



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2020년07월27일  
(11) 등록번호 10-2138004  
(24) 등록일자 2020년07월21일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

H01L 51/56 (2006.01) H01B 3/02 (2006.01)  
H01L 27/32 (2006.01) H01L 51/00 (2006.01)  
H01L 51/52 (2006.01)

(52) CPC특허분류

H01L 51/56 (2013.01)  
H01B 3/025 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2018-0117746

(22) 출원일자 2018년10월02일

심사청구일자 2018년10월02일

(65) 공개번호 10-2020-0038074

(43) 공개일자 2020년04월10일

(56) 선행기술조사문헌

KR101900045 B1\*

KR1020130005489 A\*

\*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

연세대학교 산학협력단

서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)

중앙대학교 산학협력단

서울특별시 동작구 흑석로 84 (흑석동)

(72) 발명자

안중현

서울특별시 서대문구 연세로 50(신촌동)

김수영

서울특별시 영등포구 국제금융로 108-6, B동 602호(여의도동, 진주아파트)

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

김연권

전체 청구항 수 : 총 8 항

심사관 : 김재경

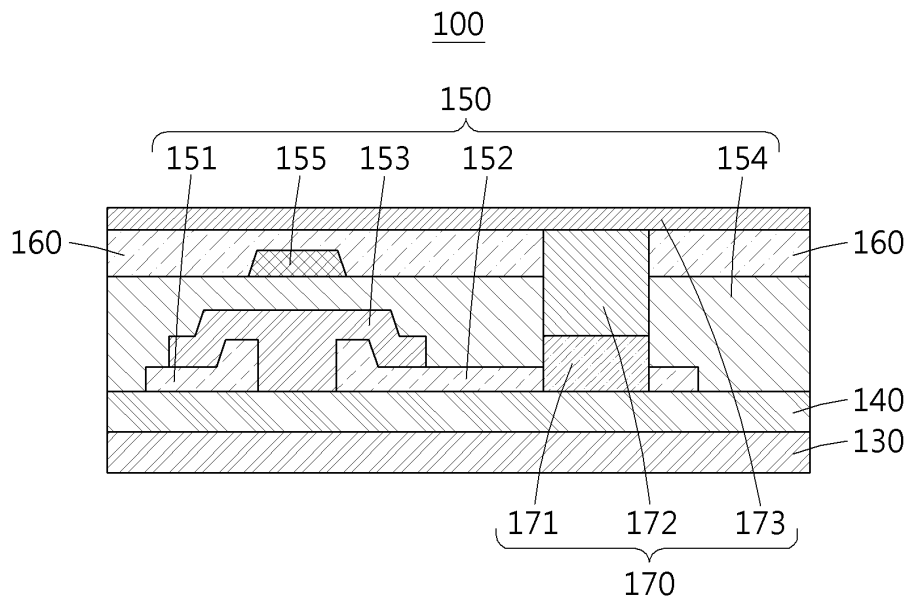
(54) 발명의 명칭 능동형 유기 발광 소자 디스플레이 장치 및 이의 제조방법

(57) 요약

본 발명은 능동형 유기 발광 소자 디스플레이 장치 및 그 제조방법을 개시한다. 캐리어(carrier)층 상에 희생층을 형성하는 단계, 희생층 상에 플렉서블 기판을 형성하는 단계, 플렉서블 기판 상에 제1 절연층을 형성하는 단계, 제1 절연층 상에 적어도 하나의 전이금속 칼코겐 화합물 기반의 백플레인(backplane)을 형성하는 단계, 적어

(뒷면에 계속)

대표도 - 도1j



도 하나의 전이금속 칼코겐 화합물 기반의 백플레인 상에 캡핑층을 형성한 후 오프닝부를 형성하는 단계 및 오프닝부에 적어도 하나의 전이금속 칼코겐 화합물 기반의 백플레인과 전기적으로 연결되는 적어도 하나의 능동형 유기 발광 소자 유닛을 형성하는 단계를 포함하고, 적어도 하나의 전이금속 칼코겐 화합물 기반의 백플레인을 형성하는 단계는 플렉서블 기판 상에 제1 절연층을 형성하는 단계, 제1 절연층 상에 서로 이격되는 소스/드레인 전극을 형성하는 단계, 플렉서블 기판의 채널영역 및 상기 소스/드레인 전극 상에 전이금속 칼코겐 화합물을 포함하는 채널층을 형성하는 단계, 채널층 상에 제2 절연층을 형성하여 상기 채널층을 도핑하는 단계 및 제2 절연층 상에 게이트 전극을 형성하는 단계를 포함하며, 적어도 하나의 전이금속 칼코겐 화합물 기반의 백플레인은 상기 도핑에 의하여 상기 채널영역이 전자도핑되고, 상기 소스/드레인 전극과 채널층의 접촉부가 전자도핑되는 것을 특징으로 한다.

(52) CPC특허분류

**H01L 27/32** (2013.01)

**H01L 51/0097** (2013.01)

**H01L 51/52** (2013.01)

**H01L 2251/56** (2013.01)

**샤마부펜드라쿠마**

서울특별시 서대문구 연세로 50(신촌동)

**배사랑**

서울특별시 동작구 흑석로6가길 5, 201호(흑석동)

(72) 발명자

**최민우**

서울특별시 서대문구 연세로 50(신촌동)

**박용주**

서울특별시 서대문구 연세로 50(신촌동)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2015R1A3A2066337

부처명 과학기술정보통신부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 리더연구자지원사업

연구과제명 변형 제어 고성능 전자 소자 연구단(3/3,1단계)

기 여 율 53/100

주관기관 연세대학교 산학협력단

연구기간 2017.12.01 ~ 2018.09.30

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1711074214

부처명 과학기술정보통신부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 집단연구지원

연구과제명 칼코젤 기반 태양연료촉매 설계 및 합성 연구실

기 여 율 47/100

주관기관 중앙대학교

연구기간 2018.06.01 ~ 2019.02.28

공지예외적용 : 있음

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

캐리어(carrier)층 상에 희생층을 형성하는 단계;

상기 희생층 상에 플렉서블 기판을 형성하는 단계;

상기 플렉서블 기판 상에 제1 절연층을 형성하는 단계;

상기 제1 절연층 상에 적어도 하나의 전이금속 칼코겐 화합물 기반의 백플레인(backplane)을 형성하는 단계; 및

상기 적어도 하나의 전이금속 칼코겐 화합물 기반의 백플레인 상에 캡핑층을 형성한 후 오프닝부를 형성하는 단계; 및

상기 오프닝부에 적어도 하나의 전이금속 칼코겐 화합물 기반의 백플레인과 전기적으로 연결되는 적어도 하나의 능동형 유기 발광 소자 유닛을 형성하는 단계; 를 포함하고,

상기 적어도 하나의 전이금속 칼코겐 화합물 기반의 백플레인을 형성하는 단계는

상기 플렉서블 기판 상에 제1 절연층을 형성하는 단계;

상기 제1 절연층 상에 서로 이격되는 소스/드레인 전극을 형성하는 단계;

상기 플렉서블 기판의 채널영역 및 상기 소스/드레인 전극 상에 전이금속 칼코겐 화합물을 포함하는 채널층을 형성하는 단계;

상기 채널층 상에 제2 절연층을 형성하여 상기 채널층을 도핑하는 단계; 및

상기 제2 절연층 상에 게이트 전극을 형성하는 단계

를 포함하며,

상기 적어도 하나의 전이금속 칼코겐 화합물 기반의 백플레인은 상기 도핑에 의하여 상기 채널영역이 전자도핑되고, 상기 소스/드레인 전극과 채널층의 접촉부가 전자도핑되는 것이며,

상기 전이금속 칼코겐 화합물은 이황화 몰리브덴( $\text{MoS}_2$ )이며,

상기 제1 절연층과 상기 제2 절연층은 알루미늄( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )이며,

상기 채널층 상에 상기 제2 절연층 형성하여 상기 채널층을 도핑하는 단계에서, 상기 제2 절연층을 형성한 후  $110^\circ\text{C}$ 에서 열처리하는 것이며,

상기 적어도 하나의 전이금속 칼코겐 화합물 기반의 백플레인은  $70.8\text{ cm}^2/\text{Vs}$ 의 전자 이동도,  $-9.5\text{V}$ 의 문턱전압 및  $5.2 \times 10^{-7}\text{ S}/\mu\text{m}^2$ 의 트랜스 컨덕턴스(Transconductance)값을 가지며,

상기 이황화 몰리브덴( $\text{MoS}_2$ )은  $7.5\text{ torr}$ 의 압력,  $550^\circ\text{C}$ 의 성장 온도, 20 시간의 성장 시간, 분당  $1.0\text{ sccm}$ 의 몰리브덴헥사카르보닐(MHC) 유량, 분당  $0.3\text{ sccm}$ 의 디메틸설파이드(DMS) 유량 조건에서 성장된 것을 특징으로 하는 능동형 유기 발광 소자 디스플레이 장치의 제조 방법.

#### 청구항 2

제1항에 있어서,

상기 희생층 및 캐리어층을 제거하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 능동형 유기 발광 소자 디스플레이 장치의 제조 방법.

### 청구항 3

제1항에 있어서,

상기 능동형 유기 발광 소자 유닛은

적어도 하나의 전이금속 칼코겐 화합물 기반의 백플레인과 전기적으로 연결되는 전기적으로 연결되는 제1 전극을 형성하는 단계;

상기 제1 전극 상에 유기 발광층을 형성하는 단계; 및

상기 유기 발광층 상에 제2 전극을 형성하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 능동형 유기 발광 소자 디스플레이 장치의 제조 방법.

### 청구항 4

제3항에 있어서,

상기 유기 발광층은 정공 주입층, 정공 수송층, 발광층, 전자 수송층, 및 전자 주입층을 포함하는 것을 특징으로 하는 능동형 유기 발광 소자 디스플레이 장치의 제조 방법.

### 청구항 5

제3항에 있어서,

상기 제1 전극은 투명 전극인 것을 특징으로 하는 능동형 유기 발광 소자 디스플레이 장치의 제조 방법.

### 청구항 6

제1항에 있어서,

상기 전이금속 칼코겐 화합물은 단일층 또는 다층 구조인 것을 특징으로 하는 능동형 유기 발광 소자 디스플레이 장치의 제조 방법.

### 청구항 7

삭제

### 청구항 8

제1항에 있어서,

상기 채널층은 단일층, 이중층 및 다층 중 어느 하나인 것을 특징으로 하는 능동형 유기 발광 소자 디스플레이 장치의 제조 방법.

### 청구항 9

삭제

### 청구항 10

제1항 내지 제6항, 제8항 중 어느 한 항의 방법으로 제조된 능동형 유기 발광 소자 디스플레이 장치.

## 발명의 설명

### 기술 분야

[0001] 본 발명은 능동형 유기 발광 소자 디스플레이 장치 및 그 제조방법에 관한 것으로, 보다 상세하게는 고유전율의 유전체층 사이에 샌드위치된 채널층을 포함하는 전이금속 칼코겐 화합물 기반의 백플레인을 포함하여 전자 이동도가 향상되고, 채널저항 및 접촉저항을 모두 낮출 수 있는 능동형 유기 발광 소자 디스플레이 장치 및 그 제조방법에 관한 것이다.

### 배경 기술

[0002] 2차원 물질로 분류되는 전이금속 칼코겐 화합물(Transition Metal chalcogenides, TMDs)은 다음 세대의 전자 또는 광전자 공학에 따른 디바이스에 요구되는 뛰어난 물성을 나타낸다. 전이금속 칼코겐 화합물은 다층구조로서 층간 반데르발스의 힘에 의해 결합되어 있어 점착제 등을 통하여 기계적인 박리가 용이한 성질이 있다.

[0003] 전이금속 칼코겐 화합물은 전기적 및 기계적 특성으로 인해 종래의 물질보다 우수하다고 보고되었으며, 이러한 소재 특성을 기반으로 대용량의 유연한 스위칭 기반 애플리케이션에 활용되었다.

[0004] 특히, 전이금속 칼코겐 화합물은 종래의 무기 반도체와 비교하여 플렉서블 기판상의 유기 발광 소자를 스위칭하기 위한 높은 캐리어 이동성, 높은 광 투과율 및 낮은 굴곡 강성과 같은 이점을 제공하기 때문에 유연한 유기 발광 소자(Flexible OLED, Flexible LIGHT-EMITTING DIODE) 디스플레이용 백플레인은 전이금속 칼코겐 화합물의 가장 유망한 애플리케이션 중 하나로 알려져있다.

[0005] 전이금속 칼코겐 화합물을 기계적 박리법에 의해 제조하는 경우, 매우 작은 면적의 조각 형성만이 가능하기 때문에 대면적 전자소자 구현에는 한계가 있어, 이를 극복하기 위한 고품질, 대면적 합성 연구가 최근 활발히 진행되고 있다.

[0006] 이에 따라, 전이금속 칼코겐 화합물의 합성 기술 중 화학기상증착법을 이용하여 전이금속 칼코겐 화합물을 웨이퍼 크기 수준의 대면적으로 합성하는 방법이 이용되고 있다.

[0007] 그러나, 화학기상증착법을 이용하여 성장된 전이금속 칼코겐 화합물은 작은결정립 크기(Grain boundary)로 인한 낮은 이동도 및 열악한 반도체 특성으로 인하여 유연한 시스템 또는 대면적 유기 발광 소자 디스플레이용 백플레인에는 적용될 수 없는 문제점이 존재하였다.

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

[0008] 본 발명은 고유전율을 갖는 절연층 사이에 전이금속 칼코겐 기반의 채널층을 샌드위치 시킴으로써 백플레인의 전자 이동도가 증가된 전이금속 칼코겐 기반의 백플레인을 포함하는 능동형 유기 발광 소자 디스플레이 장치 및 이의 제조 방법을 제공하고자 한다.

[0009] 본 발명은 전이금속 칼코겐 기반의 채널층의 상부에 고유전율을 갖는 절연층을 형성함으로써 백플레인의 채널층이 도핑되어 채널 저항 및 접촉 저항을 동시에 낮출 수 있는 전이금속 칼코겐 기반의 백플레인을 포함하는 능동형 유기 발광 소자 디스플레이 장치 및 이의 제조 방법을 제공하고자 한다.

[0010] 본 발명은 전이금속 칼코겐 기반의 채널층의 하부에 고유전율을 갖는 절연층을 형성함으로써 기판의 러프니스나 기판에 트랩된 전하에 의한 산란 효과를 줄임으로써 효과적으로 히스테리시스를 줄일 수 있는 전이금속 칼코겐 기반의 백플레인을 포함하는 능동형 유기 발광 소자 디스플레이 장치 및 이의 제조 방법을 제공하고자 한다.

[0011] 본 발명은 신뢰성 및 균일성이 뛰어난 전이금속 칼코겐 기반의 백플레인을 통해 피부, 옷 등에 부착될 수 있는 헬스 모니터링 시스템과 같이 의료, 스포츠 등 다양한 분야에서 활용할 수 있는 웨어러블 장치 또는 플렉서블 장치 등에 적용이 가능한 능동형 유기 발광 소자 디스플레이 장치 및 이의 제조 방법을 제공하고자 한다.

[0012] 본 발명은 전이금속 칼코겐 기반의 백플레인을 이용하여 대면적의 촉각센서의 제작이 가능한 능동형 유기 발광 소자 디스플레이 장치 및 이의 제조 방법을 제공하고자 한다.

### 과제의 해결 수단

[0013] 본 발명의 일 실시예에 따른 능동형 유기 발광 소자 디스플레이 장치의 제조 방법은 캐리어(carrier)층 상에 회생층을 형성하는 단계, 상기 회생층 상에 플렉서블 기판을 형성하는 단계, 상기 플렉서블 기판 상에 제1 절연층을 형성하는 단계, 상기 제1 절연층 상에 적어도 하나의 전이금속 칼코겐 화합물 기반의 백플레인(backplane)을 형성하는 단계, 상기 적어도 하나의 전이금속 칼코겐 화합물 기반의 백플레인 상에 캡핑층을 형성한 후 오프닝부를 형성하는 단계 및 상기 오프닝부에 적어도 하나의 전이금속 칼코겐 화합물 기반의 백플레인과 전기적으로 연결되는 적어도 하나의 능동형 유기 발광 소자 유닛을 형성하는 단계를 포함하고, 상기 적어도 하나의 전이금속 칼코겐 화합물 기반의 백플레인을 형성하는 단계는 상기 플렉서블 기판 상에 제1 절연층을 형성하는 단계, 상기 제1 절연층 상에 서로 이격되는 소스/드레인 전극을 형성하는 단계, 상기 플렉서블 기판의 채널영역 및 상기 소스/드레인 전극 상에 전이금속 칼코겐 화합물을 포함하는 채널층을 형성하는 단계, 상기 채널층 상에 제2 절연층을 형성하여 상기 채널층을 도핑하는 단계 및 상기 제2 절연층 상에 게이트 전극을 형성하는 단계를 포함하며, 상기 적어도 하나의 전이금속 칼코겐 화합물 기반의 백플레인은 상기 도핑에 의하여 상기 채널영역이 전자도핑되고, 상기 소스/드레인 전극과 채널층의 접촉부가 전자도핑되는 것을 특징으로 한다.

[0014] 상기 능동형 유기 발광 소자 디스플레이 장치의 제조 방법은 상기 회생층 및 캐리어층을 제거하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0015] 상기 능동형유기 발광 소자 유닛은 적어도 하나의 전이금속 칼코겐 화합물 기반의 백플레인과 전기적으로 연결되는 전기적으로 연결되는 제1 전극을 형성하는 단계, 상기 제1 전극 상에 유기 발광층을 형성하는 단계 및 상기 유기 발광층 상에 제2 전극을 형성하는 단계를 포함할 수 있다.

[0016] 상기 유기 발광층은 정공 주입층, 정공 수송층, 발광층, 전자 수송층, 및 전자 주입층을 포함할 수 있다.

[0017] 상기 제1 전극은 투명 전극일 수 있다.

[0018] 상기 전이금속 칼코겐 화합물은 단일층 또는 다층 구조일 수 있다.

[0019] 상기 제1 절연층 및 상기 제2 절연층은 동일한 물질로 이루어질 수 있다.

[0020] 상기 채널층은 단일층, 이중층 및 다층 중 어느 하나일 수 있다.

[0021] 상기 제1 절연층 또는 상기 제2 절연층은 각각 알루미늄( $Al_2O_3$ ), 실리카( $SiO_2$ ), 하프늄옥사이드( $HfO_2$ ), 지르코늄옥사이드( $ZrO_2$ ), 징크옥사이드( $ZnO$ ) 및 타이타늄옥사이드( $TiO_2$ ) 중 어느 하나일 수 있다.

[0022] 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 능동형 유기 발광 소자 디스플레이 장치는 제1항 내지 제10항 중 어느 한 항의 방법으로 제조된다.

### 발명의 효과

[0023] 본 발명은 고유전율을 갖는 절연층 사이에 전이금속 칼코겐 기반의 채널층을 샌드위치 시킴으로써 백플레인의 전자 이동도가 증가된 전이금속 칼코겐 기반의 백플레인을 포함하는 능동형 유기 발광 소자 디스플레이 장치 및 이의 제조 방법을 제공하고자 한다.

[0024] 본 발명은 전이금속 칼코겐 기반의 채널층의 상부에 고유전율을 갖는 절연층을 형성함으로써 백플레인의 채널층이 도핑되어 채널 저항 및 접촉 저항을 동시에 낮출 수 있는 전이금속 칼코겐 기반의 백플레인을 포함하는 능동형 유기 발광 소자 디스플레이 장치 및 이의 제조 방법을 제공할 수 있다.

[0025] 본 발명은 전이금속 칼코겐 기반의 채널층의 하부에 고유전율을 갖는 절연층을 형성함으로써 기판의 러프니스나 기판에 트랩된 전하에 의한 산란 효과를 줄임으로써 효과적으로 히스테리시스를 줄일 수 있는 전이금속 칼코겐 기반의 백플레인을 포함하는 능동형 유기 발광 소자 디스플레이 장치 및 이의 제조 방법을 제공할 수 있다.

[0026] 본 발명은 신뢰성 및 균일성이 뛰어난 전이금속 칼코겐 기반의 백플레인을 통해 피부, 옷 등에 부착될 수 있는 헬스 모니터링 시스템과 같이 의료, 스포츠 등 다양한 분야에서 활용할 수 있는 웨어러블 장치 또는 플렉서블

장치 등에 적용이 가능한 능동형 유기 발광 소자 디스플레이 장치 및 이의 제조 방법을 제공하고자 한다.

[0027] 본 발명은 전이금속 칼코겐 기반의 백플레인을 이용하여 대면적의 측각센서의 제작이 가능한 능동형 유기 발광 소자 디스플레이 장치 및 이의 제조 방법을 제공하고자 한다.

### 도면의 간단한 설명

[0028] 도 1a 내지 도 1j는 본 발명의 일 실시예에 따른 능동형 유기 발광 소자 디스플레이 장치의 제조 방법을 도시한 것이다.

도 2a 내지 도 2f는 본 발명의 일 실시예에 따른 능동형 유기 발광 소자 디스플레이 장치(100)에 포함되는 전이금속 칼코겐 화합물 기반의 백플레인(200)의 제조 방법을 도시한 것이다.

도 3a는 본 발명의 일 실시예에 따른 전이금속 칼코겐 화합물 기반의 백플레인의 제조 방법에 따라 형성된 이황화 몰리브덴 기반의 백플레인의 3차원 구조로 도시한 것이고, 도 3b는 플렉시블 기판 상에 형성된 능동형 유기 발광 소자 디스플레이 장치의 광학 이미지 및 능동형 유기 발광 소자 디스플레이 장치를 적용한 웨어러블 디스플레이를 손목에 부착하였을 경우의 이미지를 도시한 것이다.

도 4a 내지 도 4f는 본 발명의 일 실시예에 따른 전이금속 칼코겐 화합물 기반의 백플레인의 제조 방법에 따라 형성된 이황화 몰리브덴 기반의 백플레인에 있어서  $Al_2O_3$  층의 위치에 따른 채널층의 라만 스펙트럼 및 광 발광 스펙트럼을 도시한 것이다.

도 5a는 본 발명의 일 실시예에 따른 전이금속 칼코겐 화합물 기반의 백플레인의 제조 방법에 따라 형성된 이황화 몰리브덴 기반의 백플레인에 있어서  $SiO_2$  기판 및  $Al_2O_3$  층이 증착된  $SiO_2$  기판의 원자력 현미경 이미지(Atomistic Force Microscope)를 도시한 것이고, 도 5b는  $Al_2O_3$  층 사이에 채널층이 샌드위치 되어있는 구조의 단면 투과 전자 현미경 이미지(Cross-sectional transmission electron microscopy image)를 도시한 것이다.

도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 전이금속 칼코겐 화합물 기반의 백플레인의 제조 방법에 따라 형성된 이황화 몰리브덴 기반의 백플레인에 있어서  $Al_2O_3$  층에 의하여 채널 영역 및 접촉 저항이 감소하는 것을 도시한 것이다.

도 7a는 본 발명의 일 실시예에 따른 전이금속 칼코겐 화합물 기반의 백플레인의 제조 방법에 따라 형성된 이황화 몰리브덴 기반의 백플레인 및 다양한 구조를 갖는 이황화 몰리브덴 기반의 백플레인의 스위칭 특성을 도시한 그래프이고, 도 7b는 출력 특성을 도시한 그래프이며, 도 7c는 이동성을 도시한 그래프이다.

도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 전이금속 칼코겐 화합물 기반의 백플레인의 제조 방법에 따라 형성된 이황화 몰리브덴 기반의 백플레인 및  $Al_2O_3$  층이 증착되지 않은 이황화 몰리브덴 기반의 백플레인의 이력(hysteresis) 곡선을 도시한 그래프이다.

도 9a는  $Al_2O_3$  층이 증착되지 않은 단결정의 이황화 몰리브덴 기반의 백플레인의 전기적 특성을 도시한 그래프이고, 도 9b는 채널층이  $Al_2O_3$  층 사이에 샌드위치된 단결정의 이황화 몰리브덴 기반의 백플레인의 전기적 특성을 도시한 그래프이다.

도 10a 내지 도 10c는 본 발명의 일 실시예에 따른 전이금속 칼코겐 화합물 기반의 백플레인의 제조 방법에 따라 형성된 이황화 몰리브덴 기반의 백플레인의 접촉 저항 및 채널 저항을 TLM(Transfer Length Method)에 따라 분석한 결과를 도시한 그래프이다.

도 11a는 본 발명의 일 실시예에 따른 전이금속 칼코겐 화합물 기반의 백플레인의 제조 방법에 따라 형성된 이황화 몰리브덴 기반의 백플레인의 전기적 특성을 도시한 그래프이고, 도 11b는 히스토그램을 도시한 것이다.

도 12a 및 도 12b는 본 발명의 일 실시예에 따른 전이금속 칼코겐 화합물 기반의 백플레인의 제조 방법에 따라 형성된 이황화 몰리브덴 기반의 백플레인의 안정성을 도시한 그래프이다.

도 13a 내지 도 13e는 본 발명의 일 실시예에 따른 전이금속 칼코겐 화합물 기반의 백플레인의 제조 방법에 따라 형성된 이황화 몰리브덴 기반의 백플레인과 전기적으로 연결된 능동 유기 발광 소자의 단일 픽셀의 성능을 도시한 것이다.

도 14a는 본 발명의 일 실시예에 따른 능동형 유기 발광 소자 디스플레이 장치를 사람의 손목에 부착하였을 경

우의 이미지를 도시한 것이고, 도 14b는 능동형 유기 발광 소자 디스플레이 장치의 동작 동안의 전류 맵핑 결과를 도시한 것이다.

도 15a는 본 발명의 일 실시예에 따른 능동형 유기 발광 소자 디스플레이 장치를 캐리어 기관에서 분리시키는 공정에 대한 광학 이미지를 도시한 것이고, 도 15b는 0.7mm의 굽힘 반경을 갖는 반복적인 굴곡 테스트 결과를 도시한 그래프이다.

도 16a는 본 발명의 일 실시예에 따른 전이금속 칼코겐 화합물 기반의 백플레인을 포함하는 능동형 촉각센서의 구조를 도시한 것이고, 도 16b는 능동형 촉각센서의 광학 이미지를 도시한 것이다.

도 17a는 본 발명의 일 실시예에 따른 능동형 촉각센서의 전류-전압 특성을 도시한 그래프이고, 도 17b는 시간에 따른 저항 변화를 도시한 그래프이며, 도 17c는 압력에 따른 반복 특성을 도시한 그래프이다.

도 18a 내지 도 18d는 본 발명의 일 실시예에 따른 능동형 촉각센서의 유연특성을 도시한 그래프이다.

도 19a는 본 발명의 일 실시예에 따른 능동형 촉각센서의 낮은 누화(crosstalk) 특성을 도시한 그래프이고, 도 19b는 능동형 촉각센서의 저항 변화를 도시한 그래프이며, 도 19c는 능동형 촉각센서 상에 글자를 입력하였을 경우의 압력 맵핑을 도시한 이미지이다.

도 20은 본 발명의 일 실시예에 따른 능동형 촉각센서에 있어서 능동형 촉각센서를 손바닥 위에 접합한 후 가벼운 물체를 쥐었을 때 저항변화를 도시한 것이다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0029] 이하 첨부 도면들 및 첨부 도면들에 기재된 내용들을 참조하여 본 발명의 실시예를 상세하게 설명하지만, 본 발명이 실시예에 의해 제한되거나 한정되는 것은 아니다.
- [0030] 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 구성요소, 단계, 동작 및/또는 소자는 하나 이상의 다른 구성요소, 단계, 동작 및/또는 소자의 존재 또는 추가를 배제하지 않는다.
- [0031] 본 명세서에서 사용되는 "실시예", "예", "측면", "예시" 등은 기술된 임의의 양상(aspect) 또는 설계가 다른 양상 또는 설계들보다 양호하다거나, 이점이 있는 것으로 해석되어야 하는 것은 아니다.
- [0032] 또한, '또는'이라는 용어는 배타적 논리합 'exclusive or'이기보다는 포함적인 논리합 'inclusive or'를 의미한다. 즉, 달리 언급되지 않는 한 또는 문맥으로부터 명확하지 않는 한, 'x가 a 또는 b를 이용한다'라는 표현은 포함적인 자연 순열들(natural inclusive permutations) 중 어느 하나를 의미한다.
- [0033] 또한, 본 명세서 및 청구항들에서 사용되는 단수 표현("a" 또는 "an")은, 달리 언급하지 않는 한 또는 단수 형태에 관한 것이라고 문맥으로부터 명확하지 않는 한, 일반적으로 "하나 이상"을 의미하는 것으로 해석되어야 한다.
- [0034] 또한, 막, 층, 영역, 구성 요청 등의 부분이 다른 부분 "위에" 또는 "상에" 있다고 할 때, 다른 부분의 바로 위에 있는 경우뿐만 아니라, 그 중간에 다른 막, 층, 영역, 구성 요소 등이 개재되어 있는 경우도 포함한다.
- [0035] 본 발명은 다양한 변경을 가할 수 있고 여러 가지 실시예를 가질 수 있는 바, 특정 실시예들을 도면에 예시하고 상세한 설명에 상세하게 설명하고자 한다. 그러나 이는 본 발명을 특정한 실시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변경, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다. 또한, 각 도면을 설명하면서 유사한 참조부호를 유사한 구성요소에 대해 사용하였다.
- [0036] 도 1a 내지 도 1j는 본 발명의 일 실시예에 따른 능동형 유기 발광 소자 디스플레이 장치의 제조 방법을 도시한 것이다.
- [0037] 도 1a를 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 능동형 유기 발광 소자 디스플레이 장치(100)의 제조 방법은 회생층(120)이 형성된 캐리어(carrier)층(110) 상에 플렉서블 기관(130)을 형성한다.
- [0038] 캐리어층(110)은 형태를 유지하기 위하여 필요하며, 고순도에서 결함이 없고, 전기적 특성이 우수한 실리콘 웨이퍼(Si wafer)를 사용할 수 있으며, 실시예에 따라 절연기관으로서 유리 기판일 수 있으나 이에 제한되지 않고, 다양한 물질로 이루어질 수 있다.

- [0039] 회생층(120)은 추후 공정에서 캐리어층(110)을 플렉서블 기판(130)으로부터 분리시키기 위한 부재로, 그 재질을 특별하게 한정하는 것은 아니다.
- [0040] 예를 들어, 폴리에틸렌(polyethylene), 폴리프로필렌(polypropylene), 폴리디메틸실록산(polydimethylsiloxane; PDMS), 폴리메틸메타크릴레이트(poly(methylmethacrylate); PMMA), 폴리이미드(polyimide), 폴리카보네이트(polycarbonate), 폴리아크릴레이트(polyacrylate), 폴리에테리미드(polyetherimide), 폴리에테르술폰(polyethersulfone), 폴리에틸렌 테레프탈레이트(polyethylene terephthalate), 폴리에틸렌 나프탈레이트(polyethylene naphthalate), 폴리술폰(polysulfone), 폴리비닐리덴플루오라이드(polyvinylidene fluoride) 및 폴리아크릴로니트릴(polyacrylonitrile)로 이루어진 군에서 선택되는 적어도 어느 하나를 포함하는 것일 수 있다.
- [0041] 플렉서블 기판(130)은 전이금속 칼코겐 화합물 기반의 백플레인 및 능동형 유기 발광산화물 소자 유닛의 여러 구성 요소들을 지지하기 위한 기판으로서, 그 재질을 특별하게 한정하는 것은 아니다.
- [0042] 예를 들어, 플렉서블 기판(130)은 유리, 폴리이미드계 고분자, 폴리에스터계 고분자, 실리콘계 고분자, 아크릴계 고분자, 폴리올레핀계 고분자 또는 이들의 공중합체로 이루어진 그룹으로부터 선택되는 어느 하나의 물질로 이루어질 수 있다.
- [0043] 또한, 실시예에 따라서는 플렉서블 기판(130)은 폴리에스테르(Polyester), 폴리비닐(Polyvinyl), 폴리카보네이트(Polycarbonate), 폴리에틸렌(Polyethylene), 폴리아세테이트(Polyacetate), 폴리이미드(Polyimide), 폴리에테르술폰(Polyethersulphone; PES), 폴리아크릴레이트(Polyacrylate; PAR), 폴리에틸렌나프탈레이트(Polyethylenenaphthalate; PEN) 및 폴리에틸렌테레프탈레이트(Polyethyleneterephthalate; PET)으로 이루어진 그룹으로부터 선택되는 어느 하나의 물질로 구성된 투명한 플렉서블의 물질로 이루어질 수 있다.
- [0044] 도 1b를 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 능동형 유기 발광 소자 디스플레이 장치(100)의 제조 방법은 플렉서블 기판(130) 상에 제1 절연층(140)을 형성한다.
- [0045] 제1 절연층(140)은 알루미늄( $Al_2O_3$ ), 실리카( $SiO_2$ ), 하프늄옥사이드( $HfO_2$ ), 지르코늄옥사이드( $ZrO_2$ ), 징크옥사이드( $ZnO$ ) 및 타이타늄옥사이드( $TiO_2$ ) 중 어느 하나일 수 있다.
- [0046] 그러나, 제1 절연층(140)을 구성하는 물질 및 공정 방법은 이에 한정되지 않으며, 공지된 다른 물질 및 다른 방법들이 이용될 수 있다.
- [0047] 도 1c를 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 능동형 유기 발광 소자 디스플레이 장치(100)의 제조 방법은 제1 절연층(140) 상에 적어도 하나의 전이금속 칼코겐 화합물 기반의 백플레인(150)(이하, 전이금속 칼코겐 화합물 기반의 백플레인(150)으로 칭함)을 형성한다.
- [0048] 상기 전이금속 칼코겐 화합물 기반의 백플레인(150)은 제1 절연층(140)이 형성된 플렉서블 기판(130) 상에 형성된 소스(151)/드레인(152) 전극, 전이금속 칼코겐 화합물을 포함하는 채널층(153), 제2 절연층(154) 및 게이트 전극(155)을 포함한다.
- [0049] 전이금속 칼코겐 화합물 기반의 백플레인(150)을 제조하는 방법은 후술하는 도 2a 내지 도 2f에서 상세하게 설명하기로 한다.
- [0050] 도 1d를 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 능동형 유기 발광 소자 디스플레이 장치(100)의 제조 방법은 전이금속 칼코겐 화합물 기반의 백플레인(150) 상에 캡핑층(160)을 형성한다.
- [0051] 캡핑층(160)은 전이금속 칼코겐 화합물 기반의 백플레인(150)의 게이트 전극(155)이 형성된 제2 절연층(154) 상에 형성되고, 전이금속 칼코겐 화합물 기반의 백플레인(150)을 보호할 수 있다.
- [0052] 캡핑층(160)은 실리콘옥사이드( $SiO_x$ ), 실리콘나이트라이드( $SiN_x$ ), 티타늄옥사이드( $TiO_x$ ) 또는 하프늄옥사이드( $HfO_x$ )와 같은 무기물 또는 폴리비닐알코올(PVA), 폴리비닐피롤리돈(PVP) 또는 폴리메틸메타크릴레이트(PMMA)와 같은 유기물 중 적어도 어느 하나가 사용될 수 있으나, 이에 제한되지 않는다.
- [0053] 또한, 캡핑층(160)은 상술한 물질을 포함하는 단일층 또는 복층 구조로 형성될 수 있다.
- [0054] 도 1e를 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 능동형 유기 발광 소자 디스플레이 장치(100)의 제조 방법은 전이금속 칼코겐 화합물 기반의 백플레인(150)의 드레인 전극(152)과 적어도 하나의 능동형 유기 발광 소자 유닛

(170)(이하, 능동형 유기 발광 소자 유닛이라 칭함)을 전기적으로 연결하기 위한 오프닝부(H)를 형성한다.

- [0055] 오프닝부(H)는 제2 절연층(154) 및 캡핑층(160)을 식각하여 형성되고, 오프닝부(H) 내에는 후속 공정에서 형성되는 능동형 유기 발광 소자 유닛(170)의 유기 발광층(172)과 연결되는 제1 전극(171)을 포함할 수 있다.
- [0056] 도 1f 및 도 1g를 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 능동형 유기 발광 소자 디스플레이 장치(100)의 제조 방법은 오프닝부(H) 내에 전이금속 칼코겐 화합물 기반의 백플레인(150)의 드레인 전극(152)과 전기적으로 연결된 능동형 유기 발광 소자 유닛(170)을 형성한다.
- [0057] 능동형 유기 발광 소자 유닛(170)은 제1 전극(171), 제2 전극(173) 및 제1 전극(171)과 제2 전극(173) 사이에 위치하는 유기 발광층(172)을 포함한다.
- [0058] 제1 전극(171)은 오프닝부(H) 내에 전기전도도 물질을 증착한 후, 포토레지스트 패턴을 마스크로 하여 전기전도도 물질을 선택적으로 식각(패터닝)하여 형성될 수 있다.
- [0059] 따라서, 제1 전극(171)은 오프닝부(H) 내부 및 제1 절연층의 표면에 형성될 수 있다.
- [0060] 제1 전극(171)은 전기전도도 물질인 금속 또는 금속 산화물을 포함할 수 있다. 구체적으로는 몰리브덴(Mo), 알루미늄(Al), 크롬(Cr), 금(Au), 티타늄(Ti) 또는 은(Ag), 니켈(Ni), 네오디뮴(Nd) 및 구리(Cu)와 같은 금속 및 ITO(Indium Tin Oxide), IZO(Indium Zinc Oxide) 또는 ITZO(Indium Tin Zinc Oxide)와 같은 금속 산화물 중 적어도 어느 하나의 물질 또는 이들의 조합으로 이루어질 수 있으나, 이에 제한되지 않는다.
- [0061] 실시예에 따라서, 제1 전극(171)과 유기 발광층(172) 사이에는 전자수송층(electron transporting layer) 또는 전자주입층(electron injection layer)을 더 포함할 수 있고, 유기 발광층(172)과 제2 전극(173) 사이에는 정공주입층(hole injection layer) 또는 정공수송층(hole transporting layer)을 더 포함할 수 있다.
- [0062] 제2 전극(173)은 캡핑층(160) 및 유기 발광층(172) 상에 형성되고, 제2 전극(173)은 전기전도도 물질인 금속 또는 금속 산화물을 포함할 수 있다. 구체적으로는 몰리브덴(Mo), 알루미늄(Al), 크롬(Cr), 금(Au), 티타늄(Ti) 또는 은(Ag), 니켈(Ni), 네오디뮴(Nd) 및 구리(Cu)와 같은 금속 및 ITO(Indium Tin Oxide), IZO(Indium Zinc Oxide) 또는 ITZO(Indium Tin Zinc Oxide)와 같은 금속 산화물 중 적어도 어느 하나의 물질 또는 이들의 조합으로 이루어질 수 있으나, 이에 제한되지 않는다.
- [0063] 도 1i 및 도 1j를 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 능동형 유기 발광 소자 디스플레이 장치(100)의 제조 방법은 캐리어층(110) 및 희생층(120)으로부터 플렉서블 기판(130)을 분리하여 전이금속 칼코겐 화합물 기반의 백플레인 및 전이금속 칼코겐 화합물 기반의 백플레인과 전기적으로 연결되는 능동형 유기 발광 소자 유닛을 포함하는 능동형 유기 발광 소자 디스플레이 장치(100)가 형성된다.
- [0064] 플렉서블 기판(130)은 캐리어층(110) 및 희생층(120)으로부터 포토리소그래피(Photolithography), 이빔 리소그래피(E-Beam Lithography), 금속 증착(Metal deposition), 에칭(Etching) 및 리프트오프(lift-off) 중 적어도 하나의 제조 공정을 통해 분리될 수 있으나, 그 방법은 이에 한정되지 않으며, 공지된 다른 방법들이 이용될 수도 있다.
- [0065] 상기와 같은 제조 방법을 통하여 형성된 본 발명의 일 실시예에 따른 능동형 유기 발광 소자 디스플레이 장치(100)는 7 $\mu$ m의 이하의 두께로 형성될 수 있다.
- [0066] 이하에서는 도 2a 내지 도 2f를 참조하여, 전이금속 칼코겐 화합물 기반의 백플레인을 형성하는 방법에 대하여 상세하게 설명하기로 한다.
- [0067] 도 2a 내지 도 2f는 본 발명의 일 실시예에 따른 능동형 유기 발광 소자 디스플레이 장치(100)에 포함되는 전이금속 칼코겐 화합물 기반의 백플레인(200)의 제조 방법을 도시한 것이다.
- [0068] 본 발명의 일 실시예에 따른 전이금속 칼코겐 화합물 기반의 백플레인(200)은 플렉서블 기판(210), 제1 절연층(220), 소스/드레인 전극(230, 240), 채널층(250), 제2 절연층(260) 및 게이트 전극(270)을 포함한다.
- [0069] 도 2a 및 도 2b를 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 전이금속 칼코겐 화합물 기반의 백플레인(200)의 제조 방법은 플렉서블 기판(210)을 준비하고, 준비된 플렉서블 기판(210) 상에 제1 절연층(220)을 형성한다.
- [0070] 도 2a에 도시된 바와 같이 플렉서블 기판(210)은 전이금속 칼코겐 화합물 기반의 백플레인(200)의 여러 구성 요소들을 지지하기 위한 기판으로서, 그 재질을 특별하게 한정하는 것은 아니다.
- [0071] 예를 들어, 플렉서블 기판(210)은 유리, 폴리이미드계 고분자, 폴리에스터계 고분자, 실리콘계 고분자, 아크릴

계 고분자, 폴리올레핀계 고분자 또는 이들의 공중합체로 이루어진 그룹으로부터 선택되는 어느 하나의 물질로 이루어질 수 있다.

- [0072] 또한, 실시예에 따라서는 플렉서블 기판(210)은 폴리에스테르(Polyester), 폴리비닐(Polyvinyl), 폴리카보네이트(Polycarbonate), 폴리에틸렌(Polyethylene), 폴리아세테이트(Polyacetate), 폴리아미드(Polyimide), 폴리테르술폰(Polyethersulphone; PES), 폴리아크릴레이트(Polyacrylate; PAR), 폴리에틸렌나프탈레이트(Polyethylenenaphthelate; PEN) 및 폴리에틸렌테레프탈레이트(Polyethyleneterephthalate; PET)으로 이루어진 그룹으로부터 선택되는 어느 하나의 물질로 구성된 투명한 플렉서블의 물질로 이루어질 수 있다.
- [0073] 도 2b 에 도시된 바와 같이 제1 절연층(220)은 플렉서블 기판(210) 상에 형성될 수 있다.
- [0074] 제1 절연층(220)은 알루미늄( $Al_2O_3$ ), 실리카( $SiO_2$ ), 하프늄옥사이드( $HfO_2$ ), 지르코늄옥사이드( $ZrO_2$ ), 징크옥사이드( $ZnO$ ) 및 타이타늄옥사이드( $TiO_2$ ) 중 어느 하나일 수 있다.
- [0075] 제1 절연층(220)은 진공 증착법 (vacuum deposition), 화학 기상 증착법(chemical vapor deposition), 물리 기상 증착법(physical vapor deposition), 원자층 증착법(atomic layer deposition), 유기금속 화학 증착법(Metal Organic Chemical Vapor Deposition), 플라즈마 화학 증착법(Plasma-Enhanced Chemical Vapor Deposition), 분자선 성장법(Molecular Beam Epitaxy), 수소화물 기상 성장법(Hydride Vapor Phase Epitaxy), 스퍼터링(Sputtering), 스핀 코팅(spin coating), 딥 코팅(dip coating) 및 존 캐스팅(zone casting) 중 적어도 하나의 방법을 이용하여 형성될 수 있다.
- [0076] 그러나, 제1 절연층(220)을 구성하는 물질 및 공정 방법은 이에 한정되지 않으며, 공지된 다른 물질 및 다른 방법들이 이용될 수 있다.
- [0077] 도 2c를 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 전이금속 칼코겐 화합물 기반의 백플레인(200)의 제조 방법은 제1 절연층(220)이 형성된 플렉서블 기판(210) 상에 소스 전극(230) 및 드레인 전극(240)이 서로 이격되어 형성된다.
- [0078] 소스 전극(230) 및 드레인 전극(240)은 알루미늄(Al), 알루미늄 합금(Al alloy), 텅스텐(W), 구리(Cu), 니켈(Ni), 크롬(Cr), 몰리브덴(Mo), 티타늄(Ti), 백금(Pt) 또는 탄탈(Ta)과 같은 저저항의 도전 물질을 사용할 수 있다.
- [0079] 또한, 소스 전극(230) 및 드레인 전극(240)은 인듐 틴 옥사이드(ITO), 인듐 징크옥사이드(IZO) 또는 인듐 틴 징크 옥사이드(ITZO)와 같은 투명한 도전 물질을 사용할 수 있다. 실시예에 따라서는 소스 전극(230) 및 드레인 전극(240)은 상기 도전 물질이 두 가지 이상 적층된 다층 구조로 형성될 수도 있다.
- [0080] 그러나, 소스 전극(230) 및 드레인 전극(240)을 구성하는 물질 및 공정 방법은 이에 한정되지 않으며, 공지된 다른 물질 및 다른 방법들이 이용될 수 있다.
- [0081] 도 2d를 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 전이금속 칼코겐 화합물 기반의 백플레인(200)의 제조 방법은 플렉서블 기판(210)의 채널영역 및 소스 전극(230) 및 드레인 전극(240) 상에 채널층(250)을 형성한다.
- [0082] 채널층(250)은 전이금속 칼코겐 화합물로 형성되고, 다음과 같은 특성을 가진다.
- [0083] 전이금속 칼코겐 화합물은 전이금속(transition metal)과 칼코겐(chalcogen)으로 이루어진 화합물로서, 층내(inplane)에는 강한 원자간 공유 결합으로 이루어져 있고, 복수층의 전이금속 디칼코게나이드 층간(interlayer)에는 약한 반데르발스 힘으로 연결되어 층상구조(layered structure)를 가진다. 이러한 전이금속 디칼코게나이드는 밴드갭(band gap)을 갖는 반도체 특성을 보인다.
- [0084] 전이금속 칼코겐 화합물은 이황화몰리브덴( $MoS_2$ ), 이셀렌화몰리브덴( $MoSe_2$ ), 이텔루륨화몰리브덴( $MoTe_2$ ), 이황화텅스텐( $WS_2$ ), 이셀렌화텅스텐( $WSe_2$ ) 및 이텔루륨화텅스텐( $WTe_2$ )으로 이루어진 그룹으로부터 선택되는 어느 하나를 포함할 수 있다.
- [0085] 전이금속 칼코겐 화합물을 포함하는 채널층(250)은 단일층, 이중층 또는 다층 구조일 수 있다.
- [0086] 도 2e를 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 전이금속 칼코겐 화합물 기반의 백플레인(200)의 제조 방법은 채널층(250) 상에 제2 절연층(260)을 형성하여 채널층(250)을 전자도핑한다.
- [0087] 제2 절연층(260)은 알루미늄( $Al_2O_3$ ), 실리카( $SiO_2$ ), 하프늄옥사이드( $HfO_2$ ), 지르코늄옥사이드( $ZrO_2$ ), 징크옥사이드

트(ZnO) 및 타이타늄옥사이드(TiO<sub>2</sub>) 중 어느 하나일 수 있다.

- [0088] 제2 절연층(260)은 진공 증착법 (vacuum deposition), 화학 기상 증착법(chemical vapor deposition), 물리 기상 증착법(physical vapor deposition), 원자층 증착법(atomic layer deposition), 유기금속 화학 증착법(Metal Organic Chemical Vapor Deposition), 플라즈마 화학 증착법(Plasma-Enhanced Chemical Vapor Deposition), 분자선 성장법(Molecular Beam Epitaxy), 수소화물 기상 성장법(Hydride Vapor Phase Epitaxy), 스퍼터링(Sputtering), 스핀 코팅(spin coating), 딥 코팅(dip coating) 및 존 캐스팅(zone casting) 중 적어도 하나의 방법을 이용하여 형성될 수 있다.
- [0089] 그러나, 제2 절연층(260)을 구성하는 물질 및 공정 방법은 이에 한정되지 않으며, 공지된 다른 물질 및 다른 방법들이 이용될 수 있다.
- [0090] 제1 절연층(220) 및 제2 절연층(260)은 동일한 물질로 이루어질 수 있고, 바람직하게는 알루미늄(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)로 형성될 수 있다.
- [0091] 제2 절연층(260)은 채널층(250) 상에 형성되어 채널층(250)이 도핑되고, 상기 도핑에 의하여 플렉서블 기판(210)의 채널영역이 도핑됨과 동시에 소스 전극(230) 및 드레인 전극(240)의 채널층(250)과의 접촉부도 전자도핑될 수 있다.
- [0092] 이와 같은 도핑에 의하여 채널 저항 및 접촉 저항이 모두 감소될 수 있다.
- [0093] 도 2f를 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 전이금속 칼코겐 화합물 기반의 백플레인(200)의 제조 방법은 제2 절연층(260) 상에 게이트 전극(270)을 형성한다.
- [0094] 도 2f에 도시된 바와 같이 게이트 전극(270)은 제2 절연층(260) 상에 형성될 수 있다.
- [0095] 예를 들어, 게이트 전극(270)은 진공 증착법 (vacuum deposition), 화학 기상 증착법(chemical vapor deposition), 물리 기상 증착법(physical vapor deposition), 원자층 증착법(atomic layer deposition), 유기금속 화학 증착법(Metal Organic Chemical Vapor Deposition), 플라즈마 화학 증착법(Plasma-Enhanced Chemical Vapor Deposition), 분자선 성장법(Molecular Beam Epitaxy), 수소화물 기상 성장법(Hydride Vapor Phase Epitaxy), 스퍼터링(Sputtering), 스핀 코팅(spin coating), 딥 코팅(dip coating) 및 존 캐스팅(zone casting) 중 적어도 하나의 방법을 이용하여 형성될 수 있다.
- [0096] 게이트 전극(270)은 몰리브덴(Mo), 알루미늄(Al), 크롬(Cr), 금(Au), 티타늄(Ti), 니켈(Ni), 네오디뮴(Nd) 및 구리(Cu) 중 어느 하나 또는 이들의 조합으로 이루어질 수 있으나, 이에 제한되지 않고, 다양한 물질로 이루어질 수 있다.
- [0097] 또한, 실시예에 따라서는 p<sup>+</sup>-Si 물질을 게이트 전극(270)으로 이용할 수도 있다.
- [0098] 이하에서는 본 발명의 일 실시예에 따른 능동형 유기 발광 소자 디스플레이 장치의 특성을 설명하기로 한다.
- [0099] (실시예)
- [0100] (이황화 몰리브덴(MoS<sub>2</sub>))의 합성)
- [0101] MOCVD를 사용하여 이중층의 이황화 몰리브덴을 성장시켰다. 300 nm의 두께로 열성장된 SiO<sub>2</sub>를 포함하는 4 인치(inch)의 Si 웨이퍼를 직경 4.3 인치의 석영 튜브에 넣었다.
- [0102] 이황화 몰리브덴을 성장시키기 전에, SiO<sub>2</sub>/p<sup>+</sup>-Si 기판의 표면에 형성되어 있을 수 있는 유기물 또는 불순물을 제거하기 위하여 물, 아세톤 및 이소프로판올로 세척을 실시하였다.
- [0103] 고 평형 증기압을 갖는 몰리브덴헥사카르보닐 (MHC; 577766, Sigma-Aldrich) 및 디메틸설파이드 (DMS; 471577, Sigma-Aldrich)를 각각 Mo 및 S의 전구체로 선택하고, H<sub>2</sub> 및 Ar을 기상의 캐리어 가스로 사용하였다.
- [0104] 7.5 torr의 압력, 550 °C의 성장 온도, 20 시간의 성장 시간, 분당 1.0 sccm의 MHC 유량, 0.3 sccm의 DMS 유량, 300 sccm 및 10 sccm의 H<sub>2</sub> 흐름 조건을 통하여 이중층의 이황화 몰리브덴을 성장시켰다.
- [0105] (이황화 몰리브덴 기반의 백플레인의 형성)

- [0106] 300 nm 두께의 SiO<sub>2</sub> 웨이퍼 상에 50 nm 두께의 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 층을 원자층 증착법(ALD)을 이용하여 증착한 후, 일반적인 포토리소그래피 (W/L, 300/4 μm)를 사용하여 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiO<sub>2</sub> 웨이퍼 상에 소스/드레인 전극을 패터닝하였다.
- [0107] 이중층의 이황화 몰리브덴을 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiO<sub>2</sub> 웨이퍼 상으로 전사시키고 CHF<sub>3</sub>/O<sub>2</sub> 플라즈마를 사용하는 반응성 이온 에칭을 통하여 채널층으로 패터닝하고, 이중층의 이황화 몰리브덴 상에 50 nm 두께의 상부 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 층을 증착하였다.
- [0108] 원자층 증착법의 초기 성장 사이클 동안 H<sub>2</sub>O 분자 트랩 및 Mo-O 결합의 형성을 피하기 위해, 이황화 몰리브덴 기반의 백플레인의 성능을 현저하게 저하시키는 저온에서의 최소한의 H<sub>2</sub>O 노출 조합이 최적화되었다.
- [0109] 또한, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 층과 이중층의 이황화 몰리브덴의 인터페이스를 향상시키기 위해 장치를 진공 상태에서 하룻밤 동안 110 °C에서 베이킹(baking)을 진행하였다.
- [0110] 마지막으로, 포토리소그래피 및 리프트 오프 공정을 이용하여 상부 게이트 전극(Cr/Au, 3/30 nm)을 형성하였다.
- [0111] 이황화 몰리브덴 기반의 백플레인의 특성 분석을 위하여 SourceMeter 장치 (Keithley 4200 SCS 매개 변수 분석기, Keithley Instruments Inc.)를 사용하였다.
- [0112] (능동형 유기 발광 소자 유닛의 형성)
- [0113] 녹색 능동형 유기 발광 소자 유닛을 형성하기 위하여 ITO가 코팅된 기판을 사용하였다.
- [0114] ITO가 코팅된 기판의 표면에 형성되어 있을 수 있는 유기물 또는 불순물을 제거하기 위하여 물, 아세톤 및 이소프로판올로 세척을 실시한 후 15분 동안 자외선/오존 처리를 하였다.
- [0115] N, N'-di(1-naphthyl)-N, N'-diphenyl-(1,10-biphenyl)-4, 40-diamine (40 nm), tris-(8-hydroxy-quinoline) aluminum (Alq<sub>3</sub>, 30 nm), 2, 3, 6, 7-tetrahydro-1, 1, 7, 7,-tetramethyl-1H,5H,11H-10-(2-benzothiazolyl) quinolizine [9,9a,1gh] coumarin (5% doping), bathocuproine (5 nm), and Alq<sub>3</sub> (25 nm)을 각각 정공 수송층, 발광층, 정공 방지층 및 전자 수송층으로서 약  $2 \times 10^{-6}$  Torr의 진공하에서 1㎞ / s의 속도로 증착하였다.
- [0116] 이후, LiF(1nm) 및 Al(100nm) 층을 열증착시켰다.
- [0117]
- [0118] 도 3a는 본 발명의 일 실시예에 따른 전이금속 칼코겐 화합물 기반의 백플레인의 제조 방법에 따라 형성된 이황화 몰리브덴 기반의 백플레인의 3차원 구조로 도시한 것이고, 도 3b는 플렉시블 기판 상에 형성된 능동형 유기 발광 소자 디스플레이 장치의 광학 이미지 및 능동형 유기 발광 소자 디스플레이 장치를 적용한 웨어러블 디스플레이를 손목에 부착하였을 경우의 이미지를 도시한 것이다.
- [0119] 도 3a를 참조하면, 이황화 몰리브덴 기반의 백플레인은 이황화 몰리브덴으로 형성된 채널층이 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 층 사이에 샌드위치되고, 소스 전극 및 드레인 전극이 채널층의 하부에 위치하는 상부 게이트 구조를 갖는 것을 알 수 있다.
- [0120] 이황화 몰리브덴 기반의 백플레인은 이황화 몰리브덴으로 형성된 채널층이 고유전율을 갖는 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 층 사이에 샌드위치 됨에 따라, 상부에 있는 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 층에 의한 도핑에 의해 채널층이 도핑되고, 동시에 소스/드레인 전극의 채널층과의 접촉 영역도 전자도핑될 수 있다.
- [0121] 이에 따라 전자 이동도가 향상되고, 채널저항과 접촉저항을 동시에 낮출 수 있는 효과를 나타낼 수 있다.
- [0122] 도 3b를 참조하면, 접촉 저항이 감소되고, 전자 이동도가 향상된 이황화 몰리브덴 기반의 백플레인은 대량의 전류를 필요로 하는 능동형 유기 발광 소자 디스플레이 장치에 적용될 수 있음을 알 수 있다.
- [0123] 플렉시블 기판 상에 형성된 능동형 유기 발광 소자 디스플레이 장치의 낮은 굽힘 강성은 초유연성을 제공할 수 있고, 구부러진 상태 또는 인간의 손목에 부착된 경우에도 용이하게 작동이 가능하므로 이황화 몰리브덴 기반의 백플레인을 포함하는 능동형 유기 발광 소자 디스플레이 장치는 웨어러블 디스플레이에도 적용할 수 있다.

- [0124] 도 4a 내지 도 4f는 본 발명의 일 실시예에 따른 전이금속 칼코겐 화합물 기반의 백플레인의 제조 방법에 따라 형성된 이황화 몰리브덴 기반의 백플레인에 있어서  $Al_2O_3$  층의 위치에 따른 채널층의 라만 스펙트럼 및 광 발광 스펙트럼을 도시한 것이다.
- [0125] 검은색 선은  $Al_2O_3$  층을 증착하기 전의 채널층의 라만 스펙트럼 및 광 발광 스펙트럼이고, 빨간색 선은  $Al_2O_3$  층을 증착한 후의 채널층의 라만 스펙트럼 및 광 발광(Photoluminescence, PL) 스펙트럼을 나타낸 것이다.
- [0126] 도 4a 및 도 4b를 참조하면, 채널층의 하부에  $Al_2O_3$  층이 형성된 경우에  $A_{1g}$  피크 및 광 발광 피크가 이동하지 않았음을 알 수 있다. 따라서, 하부의  $Al_2O_3$  층은 채널층을 도핑하지 않는다는 것을 알 수 있다.
- [0127] 도 4c 및 도 4d를 참조하면, 채널층의 상부에  $Al_2O_3$  층이 형성된 경우에  $A_{1g}$  피크 및 광 발광 피크가 적색 이동(red shift)함을 알 수 있으며, 따라서 상부의  $Al_2O_3$  층은 채널층을 도핑하는 것을 알 수 있다.
- [0128] 도 4e 및 도 4f를 참조하면, 채널층의 상하부에  $Al_2O_3$  층이 형성된 경우에  $A_{1g}$  피크 및 광 발광 피크가 하부에만  $Al_2O_3$  층을 형성한 경우보다 더 적색 이동함을 알 수 있으며, 채널층이 알루미늄나트의 사이에 샌드위치 되는 구조는 채널층을 효과적으로 도핑함을 알 수 있다.
- [0129]  $Al_2O_3$  층 사이에 채널층이 샌드위치 되어있는 구조를 통하여 상부에 존재하는  $Al_2O_3$  층은 채널층을 도핑하고, 하부에 존재하는  $Al_2O_3$  층은 채널층의 도핑에 영향을 주지 않으며, 매끄러운 기판 표면을 제공할 수 있다.
- [0130] 도 5a는 본 발명의 일 실시예에 따른 전이금속 칼코겐 화합물 기반의 백플레인의 제조 방법에 따라 형성된 이황화 몰리브덴 기반의 백플레인에 있어서  $SiO_2$  기판 및  $Al_2O_3$  층이 증착된  $SiO_2$  기판의 원자력 현미경 이미지(Atomic Force Microscope)를 도시한 것이고, 도 5b는  $Al_2O_3$  층 사이에 채널층이 샌드위치 되어있는 구조의 단면 투과 전자 현미경 이미지(Cross-sectional transmission electron microscopy image)를 도시한 것이다.
- [0131] 도 5a를 참조하면,  $SiO_2$  기판 및  $Al_2O_3$  층이 증착된  $SiO_2$  기판을 비교하였을때, RMS(Root Mean Square) 값이 0.13 nm 에서 0.06 nm로 감소함을 알 수 있다.
- [0132] 도 5b를 참조하면,  $Al_2O_3$  층 사이에 채널층이 샌드위치 되어있는 구조에 있어서, 균일한 접착을 나타내고 채널층의 상부 및 하부에 틈이 없는 깨끗한 경계면이 관찰되었음을 알 수 있다.
- [0133] 이와 같이  $SiO_2$  기판 상에  $Al_2O_3$  층을 증착함으로써, 낮은 표면 거칠기(roughness)를 제공하고 핀홀이 없는 평탄한 표면을 제공할 수 있어, 채널층에 대한 매끄러운 계면을 형성할 수 있다.
- [0134] 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 전이금속 칼코겐 화합물 기반의 백플레인의 제조 방법에 따라 형성된 이황화 몰리브덴 기반의 백플레인에 있어서  $Al_2O_3$  층에 의하여 채널 영역 및 접촉 저항이 감소하는 것을 도시한 것이다.
- [0135] 도 6을 참조하면, 이황화 몰리브덴 기반의 백플레인에 있어서 상부에 존재하는  $Al_2O_3$  층은 이황화 몰리브덴 기반의 백플레인의 채널 영역 및 접촉 영역에서 채널층을 도핑하는데 사용된다.
- [0136] 채널층과 소스/드레인 전극의 접촉 영역은 일함수 차에 의하여 쇼트키 배리어를 발생시키고 이에 따라 높은 접촉 저항을 나타낸다.
- [0137] 그러나, 채널층의 상부에  $Al_2O_3$  층을 증착함으로써 전자적 도핑에 의해 얇아진 배리어에 의하여 터널 전류를 발생시킬 수 있고, 보다 낮은 접촉 저항을 가질 수 있다. 또한 채널영역에서의 저항도 전자적 도핑에 의하여 감소될 수 있다.
- [0138] 도 7a는 본 발명의 일 실시예에 따른 전이금속 칼코겐 화합물 기반의 백플레인의 제조 방법에 따라 형성된 이황화 몰리브덴 기반의 백플레인 및 다양한 구조를 갖는 이황화 몰리브덴 기반의 백플레인의 스위칭 특성을 도시한 그래프이고, 도 7b는 출력 특성을 도시한 그래프이며, 도 7c는 이동성을 도시한 그래프이다.
- [0139] 보다 상세하게,  $Al_2O_3$  층이 증착되지 않은 백게이트 구조의 이황화 몰리브덴 기반의 백플레인(①), 채널층이  $Al_2O_3$  층 사이에 샌드위치된 백게이트 구조의 이황화 몰리브덴 기반의 백플레인(②),  $Al_2O_3$  층이 증착되지 않은 상

부 게이트 구조의 이황화 몰리브덴 기반의 백플레인(③) 및 채널층이  $Al_2O_3$  층 사이에 샌드위치된 상부 게이트 구조의 이황화 몰리브덴 기반의 백플레인(④)의 전달 특성을 도시한 것으로, 상기 모든 경우의 채널층은 소스/드레인 전극 상에 위치하는 구조를 갖는다.

- [0140] 도 7a를 참조하면, 상부 게이트 구조의 이황화 몰리브덴 기반의 백플레인(③, ④)의 스위칭 특성이 백게이트 구조의 이황화 몰리브덴 기반의 백플레인(①, ②)의 스위칭 특성과 비교하여 향상되었음을 알 수 있다.
- [0141] 또한, 채널층이  $Al_2O_3$  층 사이에 샌드위치된 상부 게이트 구조의 이황화 몰리브덴 기반의 백플레인(④)이 가장 높은 스위칭 특성을 보임을 알 수 있다.
- [0142] 따라서, 채널층이  $Al_2O_3$  층 사이에 샌드위치된 상부 게이트 구조의 이황화 몰리브덴 기반의 백플레인을 능동 유기 발광 소자 디스플레이에 적용하였을 경우 누설 전류가 감소되고, 이에 따른 노이즈(noise) 발생을 최소화할 수 있다.
- [0143] 도 7b 및 도 7c를 참조하면, 채널층이  $Al_2O_3$  층 사이에 샌드위치된 상부 게이트 구조의 이황화 몰리브덴 기반의 백플레인(④)은 약 1.2mA의 높은 출력 특성을 나타내고, 약  $18cm^2V^{-1}s^{-1}$ 의 이동도를 나타냄을 알 수 있다.
- [0144] 도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 전이금속 칼코겐 화합물 기반의 백플레인의 제조 방법에 따라 형성된 이황화 몰리브덴 기반의 백플레인 및  $Al_2O_3$  층이 증착되지 않은 이황화 몰리브덴 기반의 백플레인의 이력(hysteresis) 곡선을 도시한 그래프이다.
- [0145] 도 8을 참조하면, 채널층이  $Al_2O_3$  층 사이에 샌드위치된 상부 게이트 구조의 이황화 몰리브덴 기반의 백플레인(파란색 그래프)이  $Al_2O_3$  층이 증착되지 않은 상부 게이트 구조의 이황화 몰리브덴 기반의 백플레인(녹색 그래프)보다 상대적으로 작은 이력 전압을 나타내는 것을 알 수 있다.
- [0146] 일반적으로 기판의 러프니스 또는 채널과 기판 계면 사이에 속박되어 있는 전하들에 의해 이력이 발생하게 되는데, 채널층이  $Al_2O_3$  층 사이에 샌드위치된 상부 게이트 이황화 몰리브덴 기반의 백플레인은 깨끗한 계면을 형성하므로, 상대적으로 작은 이력 전압을 나타낸다.
- [0147] 도 9a는  $Al_2O_3$  층이 증착되지 않은 단결정의 이황화 몰리브덴 기반의 백플레인의 전기적 특성을 도시한 그래프이고, 도 9b는 채널층이  $Al_2O_3$  층 사이에 샌드위치된 단결정의 이황화 몰리브덴 기반의 백플레인의 전기적 특성을 도시한 그래프이다.
- [0148] 도 9a를 참조하면,  $Al_2O_3$  층이 증착되지 않은 단결정의 이황화 몰리브덴 기반의 백플레인은  $5.6 cm^2/Vs$ 의 전자 이동도, -8.5V의 문턱전압 및  $4.5 \times 10^{-8} S/\mu m^2$ 의 트랜스 컨덕턴스(Transconductance)값을 가짐을 알 수 있다.
- [0149] 도 9b를 참조하면, 채널층이  $Al_2O_3$  층 사이에 샌드위치된 단결정의 이황화 몰리브덴 기반의 백플레인은  $70.8 cm^2/Vs$ 의 전자 이동도, -9.5V의 문턱전압 및  $5.2 \times 10^{-7} S/\mu m^2$ 의 트랜스 컨덕턴스(Transconductance)값을 가짐을 알 수 있다.
- [0150] 도 9a 및 도 9b를 참조하면, 이중층의 이황화 몰리브덴 기반의 백플레인과 유사하게, 단일층의 이황화 몰리브덴 기반의 백플레인의 경우도 채널층이  $Al_2O_3$  층 사이에 샌드위치된 이황화 몰리브덴 기반의 백플레인의 전기적 특성이 더 향상되었음을 알 수 있다.
- [0151] 도 10a 내지 도 10c는 본 발명의 일 실시예에 따른 전이금속 칼코겐 화합물 기반의 백플레인의 제조 방법에 따라 형성된 이황화 몰리브덴 기반의 백플레인의 접촉 저항 및 채널 저항을 TLM(Transfer Length Method)에 따라 분석한 결과를 도시한 그래프이다.
- [0152] 이황화 몰리브덴 기반의 백플레인의 이동도에 영향을 미치는 중요한 요소인 접촉 저항( $R_c$ ) 및 채널 저항( $R_{sh}$ )은 소스/드레인 전극 및 채널층의 접촉 영역과 소스/드레인 금속 전극 사이의 채널층에서 각각 추정하였다.
- [0153] 도 10a를 참조하면, 150V의 하부 게이트 전압에서  $Al_2O_3$  층이 증착되지 않은 이황화 몰리브덴 기반의 백플레인은  $56.7 \pm 9.1 \Omega \cdot cm$ 의 높은 접촉 저항을 나타냈지만, 채널층이  $Al_2O_3$  층 사이에 샌드위치된 이황화 몰리브덴 기반의

백플레인은  $5.9 \pm 0.7 \text{ ohm} \cdot \text{cm}$ 의 약 10배 감소된 낮은 접촉 저항을 나타냄을 알 수 있다.

- [0154] 채널층과 소스/드레인 전극의 접촉 영역은 일함수 차에 의하여 쇼트키 배리어를 발생시키고 이에 따라 높은 접촉 저항을 나타낸다. 그러나, 채널층의 상부에  $\text{Al}_2\text{O}_3$  층을 증착함으로써 전자적 도핑에 의해 얇아진 배리어에 의하여 터널 전류를 발생시킬 수 있고, 보다 낮은 접촉 저항을 가질 수 있다.
- [0155] 도 10b를 참조하면, 150V의 하부 게이트 전압에서  $\text{Al}_2\text{O}_3$  층이 증착되지 않은 이황화 몰리브덴 기반의 백플레인은  $15.9 \pm 10 \text{ M}\Omega/\text{cm}$ 의 채널 저항을 나타내었으나, 채널층이  $\text{Al}_2\text{O}_3$  층 사이에 샌드위치된 이황화 몰리브덴 기반의 백플레인은  $0.1 \pm 0.02 \text{ M}\Omega/\text{cm}$ 의 약 140배 감소된 채널 저항을 나타냄을 알 수 있다.
- [0156] 도 10c를 참조하면, 채널층이  $\text{Al}_2\text{O}_3$  층 사이에 샌드위치된 상부 게이트 구조를 갖는 이황화 몰리브덴 기반의 백플레인은  $5.5 \pm 0.6 \Omega\text{cm}$ 의 낮은 접촉 저항 및  $66.5 \pm 9.5 \text{ k}\Omega/\text{cm}$ 의 낮은 채널 저항을 나타냄을 알 수 있다.
- [0157] 상부  $\text{Al}_2\text{O}_3$  층에 의해 접촉 저항 및 채널 저항이 감소하고, 전자 이동도가 현저하게 향상된다. 또한, 낮은 접촉 저항 및 채널 저항으로부터 상부  $\text{Al}_2\text{O}_3$  층이 채널 영역 및 접촉 영역 모두에서 채널층을 효과적으로 도핑함을 알 수 있다.
- [0158] 도 11a는 본 발명의 일 실시예에 따른 전이금속 칼코겐 화합물 기반의 백플레인의 제조 방법에 따라 형성된 이황화 몰리브덴 기반의 백플레인의 전기적 특성을 도시한 그래프이고, 도 11b는 히스토그램을 도시한 것이다.
- [0159] 도 11a를 참조하면, 채널층이  $\text{Al}_2\text{O}_3$  층 사이에 샌드위치된 500개의 상부 게이트 구조의 이황화 몰리브덴 기반의 백플레인에 대한 평균 이동도는  $1.81 \text{ cm}^2/\text{Vs}$  임을 알 수 있다(하부 삽입 그래프).
- [0160] 도 11b를 참조하면, 채널층이  $\text{Al}_2\text{O}_3$  층 사이에 샌드위치된 500개의 상부 게이트 구조의 이황화 몰리브덴 기반의 백플레인은  $17 \text{ cm}^2/\text{Vs}$  내지  $20 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 의 높은 전자 이동도(mobility), 0.75V 이하의 낮은 히스테리시스(hysteresis) 전압, 106 이상의 높은 점멸비(ON/OFF ratio) 및  $5 \pm 2 \text{ V}$ 의 양의 문턱 전압( $V_{th}$ )을 나타냄을 알 수 있다.
- [0161] 특히, 채널층이  $\text{Al}_2\text{O}_3$  층 사이에 샌드위치된 상부 게이트 구조의 이황화 몰리브덴 기반의 백플레인은 양의 값에 갖는 문턱 전압을 나타내는데, 이는 추가적인 게이트 바이어스 전압의 공급 없이도 픽셀의 오프(off) 상태를 유지할 수 있으며 결과적으로 선택적인 픽셀의 동작시 불필요한 전력의 소비를 감소시킬 수 있다.
- [0162] 도 12a 및 도 12b는 본 발명의 일 실시예에 따른 전이금속 칼코겐 화합물 기반의 백플레인의 제조 방법에 따라 형성된 이황화 몰리브덴 기반의 백플레인의 안정성을 도시한 그래프이다.
- [0163] 도 12a를 참조하면, 채널층이  $\text{Al}_2\text{O}_3$  층 사이에 샌드위치된 상부 게이트 구조의 이황화 몰리브덴 기반의 백플레인을 제조한 후 한 달 후에 스위칭 특성을 측정한 결과(빨간선) 전자 이동도, 점멸비, 문턱 전압 및 서브문턱스윙(subthreshold swing) 값이 거의 변하지 않은 것을 알 수 있다.
- [0164] 도 12b를 참조하면, 채널층이  $\text{Al}_2\text{O}_3$  층 사이에 샌드위치된 상부 게이트 구조의 이황화 몰리브덴 기반의 백플레인을 제조한 후 한 달 후에 출력 특성을 측정한 결과(빨간선) 스위칭 특성과 마찬가지로 거의 변하지 않은 것을 알 수 있다.
- [0165] 따라서, 채널층이  $\text{Al}_2\text{O}_3$  층 사이에 샌드위치된 상부 게이트 구조의 이황화 몰리브덴 기반의 백플레인은 신뢰성 및 균일성이 뛰어나므로 능동 유기 발광 소자 디스플레이에 적용하기에 적합함을 알 수 있다.
- [0166] 도 13a 내지 도 13e는 본 발명의 일 실시예에 따른 전이금속 칼코겐 화합물 기반의 백플레인의 제조 방법에 따라 형성된 이황화 몰리브덴 기반의 백플레인과 전기적으로 연결된 능동 유기 발광 소자의 단일 픽셀의 성능을 도시한 것이다.
- [0167] 도 13a를 참조하면, 휘도(luminance)가  $10 \text{ cdm}^{-2}$ 인 경우의 턴온 전압(turn-on voltage)은 4 V임을 알 수 있고, 휘도(luminance)는 8V 이상의 전압에서 선형 적으로 증가하여  $\geq 5000 \text{ cdm}^{-2}$ 에 도달하여 능동 유기 발광 소자가 우수한 방사율을 나타냄을 알 수 있다.

- [0168] 도 13b를 참조하면, 능동 유기 발광 소자는 약 8V의  $V_{Gate}$  및 약 9V의  $V_{Data}$ 를 각각 게이트 전극 및 드레인 전극에 인가하였을 때 우수한 발광을 나타냄을 알 수 있다.
- [0169] 도 13c를 참조하면, 약 9V의 일정한  $V_{Data}$ 에서  $V_{Gate}$ 를 4V에서 9V까지 증가시켰을 때 능동 유기 발광 소자의 방출 강도가 구별이 가능함을 알 수 있다.
- [0170] 또한,  $V_{Gate}$ 가 9V일 때 최대 휘도는  $408 \text{ cdm}^{-2}$ 에 도달하였고, 이 값은 디스플레이 장치에의 적용이 충분하며 이황화 몰리브덴 기반의 백플레인이 능동 유기 발광 소자를 구동할 수 있음을 알 수 있다.
- [0171] 도 13d를 참조하면,  $V_{Gate}$  값을 4V에서 9V까지 증가시켰을 때, 서로 다른  $V_{Gate}$  값에서  $V_{Data}$ 에 대한 능동 유기 발광 소자 전류( $I_{OLED}$ )가 증가함을 알 수 있다. 5V 미만의 낮은  $V_{Data}$ 에서는 능동 유기 발광 소자가 작동하지 않았고, 이로부터  $I_{OLED}$  및  $V_{Gate}$ 는 서로 독립적임을 알 수 있다.
- [0172] 반면, 5V를 초과하는 높은  $V_{Data}$ 에서는 능동 유기 발광 소자가 작동하였고,  $I_{OLED}$ 는  $V_{Data}$ 가 증가함에 따라 상당히 증가하였으며,  $V_{Gate}$ 에 의존한다는 것을 알 수 있다.
- [0173] 도 13e를 참조하면, 능동 유기 발광 소자는  $\pm 10V$ 의 반복적인  $V_{Gate}$  펄스에 대하여 빠르게 ON 상태 및 OFF 상태를 나타냄을 알 수 있다.
- [0174] 응답시간은 측정 시스템에 의하여 제한된 2.5ms로 추정되었지만, 짧은 지연 시간으로 능동 유기 발광 소자를 구동시킬 수 있을만큼 충분히 낮음을 알 수 있다.
- [0175] 상기에서 살펴본 바와 같이 본 발명의 일 실시예에 따른 전이금속 칼코겐 화합물 기반의 백플레인의 제조 방법에 따라 형성된 이황화 몰리브덴 기반의 백플레인이 능동 유기 발광 소자를 구동시키기에 충분함을 알 수 있다.
- [0176] 도 14a는 본 발명의 일 실시예에 따른 능동형 유기 발광 소자 디스플레이 장치를 사람의 손목에 부착하였을 경우의 이미지를 도시한 것이고, 도 14b는 능동형 유기 발광 소자 디스플레이 장치의 동작 동안의 전류 매핑 결과를 도시한 것이다.
- [0177] 도 14a를 참조하면, 능동형 유기 발광 소자 디스플레이 장치를 사람의 손목에 부착하였을 경우에, 능동형 유기 발광 소자 디스플레이 장치의 매우 얇은 두께( $7 \mu\text{m}$ )로 인하여 사람의 피부에 안정적으로 부착됨을 알 수 있고, 능동 매트릭스 라인 어드레싱(active-matrix line addressing)에 따라서 대표 문자인 "M", "O", "S" 및 "2"가 피부상에서 순차적으로 변경이 가능함을 알 수 있다.
- [0178] 본 발명의 일 실시예에 따른 전이금속 칼코겐 화합물 기반의 백플레인의 제조 방법에 따라 형성된 이황화 몰리브덴 기반의 백플레인은 원자적으로 얇은 이황화 몰리브덴층의 우수한 기계적 특성으로 인하여 낮은 굽힘 강성(bending stiffness)을 갖게 된다.
- [0179] 따라서, 낮은 굽힘 강성으로 인하여 사람의 피부와 컨포멀 접촉(conformal contact)이 용이해지고, 이황화 몰리브덴층의 우수한 기계적 내구성으로 인하여 사람의 피부에 부착 후에도 장치의 동작이 원활하게 이루어질 수 있고, 연속 동작에 대하여 안정된 성능을 나타낼 수 있다.
- [0180] 도 14b를 참조하면, 대표 문자 "M"에 대응하는 ON/OFF 매핑은 모든 픽셀( $6 \times 6$  어레이)이 외부 보상 회로가 없이도 ON/OFF 전류( $\pm 2\%$ )의 변화와 잘 기능함을 알 수 있고, 이는 능동형 유기 발광 소자 유닛에 대한 능동 매트릭스의 우수한 제어를 나타냄을 알 수 있다.
- [0181] 도 15a는 본 발명의 일 실시예에 따른 능동형 유기 발광 소자 디스플레이 장치를 캐리어 기판에서 분리시키는 공정에 대한 광학 이미지를 도시한 것이고, 도 15b는 0.7mm의 굽힘 반경을 갖는 반복적인 굴곡 테스트 결과를 도시한 그래프이다.
- [0182] 도 15a를 참조하면, 능동형 유기 발광 소자 디스플레이 장치를 캐리어 기판인 유리 기판상에서 분리시키는 동안에도 능동형 유기 발광 소자 디스플레이 장치의 작동에 영향을 미치지 않는 것을 알 수 있다.
- [0183] 또한, 능동형 유기 발광 소자 디스플레이 장치의 낮은 굽힘 강성으로 인하여 능동형 유기 발광 소자 디스플레이 장치가 유연하게 접히는 것을 알 수 있다.
- [0184] 도 15b를 참조하면, 0.7mm의 굽힘 반경을 갖는 반복적인 굴곡 테스트에서 능동형 유기 발광 소자 디스플레이 장

치는 우수한 내구성을 보였고, 10%내의 작은 전류 변화를 나타낼 수 있다.

- [0185] 이러한 전류의 작은 변화는 능동형 유기 발광 소자 디스플레이 장치의 작동에 영향을 미치지 않음을 알 수 있다.
- [0186] 도 16a은 본 발명의 일 실시예에 따른 전이금속 칼코겐 화합물 기반의 백플레인을 포함하는 능동형 촉각센서의 구조를 도시한 것이고, 도 16b는 능동형 촉각센서의 광학 이미지를 도시한 것이다.
- [0187] 도 16a 및 도 16b를 참조하면, 전이금속 칼코겐 화합물 기반의 백플레인을 포함하는 능동형 촉각센서(이하 '능동형 촉각센서'라 칭함)에 있어서, 각각의 이황화 몰리브덴 압력 게이지는 전이금속 칼코겐 화합물인 이황화 몰리브덴 기반의 백플레인과 연결되어있는 능동형 구조의 형태를 갖는 것을 알 수 있다.
- [0188] 2.8 cm×2.8 cm의 대면적 위에 8×8 어레이의 배열을 갖는 능동형 촉각센서는 약 2.1 $\mu$ m의 두께를 가지며, CVD 방법에 의해 형성된 이황화 몰리브덴을 이용하여 이황화 몰리브덴 기반의 백플레인 및 이황화 몰리브덴 압력 게이지를 동시에 형성할 수 있다.
- [0189] 따라서, 추가적인 공정 없이 이황화 몰리브덴 기반의 백플레인 및 이황화 몰리브덴 압력 게이지가 연결되어 있는 형태의 능동형 촉각센서의 형성이 가능하다.
- [0190] 능동형 촉각 센서의 매우 얇은 두께로 인한 낮은 굽힘 강성으로 인해 사람 피부의 굴곡진 영역에서도 컨포멀한 접촉이 가능하다. 또한, 작은 굽힘 반경에서도 초기의 전기적 특성을 안정적으로 유지할 수 있다.
- [0191] 도 17a는 본 발명의 일 실시예에 따른 능동형 촉각센서의 전류-전압 특성을 도시한 그래프이고, 도 17b는 시간에 따른 저항 변화를 도시한 그래프이며, 도 17c는 압력에 따른 반복 특성을 도시한 그래프이다.
- [0192] 도 17a를 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 능동형 촉각센서에 0 내지 120 kPa의 압력을 가하였을 때, 압력이 증가함에 따라 On 영역에서의 전류가 균일하게 감소하는 것을 알 수 있다. 또한, 0V 이하의 Off 영역에서는 압력의 변화에도 불구하고 일정한 값을 갖는 것을 알 수 있다.
- [0193] 도 17b를 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 능동형 촉각센서의 저항은 압력에 따라 저항이 균등하게 감소하여, 능동형 촉각센서의 출력값이 선형성을 나타낼 수 있다.
- [0194] 선형성은 압력이 작용하였을 때 같은 변화만큼의 출력 특성을 나타내는 것을 의미하는데, 일정한 압력의 크기를 정확하게 측정하기 위하여는 센서의 출력값이 선형성을 나타내는 것이 중요하다.
- [0195] 본 발명의 일 실시예에 따른 능동형 촉각센서는 1 내지 120kPa의 압력 범위에서 약 1kPa 압력 변화에 따라  $\Delta R/R_0$ 가 0.015의 저항 변화를 나타내었다.
- [0196] 따라서, 최소 1kPa의 압력을 감지할 수 있으며, 이는 피부의 감지 압력인 1 내지 100 kPa와 유사한 감지영역으로 본 발명의 일 실시예에 따른 능동형 촉각센서는 전자피부로서 활용될 수 있다.
- [0197] 또한, 본 발명의 일 실시예에 따른 능동형 촉각센서는 1 내지 120kPa의 압력마다 약 13초 동안 압력을 가했을 때 일정한 저항 변화가 유지되는 것을 알 수 있고, 1kPa의 압력을 가하였을때 180ms의 반응 시간을 나타낼 수 있다.
- [0198] 도 17c를 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 능동형 촉각센서는 1 내지 120kPa의 압력에 따른 10000회의 반복적인 특정 동안 고유의 저항 변화 특성을 유지함을 알 수 있고, 120kPa의 압력에서 매우 낮은 드리프트(drift) 특성을 나타낼 수 있다.
- [0199]
- [0200] 도 18a 내지 도 18d는 본 발명의 일 실시예에 따른 능동형 촉각센서의 유연특성을 도시한 그래프이다.
- [0201] 도 18a를 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 대면적의 능동형 촉각센서는 총 두께가 약 2.1 $\mu$ m로 우수한 유연 특성을 가지고 있어서 1mm의 지름을 갖는 유리 피펫(glass pipet)을 완전히 감싸고 있는 것을 알 수 있다.
- [0202] 삽입된 이미지를 참조하면, 능동형 촉각센서를 확대하였을 때, 크랙이 발견되지 않아, 우수한 기계적 특성을 가짐을 알 수 있다.
- [0203] 이러한 우수한 유연 특성으로 인하여 사람의 피부와 같은 부드러운 기관 상에서 발생하는 굽힘, 비틀림, 주름과 같은 기계적인 변형에 의한 저항 변화에 영향을 받지 않고 정확한 압력을 감지할 수 있다.

- [0204] 도 18b 내지 도 18d를 참조하면, 능동형 촉각센서는 굽힘 반경을 3mm까지 구부렸을 때, 이황화 몰리브덴 기반의 백플레인은 안정적인 스위칭 특성을 나타내었고, 이황화 몰리브덴 압력 게이지는 안정적인 선형성을 나타냄을 알 수 있다.
- [0205] 각각의 굽힘 반경에서 이황화 몰리브덴 기반의 백플레인의 이동도 및 이황화 몰리브덴 압력 게이지의 저항 특성은  $\Delta R/R_0$  가 0.8 내지 0.9 이내의 값으로 안정적인 특성을 유지하였고, 특성의 저하 없이 초기 특성으로 잘 회복되는 것을 알 수 있다.
- [0206] 이러한 굽힘 테스트를 통하여, 능동형 촉각센서가 사람의 피부 및 손바닥의 구부림에 의한 기계적 변형에도 안정적인 특성을 유지할 수 있음을 알 수 있다.
- [0207] 도 19a는 본 발명의 일 실시예에 따른 능동형 촉각센서의 낮은 누화(crosstalk) 특성을 도시한 그래프이고, 도 19b는 능동형 촉각센서의 저항 변화를 도시한 그래프이며, 도 19c는 능동형 촉각센서 상에 글자를 입력하였을 경우의 압력 매핑을 도시한 이미지이다.
- [0208] 도 19a를 참조하면, 능동형 촉각센서는 24.80 dB의 누화 아이솔레이션(crosstalk isolation) 값을 갖는 반면, 수동형 촉각센서는 약 4배 낮은 6.6 dB 값을 나타냄을 알 수 있다.
- [0209] 수동형 촉각센서는 압력을 받는 셀의 저항 변화가 근접해있는 셀에 영향을 주기 때문에 높은 누화 특성을 나타내는 반면, 능동형 촉각센서는 각각의 셀에 연결되어있는 백플레인으로 인하여 근접해있는 셀에 미치는 영향을 줄일 수 있어 낮은 누화 특성을 나타낸다.
- [0210] 도 19b는 능동형 촉각 센서 위에 작은 미니어처 의자를 올려놓은 후 압력을 매핑한 결과 누화 없이 정확하게 압력 감지가 가능함을 알 수 있으며,  $\Delta R/R_0$  가 0.95인 저항 변화를 나타냄을 알 수 있다.
- [0211] 도 19c는 능동형 촉각 센서 위에 터치펜을 이용하여, 글자 'M'을 빠르게 입력하였을 때 압력 매핑 화면상에서 실시간으로 각각의 셀에 작용하는 압력이 정확하고 빠르게 감지되는 것을 알 수 있다.
- [0212] 능동형 촉각 센서의 낮은 누화 특성 및 빠른 반응 시간을 통하여, 능동형 촉각 센서를 실시간 정보입력 장치로서 활용이 가능할 수 있음을 알 수 있다.
- [0213] 도 20은 본 발명의 일 실시예에 따른 능동형 촉각센서에 있어서 능동형 촉각센서를 손바닥 위에 접합한 후 가벼운 물체를 쥐었을 때 저항변화를 도시한 것이다.
- [0214] 도 20을 참조하면, 능동형 촉각센서를 손바닥 위에 접합한 상태에서 사과를 쥐었을 때, 사과를 쥐고 있는 각각의 상태 변화에 따라 약 0.1 내지 0.8의 저항 변화를 나타내었으며, 접촉하는 영역의 형태 및 작용하는 압력의 변화를 감지하는 것을 알 수 있다.
- [0215] 이상과 같이 본 발명은 비록 한정된 실시예와 도면에 의해 설명되었으나, 본 발명은 상기의 실시예에 한정되는 것은 아니며, 본 발명이 속하는 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 이러한 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다.
- [0216] 그러므로, 본 발명의 범위는 설명된 실시예에 국한되어 정해져서는 아니되며, 후술하는 특허청구범위뿐만 아니라 이 특허청구범위와 균등한 것들에 의해 정해져야 한다.

### 부호의 설명

- [0217] 100 : 능동형 유기 발광 소자 디스플레이 장치
- 110 : 캐리어층
- 120 : 희생층
- 130 : 플렉서블 기판
- 140 : 제1 절연층
- 150 : 전이금속 칼코겐 화합물 기반의 백플레인
- 160 : 캡핑층
- 170 : 능동형 유기 발광 소자 유닛

200 : 전이금속 칼코겐 화합물 기반의 백플레인

210 : 플렉서블 기판

220 : 제1 절연층

230, 240 : 소스/드레인 전극

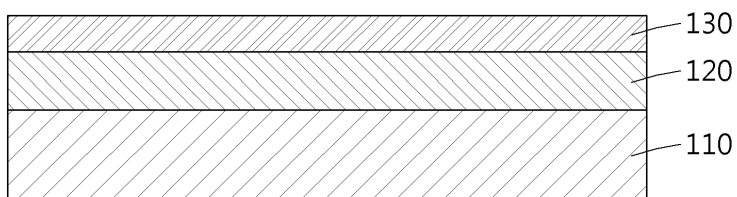
250 : 채널층

260 : 제2 절연층

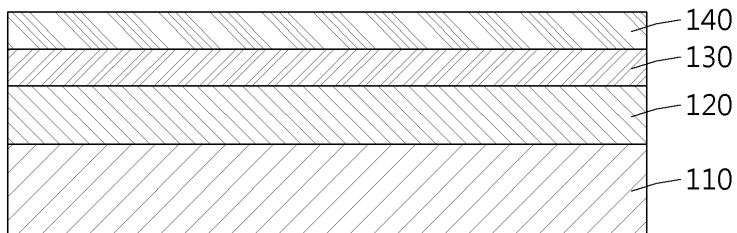
270 : 게이트 전극

## 도면

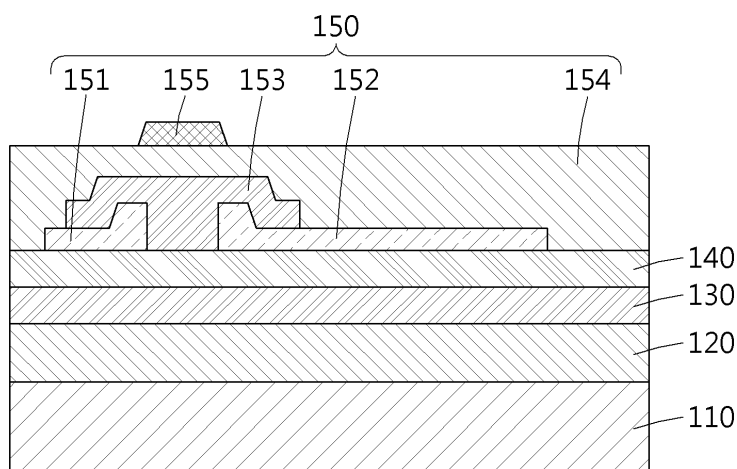
### 도면1a



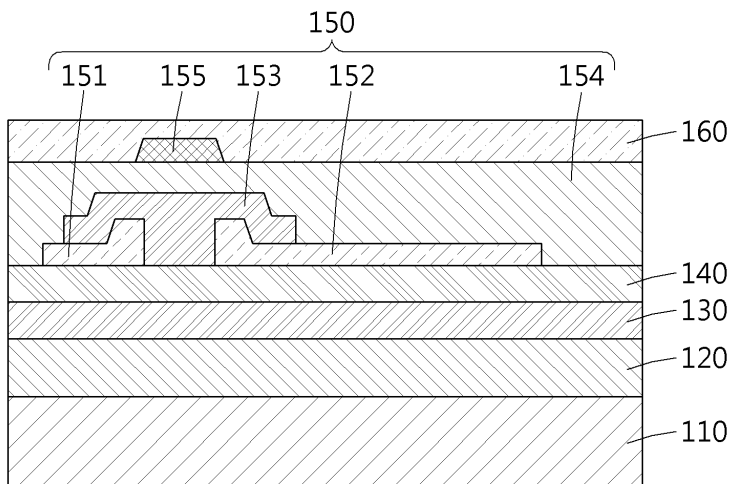
### 도면1b



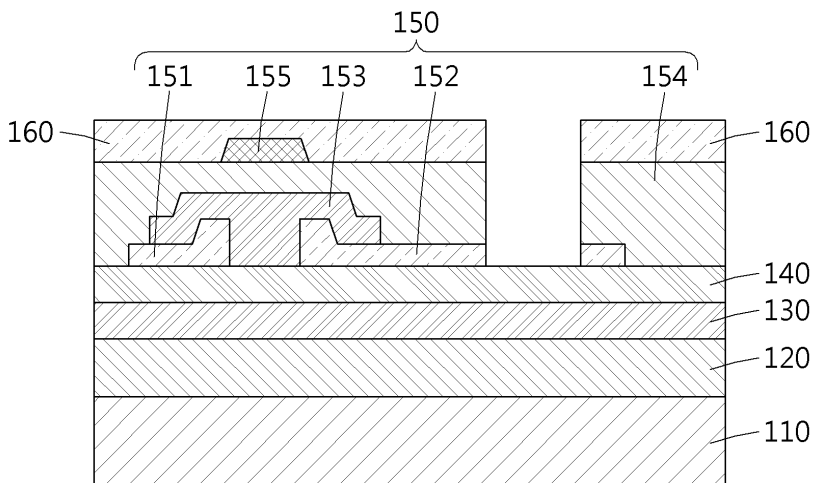
### 도면1c



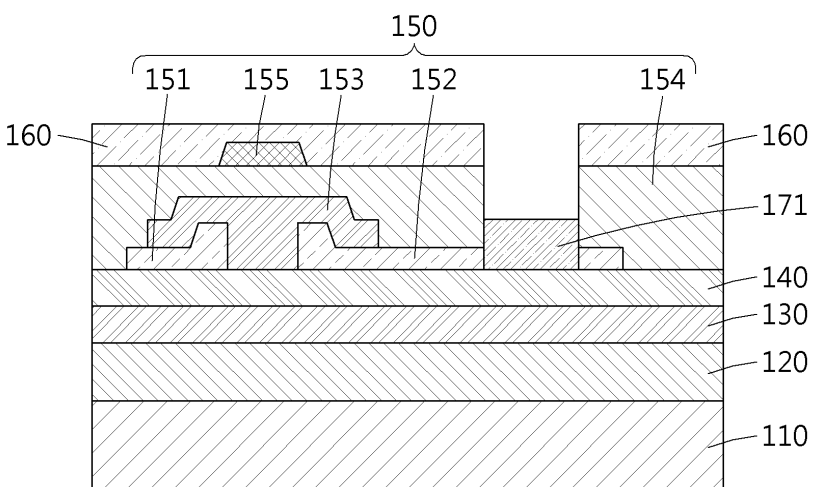
도면1d



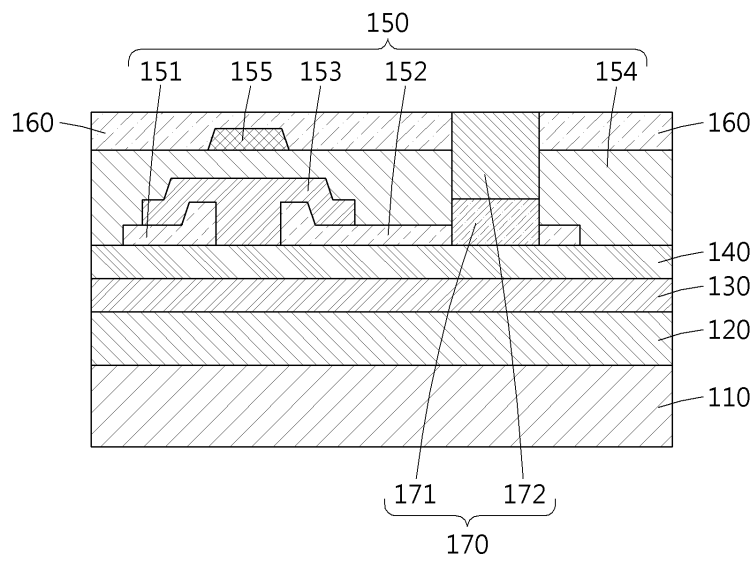
도면1e



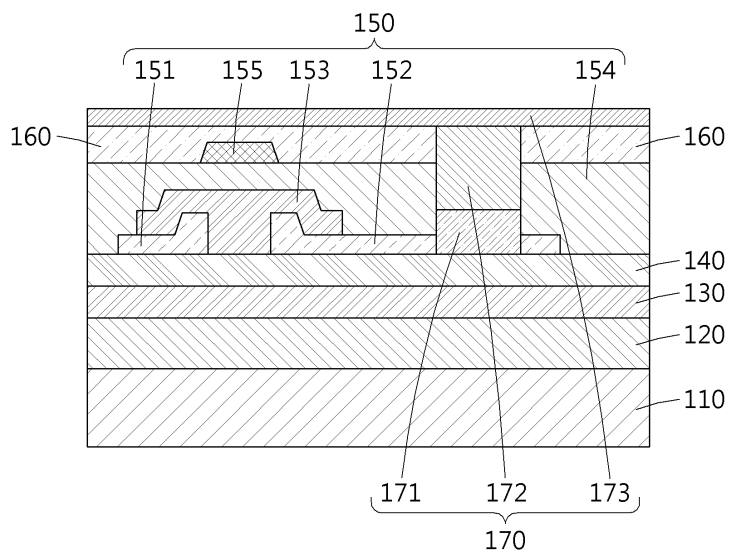
도면1f



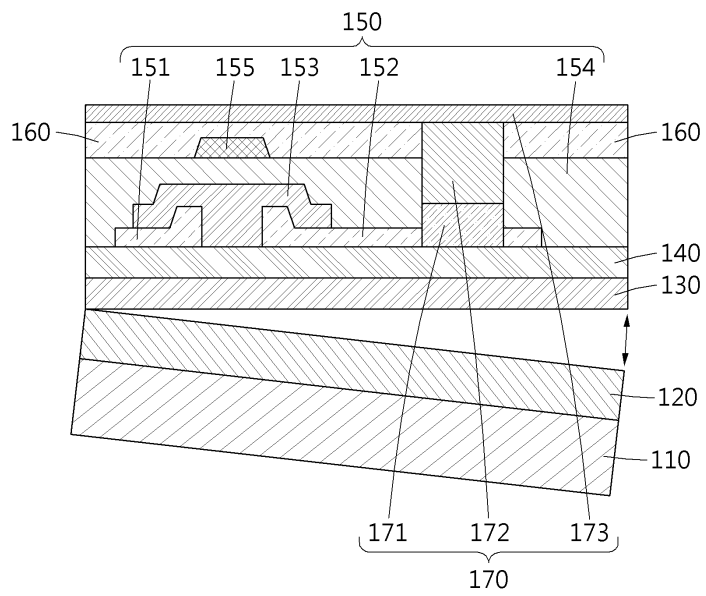
도면1g



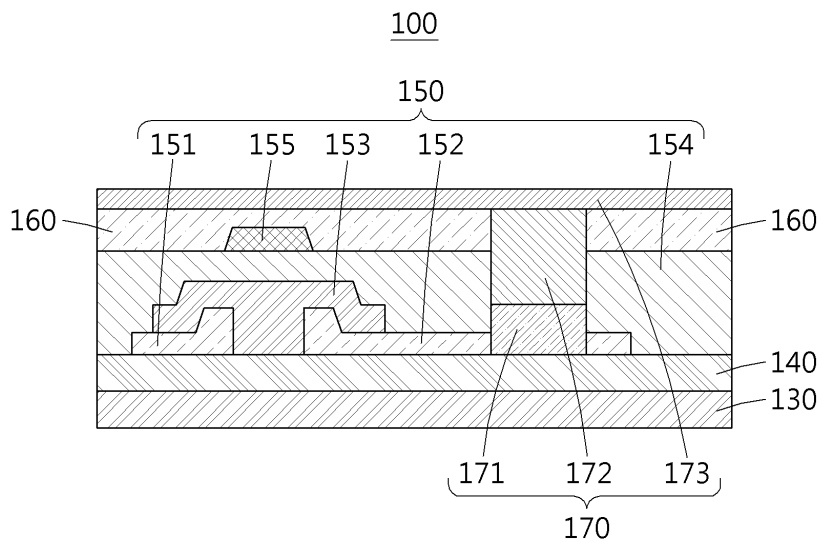
도면1h



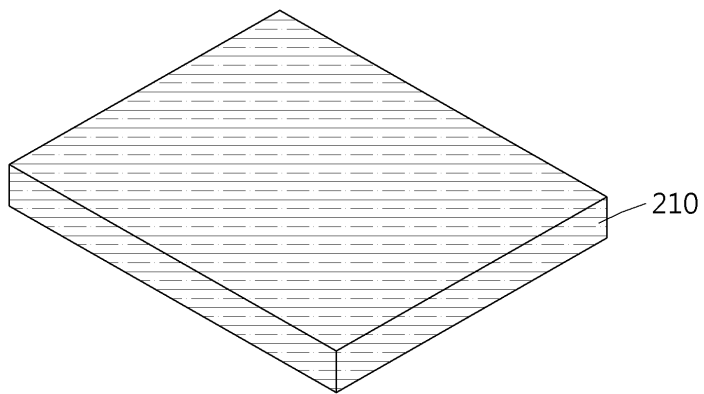
도면1i



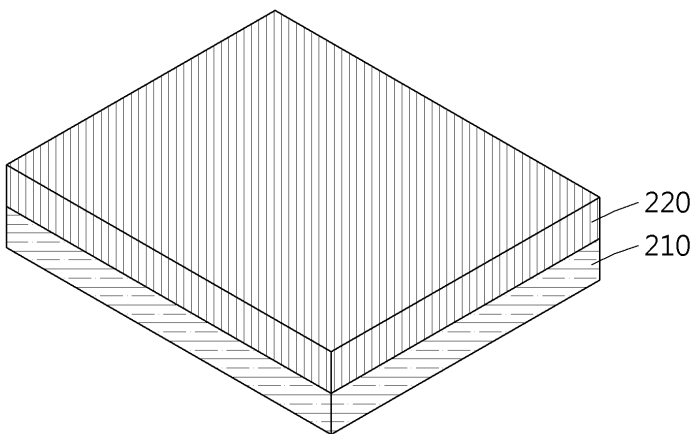
도면1j



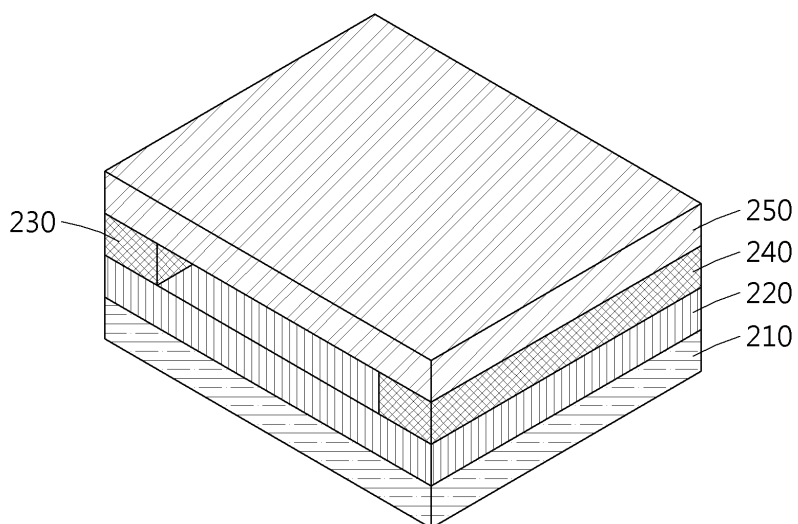
도면2a



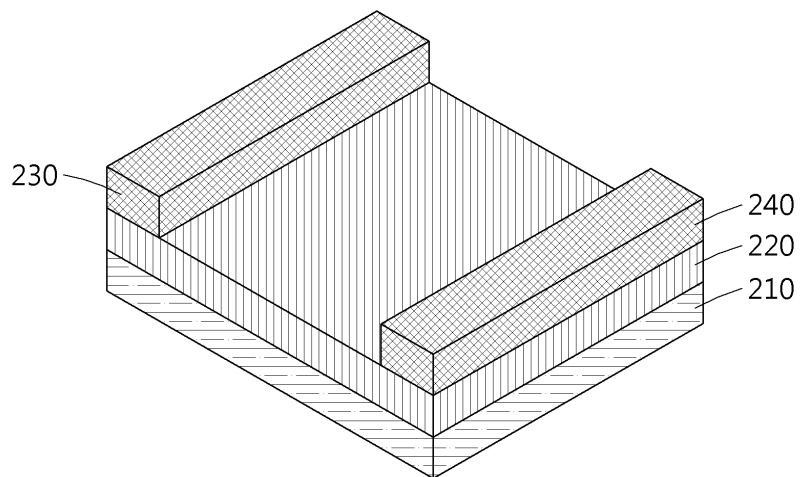
도면2b



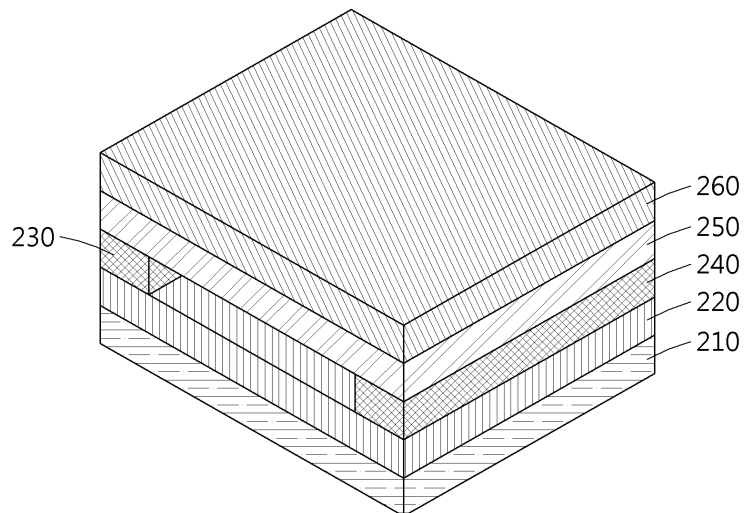
도면2c



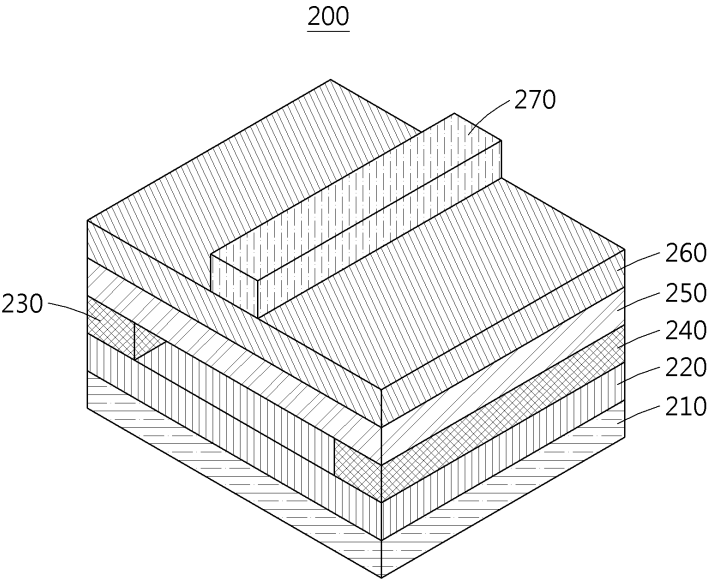
도면2d



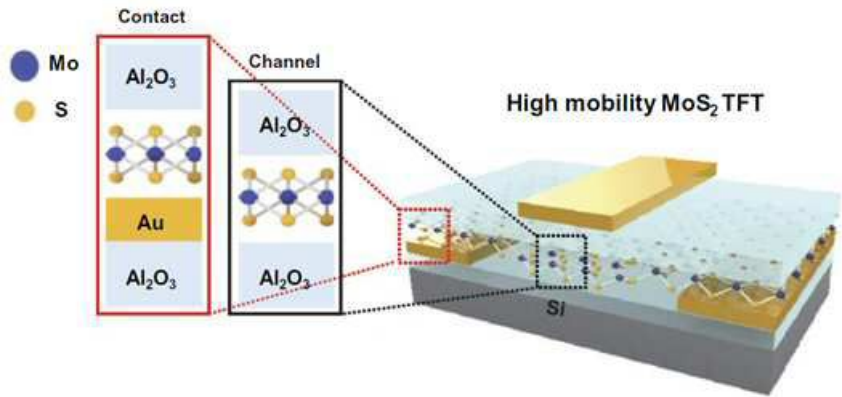
도면2e



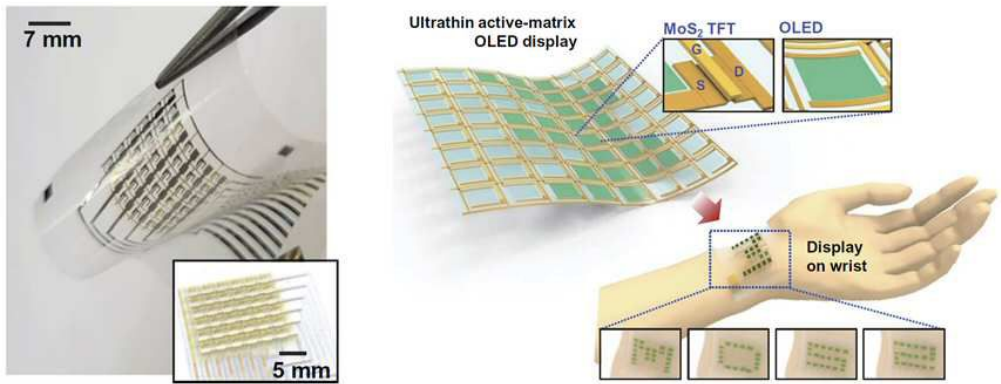
도면2f



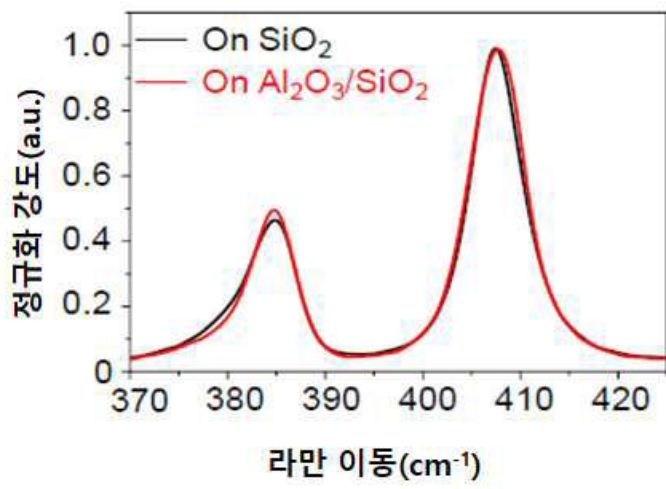
도면3a



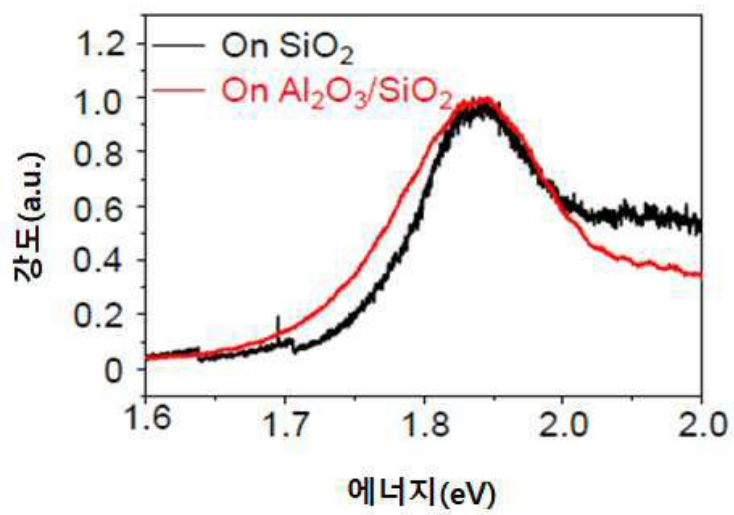
도면3b



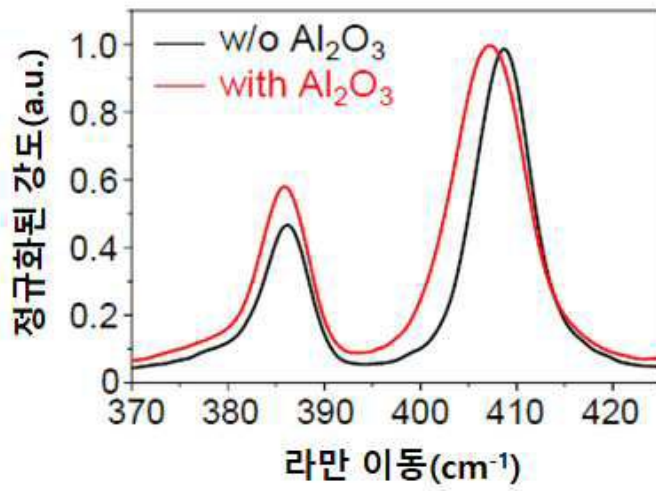
도면4a



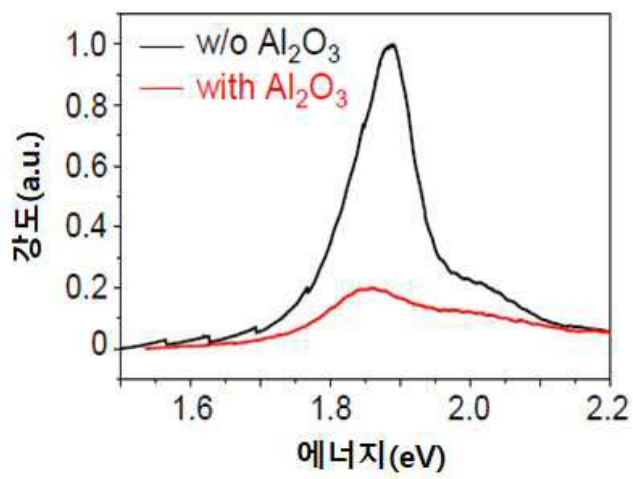
도면4b



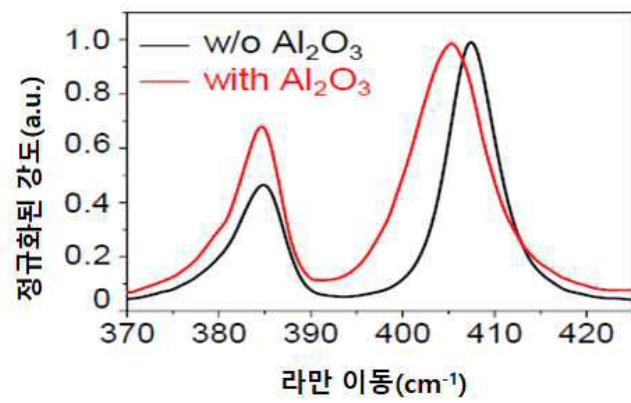
도면4c



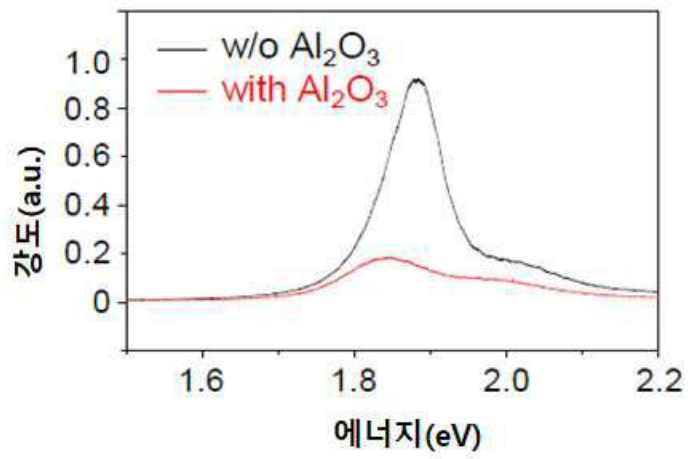
도면4d



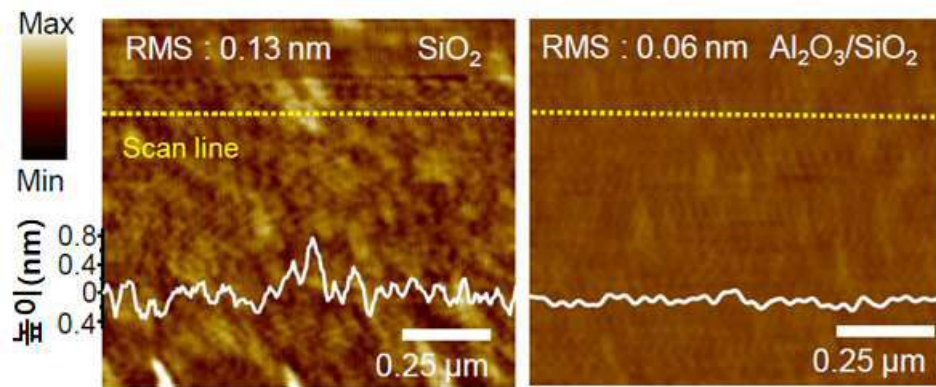
도면4e



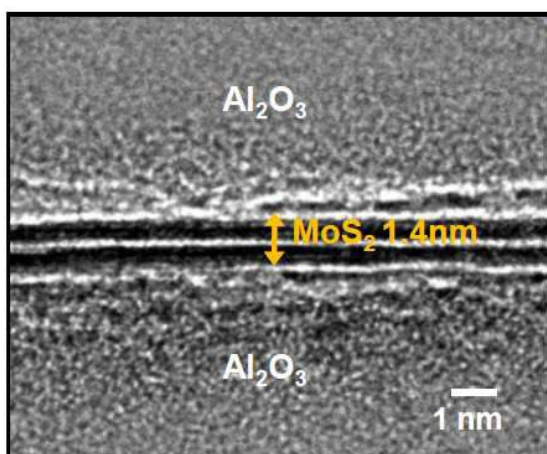
도면4f



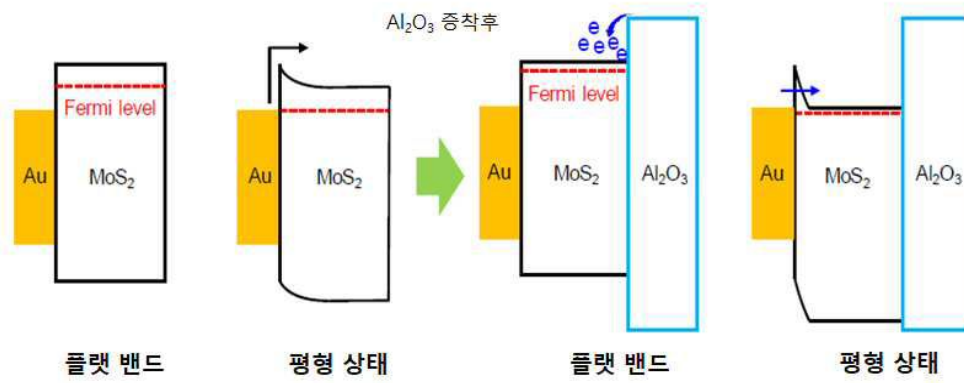
도면5a



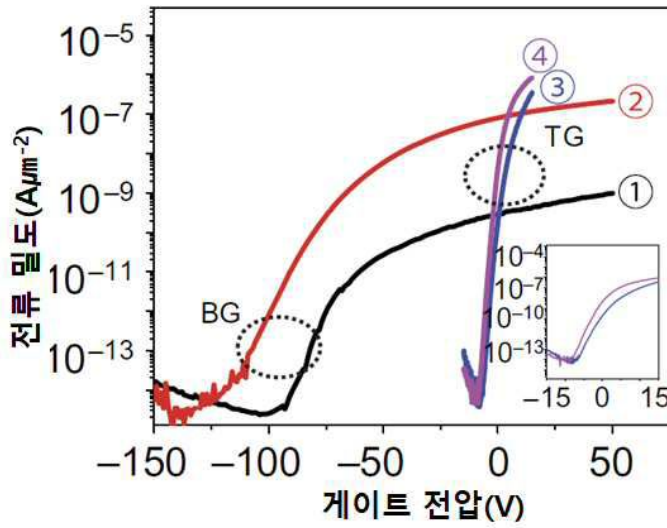
도면5b



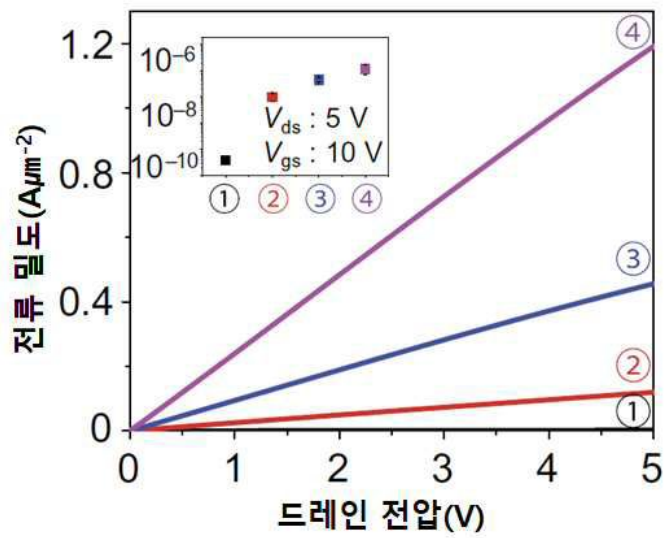
도면6



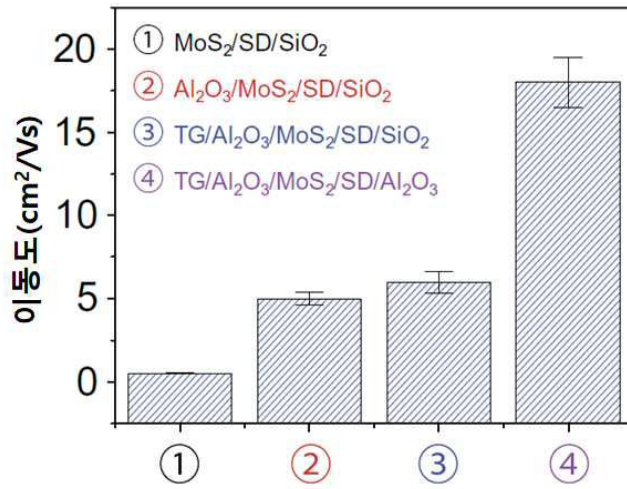
도면7a



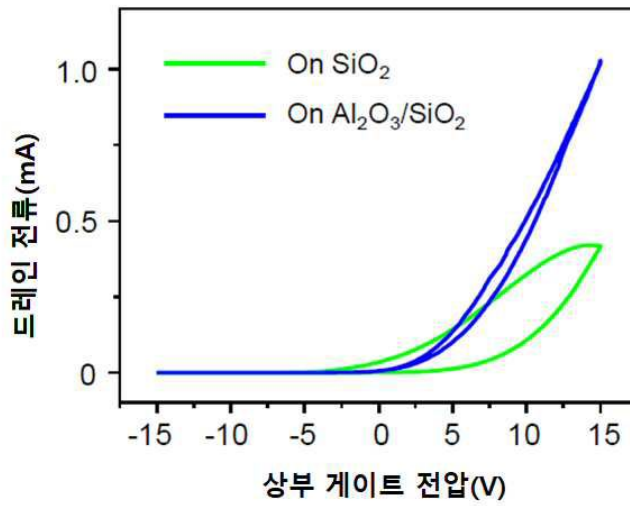
도면7b



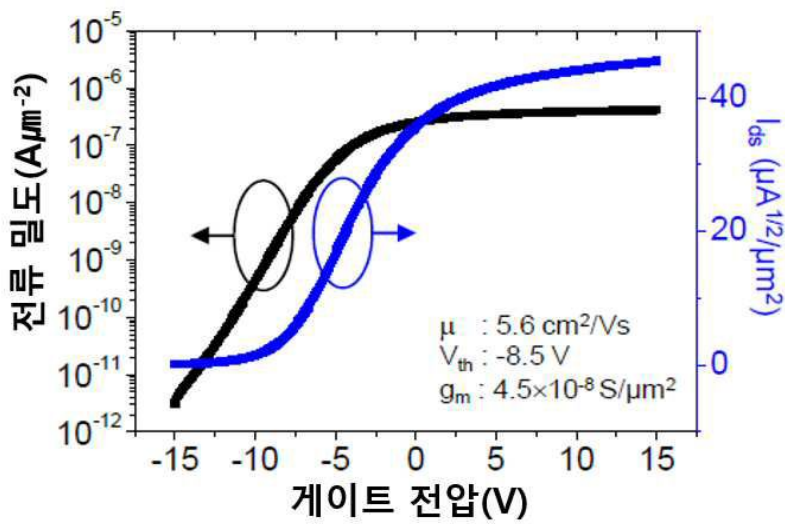
도면7c



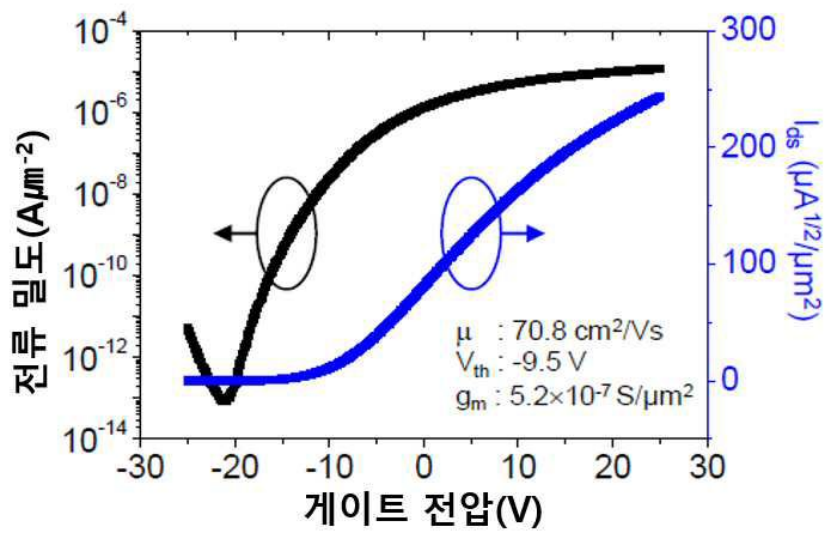
도면8



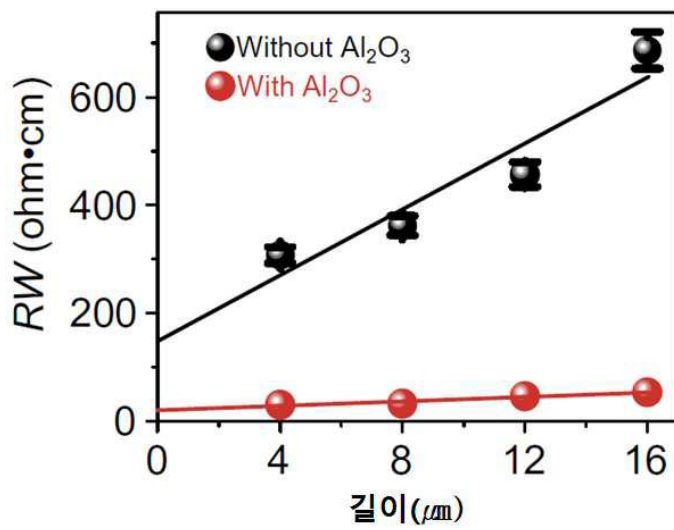
도면9a



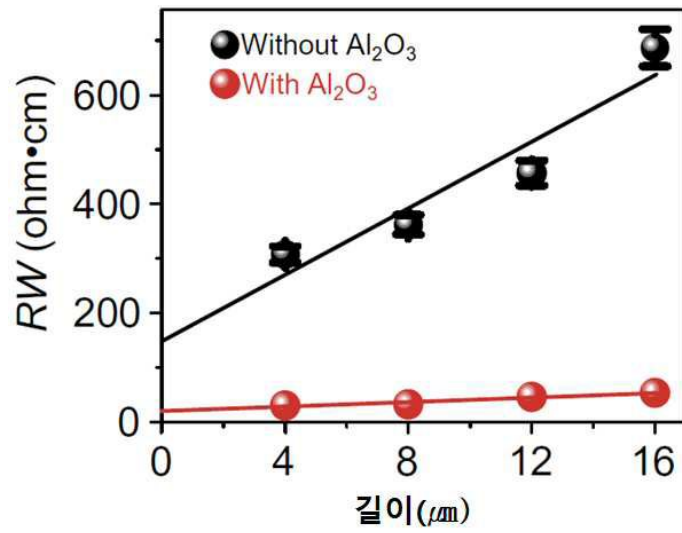
도면9b



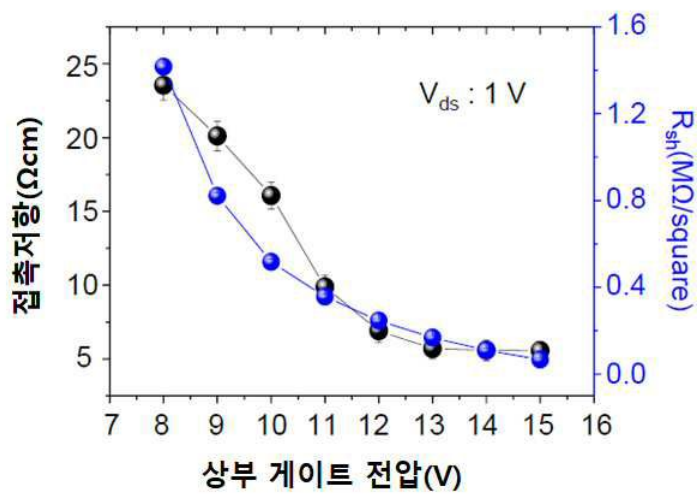
도면10a



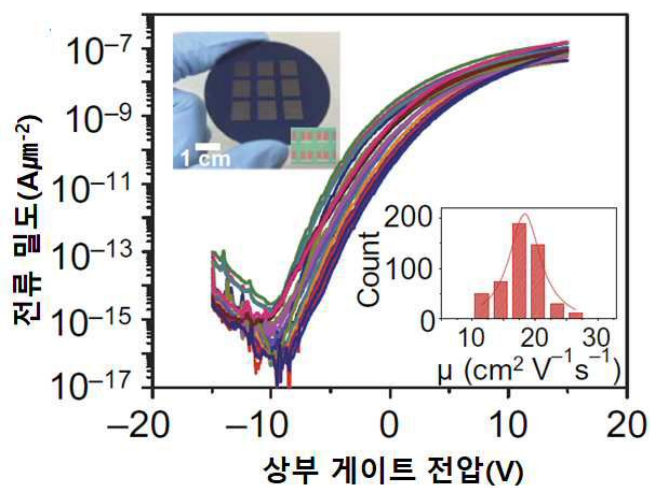
도면10b



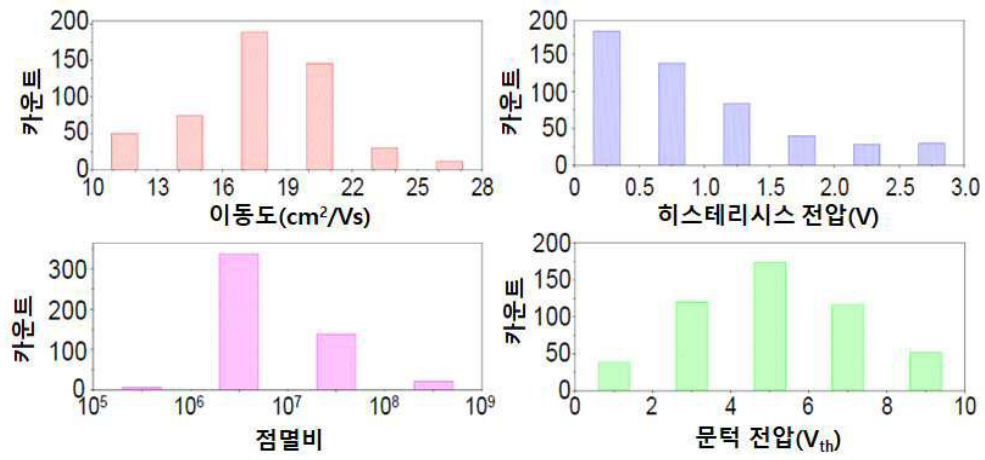
도면10c



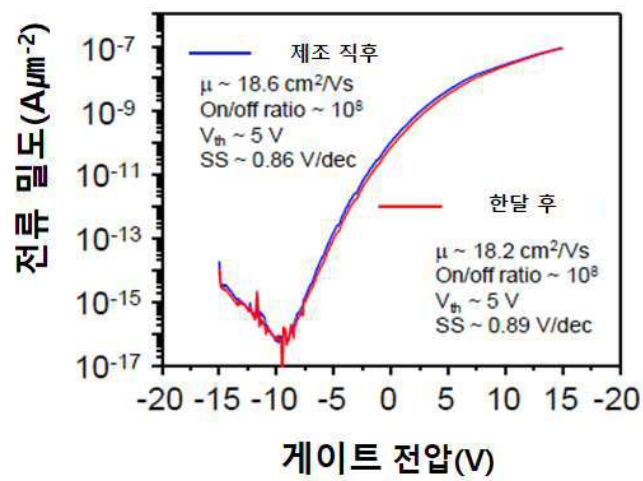
도면11a



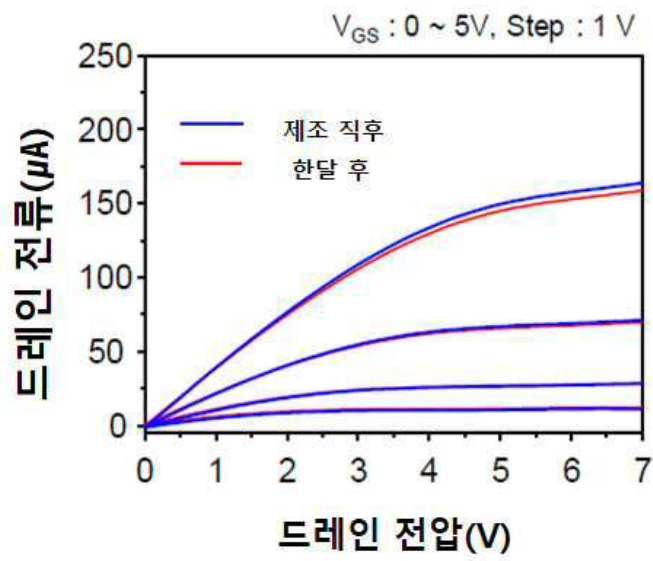
도면11b



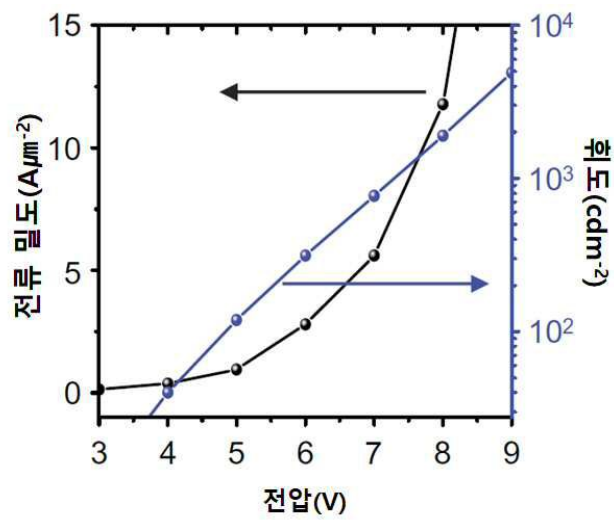
도면12a



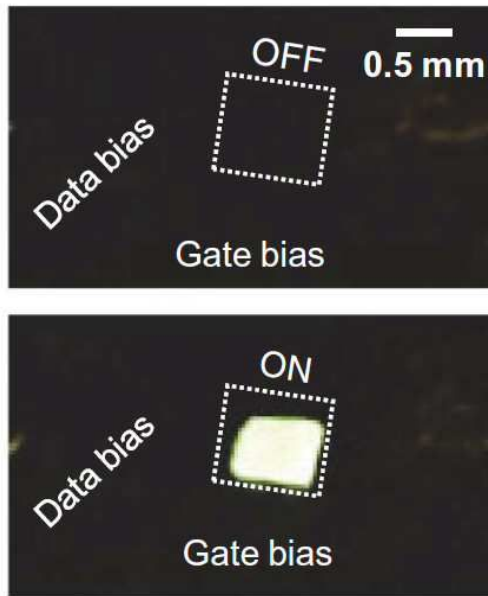
도면12b



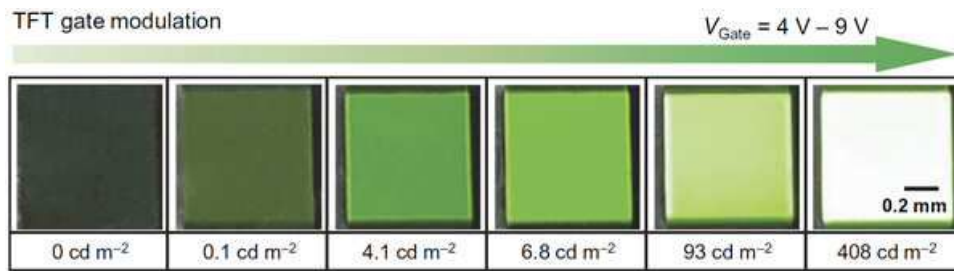
도면13a



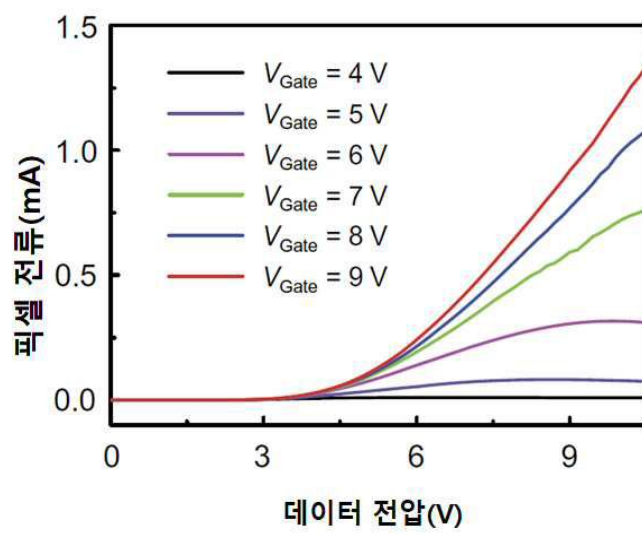
도면13b



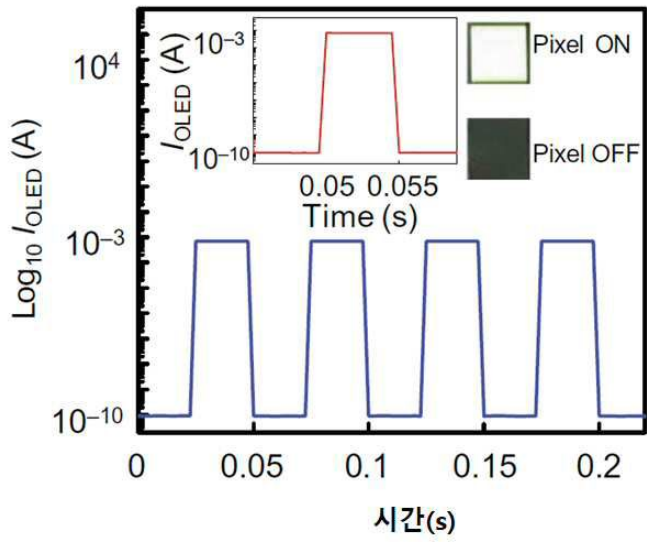
도면13c



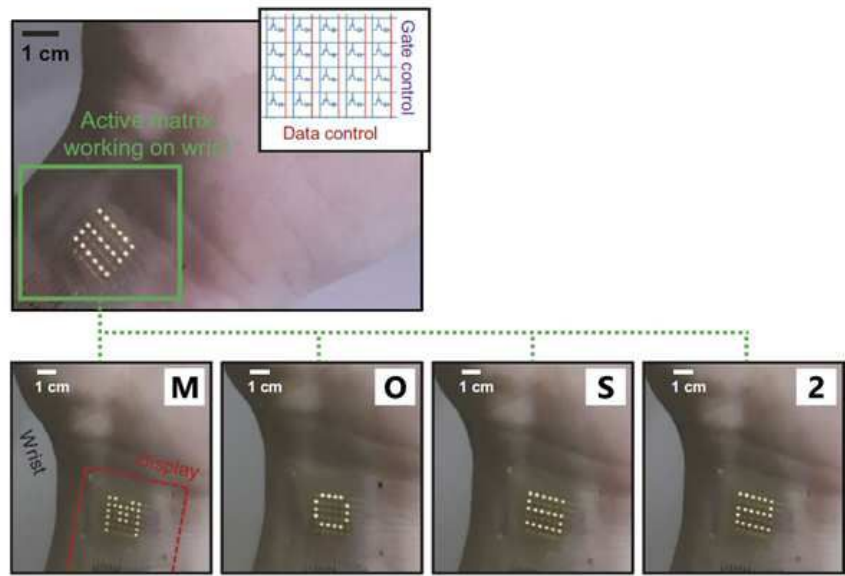
도면13d



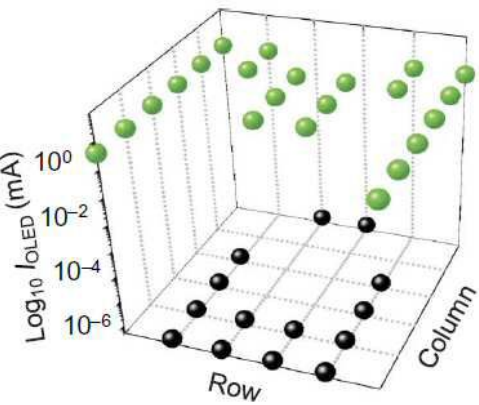
도면13e



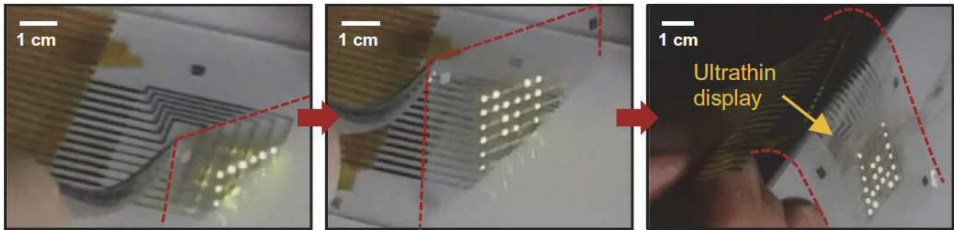
도면14a



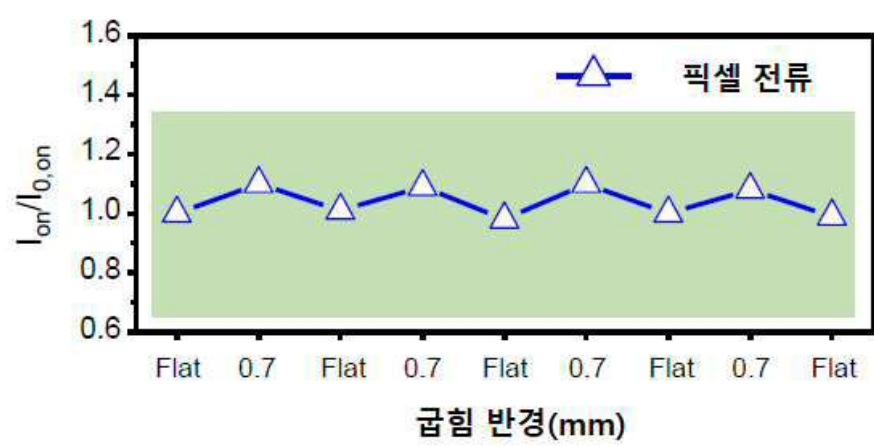
도면14b



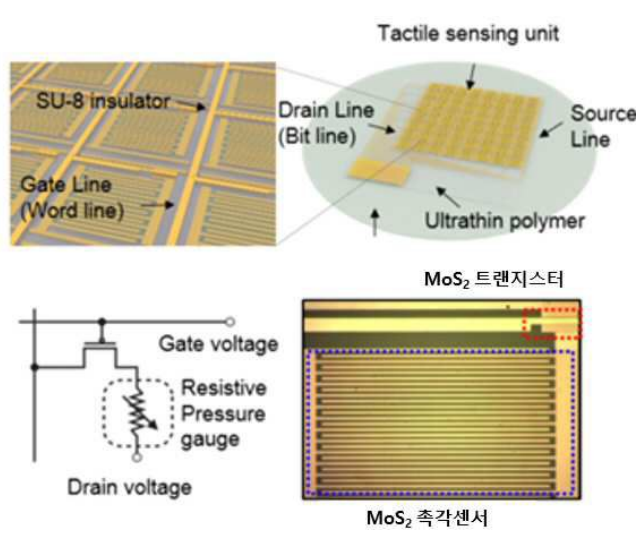
도면15a



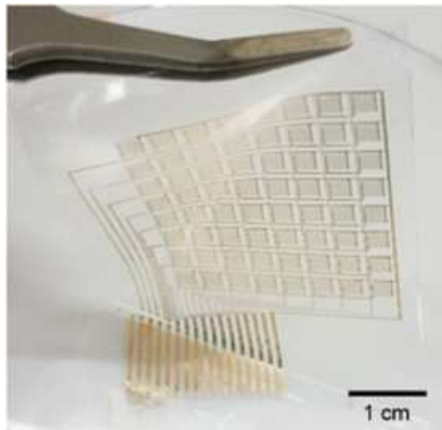
도면15b



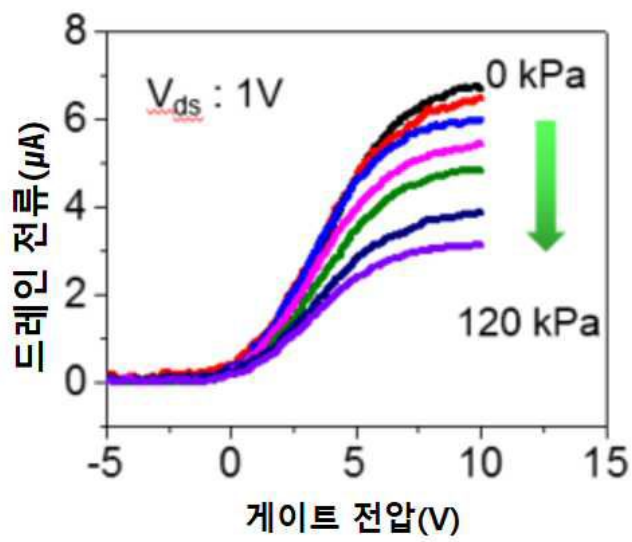
도면16a



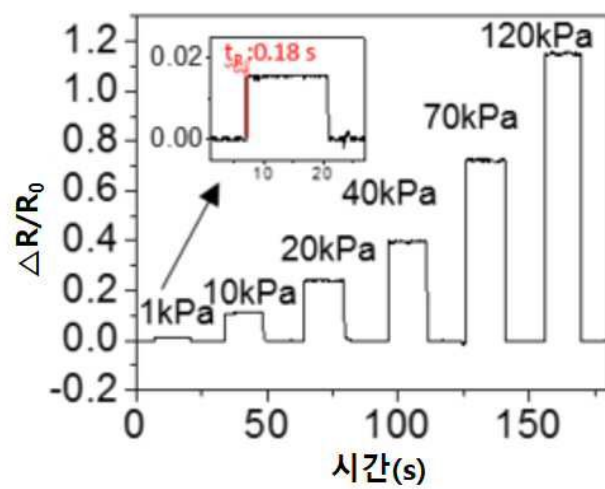
도면16b



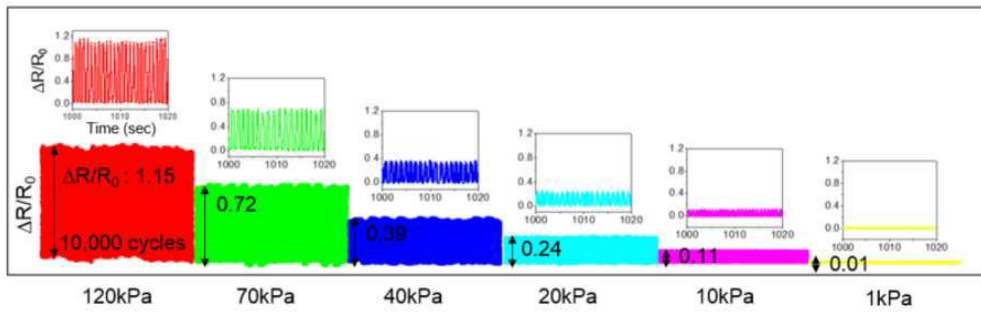
도면17a



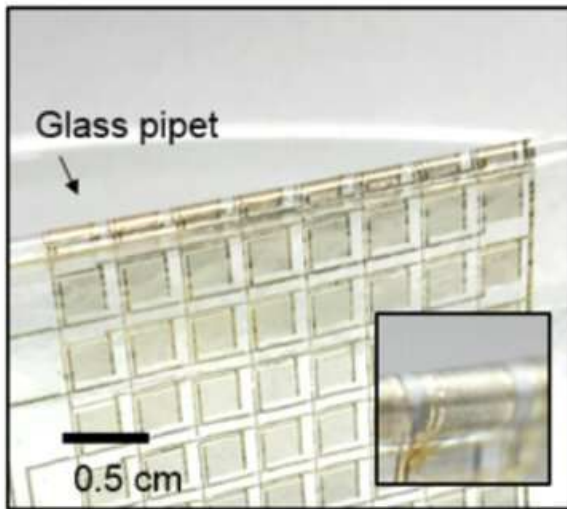
도면17b



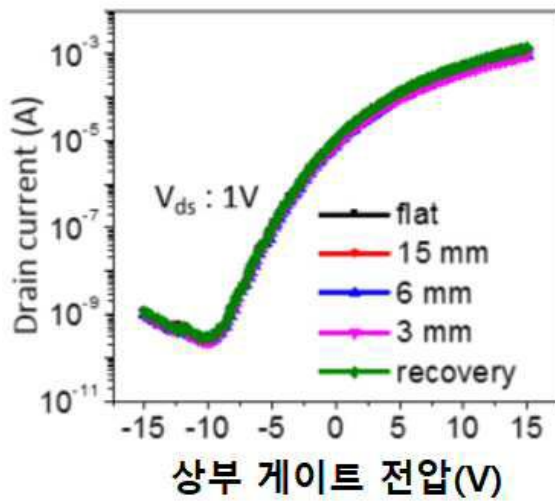
도면17c



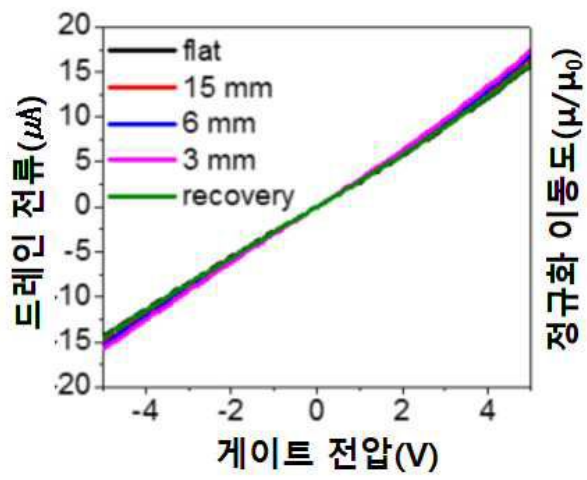
도면18a



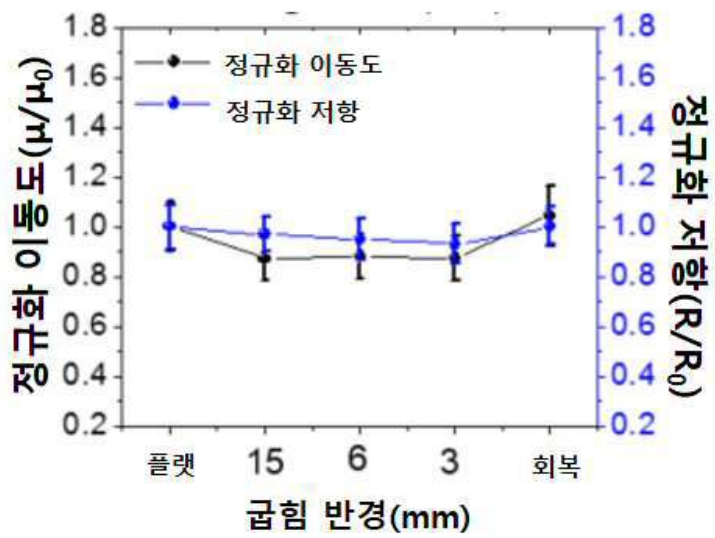
도면18b



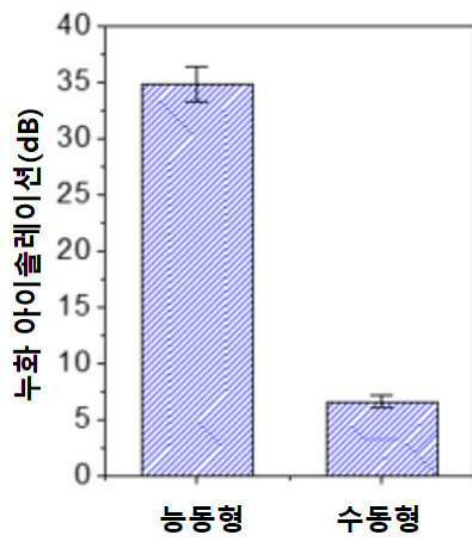
도면18c



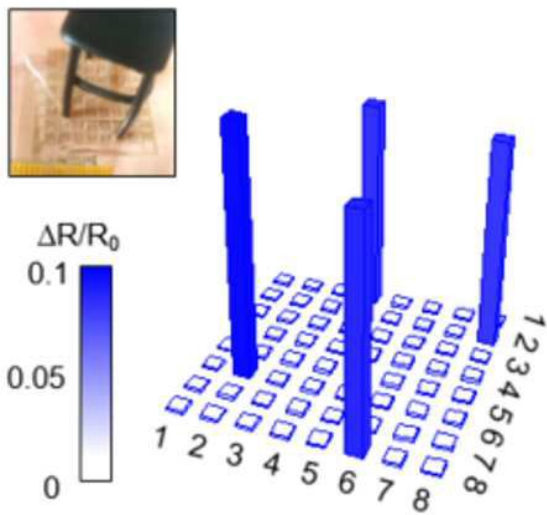
도면18d



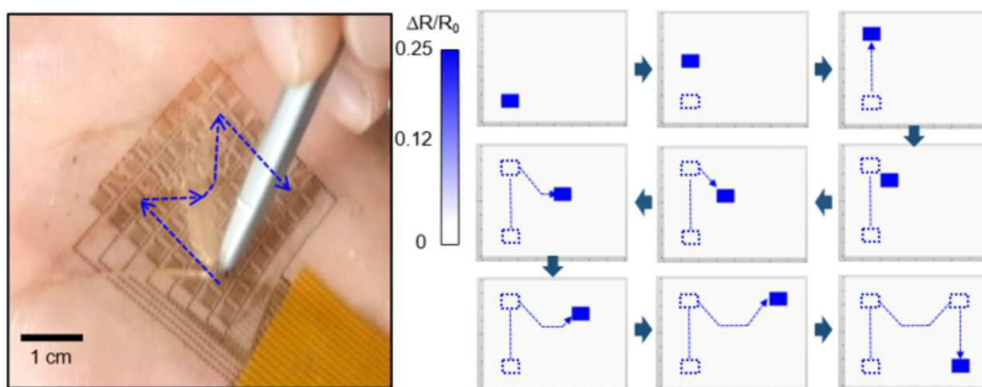
도면19a



도면19b



도면19c



도면20

