(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0134445
(43) 공개일자 2024년09월10일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
B29C 64/10 (2017.01) *B29C 64/379* (2017.01)
B29C 65/48 (2018.01) *B29D 7/01* (2006.01)
B33Y 10/00 (2015.01) *B33Y 40/00* (2020.01)
B33Y 80/00 (2015.01) *H02N 1/04* (2006.01)
(52) CPC특허분류
B29C 64/10 (2021.08)
B29C 64/379 (2021.08)
(21) 출원번호 10-2023-0027495
(22) 출원일자 2023년03월02일
심사청구일자 2023년03월02일

(71) 출원인
경희대학교 산학협력단
경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732 (서천동, 경희대학교 국제캠퍼스내)
(72) 발명자
최동휘
경기 화성시 동탄대로1길 66 2844동 1803호
감동익
경기도 용인시 기흥구 관곡로 16 507동 303호(신갈동 갈현마을 현대홈타운)
(74) 대리인
특허법인 아이퍼스

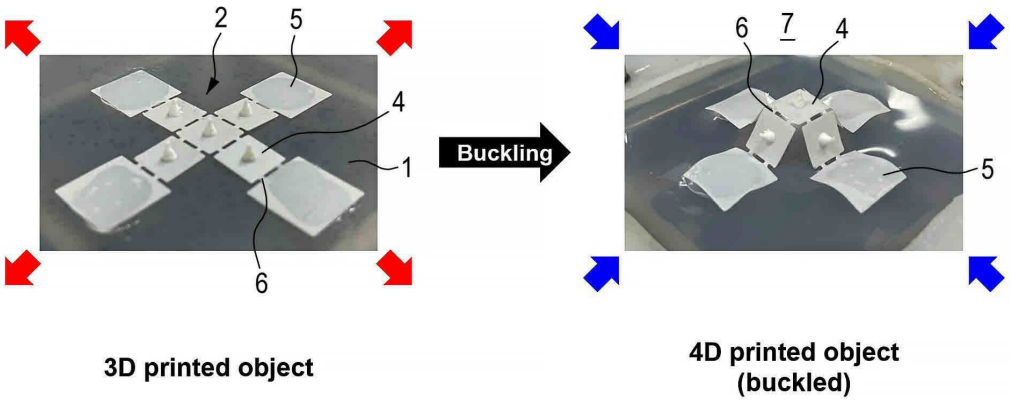
전체 청구항 수 : 총 15 항

(54) 발명의 명칭 **3D프린팅과 압축좌굴을 이용한 3차원 필름구조 제작방법, 그 제작방법을 적용한 소자 및 그 제조방법**

(57) 요 약

본 발명은 3D프린팅과 압축좌굴을 이용한 3차원 필름구조 제작방법, 그 제작방법을 적용한 소자 및 그 제조방법에 관한 것으로, 보다 상세하게는 3D프린팅을 통해 유연 2D 패턴구조를 제작하는 단계; 상기 유연필름의 끝단부 일측을, 기 설정된 인장력 만큼 팽창된 탄성기판상에 접착시키는 단계; 및 상기 기 설정된 인장력을 해제하여 상기 2D패턴 구조에 압축응력이 가해지면서 기계적 좌굴에 의해 상기 유연필름과 상기 탄성기판 사이가 이격되는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 3D프린팅과 압축좌굴을 이용한 3차원 필름구조 제작방법에 관한 것이다.

대 표 도 - 도3



(52) CPC특허분류
B29C 65/48 (2013.01)
B29D 7/01 (2013.01)
B33Y 10/00 (2013.01)
B33Y 40/00 (2023.05)
B33Y 80/00 (2013.01)
H02N 1/04 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1711158999
과제번호 2022R1C1C1008831
부처명 과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명 한국연구재단
연구사업명 (혁신법)이공분야기초연구사업
연구과제명 적응형 하이브리드 바람 에너지 하베스팅 기술 기반 에너지 자립형 원격 환경 모니터링 시스템개발
기 여 율 1/1
과제수행기관명 경희대학교(국제캠퍼스)
연구기간 2022.03.01 ~ 2026.02.28

명 세 서

청구범위

청구항 1

3차원 필름구조 제작방법으로서,

3D프린팅을 통해 유연 2D 패턴구조를 제작하는 단계;

상기 유연필름의 끝단부 일측을, 기 설정된 인장력 만큼 팽창된 탄성기판상에 접착시키는 단계; 및

상기 기 설정된 인장력을 해제하여 상기 2D 패턴구조에 압축응력이 가해지면서 기계적 좌굴에 의해 상기 유연필름과 상기 탄성기판 사이가 이격되는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 3D프린팅과 압축좌굴을 이용한 3차원 필름구조 제작방법.

청구항 2

3차원 필름구조 제작방법으로서,

기 설정된 인장력 만큼 팽창된 탄성기판상에 3D프린팅을 통해 유연 2D 패턴구조를 제작하고, 상기 유연필름의 끝단부 일측을 상기팽창된 탄성기판상에 접착시키는 단계; 및

상기 기 설정된 인장력을 해제하여 상기 2D패턴 구조에 압축응력이 가해지면서 기계적 좌굴에 의해 상기 유연필름과 상기 탄성기판 사이가 이격되는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 3D프린팅과 압축좌굴을 이용한 3차원 필름구조 제작방법.

청구항 3

제 1항 또는 제 2항에 있어서,

상기 유연 2D 패턴구조는,

3D프린팅을 통해 중단부와 복수의 접착부를 갖는 유연필름으로 구성되고, 상기 접착시키는 단계에서 상기 접착부를 상기 팽창된 탄성기판상에 접착시키고, 인장력 해제시 상기 중단부와 상기 탄성기판 사이가 이격되는 것을 특징으로 하는 3D프린팅과 압축좌굴을 이용한 3차원 필름구조 제작방법.

청구항 4

제 3항에 있어서,

상기 유연 2D 패턴구조는, 상기 중단부와 상기 접착부 각각을 연결하는 연결다리부를 포함하는 것을 특징으로 하는 3D프린팅과 압축좌굴을 이용한 3차원 필름구조 제작방법.

청구항 5

제 4항에 있어서,

상기 2D패턴구조의 유연필름 중단부에 전극필름, 및 유전체필름 중 적어도 어느 하나가 적층되는 것을 특징으로 하는 3D프린팅과 압축좌굴을 이용한 3차원 필름구조 제작방법.

청구항 6

제 5항에 있어서,

상기 전극필름과 상기 유전체필름은 3D프린팅을 통해 적층되는 것을 특징으로 하는 3D프린팅과 압축좌굴을 이용한 3차원 필름구조 제작방법.

청구항 7

제 3항에 있어서,

상기 탄성기판에 가해지는 기 설정된 인장력의 크기, 상기 탄성기판의 탄성력, 상기 유연필름의 형상, 재료, 두께, 너비, 및 길이, 상기 중단부의 길이, 면적에 따라 상기 탄성기판과 상기 유연필름 간 사이간격을 조절하는 것을 특징으로 하는 3D프린팅과 압축좌굴을 이용한 3차원 필름구조 제작방법.

청구항 8

제 1항 또는 제2항에 따른 제작방법에 의해 제작되는 것을 특징으로 하는 3차원 필름소자.

청구항 9

제 8항에 있어서,

센서 또는 에너지 하베스터인 것을 특징으로 하는 3차원 필름 소자.

청구항 10

에너지 하베스터의 제조방법에 있어서,

3D프린팅을 통해, 중단부와, 복수의 접착부와, 중단부와 복수의 접착부 각각을 연결하는 연결단을 갖는 2D패턴 제1유연필름, 및 중앙단과, 복수의 접착단와, 중앙단과 복수의 접착단 각각을 연결하는 연결부를 갖는 2D패턴 제2유연필름을 제작하는 단계;

상기 제1유연필름 상에 제1전극필름을 부착하고 상기 제1전극필름 상에 제1유전체필름을 부착하며, 상기 제2유연필름 하면에 제2전극필름을 부착하는 단계;

기 설정된 인장력 만큼 인장된 탄성기판에 상기 접착부 각각을 접착하고, 상기 접착단 각각을 접착시키는 단계;

상기 기 설정된 인장력을 해제하여 상기 2D패턴 구조에 압축응력이 가해지면서 기계적 좌굴에 의해 제1유연필름과 상기 탄성기판 사이가 이격되고, 상기 제1유전체필름과 상기 제2전극필름 사이가 이격되어 3D 구조가 생성되는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 3D프린팅과 압축좌굴을 이용한 에너지 하베스터의 제조방법.

청구항 11

제 10항에 있어서,

상기 부착하는 단계에서,

상기 제2유연필름 상에 제3전극필름을 부착하고, 상기 제3전극필름 상에 제2유전체필름을 부착하며, 상기 제2유전체필름 상면 일측에 전극단을 부착하는 것을 특징으로 하는 3D프린팅과 압축좌굴을 이용한 에너지 하베스터의 제조방법.

청구항 12

에너지 하베스터의 제조방법에 있어서,

3D프린팅을 통해, 중단부와, 복수의 접착부와, 중단부와 복수의 접착부 각각을 연결하는 연결단을 갖는 2D패턴 제1유연필름을 제작하고, 3D프린팅을 통해 상기 제1유연필름의 중단부 상에 제1전극필름을 적층하고 3D프린팅을 통해 상기 제1전극필름 상에 제1유전체필름을 적층하여 하부 2D패턴구조를 제작하는 단계;

3D프린팅을 통해, 제2전극필름을 제작하고, 3D프린팅을 통해 제2전극필름 상에 중앙단과, 복수의 접착단와, 중앙단과 복수의 접착단 각각을 연결하는 연결부를 갖는 2D패턴 제2유연필름을 적층하여 상부 2D패턴구조를 제작하는 단계;

기 설정된 인장력 만큼 인장된 탄성기판에 상기 하부 2D패턴구조의 상기 접착부 각각을 접착하고, 상기 상부 2D패턴구조의 상기 접착단 각각을 접착시키는 단계;

상기 기 설정된 인장력을 해제하여 상기 2D패턴 구조에 압축응력이 가해지면서 기계적 좌굴에 의해 제1유연필름과 상기 탄성기판 사이가 이격되고, 상기 제1유전체필름과 상기 제2전극필름 사이가 이격되어 3D 구조가 생성되는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 3D프린팅과 압축좌굴을 이용한 에너지 하베스터의 제조방법.

청구항 13

제 12항에 있어서,

상기 상부 2D패턴구조를 제작하는 단계에서,

3D프린팅을 통해, 상기 제2유연필름의 중앙단 상에 제3전극필름을 적층하고, 3D프린팅을 통해 상기 제3전극필름 상에 제2유전체필름을 적층하는 것을 특징으로 하는 3D프린팅과 압축좌굴을 이용한 에너지 하베스터의 제조방법.

청구항 14

제 10항 또는 제 12항에 있어서,

상기 제1유전체필름과 상기 제2유전체필름은 FEP필름으로 구성되는 것을 특징으로 하는 3D프린팅과 압축좌굴을 이용한 에너지 하베스터의 제조방법.

청구항 15

제 10항 또는 제 12항에 있어서,

상기 탄성기판에 가해지는 기 설정된 인장력의 크기, 상기 탄성기판의 탄성력, 상기 제1유연필름과 상기 제2유연필름의 형상, 재료, 두께, 너비, 및 길이, 상기 연결단과 상기 연결부의 길이차이에 따라 상기 제2전극필름과 상기 제1유전체필름 간 사이간격을 조절하는 것을 특징으로 하는 3D프린팅과 압축좌굴을 이용한 에너지 하베스터의 제조방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 3D프린팅과 압축좌굴을 이용한 3차원 필름구조 제작방법, 그 제작방법을 적용한 소자 및 그 제조방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 3D 프린팅은 전통적 생산 기술인 금형이나 절삭 공정과 달리, 재료를 한 층씩 적층하여 원하는 3차원 형상의 사물을 만드는 생산제조 기술이다. 이러한 3D 프린팅 기술에 '시간' 개념을 더한 기술인 4D 프린팅은 3D 프린팅

된 사물에 어떠한 자극을 가함으로써 형상이 변화하는 생산제조 기술이다. 이 과정에서 사람의 직접적인 개입을 필요로 하지 않기 때문에 제조공정의 효율이 향상될 수 있다. 4D 프린팅을 위한 기존의 자극으로는 대표적으로 전기(전압), 온도, 빛, 자기장, 습도 및 pH 등이 있다. 하지만 이러한 자극들은 각 자극에 대한 반응성 재료가 필수적이고 그에 따라 적용할 수 있는 3D 프린팅 방식도 제한적이다.

[0003] 이하의 본 발명에서는 3D 프린팅된 사물에 기계적 자극인 압축력을 가함으로써 발생하는 압축 좌굴 현상을 활용한 4D 프린팅 기술을 제시한다.

[0004] 본 발명에 따른 4D 프린팅 기술은 미리 늘린 탄성체 기판의 사전 변형을 제거함으로써 발생하는 압축력에 의한 3D 프린팅된 물체의 압축 좌굴 현상에 기반한다.

[0005] 따라서, 본 발명은 기계적 자극에 기초하기 때문에 3D 프린팅되는 재료와 관계없이 모든 재료에 적용이 가능하다. 이에 따라, 기존의 모든 3D 프린팅 방식과 호환이 가능하다.

[0006] 이러한 점을 감안하여, 본 발명을 활용한 4D 프린터 기술의 개발이 가능하다. 또한, 고체역학 이론 중 하나인 좌굴 현상은 유한요소해석을 통해서 4D 프린팅된 사물의 형상 예측 및 설계가 가능하다. 이 뿐만 아니라, 탄성체 기판에 가해진 사전 변형 양과 방향을 조절함으로써 정밀한 제어가 가능하고, 이러한 특징에 의해 가역적인 형상 변화가 가능하다.

선행기술문헌

특허문헌

[0007] (특허문헌 0001) 대한민국 등록특허 10-2292573

(특허문헌 0002) 대한민국 등록특허 10-2384264

(특허문헌 0003) 대한민국 등록특허 10-1870278

(특허문헌 0004) 대한민국 등록특허 10-2016850

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 따라서 본 발명은 상기와 같은 종래의 문제점을 해결하기 위하여 안출된 것으로서, 본 발명의 실시예에 따르면, 3D프린팅과 기계적 압축 좌굴 현상을 활용한 제작기술(4D 프린팅 기술로 명명함)을 제공하는데 그 목적이 있다.

[0009] 본 발명의 실시예에 따르면, 제작된 4D 프린팅 제품은 탄성체의 변형에 의해 가역적인 형상 변화를 가질 수 있고, 이에 따라, 최근 많은 관심을 받고 있는 적응형 및 맞춤형 센서, 액츄에이터, 로봇, 에너지 하베스터 분야에 필요한 가역적 구조 플랫폼을 제공할 수 있는, 3D프린팅과 압축좌굴을 이용한 3차원 필름구조 제작방법, 그 제작방법을 적용한 소자 및 그 제조방법을 제공하는데 그 목적이 있다.

[0010] 또한, 본 발명의 실시예에 따르면, 기계적 자극에 기반하므로 재료에 제한되는 부분이 없기 때문에, 모든 3D 프린팅 방식에 적용되는 범용성을 지닐 수 있는, 3D프린팅과 압축좌굴을 이용한 3차원 필름구조 제작방법, 그 제작방법을 적용한 소자 및 그 제조방법을 제공하는데 그 목적이 있다.

[0011] 그리고 본 발명의 실시예에 따르면, 고분자, 금속, 세라믹 뿐만 아니라 복합재 및 첨단소재까지 적용이 가능하기 때문에, 기존의 모든 3D 프린팅 방식과 호환이 가능하며 더불어, 3차원 물체를 오리가미 및 키리가미 방식으로 설계하거나 원하는 형상을 역설계함으로써 기존의 3D 프린팅 방식으로 제작하기 어려운 물체를 제작할 수 있는, 3D프린팅과 압축좌굴을 이용한 3차원 필름구조 제작방법, 그 제작방법을 적용한 소자 및 그 제조방법을 제공하는데 그 목적이 있다.

[0012] 본 발명의 실시예에 따르면, 대량 생산이 가능하고 3D 프린팅에서 재료가 낭비되는 부분인 서포트를 생략이 가능하기 때문에, 생산 효율성을 기대할 수 있는, 3D프린팅과 압축좌굴을 이용한 3차원 필름구조 제작방법, 그 제작방법을 적용한 소자 및 그 제조방법을 제공하는데 그 목적이 있다.

[0013] 한편, 본 발명에서 이루고자 하는 기술적 과제들은 이상에서 언급한 기술적 과제들로 제한되지 않으며, 언급하

지 않은 또 다른 기술적 과제들은 아래의 기재로부터 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

[0014] 본 발명의 제1목적은 3차원 필름구조 제작방법으로서, 3D프린팅을 통해 유연 2D 패턴구조를 제작하는 단계; 상기 유연필름의 끝단부 일측을, 기 설정된 인장력 만큼 팽창된 탄성기판상에 접착시키는 단계; 및 상기 기 설정된 인장력을 해제하여 상기 2D패턴 구조에 압축응력이 가해지면서 기계적 좌굴에 의해 상기 유연필름과 상기 탄성기판 사이가 이격되는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 3D프린팅과 압축좌굴을 이용한 3차원 필름구조 제작방법으로서 달성될 수 있다.

[0015] 본 발명의 제2목적은 3차원 필름구조 제작방법으로서, 기 설정된 인장력 만큼 팽창된 탄성기판상에 3D프린팅을 통해 유연 2D 패턴구조를 제작하고, 상기 유연필름의 끝단부 일측을 상기팽창된 탄성기판상에 접착시키는 단계; 및 상기 기 설정된 인장력을 해제하여 상기 2D패턴 구조에 압축응력이 가해지면서 기계적 좌굴에 의해 상기 유연필름과 상기 탄성기판 사이가 이격되는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 3D프린팅과 압축좌굴을 이용한 3차원 필름구조 제작방법으로서 달성될 수 있다.

[0016] 제1, 제2목적에 있어서, 상기 유연 2D 패턴구조는, 3D프린팅을 통해 중단부와 복수의 접착부를 갖는 유연필름으로 구성되고, 상기 접착시키는 단계에서 상기 접착부를 상기 팽창된 탄성기판상에 접착시키고, 인장력 해제시 상기 중단부와 상기 탄성기판 사이가 이격되는 것을 특징으로 할 수 있다.

[0017] 그리고 상기 유연 2D 패턴구조는, 상기 중단부와 상기 접착부 각각을 연결하는 연결다리부를 포함하는 것을 특징으로 할 수 있다.

[0018] 또한 상기 2D패턴구조의 유연필름 중단부에 전극필름, 및 유전체필름 중 적어도 어느 하나가 적층되는 것을 특징으로 할 수 있다.

[0019] 그리고 상기 전극필름과 상기 유전체필름은 3D프린팅을 통해 적층되는 것을 특징으로 할 수 있다.

[0020] 또한 상기 탄성기판에 가해지는 기 설정된 인장력의 크기, 상기 탄성기판의 탄성력, 상기 유연필름의 형상, 재료, 두께, 너비, 및 길이, 상기 중단부의 길이, 면적에 따라 상기 탄성기판과 상기 유연필름 간 사이간격을 조절하는 것을 특징으로 할 수 있다.

[0021] 본 발명의 제3목적은 앞서 언급한 제 1목적 또는 제 2목적에 따른 제작방법에 의해 제작되는 것을 특징으로 하는 3차원 필름소자로서 달성될 수 있다.

[0022] 그리고 상기 3차원 필름 소자는 센서 또는 에너지 하베스터인 것을 특징으로 할 수 있다.

[0023] 본 발명의 제4목적은 에너지 하베스터의 제조방법에 있어서, 3D프린팅을 통해, 중단부와, 복수의 접착부와, 중단부와 복수의 접착부 각각을 연결하는 연결단을 갖는 2D패턴 제1유연필름, 및 중앙단과, 복수의 접착단와, 중앙단과 복수의 접착단 각각을 연결하는 연결부를 갖는 2D패턴 제2유연필름을 제작하는 단계; 상기 제1유연필름 상에 제1전극필름을 부착하고 상기 제1전극필름 상에 제1유전체필름을 부착하며, 상기 제2유연필름 하면에 제2전극필름을 부착하는 단계; 기 설정된 인장력 만큼 인장된 탄성기판에 상기 접착부 각각을 접착하고, 상기 접착단 각각을 접착시키는 단계; 상기 기 설정된 인장력을 해제하여 상기 2D패턴 구조에 압축응력이 가해지면서 기계적 좌굴에 의해 제1유연필름과 상기 탄성기판 사이가 이격되고, 상기 제1유전체필름과 상기 제2전극필름 사이가 이격되어 3D 구조가 생성되는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 3D프린팅과 압축좌굴을 이용한 에너지 하베스터의 제조방법으로서 달성될 수 있다.

[0024] 제4목적에 있어서, 상기 부착하는 단계에서, 상기 제2유연필름 상에 제3전극필름을 부착하고, 상기 제3전극필름 상에 제2유전체필름을 부착하며, 상기 제2유전체필름 상면 일측에 전극단을 부착하는 것을 특징으로 할 수 있다.

[0025] 본 발명의 제5목적은 에너지 하베스터의 제조방법에 있어서, 3D프린팅을 통해, 중단부와, 복수의 접착부와, 중단부와 복수의 접착부 각각을 연결하는 연결단을 갖는 2D패턴 제1유연필름을 제작하고, 3D프린팅을 통해 상기 제1유연필름의 중단부 상에 제1전극필름을 적층하고 3D프린팅을 통해 상기 제1전극필름 상에 제1유전체필름을 적층하여 하부 2D패턴구조를 제작하는 단계; 3D프린팅을 통해, 제2전극필름을 제작하고, 3D프린팅을 통해 제2전극필름 상에 중앙단과, 복수의 접착단와, 중앙단과 복수의 접착단 각각을 연결하는 연결부를 갖는 2D패턴 제2유연필름을 적층하여 상부 2D패턴구조를 제작하는 단계; 기 설정된 인장력 만큼 인장된 탄성기판에 상기 하부 2D

패턴구조의 상기 접착부 각각을 접착하고, 상기 상부 2D패턴구조의 상기 접착단 각각을 접착시키는 단계; 상기 기 설정된 인장력을 해제하여 상기 2D패턴 구조에 압축응력이 가해지면서 기계적 좌굴에 의해 제1유연필름과 상기 탄성기판 사이가 이격되고, 상기 제1유전체필름과 상기 제2전극필름 사이가 이격되어 3D 구조가 생성되는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 3D프린팅과 압축좌굴을 이용한 에너지 하베스터의 제조방법으로서 달성될 수 있다.

[0026] 제5목적에 있어서, 상기 상부 2D패턴구조를 제작하는 단계에서, 3D프린팅을 통해, 상기 제2유연필름의 중앙단 상에 제3전극필름을 적층하고, 3D프린팅을 통해 상기 제3전극필름 상에 제2유전체필름을 적층하는 것을 특징으로 할 수 있다.

[0027] 제4, 제5목적에 있어서, 상기 제1유전체필름과 상기 제2유전체필름은 FEP필름으로 구성되는 것을 특징으로 할 수 있다.

[0028] 제4, 제5목적에 있어서, 상기 탄성기판에 가해지는 기 설정된 인장력의 크기, 상기 탄성기판의 탄성력, 상기 제1유연필름과 상기 제2유연필름의 형상, 재료, 두께, 너비, 및 길이, 상기 연결단과 상기 연결부의 길이차이에 따라 상기 제2전극필름과 상기 제1유전체필름 간 사이간격을 조절하는 것을 특징으로 할 수 있다.

발명의 효과

[0029] 본 발명의 실시예에 따르면, 3D프린팅과 기계적 압축 좌굴 현상을 활용한 제작기술(4D 프린팅 기술로 명명함)을 제공할 수 있다.

[0030] 본 발명의 실시예에 따른 3D프린팅과 압축좌굴을 이용한 3차원 필름구조 제작방법, 그 제작방법을 적용한 소자 및 그 제조방법에 따르면, 제작된 4D 프린팅 제품은 탄성체의 변형에 의해 가역적인 형상 변화를 가질 수 있고, 이에 따라, 최근 많은 관심을 받고 있는 적응형 및 맞춤형 센서, 액츄에이터, 로봇, 에너지 하베스터 분야에 필요한 가역적 구조 플랫폼을 제공할 수 있다.

[0031] 또한, 본 발명의 실시예에 따른 3D프린팅과 압축좌굴을 이용한 3차원 필름구조 제작방법, 그 제작방법을 적용한 소자 및 그 제조방법에 따르면, 기계적 자극에 기반하므로 재료에 제한되는 부분이 없기 때문에, 모든 3D 프린팅 방식에 적용되는 범용성을 지닐 수 있는 장점이 있다.

[0032] 그리고 본 발명의 실시예에 따른 3D프린팅과 압축좌굴을 이용한 3차원 필름구조 제작방법, 그 제작방법을 적용한 소자 및 그 제조방법에 따르면, 고분자, 금속, 세라믹 뿐만 아니라 복합재 및 첨단소재까지 적용이 가능하기 때문에, 기존의 모든 3D 프린팅 방식과 호환이 가능하며 더불어, 3차원 물체를 오리가미 및 키리가미 방식으로 설계하거나 원하는 형상을 역설계함으로써 기존의 3D 프린팅 방식으로 제작하기 어려운 물체를 제작할 수 있는 효과를 갖는다.

[0033] 본 발명의 실시예에 따르면, 대량 생산이 가능하고 3D 프린팅에서 재료가 낭비되는 부분인 서포트를 생략이 가능하기 때문에, 생산 효율성을 기대할 수 있고, 제안한 기계적 압축 좌굴 현상을 활용한 4D 프린팅 기술은 적층 제조공정 및 산업에 새로운 패러다임을 제시할 수 있다.

[0034] 한편, 본 발명에서 얻을 수 있는 효과는 이상에서 언급한 효과들로 제한되지 않으며, 언급하지 않은 또 다른 효과들은 아래의 기재로부터 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

도면의 간단한 설명

[0035] 본 명세서에 첨부되는 다음의 도면들은 본 발명의 바람직한 실시예를 예시하는 것이며, 발명의 상세한 설명과 함께 본 발명의 기술적 사상을 더욱 이해시키는 역할을 하는 것이므로, 본 발명은 그러한 도면에 기재된 사항에만 한정되어 해석 되어서는 아니 된다.

도 1은 본 발명의 실시예에 따른 3D프린팅과 압축좌굴을 이용한 3차원 필름구조 제작방법의 흐름도,

도 2는 본 발명의 실시예에 따른 3D프린팅과 압축좌굴을 이용한 3차원 필름구조의 제작과정에서의 유한요소 해석,

도 3은 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 3D프린팅과 압축좌굴을 이용한 3차원 필름구조의 버클링 전,후 사진,

도 4는 본 발명의 실시예에 따른 3D프린팅과 압축좌굴을 이용한 하이브리드 에너지 하베스터 제작에 있어서, 3D

프린팅으로 제1유연필름과 제2유연필름을 프린팅하는 도면,

도 5는 본 발명의 실시예에 따른 상부 2D패턴구조와, 하부 2D패턴구조의 분해사시도,

도 6은 본 발명의 실시예에 따른 3D프린팅과 압축좌굴을 이용한 에너지 하베스터의 압축좌굴 전 분해 사시도,

도 7은 압축좌굴에 의해 형성된 본 발명의 실시예에 따른 3D프린팅과 압축좌굴을 이용한 하이브리드 에너지 하베스터의 사시도,

도 8은 본 발명의 실시예에 따라 제작된 3D프린팅과 압축좌굴을 이용한 하이브리드 에너지 하베스터의 사진,

도 9는 본 발명의 실시예에 따른 3D프린팅과 압축좌굴을 이용한 하이브리드 에너지 하베스터의 압축좌굴 과정에서의 유한요소해석,

도 10은 본 발명의 실시예에 따른 3D프린팅과 압축좌굴을 이용한 하이브리드 에너지 하베스터에서, 전기 에너지 수집부(DEG)에서의 전기 수집 메커니즘의 흐름도,

도 11은 본 발명의 실시예에 따른 3D프린팅과 압축좌굴을 이용한 하이브리드 에너지 하베스터에서, 역학적 에너지 수집부(S-S TENG)에서의 전기 수집 메커니즘의 흐름도,

도 12는 본 발명의 실시예에 따른 하이브리드 에너지 하베스터에서 전기 에너지 수집부(DEG)와, 역학적 에너지 수집부(S-S TENG) 각각의 출력 그래프,

도 13는 본 발명의 실시예에 따른 하이브리드 에너지 하베스터에서 정류자를 연결한 전기 에너지 수집부(DEG)와, 역학적 에너지 수집부(S-S TENG) 각각의 출력 그래프,

도 14는 본 발명의 실시예에 따른 하이브리드 에너지 하베스터에서 정류자를 연결한 DEG와 S-S TENG의 동시 출력 및 통합출력 그래프를 도시한 것이다.

도 15는 본 발명의 실시예에 따른 하이브리드 에너지 하베스터 출력에 의한 LED lighting 사진을 나타낸 것이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0036] 이상의 본 발명의 목적들, 다른 목적들, 특징들 및 이점들은 첨부된 도면과 관련된 이하의 바람직한 실시예들을 통해서 쉽게 이해될 것이다. 그러나 본 발명은 여기서 설명되는 실시예들에 한정되지 않고 다른 형태로 구체화될 수도 있다. 오히려, 여기서 소개되는 실시예들은 개시된 내용이 철저하고 완전해질 수 있도록 그리고 통상의 기술자에게 본 발명의 사상이 충분히 전달될 수 있도록 하기 위해 제공되는 것이다.

[0037] 본 명세서에서, 어떤 구성요소가 다른 구성요소 상에 있다고 언급되는 경우에 그것은 다른 구성요소 상에 직접 형성될 수 있거나 또는 그들 사이에 제 3의 구성요소가 개재될 수도 있다는 것을 의미한다. 또한 도면들에 있어서, 구성요소들의 두께는 기술적 내용의 효과적인 설명을 위해 과장된 것이다.

[0038] 본 명세서에서 기술하는 실시예들은 본 발명의 이상적인 예시도인 단면도 및/또는 평면도들을 참고하여 설명될 것이다. 도면들에 있어서, 막 및 영역들의 두께는 기술적 내용의 효과적인 설명을 위해 과장된 것이다. 따라서 제조 기술 및/또는 허용 오차 등에 의해 예시도의 형태가 변형될 수 있다. 따라서 본 발명의 실시예들은 도시된 특정 형태로 제한되는 것이 아니라 제조 공정에 따라 생성되는 형태의 변화도 포함하는 것이다. 예를 들면, 직각으로 도시된 영역은 라운드지거나 소정 곡률을 가지는 형태일 수 있다. 따라서 도면에서 예시된 영역들은 속성을 가지며, 도면에서 예시된 영역들의 모양은 소자의 영역의 특정 형태를 예시하기 위한 것이며 발명의 범주를 제한하기 위한 것이 아니다. 본 명세서의 다양한 실시예들에서 제1, 제2 등의 용어가 다양한 구성요소들을 기술하기 위해서 사용되었지만, 이들 구성요소들이 이 같은 용어들에 의해서 한정되어서는 안 된다. 이들 용어들은 단지 어느 구성요소를 다른 구성요소와 구별시키기 위해서 사용되었을 뿐이다. 여기에 설명되고 예시되는 실시예들은 그것의 상보적인 실시예들도 포함한다.

[0039] 본 명세서에서 사용된 용어는 실시예들을 설명하기 위한 것이며 본 발명을 제한하고자 하는 것은 아니다. 본 명세서에서, 단수형은 문구에서 특별히 언급하지 않는 한 복수형도 포함한다. 명세서에서 사용되는 '포함한다(comprises)' 및/또는 '포함하는(comprising)'은 언급된 구성요소는 하나 이상의 다른 구성요소의 존재 또는 추가를 배제하지 않는다.

[0040] 아래의 특정 실시예들을 기술하는데 있어서, 여러 가지의 특정적인 내용들은 발명을 더 구체적으로 설명하고 이

해를 돕기 위해 작성되었다. 하지만 본 발명을 이해할 수 있을 정도로 이 분야의 지식을 갖고 있는 독자는 이러한 여러 가지의 특정적인 내용들이 없어도 사용될 수 있다는 것을 인지할 수 있다. 어떤 경우에는, 발명을 기술하는 데 있어서 흔히 알려졌으면서 발명과 크게 관련 없는 부분들은 본 발명을 설명하는데 있어 별 이유 없이 혼돈이 오는 것을 막기 위해 기술하지 않음을 미리 언급해 둔다.

[0042] 이하에서는 본 발명의 실시예에 따른 3D프린팅과 압축좌굴을 이용한 3차원 필름구조 제작방법에 대해 설명하도록 한다. 본 발명의 실시예에 따르면, 3D프린팅을 이용하여 2D패턴구조를 제작하고, 이러한 2D패턴구조를 인장된 탄성기판상에 부분적으로 접착하여, 인장력을 해제하여 압축좌굴을 통해 3차원 필름구조를 제작(4D 프린팅으로 명명)하게 된다.

[0043] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 3D프린팅과 압축좌굴을 이용한 3차원 필름구조 제작방법의 흐름도를 도시한 것이다.

[0044] 먼저, 3D프린팅을 통해 유연 2D 패턴구조(2)를 제작하게 된다. 그리고 유연필름의 끝단부를, 기 설정된 인장력만큼 팽창된 탄성기판(1) 상에 접착시키고, 기 설정된 인장력을 해제하여 2D패턴 구조(2)에 압축응력이 가해지면서 기계적 좌굴에 의해 유연필름과 탄성기판(1) 사이가 이격되게 된다.

[0045] 3D프린팅을 통한 유연 2D 패턴구조(2)는, 3D프린팅을 통해 중단부(4)와 복수의 접착부(5)를 갖는 유연필름으로 구성되고, 접착시키는 단계에서 접착부(5)를 팽창된 탄성기판(1) 상에 접착시키고, 인장력 해제시 중단부(4)와 탄성기판(1) 사이가 이격되도록 제작할 수 있다.

[0046] 즉, 기계적 압축 좌굴 현상을 활용한 4D 프린팅 과정은 도 1에 도시된 바와 같이 3D 프린팅된 2D 패턴구조(2)를 미리 늘린 탄성기판(1)에 선택적으로 접착한다. 이후 탄성기판(1)의 사전 변형을 제거하면 3D 프린팅된 물체 압축력이 전달되고, 그에 따라 좌굴 현상이 발생한다. 사전 변형을 완전히 제거하면 도시된 바와 같이 4D 프린팅된 물체(3차원 필름 구조)가 완성된다.

[0047] 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 3D프린팅과 압축좌굴을 이용한 3차원 필름구조의 제작과정에서의 유한요소 해석을 나타낸 것이다. 즉, 도 2는 기계적 압축 좌굴 현상을 활용한 4D 프린팅에 의해 제작된 물체의 구조적 가역성을 보여준다. 또한, 유한요소해석을 통해서 4D 프린팅 동안의 물체의 형상 변화 과정과 결과를 예측할 수 있음을 보여준다. 이러한 유한요소해석으로부터 4D 프린팅 물체의 설계가 가능하다.

[0048] 도 3은 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 3D프린팅과 압축좌굴을 이용한 3차원 필름구조의 버클링 전,후 사진을 도시한 것이다. 도 3에 도시된 바와 같이, 2D패턴구조(2)를 3D프린팅을 통해 제작하게 되므로, 다양한 재료, 형태로 제작될 수 있음을 알 수 있다. 도 3에 도시된 바와 같이, 복수의 중단부(4)과, 중단부(4) 끼리를 연결다리부(6)를 통해 연결하고, 중단부(4)와 접착부(5)를 연결다리부(6)로 연결한 다양한 형태의 2D패턴구조(2)의 제작이 가능함을 알 수 있다.

[0049] 그리고 3D프린팅된 2D 유연필름 중단부에 전극필름, 및 유전체필름 등을 접착시켜 2D패턴구조를 제작한 후, 기 인장된 탄성기판에 부분 접합 후에, 인장력을 해제하여 4D프린팅 제품(7)을 제작할 수 있다.

[0050] 또한, 3D프린팅을 통한 2D패턴 구조는 다양한 이종재료가 적층된 형태로 제작될 수도 있다, 즉, 2D패턴구조(2)의 유연필름 중단부에 전극필름, 및 유전체필름 등이 적층되어 제작된 후, 유연필름을 선택적으로 기 인장된 탄성기판(1)에 접착하고, 인장력을 해제하여 4D프린팅된 제품(7)을 제작할 수 있다.

[0051] 그리고 본 발명의 실시예에 따르면, 2D패턴구조(2)를 3D프린터(110)의 베드(111) 상에 제작한 후, 기 인장된 탄성기판(1)에 전사시키는 방식이 아닌, 3D프린터(110)로 기 인장된 탄성기판(1)에 직접적으로 프린팅하면서 부분적으로 접착시킨 후, 인장력을 해제하여 압축좌굴에 의해 4D프린팅 제품(7)을 제작할 수도 있다.

[0053] 이하에서는 앞서 언급한 3D프린팅과 압축좌굴을 이용한 4D프린팅 기술을 적용한 하이브리드 하베스터의 구성 및 제작방법에 대해 설명하도록 한다.

[0054] 도 4는 본 발명의 실시예에 따른 3D프린팅과 압축좌굴을 이용한 하이브리드 에너지 하베스터 제작에 있어서, 3D프린팅으로 제1유연필름과 제2유연필름을 프린팅하는 도면을 도시한 것이다. 도 5는 본 발명의 실시예에 따른 상부 2D패턴구조와, 하부 2D패턴구조의 분해사시도를 도시한 것이다.

[0055] 도 6은 본 발명의 실시예에 따른 3D프린팅과 압축좌굴을 이용한 에너지 하베스터의 압축좌굴 전 분해 사시도를 도시한 것이다. 도 7은 압축좌굴에 의해 형성된 본 발명의 실시예에 따른 3D프린팅과 압축좌굴을 이용한 하이브리드 에너지 하베스터의 사시도를 도시한 것이다.

[0056] 또한 도 8은 본 발명의 실시예에 따라 제작된 3D프린팅과 압축좌굴을 이용한 하이브리드 에너지 하베스터의 사진을 도시한 것이다. 그리고 도 9는 본 발명의 실시예에 따른 3D프린팅과 압축좌굴을 이용한 하이브리드 에너지 하베스터의 압축좌굴 과정에서의 유한요소해석을 나타낸 것이다.

[0057] 본 발명의 실시예에 따른 하이브리드 에너지 하베스터(100)는 물방울이 접촉되어 떨어지는 상황에서 물방울의 전기적 에너지와 역학적 에너지를 하나의 유닛을 통해 동시에 수확할 수 있다.

[0058] 본 발명의 실시예에 따른 하이브리드 에너지 하베스터(100)의 역학적 에너지 수집부(S-S TENG)는 제1유연필름(10), 제1전극필름(20), 제1유전체필름(30), 제2유연필름(40), 제2전극필름(50)을 포함하여 구성될 수 있다. 또한 전기적 에너지 수집부(DEG)는 제3전극필름(60)과 제2유전체필름(70)과 전극단(80)을 포함하여 구성될 수 있다.

[0059] 먼저, 2D패턴을 갖는 제1유연필름(10)과 제2유연필름(40)은 도 4에 도시된 바와 같이, 3D프린팅을 통해 제작한다. 제1유전체필름(10)과 제2유전체필름(40)은 PI(Polyimide)필름으로 구성될 수 있다.

[0060] 이러한 2D 패턴을 갖는 제1유연필름(10)은 도 3a에 도시된 바와 같이, 사각 형태의 중단부(11)와, 중단부(11) 모서리 각각에 이격되어 배치되는 복수의 접착부(12) 그리고 중단부(11)와 접착부(12) 각각을 연결하는 연결단(13)을 포함하여 구성될 수 있음을 알 수 있다.

[0061] 또한, 2D 패턴을 갖는 제2유전체필름(40)도 도 3a에 도시된 바와 같이, 사각 형태의 중앙단(41)와, 중앙단(41) 모서리 각각에 이격되어 배치되는 복수의 접착단(42) 그리고 중앙단(41)와 접착단(42) 각각을 연결하는 연결부(43)을 포함하여 구성될 수 있음을 알 수 있다.

[0062] 그리고, 이러한 제1유연필름(10)의 중단부 상면에 전도성테이프로 구성되는 제1전극필름(20)을 부착하고, 제1전극필름(20) 상에 제1유전체필름(30)을 부착한다.

[0063] 또한 제2유연필름(40)의 중단부 하면에 전도성테이프로 구성되는 제2전극필름(50)을 부착하고, 상면에 전도성테이프로 구성되는 제3전극필름(60)을 부착한다. 그리고 제3전극필름(60) 상에 제2유전체필름(70)을 부착하고, 제2유전체필름(70) 상면 일측에 전극단을 부착한다(S2).

[0064] 제1유전체필름(30)과 제2유전체필름(70)은 FEP필름으로 구성될 수 있다.

[0065] 그리고 도 6에 도시된 바와 같이, 기 설정된 인장력 만큼 인장된 탄성기판(1)에 제1유연필름(10)의 접착부(12) 각각을 접착하고, 제2유연필름(40)의 접착단(42) 각각을 접착시키게 된다.

[0066] 제1유연필름(10)의 접착위치는 제2유연필름(40) 보다 내측에 위치되며, 제1유연필름(10)의 연결단(13)의 길이는 제2유연필름(40)의 연결부(43) 보다 짧게 구성된다. 따라서 후에 설명되는 바와 같이, 압축좌굴 현상에 의해 4D프린팅에 의한 하이브리드 에너지 하베스터가 형성될 때, 제1유연필름(10)과 제2유연필름(40) 간에 간극(gap)이 형성될 수 있게 된다.

[0067] 그리고 탄성기판(1)에 인장력, 팽창력을 해제하면, 도 7 및 도 8에 도시된 바와 같이, 2D패턴 구조에 압축응력이 가해지면서 기계적 좌굴에 의해 제1유연필름(10)과 탄성기판(1) 사이가 이격되고, 제1유전체필름(30)과 제2전극필름(50) 사이가 이격되어 3D 구조가 생성되게 된다.

[0068] 탄성기판(1)에 가해지는 기 설정된 인장력의 크기, 유연기판의 탄성력, 제1유연필름(10)과 제2유연필름(40)의 형상, 재료, 두께, 너비, 및 길이, 그리고 제1유연필름(10)의 연결단(13)과 제2유연필름(40)의 연결부(43) 간의 길이차이에 따라 제2전극필름(50)과 제1유전체필름(30) 간 사이간격을 조절할 수 있다.

[0069] 또한 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 에너지 하베스터의 제조방법은, 3D프린팅을 통해, 중단부(11)와, 복수의 접착부(12)와, 중단부(11)와 복수의 접착부(12) 각각을 연결하는 연결단(13)을 갖는 2D패턴 제1유연필름(10)을 제작하고, 연속적으로 3D프린팅을 통해 제1유연필름(10)의 중단부(11) 상에 제1전극필름(20)을 적층하고 3D프린팅을 통해 제1전극필름(20) 상에 제1유전체필름(10)을 적층하여 하부 2D패턴구조를 제작할 수 있다. 즉, 전체 하부 2D패턴구조를 모두 3D프린팅을 통해 제작될 수 있다.

[0070] 그리고 3D프린팅을 통해, 제2전극필름(50)을 제작하고, 3D프린팅을 통해 제2전극필름(50) 상에 중앙단(41)과,

복수의 접착단(42)와, 중앙단(41)과 복수의 접착단($2) 각각을 연결하는 연결부(43)를 갖는 2D패턴 제2유연필름(40)을 적층하여 상부 2D패턴구조를 전체를 3D프린팅으로 제작할 수 있다.

[0071] 그리고 기 설정된 인장력 만큼 인장된 탄성기판(1)에 하부 2D패턴구조의 접착부(12) 각각을 접착하고, 상부 2D패턴구조의 접착단(42) 각각을 접착시킨다. 그리고 기 설정된 인장력을 해제하여 2D패턴 구조에 압축응력이 가해지면서 기계적 좌굴에 의해 제1유연필름(10)과 탄성기판(1) 사이가 이격되고, 제1유전체필름(30)과 제2전극필름(50) 사이가 이격되어 3D 구조가 생성될 수 있다.

[0073] 이하에서는 본 발명의 실시예에 따른 3D프린팅과 압축좌굴을 이용한 하이브리드 에너지 하베스터에 의한 전기생성 메커니즘에 대해 설명하도록 한다.

[0074] 도 10은 본 발명의 실시예에 따른 3D프린팅과 압축좌굴을 이용한 하이브리드 에너지 하베스터에서, 전기 에너지 수집부(DEG)에서의 전기 수집 메커니즘의 흐름도를 도시한 것이다.

[0075] 도 11은 본 발명의 실시예에 따른 3D프린팅과 압축좌굴을 이용한 하이브리드 에너지 하베스터에서, 역학적 에너지 수집부(S-S TENG)에서의 전기 수집 메커니즘의 흐름도를 도시한 것이다.

[0076] 먼저, 제2유전체필름(70)이 물방울과 접촉하여 대전된 상태를 가정한다. 도 10(b)에 도시된 바와 같이, 물방울이 제2유전체필름(70)에 떨어지고, 제2유전체필름(70)에 접촉하게 되면 물방울 내에서 국소적으로 분극화가 발생한다.

[0077] 물방울 내 분극화에 의해서 제3전극필름(60)으로부터 전극단(80)으로 양전하가 유도된다. 그리고 도 10(c)에 도시된 바와 같이, 물방울이 제2유전체필름(70)에 닿는 면적이 커지면서, 더 많은 양의 분극화가 발생하고 그에 따라 양전하가 더 유도된다. 이후 도 10(d)에 도시된 상태처럼 물방울이 떨어지면서, 전극단(80)에 유도된 전하는 제3전극필름(60)으로 유도되고 전류는 반대 방향으로 흐른다.

[0078] 따라서, 물방울이 계속 떨어진다면, 도 10(a) → 도 10(b) → 도 10(c) → 도 10(d) → 도 10(a) 순서의 사이클에 의해 전기 에너지가 발생한다.

[0079] 다음으로는 역학적 에너지 수집부(S-S TENG)(120)에 의한 메커니즘을 설명한다. 도 11은 본 발명의 실시예에 따른 하이브리드 에너지 하베스터에서 역학적 에너지 수집부(S-S TENG)에서의 전기 수집 메커니즘의 흐름도를 도시한 것이다.

[0080] 물방울이 제2유존필름(70)에 떨어져서 그 힘에 의해서 도 11(b) 및 도 11(c)에 도시된 바와 같이, 제2전극필름(50)은 제1유전체필름(30)과 접촉하게 된다. 이 때, 제2전극필름(50)과 제1유전체필름(30)은 서로 다른 전하로 대전된다.

[0081] 이후 도 11(d)와 같이 3차원 구조의 복원력에 의해서 제2전극필름(50)은 제1유전체필름(30)과 분리되고, 전기적 평형을 위해 제2전극필름(50)의 전하들은 제1전극필름(20)으로 유도된다.

[0082] 이어서 물방울 충격에 의한 상부 3차원 구조의 진동에 의해서 도 11(a) → 도 11(b) → 도 11(c) → 도 11(d) → 도 11(a) 순서로 이어지다가 진동이 멈추면 도 11(a) 상태로 있다. 물방울이 떨어질 때 마다 이 과정이 반복된다.

[0083] 도 12는 본 발명의 실시예에 따른 하이브리드 에너지 하베스터에서 전기 에너지 수집부(DEG)와, 역학적 에너지 수집부(S-S TENG) 각각의 출력 그래프, 도 13는 본 발명의 실시예에 따른 하이브리드 에너지 하베스터에서 정류자를 연결한 전기 에너지 수집부(DEG)와, 역학적 에너지 수집부(S-S TENG) 각각의 출력 그래프,

[0084] 도 15는 본 발명의 실시예에 따른 하이브리드 에너지 하베스터 출력에 의한 LED lighting 사진을 나타낸 것이다. 즉, 앞서 언급한 본 발명의 실시예에 따른 3D프린팅과 압축좌굴을 이용한 하이브리드 에너지 하베스터를 구성하는 전기적 에너지 수집부(DEG)와 역학적 에너지 수집부(S-S TENG)의 출력을 각각 나타낸 것이다(정류자를 연결하여 한 방향의 전압만 출력된다.).

[0085] 도 14는 본 발명의 실시예에 따른 하이브리드 에너지 하베스터에서 정류자를 연결한 DEG와 S-S TENG의 동시 출력 및 통합출력 그래프를 도시한 것이다. 즉, 본 발명의 실시예에 따른 하이브리드 에너지 하베스터를 구성하는 전기적 에너지 수집부(DEG)와 역학적 에너지 수집부(S-S TENG)를 하나의 회로로 연결하여 얻은 출력을 나타낸 것이다. 통합출력인 도 14b에 도시된 바와 같이, 도 13a의 전기적 에너지 수집부(DEG)와 도 13b 역학적 에너

지 수집부(S-S TENG)의 각 출력보다 향상된 것을 확인할 수 있다.

[0087] 또한, 상기와 같이 설명된 장치 및 방법은 상기 설명된 실시예들의 구성과 방법이 한정되게 적용될 수 있는 것이 아니라, 상기 실시예들은 다양한 변형이 이루어질 수 있도록 각 실시예들의 전부 또는 일부가 선택적으로 조합되어 구성될 수도 있다.

부호의 설명

[0088] 1:탄성기판

2:유연 2D패턴구조

4:중단부

5:접착부

6:연결다리부

7:3차원 필름구조, 4D 프린팅 물체

10:제1유연필름

11:중단부

12:접착부

13:연결단

20:제1전극필름

30:제1유전체필름

40:제2유연필름

41:중앙단

42:접착단

43:연결부

50:제2전극필름

60:제3전극필름

70:제2유전체필름

80:전극단

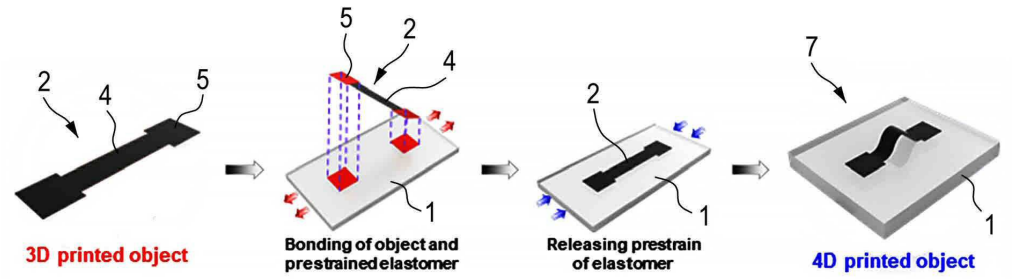
100:하이브리드 에너지 하베스터

110:3D프린터

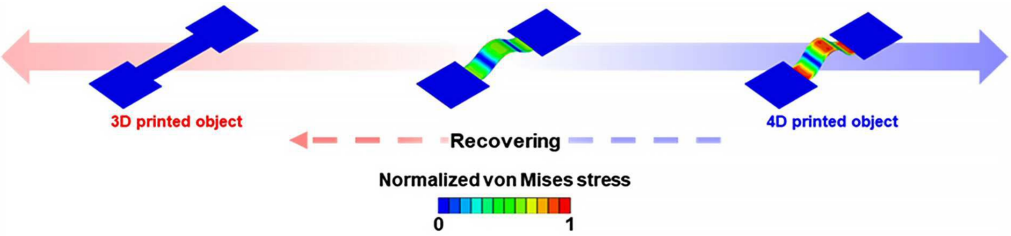
111:베드

도면

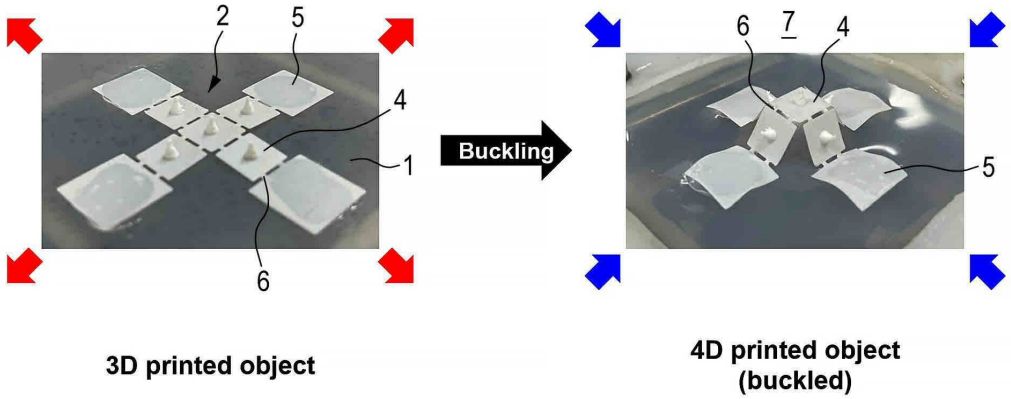
도면1



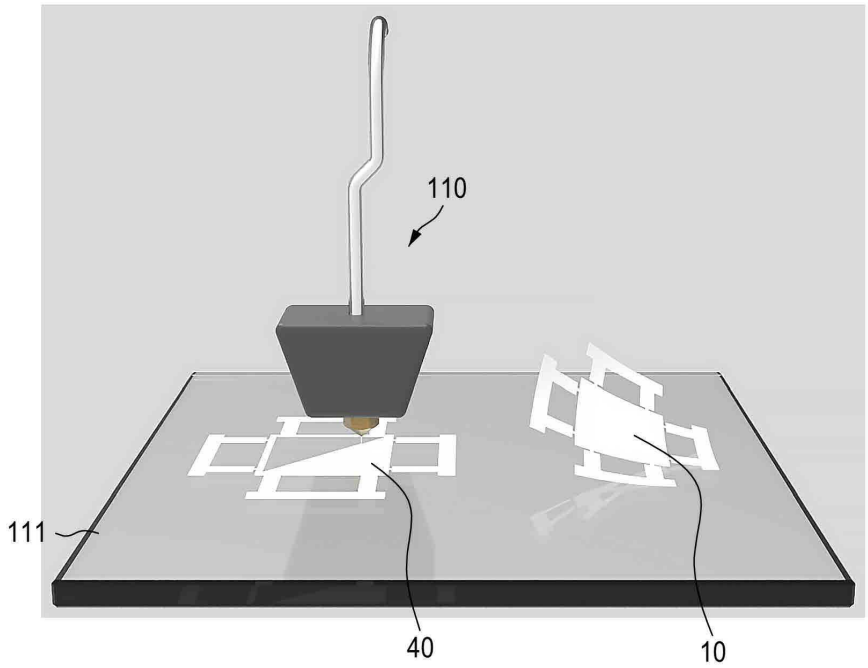
도면2



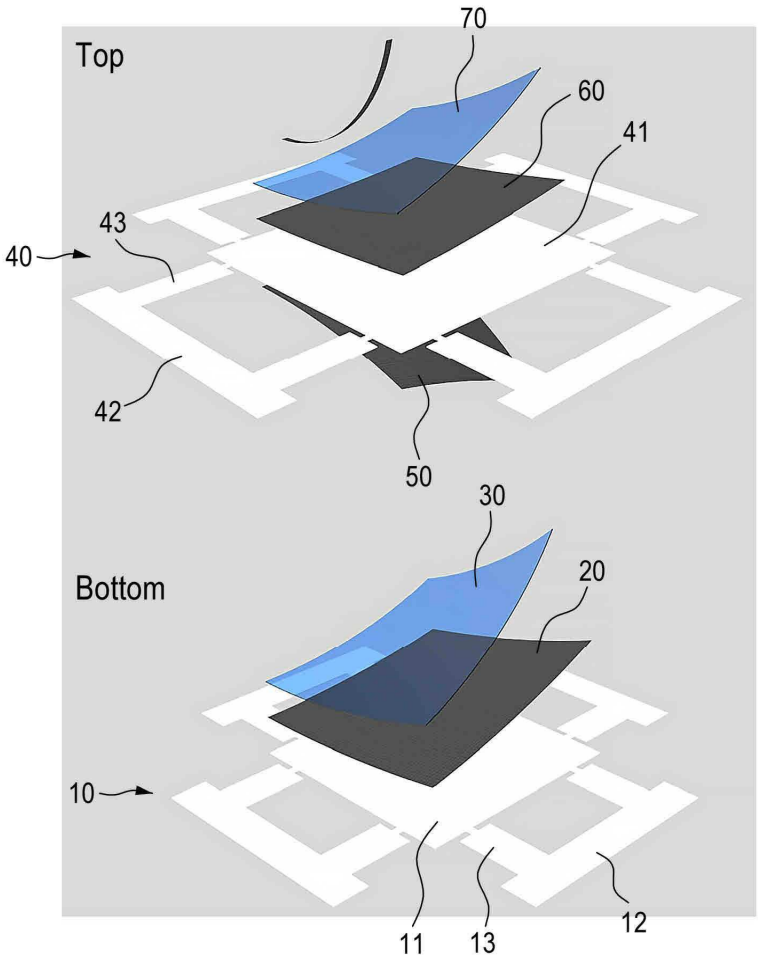
도면3



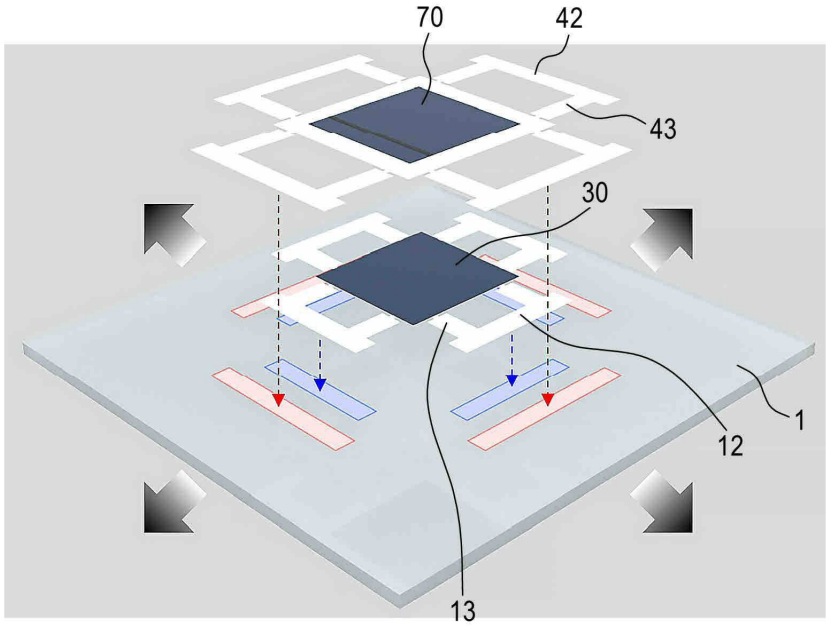
도면4



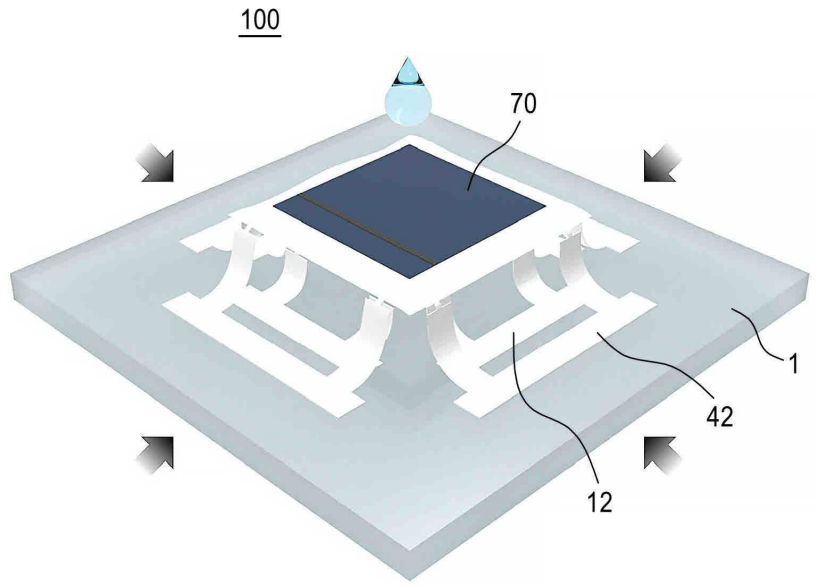
도면5



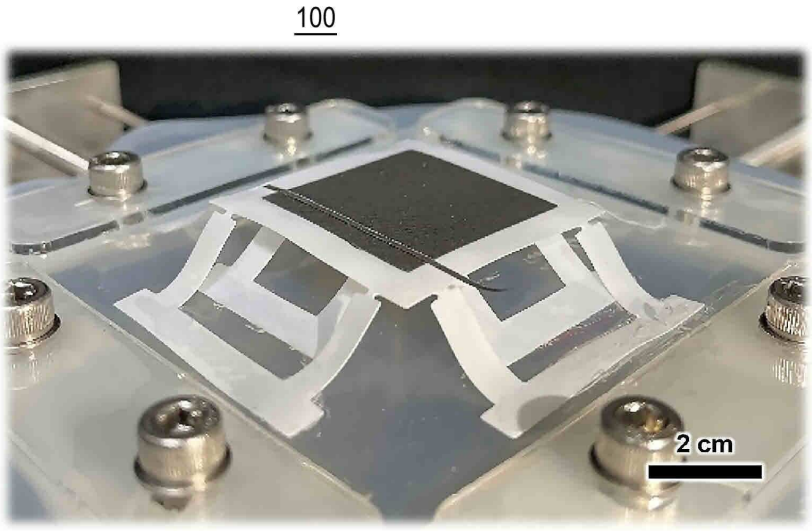
도면6



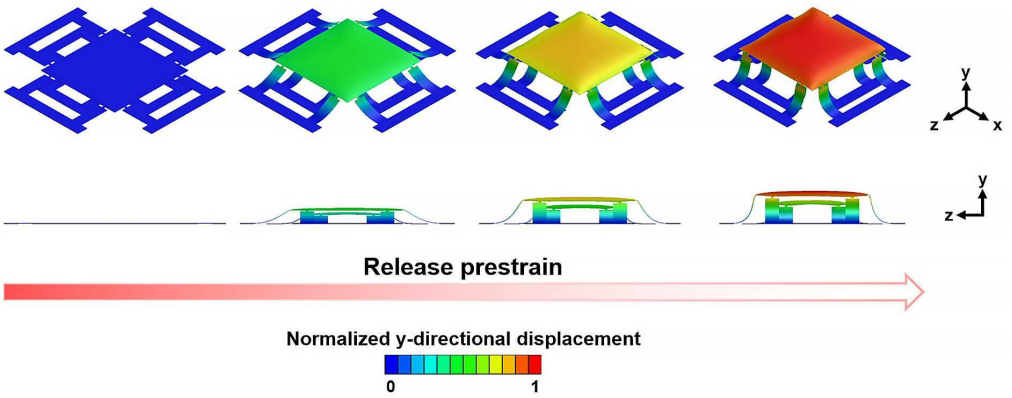
도면7



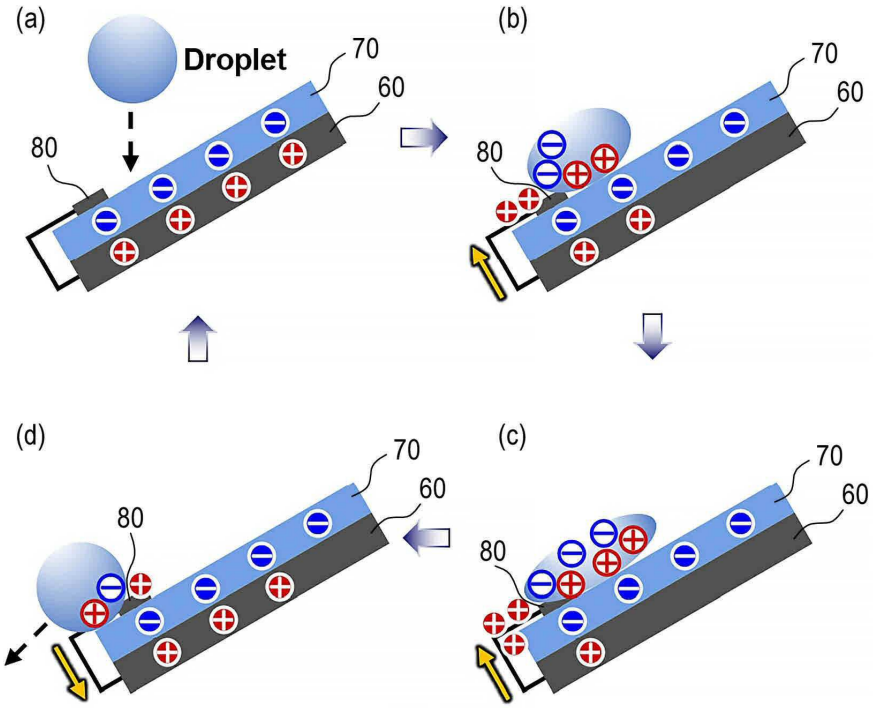
도면8


100
2 cm

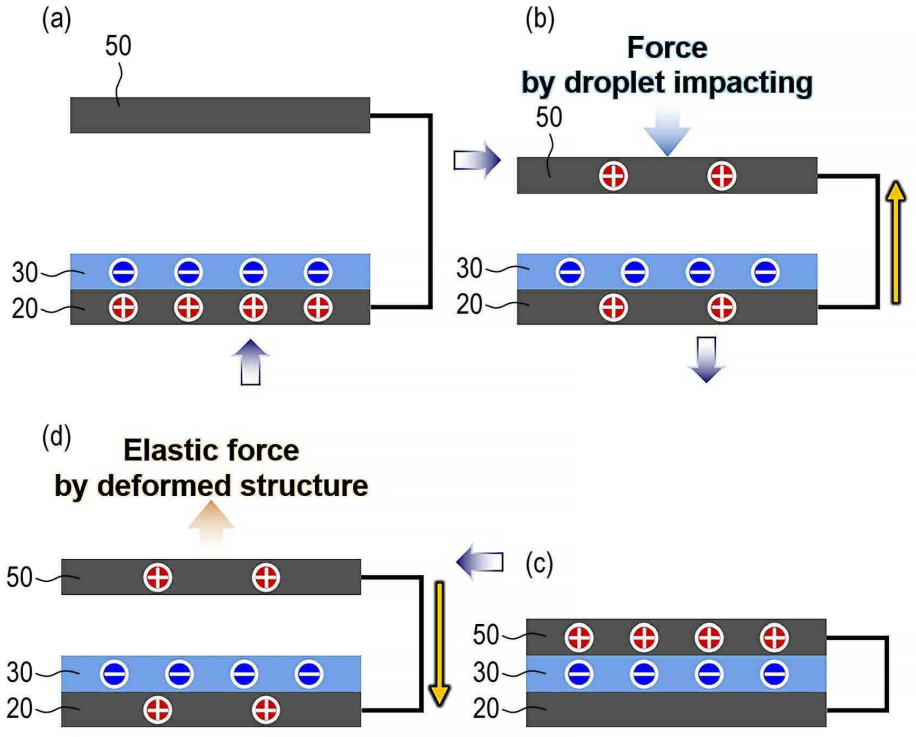
도면9


y
z
x
y
z
Release prestrain
Normalized y-directional displacement
0
1

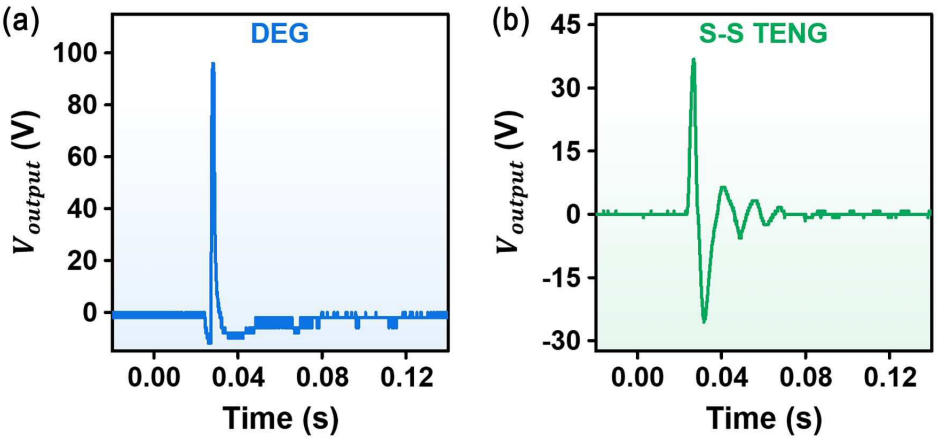
도면10


(a)
Droplet
70
60
80
(b)
70
60
80
(d)
70
60
80
(c)
70
60
80

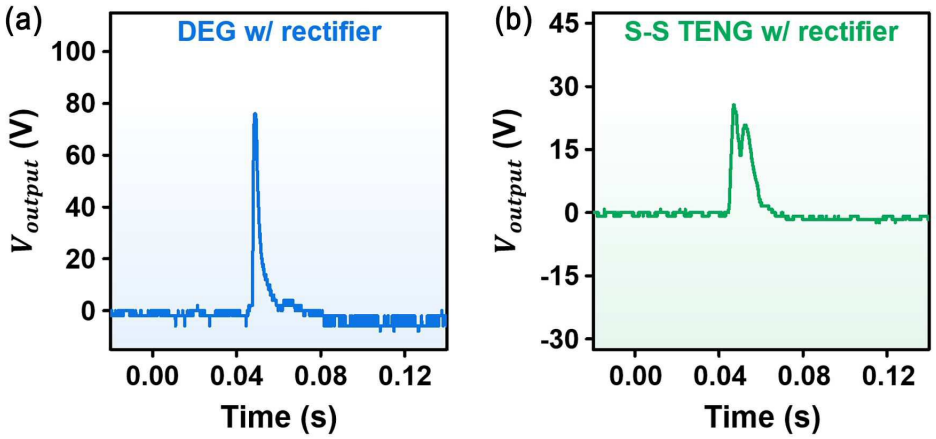
도면11


(a)
50
30
20
(b)
Force
by droplet impacting
50
30
20
(d)
Elastic force
by deformed structure
50
30
20
(c)
50
30
20

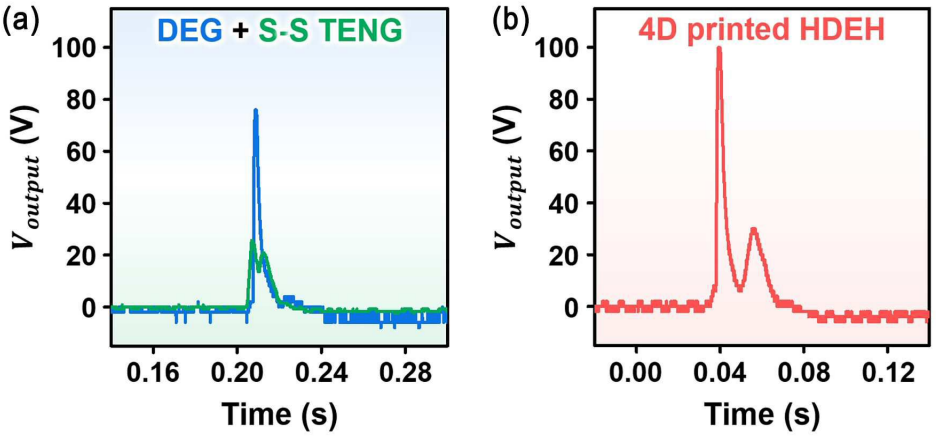
도면12



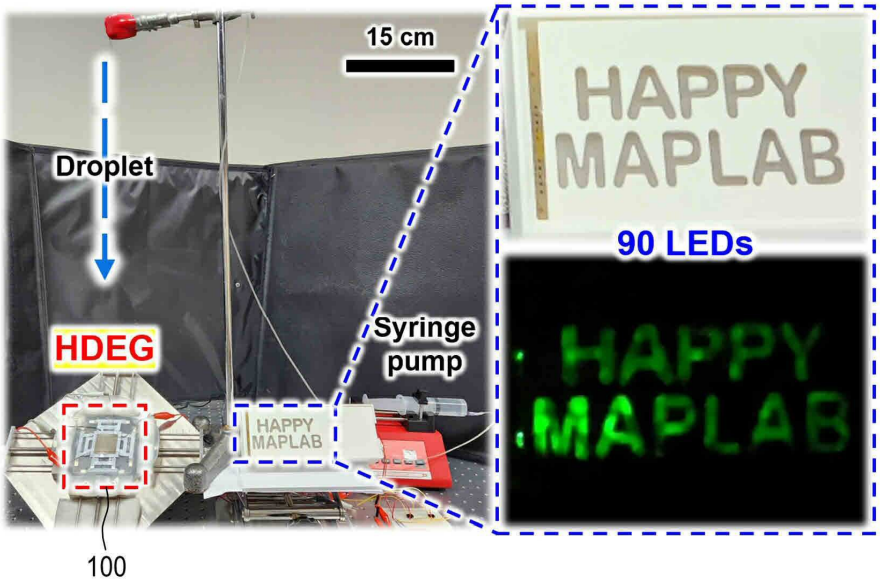
도면13



도면14



도면15


15 cm
Droplet
HDEG
Syringe pump
HAPPY MAPLAB
100
HAPPY MAPLAB
90 LEDs
HAPPY MAPLAB