



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2021-0036191
(43) 공개일자 2021년04월02일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 51/50 (2006.01) H01L 51/56 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H01L 51/502 (2013.01)
H01L 51/56 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2019-0118343
(22) 출원일자 2019년09월25일
심사청구일자 2019년09월25일

(71) 출원인
연세대학교 산학협력단
서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)
(72) 발명자
박철민
서울특별시 마포구 신수로3길 23 강변현대홈타운 아파트 110-1202
백소연
서울특별시 서대문구 연희로10길 29-5(연희동)
이승원
서울특별시 양천구 월정로 303 수명산 롯데캐슬
(74) 대리인
김권석

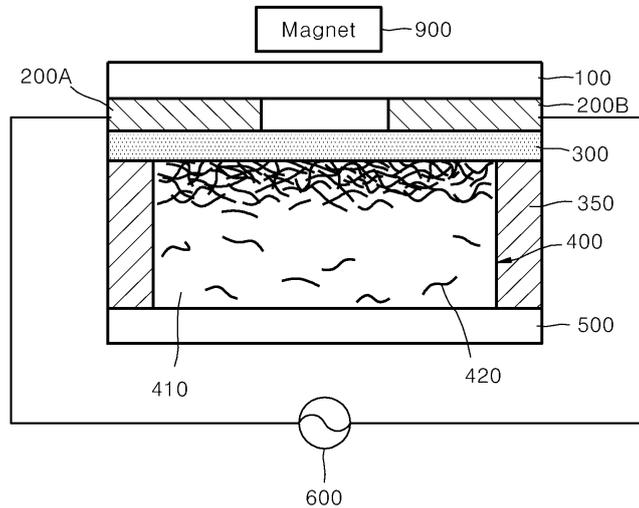
전체 청구항 수 : 총 17 항

(54) 발명의 명칭 자기활성 부재를 포함하는 발광소자와 그 제조방법 및 발광소자를 포함하는 전자소자

(57) 요약

자기활성 부재를 포함하는 발광소자와 그 제조방법 및 상기 발광소자를 포함하는 전자소자에 관해 개시되어 있다. 개시된 발광소자는 발광층, 상기 발광층의 제1면 측에 상호 이격하여 배치된 제1 전극과 제2 전극, 및 상기 발광층의 제2면 측에 배치된 것으로 자기장 인가에 의해 배열 및 분포가 변화되도록 구성된 복수의 나노구조체를 구비한 자기활성 유체층을 포함할 수 있다. 상기 자기활성 유체층 내에서 상기 복수의 나노구조체의 배열 및 분포에 따라 상기 발광층의 발광 특성이 변화될 수 있다. 상기 복수의 나노구조체는 도전성 나노와이어 및 상기 도전성 나노와이어의 표면에 구비된 자성 나노파티클을 포함할 수 있다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

H01L 2251/30 (2013.01)

Y10S 977/774 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	2019026569
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	중견연구자지원사업
연구과제명	(후속)사용자 상호작용 교류기반 디스플레이/센싱 소재 및
소자(3/3)(2017.3.1~2020.2.29)	
기여율	1/2
과제수행기관명	연세대학교 산학협력단
연구기간	2019.03.01 ~ 2020.02.29

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	2018111787
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	원천기술개발사업
연구과제명	[Ezbaro] (총괄/3세부)인공 공감각 일렉트로닉스 플랫폼 개발 (1단계)(2/3)
기여율	1/2
과제수행기관명	연세대학교 산학협력단
연구기간	2019.01.16 ~ 2020.01.15

명세서

청구범위

청구항 1

발광층;

상기 발광층의 제1면 측에 상호 이격하여 배치된 제1 및 제2 전극; 및

상기 발광층의 제2면 측에 배치된 것으로, 자기장 인가에 의해 배열 및 분포가 변화되도록 구성된 복수의 나노구조체를 구비한 자기활성 유체층;을 포함하고,

상기 자기활성 유체층 내에서 상기 복수의 나노구조체의 배열 및 분포에 따라 상기 발광층의 발광 특성이 변화되도록 구성된, 발광소자.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 복수의 나노구조체는 도전성 나노와이어; 및 상기 도전성 나노와이어의 표면에 구비된 자성 나노파티클;을 포함하는 발광소자.

청구항 3

제 2 항에 있어서,

상기 도전성 나노와이어는 탄소나노튜브(carbon nanotube)를 포함하는 발광소자.

청구항 4

제 2 항에 있어서,

상기 자성 나노파티클은 Fe_3O_4 를 포함하는 발광소자.

청구항 5

제 1 항에 있어서,

상기 자기활성 유체층은 유기용매 및 상기 유기용매 내에 분산된 상기 복수의 나노구조체를 포함하는 발광소자.

청구항 6

제 1 항에 있어서,

상기 복수의 나노구조체의 배열 및 분포가 제1 자기장의 인가에 의해 제1 상태로 세트된 후, 상기 제1 자기장이 제거되어도 상기 제1 상태가 실질적으로 유지되는 특성을 갖는 발광소자.

청구항 7

제 1 항에 있어서,

상기 복수의 나노구조체는 제1 자기장의 인가에 대응하여 상기 발광층에 인접한 도전성 브릿지를 형성하도록 구성된 발광소자.

청구항 8

제 7 항에 있어서,

상기 복수의 나노구조체는 상기 제1 자기장과 반대 방향을 갖는 제2 자기장의 인가에 대응하여 상기 도전성 브릿지를 소멸하도록 구성된 발광소자.

청구항 9

제 1 항에 있어서,

상기 발광층은 유기물질층 및 상기 유기물질층 내에 구비된 발광요소를 포함하는 발광소자.

청구항 10

제 1 항에 있어서,

상기 발광층의 상기 제2면 측에 상기 자기활성 유체층이 수용되는 수용공간을 제공하는 수납부재를 더 포함하는 발광소자.

청구항 11

제 1 항에 있어서,

상기 발광소자는 교류(AC) 신호에 의해 구동되는 EL(electroluminescence) 소자인 발광소자.

청구항 12

제 1 항에 있어서,

상기 발광소자는 웨어러블(wearable) 소자인 발광소자.

청구항 13

청구항 1 내지 12 중 어느 하나에 기재된 발광소자를 포함하는 전자소자.

청구항 14

제 13 항에 있어서,

상기 전자소자는 자기장을 센싱하는 소자, 자기장을 시각화(visualizing)하는 소자, 자기장 정보를 메모라이징(memorizing)하는 소자 및 자기장을 이용한 디스플레이 소자 중 적어도 어느 하나에 해당되는 전자소자.

청구항 15

기관 상에 상호 이격된 제1 및 제2 전극을 형성하는 단계;

상기 제1 및 제2 전극 상에 발광층을 형성하는 단계; 및

상기 발광층 상에 복수의 나노구조체를 포함하는 자기활성 유체층을 형성하되, 상기 복수의 나노구조체의 배열 및 분포가 자기장의 인가에 의해 변화될 수 있도록 상기 자기활성 유체층을 형성하는 단계;를 포함하는, 발광소자의 제조방법.

청구항 16

제 15 항에 있어서,

상기 복수의 나노구조체는 도전성 나노와이어 및 상기 도전성 나노와이어의 표면에 구비된 자성 나노파티클을 포함하는 발광소자의 제조방법.

청구항 17

제 15 항에 있어서,

상기 자기활성 유체층이 수용되는 수용공간을 제공하는 수납부재를 형성하는 단계를 더 포함하는 발광소자의 제조방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 발광소자 및 전자소자에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 자기활성(magnetoactive) 부재를 포함하는 발광소자와 그 제조방법 및 상기 발광소자를 구비한 전자소자에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 터치, 냄새 및 소리와 같은 보이지 않는 정보를 시각화할 수 있는 휴먼 인터랙티브 디스플레이(human-interactive display)(HID)는 사물인터넷(IoT) 기술이 결합된 웨어러블(wearable) 전자장치 분야에서의 잠재력으로 인해 큰 관심을 받고 있다. 특히, 압력, 온도 및 습도 감지와 같은 인간 피부의 특성을 인위적으로 모방할 수 있는 전자 스킨(electronic skin)에 대한 요구가 증가함에 따라, 대부분의 HID는 이러한 기능들의 시각화에 중점을 두고 있으며, 압력, 온도 또는 습도를 시각화할 수 있는 HID 기술들이 개발되고 있다.

[0003] 자기장을 감지할 수 있는 새로운 전자 스킨(e-skin)의 개발은 특히 일부 동물과 곤충이 이동 방향의 설정 및 탐색을 위해 갖는 자기-수신(magneto-reception) 기능을 모방할 수 있기 때문에 관심을 받고 있다. 또한, 자기-상호작용(magneto-interactive) 전자 스킨은 물리적 접촉 없이 자기장에 민감한 물체를 감지할 수 있기 때문에, 3D 터치리스(touchless) 시스템에 잠재적으로 적합할 수 있다.

[0004] 자기장의 감지를 넘어 자기장을 시각화(visualization)하는 기술은 소위 초인간 상호작용 디스플레이(superhuman interactive display)와 같은 기술적 잠재력을 갖고 있다. 그런데 자기-상호작용 디스플레이는 종래의 마이크로프로세서 신호 변환을 통해 디스플레이와 자기 센서를 연결함으로써 구현될 수 있고, 그 구현에는 높은 복잡성, 고비용 및 상호연결 단계가 필수적으로 요구된다. 따라서, 최종적인 시스템의 부피가 크고(bulky), 고가이며, 제조가 어려운 문제가 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 본 발명이 이루고자 하는 기술적 과제는 자기장의 센싱 및 시각화가 가능한 소자로서 마이크로프로세서를 통한 복잡하고 벌키(bulky)한 연결구조 없이 작은 사이즈로 용이하게 제작될 수 있는 발광소자 및 그 제조방법을 제공하는데 있다.

[0006] 또한, 본 발명이 이루고자 하는 기술적 과제는 자기장의 센싱 및 시각화가 가능한 소자로서 자기장에 대한 비휘발 메모리 특성을 갖는 발광소자 및 그 제조방법을 제공하는데 있다.

[0007] 또한, 본 발명이 이루고자 하는 기술적 과제는 상기한 발광소자를 적용한 전자소자/전자기기를 제공하는데 있다.

[0008] 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 이상에서 언급한 과제에 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 과제들은 아래의 기재로부터 당업자에게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

[0009] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 발광층; 상기 발광층의 제1면 측에 상호 이격하여 배치된 제1 및 제2 전극; 및 상기 발광층의 제2면 측에 배치된 것으로, 자기장 인가에 의해 배열 및 분포가 변화되도록 구성된 복수의 나노구조체를 구비한 자기활성 유체층;을 포함하고, 상기 자기활성 유체층 내에서 상기 복수의 나노구조체의 배열 및 분포에 따라 상기 발광층의 발광 특성이 변화되도록 구성된 발광소자가 제공된다.

[0010] 상기 복수의 나노구조체는 도전성 나노와이어; 및 상기 도전성 나노와이어의 표면에 구비된 자성 나노파티클;을 포함할 수 있다.

[0011] 상기 도전성 나노와이어는, 예컨대, 탄소나노튜브(carbon nanotube)를 포함할 수 있다.

[0012] 상기 자성 나노파티클은, 예컨대, Fe_3O_4 를 포함할 수 있다.

[0013] 상기 자기활성 유체층은 유기용매 및 상기 유기용매 내에 분산된 상기 복수의 나노구조체를 포함할 수 있다.

[0014] 상기 복수의 나노구조체의 배열 및 분포가 제1 자기장의 인가에 의해 제1 상태로 세트된 후, 상기 제1 자기장이 제거되어도 상기 제1 상태가 실질적으로 유지될 수 있다.

[0015] 상기 복수의 나노구조체는 제1 자기장의 인가에 대응하여 상기 발광층에 인접한 도전성 브릿지를 형성하도록 구

성될 수 있다.

- [0016] 상기 복수의 나노구조체는 상기 제1 자기장과 반대 방향을 갖는 제2 자기장의 인가에 대응하여 상기 도전성 브릿지를 소멸하도록 구성될 수 있다.
- [0017] 상기 발광층은 유기물질층 및 상기 유기물질층 내에 구비된 발광요소를 포함할 수 있다.
- [0018] 상기 발광층의 상기 제2면 측에 상기 자기활성 유체층이 수용되는 수용공간을 제공하는 수납부재를 더 포함할 수 있다.
- [0019] 상기 발광소자는 교류(AC) 신호에 의해 구동되는 EL(electroluminescence) 소자일 수 있다.
- [0020] 상기 발광소자는 플렉서블(flexible) 소자일 수 있다.
- [0021] 상기 발광소자는 웨어러블(wearable) 소자일 수 있다.
- [0022] 본 발명의 다른 실시예에 따르면, 진술한 발광소자를 포함하는 전자소자가 제공된다.
- [0023] 상기 전자소자는 자기장을 센싱하는 소자, 자기장을 시각화(visualizing)하는 소자, 자기장 정보를 메모라이징(memorizing)하는 소자 및 자기장을 이용한 디스플레이 소자 중 적어도 어느 하나에 해당될 수 있다.
- [0024] 본 발명의 다른 실시예에 따르면, 기판 상에 상호 이격된 제1 및 제2 전극을 형성하는 단계; 상기 제1 및 제2 전극 상에 발광층을 형성하는 단계; 및 상기 발광층 상에 복수의 나노구조체를 포함하는 자기활성 유체층을 형성하되, 상기 복수의 나노구조체의 배열 및 분포가 자기장의 인가에 의해 변화될 수 있도록 상기 자기활성 유체층을 형성하는 단계;를 포함하는 발광소자의 제조방법이 제공된다.
- [0025] 상기 복수의 나노구조체는 도전성 나노와이어 및 상기 도전성 나노와이어의 표면에 구비된 자성 나노파티클을 포함할 수 있다.
- [0026] 상기 자기활성 유체층이 수용되는 수용공간을 제공하는 수납부재를 형성하는 단계를 더 포함할 수 있다.

발명의 효과

- [0027] 본 발명의 실시예들에 따르면, 자기장의 센싱 및 시각화가 가능한 소자로서 마이크로프로세서를 통한 복잡하고 벌키(bulky)한 연결구조 없이 작은 사이즈로 용이하게 제작될 수 있는 발광소자를 구현할 수 있다. 또한, 본 발명의 실시예들에 따르면, 자기장의 센싱 및 시각화가 가능한 소자로서 자기장에 대한 비휘발 메모리 특성을 갖는 발광소자를 구현할 수 있다. 상기 발광소자는 플렉서블 소자 및 웨어러블 소자로 용이하게 제작될 수 있다.
- [0028] 본 발명의 실시예들에 따르면, 상기한 발광소자를 적용한 전자소자/전자기기를 구현할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0029] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 자기활성 부재를 포함하는 발광소자를 보여주는 단면도이다.
- 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 발광소자에 자기장을 인가하는 경우를 보여주는 사시도이다.
- 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 발광소자에 적용될 수 있는 나노구조체의 구성을 예시적으로 설명하기 위한 사시도이다.
- 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 발광소자의 동작 원리를 설명하기 위한 도면이다.
- 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 발광소자의 자기장 인가에 의한 전기적 특성 변화를 도식적으로 표현한 개념도이다.
- 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 발광소자에서 도전성 브릿지의 형성에 따라 발광층에 인가되는 전기장이 어떻게 변형되는지를 보여주기 위한 시뮬레이션 결과이다.
- 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 발광소자에 적용될 수 있는 나노구조체를 보여주는 TEM(transmission electron microscopy) 이미지이다.
- 도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 발광소자에 적용될 수 있는 나노구조체의 자기이력 곡선(hysteresis loop)을 보여주는 그래프이다.
- 도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 발광소자에 적용될 수 있는 복수의 나노구조체의 자기장 인가에 따른 임피

턴스의 변화를 평가한 결과를 보여주는 그래프이다.

도 10은 본 발명의 일 실시예에 따른 발광소자의 인가 자기장 세기에 따른 임피던스의 변화를 보여주는 그래프이다.

도 11은 본 발명의 일 실시예에 따른 발광소자에 대하여 자기장을 이용해서 기록(write) 및 소거(erase) 동작을 반복하는 경우의 임피던스 변화를 보여주는 그래프이다.

도 12는 본 발명의 일 실시예에 따른 발광소자의 인가 자기장 세기에 따른 임피던스 유지(retention) 특성을 평가한 결과를 보여주는 그래프이다.

도 13은 본 발명의 일 실시예에 따른 발광소자에 대하여 자기장을 이용한 기록-소거 사이클을 반복하면서 임피던스 변화 특성을 평가한 결과를 보여주는 그래프이다.

도 14는 본 발명의 일 실시예에 따른 발광소자의 기록(writing), 재생(reading), 소거(erasing) 및 재기록(rewriting) 단계들에서 발광 특성이 어떻게 변화되는지를 보여주는 사진 이미지이다.

도 15는 본 발명의 일 실시예에 따른 발광소자에 대한 기록 및 소거 동작을 반복하면서 발광 강도의 변화를 측정한 결과를 보여주는 그래프이다.

도 16은 본 발명의 일 실시예에 따른 발광소자의 인가 자기장 세기에 따른 발광 강도(즉, EL 강도)의 변화를 보여주는 그래프이다.

도 17은 본 발명의 일 실시예에 따른 발광소자의 인가 자기장 세기에 따른 발광 강도(즉, EL 강도) 유지(retention) 특성을 평가한 결과를 보여주는 그래프이다.

도 18은 본 발명의 일 실시예에 따른 발광소자에 대하여 자기장을 이용한 기록-소거 사이클을 반복하면서 발광 강도(즉, EL 강도) 변화 특성을 평가한 결과를 보여주는 그래프이다.

도 19는 본 발명의 일 실시예에 따른 발광소자에 대하여 다양한 세기의 자기장을 인가하면서 인가 전압 변화에 따른 발광 특성의 변화를 평가한 결과를 보여주는 그래프이다.

도 20은 본 발명의 일 실시예에 따른 발광소자의 발광 스펙트럼을 보여주는 그래프이다.

도 21은 본 발명의 일 실시예에 따른 발광소자에 자기장을 인가하기 위한 자성체의 형태를 변화시키면서 발광 형태의 변화를 관찰한 결과를 보여주는 사진 이미지이다.

도 22는 본 발명의 일 실시예에 따른 발광소자를 기본 구조로 이용해서 복수의 픽셀을 갖는 어레이 소자를 구현한 경우를 보여주는 사진 이미지이다.

도 23은 본 발명의 일 실시예에 따른 어레이 타입의 발광소자에 자기장 정보를 입력시 자기장 강도를 변화시키는 경우를 보여주는 도면이다.

도 24는 본 발명의 일 실시예에 따른 발광소자가 플렉서블한 경우, 발광소자의 굽힘 반경(bending radius)에 따른 임피던스 변화 및 휘도(즉, EL 강도) 변화를 측정한 결과를 보여주는 그래프이다.

도 25는 본 발명의 일 실시예에 따른 어레이 타입 발광소자의 기록, 소거, 재기록 단계에서 프로그래밍된 자기장의 분포(상부 도면) 및 각 단계에서의 발광 특성(하부 사진)을 보여주는 도면이다.

도 26은 본 발명의 일 실시예에 따른 복수의 어레이 타입 발광소자를 보여주는 사진 이미지이다.

도 27은 본 발명의 일 실시예에 따른 어레이 타입 발광소자를 다양한 방식으로 적용한 경우를 보여주는 사진 이미지이다.

도 28a 내지 도 28f은 본 발명의 일 실시예에 따른 발광소자의 제조방법을 보여주는 사시도이다.

도 29는 본 발명의 일 실시예에 따른 발광소자에 적용될 수 있는 나노구조체를 형성하는 방법을 예시적으로 보여주는 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0030] 이하, 첨부된 도면들을 참조하여 본 발명의 실시예들을 상세히 설명하기로 한다.

[0031] 이하에서 설명할 본 발명의 실시예들은 당해 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 본 발명을 더욱 명확하

게 설명하기 위하여 제공되는 것이고, 본 발명의 범위가 하기 실시예에 의해 한정되는 것은 아니며, 하기 실시예에는 여러 가지 다른 형태로 변형될 수 있다.

- [0032] 본 명세서에서 사용된 용어는 특정 실시예를 설명하기 위하여 사용되며, 본 발명을 제한하기 위한 것이 아니다. 본 명세서에서 사용되는 단수 형태의 용어는 문맥상 다른 경우를 분명히 지적하는 것이 아니라면, 복수의 형태를 포함할 수 있다. 또한, 본 명세서에서 사용되는 "포함한다(comprise)" 및/또는 "포함하는(comprising)"이라는 용어는 언급한 형상, 단계, 숫자, 동작, 부재, 요소 및/또는 이들 그룹의 존재를 특정하는 것이며, 하나 이상의 다른 형상, 단계, 숫자, 동작, 부재, 요소 및/또는 이들 그룹의 존재 또는 부가를 배제하는 것이 아니다. 또한, 본 명세서에서 사용된 "연결"이라는 용어는 어떤 부재들이 직접적으로 연결된 것을 의미할 뿐만 아니라, 부재들 사이에 다른 부재가 더 개재되어 간접적으로 연결된 것까지 포함하는 개념이다.
- [0033] 아울러, 본원 명세서에서 어떤 부재가 다른 부재 "상에" 위치하고 있다고 할 때, 이는 어떤 부재가 다른 부재에 접해 있는 경우뿐 아니라 두 부재 사이에 또 다른 부재가 존재하는 경우도 포함한다. 본 명세서에서 사용된 용어 "및/또는"은 해당 열거된 항목 중 어느 하나 및 하나 이상의 모든 조합을 포함한다. 또한, 본원 명세서에서 사용되는 "약", "실질적으로" 등의 정도의 용어는 고유한 제조 및 물질 허용 오차를 감안하여, 그 수치나 정도의 범주 또는 이에 근접한 의미로 사용되고, 본원의 이해를 돕기 위해 제공된 정확하거나 절대적인 수치가 언급된 개시 내용을 침해자가 부당하게 이용하는 것을 방지하기 위해 사용된다.
- [0034] 이하 첨부된 도면들을 참조하여 본 발명의 실시예들에 대해 상세히 설명한다. 첨부된 도면에 도시된 영역이나 파트들의 사이즈나 두께는 명세서의 명확성 및 설명의 편의성을 위해 다소 과장되어 있을 수 있다. 상세한 설명 전체에 걸쳐 동일한 참조번호는 동일한 구성요소를 나타낸다.
- [0035] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 자기활성 부재를 포함하는 발광소자를 보여주는 단면도이다.
- [0036] 도 1을 참조하면, 본 실시예에 따른 발광소자는 발광층(emissive layer)(300)과 발광층(300)의 제1면 측에 상호 이격하여 배치된 제1 및 제2 전극(200A, 200B) 그리고 발광층(300)의 제2면 측에 배치된 자기활성 유체층(magnetoactive fluid layer)(400)을 포함할 수 있다. 제1 및 제2 전극(200A, 200B)은 발광층(300)의 상면 및 하면 중 어느 하나, 예컨대, 상면에 배치될 수 있고, 자기활성 유체층(400)은 발광층(300)의 상면 및 하면 중 다른 하나, 예컨대, 하면에 배치될 수 있다.
- [0037] 제1 및 제2 전극(200A, 200B)은 투명 전극일 수 있다. 예컨대, 제1 및 제2 전극(200A, 200B)은 투명 전도성 산화물(transparent conductive oxide)(TCO)로 형성될 수 있다. 일례로, 제1 및 제2 전극(200A, 200B)은 ITO(indium tin oxide)로 형성될 수 있다. 그러나 제1 및 제2 전극(200A, 200B)의 물질은 전술한 바에 한정되지 않고 다양하게 변화될 수 있다. 제1 및 제2 전극(200A, 200B)은 발광층(300)의 일면에 수평 방향으로(즉, in-plane 방향으로) 상호 이격하여 배치될 수 있다.
- [0038] 발광층(300)은 전계에 의해 발광할 수 있는 전기발광(electroluminescence) 특성을 갖는 물질을 포함할 수 있다. 예컨대, 발광층(300)은 교류(AC) 신호에 의해 발광 가능한 물질을 포함할 수 있다. 발광층(300)은 유기물질층 및 상기 유기물질층 내에 구비된 발광요소(즉, 발광성분)를 포함할 수 있다. 일례로, 발광층(300)은 PVDF-TrFE-CFE층(유기물질층) 내에 발광요소(발광성분)로서 ZnS:Cu 물질을 포함할 수 있다. Cu로 도핑된 ZnS로 구성된 복수의 입자들이 PVDF-TrFE-CFE층 내에 임베드(embed)될 수 있다. 여기서, PVDF-TrFE-CFE는 poly(vinylidene fluoride-trifluoroethylene-chlorofluoroethylene)을 나타낸다. 상기 PVDF-TrFE-CFE층 대신에 PDMS층, 즉, Poly(dimethylsiloxane)층을 유기물질층으로 사용할 수 있다. 다시 말해, PDMS층 내에 ZnS:Cu 물질을 임베드(embed)하여 이를 발광층(300)으로 사용할 수 있다. 또한, 발광요소(발광성분)로서 ZnS:Cu 물질 대신에 다른 물질을 사용할 수도 있다. 예컨대, 발광요소(발광성분)로서 소정의 금속이나 ZnO와 같은 금속산화물 등을 적용할 수도 있다. 발광층(300)은 교류(AC) 신호에 의해 발광 가능하면서 아울러 플렉서블한 특성을 가질 수 있다.
- [0039] 자기활성 유체층(400)은 복수의 나노구조체(420)를 포함할 수 있다. 자기활성 유체층(400)은 소정의 유기용매(410) 및 유기용매(410) 내에 분산된 복수의 나노구조체(420)를 포함할 수 있다. 자기활성 유체층(400) 내에서 복수의 나노구조체(420)의 배열 및 분포는 외부에서 인가되는 자기장에 의해 변화될 수 있다. 즉, 발광소자 외부의 자성체(900)에서 자기활성 유체층(400)으로 인가되는 자기장에 의해 복수의 나노구조체(420)의 배열 및 분포가 변화될 수 있다. 자기활성 유체층(400) 내에서 복수의 나노구조체(420)의 배열 및 분포에 따라 발광층(300)의 발광 특성이 변화될 수 있다. 이와 관련해서, 본 실시예에 따른 발광소자는 자기장을 센싱하고 또한 자기장을 시각화(visualization)할 수 있는 소자로 사용될 수 있다. 이에 대해서는 추후에 보다 상세히 설명한다.

- [0040] 본 실시예의 발광소자는 발광층(300)의 상기 제2면 측에 자기활성 유체층(400)이 수용되는 수용공간을 제공하는 수납층, 즉, 수납부재(350)를 더 포함할 수 있다. 수납부재(350)의 상기 수용공간 내에 자기활성 유체층(400)이 수용될 수 있다. 수납부재(350)는 이른바 사각형 세그먼트 구조(square segmented structure)를 갖는다고 할 수 있고, 자기활성 유체층(400)의 격납 공간을 제공하는 일종의 스페이서(spacer)의 역할을 할 수 있다. 수납부재(350)는, 예컨대, 강한 접착력을 갖는 아크릴(acrylic) 필름 등으로 형성될 수 있다. 그러나 이는 예시적인 것이고, 수납부재(350)의 물질은 달라질 수 있다.
- [0041] 또한, 본 실시예의 발광소자는 자기활성 유체층(400)을 밀봉하는 커버층(500)을 더 포함할 수 있다. 커버층(500)은 자기활성 유체층(400)의 이탈이나 증발을 방지하고 이를 보호할 수 있도록 수납부재(350)의 일측(도면상 하면)에 구비될 수 있다. 커버층(500)은, 예컨대, PET(polyethylene terephthalate)와 같은 폴리머 물질로 형성될 수 있지만, 이에 한정되지 않고, 적용 물질의 종류는 다양하게 변화될 수 있다.
- [0042] 또한, 본 실시예의 발광소자는 전극들(200A, 200B)이 구비되는 기관(100)을 더 포함할 수 있다. 도면상, 전극들(200A, 200B)의 상면 측에 기관(100)이 존재할 수 있다. 기관(100)은, 예컨대, PET와 같은 폴리머 물질로 구성될 수 있지만, 물질 구성은 다양하게 변화될 수 있다. 기관(100)을 제1 기관이라 할 수 있고, 반대쪽의 커버층(500)을 제2 기관이라 할 수 있다.
- [0043] 또한, 본 실시예의 발광소자는 제1 전극(200A)과 제2 전극(200B) 사이에 연결된 전원부(600)를 더 포함할 수 있다. 전원부(600)를 통해 제1 및 제2 전극(200A, 200B) 사이에 소정의 교류(AC) 신호가 인가될 수 있다. 전원부(600)를 통해 제1 및 제2 전극(200A, 200B) 사이에 교류 전압이 인가될 수 있고, 교류 전압에 의해 발생한 교류 전계에 의해 발광소자가 구동될 수 있다.
- [0044] 본 실시예의 발광소자는 플렉서블(flexible)한 소자일 수 있다. 따라서, 상기 발광소자는 웨어러블(wearable) 소자로 용이하게 구현될 수 있다.
- [0045] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 발광소자에 자기장을 인가하는 경우를 보여주는 사시도이다. 도 2의 발광소자는 도 1에서 설명한 발광소자에 대응하는 구성을 갖는다. 도 2의 발광소자는 플렉서블한 소자일 수 있다.
- [0046] 도 2를 참조하면, 전원부(600)를 통해 제1 및 제2 전극(200A, 200B) 사이에 소정의 구동 전압을 인가한 상태에서, 자성체(900a)를 이용해서 자기활성 유체층(400)에 자기장(F10)을 인가할 수 있다. 자기장(F10)에 의해 자기활성 유체층(400) 내에서 복수의 나노구조체(420)의 배열 및 분포가 변화될 수 있다. 예컨대, 복수의 나노구조체(420)는 발광층(300)에 인접한(혹은, 접촉한) 도전성 브릿지(conductive bridge)를 형성할 수 있다. 복수의 나노구조체(420) 중 적어도 일부가 자기장(F10)에 의해 발광층(300)과 인접한 부분에 모여서 네트워크(즉, percolation network) 구조를 형성할 수 있고, 이러한 네트워크 구조에 의해 도전성 브릿지가 만들어질 수 있다. 상기한 도전성 브릿지는 일종의 플로팅 전극(floating electrode)과 같은 역할을 할 수 있다. 또한, 상기한 도전성 브릿지는 도전성 채널일 수 있고, 일종의 자기장 게이트(magnetic field gate)와 같은 역할을 할 수 있다. 상기 도전성 브릿지가 형성되면, 상기 도전성 브릿지와 제1 전극(200A) 사이 및 상기 도전성 브릿지와 제2 전극(200B) 사이에 수직한 방향으로 비교적 강한 전기장이 발생할 수 있다. 따라서, 상기 도전성 브릿지와 제1 및 제2 전극(200A, 200B) 사이에 구비된 발광층(300) 부분에서 비교적 강한 전기발광(EL) 특성이 나타날 수 있다.
- [0047] 외부에서 인가되는 자기장(F10)의 세기나 방향, 위치 등에 따라, 복수의 나노구조체(420)의 배열 및 분포가 세트되는 상태가 달라질 수 있고, 결과적으로, 발광층(300)의 발광 특성이 달라질 수 있다.
- [0048] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 발광소자에 적용될 수 있는 나노구조체의 구성을 예시적으로 설명하기 위한 사시도이다.
- [0049] 도 3을 참조하면, 나노구조체(420)는 도전성 나노와이어(420a) 및 그 표면에 구비된 복수의 자성 나노파티클(420b)을 포함할 수 있다. 도전성 나노와이어(420a)는, 예컨대, 탄소나노튜브(carbon nanotube)(CNT)를 포함할 수 있다. 구체적인 예로, 도전성 나노와이어(420a)는 MWNT(multi-walled carbon nanotube)일 수 있다. 자성 나노파티클(420b)은 페라이트(Fe) 기반의 자성 물질로 구성될 수 있다. 자성 나노파티클(420b)의 자성 물질은 실질적인 초상자성(superparamagnetic) 특성을 갖거나 초상자성(superparamagnetic) 특성과 유사한 특성을 가질 수 있다. 예컨대, 자성 나노파티클(420b)은 초상자성을 갖는 산화 철(iron oxide)을 포함할 수 있다. 구체적인 예로, 자성 나노파티클(420b)은 Fe_3O_4 를 포함하거나, Fe_3O_4 로 구성될 수 있다. 그러나, 도전성 나노와이어(420a)의 물질 및 자성 나노파티클(420b)의 물질은 전술한 바에 한정되지 않고, 다양하게 변화될 수 있다. 예컨대,

도전성 나노와이어(420a)는 소정의 금속으로 형성될 수 있고, 자성 나노파티클(420b)은 Fe_3O_4 외에 다른 물질로 구성될 수 있다. 나노구조체(420)는 서로 다른 복수의 물질이 결합된 것이므로, 일종의 헤테로구조(hetero structure)를 갖는다고 할 수 있다.

[0050] 도 1에서 설명한 자기활성 유체층(400)은 유기용매(410) 내에 분산된 복수의 나노구조체(420)를 포함할 수 있다. 유기용매(410)는 복수의 나노구조체(420)에 대해 분산성 및 친화력이 있는 분산매일 수 있다. 또한, 유기용매(410)는 발광소자의 동작 특성을 저해하지 않을 수 있도록, 극성이나 유전상수가 높지 않은 것으로 선택될 수 있다. 일례로, 유기용매(410)는 hexadecane(즉, n-hexadecane)과 같은 비극성 용매일 수 있다. 그러나 유기용매(410)의 물질은 이에 한정되지 않고 다양하게 변화될 수 있다.

[0051] 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 발광소자의 동작 원리를 설명하기 위한 도면이다.

[0052] 도 4를 참조하면, (A)단계는 초기 상태일 수 있고, 이때, 복수의 나노구조체(420)는 자기활성 유체층(400) 내에 비교적 잘 분산되어 있을 수 있다.

[0053] (B)단계에서 자기활성 유체층(400)에 제1 자기장(f_1)을 인가할 수 있고, 제1 자기장(f_1)에 의해 복수의 나노구조체(420)의 배열 및 분포가 변화될 수 있다. 예컨대, 복수의 나노구조체(420)는 발광층(300)과 인접한 영역에 도전성 브릿지를 형성할 수 있다. 상기 도전성 브릿지는 발광층(300)을 사이에 두고 제1 및 제2 전극(200A, 200B)을 전기적 혹은 전기자기적으로 연결하는 역할을 할 수 있다.

[0054] (B)단계에서 제1 자기장(f_1)에 의해 상기 도전성 브릿지가 형성되면, 제1 자기장(f_1)을 제거하더라도, 상기 도전성 브릿지는 실질적으로 유지될 수 있다. 다시 말해, 복수의 나노구조체(420)의 배열 및 분포가 자기장의 인가에 의해 제1 상태로 세트된 후, 상기 자기장이 제거되어도 상기 제1 상태는 실질적으로 유지될 수 있다. 복수의 나노구조체(420)의 네트워크(즉, percolation network)가 집단적인 물리적 고정(collective physical fixation) 및 전기영동적 효과(dielectrophoretic effect)에 의해, 자기장이 제거되더라도 변화되지 않고 유지될 수 있다. 약 10 nm 사이즈의 단일 도메인을 갖는 초상자성 산화철 파티클과 달리, 상기 네트워크(즉, percolation network)는 멀티 도메인 산화철 클러스터(cluster)와 같이 거동할 수 있다. 이에, 상기 네트워크(즉, percolation network)는 약한 잔류 자화(weak residual magnetism)를 가질 수 있고 인가 자기장이 제거되더라도 브라운 모션(brownian motion)에 의한 재분산 없이 네트워크 구조를 유지할 수 있는 것으로 추정된다. 따라서, 입력된 자기장 정보의 비휘발적(non-volatile) 메모라이징(memorizing)이 가능할 수 있다. 자기장 정보를 쉽게 저장할 수 있고, 입력 자기장이 제거된 상태에서도, 저장된 정보를 검색(재생)할 수 있다. 자기장을 인가하여 복수의 나노구조체(420)의 배열 및 분포를 제1 상태로 세트하는 것을 일종의 '기록(write)' 또는 '프로그래밍'이라 할 수 있다.

[0055] (C)단계는 '읽기(read)' 단계이다. (C)단계에서는, 제1 자기장(f_1)이 제거된 상태에서, 기록된(프로그래밍된) 자기장 정보가 재생(즉, read)될 수 있다. 자기장의 정보는 복수의 나노구조체(420)의 배열이나 분포의 형태, 예컨대, 나노구조체들(420)이 형성하는 네트워크(즉, percolation network)의 밀도의 형태로 저장(기록)된 것이라 볼 수 있고, 전원부(600)를 통해 제1 및 제2 전극(200A, 200B) 사이에 소정의 전기적 신호(예컨대, 교류 전압)를 인가함으로써, 발광층(300)에서 발생하는 광(즉, 가시광)의 형태로 저장된 자기장 정보를 재생(즉, read)할 수 있다.

[0056] (D)단계는 저장된 자기장 정보를 '소거(erase)'하는 단계를 보여준다. 복수의 나노구조체(420)는 상기 제1 자기장(f_1)과 반대 방향을 갖는 제2 자기장(f_2)의 인가에 대응하여 상기 도전성 브릿지를 소멸하도록 구성될 수 있다. 다시 말해, 상기 제1 자기장(f_1)과 반대 방향을 갖는 제2 자기장(f_2)을 인가함으로써, 나노구조체들(420)이 발광층(300)에 인접한 영역에 형성했던 네트워크 구조(즉, 상기 도전성 브릿지)를 소멸할 수 있다. 이때, 복수의 나노구조체(420)는 자기활성 유체층(400) 내에 비교적 랜덤(random)하게 분산될 수 있다.

[0057] (E)단계는 '재기록(rewrite)' 단계이다. 본 단계에서 자기활성 유체층(400)에 제3 자기장(f_3)을 인가할 수 있고, 제3 자기장(f_3)에 의해 복수의 나노구조체(420)의 배열 및 분포가 변화될 수 있다. (B)단계와 유사하게, 복수의 나노구조체(420)는 발광층(300)과 인접한 영역에 도전성 브릿지를 형성할 수 있다. 제3 자기장(f_3)의 세기 등에 의해 도전성 브릿지의 밀도 등의 특성이 결정될 수 있다. 따라서, 본 실시예에 따른 발광소자는 재기록 가능한(rewritable) 메모리 기능을 가질 수 있다.

- [0058] 도 4를 참조하여 설명한 실시예에 따른 발광소자의 동작방법을 정리하면 다음과 같다.
- [0059] 실시예에 따른 발광소자를 마련한 후, 자기활성 유체층에 제1 자기장을 인가하여 자기활성 유체층 내에 복수의 나노구조체의 배열 및 분포를 제1 상태로 세트할 수 있다. 이를 상기 제1 자기장의 정보를 기록하는 단계라고 할 수 있다.
- [0060] 상기 발광소자의 제1 및 제2 전극 사이에 소정의 전기적 신호를 인가하여, 기록된 상기 제1 자기장의 정보를 재생(즉, read)할 수 있다. 재생 시, 상기 제1 자기장은 제거된 상태일 수 있다.
- [0061] 다음으로, 상기 자기활성 유체층에 상기 제1 자기장과 반대 방향의 제2 자기장을 인가하여 상기 제1 상태로 세트된 복수의 나노구조체의 배열 및 분포를 소멸(소거)할 수 있다. 이는 상기 제1 자기장 정보를 소거하는 단계라고 할 수 있다.
- [0062] 그 다음, 상기 자기활성 유체층에 제3 자기장을 자기장을 인가하여 상기 복수의 나노구조체의 배열 및 분포를 제2 상태로 세트할 수 있다. 이를 재기록 단계라고 할 수 있다.
- [0063] 실시예에 따른 발광소자에 자기장을 인가함에 따라, 발광소자의 전기적 특성도 변화될 수 있다. 즉, 외부에서 인가되는 자기장에 의해 발광소자의 임피던스(impedence), 즉, 교류 저항이 변화될 수 있다. 이는 자기장 인가에 의해 자기활성 유체층(400)의 나노구조체들(420)이 소정의 네트워크 구조, 예컨대, 도전성 브릿지를 형성하므로, 이러한 네트워크 구조가 발광소자의 제1 및 제2 전극(200A, 200B) 사이의 임피던스 특성을 변화시키기 때문일 수 있다. 이에 대해서는 도 5를 참조하여 보다 상세히 설명한다.
- [0064] 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 발광소자의 자기장 인가에 의한 전기적 특성 변화를 도식적으로 표현한 개념도이다. (A)도면은 초기 상태를, (B)도면은 자기장을 인가한 상태를 보여준다.
- [0065] 도 5의 (A)도면을 참조하면, 초기 상태에서는 제1 전극(200A)과 제2 전극(200B)이 수평 방향으로 이격되어 있고 나노구조체들(420)이 도전성 브릿지를 형성하지 않은 상태이므로, 제1 전극(200A)과 제2 전극(200B) 사이의 임피던스가 상당히 높게 나타날 수 있다. 이때, 제1 전극(200A)과 제2 전극(200B) 사이의 공기층에 의해 이들 사이의 초기 캐패시턴스가 정해질 수 있다. 즉, 공기층의 캐패시턴스에 의해 제1 전극(200A)과 제2 전극(200B) 사이의 초기 캐패시턴스가 정해질 수 있다. 참조부호 Z_{air} 는 상기 공기층에 의한 임피던스 성분을 나타낸다.
- [0066] 도 5의 (B)도면을 참조하면, 자성체(900)에 의해 자기장이 인가된 상태에서는, 나노구조체들(420)이 네트워크 구조(즉, 도전성 브릿지)를 형성하기 때문에, 이 경우, 두 전극(200A, 200B) 각각과 상기 도전성 브릿지 사이의 캐패시턴스와 상기 도전성 브릿지의 저항에 의해 발광소자의 임피던스가 정해질 수 있다. 참조부호 Z_{EL} 은 전극(200A, 200B)과 인접한 발광층(300) 영역의 임피던스 성분을 나타내고, Z_{mag} 는 상기 도전성 브릿지로 인한 임피던스 성분을 나타낸다. 도전성 브릿지의 밀도나 형태 또는 전자기적 특성 등은 인가된 자기장에 의해 변화될 수 있다. 따라서, 인가된 자기장에 의해 발광소자의 임피던스가 변화된다고 할 수 있다. 나노구조체들(420)의 네트워크 형성 유무 및 형성된 네트워크의 특성에 따라서 발광소자 전체의 임피던스가 상당한 영향을 받을 수 있다. 그러므로 발광소자의 임피던스 변화를 측정함으로써, 자기장을 센싱할 수 있다.
- [0067] 자기장에 의한 임피던스의 변화는 발광소자의 구동시 발광층(300)에 인가되는 전기장을 변화시킬 수 있다. 다시 말해, 발광소자의 임피던스가 변화되면 발광층(300)에 인가되는 전기장의 세기나 형태 등이 달라질 수 있다. 특히, 발광층(300)은 교류 전압에 의한 교류 전기장에 의해 발광할 수 있으므로, 발광층(300)의 발광 특성은 자기장에 의한 임피던스 변화에 큰 영향을 받을 수 있다. 예컨대, 나노구조체들(420)이 도전성 브릿지를 형성하여 임피던스가 감소하면, 해당 영역에서 발광층(300)의 EL(electroluminescence) 강도가 크게 증가할 수 있다.
- [0068] 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 발광소자에서 도전성 브릿지의 형성에 따라 발광층에 인가되는 전기장이 어떻게 변화되는지를 보여주기 위한 시뮬레이션 결과이다. (A)도면은 도전성 브릿지가 없는 경우이고, (B)도면은 도전성 브릿지가 형성된 경우이다.
- [0069] 도 6의 (A)도면을 참조하면, 도전성 브릿지가 없는 경우, 제1 전극과 제2 전극 사이의 발광층 부분에만 수평 방향으로 전기장이 제한적으로 인가될 수 있다. 제1 전극과 제2 전극 사이의 간격에 따라 전기장이 인가되는 정도가 달라질 수 있다. 제1 전극과 제2 전극 사이의 간격이 커질수록, 이들 사이의 발광층 부분에 인가되는 전기장의 세기는 더욱 감소할 수 있다. 이 경우, 발광층은 거의 발광을 하지 않거나 매우 제한적으로 약한 빛을 발생시킬 수 있다.
- [0070] 도 6의 (B)도면을 참조하면, 외부 자기장에 의해 도전성 브릿지가 형성된 경우, 상기 도전성 브릿지와 제1 및

제2 전극 사이의 발광층 부분에 수직 방향의 전기장이 비교적 강하게 인가될 수 있다. 비교적 넓은 영역에서 상당히 강한 수직 자기장이 인가될 수 있다. 따라서, 발광층은 제1 및 제2 전극과 상기 도전성 브릿지가 상호 오버랩된(overlapped) 영역과 그 주변 영역에서 비교적 큰 강도로 발광할 수 있다.

- [0071] 본원의 실시예에 따른 발광소자는 임피던스 변화를 이용해서 자기장을 센싱할 수 있고, 발광층에서 발생하는 광(즉, EL 광)의 변화를 이용해서 자기장을 시각화(visualization)할 수 있다. 또한, 실시예에 따른 발광소자는 외부 자기장이 제거되더라도 기록된 자기장 정보를 유지할 수 있기 때문에, 자기장 정보를 메모라이징(memorizing)할 수 있다. 이러한 기능들과 관련해서, 실시예에 따른 발광소자는 이른바 "non-volatile magneto-interactive electroluminescent display (NV-MED) 소자"라 할 수 있다. 또는, 이러한 NV-MED 소자를 구성하기 위한 기본 구조를 실시예에 따른 발광소자가 제공하는 역할을 할 수 있다.
- [0072] 이러한 실시예에 따른 발광소자는 단일 소자(single device)로서 자기장을 센싱하고, 시각화하고, 메모라이징할 수 있다. 그러므로, 상기 발광소자를 이용한 자기-상호작용 디스플레이는 종래의 마이크로프로세서를 통한 복잡하고 벌키(bulky)한 연결구조 없이 작은 사이즈로 용이하게 제작될 수 있다. 따라서, 본원의 실시예에 따르면 자기-상호작용 디스플레이를 웨어러블(wearable) 소자로 용이하게 제작할 수 있다.
- [0073] 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 발광소자에 적용될 수 있는 나노구조체를 보여주는 TEM(transmission electron microscopy) 이미지이다.
- [0074] 도 7을 참조하면, 나노구조체는 Fe_3O_4 -MWNT 복합체(composite)일 수 있다. 여기서, Fe_3O_4 입자들은 약 10~20 nm 정도의 지름을 가질 수 있고, MWNT의 표면에 비교적 랜덤하게(randomly) 코팅(부착)될 수 있다. 나노구조체의 물질 구성은 예시적인 것이고, 다양하게 변화될 수 있다.
- [0075] 도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 발광소자에 적용될 수 있는 나노구조체의 자기이력 곡선(hysteresis loop)을 보여주는 그래프이다. 나노구조체는 Fe_3O_4 -MWNT 복합체였고, MWNT와 Fe_3O_4 의 혼합 비율을 변화시키면서 자기이력을 측정하였다. 도 8에서 가로축의 B는 인가된 자기장의 세기를, 세로축의 M은 자화의 정도를 나타낸다.
- [0076] 도 8을 참조하면, 나노구조체로 사용될 수 있는 Fe_3O_4 -MWNT 복합체의 혼합 비율에 따른 자기이력 곡선을 확인할 수 있다. Fe_3O_4 가 초상자성 특성을 갖기 때문에, Fe_3O_4 -MWNT 복합체는 초상자성 또는 초상자성에 가까운 특성을 나타낼 수 있다. MWNT와 Fe_3O_4 의 혼합 비율이 1:1.5 인 경우, 포화 자화(saturation magnetization)는 약 30 emu/g 정도로 나타났다.
- [0077] 도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 발광소자에 적용될 수 있는 복수의 나노구조체의 자기장 인가에 따른 임피던스의 변화를 평가한 결과를 보여주는 그래프이다. 도 9의 결과는 도 1에서 발광층(300)을 제거하고 두 전극(200A, 200B)이 자기활성 유체층(400)에 직접 접촉된 소자 구조를 제조한 후, 상기 소자 구조에 대하여 측정하는 것이다. 자기활성 유체층(400) 내에 적용되는 나노구조체(420)로서 Fe_3O_4 -MWNT 복합체를 사용하였고, MWNT와 Fe_3O_4 의 비율을 변화시키면서 복수의 소자 샘플을 만들고, 각각의 소자 샘플에 대하여 자기장을 변화시키면서 소자 샘플의 임피던스 변화를 측정하였다.
- [0078] 도 9를 참조하면, MWNT와 Fe_3O_4 의 비율이 다른 복수의 소자 샘플에서 자기장 변화에 따른 임피던스의 변화 경향이 비슷하게 발생하는 것을 알 수 있다. 다만, MWNT와 Fe_3O_4 의 비율이 1:2.0 또는 1:1.5 일 때, 더욱 급격한 임피던스의 변화가 관측되었다. 자기장에 대한 감도 및 전기적 스위칭 특성을 모두 고려할 때, 1:1.5 비율을 갖는 나노구조체를 소자에 적용할 수 있다. 그러나 MWNT와 Fe_3O_4 의 적정 혼합 비율은 다양하게 변화될 수 있다.
- [0079] 한편, 자기활성 유체층(400) 내에 포함된 복수의 나노구조체(420)의 함유량을 변화시키면서 소자의 특성을 평가한 결과, 복수의 나노구조체(420)의 함유량이 약 1.8 wt% 정도일 때, 유체 안정성을 저해하지 않으면서 우수한 발광(즉, EL 발광) 특성을 구현할 수 있음을 확인하였다. 이와 관련해서, 자기활성 유체층(400)에서 나노구조체(420)의 함유량은 약 1 wt% 내지 5 wt% 정도, 혹은, 약 1.5 wt% 내지 3 wt% 정도로 정해질 수 있다. 그러나 나노구조체(420)의 적정 함유량은 소자를 구성하는 여러 조건에 따라 다양하게 변화될 수 있다.
- [0080] 도 10은 본 발명의 일 실시예에 따른 발광소자의 인가 자기장 세기에 따른 임피던스의 변화를 보여주는 그래프이다. 도 10의 결과는 도 1의 구조를 갖는 발광소자에 대한 것이다.
- [0081] 도 10을 참조하면, 인가 자기장의 세기에 따른 발광소자의 임피던스의 변화를 확인할 수 있다. 발광소자의 임피

던스 감도(impedence sensitivity)(S_z)는 $S_z = \delta(Z/Z_0)/\delta m$ 로 표현될 수 있다. 여기서, m 은 인가된 자기장의 세기를 나타내고, Z 및 Z_0 는 각각 자기장 인가 전/후의 임피던스를 나타낸다. 최대 임피던스 감도(백분율 값으로의 감도)는 약 110 mT 이하의 자기장 영역에서 약 0.644% mT^{-1} 정도로 측정되었고, 약 110 mT와 약 210 mT 사이의 자기장 영역에서 임피던스 감도는 약 0.166% mT^{-1} 정도로 측정되었다.

- [0082] 도 11은 본 발명의 일 실시예에 따른 발광소자에 대하여 자기장을 이용해서 기록(write) 및 소거(erase) 동작을 반복하는 경우의 임피던스 변화를 보여주는 그래프이다. 여러 가지 강도의 자기장으로 실험을 수행하였고, 기록 및 소거 동작에 대한 응답 속도를 평가하였다. 특히, 도 11의 내부 그래프(삽도:inset)는 기록 및 소거 동작에서의 임피던스 변화의 응답 속도를 확대된 스케일로 보여준다.
- [0083] 도 11을 참조하면, 실시예에 따른 발광소자는 자기장 인가에 따라 빠른 임피던스 응답 및 완화 시간(relaxation time)(약 300 ms 이하)을 나타내는 것을 알 수 있다. 또한, 인가되는 자기장의 강도가 강할수록 임피던스의 변화폭은 증가하고, 기록 및 소거 동작을 반복하더라도 임피던스 변화폭은 거의 동일하게 유지되는 것을 알 수 있다.
- [0084] 도 12는 본 발명의 일 실시예에 따른 발광소자의 인가 자기장 세기에 따른 임피던스 유지(retention) 특성을 평가한 결과를 보여주는 그래프이다. 여러 가지 강도의 자기장을 각각 인가한 후에, 각 경우에 대하여 저장된 임피던스가 시간에 따라 어떻게 유지되는지를 확인하였다.
- [0085] 도 12를 참조하면, 인가된 자기장의 세기에 따라 다양한 레벨의 임피던스 값이 나타나기 때문에, 멀티-레벨로 프로그래밍이 가능한 것을 알 수 있다. 아울러, 한번 저장된 임피던스는 약 170 시간 이상 해당 레벨을 잘 유지하는 것을 알 수 있다. 이는 한번 형성된 전도성 브릿지 퍼컬레이션(percolation) 네트워크가 물리적 고정(physical fixation) 및 전기영동적 효과(dielectrophoretic effect)에 의해 오랜 기간 전기적 특성을 잘 유지하기 때문인 것으로 판단된다.
- [0086] 도 13은 본 발명의 일 실시예에 따른 발광소자에 대하여 자기장을 이용한 기록-소거 사이클을 반복하면서 임피던스 변화 특성을 평가한 결과를 보여주는 그래프이다. 이때, 기록 및 소거 동작을 위해, 210 mT 세기의 자기장 및 10 kHz의 교류(AC) 주파수가 사용되었다. 도 13의 그래프 내에 삽입된 도면(inset)은 한번의 사이클에서 실제 임피던스 변화를 보여준다. 한번의 사이클에서, 70 mT의 기록 자기장, 110 mT의 기록 자기장, 210 mT의 기록 자기장을 순차로 인가하고 나서, -210 mT의 소거 자기장을 인가하였다.
- [0087] 도 13을 참조하면, 100 사이클 이후에도 멀티-레벨 임피던스 변화가 초기 사이클에서와 같이 잘 유지되는 것을 알 수 있다. 따라서, 실시예에 따른 발광소자는 우수한 기록-소거 사이클 지속성(endurance)을 가질 수 있다.
- [0088] 도 14는 본 발명의 일 실시예에 따른 발광소자의 기록(writing), 재생(reading), 소거(erasing) 및 재기록(rewriting) 단계들에서 발광 특성이 어떻게 변화되는지를 보여주는 사진 이미지이다. 각 단계들은 도 4를 참조하여 설명한 단계들에 대응될 수 있다.
- [0089] 도 14를 참조하면, 발광소자에 인가된 자기장은 발광소자에서 발생하는 광(즉, EL 광)에 의해 직접적으로 시각화될 수 있다. 두 전극(도 4의 200A, 200B) 사이에 전기적 신호(AC 구동 신호)가 인가된 상태에서, 자기장이 인가된 영역에 대하여 광이 발생할 수 있다.
- [0090] 도 15는 본 발명의 일 실시예에 따른 발광소자에 대한 기록 및 소거 동작을 반복하면서 발광 강도의 변화를 측정된 결과를 보여주는 그래프이다. 서로 다른 세기를 갖는 여러 자기장으로 각각 기록 및 소거 동작을 수행하였다.
- [0091] 도 15를 참조하면, 기록 자기장의 강도가 클수록 발광소자의 발광 강도(즉, EL 강도)가 증가하는 것을 알 수 있다. 자기장의 강도에 따라, 발광 강도가 다양한 레벨로 나타났고, 기록 및 소거 동작을 반복하더라도 발광 강도의 변화 경향은 유지되었다.
- [0092] 도 16은 본 발명의 일 실시예에 따른 발광소자의 인가 자기장 세기에 따른 발광 강도(즉, EL 강도)의 변화를 보여주는 그래프이다. 도 16의 결과는 도 1의 구조를 갖는 발광소자에 대한 것이다.
- [0093] 도 16을 참조하면, 인가 자기장의 세기에 따른 발광소자의 EL 강도의 변화를 확인할 수 있다. 발광소자의 EL 감도(EL sensitivity)(S_{EL})는 $S_{EL} = \delta(L/L_0)/\delta m$ 로 표현될 수 있다. 여기서, m 은 인가된 자기장의 세기를 나타내고, L 및 L_0 는 각각 자기장 인가 전/후의 EL 강도를 나타낸다. 자기장의 세기에 따른 발광소자의 EL 감도는 그

래프의 각 영역에 대응하여 기재되어 있다.

- [0094] 도 17은 본 발명의 일 실시예에 따른 발광소자의 인가 자기장 세기에 따른 발광 강도(즉, EL 강도) 유지(retention) 특성을 평가한 결과를 보여주는 그래프이다. 여러 가지 강도의 자기장을 각각 인가한 후에, 각 경우에 대하여 저장된 발광 강도(즉, EL 강도)가 시간에 따라 어떻게 유지되는지를 확인하였다.
- [0095] 도 17을 참조하면, 인가된 자기장의 세기에 따라 다양한 레벨의 EL 강도가 나타나는 것을 알 수 있다. 아울러, 한번 저장된 EL 강도는 약 170 시간 이상 해당 레벨을 잘 유지하는 것을 알 수 있다.
- [0096] 도 18은 본 발명의 일 실시예에 따른 발광소자에 대하여 자기장을 이용한 기록-소거 사이클을 반복하면서 발광 강도(즉, EL 강도) 변화 특성을 평가한 결과를 보여주는 그래프이다. 도 18의 그래프 내에 삽입된 도면(inset)은 한번의 사이클에서 실제 EL 강도 변화를 보여준다.
- [0097] 도 18을 참조하면, 100 사이클 이후에도 멀티-레벨의 EL 변화가 초기 사이클에서와 같이 잘 유지되는 것을 알 수 있다. 따라서, 실시예에 따른 발광소자는 발광 특성에 대해서 우수한 기록-소거 사이클 지속성(endurance)을 갖는다고 할 수 있다.
- [0098] 도 19는 본 발명의 일 실시예에 따른 발광소자에 대하여 다양한 세기의 자기장을 인가하면서 인가 전압 변화에 따른 발광 특성의 변화를 평가한 결과를 보여주는 그래프이다. 즉, 다양한 세기의 자기장을 각각 인가한 상태에서, 각 경우에 대해 전압 변화에 따른 휘도(luminance) 변화를 측정하였다. 여기서, 전압은 두 전극 사이에 인가된 전압을 나타낸다.
- [0099] 도 19를 참조하면, 자기장의 세기가 클수록, 동일한 전압 레벨에서 높은 휘도 특성을 나타냈고, 전압 증가에 따른 휘도의 증가폭도 다소 커지는 경향성이 있음을 알 수 있다. 자기장이 0인 경우에도, 인가된 전압이 강한 경우, 약한 세기의 광이 발생할 수 있다. 하지만, 두 전극 사이의 간격이 커지면, 인가된 전압이 증가하더라도 발광 특성이 거의 나타나지 않을 수 있다.
- [0100] 도 20은 본 발명의 일 실시예에 따른 발광소자의 발광 스펙트럼을 보여주는 그래프이다. 다양한 세기의 자기장을 인가한 후, 각 경우에 대하여 발광 스펙트럼을 측정하였다. 본 결과는 발광소자가 청색(B)-발광층을 포함하는 경우에 해당한다.
- [0101] 도 20을 참조하면, 인가된 자기장의 강도가 증가할수록, 발광 세기가 증가하는 것을 확인할 수 있다.
- [0102] 도 21은 본 발명의 일 실시예에 따른 발광소자에 자기장을 인가하기 위한 자성체의 형태를 변화시키면서 발광 형태의 변화를 관찰한 결과를 보여주는 사진 이미지이다.
- [0103] 도 21을 참조하면, 자성체의 형태에 따라 인가되는 자기장의 형태가 변화되었을 때, 자기장의 형태에 따라 발광 영역의 형태가 변화되는 것을 알 수 있다. 즉, 자기장의 형태를 직접적으로 반영하여, 자기장을 인가 받은 영역에서만 발광되는 특성이 나타나는 것을 알 수 있다. 따라서, 자기장의 형태에 따른 직접적인 시각화가 가능할 수 있다.
- [0104] 도 22는 본 발명의 일 실시예에 따른 발광소자를 기본 구조로 이용해서 복수의 픽셀을 갖는 어레이 소자를 구현한 경우를 보여주는 사진 이미지이다. 이러한 어레이 소자는 플렉서블 소자일 수 있고, 웨어러블 소자일 수 있으며, 피부에 적용할 수 있는(즉, skin-mountable) 소자일 수 있다.
- [0105] 도 22를 참조하면, 복수의 픽셀 영역을 갖는 NV-MED (non-volatile magneto-interactive electroluminescent display) 어레이 소자를 제조할 수 있다. 본 실시예의 어레이 소자는 5×5의 픽셀 영역들을 갖고, 각각의 픽셀 영역은 도 1과 유사한 구성을 가질 수 있다. 복수의 병렬형(parallel-type) 전극들이 배치될 수 있다. 각각의 픽셀 영역은 약 0.8×0.8 cm² 정도의 사이즈를 가질 수 있고, 픽셀들 사이의 간격은 약 0.2 cm 정도일 수 있다. 그러나 이러한 어레이 소자의 구성 및 치수는 예시적인 것이고, 다양하게 변화될 수 있다.
- [0106] 마그네틱 펜을 이용해서 어레이 소자 상에 자기장을 소정 형태로 인가할 수 있고, 인가된 자기장의 형태에 따라서 어레이 소자는 발광 특성을 나타낼 수 있다. 인가된 자기장이 직접적으로 디스플레이(시각화)될 수 있다. 또한, 인가된 자기장이 제거되더라도, 자기장에 의해 저장된 정보는 그대로(대체로 그대로) 유지될 수 있다. 픽셀의 사이즈를 감소시키고 좁은 영역에 많은 수의 픽셀을 배치할 경우, 센싱 해상도 및 시각화 해상도를 크게 증가시킬 수 있다.
- [0107] 도 23은 본 발명의 일 실시예에 따른 어레이 타입의 발광소자에 자기장 정보를 입력시 자기장 강도를 변화시키

는 경우를 보여주는 도면이다.

- [0108] 도 23의 (A)도면을 참조하면, 제1 강도를 갖는 제1 자기장(M_1)으로 제1 부분에 정보를 입력하고, 제2 강도를 갖는 제2 자기장(M_2)으로 제2 부분에 정보를 입력하고, 제3 강도를 갖는 제3 자기장(M_3)으로 제3 부분에 정보를 입력할 수 있다.
- [0109] 도 23의 (B)도면을 참조하면, 입력된 자기장의 강도에 따라, 해당 부분별로 서로 다른 발광 세기를 나타낼 수 있다. 따라서, 입력 자기장의 강도 변화에 따라, 시각화되는 정보가 달라질 수 있다. 다시 말해, 멀티-레벨의 시각화 및 메모라이징이 가능할 수 있다. 여기서는, 세 가지 레벨로 단순한 형태의 자기장을 시각화하는 경우를 예시하였지만, 시각화되는 자기장 정보 레벨은 더욱 다양화될 수 있고, 시각화되는 자기장의 형태 또한 더 복잡해질 수 있다.
- [0110] 도 24는 본 발명의 일 실시예에 따른 발광소자가 플렉서블한 경우, 발광소자의 굽힘 반경(bending radius)에 따른 임피던스 변화 및 휘도(즉, EL 강도) 변화를 측정된 결과를 보여주는 그래프이다.
- [0111] 도 24를 참조하면, 발광소자의 굽힘의 정도가 크게 증가하더라도, 발광소자의 임피던스 및 휘도는 거의 변화되지 않을 수 있다. 따라서, 발광소자가 어느 정도 구부러지더라도, 구부러진 정도는 발광소자의 자기장 센싱, 시각화 및 메모라이징 특성에 큰 영향을 주지 않을 수 있다.
- [0112] 도 25는 본 발명의 일 실시예에 따른 어레이 타입 발광소자의 기록, 소거, 재기록 단계에서 프로그래밍된 자기장의 분포(상부 도면) 및 각 단계에서의 발광 특성(하부 사진)을 보여주는 도면이다.
- [0113] 도 25를 참조하면, 실시예에 따른 어레이 타입 발광소자는 다양한 자기장 정보의 센싱(검출), 시각화 및 메모라이징이 가능할 뿐 아니라, 자기장을 이용한 정보의 기록, 소거 및 재기록이 가능한 소자일 수 있다. 정보를 기록하고 소거한 후, 새로운 정보를 다시 기록할 수 있다.
- [0114] 도 26은 본 발명의 일 실시예에 따른 복수의 어레이 타입 발광소자를 보여주는 사진 이미지이다.
- [0115] 도 26을 참조하면, 두 개의 어레이 타입 발광소자는 서로 다른 발광 색상을 나타낼 수 있다. 좌측의 발광소자는 녹색 발광 소자일 수 있고, 우측의 발광소자는 주황색 발광 소자일 수 있다. 녹색 발광은 실시예에 따른 발광소자로부터 1 kHz의 낮은 교류(AC) 주파수를 이용해서 발현될 수 있다. 주황색 발광은 주황색 발광을 위한 ZnS 나노파티클(혹은 마이크로파티클)을 포함하는 발광층을 적용한 발광소자로부터 용이하게 구현될 수 있다. 이와 같이, 실시예에 따른 발광소자를 이용하면, 다양한 색상의 표현이 가능할 수 있다.
- [0116] 도 27은 본 발명의 일 실시예에 따른 어레이 타입 발광소자를 다양한 방식으로 적용한 경우를 보여주는 사진 이미지이다.
- [0117] 도 27을 참조하면, 좌측의 도면은 발광소자를 의류에 적용한 경우를 보여주고, 중앙의 도면은 발광소자를 사람의 손바닥에 적용한 경우를 보여주며, 우측의 도면은 손가락으로 발광소자를 구부린 경우를 보여준다. 실시예에 따른 발광소자는 다양한 비극성 표면 상에 적용할 경우, 기계적으로 휘어지거나 스트레스를 받을지라도 그 특성이 열화되는 문제 없이, 효과적으로 자기장 정보를 센싱(검출), 시각화 및 메모라이징할 수 있다.
- [0118] 도 28a 내지 도 28f은 본 발명의 일 실시예에 따른 발광소자의 제조방법을 보여주는 사시도이다.
- [0119] 도 28a를 참조하면, 기판(101) 상에 상호 이격된 제1 및 제2 전극(201A, 201B)을 형성할 수 있다. 기판(101)은, 예컨대, PET와 같은 폴리머 물질로 구성될 수 있지만, 기판(101)의 물질은 다양하게 변화될 수 있다. 경우에 따라, 기판(101)은 유리(glass)와 같은 단단한(rigid) 기판일 수도 있다. 제1 및 제2 전극(201A, 201B)은 투명 전극일 수 있다. 예컨대, 제1 및 제2 전극(201A, 201B)은 투명 전도성 산화물(TCO)로 형성될 수 있다. 일례로, 제1 및 제2 전극(201A, 201B)은 ITO(indium tin oxide)로 형성될 수 있다. 그러나 제1 및 제2 전극(201A, 201B)의 물질은 다양하게 변화될 수 있다. 제1 및 제2 전극(201A, 201B)은 약 1 mm 정도 상호 이격되도록 형성될 수 있고, 이들의 두께는 각각 약 80 nm 정도일 수 있으며, 면저항(sheet resistance)은 $20 \text{ } \Omega \text{ cm}^{-2}$ 정도일 수 있다. 그러나 전극들(201A, 201B)의 간격, 두께, 저항 등은 다양하게 변화될 수 있다.
- [0120] 도 28b를 참조하면, 제1 및 제2 전극(201A, 201B) 상에 발광층(301)을 형성할 수 있다. 발광층(301)은 제1 및 제2 전극(201A, 201B) 사이의 기판(101) 영역 상에도 형성될 수 있다. 발광층(301)은 전계에 의해 발광할 수 있는 전기발광(electroluminescence) 특성을 갖는 물질을 포함할 수 있다. 발광층(301)은 유기물질층 및 무기 유기물질층 내에 구비된 발광요소(즉, 발광성분)를 포함할 수 있다. 일례로, 발광층(301)은 PVDF-TrFE-CFE층(유기

물질층) 내에 발광요소(발광성분)로서 ZnS:Cu 물질을 포함할 수 있다. PVDF-TrFE-CFE이 용해된 용액에 ZnS:Cu 파우더 및 경화제(curing agent)를 혼합한 후, 혼합용액을 스핀 코팅 방식으로 제1 및 제2 전극(201A, 201B) 상에 도포한 다음, 도포된 필름에 대한 소정의 어닐링 공정을 수행하여 발광층(301)을 형성할 수 있다. 예컨대, 상기 스핀 코팅은 약 2000 rpm으로 60초 정도 수행할 수 있고, 상기 어닐링은 약 80°C 온도로 12 시간 정도 수행할 수 있다. 하지만, 이러한 공정 조건들은 예시적인 것에 불과하고, 다양하게 변화될 수 있다. 또한, 발광층(301)에 포함되는 유기물질층 및 발광성분의 물질도 다양하게 변화될 수 있다. 예컨대, PVDF-TrFE-CFE 대신에 PDMS를 유기물질층으로 사용할 수 있다. 발광요소(발광성분)로서 ZnS:Cu 물질 대신에 다른 물질을 사용할 수도 있다. 예컨대, 발광요소(발광성분)로서 소정의 금속이나 ZnO와 같은 금속산화물 등을 적용할 수도 있다. 발광층(301)은 교류(AC) 신호에 의해 발광 가능하면서 아울러 플렉서블한 특성을 가질 수 있다.

[0121] 도 28c를 참조하면, 발광층(301) 상에 자기활성 유체층(도 28d의 401)이 수용되는 수용공간(H1)을 제공하는 수납층, 즉, 수납부재(351)를 형성할 수 있다. 수납부재(351)는 이른바 사각형 세그먼트 구조(square segmented structure)를 갖는다고 할 수 있고, 자기활성 유체층(도 28d의 401)의 격납 공간을 제공하는 일종의 스페이서(spacer)의 역할을 할 수 있다. 수납부재(351)는, 예컨대, 강한 접착력을 갖는 아크릴(acrylic) 필름 등으로 형성될 수 있다. 그러나 이는 예시적인 것이고, 수납부재(351)의 물질은 달라질 수 있다.

[0122] 도 28d를 참조하면, 발광층(301) 상에 자기활성 유체층(401)을 형성할 수 있다. 자기활성 유체층(401)은 수납부재(351)의 수용공간(H1) 내에 제공될 수 있다. 자기활성 유체층(401)은 복수의 나노구조체(미도시)(도 1의 420)를 포함할 수 있다. 자기활성 유체층(401)은 소정의 유기용매 및 유기용매 내에 분산된 상기 복수의 나노구조체를 포함할 수 있다. 자기활성 유체층(401) 내에서 상기 복수의 나노구조체의 배열 및 분포는 외부에서 인가되는 자기장에 의해 변화될 수 있다. 자기활성 유체층(401) 내에서 상기 복수의 나노구조체의 배열 및 분포에 따라 발광층(301)의 발광 특성이 변화될 수 있다. 상기 복수의 나노구조체는 도 3에서 설명한 바와 같이 도전성 나노와이어 및 상기 도전성 나노와이어의 표면에 구비된 자성 나노파티클을 포함할 수 있다.

[0123] 도 28e를 참조하면, 자기활성 유체층(401)을 밀봉하는 커버층(501)을 더 형성할 수 있다. 커버층(501)은 자기활성 유체층(401)의 이탈이나 증발을 방지하고 이를 보호하는 역할을 할 수 있다. 커버층(501)은 수납부재(351)와 자기활성 유체층(401) 상에 구비될 수 있다. 커버층(501)은, 예컨대, PET와 같은 폴리머 물질로 형성될 수 있지만, 이에 한정되지 않고, 적용 물질의 종류는 다양하게 변화될 수 있다. 기관(101)을 제1 기관이라 하면, 커버층(501)은 제2 기관이라 할 수 있다.

[0124] 도 28f를 참조하면, 제1 및 제2 전극(201A, 201B)에 전원부(601)를 연결시킬 수 있다. 전원부(601)를 통해 제1 및 제2 전극(201A, 201B) 사이에 소정의 전기적 신호, 예컨대, 교류(AC) 신호가 인가될 수 있다. 전원부(601)를 통해 제1 및 제2 전극(201A, 201B) 사이에 교류 전압이 인가될 수 있고, 교류 전압에 의해 발생한 교류 전계에 의해 발광소자가 구동될 수 있다.

[0125] 본 실시예에 따라 제조된 발광소자는 플렉서블(flexible)한 소자일 수 있다. 따라서, 상기 발광소자는 웨어러블(wearable) 소자로 용이하게 제조될 수 있다. 발광소자 하나를 단위 픽셀로 하여, 복수의 발광소자(픽셀)를 포함하는 픽셀형 소자를 제조할 수 있다.

[0126] 도 29는 본 발명의 일 실시예에 따른 발광소자에 적용될 수 있는 나노구조체를 형성하는 방법을 예시적으로 보여주는 도면이다.

[0127] 도 29의 (A)도면을 참조하면, 복수의 입구부를 갖는 용기(10)를 마련하고, 용기(10) 내에 MWNT가 분산된 용액(이하, MWNT 분산액)(20)을 넣어줄 수 있다. MWNT 분산액(20)이 함유된 용기(10)를 소정의 가열기구(90) 상에 배치하여, 소정의 온도로 가열할 수 있다. 예컨대, 가열기구(90)를 이용해서 약 60~80°C 정도의 온도, 예컨대, 약 70°C의 온도로 가열할 수 있다. 그 다음, 용기(10) 내에 FeCl₃·6H₂O 물질을 주입할 수 있다.

[0128] 도 29의 (B)도면을 참조하면, 용기(10) 내에 FeCl₂·4H₂O 물질을 주입할 수 있다. 이때, 용기(10)의 가열 온도는 (A)도면의 단계와 동일할 수 있다.

[0129] 도 29의 (C)도면을 참조하면, 용기(10) 내에 아르곤(Ar) 가스 분위기를 형성하고, 이러한 Ar 분위기에서 용기(10) 내에 NH₃·H₂O 물질을 주입할 수 있다. 이때, 용기(10)의 가열 온도는 (A)도면의 단계와 동일할 수 있다.

[0130] (A) 내지 (C)도면의 단계들을 거치면서 용기(10) 내에 Fe₃O₄ 입자들이 형성(침전)되어 MWNT 표면에 부착될 수 있다.

- [0131] 도 29의 (D)도면을 참조하면, 용기(10) 내의 나노구조체(즉, MWNT + Fe₃O₄ 입자)를 세정하고 자성체(80)를 이용해서 나노구조체들을 포집할 수 있다. 그런 다음, 나노구조체들을 소정의 건조장치 내에서 약 80~100℃ 정도의 온도로 건조할 수 있다.
- [0132] 결과적으로, 도 29의 (E)도면에 도시된 바와 같은 Fe₃O₄-MWNT 복합체(composite)(30)를 얻을 수 있다. 이러한 Fe₃O₄-MWNT 복합체(30)는 도 3을 참조하여 설명한 나노구조체(420)에 대응될 수 있다. Fe₃O₄-MWNT 복합체(30)는 hexadecane(즉, n-hexadecane)과 같은 유기용매에 분산될 수 있고, 이때, 분산력 향상을 위해 초음파를 수 분 내지 수 십분 정도 인가할 수 있다.
- [0133] 도 29에서는 Fe₃O₄-MWNT 복합체(30)를 형성하는 방법을 예시적으로 보여주는 것이고, 이 방법은 다양하게 변형될 수 있다. 또한, 나노구조체의 물질도 Fe₃O₄-MWNT 복합체로 한정되지 아니하고, 다양한 변형이 가능할 수 있다. 따라서, 본원의 실시예는 도 29의 방법으로 한정되지 아니한다.
- [0134] 이상에서 설명한 실시예들에 따르면, 단일 소자(single device)로서 다양한 자기장 정보를 센싱, 시각화, 메모라이징(memorizing) 및 디스플레이 할 수 있는 발광소자(자기활성 발광소자)를 구현할 수 있다. 이러한 발광소자를 이용한 자기-상호작용 디스플레이는 종래의 마이크로프로세서를 통한 복잡하고 벌키(bulky)한 연결구조 없이 작은 사이즈로 용이하게 제작될 수 있다. 따라서, 본원의 실시예에 따르면 자기-상호작용 디스플레이를 웨어러블(wearable) 소자로 용이하게 제작할 수 있다. 상기한 발광소자는 다양한 휴먼 인터랙티브(human-interactive) 장치에 적용될 수 있다. 특히, 상기 발광소자는 인가된 자기장 정보를 저장하는 기능을 갖고, 아울러 멀티-레벨로 정보를 저장하고 멀티-레벨로 정보를 시각화하는 기능을 갖기 때문에, 비휘발성 메모리 기능 및 멀티-레벨 기능을 갖는 자기-상호작용 디스플레이로서 많은 분야에 활용될 수 있다. 상기한 발광소자는 플렉서블 소자로 구현될 수 있고, 접촉 없이 자기장을 감지하는 터치리스(touchless) 기능을 가지며, 그 밖에도 다양한 기능을 포함하고 있기 때문에, 소프트 로봇(soft robotics), 콘택리스 플렉서블 전자소자(contactless flexible electronics), 미세유체(microfluidics) 및 바이오전자소자(bioelectronics)와 같은 새로운 기능 소자/장치 분야에 다양한 방식으로 적용이 가능할 수 있다.
- [0135] 본 명세서에서는 본 발명의 바람직한 실시예에 대하여 개시하였으며, 비록 특정 용어들이 사용되었으나, 이는 단지 본 발명의 기술 내용을 쉽게 설명하고 발명의 이해를 돕기 위한 일반적인 의미에서 사용된 것이지, 본 발명의 범위를 한정하고자 하는 것은 아니다. 여기에 개시된 실시예 외에도 본 발명의 기술적 사상에 바탕을 둔 다른 변형예들이 실시 가능하다는 것은 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 자명한 것이다. 해당 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면, 도 1 내지 도 29를 참조하여 설명한 발광소자와 그 제조 방법 및 발광소자를 포함하는 전자소자가, 본 발명의 기술적 사상이 벗어나지 않는 범위 내에서, 다양하게 치환, 변경 및 변형될 수 있음을 알 수 있을 것이다. 때문에 발명의 범위는 설명된 실시예에 의하여 정하여 질 것이 아니고 특허 청구범위에 기재된 기술적 사상에 의해 정하여져야 한다.

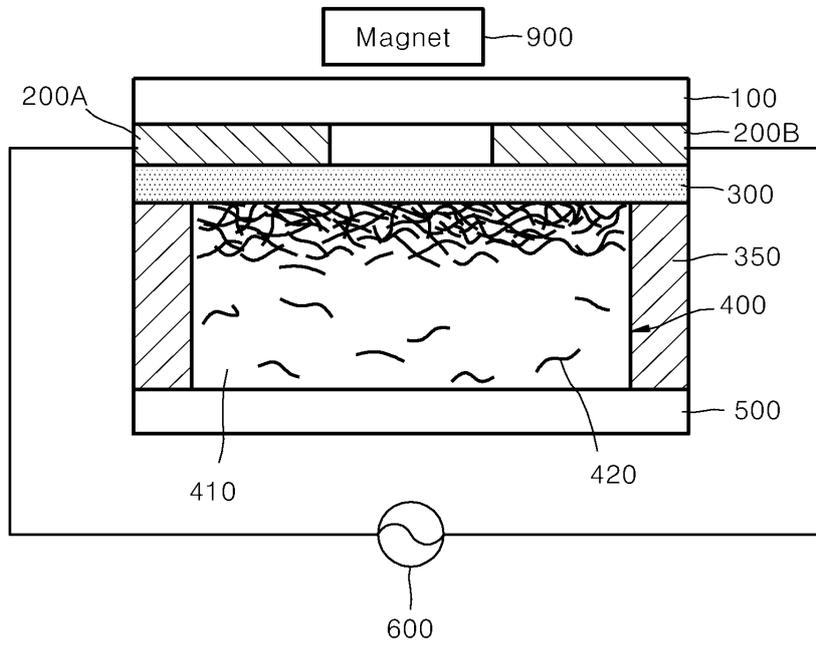
부호의 설명

[0136] * 도면의 주요 부분에 대한 부호설명 *

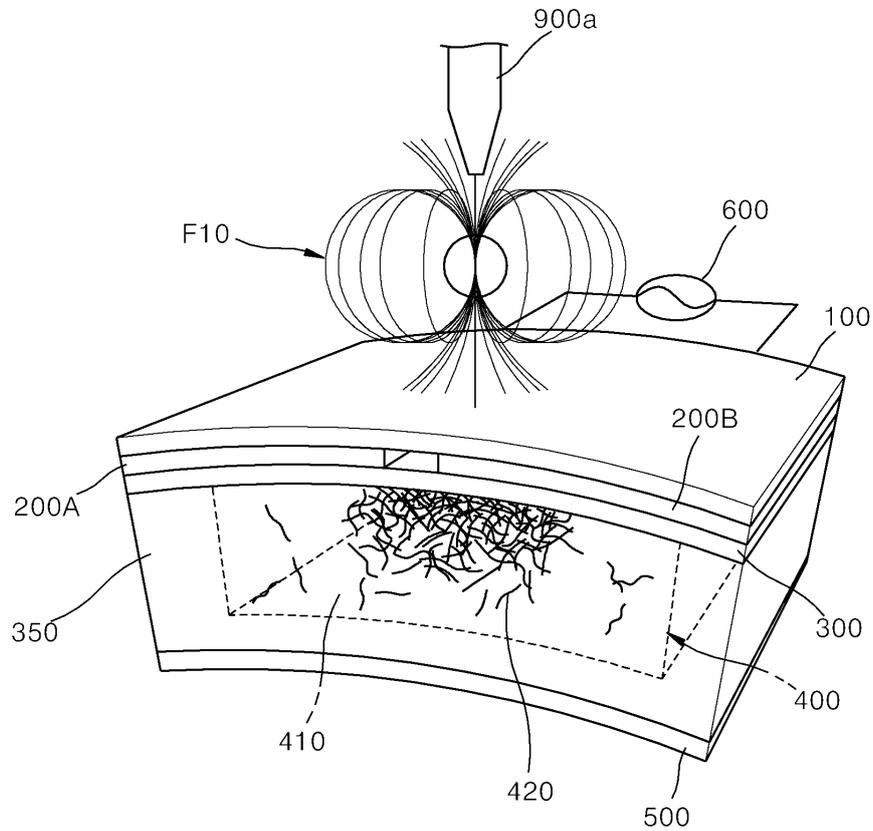
- | | |
|------------------|-----------------------|
| 100 : 기관 | 200A : 제1 전극 |
| 200B : 제2 전극 | 300 : 발광층 |
| 350 : 수납부재 | 400 : 자기활성 유체층 |
| 410 : 유기용매 | 420 : 나노구조체 |
| 420a : 도전성 나노와이어 | 420b : 자성 나노파티클 |
| 500 : 커버층 | 600 : 전원부 |
| 900 : 자성체 | f1, f2, f3, F10 : 자기장 |

도면

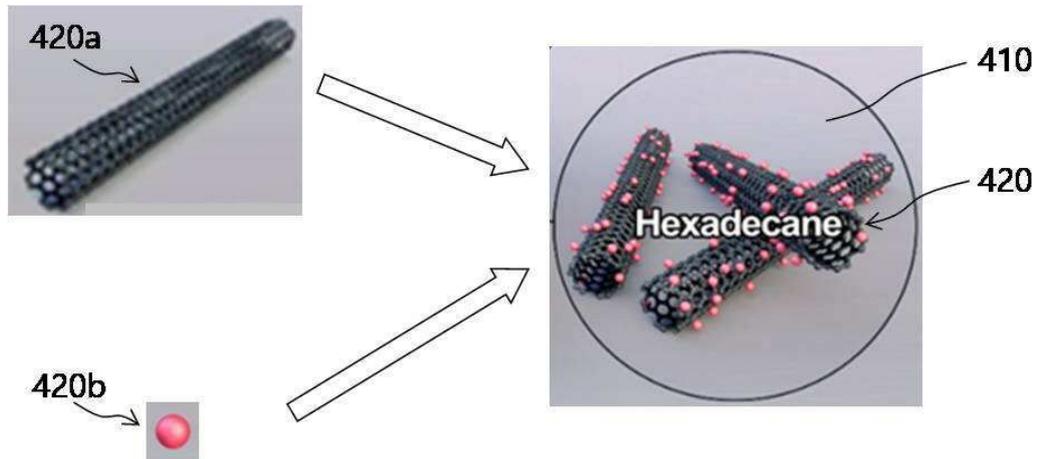
도면1



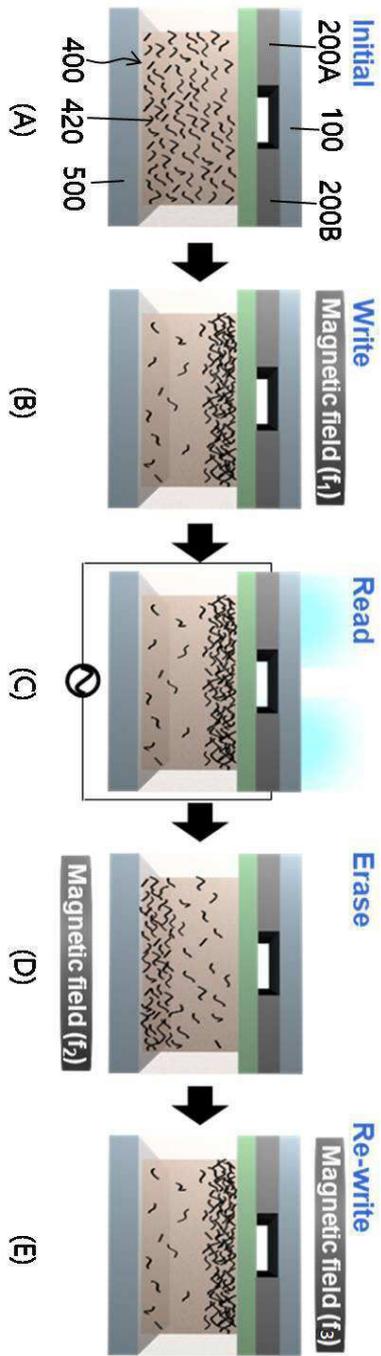
도면2



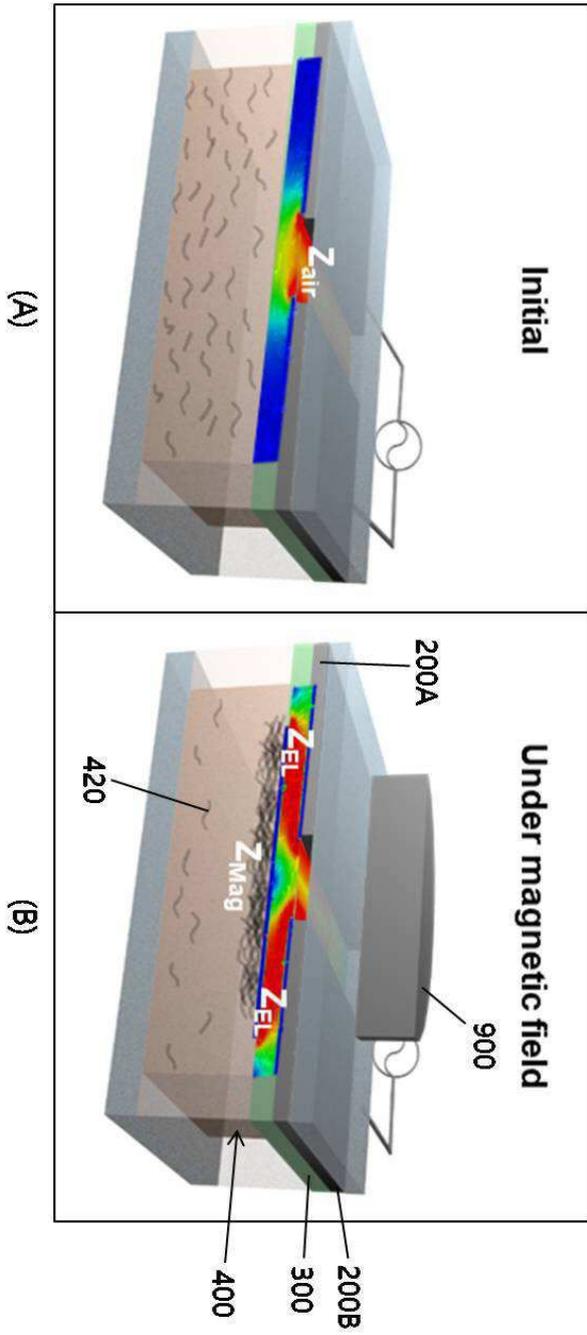
도면3



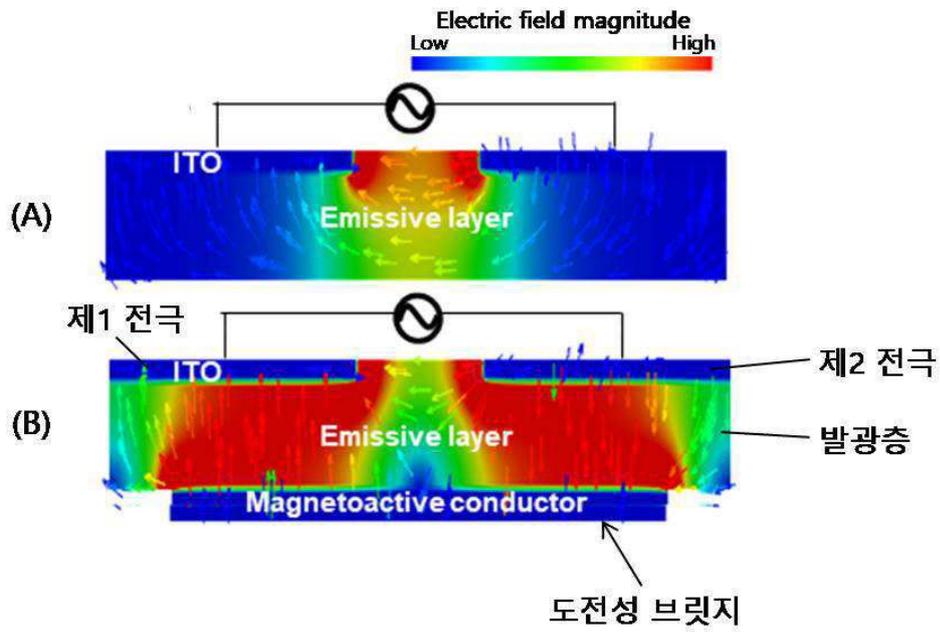
도면4



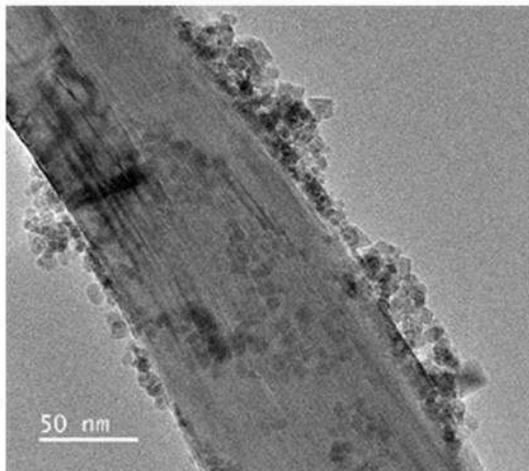
도면5



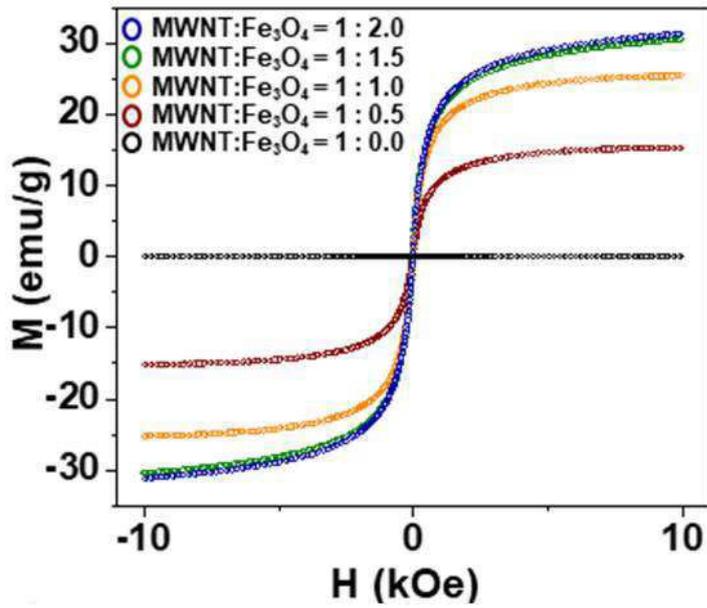
도면6



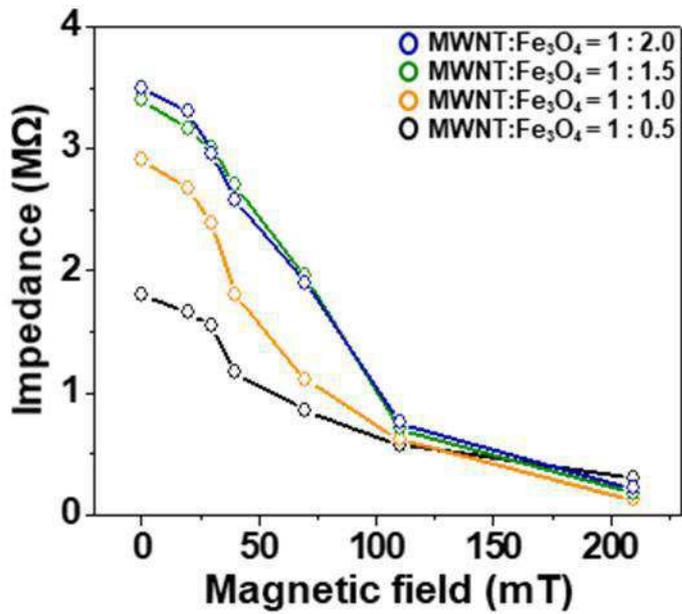
도면7



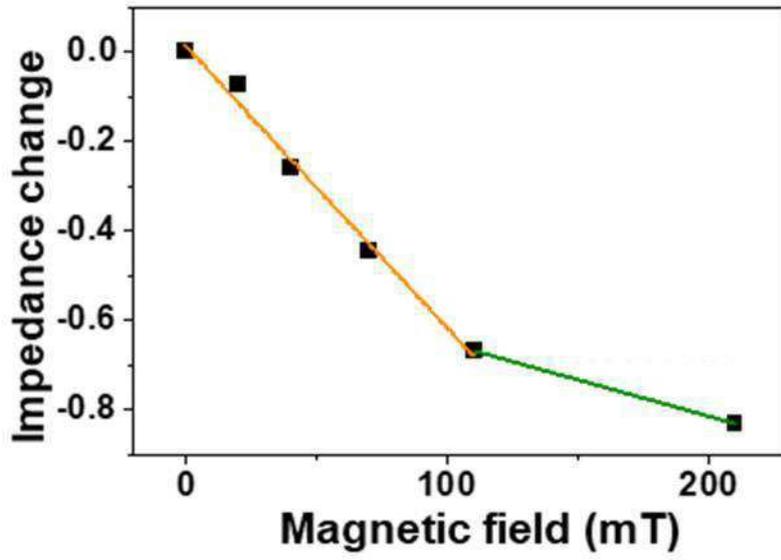
도면8



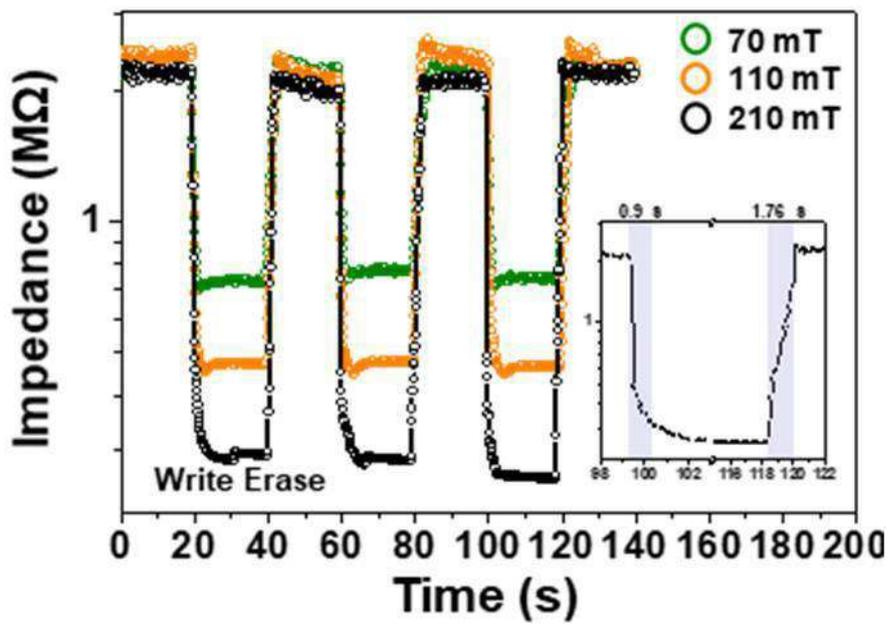
도면9



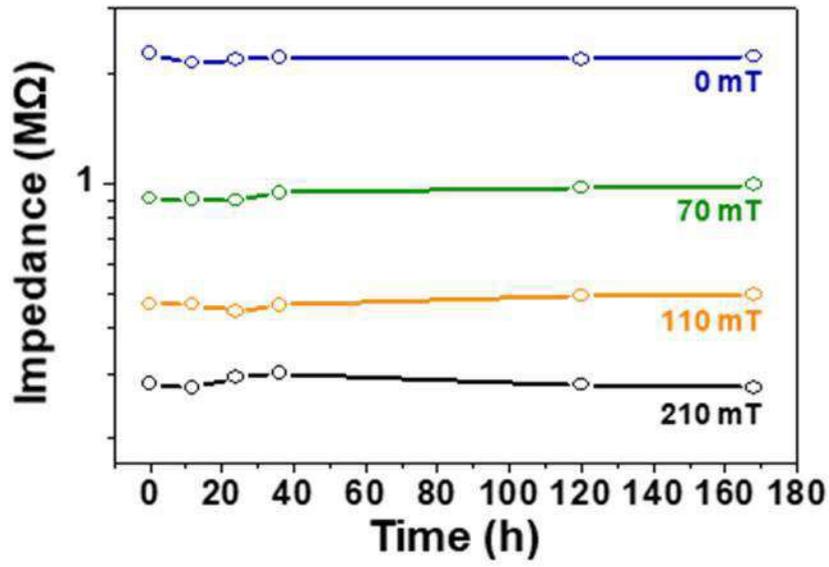
도면10



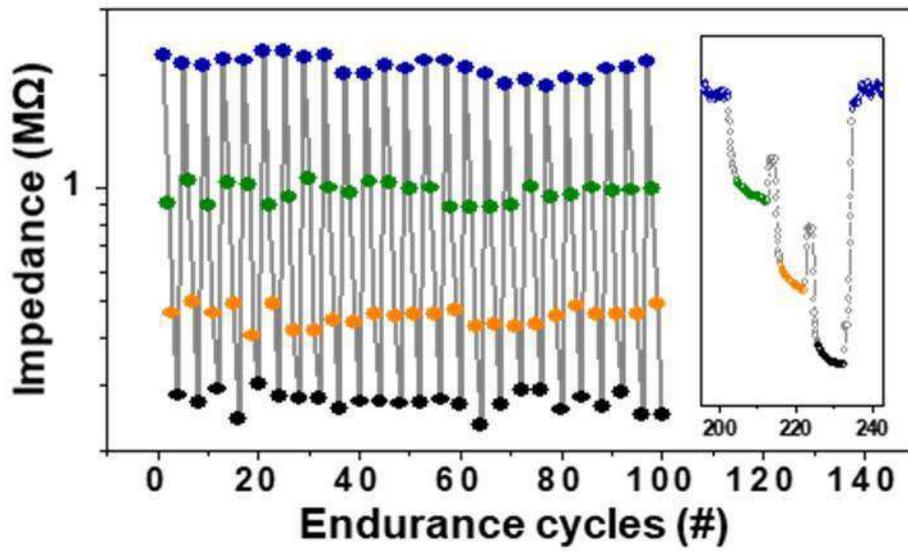
도면11



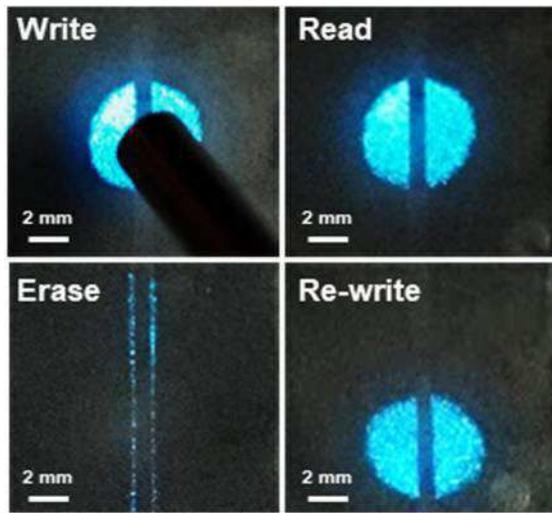
도면12



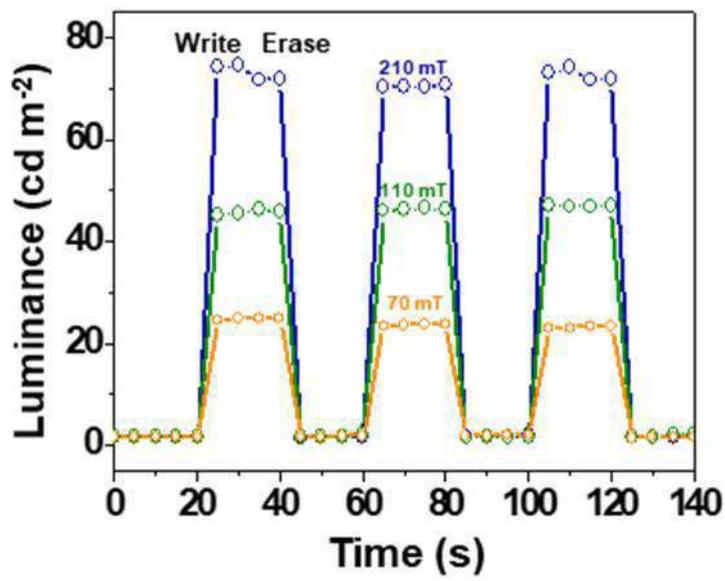
도면13



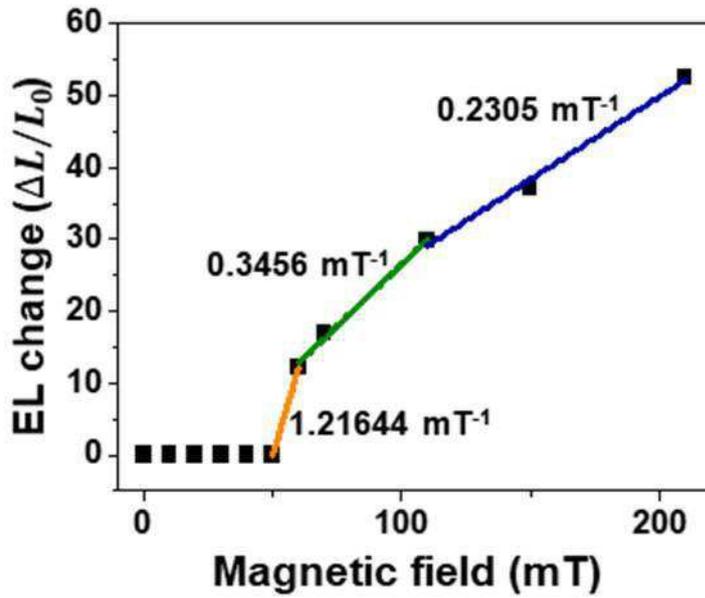
도면14



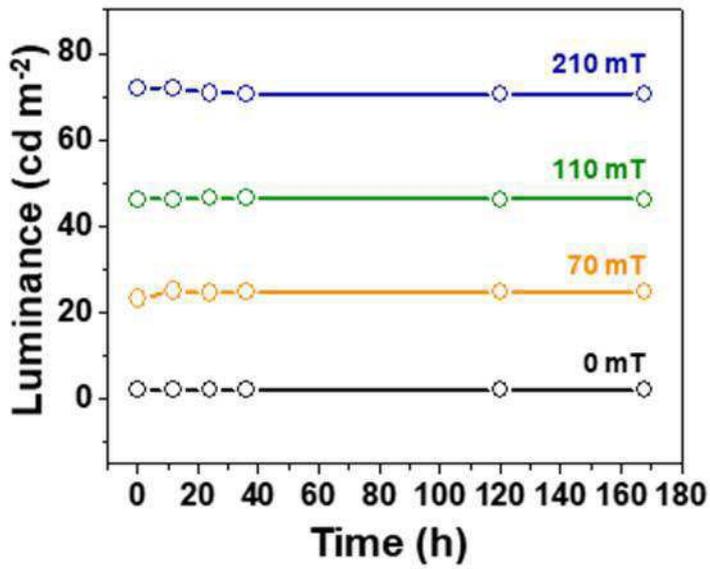
도면15



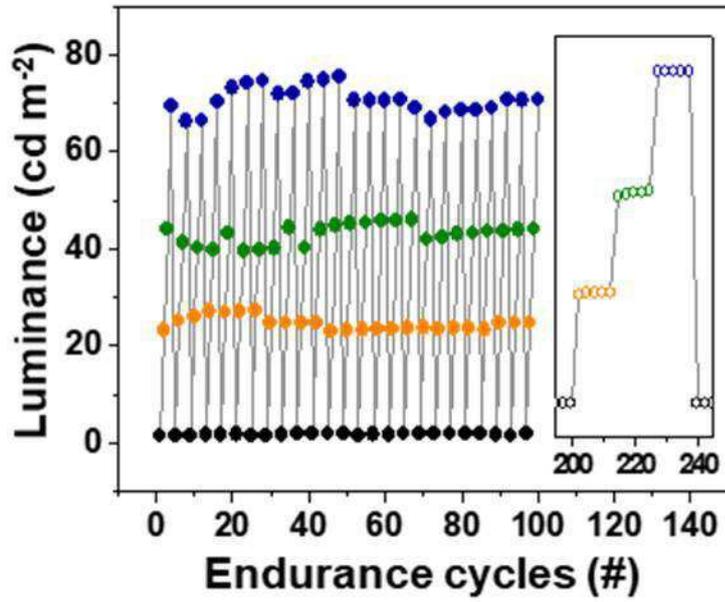
도면16



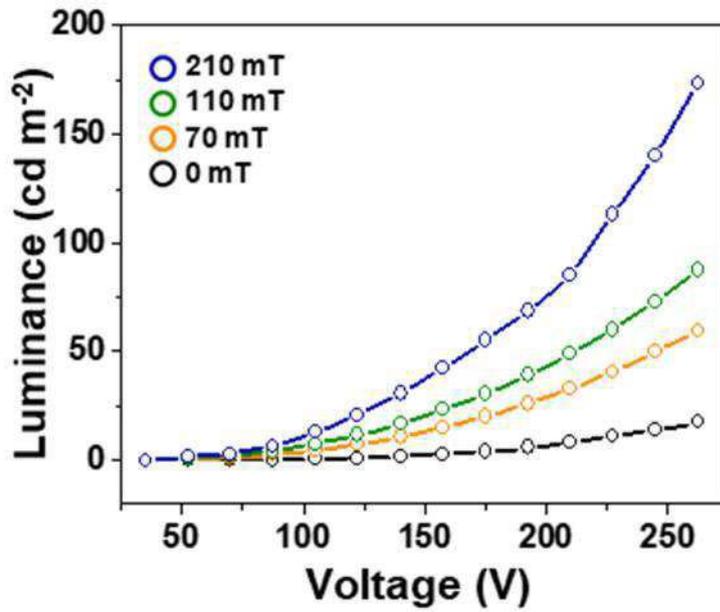
도면17



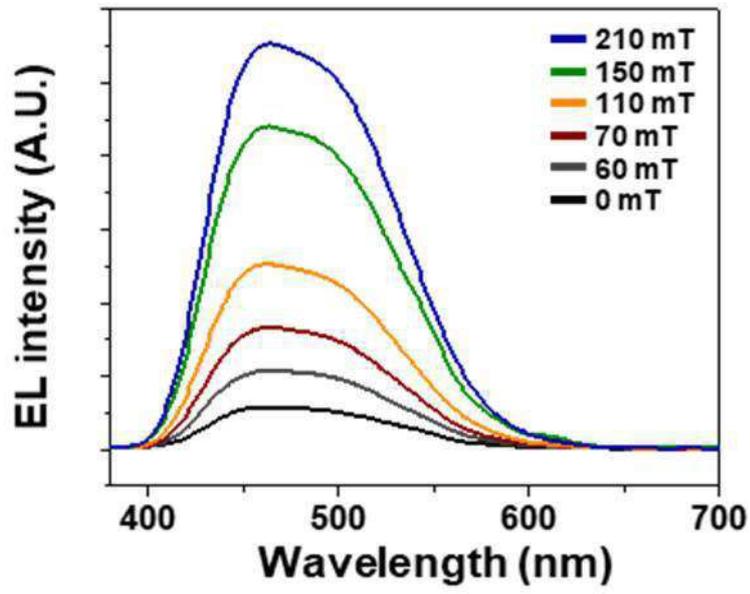
도면18



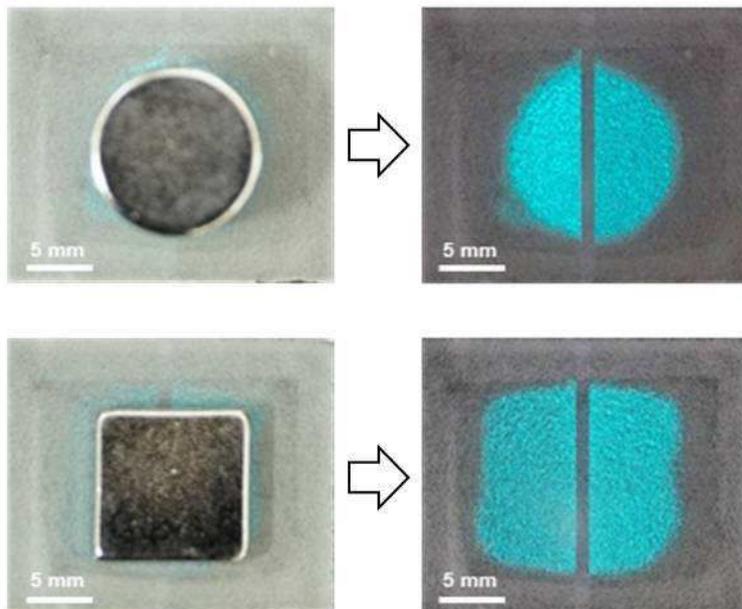
도면19



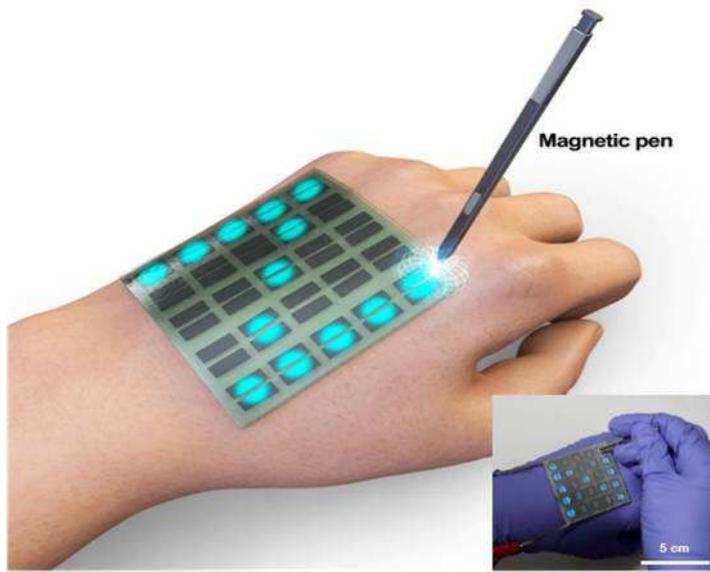
도면20



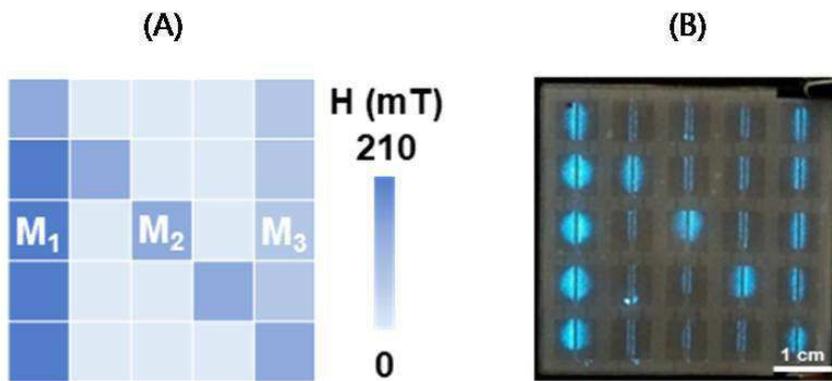
도면21



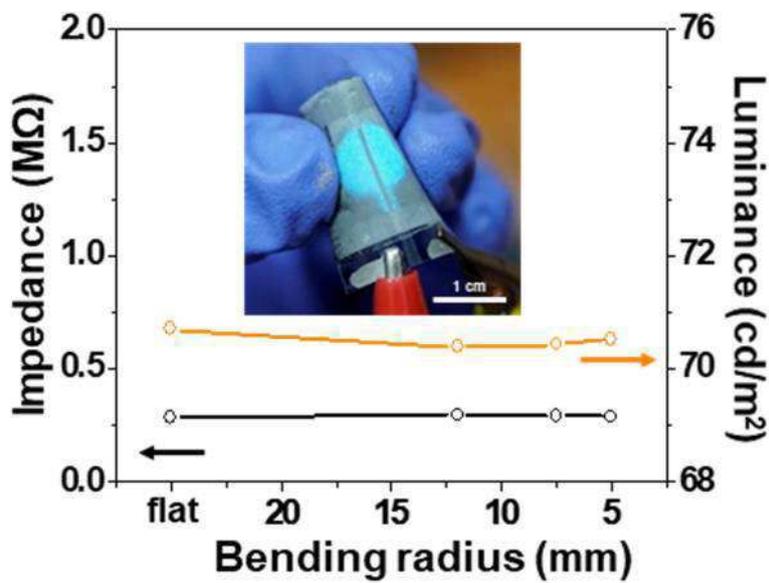
도면22



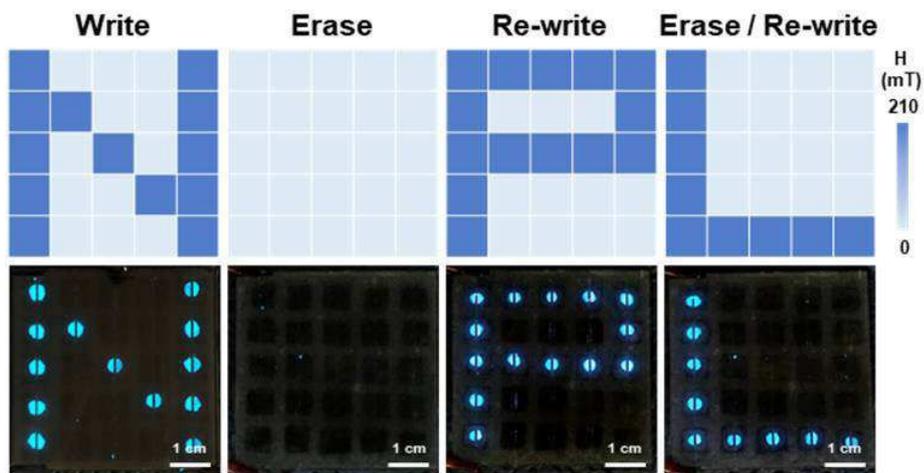
도면23



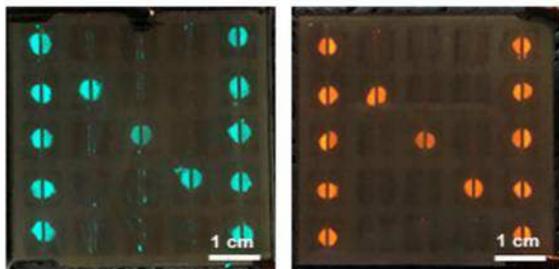
도면24



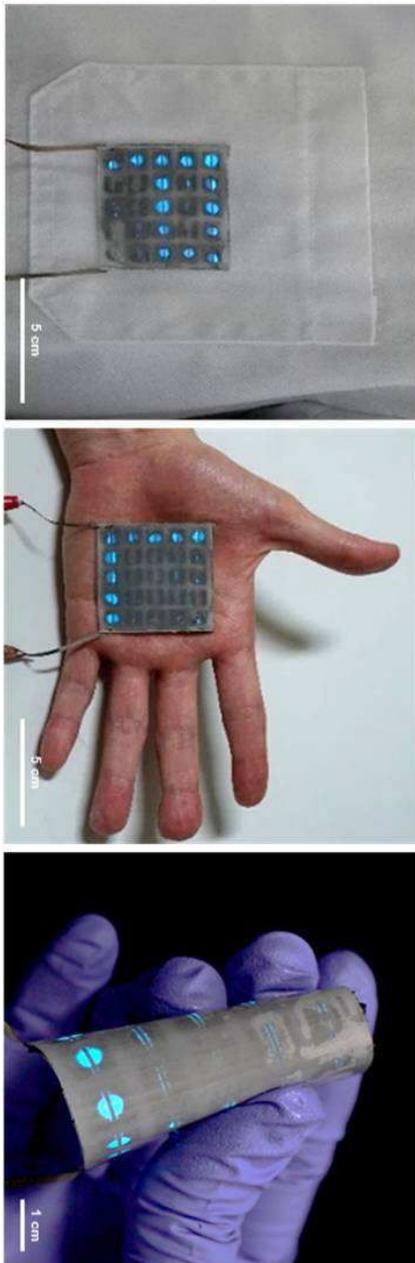
도면25



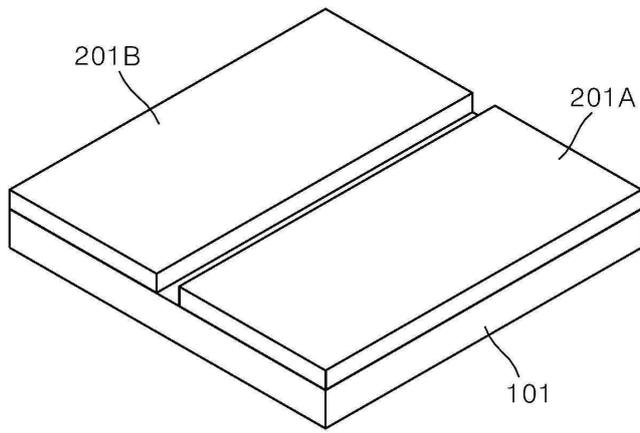
도면26



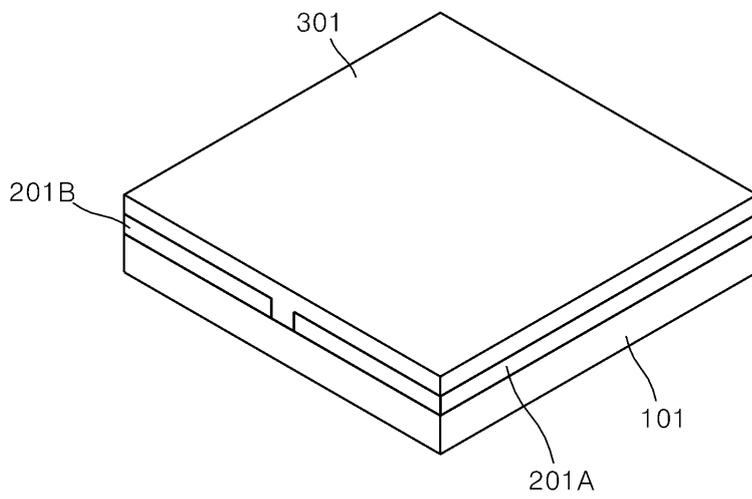
도면27



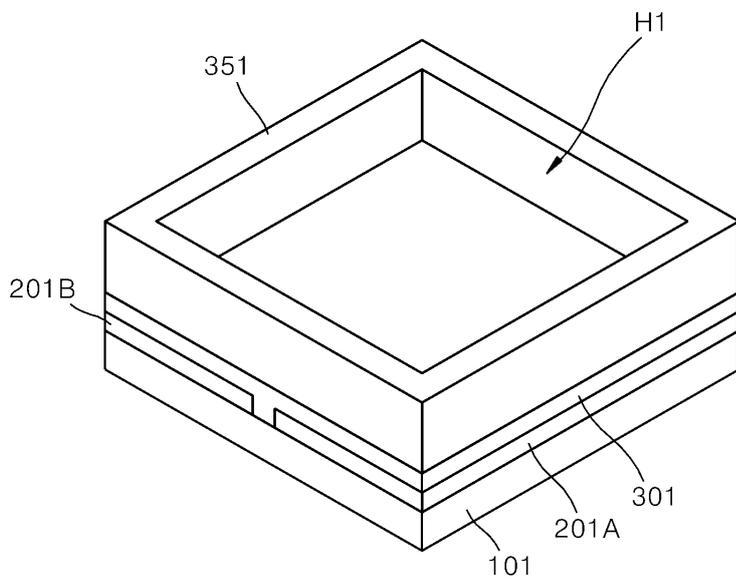
도면28a



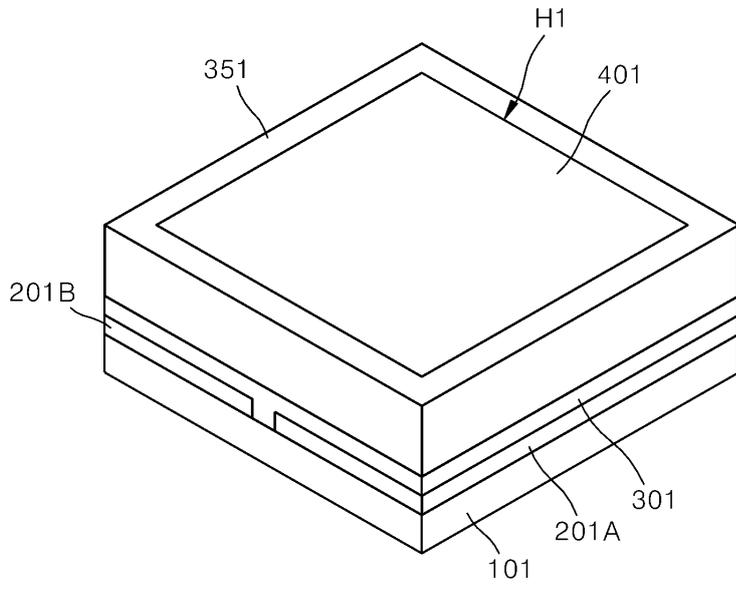
도면28b



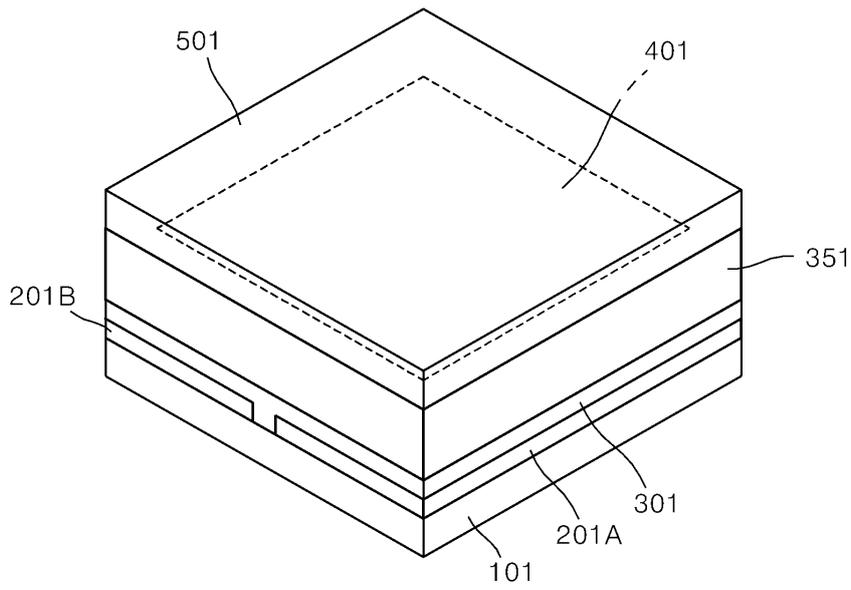
도면28c



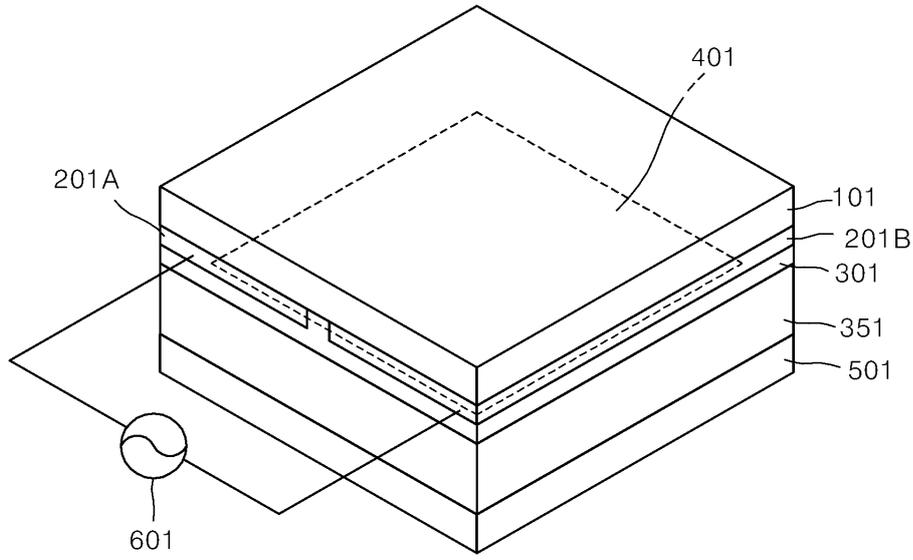
도면28d



도면28e



도면28f



도면29

