



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2020년08월24일

(11) 등록번호 10-2147274

(24) 등록일자 2020년08월18일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01L 1/22 (2006.01) H01B 5/14 (2006.01)

(52) CPC특허분류
G01L 1/22 (2013.01)
H01B 5/14 (2020.05)

(21) 출원번호 10-2019-0015630

(22) 출원일자 2019년02월11일

심사청구일자 2019년02월11일

(65) 공개번호 10-2020-0098038

(43) 공개일자 2020년08월20일

(56) 선행기술조사문헌

JP2006119021 A*

(뒷면에 계속)

(73) 특허권자

연세대학교 산학협력단

서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)

(72) 발명자

김종백

경기도 고양시 일산동구 노루목로 79, 403동 201호(장항동, 호수마을4단지아파트)

이재용

경기도 광명시 도덕로 56, 104동 1405호(광명동, 중앙하이츠아파트)

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

윤병국, 이영규

전체 청구항 수 : 총 9 항

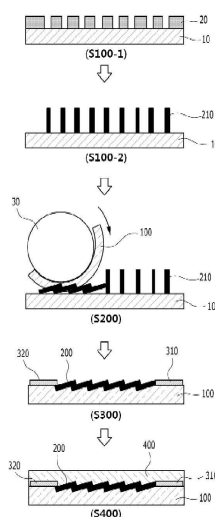
심사관 : 김병수

(54) 발명의 명칭 패턴 된 나노 소재를 포함하는 스트레인 센서 및 그 제조방법

(57) 요약

본 발명은 패턴 된 탄소나노튜브 다발 층을 포함하는 스트레인 센서 및 이의 제조방법에 관한 것으로, 보다 상세하게는 제1폴리머 시트; 제1폴리머 시트 상에 배치된 탄소나노튜브 다발 층; 상기 탄소나노튜브 다발 층 일단에 연결된 제1전극; 상기 탄소나노튜브 다발 층 타단에 연결된 제2전극; 상기 탄소나노튜브 다발 층을 덮도록 상기 제1폴리머 시트 상에 적층되는 제2폴리머 시트;를 포함하고, 상기 탄소나노튜브 다발 층은 수직 정렬된 복수의 탄소나노튜브 다발을 물리로 눌러 형성시킨 탄소나노튜브 다발 층인 것을 특징으로 하는 스트레인 센서 및 이의 제조방법에 관한 것이다. 본 발명에 의하면 탄소나노튜브 다발의 패턴을 다양하게 디자인하여 센서의 성능(감도, 감지 범위, 선형성 등)을 조절할 수 있기 때문에, 간단한 공정으로도 맞춤형 센서의 제작이 가능하다.

대표도 - 도2



(72) 발명자

표순재

서울특별시 서대문구 신촌로7안길 78, 405호(창천동)

권대성

서울특별시 양천구 월정로 8, 101동 203호(신월동, 목동M타운)

(56) 선행기술조사문헌

JP2009540296 A*

KR1020160118915 A*

KR1020180078560 A*

CN107934908 A

<논문1>

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 NRF-2018R1A2A1A05023070

부처명 과학기술정보통신부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 중견연구자지원사업

연구과제명 (후속)접촉 기반 MEMS의 장수명 고신뢰성 확보를 위한 나노 소재 응용 연구(1/3)

기 여 율 1/1

주관기관 연세대학교 산학협력단

연구기간 2018.03.01 ~ 2019.02.28

공지예외적용 : 있음

명세서

청구범위

청구항 1

제1폴리머 시트;

상기 제1폴리머 시트 상에 배치된 탄소나노튜브 다발 층;

상기 탄소나노튜브 다발 층 일단에 연결된 제1전극;

상기 탄소나노튜브 다발 층 타단에 연결된 제2전극;

상기 탄소나노튜브 다발 층을 덮도록 상기 제1폴리머 시트 상에 적층되는 제2폴리머 시트;를 포함하고,

상기 탄소나노튜브 다발 층은,

일정한 패턴을 형성하며 서로 이격된 복수의 탄소나노튜브 패턴들을 물리로 얹혀, 서로 이웃한 탄소나노튜브 패턴들이 적어도 일부가 서로 오버랩되도록 형성시킨 탄소나노튜브 다발 층인 것을 특징으로 하는, 스트레인 센서.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 제1폴리머 시트 및 제2폴리머 시트는, 폴리디메틸실록산(polydimethylsiloxane, PDMS), 폴리이미드(polyimide, PI), 폴리에테르술폰(polyethersulphone, PES), 폴리아크릴레이트(polyacrylate, PAR), 폴리에테르 이미드(polyetherimide, PEI), 폴리에틸렌 나프탈레이트(polyethylenenapthalate, PEN), 폴리에틸렌테레프탈레이트(polyethyleneterephthalate, PET), 폴리페닐렌설파이드(polyphenylene sulfide, PPS), 폴리아릴레이트(polyallylate), 폴리카보네이트(PC) 및 폴리아릴렌에테르술폰(poly(aryleneether sulfone))으로 이루어진 군에서 선택되는 어느 하나 이상을 포함하는 것을 특징으로 하는, 스트레인 센서.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 제1전극 및 제2전극은, 금속, 그래핀(graphene) 또는 탄소나노튜브 기반 잉크로 형성되는 것을 특징으로 하는, 스트레인 센서.

청구항 4

기판 상에 수직 정렬된 복수의 탄소나노튜브 다발을 형성하는 단계;

제1폴리머 시트가 부착된 롤러를 상기 탄소나노튜브 다발 위로 롤링 시켜 상기 탄소나노튜브 다발을 눌림으로써 인접한 탄소나노튜브 다발들이 서로 오버랩되도록 하고, 이와 동시에 상기 눌려진 탄소나노튜브 다발들이 상기 제1폴리머 시트에 전사되도록 하는 탄소나노튜브 다발 층을 형성하는 단계;

상기 탄소나노튜브 다발 층이 형성된 상기 제1폴리머 시트에 전극을 형성시키는 단계; 및

노출된 탄소나노튜브 다발 층을 폴리머로 덮어 제2폴리머 시트를 형성하는 단계;를 포함하는 스트레인 센서의 제조방법,

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 탄소나노튜브 다발을 형성하는 단계는, 패턴 된 촉매를 이용해 화학기상증착법(chemical vapor deposition, CVD)으로 수행되는 것을 특징으로 하는, 스트레인 센서의 제조방법.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 패턴은, 선형 패턴 또는 지그재그 패턴인 것을 특징으로 하는, 스트레인 센서의 제조방법.

청구항 7

제4항에 있어서,

상기 기판은, 실리콘(Si), 산화규소(SiO_2), 유리(glass) 및 사파이어(Al_2O_3)로 이루어진 군에서 선택되는 것을 특징으로 하는, 스트레인 센서의 제조방법.

청구항 8

제4항에 있어서,

상기 제1폴리머 시트 및 제2폴리머 시트는, 폴리디메틸실록산(polydimethylsiloxane, PDMS), 폴리이미드(polyimide, PI), 폴리에테르술폰(polyethersulphone, PES), 폴리아크릴레이트(polyacrylate, PAR), 폴리에테르 이미드(polyetherimide, PEI), 폴리에틸렌 나프탈레이트(polyethylenen naphthalate, PEN), 폴리에틸렌테레프탈레이트(polyethyleneterephthalate, PET), 폴리페닐렌설파이드(polyphenylene sulfide, PPS), 폴리아릴레이트(polyallylate), 폴리카보네이트(PC) 및 폴리아릴렌에테르술폰(poly(aryleneether sulfone))으로 이루어진 군에서 선택되는 어느 하나 이상을 포함하는 것을 특징으로 하는, 스트레인 센서의 제조방법.

청구항 9

제4항에 있어서,

상기 전극은, 금속, 그래핀(graphene) 또는 탄소나노튜브 기반 잉크로 형성되는 것을 특징으로 하는, 스트레인 센서의 제조 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 스트레인 센서에 관한 것으로, 보다 상세하게는 수직 정렬된 탄소나노튜브 다발을 놓혀 형성된 탄소나노튜브 다발 층을 포함하는 스트레인 센서 및 이의 제조방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0003] 스트레인 센서는 기계적인 미세한 변화(Strain)를 전기신호로 변환하여 검출하는 센서이다. 이러한 스트레인 센서는 건강 모니터링, 움직임 감지, 전자 피부 등 다양한 분야에 적용되고 있다. 특히, 스트레인 센서는 차세대 웨어러블 디바이스에 필수적인 센서로 많은 관심을 받고 있다.

[0004] 스트레인 센서가 다양한 응용 분야에 효과적으로 적용되기 위해서는 넓은 감지 범위와 높은 감도, 안정성이 요구된다. 이러한 조건을 만족하는 스트레인 센서를 제작하기 위하여, 금속 나노 선, 나노 입자, 그래핀, 탄 나노

튜브 등 전도성 나노 물질과 신축성 폴리머 복합체를 이용한 연구가 활발히 진행되고 있다.

[0005] 탄소나노튜브는 높은 전기 전도도, 강성, 안정성 등으로 인해 스트레인 센서의 소재로 각광 받고 있다. 이러한 탄소나노튜브를 소재로 한 스트레인 센서의 제조방법으로는, 탄소나노튜브를 폴리머 위에 임의로 분산하여 스트레인 센서를 제조하거나, 탄소나노튜브 간의 크랙을 유도하여 스트레인 센서를 제조하는 방법이 있다.

[0006] 종래의 탄소나노튜브를 폴리머 위에 임의로 분산하여 제조된 스트레인 센서는 감도가 낮은 문제가 있으며, 탄소나노튜브 간의 크랙을 유도하여 제조된 스트레인 센서는 감지 범위가 좁은 문제가 있다.

선행기술문헌

비특허문헌

[0008] (비특허문헌 0001) Highly oriented carbon nanotube papers made of aligned carbon nanotubes, Nanotechnology, 19, (2008), 075609

발명의 내용

해결하려는 과제

[0009] 본 발명에서는 이러한 종래 기술의 문제점을 보다 효과적으로 해결하기 위해, 패턴 된 촉매를 이용하여 수직 정렬된 복수의 탄소나노튜브 다발을 형성하고 이를 롤러로 눌러 탄소나노튜브 다발 층을 형성함으로써, 넓은 감지 범위, 높은 감도와 안정성을 갖는 스트레인 센서를 제공하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

[0011] 본 발명의 일 실시 형태에 따른 스트레인 센서는, 제1폴리머 시트; 제1폴리머 시트 상에 배치된 탄소나노튜브 다발 층; 상기 탄소나노튜브 다발 층 일단에 연결된 제1전극; 상기 탄소나노튜브 다발 층 타단에 연결된 제2전극; 상기 탄소나노튜브 다발 층을 덮도록 상기 제1폴리머 시트 상에 적층되는 제2폴리머 시트;를 포함할 수 있다.

[0012] 상기 탄소나노튜브 다발 층은 수직 정렬된 복수의 탄소나노튜브 다발을 롤러로 눌러 형성시킨 탄소나노튜브 다발 층인 것이 바람직하다.

[0013] 상기 제1폴리머 시트 및 제2폴리머 시트는, 폴리디메틸실록산(polydimethylsiloxane, PDMS), 폴리이미드(polyimide, PI), 폴리에테르술폰(polyethersulphone, PES), 폴리아크릴레이트(polyacrylate, PAR), 폴리에테르 이미드(polyetherimide, PEI), 폴리에틸렌 나프탈레이트(polyethylenenapthalate, PEN), 폴리에틸렌테레프탈레이트(polyethyleneterephthalate, PET), 폴리페닐렌설파이드(polyphenylene sulfide, PPS), 폴리아릴레이트(polyallylate), 폴리카보네이트(PC) 및 폴리아릴렌에테르술폰(poly(aryleneether sulfone))으로 이루어진 군에서 선택되는 어느 하나 이상을 포함할 수 있다.

[0014] 또한, 상기 제1전극 및 제2전극은, 금속, 그래핀(graphene) 또는 탄소나노튜브 기반 잉크로 형성되는 것이 바람직하다.

[0015] 본 발명의 다른 실시 형태로는 스트레인 센서를 제조하는 방법을 들 수 있는데, 기판 상에 수직 정렬된 복수의 탄소나노튜브 다발을 형성하는 단계; 제1폴리머 시트가 부착된 롤러를 상기 탄소나노튜브 다발 위로 롤링시켜 탄소나노튜브 다발을 압함과 동시에 제1폴리머 시트에 전사시켜 탄소나노튜브 다발 층을 형성하는 단계; 탄소나노튜브 다발 층이 형성된 제1폴리머 시트에 전극을 형성시키는 단계; 및 노출된 탄소나노튜브 다발 층을 폴리머로 덮어 제2폴리머 시트를 형성하는 단계;를 포함한다.

[0016] 상기 탄소나노튜브 다발을 형성하는 단계는 패턴 된 촉매를 이용해 화학기상증착법(chemical vapor deposition, CVD)으로 수행되는 것이 바람직하다.

[0017] 상기 패턴은 선형 패턴 또는 지그재그 패턴일 수 있다.

[0018] 상기 기판은, 실리콘(Si), 산화규소(SiO₂), 유리(glass) 및 사파이어(Al₂O₃)로 이루어진 군에서 선택될 수 있으며, 상기 제1폴리머 시트 및 제2폴리머 시트는, 폴리디메틸실록산(polydimethylsiloxane, PDMS), 폴리이미드

(polyimide, PI), 폴리에테르술폰(polyethersulphone, PES), 폴리아크릴레이트(polyacrylate, PAR), 폴리에테르 이미드(polyetherimide, PEI), 폴리에틸렌 나프탈레이트(polyethylenen naphthalate, PEN), 폴리에틸렌테레프탈레이트(polyethyleneterephthalate, PET), 폴리페닐렌설파이드(polyphenylene sulfide, PPS), 폴리아릴레이트(polyallylate), 폴리카보네이트(PC) 및 폴리아릴렌에테르술폰(poly(aryleneether sulfone))으로 이루어진 군에서 선택되는 어느 하나 이상을 포함할 수 있고, 상기 전극은, 금속, 그래핀(graphene) 또는 탄소나노튜브 기반 잉크로 형성되는 것이 바람직하다.

발명의 효과

- [0020] 본 발명에 따른 스트레인 센서는 수직 정렬된 탄소나노튜브 다발을 놓혀 형성된 탄소나노튜브 다발 층을 포함하고 있어, 넓은 감지 범위, 높은 감도 및 안정성을 갖는다.
- [0021] 또한, 본 발명에 따른 스트레인 센서의 제조방법은 간단한 공정을 거치면서도 넓은 감지 범위와 높은 감도 및 안정성을 갖는 스트레인 센서를 제조할 수 있다.
- [0022] 또한, 본 발명에 따른 스트레인 센서의 제조방법은 탄소나노튜브 다발의 패턴을 다양하게 디자인하여 센서의 성능(감도, 감지 범위, 선형성 등)을 조절할 수 있기 때문에, 간단한 공정으로도 맞춤형 센서의 제작이 가능하다.

도면의 간단한 설명

- [0024] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 스트레인 센서의 구조를 도식적으로 나타낸 것이다.
- 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 스트레인 센서의 제조 과정을 도식적으로 나타낸 것이다.
- 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 스트레인 센서의 감지 원리를 나타낸 모식도이다.
- 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 패턴 된 탄소나노튜브 다발을 나타낸 도면이다.
- 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 탄소나노튜브 다발 층을 SEM으로 관찰한 이미지이다.
- 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 스트레인 센서의 인장에 따른 탄소나노튜브의 변화를 나타낸 이미지이다.
- 도 7 및 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 스트레인 센서의 감지 성능을 나타낸 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0025] 이하에서는 본 발명의 실시예와 도면을 참조하여 본 발명을 좀 더 상세히 설명한다. 이들 실시예는 오로지 본 발명을 보다 구체적으로 설명하기 위해 예시적으로 제시한 것일 뿐, 본 발명의 범위가 이들 실시예에 의해 제한되지 않는다는 것은 이 기술분야에서 통상의 지식을 가지는 자에 있어서 자명할 것이다.
- [0026] 또한, 달리 정의하지 않는 한, 본 명세서에서 사용되는 모든 기술적 및 과학적 용어는 본 발명이 속하는 기술분야의 숙련자에 의해 통상적으로 이해되는 바와 동일한 의미를 가지며, 상충되는 경우에는, 정의를 포함하는 본 명세서의 기재가 우선할 것이다.
- [0027] 도면에서 제안된 발명을 명확하게 설명하기 위해서 설명과 관계없는 부분은 생략하였으며, 명세서 전체를 통하여 유사한 부분에 대해서는 유사한 도면 부호를 붙였다. 그리고 어떤 부분이 어떤 구성 요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성 요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성 요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미한다.
- [0029] 도 1에는 본 발명의 패턴 된 탄소나노튜브 다발 층의 제조방법을 통해 제조된 스트레인 센서의 구조가 도시되어 있다.
- [0030] 도 1을 참조하여 설명하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 스트레인 센서는 제1폴리머 시트(100); 제1폴리머 시트(100) 상에 배치된 탄소나노튜브 다발 층(200); 상기 탄소나노튜브 다발 층(200) 일단에 연결된 제1전극(310); 상기 탄소나노튜브 다발 층(200) 타단에 연결된 제2전극(320); 및 상기 탄소나노튜브 다발 층(200)을 덮도록 상기 제1폴리머 시트(100) 상에 적층되는 제2폴리머 시트(400);를 포함할 수 있다.
- [0031] 상기 제1폴리머 시트(100) 및 제2폴리머 시트(400)는 평평한 시트나 필름 형상으로 형성될 수 있으며, 두께는 활용에 따라 다양한 두께로 형성될 수 있다.
- [0032] 상기 제1폴리머 시트(100) 및 제2폴리머 시트(400)는 비전도성 물질인 탄성 폴리머로 형성되는 것이

바람직하며, 구체적으로, 폴리디메틸실록산(polydimethylsiloxane, PDMS), 폴리이미드(polyimide, PI), 폴리테르술포(polyethersulphone, PES), 폴리아크릴레이트(polyacrylate, PAR), 폴리테르 이미드(polyetherimide, PEI), 폴리테렌 나프탈레이트(polyethylenenapthalate, PEN), 폴리테렌테레프탈레이트(polyethyleneterephthalate, PET), 폴리페닐렌설파이드(polyphenylene sulfide, PPS), 폴리아릴레이트(polyallylate), 폴리카보네이트(PC), 폴리아릴렌에테르술포(poly(aryleneether sulfone)) 등으로 형성될 수 있다.

[0033] 상기 탄소나노튜브 다발 층(200)은 수직 정렬된 복수의 탄소나노튜브 다발(210)을 물리로 눌러 형성시킨 탄소나노튜브 다발 층인 것이 바람직하다. 수직 정렬된 복수의 탄소나노튜브 다발(210)을 물리로 눌러지게 되면, 인접한 탄소나노튜브 다발이 서로 오버랩 된다. 본 발명의 스트레인 센서에 인장(스트레인)이 가해지면, 도 3에 도시된 것과 같이, 오버랩 된 탄소나노튜브 사이의 미끄러짐(슬라이딩)이 발생하여 센서의 저항이 증가되고, 가해진 인장(스트레인)이 더욱 커지면 탄소나노튜브 다발 간의 분리가 일어나 저항이 급격히 증가된다. 이러한 저항 변화를 통해 본 발명의 스트레인 센서에 가해진 인장을 측정할 수 있다.

[0034] 상기 탄소나노튜브 다발 층(200)의 일단에는 제1전극(310)이 연결되고, 타단에는 제2전극(320)이 연결된다.

[0035] 상기 제1전극(310) 및 제2전극(320)은 전도성 소재인 금속, 그래핀(graphene), 탄소나노튜브 기반 잉크 등으로 형성될 수 있다. 상기 금속은 은(Ag), 금(Au), 백금(Pt), 레늄(Re), 루테튬(Ru), 로듐(Rh), 팔라듐(Pd) 또는 이리듐(Ir) 중에서 선택되는 것이 바람직하다.

[0036] 또한, 상기 탄소나노튜브 기반 잉크는 Multi-wall 탄소 나노튜브를 DMF, DI water 등의 용매에 분산시켜 제조한 잉크인 것이 바람직하다.

[0038] 도 2는 본 발명의 패턴 된 나노 소재를 포함하는 스트레인 센서의 제조 과정을 단계별로 도시한 것으로, 기관(10) 상에 수직 정렬된 복수의 탄소나노튜브 다발(210)을 형성한다(S100).

[0039] 구체적으로, 패턴 된 웨도우 마스크(20)를 기관(10) 위에 붙인 후, 촉매를 증착시키고(S100-1), 화학기상증착법(chemical vapor deposition, CVD)으로 수직 정렬된 복수의 탄소나노튜브 다발(210)을 합성한다(S100-2).

[0040] 이때, 기관(10)으로는 실리콘(Si), 산화규소(SiO₂), 유리(glass), 사파이어(Al₂O₃) 등의 재질로 된 기관을 사용할 수 있다.

[0041] 상기 웨도우 마스크(20)에는, 도 4에 도시된 것과 같이, 라인이 일정 간격으로 배치된 선형 패턴(도 4(a)) 또는 라인이 지그재그로 배치된 지그재그 패턴(도 4(b)) 등이 형성될 수 있다.

[0042] 웨도우 마스크(20)의 패턴에 따라 촉매가 패터닝 되며, 이러한 촉매의 패터닝을 통해 탄소나노튜브 다발(210)의 패턴을 디자인 할 수 있다. 탄소나노튜브 다발(210)의 패턴의 간격, 길이 등에 의해 탄소나노튜브 간의 오버랩 구조 및 면적이 결정되기 때문에, 탄소나노튜브 다발(210)의 패턴을 조절함으로써, 본 발명의 스트레인 센서의 감지 성능(감지 범위, 감도, 선형성 등)을 조절할 수 있다.

[0043] 상기 촉매는 화학기상증착법(chemical vapor deposition, CVD)으로 탄소 나노튜브를 증착시킬 수 있는 촉매이면 특별히 제한되지 않으나, 예를 들어, 철(Fe), 니켈(Ni), 코발트(Co) 등을 사용할 수 있다.

[0044] 이 후, 제1폴리머 시트(100)가 부착된 롤러(30)를 상기 탄소나노튜브 다발 위로 롤링 시켜 복수의 탄소나노튜브 다발(210)을 압착과 동시에 제1폴리머 시트(100)에 전사시킨다(S200). 제1폴리머 시트(100)가 부착된 롤러(30)를 탄소나노튜브 다발(210) 위로 롤링시키는 과정에서 복수의 탄소나노튜브 다발(210) 누우면서 인접한 탄소나노튜브 다발이 서로 오버랩 된다. 이와 동시에, 탄소나노튜브와 제1폴리머 시트(100) 사이의 인력으로 인해, 복수의 탄소나노튜브 다발(210)이 누운 상태로 제1폴리머 시트(100)에 전사되어 탄소나노튜브 다발 층(200)을 형성한다.

[0045] 이 때, 제1폴리머 시트(100)는 비전도성 물질인 탄성 폴리머로 형성되는 것이 바람직하며, 구체적으로, 폴리디메틸실록산(polydimethylsiloxane, PDMS), 폴리이미드(polyimide, PI), 폴리테르술포(polyethersulphone, PES), 폴리아크릴레이트(polyacrylate, PAR), 폴리테르 이미드(polyetherimide, PEI), 폴리테렌 나프탈레이트(polyethylenenapthalate, PEN), 폴리테렌테레프탈레이트(polyethyleneterephthalate, PET), 폴리페닐렌설파이드(polyphenylene sulfide, PPS), 폴리아릴레이트(polyallylate), 폴리카보네이트(PC), 폴리아릴렌에테르술포(poly(aryleneether sulfone)) 등으로 형성될 수 있다.

[0046] 탄소나노튜브 다발 층(200)을 형성한 후, 상기 제1폴리머 시트(100)에 전극을 형성한다(S300). 이러한 전극은,

상기 탄소나노튜브 다발 층(200)의 일단 및 타단에 제1전극(310)과 제2전극(320)이 각각 연결되는 형태로 형성될 수 있다.

[0047] 상기 제1전극(310) 및 제2전극(320)은 전도성 소재인 금속, 그래핀(graphene), 탄소나노튜브 기반 잉크 등으로 형성될 수 있다. 상기 금속은 은(Ag), 금(Au), 백금(Pt), 레늄(Re), 루테튬(Ru), 로듐(Rh), 팔라듐(Pd) 또는 이리듐(Ir) 중에서 선택되는 것이 바람직하다.

[0048] 상기 전극은 금속 페이스트, 그래핀(graphene) 또는 탄소나노튜브 기반 잉크를 탄소나노튜브 다발 층(200)의 일단 및 타단에 도포하는 방법으로 형성될 수 있다.

[0049] 이 후, 노출된 탄소나노튜브 다발 층(210)을 폴리머로 덮어 제2폴리머 시트(400)를 형성한다(S400).

[0050] 이 때, 제2폴리머 시트(400)는 비전도성 물질인 탄성 폴리머로 형성되는 것이 바람직하며, 구체적으로, 폴리디메틸실록산(polydimethylsiloxane, PDMS), 폴리이미드(polyimide, PI), 폴리에테르술폰(polyethersulphone, PES), 폴리아크릴레이트(polyacrylate, PAR), 폴리에테르 이미드(polyetherimide, PEI), 폴리에틸렌 나프탈레이트(polyethylenenapthalate, PEN), 폴리에틸렌테레프탈레이트(polyethyleneterephthalate, PET), 폴리페닐렌설파이드(polyphenylene sulfide, PPS), 폴리아릴레이트(polyallylate), 폴리카보네이트(PC), 폴리아릴렌에테르술폰(poly(aryleneether sulfone)) 등으로 형성될 수 있다.

[0051] 본 발명의 제조방법에 따라 제조된 스트레인 센서는, 수직 정렬된 복수의 탄소나노튜브 다발(210)을 롤러로 눌러 탄소나노튜브 다발 층(200)을 형성하기 때문에, 인접한 탄소나노튜브 다발이 서로 오버랩 된다. 본 발명의 스트레인 센서에 인장(스트레인)이 가해지면, 도 3에 도시된 것과 같이, 오버랩 된 탄소나노튜브(CNT) 사이의 미끄러짐(슬라이딩)이 발생하여 센서의 저항이 증가된다(도 3(b)). 가해진 인장(스트레인)이 더욱 커지면 탄소나노튜브(CNT) 간의 분리가 일어나 저항이 급격히 증가된다(도 3(c)). 이러한 저항 변화를 통해 본 발명의 스트레인 센서에 가해진 인장을 측정할 수 있다.

[0052] 상기 탄소나노튜브 다발(210)의 패턴의 간격, 길이 등에 의해 탄소나노튜브(CNT) 간의 오버랩 구조 및 면적이 결정되기 때문에, 상기 수직 정렬된 복수의 탄소나노튜브 다발(210)을 형성하는 단계(S100)에서 탄소나노튜브 다발(210)의 패턴을 조절함으로써, 본 발명의 스트레인 센서의 감지 성능(감지 범위, 감도, 선형성 등)을 조절할 수 있다.

[0054] [실시예 1]

[0055] 앞서 살펴본 본 발명의 스트레인 센서를 제조하였다. 라인이 일정 간격으로 배치된 선형 패턴이 형성된 웨도우 마스크를 Si 기판 위에 붙인 후, 철(Fe) 촉매를 E-beam 이베퍼레이터를 이용해 증착하고, 화학기상증착법(CVD)으로 수직 정렬된 복수의 탄소나노튜브 다발을 형성하였다. 주제와 경화제를 1:1 wt%로 혼합하여 경화시킨 ecoflex를 롤러에 부착하였다. Ecoflex가 부착된 롤러를 수직 정렬된 복수의 탄소나노튜브 다발 위로 롤링시켜, 복수의 탄소나노튜브 다발을 누힘과 동시에 탄소나노튜브 다발을 ecoflex로 전사시켜 탄소나노튜브 다발 층을 형성하였다. 그 후, 은(Ag) 페이스트를 이용해 전극을 형성하고 노출된 탄소나노튜브 다발 층을 ecoflex로 표면을 덮어 스트레인 센서를 제조하였다.

[0056] [실시예 2]

[0057] 실시예 1과 동일한 방법으로 스트레인 센서를 제조하되, 웨도우 마스크의 패턴을 라인이 지그재그로 배치된 지그재그 패턴으로 하여 스트레인 센서를 제조하였다.

[0059] [실험예 1: 탄소나노튜브 다발 층의 형성여부 확인]

[0060] 복수의 탄소나노튜브 다발이 누움과 동시에 폴리머 시트에 전사되어 탄소나노튜브 다발 층이 형성되는 것을 확인하기 위해, 실시예 1 및 2를 주사전자현미경(Scanning Electron Microscope, SEM)으로 관찰하여 그 결과를 도 5에 나타내었다(실시예 1의 결과는 도 5(a) 및 (b)이고, 실시예 2의 결과는 도 5(c) 및 (d)이다).

[0061] 도 5(a) 및 (c)에서 확인되듯이, 각각의 웨도우 마스크 패턴에 따라 실시예 1에서는 선형 패턴의 수직 정렬된 복수의 탄소나노튜브 다발(도 5(a))이, 실시예 2에서는 지그재그 패턴의 수직 정렬된 복수의 탄소나노튜브 다발(도 5(c))이 형성되었음을 확인할 수 있었다.

[0062] 또한, 도 5(b) 및 (d)의 결과를 통해, 수직 정렬된 복수의 탄소나노튜브 다발이 롤러를 통해 누혀짐과 동시에 폴리머 시트에 전사되어 탄소나노튜브 다발 층이 형성되며, 이러한 탄소나노튜브 다발 층은 탄소나노튜브 다발이 서로 오버랩 되어 있음을 확인할 수 있었다.

[0064] **[실험예 2: 스트레인 센서의 인장에 따른 탄소나노튜브의 변화]**

[0065] 실시예 1 및 2의 스트레인 센서의 인장에 따라 변화되는 스트레인 센서 내의 탄소나노튜브를 관찰하여 그 결과를 도 6에 나타내었다(실시예 1의 결과는 도 6(a)이고, 실시예 2의 결과는 도 6(b)이다). 스트레인 센서에 스트레인을 가하기 위해 만능 인장 시험기(Universal measurement probe system)를 이용하여 스트레인 센서를 인장시켰다.

[0066] 도 6에서 확인되듯이, 스트레인 센서가 인장됨에 따라 오버랩된 탄소나노튜브 사이의 슬라이딩이 발생되어 스트레인 센서의 저항이 증가됨을 확인할 수 있었다. 실시예 1은 100% 인장되는 경우에는 탄소나노튜브 다발 간의 분리가 일어나 저항이 급격히 증가되었으나(도 6(a)), 실시예 2는 200% 인장되는 경우에도 지그재그 패턴에 의해 탄소나노튜브 다발 간의 분리는 발생하지 않았다(도 6(b)). 이를 통해 탄소나노튜브 다발의 패턴을 조절 함으로써 센서의 감지 성능(감지 범위, 감도, 선형성 등)을 조절할 수 있음을 알 수 있었다.

[0068] **[실험예 3: 패턴 디자인에 따른 스트레인 센서의 감지 성능 비교]**

[0069] 스트레인 센서의 특성을 평가하기 위해 만능 인장 시험기(Universal measurement probe system)을 이용하여 실시예 1 및 실시예 2에 스트레인을 가하면서 동시에 디지털 소스미터(Keithley 2400)로 저항 변화를 측정하고 그 결과를 도 7에 나타내었다(실시예 1의 결과는 도 7(a)이며, 실시예 2의 결과는 도 7(b)이다).

[0070] 도 7에서 확인 되듯이, 서로 다른 패턴의 탄소나노튜브 다발 층을 포함하는 실시예 1 및 실시예 2의 감도, 감지 범위, 선형성 등과 같은 특성이 다르게 나타남을 확인할 수 있었다. 이를 통해 탄소나노튜브 다발의 패턴을 조절 함으로써 센서의 감지 성능(감지 범위, 감도, 선형성 등)을 조절할 수 있음을 알 수 있었다.

[0071] 또한, 도 7(b)에서 확인 되듯이, 실시예 2의 스트레인 센서는 500% 이상의 감지 범위를 갖는 것을 확인할 수 있었다. 이를 통해 본 발명의 스트레인 센서는 고강도의 스트레인도 감지할 수 있는 고신축성 스트레인 센서로 활용될 수 있음을 알 수 있었다.

[0073] **[실험예 4: 반복 인장 실험]**

[0074] 실시예 1의 스트레인 센서를 이용하여 반복 인장 실험을 하였다. 실시예 1의 스트레인 센서에 20%~100%의 서로 다른 인장을 반복적으로 가하면서 저항 변화를 측정하여 그 결과를 도 8에 나타내었다. 만능 인장 시험기(Universal measurement probe system)를 이용하여 실시예 1에 가해지는 스트레인을 제어하였으며, 디지털 소스미터(Keithley 2400)로 저항 변화를 측정하였다.

[0075] 도 8에서 확인 되듯이, 실시예 1에 서로 다른 인장을 반복적으로 가했을 때에도 안정적인 저항 변화를 보이며, 초기값으로 회복되는 것을 확인할 수 있었다. 이를 통해 본 발명의 스트레인 센서는 고강도의 스트레인이 반복적으로 가해지는 경우에도 안정적인 센서 감도를 나타내는 것을 알 수 있었다.

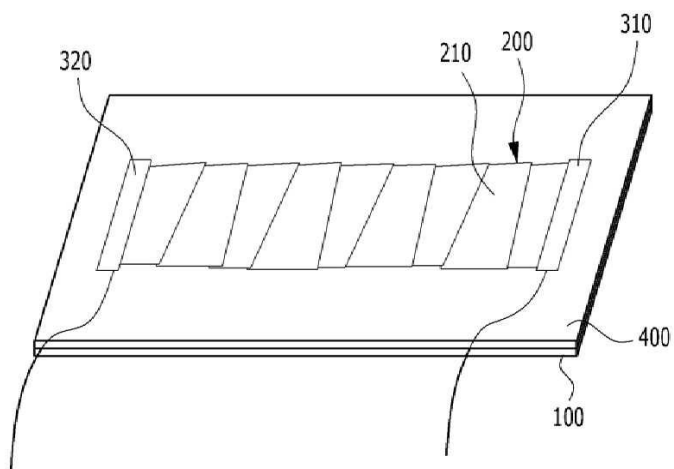
[0077] 본 명세서에서는 본 발명자들이 수행한 다양한 실시예 가운데 몇 개의 예만을 들어 설명하는 것이나 본 발명의 기술적 사상은 이에 한정하거나 제한되지 않고, 이 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 변형되어 다양하게 실시될 수 있음은 물론이다.

부호의 설명

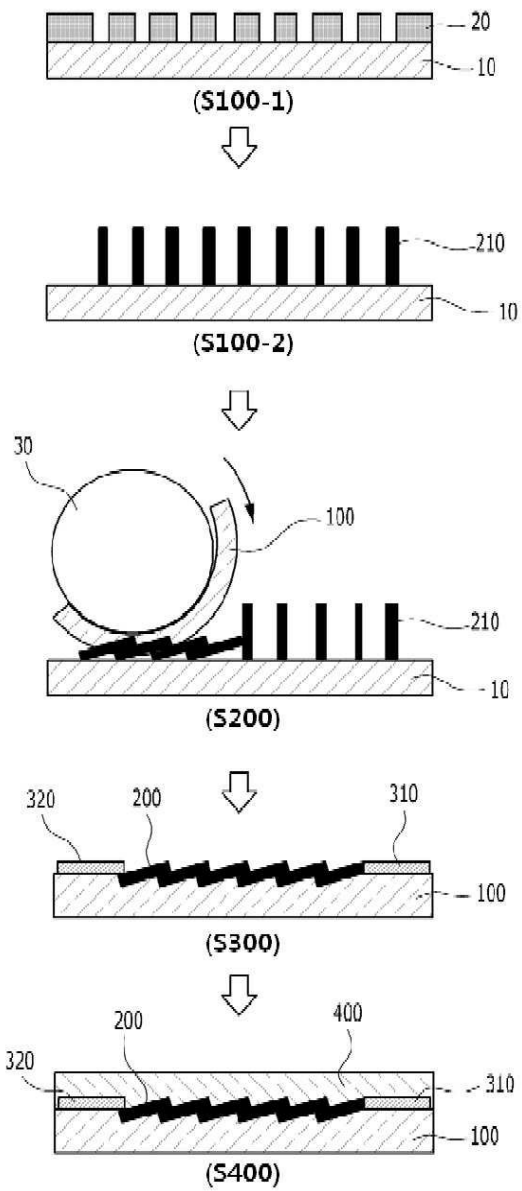
[0079]	10: 기판	20: 웨도우 마스크
	100: 제1폴리머 시트	200: 탄소나노튜브 다발 층
	210: 탄소나노튜브 다발	310: 제1전극
	320: 제2전극	400: 제2폴리머 시트

도면

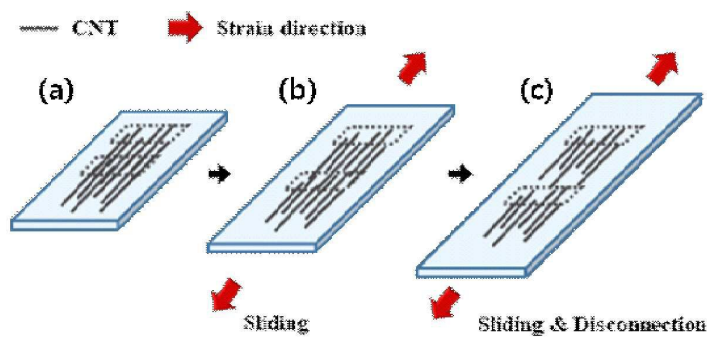
도면1



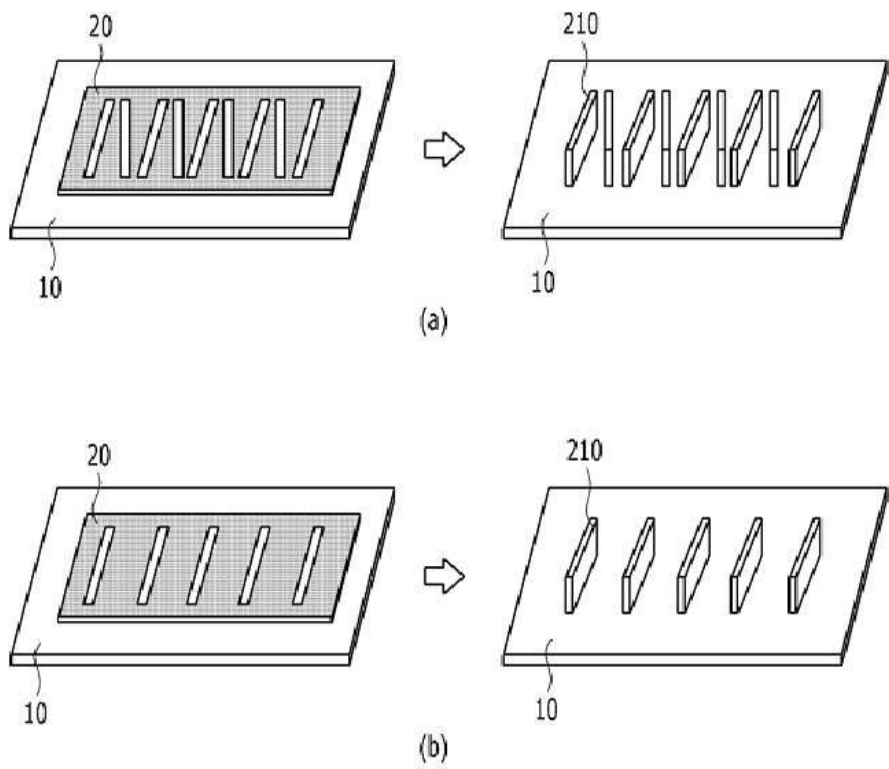
도면2



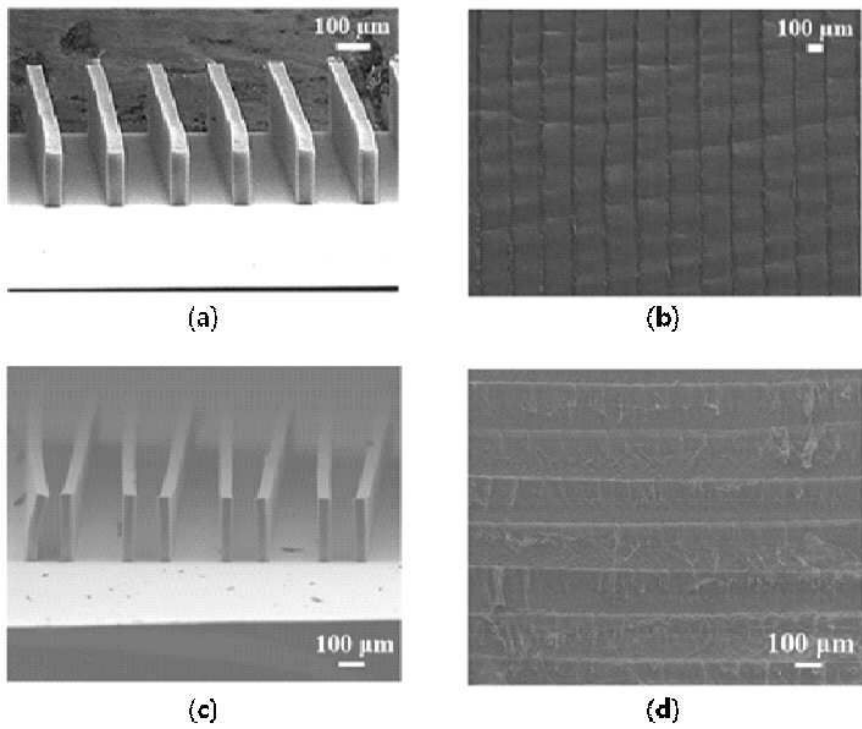
도면3



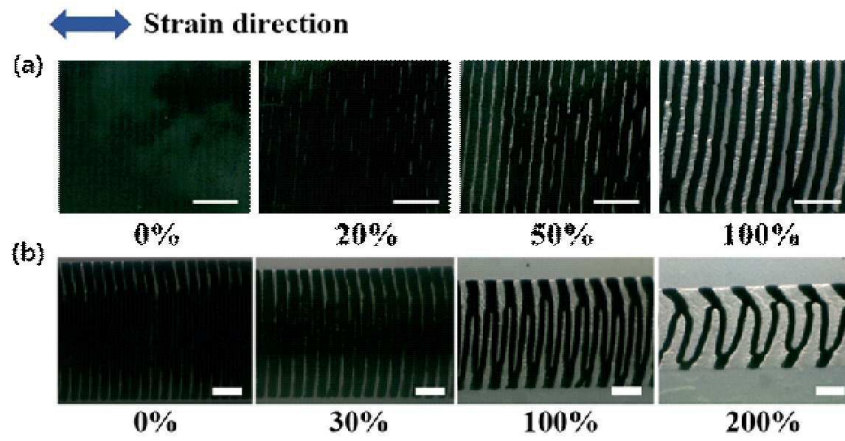
도면4



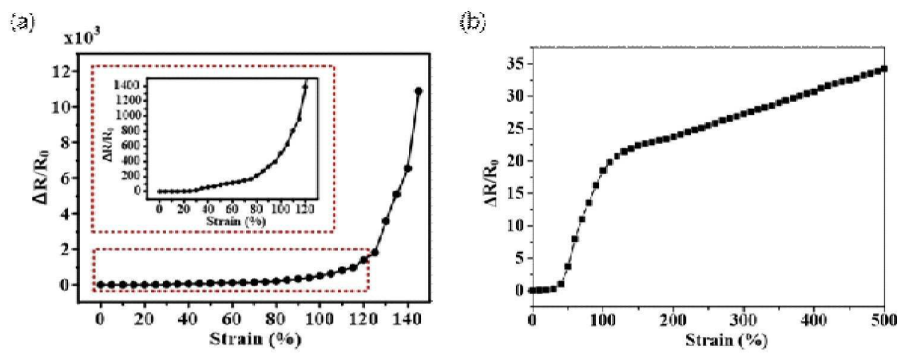
도면5



도면6



도면7



도면8

