 있게 된다.
- [188] 본 발명에 따른 크랙 센서의 크랙은 직선으로 유도되는 경우에 유리하며, 이는 도 7b 및 도 7d의 결과에 나타내었다.

- [189] 또한, 도 7b 의 $20\mu\text{m}$ 에서의 저항변화는 무질서한 크랙을 기반으로 하는 센서에 비해 보다 샤프한 그래프를 나타내며, 이는 크랙립(crack lip)의 거리변화에 따른 저항 변화를 나타내는 것이며, 직선의 크랙에서는 이러한 크랙의 거리변화에 보다 정확하게 반응함을 나타낸다.
- [190]
- [191] <실험예 2> 인장 각도에 따른 저항의 변화(게이지 팩터) 측정
- [192] 실시예 1에서 제조된 고감도 센서의 단일 매개 변수(정규화된 간극 크기 $x/x_0 = k\varepsilon/x_0$)에 의존하는 저항의 이론적 개념의 가능성을 증명하기 위해, 우리는 정규화된 저항 vs 변형율을 90° 의 경우와 비교하기 위해 도 9b에 도시된 바와 같이 60 내지 45° 에 사각형 패턴을 위치시켰다. 상기 실험 결과는 도 9c 및 9d에 도시되었다.
- [193] 로그-로그 스케일로 리플롯 함으로써, $60^\circ(^\circ)$ 의 곡선은 변형율을 0.32 으로 조절한 후 $90^\circ(^\circ)$ 곡선과 일치하였다(도 9c 참조).
- [194] 기하학적으로 $90-60=30$ 이며, 이는 샘플의 직교방향으로의 변형에 의한 추가적인 수축 때문에 $x=k\varepsilon$ 에서부터 $\sin(\pi/6)x=k(0.5\varepsilon)$ 까지의 또는 $k(0.32\varepsilon)$ 이상까지의 변형에 의한 간극 크기가 제공되기 때문에, 적절한 간극 사이즈를 효과적으로 좁히는 것에 의해 설명된다(도 9a).
- [195] 전도도가 30° 에서 좁은 간극을 통해 일어나는 대부분의 전도도 경로에 의해 지배 당하기 때문에 60° 의 여각의 차이는 여기에 다소 관련이 있을 수 있다.
- [196] 동일 여각에서 45° 의 경우, 리스케일링 팩터는 0.7 이고, 따라서 $\sin(\pi/4)=1/\sqrt{2}$ 에 가깝다(도 9c).
- [197] 도 9d는 격자형태로 발생된 크랙이 각도가 변화함에 따라 나타나는 저항변화의 결과이며, 각도가 90° 일 때, 가장 큰 저항의 변화가 나타나며, 45° , 60° 순으로 저항의 변화가 크게 나타난다.
- [198] 따라서, 격자형태로 발생된 크랙에 의해 형성된 사각형 패치가 동일한 각도로 대칭되는 힘을 통해 인장될 때 보다 저항 변화가 민감하게 나타나며, 이는 크랙의 거리가 보다 효과적으로 벌어질 수 있으며, (90° - 인장각도)의 차이에 의해 발생하는 여각이, 45° 이상의 각도에서는 45° 이하의 각도이며, 이로 인해 더 좁은 크랙간 거리를 형성함에 따라 45° 에 비해 더 낮은 저항감도를 나타내는 것일 수 있다. 그러나, 이는 90° 에 가까운 각도에서는 그 영향이 덜 할 수 있다.
- [199]
- [200] <실험예 3> 스트레인 변화에 따른 저항 변화 측정
- [201] 상기 실시예 1의 고감도 센서에 인장을 가하면서 전류를 가하여 저항의 변화를 측정하였다. 구체적으로 도 11a~ 11d는 최대 10% 까지 인장하였다가 다시 원래 상태 즉 0% 스트레인 상태로 가면서 측정한 전기저항의 변화를 나타낸 것이고, 도 11a ~ 11c는 실시예 1의 센서의 이력현상 및 재현성을 나타내는 그래프이다.
- [202] 상기 실시예 1의 고감도 크랙 센서는 맞춤형 압력 테스트장비에 의해 고정되었다.

- [203] 지속적인 압력이 도 10의 로드셀(2712-041, Instron Co.) 및 PXI-4071 저항 분석기(NI instrument) 기반의 Lab VIEW(NI instrument)를 기반으로 구성된 크랙 센서에 적용되었다.
- [204] 도 11a에는 0~2.5%, 0~5%, 0~10%의 변형율 범위에서 5000회의 반복사이클로 측정된 재현성 테스트의 결과가 도시되어있으며, 도 11b에는 변형율 10% 범위에서 5000회 이상의 사이클 후의 재현성을 나타내는 것이다. 이로부터 본 발명에 따른 크랙 센서는 5000회 이상의 반복 측정 이후에도 성능의 거의 차이가 나타나지 않음을 알 수 있다.
- [205] 도 11c에는 0 ~ 10%의 변형율 범위에서 도 10의 로딩 셀을 이용한 로딩-언로딩 테스트를 1800회 반복한 재현성 결과를 나타내며, 상기 그래프를 통한 결과로부터 본 발명에 따른 크랙 센서가 매우 우수한 재현성을 가짐을 알 수 있다.
- [206] 또한, 도 11d에 나타낸 바와 같이, 실시예 1의 센서를 최대 10% 까지 인장하였다가 다시 원래 상태 즉 0% 스트레인 상태로 가면서 측정한 전기저항을 측정하였을 때, 전기저항의 변화가 초기 저항의 약 2×10^5 배까지 변화함을 알 수 있었으며, 반복적으로 같은 형태의 저항 변화를 재현성 있게 얻을 수 있었다. 이는 서로 접촉하고 있던 크랙면에 스트레인이 가해짐에 따라 이동하면서 접촉 면적이 감소하고, 결국은 이격되면서 전기 저항이 급격하게 증가하는 데에 기인하며, 스트레인을 제거함에 따라 센서가 수축되면서 이격되었던 크랙면이 접촉하게 되고, 접촉면적이 증가함에 따라 저항이 줄어들면서 원래 상태로 돌아온다.
- [207]
- [208] <실험예 4> 스트레인 변화에 따른 저항 변화 측정
- [209] 도 12a 내지 12c는 0~2.5%, 0~5%, 0~10%의 변형율 범위에서 로딩 및 언로딩 테스트에서 측정된 저항변화를 측정한 그래프를 나타낸다.
- [210] 도 12a 내지 12c의 결과로부터 본 발명에 따른 실시예 1의 크랙 기반 센서는 로딩 및 언로딩 과정에서 히스테리시스가 거의 나타나지 않으나, 적용되는 변형율의 범위가 커질수록 히스테리시스가 다소 증가하는 양상을 보인다.
- [211] 도 12c는 5개의 샘플에서 측정된 값의 평균값을 이용하여 표준편차와 함께 나타낸 것이다.
- [212] 본 발명은 저항에 대한 변형 데이터의 이론적인 분석을 수행하였으며(식 1~18), 도 13은 변형율에 따른 저항 변화를 실험적 vs 이론적으로 얻어진 데이터를 바탕으로 피팅(fits)된 변형율-저항변화 곡선의 플롯을 나타낸다. 상기 결과로부터 본 발명에 따른 크랙 센서는 너무 크지 않은 변형율의 범위에서 실험적 데이터의 결과와 거의 일치하는 양상을 나타냄을 것을 알 수 있다.
- [213] 도 14는 갑작스런 변화를 주었을 때의 반응시간에 대해서 나타낸 그래프이며, 실험의 결과를 통해 100ms 이내에 반응하는 것을 알 수 있다. 또한, 상기 도 14를 통해 변형율의 변화 양상과 저항변화가 거의 동일한 반응 양상을 나타내는 것을

알 수 있다.

[214]

[215] <실험예 5> 압력에 따른 저항변화의 측정

[216] 압력의 인가는 샘플을 연신시키고, 금속 필름의 저항을 증가시킬 수 있다.

[217] 압력의 측정을 위해 상기 실시예 1의 크랙 기반 센서는 맞춤형 기계에 장착되며, 저항 데이터는 저항 분석기로 측정될 수 있다(PXI-4071, National Instruments).

[218] 압력 데이터는 도 10의 로드 셀(2712-041, Instron Co.)로 획득되었다.

[219] 수득된 압력 데이터의 저항은 세 가지 압력 영역으로 선형화 될 수 있으며, 이는 도 15a에 도시되었다. 도 15a의 그래프는,

[220] 1) 0-6 kPa 에서의 기울기 606.15 kPa^{-1}

[221] 2) 6-8 kPa 에서의 기울기 $40341.53 \text{ kPa}^{-1}$

[222] 3) 8-9.5 kPa 에서의 기울기 $136018.16 \text{ kPa}^{-1}$ 의 세 가지 압력영역을 나타내며, 이러한 압력-저항 곡선의 기울기는 보고된 연구(Y.Zang, et al. Flexible suspended gate organic thin-film transistors for ultra-sensitive pressure detection. NATURE COMMUNICATIONS, 6:6269, doi: 10.1038/ncomms7269)에서 나타낸 압력 감도의 최고 성능인 0-5 kPa의 범위의 압력에서 192 kPa^{-1} 보다 현저히 우수한 감도를 나타낸다.

[223] 도 15b는 상기 크랙 센서를 이용해 0.2Pa의 압력에 대응하는 작은 개미질량(*Ponera japonica*, 1mg)을 측정한 결과를 나타내며, 이는 본 발명에 따른 크랙 센서가 압력에 대해 높은 감도를 나타내는 것을 나타내는 결과이다.

[224] 상기 크랙 센서를 손목에 장착하여 손목 맥박의 생리신호를 측정하였다.

[225] 도 15c 및 15d에는 상기 손목 맥박의 생리신호를 측정한 그래프를 나타내었으며, 도 15d에는 15c 그래프의 일부를 확대한 결과를 나타내며, 상기 15d의 그래프로부터 본 발명에 따른 크랙 센서가 손목 맥박의 미세한 3단계 변화를 모두 측정할 수 있을 만큼 높은 민감도를 나타내고 있음을 알 수 있다.

[226]

[227] <실험예 6> 고감도 센서 어레이를 통한 위치 및 압력 측정

[228] 센서 확장성 및 공간 해상도와 압력 감지 능력을 입증하기 위해, 실시예 2의 방법으로 다중 픽셀 어레이를 제조하였으며, 이를 도 16a에 도시하였다. 크랙 기반의 디바이스는 높은 유연성을 나타내고, 도 16b에 나타난 것과 같이 휨이 있을 수 있다.

[229] 작은 LEGO 조각 모양의 S, N, U를 조심스럽게 픽셀이 어레이된 실시예 2의 센서에 도 16c와 같이 위치시켰으며, 이로부터 유도된 압력 및 위치를 상기 어레이 센서로부터 용이하게 검출할 수 있었다. 상기 어레이 센서로부터 측정된 결과를 도 16d에 나타내었다.

[230] 이상으로 본 발명의 내용의 특정한 부분을 상세히 기술하였는바, 당업계의 통상의 지식을 가진 자에게 있어서, 이러한 구체적 기술은 단지 바람직한 실시

양태일 뿐이며, 이에 의해 본 발명의 범위가 제한되는 것이 아닌 점은 명백할 것이다. 따라서, 본 발명의 실질적인 범위는 첨부된 청구항들과 그것들의 등가물에 의하여 정의된다고 할 것이다.

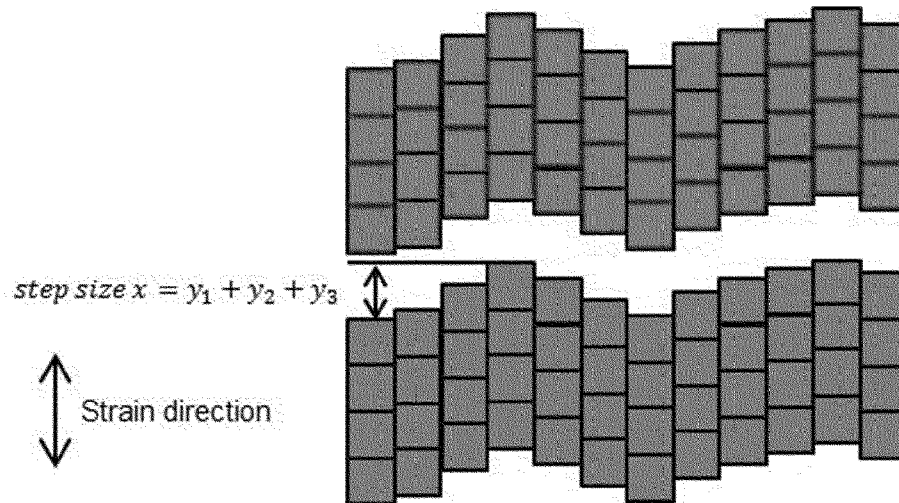
청구범위

- [청구항 1] 홀(hole) 패턴이 형성된 유연 지지체; 및
상기 지지체의 적어도 일면 상에 형성되는 전도성 박막;을 구비하며,
상기 전도성 박막은, 서로 마주하면서 적어도 일부 면이 서로 접촉하고
있는 크랙면을 갖는 직선으로 유도된 크랙을 포함하며,
상기 크랙면은 상기 유연 지지체에 형성된 규칙적인 홀(hole) 패턴에 의해
직선 형태로 유도되고,
외부 물리적 자극에 따라 상기 크랙면이 이동하면서 접촉면적이
변화하거나 단락 혹은 재접촉에 의해 발생하는 전기적 변화의 측정에
의한 외부자극을 측정하는 고감도 센서.
- [청구항 2] 제1항에 있어서,
상기 크랙면은 인접하는 홀 사이에 외력에 의한 응력이 집중 발생되어, 홀
패턴을 따라 크랙이 직선 형태로 유도되는 것인 고감도 센서.
- [청구항 3] 제1항에 있어서,
상기 크랙면은 인접하는 홀과 홀 사이에 구비되며, 상기 크랙면의
길이(G)는, 상기 크랙면이 위치하는 인접하는 홀과 홀의 중심을 연결하는
직선(P)에 대해 60% 이상의 길이를 갖는 것인 고감도 센서.
- [청구항 4] 제1항에 있어서,
상기 크랙면에 가해지는 외력의 각도가 상기 크랙면에 대해 90°또는
45°를 이루는 방향으로 가해지는 것인 고감도 센서.
- [청구항 5] 제1항에 있어서,
7 내지 10kPa 범위의 압력에서 2×10^4 이상의 민감도를 갖는 고감도 센서.
- [청구항 6] 제1항에 있어서,
상기 홀 패턴의 모양은 4개의 호(arc)가 결합되어 4개의 꼭지점을 갖는
십자 형태 또는 곡선으로 이루어진 마름모 형상으로 이루어진 것인
고감도 센서.
- [청구항 7] 제1항에 있어서,
상기 유연 지지체는 폴리우레탄아크릴레이트 (PUA),
폴리디메틸실록세인 (PDMS), 폴리에틸렌테레프탈레이트(PET),
폴리프로필렌(PP) 및 폴리에틸렌(PE) 으로 이루어지는 그룹으로부터
선택되는 어느 하나 또는 이들의 조합인 것인 고감도 센서.
- [청구항 8] 제1항에 있어서,
상기 전도성 박막은 Au, Ag, Pt, Cu, Cr, Pt 등으로 이루어지는
그룹으로부터 선택되는 어느 하나 또는 이들의 조합인 것인 고감도 센서.
- [청구항 9] 제1항에 있어서,
상기 크랙은 나노 수준의 미세 크랙인 것인 고감도 센서.
- [청구항 10] 제1항에 있어서,

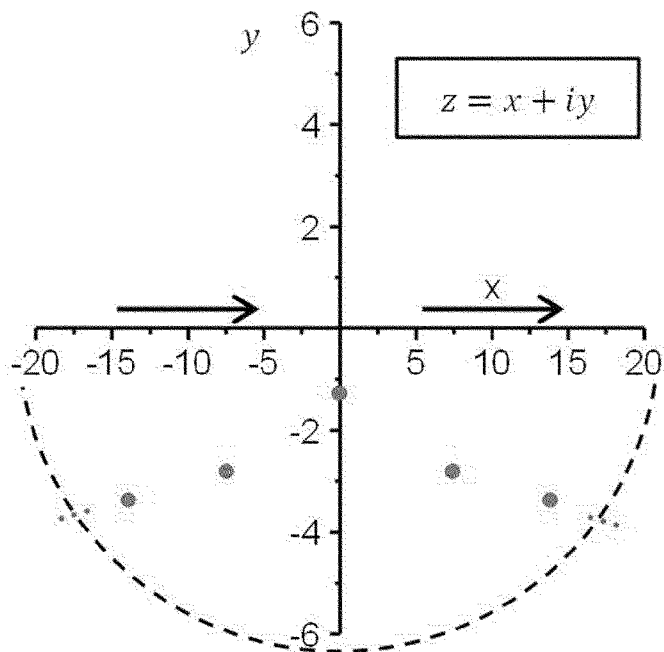
외부자극에 의해 상기 크랙의 전기적 단락 또는 개방이 발생하여 상기 전도성 박막의 전기적 저항값이 변화되는 것을 특징으로 하는 고감도 센서.

- [청구항 11] 제1항에 있어서,
상기 외부자극이 인장(stretch) 및 압력(press) 중 어느 하나 또는 이들의 조합인 것인 고감도 센서.
- [청구항 12] 제1항에 있어서,
상기 전도성 박막의 두께가 0.1 nm 내지 1 μm 인 것인 고감도 센서.
- [청구항 13] 제1항에 있어서,
0 내지 10%의 변형률에서 게이지 팩터(gauge factor)가 1 내지 2×10^6 인 것인 고감도 센서.
- [청구항 14] 제 1항에 있어서,
상기 고감도 센서의 유연성은 최소 반지름 1 mm 이상으로 구부릴 수 있는 것인 고감도 센서.
- [청구항 15] 제1항 내지 제14항 중 어느 한 항에 따른 고감도 센서를 구비하는 압력센서.
- [청구항 16] 제1항 내지 제14항 중 어느 한 항에 따른 고감도 센서를 구비하는 인장센서.
- [청구항 17] 제1항 내지 제14항 중 어느 한 항에 따른 고감도 센서를 구비하는 압력 및 인장센서.
- [청구항 18] 제1항 내지 제14항 중 어느 한 항에 따른 고감도 센서를 구비하는 인공 피부.
- [청구항 19] 유연 지지체에 규칙적 홀 패턴을 형성하는 단계;
상기 유연 지지체의 적어도 일면 상에 전도성 박막을 형성하는 단계; 및
상기 전도성 박막을 인장하여 직선상의 크랙을 유도하는 단계;를
포함하는 제1항의 고감도 센서의 제조방법.

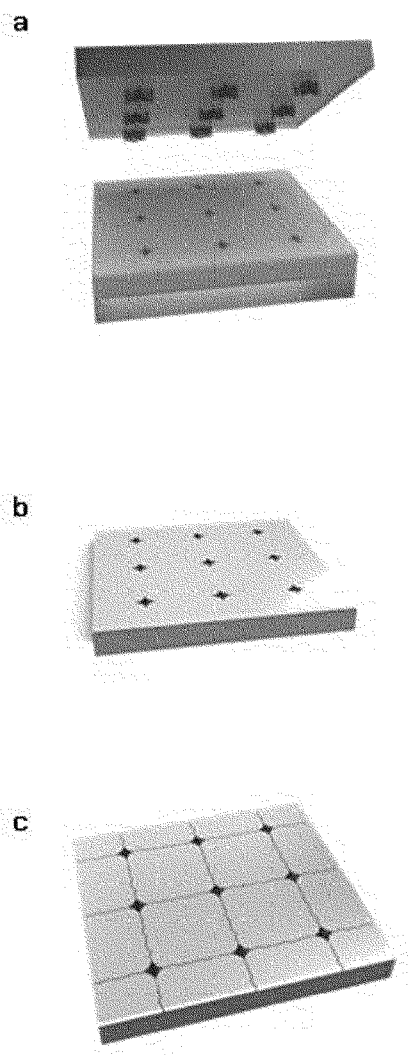
[도1]



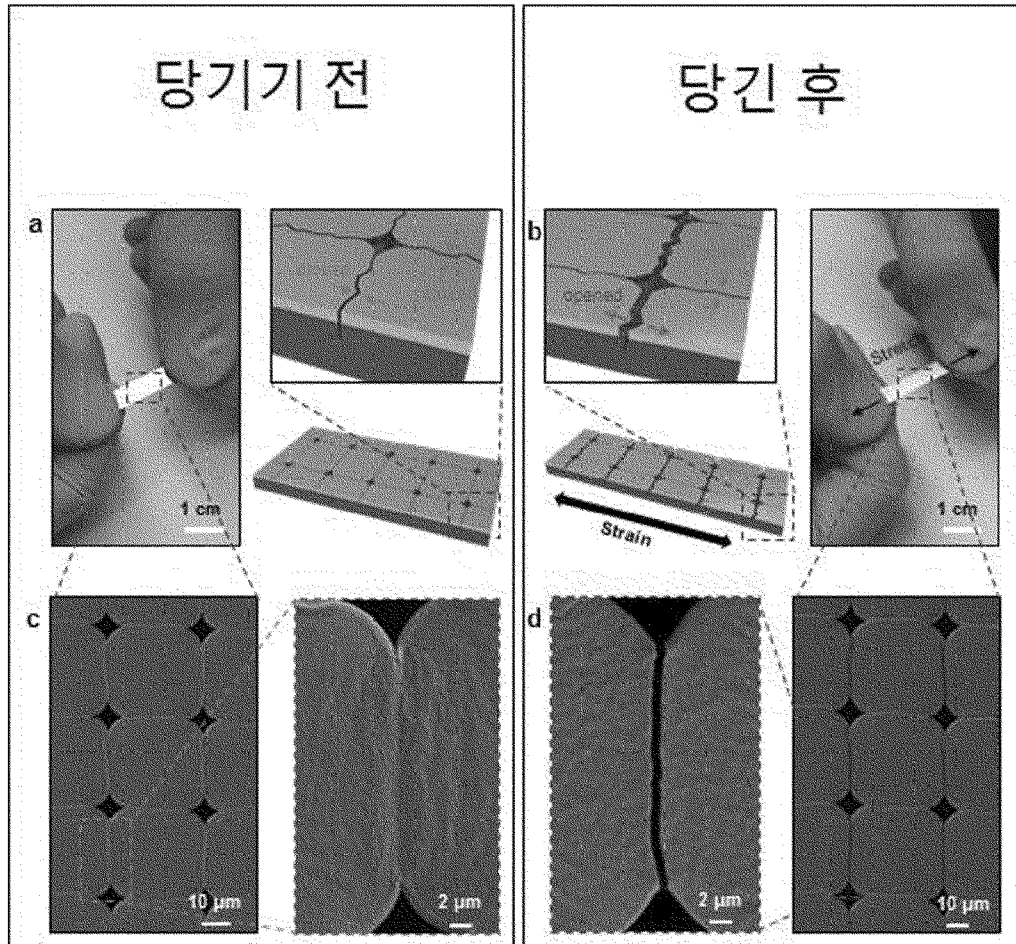
[도2]



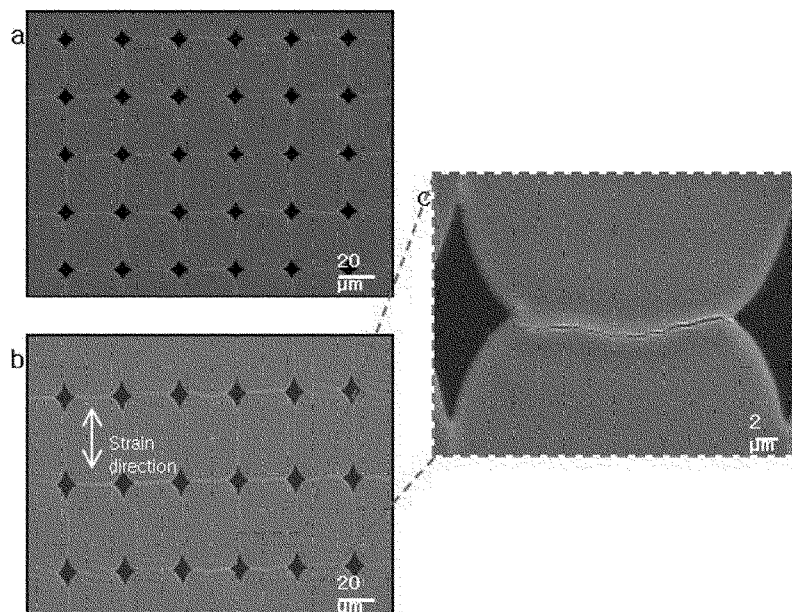
[도3]



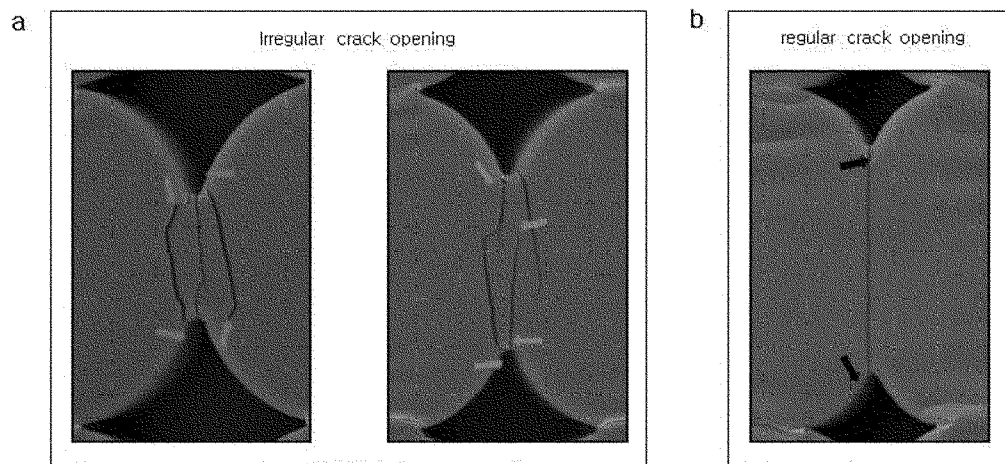
[도4]



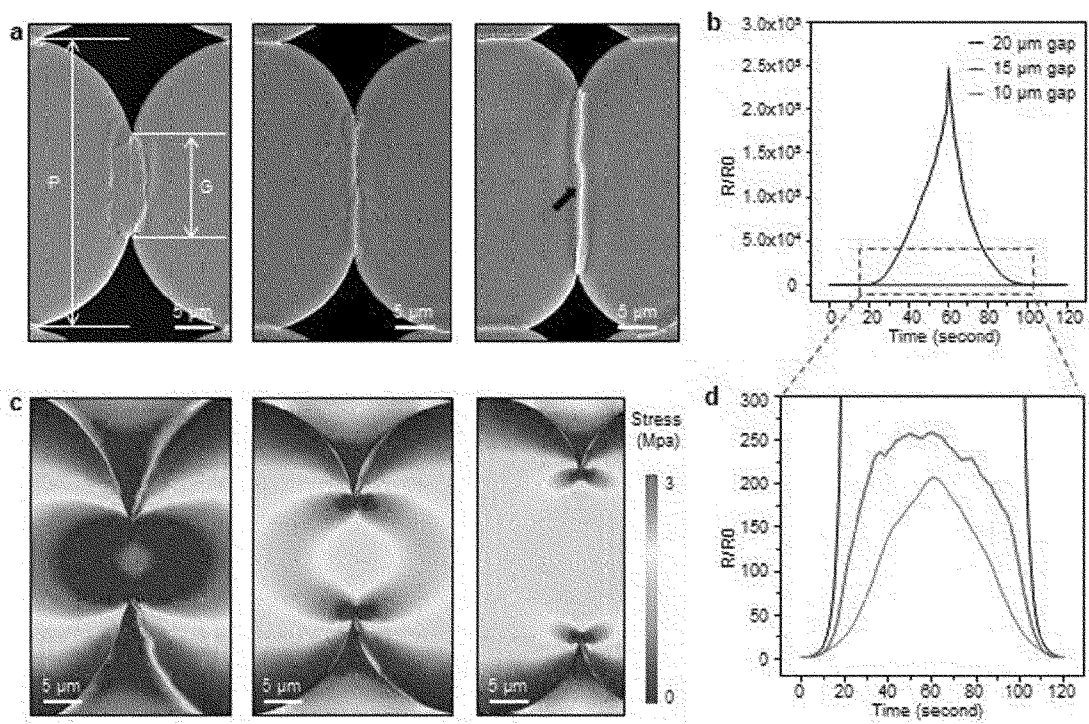
[도5]



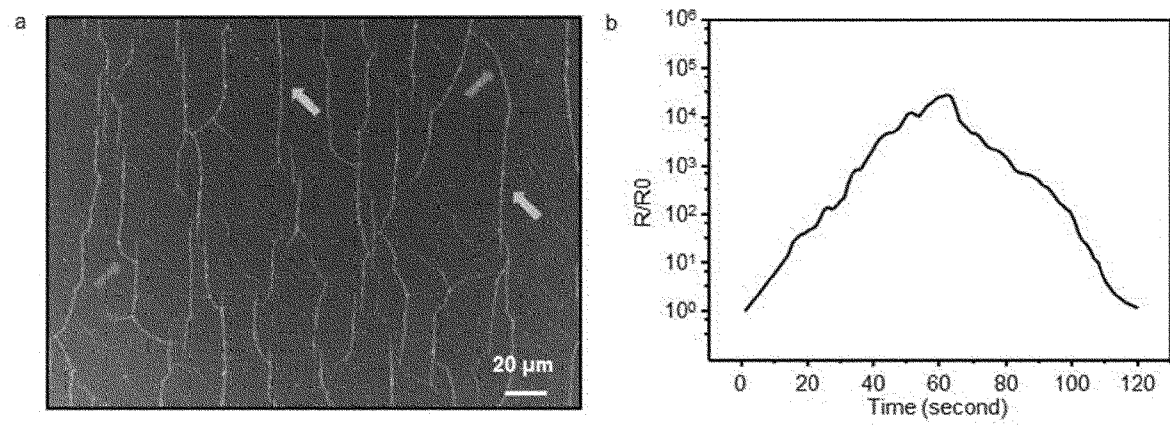
[도6]



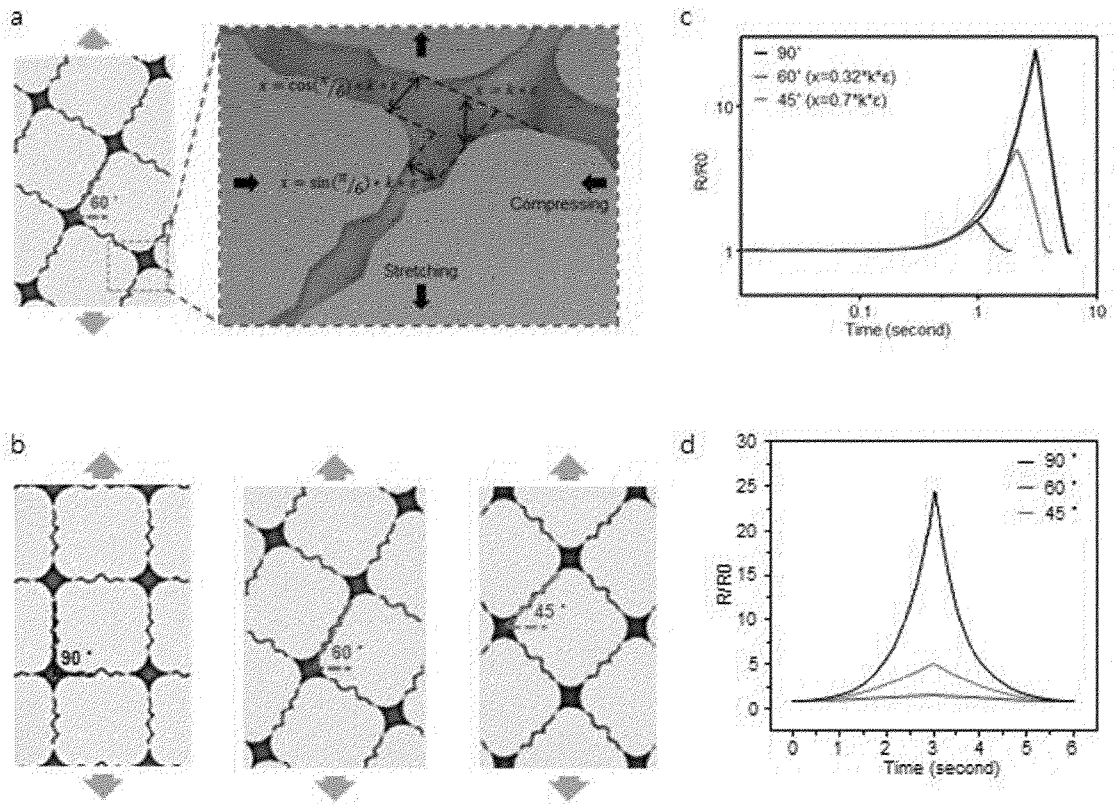
[도7]



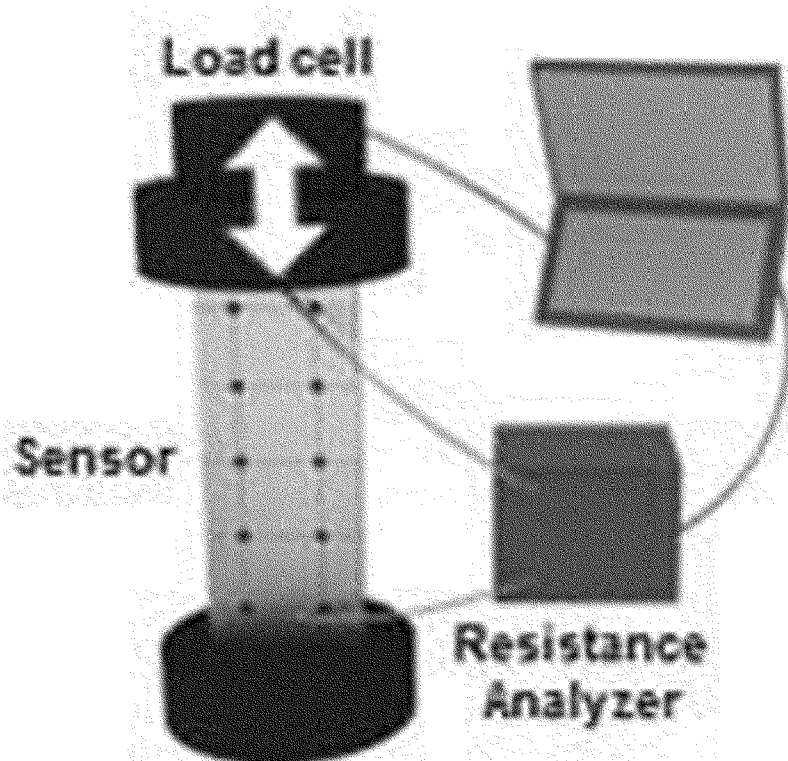
[도8]



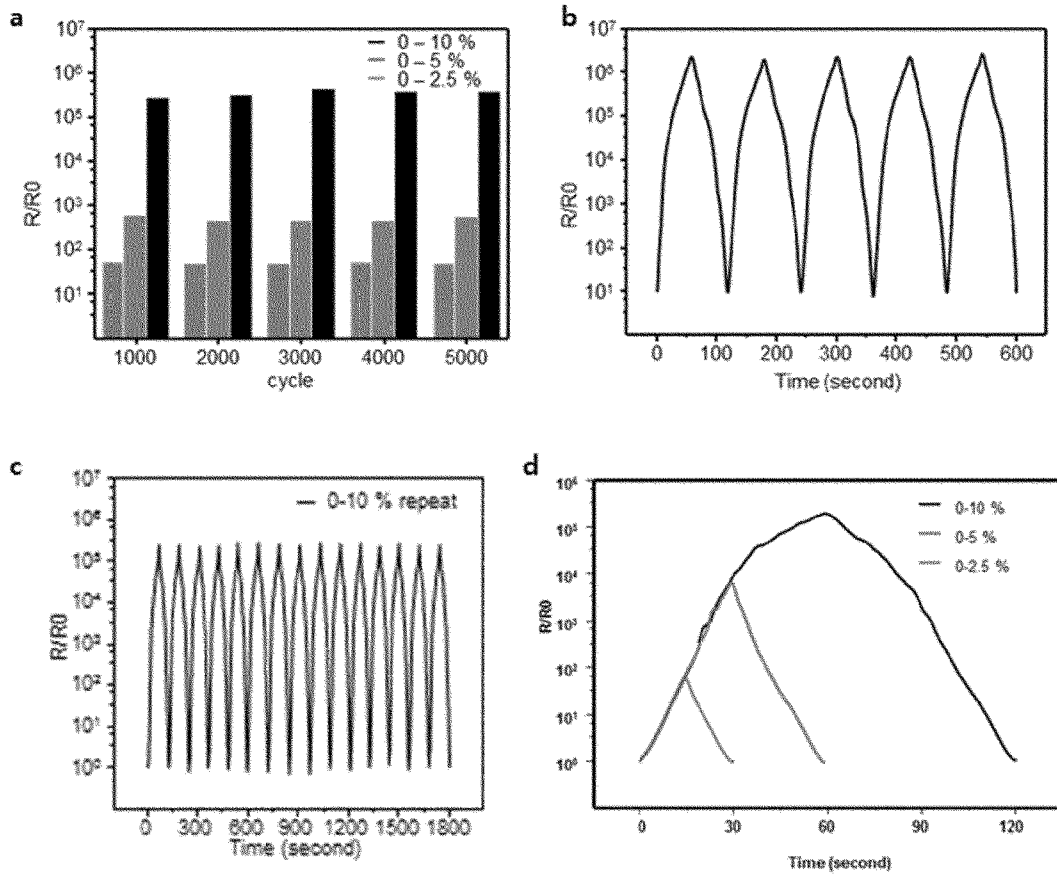
[도9]



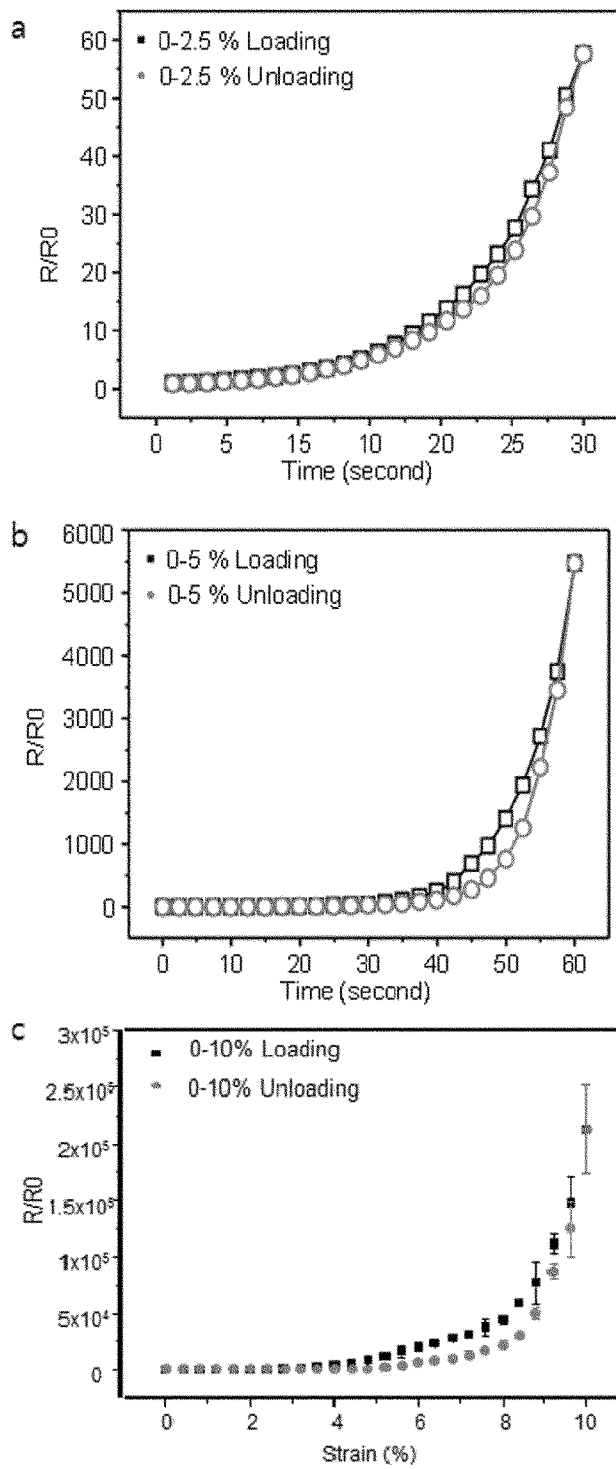
[도10]



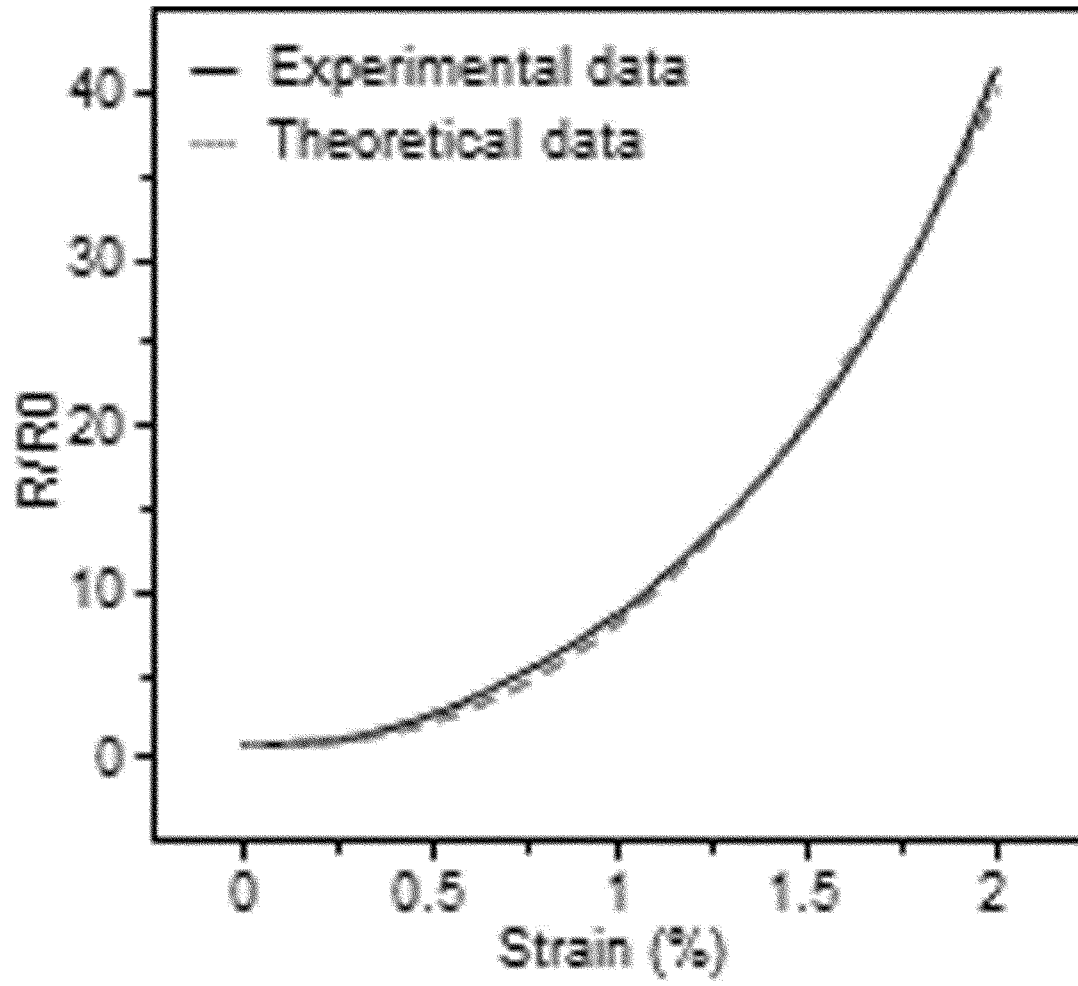
[도11]



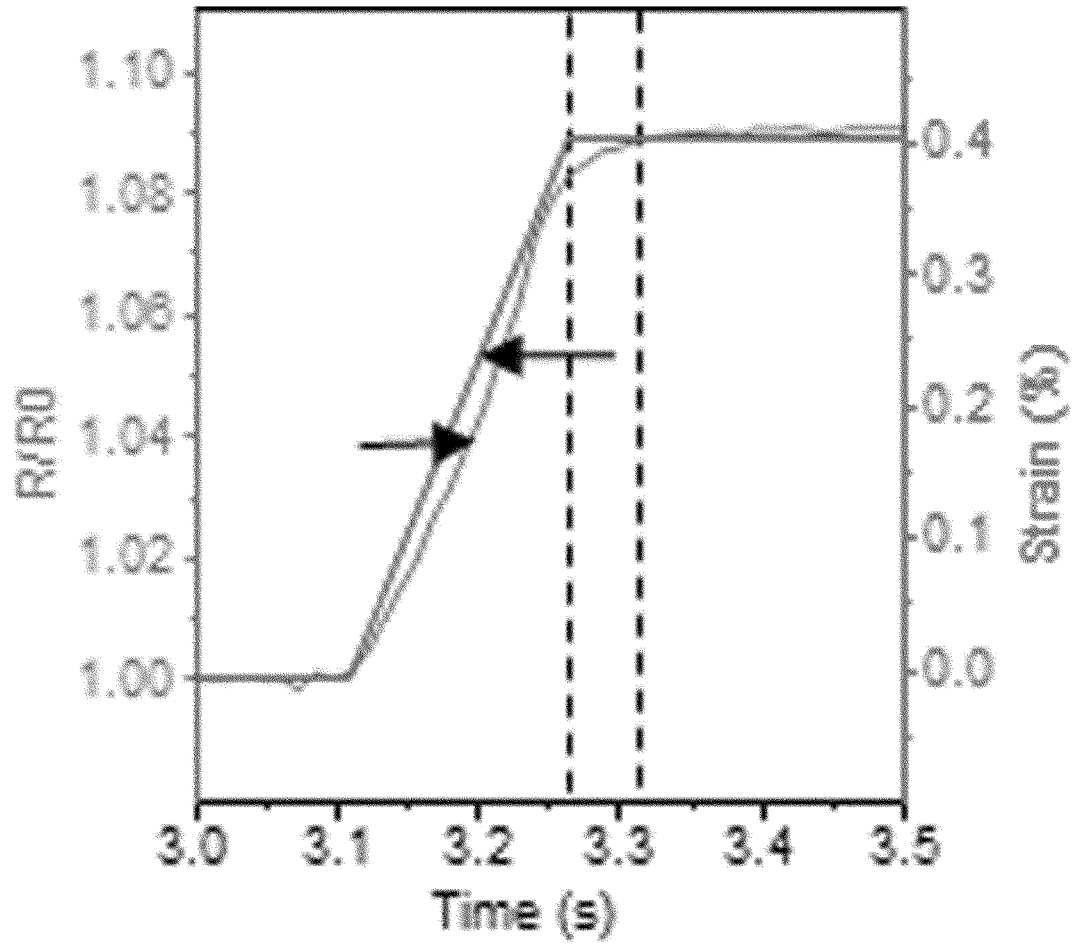
[도12]



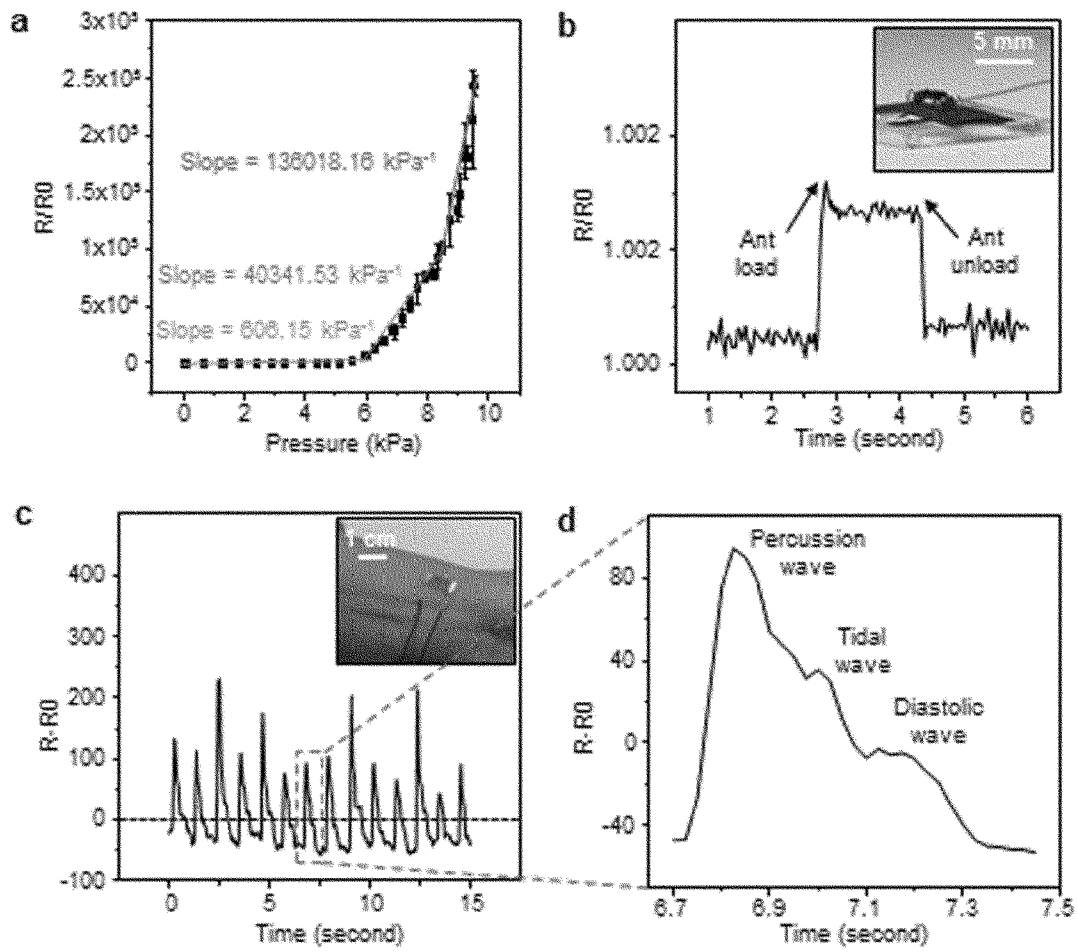
[도13]



[도14]

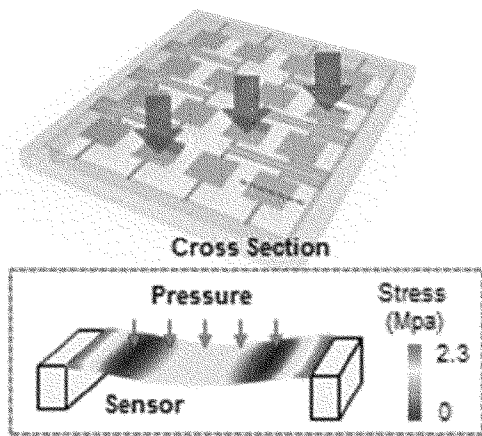


[도15]

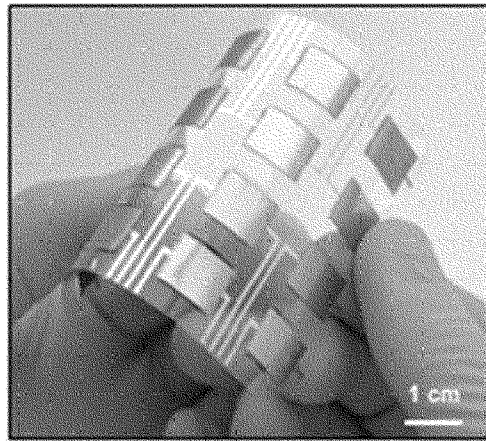


[도16]

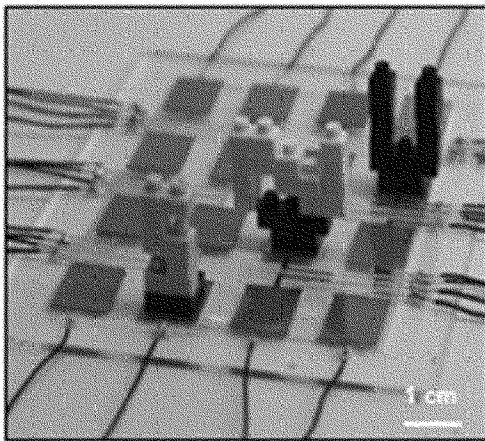
a



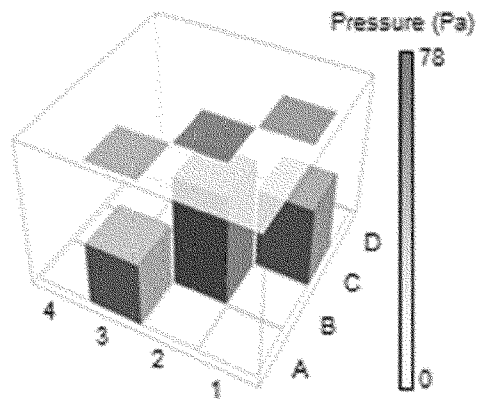
b



c



d



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/KR2016/013789**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER****G01B 7/16(2006.01)i, G01L 1/20(2006.01)i, G01L 5/00(2006.01)i, A61B 5/024(2006.01)i, A61B 5/00(2006.01)i**

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01B 7/16; B82B 3/00; G01L 7/08; G01L 9/04; G01N 27/12; G01D 21/00; G01L 1/20; G01L 5/00; A61B 5/024; A61B 5/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Korean Utility models and applications for Utility models: IPC as above

Japanese Utility models and applications for Utility models: IPC as above

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

eKOMPASS (KIPO internal) & Keywords: thin film, plate, crack, strain gauge, sensor, high sensitivity, pressure

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	KR 10-1151662 B1 (INDUSTRY-ACADEMIC COOPERATION FOUNDATION, YONSEI UNIVERSITY) 11 June 2012 See paragraphs [0036]-[0046]; and figure 3.	1-19
A	LEE, Jae Hwan, "Stretchable Strain Sensor Based on Metal Nanoparticle Thin Film for Human Motion", Master's Thesis of Korea Advanced Institute of Science and Technology, 2013, pages 1-67. See pages 1, 21-67; and figure 19.	1-19
A	KANG, Dae Sik, "Bio-inspired Design and Fabrication for High Sensitive Recognition System", Doctoral Thesis of Graduate School of Seoul National University, August 2014, pages 1-127. See pages 34-82.	1-19
A	KR 10-2015-0064707 A (GLOBAL FRONTIER CENTER FOR MULTISCALE ENERGY SYSTEMS et al.) 11 June 2015 See paragraphs [0020]-[0052]; and figures 1-2.	1-19
A	KR 10-2011-0075256 A (RESEARCH INSTITUTE OF INDUSTRIAL SCIENCE & TECHNOLOGY et al.) 06 July 2011 See paragraphs [0014]-[0025]; and figure 1.	1-19
A	CHOI, Yong Whan et al., "Ultra-Sensitive Pressure Sensor ...", 2015 MRS Fall Meeting & Exhibit Guide, 29 November-04 December 2015, Boston, Massachusetts. * The above document is estimated as a document declaring exceptions to lack of novelty by the applicant.	1-19



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

07 MARCH 2017 (07.03.2017)

Date of mailing of the international search report

07 MARCH 2017 (07.03.2017)

Name and mailing address of the ISA/KR

Korean Intellectual Property Office
Government Complex-Daejeon, 189 Seonsa-ro, Daejeon 302-701,
Republic of Korea

Facsimile No. 82-42-472-7140

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/KR2016/013789

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member	Publication date
KR 10-1151662 B1	11/06/2012	EP 2520928 B1	28/09/2016
		JP 2012-507037 A	22/03/2012
		JP 5145463 B2	20/02/2013
		KR 10-1067557 B1	27/09/2011
		KR 10-1130084 B1	28/03/2012
		KR 10-2012-0056915 A	05/06/2012
		US 2011-0259083 A1	27/10/2011
		US 8468872 B2	25/06/2013
		WO 2011-081245 A1	07/07/2011
		WO 2011-081308 A2	07/07/2011
		WO 2011-081308 A3	03/11/2011
KR 10-2015-0064707 A	11/06/2015	CN 105612588 A	25/05/2016
		US 2016-0123820 A1	05/05/2016
		WO 2015-083874 A1	11/06/2015
		WO 2015-084061 A1	11/06/2015
KR 10-2011-0075256 A	06/07/2011	KR 10-1072436 B1	11/10/2011

A. 발명이 속하는 기술분류(국제특허분류(IPC)) G01B 7/16(2006.01)i, G01L 1/20(2006.01)i, G01L 5/00(2006.01)i, A61B 5/024(2006.01)i, A61B 5/00(2006.01)i																							
B. 조사된 분야 조사된 최소문헌(국제특허분류를 기재) G01B 7/16; B82B 3/00; G01L 7/08; G01L 9/04; G01N 27/12; G01D 21/00; G01L 1/20; G01L 5/00; A61B 5/024; A61B 5/00 조사된 기술분야에 속하는 최소문헌 이외의 문헌 한국등록실용신안공보 및 한국공개실용신안공보: 조사된 최소문헌란에 기재된 IPC 일본등록실용신안공보 및 일본공개실용신안공보: 조사된 최소문헌란에 기재된 IPC 국제조사에 이용된 전산 데이터베이스(데이터베이스의 명칭 및 검색어(해당하는 경우)) eKOMPASS(특허청 내부 검색시스템) & 키워드: 박막, 기관, 크랙, 스트레인 게이지, 센서, 고감도, 압력																							
C. 관련 문헌 <table border="1"> <thead> <tr> <th>카테고리*</th> <th>인용문헌명 및 관련 구절(해당하는 경우)의 기재</th> <th>관련 청구항</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>KR 10-1151662 B1 (연세대학교 산학협력단) 2012.06.11 단락 [0036]-[0046]; 및 도면 3 참조.</td> <td>1-19</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>이재환, `동작 감지용 금속 나노입자 박막 기반 신축성 스트레인 센서`, 한국과학기술원 석사학위논문, 2013, 페이지 1-67. 페이지 1, 21-67; 및 도면 19 참조.</td> <td>1-19</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>강대식, `Bio-inspired design and fabrication for high sensitive recognition system`, 서울대학교 대학원 박사학위논문, 2014. 8, 페이지 1-127. 페이지 34-82 참조.</td> <td>1-19</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>KR 10-2015-0064707 A (재단법인 멀티스케일 에너지시스템 연구단 등) 2015.06.11 단락 [0020]-[0052]; 및 도면 1-2 참조.</td> <td>1-19</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>KR 10-2011-0075256 A (재단법인 포항산업과학연구원 등) 2011.07.06 단락 [0014]-[0025]; 및 도면 1 참조.</td> <td>1-19</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>최용환 등, `Ultra-Sensitive Pressure Sensor ...`, 2015 MRS FALL MEETING & EXHIBIT GUIDE, 2015. 11. 29 - 2015. 12. 4, Boston, Massachusetts. * 위 문헌은 출원인이 신규성 상실의 예외로 선언한 문헌으로 추정됨</td> <td>1-19</td> </tr> </tbody> </table>			카테고리*	인용문헌명 및 관련 구절(해당하는 경우)의 기재	관련 청구항	A	KR 10-1151662 B1 (연세대학교 산학협력단) 2012.06.11 단락 [0036]-[0046]; 및 도면 3 참조.	1-19	A	이재환, `동작 감지용 금속 나노입자 박막 기반 신축성 스트레인 센서`, 한국과학기술원 석사학위논문, 2013, 페이지 1-67. 페이지 1, 21-67; 및 도면 19 참조.	1-19	A	강대식, `Bio-inspired design and fabrication for high sensitive recognition system`, 서울대학교 대학원 박사학위논문, 2014. 8, 페이지 1-127. 페이지 34-82 참조.	1-19	A	KR 10-2015-0064707 A (재단법인 멀티스케일 에너지시스템 연구단 등) 2015.06.11 단락 [0020]-[0052]; 및 도면 1-2 참조.	1-19	A	KR 10-2011-0075256 A (재단법인 포항산업과학연구원 등) 2011.07.06 단락 [0014]-[0025]; 및 도면 1 참조.	1-19	A	최용환 등, `Ultra-Sensitive Pressure Sensor ...`, 2015 MRS FALL MEETING & EXHIBIT GUIDE, 2015. 11. 29 - 2015. 12. 4, Boston, Massachusetts. * 위 문헌은 출원인이 신규성 상실의 예외로 선언한 문헌으로 추정됨	1-19
카테고리*	인용문헌명 및 관련 구절(해당하는 경우)의 기재	관련 청구항																					
A	KR 10-1151662 B1 (연세대학교 산학협력단) 2012.06.11 단락 [0036]-[0046]; 및 도면 3 참조.	1-19																					
A	이재환, `동작 감지용 금속 나노입자 박막 기반 신축성 스트레인 센서`, 한국과학기술원 석사학위논문, 2013, 페이지 1-67. 페이지 1, 21-67; 및 도면 19 참조.	1-19																					
A	강대식, `Bio-inspired design and fabrication for high sensitive recognition system`, 서울대학교 대학원 박사학위논문, 2014. 8, 페이지 1-127. 페이지 34-82 참조.	1-19																					
A	KR 10-2015-0064707 A (재단법인 멀티스케일 에너지시스템 연구단 등) 2015.06.11 단락 [0020]-[0052]; 및 도면 1-2 참조.	1-19																					
A	KR 10-2011-0075256 A (재단법인 포항산업과학연구원 등) 2011.07.06 단락 [0014]-[0025]; 및 도면 1 참조.	1-19																					
A	최용환 등, `Ultra-Sensitive Pressure Sensor ...`, 2015 MRS FALL MEETING & EXHIBIT GUIDE, 2015. 11. 29 - 2015. 12. 4, Boston, Massachusetts. * 위 문헌은 출원인이 신규성 상실의 예외로 선언한 문헌으로 추정됨	1-19																					
☐ 추가 문헌이 C(계속)에 기재되어 있습니다. ☒ 대응특허에 관한 별지를 참조하십시오.																							
* 인용된 문헌의 특별 카테고리: “A” 특별히 관련이 없는 것으로 보이는 일반적인 기술수준을 정의한 문헌 “E” 국제출원일보다 빠른 출원일 또는 우선일을 가지나 국제출원일 이후에 공개된 선출원 또는 특허 문헌 “L” 우선권 주장에 의문을 제기하는 문헌 또는 다른 인용문헌의 공개일 또는 다른 특별한 이유(이유를 명시)를 밝히기 위하여 인용된 문헌 “O” 구두 개시, 사용, 전시 또는 기타 수단을 언급하고 있는 문헌 “P” 우선일 이후에 공개되었으나 국제출원일 이전에 공개된 문헌 “T” 국제출원일 또는 우선일 후에 공개된 문헌으로, 출원과 상충하지 않으며 발명의 기초가 되는 원리나 이론을 이해하기 위해 인용된 문헌 “X” 특별한 관련이 있는 문헌. 해당 문헌 하나만으로 청구된 발명의 신규성 또는 진보성이 없는 것으로 본다. “Y” 특별한 관련이 있는 문헌. 해당 문헌이 하나 이상의 다른 문헌과 조합하는 경우로 그 조합이 당업자에게 자명한 경우 청구된 발명은 진보성이 없는 것으로 본다. “&” 동일한 대응특허문헌에 속하는 문헌																							
국제조사의 실제 완료일 2017년 03월 07일 (07.03.2017)		국제조사보고서 발송일 2017년 03월 07일 (07.03.2017)																					
ISA/KR의 명칭 및 우편주소  대한민국 특허청 (35208) 대전광역시 서구 청사로 189, 4동 (둔산동, 정부대전청사) 팩스 번호 +82-42-481-8578		심사관 김진호 전화번호 +82-42-481-8699 																					

국제조사보고서에서 인용된 특허문헌	공개일	대응특허문헌	공개일
KR 10-1151662 B1	2012/06/11	EP 2520928 B1 JP 2012-507037 A JP 5145463 B2 KR 10-1067557 B1 KR 10-1130084 B1 KR 10-2012-0056915 A US 2011-0259083 A1 US 8468872 B2 WO 2011-081245 A1 WO 2011-081308 A2 WO 2011-081308 A3	2016/09/28 2012/03/22 2013/02/20 2011/09/27 2012/03/28 2012/06/05 2011/10/27 2013/06/25 2011/07/07 2011/07/07 2011/11/03
KR 10-2015-0064707 A	2015/06/11	CN 105612588 A US 2016-0123820 A1 WO 2015-083874 A1 WO 2015-084061 A1	2016/05/25 2016/05/05 2015/06/11 2015/06/11
KR 10-2011-0075256 A	2011/07/06	KR 10-1072436 B1	2011/10/11