



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2025-0082549
(43) 공개일자 2025년06월09일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01F 1/84 (2006.01)

(52) CPC특허분류
G01F 1/8409 (2013.01)
G01F 1/8422 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2023-0171004

(22) 출원일자 2023년11월30일
심사청구일자 2023년11월30일

(71) 출원인

이화여자대학교 산학협력단

서울특별시 서대문구 이화여대길 52 (대현동, 이화여자대학교)

대구대학교 산학협력단

경상북도 경산시 진량읍 대구대로 201 (대구대학교)

(72) 발명자

이병훈

서울특별시 서대문구 이화여대8길 123, 101동 1507호 (북아현동, 힐스테이트 신촌)

김경진

부산광역시 남구 고동골로111번길 10-11 (문현동)
(뒷면에 계속)

(74) 대리인

특허법인엠에이피에스

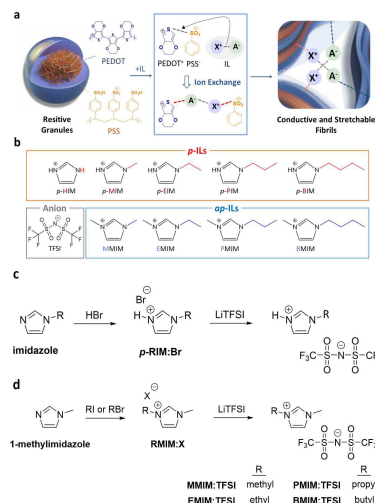
전체 청구항 수 : 총 17 항

(54) 발명의 명칭 신축성 전도성 고분자 기반 변형 센서

(57) 요약

본원은 신축성 전도성 고분자 기반 변형 센서에 관한 것이다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

G01F 1/8427 (2013.01)

G01F 1/8431 (2013.01)

G01F 1/8436 (2013.01)

G01F 1/8477 (2013.01)

(72) 발명자

이성호

대구광역시 동구 이노밸리로29길 56, 208동 703호
(각산동, 대구혁신도시 서한 이다음)

한민우

경기도 안양시 만안구 양화로 160, 502호 (박달동)

최해민

경상북도 영주시 풍기읍 남원로70번길 92, 103동
401호 (풍기읍, J클래식)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711157166
과제번호	2019M3C1B8090804
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	휴먼플러스융합연구개발챌린지사업
연구과제명	모바일 플렉서블 다중생체신호 측정센서 및 머신러닝기반 수면단계분석기술 개발
기 여 율	1/1
과제수행기관명	이화여자대학교
연구기간	2022.01.01 ~ 2022.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

양성자화 이온성 액체 및 전도성 고분자를 포함하는, 변형 센서로서,
 상기 양성자화 이온성 액체는 양이온 및 음이온을 포함하는 것이고,
 상기 양이온은 이미다졸륨 양이온 또는 3-메틸이미다졸륨 양이온이고, 상기 음이온은 비스(트리플루오로메틸 설퍼닐)이미드 음이온이며,
 상기 변형 센서는 1% 내지 60%의 변형률에서 저항 신호를 검출하는 것인, 변형 센서.

청구항 2

제 1 항에 있어서,
 상기 변형 센서의 균열 발생 변형률은 60% 이상인 것인, 변형 센서.

청구항 3

제 1 항에 있어서,
 상기 변형 센서는 1% 내지 60%의 변형률에서 상대 저항 변화 값($\Delta R/R_0$)은 0.003 내지 0.7인 것인, 변형 센서.

청구항 4

제 1 항에 있어서,
 상기 변형 센서는 30% 내지 60%의 변형률에서 상대 저항 변화 값($\Delta R/R_0$)은 0.2 내지 0.7인 것인, 변형 센서.

청구항 5

제 1 항에 있어서,
 상기 변형 센서는 30% 내지 60%의 변형률에서 게이지 인자는 1.5 내지 1.6인 것인, 변형 센서.

청구항 6

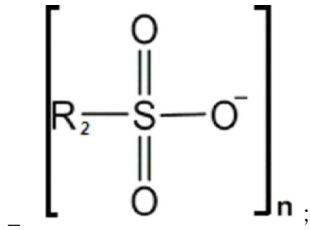
제 1 항에 있어서,
 상기 전도성 고분자는 비극성 고분자 및 극성 고분자의 혼합인 것인, 변형 센서.

청구항 7

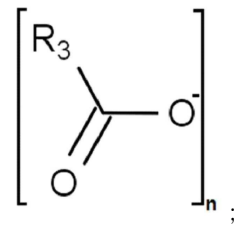
제 6 항에 있어서,
 상기 비극성 고분자는 폴리티오펜계, 폴리아닐린계, 폴리아세틸렌계, 폴리(3,4-에틸렌디옥시티오펜)계, 폴리(para-페닐렌)계 및 폴리(para-페닐렌비닐렌)계 중에서 선택되는 하나 이상을 포함하는 것이고,

상기 극성 고분자는 하기 화학식 2, 하기 화학식 3, 또는 하기 화학식 4로 표시되는 화합물을 포함하는 것인, 변형 센서:

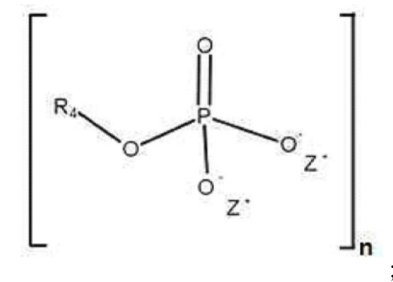
[화학식 2]



[화학식 3]



[화학식 4]



상기 화학식 2, 상기 화학식 3 및 상기 화학식 4에서,

R₂, R₃, 및 R₄는 각각 독립적으로, 선형 또는 비선형의 C₁₋₅₀의 알킬기, 선형 또는 비선형의 C₁₋₅₀의 헤테로알킬기, 선형 또는 비선형의 C₅₋₅₀의 아릴기, 선형 또는 비선형의 C₂₋₅₀의 헤테로아릴기, 선형 또는 비선형의 C₁₋₃₀의 알킬 에스테르기, 선형 또는 비선형의 C₁₋₃₀의 알킬카보네이트기 및 선형 또는 비선형의 C₁₋₃₀의 카보닐기에서 선택되는 것이고,

Z⁺는 H⁺, Li⁺, Rb⁺, Cs⁺, NH₄⁺, K⁺ 및 Na⁺에서 선택되는 것이고,

n은 1 이상인 것임.

청구항 8

제 1 항에 있어서,

기관을 추가 포함하는, 변형 센서.

청구항 9

제 8 항에 있어서,

상기 기관은 폴리디메틸실록산, 실리콘 고무, 스티렌 에틸렌 부틸렌 스티렌, 열가소성 폴리우레탄, 에틸렌 부타디엔, 아크릴레이트 유도체 및 폴리이미드 중에서 선택되는 하나 이상을 포함하는 것인, 변형 센서.

청구항 10

양성자화 이온성 액체 및 전도성 고분자를 포함하는, 변형 센서로서,

상기 양성자화 이온성 액체는 양이온 및 음이온을 포함하는 것이고,

상기 양이온은 3-에틸이미다졸륨 양이온, 3-프로필이미다졸륨 양이온, 또는 3-부틸이미다졸륨 양이온이고, 상기 음이온은 비스(트리플루오로메틸 설퍼닐)이미드 음이온이며,

상기 변형 센서는 1% 내지 30%의 변형률에서 저항 신호를 검출하는 것인, 변형 센서.

청구항 11

제 10 항에 있어서,

상기 변형 센서는 1% 내지 30%의 변형률에서 상대 저항 변화 값($\Delta R/R_0$)은 0.009 내지 0.7인 것인, 변형 센서.

청구항 12

제 10 항에 있어서,

상기 변형 센서는 1% 내지 5%의 변형률에서 상대 저항 변화 값($\Delta R/R_0$)은 0.009 내지 0.51인 것인, 변형 센서.

청구항 13

제 10 항에 있어서,

상기 전도성 고분자는 비극성 고분자 및 극성 고분자의 혼합인 것인, 변형 센서.

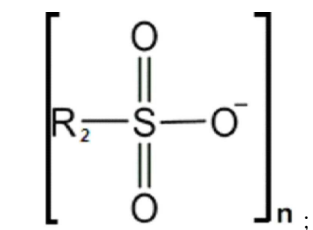
청구항 14

제 13 항에 있어서,

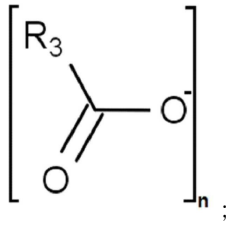
상기 비극성 고분자는 폴리티오펜계, 폴리아닐린계, 폴리아세틸렌계, 폴리(3,4-에틸렌디옥시티오펜)계, 폴리(para-페닐렌)계 및 폴리(para-페닐렌비닐렌)계 중에서 선택되는 하나 이상을 포함하는 것이고,

상기 극성 고분자는 하기 화학식 2, 하기 화학식 3, 또는 하기 화학식 4로 표시되는 화합물을 포함하는 것인, 변형 센서:

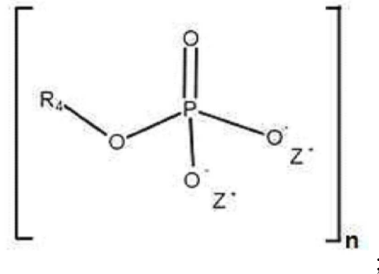
[화학식 2]



[화학식 3]



[화학식 4]



상기 화학식 2, 상기 화학식 3 및 상기 화학식 4에서,

R_2 , R_3 , 및 R_4 는 각각 독립적으로, 선형 또는 비선형의 C_{1-50} 의 알킬기, 선형 또는 비선형의 C_{1-50} 의 헤테로알킬기, 선형 또는 비선형의 C_{5-50} 의 아릴기, 선형 또는 비선형의 C_{2-50} 의 헤테로아릴기, 선형 또는 비선형의 C_{1-30} 의 알킬 에스테르기, 선형 또는 비선형의 C_{1-30} 의 알킬카보네이트기 및 선형 또는 비선형의 C_{1-30} 의 카보닐기에서 선택되는 것이고,

Z^+ 는 H^+ , Li^+ , Rb^+ , Cs^+ , NH_4^+ , K^+ 및 Na^+ 에서 선택되는 것이고,

n 은 1 이상인 것임.

청구항 15

제 10 항에 있어서,

기관을 추가 포함하는, 변형 센서.

청구항 16

제 15 항에 있어서,

상기 기관은 폴리디메틸실록산, 실리콘 고무, 스티렌 에틸렌 부틸렌 스티렌, 열가소성 폴리우레탄, 에틸렌 부타디엔, 아크릴레이트 유도체 및 폴리이미드 중에서 선택되는 하나 이상을 포함하는 것인, 변형 센서.

청구항 17

제 1 항 또는 제 10 항에 따른 변형 센서를 포함하는, 생체 신호 측정용 센서.

발명의 설명

기술 분야

본원은 신축성 전도성 고분자 기반 변형 센서에 관한 것이다.

배경 기술

[0001]

[0002] 현재 투명전극은 액정 디스플레이(LCD; liquid crystal display), 플라스마 디스플레이 패널(PDP; plasma display panel), 유기 발광 다이오드(OLED; organic light-emitting diode) 등의 평판 디스플레이, 터치스크린, 박막 태양전지에 다양하게 활용되고 있다. 최근 투명전극을 사용하는 인체 부착형 전자소자 등 신축성 있는 전자소자 구현을 위한 소재 개발 연구가 활발히 진행되고 있으며, 특히 전자소자의 전극 및 도선을 이루는 신축성 있는 전도체에 대한 연구가 주류를 이루고 있다. 현재까지 보고된 대부분의 신축성 있는 전도체는 비신축성인 금속 물질을 구부러진 형태로 만들거나 탄성체에 혼합하여 신축성을 획득해왔다. 그러나, 이러한 신축성 있는 전도체는 특정 구조나 기판에 국한됨으로써 향후 그 이용 범위가 제한된다.

[0003] 상기 신축성 있는 전자 소자는 딱딱한 기판에 형성된 소자와는 달리 반복적인 스트레스가 가해져도 상기 소자의 특성을 유지하며, 쉽게 구부러지는 특징이 있고, 신축성 디스플레이, 터치 스크린 등의 구부러지는 전자부품 또는 자유 곡면 상에 부착가능한 센서 등에 사용될 수 있다. 현재까지 상기 전자소자는 비정질 또는 결정질 산화물, 탄소나노튜브, 금속 나노선 등에 기반한 복합소재 등이 주로 이용되고 있으나, 이러한 복합 소재들은 모두 고형 전극 부류에 해당하기 때문에 궁극적인 신축성 소자에 적용하여 구동 안정성을 확보하기에는 어려움이 있는 실정이다.

선행기술문헌

특허문헌

[0004] (특허문헌 0001) 대한민국 등록특허공보 제10-2408128호.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 본원은 신축성 전도성 고분자 기반 변형 센서를 제공하고자 한다.

[0006] 그러나, 본원이 해결하고자 하는 과제는 이상에서 언급한 과제로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 과제들은 아래의 기재로부터 통상의 기술자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

[0007] 본원의 제 1 측면은, 양성자화 이온성 액체 및 전도성 고분자를 포함하는, 변형 센서로서, 상기 양성자화 이온성 액체는 양이온 및 음이온을 포함하는 것이고, 상기 양이온은 이미다졸륨 양이온 또는 3-메틸이미다졸륨 양이온이고, 상기 음이온은 비스(트리플루오로메틸 설포닐)이미드 음이온이며, 상기 변형 센서는 약 1% 내지 약 60%의 변형률에서 저항 신호를 검출하는 것인, 변형 센서를 제공한다.

[0008] 본원의 제 2 측면은, 양성자화 이온성 액체 및 전도성 고분자를 포함하는, 변형 센서로서, 상기 양성자화 이온성 액체는 양이온 및 음이온을 포함하는 것이고, 상기 양이온은 3-에틸이미다졸륨 양이온, 3-프로필이미다졸륨 양이온, 또는 3-부틸이미다졸륨 양이온이고, 상기 음이온은 비스(트리플루오로메틸 설포닐)이미드 음이온이며, 상기 변형 센서는 약 1% 내지 약 30%의 변형률에서 저항 신호를 검출하는 것인, 변형 센서를 제공한다.

[0009] 본원의 제 3 측면은, 제 1 측면 또는 제 2 측면에 따른 변형 센서를 포함하는, 생체 신호 측정용 센서를 제공한다.

발명의 효과

[0010] 본원의 구현예들에 따른 변형 센서는, 양성자화 이온성 액체의 종류에 따라 변형률 제어가 가능하고, 각각 다른 작동 범위에서 활용 가능할 수 있다.

[0011] 본원의 구현예들에 따른 변형 센서는, 반복적인 인장 변형에도 주름, 균열, 및 결함이 발생하지 않는 우수한 신축성 및 안정성을 나타내는 특징이 있다.

[0012] 본원의 구현예들에 따른 변형 센서는, 단순한 용액 공정에 의해 제작할 수 있다.

[0013] 본원의 구현예들에 따른 변형 센서는, 약 60%의 높은 변형률에서도 안정적으로 저항 감지가 가능한 것으로서, 종래의 낮은 변형률(10% 이하)에서만 활용 가능하던 무기계 소재 기반 변형 센서의 단점을 보완할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0014] 도 1은, 본원의 일 실시예에 있어서, (a) PEDOT:PSS와 이온성 액체(IL)의 이온 교환으로 인한 구조적 변화; (b) 양성자화 이온성 액체(p -ILs)와 비양성자화 이온성 액체(ap -ILs)의 화학 구조; (c) p -RIM:TFSI 합성 스킴; 및 (d) RMIM:TFSI 합성 스킴을 나타낸 것이다.
- 도 2는, 본원의 일 실시예에 있어서, (a) 알킬 사슬 길이에 따른 PEDOT:PSS/IL 필름의 전기 전도도; 및 (b) PEDOT:PSS/IL 필름의 라만 스펙트럼(화살표는 p -IL에 의해 유도된 PEDOT의 구조적 변화를 나타냄)을 나타낸 것이다.
- 도 3은, 본원의 일 실시예에 있어서, (a) PEDOT:PSS 및 PEDOT:PSS/IL 필름의 2D GIWAXD 상보 공간 지도; (b) 2D GIWAXD 데이터의 해당 라인컷 프로파일; (c) PEDOT:PSS/IL 필름의 OOP 방향 (010) 거리 및 (d) 해당 $L_c(010)$ 값; 및 (e) p -IL에 의해 유발된 PEDOT:PSS의 구조적 변화에 대한 도식화를 나타낸 것이다.
- 도 4는, 본원의 일 실시예에 있어서, (a) PEDOT:PSS/IL 필름의 평균 균열 발생 변형률(COS ; ϵ_c); (b) PEDOT:PSS 및 PEDOT:PSS/IL 필름의 탄성 계수(Elastic Modulus) 및 인장 변형률(Tensile strain); 및 (c) PEDOT:PSS 및 PEDOT:PSS/IL 필름의 변형률에 따른 저항 변화(R/R_0)를 나타낸 것이다.
- 도 5는, 본원의 일 실시예에 있어서, (a) 변형률에 따른 상대적인 저항 변화 ($\Delta R/R_0$)(삽입도는 PEDOT:PSS/ p -IL 필름의 GF 값을 나타냄); (b) PEDOT:PSS/ p -IL로 제작한 변형 센서의 감지 범위; (c) 다양한 변형률에서 측정된 PEDOT:PSS/ p -IL 전극의 $\Delta R/R_0$; (d) PEDOT:PSS/ p -HIM:TFSI 전극으로 제작된 변형 센서를 손가락에 부착한 사진 (왼쪽) 및 도식도(오른쪽); (e) 다양한 손가락 각도에서 손가락 굽힘 및 이완 동작에 대한 변형 센서의 저항 반응(스케일 바: 2cm); 및 (f) 반복적인 굽힘(60°) 및 이완(0°) 주기에서 변형 센서의 저항 반응 (스케일 바: 1.5cm)을 나타낸 것이다.
- 도 6은, 본원의 일 실시예에 있어서, PEDOT:PSS/ p -IL 전극의 1000 주기까지의 저항비(R/R_0)를 나타낸 것이다.

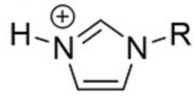
발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0015] 이하, 첨부한 도면을 참조하여 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 본원의 구현예 및 실시예를 상세히 설명한다. 그러나 본원은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며 여기에서 설명하는 구현예 및 실시예에 한정되지 않는다. 그리고 도면에서 본 발명을 명확하게 설명하기 위해서 설명과 관계없는 부분은 생략하였으며, 명세서 전체를 통하여 유사한 부분에 대해서는 유사한 도면 부호를 붙였다.
- [0016] 본원 명세서 전체에서, 어떤 부분이 다른 부분과 "연결"되어 있다고 할 때, 이는 "직접적으로 연결"되어 있는 경우뿐 아니라, 그 중간에 다른 소자를 사이에 두고 "전기적으로 연결"되어 있는 경우도 포함한다.
- [0017] 본원 명세서 전체에서, 어떤 부재가 다른 부재 "상에" 위치하고 있다고 할 때, 이는 어떤 부재가 다른 부재에 접해 있는 경우뿐 아니라 두 부재 사이에 또 다른 부재가 존재하는 경우도 포함한다.
- [0018] 본원 명세서 전체에서, 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성 요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미한다.
- [0019] 본 명세서에서 사용되는 정도의 용어 "약", "실질적으로" 등은 언급된 의미에 고유한 제조 및 물질 허용오차가 제시될 때 그 수치에서 또는 그 수치에 근접한 의미로 사용되고, 본원의 이해를 돕기 위해 정확하거나 절대적인 수치가 언급된 개시 내용을 비양심적인 침해자가 부당하게 이용하는 것을 방지하기 위해 사용된다.
- [0020] 본원 명세서 전체에서 사용되는 정도의 용어 “~ 하는 단계” 또는 “~의 단계”는 “~를 위한 단계”를 의미하지 않는다.
- [0021] 본원 명세서 전체에서, 마쿠시 형식의 표현에 포함된 "이들의 조합(들)"의 용어는 마쿠시 형식의 표현에 기재된 구성 요소들로 이루어진 군에서 선택되는 하나 이상의 혼합 또는 조합을 의미하는 것으로서, 상기 구성 요소들로 이루어진 군에서 선택되는 하나 이상을 포함하는 것을 의미한다.
- [0022] 본원 명세서 전체에서, "A 및/또는 B"의 기재는, "A 또는 B, 또는 A 및 B"를 의미한다.
- [0023] 본원 명세서 전체에서, 알킬기의 예시로서 기재되는 것은 일반적인 이성질체의 종류를 내재적으로 포함하는 것

을 의미한다.

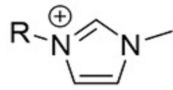
[0024]

본원 명세서 전체에서, "p-RIM"은



(여기서, R은 수소, 메틸기, 에틸기, 프로필기, 또는 부

틸기임)로서 표시되며, "RMIM"은
(여기서, R은 수소, 메틸기, 에틸기, 프로필기, 또는
부틸기임)로서 표시되는 것이다.



[0026]

이하, 본원의 구현예를 상세히 설명하였으나, 본원이 이에 제한되지 않을 수 있다.

[0028]

본원의 제 1 측면은, 양성자화 이온성 액체 및 전도성 고분자를 포함하는, 변형 센서로서, 상기 양성자화 이온성 액체는 양이온 및 음이온을 포함하는 것이고, 상기 양이온은 이미다졸륨 양이온 또는 3-메틸이미다졸륨 양이온이고, 상기 음이온은 비스(트리플루오로메틸 설포닐)이미드 음이온이며, 상기 변형 센서는 약 1% 내지 약 60%의 변형률에서 저항 신호를 검출하는 것인, 변형 센서를 제공한다.

[0029]

본원의 일 구현예에 있어서, 상기 변형 센서는 상기 양성자화 이온성 액체 및 상기 전도성 고분자를 혼합한 후, 박막 형태로 제조한 것일 수 있다.

[0030]

본원 명세서 전체에서, 상기 이미다졸륨 양이온은 p-HIM으로 표시하고, 상기 3-메틸이미다졸륨 양이온은 p-MIM으로 표시한다.

[0031]

본원의 일 구현예에 있어서, 상기 변형 센서의 균열 발생 변형률(crack onset strain; COS)은 약 60% 이상, 또는 약 60% 내지 약 70%인 것일 수 있다.

[0032]

본원의 일 구현예에 있어서, 상기 변형 센서는 균열 발생 변형률은 약 60% 이상으로서, 약 60%까지의 인장 변형을 가하여도 전도 경로를 끊는 균열이 발생하지 않으므로 안정적인 저항 감지가 가능할 수 있다.

[0033]

본원의 일 구현예에 있어서, 상기 변형 센서는 약 1% 내지 약 60%, 약 3% 내지 약 60%, 약 5% 내지 약 60%, 약 10% 내지 약 60%, 약 20% 내지 약 60%, 약 30% 내지 약 60%, 약 40% 내지 약 60%, 또는 약 50% 내지 약 60%의 변형률에서 저항 신호를 검출하는 것일 수 있다.

[0034]

본원의 일 구현예에 있어서, 상기 변형 센서는 약 1% 내지 약 60%의 변형률에서 상대 저항 변화 값($\Delta R/R_0$)은 약 0.003 내지 약 0.7인 것일 수 있다.

[0035]

상기 상대 저항 변화 값($\Delta R/R_0$)에서, R_0 은 변형 센서의 초기 저항이고, ΔR 은 인장된 변형 센서의 저항 변화를 의미한다.

[0036]

본원의 일 구현예에 있어서, 상기 변형 센서는 약 30% 내지 약 60%의 변형률에서 상대 저항 변화 값($\Delta R/R_0$)은 약 0.2 내지 약 0.7인 것일 수 있다.

[0037]

본원의 일 구현예에 있어서, 상기 이온성 액체가 p-HIM을 포함하는 것인 경우, 상기 변형 센서는 약 30% 내지 약 60%의 변형률에서 상대 저항 변화 값($\Delta R/R_0$)은 약 0.2 내지 약 0.5, 약 0.2 내지 약 0.47, 약 0.23 내지 약 0.5, 또는 약 0.23 내지 약 0.47일 수 있다.

[0038]

본원의 일 구현예에 있어서, 상기 이온성 액체가 p-HIM을 포함하는 것인 경우, 상기 변형 센서는 약 60%의 변형률에서 상대 저항 변화 값($\Delta R/R_0$)은 약 0.4 내지 약 0.5일 수 있다.

[0039]

본원의 일 구현예에 있어서, 상기 이온성 액체가 p-MIM을 포함하는 것인 경우, 상기 변형 센서는 약 30% 내지 약 60%의 변형률에서 상대 저항 변화 값($\Delta R/R_0$)은 약 0.29 내지 약 0.75, 약 0.3 내지 약 0.75, 약 0.29 내지 약 0.7 또는 약 0.3 내지 약 0.7일 수 있다.

[0040]

본원의 일 구현예에 있어서, 상기 이온성 액체가 p-MIM을 포함하는 것인 경우, 상기 변형 센서는 약 60%의 변형

률에서 상대 저항 변화 값($\Delta R/R_0$)은 약 0.65 내지 약 0.75일 수 있다.

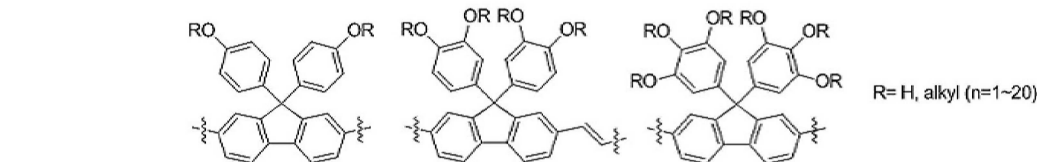
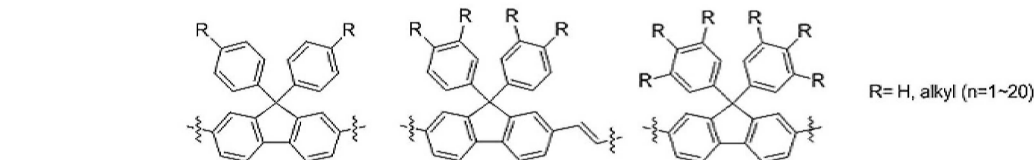
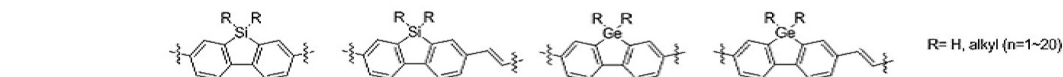
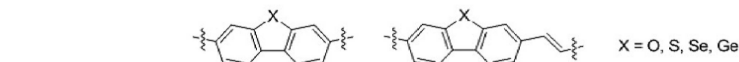
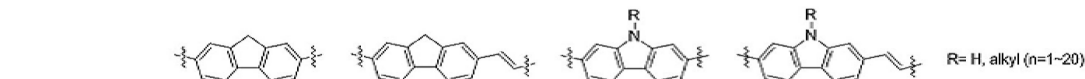
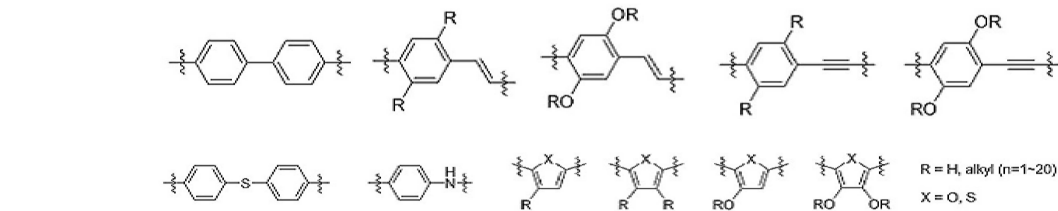
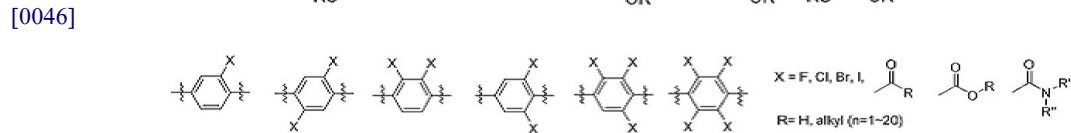
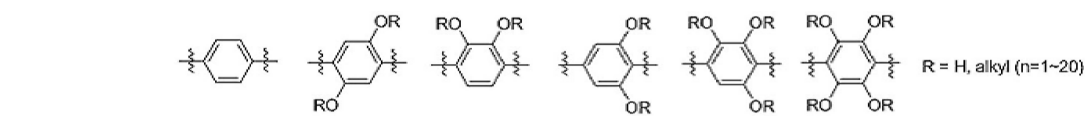
[0041] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 변형 센서는 약 0° 내지 약 90° 의 각도로 굽힘을 가하고, 이완하는 굽힘 이완 주기를 반복하여도 안정적인 저항 신호 감지가 가능할 수 있다.

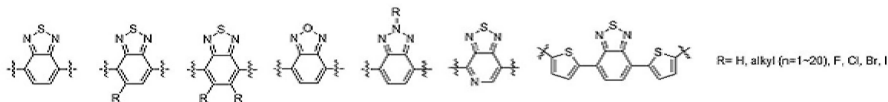
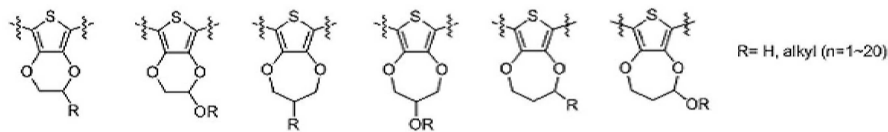
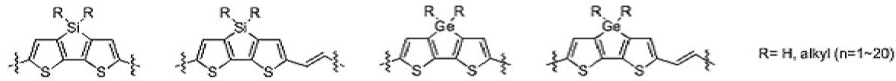
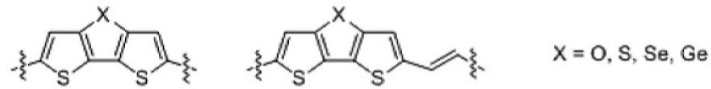
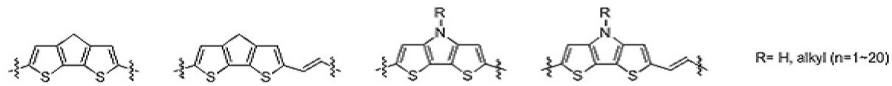
[0042] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 변형 센서는 약 30% 내지 약 60%의 변형률에서 게이지 인자(gauge factor; GF)는 약 1.5 내지 약 1.6일 수 있다. 상기 게이지 인자는 $(\Delta R/R_0)/\varepsilon$ 로 표시되며, 여기서 R_0 은 박막의 초기 저항이고, ΔR 은 인장된(stretched) 박막의 저항 변화이며, ε 는 적용된 변형률이다.

[0043] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 전도성 고분자는 비극성 고분자 및 극성 고분자의 혼합(mixture)일 수 있다.

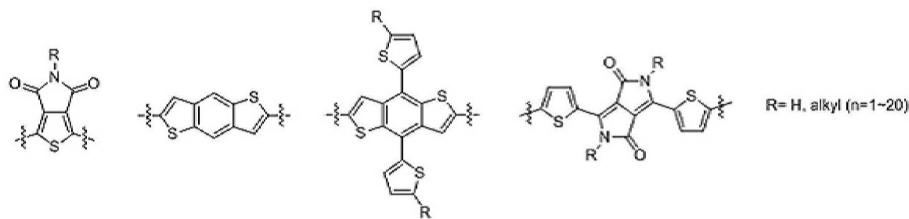
[0044] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 비극성 고분자는 콘쥬게이트화된 고분자이고, 상기 극성 고분자는 계면 활성제이자 도판트(dopant)인 것일 수 있다.

[0045] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 콘쥬게이트화된 고분자는 $\text{[Ar}_1\text{--Ar}_2\text{]}_n$ 로 표시되는 화합물로서, Ar_1 및 Ar_2 는 각각 독립적으로 하기 화합물들 중에서 선택되는 것을 포함할 수 있다:



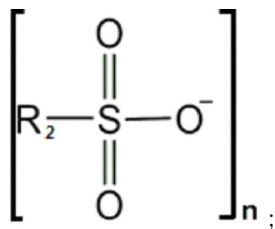


및



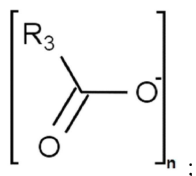
[0047] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 비극성 고분자는 폴리티오펜계, 폴리아닐린계, 폴리아세틸렌계, 폴리(3,4-에틸렌디옥시티오펜)계, 폴리(para-페닐렌)계 및 폴리(para-페닐렌비닐렌)계 중에서 선택되는 하나 이상을 포함하는 것이고, 상기 극성 고분자는 하기 화학식 2, 하기 화학식 3, 또는 하기 화학식 4로 표시되는 화합물을 포함하는 것일 수 있다:

[0048] [화학식 2]



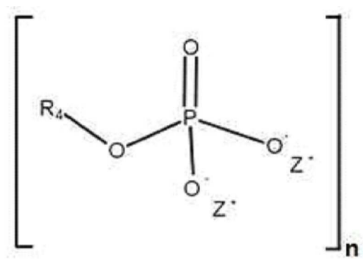
[0049]

[0050] [화학식 3]



[0051]

[0052] [화학식 4]



[0053]

[0054]

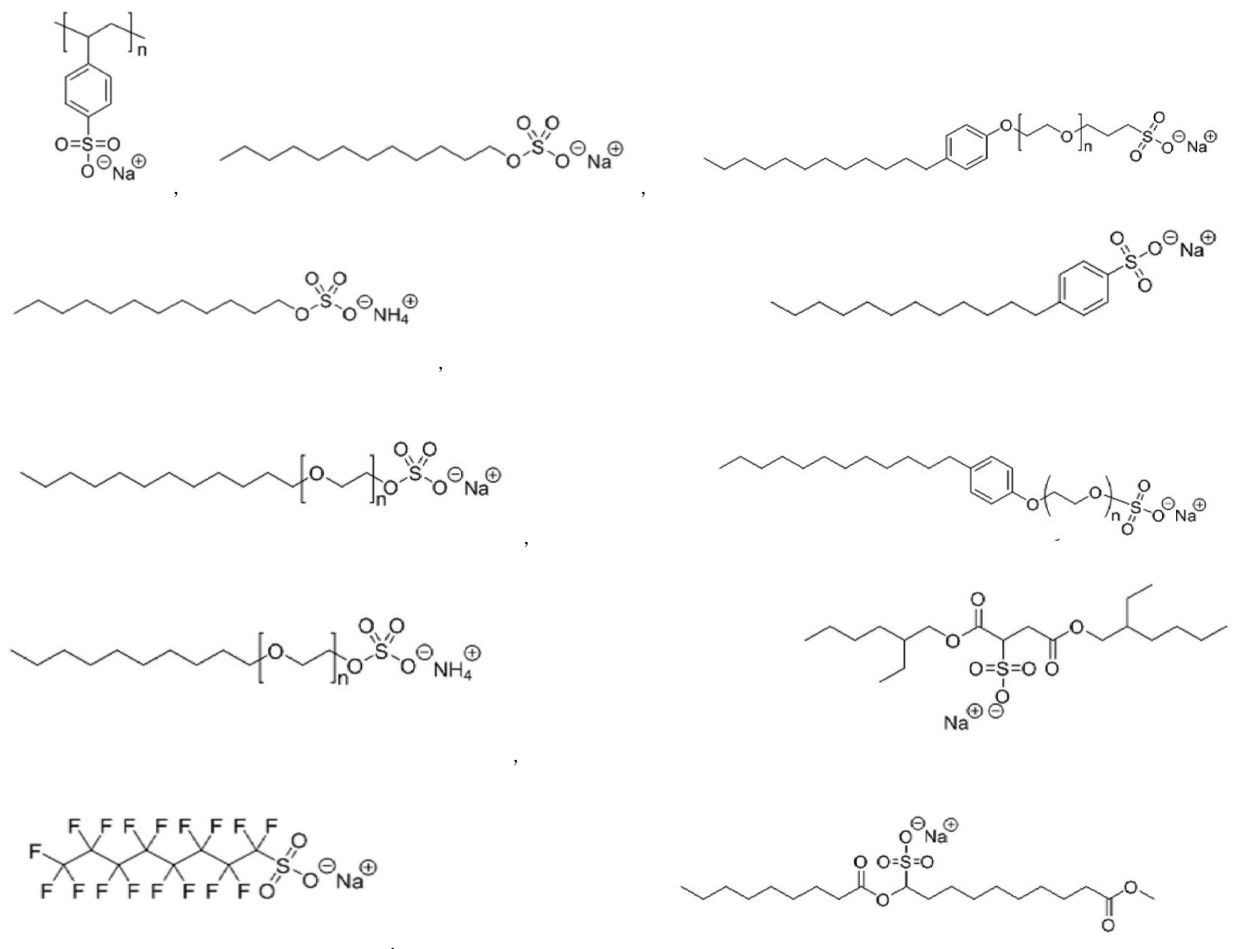
상기 화학식 2, 상기 화학식 3 및 상기 화학식 4에서, R₂, R₃, 및 R₄는 각각 독립적으로, 선형 또는 비선형의 C₁₋₅₀의 알킬기, 선형 또는 비선형의 C₁₋₅₀의 헤테로알킬기, 선형 또는 비선형의 C₅₋₅₀의 아릴기, 선형 또는 비선형의 C₂₋₅₀의 헤테로아릴기, 선형 또는 비선형의 C₁₋₃₀의 알킬에스테르기, 선형 또는 비선형의 C₁₋₃₀의 알킬카보네이트기 및 선형 또는 비선형의 C₁₋₃₀의 카보닐기에서 선택되는 것이고, Z⁺는 H⁺, Li⁺, Rb⁺, Cs⁺, NH₄⁺, K⁺ 및 Na⁺에서 선택되는 것이고, n은 1 이상인 것임.

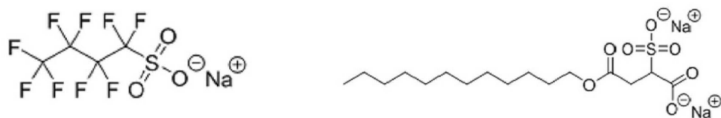
[0055]

본원의 일 구현예에 있어서, 상기 화학식 2, 상기 화학식 3 및 상기 화학식 4에서, n은 약 1 내지 약 300, 약 1 내지 약 280, 약 1 내지 약 260, 약 1 내지 약 240, 약 1 내지 약 220, 약 1 내지 약 200, 약 10 내지 약 300, 약 10 내지 약 280, 약 10 내지 약 260, 약 10 내지 약 240, 약 10 내지 약 220, 또는 약 10 내지 약 200일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 구체적으로, 상기 화학식 2, 상기 화학식 3 및 상기 화학식 4에서, n은 약 1 내지 약 200인 것이 가장 바람직하다.

[0056]

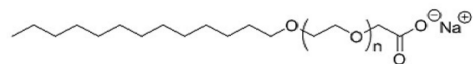
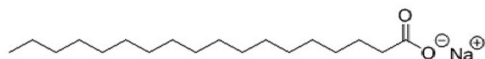
본원의 일 구현예에 있어서, 상기 화학식 2는 하기 화합물들 중에서 선택되는 것을 포함할 수 있다:



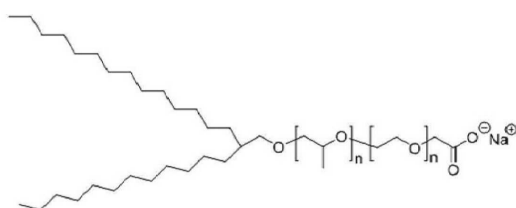
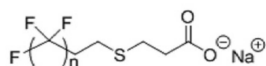
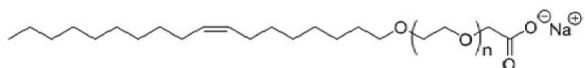
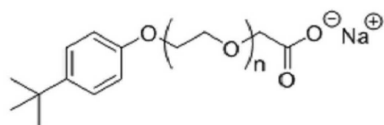
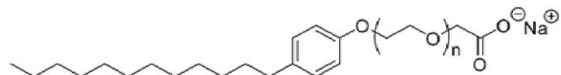
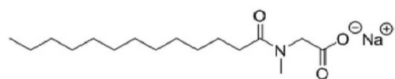


, 밋

[0058] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 화학식 3은 하기 화합물들 중에서 선택되는 것을 포함할 수 있다:

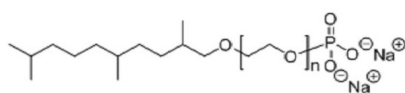
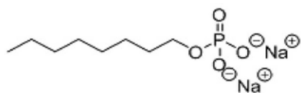
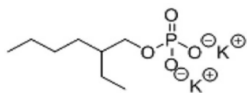


[0059]

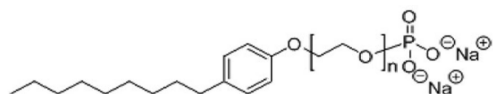
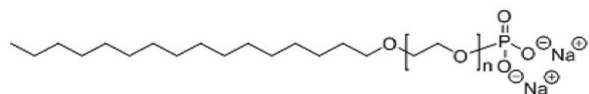


, 밋

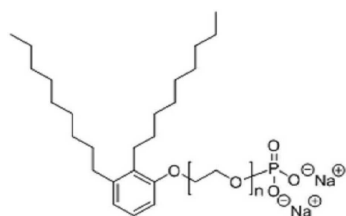
[0060] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 화학식 4는 하기 화합물들 중에서 선택되는 것을 포함할 수 있다:



[0061]



밋



[0062] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 비극성 고분자는 폴리-(3,4-에틸렌디옥시티오펜)인 것이고, 상기 극성 고분자는 폴리스티렌 술포네이트를 포함하는 것일 수 있다. 상기 폴리-(3,4-에틸렌디옥시티오펜)는 추가로 물, 알콜 또는 유전상수가 큰 용매와 잘 혼합되므로 상기 용매와 희석하여 쉽게 코팅할 수 있으며, 코팅막을 형성하였을 때도 기타 전도성 고분자인 폴리아닐린계, 폴리피롤계 등과 비교해 우수한 투명도를 나타낼 수 있다.

[0063] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 양성자화된 이온성 액체의 함량은 상기 전도성 고분자 100 중량부에 대해 약 1 중량부 내지 약 1,000 중량부인 것일 수 있다. 구체적으로, 상기 양성자화된 이온성 액체의 함량은 상기 전도

성 고분자 100 중량부에 대해 약 1 중량부 내지 약 1,000 중량부, 약 1 중량부 내지 약 900 중량부, 약 1 중량부 내지 약 800 중량부, 약 1 중량부 내지 약 700 중량부, 약 1 중량부 내지 약 600 중량부, 약 1 중량부 내지 약 500 중량부, 약 10 중량부 내지 약 1,000 중량부, 약 10 중량부 내지 약 900 중량부, 약 10 중량부 내지 약 800 중량부, 약 10 중량부 내지 약 700 중량부, 약 10 중량부 내지 약 600 중량부, 또는 약 10 중량부 내지 약 500 중량부일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 구체적으로, 상기 양성자화된 이온성 액체의 함량은 상기 전도성 고분자 100 중량부에 대해 약 1.5 중량부일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.

[0064] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 개질된 전도성 고분자 박막 조성물에서 상기 비극성 고분자:상기 극성 고분자의 질량비는 약 1:0.1 내지 약 1:10인 것일 수 있다. 구체적으로, 상기 개질된 전도성 고분자 박막 조성물에서 상기 비극성 고분자:상기 극성 고분자의 질량비는 약 1:0.1 내지 약 1:10, 약 1: 0.1 내지 약 1:8, 약 1: 0.1 내지 약 1:6, 약 1: 0.1 내지 약 1:4, 약 1: 0.1 내지 약 1:2, 약 1: 0.4 내지 약 1:2, 또는 약 1: 0.6 내지 약 1:2일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.

[0065] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 양성자화 이온성 액체는 상기 극성 고분자의 일부를 상기 비극성 고분자로부터 분리하는 것일 수 있다.

[0067] 본원의 제 2 측면은, 양성자화 이온성 액체 및 전도성 고분자를 포함하는, 변형 센서로서, 상기 양성자화 이온성 액체는 양이온 및 음이온을 포함하는 것이고, 상기 양이온은 3-에틸이미다졸륨 양이온, 3-프로필이미다졸륨 양이온, 또는 3-부틸이미다졸륨 양이온이고, 상기 음이온은 비스(트리플루오로메틸 설퍼닐)이미드 음이온이며, 상기 변형 센서는 약 1% 내지 약 30%의 변형률에서 저항 신호를 검출하는 것인, 변형 센서를 제공한다.

[0068] 본원의 제 1 측면과 중복되는 부분들에 대해서는 상세한 설명을 생략하였으나, 본원의 제 1 측면에 대해 설명한 내용은 본원의 제 2 측면에서 그 설명이 생략되었다더라도 동일하게 적용될 수 있다.

[0069] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 변형 센서는 상기 양성자화 이온성 액체 및 상기 전도성 고분자를 혼합한 후, 박막 형태로 제조한 것일 수 있다.

[0070] 본원 명세서 전체에서, 상기 3-에틸이미다졸륨 양이온은 p-EIM으로 표시하고, 3-프로필이미다졸륨 양이온은 p-PIM으로 표시하고, 3-부틸이미다졸륨 양이온 p-BIM으로 표시한다.

[0071] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 변형 센서의 균열 발생 변형률은 약 30% 이상, 약 35% 이상, 약 30% 내지 약 50%, 또는 약 30% 내지 약 40%일 수 있다.

[0072] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 변형 센서는 약 1% 내지 약 30%, 약 1% 내지 약 20%, 약 1% 내지 약 10%, 약 1% 내지 약 5%, 또는 약 1% 내지 약 3%의 변형률에서 저항 신호를 검출하는 것일 수 있다.

[0073] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 변형 센서는 약 1% 내지 약 30%의 변형률에서 상대 저항 변화 값($\Delta R/R_0$)은 약 0.009 내지 약 0.7 또는 약 0.01 내지 약 0.7인 것일 수 있다.

[0074] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 변형 센서는 약 1% 내지 약 5%의 변형률에서 상대 저항 변화 값($\Delta R/R_0$)은 약 0.009 내지 약 0.051, 약 0.009 내지 약 0.05, 약 0.01 내지 약 0.051, 또는 약 0.01 내지 약 0.05인 것일 수 있다.

[0075] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 변형 센서는 약 1% 내지 약 3%의 변형률에서 상대 저항 변화 값($\Delta R/R_0$)은 약 0.01 내지 약 0.045인 것일 수 있다.

[0076] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 변형 센서는 약 1% 내지 약 5% 또는 약 1% 내지 약 3%의 변형률 범위에서 현저한 저항 변화를 감지할 수 있는 것으로서, 저변형 애플리케이션에 적합한 것일 수 있다.

[0077] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 변형 센서는 각각 기판을 추가 포함하는 것일 수 있다.

[0078] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 기판은 폴리디메틸실록산, 실리콘 고무, 스티렌 에틸렌 부틸렌 스티렌, 열가소성 폴리우레탄, 에틸렌 부타디엔, 아크릴레이트 유도체 및 폴리이미드 중에서 선택되는 하나 이상을 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되지 않을 수 있다.

[0080] 본원의 제 3 측면은, 제 1 측면 또는 제 2 측면에 따른 변형 센서를 포함하는, 생체 신호 측정용 센서를 제공한

다.

- [0081] 본원의 제 1 측면 및 제 2 측면과 중복되는 부분들에 대해서는 상세한 설명을 생략하였으나, 본원의 제 1 측면 및 제 2 측면에 대해 설명한 내용은 본원의 제 3 측면에서 그 설명이 생략되었더라도 동일하게 적용될 수 있다.
- [0082] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 변형 센서는 생체 신호 측정용 센서로 사용되는 것일 수 있으나, 이에 제한되지 않을 수 있다.
- [0083] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 생체 신호 측정용 센서는 피부의 평면 및 곡면에 부착되는 것일 수 있으나, 이에 제한되지 않을 수 있다.
- [0084] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 생체 신호 측정용 센서는 근전도 센서(EMG; electromyogram sensors), 심전도 센서(ECG; electrocardiogram sensors), 뇌전도 센서(EEG; electroencephalogram sensors) 침 전극 센서, 이식용 전극 센서, 유연 전극, 견성 전극, 안전위도 센서(EOG; electrooculography) 및 흡착 전극 중에서 선택되는 것일 수 있으나, 이에 제한되지 않을 수 있다.
- [0085] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 생체 측정용 센서는 심전도 센서로 사용될 수 있다.
- [0086] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 심전도 센서는 가슴, 손목, 손등, 팔꿈치, 및 발목 등의 피부에 부착하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 심전도 센서는 손목에 젤 타입 전극을 부착하여 측정하는 것일 수 있으나, 이에 제한되지 않을 수 있다.
- [0087] 상기 심전도 센서는 보통 Ag/AgCl, Au 등의 전극 소재를 사용하지만 본원은 곡면으로 된 곳에 사용할 수 있는 전극 소재를 사용하는 것일 수 있다.
- [0088] 구체적으로, 상기 근전도 센서는 근육의 활동 전위를 측정하는 센서를 의미하며, 근전도 센서를 이용하여 근육의 수축, 이완된 정도를 수치로 확인할 수 있다. 상기 심전도 센서는 심장의 활동으로 인하여 생긴 작은 전위 변화를 신체 표면의 적당한 부위에서 일정한 방법으로 유도해서 증폭한 것을 측정하는 것이다. 상기 뇌전도 센서는 뇌의 활동 상태에 따라 일어나는 전위 변화를 생체의 머리에서 도출하여 기록한 전기적 생체 신호를 측정하는 것이다.
- [0090] 이하, 본원에 대하여 실시예를 이용하여 좀더 구체적으로 설명하지만, 하기 실시예는 본원의 이해를 돕기 위하여 예시하는 것일 뿐, 본원의 내용이 하기 실시예에 한정되는 것은 아니다.

[실시예]

1. 실험 및 측정

이온성 액체 제조

1) p-RIM:Br 및 RMIM:Br의 합성

p-RIM:Br의 합성 : 이미다졸(15 mmol) 또는 1-알킬이미다졸(15 mmol)을 증류수 40 mL에 첨가한 혼합 용액에 브로민화수소 1 당량을 천천히 적가한 후 실온에서 24시간 교반하였다. 반응이 완료된 후 혼합물을 디에틸에테르(diethyl ether)로 세 번 (3 × 50 mL) 세척하였으며, 물층을 분리한 후 회전 증발기를 이용하여 용매를 감압 증류하여 제거하여 p-RIM:Br을 수득하였다 (여기서, R은 -H, 메틸, 에틸, 프로필, 또는 부틸임).

RMIM:Br의 합성 1-메틸이미다졸(36 mmol)을 아세트니트릴 15 mL에 첨가한 혼합 용액에 아이오도메탄(iodomethane) 또는 1-브로모알케인(1-bromoalkane)(여기서, 알케인은 메테인, 에테인, 프로페인, 또는 부테인임) 1 당량을 천천히 적가한 후 아르곤 가스 하에서 80℃에서 18시간 교반하였다. 반응이 완료된 후 용매를 감압 증류하여 제거한 후 증류수에 용해하여 디클로로메탄(dichloromethane)으로 세 번 (3 × 50 mL) 세척하였다. 물층을 분리한 후 회전 증발기를 이용하여 용매를 감압 증류하여 제거하여 RMIM:Br을 수득하였다. 이때, 상기 1-브로모알케인을 대신하여 1-아이오도알케인을 사용하여 RMIM:I을 수득할 수 있다.

2) p-RIM:TFSI 및 RMIM:TFSI의 합성 : 수득한 p-RIM:Br(6.0 mmol) 또는 RMIM:X(X=Br 또는 I) 6.0 mmol을 증류수 6 mL에 용해하였다. 혼합 용액에 비스(트리플루오로메탄)설폰이미드 리튬염

(bis(trifluoromethane)sulfonimide lithium salt) 1 당량을 첨가하여 실온에서 24 시간 교반하였다. 반응이 완료된 후 혼합물을 증류수 및 디클로로메탄(dichloromethane)에 용해하여 교반하였다. 유기층을 분별깔때기를 이용하여 분리한 후 MgSO_4 를 첨가하여 수분을 제거하였다. 회전 증발기를 이용하여 유기 용매를 감압 증류하여 제거하여 p-RIM:TFSI 또는 RMIM:TFSI를 수득하였다. 도 1의 c에 p-RIM:TFSI 합성 스킴을 나타내고, 도 1의 d에 RMIM:TFSI 합성 스킴을 나타냈다.

[0101] PEDOT:PSS/IL 용액 제조

[0102] 양성자화 이온성 액체(*p*-IL) 및 비양성자화 이온성 액체(*ap*-IL)를 각각 증류수에 용해하고, 10 분간 교반하여 이온성 액체 수용액을 제조하였다. 이온성 액체의 농도는 각각 33.8 mg/mL이다. 이후, 상기 이온성 액체 수용액을 전도성 고분자인 poly(3,4-ethylenedioxythiophene):poly(styrenesulfonate)(PEDOT:PSS)(PH 1000) 용액과 혼합하였다. PEDOT:PSS 용액과 *p*-HIM:TFSI, *p*-MIM:TFSI, 또는 *p*-EIM:TFSI 이온성 액체의 중량비는 1:1.5이고, PEDOT:PSS 용액과 *p*-PIM:TFSI 또는 *p*-BIM:TFSI의 중량비는 1:0.75이다. 완전히 혼합한 후, PEDOT:PSS 수분산물을 실온에서 4 시간 동안 교반하였다. PEDOT:PSS/IL 필름을 제조하기 위하여, 실리콘 산화물 기판(단단한 기판) 또는 styrene-ethylene-butylene-styrene(SEBS) 기판에 스핀코팅하였다. 실리콘 산화물 기판은 증류수, 아세톤, 및 에탄올에서 각각 10 분 동안 초음파로 세척하였고, UV 오존 처리하였다. PEDOT:PSS/IL 필름은 잔여 용매를 제거하기 위해 140°C에서 15 분 동안 열처리하였다. 그 후, PEDOT:PSS/IL 필름 상에 증류수를 떨어뜨려 10 초 동안 유지한 후, 기판을 회전시켜 증류수를 완전히 제거하였다. PEDOT:PSS/IL 필름은 진공 데시케이터에 1시간 동안 보관하여 잔여 용매를 제거하였다.

[0103] 전기전도도

[0104] 4-point-probe를 측정하여, PEDOT:PSS/IL 필름의 면저항을 측정하였다. 필름 두께는 원자힘현미경(AFM) 측정을 통해 수득하였다. 측정된 필름의 두께 및 면저항 값을 바탕으로 전기전도도를 계산하였다.

[0105] 라만분광법

[0106] 제작한 필름의 라만 스펙트럼은 532 nm의 파장대에서 측정되었으며, 필름의 손상을 막기 위해 레이저 강도는 0.7 mW로 설정하였다.

[0107] 2D GIWAXD

[0108] 2D GIWAXD는 한국의 포항 가속기 연구소에서 9A U-SAXS 빔라인을 이용하여 측정하였다. 2D GIWAXD 패턴을 수집하기 위해 2D 전하 결합 탐지기를 사용하였다. 샘플 탐지기(SSD) 간 거리와 X-선 파장은 각각 221 mm와 1.12 Å로 설정하였다. 모든 PEDOT:PSS/IL 필름은 진공 챔버 내에서 10 초 간의 노출과 입사 각도 0.13°에서 측정되었다.

[0109] 균열 발생 변형(crack onset strain: COS)

[0110] 1 시간 동안 UV 오존 처리한 SEBS 유연 기판 상에 PEDOT:PSS/IL 혼합 용액을 스핀코팅하고, 70°C에서 10 분간 어닐링하여 잔여 용매를 제거하였다. PEDOT:PSS/IL/SEBS 유연 필름을 제작한 신축성 측정 지그에 올려 광학 현미경을 사용하여 각 변형률에 대한 균열 이미지를 획득하여 필름의 균열 발생 변형값을 측정하였다.

[0111] 인장-변형(tensile strain) 분석

[0112] 실리콘 산화물 기판 위 FDTS(perfluorooctyltrichlorosilane)의 자가조립단층으로 개질된 이산화규소 기판 상에 PEDOT:PSS/IL 혼합 용액 떨어뜨리고, 50°C에서 12 시간 동안 건조시켜, 기판 없이 독립적으로 존재하는 PEDOT:PSS/IL 필름을 제작하였다. 인장 변형률과 탄성계수는 범용 시험 기기로 측정하였다.

[0113] 전기적 저항 비

[0114] PEDOT:PSS/IL/SEBS 유연 필름은 상기 서술한 과정과 동일하게 제조하였다. 변형 및 신축성 측정 기기에 필름을 고정한 후, 변형률을 5%씩 증가시켜가며 저항을 측정하였다.

[0115] 변형 센서

[0116] PEDOT:PSS/p-HIM:TFSI/SEBS 유연 필름은 상기 서술한 과정과 동일하게 제조하였다. PEDOT:PSS/p-HIM:TFSI 필름의 양 끝에 은 접착제를 이용해 구리 전선을 부착하였다. 절연 테이프를 이용하여 구리 전선을 단단히 고정하였

다. 제작된 PEDOT:PSS/p-HIM:TFSI 변형 센서를 장갑을 낀 왼쪽 검지손가락 위에 테이프를 이용해 고정하였다. 키슬리 2450 소스 측정장치에 작동 전압을 0.1 V 인가하여 전기적 성능을 측정하였다.

2. 결과

높은 변형률($\epsilon > 60\%$)에서 PEDOT:PSS/p-IL 박막의 안정성과 내구성을 모두 입증하기 위하여, 인장(stretching) 중 저항 신호를 감지하는 변형 센서(strain sensor)를 제작하였다. 변형 민감도를 평가하는 중요한 파라미터인 게이지 인자(gauge factor; GF)는 $(\Delta R/R_0)/\epsilon$ 로 표시되며, 여기서 R_0 은 박막의 초기 저항이고, ΔR 은 인장된(stretched) 박막의 저항 변화이며, ϵ 는 적용된 변형률이다. 도 5a에 나타난 바와 같이, PEDOT:PSS/p-IL 박막은 30% 내지 60% 변형률 범위에서 0.9 내지 1.6의 GF를 나타냈다. 특히, PEDOT:PSS/p-BIM:TFSI는 더 큰 GF 값($GF=1.54$)을 나타내어 변형 민감도가 더 높은 것으로 나타났다. 반면, PEDOT:PSS/p-HIM:TFSI 박막은 높은 전기적 특성으로 인해 낮은 GF 값($GF=1.02$)을 나타내어, 저항 변화가 최소화되었다. 종래의 무기계 변형 센서는 지금까지 제한된 감지 범위와 낮은 신축성을 나타냈다. 이러한 센서는 종종 다른 물질(예를 들어, 폴리우레탄) 또는 복잡한 구조(예를 들어, 샌드위치, 패턴, 이중층)의 추가에 의존하므로 제조가 어렵고 상당한 비용이 든다. 무기계 변형 센서 외에도 PEDOT:PSS 기반의 변형 센서는 신축성을 높이기 위해 다른 물질(예를 들어, 이온 겔, 하이드로겔)을 혼합하여 제작하여 복잡한 제조 공정을 유도하였다. 또한, 피부 부착에 대한 독성이 높은 DMSO 및 강산(예를 들어, H_2SO_4)으로 처리된 PEDOT:PSS 기반 변형 센서는 신축성이 제한되어($\epsilon < 20\%$), 결과적으로 감지 범위를 더 낮은 변형률 범위로 제한하였다. PEDOT:PSS/p-IL 기반 변형 센서는 p-IL만을 사용하여 제작되므로, 단순성, 비용 효율성 및 손쉬운 생산(예를 들어, 단일층, 단일 코팅)이라는 장점을 제공한다.

특히, PEDOT:PSS/p-HIM:TFSI 박막은 우수한 신축성을 가지며, 높은 변형률에서 안정적인 저항 감지가 가능하므로 더욱 중요하다. p-HIM:TFSI는 긴 알킬 사슬 길이의 양이온보다 더 넓은 감지 범위를 나타내는 것을 명확히 관찰할 수 있다(도 5b). 도 5b에 따르면, 전도 경로를 끊지 않고 균열이 발생하는 안정적인 저항 변화 영역까지 변형 센서의 감지 범위는 알킬기(R)의 탄소(C) 수에 따라 달라진다.

추가 비교를 위하여, 도 5c에 나타난 바와 같이, 5 주기 동안 1% 내지 60%의 변형률(ϵ)을 적용하여 실시간 응답을 테스트하였다. PEDOT:PSS/p-IL 박막은 각 변형 하에서 일관되고 반복 가능한 응답 신호를 나타냈다. 하기 표 1에 각 이온성 액체의 변형률에 따른 상대 저항 변화($(R-R_0)/R_0$) 값을 정리하였다. 각 복합 필름의 성능은 높은 변형률($\epsilon > 30\%$)에서 더 나은 전기적 회복성과 장시간 로딩 내구성을 나타냈다. PEDOT:PSS/p-HIM:TFSI 박막 및 PEDOT:PSS/p-MIM:TFSI 박막은 60% 변형률에서 $(R-R_0)/R_0$ 값이 각각 0.467 및 0.704로 안정적인 값을 나타냄과 동시에, 변형률이 감소하여도 저항이 변형률에 따라 일정하게 감소하는 것으로 나타나, 60%의 높은 변형률에서 센서의 성능 저하 없이 저항 신호를 검출할 수 있는 것을 확인하였다. 또한, 도 6에 나타난 바와 같이, PEDOT:PSS/p-HIM:TFSI 박막 및 PEDOT:PSS/p-MIM:TFSI 박막은 1000 회의 반복적인 인장-이완 주기(stretching-release cycle)에서 안정적인 저항값을 나타냈으며, 이로부터 높은 변형률 및 반복적인 주기에서 변형 센서로서 사용하기에 적합한 것을 확인하였다. 1% 및 3% 변형률에서 상당한 저항 변화를 감지할 수 있는 PEDOT:PSS/p-BIM:TFSI 박막은 가장 민감하며, 저변형(low-strain) 애플리케이션에 적합하다는 것이 관찰되었다(도 5c). 또한, PEDOT:PSS/p-PIM:TFSI 박막도 1% 및 3% 변형률에서 상당한 저항 변화를 감지할 수 있는 것으로 나타났다. 그러나, PEDOT:PSS/p-PIM:TFSI 박막 및 PEDOT:PSS/p-BIM:TFSI 박막의 COS 값은 약 35%로서, 30% 이상의 변형률에서 균열 손상이 발생할 수 있다(도 4a). 또한, 도 6을 참조하면, 1000 회의 주기에서 안정성이 p-HIM 및 p-MIM 박막과 비교하여 낮은 것으로 나타났다.

본 발명의 결과는 일정한 굽힘 상태에서 굽힘/이완(bending/releasing) 동작에 대한 안정적인 반응을 보여준다. 또한, 알킬 사슬의 길이에 따라 원하는 감지 범위(1% 내지 60%) 내에서 H-결합 기반 p-IL을 변형 센서로 활용할 수 있는 이점을 입증하였다.

표 1

	1%	3%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%
p-HIM	0.0031	0.0043	0.0048	0.0223	0.0645	0.233	0.265	0.334	0.467
p-MIM	0.0043	0.0101	0.0209	0.146	0.247	0.295	0.438	0.503	0.704
p-EIM	0.0095	0.0250	0.105	0.268	0.339	0.390	0.628	-	-
p-PIM	0.0109	0.0389	0.0505	0.0833	0.303	0.582	-	-	-
p-BIM	0.0134	0.0447	0.0510	0.167	0.445	0.690	-	-	-

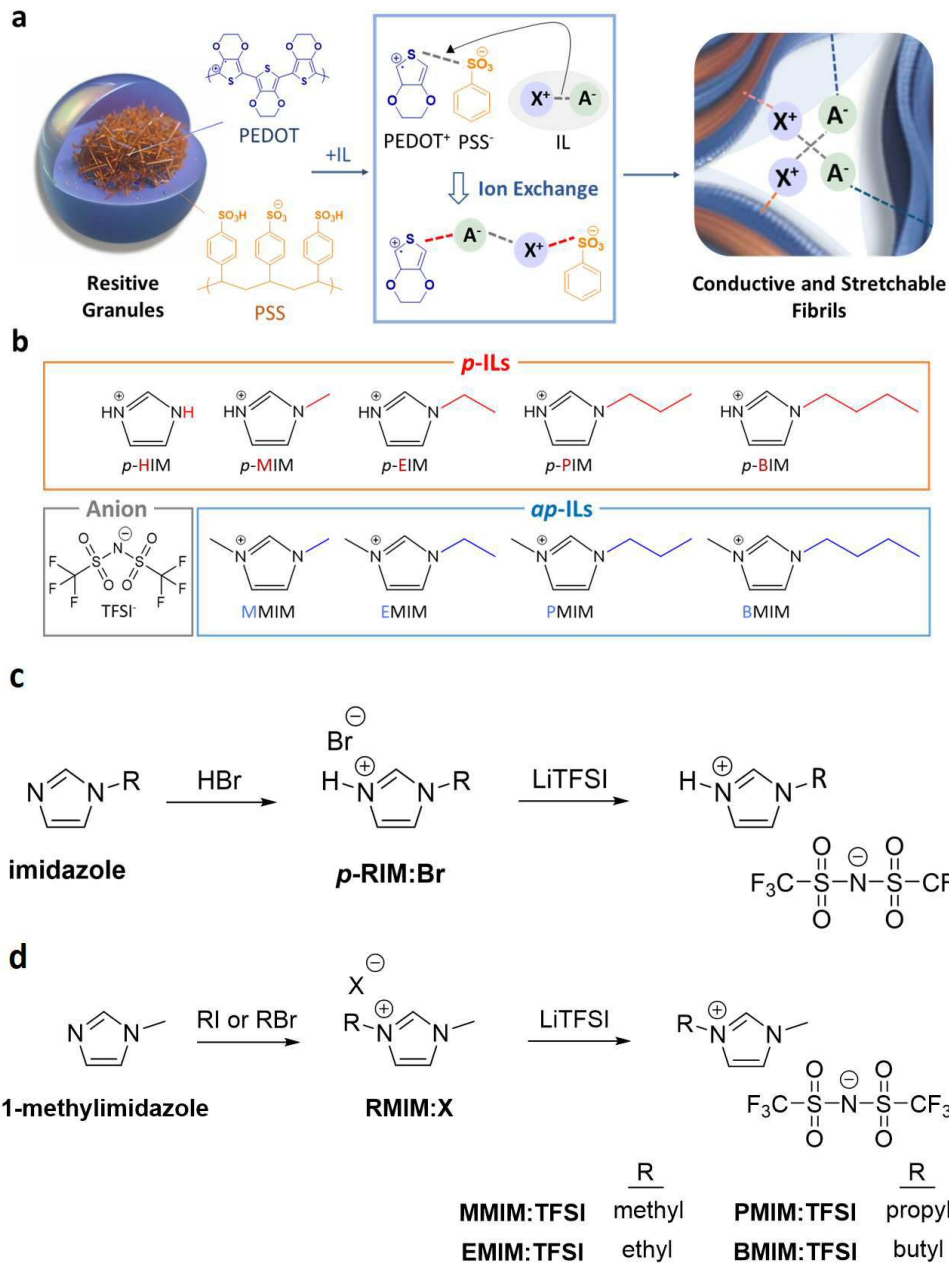
[0125] 이후, 본 발명자들은 손가락 굽힘과 같은 인체 동작을 측정하는 데 적용하기 위한 웨어러블 변형 센서를 제작하기 위해 PEDOT:PSS/p-HIM:TFSI 필름을 사용하였다. 변형 센서의 성능을 실시간으로 측정하기 위하여 왼쪽 집게 손가락에 PEDOT:PSS/p-HIM:TFSI 센서를 부착하였다. 도 5d는 집게손가락에 부착한 웨어러블 변형 센서의 사진 및 개략도이며, 삽입된 사진은 $\varepsilon=30\%$ 에서 PEDOT:PSS/p-HIM:TFSI 박막을 촬영한 것이다. 다양한 굽힘 조건에서의 센서 반응을 확인하기 위하여, 각 손가락 각도(0° , 30° , 60° , 및 90°)에서 1 회 굽힘/이완 사이클을 반복, 또는 60° 에서 10 회 굽힘/이완 사이클을 반복하는 두 가지 방법으로 저항 변화를 측정하였다. 도 5e에서 나타난 바와 같이, PEDOT:PSS/p-HIM:TFSI 전극은 다양한 손가락 각도의 움직임에 따라 R/R_0 값($R/R_0 < 0.5$)으로 안정적인 신호를 획득하였으며, 이완 동작 중에도 저항 변화가 일관되게 초기 상태로 되돌아오는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 도 5f에서 나타난 바와 같이, 집게손가락을 0° 내지 60° 에서 10 회 반복적으로 굽힘/이완을 반복한 후에도 PEDOT:PSS/p-HIM:TFSI 전극은 신호를 수집하였다. 반복적인 굽힘/이완 사이클에서, 손가락을 60° 로 굽혔을 때, 최대 R/R_0 값은 0.8 미만이었다. 또한, 다시 0° 로 뻗을 때, 저항의 감소는 손가락 움직임을 감지하는 민감성 및 반복적인 움직임의 안정성을 모두 나타낸다. 반복적인 손가락 굽힘 동안, 상대 저항 변화는 다양한 굽힘 조건에서 매우 안정적이었다. 이러한 결과는 변형 센서에 사용하기 위한 PEDOT:PSS/p-HIM:TFSI 전극의 우수한 성능을 보여준다.

[0127] 전술한 본원의 설명은 예시를 위한 것이며, 본원이 속하는 기술분야의 통상의 지식을 가진 자는 본원의 기술적 사상이나 필수적인 특징을 변경하지 않고서 다른 구체적인 형태로 쉽게 변형이 가능하다는 것을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로 이상에서 기술한 실시예들은 모든 면에서 예시적인 것이며 한정적이 아닌 것으로 이해해야만 한다. 예를 들어, 단일형으로 설명되어 있는 각 구성 요소는 분산되어 실시될 수도 있으며, 마찬가지로 분산된 것으로 설명되어 있는 구성 요소들도 결합된 형태로 실시될 수도 있다.

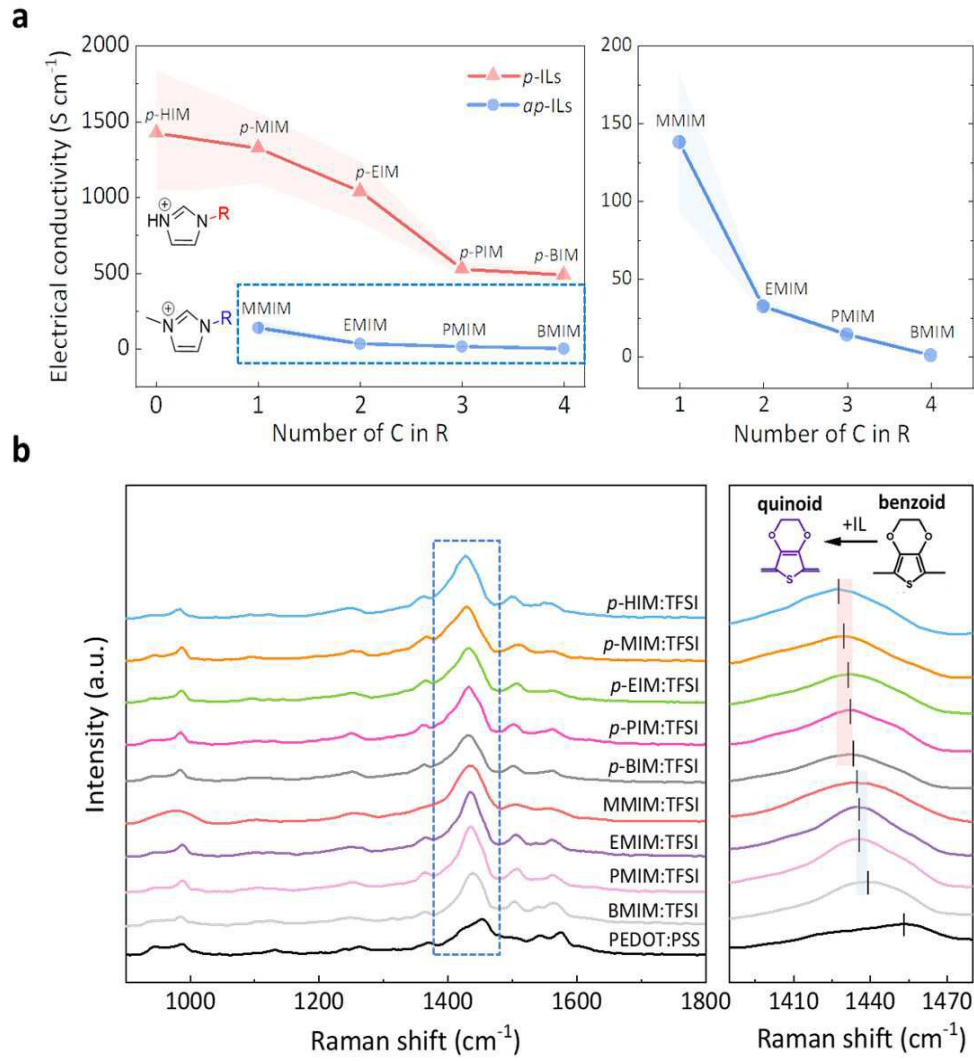
[0128] 본원의 범위는 상기 상세한 설명보다는 후술하는 특허청구범위에 의하여 나타내어지며, 특허청구범위의 의미 및 범위, 그리고 그 균등 개념으로부터 도출되는 모든 변경 또는 변형된 형태가 본원의 범위에 포함되는 것으로 해석되어야 한다.

도면

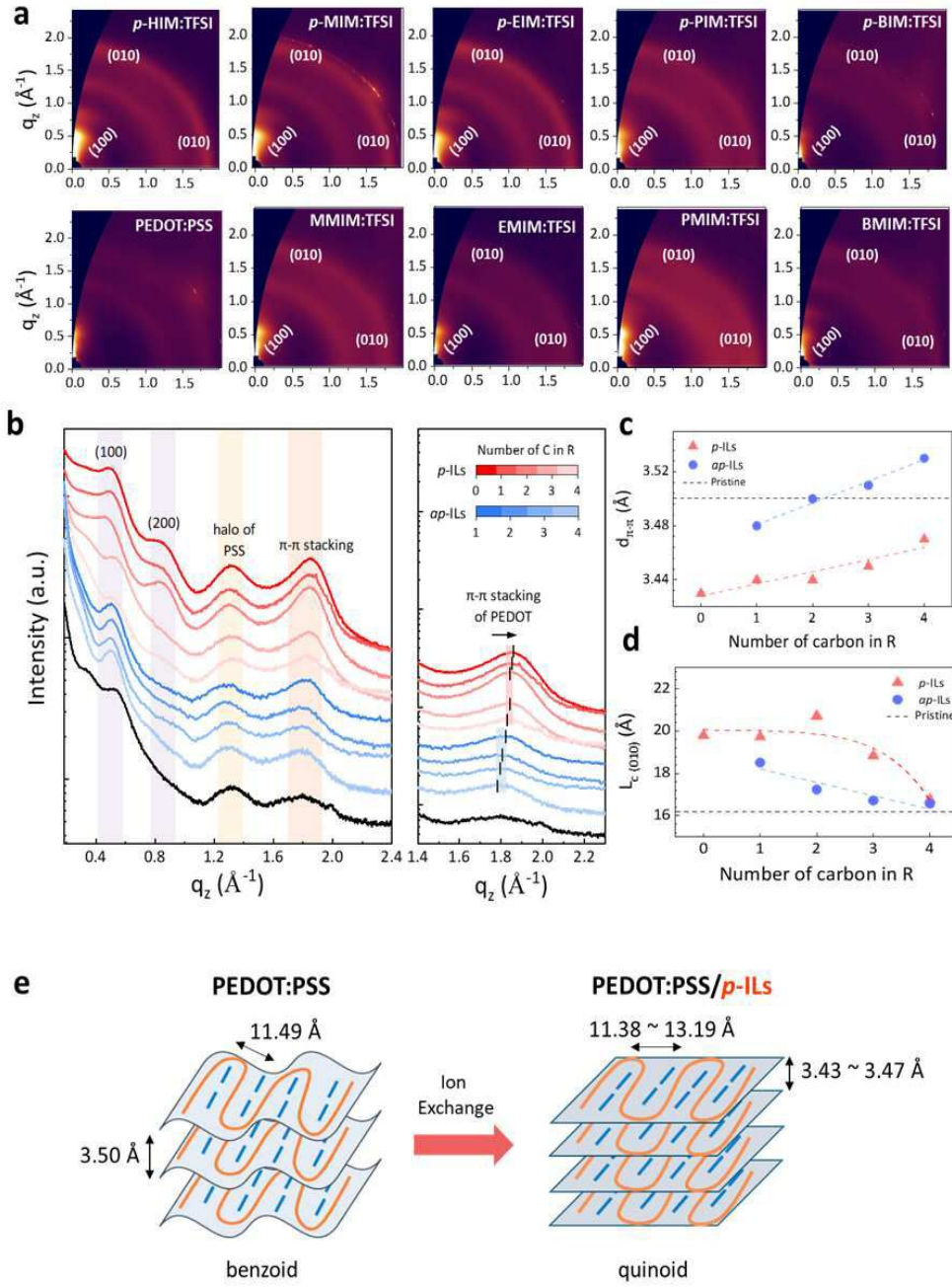
도면1



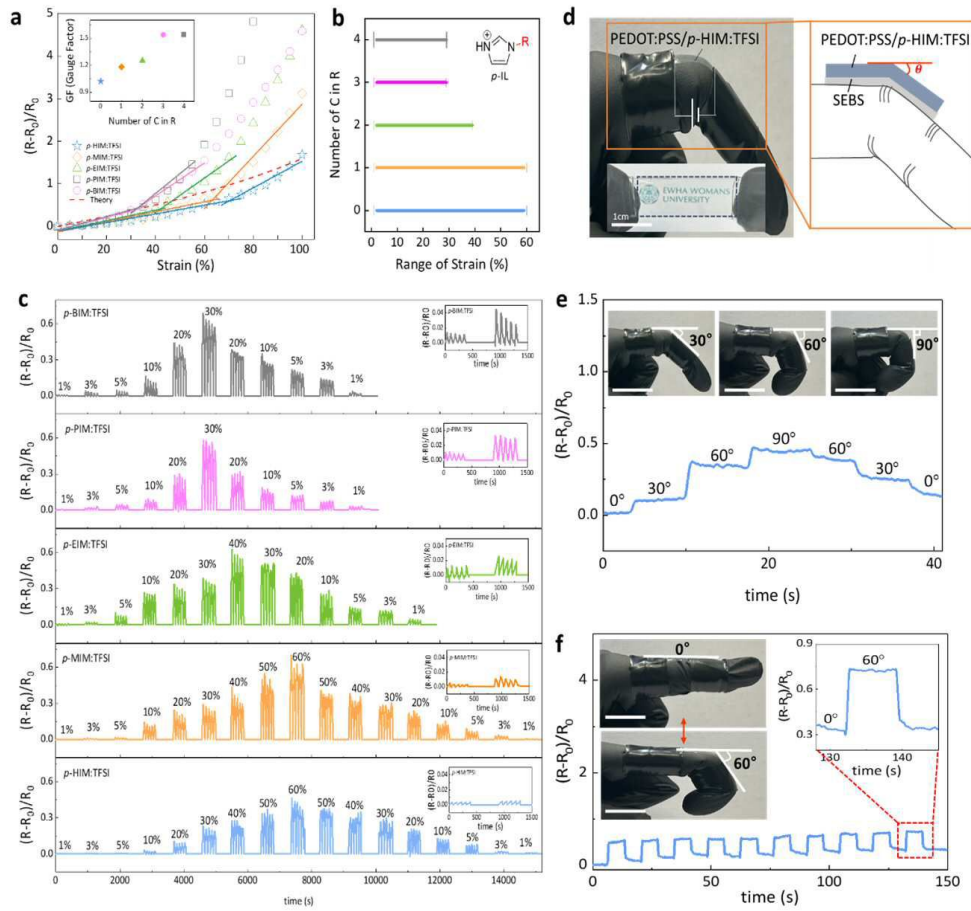
도면2



도면3



도면5



도면6

