(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2023-0000087
(43) 공개일자 2023년01월02일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01B 1/12 (2006.01) *C08J 3/075* (2006.01)
C08K 3/04 (2006.01) *C08K 5/34* (2006.01)
C08K 5/52 (2006.01) *C08L 65/00* (2006.01)
C08L 71/02 (2006.01) *G01N 27/30* (2006.01)
G01N 27/327 (2006.01) *H01B 1/24* (2006.01)
(52) CPC특허분류
H01B 1/12 (2013.01)
C08J 3/075 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2021-0082039
(22) 출원일자 2021년06월24일
심사청구일자 2021년06월24일

(71) 출원인
인하대학교 산학협력단
인천광역시 미추홀구 인하로 100(용현동, 인하대학교)
(72) 발명자
이근형
인천광역시 연수구 아트센터대로97번길 15 (송도동, 더샵 그린워크2차) 1106동 301호
김정희
전라남도 보성군 벌교읍 홍암로 116-10 (장미아파트) 1310호
(74) 대리인
이원희

전체 청구항 수 : 총 9 항

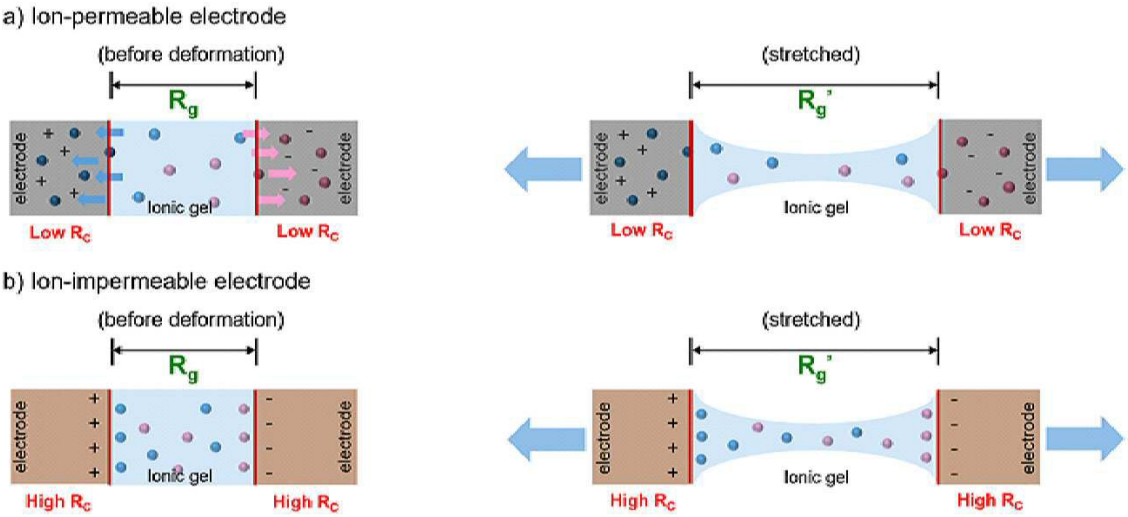
(54) 발명의 명칭 **고민감도 신축성 인장 센서 및 이의 제조방법**

(57) 요 약

본 발명은 고민감도 신축성 인장 센서 및 이의 제조방법에 관한 발명으로, 구체적으로, 본 발명은 이온성 젤; 및 상기 이온성 젤의 양단에 접촉하여 형성되며, 전도성 고분자 또는 탄소나노구조체를 포함하는 한 쌍의 이온 침투성 전극;을 포함하고, 상기 이온성 젤은 고분자 매트릭스 및 이온성 액체를 포함하며, 상기 이온 침투성 전극은 상기 제1 이온성 젤 내의 이온이 전극 내로 침투 가능한 것을 특징으로 하는, 고민감도 신축성 인장 센서를 제공한다.

본 발명에 따른 센서는 이온성 젤과 양단의 전극 간의 접촉 저항이 감소하여 신축성이 우수한 동시에 민감도가 개선된 우수한 효과를 갖는다.

대 표 도 - 도3



(52) CPC특허분류
C08K 3/041 (2017.05)
C08K 5/34 (2013.01)
C08K 5/5205 (2013.01)
C08L 65/00 (2013.01)
C08L 71/02 (2013.01)
G01N 27/308 (2013.01)
G01N 27/3278 (2013.01)
H01B 1/24 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1415163504
과제번호 20194030202340
부처명 산업통상자원부
과제관리(전문)기관명 한국에너지기술평가원
연구사업명 에너지기술개발사업
연구과제명 차세대 고분자전해질연료전지 부품소재 핵심기술 고급트랙 (5차년도)
기 여 율 34/100
과제수행기관명 인하대학교산학협력단
연구기간 2021.01.01 ~ 2021.12.31
이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 2088202869
과제번호 P0017363
부처명 산업통상자원부
과제관리(전문)기관명 한국산업기술진흥원
연구사업명 산업혁신인재성장지원(R&D)
연구과제명 기능성유무기복합소재실용화전문인력양성사업(1차년도)
기 여 율 33/100
과제수행기관명 인하대학교 산학협력단
연구기간 2021.03.01 ~ 2022.02.28
이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 3148206097
과제번호 2021R1A6C101A404
부처명 교육부
과제관리(전문)기관명 한국연구재단
연구사업명 기초과학연구역량강화사업
연구과제명 핵심연구지원센터 조성 지원 과제
기 여 율 33/100
과제수행기관명 인하대학교 산학협력단
연구기간 2021.06.01 ~ 2027.02.28

명 세 서

청구범위

청구항 1

이온성 젤; 및

상기 이온성 젤의 양단에 접촉하여 형성되며, 전도성 고분자 또는 탄소나노구조체를 포함하는 한 쌍의 이온 침투성 전극;을 포함하고,

상기 이온성 젤은 고분자 매트릭스 및 이온성 액체를 포함하며,

상기 이온 침투성 전극은 상기 제1 이온성 젤 내의 이온이 전극 내로 침투 가능한 것을 특징으로 하는, 고민감도 신축성 인장 센서.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 탄소나노구조체를 포함하는 이온 침투성 전극은 탄소나노구조체, 이온성 액체 및 고분자 바인더를 포함하는 것인, 고민감도 신축성 인장 센서.

청구항 3

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 이온성 액체는 1-에틸-3-메틸이미다졸륨 비스(트리플루오로메틸설포닐)이미드([EMI][TFSI]), 1-부틸-3-메틸이미다졸륨 비스(트리플루오로메틸설포닐)이미드([BMI][TFSI]), 1-부틸-3-메틸이미다졸륨 헥사플루오로포스페이트([BMI][PF_6]), 1-부틸-3-메틸이미다졸륨 테트라플루오로보레이트(BMI][BF_4]), 1-부틸-1-메틸피롤리디늄 비스(트리플루오로메틸설포닐)이미드([BMPYR][TFSI]), 1-부틸-1-메틸피롤리디늄 트리스(펜타플루오로에틸)트리플루오로포스페이트([BMPYR][FAP]), 1-에틸-3-메틸이미다졸륨 트리스(펜타플루오로에틸)트리플루오로포스페이트([EMI][FAP]), 1-에틸-3-메틸이미다졸륨 비스(플루오로설포닐)이미드([EMI][FSI]) 및 에틸-디메틸-프로필암모늄 비스(트리플루오로메틸설포닐)이미드([EDMPA][TFSI])로 이루어진 군으로부터 선택되는 1종 이상을 이온 성분으로 포함하는 것인, 고민감도 신축성 인장 센서.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 전도성 고분자는 폴리(3,4-에틸렌디옥시티오펜)(Poly(3,4-Ethylenedioxythiophene), PEDOT), 폴리아닐린(polyaniline, PANI), 폴리피롤(polypyrrole, PPy), 폴리티오펜(polythiophene, PT), 폴리(3,4-에틸렌디옥시피오펜)-토실레이트(Poly(3,4-ethylenedioxythiophene)-tosylate, PEDOT-Tos) 및 이들의 유도체로 이루어진 군에서 선택되는 1종 이상인 것인, 고민감도 신축성 인장 센서.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 고분자 매트릭스는 폴리에틸렌글리콜(PEG) 기반의 가교된 고분자 매트릭스인 것인, 고민감도 신축성 인장 센서.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 탄소나노구조체는 다중벽 탄소나노튜브(MWCNTs) 또는 단일벽 탄소나노튜브(SWCNTs)인 것인, 고민감도 신축성 인장 센서.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 이온성 젤에 포함되는 고분자 매트릭스, 이온성 액체는 1:2 내지 1:5의 중량비인 것인, 고민감도 신축성 인장 센서.

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 이온성 젤에 고분자 매트릭스 및 이온성 액체는 1:2 내지 1:5 중량비로 포함되고,

상기 이온성 액체는 1-에틸-3-메틸이미다졸륨 비스(트리플루오로메틸설포닐)이미드([EMI][TFSI])이고, 상기 고분자 매트릭스는 폴리에틸렌글리콜(PEG) 기반의 가교된 고분자 매트릭스이고, 상기 전도성 고분자는 폴리(3,4-에틸렌디옥시티오펜):폴리(스티렌설포네이트) (PEDOT:PSS) 이며,

상기 인장 센서는 20% 연신율에서 2 내지 2.2의 게이지 펙터를 갖는 것을 특징으로 하는, 고민감도 신축성 인장 센서.

청구항 9

이온성 젤을 제조하는 단계;

전도성 고분자 또는 탄소나노구조체를 포함하는 한 쌍의 이온 침투성 전극을 제조하는 단계; 및

상기 한 쌍의 이온 침투성 전극을 상기 이온성 젤의 양단에 부착하는 단계;를 포함하는, 제1항의 고민감도 신축성 인장 센서의 제조방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 고민감도 신축성 인장 센서에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0003] 최근 신체에 직접 착용할 수 있는 신축성 전자 기기에 대한 연구 개발이 활발이 진행되고 있다. 특히, 물리적 변화를 감지하여 전기적 신호로 바꿔주는 인장 센서는 유연 소자에 반드시 필요하다. 인장 센서는 사람이나 로봇 등의 피부에 부착하여 실시간으로 움직임을 모니터링 할 수 있는데, 이러한 센서는 전기 전도체나 이온 전도체 등을 이용하여 만들 수 있다.

[0004] 높은 민감성을 이유로 과거에는 전기 전도체로 인장 센서를 구성하였으나 전기 전도체 기반의 센서는 작은 감지 범위, 비선형성, 불투명성, 비가역성 등의 한계점을 갖는다.

[0005] 이러한 문제를 해결하기 위하여 신축성 이온 전도체를 기반으로 한 인장 센서의 개발이 활발히 이루어지고

있다. 인장 센서용 이온 전도체의 대표 물질로는 하이드로젤(hydrogel)이 가장 광범위하게 사용되고 있는데, 하이드로젤은 우수한 신축성은 가지고 있으나, 용매인 물이 쉽게 증발할 수 있기 때문에 전기적 특성이나 기계적 특성이 측정하는 외부 환경에 따라 달라지는 문제가 있다. 용매 증발을 막기 위하여 물을 대신하여 증기압이 낮은 유기 용매를 사용하는 대안도 있지만 유기 용매도 여전히 증발하며 상대적으로 낮은 민감도를 갖는다.

[0006] 이에 따라, 열안정성, 전기적 안정성, 그리고 비휘발성 등의 특성을 보이면서 신축성 있는 이온성 젤(ionic gel)이라는 고체 고분자 전해질을 활용한 센서 연구가 일부 진행되고 있다.

[0007] 이와 관련하여, 대한민국 등록특허 제10-2220870호는 이온성 젤 및 이를 포함하는 변형 센서를 개시하고 있으며, 구체적으로 이온성 액체에 녹지 않는 반복 단위 및 이온성 액체에 녹는 반복 단위를 포함하여 마이크로 상분리된 공중합체, 그리고 상기 공중합체와 복합화된 이온성 액체를 포함하는 연신율이 300% 이상인 이온성 젤 및 이를 포함하는 변형 센서를 개시하고 있다. 이와 같이, 이온성 젤은 온도 변화에 따른 비휘발성, 전기화학적 안정성, 기계적 내구성 및 우수한 신축성을 보이는 등 많은 장점으로 인해 신축성 소자에 적용될 수 있는 유망한 소재이다.

[0008] 다만, 이온성 젤을 기반으로 한 인장 센서는 전기 전도체 인장 센서와 비교하여, 상당히 낮은 민감도를 보인 센서들만 보고되었으며 센서의 성능에 영향을 미치는 근본적인 요소들에 대한 연구는 아직까지 체계적으로 보고되고 있지 않다.

[0009] 일반적으로, 인장 센서의 민감도와 탄력은 상충관계이지만 장기간 전자 기기의 신뢰도 있는 구동을 위해서는 높은 민감성과 탄력성 두 가지 특성이 모두 필요하다. 대부분의 이온성 젤 기반의 인장 센서에서는 직사각형 형태의 이온성 젤의 양 끝에 구리와 같은 금속 전극을 접촉하여 제작한다. 다만, 기존의 이러한 소자 구성에서는 전극과 이온성 젤 사이의 계면에서 생기는 접촉 저항이 증가하여 인장 센서의 저항 변화에 따른 센서의 민감도를 낮추는 문제점이 있다.

[0010] 이에, 본 발명자들은 상기 문제를 해결하고자 전극 물질, 접촉 저항이 센서 소자의 감지 성능에 어떻게 영향을 미치는지에 대한 체계적인 연구를 진행하던 중 이온성 젤을 기반으로 한 인장 센서에 접촉 저항을 줄일 수 있는 전도성 고분자 전극 및 탄소물질 기반의 하이브리드 전극을 도입하여 우수한 민감도 및 게이지펙터를 보이는 고민감도의 신축성 인장센서를 개발하였다.

선행기술문헌

특허문헌

[0012] (특허문헌 0001) 대한민국 등록특허 제10-2220870호(2021.02.22)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0013] 본 발명은 고민감도 신축성 인장 센서를 제공하고자 한다.

과제의 해결 수단

[0014] 본 발명의 일 측면에서,

[0015] 이온성 젤; 및

[0016] 상기 이온성 젤의 양단에 접촉하여 형성되며, 전도성 고분자 또는 탄소나노구조체를 포함하는 한 쌍의 이온 침투성 전극;을 포함하고,

[0017] 상기 이온성 젤은 고분자 매트릭스 및 이온성 액체를 포함하며,

[0018] 상기 이온 침투성 전극은 상기 제1 이온성 젤 내의 이온이 전극 내로 침투 가능한 것을 특징으로 하는, 고민감도 신축성 인장 센서를 제공한다.

[0020] 본 발명의 다른 일 측면에서,

[0021] 이온성 젤을 제조하는 단계;

[0022] 전도성 고분자 또는 탄소나노구조체를 포함하는 한 쌍의 이온 침투성 전극을 제조하는 단계; 및

[0023] 상기 한 쌍의 이온 침투성 전극을 상기 이온성 젤의 양단에 부착하는 단계;를 포함하는, 제1항의 고민감도 신축성 인장 센서의 제조방법을 제공한다.

발명의 효과

[0025] 본 발명에 따른 이온성 젤 및 이온 침투성 전극을 포함하는 인장 센서는 전극과 이온성 젤 간의 접촉 저항이 감소하여 센서의 민감도가 개선되는 우수한 효과를 갖는다. 이에 따라, 본 발명은 이온성 젤을 기반으로 하여 탄력성이 우수한 동시에 민감도가 개선된 고민감도 신축성 인장 센서를 제공한다.

도면의 간단한 설명

[0027] 도 1a는 본 발명의 일 실시예에 따른 20 중량% PEGDA를 포함한 이온성 젤(ionic gel)의 상대적 응력-변형 곡선(strain-stress curve)을 나타낸 그래프이다.

도 1b는 본 발명의 일 실시예에 따른 PEGDA 기반 이온성 젤의 20%, 40%, 60%, 80% 및 100%로 변형 정도를 달리하여 각각 주기적인 10회 변형한 경우의 응력-변형 곡선을 나타낸 그래프이다.

도 1c는 본 발명의 일 실시예에 따른 PEGDA 기반 이온성 젤의 가시광선 영역(400 nm 내지 850 nm)에서의 투과 스펙트럼을 나타낸 그래프이다.

도 2는 전극의 종류 및 이온성 액체의 종류에 따른 이온성 젤 기반 센서의 20% 변형에서의 저항의 상대적 변화($\triangle R/R_0$)를 나타낸 그래프이다.

도 3a는 본 발명의 일 실시예에 따른 이온 침투성 전극을 갖는 이온성 젤 기반 인장 센서의 작동 원리를 나타낸다.

도 3b는 본 발명의 일 비교예에 따른 이온 비침투성 전극을 갖는 이온성 젤 기반 인장 센서의 작동 원리를 나타낸다.

도 4a 본 발명의 일 비교예에 따른 센서의 20% 변형 인가 전 후의 저항을 나타낸 그래프이다.

도 4b는 본 발명의 일 실시예에 따른 센서의 20% 변형 인가 전 후의 저항을 나타낸 그래프이다.

도 4c는 본 발명의 일 비교예에 따른 센서의 거리에 따른 저항을 측정한 그래프이다. 접촉 저항(contact resistance)은 y 절편에서 도출된다.

도 4d는 본 발명의 일 실시예에 따른 센서의 거리에 따른 저항을 측정한 그래프이다.

도 5a는 본 발명의 일 실시예에 따른 센서를 이용하여 측정한 변형에 대한 저항의 상대적 변화($\triangle R/R_0$)를 나타낸 그래프이다. 삽입 도는 본 발명의 일 실시예에 따른 이온성 젤 기반 센서의 광학 이미지 및 개략도를 나타낸다.

도 5b는 본 발명의 일 실시예에 따른 센서를 이용하여 20% 변형 단계로 0% 에서 100%까지 인장하고 다시 100% 에서 0%로의 이완하는 동안 측정된 저항의 상대적 변화($\triangle R/R_0$)를 나타낸다.

도 5c는 본 발명의 일 실시예에 따른 센서에서 1 내지 5% 범위의 주기적인 작은 변형에서의 저항의 상대적 변화를 나타낸다.

도 5d는 본 발명의 일 실시예에 따른 센서에서 10 내지 300% 범위의 상이한 주기적인 넓은 변형에서의 감지 거동을 나타낸다.

도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 센서의 반복적인 20% 변형 사이클에서의 5000초 이상 지속하여 측정한 상대적 저항 변화 그래프를 나타낸다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0028] 본 발명은 여러 변경을 가할 수 있으며 이에 따라 다양한 실시예가 나올 수 있는 바, 특정 실시예를 하단에 제시하고 상세하게 설명하고자 한다.

[0029] 또한 특별히 정의가 되지 않은 본 명세서의 모든 용어들은 본 발명이 속하는 기술분야의 통상적인 지식을 가진 자 모두에게 이해가 가능한 의미로 사용할 수 있을 것이다.

[0030] 그러나 이는 본 발명은 하단에 기술될 특정한 실시예에만 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변경, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다. 따라서 본 명세서에 기재된 실시예와 다른 균등물과 변형예들이 있을 수 있으며, 본 명세서에서 제시하는 실시예는 가장 바람직한 실시예일 뿐이다.

[0032] 이하, 본 발명을 상세히 설명한다.

[0033] 본 발명의 일 측면에서는

[0034] 이온성 젤; 및

[0035] 상기 이온성 젤의 양단에 접촉하여 형성되며, 전도성 고분자 또는 탄소나노구조체를 포함하는 한 쌍의 이온 침투성 전극;을 포함하고,

[0036] 상기 이온성 젤은 고분자 매트릭스 및 이온성 액체를 포함하며,

[0037] 상기 이온 침투성 전극은 상기 제1 이온성 젤 내의 이온이 전극 내로 침투 가능한 것을 특징으로 하는, 고민감도 신축성 인장 센서를 제공한다.

[0039] 이하, 본 발명의 실시예에 따른 고민감도 신축성 인장 센서를 상세히 설명한다.

[0041] 본 발명의 고민감도 신축성 인장 센서는 이온성 젤을 포함하고, 상기 이온성 젤은 고분자 매트릭스 및 이온성 액체를 포함한다.

[0042] 상기 이온성 액체는 유기 양이온 및 유기 또는 무기 음이온으로 구성된 물질로 전기화학적 안정성이 우수하고 높은 전기용량 및 이온 전도도를 나타내는 물질일 수 있다.

[0043] 상기 이온성 젤(ionic gel)에 포함된 이온성 액체는 1-에틸-3-메틸이미다졸륨 비스(트리플루오로메틸설포닐)이미드([EMI][TFSI]), 1-부틸-3-메틸이미다졸륨 비스(트리플루오로메틸설포닐)이미드([BMI][TFSI]), 1-부틸-3-메틸이미다졸륨 헥사플루오로포스페이트([BMI][PF_6]), 1-부틸-3-메틸이미다졸륨 테트라플루오로보레이트([BMI][BF_4]), 1-부틸-1-메틸피롤리디늄 비스(트리플루오로메틸설포닐)이미드([BMPYR][TFSI]), 1-부틸-1-메틸피롤리디늄 트리스(펜타플루오로에틸)트리플루오로포스페이트([BMPYR][FAP]), 1-에틸-3-메틸이미다졸륨 트리스(펜타플루오로에틸)트리플루오로포스페이트 [EMI][FAP], 1-에틸-3-메틸이미다졸륨 비스(플루오로설포닐)이미드([EMI][FSI]) 및 에틸-디메틸-프로필암모늄 비스(트리플루오로메틸설포닐)이미드([EDMPA][TFSI])로 이루어진 군으로부터 선택되는 1종 이상을 이온 성분으로 포함하는 것일 수 있고, 바람직하게는 1-에틸-3-메틸이미다졸륨 비스(트리플루오르 메틸 설포닐)이미드([EMI][TFSI])일 수 있다.

[0045] 상기 이온성 액체는 상기 고분자 매트릭스에 의해 지지되어 고체 상태의 이온성 젤을 형성할 수 있다. 상기 이온성 젤은 상기 이온성 액체에 고분자 매트릭스의 기계적 특성을 부여한 것으로, 이온성 액체에 의해 우수한 열적, 화학적, 전기화학적 안정성을 나타내는 동시에 고분자 매트릭스에 의해 우수한 기계적 특성을 나타낼 수 있다.

[0046] 상기 고분자 매트릭스는 폴리에틸렌글리콜 (PEG) 기반의 가교된 고분자 매트릭스일 수 있다.

[0047] 일 실시예에서, 상기 고분자 매트릭스는 폴리(에틸렌 글리콜) 디아크릴레이트 (PEGDA) 올리고머를 자외선 조사에 의해 중합하여 제조할 수 있다.

[0049] 본 발명의 고민감도 신축성 인장 센서는 상기 이온성 젤의 양단에 접촉하여 형성되며, 전도성 고분자 또는 탄소나노구조체를 포함하는 한 쌍의 이온 침투성 전극;을 포함한다.

[0050] 상기 이온 침투성 전극은 상기 제1 이온성 젤 내의 이온이 전극 내로 침투 가능한 것을 특징으로 한다.

[0052] 웨어러블 디바이스 장치로서 활용 가능한 인장 센서의 신뢰도 있는 구동을 위해서는 높은 민감성과 탄력성 두 가지 특성이 모두 요구된다. 다만, 기존의 이온성 젤을 기반으로 한 신축성 인장 센서는 구리와 같은 금속 전극을 접촉하여 제조하였고, 전극과 이온성 젤 간의 계면에서 접촉 저항이 증가하여 인장 센서의 저항 변화에 따른 센서의 민감도가 낮은 문제점이 있었다.

[0053] 이에, 본 발명에서는 이온성 젤에 이온 침투 가능한 전극 소재를 적용하여 전극과 계면 간의 접촉 저항을 감소시키고 민감도 및 신축성이 모두 우수한 센서를 제공하고자 한다.

[0055] 상기 전도성 고분자는 폴리(3,4-에틸렌디옥시티오펜)(Poly(3,4-Ethylenedioxythiophene), PEDOT), 폴리아닐린(polyaniline, PANI), 폴리피롤(polypyrrole, PPy), 폴리티오펜(polythiophene, PT), 폴리(3,4-에틸렌디옥시피오펜)-토실레이트(Poly(3,4-ethylenedioxythiophene)-tosylate, PEDOT-Tos) 및 이들의 유도체로 이루어진 군에서 선택되는 1종 이상일 수 있다.

[0056] 상기 전도성 고분자는 바람직하게는 우수한 내열성 및 전기 전도성을 가지며 용액 공정이 가능한 장점을 갖는 폴리(3,4-에틸렌디옥시티오펜):폴리(스티렌설포네이트) (PEDOT:PSS) 일 수 있다.

[0058] 상기 이온성 젤에 포함되는 고분자 매트릭스, 이온성 액체는 1:2 내지 1:5의 중량비일 수 있고, 바람직하게는 1:3 내지 1:5의 중량비일 수 있다.

[0060] 일 실시예에 따른 고민감도 신축성 인장 센서는 상기 이온성 젤에 고분자 매트릭스 및 이온성 액체를 1:2 내지 1:5의 중량비일, 바람직하게는 1:3 내지 1:5의 중량비로 포함할 수 있다.

[0061] 이때 상기 이온성 액체는 1-에틸-3-메틸이미다졸륨 비스(트리플루오로메틸설포닐)이미드([EMI][TFSI])이고, 상기 고분자 매트릭스는 폴리에틸렌글리콜(PEG) 기반의 가교된 고분자 매트릭스이고, 상기 전도성 고분자는 폴리(3,4-에틸렌디옥시티오펜):폴리(스티렌설포네이트) (PEDOT:PSS)일 수 있다.

[0062] 이때 일 실시예에 따른 고민감도 신축성 인장 센서는 20%의 연신율일 때 2 내지 2.2, 보다 바람직하게는 20%이상의 연신율에서 2.2 이상의 게이지 펙터를 나타낸다.

[0063] 20% 연신율에서 직사각형 형태 센서의 이론 게이지 펙터가 2.2 인 것을 고려하였을 때 일 실시 예에 따른 신축성 인장 센서의 게이지 펙터는 이론적 한계치에 근접한 현저히 우수한 게이지 팩터 값을 가짐을 알 수 있다.

[0065] 상기 탄소나노구조체는 탄소나노튜브일 수 있고, 다중벽 탄소나노튜브(MWCNTs) 또는 단일벽 탄소나노튜브(Single walled carbon nanotubes, SWCNTs)일 수 있고, 바람직하게는 저항 값이 보다 낮은 단일벽 탄소나노튜브일 수 있다.

[0067] 상기 탄소나노구조체를 포함하는 이온 침투성 전극은 탄소나노구조체, 이온성 액체 및 고분자 바인더를 포함하는 것일 수 있다.

[0068] 상기 이온성 액체에 의해 상기 탄소나노구조체의 분산성이 상대적으로 증가하여 전극으로서의 특성을 보다 향상시킬 수 있고, 상기 이온성 액체를 포함하여 상기 전극 내로 이온성 젤 내의 이온이 침투 가능할 수 있다.

[0070] 상기 이온성 액체는 유기 양이온 및 유기 또는 무기 음이온으로 구성된 물질로 전기화학적 안정성이 우수하고 높은 전기용량 및 이온 전도도를 나타내는 물질일 수 있다.

[0071] 상기 전극에 포함된 이온성 액체는 1-에틸-3-메틸이미다졸륨 비스(트리플루오로메틸설포닐)이미드([EMI][TFSI]), 1-부틸-3-메틸이미다졸륨 비스(트리플루오로메틸설포닐)이미드([BMI][TFSI]), 1-부틸-3-메틸이미다졸륨 헥사플루오로포스페이트([BMI][PF_6]), 1-부틸-3-메틸이미다졸륨 테트라플루오로보레이트(BMI][BF_4]), 1-부틸-1-메틸피롤리디늄 비스(트리플루오로메틸설포닐)이미드([BMPYR][TFSI]), 1-부틸-1-메틸피롤리디늄 트리스(펜타플루오로에틸)트리플루오로포스페이트([BMPYR][FAP]), 1-에틸-3-메틸이미다졸륨 트리스(펜타플루오로에틸)트리플루오로포스페이트([EMI][FAP]), 1-에틸-3-메틸이미다졸륨 비스(플루오로설포닐)이미드([EMI][FSI]) 및 에틸-디메틸-프로필암모늄 비스(트리플루오로메틸설포닐)이미드([EDMPA][TFSI])로 이루어진 군으로부터 선택되는 1종 이상을 이온 성분으로 포함하는 것일 수 있고, 바람직하게는 1-에틸-3-메틸이미다졸륨 비스(트리플루오르 메틸 설포닐)이미드([EMI][TFSI])일 수 있다.

[0073] 일 실시예에서, 상기 고분자 바인더는 폴리 비닐리덴 플루오라이드(PVDF), 폴리비닐 플루오라이드 (PVF), 폴리비닐 클로라이드(PVC), 폴리비닐 알코올(PVA), 폴리에틸렌(PE), 폴리프로필렌(PP), 및 폴리스티렌(PS)로 이루어진 군으로부터 선택되는 호모 폴리머 또는 이를 포함하는 공중합체일 수 있으나, 폴리비닐리덴 플로라이드(PVDF) 공중합체인 것이 바람직할 수 있고, 폴리 (비닐리덴 플로라이드-코-헥사플루오 프로필렌(P(VDF-HFP))인 것이 보다 바람직할 수 있다.

[0075] 본 발명에 따른 이온성 젤 및 이온 침투성 전극을 포함하는 인장 센서는 전극과 이온성 젤 간의 접촉 저항이 감소하여 센서의 민감도가 개선되는 우수한 효과를 갖는다. 이에 따라, 본 발명은 이온성 젤을 기반으로 하여 탄력성이 우수한 동시에 민감도가 개선된 고민감도 신축성 인장 센서를 제공한다.

[0077] 본 발명의 다른 일 측면에서는

[0078] 이온성 젤을 제조하는 단계;

[0079] 전도성 고분자 또는 탄소나노구조체를 포함하는 한 쌍의 이온 침투성 전극을 제조하는 단계; 및

[0080] 상기 한 쌍의 이온 침투성 전극을 상기 이온성 젤의 양단에 부착하는 단계;를 포함하는, 본 발명의 일 측면에 따른 고민감도 신축성 인장 센서의 제조방법을 제공한다.

[0082] 이하, 본 발명의 실시예에 따른 고민감도 신축성 전극의 제조방법을 각 단계별로 상세히 설명한다. 위의 신축성 인장 센서에서 설명한 내용은 중복하여 설명하지 않더라도, 본 발명의 다른 측면에서 제공되는 고민감도 신축성 인장 센서의 제조방법에 적용될 수 있다.

[0084] 본 발명의 제조방법은 이온성 젤을 제조하는 단계를 포함한다.

[0085] 일 실시예에서, 상기 이온성 젤 제조 단계는 이온성 액체, 고분자 매트릭스를 구성하는 고분자 재료를 용매에 용해시키고, 이를 혼합한 후, 상기 용매를 증발시키고, 상기 고분자 재료를 중합하여 복합화한 것일 수 있다.

[0086] 이때, 상기 용매는 상기 고분자 재료 및 이온성 액체를 용해시키는 용매이면 특별히 제한되지 않으며, 바람직하게는 아세톤(Acetone)이 사용될 수 있다.

[0087] 상기 용액은 광개시제를 더 포함할 수 있고, 상기 중합은 자외선 조사에 의해 수행될 수 있다.

[0089] 본 발명의 제조방법은 전도성 고분자 또는 탄소나노구조체를 포함하는 한 쌍의 이온 침투성 전극을 제조하는 단계를 포함한다.

[0091] 본 발명의 제조방법은 상기 한 쌍의 이온 침투성 전극을 상기 이온성 젤의 양단에 부착하는 단계를 포함한다.

[0093] 본 발명의 제조방법에 따라 제조되는 이온성 젤 및 이온 침투성 전극을 포함하는 인장 센서는 전극과 이온성 젤 간의 접촉 저항이 감소하여 센서의 민감도가 개선되는 우수한 효과를 갖는다. 이에 따라, 본 발명은 이온성 젤을 기반으로 하여 탄력성이 우수한 동시에 민감도가 개선된 고민감도 신축성 인장 센서를 제공할 수 있다.

[0095] 이하, 본 발명을 실시예 및 실험예를 통해 상세히 설명한다.

[0096] 단, 후술하는 실시예 및 실험예는 본 발명을 일 측면에서 구체적으로 예시하는 것일 뿐, 본 발명이 이에 제한되는 것은 아니다.

[0098] 재료 준비

[0099] 폴리(에틸렌 글리콜) 디아크릴레이트 (PEGDA)(10,000 $gmol^{-1}$의 평균 분자량)를 Polysciences에서 구입하였다. 1-에틸-3-메틸이미다졸륨 비스(트리플루오로메틸설포닐)이미드 [EMI][TFSI]를 포함한 모든 이온성 액체는 Merck에서 수득하였다. 3-(트리메톡시실릴)프로필 메타크릴레이트 (TMSPMA), 아세트산 및 2-하이드록시-2-메틸프로피오페논 (HOMPP)는 시그마-알드리치(Sigma-Aldrich)에서 구입하였다. 폴리(3,4-에틸렌디옥시티오펜):폴리(스티렌설포네이트) (PEDOT:PSS)는 Heraeus에서 구입하였다. 에틸렌글리콜>99.5%) 및 아세톤(고순도)는 삼천(Samchun) 및 대정(daejung)에서 각각 구입하였다. 다중벽 탄소나노튜브(MWCNT)는 CNT CO., Ltd.에서 단일벽 탄소나노튜브(SWCNT)는 Meijo Nano Carbon에서 구입하였다. 폴리디메틸실록산 (PDMS, Sylgard 184)은 Dow Corning에서 구입하였다. Ecoflex 0030은 Smooth-On. Inc.에서 수득하였다.

[0101] **<제조예 1> 이온성 젤 제조 (1)**

[0102] 이온성 액체인 [EMI][TFSI]에 PEGDA 올리고머 및 HOMPP 개시제를 첨가하고 중합하여 화학적으로 가교된 이온성 젤을 제조하였다.

[0103] 구체적으로, PEGDA, [EMI][TFSI], HOMPP는 1:4:0.2의 중량비로 첨가하였다. PEGDA, HOMPP 및 [EMI][TFSI]을 아세톤에 용해시킨 후, 아세톤 용매는 50℃에서 3시간 동안 증발시켜 균일한 용액을 수득하였다. 혼합 용액을 TMSPMA 코팅된 Ecoflex 기판 상 패턴화된 PDMS로 구성된 신축된 고무 몰드에 부은 뒤, 자외선 광 (365 nm)에 의해 중합하였다. 이온성 젤의 접착력을 향상시키기 위한 TMSPMA 기능화는 산소 플라즈마 처리된 (60W, 200mTorr) Ecoflex 기판을 TMSPMA 용액 (탈이온수 50 ml에 TMSPMA 1ml 및 아세트산 10 μl)에 2시간 동안 담가서 수행하였다. 이후 기판을 다량의 에탄올로 세척하였다. PDMS 몰드를 Ecoflex에서 분리하고 직사각형 모양의 평균 두께 350 ㎛의 이온성 젤을 수득하였다.

[0105] **<제조예 2> 이온성 젤 제조 (2)**

[0106] 상기 제조예 1에서, PEGDA 및 [EMI][TFSI]의 중량비를 1:1로 달리한 것을 제외하고는 제조예 1과 동일한 방법을 수행하여 이온성 젤을 제조하였다.

[0108] **<제조예 3> 이온성 젤 제조 (3)**

[0109] 상기 제조예 1에서, PEGDA 및 [EMI][TFSI]의 중량비를 1:2로 달리한 것을 제외하고는 제조예 1과 동일한 방법을 수행하여 이온성 젤을 제조하였다.

[0111] **<제조예 4> 이온성 젤 제조 (4)**

[0112] 상기 제조예 1에서, PEGDA 및 [EMI][TFSI]의 중량비를 1:8로 달리한 것을 제외하고는 제조예 1과 동일한 방법을 수행하여 이온성 젤을 제조하였다.

[0114] **<제조예 5> 전도성 고분자를 포함한 이온 침투성 전극**

[0115] PEDOT:PSS 수용액 95중량% 및 에틸렌글리콜(ethylene glycol) 5 중량%를 혼합한 전구체 용액을 PDMS 기판 위에 용액 캐스팅하여 PEDOT:PSS 전극을 제조하였다.

[0116] **<제조예 6> 탄소나노구조체를 포함한 이온 침투성 전극 (1)**

[0117] 단일벽 탄소나노튜브(SWCNT), 폴리(비닐리덴 플루오라이드-코-헥사플루오로프로필렌) (P(VDF-HFP), Mn=130 kg mol^{-1}) 및 [EMI][TFSI]를 1:1:2의 중량비로 하여 디메틸포름아미드(DMF)에 용해시키고, 1시간 동안 초음파처리하였다. 이후, 구리 호일에 용액 캐스팅한 다음, 130℃의 온도로 밤새 진공 오븐에서 건조시켜 이온 침투성 탄소계 전극을 제조하였다.

[0119] **<제조예 7> 탄소나노구조체를 포함한 이온 침투성 전극 (2)**

[0120] 다중벽 탄소나노튜브(MWCNT), 폴리(비닐리덴 플루오라이드-코-헥사플루오로프로필렌) (P(VDF-HFP), Mn=130 kg mol^{-1}) 및 [EMI][TFSI]를 1:1:2의 중량비로 하여 디메틸포름아미드(DMF)에 용해시키고, 1시간 동안 초음파처리하였다. 이후, 구리 호일에 용액 캐스팅한 다음, 130℃의 온도로 밤새 진공 오븐에서 건조시켜 이온 침투성 탄소계 전극을 제조하였다.

[0122] **<실시예 1>**

[0123] 상기 제조예 1의 이온성 젤의 양단에 상기 제조예 5의 이온 침투성 전극을 부착하여 신축성 인장 센서를 제조하였다.

[0125] **<실시예 2>**

[0126] 상기 제조예 1의 이온성 젤의 양단에 상기 제조예 6의 탄소나노구조체를 포함한 이온 침투성 전극을 부착하여 신축성 인장 센서를 제조하였다.

[0128] **<실시예 3>**

[0129] 상기 제조예 1의 이온성 젤의 양단에 상기 제조예 7의 탄소나노구조체를 포함한 이온 침투성 전극을 부착하여 신축성 인장 센서를 제조하였다.

[0131] **<비교예 1>**

[0132] 상기 실시예 1에서, 이온 침투성 전극이 아닌 구리(Cuprum) 전극을 부착한 것을 제외하고는 동일한 방법을 수행하여 신축성 인장 센서를 제조하였다.

[0134] **<실험예 1>**

[0135] 본 발명에 따른 이온성 젤의 기계적 성질 및 투명도를 확인하기 위하여, 제조예 1에서 제조된 PEGDA 기반 이온성 젤을 대상으로 만능시험기(universal testing machine)를 이용한 인장 시험 동안 응력-변형 그래프를 기록하

였다.

[0136] 도 1a는 20 중량% PEGDA를 포함한 이온성 젤의 상대적 응력-변형 곡선(strain-stress curve)을 나타낸 그래프이다.

[0137] 도 1b는 PEGDA 기반 이온성 젤의 20%, 40%, 60%, 80% 및 100%로 변형 정도를 달리하여 각각 주기적인 10회 변형한 경우의 응력-변형 곡선을 나타낸 그래프이다.

[0138] 또한, 400 nm 내지 850 nm 파장 영역에서의 PEGDA 이온성 젤의 투과 스펙트럼을 측정하여 도 2c에 나타내었다.

[0139] 도 1a 및 도 1b에 따르면, 제조예 1의 이온성 젤은 영률, 파단시의 응력 및 파단시의 변형률이 각각 162 kPa, 204 kPa 및 340%로 측정되었다. 또한, 반복 실험에서도 히스테리시스가 거의 관찰되지 않았다.

[0140] 또한, 도 1c에 따르면, 가시광선 영역에서 80% 이상의 투과도를 보이며, 투명성을 갖는 것을 확인하였다.

[0141] 따라서, 본 발명에 따른 PEGDA 기반 이온성 젤은 인장 센서에 요구되는 우수한 신축성 및 투명성을 갖는 것을 알 수 있었다.

[0143] **<실험예 2>**

[0144] 전극의 종류 및 이온성 액체의 종류에 따른 신축성 인장 센서의 민감도를 비교하기 위하여, 다음과 같은 실험을 진행하였다.

[0145] 3 종류의 전극 및 4 종류의 이온성 액체를 이용한 인장 센서를 준비하였다. 구체적으로, 상기 실시예 1(전도성 고분자 포함 이온 침투성 전극), 실시예 2 내지 3(탄소나노구조체를 포함한 이온 침투성 전극), 비교예(구리 전극)의 인장 센서 및 상기 센서의 이온성 젤의 이온성 액체를 [EMI][TFSI] 대신 [BMI][TFSI], [BMI][PF_6], [BMI][FAP]로 달리한 각 경우의 센서를 준비하여 실험하였다.

[0147] 이온성 젤의 저항은 $R=\rho l/A$ (ρ=저항률, l=길이, A=단면적) 식에 의해 인장 시 길이와 단면적이 변하기 때문에 저항 변화가 일어난다. 인장센서에서의 게이지 펙터는 $\triangle R/R_0$를 변형 ε으로 나눈 값으로, 각 연신율에 해당하는 $\triangle R/R_0$를 넣어 계산한 값이다. 이때 $\triangle R$은 인장 후의 저항에서 초기 저항(R_0)을 빼준 값을 나타낸다.

[0149] 각 센서의 전기용량 및 20% 인장 변형률을 적용한 경우의 저항의 상대적 변화($\triangle R/R_0$)를 측정하여, 도 2에 도시하였다.

[0150] 이온성 젤을 이상적인 탄성체라고 가정하였을 때, 길이 변형이 있어도 부피는 일정하게 되고 이론적인 $\triangle R/R_0$은 λ^2-1로 정의된다. 20% 비율만큼 젤이 인장된 경우, $\lambda=1.2$이고, 이론적인 $\triangle R/R_0$ 값은 0.44에 해당한다.

[0151] 도 2를 살펴보면, 낮은 전기용량을 가진 구리 전극을 적용한 비교예 1은 20% 변형시 $\triangle R/R_0$이 0.15 내지 0.25 사이의 값으로 가장 작고, 게이지 펙터는 0.77 에서 1.23 사이 값을 갖는 것으로 나타났다.

[0152] 반면, 탄소나노구조체와 이온성 액체를 혼합한 하이브리드 전극을 적용한 실시예 2 내지 3은 20% 길이 변화된 경우 $\triangle R/R_0$이 0.29 내지 0.38 사이 높은 값을 보였다.

[0153] 또한, 전도성 고분자 전극을 적용한 실시예 1은 가장 높은 $\triangle R/R_0$ 값을 보였고, 이론적 한계와 근사한 0.4로 나타났다.

[0154] 따라서, 실시예 1 내지 3의 전극을 적용한 경우 변형에 따른 상대적 저항 변화가 크다. 실시예 1의 전도성 고분자 전극은 이온성 젤 내의 이온이 전극 내부로 침투하여 높은 전기용량을 갖는 전극이고, 실시예 2 내지 3의 탄소나노구조체와 이온성 액체를 포함한 전극 또한 이온성 액체를 포함하여 전극 내부로 이온성 젤 내의 이온이 침투 가능한 성질을 보인다. 이는, 이온이 전극 내부로 침투 가능함에 따라 전극과 이온성 젤의 접촉 저항이 현저하게 줄어든 결과로 예상된다.

[0156] **<실험예 3>**

[0157] 이온 침투성 전극 적용에 따른 접촉 저항 감소를 확인하기 위하여, 실시예 1 및 비교예 1을 대상으로 다음과 같은 실험을 진행하였다.

[0159] 도 3은 이온 침투성 전극(a)과 이온이 비침투성 전극(b)을 사용한 이온성 젤 인장 센서의 구동 원리를 나타낸 도이다.

[0160] 센서의 길이를 변형하기 전 저항 R_0는 전극과 이온성 젤 사이 계면에서의 접촉 저항 Rc 및 이온성 젤의 저항 Rg의 합에 해당한다.

[0161] 센서를 변형할 때, 이온성 젤과 전극의 접촉부는 변화가 없어 Rc는 변하지 않고, 이온성 젤을 신장하여 센서의 저항을 측정하면 $\triangle R=Rg'-Rg$로 계산되며, 여기서 Rg는 신축 후의 이온성 젤의 저항이다. 또한, 게이지 펙터는 $\triangle R/R_0$를 변형 ε으로 나눈 값에 해당한다. 센서의 민감도를 증가시키기 위해 접촉저항 Rc는 가능한 작아야 한다.

[0162] 도 3a에 나타난 바와 같이, 이온성 젤에 있는 이온이 침투 가능한 전도성 고분자 전극을 사용함으로써 접촉 저항을 줄일 수 있다.

[0164] 도 4a 및 도 4b는 각각 비교예 1 및 실시예 1에 따른 센서의 20% 변형 인가 전 후의 저항을 측정한 그래프이다.

[0165] 도 3, 도 4a 및 4b에 도시된 바와 같이, 시간이 지남에 따라 이온성 젤의 이온이 분극되고 전극과 이온성 젤 사이에 전기 이중층을 형성하면서 접촉저항 Rc가 증가하여, R_0가 증가하는 것으로 나타났다. 다만, 이온 침투 불가능한 전극인 비교예 1의 경우 계면에서의 접촉 저항 Rc가 상대적으로 커지게 되고, 반면, 이온 침투 가능한 전극을 사용한 실시예 1은 접촉 저항이 감소하여 민감도가 개선되는 것을 확인하였다.

[0167] 또한, 도 4c 및 도 4d는 Transmission line measurement를 이용하여 얻은 비교예 1(c) 및 실시예 1(d)의 센서의 거리에 따른 저항을 측정한 그래프이다.

[0168] 도 4c 및 4d의 접촉 저항 계산을 위하여, 직사각형 모양의 인장 센서에 구리 전극 및 PEDOT:PSS 전극을 각각 5, 10, 15, 20 ㎜ 씩 간격을 두고 제조하여 저항을 측정하였다. 접촉 저항은 측정 결과를 외삽한 후 y 절편 값을 통하여 전극 사이의 거리가 0㎜ 일 때의 값으로 도출하였다.

[0169] 도 4c 및 4d에 따르면, 실시예 1의 PEDOT:PSS 전극을 적용한 센서의 접촉 저항 값 3.1 kΩ은 비교예 1의 구리 전극을 사용한 경우의 접촉 저항 값인 27.9 kΩ보다 훨씬 감소한 것을 확인할 수 있었다.

[0170] 이는, 실시예 1의 PEDOT:PSS 전극을 적용한 경우, 이온의 전극 내 침투로 인하여 전극과 전해질 간 유효 접촉 계면 면적이 증가하고, 효과적인 전기 이중층 형성으로 접촉저항이 감소한 것을 알 수 있다. 전기이중층 형성에 따른 접촉저항은 전기 용량의 역수에 비례한 결과로 나타난다.

[0172] **<실험예 4>**

[0173] 본 발명에 따른 이온성 젤 및 이온 침투성 전극을 적용한 신축성 이온 센서의 성능을 실시예 1의 센서를 대상으로 다음과 같이 평가하였다, 결과는 도 5 및 도 6에 도시하였다.

[0175] 도 5a는 실시예 1의 센서를 이용하여 측정한 변형에 대한 저항의 상대적 변화($\triangle R/R_0$)를 나타낸 그래프이다. 삽입 도는 센서의 광학 이미지 및 개략도를 나타낸다. 도 5a에 도시된 바와 같이, 실시예 1의 센서는 이온성 젤의 파단 전 0% 내지 340%까지의 외부 변형 범위에서 저항 변화에서 뛰어난 선형성을 나타내는 것을 확인하였다. 이는 센서 응용 분야에서 중요한 특징에 해당한다.

[0176] 또한, 도 5b는 실시예 1의 센서를 이용하여 20% 변형 단계로 0% 에서 100%까지 인장하고 다시 100% 에서 0%로의

이완하는 동안 측정된 저항의 상대적 변화(△R/R_0)를 나타낸다. 도 5b에 따르면, 본 발명에 따른 센서는 신장 후 이완 사이 히스테리시스가 거의 없고, 0%에서 100%까지 인장하고 다시 100%에서 0%로의 이완하는 단계적 변형 하에서 뛰어난 반복성을 나타내었다.

[0178] 도 5c는 실시예 1의 센서에서 1 내지 5% 범위의 주기적인 작은 변형에서의 저항의 상대적 변화를 나타내고, 도 5d는 실시예 1의 센서에서 10 내지 300% 범위의 상이한 주기적인 넓은 변형에서의 감지 거동을 나타낸다. 도 5c 및 5d를 살펴보면, 작은 변형 범위 (1 내지 5 %) 및 큰 변형 범위 (10 내지 300%) 모두에서 우수한 감지 능력을 보였다.

[0180] 또한, 실시예 1의 변형 반응의 안정성을 측정하였다. 도 6은 센서의 반복적인 20% 변형 사이클에서의 5000초 이상 지속하여 측정한 상대적 저항 변화 그래프를 나타낸다. 신장/이완 사이클을 5000초 간 지속한 후에도, 저항의 상대적 변화(△R/R_0) 의 초기 진폭을 잘 유지하였다. 반복 거동 동안 저항의 상대적 변화(△R/R_0) 값은 이론적 한계 값인 0.4에 근사하였다. 이는 기존의 금속 전극을 적용한 이온성 센서에 비해 상당히 개선된 높은 값에 해당한다. 이에 따라, 본 발명에 따른 신축성 인장 센서가 우수한 안정성, 반복성 및 가역성을 나타냄을 알 수 있다.

[0182] **<실험예 5>**

[0183] 고분자 매트릭스 및 이온성 액체 중량비에 따른 이온성 젤의 접촉저항 및 영률을 확인하기 위하여, 제조예 1 내지 4의 이온성 젤을 대상으로 접촉 저항 및 영률을 측정하였으며 그 결과를 하기 표 1에 나타내었다.

표 1

[0184]

	고분자 매트릭스: 이온성 액체 비율(중량비)	접촉저항(kΩ)	영률(kPa)
제조예 2	1:1	22.4	702.2
제조예 3	1:2	8.1	475.2
제조예 1	1:4	3.1	273.9
제조예 4	1:8	0.6	96.2

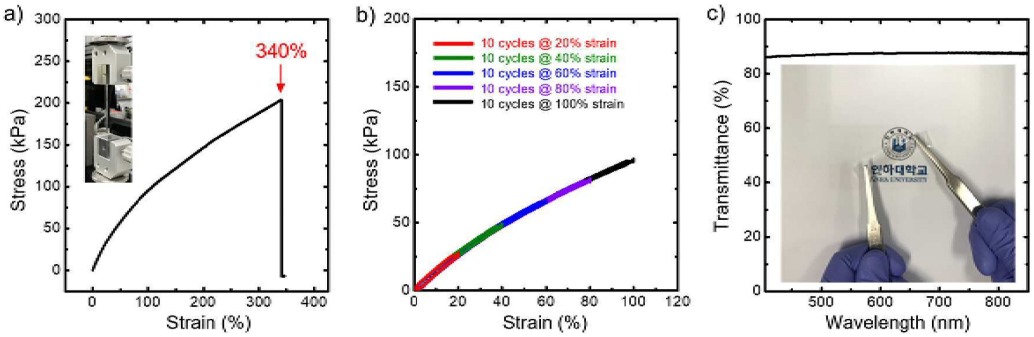
[0186] 상기 표 1에 나타난 바와 같이 이온성 액체의 비율이 증가할수록 접촉저항은 낮아져서 센서 성능이 향상되는 반면 기계적 강도를 나타내는 영률은 낮아질 수 있다.

[0187] 일 측면에 따른 신축성 인장 센서의 센서 민감도 및 기계적 강도를 향상시키기 위해서는 상기 이온성 젤의 접촉저항은 8kΩ 미만, 보다 바람직하게는 5kΩ 미만, 보다 바람직하게는, 0.5kΩ 내지 4kΩ의 값을 갖고, 동시에 상기 이온성 젤의 영률은 100 kPa이상, 보다 바람직하게는 200kPa이상, 보다 바람직하게는 250kPa 내지 700kPa을 갖는 것이 바람직할 수 있다.

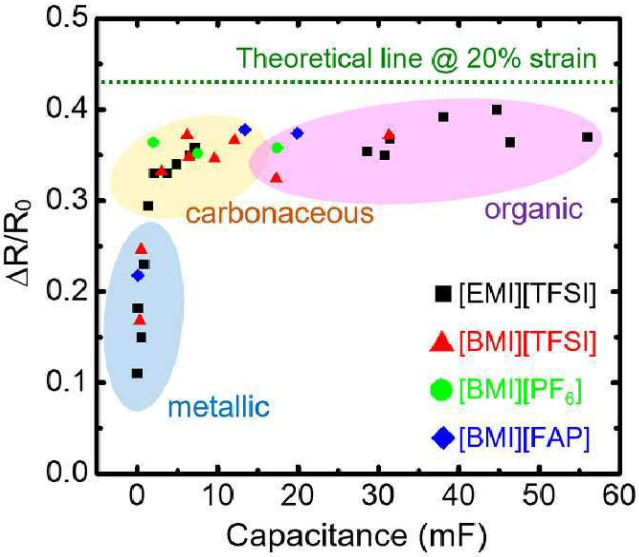
[0188] 따라서 상기 이온성 젤에 포함되는 고분자 매트릭스, 이온성 액체가 1:2 내지 1:5의 중량비를 갖는 것이 바람직할 수 있고, 1:3 내지 1:5의 중량비를 갖는 것이 보다 바람직할 수 있다.

도면

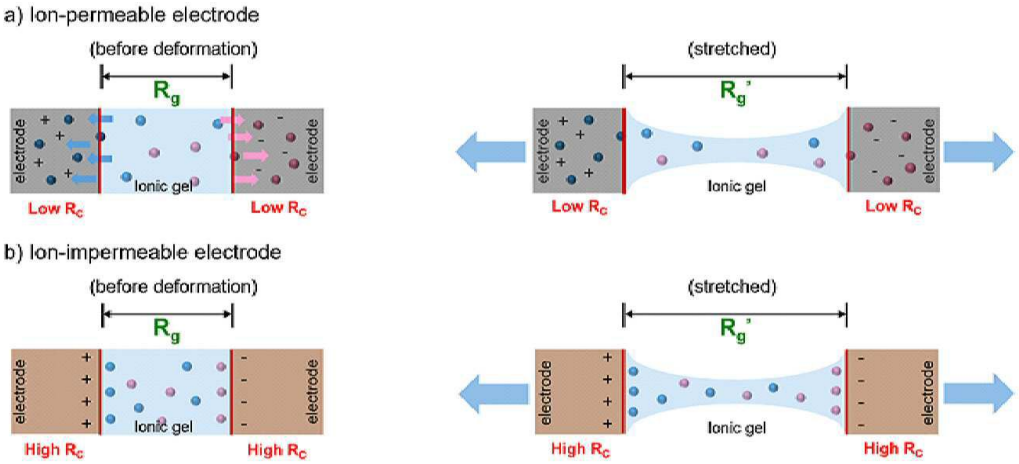
도면1



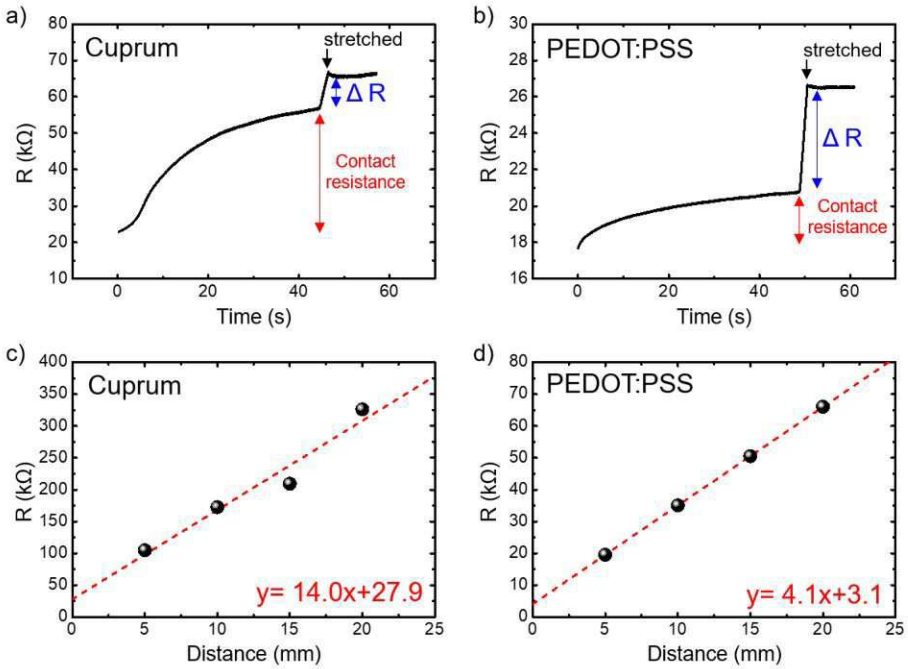
도면2



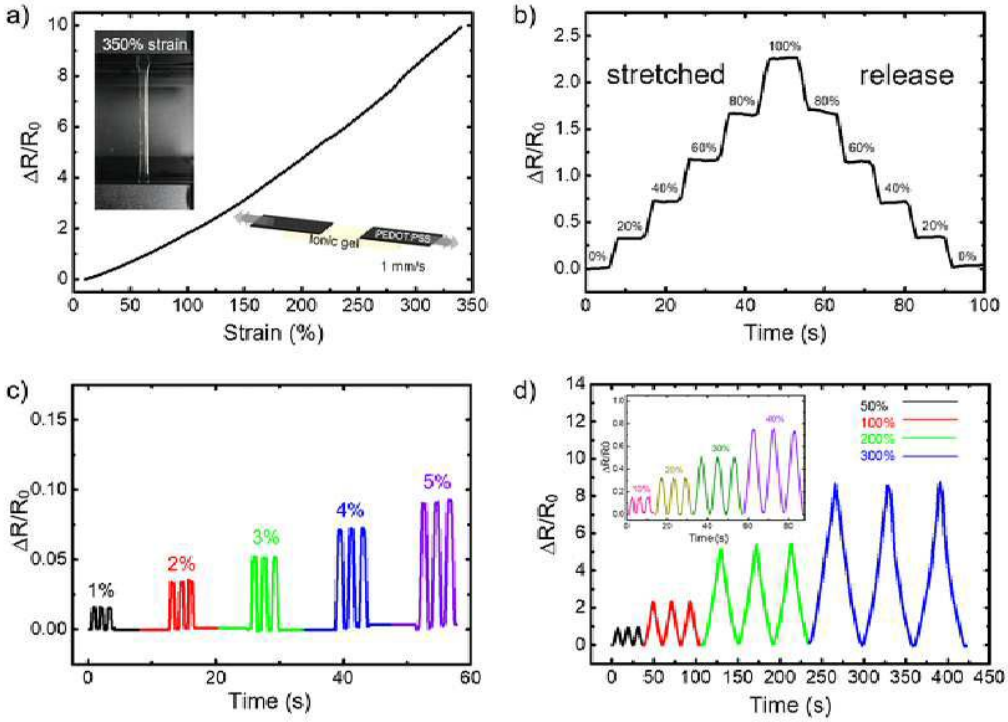
도면3



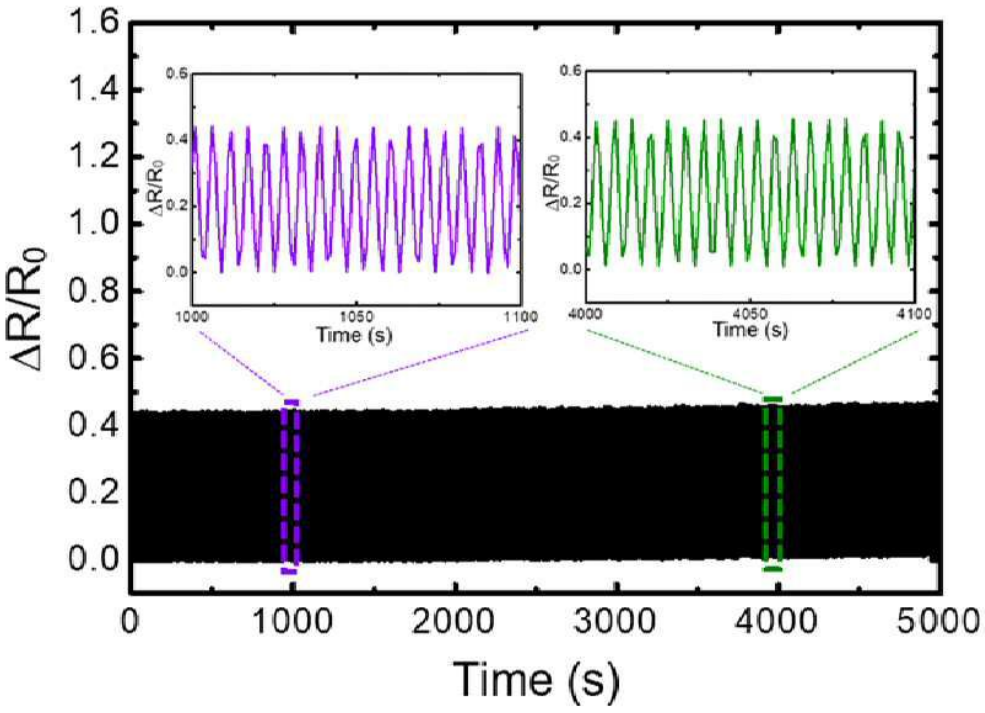
도면4


a)
Cuprum
stretched
ΔR
Contact resistance
R (kΩ)
Time (s)
b)
PEDOT:PSS
stretched
ΔR
Contact resistance
R (kΩ)
Time (s)
c)
Cuprum
y= 14.0x+27.9
R (kΩ)
Distance (mm)
d)
PEDOT:PSS
y= 4.1x+3.1
R (kΩ)
Distance (mm)

도면5


a)
350% strain
Ionic gel
PEDOT:PSS
1 mm/s
ΔR/R0
Strain (%)
b)
stretched
release
0%
20%
40%
60%
80%
100%
ΔR/R0
Time (s)
c)
1%
2%
3%
4%
5%
ΔR/R0
Time (s)
d)
50%
100%
200%
300%
ΔR/R0
Time (s)

도면6


ΔR/R0
Time (s)
0
1000
2000
3000
4000
5000
0.0
0.2
0.4
0.6
0.8
1.0
1.2
1.4
1.6
1000
1050
1100
4000
4050
4100