(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2022-0025448
(43) 공개일자 2022년03월03일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 51/52 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H01L 51/5221 (2013.01)
H01L 51/5206 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2020-0106158
(22) 출원일자 2020년08월24일
심사청구일자 2020년08월24일

(71) 출원인
고려대학교 산학협력단
서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)
(72) 발명자
주병권
서울특별시 은평구 진관4로 48-17, 711동 1004호 (진관동, 은평뉴타운상림마을)
황하
경기도 양평군 양서면 두물머리길8번길 29, 401호(리젠시빌)
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
송인호, 윤형근, 최관락

전체 청구항 수 : 총 10 항

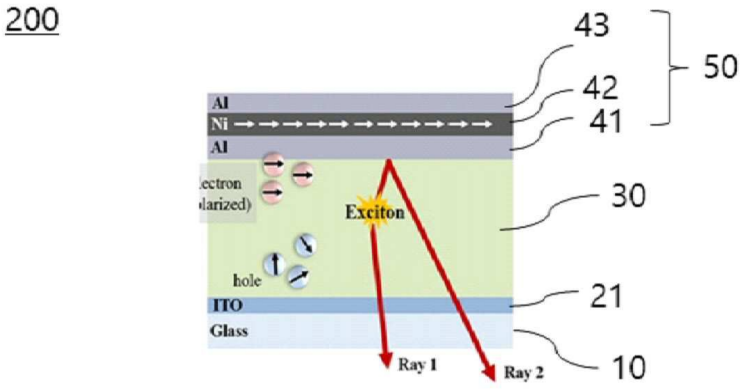
(54) 발명의 명칭 **유기발광소자용 전극 및 그 전극을 포함하는 유기발광소자**

(57) 요 약

본 발명은 자성체 물질을 포함하는 유기발광소자용 전극 및 그 전극을 포함하는 유기발광소자에 관한 것이다.

본 발명의 일실시예에 의한 유기발광소자용 전극은 유기층 위에 형성된 제1상자성체 층; 상기 제1상자성체 층 위에 형성된 강자성체 층; 및 상기 강자성체 층 위에 형성된 제2상자성체 층을 포함할 수 있다.

대 표 도 - 도6



(72) 발명자

신임혁

서울특별시 성북구 월곡로18길 25-22, 202호(하월곡동)

윤인선

서울특별시 성북구 길음로 33, 802동 404호(길음동, 길음뉴타운)

윤덕현

서울특별시 성북구 고려대로13길 18-3, 102호(안암동2가)

박수종

인천광역시 부평구 원적로 361, 213동 703호(산곡동, 한화아파트)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711108673
과제번호	2019R1A2B5B01070286
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	개인기초연구(과기정통부)(R&D)
연구과제명	차세대 유연 및 스트레쳐블 유기발광 다이오드 용 굴절률 매칭 나노격자 기술 기반의 다기능 투명 섬유 전극 개발
기 여 율	1/1
과제수행기관명	고려대학교 산학협력단
연구기간	2020.03.01 ~ 2021.02.28

명 세 서

청구범위

청구항 1

유기층 위에 형성된 제1상자성체 층;

상기 제1상자성체 층 위에 형성된 강자성체 층; 및

상기 강자성체 층 위에 형성된 제2상자성체 층을 포함하는 것을 특징으로 하는 유기발광소자용 전극.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 강자성 층은 강자성체 물질로 이루어지고 상기 강자성체 물질은 Ni, Co, Fe, Mn 중 적어도 하나를 포함하고,

상기 제1상자성체 층 및 상기 제2상자성체 층은 상자성체 물질로 이루어지고, 상기 상자성체 물질은 Al, Sn, Pt, Ir, Ag과 Mg의 혼합물 중 적어도 하나를 포함하는 것을 특징으로 하는 유기발광소자용 전극.

청구항 3

제2항에 있어서, 상기 유기발광소자용 전극은

상기 제1상자성체 층; 상기 제1상자성체 층 위에 형성된 강자성체 층; 및 상기 강자성체 층 위에 형성된 제2상자성체 층을 포함하는 캐소드(cathode)를 포함하는 것을 특징으로 하는 유기발광소자용 전극.

청구항 4

제3항에 있어서, 상기 유기발광소자용 전극은

애노드(anode)를 더 포함하되,

상기 애노드에는 상자성체 층이 형성되지 않고, 강자성체 층만이 형성되어 있는 것을 특징으로 하는 유기발광소자용 전극.

청구항 5

제3항에 있어서,

상기 제1상자성체 층 및 상기 제2상자성체 층은 상기 강자성체 층보다 두꺼운 것을 특징으로 하는 유기발광소자용 전극.

청구항 6

기판;

상기 기판위에 형성된 제1전극;

상기 제 1 전극 상에 형성된 유기층; 및

상기 유기층 상에 형성된 제 2 전극을 포함하며,

상기 유기층은 발광층를 포함하는 적어도 하나 이상의 층으로 이루어져 있으며,

상기 제2전극은

제1상자성체 층;

상기 제1상자성체 층 위에 형성된 강자성체 층; 및

상기 강자성체 층 위에 형성된 제2상자성체 층을 포함하는 것을 특징으로 하는 유기발광소자.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 강자성 층은 강자성체 물질로 이루어지고 상기 강자성체 물질은 Ni, Co, Fe, Mn 중 적어도 하나를 포함하고,

상기 제1상자성체 층 및 상기 제2상자성체 층은 상자성체 물질로 이루어지고, 상기 상자성체 물질은 Al, Sn, Pt, Ir, Ag과 Mg의 혼합물 중 적어도 하나를 포함하는 것을 특징으로 하는 유기발광소자.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 제1전극은 애노드(anode)이고,

상기 제2전극은 캐소드(cathode)인 것을 특징으로 하는 유기발광소자.

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 제1전극에는 상자성체 층이 형성되지 않고, 강자성체 층만이 형성되어 있는 것을 특징으로 하는 유기발광소자.

청구항 10

제8항에 있어서,

상기 제1상자성체 층 및 상기 제2상자성체 층은 상기 강자성체 층보다 두꺼운 것을 특징으로 하는 유기발광소자.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 전극 및 그 전극을 포함하는 유기발광소자에 관한 것으로, 보다 상세하게는 자성체 물질을 포함하는 유기발광소자용 전극 및 그 전극을 포함하는 유기발광소자에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 최근 디스플레이 분야에서 각광받고 있는 전기발광소자, 특히 유기발광소자는 전자(electron)와 정공(hole)이 결합하여 발광 소멸할 때 발생하는 빛을 이용하는 소자이다.

[0003] 유기발광소자(Organic light-emitting diodes, OLED)는 뛰어난 색 재현율, 높은 명암비, 빠른 응답속도, 휘어지는 특성 등으로 인해 디스플레이와 조명시장에서 각광받고 있다.

[0004] OLED의 발광층에서 생성되는 엑시톤의 생성비는 양자역학적 통계에 의하여 단일항(Singlet)과 삼중항(Triplet)의 비가 1:3이므로 단일항 엑시톤만이 발광에 기여하는 형광 OLED의 내부양자효율(IQE)는 이론상 최대 25%로 제한되며 단일항과 삼중항 엑시톤이 모두 발광에 기여하는 인광 OLED의 IQE(Internal Quantum Efficiency)는 100%에 이르고 있다. 관련 선행문헌으로 대한민국 등록특허 제10-1397109호가 있다.

[0005] 높은 광효율을 보이는 인광 OLED가 산업 전반에서 사용되고 있으나 인광 발광방식은 삼중항 엑시톤의 긴 수명(~ms)에 의하여 엑시톤간의 퀀칭(quenching)이 심하게 발생해 OLED 소자의 수명이 짧고 고휘도에서 효율이 급격하게 감소하는 단점을 보인다. 특히, 청색 인광 OLED의 경우 삼중항 엑시톤이 가지는 에너지가 유기 분자의 결합 해리 에너지보다 커서 분자 간의 결합을 끊거나 원래 분자의 특성을 잃어버리게 하는 분자 해리 현상이 적색, 녹색에 비해 빈번하게 발생한다. 이로 인해 청색 인광 OLED의 경우 녹색, 적색 인광 OLED에 비해 수명이 월등하게 낮다.

[0006] 청색 인광 OLED의 수명 문제를 해결하고자 graded doping과 같이 발광 영역을 넓혀서 삼중항 엑시톤의 퀀칭을

줄이는 연구가 진행되고 있으나 여전히 청색 형광 OLED에 비해 약 100배 짧은 수명 특성을 보이고, 청색 인광 발광에 사용되는 유기재료의 개발도 청색 인광 OLED의 엑시톤이 가지는 큰 에너지 때문에 쉽지 않은 상황이다. 이로 인해 모바일 디스플레이에 사용되는 청색 OLED는 낮은 효율에도 불구하고 수명 특성이 상대적으로 좋은 형광 OLED를 사용하고 있으며 형광 OLED의 효율 개선을 위한 다양한 연구가 필수적이다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 본 발명의 목적은 광효율 및 수명이 개선된 유기발광소자용 전극 및 그 전극을 포함하는 유기발광소자를 제공하는 데 있다.

[0008] 본 발명의 목적은 강자성체를 활용하여 스핀 방향이 한 방향으로 정렬될 수 있도록 한 유기발광소자용 전극 및 그 전극을 포함하는 유기발광소자를 제공하는 데 있다.

과제의 해결 수단

[0009] 상기 목적을 달성하기 위해 본 발명의 일실시예에 의하면, 유기층 위에 형성된 제1상자성체 층; 상기 제1상자성체 층 위에 형성된 강자성체 층; 및 상기 강자성체 층 위에 형성된 제2상자성체 층을 포함하는 것을 특징으로 하는 유기발광소자용 전극이 개시된다.

[0010] 상기 목적을 달성하기 위해 본 발명의 일실시예에 의하면, 기판; 상기 기판위에 형성된 제1전극; 상기 제 1 전극 상에 형성된 유기층; 및 상기 유기층 상에 형성된 제 2 전극을 포함하며, 상기 유기층은 발광층를 포함하는 적어도 하나 이상의 층으로 이루어져 있으며, 상기 제2전극은 제1상자성체 층; 상기 제1상자성체 층 위에 형성된 강자성체 층; 및 상기 강자성체 층 위에 형성된 제2상자성체 층을 포함하는 것을 특징으로 하는 유기발광소자가 개시된다.

발명의 효과

[0011] 본 발명의 일실시예에 의한 유기발광소자용 전극 및 그 전극을 포함하는 유기발광소자는 강자성체 전극을 삽입하는 간단한 공정을 통해 유기발광소자(Organic light-emitting diodes, OLED) 광효율의 이론적 한계를 극복할 수 있다.

[0012] 본 발명에 일실시예에 의하면, OLED의 유기 재료 및 유기층 구조를 그대로 활용함으로도, 유기발광소자의 광효율 및 수명을 개선할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0013] 도 1은 일반적인 유기발광소자(Organic light-emitting diodes, OLED)의 구성 및 발광 메커니즘을 설명하기 위한 도면이다.

도 2는 본 발명의 일실시예와 관련된 강자성체 전극을 활용한 스핀 전류 주입 유기발광소자(Organic light-emitting diodes, OLED) 구조를 설명하기 위한 도면이다.

도 3은 본 발명의 일실시예와 관련된 강자성체 전극이 삽입된 유기발광소자(Organic light-emitting diodes, OLED) 구조의 개략도이다.

도 4는 도 3에 유기발광소자의 전기광학 특성을 나타내는 그래프이다.

도 5는 본 발명의 일실시예와 관련된 ITO와 Ni 전극의 투과도를 비교한 그래프이다.

도 6은 본 발명의 또 다른 일실시예와 관련된 강자성체와 상자성체가 혼합된 하이브리드 타입의 강자성체 전극이 삽입된 유기발광소자(Organic light-emitting diodes, OLED) 구조의 개략도이다.

도 7은 도 6에 도시된 다층 구조로 이루어진 캐소드(cathode)에서 최적의 상자성체 층의 두께를 설명하기 위한 도면이다.

도 8은 FDTD 광학 시뮬레이션을 통해 분석한 도 6에 도시된 다층 구조로 이루어진 캐소드(cathode)의 반사도 그래프이다.

도 9는 도 6에 도시된 다층 구조로 이루어진 캐소드(cathode)가 적용된 유기발광소자의 발광 특성을 나타내는

그래프이다.

도 10은 도 6에 도시된 다층 구조로 이루어진 캐소드(cathode)가 적용된 유기발광소자의 자화특성을 나타내는 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0014] 이하, 본 발명의 일실시예와 관련된 일사량 유기발광소자용 전극 및 그 전극을 포함하는 유기발광소자에 대해 도면을 참조하여 설명하도록 하겠다.

[0015] 본 명세서에서 사용되는 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 명세서에서, "구성된다" 또는 "포함한다" 등의 용어는 명세서상에 기재된 여러 구성 요소들, 또는 여러 단계들을 반드시 모두 포함하는 것으로 해석되지 않아야 하며, 그 중 일부 구성 요소들 또는 일부 단계들은 포함되지 않을 수도 있고, 또는 추가적인 구성 요소 또는 단계들을 더 포함할 수 있는 것으로 해석되어야 한다.

[0016] 도 1은 일반적인 유기발광소자(Organic light-emitting diodes, OLED)의 구성 및 발광 메커니즘을 설명하기 위한 도면이다.

[0017] 도 1(a)는 일반적인 OLED에서 유기물로 주입되는 캐리어의 스핀 분극 특성 및 단일항과 삼중항 엑시톤의 생성비를 나타내고 도 1(b)는 OLED의 형광(Fluorescence)과 인광(Phosphorescence) 발광 방식을 나타낸다.

[0018] 도시된 바와 같이, 일반적인 상자성체 전극을 사용하여 OLED 소자 내로 캐리어(전자, 홀)을 주입할 경우 캐리어의 스핀 방향은 랜덤한 방향(unpolarized)을 띄고 있다. 랜덤한 스핀 방향을 가지고 있는 캐리어가 OLED의 발광층으로 주입될 경우 발광층에서 형성되는 엑시톤의 생성비는 양자역학적 스핀통계에 의하여 단일항과 삼중항의 비가 1:3이다. 이로 인해 단일항 엑시톤만을 사용하여 발광하는 형광 OLED의 내부 양자효율(IQE, Internal Quantum Efficiency)은 최대 25%로 제한된다.

[0019] 이하, 실시예에서는 강자성체를 활용하여 스핀 방향이 한 방향으로 정렬된 캐리어를 OLED 소자 내로 주입하고 이를 통해 발광층에서의 단일항 엑시톤의 생성비를 높여서 형광 OLED의 IQE를 높이는 방법에 대해 설명한다.

[0020] 도 2는 본 발명의 일실시예와 관련된 강자성체 전극을 활용한 스핀 전류 주입 유기발광소자(Organic light-emitting diodes, OLED) 구조를 설명하기 위한 도면이다.

[0021] 도 2(a) 스핀 분극 전하 캐리어 주입 개요도이고, 도 2(b)는 외부 자기장인가에 따른 강자성체 내부의 자화방향 및 스핀 분극 정렬 메커니즘을 나타내는 도면이다.

[0022] 도시된 바와 같이, 도 2(a)는 전극으로 강자성체 물질(Ni, Co, Fe 등)이 사용된 OLED 소자구조를 보여주고 있다. 캐리어가 강자성체 전극을 통과하기 전에는 스핀 분극 방향이 up 또는 down으로 랜덤하지만 강자성체 전극을 통과하는 캐리어는 강자성체 내부의 자화방향에 맞추어 스핀 분극 방향이 정렬된 상태로 통과하는 양상을 보여주고 있다.

[0023] 강자성체 내부의 자화방향은 외부에서 자기장을 인가할 시 외부 자기장 방향에 맞추어 정렬되는 특성을 가진다는 것을 도 2(b)를 통해 확인할 수 있다. 외부 자기장을 강자성체에 인가한 후 전하 캐리어를 강자성체 전극에 통과시키면 캐리어의 스핀과 강자성체의 자화방향 사이에 모멘텀 전달(스핀 전달 토크)이 발생하여 전하 캐리어의 스핀 분극 방향이 한 방향으로 정렬되는 특성을 갖는다. 이를 통해 OLED의 발광층으로 스핀 방향이 정렬된 캐리어를 주입할 수 있고 스핀 방향이 정렬된 캐리어가 엑시톤을 형성할 경우 단일항 엑시톤의 생성비를 높일 수 있다.

[0024] 도 3은 본 발명의 일실시예와 관련된 강자성체 전극이 삽입된 유기발광소자(Organic light-emitting diodes, OLED) 구조의 개략도이다.

[0025] 도시된 바와 같이, 유기발광소자(100)는 유리기판(100), 애노드(anode, 양극)(25), 유기층(30), 캐소드(cathode, 음극)(40)을 포함할 수 있다.

[0026] 상기 애노드(25)는 ITO 전극(21) 위에 강자성체 층(22)이 형성될 수 있다. 상기 강자성체 층(22)은 강자성체 물질로 형성된 박막 층을 의미할 수 있다. 상기 강자성체 물질은 Ni, Co, Fe, Mn 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 자성체 물질로는, 예를 들어, Ni, Co, Fe, Mn, Bi, FeO-Fe_2O_3, NiO-Fe_2O_3, CuO-Fe_2O_3, MgO-Fe_2O_3, MnBi, MnSb, MnAs, MnO- Fe_2O_3, $Y_3Fe_2O_3$, CrO_2 및 EuO 등이 있다. 이들은 일종으로 사용될 수도 있고 이종 이상 혼합하여 사용될 수도 있다. 이하, 실시예에서는 Ni을 강자성체 물질의 예로 설명하도록 하겠다. 강자성체 전극에 자

기장을 인가하면, 스핀 분극 방향이 한 방향으로 정렬되다.

[0027] 상기 Ni 강자성체 층(22) 위에는 유기층(30)이 형성된다. 정공과 전자가 결합하여 발광 소멸하는 발광층은 상기 유기층(30)에 포함되어 있다. 상기 애노드(25)는 정공을 주입하기 위한 양극이며 캐소드(40)은 전자를 주입하기 위한 음극이다.

[0028] 도 4는 도 3에 유기발광소자의 전기광학 특성을 나타내는 그래프이다.

[0029] 도 4는 강자성체 전극에 자기장을 인가하기 전(파란색)과 인가한 후(빨간색)에서의 소자 효율 측정 결과를 비교한 그래프이다.

[0030] 도시된 바와 같이, 자기장을 인가하기 전과 비교하여 인가한 후에는 OLED 소자의 광학효율인 EQE(외부양자효율)이 12~20% 향상된 것을 확인할 수 있다. 이는 스핀 방향이 정렬된 캐리어(홀)이 유기물로 주입되어 단일항 엑시톤의 생성비를 높인 것으로 판단된다.

[0031] 그러나 발광층에서 생성된 빛이 Ni 박막을 통과하므로 광손실이 발생하여 강자성체 박막이 삽입되지 않은 OLED 소자(Ref, 검정색)에 비해 효율의 절대치(효율값)가 낮은 특성을 보이고 있다.

[0032] 도 5는 본 발명의 일실시예와 관련된 ITO와 Ni 전극의 투과도를 비교한 그래프이다.

[0033] 도 5에서 확인할 수 있듯이, 강자성체 전극은 일반적으로 낮은 투과도를 보인다. 도 3을 참조하면, 유기발광소자의 발광층에서 생성된 빛이 외부로 방출될 때 강자성체 층(22)을 반드시 통과하게 되므로 강자성체의 낮은 투과도로 인해 광손실이 발생한다. 그러므로 강자성체 전극을 유기발광소자에 적용할 시 구조적인 개선이 필요하다.

[0034] 이하에서는 강자성체와 상자성체가 혼합된 하이브리드 타입의 강자성체 전극에 대해 설명하도록 한다.

[0035] 도 6은 본 발명의 또 다른 일실시예와 관련된 강자성체와 상자성체가 혼합된 하이브리드 타입의 강자성체 전극이 삽입된 유기발광소자(Organic light-emitting diodes, OLED) 구조의 개략도이다.

[0036] 도시된 바와 같이, 유기발광소자(200)는 유리기판(100), 애노드(21), 유기층(30), 캐소드(50)을 포함할 수 있다.

[0037] 상기 유리기판(100) 위에 애노드(21)가 형성된다. 상기 애노드(21)는 ITO 전극으로 구성될 수 있다. 상기 ITO 전극(21)은 스퍼터링법 또는 증착법에 의하여 형성될 수 있다.

[0038] 상기 ITO 전극(21) 위에는 유기층(30)이 형성된다. 정공과 전자가 결합하여 발광 소멸하는 발광층은 상기 유기층(30)에 포함되어 있다. 상기 애노드(21)는 정공을 주입하기 위한 양극이며 캐소드(50)은 전자를 주입하기 위한 음극이다.

[0039] 상기 캐소드(50)는 상자성체가 혼합된 하이브리드 타입의 강자성체 전극으로 구성될 수 있다. 하이브리드 강자성체 전극은 강자성체 외부로 상자성체가 감싸고 있는 형태이다.

[0040] 상기 캐소드(50)는 제1상자성체 층(41), 강자성체 층(42), 제2상자성체 층(43)을 포함할 수 있다. 제1상자성체 층(41) 및 제2상자성체 층(43)은 상자성체 물질로 형성된 박막 층을 의미할 수 있다. 상자성체 물질은 자기장 안에 넣으면 자기장 방향으로 약하게 자화하고, 자기장이 제거되면 자화하지 않는 물질이다. 상기 상자성체 물질은 Al, Sn, Pt, Ir, Ag과 Mg의 혼합물 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 이하, 실시예에서는 반사율이 높은 알루미늄(Al)을 상자성체 물질의 예로 설명하도록 하겠다.

[0041] 상기 캐소드(50)는 다층 구조로 이루어진 전극으로, 상기 강자성체 층(42) 하부로는 상기 제1상자성체 층(41)이 형성되고, 강자성체 층(42) 상부로는 상기 제2상자성체 층(43)이 형성된 형태이다.

[0042] 강자성체인 Ni에 외부 자기장을 인가하면 강자성체 내부의 자화방향이 한 방향으로 정렬되고 강자성체를 통과하는 캐리어는 스핀 방향이 정렬된 채로 진행한다. 일반적으로 스핀 방향이 정렬된 캐리어는 Al층에서는 스핀 방향을 잃지 않고 통과할 수 있으므로 발광층까지 스핀 정보를 잃지 않고 이동하며 발광층에서의 단일항 여기자의 생성비를 높일 수 있다. 일반적으로 Al은 높은 반사도를 보이므로 발광층에서 생성된 빛이 Al 표면에서 반사되어 나가므로 광손실이 발생하지 않는다. 이와 같이 하이브리드 강자성체 전극은 전기적으로는 Ni 층을 통해 스핀 분극 캐리어를 주입하여 단일항 생성비를 높이고 광학적으로는 Al층이 반사판 역할을 하므로 광손실이 발생하지 않는 특성을 보인다.

[0043] 한편, 빛이 애노드(21) 쪽으로 발광하기 때문에 애노드(21)에 상자성체를 형성하면 빛의 세기가 감소할 수

있다. 따라서 애노드(21)에는 상자성체를 형성하지 않는다.

[0044] 도 7은 도 6에 도시된 다층 구조로 이루어진 캐소드(cathode)에서 최적의 상자성체 층의 두께를 설명하기 위한 도면이다.

[0045] 도시된 바와 같이, 반사판 역할을 하는 Al층은 두께가 너무 얇으면 반사막 역할을 제대로 할 수 없고 두께가 너무 두꺼우면 스핀 방향이 정렬된 캐리어가 Al 층 내부를 이동하면서 스핀 정보를 잃을 수 있다.

[0046] 도 8은 FDTD 광학 시뮬레이션을 통해 분석한 도 6에 도시된 다층 구조로 이루어진 캐소드(cathode)의 반사도 그래프이다.

[0047] 도 8은 최적의 두께를 결정하기 위하여 광학 시뮬레이션(FDTD)를 진행한 결과를 나타내는 그래프이다. 이를 통해 Al_bottom 층의 두께가 약 40nm에서 최적의 광학 특성(반사도)를 보일 것으로 예측하였다. 또한, Al_bottom 층의 두께가 약 40nm일 때, 강자성체 층(42)의 두께는 약 20nm이 최적의 값이 될 수 있다.

[0048] 도 9는 도 6에 도시된 다층 구조로 이루어진 캐소드(cathode)가 적용된 유기발광소자의 발광 특성을 나타내는 그래프이다.

[0049] 도 9(a)는 전류-전압-휘도 특성을 나타내고 도 9(b)는 외부양자효율(EQE)-전류밀도 특성을 나타내고 도 9(c)는 Ni 두께 2nm 에서의 전류-전압-휘도 특성을 나타내고 도 9(d)는 EQE-전류밀도 특성을 나타낸다.

[0050] 도 9에서는 캐소드 전극에 하이브리드 강자성체 전극이 포함된 OLED의 전기광학적 특성을 보여주고 있다. 강자성체 전극에 자기장을 인가하기 전(파란색)과 인가한 후(빨간색)에서의 소자 효율 측정 결과를 비교하였다. Ref(검정색) 소자 대비해서 자기장 인가 전후 모두 소자 효율이 크게 상승하였으며 이는 하이브리드 강자성체 전극이 적용을 통해 스핀 분극된 전하캐리어가 발광층으로 주입되어 단일항 엑시톤의 생성비가 높아진 것에 기인한 것이라 판단된다. 한편 소자에 자기장을 인가하기 전과 비교하여 자기장을 인가하게 되면 소자의 광효율이 더욱 높아지는 특성을 보인다. 이는 외부 자기장 인가를 통하여 하이브리드 전극 내부의 강자성체의 자화가 포화되어 나타나는 현상이다.

[0051] 도 10은 도 6에 도시된 다층 구조로 이루어진 캐소드(cathode)가 적용된 유기발광소자의 자화특성을 나타내는 그래프이다.

[0052] 도 10을 통해 볼 수 있듯이 강자성체 박막은 외부 자기장이 없는 경우에도 (H=0) 일정량의 자화(M)를 가지고 있으며 이는 외부 자기장 인가를 통해 완전히 포화된다(H=1000). 그러므로 Spin-OLED 소자에 외부 자기장을 인가하지 않아도 강자성체 박막의 자화 방향이 어느정도 정렬되어 있으므로 스핀 분극된 전하가 주입된다. 이로 인해 하이브리드 강자성체 전극에 외부 자기장을 인가하기 전에도 광효율이 향상될 수 있으며 외부 자기장을 인가하게 되면 자화가 포화되어 소폭의 광효율 향상이 추가로 발생하는 특성을 보인다.

[0053] 전술한 바와 같이, 본 발명의 일실시예에 의한 유기발광소자용 전극 및 그 전극을 포함하는 유기발광소자는 강자성체 전극을 삽입하는 간단한 공정을 통해 유기발광소자(Organic light-emitting diodes, OLED) 광효율의 이론적 한계를 극복할 수 있다.

[0054] 본 발명에 일실시예에 의하면, OLED의 유기 재료 및 유기층 구조를 그대로 활용함으로도, 유기발광소자의 광효율 및 수명을 개선할 수 있다.

[0055] 상기와 같이 설명된 유기발광소자용 전극 및 그 전극을 포함하는 유기발광소자는 상기 설명된 실시예들의 구성과 방법이 한정되게 적용될 수 있는 것이 아니라, 상기 실시예들은 다양한 변형이 이루어질 수 있도록 각 실시예들의 전부 또는 일부가 선택적으로 조합되어 구성될 수도 있다.

부호의 설명

[0056] 100, 200: 유기발광소자

10: 유기기판

25: 애노드(anode)

21: ITO 전극

22: 강자성체 층

30: 유기층

41: 제1상자성체 층

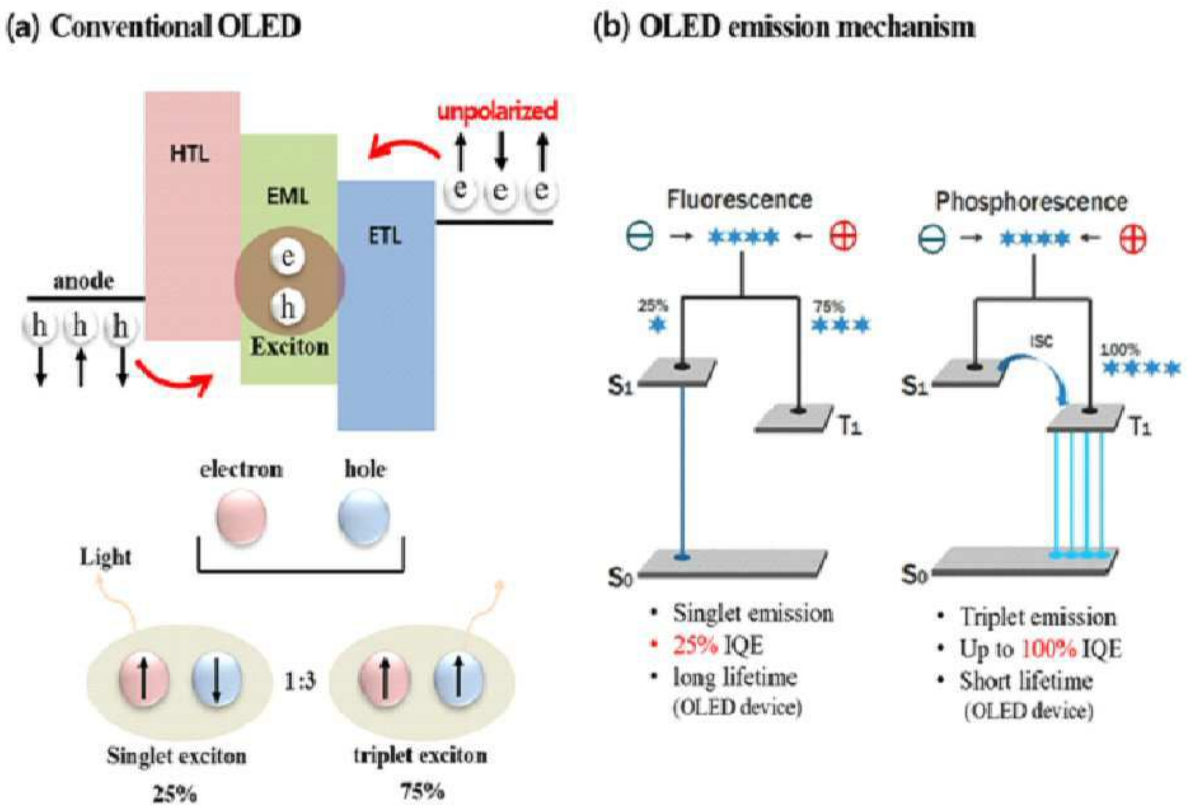
42: 강자성체 층

43: 제2상자성체 층

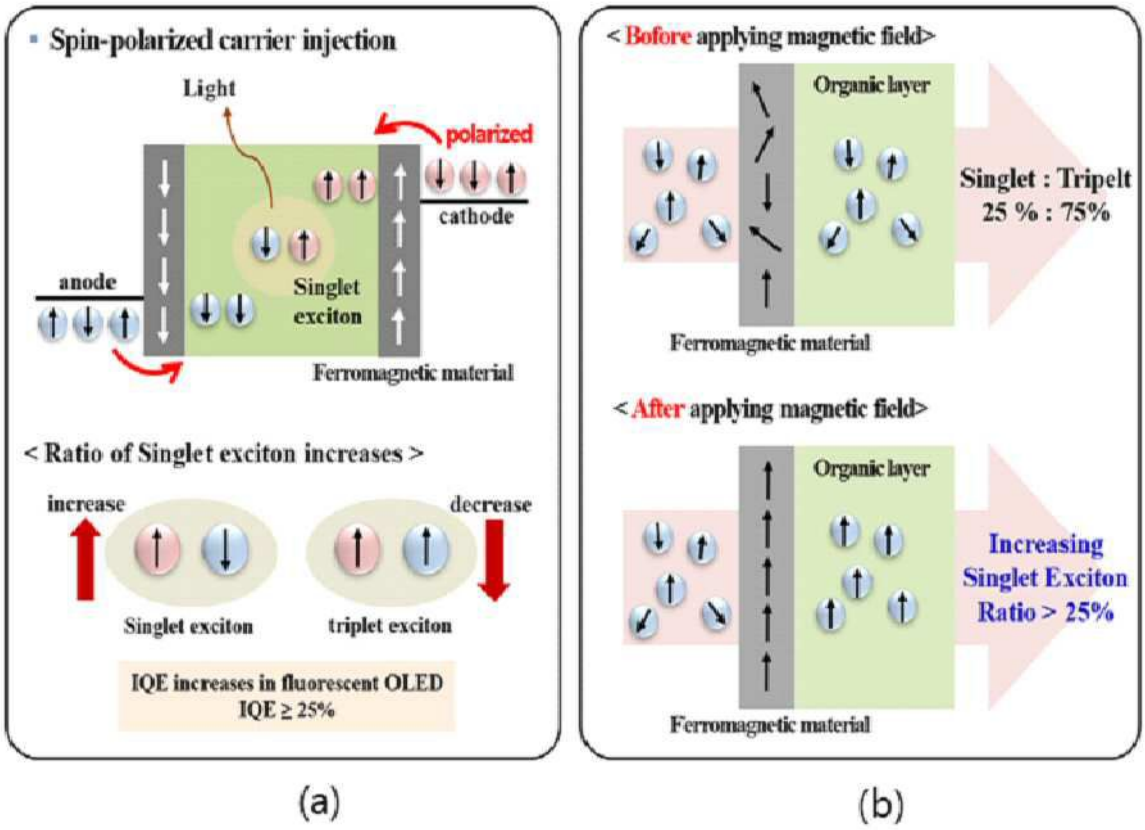
40, 50: 캐소드(cathode)

도면

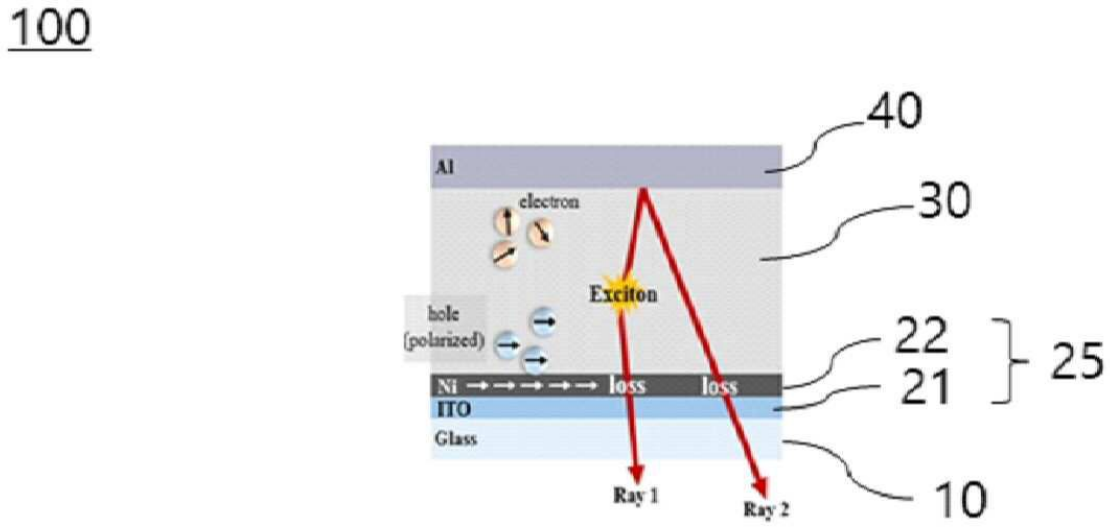
도면1



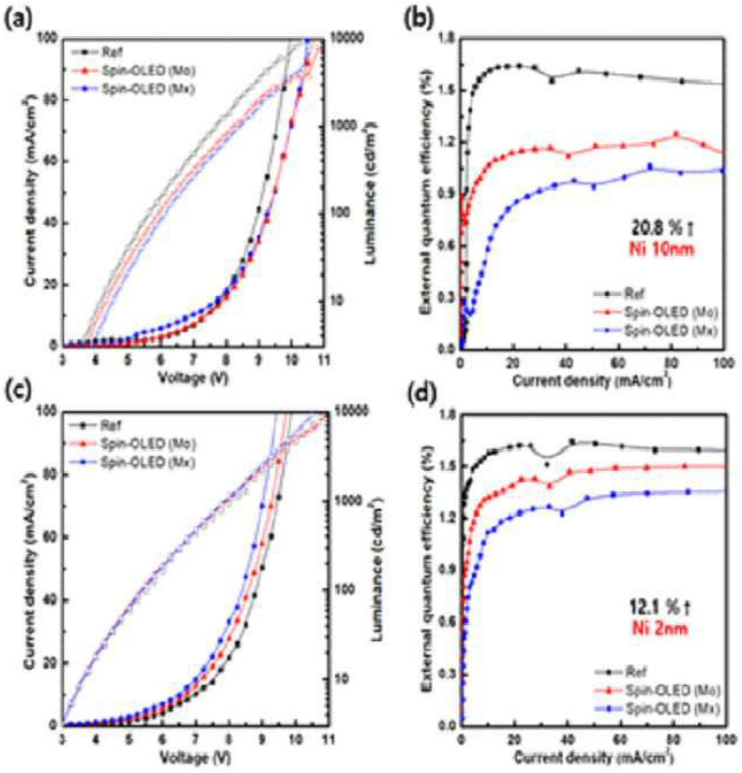
도면2


Spin-polarized carrier injection
Light
polarized
cathode
anode
Singlet exciton
Ferromagnetic material
< Ratio of Singlet exciton increases >
increase
decrease
Singlet exciton
triplet exciton
IQE increases in fluorescent OLED
IQE ≥ 25%
(a)
< Bofore applying magnetic field>
Organic layer
Singlet : Tripelt
25 % : 75%
Ferromagnetic material
< After applying magnetic field>
Organic layer
Increasing
Singlet Exciton
Ratio > 25%
Ferromagnetic material
(b)

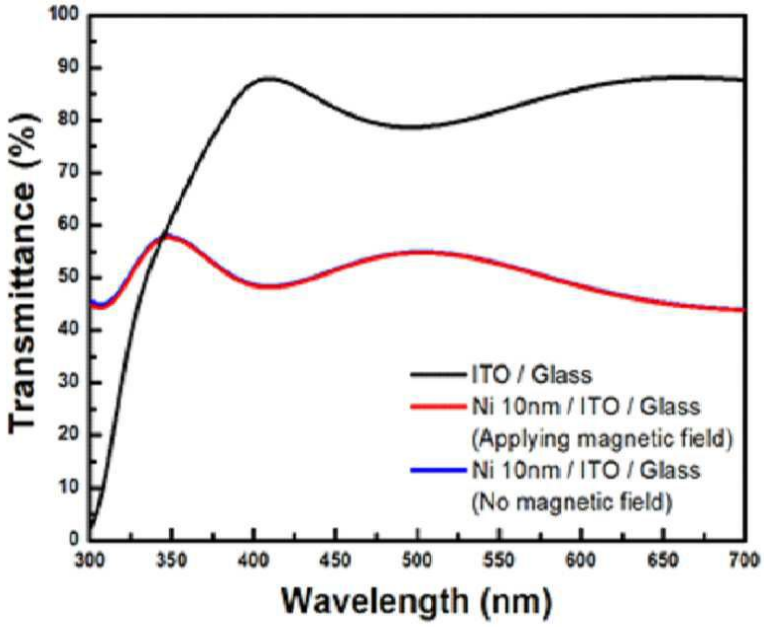
도면3


100
40
Al
electron
30
Exciton
hole
(polarized)
22
21
25
Ni
loss
loss
ITO
Glass
10
Ray 1
Ray 2

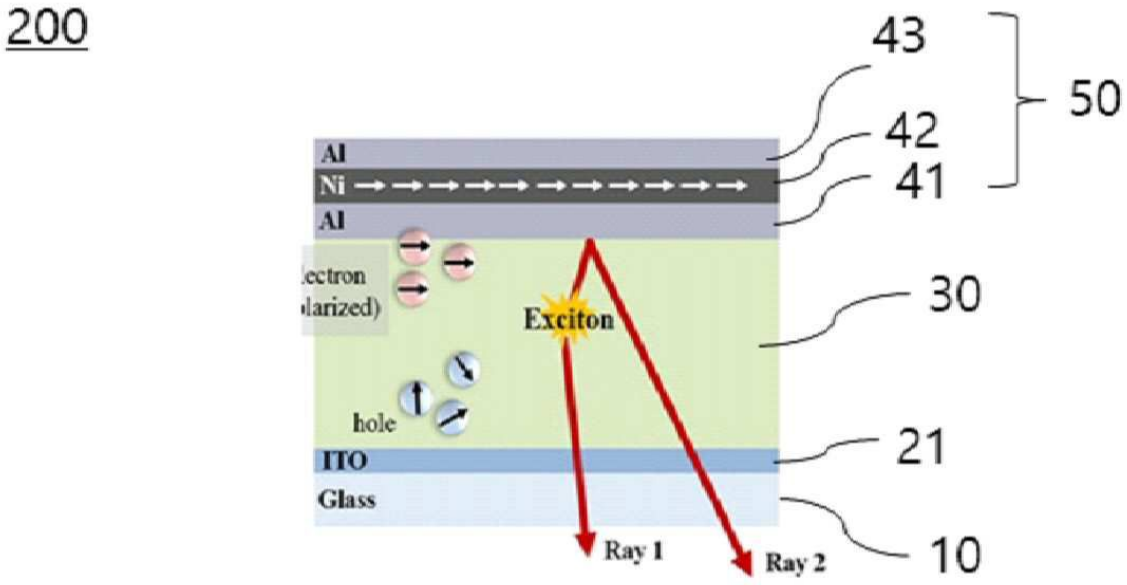
도면4


(a)
(b)
(c)
(d)
Ref
Spin-OLED (Mo)
Spin-OLED (Mx)
Current density (mA/cm²)
Luminance (cd/m²)
Voltage (V)
External quantum efficiency (%)
Current density (mA/cm²)
20.8 % ↑
Ni 10nm
12.1 % ↑
Ni 2nm

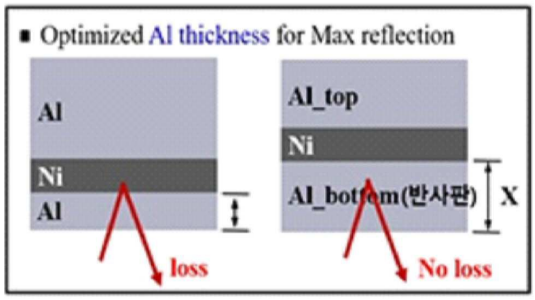
도면5


Transmittance (%)
Wavelength (nm)
ITO / Glass
Ni 10nm / ITO / Glass
(Applying magnetic field)
Ni 10nm / ITO / Glass
(No magnetic field)

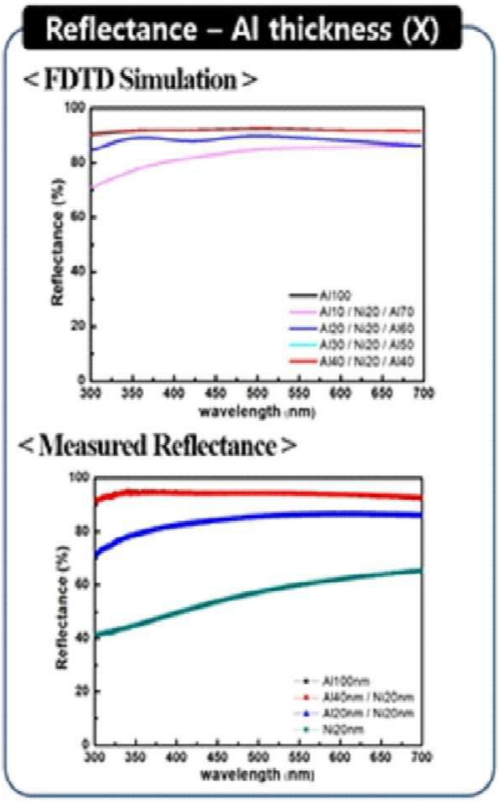
도면6


200
43
42
41
50
Al
Ni
Al
Exciton
30
hole
21
ITO
Glass
10
Ray 1
Ray 2

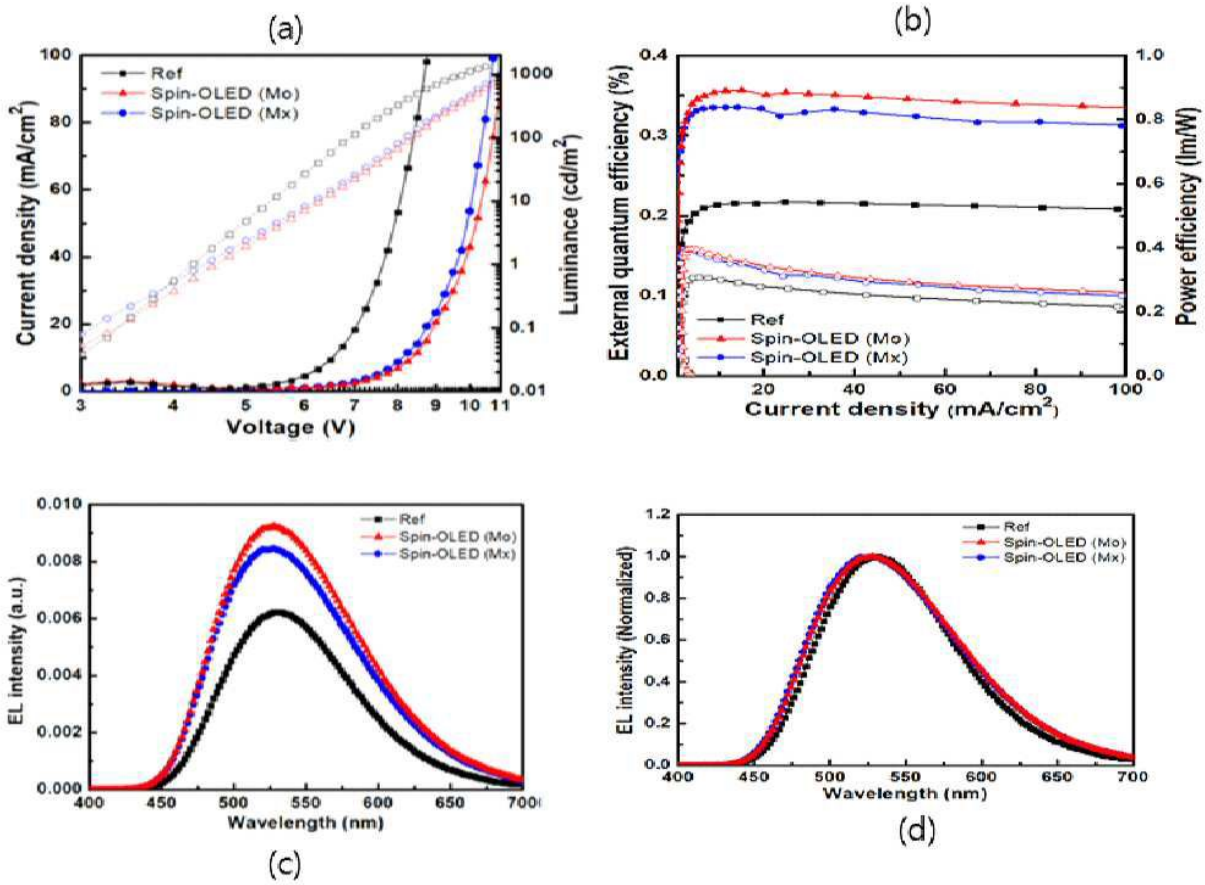
도면7


Optimized Al thickness for Max reflection
Al
Ni
Al
loss
Al_top
Ni
Al_bottom(반사판)
X
No loss

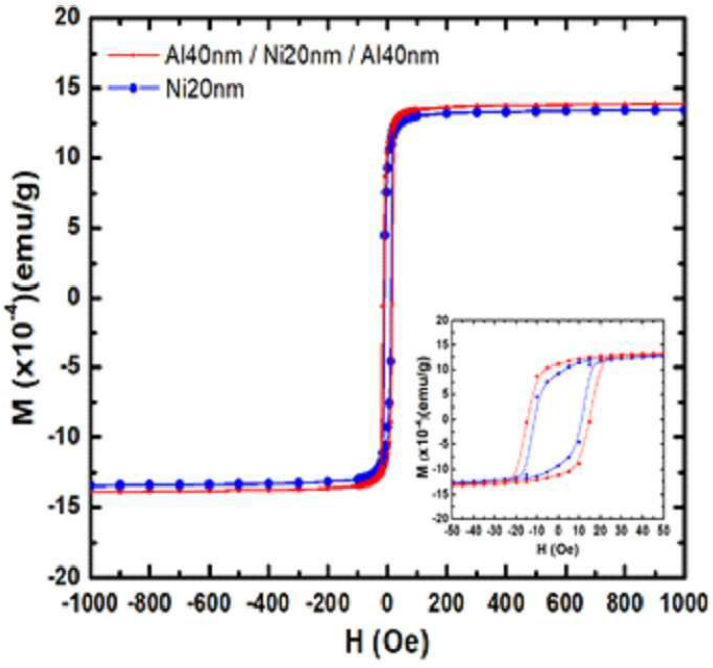
도면8


Reflectance – Al thickness (X)
< FDTD Simulation >
Reflectance (%)
wavelength (nm)
Al100
Al10 / Ni20 / Al70
Al20 / Ni20 / Al60
Al30 / Ni20 / Al50
Al40 / Ni20 / Al40
< Measured Reflectance >
Reflectance (%)
wavelength (nm)
Al100nm
Al40nm / Ni20nm
Al20nm / Ni20nm
Ni20nm

도면9


(a)
Ref
Spin-OLED (Mo)
Spin-OLED (Mx)
Current density (mA/cm²)
Luminance (cd/m²)
Voltage (V)
(b)
External quantum efficiency (%)
Power efficiency (lm/W)
Current density (mA/cm²)
(c)
EL intensity (a.u.)
Wavelength (nm)
(d)
EL intensity (Normalized)
Wavelength (nm)

도면10


Al40nm / Ni20nm / Al40nm
Ni20nm
M (x10⁻⁴)(emu/g)
H (Oe)