



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2025-0055651
(43) 공개일자 2025년04월25일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

H01L 25/075 (2025.01) B23K 26/00 (2014.01)
G09F 9/30 (2006.01) G09F 9/33 (2006.01)
H01L 21/683 (2006.01) H01L 23/00 (2006.01)
H10D 86/00 (2025.01) H10H 20/00 (2025.01)
H10H 20/857 (2025.01)

(52) CPC특허분류

H01L 25/0753 (2013.01)
B23K 26/00 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2023-0138712

(22) 출원일자 2023년10월17일

심사청구일자 없음

(71) 출원인

경희대학교 산학협력단

경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732 (서천동, 경희대학교 국제캠퍼스내)

(72) 발명자

장진

서울특별시 송파구 올림픽로4길 15, 11동 403호

박찬주

경기도 고양시 일산서구 주엽로 122, 1604동 802호(주엽동, 문촌마을16단지아파트)

(74) 대리인

김연권

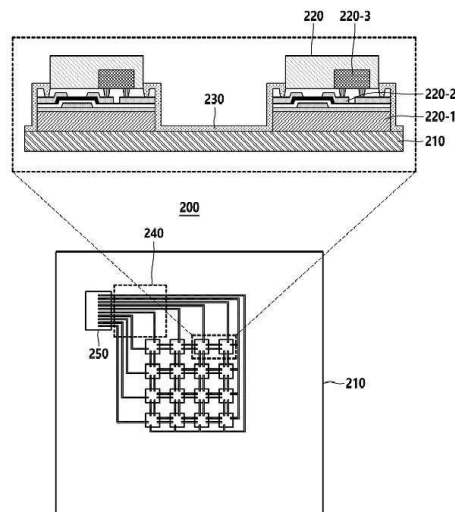
전체 청구항 수 : 총 12 항

(54) 발명의 명칭 마이크로 LED에 기반하는 스트레처블 디스플레이 및 그 제조방법

(57) 요약

본 발명은 스트레처블 디스플레이 및 그 제조방법에 관한 것으로서, 일실시예에 따른 스트레처블 디스플레이는 신축성 기판과, 신축성 기판 상에 형성되고 적어도 하나의 박막 트랜지스터 및 하나의 마이크로 LED를 각각 구비하는 복수의 픽셀 아일랜드와, 액체 금속에 기반하여 형성되며 복수의 픽셀 아일랜드 중 인접한 픽셀 아일랜드를 서로 연결하는 복수의 픽셀 배선 및 액체 금속에 기반하여 형성되며 복수의 픽셀 아일랜드 중 적어도 하나의 픽셀 아일랜드와 연결되는 복수의 버스(bus) 배선을 포함한다.

대표도 - 도2



(52) CPC특허분류

G09F 9/301 (2013.01)
H01L 21/6835 (2013.01)
H01L 24/97 (2013.01)
H10D 86/021 (2025.01)
H10D 86/411 (2025.01)
H10D 86/441 (2025.01)
H10H 20/01 (2025.01)
H10H 20/018 (2025.01)
H10H 20/857 (2025.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711186268
과제번호	2020M3H4A1A02084899
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	나노·미래소재원천기술개발사업(선도형)
연구과제명	[원천, 2단계 1/2] 2축 신축성 AMOLED 용 TFT 및 LED 집적 기술
기 여 율	1/1
과제수행기관명	경희대학교
연구기간	2020.07.01 ~ 2024.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

신축성 기판;

상기 신축성 기판 상에 형성되고 적어도 하나의 박막 트랜지스터 및 하나의 마이크로 LED를 각각 구비하는 복수의 픽셀 아일랜드;

액체 금속에 기반하여 형성되며, 상기 복수의 픽셀 아일랜드 중 인접한 픽셀 아일랜드를 서로 연결하는 복수의 픽셀 배선 및

상기 액체 금속에 기반하여 형성되며, 상기 복수의 픽셀 아일랜드 중 적어도 하나의 픽셀 아일랜드와 연결되는 복수의 버스(bus) 배선

을 포함하는 스트레처블 디스플레이.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 복수의 버스 배선은,

일 측단을 통해 상기 적어도 하나의 픽셀 아일랜드 각각과 연결되고, 타 측단을 통해 픽셀 구동회로와 연결되는 스트레처블 디스플레이.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 복수의 픽셀 아일랜드 각각은,

상기 박막 트랜지스터 상에 형성되는 솔더 및 플럭스를 통해 상기 박막 트랜지스터와 상기 마이크로 LED가 서로 접합되는

스트레처블 디스플레이.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 복수의 픽셀 아일랜드는,

유연 기판 상에 형성된 상기 박막 트랜지스터 및 상기 마이크로 LED에 대한 스탬프를 이용한 전사 공정 및 레이저 커팅 공정에 기반하여 상기 신축성 기판 상에 형성되는

스트레처블 디스플레이.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 복수의 픽셀 배선 및 상기 복수의 버스 배선은,

네거티브 PR에 기반한 리프트-오프(lift-off) 공정을 통해 상기 신축성 기판 상에 형성되는

스트레처블 디스플레이.

청구항 6

제1항에 있어서,
 상기 복수의 픽셀 아일랜드 각각은,
 2개의 박막 트랜지스터 및 1개의 강유전성 박막 트랜지스터를 포함하는
 스트레처블 디스플레이.

청구항 7

신축성 기판 상에 적어도 하나의 박막 트랜지스터 및 하나의 마이크로 LED를 각각 구비하는 복수의 픽셀 아일랜드를 전사하는 단계;
 상기 복수의 픽셀 아일랜드가 전사된 신축성 기판의 기 설정된 영역에 네거티브 PR을 도포하는 단계;
 상기 네거티브 PR이 도포된 신축성 기판 상에 액체 금속을 도포하는 단계 및
 상기 네거티브 PR을 제거하여 상기 복수의 픽셀 아일랜드 중 인접한 픽셀 아일랜드를 서로 연결하는 복수의 픽셀 배선 및 상기 복수의 픽셀 아일랜드 중 적어도 하나의 픽셀 아일랜드와 연결되는 복수의 버스(bus) 배선을 형성하는 단계
 를 포함하는 스트레처블 디스플레이의 제조방법.

청구항 8

제7항에 있어서,
 상기 복수의 픽셀 아일랜드를 전사하는 단계는,
 캐리어 기판 상에 유연성 기판, 상기 박막 트랜지스터 및 상기 마이크로 LED를 포함하는 LED-TFT 구조체를 형성하는 단계;
 상기 LED-TFT 구조체의 상부에 고분자 스탬프를 부착한 후, 상기 캐리어 기판으로부터 상기 LED-TFT 구조체를 분리하는 단계;
 상기 고분자 스탬프에 부착된 LED-TFT 구조체에 대한 레이저 커팅 공정을 통해 상기 복수의 픽셀 아일랜드를 형성하는 단계 및
 상기 고분자 스탬프에 부착된 복수의 픽셀 아일랜드를 상기 신축성 기판 상에 전사하는 단계
 를 더 포함하는 스트레처블 디스플레이의 제조방법.

청구항 9

제8항에 있어서,
 상기 LED-TFT 구조체를 형성하는 단계는,
 상기 캐리어 기판 상에 탄소 나노튜브(carbon nanotube; CNT) 및 산화 그래핀(graphene oxide)에 기반하는 코팅층을 형성한 후, 상기 코팅층 상에 상기 유연성 기판을 접합하는
 스트레처블 디스플레이의 제조방법.

청구항 10

제8항에 있어서,
 상기 LED-TFT 구조체를 형성하는 단계는,
 상기 박막 트랜지스터 상에 솔더를 증착하는 단계;
 상기 솔더가 증착된 박막 트랜지스터 상에 플렉스를 코팅하는 단계;
 상기 마이크로 LED를 접합하는 단계;
 상기 플렉스를 제거하는 단계 및

패시베이션 층을 형성하는 단계
를 더 포함하는 스트레처블 디스플레이의 제조방법.

청구항 11

제7항에 있어서,
상기 복수의 픽셀 아일랜드를 전사하는 단계는,
상기 신축성 기판을 자외선(UV) 및 오존(O₃) 처리하는 단계 및
상기 자외선(UV) 및 오존(O₃) 처리된 신축성 기판 상에 상기 복수의 픽셀 아일랜드를 전사하는 단계
를 더 포함하는 스트레처블 디스플레이의 제조방법.

청구항 12

제7항에 있어서,
상기 액체 금속을 도포하는 단계는,
상기 네거티브 PR이 도포된 신축성 기판을 산소(O₂) 플라즈마 처리한 후, 상기 액체 금속을 도포하는
스트레처블 디스플레이의 제조방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 스트레처블 디스플레이에 관한 것으로, 보다 상세하게는 플립칩 마이크로 LED와, 박막 트랜지스터에 기반하는 스트레처블 디스플레이의 픽셀 어레이를 구현하는 기술적 사상에 관한 것이다.

배경 기술

- [0002] 최근 전자피부에 적용되는 신축성 전자소자를 구현하기 위한 다양한 기술, 구체적으로 소프트 로봇공학 및 신축성 디스플레이와 관련한 기술들이 많은 주목을 받고 있다.
- [0003] 신축성 소자의 장점은 물체의 표면 거칠기에 관계없이 부착하여 기능할 수 있다는 점으로, 신축성 전자 장치를 구현하려면 기계적인 안정성 및 신축성이 있는 배선 연결을 고려해야 한다.
- [0004] 구체적으로, 기계적인 안정성의 향상을 위해, 신축성이 있는 전자소자를 구성하는 트랜지스터, 센서, 다이오드 등의 소자는 늘어나도 전기적 특성을 유지되어야 한다. 이에, 소자의 스트레칭 시 안정적인 전기적 성능을 달성하기 위해 견고한 아일랜드(island) 구조에 대한 연구가 지속되고 있다.
- [0005] 또한, 기존에는 신축성이 있는 인터커넥션을 위해 도 1의 도면부호 100에 도시된 바와 같이 구불구불한 형상의 배선 패턴을 적용하는 방안이 제안되었으나, 이 방법으로 형성된 배선은 외력에 의한 변형에 취약하고, 변형에 따른 배선의 균열 및 파손의 발생된다는 문제가 있다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0006] (특허문헌 0001) 일본공개특허 제10-2020-177988호, "박막 트랜지스터 어레이 기판 및 전자 장치용 기판과 박막 트랜지스터 어레이 기판 및 전자 장치용 기판의 제조 방법"
- (특허문헌 0002) 한국등록특허 제10-2528403호, "스트레처블 전자기기 및 그 기기의 제조방법"

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0007] 본 발명은 구불구불하지 않은 액체 금속(liquid metal) 기반의 신축성이 있는 배선을 적용하여 배선의 변형에 따른 균열 및 파손의 발생을 최소화할 수 있는 스트레처블 디스플레이 및 그 제조방법을 제공하고자 한다.
- [0008] 또한, 본 발명은 신축성 기판 상에 픽셀 아일랜드와 액체 금속 기반의 배선을 통합하여 견고한 전기적 특성을 확보할 수 있는 스트레처블 디스플레이 및 그 제조방법을 제공하고자 한다.
- [0009] 또한, 본 발명은 각 픽셀 아일랜드에 구비되는 커패시터를 강유전성 박막 트랜지스터로 대체하여 면적을 최소화하고 구동의 안정성을 확보할 수 있는 스트레처블 디스플레이 및 그 제조방법을 제공하고자 한다.

과제의 해결 수단

- [0010] 본 발명의 일실시예에 따른 스트레처블 디스플레이는 신축성 기판과, 신축성 기판 상에 형성되고 적어도 하나의 박막 트랜지스터 및 하나의 마이크로 LED를 각각 구비하는 복수의 픽셀 아일랜드와, 액체 금속에 기반하여 형성되며 복수의 픽셀 아일랜드 중 인접한 픽셀 아일랜드를 서로 연결하는 복수의 픽셀 배선 및 액체 금속에 기반하여 형성되며 복수의 픽셀 아일랜드 중 적어도 하나의 픽셀 아일랜드와 연결되는 복수의 버스(bus) 배선을 포함할 수 있다.
- [0011] 일측에 따르면, 복수의 버스 배선은 일 측단을 통해 적어도 하나의 픽셀 아일랜드 각각과 연결되고, 타 측단을 통해 픽셀 구동회로와 연결될 수 있다.
- [0012] 일측에 따르면, 복수의 픽셀 아일랜드 각각은 박막 트랜지스터 상에 형성되는 솔더 및 플럭스를 통해 박막 트랜지스터와 마이크로 LED가 서로 접합될 수 있다.
- [0013] 일측에 따르면, 복수의 픽셀 아일랜드는 유연 기판 상에 형성된 박막 트랜지스터 및 마이크로 LED에 대한 스탬프를 이용한 전사 공정 및 레이저 커팅 공정에 기반하여 신축성 기판 상에 형성될 수 있다.
- [0014] 일측에 따르면, 복수의 픽셀 배선 및 복수의 버스 배선은 네거티브 PR에 기반한 리프트-오프(lift-off) 공정을 통해 신축성 기판 상에 형성될 수 있다.
- [0015] 일측에 따르면, 복수의 픽셀 아일랜드 각각은 2개의 박막 트랜지스터 및 1개의 강유전성 박막 트랜지스터를 포함할 수 있다.
- [0016] 본 발명의 일실시예에 따른 스트레처블 디스플레이의 제조방법은 신축성 기판 상에 적어도 하나의 박막 트랜지스터 및 하나의 마이크로 LED를 각각 구비하는 복수의 픽셀 아일랜드를 전사하는 단계와, 복수의 픽셀 아일랜드가 전사된 신축성 기판의 기 설정된 영역에 네거티브 PR을 도포하는 단계와, 네거티브 PR이 도포된 신축성 기판 상에 액체 금속을 도포하는 단계 및 네거티브 PR을 제거하여 복수의 픽셀 아일랜드 중 인접한 픽셀 아일랜드를 서로 연결하는 복수의 픽셀 배선 및 복수의 픽셀 아일랜드 중 적어도 하나의 픽셀 아일랜드와 연결되는 복수의 버스(bus) 배선을 형성하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0017] 일측에 따르면, 복수의 픽셀 아일랜드를 전사하는 단계는 캐리어 기판 상에 유연성 기판, 박막 트랜지스터 및 마이크로 LED를 포함하는 LED-TFT 구조체를 형성하는 단계와, LED-TFT 구조체의 상부에 고분자 스탬프를 부착한 후, 캐리어 기판으로부터 LED-TFT 구조체를 분리하는 단계와, 고분자 스탬프에 부착된 LED-TFT 구조체에 대한 레이저 커팅 공정을 통해 복수의 픽셀 아일랜드를 형성하는 단계 및 고분자 스탬프에 부착된 복수의 픽셀 아일랜드를 신축성 기판 상에 전사하는 단계를 더 포함할 수 있다.
- [0018] 일측에 따르면, LED-TFT 구조체를 형성하는 단계는 박막 트랜지스터 상에 솔더를 증착하는 단계와, 솔더가 증착된 박막 트랜지스터 상에 플럭스를 코팅하는 단계와, 마이크로 LED를 접합하는 단계와, 플럭스를 제거하는 단계 및 패시베이션 층을 형성하는 단계를 더 포함할 수 있다.
- [0019] 일측에 따르면, 복수의 픽셀 아일랜드를 전사하는 단계는 신축성 기판을 자외선(UV) 및 오존(O₃) 처리하는 단계 및 자외선(UV) 및 오존(O₃) 처리된 신축성 기판 상에 복수의 픽셀 아일랜드를 전사하는 단계를 더 포함할 수 있다.
- [0020] 일측에 따르면, 액체 금속을 도포하는 단계는 네거티브 PR이 도포된 신축성 기판을 산소(O₂) 플라즈마 처리한 후, 액체 금속을 도포할 수 있다.

발명의 효과

- [0021] 일실시예에 따르면, 본 발명은 구불구불하지 않은 액체 금속(liquid metal) 기반의 신축성이 있는 배선을 적용하여 배선의 변형에 따른 균열 및 파손의 발생을 최소화할 수 있다.
- [0022] 일실시예에 따르면, 본 발명은 신축성 기판 상에 픽셀 아일랜드와 액체 금속 기반의 배선을 통합하여 견고한 전기적 특성을 확보할 수 있다.
- [0023] 일실시예에 따르면, 본 발명은 각 픽셀 아일랜드에 구비되는 커패시터를 강유전성 박막 트랜지스터로 대체하여 면적을 최소화하고 구동의 안정성을 확보할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0024] 도 1은 기존 스트레처블 디스플레이를 설명하기 위한 도면이다.
- 도 2는 일실시예에 따른 스트레처블 디스플레이를 설명하기 위한 도면이다.
- 도 3은 일실시예에 따른 스트레처블 디스플레이의 제조방법을 설명하기 위한 도면이다.
- 도 4a 내지 도 4h는 일실시예에 따른 스트레처블 디스플레이의 제조방법을 보다 구체적으로 설명하기 위한 도면이다.
- 도 5a 내지 도 5d는 일실시예에 따른 스트레처블 디스플레이의 제조방법 중 LED-TFT 구조체의 형성 방법을 보다 구체적으로 설명하기 위한 도면이다.
- 도 6은 일실시예에 따른 스트레처블 디스플레이의 마이크로 LED 소자의 구조적 특징을 보다 구체적으로 설명하기 위한 도면이다.
- 도 7은 일실시예에 따른 스트레처블 디스플레이의 제조방법 중 오존(O_3) 처리를 수행하는 방법을 보다 구체적으로 설명하기 위한 도면이다.
- 도 8은 일실시예에 따른 스트레처블 디스플레이의 제조방법 중 산소(O_2) 플라즈마 처리를 수행하는 방법을 보다 구체적으로 설명하기 위한 도면이다.
- 도 9는 일실시예에 따른 스트레처블 디스플레이의 박막 트랜지스터 및 마이크로 LED의 성능 실험 결과를 설명하기 위한 도면이다.
- 도 10은 일실시예에 따른 스트레처블 디스플레이의 픽셀 성능의 실험 결과를 설명하기 위한 도면이다.
- 도 11은 일실시예에 따른 스트레처블 디스플레이의 액체 금속 기반의 배선과 픽셀 아일랜드의 형상에 따른 전기적 특성의 변화의 실험 결과를 설명하기 위한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0025] 본 명세서에 개시되어 있는 본 발명의 개념에 따른 실시예들에 대해서 특정한 구조적 또는 기능적 설명들은 단지 본 발명의 개념에 따른 실시예들을 설명하기 위한 목적으로 예시된 것으로서, 본 발명의 개념에 따른 실시예들은 다양한 형태로 실시될 수 있으며 본 명세서에 설명된 실시예들에 한정되지 않는다.
- [0026] 본 발명의 개념에 따른 실시예들은 다양한 변경들을 가할 수 있고 여러 가지 형태들을 가질 수 있으므로 실시예들을 도면에 예시하고 본 명세서에 상세하게 설명하고자 한다. 그러나, 이는 본 발명의 개념에 따른 실시예들을 특정한 개시형태들에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 변경, 균등물, 또는 대체물을 포함한다.
- [0027] 제1 또는 제2 등의 용어를 다양한 구성요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 구성요소들은 용어들에 의해 한정되어서는 안 된다. 용어들은 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하는 목적으로만, 예를 들면 본 발명의 개념에 따른 권리 범위로부터 이탈되지 않은 채, 제1 구성요소는 제2 구성요소로 명명될 수 있고, 유사하게 제2 구성요소는 제1 구성요소로도 명명될 수 있다.
- [0028] 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "연결되어" 있다거나 "접속되어" 있다고 언급된 때에는, 그 다른 구성요소에 직접적으로 연결되어 있거나 또는 접속되어 있을 수도 있지만, 중간에 다른 구성요소가 존재할 수도 있다고 이해되어야 할 것이다. 반면에, 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "직접 연결되어" 있다거나 "직접 접속되어" 있

다고 언급된 때에는, 중간에 다른 구성요소가 존재하지 않는 것으로 이해되어야 할 것이다. 구성요소들 간의 관계를 설명하는 표현들, 예를 들면 "~사이에"와 "바로~사이에" 또는 "~에 직접 이웃하는" 등도 마찬가지로 해석되어야 한다.

- [0029] 본 명세서에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시예들을 설명하기 위해 사용된 것으로, 본 발명을 한정하려는 의도가 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 명세서에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 실시된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것이 존재함으로 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.
- [0030] 다르게 정의되지 않는 한, 기술적이거나 과학적인 용어를 포함해서 여기서 사용되는 모든 용어들은 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 가진다. 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 것과 같은 용어들은 관련 기술의 문맥상 가지는 의미와 일치하는 의미를 갖는 것으로 해석되어야 하며, 본 명세서에서 명백하게 정의하지 않는 한, 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미로 해석되지 않는다.
- [0032] 이하, 실시예들을 첨부된 도면을 참조하여 상세하게 설명한다. 그러나, 특허출원의 범위가 이러한 실시예들에 의해 제한되거나 한정되는 것은 아니다. 각 도면에 제시된 동일한 참조 부호는 동일한 부재를 나타낸다.
- [0034] 도 2는 일실시예에 따른 스트레처블 디스플레이를 설명하기 위한 도면이다.
- [0035] 도 2를 참조하면, 일실시예에 따른 스트레처블 디스플레이(200)는 구불구불하지 않은 액체 금속(liquid metal) 기반의 신축성이 있는 배선을 적용하여 배선의 변형에 따른 균열 및 파손의 발생을 최소화할 수 있다.
- [0036] 또한, 스트레처블 디스플레이(200)는 신축성 기판 상에 픽셀 아일랜드와 액체 금속 기반의 배선을 통합하여 견고한 전기적 특성을 확보할 수 있다.
- [0037] 또한, 스트레처블 디스플레이(200)는 각 픽셀 아일랜드에 구비되는 커패시터를 강유전성 박막 트랜지스터로 대체하여 면적을 최소화하고 구동의 안정성을 확보할 수 있다.
- [0038] 이를 위해, 스트레처블 디스플레이(200)는 신축성 기판(210), 복수의 픽셀 아일랜드(220), 복수의 픽셀 배선(230) 및 복수의 버스 배선(240)을 포함할 수 있다.
- [0039] 일실시예에 따른 복수의 픽셀 아일랜드(220)는 신축성 기판(210) 상에 형성되고 적어도 하나의 박막 트랜지스터(220-2) 및 하나의 마이크로 LED(220-3)를 각각 구비할 수 있다.
- [0040] 예를 들면, 신축성 기판(210)은 폴리디메틸실록산(polydimethylsiloxane; PDMS) 기판일 수 있다.
- [0041] 또한, 복수의 픽셀 아일랜드(220)는 16개로 구성되어 4 x 4의 픽셀 어레이를 구현할 수 있으나, 일실시예에 따른 픽셀 아일랜드(220)의 개수는 이에 한정되는 것은 아니며, 15개 이하 또는 17개 이상으로 구현될 수도 있다.
- [0042] 일측에 따르면, 복수의 픽셀 아일랜드(220) 각각은 유연 기판(220-1), 박막 트랜지스터(220-2), 마이크로 LED(240) 및 마이크로 LED(240)를 둘러싸는 패시베이션층을 더 포함할 수 있으며, 일례로 유연 기판(220-1)은 폴리이미드(polyimide; PI) 기판이고 패시베이션층은 SU-8일 수 있다.
- [0043] 복수의 픽셀 아일랜드(220) 각각은 2개의 박막 트랜지스터(즉, 스위칭 TFT 및 구동 TFT) 및 1개의 커패시터를 포함할 수 있으나(즉, 2TFT + capacitor 구조), 바람직하게는 복수의 픽셀 아일랜드(220) 각각은 2개의 박막 트랜지스터(즉, 스위칭 TFT 및 리셋 TFT) 및 구동을 위한 1개의 강유전성 박막 트랜지스터(FeTFT)를 포함할 수 있다(즉, 2TFT + 1FeTFT 구조).
- [0044] 예를 들면, 강유전성 박막 트랜지스터(FeTFT)는 지르코늄(Zr)에 기반하는 강유전성 물질을 포함할 수 있다. 보다 구체적인 예를 들면, 강유전성 박막 트랜지스터(FeTFT)는 HfZrO, ZrAlO 및 ZrO 중 적어도 하나의 강유전성 물질을 포함할 수 있다.
- [0045] 구체적으로, 유연/신축 기판 상에 박막 트랜지스터와 커패시터를 구현하는 경우에는 bending strain(tensile strain)에 따라 면적이 큰 MIM(metal-insulator-metal) 구조의 커패시터가 깨질 우려가 있으며, 이와 같이 커패시터가 깨지게 되면 전극간의 단락/개방 회로(short/open circuit)가 발생되어 디스플레이의 구동을 불가하게

만드는 요인으로 작용할 수 있다.

- [0046] 이에, 본 발명은 박막 트랜지스터와 커패시터의 역할을 동시에 수행할 수 있는 강유전성 박막 트랜지스터(FeTFT)로 픽셀 아일랜드(220) 내의 커패시터를 대체할 수 있으며, 이를 통해 면적을 최소화하고 단락/개방 회로의 발생을 방지하여 구동의 안정성 및 신뢰성을 확보할 수 있다.
- [0047] 일측에 따르면, 복수의 픽셀 아일랜드(220) 각각은 박막 트랜지스터(220-2) 상에 형성되는 솔더 및 플럭스를 통해 박막 트랜지스터(220-2)와 마이크로 LED(220-3)가 서로 접합될 수 있다.
- [0048] 예를 들면, 솔더는 박막 트랜지스터(220-2)의 소스 전극 및 드레인 전극 중 적어도 하나의 전극에 대응되는 위치에 형성되어, 박막 트랜지스터(220-2)의 소스 전극 또는 드레인 전극을 마이크로 LED(220-3)의 n형 전극 및 p형 전극 중 적어도 하나의 전극과 전기적으로 연결시킬 수 있다.
- [0049] 일측에 따르면, 복수의 픽셀 아일랜드(220)는 유연 기판(220-1) 상에 형성된 박막 트랜지스터(220-2) 및 마이크로 LED(220-3)에 대한 스탬프를 이용한 전사 공정 및 레이저 커팅 공정에 기반하여 신축성 기판(210) 상에 형성될 수 있다.
- [0050] 일실시예에 따른 복수의 픽셀 배선(230)은 액체 금속에 기반하여 형성되며, 복수의 픽셀 아일랜드(220) 중 인접한 픽셀 아일랜드를 서로 연결할 수 있다.
- [0051] 또한, 복수의 버스 배선(240)은 신축성 기판(210) 상에서 액체 금속에 기반하여 형성되며, 복수의 픽셀 아일랜드(220) 중 적어도 하나의 픽셀 아일랜드와 연결할 수 있다.
- [0052] 예를 들면, 액체 금속은 갈린스탄(galinstan), 갈륨(gallium), 갈륨 합금(gallium alloy), 주석(tin), 주석 합금(tin alloy), 인듐(indium), 인듐 합금(indium alloy), 인듐-주석 합금(In-Sn alloy), 납(lead), 납 합금(lead alloy), 인듐-주석 합금(In-Sn alloy) 중 적어도 하나를 포함할 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0053] 일측에 따르면, 복수의 버스 배선(240)은 일 측단을 통해 적어도 하나의 픽셀 아일랜드 각각과 연결되고, 타 측단을 통해 픽셀 구동회로(250)와 연결될 수 있다.
- [0054] 예를 들면, 복수의 버스 배선(240)은 4x4 픽셀 어레이를 구성하는 복수의 픽셀 아일랜드(220) 중 외각에 배치된 12개의 픽셀 아일랜드 각각을 픽셀 구동회로(250)와 연결시킬 수 있다.
- [0055] 일측에 따르면, 복수의 픽셀 배선(230) 및 복수의 버스 배선(240)은 네거티브 PR에 기반하는 리프트-오프(lift-off) 공정을 통해 신축성 기판(210) 상에 형성될 수 있다.
- [0057] 도 3은 일실시예에 따른 스트래치블 디스플레이의 제조방법을 설명하기 위한 도면이다.
- [0058] 도 3을 참조하면, 310 단계에서 제조방법은 신축성 기판 상에 적어도 하나의 박막 트랜지스터 및 하나의 마이크로 LED를 각각 구비하는 복수의 픽셀 아일랜드를 전사할 수 있다.
- [0059] 일측에 따르면, 310 단계에서 제조방법은 캐리어 기판 상에 유연성 기판, 박막 트랜지스터 및 마이크로 LED를 포함하는 LED-TFT 구조체를 형성하고, LED-TFT 구조체의 상부에 고분자 스탬프를 부착한 후, 캐리어 기판으로부터 LED-TFT 구조체를 분리할 수 있다.
- [0060] 또한, 310 단계에서 제조방법은 고분자 스탬프에 부착된 LED-TFT 구조체에 대한 레이저 커팅 공정을 통해 복수의 픽셀 아일랜드를 형성한 후, 고분자 스탬프에 부착된 복수의 픽셀 아일랜드를 신축성 기판 상에 전사할 수 있다.
- [0061] 구체적으로, 310 단계에서 제조방법은 캐리어 기판 상에 탄소 나노튜브(carbon nanotube; CNT) 및 산화 그래핀(graphene oxide)에 기반하는 코팅층을 형성한 후, 코팅층 상에 유연성 기판을 접합할 수 있다.
- [0062] 또한, 310 단계에서 제조방법은 박막 트랜지스터 상에 솔더를 증착하고, 솔더가 증착된 박막 트랜지스터 상에 플럭스를 코팅한 후 마이크로 LED를 박막 트랜지스터에 접합시키고, 이후 플럭스를 제거한 후 패시베이션층을 형성하여 LED-TFT 구조체를 형성할 수 있다.
- [0063] 일측에 따르면, 310 단계에서 제조방법은 신축성 기판을 자외선(UV) 및 오존(O₃) 처리한 후, 자외선(UV) 및 오존(O₃) 처리된 신축성 기판 상에 복수의 픽셀 아일랜드를 전사할 수 있다.

- [0064] 구체적으로, 310 단계에서 제조방법은 신축성 기판에 대한 UV/O₃ 플라즈마 처리를 1분 내지 5분 동안 수행하여, 신축성 기판과 유연 기판 사이의 접착력을 향상시킬 수 있다.
- [0065] 다음으로, 320 단계에서 제조방법은 복수의 픽셀 아일랜드가 전사된 신축성 기판의 기 설정된 영역에 네거티브 PR을 도포할 수 있다.
- [0066] 다음으로, 330 단계에서 제조방법은 네거티브 PR이 도포된 신축성 기판 상에 액체 금속을 도포할 수 있다.
- [0067] 일측에 따르면, 330 단계에서 제조방법은 네거티브 PR이 도포된 신축성 기판을 산소(O₂) 플라즈마 처리한 후, 액체 금속을 도포할 수 있다.
- [0068] 예를 들면, 320 단계에서 제조방법은 신축성 기판에 대한 제1 산소(O₂) 플라즈마 후에 네거티브 PR을 도포할 수 있으며, 330 단계에서 제조방법은 네거티브 PR이 도포된 신축성 기판에 대한 제2 산소(O₂) 플라즈마 후에 액체 금속을 도포할 수 있다.
- [0069] 다음으로, 340 단계에서 제조방법은 네거티브 PR을 제거하여 복수의 픽셀 아일랜드 중 인접한 픽셀 아일랜드를 서로 연결하는 복수의 픽셀 배선 및 복수의 픽셀 아일랜드 중 적어도 하나의 픽셀 아일랜드와 연결되는 복수의 버스(bus) 배선을 형성할 수 있다.
- [0070] 일실시예에 따른 스트래처블 디스플레이의 제조방법은 이후 실시예 도 4a 내지 도 8을 통해 보다 구체적으로 설명하기로 한다.
- [0072] 도 4a 내지 도 4h는 일실시예에 따른 스트래처블 디스플레이의 제조방법을 보다 구체적으로 설명하기 위한 도면이다.
- [0073] 도 4a 내지 도 4h를 참조하면, 410 단계에서 제조방법은 제1 캐리어 기판(일례로, 유리(glass) 기판) 상에 LED-TFT 구조체를 형성할 수 있으며, 여기서 LED-TFT 구조체는 유연 기판(일례로, PI 기판), 적어도 하나의 박막 트랜지스터(TFT), 마이크로 LED 및 마이크로 LED를 둘러싸는 패시베이션층(일례로, SU-8)을 포함할 수 있다.
- [0074] 일측에 따르면, 410 단계에서 제조방법은 유연 기판을 형성하기 이전에 제1 캐리어 기판 상에 용액 처리된 탄소 나노튜브(CNT)/산화 그래핀(GO) 층을 코팅하여 유연 기판과의 접착력을 감소시킬 수 있으며, 이를 통해 비레이저 방식으로 제1 캐리어 기판을 분리시킬 수 있다.
- [0075] 다음으로, 420 단계에서 제조방법은 LED-TFT 구조체의 상부, 즉 패시베이션층 상에 고분자 스탬프(일례로, PDMS 스탬프)를 부착한 후, 제1 캐리어 기판을 분리할 수 있다.
- [0076] 예를 들면, 420 단계에서 제조방법은 고분자 스탬프에 부착된 LED-TFT 구조체로부터 제1 캐리어 기판을 기계적인 방법(즉, 비레이저 방식)으로 분리할 수 있다.
- [0077] 다음으로, 430 단계에서 제조방법은 레이저 커팅 공정에 기반하여 단일 픽셀 단위로 LED-TFT 구조체를 커팅하고, 박막 트랜지스터(TFT)가 형성되지 않은 영역을 제거할 수 있으며, 이를 통해 복수의 픽셀 아일랜드를 형성할 수 있다.
- [0078] 예를 들면, 430 단계에서 제조방법은 고분자 스탬프에 부착되어 반전된 LED-TFT 구조체를 녹색 레이저를 통해 1.5mm 간격으로 절단하여 정렬된 4x4 픽셀 어레이(즉, 16개의 픽셀 아일랜드)를 형성할 수 있다.
- [0079] 다음으로, 440 단계에서 제조방법은 고분자 스탬프에 부착된 복수의 픽셀 아일랜드를 신축성 기판(일례로, PDMS 기판) 상에 전사시킬 수 있으며, 이때 신축성 기판은 제2 캐리어 기판(일례로, 유리 기판)에 부착된 상태일 수 있다.
- [0080] 다음으로, 450 단계에서 제조방법은 복수의 픽셀 아일랜드가 전사된 신축성 기판의 기 설정된 영역에 네거티브 PR을 도포할 수 있다.
- [0081] 다음으로, 460 단계에서 제조방법은 네거티브 PR이 도포된 신축성 기판 상에 액체 금속을 도포할 수 있다.
- [0082] 다음으로, 470 단계에서 제조방법은 네거티브 PR을 제거하여 복수의 픽셀 아일랜드 중 인접한 픽셀 아일랜드를 서로 연결하는 복수의 픽셀 배선 및 복수의 픽셀 아일랜드 중 적어도 하나의 픽셀 아일랜드와 연결되는 복수의 버스 배선을 형성할 수 있다.

- [0083] 다시 말해, 450 단계 내지 470 단계에서 제조방법은 네거티브 PR에 기반하는 리프트-오프(lift-off) 공정을 통해 복수의 픽셀 배선 및 복수의 버스 배선을 형성할 수 있다.
- [0084] 예를 들면, 470 단계에서 제조방법은 아세톤 용액을 분사하는 리프트 오프 공정을 통해 네거티브 PR을 제거하여 복수의 픽셀 배선 및 복수의 버스 배선을 형성할 수 있다.
- [0085] 다음으로, 480 단계에서 제조방법은 복수의 픽셀 아일랜드와 복수의 픽셀 배선 및 복수의 버스 배선이 형성된 신축성 기판을 제2 캐리어 기판으로부터 분리할 수 있다.
- [0087] 도 5a 내지 도 5d는 일실시예에 따른 스트래처블 디스플레이의 제조방법 중 LED-TFT 구조체의 형성 방법을 보다 구체적으로 설명하기 위한 도면이다.
- [0088] 도 5a 내지 도 5d를 참조하면, 510 단계에서 제조방법은 제1 캐리어 기판(일례로, 유리(glass) 기판) 상에 유연 기판(일례로, PI 기판) 및 적어도 하나의 박막 트랜지스터(TFT)를 형성할 수 있다.
- [0089] 예를 들면, 적어도 하나의 박막 트랜지스터(TFT)는 2개의 박막 트랜지스터(즉, 스위칭 TFT 및 리셋 TFT) 및 구동을 위해 지르코늄(Zr)에 기반하는 강유전성 물질을 포함하는 1개의 강유전성 박막 트랜지스터(FeTFT)를 포함할 수 있다(즉, 2TFT + 1FeTFT 구조).
- [0090] 예를 들면, 510 단계에서 제조방법은 제1 캐리어 기판 상에 탄소 나노튜브(CNT)/산화 그래핀(GO) 층을 코팅할 수 있으며, 탄소 나노튜브(CNT)/산화 그래핀(GO) 층 상에 PI를 10 μ m 두께로 스핀 코팅한 후 450℃에서 1시간 동안 경화시켜 유연 기판을 형성할 수 있다.
- [0091] 예를 들면, 510 단계에서 제조방법은 PECVD(plasma enhanced chemical vapor deposition)를 통해 300nm 크기의 산화 실리콘(SiO₂) 버퍼층을 증착한 후, 120nm 두께의 몰리브데넘(Mo) 층을 스퍼터링 증착 후 패터닝하여 박막 트랜지스터의 게이트 전극을 형성할 수 있다.
- [0092] 또한, 510 단계에서 제조방법은 PECVD를 통해 SiNx(100nm)와 SiO₂(130nm)의 이중층을 게이트 절연층으로 증착한 후, 30nm 두께의 a-IGZO 층을 증착할 수 있으며, 여기서 a-IGZO 층은 InO₃ : Ga₂O₃ : ZnO = 1 : 1 : 1 mol% 조성의 다결정 IGZO 타겟을 사용하여 반응성 스퍼터링을 통해 증착될 수 있다.
- [0093] 또한, 510 단계에서 제조방법은 박막 트랜지스터의 150nm Mo층을 증착 및 패터닝하여 소스 및 드레인 전극을 형성하고, PECVD를 이용하여 150nm 두께의 산화 실리콘(SiO₂) 층을 박막 트랜지스터의 패시베이션층으로 증착한 후, 진공 조건에서 4시간 동안 250℃에서 어닐링하여 박막 트랜지스터를 형성할 수 있다.
- [0094] 다음으로, 520 단계에서 제조방법은 적어도 하나의 박막 트랜지스터(TFT) 상에 솔더를 형성할 수 있으며, 여기서 솔더는 박막 트랜지스터(TFT)의 소스 전극 및 드레인 전극 중 적어도 하나에 대응되는 위치에 형성되어 박막 트랜지스터(TFT)와 마이크로 LED를 전기적으로 연결할 수 있으며, 일례로, 솔더는 SAC(SnAgCu)를 포함하며 리프트-오프 공정을 통해 패터닝될 수 있다.
- [0095] 다음으로, 530 단계에서 제조방법은 접합 품질을 향상시키고 솔더(즉, SAC 솔더)의 산화층을 제거하기 위해 전체 층에 플럭스를 코팅한 후 마이크로 LED를 박막 트랜지스터에 접합시킬 수 있다.
- [0096] 예를 들면, 530 단계에서 제조방법은 플럭스 재료를 박막 트랜지스터가 형성된 기판면(즉, 백플레인)에 스핀 코팅하여 플럭스를 형성할 수 있다.
- [0097] 또한, 530 단계에서 제조방법은 고분자 스탬프에 기반하는 픽 앤 플레이스(pick & place) 방법을 통해 마이크로 LED와 박막 트랜지스터를 접합시킬 수 있다.
- [0098] 보다 구체적인 예를 들면, 530 단계에서 제조방법은 PDMS 스탬프를 이용하여 마이크로 LED를 솔더 상에 위치시킨 후에, 250℃의 온도에서 2분 동안 접착시킬 수 있다.
- [0099] 다음으로, 540 단계에서 제조방법은 박막 트랜지스터의 접합 영역을 제외한 나머지 영역에 존재하는 플럭스를 제거한 후, 외부로부터의 충격으로 인한 마이크로 LED의 손상을 방지하기 위해, 패시베이션층(일례로, SU-8)을 형성할 수 있다.
- [0100] 예를 들면, 540 단계에서 제조방법은 산소(O₂) 플라즈마 처리를 100W에서 5분간 수행하여 플럭스를 제거할 수

있다.

- [0101] 또한, 540 단계에서 제조방법은 패시베이션층을 스핀 코팅하여 마이크로 LED를 고정시킨 후, 접촉 패드 영역을 개방하여 액체 금속 기반의 배선과의 연결의 용이성을 확보할 수 있다.
- [0103] 도 6은 일실시예에 따른 스트레처블 디스플레이의 마이크로 LED 소자의 구조적 특징을 보다 구체적으로 설명하기 위한 도면이다.
- [0104] 도 6을 참조하면, 일실시예에 따른 스트레처블 디스플레이의 복수의 픽셀 아일랜드 각각은 마이크로 LED를 구비할 수 있으며, 여기서 마이크로 LED는 uGaN 층, AlGaN / GaN 층, nGaN 층, InGaN / GaN 층, 다중 양자우물(multi quantum wells; MQW) 층, pGaN 층 및 금(Au)을 기반으로 하는 복수의 전극(즉, n형 전극 및 p형 전극)을 구비할 수 있다.
- [0105] 또한, 마이크로 LED의 복수의 전극 중 적어도 하나의 전극은 솔더를 통해 박막 트랜지스터의 소스 전극 및 드레인 전극 중 적어도 하나의 전극과 연결될 수 있다.
- [0107] 도 7은 일실시예에 따른 스트레처블 디스플레이의 제조방법 중 오존(O₃) 처리를 수행하는 방법을 보다 구체적으로 설명하기 위한 도면이다.
- [0108] 도 7을 참조하면, 도 7의 (a)는 신축성 기판(PDMS 기판)을 UV/O₃ 플라즈마 처리하는 과정을 도시하고, 도 7의 (b)는 신축성 기판(PDMS 기판)과 유연 기판(PI 기판) 간의 접착력 측정을 위한 유연 기판의 90° 박리 테스트 과정을 도시한다.
- [0109] 또한, 도 7의 (c)는 UV/O₃ 플라즈마 처리를 수행하지 않는 경우의 박리 테스트 결과를 도시하고, 도 7의 (d)는 UV/O₃ 플라즈마 처리를 1분간 수행한 경우의 박리 테스트 결과를 도시한다.
- [0110] 도 7의 (a)에 따르면, 일실시예에 따른 제조방법은 신축성 기판(PDMS 기판) 상에 복수의 픽셀 아일랜드 각각에 구비된 유연 기판(PI 기판)을 접합할 수 있으며, 이때 신축성 기판(PDMS 기판)은 1분 내지 5분 동안 UV/O₃ 플라즈마 처리가 수행되어 신축성 기판(PDMS 기판)과 유연 기판(PI 기판) 사이의 접착력을 향상시킬 수 있다.
- [0111] 도 7의 (b) 내지 (d)에 따르면, 신축성 기판(PDMS 기판)과 유연 기판(PI 기판) 사이의 접착력은 수행하지 않는 경우에는 5gF/cm으로 측정되었으나, 1분간 UV/O₃ 플라즈마 처리를 수행한 경우에는 18gF/cm으로 향상되는 것으로 나타났다.
- [0113] 도 8은 일실시예에 따른 스트레처블 디스플레이의 제조방법 중 산소(O₂) 플라즈마 처리를 수행하는 방법을 보다 구체적으로 설명하기 위한 도면이다.
- [0114] 도 8을 참조하면, 도 8의 (a)는 산소(O₂) 플라즈마 처리를 수행하는 과정을 도시하고, 도 8의 (b) 및 (c)는 각각 네거티브 PR을 현상한 후의 광학 이미지와 네거티브 PR 제거 후의 광학 이미지를 도시하며, 도 8의 (d) 및 (e)는 각각 산소(O₂) 플라즈마 처리의 전과 후의 신축성 기판(PDMS 기판)의 접촉각 측정 결과를 도시한다.
- [0115] 도 8의 (a) 내지 (c)에 따르면, 일실시예에 따른 제조방법은 신축성 기판(PDMS 기판)을 30W에서 5초간 산소(O₂) 플라즈마 처리를 수행한 후 복수의 픽셀 아일랜드를 신축성 기판(PDMS 기판)에 전사시킬 수 있다.
- [0116] 또한, 일실시예에 따른 제조방법은 네거티브 PR을 형성한 후에 신축성 기판(PDMS 기판)에서의 액체 금속의 습윤성을 향상시키기 위해, 신축성 기판(PDMS 기판)을 50W에서 30초간 산소(O₂) 플라즈마 처리할 수 있다.
- [0117] 다시 말해, 일실시예에 따른 제조방법은 소수성 특성을 갖는 PDMS 기판을 산소(O₂) 플라즈마 처리하여 친수성 특성으로 변화시킬 수 있으며, 이를 통해 PDMS 기판과 네거티브 PR 사이의 접착력을 향상시킬 수 있다.
- [0118] 도 8의 (d) 및 (e)에 따르면, 산소(O₂) 플라즈마 처리가 되지 않은 PDMS 기판에 대한 네거티브 PR의 접촉각은

65.3° 이나, 산소(O₂) 플라즈마 처리가 수행된 PDMS 기판에 대한 네거티브 PR의 접촉각은 22.9° 로 감소하여, 산소(O₂) 플라즈마 처리를 통해 PDMS 기판이 친수성 특성을 갖게 되는 것을 확인할 수 있다.

- [0120] 도 9는 일실시예에 따른 스트레처블 디스플레이의 박막 트랜지스터 및 마이크로 LED의 성능 실험 결과를 설명하기 위한 도면이다.
- [0121] 도 9를 참조하면, 도 9의 (a) 및 (b)는 각각 픽셀 아일랜드에 구비된 스위칭 박막 트랜지스터(채널 폭/길이 = 55/6 μm)와 구동 박막 트랜지스터(채널 폭/길이 = 440/6 μm)의 광학 이미지를 도시한다.
- [0122] 또한, 도 9의 (c) 및 (d)는 각각 스위칭 박막 트랜지스터와 구동 박막 트랜지스터의 드레인-소스 전압(V_{DS})이 각각 0.1V, 1V, 5V, 10V일 때의 전달 특성을 도시하고, 도 9의 (e) 및 (f)는 각각 스위칭 박막 트랜지스터와 구동 박막 트랜지스터의 게이트-소스 전압(V_{GS})이 각각 5V, 7.5V, 10V일 때의 출력 특성을 도시하며, 도 9의 (g) 및 (h) 각각은 16개의 스위칭 박막 트랜지스터와 16개의 구동 박막 트랜지스터의 임계 전압(V_{th}), 전계 효과 이동도(μ_{fe}) 및 SS(subthreshold swing) 특성의 측정 결과를 도시한다.
- [0123] 또한, 도 9의 (i)는 픽셀 아일랜드에 구비된 마이크로 LED의 광학 이미지를 도시하고, 도 9의 (j)는 마이크로 LED의 전기적 특성을 도시하며, 도 9의 (k), (l), (m)은 각각 1 μA, 10 μA 및 100 μA의 정전류에서 구동되는 마이크로 LED를 도시한다.
- [0124] 도 9의 (a) 내지 (h)에 따르면, 스위칭 박막 트랜지스터와 구동 박막 트랜지스터(즉, 스위칭 박막 트랜지스터 / 구동 박막 트랜지스터) 각각의 임계 전압(V_{th}), 전계 효과 이동도(μ_{fe}) 및 SS 값은 -2.4 / -2.0 V, 12.3 / 10.1 cm²V⁻¹s⁻¹ 및 0.54 / 0.51 V dec⁻¹ 인 것으로 나타났다.
- [0125] 산화물 박막 트랜지스터는 10V의 높은 V_{DS}에서 1pA 미만의 매우 낮은 오프 상태 드레인 전류를 나타내며 각 픽셀은 V_{GS} < -5V에서 완전히 오프(off)되는 것으로 나타났다.
- [0126] 구동 박막 트랜지스터의 채널 폭/길이는 AM 디스플레이 픽셀 회로에서 구동 박막 트랜지스터와 마이크로 LED가 직렬로 연결되는 게이트 바이어스로 박막 트랜지스터를 구동함으로써 마이크로 LED의 밝기를 제어할 수 있으므로 신중하게 설계되어야 하며, 최적화 설계(채널 폭/길이 = 440/6 μm)를 통해 구동 박막 트랜지스터는 V_{DS} = 10V 및 V_{GS} = 10V에서 546 μA에 도달할 수 있다.
- [0127] 한편, 균일성을 보장하기 위해 공정 후 4 x 4의 픽셀 아일랜드에 각각 구비된 16개의 스위칭 박막 트랜지스터와 16개의 구동 박막 트랜지스터(즉, 스위칭 박막 트랜지스터 / 구동 박막 트랜지스터)의 임계 전압(V_{th}), 전계 효과 이동도(μ_{fe}) 및 SS 값을 측정한 결과, -2.45±0.31 / -2.11±0.20 V, 11.8±0.6 / 10.0±0.6 cm²V⁻¹s⁻¹ 및 0.57±0.03 / 0.52±0.03 Vdec⁻¹인 것으로 나타났다.
- [0128] 즉, 마이크로 LED와 액체 금속 기반의 배선의 통합 설계에도 불구하고 산화물 박막 트랜지스터는 균일한 전기적 특성을 보이는 것을 확인할 수 있다.
- [0129] 도 9의 (i) 내지 (m)에 따르면, 일실시예에 따른 스트레처블 디스플레이에는 GaN 기반 플립칩 마이크로 LED가 적용되어 본딩 후 상단 전극에 추가적인 연결 공정이 필요한 수직형 LED에 비해 공정적인 측면에서 이점이 있으며, 이때 마이크로 LED는 60 x 52 μm² 크기 및 8 μm의 두께로 설계되고 마이크로 LED의 금(Au) 양극/음극 전극은 플럭스 / 솔더 금속에 접합될 수 있다.
- [0130] 한편, 마이크로 LED는 3V의 전압에서 216 μA의 온 상태 전류를 나타냈으며, 1 μA, 10 μA, 100 μA의 다양한 정전류 하에서 청색 발광을 보이는 것으로 나타났다.
- [0132] 도 10은 일실시예에 따른 스트레처블 디스플레이의 픽셀 성능의 실험 결과를 설명하기 위한 도면이다.
- [0133] 도 10을 참조하면, 도 10의 (a) 및 (b) 각각은 스위칭 박막 트랜지스터, 구동 박막 트랜지스터 및 마이크로 LED

로 구성된 단위 픽셀의 광학 이미지와 회로도들 도시하고, 도 10의 (c)는 V_{DD} 가 3V, 4V 및 5V일 때 V_{Data} 를 -10V에서 10V로 스위핑하여 직렬 연결된 마이크로 LED와 구동 박막 트랜지스터의 전달 특성을 측정한 결과를 도시한다.

[0134] 또한, 도 10의 (d) 및 (e)는 각각 V_{Data} 가 2V, 4V, 6V, 8V, 10V일 때 V_{DD} 를 -5V에서 5V로 스위핑하여 선형(도 10의 (d)) 및 단위 픽셀의 로그 스케일(도 10의 (e))에서 직렬 연결된 마이크로 LED와 구동 박막 트랜지스터의 전달 특성을 측정한 결과를 도시하고, 도 10의 (f) 내지 (j)는 V_{Data} 가 각각 2V, 4V, 6V, 8V, 10V일 때 구동되는 마이크로 LED를 도시한다.

[0135] 도 10의 (a) 및 (b)에 따르면, 일실시예에 따른 스트레처블 디스플레이는 기계적 변형으로 인해 예측할 수 없는 금속 균열이 발생하는 것을 방지하기 위해 $5\mu\text{m}$ 의 폭과 $5\mu\text{m}$ 의 간격을 갖는 몰리브데넘(Mo) 기반의 메쉬 전극을 활용할 수 있다.

[0136] 구체적으로, 활성층인 금속의 균열은 기존 TFT의 전기적 성능을 크게 저하시킬 수 있는 반면, 단위 폭이 좁은 금속 메쉬 전극은 유연 기관(PI 기관)에서 박막 트랜지스터의 유연성을 향상시킬 수 있습니다.

[0137] 또한, 기존의 MIM 구조를 갖는 스토리지 커패시터는 쉽게 손상되어 MIM 스택 사이의 단락이 발생할 수 있으므로, 구동 TFT에서 소스와 게이트 사이에 강유전성 박막 트랜지스터를 적용할 수 있으며, 이를 통해 스토리지 커패시터를 강유전성 박막 트랜지스터로 대체하여 활용할 수 있다.

[0138] 도 10의 (c) 내지 (j)에 따르면, 스위칭 박막 트랜지스터는 10 V / -10 V의 스캔 신호에 의해 온 / 오프될 수 있으며, 스위칭 박막 트랜지스터를 온 시키면 구동 박막 트랜지스터의 게이트 전극에 데이터 전압(V_{Data})이 인가되어 V_{DD} 및 V_{SS} 값으로 마이크로 LED의 밝기가 제어될 수 있습니다.

[0139] 한편, V_{DD} 에 따라 마이크로 LED(I_{DD})에서 청색 발광 및 전류가 증가하는 것을 확인할 수 있으며, 여기서 I_{DD} 는 I_{LED} 와 박막 트랜지스터의 출력 특성 사이의 교차점이 I_{DD} 에 해당하는 V_{Data} 에 의해 제어될 수 있다.

[0140] 구체적으로, $15.9\mu\text{A}$, $46.1\mu\text{A}$, $89.5\mu\text{A}$, $143.0\mu\text{A}$ 및 $203.5\mu\text{A}$ 의 I_{DD} 값은 V_{data} 를 각각 2V, 4V, 6V, 8V 및 10V로 조정하여 달성될 수 있고, 이를 통해 V_{data} 를 제어하여 마이크로 LED의 밝기를 조절할 수 있음을 확인할 수 있으며, 결과적으로 픽셀 아일랜드는 양호하고 균일한 전기적 특성을 나타내는 것을 확인할 수 있다.

[0142] 도 11은 일실시예에 따른 스트레처블 디스플레이의 액체 금속 기반의 배선과 픽셀 아일랜드의 형상에 따른 전기적 특성의 변화의 실험 결과를 설명하기 위한 도면이다.

[0143] 도 11을 참조하면, 도 11의 (a) 내지 (f)는 초기 상태(도 11의 (a), (c), (e)) 및 24% 이축(biaxially) 신장 상태(도 11의 (b), (d), (f))에서 액체 금속 기반의 배선으로 연결된 픽셀 아일랜드의 2D 및 3D 광학 이미지(레이저 공초점 이미지)를 도시한다.

[0144] 또한, 도 11의 (g)는 이축 신장 하에서 픽셀 아일랜드를 상호 연결하는 16개의 액체 금속 기반의 배선의 저항 변화의 측정 결과를 도시하며, 여기서 액체 금속 기반의 배선의 초기 상태에서의 폭 / 길이는 $100\mu\text{m}$ / $2000\mu\text{m}$ 이고, 24%의 이축(biaxially) 신장 상태를 구현하기 위해 동일한 치수를 가진 견고한 유연 기관(PI 기관)에 기반하여 액체 금속 기반의 배선을 48%까지 확장시킬 수 있다.

[0145] 또한, 도 11의 (h)는 100,000 주기 동안 이축 신장 및 이완을 반복한 신축성 기관(PDMS 기관) 하에 액체 금속 기반의 배선의 전기적 특성의 측정 결과를 도시한다.

[0146] 또한, 도 11의 (i) 내지 (k) 및 (l) 내지 (n) 각각은 단위 픽셀(도 11의 (i), (l)), 선형(도 10의 (j), (m)) 및 로그 스케일(도 10의 (k), (n))의 전달 특성 및 출력 특성의 측정 결과를 도시한다.

[0147] 도 11의 (a) 및 (b)에 따르면, 일실시예에 따른 픽셀 아일랜드는 신축성 기관(PDMS 기관)에서 액체 금속 기반의 배선을 적용하여 제작되어 이축 신장 및 완화 상태에서 특성화 되었으며, UV/ O_3 처리에 의한 유연 기관(PI 기관)과 신축성 기관(PDMS 기관) 사이의 접착력 향상 및 O_2 플라즈마 처리에 의한 신축성 기관(PDMS 기관)의 습윤성 향상으로 인해 픽셀 아일랜드와 액체 금속 기반의 배선의 형태가 유지되며, 구체적으로 24%의 이축 신장 상태에서도 왜곡이나 파손이 없이 형태가 유지되는 것으로 나타났다.

- [0148] 도 11의 (c) 및 (f), 즉 이완 및 수축 상태에서 신축성 기판(PDMS 기판)에 배치되는 액체 금속 기반의 배선의 2D 및 3D 이미지 프로파일에 따르면, 이완 상태에서의 액체 금속 기반의 배선의 폭과 간격은 $100\ \mu\text{m}$ 와 $400\ \mu\text{m}$ 인 것으로 나타났다.
- [0149] 도 11의 (g)에 따르면, 이축 신장된 액체 금속 기반의 배선은 표면이 거칠고 높이는 $16\ \mu\text{m}$ 에서 $20\ \mu\text{m}$ 까지 위치에 따라 다르게 나타나며, 신장에 따른 배선의 저항 변화는 전류에 의해 구동되는 마이크로 LED의 밝기에 영향을 미칠 수 있으므로 중요한 요소로 작용한다.
- [0150] 스트레처블 디스플레이는 1.5mm 의 픽셀 아일랜드 영역과 1.5mm 의 픽셀 아일랜드 간 간격으로 구성되고, 픽셀 아일랜드는 늘릴 수 없으므로 PDMS의 LM 영역만 늘려야하며, 이에 따라 24% 신장된 디스플레이에서 하나의 픽셀이 신장된 크기는 $3.72 \times 3.72\text{mm}^2$ (이완된 상태, $3 \times 3\text{mm}^2$)이고, 유효 확장 영역은 2.22mm 의 간격(이완된 상태, 1.5mm 의 간격)을 필요로 하며, 액체 금속 기반의 배선은 48% 신장되는 것으로 나타났다.
- [0151] 또한, 액체 금속 기반의 배선의 평균 저항은 5.4Ω (완화), 5.9Ω (24%) 및 6.2Ω (48%)이며, 이는 24% 늘어난 디스플레이에서 저항이 14% 증가했음을 의미한다.
- [0152] 도 11의 (h)에 따르면, 16개의 액체 금속 기반의 배선을 이용하여 100,000 사이클 동안 24%의 반복적인 이축 신장을 수행한 결과, 액체 금속 기반의 배선의 초기 평균 저항은 5.4Ω 이었으며 100,000사이클 후에도 5.5Ω 으로 무시할 정도로 변형의 정도가 적은 것으로 나타났다.
- [0153] 도 11의 (i) 내지 (j)에 따르면, 24%의 이축 신장된 신축성 기판(PDMS 기판)에서도 마이크로 LED의 전기적 특성은 V_{DD} 및 V_{Data} 의 변화에 따라 안정적인 성능을 나타내는 것으로 분석되었다.
- [0154] 이러한 안정성은 견고한 PI 기판과 SU-8 패시베이션 층으로 인해 달성될 수 있었으며, 구체적으로, PDMS(기본/경화제: 20/1), PI 및 SU-8의 일반적인 영률은 0.445MPa , 2.5GPa 및 2.0GPa 이고, $V_{Data} = 2\text{V}$, 4V , 6V , 8V , 10V 및 $V_{DD} = 5\text{V}$ 에서 I_{DD} 비율(24% 신장/이완 상태)은 각각 5.9 % ($5.93\ \mu\text{A}/5.60\ \mu\text{A}$), 3.5 % ($21.24\ \mu\text{A}/20.53\ \mu\text{A}$), 2.4 % ($46.70\ \mu\text{A}/45.60\ \mu\text{A}$), 1.8 % ($81.21\ \mu\text{A}/79.77\ \mu\text{A}$) 및 1.4 % ($123.95\ \mu\text{A}/122.24\ \mu\text{A}$)인 것으로 나타났다.
- [0155] 도 11의 (i) 및 (k)에 따르면, V_{DD} 및 V_{Data} 의 변화에 따른 안정적인 오프 상태 전류의 변화를 통해, 이축 신장 상태에서 견고한 a-IGZO TFT 및 마이크로 LED의 안정성을 확인할 수 있다.
- [0156] 도 11의 (l) 내지 (n)에 따르면, I_{DD} 는 스트레칭 주기에 따라 감소하고 50,000주기에서 10pA 로 급격하게 감소하는 것으로 나타났다. 일반적으로 축적된 인장 응력은 박막 트랜지스터에서 음의 임계 전압(V_{th}) 이동을 유도하지만 백플레인의 마이크로 LED는 이축 연신 사이클에 의해 손상되는 결과를 초래할 수 있다.
- [0157] 그러나, 일실시에에 따른 스트레처블 디스플레이에 대한 실험 결과, V_{DD} 및 V_{Data} 의 변화에 따른 온 상태 I_{DD} 의 저하는 미미한 것으로 확인되었다. 구체적으로, $V_{Data} = 2\text{V}$, 4V , 6V , 8V , 10V ($V_{DD} = 5\text{V}$) 각각에서의 I_{DD} 비율(20,000사이클/초기 상태)은 -5.0 % ($4.00\ \mu\text{A}/4.21\ \mu\text{A}$), -4.3 % ($16.69\ \mu\text{A}/17.45\ \mu\text{A}$), -3.7 % ($39.44\ \mu\text{A}/40.95\ \mu\text{A}$), -3.3 % ($71.38\ \mu\text{A}/73.79\ \mu\text{A}$), 및 -3.3 % ($111.14\ \mu\text{A}/114.99\ \mu\text{A}$)인 것으로 나타났다.
- [0159] 이상과 같이 실시예들이 비록 한정된 도면에 의해 설명되었으나, 해당 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 상기의 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다. 예를 들면, 설명된 기술들이 설명된 방법과 다른 순서로 수행되거나, 및/또는 설명된 장치, 구조, 장치, 회로 등의 구성요소들이 설명된 방법과 다른 형태로 결합 또는 조합되거나, 다른 구성요소 또는 균등물에 의하여 대치되거나 치환되더라도 적절한 결과가 달성될 수 있다.
- [0160] 그러므로, 다른 구현들, 다른 실시예들 및 특허청구범위와 균등한 것들도 후술하는 특허청구범위의 범위에 속한다.

부호의 설명

- [0162] 200: 스트레처블 디스플레이 210: 신축성 기판

220: 픽셀 아일랜드 220-1: 유연 기판

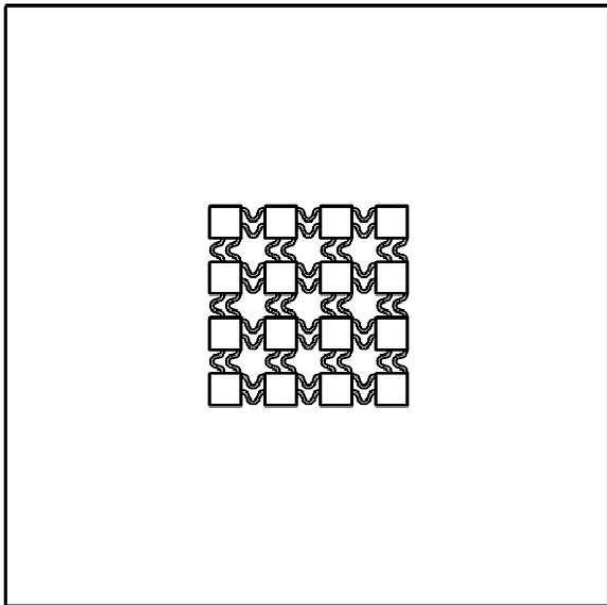
220-2: 박막 트랜지스터 220-3: 마이크로 LED

230: 픽셀 배선 240: 버스 배선

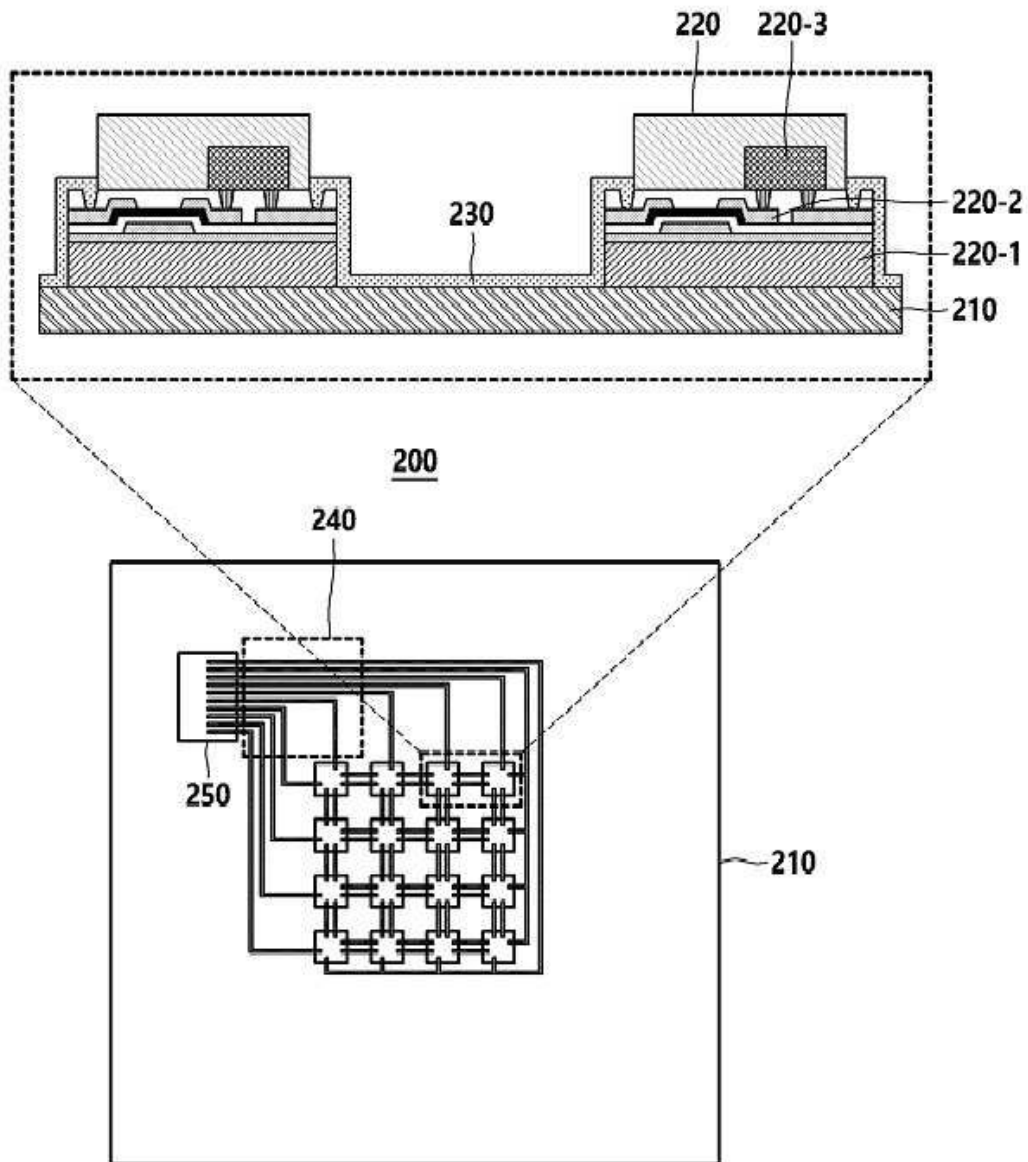
도면

도면1

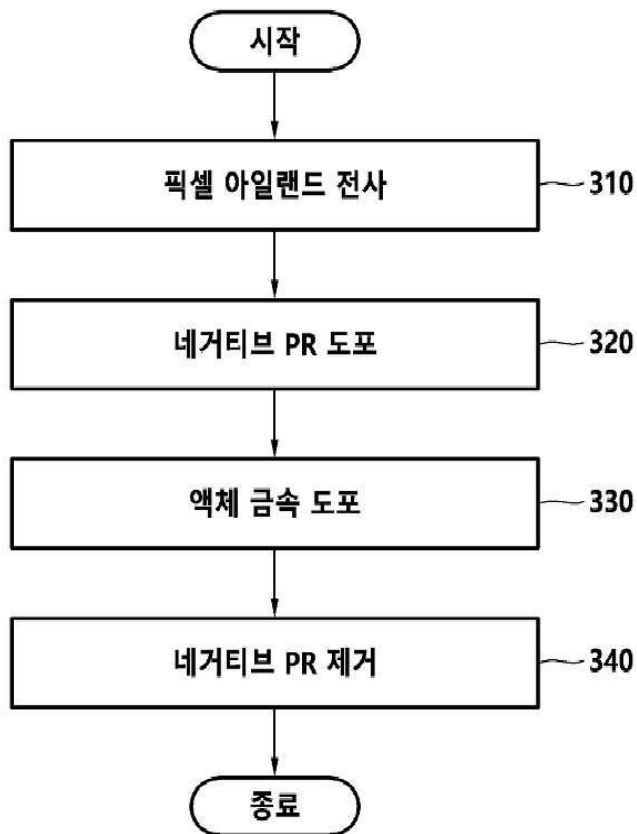
100



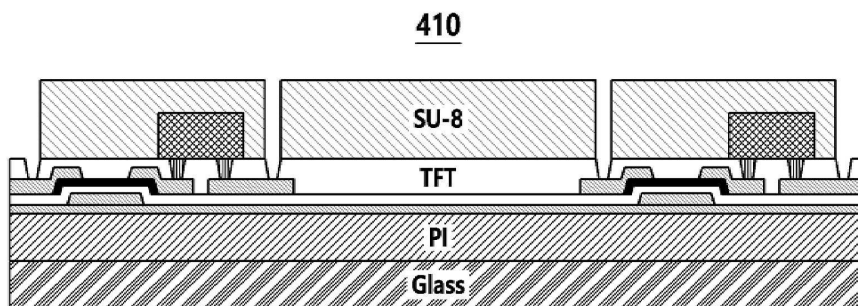
도면2



도면3

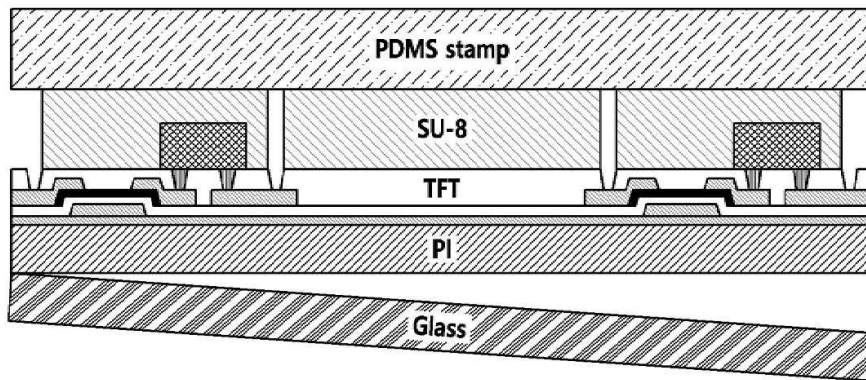


도면4a



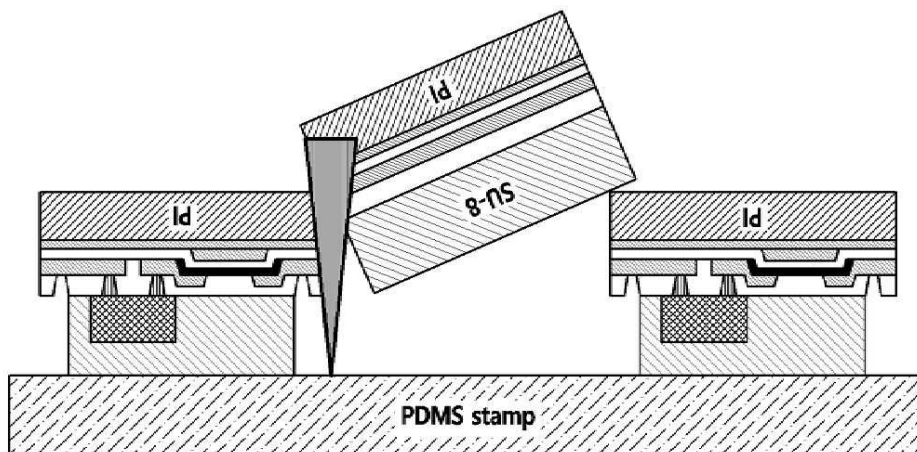
도면4b

420



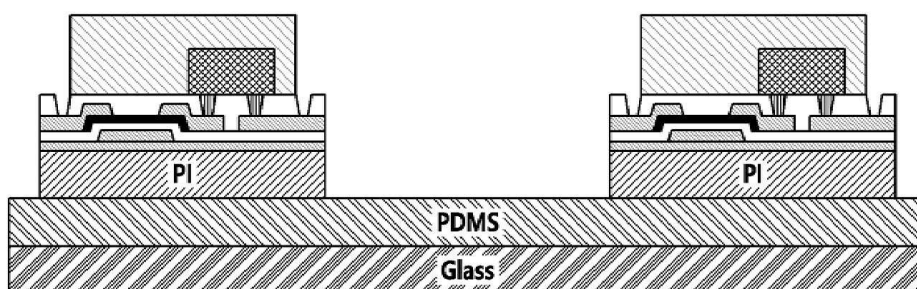
도면4c

430



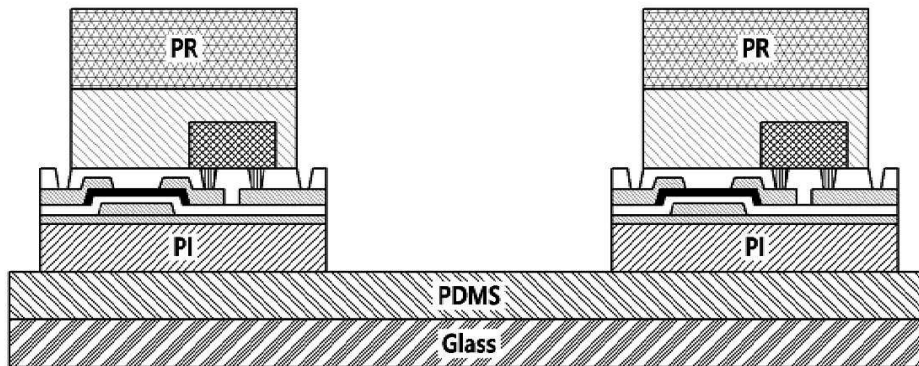
도면4d

440



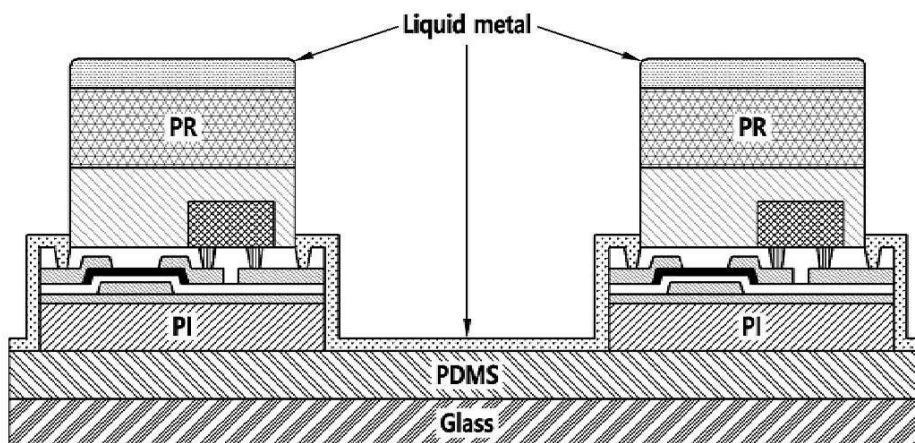
도면4e

450



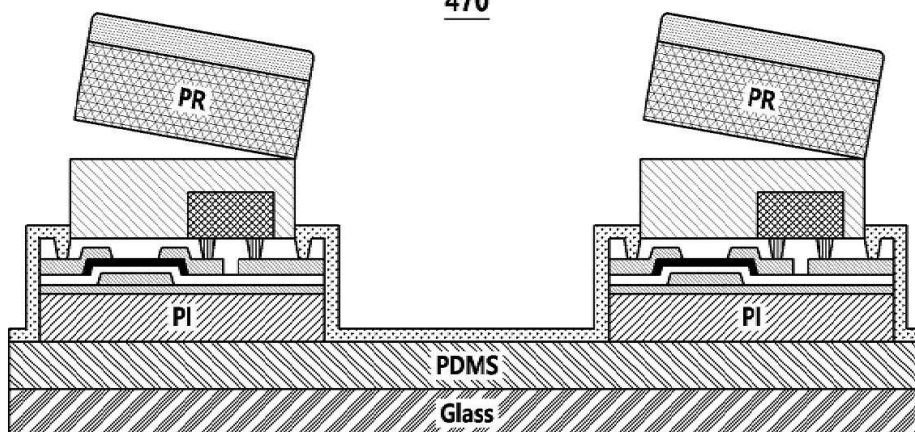
도면4f

460

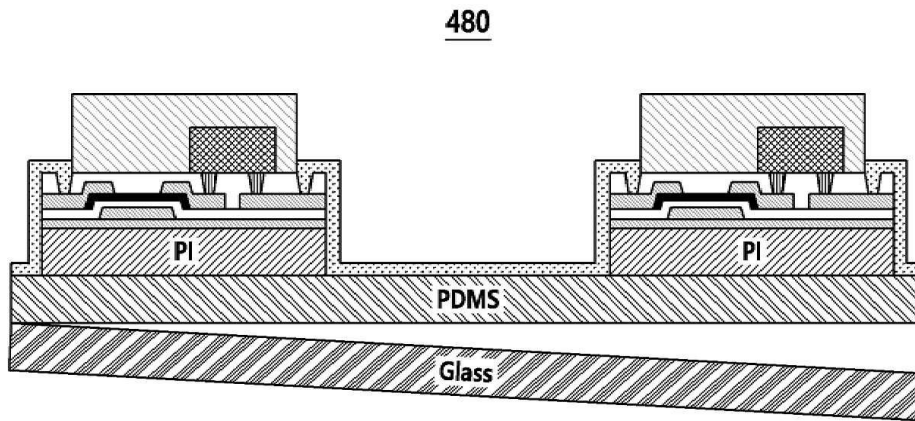


도면4g

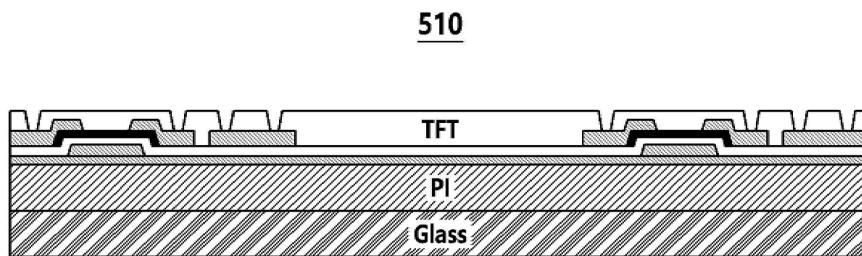
470



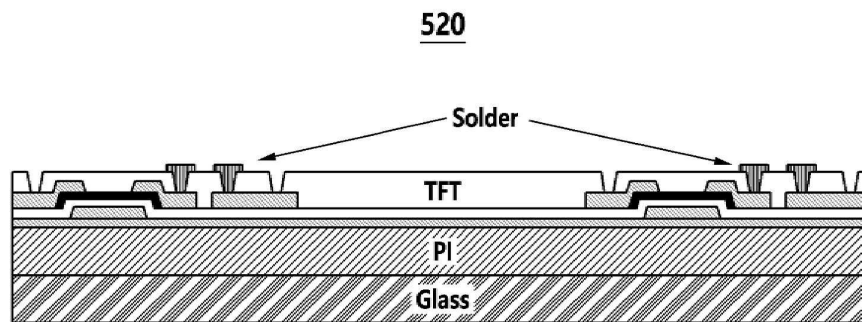
도면4h



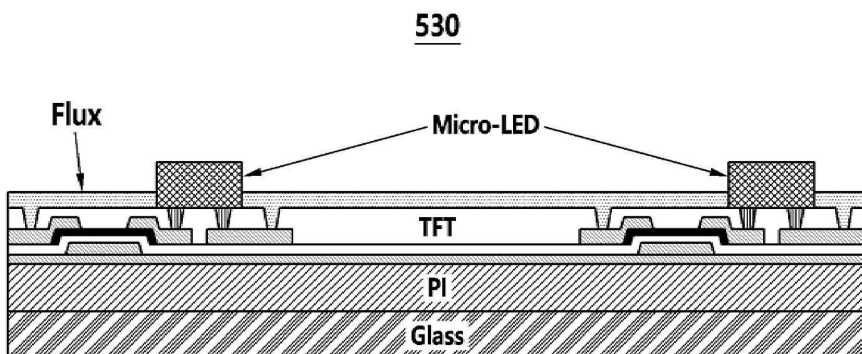
도면5a



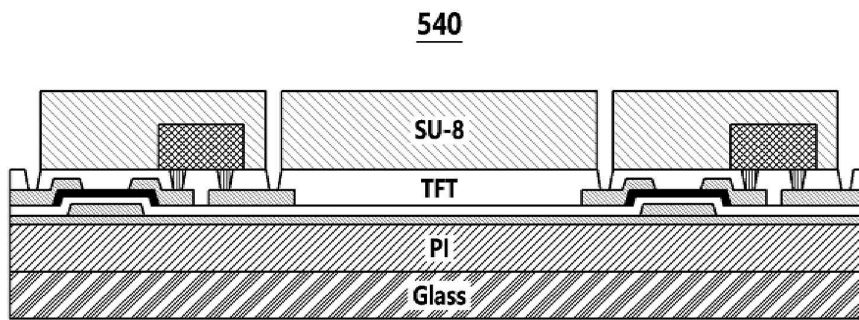
도면5b



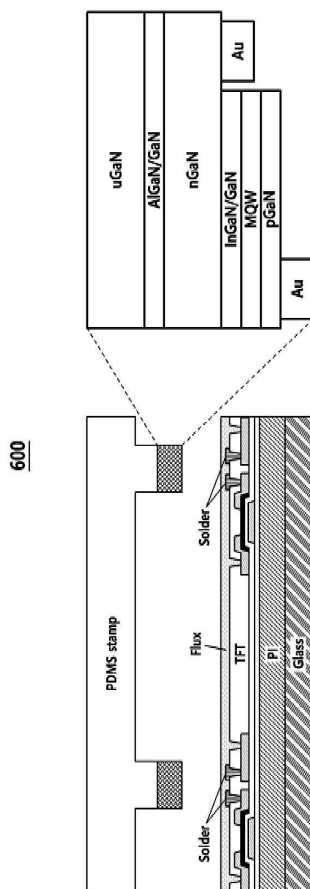
도면5c



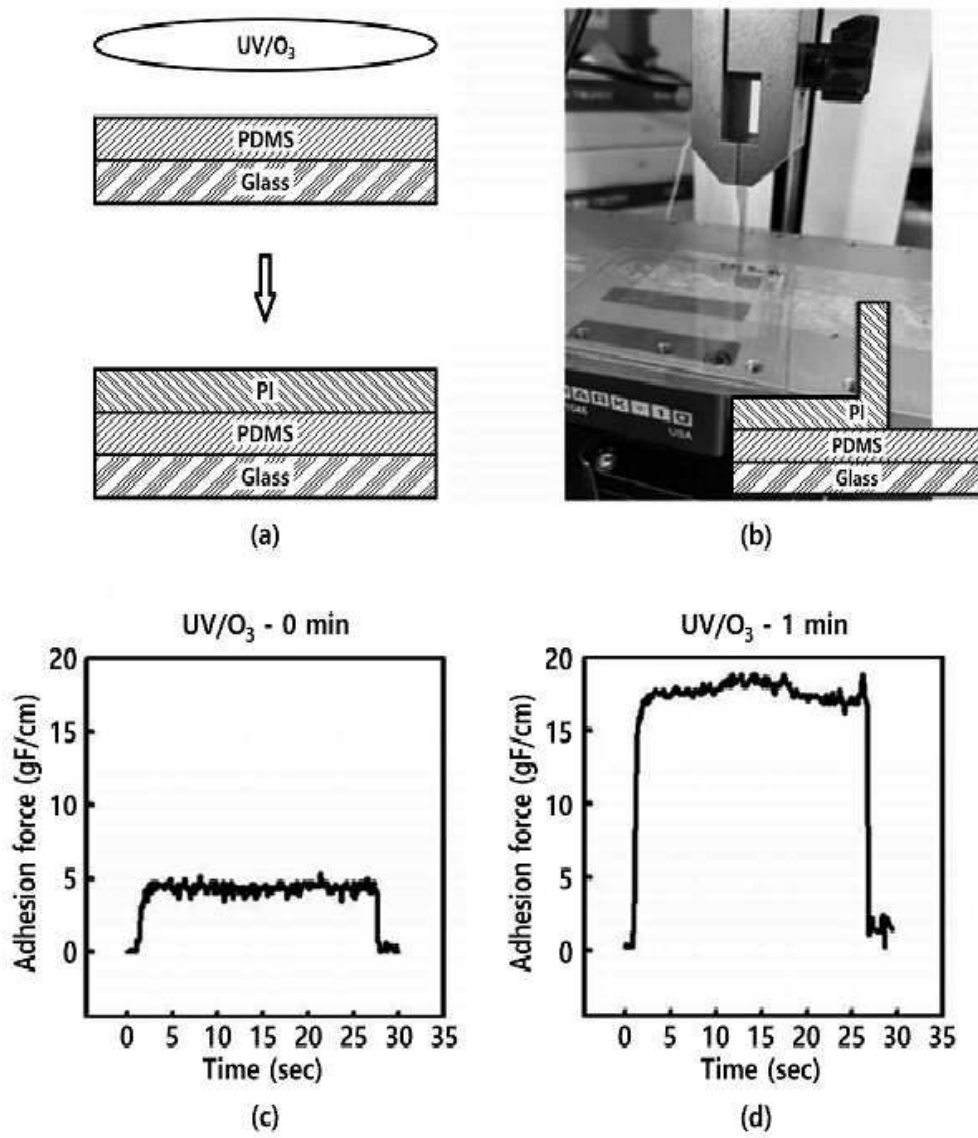
도면5d



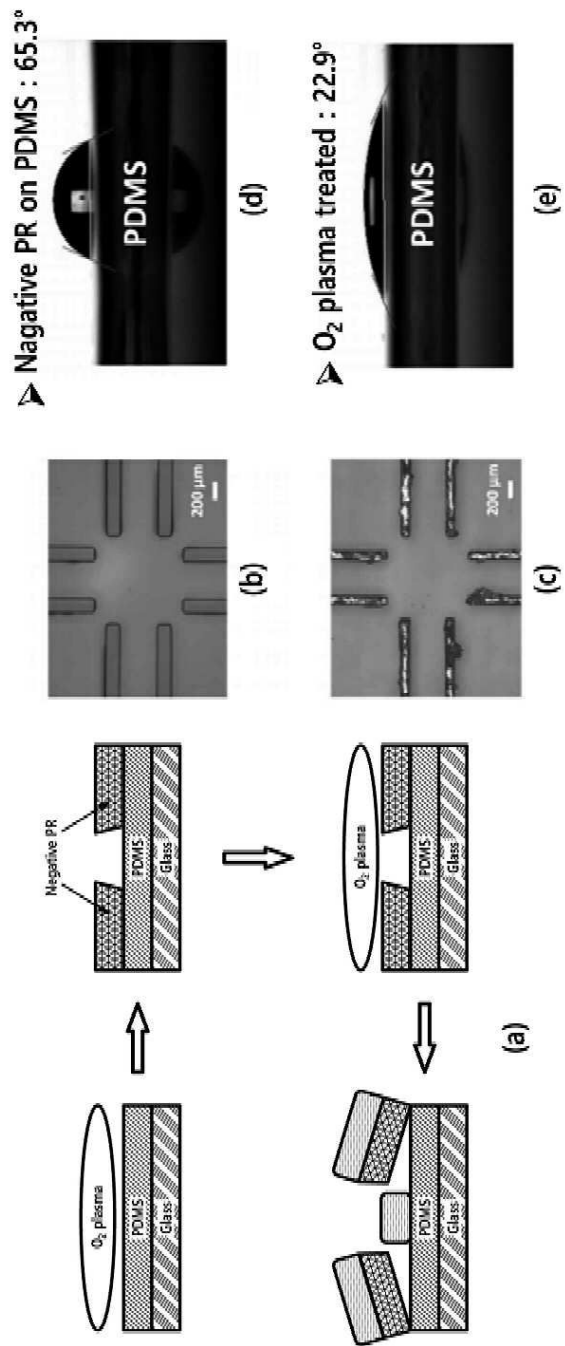
도면6



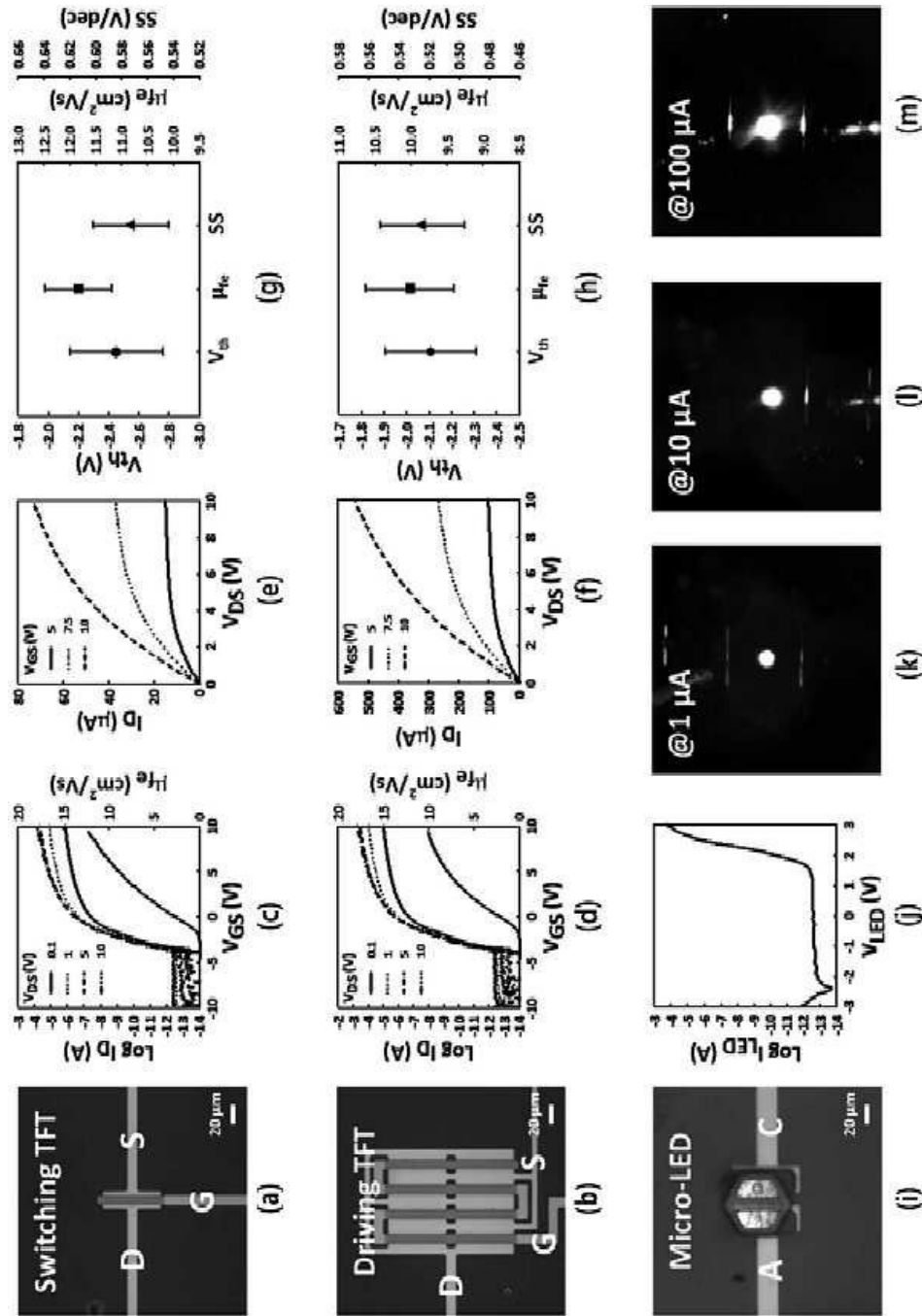
도면7



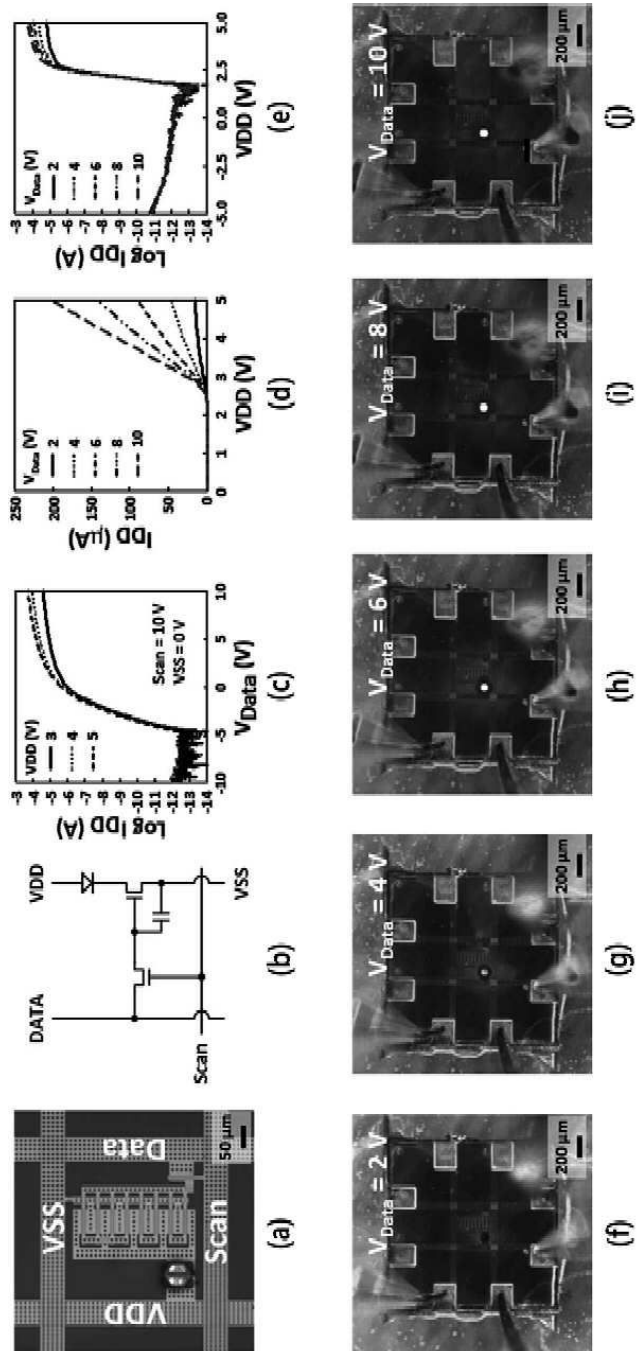
도면8



도면9



도면10



도면11

