



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2010년08월27일
(11) 등록번호 10-0978584
(24) 등록일자 2010년08월23일

(51) Int. Cl.

H01L 51/50 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2008-0040758

(22) 출원일자 2008년04월30일

심사청구일자 2008년04월30일

(65) 공개번호 10-2009-0114886

(43) 공개일자 2009년11월04일

(56) 선행기술조사문헌

JPW02007032175 A1*

KR1020030002182 A*

W02007032175 A1

KR1020060109996 A

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

한국과학기술원

대전 유성구 구성동 373-1

(72) 발명자

최경철

서울특별시 서초구 잠원동 한신아파트 1동 708호

양기열

경상북도 포항시 북구 용흥동 쌍용아파트 102동 1304호

(74) 대리인

특허법인명문

전체 청구항 수 : 총 9 항

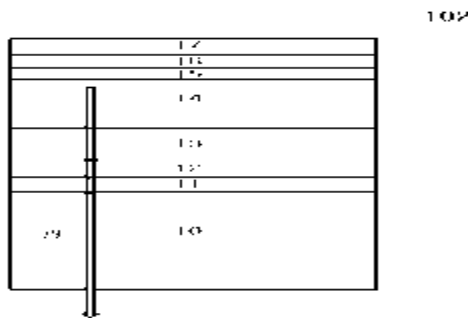
심사관 : 김주승

(54) 표면 플라즈몬 공명을 이용한 형광 강화 OLED

(57) 요약

본 발명의 형광 강화 OLED 디바이스는, 기판; 상기 기판의 한 표면상에 배치된 금속 하부-전극층; 상기 전극층의 한 표면상에 배치된 금속 박막 하부; 금속 박막 하부 한 표면상에 배치된 유기 EL요소; 상기 유기 EL 요소상에 배치된 금속 박막 상부; 상기 금속 박막 상부 한 표면상에 배치된 전도성 스페이서 층; 및 전도성 스페이서 층에 배치된 금속 상부-전극층을 포함하며, 상기 전극층 중 하나가 투명이고 다른 하나가 불투명하고 반사성이며, 상기 불투명하고 반사성인 금속 전극 층의 재료가 Ag, Au, Al 또는 이의 합금으로 선택되고, 상기 투명 금속 전극 층의 재료가 ITO로 선택되며, 상기 금속 박막 상부와 하부는 불투명하고 반사성인 Ag, Au, Al로 선택되어, 상기 금속 박막 층의 재료와 두께, 위치 및 유기 EL 요소들의 두께가 형광 강화가 없는 유사 디바이스에 비해 형광 강화 OLED 디바이스의 발광 출력을 강화시키도록 선택된다.

대표도 - 도3



특허청구의 범위

청구항 1

기관;

상기 기관의 표면상에 배치된 금속 하부-전극층;

상기 금속 하부-전극층의 표면상에 배치되고 미세 공동(micro cavity) 효과를 갖는 나노 크기의 금속 박막 하부층;

상기 금속 박막 하부층의 표면상에 배치된 유기 EL요소층;

상기 유기 EL 요소층상에 배치되고 표면 플라즈몬 공명을 통해 상기 유기 EL 요소층으로부터 발생된 형광을 강화시키기 위한 나노 크기의 금속 박막 상부층;

상기 금속 박막 상부층의 표면상에 배치된 전도성 스페이서 층; 및

상기 전도성 스페이서 층에 배치된 금속 상부-전극층을 포함하는 것을 특징으로 하는 형광 강화 OLED 디바이스.

청구항 2

제 1항에 있어서,

상기 금속 하부-전극층 및 상기 금속 상부-전극층 중의 적어도 하나는 불투명하고 반사성이며, 상기 불투명하고 반사성인 전극층의 재료는 Ag, Au, Al 중의 적어도 하나로 선택되고, 상기 금속 박막 상부층과 하부층은 불투명하고 반사성인 Ag, Au, Al 중의 적어도 하나로 선택되는 것을 특징으로 하는 형광 강화 OLED 디바이스.

청구항 3

제 1항에 있어서,

상기 금속 하부-전극층 및 상기 금속 상부-전극층 중의 하나는 불투명하고 반사성이며, 다른 하나는 투명하고, 상기 투명한 전극층의 재료는 ITO로 선택되는 것을 특징으로 하는 형광 강화 OLED 디바이스.

청구항 4

제 3항에 있어서,

상기 금속 하부-전극층이 ITO이고, 상기 금속 상부-전극층이 Ag이며 그 두께가 10 내지 100nm인 것을 특징으로 하는 형광 강화 OLED 디바이스.

청구항 5

제 1항에 있어서,

상기 금속 박막 상부층과 상기 금속 박막 하부층의 모두가 Ag, Au 또는 Al이고, 박막의 두께가 2 내지 30nm인 것을 특징으로 하는 형광 강화 OLED 디바이스.

청구항 6

제 1항에 있어서,

상기 금속 하부-전극층이 애노드이고, 상기 금속 상부-전극층이 캐소드인 것을 특징으로 하는 형광 강화 OLED 디바이스.

청구항 7

제 1항에 있어서,

상기 금속 하부-전극층이 캐소드이고, 상기 금속 상부-전극층이 애노드인 것을 특징으로 하는 형광 강화 OLED 디바이스.

청구항 8

제 1항에 있어서,

상부 금속 박막 상부층과 상기 금속 상부-전극층 사이에 배치된 전도성 스페이서층은 유기물로 구성되어있으며 두께가 5내지 50nm인 것을 특징으로 하는 형광 강화 OLED 디바이스.

청구항 9

기관;

상기 기관의 표면상에 배치된 금속 하부-전극층;

상기 금속 하부-전극층의 표면상에 배치된 유기 EL요소층;

상기 유기 EL 요소층상에 배치되고 표면 플라즈몬 공명을 통해 상기 유기 EL 요소층으로부터 발생된 형광을 강화시키기 위한 나노 크기의 금속 박막 상부층;

상기 금속 박막 상부층의 표면상에 배치된 전도성 스페이서 층; 및

상기 전도성 스페이서 층에 배치된 금속 상부-전극층을 포함하는 것을 특징으로 하는 형광 강화 OLED 디바이스.

명세서

발명의 상세한 설명

기술분야

[0001] 본 발명은 유기 발광 다이오드(OLED: Organic Light Emitting Diode)에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 표면 플라즈몬 공명을 이용한 형광 강화 효과를 갖는 유기 발광 다이오드에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 유기 발광 다이오드(OLED)는 인가된 전위에 반응을 일으켜 발광하는 전자 디바이스이다. 유기 발광 다이오드는 인가된 전위에 반응을 일으켜 발광하는 소자로 탕(Tang) 등의 문헌 'C.W.Tang, S.A.VanSlyke, Applied Physics Letters. 51, 913 (1987)' 및 통상 양도된 미국 특허 제 4,769,292호에서 설명되었다. 그 후 다수의 중합체 재료를 포함하는 유기 EL 요소층이 제시되었으며 디바이스 성능이 향상되었다.

[0003] 통상의 OLED 디바이스(100)는 도 1에 도시한 바와 같이 기관(10), 반사하부-전극층(11), 유기 EL 요소(13, 14) 및 투명 상부-전극층(17)을 포함하며 유기 EL 요소(13, 14)는 정공 주입 층, 정공 수송 층, 발광층, 전자 수송 층 및 전자 주입 층을 포함하는 하나 이상의 세부층을 포함한다. 여기서, 반사 하부-전극은 애노드이고 투명 상부-전극 층은 캐소드이다. 애노드와 캐소드가 서로 바뀌는 것도 가능하며 디바이스 내부에서 발광한 형광은 기관과 투명 상부-전극 양측으로 통과되어 출력된다.

[0004] OLED 디바이스의 중요한 특징 중 하나는 휘도 출력 효율이다. 이 파라미터는 목적하는 광 출력의 전달을 유도하기 위해서 얼마나 많은 전류 또는 전압이 필요한지를 결정한다. OLED 디바이스는 수명이 작동 전류에 반비례하기 때문에 같은 광 출력에서 휘도 출력 효율이 높을수록 오래 사용할 수 있으며, 현재에도 이와 같은 OLED 디바이스의 휘도 효율을 향상시키고 색 품질을 높이기 위하여 많은 연구가 진행되고 있다.

발명의 내용

해결 하고자하는 과제

[0005] 본 발명의 목적은 휘도 효율과 색 품질이 향상된 형광 강화 OLED 디바이스를 제공하는 것이다.

[0006] 본 발명의 다른 목적은 공정이 간단하고 용이한 형광 강화 OLED 디바이스를 제공하는 것이다.

[0007] 본 발명의 또다른 목적은 TFT 블로킹으로 인한 휘도 출력 효율 감소를 막기 위해 상부 발광이 가능한 형광 강화

OLED 디바이스를 제공하는 것이다.

과제 해결수단

- [0008] 상기의 목적을 달성하기 위한 본 발명에 따른 형광 강화 OLED 디바이스는, 기판; 상기 기판의 표면상에 배치된 금속 하부-전극층; 상기 금속 하부-전극층의 표면상에 배치된 금속 박막 하부층; 상기 금속 박막 하부층의 표면상에 배치된 유기 EL요소층; 상기 유기 EL 요소층상에 배치된 금속 박막 상부층; 상기 금속 박막 상부층의 표면상에 배치된 전도성 스페이서 층; 및 상기 전도성 스페이서 층에 배치된 금속 상부-전극층을 포함하는 것을 특징으로 한다.
- [0009] 여기서, 상기 금속 하부-전극층 및 상기 금속 상부-전극층 중의 적어도 하나는 불투명하고 반사성이며, 상기 불투명하고 반사성인 전극층의 재료는 Ag, Au, Al 중의 적어도 하나로 선택되고, 상기 금속 박막 상부층과 하부층은 불투명하고 반사성인 Ag, Au, Al 중의 적어도 하나로 선택되며, 상기 금속 박막 상부층과 하부층의 재료와 두께, 위치 및 상기 유기 EL 요소층의 두께가 형광 강화가 없는 유사 디바이스에 비해 발광 출력을 강화시키도록 조절되는 것이 바람직하다.
- [0010] 또한, 상기 금속 하부-전극층 및 상기 금속 상부-전극층 중의 하나는 불투명하고 반사성이며, 다른 하나는 투명하고, 상기 투명한 전극층의 재료는 ITO로 선택되는 것이 바람직하다.
- [0011] 또한, 상기 금속 하부-전극층이 ITO이고, 상기 금속 상부-전극층이 Ag이며 그 두께가 10 내지 100nm인 것이 바람직하다.
- [0012] 또한, 상기 금속 박막 상부층과 상기 금속 박막 하부층의 모두가 Ag, Au 또는 Al이고, 박막의 두께가 2 내지 30nm일 수 있다.
- [0013] 또한, 상기 금속 하부-전극층과 상기 유기 EL 요소층 사이의 상기 금속 박막 하부층은 제거될 수 있다.
- [0014] 여기서, 상기 금속 하부-전극층이 애노드이고, 상기 금속 상부-전극층이 캐소드일 수 있다.
- [0015] 또는, 상기 금속 하부-전극층이 캐소드이고, 상기 금속 상부-전극층이 애노드일 수도 있다.
- [0016] 바람직하게는, 상부 금속 박막 상부층과 상기 금속 상부-전극층 사이에 배치된 전도성 스페이서층은 유기물로 구성되어있으며 두께가 5내지 50nm일 수 있다.
- [0017] 본 발명의 다른 양태에서, 형광 강화 OLED 디바이스의 성능을 추가로 향상시키기 위해 디바이스 금속 하부 전극층 상부 표면에 증착한 금속 박막층이 사용된다.
- [0018] 본 발명에 따른 형광 강화 OLED 디바이스는 기본적으로 하부 발광을 위해 제작되지만 경우에 따라서 상부 발광 디바이스로 사용할 수 있다. 스페이서 상단에 배치된 불투명 반사성 전극층은 Ag, Au, Al로 선택되어 사용되는 데 금속이 증착되는 두께가 20nm 이하일 경우 반투명하며 표면 플라즈몬 공명에 의해 강화된 형광 발광은 상부로도 전달되기 때문에 광루미네선스를 출력할 수 있다.

효과

- [0019] 본 발명에 따른 OLED 디바이스 제작 구조에 따르면, 상기 기판의 한 표면상에 배치된 금속 하부 전극층 한 표면상에 배치된 금속 박막 하부를 증착하고, 유기 EL 요소상에 배치된 금속 박막 상부 및 상기 금속 박막 상부 한 표면상에 배치된 전도성 스페이서 층을 추가함으로써, 상기 금속 박막 상부의 표면 하단 부근에서 발생하는 형광이 금속박막-투명 전도성 스페이서-금속 상부 전극 구조로 전달되며, 형광은 근방 영역에서 스페이서를 사이에 두고 일정 거리를 유지하고 있는 상기 금속 상부 전극과 상호작용을 일으켜 강화작용이 발생하면서 광출력 효율이 증가하는 형광 강화 OLED를 제작할 수 있다.
- [0020] 또한, 상기의 형광 강화 현상을 이용한 OLED 디바이스는, 유기 EL 요소 층과 금속 박막의 경계에 발생하는 표면 플라즈몬 발생으로 인한 전자 진동을 이용한 것으로, 상기 유기 EL 요소 층과 금속 박막 간의 특성에 따라 형광 강화 주파수가 결정되며, 형광 강화 주파수에서 표면 플라즈몬에 의한 광효율 증가 효과가 크고 주파수 폭이 좁은 편이므로 색 품질이 향상된 OLED 디바이스를 제작할 수 있다.

발명의 실시를 위한 구체적인 내용

- [0021] 이하 첨부 도면들 및 첨부 도면들에 기재된 내용들을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예를 상세하게 설명한다. 그러나 본 발명이 하기의 실시예들에 의해 제한되거나 한정되는 것은 아니다.
- [0022] OLED 디바이스의 휘도 출력 효율을 향상시키기 위한 방법은 금속 박막의 표면 플라즈몬(Surface Plasmon)을 통해 형광을 강화시키는 효과(Fluorescence enhancement)를 사용하는 것이다. 금속 박막 표면의 가까운 거리에서 발생하는 형광이 표면 플라즈몬에 의해 강화되는 현상은 종래 문헌 'Science. 302,77 (2003)', 'Physical Review Letters. 96, 113002 (2006)'에 실험적으로 구현되어있다.
- [0023] 나진(Nazin)등(문헌 'Science. 302, 77 (2003)')은 근방 영역(near field)에서 금속-분자-금속 연결 고리에 주사형 터널 현미경(Scanning Tunneling Microscope)를 통해 빛을 입사시키고 입사광을 통해 금속 기관 위의 분자를 흥분상태로 천이시킨 후 발광을 유도하는 실험을 했다. 이 실험은 입사광을 통한 분자 발광과 분자-금속 연결고리 사이에서 발생하는 표면 플라즈몬 전달 광 사이 경향을 확인한다.
- [0024] 앵거(Anger)등(문헌'Physical Review Letters. 96, 113002 (2006)')은 금속 기관 표면 상부에 유기 중합체를 도포한 후 형광이 표면 플라즈몬에 의해 강화되는 현상을 확인했다. 금속 기관 표면 하부에 레이저를 입사시킬 때 수십 나노 미터 범위에서 기관과 금속 입자 사이 거리를 조절하며 근방 영역(near field)에서 입사되는 빛과 플라즈몬 방사성/ 비방사성 천이 간의 상호 작용을 규명했으며, 거리와 입자의 크기에 따라 형광 강화 현상이 5 배 이상 발생하는 것을 이론적으로 제시하여 실험적으로 일치함을 확인했다.
- [0025] 상기 문헌들은 금속-분자-금속 접합 형태가 파장 이하 범위 근방 영역에서 표면 플라즈몬과 발광 빛간의 상호작용을 유도하여 형광 발광 강화 현상이 일어나는 것을 규명했으며 이 효과를 유기 EL 요소층 사이 금속 박막을 삽입시켜 확인해보려는 시도는 없다.
- [0026] 오카모토(K.Okamoto)등(문헌 'Nature. 3,601(2004)')은 InGaN 발광 소자(InGaN LED)의 양자 우물에서 발광한 빛과, 금속 전극 표면의 플라즈몬과 결합을 통해 광루미네선스(Photoluminescence)을 최고점에서 14배정도 강화시켰다. 양자 우물의 밴드갭과 전극-스페이서 간의 표면 플라즈몬 주파수가 가까워지는 금속을 선택하며, 양자 우물에서 전자와 정공 짝의 재결합에 의한 에너지 전달이 전극 금속 표면 플라즈몬에 기인한 전자 진동에 영향을 주기 때문에 발광 빈도와 발광 세기가 증가하는 것을 밝혔다. 하지만 이 연구에서는 양자 우물에 전자, 정공의 재결합에 의한 에너지가 전극 표면 플라즈몬에 전달되어 발광 세기가 증가하는 반면, 본 발명에서는 유기층 사이 금속 박막 표면 하부에서 발광된 형광이 전극 표면에 플라즈몬을 형성하고, 금속 전극은 투명 전도성 스페이서를 사이에 두고 근방 영역에서 상호작용을 함으로써 발광 세기를 증가시킨다는 것에 차이가 있다. 디바이스 가운데 각각 InGaN, 금속 박막이 삽입되기 때문에 구조적으로 유사하지만 Okamoto 등의 연구에서는 양자우물 에미터로 사용했다는 것이 차이점이며 본 발명과 달리 유기 발광 소자가 아니다.
- [0027] 도 2는 본 발명에 따른 형광 강화 OLED 디바이스의 일 실시 예를 나타낸 것으로서, 하부 금속 박막이 없는 형광 강화 OLED 디바이스 구조의 예를 나타낸 도면이다.
- [0028] 도면을 참조하면, 본 발명에 따른 형광 강화 OLED 디바이스 구조는 통상의 OLED 디바이스 구조와 같이, 기관(10), 금속 하부-전극(11), 유기 EL 요소층(13, 14) 및 금속 상부-전극층(17)을 포함하며, 유기 EL 요소층(13, 14)은 정공 주입층, 정공 수송층, 발광층, 전자 수송층 및 전자 주입층의 하나 이상의 세부층을 포함한다. 이때, 본 발명에 따른 형광 강화 OLED 디바이스 구조는 유기 EL 요소층(13, 14) 표면 상부에 금속 박막(금속 박막 상부층)(15)을 침착시킴으로써 표면 주위에서 발광하는 형광을 강화(Flourescence Enhancement)시키고, 그 금속 박막 상부층(15) 위에는 전도성의 투명 전극 스페이서 층(16)을 배치한다. 전도성 스페이서 층(16)은 유기물로 구성되며, 그 두께는 5 내지 50nm로 구현될 수 있다.
- [0029] 도 3은 본 발명에 따른 형광 강화 OLED 디바이스의 다른 실시 예를 나타낸 것으로서, 도 2의 금속 하부-전극(11)의 상단 표면에 금속 박막 하부층(12)을 침착시켜 미세 공동(Micro Cavity)효과로 디바이스 내부에서 발생하는 형광이 유리 기관을 통해 효율적으로 나오도록 한다.
- [0030] 금속 하부-전극층(11) 및 금속 상부-전극층(17) 모두는 Ag, Au, Al또는 이들중 둘 이상의 합금으로 이루어진 불

투명하고 반사성인 재질로 구현될 수 있다. 또는, 금속 하부-전극층(11) 및 금속 상부-전극층(17) 중의 하나는 불투명하고 반사성인 재질로 구현되며, 다른 하나는 ITO(Indium Tin Oxide)와 같은 투명한 재질로 구현될 수 있다. 예를 들어, 금속 하부-전극층(11)이 ITO로 구현되며, 금속 상부-전극층(17)은 10 내지 100nm 두께의 Ag로 구현될 수 있다. 또한, 금속 하부-전극층(11)이 애노드이고, 금속 상부-전극층(17)이 캐소드로 구현되거나, 그 반대로 구현될 수도 있다.

[0031] 또한, 금속 박막 하부층(12) 및 금속 박막 상부층(15)은 불투명하고 반사성인 Ag, Au, Al 중의 적어도 하나로 구현될 수 있으며, 그 재료와 두께, 위치 및 유기 EL 요소층(13, 14)의 두께는 형광 강화가 없는 유사 디바이스(도 1 참조)에 비해 발광 출력을 강화시킬 수 있도록 조절된다. 여기서, 금속 박막 하부층(12) 또는 금속 박막 상부층(15)의 두께는 2 내지 30nm로 구현되는 것이 바람직하다.

[0032] 도 1 내지 도 3에서 기관(10)은 유리로 구현되며, 반사 금속 상부-전극층(17)은 15nm두께의 Ag의 캐소드로 구현된 것으로 가정한다. 또한, 유기 EL 요소층(13, 14)은 NPB 정공 수송층, 발광층을 포함하는 것으로 가정한다. 또한, 디바이스 내부에서 발광하는 형광 광원은 OLED 전체의 전기적 특성에 독립적인 출력을 갖는 것으로 가정한다. 또한, 투명한 전도성 스페이서 층은 두께가 10nm인 것으로 가정한다. 이와 같은 가정은 결론이 총체적으로 임의의 이미터에 적용될 수 있도록 이미터의 특정 특성에 독립적인 금속-분자-금속 연결 고리의 형광 강화 구조 자체 특성의 평가를 용이하게 한다.

[0033] OLED 디바이스 전기적 특성에 의한 발광 광원의 위치는 전체 디바이스의 성능에 중요한 요소이다. 본 발명에서는 OLED 평면 다층 디바이스 내부 구성 물질에 따른 에너지 레벨이 EL요소 층, 상부 금속 박막 및 투명한 전도성 스페이서 층 사이 에너지 준위 차이가 생기고, 전자-정공 재결합이 상부 금속 박막 경계에서 발생하도록 유도했다. 따라서 표면 플라즈몬의 형광 발광 강화 OLED는 이중 쌍극자 광원이 유기 EL요소 층 상부 표면과 금속 박막 경계에 위치해있다고 가정한다.

[0034] 본 발명에서 표면 플라즈몬을 통한 형광 발광 강화를 확인하고 디바이스 구조를 확립하는데 FDTD(Finite Difference Time Domain) 방법을 사용해 시뮬레이션을 실시했으며, 디바이스의 성능을 비교하는 기준으로 Normal emitted power, Total emitted power, Far Field를 설정했으며, 각각을 구하기 위해 수학적 식 1, 수학적 식 2 및 수학적 식 3을 이용한다.

[0035] 수학적 식 1

$$\text{Normal emitted power}(\lambda) = \frac{\int \text{Gaussian filter} \times \text{FarField}(\lambda) d\theta}{\frac{1}{2} \int \text{Re}[\vec{P}_{\text{source}}(f)] \cdot d\vec{S}}$$

[0036]

[0037] 상기 식에서,

$$\vec{P}_{\text{source}}(f)$$

[0038] 는 이중 쌍극자 광원에서 복사되는 빛의 포인팅 벡터이고,

$$d\vec{S}$$

[0039] 는 표면에 직교 성분 벡터이고,

[0040] Gaussian filter는 수학적 식 1에서 각도의 값에 따라 입력과 출력 값의 비율이 달라지는 함수로 수학적 식 3에 상술되어있고,

$$\text{FarField}(\lambda)$$

[0041] 는 OLED 디바이스 기관 아래 monitor를 이용해 표면과 직교 방향으로 입사되는 전기장에 의한 값으로 파장의 함수로 주어진다.

[0042] 수학적 식 2

$$\text{Total emitted power}(\lambda) = \frac{1}{2} \int \text{Re}[\vec{P}_{\text{monitor}}(f)] \cdot d\vec{S}$$

[0043]

[0044] 상기 식에서,

$$\bar{P}_{\text{monitor}}(f)$$

[0045] 는 2차원 시뮬레이션 영역의 한 지점에 통과하며 감지되는 에너지의 포인팅 벡터이다.

[0046] 수학식 3

$$\text{Gaussian filter}(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}$$

[0047]

[0048] 상기 식에서,

[0049] σ 는 OLED 소자 기관 전면에서 Normal emitted light를 monitor로 측정할 때 시야각으로 설정하는 각도의 50% 값이다.

[0050] 형광 발광 광원은 이중 쌍극자 모델을 사용했고 2차원 시뮬레이션 영역에서 특정 지점을 통과하는 에너지를 측정하는 monitor를 각 위치에 설정해서 디바이스를 통해 사망으로 출력되는 Total emitted power를 측정했다. Normal emitted power는 시뮬레이션 영역의 광원으로부터 출력되는 에너지 총합에 대한 디바이스 전면 일정 시야각으로 전달되는 에너지의 비율로 디바이스 구조 설계에서 성능을 비교하는 중요한 기준으로 사용했으며, Far Field의 각도에 대한 값을 측정하여 OLED 출력 광의 각도 특성을 비교하는 기준으로 사용했다.

[0051] 표면 플라즈몬을 통한 형광 발광 강화로 OLED 디바이스 출력을 강화시키는 본 발명의 효능은 하기 실시예에서 예시된다. 이론적 예측에 기초한 실시예에서, 소정의 디바이스에 의한 발광 스펙트럼은, 평면 다층 디바이스내에서 랜덤한 배향의 쌍극자를 방출하는 맥스웰의 식을 해석함으로써 예측되며, 맥스웰의 식을 해석하기 위해 FDTD 방법을 사용했다. 쌍극자 발광 스펙트럼은 특정 주파수에서 가우시안 분포를 가지는 함수로 가정되었다. 각 층에서, 상기 모델은 분광 엘립소메트리에 의해 측정되거나, 또는 문헌['Handbook of Optical Constants of Solids, E.D.Palik, Academic Press(1985)', 'Handbook of Optical Constants of Solids II, E.D.Palik, Academic Press(1991)']으로부터 얻은 과장 의존성 복합 굴절률을 사용한다.

[0052] 다음에, 2개의 비교용 디바이스, 즉 (a) 유기 EL 구성 층 사이 금속 박막이 없는 OLED 디바이스(도 1참조), 및 (b) 표면 플라즈몬을 통한 형광 발광 강화를 위한 금속 박막을 삽입한 OLED 디바이스(도 2 참조)를 비교하여, 본발명에 따른 도 3에 도시된 바와 같은 하부-표면플라즈몬 강화 OLED 디바이스의 이론적으로 예측된 휘도 출력을 비교한다.

[0053] 계산된 결과를 표 1에 요약한다. 이들 결과에서는 유기 EL요소 층의 상하부 표면에 금속 박막이 증착되었을 때, 금속 박막 증착이 되지 않은 OLED 디바이스(100)과 비교해서 출력이 강화되었다. 이중 쌍극자 형광 광원의 배향을 TE와 TM로 설정하고, 각각의 경우 OLED 디바이스(100, 102) 유리 기관 전면의 시야각 범위내에 출력을 상기 수학식 1에 의해 계산해서 Normal Emitted Power로 구했다. 표 1의 피크 높이는 임의 단위로 표시했으며 첫 번째 값은 TM 배향에 대한 값이고 두 번째 값은 TE 배향에 대한 값으로 이하 모든 실시예의 결과 표에 적용된다. 금속 박막과 유기 층 사이 경계의 전자 진동은 표면 플라즈몬 주파수에서 발생하고, 형광 발광이 강화되므로 아래 계산 결과에서 피크 위치와 높이가 각각 변화한 것을 확인할 수 있다.

[0054] [표 1]

| 디바이스 | 기관 | 애노드 (ITO) nm | 금속 박막 하부 nm | NPB nm | Alq3 nm | 금속 박막 상부 nm | 투명 전도성 스페이서 nm | 캐소드 (Ag) nm | 피크 위치 nm | 피크 높이 (임의단위) | 계산 결과 도면 |
|------|----|--------------|-------------|--------|---------|-------------|----------------|-------------|----------|--------------|----------|
| 100 | 유리 | 150 | 0 | 75 | 80 | 0 | 0 | 15 | 568 | 0.016, 0.032 | 도4 |
| 102a | 유리 | 150 | 5 | 75 | 65 | 10 | 10 | 15 | 750 | 0.083, 0.180 | 도5 |

[0056] 다음에, 본 발명의 OLED 디바이스(102)에서 유기 EL요소 층의 두께에 따른 광출력 이점을 설명한다.

[0057] 금속박막 상부층(15)의 표면 하단의 유기 EL요소층(13, 14)을 두께를 140nm에서 135nm로 감소시켰을 때, Normal Emitted Power의 피크 위치는 730nm로 청색 이동이 일어났고 피크 높이는 TM의 경우 0.181, TE는 0.361로 2-3

배 강화되는 사실을 계산할 수 있었다. 공정 상 유기물은 증착 속도가 느린 편으로 5nm 정도 두께 조절을 하기 용이하다. 또한 NPB와 Alq3의 두께의 합, 즉 유기 EL요소 층의 두께가 일정한 경우 Normal Emitted Power 피크의 위치와 높이는 비슷하게 나오는 경향이 계산에서 예측되었으며 이는 실시예와 별개의 계산에서 확인할 수 있었다.

[0058]

[표 2]

[0059]

| 디바이스 | 기판 | 애노드 (ITO) nm | 금속 박막 하부 nm | NPB nm | Alq3 nm | 금속 박막 상부 nm | 투명 전도성 스페이서 nm | 캐소드 (Ag) nm | 피크 위치 nm | 피크 높이 (임의단위) | 계산 결과 도면 |
|------|----|--------------|-------------|--------|---------|-------------|----------------|-------------|----------|--------------|----------|
| 102a | 유리 | 150 | 5 | 75 | 65 | 10 | 10 | 15 | 750 | 0.083, 0.180 | 도5 |
| 102b | 유리 | 150 | 5 | 60 | 75 | 10 | 10 | 15 | 730 | 0.181, 0.361 | 도6 |

[0060]

다음은, 3개의 비교용 디바이스, 즉 (a) 투명 전도성 스페이서 및 금속박막 상부 두께가 10nm인 OLED 디바이스(102b)와 대비하여 (b) 투명 전도성 스페이서 및 금속박막 상부 두께가 15nm인 OLED 디바이스(102c), 및 (c) 투명 전도성 스페이서의 두께가 15nm, 금속박막 상부 두께가 20nm인 OLED 디바이스(102d)의 이론적으로 예측된 Normal Emitted Power를 비교한다.

[0061]

앵거(P.Anger)등[문헌 'Physical Review Letters 96,113002(2006)']의 연구 결과에서는 형광 발광 강화가 유전체를 사이에 두는 금속 입자와 유기 박막 간의 거리의 함수로 나타나고, 형광 발광이 발생하는 유기 박막 부분과 금속 입자 사이 거리가 0~20nm 사이일 때 강화 효과가 크게 일어난다.

[0062]

표 3에서 각 디바이스를 비교하면 NPB와 Alq3층의 총 두께 합을 일정하게 유지시키고 금속박막 상부층(15)과 투명전도성 스페이서(16)의 두께를 각각 5nm씩 증가시키거나 10nm, 5nm씩 증가시킨 점은 다르며, OLED 디바이스는 피크 위치가 725nm로 청색 이동이 발생하고 피크 높이가 TM, TE 각각 0.255, 0.510으로 증가하는 것으로 예측된다. 금속박막 상부층(15)의 두께가 15nm인 경우와 20nm인 경우는 Normal Emitted Power의 피크 위치와 높이는 서로 차이가 없었다.

[0063]

[표 3]

[0064]

| 디바이스 | 기판 | 애노드 (ITO) nm | 금속 박막 하부 nm | NPB nm | Alq3 nm | 금속 박막 상부 nm | 투명 전도성 스페이서 nm | 캐소드 (Ag) nm | 피크 위치 nm | 피크 높이 (임의단위) | 계산 결과 도면 |
|------|----|--------------|-------------|--------|---------|-------------|----------------|-------------|----------|--------------|----------|
| 102b | 유리 | 150 | 5 | 60 | 75 | 10 | 10 | 15 | 730 | 0.181, 0.361 | 도6 |
| 102c | 유리 | 150 | 5 | 50 | 85 | 15 | 15 | 15 | 725 | 0.255, 0.510 | 도7 |
| 102d | 유리 | 150 | 5 | 50 | 85 | 20 | 15 | 15 | 725 | 0.255, 0.510 | 도8 |

[0065]

다음에, 3개의 비교용 디바이스, 즉 금속박막 상부와 투명전도성 스페이서의 두께는 20nm와 15nm로 일정하며, 유기 EL 요소 층의 두께가 일정한 조건에서, (a) 금속박막 하부의 두께가 10nm인 OLED 디바이스(102f), (b) 금속박막 하부의 두께가 5nm인 OLED 디바이스(102e) 및 (c) 금속박막 하부의 두께가 15nm인 OLED 디바이스(102g)의 Normal Emitted Power를 계산했다.

[0066]

금속박막 하부의 두께를 각각 5nm일 때와 비교하면, 10nm와 15nm일 때 피크 높이가 2배 가까이 높아지고 위치도 다소 청색 이동 현상을 보였다. 금속박막 상부, 투명 전도성 스페이서, 캐소드 및 유기 EL 요소 층의 두께는 일정한 조건에서 금속박막 하부 두께가 변할 때 피크의 변화가 발생했으며, 금속박막 상부-투명전도성 스페이서-캐소드 사이에서 발생하는 형광 발광 강화 현상으로 인한 빛이 애노드 상단 표면의 금속박막 하부와 커플링 현상으로 두께에 따라 다른 피크 값을 출력하는 것으로 계산되었다. 또한, 금속박막 하부의 두께가 10nm와 15nm일 때, 즉 10nm 이상의 두께를 가질 때 Normal Emitted Power 피크 위치와 높이가 기민하지 않고 일정한 값으로 계산되었다.

[0067]

[표 4]

[0068]

| 디바이스 | 기판 | 애노드 (ITO) nm | 금속 박막 하부 nm | NPB nm | Alq3 nm | 금속 박막 상부 nm | 투명 전도성 스페이서 nm | 캐소드 (Ag) nm | 피크 위치 nm | 피크 높이 (임의단위) | 계산 결과 도면 |
|------|----|--------------|-------------|--------|---------|-------------|----------------|-------------|----------|--------------|----------|
| 102e | 유리 | 150 | 5 | 60 | 70 | 20 | 15 | 15 | 740 | 0.210, 0.420 | 도9 |
| 102f | 유리 | 150 | 10 | 60 | 70 | 20 | 15 | 15 | 720 | 0.407, 0.819 | 도10 |
| 102g | 유리 | 150 | 15 | 60 | 70 | 20 | 15 | 15 | 735 | 0.417, 0.830 | 도11 |

[0069]

각각의 파장 함수로 나타낸 결과는 도 4 내지 도 11에 나타낸 바와 같다.

[0070]

형광 강화 OLED는 아래와 같이 제조된다. 약 4m토르의 Ar압력에서 DC스퍼터링 공정에 의해 ITO로 구성된 150nm 10^{-6}

두께의 애노드 층으로 유리 기판을 코팅시켰다. 아래 층들을 하기 순서로 약 토르의 진공하에서 가열 보트로부터 승화시켜 침착시켰다.

[0071]

(1)Ag로 이루어진 15nm 두께의 금속박막 하부층;

[0072]

(2)N, N'-디(나프탈렌-1-일)-N, N'-디페닐-벤지딘(NPB)로 이루어진 60nm 두께의 정공 수송 층;

[0073]

(3)트리스(8-하이드록시퀴놀린)알루미늄(III)(Alq3)으로 이루어진 70nm 두께의 전자 수송 층(또한 발광 층으로서 작용함);

[0074]

(4)Ag로 이루어진 20nm 두께의 금속박막 상부층;

[0075]

(5)트리스(8-하이드록시퀴놀린)알루미늄(III)(Alq3)으로 이루어진 15nm 두께의 투명성 전도 스페이서 층; 및

[0076]

(6) Ag로 이루어진 15nm 두께의 금속 전극 상부층.

[0077]

이들 층을 침착시킨 후, 디바이스를 침착 챔버로부터 캡슐화를 위한 드라이 박스내로 옮겼다. 완성된 디바이스 구조물은 유리 /ITO /Ag /NPB /Alq3 /Ag /Alq3 /Ag /Alq3로서 지칭된다.

[0078]

금속 상부 전극층과 유기 스페이서 구성 물질 간의 표면 플라즈몬 주파수에 의해 결정되는 디바이스의 광출력은 유기 EL 요소 층의 세부 구성 및 두께, 상기 전극층의 한 표면에 배치된 금속 박막 하부의 구성 및 두께, 상기 유기 EL 요소상에 배치된 금속 박막 상부의 구성 및 두께, 상기 금속 박막 상부 한 표면에 배치된 전도성 스페이서 층의 구성 및 두께를 결정함으로써 조절할 수 있으며 비교적 광효율이 낮고 수명이 짧은 형광 적색 OLED 및 청색 OLED의 성능을 향상시킬 수 있다.

[0079]

표면 플라즈몬 형성을 위해 금속 표면에 파장 이하 폭의 패터닝한 오카모토(K.Okamoto)등(문헌 'Nature. 3,601(2004)', 웨지(S.Wedge)등(문헌 'Optics Express.12,16(2004)' 연구에서의 공정과정과 달리 본 발명에서는 통상적인 OLED 구조에 금속 박막을 평면 침착시키는 과정만을 추가하는 방법을 사용함으로써 미세, 진공 공정을 줄이고 수율이 증가하여 형광 강화 OLED의 제조가 쉽고 용이하게 설계했다.

[0080]

패널을 포함하여 TFT, 드라이버와 연결된 전체 디스플레이 시스템을 고려했을 때 하부 발광 방식의 OLED는 TFT 블로킹으로 광출력이 줄어든다. TFT 블로킹으로 줄어드는 광출력은 하부 발광 방식의 OLED를 사용하는 경우 피할 수 없는 단점으로, 본 발명의 다른 일면에 따라, 이것을 극복하기 위해 상부 발광 방식의 형광 강화 OLED 디바이스로의 응용이 가능하도록 제작하였다. 형광 강화에 관여하는 상부 금속 전극은 유기 스페이서를 사이에 두고 상부 금속 박막과 수십 나노 미터 거리 이하에 위치해있으며 두께도 수십 나노 미터 이하로 전도성이 좋은 금속인 Ag, Au, Al을 사용하기 때문에 문제가 발생하지 않는다. 불투명하고 반사성 금속인 Ag, Au, Al이 수십 나노 미터 이하 얇은 두께로 증착되는 경우 디바이스 내부에서 발생하는 광이 투과할 수 있는 반투명성의 특징을 가지게 되며 기존 OLED에 비해 형광 발광 강화가 발생하므로 하부 발광 디바이스로 제작된 형광 강화 OLED 디바이스는 상부 발광을 위한 디바이스로도 사용이 가능하다. 상부 발광 디바이스로 사용하기 위해서는 본 발명의 디바이스 구조를 그대로 사용하되, 금속 하부 전극층의 한 표면에 배치된 금속 박막 하부를 제거하고, 애노드와 캐소드는 하부 발광 디바이스와 동일하게 사용한다.

[0081] 이상에서는 본 발명의 바람직한 실시 예에 대해서 도시하고 설명하였으나, 본 발명은 상술한 특정의 실시 예에 한정되지 아니하며, 청구범위에서 청구하는 본 발명의 요지를 벗어남이 없이 당해 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 누구든지 다양한 변형 실시가 가능한 것은 물론이고, 그와 같은 변경은 청구범위 기재의 범위 내에 있게 된다.

도면의 간단한 설명

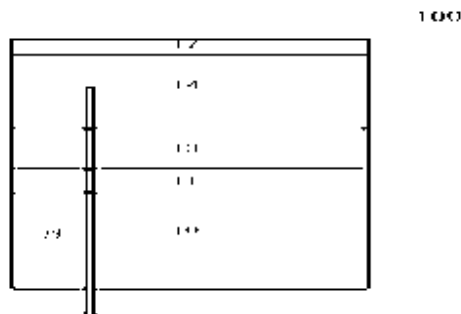
- [0082] 도 1은 비교군으로 사용한 일반적인 OLED디바이스 구조의 개략적 단면도이다.
- [0083] 도 2는 하부 금속 박막이 없는 형광 강화 OLED 디바이스 구조의 개략적 단면도이다.
- [0084] 도 3은 본 발명의 형광 강화 OLED 디바이스 구조의 개략적 단면도로 하부 금속 박막이 있다.
- [0085] 도 4 는 디바이스 100의 Normal emitted power를 파장의 함수로 나타낸 결과이다.
- [0086] 도 5 는 디바이스 102a의 Normal emitted power를 파장의 함수로 나타낸 결과이다.
- [0087] 도 6 은 디바이스 102b의 Normal emitted power를 파장의 함수로 나타낸 결과이다.
- [0088] 도 7 은 디바이스 102c의 Normal emitted power를 파장의 함수로 나타낸 결과이다.
- [0089] 도 8 은 디바이스 102d의 Normal emitted power를 파장의 함수로 나타낸 결과이다.
- [0090] 도 9 는 디바이스 102e의 Normal emitted power를 파장의 함수로 나타낸 결과이다.
- [0091] 도 10 은 디바이스 102f의 Normal emitted power를 파장의 함수로 나타낸 결과이다.
- [0092] 도 11 은 디바이스 102g의 Normal emitted power를 파장의 함수로 나타낸 결과이다.

도면의 주요 부분에 대한 부호의 설명

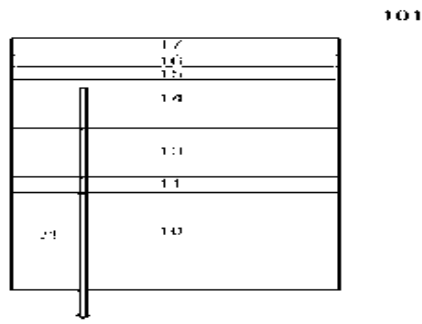
- [0094] 10: 기판
- [0095] 11: 하부-전극층
- [0096] 12: 금속박막 하부층
- [0097] 13: 유기 EL 요소 층(I)
- [0098] 14: 유기 EL 요소 층(II)
- [0099] 15: 금속박막 상부층
- [0100] 16: 투명 전도성 스페이서 층
- [0101] 17: 상부-전극층

도면

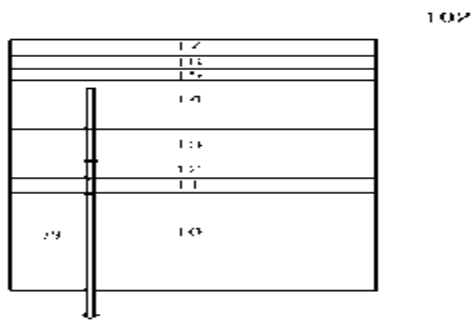
도면1



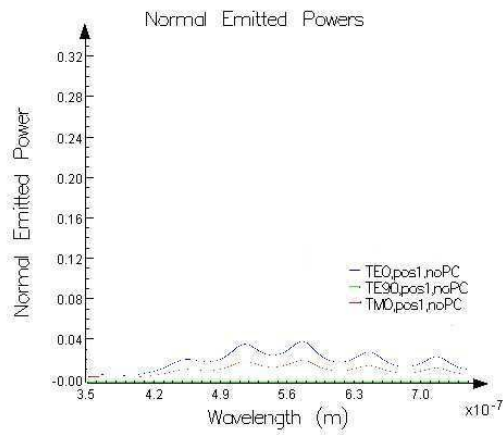
도면2



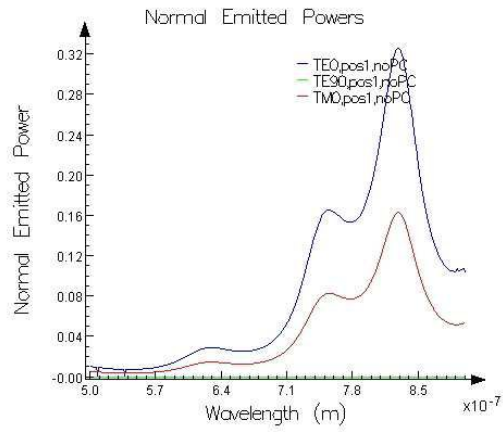
도면3



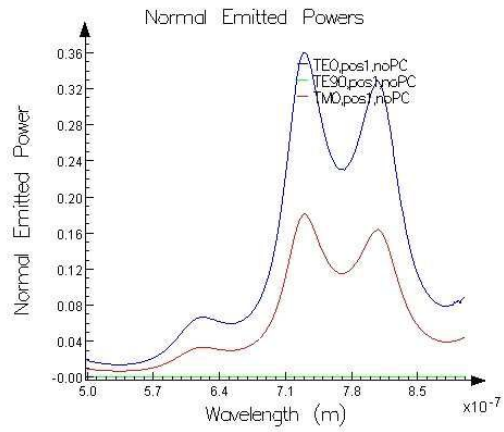
도면4



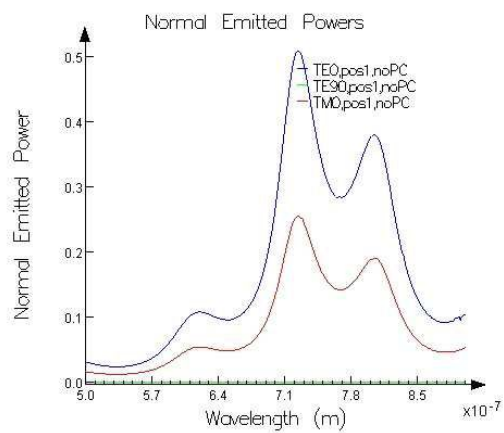
도면5



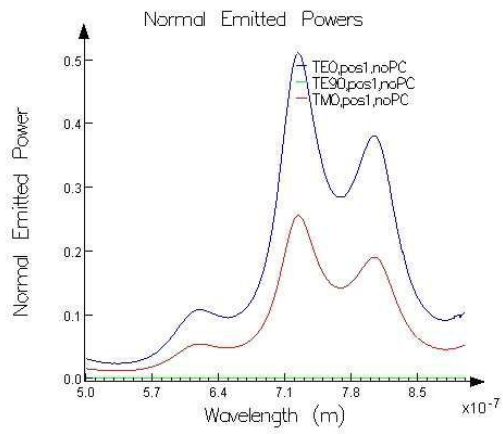
도면6



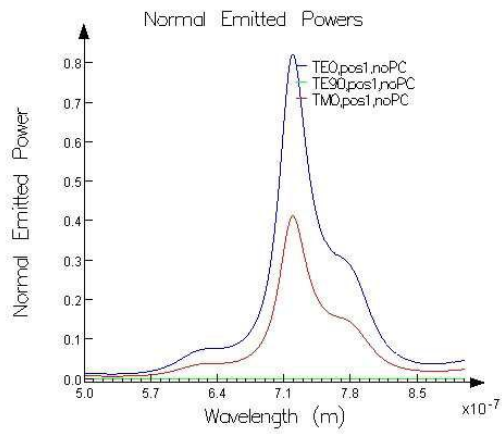
도면7



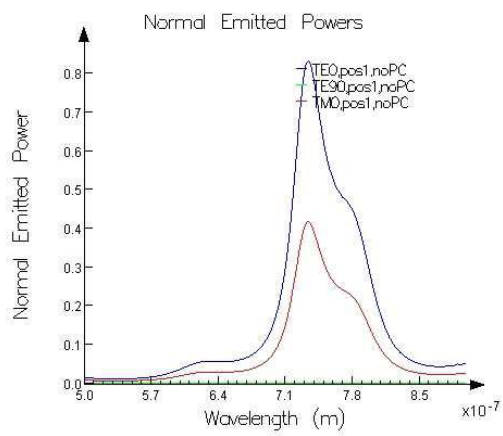
도면8



도면9



도면10



도면11

