(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2022-0048814
(43) 공개일자 2022년04월20일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01B 5/16 (2006.01) *H01B 1/02* (2006.01)
H01B 13/00 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H01B 5/16 (2013.01)
H01B 1/02 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2020-0132113
(22) 출원일자 2020년10월13일
심사청구일자 2020년10월13일

(71) 출원인
고려대학교 산학협력단
서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)
(72) 발명자
오승주
서울특별시 중구 청구로 64, 113동 104호(신당동, 청구 e편한세상)
방준성
경기도 고양시 일산서구 멱절길 133-64(대화동)
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
김연권

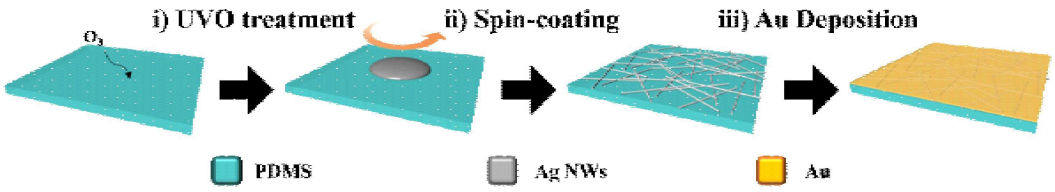
전체 청구항 수 : 총 10 항

(54) 발명의 명칭 **전면적 커버리지의 고성능 신축성 전극 및 이의 제조방법**

(57) 요 약

본 발명은 본 발명은 이중층(double layer) 구조를 갖는 신축 특성과 높은 커버리지를 갖는 고성능 신축성 전극 및 이의 제조방법에 관한 것으로, 높은 커버리지 기반한 우수한 성능을 가지는 것이며, 신축성을 선택적으로 조절하여 높은 전도도, 낮은 게이지 계수를 가지는 고성능 신축성 전극을 제공하는 효과가 있다.

대 표 도 - 도2



(52) CPC특허분류
H01B 13/0026 (2013.01)
(72) 발명자
안준혁
서울특별시 강남구 개포로 408, 501호 (개포동)
이용민
서울특별시 성북구 고려대로16길 4-15, 104호 (안암동3가, 하이원룸)
이상엽
서울특별시 양천구 신정로7길 76, 203동 604호(신정동, 푸른마을 2단지아파트)

명 세 서

청구범위

청구항 1

기판;

상기 기판 상에 형성되는 은 나노와이어 박막층; 및

상기 은 나노와이어 박막층 상에 형성되는 금(Au) 박막층을 포함하는 신축성 전극.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 금 박막층의 두께는 50 내지 300 nm인 것을 특징으로 하는 신축성 전극.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 기판은 PDMS(polydimethylsiloxane), 실리콘 고무(silicone rubber) 또는 하이드로겔(hydrogel)인 것을 특징으로 하는 신축성 전극.

청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 기판의 표면에는 하이드록시기(hydroxy group)가 도입된 것을 특징으로 하는 신축성 전극.

청구항 5

은 나노와이어 용액을 제조하는 단계;

상기 은 나노와이어 용액으로 기판 상에 은 나노와이어 박막층을 형성하는 단계; 및

상기 은 나노와이어 박막층 상에 금 박막층을 형성하는 단계를 포함하는 신축성 전극 제조방법

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 은 나노와이어 박막층은,

상기 은 나노와이어 용액을 기판 상에 스핀 코팅하여 형성되는 것을 특징으로 하는 신축성 전극 제조방법.

청구항 7

제5항에 있어서,

상기 기판은 PDMS(polydimethylsiloxane), 실리콘 고무(silicone rubber) 또는 하이드로겔(hydrogel)인 것을

특징으로 하는 신축성 전극 제조방법.

청구항 8

제5항에 있어서,

상기 기판은 UV-Ozone 처리된 것을 특징으로 하는 신축성 전극 제조방법.

청구항 9

제5항에 있어서,

상기 금 박막층은 열증착을 이용하여 형성되는 것을 특징으로 하는 신축성 전극 제조방법.

청구항 10

제5항에 있어서,

상기 금 박막층의 두께는 50 내지 300 nm인 것을 특징으로 하는 신축성 전극 제조방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 이중층(double layer) 구조를 갖는 신축 특성과 높은 커버리지를 갖는 고성능 신축성 전극 및 이의 제조방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0003] 최근, 다양한 표면 점착 특성에 기반한 높은 활용도를 가진 신축성 전극에 대한 연구가 활발히 진행 중이다. 이러한 신축성 전극의 대표적인 예로서, 나노와이어 그물 네트워크(nanowaire mesh network)가 적용된 전극과 곡선형 패턴이 적용된 금속 박막 전극이 존재한다.

[0005] 이러한 두 전극은 비교적 우수한 신축 특성을 가지고 있으나, 커버리지(coverage)가 매우 낮아 전하 추출 및 감지 효율이 낮고 상당 분야에 적용이 어려워 이를 해결하기 위한 방안의 개발이 요구되고 있다. 전극의 커버리지는 전극의 성능에 큰 영향을 미치는 요소이며, 커버리지가 100%일 때 높은 특성을 보인다. 이는 낮은 커버리지의 전극의 경우, 전하 추출 및 감지 등의 효율적이지 않기 때문이다.

[0006] 전극의 높은 커버리지를 요구하는 분야는 다음과 같다.

[0007] 심전도, 근전도 등 생체신호의 추출을 목표로 하는 의료 분야에 적용하기 위해서는 전극이 피부, 체내 기관 등을 완전히 덮어야 하며, 커버리지가 낮을 경우 생체신호의 정확한 추출이 어렵다.

[0008] 유연 디스플레이, 에너지 소자, 태양전지 등의 수직형 광전소자 및 메모리 소자의 경우 전하의 추출이 일어나는 활성층(active layer)의 면적이 곧 성능을 의미하며, 활성층의 효율을 최대화하기 위해서는 커버리지가 높은 전극의 사용이 필수적으로 요구된다.

[0009] 터치패드, 압력센서 등의 커패시터(capacitor) 소자의 경우 외부 자극이 가해지는 전극의 면적이 성능과 직접적으로 연결되기 때문에, 고성능, 고민감도의 구현을 위해서는 커버리지의 최대화가 필수적으로 요구된다.

[0010] 일반적으로, 나노와이어 단일 층(single layer)의 경우, 높은 신축성을 보이나 낮은 커버리지 문제로 전하 추출 및 감지 효율이 낮은 수준에 머물고 있으며, 금속 박막 단일 층(single layer)의 경우 높은 커버리지 특성에 의해 전하 추출 및 감지 효율이 높은 수준을 보이나 낮은 신축성 문제로 인하여 신축성 전극에 부적합하다. 따라

서, 개별 층(layer)의 신축성 전극으로의 적용이 어려우며, 추가적인 공정(곡선형 패너팅 및 고농도 와이어 사용)이 불가피한 실정이다.

선행기술문헌

비특허문헌

[0012] (비특허문헌 0001) 'A stretchable strain sensor based on a metal nanoparticle thin film for human motion detection', J Lee et al., Nanoscale, 2014, 6, 11932.

(비특허문헌 0002) 'Stretchable gold conductors on elastomeric substrates', St ι phanie P ι richon Lacour et al., APPLIED PHYSICS LETTERS VOLUME 82, NUMBER 15, 14 APRIL 2003.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0013] 본 발명은 이중 층 네트워크 형성을 통하여 금속 박막 전극의 낮은 커버리지 문제를 해결하여 전하 추출 및 감지 성능이 우수하며 다양한 분야에 활용이 가능한 신축성 전극을 제공하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

[0015] 해결하고자 하는 과제의 달성을 위하여, 본 발명의 일 형태에 따른 신축성 전극은 기판; 상기 기판 상에 형성되는 은 나노와이어 박막층; 및 상기 은 나노와이어 박막층 상에 형성되는 금(Au) 박막층을 포함한다.

[0016] 상기 금 박막층의 두께는 50 내지 300 nm일 수 있다.

[0017] 상기 기판은 PDMS(polydimethylsiloxane), 실리콘 고무(silicone rubber) 또는 하이드로겔(hydrogel)일 수 있으며, 상기 기판의 표면에는 하이드록시기(hydroxy group)가 도입된 것일 수 있다.

[0019] 또한, 본 발명의 일 형태에 따른 신축성 전극의 제조방법은 은 나노와이어 용액을 제조하는 단계; 상기 은 나노와이어 용액으로 기판 상에 은 나노와이어 박막층을 형성하는 단계; 및 상기 은 나노와이어 박막층 상에 금 박막층을 형성하는 단계를 포함한다.

[0020] 상기 은 나노와이어 박막층은, 상기 은 나노와이어 용액을 기판 상에 스핀 코팅하여 형성되는 것일 수 있다.

[0021] 상기 기판은 PDMS(polydimethylsiloxane), 실리콘 고무(silicone rubber) 또는 하이드로겔(hydrogel)일 수 있으며, 상기 기판은 UV-Ozone 처리된 것일 수 있다.

[0022] 상기 금 박막층은 열증착을 이용하여 형성되는 것일 수 있으며, 상기 금 박막층의 두께는 50 내지 300 nm일 수 있다.

발명의 효과

[0024] 본 발명의 일 형태에 따르면, 높은 커버리지 기반한 우수한 성능을 가지는 것이며, 신축성을 선택적으로 조절하여 높은 전도도, 낮은 게이지 계수를 가지는 고성능 신축성 전극을 제공하는 효과가 있다.

[0025] 또한, 추가적인 공정의 소요없이 코팅 및 증착의 단순한 공정을 통하여 고성능 신축성 전극을 제공할 수 있는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

[0027] 도 1은 본 발명의 일 형태에 따른 신축성 전극에 대한 구조도를 도시한 것이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 신축성 전극의 제조공정 모식도를 도시한 것이다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 은 나노와이어 기반 신축성 전극(AgNW + Au)과 비교예에 따른 금 박막 전극(only Au)에 대하여 변형율(Strain) 증가에 따른 전류-전압 곡선(I-V curve) 분석 결과를 도시한 것이다.

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 은 나노와이어 기반 신축성 전극(AgNW + Au)과 비교예에 따른 금 박막 전극(only Au)에 대하여 전압(V)이 0.5V일 때의 전류-변형율 곡선(I-strain curve) 측정 결과를 도시한 것이다.

도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 은 나노와이어 기반 신축성 전극(AgNW + Au)과 비교예에 따른 금 박막 전극(only Au)에 대하여 게이지 계수(Gauge Factor; GF) 측정 결과를 도시한 것이다.

도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 은 나노와이어 기반 신축성 전극(AgNW + Au) 및 UV-Ozone 처리를 수행하지 않아 -OH기가 도입되지 않은 전극의 표면에 대하여 사진 이미지를 도시한 것이다.

도 7a는본 발명의 일 실시예에 은 나노와이어 기반 신축성 전극(AgNW + Au)에 대하여 신축(stretch) 변형에 따른 전극 표면 주사전자현미경(SEM) 이미지를 도시한 것이다.

도 7b는 본 발명의 비교예에 따른 금 박막 전극(only Au)에 대하여 신축(stretch) 변형에 따른 전극 표면 주사전자현미경(SEM) 이미지를 도시한 것이다.

도 8은 본 발명의 일 실시예에 은 나노와이어 기반 신축성 전극(AgNW + Au)에 대하여 신축(stretch) 변형에 따른 안정성 분석결과를 도시한 것이다.

도 9는 본 발명의 일 실시예에 은 나노와이어 기반 신축성 전극(AgNW + Au)에 대하여 신축(stretch) 변형에 따른 안정성 분석결과를 도시한 것이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0028] 이하 첨부 도면들 및 첨부 도면들에 기재된 내용들을 참조하여 본 발명의 실시예를 상세하게 설명하지만, 본 발명이 실시예에 의해 제한되거나 한정되는 것은 아니다.

[0029] 본 명세서에서 사용된 용어는 실시예들을 설명하기 위한 것이며 본 발명을 제한하고자 하는 것은 아니다. 본 명세서에서, 단수형은 문구에서 특별히 언급하지 않는 한 복수형도 포함한다. 명세서에서 사용되는 "포함한다(comprises)" 및/또는 "포함하는(comprising)"은 언급된 구성요소, 단계, 동작 및/또는 소자는 하나 이상의 다른 구성요소, 단계, 동작 및/또는 소자의 존재 또는 추가를 배제하지 않는다.

[0030] 본 명세서에서 사용되는 "실시예", "예", "측면", "예시" 등은 기술된 임의의 양상(aspect) 또는 설계가 다른 양상 또는 설계들보다 양호하다거나, 이점이 있는 것으로 해석되어야 하는 것은 아니다.

[0031] 아래 설명에서 사용되는 용어는, 연관되는 기술 분야에서 일반적이고 보편적인 것으로 선택되었으나, 기술의 발달 및/또는 변화, 관례, 기술자의 선호 등에 따라 다른 용어가 있을 수 있다. 따라서, 아래 설명에서 사용되는 용어는 기술적 사상을 한정하는 것으로 이해되어서는 안 되며, 실시예들을 설명하기 위한 예시적 용어로 이해되어야 한다.

[0032] 또한, 특정한 경우는 출원인이 임의로 선정한 용어도 있으며, 이 경우 해당되는 설명 부분에서 상세한 그 의미를 기재할 것이다. 따라서 아래 설명에서 사용되는 용어는 단순한 용어의 명칭이 아닌 그 용어가 가지는 의미와 명세서 전반에 걸친 내용을 토대로 이해되어야 한다.

[0033] 한편, 제1, 제2 등의 용어는 다양한 구성 요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 구성 요소들은 용어들에 의하여 한정되지 않는다. 용어들은 하나의 구성 요소를 다른 구성 요소로부터 구별하는 목적으로만 사용된다.

[0034] 또한, 막, 층, 영역, 구성 요청 등의 부분이 다른 부분 "위에" 또는 "상에" 있다고 할 때, 다른 부분의 바로 위에 있는 경우 뿐만 아니라, 그 중간에 다른 막, 층, 영역, 구성 요소 등이 개재되어 있는 경우도 포함한다.

[0035] 다른 정의가 없다면, 본 명세서에서 사용되는 모든 용어(기술 및 과학적 용어를 포함)는 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 공통적으로 이해될 수 있는 의미로 사용될 수 있을 것이다. 또 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 용어들은 명백하게 특별히 정의되어 있지 않는 한 이상적으로 또는 과도하게

해석되지 않는다.

[0036] 한편, 본 발명을 설명함에 있어서, 관련된 공지 기능 또는 구성에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는, 그 상세한 설명을 생략할 것이다. 그리고, 본 명세서에서 사용되는 용어(terminology)들은 본 발명의 실시예를 적절히 표현하기 위해 사용된 용어들로서, 이는 사용자, 운용자의 의도 또는 본 발명이 속하는 분야의 관례 등에 따라 달라질 수 있다. 따라서, 본 용어들에 대한 정의는 본 명세서 전반에 걸친 내용을 토대로 내려져야 할 것이다.

[0038] 이하, 본 발명의 실시예를 첨부된 도면을 참조하여 상세하게 설명한다.

[0039] 본 발명은 이중 층(double layer) 구조를 통한 금속 박막의 낮은 신축성 문제를 극복하면서, 전극으로 적용시 전극의 낮은 커버리지(coverage) 문제를 해소하기 위합니다. 본 명세서에 있어서 전극의 커버리지(coverage)는 전극의 활성 면적으로, 보다 상세하게는 전극 표면에 비활성화된 영역이 0에 수렴하여 전극의 전체 표면에서 모두 전하의 추출 및 감지가 가능함을 의미하여, 커버리지가 극대화 또는 향상되는 것은 전극의 활성화 면적의 향상되었음을 의미한다.

[0041] 도 1은 본 발명의 일 형태에 따른 신축성 전극에 대한 구조도를 도시한 것이다.

[0042] 도 1을 참조하며, 본 발명의 일 형태에 따른 신축성 전극(100)은 기판(110); 기판(110) 상에 형성되는 은 나노와이어(AgNW) 박막층(120); 및 은 나노와이어 박막층(120) 상에 형성되는 금(Au) 박막층(130)을 포함한다.

[0043] 상기 기판은 PDMS(polydimethylsiloxane), 실리콘 고무(silicone rubber) 또는 하이드로겔(hydrogel)일 수 있으며, 상기 실리콘 고무는 Eco-Flex일 수 있다.

[0045] 기판(110)의 두께는 신축성(stretchable) 특성의 감소를 최소화할 수 있는 범위내 인 것이며, 바람직하게는 1 mm일 수 있다. 신축성 특성의 감소를 최소화하기 위하여 기판의 두께는 얇을수록 바람직하나, 일정 두께 이하에서는 큰 변형이 부하되는 경우 기판의 끊김 현상(소성변형 이후의 파괴(rupture) 현상)이 발생할 수 있으므로, 기판의 두께는 1 mm인 것이 바람직할 수 있다.

[0047] 기판(110)의 표면에는 하이드록시기(hydroxy group)가 도입된 것일 수 있으며, 하이드록시기(-OH) 작용기가 기판의 표면에 도입됨으로써 은 나노와이어와 표면 접합력을 증대시킬 수 있다. 한편, 기판(110)의 표면에 하이드록시기를 도입하지 않고 은 나노와이어의 코팅하는 경우, 코팅된 은 나노와이어 표면이 불균일하게 되어, 신축성 전극(100)의 성능 저하에 영향을 미칠 수 있다.

[0049] 은 나노와이어 박막층(120)은 각각의 은 나노와이어가 서로 엉키거나 겹쳐있어 각각의 은 나노와이어가 연결되어 그물(mesh) 형태를 갖는 은 나노와이어(AgNW) 네트워크(network)를 형성하는 것 일 수 있다. 은 나노와이어는 네트워크 구조를 통하여 금 박막층의 결정립(grain)을 연결하여 신축성을 증대시킬 수 있다.

[0051] 은 나노와이어 박막층(120)은 신축성을 가지는 것이며, 은 나노와이어 박막층의 두께 및 밀도를 조절하여 신축성의 부여 및 조절이 가능하며, 이에 따라 신축성의 향상이 가능하다.

[0053] 금 박막층(130)의 두께는 50 내지 300 nm일 수 있으며, 50 nm 미만의 경우 은 나노와이어 효율이 저하되며, 300 nm 초과하는 경우 금 박막층의 균일도가 저하되는 문제점이 있다. 은 나노와이어 박막층(120)은 빈 공간이 다수 존재하는 그물(mesh) 형태의 네트워트 구조를 형성함에 따라, 금 박막층(130)상의 금(Au)이 이러한 빈 공간을 충분이 채워주지 못할 경우 성능 저하의 문제점이 발생될 수 있다.

[0055] 금 박막층을 형성함으로써 은 나노와이어 박막층의 기판 대비 전극 표면의 활용도가 낮은 커버리지 극복하여 100% 수준의 커버리지를 가지도록 함으로써 기판 대비 전극 표면의 100% 수준의 전하의 추출 및 감지에 활용이 가능한 것과, 동시에 금 박막층의 낮은 신축(stretch) 특성을 극복하여 스트레쳐블(stretchable) 전극으로의 이용이 가능하다.

[0057] 또한, 본 발명의 일 형태에 따른 신축성 전극의 제조방법은 은 나노와이어 용액을 제조하는 단계; 상기 은 나노와이어 용액으로 기판 상에 은 나노와이어 박막층을 형성하는 단계; 및 상기 은 나노와이어 박막층 상에 금 박막층을 형성하는 단계를 포함한다.

[0058] 상기 은 나노와이어 용액은 용매 상에 은 나노와이어을 분산시킨 것일 수 있으며, 상기 용매는 에탄올(ethanol)일 수 있으며, 상기 은 나노와이어 용액의 농도는 0.5wt%일 수 있다.

[0060] 상기 은 나노와이어 박막층은, 상기 은 나노와이어 용액을 기판 상에 스핀 코팅(spin coating), 스프레이 코팅(spray coating), 바 코팅(bar coating) 또는 드롭 캐스팅(drop casting)으로 형성되는 것일 수 있으며, 구체적으로, 상기 은 나노와이어 용액을 기판 상에 300 내지 3000 rpm으로 30 초(s) 동안 스핀코팅하는 것일 수 있으며, 바람직하게는 300 내지 1000 rpm으로 30 초(s) 동안 스핀코팅하는 것일 수 있다.

[0062] 상기 기판은 PDMS(polydimethylsiloxane), 실리콘 고무(silicone rubber) 또는 하이드로겔(hydrogel)일 수 있으며, 상기 실리콘 고무는 Eco-Flex일 수 있다.

[0063] 상기 기판은 1,2-에테인다이티올(1,2-ethane-di-thiol) 또는 MPTS((3-Mercaptopropyl)trimethoxysilane)을 처리하여 티올(-thiol)기를 도입할 수 있다.

[0064] 상기 기판은 UV-Ozone으로 표면 처리된 것일 수 있으며, UV-Ozone 처리는 30분 동안 수행하는 것일 수 있으며, 30 분 미만으로 처리하는 경우 기판이 강직(rigid)하게 변형될 수 있다.

[0066] 기판(110)의 두께는 신축성(stretchable) 특성의 감소를 최소화할 수 있는 범위내 인 것이며, 바람직하게는 1 mm일 수 있다. 신축성 특성의 감소를 최소화하기 위하여 기판의 두께는 얇을수록 바람직하나, 일정 두께 이하에서는 큰 변형이 부하되는 경우 기판의 끊김 현상(소성변형 이후의 파괴(rupture) 현상)이 발생할 수 있으므로, 기판의 두께는 1 mm인 것이 바람직할 수 있다.

[0068] 상기 금 박막층은 열 증착(thermal deposition)을 이용하여 형성되는 것일 수 있으며, 상기 금 박막층은 기압 $3.0x10^{-6}$ atm 이하, 증착속도 0.3 Å/s 조건의 열 층작을 이용하여 형성하는 것일 수 있다.

[0070] 상기 금 박막층의 두께는 50 내지 300 nm일 수 있으며, 50 nm 미만의 경우 은 나노와이어 효율이 저하되며, 300 nm 초과하는 경우 금 박막층의 균일도가 저하되는 문제점이 있다. 은 나노와이어 박막층(120)은 빈 공간이 다수 존재하는 그물(mesh) 형태의 네트워트 구조를 형성함에 따라, 금 박막층(130)상의 금(Au)이 이러한 빈 공간을 충분이 채워주지 못할 경우 성능 저하의 문제점이 발생될 수 있다.

[0072] 은 나노와이어 박막의 경우, 뛰어난 신축성을 보이나 10% 수준의 낮은 커버리지를 가지는 것이므로 전극으로 사용하기에는 성능이 부족하다.

[0073] 한편, 단일의 금 박막을 사용하는 전극의 경우, 100% 수준의 커버리지를 가지고 있으므로 전하 추출 및 감지 성능은 뛰어나지만 신축 특성이 거의 없는 수준에 그치고 있다. 이러한 전극을 스트레쳐블(stretchable) 소자에 적용할 경우, 박막 표면에 마이크로 수준 이상의 거대한 균열이 형성되며, 그 특성이 유지되지 못하고 파괴됨에 이르게 된다. 보다 구체적으로, 기존의 단일 금 박막의 경우 좌우로 늘렸을 때 수직 방향의 크랙(crack)이 발생

하게 되며, 이로 인하여 높은 커버리지를 가지고 있으나 낮은 신축 특성을 보이게 된다.

[0074] 한편, 다수의 접합점(adhesion point)을 가지는 은 나노와이어 네트워크는 방향성이 존재하지 않기 때문에 스트레치 방향에 수직하게 형성되는 크랙의 발생 방향을 분산시킬 수 있으며, 전극에 가해지는 변형을 분산시켜 한 곡에 변형이 집중되어 발생하는 큰 크랙의 생성 또는 제어할 수 있다.

[0075] 따라서, 본 발명의 일 형태에 따른 신축성 전극은 은 나노와이어 박막층 상에 금 박막층을 형성함으로써 금 박막 표면에 발생하는 크랙에 의해 분리된 금 박막 그레인(grain)을 은 나노와이어 네트워크가 연결하여 줌으로써 낮은 신축 특성을 극복할 수 있다. 또한, 높은 커버리지와 낮은 저항을 갖는 금 박막의 한계로 지적되었던 높은 게이지계수 문제를 해결함과 동시에 다수의 접합점을 갖는 은 나노와이어 네트워크를 통해 크랙의 크기와 발생 방향을 제어할 수 있다.

[0076] 이로 인하여, 본 발명의 일 형태에 따른 신축성 전극은 은 나노와이어 박막층 및 금 박막층을 동시에 적용함으로써 10 수준의 낮은 게이지 계수(GF)를 가지며, 200% 이상의 변형(strain)에도 파괴되지 않으며, 0 내지 100% 변형 사이클 측정을 통해 안정성 및 회복성을 구현할 수 있다.

[0077] 이하, 실시예를 통하여 본 발명을 보다 상세히 설명하고자 한다. 이들 실시예는 본 발명을 보다 구체적으로 설명하기 위한 것으로, 본 발명의 범위가 이들 실시예에 의해 한정되는 것은 아니다.

[0079] **실시예. 은 나노와이어 기반 신축성 전극의 제조**

[0080] 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 신축성 전극의 제조공정 모식도를 도시한 것으로, 이하 실시예는 도 2를 참조하여 설명한다.

[0081] 기판으로서 1mm 두께의 PDMS(polydimethylsiloxane)을 이용하여, PDMS 기판을 30 분(min) 동안 UV-오존(UV-Ozone) 처리하여, PDMS 기판의 표면에 -OH(hydroxyl)기를 도입한다.

[0082] 은 나노와이어(Ag nanowire)을 에탄올(ethanol) 용매에 분산시켜 0.5wt% 농도의 은 나노와이어 용액을 제조한 후, UV-오존 처리된 PDMS 기판에 대하여 은 나노와이어 용액을 300 내지 1000 rpm에서 30 초(s) 동안스핀 코팅(spin-coating)하여 은 나노와이어 박막층을 제조한다.

[0083] 제조된 은 나노와이어 박막층 상에 기압 $3.0x10^{-6}$ atm 이하, 증착속도 0.3 Å/s 조건의 열 증착(thermal evaporation)을 통하여 금(Au) 박막을 형성하며, 이때 금 박막의 두께는 50 내지 300 nm이다.

[0085] **비교예 1. 금(Au) 박막 전극의 제조**

[0086] 은 나노와이어 박막층을 형성하는 것을 제외하고는 실시예와 동일하게 수행하여 PDMS 기판 상에 열 증착을 통하여 금(Au) 박막을 형성한다.

[0088] **비교예 2. 은 나노와이어 박막 전극의 제조**

[0089] 상기 실시예와 동일하게 수행하여 UV-오존(UV-Ozone) 처리하여, PDMS 기판의 표면에 -OH(hydroxyl)기를 도입하지 않고, PDMS 기판 상에 열 증착을 통하여 은 나노와이어 박막층을 형성한다.

[0091] **실험예 1. 전류-전압 곡선(I-V curve) 분석**

[0092] 상기 실시예에 따른 은 나노와이어 기반 신축성 전극(AgNW + Au)과 상기 비교예 1에 따른 금 박막 전극(only Au)에 대하여 변형율(Strain) 증가에 따른 전류-전압 곡선(I-V curve) 분석을 수행하였으며, 이에 대하여 도 3에 도시하였으며, 도 3의 (a)는 실시예에 따른 은 나노와이어 기반 신축성 전극에 대한 전류-전압 곡선 결과를 도시하였으며, 도 3의 (b)는 비교예 1에 따른 금 박막 전극에 대한 전류-전압 곡선 결과를 도시한 것이다.

[0094] 도 3의 (a) 및 (b)를 참조하면, 비교예 1에 따른 금 박막 전극은 변형율 증가(0, 10, 20, 30%)에 따른 전극이 파괴되어, 전압(V)에 따른 전류(I)의 측정이 불가하며(도 3의 (b)), 실시예에 따른 은 나노와이어 기반 신축성

전극의 경우 변형율 증가(0, 10, 20, 30%)에도 전극이 파괴되지 않았다(도 3의 (a)). 도 3의 (a)를 참조하면, 실시예에 따른 은 나노와이어 기반 신축성 전극은 신축성 효과를 통하여 전면적 커버리지의 전극이 제작이 가능하며, 이는 다향한 신축성, 웨어러블 디바이스의 전극으로 활용할 수 있음을 확인할 수 있다.

[0096] **실험예 2. 전류-변형율 곡선(I-strain curve)**

[0097] 상기 실시예에 따른 은 나노와이어 기반 신축성 전극(AgNW + Au)과 상기 비교예 1에 따른 금 박막 전극(only Au)에 대하여 전압(V)이 0.5V일 때의 전류-변형율 곡선(I-strain curve) 측정 결과를 도 4에 도시하였다.

[0098] 도 4를 참조하면, 실시예에 따른 은 나노와이어 기반 신축성 전극(AgNW + Au)의 경우 선형 곡선(linear curve)을 보이고 있으며 안정적인 변형율(strain) 반응을 확인할 수 있으며, 30% 수준의 변형율(strain)에도 전극이 파괴되지 않고 안정적으로 전극의 기능을 수행하는 것을 확인할 수 있다.

[0099] 이에 비하여, 상기 비교예 1에 따른 금 박막 전극(only Au)의 경우 10% 수준의 변형율(strain)에 대하여 전극이 파괴되는 것을 확인할 수 있다.

[0101] **실험예 3. 게이지 계수(Gauge Factor; GF) 측정**

[0102] 상기 실시예에 따른 은 나노와이어 기반 신축성 전극(AgNW + Au)과 상기 비교예 1에 따른 금 박막 전극(only Au)에 대하여 게이지 계수(Gauge Factor; GF) 측정 결과를 도 5에 도시하였다.

[0103] 도 5를 참조하면, 실시예에 따른 은 나노와이어 기반 신축성 전극(AgNW + Au)의 게이지 계수(GF)는 ~10 수준이나, 이와 달리, 비교예 1에 따른 금 박막 전극(only Au)의 게이지 계수(GF)는 10^{10} 수준임을 확인할 수 있다.

[0105] **실험예 4. 표면 관찰**

[0106] 상기 실시예에 따른 은 나노와이어 기반 신축성 전극(AgNW + Au) 및 상기 비교예 2에 따른 은 나노와이어 박막 전극의 표면에 대하여 사진 이미지를 관찰하였으며, 관찰된 이미지를 도 6에 도시하였다.

[0107] 도 6의 (a)는 상기 실시예에 따른 -OH기가 도입된 신축성 전극의 표면을 관찰한 사진 이미지이며, 도 6의 (b)는 상기 비교예 2에 따른 -OH기를 도입하지 않고 은 나노와이어를 코팅한 전극의 표면을 관찰한 사진이미지이다.

[0108] 도 6의 (a)를 참조하면, -OH기를 도입하지 않은 도 6의 (b)의 전극 표면에 비하여, 월등히 균일한 표면을 가지는 것을 확인할 수 있다.

[0109] 도 6의 (b)에 따른 전극의 경우, -OH기를 도입하지 않음에 따라 불균일한 표면을 가지는 것이며, 이에 따라 신축성 전극의 성능 저하에 영향을 미칠 수 있다.

[0111] **실험예 5. 신축(stretch) 변형에 따른 표면 관찰**

[0112] 상기 실시예에 따른 은 나노와이어 기반 신축성 전극(AgNW + Au)에 대하여 신축(stretch) 변형에 따른 전극 표면 주사전자현미경(SEM) 이미지를 도 7a에 도시하였으며, 상기 비교예 1에 따른 금 박막 전극(only Au)에 대하여 신축(stretch) 변형에 따른 전극 표면 주사전자현미경(SEM) 이미지를 도 7b에 도시하였다.

[0113] 도 7a에서, 왼쪽(left) 이미지는 실시예에 따른 은 나노와이어 기반 신축성 전극(AgNW + Au)의 신축 변형 전(before)의 전극 표면 SEM이미지이며, 오른쪽(rightt) 이미지는 실시예에 따른 은 나노와이어 기반 신축성 전극(AgNW + Au)의 신축 변형 후(after)의 전극 표면 SEM이미지이다.

[0114] 도 7b에서, 왼쪽(left) 이미지는 비교예 1에 따른 금 박막 전극(only Au)의 신축 변형 전(before)의 전극 표면 SEM이미지이며, 오른쪽(rightt) 이미지는 비교예에 따른 금 박막 전극(only Au)의 신축 변형 후(after)의 전극 표면 SEM이미지이다.

[0115] 도 7a를 참조하면, 실시예에 따른 은 나노와이어 기반 신축성 전극(AgNW+Au)의 경우 신축 변형에도 크랙(crack) 발생이 억제되며, 각각의 은 나노와이어가 서로 엉키거나 겹쳐있어 각각의 은 나노와이어가 연결되어 그물 형태

를 갖는 은 나노와이어 네트워크 구조를 형성함을 확인할 수 있다.

[0116] 이에 비하여, 도 7b를 참조하면, 비교예 1에 따른 금 박막 전극(only Au)은 크랙(crack)이 발생됨을 확인할 수 있다. 도 7b의 경우, 은 나노와이어 박막층을 형성하지 않음에 따라 그물 형태의 네크워크 구조가 형성되지 않으며, 이에 따라 기판에 탄성이 부여되지 않은 결과로 판단된다.

[0118] **실험예 6. 신축(stretch) 변형에 따른 안정성 분석**

[0119] 상기 실시예에 따른 은 나노와이어 기반 신축성 전극('Au + AgNW')과 비교예 1에 따른 금 박막 전극('Au only')에 대하여 0 내지 30% 변형율의 신축(stretch) 변형에 따른 상대 저항 변화($\triangle R/R_0$) 사이클(cycle) 분석결과를 각각 도 8의 (a) 및 (b)에 도시하였다.

[0120] 도 8의 (a)를 참조하면, 0 내지 30%의 신축 변형에도 시간이 경과함에 따라 일정 수준의 안정된 사이클 특성을 보이고 있다.

[0121] 이에 비하여, 도 8의 (b)를 참조하면, 0 내지 30%의 신축 변형에 대하여 시간이 경과함에 따라 불안정한 사이클 특성을 보이고 있다.

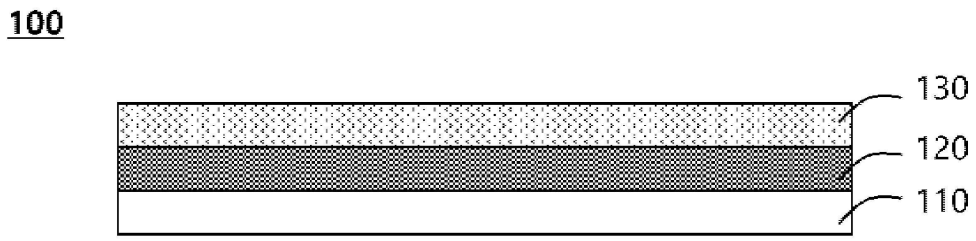
[0123] 또한, 추가적으로, 상기 실시예에 따른 은 나노와이어 기반 신축성 전극('Au + AgNW')에 대하여 0 내지 100% 변형율의 신축(stretch) 변형에 따른 상대 저항 변화($\triangle R/R_0$) 사이클(cycle) 분석결과를 도 9에 도시하였다.

[0124] 도 9를 참조하면, 0 내지 100% 신축 변형에도 시간이 경과함에 따라 일정 수준의 안정된 사이클 특성을 보이고 있다.

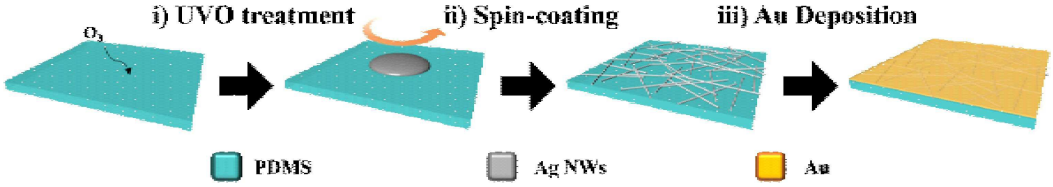
[0126] 한편, 본 명세서와 도면에 개시된 본 발명의 실시 예들은 이해를 돕기 위해 특정 예를 제시한 것에 지나지 않으며, 본 발명의 범위를 한정하고자 하는 것은 아니다. 여기에 개시된 실시 예들 이외에도 본 발명의 기술적 사상에 바탕을 둔 다른 변형 예들이 실시 가능하다는 것은, 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 자명한 것이다.

도면

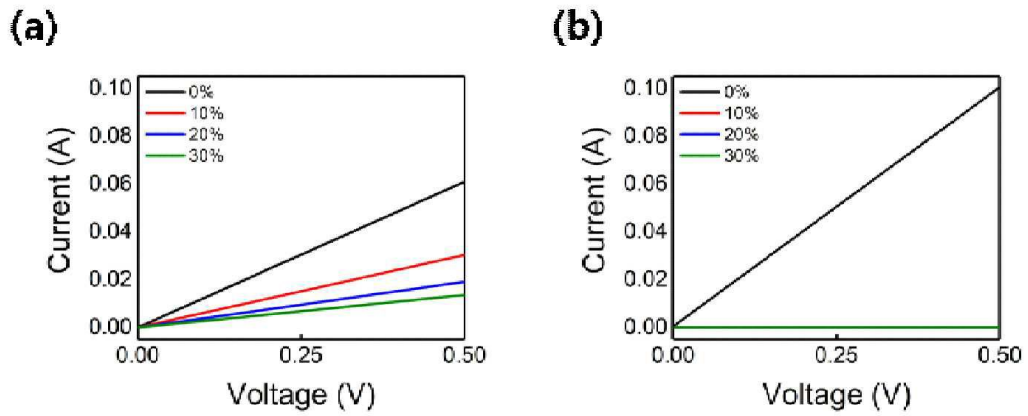
도면1



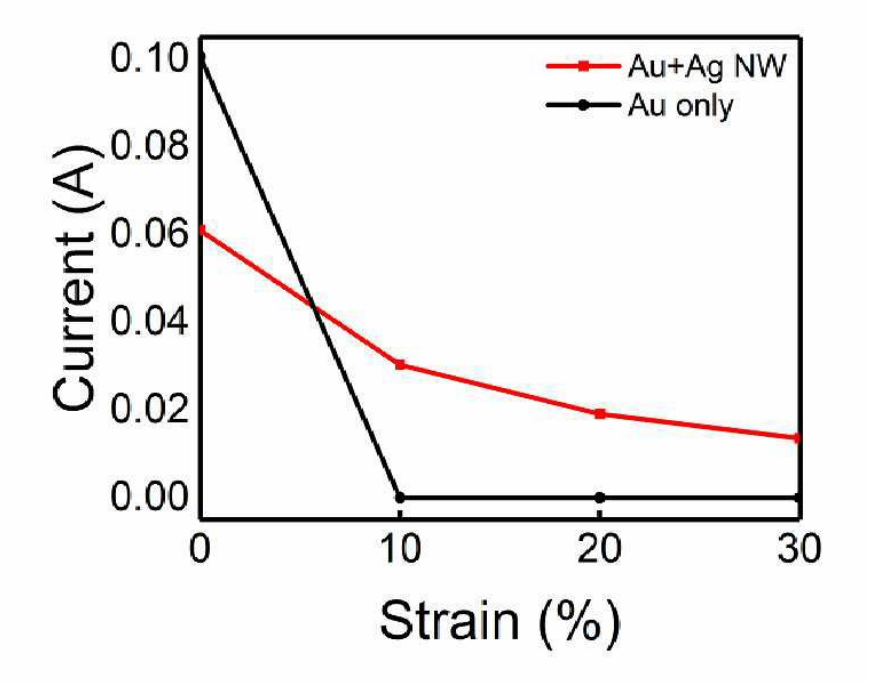
도면2



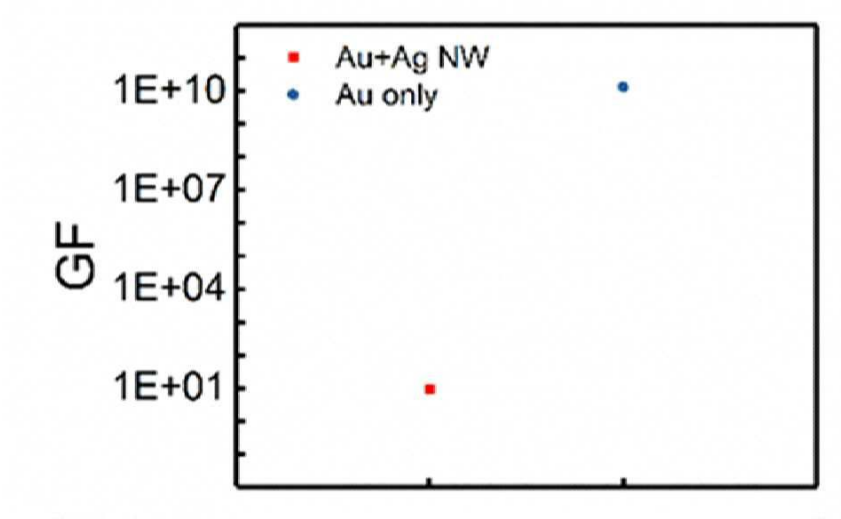
도면3


(a)
(b)
Current (A)
Voltage (V)
0%
10%
20%
30%
0.10
0.08
0.06
0.04
0.02
0.00
0.00
0.25
0.50

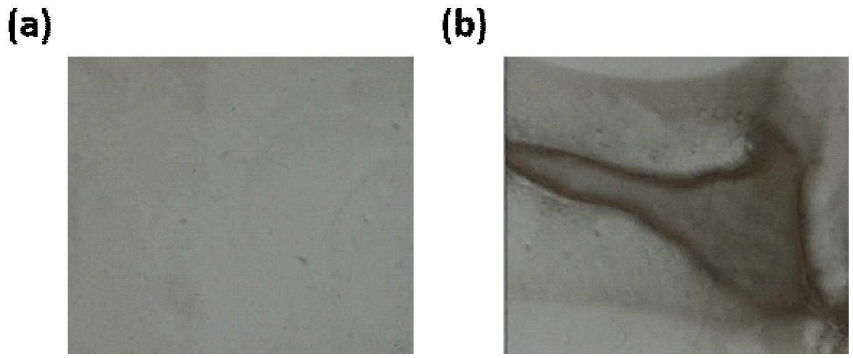
도면4


Au+Ag NW
Au only
Current (A)
Strain (%)
0.10
0.08
0.06
0.04
0.02
0.00
0
10
20
30

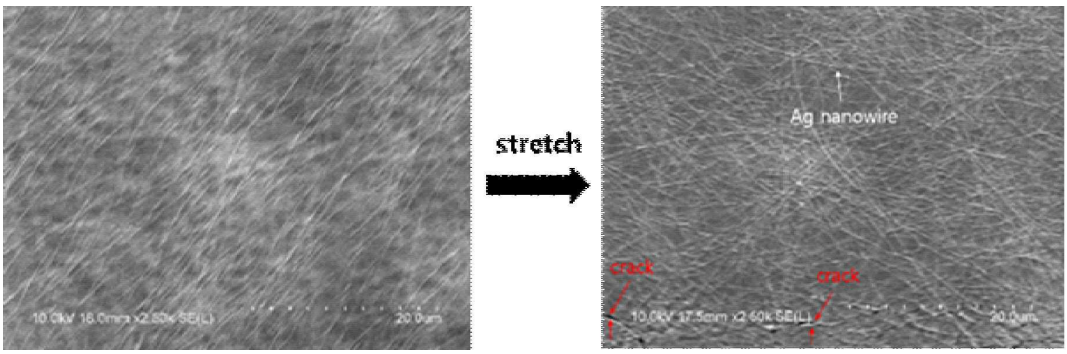
도면5


Au+Ag NW
Au only
1E+10
1E+07
1E+04
1E+01
GF

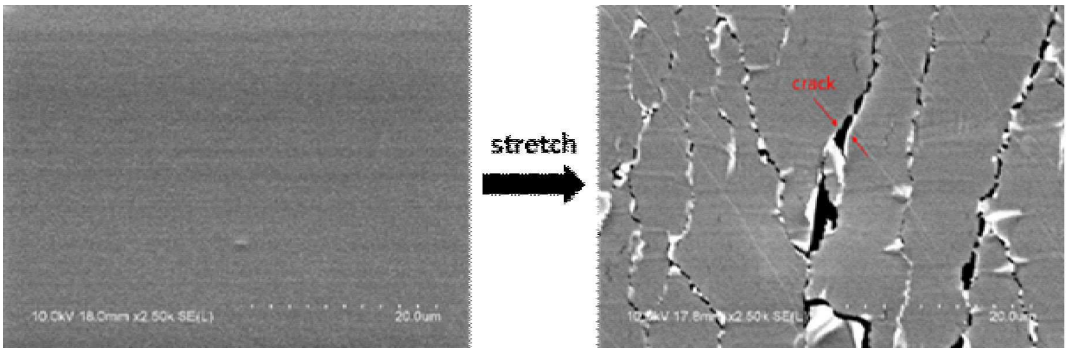
도면6


(a)
(b)

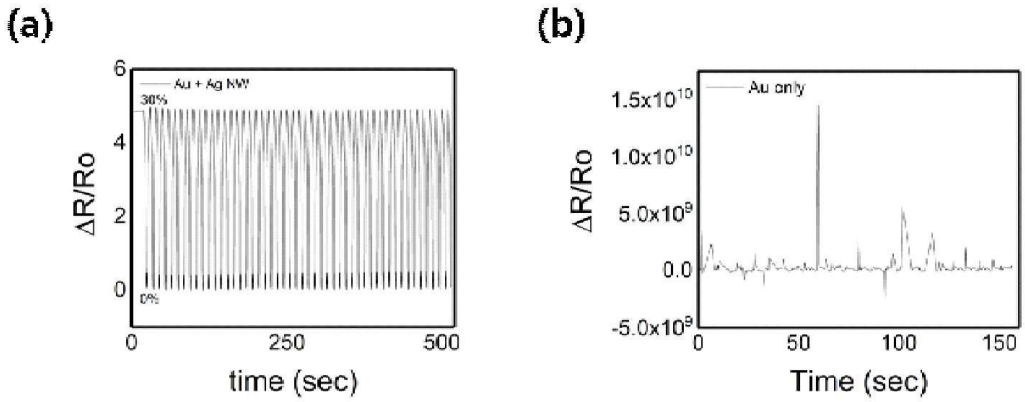
도면7a


stretch
Ag nanowire
crack
crack

도면7b


stretch
crack

도면8


(a)
Au + Ag NW
30%
0%
ΔR/Ro
time (sec)
(b)
Au only
ΔR/Ro
Time (sec)

도면9

