



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2020년11월03일  
(11) 등록번호 10-2173494  
(24) 등록일자 2020년10월28일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
C08J 5/00 (2006.01) C08L 67/02 (2006.01)
- (52) CPC특허분류  
C08J 5/00 (2013.01)  
C08L 67/02 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2019-0006444
- (22) 출원일자 2019년01월17일  
심사청구일자 2019년01월17일
- (65) 공개번호 10-2019-0090341
- (43) 공개일자 2019년08월01일
- (30) 우선권주장  
1020180008869 2018년01월24일 대한민국(KR)
- (56) 선행기술조사문헌  
JP2015059845 A  
US20130134992 A1  
JP2013534833 A  
US20170129146 A1

- (73) 특허권자  
서울대학교산학협력단  
서울특별시 관악구 관악로 1 (신림동)
- (72) 발명자  
주영창  
서울특별시 강남구 선릉로 120, 15동 505호  
최인석  
서울특별시 종로구 창의문로7길 24  
(뒷면에 계속)
- (74) 대리인  
이인행, 김한, 김남식

전체 청구항 수 : 총 18 항

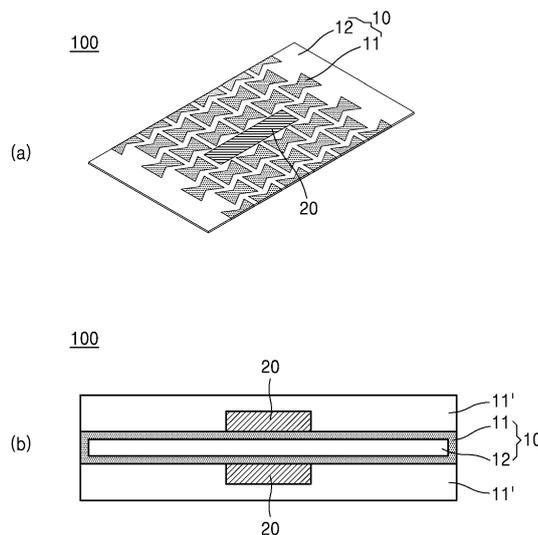
심사관 : 김수미

(54) 발명의 명칭 **캐패시터형 스트레인 센서 및 그 제조방법**

(57) 요약

본 발명은 캐패시터형 스트레인 센서 및 그 제조방법에 관한 것이다. 본 발명의 캐패시터형 스트레인 센서는 옥세틱 구조체를 포함하는 옥세틱 복합체 및 옥세틱 복합체의 양면에 배치되는 전극부를 포함하는 것을 특징으로 한다.

대표도 - 도5



(72) 발명자

**이영주**

서울특별시 서대문구 이화여대길 50-12, 104동  
1504호

**임승민**

서울특별시 관악구 솔밭로2길 5, 308호

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711064615
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	집단연구지원
연구과제명	인간중심 소프트로봇기술 연구센터
기 여 율	1/1
과제수행기관명	서울대학교
연구기간	2018.01.01 ~ 2018.12.31

공지예외적용 : 있음

---

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

옥세틱 구조체를 포함하는 옥세틱 복합체; 및  
 옥세틱 복합체의 양면에 배치되는 전극부;  
 를 포함하는,  
 캐패시터형 스트레인 센서.

#### 청구항 2

제1항에 있어서,  
 옥세틱 복합체는 필터에 옥세틱 구조체가 삽입되는 것인,  
 캐패시터형 스트레인 센서.

#### 청구항 3

제2항에 있어서,  
 필터의 푸아송비(Poisson's ratio)는 0.47 내지 0.52인,  
 캐패시터형 스트레인 센서.

#### 청구항 4

제2항에 있어서,  
 옥세틱 구조체의 평면 방향으로의 푸아송비는 음의 값이고, 두께 방향으로의 푸아송비는 양의 값인,  
 캐패시터형 스트레인 센서.

#### 청구항 5

제2항에 있어서,  
 캐패시터형 스트레인 센서의 적어도 일측으로 인장력이 가해질 때,  
 필터의 두께 방향으로의 고유한 푸아송비보다, 옥세틱 복합체의 두께 방향의 푸아송비가 더 커지는,  
 캐패시터형 스트레인 센서.

#### 청구항 6

제2항에 있어서,  
 필터 및 옥세틱 구조체 구성재료의 탄성계수(Young's modulus)는 0.006MPa 내지 7.5MPa인,  
 캐패시터형 스트레인 센서.

#### 청구항 7

제1항에 있어서,  
 옥세틱 복합체는 필터 및 옥세틱 구조체 구성재료의 탄성계수(Young's modulus)가 1000배 이상 차이가 나는 것  
 인,  
 캐패시터형 스트레인 센서.

**청구항 8**

제1항에 있어서,  
전극부는 전도성 고분자 썬 전극인,  
캐패시터형 스트레인 센서.

**청구항 9**

제1항에 있어서,  
스트레인 센서의 게이지 팩터(Gauge Factor, GF)는 3.2보다 큰,  
캐패시터형 스트레인 센서.

**청구항 10**

제1항에 있어서,  
전극부와 옥세틱 구조체가 각각 커버하는 평면 상의 영역이 중첩되지 않는,  
캐패시터형 스트레인 센서.

**청구항 11**

(a) 옥세틱 구조체를 포함하는 옥세틱 복합체를 형성하는 단계; 및  
(b) 옥세틱 복합체의 양면에 전극부를 형성하는 단계;  
를 포함하는,  
캐패시터형 스트레인 센서의 제조방법.

**청구항 12**

제11항에 있어서,  
(a) 단계는,  
(a1) 패터닝된 옥세틱 구조체를 제조하는 단계; 및  
(a2) 필터 내에 옥세틱 구조체를 삽입하는 단계;  
를 포함하는,  
캐패시터형 스트레인 센서의 제조방법.

**청구항 13**

제11항에 있어서,  
필터의 푸아송비(Poisson's ratio)는 0.47 내지 0.52인,  
캐패시터형 스트레인 센서의 제조방법.

**청구항 14**

제11항에 있어서,  
옥세틱 구조체의 평면 방향으로의 푸아송비는 음의 값이고, 두께 방향으로의 푸아송비는 양의 값인,  
캐패시터형 스트레인 센서의 제조방법.

**청구항 15**

제11항에 있어서,

필러 및 옥세틱 구조체 구성재료의 탄성계수(Young's modulus)는 0.006MPa 내지 7.5MPa인, 캐패시터형 스트레인 센서의 제조방법.

**청구항 16**

제11항에 있어서,  
전극부는 전도성 고분자 젤 전극인,  
캐패시터형 스트레인 센서의 제조방법.

**청구항 17**

제11항에 있어서,  
(b) 단계는,  
(b1) 옥세틱 복합체의 양면에 전극을 부착하는 단계; 및  
(b2) 전극을 필러로 몰딩하여 캡슐화(encapsulation)하는 단계;  
를 포함하는,  
캐패시터형 스트레인 센서의 제조방법.

**청구항 18**

평면 방향 및 두께 방향으로의 푸아송비(Poisson's ratio)가 양의 값인 필러; 및  
필러에 삽입되며, 평면 방향으로의 푸아송비가 음의 값이고, 두께 방향으로의 푸아송비가 양의 값인 옥세틱 구조체  
를 포함하는 옥세틱 복합체.

**발명의 설명**

**기술 분야**

[0001] 본 발명은 캐패시터형 스트레인 센서 및 그 제조방법에 관한 것이다. 보다 상세하게는, 옥세틱 구조체를 포함하고 탄성체 고유의 기계적 특성 한계를 뛰어 넘는 캐패시터형 스트레인 센서 및 그 제조방법에 관한 것이다.

**배경 기술**

[0002] 푸아송비(Poisson's ration)는 재료에 수직 응력을 주었을 때의 가로 변형과 세로 변형의 비로, 탄성 변형 영역에서의 변형을 파악함에 있어서 중요하게 고려되는 재료 거동의 지표이다. 대부분의 재료들은 재료에 축 방향으로 인장이 가해졌을 때 그 재료가 수평방향으로 수축되고, 축 방향으로 압축되었을 때는 수평방향으로 확장되는 양의 푸아송비를 갖는다.

[0003] 도 1은 각종 재료에 대한 영률(Young's modulus), 푸아송비(Poisson's ratio)를 나타내는 그래프이며, 도2는 논옥세틱(Non-auxetic)과 옥세틱(Auxetic)을 나타내는 도면이다. 엘라스토머의 탄성 계수는 같은 소재에서도 합성 조건 제어를 통해 그 범위를 조절할 수 있다.

[0004] 푸아송 비의 경우 대부분의 소프트 재료가 0.5에 가까운 것을 알 수 있으며 사실상 재료의 합성 제어를 통해서 는 변화시킬 수 없는 것을 알 수 있다. 대신, 재료의 푸아송비는 내부에 세포 구조를 도입하여 고유한 값에서 벗어날 수 있다.

[0005] 이것은 어떤 특정한 기하학적 구조가 재료에 포함되어 설계될 경우 나타날 수 있는데, 우리는 이것을 "옥세틱 구조"라고 부른다. 최근 연구에서는 단단한 재료뿐 아니라 연질 재료에도 옥세틱 구조를 설계하여 충격흡수 및 형상변화재료로 활용하는 결과가 보고된 바 있다. 그러나, 옥세틱은 그 구조상 내부에 공극을 지닐 수 밖에 없는데, 이러한 공극구조는 공정 실현 가능성 측면에서 옥세틱의 실제 적용을 제한할 수 밖에 없다.

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

- [0006] 본 발명은 상기와 같은 문제점을 포함하여 여러 문제점들을 해결하기 위한 것으로, 필러에 옥세틱 구조체를 삽입함으로써 음의 푸아송비를 갖는 옥세틱 복합체를 제공하는 것을 목적으로 한다.
- [0007] 또한, 옥세틱 복합체를 포함하는 신축성이 향상된 캐패시터형 스트레인 센서 제공하는 것을 목적으로 한다.
- [0008] 또한, 본 발명은 옥세틱 구조체를 포함하는 신축성이 향상된 캐패시터형 스트레인 센서의 제조방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.
- [0009] 그러나 이러한 과제는 예시적인 것으로, 이에 의해 본 발명의 범위가 한정되는 것은 아니다.

**과제의 해결 수단**

- [0010] 상기 목적을 달성하기 위한 본 발명의 일 관점에 따르면, 옥세틱 구조체를 포함하는 옥세틱 복합체 및 옥세틱 복합체의 양면에 배치되는 전극부를 포함하는, 캐패시터형 스트레인 센서를 제공한다.
- [0011] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 옥세틱 복합체는 필러에 옥세틱 구조체가 삽입되는 것일 수 있다.
- [0012] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 필러의 푸아송비(Poisson's ratio)는 0.47 내지 0.52일 수 있다.
- [0013] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 옥세틱 구조체의 평면 방향으로의 푸아송비는 음의 값이고, 두께 방향으로의 푸아송비는 양의 값일 수 있다.
- [0014] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 캐패시터형 스트레인 센서의 적어도 일측으로 인장력이 가해질 때, 필러의 두께 방향으로의 고유한 푸아송비보다, 옥세틱 복합체의 두께 방향의 푸아송비가 더 커질 수 있다.
- [0015] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 필러 및 옥세틱 구조체 구성재질의 탄성계수(Young's modulus)는 0.006MPa 내지 7.5MPa일 수 있다.
- [0016] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 옥세틱 복합체는 필러 및 옥세틱 구조체 구성재질의 탄성계수(Young's modulus)가 1000배 이상 차이가 나는 것일 수 있다.
- [0017] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 전극부는 전도성 고분자 젤 전극일 수 있다.
- [0018] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 스트레인 센서의 게이지 팩터(Gauge Factor, GF)는 3.2 보다 클 수 있다.
- [0019] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 전극부와 옥세틱 구조체가 각각 커버하는 평면 상의 영역이 중첩되지 않을 수 있다.
- [0020] 본 발명의 또 다른 일 관점에 따르면, (a) 옥세틱 구조체를 포함하는 옥세틱 복합체를 형성하는 단계 및 (b) 옥세틱 복합체의 양면에 전극부를 형성하는 단계를 포함하는, 캐패시터형 스트레인 센서의 제조방법을 제공한다.
- [0021] 본 발명의 일 실시예에 따르면, (a) 단계는 (a1) 패터닝된 옥세틱 구조체를 제조하는 단계 및 (a2) 필러 내에 옥세틱 구조체를 삽입하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0022] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 필러의 푸아송비(Poisson's ratio)는 0.47 내지 0.52일 수 있다.
- [0023] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 옥세틱 구조체의 평면 방향으로의 푸아송비는 음의 값이고, 두께 방향으로의 푸아송비는 양의 값일 수 있다.
- [0024] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 필러 및 옥세틱 구조체 구성재질의 탄성계수(Young's modulus)는 0.006MPa 내지 7.5MPa일 수 있다.
- [0025] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 전극부는 전도성 고분자 젤 전극 일 수 있다.
- [0026] 본 발명의 일 실시예에 따르면, (b) 단계는 (b1) 옥세틱 복합체의 양면에 전극을 부착하는 단계 및 (b2) 전극을 필러로 몰딩하여 캡슐화(encapsulation)하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0027] 본 발명의 또 다른 일 관점에 따르면, 평면 방향 및 두께 방향으로의 푸아송비(Poisson's ratio)가 양의 값인 필러; 및 필러에 삽입되며, 평면 방향으로의 푸아송비가 음의 값이고, 두께 방향으로의 푸아송비가 양의 값인 옥세틱 구조체를 제공한다.

**발명의 효과**

- [0028] 상기한 바와 같이 이루어진 본 발명의 일 실시예에 따르면, 필러에 옥세틱 구조체를 삽입함으로써 음의 푸아송비를 갖는 옥세틱 복합체를 제공하는 효과가 있다.
- [0029] 또한, 옥세틱 복합체를 포함하는 신축성이 향상된 캐패시터형 스트레인 센서 제공하는 효과가 있다.
- [0030] 또한, 본 발명은 옥세틱 구조체를 포함하는 신축성이 향상된 캐패시터형 스트레인 센서의 제조방법을 제공하는 효과가 있다.
- [0031] 그러나 이러한 과제는 예시적인 것으로, 이에 의해 본 발명의 범위가 한정되는 것은 아니다.

**도면의 간단한 설명**

- [0032] 도 1은 각종 재료에 대한 영률(Young's modulus) 및 푸아송비(Poisson's ratio)를 나타내는 그래프이다.
- 도 2는 논옥세틱(Non-auxetic)과 옥세틱(Auxetic)을 나타내는 도면이다.
- 도 3은 논옥세틱 물질과 본 발명의 일 실시예에 따른 옥세틱 복합체를 나타내는 도면이다.
- 도 4는 엘라스토머의 조합에 따른 예상 푸아송비의 변화를 나타내는 그래프이다.
- 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른, 스트레인 센서의 개략도이다.
- 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른, 스트레인 센서의 제조과정을 나타내는 모식도이다.
- 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른, 인장에 따른 수직응력을 나타낸 것이다.
- 도 8은 본 발명의 일 실험예에 따른, 인장율에 따른 옥세틱 복합체 및 에코플렉스 기관의 외형 변화를 나타낸 이미지이다.
- 도 9는 본 발명의 일 실험예에 따른, 스트레인 센서의 이미지이다.
- 도 10은 본 발명의 일 실험예에 따른, 스트레인 센서의 인장에 따른 전기용량(Capacitance)의 변화를 나타낸 그래프이다.
- 도 11은 본 발명의 일 실험예에 따른, 스트레인 센서의 반복 변형에 따른 센서의 신뢰성 평가 결과를 나타낸다.
- 도 12는 본 발명의 일 실험예에 따른, 팔꿈치에 부착 후 움직임에 따른 전기용량 변화(Capacitance)를 나타낸 그래프이다.
- 도 13은 전산모사를 통하여 옥세틱 복합체의 인장시 필러와 옥세틱 구조체의 넓이 및 두께 변화를 나타낸 그래프이다.
- 도 14는 전산모사를 통하여 스트레인 센서의 전극을 옥세틱 구조체 내부에 설정할 경우 전기용량 변화(Capacitance)를 나타낸 그래프이다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

- [0033] 후술하는 본 발명에 대한 상세한 설명은, 본 발명이 실시될 수 있는 특정 실시예를 예시로서 도시하는 첨부 도면을 참조한다. 이들 실시예는 당업자가 본 발명을 실시할 수 있기에 충분하도록 상세히 설명된다. 본 발명의 다양한 실시예들은 서로 다르지만 상호 배타적일 필요는 없음이 이해되어야 한다. 예를 들어, 여기에 기재되어 있는 특정 형상, 구조 및 특성은 일 실시예에 관련하여 본 발명의 정신 및 범위를 벗어나지 않으면서 다른 실시예로 구현될 수 있다. 또한, 각각의 개시된 실시예 내의 개별 구성요소의 위치 또는 배치는 본 발명의 정신 및 범위를 벗어나지 않으면서 변경될 수 있음이 이해되어야 한다. 따라서, 후술하는 상세한 설명은 한정적인 의미로서 취하려는 것이 아니며, 본 발명의 범위는, 적절하게 설명된다면, 그 청구항들이 주장하는 것과 균등한 모든 범위와 더불어 첨부된 청구항에 의해서만 한정된다. 도면에서 유사한 참조부호는 여러 측면에 걸쳐서 동일하거나 유사한 기능을 지칭하며, 편의를 위하여 과장되어 표현될 수도 있다.
- [0034] 이하에서는, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자가 본 발명을 용이하게 실시할 수 있도록 하기 위하여, 본 발명의 바람직한 실시예들에 관하여 첨부된 도면을 참조하여 상세히 설명하기로 한다.
- [0035] 도 2는 논옥세틱(Non-auxetic)과 옥세틱(Auxetic)을 나타내는 도면이다.

- [0036] 도 2의 (a)를 참조하면, 일반적인 물질, 즉, 논옥세틱(Non-auxetic) 물질들은 물질 내부에 응력이 가해지면 해당 방향으로 신장함과 동시에 수직 방향으로 수축이 행해진다. 따라서, 재료 내부에 생기는 수직 응력에 의한 가로 변형과 세로 변형과의 비를 의미하는 푸아송비(Poisson's ratio)는 양수를 가진다.
- [0037] 도 2의 (b)를 참조하면, 반대로, 옥세틱(Auxetic) 물질[또는, 팽창 구조(Auxetic structure)를 가지는 물질]들은 물질 내부에 응력이 가해지면 해당 방향과 수직 방향으로 모두 신장될 수 있다. 따라서, 푸아송비는 음수를 가진다.
- [0038] **옥세틱 복합체**
- [0039] 도 3은 논옥세틱 물질과 본 발명의 일 실시예에 따른 옥세틱 복합체를 나타내는 도면이다. 도 2에서는 평면의 구조를 기준으로 설명하였으나, 도 3에서는 소정의 두께를 가진 구조를 기준으로 설명한다.
- [0040] 도 3의 (a)를 참조하면, 논옥세틱(Non-auxetic) 물질들은 양축(일 예로, x축 방향)에 응력이 가해지면 해당 방향으로 신장함과 동시에 평면상 수직하는 방향(일 예로, y축 방향)으로 수축이 행해진다. 또한, 물질의 부피가 일정하게 유지되므로, 소정 두께를 가지는 논옥세틱 물질은 가로, 세로 변형과 더불어 두께도 일부 줄어들 수 있다. 따라서, 평면 방향으로의 푸아송비는 양의 값이고, 두께 방향으로의 푸아송비도 양의 값을 가질 수 있다.
- [0041] 도 3의 (b)를 참조하면, 본원발명의 옥세틱 복합체(10)는 옥세틱(Auxetic) 물질[또는, 팽창 구조(Auxetic structure)를 가지는 물질]이 소정의 탄성체 내에 포함된 것을 특징으로 한다. 자세한 구조에 대해서는 도 5를 통해 후술한다.
- [0042] 옥세틱 구조체(12)는 한 쌍의 삼각형이 상호 대향하고, 삼각형의 꼭지점 부분이 중첩되어 일체로 연결된 듯한 단위 테두리를 가질 수 있다. 이러한 단위 테두리가 가로 방향 및 세로 방향으로 빈틈없이 반복 배치된 형태를 가질 수 있다. 하지만, 반드시 옥세틱 구조체(12)가 반드시 이 형상에 제한되는 것은 아니며, 푸아송비가 음수를 가지는 구조라면 본 발명의 옥세틱 구조체(12)로 채용할 수 있다.
- [0043] 옥세틱 구조체(12)에 응력이 가해지면 해당 응력 인가 방향과 그에 수직하는 방향으로 모두 신장될 수 있다. 즉, 옥세틱 구조체(12)가 점유하는 면적이 커지는 방향으로 신장될 수 있다. 응력이 인가되었다가 해제되면 다시 옥세틱 구조체(12)가 원래의 형태로 원상복구 될 수 있도록, 옥세틱 구조체(12)는 탄성 재질로 구성되는 것이 바람직하다.
- [0044] 옥세틱 복합체(10)는 논옥세틱 물질[필러(11)] 내에 옥세틱 구조체(12)가 삽입된 형태로서, 필러(11)의 두께가 옥세틱 구조체(12)보다 더 두꺼울 수 있다. 필러(11) 자체는 논옥세틱 물질이기 때문에 도 3의 (a)와 마찬가지로 평면 방향 및 두께 방향으로의 푸아송비가 양의 값을 가진다. 이에 반해, 옥세틱 구조체(12)는 평면 방향으로의 푸아송비는 음의 값을 가지며, 다만 옥세틱 구조체(12)의 부피는 변형에 의해서도 일정하게 유지되어야 하므로 옥세틱 구조체(12)의 두께 방향의 푸아송비는 양의 값을 가질 수 있다.
- [0045] 도 3의 (b)와 같이 논옥세틱 물질인 필러(11) 내에 옥세틱 구조체(12)가 삽입된 본원발명의 옥세틱 복합체(10)에서 옥세틱 구조체(12)가 평면 방향으로의 면적을 점유하고 있으므로, 평면 방향으로의 푸아송비가 음의 값을 가질 수 있다. 따라서, 옥세틱 복합체(10)는 양축(일 예로, x축 방향)에 응력이 가해지면 해당 방향으로 신장함과 동시에 평면상 수직하는 방향(일 예로, y축 방향)으로 수축이 행해질 수 있다. 또한, 물질의 부피가 일정하게 유지되어야 하는 반면, 응력이 가해질때 평면 방향으로의 면적은 도 3의 (a)보다 더 크게 늘어나게 되므로, 가로, 세로 변형과 더불어 두께가 줄어드는 수치는 도 3의 (a)보다 더 클 수 있다.
- [0046] 다시 말해, 필러(11)[또는, 논옥세틱 물질]의 두께 방향으로의 고유한 푸아송비보다, 옥세틱 구조체(12)를 포함하게 됨에 따라, 필러(11)[또는, 옥세틱 복합체(10)]의 두께 방향으로의 푸아송비가 더 커질 수 있다.
- [0047] 도 4는 엘라스토머의 조합에 따른 예상 푸아송비의 변화를 나타내는 그래프이다.
- [0048] 도 4를 참고하면, 이종 물질 간의 영률 차이가 좁혀짐에 따라 옥세틱 엘라스토머의 푸아송비는 더욱 양의 값에 가까워지는 것을 확인할 수 있으며, 기하 요소에 따라 푸아송비 분포는 점차 작아지는 것을 확인할 수 있다. 이종 재료 간의 물성차를 조절할 경우 기하 요소 제어로부터 얻을 수 있는 푸아송 비 분포 영역보다 더 넓은 영역으로 확장할 수 있음을 알 수 있다. 따라서, 적절한 기하요소와 재료의 조합을 통하여 옥세틱 복합체의 기계적 거동을 원하는 물성에 맞출 수 있다는 것을 예측할 수 있다
- [0049] 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른, 스트레인 센서의 개략도이다. 도 5의 (a)는 본 발명의 스트레인 센서(100)를 개략 사시도이고, (b)는 측면에서 보았을 때의 개략 측단면도이다.

- [0050] 본 발명의 스트레인 센서(100)는 옥세틱 구조체(12)를 포함하는 옥세틱 복합체(10) 및 옥세틱 복합체(10)의 양면에 배치되는 전극부(20)를 포함할 수 있다.
- [0051] 옥세틱 복합체(10)는 필러(11) 및 옥세틱 구조체(12)로 구성되어 있다. 이때 옥세틱 복합체는 스트레인 센서(100)의 유전층으로 사용될 수 있다.
- [0052] 필러(11)는 옥세틱 구조체(12)의 구성재질과 같이 유연성 및 신축성이 있는 탄성 재질로 구성되는 것이 바람직하다. 일 실시예에 따르면, 필러(11)의 재질은 푸아송비(Poisson's ratio)는 0.47 내지 0.52이고, 탄성계수(Young's modulus)는 0.006MPa 내지 7.5MPa를 갖는 물질 중에서 선택되는 하나일 수 있다. 예를 들어 에코플렉스, PDMS 등을 사용할 수 있다.
- [0053] 옥세틱 구조체(12)의 구성재질은 유연성 및 신축성이 있는 탄성 재질로 구성되는 것이 바람직하다. 일 실시예에 따르면, 옥세틱 구조체(12)의 재질은 푸아송비(Poisson's ratio)는 0.47 내지 0.52이고, 탄성계수(Young's modulus)는 0.006MPa 내지 7.5MPa를 갖는 물질 중에서 선택되는 하나일 수 있다. 예를 들어 폴리우레탄 시트 등을 사용할 수 있다.
- [0054] 필러(11)와 옥세틱 구조체(12)의 구성물질은 서로 다른 각각의 물질일 수 있다. 구체적으로는 필러(11) 및 옥세틱 구조체(12) 구성재질의 탄성계수(Young's modulus)가 1000배 이상 차이가 나는 것이 바람직하다.
- [0055] 마지막으로, 본 발명의 전극부(20)는 옥세틱 복합체(10)의 양면에 위치할 수 있다. 추가적으로 전극부(20)의 탈착을 방지하기 위하여 전극부의 상부에 캡슐화(encapsulation)를 위한 필러(11')층이 더 형성될 수 있다. 이때 전극부는 유연성 및 신축성이 있는 전극 중 선택하여 적용할 수 있으며, 일 예로 전도성 고분자 젤 전극을 사용할 수 있다.
- [0056] 도 3의 (b)에서 살펴본 바와 같이, 스트레인 센서의 유전층은 옥세틱 복합체(10)이며, 평면 방향으로의 신장시 두께가 줄어드는 수치는 논옥세틱 물질보다 훨씬 크게 된다. 옥세틱 복합체(10)의 상하면에 위치하는 전극부(20) 사이의 거리는 곧 유전층의 두께에 대응하게 된다. 캐패시터형 센서에서 정전용량은 면적에 비례하고, 두께에 반비례하게 되는데, 본원발명의 스트레인 센서는 인장에 의해 면적은 늘어나면서 동시에 두께는 더욱 크게 줄어들기 때문에, 정전용량의 수치가 현저하게 상승할 수 있게 된다. 이는 센서의 감도 향상에 직결될 수 있다.
- [0057] 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른, 스트레인 센서의 제조과정을 나타내는 모식도이다.
- [0058] 도 6을 참조하면, 본 발명의 스트레인 센서(100)를 제조(S100)하기 위하여 옥세틱 구조체(12)를 포함하는 옥세틱 복합체(10)를 형성하는 단계(S110) 및 옥세틱 복합체(10)의 양면에 전극부(20)를 형성하는 단계(S120)를 포함할 수 있다.
- [0059] 먼저, 옥세틱 복합체(10)를 형성하는 단계(S110)는 옥세틱 구조체(12)를 제조하는 단계 및 필러(11) 내에 옥세틱 구조체(12)를 삽입하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0060] 옥세틱 구조체(12)는 옥세틱 구조체를 형성할 폴리우레탄 재질의 기관을 준비한 후, 기관에 패턴을 형성하여 제조할 수 있다. 옥세틱 구조체(12)는 패턴이 형성되어 다공성일 수 있다. 기관에 패턴을 형성하기 위하여, 플로팅 커터를 이용하여 기관에 패턴을 형성할 수 있다. 도 2의 (c)와 같은 옥세틱 구조체(12)는 평면 방향으로의 푸아송비는 음의 값이고, 두께 방향으로의 푸아송비는 양의 값일 수 있다.
- [0061] 옥세틱 구조체(12)가 제조되면 옥세틱 구조체(12)를 필러(11) 내에 삽입하여 옥세틱 복합체(10)를 형성할 수 있다. 이때, 옥세틱 복합체(10)는 옥세틱 구조체(12)의 다공성 부분(빈 공간)이 필러(11)로 채워진 형태로 공극이 존재하지 않을 수 있다.
- [0062] 따라서, 옥세틱 복합체(10)는 내부에 가변구조인 옥세틱 구조체(12)를 갖는 복합체의 형태이므로, 옥세틱 복합체(10)의 탄성 물성은 내부 프레임의 기하요소와 더불어, 두 이종 재료간의 기계적 물성 차이에 따라 예측 가능하게 조절될 수 있다.
- [0063] 필러(11) 내에 옥세틱 구조체(12)가 삽입된 옥세틱 복합체(10)는 캐패시터형 스트레인 센서(100)에서 유전층(10)으로 작용할 수 있다.
- [0064] 다음으로, 옥세틱 복합체(10)의 양면에 전극부(20)를 형성할 수 있다(S120). 그리하여, 캐패시터형(정전용량 방식)으로 전극부(20)를 형성할 수 있다.
- [0065] 전극부(20)를 형성하는 단계(S120)는 옥세틱 복합체(10)의 양면에 전극을 부착하는 단계 및 전극을 필러(11')로

몰딩하여 캡슐화(encapsulation)하는 단계를 포함할 수 있다. 이때, 캡슐화하는 단계는 전극부(20)의 탈착을 방지하기 위한 것으로, 전극부(20)의 탈착을 방지할 수 있는 공지의 방법을 이용할 수 있다.

[0066] 본 발명의 캐패시터형 스트레인 센서(100)는 적어도 일측으로 인장력이 가해질 때, 필러(11)의 두께 방향으로의 고유한 푸아송비보다, 필러(11) 내에 옥세틱 구조체(12)가 삽입된 옥세틱 복합체층(10)[또는, 유전층(10)]의 두께 방향의 푸아송비가 더 커질 수 있다. 이는 도 2의 (b)에서 상술한 바와 같다.

[0067] 이하에서는, 본 발명의 이해를 돕기 위한 실시예 및 실험예들을 설명한다. 다만, 하기의 실시예 및 실험예들은 본 발명의 이해를 돕기 위한 것일 뿐, 본 발명의 실시예 및 실험예들이 아래의 실시예 및 실험예들만으로 한정되는 것은 아니다.

[0068] **실험예 및 비교예**

[0069] **옥세틱 복합체의 제조**

[0070] 0.5mm의 폴리우레탄 시트를 폴로팅 커터(Silhouette CAMEO)를 통해 패터닝 하여 다공성의 옥세틱 구조체를 형성하였다. 이후, 에코플렉스(Ecoflex) 탄성체를 이용하여 다공성의 폴리우레탄 옥세틱 구조체의 빈 공간을 채워 옥세틱 복합체를 제조하였다.

[0071] 본 방법에 따라 제조된 옥세틱 복합체를 실험예 1로 지칭한다. 또한, 폴리우레탄이 포함되지 않은 에코플렉스 시트를 비교예 1로 지칭한다.

[0072] **옥세틱 복합체를 포함하는 스트레인 센서 제조**

[0073] 실험예 1의 옥세틱 복합체의 에코플렉스가 굳기 전 복합체의 양면에 PEDOT:PSS/Acrylamide 기반 전도성 고분자 전극을 부착시킨 후 니켈 와이어 및 은 접착제를 통해 외부 전자기기와 접촉시켜 주었다. 그 후 에코플렉스를 다시 한 번 도포하여 캡슐화(Encapsulation)된 스트레인 센서를 제조하였다.

[0074] 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른, 인장에 따른 수직응력을 나타낸 것이다.

[0075] 도 7의 (a)는 3차원의 옥세틱 복합체의 기계적 특징을 분석하기 위해 단축 인장 실험을 한 것으로, 실시예 1의 옥세틱 복합체는 인장이 진행됨에 따라 인장 방향의 평면 방향으로 팽창하는 것을 확인할 수 있다. 이에 반해 비교예 1의 에코플렉스 시트는 동일한 수준으로 인장될 때 인장방향의 평면방향으로 수축되는 것을 확인할 수 있다.

[0076] 도 7의 (b)는 인장에 따른 평면방향의 푸아송비(도 2 참고, y축에 대한 x 축의 푸아송비)를 측정된 것으로 실험예 1의 복합체의 경우 음의 푸아송비를 나타내며, 비교예 1의 필름의 경우 양의 푸아송비를 갖는 것을 확인할 수 있다. 결과적으로, 푸아송 비가 0.5 인 비교예 1과 달리 실험예 1의 옥세틱 복합체는 약 -0.4 수준의 푸아송 비를 가짐을 확인할 수 있다. 특이한 점은 실험예 1의 푸아송 비가 10 % 가량의 스트레칭 이후로는 일정하게 유지되지 않는다는 점인데, 이는 내재된 옥세틱 구조체의 구조적 열림이 모두 진행된 이후 구조체 구성재질 자체가 함께 신장을 하게 되므로 점차 푸아송 비가 양의 값으로 증가하는 것으로 이해할 수 있다.

[0077] 도 7의 (c)는 인장에 따른 두께방향의 푸아송비(도 2 참고, y축에 대한 z축의 푸아송비)를 측정된 것으로 실험예 1 및 비교예 1 모두 양의 푸아송비를 갖는 것을 확인할 수 있다. 즉, 비교예 1 시트는 3차원 등방성 재료이기 때문에 두께방향으로의 푸아송 비 역시 0.5라고 예상할 수 있으며, 실제 결과값도 이와 거의 유사함을 확인하였다. 실험예 1의 복합체의 경우, 10 % 가량 인장된 시점에서 두께방향 푸아송 비가 1.95까지 나타남을 확인할 수 있으며, 이는 곧 두께 수축률이 통상의 엘라스토머보다 거의 4배이상 크다고 생각해볼 수 있다. 즉, 이러한 특징은 종전 재료가 접근할 수 없었던 새로운 탄성 물성이라고 볼 수 있다. 또한, 옥세틱 복합체의 부피는 변형에 따라 유지되어야 하기 때문에, 평면 방향으로의 푸아송 비가 점차 증가하면, 두께 방향으로의 푸아송 비는 이를 따라 감소하게 되는 것으로 이해할 수 있다.

[0078] 도 8은 본 발명의 일 실험예에 따른, 인장에 따른 옥세틱 복합체 및 에코플렉스 기관의 외형 변화를 3차원 스캐닝 방식으로 촬영한 것이다.

[0079] 도 8을 참고하면, 비교예 1의 표면 형상은 균인한 것으로 나타나지만, 실험예 1의 경우 옥세틱 구조체를 제외한 필러 부분에서 음영이 점차 심하게 발생하는 것을 확인할 수 있다. 이를 통하여 필러 부분에서 두께 감소가 두드러지게 발생함을 확인할 수 있다.

[0080] 도 9는 본 발명의 일 실험예에 따른, 스트레인 센서의 이미지이다.

[0081] 도 9의 (a)는 본 실험 방법에 따라 제조된 스트레인 센서 및 이를 인장하였을 때의 이미지로, 앞서 살펴본 옥세틱 복합체와 마찬가지로 인장이 진행됨에 따라 인장 방향의 평면 방향으로 팽창하는 것을 확인할 수 있다.

[0082] 도 9의 (b)는 스트레인 센서를 팔꿈치에 부착 후 움직임에 따른 외형 변화를 확인한 것으로, 인장하였을 때와 마찬가지로 평면방향으로 수축없이 팽창되는 것을 확인할 수 있다.

[0083] 도 10은 본 발명의 일 실험예에 따른, 스트레인 센서의 인장에 따른 전기용량(Capacitance)의 변화를 나타낸 그래프이다.

[0084] 도 10을 참고하면, 비교예 1의 에코플렉스 시트를 이용하여 제조한 스트레인 센서의 정전용량 변화율(gauge factor, GF)는 1인 것을 확인 할 수 있다. 이에 반해, 실시예 1의 옥세틱 복합체를 이용하여 제조한 스트레인 센서의 정전용량 변화율은 3.2로 비교예 1의 센서보다 3.2배 증폭된 신호를 얻는 것을 확인 할 수 있다. 또한, 100% 인장하였을 때도 인장에 선형적으로 비례하는 신호를 얻는 것을 확인 할 수 있다.

[0085] 도 11은 본 발명의 일 실험예에 따른, 스트레인 센서의 반복 변형에 따른 센서의 신뢰성 평가 결과를 나타낸다.

[0086] 도 11을 참고하면, 30% 연신율 조건에서 반복 인장 변형을 진행한 것으로, 5천번의 반복 변형에도 불구하고 정전용량의 출력 신호감소나 이력현상이 발생하지 않는 것을 확인할 수 있다. 이를 통하여 기계적 안정성이 뛰어나음을 확인할 수 있다.

[0087] 도 12는 본 발명의 일 실험예에 따른, 팔꿈치에 부착 후 움직임에 따른 전기용량 변화(Capacitance)를 나타낸 그래프이다.

[0088] 도 12를 참고하면, 실제 팔꿈치에 부착하여도 동일하게 증폭된 신호를 얻을 수 있는 것을 확인하였으며, 이를 통하여 인장뿐만 아니라 굽힘 변형에 있어서도 게이지 팩터 상승이 유효함을 확인할 수 있다.

[0089] 도 13은 전산모사를 통하여 옥세틱 복합체의 인장시 필러와 옥세틱 구조체의 넓이 및 두께 변화를 나타낸 그래프이다.

[0090] 도 14는 전산모사를 통하여 스트레인 센서의 전극을 옥세틱 구조체 내부에 설정할 경우 전기용량 변화(Capacitance)를 나타낸 그래프이다.

[0091] 먼저, 도 13을 참고하면, 옥세틱 구조체는 영역변화, 두께변화가 거의 없는 반면, 필러의 경우 영역이 매우 크게 증가하고, 두께는 크게 수축하는 것을 확인할 수 있다. 이를 통하여 정전용량에 기여하는 부분은 필러의 변형임을 확인할 수 있다.

[0092] 이를 바탕으로 옥세틱 복합체기반 변형 센서의 추가 성능향상 가능 요소를 파악하기 위하여 이론 연구를 진행하였다.

[0093] 옥세틱 복합체는 옥세틱 구조체와 필러(탄성체 충전 물질)가 병렬적인 결합을 이루고 있기 때문에 이들의 정전용량의 총합은 식 1과 같이 계산할 수 있다.

[0094] 식 1.

$$C_{tot} = C_{fill} + C_{aux} = \epsilon_0 \epsilon_{r,fill} \frac{A_{fill}}{d_{fill}} + \epsilon_0 \epsilon_{r,aux} \frac{A_{aux}}{d_{aux}}$$

[0095] 이를 통해 복합체의 정전용량 변화량은 식 2와 같이 추정할 수 있다.

[0097] 식 2.

$$\frac{\Delta C}{C_0} = \frac{\Delta C_{fill} + \Delta C_{aux}}{C_{fill,0} + C_{aux,0}}$$

[0098]  $C_{fill,0}$  과  $C_{aux,0}$ 은 각각 필러와 옥세틱 구조체가 가지고 있는 정전 용량을 뜻한다. 이때, 앞서 밝혔듯이 옥세틱 복합체의 대부분의 두께 변화는 탄성체인 필러 영역에서 이루어지기 때문에  $\Delta C_{aux} = 0$  로 두고 계산을 하면 식 3과 같다.

[0100] 식3.

$$\frac{\Delta C}{C_0} = \frac{\Delta C_{fill}}{C_{fill,0} + C_{aux,0}} = \frac{C_{fill} - C_{fill,0}}{C_{fill,0} + C_{aux,0}}$$

[0101] 이때 변형에 따른 정전용량의 변화를 유추하기 위해 늘어난 길이(stretch,  $\lambda$ )를 도입하면, 식 4와 같이 표현이 가능하다.

[0102] 식4.

$$\frac{\Delta C}{C_0} = \frac{C_{fill,0} \frac{(1+\lambda_1)(1+\lambda_2)}{(1+\lambda_3)} - C_{fill,0}}{C_{fill,0} + C_{aux,0}} = \frac{\frac{(1+\lambda_1)(1+\lambda_2)}{(1+\lambda_3)} - 1}{1 + \frac{C_{aux,0}}{C_{fill,0}}}$$

[0103] 변형 센서의 주요 성능 지표인 게이지 팩터(Gauge Factor)는 늘어난 길이에 의한 정전용량 변화를 의미하므로 이를 계산하면 아래의 식 5 또는 식 6과 같이 정리할 수 있다.

[0104] 식5.

$$\frac{\partial(\Delta C/C_0)}{\partial \lambda} = \frac{1}{1 + C_{aux,0}/C_{fill,0}} \left[ \frac{\partial}{\partial \lambda} \left( \frac{(1+\lambda_1)(1+\lambda_2)}{(1+\lambda_3)} \right) \right]$$

[0105] 식6.

$$\frac{\partial(\Delta C/C_0)}{\partial \lambda} = \frac{1}{1 + \left( \frac{\epsilon_{r,aux}}{\epsilon_{r,fill}} \right) \left( \frac{A_{0,aux}}{A_{0,fill}} \right)} \left[ \frac{\partial}{\partial \lambda} \left( \frac{(1+\lambda_1)(1+\lambda_2)}{(1+\lambda_3)} \right) \right]$$

[0106] 식 5 및 식 6을 통해 살펴보았을 때 옥세틱 복합체 기반의 변형센서의 게이지 팩터 성능은 필러가 옥세틱 구조체 내의 공간에서 차지하는 넓이의 비와 유전율 차이에 의존함을 알 수 있다.

[0107] 실제로 이를 확인하기 위해 전산모사를 통한 검증작업을 진행하였으며 이에 대한 결과를 도 14에 나타내었다. 도 14를 참고하면, 전극부의 커버 영역을 옥세틱 구조체 부분과 최대한 겹치지 않고 필러의 영역에 한정시켰을 때 7이상의 높은 게이지 팩터를 가질 수 있음을 확인하였다.

[0108] 즉, 본 발명의 스트레인 센서에 있어서 전극부와 옥세틱 구조체가 각각 커버하는 평면 상의 영역이 중첩되지 않는 것이 바람직하다.

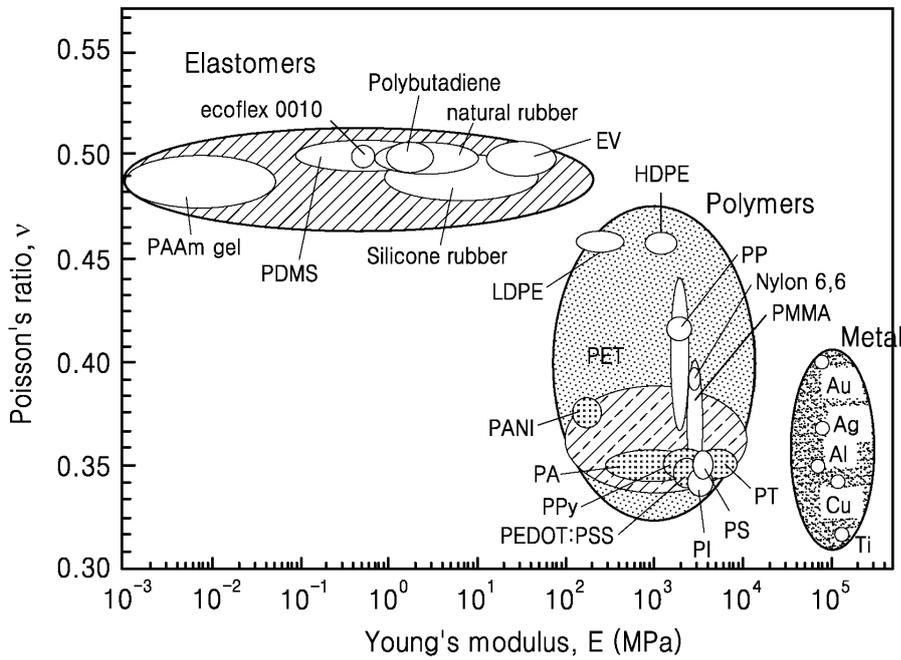
[0109] 본 발명은 상술한 바와 같이 바람직한 실시예를 들어 도시하고 설명하였으나, 상기 실시예에 한정되지 아니하며 본 발명의 정신을 벗어나지 않는 범위 내에서 당해 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 다양한 변형과 변경이 가능하다. 그러한 변형예 및 변경예는 본 발명과 첨부된 청구범위의 범위 내에 속하는 것으로 보아야 한다.

**부호의 설명**

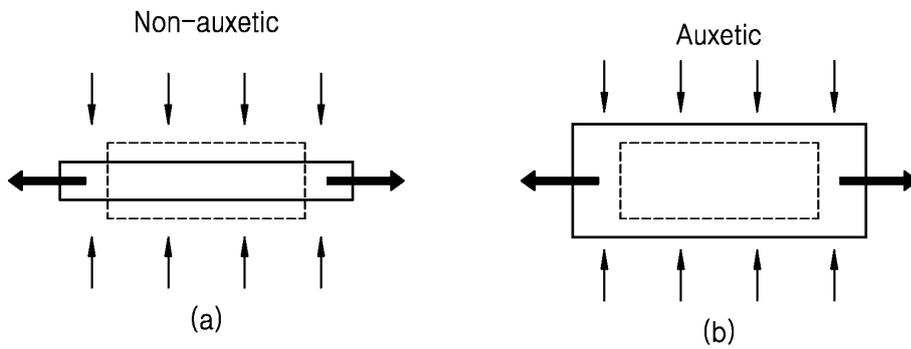
- [0110] 100: 스트레인 센서
- 10: 옥세틱 복합체
- 11, 11': 필러
- 12: 옥세틱 구조체
- 20: 전극부

도면

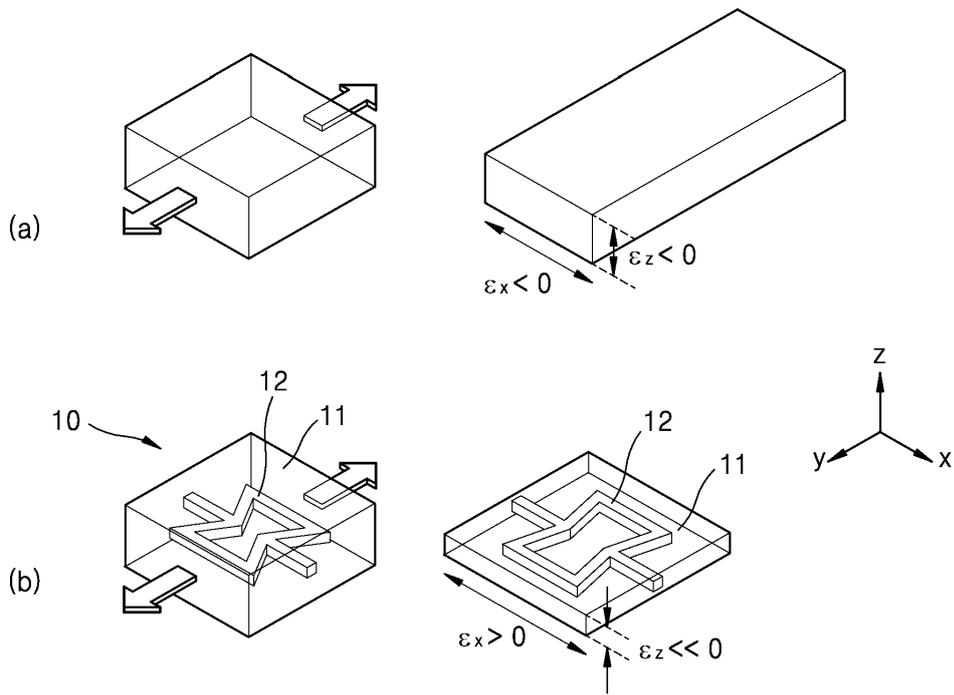
도면1



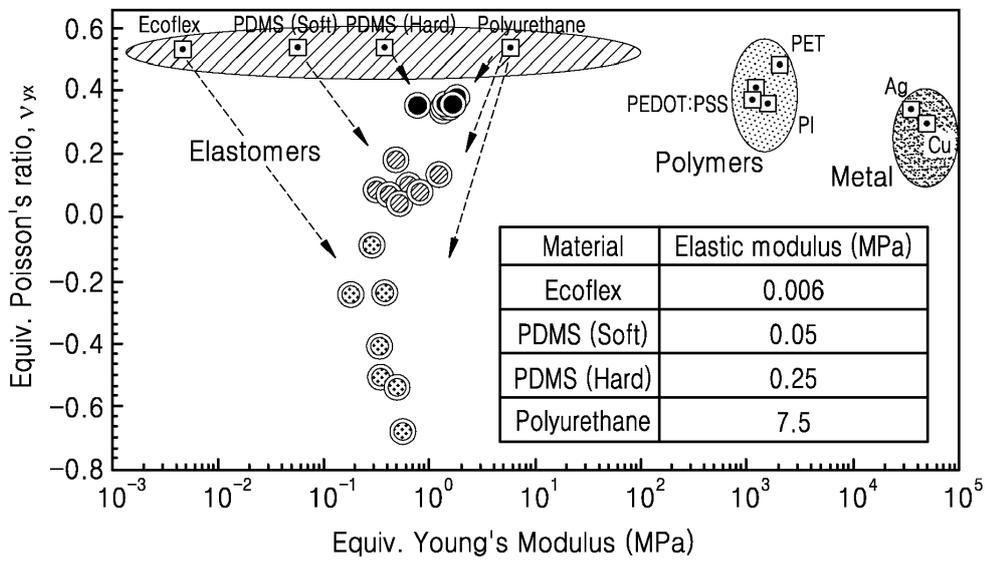
도면2



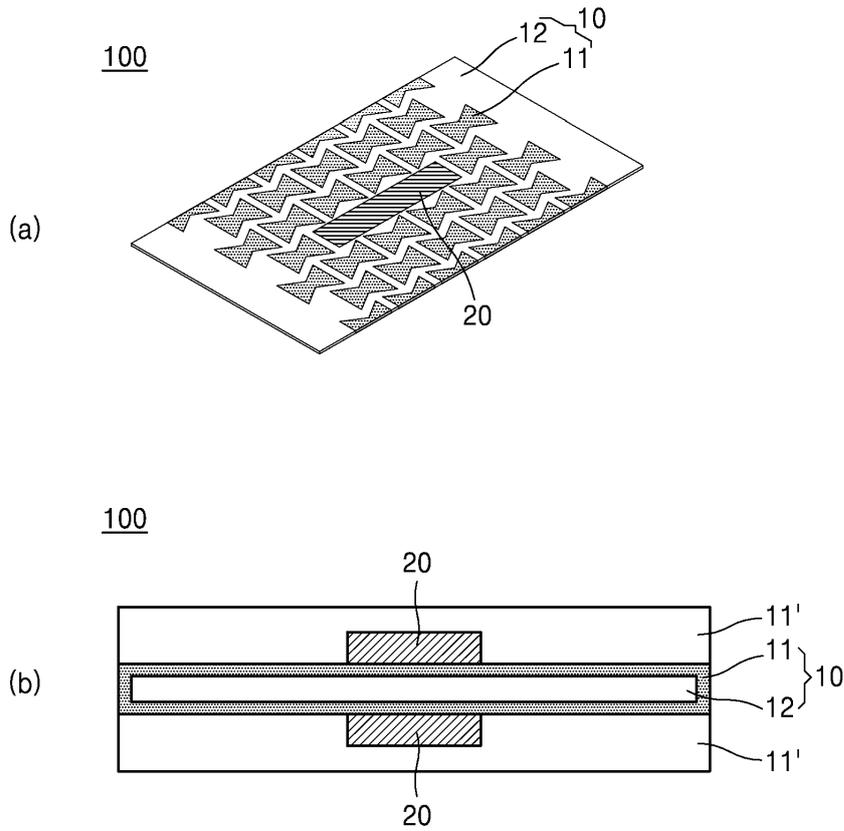
도면3



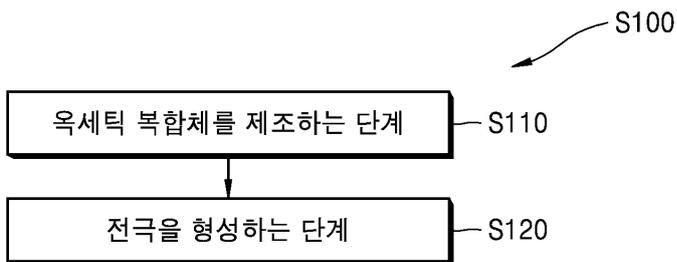
도면4



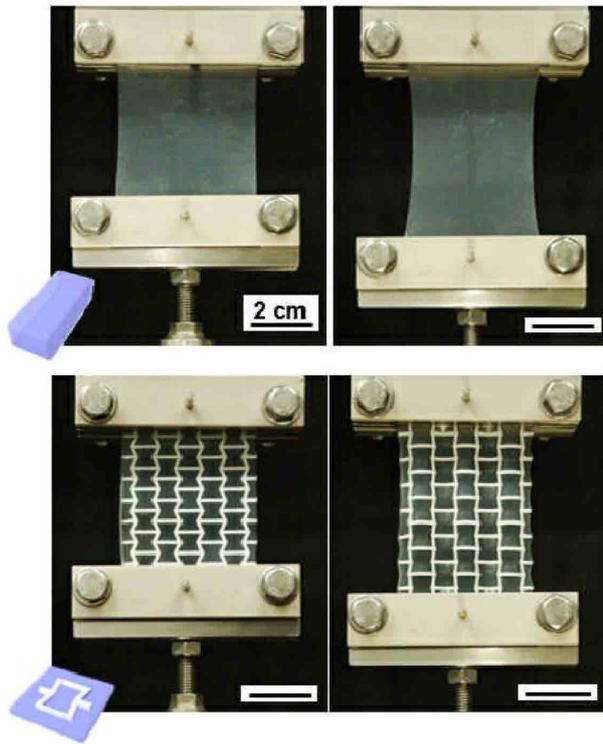
도면5



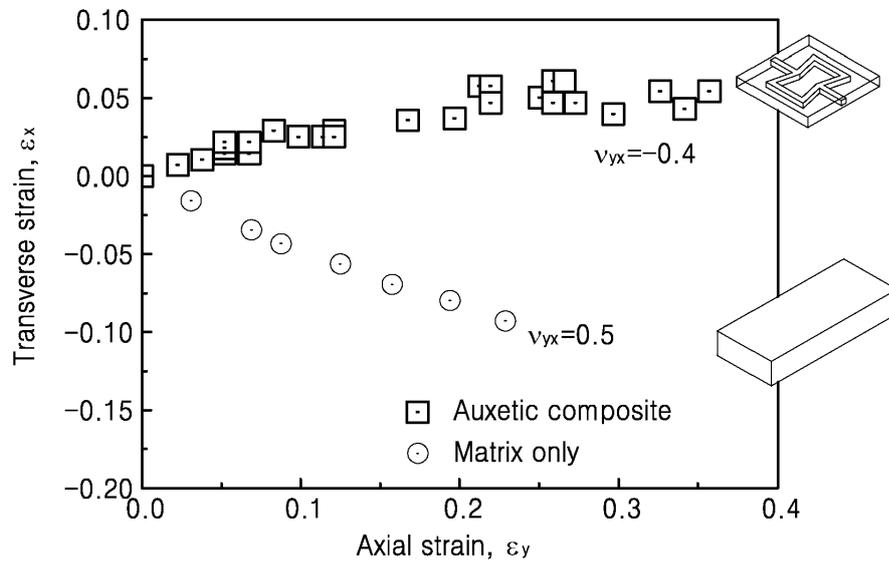
도면6



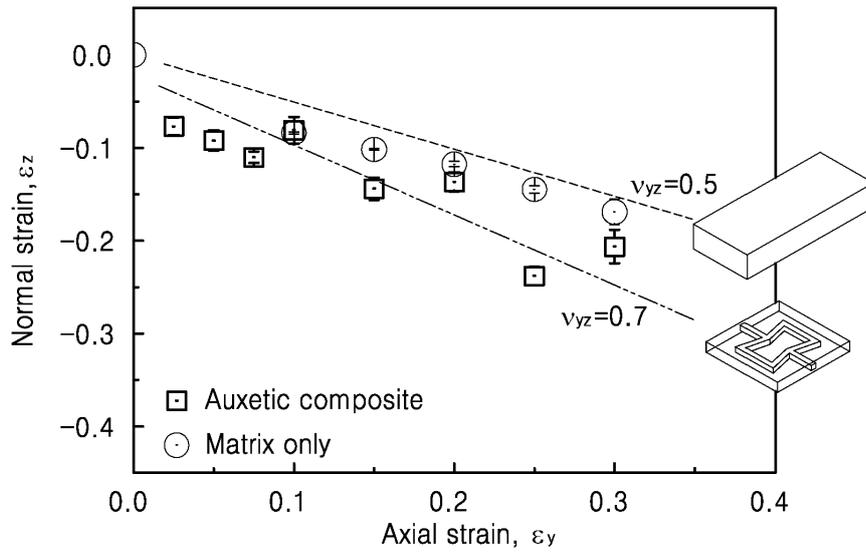
도면7a



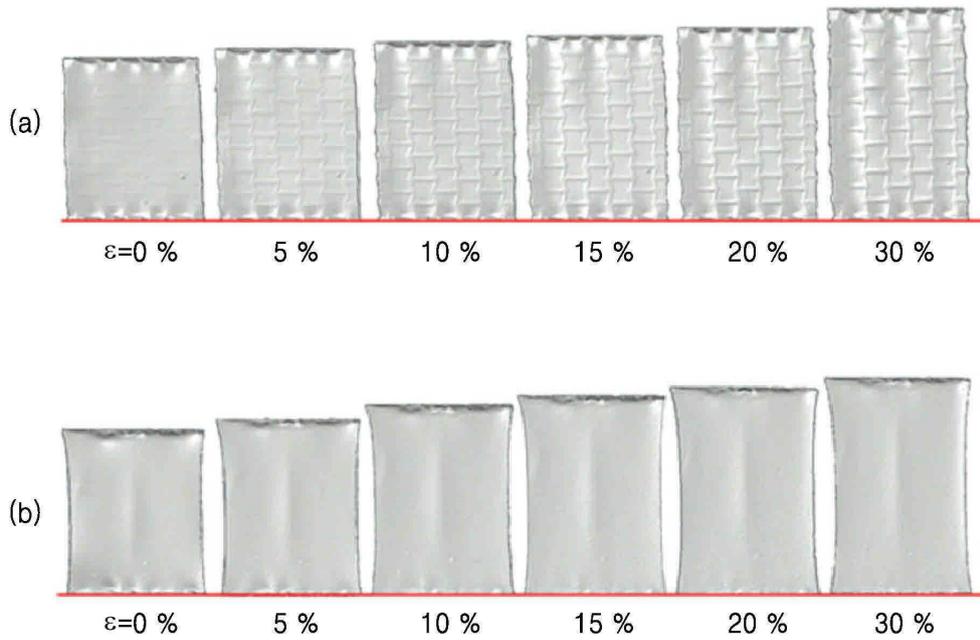
도면7b



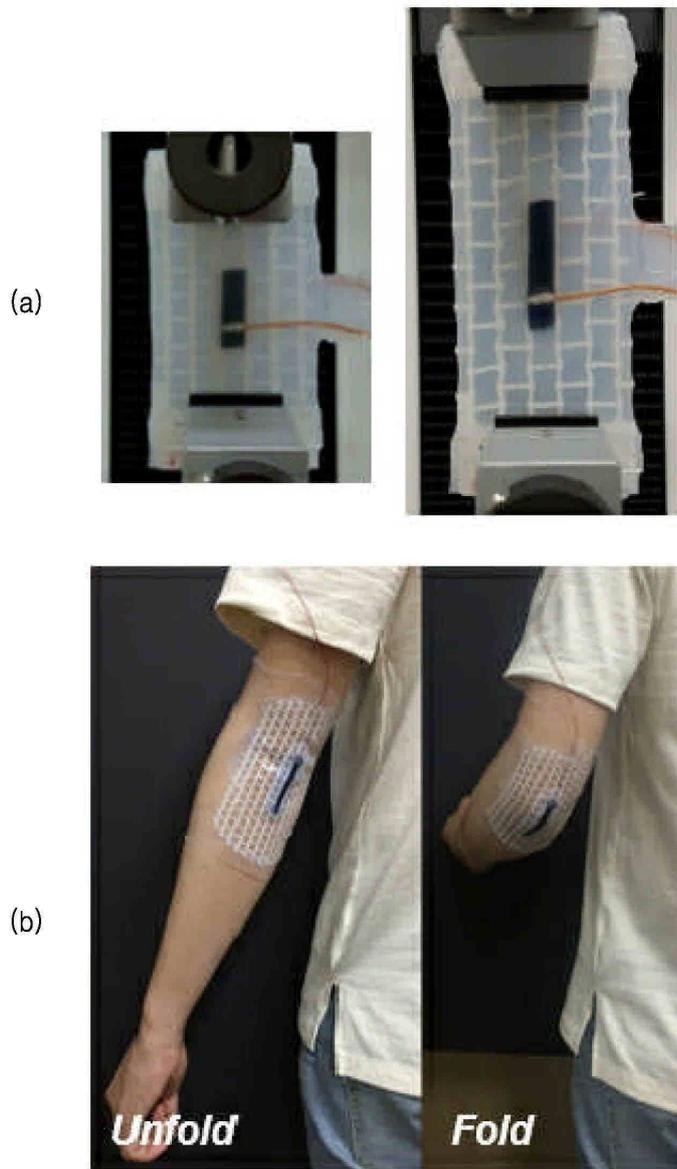
도면7c



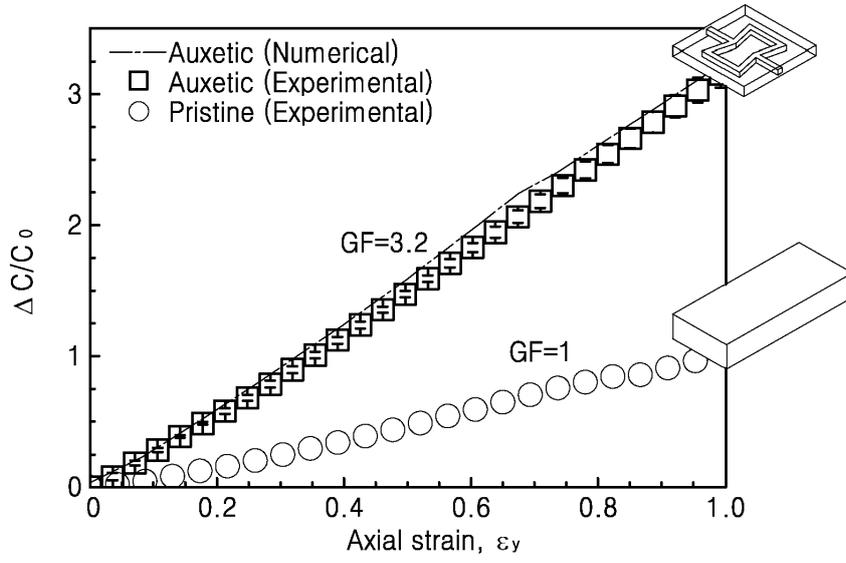
도면8



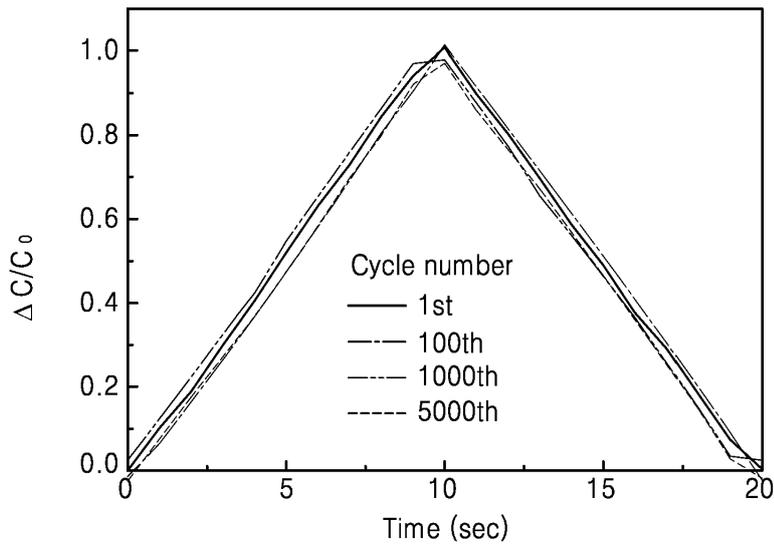
도면9



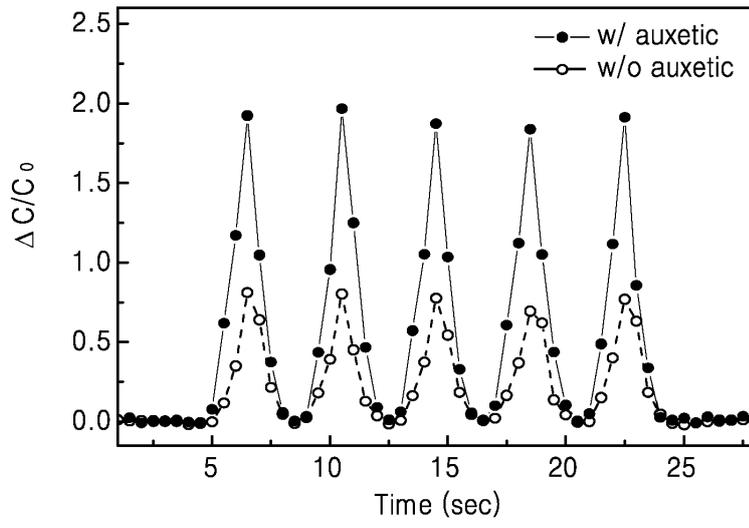
도면10



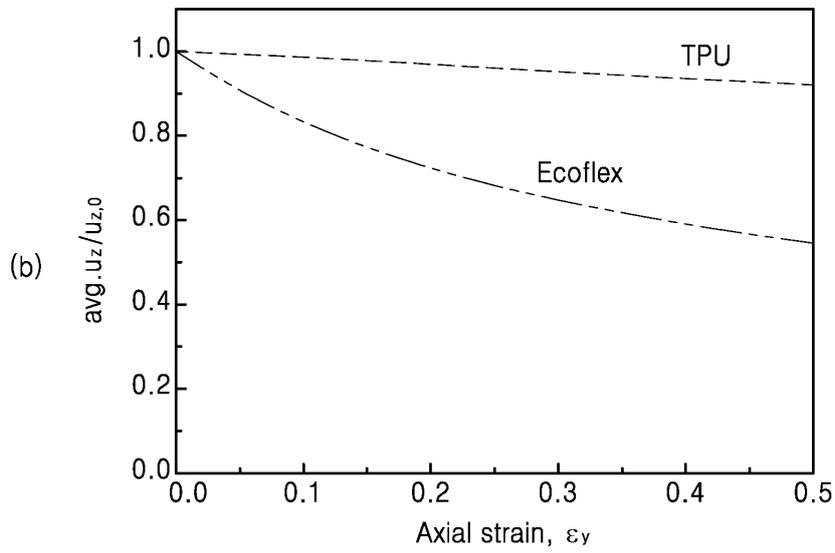
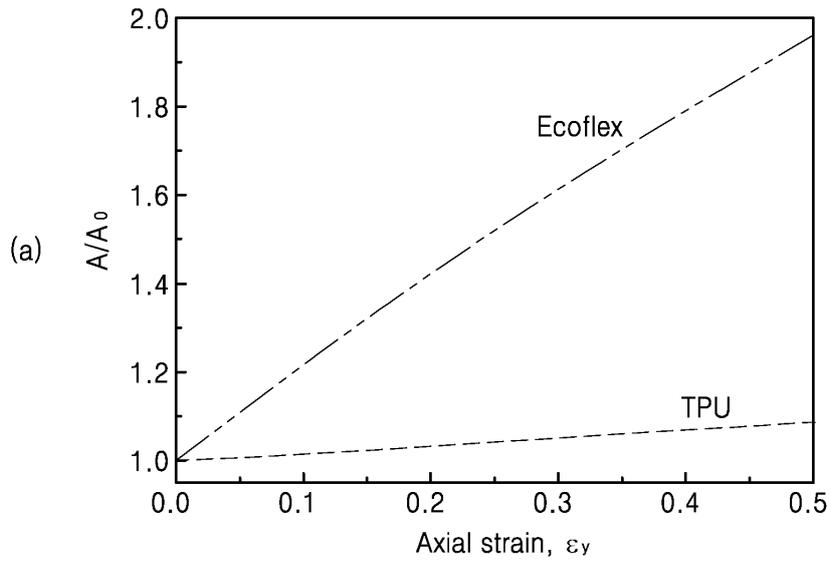
도면11



도면12



도면13



도면14

