



**(19) 대한민국특허청(KR)**  
**(12) 등록특허공보(B1)**

(45) 공고일자 2017년05월11일  
(11) 등록번호 10-1730396  
(24) 등록일자 2017년04월20일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
G01L 1/16 (2006.01) D04H 1/435 (2012.01)  
D04H 1/728 (2012.01) G01L 1/14 (2006.01)  
G01L 9/08 (2006.01) G01L 9/12 (2006.01)

(52) CPC특허분류  
G01L 1/16 (2013.01)  
D04H 1/435 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2015-0100530  
(22) 출원일자 2015년07월15일  
심사청구일자 2015년07월15일  
(65) 공개번호 10-2017-0009091  
(43) 공개일자 2017년01월25일

(56) 선행기술조사문헌  
KR101502762 B1\*  
[학술논문]R. CASASOLA 외 3인, 'ELECTROSPUN POLY LACTIC ACID (PLA) FIBRES: EFFECT OF DIFFERENT SOLVENT SYSTEMS ON FIBRE MORPHOLOGY AND DIAMETER', POLYMER VOL.55, NO.18, PP. 4728-4737 (2014)  
JP07055615 A  
JP2010101827 A  
\*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자  
경희대학교 산학협력단  
경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732 (서천동, 경희대학교 국제캠퍼스내)

(72) 발명자  
김갑진  
경기도 수원시 장안구 만석로 29, 713동 302호 (천천동, 비단마을현대성우.우방아파트)

이솔지  
경기도 군포시 산본로 451-45 (산본동)  
(74) 대리인  
이종우

전체 청구항 수 : 총 5 항

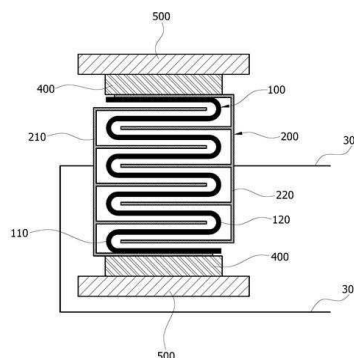
심사관 : 이병수

(54) 발명의 명칭 전기방사하여 얻은 나노섬유 웹 형태의 PLA 압전소재를 이용한 압력측정 센서

(57) 요약

본 발명은 압력측정 센서에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 폴리락트산(Poly Lactic Acid)을 전기방사하여 제조됨으로써 압전특성을 갖게 되며 아울러 기공을 가지면서도 탄성 회복율이 우수한 나노섬유 웹 형태로 구현된 PLA 압전소재를 나노섬유 웹의 탑(top)부와 탑(top)부가 상호 마주보고 바텀(bottom)부와 바텀(bottom)부가 상호 마주보도록 접어서 폴딩형 PLA 나노섬유 웹을 형성한 후, 이러한 폴딩형 PLA 나노섬유 웹에 유연성 병렬 전극부를 연결함으로써, 압력에 의해 기공이 압착되면서 줄어드는 유연성 병렬 전극부 사이의 거리 변경으로 인한 정전용량 변화와 동시에 PLA 나노섬유 자체의 두께 변경을 초래함으로써 PLA 고유의 전단압전전류(shear piezoelectric current)를 생성할 수 있게 하여 압력 측정이 가능하게 한 전기방사하여 얻은 나노섬유 웹 형태의 PLA 압전센서를 이용한 압력측정 센서에 관한 것이다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

- DO4H 1/728* (2013.01)
- G01L 1/14* (2013.01)
- G01L 9/08* (2013.01)
- G01L 9/12* (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

- 과제고유번호 10044953
- 부처명 산업통상자원부
- 연구관리전문기관 한국산업기술평가관리원 (KEIT)
- 연구사업명 산업융합원천기술개발
- 연구과제명 신장탄성율 20g/De 이하의 신축성 PLA 섬유 제조기술 개발
- 기여율 1/2
- 주관기관 경희대학교 산학협력단
- 연구기간 2013.06.01 ~ 2018.05.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

- 과제고유번호 10047976
- 부처명 산업통상자원부
- 연구관리전문기관 한국산업기술평가관리원 (KEIT)
- 연구사업명 산업융합원천기술개발
- 연구과제명 압전/압정전용량 특성 부여 나노웹과 신축성 섬유전극 개발을 통한 다주파수 전기임피던스 단층영상 기반의 대면적 비격자 압력분포 감지시스템 개발
- 기여율 1/2
- 주관기관 경희대학교 산학협력단
- 연구기간 2013.11.01 ~ 2018.10.30

공지예외적용 : 있음

---

**명세서**

**청구범위**

**청구항 1**

삭제

**청구항 2**

기공을 내포하도록 폴리락트산(Poly Lactic Acid, PLA)을 전기방사하여 생성된 PLA 나노섬유웹에 외부의 압력의 인가와 제거로 기공에 충전된 공기의 출입으로 야기되는 두께 변경에 의해 정전용량을 가변시키는 동시에 PLA 나노섬유 자체의 두께 변경을 초래함으로써 PLA 고유의 전단압전전류(shear piezoelectric current)를 생성할 수 있게 함으로써, 압력을 센싱하는 나노섬유 웹을 탑(top)부와 탑(top)부가 상호 마주보도록 접힌 제1폴딩부와, 바텀(bottom)부와 바텀(bottom)부가 상호 마주보도록 접힌 제2폴딩부가 교대로 연속되면서 적층되어 있는 폴딩형 PLA 나노섬유 웹;

전도성 직물로 형성되어, 상기 폴딩형 PLA 나노섬유 웹의 저면인 바텀(bottom)부와 상면인 탑(top)부에 각각 연결되어 압력인가시 상기 폴딩형 PLA 나노섬유 웹에서 생성되는 전기적 신호인 압전신호를 수신하는 유연성 병렬 전극부; 및

상기 유연성 병렬 전극부에 연결되어 상기 폴딩형 PLA 나노섬유 웹에 가해지는 압력에 의한 정전용량 값의 변화와 전단압전전류의 생성에 따른 압전신호를 전달하는 신호전달부;를 포함하며,

상기 폴리락트산(PLA)을 구성하는 단량체의 80% 이상은 L-이성질체(L-isomer) 또는 D-이성질체(D-isomer) 중에서 선택된 한 종류의 이성질체로 이루어지는 것을 특징으로 하는 전기방사하여 얻은 나노섬유 웹 형태의 PLA 압전소재를 이용한 압력측정 센서.

**청구항 3**

제2항에 있어서,

상기 폴딩형 PLA 나노섬유 웹은 단위 부피당 PLA 나노섬유가 차지하는 부피가 10~90%이며, 나머지 영역은 기공을 형성하도록 구성되는 것을 특징으로 하는 전기방사하여 얻은 나노섬유 웹 형태의 PLA 압전소재를 이용한 압력측정 센서.

**청구항 4**

제3항에 있어서,

상기 유연성 병렬 전극부는

상기 폴딩형 PLA 나노섬유 웹의 저면인 바텀부에 연결되어 있으며, 적층되어 있는 적어도 하나 이상의 상기 제2폴딩부 사이 공간에 위치하는 제1전극; 및 상기 폴딩형 PLA 나노섬유 웹의 상면인 탑부에 연결되어 있으며, 적층되어 있는 상기 제1폴딩부 사이 공간에 위치하는 제2전극;으로 이루어져, 상기 폴딩형 PLA 나노섬유 웹의 같은 면에 접하는 전극들 상호간이 전기적으로 연결되어 있는 형태를 구현하도록 구성되는 것을 특징으로 하는 전기방사하여 얻은 나노섬유 웹 형태의 PLA 압전소재를 이용한 압력측정 센서.

**청구항 5**

제4항에 있어서,

상기 유연성 병렬 전극부의 외부를 감싸는 보호층을 더 포함하고;

상기 보호층은 발수성 나노섬유 또는 유연성 있는 물질로 이루어지며, 상기 제1전극의 저면에 부착되는 제1보호층과, 상기 제2전극의 상면에 부착되는 제2보호층을 포함하는 것을 특징으로 하는 전기방사하여 얻은 나노섬유 웹 형태의 PLA 압전소재를 이용한 압력측정 센서.

**청구항 6**

제5항에 있어서,

상기 보호층을 감싸며 외부의 노이즈로부터 유연성 전극부를 차폐시키는 차폐층을 더 포함하고;

상기 차폐층은 전도성 물질이 코팅된 섬유제품으로 이루어지며, 상기 제1보호층의 저면에 부착되는 제1차폐층과, 상기 제2보호층의 상면에 부착되는 제2차폐층을 포함하는 것을 특징으로 하는 전기방사하여 얻은 나노섬유 웹 형태의 PLA 압전소재를 이용한 압력측정 센서.

**발명의 설명**

**기술 분야**

[0001] 본 발명은 압력측정 센서에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 폴리락트산(Poly Lactic Acid)을 전기방사하여 제조됨으로써 압전특성을 갖게 됨과 아울러 기공을 가지면서도 탄성 회복율이 우수한 나노섬유 웹 형태로 구현된 PLA 압전소재를 나노섬유 웹의 탑(top)부와 탑(top)부가 상호 마주보고 바텀(bottom)부와 바텀(bottom)부가 상호 마주보도록 접어서 폴딩형 PLA 나노섬유 웹을 형성한 후, 이러한 폴딩형 PLA 나노섬유 웹에 유연성 병렬 전극부를 연결함으로써, 압력에 의해 기공이 압착되면서 줄어드는 유연성 병렬 전극부 사이의 거리 변경으로 인한 정전용량 변화와 동시에 PLA 나노섬유 자체의 두께 변경을 초래함으로써 PLA 고유의 전단압전전류(shear piezoelectric current)를 생성할 수 있게 하여 압력 측정이 가능하게 한 전기방사하여 얻은 나노섬유 웹 형태의 PLA 압전센서를 이용한 압력측정 센서에 관한 것이다.

**배경 기술**

[0002] 일반적으로 압력센서는 외부에서 가해지는 압력에 의한 기계적인 에너지를 전기적인 에너지로 변환하여 절대압 또는 게이지압을 측정하는데 이용되며, 압력을 감지하는 원리에 따라 스트레인게이지타입의 메탈형 압력센서, 압저항형 압력센서(Piezoresistive pressure sensor), 압전형 압력센서(Piezoelectric pressure sensor), MOSFET형, 피에조 접합형(Piezojunction), 광섬유 압력센서 및 정전용량형 압력센서(Piezocapacitive pressure sensor) 등 다양한 종류가 이용되고 있다.

[0003] 이러한 압력센서 중 압전성 고분자를 이용하는 압전형 압력센서는 동적인 힘에 의해 발생하는 압력을 재는 데에만 주로 이용되는 한계가 있었으며, 압저항형 압력센서는 정적인 압력과 동적인 압력을 모두 측정할 수 있지만 센서의 전체적인 부피가 증가하게 되는 단점과 빠른 주기로 반복해서 인가되는 외부의 압력을 정확하게 측정하기 어려운 문제점이 있었다.

[0004] 또한, 정전용량형 압력센서는 동적인 힘뿐만 아니라 정적인 힘에 의한 압력도 측정할 수 있어 정밀한 측정이 요구되는 분야에서 주로 이용되지만, 제조공정의 어려움으로 인하여 제조비용이 많이 소요되므로 그 활용도가 높지 않은 문제점이 있었으며, 시트로 이루어진 두 전극 사이에 복원력을 제공하는 고무를 삽입하게 되는바 이러한 구조적인 제약으로 인하여 전체적으로 상당한 두께를 가질 수 밖에 없어 슬림화를 구현하기 어려운 문제점이 있었다.

[0005] 그에 따라, 본 출원인은 대한민국 등록특허 제10-1248410호에 개시된 바와 같이 기공을 가지면서 탄성 회복율이 우수한 나노섬유 웹과 이러한 나노섬유 웹의 상하면에 형성되는 유연성 전극부를 모두 직물로 얇게 형성함으로써, 센서의 두께를 얇게 형성하면서도 우수한 감도를 얻을 수 있게 한 나노섬유 웹을 이용한 정전용량형 압력센서를 제안한 바 있다.

[0006] 그러나, 이러한 나노섬유 웹을 이용한 정전용량형 압력센서에서는 탄성 회복율이 우수한 폴리우레탄 또는 고무상 고분자[NBR, SBR, 부틸러버(BR), 이소프렌러버(IR), 클로로프렌러버(CR), 실리콘고무] 또는 이들의 복합체를 이용하여 나노섬유 웹을 형성하는 것을 개시하고 있으나, 압력센서의 연구 개발을 위한 소량 제조를 넘어 스마트 의류나 신발 또는 바닥면에 넓게 설치하는 등의 용도로 대량생산하고자 할 경우에는 나노섬유 웹의 제조를 위한 초기 투자비용이 상당정도 증가하게 되는 문제점이 있었는데, 이러한 비용 증가는 압력센서를 다양한 목적으로 활용하고자 하는 여러 시도들의 제약으로 작용하게 되는 어려움이 있었다.

**선행기술문헌**

**특허문헌**

[0007] (특허문헌 0001) 대한민국 등록특허 제10-1248410호

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

[0008] 본 발명은 폴리락트산(Poly Lactic Acid)을 전기방사하여 제조됨으로써 압전특성을 갖게 됨과 아울러 기공을 가지면서도 탄성 회복율이 우수한 나노섬유 웹 형태로 구현된 PLA 압전소재를 나노섬유 웹의 탑(top)부와 탑(top)부가 상호 마주보고 바텀(bottom)부와 바텀(bottom)부가 상호 마주보도록 접어서 폴딩형 PLA 나노섬유 웹을 형성한 후, 이러한 폴딩형 PLA 나노섬유 웹에 유연성 병렬 전극부를 연결함으로써, 기존의 폴리우레탄이나 고무상 고분자 또는 이들의 복합체 등을 이용하는 경우보다 저렴한 비용으로 제조할 수 있으면서도, 압력에 의해 기공이 압착되면서 줄어드는 유연성 병렬 전극부 사이의 거리 변경으로 인한 정전용량 변화 및 전단압전전류(shear piezoelectric current)의 생성에 의해 압력 측정이 가능하게 한 전기방사하여 얻은 나노섬유 웹 형태의 PLA 압전센서를 이용한 압력측정 센서를 제공하기 위한 것이다.

**과제의 해결 수단**

- [0009] 상기 과제를 해결하기 위한 전기방사하여 얻은 나노섬유 웹 형태의 PLA 압전소재를 이용한 압력측정 센서는,
- [0010] 기공을 내포하도록 폴리락트산(Poly Lactic Acid, PLA)을 전기방사하여 생성된 PLA 나노섬유웹에 외부의 압력의 인가와 제거로 기공에 충전된 공기의 출입으로 야기되는 두께 변경에 의해 정전용량을 가변시키는 동시에 PLA 나노섬유 자체의 두께 변경을 초래함으로써 PLA 고유의 전단압전전류(shear piezoelectric current)를 생성할 수 있게 함으로써, 압력을 센싱하는 나노섬유 웹을 탑(top)부와 탑(top)부가 상호 마주보도록 접힌 제1폴딩부와, 바텀(bottom)부와 바텀(bottom)부가 상호 마주보도록 접힌 제2폴딩부가 교대로 연속되면서 적층되어 있는 폴딩형 PLA 나노섬유 웹; 전도성 직물로 형성되어, 상기 폴딩형 PLA 나노섬유 웹의 저면인 바텀(bottom)부와 상면인 탑(top)부에 각각 연결되어 압력인가시 상기 폴딩형 PLA 나노섬유 웹에서 생성되는 전기적 신호인 압전신호를 수신하는 유연성 병렬 전극부; 및 상기 유연성 병렬 전극부에 연결되어 상기 폴딩형 PLA 나노섬유 웹에 가해지는 압력에 의한 정전용량 값의 변화와 전단압력전류의 생성에 따른 압전신호를 전달하는 신호전달부;를 포함하는 것을 특징으로 한다.
- [0011] 이때, 상기 폴리락트산(PLA)을 구성하는 단량체의 80% 이상은 L-이성질체(L-isomer) 또는 D-이성질체(D-isomer) 중에서 선택된 한 종류의 이성질체로 이루어지는 것을 특징으로 한다.
- [0012] 또한, 상기 유연성 병렬 전극부는
- [0013] 상기 폴딩형 PLA 나노섬유 웹의 저면인 바텀부에 연결되어 있으며, 적층되어 있는 적어도 하나 이상의 상기 제2폴딩부 사이 공간에 위치하는 제1전극; 및 상기 폴딩형 PLA 나노섬유 웹의 상면인 탑부에 연결되어 있으며, 적층되어 있는 상기 제1폴딩부 사이 공간에 위치하는 제2전극;으로 이루어져, 상기 폴딩형 PLA 나노섬유 웹의 같은 면에 접하는 전극들 상호간이 전기적으로 연결되어 있는 형태를 구현하도록 구성되는 것을 특징으로 한다.
- [0014] 또한, 상기 유연성 병렬 전극부의 외부를 감싸는 보호층을 더 포함하고; 상기 보호층은 발수성 나노섬유 또는 유연성 있는 물질로 이루어지며, 상기 제1전극의 저면에 부착되는 제1보호층과, 상기 제2전극의 상면에 부착되는 제2보호층을 포함하는 것을 특징으로 한다.
- [0015] 또한, 상기 보호층을 감싸며 외부의 노이즈로부터 유연성 전극부를 차폐시키는 차폐층을 더 포함하고; 상기 차폐층은 전도성 물질이 코팅된 섬유제품으로 이루어지며, 상기 제1보호층의 저면에 부착되는 제1차폐층과, 상기 제2보호층의 상면에 부착되는 제2차폐층을 포함하는 것을 특징으로 한다.

**발명의 효과**

[0016] 본 발명은 폴리락트산(Poly Lactic Acid)을 전기방사하여 제조되는 PLA 나노섬유 웹을 탑(top)부와 탑(top)부가 상호 마주보고 바텀(bottom)부와 바텀(bottom)부가 상호 마주보도록 접어서 폴딩형 PLA 나노섬유 웹을 형성한 후, 이러한 폴딩형 PLA 나노섬유 웹에 유연성 병렬 전극부를 연결함으로써, 폴딩형 PLA 나노섬유 웹이 접혀 있

는 모든 영역에서 동시에 압전신호를 획득하면서 압력을 센싱할 수 있는 효과가 있다.

[0017] 또한, 본 발명은 폴딩형 PLA 나노섬유 웹의 압전특성을 이용하여 압력측정 센서를 구현할 수 있게 되어, 압력측정 센서의 제조비용을 현저히 절감시킬 수 있음은 물론, 그로 인하여 연구 개발을 위한 소량 제조를 넘어 스마트 의류나 신발 또는 바닥면에 넓게 설치하는 등의 다양한 용도로 대량생산할 수 있게 하여 압력센서의 활용을 확대시킬 수 있는 효과가 있다.

**도면의 간단한 설명**

[0018] 도 1은 본 발명에 따른 전기방사하여 얻은 나노섬유 웹 형태의 PLA 압전소재를 이용한 압력측정 센서의 단면도.

도 2는 본 발명에 따라 나노섬유 웹 형태의 PLA 압전소재를 다양하게 적층하고 전극을 연결한 상태를 나타내는 단면도로서, (a)는 constructive/destructive 적층, (b) 다층 적층, (c) 지그재그로 접어서 적층한 후의 전극 연결 형태, (d) LED 점등이 가능한 병렬 전극 연결 구조.

도 3은 본 발명에 따라 전기방사하여 얻은 나노섬유 웹 형태의 PLA 압전소재를 서로 다른 배율((a)2000×, (b)5000× 및 (c)100000×)로 촬영한 FE-SEM 이미지.

도 4는 본 발명에 따른 압력측정 센서에 인가되는 주기적인 외부압력에 의해 압전신호가 발생하는 것을 나타내는 구성도.

도 5는 본 발명에 따라 동적인 압력의 인가 실험을 위한 장치를 나타내는 사진.

도 6은 전기방사하여 얻은 순수 PVDF 나노섬유 웹(a)과 순수 PLA 나노섬유 웹(b)으로 제조한 압전소재의 동적 압력 테스트( $R_{in}=1G\Omega$ , Gain=0dB) 신호를 나타내는 그래프.

도 7은 전기방사하여 얻은 PVDF 나노섬유 웹(a)과 PLA 나노섬유 웹(b)의 constructive 및 destructive 적층 효과를 나타내는 구성도.

도 8은 2층으로 constructive 및 destructive 적층한 PVDF 나노섬유 웹((a), (b)) 및 PLA 나노섬유 웹((c), (d))에서의 압전신호( $R_{in}=1G\Omega$ , Gain=0dB)를 나타내는 그래프.

도 9는 다층((a) 1, (b) 3, (c) 5 및 (d) 8층)으로 constructive 적층한 PLA 나노섬유 웹에서 발생하는 압전신호 및 적층수에 따른  $V_{p-p}$ 를 나타낸 그래프(e)( $R_{in}=1G\Omega$ , Gain=0dB).

도 10은 도 2의 (c)에서와 같이 단순 폴딩(a), 전극의 직렬연결 폴딩( $R_{in}=1G\Omega$ , Gain=0dB)(b) 및 전극의 병렬연결 폴딩( $R_{in}=100M\Omega$ , Gain=0dB)(c)한 5층 PLA 나노섬유 웹의 압전신호를 나타내는 그래프.

도 11은 3가지 타입의 폴딩(단순 폴딩, 전극의 직렬연결 폴딩, 전극의 병렬연결 폴딩) 구조에 따른 발생전류를 비교한 그래프.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

[0019] 이하에서는 본 발명의 구체적인 실시예를 도면을 참조하여 상세히 설명하도록 한다.

[0020] 도 1은 본 발명에 따른 전기방사하여 얻은 나노섬유 웹 형태의 PLA 압전소재를 이용한 압력측정 센서의 단면도이다.

[0021] 도 1을 참조하면, 본 발명에 따른 전기방사하여 얻은 나노섬유 웹 형태의 PLA 압전소재를 이용한 압력측정 센서는, 나노섬유가 기공을 내포하도록 폴리락트산(Poly Lactic Acid)을 전기방사하여 생성된 PLA 나노섬유웹에 외부의 압력의 인가와 제거로 기공에 충전된 공기의 출입으로 야기되는 두께 변경에 의해 정전용량을 가변시키는 동시에 PLA 나노섬유 자체의 두께 변경을 초래함으로써 PLA 고유의 전단압전전류(shear piezoelectric current)를 생성할 수 있게 하여 압력을 센싱하는 나노섬유 웹을 탑(top)부와 탑(top)부가 상호 마주보도록 접힌 제1폴딩부와 바텀(bottom)부와 바텀(bottom)부가 상호 마주보도록 접힌 제2폴딩부가 교대로 연속되면서 적층되어 있는 폴딩형 PLA 나노섬유 웹(100)과, 상기 폴딩형 PLA 나노섬유 웹의 저면인 바텀(bottom)부와 상면인 탑(top)부에 각각 연결되어 압력 인가시 상기 폴딩형 PLA 나노섬유 웹에서 생성되는 전기적 신호인 압전신호를 수신하는 유연성 병렬 전극부(200)와, 상기 유연성 병렬 전극부에 연결되어 상기 폴딩형 PLA 나노섬유 웹에 가해지는 압력에 의한 정전용량 값의 변화와 전단압력전류의 생성에 따른 압전신호를 전달하는 신호전달부(300)를 포



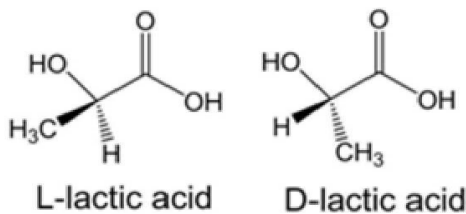
함하여 구성된다.

[0022] 상기 폴딩형 PLA 나노섬유 웹(100)은, 생분해성 및 생물적합성이 우수한 친환경고분자인 폴리락트산(poly-lactic acid, PLA)을 전기방사하여 형성된 나노섬유 웹을 같은 면이 서로 마주보도록 적어도 2회 이상 접어서 적층된 형태로 구성된다.

[0023] 상기 폴리락트산(PLA)은 많은 연구자들이 폴리비닐리덴 플루오라이드(polyvinylidene fluoride, PVDF) 및 이의 중합체(예를 들어, PVDF-TrFE)와 같은 기존의 고분자 압전물질의 대체수단으로 관심을 갖고 있는 소재로서, 이러한 폴리락트산(PLA)의 압전특성은 원자들이 탄소원자 주위 모든 방향에서 독특하고 독립적인 전기적 특성을 나타내는 비대칭 분자 구조에 의해 나타난다.

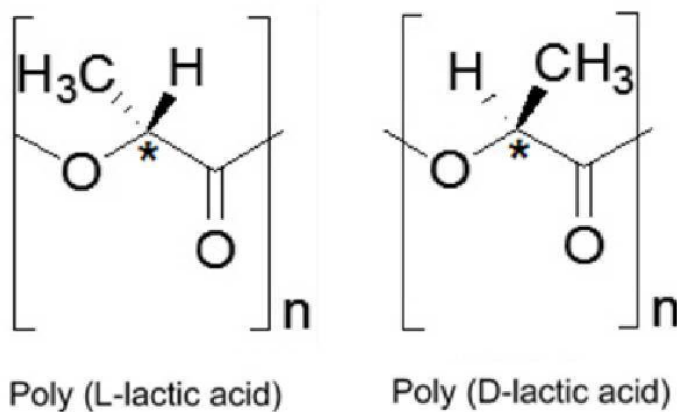
[0024] 이때, 상기 폴리락트산(PLA)를 구성하는 단량체의 80% 이상은 L-이성질체 (L-isomer) 또는 D-이성질체(D-isomer) 중에서 선택된 한 종류의 이성질체로 이루어지는 것이 바람직하다. PLA의 단량체인 락트산은 광학이성질체로, L-이성질체(L-isomer)와 D-이성질체(D-isomer)의 두 가지 형태를 가지며(화학식 1 참조), L-이성질체로 이루어진 PLA를 PLLA, D-이성질체로 이루어진 PLA를 PDLA라고 한다(화학식 2 참조). 본 발명에서는 PLA에서 이러한 각 이성질체의 순도가 압전특성에 큰 영향을 미치며, 어떤 이성질체이든지 총 PLA의 단량체 중 80% 이상인 한 종류의 이성질체로 이루어지는 것이 압전특성을 나타내기 위해 필요하다. 보다 바람직하게는 총 PLA의 단량체 중 90% 이상, 더욱 바람직하게는 95% 이상, 가장 바람직하게는 98% 이상인 것이 좋다. 기존에 PLA와 압전성 무기입자를 전기방사한 소재의 압전특성을 연구한 결과, 대조군으로 사용된 순수 PLA 소재에서는 압전특성이 나타나지 않는 것으로 나타났는데, 이러한 결과는 아마도 이성질체를 염두하지 않았기 때문에 나타난 결과로 보인다.

[0025] [화학식 1]



[0026]

[0027] [화학식 2]



[0028]

[0029] 그에 따라, 상기 폴딩형 PLA 나노섬유 웹(100)은 총 단량체 중 80% 이상이 어느 한 종류의 이성질체로 이루어진 PLA를 용매에 용해한 방사용액을 전기방사하여 나노섬유가 랜덤하게 어셈블리 되면서 기공을 내포하고 있는 나노섬유 웹 형태를 구현하게 된다.

[0030] 이때, 상기 용매는 클로로포름 및 디메틸아세트아마이드의 혼합용액인 것이 바람직하며, 상기 클로로포름과 디메틸아세트아마이드가 2 : 1 내지 4 : 1의 부피비로 혼합된 것이 바람직하고, 방사용액은 이러한 용매에 PLA를 5 내지 20중량%로 용해한 것이 바람직하다. 이러한 조건들에 따르면 보다 용이하게 우수한 효과를 갖는 PLA 나노섬유 웹을 제조할 수 있게 된다.

[0031] 이와 같이 PLA를 전기방사하여 이루어짐으로써, 상기 폴딩형 PLA 나노섬유 웹(100)은 도 3에 도시된 바와 같이 자체적으로 기공이 포함된 형태를 갖게 되며, 이러한 폴딩형 PLA 나노섬유 웹(100)에 압력이 가해지거나 제거될

때 기공이 압착되거나 복원되면서 공기가 출입하여 두께 변경을 초래하고 그에 따라 정전용량을 가변시키는 동시에 PLA 나노섬유 자체의 두께 변경을 초래함으로써 PLA 고유의 전단압전전류(shear piezoelectric current)를 생성할 수 있게 된다. 이때, 도 3은 9wt.-% PLA 용액을 전기방사하여 얻은 순수 PLA 나노섬유 웹을 다른 배율((a)는 2k×, (b)는 5k×, (c)는 100k×)로 캡처한 FE-SEM 이미지를 나타낸다. 비록 이후의 연구를 통하여 더 작은 나노 스케일(5 ~ 15nm 직경)의 섬유가 더 높은 비율을 차지하도록 하는 것이 필요하지만, 본 연구에서 확립된 최적 전기방사 조건을 통해 100nm 직경 스케일의 비교적 균일한 전기방사 순수 PLA 나노섬유가 생성된 것을 확인하였다. 덩어리 없이 균일한 형태를 나타내는 것은 전기방사시의 전압, 상대점도, 용매, 용액 농도 및 전기방사 챔버의 TCD 거리와 같은 전기방사 조건의 최적화 때문인 것으로 보인다.

[0032] 또한, 상기 폴딩형 PLA 나노섬유 웹(100)은 압력 인가시 두께 변화에 의한 정전용량의 차이 및 PLA 나노섬유 자체의 두께 변경을 초래함으로써 PLA 고유의 전단압전전류(shear piezoelectric current)의 생성으로 인해 발생하는 압전신호를 크게 하기 위하여, 단위 부피당 PLA 나노섬유가 차지하는 부피가 10~90%에 이르도록 형성되고, 그 외의 나머지 영역은 유전체가 충전되는 기공을 형성하도록 구성되는 것이 바람직하다. 그에 따라, 상기 PLA 나노섬유가 차지하는 부피를 제외한 영역은 유전체로서 작용하는 공기나 유전 상수가 큰 물질들로 충전되어 유전율의 향상을 도모할 수 있도록 구성되는 것이 바람직하다.

[0033] 이와 같이 전기방사하여 형성된 PLA 나노섬유 웹은 도 1에 도시된 바와 같이 접힌 상태로 적층 형성된 폴딩형을 구현할 수 있도록, 같은 면이 서로 마주보도록 적어도 2회 이상 접어서 이루어진다.

[0034] 이때, 상기 PLA 나노섬유 웹을 적층할 경우 도 2의 (a)에 도시된 Constructive 적층과 같이 상기 PLA 나노섬유 웹의 탑(top)부와 바텀(bottom)부가 상호 접하면서 순차 적층되도록 구성될 수도 있으나, 보다 강화된 압전신호를 얻을 수 있도록 도 2의 (a)에 도시된 Destructive 적층과 같이 상기 나노섬유 웹의 바텀(bottom)부와 바텀(bottom)부가 서로 마주보고 탑(top)부와 탑(top)부도 서로 마주보면서 바텀부가 마주보는 영역과 탑부가 마주보는 영역이 교대로 순차 적층되도록 구성되는 것이 바람직하다.

[0035] 그에 따라, 상기 폴딩형 PLA 나노섬유 웹(100)은 Destructive 적층되어, 상기 PLA 나노섬유 웹의 상면인 탑(top)부가 서로 마주보는 영역인 제1폴딩부(110)와, 상기 PLA 나노섬유 웹의 저면인 바텀(bottom)부가 서로 마주보는 영역인 제2폴딩부(120)가 교대로 연속되면서 적층된 형태로 이루어지게 된다.

[0036] 이와 같이 제1폴딩부(110)와 제2폴딩부(120)가 교대로 적층된 형태의 상기 폴딩형 PLA 나노섬유 웹(100)은 전도성 직물로 구성되므로, 압력 인가시 상기 제1 및 제2폴딩부가 눌러서 접히더라도 압력 제거시에는 원래의 상태로 복원되어, 스마트 슈즈나 일정 영역의 바닥과 같이 주기적으로 반복하여 가해지는 압력을 측정하는데 유용하게 사용될 수 있게 된다.

[0037] 또한, 상기 유연성 병렬 전극부(200)는, 상기 폴딩형 PLA 나노섬유 웹의 상면과 저면에 각각 연결되어 외부에서 인가되는 압력에 의해 압착되거나 복원될 때 발생하는 상기 폴딩형 PLA 나노섬유 웹(100)의 두께 변화로 인하여 생성되는 전기적 신호인 압전신호를 상기 신호전달부로 전달할 수 있는 전도성 직물로 형성되며, 상기 폴딩형 PLA 나노섬유 웹의 저면에 부착되는 제1전극(210)과, 상기 폴딩형 PLA 나노섬유 웹의 상면에 부착되는 제2전극(220)을 포함하여 구성된다.

[0038] 상기 제1전극(210)과 제2전극(220)은 도 2의 (c)에서 단순히 접는 형태나 전극이 직렬로 연결되도록 접는 형태에 도시된 바와 같이 부착될 수도 있으나, 전극이 병렬로 연결되도록 접는 형태에 도시된 바와 같이 접힌 상태에서의 상기 폴딩형 PLA 나노섬유 웹 최하부면과 최상부면에 제1전극과 제2전극이 각각 설치되어 펼쳐진 상태를 고려할 때 상기 폴딩형 PLA 나노섬유 웹의 저면과 상면에 제1전극과 제2전극이 설치되도록 구성되는 것이 바람직하다.

[0039] 이때, 상기 제1전극(210)은 상기 폴딩형 PLA 나노섬유 웹(100)의 저면인 최하부면에 설치됨과 아울러, 상기 폴딩형 PLA 나노섬유 웹의 저면이 서로 마주보이도록 접힌 제2폴딩부(120)의 사이 공간에도 각각 삽입되도록 형성되고, 상기 제2전극(220)은 상기 폴딩형 PLA 나노섬유 웹(100)의 상면인 최상부면에 설치됨과 아울러, 상기 폴딩형 PLA 나노섬유 웹의 상면이 서로 마주보도록 접힌 제1폴딩부(110)의 사이 공간에도 삽입되도록 형성된다.

[0040] 그에 따라, 상기 유연성 병렬 전극부(200)는, 상기 폴딩형 PLA 나노섬유 웹의 저면인 바텀부에 연결되어 있으며 적층되어 있는 적어도 하나 이상의 상기 제2폴딩부 사이 공간에 위치하는 제1전극(210)과, 상기 폴딩형 PLA 나노섬유 웹의 상면인 탑부에 연결되어 있으며 적층되어 있는 상기 제1폴딩부 사이 공간에 위치하는 제2전극(220)으로 이루어져, 상기 폴딩형 PLA 나노섬유 웹의 같은 면에 접하는 전극들 상호간이 전기적으로 연결되어 있는 형태를 구현할 수 있게 된다.



- [0041] 따라서 외부에서 압력이 인가될 경우에는, 상기 제1 및 제2폴딩부가 교대로 적층되어 있는 폴딩형 PLA 나노섬유 웹이 압착됨에 따라 적층된 각 층이 압착되면서 제1 및 제2폴딩부(110, 120) 사이가 눌리게 되어 그 사이 공간에 삽입되어 있는 제2전극(220)과 제1전극(210)이 폴딩형 PLA 나노섬유 웹의 저면과 상면에 각각 접하여 접혀 있는 모든 영역으로부터 압전신호를 획득하게 된다.
- [0042] 따라서 접힌 상태의 PLA 나노섬유 웹의 상면과 저면에서만 압전신호를 획득하는 것보다, 압력이 인가될 때 접혀 있는 PLA 나노섬유 웹의 여러 영역(제1 및 제2폴딩부에 의해 형성되는 영역)에서 동시에 압전신호를 획득할 수 있게 되므로, 보다 강한 압전신호를 획득할 수 있게 된다.
- [0043] 이때, 상기 유연성 병렬 전극부(200)는 상기 폴딩형 PLA 나노섬유 웹에 부착될 수 있는 전도성 직물로 형성되며, 폴딩형 PLA 나노섬유 웹과의 접촉면적을 증가시킴으로써 면적에 비례하는 정전용량 값을 크게 할 수 있도록 무늬가 없는 직물, 바람직하게는 평직물(Taffeta)이나 립스톱(Rip Stop) 조직에 니켈, 구리, 금, 은 또는 카본블랙 등 전도성이 우수한 도전성 물질이 코팅되어 구성되는 것이 바람직하다.
- [0044] 또한, 상기 신호전달부(300)는 일단이 유연성 병렬 전극부를 이루는 상기 제1전극(210)과 제2전극(220)에 각각 연결되고, 타단이 정전용량 값의 변화에 따른 전기적 신호를 전달하고자 하는 회로에 연결되어 있는 디지털사로 구성된다. 이때, 상기 신호전달부(300)는 외형상 표출되는 것을 최소화할 수 있도록 압력측정 센서의 두께보다 얇은 직경을 갖도록 구성되는 것이 바람직하며, 외부의 영향에 의한 노이즈를 줄이면서도 유연성도 우수한 디지털사로 구성되는 것이 바람직하다.
- [0045] 또한, 본 발명에 따른 전기방사하여 얻은 나노섬유 웹 형태의 PLA 압전소재를 이용한 압력측정 센서는, 상기 유연성 병렬 전극부(200)의 외부를 감싸서 불필요한 외부의 자극이나 오염물질로부터 전극부와 센서부를 보호하는 보호층(400)을 더 포함하여 구성되는 것이 바람직하다.
- [0046] 이러한 상기 보호층(400)은 수분이나 오염물이 상기 폴딩형 PLA 나노섬유 웹으로 유입되는 것을 방지할 수 있도록 발수성 나노섬유나 필름과 같은 유연성 있는 물질로 이루어지며, 상기 제1전극(210)의 저면에 부착되는 제1 보호층과, 상기 제2전극(220)의 상면에 부착되는 제2보호층을 포함하여 구성되는 것이 바람직하다. 이때, 상기 제1 및 제2보호층은 상기 유연성 병렬 전극부를 충분히 감쌀 수 있도록 상기 제1 및 제2전극보다 넓은 면적으로 형성되는 것이 바람직하다.
- [0047] 또한, 상기 제1보호층과 제2보호층으로 이루어진 상기 보호층(400)은 정전용량 값의 변화에 의해 상기 유연성 병렬 전극부에서 발생하는 전기적인 신호가 원하지 않게 누출되는 것을 방지할 수 있도록 절연성 있는 직물로 형성되는 것이 바람직하다.
- [0048] 또한, 본 발명에 따른 전기방사하여 얻은 나노섬유 웹 형태의 PLA 압전소재를 이용한 압력측정 센서는, 상기 보호층(400)을 감싸며 외부의 노이즈로부터 유연성 전극부를 차폐시키는 차폐층(500)을 더 포함하여 구성되는 것이 바람직하다.
- [0049] 이때, 상기 차폐층(500)은 전도성 물질이 코팅된 섬유제품으로 이루어져, 상기 제1보호층의 저면에 부착되는 제1차폐층과, 상기 제2보호층의 상면에 부착되는 제2차폐층을 포함하여 구성된다. 또한, 상기 차폐층은 전도성 물질이 코팅된 섬유에 편물이나 부직포 등 섬유 제품을 더 추가하여 구성될 수도 있음은 물론이다. 이러한 차폐층에 의해 외부의 노이즈가 유연성 병렬 전극부로 유입되는 것을 방지할 수 있게 되어 압력측정의 정밀성을 구현할 수 있게 된다.
- [0050] 다음에는 이와 같이 구성된 본 발명에 따른 전기방사하여 얻은 나노섬유 웹 형태의 PLA 압전소재를 이용한 압력측정 센서를 이용하여 압력인가시 전기적 신호가 발생하는 압전특성을 분석한 실험을 설명한다.
- [0051] 1-1. 실험방법
- [0052] 1-1-1. 전계방사형 주사전자현미경(Field emission-scanning electron microscopy, FE-SEM)
- [0053] 순수 PLA 나노섬유 웹의 형태를 관찰하기 위해 FE-SEM 장치(LEO SUPRA 55, Carl Zeiss Inc., USA)를 사용하였다.
- [0054] 1-1-2 전단압전 신호 측정
- [0055] 자체 제작한 동적 압력 장치(도 5)를 사용하여 산출되는  $V_{p-p}$ 를 측정하였다. 주기적인 외부 압력에 의해 압력측정 센서에서 생성되는 압전 신호를  $1G\Omega$ 의  $R_{in}$ 으로 전압 모드를 세팅한 Piezo Film Lab Amplifier로

전이하였다. 이후 신호를 도 4와 같이 NIDAQ 보드를 통해 PC에 저장하였다. 압전신호를 검출하기 위해, 0.5Hz로 1kgf의 정현 압력(sinusoidal pressure)을 압력측정 센서에 가하였다.

[0056] 1-2. 실험결과

[0057] 1-2-1. 전기방사 PLA 나노웹을 기초로 하는 압전센서

[0058] 1-2-1-1. FE-SEM 연구

[0059] 1½nm에 이르는 전통적인 SEM에 비해 3 ~ 6배 더 우수한 공간 해상도를 갖으면서 선명하고, 정전기로 인한 이미지 왜곡이 덜하다는 사실 때문에 전통적인 SEM 방법 보다는 FE-SEM을 선택하였다. 도 3은 9wt.-% PLA 용액을 전기방사하여 얻은 순수 PLA 나노섬유 웹을 다른 배율(2k×, 5k× 및 100k×)로 캡처한 FE-SEM 이미지를 나타낸다.

[0060] 1-2-1-2. 동적 압력 신호

[0061] 순수 PVDF 나노섬유 웹과 PLA 나노섬유 웹으로 제작한 압전센서의  $V_{p-p}$  신호를 비교하여 도 6에 나타내었다. 일정한 외부 압력 뿐만 아니라  $R_{in}$ , 부가물이 동일한 실험 조건 하에서, ~ 3.7V를 생성하는 PVDF 나노섬유 웹과 비교하여 PLA 나노섬유 웹은 약 3.2V의  $V_{p-p}$ 를 생성하였다. 도 7은 선형 PVDF의 C-F 쌍극자 배열과 나선형 PLA의 C=O 쌍극자 배열 방향 간의 효과를 구별하기 위해, PVDF 및 PLA 나노섬유 웹을 사용하여 constructive 및 destructive 형태로 적층한 센서 배치의 개략도를 나타낸다. PVDF 나노섬유 웹의 경우, C-F 쌍극자가 주로 한쪽으로 배열되어 있고, 이에 따라 constructive 형 적층에서 압전신호가 강화되지만, destructive 형 적층에서는 압전신호가 사라진다(도 7의 a). 위에서 설명한 바와 같이, PLA의 압전신호는 C=O 쌍극자가 특이적으로 그리고 나선 방향을 따라 배열된 나선 구조의 변형에 의해서만 생성될 수 있다. 따라서 PLA 센서에서는 constructive 및 destructive 형태 모두에서 거의 유사한  $V_{p-p}$  신호가 생성될 것으로 기대되었다(도 7의 b). 하지만, 도 8에서 얻은 결과에 따르면 PVDF와 PLA 센서의 constructive 형 적층 센서의  $V_{p-p}$  신호(도 8의 a, c)가 destructive 형 적층(도 8의 b, d)에 비해 강화된 것으로 나타났다. PVDF와 PLA의 constructive 형 적층 센서 모두 도 7에 나타난 것에 비해 강화되었다. destructive 형 적층 PVDF 센서(도 8의 b)와 비교하면, destructive 형 적층 PLA 센서(도 8의 d)의  $V_{p-p}$  신호가 개선된 것으로 나타났다. 위의 결과는 전기방사 PVDF 나노섬유 웹에서처럼 나선형 PLA 나노섬유 웹이 어떠한 추가적인 연신 공정 없이도 전기방사하는 동안 분극되어 C=O 쌍극자가 특정한 각도로 배열을 나타낸다는 것을 설명한다.

[0062] 도 9는 PLA 나노섬유 웹의 적층수에 따른 압전신호의 변화를 나타내는 것으로, PLA 나노웹 적층수가 증가함에 따라 최종 압전신호가 비선형으로 증가하는 것을 볼 수 있다. 비록 초반에 적층 증가로 생성되는 신호가 유의적으로 증가(5층까지)하였지만, 적층이 더 증가하더라도 신호가 적정 정도로만 증가하는 것으로 나타났고, 이는 외부압력이 내부층에 적층된 PLA 사슬 상에 미치는 영향이 제한적이라는 것을 나타낸다. 달리 말하면, 특정한 두께가 최종 압전신호를 생성하는데 중요한 역할을 한다(도 9). 압전신호 상에서 세 가지의 다른 폴딩방법에 대한 효과를 연구하기 위해 5층으로 적층된 PLA 나노웹을 사용하여 추가실험을 수행하였다. PLA 나노섬유 웹을 접고 상단과 하단 전극이 다양한 구조(도 2)를 이루도록 서로 다른 방법으로 삽입하여 세 가지 서로 다른 형태의 압전센서를 제작하였다. 단순 폴딩의 경우(도 10의 a), 그리고 destructive 형 적층과 유사한 형태로 전극이 직렬 연결되도록 접은 경우(도 10의 b), 모든 층간의 C=O 쌍극자 분극의 합은 현저히 줄어들 수 밖에 없다. 하지만, 전극이 직렬 연결되도록 접은 경우 단순 폴딩의 경우에 비해 훨씬 높은 압전신호가 나타났는데, 아마도 접힌 나노웹 사이에 전극이 삽입됨에 따라 모든 층간의 전도도가 증가하였기 때문일 것이다. 배터리의 병렬연결과 같이 전극이 병렬 연결되도록 접은 경우(도 10의 c), 압전 전류를 생성하는 전극의 총 면적이 증가하여 생성되는 전류의 총 값이 증가함에 따라 유의적으로 강화된 압전신호가 나타났다. 전극이 병렬 연결되도록 접은 경우의 생성 신호를 측정하였을 때, 1GΩ의 입력저항( $R_{in}$ )을 사용하면 출력전압이 10V 이상으로 되어서 NIDAQ 보드(최대 입력전압10V)로는 측정할 수 없기 때문에 입력저항  $R_{in}$ 을 100MΩ으로 10배 줄여서 출력전압도 10배 감소하도록 하여 측정하였다. 전극이 나노웹 적층물의 상단과 하단에만 위치한 단순 폴딩과 비교하여, 접힌 나노웹 사이에 전극이 삽입된 병렬연결의 경우 증가한 전체 전극의 면적으로 인해 외부압력이 주기적으로 전달되는 상태에서 변화하는 C=O 쌍극자의 총 수가 더 증가한다. 최대 생성 전류( $I_{max}$ )는 최대 피크 압력( $V_{max}$ )으로부터 계산식 (1)을 사용하여 계산할 수 있다. 동일한 실험조건 하에서, 병렬 연결된 PLA 센서 구조는 직렬 연결된 센서에 비해 압전 전류 신호가 ~ 9배 이상인 것으로 나타났으며, 단순 폴딩형 센서에 비해서는 ~ 40배 이상인 것으로 나

타났다(도 11).

$$I_{max} (A) = \frac{V_{max} (V)}{R_{in}(\Omega)} \quad (1)$$

[0063]

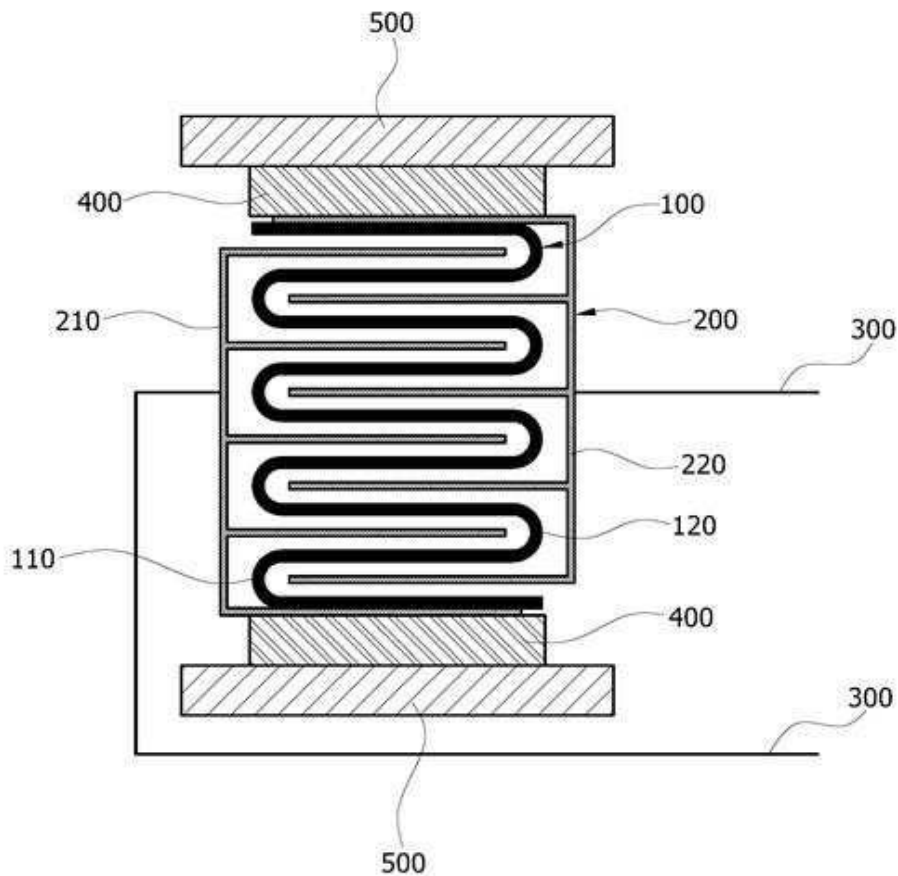
**부호의 설명**

[0064]

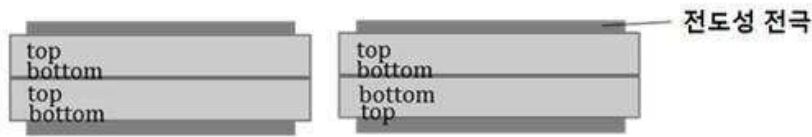
- 100 : 폴딩형 PLA 나노섬유 웹
- 110 : 제1폴딩부
- 120 : 제2폴딩부
- 200 : 유연성 병렬 전극부
- 210 : 제1전극
- 220 : 제2전극
- 300 : 신호전달부
- 400 : 보호층
- 500 : 차폐층

**도면**

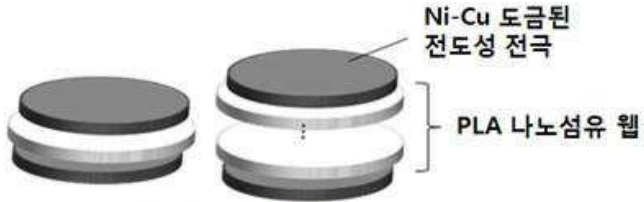
**도면1**



도면2



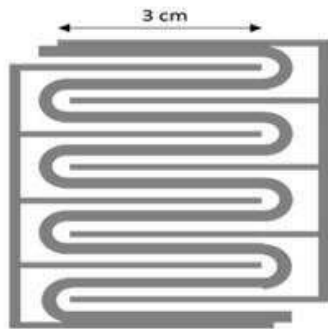
(a) Constructive/Destructive 적층



(b) 단층/다층 적층

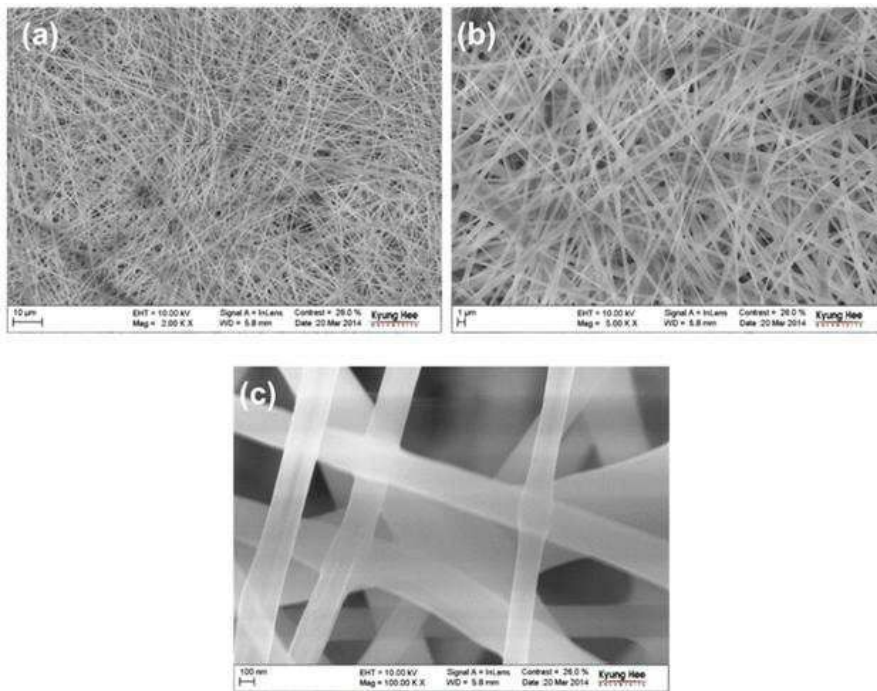


(c) 3가지의 접는 형태

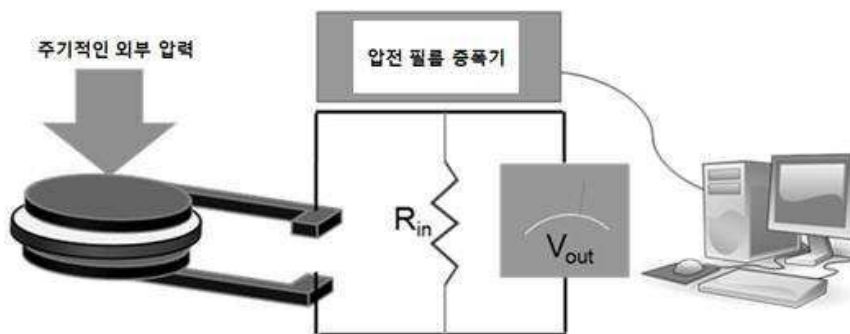


(d) LED 작동을 위해 전극이 병렬로 연결되도록 접어 만든 센서

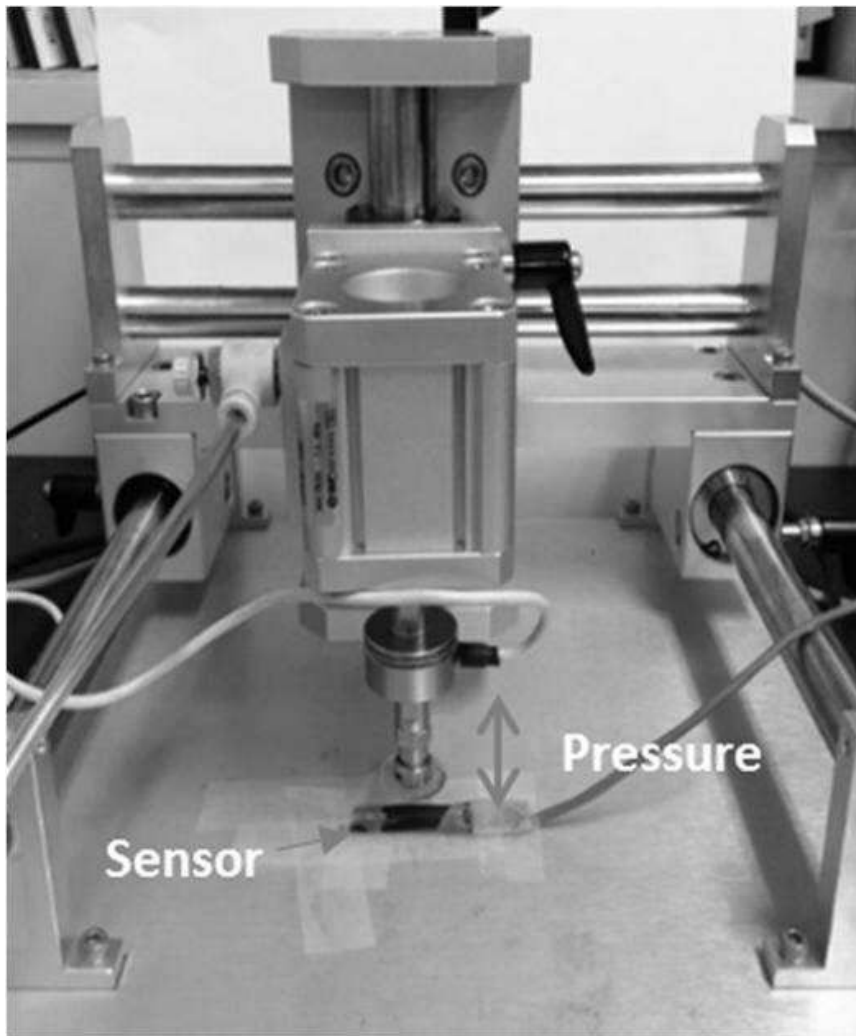
도면3



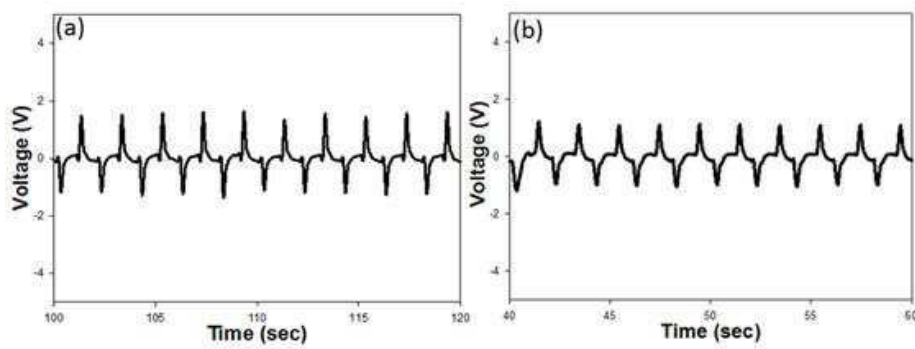
도면4



도면5

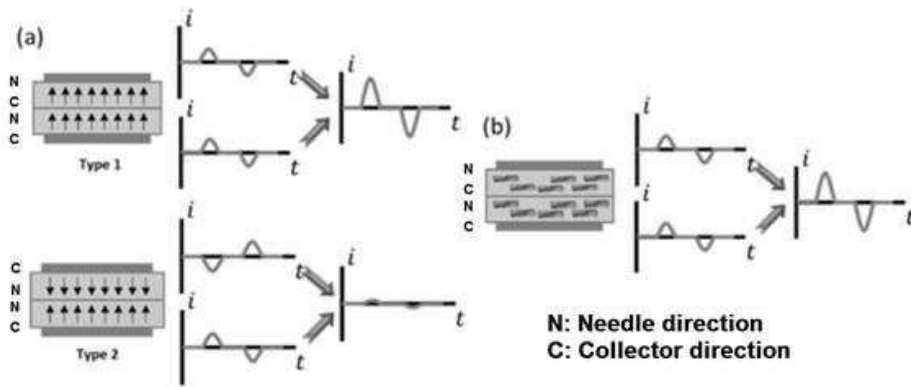


도면6

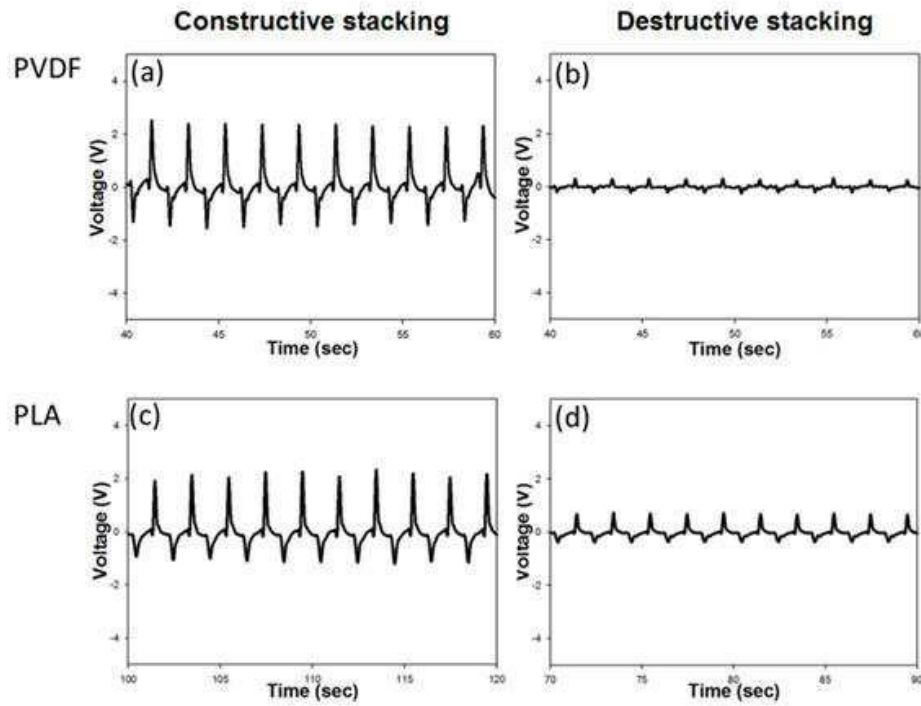




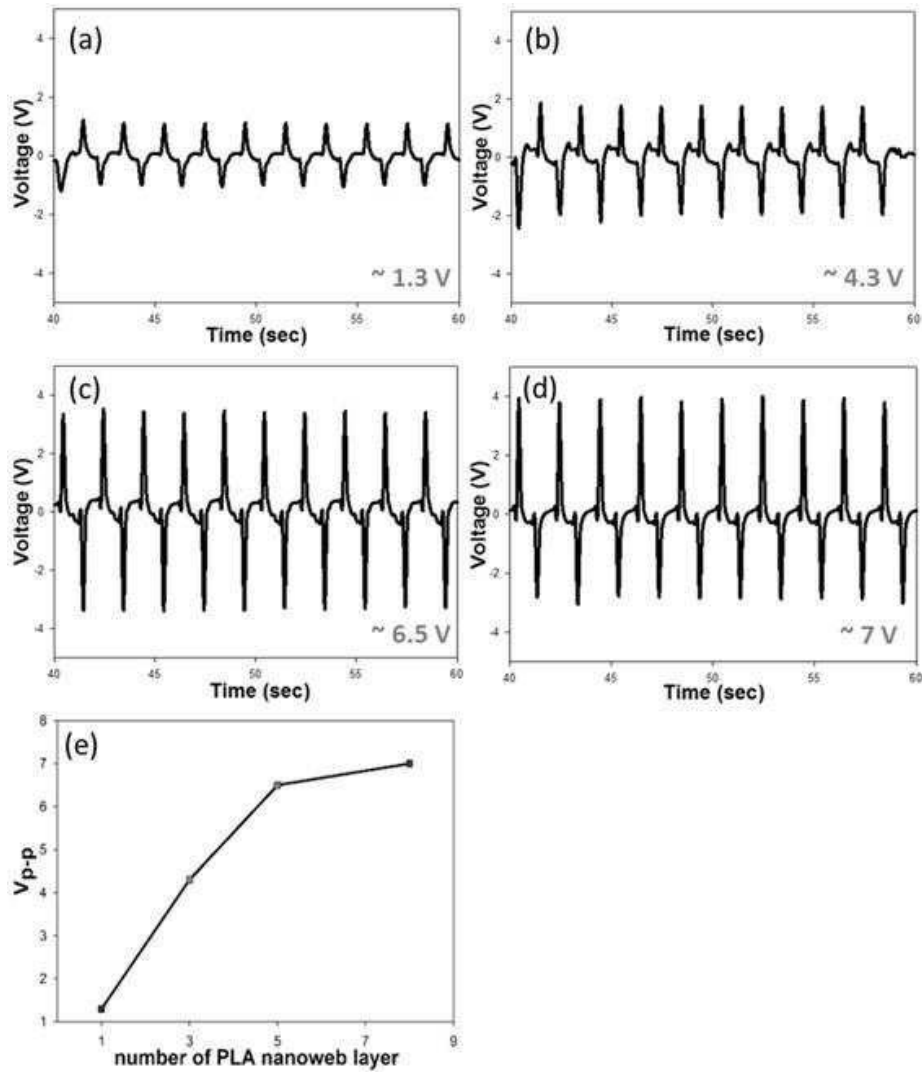
도면7



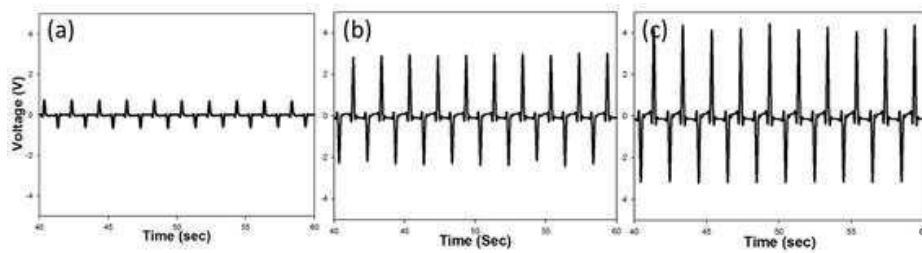
도면8



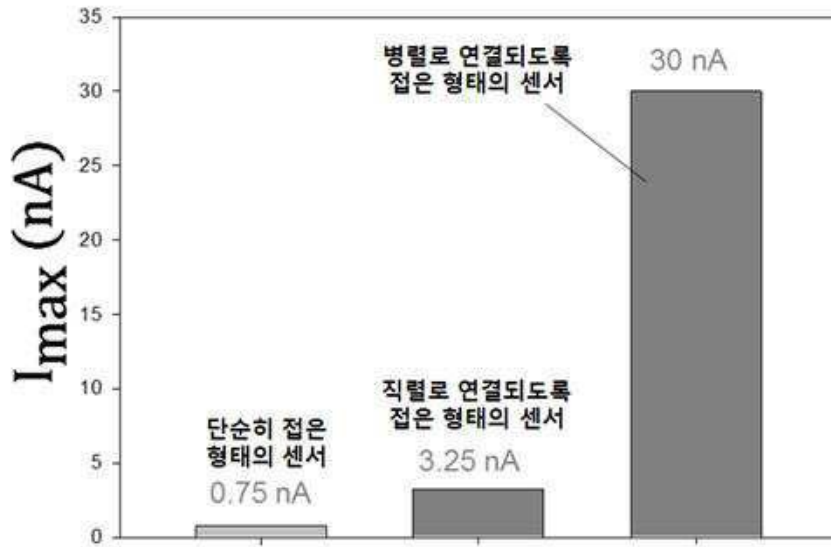
도면9



도면10



도면11



【심사관 직권보정사항】

【직권보정 1】

【보정항목】 청구범위

【보정세부항목】 제3항 3번째줄

【변경전】

10~90%에 이르고,

【변경후】

10~90%이며,