



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2019년01월29일
(11) 등록번호 10-1943519
(24) 등록일자 2019년01월23일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C08L 27/16 (2006.01) C08K 3/04 (2006.01)
C08L 71/02 (2006.01) C09D 183/04 (2006.01)
C09D 5/26 (2006.01) C09D 7/46 (2018.01)
G01K 11/12 (2006.01)
(52) CPC특허분류
C08L 27/16 (2013.01)
C08K 3/042 (2017.05)
(21) 출원번호 10-2017-0124074
(22) 출원일자 2017년09월26일
심사청구일자 2017년09월26일
(56) 선행기술조사문헌
KR1020160109266 A*
KR1020170083630 A*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
울산과학기술원
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
(72) 발명자
고현협
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50 울산과
학기술원
이영오
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50 울산과
학기술원
(74) 대리인
특허법인지원

전체 청구항 수 : 총 13 항

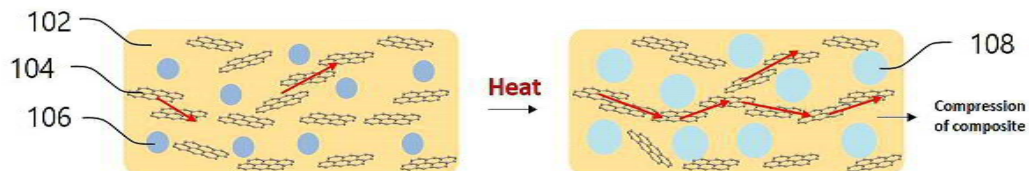
심사관 : 나수연

(54) 발명의 명칭 복합소재, 그 제조 방법 및 상기 복합소재를 포함하는 유연한 온도 센서

(57) 요약

본 발명은 복합소재, 그 제조 방법 그리고 복합소재로 이루어진 온도 센서에 관한 것으로, 폴리비닐덴플루오라이드(PVDF); 내에 균일하게 혼합된 환원된 산화그래핀(rGO); 및 반결정성 고분자;를 포함할 수 있다. 이에 따른 복합소재는 온도에 따라 저항이 민감하게 변화하여 고감도의 온도 센서를 구현할 수 있다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

C08L 71/02 (2013.01)
C09D 183/04 (2013.01)
C09D 5/26 (2013.01)
C09D 7/46 (2018.01)
G01K 11/12 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2012M3A6A5055728
 부처명 과학기술정보통신부
 연구관리전문기관 한국연구재단
 연구사업명 나노기반 소프트 일렉트로닉스 연구
 연구과제명 소프트 일렉트로닉스 집중형 융합기술 개발
 기 여 율 1/2
 주관기관 포항공과대학교
 연구기간 2012.09.01 ~ 2020.08.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2015R1A2A1A10054152
 부처명 과학기술정보통신부
 연구관리전문기관 한국연구재단
 연구사업명 도약연구지원사업(전략)(연구분야지정)
 연구과제명 지문패턴 whisker 어레이 기반 촉각인지 인터페이스 소자 개발
 기 여 율 1/2
 주관기관 울산과학기술원
 연구기간 2015.11.01 ~ 2018.10.31

명세서

청구범위

청구항 1

폴리비닐리덴플루오라이드(PVDF);
상기 PVDF 내에 균일하게 혼합된 환원된 산화그래핀(rGO); 및
상기 PVDF와 rGO 내에 균일하게 혼합된 반결정성 고분자;를 포함하고,
일면이 온도 감응 변색층으로 코팅된,
복합소재.

청구항 2

제1항에 있어서,
상기 반결정성 고분자는 폴리에틸렌 옥사이드(PEO)인,
복합소재.

청구항 3

제2항에 있어서,
상기 복합소재는,
PVDF 100-(x+y)중량%, rGO x중량% 및 PEO y중량%를 포함하고,
상기 x는 1 내지 2이고,
상기 y는 20 내지 30인,
복합소재.

청구항 4

제2항에 있어서,
상기 PEO의 분자량은 1k 내지 4k인,
복합소재.

청구항 5

제1항에 있어서,
상기 온도 감응 변색층은,
폴리디메틸실록산(Polydimethylsiloxane: PDMS); 및
상기 PDMS 내에 균일하게 혼합된 적어도 하나의 온도 감응 변색 색소;를 포함하는,
복합소재.

청구항 6

제1항의 복합소재; 및
상기 복합소재 상부의 좌우에 평행하게 배치된 전극들을 포함하는,
온도 센서.

청구항 7

제6항에 있어서,
상기 반결정성 고분자의 분자량에 따라 상기 온도 센서의 온도 감지 민감도가 높은 온도 범위가 상이한,
온도 센서.

청구항 8

제6항에 있어서,
상기 온도 센서는 필름 형태를 갖는,
온도 센서.

청구항 9

제6항에 있어서,
상기 온도 감응 변색층은 PDMS 및 PDMS 내에 균일하게 혼합된 적어도 하나의 온도 감응 변색 색소를 포함하고,
상기 온도 센서는 측정된 온도를 상기 색소로 인한 색상으로 출력하는,
온도 센서.

청구항 10

용매에 PVDF를 혼합시키는 제1 혼합단계;
상기 제1 혼합단계에서 혼합된 혼합물에 rGO를 혼합시키는 제2 혼합단계;
상기 제2 혼합단계에서 혼합된 혼합물에 PEO를 혼합시키는 제3 혼합단계;
상기 제3 혼합단계에서 혼합된 혼합물의 용매를 증발시켜 상기 제3 혼합단계에서 혼합된 혼합물을 경화시키는 단계; 및
상기 혼합물을 경화시키는 단계에 의해 제조된 복합소재의 일면에 온도 감응 변색층을 코팅하는 단계;를 포함하는,
복합소재 제조 방법.

청구항 11

제10항에 있어서,
상기 용매는 디메틸폼아마이드(Dimethylformamide: DMF)인,
복합소재 제조 방법.

청구항 12

제10항에 있어서,
상기 제1 혼합단계에서 상기 PVDF를 $100-(x+y)$ 중량% 혼합시키고,
상기 제2 혼합단계에서 상기 rGO를 x중량% 혼합시키고,
상기 제3 혼합단계에서 상기 PEO를 y중량% 혼합시키고,
상기 x는 1 내지 2이고,
상기 y는 20 내지 30인,
복합소재 제조 방법.

청구항 13

제10항에 있어서,

상기 온도 감응 변색층을 코팅하는 단계에서,

상기 온도 감응 변색층은 PDMS 및 PDMS 내에 균일하게 혼합된 적어도 하나의 온도 감응 변색 색소를 포함하는, 복합소재 제조 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 복합소재, 그 제조 방법 및 상기 복합소재를 포함하는 유연한 온도 센서에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 강유전성 특성을 가진 PVDF(PolyVinylidene fluoride: 폴리비닐리덴 플루오라이드), rGO(Reduced Graphene Oxide: 환원된 그래핀 옥사이드) 및 반결정성 고분자인 PEO(PolyEthylene Oxide: 폴리에틸렌 옥사이드)를 포함하는 복합소재, 그 제조 방법 그리고 복합소재로 이루어진 온도 센서에 관한 것이다. 상기 복합소재는 열적 자극에 따라 저항이 변화하는 특성을 가지고 있어서 온도 센서로 활용될 수 있으며, 더불어 인공 전자 피부, 바이오 센서 등으로 이용될 수 있다.

배경 기술

[0002] PVDF 및 rGO로 이루어진 복합소재는 그래핀의 NTC(Negative Temperature Coefficient of Temperature) 효과에 의하여 온도에 따라 저항이 바뀌는 특성을 갖는다. PVDF는 고분자 매트릭스(matrix)를 구성하는 물질이며, rGO는 전도성 물질 및 온도 감지 물질이다. 이러한 복합소재를 가열하면, 고분자 매트릭스 내에 분산되어 있는 rGO의 전기전도도가 증가하여 저항이 감소되는데, 이를 이용하여 온도 변화를 감지할 수 있다. 따라서, 이러한 복합소재를 이용하여 온도 센서를 제조할 수 있다.

[0003] 고분자 재료는 일반적으로 가격이 저렴하고, 금속 또는 세라믹 재료에 비해 가공 및 취급이 용이한 특성을 갖는다. 이에 따라 고분자 재료의 이용 빈도는 점차 증가하고 있다. 그러나 고분자는 전기전도, 열전도, 자성 등의 특성을 가지고 있지 않아, 적용할 수 있는 분야가 한정되어 있다. 최근, 이러한 단점을 극복하기 위해 부여하고자 하는 특성을 갖는 충전재를 고분자 매트릭스 내에 부가하여 다양한 복합소재가 만들어지고 있다.

[0004] 일 예로, 절연체인 고분자에 전기전도성 충전재를 첨가함으로써 제조된 전도성 복합소재가 개시되어 있다. 전기전도성 충전재로는 카본블랙, 탄소나노튜브, 그래핀 또는 금속입자 등이 이용될 수 있다.

[0005] 다만, 현재 개발된 복합 소재들의 경우 시간이 지나면서 고분자 매트릭스에 첨가된 충전재 입자들이 서로 엉기는 문제 및 액상의 매트릭스 아래로 가라앉아 특성이 변질되는 문제를 가지고 있다.

[0006] 또한, 고분자 매트릭스에 첨가되는 충전재의 양을 증가시킬수록 복합소재의 특성이 충전재의 고유 특성과 유사해지지만, 반대로 매트릭스의 고유한 특성은 사라지는 문제점이 발생할 수 있어, 매트릭스 및 충전재 각각의 특성을 잘 구현할 수 있는 양을 혼합하여 소재를 만드는 것이 필요하다.

[0007] PVDF 및 rGO 복합소재로 구현된 온도 센서는 인공 전자 피부로 이용될 수 있다. 따라서, 피부의 온도와 유사한 온도 범위에서 열적 자극에 따른 온도 감지 민감도가 높아야 한다.

[0008] 또한, 압력 및 굽힘과 같은 기계적 자극에 영향을 받지 않아야 한다.

[0009] 한국공개특허 제10-2016-0109266호는 환원된 산화그래핀/PVDF 복합소재, 이의 제조방법 및 이를 이용한 써미스터 센서에 관한 것으로, 써미스터 센서를 위한 PVDF 및 산화그래핀을 포함하는 복합소재에 관한 것이다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0010] 본 발명은 종래의 문제점을 해결하기 위해 창안된 것으로서, PVDF 및 rGO로 이루어진 복합소재에 반결정성 고분자를 첨가하여 온도 감지에 대한 민감도를 향상시킬 수 있는 복합소재, 그 제조 방법 및 상기 복합소재를 포함하는 유연한 온도 센서에 관한 것이다.

[0011] 구체적으로, 종래의 PVDF와 rGO로 이루어진 복합소재 내에 반결정성 고분자인 PEO를 첨가하여 종래의 PVDF와 rGO로 이루어진 복합소재에 비하여 10배 이상의 온도 감지 민감도 특성을 갖는 복합소재, 그 제조 방법 및 상기

복합소재를 포함하는 유연한 온도 센서를 제공할 수 있다.

과제의 해결 수단

- [0012] 본 발명에 따른 복합소재는 폴리비닐덴플루오라이드(PVDF); 상기 PVDF 내에 균일하게 혼합된 환원된 산화그래핀(rGO); 및 상기 PVDF와 rGO 내에 균일하게 혼합된 반결정성 고분자;를 포함할 수 있다.
- [0013] 상기 반결정성 고분자는 폴리에틸렌 옥사이드(PEO)일 수 있다.
- [0014] 상기 복합소재는, PVDF 100-(x+y)중량%, rGO x중량% 및 PEO y중량%를 포함하고, 상기 x는 1 내지 2이고, 상기 y는 20 내지 30일 수 있다.
- [0015] 상기 PEO의 분자량은 1k 내지 4k일 수 있다.
- [0016] 상기 복합소재는 일면에 온도 감응 변색층을 포함하고, 상기 온도 감응 변색층은, 폴리디메틸실록산(Polydimethylsiloxane: PDMS); 및 상기 PDMS 내에 균일하게 혼합된 적어도 하나의 온도 감응 변색 색소;를 포함할 수 있다.
- [0017] 본 발명에 따른 온도 센서는 상기 복합소재; 및 상기 복합소재 상부의 좌우에 평행하게 배치된 전극들을 포함할 수 있다.
- [0018] 상기 반결정성 고분자의 분자량에 따라 상기 온도 센서의 온도 감지 민감도가 높은 온도 범위가 상이할 수 있다.
- [0019] 상기 온도 센서는 필름 형태를 가질 수 있다.
- [0020] 상기 복합소재는 일면에 코팅된 온도 감응 변색층을 포함하고, 상기 온도 감응 변색층은 PDMS 및 PDMS 내에 균일하게 혼합된 적어도 하나의 온도 감응 변색 색소를 포함하고, 상기 온도 센서는 측정된 온도를 상기 색소로 인한 색상으로 출력할 수 있다.
- [0021] 본 발명에 따른 복합소재 제조 방법은 용매에 PVDF를 혼합시키는 제1 혼합단계; 상기 제1 혼합단계에서 혼합된 혼합물에 rGO를 혼합시키는 제2 혼합단계; 상기 제2 혼합단계에서 혼합된 혼합물에 PEO를 혼합시키는 제3 혼합단계; 및 상기 제3 혼합단계에서 혼합된 혼합물의 용매를 증발시켜 상기 제3 혼합단계에서 혼합된 혼합물을 경화시키는 단계;를 포함할 수 있다.
- [0022] 상기 용매는 다이메틸폼아마이드(Dimethylformamide: DMF)일 수 있다.
- [0023] 상기 제1 혼합단계에서 상기 PVDF를 100-(x+y)중량% 혼합시키고, 상기 제2 혼합단계에서 상기 rGO를 x중량% 혼합시키고, 상기 제3 혼합단계에서 상기 PEO를 y중량% 혼합시키고, 상기 x는 1 내지 2이고, 상기 y는 20 내지 30일 수 있다.
- [0024] 상기 혼합물을 경화시키는 단계에 의해 제조된 복합소재의 일면에 온도 감응 변색층을 코팅하는 단계를 더 포함할 수 있다.

발명의 효과

- [0025] 본 실시예에 의하면, 종래의 PVDF와 rGO로 이루어진 복합소재에 비하여 온도를 더 민감하게(약 10배 이상) 감지할 수 있다.
- [0026] 본 발명에 따른 복합소재를 이용한 온도 센서는 0.1℃의 작은 온도 변화를 감지할 수 있다.
- [0027] 또한, 본 발명의 일 실시예에 따른 복합소재는 기존의 복합소재에 비하여 향상된 내구성을 갖는다.
- [0028] 또한, 본 발명의 일 실시예에 따른 복합소재 및 이를 이용한 온도 센서는 압력 또는 굽힘과 같은 기계적 자극, 다수 회의 기계적 자극 조건에서도 온도 변화에 대해 일정한 저항 변화를 보여 기계적 자극에 대해 영향을 받지 않는 온도 측정이 가능한 장점이 있다.
- [0029] 더불어, 본 발명의 일 실시예에 따른 복합소재는 온도 감응 변색 색소를 더 포함하고 있다. 따라서, 온도의 변화를 색상의 변화로 출력하여, 측정자로 하여금 가시적으로 온도의 변화를 확인할 수 있게 할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0030] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 복합소재의 구성도이다.
- 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 복합소재에 포함된 rGO의 분자량에 대한 복합소재의 저항 변화를 나타낸 그래프이다.
- 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 복합소재에 포함된 rGO의 농도에 대한 복합소재의 저항 변화를 나타낸 그래프이다.
- 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 복합소재에서, 상이한 농도의 rGO를 포함하고 있는 복합소재들의 SEM 이미지이다.
- 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 복합소재에서 PEO의 농도 변화에 따른 물성을 측정한 그래프이다.
- 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 복합소재 중 30wt%의 농도로 PEO가 함유된 복합소재의 최소 온도 감지 범위를 측정한 그래프이다.
- 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 복합소재의 기계적 자극에 대한 온도 감지 민감도 측정 그래프이다.
- 도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 복합소재의 굽힘 조건에 대한 온도 감지 민감도 측정 그래프이다.
- 도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 복합소재에서 온도 감응 변색층이 코팅된 복합소재의 온도 감지 특성을 나타낸 이미지이다.
- 도 10은 본 발명의 일 실시예에 따른 복합소재를 제조하는 방법을 간략히 도시한 순서도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0031] 이하, 첨부한 도면을 참조하여 본 발명의 실시예에 따른 복합소재, 그 제조 방법 및 상기 복합소재를 포함하는 유연한 온도 센서에 대해 상세히 설명한다. 본 발명은 다양한 변경을 가할 수 있고 여러 가지 형태를 가질 수 있는 바, 특정 실시 예들을 도면에 예시하고 본문에 상세하게 설명하고자 한다. 그러나 이는 본 발명을 특정한 개시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변경, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다. 각 도면을 설명하면서 유사한 참조부호를 유사한 구성요소에 대해 사용하였다. 첨부된 도면에 있어서, 구조물들의 치수는 본 발명의 명확성을 기하기 위하여 실제보다 확대하여 도시한 것이다.
- [0032] 제1, 제2 등의 용어는 다양한 구성요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 상기 구성요소들은 상기 용어들에 의해 한정되어서는 안 된다. 상기 용어들은 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하는 목적으로만 사용된다. 예를 들어, 본 발명의 권리 범위를 벗어나지 않으면서 제1 구성요소는 제2 구성요소로 명명될 수 있고, 유사하게 제2 구성요소도 제1 구성요소로 명명될 수 있다.
- [0033] 본 출원에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시 예를 설명하기 위해 사용된 것으로, 본 발명을 한정하려는 의도가 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 출원에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 명세서 상에 기재된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.
- [0034] 다르게 정의되지 않는 한, 기술적이거나 과학적인 용어를 포함해서 여기서 사용되는 모든 용어들은 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 가지고 있다. 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 것과 같은 용어들은 관련 기술의 문맥 상 가지는 의미와 일치하는 의미를 가지는 것으로 해석되어야 하며, 본 출원에서 명백하게 정의하지 않는 한, 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미로 해석되지 않는다.
- [0035] 이하, 본 발명의 구현예를 상세히 설명하기로 한다. 다만, 이는 예시로서 제시되는 것으로, 이에 의해 본 발명이 제한되지는 않으며 본 발명은 후술할 청구항의 범주에 의해 정의될 뿐이다.
- [0036] 도 1은 본 실시예에 따른 복합소재의 구성도이다.
- [0037] 이하 도 1을 참조하여 본 발명의 일 구현예에 대해 설명하도록 한다.
- [0038] 본 발명의 일 구현예에 따른 복합소재를 이용한 온도 감지 메커니즘은 PVDF 및 rGO로 이루어진 복합소재를 구성하고 있는 그래핀의 부온도계수(Negative Temperature Coefficient of Temperature: NTC) 효과를 이용하는 것

이다. PVDF 및 rGO로 이루어진 복합소재의 저항은 온도에 따라 달라진다. PVDF와 rGO로 이루어진 복합소재의 저항값은 온도를 증가시키면 rGO의 NTC 효과에 의해 감소하게 되는데, 복합소재의 이러한 특성을 이용하여 온도 변화를 감지할 수 있게 된다.

- [0039] 본 발명은 종래의 PVDF와 rGO로 이루어진 복합소재보다 온도 감지 민감도(sensitivity)가 수십배 이상 향상된 복합소재에 관한 것이다. 종래의 복합 소재에 추가적으로 혼합된 반결정성 고분자를 포함하는 복합소재에 관한 것이다
- [0040] 도 1을 참조하면, 가열에 의해 온도를 변화시켰을 때 본 발명의 일 실시예에 따른 복합소재 내부의 구성 물질들의 변화를 파악할 수 있다. 본 발명의 일 실시예에 따른 복합소재는 고분자 매트릭스(102), 전도성 충전재(104) 및 반결정성 고분자(106)로 이루어진다. 예시적으로, 고분자 매트릭스(102)는 PVDF일 수 있고, 전도성 충전재(104)는 rGO(reduced Graphene Oxide)이며, 반결정성 고분자(106)는 PEO일 수 있다. 본 발명의 일 실시예에 따른 복합소재는 고분자 매트릭스(102) 내에 전도성 충전재(104)인 rGO와 반결정성 고분자(106) 중 하나인 PEO가 균일하게 분포된 구조를 갖는다
- [0041] PVDF는 지방족계 탄화수소의 분자구조에 수소원자를 불소원자로 일부 치환한 수지로, 불소 수지의 뛰어난 내약품성, 기계적, 열적 및 전기적 특성을 가지며, 결정성이 높아 불소계 수지 중에서 우수한 기계적 강도를 나타내기 때문에 복합소재에 우수한 물성을 부여할 수 있다.
- [0042] rGO는 우수한 열전도도 및 전기전도도 특성을 가지면서 높은 내전압 강도를 구현할 수 있다. rGO는 열경화성 수지 내에서 높은 상용성을 나타낼 수 있고, 고분자 매트릭스 내에 첨가되어 전도성 물질 및 온도 감지 물질로 이용될 수 있다.
- [0043] PVDF와 rGO로 이루어진 복합소재는 NTC 특성을 갖고 있기 때문에 온도 감지 소재, 써미스터 센서 등으로 이용될 수 있다.
- [0044] 그러나, PVDF와 rGO만으로 구성된 복합소재는 온도에 따른 저항값의 변화가 크지 않아서 온도 민감도(sensitivity)가 떨어져 정확도가 높은 온도센서에 적용하기에는 어려움이 있었다. 이를 해결하기 위하여, 본 발명에서는 반결정성 고분자(106)인 PEO를 PVDF 및 rGO에 혼합하여 복합소재를 제조한 것이다. PEO는 반결정성 고분자로서 온도에 따라 부피가 팽창또는 수축하는 특성을 갖는다. PEO는 PVDF와 rGO로 이루어진 복합소재 내에 균일하게 분포되어 있으며, 이러한 분포에 의하여 PVDF, rGO 및 PEO로 이루어진 복합소재의 온도 감지 민감도는 크게 향상될 수 있다.
- [0045] 구체적으로, 반결정성 고분자는 녹는점보다 높은 온도에서 열역학적 단일상(single phase)을 형성한다. 녹는점 부근에서부터 결정성이 사라지게 되면서 입자가 팽창하게 된다. 구체적으로 반결정성 고분자는 녹는점의 약 20℃ 아래에서부터 팽창하기 시작하여, 온도가 증가함에 따라 계속적으로 팽창하게 된다.
- [0046] 가열되기 전의 PVDF, rGO 및 PEO로 이루어진 복합소재의 경우, 매트릭스(102) 내에서 rGO(104) 시트들과 PEO(106) 입자들은 일정한 거리를 두고 분포되어 있다. 특히 rGO(104) 시트들은 전자가 이동할 수 있는 통로를 형성하고 있지만, 시트들끼리 서로 접촉되어 있기보다는 분산되어 있어서, 시트들 사이에서 전기전도도가 낮고, 따라서 복합 소재의 저항이 높다.
- [0047] PVDF, rGO 및 PEO로 이루어진 복합소재를 가열하면, 온도가 증가됨에 따라 PEO 입자들이 팽창한다. 팽창된 PEO 입자(108)는 주변의 매트릭스(102)와 rGO(104) 시트들에 압력을 가하게 되고, rGO(104) 시트들의 접촉면적을 증가시켜 복합소재의 전기적 특성을 변화시킬 수 있다. 즉, 복합소재를 가열함에 따라 rGO(104) 시트들을 통한 전자의 이동도가 증가하여 복합소재의 저항이 감소하게 된다.
- [0048] 즉, 종래의 rGO의 NTC 효과만 이용한 PVDF 및 rGO로 이루어진 복합소재보다 rGO의 NTC 효과 및 PEO의 온도에 따른 팽창 및 수축 특성을 이용함으로써 온도 감지 민감도가 크게 향상된 것이다.
- [0049] 도 2 내지 도 9는 PVDF, rGO 및 PEO의 농도를 특정하여 제조한 복합소재를 이용한 실험예들일 뿐, 본 실험예에서 제시한 복합소재의 조성비에 한정되지 않는다. 본 발명에서 제시하는 복합소재의 경우 복합소재를 100 중량%라고 할 때, PVDF는 79 중량% 내지 45 중량%의 조성비를 가지며, rGO는 1 중량% 내지 5 중량%의 조성비를 가질 수 있고, PEO는 20 중량% 내지 50 중량%로써, 이러한 범위 내에서 다양한 복합소재가 제조될 수 있다.
- [0050] 도 2는 본 실시예에 따른 rGO의 분자량에 대한 복합소재의 저항 변화를 나타낸 그래프이다.
- [0051] 이하 도 2를 참조하여 본 발명의 일 구현예에 대해 설명하도록 한다.

- [0052] 반결정성 고분자는 분자량이 증가함에 따라 녹는점이 증가하는 특성을 갖는다. 도 2를 통해 PVDF 79 중량%, PEO 20 중량% 및 rGO 1 중량%로 이루어진 복합소재를 구성하는 PEO의 분자량에 따른 녹는점 변화 및 온도 감지 메커니즘을 확인할 수 있다. PEO, PVDF 및 rGO의 조성비는 도 2에 한정되는 것은 아니다. 반결정성 고분자 즉, PEO의 특성상 녹는점 부근에서 온도에 따른 부피변화가 더 크기 때문에 분자량에 따라서 온도를 민감하게 감지할 수 있는 온도 범위가 상이할 수 있다. 분자량이 클수록 녹는점이 더 높기 때문이다.
- [0053] 도 2에 따르면, 분자량 1k의 PEO의 녹는점(202)은 약 38℃, 분자량 1.5k의 PEO의 녹는점(204)은 약 45℃, 분자량 4k의 PEO의 녹는점(206)은 약 55℃로, PEO의 분자량이 증가할수록 PEO의 녹는점이 점차 상승함을 확인할 수 있다.
- [0054] 도 2를 참조하면, 복합소재의 온도에 따른 저항 변화율은 특정 분자량을 갖는 PEO의 녹는점에 가까운 온도 범위 내에서 가장 크고, PEO의 녹는점에 인접한 온도 범위 내에서의 온도 감지가 그 외의 범위에서보다 더 민감하게 이루어짐을 알 수 있다.
- [0055] 4k 이상의 분자량을 갖는 PEO가 포함된 복합 소재에서도 온도 증가에 따라 저항이 감소하므로, 온도 측정은 가능하다. PEO의 분자량이 4k를 초과하는 경우, 분자량이 증가하여도 PEO의 녹는점 차이가 크지 않기 때문에, 복합 소재에 혼합할 PEO의 분자량은 1k 내지 4k가 바람직하다.
- [0056] 더불어, 본 발명의 일 실시예에 따른 복합 소재의 경우, 25℃ 내지 60℃까지의 온도 변화를 민감하게 감지할 수 있다. 더불어, 민감하게 감지해야 할 필요가 있는 온도 범위에 맞는 분자량을 갖는 PEO를 이용하여 복합 소재를 제조하고, 이를 이용하여 특정 온도 범위에서의 센싱이 최적화된 온도 센서를 구현할 수 있다.
- [0057] 도 3은 본 실시예에 따른 rGO의 농도에 대한 복합소재의 저항 변화를 나타낸 그래프이다.
- [0058] 이하 도 3을 참조하여 본 발명의 일 구현예에 대해 설명하도록 한다.
- [0059] rGO의 농도에 따른 복합소재의 온도 감지 민감도(302)를 살펴보면, rGO의 농도에 따라 복합소재의 온도 감지 민감도가 달라짐을 확인할 수 있다. 온도 감지 민감도가 가장 높게 나타난 복합소재는 PVDF(78wt%), rGO(2wt%) 및 PEO(20wt%)의 조성비로 이루어진 복합소재이며, 온도 감지 민감도가 가장 낮게 나타난 복합소재는 PVDF(75wt%), rGO(5wt%) 및 PEO(20wt%)의 조성비로 이루어진 복합소재이다.
- [0060] 두 복합소재의 저항을 비교해보면, PVDF(78wt%), rGO(2wt%) 및 PEO(20wt%)로 이루어진 복합소재의 저항이 PVDF(75wt%), rGO(5wt%) 및 PEO(20wt%)로 이루어진 복합소재의 저항보다 높지만, rGO 농도가 더 적은 PVDF(79wt%)rGO(1wt%)PEO(20wt%) 복합소재의 저항이 PVDF(78wt%), rGO(2wt%) 및 PEO(20wt%)로 이루어진 복합소재보다 높은데 반해 민감도는 더 낮은 것으로 보아 각 복합소재의 저항과 온도 감지 민감도와는 연관성은 낮다고 할 수 있다.
- [0061] 즉, 사용자가 필요로 하는 측정 가능 온도 범위를 갖는 복합소재를 제조하기 위해 복합소재의 적절한 조성비를 찾는 것이 바람직할 수 있다.
- [0062] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 복합소재 제조 시 PEO가 20 중량%일 때, rGO는 1 중량% 내지 5 중량%가 바람직할 수 있고, PVDF는 75 중량% 내지 79 중량%가 바람직할 수 있다. PVDF, rGO 및 PEO로 이루어진 복합소재의 조성비의 합은 100 중량%이다.
- [0063] 구체적으로 rGO의 농도는 1 중량% 내지 2 중량%인 것이 적합하다. rGO 농도가 1 중량% 미만인 경우, PVDF, rGO 및 PEO로 이루어진 복합소재의 전도 특성이 나타나지 않을 수 있어, 온도 감지 효율이 매우 낮은 문제를 갖는다. rGO 농도가 2 중량%를 초과하는 경우, 복합소재에 첨가된 rGO 시트들이 분산되어 있지 않고, rGO 시트들끼리 완전히 접촉되어 있다. 이로 인하여, PEO의 팽창 및 수축에 의해 PVDF, rGO 및 PEO로 이루어진 복합소재의 온도 감지 민감도가 향상되는 효과가 감소되는 문제가 있다.
- [0064] 도 4는 본 실시예에 따른 rGO의 농도에 대한 복합소재의 SEM 이미지이다.
- [0065] 이하 도 4를 참조하여 본 발명의 일 구현예에 대해 설명하도록 한다.
- [0066] 도 4에 도시된 실험예들 중 온도 감지 민감도가 가장 높은 PVDF(78wt%), rGO(2wt%) 및 PEO(20wt%)로 이루어진 복합소재(402)와 온도 감지 민감도가 가장 낮은 PVDF(75wt%), rGO(5wt%) 및 PEO(20wt%)로 이루어진 복합소재(404)의 단면을 주사전자현미경(SEM)으로 관찰한 결과, PVDF(78wt%), rGO(2wt%) 및 PEO(20wt%)로 이루어진 복합소재(402)와 달리 PVDF(75wt%), rGO(5wt%) 및 PEO(20wt%)로 이루어진 복합소재(404)의 단면에서는 PEO 상이

분명하게 나타나지 않고 rGO 시트 및 매트릭스에 섞이는 특성을 보인다.

[0067] 매트릭스 내에 PEO 상이 분명하게 나타나지 않는 경우, PEO의 형태가 유지되지 않기 때문에 복합소재의 온도가 올라가도 부피가 변화될 수 있는 PEO 입자의 수가 적어 복합소재의 온도 감지 민감도가 저하될 수 있다.

[0068] 즉, 매트릭스 내에 형태가 유지된 PEO가 균일하게 분포되어 있어야 본 발명의 일 실시예에서 의도하는 효과를 달성할 수 있다.

[0069] 또한, rGO의 농도는 매트릭스 내에 존재하는 PEO 상에 영향을 미칠 수 있으며, 복합소재의 온도 감지 민감도를 향상시키기 위해 rGO를 적절한 농도로 첨가함이 바람직할 수 있다.

[0070] 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 복합소재에서 PEO의 농도 변화에 따른 물성을 측정한 그래프이다. 이하 도 5를 참조하여 본 발명의 일 구현예에 대해 설명하도록 한다.

[0071] 본 발명에 따른 복합소재 제조 시, rGO가 2 중량%일 때, PEO는 20 중량% 내지 50 중량%, PVDF는 48 중량% 내지 78 중량%일 수 있다. 전체 조성비의 합은 100 중량%이다.

[0072] PEO 농도에 따른 PVDF, rGO 및 PEO로 이루어진 복합소재의 온도 감지 민감도를 나타낸 그래프(502)를 보면, 복합소재의 PVDF 48 중량% 내지 78 중량% 및 PEO 20 중량% 내지 50 중량%의 농도 범위 내에서 온도에 따른 저항 변화량이 가장 큰 복합소재는 PEO가 20 중량% 내지 30 중량%가 첨가된 복합소재인 것으로 나타난다. 즉, 복합소재에서 PEO의 조성비는 20 중량% 내지 30 중량%가 적합하다.

[0073] PEO의 농도가 20 중량% 미만인 경우, 매트릭스 내에 존재하는 PEO 입자의 수가 적기 때문에, PEO를 혼합시켜 얻을 수 있는 효과를 얻을 수 없게 된다. 즉, 본 발명의 일 실시예에 따른 복합소재에서는 PEO를 매트릭스 내에 rGO와 혼합시켜 rGO와 PEO가 균일하게 분포되도록 한 후에 PEO를 팽창시킴으로써 소재의 저항을 감소시키는 메커니즘을 이용하고 있는데, 매트릭스 내에 존재하는 PEO의 농도가 20 중량% 미만이라면, 이러한 메커니즘이 제대로 동작되지 못한다. 반대로 PEO의 농도가 30 중량%를 초과하는 경우, PEO의 형태가 유지되지 않고 매트릭스와 혼합되어 버릴 수 있다. 이러한 경우, 온도가 상승하면, PEO 입자와 매트릭스가 함께 팽창되어 복합 소재 전체의 부피가 증가되게 되고, 오히려 rGO 시트들 사이의 거리가 더 멀어지게 되어 저항이 증가할 수 있다. PEO 입자들이 형태를 유지한 상태에서 팽창하는 경우, PEO 입자들 주변의 rGO 또는 매트릭스를 압박할 수 있다. 따라서, rGO 시트들 사이의 간격이 줄어들게 되고, 그에 따라 전기전도도가 높아져 저항이 감소될 수 있다. 그러나 PEO 입자와 매트릭스의 부피가 함께 증가되면 rGO 시트들 사이의 간격이 오히려 멀어져 PVDF, rGO 및 PEO로 이루어진 복합소재의 온도 감지 민감도는 감소될 수 있다.

[0074] 따라서, 우수한 온도 감지 민감도를 갖는 복합소재는 rGO가 2 중량% 일 때, PEO는 20 중량% 내지 30 중량%, PVDF는 68 중량% 내지 78 중량%이 바람직할 수 있다. PVDF, rGO 및 PEO로 이루어진 복합소재의 조성비의 합은 100 중량%이다.

[0075] PVDF, rGO 및 PEO로 이루어진 복합소재의 PEO 농도에 따른 온도 감지 민감도(502)를 살펴보면, PVDF(68wt%), rGO(2wt%) 및 PEO(30wt%)로 이루어진 복합소재의 온도 감지 민감도가 가장 높음을 알 수 있다. PVDF(68wt%), rGO(2wt%) 및 PEO(30wt%)로 이루어진 복합소재의 온도 감지 민감도는 PEO가 첨가되지 않은 PVDF 및 rGO로 이루어진 복합소재의 온도 감지 민감도에 비해 10배 이상 높을 수 있다.

[0076] PVDF(68wt%), rGO(2wt%) 및 PEO(30wt%)로 이루어진 복합소재의 온도 감지 민감도를 나타내는 TCR 값을 계산한 결과(504), 상온에서 6%/℃ 이상의 높은 값을 얻을 수 있다.

[0077] TCR(Temperature Coefficient of Resistance)은 온도저항계수로써, 하기한 식에 의해 도출될 수 있으며, 단위는 %로 나타낼 수 있다.

[0078]

$$TCR = \frac{1}{R} \frac{dR}{dT}$$

[0079] 또한, 히스테리시스(Hysteresis) 곡선(506)을 분석한 결과, 가열 및 냉각 시 온도의 증감에 따른 복합소재의 저항값의 변화가 유사하게 이루어짐을 확인할 수 있다. 즉, 온도가 증가할 때나 온도가 감소할 때 모두 동일한 측정치를 나타낼 수 있게 되는 것이다. 종래의 복합 소재의 경우, 온도가 증가할 때의 온도와 온도가 감소할 때의 온도가 상이하여, 온도 센서에 적용시 온도 증가시의 온도와 온도 감소시의 온도가 상이한 문제가 있었다. 본 발명의 일 실시예에 따른 복합소재는 온도 증가에 따른 저항값의 변화를 나타낸 히스테리시스 곡선과 온도 감소에 따른 저항값 변화를 나타낸 히스테리시스 곡선이 거의 동일함을 알 수 있다.

- [0080] 도 2 내지 도 9는 PVDF, rGO 및 PEO의 농도를 특정하여 제조한 복합소재를 이용한 실험예들일 뿐, 본 실험예에서 제시한 복합소재의 조성비에 한정되지 않는다. 상술한 바대로 본 발명의 일 실시예에 따른 복합소재는, PVDF의 경우 79 중량% 내지 68 중량%의 조성비, rGO의 경우 1 중량% 내지 2 중량%의 조성비 및 PEO의 농도 20 중량% 내지 30 중량%의 조성비를 갖고 총 100 중량%로 구현될 수 있다. 즉, PVDF, rGO 및 PEO는 상술한 수치 범위내에서 다양하게 변화할 수 있다. 즉, 상술한 수치 범위 내에서 다양한 복합소재가 제조될 수 있다.
- [0081] 즉, PVDF, rGO 및 PEO의 조성비는 PVDF 100-(x+y)중량%, rGO x중량% 및 PEO y중량%일 수 있다. 여기서 x는 1 내지 2이고, y는 20 내지 30일 수 있다. PVDF, rGO 및 PEO로 이루어진 복합소재의 조성비의 합은 100 중량%이다.
- [0083] 도 6은 본 실시예에 따른 복합소재들 중 PVDF(68wt%), rGO(2wt%) 및 PEO(30wt%)로 이루어진 복합소재의 최소 온도 감지 범위 측정 그래프이다.
- [0084] 이하 도 6을 참조하여 본 발명의 일 구현예에 대해 설명하도록 한다.
- [0085] 도 5에서의 실험 결과, 온도 감지 민감도가 가장 높았던 PVDF(68wt%), rGO(2wt%) 및 PEO(30wt%)로 이루어진 복합소재의 저항값 변화를 실시간으로 온도의 변화를 가하며 측정한 결과(602), 0.1℃ 내지 1℃ 범위로 바뀌는 온도를 감지할 수 있음을 알 수 있다.
- [0086] 또한, 32℃ 내지 33℃에서 온도 변화에 따른 저항값의 변화를 측정한 결과(604), PVDF(68wt%), rGO(2wt%) 및 PEO(30wt%)로 이루어진 복합소재는 0.1℃의 온도 변화를 감지할 수 있음을 알 수 있다. 그래프(604)에 따르면, 온도가 0.1℃씩 감소됨에 따라 PVDF(68wt%), rGO(2wt%) 및 PEO(30wt%)로 이루어진 복합소재의 저항이 식별가능한 수준으로 감소하고 있다. 즉, 0.1℃가 변화하여도, 저항값의 차이가 확인하여, 0.1℃의 변화를 구분할 수 있는 것이다. 따라서 본 발명의 일 실시예에 따른 복합소재를 이용 시, 0.1℃의 변화도 감지할 수 있어 온도 민감도를 크게 향상시킨 온도 센서를 구현할 수 있다.
- [0087] 32℃ 내지 33℃는 인간의 피부 겉면의 온도로서, 32℃ 내지 33℃ 사이에서 0.1℃의 변화도 감지할 수 있는 본 발명의 일 실시예에 따른 복합소재는 인공 피부에 적용될 수 있을 것이다. 즉, 본 발명의 일 실시예에 따른 복합소재를 인공피부의 소재로 적용하면 상당한 온도 민감도를 갖는 인공 피부를 구현할 수 있을 것이다.
- [0088] 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 복합소재의 기계적 자극에 대한 온도 감지 민감도 측정 그래프이다.
- [0089] 이하 도 7을 참조하여 본 발명의 일 구현예에 대해 설명하도록 한다.
- [0090] 본 실시예에 따른 복합소재가 온도 센서로 이용될 경우, 압력 및 굽힘과 같은 기계적 자극에 대한 반응은 독립적인 온도 감지에 있어서 중요한 사항이다.
- [0091] 본 실시예에 따른 복합소재로 제조된 온도 센서가 감지할 수 있는 온도 또는 압력 조건은 복합소재에 부착되는 전극의 부착 형태(701)에 따라 다르다. 본 실시예에 따른 온도 센서가 압력 및 온도가 변화되는 조건에서 온도에 대해서만 반응하도록 전극을 복합소재 상부의 좌우에 평행하게 배치시켜 온도 센서를 제조하는 것이 바람직하다. 전극의 배치 형태에 따른 온도 센서의 압력에 대한 반응 여부를 나타낸 그래프(702)를 보면, 전극의 배치 형태에 따라 센서의 압력에 대한 반응이 달라지는 현상을 확인할 수 있다. 평행하게 배치된 전극으로 이루어진 온도 센서와 달리, 복합소재의 상면 및 하면에 수직하게 배치된 전극으로 이루어진 온도 센서는 압력이 변화할 때 저항이 달라진다.
- [0092] 즉, 본 실시예에 따른 온도 센서를 통해 압력을 제외한 온도 변화만 감지되도록 복합소재에 부착되는 전극을 복합소재 상부의 좌우에 평행하도록 부착시키는 것이 바람직할 수 있다.
- [0093] 본 실시예에 따른 온도 센서는 필름 형태의 복합소재와 전극이 구리 테이프로 부착된 형태일 수 있다. 구리 테이프는 전기전도도가 우수하여 온도 센서의 성능을 저하시키는 문제를 발생시키지 않는다.
- [0094] 또한, 실버 페이스트(Silver Paste)로 전극과 복합소재를 접착시켜 복합소재와 전극 사이의 접촉 저항을 낮출 수 있다.
- [0095] 본 실시예에 따른 온도 센서를 일정한 온도로 유지시키면서, 압력을 달리하여 온도 감지 민감도를 측정한 결과(703), 온도 센서의 저항은 압력이 변화되는 조건에서 일정하게 유지됨을 확인할 수 있다.
- [0096] 즉, 본 실시예에 따른 온도 센서는 온도 변화만 감지할 수 있다.
- [0097] 본 실시예에 따른 온도 센서의 온도를 변화시킬 수 있는 물체를 이용하여 온도 센서에 하중을 가하면 온도에 의

해 저항이 증가 또는 감소될 수 있다.

- [0098] 일 예로, 신체의 일부가 온도 센서에 터치되면 온도 변화로 인하여 저항이 변화될 수 있다.
- [0099] 하중에 따른 온도 센서의 저항 변화를 측정(704)하는 동안, 전자저울을 통해 하중을 측정할 수 있다. 본 실시예에 따른 온도 센서를 100g, 200g 및 500g의 하중으로 온도 감지 민감도를 측정한 결과(705), 하중이 가해지는 순간에 저항 변화에 따른 신호가 발생됨을 알 수 있다. 온도 센서에 하중이 가해지는 동안, 신호 변화는 발생되지 않는다.
- [0100] 또한, 온도 센서에 가해지는 하중을 제거하는 순간에 저항이 바뀌어 이에 대한 신호가 발생된다.
- [0101] 즉, 온도 센서에 하중이 가해지는 순간과 하중에 제거되는 순간은 발생하는 신호를 통해 알 수 있다.
- [0102] 일 예로, 손가락이 온도 센서에 터치될 경우, 손가락의 열에 의해 온도 센서가 가열되어 저항이 바뀔 수 있다.
- [0103] 온도 센서가 손가락으로 터치되었을 때의 저항 변화 그래프(706)를 보면, 온도 센서가 터치되는 순간에 온도 센서의 온도가 상승하여 저항이 감소됨을 알 수 있다. 온도 센서가 터치되는 동안, 온도 센서의 온도는 유지되기 때문에 저항 변화는 일어나지 않는다. 온도 센서의 터치가 중단되면, 온도 센서가 냉각되기 시작하고, 이에 따라 온도 센서의 저항이 점차 증가된다. 온도 센서가 터치되기 전의 온도로 회복되면 저항은 터치되기 전의 저항과 같아질 수 있다.
- [0104] 즉, 본 실시예에 따른 온도 센서는 온도 변화를 통해 터치 여부를 감지할 수 있다.
- [0105] 도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 복합소재의 굽힘 조건에 대한 온도 감지 민감도 측정 그래프이다.
- [0106] 이하 도 8을 참조하여 본 발명의 일 구현예에 대해 설명하도록 한다.
- [0107] 본 실시예에 따른 복합소재의 굽힘에 대한 온도 감지 민감도를 기관의 존재 여부에 따라 측정한 결과(802), 기관을 포함시키지 않은 복합소재는 굽힘에 대한 저항 변화가 발생되지 않음을 알 수 있다. 기관을 포함하는 복합소재는, 굽힘에 대한 응력(stress)을 받은 기관으로 인하여 기관과 복합소재 사이에 응력이 집중되어 저항 변화가 일어날 수 있다.
- [0108] 본 실시예에 따른 복합소재가 구부러진 상태에서 온도 감지 민감도를 측정한 결과(804), 복합소재가 구부러지지 않았을 때와 굽힘 정도가 3mm 내지 14mm일 때의 온도에 따른 저항 변화율은 유사함을 알 수 있다.
- [0109] 또한, 굽힘 횟수에 따른 복합소재의 온도 감지 민감도를 측정한 결과(806), 0회 내지 1,000회의 굽힘 자극이 이루어진 복합소재들의 온도에 대한 저항 변화율은 유사함을 알 수 있다.
- [0110] 즉, 본 실시예에 따른 복합소재는 기계적 자극에 대한 영향을 받지 않는다. 또한, 온도 변화에 따른 저항 변화율이 일정하게 유지될 수 있으며, 물리적 자극에 대한 내구성이 우수하다.
- [0111] 도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 복합소재에서 온도 감응 변색층이 코팅된 복합소재의 온도 감지 특성을 나타낸 이미지이다.
- [0112] 본 발명의 일 실시예에 따른 복합소재는 온도에 따라 색이 변하는 변색층을 더 포함할 수 있다. 즉, 특정 온도에서 특정 색상을 띄게하는 색소를 포함하는 변색층을 복합소재에 코팅함으로써 시각적으로 온도를 표시할 수 있다.
- [0113] 즉, 본 발명의 일 실시예에 따른 복합소재는 그 일면에 코팅된 온도 감응 변색층을 더 포함할 수 있다. 온도 감응 변색층은 폴리디메틸실록산(Polydimethylsiloxane: PDMS)과 PDMS 내에 혼합된 적어도 하나의 온도 감응 변색 색소를 포함할 수 있다. 여기서 온도 감응 변색 색소는 온도에 따라 색이 변화되는 특성을 갖는다.
- [0114] 일 예로, 하나의 온도 감응 변색 색소로 이루어진 온도 감응 변색층을 포함하는 복합소재(902)는, 온도 감응 변색 색소의 색이 변하는 온도에 도달되면 색이 변할 수 있다.
- [0115] 또한, 둘 이상의 온도 감응 변색 색소들로 이루어진 온도 감응 변색층을 포함하는 복합소재(904)는 첨가된 변색 색소들의 수에 따라 감지 가능한 온도 범위 또는 온도 감지 개수가 달라질 수 있다.
- [0116] 이러한 복합소재(906)는 온도 감지 필름으로 제조되어 온도 센서의 일면에 얇게 적층될 수 있으며, 인공 전자 피부, 바이오 센서 등에 적용될 수 있다.
- [0117] 도 10은 본 발명의 일 실시예에 따른 복합소재를 제조하는 방법을 간략히 도시한 순서도이다.

- [0118] 제조 방법의 각 단계들은 복합소재를 제조하는 장치에 의해 수행될 수 있다.
- [0119] 도 10에 따르면, 용매에 PVDF를 혼합시키는 단계(1020)를 통해 제1 혼합물을 제조할 수 있다. 여기서의 용매는 PVDF, rGO 및 PEO가 모두 균일하게 혼합될 수 있도록, PVDF, rGO 및 PEO에 대한 용해도가 높은 용매이다. 예컨대, 이러한 용매는 다이메틸폼아마이드(Dimethylformamide: DMF)일 수 있다.
- [0120] 제1 혼합물에 rGO를 혼합시키는 단계(1040)를 통해 제2 혼합물을 제조할 수 있고, 제2 혼합물에 PEO를 혼합시키는 단계(1060)를 통해 제3 혼합물을 제조할 수 있다.
- [0121] 용매에 PVDF, rGO 및 PEO를 순차적으로 혼합시킴으로써, 매트릭스 내에 rGO와 PEO가 어느 한 부분에 뭉치거나 가라앉지 않고 균일하게 분포될 수 있다.
- [0122] 용매에 혼합되는 PVDF, rGO 및 PEO의 조성비는 PVDF 100-(x+y)중량%, rGO x중량% 및 PEO y중량%일 수 있다. 여기서 x는 1 내지 2이고, y는 20 내지 30일 수 있다. PVDF, rGO 및 PEO로 이루어진 복합소재의 조성비의 합은 100 중량%이다.
- [0123] rGO의 농도가 1 중량% 미만인 경우, 제조된 복합소재의 전기전도도가 낮아 온도 감지가 이루어지지 않을 수 있다. rGO의 농도가 2 중량% 초과인 경우, rGO와 매트릭스가 결합되어 rGO 상이 분명하게 나타나지 않고 섞일 수 있다. 따라서 제조된 복합소재의 전기전도도가 저하될 수 있다.
- [0124] PEO의 농도가 20 중량% 미만인 경우, 제조된 복합소재의 온도가 상승되어도 팽창되는 PEO 입자의 수가 적기 때문에 온도 감지 민감도의 향상이 크지 않다. PEO가 30 중량% 초과인 경우, PEO와 PVDF가 결합되어 섞일 수 있다. 온도가 상승되면 제조된 복합소재의 매트릭스 및 PEO가 동시에 팽창되어 전체 부피가 증가될 수 있다. 따라서, 매트릭스 내에 분포된 rGO 시트들 사이의 거리가 멀어져 복합소재의 저항이 증가된다. 제3 혼합물의 용매를 증발시키는 단계(1080)를 통해, DMF를 증발시켜, 혼합물을 경화시킴으로써 복합소재가 제조될 수 있다. 제조된 복합소재는 필름 형태로 이루어질 수 있으며, 신체 일부에 부착이 용이할 수 있다.
- [0125] 본 실시예에 따른 복합소재의 일면에 온도 감응 변색층을 코팅시켜 적층시킬 수 있다. 온도 감응 변색층은 폴리디메틸실록산(Polydimethylsiloxane: PDMS) 및 적어도 하나의 온도 감응 변색 색소를 포함할 수 있고, 온도 감응 변색 색소는 PDMS 내에 균일하게 분포될 수 있다.
- [0126] 온도 감응 변색층이 코팅된 복합소재는 전기적 특성 변화 및 색 변화를 통해 온도 감지 결과를 나타낼 수 있다. 즉, 사용자는 온도 변화를 수치적 및 가시적으로 알 수 있다.
- [0127] 본 발명의 일 실시예에 따른 복합소재로 이루어진 온도 센서의 두께는 50um미만으로 제작될 수 있다. 이에 따라, 제조된 온도 센서는 유연한 특성을 가지며 웨어러블 기기에 적용될 수 있다.
- [0129] 제시된 실시예들에 대한 설명은 임의의 본 발명의 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자가 본 발명을 이용하거나 또는 실시할 수 있도록 제공된다. 이러한 실시예들에 대한 다양한 변형들은 본 발명의 기술 분야에서 통상의 지식을 가진자에게 명백할 것이며, 여기에 정의된 일반적인 원리들은 본 발명의 범위를 벗어남이 없이 다른 실시예들에 적용될 수 있다. 그리하여, 본 발명은 여기에 제시된 실시예들로 한정되는 것이 아니라, 여기에 제시된 원리들 및 신규한 특징들과 일관되는 최광의의 범위에서 해석되어야 할 것이다.

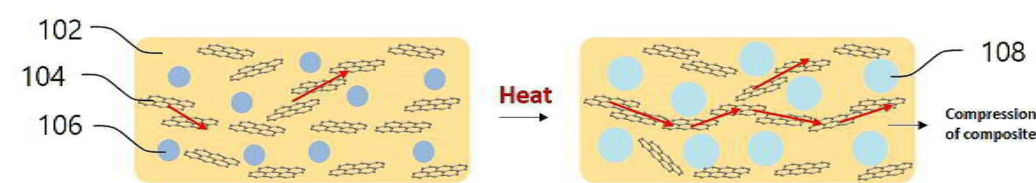
부호의 설명

- [0130] 102 : 매트릭스
- 104 : 전도성 충전재
- 106 : 반결정 고분자(solid)
- 108 : 반결정 고분자(molten)
- 200 : PEO의 분자량에 따른 복합소재의 녹는점을 나타낸 그래프
- 202 : 분자량 1k의 PEO가 포함된 복합소재의 녹는점을 나타낸 그래프
- 204 : 분자량 1.5k의 PEO가 포함된 복합소재의 녹는점을 나타낸 그래프
- 206 : 분자량 4k의 PEO가 포함된 복합소재의 녹는점을 나타낸 그래프
- 300 : rGO의 농도에 대한 복합소재의 저항 변화 그래프

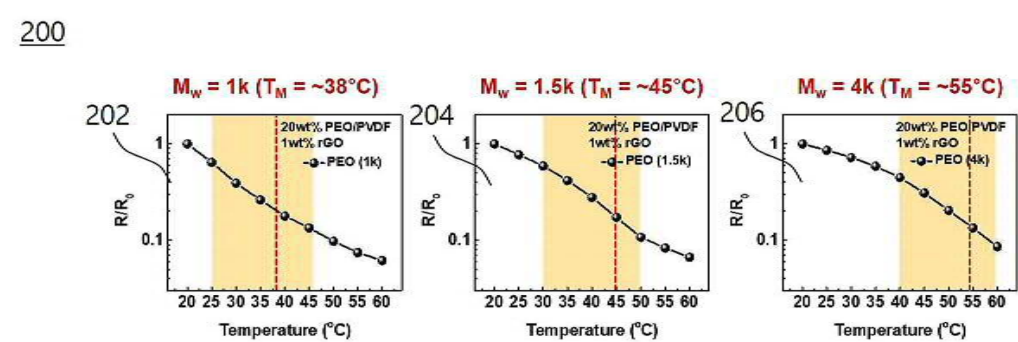
- 302 : rGO 농도에 따른 복합소재의 온도 감지 민감도를 나타낸 그래프
- 304 : rGO 농도에 따른 복합소재의 저항 변화를 나타낸 그래프
- 400 : rGO 농도에 대한 복합소재의 SEM 이미지
- 402 : PVDF(78wt%), rGO(2wt%) 및 PEO(20wt%)로 이루어진 복합소재의 SEM 이미지
- 404 : PVDF(75wt%), rGO(5wt%) 및 PEO(20wt%)로 이루어진 복합소재의 SEM 이미지
- 500 : PEO 농도에 대한 복합소재의 물성 측정 그래프
- 502 : PEO 농도에 따른 복합소재의 온도 감지 민감도 그래프
- 504 : PVDF(68wt%), rGO(2wt%) 및 PEO(30wt%)로 이루어진 복합소재의 TCR 그래프
- 506 : PVDF(68wt%), rGO(2wt%) 및 PEO(30wt%)로 이루어진 복합소재의 Hysteresis 그래프
- 600 : PVDF(68wt%), rGO(2wt%) 및 PEO(30wt%)로 이루어진 복합소재의 최소 온도 감지 범위 측정 그래프
- 602 : PVDF(68wt%), rGO(2wt%) 및 PEO(30wt%)로 이루어진 복합소재의 저항을 0℃ 내지 175℃ 범위에서 측정한 결과
- 604 : PVDF(68wt%), rGO(2wt%) 및 PEO(30wt%)로 이루어진 복합소재의 최소 감지 온도 범위를 32℃ 내지 40℃ 범위에서 측정한 결과
- 700 : 복합소재의 기계적 자극에 대한 온도 감지 민감도 측정 그래프 및 이미지
- 701 : 전극의 배열 형태를 나타낸 이미지
- 702 : 전극의 배열 형태 및 PEO의 첨가 여부에 따른 압력에 대한 저항 변화량을 나타낸 그래프
- 703 : 복합소재를 20℃ 내지 40℃ 범위에서 일정한 온도가 유지되는 동안, 압력을 0kPa부터 30kPa까지 증가시키면서 온도 감지 민감도를 측정한 그래프
- 704 : 복합소재에 하중을 가하며 하중 및 저항 변화를 측정하는 이미지
- 705 : 복합소재에 하중을 가하고 제거하는 동안의 저항 변화를 나타낸 그래프
- 706 : 복합소재가 손가락으로 터치되는 동안의 저항 변화를 나타낸 그래프
- 715 : 복합소재에 압력을 가할 때의 신호 변화
- 725 : 복합소재에 압력을 제거할 때의 신호 변화
- 800 : 복합소재의 굽힘에 대한 온도 감지 민감도 측정 그래프
- 802 : 복합소재의 굽힘에 대한 온도 감지 민감도를 기관의 존재 여부에 따라 측정한 결과
- 804 : 복합소재를 굽힌 상태에서 온도 감지 민감도를 측정한 결과
- 806 : 굽힘 횟수에 따른 복합소재의 온도 감지 민감도를 측정한 결과
- 900 : 온도 감응 변색층을 포함하는 복합소재의 온도 감지 특성을 나타내는 이미지
- 902 : PDMS 및 하나의 온도 감응 변색 색소를 포함하는 온도 감응 변색층이 코팅된 복합소재
- 904 : PDMS 및 둘 이상의 온도 감응 변색 색소들로 이루어진 온도 감응 변색층이 코팅된 복합소재
- 906 : 온도 감응 변색층을 포함하는 복합소재의 온도에 따른 전기적 변화 및 색 변화 측정 결과
- 1000 : 복합소재 제조 방법

도면

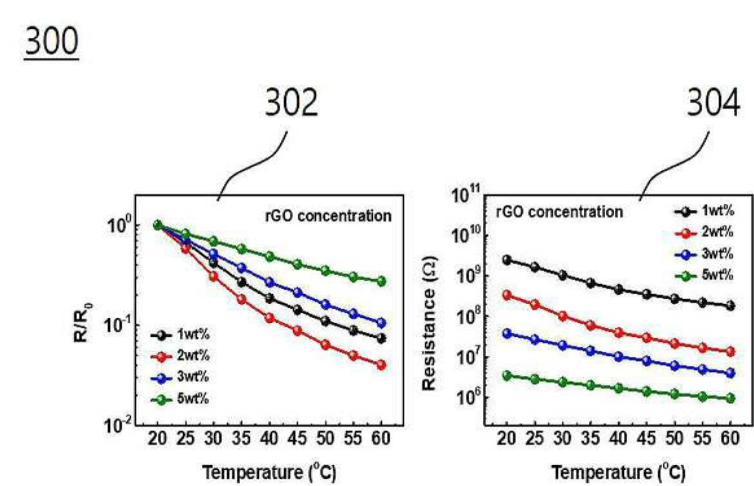
도면1



도면2

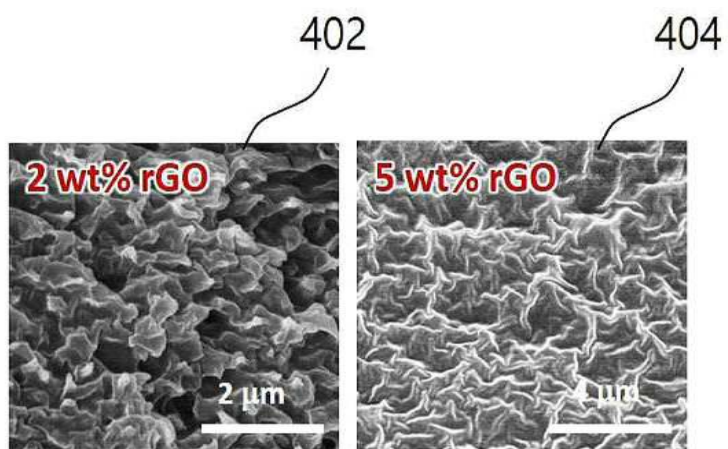


도면3



도면4

400

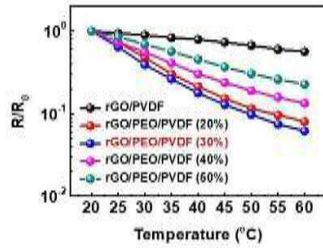


도면5

500

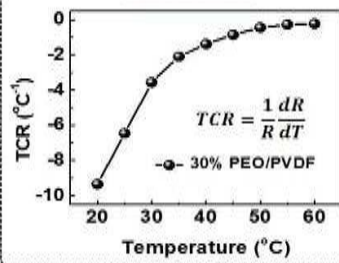
502

Concentration of PEO



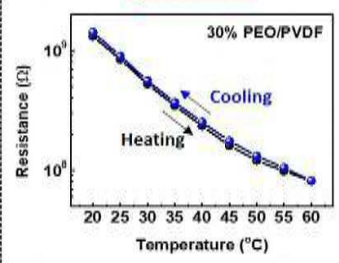
504

TCR value



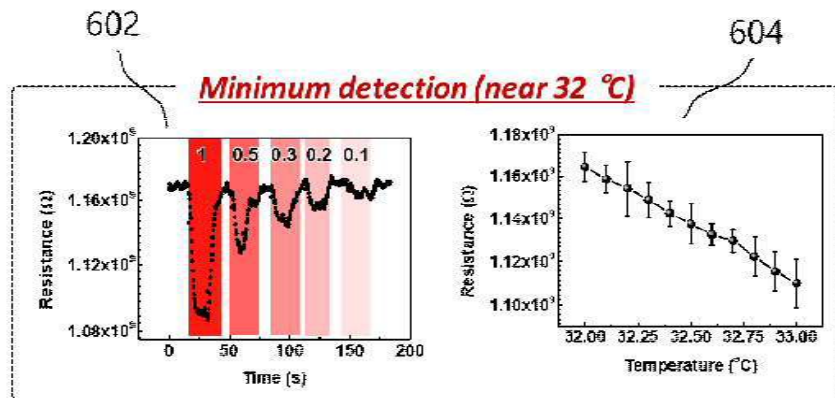
506

Hysteresis



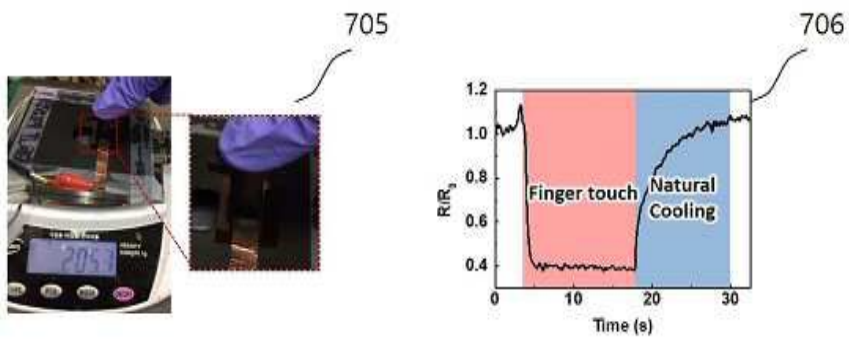
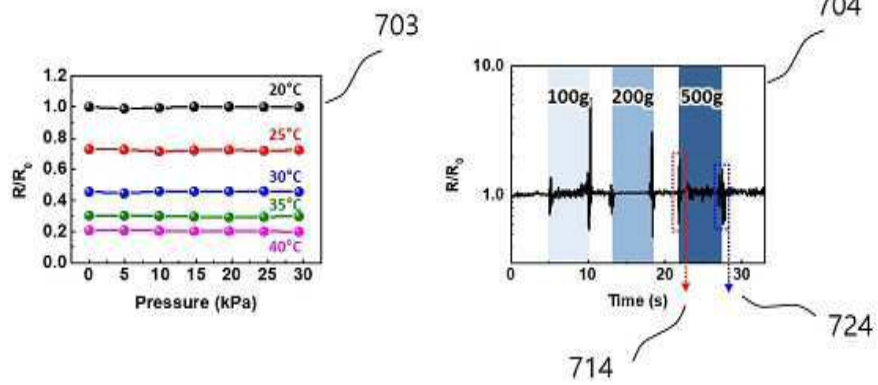
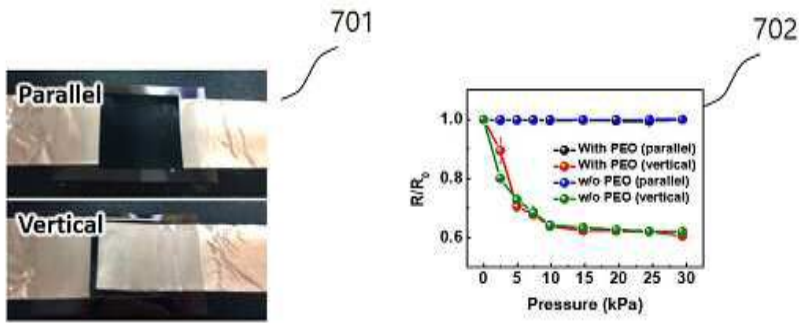
도면6

600



도면7

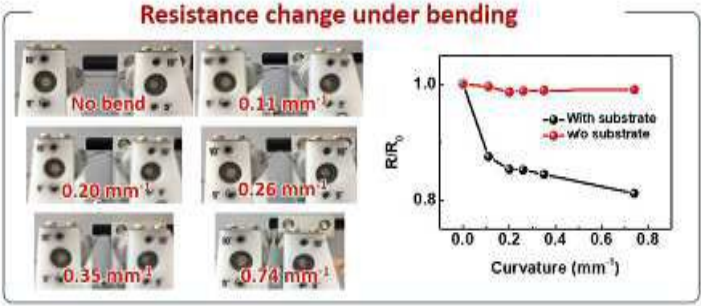
700



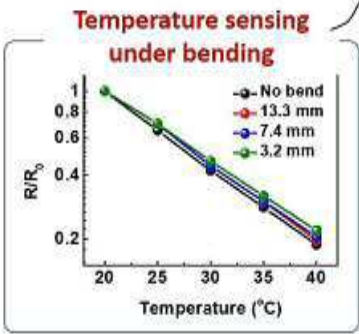
도면8

800

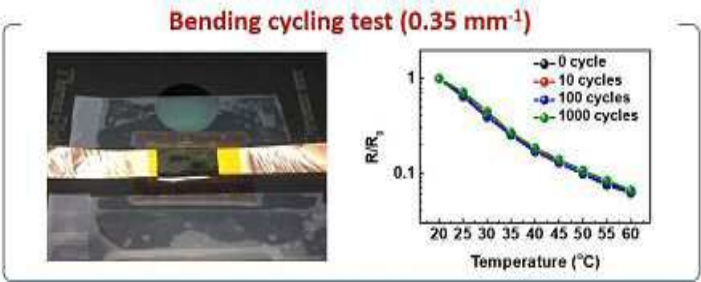
802



804

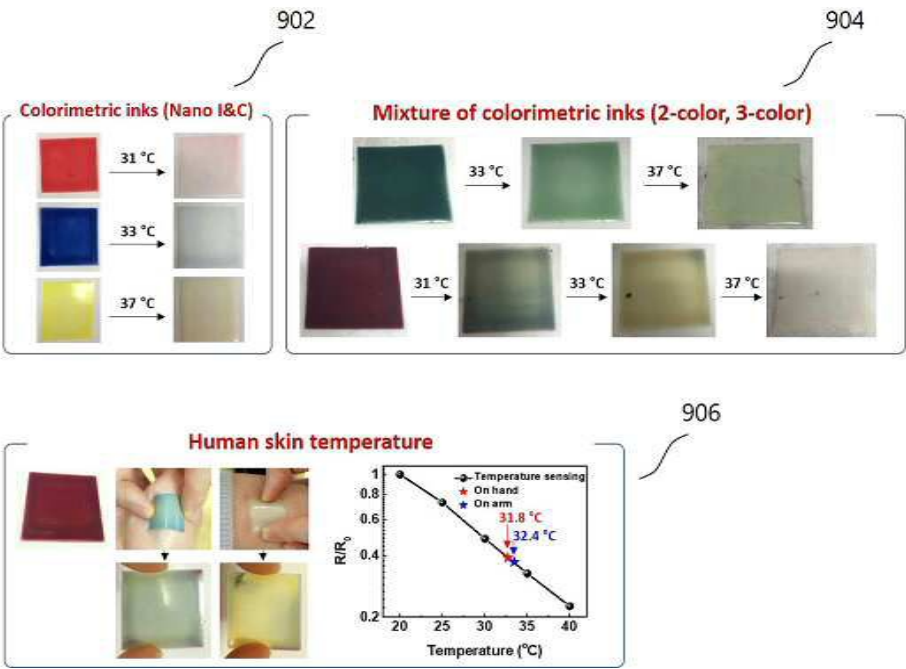


806



도면9

900



도면10

1000

