



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2021년01월12일  
(11) 등록번호 10-2201847  
(24) 등록일자 2021년01월06일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
G01L 1/18 (2006.01) C08K 3/04 (2006.01)  
C08L 101/00 (2006.01) C08L 91/06 (2006.01)  
(52) CPC특허분류  
G01L 1/18 (2013.01)  
C08K 3/041 (2017.05)  
(21) 출원번호 10-2020-0002888  
(22) 출원일자 2020년01월09일  
심사청구일자 2020년01월09일  
(56) 선행기술조사문헌  
KR101391770 B1  
KR1020160109266 A  
KR101943519 B1

(73) 특허권자  
한국교통대학교 산학협력단  
충청북도 충주시 대소원면 대학로 50  
(72) 발명자  
정용진  
충청북도 충주시 대소원면 대학로 50, 한국교통대학교 신소재공학과  
(74) 대리인  
특허법인충현

전체 청구항 수 : 총 17 항

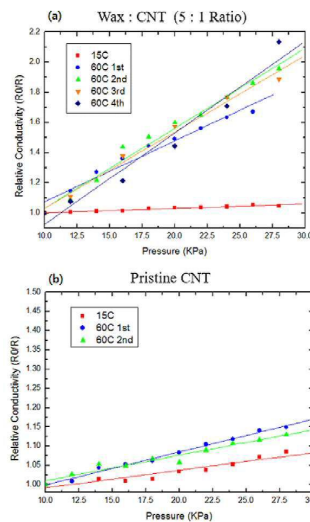
심사관 : 김병수

(54) 발명의 명칭 파라핀 왁스를 포함하는 임계온도 압저항 복합체 및 이를 포함하는 압력 센서

(57) 요약

본 발명은 고분자 매트릭스; 상기 고분자 매트릭스의 내부와 표면에 임베딩된(imbedded) 상태로 분산된 방울(droplet) 형태의 파라핀 왁스; 및 상기 고분자 매트릭스와 상기 파라핀 왁스에 분산되어 있는 탄소나노튜브;를 포함하는 임계온도를 갖는 압저항 복합체에 관한 것이다. 이에 의하여, 본 발명의 압저항 복합체는 파라핀 왁스를 도입하여 탄소 사슬 길이를 조절함으로써 녹는점을 조절하고 이에 따라 임계온도를 설정함으로써 특정범위의 온도에서만 작동하는 압력 센서를 제공할 수 있다.

대표도 - 도6



(52) CPC특허분류  
*C08L 101/00* (2013.01)  
*C08L 91/06* (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	2019R1A6C1010047
부처명	교육부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	기초과학연구역량강화사업
연구과제명	핵심연구지원센터 조성 지원 과제
기 여 율	1/1
과제수행기관명	한국교통대학교 산학협력단
연구기간	2019.06.01 ~ 2025.02.28

---

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

고분자 매트릭스;

상기 고분자 매트릭스의 내부와 표면에 임베딩된(imbedded) 상태로 분산된 방울(droplet) 형태의 파라핀 왁스; 및

상기 고분자 매트릭스와 상기 파라핀 왁스에 분산되어 있는 탄소나노튜브;를 포함하는 임계온도를 갖는 압저항 복합체.

#### 청구항 2

제1항에 있어서,

상기 고분자 매트릭스는 유연성이 있는 고분자 화합물인 것을 특징으로 하는 임계온도를 갖는 압저항 복합체.

#### 청구항 3

제2항에 있어서,

상기 고분자 매트릭스는 폴리디메틸실록산(PDMS), 폴리에틸렌테레프탈레이트(PET), 폴리우레탄아크릴레이트(PUA), 폴리프로필렌(PP) 및 폴리에틸렌(PE) 중에서 선택되는 어느 하나를 포함하는 것을 특징으로 하는 임계온도를 갖는 압저항 복합체.

#### 청구항 4

제1항에 있어서,

상기 압저항 복합체는 고분자 매트릭스 100중량부를 기준으로,

파라핀 왁스 5 내지 20중량부; 및 탄소나노튜브 0.5 내지 5중량부;를 포함하는 것을 특징으로 하는 임계온도를 갖는 압저항 복합체.

#### 청구항 5

제1항에 있어서,

상기 파라핀 왁스는 탄소수 19 내지 40인 알칸인 것을 특징으로 하는 임계온도를 갖는 압저항 복합체.

#### 청구항 6

제1항에 있어서,

상기 파라핀 왁스의 방울은 직경이 20 내지 100 $\mu\text{m}$  인 것을 특징으로 하는 임계온도를 갖는 압저항 복합체.

#### 청구항 7

제1항에 있어서,

상기 탄소나노튜브는 다중벽 탄소나노튜브인 것을 특징으로 하는 임계온도를 갖는 압저항 복합체.

#### 청구항 8

제7항에 있어서,

상기 다중벽 탄소나노튜브는 평균직경 10 내지 15 nm, 평균길이 10 내지 20  $\mu\text{m}$  인 것을 특징으로 하는 압저항 복합체.

**청구항 9**

제1항에 있어서,

상기 압저항 복합체는 압력 센서로 작동 가능한 임계온도가 30 ℃ 내지 80 ℃인 것을 특징으로 하는 임계온도를 갖는 압저항 복합체.

**청구항 10**

제9항에 있어서,

상기 임계온도는 상기 파라핀 왁스의 탄소 사슬길이를 조절하여 녹는점을 조절함으로써 설정되는 것을 특징으로 하는 임계온도를 갖는 압저항 복합체.

**청구항 11**

제1항에 있어서,

상기 압저항 복합체는 1 내지 100 Kpa의 압력 범위에서 압력 센서의 기능을 나타내는 것을 특징으로 하는 임계온도를 갖는 압저항 복합체.

**청구항 12**

- (a) 탄소나노튜브를 용매에 분산시켜 탄소나노튜브 분산용액을 제조하는 단계;
- (b) 상기 탄소나노튜브 분산용액에 고분자 화합물과 파라핀을 주입하여 복합체 용액을 제조하는 단계;
- (c) 상기 복합체 용액에서 용매를 제거한 후 경화제를 혼합하여 경화제 혼합 복합체를 제조하는 단계; 및
- (d) 상기 경화제 혼합 복합체를 기관상에 코팅한 후 경화시켜 압저항 복합체를 제조하는 단계;를 포함하는 임계온도를 갖는 압저항 복합체의 제조방법.

**청구항 13**

제12항에 있어서,

단계 (a)에서 상기 용매는 클로로포름, 메틸렌클로라이드, 에틸아세테이트, 에테르, 아세톤, 및 헥산 중에서 선택된 어느 하나인 것을 특징으로 하는 임계온도를 갖는 압저항 복합체의 제조방법.

**청구항 14**

제12항에 있어서,

단계 (b)에서 상기 고분자 화합물은 폴리디메틸실록산(PDMS), 폴리에틸렌테레프탈레이트(PET), 폴리우레탄아크릴레이트(PUA), 폴리프로필렌(PP) 및 폴리에틸렌(PE) 중에서 선택되는 어느 하나인 것을 특징으로 하는 임계온도를 갖는 압저항 복합체의 제조방법.

**청구항 15**

제12항에 있어서,

단계 (b)에서 상기 고분자 화합물 100중량부를 기준으로, 파라핀 왁스 5 내지 20중량부; 및 탄소나노튜브 0.5 내지 5중량부;를 사용하는 것을 특징으로 하는 임계온도를 갖는 압저항 복합체의 제조방법.

**청구항 16**

제1항 내지 제11항 중에서 선택된 어느 한 항의 임계온도를 갖는 압저항 복합체를 포함하는 압력 센서.

**청구항 17**

제12항 내지 제15항 중에서 선택된 어느 한 항의 임계온도를 갖는 압저항 복합체의 제조방법을 포함하는 압력 센서의 제조방법.

**발명의 설명**

**기술 분야**

[0001] 본 발명은 압저항 복합체 및 이를 포함하는 압력 센서에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 파라핀 왁스의 녹는점을 이용하여 임계온도를 갖는 압저항 복합체 및 이를 포함하는 압력 센서에 관한 것이다.

**배경 기술**

[0002] 외부에서 물체에 힘이 가해질 때 전기적인 성질인 저항이 변하는 성질인 압저항 특성은 1856년 영국의 Baron Kelvin에 의해서 처음 발견되었다. 이후 1954년 Smith에 의해서 실리콘과 게르마늄에서 압저항 특성이 크게 나타남을 보였다. 이후에 압저항 특성이 나타나는 물질들은 이용하여 외부에서 힘을 가했을 때 저항이 변화는 값을 통해서 가해진 힘의 크기를 감지하는 압저항 센서가 제작되었다.

[0003] 압력센서는 물체에 힘이 가해질 때 단위 면적당 물체에 가해지는 압력이나 회전의 미세한 크기 변화를 측정하는 전자소자로서 물체의 변위나 변형을 측정하여 압력의 변화를 알아내는 센서이다. 종래에는 고비용의 실리콘 기반 기술을 통해서 우주, 항공, 설비 제어 등에 사용되었던 압력 센서는 현재 다양한 방법으로 제작되고 있으며, 특히 실리콘 마이크로머시닝 기술을 통하여 저비용의 소형화 압력센서의 개발이 가능하여 다양한 응용이 가능하다.

[0004] 압력센서는 성능 및 크기에 장점을 가지고 있어서 자동차, 항공, 우주, 산업 설비 제어, 의학 진단, 환경 모니터링 등 다양한 분야에 대하여 시장을 형성하고 있다. 특히 압력센서는 터치 인터페이스, 헬스 모니터링, 인공 피부 등 다양한 전자 소자에 응용될 수 있다.

[0005] 한편 압력센서의 경우 압력의 변화를 측정하는 방식에 따라서 전기역학적(electrokinetic) 압력센서, FET(field effect transistors) 압력센서, 공진형 압력센서, 간섭형 압력센서, 정전용량형 압력센서 및 압저항 압력센서로 나눌 수 있다. 이중 압저항 압력센서(resistive pressure sensor)는 정전용량형 압력센서와 함께 가장 많이 사용되고 있는 압력센서로서 응력을 받으면 저항이 변하는 압저항 특성을 이용해서 압력을 감지하는 센서이다. 압저항 특성을 이용한 압력 센서의 경우 정전용량형 압력 센서에 비해서 압력을 측정할 수 있는 범위가 넓고 공정이 간단해서 수율이 높고 비용도 저렴한 편이다.

[0006] 이와 같은 압저항 압력센서에 대하여 낮은 감도 특성을 향상시키고 다양한 용도로 응용하는 연구가 필요하다.

**선행기술문헌**

**특허문헌**

[0007] (특허문헌 0001) 한국등록특허 제10-1546869호

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

[0008] 본 발명의 목적은 파라핀 왁스를 도입하여 압저항 압력센서의 감도를 개선하고 파라핀 왁스의 탄소수를 조절하여 녹는점을 조절함으로써 원하는 온도 이상에서만 압력 센싱으로 작동할 수 있는 임계온도를 갖는 압저항 복합체 및 이의 제조방법을 제공하는 데 있다.

[0009] 본 발명의 다른 목적은 파라핀 왁스를 도입하여 압저항 압력센서의 감도를 개선하고 파라핀 왁스의 탄소수를 조절하여 녹는점을 조절함으로써 원하는 온도 이상에서만 압력 센싱으로 작동할 수 있는 압저항 복합체를 포함하는 임계온도를 갖는 압력 센서 및 이의 제조방법을 제공하는 데 있다.

**과제의 해결 수단**

[0010] 본 발명의 하나의 측면에 따르면,

[0011] 고분자 매트릭스;

- [0012] 상기 고분자 매트릭스의 내부와 표면에 임베딩된(imbedded) 상태로 분산된 방울(droplet) 형태의 파라핀 왁스; 및
- [0013] 상기 고분자 매트릭스와 상기 파라핀 왁스에 분산되어 있는 탄소나노튜브;를 포함하는 임계온도를 갖는 압저항 복합체가 제공된다.
- [0014] 상기 고분자 매트릭스는 유연성이 있는 고분자 화합물 일 수 있다.
- [0015] 상기 고분자 매트릭스는 폴리디메틸실록산(PDMS), 폴리에틸렌테레프탈레이트(PET), 폴리우레탄아크릴레이트(PUA), 폴리프로필렌(PP) 및 폴리에틸렌(PE) 중에서 선택되는 어느 하나일 수 있다.
- [0016] 바람직하게는, 상기 압저항 복합체는 고분자 매트릭스 100중량부를 기준으로,
- [0017] 파라핀 왁스 5 내지 20중량부; 및 탄소나노튜브 0.5 내지 5중량부;를 포함할 수 있다.
- [0018] 상기 파라핀 왁스는 탄소수 19 내지 40인 알칸일 수 있다.
- [0019] 상기 파라핀 왁스의 방울은 직경이 20 내지 100 $\mu$ m 일 수 있다.
- [0020] 상기 탄소나노튜브는 다중벽 탄소나노튜브 일 수 있다.
- [0021] 상기 다중벽 탄소나노튜브는 평균직경 10 내지 15 nm, 평균길이 10 내지 20  $\mu$ m 일 수 있다.
- [0022] 상기 압저항 복합체는 압력 센서로 작동 가능한 임계온도가 30 $^{\circ}$ C 내지 80 $^{\circ}$ C 일 수 있다.
- [0023] 상기 임계온도는 상기 파라핀 왁스의 탄소 사슬길이를 조절하여 녹는점을 조절함으로써 설정될 수 있다.
- [0024] 상기 압저항 복합체는 1 내지 100 Kpa의 압력 범위에서 압력 센서의 기능을 나타낼 수 있다.
- [0025] 본 발명이 다른 하나의 측면에 따르면,
- [0026] (a) 탄소나노튜브를 용매에 분산시켜 탄소나노튜브 분산용액을 제조하는 단계;
- [0027] (b) 상기 탄소나노튜브 분산용액에 고분자 화합물과 파라핀을 주입하여 복합체 용액을 제조하는 단계;
- [0028] (c) 상기 복합체 용액에서 용매를 제거한 후 경화제를 혼합하여 경화제 혼합 복합체를 제조하는 단계; 및
- [0029] (d) 상기 경화제 혼합 복합체를 기판상에 코팅한 후 경화시켜 압저항 복합체를 제조하는 단계;를 포함하는 임계 온도를 갖는 압저항 복합체의 제조방법이 제공된다.
- [0030] 단계 (a)에서 상기 용매는 클로로포름, 메틸렌클로라이드, 에틸아세테이트, 에테르, 아세톤, 및 헥산 중에서 선택된 어느 하나일 수 있다.
- [0031] 단계 (b)에서 상기 고분자 화합물은 폴리디메틸실록산(PDMS), 폴리에틸렌테레프탈레이트(PET), 폴리우레탄아크릴레이트(PUA), 폴리프로필렌(PP) 및 폴리에틸렌(PE) 중에서 선택되는 어느 하나일 수 있다.
- [0032] 단계 (b)에서 상기 고분자 화합물 100중량부를 기준으로, 파라핀 왁스 5 내지 20중량부; 및 탄소나노튜브 0.5 내지 5중량부;를 사용할 수 있다.
- [0033] 본 발명의 다른 또 하나의 측면에 따르면,
- [0034] 상기 임계온도를 갖는 압저항 복합체를 포함하는 압력 센서가 제공된다.
- [0035] 본 발명의 다른 또 하나의 측면에 따르면,
- [0036] 상기 임계온도를 갖는 압저항 복합체의 제조방법을 포함하는 압력 센서의 제조방법이 제공된다.

**발명의 효과**

- [0037] 본 발명의 임계온도를 갖는 압저항 복합체는 파라핀 왁스를 도입하여 압저항 압력센서의 감도를 개선하고 파라핀 왁스의 탄소수를 조절하여 녹는점을 조절함으로써 원하는 온도 이상에서만 압력 센싱으로 작동할 수 있다. 또한 이와 같은 압저항 복합체를 압력 센서에 도입함으로써 예를 들면 사람이 손으로 압력을 가할 때 센싱이 가능하지만 임계온도에 도달하지 못하는 저온의 물체가 압력을 가하는 경우에는 작동하지 않는 압력 센서 등 용도에 따라 다양한 임계온도를 설정함으로써 다양한 분야의 센서에 활용될 수 있다.

**도면의 간단한 설명**

- [0038] 도 1은 본 발명의 임계온도를 갖는 압저항 복합체의 개략도이다.
- 도 2는 실시예 1에서 사용한 파라핀 왁스의 온도의 따른 상태를 나타낸 사진이다.
- 도 3은 실시예 2의 압력 센서의 측면 개략도이다.
- 도 4는 실험예 1에 따른 SEM 이미지이다.
- 도 5는 실험예 2에 따른 전압-전류 특성 분석 결과이다.
- 도 6은 실험예 3에 따른 압력 센싱 분석 결과이다.
- 도 7은 실험예 4의 압력 센서 안정성 평가 결과이다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

- [0039] 본 발명은 다양한 변환을 가할 수 있고 여러 가지 실시예를 가질 수 있는 바, 특정 실시예들을 도면에 예시하고 상세한 설명에 상세하게 설명하고자 한다. 그러나, 이는 본 발명을 특정한 실시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변환, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다. 본 발명을 설명함에 있어서 관련된 공지 기술에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 흐릴 수 있다고 판단되는 경우 그 상세한 설명을 생략한다.
- [0041] 도 1은 본 발명의 임계온도를 갖는 압저항 복합체의 개략도이고, 여기서 (a)는 고분자 매트릭스에 파라핀 왁스가 고체 상태로 포함된 것이고, (b)는 파라핀 왁스가 녹는점 이상의 온도에서 액체 상태인 것을 나타낸 것이다.
- [0042] 이하, 본 발명의 임계온도를 갖는 압저항 복합체에 대해 설명하도록 한다.
- [0043] 임계온도를 갖는다는 의미는 임계온도 이상에서만 압력 센싱이 가능함을 의미한다. 따라서 압력이 가해지더라도 임계온도 미만에서는 압력 센싱이 작동하지 않는다.
- [0044] 본 발명의 압저항 복합체는 고분자 매트릭스; 파라핀 왁스; 및 탄소나노튜브;를 포함한다. 구체적으로, 상기 파라핀 왁스 상기 고분자 매트릭스의 내부와 표면에 임베딩된(imbedded) 상태로 분산된 방울(droplet) 형태이고, 상기 탄소나노튜브는 상기 고분자 매트릭스와 상기 파라핀 왁스에 분산되어 있는 것을 특징으로 한다.
- [0045] 도시된 바와 같이 파라핀 왁스는 점도(viscosity)가 낮아 여기에 분산된 탄소나노튜브는 파라핀 왁스가 외부 압력에 의해 녹는 경우 더 유동적인 상태가 될 수 있다. 다시 말해, 본 발명이 압저항 복합체는 상술한 바와 같은 파라핀 왁스의 성질에 의해 종래 파라핀 왁스를 포함하지 않는 압저항 소재에 비하여 압력에 대한 민감도가 우수하다.
- [0046] 상기 고분자 매트릭스는 유연성이 있는 고분자 화합물인 것이 바람직하다.
- [0047] 상기 고분자 매트릭스는 폴리디메틸실록산(PDMS), 폴리에틸렌테레프탈레이트(PET), 폴리우레탄아크릴레이트(PUA), 폴리프로필렌(PP) 및 폴리에틸렌(PE) 중에서 선택되는 어느 하나일 수 있으나, 본 발명의 범위가 여기에 한정되지 않으며, 압력 센서의 지지체로 사용될 수 있는 물질은 모두 적용할 수 있다.
- [0048] 상기 압저항 복합체는 고분자 매트릭스 100중량부를 기준으로, 파라핀 왁스 5 내지 20중량부; 및 탄소나노튜브 0.5 내지 5중량부;를 포함하는 것이 바람직하고, 더욱 바람직하게는, 파라핀 왁스 7 내지 13중량부; 및 탄소나노튜브 1 내지 3중량부;를 포함할 수 있다.
- [0049] 상기 파라핀 왁스는 탄소수 19 내지 40인 알칸인 것이고, 압력 센서의 임계 온도 설정에 따라 탄소수를 조절하여 파라핀 왁스의 녹는점을 조절할 수 있다. 예를 들어 사람의 터치 압력으로 작동하는 압력 센서 제조를 위해서는 사람의 체온에 의해 작동되는 범위로 녹는점을 조절할 수 있다.
- [0050] 상기 파라핀 왁스의 방울은 직경이 20 내지 100 $\mu$ m 인 것이 바람직하고, 더욱 바람직하게는 30 내지 90 $\mu$ m, 더욱 더 바람직하게는 40 내지 80 $\mu$ m 일 수 있다. 상기 파라핀 왁스의 방울 직경이 20 $\mu$ m 미만인 경우에는 센서의 민감도를 향상시키는 데 효과를 발휘하기 어렵고, 100 $\mu$ m를 초과하는 경우에는 압저항 복합체 자체의 내구성이 저하될 수 있다.
- [0051] 탄소나노튜브는 다중벽 탄소나노튜브 또는 단일벽 탄소나노튜브를 사용할 수 있고, 바람직하게는 다중벽 탄소나

노튜브를 사용할 수 있다.

- [0052] 상기 다중벽 탄소나노튜브는 평균직경 10 내지 15 nm, 평균길이 10 내지 20  $\mu\text{m}$  인 것을 사용할 수 있다. 상기 범위의 하한 및 상한을 벗어나는 경우에는 센서의 민감도가 저하될 수 있다.
- [0053] 상기 압저항 복합체는 압력 센서로 작동 가능한 임계온도가 30℃ 내지 80℃ 일 수 있고, 앞서 설명한 바와 같이 압력 센서의 용도에 따라 파라핀 왁스의 탄소 사슬의 길이를 조절하여 파라핀 왁스가 녹는점을 조절함으로써 임계온도를 설정할 수 있다.
- [0054] 상기 압저항 복합체는 1 내지 100 Kpa의 압력 범위에서 압력 센서의 기능을 나타내는 것이 바람직하고, 압력 센서의 용도에 따라 다양하게 설정 가능하다.
- [0056] 이하, 본 발명의 임계온도를 갖는 압저항 복합체의 제조방법에 대해 설명하도록 한다.
- [0057] 먼저, 탄소나노튜브를 용매에 분산시켜 탄소나노튜브 분산용액을 제조한다(단계 a).
- [0058] 상기 용매는 클로로포름, 메틸렌클로라이드, 에틸아세테이트, 에테르, 아세톤, 및 헥산 중에서 선택된 어느 하나일 수 있으나, 본 발명의 범위가 여기에 한정되지 않는다.
- [0059] 다음으로, 상기 탄소나노튜브 분산용액에 고분자 화합물과 파라핀을 주입하여 복합체 용액을 제조한다(단계 b).
- [0060] 상기 고분자 화합물은 폴리디메틸실록산(PDMS), 폴리에틸렌테레프탈레이트(PET), 폴리우레탄아크릴레이트(PUA), 폴리프로필렌(PP) 및 폴리에틸렌(PE) 중에서 선택되는 어느 하나인 것이 바람직하고, 더욱 바람직하게는 폴리디메틸실록산 일 수 있다.
- [0061] 상기 고분자 화합물 100중량부를 기준으로, 파라핀 왁스 5 내지 20중량부; 및 탄소나노튜브 0.5 내지 5중량부; 를 사용하는 것이 바람직하고, 더욱 바람직하게는 파라핀 왁스 7 내지 13중량부; 및 탄소나노튜브 1 내지 3중량부; 를 사용할 수 있다.
- [0063] 본 발명은 상술한 임계온도를 갖는 압저항 복합체를 포함하는 압력센서를 제공한다. 본 발명의 압력 센서는 상기 압저항 복합체에 전극을 배치하고 필요한 접촉부 등의 부품을 추가한 것일 수 있다.
- [0065] 본 발명은 임계온도를 갖는 압저항 복합체의 제조방법을 포함하는 압력 센서의 제조방법을 포함하는 압력 센서의 제조방법을 제공한다.
- [0067] 이하, 본 발명의 이해를 돕기 위하여 바람직한 실시예를 제시한다. 그러나, 이들 실시예는 본 발명을 보다 구체적으로 설명하기 위한 것으로, 본 발명의 범위가 이에 의하여 제한되지 않고, 본 발명의 범주 및 기술사상 범위 내에서 다양한 변경 및 수정이 가능함은 당업계의 통상의 지식을 가진 자에게 자명할 것이다.
- [0069] **[실시예]**
- [0070] **실시예 1: 파라핀 왁스/PDMS/MWCNT 압저항 복합체 제조**
- [0071] 직경 10~15 nm, 길이가 약 10~20  $\mu\text{m}$  정도의 multiwall carbon nanotube (MWCNT)를 클로로포름(chloroform) 용매에 분산시키고 이후 PDMS와 탄소수 19 내지 40의 파라핀 왁스(paraffin wax)를 주입하여 복합체 용액을 만든다. 이 때 비율은 0.5g paraffin wax : 0.1g MWCNT : 5g PDMS (sylgard 184) 이다. 이후 rotary evaporator를 이용하여 용매를 제거한 후 PDMS 경화제를 약 1g 주입하여 섞은 후 진공분위기에서 거품을 제거하고 닥터블레이드를 이용하여 0.4 mm 두께로 코팅하였다. 이후 80℃에서 3시간 건조 후 120℃에서 overnight 하여 경화시킴으로써 압저항 복합체 박막을 제조하였다.
- [0072] 실시예 1에서 사용한 파라핀 왁스의 온도의 따른 상태를 나타낸 사진을 도 2에 도시하였다. 이에 따르면, 15℃에서는 고체로 존재하였으나, 60℃에서는 액체로 존재하였으며, 고체에서 액체로 상변화 하면서 20%의 부피가 증가하는 것을 확인할 수 있었다.
- [0074] **실시예 2: 압력 센서 제조**
- [0075] 실시예 1에 따라 제조된 완성된 압저항 복합체 박막의 상하에 두께 0.4 mm의 ITO 전극을 붙여 샌드위치 구조의 압력 센서를 제조하였다. 이와 같이 제조된 압력 센서의 측면 개략도를 도 3에 나타내었다.
- [0077] **비교예 1: PDMS/MWCNT 압저항 복합체 제조**
- [0078] 파라핀 왁스를 사용하지 않은 것을 제외하고는 실시예 1과 동일한 방법으로 PDMS/MWCNT 압저항 복합체를 제조하



였다.

[0080] **비교예 2: 압력 센서 제조**

[0081] 실시예 1 대신에 비교예 1에 따라 제조된 PDMS/MWCNT 복합체 박막을 사용한 것을 제외하고는 실시예 2와 동일한 방법으로 압력 센서를 제조하였다.

[0083] **[실험예]**

[0084] **실험예 1: SEM 이미지 분석**

[0085] 실시예 1에 따라 제조된 압저항 복합체 박막의 단면에 대한 주사전자현미경(SEM) 이미지를 도 4에 나타내었다. 이에 따르면, PDMS 매트릭스 내에 임베딩된(imbedded) 파라핀 왁스의 마이크로 스케일의 방울(droplets)을 확인할 수 있었다.

[0087] **실험예 2: 전압-전류 특성 분석**

[0088] 도 3과 같이 제작한 압력 센서의 상부전극과 하부전극에 직류전압을 가하여 얻은 전류를 측정하는 방법으로 전압-전류 특성을 분석하여 그 결과를 도 5 및 표 1에 나타내었다.

**표 1**

온도	저항 ( $\Omega$ cm)
15℃	1.34E+06
60℃	4.17E+06

[0090] 이에 따르면, 실시예 1의 파라핀 왁스/PDMS/MWCNT 압저항 복합체는 15℃인 경우와 비교하여 60℃에서 저항이 큰 것을 알 수 있었다. 이와 같은 결과는 파라핀 왁스가 녹아 액체가 되면 고체일 때 보다 부피가 20% 가량 팽창하여 MWCNT 간의 거리가 멀어지게 되면서 전류의 흐름이 감소하고 저항은 증가한 것으로 해석할 수 있다.

[0091] **실험예 3: 압력 센싱 분석**

[0092] 실시예 2 및 비교예 2에 따라 각각 제조된 압력 센서에 대한 압력 센싱을 분석하였다. 도 3과 같이 제작한 압력 센서의 상부전극에 압력을 가하면서 측정한 전류-전압 곡선을 통해 저항을 구하여 압력에 따른 저항변화를 측정하여 그 결과를 도 6에 나타내었다. 여기서, (a)는 실시예 2의 압력 센서에 대한 결과이고, (b)는 비교예 2의 압력 센서에 대한 결과이다. 모든 측정결과는 압력 센서의 이완을 위하여 10초 경과한 후에 측정하였다.

[0093] 이에 따르면, 파라핀 왁스를 도입한 압저항 복합체를 포함하는 실시예 1의 압력 센서는 15℃ 온도 조건에서 10~30 KPa 크기의 압력을 가했을 때 저항변화가 매우 작아 압력 센싱 특성을 거의 나타내지 않았다. 그러나, 60℃의 온도 조건에서 압력을 가한 경우에는 압력에 따른 저항변화가 매우 큰 것을 확인할 수 있었다. 이에 반해, 파라핀 왁스를 도입하지 않은 압저항 복합체를 포함하는 비교예 2의 압력 센서는 60℃와 15℃에서 저항 변화에 큰 차이를 나타내지 않았다.

[0095] **실험예 4: 압력 센서 안정성 평가**

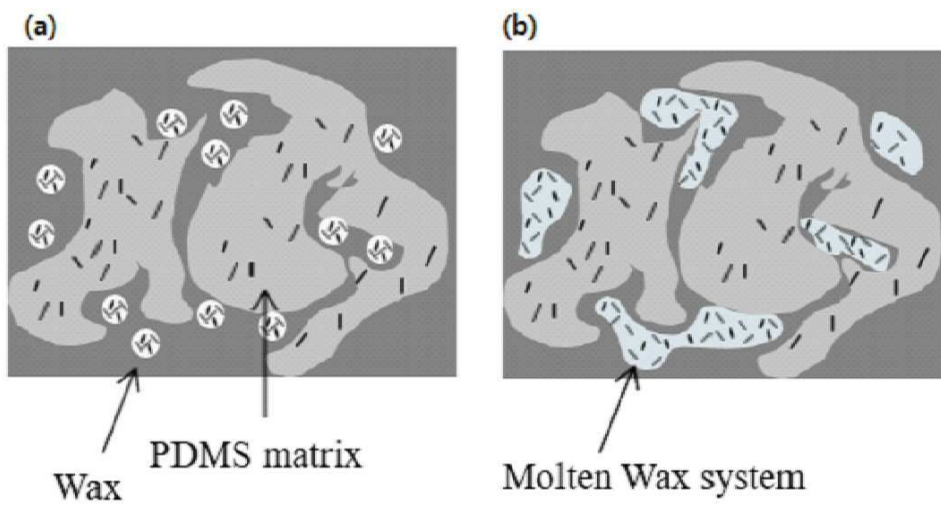
[0096] 도 3과 같이 제작한 압력 센서의 상부전극에 압력을 가하는 방법으로 압력 센서의 안정성 평가를 진행하였다. 구체적으로 실시예 2의 압력 센서에 20 KPa의 압력을 가하고 압력을 제거하는 과정을 10회 반복하여 압력 센서의 안정성을 측정하였다. 10회 압력을 가하는 시점은 최초 0초, 101초, 163초, 192초, 255초, 515초, 567초, 611초, 658초, 705초가 각각 경과할 때이며, 그 결과를 도 7에 나타내었다. 모든 측정결과는 압력 센서의 이완을 위하여 10초 경과한 후에 측정하였다. 여기서 (a)는 전압-전류 변화를 측정한 것이고, (b)는 상대적 전기전도도를 측정한 결과이다.

[0097] 이에 따르면, 10회 반복 측정하여도 상대적 전기전도도의 편차가 매우 작게 측정되었으며, 이와 같은 결과는 본 발명의 압력 센서가 오류 없이 매우 안정적으로 작동될 수 있음을 의미하는 것이다.

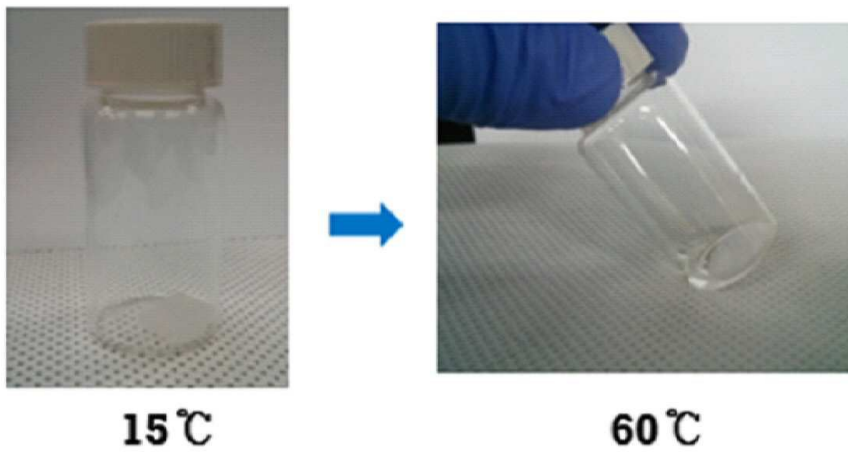
[0099] 이상, 본 발명의 실시예들에 대하여 설명하였으나, 해당 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 특허청구범위에 기재된 본 발명의 사상으로부터 벗어나지 않는 범위 내에서, 구성 요소의 부가, 변경, 삭제 또는 추가 등에 의해 본 발명을 다양하게 수정 및 변경시킬 수 있을 것이며, 이 또한 본 발명의 권리범위 내에 포함한다고 할 것이다

도면

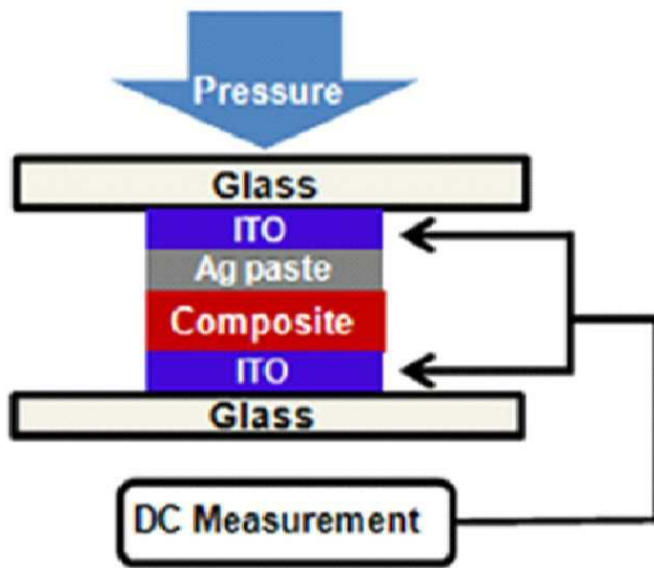
도면1



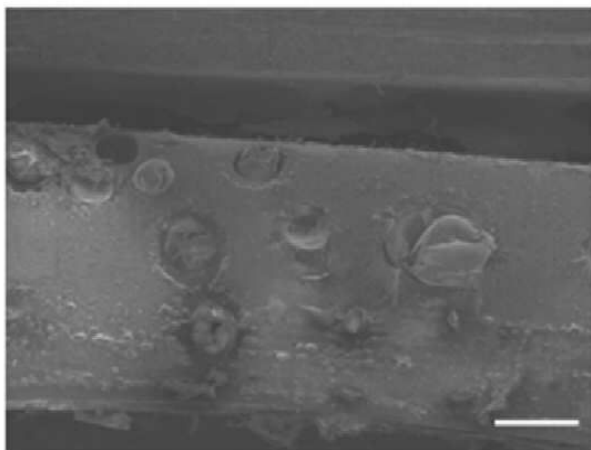
도면2



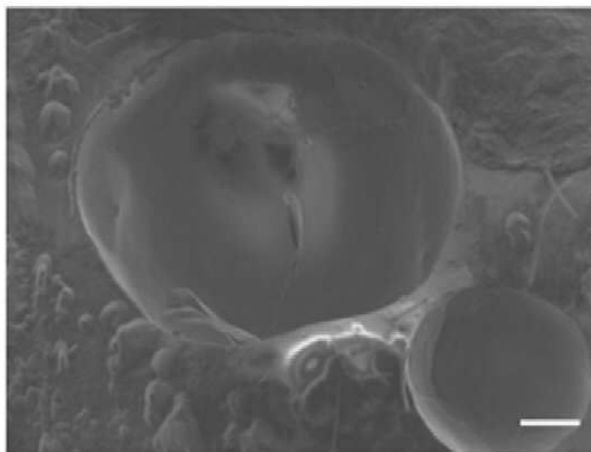
도면3



도면4

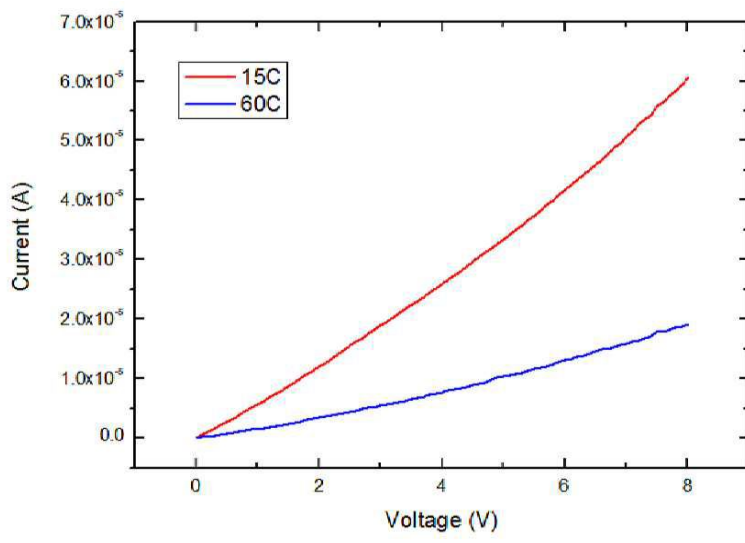


Scale = 100um

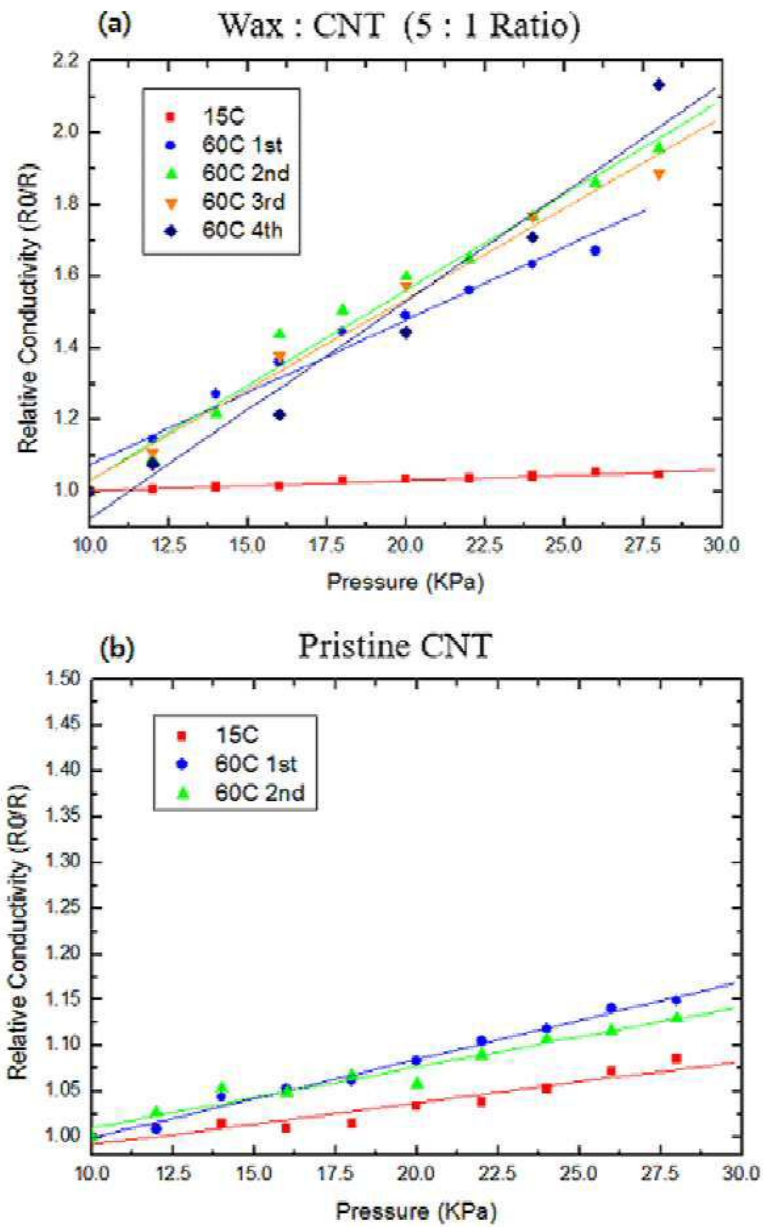


Scale = 10um

도면5



도면6



도면7

