



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2019년11월14일
(11) 등록번호 10-2024811
(24) 등록일자 2019년09월18일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 51/00 (2006.01) H01L 51/50 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H01L 51/0085 (2013.01)
H01L 51/5004 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2018-0045104
(22) 출원일자 2018년04월18일
심사청구일자 2018년04월18일
(65) 공개번호 10-2019-0014460
(43) 공개일자 2019년02월12일
(30) 우선권주장
1020170098243 2017년08월02일 대한민국(KR)
(56) 선행기술조사문헌
JP2008053557 A*
(뒷면에 계속)

(73) 특허권자
서울대학교산학협력단
서울특별시 관악구 관악로 1 (신림동)
(72) 발명자
김장주
서울특별시 종로구 창의문로5길 32-2 (부암동)
이창현
경상남도 창원시 의창구 팔용로423번길 9 (팔용동)
(74) 대리인
리앤목특허법인

전체 청구항 수 : 총 10 항

심사관 : 최정예

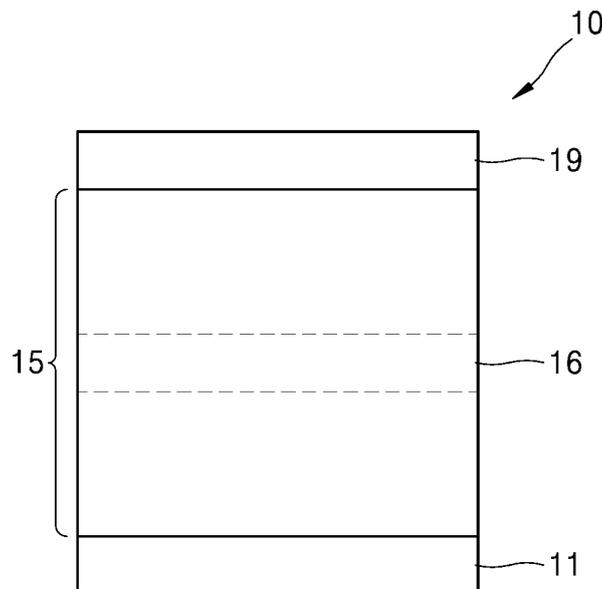
(54) 발명의 명칭 유기 발광 소자

(57) 요약

제1전극; 제2전극; 및 상기 제1전극 및 상기 제2전극 사이에 개재된 유기층을 포함하고;
상기 유기층은 발광층을 포함하고;
상기 발광층은 제1화합물, 제2화합물 및 제3화합물을 포함하고;

(뒷면에 계속)

대표도 - 도1



상기 제1화합물, 상기 제2화합물 및 상기 제3화합물은 하기 식 1 내지 3을 만족하는, 유기 발광 소자가 개시된다:

<식 1>

$$|H_{\text{HOMO}} - SD_{\text{HOMO}}| \geq 0.1 \text{ eV}$$

<식 2>

$$\mu_{\text{SD}} \geq 3.2 \text{ debye}$$

<식 3>

$$H_{\text{S1}} > SD_{\text{S1}} > FD_{\text{S1}}$$

상기 식 1 내지 3 중,

H_{HOMO} 는 제1화합물의 최고준위 점유 분자 오비탈 에너지 레벨이고, SD_{HOMO} 는 제2화합물의 최고준위 점유 분자 오비탈 에너지 레벨이고,

μ_{SD} 는 제2화합물의 쌍극자 모멘트 값이고,

H_{S1} 는 제1화합물의 최저 여기 일중항 에너지 레벨이고, SD_{S1} 는 제2화합물의 최저 여기 일중항 에너지 레벨이고, $FDS1$ 는 제3화합물의 최저 여기 일중항 에너지 레벨이다.

(56) 선행기술조사문헌

KR1020120100751 A*

KR1020160044522 A*

KR1020160101519 A

KR1020130115027 A

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

명세서

청구범위

청구항 1

제1전극; 제2전극; 및 상기 제1전극 및 상기 제2전극 사이에 개재된 유기층을 포함하고;

상기 유기층은 발광층을 포함하고;

상기 발광층은 제1화합물, 제2화합물 및 제3화합물을 포함하고;

상기 제1화합물, 상기 제2화합물 및 상기 제3화합물은 하기 식 1 내지 3을 만족하고,

상기 제2화합물은 인광 도펀트 또는 지연 형광 도펀트이고,

상기 제3화합물을 형광을 방출하는, 유기 발광 소자.

<식 1>

$$|H_{\text{HOMO}} - SD_{\text{HOMO}}| \geq 0.1 \text{ eV}$$

<식 2>

$$\mu_{\text{SD}} \geq 3.2 \text{ debye}$$

<식 3>

$$H_{\text{S1}} > SD_{\text{S1}} > FD_{\text{S1}}$$

상기 식 1 내지 3 중,

H_{HOMO} 는 제1화합물의 최고준위 점유 분자 오비탈 에너지 레벨이고, SD_{HOMO} 는 제2화합물의 최고준위 점유 분자 오비탈 에너지 레벨이고,

μ_{SD} 는 제2화합물의 쌍극자 모멘트 값이고,

H_{S1} 는 제1화합물의 최저 여기 일중항 에너지 레벨이고, SD_{S1} 는 제2화합물의 최저 여기 일중항 에너지 레벨이고, FD_{S1} 는 제3화합물의 최저 여기 일중항 에너지 레벨이다.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 제3화합물은 하기 식 4를 더 만족하는, 유기 발광 소자:

<식 4>

$$\mu_{\text{FD}} \leq 2.0 \text{ debye}$$

상기 식 4 중,

μ_{FD} 는 제3화합물의 쌍극자 모멘트 값이다.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 제1화합물 및 상기 제2화합물은 하기 식 1 및 2-1을 만족하거나; 상기 제1화합물 및 상기 제2화합물은 하기 식 1-1 및 2를 만족하는, 유기 발광 소자:

<식 1>

$$|H_{\text{HOMO}} - SD_{\text{HOMO}}| \geq 0.1 \text{ eV}$$

<식 1-1>

$$|H_{\text{HOMO}} - SD_{\text{HOMO}}| \geq 0.3 \text{ eV}$$

<식 2>

$$\mu_{\text{SD}} \geq 3.2 \text{ debye}$$

<식 2-1>

$$\mu_{\text{SD}} \geq 6.0 \text{ debye}$$

상기 식 1, 1-1, 2 및 2-1 중,

H_{HOMO} 는 제1화합물의 최고준위 점유 분자 오비탈 에너지 레벨이고, SD_{HOMO} 는 제2화합물의 최고준위 점유 분자 오비탈 에너지 레벨이고,

μ_{SD} 는 제2화합물의 쌍극자 모멘트 값이다.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 제1화합물 및 상기 제2화합물은 하기 식 1A를 만족하는, 유기 발광 소자:

<식 1A>

$$SD_{\text{HOMO}} - H_{\text{HOMO}} \geq 0.1 \text{ eV.}$$

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 제1화합물 및 상기 제2화합물은 하기 식 1A 및 2-1을 만족하거나; 상기 제1화합물 및 상기 제2화합물은 하기 식 1-1A 및 2를 만족하는, 유기 발광 소자:

<식 1A>

$$SD_{\text{HOMO}} - H_{\text{HOMO}} \geq 0.1 \text{ eV}$$

<식 1-1A>

$$SD_{\text{HOMO}} - H_{\text{HOMO}} \geq 0.3 \text{ eV}$$

<식 2>

$$\mu_{\text{SD}} \geq 3.2 \text{ debye}$$

<식 2-1>

$$\mu_{\text{SD}} \geq 6.0 \text{ debye}$$

상기 식 1, 1-1, 2 및 2-1 중,

H_{HOMO} 는 제1화합물의 최고준위 점유 분자 오비탈 에너지 레벨이고, SD_{HOMO} 는 제2화합물의 최고준위 점유 분자 오비탈 에너지 레벨이고,

μ_{SD} 는 제2화합물의 쌍극자 모멘트 값이다.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 제2화합물은 원자량 40 이상의 금속 원자를 포함하는, 유기 발광 소자.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 제2화합물은 호모레픽 유기 금속 화합물인, 유기 발광 소자.

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 제2화합물은 빛을 방출하지 않는, 유기 발광 소자.

청구항 9

제1항에 있어서,

상기 발광층은 제4화합물을 더 포함하는, 유기 발광 소자.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 제1화합물 및 상기 제4화합물은 엑시플렉스를 형성하는, 유기 발광 소자.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 유기 발광 소자에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 유기 발광 소자(organic light-emitting device)는 유기 화합물에 전류가 흐르면 빛을 내는 전계 발광 현상을 이용하여, 스스로 빛을 내는 자발광형 소자이다.

[0003] 상기 유기 발광 소자는 제1전극 상부에, 발광층을 포함하는 유기층 및 제2전극이 순차적으로 형성되어 있는 구조를 가질 수 있다. 상기 제1전극으로부터 주입된 정공 및 제2전극으로부터 주입된 전자가 상기 발광층으로 이동할 수 있다. 상기 정공 및 전자와 같은 캐리어들은 상기 발광층 영역에서 재결합하여 엑시톤(exiton)을 생성할 수 있다. 이 엑시톤이 여기 상태에서 기저상태로 변하면서 광이 생성된다.

[0004] 형광을 방출하는 유기 발광 소자는 인광을 방출하는 유기 발광 소자에 비하여 상대적으로 내부 양자 효율이 낮으며, 인광을 방출하는 유기 발광 소자는 형광을 방출하는 유기 발광 소자에 비하여 상대적으로 수명이 짧다는 단점이 있다. 따라서, 내부 양자 효율 및 수명이 모두 개선된 유기 발광 소자를 개발할 필요가 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 본 발명의 실시예들은 유기 발광 소자를 제공한다. 구체적으로, 개선된 내부 양자 효율 및 수명을 갖는 유기 발광 소자를 제공한다.

과제의 해결 수단

[0006] 본 발명의 일 측면에 따르면, 제1전극; 제2전극; 및 상기 제1전극 및 상기 제2전극 사이에 개재된 유기층을 포함하고; 상기 유기층은 발광층을 포함하고; 상기 발광층은 제1화합물, 제2화합물 및 제3화합물을 포함하고; 상기 제1화합물, 상기 제2화합물 및 상기 제3화합물은 하기 식 1 내지 3을 만족하는, 유기 발광 소자가 제공된다:

[0007] <식 1>

- [0008] $|H_{\text{HOMO}} - SD_{\text{HOMO}}| \geq 0.1 \text{ eV}$
- [0009] <식 2>
- [0010] $\mu_{\text{SD}} \geq 3.2 \text{ debye}$
- [0011] <식 3>
- [0012] $H_{\text{S1}} > SD_{\text{S1}} > FD_{\text{S1}}$
- [0013] 상기 식 1 내지 3 중,
- [0014] H_{HOMO} 는 제1화합물의 최고준위 점유 분자 오비탈 에너지 레벨이고, SD_{HOMO} 는 제2화합물의 최고준위 점유 분자 오비탈 에너지 레벨이고,
- [0015] μ_{SD} 는 제2화합물의 쌍극자 모멘트 값이고,
- [0016] H_{S1} 는 제1화합물의 최저 여기 일중항 에너지 레벨이고, SD_{S1} 는 제2화합물의 최저 여기 일중항 에너지 레벨이고, FD_{S1} 는 제3화합물의 최저 여기 일중항 에너지 레벨이다.
- [0017] 본 실시예 중, 상기 제3화합물은 하기 식 4를 더 만족할 수 있다:
- [0018] <식 4>
- [0019] $\mu_{\text{FD}} \leq 2.0 \text{ debye}$
- [0020] 상기 식 4 중,
- [0021] μ_{FD} 는 제3화합물의 쌍극자 모멘트 값이다.
- [0022] 본 실시예 중, 상기 제1화합물, 상기 제2화합물 및 상기 제3화합물은 하기 식 1 및 2-1을 만족하거나; 상기 제1화합물, 상기 제2화합물 및 상기 제3화합물은 하기 식 1-1 및 2를 만족할 수 있다:
- [0023] <식 1>
- [0024] $|H_{\text{HOMO}} - SD_{\text{HOMO}}| \geq 0.1 \text{ eV}$
- [0025] <식 1-1>
- [0026] $|H_{\text{HOMO}} - SD_{\text{HOMO}}| \geq 0.3 \text{ eV}$
- [0027] <식 2>
- [0028] $\mu_{\text{SD}} \geq 3.2 \text{ debye}$
- [0029] <식 2-1>
- [0030] $\mu_{\text{SD}} \geq 6.0 \text{ debye}$
- [0031] 상기 식 1, 1-1, 2 및 2-1 중,
- [0032] H_{HOMO} 는 제1화합물의 최고준위 점유 분자 오비탈 에너지 레벨이고, SD_{HOMO} 는 제2화합물의 최고준위 점유 분자 오비탈 에너지 레벨이고,
- [0033] μ_{SD} 는 제2화합물의 쌍극자 모멘트 값이다.
- [0034] 본 실시예 중, 상기 제1화합물의 몰농도는 상기 제2화합물의 몰농도 및 상기 제3화합물의 몰농도보다 크거나 같을 수 있다.
- [0035] 본 실시예 중, 상기 제2화합물의 몰농도는 상기 제3화합물의 몰농도보다 크거나 같을 수 있다.
- [0036] 본 실시예 중, 상기 제2화합물은 원자량 40 이상의 금속 원자를 포함할 수 있다.

- [0037] 본 실시예 중, 상기 제2화합물은 호모레딕 유기 금속 화합물일 수 있다.
- [0038] 본 실시예 중, 상기 제3화합물이 빛을 방출할 수 있다.
- [0039] 본 실시예 중, 상기 발광층은 제4화합물을 더 포함할 수 있다.
- [0040] 본 실시예 중, 상기 제1화합물 및 상기 제4화합물은 엑시플렉스를 형성할 수 있다.

발명의 효과

- [0041] 본 발명의 일 실시예에 따른 유기 발광 소자는 개선된 내부 양자 효율 및 수명을 갖는다.

도면의 간단한 설명

- [0042] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 유기 발광 소자의 구조를 개략적으로 나타낸 단면도이다.
 도 2는 B3PYMPM, TCTA, Ir(ppy)₂(acac), Ir(mpp)₂(acac), Ir(ppy)₂(tmd), Ir(ppy)₃, Ir(mppy)₃ 및 Ir(chpy)₃의 HOMO 에너지 레벨 및 LUMO 에너지 레벨을 나타낸 도면이다.
 도 3 내지 6은 각각 참조예 1 내지 3 및 비교참조예 1 내지 3에 대해서, 전류 밀도-구동 전압(J-V), 휘도-구동 전압(L-V), 휘도-구동 전압 및 휘도-외부 양자 효율을 측정하여 그 결과를 나타낸 도면이다.
 도 7은 참조예 1 내지 3 및 비교참조예 1 내지 3에 대한 전이 EL 데이터를 나타낸 도면이다.
 도 8은 Ir(ppy)₂(tmd), Ir(ppy)₂(acac), Ir(mppy)₂(acac), Ir(ppy)₃, Ir(mppy)₃ 및 Ir(chpy)₃에 대한 포획 반경 또는 쌍극자 모멘트 및 트랩 심도에 대한 총 재결합 중 랑주뱅 재결합의 비율을 나타낸 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0043] 이하에서 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 실시예들을 상세히 설명한다. 도면에서 동일한 참조번호는 동일한 구성 요소를 지칭한다.
- [0044] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 유기 발광 소자(10)의 구조를 개략적으로 도시한 단면도이다.
- [0045] 상기 유기 발광 소자(10)는 제1전극(11); 제2전극(19); 제1전극(11) 및 제2전극(19) 사이에 개재된 유기층(15)을 포함하고; 유기층(15)은 발광층(16)을 포함하고; 발광층(16)은 상기 발광층은 제1화합물, 제2화합물 및 제3화합물을 포함하고; 상기 제1화합물, 상기 제2화합물 및 상기 제3화합물은 하기 식 1 내지 3을 만족할 수 있다:
- [0046] <식 1>
- [0047] $|H_{\text{HOMO}} - SD_{\text{HOMO}}| \geq 0.1 \text{ eV}$
- [0048] <식 2>
- [0049] $\mu_{\text{SD}} \geq 3.2 \text{ debye}$
- [0050] <식 3>
- [0051] $H_{\text{S1}} > SD_{\text{S1}} > FD_{\text{S1}}$
- [0052] 상기 식 1 내지 3 중,
- [0053] H_{HOMO} 는 제1화합물의 최고준위 점유 분자 오비탈 에너지 레벨이고, SD_{HOMO} 는 제2화합물의 최고준위 점유 분자 오비탈 에너지 레벨이고,
- [0054] μ_{SD} 는 제2화합물의 쌍극자 모멘트 값이고,
- [0055] H_{S1} 는 제1화합물의 최저 여기 일중항 에너지 레벨이고, SD_{S1} 는 제2화합물의 최저 여기 일중항 에너지 레벨이고, FD_{S1} 는 제3화합물의 최저 여기 일중항 에너지 레벨이다.
- [0056] 유기 발광 소자가 상기 식 1 내지 3을 만족하면, 유기 발광 소자의 삼중항 수확량이 높아질 수 있다. 구체적으로, 상기 제1화합물로부터 상기 제3화합물로의 직접적인 전하 트래핑은 감소할 수 있다. 반면에, 상기 제1화합

물과 상기 제2화합물의 트랩 보조 재결합 비율이 우세해질 수 있고, 상기 제2화합물에서의 역항간 전이 후에 상기 제2화합물로부터 상기 제3화합물로의 전하 트래핑이 증가할 수 있다. 이에 따라, 내부 발광 효율은 100%에 가깝게 향상시킬 수 있어 기존의 형광 유기 발광 소자의 단점을 해결하면서도, 색순도 및 수명은 형광 유기 발광 소자의 장점을 유지하는 유기 발광 소자를 제공할 수 있다.

[0057] 예를 들어, 상기 제3화합물은 하기 식 4를 더 만족할 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다:

[0058] <식 4>

[0059] $\mu_{FD} \leq 2.0 \text{ debye}$

[0060] 상기 식 4 중,

[0061] μ_{FD} 는 제3화합물의 쌍극자 모멘트 값이다.

[0062] 예를 들어, 상기 제1화합물 및 상기 제2화합물은 하기 식 1-1을 만족할 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다:

[0063] <식 1-1>

[0064] $|H_{HOMO} - SD_{HOMO}| \geq 0.3 \text{ eV}$

[0065] 상기 식 1-1 중,

[0066] H_{HOMO} 는 제1화합물의 최고준위 점유 분자 오비탈 에너지 레벨이고, SD_{HOMO} 는 제2화합물의 최고준위 점유 분자 오비탈 에너지 레벨이다.

[0067] 상기 제1화합물 및 상기 제2화합물이 상기 식 1-1을 만족하는 경우, 상기 제1화합물 및 상기 제2화합물의 트랩 보조 재결합 비율이 더 우세해질 수 있고, 이에 따라 유기 발광 소자의 내부 양자 효율을 향상시킬 수 있다.

[0068] 다른 예로서, 상기 제2화합물은 하기 식 2-1을 만족할 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다:

[0069] <식 2-1>

[0070] $\mu_{SD} \geq 6.0 \text{ debye}$

[0071] 상기 식 2-1 중,

[0072] μ_{SD} 는 제2화합물의 쌍극자 모멘트 값이다.

[0073] 상기 제2화합물이 상기 식 2-1을 만족하는 경우, 상기 제1화합물 및 상기 제2화합물의 트랩 보조 재결합 비율이 더 우세해질 수 있고, 이에 따라 유기 발광 소자의 내부 양자 효율을 향상시킬 수 있다.

[0074] 또 다른 예로서, 상기 제1화합물 및 상기 제2화합물은 하기 식 1 및 2-1을 만족하거나; 하기 식 1-1 및 2를 만족할 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다:

[0075] <식 1>

[0076] $|H_{HOMO} - SD_{HOMO}| \geq 0.1 \text{ eV}$

[0077] <식 1-1>

[0078] $|H_{HOMO} - SD_{HOMO}| \geq 0.3 \text{ eV}$

[0079] <식 2>

[0080] $\mu_{SD} \geq 3.2 \text{ debye}$

[0081] <식 2-1>

[0082] $\mu_{SD} \geq 6.0 \text{ debye}$

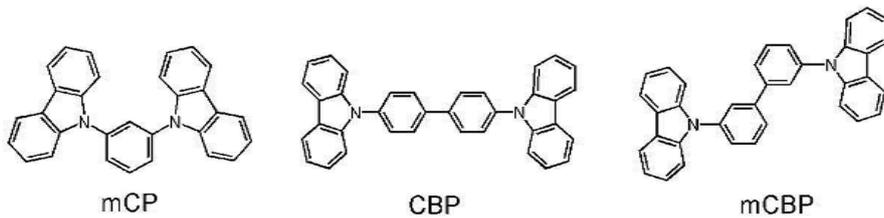
[0083] 상기 식 1, 1-1, 2 및 2-1 중,

[0084] H_{HOMO} 는 제1화합물의 최고준위 점유 분자 오비탈 에너지 레벨이고, SD_{HOMO} 는 제2화합물의 최고준위 점유 분자 오비

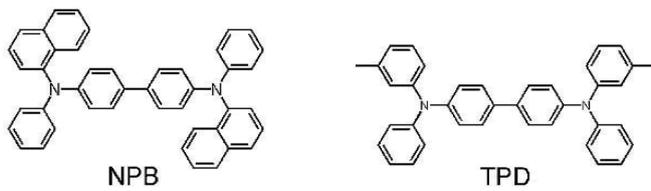
탈 에너지 레벨이고,

- [0085] μ_{SD} 는 제2화합물의 쌍극자 모멘트 값이다.
- [0086] 상기 제1화합물 및 상기 제2화합물이 상기 식 1 및 2-1을 만족하거나, 상기 식 1-1 및 2을 만족하는 경우, 상기 제1화합물 및 상기 제2화합물의 트랩 보조 재결합 비율이 더 우세해질 수 있고, 이에 따라 유기 발광 소자의 내부 양자 효율을 향상시킬 수 있다.
- [0087] 일 실시예에서, 상기 제1화합물은 빛을 방출하지 않을 수 있다.
- [0088] 예를 들어, 상기 제1화합물은 호스트로서 작용할 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0089] 일 실시예에서, 상기 제1화합물은 공지의 호스트를 사용할 수 있다.
- [0090] 예를 들어, 상기 제1화합물은 카바졸-함유 화합물, 방향족 아민 화합물, π -전자 결여형 복소방향족 화합물, 포스핀 옥사이드-함유 화합물 및 설퍼 옥사이드-함유 화합물 중에서 선택될 수 있다.
- [0091] 다른 예로서, 상기 제1화합물은 mCP(1,3-bis(9-carbazolyl)benzene), TCTA(Tris(4-carbazoyl-9-ylphenyl)amine), CBP(4,4'-Bis(N-carbazolyl)-1,1'-biphenyl), mCBP(3,3-bis(carbazol-9-yl)biphenyl), NPB(N,N'-di(1-naphthyl)-N,N'-diphenyl-(1,1'-biphenyl)-4,4'-diamine), m-MTDATA(4,4',4"-tris[phenyl(m-tolyl)amino]triphenylamine), TPD(N,N'-bis(3-methylphenyl)-N,N'-diphenylbenzidine), B3PYMPM(bis-4,6-(3,5-di-3-pyridylphenyl)-2-methylpyrimidine), B4PYMPM(bis-4,6-(3,5-di-4-pyridylphenyl)-2-methylpyrimidine) TPBi(2,2',2''-(1,3,5-benzenetriyl)tris-[1-phenyl-1H-benzimidazole]), 3TPYMB(Tris(2,4,6-trimethyl-3-(pyridin-3-yl)phenyl)borane), BmPyPB(1,3-bis[3,5-di(pyridin-3-yl)phenyl]benzene), TmPyPB(3,3'-[5'-[3-(3-Pyridinyl)phenyl][1,1':3',1"-terphenyl]-3,3"-diyl]bispyridine), 하기 화합물 BSFM, 하기 화합물 PO-T2T P015(dibenzo[b,d]thiophene-2,8-diylbis(diphenylphosphine oxide)), DPEPO(bis[2-(diphenylphosphino)phenyl] ether oxide) 및 TSP01(diphenyl-4-triphenylsilylphenylphosphineoxide) 중에서 선택될 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다:

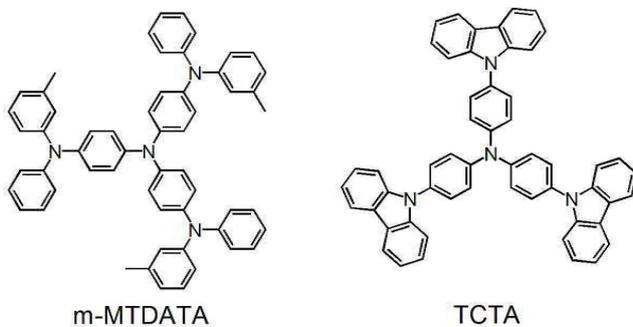
[0092]

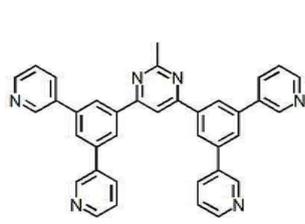


[0093]

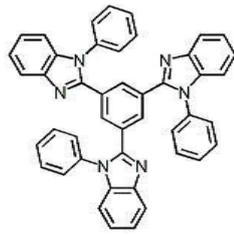


[0094]

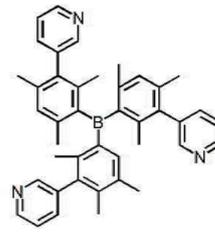




B3PYMPM

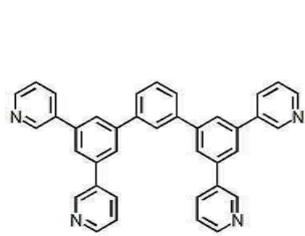


TPBI

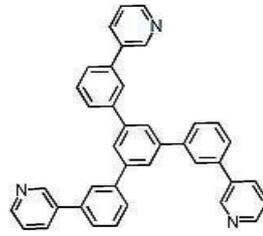


3TPYMB

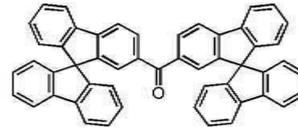
[0095]



BmPyPB

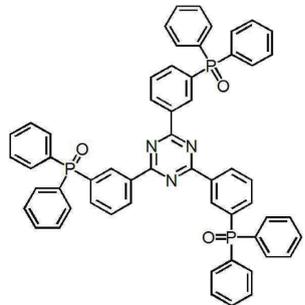


TmPyPB

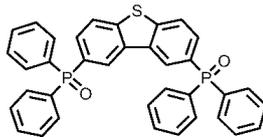


BSFM

[0096]

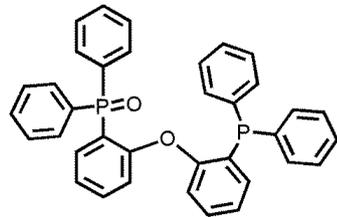


PO-T2T

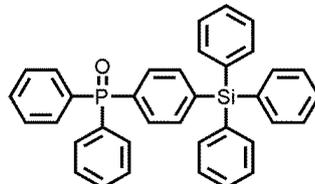


PO15

[0097]



DPEPO



TSP01

[0098]

[0099] 일 실시예에서, 상기 제1화합물의 몰농도는 상기 제2화합물의 몰농도 및 상기 제3화합물의 몰농도보다 크거나 같을 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다.

[0100] 예를 들어, 상기 제1화합물의 함량은 상기 발광층의 총 중량을 기준으로 약 97 중량% 내지 약 50 중량%일 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다.

[0101] 다른 예로서, 상기 제1화합물의 함량은 상기 발광층의 총 중량을 기준으로 약 95 중량% 이하, 약 90 중량% 이하, 약 85 중량% 이하, 약 60 중량% 이상, 약 70 중량% 이상, 또는 약 80 중량% 이상일 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다.

[0102] 일 실시예에서, 상기 제2화합물은 빛을 방출하지 않을 수 있다.

[0103] 예를 들어, 상기 제2화합물은 보조 도펀트로서 작용할 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다.

[0104] 일 실시예에서, 상기 제2화합물은 공지의 인광 도펀트 및/또는 지연 형광 도펀트를 사용할 수 있다.

[0105] 일 실시예에서, 상기 제2화합물은 원자량 40 이상의 금속 원자를 포함할 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다. 구체적으로, 상기 제2화합물은 이리듐(Ir), 백금(Pt), 오스뮴(Os), 루테튬(Ru), 로듐(Rh), 팔라듐(Pd),

구리(Cu), 은(Ag), 금(Au), 티탄(Ti), 지르코늄(Zr), 하프늄(Hf), 유로퓸(Eu), 테르븀(Tb) 또는 톨륨(Tm)을 포함할 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다.

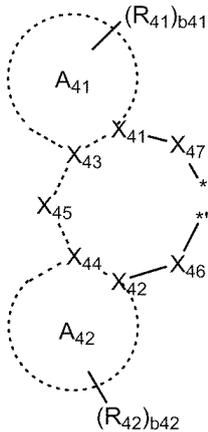
[0106] 일 실시예에서, 상기 제2화합물은 호모레틱 유기 금속 화합물일 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다.

[0107] 일 실시예에 있어서, 상기 제2화합물은 하기 화학식 4로 표시될 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다:

[0108] <화학식 4>

[0109] $M(L_{41})_3$

[0110] <화학식 4-1>



[0111]

[0112] 상기 화학식 4 및 4-1 중,

[0113] M은 이리듐(Ir), 백금(Pt), 오스뮴(Os), 루테튬(Ru), 로듐(Rh), 팔라듐(Pd), 구리(Cu), 은(Ag), 금(Au), 티탄(Ti), 지르코늄(Zr), 하프늄(Hf), 유로퓸(Eu), 테르븀(Tb) 및 톨륨(Tm) 중에서 선택되고,

[0114] L_{41} 은 상기 화학식 4-1로 표시되는 리간드 중에서 선택되고, 3개의 L_{41} 은 서로 동일하고,

[0115] X_{41} 내지 X_{44} 는 서로 독립적으로, 질소 또는 탄소이고,

[0116] X_{41} 과 X_{43} 은 단일 결합 또는 이중 결합을 통하여 연결되고, X_{42} 와 X_{44} 는 단일 결합 또는 이중 결합을 통하여 연결되고,

[0117] A_{41} 및 A_{42} 는 서로 독립적으로, C_5 - C_{60} 카보시클릭 그룹 또는 C_1 - C_{60} 헤테로시클릭 그룹이고,

[0118] X_{45} 는 단일 결합, *-O-*, *-S-*, *-C(=O)-*, *-N(Q₄₁)-*, *-C(Q₄₁)(Q₄₂)-*, *-C(Q₄₁)=C(Q₄₂)-*, *-C(Q₄₁)=* 또는 *=C(Q₄₁)=*이고,

[0119] X_{46} 및 X_{47} 은 서로 독립적으로, 단일 결합, O 또는 S이고,

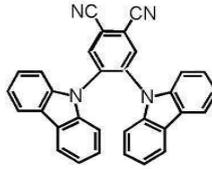
[0120] R_{41} 및 R_{42} 는 서로 독립적으로, 수소, 중수소, -F, -Cl, -Br, -I, 히드록실기, 시아노기, 니트로기, 아미디노기, 히드라지노기, 히드라조노기, 치환 또는 비치환된 C_1 - C_{20} 알킬기, 치환 또는 비치환된 C_1 - C_{20} 알콕시기, 치환 또는 비치환된 C_3 - C_{10} 시클로알킬기, 치환 또는 비치환된 C_1 - C_{10} 헤테로시클로알킬기, 치환 또는 비치환된 C_3 - C_{10} 시클로알케닐기, 치환 또는 비치환된 C_1 - C_{10} 헤테로시클로알케닐기, 치환 또는 비치환된 C_6 - C_{60} 아릴기, 치환 또는 비치환된 C_6 - C_{60} 아릴옥시기, 치환 또는 비치환된 C_6 - C_{60} 아릴티오기, 치환 또는 비치환된 C_1 - C_{60} 헤테로아릴기, 치환 또는 비치환된 1가 비-방향족 축합다환 그룹 및 치환 또는 비치환된 1가 비-방향족 헤테로축합다환 그룹, -Si(Q₄₁)(Q₄₂)(Q₄₃), -N(Q₄₁)(Q₄₂), -B(Q₄₁)(Q₄₂), -C(=O)(Q₄₁), -S(=O)₂(Q₄₁) 및 -P(=O)(Q₄₁)(Q₄₂) 중에서 선택되고, 상기 Q₄₀₁ 내지 Q₄₀₃은 서로 독립적으로, C_1 - C_{10} 알킬기, C_1 - C_{10} 알콕시기, C_6 - C_{20} 아릴기 및 C_1 - C_{20} 헤테로아릴기 중에서 선택되고,

[0121] b₄₁ 및 b₄₂는 서로 독립적으로, 0 내지 10의 정수 중에서 선택되고,

- [0122] Q₄₁ 내지 Q₄₃은, 수소, 중수소, C₁-C₂₀알킬기, C₁-C₂₀알콕시기, 페닐기, 비페닐기, 터페닐기 또는 나프틸기이고,
- [0123] * 및 *'은 상기 화학식 4 중 M과의 결합 사이트이다.
- [0124] 일 실시예에 따르면, 상기 화학식 4-1 중 A₄₁ 및 A₄₂는 서로 독립적으로, 시클로펜탄 그룹, 시클로헥산 그룹, 벤젠 그룹, 나프탈렌 그룹, 플루오렌 그룹, 스파이로-바이플루오렌 그룹, 인덴 그룹, 피롤 그룹, 티오펜 그룹, 퓨란 그룹, 이미다졸 그룹, 피라졸 그룹, 티아졸 그룹, 이소티아졸 그룹, 옥사졸 그룹, 이속사졸 그룹, 피리딘 그룹, 피라진 그룹, 피리미딘 그룹, 피리다진 그룹, 퀴놀린 그룹, 이소퀴놀린 그룹, 벤조퀴놀린 그룹, 퀴놀살린 그룹, 퀴나졸린 그룹, 카바졸 그룹, 벤조이미다졸 그룹, 벤조퓨란 그룹, 벤조티오펜 그룹, 이소벤조티오펜 그룹, 벤조옥사졸 그룹, 이소벤조옥사졸 그룹, 트리아졸 그룹, 테트라졸 그룹, 옥사디아졸 그룹, 트리아진 그룹, 디벤조퓨란 그룹 및 디벤조티오펜 그룹 중에서 선택될 수 있다.
- [0125] 다른 실시예에 따르면, 상기 화학식 4-1 중 i) X₄₁은 질소이고, X₄₂는 탄소이거나, 또는 ii) X₄₁과 X₄₂가 모두 질소일 수 있다.
- [0126] 또는, 상기 제2화합물은 Ir(ppy)₃, Ir(mppy)₃, Ir(pmi)₃, Ir(pmb)₃, Ir(chpy)₃, Ir(ppz)₃ 및 Ir(dfppz)₃ 중에서 선택될 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0127] 일 실시예에서, 상기 제2화합물은 하기 화학식 1 내지 3 중 어느 하나로 표시될 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다:
- [0128] <화학식 1>
- [0129] D-C-A
- [0130] <화학식 2>
- [0131] D-C-A-C-D
- [0132] <화학식 3>
- [0133] A-C-D-C-A
- [0134] 상기 화학식 1 내지 3 중,
- [0135] D는 전자 공여 그룹(electron donation group)이고;
- [0136] C는 연결 그룹(connection group)이고;
- [0137] A는 전자 수용 그룹(electron accepting group)이다.
- [0138] D-C-A는 D가 C를 통하여 A에 연결되어 있는 구조의 화합물이다. 마찬가지로, 상기 화학식 2 및 화학식 3의 제2 화합물도 상기 화학식 1의 제2화합물과 같이 해석될 수 있다.
- [0139] 예를 들어, D는 카바졸기, 페녹사지닐기, 페노티아지닐기, 디벤조아자실리나닐(dibenzoazasilinanyl)기 또는 방향족 아민기를 포함할 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0140] 예를 들어, A는 시아노기, -F, 시아노기로 치환된 페닐기, -F로 치환된 페닐기, 피리딜기, 피롤기, 트리아지닐기, 카보닐기, 포스핀 옥사이드기 또는 설퍼 옥사이드기를 포함할 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0141] 예를 들어, C는 페닐렌기 또는 나프틸레닐기와 같은 아릴렌기를 포함할 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0142] 상기 화학식 1 내지 3의 구조에 따라 D, A 및 C는 각각 1가지이거나 2가지일 수 있다.
- [0143] 다른 예로서, 상기 제2화합물은 4CzIPN, 2CzPN, 4CzTPN-Ph, PXZ-DPS, DTPPDDA, BDAPM 등을 포함할 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다:

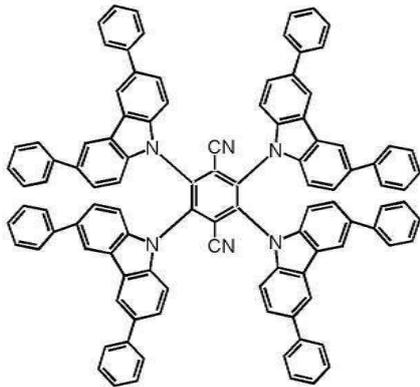


4CzIPN

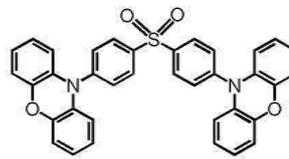


2CzPN

[0144]

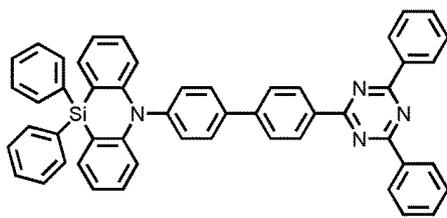


4CzTPN-Ph

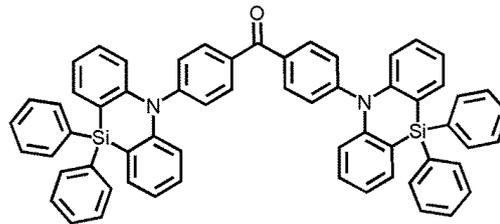


PXZ-DPS

[0145]



DTPPDDA



BDAPM

[0146]

[0147]

일 실시예에서, 상기 제2화합물의 몰농도는 상기 제3화합물의 몰농도보다 크거나 같을 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다.

[0148]

예를 들어, 상기 제2화합물의 함량은 상기 발광층의 총 중량을 기준으로 약 1 중량% 내지 약 30 중량%일 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다.

[0149]

다른 예로서, 상기 제2화합물의 함량은 상기 발광층의 총 중량을 기준으로, 약 7 중량% 내지 약 15 중량%, 또는 약 10 중량%일 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다.

[0150]

일 실시예에서, 상기 제3화합물이 빛을 방출할 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다. 여기서, 상기 제3화합물은 도펀트로서 작용할 수 있다.

[0151]

예를 들어, 상기 제3화합물이 형광을 방출할 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다. 상기 제3화합물이 형광을 방출한다는 것은 상기 제3화합물의 최저 여기 일중항 에너지 레벨에서 기저 에너지 레벨로 전자가 전이되면서 빛이 방출되는 것을 의미한다.

[0152]

일 실시예에서, 상기 제3화합물은 공지의 형광 도펀트를 사용할 수 있다.

[0153]

예를 들어, 상기 제3화합물은 Perylene, TBPc(2,5,8,11-tetra-tert-butylperylene), BCzVB(1,4-bis[2-(3-N-ethylcarbazoyl)vinyl]benzene), BCzVBi(4,4'-bis(9-ethyl-3-carbazovinylene)-1,1'-biphenyl), BDAVBi(4,4'-bis[4-diphenylamino]styryl)biphenyl), DPAVB(4-(di-p-tolylamino)-4'-[(di-p-tolylamino)styryl]stilbene), DPAVBi(4,4'-bis[4-(di-p-tolylamino)styryl]biphenyl), DSA-Ph(1-4-di-[4-(N,N-diphenyl)amino]styryl-benzene), Coumarin 6, C545T, DMQA(N,N'-dimethyl-quinacridone), DBQA(5,12-Dibutylquinacridone), TTPA(9,10-bis[N,N-di-(p-tolyl)-amino]anthracene), TPA(9,10-bis[phenyl(m-tolyl)-

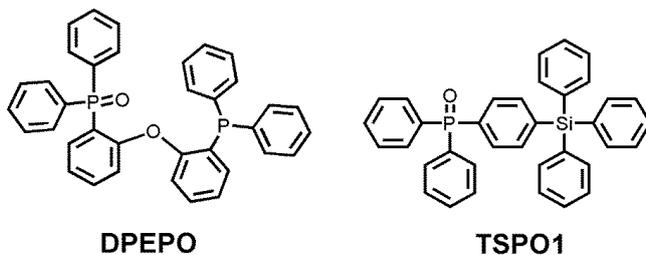
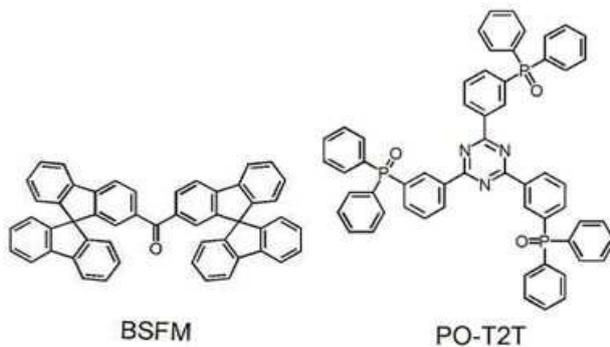
amino]anthracene), BA-TTB(N¹⁰,N¹⁰,N^{10'},N^{10'}-tetra-tolyl-9,9'-bianthracene-10,10'-diamine), BA-TAB(N¹⁰,N¹⁰,N^{10'},N^{10'}-tetraphenyl-9,9'-bianthracene-10,10'-diamine), BA-NPB(N¹⁰,N^{10'}-diphenyl-N¹⁰,N^{10'}-dinaphthalenyl-9,9'-bianthracene-10,10'-diamine), DEQ(N,N'-diethylquinacridone), DCM(4-(dicyanomethylene)-2-methyl-6-[p-(dimethylamino)styryl]-4H-pyran), DCM2(4-(dicyanomethylene)-2-methyl-6-julolidyl-9-enyl-4H-pyran), DCJT(4-(dicyanomethylene)-2-methyl-6-(1,1,7,7-tetramethyljulolidyl-9-enyl)-4H-pyran), DCJTb(4-(Dicyanomethylene)-2-tert-butyl-6-(1,1,7,7-tetramethyljulolidyl-9-enyl)-4H-pyran), DCJTI, DCJMTb, DPP(6,13-diphenylpentacene), DCDDC(3-(dicyanomethylene)-5,5-dimethyl-1-[(4-dimethylamino)styryl]cyclohexene), AAAP(6-methyl-3-[3-(1,1,6,6-tetramethyl-10-oxo-2,3,5,6-tetrahydro-1H,4H,10H-11-oxa-3a-azabenz[de]-anthracen-9-yl)acryloyl]pyran-2,4-dione), (PPA)(PSA)Pe-1(3-(N-phenyl-N-p-tolylamino)-9-(N-p-styrylphenyl-N-p-tolylamino)perylene), BSN(1,10-dicyano-substituted bis-styrylnaphthalene derivative) DBP(tetraphenyldibenzoperiflanthene), TBRb(2,8-di-tert-butyl-5,11-bis(4-tert-butylphenyl)-6,12-diphenyltetracene) 또는 루브렌(Rubrene)을 포함할 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다.

- [0154] 예를 들어, 상기 제3화합물을 함량은 상기 발광층의 총 중량을 기준으로 약 0 중량% 초과 내지 약 3 중량% 이하일 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0155] 다른 예로서, 상기 제3화합물의 함량은 상기 발광층의 총 중량을 기준으로 약 0.01 중량% 이상, 약 0.1 중량% 이상, 약 0.3 중량% 이상, 약 0.5 중량% 이상, 약 0.9 중량% 이하, 약 0.7 중량% 이하일 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0156] 일 실시예에서, 상기 발광층은 제4화합물을 더 포함할 수 있다. 상기 제4화합물은 호스트로 작용할 수 있으며, 상기 제4화합물에 대한 설명은 전술한 제1화합물에 대한 설명을 참조한다.
- [0157] 일 실시예에서, 상기 제1화합물 및 상기 제4화합물은 엑시플렉스를 형성하거나/하지 않을 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0158] 일 실시예에서, 상기 제1화합물 및 상기 제4화합물은 서로 독립적으로, 카바졸-함유 화합물, 방향족 아민 화합물, π -전자 결여형 복소방향족 화합물, 포스핀 옥사이드-함유 화합물 및 설퍼 옥사이드-함유 화합물 중에서 선택되고;
- [0159] 상기 제1화합물 및 상기 제4화합물은 서로 상이할 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0160] 다른 실시예에서, 상기 제1화합물은 정공 수송성 호스트이고, 상기 제4화합물은 전자 수송성 호스트이고; 또는
- [0161] 상기 제1화합물은 전자 수송성 호스트이고, 상기 제4화합물은 정공 수송성 호스트일 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0162] 또 다른 실시예에서, i) 상기 제1화합물은 카바졸-함유 화합물 및 방향족 아민 화합물 중에서 선택되고, 상기 제4화합물은 π -전자 결여형 복소방향족 화합물, 포스핀 옥사이드-함유 화합물 및 설퍼 옥사이드-함유 화합물 중에서 선택되고; 또는
- [0163] ii) 상기 제1화합물은 π -전자 결여형 복소방향족 화합물, 포스핀 옥사이드-함유 화합물 및 설퍼 옥사이드-함유 화합물 중에서 선택되고, 상기 제4화합물은 카바졸-함유 화합물 및 방향족 아민 화합물 중에서 선택될 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0164] 구체적으로, 상기 제1화합물은 mCP, TCTA, CBP, mCBP, NPB, m-MTDATA 및 TPD 중에서 선택되고, 상기 제4화합물은 B3PYMPM, B4PYMPM, TPBi, 3TPYMB, BmPyPB, TmPyPB, 상기 화합물 BSMF, 상기 화합물 PO-T2T, PO15, DPEPO 및 TSP01 중에서 선택될 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0165] 구체적으로, 상기 제1화합물은 B3PYMPM, B4PYMPM, TPBi, 3TPYMB, BmPyPB, TmPyPB, 상기 화합물 BSMF, 상기 화합물 PO-T2T, PO15, DPEPO 및 TSP01 중에서 선택되고, 상기 제4화합물은 mCP, TCTA, CBP, mCBP, NPB, m-MTDATA 및 TPD 중에서 선택될 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0166] 예를 들어, 상기 제1화합물 및 상기 제4화합물의 조합은 TCTA:B4PYMPM, TCTA:B3PYMPM, TCTA:TPBi, TCTA:3TPYMB, TCTA:BmPyPB, TCTA:BSMF, CBP:B3PYMPM, mCP:B3PYMPM 및 NPB:BSMF 중에서 선택될 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다. 상기 제1화합물 및 상기 제4화합물의 조합이 전술한 것들 중에서 선택되는 경우, 상기

제1화합물 및 상기 제4화합물은 엑시플렉스를 형성할 수 있다.

- [0167] 상기 발광층이 상기 제4화합물을 더 포함하는 경우, 상기 제1화합물 및 상기 제4화합물의 중량비는 20:80 내지 80:20일 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다. 예를 들어, 상기 제1화합물 및 상기 제4화합물의 중량비는 30:70 내지 70:30, 40:60 내지 60:40, 또는 50:50일 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0168] 제1전극(11) 하부(유기층이 위치한 반대편) 또는 제2전극(19)의 상부(유기층이 위치한 반대편)에는 기관(미도시)을 추가로 포함할 수 있다. 기관(미도시)으로는 통상적인 유기 발광 소자에 사용되는 기관을 사용할 수 있으며, 기계적 강도, 열적 안정성, 투명성, 표면 평활성, 취급용이성 및 방수성이 우수한 유리 기관 또는 투명 플라스틱 기관을 사용할 수 있다.
- [0169] 유기 발광 소자(10)의 제1전극(11)은 (+) 전압이 인가되는 양극(anode)일 수 있고, 제2전극(19)은 (-) 전압이 인가되는 음극(cathode)일 수 있다. 이와 반대로 제1전극(11)이 음극일 수 있고 제2전극(19)은 양극일 수도 있다. 편의상 제1전극(11)이 양극이고 제2전극(19)은 음극인 경우를 중심으로 설명한다.
- [0170] 제1전극(11)은 투명 전극 또는 반사 전극으로 형성할 수 있으며, 배면 발광형인 경우에는 투명 전극으로 형성할 수 있다. 투명 전극으로 형성할 때는 ITO, IZO, ZnO 또는 그래핀 등을 사용할 수 있고, 반사 전극으로 형성할 때에는 Ag, Mg, Al, Pt, Pd, Au, Ni, Nd, Ir, Cr 또는 이들의 화합물 등으로 반사막을 형성한 후, 그 위에 ITO, IZO, ZnO 또는 그래핀 등으로 막을 형성함으로써 형성할 수 있다. 제1전극(11)은 공지된 다양한 방법, 예를 들면, 증착법, 스퍼터링법 또는 스핀코팅법 등을 이용하여 형성될 수 있다.
- [0171] 한편, 유기층(15)은 발광층(16)과 제1전극(11) 사이에 정공 수송 영역을 더 포함할 수 있고, 발광층(16)과 제2전극(19) 사이에 전자 수송 영역을 더 포함할 수 있다. 정공 수송 영역은 양극으로부터 발광층으로의 정공의 주입 및 수송에 관련된 영역이고, 전자 수송 영역은 음극으로부터 발광층으로의 전자의 주입 및 수송에 관련된 영역이다.
- [0172] 상기 정공 수송 영역은 정공 주입층, 정공 수송층, 전자 저지층 및 버퍼층 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.
- [0173] 상기 정공 수송 영역은 정공 주입층만을 포함하거나, 정공 수송층만을 포함할 수 있다. 또는, 상기 정공 수송 영역은, 제1전극(11)로부터 차례로 적층된, 정공 주입층/정공 수송층 또는 정공 주입층/정공 수송층/전자 저지층의 구조를 가질 수 있다.
- [0174] 정공 수송 영역이 정공 주입층을 포함할 경우, 정공 주입층(HIL)은 상기 제1전극(11) 상부에 진공증착법, 스핀코팅법, 캐스트법, LB법 등과 같은 다양한 방법을 이용하여 형성될 수 있다.
- [0175] 정공 주입층에 사용되는 물질로는 공지된 정공 주입 재료를 사용할 수 있는데, 예를 들면, 구리프탈로시아닌 등과 같은 프탈로시아닌 화합물, m-MTDATA, TDATA, TAPC(4,4'-Cyclohexylidenebis[N,N-bis(4-methylphenyl)benzenamine]), 2-TNATA(4,4',4''-Tris[2-naphthyl(phenyl)amino]triphenylamine), PANI/DBSA (폴리아닐린/도데실벤젠술포산), PEDOT/PSS(폴리(3,4-에틸렌디옥시티오펜)/폴리(4-스티렌술포네이트)), PANI/CSA (폴리아닐린/캡퍼술포산) 또는 PANI/PSS (폴리아닐린/폴리(4-스티렌술포네이트)), HATCN(1,4,5,8,9,11-hexaazatriphenylene-hexacarbonitrile) 등을 사용할 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0176] 정공 수송 영역이 정공 수송층을 포함할 경우, 정공 수송층(HIL)은 상기 제1전극(11) 상부 또는 정공 주입층 상부에 진공증착법, 스핀코팅법, 캐스트법, LB법 등과 같은 다양한 방법을 이용하여 형성될 수 있다.
- [0177] 정공 수송층은 공지된 정공 수송 재료를 사용할 수 있는데, 예를 들면, mCP(1,3-bis(9-carbazolyl)benzene), TCTA(Tris(4-carbazoyl-9-ylphenyl)amine), CBP(4,4'-Bis(N-carbazolyl)-1,1'-biphenyl), mCBP(3,3-bis(carbazol-9-yl)biphenyl), NPB(N,N'-di(1-naphthyl)-N,N'-diphenyl-(1,1'-biphenyl)-4,4'-diamine), m-MTDATA(4,4',4''-tris[phenyl(m-tolyl)amino]triphenylamine), TPD(N,N'-bis(3-methylphenyl)-N,N'-diphenylbenzidine) 등을 사용할 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0178] 상기 정공 수송 영역 상부에 진공증착법, 스핀코팅법, 캐스트법 또는 LB법 등과 같은 다양한 방법을 사용하여 발광층(16)이 형성될 수 있다.
- [0179] 상기 정공 수송 영역은 상술한 바와 같은 물질 외에, 도전성 향상을 위하여 전하-생성 물질을 더 포함할 수 있다. 상기 전하-생성 물질은 상기 정공 수송 영역 내에 균일하게 또는 불균일하게 분산되어 있을 수 있다.
- [0180] 상기 전하-생성 물질은 예를 들면, p-도펀트일 수 있다.

- [0181] 예를 들어, 상기 p-도펀트는,
- [0182] TCNQ (Tetracyanoquinodimethane) 및 F4-TCNQ (2,3,5,6-Tetrafluoro-7,7,8,8-tetracyanoquinodimethane) 등과 같은 퀸온 유도체;
- [0183] 레늄 산화물, 텅스텐 산화물 및 몰리브덴 산화물 등과 같은 금속 산화물;
- [0184] HAT-CN (1,4,5,8,9,11-hexaazatriphenylene-hexacarbonitrile) 등을 포함할 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0185] 발광층(16)에 대한 설명은 전술한 바를 참조한다.
- [0186] 발광층(16) 상부에 전자 수송 영역이 배치될 수 있고, 전자 수송 영역은 정공 저지층, 전자 수송층 및 전자 주입층 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.
- [0187] 예를 들어, 전자 수송 영역은 정공 저지층/전자 수송층/전자 주입층 또는 전자 수송층/전자 주입층의 구조를 가질 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다. 상기 전자 수송층은 단일층 또는 2 이상의 서로 다른 물질을 포함할 다층 구조를 가질 수 있다.
- [0188] 상기 전자 수송 영역의 정공 저지층, 전자 수송층 및 전자 주입층의 형성 조건은 정공 주입층의 형성 조건을 참조한다.
- [0189] 전자 수송층은 공지의 전자 수송 재료를 사용할 수 있는데 예를 들면, Alq₃, BCP(Bathocuproine), Bphen(4,7-diphenyl-1,10-phenanthroline), TAZ(3-(Biphenyl-4-yl)-5-(4-tert-butylphenyl)-4-phenyl-4H-1,2,4-triazole), NTAZ(4-(naphthalen-1-yl)-3,5-diphenyl-4H-1,2,4-triazole), tBu-PBD(2-(4-biphenyl)-5-(4-tert-butylphenyl)-1,3,4-oxadiazole), Balq(Bis(2-methyl-8-quinolinolato-N1,O8)-(1,1'-Biphenyl-4-olato)aluminum), Bebq₂(Bis(10-hydroxybenzo[h]quinolinato)beryllium), AND(9,10-Di(naphth-2-yl)anthracene), B3PYMPM(bis-4,6-(3,5-di-3-pyridylphenyl)-2-methylpyrimidine), TPBi(2,2',2''-(1,3,5-benzenetriyl)tris-[1-phenyl-1H-benzimidazole]), 3TPYMB(Tris(2,4,6-trimethyl-3-(pyridin-3-yl)phenyl)borane), BmPyPB(1,3-bis[3,5-di(pyridin-3-yl)phenyl]benzene), TmPyPB(3,3'-[5'-[3-(3-Pyridinyl)phenyl]][1,1':3',1''-terphenyl]-3,3''-diyl]bispyridine), 하기 화합물 BSFM, 하기 화합물 PO-T2T, 하기 화합물 TSP01, 하기 화합물 DPEPO, PO15(dibenzo[b,d]thiophene-2,8-diylbis(diphenylphosphine oxide)) 등을 사용할 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다.



- [0191]
- [0192] 상기 전자 수송층은 LiF, NaCl, CsF, Li₂O, BaO, Liq, Rb₂CO₃ 등과 같은 물질로 도핑될 수 있다.
- [0193] 전자 주입층은 LiF, NaCl, CsF, Li₂O, BaO, Liq, Rb₂CO₃ 등과 같은 물질을 이용하여 형성할 수 있다.

[0194] 상기 유기층(15) 상부로는 제2전극(19)이 구비되어 있다. 제2전극(19)은 리튬, 나트륨, 칼륨, 루비듐, 세슘 등의 알칼리 금속, 베릴륨, 마그네슘, 칼슘, 스트론튬, 바륨 등의 알칼리 토금속, 알루미늄, 스칸듐, 바나듐, 아연, 이트륨, 인듐, 세륨, 사마륨, 유로퓸, 테르븀, 이테르븀 등의 금속, 이들 중 2개 이상의 합금, 또는 이들 중 1개 이상과 금, 은, 백금, 구리, 망간, 티탄, 코발트, 니켈, 텅스텐, 주석 중 1개 이상과의 합금, 및 이들 중 적어도 2종을 포함하는 구조체로 형성할 수 있다. 필요에 따라서는 ITO에 자외선-오존 처리한 것을 사용할 수도 있다. 합금으로서는, 예를 들면 ITO(인듐주석산화물), IZO(인듐아연산화물), ZnO(아연 산화물) 또는 그래핀 등을 사용할 수 있다. 전면 발광형인 경우 제2전극(19)은 ITO, IZO, ZnO 또는 그래핀 같은 투명한 산화물로 형성될 수 있다.

[0195] 이상, 상기 유기 발광 소자를 도 1을 참조하여 설명하였으나, 이에 한정되는 것은 아니다.

[0196] 이하에서, 평가예, 참조예 및 실시예를 들어, 본 발명의 일 실시예를 따르는 유기 발광 소자에 대하여 보다 구체적으로 설명한다. 그러나, 본 발명이 하기의 참조예 및 실시예로 한정되는 것은 아니다.

[0197] **[실시예]**

[0198] **평가예 1: HOMO 에너지 레벨 및 LUMO 에너지 레벨의 계산**

[0199] B3PYMPM, TCTA, Ir(ppy)₂(acac), Ir(mpp)₂(acac), Ir(ppy)₂(tmd), Ir(ppy)₃, Ir(mppy)₃ 및 Ir(chpy)₃의 HOMO 에너지 레벨은 각각의 화합물에 대한 DFT 계산으로부터 얻을 수 있었다. 그 결과를 표 1 및 도 2에 나타내었다.

표 1

화합물	HOMO 에너지 레벨 (eV)	LUMO 에너지 레벨 (eV)
B3PYMPM	-6.8	-3.2
TCTA	-5.8	-2.4
Ir(ppy) ₂ (acac)	-5.5	-3.0
Ir(mpp) ₂ (acac)	-5.1	-2.7
Ir(ppy) ₂ (tmd)	-5.4	-2.9
Ir(ppy) ₃	-5.3	-2.8
Ir(mppy) ₃	-5.0	-2.2
Ir(chpy) ₃	-5.0	-2.5

[0201] 상기 표 1 및 도 2를 참조하면, Ir(ppy)₂(acac), Ir(mpp)₂(acac), Ir(ppy)₂(tmd), Ir(ppy)₃, Ir(mppy)₃ 및 Ir(chpy)₃는 각각 B3PYMPM의 LUMO 에너지 레벨보다 더 높은 LUMO 에너지 레벨을 갖고, TCTA의 HOMO 에너지 레벨보다 더 높은 HOMO 에너지 레벨을 가짐을 확인할 수 있다. 이로부터, Ir(ppy)₂(acac), Ir(mpp)₂(acac), Ir(ppy)₂(tmd), Ir(ppy)₃, Ir(mppy)₃ 및 Ir(chpy)₃는 정공 트랩성을 가짐을 예측할 수 있다.

[0202] **평가예 2: 트랩 보조 재결합의 특성 측정**

[0203] 1) 참조예 1

[0204] 애노드 전극으로서 100 nm 두께의 ITO가 패터닝되어 있는 유리 기판을 UV-오존에 15분 동안 노출시킨 다음, 탈이온수 및 이소프로필 알코올 세척하였다. 상기 유리 기판 상부에 TAPC를 증착하여 75nm 두께의 정공 주입층을 형성하였다. 상기 정공주입층 상부에 TCTA 를 증착하여 1nm 두께의 정공 수송층을 형성하였다. 상기 정공수송층 상부에 TCTA(제1화합물), B3PYMPM(제4화합물) 및 Ir(ppy)₃ (제2화합물)을 공증착(제1화합물 및 제4화합물은 1:1 몰비, 제2화합물은 발광층 중량 중 8 중량%)하여 30nm 두께의 발광층을 형성하였다. 상기 발광층 상부에 B3PYMPM을 증착하여 45nm 두께의 전자 수송층을 형성하였다. 상기 전자 수송층 상부에 LiF을 증착하여 0.7nm 두께의 전자 주입층을 형성한 다음 Al을 증착하여 100 nm 두께의 캐소드 전극을 형성하였다. 이때 각 층들은 5 × 10⁻⁷ Torr의 진공을 유지하면서 열증착되었다.

[0205] 2) 참조예 2

- [0206] 발광층 형성시 Ir(ppy)₃ 대신 Ir(chpy)₃를 사용하였다는 점을 제외하고는 참조예 1과 동일한 방법으로 유기 발광 소자를 제작하였다.
- [0207] 3) 참조예 3
- [0208] 발광층 형성시 Ir(ppy)₃ 대신 Ir(mppy)₃를 사용하였다는 점을 제외하고는 참조예 1과 동일한 방법으로 유기 발광 소자를 제작하였다.
- [0209] 4) 비교참조예 1
- [0210] 발광층 형성시 Ir(ppy)₃ 대신 Ir(ppy)₂(acac)를 사용하였다는 점을 제외하고는 참조예 1과 동일한 방법으로 유기 발광 소자를 제작하였다.
- [0211] 5) 비교참조예 2
- [0212] 발광층 형성시 Ir(ppy)₃ 대신 Ir(ppy)₂(tmd)를 사용하였다는 점을 제외하고는 참조예 1과 동일한 방법으로 유기 발광 소자를 제작하였다.
- [0213] 6) 비교참조예 3
- [0214] 발광층 형성시 Ir(ppy)₃ 대신 Ir(mpp)₂(acac)를 사용하였다는 점을 제외하고는 참조예 1과 동일한 방법으로 유기 발광 소자를 제작하였다.
- [0215] J-V-L 특성은 전압-소스-측정 단위(Keithley 237) 및 SpectraScan PR650 (Photo Research)로 측정하였다. 전이(transient) EL 데이터는 펄스 생성기(Agilent 8114A) 및 스펙트로미터(SpectraPro-300i)를 광전 증폭관(Acton Research, PD-438)에 연결하여 얻었다. 이동도는 time-of-flight 측정 장치(Optel, TOF-401)를 이용하여 얻었다.
- [0216] 참조예 1 내지 3 및 비교참조예 1 내지 3에 대해서, 전류 밀도-구동 전압(J-V), 휘도-구동 전압(L-V), 휘도-구동 전압 및 휘도-외부 양자 효율을 측정하여 그 결과를 도 3 내지 6에 각각 나타내었다.
- [0217] 도 3 및 4를 참조할 때, 비교참조예 1 내지 3의 J-V 특성은 거의 유사함을 알 수 있었고, 참조예 1 내지 3의 전류 밀도는 비교참조예 1 내지 3의 전류 밀도보다 낮음을 확인할 수 있었다. 또한, 참조예 1 내지 3의 턴-온 전압은 비교참조예 1 내지 3의 턴-온 전압에 비해 높음을 알 수 있었다. 참조예 1 내지 3 및 비교참조예 1 내지 3 사이의 J-V-L 특성의 차이는 트랩 정도에 따라 달라지는데, 발광층에서의 전하 이동도를 감소시킴으로 인해 도펀트의 전하 트랩이 J를 낮추기 때문이다.
- [0218] 도 5는 참조예 1 내지 3 및 비교참조예 1 내지 3의 휘도 대 구동 전압을 보인다. 이로부터 참조예 1 내지 3는 비교참조예 1 내지 3에 비하여, 특정 휘도를 달성하기 위해서는 더 높은 구동 전압을 인가해야 함을 알 수 있다. 이는 트랩 전하에 의해 형성되는 국지적 전기장으로 인한 것으로 여겨진다.
- [0219] 도 6은 참조예 1 내지 3 및 비교참조예 1 내지 3의 휘도 대 외부 양자 효율을 보인다. 이러한 최대 외부 양자 효율은 이론상의 최대 외부 양자 효율과 잘 맞는데, 이로부터 상기 유기 발광 소자들이 양호한 정공 및 전자 균형을 갖는다는 것을 보인다.
- [0220] 도 7은 참조예 1 내지 3 및 비교참조예 1 내지 3의 전이 EL을 보인다. 비교참조예 1 내지 3은 모두 전기 펄스가 꺼진 후 역 바이어스 하에서 붕괴 곡선에서 오버 슈트를 나타내지 않았다. 대조적으로, 참조예 1 내지 3은 모두 역 바이어스 하에서 오버 슈트를 나타냈다. 이 오버 슈트는 도펀트 내의 잔류 트랩 된 전하의 재조합에 기인하며, 이는 역 바이어스가 증가함에 따라 프로세스를 가속화시킨다. J-V 특성과 전이 EL 측정으로부터 랑주뱅 재결합은 상대적으로 낮은 쌍극자 모멘트를 갖는 헤테로레픽 도펀트를 포함하는 유기 발광 소자에서 우세하며, 트랩 보조 재결합은 상대적으로 높은 쌍극자 모멘트를 갖는 호모레픽 도펀트를 포함하는 유기 발광 소자에서 우세함을 알 수 있었다.
- [0221] **평가예 3: 랑주뱅 재결합(Langevin recombination) 대 트랩 보조 재결합**
- [0222] 총 재결합 중 랑주뱅 재결합의 비율을 드리프트-확산 모델(drift-diffusion model)을 사용하여 계산하였다. Ir(ppy)₂(acac), Ir(mpp)₂(acac), Ir(ppy)₂(tmd), Ir(ppy)₃, Ir(mppy)₃ 및 Ir(chpy)₃에 대하여 B3LYP 에 기반한 density functional theory (DFT: B3LYP, 6-311G(d)/ LANL2DZ 수준에서 구조 최적화)에 의한 분자 구조 최적

화를 수반한 Gaussian09 프로그램을 이용하여 쌍극자 모멘트, 포획 반경, 단면적 및 트랩 심도를 계산하여, 하기 표 2에 나타내었다.

표 2

[0223]

헤테로래틱 도펀트	Ir(ppy) ₂ (tmd)	Ir(mpp) ₂ (acac)	Ir(ppy) ₂ (acac)
쌍극자 모멘트 (Debye)	1.4	1.64	1.83
포획 반경(Capture radius) (nm)	0.21	0.26	0.28
단면적(Cross section) (nm ²)	0.18	0.21	0.24
트랩 심도(ΔE _t) (eV)	0.4	0.7	0.3
호모래틱 도펀트	Ir(mppy) ₃	Ir(chpy) ₃	Ir(ppy) ₃
쌍극자 모멘트 (Debye)	5.38	6.18	6.36
포획 반경 (nm)	0.47	0.51	0.51
단면적 (nm ²)	0.70	0.81	0.83
트랩 심도 (eV)	0.8	0.8	0.5

[0224]

도 8은 포획 반경 또는 쌍극자 모멘트 및 트랩 심도에 대한 총 재결합 중 랑주뱅 재결합의 비율을 나타낸 것이다. 계산된 총 재결합 중 랑주뱅 재결합의 비율은 각각 Ir(ppy)₂(tmd), Ir(ppy)₂(acac) 및 Ir(mppy)₂(acac)에 대해서 0.74, 0.59 및 0.63이었고, Ir(ppy)₃, Ir(mppy)₃ 및 Ir(chpy)₃에 대해서, 0.21, 0.26 및 0.21이었다.

[0225]

이론적인 계산값으로부터 호모래틱 도펀트에 비해, 헤테로래틱 도펀트에 대해서 랑주뱅 재결합의 비율이 높은 것을 예상할 수 있으며, 이는 실험값과 잘 대응됨을 알 수 있다.

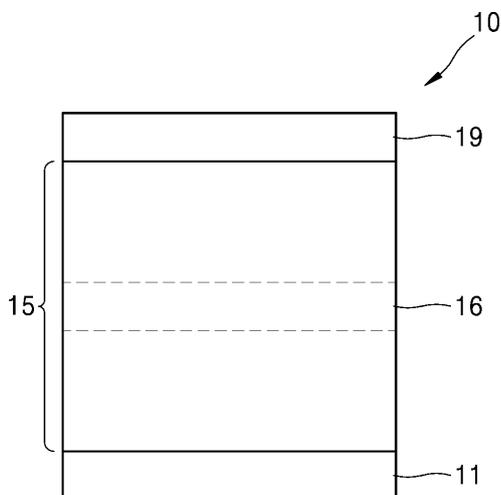
부호의 설명

[0226]

- 10: 유기 발광 소자
- 11: 제1전극
- 15: 유기층
- 16: 발광층
- 19: 제2전극

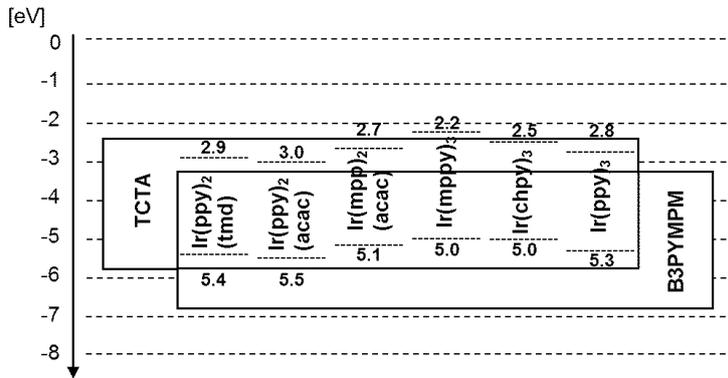
도면

도면1

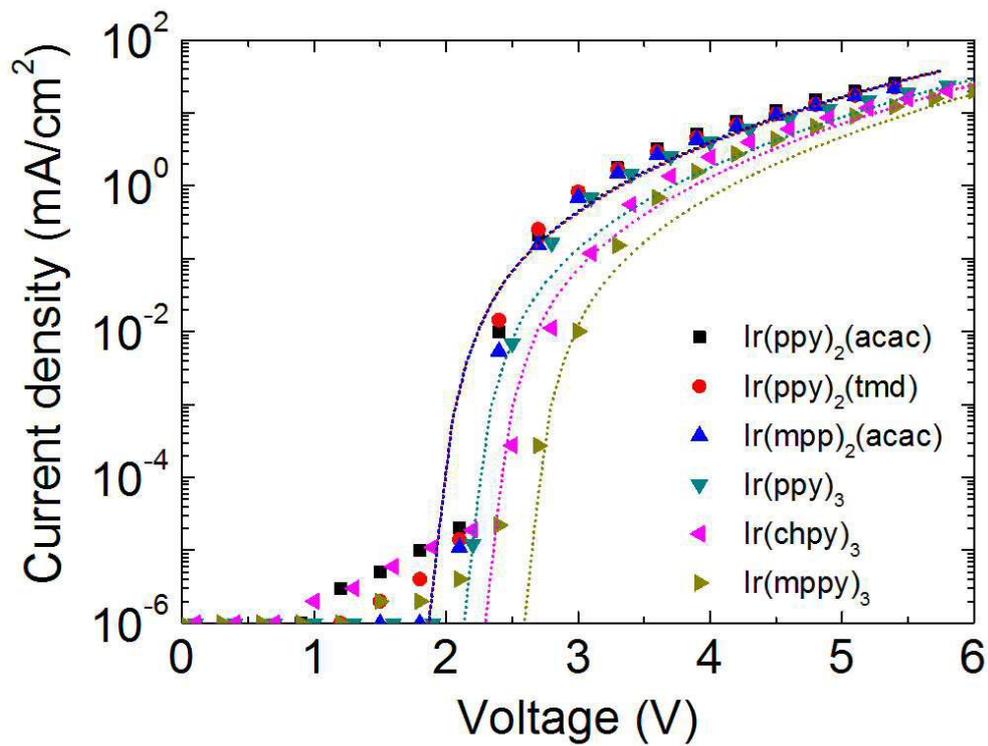


도면2

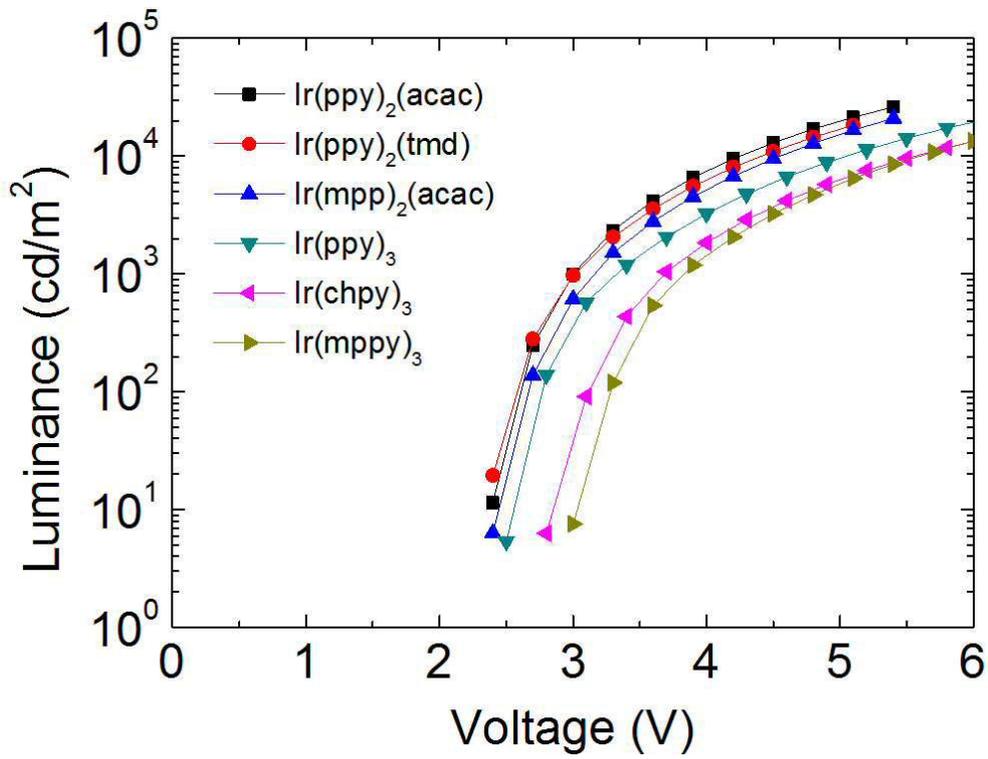
(c)



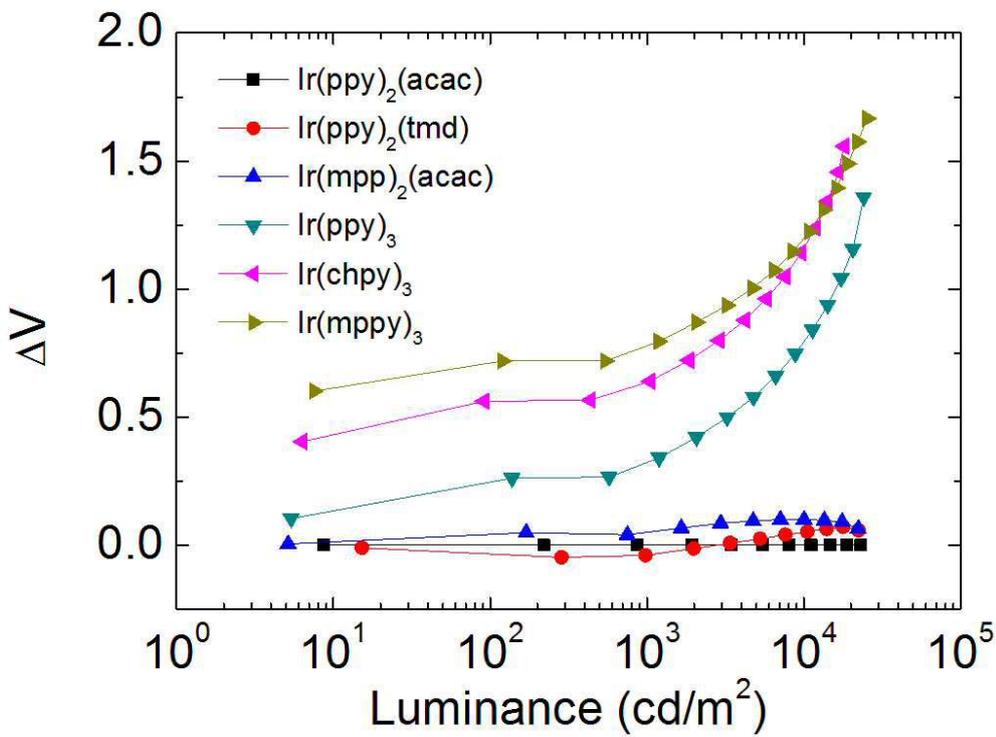
도면3



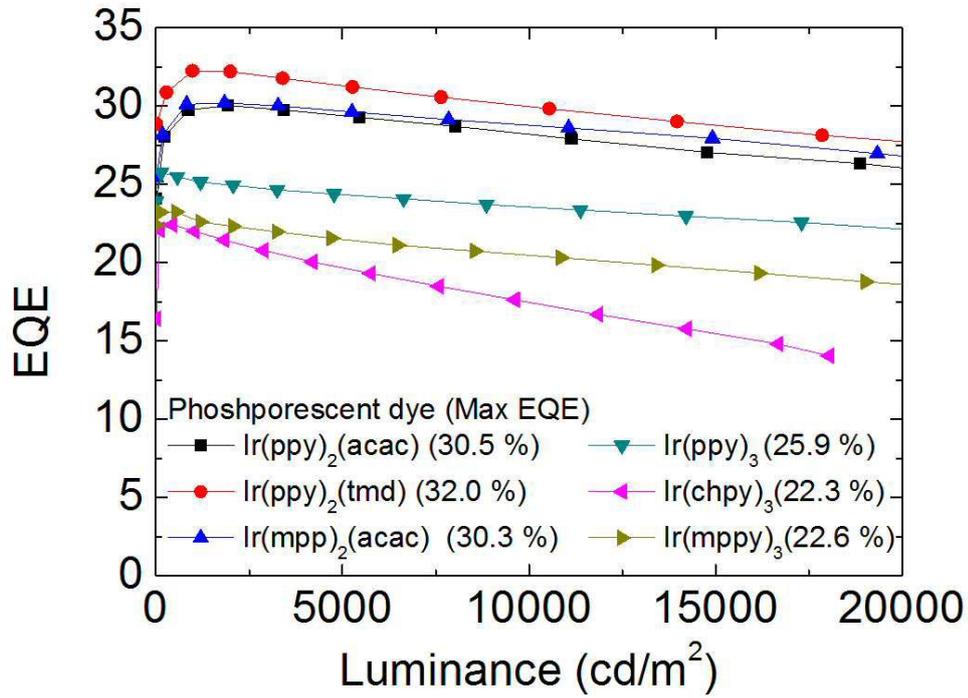
도면4



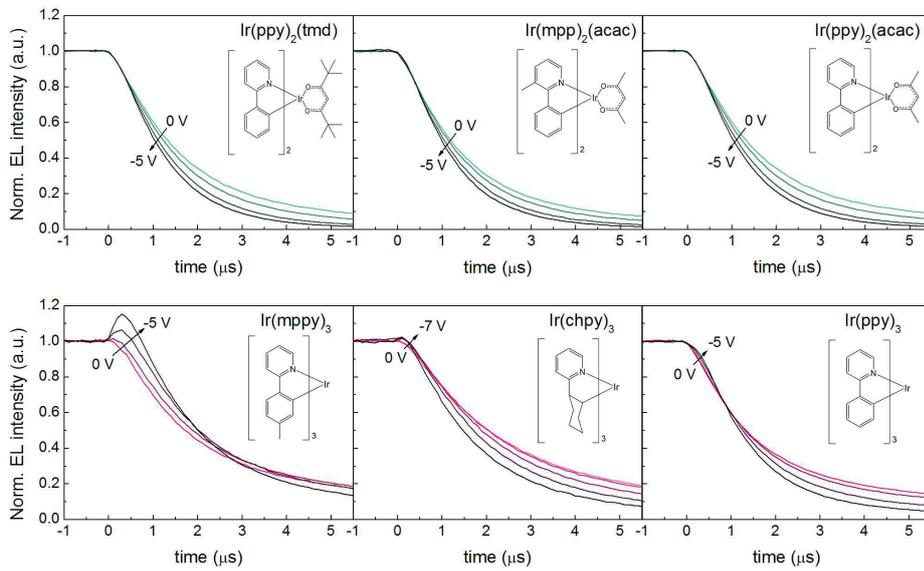
도면5



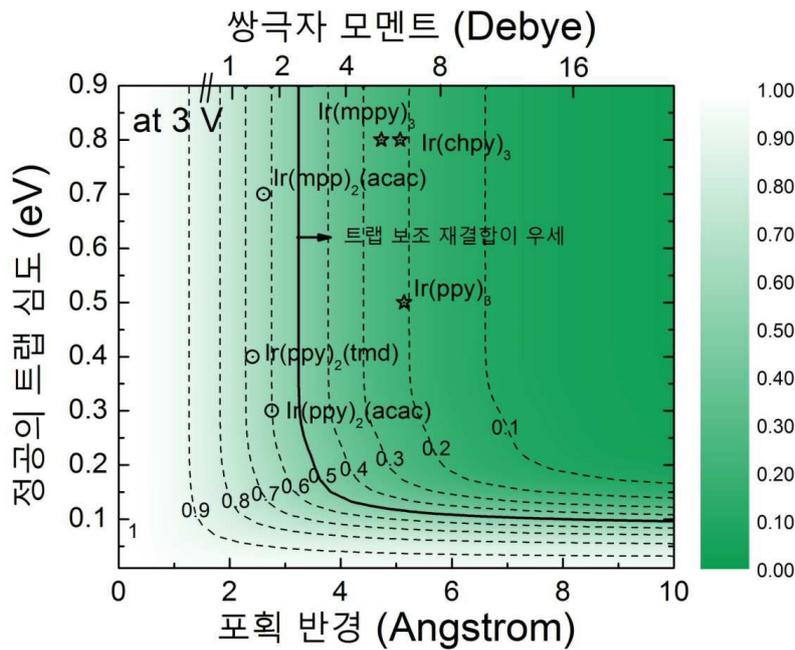
도면6



도면7



도면8



【심사관 직권보정사항】

【직권보정 1】

【보정항목】 발명(고안)의 설명

【보정세부항목】 [0016], [0055]

【변경전】

FDS1는 제1화합물의 최저 여기 일중항 에너지 레벨이다

【변경후】

FDS1는 제3화합물의 최저 여기 일중항 에너지 레벨이다

【직권보정 2】

【보정항목】 요약서

【보정세부항목】 요약서 마지막줄

【변경전】

FDS1는 제1화합물의 최저 여기 일중항 에너지 레벨이다

【변경후】

FDS1는 제3화합물의 최저 여기 일중항 에너지 레벨이다

【직권보정 3】

【보정항목】 청구범위

【보정세부항목】 청구항 1

【변경전】

FDS1는 제1화합물의 최저 여기 일중항 에너지 레벨이다

【변경후】

FDS1는 제3화합물의 최저 여기 일중항 에너지 레벨이다