



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0059586
(43) 공개일자 2024년05월07일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H10K 85/30 (2023.01) C09K 11/06 (2006.01)
H10K 50/12 (2023.01)
(52) CPC특허분류
H10K 85/342 (2023.02)
C09K 11/06 (2022.01)
(21) 출원번호 10-2023-0145942
(22) 출원일자 2023년10월27일
심사청구일자 없음
(30) 우선권주장
63/419,782 2022년10월27일 미국(US)
(뒷면에 계속)

(71) 출원인
유니버설 디스플레이 코퍼레이션
미국, 뉴저지 08618, 유잉, 필립스 불바르 250
(72) 발명자
플리탐 타일러
미국 08618 뉴저지주 유잉 필립스 불바르 250
펠드만 제랄드
미국 08618 뉴저지주 유잉 필립스 불바르 250
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
김진희, 김태홍

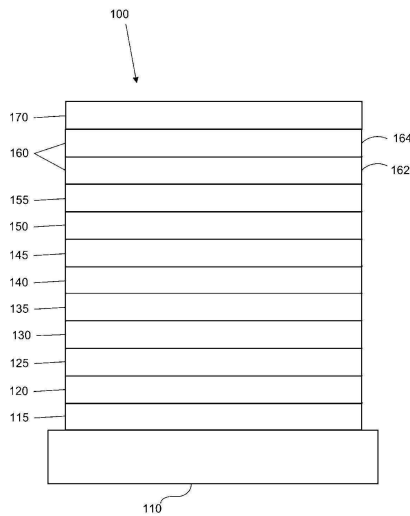
전체 청구항 수 : 총 15 항

(54) 발명의 명칭 유기 전계발광 물질 및 디바이스

(57) 요약

OLED가 개시되며 상기 OLED는 순차적으로 애노드; 정공 수송층; 발광 영역; 전자 수송층; 및 캐소드를 포함하고; 발광 영역은 화합물 S1; 및 화합물 A1을 포함한다. 화합물 S1은 에너지를 화합물 A1로 전달하는 유기금속 증감제 이고, 화합물 A1은 발광 영역의 이미터인 역셉터이다. 화합물 S1은 0.2 이상의 수직 쌍극자 비(VDR) 값을 갖고; 화합물 A1은 0.2 이하의 VDR 값을 갖는다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

H10K 50/12 (2023.02)
H10K 85/341 (2023.02)
H10K 85/346 (2023.02)

(72) 발명자

마쿨리스 에릭 에이

미국 08618 뉴저지주 유잉 필립스 불바르 250

함제 라샤

미국 08618 뉴저지주 유잉 필립스 불바르 250

푸셀라 마이클

미국 08618 뉴저지주 유잉 필립스 불바르 250

툼슨 니콜라스 제이

미국 08618 뉴저지주 유잉 필립스 불바르 250

셰이나 엘레나

미국 08618 뉴저지주 유잉 필립스 불바르 250

(30) 우선권주장

63/421,804	2022년11월02일	미국(US)
63/387,166	2022년12월13일	미국(US)
63/434,161	2022년12월21일	미국(US)
63/483,647	2023년02월07일	미국(US)
63/484,757	2023년02월14일	미국(US)
63/484,786	2023년02월14일	미국(US)
63/487,055	2023년02월27일	미국(US)
63/490,065	2023년03월14일	미국(US)
63/459,091	2023년04월13일	미국(US)
18/319,182	2023년05월17일	미국(US)
18/490,978	2023년10월20일	미국(US)

명세서

청구범위

청구항 1

순차적으로

애노드;

정공 수송층;

발광 영역;

전자 수송층; 및

캐소드

를 포함하는 유기 발광 디바이스(OLED)로서;

발광 영역은

화합물 S1; 및

화합물 A1

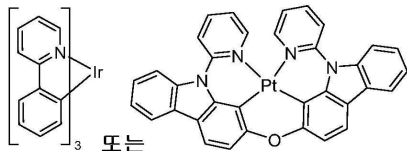
을 포함하고;

화합물 S1은 에너지를 화합물 A1에 전달하는 유기금속 증감제이고, 화합물 A1은 이미터인 엑셉터이고;

화합물 S1은 0.2 이상의 수직 쌍극자 비(VDR) 값을 갖고;

화합물 A1은 0.2 이하의 VDR 값을 갖고;

화합물 S1이 트리스-호모레픽 Ir 착물인 경우, 화합물 S1은 적어도 3개의 Ir-N 결합을 포함하고; 화합물 S1이 Pt 착물인 경우, 화합물 S1은 카르벤 및 카르바졸을 모두 포함하지 않고; 화합물 S1은



이 아닌 것인 유기 발광 디바이스(OLED).

청구항 2

제1항에 있어서, 화합물 S1은 디벤조푸란, 디벤조티오펜, 디벤조셀레노펜, 카르바졸, 아자-디벤조푸란, 아자-디벤조티오펜, 및 아자-디벤조셀레노펜으로 이루어진 군으로부터 선택되는 하나 이상의 모이어티를 포함하고/하거나; 화합물 A1은 5개 이상의 5원 또는 6원 카르보시클릭 또는 헤테로시클릭 고리를 포함하는 융합 고리계를 포함하고/하거나; 화합물 H1은 비스카르바졸, 비카르바졸, 인돌로카르바졸, 1-N 인돌로카르바졸, 트리아진, 피리미딘, 보릴, 아자-디벤조셀레노펜, 아자-디벤조푸란, 아자-디벤조티오펜, 및 트리페닐렌으로부터 선택되는 모이어티를 포함하는 것인 OLED.

청구항 3

제1항에 있어서, 화합물 A1은 30 nm 이하의 FWHM을 갖고/갖거나; 화합물 A1의 S_1-T_1 은 0.3 eV 이하이고/이거나; 발광 영역은 제2 호스트로서 화합물 H2를 추가로 포함하고, 화합물 H2는 HOMO, E_{HH2} 를 갖고, $E_{HA} - E_{HH2} < 0.25$ 이고/이거나;

화합물 S1은 HOMO 준위, E_{HS} 를 갖고 화합물 A1은 HOMO 준위, E_{HA} 를 갖고 $E_{HS} > E_{HA}$ 이고/이거나; 화합물 A1은 LUMO 준위, E_{LA} 를 갖고 화합물 H1은 LUMO 준위, E_{LH} 를 갖고 $E_{LH} < E_{LA}$ 인 OLED.

청구항 4

제1항에 있어서, 화합물 S1의 VDR 값은 0.25 초과이고/이거나; 화합물 A1의 VDR 값은 0.15 미만인 OLED.

청구항 5

제1항에 있어서, 금속 M은 Ir, Pt, 또는 Pd이고 화합물 S1은 $M(L^1)_x(L^2)_y(L^3)_z$ 의 화학식을 갖고;

상기 화학식에서 L^1 , L^2 , 및 L^3 은 동일하거나 상이할 수 있고;

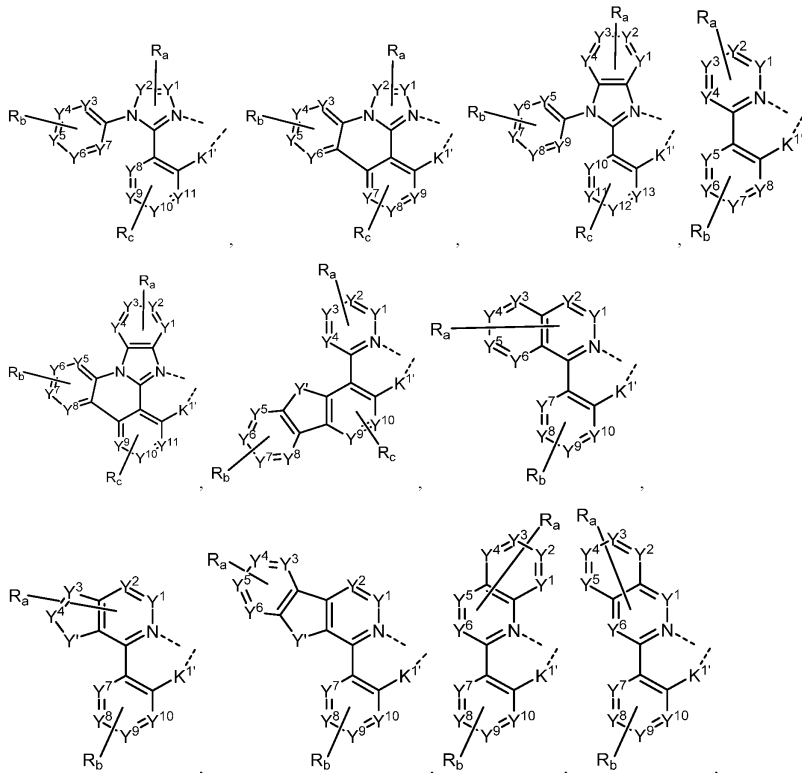
x는 1, 2, 또는 3이고;

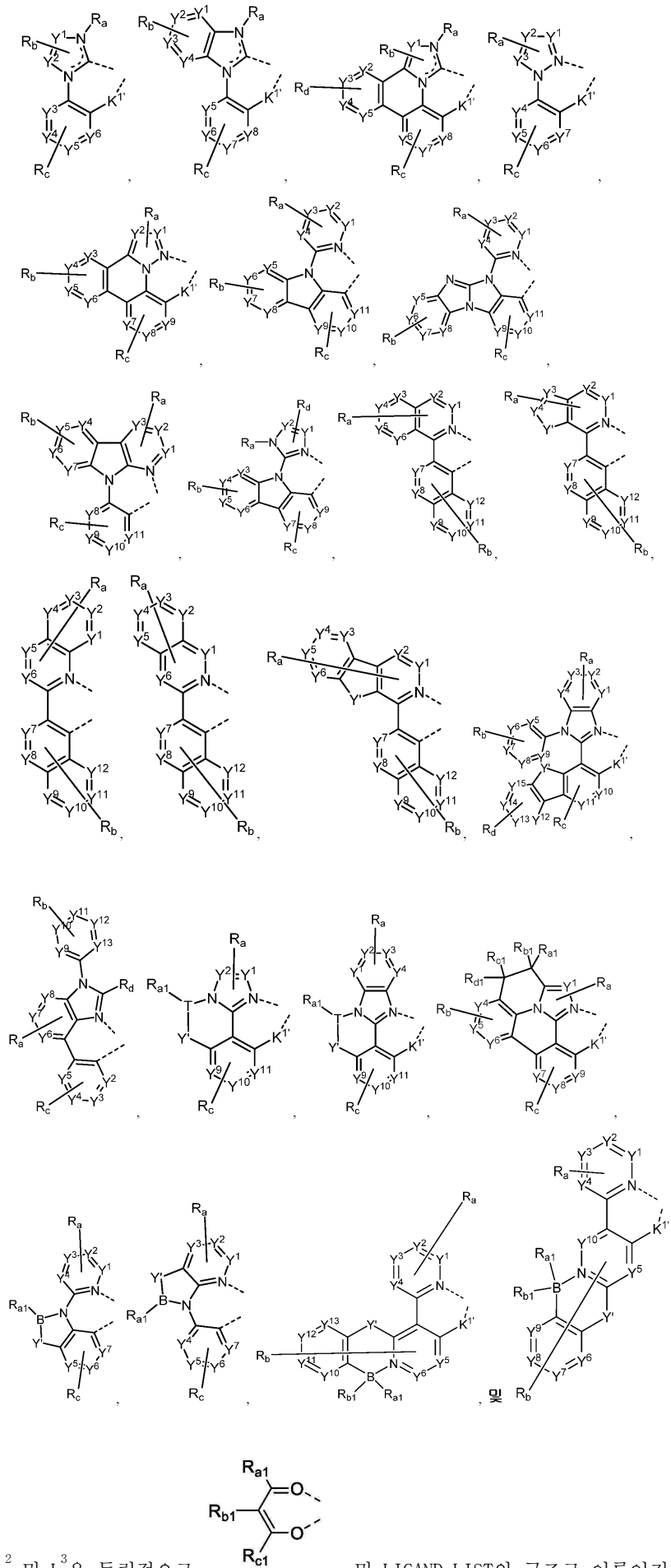
y는 0, 1, 또는 2이고;

z는 0, 1, 또는 2이고;

x+y+z는 금속 M의 산화 상태이고;

L^1 은 하기 LIGAND LIST의 구조로 이루어진 군으로부터 선택되고:





L^2 및 L^3 은 독립적으로

, 및 LIGAND LIST의 구조로 이루어진 군으로부터 선택되며; 여기에서:

T는 B, Al, Ga, 및 In으로 이루어진 군으로부터 선택되고;

K¹는 직접 결합이거나 NR_e, PR_e, O, S, 및 Se로 이루어진 군으로부터 선택되고;

각각의 Y¹ 내지 Y¹³은 독립적으로 탄소 및 질소로 이루어진 군으로부터 선택되고;

Y'는 BR_e, NR_e, PR_e, O, S, Se, C=O, S=O, SO₂, CR_eR_f, SiR_eR_f, 및 GeR_eR_f로 이루어진 군으로부터 선택되고;

R_e 및 R_f는 융합되거나 연결되어 고리를 형성할 수 있고;

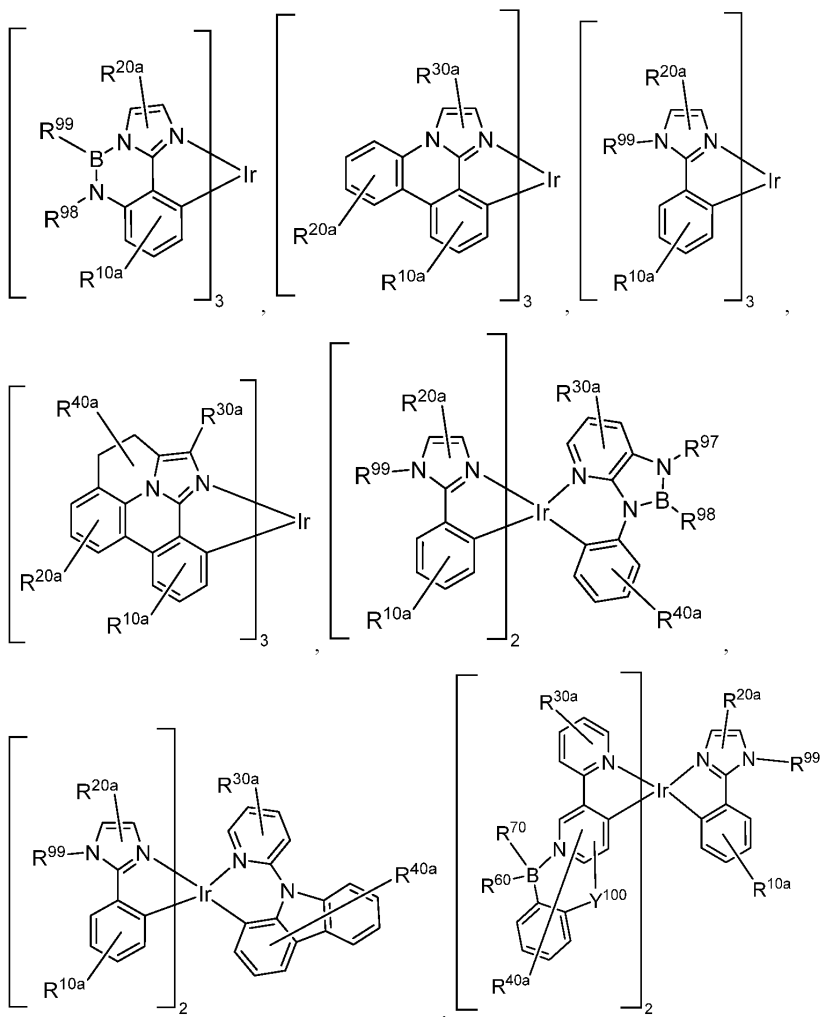
각각의 R_a, R_b, R_c, 및 R_d는 독립적으로 일치환 내지 최대 가능한 수의 치환, 또는 무치환을 나타낼 수 있고;

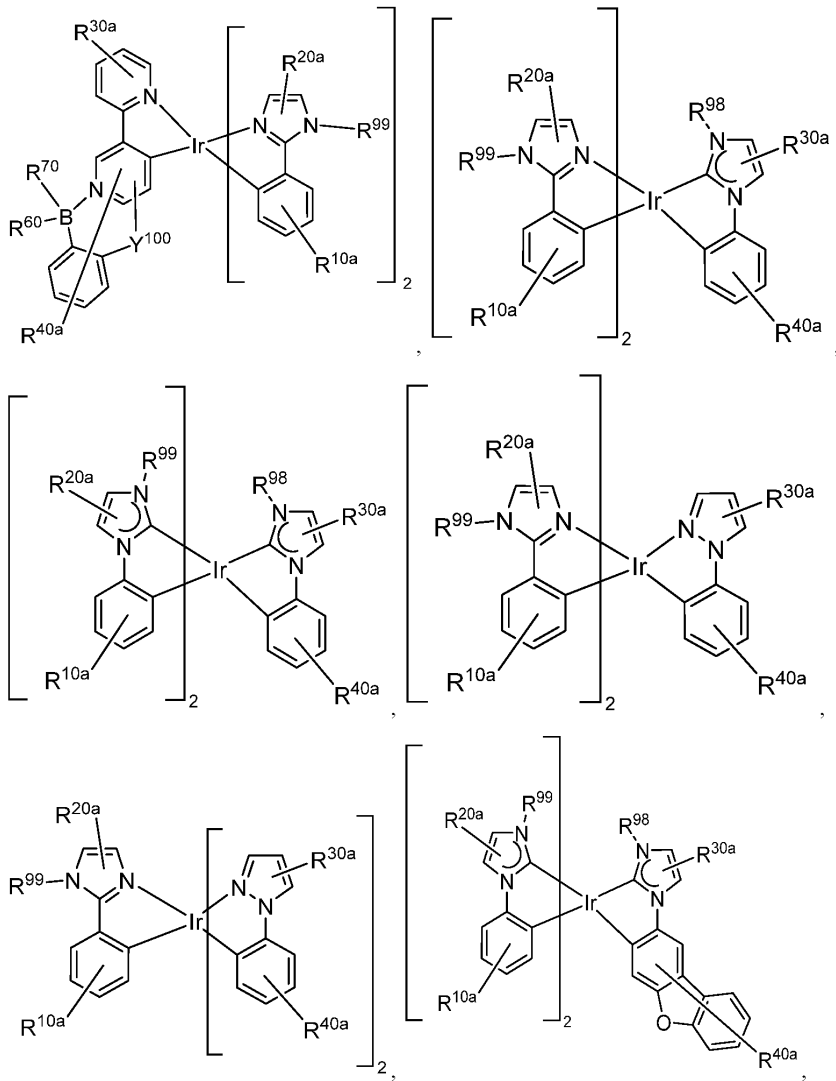
각각의 R_{a1}, R_{b1}, R_{c1}, R_{d1}, R_a, R_b, R_c, R_d, R_e, 및 R_f는 독립적으로 수소, 또는 본원에 정의된 일반 치환기로 이루어진 군으로부터 선택되는 치환기이고;

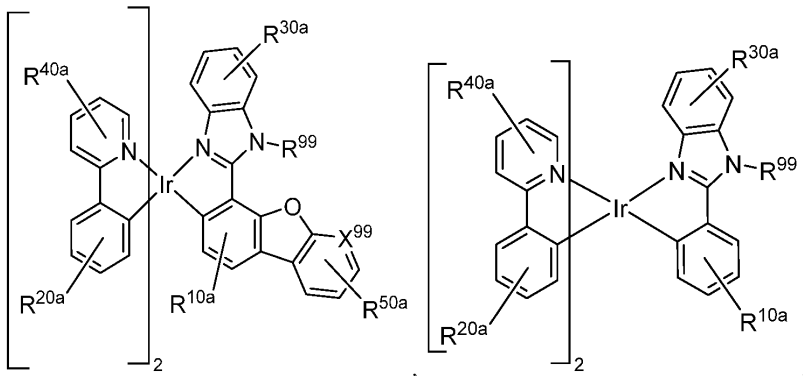
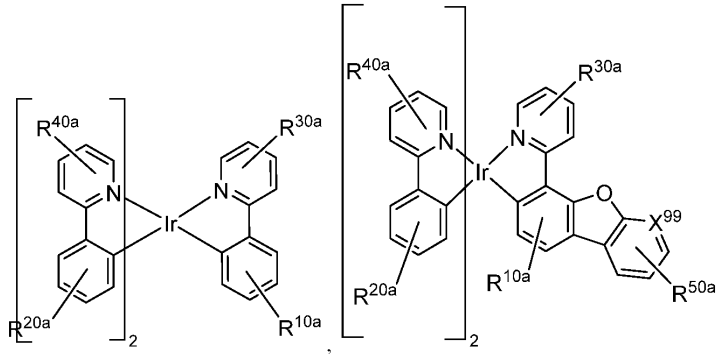
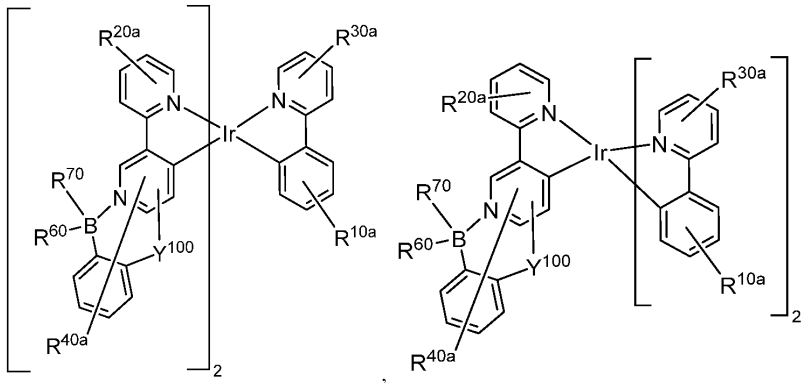
R_{a1}, R_{b1}, R_{c1}, R_{d1}, R_a, R_b, R_c, 및 R_d 중 임의의 2개는 융합되거나 연결되어 고리를 형성하거나 다좌 리간드를 형성할 수 있는 것인 OLED.

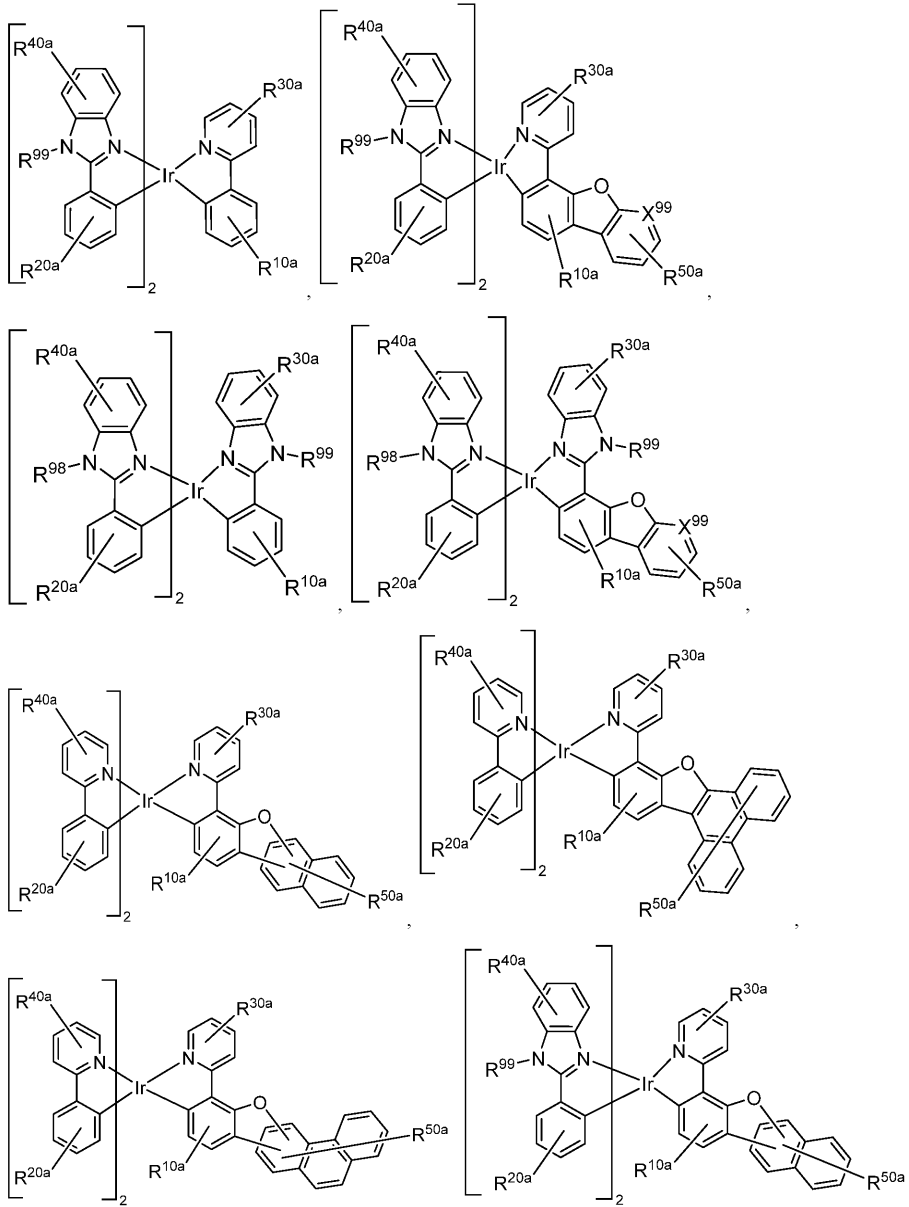
청구항 6

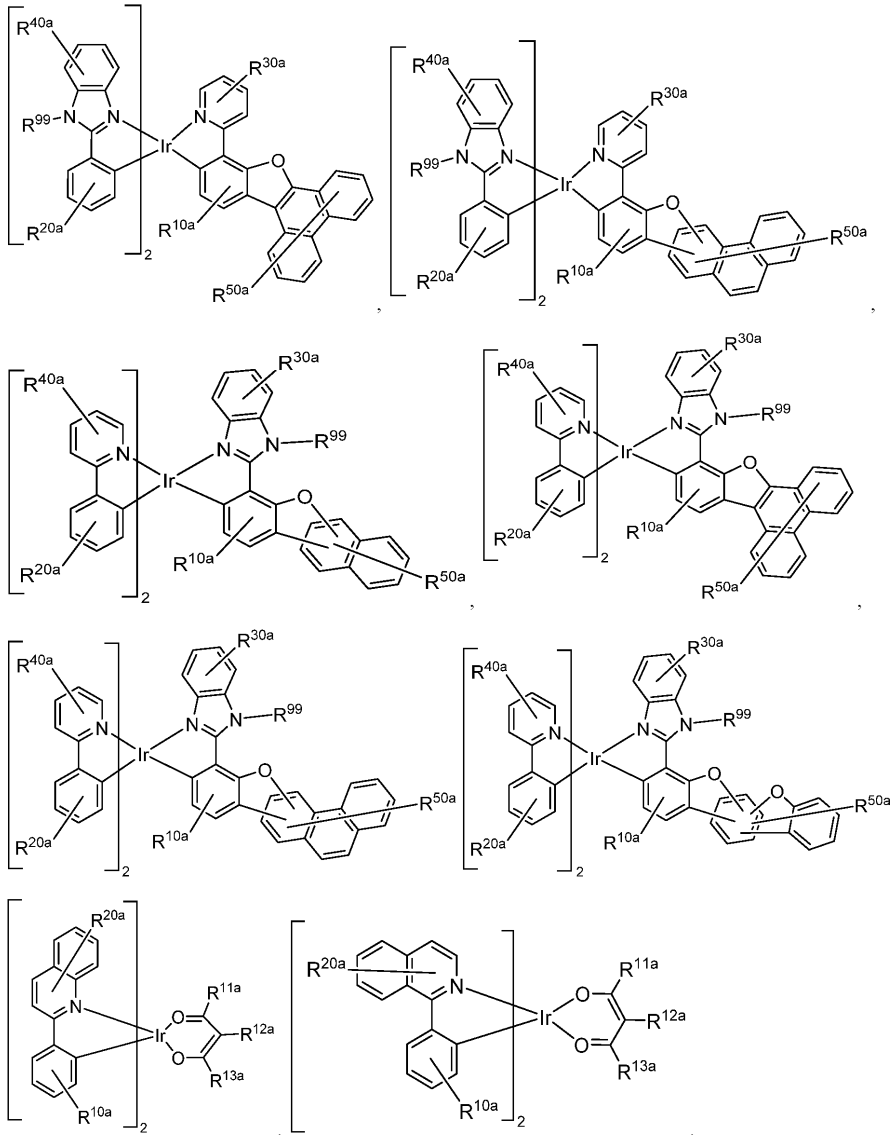
제1항에 있어서, 화합물 S1은 하기 화학식으로 이루어진 군으로부터 선택되는 화학식을 갖는 것인 OLED:

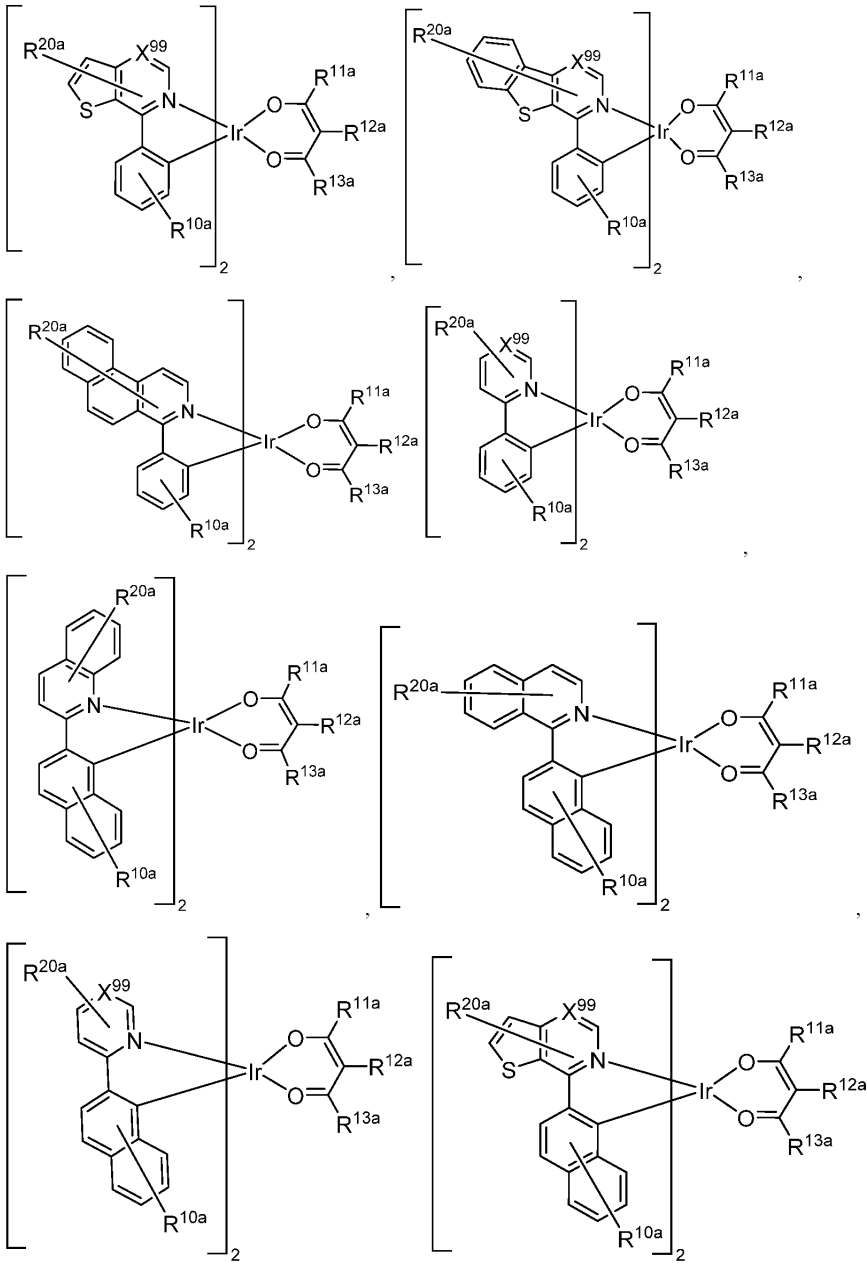


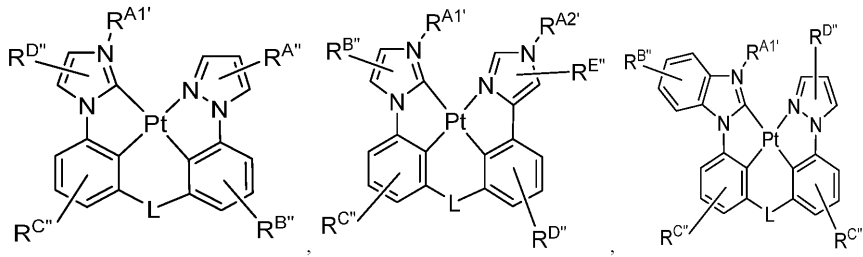
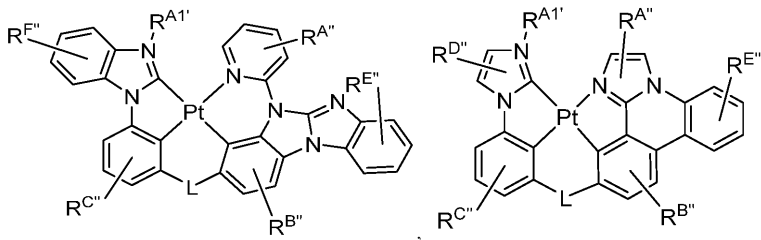
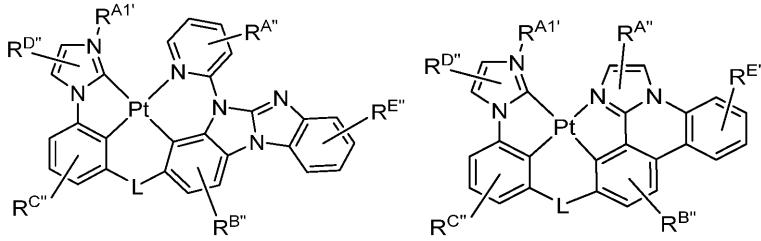
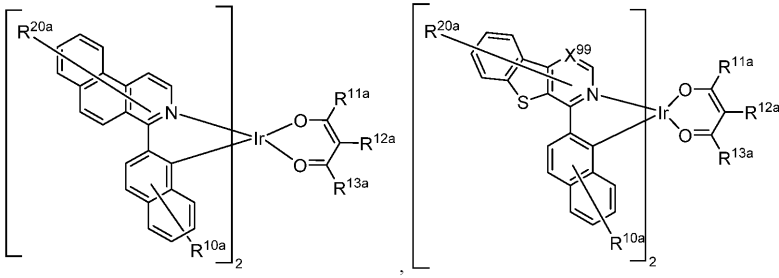


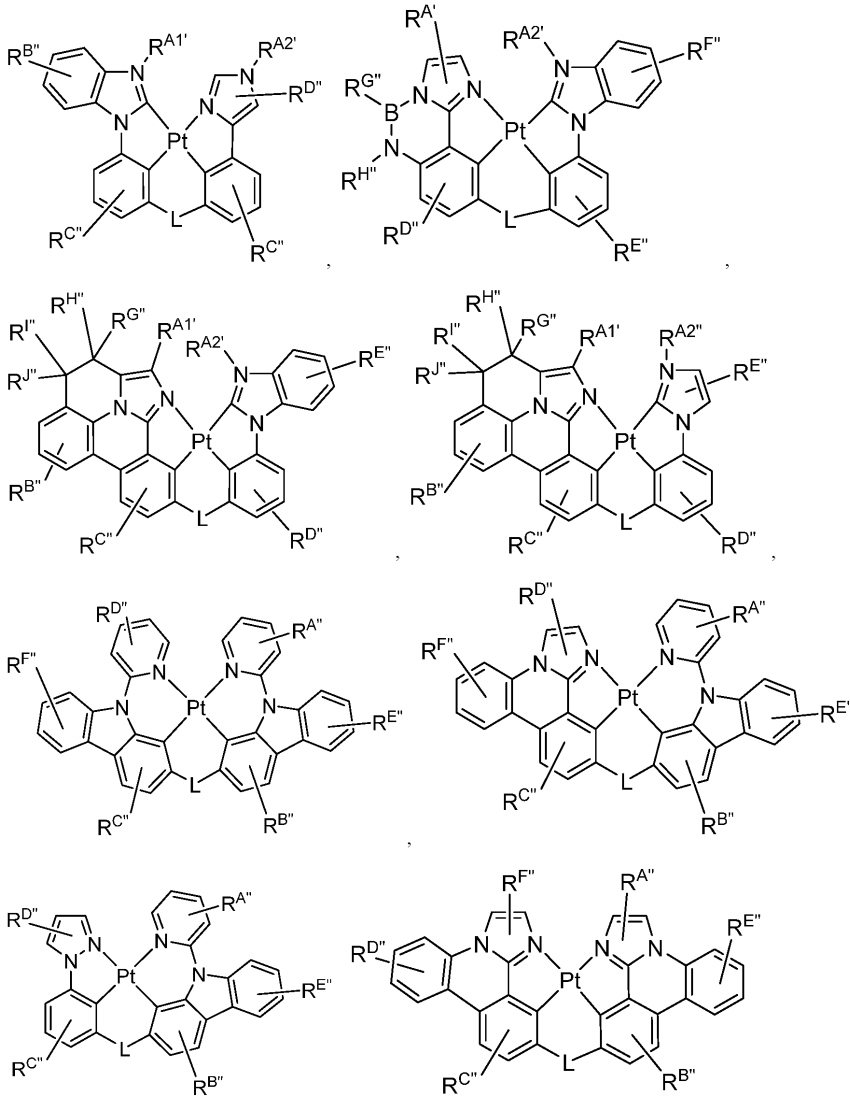


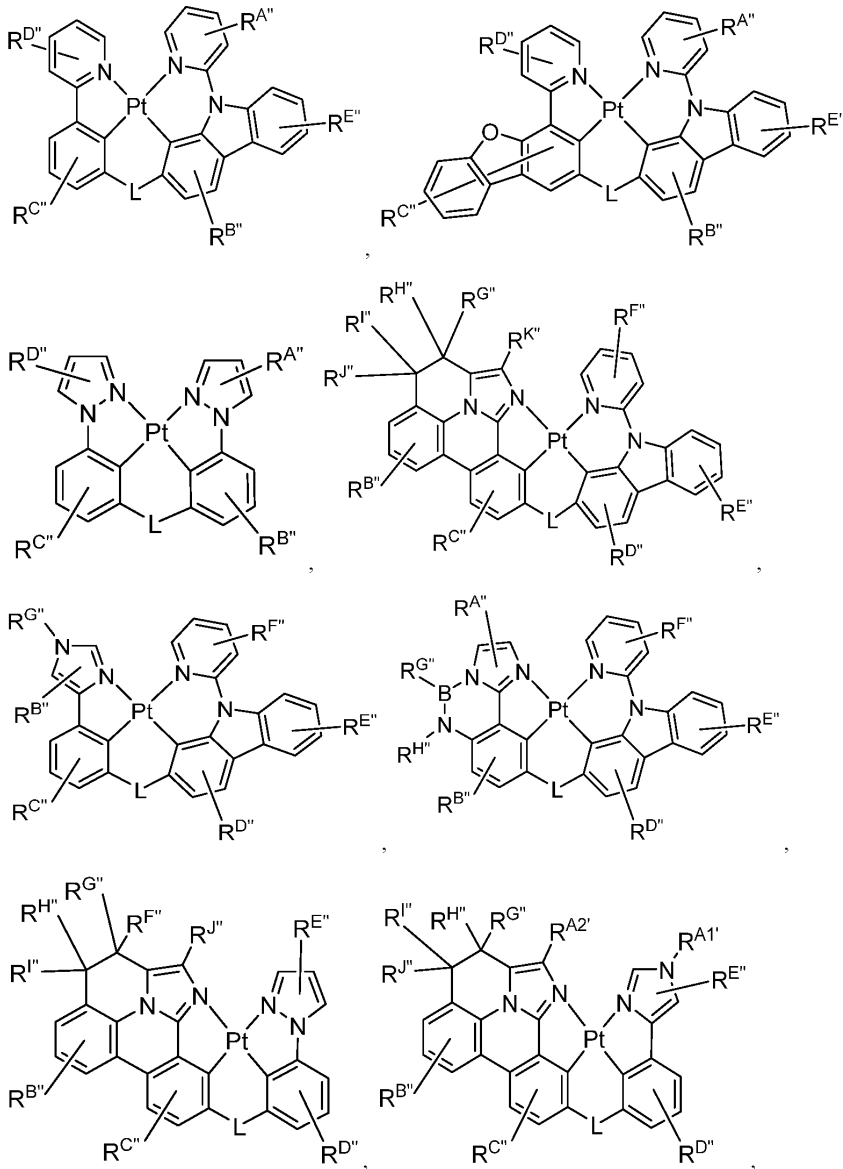


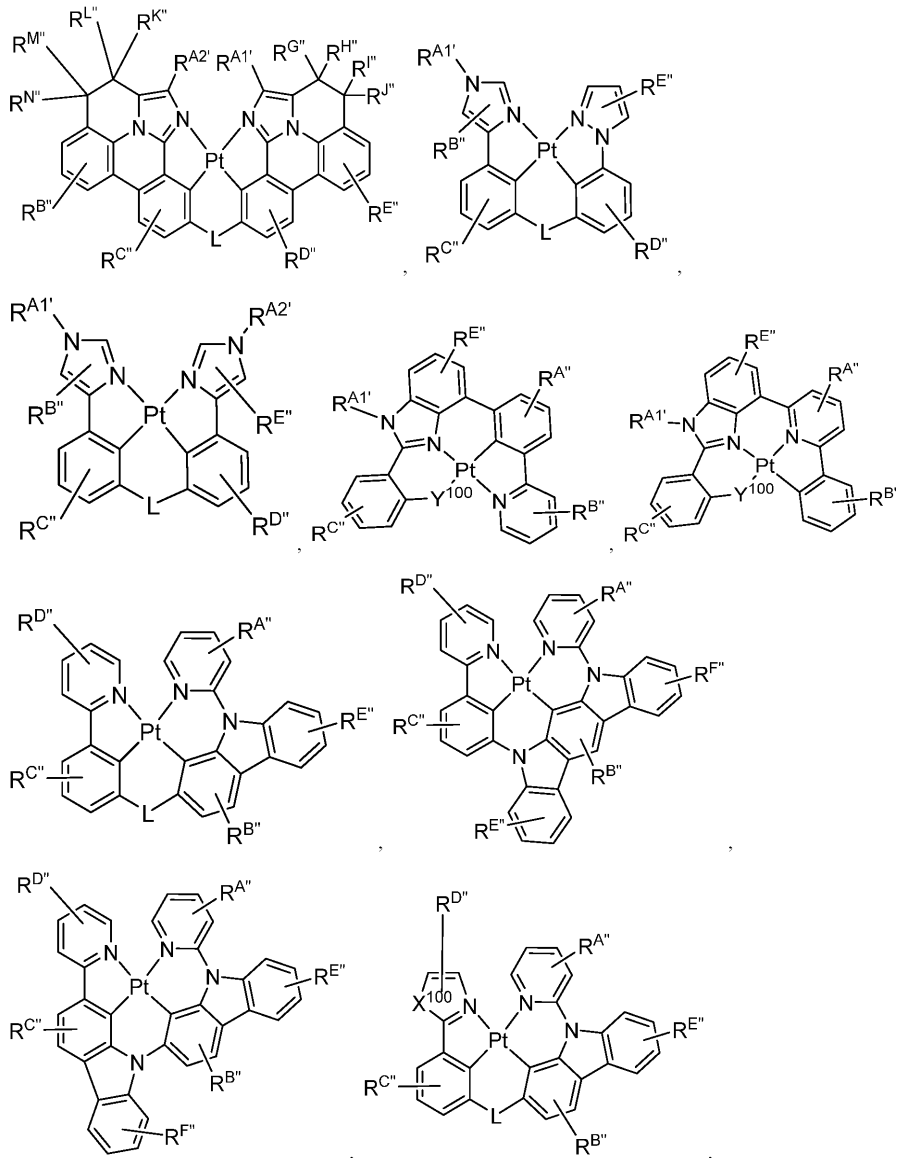


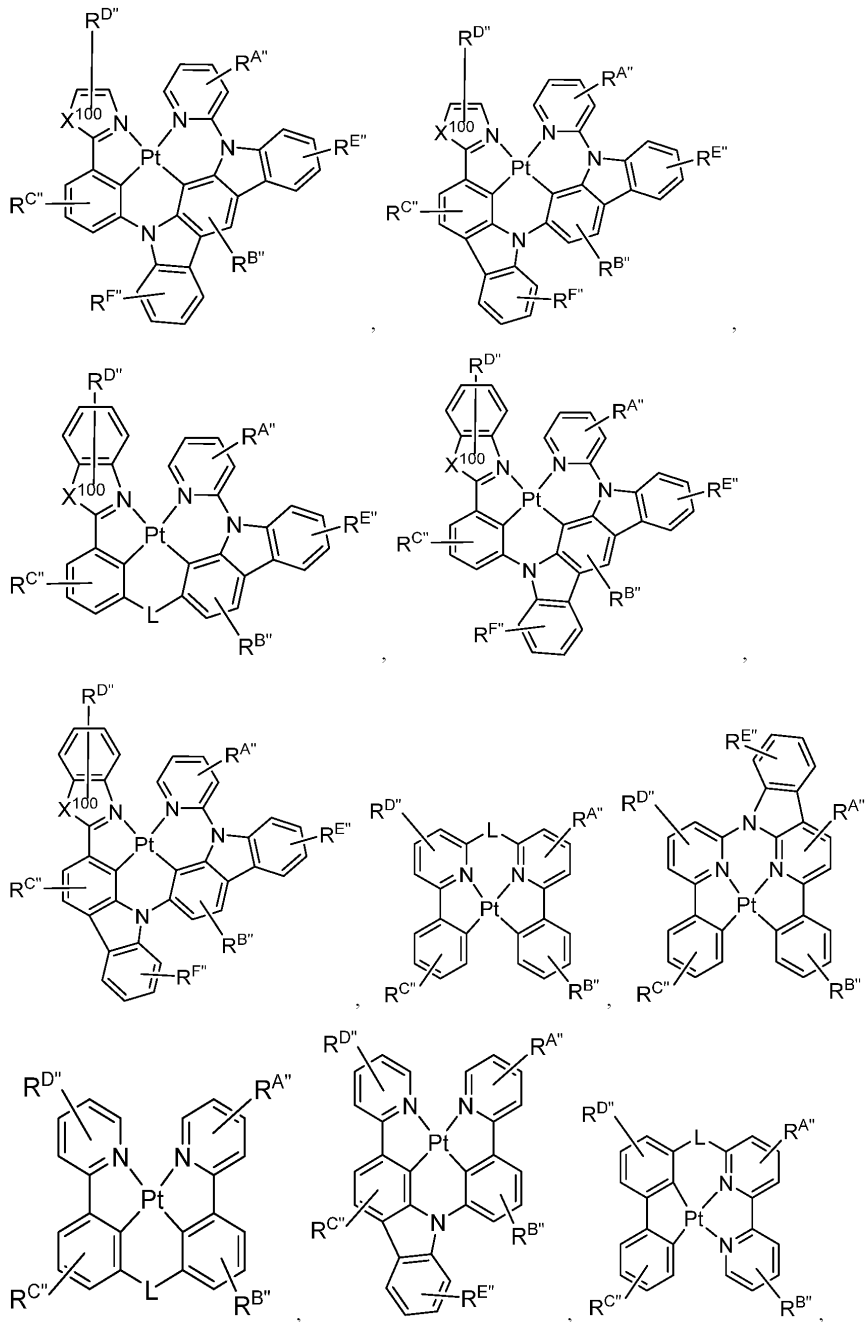


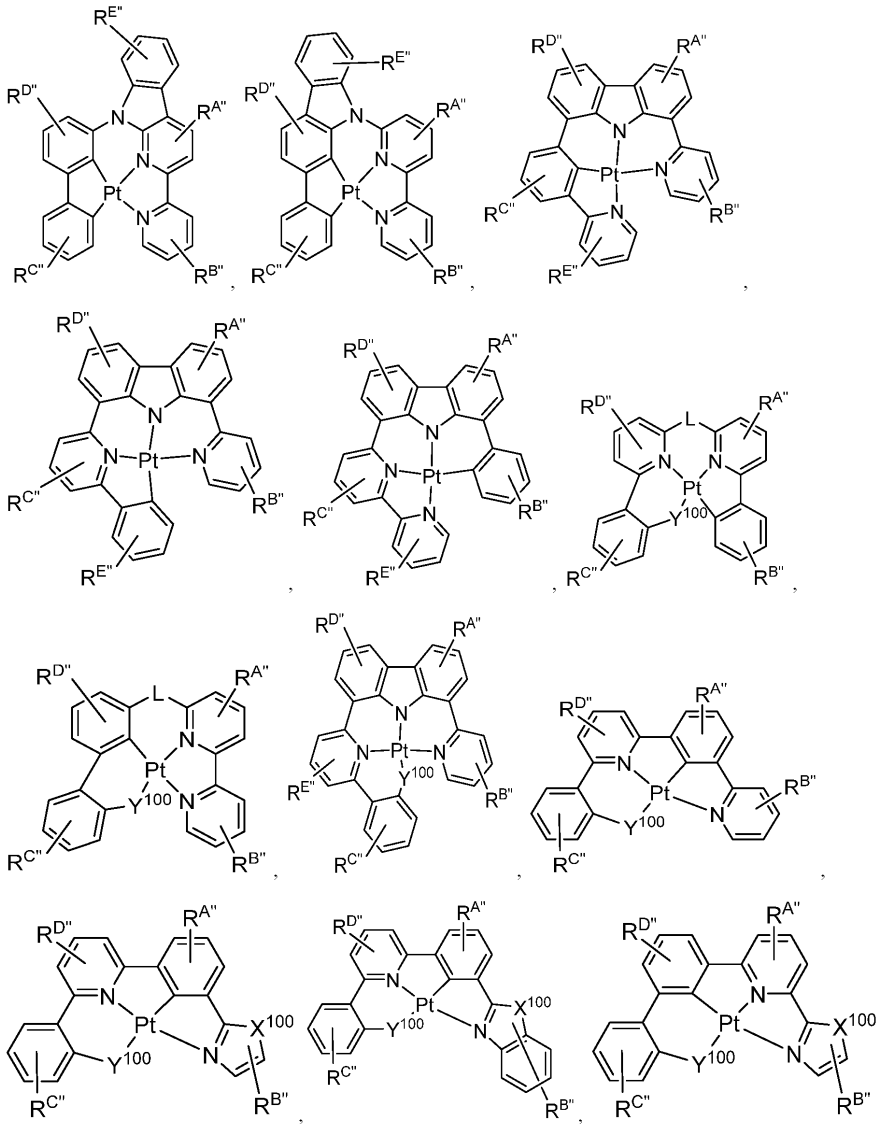


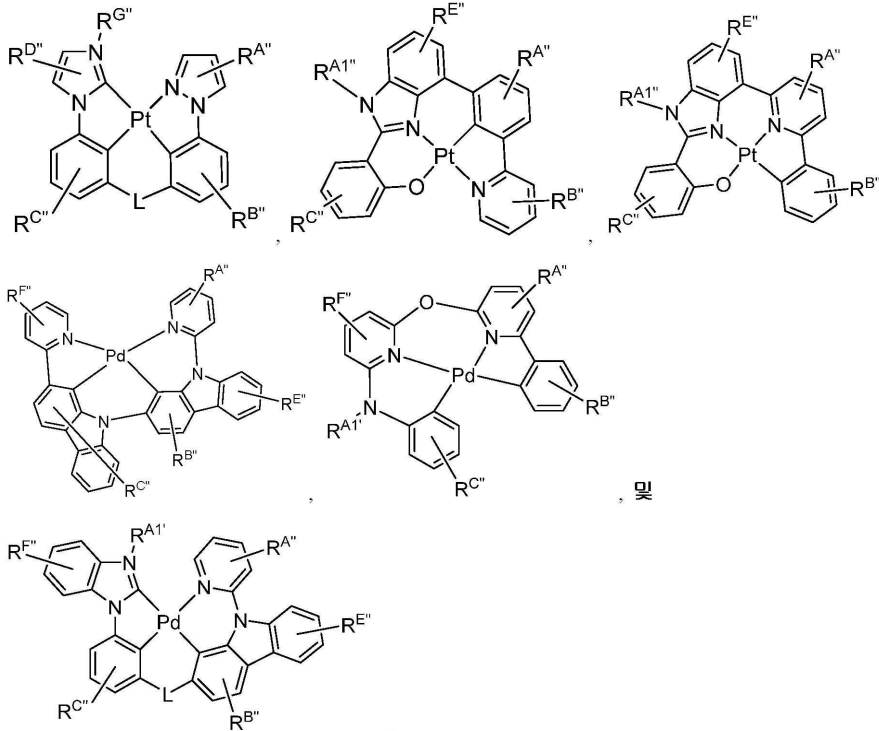












상기 화학식에서:

X⁹⁹는 C 또는 N이고;

각각의 Y¹⁰⁰은 독립적으로 NR¹¹, O, S, 및 Se로 이루어진 군으로부터 선택되고;

L은 독립적으로 직접 결합, BR¹¹, BR¹¹R^{11'}, NR¹¹, PR¹¹, O, S, Se, C=O, C=S, C=Se, C=NR¹¹, C=CR¹¹R^{11'}, S=O, SO₂, CR¹¹, CR¹¹R^{11'}, SiR¹¹R^{11'}, GeR¹¹R^{11'}, 알킬, 시클로알킬, 아릴, 헤테로아릴, 및 이들의 조합으로 이루어진 군으로부터 선택되고;

각각의 존재에 대하여 X¹⁰⁰은 O, S, Se, NR¹¹, 및 CR¹¹R^{11'}로 이루어진 군으로부터 선택되고;

각각의 R^{10a}, R^{20a}, R^{30a}, R^{40a}, 및 R^{50a}, R^{A1''}, R^{B1''}, R^{C1''}, R^{D1''}, R^{E1''}, 및 R^{F1''}는 독립적으로 일치환, 최대까지의 치환, 또는 무치환을 나타내고;

각각의 R, R', R¹¹, R^{11'}, R^{10a}, R^{11a}, R^{12a}, R^{13a}, R^{20a}, R^{30a}, R^{40a}, R^{50a}, R⁶⁰, R⁷⁰, R⁹⁷, R⁹⁸, R⁹⁹, R^{A1'}, R^{A2'}, R^{A''}, R^{B1''}, R^{C1''}, R^{D1''}, R^{E1''}, R^{F1''}, R^{G1''}, R^{H1''}, R^{I1''}, R^{J1''}, R^{K1''}, R^{L1''}, R^{M1''}, 및 R^{N1''}는 독립적으로 수소, 또는 중수소, 할라이드, 알킬, 시클로알킬, 헤테로알킬, 아릴알킬, 알콕시, 아릴옥시, 아미노, 실릴, 게르밀, 보릴, 셀레닐, 알케닐, 시클로알케닐, 헤테로알케닐, 알키닐, 아릴, 헤테로아릴, 아실, 카르보닐, 카르복실산, 에스테르, 니트릴, 이소니트릴, 술폰닐, 술피닐, 술포닐, 포스포노, 이들의 조합으로 이루어진 군으로부터 선택되는 치환기이다.

청구항 7

화합물 S1; 및

화합물 A1

을 포함하는 조성물로서;

상기 조성물이 유기 전계발광 디바이스의 발광층으로 형성되는 경우, 화합물 S1은 에너지를 화합물 A1에 전달하는 유기금속 증감제로서 기능하고 화합물 A1은 이미터인 엑셉터이고;

화합물 A1은 0.33 이상의 수직 쌍극자 비(VDR) 값을 갖는 것인 조성물.

청구항 8

제7항의 구성물을 포함하는 유기 전계발광 디바이스.

청구항 9

기관;

제1 전극

제1 전극 위에 배치된 유기 발광 영역;

제1 전극의 반대쪽에서 유기 발광 영역 위에 배치된 강화층

을 포함하는 유기 발광 디바이스(OLED)로서;

발광 영역은

화합물 S1; 및

화합물 A1

을 포함하고;

화합물 S1은 에너지를 화합물 A1로 전달하는 증감제이고, 화합물 A1은 이미터인 엑셉터이고;

강화층은 화합물 A1, 화합물 S1, 또는 화합물 A1 및 화합물 S1 모두에 비방사적으로 커플링되는 표면 플라즈몬 공명을 나타내는 플라즈몬 물질을 포함하고, 화합물 A1, 화합물 S1, 또는 화합물 A1 및 화합물 S1 모두로부터 표면 플라즈몬 폴라리톤의 비방사 모드 에너지로 여기 상태 에너지를 전달하는 것인 유기 발광 디바이스(OLED).

청구항 10

제9항에 있어서, 강화층은 유기 발광 영역으로부터 임계 거리 이내에 제공되고;

화합물 A1은 강화층의 존재로 인해 총 비방사성 붕괴 속도 상수 및 총 방사성 붕괴 속도 상수를 갖고, 임계 거리는 총 비방사성 붕괴 속도 상수가 총 방사성 붕괴 속도 상수와 동일한 곳이고/이거나; 강화층은 유기 발광 영역으로부터 임계 거리 이내에 제공되고; 화합물 S1은 강화층의 존재로 인해 총 비방사성 붕괴 속도 상수 및 총 방사성 붕괴 속도 상수를 갖고, 임계 거리는 총 비방사성 붕괴 속도 상수가 총 방사성 붕괴 속도 상수와 동일한 곳이고/이거나; 강화층은 유기 발광 영역으로부터 임계 거리 이내에 제공되고; 유기 발광 영역은 강화층의 존재로 인해 총 비방사성 붕괴 속도 상수 및 총 방사성 붕괴 속도 상수를 갖고, 임계 거리는 총 비방사성 붕괴 속도 상수가 총 방사성 붕괴 속도 상수와 동일한 곳이고/이거나; 아웃커플링층이 강화층 위에 배치되고, 아웃커플링층은 광자로서의 표면 플라즈몬 폴라리톤의 비방사성 모드 에너지를 자유 공간으로 산란시키는 것인 OLED.

청구항 11

제9항에 있어서, 화합물 A1로부터의 발광은 화합물 S1로부터의 발광보다 작은 FWHM을 갖고/갖거나; 화합물 A1로부터의 발광의 최대 발광 피크는 화합물 S1로부터의 발광의 최대 발광 피크보다 높은 에너지이고/이거나; 화합물 S1의 수직 쌍극자 비(VDR)는 0.25 이상이고/이거나; 화합물 A1은 0.33 이하의 VDR을 갖는 것인 OLED.

청구항 12

제9항에 있어서, 화합물 A1의 수직 쌍극자 비(VDR)는 화합물 S1의 VDR보다 크고/크거나; 화합물 A1의 광발광 양자 수율(PLQY)은 화합물 S1의 PLQY보다 크고/크거나; 화합물 S1 및 화합물 A1은 모두 0.33 이상의 VDR을 갖는 것인 OLED.

청구항 13

제9항에 있어서, OLED는 제1 전극과 유기 발광 영역 사이에 정공 수송층(HTL)을 추가로 포함하며, 화합물 S1은 인광 증감제이고 화합물 A1은 형광 엑셉터이고, 발광 영역의 화합물 A1의 도핑 농도는 HTL 쪽으로 증가하고/하거나; OLED는 제2 전극과 유기 발광 영역 사이에 전자 수송층(ETL)을 추가로 포함하며, 화합물 A1은 형광 엑셉터이고, 발광 영역의 화합물 A1의 도핑 농도는 ETL 쪽으로 증가하는 것인 OLED.

청구항 14

제9항에 있어서, 화합물 S1은 실온에서 인광 발광 또는 TADF 발광할 수 있고/있거나; 화합물 S1로부터의 발광 기여도는 OLED의 총 전계발광 스펙트럼의 45% 이하이거나 화합물 S1은 광을 방출하지 않고/않거나; 화합물 S1은 완전히 또는 부분적으로 중수소화되고/되거나; 화합물 A1은 완전히 또는 부분적으로 중수소화되는 것인 OLED.

청구항 15

제14항에 따른 OLED를 포함하는 소비자 제품.

발명의 설명

기술 분야

[0001]

관련 출원에 대한 상호 참조

[0002]

본 출원은 2023년 5월 17일에 출원된 미국 특허 출원 제18/319,182호의 일부 계속 출원이고, 또한 35 U.S.C. § 119(e) 하에서 2022년 12월 13일에 출원된 미국 가출원 제63/387,166호, 2022년 10월 27일에 출원된 미국 가출원 제63/419,782호, 2022년 11월 2일에 출원된 미국 가출원 제63/421,804호, 2023년 2월 7일에 출원된 미국 가출원 제63/483,647호, 2023년 2월 27일에 출원된 미국 가출원 제63/487,055호, 2023년 4월 13일에 출원된 미국 가출원 제63/459,091호, 2022년 12월 21일에 출원된 미국 가출원 제63/434,161호, 2023년 2월 14일에 출원된 미국 가출원 제63/484,757호, 2023년 2월 14일에 출원된 미국 가출원 제63/484,786호, 2023년 3월 14일에 출원된 미국 가출원 제63/490,065호에 대한 우선권을 주장하며, 상기 가출원의 전체 내용은 본원에 참조로 포함되어 있다.

[0003]

분야

[0004]

본 개시내용은 일반적으로 신규한 디바이스 아키텍처 및 이러한 신규한 아키텍처를 갖는 OLED 디바이스 및 이들의 용도에 관한 것이다.

배경 기술

[0005]

유기 물질을 사용하는 광전자 디바이스는 여러 이유로 인하여 점차로 중요해지고 있다. 이와 같은 디바이스를 제조하는데 사용되는 다수의 물질들은 비교적 저렴하기 때문에, 유기 광전자 디바이스는 무기 디바이스에 비하여 비용 이점면에서 잠재성을 갖는다. 또한, 유기 물질의 고유한 특성, 예컨대 이의 가요성은 그 유기 물질이 가요성 기판 상에서의 제작과 같은 특정 적용예에 매우 적합하게 할 수 있다. 유기 광전자 디바이스의 예로는 유기 발광 다이오드/디바이스(OLED), 유기 광트랜지스터, 유기 광전지, 유기 신틸레이터 및 유기 광검출기를 들 수 있다. OLED의 경우, 유기 물질은 통상의 물질에 비하여 성능 면에서의 이점을 가질 수 있다.

[0006]

OLED는 디바이스에 전압을 인가할 때 광을 방출하는 유기 박막을 사용한다. OLED는 디스플레이, 조명 및 백라이트와 같은 적용예의 용도에 있어 점차로 중요해지는 기술이다.

[0007]

발광 분자에 대한 하나의 적용예는 풀 컬러 디스플레이이다. 이러한 디스플레이에 대한 산업적 기준은 "포화" 색상으로 지칭되는 특정 색상을 방출하도록 조정된 픽셀을 필요로 한다. 특히, 이러한 기준은 포화 적색, 녹색 및 청색 픽셀을 필요로 한다. 대안적으로 OLED는 백색 광을 방출하도록 설계될 수 있다. 통상적인 액정 디스플레이에서, 백색 백라이트에서 나온 발광이 흡수 필터를 사용하여 여과되어 적색, 녹색 및 청색 발광을 생성한다. 동일한 기법이 또한 OLED에도 사용될 수 있다. 백색 OLED는 단일 발광층(EML) 디바이스 또는 스택 구조일 수 있다. 색상은 당업계에 주지된 CIE 좌표를 사용하여 측정될 수 있다.

발명의 내용

[0008]

OLED가 개시되며 상기 OLED는 순차적으로 애노드; 정공 수송층; 발광 영역; 전자 수송층; 및 캐소드를 포함하고; 발광 영역은 화합물 S1; 및 화합물 A1을 포함한다. 화합물 S1은 화합물 A1에 에너지를 전달하는 유기 금속 증감제이고, 화합물 A1은 발광 영역의 이미터인 역셉터이다. 화합물 S1은 0.2 이상의 수직 쌍극자 비(VDR) 값을 갖고; 화합물 A1은 0.2 이하의 VDR 값을 갖는다.

도면의 간단한 설명

- [0009] 도 1은 유기 발광 디바이스를 도시한다.
- 도 2는 별도의 전자 수송층을 갖지 않는 역구조 유기 발광 디바이스를 도시한다.
- 도 3은 상이한 수직 쌍극자 비(VDR) 값을 갖는 이미터에 대한 각도의 함수로서의 모델링된 P-편광 광발광의 그래프를 도시한다.
- 도 4는 인광 증감된 플라즈몬 OLED의 여기 상태 에너지 전달의 다양한 경로를 나타내는 에너지 준위 다이어그램이다.
- 도 5는 TADF 증감된 플라즈몬 OLED의 여기 상태 에너지 전달의 다양한 경로를 나타내는 에너지 준위 다이어그램이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0010] A. 용어

- [0011] 달리 명시된 바가 없다면, 본원에서 사용된 이하의 용어들은 하기와 같이 정의된다:
- [0012] 본원에서 사용한 바와 같이, "상단부"는 기관으로부터 가장 멀리 떨어졌다는 것을 의미하며, "하단부"는 기관에 가장 근접하다는 것을 의미한다. 제1층이 제2층의 "상부에 배치되는" 것으로 기재되는 경우, 제1층은 기관으로부터 멀리 떨어져 배치된다. 제1층이 제2층과 "접촉되어 있는" 것으로 명시되지 않는다면 제1층과 제2층 사이에는 다른 층이 존재할 수 있다. 예를 들면, 캐소드와 애노드의 사이에 다양한 유기층이 존재한다고 해도, 캐소드는 애노드의 "상부에 배치되는" 것으로 기재될 수 있다.
- [0013] 본원에서 사용한 바와 같이, "용액 가공성"은 용액 또는 현탁액 형태로 액체 매체에 용해, 분산 또는 수송될 수 있고/있거나 액체 매체로부터 증착될 수 있다는 것을 의미한다.
- [0014] 본원에서 사용한 바와 같이, 그리고 일반적으로 당업자가 이해하고 있는 바와 같이, 제1 에너지 준위가 진공 에너지 준위에 더 근접하는 경우, 제1 "최고 점유 분자 궤도"(HOMO) 또는 "최저 비점유 분자 궤도"(LUMO) 에너지 준위는 제2 HOMO 또는 LUMO 에너지 준위보다 "더 크거나" 또는 "더 높다". 이온화 전위(IP)가 진공 준위에 대하여 음의 에너지로서 측정되므로, 더 높은 HOMO 에너지 준위는 더 작은 절댓값을 갖는 IP(더 적게 음성인 IP)에 해당한다. 마찬가지로, 더 높은 LUMO 에너지 준위는 절댓값이 더 작은 전자 친화도(EA)(더 적게 음성인 EA)에 해당한다. 상단부에서 진공 준위를 갖는 통상의 에너지 준위 다이어그램에서, 물질의 LUMO 에너지 준위는 동일한 물질의 HOMO 에너지 준위보다 더 높다. "더 높은" HOMO 또는 LUMO 에너지 준위는 "더 낮은" HOMO 또는 LUMO 에너지 준위보다 상기 다이어그램의 상단부에 더 근접하게 나타난다.
- [0015] 본원에서 사용한 바와 같이, 그리고 일반적으로 당업자가 이해하는 바와 같이, 제1 일함수의 절댓값이 더 클 경우, 제1 일함수는 제2 일함수보다 "더 크거나" 또는 "더 높다". 일함수는 일반적으로 진공 준위에 대하여 음의 수로서 측정되므로, 이는 "더 높은" 일함수가 더 음성임을 의미한다. 상단부에서 진공 준위를 갖는 통상의 에너지 준위 다이어그램에서, "더 높은" 일함수는 진공 준위로부터 아래 방향으로 더 먼 것으로서 예시된다. 따라서, HOMO 및 LUMO 에너지 준위의 정의는 일함수와는 상이한 관계를 따른다.
- [0016] 용어 "할로", "할로젠" 및 "할라이드"는 상호교환적으로 사용되며, 불소, 염소, 브롬 및 요오드를 지칭한다.
- [0017] 용어 "아실"은 치환된 카르보닐기(C(O)-R_s)를 지칭한다.
- [0018] 용어 "에스테르"는 치환된 옥시카르보닐기(-O-C(O)-R_s 또는 -C(O)-O-R_s)를 지칭한다.
- [0019] 용어 "에테르"는 -OR_s 기를 지칭한다.
- [0020] 용어 "술폰닐" 또는 "티오-에테르"는 상호교환적으로 사용되며, -SR_s 기를 지칭한다.
- [0021] 용어 "셀레닐"은 -SeR_s 기를 지칭한다.
- [0022] 용어 "술피닐"은 -S(O)-R_s 기를 지칭한다.
- [0023] 용어 "술폰닐"은 -SO₂-R_s 기를 지칭한다.
- [0024] 용어 "포스피노"는 관련 분자에 결합되는 데 사용되는 하나 이상의 인 원자를 포함하는 기를 지칭하며, 일반적

인 예는 예컨대 비제한적으로 $-P(R_s)_2$ 기 또는 $-PO(R_s)_2$ 기이고, 여기에서 각각의 R_s 는 동일하거나 상이할 수 있다.

- [0025] 용어 "실릴"은 관련 분자에 결합되는 데 사용되는 하나 이상의 규소 원자를 포함하는 기를 지칭하며, 일반적인 예는 예컨대 비제한적으로 $-Si(R_s)_3$ 기이고, 여기에서 각각의 R_s 는 동일하거나 상이할 수 있다.
- [0026] 용어 "게르밀"은 관련 분자에 결합되는 데 사용되는 하나 이상의 게르마늄 원자를 포함하는 기를 지칭하며, 일반적인 예는 예컨대 비제한적으로 $-Ge(R_s)_3$ 기이고, 여기에서 각각의 R_s 는 동일하거나 상이할 수 있다.
- [0027] 용어 "보릴"은 관련 분자에 결합되는 데 사용되는 하나 이상의 붕소 원자를 포함하는 기를 지칭하며, 일반적인 예는 예컨대 비제한적으로 $-B(R_s)_2$ 기 또는 이의 루이스 부가물 $-B(R_s)_3$ 기이고, 여기에서 각각의 R_s 는 동일하거나 상이할 수 있다.
- [0028] 상기 각각에서, R_s 는 수소 또는 본 출원에서 정의되는 일반 치환기일 수 있다. 바람직한 R_s 는 중수소, 할로젠, 알킬, 시클로알킬, 헤테로알킬, 헤테로시클로알킬, 아릴알킬, 알콕시, 아릴옥시, 아미노, 실릴, 알케닐, 시클로알케닐, 헤테로알케닐, 알키닐, 아릴, 헤테로아릴, 및 이들의 조합으로 이루어진 군에서 선택된다. 보다 바람직하게는 R_s 는 알킬, 시클로알킬, 아릴, 헤테로아릴, 및 이들의 조합으로 이루어진 군에서 선택된다.
- [0029] 용어 "알킬"은 직쇄 및 분지쇄 알킬기를 모두 지칭하고, 이를 포함한다. 바람직한 알킬기는 1 내지 15개의 탄소 원자, 바람직하게는 1 내지 9개의 탄소 원자를 함유하는 것으로서, 메틸, 에틸, 프로필, 1-메틸에틸, 부틸, 1-메틸프로필, 2-메틸프로필, 펜틸, 1-메틸부틸, 2-메틸부틸, 3-메틸부틸, 1,1-디메틸프로필, 1,2-디메틸프로필, 2,2-디메틸프로필 등을 포함한다. 추가로, 알킬기는 더 치환될 수 있다.
- [0030] 용어 "시클로알킬"은 모노시클릭, 폴리시클릭, 및 스피로 알킬기를 지칭하고, 이를 포함한다. 바람직한 시클로알킬기는 3 내지 12개의 고리 탄소 원자를 함유하는 것으로서, 시클로프로필, 시클로펜틸, 시클로헥실, 비시클로[3.1.1]헵틸, 스피로[4.5]데실, 스피로[5.5]운데실, 아다만틸 등을 포함한다. 추가로, 시클로알킬기는 더 치환될 수 있다.
- [0031] 용어 "헤테로알킬" 또는 "헤테로시클로알킬"은 각각 헤테로원자에 의해 치환된 하나 이상의 탄소 원자를 갖는 알킬 또는 시클로알킬기를 지칭한다. 임의로, 하나 이상의 헤테로원자는 O, S, N, P, B, Si, Ge 및 Se, 바람직하게는, O, S, 또는 N으로부터 선택된다. 추가로, 헤테로알킬 또는 헤테로시클로알킬기는 더 치환될 수 있다.
- [0032] 용어 "알케닐"은 직쇄 및 분지쇄 알켄기를 모두 지칭하고, 이를 포함한다. 알케닐기는 본질적으로 알킬 쇠에 하나 이상의 탄소-탄소 이중 결합을 포함하는 알킬기이다. 시클로알케닐기는 본질적으로 시클로알킬 고리 내에 하나 이상의 탄소-탄소 이중 결합을 포함하는 시클로알킬기이다. 본원에 사용되는 용어 "헤테로알케닐"은 헤테로원자에 의해 치환된 하나 이상의 탄소 원자를 갖는 알케닐기를 지칭한다. 임의로, 하나 이상의 헤테로원자는 O, S, N, P, B, Si, Ge 및 Se, 바람직하게는, O, S, 또는 N으로부터 선택된다. 바람직한 알케닐, 시클로알케닐, 또는 헤테로알케닐기는 2 내지 15개의 탄소 원자를 함유하는 것이다. 추가로, 알케닐, 시클로알케닐, 또는 헤테로알케닐기는 더 치환될 수 있다.
- [0033] 용어 "알키닐"은 직쇄 및 분지쇄 알킨기를 모두 지칭하고, 이를 포함한다. 알키닐기는 본질적으로 알킬 쇠에 하나 이상의 탄소-탄소 삼중 결합을 포함하는 알킬기이다. 바람직한 알키닐기는 2 내지 15개의 탄소 원자를 함유하는 것이다. 추가로, 알키닐기는 더 치환될 수 있다.
- [0034] 용어 "아르알킬" 또는 "아릴알킬"은 상호교환적으로 사용되며, 아릴기로 치환된 알킬기를 지칭한다. 추가로, 아르알킬기는 더 치환될 수 있다.
- [0035] 용어 "헤테로시클릭"은 하나 이상의 헤테로원자를 함유하는 방향족 및 비방향족 시클릭기를 지칭하고, 이를 포함한다. 임의로, 하나 이상의 헤테로원자는 O, S, Se, N, P, B, Si, Ge 및 Se, 바람직하게는, O, S, N 또는 B로부터 선택된다. 헤테로방향족 시클릭기는 또한 헤테로아릴과 상호교환적으로 사용될 수 있다. 바람직한 헤테로비방향족 시클릭기는 하나 이상의 헤테로원자를 포함하고, 모르폴리노, 피페리디노, 피롤리디노 등과 같은 시클릭 아민, 및 테트라히드로푸란, 테트라히드로피란, 테트라히드로티오펜 등과 같은 시클릭 에테르/티오-에테르를 포함하는 3 내지 10개의 고리 원자, 바람직하게는 3 내지 7개의 고리 원자를 함유하는 것들이다. 추가로, 헤테로시클릭기는 더 치환되거나 융합될 수 있다.
- [0036] 용어 "아릴"은 단일 고리 방향족 히드로카르빌기 및 폴리시클릭 방향족 히드로카르빌기를 모두 지칭하고, 이를

포함한다. 폴리시클릭 고리는 2개의 탄소가 두 인접 고리(이들 고리는 "융합됨")에 공통인 2개 이상의 고리를 가질 수 있다. 바람직한 아릴기는 6 내지 30개의 탄소 원자, 바람직하게는 6 내지 24개의 탄소 원자, 6 내지 18개의 탄소 원자, 더 바람직하게는 6 내지 12개의 탄소 원자를 함유하는 것이다. 6개의 탄소, 10개의 탄소, 12개의 탄소, 14개의 탄소, 또는 18개의 탄소를 가진 아릴기가 특히 바람직하다. 적절한 아릴기는 페닐, 비페닐, 트리페닐, 트리페닐렌, 테트라페닐렌, 나프탈렌, 안트라센, 페날렌, 페난트렌, 피렌, 크리센, 페릴렌 및 아줄렌, 바람직하게는 페닐, 비페닐, 트리페닐, 트리페닐렌, 및 나프탈렌을 포함한다. 추가로, 아릴기는 더 치환되거나 융합된, 예컨대 비제한적으로 플루오렌일 수 있다.

[0037] 용어 "헤테로아릴"은 하나 이상의 헤테로원자를 포함하는 단일 고리 방향족기 및 폴리시클릭 방향족 고리계를 지칭하고, 이를 포함한다. 헤테로원자는, 비제한적으로, O, S, Se, N, P, B, Si, Ge 및 Se를 포함한다. 다수의 경우에서, O, S, N 또는 B가 바람직한 헤테로원자이다. 헤테로 단일 고리 방향족계는 바람직하게는 5 또는 6개의 고리 원자를 갖는 단일 고리이고, 상기 고리는 1 내지 6개의 헤테로원자를 가질 수 있다. 헤테로 폴리시클릭 고리계는 2개의 탄소가 두 인접 고리(이들 고리는 "융합됨")에 공통인 2개 이상의 방향족 고리를 가질 수 있으며, 여기서, 고리들 중 하나 이상은 헤테로아릴이다. 헤테로 폴리시클릭 방향족 고리계는 폴리시클릭 방향족 고리계의 고리당 1 내지 6개의 헤테로원자를 가질 수 있다. 바람직한 헤테로아릴기는 3 내지 30개의 탄소 원자, 바람직하게는 3 내지 24개의 탄소 원자, 3 내지 18개의 탄소 원자, 더 바람직하게는 3 내지 12개의 탄소 원자를 함유하는 것이다. 적합한 헤테로아릴기는 디벤조티오펜, 디벤조푸란, 디벤조셀레노펜, 푸란, 티오펜, 벤조푸란, 벤조티오펜, 벤조셀레노펜, 카르바졸, 인돌로카르바졸, 피리딘인돌, 피롤로디피리딘, 피라졸, 이미다졸, 트리아졸, 옥사졸, 티아졸, 옥사디아졸, 옥사트리아졸, 디옥사졸, 티아디아졸, 피리딘, 피리다진, 피리미딘, 피라진, 트리아진, 옥사진, 옥사티아진, 옥사디아진, 인돌, 벤즈이미다졸, 인다졸, 인독사진, 벤즈옥사졸, 벤즈이속사졸, 벤조티아졸, 퀴놀린, 이소퀴놀린, 신놀린, 퀴놀린, 퀴놀살린, 나프티리딘, 프탈라진, 프테리딘, 크산텐, 아크리딘, 페나진, 페노티아진, 페녹사진, 벤조푸로피리딘, 푸로디피리딘, 벤조티에노피리딘, 티에노디피리딘, 벤조셀레노페노피리딘 및 셀레노페노디피리딘, 바람직하게는 디벤조티오펜, 디벤조푸란, 디벤조셀레노펜, 카르바졸, 인돌로카르바졸, 이미다졸, 피리딘, 트리아진, 벤즈이미다졸, 1,2-아자보린, 1,3-아자보린, 1,4-아자보린, 보라진 및 이의 아자-유사체를 포함한다. 추가로, 헤테로아릴기는 더 치환되거나 융합될 수 있다.

[0038] 앞서 열거된 아릴 및 헤테로아릴기 중에서, 트리페닐렌, 나프탈렌, 안트라센, 디벤조티오펜, 디벤조푸란, 디벤조셀레노펜, 카르바졸, 인돌로카르바졸, 이미다졸, 피리딘, 피라진, 피리미딘, 트리아진, 및 벤즈이미다졸의 기들, 및 이들 각각의 개개 아자-유사체가 특히 관심 대상이다.

[0039] 다수의 경우에서, 일반 치환기는 중수소, 할로젠, 알킬, 시클로알킬, 헤테로알킬, 헤테로시클로알킬, 아릴알킬, 알콕시, 아릴옥시, 아미노, 실릴, 게르밀, 보릴, 알케닐, 시클로알케닐, 헤테로알케닐, 알키닐, 아릴, 헤테로아릴, 아실, 카르복실산, 에테르, 에스테르, 니트릴, 이소니트릴, 술파닐, 셀레닐, 술피닐, 술포닐, 포스포노, 및 이들의 조합으로 이루어진 군으로부터 선택된다.

[0040] 일부 경우에서, 바람직한 일반 치환기는 중수소, 불소, 알킬, 시클로알킬, 헤테로알킬, 알콕시, 아릴옥시, 아미노, 실릴, 게르밀, 보릴, 알케닐, 시클로알케닐, 헤테로알케닐, 아릴, 헤테로아릴, 니트릴, 이소니트릴, 술파닐, 및 이들의 조합으로 이루어진 군으로부터 선택된다.

[0041] 일부 경우에서, 더 바람직한 일반 치환기는 중수소, 불소, 알킬, 시클로알킬, 알콕시, 아릴옥시, 아미노, 실릴, 아릴, 헤테로아릴, 니트릴, 술파닐, 및 이들의 조합으로 이루어진 군으로부터 선택된다.

[0042] 일부 경우에서, 더 바람직한 일반 치환기는 중수소, 불소, 알킬, 시클로알킬, 실릴, 아릴, 헤테로아릴, 니트릴, 및 이들의 조합으로 이루어진 군으로부터 선택된다.

[0043] 또 다른 경우에서, 가장 바람직한 일반 치환기는 중수소, 알킬, 시클로알킬, 아릴, 헤테로아릴, 및 이들의 조합으로 이루어진 군으로부터 선택된다.

[0044] 용어 "치환된" 및 "치환"은 관련된 위치, 예컨대 탄소 또는 질소에 결합되는 H 이외의 치환기를 지칭한다. 예를 들면, R¹이 일치환을 나타내는 경우, 하나의 R¹은 H 이외의 것이어야 한다(즉, 치환). 유사하게, R¹이 이치환을 나타내는 경우, R¹ 중 2개는 H 이외의 것이어야 한다. 유사하게, R¹이 영치환 또는 무치환을 나타내는 경우, R¹은 예를 들어 벤젠의 탄소 원자 및 피롤의 질소 원자와 같이 고리 원자의 이용가능한 원자들에 대해 수소일 수 있거나, 또는 단순히 완전히 충전된 원자격을 갖는 고리 원자, 예컨대 피리딘의 질소 원자에 대해 아무 것도 나타내지 않을 수 있다. 고리 구조에서 가능한 최대수의 치환은 고리 원자에서 이용가능한 원자들의 총 개수에 따

라 달라진다.

- [0045] 본원에서 사용한 바와 같이, "이들의 조합"은 해당되는 목록 중 하나 이상의 구성요소가 조합되어 본 기술분야의 당업자가 해당하는 목록으로부터 구상할 수 있는 공지되거나 또는 화학적으로 안정한 배열을 형성하는 것을 나타낸다. 예를 들면, 알킬 및 중수소는 조합되어 부분적으로 또는 완전히 중수소화된 알킬기를 형성할 수 있고; 할로젠 및 알킬은 조합되어 할로젠화된 알킬 치환기를 형성할 수 있고; 할로젠, 알킬, 및 아릴은 조합되어 할로젠화된 아릴알킬을 형성할 수 있다. 하나의 경우에서, 용어 치환은 열거된 기들 중의 2 내지 4개의 조합을 포함한다. 다른 경우에서, 용어 치환은 2 내지 3개의 기의 조합을 포함한다. 또 다른 경우에서, 용어 치환은 2개의 기의 조합을 포함한다. 치환기의 바람직한 조합은 수소 또는 중수소가 아닌 최대 50개의 원자를 함유하는 것이거나, 또는 수소 또는 중수소가 아닌 최대 40개의 원자를 포함하는 것이거나, 또는 수소 또는 중수소가 아닌 최대 30개의 원자를 포함하는 것이다. 다수의 경우에서, 치환기의 바람직한 조합은 수소 또는 중수소가 아닌 최대 20개의 원자를 포함할 것이다.
- [0046] 본원에 기재된 분절(fragment), 즉 아자-디벤조푸란, 아자-디벤조티오펜 등에서 "아자" 표기는 각각의 방향족 고리에서의 C-H 기 중 하나 이상이 질소 원자로 치환될 수 있다는 것을 의미하며, 예를 들면 아자트리페닐렌은 디벤조[*f,h*]퀴놀살린 및 디벤조[*f,h*]퀴놀린을 모두 포함하나, 이에 제한되지 않는다. 당업자는 전술된 아자-유도체의 다른 질소 유사체를 용이하게 구상할 수 있으며, 상기 모든 유사체는 본원에 기술된 용어들에 의해 포괄되는 것으로 의도된다.
- [0047] 본원에서 사용한 바와 같이, "중수소"는 수소의 동위원소를 지칭한다. 중수소화된 화합물은 본 기술분야에 공지된 방법을 사용하여 용이하게 제조될 수 있다. 예를 들면, 그 전문이 참조로 본원에 포함된 미국특허 제 8,557,400호, 특허공개번호 WO 2006/095951, 및 미국특허출원 공개번호 US 2011/0037057은 중수소-치환된 유기금속 착물의 제조를 기술하고 있다. 추가로 문헌[Ming Yan, *et al.*, *Tetrahedron* 2015, 71, 1425-30] 및 문헌[Atzrodt *et al.*, *Angew. Chem. Int. Ed. (Reviews)* 2007, 46, 7744-65]을 참조하며, 이들은 그 전문이 참조로 본원에 포함되며, 각각 벤질 아민에서 메틸렌 수소의 중수소화 및 중수소로 방향족 고리 수소를 치환하기 위한 효율적인 경로를 기술하고 있다.
- [0048] 본원에 사용된 바와 같이, 비제한적으로 메틸, 페닐, 피리딜 등과 같은 임의의 구체적으로 열거된 치환기는 이의 중수소화되지 않은, 부분적으로 중수소화된, 및 완전히 중수소화된 형태를 포함한다. 마찬가지로, 비제한적으로 알킬, 아릴, 시클로알킬, 헤테로알킬 등과 같은 치환기 부류도 이의 중수소화되지 않은, 부분적으로 중수소화된, 및 완전히 중수소화된 형태를 포함한다. 추가로 명시된 H 또는 D를 갖지 않는 화학 구조는 이의 중수소화되지 않은, 부분적으로 중수소화된, 및 완전히 중수소화된 형태를 포함하는 것으로 고려되어야 한다. 일부 일반적인 최소로 부분적으로 또는 완전히 중수소화된 기는 예컨대 비제한적으로 CD₃, CD₂C(CH₃)₃, C(CD₃)₃, 및 C₆D₅이다.
- [0049] 분자 분절이 치환기인 것으로 기재되거나 그렇지 않은 경우 또다른 모이어티에 부착되는 것으로 기술되는 경우, 이의 명칭은 분절(예를 들어, 페닐, 페닐렌, 나프틸, 디벤조푸릴)인 것처럼 또는 전체 분자(예를 들어, 벤젠, 나프탈렌, 디벤조푸란)인 것처럼 기재될 수 있는 것으로 이해되어야 한다. 본원에서 사용한 바와 같이, 이러한 치환기 또는 부착된 분절의 상이한 표기 방식은 동등한 것으로 간주된다.
- [0050] 일부 경우에, 분자의 치환기의 쌍은 임의로 연결되거나 융합되어 고리가 될 수 있다. 바람직한 고리는 5원 내지 9원 카르보시클릭 또는 헤테로시클릭 고리이고, 치환기의 쌍에 의해 형성된 고리의 일부가 포화되는 경우 및 치환기의 쌍에 의해 형성된 고리의 일부가 불포화되는 경우를 모두 포함한다. 또 다른 경우에서, 인접한 치환기의 쌍은 임의로 연결되거나 융합되어 고리가 될 수 있다. 본원에 사용된 바와 같이, "인접"이란 2개의 가장 근접한 치환가능한 위치, 예컨대 비페닐의 2, 2' 위치, 또는 나프탈렌의 1, 8 위치를 갖는 2개의 이웃하는 고리 상에, 또는 서로 옆에 있는 동일 고리 상에 관련된 2개의 치환기가 존재할 수 있다는 것을 의미한다.
- [0051] 층, 물질, 영역, 및 디바이스는 이들이 방출하는 광의 색상에 관하여 본원에서 기술될 수 있다. 일반적으로, 본원에 사용된 바와 같이, 광의 특정 색상을 생성하는 것으로 기술된 발광 영역은 스택에서 서로 위에 배치된 하나 이상의 발광층을 포함할 수 있다.
- [0052] 본원에 사용된 바와 같이, "적색" 층, 물질, 영역, 또는 디바이스는 약 580 내지 700 nm 범위의 광을 방출하거나 이 영역에서 발광 스펙트럼의 가장 높은 피크를 갖는 것을 지칭한다. 마찬가지로, "녹색" 층, 물질, 영역, 또는 디바이스는 약 500 내지 600 nm 범위에서 피크 파장을 갖는 발광 스펙트럼을 방출하거나 갖는 것을 지칭하고; "청색" 층, 물질, 또는 디바이스는 약 400 내지 500 nm 범위에서 피크 파장을 갖는 발광 스펙트럼을 방출하

거나 갖는 것을 지칭하고; "황색" 층, 물질, 영역, 또는 디바이스는 약 540 내지 600 nm 범위에서 피크 파장을 갖는 발광 스펙트럼을 갖는 것을 지칭한다. 일부 배열에서, 별개의 영역, 층, 물질, 영역, 또는 디바이스는 별개의 "진청색" 및 "담청색" 광을 제공할 수 있다. 본원에 사용된 바와 같이, 별개의 "담청색" 및 "진청색"을 제공하는 배열에서, "진청색" 구성요소는 "담청색" 구성요소의 피크 발광 파장보다 약 4 nm 이상 더 작은 피크 발광 파장을 갖는 것을 지칭한다. 통상적으로, "담청색" 구성요소는 약 465 내지 500 nm 범위에서 피크 발광 파장을 가지며, "진청색" 구성요소는 약 400 내지 470 nm 범위에서 피크 발광 파장을 갖지만, 이들 범위는 일부 구성에 따라 달라질 수 있다. 마찬가지로, 색 변경층은 다른 색상의 광을 해당 색상에 지정된 파장을 갖는 광으로 변환하거나 변경하는 층을 지칭한다. 예를 들어, "적색" 컬러 필터는 약 580 내지 700 nm 범위에서 파장을 갖는 광을 생성하는 필터를 지칭한다. 일반적으로, 두 가지 부류의 색 변경층: 광의 원하지 않는 파장을 제거함으로써 스펙트럼을 변경하는 컬러 필터, 및 에너지가 높은 광자를 에너지가 낮은 광자로 전환하는 색 변경층이 존재한다. "색상의" 구성요소는, 활성화되거나 사용되는 경우, 앞서 기술된 특정 색상을 갖는 광을 생성하거나 방출하는 구성요소를 지칭한다. 예를 들어, "제1 색상의 제1 발광 영역" 및 "제1 색상과 상이한 제2 색상의 제2 발광 영역"은, 디바이스 내에서 활성화되는 경우, 앞서 기술된 두 가지 상이한 색상을 방출하는 2개의 발광 영역을 기술한다.

[0053] 본원에 사용된 바와 같이, 발광 물질, 층, 및 영역은 동일한 또는 상이한 구조에 의해 최종적으로 방출되는 광과는 대조적인, 물질, 층 또는 영역에 의해 초기에 생성된 광에 기초하여 서로 및 다른 구조와 구별될 수 있다. 통상적으로 초기 광 생성은 광자의 방출을 유발하는 에너지 준위 변화의 결과이다. 예를 들어, 유기 발광 물질은 초기에 청색광을 생성할 수 있으며, 이는 컬러 필터, 양자점 또는 다른 구조에 의해 적색광 또는 녹색광으로 변환되어, 완전한 발광 스택 또는 서브픽셀이 적색광 또는 녹색광을 방출할 수 있다. 이러한 경우에 초기 발광 물질 또는 층은 "청색" 구성요소로 지칭될 수 있지만, 서브픽셀은 "적색" 또는 "녹색" 구성요소이다.

[0054] 일부 경우에, 1931 CIE 좌표로 발광 영역, 서브픽셀, 색 변경층 등과 같은 구성요소의 색상을 기술하는 것이 바람직할 수 있다. 예를 들어, 황색 발광 물질은 복수의 피크 발광 파장을 가질 수 있으며, 앞서 기술된 바와 같이 하나는 "녹색" 영역의 엣지에 또는 그 근처에 있고, 하나는 "적색" 영역의 엣지 내에 또는 그 근처에 있다. 따라서, 본원에 사용된 바와 같이, 각각의 색상 용어는 또한 1931 CIE 좌표 색상 공간의 형태에 대응한다. 1931 CIE 색상 공간의 형태는 2개의 색상점과 임의의 추가 내부점 사이의 궤적을 따라 구성된다. 예를 들어, 적색, 녹색, 청색, 및 황색에 대한 내부 형태 파라미터는 이하에 나타난 바와 같이 정의될 수 있다.

색상	CIE 형태 파라미터
센트럴 레드	궤적: [0.6270,0.3725];[0.7347,0.2653]; 내부점:[0.5086,0.2657]
센트럴 그린	궤적: [0.0326,0.3530];[0.3731,0.6245]; 내부점:[0.2268,0.3321]
센트럴 블루	궤적: [0.1746,0.0052];[0.0326,0.3530]; 내부점:[0.2268,0.3321]
센트럴 옐로우	궤적: [0.3731,0.6245];[0.6270,0.3725]; 내부점: [0.3700,0.4087];[0.2886,0.4572]

[0055]

[0056] OLED에 대한 더욱 상세한 내용 및 전술한 정의는, 미국 특허 제7,279,704호에서 찾을 수 있으며, 이의 전문은 본원에 참조로 포함되어 있다.

[0057] 본원에 개시된 바와 같이, 도 1-2에 도시된 발광층(135) 및 발광층(220)과 같은 발광층 또는 물질은 각각 양자점을 포함할 수 있다. 본원에 개시된 "발광층" 또는 "발광 물질"은, 당업자의 이해에 따라 달리 명시적으로 또는 문맥으로 나타내지 않는 한, 유기 발광 물질 및/또는 양자점 또는 등가 구조를 포함하는 발광 물질을 포함할 수 있다. 일반적으로, 발광층은 호스트 매트릭스 내에 발광 물질을 포함한다. 이러한 발광층은 별도의 발광 물질 또는 다른 이미터에 의해 방출된 광을 변환하는 양자점 물질만을 포함할 수 있거나, 또는 별도의 발광 물질 또는 다른 이미터를 또한 포함할 수 있거나, 또는 전류 인가로부터 직접 발광할 수 있다. 마찬가지로, 색 변경층, 컬러 필터, 상향 변환 또는 하향 변환 층 또는 구조는 양자점을 함유하는 물질을 포함할 수 있지만, 그러한 층은 본원에 개시된 바와 같이 "발광층"으로 간주되지 않을 수 있다. 일반적으로, "발광층" 또는 물질은 주입된 전기 전하에 기반한 초기 광을 방출하는 것이며, 초기 광은 컬러 필터 또는 디바이스 내에서 초기 광을 스스로 방출하지 않는 다른 색 변경층과 같은 다른 층에 의해 변경될 수 있지만 발광층에 의해 방출된 초기 광의 흡수 및 낮은 에너지의 발광으로의 하향변환에 기초하여 상이한 스펙트럼 함량의 변경된 광을 재방출할 수 있다. 본원에 개시된 일부 실시양태에서, 색 변경층, 컬러 필터, 상향 변환 및/또는 하향 변환 층은 OLED 디바이스의 외부에, 예컨대 OLED 디바이스의 전극 위에 또는 아래에 배치될 수 있다.

[0058] 반대의 의미로 명시하지 않는 한, 다양한 실시양태의 임의의 층은 임의의 적합한 방법에 의하여 증착될 수

있다. 유기층의 경우, 바람직한 방법으로는 미국 특허 제6,013,982호 및 제6,087,196호(이 특허 문헌들은 그 전문이 참고로 포함됨)에 기재된 바와 같은 열 증발, 잉크-젯, 미국 특허 제6,337,102호(Forrest 등)(이 특허 문헌은 그 전문이 참고로 포함됨)에 기재된 바와 같은 유기 기상 증착(OPVD) 및 미국 특허 제7,431,968호(이 특허 문헌은 그 전문이 참고로 포함됨)에 기재된 바와 같은 유기 증기 제트 프린팅(OVJP, 또한 유기 증기 제트 증착(OVJD)으로도 지칭됨)에 의한 증착을 들 수 있다. 기타의 적합한 증착 방법은 스프인 코팅 및 기타의 용액계 공정을 포함한다. 용액계 공정은 질소 또는 불활성 분위기 중에서 실시되는 것이 바람직하다. 기타의 층의 경우, 바람직한 방법은 열 증발을 포함한다. 바람직한 패턴 형성 방법은 마스크를 통한 증착, 미국 특허 제6,294,398호 및 제6,468,819호(이 특허 문헌들은 그 전문이 참고로 포함됨)에 기재된 바와 같은 냉간 용접 및 잉크-젯 및 OVJD와 같은 일부 증착 방법과 관련된 패턴 형성을 포함한다. 다른 방법들도 사용될 수 있다. 증착시키고자 하는 물질은 특정한 증착 방법과 상용성을 갖도록 변형될 수 있다. 예를 들면, 분지형 또는 비분지형, 바람직하게는 3개 이상의 탄소를 포함하는 알킬기 및 아릴기와 같은 치환기는 소분자에 사용되어 이의 용액 가공 처리 능력을 향상시킬 수 있다. 20개 이상의 탄소를 갖는 치환기를 사용할 수 있으며, 3개 내지 20개의 탄소가 바람직한 범위이다. 비대칭 물질은 더 낮은 재결정화 경향성을 가질 수 있기 때문에, 비대칭 구조를 갖는 물질은 대칭 구조를 갖는 물질보다 더 우수한 용액 가공성을 가질 수 있다. 텐드리머 치환기를 사용하여 소분자의 용액 가공 처리 능력을 향상시킬 수 있다.

[0059] 본 개시내용의 실시양태에 따라 제작된 디바이스는 배리어층을 임의로 더 포함할 수 있다. 배리어층의 한 목적은 전극 및 유기층이 수분, 증기 및/또는 기체 등을 포함하는 환경에서 유해한 종에 대한 노출로 인하여 손상되지 않도록 보호하는 것이다. 배리어층은 엷지를 포함하는 디바이스의 임의의 기타 부분의 위에서, 또는 전극 또는 기판의 위에서, 아래에서 또는 옆에서 증착될 수 있다. 배리어층은 단일층 또는 다중층을 포함할 수 있다. 배리어층은 다양한 공지의 화학 기상 증착 기법에 의하여 형성될 수 있으며 복수의 상을 갖는 조성물 뿐만 아니라 단일 상을 갖는 조성물을 포함할 수 있다. 임의의 적합한 물질 또는 물질의 조합을 배리어층에 사용할 수 있다. 배리어층은 무기 또는 유기 화합물 또는 둘 다를 포함할 수 있다. 바람직한 배리어층은 미국 특허 제7,968,146호, PCT 특허 출원 PCT/US2007/023098 및 PCT/US2009/042829에 기재된 중합체 물질과 비중합체 물질의 혼합물을 포함하며, 이들 문헌은 본원에 그 전문이 참고로 포함된다. "혼합물"로 간주되기 위해, 배리어층을 포함하는 전술한 중합체 및 비중합체 물질은 동일한 반응 조건 하에서 및/또는 동시에 증착되어야 한다. 중합체 대 비중합체 물질의 중량비는 95:5 내지 5:95 범위일 수 있다. 중합체 물질 및 비중합체 물질은 동일한 전구체 물질로부터 생성될 수 있다. 한 예에서, 중합체 물질과 비중합체 물질의 혼합물은 실질적으로 중합체 규소 및 무기 규소로 이루어진다.

[0060] 형광 OLED의 내부 양자 효율(IQE)은 지연 형광을 통해 25% 스프인 통계 한계를 초과할 수 있다고 여겨진다. 본원에 사용된 바와 같이, 두 가지 유형의 지연 형광, 즉 P형 지연 형광 및 E형 지연 형광이 존재한다. P형 지연 형광은 삼중항-삼중항 소멸(TTA)로부터 생성된다.

[0061] 반면, E형 지연 형광은 두 삼중항의 충돌에 의존하지 않지만, 삼중항 상태와 단일항 여기 상태 사이의 열 집단(thermal population)에 의존한다. E형 지연 형광을 생성할 수 있는 화합물은 매우 작은 단일항-삼중항 갭을 가져야 한다. 열에너지는 삼중항 상태에서 다시 단일항 상태로의 전이를 활성화시킬 수 있다. 이러한 유형의 지연 형광은 열 활성화 지연 형광(TADF)으로도 알려져 있다. TADF의 뚜렷한 특징은 온도가 상승하면 열에너지의 증가로 인해 지연 성분이 증가한다는 것이다. 역 시스템간 교차 속도가 삼중항 상태에서 비-방사 붕괴를 최소화할 만큼 충분히 빠른 경우, 다시 채워진(back populated) 단일항 여기 상태의 분율은 잠재적으로 75%에 도달할 수 있다. 총 단일항 분율은 100%일 수 있으며, 이는 전기적으로 생성된 엑시톤에 대한 스프인 통계 한계를 훨씬 초과하는 것이다.

[0062] E형 지연 형광 특성은 엑시플렉스 시스템 또는 단일 화합물에서 찾을 수 있다. 이론에 얽매이지 않고, E형 지연 형광은 발광 물질이 작은 단일항-삼중항 에너지 갭($\Delta ES-T$)을 가지는 것을 필요로 한다고 여겨진다. 유기, 비금속 함유 도너-억셉터 발광 물질은 이를 달성할 수 있다. 이러한 물질에서의 발광은 보통 도너-억셉터 전하 이동(CT) 유형 발광으로 특징지어진다. 이러한 도너-억셉터 유형 화합물에서 HOMO 및 LUMO의 공간적 분리는 보통 작은 $\Delta ES-T$ 를 유도한다. 이러한 상태는 CT 상태를 포함할 수 있다. 많은 경우에, 도너-억셉터 발광 물질은 아미노 또는 카르바졸 유도체와 같은 전자 도너 모이어티와 N 함유 6원 방향족 고리와 같은 전자 억셉터 모이어티를 연결함으로써 구성된다.

[0063] 본 개시내용의 실시양태에 따라 제작된 디바이스는 다양한 전자 제품 또는 중간 부품 내에 포함될 수 있는 광범위하게 다양한 전자 부품 모듈(또는 유닛) 내에 포함될 수 있다. 이러한 전자 제품 또는 중간 부품의 예는 최종 소비자 제품 생산자에 의해 사용될 수 있는 디스플레이 스크린, 발광 디바이스, 예컨대 개별 광원 디바이스 또

는 조명 패널 등을 포함한다. 이러한 전자 부품 모듈은 임의로 구동 전자 장치 및/또는 동력원(들)을 포함할 수 있다. 본 개시내용의 실시양태에 따라 제작된 디바이스는 하나 이상의 전자 부품 모듈(또는 유닛)을 그 안에 포함하는 광범위하게 다양한 소비자 제품 내에 포함될 수 있다. OLED 내 유기층에 본 개시내용의 화합물을 포함하는 OLED를 포함하는 소비자 제품이 개시된다. 이러한 소비자 제품은 하나 이상의 광원(들) 및/또는 하나 이상의 어떤 종류의 영상 디스플레이를 포함하는 임의 종류의 제품을 포함할 것이다. 이러한 소비자 제품의 몇몇 예로는 평면 패널 디스플레이, 곡면 디스플레이, 컴퓨터 모니터, 의료용 모니터, 텔레비전, 광고판, 실내 또는 실외 조명 및/또는 신호용 라이트, 헤드업 디스플레이, 완전 또는 부분 투명 디스플레이, 플렉시블 디스플레이, 롤러블 디스플레이, 폴더블 디스플레이, 스트레처블 디스플레이, 레이저 프린터, 전화기, 휴대폰, 태블릿, 패블릿, 개인용 정보 단말기(PDA), 웨어러블 디바이스, 랩톱 컴퓨터, 디지털 카메라, 캠코더, 뷰파인더, 대각선이 2인치 미만인 마이크로 디스플레이, 3D 디스플레이, 가상 현실 또는 증강 현실 디스플레이, 차량, 함께 타일링된 다중 디스플레이를 포함하는 비디오 월, 극장 또는 스타디움 스크린, 및 간판이 있다. 패시브 매트릭스 및 액티브 매트릭스를 비롯한 다양한 조절 메커니즘을 사용하여 본 개시내용에 따라 제작된 디바이스를 조절할 수 있다. 다수의 디바이스는 사람에게 안락감을 주는 온도 범위, 예컨대 18°C 내지 30°C, 더욱 바람직하게는 실온(20°C 내지 25°C)에서 사용하고자 하지만, 상기 온도 범위 밖의 온도, 예컨대 -40°C 내지 +80°C에서도 사용될 수 있다.

[0064] 본원에 기재된 물질 및 구조는 OLED 이외의 디바이스에서의 적용예를 가질 수 있다. 예를 들면, 기타의 광전자 디바이스, 예컨대 유기 태양 전지 및 유기 광검출기는 상기 물질 및 구조를 사용할 수 있다. 보다 일반적으로, 유기 디바이스, 예컨대 유기 트랜지스터는 상기 물질 및 구조를 사용할 수 있다.

[0065] 당해 분야의 일반적인 용어에서, "서브픽셀"은 발광 영역에 의해 방출되는 색상을 변경하는 데 사용되는 임의의 색 변경층과 함께, 단일층 EML, 스택형 디바이스 등일 수 있는 발광 영역을 지칭할 수 있다.

[0066] 본원에 사용된 바와 같이, 서브픽셀의 "발광 영역"은 초기에 서브픽셀에 대한 광을 생성하는 데 사용되는 임의의 및 모든 발광층, 영역 및 디바이스를 지칭한다. 서브픽셀은 본원에 개시된 색 변경층과 같은 서브픽셀에 의해 궁극적으로 생성되는 색상에 영향을 미치는 발광 영역과 스택으로 배치된 추가의 층을 포함할 수도 있지만, 이러한 색 변경층은 통상적으로 본원에 개시된 "발광층"으로 간주되지 않는다. 필터링되지 않은 서브픽셀은 색 변경층과 같은 색 변경 성분을 배제하는 것이지만, 하나 이상의 발광 영역, 층, 또는 디바이스를 포함할 수 있다.

[0067] 일부 구성에서, "발광 영역"은 여러 색상의 광을 방출하는 발광 물질을 포함할 수 있다. 예를 들어, 황색 발광 영역은 각 물질이 OLED 디바이스에 단독으로 사용되는 경우 적색 및 녹색 광을 방출하는 복수의 물질을 포함할 수 있다. 황색 디바이스에서 사용되는 경우, 각각의 물질은 통상적으로 개별적으로 활성화되거나 어드레스될 수 있도록 배열되지 않는다. 즉, 상기 물질을 포함하는 "황색" OLED 스택은 적색, 녹색, 또는 황색 광을 생성하도록 구동될 수 없고; 오히려, 스택은 황색 광을 생성하도록 전체적으로 구동될 수 있다. 개별 이미터 수준에서, 스택은 황색 광을 직접 생성하지 않지만, 이러한 발광 영역은 황색 발광 영역으로 지칭될 수 있다. 이하에 더 상세하게 기술되는 바와 같이, (하나 초과인 경우) 발광 영역에 사용되는 개별 발광 물질은 디바이스 내의 동일한 발광 영역에, 또는 발광 영역을 포함하는 OLED 디바이스 내의 복수의 발광 영역에 배치될 수 있다. 이하에 더 상세하게 기술되는 바와 같이, 본원에 개시되는 실시양태는 발광 영역의 제한된 수의 색상을 포함하는 디스플레이와 같은 OLED 디바이스를 허용할 수 있지만 발광 영역의 색상의 수보다 많은 색상의 서브픽셀 또는 다른 OLED 디바이스를 포함한다. 예를 들어, 본원에 개시된 디바이스는 청색 및 황색 발광 영역만을 포함할 수 있다. 서브픽셀의 추가 색상은 황색 또는 청색 발광 영역과 스택으로 배치된 색 변경층과 같은 색 변경층의 사용에 의해, 또는 보다 일반적으로는 본원에 개시된 색 변경층, 전극 또는 마이크로캐비티를 형성하는 다른 구조, 또는 임의의 다른 적절한 구성을 통해 달성될 수 있다. 일부 경우에, 진청색 색 변경층이 담청색 발광 영역과 스택으로 배치되어 진청색 서브픽셀을 생성하는 경우와 같이, 서브픽셀에 의해 제공되는 일반적인 색상은 서브픽셀을 확정하는 스택의 발광 영역에 의해 제공되는 색상과 동일할 수 있다. 마찬가지로, 녹색 색 변경층이 황색 발광 영역과 스택으로 배치되어 녹색 서브픽셀을 생성하는 경우와 같이, 서브픽셀에 의해 제공되는 색상은 서브픽셀을 확정하는 스택의 발광 영역에 의해 제공되는 색상과 상이할 수 있다.

[0068] 일부 구성에서, 추가 층 및 회로(circuitry)가 발광 영역 또는 층의 일부를 별개로 어드레스 가능하게 하도록 제작되는 경우와 같이, 발광 영역 및/또는 발광층은 복수의 서브픽셀에 걸쳐있을 수 있다.

[0069] 본원에 개시된 발광 영역은 통상적으로 당해 분야에서 언급되고 본원에 사용되는 발광 "층"과 구별될 수 있다. 일부 경우에, 순차적으로 적색 및 녹색 발광층에 의해 황색 발광 영역이 제작되어 황색 발광 영역을 형성하는 경우와 같이, 단일 발광 영역은 복수의 층을 포함할 수 있다. 앞서 기술된 바와 같이, 이러한 층이 본원에 개시

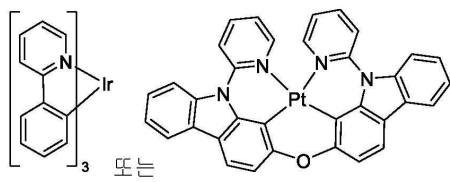
된 발광 영역에서 발생하는 경우, 상기 층은 단일 발광 스택 내에서 개별적으로 어드레스 가능하지 않다; 오히려, 상기 층은 동시에 활성화되거나 구동되어 발광 영역에 대한 바람직한 색상의 광을 생성한다. 다른 구성에서, 발광 영역은 단일 색상의 단일 발광 영역, 또는 동일한 색상의 복수의 발광층을 포함할 수 있으며, 이 경우 이러한 발광층의 색상은 발광층이 배치되는 발광 영역의 색상과 동일하거나 발광층이 배치되는 발광 영역의 색상의 스펙트럼의 동일한 영역 내에 있다.

[0070] **B. 본 개시내용의 OLED 및 디바이스**

[0071] OLED의 발광 영역에 사용하기 위한, (비이상적으로 정렬된 전이 쌍극자 모멘트를 갖는) 인광 화합물과 (우선적으로 배향된 전이 쌍극자 모멘트 벡터를 갖는) 형광 이미터의 조합이 본원에 개시되며, 인광 화합물은 형광 이미터에 대한 증감제로서 기능한다. 특히, 인광 증감제와 수평으로 정렬된 전이 쌍극자 모멘트를 갖는 형광단의 조합은 아웃커플링 효율을 개선할 수 있다. 다른 적용예에서, 수직으로 정렬된 전이 쌍극자 모멘트를 갖는 형광 엑셉터의 플라즈몬 모드에 대한 우선적 커플링은 플라즈몬 모드의 에너지를 위한 아웃커플링층을 포함하는 디바이스에 통합되는 경우 효율을 개선할 수 있다. 최적화된 화학적 안정성, 열적 특성, 및 광발광 양자 수율을 갖는 인광 화합물을 선택하여 우선적으로 정렬된 형광 이미터와 페어링하는 것은 OLED 디바이스의 수명과 효율의 최상의 밸런스를 제공할 수 있으며, 여기에서 인광 화합물은 엑셉터로서의 형광 이미터에 대한 증감제로서 기능한다. 이러한 전략을 이용하여 열적 또는 화학적 안정성을 희생시키지 않고 OLED의 광 아웃커플링을 향상시킬 수 있다.

[0072] OLED 디바이스의 성능을 최적화하기 위해, 인광 증감제는 열 및 합성 고려사항 외에도 색상, 수명, 전하 대 엑시톤 형성 효율, 및 EQE(VDR 포함)에 대하여 설계될 필요가 있다. 보통 낮은 VDR 실행에 대한 설계 기준은 열 안정성과 같은 다른 특성에 대한 설계와 반대된다. 또한, VDR을 고려하면 정렬상의 이유로 다른 우수한 특성을 가진 특정 패밀리를 사용하지 못할 수 있다. 이는 비수평 정렬된 VDR을 갖는 인광 물질이 매우 낮은 VDR로 형광 엑셉터에 대한 증감제로서 역할을 할 수 있는 녹색 및 청색 인광 물질에서 특히 중요하다. 이와 같이, 증감제는 PLQY, 수명, 전하 대 엑시톤 전환 효율, 열 안정성, 또는 합성 고려사항을 최적화하도록 설계될 수 있는 반면, 형광 엑셉터는 최종 OLED 디바이스의 효율을 증가시키기 위해 발광 스펙트럼 및 VDR을 미세 조정하도록 설계될 수 있다.

[0073] 한 측면에 따르면, 본 개시내용에 따른 OLED는 순차적으로 애노드; 정공 수송층; 발광 영역; 전자 수송층; 및 캐소드를 포함하며; 발광 영역은 화합물 S1; 및 화합물 A1을 포함한다. 화합물 S1은 에너지를 화합물 A1에 전달하는 유기금속 증감제이고, 화합물 A1은 발광 영역의 이미터인 엑셉터이다. 화합물 S1은 0.2 이상의 수직 쌍극자 비(VDR) 값을 갖고; 화합물 A1은 0.2 이하의 VDR 값을 갖는다. 일부 실시양태에서, 화합물 S1이 트리스-호모레픽 Ir 착물인 경우, 화합물 S1은 적어도 3개의 Ir-N 결합을 포함한다. 일부 실시양태에서, 화합물 S1이 Pt 착물인 경우, 화합물 S1은 카르벤 및 카르바졸을 모두 포함하지 않는다. OLED의 모든 실시양태에서, 화합물 S1은



가 아니다.

[0074] OLED의 일부 실시양태에서, 발광 영역은 제1 호스트인 화합물 H1을 포함하며 화합물 S1 및 화합물 A1 중 하나 이상은 제1 호스트에 도핑된다. 일부 실시양태에서, 화합물 S1, A1, 및 H1 중 하나 이상은 하나 이상의 중수소를 포함한다. 일부 실시양태에서, 화합물 H1은 비스카르바졸, 비카르바졸, 인돌로카르바졸, 1-N 인돌로카르바졸, 트리아진, 피리미딘, 보릴, 아자-디벤조셀레노펜, 아자-디벤조푸란, 아자-디벤조티오펜, 및 트리페닐렌으로부터 선택되는 모이어티를 포함한다.

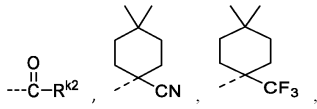
[0075] 일부 실시양태에서, 화합물 S1 및 화합물 A1 중 하나 이상은 하나 이상의 중수소를 포함한다.

[0076] 일부 실시양태에서, 화합물 S1은 디벤조푸란, 디벤조티오펜, 디벤조셀레노펜, 카르바졸, 아자-디벤조푸란, 아자-디벤조티오펜, 및 아자-디벤조셀레노펜으로 이루어진 군으로부터 선택되는 하나 이상의 모이어티를 포함한다. 일부 실시양태에서, 화합물 A1은 5개 이상의 5원 또는 6원 카르보시클릭 또는 헤테로시클릭 고리를 포함하는 융합 고리계를 포함한다. 일부 실시양태에서, 디벤조푸란, 디벤조티오펜, 디벤조셀레노펜, 카르바졸, 아자-디벤조푸란, 아자-디벤조티오펜, 및 아자-디벤조셀레노펜으로 이루어진 군으로부터 선택되는 하나 이상의 모이어티는 CN 또는 F 기를 포함한다.

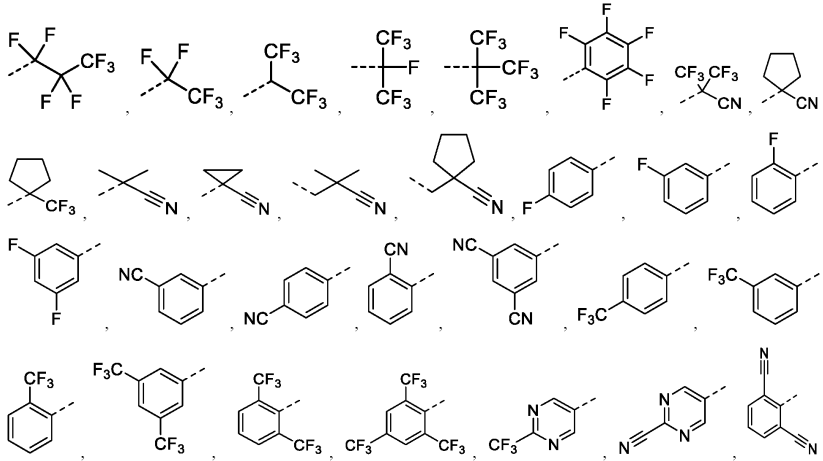
- [0077] 일부 실시양태에서, 화합물 S1은 실온에서 대략 1 중량%의 PMMA에서 도핑된 S1의 박막에서 3 μs 초과 발광 트랜지언트를 갖는다. 본원에 사용된 바와 같이, 실온은 약 20 내지 25°C 범위의 온도를 지칭한다. 일부 실시양태에서, 화합물 S1은 동일한 방식으로 측정된 100 μs 미만의 발광 트랜지언트를 갖는다. 바람직하게는, 화합물 S1은 동일한 방식으로 측정된 20 μs 미만의 발광 트랜지언트를 갖는다. 박막 샘플은 석영 기판(25 mm×25 mm 크기) 상에 제조된 PMMA 용액(대략 0.2 mL)을 드롭캐스팅하여 제작되었다. PMMA 용액은 톨루엔의 mL당 50 mg의 PMMA의 농도로 제조되었고 이미터는 PMMA에 대하여 대략 1 중량%의 농도로 도핑되었다. 340 nm SpectraLED 여기원을 사용하는 Horiba Fluorolog-3에서의 연속 질소 퍼징 하에서 실온에서 발광 트랜지언트를 측정한다. 박막의 두께는 50 내지 1,000 Å이다.
- [0078] 일부 실시양태에서, 화합물 S1은 4개 이상의 카르보시클릭 또는 헤테로시클릭 고리를 포함하는 제1 리간드를 포함한다. 일부 실시양태에서, 화합물 S1은 Ir 착물일 수 있다. 일부 실시양태에서, 화합물 S1은 Pt 착물일 수 있다. 일부 실시양태에서, 화합물 S1은 Pd 착물일 수 있다.
- [0079] 일부 실시양태에서, 실온 2-MeTHF 용액 중 화합물 S1은 490 nm 이상의 최대 발광의 10%까지의 발광 개시(onset)를 갖는다. 일부 실시양태에서, 실온 2-MeTHF 용액 중 화합물 S1은 495 nm 이상의 최대 발광의 10%까지의 발광 개시를 갖는다. 일부 실시양태에서, 실온 2-MeTHF 용액 중 화합물 S1은 500 nm 이상의 최대 발광의 10%까지의 발광 개시를 갖는다. 일부 실시양태에서, 실온 2-MeTHF 용액 중 화합물 S1은 505 nm 이상의 최대 발광의 10%까지의 발광 개시를 갖는다. 일부 실시양태에서, 실온 2-MeTHF 용액 중 화합물 S1은 510 nm 이상의 최대 발광의 10%까지의 발광 개시를 갖는다. 490 nm의 하한은 녹색 발광 증감 디바이스가 너무 많은 과잉 에너지를 피하는데 바람직할 수 있으며, 즉, 최대 발광이 ~520 nm인 경우, 490 미만의 최대 발광의 10%까지의 발광 개시를 갖는 것은 에너지의 큰 손실을 나타낼 수 있다. 또한, 높은 에너지에서의 여기 상태는 해로운 분해 경로에 대한 활성화 배리어를 극복할 가능성이 더 높다.
- [0080] 일부 실시양태에서, 화합물 A1은 30 nm 이하의 발광 반치폭(FWHM)을 갖는다. 30 nm의 FWHM의 상한은 바람직할 수 있는데 좁은 발광이 에너지/스펙트럼 이동의 큰 손실을 필요로 하지 않고 효율적인 포어스터(Foerster) 공명 에너지에 대한 엑시터와의 충분한 스펙트럼 중첩을 갖는 더 우수한 능력을 갖기 때문이다. 일부 실시양태에서, 화합물 A1에 대한 스토크스 이동은 20 nm 미만이다. 더 작은 스토크스 이동은 S1과 A1 사이의 우수한 스펙트럼 중첩을 갖는 데 필요한 과잉 에너지를 최소화한다.
- [0081] 일부 실시양태에서, 화합물 A1의 S₁-T₁ 갭은 0.3 eV 이하이다. S₁-T₁ 갭에 대한 0.3 eV의 상한은 바람직할 수 있는데 TADF 특성은 텍스터(Dexter) 이벤트의 T₁ 에너지를 형광 발광을 위한 S₁ 에너지 수준까지 다시 순환시키는 데 잠재적으로 중요하기 때문이다.
- [0082] 일부 실시양태에서, 화합물 S1은 HOMO 준위, E_{HIS}를 갖고 화합물 A1은 HOMO 준위, E_{HA}를 갖고 E_{HIS} > E_{HA}이다. 이러한 불균등은 엑시터 상의 전하 트래핑을 방지하는 데 바람직할 수 있다.
- [0083] 일부 실시양태에서, 화합물 A1은 LUMO 준위, E_{LA}를 갖고 화합물 H1은 LUMO 준위, E_{LH}를 갖고 E_{LH} < E_{LA}이다. 이러한 불균등은 엑시터 상의 전하 트래핑을 방지하는 데 바람직할 수 있다.
- [0084] 일부 실시양태에서, 실온 2-MeTHF 용액 중 화합물 S1은 최대 발광 피크, λ_{maxS} 를 갖고, 실온 2-MeTHF 용액 중 화합물 A1은 최대 발광 피크, λ_{maxA} 를 갖고, $\lambda_{\text{maxS}} - \lambda_{\text{maxA}} < 20$ nm이다. 이 차이를 20 nm 미만으로 유지하는 것이 바람직할 수 있는데 더 작은 차이가 에너지 손실을 피하는 데 도움이 되기 때문이다.
- [0085] 일부 실시양태에서, 화합물 S1은 백금-산소 결합을 포함한다. 일부 실시양태에서, 화합물 S1은 중수소화된 알킬기를 포함한다. 일부 실시양태에서, S1은 하나 이상의 금속 대 카르벤 결합을 포함한다. 일부 실시양태에서, S1은 하나 이상의 전자 구인성기를 포함한다. 일부 이러한 실시양태에서, 전자 구인성기는 공통적으로 비제한적으로 불소, 산소, 황, 질소, 염소, 및 브롬을 포함하는 하나 이상의 고 전기음성 원소를 포함한다. 일부 이러한 실시양태에서, 전자 구인성기는 0보다 큰 하메트(Hammett) 상수를 갖는다. 일부 이러한 실시양태에서, 전자 구인성기는 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0, 또는 1.1 이상의 하메트 상수를 갖는다.
- [0086] 일부 이러한 실시양태에서, 전자 구인성기는 하기 구조(LIST EWG 1): F, CF₃, CN, COCH₃, CHO, COCF₃, COOMe, COOCF₃, NO₂, SF₃, SiF₃, PF₄, SF₅, OCF₃, SCF₃, SeCF₃, SOCF₃, SO₂F, SO₂CF₃, SeO₂CF₃, OSeO₂CF₃, OCN, SCN, SeCN, NC, N(R)^{k2}, (R)^{k2}₂CCN, (R)^{k2}₂CCF₃, CNC(CF₃)₂, BR R^{k3 k2}, 치환되거나 치환되지 않은 디벤조보롤, 1-치

환된 카르바졸, 1,9-치환된 카르바졸, 치환되거나 치환되지 않은 카르바졸, 치환되거나 치환되지 않은 피리딘, 치환되거나 치환되지 않은 피리미딘, 치환되거나 치환되지 않은 피라진, 치환되거나 치환되지 않은 피리독신, 치환되거나 치환되지 않은 트리아진, 치환되거나 치환되지 않은 옥사졸, 치환되거나 치환되지 않은 벤즈옥사졸, 치환되거나 치환되지 않은 티아졸, 치환되거나 치환되지 않은 벤조티아졸, 치환되거나 치환되지 않은 이미다졸, 치환되거나 치환되지 않은 벤즈이미다졸, 케톤, 카르복실산, 에스테르, 니트릴, 이소니트릴, 술폰닐, 술폰닐, 부분적으로 및 완전히 불소화된 알킬, 부분적으로 및 완전히 불소화된 아릴, 부분적으로 및 완전히 불소화된 헤테로아릴, 시아노 함유 알킬, 시아노 함유 아릴, 시아노 함유 헤테로아릴, 이소시아네이트,

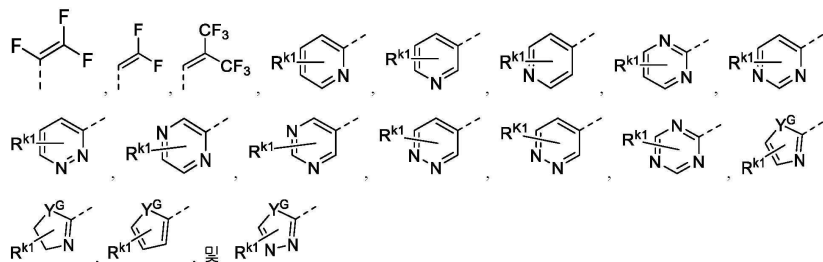
[0087]



[0088]



[0089]



[0090]

로 이루어진 군으로부터 선택되며;

[0091]

여기에서 Y^G 는 BR_e , NR_e , PR_e , O, S, Se, C=O, S=O, SO_2 , CR_eR_f , SiR_eR_f , 및 GeR_eR_f 로 이루어진 군으로부터 선택되고;

[0092]

R^{k1} 은 각각 독립적으로 일치환 내지 최대 허용가능한 치환, 또는 무치환을 나타내고;

[0093]

각각의 R^{k1} , R^{k2} , R^{k3} , R_e , 및 R_f 는 독립적으로 수소, 또는 본원에 정의된 일반 치환기로 이루어진 군으로부터 선택되는 치환기이다.

[0094]

일부 이러한 실시양태에서, 전자 구인성 기는 CN 또는 F일 수 있다.

[0095]

OLED의 일부 실시양태에서, 화합물 A1은 보릴기를 포함한다.

[0096]

발광 영역이 화합물 H1을 포함하는 OLED의 일부 실시양태에서, 화합물 H1은 보릴기를 포함한다.

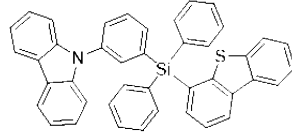
[0097]

발광 영역이 화합물 H1을 포함하는 OLED의 일부 실시양태에서, 발광 영역은 제2 호스트로서 화합물 H2를 추가로 포함하며, 화합물 H2는 HOMO, E_{H22} 를 갖고 $E_{H1A} - E_{H22} < 0.25$ 이다. 역셉터 HOMO 준위가 호스트 HOMO 준위에 가깝거나 이보다 깊어서 역셉터 상의 원하지 않는 직접 전하 재조합을 유도할 수 있는 역셉터 상의 강한 전하 트래핑을 방지하는 것이 바람직함이 이해되어야 한다.

[0098] OLED의 일부 실시양태에서, 화합물 S1의 VDR 값은 0.25 초과, 보다 바람직하게는 0.3 초과, 가장 바람직하게는 0.35 초과이다.

[0099] OLED의 일부 실시양태에서, 화합물 A1의 VDR 값은 0.15 미만, 보다 바람직하게는 0.1 미만이다.

[0100] 화합물 A1의 VDR 값에 대한 화합물 S1의 효과 - 화합물 S1 및 화합물 A1만을 포함하는 제1 박막은 참조 호스트 화합물 A에 도핑된 화합물 A1을 포함하는 제2 박막보다 낮은 VDR을 가지며, 화합물 A1은 제1 박막 및 제2 박막



의 유일한 이미터이고, 참조 호스트 화합물 A는 이다.

[0101] 일부 실시양태에서, 화합물 S1은 Ir, Pt, Pd, Zn, Au, Ag, 및 Cu로부터 선택되는 금속 M을 포함하는 금속 착물이다. 일부 실시양태에서, 금속 M은 Ir, Pt, 또는 Pd이고 화합물 S1은 $M(L^1)_x(L^2)_y(L^3)_z$ 의 화학식을 갖고;

[0102] 상기 화학식에서 L^1 , L^2 , 및 L^3 은 동일하거나 상이할 수 있고;

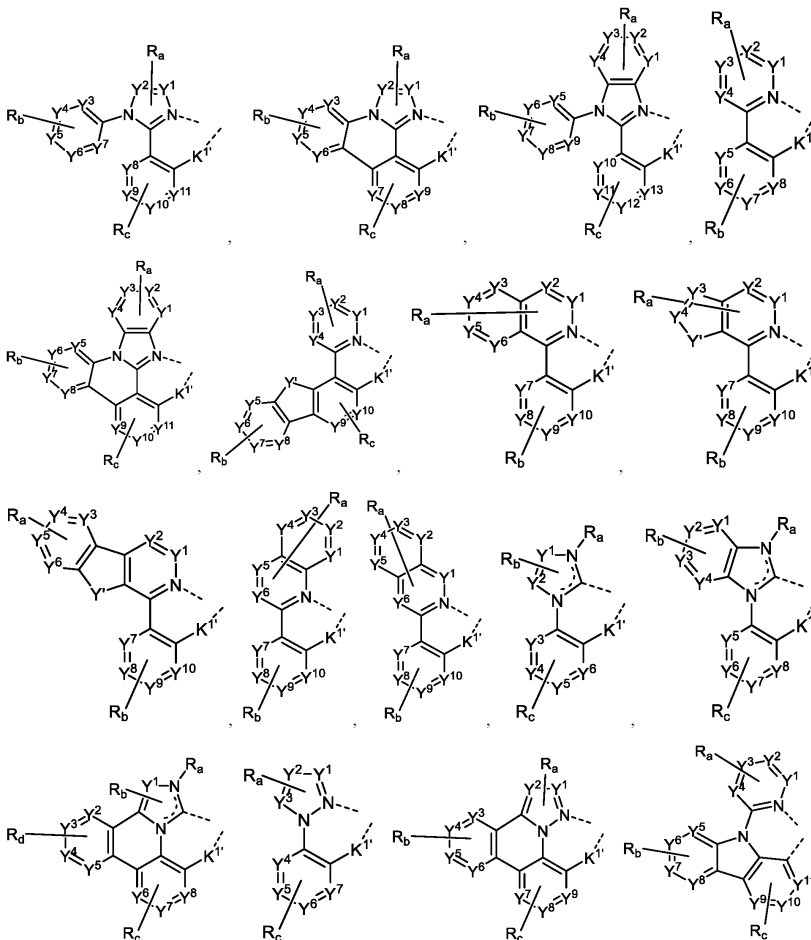
[0103] x 는 1, 2, 또는 3이고;

[0104] y 는 0, 1, 또는 2이고;

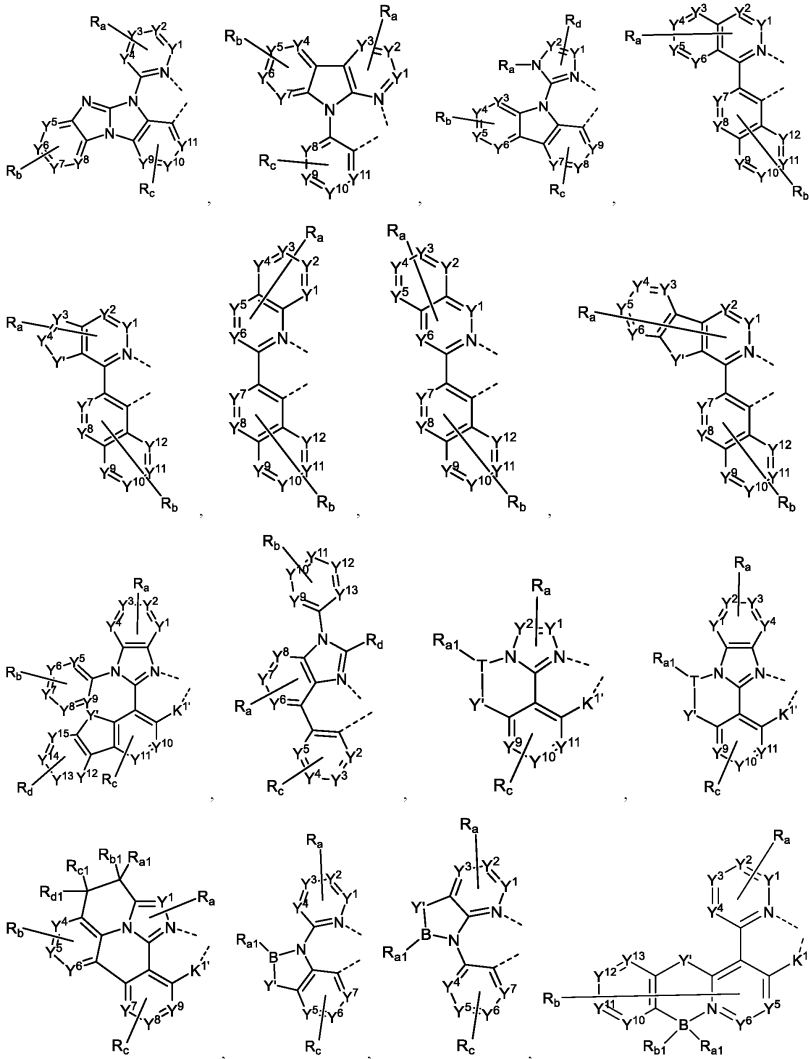
[0105] z 는 0, 1, 또는 2이고;

[0106] $x+y+z$ 는 금속 M의 산화 상태이고;

[0107] L^1 은 하기 LIGAND LIST의 구조로 이루어진 군으로부터 선택되고:



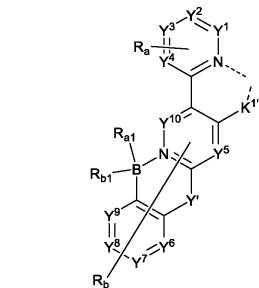
[0108]



[0109]

및

[0110]



[0111]

L^2 및 L^3 은 독립적으로 , 및 LIGAND LIST의 구조로 이루어진 군으로부터 선택되며; 여기에서:

[0112]

T는 B, Al, Ga, 및 In으로 이루어진 군으로부터 선택되고;

[0113]

$K^{1'}$ 는 직접 결합이거나 NR_e , PR_e , O, S, 및 Se로 이루어진 군으로부터 선택되고;

[0114]

각각의 Y^1 내지 Y^{13} 은 독립적으로 탄소 및 질소로 이루어진 군으로부터 선택되고;

[0115]

Y' 는 BR_e , NR_e , PR_e , O, S, Se, C=O, S=O, SO_2 , CR_eR_f , SiR_eR_f , 및 GeR_eR_f 로 이루어진 군으로부터 선택되고;

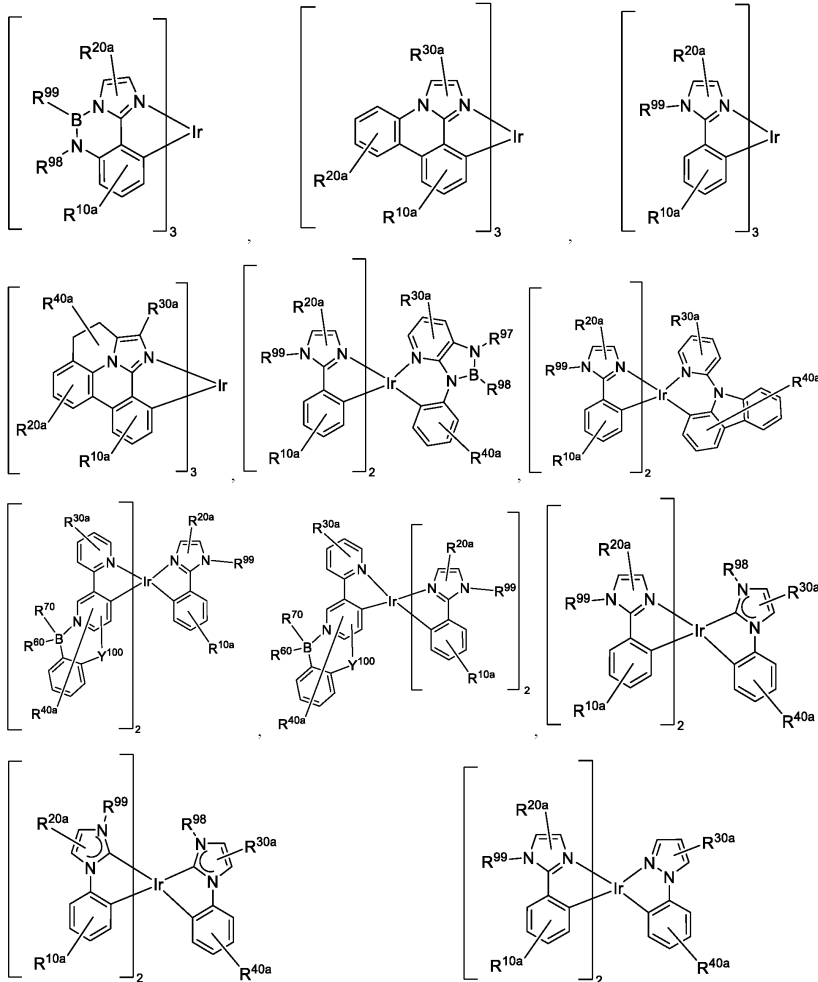
[0116] R_c 및 R_f 는 융합되거나 연결되어 고리를 형성할 수 있고;

[0117] 각각의 R_a , R_b , R_c , 및 R_d 는 독립적으로 일치환 내지 최대 가능한 수의 치환, 또는 무치환을 나타낼 수 있고;

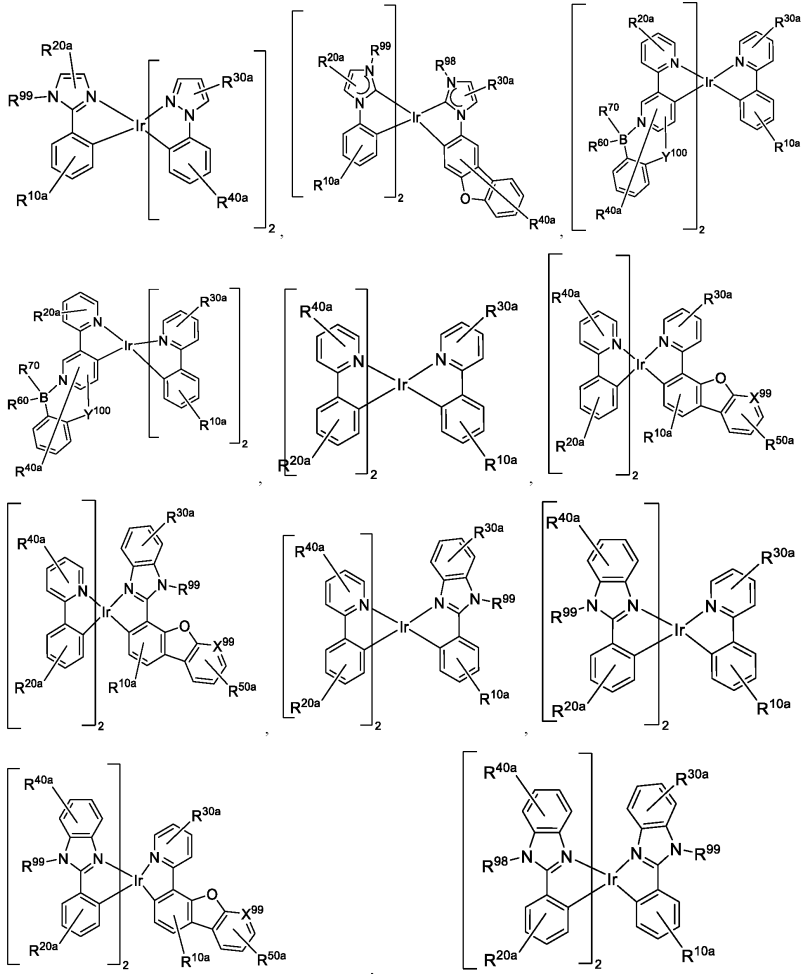
[0118] 각각의 R_{a1} , R_{b1} , R_{c1} , R_{d1} , R_a , R_b , R_c , R_d , R_e , 및 R_f 는 독립적으로 수소, 또는 본원에 정의된 일반 치환기로 이루어진 군으로부터 선택되는 치환기이고;

[0119] R_{a1} , R_{b1} , R_{c1} , R_{d1} , R_a , R_b , R_c , 및 R_d 중 임의의 2개는 융합되거나 연결되어 고리를 형성하거나 다좌 리간드를 형성할 수 있다.

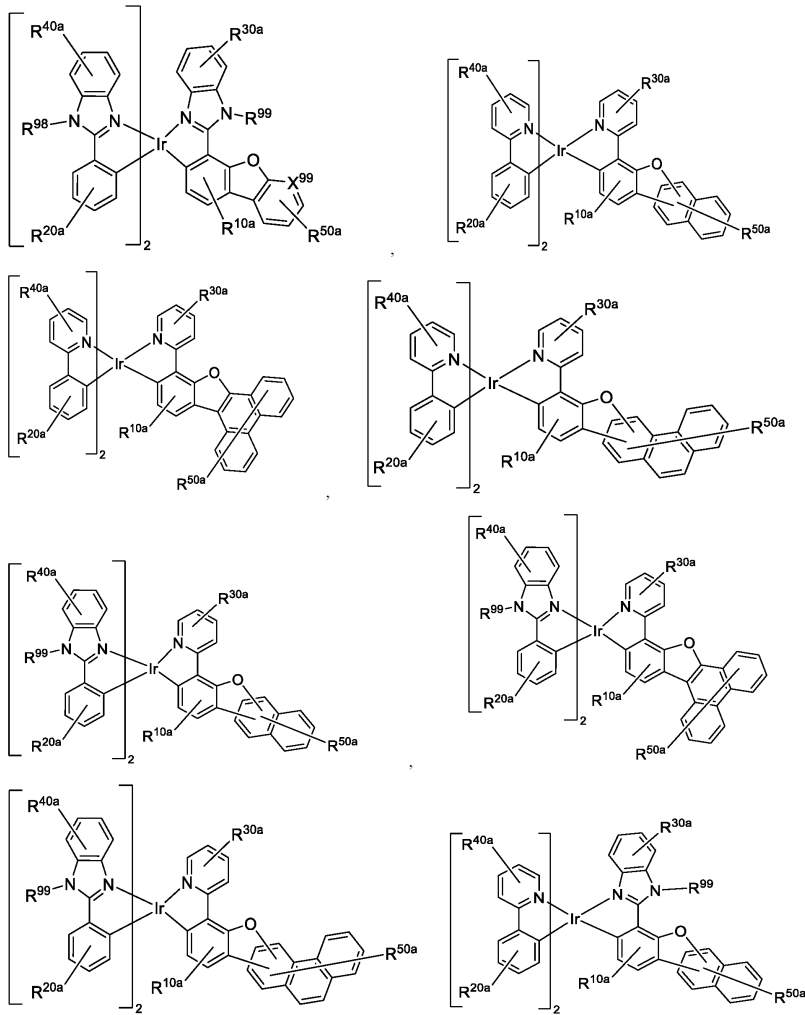
[0120] 본 개시내용의 OLED의 일부 실시양태에서, 화합물 S1은 하기 SENSITIZER LIST2의 구조로 이루어진 군으로부터 선택되는 화학식을 갖는다:



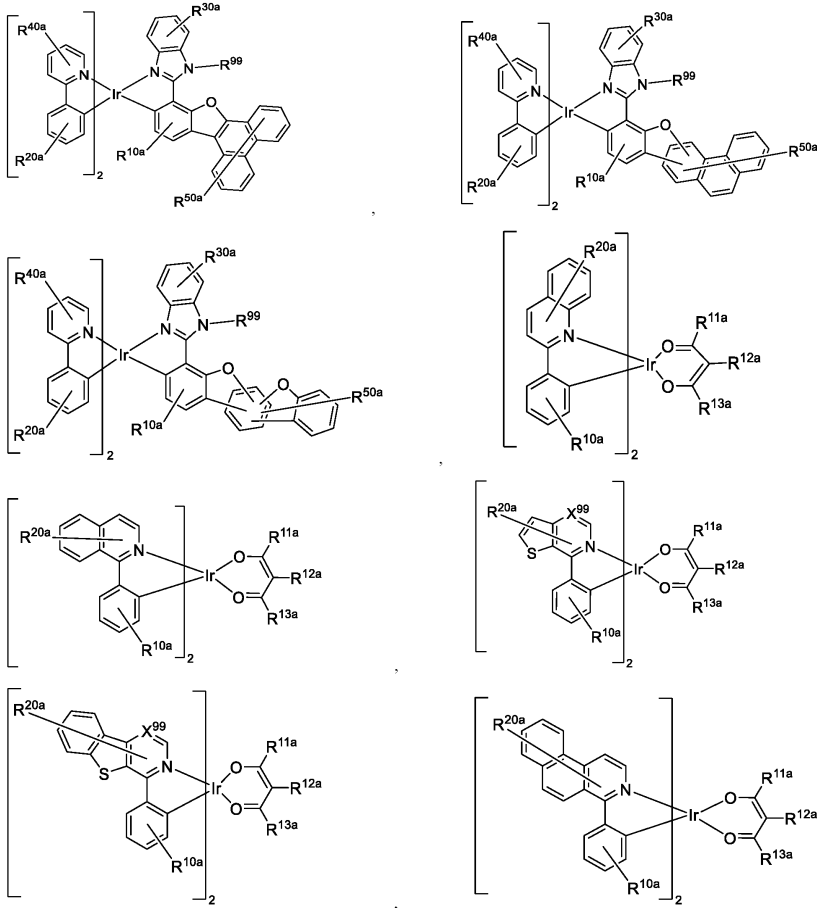
[0121]



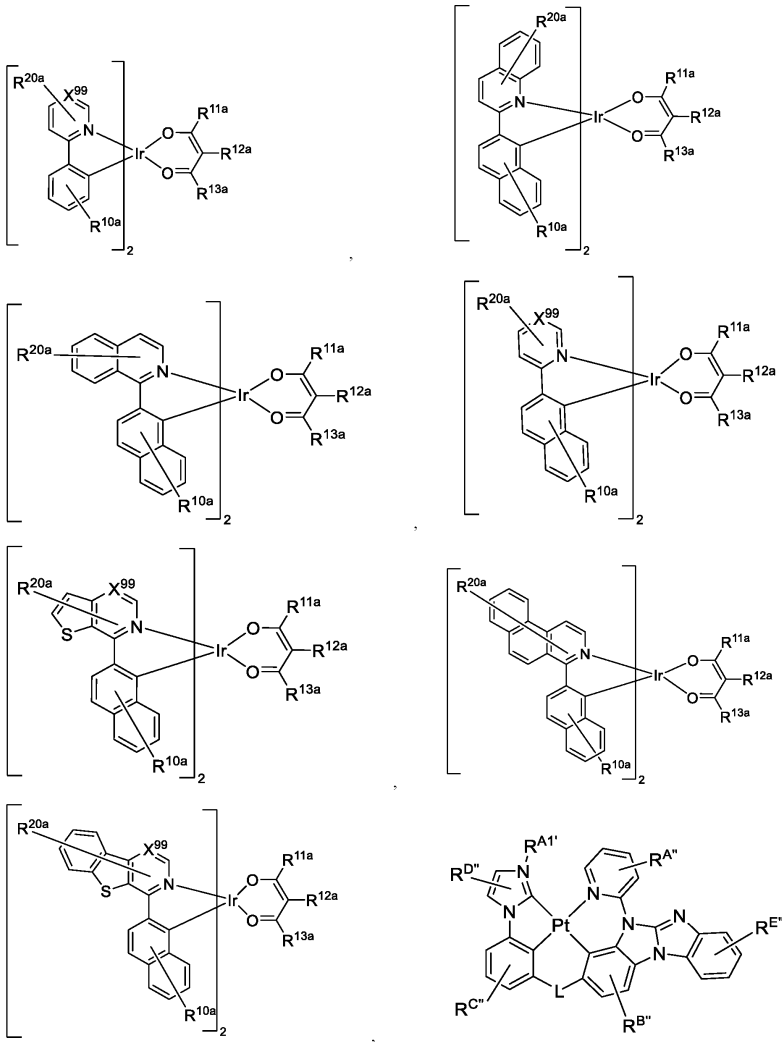
[0122]



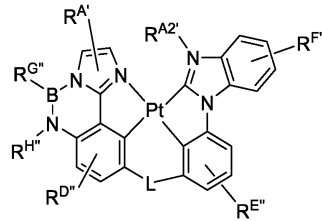
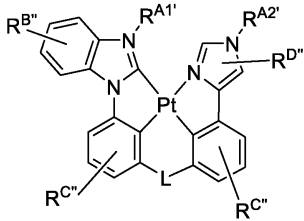
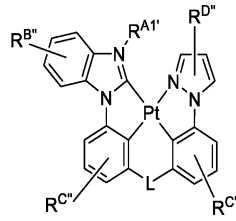
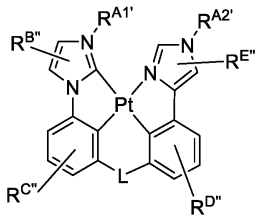
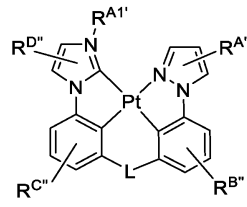
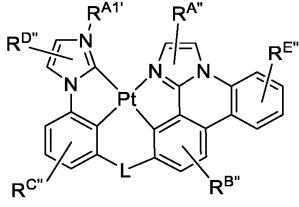
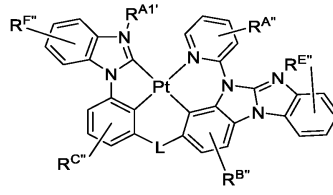
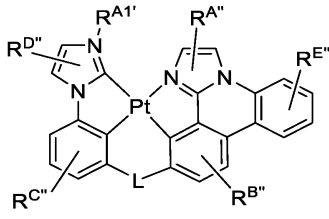
[0123]



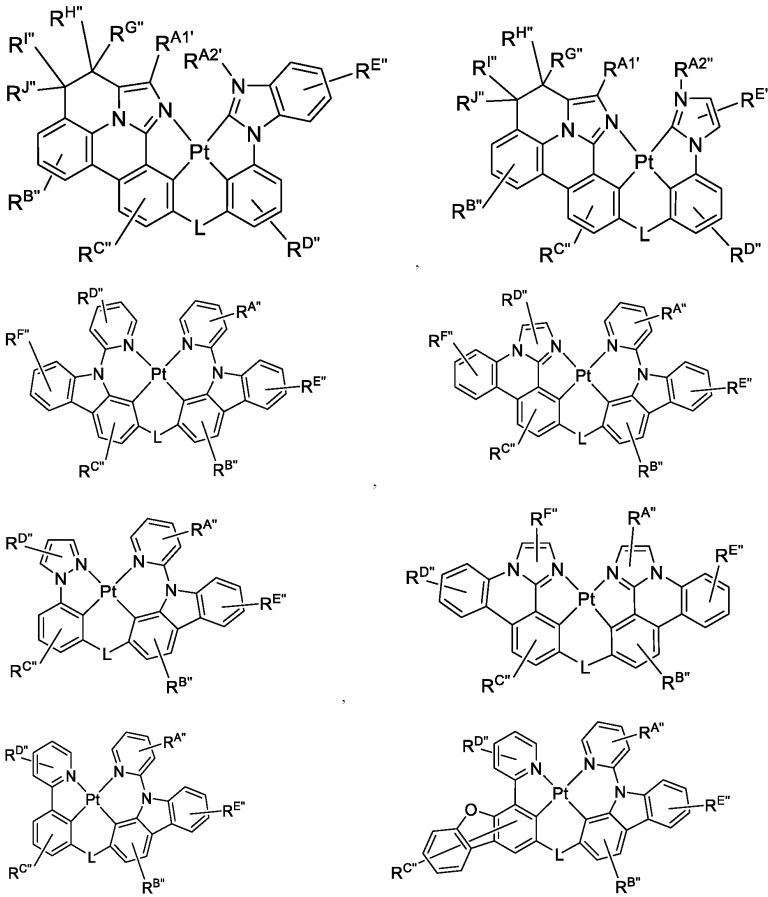
[0124]



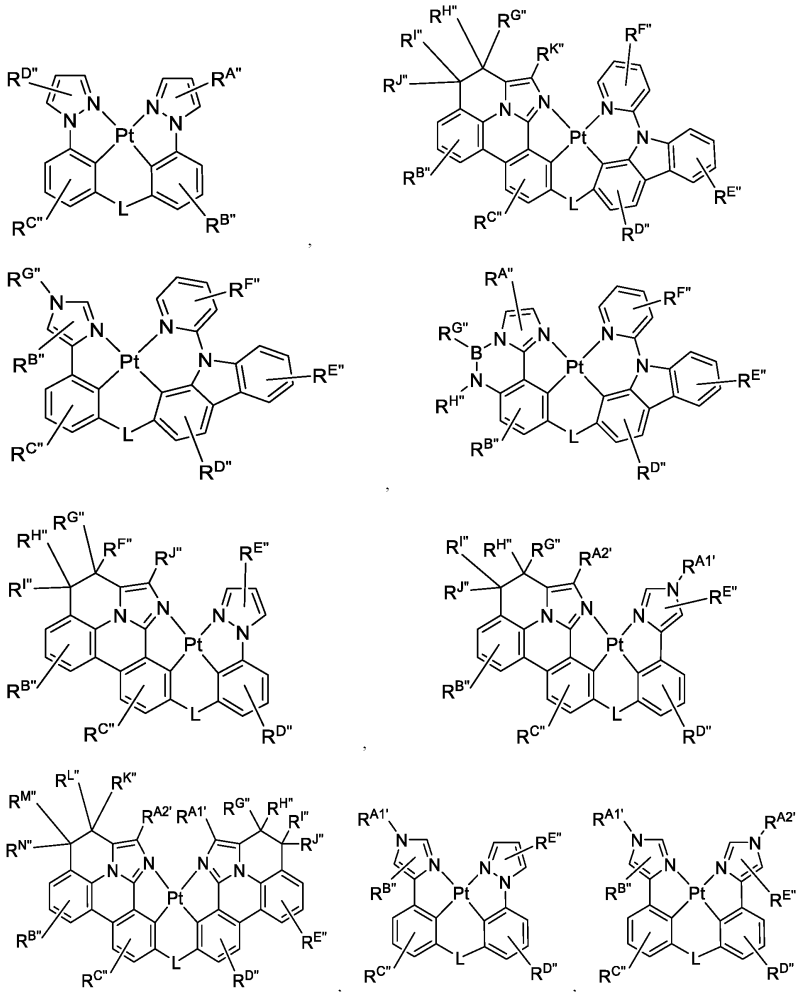
[0125]



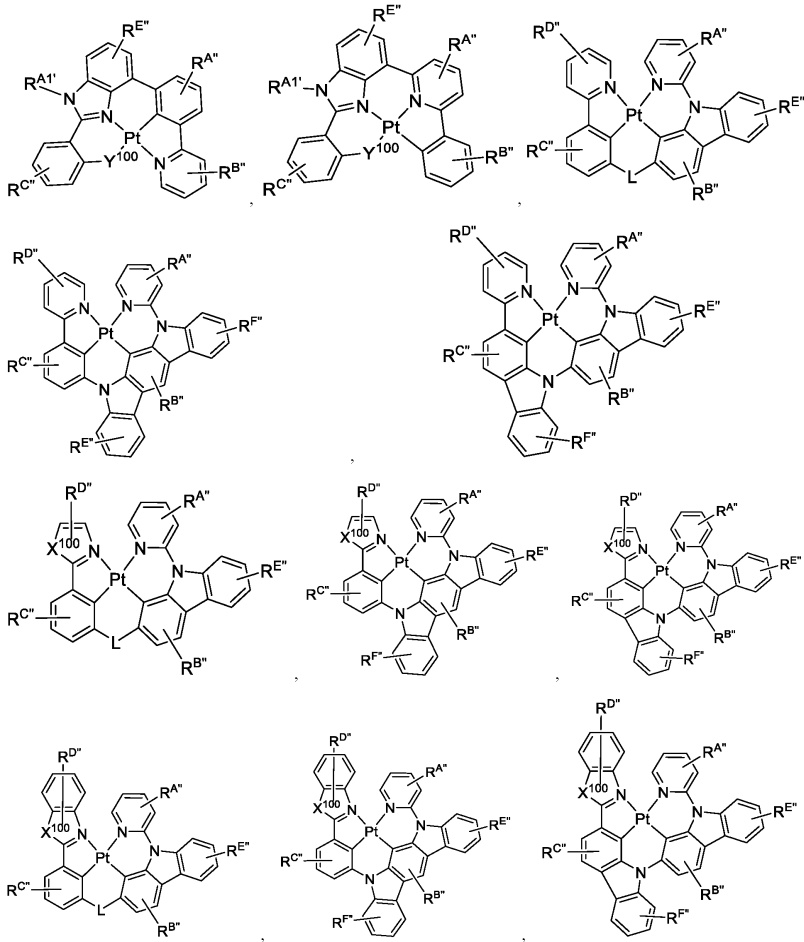
[0126]



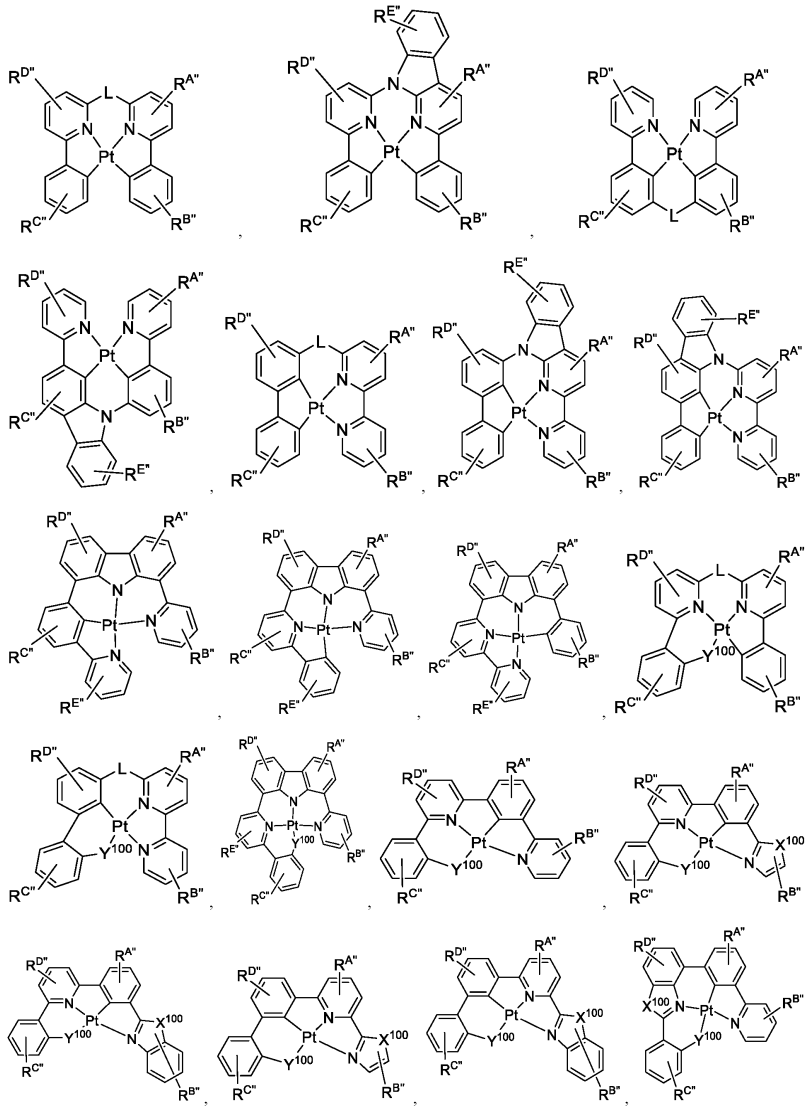
[0127]



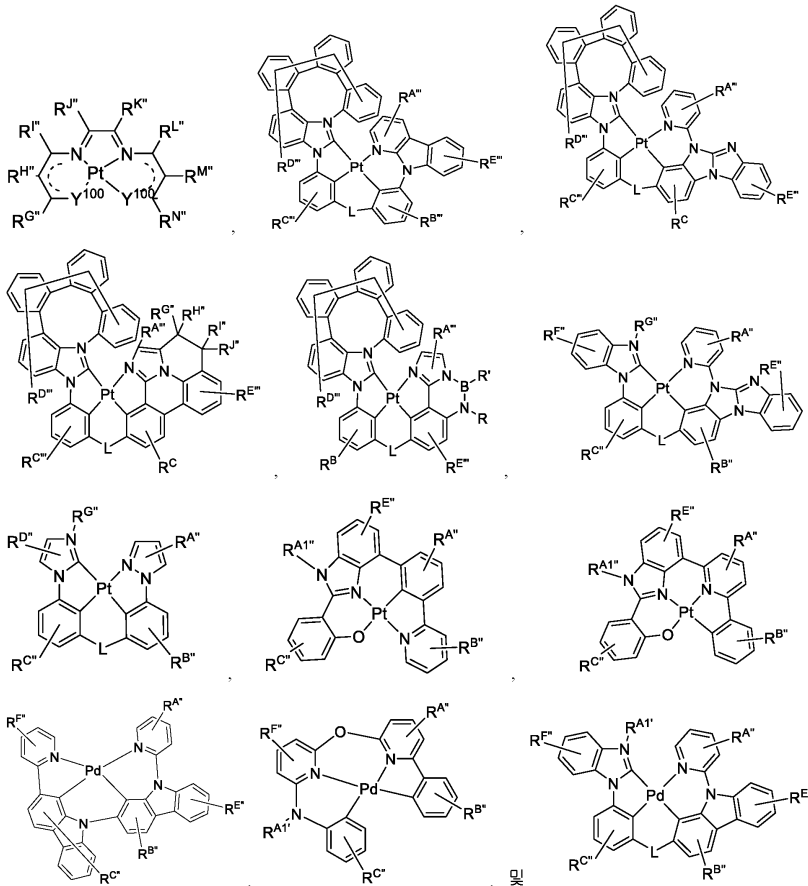
[0128]



[0129]



[0130]



[0131]

[0132] 상기 화학식에서:

[0133] X⁹⁹는 C 또는 N이고;

[0134] 각각의 Y¹⁰⁰은 독립적으로 NR^{1''}, O, S, 및 Se로 이루어진 군으로부터 선택되고;

[0135] L은 독립적으로 직접 결합, BR^{1''}, BR^{1''}R^{1'''}, NR^{1''}, PR^{1''}, O, S, Se, C=O, C=S, C=Se, C=NR^{1''}, C=CR^{1''}R^{1'''}, S=O, SO₂, CR^{1''}, CR^{1''}R^{1'''}, SiR^{1''}R^{1'''}, GeR^{1''}R^{1'''}, 알킬, 시클로알킬, 아릴, 헤테로아릴, 및 이들의 조합으로 이루어진 군으로부터 선택되고;

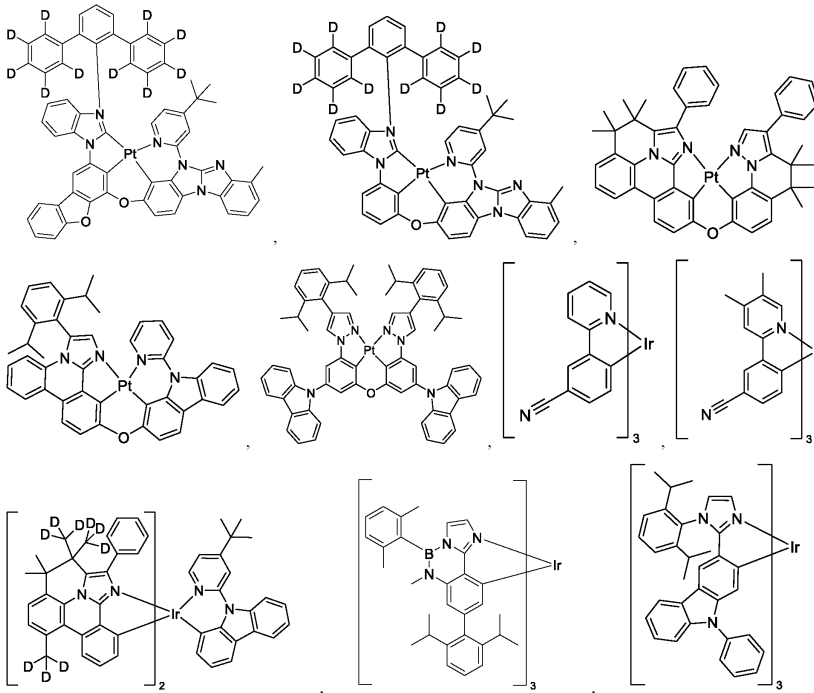
[0136] 각각의 존재에 대하여 X¹⁰⁰은 O, S, Se, NR^{1''}, 및 CR^{1''}R^{1'''}로 이루어진 군으로부터 선택되고;

[0137] 각각의 R^{10a}, R^{20a}, R^{30a}, R^{40a}, 및 R^{50a}, R^{A1''}, R^{B1''}, R^{C1''}, R^{D1''}, R^{E1''}, 및 R^{F1''}는 독립적으로 일치환, 최대까지의 치환, 또는 무치환을 나타내고;

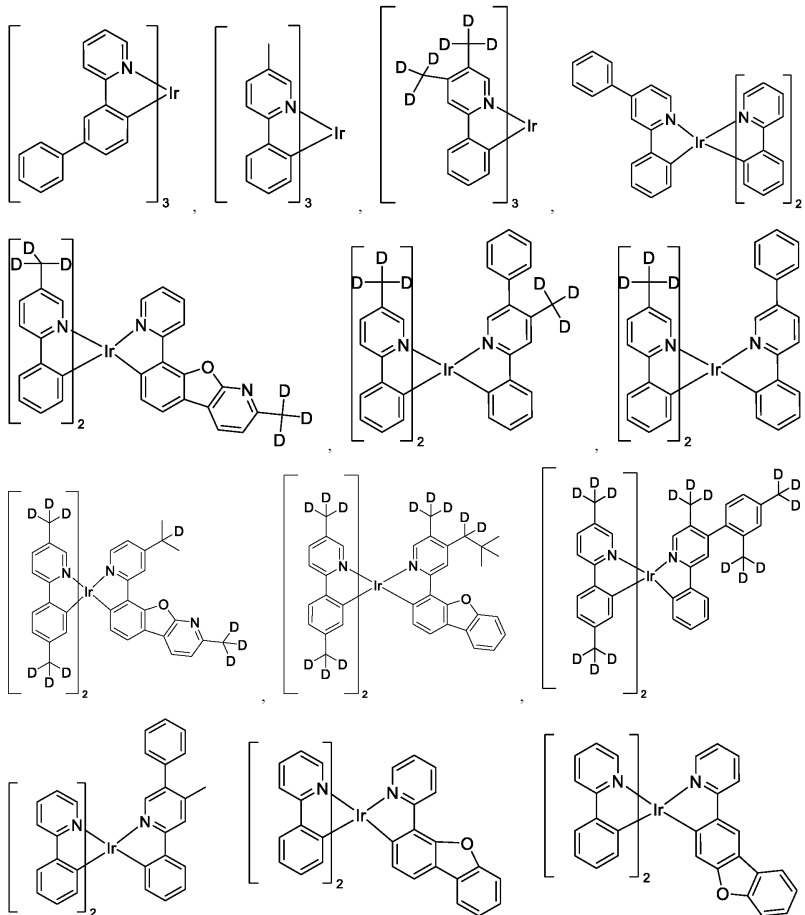
[0138] 각각의 R, R', R^{1''}, R^{1'''}, R^{10a}, R^{11a}, R^{12a}, R^{13a}, R^{20a}, R^{30a}, R^{40a}, R^{50a}, R⁶⁰, R⁷⁰, R⁹⁷, R⁹⁸, R⁹⁹, R^{A1''}, R^{A2''}, R^{A1''}, R^{B1''}, R^{C1''}, R^{D1''}, R^{E1''}, R^{F1''}, R^{G1''}, R^{H1''}, R^{I1''}, R^{J1''}, R^{K1''}, R^{L1''}, R^{M1''}, 및 R^{N1''}는 독립적으로 수소, 또는 본원에 정의된 일반 치환기로 이루어진 군으로부터 선택되는 치환기이며; 임의의 2개의 치환기는 융합되거나 연결되어 고리를 형성할 수 있다.

[0139] SENSITIZER LIST 2의 각각의 이러한 화합물의 금속 Pt는 Pd로 치환될 수 있고, 이러한 유도된 Pd 화합물도 명시적으로 커버하고자 함을 이해해야 한다.

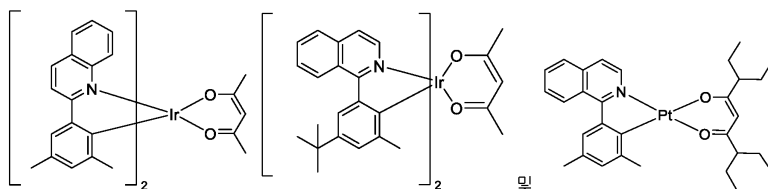
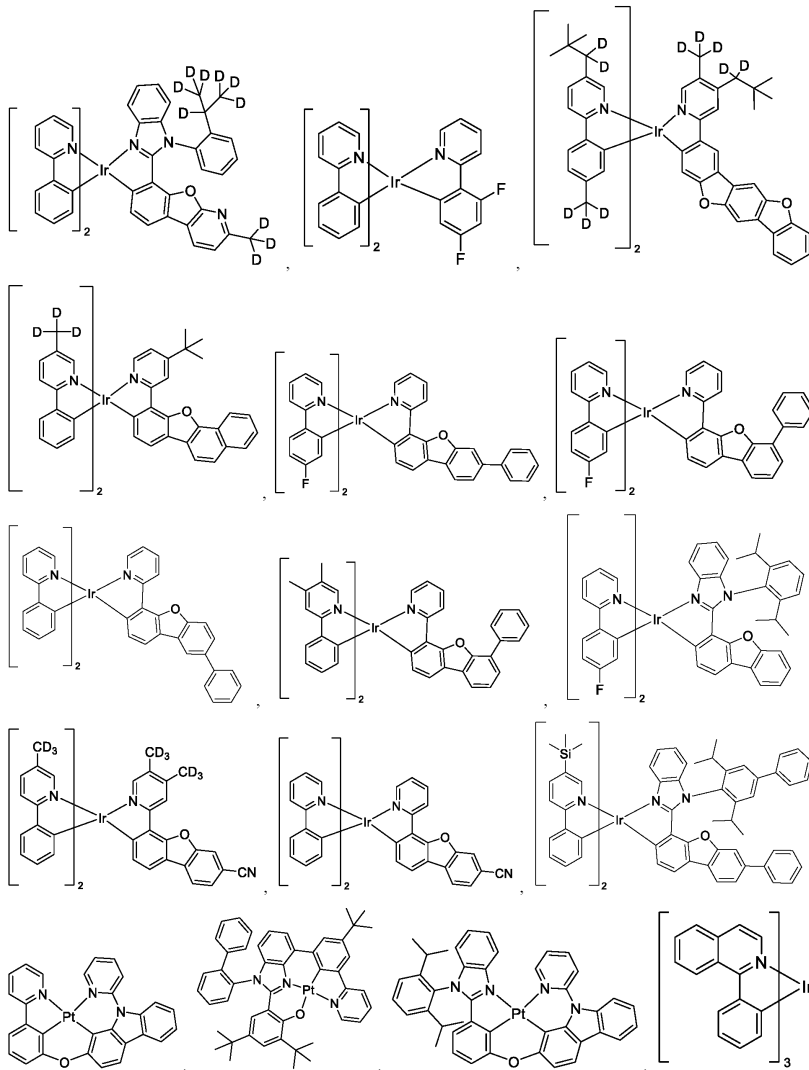
[0140] 일부 실시양태에서, 화합물 S1은 하기 SENSITIZER LIST3의 구조로 이루어진 군으로부터 선택되는 화학식을 갖는다:



[0141]



[0142]



[0145] 다른 측면에 따르면, 신규한 조성물이 개시된다. 조성물은 화합물 S1; 및 화합물 A1을 포함하고; 조성물이 유기 전계발광 디바이스의 발광층 내에 형성되는 경우, 화합물 S1은 에너지를 화합물 A1에 전달하는 유기금속 증감제로서 기능하고 화합물 A1은 이미터인 억셉터이고; 화합물 A1은 0.33 이상의 VDR 값을 갖는다. 바람직하게는, 화합물 A1의 VDR 값은 0.4 이상이다. 보다 바람직하게는, 화합물 A1의 VDR 값은 0.5 이상이다.

[0146] 다른 측면에 따르면, OLED가 개시되며 OLED는 기관; 제1 전극; 전극 위에 배치된 유기 발광 물질을 포함하는 유기 발광층을 포함하고; 발광 물질은 임의의 상기 언급된 신규한 조성물을 포함한다.

[0147] [강화층]

[0148] 임의의 신규한 조성물을 포함하는 발광 물질을 포함하는 OLED의 일부 실시양태에서, 디바이스는 강화층을 추가로 포함하며, 이는 제1 전극의 반대쪽에서 유기 발광층 위에 배치된, 유기 발광 물질에 비방사적으로 커플링되는 표면 플라즈몬 공명을 나타내는 플라즈몬 물질을 포함하고, 이는 유기 발광 물질로부터 표면 플라즈몬 플라톤의 비방사 모드 에너지로 여기 상태 에너지를 전달하고; 강화층은 유기 발광층으로부터 임계 거리 이내에 제공되고; 유기 발광 물질은 강화층의 존재로 인해 총 비방사성 붕괴 속도 상수 및 총 방사성 붕괴 속도 상수를 갖고, "임계 거리"는 총 비방사성 붕괴 속도 상수가 총 방사성 붕괴 속도 상수와 동일한 곳으로 정의된다. 이리

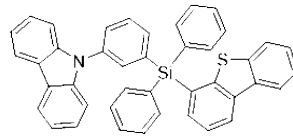
한 OLED는 강화층 위에 배치된 아웃커플링층을 포함할 수도 있으며, 아웃커플링층은 광자로서의 표면 플라즈몬 폴라리톤의 비방사성 모드 에너지를 자유 공간으로 산란시킨다.

- [0149] 일부 실시양태에서,
- [0150] 기관;
- [0151] 제1 전극;
- [0152] 제1 전극 위에 배치된 유기 발광 영역;
- [0153] 제1 전극의 반대쪽에서 유기 발광 영역 위에 배치된 강화층
- [0154] 을 포함하는 OLED가 개시되며;
- [0155] 발광 영역은
- [0156] 화합물 S1; 및
- [0157] 화합물 A1
- [0158] 을 포함하고;
- [0159] 화합물 S1은 에너지를 화합물 A1로 전달하는 증감제이고, 화합물 A1은 이미터인 엑셉터이고, 강화층은 화합물 A1, 화합물 S1, 또는 화합물 A1 및 S1 모두에 비방사적으로 커플링되는 표면 플라즈몬 공명을 나타내는 플라즈몬 물질을 포함하고, 화합물 A1, 화합물 S1, 또는 화합물 A1 및 S1 모두로부터 표면 플라즈몬 폴라리톤의 비방사 모드 에너지로 여기 상태 에너지를 전달한다.
- [0160] 강화층을 갖는 OLED의 일부 실시양태에서, 강화층은 유기 발광 영역으로부터 임계 거리 이내에 제공되며, 화합물 A1은 강화층의 존재로 인해 총 비방사성 붕괴 속도 상수 및 총 방사성 붕괴 속도 상수를 갖는다. 강화층을 갖는 OLED의 일부 실시양태에서, 강화층은 Ag, Al, Au, Ir, Pt, Ni, Cu, W, Ta, Fe, Cr, Mg, Ga, Rh, Ti, Ru, Pd, In, Bi, Ca, 이들 금속의 합금 또는 혼합물 중 하나 이상을 포함한다.
- [0161] 강화층을 갖는 OLED의 일부 실시양태에서, 강화층은 유기 발광 영역으로부터 임계 거리 이내에 제공되며, 화합물 S1은 강화층의 존재로 인해 총 비방사성 붕괴 속도 상수 및 총 방사성 붕괴 속도 상수를 갖는다.
- [0162] 강화층을 갖는 OLED의 일부 실시양태에서, 강화층은 유기 발광 영역으로부터 임계 거리 이내에 제공되며, 유기 발광 영역은 강화층의 존재로 인해 총 비방사성 붕괴 속도 상수 및 총 방사성 붕괴 속도 상수를 갖는다.
- [0163] 강화층을 갖는 OLED의 일부 실시양태에서, OLED는 강화층 위에 배치된 아웃커플링층을 추가로 포함할 수 있으며, 아웃커플링층은 광자로서의 표면 플라즈몬 폴라리톤의 비방사성 모드 에너지를 자유 공간으로 산란시킨다.
- [0164] 강화층을 갖는 OLED의 일부 실시양태에서, 화합물 A1로부터의 발광은 화합물 S1로부터의 발광보다 작은 FWHM을 갖는다. 일부 실시양태에서, 화합물 A1로부터의 발광의 최대 발광 피크는 화합물 S1로부터의 발광의 최대 발광 피크보다 높은 에너지이다.
- [0165] 강화층을 갖는 OLED의 일부 실시양태에서, 화합물 A1의 VDR은 화합물 S1의 VDR보다 크다.
- [0166] 강화층을 갖는 OLED의 일부 실시양태에서, 화합물 A1의 광발광 양자 수율(PLQY)은 화합물 S1의 PLQY보다 크다.
- [0167] 강화층을 갖는 OLED의 일부 실시양태에서, 유기 발광 영역의 증감제 화합물 S1 및/또는 이미터 화합물 A1의 도핑 농도 수준 프로파일은 균일하지 않다. 도핑 농도 수준 프로파일은 유기 발광 영역의 두께에 걸쳐 정의된다.
- [0168] 강화층을 갖는 OLED의 일부 실시양태에서, 화합물 S1 및/또는 화합물 A1의 도핑 농도 수준은 유기 발광 영역의 두께에 걸친 구배로 존재한다. 일부 실시양태에서, 구배는 저농도에서 고농도이다. 일부 실시양태에서, 구배는 고농도에서 저농도이다.
- [0169] 강화층을 갖는 OLED의 일부 실시양태에서, 유기 발광 영역은 단일층이다. 강화층을 갖는 OLED의 일부 실시양태에서, 유기 발광 영역은 복수의 층을 포함한다.
- [0170] 강화층을 갖는 OLED의 일부 실시양태에서, OLED는 제1 전극과 유기 발광 영역 사이에 정공 수송층(HTL)을 추가로 포함하며, 화합물 S1은 인광 증감제이고 화합물 A1은 형광 엑셉터이고, 발광 영역의 화합물 A1의 도핑 농도

는 HTL 쪽으로 증가하며, 즉, 화합물 A1의 농도는 HTL에 가까울수록 증가한다.

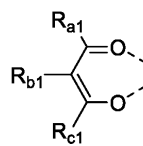
- [0171] 강화층을 갖는 OLED의 일부 실시양태에서, OLED는 제2 전극과 유기 발광 영역 사이에 전자 수송층(ETL)을 추가로 포함하며, 화합물 A1은 형성 역셉터이고, 발광 영역의 화합물 A1의 도핑 농도는 ETL 쪽으로 증가한다.
- [0172] 강화층을 갖는 OLED의 일부 실시양태에서, 화합물 S1은 실온에서 인광 발광 또는 TADF 발광할 수 있다.
- [0173] 강화층을 갖는 OLED의 일부 실시양태에서, 화합물 S1로부터의 발광 기여도는 OLED의 총 전계발광 스펙트럼의 45% 이하이다. 강화층을 갖는 OLED의 일부 실시양태에서, 화합물 S1은 광을 방출하지 않는다.
- [0174] 강화층을 갖는 OLED의 일부 실시양태에서, 화합물 S1은 완전히 또는 부분적으로 중수소화된다. 강화층을 갖는 OLED의 일부 실시양태에서, 화합물 A1은 완전히 또는 부분적으로 중수소화된다.
- [0175] 강화층을 갖는 OLED의 일부 실시양태에서, 화합물 S1의 VDR은 0.25 이상이다. 일부 실시양태에서, 화합물 S1의 VDR은 0.3 이상이다. 일부 실시양태에서, 화합물 S1의 VDR은 0.35 이상이다. 일부 실시양태에서, 화합물 S1의 VDR은 0.40 이상이다. 일부 실시양태에서, 화합물 S1의 VDR은 0.45 이상이다. 일부 실시양태에서, 화합물 S1의 VDR은 0.50 이상이다. 일부 실시양태에서, 화합물 S1의 VDR은 0.55 이상이다. 일부 실시양태에서, 화합물 S1의 VDR은 0.60 이상이다.
- [0176] 강화층을 갖는 OLED의 일부 실시양태에서, 화합물 A1의 VDR은 0.33 이하이다. 일부 실시양태에서, 화합물 A1의 VDR은 0.30 이하이다. 일부 실시양태에서, 화합물 A1의 VDR은 0.25 이하이다. 일부 실시양태에서, 화합물 A1의 VDR은 0.20 이하이다. 일부 실시양태에서, 화합물 A1의 VDR은 0.15 이하이다. 일부 실시양태에서, 화합물 A1의 VDR은 0.10 이하이다.
- [0177] 강화층을 갖는 OLED의 일부 실시양태에서, 화합물 S1 및 화합물 A1은 모두 0.33 이상의 VDR을 갖는다. 일부 실시양태에서, 화합물 S1 및 A1은 모두 0.40 이상의 VDR을 갖는다. 일부 실시양태에서, 화합물 S1 및 A1은 모두 0.45 이상의 VDR을 갖는다. 일부 실시양태에서, 화합물 S1 및 A1은 모두 0.50 이상의 VDR을 갖는다. 일부 실시양태에서, 화합물 S1 및 A1은 모두 0.55 이상의 VDR을 갖는다. 일부 실시양태에서, 화합물 S1 및 A1은 모두 0.60 이상의 VDR을 갖는다. 강화층을 갖는 OLED의 일부 실시양태에서, 화합물 S1은 0.33 미만의 VDR을 갖고 화합물 A1은 0.33 이상의 VDR을 갖는다.
- [0178] 강화층을 갖는 OLED의 일부 실시양태에서, 발광 영역은 제1 호스트인 화합물 H1을 포함하고 화합물 S1 및 화합물 A1 중 하나 이상은 제1 호스트에 도핑된다. 일부 실시양태에서, 화합물 S1 및 화합물 A1 중 하나 이상은 하나 이상의 중수소를 포함한다. 일부 실시양태에서, 화합물 S1, A1, 및 H1 중 하나 이상은 하나 이상의 중수소를 포함한다.
- [0179] 강화층을 갖는 OLED의 임의의 개시된 실시양태에서, 화합물 S1은 디벤조푸란, 디벤조티오펜, 디벤조셀레노펜, 카르바졸, 아자-디벤조푸란, 아자-디벤조티오펜, 및 아자-디벤조셀레노펜으로 이루어진 군으로부터 선택되는 하나 이상의 모이어티를 포함할 수 있다.
- [0180] 강화층을 갖는 OLED의 임의의 개시된 실시양태에서, 화합물 A1은 5개 이상의 5원 또는 6원 카르보시클릭 또는 헤테로시클릭 고리를 포함하는 융합 고리계를 포함할 수 있다.
- [0181] 강화층을 갖는 OLED의 일부 실시양태에서, 화합물 H1은 비스카르바졸, 비카르바졸, 인돌로카르바졸, 1-N 인돌로카르바졸, 트리아진, 피리미딘, 보릴, 아자-디벤조셀레노펜, 아자-디벤조푸란, 아자-디벤조티오펜, 및 트리페닐렌으로부터 선택되는 모이어티를 포함한다.
- [0182] 강화층을 갖는 OLED의 임의의 개시된 실시양태에서, 화합물 S1은 3 μ s 초과의 실온에서 1 중량%의 PMMA에서 도핑된 S1의 박막의 발광 트랜지언트를 가질 수 있다.
- [0183] 강화층을 갖는 OLED의 임의의 개시된 실시양태에서, 화합물 S1은 4개 이상의 카르보시클릭 또는 헤테로시클릭 고리를 포함하는 제1 리간드를 포함할 수 있다.
- [0184] 강화층을 갖는 OLED의 임의의 개시된 실시양태에서, 화합물 S1은 Ir 착물일 수 있다. 강화층을 갖는 OLED의 일부 실시양태에서, 화합물 S1은 Pt 착물이다.
- [0185] 강화층을 갖는 OLED의 일부 개시된 실시양태에서, 실온 2-MeTHF 용액 중 화합물 S1은 490 nm 이상의 최대 발광의 10%까지의 발광 개시를 갖는다.
- [0186] 강화층을 갖는 OLED의 일부 개시된 실시양태에서, 화합물 A1은 30 nm 이하의 FWHM을 갖는다.

- [0187] 강화층을 갖는 OLED의 일부 개시된 실시양태에서, 화합물 A1의 S_1-T_1 은 0.3 eV 이하이다.
- [0188] 강화층을 갖는 OLED의 일부 개시된 실시양태에서, 화합물 S1은 HOMO 준위, E_{HS} 를 갖고 화합물 A1은 HOMO 준위, E_{HA} 를 갖고 $E_{HS} > E_{HA}$ 이다. 강화층을 갖는 OLED의 일부 개시된 실시양태에서, 화합물 A1은 LUMO 준위, E_{LA} 를 갖고 화합물 H1은 LUMO 준위, E_{LH} 를 갖고 $E_{LH} < E_{LA}$ 이다.
- [0189] 강화층을 갖는 OLED의 일부 개시된 실시양태에서, 실온 2-MeTHF 용액 중 화합물 S1은 최대 발광 피크, λ_{maxS} 를 갖고, 실온 2-MeTHF 용액 중 화합물 A1은 최대 발광 피크, λ_{maxA} 를 갖고, $\lambda_{maxS} - \lambda_{maxA} < 20$ nm이다.
- [0190] 강화층을 갖는 OLED의 일부 개시된 실시양태에서, 화합물 S1은 백금-산소 결합을 포함한다.
- [0191] 강화층을 갖는 OLED의 일부 개시된 실시양태에서, 화합물 S1은 중수소화된 알킬기를 포함한다.
- [0192] 강화층을 갖는 OLED의 일부 개시된 실시양태에서, 화합물 H1은 보릴기를 포함한다.
- [0193] 강화층을 갖는 OLED의 일부 개시된 실시양태에서, 화합물 A1은 보릴기를 포함한다.
- [0194] 강화층을 갖는 OLED의 일부 개시된 실시양태에서, 발광 영역은 제2 호스트로서 화합물 H2를 추가로 포함하고, 화합물 H2는 HOMO, E_{HH2} 를 갖고, $E_{HA} - E_{HH2} < 0.25$ 이다.
- [0195] 강화층을 갖는 OLED의 일부 개시된 실시양태에서, 화합물 S1의 VDR 값은 0.25 초과이다.
- [0196] 강화층을 갖는 OLED의 일부 개시된 실시양태에서, 화합물 A1의 VDR 값은 0.15 미만이다.
- [0197] 강화층을 갖는 OLED의 일부 개시된 실시양태에서, 화합물 S1 및 화합물 A1만을 포함하는 제1 박막은 참조 호스트 화합물 A에 도핑된 화합물 A1을 포함하는 제2 박막보다 낮은 VDR을 가지며, 화합물 A1은 제1 박막 및 제2 박



막의 유일한 이미터이고, 참조 호스트 화합물 A는 이다.

- [0198] 강화층을 갖는 OLED의 일부 개시된 실시양태에서, 화합물 S1은 Ir, Pt, Pd, Au, Ag, 및 Cu로부터 선택되는 금속을 포함하는 금속 착물이다.
- [0199] 강화층을 갖는 OLED의 일부 개시된 실시양태에서, 금속 M은 Ir, Pt, 또는 Pd이고 화합물 S1은 $M(L^1)_x(L^2)_y(L^3)_z$ 의 화학식을 갖고;
- [0200] 상기 화학식에서 L^1 , L^2 , 및 L^3 은 동일하거나 상이할 수 있고;
- [0201] x는 1, 2, 또는 3이고;
- [0202] y는 0, 1, 또는 2이고;
- [0203] z는 0, 1, 또는 2이고;
- [0204] $x+y+z$ 는 금속 M의 산화 상태이고;
- [0205] L^1 은 본원에 정의된 LIGAND LIST의 구조로 이루어진 군으로부터 선택되고;



- [0206] L^2 및 L^3 은 독립적으로 , 및 LIGAND LIST의 구조로 이루어진 군으로부터 선택된다.
- [0207] 강화층을 갖는 OLED의 일부 개시된 실시양태에서, 화합물 S1은 본원에 정의된 SENSITIZER LIST2의 구조로 이루어진 군으로부터 선택되는 화학식을 갖는다.
- [0208] 강화층을 갖는 OLED의 일부 개시된 실시양태에서, 화합물 S1은 본원에 정의된 SENSITIZER LIST3의 구조로 이루어

어진 균으로부터 선택되는 화학식을 갖는다.

- [0209] 다른 측면에서, 본 개시내용은 플라즈몬 OLED 및 플라즈몬 및 증감 OLED 모두의 이점을 최적화하는 디바이스 특성을 제공한다.
- [0210] 여기 상태 에너지를 근처 금속의 플라즈몬 모드에 의도적으로 커플링하는 유기 발광 디바이스(OLED)는 종래의 OLED 디바이스 설계에서 달성할 수 있는 것보다 개선된 작동 안정성 및 높은 효율에 대한 잠재력을 보여주었다. 또한, 증감 OLED는 증감 도펀트로부터 여기 상태 에너지를 빠르게 제거하고 증가된 효율 또는 안정성 또는 보다 포화된 색상을 포함할 수 있는 다른 바람직한 특성을 갖는 이미터로 전달한다.
- [0211] 일부 실시양태에서, 플라즈몬 OLED는 제조합 구역이 강화층, 일반적으로 비제한적으로 금속 캐소드의 임계 거리 내에 위치하도록 설계된다. 임계 거리는 총 비방사성 붕괴 속도 상수가 총 방사성 붕괴 속도 상수와 동일한 거리로 정의된다. 이미터 에너지를 근처 강화층의 플라즈몬 모드로 빠르게 퀸칭함으로써, 이미터의 여기 상태 수명이 감소되어, 정상 상태 엑시톤 밀도를 낮추고 디바이스 안정성을 증가시킨다. 또한, 효율적인 플라즈몬 아웃 커플링 메커니즘을 포함하는 플라즈몬 OLED를 이용하여 종래의 OLED의 효율을 초과한다.
- [0212] 일부 실시양태에서, 인광 증감 플라즈몬 OLED가 도 4에 도시된 바와 같이 개시된다. 도 4는 인광 증감 플라즈몬 OLED의 여기 상태 에너지 전달의 다양한 경로를 나타내는 에너지 준위 다이어그램을 도시한다. 상기 도면은 형광 또는 TADF 이미터에 대한 에너지 준위를 포함한다. 이러한 실시양태에서, 에너지 전달 경로는 플라즈몬 모드 커플링을 유도한다.
- [0213] 플라즈몬 모드에 대한 커플링은 상당한 전이 쌍극자 모멘트가 여기 상태와 기저 상태 사이에 존재할 것을 필요로 하기 때문에, 모든 여기 상태가 플라즈몬 모드 커플링을 나타내는 것을 아님을 이해해야 한다. 인광체 증감체의 제1 단일항 여기 상태(S1)에서 이의 제1 삼중항 여기 상태(T1)로의 시스템간 교차 속도가 플라즈몬 모드에 대한 커플링 속도보다 훨씬 빠르다고 가정하면(즉, $k_{ISC} \gg k_P$), 전기적으로 주입된 엑시톤은 플라즈몬 커플링이 일어나기 전에 모두 T1 상태에 존재할 것이다. 인광 이미터가 T1에서 기저 상태(S0)로 방사적으로 붕괴하는 능력으로 인해 플라즈몬 커플링은 인광체 증감체의 T1에서 가능하다. 플라즈몬 모드 커플링 외에도, 인광체의 T1 엑시톤은 또한 피스터 공명 에너지 전달(FRET)을 통해 이미터의 S1로 전달될 것이다.
- [0214] 일부 실시양태에서, 이미터는 형광단이고 형광단의 S1에서 플라즈몬 모드로의 커플링도 가능하다. 그러나, 텍스터 에너지 전달을 통해 형광단의 T1로 전달되는 임의의 삼중항 엑시톤은 플라즈몬 모드로 커플링될 수 없음(또는 방사적으로 붕괴되게 할 수 없음)을 이해해야 한다. 일부 실시양태에서, 이미터는 S1의 역시스템간 교차를 통해 T1로 텍스터 전달되는 임의의 삼중항을 활용할 수 있는 열 활성화 지연 형광(TADF) 이미터이다. 그러나, T1이 아닌 S1만이 TADF 이미터에 대한 플라즈몬 모드에 커플링될 수 있는데 T1은 상당한 쌍극자 모멘트를 갖지 않기 때문이다.
- [0215] 어떠한 이론에도 구속되지 않으면서, 여기 상태 수명 τ 는 하기 관계식에서 방사(k_R), 비방사(k_{NR}), 및 플라즈몬(k_P) 붕괴 속도로 이루어진다고 여겨진다:

$$\tau = \frac{1}{k_{e,R}} + \frac{1}{k_{e,NR}} + \frac{1}{k_{e,P}} + \frac{1}{k_{s,R}} + \frac{1}{k_{s,NR}} + \frac{1}{k_{s,P}}$$

- [0216]
- [0217] 여기에서 이미터는 첨자 "e"로 지정되고 증감체는 첨자 "s"로 지정된다.
- [0218] 일부 실시양태에서, TADF 증감 플라즈몬 OLED는 도 5에 도시된 바와 같이 개시된다. 도 5는 TADF 증감 플라즈몬 OLED의 여기 상태 에너지 전달의 다양한 경로를 나타내는 에너지 준위 다이어그램을 도시한다. 상기 도면은 형광, TADF, 또는 인광 이미터에 대한 에너지 준위를 포함한다. 이러한 실시양태에서, 에너지 전달 경로는 플라즈몬 모드를 유도한다.

- [0219] 일부 실시양태에서, 플라즈몬 OLED는 TADF 증감체에 의해 증감된다(도 5). 이미터가 인광체인 경우, 증감체 상의 삼중항은 플라즈몬 모드로 커플링될 수 있는(또는, 덜 바람직하게는, 기저 상태로 발광할 수 있는) 인광체 이미터의 삼중항 상태로 텍스터 전달될 수 있다. 증감체 상의 단일항은 플라즈몬 모드로 직접 커플링될 수 있거나, 형광단, 인광체, 또는 TADF 이미터인 이미터의 단일항 여기 상태로 FRET를 통해 전달될 수 있다. 형광단 또는 TADF 이미터의 경우, 플라즈몬 모드로의 직접 커플링이 일어날 수 있다. 인광체의 경우, 단일항은 플라즈몬 커플링 속도를 능가하는 인광체의 시스템간 교차의 펨토초 속도로 인해 플라즈몬 커플링이 발생하기 전에 먼저

삼중항 상태로의 시스템간 교차를 겪을 것이 거의 확실하다.

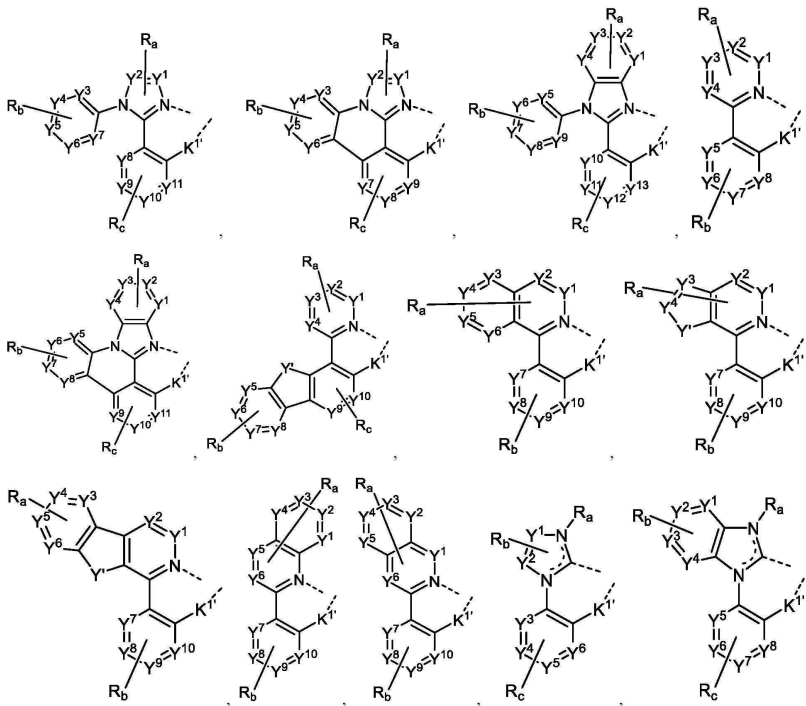
- [0220] 일부 실시양태에서, TADF 증감제에서의 엑시톤 전달은 플라즈몬에 대한 직접 커플링 전에 일어난다. 이는 TADF 분자 중 가장 오래 생존한 여기 상태, 즉, 삼중항 상태는 상당한 쌍극자 모멘트를 갖지 않으며 따라서 플라즈몬 모드로 직접 커플링될 수 없기 때문이다. 이는 플라즈몬 커플링이 플라즈몬 모드로의 TADF 증감제의 직접 커플링을 갖는 디바이스의 디바이스 안정성의 어떠한 증가도 실현시키지 않을 것임을 의미한다. 그러나, 이러한 디바이스는 종래의 OLED에 비해 플라즈몬 OLED의 효율 증가를 실현할 수 있다. 일부 실시양태에서, 상기 경로는 TADF 증감제의 엑시톤을 이미터로 전달한 후 이 에너지를 플라즈몬 모드로 커플링하기 위한 것이다.
- [0221] 일부 실시양태에서, 플라즈몬 OLED는 단일 증감제 및 단일 이미터만을 포함한다. 일부 실시양태에서, 플라즈몬 OLED는 복수의 증감제 및/또는 이미터를 포함한다. 일부 실시양태에서, 플라즈몬 OLED는 복수의 증감 플라즈몬 OLED의 스택을 포함하며, 스택의 일부 성분이 증감될 수 있고 다른 성분이 증감되지 않을 수 있는 경우를 포함한다.
- [0222] 도 4 및 도 5에서, 이미터의 S1은 일반적으로 증감제의 S1보다 낮지만, 증감제의 T1은 이미터의 S1보다 높은 또는 낮은 에너지일 수 있다. 증감제와 이미터의 에너지 준위 사이의 관계는 도면에 도시된 바와 같이 서로에 대해 상대적으로 엄격하게 받아들여서는 안됨을 유의한다. 이는 주로 참조만을 위한 것이다. 또한 플라즈몬 모드에 대한 커플링은 양방향 공정, 즉, 증감제 또는 이미터가 플라즈몬을 펌핑하고/하거나 플라즈몬이 증감제 또는 이미터를 펌핑하는 것일 수 있음을 유의한다. 이러한 공정은 동시에 발생할 수 있다.
- [0223] 증감 플라즈몬 OLED는 몇몇 이점을 달성할 수 있는 것으로 여겨진다. 이러한 이점은 비제한적으로 하기를 포함한다:
- [0224] (1) 인광체 증감제 상의 삼중항을 이미터의 S1 또는 T1로 전달하는 것은 인광체의 여기 상태 수명을 감소시키고, 상기 식에서 소개된 플라즈몬 모드에 대한 추가 커플링은 이를 더욱 단축시켜 디바이스에 안정성이 추가될 가능성이 높아진다. 또한, 플라즈몬 모드에 대한 커플링 효율, 및 이에 따른 퍼셀(Purcell) 향상은 증감에 의해 교란되지 않아야 한다(즉, 증감에 더하여 발생해야 한다).
- [0225] (2) 플라즈몬 OLED는 종래의 OLED 디바이스 설계로 가능한 것을 넘는 외부 양자 효율(EQE)을 달성한다. 증감 OLED는 형광단 또는 TADF 이미터의 수평 발광 쌍극자로 인해 종래의 OLED보다 높은 EQE를 달성할 수 있지만, 플라즈몬 OLED가 40% 초과 EQE, 아마도 60% 초과 EQE를 달성하는 잠재력은 여전히 높다.
- [0226] (3) 형광단 또는 TADF 이미터는 통상적으로 인광체보다 좁은 발광(전계발광 스펙트럼의 반치전폭에 의해 정의됨)을 갖는다. 이러한 좁은 발광은 유의할 수 있는데 이는 플라즈몬 아웃커플링 스킴의 공명과 더 잘 정렬 되도록 설계될 수 있기 때문이다. 플라즈몬 아웃커플링 공명의 피크에서의 좁은 이미터 발광은 동일한 피크 파장에서 발광하는 넓은 이미터보다 성능이 뛰어나야 한다.
- [0227] (4) 이미터의 전이 쌍극자 모멘트가 등방성 이미터보다 우선적으로 더 수직으로 정렬되도록 배향되는 경우, 플라즈몬 모드에 대한 커플링 효율은 향상된다. 따라서, 더 수직으로 배향된 전이 쌍극자 모멘트를 갖도록 설계된 이미터는 증감 플라즈몬 OLED에 안정성 및 효율성 이점을 추가하였다.
- [0228] 상기 실시양태 중 일부에서, 증감제 및 이미터 모두 수직 전이 쌍극자 모멘트로 정렬되는 경우, 쌍극자-쌍극자 에너지 전달이 최적화된다. 이는 특히 증감 플라즈몬 PHOLED에 유리한데 수직 정렬된 쌍극자는 수평 정렬된 쌍극자보다 더 효율적으로 플라즈몬 모드에 커플링되기 때문이다. 또한, 종래의 OLED 설계에서, 수직 정렬된 쌍극자는 낮은 광자 추출 효율로 인해 바람직하지 않다.
- [0229] 상기 실시양태 중 일부에서, 증감제 또는 이미터 중 하나가 더 수직으로 정렬된 전이 쌍극자를 갖는 경우에도 에너지 전달은 향상된다. 다른 종의 전이 쌍극자가 등방성 쌍극자보다 더 수평으로 정렬되지 않는 한 이는 사실이라고 여겨진다. 이미터가 수평으로 정렬된 경우에도, 플라즈몬 디바이스는 플라즈몬 모드에 대한 커플링을 개선하기 위한 요소, 예컨대 강화층의 표면 거칠기를 포함하도록 설계될 수 있다. 다른 실시양태에서, 플라즈몬 디바이스는 이미터에서 금속성 또는 유전체(또는 둘의 조합)인 나노입자로 이루어질 수 있는 아웃커플링 구조로 에너지를 직접 커플링하도록 설계될 수 있다. 이러한 구조에서, 아웃커플링 구조로의 에너지 전달을 향상시키기 위해 보다 수평으로 정렬된 전이 쌍극자가 바람직할 수 있다.
- [0230] 상기 실시양태 중 일부에서, 이미터가 발광층의 호스트 또는 다른 성분일 수 있지만 또한 인접한 차단층 또는 수송층과 층 계면에 걸쳐 형성될 수 있는 다른 물질과 엑시플렉스를 형성하는 경우, 이러한 엑시플렉스의 쌍극자 모멘트는 보다 수직 배향되어 플라즈몬 커플링 효율을 향상시키도록 설계될 수 있다.

- [0231] 일부 실시양태에서, 아웃커플링 구조는 유전체 스페이서에 의해 강화층으로부터 분리된 나노입자층으로 이루어질 수 있다. 일부 실시양태에서, 스페이서층은 필요하지 않을 수 있다. 일부 실시양태에서, 나노입자는 금속, 유전체일 수 있거나, 이 중 하나 또는 둘 다의 스택/합금 및/또는 코어/셸 구조를 포함할 수 있다. 일부 실시양태에서, OLED는 디바이스의 전기적으로 펌핑된 발광층의 반대 측 상의 강화층 위에 배치된 발광 물질을 포함할 수 있다. 일부 실시양태에서, 발광 물질은 작은 스토크스 이동 및 좁은 발광 선폭을 갖는 하향변환 물질이다. 일부 이러한 실시양태에서, 나노입자는 존재하거나 존재하지 않을 수 있고, 발광 물질은 강화층에 직접 인접하거나 강화층으로부터 이격될 수 있다.
- [0232] OLED의 임의의 개시된 실시양태를 포함하는 소비자 제품이 또한 개시된다. 소비자 제품은 평면 패널 디스플레이, 컴퓨터 모니터, 의료용 모니터, 텔레비전, 광고판, 실내 또는 실외 조명 및/또는 신호용 라이트, 헤드업 디스플레이, 완전 또는 부분 투명 디스플레이, 플렉시블 디스플레이, 레이저 프린터, 전화기, 휴대폰, 태블릿, 패블릿, 개인용 정보 단말기(PDA), 웨어러블 디바이스, 랩톱 컴퓨터, 디지털 카메라, 캠코더, 뷰파인더, 대각선이 2인치 미만인 마이크로 디스플레이, 3D 디스플레이, 가상 현실 또는 증강 현실 디스플레이, 차량, 함께 타일링된 다중 디스플레이를 포함하는 비디오 월, 극장 또는 스타디움 스크린, 광요법 디바이스, 및 간판으로 이루어진 군으로부터 선택된다.
- [0233] 일부 실시양태에서, 본 개시내용의 OLED는 애노드와 캐소드 사이에 배치된 발광 영역을 포함하며; 발광 영역은 증감제 화합물 및 억셉터 화합물을 포함하고; 증감제는 이미터인 억셉터 화합물에 에너지를 전달한다. 일부 실시양태에서, 증감제 화합물은 실온에서 OLED의 삼중항 여기 상태에서 기저 단일항 상태로 광을 방출할 수 있다. 일부 실시양태에서, 증감제 화합물은 실온에서 OLED의 인광 이미터, TADF 이미터, 또는 이중항 이미터로 기능할 수 있다. 일부 실시양태에서, 억셉터 화합물은 실온에서 OLED의 TADF 이미터로 기능하는 지연 형광 화합물, 실온에서 OLED의 형광 이미터로 기능하는 형광 화합물로 이루어진 군으로부터 선택된다. 일부 실시양태에서, 형광 이미터는 단일항 또는 이중항 이미터일 수 있다. 일부 이러한 실시양태에서, 단일항 이미터는 TADF 이미터, 뿐만 아니라 다중 공명 MR-TADF 이미터를 포함할 수도 있다. 본원에 사용되는 지연 형광의 설명은 미국 출원 공개 US20200373510A1, 단락 0083-0084에서 확인할 수 있으며, 상기 출원의 전체 내용은 본원에 참조로 포함되어 있다.
- [0234] OLED의 일부 실시양태에서, 증감제 및 억셉터 화합물은 발광 영역 내의 별개의 층에 존재한다.
- [0235] 일부 실시양태에서, 증감제 및 억셉터 화합물은 발광 영역의 하나 이상의 층에 혼합물로 존재한다. 주어진 층의 혼합물은 균질 혼합물일 수 있거나 혼합물 중 화합물은 주어진 층의 두께에 따라 차등 농도로 존재할 수 있음을 이해해야 한다. 농도 차등은 선형, 비선형, 사인파형(sinusoidal) 등일 수 있다. 증감제 및 억셉터 화합물의 혼합물을 갖는 발광 영역에 하나 초과층이 존재하는 경우, 혼합물의 유형(즉, 균질 또는 차등 농도) 및 하나 초과층 각각의 혼합물 중 화합물의 농도 수준은 동일하거나 상이할 수 있다. 증감제 및 억셉터 화합물 외에도, 또한 혼합물에 혼합되는 비제한적으로 호스트와 같은 하나 이상의 기능성 화합물이 존재할 수 있다.
- [0236] 일부 실시양태에서, 억셉터 화합물은 농도가 동일하거나 상이한 2개 이상의 층에 존재할 수 있다. 일부 실시양태에서, 2개 이상의 층이 억셉터 화합물을 포함하는 경우, 2개 이상의 층 중 적어도 2개의 층의 억셉터 화합물의 농도는 상이하다. 일부 실시양태에서, 증감제 화합물을 포함하는 층의 증감제 화합물의 농도는 1 내지 50 중량%, 10 내지 20 중량%, 또는 12 내지 15 중량% 범위이다. 일부 실시양태에서, 억셉터 화합물을 포함하는 층의 억셉터 화합물의 농도는 0.1 내지 10 중량%, 0.5 내지 5 중량%, 또는 1 내지 3 중량% 범위이다.
- [0237] 일부 실시양태에서, 발광 영역은 N 개의 층을 포함하며 $N > 2$ 이다. 일부 실시양태에서, 증감제 화합물은 각각의 N 개의 층에 존재하며, 억셉터 화합물은 $N-1$ 개 이하의 층에 포함된다. 일부 실시양태에서, 증감제 화합물은 각각의 N 개의 층에 존재하며, 억셉터 화합물은 $N/2$ 개 이하의 층에 포함된다. 일부 실시양태에서, 억셉터 화합물은 각각의 N 개의 층에 존재하며, 증감제 화합물은 $N-1$ 개 이하의 층에 포함된다. 일부 실시양태에서, 억셉터 화합물은 각각의 N 개의 층에 존재하며, 증감제 화합물은 $N/2$ 개 이하의 층에 포함된다.
- [0238] 일부 실시양태에서, 전압이 OLED에 인가되는 경우 OLED는 억셉터 화합물의 S_1 에너지(제1 단일항 에너지)로부터의 발광 성분을 포함하는 발광을 방출한다. 일부 실시양태에서, OLED로부터의 발광 중 65%, 75%, 85%, 또는 95% 이상이 10 cd/m^2 이상의 휘도로 억셉터 화합물로부터 생성된다. 일부 실시양태에서, 억셉터 화합물의 S_1 에너지는 증감제 화합물의 S_1 에너지보다 낮다.
- [0239] 일부 실시양태에서, 호스트 화합물의 T_1 에너지(제1 삼중항 에너지)는 증감제 화합물 및 억셉터 화합물의 T_1 에

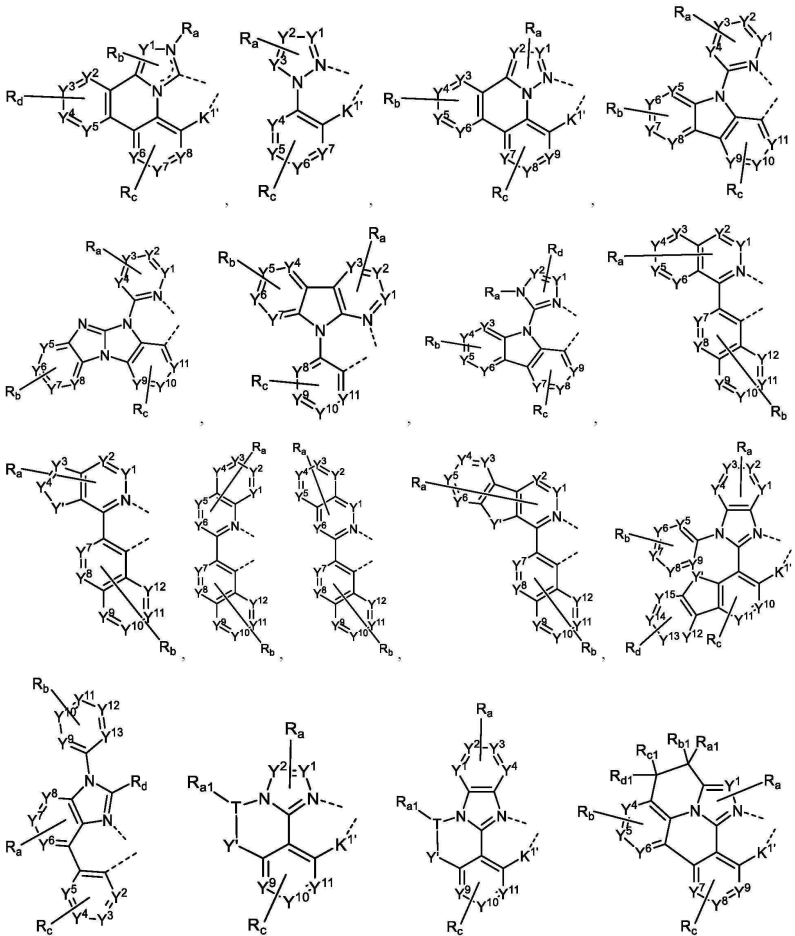
너지보다 높다. 일부 실시양태에서, 증감제 화합물 및/또는 엑셉터 화합물의 S_1-T_1 에너지 갭은 400, 300, 250, 200, 150, 100, 또는 50 meV 미만이다.

- [0240] 증감제 화합물이 단색 증감(즉, 엑셉터 화합물로의 에너지 전달시 에너지 손실이 최소)을 제공하는 일부 실시양태에서, 엑셉터 화합물은 30, 25, 20, 15, 또는 10 nm 이하의 스토크스 이동(Stokes shift)을 갖는다. 하나의 예는 좁은 청색 발광 엑셉터를 증감시키는 넓은 청색 인광체(phosphor)이다.
- [0241] 증감제 화합물이 하향 변환 프로세스(예를 들어, 녹색 이미터를 증감시키는 데 사용되는 청색 이미터, 또는 적색 이미터를 증감시키는 데 사용되는 녹색 이미터)를 제공하는 경우, 엑셉터 화합물은 30, 40, 60, 80, 또는 100 nm 이상의 스토크스 이동을 갖는다.
- [0242] 증감제 화합물(본 개시내용의 OLED의 발광 영역의 증감제로 사용될 화합물)과 엑셉터 화합물(본 개시내용의 OLED의 발광 영역의 엑셉터로 사용될 화합물) 사이의 질적 관계를 정량화하는 한 가지 방법은 값 $\Delta\lambda = \lambda_{\max 1} - \lambda_{\max 2}$ 를 결정하는 것이며, 상기 식에서 $\lambda_{\max 1}$ 및 $\lambda_{\max 2}$ 는 다음과 같이 정의된다. $\lambda_{\max 1}$ 은 증감제 화합물이 제1 호스트를 갖는 제1 단색 OLED(한 가지 색상만을 방출하는 OLED)의 단독 이미터로 사용되는 경우 실온에서의 증감제 화합물의 최대 발광이다. $\lambda_{\max 2}$ 는 엑셉터 화합물이 동일한 제1 호스트를 갖는 제2 단색 OLED의 단독 이미터로 사용되는 경우 실온에서의 엑셉터 화합물의 최대 발광이다.
- [0243] 증감제 화합물이 단색 증감(즉, 엑셉터 화합물로의 에너지 전달시 에너지 손실이 최소)을 제공하는 본 개시내용의 OLED의 일부 실시양태에서, $\Delta\lambda$ (앞서 기술된 바와 같이 결정됨)는 15, 12, 10, 8, 6, 4, 2, 0, -2, -4, -6, -8, 및 -10 nm로 이루어진 군으로부터 선택되는 수 이하이다.
- [0244] 엑셉터의 발광이 증감에 의해 적색 이동하는 일부 실시양태에서, $\Delta\lambda$ 은 20, 30, 40, 60, 80, 100 nm로 이루어진 군으로부터 선택되는 수 이상이다.
- [0245] 일부 실시양태에서, 증감제 화합물은 실온에서 OLED의 인광 이미터로 기능할 수 있고, 증감제 화합물은 금속-탄소 결합, 금속-질소 결합, 또는 금속-산소 결합을 갖는 금속 배위 착물일 수 있다. 일부 실시양태에서, 금속은 Ir, Rh, Re, Ru, Os, Pt, Pd, Zn, Au, Ag, 및 Cu로 이루어진 군으로부터 선택된다. 일부 실시양태에서, 금속은 Ir이다. 일부 실시양태에서, 금속은 Pt이다. 일부 실시양태에서, 증감제 화합물은 $M(L^1)_x(L^2)_y(L^3)_z$ 의 화학식을 가지며;
- [0246] 상기 화학식에서 L^1 , L^2 , 및 L^3 은 동일하거나 상이할 수 있고;
- [0247] x는 1, 2, 또는 3이고;
- [0248] y는 0, 1, 또는 2이고;
- [0249] z는 0, 1, 또는 2이고;
- [0250] $x+y+z$ 는 금속 M의 산화 상태이고;

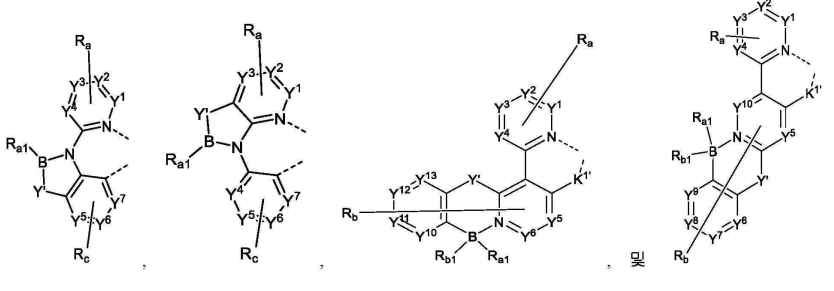
[0251] L¹은 하기 LIGAND LIST의 구조로 이루어진 군으로부터 선택되고:



[0252]



[0253]



[0254]

[0255] L^2 및 L^3 은 독립적으로  , 및 LIGAND LIST의 구조로 이루어진 군으로부터 선택되고; 여기에서:

[0256]

T는 B, Al, Ga, 및 In으로 이루어진 군으로부터 선택되고;

[0257]

$K^{1'}$ 는 직접 결합이거나 NR_e , PR_e , O, S, 및 Se로 이루어진 군으로부터 선택되고;

[0258]

각각의 Y^1 내지 Y^{13} 은 독립적으로 탄소 및 질소로 이루어진 군으로부터 선택되고;

[0259]

Y^1 는 BR_e , NR_e , PR_e , O, S, Se, C=O, S=O, SO_2 , CR_eR_f , SiR_eR_f , 및 GeR_eR_f 로 이루어진 군으로부터 선택되고;

[0260]

R_c 및 R_f 는 융합되거나 연결되어 고리를 형성할 수 있고;

[0261]

각각의 R_a , R_b , R_c , 및 R_d 는 독립적으로 일치환 내지 최대 가능한 수의 치환, 또는 무치환을 나타낼 수 있고;

[0262]

각각의 R_{a1} , R_{b1} , R_{c1} , R_{d1} , R_a , R_b , R_c , R_d , R_e , 및 R_f 는 독립적으로 수소, 또는 본원에 정의된 일반 치환기로 이루어진 군으로부터 선택되는 치환기이고;

[0263]

R_{a1} , R_{b1} , R_{c1} , R_{d1} , R_a , R_b , R_c , 및 R_d 중 임의의 2개는 융합되거나 연결되어 고리를 형성하거나 다좌 리간드를 형성할 수 있다.

[0264]

일부 실시양태에서, 화학식 $M(L^1)_x(L^2)_y(L^3)_z$ 의 금속은 Cu, Ag, 또는 Au로 이루어진 군으로부터 선택된다.

[0265]

OLED의 일부 실시양태에서, 증감제 화합물은 $Ir(L_A)_3$, $Ir(L_A)(L_B)_2$, $Ir(L_A)_2(L_B)$, $Ir(L_A)_2(L_C)$, $Ir(L_A)(L_B)(L_C)$, 및 $Pt(L_A)(L_B)$ 로 이루어진 군으로부터 선택되는 화학식을 가지며;

[0266]

상기 화학식에서 Ir 화합물의 L_A , L_B , 및 L_C 는 서로 상이하고;

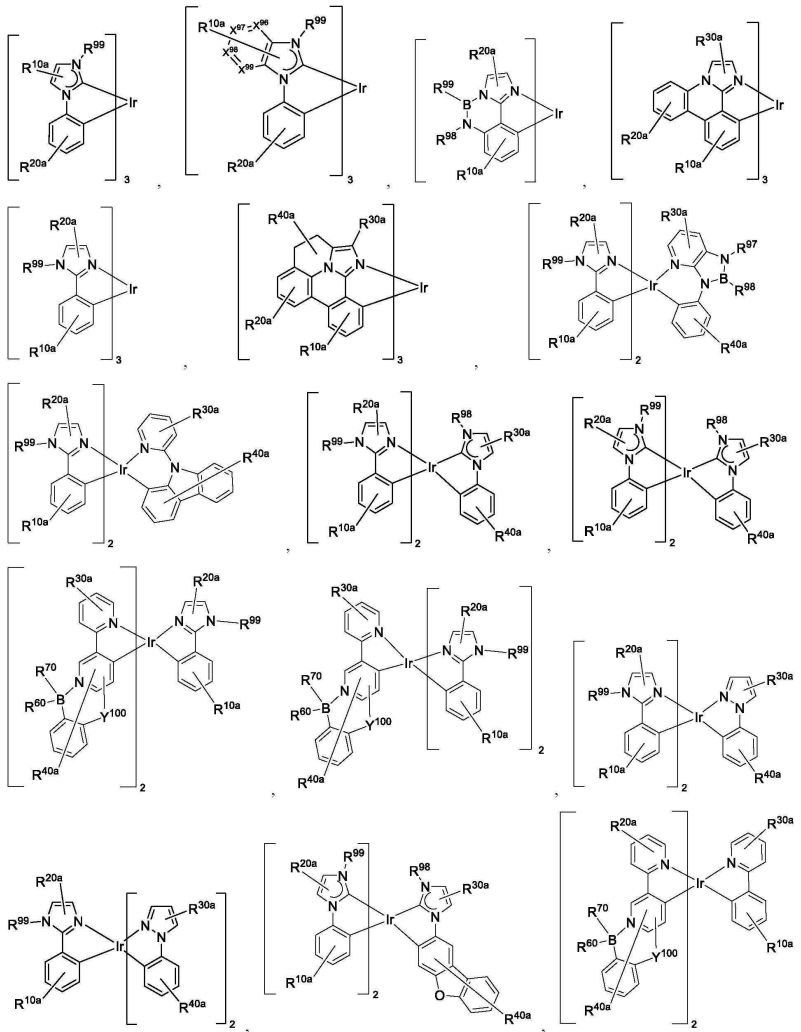
[0267]

Pt 화합물의 L_A 및 L_B 는 동일하거나 상이한 것일 수 있고;

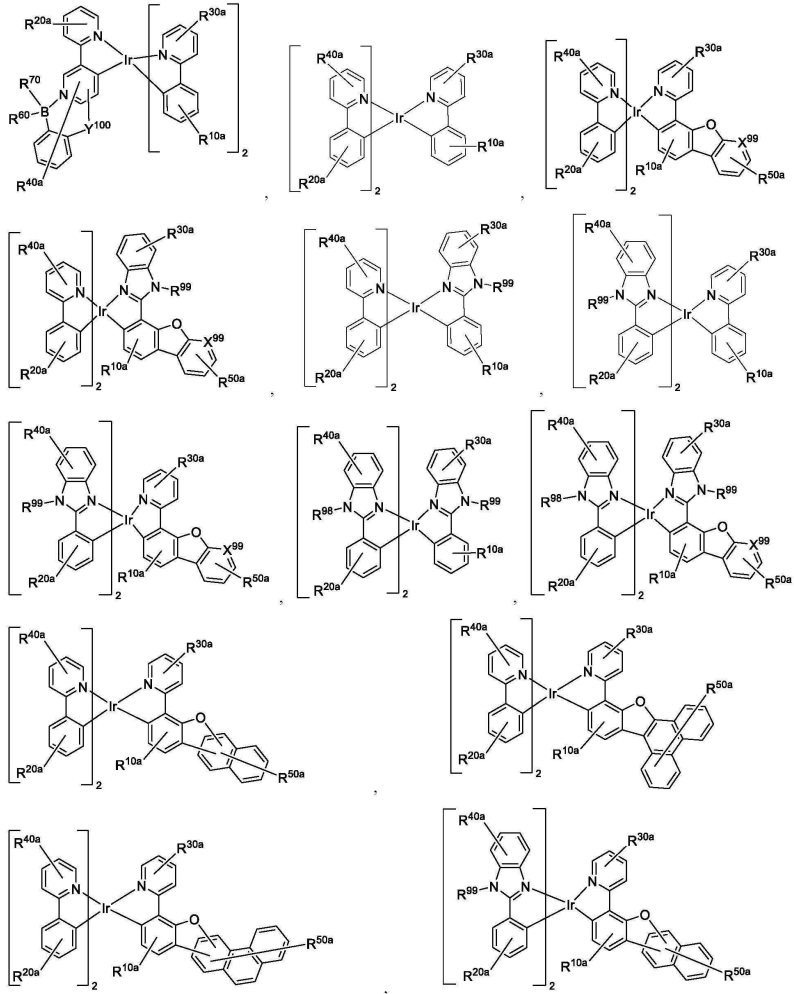
[0268]

Pt 화합물의 L_A 및 L_B 는 연결되어 4좌 리간드를 형성할 수 있다.

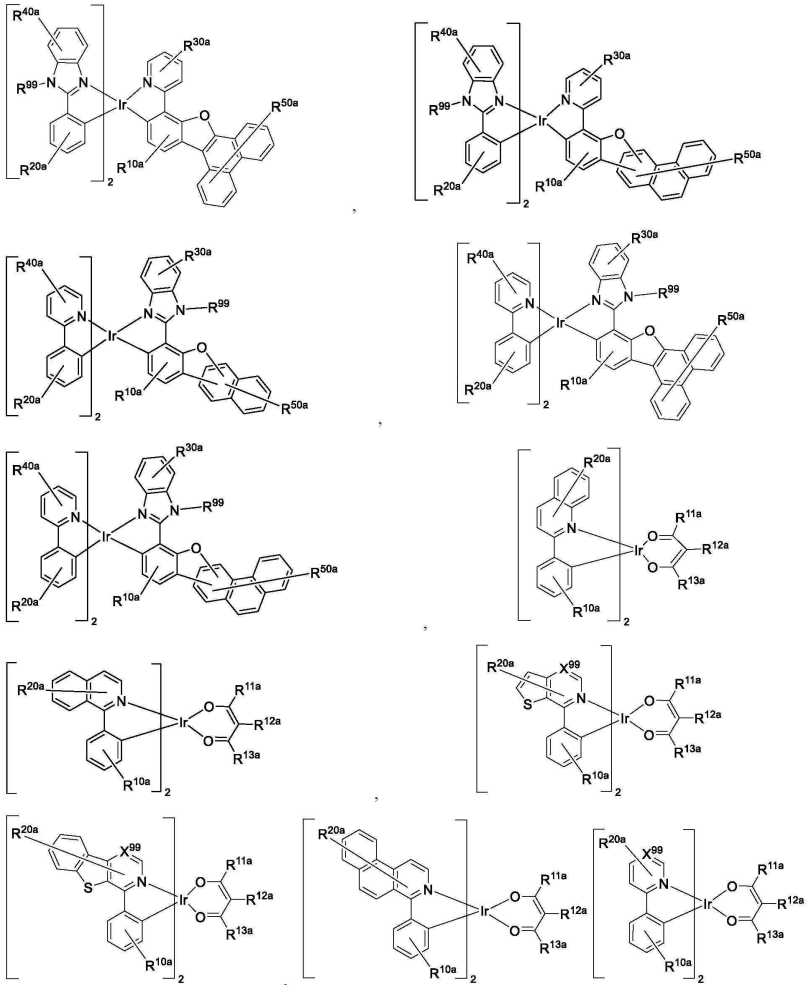
[0269] OLED의 일부 실시양태에서, 증감제 화합물은 하기 SENSITIZER LIST의 화합물로 이루어진 군으로부터 선택된다:



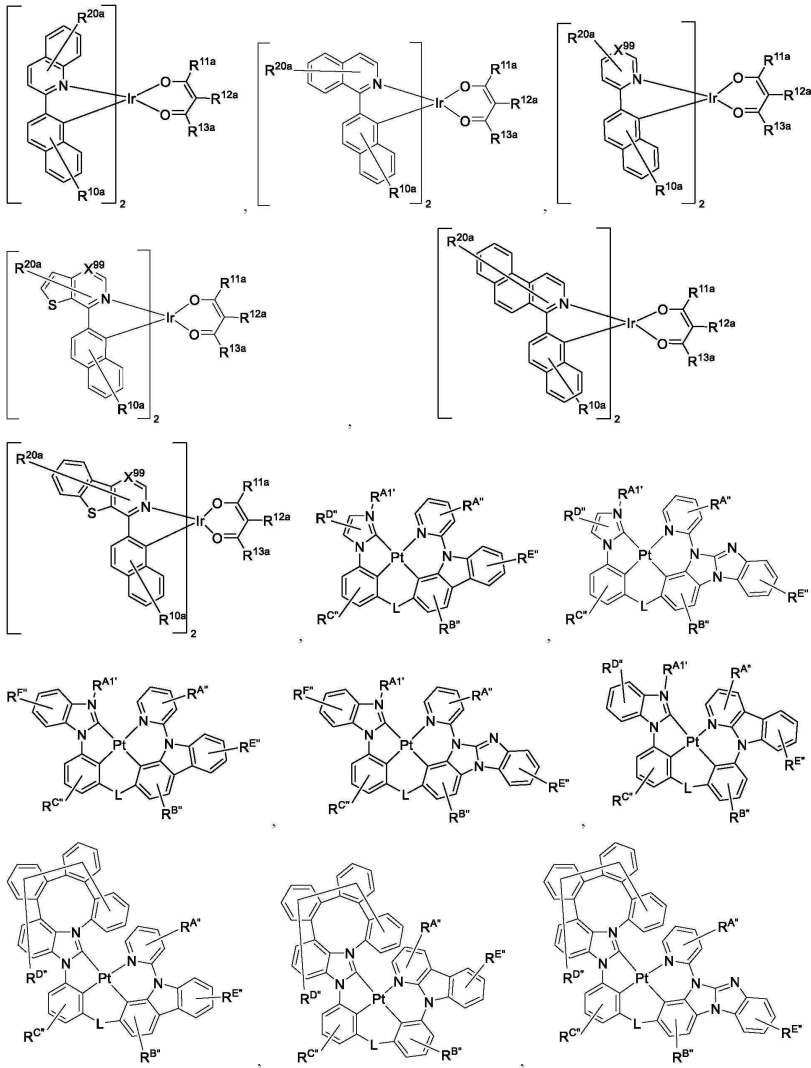
[0270]



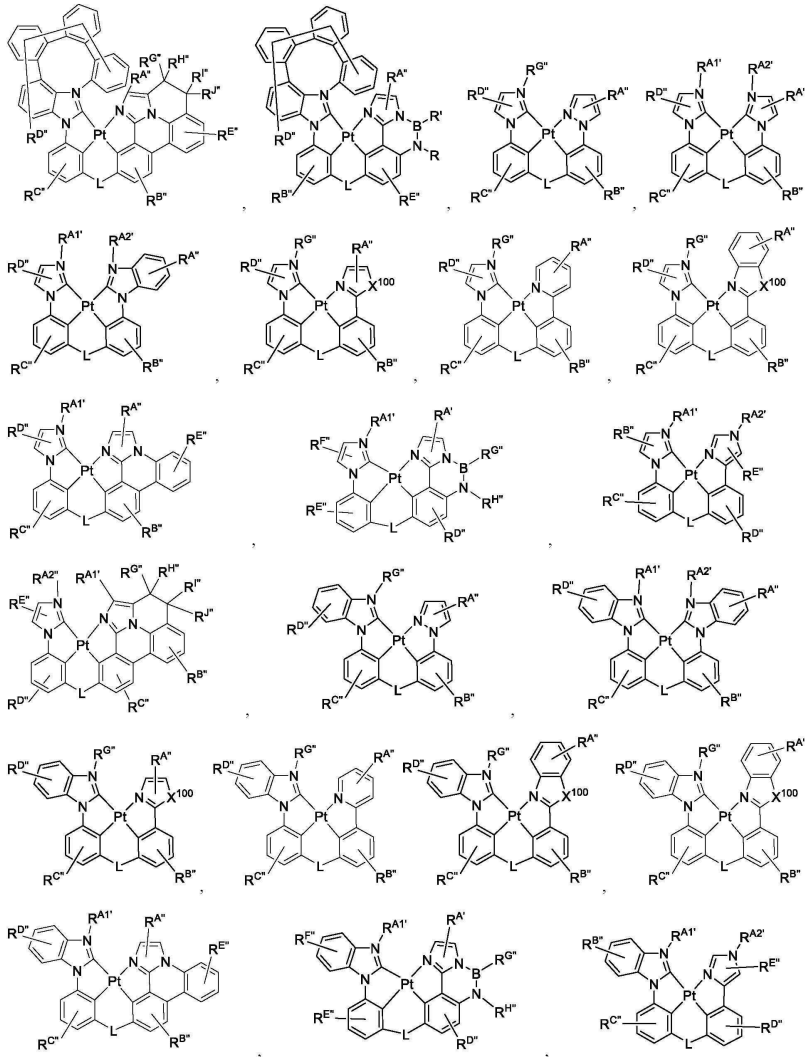
[0271]



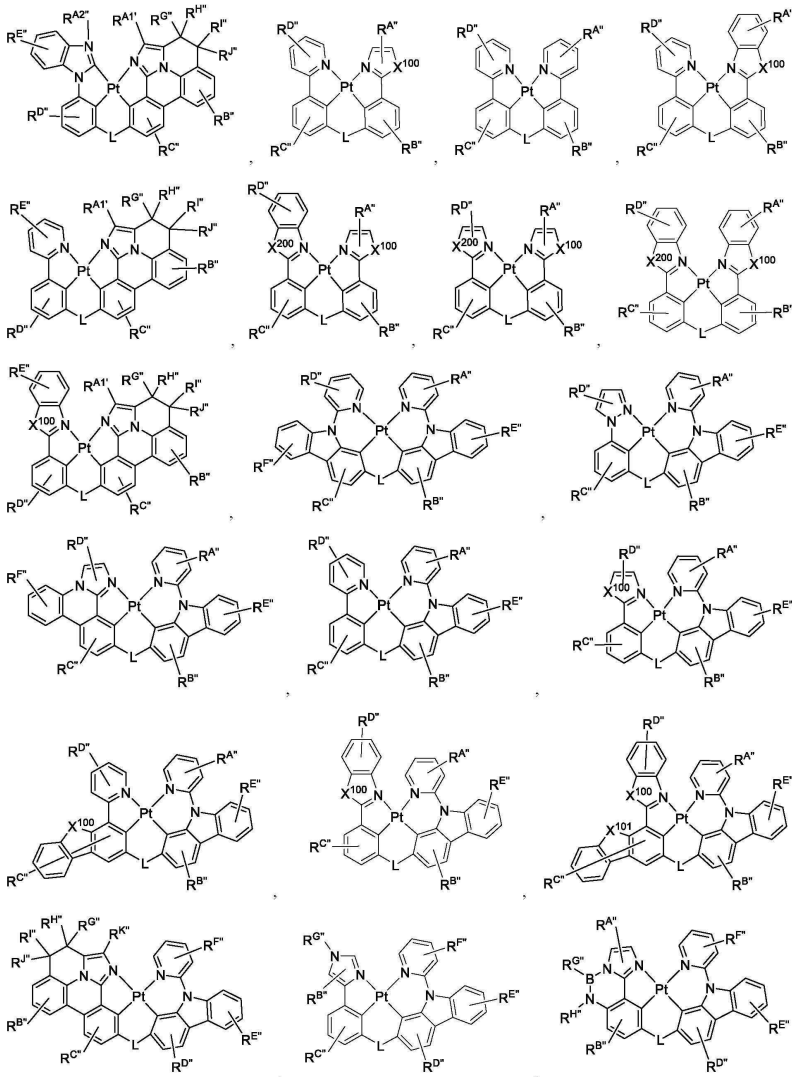
[0272]



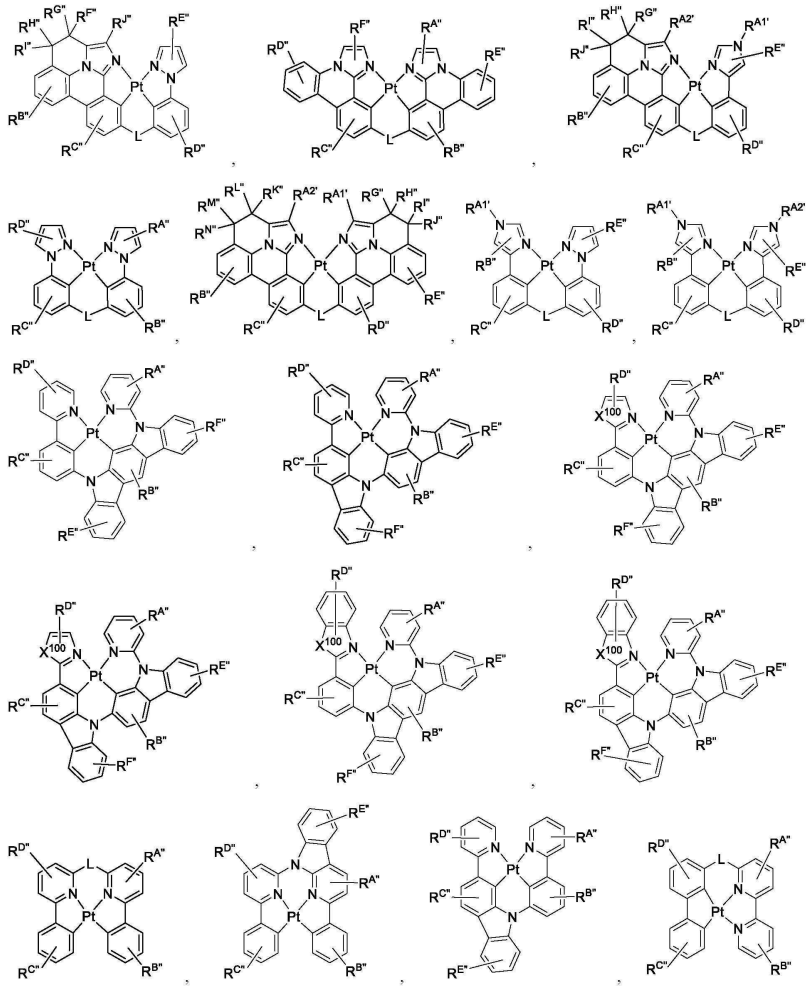
[0273]



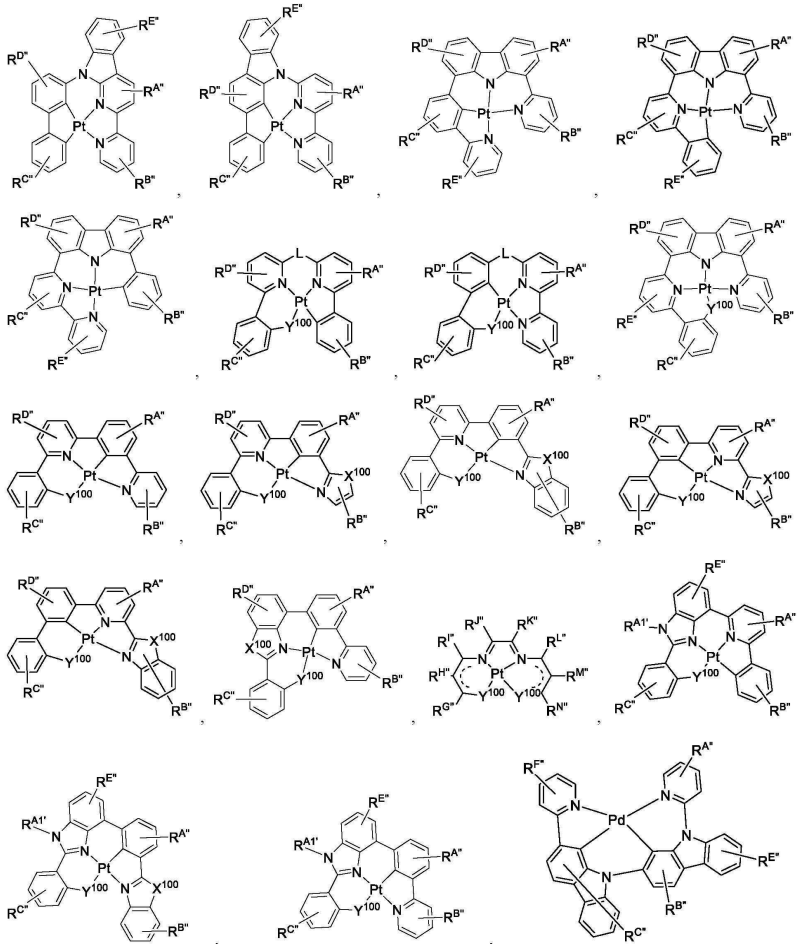
[0274]



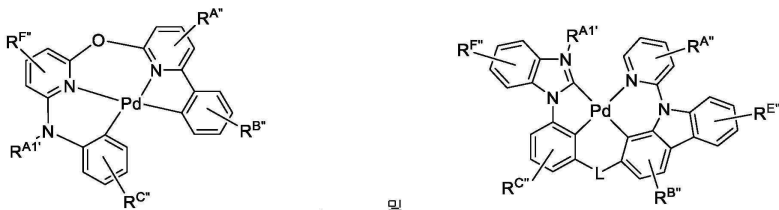
[0275]



[0276]



[0277]



[0278]

[0279]

[0280]

[0281]

[0282]

[0283]

[0284]

상기 화학식에서 각각의 X^{96} 내지 X^{99} 는 독립적으로 C 또는 N이고;

각각의 Y^{100} 은 독립적으로 NR^{100} , O, S, 및 Se로 이루어진 군으로부터 선택되고;

L은 독립적으로 직접 결합, BR^{100} , $BR^{100}R^{100}$, NR^{100} , PR^{100} , O, S, Se, C=O, C=S, C=Se, C=NR¹⁰⁰, C=CR¹⁰⁰R¹⁰⁰, S=O, SO₂, CR¹⁰⁰, CR¹⁰⁰R¹⁰⁰, SiR¹⁰⁰R¹⁰⁰, GeR¹⁰⁰R¹⁰⁰, 알킬, 시클로알킬, 아릴, 헤테로아릴, 및 이들의 조합으로 이루어진 군으로부터 선택되고;

각각의 존재에 대하여 X^{100} 은 O, S, Se, NR¹⁰⁰, 및 CR¹⁰⁰R¹⁰⁰로 이루어진 군으로부터 선택되고;

각각의 R^{10a}, R^{20a}, R^{30a}, R^{40a}, 및 R^{50a}, R^{A1'}, R^{B1'}, R^{C1'}, R^{D1'}, R^{E1'}, 및 R^{F1'}는 독립적으로 일치환, 최대까지의 치환, 또는 무치환을 나타내고;

각각의 R, R', R'', R''', R^{10a}, R^{11a}, R^{12a}, R^{13a}, R^{20a}, R^{30a}, R^{40a}, R^{50a}, R⁶⁰, R⁷⁰, R⁹⁷, R⁹⁸, R⁹⁹, R^{A1'}, R^{A2'}, R^{A1''}, R^{B1''}, R^{C1''}, R^{D1''}, R^{E1''}, R^{F1''}, R^{G1''}, R^{H1''}, R^{I1''}, R^{J1''}, R^{K1''}, R^{L1''}, R^{M1''}, 및 R^{N1''}는 독립적으로 수소, 또는 본원에 정의된 일반 치환기로 이루어진 군으로부터 선택되는 치환기이며; 임의의 2개의 치환기는 융합되거나 연결되어 고리를 형성할 수 있다.

- [0285] 증감제가 SENSITIZER LIST의 구조로 이루어진 군으로부터 선택되는 OLED의 일부 실시양태에서, R, R', R'', R''', R^{10a}, R^{11a}, R^{12a}, R^{13a}, R^{20a}, R^{30a}, R^{40a}, R^{50a}, R⁶⁰, R⁷⁰, R⁹⁷, R⁹⁸, R⁹⁹, R^{A1'}, R^{A2'}, R^{A''}, R^{B''}, R^{C''}, R^{D''}, R^{E''}, R^{F''}, R^{G''}, R^{H''}, R^{I''}, R^{J''}, R^{K''}, R^{L''}, R^{M''}, 및 R^{N''} 중 하나 이상은 완전히 또는 부분적으로 중수소화된 아릴, 완전히 또는 부분적으로 중수소화된 알킬, 보릴, 실릴, 게르밀, 2,6-터페닐, 2-비페닐, 2-(tert-부틸)페닐, 테트라페닐렌, 테트라히드로나프탈렌, 및 이들의 조합으로 이루어진 군으로부터 선택되는 모이어티를 포함한다.
- [0286] SENSITIZER LIST의 이러한 화합물 각각의 금속 Pt는 Pd로 대체될 수 있으며, 이러한 유도된 Pd 화합물 또한 분명히 커버되고자 하는 것임이 이해되어야 한다.
- [0287] 일부 실시양태에서, 증감제는 실온에서 OLED의 인광 이미터, TADF 이미터, 또는 이중항 이미터로 기능할 수 있다. 일부 실시양태에서, 엑셉터는 실온에서 OLED의 TADF 이미터로 기능하는 지연 형광 화합물, 실온에서 OLED의 형광 이미터로 기능하는 형광 화합물로 이루어진 군으로부터 선택된다. 일부 실시양태에서, 형광 이미터는 단일항 또는 이중항 이미터일 수 있다. 일부 이러한 실시양태에서, 단일항 이미터는 TADF 이미터, 뿐만 아니라 다중공명 MR-TADF 이미터를 포함할 수도 있다. 본원에 사용되는 지연 형광의 설명은 미국 출원 공개 US20200373510A1, 단락 0083-0084에서 확인할 수 있으며, 상기 출원의 전체 내용은 본원에 참조로 포함되어 있다.
- [0288] OLED의 일부 실시양태에서, 증감제 및 엑셉터는 발광 영역 내의 별개의 층에 존재한다.
- [0289] 일부 실시양태에서, 증감제 및 엑셉터는 발광 영역의 하나 이상의 층에 혼합물로 존재한다. 주어진 층의 혼합물은 균질 혼합물일 수 있거나 혼합물 중 화합물은 주어진 층의 두께에 따라 차등 농도로 존재할 수 있음을 이해해야 한다. 농도 차등은 선형, 비선형, 사인파형(sinusoidal) 등일 수 있다. 증감제 및 엑셉터 화합물의 혼합물을 갖는 발광 영역에 하나 초과와 층이 존재하는 경우, 혼합물의 유형(즉, 균질 또는 차등 농도) 및 하나 초과와 층 각각의 혼합물 중 화합물의 농도 수준은 동일하거나 상이할 수 있다. 증감제 및 엑셉터 화합물 외에도, 또한 혼합물에 혼합되는 비제한적으로 호스트와 같은 하나 이상의 기능성 화합물이 존재할 수 있다.
- [0290] 일부 실시양태에서, 엑셉터는 농도가 동일하거나 상이한 2개 이상의 층에 존재할 수 있다. 일부 실시양태에서, 2개 이상의 층이 엑셉터를 포함하는 경우, 2개 이상의 층 중 적어도 2개의 층의 엑셉터의 농도는 상이하다. 일부 실시양태에서, 증감제를 포함하는 층의 증감제의 농도는 1 내지 50 중량%, 10 내지 20 중량%, 또는 12 내지 15 중량% 범위이다. 일부 실시양태에서, 엑셉터를 포함하는 층의 엑셉터의 농도는 0.1 내지 10 중량%, 0.5 내지 5 중량%, 또는 1 내지 3 중량% 범위이다.
- [0291] 일부 실시양태에서, 발광 영역은 N개의 층을 포함하며 N > 2이다. 일부 실시양태에서, 증감제는 각각의 N개의 층에 존재하며, 엑셉터는 N-1개 이하의 층에 포함된다. 일부 실시양태에서, 증감제는 각각의 N개의 층에 존재하며, 엑셉터는 N/2개 이하의 층에 포함된다. 일부 실시양태에서, 엑셉터는 각각의 N개의 층에 존재하며, 증감제는 N-1개 이하의 층에 포함된다. 일부 실시양태에서, 엑셉터는 각각의 N개의 층에 존재하며, 증감제는 N/2개 이하의 층에 포함된다.
- [0292] 일부 실시양태에서, 전압이 OLED에 인가되는 경우 OLED는 엑셉터의 S₁ 에너지(제1 단일항 에너지)로부터의 발광 성분을 포함하는 발광을 방출한다. 일부 실시양태에서, OLED로부터의 발광 중 65%, 75%, 85%, 또는 95% 이상이 10 cd/m² 이상의 휘도로 엑셉터로부터 생성된다. 일부 실시양태에서, 엑셉터의 S₁ 에너지는 증감제의 S₁ 에너지보다 낮다.
- [0293] 일부 실시양태에서, 호스트 화합물의 T₁ 에너지(제1 삼중항 에너지)는 증감제 및 엑셉터의 T₁ 에너지 이상이며, 증감제의 T₁ 에너지는 엑셉터의 S₁ 에너지(제1 단일항 에너지) 이상이다. 일부 실시양태에서, 증감제 및/또는 엑셉터 및/또는 제1 호스트 화합물 및/또는 제2 호스트 화합물의 S₁-T₁ 에너지 갭은 400, 300, 250, 200, 150, 100, 또는 50 meV 미만이다. 일부 실시양태에서, 증감제의 HOMO와 엑셉터의 HOMO 사이의 에너지 차이의 절댓값은 0.6, 0.5, 0.4, 0.3, 또는 0.2 eV 미만이다. 일부 실시양태에서, 증감제의 LUMO와 엑셉터의 LUMO 사이의 에너지 차이의 절댓값은 0.6, 0.5, 0.4, 0.3, 또는 0.2 eV 미만이다.
- [0294] 증감제가 단색 증감(즉, 엑셉터로의 에너지 전달시 에너지 손실이 최소)을 제공하는 일부 실시양태에서, 엑셉터는 30, 25, 20, 15, 또는 10 nm 이하의 스토크스 이동(Stokes shift)을 갖는다. 하나의 예는 좁은 청색 발광 엑셉터를 증감시키는 넓은 청색 인광체(phosphor)이다.

- [0295] 증감제가 하향 변환 프로세스(예를 들어, 녹색 이미터를 증감시키는 데 사용되는 청색 이미터, 또는 적색 이미터를 증감시키는 데 사용되는 녹색 이미터)를 제공하는 경우, 역셉터는 30, 40, 60, 80, 또는 100 nm 이상의 스토크스 이동을 갖는다.
- [0296] 일부 실시양태에서, 증감제의 발광 스펙트럼의 λ_{\max} 와 역셉터의 흡수 스펙트럼의 λ_{\max} 사이의 차이는 50, 40, 30, 또는 20 nm 이하이다. 일부 실시양태에서, 증감제의 발광 영역에 대한 역셉터의 흡광 영역 및 증감제의 발광 영역의 스펙트럼 중첩은 5%, 10%, 15%, 20%, 30%, 40%, 50% 또는 그 이상보다 크다.
- [0297] 증감제 화합물(본 개시내용의 OLED의 발광 영역의 증감제로 사용될 화합물)과 역셉터 화합물(본 개시내용의 OLED의 발광 영역의 역셉터로 사용될 화합물) 사이의 질적 관계를 정량화하는 한 가지 방법은 값 $\Delta\lambda = \lambda_{\max 1} - \lambda_{\max 2}$ 를 결정하는 것이며, 상기 식에서 $\lambda_{\max 1}$ 및 $\lambda_{\max 2}$ 는 다음과 같이 정의된다. $\lambda_{\max 1}$ 은 증감제 화합물이 제1 호스트를 갖는 제1 단색 OLED(한 가지 색상만을 방출하는 OLED)의 단독 이미터로 사용되는 경우 실온에서의 증감제 화합물의 최대 발광이다. $\lambda_{\max 2}$ 는 역셉터 화합물이 동일한 제1 호스트를 갖는 제2 단색 OLED의 단독 이미터로 사용되는 경우 실온에서의 역셉터 화합물의 최대 발광이다.
- [0298] 증감제가 단색 증감(즉, 역셉터로의 에너지 전달시 에너지 손실이 최소)을 제공하는 본 개시내용의 OLED의 일부 실시양태에서, $\Delta\lambda$ (앞서 기술된 바와 같이 결정됨)는 15, 12, 10, 8, 6, 4, 2, 0, -2, -4, -6, -8, 및 -10 nm 로 이루어진 군으로부터 선택되는 수 이하이다.
- [0299] 일부 실시양태에서, 증감제 및 역셉터의 스펙트럼 중첩 적분은 $10^{14} \text{ nm}^{4*} \text{ L/cm}^3 \text{ mol}$ 이상이다. 일부 실시양태에서, 증감제 및 역셉터의 스펙트럼 중첩 적분은 $5 \times 10^{14} \text{ nm}^{4*} \text{ L/cm}^3 \text{ mol}$ 이상이다. 일부 실시양태에서, 증감제 및 역셉터의 스펙트럼 중첩 적분은 $10^{15} \text{ nm}^{4*} \text{ L/cm}^3 \text{ mol}$ 이상이다.
- [0300] 본원에서 사용되는 바와 같이, "스펙트럼 중첩 적분"은 역셉터 소멸 스펙트럼에 곡선 아래 면적에 대하여 정규화된 증감제 발광 스펙트럼을 곱하여 결정된다. 스펙트럼 중첩이 높을수록 포어스터(Foerster) 공명 에너지 전이(FRET) 효율이 우수하다. FRET의 속도는 스펙트럼 중첩 적분에 비례한다. 따라서, 높은 스펙트럼 중첩은 FRET 효율을 개선하고 OLED의 엑시톤 수명을 감소시키는 데 도움이 될 수 있다.
- [0301] 일부 실시양태에서, 역셉터 및 증감제는 스펙트럼 중첩을 증가시키도록 선택된다. 스펙트럼 중첩의 증가는 다양한 방식, 예를 들어, 역셉터의 진동자 강도를 증가시키는 것, 증감제 피크 발광 강도와 역셉터 흡수 피크 사이의 간격을 최소화하는 것, 및 증감제 발광 또는 역셉터 흡수의 라인 형상을 좁게 하는 것으로 달성될 수 있다. 일부 실시양태에서, 역셉터의 진동자 강도는 0.1 이상이다.
- [0302] 역셉터의 발광이 증감에 의해 적색 이동하는 일부 실시양태에서, $\Delta\lambda$ 의 절댓값은 20, 30, 40, 60, 80, 100 nm 로 이루어진 군으로부터 선택되는 수 이상이다.
- [0303] 일부 실시양태에서, 증감제 및/또는 역셉터는 인광 또는 형광 이미터일 수 있다. 인광은 일반적으로 전자 스핀 양자 수의 변화에 따른 광자의 방출을 지칭하며, 즉, 방출의 초기 및 최종 상태는 T1에서 S0 상태와 같이 상이한 전자 스핀 양자 수를 갖는다. 현재 OLED에서 널리 사용되는 Ir 및 Pt 착물은 인광 이미터에 속한다. 일부 실시양태에서, 엑시플렉스 형성이 삼중항 이미터를 수반하는 경우, 이러한 엑시플렉스는 인광 광을 방출할 수도 있다. 반면, 형광 이미터는 일반적으로 S1에서 S0 상태, 또는 D1에서 D0 상태와 같은 전자 스핀 양자 수의 변화가 없는 발광을 지칭한다. 형광 이미터는 지연 형광 또는 비지연 형광 이미터일 수 있다. 스핀 상태에 따라, 형광 이미터는 단일항 이미터 또는 이중항 이미터, 또는 다른 다중항 이미터일 수 있다. 형광 OLED의 내부 양자 효율(IQE)은 지연 형광을 통해 25% 스핀 통계 한계를 초과할 수 있다고 여겨진다. 두 가지 유형의 지연 형광, 즉 P형 지연 형광 및 E형 지연 형광이 존재한다. P형 지연 형광은 삼중항-삼중항 소멸(TTA)로부터 생성된다. 반면, E형 지연 형광은 두 삼중항의 충돌에 의존하지 않지만, 삼중항 상태와 단일항 여기 상태 사이의 열 집단(thermal population)에 의존한다. 열에너지는 삼중항 상태에서 다시 단일항 상태로의 전이를 활성화시킬 수 있다. 이러한 유형의 지연 형광은 열 활성화 지연 형광(TADF)으로도 알려져 있다. E형 지연 형광 특성은 엑시플렉스 시스템 또는 단일 화합물에서 찾을 수 있다. 이론에 얽매이지 않고, TADF는 400, 350, 300, 250, 200, 150, 100, 또는 50 meV 이하의 작은 단일항-삼중항 에너지 갭(ΔE_{S-T})을 갖는 화합물 또는 엑시플렉스를 필요로 한다고 여겨진다. 두 가지 주요 유형의 TADF 이미터가 존재하며, 하나는 도너-역셉터형 TADF로 불리고, 다른 하나는 다중 공명(MR) TADF로 불린다. 보통, 도너-역셉터 단일 화합물은 아미노- 또는 카르바졸- 유도체와 같은 전자 도너 모이어티와 N 함유 6원 방향족 고리 또는 시아노 치환된 방향족 고리와 같은 전자 역셉터 모이어티를 연결

함으로써 구성된다. 도너-억셉터 엑시플렉스는 정공 수송 화합물과 전자 수송 화합물 사이에서 형성될 수 있다. MR-TADF의 예는 고 접합(highly conjugated) 융합 고리계를 포함한다. 일부 실시양태에서, MR-TADF 물질은 붕소, 탄소, 및 질소 원자를 포함한다. 이는 또한 다른 원자, 예를 들어 산소를 포함할 수 있다. 일부 실시양태에서, 293K에서 지연 형광 발광의 T1에서 S1로의 역 시스템간 교차 시간은 10 마이크로초 이하이다. 일부 실시양태에서, 이러한 시간은 10 마이크로초 초과 100 마이크로초 미만일 수 있다.

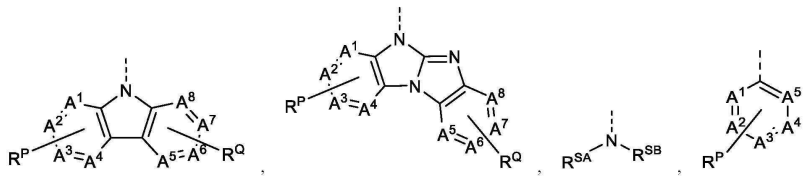
[0304] OLED의 일부 실시양태에서, 하기 조건 중 하나 이상이 성립한다:

[0305] (1) 증감제 화합물은 실온에서 OLED의 TADF 이미터로 기능할 수 있음;

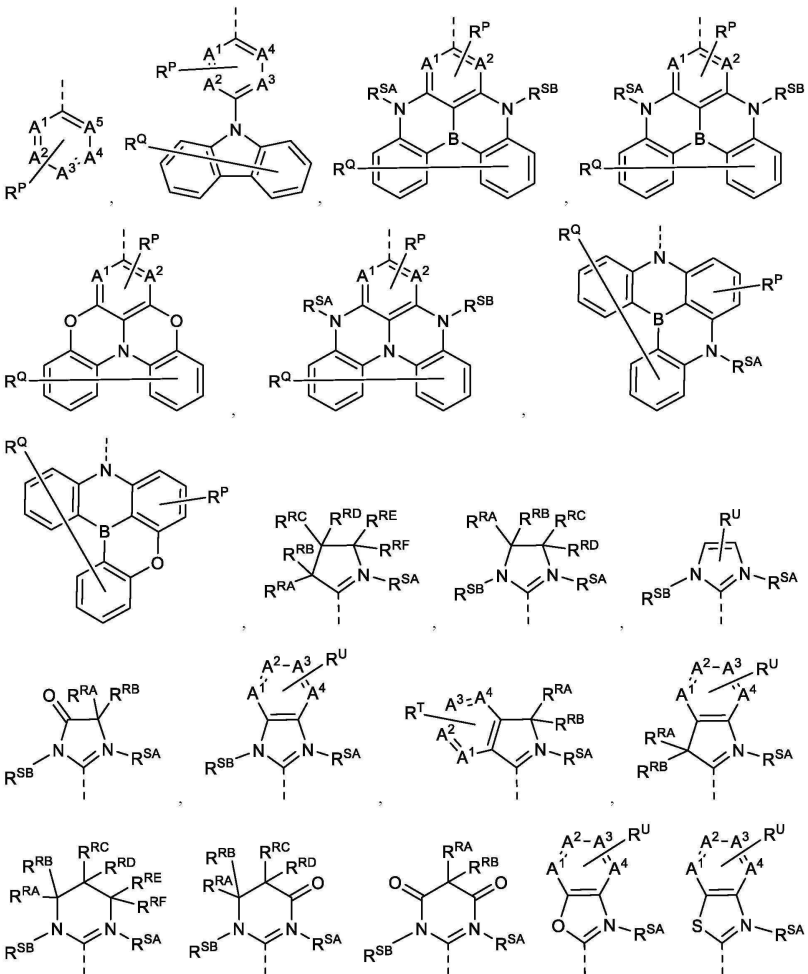
[0306] (2) 억셉터 화합물은 실온에서 OLED의 TADF 이미터로 기능하는 지연 형광 화합물임.

[0307] OLED의 일부 실시양태에서, TADF 이미터는 하나 이상의 도너기 및 하나 이상의 억셉터기를 포함한다. 일부 실시양태에서, TADF 이미터는 금속 착물이다. 일부 실시양태에서, TADF 이미터는 비금속 착물이다. 일부 실시양태에서, TADF 이미터는 붕소 함유 화합물이다. 일부 실시양태에서, TADF 이미터는 Cu, Ag, 또는 Au 착물이다.

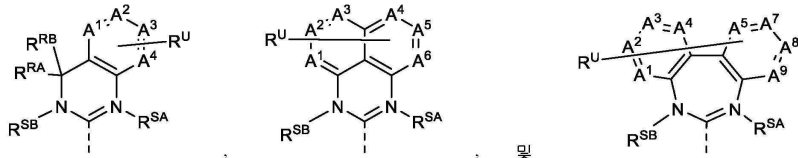
[0308] OLED의 일부 실시양태에서, TADF 이미터는 $M(L^5)(L^6)$ 의 화학식을 가지며, 상기 화학식에서 M은 Cu, Ag, 또는 Au 이고, L^5 및 L^6 은 상이하고, L^5 및 L^6 은 독립적으로 하기 화학식으로 이루어진 군으로부터 선택되고:



[0309]



[0310]

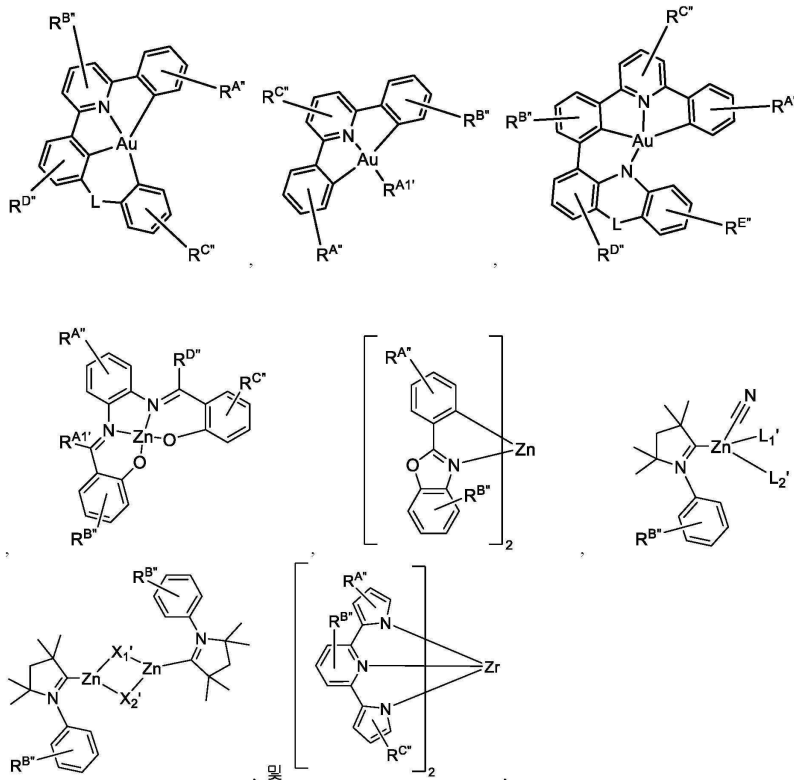


[0311]

[0312] $A^1 - A^9$ 는 각각 독립적으로 C 또는 N으로부터 선택되고;

[0313] 각각의 R^P , R^Q , 및 R^U 는 독립적으로 일치환, 최대까지의 치환, 또는 무치환을 나타내고; 각각의 R^P , R^Q , R^U , R^{SA} , R^{SB} , R^{RA} , R^{RB} , R^{RC} , R^{RD} , R^{RE} , 및 R^{RF} 는 독립적으로 수소, 또는 본원에 정의된 일반 치환기로 이루어진 군으로부터 선택되는 치환기이고; 임의의 2개의 치환기는 연결되거나 융합되어 고리를 형성할 수 있다.

[0314] OLED의 일부 실시양태에서, TADF 이미터는 하기 화학식 중 하나일 수 있다:



[0315]

[0316] 상기 화학식에서 각각의 $R^{A''}$, $R^{B''}$, $R^{C''}$, $R^{D''}$, $R^{E''}$, 및 $R^{F''}$ 는 독립적으로 일치환 내지 최대 가능한 수의 치환, 또는 무치환을 나타낼 수 있고;

[0317] 각각의 $R^{A''}$, $R^{B''}$, $R^{C''}$, $R^{D''}$, $R^{E''}$, 및 $R^{F''}$ 는 독립적으로 수소, 또는 본원에 정의된 일반 치환기로 이루어진 군으로부터 선택되는 치환기이고; 임의의 2개의 치환기는 융합되거나 연결되어 고리를 형성할 수 있고;

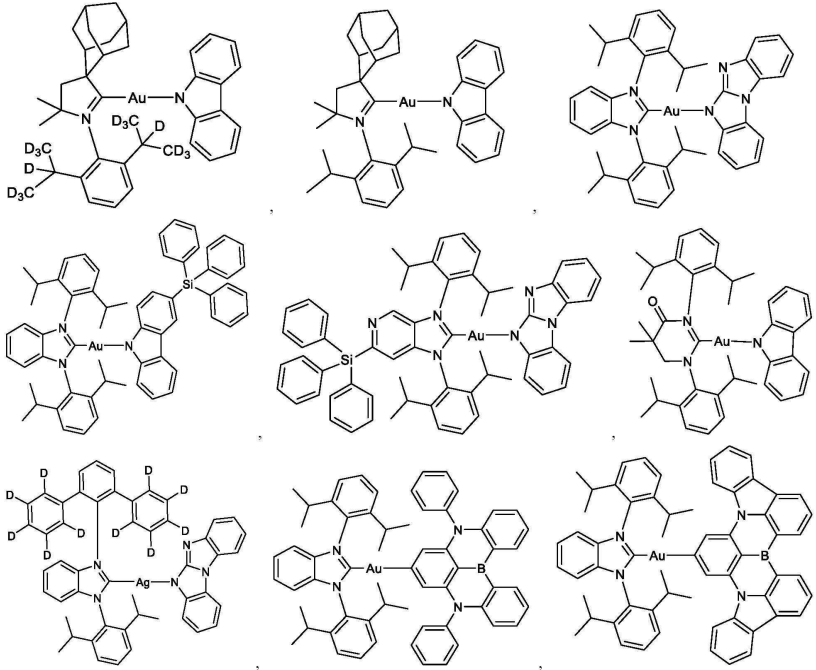
[0318] L은 독립적으로 직접 결합, $BR^{A''}$, $BR^{A''}R^{B''}$, $NR^{A''}$, $PR^{A''}$, O, S, Se, C=O, C=S, C=Se, C=NR^{A''}, C=CR^{A''}R^{B''}, S=O, SO₂, CR^{A''}, CR^{A''}R^{B''}, SiR^{A''}R^{B''}, GeR^{A''}R^{B''}, 알킬, 시클로알킬, 아릴, 헤테로아릴, 및 이들의 조합으로 이루어진 군으로부터 선택되고;

[0319] 각각의 L_1 및 L_2 는 1차 음이온성 리간드이고,

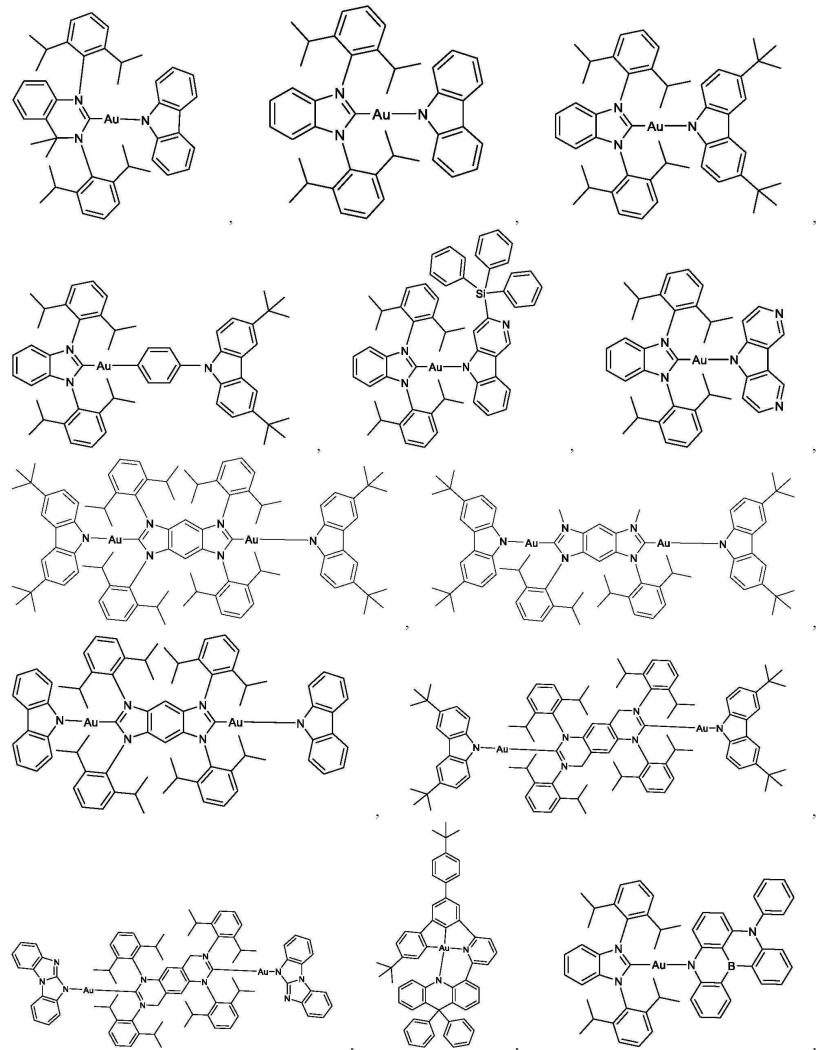
[0320] 각각의 X_1 및 X_2 는 할라이드이고;

[0321] 임의의 2개의 치환기는 융합되거나 연결되어 고리를 형성할 수 있다.

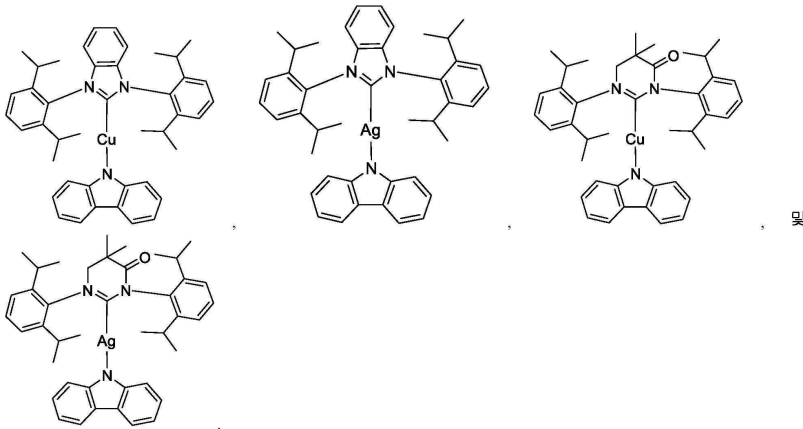
[0322] OLED의 일부 실시양태에서, TADF 이미터는 하기 TADF LIST의 구조로 이루어진 군으로부터 선택된다:



[0323]



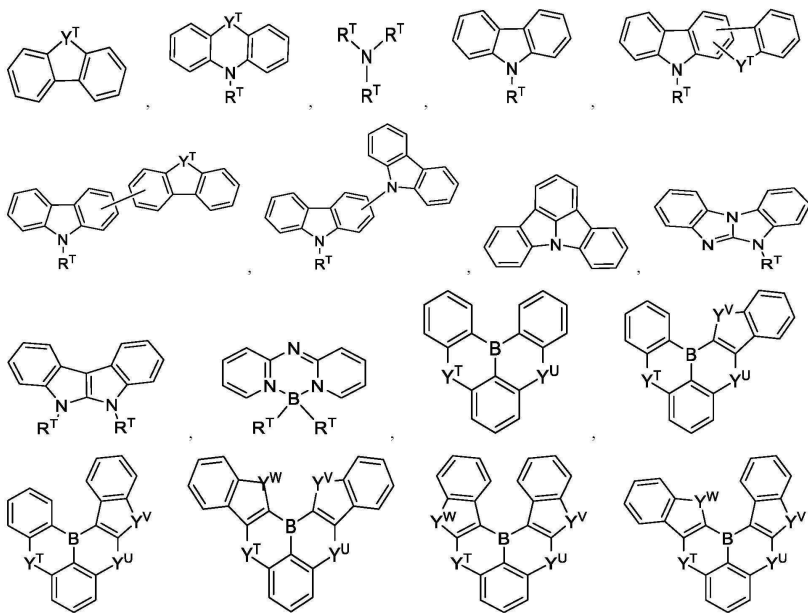
[0324]



[0325]

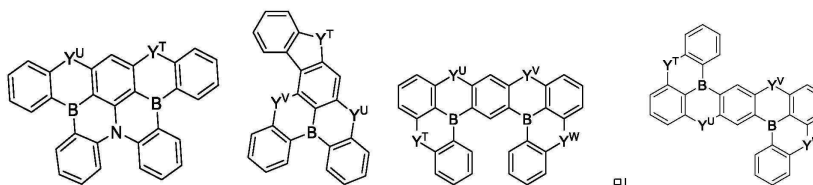
[0326]

OLED의 일부 실시양태에서, TADF 이미터는 붕소 원자를 포함한다. OLED의 일부 실시양태에서, TADF 이미터는 하기 화학식으로 이루어진 군으로부터 선택되는 화학 모이어티 중 하나 이상을 포함한다:



[0327]

[0328]



[0329]

상기 화학식에서 Y^T , Y^U , Y^V , 및 Y^W 는 각각 독립적으로 BR, NR, PR, O, S, Se, C=O, S=O, SO₂, BRR', CRR', SiRR', 및 GeRR'로 이루어진 군으로부터 선택되고;

[0330]

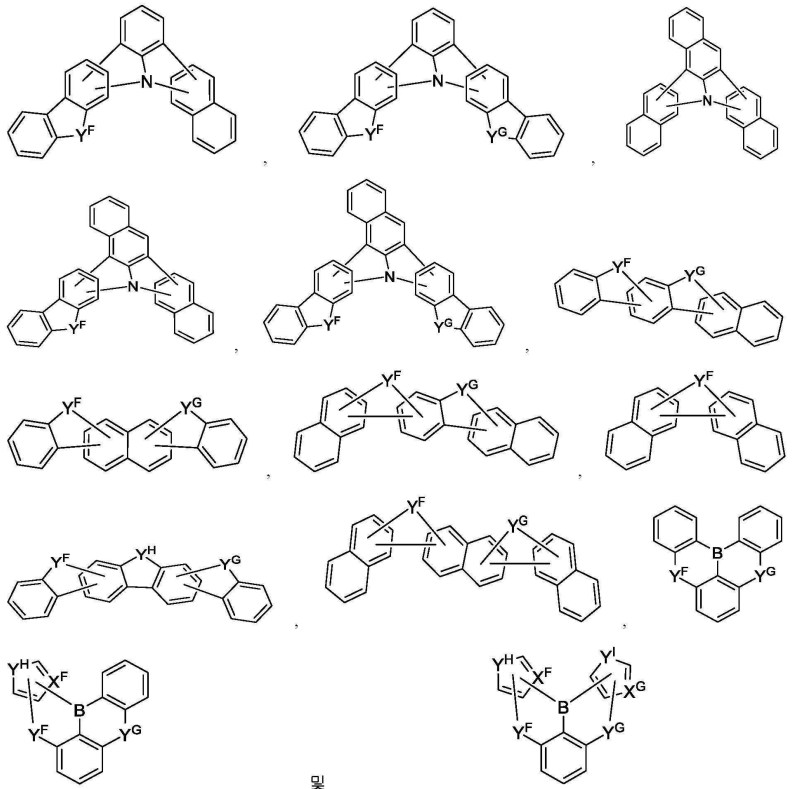
각각의 R^T 는 동일하거나 상이할 수 있고 각각의 R^T 는 독립적으로 도너, 억셉터기, 도너에 결합된 유기 링커, 억셉터기에 결합된 유기 링커, 또는 알킬, 시클로알킬, 헤테로알킬, 헤테로시클로알킬, 아릴알킬, 아릴, 헤테로아릴, 및 이들의 조합으로 이루어진 군으로부터 선택되는 말단기이고;

[0331]

R 및 R'는 각각 독립적으로 수소, 또는 본원에 정의된 일반 치환기로 이루어진 군으로부터 선택되는 치환기이다.

[0332]

상기 실시양태 중 일부에서, 임의의 상기 구조의 각각의 페닐 고리에서 총 최대 3개까지의 임의의 탄소 고리 원자는 이의 치환기와 함께 N으로 치환될 수 있다.



[0337]

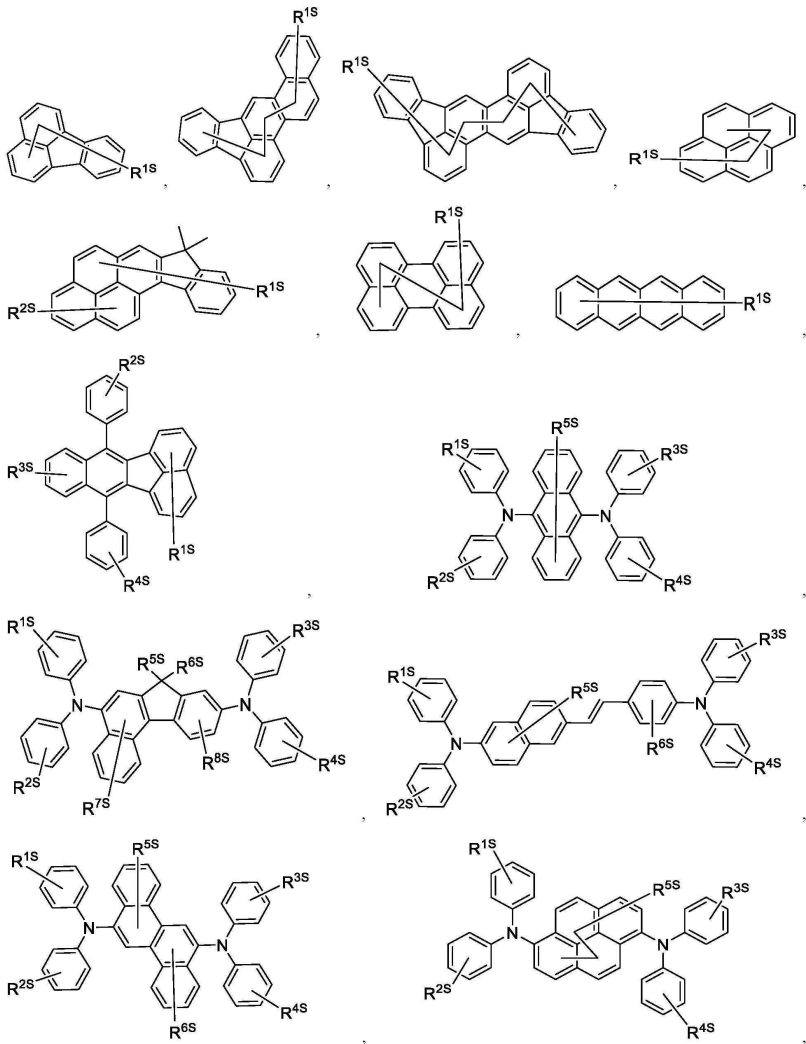
[0338] 상기 화학식에서 Y^F , Y^G , Y^H , 및 Y^I 는 각각 독립적으로 BR, NR, PR, O, S, Se, C=O, S=O, SO₂, BRR', CRR', SiRR', 및 GeRR'로 이루어진 군으로부터 선택되고;

[0339] X^F 및 X^G 는 각각 독립적으로 C 및 N으로 이루어진 군으로부터 선택되고;

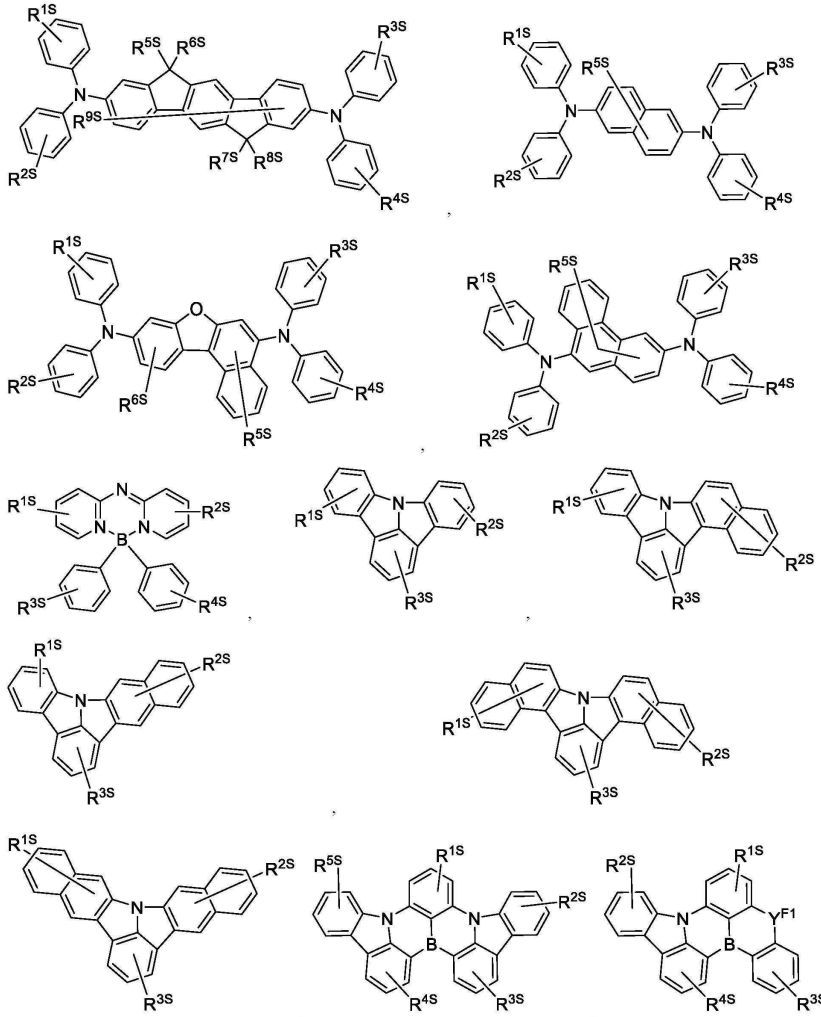
[0340] R^F , R^G , R, 및 R'는 각각 독립적으로 수소, 또는 본원에 정의된 일반 치환기로 이루어진 군으로부터 선택되는 치환기이다.

[0341] 상기 실시양태 중 일부에서, 임의의 상기 구조의 각각의 페닐 고리에서 총 최대 3개까지의 임의의 탄소 고리 원자는 이의 치환기와 함께 N으로 치환될 수 있다.

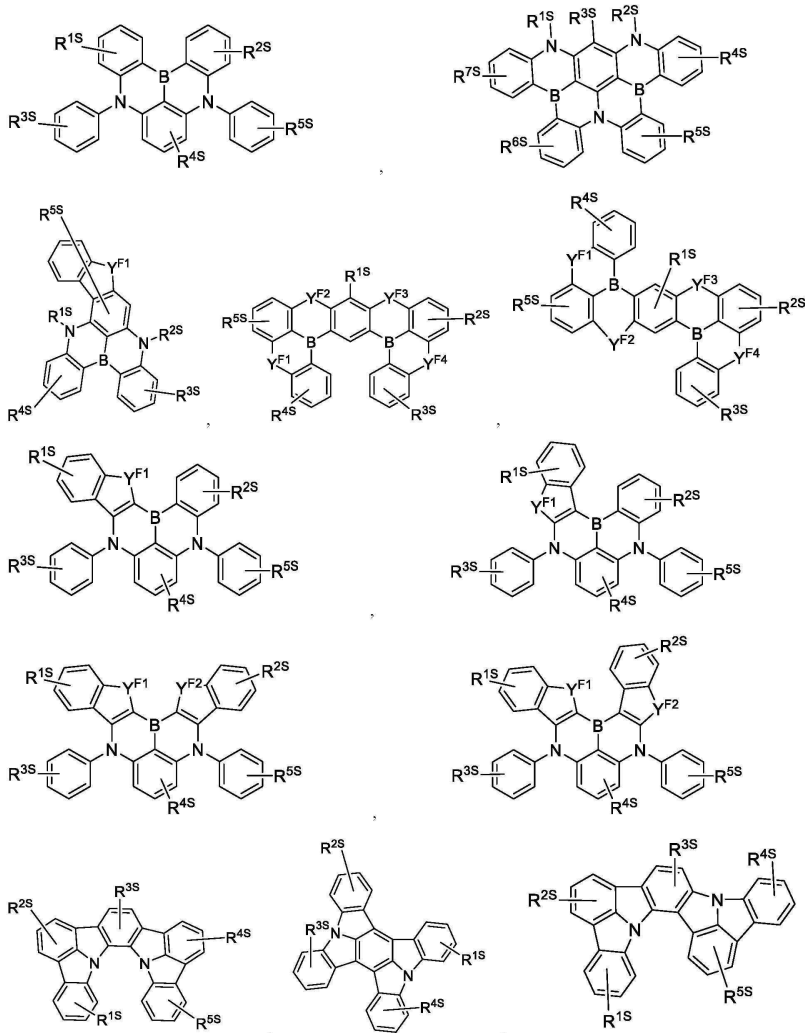
[0342] OLED의 일부 실시양태에서, 형광 화합물은 하기 화학식으로 이루어진 군으로부터 선택된다:



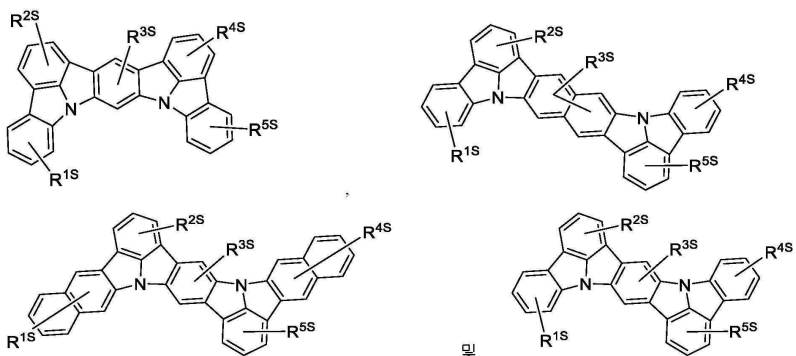
[0343]



[0344]



[0345]



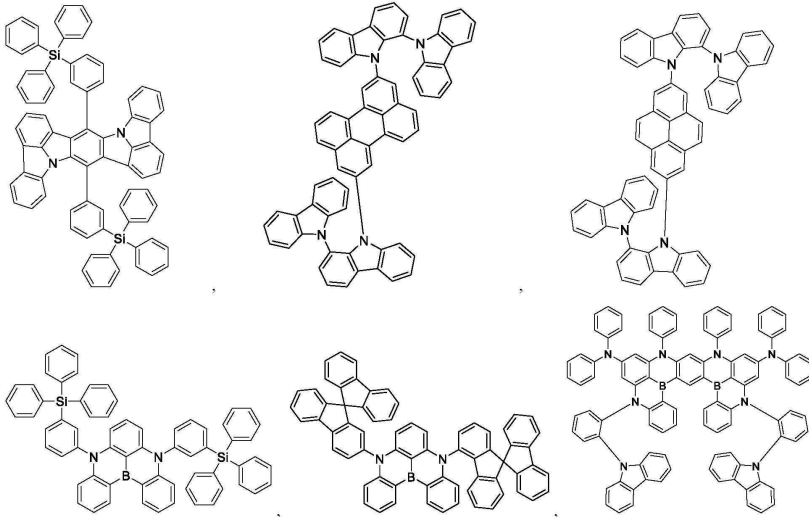
[0346]

[0347] 상기 화학식에서 Y^{F1} 내지 Y^{F4} 는 각각 독립적으로 O, S, 및 NR^{F1} 로부터 선택되고;

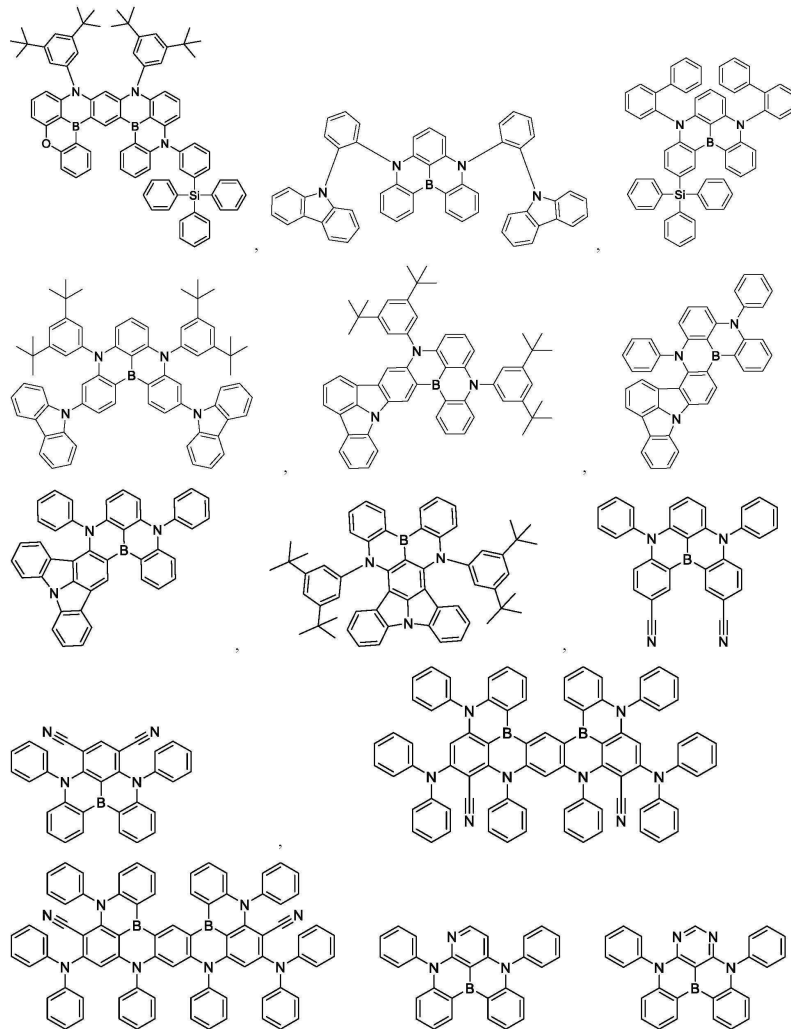
[0348] R^{F1} 및 R^1 내지 R^9 는 각각 독립적으로 일치환 내지 최대 가능한 수의 치환, 또는 무치환을 나타내고;

[0349] R^{F1} 및 R^1 내지 R^9 는 각각 독립적으로 수소, 또는 본원에 정의된 일반 치환기로 이루어진 군으로부터 선택되는 치환기이며, 임의의 2개의 치환기는 연결되거나 융합되어 고리를 형성할 수 있다.

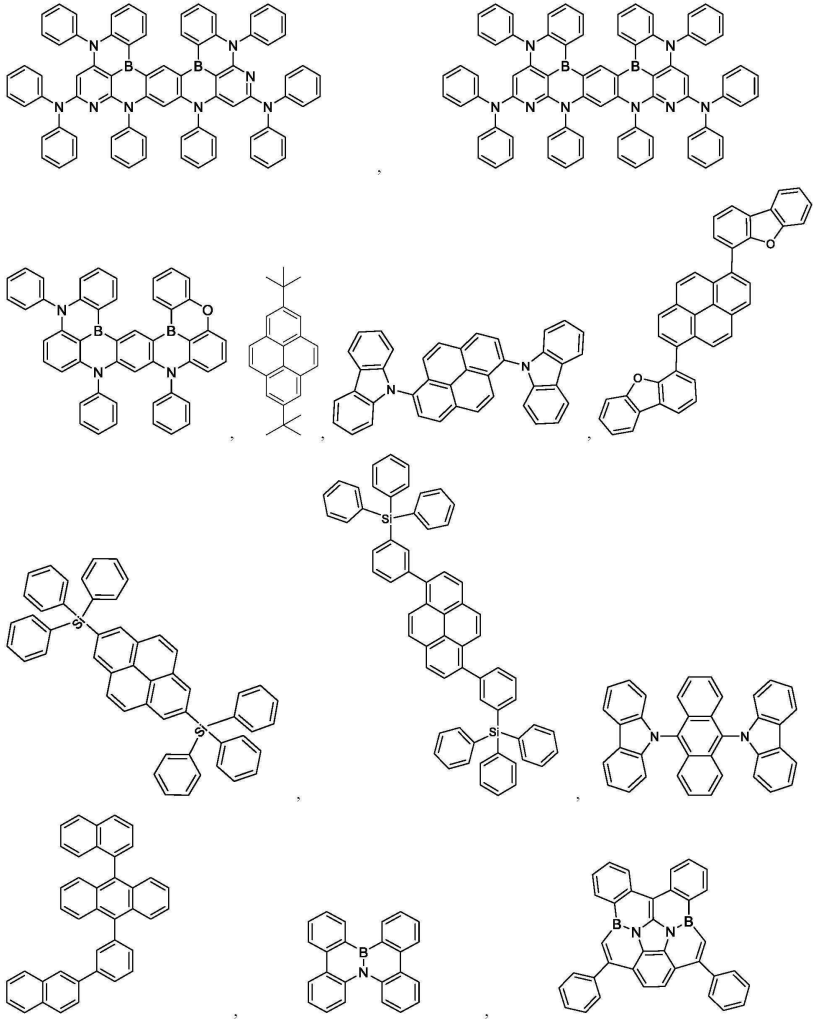
[0350] 일부 실시양태에서, 역셉터 화합물은 하기 ACCEPTOR LIST의 구조, 이들의 아자 치환된 변형체, 이들의 완전히 또는 부분적으로 중수소화된 변형체, 및 이들의 조합으로 이루어진 군으로부터 선택된다:



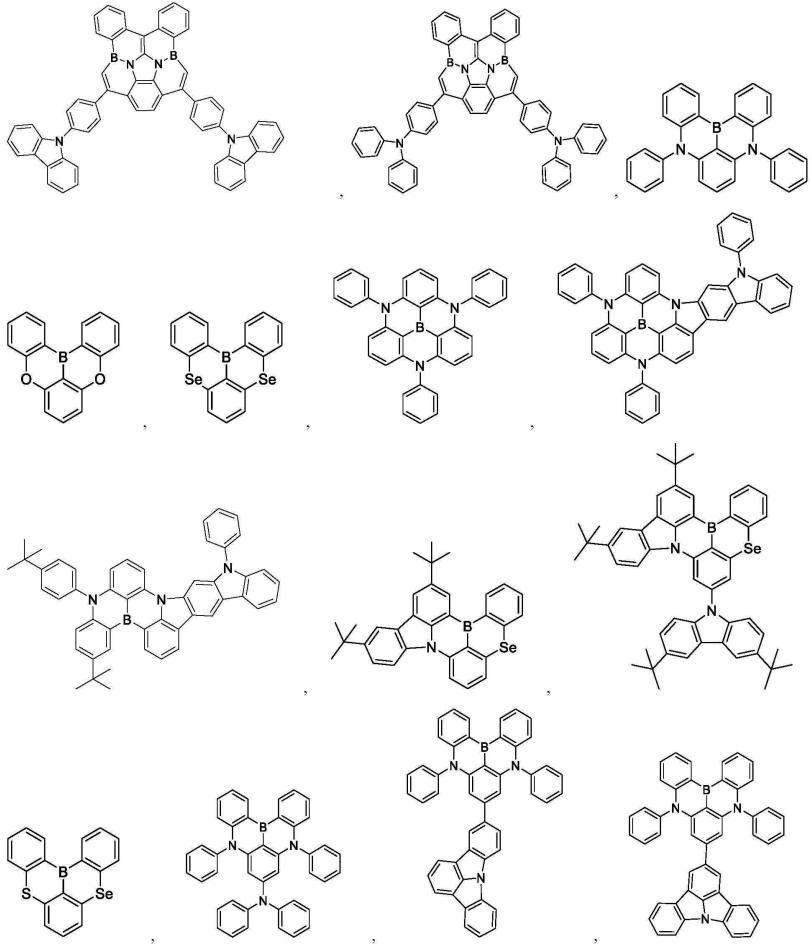
[0351]



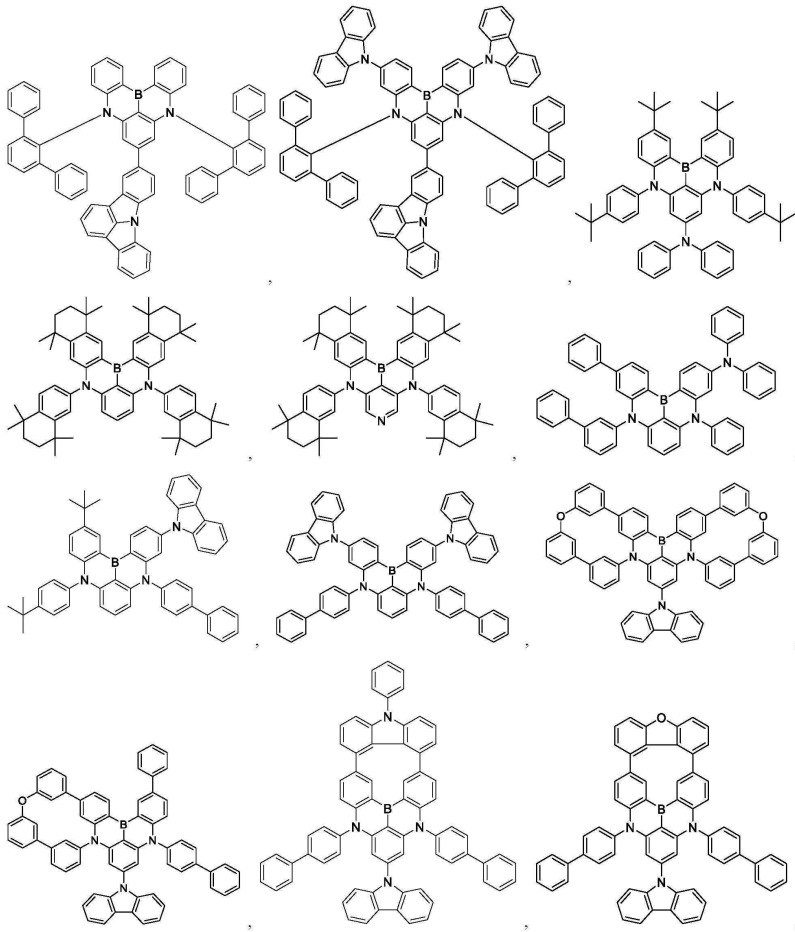
[0352]



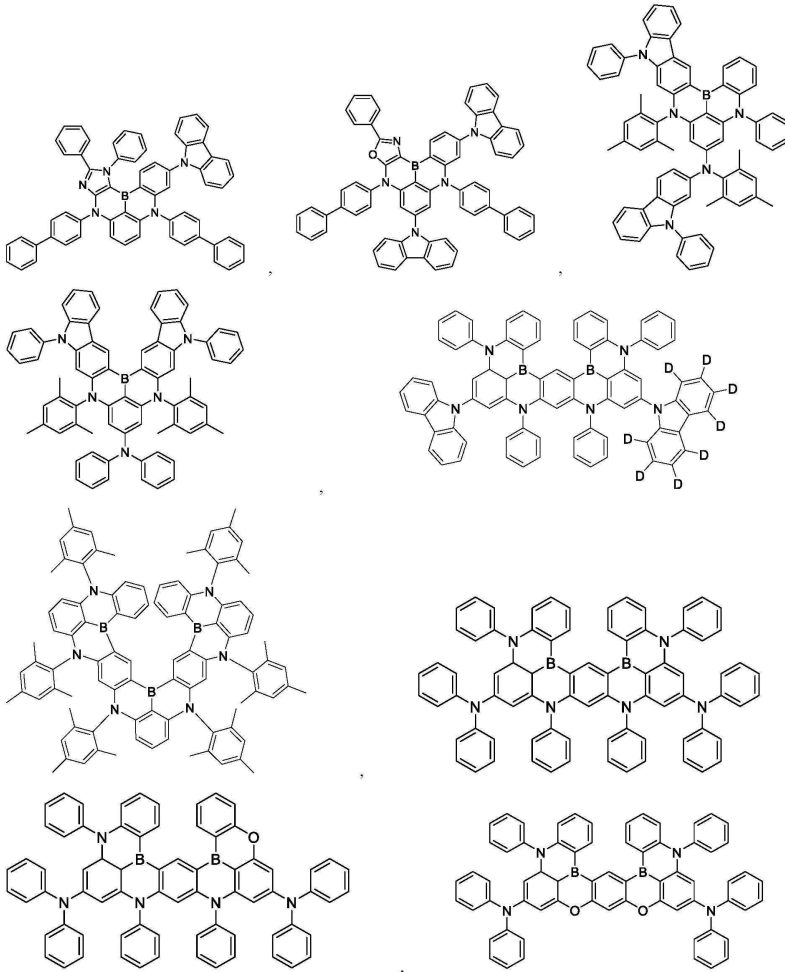
[0353]



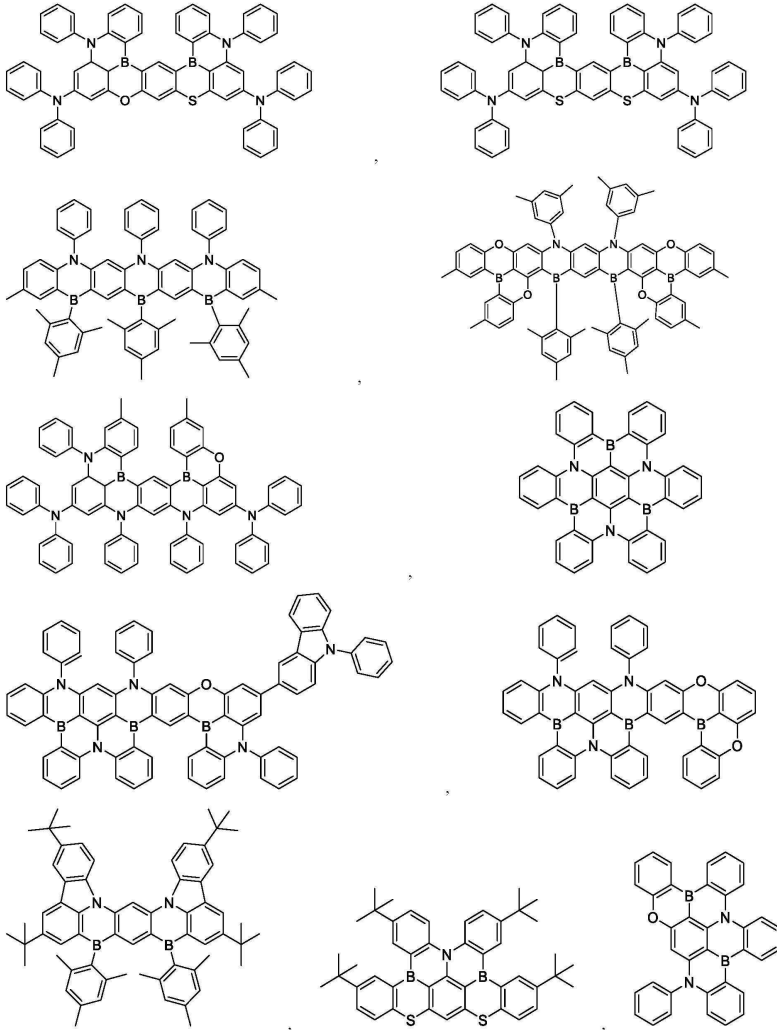
[0354]



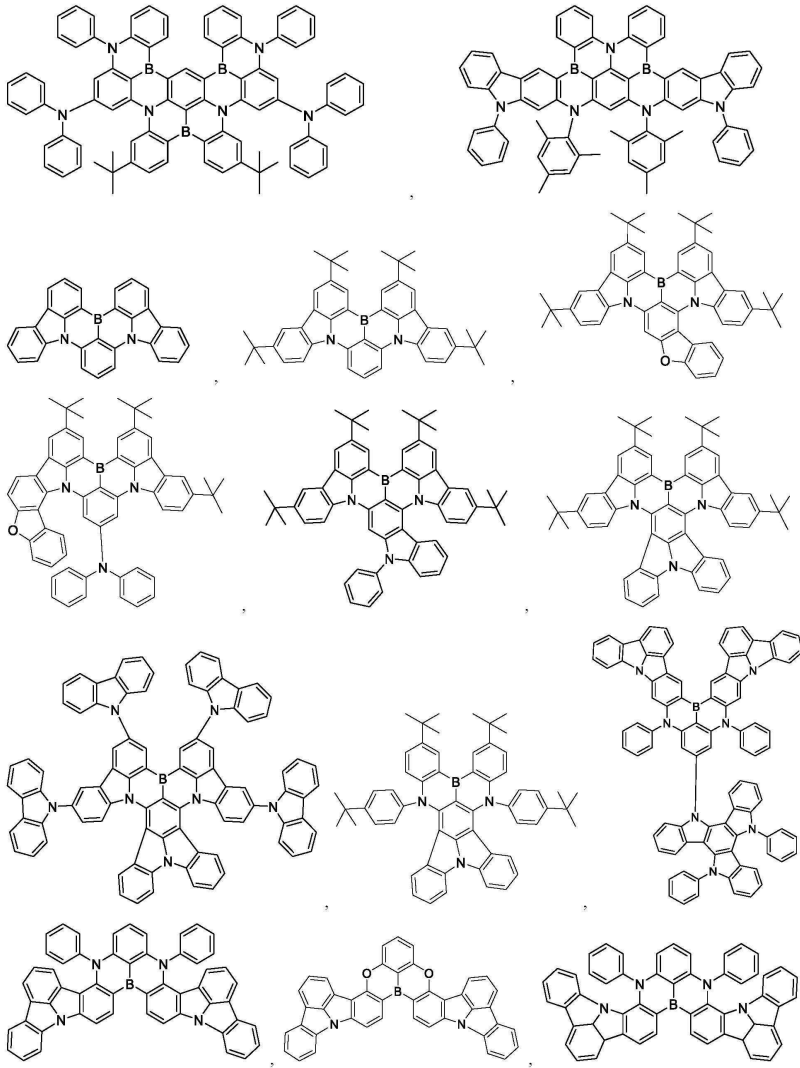
[0355]



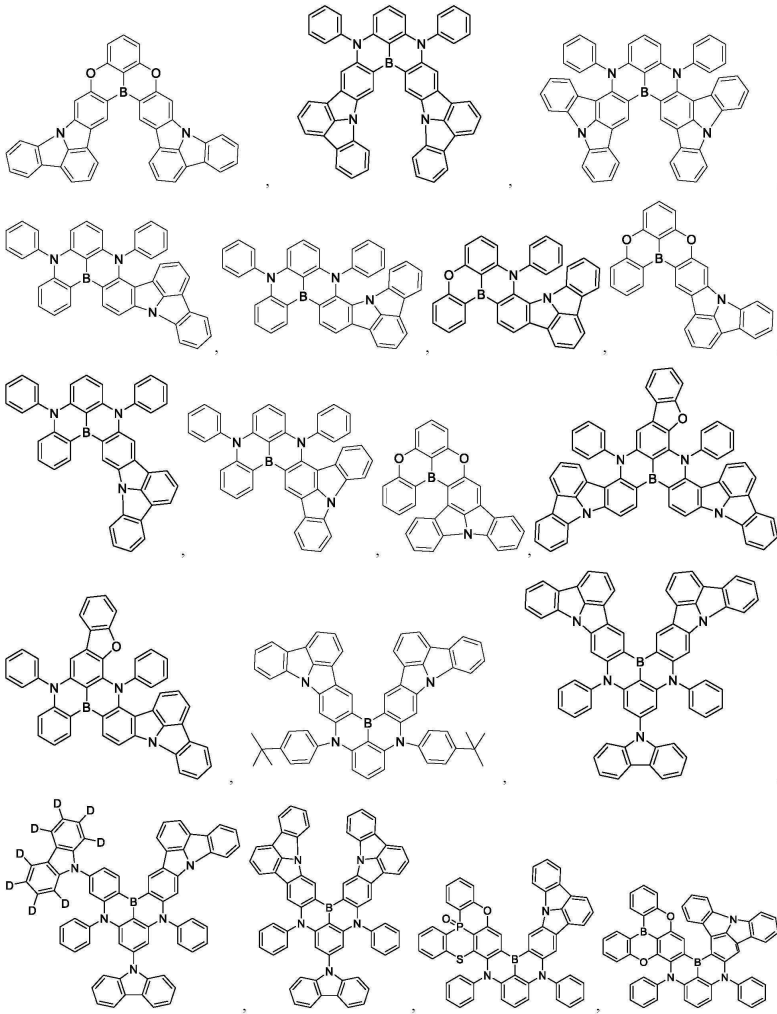
[0356]



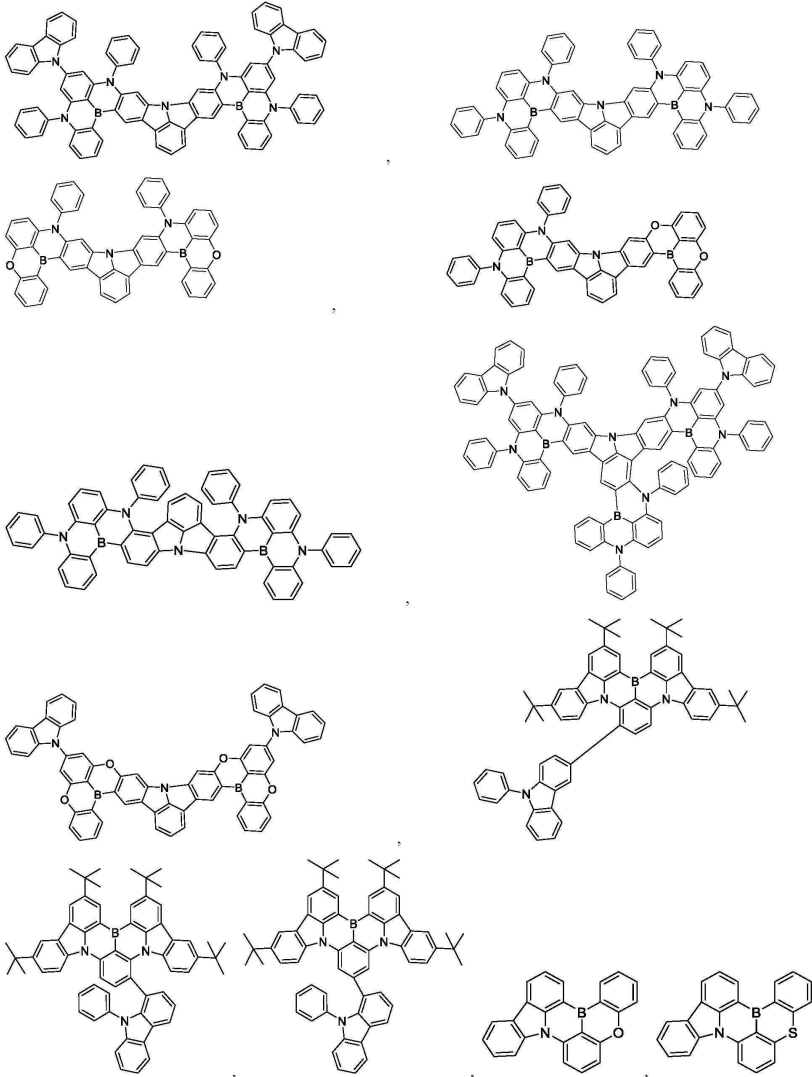
[0357]



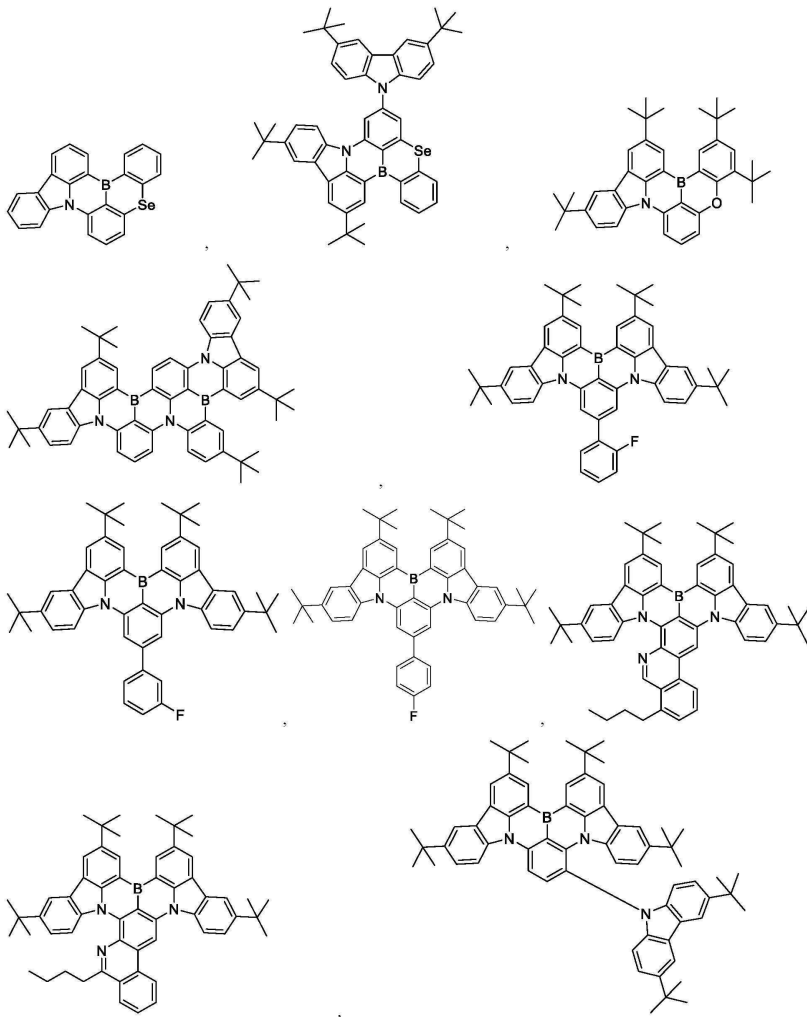
[0358]



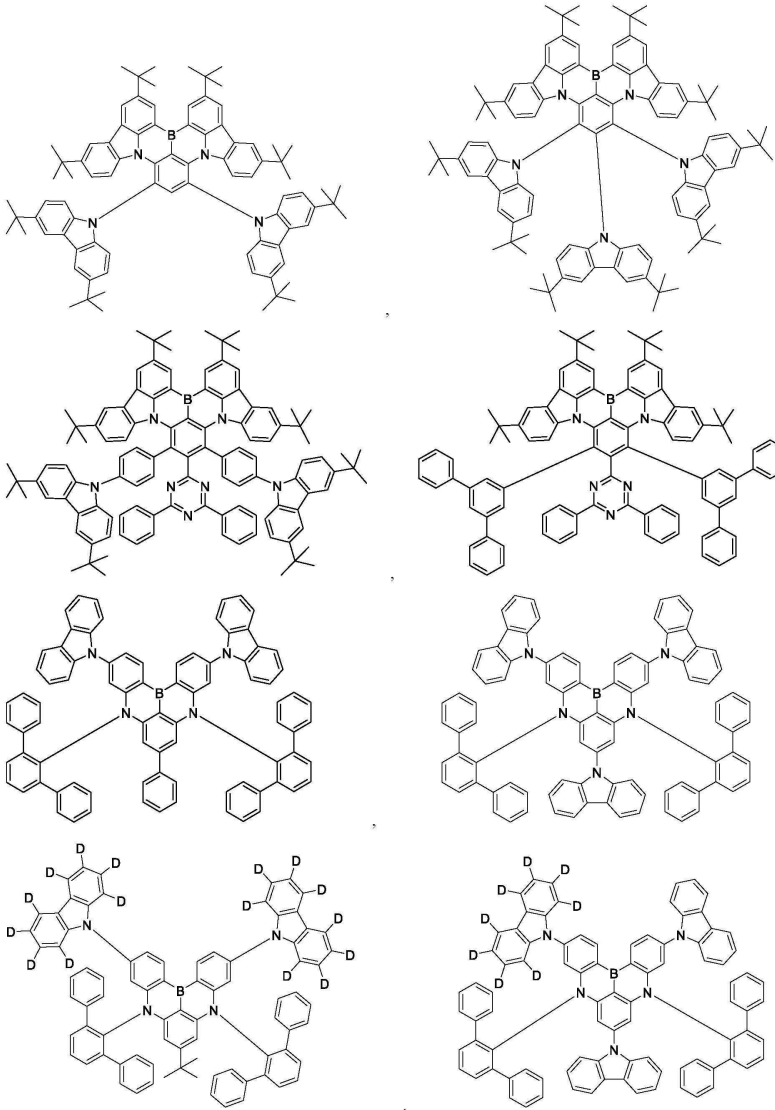
[0359]



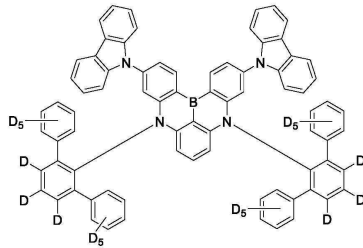
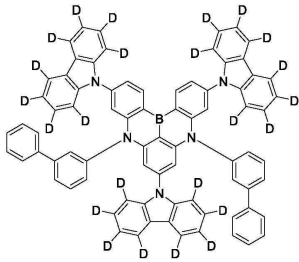
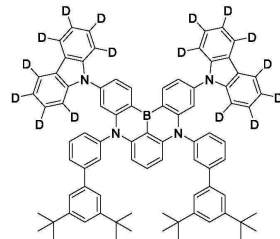
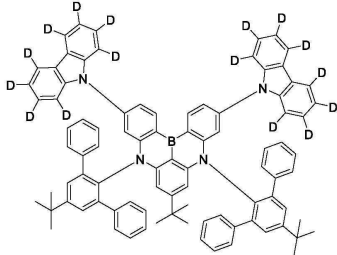
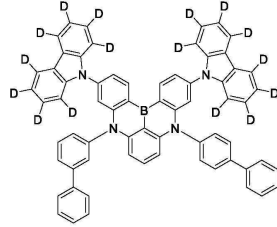
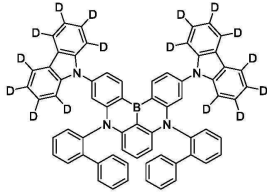
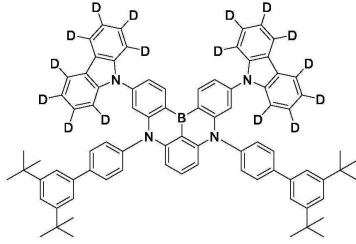
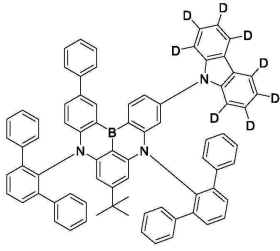
[0360]



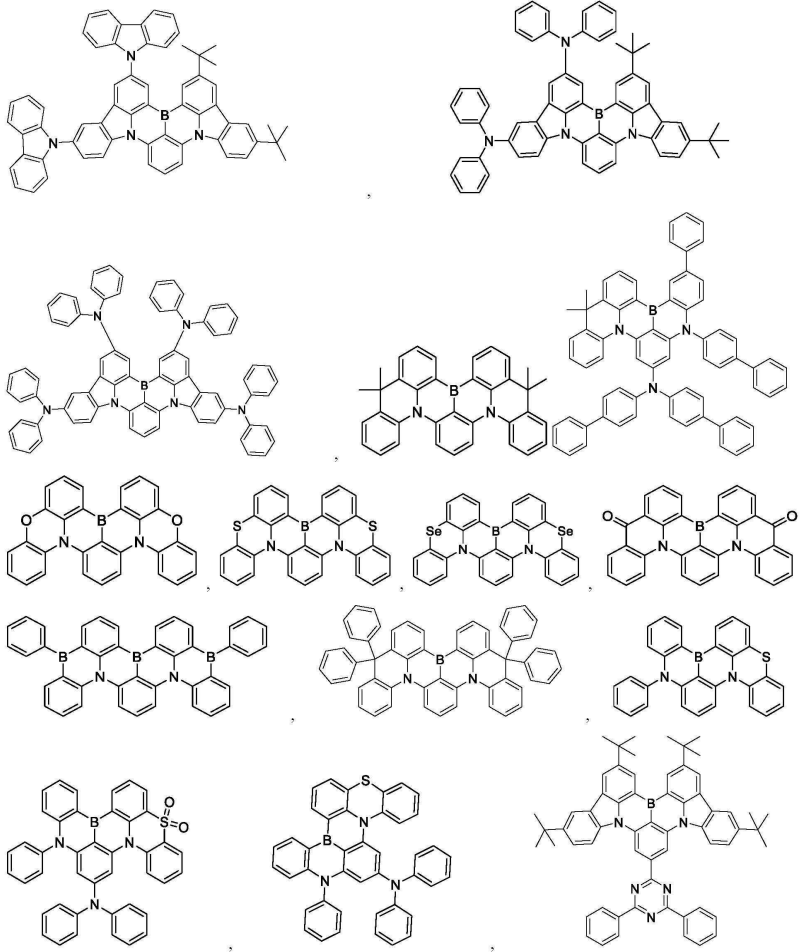
[0361]



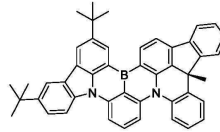
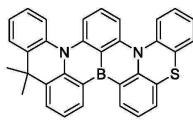
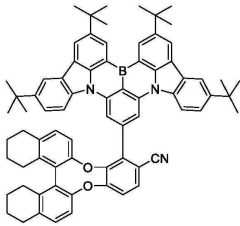
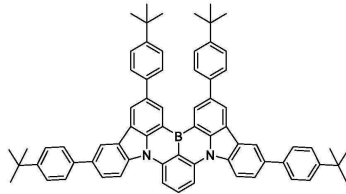
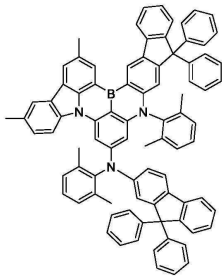
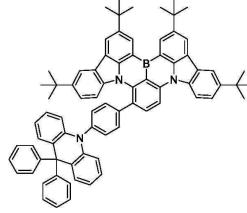
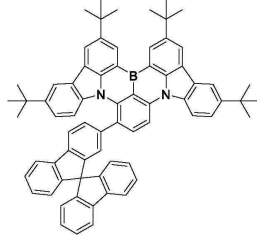
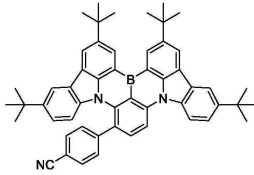
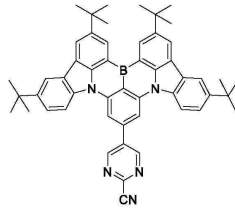
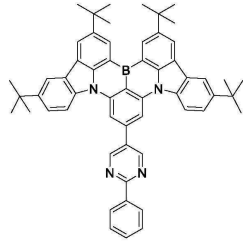
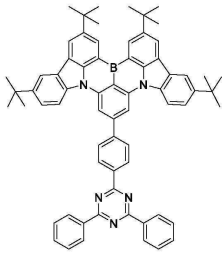
[0362]



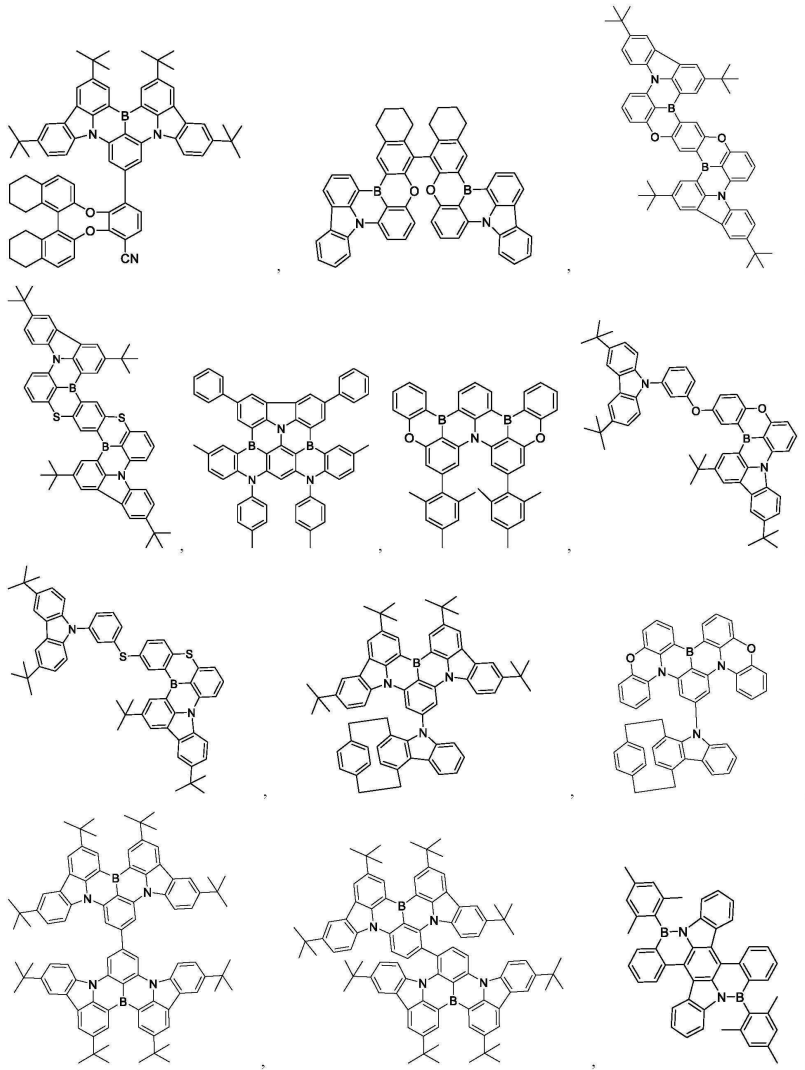
[0363]



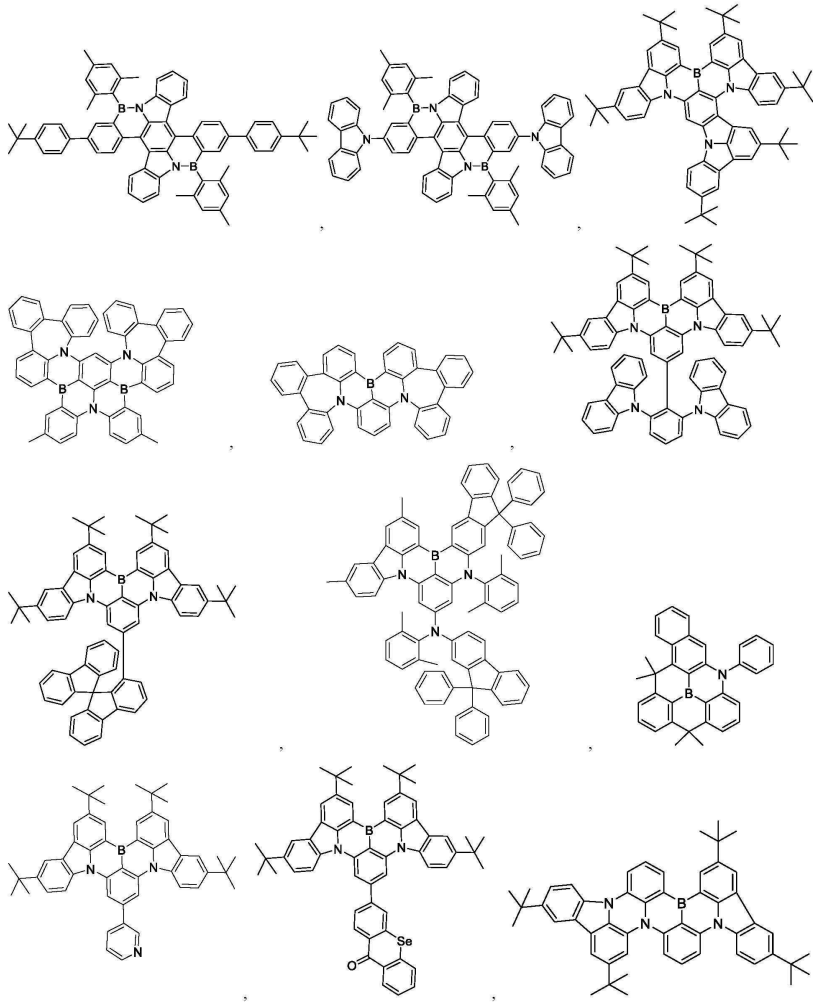
[0364]



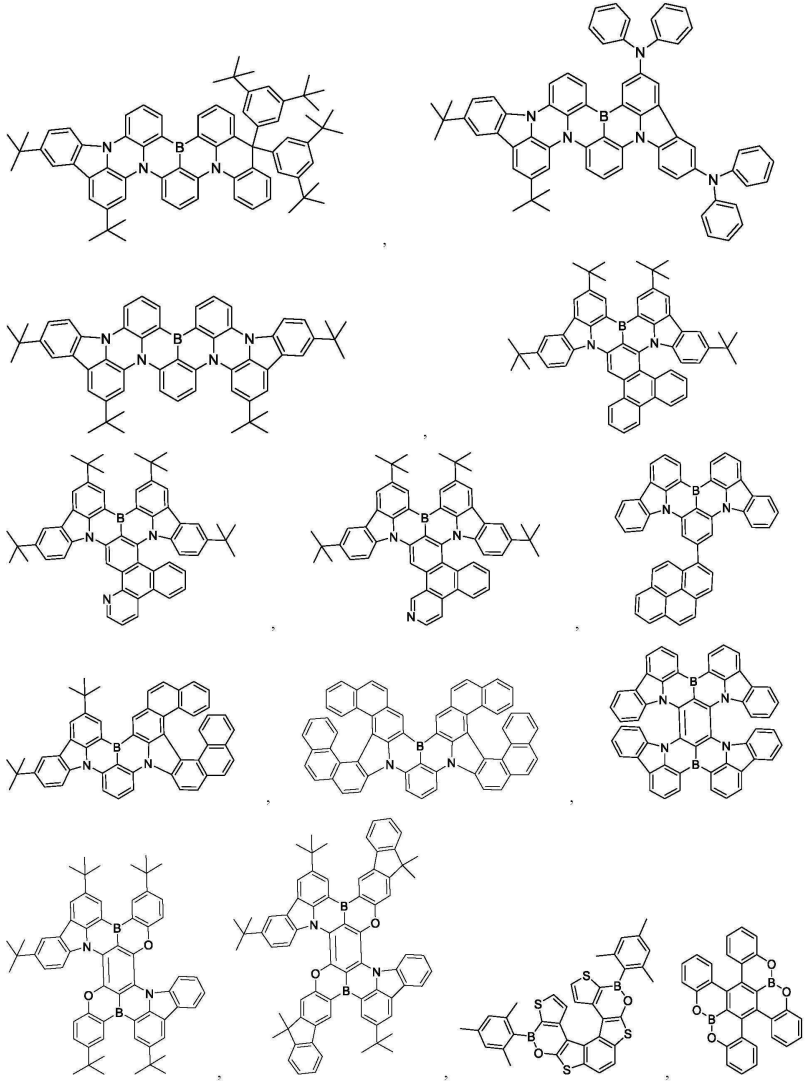
[0365]



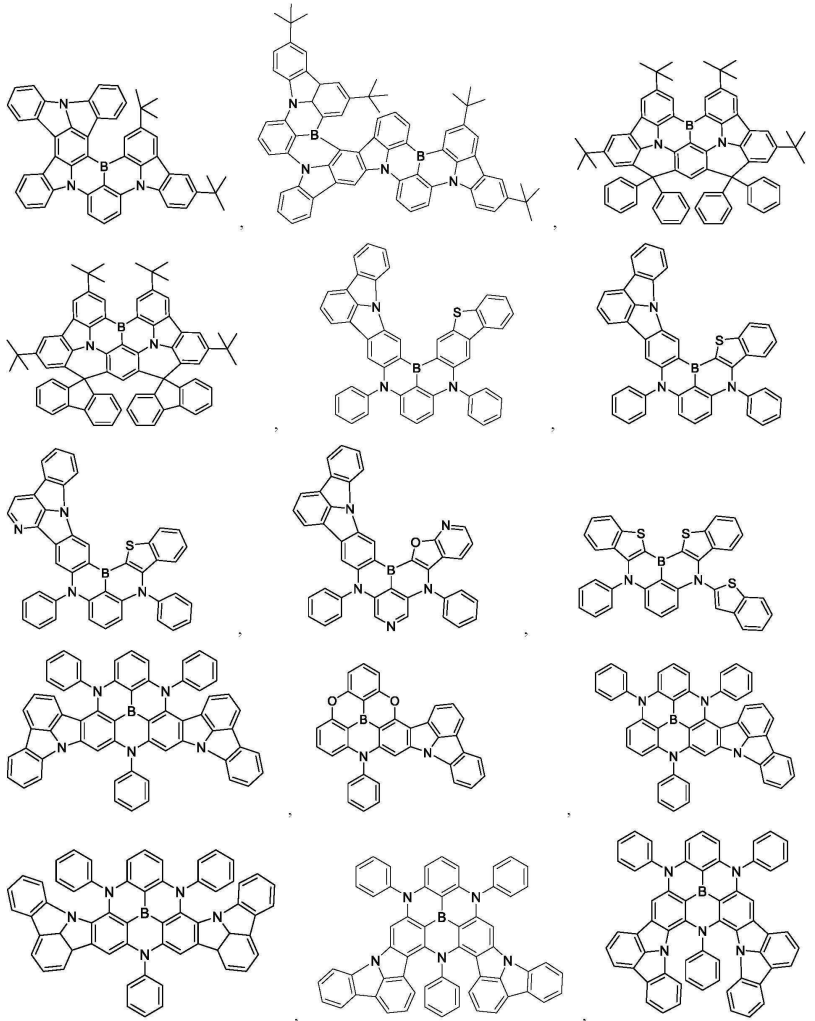
[0366]



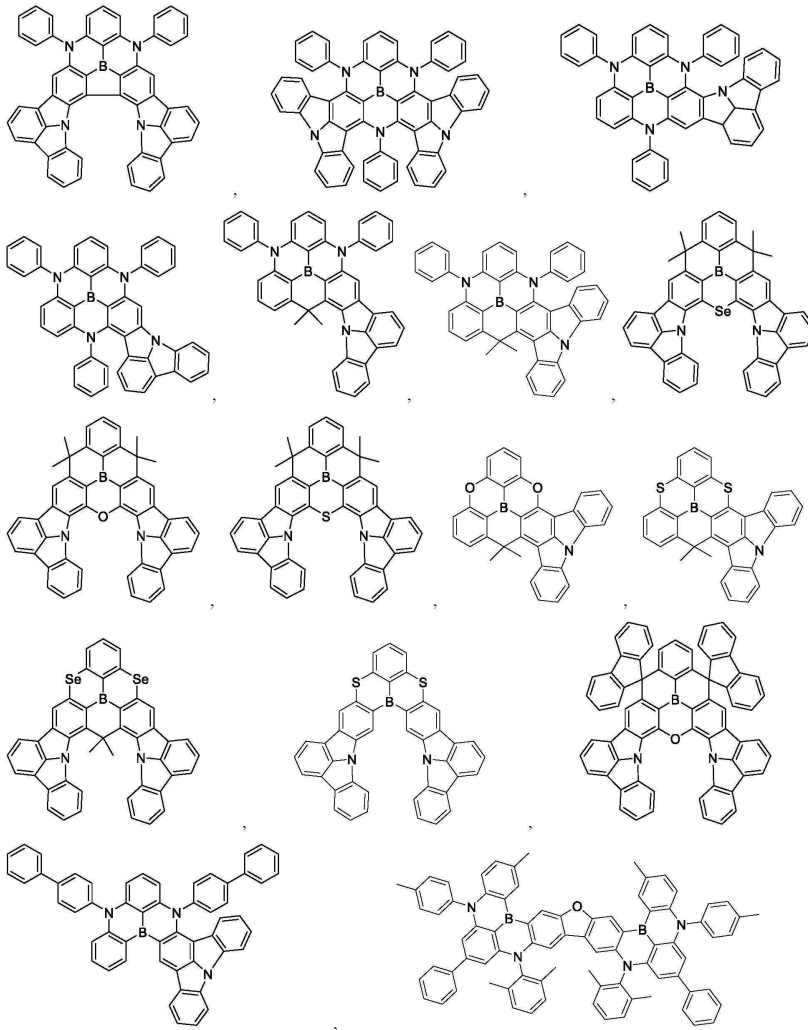
[0367]



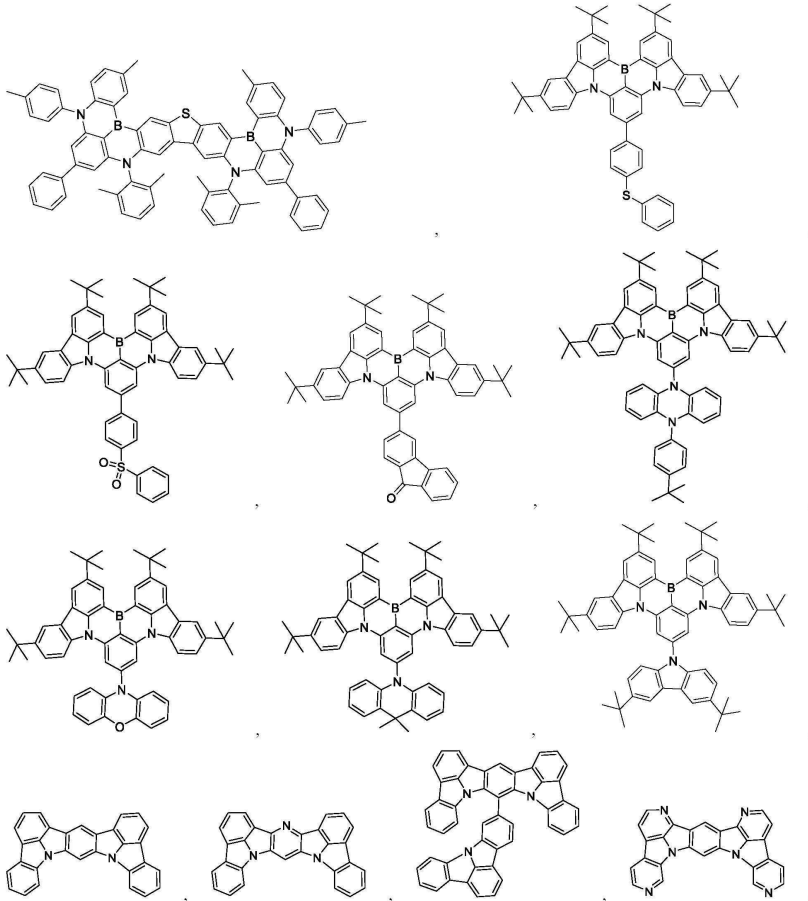
[0368]



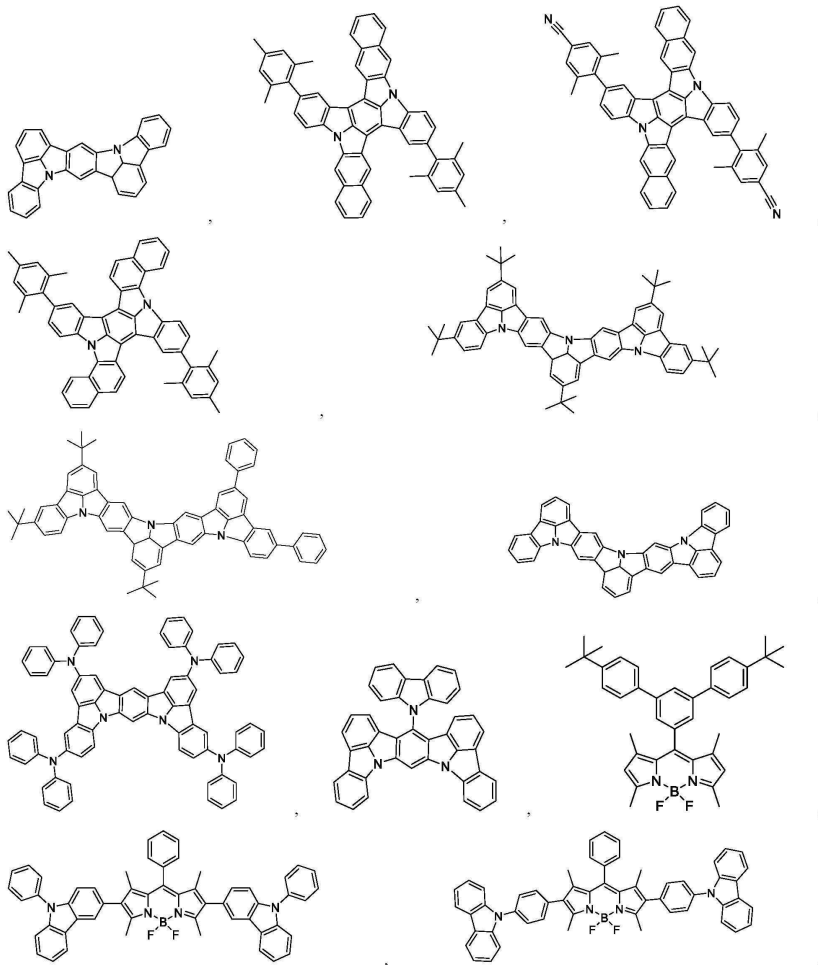
[0369]



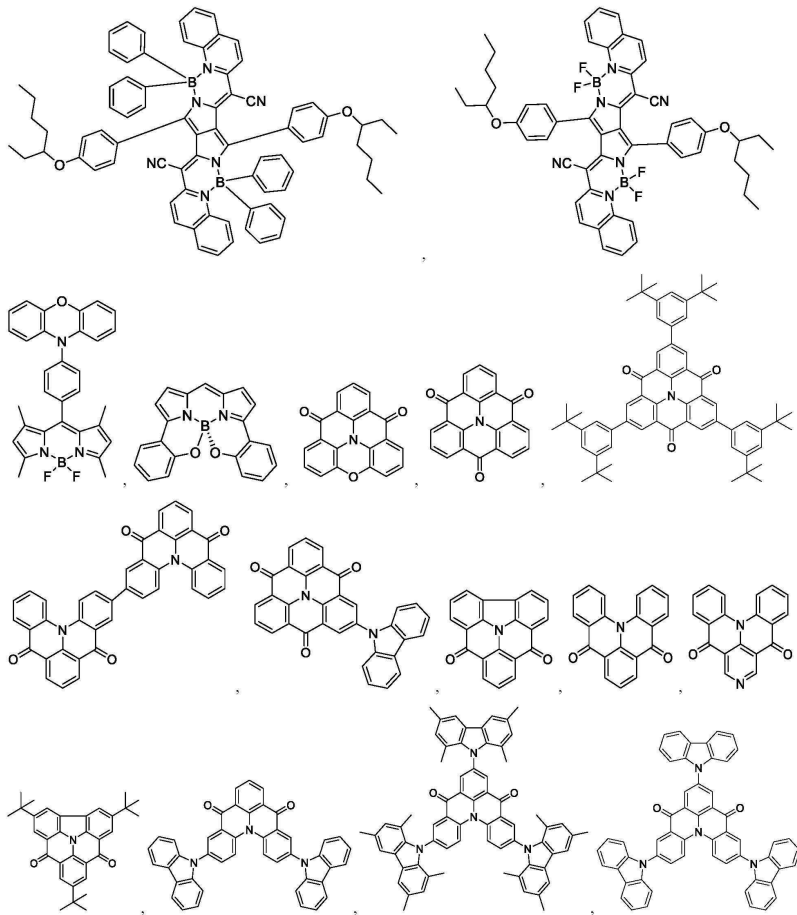
[0370]



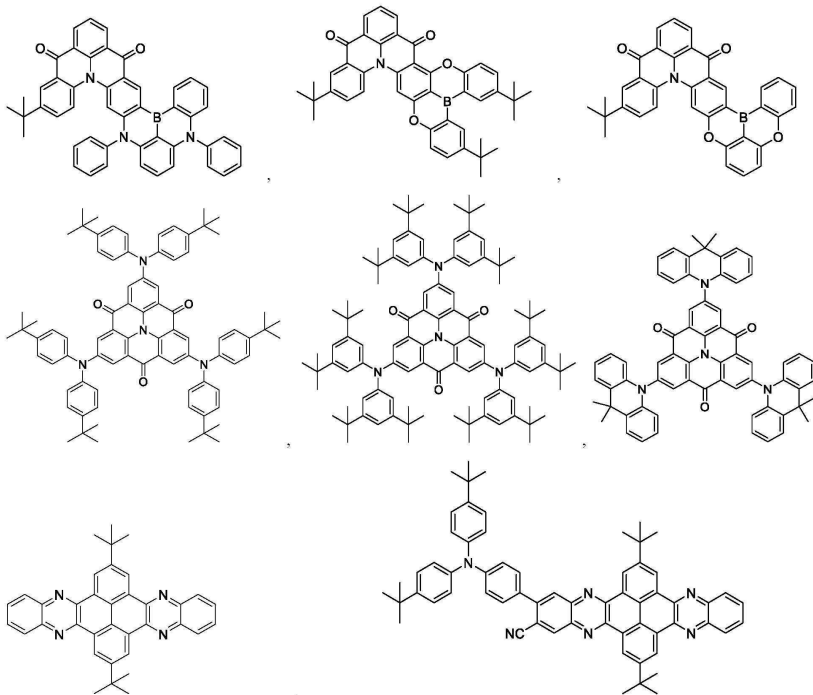
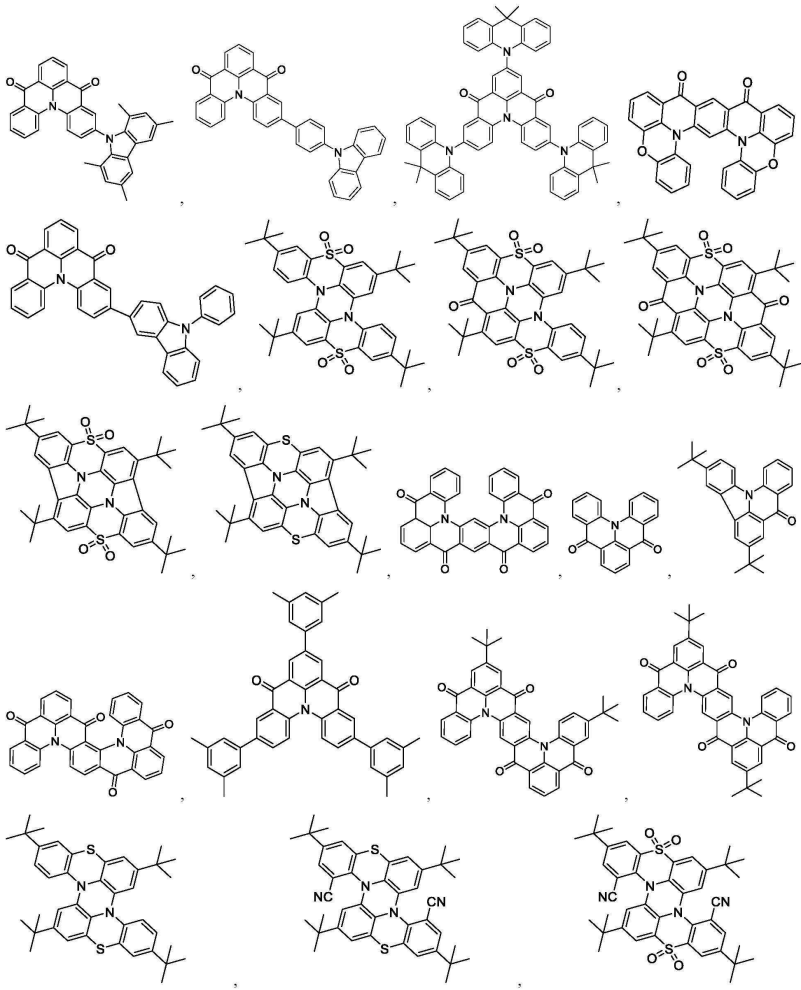
[0371]

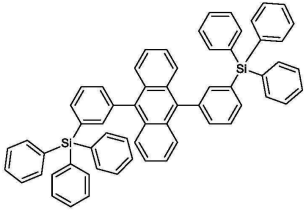


[0372]



[0373]





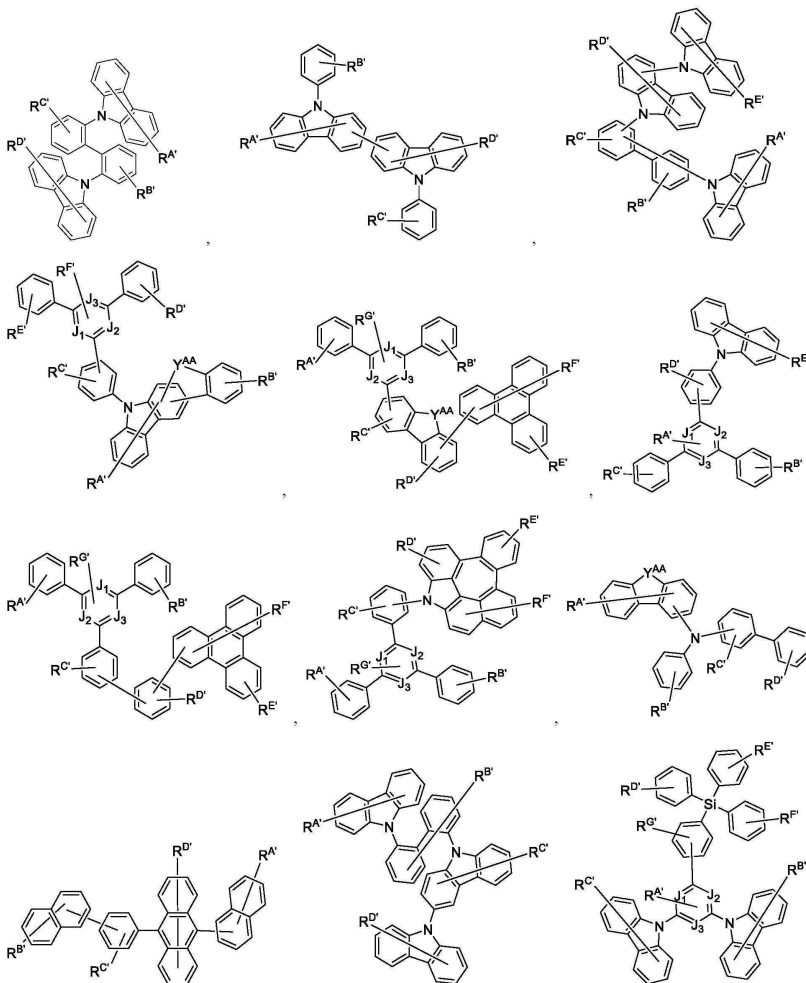
- [0376]
- [0377] 상기 실시양태 중 일부에서, 임의의 상기 구조의 각각의 페닐 고리에서 총 최대 3개까지의 임의의 탄소 고리 원자는 이의 치환기와 함께 N으로 치환될 수 있다.
- [0378] 일부 실시양태에서, 억셉터 화합물은 적어도 5개 내지 15개의 5원 및/또는 6원 방향족 고리를 갖는 융합 고리계를 포함한다. 일부 실시양태에서, 억셉터 화합물은 제1 기 및 제2 기를 가지며 제1 기는 제2 기와 중복되지 않고; 최저 단일항 여기 상태의 단일항 여기 상태 집단 중 80% 이상은 제1 기에 편재되어 있고; 최저 삼중항 여기 상태의 삼중항 여기 상태 집단 중 80%, 85%, 90%, 또는 95% 이상은 제2 기에 편재되어 있다.
- [0379] 일부 실시양태에서, 발광 영역은 제1 호스트를 추가로 포함한다. 일부 실시양태에서, 증감제 화합물은 실온에서 OLED의 제1 호스트와 엑시플렉스를 형성한다. 일부 실시양태에서, 제1 호스트는 발광 영역의 증감제 화합물 및 억셉터 화합물의 LUMO 에너지보다 낮은 LUMO 에너지를 갖는다. 일부 실시양태에서, 제1 호스트는 발광 영역의 증감제 화합물 및 억셉터 화합물의 HOMO 에너지보다 낮은 HOMO 에너지를 갖는다. 일부 실시양태에서, 제1 호스트는 발광 영역의 증감제 화합물 및 억셉터 화합물의 HOMO 에너지보다 높은 HOMO 에너지를 갖는다. 일부 실시양태에서, 제1 호스트는 발광 영역의 증감제 화합물 및 억셉터 화합물 중 하나 이상의 HOMO 에너지보다 높은 HOMO 에너지를 갖는다.
- [0380] 일부 실시양태에서, 발광 영역은 제2 호스트를 추가로 포함한다. 일부 실시양태에서, 제1 호스트는 실온에서 OLED의 제2 호스트와 엑시플렉스를 형성한다. 일부 실시양태에서, 제1 호스트 및 제2 호스트를 포함하는 층 또는 층들의 제1 호스트 및 제2 호스트의 농도는 증감제 화합물 및 억셉터 화합물을 포함하는 층 또는 층들의 증감제 화합물 및 억셉터 화합물의 농도보다 높다. 일부 실시양태에서, 제1 호스트 및 제2 호스트를 포함하는 층 또는 층들의 제1 호스트 및 제2 호스트의 농도는 증감제 화합물 및 억셉터 화합물을 포함하는 층 또는 층들의 억셉터 화합물의 농도보다 높다.
- [0381] 일부 실시양태에서, 제1 호스트의 S₁ 에너지는 억셉터 화합물의 S₁ 에너지보다 높다. 일부 실시양태에서, 제1 호스트의 T₁ 에너지는 증감제 화합물의 T₁ 에너지보다 높다. 일부 실시양태에서, 증감제 화합물은 억셉터 화합물의 HOMO 에너지보다 큰 HOMO 에너지를 갖는다. 일부 실시양태에서, 제2 호스트는 억셉터 화합물의 HOMO 준위보다 낮은 HOMO 준위를 갖는다. 일부 실시양태에서, 억셉터 화합물의 HOMO 준위는 증감제 화합물 및 제1 호스트에서 선택되는 적어도 하나보다 깊다.
- [0382] 일부 실시양태에서, 제1 호스트 및/또는 제2 호스트는 트리페닐렌, 카르바졸, 인돌로카르바졸, 디벤조티오펜, 디벤조푸란, 디벤조셀레노펜, 5λ²-벤조[d]벤조[4,5]이미다조[3,2-a]이미다졸, 5,9-디옥사-13b-보라나프토[3,2,1-de]안트라센, 트리아진, 보릴, 실릴, 니트릴, 아자-트리페닐렌, 아자-카르바졸, 아자-인돌로카르바졸, 아자-디벤조티오펜, 아자-디벤조푸란, 아자-디벤조셀레노펜, 아자-5λ²-벤조[d]벤조[4,5]이미다조[3,2-a]이미다졸, 및 아자-(5,9-디옥사-13b-보라나프토[3,2,1-de]안트라센)으로 이루어진 군으로부터 선택되는 하나 이상의 화학기를 포함한다.
- [0383] 일부 실시양태에서, 증감제는 실온에서 OLED의 제1 호스트와 엑시플렉스를 형성한다. 일부 실시양태에서, 제1 호스트는 발광 영역의 증감제 화합물 및 억셉터 화합물(제2 화합물)의 LUMO 에너지보다 낮은 LUMO 에너지를 갖는다. 일부 실시양태에서, 제1 호스트는 발광 영역의 증감제 화합물 및 억셉터 화합물의 HOMO 에너지보다 낮은 HOMO 에너지를 갖는다. 일부 실시양태에서, 제1 호스트는 발광 영역의 증감제 화합물 및 억셉터 화합물의 HOMO 에너지보다 높은 HOMO 에너지를 갖는다. 일부 실시양태에서, 제1 호스트는 발광 영역의 증감제 및 억셉터 중 하나 이상의 HOMO 에너지보다 높은 HOMO 에너지를 갖는다.
- [0384] 일부 실시양태에서, 발광 영역은 제2 호스트를 추가로 포함한다. 일부 실시양태에서, 제1 호스트는 실온에서 OLED의 제2 호스트와 엑시플렉스를 형성한다. 일부 실시양태에서, 제1 호스트 및 제2 호스트에 의해 형성된 엑시플렉스의 S₁-T₁ 에너지 갭은 0.4, 0.3, 0.2, 또는 0.1 eV 미만이다. 일부 실시양태에서, 엑시플렉스의 T₁ 에너

지는 2.5, 2.6, 2.7, 또는 2.8 eV 초과이다. 일부 실시양태에서, 제1 호스트 및 제2 호스트를 포함하는 층 또는 층들의 제1 호스트 및 제2 호스트의 농도는 증감제 화합물 및 엑셉터 화합물을 포함하는 층 또는 층들의 증감제 화합물 및 엑셉터 화합물의 농도보다 높다. 일부 실시양태에서, 제1 호스트 및 제2 호스트를 포함하는 층 또는 층들의 제1 호스트 및 제2 호스트의 농도는 증감제 화합물 및 엑셉터 화합물을 포함하는 층 또는 층들의 엑셉터 화합물의 농도보다 높다.

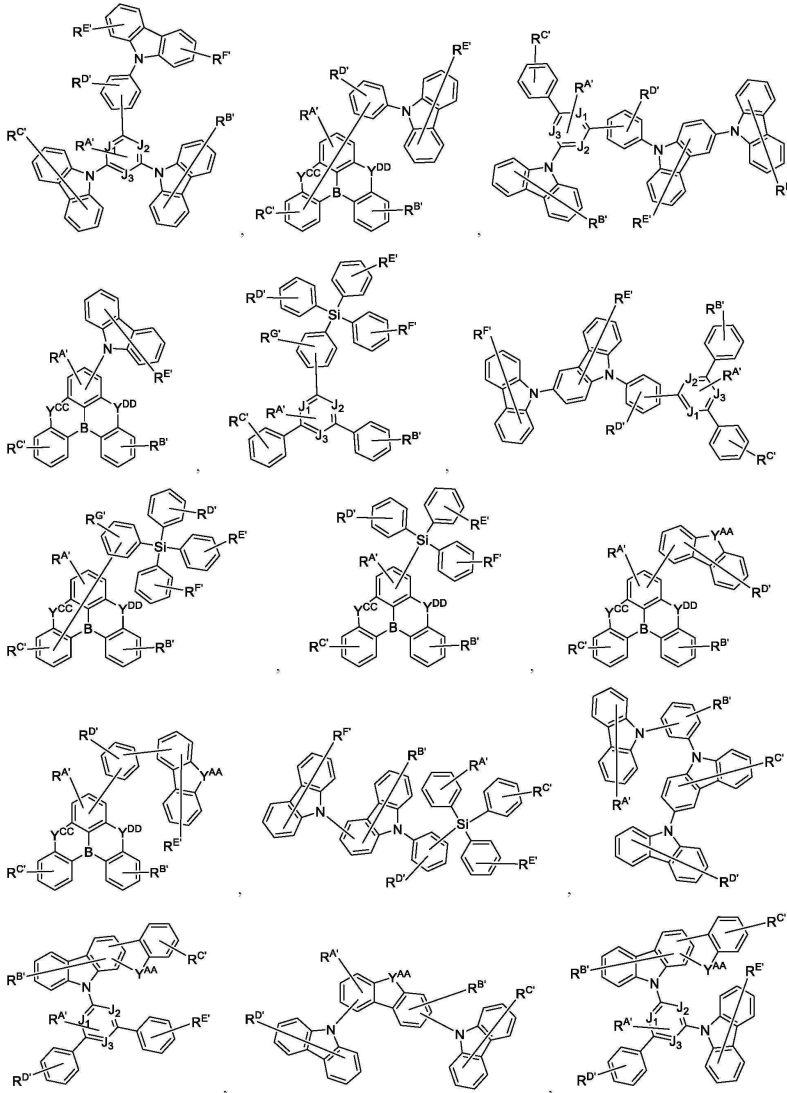
[0385] 일부 실시양태에서, 제1 호스트의 S₁ 에너지는 엑셉터 화합물의 S₁ 에너지보다 높다. 일부 실시양태에서, 제1 호스트의 T₁ 에너지는 증감제 화합물의 T₁ 에너지보다 높다. 일부 실시양태에서, 증감제 화합물은 엑셉터 화합물의 HOMO 에너지보다 큰 HOMO 에너지를 갖는다. 일부 실시양태에서, 제2 호스트는 엑셉터 화합물의 HOMO 준위보다 낮은 HOMO 준위를 갖는다. 일부 실시양태에서, 엑셉터 화합물의 HOMO 준위는 증감제 화합물 및 제1 호스트에서 선택되는 적어도 하나보다 깊다.

[0386] 일부 실시양태에서, 제1 호스트 및/또는 제2 호스트는 트리페닐렌, 카르바졸, 인돌로카르바졸, 디벤조티오펜, 디벤조푸란, 디벤조셀레노펜, 5λ²-벤조[d]벤조[4,5]이미다조[3,2-a]이미다졸, 5,9-디옥사-13b-보라나프토[3,2,1-de]안트라센, 트리아진, 보릴, 실릴, 니트릴, 아자-트리페닐렌, 아자-카르바졸, 아자-인돌로카르바졸, 아자-디벤조티오펜, 아자-디벤조푸란, 아자-디벤조셀레노펜, 아자-5λ²-벤조[d]벤조[4,5]이미다조[3,2-a]이미다졸, 및 아자-(5,9-디옥사-13b-보라나프토[3,2,1-de]안트라센)으로 이루어진 군으로부터 선택되는 하나 이상의 화학기를 포함한다. 일부 실시양태에서 제1 호스트 및 제2 호스트는 모두 유기 화합물이다. 일부 실시양태에서, 제1 호스트 및 제2 호스트 중 하나 이상은 금속 착물이다.

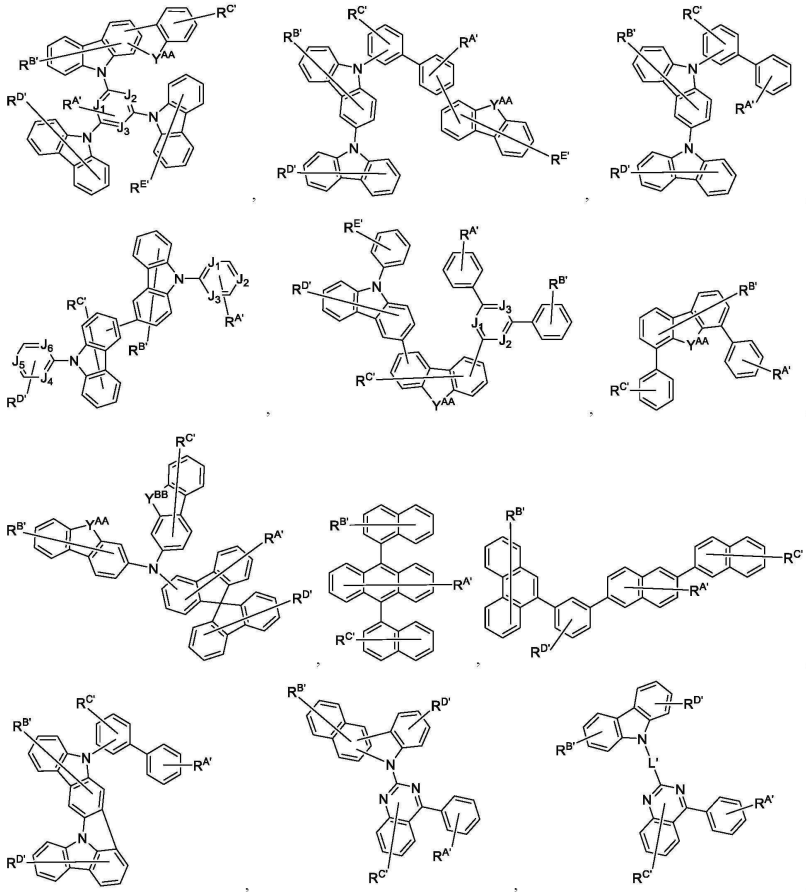
[0387] 일부 실시양태에서, 각각의 제1 호스트 및/또는 제2 호스트는 독립적으로 하기 화학식으로 이루어진 군으로부터 선택된다:



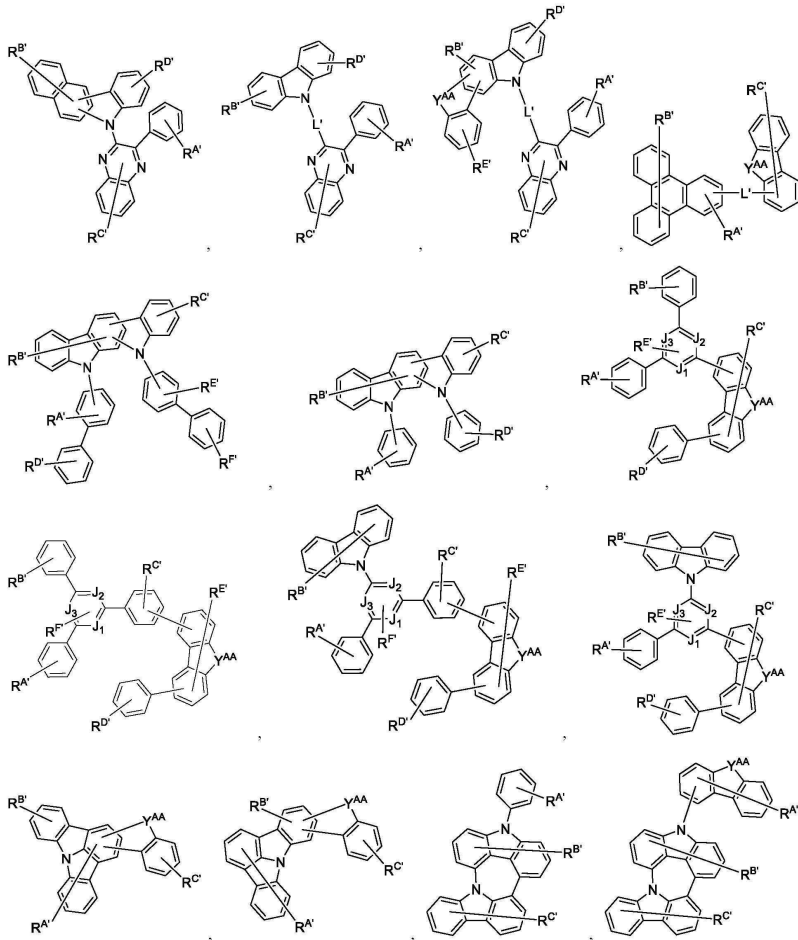
[0388]



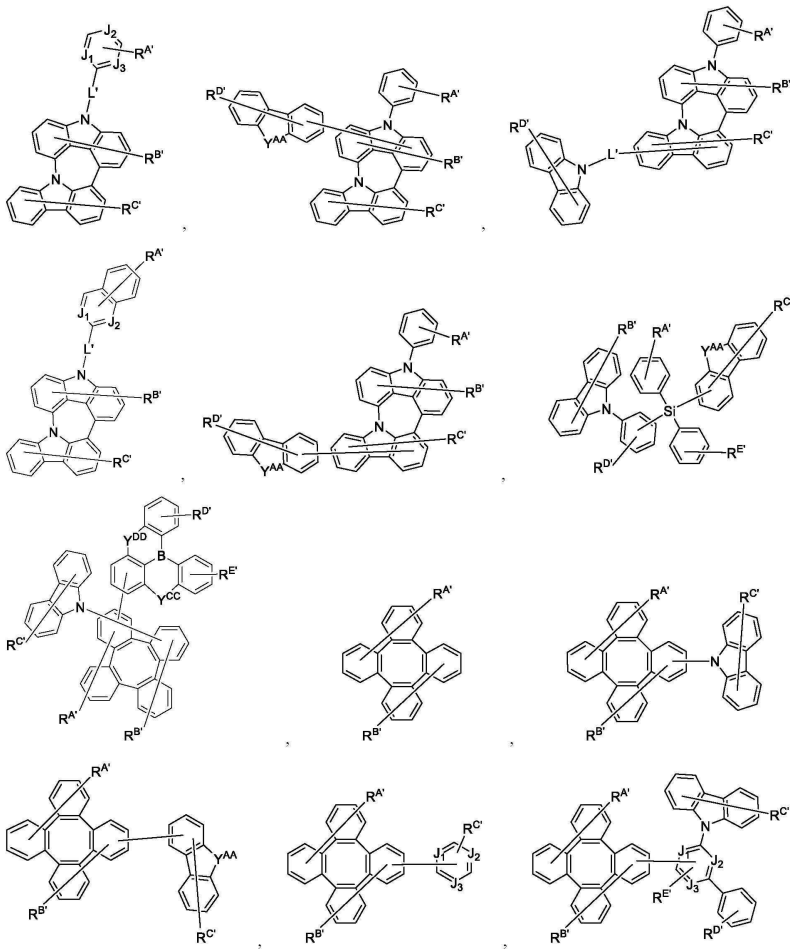
[0389]



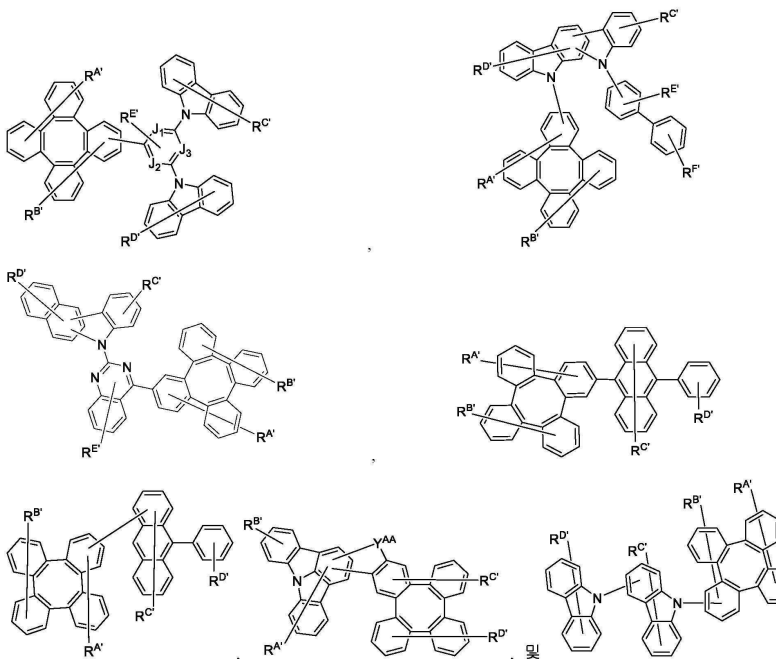
[0390]



[0391]



[0392]



[0393]

[0394] 상기 화학식에서:

[0395] 각각의 J_1 내지 J_6 은 독립적으로 C 또는 N이고;

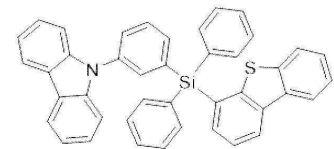
[0396] L' 는 직접 결합 또는 유기 링커이고;

- [0397] 각각의 Y^{AA} , Y^{BB} , Y^{CC} , 및 Y^{DD} 는 독립적으로 결합 없음, 직접 결합, O, S, Se, CRR', SiRR', GeRR', NR, BR, BR R' 로 이루어진 군으로부터 선택되고;
- [0398] 각각의 R^A , R^B , R^C , R^D , R^E , R^F , 및 R^G 는 독립적으로 일치환, 최대까지의 치환, 또는 무치환을 나타내고;
- [0399] 각각의 R, R', R^A , R^B , R^C , R^D , R^E , R^F , 및 R^G 는 독립적으로 수소, 또는 본원에 정의된 일반 치환기로 이루어진 군으로부터 선택되는 치환기이며; 임의의 2개의 치환기는 연결되거나 융합되어 고리를 형성할 수 있고;
- [0400] 가능한 경우, 각각의 치환되지 않은 방향족 탄소 원자는 임의로 N으로 치환되어 아자 치환된 고리를 형성한다.
- [0401] 일부 실시양태에서 J_1 내지 J_3 중 하나 이상은 N이다. 일부 실시양태에서, J_1 내지 J_3 중 2개 이상은 N이고, 일부 실시양태에서, J_1 내지 J_3 중 3개 모두는 N이다. 일부 실시양태에서, 각각의 Y^{CC} 및 Y^{DD} 는 바람직하게는 O, S, 및 SiRR', 보다 바람직하게는 O 또는 S이다. 일부 실시양태에서, 하나 이상의 치환되지 않은 방향족 탄소 원자는 N으로 치환되어 아자 고리를 형성한다.
- [0402] 증감제 화합물과 엑셉터 화합물 사이의 텍스터(Dexter) 에너지 전달량을 감소시키기 위해, 발광 영역의 증감제 화합물의 질량 중심과 가장 가까운 이웃하는 엑셉터 화합물의 질량 중심 사이에 큰 간격을 갖는 것이 바람직하다. 따라서, 일부 실시양태에서, 엑셉터 화합물의 질량 중심과 증감제 화합물의 질량 중심 사이의 간격은 적어도 2, 1.5, 1.0, 또는 0.75 nm이다.
- [0403] 바람직한 엑셉터/증감제 VDR 조합 (A): 일부 실시양태에서, 높은 아웃커플링 효율을 달성하기 위해 등방성 이미터에 비해 플라즈몬 모드에 대한 발광 엑셉터의 전이 쌍극자 모멘트의 커플링을 감소시키기 위해 엑셉터의 VDR이 0.33 미만인 것이 바람직하다. 일부 경우에, 엑셉터의 VDR이 0.33 미만인 경우, 증감제 및 엑셉터의 전이 쌍극자 모멘트의 커플링을 개선하여 포스터(Forster) 에너지 전달 속도를 최적화하기 위해 증감제의 VDR이 0.33 미만인 것이 바람직하다. 따라서, 본 발명의 OLED의 일부 실시양태에서, 유일한 이미터로서 엑셉터 화합물을 갖는 발광 박막 테스트 샘플로 VDR을 측정하는 경우 본 발명의 OLED의 엑셉터 화합물은 0.33, 0.30, 0.25, 0.2, 0.15, 0.10, 0.08, 또는 0.05 이하의 VDR 값을 나타내고; 유일한 이미터로서 증감제 화합물을 갖는 발광 박막 테스트 샘플로 VDR을 측정하는 경우 본 발명의 OLED의 증감제 화합물은 0.33, 0.30, 0.25, 0.2, 0.15, 0.10, 0.08, 또는 0.05 이하의 VDR 값을 나타낸다.
- [0404] 바람직한 엑셉터/증감제 VDR 조합 (B): 일부 실시양태에서, 높은 아웃커플링 효율을 달성하기 위해 등방성 이미터에 비해 플라즈몬 모드에 대한 발광 엑셉터의 전이 쌍극자 모멘트의 커플링을 감소시키기 위해 엑셉터의 VDR이 0.33 미만인 것이 바람직하다. 일부 경우에, 엑셉터의 VDR이 0.33 미만인 경우, 증감제와 엑셉터 사이의 분자간 상호작용을 최소화하여 텍스터 켄칭 정도를 감소시키는 것이 바람직하다. 증감제의 분자 기하구조를 변경하여 분자간 상호작용을 감소시킴으로써, VDR이 0.33 초과인 증감제를 갖는 것이 바람직할 수 있다. 따라서, 본 발명의 OLED의 일부 실시양태에서, 유일한 이미터로서 엑셉터 화합물을 갖는 발광 박막 테스트 샘플로 VDR을 측정하는 경우 본 발명의 OLED의 엑셉터 화합물은 0.33, 0.30, 0.25, 0.2, 0.15, 0.10, 0.08, 또는 0.05 이하의 VDR 값을 나타내고; 유일한 이미터로서 증감제 화합물을 갖는 발광 박막 테스트 샘플로 VDR을 측정하는 경우 본 발명의 OLED의 증감제 화합물은 0.33, 0.4, 0.5, 0.6, 또는 0.7 초과의 VDR 값을 나타낸다.
- [0405] 바람직한 엑셉터/증감제 VDR 조합 (C): 일부 실시양태에서, 발광층의 여기 상태의 트랜지언트 수명을 감소시키기 위해 등방성 이미터에 비해 플라즈몬 모드에 대한 엑셉터의 전이 쌍극자 모멘트의 커플링을 감소시키기 위해 엑셉터의 VDR이 0.33 초과인 것이 바람직하다. 일부 경우에, 플라즈몬 모드에 대한 증가된 커플링이 플라즈몬 OLED 디바이스의 강화층과 페어링되어 효율을 개선하고 작동 수명을 연장할 수 있다. 일부 경우에, 엑셉터의 VDR이 0.33 초과인 경우, 증감제와 엑셉터 사이의 분자간 상호작용을 최소화하여 텍스터 켄칭 정도를 감소시키는 것이 바람직하다. 증감제의 분자 기하구조를 변경하여 분자간 상호작용을 감소시킴으로써, VDR이 0.33 미만인 증감제를 갖는 것이 바람직할 수 있다. 따라서, 본 발명의 OLED의 일부 실시양태에서, 유일한 이미터로서 엑셉터 화합물을 갖는 발광 박막 테스트 샘플로 VDR을 측정하는 경우 본 발명의 OLED의 엑셉터 화합물은 0.33, 0.4, 0.5, 0.6, 또는 0.7 초과의 VDR 값을 나타내고; 유일한 이미터로서 증감제 화합물을 갖는 발광 박막 테스트 샘플로 VDR을 측정하는 경우 본 발명의 OLED의 증감제 화합물은 0.33, 0.30, 0.25, 0.2, 0.15, 0.10, 0.08, 또는 0.05 이하의 VDR 값을 나타낸다.
- [0406] 바람직한 엑셉터/증감제 VDR 조합 (D): 일부 실시양태에서, 발광층의 여기 상태의 일시적인 수명을 감소시키기 위해 등방성 이미터에 비해 플라즈몬 모드에 대한 엑셉터의 전이 쌍극자 모멘트의 커플링을 증가시키기 위해 엑

셉터의 VDR이 0.33 초과인 것이 바람직하다. 일부 경우에, 플라즈몬 모드에 대한 증가된 커플링이 플라즈몬 OLED 디바이스의 강화층과 페어링되어 효율을 개선하고 작동 수명을 연장할 수 있다. 일부 경우에, 역셉터의 VDR이 0.33 초과인 경우, 증감제 및 역셉터의 전이 쌍극자 모멘트의 커플링을 개선하여 포스터 에너지 전달 속도를 최적화하기 위해 증감제의 VDR이 0.33 초과인 것이 바람직하다. 따라서, 본 발명의 OLED의 일부 실시양태에서, 유일한 이미터로서 역셉터 화합물을 갖는 발광 박막 테스트 샘플로 VDR을 측정하는 경우 본 발명의 OLED의 역셉터 화합물은 0.33, 0.4, 0.5, 0.6, 또는 0.7 초과의 VDR 값을 나타내고; 유일한 이미터로서 증감제 화합물을 갖는 발광 박막 테스트 샘플로 VDR을 측정하는 경우 본 발명의 OLED의 증감제 화합물은 0.33, 0.4, 0.5, 0.6, 또는 0.7 초과의 VDR 값을 나타낸다.

[0407] VDR은 발광층의 박막 샘플의 발광 화합물의 수직 방향 분자 쌍극자의 앙상블 평균 분율이며, 여기에서 "수직" 방향은 박막 샘플이 형성되는 기관의 표면의 평면에 대한 것이다(즉, 기관 평면의 표면에 수직). 유사한 개념은 발광층의 박막 샘플의 발광 화합물의 수평 방향 분자 쌍극자의 앙상블 평균 분율인 수평 쌍극자 비(HDR)이며, 여기에서 "수평" 방향은 박막 샘플이 형성되는 기관의 표면의 평면에 대한 것이다(즉, 기관 평면의 표면에 평행). 정의에 의해, $VDR + HDR = 1$ 이다. VDR은 각도 의존적, 편광 의존적, 광발광 측정에 의해 측정될 수 있다. 편광의 함수로서 광 여기된 박막 테스트 샘플의 측정된 발광 패턴을 계산적으로 모델링된 패턴과 비교함으로써, 박막 테스트 샘플 발광층의 VDR을 측정할 수 있다. 예를 들어, p-편광 발광의 모델링된 데이터를 도 3에 도시한다. 모델링된 p-편광 각도 광발광(PL)을 다양한 VDR을 갖는 이미터에 대해 플롯한다. 모델링된 PL의 피크는 45도의 각도 근처의 p-편광 PL에서 관찰되며 이미터의 VDR이 높은 경우 피크 PL이 더 크다.

[0408] 박막 테스트 샘플의 VDR 값을 측정하기 위해, 박막 테스트 샘플은 박막의 유일한 이미터로서의 역셉터 화합물 또는 증감제 화합물(역셉터 화합물 또는 증감제 화합물의 VDR이 측정되는지에 따라 달라짐) 및 호스트로서의 참



조 호스트 화합물 A로 형성될 수 있다. 바람직하게는, 참조 호스트 화합물 A는 이다. 기관 상에서 이미터 화합물 및 호스트 화합물을 열 증발시킴으로써 박막 테스트 샘플이 형성된다. 예를 들어, 이미터 화합물 및 호스트 화합물은 공증발될 수 있다. 일부 실시양태에서, 호스트의 이미터 화합물의 도핑 수준은 0.1 중량% 내지 50 중량%일 수 있다. 일부 실시양태에서, 청색 이미터의 경우 호스트의 이미터 화합물의 도핑 수준은 3 중량% 내지 20 중량%일 수 있다. 일부 실시양태에서, 적색 및 녹색 이미터의 경우 호스트의 이미터 화합물의 도핑 수준은 1 중량% 내지 15 중량%일 수 있다. 열 증발된 박막 테스트 샘플의 두께는 50 내지 1,000 Å의 두께를 가질 수 있다.

[0409] 일부 실시양태에서, 본 개시내용의 OLED는 발광 영역에 증감제, 역셉터, 및 하나 이상의 호스트를 포함할 수 있으며, 상기 바람직한 역셉터/증감제 VDR 조합 (A) - (D)도 적용 가능하다. 이러한 실시양태에서, 역셉터 화합물의 VDR 값은 하나 이상의 호스트 및 역셉터로 형성된 박막 테스트 샘플로 측정될 수 있으며, 여기에서 역셉터는 박막 테스트 샘플의 유일한 이미터이다. 마찬가지로, 증감제 화합물의 VDR 값은 하나 이상의 호스트 및 증감제로 형성된 박막 테스트 샘플로 측정될 수 있으며, 여기에서 증감제는 박막 테스트 샘플의 유일한 이미터이다.

[0410] 도 3을 생성하는 데 이용되는 예에서, 굴절률이 1.75인 물질의 30 nm 두께 필름 및 발광을 굴절률이 1.75인 반무한 매질에서 모니터링한다. 필름 표면에 수직인 0도의 각도에서의 1의 광발광 강도에 대하여 각 곡선을 정규화한다. 이미터의 VDR이 변화함에 따라, 45도 근처의 피크가 크게 증가한다. 실험 데이터의 VDR을 피팅하기 위한 소프트웨어를 이용하는 경우, 모델링된 데이터와 실험 데이터 사이의 차이가 최소화될 때까지 모델링된 VDR은 변할 수 있다.

[0411] VDR은 박막 샘플의 발광 화합물의 평균 쌍극자 배향을 나타내기 때문에, 추가의 발광 가능한 화합물이 발광층에 존재하더라도, 발광에 기여하지 않는다면, VDR 측정은 이의 VDR을 반영하지 않는다. 또한, 발광 화합물과 상호작용하는 호스트 물질을 포함시킴으로써, 발광 화합물의 VDR은 변경될 수 있다. 따라서, 호스트 물질 A를 갖는 박막 샘플의 발광 화합물은 하나의 측정된 VDR 값을 나타내고 호스트 물질 B를 갖는 박막 샘플의 동일한 발광 화합물은 상이한 측정된 VDR 값을 나타낼 것이다. 또한, 일부 실시양태에서, 2개의 이웃한 분자 사이에서 발광 상태를 형성하는 엑시플렉스 또는 엑시머가 바람직하다. 이러한 발광 상태는 엑시플렉스 또는 엑시머 성분 중 하나만이 발광하거나 샘플에 존재하는 경우의 VDR과 상이한 VDR을 가질 수 있다.

[0412] 일부 실시양태에서, OLED는 플라즈몬 OLED이다. 일부 실시양태에서, OLED는 도파(wave-guided) OLED이다.

- [0413] 일부 실시양태에서, 발광 영역은 제2 호스트를 추가로 포함할 수 있다. 일부 실시양태에서, 제2 호스트는 비카르바졸, 인돌로카르바졸, 트리아진, 피리미딘, 피리딘, 및 보릴로 이루어진 군으로부터 선택되는 모이어티를 포함한다. 일부 실시양태에서, 제2 호스트는 엑셉터 화합물의 HOMO 준위보다 낮은 HOMO 준위를 갖는다.
- [0414] 일부 실시양태에서, OLED는 전압이 디바이스 전체에 인가될 때 실온에서 백색 광을 방출한다.
- [0415] 일부 실시양태에서, OLED는 전압이 디바이스 전체에 인가될 때 실온에서 발광성 방사선을 방출하며; 발광성 제1 방사선 성분은 독립적으로 340 nm 초과 500 nm 이하, 500 nm 초과 600 nm 이하, 및 600 nm 초과 900 nm 이하로 이루어진 군으로부터 선택되는 발광 λ_{max1} 을 갖는 엑셉터 화합물에서 기인한다. 일부 실시양태에서, 제1 방사선 성분은 50, 40, 35, 30, 25, 20, 15, 10, 또는 5 nm 또는 그 미만의 FWHM을 갖는다. 일부 실시양태에서, 제1 방사선 성분은 465, 460, 455, 또는 450 nm 미만의 발광 피크의 10% 개시(onset)를 갖는다.
- [0416] 일부 실시양태에서, 증감제 화합물은 부분적으로 또는 완전히 중수소화된다. 일부 실시양태에서, 엑셉터 화합물은 부분적으로 또는 완전히 중수소화된다. 일부 실시양태에서, 제1 호스트는 부분적으로 또는 완전히 중수소화된다. 일부 실시양태에서, 제2 호스트는 부분적으로 또는 완전히 중수소화된다.
- [0417] 일부 실시양태에서, 화합물 S1 및/또는 화합물 A1은 각각 독립적으로 0.45, 0.55, 0.65, 0.75, 또는 0.80 이상의 구형도를 갖는 하나 이상의 치환기를 포함한다. 구형도는 부피가 큰 기의 3차원성의 척도이다. 구형도는 주관성 모멘트(PMI) 사이의 비로 정의된다. 구체적으로, 구형도는 PMI1, PMI2, 및 PMI3의 합에 대한 PMI1의 3배의 비이며, 여기에서 PMI1은 최소 주관성 모멘트이고, PMI2는 두 번째로 작은 주관성 모멘트이고, PMI3은 최대 주관성 모멘트이다. 밀도 함수 이론을 이용한 기저 상태의 최적화 후 구조의 최저 에너지 컨포머의 구형도를 계산할 수 있다. 보다 상세한 정보는 2022년 12월 6일에 출원된 미국 출원 제18/062,110호의 단락 [0054]-[0059]에서 확인할 수 있으며, 상기 출원의 내용은 본원에 참조로 포함되어 있다. 일부 실시양태에서, 화합물 S1 및/또는 화합물 A1은 각각 독립적으로 153, 206, 259, 290, 또는 329 Å³ 초과의 반데르발스 부피를 갖는 하나 이상의 치환기를 포함한다. 일부 실시양태에서, 화합물 S1 및/또는 화합물 A1은 각각 독립적으로 167, 187, 259, 303, 또는 305 amu 초과의 분자량을 갖는 하나 이상의 치환기를 포함한다.
- [0418] 일부 실시양태에서, 제1 호스트 및 제2 호스트 중 하나는 정공 수송 호스트이고, 제1 호스트 및 제2 호스트 중 다른 하나는 전자 수송 호스트이다. 일부 실시양태에서, 제1 호스트는 정공 수송 호스트이고; 제1 호스트는 아미노, 카르바졸, 인돌로카르바졸, 디벤조티오펜, 디벤조푸란, 디벤조셀레노펜, 및 5λ²-벤조[d]벤조[4,5]이미다조[3,2-a]이미다졸로 이루어진 군으로부터 선택되는 하나 이상의 화학기를 포함한다. 일부 실시양태에서, 제1 호스트는 전자 수송 호스트이고; 제1 호스트는 피리딘, 피리미딘, 피라진, 피리다진, 트리아진, 이미다졸, 아자-트리페닐렌, 아자-카르바졸, 아자-디벤조티오펜, 아자-디벤조푸란, 아자-디벤조셀레노펜, 5,9-디옥사-13b-보라나프토[3,2,1-de]안트라센, 보릴, 아자-5λ²-벤조[d]벤조[4,5]이미다조[3,2-a]이미다졸, 및 아자-(5,9-디옥사-13b-보라나프토[3,2,1-de]안트라센)으로 이루어진 군으로부터 선택되는 하나 이상의 화학기를 포함한다. 일부 실시양태에서, 제1 호스트 및 제2 호스트 중 하나는 정공 수송 모이어티 및 전자 수송 모이어티를 모두 포함하는 바이폴라 호스트이다.
- [0419] 일부 실시양태에서, OLED는 색 변경층 또는 컬러 필터를 추가로 포함한다.
- [0420] 일부 실시양태에서, 배합물은 하기 화합물: 증감제 화합물, 엑셉터 화합물 및 호스트 중 적어도 2개의 상이한 화합물을 포함할 수 있다.
- [0421] 일부 실시양태에서, 단량체, 중합체, 거대분자, 및 초거대분자로 이루어진 군으로부터 선택되는 화학 구조는 하기 화합물: 증감제 화합물, 엑셉터 화합물 및 호스트 중 적어도 2개를 포함한다.
- [0422] 일부 실시양태에서, 제1 화합물과 제2 화합물의 혼합물인 예비 혼합된 공증발 공급원은 진공 증착 공정 또는 OVJP 공정의 공증발 공급원이며; 제1 화합물 및 제2 화합물은 증감제 화합물, 엑셉터 화합물, 제1 호스트 화합물; 및 제2 호스트 화합물로 이루어진 군 1로부터 다양하게 선택되고; 제1 화합물은 150 내지 350°C의 증발 온도 T1을 갖고; 제2 화합물은 150 내지 350°C의 증발 온도 T2를 갖고; T1-T2의 절댓값은 20°C 미만이고; 제1 화합물은 상기 혼합물에서 농도 C1을, 증발될 혼합물에서 소정의 거리만큼 떨어져 위치한 표면 상에서 2 Å/sec의 증착 속도에서 1×10⁻⁶ Torr 내지 1×10⁻⁹ Torr의 일정한 압력의 진공 증착 튜브에서 혼합물을 증발시킴으로써 형성된 테스트 필름에서 농도 C2를 가지며; (C1-C2)/C1의 절댓값은 5% 미만이다. 일부 실시양태에서, 혼합물은 제3 화합물을 추가로 포함하며; 제3 화합물은 제1 화합물 및 제2 화합물과 상이하고, 동일한 군 1로부터

선택되고; 제3 화합물은 150 내지 350°C의 증발 온도 T3을 갖고, T1-T3의 절댓값은 20°C 미만이다.

[0423] 일부 실시양태에서, 제1 화합물은 200 내지 350°C의 증발 온도 T1을 갖고 제2 화합물은 200 내지 350°C의 증발 온도 T2를 갖는다. 일부 실시양태에서, $(C_1-C_2)/C_1$ 의 절댓값은 3% 미만이다. 일부 실시양태에서, 제1 화합물은 1 atm에서 T1에서 P₁의 증기압을 갖고, 제2 화합물은 1 atm에서 T2에서 P₂의 증기압을 갖고; P₁/P₂의 비는 0.90:1 내지 1.10:1 범위 이내이다. 일부 실시양태에서, 제1 화합물은 제1 질량 손실율을 갖고 제2 화합물은 제2 질량 손실율을 가지며, 제1 질량 손실율과 제2 질량 손실율 사이의 비는 0.90:1 내지 1.10:1, 0.95:1 내지 1.05:1, 또는 0.97:1 내지 1.03:1 범위 이내이다. 일부 실시양태에서, 제1 화합물 및 제2 화합물은 각각 고압 액체 크로마토그래피에 의해 측정된 99% 초과 순도를 갖는다. 일부 실시양태에서, 조성물은 T1 및 T2 중 낮은 것보다 낮은 온도에서 액체 형태로 존재한다.

[0424] 일부 실시양태에서, 유기 발광 디바이스의 제조 방법은 기판 위에 배치된 제1 전극을 갖는 기판을 제공하는 단계; 1×10^{-6} Torr 내지 1×10^{-9} Torr의 챔버 베이스 압력으로 고진공 증착 튜브에서 상기 제1 화합물과 제2 화합물의 혼합물인 예비 혼합된 공증발 공급원을 증발시킴으로써 제1 전극 위에 제1 유기층을 증착시키는 단계; 및 제1 유기층 위에 제2 전극을 증착시키는 단계를 포함할 수 있다.

[0425] 본원에 기술된 모든 화합물 및 디바이스의 실시양태는 이러한 실시양태가 또한 전체 개시내용의 상이한 측면 하에서 적용 가능한 경우 상호 교환적일 수 있음을 이해해야 한다.

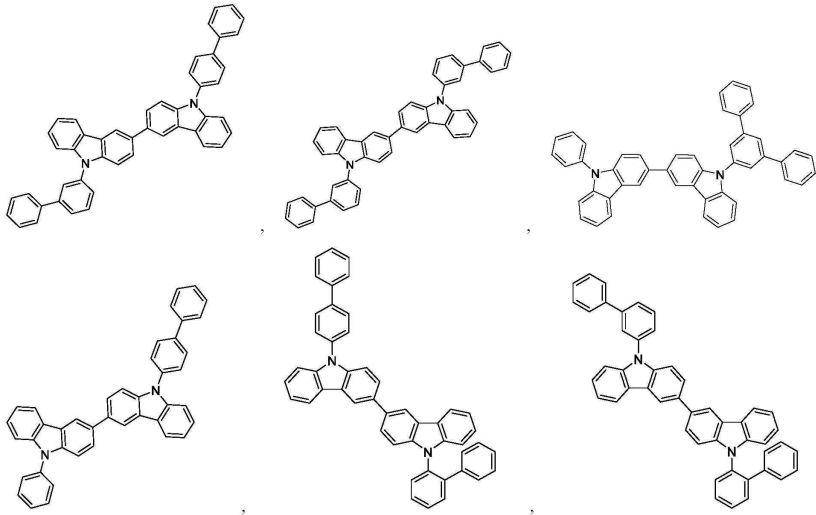
[0426] 일부 실시양태에서, 본원에 기술된 각각의 증감제 화합물 S1, 억셉터 화합물 A1, 호스트 화합물 H1은 10% 이상 중수소화, 20% 이상 중수소화, 30% 이상 중수소화, 40% 이상 중수소화, 50% 이상 중수소화, 60% 이상 중수소화, 70% 이상 중수소화, 80% 이상 중수소화, 90% 이상 중수소화, 95% 이상 중수소화, 99% 이상 중수소화, 또는 100% 중수소화될 수 있다. 본원에 사용되는 바와 같이, 중수소화 퍼센트는 이의 일반적인 의미를 가지며 중수소 원자로 치환되는 가능한 수소 원자(예를 들어, 수소 또는 중수소인 위치)의 퍼센트를 포함한다.

[0427] **C. 본 개시내용의 OLED의 다른 측면**

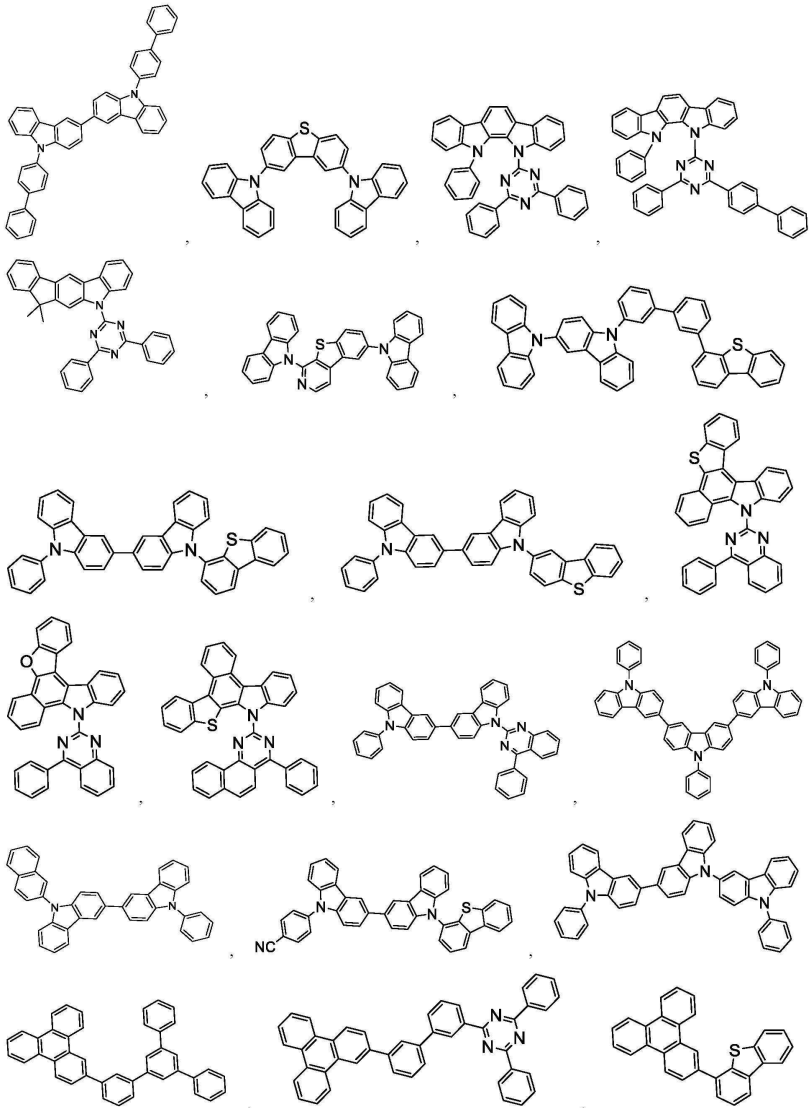
[0428] 일부 실시양태에서, OLED는 추가 호스트를 추가로 포함할 수 있고, 추가 호스트는 벤조 융합 티오펜 또는 벤조 융합 푸란을 포함하는 트리페닐렌을 포함하고, 호스트의 임의의 치환기는 독립적으로 C_nH_{2n+1}, OC_nH_{2n+1}, OAr₁, N(C_nH_{2n+1})₂, N(Ar₁)(Ar₂), CH=CH-C_nH_{2n+1}, C≡C_nH_{2n+1}, Ar₁, Ar₁-Ar₂, C_nH_{2n}-Ar₁로 이루어진 군으로부터 선택되는 비융합 치환기이거나, 무치환이고, 여기에서 n은 1 내지 10의 정수이고; Ar₁ 및 Ar₂는 독립적으로 벤젠, 비페닐, 나프탈렌, 트리페닐렌, 카르바졸, 및 이들의 헤테로방향족 유사체로 이루어진 군으로부터 선택된다.

[0429] 일부 실시양태에서, 추가 호스트는 트리페닐렌, 카르바졸, 인돌로카르바졸, 디벤조티오펜, 디벤조푸란, 디벤조셀레노펜, 5λ²-벤조[d]벤조[4,5]이미다조[3,2-a]이미다졸, 5,9-디옥사-13b-보라나프토[3,2,1-de]안트라센, 트리아진, 보릴, 실릴, 니트릴, 아자-트리페닐렌, 아자-카르바졸, 아자-인돌로카르바졸, 아자-디벤조티오펜, 아자-디벤조푸란, 아자-디벤조셀레노펜, 아자-5λ²-벤조[d]벤조[4,5]이미다조[3,2-a]이미다졸, 및 아자-(5,9-디옥사-13b-보라나프토[3,2,1-de]안트라센)으로 이루어진 군에서 선택되는 적어도 하나의 화학기를 포함한다.

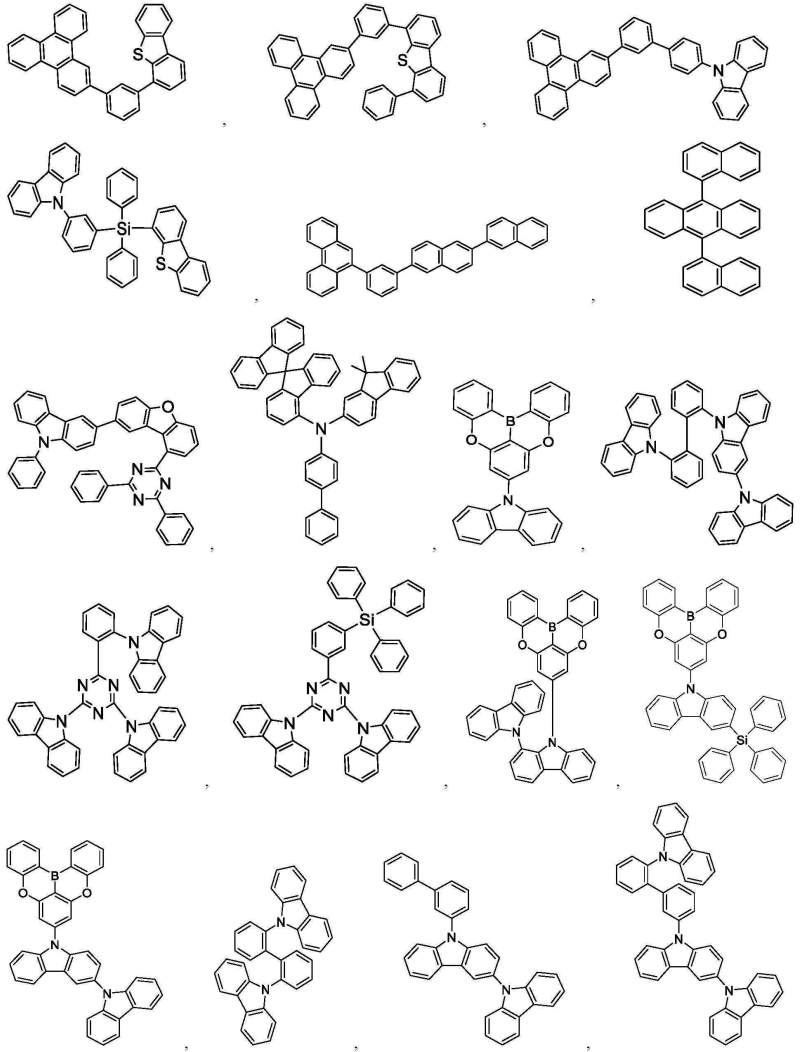
[0430] 일부 실시양태에서, 추가 호스트는 하기 화학식 및 이들의 아자 치환된 변형체, 이들의 완전히 또는 부분적으로 중수소화된 변형체, 및 이들의 조합으로 이루어진 군으로부터 선택될 수 있다:



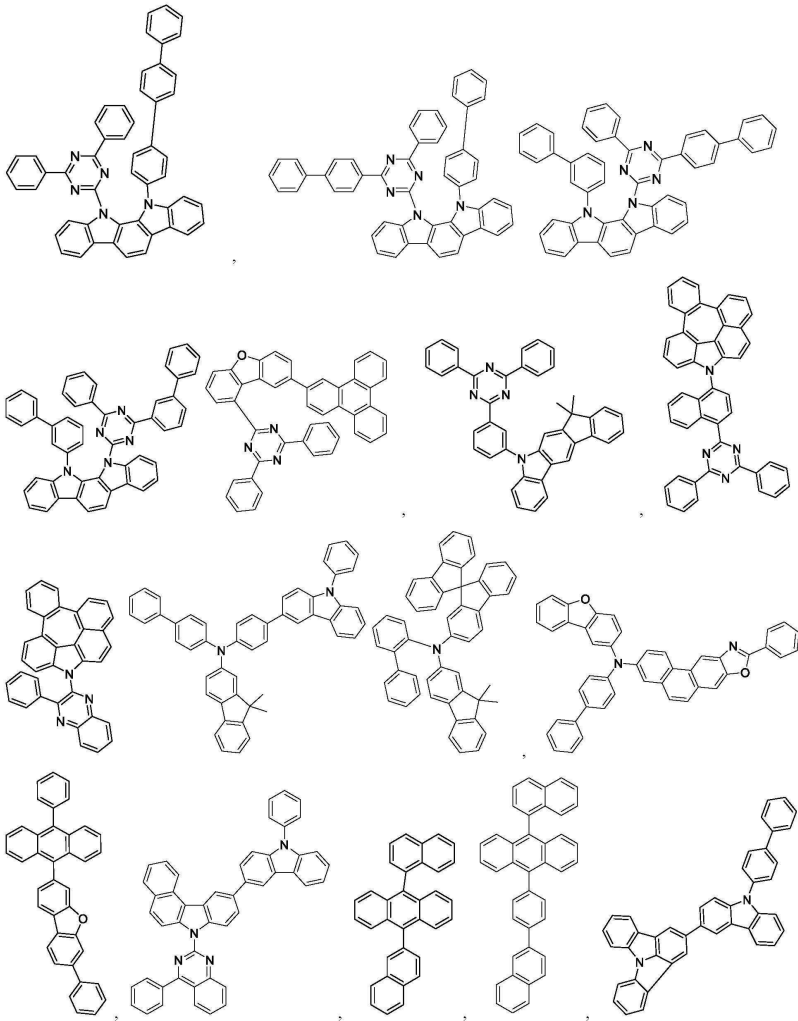
[0431]



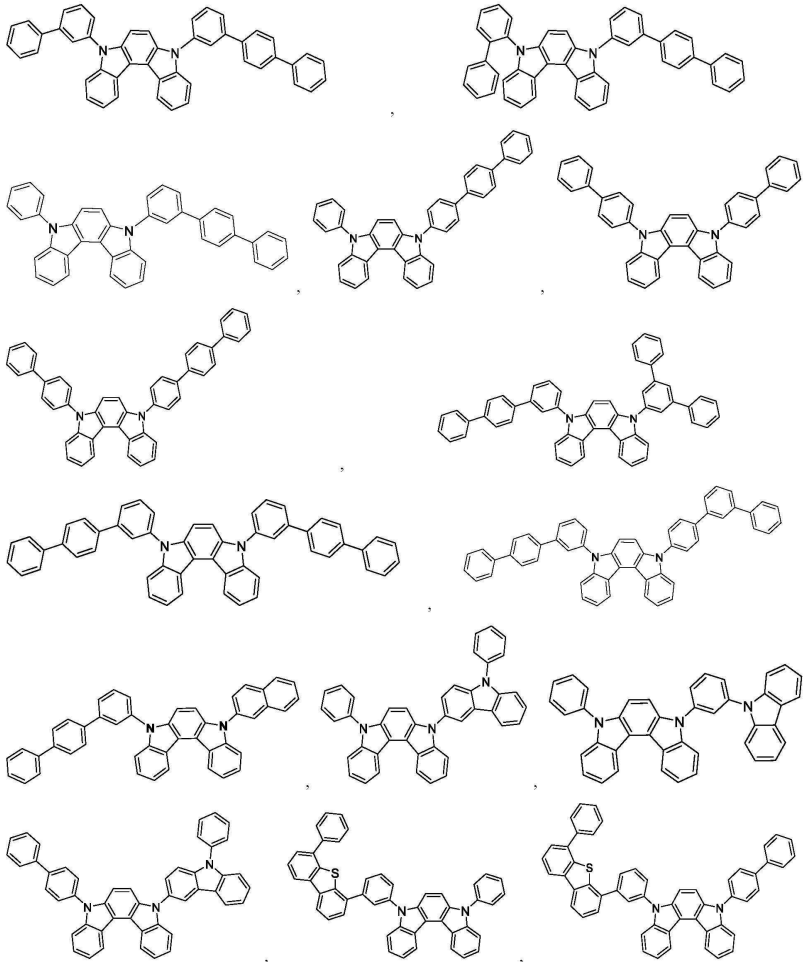
[0432]



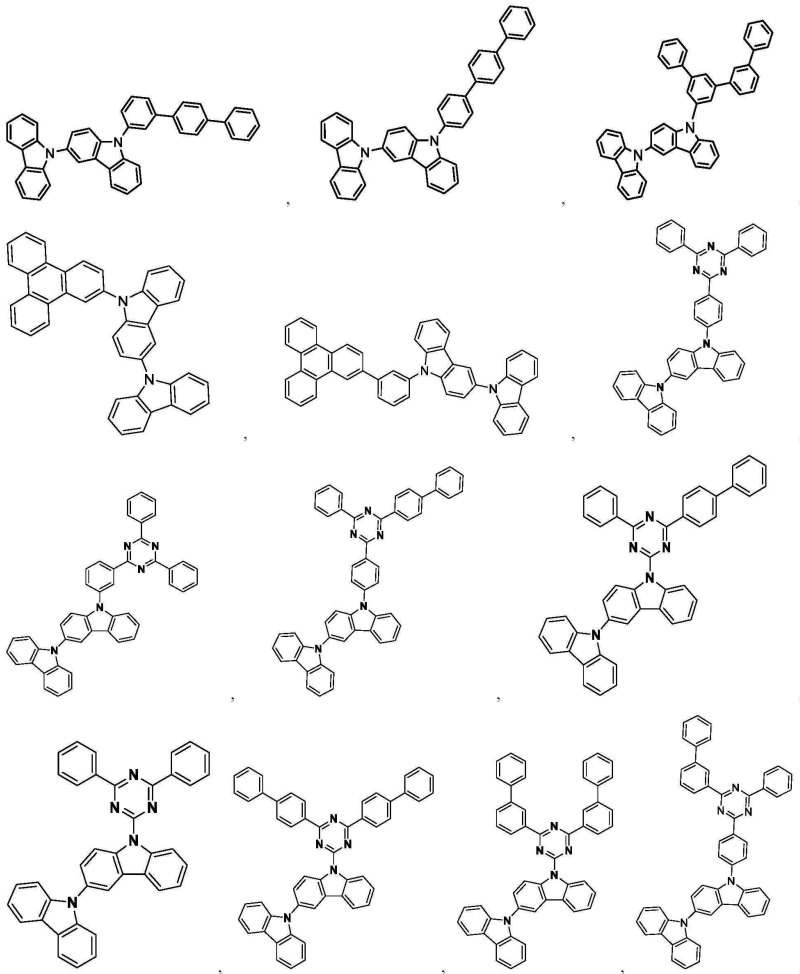
[0433]



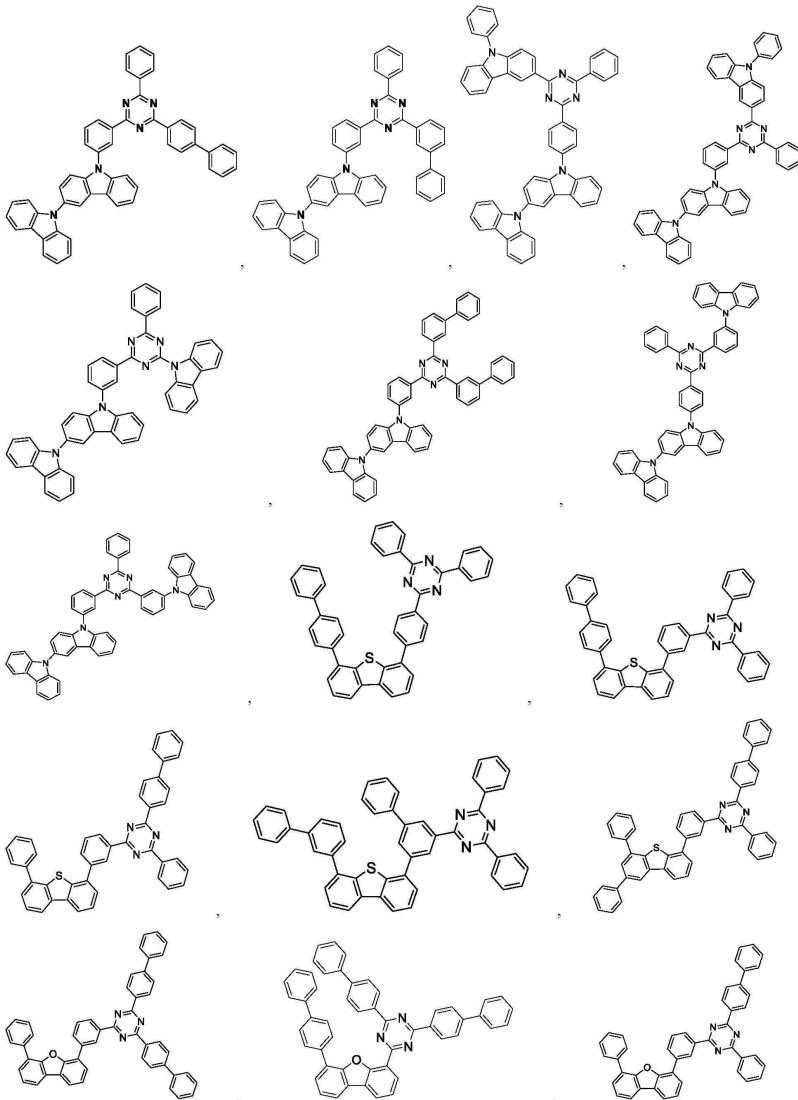
[0434]



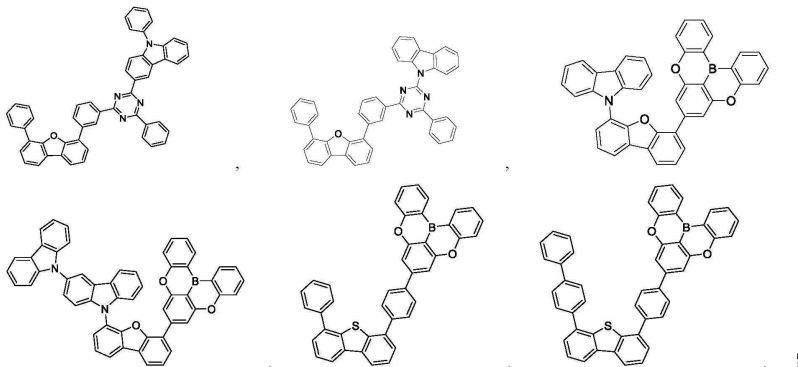
[0435]



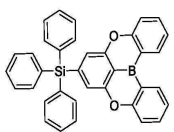
[0436]



[0437]



[0438]



[0439]

[0440] 일부 실시양태에서, 추가 호스트는 금속 착물을 포함한다.

[0441] 또 다른 측면에서, 본 개시내용의 OLED는 본 개시내용의 상기 화합물 섹션에 개시된 배합물을 포함하는 발광 영역을 포함할 수도 있다.

- [0442] 일부 실시양태에서, 애노드, 캐소드, 또는 유기 발광층 위에 배치된 새로운 층 중 적어도 하나는 강화층으로서 기능한다. 강화층은, 이미터 물질에 비방사적으로 결합하고 여기된 상태 에너지를 이미터 물질로부터 비방사 모드의 표면 플라즈몬 폴라리톤으로 전달하는 표면 플라즈몬 공명을 나타내는 플라즈몬 물질을 포함한다. 강화층은 유기 발광층으로부터 임계 거리 이내에 제공되며, 여기서 이미터 물질은 강화층의 존재로 인해 총 비방사성 붕괴 속도 상수와 총 방사성 붕괴 속도 상수를 가지며 임계 거리는 총 비방사성 붕괴 속도 상수가 총 방사성 붕괴 속도 상수와 동일한 곳이다. 일부 실시양태에서, OLED는 아웃커플링층을 더 포함한다. 일부 실시양태에서, 아웃커플링층은 유기 발광층의 반대측의 강화층 위에 배치된다. 일부 실시양태에서, 아웃커플링층은 강화층으로부터 발광층의 반대측에 배치되지만 여전히 강화층의 표면 플라즈몬 모드로부터 에너지를 아웃커플링한다. 아웃커플링층은 표면 플라즈몬 폴라리톤으로부터의 에너지를 산란시킨다. 일부 실시양태에서 이 에너지는 광자로서 자유 공간에 산란된다. 다른 실시양태에서, 에너지는 표면 플라즈몬 모드로부터 유기 도파로 모드, 기관 모드, 또는 다른 도파 모드와 같은 (이에 한정되지 않음) 디바이스의 다른 모드로 산란된다. 에너지가 OLED의 비자유 공간 모드로 산란되는 경우, 다른 아웃커플링 스킴을 통합하여 해당 에너지를 자유 공간으로 추출할 수 있다. 일부 실시양태에서, 강화층과 아웃커플링층 사이에 하나 이상의 개재층이 배치될 수 있다. 개재층(들)의 예는 유기, 무기, 페로브스카이트, 산화물을 포함한 유전체 재료일 수 있고, 이들 재료의 스택 및/또는 혼합물을 포함할 수 있다.
- [0443] 강화층은 이미터 물질이 존재하는 매체의 유효 특성을 변경하여, 하기 중 어느 것 또는 모두를 초래한다: 발광 속도 저하, 발광 라인 형상의 변경, 각도에 따른 발광 강도 변화, 이미터 물질의 안정성 변화, OLED의 효율 변화, 및 OLED 디바이스의 감소된 효율 물-오프. 캐소드측, 애노드측, 또는 양측 모두에 강화층을 배치하면 앞서 언급한 효과 중 어느 것을 이용하는 OLED 디바이스가 생성된다. 본원에서 언급되고 도면에 도시된 각종 OLED 예에서 설명된 특정 기능성 층 외에도, 본 개시내용에 따른 OLED는 OLED에서 흔히 마련되는 임의의 다른 기능성 층을 포함할 수 있다.
- [0444] 강화층은 플라즈몬 물질, 광학 활성 메타물질, 또는 하이퍼볼릭 메타물질로 구성될 수 있다. 본원에서 사용시, 플라즈몬 물질은 전자기 스펙트럼의 가시 광선 또는 자외선 영역에서 유전 상수의 실수부가 0과 교차하는 물질이다. 일부 실시양태에서, 플라즈몬 물질은 적어도 하나의 금속을 포함한다. 이러한 실시양태에서 금속은 Ag, Al, Au, Ir, Pt, Ni, Cu, W, Ta, Fe, Cr, Mg, Ga, Rh, Ti, Ru, Pd, In, Bi, Ca, 이들 재료의 합금 또는 혼합물, 및 이들 재료의 스택 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 일반적으로, 메타물질은, 상이한 물질로 구성된 매체로서, 매체 전체가 그 물질 부분의 합과는 상이하게 작용하는 매체이다. 특히, 본 출원인은 광학 활성 메타물질을 음의 유전율과 음의 투과율을 모두 가진 물질로서 정의한다. 한편, 하이퍼볼릭 메타물질은 유전율 또는 투과율이 다른 공간 방향에 대해 다른 부호를 갖는 이방성 매체이다. 광학 활성 메타물질 및 하이퍼볼릭 메타물질은 매체가 빛의 파장 길이 규모에서 전파 방향으로 균일하게 나타나야 한다는 점에서 분산 브래그 반사경(Distributed Bragg Reflector, "DBR")과 같은 다른 많은 포토닉 구조와 엄격하게 구분된다. 당업자가 이해할 수 있는 용어를 사용하여: 전파 방향에서 메타물질의 유전 상수는 유효 매체 근사치로 설명될 수 있다. 플라즈몬 물질과 메타물질은 다양한 방식으로 OLED 성능을 향상시킬 수 있는 빛의 전파를 제어하는 방법을 제공한다.
- [0445] 일부 실시양태에서, 강화층은 평면층으로서 제공된다. 다른 실시양태에서, 강화층은, 주기적으로, 준-주기적으로, 또는 무작위로 배열되는 파장 사이즈의 피처, 또는 주기적으로, 준-주기적으로, 또는 무작위로 배열되는 서브파장 사이즈의 피처를 갖는다. 일부 실시양태에서, 파장 사이즈의 피처 및 서브파장 사이즈의 피처는 샤프한 엣지를 갖는다.
- [0446] 일부 실시양태에서, 아웃커플링층은, 주기적으로, 준-주기적으로, 또는 무작위로 배열되는 파장 사이즈의 피처, 또는 주기적으로, 준-주기적으로, 또는 무작위로 배열되는 서브파장 사이즈의 피처를 갖는다. 일부 실시양태에서, 아웃커플링층은 복수의 나노입자로 구성될 수 있으며 다른 실시양태에서 아웃커플링층은 재료 위에 배치된 복수의 나노입자로 구성된다. 이들 실시양태에서 아웃커플링은 복수의 나노입자의 사이즈를 변화시키는 것, 복수의 나노입자의 형상을 변화시키는 것, 복수의 나노입자의 재료를 변화시키는 것, 상기 재료의 두께를 조정하는 것, 복수의 나노입자 상에 배치된 상기 재료 또는 추가 층의 굴절률을 변화시키는 것, 강화층의 두께를 변화시키는 것, 및/또는 강화층의 재료를 변화시키는 것 중 적어도 하나에 의해 조정가능하다. 디바이스의 복수의 나노입자는 금속, 유전체 재료, 반도체 재료, 금속의 합금, 유전체 재료의 혼합물, 하나 이상의 재료의 스택 또는 층, 및/또는 1종의 재료의 코어로서, 상이한 종류의 재료의 쉘로 코팅된 코어 중 적어도 하나로 형성될 수 있다. 일부 실시양태에서, 아웃커플링층은, 금속이 Ag, Al, Au, Ir, Pt, Ni, Cu, W, Ta, Fe, Cr, Mg, Ga, Rh, Ti, Ru, Pd, In, Bi, Ca, 이들 재료의 합금 또는 혼합물, 및 이들 재료의 스택으로 이루어진 군에서 선택되는

적어도 금속 나노입자로 구성된다. 복수의 나노입자는 그 위에 배치되는 추가 층을 가질 수 있다. 일부 실시양태에서, 발광의 편광은 아웃커플링층을 사용하여 조정될 수 있다. 아웃커플링층의 차원 및 주기성을 변화시킴으로써 공기에 우선적으로 아웃커플링되는 편광의 타입을 선택할 수 있다. 일부 실시양태에서 아웃커플링층은 또한 디바이스의 전극으로서 작용한다.

- [0447] 또 다른 측면에서, 본 개시내용은 또한 애노드; 캐소드; 및 애노드와 캐소드 사이에 배치된 유기층을 갖는 유기 발광 디바이스(OLED)를 포함하는 소비자 제품을 제공하며, 여기서 유기층은 본 개시내용의 상기 화합물 섹션에서 개시된 화합물을 포함할 수 있다.
- [0448] 일부 실시양태에서, 소비자 제품은 애노드; 캐소드; 및 애노드와 캐소드 사이에 배치된 유기층을 갖는 OLED를 포함하며, 유기층은 본원에 기재된 배합물을 포함할 수 있다.
- [0449] 일부 실시양태에서, 소비자 제품은 평면 패널 디스플레이, 컴퓨터 모니터, 의료용 모니터, 텔레비전, 광고판, 실내 또는 실외 조명 및/또는 신호용 라이트, 헤드업 디스플레이, 완전 또는 부분 투명 디스플레이, 플렉시블 디스플레이, 레이저 프린터, 전화기, 휴대폰, 태블릿, 패블릿, 개인용 정보 단말기(PDA), 웨어러블 디바이스, 랩톱 컴퓨터, 디지털 카메라, 캠코더, 뷰파인더, 대각선이 2인치 미만인 마이크로 디스플레이, 3D 디스플레이, 가상 현실 또는 증강 현실 디스플레이, 차량, 함께 타일링된(tiled) 다중 디스플레이를 포함하는 비디오 월, 극장 또는 스타디움 스크린, 광요법 디바이스, 및 간판 중 하나일 수 있다.
- [0450] 일반적으로, OLED는 애노드와 캐소드 사이에 배치되어 이에 전기 접속되는 하나 이상의 유기층을 포함한다. 전류가 인가되면, 애노드는 유기층(들)에 정공을 주입하고, 캐소드는 전자를 주입한다. 주입된 정공 및 전자는 각각 반대로 하전된 전극을 향하여 이동한다. 전자와 정공이 동일한 분자상에 편재화될 경우, 여기된 에너지 상태를 갖는 편재화된 전자-정공 쌍인 "엑시톤"이 생성된다. 엑시톤이 광방출 메커니즘을 통해 이완될 경우 광이 방출된다. 일부의 경우에서, 엑시톤은 엑시머 또는 엑시플렉스 상에 편재화될 수 있다. 비-방사 메커니즘, 예컨대 열 이완이 또한 발생할 수 있으나, 일반적으로 바람직하지 않은 것으로 간주된다.
- [0451] 여러가지의 OLED 재료 및 구성은 미국특허 제5,844,363호, 제6,303,238호 및 제5,707,745호에 기재되어 있으며, 이들 특허 문헌은 그 전문이 참조로 본원에 포함된다.
- [0452] 초기 OLED는 예를 들면 미국특허 제4,769,292호에 개시된 바와 같은 단일항 상태에서부터 광("형광")을 방출하는 발광 분자를 사용하였으며, 상기 특허 문헌은 그 전문이 참조로 포함된다. 형광 방출은 일반적으로 10 나노초 미만의 시간 프레임으로 발생한다.
- [0453] 보다 최근에는, 삼중항 상태에서부터의 광("인광")을 방출하는 발광 물질을 갖는 OLED가 제시되었다. 문헌[Baldo et al., "Highly Efficient Phosphorescent Emission from Organic Electroluminescent Devices," *Nature*, vol. 395, 151-154, 1998; ("Baldo-I")] 및 문헌[Baldo et al., "Very high-efficiency green organic light-emitting devices based on electrophosphorescence," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 75, No. 3, 4-6 (1999) ("Baldo-II")]은 그 전문이 참조로 포함된다. 인광은 참조로 포함되는 미국특허 제7,279,704호의 컬럼 5-6에 보다 구체적으로 기재되어 있다.
- [0454] 도 1은 유기 발광 디바이스(100)를 나타낸다. 도면은 반드시 축척에 의하여 도시하지는 않았다. 디바이스(100)는 기관(110), 애노드(115), 정공 주입층(120), 정공 수송층(125), 전자 차단층(130), 발광층(135), 정공 차단층(140), 전자 수송층(145), 전자 주입층(150), 보호층(155), 캐소드(160) 및 배리어층(170)을 포함할 수 있다. 캐소드(160)는 제1 전도층(162) 및 제2 전도층(164)을 갖는 화합물 캐소드이다. 디바이스(100)는 기재된 순서로 층을 증착시켜 제작될 수 있다. 이들 다양한 층뿐 아니라, 예시 물질의 특성 및 기능은 참조로 포함되는 미국특허 제7,279,704호의 컬럼 6-10에 보다 구체적으로 기재되어 있다.
- [0455] 이들 층 각각에 대한 더 많은 예도 이용 가능하다. 예를 들면 가요성이고 투명한 기관-애노드 조합이 미국특허 제5,844,363호에 개시되어 있으며, 이 특허 문헌은 그 전문이 참조로 포함된다. p-도핑된 정공 수송층의 한 예는 미국특허출원 공개공보 제2003/0230980호에 개시된 바와 같이, 50:1의 몰비로 m-MTDATA가 F₄-TCNQ로 도핑된 것이 있으며, 이 특허 문헌은 그 전문이 참조로 포함된다. 발광 및 호스트 물질의 예는 미국특허 제6,303,238호 (Thompson 등)에 개시되어 있으며, 이 특허 문헌은 그 전문이 참조로 포함된다. n-도핑된 전자 수송층의 예는 미국특허출원 공개공보 제2003/0230980호에 개시된 바와 같이, 1:1의 몰비로 Li로 도핑된 BPhen이고, 이 특허 문헌은 그 전문이 참조로 포함된다. 그 전문이 참조로 포함되는 미국특허 제5,703,436호 및 제5,707,745호에는, 적층된 투명, 전기전도성 스퍼터-증착된 ITO 층을 갖는 Mg:Ag와 같은 금속의 박층을 갖는 화합물 캐소드를 비롯한 한 캐소드의 예가 개시되어 있다. 차단층의 이론 및 용도는 미국특허 제6,097,147호 및 미국특허출원 공개공보

제2003/0230980호에 보다 구체적으로 기재되어 있으며, 이들 특허 문헌은 그 전문이 참조로 포함된다. 주입층의 예는 미국특허출원 공개공보 제2004/0174116호에 제공되어 있으며, 이 특허 문헌은 그 전문이 참조로 포함된다. 보호층의 설명은 미국특허출원 공개공보 제2004/0174116호에서 찾아볼 수 있으며, 이 특허 문헌은 그 전문이 참조로 포함된다.

[0456] 도 2는 역구조 OLED(200)를 나타낸다. 디바이스는 기관(210), 캐소드(215), 발광층(220), 정공 수송층(225) 및 애노드(230)를 포함한다. 디바이스(200)는 기재된 순서로 층을 증착시켜 제작될 수 있다. 가장 흔한 OLED 구성이 애노드의 위에 캐소드가 배치되어 있는 것이고, 디바이스(200)는 애노드(230)의 아래에 배치된 캐소드(215)를 갖고 있으므로, 디바이스(200)는 "역구조" OLED로 지칭될 수 있다. 디바이스(100)에 관하여 기재된 것과 유사한 물질이 디바이스(200)의 해당 층에 사용될 수 있다. 도 2는 디바이스(100)의 구조로부터 일부 층이 어떻게 생략될 수 있는지의 일례를 제공한다.

[0457] 도 1 및 도 2에 도시된 단순 적층된 구조는 비제한적인 예로서 제공되며, 본 개시내용의 실시양태는 다양한 다른 구조와 관련하여 사용될 수 있는 것으로 이해된다. 기재된 특정한 물질 및 구조는 사실상 예시를 위한 것이며, 다른 물질 및 구조도 사용될 수 있다. 기능성 OLED는 기재된 다양한 층을 상이한 방식으로 조합하여 달성될 수 있거나, 또는 층은 디자인, 성능 및 비용 요인에 기초하여 전적으로 생략될 수 있다. 구체적으로 기재되지 않은 기타의 층도 또한 포함될 수 있다. 구체적으로 기재된 물질과 다른 물질을 사용할 수 있다. 본원에 제공된 다수의 예가 단일 물질을 포함하는 것으로 다양한 층을 기재하기는 하나, 물질의 조합, 예컨대 호스트와 도펀트의 혼합물, 또는 보다 일반적으로 혼합물을 사용할 수 있는 것으로 이해된다. 또한, 층은 다양한 하부층을 가질 수 있다. 본원에서 다양한 층에 제시된 명칭은 엄격하게 제한하고자 하는 것은 아니다. 예를 들면, 디바이스(200)에서, 정공 수송층(225)은 정공을 수송하고 정공을 발광층(220)에 주입하며, 정공 수송층 또는 정공 주입층으로서 기재될 수 있다. 한 실시양태에서, OLED는 캐소드와 애노드 사이에 배치된 "유기층"을 갖는 것으로 기재될 수 있다. 이러한 유기층은 단일 층을 포함할 수 있거나, 또는 예를 들면 도 1 및 도 2와 관련하여 기재된 바와 같은 상이한 유기 물질들의 복수의 층을 더 포함할 수 있다.

[0458] 구체적으로 기재하지 않은 구조 및 물질, 예컨대 미국특허 제5,247,190호(Friend 등)에 개시된 바와 같은 중합체 물질로 구성된 OLED(PLED)를 또한 사용할 수 있으며, 이 특허 문헌은 그 전문이 참조로 포함된다. 추가의 예로서, 단일 유기층을 갖는 OLED를 사용할 수 있다. OLED는 예를 들면 미국특허 제5,707,745호(Forrest 등)에 기재된 바와 같이 적층될 수 있으며, 이 특허 문헌은 그 전문이 참조로 본원에 포함된다. OLED 구조는 도 1 및 도 2에 도시된 단순 적층된 구조로부터 벗어날 수 있다. 예를 들면, 기관은 미국특허 제6,091,195호(Forrest 등)에 기재된 바와 같은 메사형(mesa) 구조 및/또는 미국특허 제5,834,893호(Bulovic 등)에 기재된 피트형(pit) 구조와 같은 아웃커플링을 개선시키기 위한 각진 반사면을 포함할 수 있으며, 이들 특허 문헌은 그 전문이 참조로 포함된다.

[0459] 본 개시내용의 실시양태에 따라 제작된 디바이스는 배리어층을 임의로 더 포함할 수 있다. 배리어층의 한 목적은 전극 및 유기층이 수분, 증기 및/또는 기체 등을 포함하는 환경에서 유해한 종에 대한 노출로 인하여 손상되지 않도록 보호하는 것이다. 배리어층은 엷지를 포함하는 디바이스의 임의의 기타 부분의 위에서, 전극 또는, 기관의 위에서, 아래에서 또는 옆에서 증착될 수 있다. 배리어층은 단일층 또는 다중층을 포함할 수 있다. 배리어층은 다양한 공지의 화학 기상 증착 기법에 의하여 형성될 수 있으며 복수의 상을 갖는 조성뿐 아니라 단일 상을 갖는 조성을 포함할 수 있다. 임의의 적합한 물질 또는 물질의 조합을 배리어층에 사용할 수 있다. 배리어층은 무기 또는 유기 화합물 또는 둘 다를 포함할 수 있다. 바람직한 배리어층은 미국특허 제7,968,146호, PCT 특허출원번호 PCT/US2007/023098 및 PCT/US2009/042829에 기재된 바와 같은 중합체 물질 및 비-중합체 물질의 혼합물을 포함하며, 이들 문헌은 그 전문이 참조로 본원에 포함된다. "혼합물"로 간주되기 위해, 배리어층을 포함하는 전술한 중합체 및 비-중합체 물질은 동일한 반응 조건 하에서 및/또는 동일한 시간에 증착되어야만 한다. 중합체 대 비-중합체 물질의 중량비는 95:5 내지 5:95 범위 내일 수 있다. 중합체 및 비-중합체 물질은 동일한 전구체 물질로부터 생성될 수 있다. 한 예에서, 중합체 및 비-중합체 물질의 혼합물은 본질적으로 중합체 규소 및 무기 규소로 이루어진다.

[0460] 본 개시내용의 실시양태에 따라 제작된 디바이스는 다양한 전자 제품 또는 중간 부품 내에 포함될 수 있는 광범위하게 다양한 전자 부품 모듈(또는 유닛) 내에 포함될 수 있다. 이러한 전자 제품 또는 중간 부품의 예는 최종 소비자 제품 생산자에 의해 사용될 수 있는 디스플레이 스크린, 발광 디바이스, 예컨대 개별 광원 디바이스 또는 조명 패널 등을 포함한다. 이러한 전자 부품 모듈은 임의로 구동 전자 장치 및/또는 동력원(들)을 포함할 수 있다. 본 개시내용의 실시양태에 따라 제작된 디바이스는 하나 이상의 전자 부품 모듈(또는 유닛)을 그 안에 포함하는 광범위하게 다양한 소비자 제품 내에 포함될 수 있다. OLED 내 유기층에 본 개시내용의 화합물을 포함하

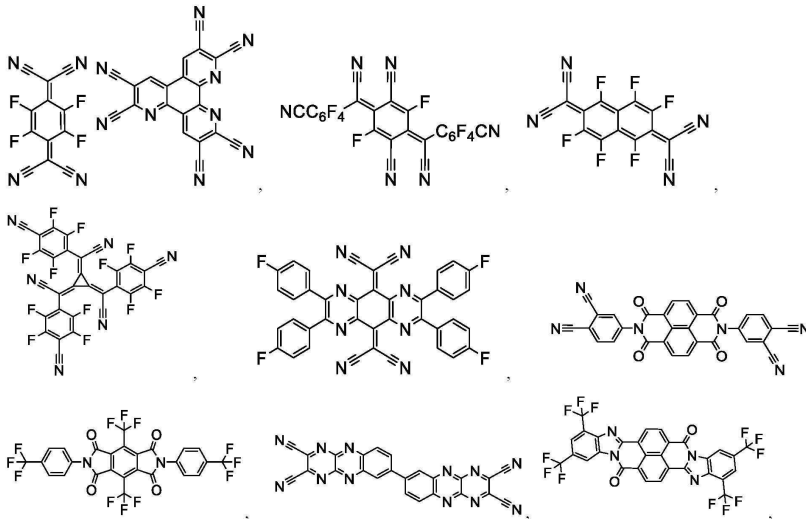
는 OLED를 포함하는 소비자 제품이 개시된다. 이러한 소비자 제품은 하나 이상의 광원(들) 및/또는 하나 이상의 어떤 종류의 영상 디스플레이를 포함하는 임의 종류의 제품을 포함할 것이다. 이러한 소비자 제품의 몇몇 예로는 평면 패널 디스플레이, 곡면 디스플레이, 컴퓨터 모니터, 의료용 모니터, 텔레비전, 광고판, 실내 또는 실외 조명 및/또는 신호용 라이트, 헤드업 디스플레이, 완전 또는 부분 투명 디스플레이, 플렉시블 디스플레이, 롤러블 디스플레이, 폴더블 디스플레이, 스트레처블 디스플레이, 레이저 프린터, 전화기, 휴대폰, 태블릿, 패블릿, 개인용 정보 단말기(PDA), 웨어러블 디바이스, 랩톱 컴퓨터, 디지털 카메라, 캠코더, 뷰파인더, 마이크로 디스플레이(대각선이 2인치 미만인 디스플레이), 3D 디스플레이, 가상 현실 또는 증강 현실 디스플레이, 차량, 함께 타일링된 다중 디스플레이를 포함하는 비디오 월, 극장 또는 스타디움 스크린, 광요법 디바이스, 및 간판이 있다. 패시브 매트릭스 및 액티브 매트릭스를 비롯한 다양한 조절 메커니즘을 사용하여 본 개시내용에 따라 제작된 디바이스를 조절할 수 있다. 다수의 디바이스는 사람에게 안락감을 주는 온도 범위, 예컨대 18°C 내지 30°C, 더욱 바람직하게는 실온(20°C 내지 25°C)에서 사용하고자 하지만, 상기 온도 범위 밖의 온도, 예컨대 -40°C 내지 +80°C에서도 사용될 수 있다.

- [0461] OLED에 대한 더욱 상세한 내용 및 전문한 정의는, 미국특허 제7,279,704호에서 찾을 수 있으며, 이의 전문은 참조로 본원에 포함된다.
- [0462] 본원에 기재된 물질 및 구조는 OLED 이외의 디바이스에서의 적용예를 가질 수 있다. 예를 들면, 기타의 광전자 디바이스, 예컨대 유기 태양 전지 및 유기 광검출기는 상기 물질 및 구조를 사용할 수 있다. 보다 일반적으로, 유기 디바이스, 예컨대 유기 트랜지스터는 상기 물질 및 구조를 사용할 수 있다.
- [0463] 일부 실시양태에서, OLED는 플렉시블, 롤러블, 폴더블, 스트레처블 및 곡면 특성으로 이루어진 군으로부터 선택된 하나 이상의 특성을 갖는다. 일부 실시양태에서, OLED는 투명 또는 반투명하다. 일부 실시양태에서, OLED는 탄소 나노튜브를 포함하는 층을 더 포함한다.
- [0464] 일부 실시양태에서, OLED는 지연 형광 이미터를 포함하는 층을 더 포함한다. 일부 실시양태에서, OLED는 RGB 픽셀 배열, 또는 화이트 플러스 컬러 필터 픽셀 배열을 포함한다. 일부 실시양태에서, OLED는 모바일 디바이스, 핸드 헬드 디바이스, 또는 웨어러블 디바이스이다. 일부 실시양태에서, OLED는 대각선이 10 인치 미만이거나 면적이 50 제곱인치 미만인 디스플레이 패널이다. 일부 실시양태에서, OLED는 대각선이 10 인치 이상이거나 면적이 50 제곱인치 이상인 디스플레이 패널이다. 일부 실시양태에서, OLED는 조명 패널이다.
- [0465] 다른 측면에 따르면, 본원에 기재된 화합물을 포함하는 배합물이 또한 개시되어 있다.
- [0466] 본원에 개시된 OLED는 소비자 제품, 전자 부품 모듈 및 조명 패널 중 하나 이상에 포함될 수 있다. 유기층은 발광층일 수 있고, 상기 화합물은 일부 실시양태에서 발광 도펀트일 수 있고, 한편 상기 화합물은 다른 실시양태에서 비발광 도펀트일 수 있다.
- [0467] 본 개시내용의 또 하나의 다른 측면에서는, 본원에 개시된 신규 화합물을 포함하는 배합물이 기재된다. 배합물은 본원에 개시된 용매, 호스트, 정공 주입 물질, 정공 수송 물질, 전자 차단 물질, 정공 차단 물질, 및 전자 수송 물질로 이루어진 군으로부터 선택되는 하나 이상의 성분을 포함할 수 있다.
- [0468] 본 개시내용은 본 개시내용의 신규 화합물, 또는 이의 1가 또는 다가 변형체를 포함하는 임의의 화학 구조를 포함한다. 즉, 본 발명의 화합물, 또는 이의 1가 또는 다가 변형체는 더 큰 화학 구조의 일부일 수 있다. 그러한 화학 구조는 단량체, 중합체, 거대분자 및 초분자(초거대분자로도 알려짐)로 이루어진 군에서 선택될 수 있다. 본원에 사용된 바와 같이, "화합물의 1가 변형체"는 하나의 수소가 제거되고 나머지 화학 구조에 대한 결합으로 대체된 것을 제외하고는 화합물과 동일한 모이어티를 지칭한다. 본원에 사용된 바와 같이, "화합물의 다가 변형체"는 하나 초과 수소가 제거되고 나머지 화학 구조에 대한 결합 또는 결합들로 대체된 것을 제외하고는 화합물과 동일한 모이어티를 지칭한다. 초분자의 경우, 본 발명의 화합물은 또한 공유 결합 없이 초분자 착물에 혼입될 수도 있다.
- [0469] **F. 본 개시내용의 화합물과 다른 물질의 조합**
- [0470] 유기 발광 디바이스에서 특정 층에 대하여 유용한 것으로 본원에 기재된 물질은 디바이스에 존재하는 매우 다양한 기타 물질과의 조합으로 사용될 수 있다. 예를 들면, 본원에 개시된 발광 도펀트는 매우 다양한 호스트, 수송층, 차단층, 주입층, 전극 및 존재할 수 있는 기타 층과 결합되어 사용될 수 있다. 하기에 기재되거나 또는 언급된 물질은 본원에 개시된 화합물과의 조합에 유용할 수 있는 물질의 비제한적인 예시이며, 당업자는 조합에 유용할 수 있는 기타 물질을 식별하기 위해 문헌을 용이하게 참조할 수 있다.

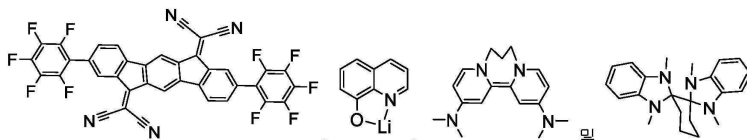
[0471] a) 전도성 도펀트:

[0472] 전하 수송층은 전도성 도펀트로 도핑되어 이의 전하 캐리어 밀도를 실질적으로 변화시킬 수 있고, 이는 결과적으로 이의 전도성을 변화시킬 것이다. 전도성은 매트릭스 물질에서 전하 캐리어를 생성시킴으로써 증가되며, 도펀트의 유형에 따라, 반도체의 페르미 준위에서의 변화가 또한 달성될 수 있다. 정공 수송층은 p형 전도성 도펀트로 도핑될 수 있고 n형 전도성 도펀트는 전자 수송층에서 사용된다.

[0473] 본원에 개시된 물질과의 조합으로 OLED에서 사용될 수 있는 전도성 도펀트의 비제한적인 예시는 그 물질들을 개시하는 참조문헌과 함께 하기에 예시되어 있다: EP01617493, EP01968131, EP2020694, EP2684932, US20050139810, US20070160905, US20090167167, US2010288362, WO06081780, WO2009003455, WO2009008277, WO2009011327, WO2014009310, US2007252140, US2015060804, US20150123047, 및 US2012146012.



[0474]

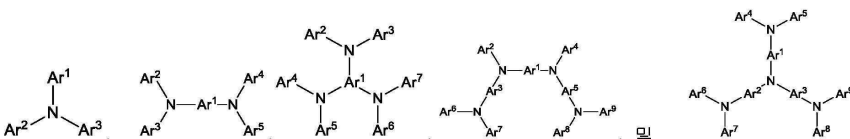


[0475]

[0476] b) HIL/HTL:

[0477] 본 개시내용에서 사용하고자 하는 정공 주입/수송 물질은 특정하게 제한되지 않으며, 통상적으로 정공 주입/수송 물질로서 사용되는 한 임의의 화합물을 사용할 수 있다. 물질의 비제한적인 예로는 프탈로시아닌 또는 포르피린 유도체; 방향족 아민 유도체; 인돌로카르바졸 유도체; 플루오로히드로카본을 포함하는 중합체; 전도성 도펀트를 갖는 중합체; 전도성 중합체, 예컨대 PEDOT/PSS; 포스폰산 및 실란 유도체와 같은 화합물로부터 유도된 자체조립 단량체; 금속 산화물 유도체, 예컨대 MoO₃; p-형 반도체 유기 화합물, 예컨대 1,4,5,8,9,12-헥사아자트리페닐렌헥사카르보니트릴; 금속 착물 및 가교성 화합물을 들 수 있다.

[0478] HIL 또는 HTL에 사용된 방향족 아민 유도체의 비제한적인 예로는 하기 일반 구조식을 들 수 있다:

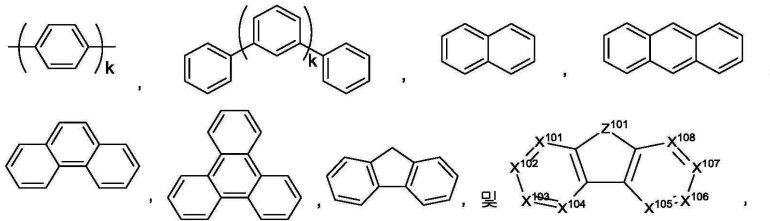


[0479]

[0480] 각각의 Ar¹ 내지 Ar⁹는 벤젠, 비페닐, 트리페닐, 트리페닐렌, 나프탈렌, 안트라센, 페날렌, 페난트렌, 플루오렌, 피렌, 크리센, 페틸렌 및 아줄렌과 같은 방향족 탄화수소 시클릭 화합물로 이루어진 군; 디벤조티오펜, 디벤조푸란, 디벤조셀레노펜, 푸란, 티오펜, 벤조푸란, 벤조티오펜, 벤조셀레노펜, 카르바졸, 인돌로카르바졸, 피리딘 인돌, 피롤로디피리딘, 피라졸, 이미다졸, 트리아졸, 옥사졸, 티아졸, 옥사디아졸, 옥사트리아졸, 디옥사졸, 티아디아졸, 피리딘, 피리다진, 피리미딘, 피라진, 트리아진, 옥사진, 옥사티아진, 옥사디아진, 인돌, 벤즈이미다

졸, 인다졸, 인독사진, 벤즈옥사졸, 벤즈이속사졸, 벤조티아졸, 퀴놀린, 이소퀴놀린, 신놀린, 퀴나졸린, 퀴녹살린, 나프티리딘, 프탈라진, 프테리딘, 크산텐, 아크리딘, 페나진, 페노티아진, 페녹사진, 벤조푸로피리딘, 푸로디피리딘, 벤조티에노피리딘, 티에노디피리딘, 벤조셀레노페노피리딘 및 셀레노페노디피리딘과 같은 방향족 헤테로시클릭 화합물로 이루어진 군; 및 방향족 탄화수소 시클릭 기 및 방향족 헤테로시클릭 기로부터 선택된 동일한 유형 또는 상이한 유형의 군이며 산소 원자, 질소 원자, 황 원자, 규소 원자, 인 원자, 붕소 원자, 쇠 구조 단위 및 지방족 시클릭 기 중 하나 이상을 통해 결합되거나 서로 직접 결합되는 2 내지 10개의 시클릭 구조 단위로 이루어진 군으로부터 선택된다. 각각의 Ar은 비치환될 수 있거나, 또는 중수소, 할로젠, 알킬, 시클로알킬, 헤테로알킬, 헤테로시클로알킬, 아릴알킬, 알콕시, 아릴옥시, 아미노, 실릴, 알케닐, 시클로알케닐, 헤테로알케닐, 알키닐, 아릴, 헤테로아릴, 아실, 카르복실산, 에테르, 에스테르, 니트릴, 이소니트릴, 술폰닐, 술피닐, 술폰닐, 포스피노 및 이들의 조합으로 이루어진 군으로부터 선택된 치환기로 치환될 수 있다.

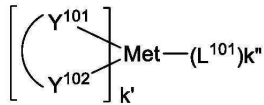
[0481] 한 측면에서, Ar¹ 내지 Ar⁹은 독립적으로 하기 화학식으로 이루어진 군으로부터 선택된다:



[0482]

[0483] 여기서 k는 1 내지 20의 정수이며; X¹⁰¹ 내지 X¹⁰⁸은 C(CH 포함) 또는 N이고; Z¹⁰¹은 NAr¹, O 또는 S이고; Ar¹은 상기 정의된 바와 동일한 기를 가진다.

[0484] HIL 또는 HTL에 사용된 금속 착물의 비제한적인 예는 하기 일반식을 들 수 있다:

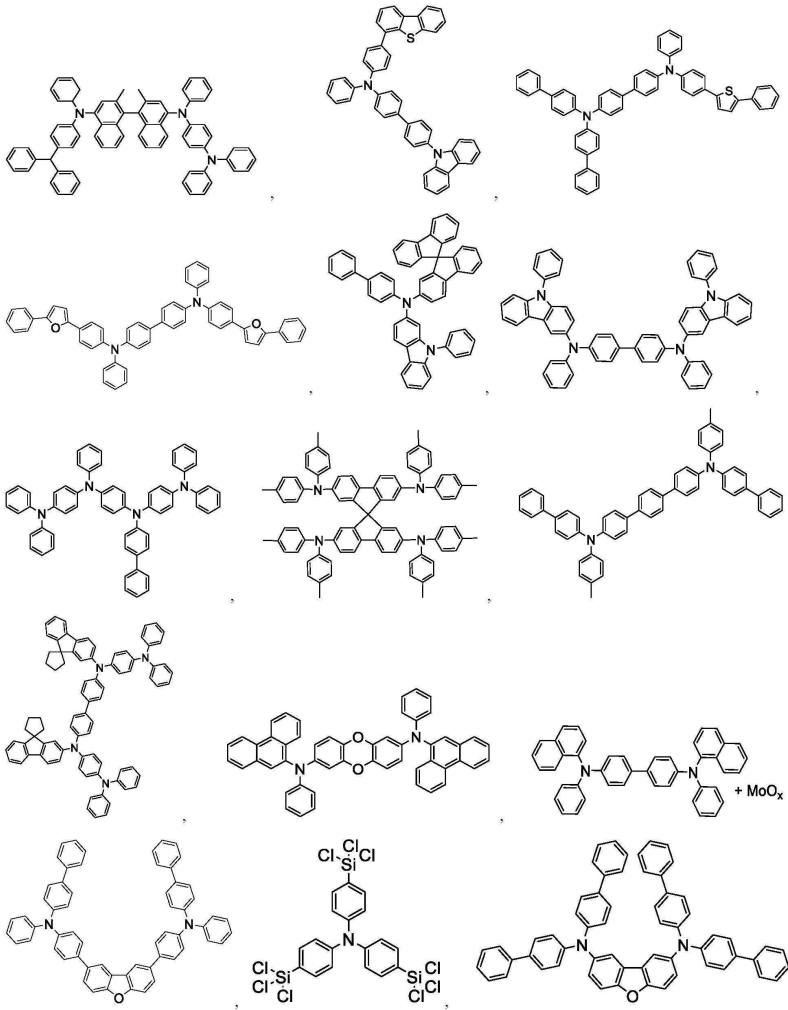


[0485]

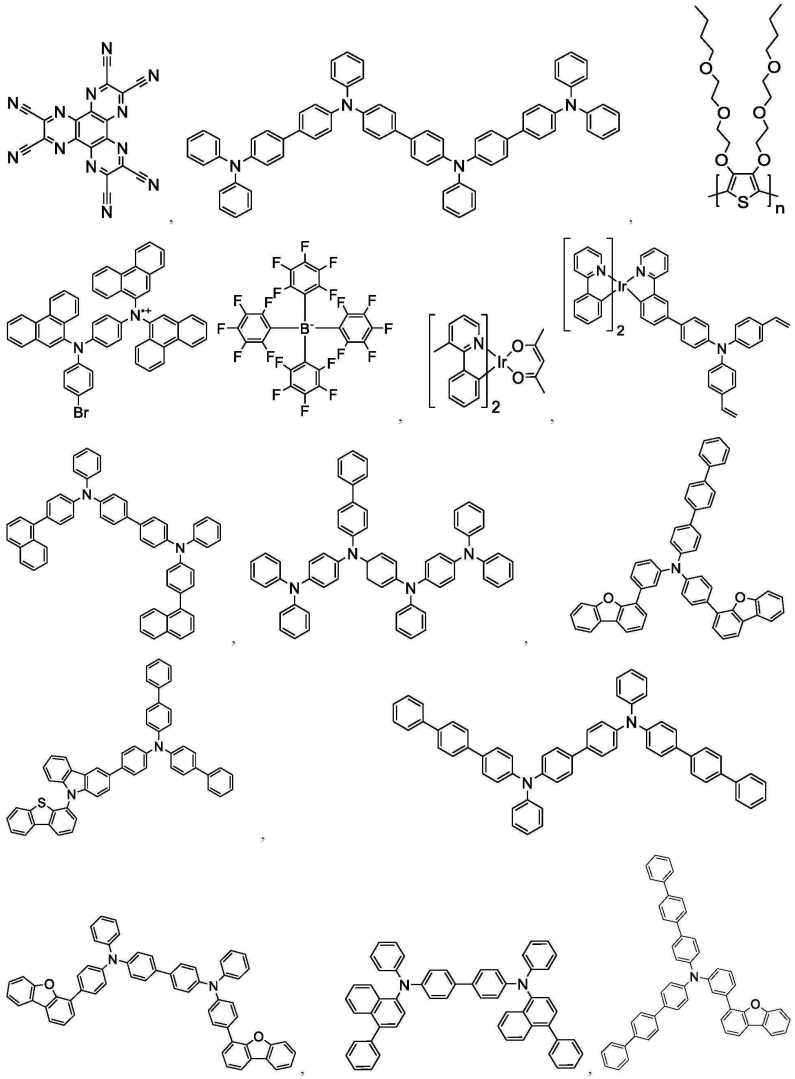
[0486] 여기서 Met는 금속이며, 40 초과 원자량을 가질 수 있고; (Y¹⁰¹-Y¹⁰²)는 2좌 리간드이고, Y¹⁰¹ 및 Y¹⁰²는 독립적으로 C, N, O, P 및 S로부터 선택되며; L¹⁰¹은 보조적 리간드이며; k'는 1 내지 금속에 부착될 수 있는 리간드 최대수의 정수값이고; k'+k''는 금속에 부착될 수 있는 리간드 최대수이다.

[0487] 한 측면에서, (Y¹⁰¹-Y¹⁰²)는 2-페닐피리딘 유도체이다. 또 다른 측면에서, (Y¹⁰¹-Y¹⁰²)는 카르벤 리간드이다. 또 다른 측면에서, Met는 Ir, Pt, Os 및 Zn로부터 선택된다. 추가 측면에서, 금속 착물은 약 0.6 V 미만의 용액 중의 최소 산화 전위 대 Fc⁺/Fc 커플을 가진다.

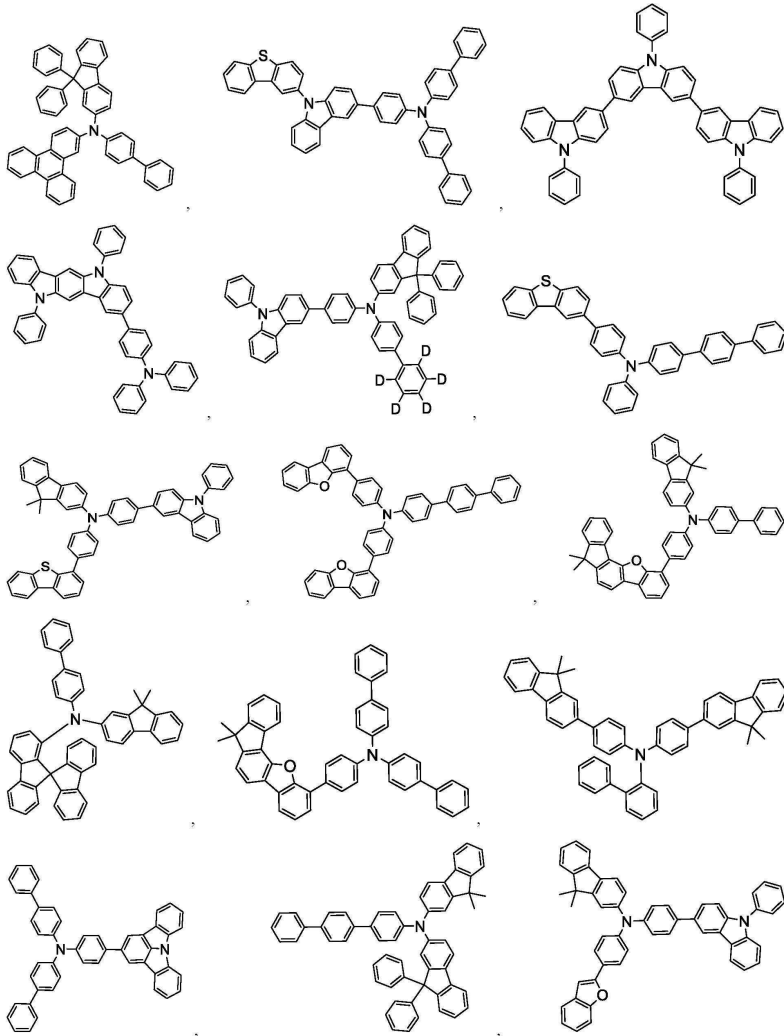
[0488] 본원에 개시된 물질과의 조합으로 OLED에서 사용될 수 있는 HIL 및 HTL 물질의 비제한적인 예시는 그 물질들을 개시하는 참조문헌과 함께 하기에 예시되어 있다: CN102702075, DE102012005215, EP01624500, EP01698613, EP01806334, EP01930964, EP01972613, EP01997799, EP02011790, EP02055700, EP02055701, EP1725079, EP2085382, EP2660300, EP650955, JP07-073529, JP2005112765, JP2007091719, JP2008021687, JP2014-009196, KR20110088898, KR20130077473, TW201139402, US06517957, US20020158242, US20030162053, US20050123751, US20060182993, US20060240279, US20070145888, US20070181874, US20070278938, US20080014464, US20080091025, US20080106190, US20080124572, US20080145707, US20080220265, US20080233434, US20080303417, US2008107919, US20090115320, US20090167161, US2009066235, US2011007385, US20110163302, US2011240968, US2011278551, US2012205642, US2013241401, US20140117329, US2014183517, US5061569, US5639914, WO05075451, WO07125714, WO08023550, WO08023759, WO2009145016, WO2010061824, WO2011075644, WO2012177006, WO2013018530, WO2013039073, WO2013087142, WO2013118812, WO2013120577, WO2013157367, WO2013175747, WO2014002873, WO2014015935, WO2014015937, WO2014030872, WO2014030921, WO2014034791, WO2014104514, WO2014157018.



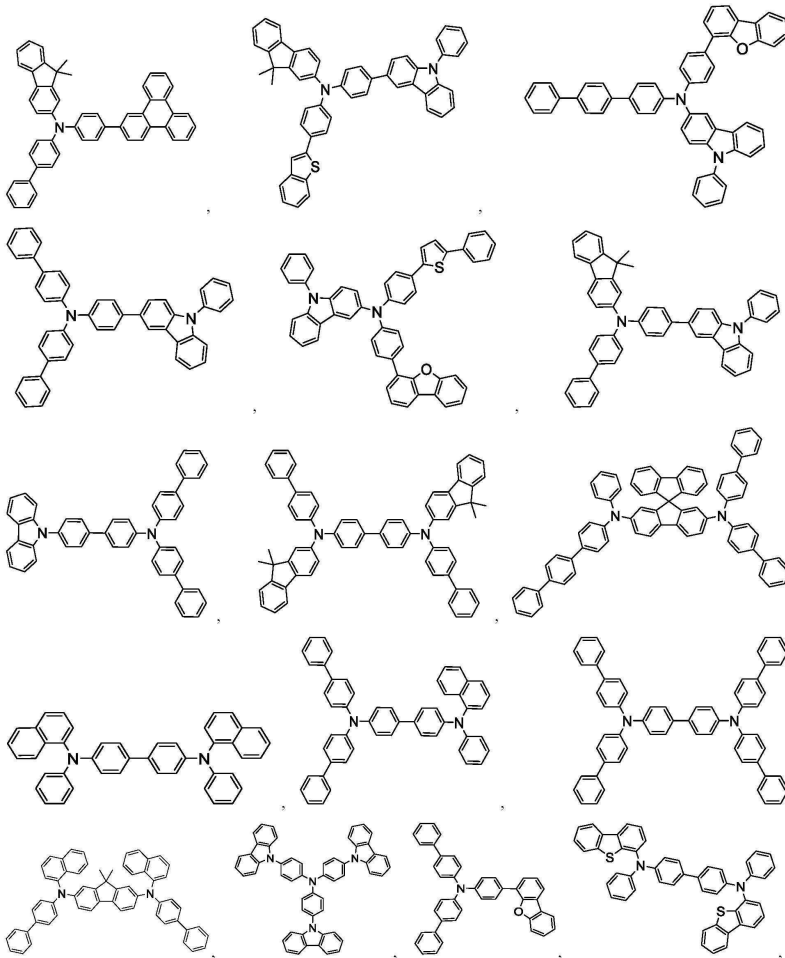
[0489]



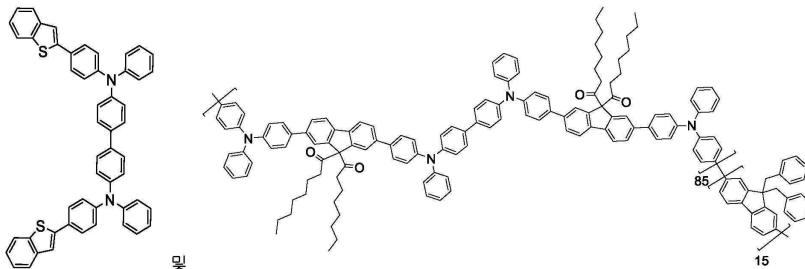
[0490]



[0491]



[0492]



[0493]

[0494] c) EBL:

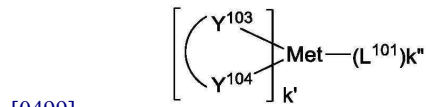
[0495] 전자 차단층(EBL)은 발광층을 떠나는 전자 및/또는 엑시톤의 수를 감소시키기 위해 사용될 수 있다. 디바이스 내의 이러한 차단층의 존재는 차단층이 없는 유사한 디바이스와 비교했을 때 상당히 더 높은 효율 및/또는 더 긴 수명을 유도할 수 있다. 또한, 차단층은 OLED의 원하는 영역에 발광을 국한시키기 위해 사용될 수 있다. 일부 실시양태에서, EBL 물질은 EBL 계면에 가장 가까운 이미터보다 더 높은 LUMO(진공 준위에 보다 가까움) 및/또는 더 높은 삼중항 에너지를 갖는다. 일부 실시양태에서, EBL 물질은 EBL 계면에 가장 가까운 호스트들 중 하나 이상보다 더 높은 LUMO(진공 준위에 보다 가까움) 및/또는 더 높은 삼중항 에너지를 갖는다. 한 측면에서, EBL에 사용되는 화합물은 이하에 기재된 호스트들 중 하나로 사용되는 동일한 분자 또는 동일한 작용기를 함유한다.

[0496] d) 호스트:

[0497] 본 개시내용의 유기 EL 디바이스의 발광층은 바람직하게는 발광 물질로서 적어도 금속 착물을 포함하며, 도펀트 물질로서 금속 착물을 사용하는 호스트 물질을 포함할 수 있다. 호스트 물질의 예는 특별히 제한되지 않으며, 임의의 금속 착물 또는 유기 화합물은 호스트의 삼중항 에너지가 도펀트의 삼중항 에너지보다 더 크기만 하다면

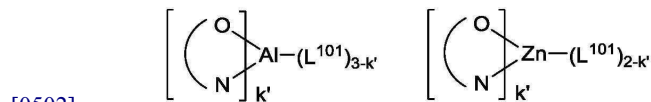
사용될 수 있다. 삼중항 기준을 충족하는 한, 임의의 호스트 물질이 임의의 도펀트와 함께 사용될 수 있다.

[0498] 호스트로서 사용되는 금속 착물의 예는 하기 일반식을 갖는 것이 바람직하다:



[0500] 여기서 Met는 금속이고; (Y¹⁰³-Y¹⁰⁴)는 2좌 리간드이고, Y¹⁰³ 및 Y¹⁰⁴는 독립적으로 C, N, O, P 및 S로부터 선택되며; L¹⁰¹은 또 다른 리간드이며; k'는 1 내지 금속에 부착될 수 있는 리간드의 최대 수의 정수값이고; k''는 금속에 부착될 수 있는 리간드의 최대 수이다.

[0501] 한 측면에서, 금속 착물은

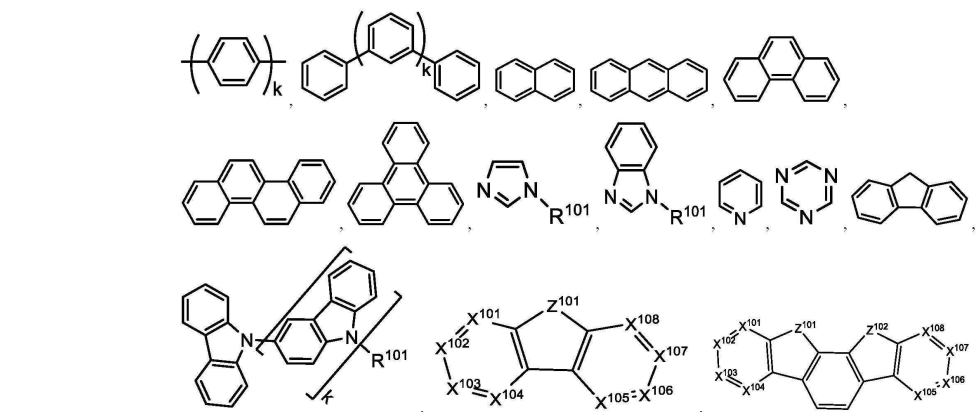


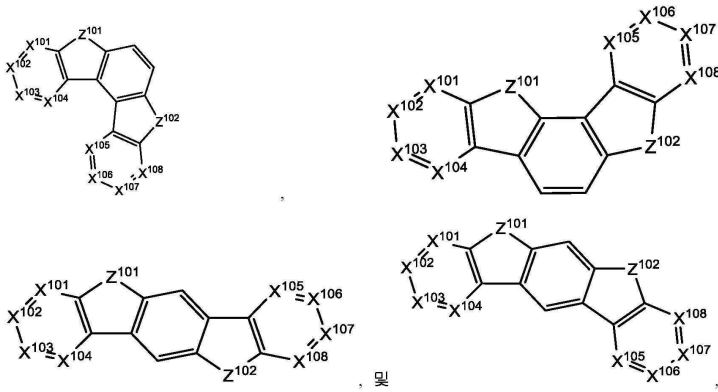
[0503] 이며, 여기서 (O-N)은 원자 O 및 N에 배위된 금속을 갖는 2좌 리간드이다.

[0504] 또 다른 측면에서, Met는 Ir 및 Pt로부터 선택된다. 추가 측면에서, (Y¹⁰³-Y¹⁰⁴)는 카르벤 리간드이다.

[0505] 일 측면에서, 호스트 화합물은 방향족 탄화수소 시클릭 화합물, 예컨대 벤젠, 비페닐, 트리페닐, 트리페닐렌, 테트라페닐렌, 나프탈렌, 안트라센, 페날렌, 페난트렌, 플루오렌, 피렌, 크리센, 페릴렌 및 아줄렌으로 이루어진 군; 방향족 헤테로시클릭 화합물, 예컨대 디벤조티오펜, 디벤조푸란, 디벤조셀레노펜, 푸란, 티오펜, 벤조푸란, 벤조티오펜, 벤조셀레노펜, 카르바졸, 인돌로카르바졸, 피리딘인돌, 피롤로디피리딘, 피라졸, 이미다졸, 트리아졸, 옥사졸, 티아졸, 옥사디아졸, 옥사트리아졸, 디옥사졸, 티아디아졸, 피리딘, 피리다진, 피리미딘, 피라진, 트리아진, 옥사진, 옥사티아진, 옥사디아진, 인돌, 벤즈이미다졸, 인다졸, 인독사진, 벤즈옥사졸, 벤즈이속사졸, 벤조티아졸, 퀴놀린, 이소퀴놀린, 신놀린, 퀴나졸린, 퀴녹살린, 나프티리딘, 프탈라진, 프테리딘, 크산텐, 아크리딘, 페나진, 페노티아진, 페녹사진, 벤조푸로피리딘, 푸로디피리딘, 벤조티에노피리딘, 티에노디피리딘, 벤조셀레노페노피리딘 및 셀레노페노디피리딘으로 이루어진 군; 및 방향족 탄화수소 시클릭 기 및 방향족 헤테로시클릭 기로부터 선택된 동일한 유형 또는 상이한 유형의 기이며 산소 원자, 질소 원자, 황 원자, 규소 원자, 인 원자, 붕소 원자, 쇠 구조 단위 및 지방족 시클릭 기 중 하나 이상을 통해 결합되거나 서로 직접 결합되는 2 내지 10개의 시클릭 구조 단위로 이루어진 군으로부터 선택된 군 중 적어도 하나를 함유한다. 각각의 기 내의 각 선택지는 비치환될 수 있거나 중수소, 할로젠, 알킬, 시클로알킬, 헤테로알킬, 헤테로시클로알킬, 아릴알킬, 알콕시, 아릴옥시, 아미노, 실릴, 알케닐, 시클로알케닐, 헤테로알케닐, 알킬닐, 아릴, 헤테로아릴, 아실, 카르복실산, 에테르, 에스테르, 니트릴, 이소니트릴, 술폰닐, 술폰피닐, 술폰닐, 포스포노 및 이들의 조합으로 이루어진 군으로부터 선택된 치환기로 치환될 수 있다.

[0506] 한 측면에서, 호스트 화합물은 분자에 하기 기들 중 하나 이상을 함유한다:





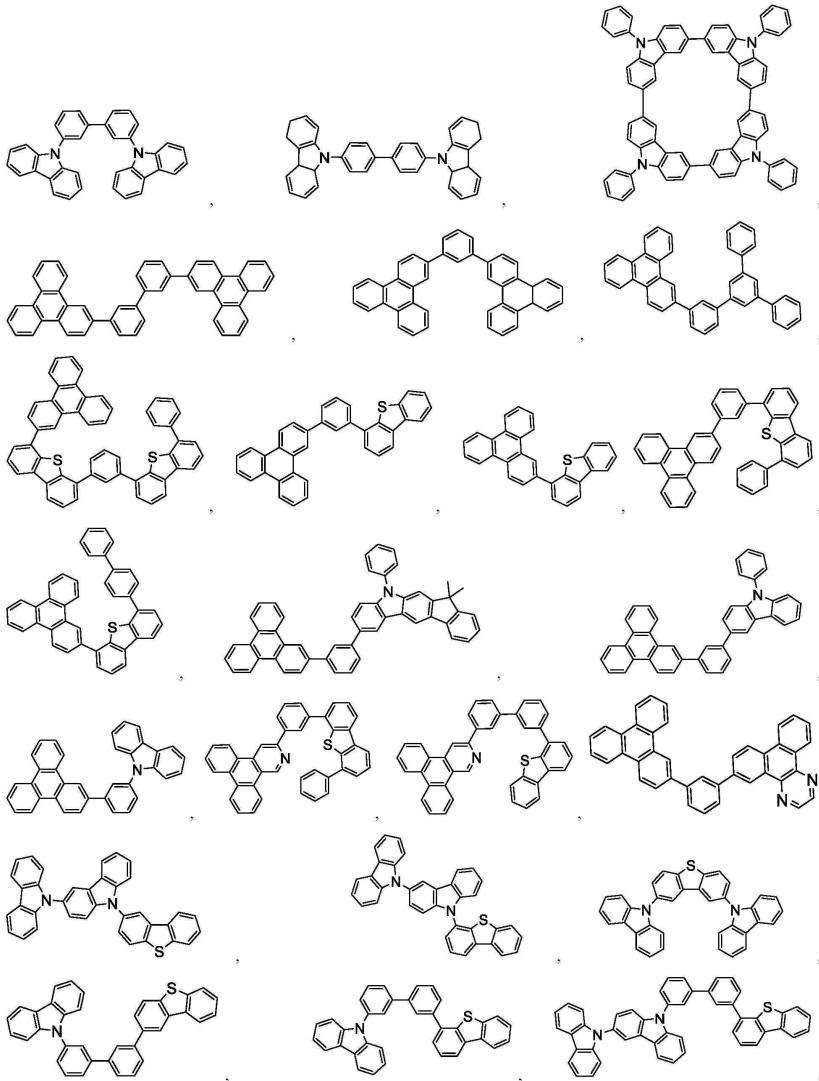
[0508]

[0509]

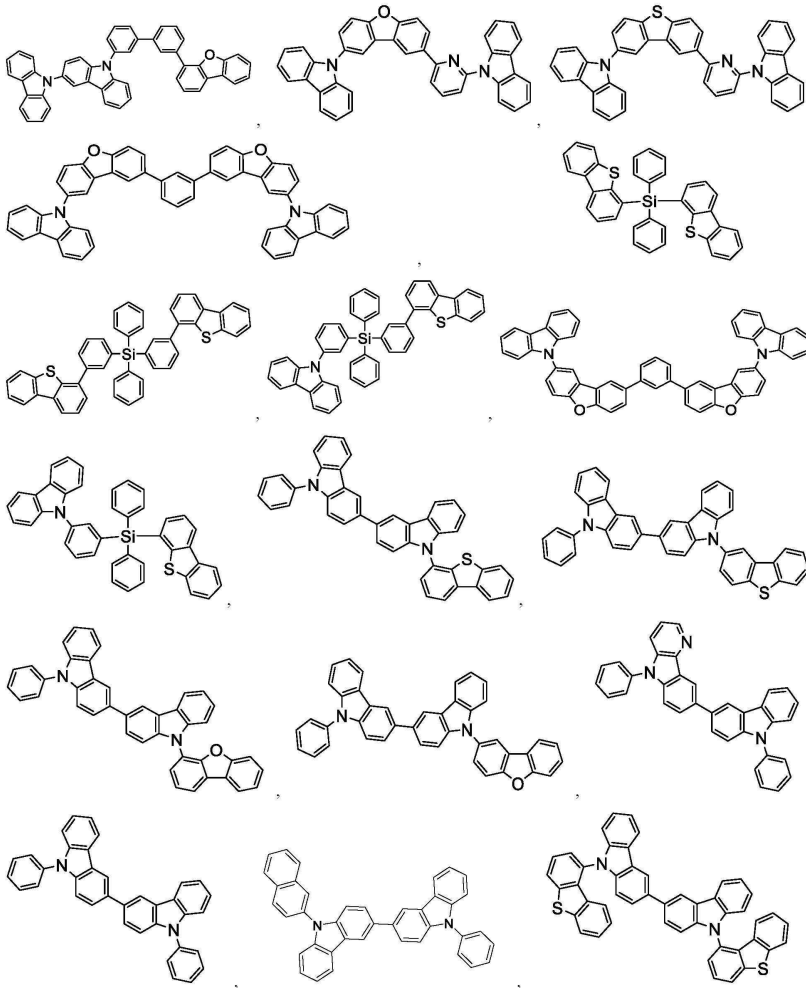
여기서 R¹⁰¹은 수소, 중수소, 할로젠, 알킬, 시클로알킬, 헤테로알킬, 헤테로시클로알킬, 아릴알킬, 알콕시, 아릴옥시, 아미노, 실릴, 알케닐, 시클로알케닐, 헤테로알케닐, 알키닐, 아릴, 헤테로아릴, 아실, 카르복실산, 에테르, 에스테르, 니트릴, 이소니트릴, 술폰닐, 술피닐, 술폰닐, 포스포노 및 이들의 조합으로 이루어진 군으로부터 선택되며, 아릴 또는 헤테로아릴인 경우, 상기 기술한 Ar과 유사한 정의를 갖는다. k는 0 내지 20 또는 1 내지 20의 정수이다. X¹⁰¹ 내지 X¹⁰⁸은 독립적으로 C(CH 포함) 또는 N으로부터 선택된다. Z¹⁰¹ 및 Z¹⁰²는 독립적으로 NR¹⁰¹, O 또는 S로부터 선택된다.

[0510]

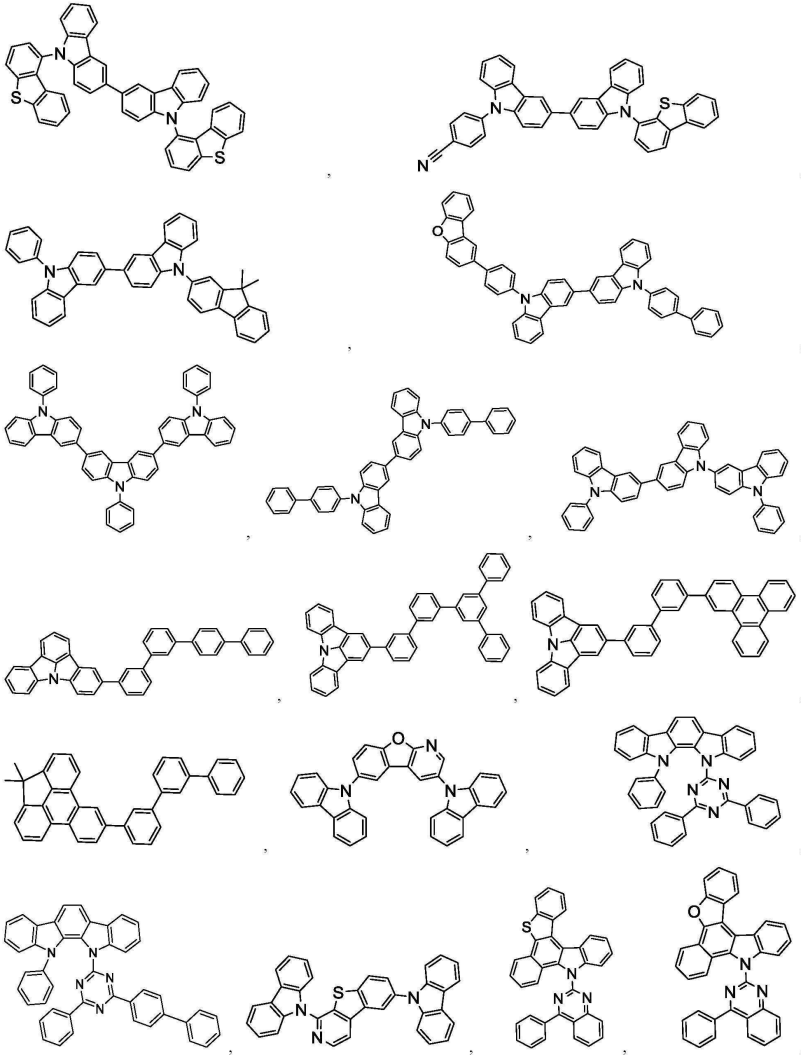
본원에 개시된 물질과의 조합으로 OLED에서 사용될 수 있는 호스트 물질의 비제한적인 예시는 그 물질들을 개시하는 참조문헌과 함께 하기에 예시되어 있다: EP2034538, EP2034538A, EP2757608, JP2007254297, KR20100079458, KR20120088644, KR20120129733, KR20130115564, TW201329200, US20030175553, US20050238919, US20060280965, US20090017330, US20090030202, US20090167162, US20090302743, US20090309488, US20100012931, US20100084966, US20100187984, US2010187984, US2012075273, US2012126221, US2013009543, US2013105787, US2013175519, US2014001446, US20140183503, US20140225088, US2014034914, US7154114, WO2001039234, WO2004093207, WO2005014551, WO2005089025, WO2006072002, WO2006114966, WO2007063754, WO2008056746, WO2009003898, WO2009021126, WO2009063833, WO2009066778, WO2009066779, WO2009086028, WO2010056066, WO2010107244, WO2011081423, WO2011081431, WO2011086863, WO2012128298, WO2012133644, WO2012133649, WO2013024872, WO2013035275, WO2013081315, WO2013191404, WO2014142472, US20170263869, US20160163995, US9466803,



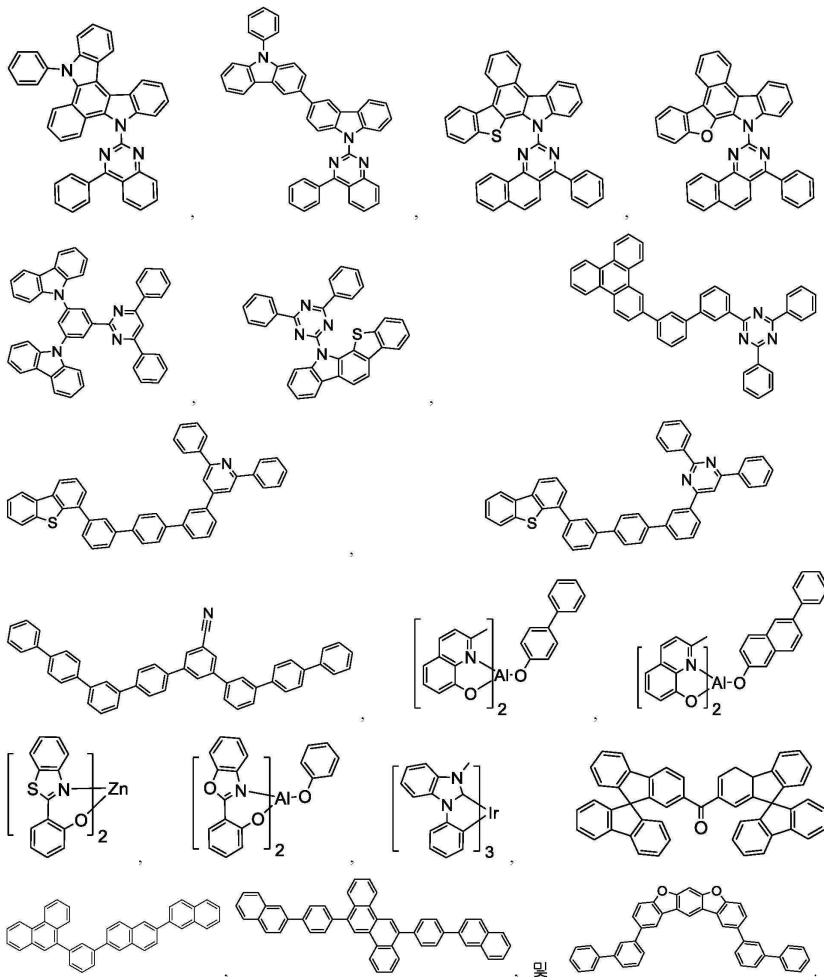
[0511]



[0512]



[0513]



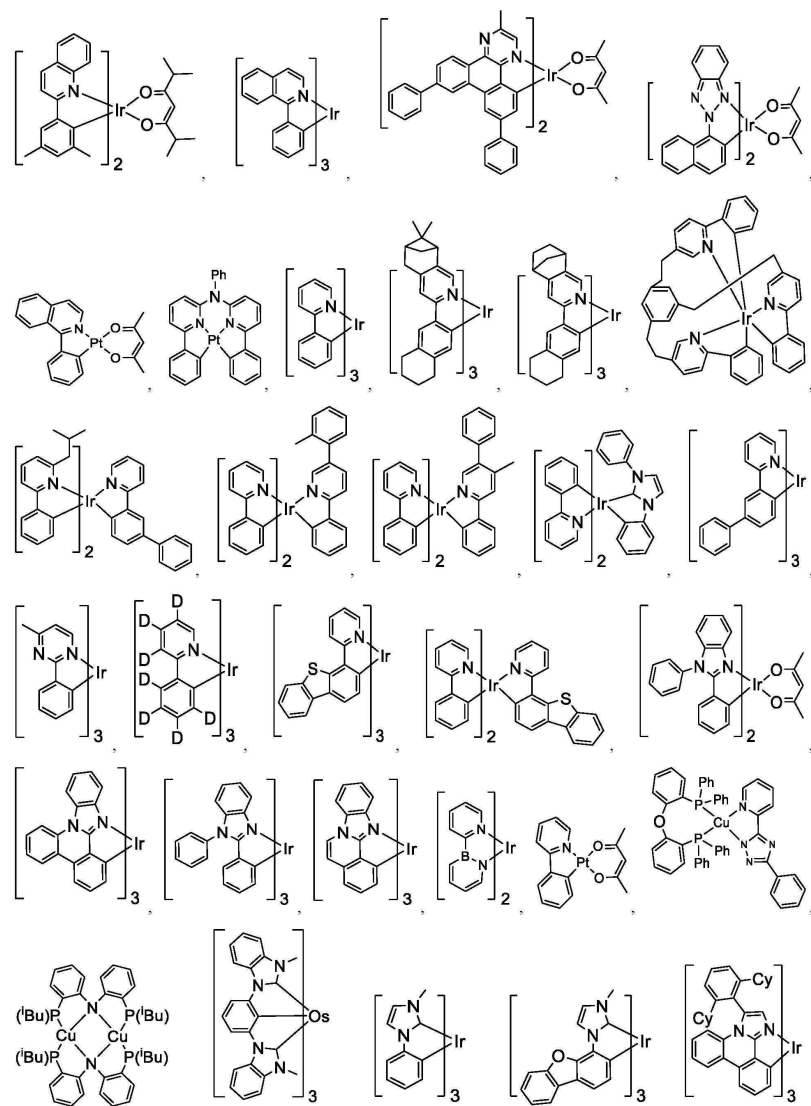
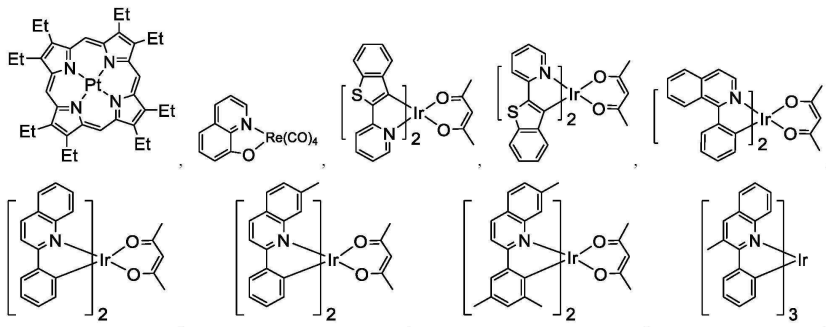
[0514]

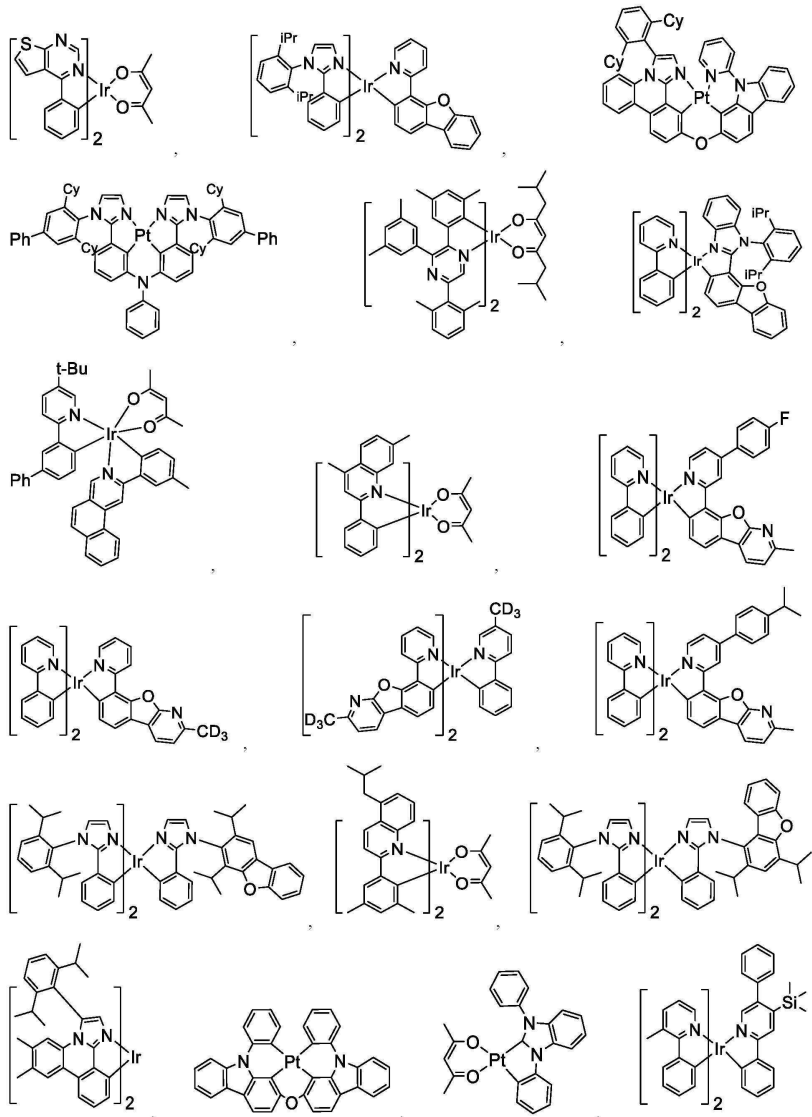
[0515] e) 추가의 이미터:

[0516] 하나 이상의 추가의 이미터 도펀트가 본 개시내용의 화합물과 결합하여 사용될 수 있다. 추가의 이미터 도펀트의 예는 특별히 한정되지 않으며, 이미터 물질로서 전형적으로 사용되는 한 임의의 화합물이 사용될 수 있다. 적합한 이미터 물질의 예는, 인광, 형광, 열 활성화 지연 형광, 즉, TADF(또한 E형 지연 형광으로도 지칭됨), 삼중항-삼중항 소멸 또는 이들 과정의 조합을 통해 발광을 일으킬 수 있는 화합물을 포함하지만, 이에 제한되지 않는다.

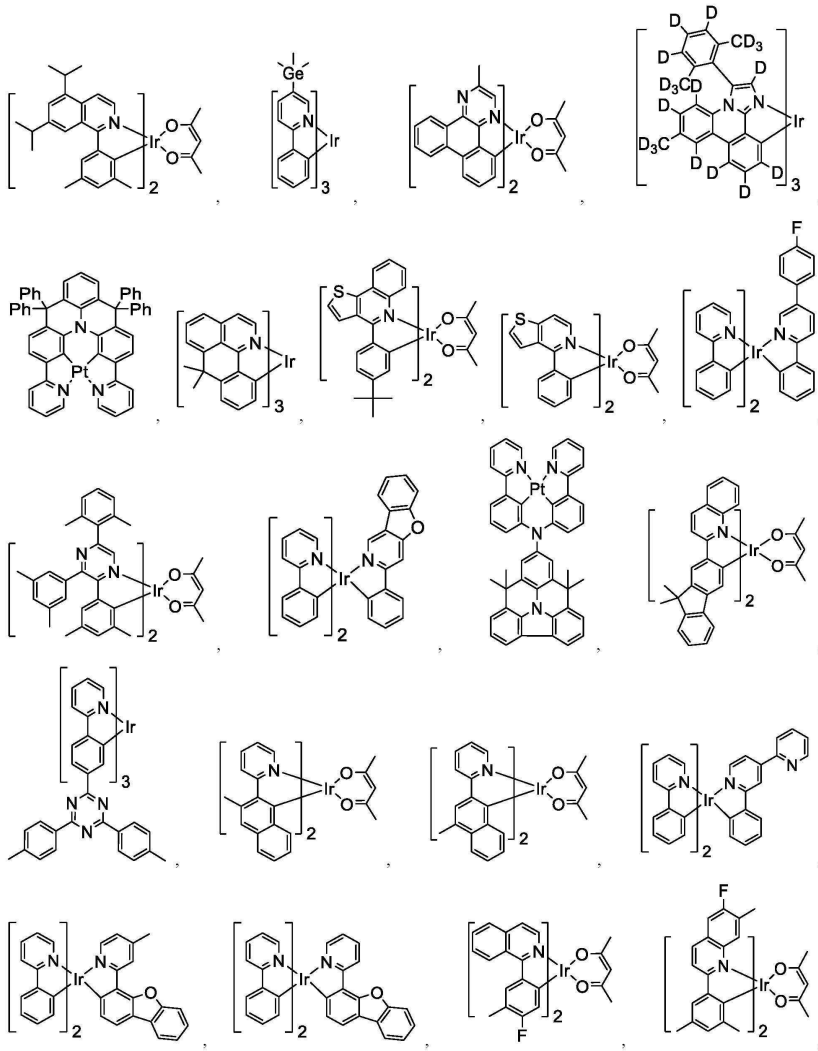
[0517] 본원에 개시된 물질과의 조합으로 OLED에 사용될 수 있는 이미터 물질의 비제한적인 예시는 그 물질들을 개시하는 참조문헌과 함께 하기에 예시되어 있다: CN103694277, CN1696137, EB01238981, EP01239526, EP01961743, EP1239526, EP1244155, EP1642951, EP1647554, EP1841834, EP1841834B, EP2062907, EP2730583, JP2012074444, JP2013110263, JP4478555, KR1020090133652, KR20120032054, KR20130043460, TW201332980, US06699599, US06916554, US20010019782, US20020034656, US20030068526, US20030072964, US20030138657, US20050123788, US20050244673, US2005123791, US2005260449, US20060008670, US20060065890, US20060127696, US20060134459, US20060134462, US20060202194, US20060251923, US20070034863, US20070087321, US20070103060, US20070111026, US20070190359, US20070231600, US2007034863, US2007104979, US2007104980, US2007138437, US2007224450, US2007278936, US20080020237, US20080233410, US20080261076, US20080297033, US200805851, US2008161567, US2008210930, US20090039776, US20090108737, US20090115322, US20090179555, US2009085476, US2009104472, US20100090591, US20100148663, US20100244004, US20100295032, US2010102716, US2010105902, US2010244004, US2010270916, US20110057559, US20110108822, US20110204333, US2011215710, US2011227049, US2011285275, US2012292601, US20130146848, US2013033172, US2013165653, US2013181190, US2013334521, US20140246656, US2014103305, US6303238, US6413656, US6653654, US6670645, US6687266, US6835469, US6921915, US7279704, US7332232, US7378162, US7534505, US7675228, US7728137, US7740957, US7759489, US7951947, US8067099, US8592586, US8871361, WO06081973, WO06121811, WO07018067, WO07108362, WO07115970, WO07115981, WO08035571, WO2002015645, WO2003040257, WO2005019373, WO2006056418,

WO2008054584, WO2008078800, WO2008096609, WO2008101842, WO2009000673, WO2009050281, WO2009100991, WO2010028151, WO2010054731, WO2010086089, WO2010118029, WO2011044988, WO2011051404, WO2011107491, WO2012020327, WO2012163471, WO2013094620, WO2013107487, WO2013174471, WO2014007565, WO2014008982, WO2014023377, WO2014024131, WO2014031977, WO2014038456, WO2014112450.

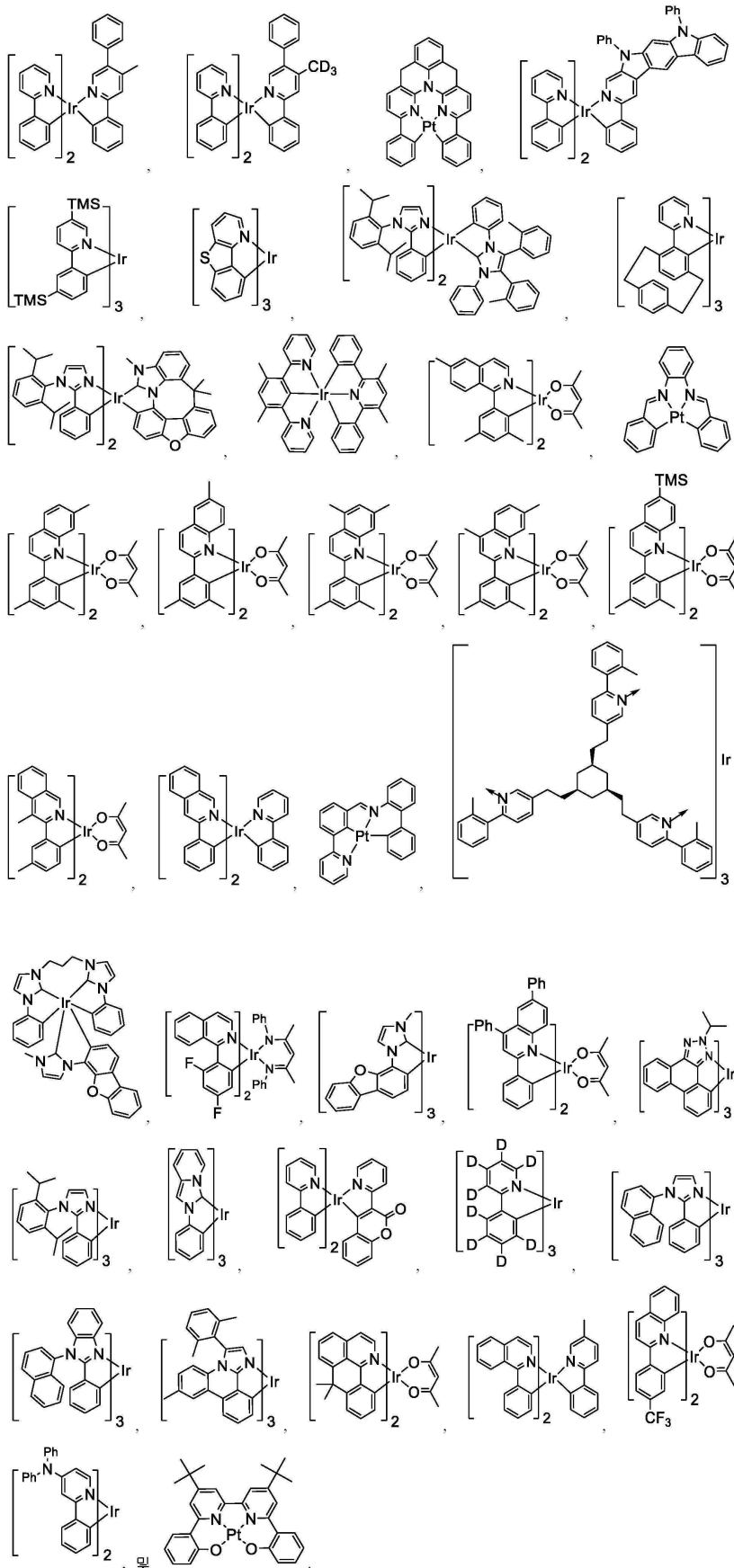




[0520]



[0521]



[0522]

[0523]

[0524]

[0525]

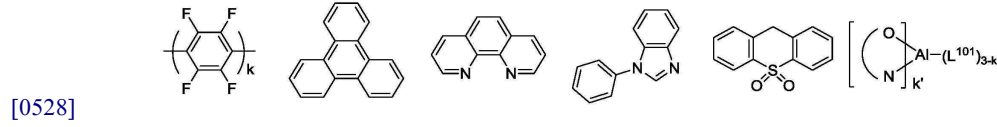
f) HBL:

정공 차단층(HBL)은 발광층을 떠나는 정공 및/또는 엑시톤의 수를 감소시키기 위해 사용될 수 있다. 디바이스 내의 이러한 차단층의 존재는 차단층이 없는 유사한 디바이스와 비교했을 때 상당히 더 높은 효율 및/또는 더

긴 수명을 유도할 수 있다. 또한, 차단층은 OLED의 원하는 영역에 발광을 국한시키기 위해 사용될 수 있다. 일부 실시양태에서, HBL 물질은 HBL 계면에 가장 가까운 이미터보다 더 낮은 HOMO(진공 준위로부터 보다 먼) 및/또는 더 높은 삼중항 에너지를 갖는다. 일부 실시양태에서, HBL 물질은 HBL 계면에 가장 가까운 호스트들 중 하나 이상보다 더 낮은 HOMO(진공 준위로부터 보다 먼) 및/또는 더 높은 삼중항 에너지를 갖는다.

[0526] 한 측면에서, HBL에 사용되는 화합물은 전술한 호스트로 사용되는 동일한 분자 또는 동일한 작용기를 함유한다.

[0527] 또 다른 측면에서, HBL에 사용되는 화합물은 분자에 하기 기들 중 하나 이상을 함유한다:

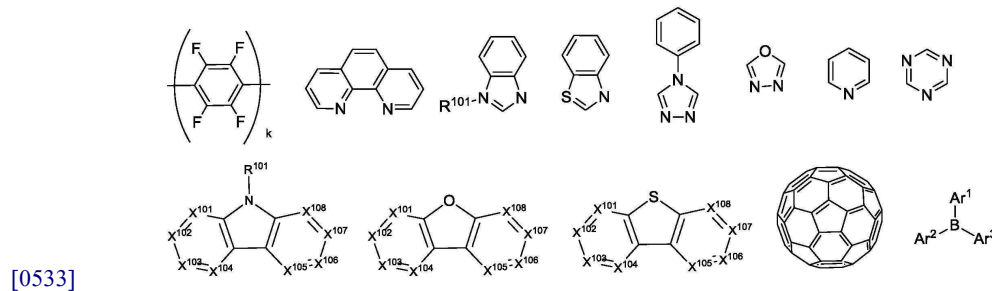


[0529] 여기서 k는 1 내지 20의 정수이며; L¹⁰¹은 또 다른 리간드이고, k'은 1 내지 3의 정수이다.

[0530] **g) ETL:**

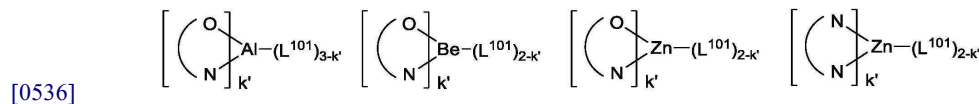
[0531] 전자 수송층(ETL)은 전자를 수송할 수 있는 물질을 포함할 수 있다. 전자 수송층은 고유하거나(도핑되지 않음) 또는 도핑될 수 있다. 도핑은 전도성을 향상시키는데 사용될 수 있다. ETL 물질의 예는 특별히 제한되지는 않으며, 통상적으로 전자를 수송하는데 사용되는 한 임의의 금속 착물 또는 유기 화합물이 사용될 수 있다.

[0532] 한 측면에서, ETL에 사용되는 화합물은 분자에서 하기 기 중 하나 이상을 포함한다:



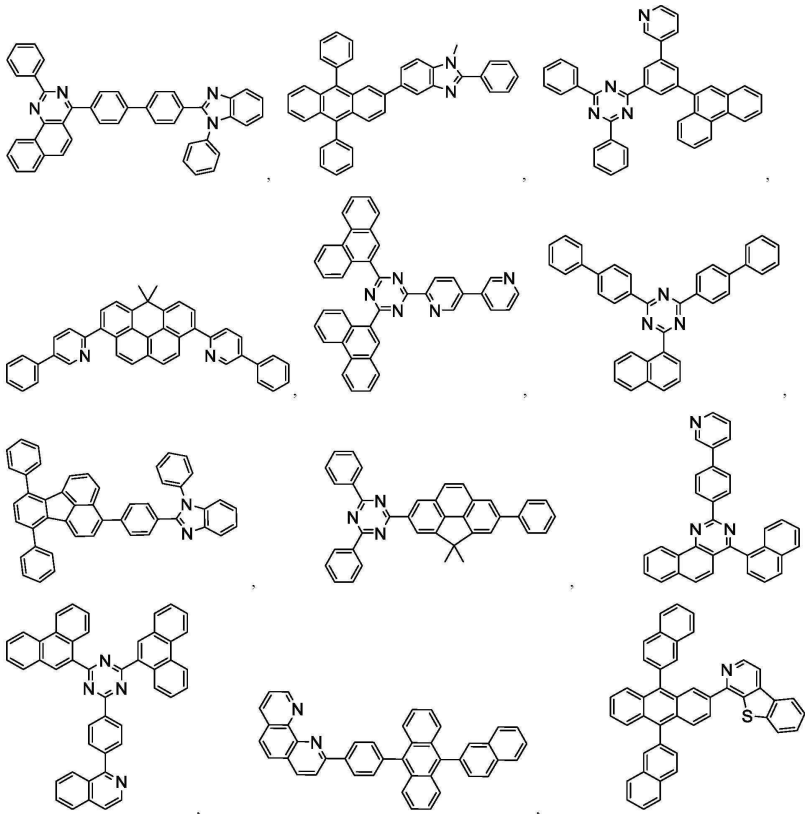
[0534] 여기서 R¹⁰¹은 수소, 중수소, 할로젠, 알킬, 시클로알킬, 헤테로알킬, 헤테로시클로알킬, 아릴알킬, 알콕시, 아릴옥시, 아미노, 실릴, 알케닐, 시클로알케닐, 헤테로알케닐, 알킬닐, 아릴, 헤테로아릴, 아실, 카르복실산, 에테르, 에스테르, 니트릴, 이소니트릴, 술폰닐, 술피닐, 술폰닐, 포스피노 및 이들의 조합으로 이루어진 군으로부터 선택되며, 아릴 또는 헤테로아릴인 경우, 상기 기술한 Ar과 유사한 정의를 가진다. Ar¹ 내지 Ar³는 상기 기술한 Ar과 유사한 정의를 가진다. k는 1 내지 20의 정수이다. X¹⁰¹ 내지 X¹⁰⁸은 C(CH 포함) 또는 N으로부터 선택된다.

[0535] 또 다른 측면에서, ETL에 사용되는 금속 착물은 하기 일반식을 포함하나, 이에 제한되지 않는다:

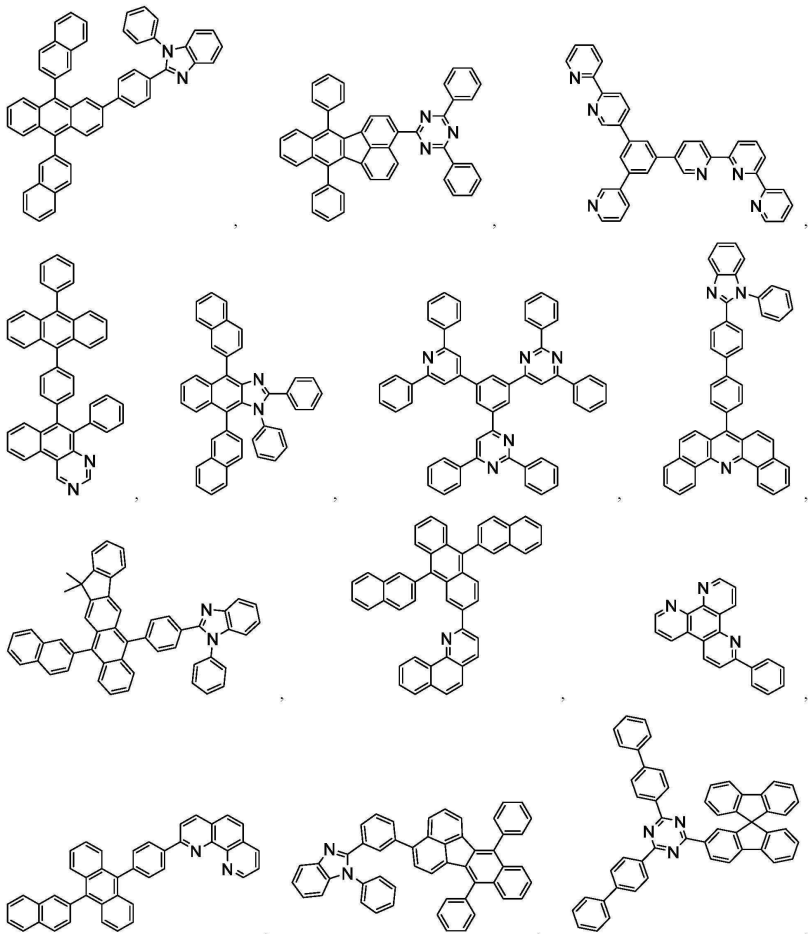


[0537] 여기서 (O-N) 또는 (N-N)은 원자 O, N 또는 N, N에 배위된 금속을 갖는 2좌 리간드이며; L¹⁰¹은 또 다른 리간드이며; k'은 1 내지 금속에 부착될 수 있는 리간드의 최대 수인 정수 값이다.

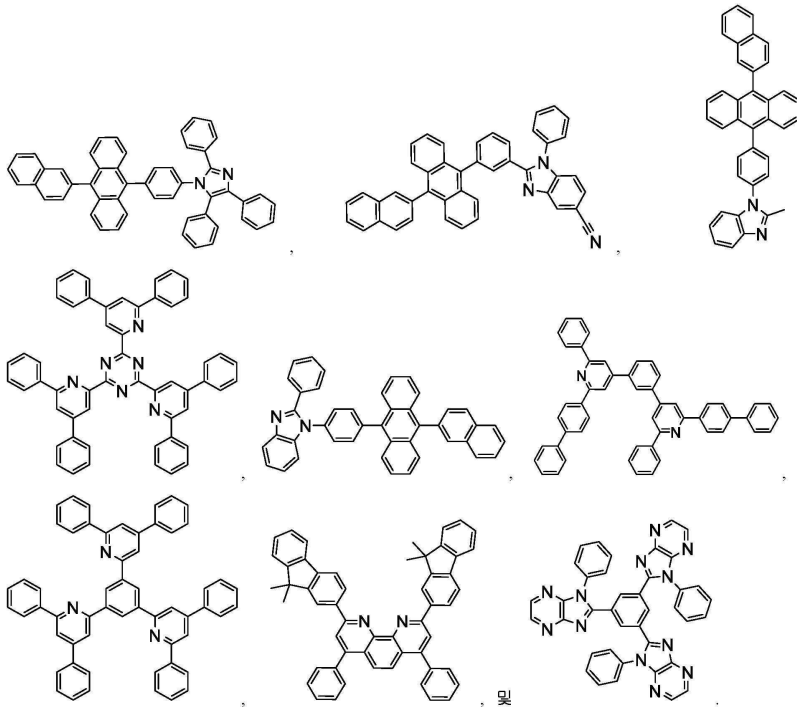
[0538] 본원에 개시된 물질과의 조합으로 OLED에서 사용될 수 있는 ETL 물질의 비제한적인 예는, 그 물질들을 개시하는 참조문헌과 함께 하기에 예시되어 있다: CN103508940, EP01602648, EP01734038, EP01956007, JP2004-022334, JP2005149918, JP2005-268199, KR0117693, KR20130108183, US20040036077, US20070104977, US2007018155, US20090101870, US20090115316, US20090140637, US20090179554, US2009218940, US2010108990, US2011156017, US2011210320, US2012193612, US2012214993, US2014014925, US2014014927, US20140284580, US6656612, US8415031, WO2003060956, WO2007111263, WO2009148269, WO2010067894, WO2010072300, WO2011074770, WO2011105373, WO2013079217, WO2013145667, WO2013180376, WO2014104499, WO2014104535,



[0539]



[0540]



[0541]

[0542] **h) 전하 생성층(CGL)**

[0543] 탠덤형(tandem) 또는 적층형 OLED에서, CGL은 성능 면에서 필수적인 역할을 수행하며, 이는 각각 전자와 정공을 주입하기 위한 n-도핑된 층 및 p-도핑된 층으로 구성된다. 전자와 정공은 CGL 및 전극으로부터 공급된다. CGL에서 소모된 전자와 정공은 각각 캐소드와 애노드로부터 주입된 전자와 정공에 의해 다시 채워지며; 그 후, 바이폴라 전류가 점차적으로 정상 상태에 도달한다. 통상의 CGL 물질은 수송층에서 사용되는 n 및 p 전도성 도펀트를 포함한다.

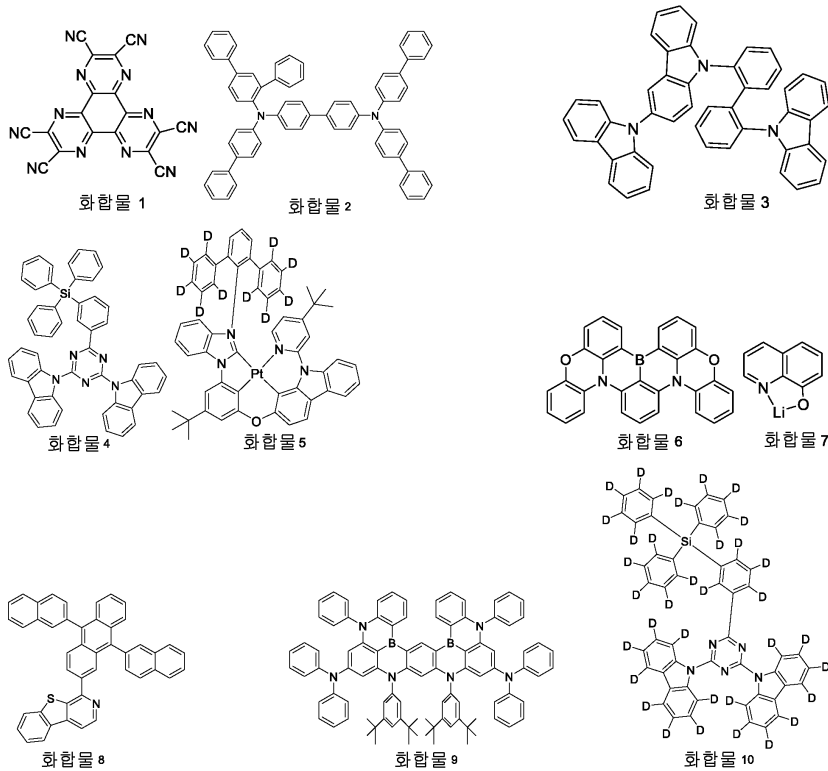
[0544] OLED 디바이스의 각 층에서 사용되는 임의의 상기 언급한 화합물들에서, 수소 원자는 부분적으로 또는 완전하게 중수소화될 수 있다. 중수소화되는 화합물의 수소의 최소량은 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90%, 95%, 99%, 및 100%로 이루어진 군으로부터 선택된다. 따라서, 임의의 구체적으로 열거된 치환기, 예컨대, 비제한적으로, 메틸, 페닐, 피리딜 등은 이의 비중수소화, 부분 중수소화 및 완전 중수소화된 형태일 수 있다. 마찬가지로, 치환기 유형, 예컨대, 비제한적으로, 알킬, 아릴, 시클로알킬, 헤테로아릴 등은 또한 이의 비중수소화, 부분 중수소화 및 완전 중수소화된 형태일 수 있다.

[0545] 본원에 기술된 다양한 실시양태는 단지 예시이며, 본 발명의 범위를 한정하려는 것이 아님을 이해해야 한다. 예를 들어, 본원에 기술된 다수의 물질 및 구조는 본 발명의 사상으로부터 벗어나지 않으면서 다른 물질 및 구조로 대체될 수 있다. 따라서, 특히 청구된 본 발명은 당업자에게 명백한 바와 같이, 본원에 기술된 특정 실시예 및 바람직한 실시양태로부터 유래하는 변형예를 포함할 수도 있다. 본 발명이 왜 효과가 있는지에 관한 다양한 이론을 한정하려는 의도는 없음을 이해하여야 한다.

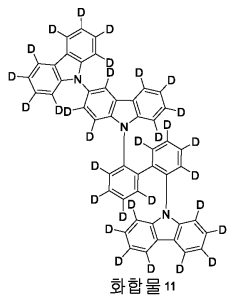
[0546] 또한 본원에 기술된 모든 화합물 및 디바이스의 실시양태는 이러한 실시양태가 또한 전체 개시내용의 다른 측면 하에서 적용 가능한 경우 상호 교환적일 수 있음을 이해해야 한다.

[0547] **E. 실험 섹션**

[0548] 하기 재료 세트로 OLED 디바이스를 제작하였다.



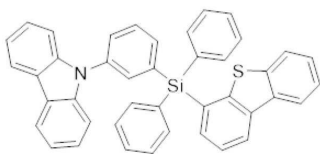
[0549]



[0550]

[0551] 이미터로서의 각각의 화합물 5, 화합물 6, 및 화합물 9에 대한 VDR 테스트 필름을 호스트 화합물 A 중 5% 이미터 조성을 갖는 400 Å 두께 필름의 진공 열 증발을 통해 제작하였다.

[0552] 호스트 화합물 A



[0553]

[0554] 화합물 5의 측정된 VDR은 0.33이고, 화합물 6의 측정된 VDR은 0.39이고, 화합물 9의 측정된 VDR은 0.11이다.

[0555] 표 1은 녹색 TADF 엑셉터를 갖거나 갖지 않는 청색 인광 OLED의 디바이스 결과를 열거한다. 플라즈몬 PHOLED 데이터는 강화층의 플라즈몬 모드에 커플링되고 이어서 광으로 전환된 에너지만 고려한다. 참조 PHOLED 데이터는 종래의 하단 발광 디바이스에 대한 것이다.

[0556] 표 1의 플라즈몬 PHOLED 데이터는 플라즈몬 커플링을 최소화하기 위한 종래의 층 두께에 기반한 참조 PHOLED에 대한 EL 트랜지언트 속도 향상을 나타낸다. 엑셉터가 시스템에 도입되는 경우 트랜지언트가 더 속도 향상되며, 이는 여기 상태 수명(EL 트랜지언트에 의해 측정됨)이 플라즈몬 커플링에 의해 속도 향상되고 증감에 의해 더 속도 향상된다는 본 발명자들의 주장을 뒷받침한다. 이는 디바이스 안정성에 대한 복합적인 유익한 효과를 가질 수 있다. 또한 참조 PHOLED 여기 상태 트랜지언트는 엑셉터가 존재할 때 속도 향상되지만, 여기 상태 LT는 증감

플라즈몬 PHOLED의 수준에 도달하지 않는다.

- [0557] 파장이 청색에서 녹색으로 이동한다는 사실은 도 4에 설명된 바와 같이 엑셉터가 또한 S1에서 플라즈몬 모드로 에너지를 커플링한다는 것을 나타낸다.
- [0558] 15-Ω/sq의 시트 저항을 갖는 인듐 주석 산화물(ITO)로 사전 코팅된 유리 기판 상에 OLED를 성장시킨다. 임의의 유기층 증착 또는 코팅 전에, 기판을 용매로 탈지하고 이어서 100 mTorr에서 50 W로 1.5분 동안 산소 플라즈마로 처리하고 5분 동안 UV 오존으로 처리하였다.
- [0559] 이 작업에서 디바이스를 열 증발로 고진공($< 10^{-6}$ Torr)에서 제작하였다. 애노드 전극은 750 Å의 인듐 주석 산화물(ITO)이었다.
- [0560] 플라즈몬 PHOLED 디바이스 실시예는 순차적으로 ITO 표면, 100 Å 두께 화합물 1(HIL), 화합물 2의 250 Å 층(HTL), 50 Å의 화합물 3(EBL), 40% 화합물 4로 도핑되고 12%의 화합물 5로 도핑되고 [0%, 1%]의 화합물 6으로 도핑된 100 Å의 화합물 3(EML), 50 Å의 화합물 4(BL), 35%의 화합물 8로 도핑된 100 Å의 화합물 7(ETL), 10 Å의 화합물 7(EIL), 은 캐소드, 및 나노입자계 아웃커플링 스킴으로 이루어진 유기층을 가졌다.
- [0561] 참조 PHOLED 디바이스 실시예는 순차적으로 ITO 표면, 100 Å 두께 화합물 1(HIL), 화합물 2의 250 Å 층(HTL), 50 Å의 화합물 3(EBL), 40% 화합물 4로 도핑되고 12%의 화합물 5로 도핑되고 [0%, 1%]의 화합물 6으로 도핑된 300 Å의 화합물 3(EML), 50 Å의 화합물 4(BL), 35%의 화합물 8로 도핑된 300 Å의 화합물 7(ETL), 10 Å의 화합물 7(EIL), 및 1,000 Å의 Al(캐소드)로 이루어진 유기층을 가졌다.
- [0562] 모든 디바이스는 제작 직후 패키지 내에 통합된 수분 게터(getter)를 갖는 질소 글로브 박스(<1 ppm의 H₂O 및 O₂)에서 에폭시 수지로 밀봉된 유리 덮개로 캡슐화되었다. 도핑 퍼센트는 부피 퍼센트 단위이다.
- [0563] 스펙트럼 측정(Instrument Systems CAS140D/TOP200)을 10 mA/cm²에서 수행하였다. 소스-측정 유닛(Agilent B2902A)을 이용하여 전기 측정을 수행하였다. 오실로스코프(National Instruments PXIe-5110)에 연결된 섬유 커플링 광전자 증배관(Hamamatsu H10721-20)을 이용하여 EL 트랜지언트 측정을 수행하였다. OLED는 특정 전류 밀도 및 -2 V의 역방향 바이어스를 제공하도록 설정된 순방향 바이어스를 사용하여 4 kHz에서 구형파 함수 발생기(National Instruments PXIe-5413)에 의해 구동된다. 전류 밀도에 대한 정규화된 EQE의 곡선을 분석하여 피크 EQE의 90%와 95% 사이의 지점을 선택함으로써 전류 밀도가 선택되어, 의도적으로 임의의 롤-오프를 피하여 측정된 트랜지언트 시간을 변경하는 임의의 이중 분자 상호작용을 방지한다. 이어서 8,192 스캔 평균 붕괴 곡선이 후처리되어 모든 데이터가 0보다 크음을 보장하고, 이어서 정규화된다. 기준선을 이용한 이중지수 피팅은 데이터의 하위 ~85%에 적용된다(전압 턴오프 직후의 피팅 이상을 방지하기 위함).

표 1

디바이스	엑셉터가 존재하는가?	피크 발광 파장 (nm)	EL 트랜지언트 (ns)	전압 (V)
플라즈몬 PHOLED	아니오	468	529	3.4
	예	508	399	3.4
참조 PHOLED	아니오	467	2030	4.2
	예	508	1430	4.2

[0564]

- [0565] 또한, 고도로 수평으로 정렬된 VDR을 갖는 엑셉터와 거의 등방성인 VDR을 갖는 인광 물질을 이용하여 효율이 크게 개선되었다. 순차적으로 ITO 표면, 100 Å의 화합물 1(HIL), 250 Å의 화합물 2(HTL), 50 Å의 화합물 3(EBL), 50%의 화합물 10, 12%의 화합물 5 및 0% 또는 0.8%의 화합물 9로 도핑된 300 Å의 화합물 11(EML), 50 Å의 EHost(BL), 35%의 화합물 6으로 도핑된 300 Å의 화합물 5(ETL), 10 Å의 화합물 5(EIL)에 이어 1,000 Å의 Al(캐소드)로 이루어진 유기층을 갖는 2개의 디바이스를 성장시켰다. 발광 특성 및 EQE를 10 mA/cm²에서 취하고 표 2에 나타내었다. 실시예 1의 EQE는 비교예 1의 값에 상대적으로 나타내었다.

표 2

디바이스 데이터

디바이스	역선택터 함유	CIE	λ_{max} (nm)	상대 EQE
실시예 1	예	(0.125, 0.137)	470	1.38
비교예 1	아니오	(0.139, 0.230)	468	1.0

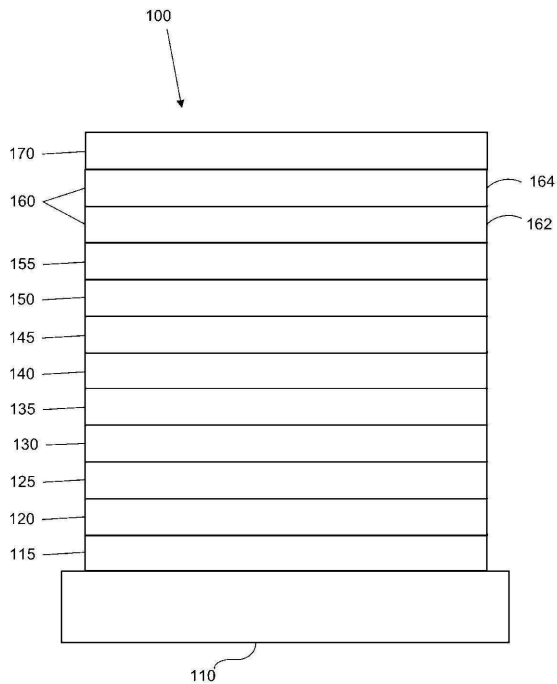
[0566]

[0567]

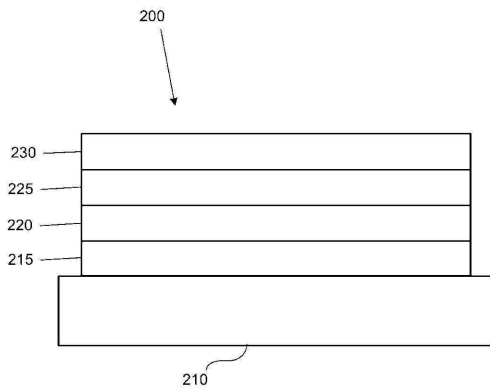
상기 데이터는 고 VDR 인광 증감제로 저 VDR 역선택터를 증감시켜 EQE가 크게 증가하였음을 나타낸다. EQE의 38% 증가는 실험 오차에 기인할 수 있는 어떠한 값보다도 큰 것이며 관찰된 개선은 유의한 것이다. 디바이스 구조는 유사하며 유일한 차이는 0.8%의 형광 역선택터를 추가한 것이라는 사실에 기초하면, 상기 데이터에서 관찰된 상당한 성능 개선은 예상치 못한 것이다. 어떠한 이론에도 구속되지 않고, 이러한 개선은 VDR이 낮아 형광 역선택터로 에너지 전달이 빨라 캐소드로부터 플라즈몬 모드에 대한 커플링이 감소했기 때문일 수 있다.

도면

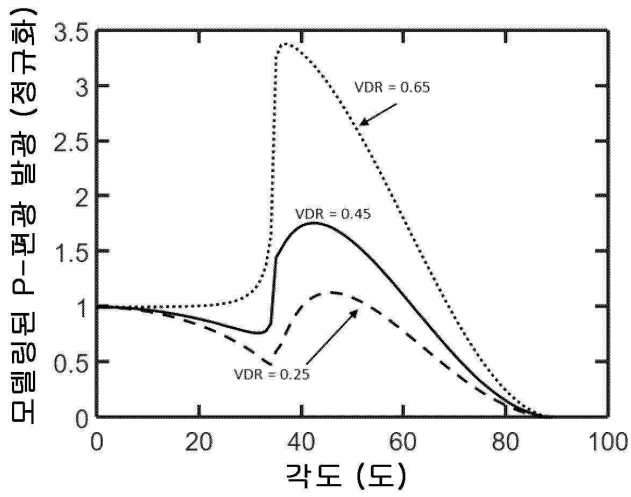
도면1



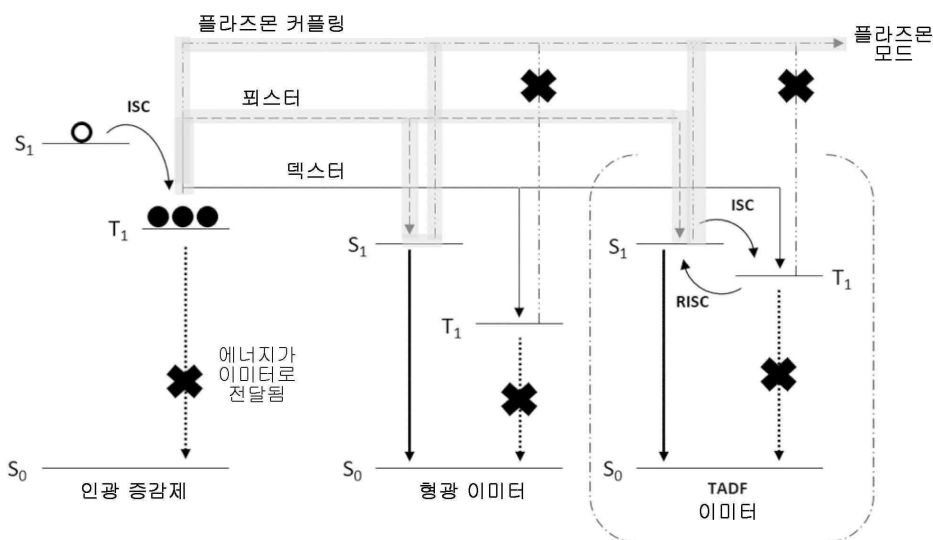
도면2



도면3



도면4



도면5

