



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2021-0065814
(43) 공개일자 2021년06월04일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G06F 1/16 (2006.01) G09F 9/30 (2006.01)
H01B 1/02 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G06F 1/1652 (2013.01)
G09F 9/301 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2020-0026175
(22) 출원일자 2020년03월02일
심사청구일자 2020년03월02일
(30) 우선권주장
1020190154624 2019년11월27일 대한민국(KR)

(71) 출원인
울산과학기술원
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
(72) 발명자
고현협
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50 울산과
학기술원
조승세
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50 울산과
학기술원
(74) 대리인
특허법인지원

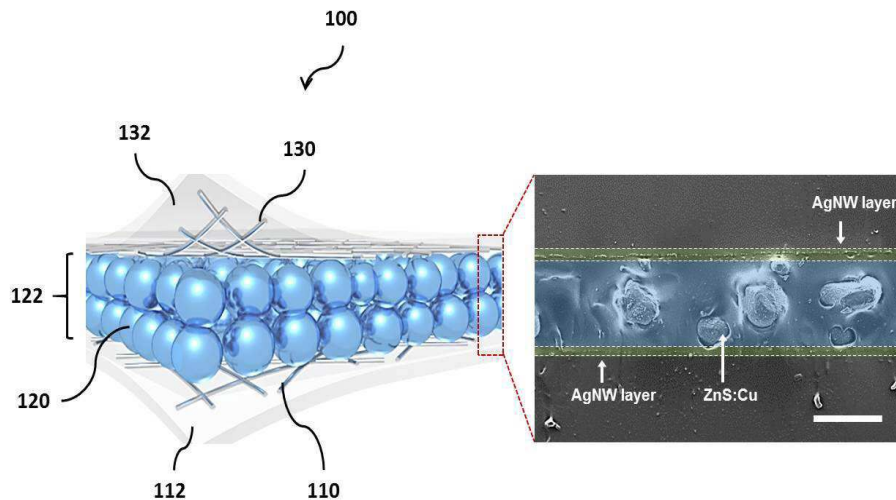
전체 청구항 수 : 총 9 항

(54) 발명의 명칭 신축성 사운드 내장 디스플레이 장치

(57) 요약

본 발명은 신축성 사운드 내장 디스플레이 장치에 관한 것이다. 본 발명의 일 실시예에 따른 신축성 사운드 내장 디스플레이 장치는 은 나노 와이어들을 포함하는 제1 절연층; 상기 은 나노 와이어들 상에 형성되고, 전계 발광(electroluminescent) 형광체를 포함하는 활성층; 및 상기 활성층 상에 형성되는 은 나노 와이어들을 포함하는 제2 절연층;을 포함할 수 있다.

대표도 - 도1a



(52) CPC특허분류

H01B 1/02 (2013.01)

G06F 2203/04102 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711083069
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	도약연구
연구과제명	지문패턴 whisker 어레이 기반 촉각인지 인터페이스 소자 개발
기 여 율	1/1
과제수행기관명	울산과학기술원
연구기간	2019.03.01 ~ 2020.02.29

명세서

청구범위

청구항 1

은 나노 와이어들을 포함하는 제1 절연층;
상기 은 나노 와이어들 상에 형성되고, 전계 발광(electroluminescent) 형광체를 포함하는 활성층; 및
상기 활성층 상에 형성되는 은 나노 와이어들을 포함하는 제2 절연층;
을 포함하는,
신축성 사운드 내장 디스플레이 장치.

청구항 2

제1항에 있어서,
상기 은 나노 와이어들을 포함하는 제1 절연층은 하부 전극을 형성하고,
상기 은 나노 와이어들을 포함하는 제2 절연층은 상부 전극을 형성하는,
신축성 사운드 내장 디스플레이 장치.

청구항 3

제1항에 있어서,
상기 제1 절연층과 제2 절연층의 표면은 주름 구조가 형성되는,
신축성 사운드 내장 디스플레이 장치.

청구항 4

제2항에 있어서,
상기 은 나노 와이어들을 포함하는 상부 전극과 하부 전극은, 진동으로부터 음파를 발생시키는 유전성 탄성 중합체 액추에이터(dielectric elastomer actuator)를 형성하는,
신축성 사운드 내장 디스플레이 장치.

청구항 5

제1항에 있어서,
상기 전계 발광 형광체는, 황화 아연(ZnS) 및 구리(Cu) 기반 미세입자를 포함하는,
신축성 사운드 내장 디스플레이 장치.

청구항 6

제2항에 있어서,

상기 상부 전극과 하부 전극에 전압 바이어스를 인가하는 전압부;
를 더 포함하는,
신축성 사운드 내장 디스플레이 장치.

청구항 7

제6항에 있어서,
상기 전압 바이어스의 주파수에 따라, 상기 전계 발광 형광체에 의해 방출되는 빛의 색상이 결정되는,
신축성 사운드 내장 디스플레이 장치.

청구항 8

제6항에 있어서,
상기 전압 바이어스의 전압 진폭에 따라, 상기 전계 발광 형광체에 의해 방출되는 빛의 세기가 결정되는,
신축성 사운드 내장 디스플레이 장치.

청구항 9

제6항에 있어서,
상기 전압 바이어스의 주파수 및 전압 진폭 중 적어도 하나에 따라, 상기 은 나노 와이어들의 진동으로부터 발생되는 음파의 세기가 결정되는,
신축성 사운드 내장 디스플레이 장치.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 신축성 사운드 내장 디스플레이 장치에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 은 나노 와이어 기반 전극과 전계 발광 형광체를 포함하는 신축성 사운드 내장 디스플레이 장치에 관한 것이다.

배경 기술

[0003] 최근에, 상호작용 디스플레이(interactive display)를 위한 연성 전자 장치(soft electronic device)는 눈을 통해 인간에게 시각 감각을 자극함으로써 터치, 스트레인 및 압력과 같은 다양한 외부 자극 또는 정보의 시각화를 위해 개발되어왔다.

[0004] 인간-기계 인터페이스 애플리케이션(human-machine interface applications)에 잠재적으로 적용될 수 있는 촉각 전자 장치(tactile electronics)에 대한 큰 관심으로 인해 물리적 자극의 시각화는 어느정도 진보되었으나, 소리의 시각화를 위한 전자 장치의 개발 또한 미흡한 상황이다.

[0005] 또한, 플렉서블 전자 장치에는 많은 발전이 있었지만, 강성(rigid) 전자 장치와 곡선형(curvilinear) 인체 사이의 비호환성(incompatibility)은 상호작용의 인간-기계 인터페이스에 대한 뛰어난 기계적 적합성을 갖춘 신축성 전자 장치를 새로운 유형의 요소로 개발할 것을 요구하고 있으나 이에 대한 연구는 미흡한 실정이다.

선행기술문헌

특허문헌

[0006] (특허문헌 0001) [특허문헌 1] 한국공개특허 제10-2019-0029427호

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0007] 본 발명은 전술한 문제점을 해결하기 위하여 창출된 것으로, 신축성 사운드 내장 디스플레이 장치를 제공하는 것을 그 목적으로 한다.
- [0008] 또한, 본 발명은 부분 경화(partially-cured) 및 사전 변형(pre-stretched)된 신축성 기관 위에 코팅된 AgNW 전극을 포함하는 사운드 내장 디스플레이 장치를 제공하는 것을 그 목적으로 한다.
- [0009] 또한, 본 발명은 전계 발광(electroluminescent) 형광체를 포함하는 사운드 내장 디스플레이 장치를 제공하는 것을 그 목적으로 한다.
- [0010] 본 발명의 목적들은 이상에서 언급한 목적들로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 목적들은 아래의 기재로부터 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

- [0012] 상기한 목적들을 달성하기 위하여, 본 발명의 일 실시예에 따른 신축성 사운드 내장 디스플레이 장치는 은 나노 와이어들을 포함하는 제1 절연층; 상기 은 나노 와이어들 상에 형성되고, 전계 발광(electroluminescent) 형광체를 포함하는 활성층; 및 상기 활성층 상에 형성되는 은 나노 와이어들을 포함하는 제2 절연층;을 포함할 수 있다.
- [0013] 실시예에서, 상기 은 나노 와이어들을 포함하는 제1 절연층은 하부 전극을 형성하고, 상기 은 나노 와이어들을 포함하는 제2 절연층은 상부 전극을 형성할 수 있다.
- [0014] 실시예에서, 상기 제1 절연층과 제2 절연층의 표면은 주름 구조가 형성될 수 있다.
- [0015] 실시예에서, 상기 은 나노 와이어들을 포함하는 상부 전극과 하부 전극은, 진동으로부터 음파를 발생시키는 유전성 탄성 중합체 액추에이터(dielectric elastomer actuator)를 형성할 수 있다.
- [0016] 실시예에서, 상기 전계 발광 형광체는, 황화 아연(ZnS) 및 구리(Cu) 기반 미세입자를 포함할 수 있다.
- [0017] 실시예에서, 상기 신축성 사운드 내장 디스플레이 장치는, 상기 상부 전극과 하부 전극에 전압 바이어스를 인가하는 전압부;를 더 포함할 수 있다.
- [0018] 실시예에서, 상기 전압 바이어스의 주파수에 따라, 상기 전계 발광 형광체에 의해 방출되는 빛의 색상이 결정될 수 있다.
- [0019] 실시예에서, 상기 전압 바이어스의 전압 진폭에 따라, 상기 전계 발광 형광체에 의해 방출되는 빛의 세기가 결정될 수 있다.
- [0020] 실시예에서, 상기 전압 바이어스의 주파수 및 전압 진폭 중 적어도 하나에 따라, 상기 은 나노 와이어들의 진동으로부터 발생하는 음파의 세기가 결정될 수 있다.
- [0021] 상기한 목적들을 달성하기 위한 구체적인 사항들은 첨부된 도면과 함께 상세하게 후술될 실시예들을 참조하면 명확해질 것이다.
- [0022] 그러나, 본 발명은 이하에서 개시되는 실시예들에 한정되는 것이 아니라, 서로 다른 다양한 형태로 구성될 수 있으며, 본 발명의 개시가 완전하도록 하고 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자(이하, "통상의 기술자")에게 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위해서 제공되는 것이다.

발명의 효과

- [0024] 본 발명의 일 실시예에 의하면, 단일 장치에서 발광과 사운드를 동시에 생성하면서도 신축성을 갖는 공감각 사운드 내장 디스플레이 장치를 제공할 수 있다.
- [0025] 또한, 본 발명의 일 실시예에 의하면, 신축성 사운드 내장 디스플레이 장치는 변형에 민감하지 않은 AgNW 전극을 통한 매우 안정적이고 내구성 있는 전기 연결로 인해 성능이 크게 저하되지 않고 반복적으로 늘어날 수 있는 견고하고 안정적인 발광 및 사운드 방출 성능을 제공할 수 있다.
- [0026] 또한, 본 발명의 일 실시예에 의하면, 신축성 사운드 내장 디스플레이 장치는 단일 입력 전압 바이어스를 통해 작동할 수 있어, 시각과 청각을 동시에 만족시킬 수 있다.
- [0027] 본 발명의 효과들은 상술된 효과들로 제한되지 않으며, 본 발명의 기술적 특징들에 의하여 기대되는 잠정적인 효과들은 아래의 기재로부터 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

도면의 간단한 설명

- [0029] 도 1a 내지 1e는 본 발명의 일 실시예에 따른 신축성 사운드 내장 디스플레이 장치를 도시한 도면이다.
- 도 2a는 본 발명의 일 실시예에 따른 AgNW 전극의 파장 스펙트럼에 대한 저항 그래프를 도시한 도면이다.
- 도 2b는 본 발명의 일 실시예에 따른 인장 변형에 대한 저항 그래프를 도시한 도면이다.
- 도 2c는 본 발명의 일 실시예에 따른 스트레칭 사이클에 대한 저항 그래프를 도시한 도면이다.
- 도 2d는 본 발명의 일 실시예에 따른 스트레칭 동안의 AgNW 전극을 도시한 도면이다.
- 도 2e는 본 발명의 일 실시예에 따른 스트레칭 동안의 AgNW 전극의 SEM 이미지를 도시한 도면이다.
- 도 2f는 본 발명의 일 실시예에 따른 인장 변형 동안의 AgNW 전극의 주름 구조를 도시한 도면이다.
- 도 3a는 본 발명의 일 실시예에 따른 다양한 주파수에서 인가 전압 바이어스에 대한 휘도 그래프를 도시한 도면이다.
- 도 3b는 본 발명의 일 실시예에 따른 다양한 인가 전압 바이어스에서 파장 스펙트럼에 대한 휘도 세기 그래프를 도시한 도면이다.
- 도 3c는 본 발명의 일 실시예에 따른 다양한 주파수에서 색상 변화 그래프를 도시한 도면이다.
- 도 3d는 본 발명의 일 실시예에 따른 인장 변형 동안의 신축성 사운드 내장 디스플레이 장치를 도시한 도면이다.
- 도 3e는 본 발명의 일 실시예에 따른 변형률에 대한 휘도 비율 그래프를 도시한 도면이다.
- 도 3f는 본 발명의 일 실시예에 따른 스트레칭 사이클에 대한 휘도 비율 그래프를 도시한 도면이다.
- 도 3g는 본 발명의 일 실시예에 따른 온/오프 사이클에 대한 휘도 그래프를 도시한 도면이다.
- 도 4a는 본 발명의 일 실시예에 따른 신축성 사운드 내장 디스플레이 장치의 음향 측정 시스템을 도시한 도면이다.
- 도 4b는 본 발명의 일 실시예에 따른 인가 전압 바이어스에 대한 음파 세기 그래프를 도시한 도면이다.
- 도 4c는 본 발명의 일 실시예에 따른 주파수에 대한 음파 세기 그래프를 도시한 도면이다.
- 도 4d는 본 발명의 일 실시예에 따른 마이크와 신축성 사운드 내장 디스플레이 장치 간 거리에 대한 음파 세기 그래프를 도시한 도면이다.
- 도 4e는 본 발명의 일 실시예에 따른 변형률에 대한 음파 세기 그래프를 도시한 도면이다.
- 도 4f는 본 발명의 일 실시예에 따른 스트레칭 사이클에 대한 음파 세기 그래프를 도시한 도면이다.
- 도 5a는 본 발명의 일 실시예에 따른 ZnS:Cu 마이크로 입자를 도시한 도면이다.

도 5b는 본 발명의 일 실시예에 따른 ZnS:Cu 마이크로 입자 분포 그래프를 도시한 도면이다.

도 6a 및 6b는 본 발명의 일 실시예에 따른 AgNW 전극이 증착된 PDMS의 주름 구조를 도시한 도면이다.

도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 AgNW 전극의 제조 방법을 도시한 도면이다.

도 8a는 본 발명의 일 실시예에 따른 코팅 횟수에 대한 AgNW 전극의 저항 그래프를 도시한 도면이다.

도 8b는 본 발명의 일 실시예에 따른 코팅 횟수에 대한 AgNW 전극의 밀도 그래프를 도시한 도면이다.

도 9a는 종래의 변형률에 대한 AgNW 전극의 저항 비율 그래프를 도시한 도면이다.

도 9b는 종래의 스트레칭 후의 AgNW 전극의 표면 이미지를 도시한 도면이다.

도 10은 본 발명의 일 실시예에 따른 변형률에 대한 휘도 세기를 도시한 도면이다.

도 11a는 본 발명의 일 실시예에 따른 굽힘 반경에 대한 저항 비율 그래프를 도시한 도면이다.

도 11b는 본 발명의 일 실시예에 따른 굽힘 사이클에 대한 저항 그래프를 도시한 도면이다.

도 12는 본 발명의 일 실시예에 따른 인가 전압 바이어스에 대한 형광 방출을 도시한 도면이다.

도 13은 본 발명의 일 실시예에 따른 다양한 주파수에 대한 파장 그래프를 도시한 도면이다.

도 14a 및 14b는 본 발명의 일 실시예에 따른 부분 경화를 통해 제조된 AgNW 전극의 주름 표면을 도시한 도면이다.

도 14c 및 14d는 종래의 부분 경화 없이 제조된 AgNW 전극의 주름 표면을 도시한 도면이다.

도 15는 본 발명의 일 실시예에 따른 부분 경화에 대한 접착 특성 그래프를 도시한 도면이다.

도 16은 본 발명의 일 실시예에 따른 DC 전압과 AC 전압 간 변화에 따른 음파 세기 그래프를 도시한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0030] 본 발명은 다양한 변경을 가할 수 있고, 여러 가지 실시예들을 가질 수 있는 바, 특정 실시예들을 도면에 예시하고 이를 상세히 설명하고자 한다.
- [0031] 청구범위에 개시된 발명의 다양한 특징들은 도면 및 상세한 설명을 고려하여 더 잘 이해될 수 있을 것이다. 명세서에 개시된 장치, 방법, 제법 및 다양한 실시예들은 예시를 위해서 제공되는 것이다. 개시된 구조 및 기능상의 특징들은 통상의 기술자로 하여금 다양한 실시예들을 구체적으로 실시할 수 있도록 하기 위한 것이고, 발명의 범위를 제한하기 위한 것이 아니다. 개시된 용어 및 문장들은 개시된 발명의 다양한 특징들을 이해하기 쉽게 설명하기 위한 것이고, 발명의 범위를 제한하기 위한 것이 아니다.
- [0032] 본 발명을 설명함에 있어서, 관련된 공지기술에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우, 그 상세한 설명을 생략한다.
- [0033] 이하, 본 발명의 일 실시예에 따른 신축성 사운드 내장 디스플레이 장치를 설명한다.
- [0035] 본 발명에 따른 신축성 사운드 내장 디스플레이 장치(100)와 같이, 시각 감각(visual sense)이 소리를 동반하거나 그 반대의 경우, 사용자는 의식적이고 신뢰할 수 있는 인식의 시너지 효과로 인해 청각 시각 공감각(auditory-visual synesthesia)을 통해 자극을 쉽게 인식할 수 있다.
- [0036] 따라서 본 발명과 같이, 하나의 장치에 스피커와 디스플레이를 통합한 신축성 사운드 내장 디스플레이 장치(100)의 경우, 스마트 모바일 기기의 사용이 대중화되는 새로운 방식을 구현할 수 있다.
- [0037] 종래의 경우, 디스플레이의 측면(lateral side)에 액추에이터를 설치하여 디스플레이 패널을 진동시켜 플렉서블 디스플레이 시스템에서 라우드 스피커를 시연하는 것으로 보고된 바 있습니다. 그러나, 이러한 종래의 사운드 합성은 추가 액추에이팅 액세서리가 포함된 복잡한 디자인과 강성 특성(stiff substrate)의 사용에 의해 신축성 디스플레이에 적합하지 않고, 향후 연성 전자 제품의 장치 사용을 제한한다.
- [0038] 따라서, 본 발명과 같은, 효과적인 청각-시각적 공감각을 통한 신축성 사운드 내장 디스플레이 전자 장치의 실

현을 위해서는 단일 탄성 장치에서의 음향 발생의 시각화가 필요하다.

- [0040] 도 1a 내지 1e는 본 발명의 일 실시예에 따른 신축성 사운드 내장 디스플레이 장치(100)를 도시한 도면이다.
- [0041] 도 1a 및 1b를 참고하면, 신축성 사운드 내장 디스플레이 장치(100)는 은 나노 와이어들(110)을 포함하는 제1 절연층(112), 은 나노 와이어들(110)상에 형성되고, 전계 발광(electroluminescent, EL) 형광체(120)를 포함하는 활성층(122) 및 활성층(122) 상에 형성되는 은 나노 와이어들(130)을 포함하는 제2 절연층(132)을 포함한다.
- [0042] 일 실시예에서, 은 나노 와이어들(110)을 포함하는 제1 절연층(112)은 하부 전극을 형성할 수 있다. 또한, 은 나노 와이어들(130)을 포함하는 제2 절연층(132)은 상부 전극을 형성할 수 있다.
- [0043] 이 경우, 은 나노 와이어들(110, 130)을 포함하여 형성된 상부 전극과 하부 전극은 ‘AgNW 전극’ 또는 이와 동등한 기술적 의미를 갖는 용어로 지칭될 수 있다.
- [0044] 일 실시예에서, 제1 절연층(112)과 제2 절연층(132)의 표면은 주름 구조가 형성될 수 있다. 예를 들어, 제1 절연층(112)과 제2 절연층(132)은 탄성 중합체 매트릭스(elastomeric matrix)를 포함할 수 있다. 예를 들어, 탄성 중합체 매트릭스는 PDMS(polydimethylsiloxane)를 포함할 수 있다.
- [0045] 일 실시예에서, 상부 전극과 하부 전극은 진동으로부터 음파를 발생시키는 유전성 탄성 중합체 액추에이터(dielectric elastomer actuator)를 형성할 수 있다.
- [0046] 일 실시예에서, 전계 발광 형광체(120)는 황화 아연(ZnS) 및 구리(Cu) 기반 미세입자를 포함할 수 있다. 예를 들어, ZnS:Cu 미세입자 형광체는 상부 전극과 하부 전극 사이에 끼워져 있을 수 있다.
- [0047] 일 실시예에서, 신축성 사운드 내장 디스플레이 장치(100)는 상부 전극과 하부 전극에 전압 바이어스를 인가하는 전압부(140)를 더 포함할 수 있다.
- [0048] 이 경우, 전압 바이어스의 주파수에 따라, 전계 발광 형광체(120)에 의해 방출되는 빛의 색상이 결정될 수 있다.
- [0049] 또한, 전압 바이어스의 전압 진폭에 따라, 전계 발광 형광체(120)에 의해 방출되는 빛의 세기가 결정될 수 있다.
- [0050] 또한, 전압 바이어스의 주파수 및 전압 진폭 중 적어도 하나에 따라 은 나노 와이어들(110, 130)의 진동으로부터 발생하는 음파의 세기가 결정될 수 있다.
- [0051] 도 1b를 참고하면, 전압부(140)를 통해 전계가 인가되면, 탄성 중합체 필름으로 구성된 제1 절연층(112)과 제2 절연층(132)을 포함하는 상부 전극과 하부 전극에 정전기압(electrostatic pressure)이 가해지고 맥스웰 응력에 의해 압축력이 발생하여, 측면 방향으로 필름이 팽창하고 두께 방향으로 수축될 수 있다.
- [0052] 본 발명에 따른 상부 전극과 하부 전극은 전기 에너지를 기계 에너지로 변환할 수 있다. 이 경우, 상부 전극과 하부 전극은 순응 전극(compliant electrode)으로 양쪽에 코팅된 탄성 중합체 필름으로 구성된 PDMS 매트릭스 기반 유전성 탄성 중합체 액추에이터(dielectric elastomer actuator, DEA)를 포함할 수 있다.
- [0053] 즉, 본 발명에 따른 신축성 사운드 내장 디스플레이 전자장치(100)는 스피커와 컬러 모듈을 통합된 단일 신축성 장치(single stretchable device)로 구현될 수 있다.
- [0054] 도 1c를 참고하면, 신축성 사운드 내장 디스플레이 장치(100)는 AC 바이어스(AC bias) 하에서 무기 형광체(inorganic phosphors)(120)의 전계 발광에 의해 빛을 방출하고, 동시에 유전성 탄성 중합체 액추에이터(dielectric elastomer actuator, DEA)의 진동으로부터 음파를 발생시켜, 색상과 사운드의 공감각을 동시에 인식할 수 있다.
- [0055] 예를 들어, AC 바이어스가 인가될 때, 전계 발광은 활성층(122), 즉, 방출층(emissive layer)의 구리 도핑된 황화 아연(copper-doped zinc sulfide)(ZnS:Cu)에서 발생하고, 유전성 탄성 중합체 액추에이터(dielectric elastomer actuator, DEA) 매트릭스의 진동을 통해 가청 음파가 발생할 수 있다.
- [0056] 결과적으로, 신축성 사운드 내장 디스플레이 전자 장치는 단일 장치에 장착된 빛과 소리의 시너지 기능화를 제공할 수 있다.

- [0057] 도 1d를 참고하면, 신축성 사운드 내장 디스플레이 장치(100)는 AC 바이어스를 적용하기 전에 하부면의 단어 (underneath words)를 읽을 수 있는 반투명 기능을 가지고 있음을 확인할 수 있다.
- [0058] 도 1e를 참고하면, 어두운 곳에서 정현파 펄스 기능(sinusoidal pulse function)이 있는 신축성 사운드 내장 디스플레이 장치(100)의 작동을 확인할 수 있다($\pm 120V$, 5kHz). 예를 들어, 신축성 사운드 내장 디스플레이 장치 (100)는 장치 양쪽에서 들리는 소리와 함께 밝은 파란색 빛을 방출할 수 있다.
- [0060] 도 2a는 본 발명의 일 실시예에 따른 AgNW 전극의 파장 스펙트럼에 대한 저항 그래프를 도시한 도면이다.
- [0061] 도 2a를 참고하면, AgNW 밀도의 함수로서 변형에 민감하지 않은 신축성 전극의 광 투과율(optical transmittance)(550nm에서 41.1-64.3%의 T)을 보여준다. 코팅의 수가 증가하면 광학 투명성이 낮고 전기 전도성이 더 높은 밀도가 높은 전도성 네트워크가 됩니다.
- [0063] 도 2b는 본 발명의 일 실시예에 따른 인장 변형에 대한 저항 그래프를 도시한 도면이다.
- [0064] 도 2b를 참고하면, 변형에 민감하지 않은 신축성 AgNW 전극은 일축 인장 변형 하에서 AgNW 전극의 초기 저항에 관계없이 150%의 사전 변형 레벨(pre-strain level)까지 저항 변화가 거의 없음을 확인할 수 있다.
- [0065] 이 경우, 신축성 AgNW 전극의 전기 전도성을 유지할 수 있는 사전 변형의 정도(degree)가 중요하다. 신축성 전극의 주름진 표면은 추가적인 균열의 형성 없이 사전 변형 레벨까지 신장될 수 있다.
- [0066] 여기서, 사전-경화(pre-cured) 및 사전-스트레칭된(pre-stretched) 신축성 AgNW 전극은 표면 주름이 넓어짐에 따라, 인장 변형 동안 150%까지 무시할 수 있는 저항 변화를 나타낼 수 있다.
- [0068] 도 2c는 본 발명의 일 실시예에 따른 스트레칭 사이클에 대한 저항 그래프를 도시한 도면이다.
- [0069] 도 2c를 참고하면, 본 발명에 따른 변형에 민감하지 않은 신축성 AgNW 전극은 반복 신축 및 해제 과정에서 탁월한 전기적 안정성과 기계적 내구성을 나타내는 1000회의 스트레칭 주기 후 가역적이고 안정적인 전기적 특성을 나타냄을 확인할 수 있다.
- [0071] 도 2d는 본 발명의 일 실시예에 따른 스트레칭 동안의 AgNW 전극을 도시한 도면이다. 도 2e는 본 발명의 일 실시예에 따른 스트레칭 동안의 AgNW 전극의 SEM 이미지를 도시한 도면이다.
- [0072] 도 2d 및 2e를 참고하면, 150% 스트레칭 공정 동안 변형에 민감하지 않은 신축성 AgNW 전극의 매크로 및 마이크로 표면 형태를 확인할 수 있다.
- [0073] 스트레칭 구조(structures that stretch) 측면에서, AgNW 전극, 보다 구체적으로는, 제1 절연층(112)과 제2 절연층(132)의 표면 주름은 스트레칭 동안 기관에 안정적인 전기 전도성을 제공할 수 있다.
- [0074] 단축 변형이 AgNW 전극에 적용될 때, 주름 구조는 사전 변형 정도까지 점차적으로 평평(flat)해질 수 있다.
- [0076] 도 2f는 본 발명의 일 실시예에 따른 인장 변형 동안의 AgNW 전극의 주름 구조를 도시한 도면이다.
- [0077] 도 2f를 참고하면, 인장 변형률이 0%에서 150%로 증가함에 따라 주름의 폭도 점차 증가함을 확인할 수 있다. 변형률이 증가함에 따라 크랙의 크기가 작아지므로 더 많은 전도 경로를 생성할 수 있다.
- [0078] 기계적 변형 동안 안정적인 전기 전도성을 유지할 수 있는 신축성 AgNW 전극은 고성능 신축성 사운드 내장 디스플레이 장치(100)를 구현하는데 고려될 수 있다.
- [0079] 종래의 경우 그래핀, 전도성 폴리머, 탄소 나노 튜브 및 하이브리드 시스템에 기반한 다양한 신축성 전극이 개발되었지만, 전도성 네트워크의 파손으로 인해 스트레칭 중에 전기 전도도가 저하되는 것으로 나타났다.
- [0080] 종래에 사용된 탄성 중합체(elastomer)는 우수한 탄성을 갖지만, 그것의 전도성 필름은 반복적인 인장 변형(tensile strain) 동안 전도성 경로를 유지할 수 없어, 저항이 크게 증가하게 된다.

[0081] 따라서, 본 발명에서는 재료 측면에서, 스트레칭 동안 안정한 전기 전도도를 유지할 수 있는 신축성 전극의 제조를 위해, AgNW의 우수한 전도성 및 유연성으로 인해 탄성 중합체 매트릭스 상의 AgNW 네트워크가 사용될 수 있다.

[0083] 도 3a는 본 발명의 일 실시예에 따른 다양한 주파수에서 인가 전압 바이어스에 대한 휘도 그래프를 도시한 도면이다. 도 3b는 본 발명의 일 실시예에 따른 다양한 인가 전압 바이어스에서 파장 스펙트럼에 대한 휘도 세기 그래프를 도시한 도면이다.

[0084] 도 3a를 참고하면, 40~360V의 전압과 100~50kHz의 주파수를 변경하는 경우의 신축성 사운드 내장 디스플레이 장치(100)의 휘도를 확인할 수 있다. 이 경우, 인가 전압 바이어스의 전압 진폭 및 주파수가 증가함에 따라 발광 강도가 점차 증가함을 확인할 수 있다.

[0085] 특정 주파수에서 발광 강도와 인가 전압 바이어스의 관계는 하기 <수학식 1>과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 1

$$L = L_0 \exp(-\beta / v^{1/2})$$

[0087] 여기서, L은 휘도이고, L₀ 및 β는 미리 결정된 상수이며, V는 인가 전압 바이어스를 나타낸다.

[0088] 낮은 인가 바이어스 전압에서 활성층(active layer)은 절연체로서 작용하지만, 더 높은 전압에서 분해되기 시작하고 전도하여 더 높은 휘도를 나타낼 수 있다. 이는, 전자가 발광 중심(luminescent center)을 여기(excite)시키기에 충분히 높은 에너지로 가속되어 휘도가 급격히 증가하기 때문일 수 있다.

[0089] 도 3b를 참고하면, 특정 주파수(10 kHz)에서, EL 스펙트럼은 도 3b에 표시된 것처럼 인가 전압 바이어스와 상관 없이 456nm를 중심으로 한 휘도 피크의 점진적인 증가를 확인할 수 있다.

[0091] 도 3c는 본 발명의 일 실시예에 따른 다양한 주파수에서 색상 변화 그래프를 도시한 도면이다.

[0092] 도 3c를 참고하면, 전압-주파수에 기반하는 방출 색 변화는 색도(chromaticity) 다이어그램을 통해 확인할 수 있다.

[0093] 인가 전압 바이어스를 40V에서 360V로 증가시키면, 색상 공간에서 색도 좌표가 오른쪽에서 왼쪽으로 점진적으로 변하여 휘도의 증가를 나타낸다.

[0094] 주파수를 100Hz에서 50kHz로 증가시키면 색상 공간에서 색도 좌표는 녹색에서 진한 파란색 영역까지 다양하게 변화할 수 있다.

[0095] 이러한 주파수에 따른 색 변화는 두 가지 다른 유형의 얇은 트랩(shallow traps)과 깊은 트랩(deep traps)이 존재하는 도펀트의 두 개의 다른 결정학적 사이트(crystallographic sites)가 존재하기 때문일 수 있다.

[0096] 이 때, 약한 전자/정공 주입(weak electron/hole injection)으로 더 낮은 주파수의 경우, 대부분 얇은 트랩이 점유되어 녹색 방출이 발생할 수 있다. 더 깊은 트랩은 더 높은 에너지를 주입하여 주파수가 증가함에 따라 청색 이동이 발생할 수 있다.

[0098] 도 3d는 본 발명의 일 실시예에 따른 인장 변형 동안의 신축성 사운드 내장 디스플레이 장치를 도시한 도면이다. 도 3e는 본 발명의 일 실시예에 따른 변형률에 대한 휘도 비율 그래프를 도시한 도면이다.

[0099] 도 3d를 참고하면, 신축성 사운드 내장 디스플레이 장치(100)에 전원을 공급하는 간단한 회로를 사용하면, 150%의 변형률로 늘어나면서 인장 변형 동안 일정한 저항을 나타내는 불변 조도 세기를 명확하게 확인할 수 있다.

[0100] 도 3d 및 3e에서 알 수 있는 바와 같이, 신축성 사운드 내장 디스플레이 장치(100)는 현저한 휘도 변화 없이 인

장 변형 동안 0% 내지 150%의 밝은 청색 방출로 안정적으로 작동할 수 있다.

- [0101] 도 3e를 참고하면, 이러한 성능은 변형에 민감하지 않은 신축성 전극을 통해 신축성 사운드 내장 디스플레이 장치(100)에 인가된 전압 바이어스 및 전류의 안정적인 공급에서 비롯되며, 이는 150%까지의 변형 동안 전기 전도도에서 무시할만한 변화를 나타낸다.
- [0102] 변형 레벨이 초기 값에 비해 150%까지 증가함에 따라 휘도 강도가 증가함을 확인할 수 있으며, 이러한 휘도 세기의 증가는 일축 인장 변형 동안 전계 발광 형광체를 포함하는 활성층의 두께가 감소하여 활성층 상의 더 큰 전계에 기인할 수 있다.
- [0104] 도 3f는 본 발명의 일 실시예에 따른 스트레칭 사이클에 대한 휘도 비율 그래프를 도시한 도면이다. 도 3g는 본 발명의 일 실시예에 따른 온/오프 사이클에 대한 휘도 그래프를 도시한 도면이다.
- [0105] 도 3f를 참고하면, 신축성 사운드 내장 디스플레이 장치(100)는 100% 변형률에서 5000회의 반복 스트레칭 및 방출 사이클 시험이 수행되는 경우, 5000회의 스트레칭 및 방출 사이클 후 휘도의 상대적 변화는 ~8% 미만으로, 이는 우수한 내구성 및 안정성을 나타낸다.
- [0106] 도 3g를 참고하면, 반복되는 온-오프 사이클에서 최대 5000회까지 장치 내구성이 평가되며, 신축성 사운드 내장 디스플레이 장치(100)는 반복된 온/오프(on-off) 주기의 5000회 미만에서도 EL 강도의 무시할만한 변화를 보여 장치의 장기 안정성을 확인할 수 있다.
- [0108] 도 4a는 본 발명의 일 실시예에 따른 신축성 사운드 내장 디스플레이 장치의 음향 측정 시스템을 도시한 도면이다. 도 4b는 본 발명의 일 실시예에 따른 인가 전압 바이어스에 대한 음파 세기 그래프를 도시한 도면이다. 도 4c는 본 발명의 일 실시예에 따른 주파수에 대한 음파 세기 그래프를 도시한 도면이다. 도 4d는 본 발명의 일 실시예에 따른 마이크와 신축성 사운드 내장 디스플레이 장치 간 거리에 대한 음파 세기 그래프를 도시한 도면이다. 도 4e는 본 발명의 일 실시예에 따른 변형률에 대한 음파 세기 그래프를 도시한 도면이다. 도 4f는 본 발명의 일 실시예에 따른 스트레칭 사이클에 대한 음파 세기 그래프를 도시한 도면이다.
- [0109] 도 4a를 참고하면, 신축성 사운드 내장 디스플레이 장치(100)에서 방출되는 소리를 분석하는데 사용되는 음향 측정 시스템이 설명된다. 이 경우, 마이크(400)는 신축성 사운드 내장 디스플레이 장치(100)에서 생성된 사운드를 수집하고 녹음하는 데 사용될 수 있다.
- [0110] 도 4b를 참고하면, 10kHz 주파수와 고정 측정 거리(예: 3cm)에서 적용된 AC 전압의 함수로 신축성 사운드 내장 디스플레이 장치(100)에서 생성된 출력 사운드의 음압 레벨(sound pressure level, SPL)을 확인할 수 있다. 이 경우, 인가된 전압 바이어스가 증가함에 따라 출력 음압이 증가할 수 있다.
- [0111] 도 4c를 참고하면, 출력 음압의 주파수 의존성 경향은 고정된 인가 전압 바이어스에서 확인될 수 있다. 신축성 사운드 내장 디스플레이 장치(100)의 SPL은 1kHz~25kHz 범위의 주파수에 따라 점차 증가함을 확인할 수 있다.
- [0112] 도 4d를 참고하면, 신축성 사운드 내장 디스플레이 장치(100)에 의한 사운드 전파를 특성화하기 위해 마이크와 신축성 사운드 내장 디스플레이 장치(100) 사이의 거리가 멀어짐에 따라 출력 사운드 압력이 측정될 수 있다. 이 경우, 신축성 사운드 내장 디스플레이 장치(100)의 출력 음압은 2cm에서 30cm로 거리가 증가함에 따라 우수한 성능을 확인할 수 있다.
- [0113] 도 4e를 참고하면, 신축성 사운드 내장 디스플레이 장치(100)의 신축성을 입증하기 위해 인장 변형률을 0에서 150%로 증가시켜 출력 음압이 측정될 수 있다.
- [0114] 신축성 사운드 내장 디스플레이 장치(100)는 변형에 민감하지 않은 신축성 AgNW 전극을 통한 안정적인 전기 연결로 인해 연장(elongation) 동안 무시할 수 있는 SPL 변화를 나타낼 수 있다.
- [0115] 도 4f를 참고하면, 신축성 사운드 내장 디스플레이 장치(100)의 안정성과 내구성을 검증하기 위해 5000회 반복 스트레칭 주기에서 출력 음압이 측정될 수 있다.
- [0116] 신축성 사운드 내장 디스플레이 장치(100)는 매우 견고한 변형에 민감하지 않은 신축성 AgNW 전극과 ZnS/PDMS 활성층에 의해 5000회의 스트레칭 및 배출 주기 동안 SPL의 무시할만한 변화를 나타낼 수 있다.

- [0118] 도 5a는 본 발명의 일 실시예에 따른 ZnS:Cu 마이크로 입자를 도시킨 도면이다. 도 5b는 본 발명의 일 실시예에 따른 ZnS:Cu 마이크로 입자 분포 그래프를 도시킨 도면이다.
- [0119] 도 5a를 참고하면, ZnS:Cu 마이크로 입자의 크기는 약 $18.2\mu\text{m}$ 이며 균일(homogeneity)한 크기를 가질 수 있다.
- [0120] 도 5b를 참고하면, 균일한 ZnS:Cu 마이크로 입자는 활성층에 잘 분산되어, 높은 전기장에서 고장없이 균일한 발광을 제공한다. 예를 들어, 평균 직경이 $23\pm 3\text{nm}$ 이고 길이가 $23\pm 5\mu\text{m}$ 인 AgNW 전극의 투과(percolative) 네트워크 층은 절연층에 컨포멀 코팅되어 있어 기계적 변형 동안 우수한 전기 전도성을 유지할 수 있다.
- [0122] 도 6a 및 6b는 본 발명의 일 실시예에 따른 AgNW 전극이 증착된 PDMS의 주름 구조를 도시킨 도면이다.
- [0123] 도 6a 및 6b를 참고하면, 신축성 AgNW 전극은 표면 주름 및 균열에 의한 광 산란으로 인해 반투명하게 보일 수 있다.
- [0124] 변형에 민감하지 않은 신축성 전극은 부분 경화(partially-cured) 및 사전 변형된(pre-strained) 절연층에 AgNW를 증착하여 제조될 수 있다.
- [0125] 이 경우, 일축 인장 변형(uniaxial tensile strain) 동안 최대 150%까지 전기 전도성을 유지할 수 있는 AgNW 전극의 표면은 주름 구조를 형성할 수 있다.
- [0127] 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 AgNW 전극의 제조 방법(700)을 도시킨 도면이다.
- [0128] 도 7을 참고하면, AgNW 전극의 제조 방법(700)은, 부분 경화(partially-curing) 단계(710), 사전 변형(pre-strained) 단계(720), 코팅 단계(730) 및 완전 경화(final curing) 단계(740)를 포함할 수 있다.
- [0129] 부분 경화 단계(710)에서, 액체 상태의 절연 물질을 부분 경화시켜 부분 경화된 절연층을 생성할 수 있다. 여기서, 부분 경화는 완전 경화 단계(740) 전에 이루어지는 1차적인 열처리 가경화 과정을 의미하며, 절연 물질을 겔(gel) 상태로 형성시킬 수 있다.
- [0130] 일 실시예에서, 탄성 기재의 제조를 위해, PDMS 염화제 및 PDMS 경화제를 완전히 혼합하고(염화제 대 경화제에 대한 10:1 비율) 30분 동안 진공 건조기(vacuum desiccator)에서 탈기(degassed)시켜 기포를 제거할 수 있다. 그런 다음, 페트리 접시에 액상의 PDMS를 준비할 수 있다. PDMS의 부분 경화를 위해, PDMS를 갖는 페트리 디쉬를 80°C 에서 20분 동안 열처리할 수 있다.
- [0131] 사전 변형 단계(720)에서, 부분 경화된 절연층을 사전 변형시키고, 산소(O_2) 플라즈마 처리할 수 있다. 여기서, 사전 변형은 부분 경화된 절연층을 스트레칭시키는 것을 의미할 수 있다. 예를 들어, 부분적으로 경화된 PDMS를 먼저 150%까지 스트레칭시키고 O_2 플라즈마로 처리할 수 있다. 여기서, 부분 경화된 PDMS는 낮은 영률(Young's modulus)로 인해 완전히 경화된 PDMS보다 적은 힘을 요구하여 스트레칭될 수 있다.
- [0132] 코팅 단계(730)에서, AgNW 분산액을 부분 경화 및 사전 변형되어 산화 플라즈마 처리된 절연층에 코팅할 수 있다.
- [0133] 예를 들어, AgNW 분산액을 2000rpm의 회전 속도로 120초 동안 부분 경화 및 사전 스트레칭된 PDMS 상에 회전시킬 수 있다.
- [0134] 이 경우, O_2 플라즈마로 처리된 사전 변형된 PDMS의 표면은 활성화된 산소 종을 포함하여, 하이드록실 그룹($-\text{OH}$)을 갖는 친수성 표면을 생성할 수 있다. 따라서, AgNW 분산액은 우수한 습윤성으로 사전 변형된 PDMS의 표면에 균일하게 코팅될 수 있다.
- [0135] 완전 경화 단계(740)에서, AgNW 분산액이 코팅된 절연층을 완전 경화시킬 수 있다. 이 경우, 상기 절연층은 부분 경화 및 사전 스트레칭된 후 방출(release) 상태에서 완전 경화되기 때문에, 절연층의 표면은 주름 구조를 포함할 수 있다.
- [0136] 예를 들어, AgNW로 코팅된 부분 경화 및 사전 스트레칭된 PDMS를 인장 변형으로부터 방출(release)하고 60°C 에서 2시간 동안 순차적으로 열 경화시킬 수 있다.

- [0137] 즉, AgNW 분산액의 스핀-코팅(spin-coating) 후, 부분 경화되고 사전 변형된 PDMS가 순서대로 방출되고 완전히 경화될 수 있다.
- [0138] 사전 변형된 PDMS를 방출하는 동안, 강성(stiff) AgNW 필름과 연성(soft) PDMS 매트릭스 사이의 상이한 기계적 강성으로 인해 주기적 주름이 자발적으로 형성될 수 있다.
- [0139] 일 실시예에서, Cu 또는 Al 테이프가 신축성 전극의 가장자리에 결합될 수 있다.
- [0141] 신축성 사운드 내장 디스플레이 장치(100)를 제조하기 위하여, 전계 발광 형광체와 액체 상태의 절연 물질을 혼합하고, 상기 혼합물을 하부 전극 상에 스핀 코팅한 후, 상부 전극을 상기 혼합물 상에 형성시켜 열경화시킬 수 있다.
- [0142] 예를 들어, ZnS:Cu/PDMS 복합물은 ZnS:Cu 미립자 분말을 유성 믹서를 사용하여 15분 동안 액체 PDMS(분말 대 액체 PDMS에 대한 2:1 비)와 완전히 혼합하여 제조할 수 있다.
- [0143] 이후, ZnS:Cu/PDMS 복합체를 120초 동안 2000rpm의 회전 속도로 하부 전극 상에 스핀 코팅시킬 수 있다. 얇은 ZnS:Cu/PDMS 복합재 층을 하부 전극 상에 코팅한 후, 상부 전극을 복합재 층의 상부에 부착시킬 수 있다. 마지막으로, 전체 장치를 60℃에서 2시간 동안 열경화시킬 수 있다.
- [0145] 도 8a는 본 발명의 일 실시예에 따른 코팅 횟수에 대한 AgNW 전극의 저항 그래프를 도시한 도면이다. 도 8b는 본 발명의 일 실시예에 따른 코팅 횟수에 대한 AgNW 전극의 밀도 그래프를 도시한 도면이다.
- [0146] 도 8a를 참고하면, AgNW 네트워크의 밀도는 코팅 수를 조정하여 제어할 수 있습니다. 여기서, AgNW 네트워크는, 은 나노 와이어들이 형성하는 네트워크를 의미할 수 있다.
- [0147] 도 8b를 참고하면, AgNW 네트워크의 밀도가 증가함에 따라 더 많은 전기 경로를 구성하여 저항이 감소함을 확인할 수 있다.
- [0149] 도 9a는 종래의 변형물에 대한 AgNW 전극의 저항 비율 그래프를 도시한 도면이다. 도 9b는 종래의 스트레칭 후의 AgNW 전극의 표면 이미지를 도시한 도면이다.
- [0150] 도 9a 및 9b를 참고하면, 종래의 부분 경화 및 사전 변형(pre-strain)이 없는 신축성 AgNW 전극은 인장 변형 동안 전도 네트워크의 파손으로 인한 저항의 급격한 증가를 확인할 수 있다.
- [0151] 이는, 종래의 AgNW 전극은 제조 시 부분 경화 및 사전 변형 단계를 거치지 않기 때문에, 최종 제조된 AgNW 전극의 신축성이 떨어지기 때문이다.
- [0153] 도 10은 본 발명의 일 실시예에 따른 변형물에 대한 휘도 세기를 도시한 도면이다.
- [0154] 도 10을 참고하면, 본 발명에 따른 신축성 사운드 내장 디스플레이 장치(100)의 경우, 변형에 민감하지 않은 AgNW 전극이 150%의 변형률로 늘어나면서 변형에 민감하지 않은 AgNW 전극의 인장 변형 동안 일정한 저항을 나타내는 불변 조도 세기를 명확하게 확인할 수 있습니다.
- [0156] 도 11a는 본 발명의 일 실시예에 따른 굽힘 반경에 대한 저항 비율 그래프를 도시한 도면이다. 도 11b는 본 발명의 일 실시예에 따른 굽힘 사이클에 대한 저항 그래프를 도시한 도면이다.
- [0157] 도 11a를 참고하면, "신장되는 물질(materials that stretch)" 측면에서, AgNW는 큰 종횡비(aspect ratio) 및 신축성을 갖는 나노 크기 AgNW의 본질적인 높은 연성으로 인해 신축성 전극의 제조에 적합한 물질이다.
- [0158] 결과적으로, 주름진 PDMS에서 AgNW 네트워크를 기반으로 하는 신축성 AgNW 전극은 현저한 저항 변화 없이 신축 과정에서 안정적인 전기 경로를 제공할 수 있다.
- [0159] 더욱이, 다수의 스트레칭 및 굽힘 사이클 후에 전기 특성의 변화가 관찰되지 않았으며, 이는 신축성 전극의 우

수한 전기 안정성 및 내구성을 나타낼 수 있다.

- [0160] 도 11b를 참고하면, 다수의 스트레칭 및 굽힘(stretching and bending) 사이클 후에 전기 특성의 변화가 없음이 관찰되고, 이는 스트레칭 가능한 전극의 우수한 전기 안정성 및 내구성을 나타낼 수 있다.
- [0162] 도 12는 본 발명의 일 실시예에 따른 인가 전압 바이어스에 대한 형광 방출을 도시한 도면이다.
- [0163] 도 12를 참고하면, 충분히 높은 인가 전압 하에서, 트랩된 전자가 유전체와 형광체 사이의 계면에서 형광체의 전도 대역으로 주입되고, 주입된 핫 캐리어(hot carrier)는 높은 에너지로 가속되어 충격 여기 및 이온화(impact excitation and ionization)를 발생시키고, 발광을 위한 형광체의 발광 도펀트 중심(luminescent dopant centers)의 복사 이완(radiative relaxation)을 야기할 수 있다.
- [0165] 도 13은 본 발명의 일 실시예에 따른 다양한 주파수에 대한 파장 그래프를 도시한 도면이다.
- [0166] 도 13을 참고하면, 주파수가 50Hz에서 20kHz로 증가하면 고정된 인가 전압 바이어스에서 EL 스펙트럼이 508nm (녹색 방출 색상)에서 460nm(파란 방출 색상)로 이동함을 확인할 수 있다.
- [0168] 도 14c 및 14d는 종래의 부분 경화 없이 제조된 AgNW 전극의 주름 표면을 도시한 도면이다. 도 15는 본 발명의 일 실시예에 따른 부분 경화에 대한 접착 특성 그래프를 도시한 도면이다.
- [0169] 도 14a 및 14b를 참고하면, 부분적으로 경화된 PDMS의 사용은 변형에 민감하지 않은 신축성 AgNW 전극의 제조에 필수적이다. AgNW 네트워크는 부분적으로 경화된 PDMS를 사용하여 제작된 신축성 AgNW 전극의 주기성 주름에 잘 조직되고 정합하게 증착될 수 있다.
- [0170] AgNW 네트워크는 균열 없이 사전 변형 동안 스트레칭될 수 있는 부분 경화된 PDMS의 부드러움에서 발생하는 잘 정렬된 주기적 주름에 구성될 수 있다.
- [0171] 도 14c 및 14d를 참고하면, 반대로, 부분 경화 및 사전 변형 없이 완전 경화된 PDMS를 사용하는 신축성 AgNW 전극은 주름에 여러 개의 균열로 코팅된 나노 와이어가 있는 거친 AgNW 네트워크를 포함할 수 있다. 이는, 균열 없이 스트레칭될 수 있는 부분적으로 경화된 PDMS와 비교할 때, 부분 경화 없이 사전 연신되고 전처리된 완전 경화된 PDMS의 탄성의 부족으로 인한 것이다.
- [0172] 도 15를 참고하면, AgNW 네트워크의 진포형 접착으로 인해, 부분 경화 PDMS를 사용하는 신축성 AgNW 전극은 완전 경화 PDMS를 사용하여 신축성 AgNW 전극에 비해 접착 촉진제를 추가로 코팅하지 않고도 우수한 접착 특성을 나타낼 수 있다.
- [0174] 도 16은 본 발명의 일 실시예에 따른 DC 전압과 AC 전압 간 변화에 따른 음파 세기 그래프를 도시한 도면이다.
- [0175] 도 16을 참고하면, 유전체 탄성체 필름의 작동 정도(S)가 하기 <수학식 2>에 따라 인가 전압 바이어스의 제곱에 비례하므로 출력 음압은 인가 전압 바이어스가 증가함에 따라 증가할 수 있다.

수학식 2

$$S = \frac{\epsilon_r \epsilon_0 v^2}{h^2 Y}$$

- [0176]
- [0177] 여기서, ϵ_r 은 비유전율, ϵ_0 는 자유 공간의 유전율, v 는 인가 전압 바이어스, h 는 AgNW 전극의 두께, Y 는 영률을 나타낸다.
- [0178] 일 실시예에서, 신축성 사운드 내장 디스플레이 장치(100)는 DC 및 AC 전압의 조합으로 작동할 수 있다. 이 경우, 적용된 병합 전압이 $v=B+A \cdot \sin(\omega t)$ 인 경우, 여기서 B 는 DC 바이어스이고 A 는 AC 구동 전압의 진폭을 나타낼

수 있다.

[0179] 일 실시예에서, 시변 구동 진폭(s_{AC})은 하기 <수학식 3>과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 3

$$s_{AC} = \frac{\epsilon_r \epsilon_0}{h^2 Y} (2BA + A^2)$$

[0181] 상기 <수학식 3>을 참고하면, 신축성 사운드 내장 디스플레이 장치(100)의 사운드 성능은 DC 바이어스와 AC 드라이브 전압에 따라 동시에 달라질 수 있다.

[0182] 이 경우, 도 16을 참고하면, 서로 다른 DC/AC 전압 병합 비율이 적용된 출력 사운드의 SPL에 대한 전압의 관계를 확인할 수 있다. 즉, 출력 전압의 SPL은 DC 전압이 AC 전압에 추가될 때 증가할 수 있다. 그러나 DC 전압의 진폭이 280V 이상으로 증가하면 AC 구동 전압의 진폭이 감소하여 AC 구동 전압 부족으로 인해 SPL이 급격히 감소할 수 있다.

[0184] 이상의 설명은 본 발명의 기술적 사상을 예시적으로 설명한 것에 불과한 것으로, 통상의 기술자라면 본 발명의 본질적인 특성이 벗어나지 않는 범위에서 다양한 변경 및 수정이 가능할 것이다.

[0185] 따라서, 본 명세서에 개시된 실시예들은 본 발명의 기술적 사상을 한정하기 위한 것이 아니라, 설명하기 위한 것이고, 이러한 실시예들에 의하여 본 발명의 범위가 한정되는 것은 아니다.

[0186] 본 발명의 보호범위는 청구범위에 의하여 해석되어야 하며, 그와 동등한 범위 내에 있는 모든 기술 사상은 본 발명의 권리범위에 포함되는 것으로 이해되어야 한다.

부호의 설명

[0188] 100: 신축성 사운드 내장 디스플레이 장치

110: 은 나노 와이어들

112: 제1 절연층

120: 전계 발광 형광체

122: 활성층

130: 은 나노 와이어들

132: 제2 절연층

140: 전압부

400: 마이크

700: AgNW 전극의 제조 방법

710: 부분 경화 단계

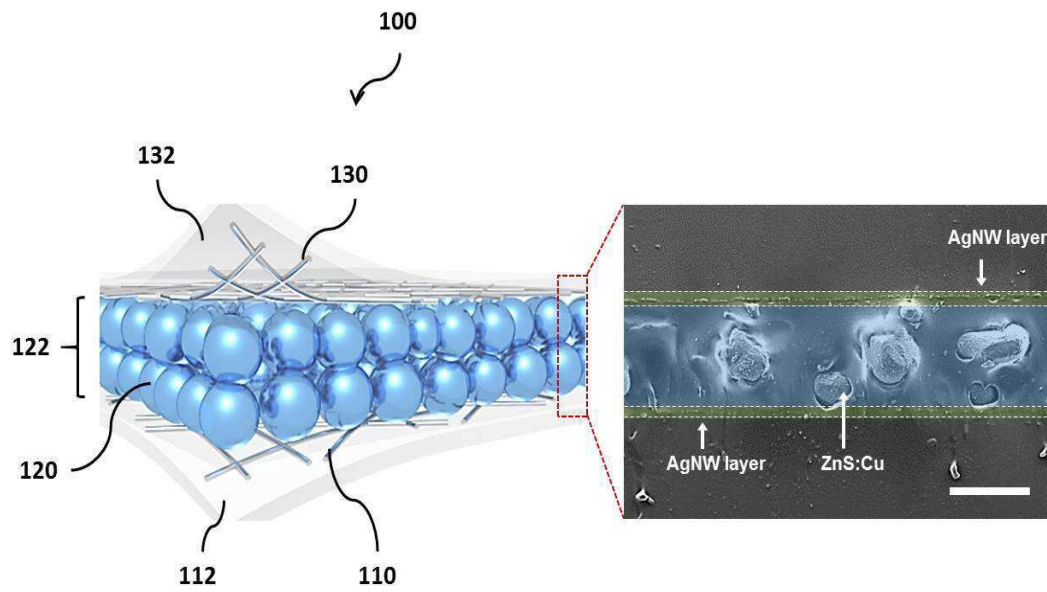
720: 사전 변형 단계

730: 코팅 단계

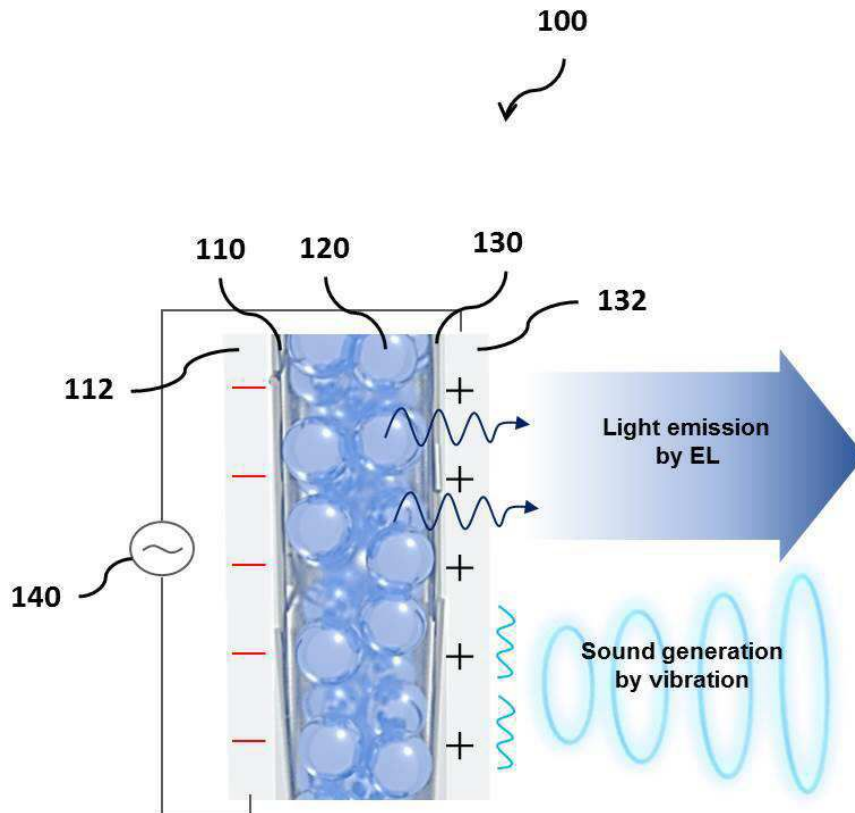
740: 완전 경화 단계

도면

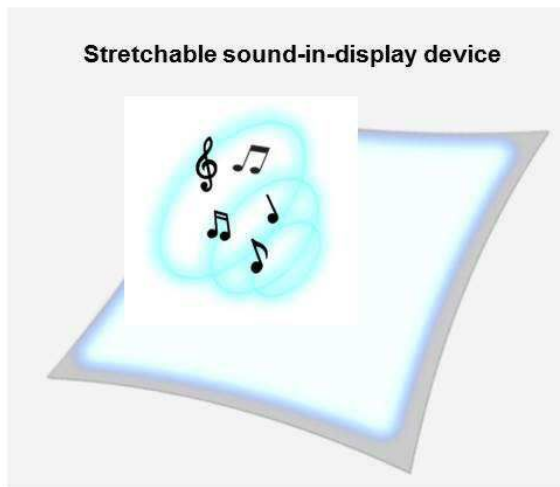
도면1a



도면1b



도면1c



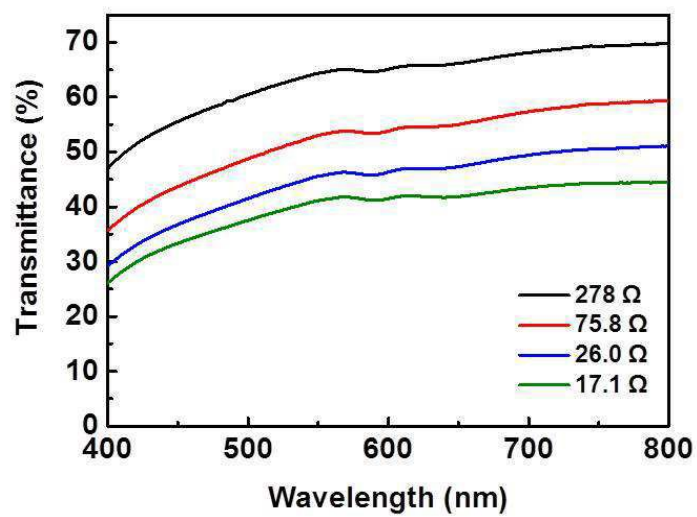
도면1d



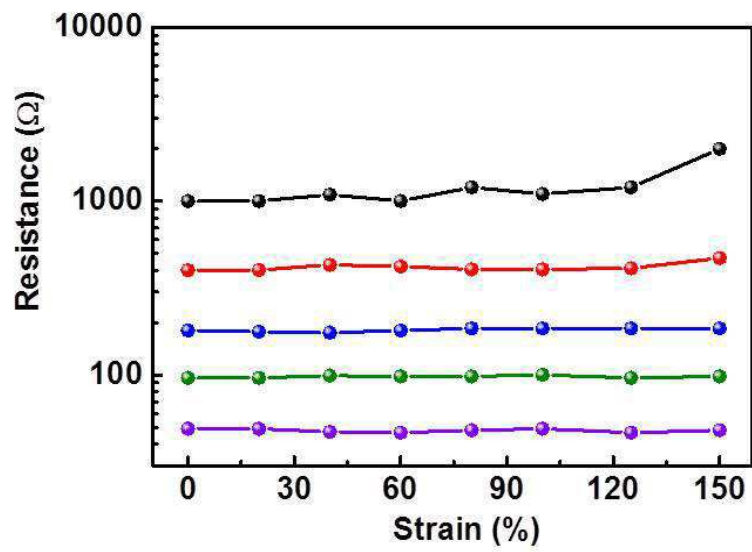
도면1e



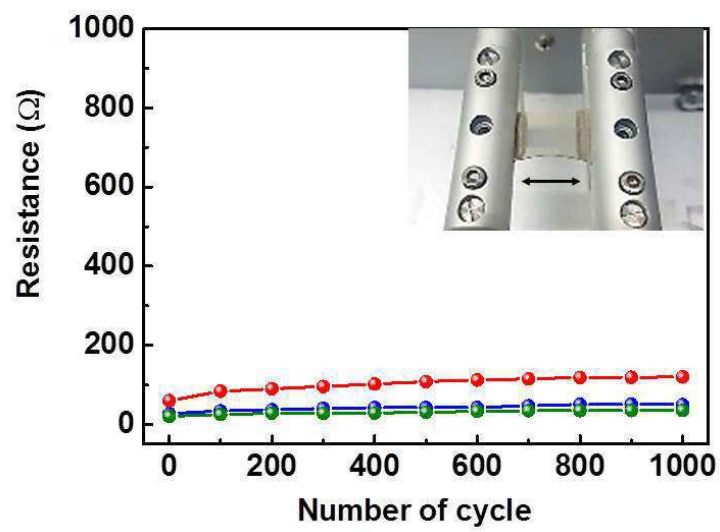
도면2a



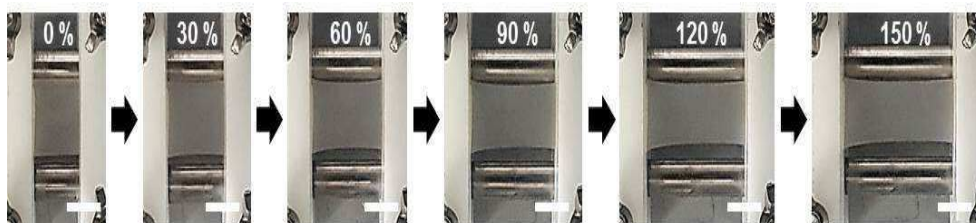
도면2b



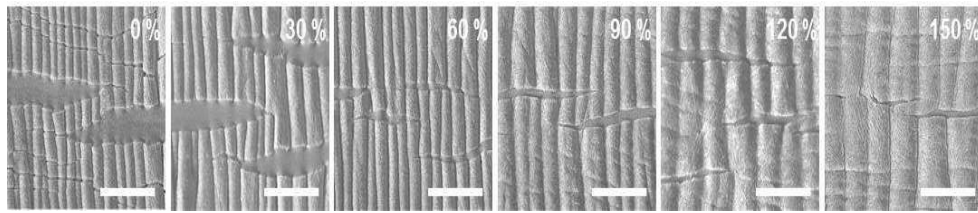
도면2c



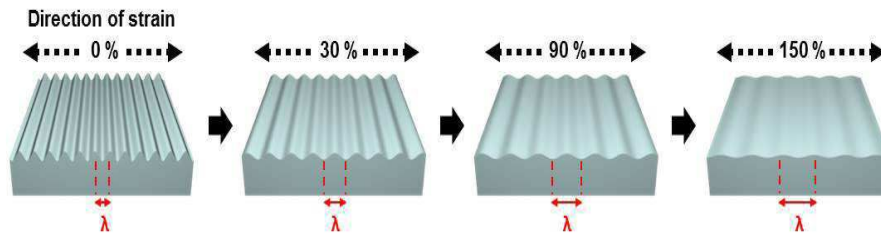
도면2d



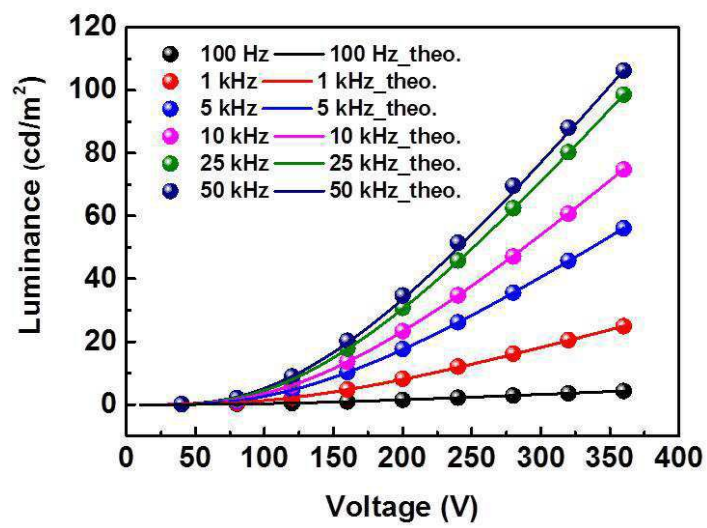
도면2e



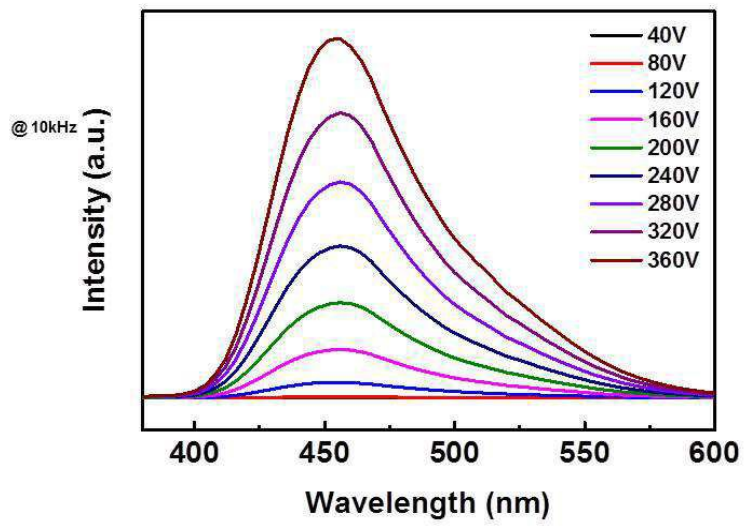
도면2f



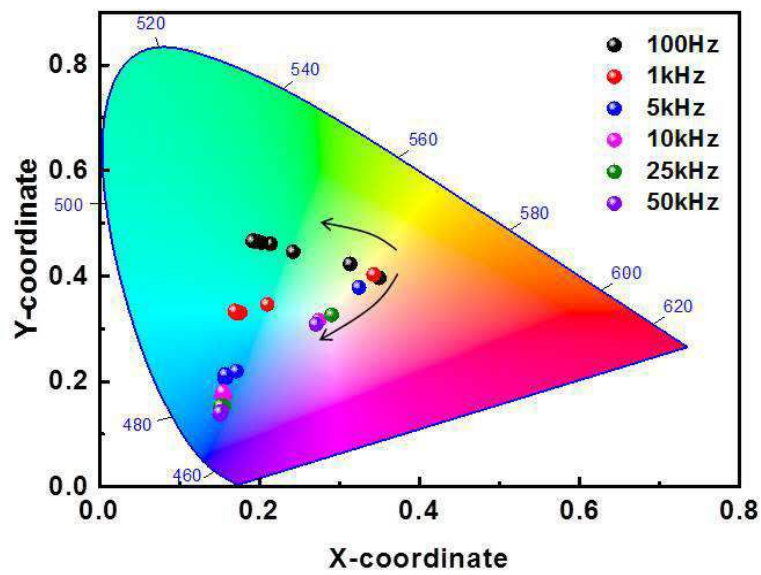
도면3a



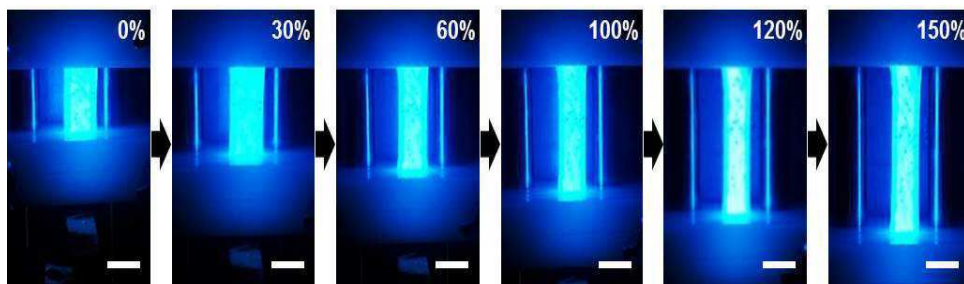
도면3b



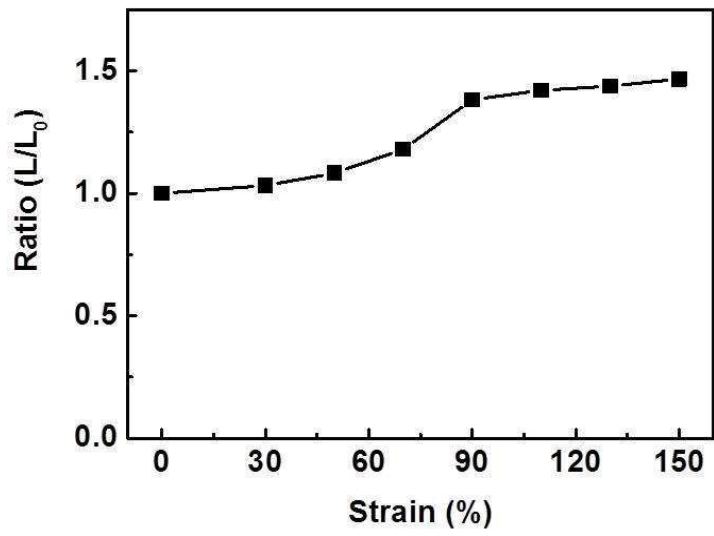
도면3c



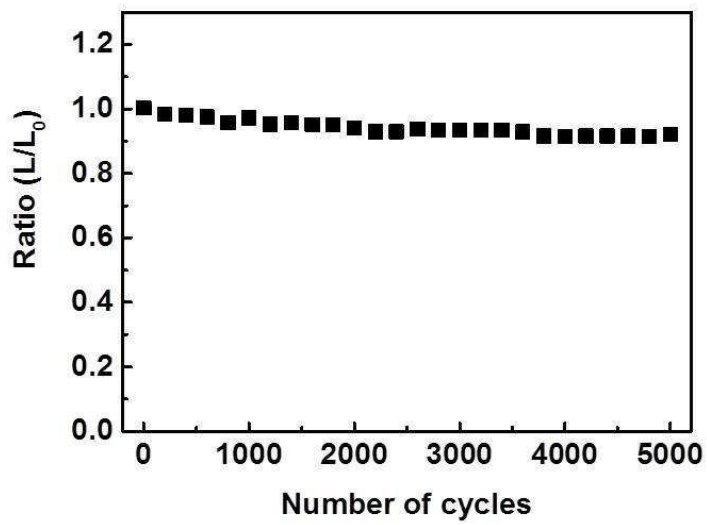
도면3d



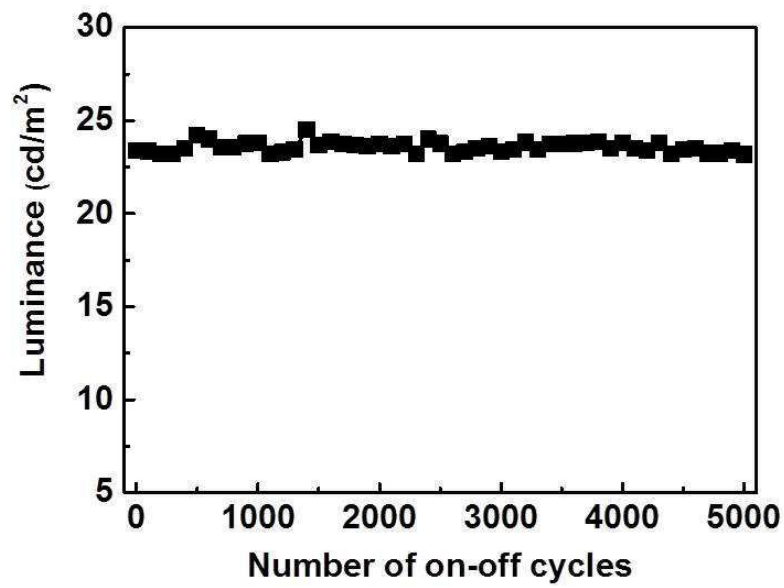
도면3e



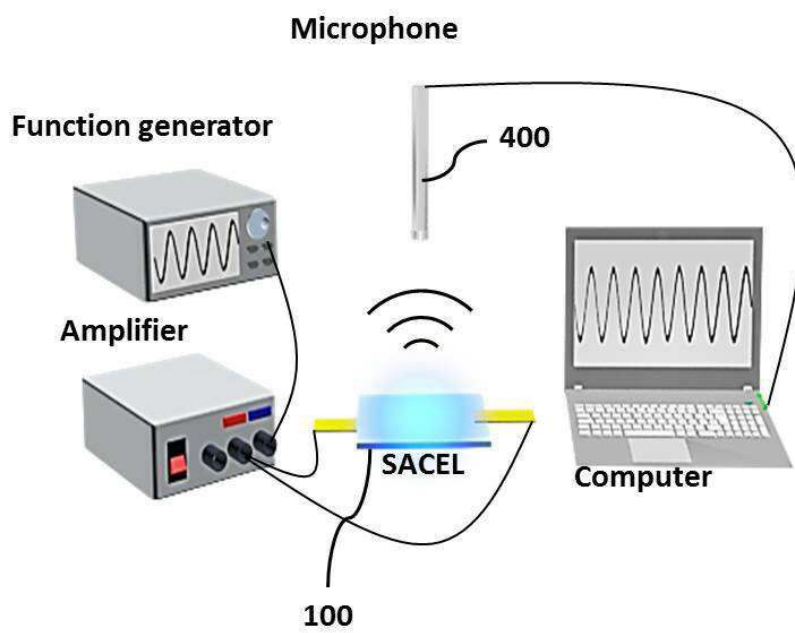
도면3f



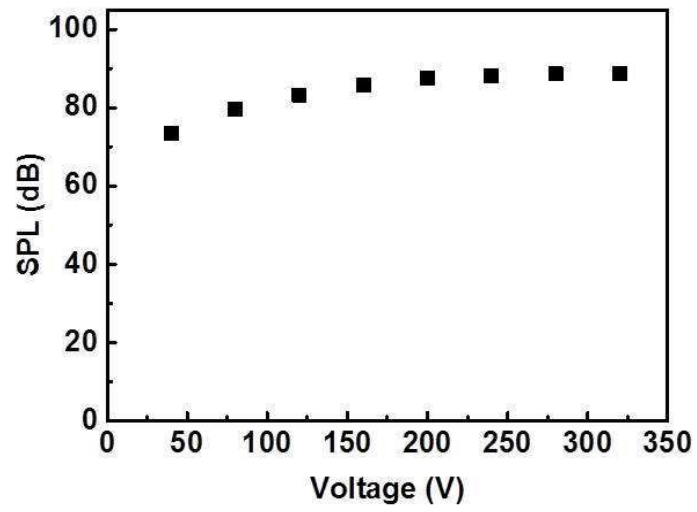
도면3g



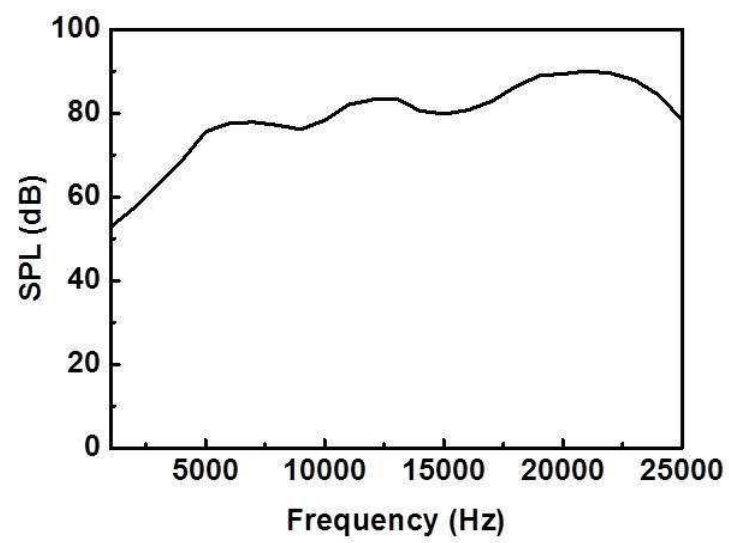
도면4a



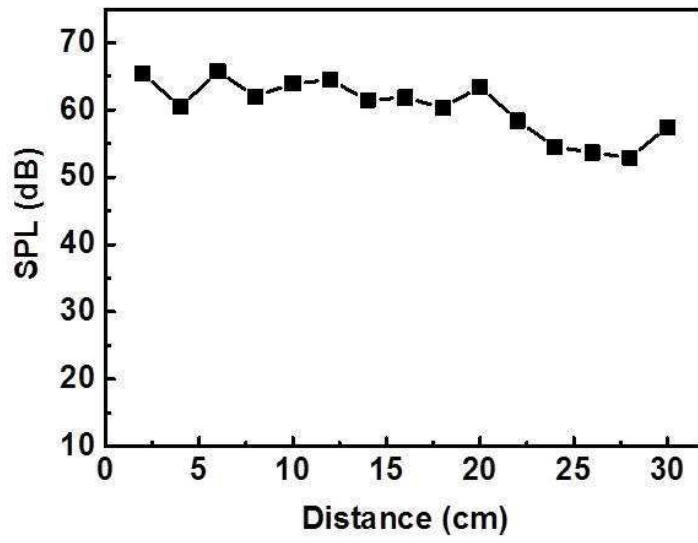
도면4b



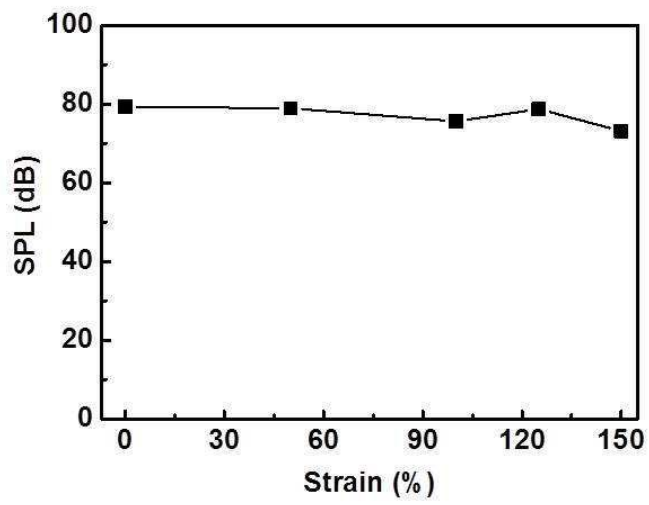
도면4c



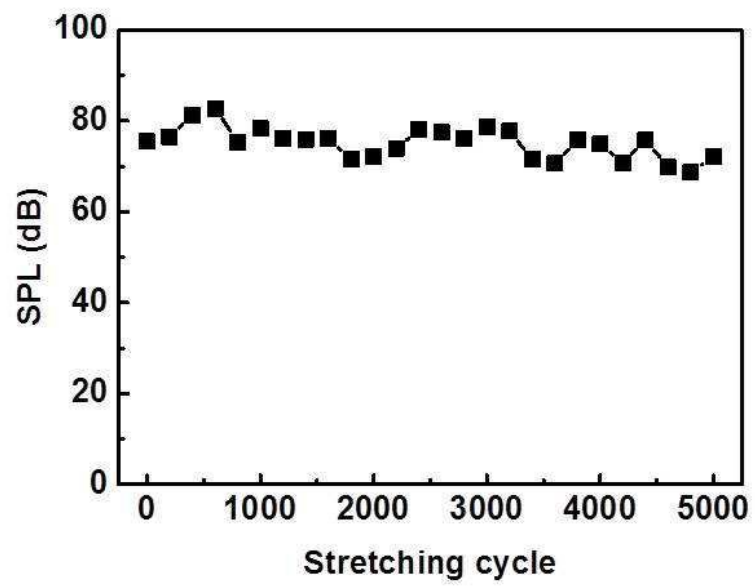
도면4d



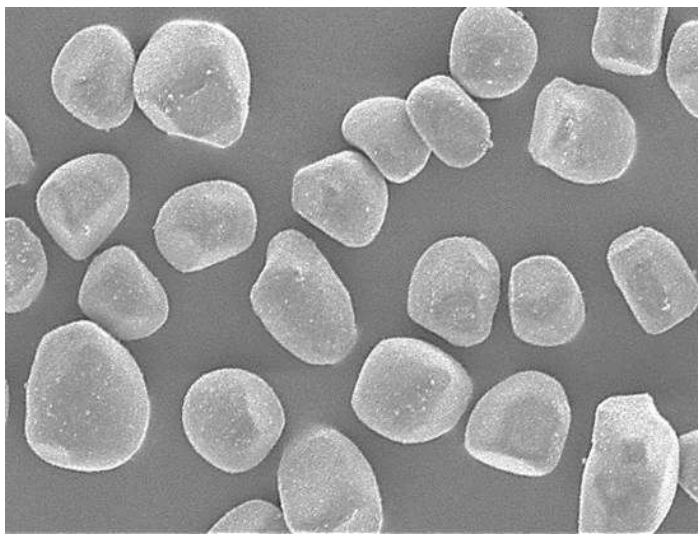
도면4e



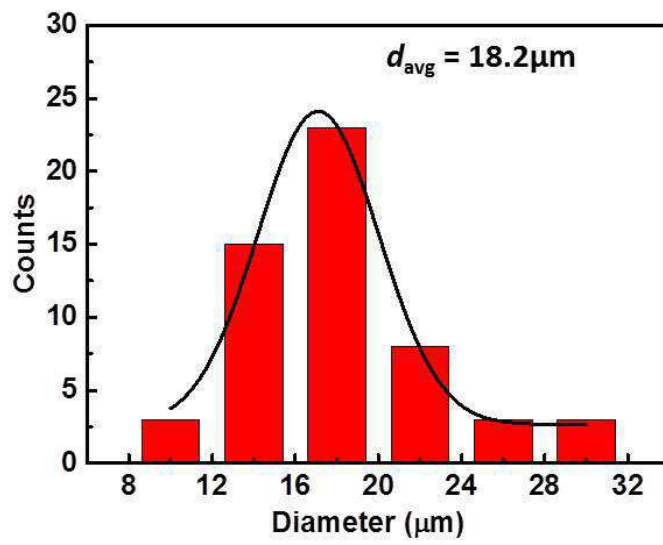
도면4f



도면5a



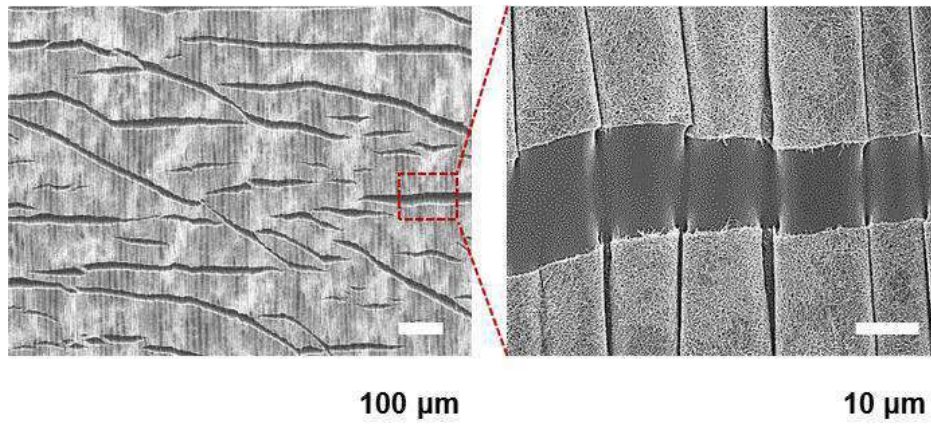
도면5b



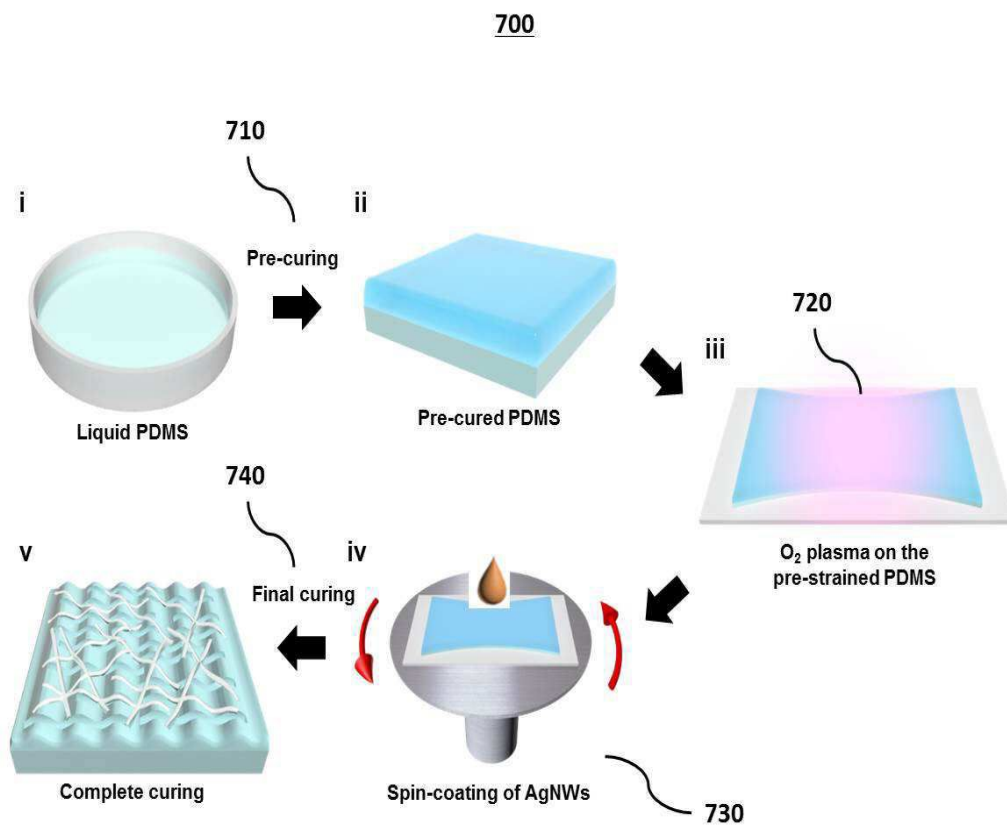
도면6a



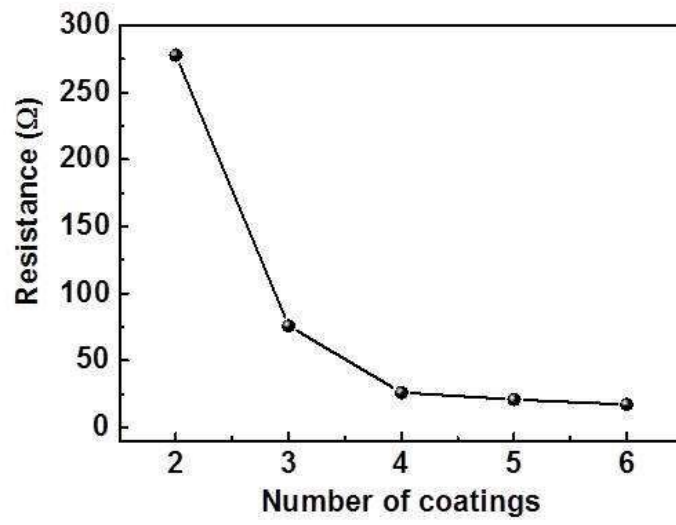
도면6b



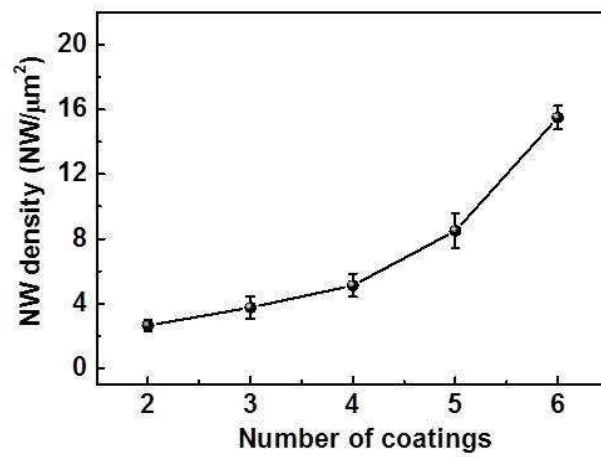
도면7



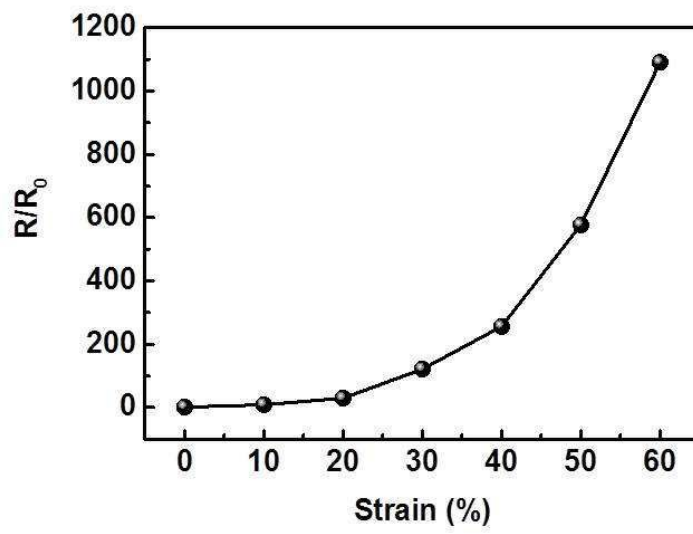
도면8a



도면8b



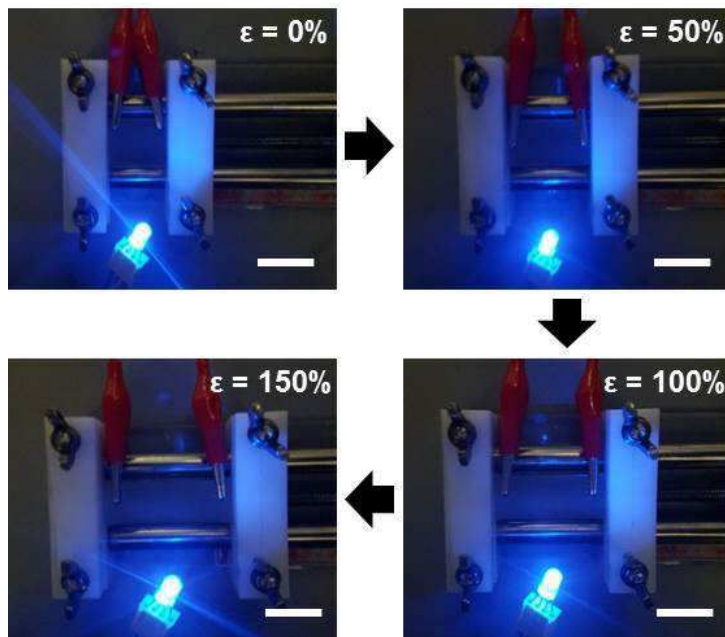
도면9a



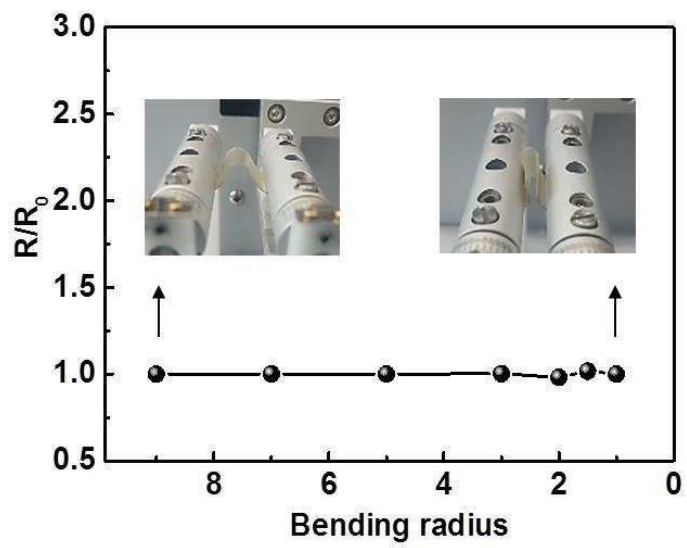
도면9b



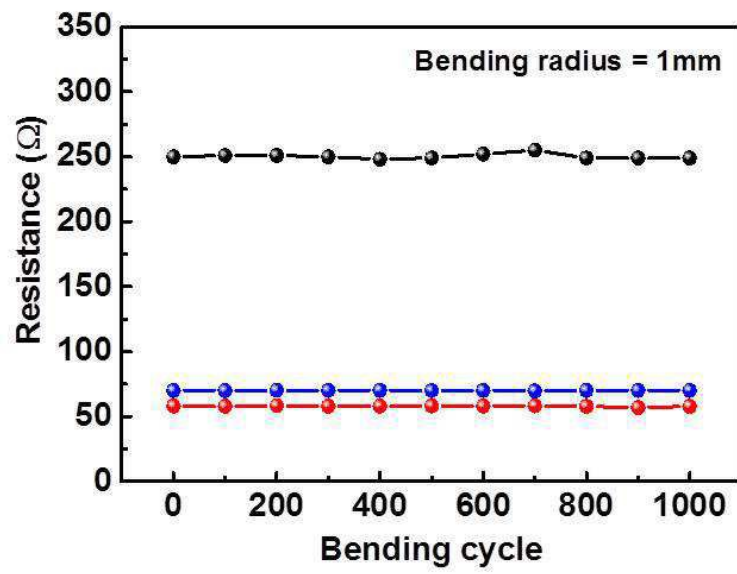
도면10



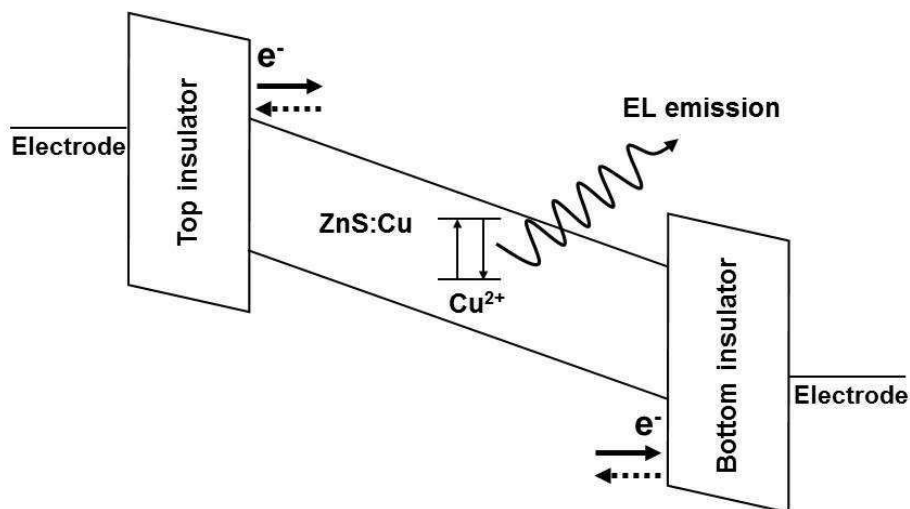
도면11a



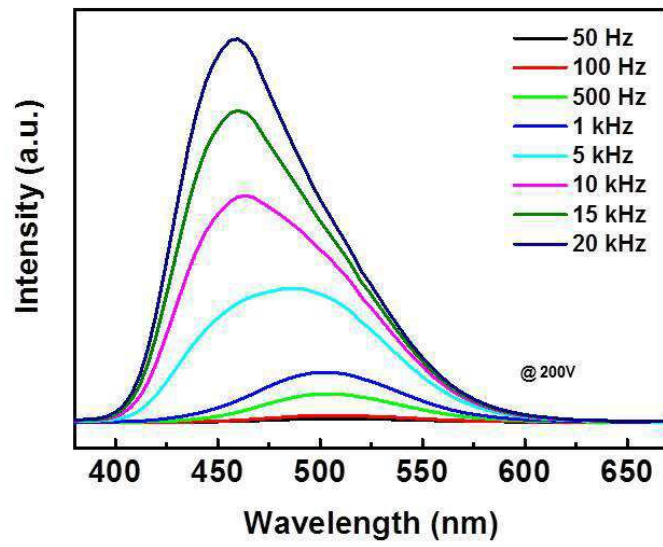
도면11b



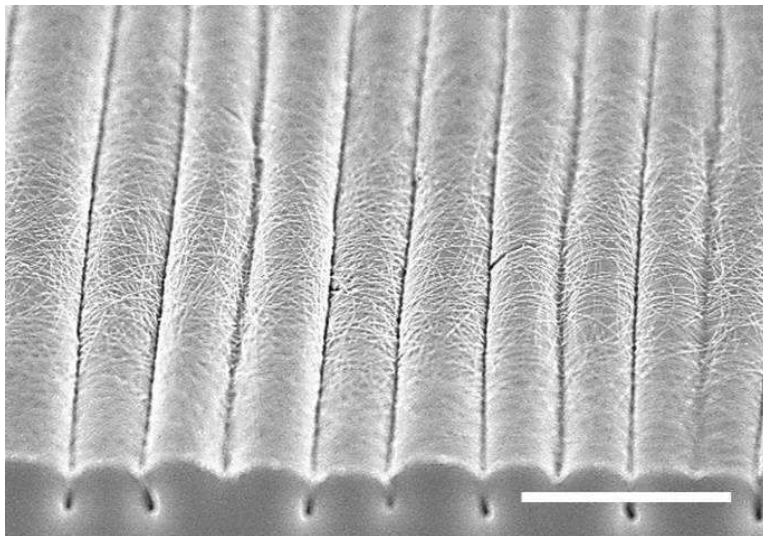
도면12



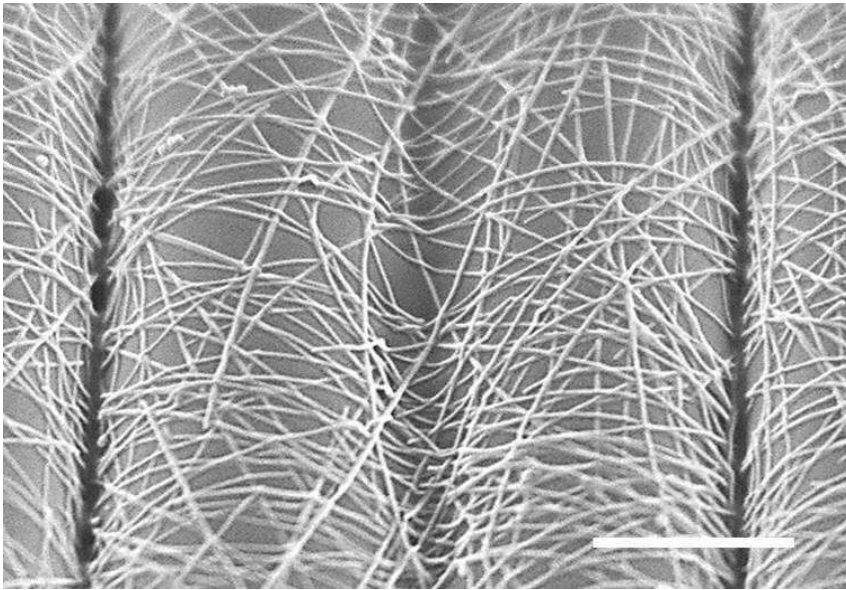
도면13



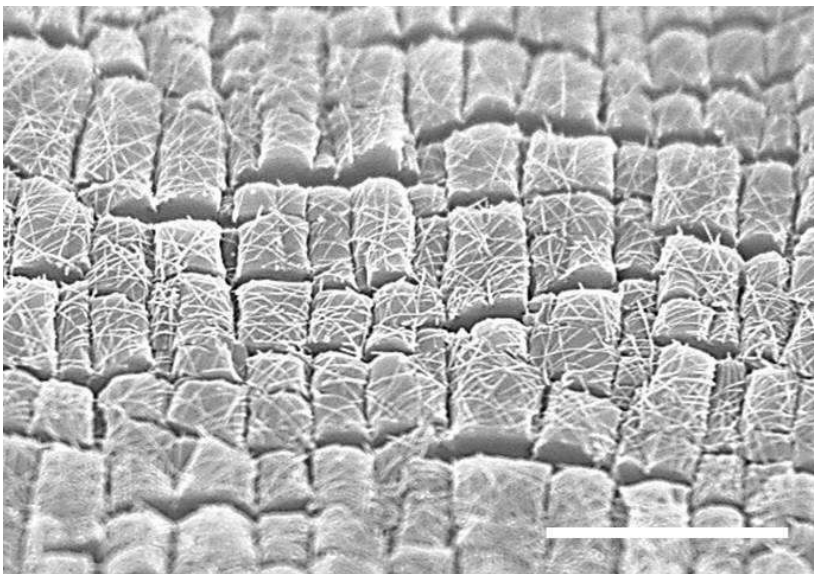
도면14a



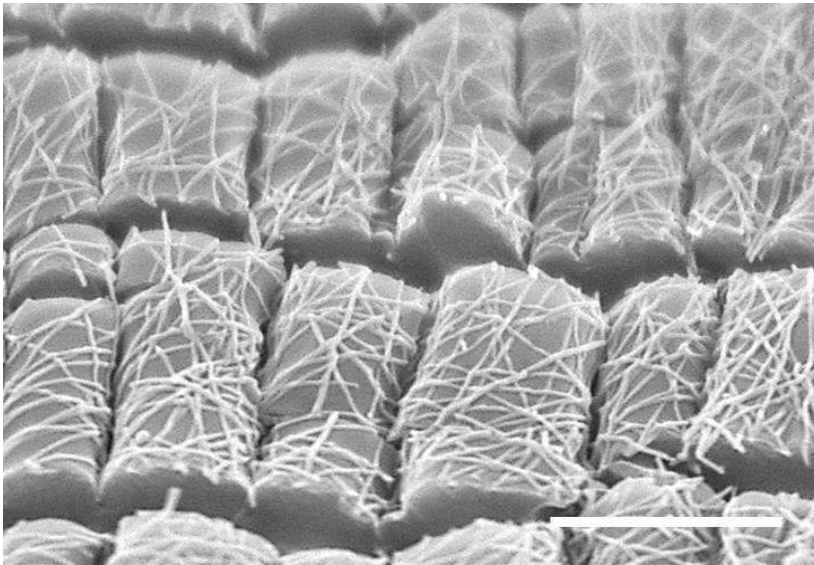
도면14b



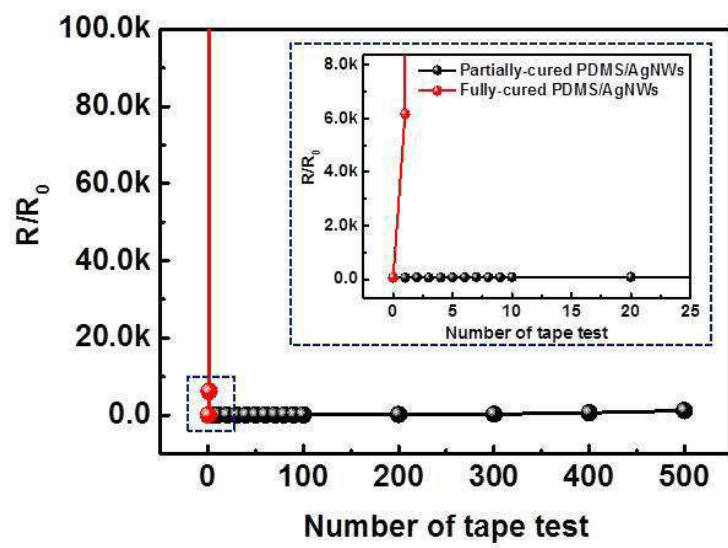
도면14c



도면14d



도면15



도면16

