(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2024년02월07일
(11) 등록번호 10-2635505
(24) 등록일자 2024년02월05일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
*H01L 27/15* (2024.01) *G06F 1/16* (2006.01)
*G09F 9/30* (2006.01) *H01L 27/12* (2006.01)
*H01L 33/44* (2010.01) *H01L 33/62* (2010.01)
(52) CPC특허분류
*H01L 27/156* (2013.01)
*G06F 1/1641* (2013.01)
(21) 출원번호 10-2022-0020353
(22) 출원일자 2022년02월16일
심사청구일자 2022년02월16일
(65) 공개번호 10-2023-0123326
(43) 공개일자 2023년08월23일
(56) 선행기술조사문헌
KR1020200012255 A*
KR1020120049951 A
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
**연세대학교 산학협력단**
서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)
(72) 발명자
**안종현**
서울시 서대문구 연세로 50(신촌동)
**이용준**
서울시 서대문구 연세로 50(신촌동)
*(뒷면에 계속)*
(74) 대리인
**특허법인우인**

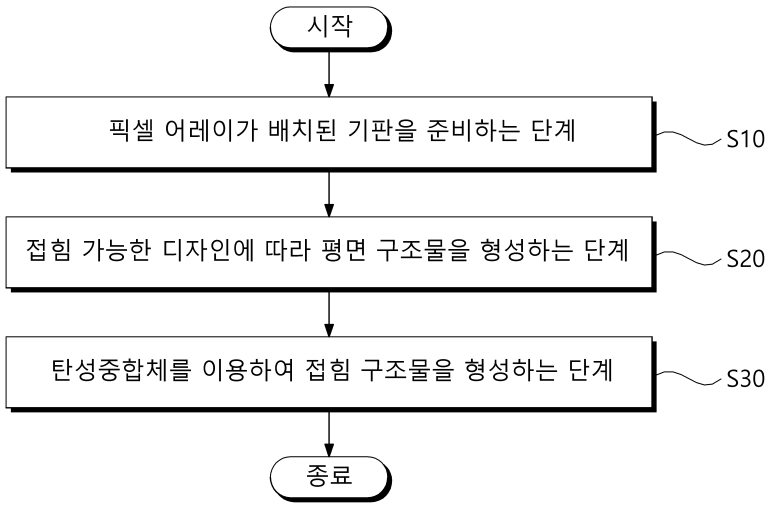
전체 청구항 수 : 총 10 항 심사관 : 황재연

(54) 발명의 명칭 **3차원 구조 기반의 신축성 디스플레이 및 그 제조 방법**

## (57) 요 약

본 실시예들은 기존 평면의 2차원 플랫폼이 아닌 상하로 LED 칩이 배열되는 3차원 구조를 이용하여 오픈 셀이 위치하는 층으로부터 아래 층에 히든 셀을 배치하는 방식을 적용하며, 접힘 모드에서 오픈 셀을 노출하고 히든 셀을 감추는 형태를 유지하다가 접힘 모드 및 펼침 모드 간에 모드 변환에 따라 전류 변화를 감지하여 히든 셀을 자동으로 턴온/턴오프하고, 펼침 모드에서 히든 셀을 활성화시켜서 적절한 해상도를 제어할 수 있는 신축성 디스플레이 및 그 제조 방법을 제공한다.

*대 표 도* - 도1



(52) CPC특허분류
*G06F 1/1652* (2013.01)
*G09F 9/301* (2013.01)
*H01L 27/1218* (2013.01)
*H01L 33/44* (2013.01)
*H01L 33/62* (2013.01)

(72) 발명자
**김범진**
서울시 서대문구 연세로 50(신촌동)
**후루힝**
서울시 서대문구 연세로 50(신촌동)
**홍주영**
서울시 서대문구 연세로 50(신촌동)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

| | |
|---|---|
| 과제고유번호 | 1711130683 |
| 과제번호 | 2015R1A3A2066337 |
| 부처명 | 과학기술정보통신부 |
| 과제관리(전문)기관명 | 한국연구재단 |
| 연구사업명 | 리더연구자지원사업 |
| 연구과제명 | 변형 제어 고성능 전자 소자 연구단(1/4, 3단계) |
| 기 여 율 | 1/1 |
| 과제수행기관명 | 연세대학교 |
| 연구기간 | 2021.04.01 ~ 2022.02.28 |

# 명 세 서

## 청구범위

### 청구항 1

제1 디스플레이 모드 또는 제2 디스플레이 모드로 동작하는 신축성 디스플레이에 있어서,

접힘 가능한 디자인에 따라 패터닝되며 픽셀 어레이가 배치된 기판;

상기 픽셀 어레이에 연결된 배선 전극;

상기 배선 전극에 형성된 탄소 고분자 화합물을 포함하는 보호부;

상기 보호부에 형성되며 빛을 처리하는 블랙 매트릭스;

상기 블랙 매트릭스에 형성되며 상기 제2 디스플레이 모드에서 접히는 부분이 접히지 않는 부분보다 얇게 형성된 두께 조절부;

상기 기판에 부착된 탄성중합체를 포함하는 신축성 디스플레이.

### 청구항 2

제1항에 있어서,

상기 신축성 디스플레이는 상기 제1 디스플레이 모드에서 평면 구조물 상태이고 상기 제2 디스플레이 모드에서 접힘 구조물 상태인 것을 특징으로 하는 신축성 디스플레이.

### 청구항 3

제2항에 있어서,

상기 기판은 다각형, 원형, 또는 이들의 조합된 형태에서 배선 경로가 지나가는 도넛 공백 구조 및 십자 연결 구조를 포함하고,

상기 기판은 (i) 상기 제1 디스플레이 모드 또는 상기 제2 디스플레이 모드에서 노출되는 오픈 영역 및 (ii) 상기 제1 디스플레이 모드에서만 노출되는 히든 영역으로 구분되는 것을 특징으로 하는 신축성 디스플레이.

### 청구항 4

제3항에 있어서,

상기 픽셀 어레이는 상기 오픈 영역에 위치하는 오픈 픽셀을 포함하고 상기 히든 영역에 위치하는 히든 픽셀을 포함하고,

상기 오픈 픽셀은 상기 제1 디스플레이 모드 또는 상기 제2 디스플레이 모드에서 활성화되고,

상기 히든 픽셀은 상기 제1 디스플레이 모드에서만 활성화되는 것을 특징으로 하는 신축성 디스플레이.

### 청구항 5

제4항에 있어서,

상기 신축성 디스플레이는 상기 제2 디스플레이 모드보다 상기 제1 디스플레이 모드에서 증가되는 면적의 비율만큼 상기 히든 픽셀을 활성화시켜서 단위 면적당 해상도를 조절하는 것을 특징으로 하는 신축성 디스플레이.

### 청구항 6

제4항에 있어서,

상기 제1 디스플레이 모드의 상기 평면 구조물 상태에서 상기 배선 전극을 통해 제1 전류값을 측정하고,

상기 제2 디스플레이 모드의 상기 접힘 구조물 상태 상태에서 상기 배선 전극을 통해 측정된 제2 전류값을 측정

하는 전류 측정부를 포함하는 것을 특징으로 하는 신축성 디스플레이.

**청구항 7**

제6항에 있어서,

(i) 상기 제1 전류값을 기준 전류값과 비교한 결과를 기준으로 생성한 제1 온오프 제어 신호, (ii) 상기 제2 전류값을 상기 기준 전류값과 비교한 결과를 기준으로 생성한 제2 온오프 제어 신호, 또는 이들이 조합된 제3 온오프 제어 신호를 상기 히든 픽셀로 전송하는 제어부를 포함하는 것을 특징으로 하는 신축성 디스플레이.

**청구항 8**

제7항에 있어서,

상기 히든 픽셀은 상기 제1 온오프 제어 신호, 상기 제2 온오프 제어 신호, 또는 상기 제3 온오프 제어 신호에 따라 턴온 또는 턴오프되는 것을 특징으로 하는 신축성 디스플레이.

**청구항 9**

제3항에 있어서,

상기 신축성 디스플레이는 상기 제1 디스플레이 모드, 상기 제2 디스플레이 모드, 제3 디스플레이 모드 간에 변환 가능하며,

상기 기판은 (i) 상기 제1 디스플레이 모드, 상기 제2 디스플레이 모드, 상기 제3 디스플레이 모드에서 노출되는 상기 오픈 영역, (ii) 상기 제1 디스플레이 모드, 상기 제2 디스플레이 모드에서 노출되는 제2 히든 영역, (iii) 상기 제1 디스플레이 모드에서만 노출되는 제1 히든 영역으로 구분되는 것을 특징으로 하는 신축성 디스플레이.

**청구항 10**

제9항에 있어서,

상기 픽셀 어레이는 상기 오픈 영역에 위치하는 오픈 픽셀을 포함하고 상기 제1 히든 영역에 위치하는 제1 히든 픽셀을 포함하고 상기 제2 히든 영역에 위치하는 제2 히든 픽셀을 포함하고,

상기 오픈 픽셀은 상기 제1 디스플레이 모드, 상기 제2 디스플레이 모드, 또는 상기 제3 디스플레이 모드에서 활성화되고,

상기 제1 히든 픽셀은 상기 제1 디스플레이 모드에서만 활성화되고,

상기 제2 히든 픽셀은 상기 제1 디스플레이 모드 또는 상기 제2 디스플레이 모드에서 활성화되는 것을 특징으로 하는 신축성 디스플레이.

**청구항 11**

삭제

**청구항 12**

삭제

**청구항 13**

삭제

**청구항 14**

삭제

**청구항 15**

삭제

**청구항 16**

삭제

**청구항 17**

삭제

**청구항 18**

삭제

**청구항 19**

삭제

**청구항 20**

삭제

## 발명의 설명

### 기 술 분 야

[0001] 본 발명이 속하는 기술 분야는 신축성 디스플레이 및 그 제조 방법에 관한 것이다.

### 배 경 기 술

[0002] 이 부분에 기술된 내용은 단순히 본 실시예에 대한 배경 정보를 제공할 뿐 종래기술을 구성하는 것은 아니다.

[0003] 최근 디스플레이 관련 기술의 발달과 함께, 접거나 롤(Roll) 형상으로 말거나 적어도 한 방향으로 신축성이 있는 변형 가능한 디스플레이 장치들이 연구 및 개발되고 있다.

[0004] 사용 단계에서 변형 가능한 디스플레이 장치 중에서 기판 위에 셀 사이에 늘어날 수 있는 평면 패턴을 형성하는 방식은 평면 패턴이 늘어남에 따라 셀 간의 거리가 멀어지고 해상도가 떨어지게 된다. 여기서 해상도는 단위 면적에 따른 픽셀의 수를 의미하며, 디스플레이가 신축 후 신축 전에 비해 제공하는 이미지 또는 영상의 품질이 떨어지는 문제가 있다.

### 선행기술문헌

#### 특허문헌

[0005] (특허문헌 0001) 한국공개특허공보 제10-2016-0113872호 (2016.10.04)

(특허문헌 0002) 한국등록특허공보 제10-1937369호 (2019.01.04)

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

[0006] 본 발명의 실시예들은 기존 평면의 2차원 플랫폼이 아닌 상하로 LED 칩이 배열되는 변형(Morphable) 3차원 구조를 이용하여 오픈 셀이 위치하는 층의 아래 층(N번째 아래 층)에 히든 셀을 배치하는 방식을 적용하며, 접힘 모드에서 오픈 셀을 노출하고 히든 셀을 감추는 형태를 유지하다가 접힘 모드 및 펼침 모드 간에 모드 변환에 따라 전류 변화를 감지하여 히든 셀을 자동으로 턴온/턴오프하고, 펼침 모드에서 히든 셀을 활성화시켜서 적절한 해상도를 제어하는데 주된 목적이 있다.

[0007] 본 발명의 명시되지 않은 또 다른 목적들은 하기의 상세한 설명 및 그 효과로부터 용이하게 추론할 수 있는 범위 내에서 추가적으로 고려될 수 있다.

## 과제의 해결 수단

[0008] 본 실시예의 일 측면에 의하면, 제1 디스플레이 모드 또는 제2 디스플레이 모드로 동작하는 신축성 디스플레이에 있어서, 접힘 가능한 디자인에 따라 패터닝되며 픽셀 어레이가 배치된 기판; 상기 픽셀 어레이에 연결된 배선 전극; 상기 배선 전극에 형성된 탄소 고분자 화합물을 포함하는 보호부; 상기 보호부에 형성되며 빛을 처리하는 블랙 매트릭스; 상기 블랙 매트릭스에 형성되며 상기 제2 디스플레이 모드에서 접히는 부분이 접히지 않는 부분보다 얇게 형성된 두께 조절부; 상기 기판에 부착된 탄성중합체를 포함하는 신축성 디스플레이를 제공한다.

[0009] 상기 신축성 디스플레이는 상기 제1 디스플레이 모드에서 평면 구조물 상태이고 상기 제2 디스플레이 모드에서 접힘 구조물 상태일 수 있다.

[0010] 상기 기판은 다각형, 원형, 또는 이들의 조합된 형태에서 배선 경로가 지나가는 도넛 공백 구조 및 십자 연결 구조를 포함할 수 있다.

[0011] 상기 기판은 (i) 상기 제1 디스플레이 모드 또는 상기 제2 디스플레이 모드에서 노출되는 오픈 영역 및 (ii) 상기 제1 디스플레이 모드에서만 노출되는 히든 영역으로 구분될 수 있다.

[0012] 상기 픽셀 어레이는 상기 오픈 영역에 위치하는 오픈 픽셀을 포함하고 상기 히든 영역에 위치하는 히든 픽셀을 포함하고, 상기 오픈 픽셀은 상기 제1 디스플레이 모드 또는 상기 제2 디스플레이 모드에서 활성화되고, 상기 히든 픽셀은 상기 제1 디스플레이 모드에서만 활성화될 수 있다.

[0013] 상기 신축성 디스플레이는 상기 제2 디스플레이 모드보다 상기 제1 디스플레이 모드에서 증가되는 면적의 비율만큼 상기 히든 픽셀을 활성화시켜서 단위 면적당 해상도를 조절할 수 있다.

[0014] 상기 신축성 디스플레이는 상기 제1 디스플레이 모드의 상기 평면 구조물 상태에서 상기 배선 전극을 통해 제1 전류값을 측정하고, 상기 제2 디스플레이 모드의 상기 접힘 구조물 상태 상태에서 상기 배선 전극을 통해 측정된 제2 전류값을 측정하는 전류 측정부를 포함할 수 있다.

[0015] 상기 신축성 디스플레이는 (i) 상기 제1 전류값을 기준 전류값과 비교한 결과를 기준으로 생성한 제1 온오프 제어 신호, (ii) 상기 제2 전류값을 상기 기준 전류값과 비교한 결과를 기준으로 생성한 제2 온오프 제어 신호, 또는 이들이 조합된 제3 온오프 제어 신호를 상기 히든 픽셀로 전송하는 제어부를 포함할 수 있다.

[0016] 상기 히든 픽셀은 상기 제1 온오프 제어 신호, 상기 제2 온오프 제어 신호, 또는 상기 제3 온오프 제어 신호에 따라 턴온 또는 턴오프될 수 있다.

[0017] 상기 신축성 디스플레이는 상기 제1 디스플레이 모드, 상기 제2 디스플레이 모드, 제3 디스플레이 모드 간에 변환 가능하다.

[0018] 상기 기판은 (i) 상기 제1 디스플레이 모드, 상기 제2 디스플레이 모드, 상기 제3 디스플레이 모드에서 노출되는 오픈 영역, (ii) 상기 제1 디스플레이 모드, 상기 제2 디스플레이 모드에서 노출되는 제2 히든 영역, (iii) 상기 제1 디스플레이 모드에서만 노출되는 제1 히든 영역으로 구분될 수 있다.

[0019] 상기 픽셀 어레이는 상기 오픈 영역에 위치하는 오픈 픽셀을 포함하고 상기 제1 히든 영역에 위치하는 제1 히든 픽셀을 포함하고 상기 제2 히든 영역에 위치하는 제2 히든 픽셀을 포함할 수 있다.

[0020] 상기 오픈 픽셀은 상기 제1 디스플레이 모드, 상기 제2 디스플레이 모드, 또는 상기 제3 디스플레이 모드에서 활성화되고, 상기 제1 히든 픽셀은 상기 제1 디스플레이 모드에서만 활성화되고, 상기 제2 히든 픽셀은 상기 제1 디스플레이 모드 또는 상기 제2 디스플레이 모드에서 활성화될 수 있다.

[0021] 본 실시예의 다른 측면에 의하면, 신축성 디스플레이 제조 방법에 있어서, 픽셀 어레이가 배치된 기판을 준비하는 단계; 상기 픽셀 어레이가 배치된 기판을 접힘 가능한 디자인에 따라 패터닝하고 배선 전극을 연결하여 제1 디스플레이 모드에서 동작하는 평면 구조물을 형성하는 단계; 상기 평면 구조물에 탄성중합체를 부착하여 제2 디스플레이 모드에서 동작하는 접힘 구조물을 형성하는 단계를 포함하는 신축성 디스플레이 제조 방법을 제공한다.

[0022] 상기 접힘 가능한 디자인은 다각형, 원형, 또는 이들의 조합된 형태에서 배선 경로가 지나가는 도넛 공백 구조 및 십자 연결 구조를 포함하고, 상기 기판은 오픈 영역 및 히든 영역으로 구분될 수 있다.

[0023] 상기 평면 구조물을 형성하는 단계는 상기 픽셀 어레이에 상기 배선 전극을 연결하는 단계를 포함할 수 있다.

[0024] 상기 평면 구조물을 형성하는 단계는 상기 배선 전극에 탄소 고분자 화합물을 포함하는 보호부를 형성하는 단계를 포함할 수 있다.

[0025] 상기 평면 구조물을 형성하는 단계는 상기 보호부에 빛을 처리하는 블랙 매트릭스를 형성하는 단계를 포함할 수 있다.

[0026] 상기 평면 구조물을 형성하는 단계는 상기 블랙 매트릭스에 상기 제2 디스플레이 모드에서 접히는 부분이 접히지 않는 부분보다 얇게 형성된 두께 조절부를 형성하는 단계를 포함할 수 있다.

[0027] 상기 평면 구조물을 형성하는 단계는 상기 두께 조절부에 상기 탄성중합체와 붙지 않도록 접촉 방지부를 형성하는 단계를 포함할 수 있다.

[0028] 상기 접힘 구조물을 형성하는 단계는 상기 접촉 방지부를 포함하는 평면 구조물에 수용성 테이프를 부착하는 단계; 상기 평면 구조물의 표면 및 상기 탄성중합체의 표면을 UVO(UltraViolet Ozone) 처리하는 단계를 포함할 수 있다.

[0029] 상기 접힘 구조물을 형성하는 단계는 상기 표면 처리된 탄성중합체를 미리 설정된 크기까지 늘리는 단계; 상기 늘어난 탄성중합체를 상기 표면 처리된 평면 구조물에 접착시켜서 상기 수용성 테이프 및 상기 탄성중합체 사이에 상기 평면 구조물이 위치하는 샌드위치 구조로 형성되는 단계를 포함할 수 있다.

[0030] 상기 접힘 구조물을 형성하는 단계는 상기 수용성 테이프를 제거하고, 상기 접촉 방지부를 제거하는 단계; 상기 늘어난 탄성중합체가 원래 크기로 수축하여 상기 평면 구조물이 상기 접힘 구조물로 변하는 단계를 포함할 수 있다.

## 발명의 효과

[0031] 이상에서 설명한 바와 같이 본 발명의 실시예들에 의하면, 접힘 모드에서 오픈 셀을 노출하고 히든 셀을 감추는 형태를 유지하다가 접힘 모드 및 펼침 모드 간에 모드 변환에 따라 전류 변화를 감지하여 히든 셀을 자동으로 턴온/턴오프하고, 펼침 모드에서 히든 셀을 활성화시켜서 적절한 해상도를 제어할 수 있고, 늘어난 면적에서도 동일하거나 일정 범위 내의 해상도를 유지할 수 있는 효과가 있다.

[0032] 여기에서 명시적으로 언급되지 않은 효과라 하더라도, 본 발명의 기술적 특징에 의해 기대되는 이하의 명세서에서 기재된 효과 및 그 잠정적인 효과는 본 발명의 명세서에 기재된 것과 같이 취급된다.

## 도면의 간단한 설명

[0033] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 신축성 디스플레이 제조 방법을 예시한 흐름도이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 신축성 디스플레이 제조 방법에서 평면 구조물을 형성하는 단계를 예시한 흐름도이다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 신축성 디스플레이 제조 방법에서 접힘 구조물을 형성하는 단계를 예시한 흐름도이다.

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 신축성 디스플레이 제조 방법을 예시한 도면이다.

도 5는 본 발명의 다른 실시예에 따른 신축성 디스플레이를 예시한 도면이다.

도 6은 본 발명의 다른 실시예에 따른 신축성 디스플레이에 적용될 수 있는 GaN LED의 층구조, 크기, 광학 특성을 예시한 도면이다.

도 7은 본 발명의 다른 실시예에 따른 신축성 디스플레이의 색상 구현을 예시한 도면이다.

도 8 내지 도 10는 본 발명의 다른 실시예에 따른 신축성 디스플레이의 픽셀 및 배선 경로를 예시한 도면이다.

도 11 및 도 12은 본 발명의 다른 실시예에 따른 신축성 디스플레이의 2단 구조를 예시한 도면이다.

도 13 및 도 14는 본 발명의 다른 실시예에 따른 신축성 디스플레이의 3단 구조를 예시한 도면이다.

도 15 내지 도 18은 본 발명의 다른 실시예에 따른 신축성 디스플레이의 접힘 과정에서 기계적 특성을 예시한 도면이다.

도 19는 본 발명의 다른 실시예에 따른 신축성 디스플레이의 접힘 과정에서 전기적 특성을 예시한 도면이다.

도 20은 본 발명의 다른 실시예에 따른 신축성 디스플레이의 펼침 상태에서 배열 위치별 전기적 특성을 예시한 도면이다.

도 21 및 도 22는 본 발명의 다른 실시예에 따른 신축성 디스플레이의 구조 변환시 전기적 특성을 예시한 도면이다.

도 23 내지 도 26은 본 발명의 다른 실시예에 따른 신축성 디스플레이의 구조 변환시 광학적 특성을 예시한 도면이다.

도 27은 본 발명의 다른 실시예에 따른 신축성 디스플레이가 모드를 변경하는 방식을 예시한 도면이다.

도 28은 본 발명의 다른 실시예에 따른 신축성 디스플레이의 피드백 시스템을 예시한 도면이다.

도 29는 본 발명의 다른 실시예에 따른 신축성 디스플레이의 구조 변환시 전류 변화를 예시한 도면이다.

도 30은 본 발명의 다른 실시예에 따른 신축성 디스플레이의 제1 디스플레이 모드 및 제2 디스플레이 모드에서 히든 픽셀의 동작을 예시한 도면이다.

도 31은 본 발명의 다른 실시예에 따른 신축성 디스플레이의 픽셀 오프 상태에서 복수의 축 방향으로 구조 변환하는 것을 예시한 도면이다.

도 32는 본 발명의 다른 실시예에 따른 신축성 디스플레이의 픽셀 온 상태에서 하나의 축 방향으로 구조 변환한 것을 예시한 도면이다.

도 33은 본 발명의 다른 실시예에 따른 신축성 디스플레이의 픽셀의 다양한 온/오프 상태 조합을 예시한 도면이다.

## *발명을 실시하기 위한 구체적인 내용*

[0034] 이하, 본 발명을 설명함에 있어서 관련된 공지기능에 대하여 이 분야의 기술자에게 자명한 사항으로서 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명을 생략하고, 본 발명의 일부 실시예들을 예시적인 도면을 통해 상세하게 설명한다.

[0035] 탄성중합체(elastomer)를 기판으로 한 3차원 입체구조를 가진 소자는 신축성을 가지게 되어 외력에 의해 늘어나고 돌아갈 수 있는 성질을 가진다.

[0036] 본 실시예는 탄성중합체의 성질을 이용하여 늘어난 상태에서도 해상도를 유지하는 디스플레이 소자 및 제조 기술에 관한 것이다.

[0037] 웨이퍼 기판 위에서 디스플레이 소자를 제작하고 두께 조절과 포토리소그래피 기술이 가능한 재료를 이용하여 3차원 구조체를 형성한다. 두께 조절을 이용하여 3차원 구조체가 형성될 수 있도록 접히는 부분과 접히지 않는 부분을 구성한다.

[0038] 3차원 구조를 가진 디스플레이의 접힘 상태(제2 디스플레이 모드)에서 숨어있는 셀(hidden pixel)과 켜져 있는 셀을 동시에 포함하고 있으며, 늘어나게 되는 펼침 상태(제1 디스플레이 모드)에서 히든 픽셀이 켜지면서 기존의 해상도를 유지할 수 있다.

[0039] 3차원 구조 디스플레이의 히든 픽셀은 자동으로 켜지고 꺼지게 동작할 수 있도록 구현한다. 당기기 전 3차원 접힘 구조와 당겨진 후 평면 구조에서 가해진 전압에 따른 전류의 차이가 발생하는데 이러한 차이를 이용한 피드백 방식을 이용한다. 측정된 특정 전류 값을 기준으로 히든 픽셀이 켜지고 꺼지도록 한다.

[0040] 3차원 구조를 적용한 히든 픽셀 방식은 동일한 평면 위에 히든 픽셀을 배치하는 것이 아니므로 초기의 해상도에 제한이 없으며 늘어나도 초기의 해상도를 유지할 수 있다.

[0041] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 신축성 디스플레이 제조 방법을 예시한 흐름도이다.

[0042] 신축성 디스플레이 제조 방법은 픽셀 어레이가 배치된 기판을 준비하는 단계(S10), 픽셀 어레이가 배치된 기판을 접힘 가능한 디자인에 따라 패터닝하고 배선 전극을 연결하여 제1 디스플레이 모드에서 동작하는 평면 구조물을 형성하는 단계(S20), 평면 구조물에 탄성중합체를 부착하여 제2 디스플레이 모드에서 동작하는 접힘 구조물을 형성하는 단계(S30)를 포함한다.

[0043] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 신축성 디스플레이 제조 방법에서 평면 구조물을 형성하는 단계를 예시한 흐름도이다.

[0044] 평면 구조물을 형성하는 단계(S20)은 픽셀 어레이에 배선 전극을 연결하는 단계(S21)를 포함한다.

[0045] 평면 구조물을 형성하는 단계(S20)은 배선 전극에 탄소 고분자 화합물을 포함하는 보호부를 형성하는 단계(S22)를 포함한다. 보호부는 배선 전극의 일부 또는 전부를 덮거나, 다른 구성의 일부도 덮을 수 있다.

[0046] 평면 구조물을 형성하는 단계(S20)은 보호부에 빛을 처리하는 블랙 매트릭스를 형성하는 단계(S23)를 포한다. 블랙 매트릭스는 보호부의 일부 또는 전부를 덮거나, 다른 구성의 일부도 덮을 수 있다.

[0047] 평면 구조물을 형성하는 단계(S20)은 블랙 매트릭스에 제2 디스플레이 모드에서 접히는 부분이 접히지 않는 부분보다 얇게 형성된 두께 조절부를 형성하는 단계(S24)를 포함한다. 두께 조절부는 블랙 매트릭스의 일부 또는 전부를 덮거나, 다른 구성의 일부도 덮을 수 있다.

[0048] 평면 구조물을 형성하는 단계(S20)은 두께 조절부에 탄성중합체와 붙지 않도록 접촉 방지부를 형성하는 단계(S25)를 포함한다. 접촉 방지부는 두께 조절부의 일부 또는 전부를 덮거나, 다른 구성의 일부도 덮을 수 있다.

[0049] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 신축성 디스플레이 제조 방법에서 접힘 구조물을 형성하는 단계를 예시한 흐름도이다.

[0050] 접힘 구조물을 형성하는 단계(S30)는 접촉 방지부를 포함하는 평면 구조물에 수용성 테이프를 부착하는 단계(S31)를 포함할 수 있다.

[0051] 접힘 구조물을 형성하는 단계(S30)는 평면 구조물의 표면 및 탄성중합체의 표면을 UVO(UltraViolet Ozone) 처리하는 단계(S32)를 포함할 수 있다.

[0052] 접힘 구조물을 형성하는 단계(S30)는 표면 처리된 탄성중합체를 미리 설정된 크기까지 늘리는 단계(S33)를 포함할 수 있다.

[0053] 접힘 구조물을 형성하는 단계(S30)는 늘어난 탄성중합체를 표면 처리된 평면 구조물에 접착시켜서 수용성 테이프 및 탄성중합체 사이에 평면 구조물이 위치하는 샌드위치 구조로 형성되는 단계(S34)를 포함할 수 있다.

[0054] 접힘 구조물을 형성하는 단계(S30)는 수용성 테이프를 제거하고 접촉 방지부를 제거하는 단계(S35)를 포함할 수 있다.

[0055] 접힘 구조물을 형성하는 단계(S30)는 늘어난 탄성중합체가 원래 크기로 수축하여 평면 구조물이 접힘 구조물로 변하는 단계(S36)를 포함할 수 있다.

[0056] 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 신축성 디스플레이 제조 방법을 예시한 도면이다. 도 4에서 예시된 물질은 유사한 특성을 지닌 다른 물질로 치환될 수 있다.

[0057] 무기물 LED (GaN, GaAs)를 모기판으로부터 분리하여 핸들링(handling) 기판으로 전사한다. 핸들링 기판에서 최종 목표로 하는 3차원 구조가 될 수 있는 2차원 프리커서 디자인 및 배선들을 구성한다. 접힘 가능한 디자인은 다각형, 원형, 또는 이들의 조합된 형태에서 배선 경로가 지나가는 도넛 공백 구조 및 십자 연결 구조를 포함할 수 있다. 기판은 오픈 영역 및 히든 영역으로 구분될 수 있다.

[0058] SU8 등의 포토리소그래피(photolithography) 가능한 물질로 형성되는 디스플레이 장치(device)의 위치에 따른 두께를 조절한다. 접혀야 하는 부분(hinge)의 경우 접히지 않는 부분에 대하여 상대적으로 얇게 하여 스트레인(strain)이 가해졌을 때 접힐 수 있게 한다.

[0059] 탄성중합체(elastomer)에 접착하였을 때, 최종적으로 탄성중합체와 붙지 않는 부분에는 PR(Photoresist)로 막아놓고 최종적으로 제거하고 입체 구조가 될 수 있도록 한다.

[0060] $Si/SiO_2$ 웨이퍼 위에 디스플레이 장치(device)를 제작 후 $SiO_2$를 BOE(Buffered Oxide Etch)와 HF 물질을 이용하여 제거한다. PDMS 스탬프(stamp)를 이용하여 장치를 웨이퍼에서 떼어내어 PDMS 위로 전사시킨다.

[0061] PDMS/device 위에 PVA 테이프 등의 수용성 테이프를 접착시키고 떼어 내어 장치를 PVA 테이프 위로 전사시킨다.

[0062] 전사된 PVA 테이프/장치 표면과 탄성중합체의 표면에 UVO 처리를 하여 표면 접착 에너지를 올린다. 이 후 탄성중합체(elastomer)를 늘리고 늘어난 탄성중합체 위에 PVA 테이프/장치를 접착시킨다.

[0063] 물을 이용하여 PVA 테이프를 제거하고 탄성중합체와 붙지 않도록 지정해 놓은 PR을 제거한다. 늘어난 탄성중합체는 다시 원상 복귀한다. 이 때 탄성중합체의 수축에 의하여 디자인에 따른 두께 조절부의 접힘 구조를 기반으로 3D(입체) 구조의 모양이 형성된다.

[0064] 도 5는 본 발명의 다른 실시예에 따른 신축성 디스플레이를 예시한 도면이다.

[0065] 신축성 디스플레이(10)는 제1 디스플레이 모드(펼침 모드) 또는 제2 디스플레이 모드(접힘 모드)로 동작한다. 신축성 디스플레이는 제1 디스플레이 모드(펼침 모드)에서 평면 구조물 상태이고 제2 디스플레이 모드(접힘 모드)에서 접힘 구조물 상태이다.

[0066] 신축성 디스플레이(10)는 디스플레이부(100), 전류 측정부(200), 제어부(300)를 포함할 수 있다.

[0067] 디스플레이부(100)는 픽셀 어레이가 배치된 기판(110), 배선 전극(120), 보호부(130), 블랙 매트릭스(140), 두께 조절부(150), 탄성중합체(160)를 포함할 수 있다.

[0068] 픽셀 어레이가 배치된 기판(110)은 접힘 가능한 디자인에 따라 패터닝된다. 접힘 가능한 디자인은 다각형, 원형, 또는 이들의 조합된 형태에서 배선 경로가 지나가는 도넛 공백 구조 및 십자 연결 구조를 포함한다.

[0069] 디자인에 따라 기판은 다각형, 원형, 또는 이들의 조합된 형태에서 배선 경로가 지나가는 도넛 공백 구조 및 십자 연결 구조를 포함한다. 기판은 오픈 영역 및 히든 영역으로 구분된다. 오픈 영역은 제1 디스플레이 모드 또는 제2 디스플레이 모드에서 노출되고, 히든 영역은 제1 디스플레이 모드에서만 노출된다.

[0070] 픽셀 어레이는 오픈 영역에 위치하는 오픈 픽셀을 포함하고 히든 영역에 위치하는 히든 픽셀을 포함한다. 오픈 픽셀은 제1 디스플레이 모드 또는 제2 디스플레이 모드에서 활성화되고, 히든 픽셀은 제1 디스플레이 모드에서만 활성화된다.

[0071] 배선 전극(120)은 픽셀 어레이에 연결된다. 배선 전극(120)은 스캔 라인, 데이터 라인 등을 포함한다.

[0072] 보호부(130)는 배선 전극에 형성되며 탄소 고분자 화합물을 포함할 수 있다. 탄소 고분자 화합물의 예시로는 그래핀(Graphene) 등이 있다.

[0073] 블랙 매트릭스(140)는 보호부에 형성되며 빛을 처리한다. 빛을 차단 또는 흡수하는 기능을 수행할 수 있다.

[0074] 두께 조절부(150)는 블랙 매트릭스에 형성되며 제2 디스플레이 모드에서 접히는 부분이 접히지 않는 부분보다 얇게 형성된다. 두께 조절부(150)는 파인 홈, 힌지 등과 같은 관절 구조를 포함할 수 있다. 두께 조절부로 포토리소그래피 가능한 물질이 적용될 수 있다. 포토리소그래피 가능한 물질은 빛에 노출된 부분만 사라지는 포지티브 물질, 반대로 노출된 부분이 남아 있는 네거티브 물질 등이 적용될 수 있으며, 예시로는 SU8 등이 적용될 수 있다.

[0075] 탄성중합체(160)는 기판에 부착된다.

[0076] 도 6은 본 발명의 다른 실시예에 따른 신축성 디스플레이에 적용될 수 있는 GaN LED의 층구조, 크기, 광학 특성을 예시한 도면이다.

[0077] 한 쌍의 지지 앵커를 갖는 LED 어레이(예컨대, 200 μm X 200 μm)가 GaN-on-Si 에피택셜(epitaxial) 웨이퍼에 세팅된다. Si 기판은 패터닝된 GaN 웨이퍼를 수산화칼륨(KOH) 용액에 침지하여 1시간 동안 에칭된다. 그런 다음 부유 GaN LED가 있는 GaN 웨이퍼를 탈이온수(DI)로 헹구어 세척한다. 폴리디메틸실록산(PDMS) 스탬프는 GaN 웨이퍼에서 GaN LED 어레이를 들어 올리는데 사용된다. 하프 소프트 베이킹된(2분 동안 65℃, 30초 동안 100℃) SU8 층(500nm)으로 코팅된 $SiO_2$/Si 웨이퍼를 준비한다. 이어서, 준비된 SU8/$SiO_2$/Si 웨이퍼에 LED 어레이가 있는 PDMS 스탬프를 부착한다. PDMS/GaN LED/SU8/$SiO_2$/Si 웨이퍼는 핫 플레이트에서 100℃에서 2분 동안 가열된다. 마지막으로 PDMS 스탬프를 제거하여 웨이퍼에 GaN LED를 생성한다.

[0078] 다른 방법으로는, GaN-on-Sapphire 웨이퍼에서는 패터닝된 GaN를 진행한다. $SiO_2$/Si 위에 점성을 가진 curing 되지 않은 폴리머 (예, SU8, Polyimide)를 코팅하고 패턴된 GaN 면에 부착한다. 이후 excimer laser (예, KrF, XeCl)를 이용하여 Sapphire 면으로 레이저를 조사하여 LLO(laser lift off) 공정을 하여 GaN LED 전사를 진행한다.

[0079] GaN LED 전사 공정은 예시일 뿐이며, 필요 설계에 따라 순서, 수치 등에 관하여 변형, 치환, 및 응용이 가능하다. LED의 유형으로 GaAS, AlGaAS, GaASP, GaP, AlGaInP, InGaN 등이 적용될 수 있으며 이에 한정되지 않고 유

사한 성질을 갖는 물질이 적용될 수 있다.

[0080] 도 7은 본 발명의 다른 실시예에 따른 신축성 디스플레이의 색상 구현을 예시한 도면이다.

[0081] GaN-LED (short wavelength)의 LED의 광원과 상부의 색변환층 (color conversion layer)을 이용하여 RGB 풀컬러 디스플레이로 확장할 수 있다.

[0082] Blue/UV 영역대의 빛을 발산하는 LED를 색변환층 (예, quantum dot)에서 에너지를 흡수하고 목표로하고자 하는 빛으로 변환하여 RGB 삼원색을 구현할 수 있다.

[0083] 도 8 내지 도 10은 본 발명의 다른 실시예에 따른 신축성 디스플레이의 픽셀 및 배선 경로를 예시한 도면이다.

[0084] 평면 구조로부터 변형될 입체 구조를 고려하여 평면 구조에서 픽셀에 연결된 배선 경로를 설계할 수 있다.

[0085] 도 11 및 도 12는 본 발명의 다른 실시예에 따른 신축성 디스플레이의 2단 구조를 예시한 도면이다. 도 13 및 도 14는 본 발명의 다른 실시예에 따른 신축성 디스플레이의 3단 구조를 예시한 도면이다.

[0086] 구조체의 단면을 보면, 하나 이상의 접힘 부분을 갖고 'Z', 'N', 'M', 'W' 등으로 지그재그로 형성될 수 있다. 2단 층구조(1단 접힘 구조), 3단 층구조(2단 접힘 구조) 등의 복수 단의 층구조로 형성될 수 있다. 2단 층구조는 제1 디스플레이 모드 또는 제2 디스플레이 모드로 변환 가능하고, 3단 층구조는 제1 디스플레이 모드, 제2 디스플레이 모드, 또는 제3 디스플레이 모드로 변환 가능하다.

[0087] 3차원 구조체의 바닥 부분 또는 접힘 부분 등에 히든 픽셀들이 배치되어 있으며, 3차원 구조체의 상부 면에 초기 픽셀(오픈 픽셀)들이 배치되어 있다. 당기기 전 초기상태에서 'z'접힘을 포함하는 3차원의 접힘 구조에서 오픈 픽셀들을 구동하고 당겨진 후 평면 구조 상태에서는 오픈 픽셀과 히든 픽셀을 동시에 구동하여 단위 면적당 해상도를 당기기 전과 후 동일한 상태를 유지할 수 있다.

[0088] 신축성 디스플레이는 제2 디스플레이 모드보다 제1 디스플레이 모드에서 증가되는 면적의 비율만큼 히든 픽셀을 활성화시켜서 단위 면적당 해상도를 조절할 수 있다.

[0089] 예컨대, 제2 디스플레이 모드(접힘 모드)에서 4x4의 오픈 픽셀이 활성화되고, 제1 디스플레이 모드(펼침 모드)에서 7x7의 픽셀이 활성화될 수 있다. 7x7의 픽셀은 4x4의 오픈 픽셀 사이에 존재하는 3+7+3+7+3+7+3 개의 히든 픽셀로 구분된다. 십자 연결 구조 간의 이음새 부분에 위치하는 3+4+3+4+3+4+3개의 히든 픽셀은 오픈 픽셀들의 가로/세로 간격의 중간에 위치한다. 배선 경로가 지나가는 도넛 공백 구조에 위치하는 3x3 히든 픽셀은 오픈 픽셀들의 대각 간격의 중간에 위치한다. 간격의 중간에 하나를 배치하거나 또는 간격의 길이에서 복수의 히든 픽셀을 균등한 거리로 배치할 수 있다.

[0090] 3단 층구조를 설명하면, 신축성 디스플레이는 제1 디스플레이 모드(펼침 모드), 제2 디스플레이 모드(중간 모드), 제3 디스플레이 모드(접힘 모드) 간에 변환 가능하다. 3단 층구조는 2단 층구조의 확장 버전으로 볼 수 있다. 신축성 디스플레이는 복수의 중간 모드를 갖는 4단 이상의 층구조로 확장 가능하다.

[0091] 기판은 (i) 제1 디스플레이 모드, 제2 디스플레이 모드, 제3 디스플레이 모드에서 노출되는 오픈 영역(지붕 영역), (ii) 제1 디스플레이 모드(펼침 모드), 제2 디스플레이(중간 모드)에서 노출되는 제2 히든 영역(하단 다리 영역), (iii) 제1 디스플레이 모드(펼침 모드)에서만 노출되는 제1 히든 영역(중간 다리 영역)으로 구분될 수 있다.

[0092] 도 15 내지 도 18은 본 발명의 다른 실시예에 따른 신축성 디스플레이의 접힘 과정에서 기계적 특성을 예시한 도면이다. 도 19는 본 발명의 다른 실시예에 따른 신축성 디스플레이의 접힘 과정에서 전기적 특성을 예시한 도면이다. 도 20은 본 발명의 다른 실시예에 따른 신축성 디스플레이의 펼침 상태에서 배열 위치별 전기적 특성을 예시한 도면이다. 도 21 및 도 22는 본 발명의 다른 실시예에 따른 신축성 디스플레이의 구조 변환시 전기적 특성을 예시한 도면이다. 도 23 내지 도 26은 본 발명의 다른 실시예에 따른 신축성 디스플레이의 구조 변환시 광학적 특성을 예시한 도면이다.

[0093] 본 실시예에 따른 신축성 디스플레이는 금속/그래핀을 이용하여 접힘 구조에서도 기계적 특성, 전기적 특성, 광학적 특성이 강인한 것을 확인할 수 있다.

[0094] 도 27은 본 발명의 다른 실시예에 따른 신축성 디스플레이가 모드를 변경하는 방식을 예시한 도면이고, 도 28은 본 발명의 다른 실시예에 따른 신축성 디스플레이의 피드백 시스템을 예시한 도면이고, 도 29는 본 발명의 다른 실시예에 따른 신축성 디스플레이의 전류 변화를 예시한 도면이다.

[0095] 신축성 디스플레이는 3차원 접힘 구조와 2차원 평면 구조에서 측정되는 전류의 차이를 이용하여 히든 픽셀을 켜고 끄는 것을 지정한다. 3차원 상태에서는 전극 부분에 스트레인이 작용하여 저항이 높아져 전류가 낮고 2차원에서 스트레인이 줄어 저항이 낮아지고 전류가 높아진다. 이를 이용하여 형태의 변화를 감지하고 히든 픽셀을 켜고 끄는 자동화 시스템으로 구축한다.

[0096] 전류 측정부는 제1 디스플레이 모드의 평면 구조물 상태에서 배선 전극을 통해 제1 전류값을 측정한다. 전류 측정부는 제2 디스플레이 모드의 접힘 구조물 상태 상태에서 배선 전극을 통해 측정된 제2 전류값을 측정한다.

[0097] 제어부는 제1 전류값을 기준 전류값과 비교하거나 제2 전류값을 기준 전류값과 비교한 결과를 기준으로 생성한 동작 제어 신호를 히든 픽셀로 전송한다. 히든 픽셀은 동작 제어 신호에 따라 턴온 또는 턴오프될 수 있다.

[0098] 제어부는 (i) 제1 전류값을 기준 전류값과 비교한 결과를 기준으로 생성한 제1 온오프 제어 신호, (ii) 제2 전류값을 상기 기준 전류값과 비교한 결과를 기준으로 생성한 제2 온오프 제어 신호, 또는 이들이 조합된 제3 온오프 제어 신호를 히든 픽셀로 전송할 수 있다. 히든 픽셀은 제1 온오프 제어 신호, 제2 온오프 제어 신호, 또는 제3 온오프 제어 신호에 따라 턴온 또는 턴오프될 수 있다.

[0099] 기준 전류값은 설계에 따라 실험적으로 적절한 값을 적용할 수 있으며, 복수의 구간을 적용할 수도 있다. 제1 전류값과 비교하는 제1 기준 전류값을 설정하고, 제2 전류값과 비교하는 제2 기준 전류값을 설정할 수도 있다.

[0100] 제어부는 신호를 히든 픽셀로 직접 전송하거나 배선 전극 등을 통해 전달할 수도 있다. 동작 제어 신호는 턴온 신호일 수 있고, 턴오프 신호일 수 있다.

[0101] 도 30은 본 발명의 다른 실시예에 따른 신축성 디스플레이의 제1 디스플레이 모드 및 제2 디스플레이 모드에서 히든 픽셀의 동작을 예시한 도면이다.

[0102] 2단 층구조를 예시한 도 30을 참조하면, 디스플레이의 구조 변화에 따른 전극 전류 변화를 이용한 히든 픽셀 구동 피드백 방식에 의한 3차원 구조 신축성 디스플레이의 해상도가 조절되는 것을 확인할 수 있다. 디스플레이의 구조 변화에 따라 오픈 픽셀들의 가로/세로 간격의 중간에 히든 픽셀이 위치하고 활성화될 수 있다. 디스플레이의 구조 변화에 따라 오픈 픽셀들의 대각 간격의 중간에 히든 픽셀이 위치하고 활성화될 수 있다.

[0103] 3단 층구조를 예로 들어 설명하면, 기판은 (i) 제1 디스플레이 모드, 제2 디스플레이 모드, 제3 디스플레이 모드에서 노출되는 오픈 영역, (ii) 제1 디스플레이 모드, 제2 디스플레이 모드에서 노출되는 제2 히든 영역, (iii) 제1 디스플레이 모드에서만 노출되는 제1 히든 영역으로 구분될 수 있다.

[0104] 픽셀 어레이는 오픈 영역에 위치하는 오픈 픽셀을 포함하고 제1 히든 영역에 위치하는 제1 히든 픽셀을 포함하고 제2 히든 영역에 위치하는 제2 히든 픽셀을 포함할 수 있다.

[0105] 오픈 픽셀은 제1 디스플레이 모드, 제2 디스플레이 모드, 또는 제3 디스플레이 모드에서 활성화되고, 제1 히든 픽셀은 제1 디스플레이 모드에서만 활성화되고, 제2 히든 픽셀은 상기 제1 디스플레이 모드 또는 제2 디스플레이 모드에서 활성화될 수 있다.

[0106] 도 31은 본 발명의 다른 실시예에 따른 신축성 디스플레이의 픽셀 오프 상태에서 복수의 축 방향으로 구조 변환하는 것을 예시한 도면이고, 도 32는 본 발명의 다른 실시예에 따른 신축성 디스플레이의 픽셀 온 상태에서 하나의 축 방향으로 구조 변환한 것을 예시한 도면이고, 도 33은 본 발명의 다른 실시예에 따른 신축성 디스플레이의 픽셀의 다양한 온/오프 상태 조합을 예시한 도면이다.

[0107] 본 실시예에 따른 디스플레이는 신축성을 확보하면서 디스플레이의 해상도 특성을 조절할 수 있다. 해당 특성으로 신축성이 요구되는 웨어러블 디스플레이 분야 등에 활용이 가능하다.

[0108] 신축성 디스플레이가 적용된 전자장치에 포함된 복수의 구성요소들은 상호 결합되어 적어도 하나의 모듈로 구현될 수 있다. 구성요소들은 장치 내부의 소프트웨어적인 모듈 또는 하드웨어적인 모듈을 연결하는 통신 경로에 연결되어 상호 간에 유기적으로 동작한다. 이러한 구성요소들은 하나 이상의 통신 버스 또는 신호선을 이용하여 통신한다.

[0109] 신축성 디스플레이가 적용된 전자장치는 하드웨어, 펌웨어, 소프트웨어 또는 이들의 조합에 의해 로직회로 내에서 구현될 수 있고, 범용 또는 특정 목적 컴퓨터를 이용하여 구현될 수도 있다. 장치는 고정배선형(Hardwired) 기기, 필드 프로그램 가능한 게이트 어레이(Field Programmable Gate Array, FPGA), 주문형 반도체(Application Specific Integrated Circuit, ASIC) 등을 이용하여 구현될 수 있다. 또한, 장치는 하나 이상의

프로세서 및 컨트롤러를 포함한 시스템온칩(System on Chip, SoC)으로 구현될 수 있다.

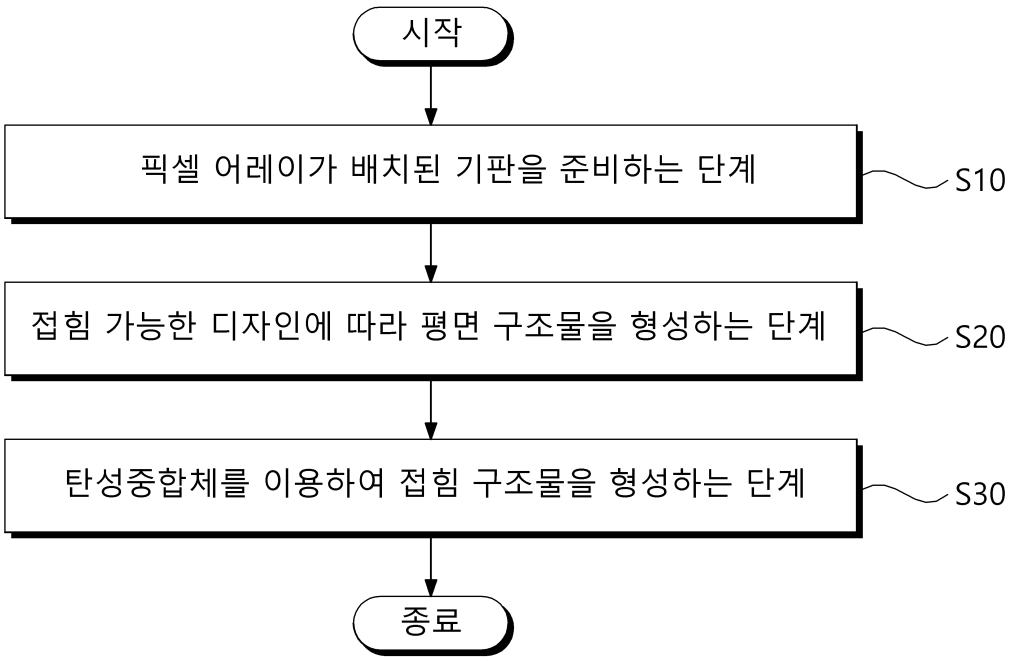
[0110] 신축성 디스플레이가 적용된 전자장치는 하드웨어적 요소가 마련된 컴퓨팅 디바이스에 소프트웨어, 하드웨어, 또는 이들의 조합하는 형태로 탑재될 수 있다. 컴퓨팅 디바이스는 각종 기기 또는 유무선 통신망과 통신을 수행하기 위한 통신 모뎀 등의 통신장치, 프로그램을 실행하기 위한 데이터를 저장하는 메모리, 프로그램을 실행하여 연산 및 명령하기 위한 마이크로프로세서 등을 전부 또는 일부 포함한 다양한 장치를 의미할 수 있다.

[0111] 도 1 내지 도 4에서는 각각의 과정을 순차적으로 실행하는 것으로 기재하고 있으나 이는 예시적으로 설명한 것에 불과하고, 이 분야의 기술자라면 본 발명의 실시예의 본질적인 특성에서 벗어나지 않는 범위에서 도 1 내지 도 4에 기재된 순서를 변경하여 실행하거나 또는 하나 이상의 과정을 병렬적으로 실행하거나 다른 과정을 추가하는 것으로 다양하게 수정 및 변형하여 적용 가능할 것이다.

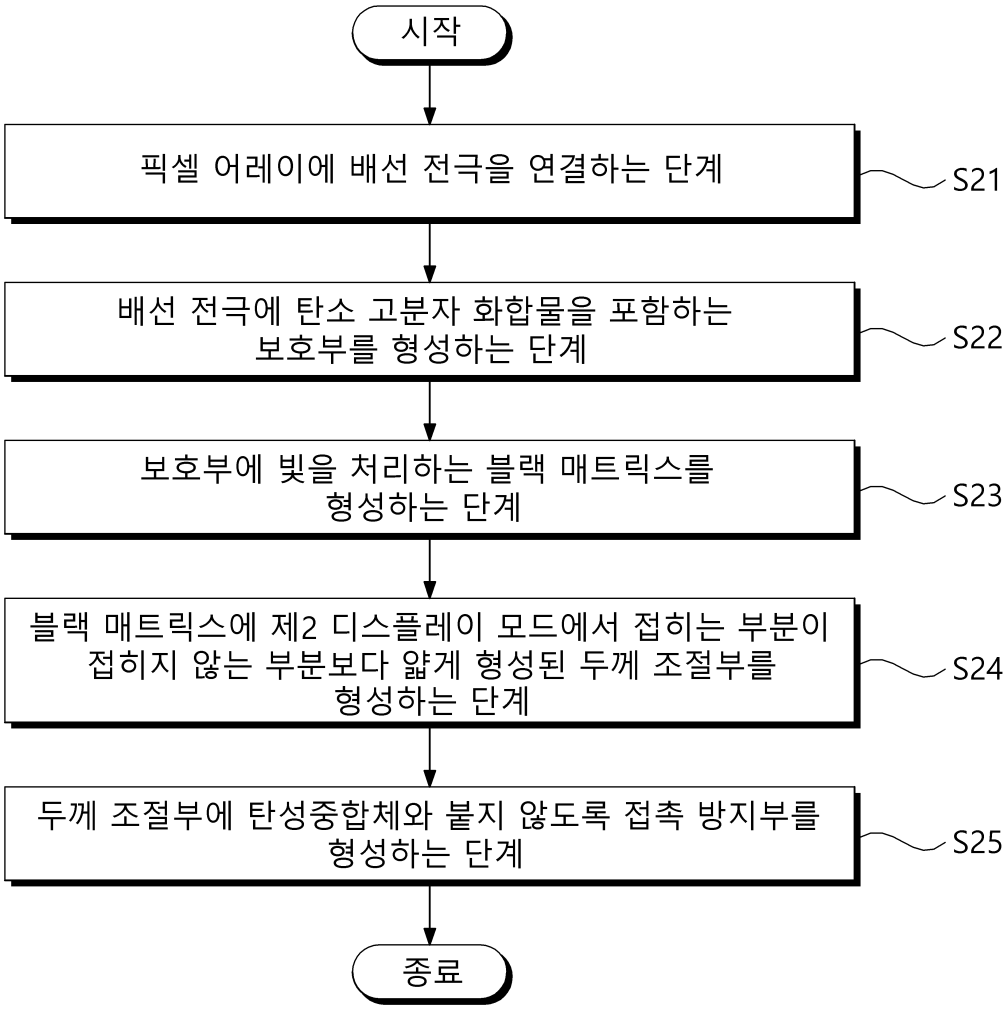
[0112] 본 실시예들은 본 실시예의 기술 사상을 설명하기 위한 것이고, 이러한 실시예에 의하여 본 실시예의 기술 사상의 범위가 한정되는 것은 아니다. 본 실시예의 보호 범위는 아래의 청구범위에 의하여 해석되어야 하며, 그와 동등한 범위 내에 있는 모든 기술 사상은 본 실시예의 권리범위에 포함되는 것으로 해석되어야 할 것이다.

## 도면

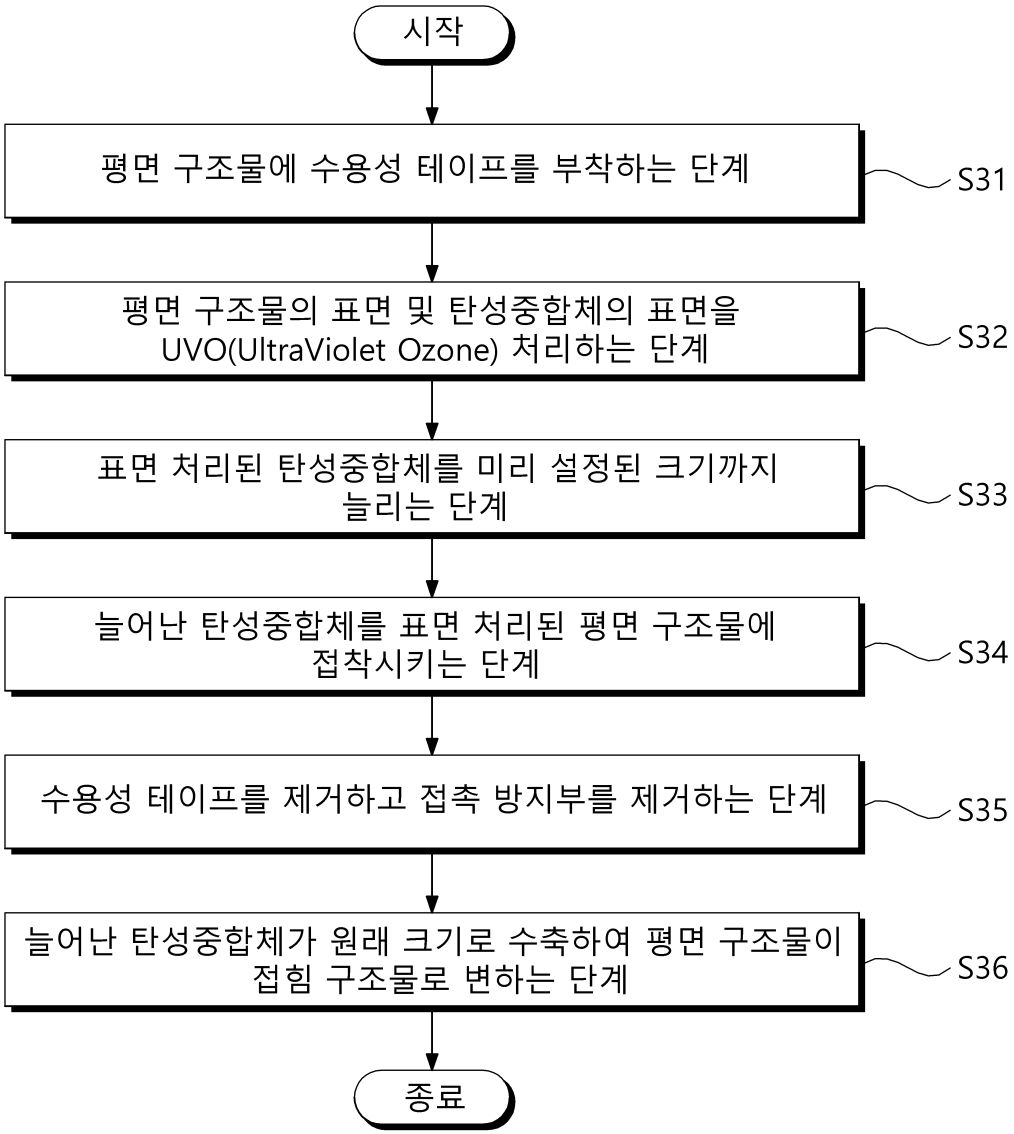
### 도면1



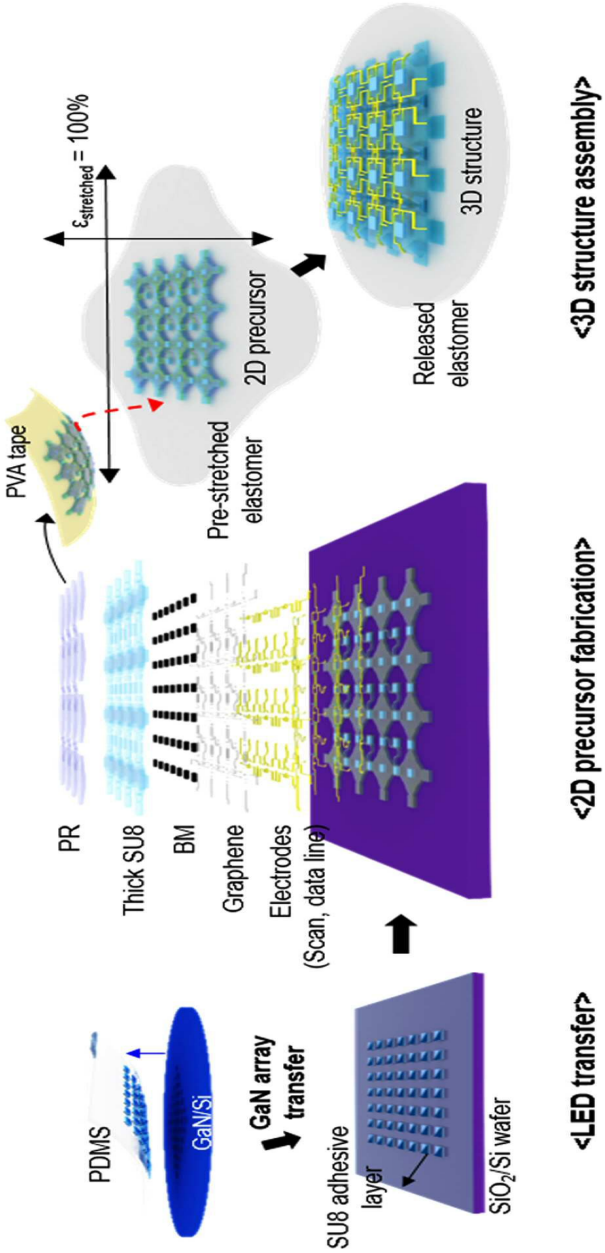
도면2


시작
픽셀 어레이에 배선 전극을 연결하는 단계
S21
배선 전극에 탄소 고분자 화합물을 포함하는 보호부를 형성하는 단계
S22
보호부에 빛을 처리하는 블랙 매트릭스를 형성하는 단계
S23
블랙 매트릭스에 제2 디스플레이 모드에서 접히는 부분이 접히지 않는 부분보다 얇게 형성된 두께 조절부를 형성하는 단계
S24
두께 조절부에 탄성중합체와 붙지 않도록 접촉 방지부를 형성하는 단계
S25
종료

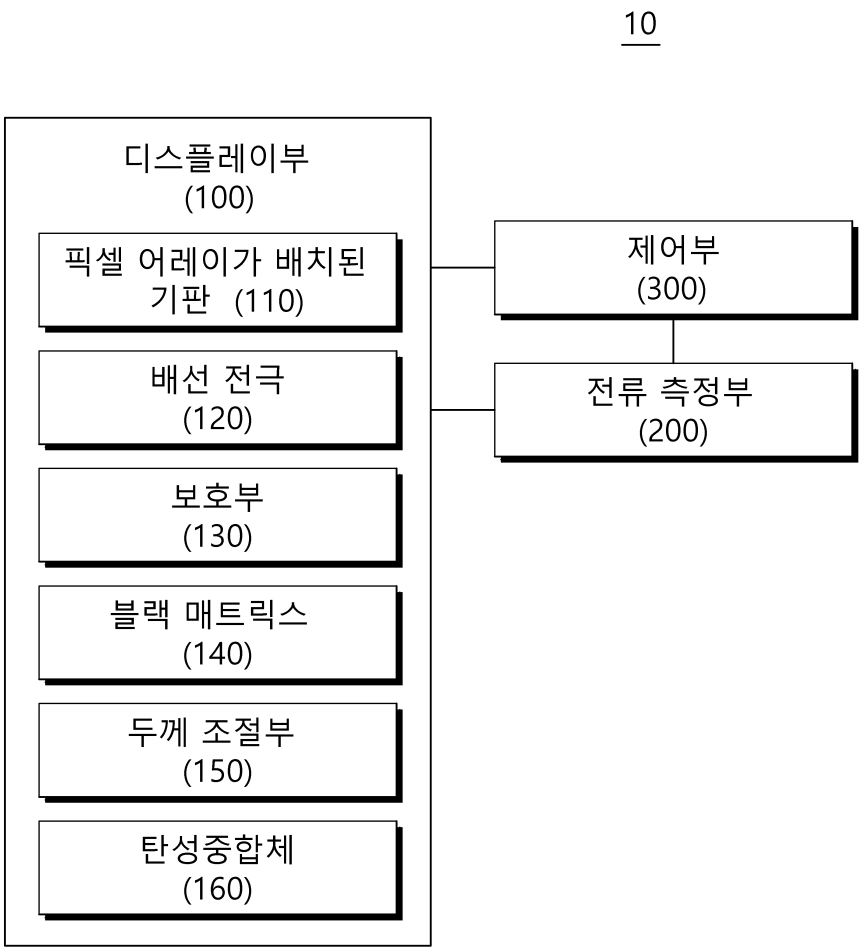
도면3


시작
평면 구조물에 수용성 테이프를 부착하는 단계
S31
평면 구조물의 표면 및 탄성중합체의 표면을 UVO(UltraViolet Ozone) 처리하는 단계
S32
표면 처리된 탄성중합체를 미리 설정된 크기까지 늘리는 단계
S33
늘어난 탄성중합체를 표면 처리된 평면 구조물에 접착시키는 단계
S34
수용성 테이프를 제거하고 접촉 방지부를 제거하는 단계
S35
늘어난 탄성중합체가 원래 크기로 수축하여 평면 구조물이 접힘 구조물로 변하는 단계
S36
종료

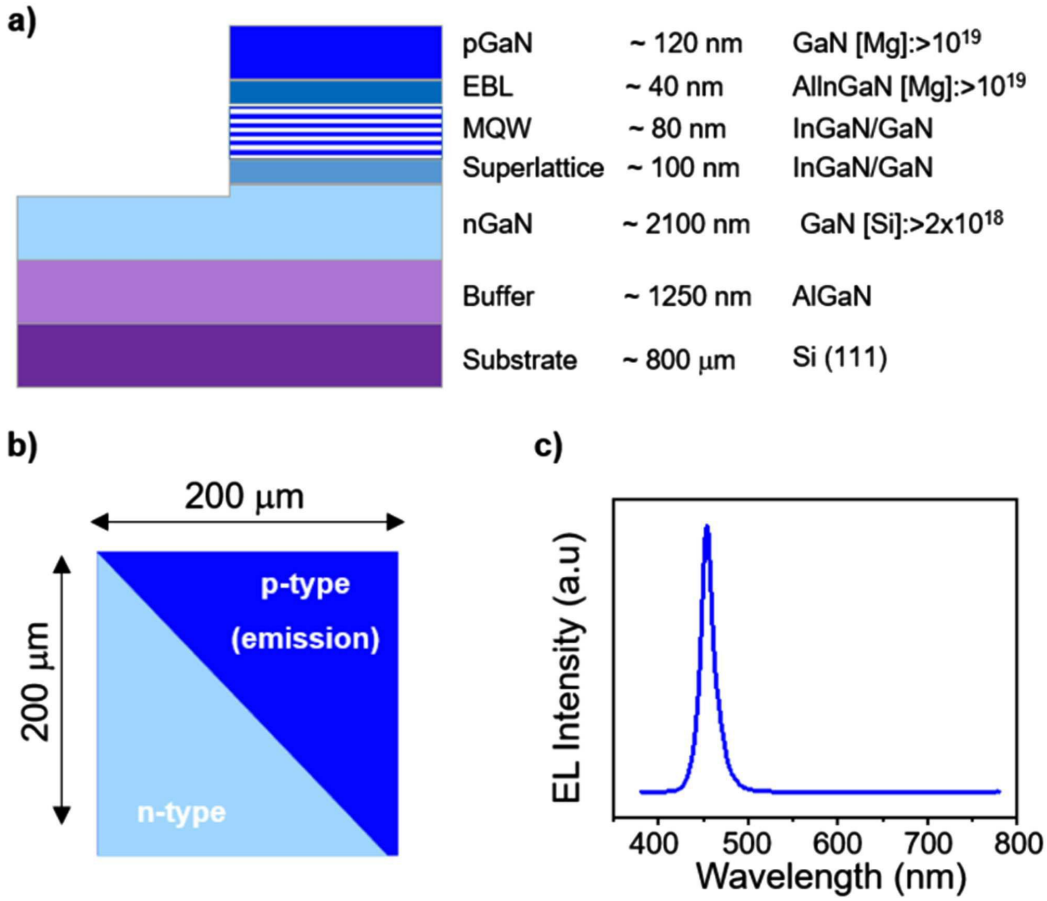
도면4


PDMS
GaN/Si
GaN array transfer
SU8 adhesive layer
SiO2/Si wafer
<LED transfer>
PR
Thick SU8
BM
Graphene
Electrodes (Scan, data line)
PVA tape
Pre-stretched elastomer
2D precursor
<2D precursor fabrication>
Released elastomer
3D structure
<3D structure assembly>
εstretched = 100%

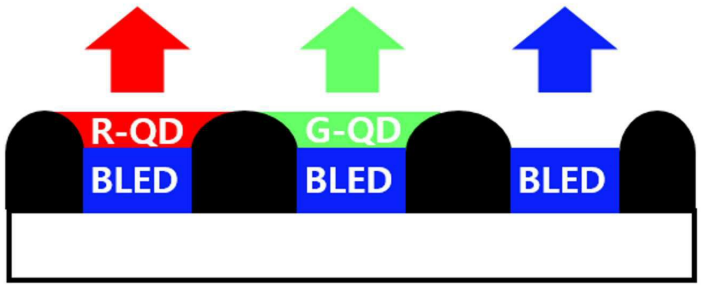
도면5


10
디스플레이부
(100)
픽셀 어레이가 배치된
기판 (110)
배선 전극
(120)
보호부
(130)
블랙 매트릭스
(140)
두께 조절부
(150)
탄성중합체
(160)
제어부
(300)
전류 측정부
(200)

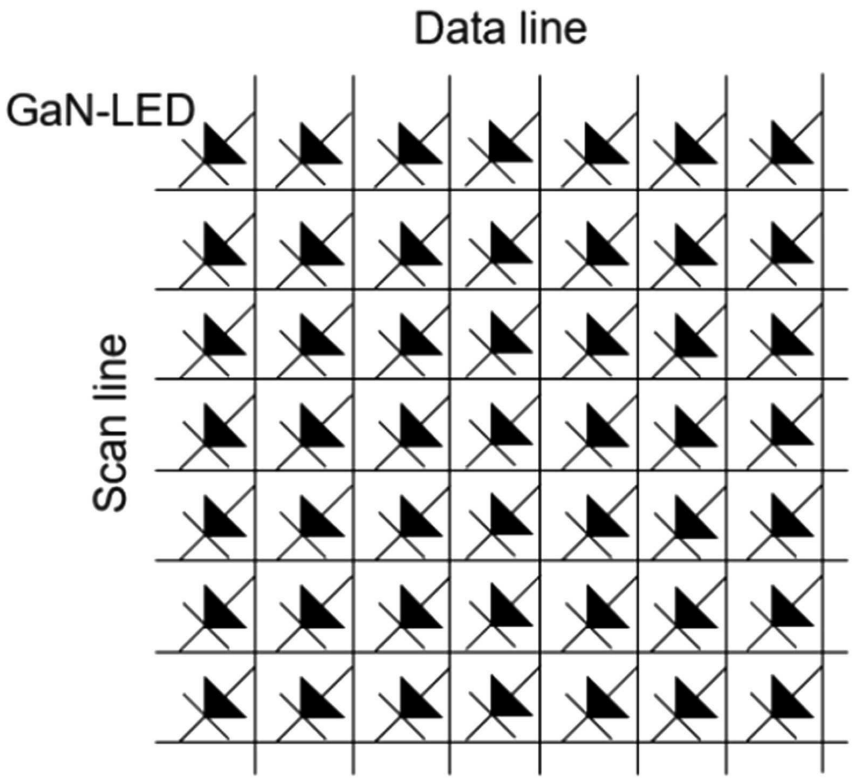
도면6


a)
pGaN ~ 120 nm GaN [Mg]:>10^19
EBL ~ 40 nm AlInGaN [Mg]:>10^19
MQW ~ 80 nm InGaN/GaN
Superlattice ~ 100 nm InGaN/GaN
nGaN ~ 2100 nm GaN [Si]:>2x10^18
Buffer ~ 1250 nm AlGaN
Substrate ~ 800 μm Si (111)
b)
200 μm
200 μm
p-type
(emission)
n-type
c)
EL Intensity (a.u)
400
500
600
700
800
Wavelength (nm)

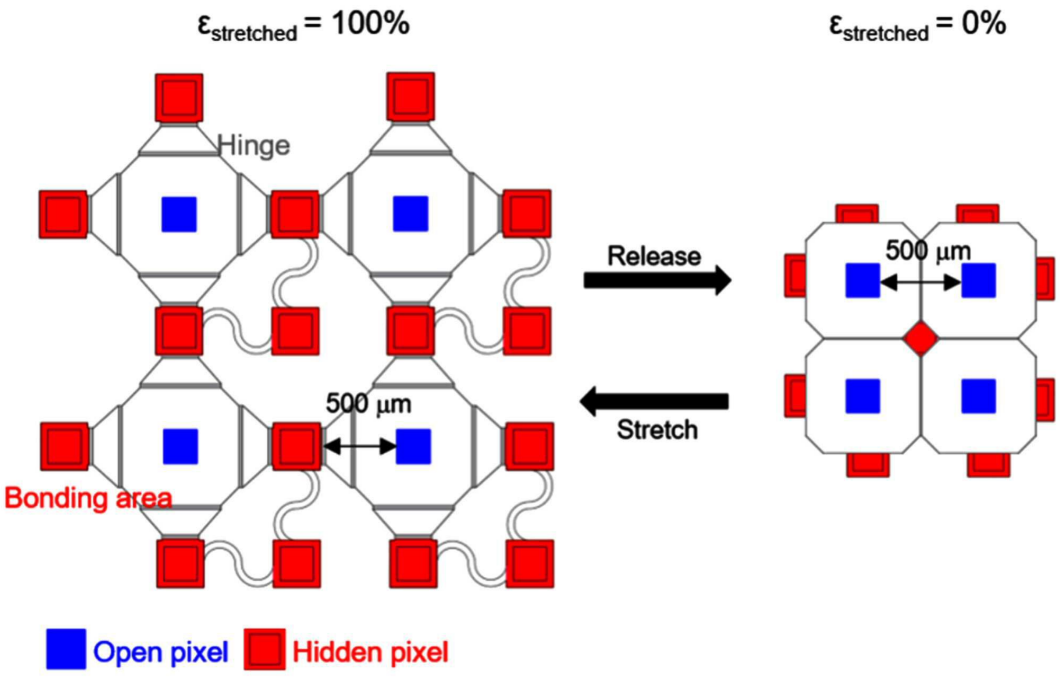
도면7


R-QD
G-QD
BLED
BLED
BLED

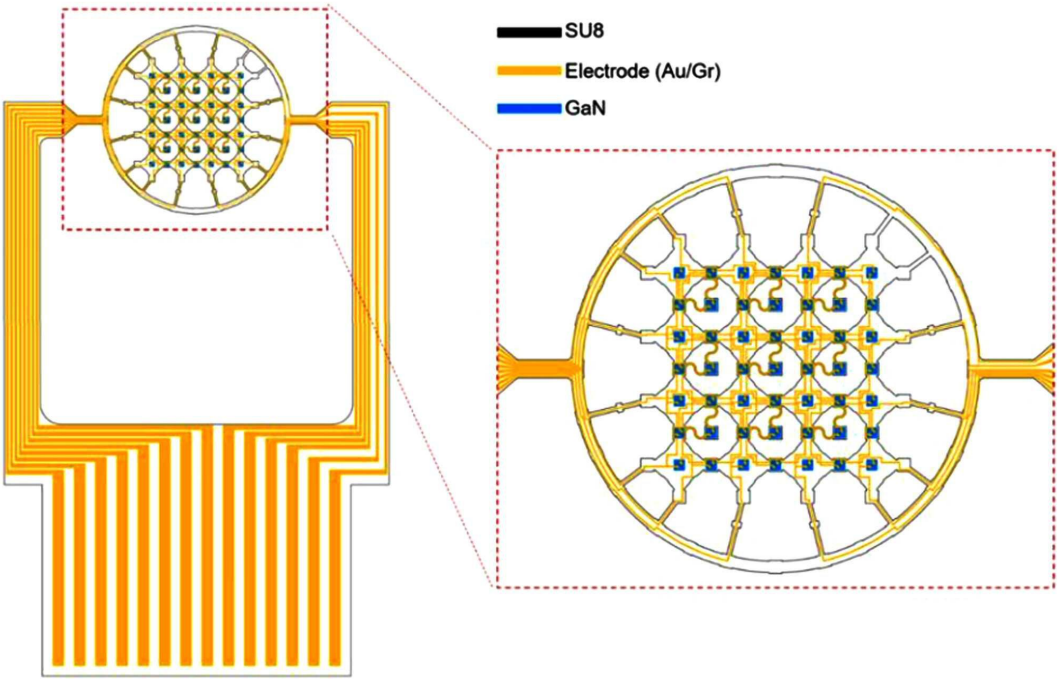
도면8


Data line
GaN-LED
Scan line

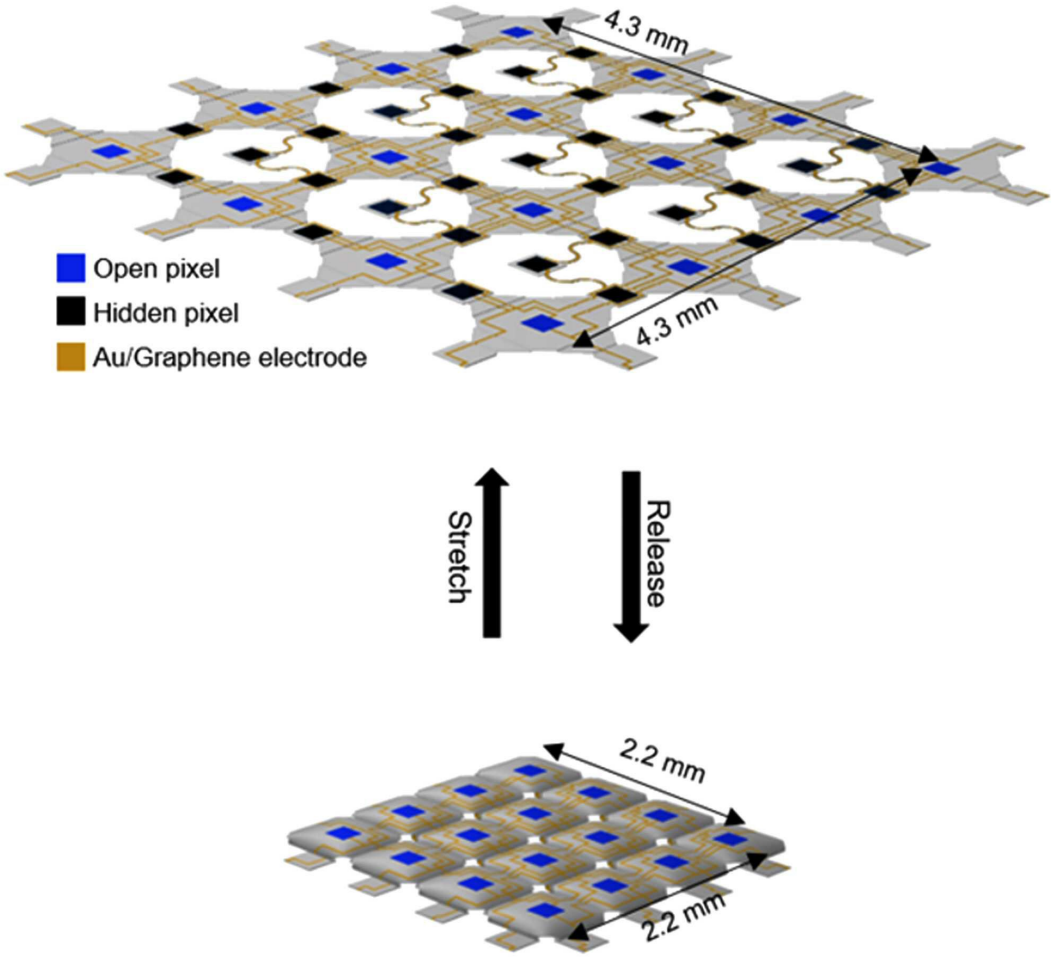
도면9


ε stretched = 100%
ε stretched = 0%
Hinge
500 μm
Release
Stretch
500 μm
Bonding area
Open pixel
Hidden pixel

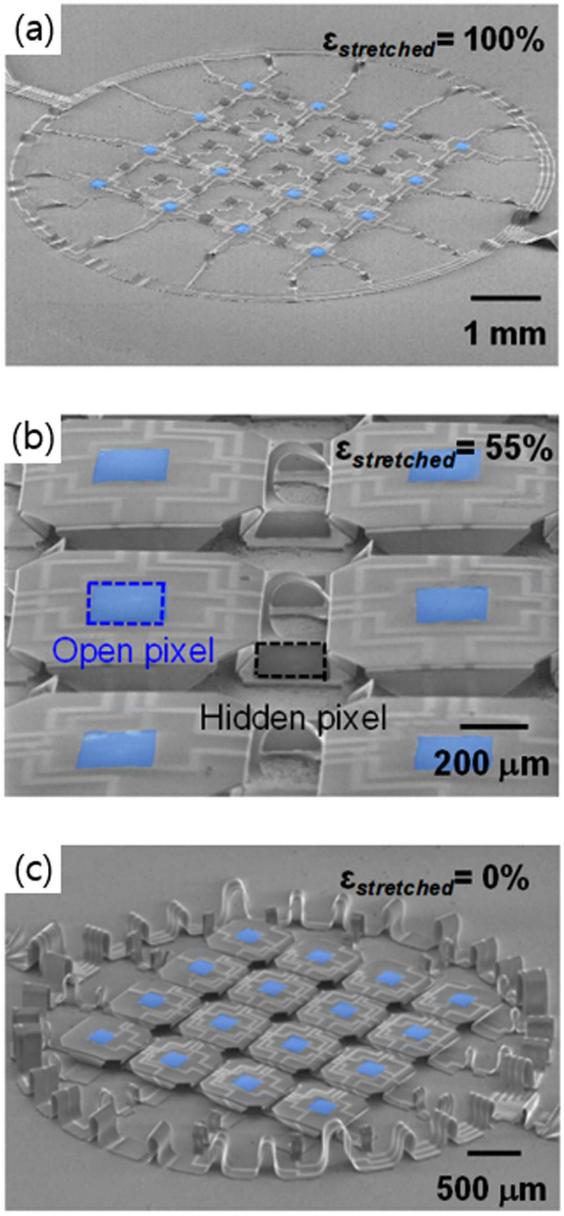
도면10


SU8
Electrode (Au/Gr)
GaN

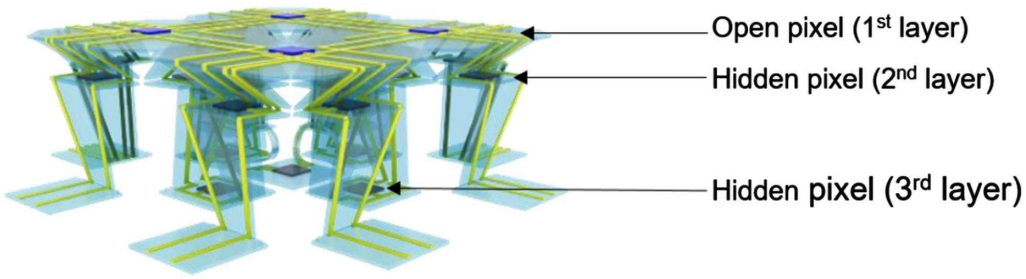
도면11


4.3 mm
4.3 mm
Open pixel
Hidden pixel
Au/Graphene electrode
Stretch
Release
2.2 mm
2.2 mm

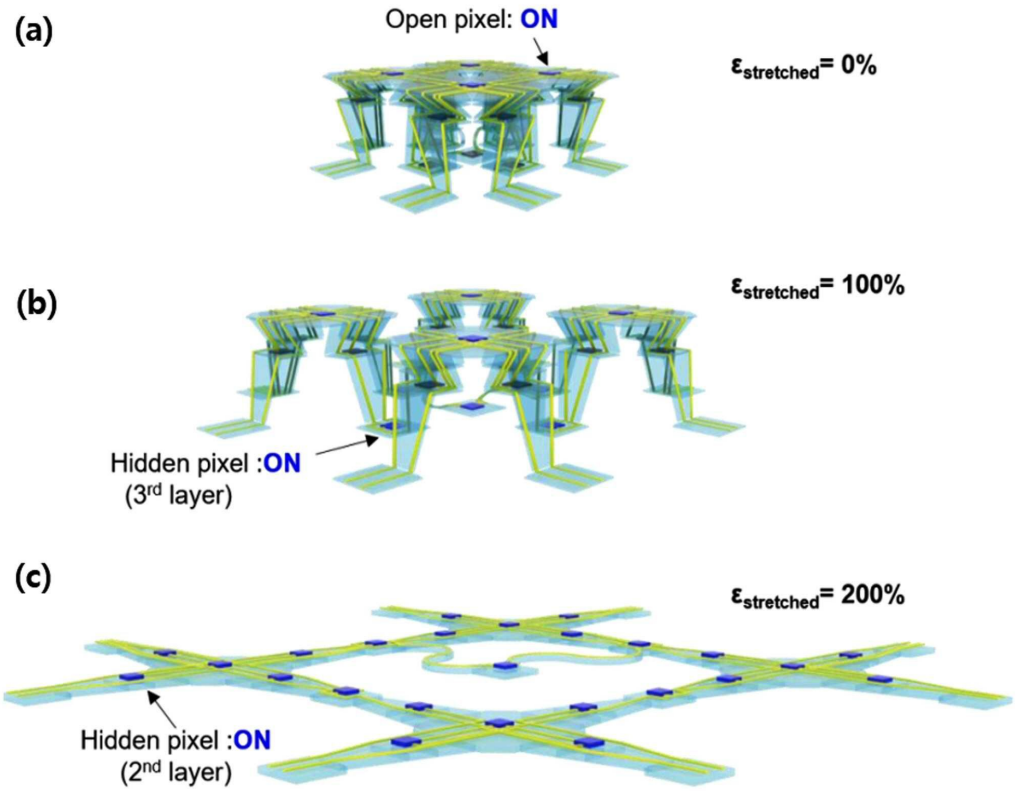
도면12


(a)
$\varepsilon_{stretched}$= 100%
1 mm
(b)
$\varepsilon_{stretched}$= 55%
Open pixel
Hidden pixel
200 μm
(c)
$\varepsilon_{stretched}$= 0%
500 μm

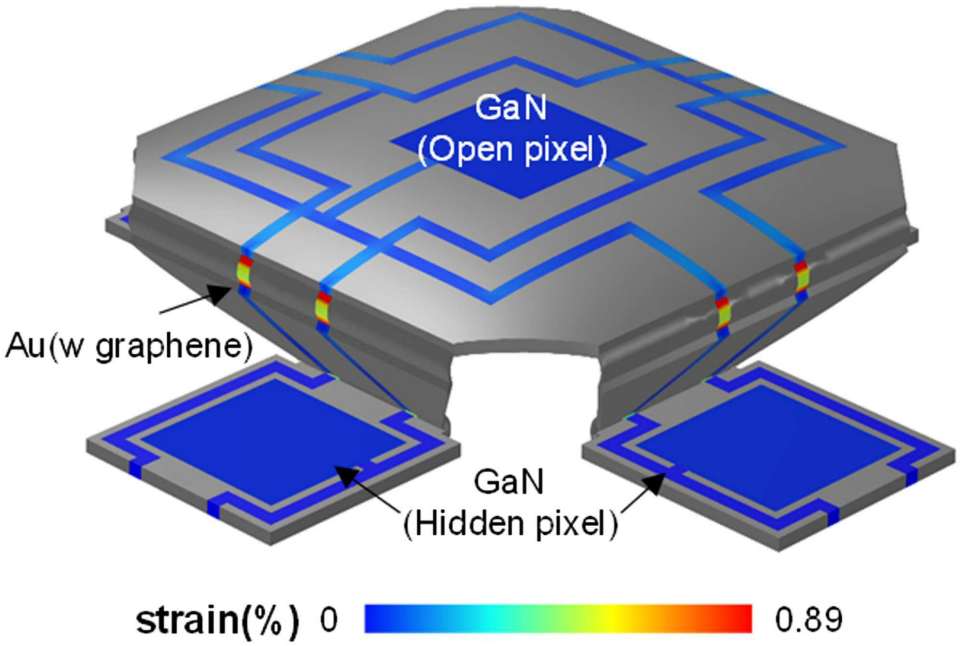
도면13


Open pixel (1st layer)
Hidden pixel (2nd layer)
Hidden pixel (3rd layer)

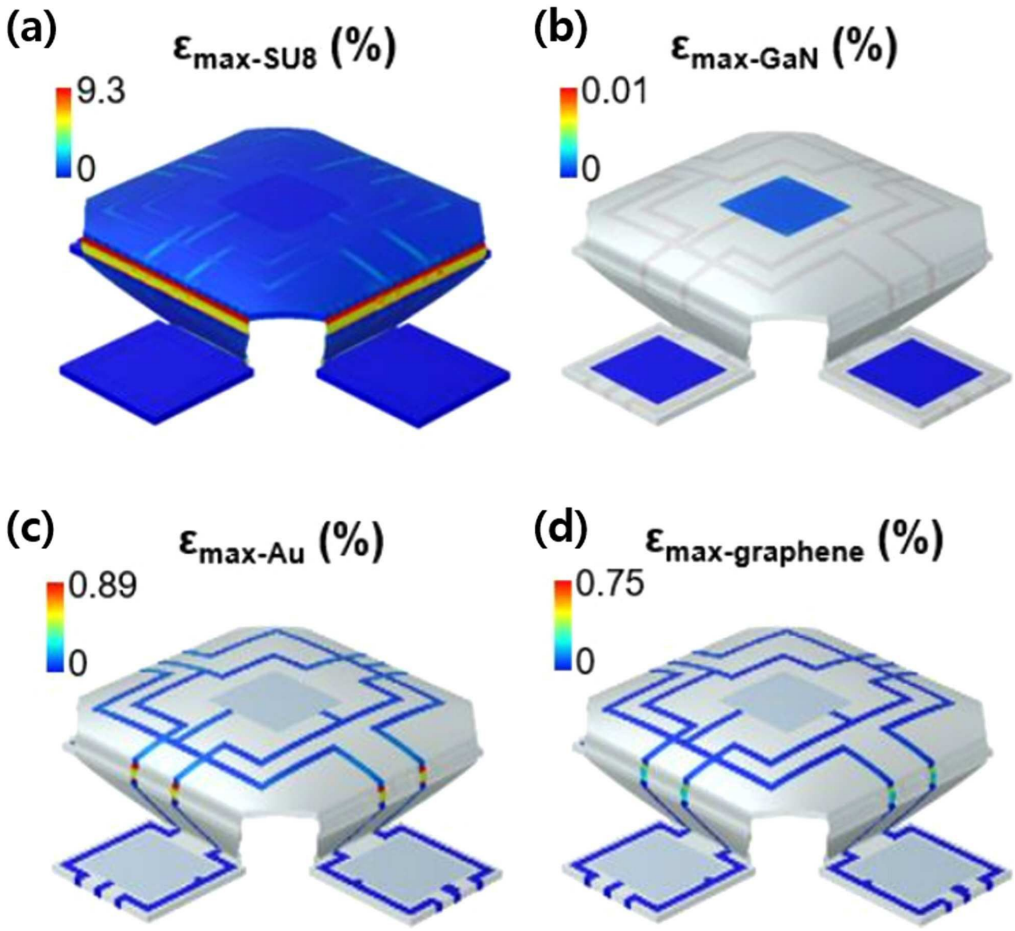
도면14


(a)
Open pixel: ON
$\varepsilon_{stretched}$= 0%
(b)
$\varepsilon_{stretched}$= 100%
Hidden pixel :ON
(3rd layer)
(c)
$\varepsilon_{stretched}$= 200%
Hidden pixel :ON
(2nd layer)

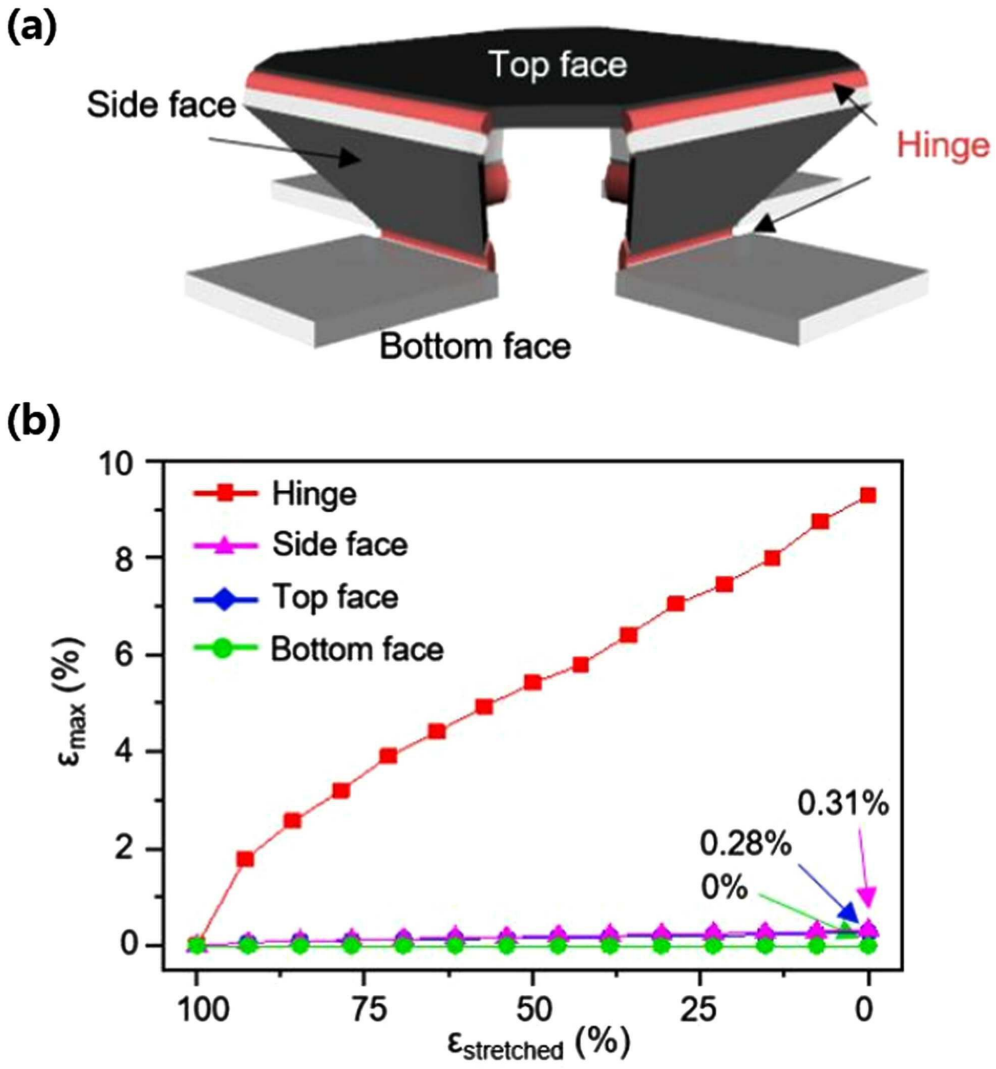
도면15


GaN
(Open pixel)
Au(w graphene)
GaN
(Hidden pixel)
strain(%) 0
0.89

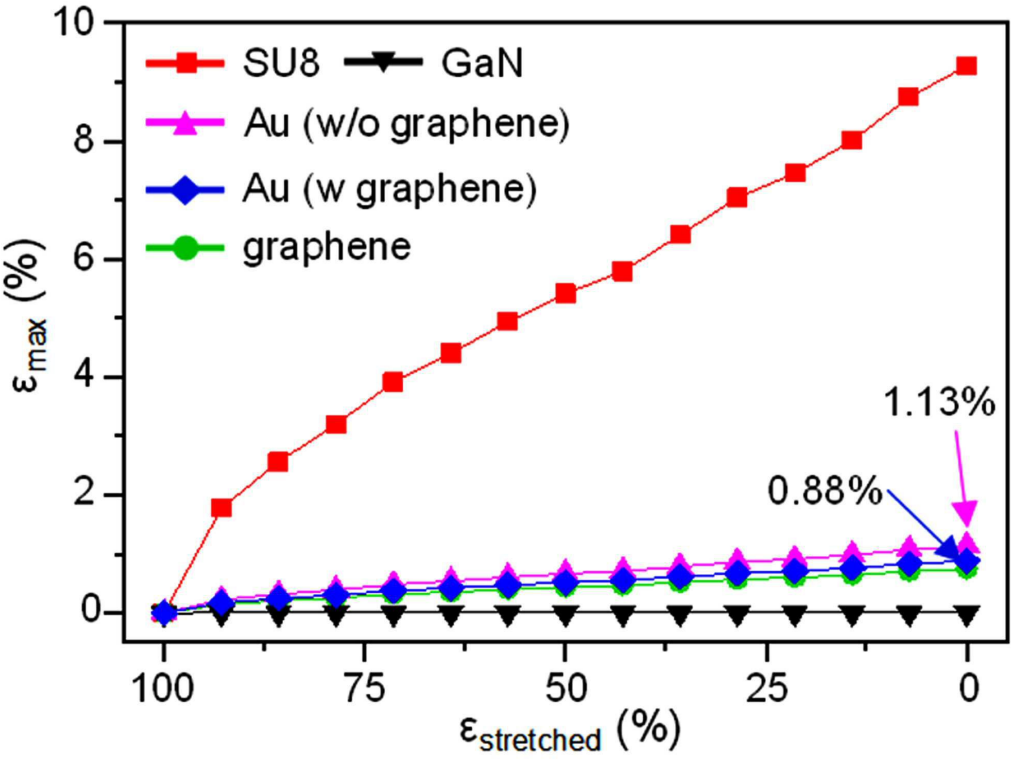
도면16


(a)
$\varepsilon_{max\text{-}SU8}$ (%)
9.3
0
(b)
$\varepsilon_{max\text{-}GaN}$ (%)
0.01
0
(c)
$\varepsilon_{max\text{-}Au}$ (%)
0.89
0
(d)
$\varepsilon_{max\text{-}graphene}$ (%)
0.75
0

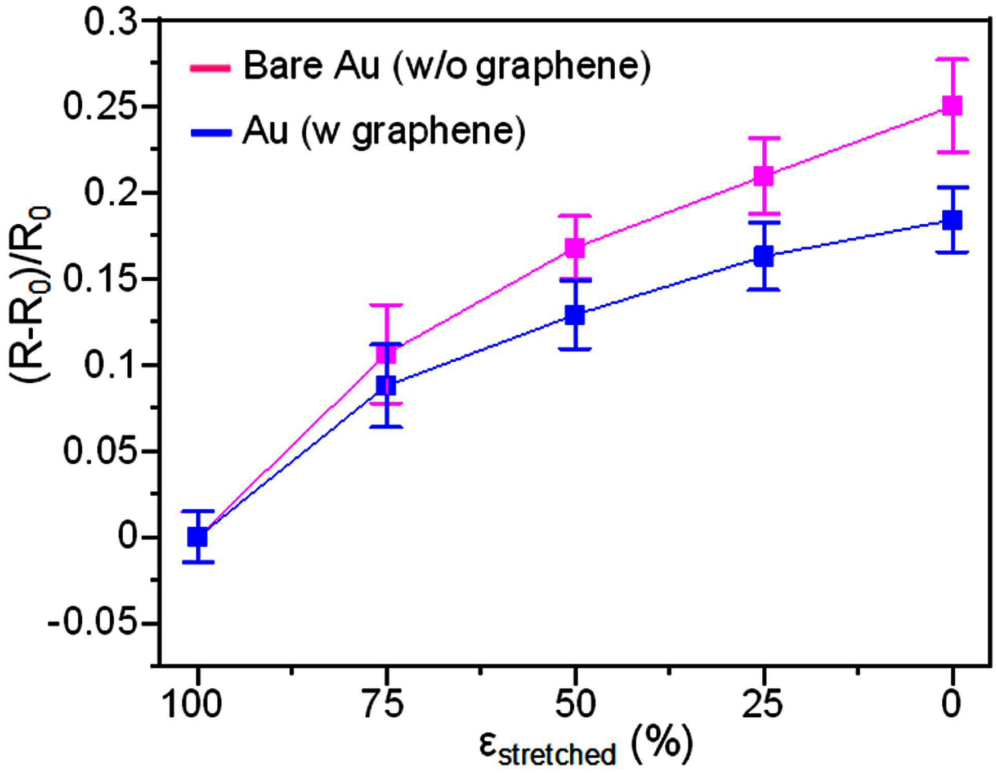
도면17


(a)
Top face
Side face
Hinge
Bottom face
(b)
Hinge
Side face
Top face
Bottom face
0.31%
0.28%
0%
$\varepsilon_{max}$ (%)
$\varepsilon_{stretched}$ (%)
10
8
6
4
2
0
100
75
50
25
0

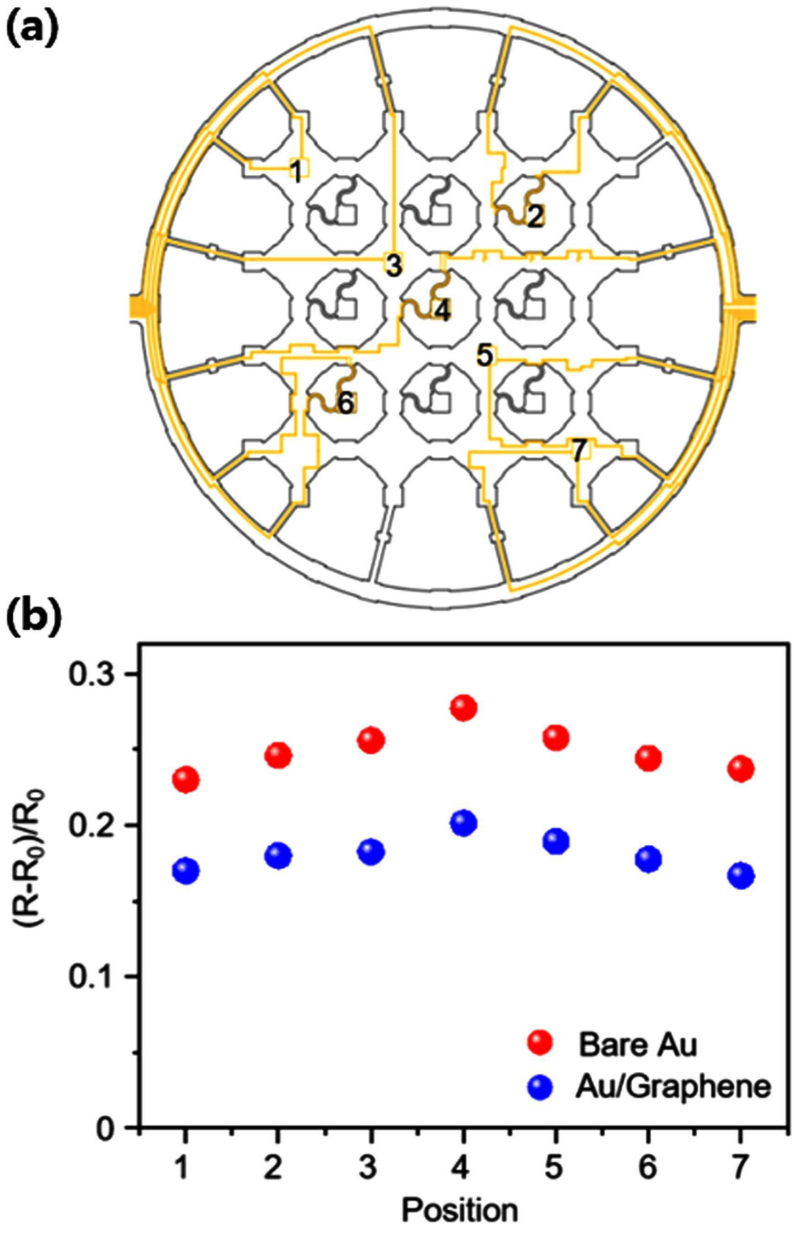
도면18


SU8
GaN
Au (w/o graphene)
Au (w graphene)
graphene
1.13%
0.88%
$\varepsilon_{max}$ (%)
$\varepsilon_{stretched}$ (%)
10
8
6
4
2
0
100
75
50
25
0

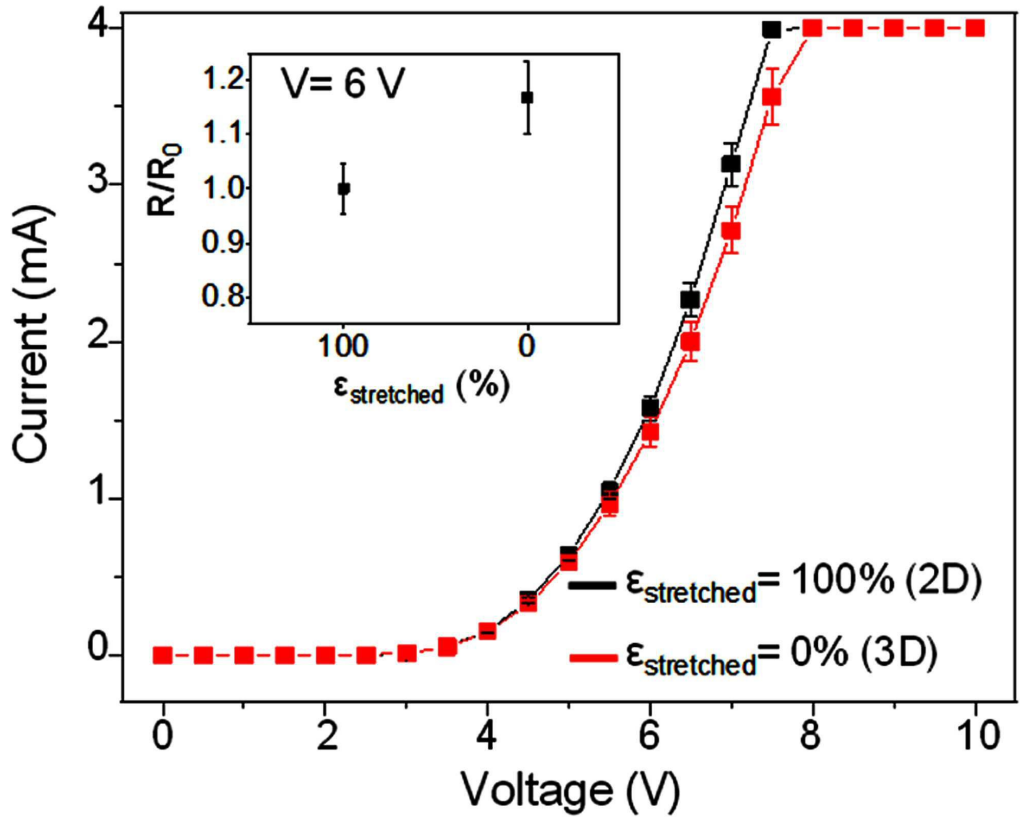
도면19


Bare Au (w/o graphene)
Au (w graphene)
$(R-R_0)/R_0$
$\varepsilon_{stretched}$ (%)
0.3
0.25
0.2
0.15
0.1
0.05
0
-0.05
100
75
50
25
0

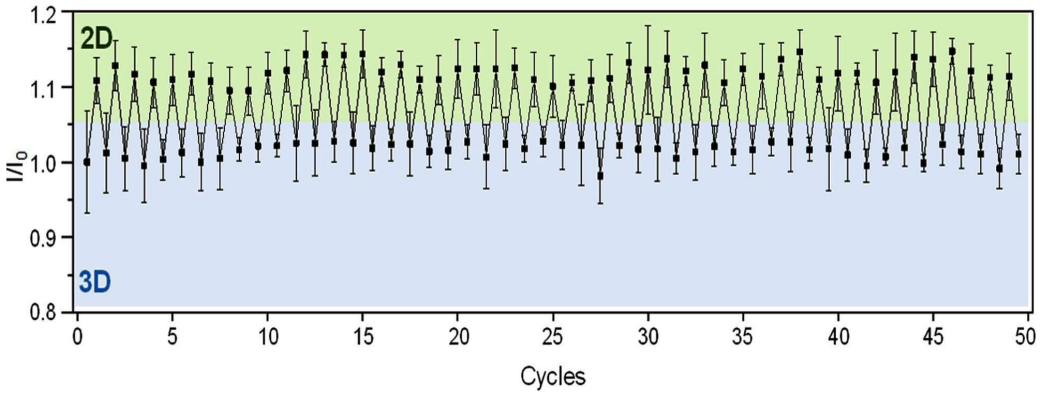
도면20


(a)
1
2
3
4
5
6
7
(b)
0.3
0.2
0.1
0
(R-R0)/R0
Bare Au
Au/Graphene
1
2
3
4
5
6
7
Position

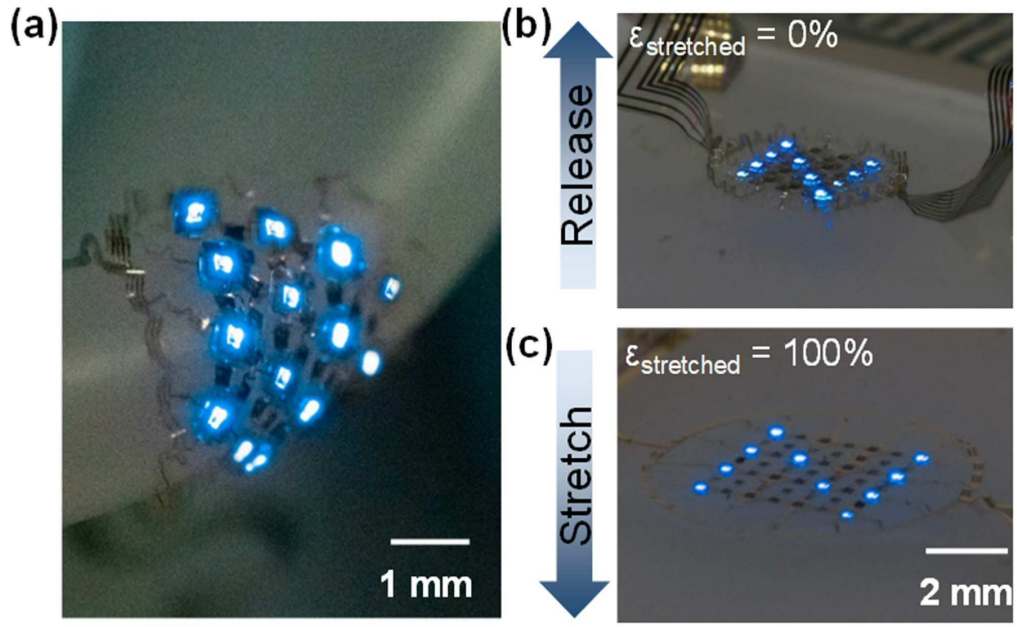
도면21


Current (mA)
Voltage (V)
V= 6 V
R/R0
εstretched (%)
εstretched= 100% (2D)
εstretched= 0% (3D)

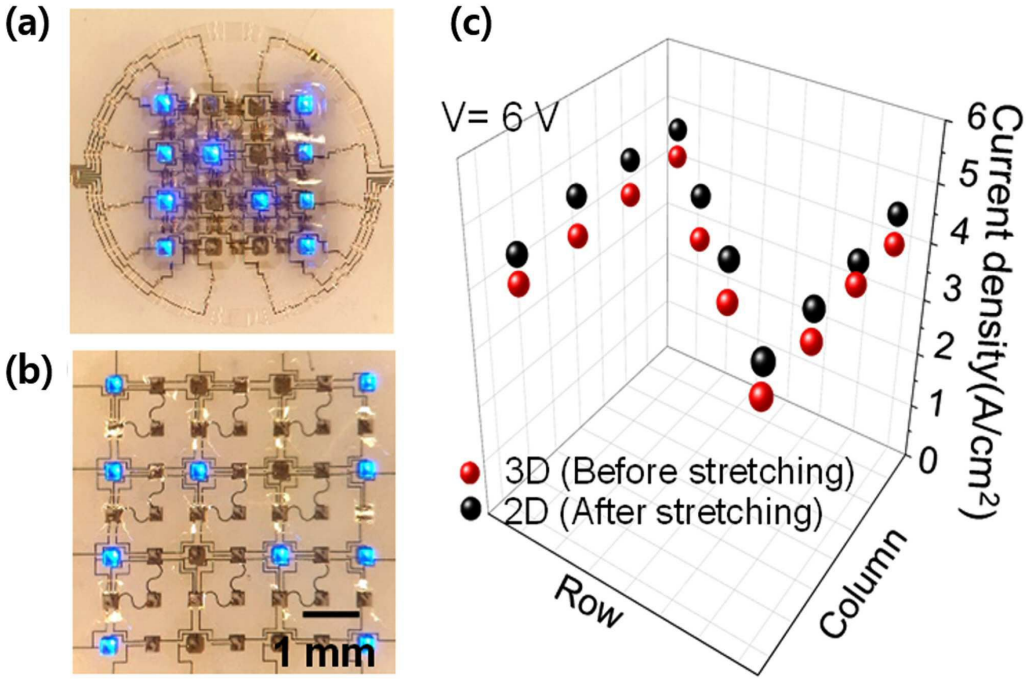
도면22


2D
3D
I/I0
Cycles

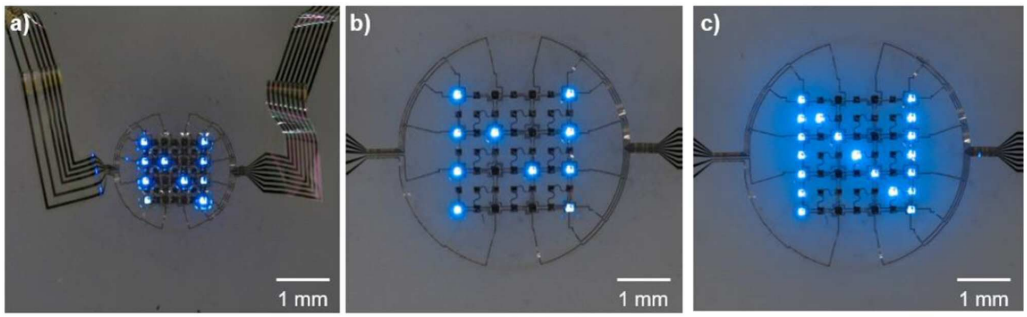
도면23


(a)
1 mm
(b)
Release
$\varepsilon_{stretched}$ = 0%
(c)
Stretch
$\varepsilon_{stretched}$ = 100%
2 mm

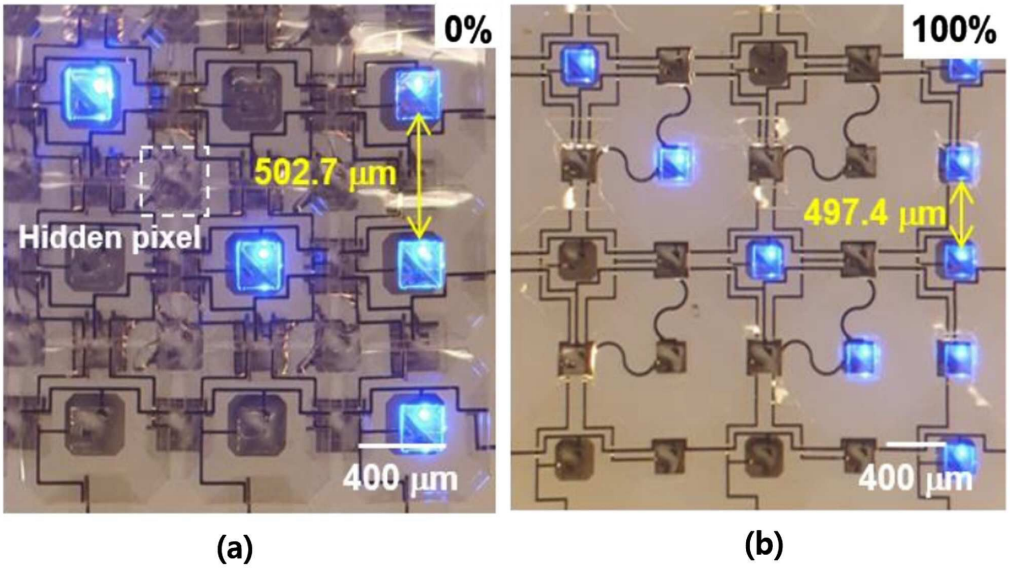
도면24


(a)
(b)
1 mm
(c)
V= 6 V
3D (Before stretching)
2D (After stretching)
Row
Column
Current density(A/cm²)
0
1
2
3
4
5
6

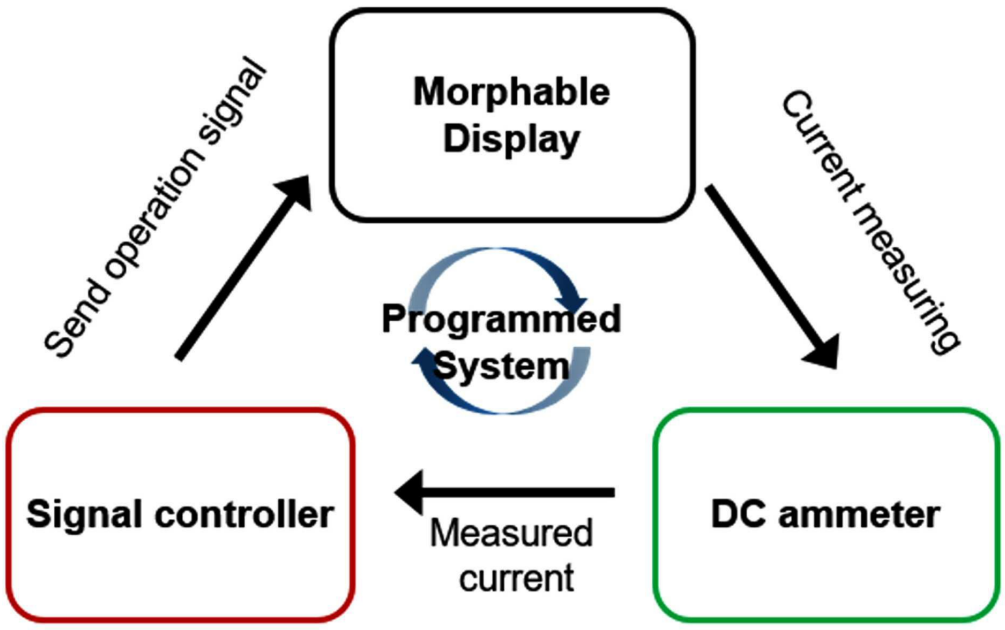
도면25



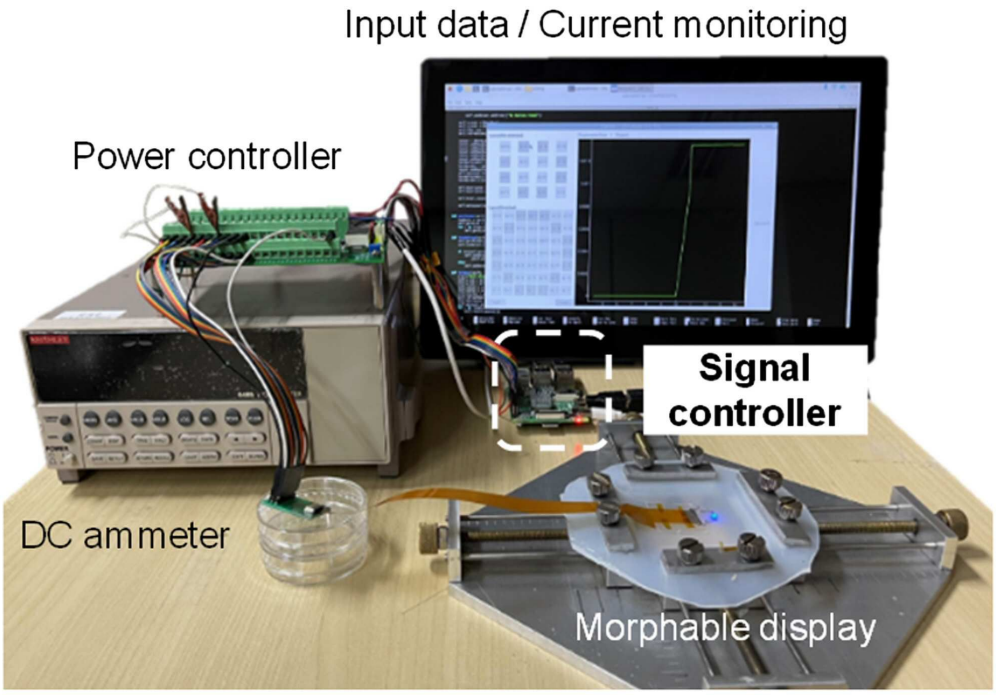

도면26



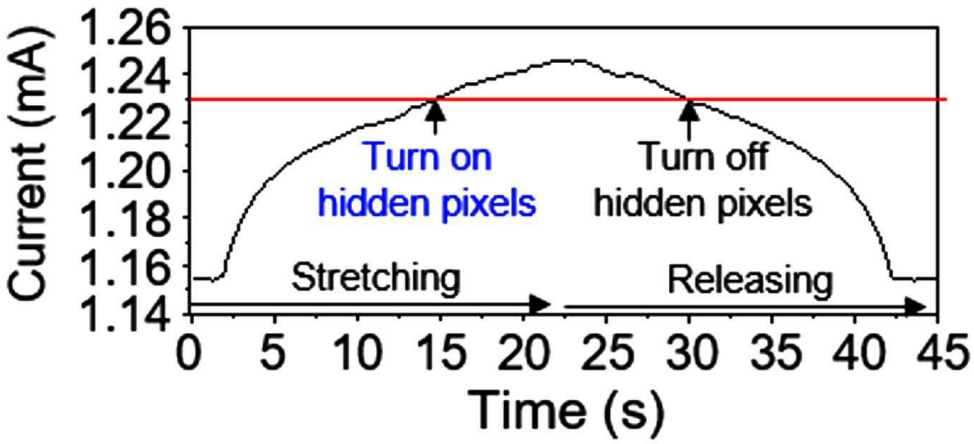

도면27



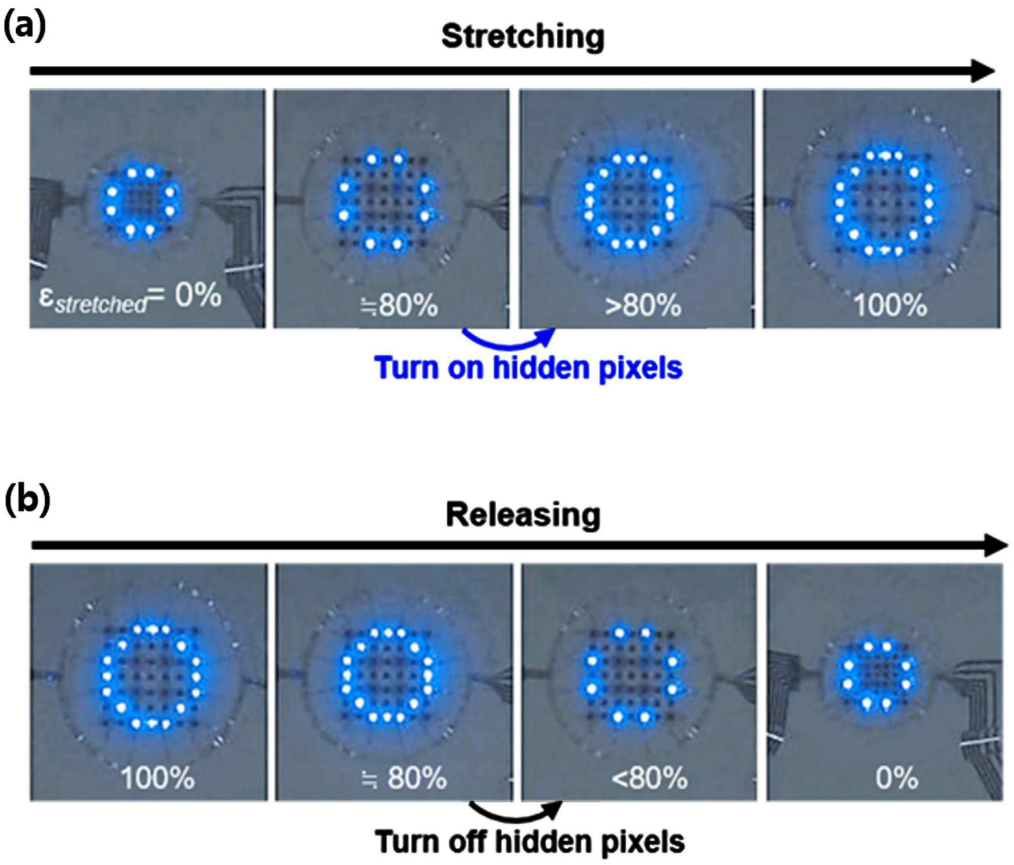
도면28


Input data / Current monitoring
Power controller
Signal controller
DC ammeter
Morphable display

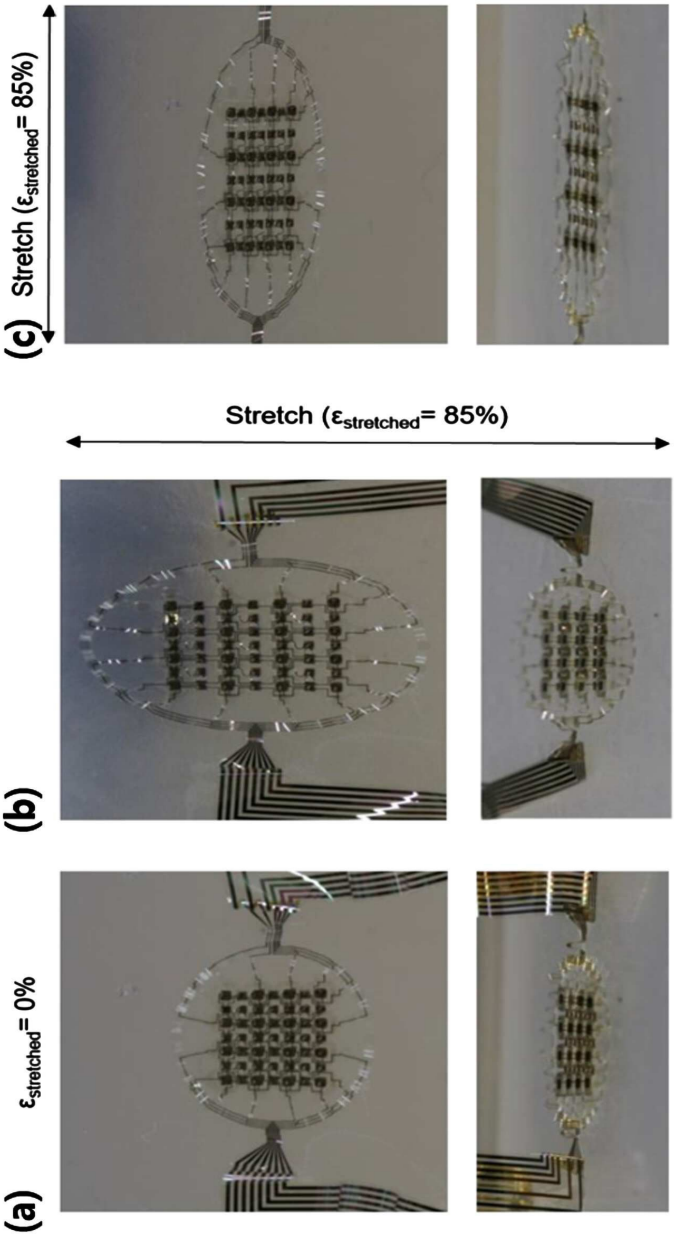
도면29


Current (mA)
1.26
1.24
1.22
1.20
1.18
1.16
1.14
Turn on hidden pixels
Turn off hidden pixels
Stretching
Releasing
0 5 10 15 20 25 30 35 40 45
Time (s)

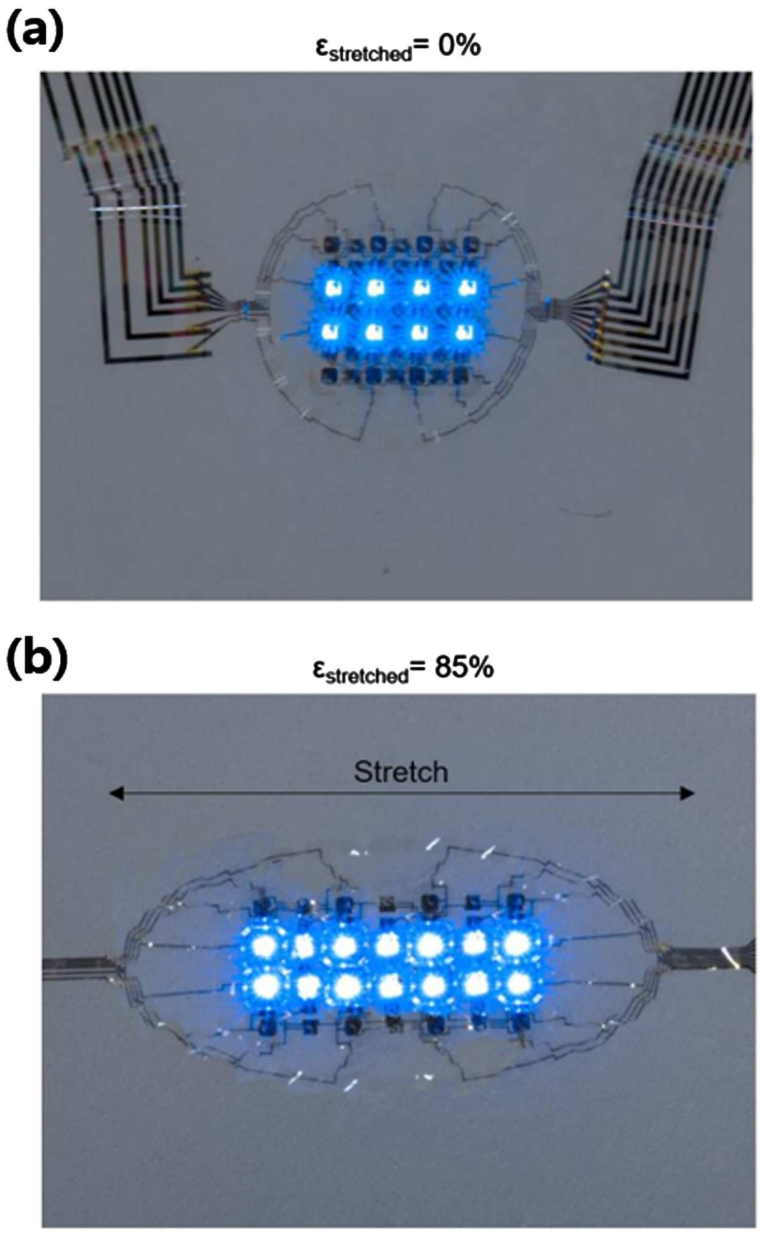
도면30


(a)
Stretching
$\varepsilon_{stretched}$= 0%
≒80%
>80%
100%
Turn on hidden pixels
(b)
Releasing
100%
≒ 80%
<80%
0%
Turn off hidden pixels

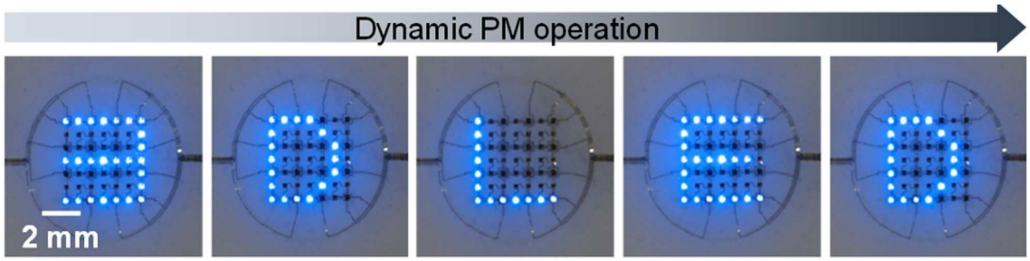
도면31


(c)
Stretch ($\varepsilon_{stretched}$= 85%)
Stretch ($\varepsilon_{stretched}$= 85%)
(b)
(a)
$\varepsilon_{stretched}$= 0%

도면32


(a)
$\varepsilon_{stretched}$= 0%
(b)
$\varepsilon_{stretched}$= 85%
Stretch

도면33


Dynamic PM operation
2 mm