(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2025년06월11일
(11) 등록번호 10-2819006
(24) 등록일자 2025년06월05일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H10K 50/00 (2023.01) *C09K 11/06* (2006.01)
H05B 33/02 (2006.01) *H10K 50/80* (2023.01)
H10K 59/00 (2023.01) *H10K 99/00* (2023.01)
(52) CPC특허분류
H10K 50/12 (2023.02)
C09K 11/06 (2022.01)
(21) 출원번호 10-2020-7015252
(22) 출원일자(국제) 2018년10월23일
심사청구일자 2021년10월22일
(85) 번역문제출일자 2020년05월27일
(65) 공개번호 10-2020-0072546
(43) 공개일자 2020년06월22일
(86) 국제출원번호 PCT/IB2018/058227
(87) 국제공개번호 WO 2019/087003
국제공개일자 2019년05월09일
(30) 우선권주장
JP-P-2017-213080 2017년11월02일 일본(JP)
(56) 선행기술조사문헌
JP2014022666 A*
KR1020170093906 A*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
가부시키가이샤 한도오따이 에네루기 켄큐쇼
일본국 가나가와켄 아쓰기시 하세 398
(72) 발명자
오사와 노부하루
일본 243-0036 가나가와켄 아쓰기시 하세 398 가부시키가이샤 한도오따이 에네루기 켄큐쇼 나이
세오 사토시
일본 243-0036 가나가와켄 아쓰기시 하세 398 가부시키가이샤 한도오따이 에네루기 켄큐쇼 나이
(74) 대리인
김진희, 김태홍

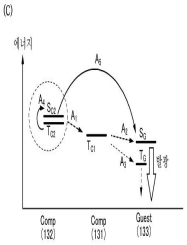
전체 청구항 수 : 총 17 항 심사관 : 김상걸

(54) 발명의 명칭 **발광 소자, 표시 장치, 전자 기기, 및 조명 장치**

(57) 요 약

발광 효율이 높은 발광 소자를 제공한다. 발광 소자는 제 1 유기 화합물, 제 2 유기 화합물, 및 제 3 유기 화합물을 포함한다. 제 1 유기 화합물은 삼중항 여기 에너지를 발광으로 변환하는 기능을 가진다. 제 2 유기 화합물은 TADF 재료인 것이 바람직하다. 제 3 유기 화합물은 형광성 화합물인 것이 바람직하다. 발광 소자로부터 방출되는 빛은 제 3 유기 화합물로부터 얻어진다. 발광층 중의 삼중항 여기 에너지는 제 2 유기 화합물에 기인한 역 계간 교차에 의하여, 또는 제 1 유기 화합물을 경유하여 제 3 유기 화합물로 이동한다.

대 표 도



(52) CPC특허분류
H05B 33/02 (2013.01)
H10K 50/11 (2023.02)
H10K 50/84 (2023.02)
H10K 59/00 (2023.02)
H10K 85/342 (2023.02)
H10K 85/636 (2023.02)
H10K 85/654 (2023.02)
H10K 85/6572 (2023.02)
H10K 85/6576 (2023.02)

명 세 서

청구범위

청구항 1

발광 장치로서,

제 1 전극;

상기 제 1 전극 위의 발광층으로서,

삼중항 여기 에너지를 발광으로 변환하는 제 1 유기 화합물;

제 2 유기 화합물; 및

단일항 여기 에너지를 발광으로 변환하는 제 3 유기 화합물을 포함하는, 상기 발광층; 및

상기 발광층 위의 제 2 전극을 포함하고,

상기 제 2 유기 화합물의 최저 단일항 여기 에너지 준위와 상기 제 2 유기 화합물의 최저 삼중항 여기 에너지 준위의 차는 0eV 이상 0.2eV 이하이고,

상기 제 1 유기 화합물의 최저 삼중항 여기 에너지 준위는 상기 제 3 유기 화합물의 최저 단일항 여기 에너지 준위 이상인, 발광 장치.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 제 1 유기 화합물과 상기 제 2 유기 화합물은 들뜬 복합체를 형성할 수 있는, 발광 장치.

청구항 3

삭제

청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 제 1 유기 화합물의 최저 삼중항 여기 에너지 준위는 상기 제 2 유기 화합물의 최저 삼중항 여기 에너지 준위 이하인, 발광 장치.

청구항 5

발광 장치로서,

제 1 전극;

상기 제 1 전극 위의 발광층으로서,

삼중항 여기 에너지를 발광으로 변환하는 제 1 유기 화합물;

π전자 과잉 골격 및 π전자 부족 골격을 포함하는 제 2 유기 화합물; 및

단일항 여기 에너지를 발광으로 변환하는 제 3 유기 화합물을 포함하는, 상기 발광층; 및

상기 발광층 위의 제 2 전극을 포함하고,

상기 제 1 유기 화합물의 최저 삼중항 여기 에너지 준위는 상기 제 3 유기 화합물의 최저 단일항 여기 에너지 준위 이상인, 발광 장치.

청구항 6

제 5 항에 있어서,

상기 제 1 유기 화합물과 상기 제 2 유기 화합물은 들뜬 복합체를 형성할 수 있는, 발광 장치.

청구항 7

제 2 항 또는 제 6 항에 있어서,

상기 들뜬 복합체의 발광 스펙트럼은, 상기 제 3 유기 화합물의 흡수 스펙트럼의 가장 장파장 측의 흡수대와 중첩되는 영역을 포함하는, 발광 장치.

청구항 8

제 2 항 또는 제 6 항에 있어서,

상기 들뜬 복합체는 상기 제 3 유기 화합물에 여기 에너지를 공여하는, 발광 장치.

청구항 9

제 1 항 또는 제 5 항에 있어서,

상기 제 1 유기 화합물은 상기 제 3 유기 화합물에 여기 에너지를 공여하는, 발광 장치.

청구항 10

제 5 항에 있어서,

상기 π전자 과잉 골격과 상기 π전자 부족 골격은 서로 직접 결합되는, 발광 장치.

청구항 11

제 1 항 또는 제 5 항에 있어서,

상기 제 1 유기 화합물은 Ru, Rh, Pd, Os, Ir, 및 Pt 중 하나를 포함하는, 발광 장치.

청구항 12

제 1 항 또는 제 5 항에 있어서,

상기 제 1 유기 화합물은 인광을 방출할 수 있는, 발광 장치.

청구항 13

제 1 항 또는 제 5 항에 있어서,

상기 제 1 유기 화합물은 실온에서 0% 이상 40% 이하의 발광 양자 수율을 가지는, 발광 장치.

청구항 14

제 1 항 또는 제 5 항에 있어서,

상기 제 3 유기 화합물은 형광을 방출할 수 있는, 발광 장치.

청구항 15

표시 장치로서,

제 1 항 또는 제 5 항에 따른 발광 장치; 및

컬러 필터 및 트랜지스터 중 적어도 하나를 포함하는, 표시 장치.

청구항 16

전자 기기로서,

제 15 항에 따른 표시 장치; 및

하우징 및 터치 센서 중 적어도 하나를 포함하는, 전자 기기.

청구항 17

조명 장치로서,

제 1 항 또는 제 5 항에 따른 발광 장치; 및

하우징 및 터치 센서 중 적어도 하나를 포함하는, 조명 장치.

청구항 18

제 1 항 또는 제 5 항에 있어서,

상기 발광층으로부터의 발광은 상기 제 3 유기 화합물로부터의 발광을 포함하는, 발광 장치.

청구항 19

삭제

청구항 20

삭제

청구항 21

삭제

청구항 22

삭제

청구항 23

삭제

청구항 24

삭제

청구항 25

삭제

청구항 26

삭제

청구항 27

삭제

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명의 일 형태는 발광 소자, 또는 상기 발광 소자를 각각 포함하는 표시 장치, 전자 기기, 및 조명 장치에 관한 것이다.

[0002] 또한 본 발명의 일 형태는 상술한 기술분야에 한정되지 않는다. 본 명세서 등에 개시(開示)되는 발명의 일 형태의 기술분야는 물건, 방법, 또는 제작 방법에 관한 것이다. 또한 본 발명의 일 형태는 공정(process), 기계(machine), 제품(manufacture), 또는 조성물(composition of matter)에 관한 것이다. 구체적으로는 본 명세서에 개시되는 본 발명의 일 형태의 기술분야의 예에는 반도체 장치, 표시 장치, 액정 표시 장치, 발광 장치, 조

명 장치, 축전 장치, 기억 장치, 이들 중 어느 것의 구동 방법, 및 이들 중 어느 것의 제작 방법이 포함된다.

배 경 기 술

[0003] 근년, 일렉트로루미네선스(EL)를 사용한 발광 소자에 대한 연구 개발이 활발히 수행되고 있다. 이러한 발광 소자의 기본적인 구조에서는, 발광 물질을 포함하는 층(EL층)이 한 쌍의 전극 사이에 제공된다. 이 소자의 전극 사이에 전압을 인가함으로써, 발광 물질로부터의 발광을 일으킬 수 있다.

[0004] 상술한 발광 소자는 자발광 소자이기 때문에, 이 발광 소자를 사용한 표시 장치는 시인성이 높고, 백라이트가 불필요하고, 소비전력이 낮다는 등의 이점을 가진다. 또한 이러한 발광 소자는, 예를 들어 소자를 얇고 가볍게 형성할 수 있고, 응답 속도가 빠르다는 이점도 가진다.

[0005] 발광 물질로서 유기 화합물을 포함한 EL층이 한 쌍의 전극 사이에 제공된 발광 소자(예를 들어 유기 EL 소자)에서는, 한 쌍의 전극 사이에 전압을 인가함으로써, 발광성을 가지는 EL층에 음극으로부터 전자가, 양극으로부터 정공이 주입되기 때문에, 전류가 흐른다. 주입된 전자와 정공이 재결합됨으로써, 발광성 유기 화합물은 여기 상태가 되어 발광을 제공한다.

[0006] 유기 화합물에 의하여 형성될 수 있는 여기 상태에는 단일항 여기 상태(S^*) 및 삼중항 여기 상태(T^*)가 있다. 단일항 여기 상태로부터의 발광을 형광이라고 하고, 삼중항 여기 상태로부터의 발광을 인광이라고 한다. 발광 소자에서의 S^* 대 T^*의 통계적인 생성비는 1:3이다. 그러므로 인광을 방출하는 화합물(인광성 화합물)을 포함하는 발광 소자는 형광을 방출하는 화합물(형광성 화합물)을 포함하는 발광 소자보다 발광 효율이 더 높다. 이러한 이유로, 근년에는 삼중항 여기 에너지를 발광으로 변환할 수 있는 인광성 화합물을 포함하는 발광 소자가 활발히 개발되고 있다.

[0007] 인광성 화합물을 포함하는 발광 소자 중에서, 특히 청색 빛을 방출하는 발광 소자는, 삼중항 여기 에너지 준위가 높은 안정적인 화합물의 개발이 어려운 것으로 인해 아직 실용화에 이르지 못하고 있다. 이러한 이유로, 더 안정적인 형광성 화합물을 포함하는 발광 소자의 개발이 진행되고 있고, 형광성 화합물을 포함하는 발광 소자(형광 발광 소자)의 발광 효율을 높이는 기술이 모색되고 있다.

[0008] 형광 발광 소자의 일례에는 열 활성화 지연 형광(TADF: thermally activated delayed fluorescent) 재료를 포함하는 발광 소자가 포함된다. 열 활성화 지연 형광 재료에서는, 역 계간 교차(reverse intersystem crossing)에 의하여 삼중항 여기 상태로부터 단일항 여기 상태가 생성되고, 단일항 여기 상태가 발광으로 변환된다.

[0009] 특허문헌 1에는 열 활성화 지연 형광 재료 및 형광성 화합물을 포함하는 발광 소자에 있어서, 열 활성화 지연 형광 재료의 단일항 여기 에너지를 형광성 화합물로 이동시키고, 형광성 화합물로부터 발광을 얻는 방법이 개시되어 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0010] (특허문헌 0001) 일본 공개특허공보 특개2014-045179호

비특허문헌

[0011] (비특허문헌 0001) T. Sajoto et al., J. Am. Chem. Soc., 2009, 131, 9813

발명의 내용

해결하려는 과제

[0012] 형광 재료는 삼중항 여기 에너지를 발광으로 변환할 수 없다. 그러므로 형광 발광 소자는 인광 발광 소자보다 발광 효율이 낮은 경우가 많다. 또한 형광 발광 소자는 고휘도로 발광하기 위하여 다량의 전류가 필요하기 때문에 발열 및 전류 부하가 커진다. 그러므로 형광 발광 소자는 높은 신뢰성을 가지기 어렵다.

[0013] 형광 발광 소자의 발광 효율을 높이기 위해서는, 발광층 중의 삼중항 여기 에너지가 단일항 여기 에너지로 효율적으로 변환되거나, 또는 형광 발광 재료로 효율적으로 이동되는 것이 바람직하다. 그러므로 삼중항 여기 상태로부터 단일항 여기 상태를 효율적으로 생성시켜 발광 소자의 발광 효율을 더 높이는 방법 및 재료의 개발이 요구되고 있다. 또한 발광층에는, 구동 전압을 감소시키기 위하여 캐리어 수송성이 높은 재료가 사용될 필요가 있다.

[0014] 상기 관점에서, 본 발명의 일 형태의 과제는 발광 효율이 높은 발광 소자를 제공하는 것이다. 본 발명의 일 형태의 다른 과제는 구동 전압이 낮은 발광 소자를 제공하는 것이다. 본 발명의 일 형태의 다른 과제는 신뢰성이 높은 발광 소자를 제공하는 것이다. 본 발명의 일 형태의 다른 과제는 저소비전력의 발광 소자를 제공하는 것이다. 본 발명의 일 형태의 다른 과제는 색 순도가 높은 빛을 방출하는 발광 소자를 제공하는 것이다. 본 발명의 일 형태의 다른 과제는 신규 발광 소자를 제공하는 것이다. 본 발명의 일 형태의 다른 과제는 신규 발광 장치를 제공하는 것이다. 본 발명의 일 형태의 다른 과제는 신규 전자 기기를 제공하는 것이다.

[0015] 또한 상술한 과제의 기재는 다른 과제의 존재를 방해하지 않는다. 본 발명의 일 형태에서 모든 과제를 해결할 필요는 없다. 상술한 과제 외의 과제는 명세서 등의 기재로부터 명백해질 것이며 추출될 수 있다.

과제의 해결 수단

[0016] 상술한 바와 같이 형광을 방출하는 발광 소자에서 삼중항 여기 에너지를 발광으로 효율적으로 변환하는 방법의 개발이 요구되고 있다. 그러므로 발광층에 사용되는 재료들 간의 에너지 이동 효율을 높일 필요가 있다.

[0017] 상기 관점에서, 본 발명의 일 형태는 한 쌍의 전극 사이에 발광층을 포함하는 발광 소자이다. 발광층은 제 1 유기 화합물, 제 2 유기 화합물, 및 제 3 유기 화합물을 포함한다. 제 1 유기 화합물은 삼중항 여기 에너지를 발광으로 변환하는 기능을 가진다. 제 2 유기 화합물의 단일항 여기 에너지와 제 2 유기 화합물의 삼중항 여기 에너지의 차는 0eV 이상 0.2eV 이하이다. 제 3 유기 화합물은 단일항 여기 에너지를 발광으로 변환하는 기능을 가진다. 발광층으로부터의 발광은 제 3 유기 화합물로부터의 발광을 포함한다.

[0018] 본 발명의 다른 일 형태는 한 쌍의 전극 사이에 발광층을 포함하는 발광 소자이다. 발광층은 제 1 유기 화합물, 제 2 유기 화합물, 및 제 3 유기 화합물을 포함한다. 제 1 유기 화합물은 삼중항 여기 에너지를 발광으로 변환하는 기능을 가진다. 제 2 유기 화합물은 π 전자 과잉 골격 및 π 전자 부족 골격을 포함한다. 제 3 유기 화합물은 단일항 여기 에너지를 발광으로 변환하는 기능을 가진다. 발광층으로부터의 발광은 제 3 유기 화합물로부터의 발광을 포함한다.

[0019] 본 발명의 다른 일 형태는 한 쌍의 전극 사이에 발광층을 포함하는 발광 소자이다. 발광층은 제 1 유기 화합물, 제 2 유기 화합물, 및 제 3 유기 화합물을 포함한다. 제 1 유기 화합물과 제 2 유기 화합물은 들뜬 복합체를 형성할 수 있다. 제 1 유기 화합물은 삼중항 여기 에너지를 발광으로 변환하는 기능을 가진다. 제 2 유기 화합물의 단일항 여기 에너지 준위와 제 2 유기 화합물의 삼중항 여기 에너지 준위의 차는 0eV 이상 0.2eV 이하이다. 제 3 유기 화합물은 단일항 여기 에너지를 발광으로 변환하는 기능을 가진다. 발광층으로부터의 발광은 제 3 유기 화합물로부터의 발광을 포함한다.

[0020] 본 발명의 다른 일 형태는 한 쌍의 전극 사이에 발광층을 포함하는 발광 소자이다. 발광층은 제 1 유기 화합물, 제 2 유기 화합물, 및 제 3 유기 화합물을 포함한다. 제 1 유기 화합물과 제 2 유기 화합물은 들뜬 복합체를 형성할 수 있다. 제 1 유기 화합물은 삼중항 여기 에너지를 발광으로 변환하는 기능을 가진다. 제 2 유기 화합물은 π 전자 과잉 골격 및 π 전자 부족 골격을 포함한다. 제 3 유기 화합물은 단일항 여기 에너지를 발광으로 변환하는 기능을 가진다. 발광층으로부터의 발광은 제 3 유기 화합물로부터의 발광을 포함한다.

[0021] 상술한 실시형태 중 임의의 것에서, 제 1 유기 화합물은 제 3 유기 화합물에 여기 에너지를 공여하는 기능을 가지는 것이 바람직하다.

[0022] 상술한 실시형태 중 임의의 것에서, 들뜬 복합체는 제 3 유기 화합물에 여기 에너지를 공여하는 기능을 가지는 것이 바람직하다.

[0023] 상술한 실시형태 중 임의의 것에서, π 전자 과잉 골격과 π 전자 부족 골격은 서로 직접 결합되는 것이 바람직하다.

[0024] 상술한 실시형태 중 임의의 것에서, 제 1 유기 화합물의 삼중항 여기 에너지 준위는 제 3 유기 화합물의 단일항 여기 에너지 준위 이상인 것이 바람직하다.

[0025] 상술한 실시형태 중 임의의 것에서, 제 1 유기 화합물은 Ru, Rh, Pd, Os, Ir, 또는 Pt을 포함하는 것이 바람직하다.

[0026] 상술한 실시형태 중 임의의 것에서, 제 1 유기 화합물은 인광을 방출하는 기능을 가지는 것이 바람직하다.

[0027] 상술한 실시형태 중 임의의 것에서, 제 1 유기 화합물의 최저 삼중항 여기 에너지 준위는 제 2 유기 화합물의 최저 삼중항 여기 에너지 준위 이하인 것이 바람직하다.

[0028] 상술한 실시형태 중 임의의 것에서, 들뜬 복합체의 발광 스펙트럼은, 제 3 유기 화합물의 흡수 스펙트럼의 가장 장파장 측의 흡수대와 중첩되는 영역을 포함하는 것이 바람직하다.

[0029] 상술한 실시형태 중 임의의 것에서, 제 1 유기 화합물은 실온에서 0% 이상 40% 이하의 발광 양자 수율을 가지는 것이 바람직하다.

[0030] 상술한 실시형태 중 임의의 것에서, 제 3 유기 화합물은 형광을 방출하는 것이 바람직하다.

[0031] 본 발명의 다른 일 형태는 상술한 구조 중 어느 것을 가지는 발광 소자와, 컬러 필터 및 트랜지스터 중 적어도 하나를 포함하는 표시 장치이다. 본 발명의 다른 일 형태는 상기 표시 장치와, 하우징 및 터치 센서 중 적어도 하나를 포함하는 전자 기기이다. 본 발명의 다른 일 형태는 상술한 구조 중 어느 것을 가지는 발광 소자와, 하우징 및 터치 센서 중 적어도 하나를 포함하는 조명 장치이다. 본 발명의 일 형태의 범주에는 발광 소자를 포함하는 발광 장치뿐만 아니라, 발광 장치를 포함하는 전자 기기도 포함된다. 따라서 본 명세서에서 발광 장치란 화상 표시 장치 또는 광원(조명 장치를 포함함)을 말한다. 발광 장치는, 발광 소자에 FPC(flexible printed circuit) 또는 TCP(tape carrier package) 등의 커넥터가 접속된 표시 모듈, TCP 끝에 인쇄 배선판이 제공된 표시 모듈, 또는 COG(chip on glass)법에 의하여 발광 소자에 IC(집적 회로)가 직접 실장된 표시 모듈을 그 범주에 포함하는 경우가 있다.

발명의 효과

[0032] 본 발명의 일 형태는 발광 효율이 높은 발광 소자를 제공할 수 있다. 본 발명의 다른 일 형태는 구동 전압이 낮은 발광 소자를 제공할 수 있다. 본 발명의 다른 일 형태는 신뢰성이 높은 발광 소자를 제공할 수 있다. 본 발명의 다른 일 형태는 저소비전력의 발광 소자를 제공할 수 있다. 본 발명의 다른 일 형태는 색 순도가 높은 빛을 방출하는 발광 소자를 제공할 수 있다. 본 발명의 다른 일 형태는 신규 발광 소자를 제공할 수 있다. 본 발명의 다른 일 형태는 신규 발광 장치를 제공할 수 있다. 본 발명의 다른 일 형태는 신규 전자 기기를 제공할 수 있다.

[0033] 또한 이들 효과의 기재는 다른 효과의 존재를 방해하지 않는다. 본 발명의 일 형태는 반드시 상술한 모든 효과를 가질 필요는 없다. 다른 효과는 명세서, 도면, 및 청구항 등의 기재로부터 명백해질 것이며 추출될 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0034] 첨부 도면에 있어서:

도 1의 (A) 및 (B)는 본 발명의 일 형태의 발광 소자의 단면 모식도이고, 도 1의 (C)는 발광층에서의 에너지 준위의 상관을 나타낸 것;

도 2의 (A) 및 (B)는 본 발명의 일 형태의 발광 소자의 발광층에서의 에너지 준위의 상관을 나타낸 것;

도 3은 본 발명의 일 형태의 발광 소자의 발광층에서의 에너지 준위의 상관을 나타낸 것;

도 4의 (A) 및 (B)는 본 발명의 일 형태의 발광 소자의 발광층에서의 에너지 준위의 상관을 나타낸 것;

도 5는 본 발명의 일 형태의 발광 소자의 단면 모식도;

도 6의 (A) 및 (B)는 본 발명의 일 형태의 표시 장치를 도시한 상면도 및 단면 모식도;

도 7의 (A) 및 (B)는 본 발명의 일 형태의 표시 장치를 각각 도시한 단면 모식도;

도 8의 (A) 및 (B)는 본 발명의 일 형태의 표시 장치를 각각 도시한 단면 모식도;

도 9의 (A) 내지 (D)는 본 발명의 일 형태의 전자 기기를 도시한 것;

도 10의 (A) 내지 (C)는 본 발명의 일 형태의 전자 기기를 도시한 것;

도 11의 (A) 및 (B)는 본 발명의 일 형태의 전자 기기를 도시한 것;

도 12는 본 발명의 일 형태의 조명 장치를 도시한 것;

도 13은 실시예에서의 발광 소자의 휘도-전류 효율 특성을 나타낸 것;

도 14는 실시예에서의 발광 소자의 전압-전류 특성을 나타낸 것;

도 15는 실시예에서의 발광 소자의 휘도-외부 양자 효율 특성을 나타낸 것;

도 16은 실시예에서의 발광 소자의 발광 스펙트럼을 나타낸 것;

도 17은 실시예에서의 시간 분해 발광 측정 결과를 나타낸 것;

도 18은 실시예에서의 발광 스펙트럼과 흡수 스펙트럼의 관계를 나타낸 것;

도 19의 (A) 및 (B)는 실시예에서의 과도(過渡) 형광 특성을 나타낸 것;

도 20은 실시예에서의 화합물의 발광 스펙트럼을 나타낸 것;

도 21은 실시예에서의 화합물의 발광 스펙트럼을 나타낸 것;

도 22는 실시예에서의 발광 소자의 신뢰성 시험 결과를 나타낸 것;

도 23은 실시예에서의 발광 소자의 휘도-전류 효율 특성을 나타낸 것;

도 24는 실시예에서의 발광 소자의 전압-전류 특성을 나타낸 것;

도 25는 실시예에서의 발광 소자의 휘도-외부 양자 효율 특성을 나타낸 것;

도 26은 실시예에서의 발광 소자의 발광 스펙트럼을 나타낸 것;

도 27은 실시예에서의 시간 분해 발광 측정 결과를 나타낸 것;

도 28은 실시예에서의 발광 소자의 신뢰성 시험 결과를 나타낸 것;

도 29는 실시예에서의 발광 소자의 휘도-전류 효율 특성을 나타낸 것;

도 30은 실시예에서의 발광 소자의 전압-전류 특성을 나타낸 것;

도 31은 실시예에서의 발광 소자의 휘도-외부 양자 효율 특성을 나타낸 것;

도 32는 실시예에서의 발광 소자의 발광 스펙트럼을 나타낸 것;

도 33은 실시예에서의 시간 분해 발광 측정 결과를 나타낸 것;

도 34는 실시예에서의 시간 분해 발광 측정 결과를 나타낸 것;

도 35는 실시예에서의 화합물의 발광 스펙트럼을 나타낸 것;

도 36은 실시예에서의 발광 소자의 신뢰성 시험 결과를 나타낸 것;

도 37은 실시예에서의 발광 소자의 휘도-전류 효율 특성을 나타낸 것;

도 38은 실시예에서의 발광 소자의 전압-전류 특성을 나타낸 것;

도 39는 실시예에서의 발광 소자의 휘도-외부 양자 효율 특성을 나타낸 것;

도 40은 실시예에서의 발광 소자의 발광 스펙트럼을 나타낸 것;

도 41은 실시예에서의 시간 분해 발광 측정 결과를 나타낸 것;

도 42는 실시예에서의 화합물의 발광 스펙트럼을 나타낸 것;

도 43은 실시예에서의 발광 소자의 신뢰성 시험 결과를 나타낸 것;

도 44는 실시예에서의 발광 소자의 휘도-전류 효율 특성을 나타낸 것;

도 45는 실시예에서의 발광 소자의 전압-전류 특성을 나타낸 것;

도 46은 실시예에서의 발광 소자의 휘도-외부 양자 효율 특성을 나타낸 것;

도 47은 실시예에서의 발광 소자의 발광 스펙트럼을 나타낸 것;

도 48은 실시예에서의 발광 소자의 발광 스펙트럼을 나타낸 것;

도 49는 실시예에서의 시간 분해 발광 측정 결과를 나타낸 것; 그리고

도 50은 실시예에서의 발광 스펙트럼과 흡수 스펙트럼의 관계를 나타낸 것이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0035] 이하에서 본 발명의 실시형태에 대하여 도면을 참조하여 자세히 설명한다. 그러나 본 발명은 이하의 설명에 한정되지 않고, 본 발명의 취지 및 범위에서 벗어나지 않고 형태 및 자세한 사항을 다양하게 변경할 수 있다. 따라서 본 발명은 이하의 실시형태 및 실시예의 내용에 한정하여 해석되지 말아야 한다.

[0036] 또한 도면 등에 도시된 각 구성요소의 위치, 크기, 또는 범위 등은 이해를 쉽게 하기 위하여 정확하게 나타내지 않은 경우가 있다. 따라서 개시된 발명은 도면 등에 개시된 위치, 크기, 또는 범위 등에 반드시 한정되지는 않는다.

[0037] 또한 본 명세서 등에서 제 1 및 제 2 등의 서수는 편의상 사용하는 것이고, 단계의 순서 또는 적층 순서를 나타내는 것은 아니다. 따라서 예를 들어, "제 1"을 "제 2" 또는 "제 3"으로 적절히 바꿔도 설명이 가능하다. 또한 본 명세서 등에서의 서수는 본 발명의 일 형태를 특정하기 위하여 사용되는 서수와 반드시 같지는 않다.

[0038] 본 명세서 등에서 도면을 참조하여 본 발명의 형태를 설명하는 데 있어, 상이한 도면의 같은 구성요소는 같은 부호로 나타내는 경우가 있다.

[0039] 본 명세서 등에서는, "막" 및 "층"이라는 용어를 서로 교체할 수 있다. 예를 들어, "도전층"이라는 용어를 "도전막"이라는 용어로 바꿀 수 있는 경우가 있고, "절연막"이라는 용어를 "절연층"이라는 용어로 바꿀 수 있는 경우가 있다.

[0040] 본 명세서 등에서, 단일항 여기 상태(S^*)란 여기 에너지를 가지는 단일항 상태를 말한다. S1 준위는 단일항 여기 에너지 준위의 가장 낮은 준위, 즉 가장 낮은 단일항 여기 상태(S1 상태)의 여기 에너지 준위를 말한다. 삼중항 여기 상태(T^*)란 여기 에너지를 가지는 삼중항 상태를 말한다. T1 준위는 삼중항 여기 에너지 준위의 가장 낮은 준위, 즉 가장 낮은 삼중항 여기 상태(T1 상태)의 여기 에너지 준위를 말한다. 또한 본 명세서 등에서, "단일항 여기 상태" 및 "단일항 여기 에너지 준위"라는 단순한 표현은 각각 S1 상태 및 S1 준위를 뜻하는 경우가 있다. 또한 "삼중항 여기 상태" 및 "삼중항 여기 에너지 준위"라는 표현은 각각 T1 상태 및 T1 준위를 뜻하는 경우가 있다.

[0041] 본 명세서 등에서 형광성 화합물이란, 단일항 여기 상태로부터 바닥 상태로 완화될 때에 가시광 영역의 빛을 방출하는 화합물을 말한다. 인광성 화합물이란, 삼중항 여기 상태로부터 바닥 상태로 완화될 때에 실온에서 가시광 영역의 빛을 방출하는 화합물을 말한다. 즉 인광성 화합물이란, 삼중항 여기 에너지를 가시광으로 변환할 수 있는 화합물을 말한다.

[0042] 또한 본 명세서 등에서 실온이란, 0℃이상 40℃이하의 온도를 말한다.

[0043] 본 명세서 등에서, 청색의 파장 영역이란 400nm 이상 490nm 미만의 파장 영역을 말하고, 청색 빛은 상기 파장 영역에 적어도 하나의 발광 스펙트럼 피크를 가진다. 녹색의 파장 영역이란 490nm 이상 580nm 미만의 파장 영역을 말하고, 녹색 빛은 상기 파장 영역에 적어도 하나의 발광 스펙트럼 피크를 가진다. 적색의 파장 영역이란 580nm 이상 680nm 이하의 파장 영역을 말하고, 적색 빛은 상기 파장 영역에 적어도 하나의 발광 스펙트럼 피크를 가진다.

[0044] (실시형태 1)

[0045] 본 실시형태에서는 도 1의 (A) 내지 (C), 도 2의 (A) 및 (B), 도 3, 그리고 도 4의 (A) 및 (B)를 참조하여 본 발명의 일 형태의 발광 소자에 대하여 이하에서 설명한다.

[0046] <발광 소자의 구조예 1>

[0047] 먼저 본 발명의 일 형태의 발광 소자의 구조에 대하여 도 1의 (A) 내지 (C)를 참조하여 이하에서 설명한다.

[0048] 도 1의 (A)는 본 발명의 일 형태의 발광 소자(150)의 단면 모식도이다.

[0049] 발광 소자(150)는 한 쌍의 전극(전극(101) 및 전극(102)), 및 한 쌍의 전극 사이의 EL층(100)을 포함한다. EL층(100)은 적어도 발광층(130)을 포함한다.

[0050] 도 1의 (A)에 도시된 EL층(100)은 발광층(130)에 더하여, 정공 주입층(111), 정공 수송층(112), 전자 수송층(118), 및 전자 주입층(119) 등의 기능층을 포함한다.

[0051] 본 실시형태에서는 한 쌍의 전극에서 전극(101) 및 전극(102)이 각각 양극 및 음극으로서 기능하는 것으로 상정하여 설명하지만, 발광 소자(150)의 구조는 이에 한정되지 않는다. 즉 전극(101)이 음극이어도 좋고, 전극(102)이 양극이어도 좋고, 전극들 사이의 층들의 적층 순서가 거꾸로 되어도 좋다. 바꿔 말하면 정공 주입층(111), 정공 수송층(112), 발광층(130), 전자 수송층(118), 및 전자 주입층(119)을 양극 측으로부터 이 순서대로 적층할 수 있다.

[0052] EL층(100)의 구조는 도 1의 (A)에 도시된 구조에 한정되지 않고, 정공 주입층(111), 정공 수송층(112), 전자 수송층(118), 및 전자 주입층(119)에서 선택된 적어도 1층을 포함한 구조가 적용된다. 또는 EL층(100)은 예를 들어, 정공 또는 전자의 주입 장벽을 저감하거나, 정공 또는 전자 수송성을 향상시키거나, 정공 또는 전자 수송성을 저해하거나, 또는 전극에 의한 퀀칭을 억제하는 기능을 가지는 기능층을 포함하여도 좋다. 또한 기능층은 단층이어도 좋고 적층이어도 있다.

[0053] 다음으로 발광층(130)에 대하여 이하에서 설명한다.

[0054] 본 발명의 일 형태에서 발광 소자(150)는 발광층(130)에 형광성 화합물을 포함하는 형광 발광 소자이다. 형광 발광 소자는 신뢰성이 높고, 발광 스펙트럼이 인광 발광 소자보다 날카로워지는 경향이 있기 때문에 색 순도가 높은 빛을 방출한다. 다만 유기 EL 소자에 있어서, 단일항 엑시톤 대 삼중항 엑시톤의 생성비(이하 엑시톤 생성 확률이라고 함)는 통계적 확률에 따르면 1:3이다. 이는 일반적으로, 단일항 엑시톤을 사용한 빛을 방출하는 형광 발광 소자에서는 생성된 엑시톤 중 25%밖에 발광에 기여하지 않는다는 것을 뜻한다. 그러므로 형광 발광 소자의 고효율화에는 삼중항 엑시톤을 발광에 기여시키는 것이 중요하다.

[0055] 상기 관점에서, 본 발명자들은 삼중항 여기 에너지를 발광으로 변환할 수 있는 유기 화합물, 단일항 여기 에너지와 삼중항 여기 에너지의 차가 0eV 이상 0.2eV 이하인 유기 화합물, 및 형광을 방출하는 유기 화합물을 발광층에 사용함으로써, 삼중항 엑시톤을 형광에 효율적으로 기여시킬 수 있는 것, 즉 고효율의 형광 소자를 얻을 수 있는 것을 찾았다. 단일항 여기 에너지와 삼중항 여기 에너지의 차가 0eV 이상 0.2eV 이하인 유기 화합물은 1분자 중에 π전자 과잉 골격 및 π전자 부족 골격을 포함하는 유기 화합물이어도 좋다.

[0056] 단일항 여기 에너지와 삼중항 여기 에너지의 차가 0eV 이상 0.2eV 이하인 유기 화합물의 예에는 열 활성화 지연 형광(TADF) 재료가 포함된다. 또한 열 활성화 지연 형광 재료는, S1 준위와 T1 준위의 차가 작고, 역 계간 교차에 의하여 삼중항 여기 에너지를 단일항 여기 에너지로 변환하는 기능을 가지는 재료이다. 그러므로 열 활성화 지연 형광 재료는, 적은 열 에너지를 사용하여 삼중항 여기 에너지를 단일항 여기 에너지로 업컨버트(업컨버전)(즉 역 계간 교차)할 수 있고, 단일항 여기 상태를 효율적으로 생성할 수 있다. 2가지 물질로 여기 상태를 형성하는 들뜬 복합체는 S1 준위와 T1 준위의 차가 매우 작고, 삼중항 여기 에너지를 단일항 여기 에너지로 변환할 수 있는 열 활성화 지연 형광 재료로서 기능한다.

[0057] 1분자 중에 π전자 과잉 골격 및 π전자 부족 골격을 포함하는 유기 화합물은 바이폴러성을 가지며 캐리어(전자 및 정공) 수송성이 높기 때문에, 발광 소자에 상기 유기 화합물을 사용함으로써 캐리어 밸런스를 향상시키고 구동 전압을 감소시킬 수 있다. 상기 유기 화합물은 TADF성을 가지는 경우가 있다. 이러한 경우, π전자 과잉 골격과 π전자 부족 골격이 서로 직접 결합되는 구조가 바람직하다. 이러한 구조로 함으로써 역 계간 교차의 효율이 높아지기 때문에, 발광 효율이 높은 TADF 재료를 얻을 수 있다.

[0058] TADF 재료는 1분자 중에 π전자 과잉 골격 및 π전자 부족 골격을 포함하는 유기 화합물을 포함한다. 그러므로 상술한 바와 같이, TADF 재료는 캐리어 수송성이 높고, 발광 소자에 TADF 재료를 사용함으로써 캐리어 밸런스를 향상시킬 수 있다. 또한 발광 소자의 구동 전압을 감소시킬 수 있다.

[0059] 삼중항 여기 에너지를 발광으로 변환하는 기능을 가지는 유기 화합물의 예에는, 인광을 방출할 수 있는 화합물(이하 인광성 화합물이라고도 함)이 포함된다. 본 명세서 등에서 인광성 화합물은, 저온(예를 들어 77K) 이상 실온 이하의 온도(즉 77K 이상 313K 이하)에서 인광을 방출하고 형광을 방출하지 않는 화합물이다. 삼중항 여기 에너지를 발광으로 효율적으로 변환하기 위해서는, 인광성 화합물이 중원자를 포함하는 것이 바람직하다.

인광성 화합물이 중원자를 포함하는 경우, 스핀 궤도 상호 작용(전자의 스핀 각운동량과 궤도 각운동량의 상호 작용)에 의하여 단일항 바닥 상태와 삼중항 여기 상태 사이의 전이(transition)가 허용된다. 따라서 인광성 화합물의 단일항 바닥 상태와 삼중항 여기 상태 사이의 전이의 확률이 높아지기 때문에, 이 전이에 관련된 발광 효율 및 흡수 확률을 높일 수 있다. 또한 이 인광성 화합물의 삼중항 여기 에너지 준위로부터 형광성 화합물의 단일항 여기 에너지 준위로의 푀르스터(Förster) 기구에 의한 에너지 이동이 허용된다. 이 에너지 이동을 가능하게 하기 위해서는, 인광성 화합물은 스핀 궤도 상호 작용이 큰 금속 원소, 구체적으로는 전이 금속 원소를 포함하는 것이 바람직하다. 특히, 인광성 화합물이 백금족 원소(루테륨(Ru), 로듐(Rh), 팔라듐(Pd), 오스뮴(Os), 이리듐(Ir), 또는 백금(Pt)), 특히 이리듐을 포함하면, 단일항 바닥 상태와 삼중항 여기 상태 사이의 직접 전이의 확률을 높일 수 있기 때문에 바람직하다. 삼중항 여기 에너지를 발광으로 변환하는 기능을 가지는 재료의 예에는 상술한 TADF 재료도 포함된다.

[0060] 도 1의 (B)는 도 1의 (A)의 발광층(130)의 예를 도시한 단면 모식도이다. 도 1의 (B)에 도시된 발광층(130)은 화합물(131), 화합물(132), 및 화합물(133)을 포함한다. 본 발명의 일 형태에서, 화합물(131)은 삼중항 여기 에너지를 발광으로 변환하는 기능을 가진다. 화합물(132)은 TADF 재료인 것이 바람직하다. 화합물(133)은 형광을 방출하는 게스트 재료이다.

[0061] <발광층의 구조예 1>

[0062] 도 1의 (C)는 본 발명의 일 형태의 발광 소자의 발광층의 에너지 준위의 상관의 일례를 나타낸 것이다. 본 구조예에서는 화합물(131)은 인광성 화합물이다.

[0063] 구체적으로 도 1의 (C)는 발광층(130)에서의 화합물(131, 132, 및 133)의 에너지 준위의 상관을 나타낸 것이다. 다음은 도 1의 (C)에서의 용어 및 부호가 나타내는 것에 대하여 설명하는 것이다.

[0064] Comp(131): 화합물(131)

[0065] Comp(132): 화합물(132)

[0066] Guest(133): 화합물(133)

[0067] T_{C1}: 화합물(131)의 T1 준위

[0068] S_{C2}: 화합물(132)의 S1 준위

[0069] T_{C2}: 화합물(132)의 T1 준위

[0070] S_G: 화합물(133)의 S1 준위

[0071] T_G: 화합물(133)의 T1 준위

[0072] 도 1의 (C)에서 화합물(131) 또는 화합물(132)이 정공 및 전자를 받으면 여기 상태가 형성된다. 여기서 화합물(131)은 인광성 화합물이기 때문에, 단일항 상태와 삼중항 상태 사이의 계간 교차가 허용된다. 그러므로 화합물(132)의 단일항 여기 에너지 및 삼중항 여기 에너지의 양쪽을 화합물(131)로 신속히 이동시킬 수 있다(도 1의 (C)의 루트 A_1). 이때 $S_{C2} \geq T_{C1}$ 및 $T_{C2} \geq T_{C1}$인 것이 바람직하다. 발광층(130)은 화합물(131, 132, 및 133)을 혼합하여 형성되는데, 이 혼합에 있어서 화합물(132)의 비율은 화합물(131)보다 높은 것이 바람직하고, 구체적으로는 화합물(131) 대 화합물(132)의 중량비가 1:9 내지 3:7의 범위 내인 것이 바람직하다. 이러한 구성으로 함으로써 화합물(131)이 효율적으로 여기(勵起)될 수 있다. 또한 화합물(131)은 인광성 화합물이기 때문에, 화합물(131)의 삼중항 여기 에너지를 화합물(133)의 단일항 여기 에너지로 효율적으로 변환할 수 있다(도 1의 (C)의 루트 A_2). 여기서 도 1의 (C)에 나타낸 바와 같이 $S_{C2} \geq T_{C1} \geq S_G$이면 단일항 여기 에너지가 게스트 재료인 화합물(133)로 효율적으로 이동하기 때문에 바람직하다. 또한 $T_{C2} \geq T_{C1} \geq S_G$이면 삼중항 여기 에너지가 효율적으로 단일항 여기 에너지로 변환되고 게스트 재료인 화합물(133)로 이동하기 때문에 바람직하다.

[0073] T_{C1}로부터 T_G로 이동한 삼중항 여기 에너지는 비활성화한다(도 1의 (C)의 루트 A_3). 따라서 루트 A_3을 거치는 에너지 이동의 양은 적은 것이 바람직하다. 루트 A_3을 거치는 에너지 이동을 피하기 위해서는 화합물(131 및 132)의 총량에 대한 화합물(133)의 중량비가 낮은 것이 바람직하다. 구체적으로는 화합물(131 및 132)의 총량에 대한 화합물(133)의 중량비가 0.001 이상 0.05 이하인 것이 바람직하고, 0.001 이상 0.01 이하인 것이 더 바

람직하다.

[0074] 또한 화합물(133)에서 캐리어의 직접 재결합 과정이 지배적이면, 화합물(133)에서 다수의 삼중항 엑시톤이 생성되기 때문에, 열 비활성화로 인하여 발광 효율이 저하된다. 따라서 화합물(133)에서 A_2를 거치는 에너지 이동 과정의 비율이, 캐리어의 직접 재결합 과정보다 높으면, 화합물(133)의 삼중항 여기 상태의 생성 확률을 저감시킬 수 있고 열 비활성화를 억제할 수 있기 때문에 바람직하다. 이러한 상태로 하기 위해서는, 화합물(131 및 132)의 총량에 대한 화합물(133)의 중량비가 낮은 것이 바람직하다. 구체적으로는 화합물(131 및 132)의 총량에 대한 화합물(133)의 중량비가 0.001 이상 0.05 이하인 것이 바람직하고, 0.001 이상 0.01 이하인 것이 더 바람직하다.

[0075] 본 발명의 일 형태의 발광 소자에서, 화합물(132)은 열 활성화 지연 형광을 나타낼 수 있다(TADF성). 바꿔 말하면 화합물(132)은 업컨버전에 의하여 삼중항 여기 에너지를 단일항 여기 에너지로 변환하는 기능을 가진다(도 1의 (C)의 루트 A_4). 화합물(132)의 단일항 여기 에너지는 화합물(133)로 신속히 이동할 수 있다(도 1의 (C)의 루트 A_5). 이때 $S_{C2} \geq S_G$인 것이 바람직하다.

[0076] 또한 루트 A_1은 루트 A_4로 나타내어지는 역 계간 교차가 일어나지 않더라도 일어날 수 있다. 즉 루트 A_1로 나타내어지는 에너지 이동은 루트 A_4로 나타내어지는 역 계간 교차가 일어났는지 여부에 상관없이 일어날 수 있다.

[0077] 상술한 바와 같이 본 발명의 일 형태의 발광 소자에서는, 삼중항 여기 에너지가 도 1의 (C) 중의 루트 A_1 및 루트 A_2를 거쳐 게스트 재료인 화합물(133)로 이동하는 경로와, 삼중항 여기 에너지가 도 1의 (C) 중의 루트 A_4 및 루트 A_5를 거쳐 화합물(133)로 이동하는 경로가 있다. 삼중항 여기 에너지가 형광성 화합물로 이동하는 경로에 의하여 형광 발광 소자의 발광 효율을 높일 수 있다. 또한 삼중항 여기 에너지가 형광성 화합물로 각각 이동하는 복수의 경로에 의하여 발광 효율을 더 높일 수 있다.

[0078] 발광층(130)이 상술한 구조를 가지면, 발광층(130)의 형광성 화합물로부터의 발광을 효율적으로 얻을 수 있다.

[0079] 또한 T_G는 2.0eV 이하이면 신뢰성이 높은 발광 소자를 얻을 수 있기 때문에 바람직하다.

[0080] 상기 구조에서는, 인광성 화합물에 발광 양자 수율이 높은 재료를 사용할 필요가 없기 때문에, 재료 설계가 용이해지고 넓은 선택 범위에서 재료를 선택할 수 있다. 구체적으로는 상기 화합물의 발광 양자 수율은 실온 또는 상온에서 0% 이상 50% 이하, 0% 이상 40% 이하, 0% 이상 25% 이하, 0% 이상 10% 이하, 또는 0% 이상 1% 이하이어도 좋다. 또한 상기 화합물은 중원자를 포함하는 것이 바람직하다. 상기 중원자의 예에는 Ru, Rh, Pd, Os, Ir, 및 Pt이 포함된다.

[0081] <발광층의 구조예 2>

[0082] 도 2의 (B)는 본 발명의 일 형태의 발광 소자(150)의 발광층(130)에서의 에너지 준위의 상관의 일례를 나타낸 것이다. 본 구조예에서 화합물(131)은 인광성 화합물이고, 화합물(131)과 화합물(132)은 들뜬 복합체를 형성한다.

[0083] 들뜬 복합체를 형성할 수 있는 임의의 화합물(131)과 화합물(132)의 조합으로 할 수 있는데, 이들 중 한쪽이 정공 수송성을 가지는 화합물이고, 다른 쪽이 전자 수송성을 가지는 화합물인 것이 바람직하다. 이 경우, 도너-억셉터(donor-acceptor) 들뜬 복합체가 형성되기 쉬워지기 때문에, 들뜬 복합체의 효율적인 형성이 가능하다. 화합물(131)과 화합물(132)이 정공 수송성을 가지는 화합물과 전자 수송성을 가지는 화합물의 조합인 경우에는, 그 혼합비에 따라 캐리어 밸런스를 쉽게 제어할 수 있다. 구체적으로는 정공 수송성을 가지는 화합물 대 전자 수송성을 가지는 화합물의 중량비를 1:9 내지 9:1의 범위 내로 하는 것이 바람직하다. 상기 구성을 가짐으로써 캐리어 밸런스를 쉽게 제어할 수 있기 때문에, 캐리어 재결합 영역도 쉽게 제어할 수 있다.

[0084] 또한 들뜬 복합체의 형성은 예를 들어, 화합물(131)과, 화합물(132)과, 화합물(131 및 132)의 혼합막의 발광 스펙트럼을 비교하고, 혼합막의 발광 스펙트럼이 화합물(131 및 132)의 발광 스펙트럼보다 장파장 측에 시프트하는(또는 장파장 측에 새로운 피크를 가지는) 현상을 관측함으로써 확인할 수 있다. 또는 들뜬 복합체의 형성은, 화합물(131)과, 화합물(132)과, 화합물(131 및 132)의 혼합막의 과도 포토루미네선스(PL)를 비교하고, 과도 응답의 차이(혼합막의 과도 PL 수명이 화합물(131 및 132)의 각각의 과도 PL 수명보다 장수명의 성분을 가지거나 많은 비율로 지연 성분을 가진다는 등)를 관측함으로써 확인할 수 있다. 상기 과도 PL은 과도 일렉트로루미네선스(EL)로 바꿀 수 있다. 즉 화합물(131)과, 화합물(132)과, 화합물(131 및 132)의 혼합막의 과도 EL을

비교하고 과도 응답의 차이를 관측함으로써도 들뜬 복합체의 형성을 확인할 수 있다.

[0085] 들뜬 복합체를 효율적으로 형성하는 재료의 조합으로서는, 화합물(131 및 132) 중 한쪽의 최고 점유 분자 오비탈(HOMO라고도 함) 준위가 다른 쪽의 HOMO 준위보다 높고, 한쪽의 최저 비점유 분자 오비탈(LUMO라고도 함) 준위가 다른 쪽의 LUMO 준위보다 높은 것이 바람직하다. 구체적으로는, 화합물(131)과 화합물(132)의 HOMO 준위의 에너지 차는 바람직하게는 0.1eV 이상이고, 더 바람직하게는 0.2eV 이상이고, 더욱 바람직하게는 0.3eV 이상이다. 또한 화합물(131)과 화합물(132)의 LUMO 준위의 에너지 차는 바람직하게는 0.1eV 이상이고, 더 바람직하게는 0.2eV 이상이고, 더욱 바람직하게는 0.3eV 이상이다. 이러한 에너지 준위의 상관은, 한 쌍의 전극(전극(101 및 102))으로부터 주입된 캐리어인 전자 및 정공이 화합물(131) 및 화합물(132)에 주입되기 쉬워지기 때문에 적합하다. 또한 화합물(131)의 HOMO 준위가 화합물(132)의 HOMO 준위와 동등하여도 좋고, 또는 화합물(131)의 LUMO 준위가 화합물(132)의 LUMO 준위와 동등하여도 좋다.

[0086] 또한 화합물의 LUMO 준위 및 HOMO 준위는, 사이클릭 볼타메트리(CV)에 의하여 측정되는 화합물의 전기 화학 특성(환원 전위 및 산화 전위)로부터 도출할 수 있다.

[0087] 예를 들어, 화합물(131)이 정공 수송성을 가지고, 화합물(132)이 전자 수송성을 가지는 경우에는, 도 2의 (A)의 에너지 밴드도에서와 같이, 화합물(131)의 HOMO 준위가 화합물(132)의 HOMO 준위보다 높고, 화합물(131)의 LUMO 준위가 화합물(132)의 LUMO 준위보다 높은 것이 바람직하다. 이러한 에너지 준위의 상관은, 한 쌍의 전극(전극(101 및 102))으로부터 주입된 캐리어인 전자 및 정공이 화합물(131) 및 화합물(132)에 주입되기 쉬워지기 때문에 적합하다.

[0088] 도 2의 (A)에서, Comp(131)는 화합물(131)을 나타내고, Comp(132)는 화합물(132)을 나타내고, $\triangle E_{C1}$은 화합물(131)의 LUMO 준위와 HOMO 준위의 에너지 차를 나타내고, $\triangle E_{C2}$는 화합물(132)의 LUMO 준위와 HOMO 준위의 에너지 차를 나타내고, $\triangle E_E$는 화합물(132)의 LUMO 준위와 화합물(131)의 HOMO 준위의 에너지 차를 나타낸다.

[0089] 화합물(131)과 화합물(132)로 형성되는 들뜬 복합체는 화합물(131)에 HOMO를, 화합물(132)에 LUMO를 가진다. 상기 들뜬 복합체의 여기 에너지는 화합물(132)의 LUMO 준위와 화합물(131)의 HOMO 준위의 에너지 차($\triangle E_E$)에 실질적으로 상당하고, 이는 화합물(131)의 LUMO 준위와 HOMO 준위의 에너지 차($\triangle E_{C1}$) 및 화합물(132)의 LUMO 준위와 HOMO 준위의 에너지 차($\triangle E_{C2}$)보다 작다. 그러므로 화합물(131)과 화합물(132)이 들뜬 복합체를 형성하면, 더 낮은 여기 에너지로 여기 상태를 형성할 수 있다. 더 낮은 여기 에너지를 가지기 때문에, 상기 들뜬 복합체는 안정적인 여기 상태를 형성할 수 있다.

[0090] 도 2의 (B)는 발광층(130)에서의 화합물(131, 132, 및 133)의 에너지 준위의 상관을 나타낸 것이다. 다음은 도 2의 (B)에서의 용어 및 부호가 나타내는 것에 대하여 설명하는 것이다. 도 2의 (B)에서의 기타의 용어 및 부호는 도 1의 (C)와 같다.

[0091] S_{C1}: 화합물(131)의 S1 준위

[0092] S_E: 들뜬 복합체의 S1 준위

[0093] T_E: 들뜬 복합체의 T1 준위

[0094] 본 구조예에 있어서, 본 발명의 일 형태의 발광 소자에서는 발광층(130)에 포함되는 화합물(131)과 화합물(132)이 들뜬 복합체를 형성한다. 들뜬 복합체의 S1 준위(S_E)와 T1 준위(T_E)는 서로 인접한다(도 2의 (B)의 루트 A_6 참조).

[0095] 상술한 과정을 거쳐 형성된 들뜬 복합체는, 예를 들어 빛을 방출하거나 또는 여기 에너지를 다른 재료에 공여함으로써 여기 에너지를 잃어 바닥 상태가 되면, 들뜬 복합체를 형성하고 있는 2개의 물질이 원래의 분리된 물질로서 개별적으로 거동한다.

[0096] 들뜬 복합체의 여기 에너지 준위(S_E 및 T_E)는, 들뜬 복합체를 형성하는 물질(화합물(131)과 화합물(132))의 S1 준위(S_{C1} 및 S_{C2})보다 낮기 때문에, 더 낮은 여기 에너지로 여기 상태를 형성할 수 있다. 이로써 발광 소자(150)의 구동 전압을 감소시킬 수 있다.

[0097] 들뜬 복합체의 S1 준위 및 T1 준위(S_E 및 T_E)는 서로 인접하기 때문에, 들뜬 복합체는 열 활성화 지연 형광을 나

타내는 기능을 가진다. 바꿔 말하면 들뜬 복합체는 업컨버전에 의하여 삼중항 여기 에너지를 단일항 여기 에너지로 변환하는 기능을 가진다. 그러므로 발광층(130)에서 생성된 삼중항 여기 에너지는 들뜬 복합체에 의하여 부분적으로 단일항 여기 에너지로 변환된다. 이 변환을 일으키기 위하여, 들뜬 복합체의 S1 준위와 T1 준위(S_E 및 T_E)의 에너지 차는 0eV보다 크고 0.2eV 이하인 것이 바람직하고, 0eV보다 크고 0.1eV 이하인 것이 더 바람직하다. 또한 역 계간 교차를 효율적으로 일으키기 위해서는, 들뜬 복합체의 T1 준위(T_E)가, 들뜬 복합체를 형성하는 물질(화합물(131)과 화합물(132))의 T1 준위(T_{C1} 및 T_{C2})보다 낮은 것이 바람직하다. 그래서 화합물(131)과 화합물(132)로 형성되는 들뜬 복합체의 삼중항 여기 에너지의 퀀칭이 일어나기 어려워져, 들뜬 복합체에 의한 삼중항 여기 에너지로부터 단일항 여기 에너지로의 역 계간 교차가 효율적으로 발생한다.

[0098] 들뜬 복합체의 단일항 여기 에너지 준위(S_E)는, 발광 재료인 화합물(133)의 단일항 여기 에너지 준위(S_G)보다 높은 것이 바람직하다. 이러한 에너지 준위의 상관으로 함으로써, 형성된 들뜬 복합체의 단일항 여기 에너지는, 들뜬 복합체의 단일항 여기 에너지 준위(S_E)로부터 화합물(133)의 단일항 여기 에너지 준위(S_G)로 이동할 수 있다.

[0099] 여기서 화합물(131 및 132)의 에너지 준위의 상관은 도 2의 (B)에 나타낸 것에 한정되지 않는다. 즉 화합물(131)의 단일항 여기 에너지 준위(S_{C1})는 화합물(132)의 단일항 여기 에너지 준위(S_{C2})보다 높아도 낮아도 좋고, 화합물(131)의 삼중항 여기 에너지 준위(T_{C1})는 화합물(132)의 삼중항 여기 에너지 준위(T_{C2})보다 높아도 낮아도 좋다.

[0100] 본 발명의 일 형태에서는 들뜬 복합체를 형성하는 화합물들 중 한쪽으로서 인광성 화합물을 사용하기 때문에, 단일항 상태와 삼중항 상태 사이의 계간 교차가 허용된다. 그러므로 삼중항 여기 상태로부터 단일항 바닥 상태로 전이할 수 있는 들뜬 복합체를 형성할 수 있다. 이 경우, 들뜬 복합체의 삼중항 여기 에너지 준위(T_E)는 발광 재료인 화합물(133)의 단일항 여기 에너지 준위(S_G)보다 높은 것이 바람직하다. 이러한 에너지 준위의 상관으로 함으로써, 형성된 들뜬 복합체의 삼중항 여기 에너지는, 들뜬 복합체의 삼중항 여기 에너지 준위(T_E)로부터 화합물(133)의 단일항 여기 에너지 준위(S_G)로 이동할 수 있다. 또한 들뜬 복합체의 S1 준위 및 T1 준위(S_E 및 T_E)는 서로 인접하기 때문에, 발광 스펙트럼에서 형광과 인광을 서로 명확하게 구별하기 어려운 경우가 있다. 이 경우에는, 발광 수명에 의하여 형광과 인광을 서로 구별할 수 있는 경우가 있다.

[0101] 상술한 에너지 이동 과정을 거쳐, 화합물(133)은 단일항 여기 상태가 되고 빛을 방출할 수 있다(도 2의 (B)의 루트 A_7 참조).

[0102] T_E로부터 T_G로 이동한 삼중항 여기 에너지는 비활성화한다(도 2의 (B)의 루트 A_8). 따라서 루트 A_8을 거치는 에너지 이동의 양은 적은 것이 바람직하다. 루트 A_8을 거치는 에너지 이동을 피하기 위해서는 화합물(131 및 132)의 총량에 대한 화합물(133)의 중량비가 낮은 것이 바람직하다. 구체적으로는 화합물(131 및 132)의 총량에 대한 화합물(133)의 중량비가 0.001 이상 0.05 이하인 것이 바람직하고, 0.001 이상 0.01 이하인 것이 더 바람직하다.

[0103] 또한 화합물(133)에서 캐리어의 직접 재결합 과정이 지배적이면, 화합물(133)에서 다수의 삼중항 엑시톤이 생성되기 때문에, 열 비활성화로 인하여 발광 효율이 저하된다. 따라서 화합물(133)에서 들뜬 복합체의 형성 과정을 거치는 에너지 이동(도 2의 (B)의 루트 A_7)의 비율이, 캐리어의 직접 재결합 과정보다 높으면, 화합물(133)의 삼중항 여기 상태의 생성 확률을 저감시킬 수 있고 열 비활성화를 억제할 수 있기 때문에 바람직하다. 이러한 상태로 하기 위해서는, 상술한 바와 같이, 화합물(131 및 132)의 총량에 대한 화합물(133)의 중량비가 낮은 것이 바람직하다. 구체적으로는 화합물(131 및 132)의 총량에 대한 화합물(133)의 중량비가 0.001 이상 0.05 이하인 것이 바람직하고, 0.001 이상 0.01 이하인 것이 더 바람직하다.

[0104] 또한 T_G는 2.0eV 이하이면 신뢰성이 높은 발광 소자를 얻을 수 있기 때문에 바람직하다.

[0105] 또는 화합물(131)이 전자 수송성을 가지고 화합물(132)이 정공 수송성을 가져도 좋다. 이 경우, 화합물(132)의 HOMO 준위는 화합물(131)의 HOMO 준위보다 높은 것이 바람직하고, 화합물(132)의 LUMO 준위는 화합물(131)의 LUMO 준위보다 높은 것이 바람직하다.

[0106] 화합물(132)에 대한 화합물(131)의 중량비는 낮은 것이 바람직하다. 구체적으로는 화합물(132)에 대한 화합물(131)의 중량비는 바람직하게는 0.01 이상 0.5 이하이고, 더 바람직하게는 0.05 이상 0.3 이하이다.

[0107] 상술한 바와 같이 루트 A_6 및 루트 A_7을 거치는 에너지 이동 과정이 모두 효율적으로 일어나면, 발광층(130)에서 생성된 단일항 여기 에너지 및 삼중항 여기 에너지의 양쪽이 화합물(133)의 단일항 여기 에너지로 효율적으로 변환되기 때문에, 발광 소자(150)는 높은 발광 효율로 빛을 방출할 수 있다.

[0108] 본 발명의 일 형태의 발광 소자에서, 화합물(132)은 π전자 부족 골격을 포함하는 것이 바람직하다. 이러한 구성에 의하여 화합물(132)의 LUMO 준위가 낮아지므로 들뜬 복합체를 형성하는데 적합하다.

[0109] 또한 본 발명의 일 형태의 발광 소자에서, 화합물(132)은 π전자 과잉 골격을 포함하는 것이 바람직하다. 이러한 구성에 의하여 화합물(132)의 HOMO 준위가 높아지므로 들뜬 복합체를 형성하는데 적합하다.

[0110] 본 발명의 일 형태의 발광 소자에서, 화합물(132)은 열 활성화 지연 형광을 나타낼 수 있다(TADF성). 그러므로 들뜬 복합체를 형성하지 않는 화합물(132)은 위의 발광층의 구조예에서 설명한 바와 같이 업컨버전에 의하여 삼중항 여기 에너지를 단일항 여기 에너지로 변환하는 기능을 가진다(도 2의 (B)의 루트 A_9). 화합물(132)의 단일항 여기 에너지는 화합물(133)로 신속히 이동할 수 있다(도 2의 (B)의 루트 A_{10}). 이때 $S_{C2} \geq S_G$인 것이 바람직하다.

[0111] 상술한 바와 같이 본 발명의 일 형태의 발광 소자에서는, 삼중항 여기 에너지가 도 2의 (B) 중의 루트 A_6 및 루트 A_7을 거쳐 게스트 재료인 화합물(133)로 이동하는 경로와, 삼중항 여기 에너지가 도 2의 (B) 중의 루트 A_9 및 루트 A_{10}을 거쳐 화합물(133)로 이동하는 경로가 있다. 위의 발광층의 구조예에서 설명한 바와 같이, 삼중항 여기 에너지가 형광성 화합물로 이동하는 경로에 의하여 형광 발광 소자의 발광 효율을 높일 수 있다. 또한 삼중항 여기 에너지가 형광성 화합물로 각각 이동하는 복수의 경로에 의하여 발광 효율을 더 높일 수 있다.

[0112] 본 명세서 등에서는, 상술한 루트 A_6 및 루트 A_7을 거치는 과정을 ExSET(exciplex-singlet energy transfer) 또는 ExEF(exciplex-enhanced fluorescence)라고 하는 경우가 있다. 바꿔 말하면 발광층(130)에서는, 들뜬 복합체로부터 형광성 화합물로 여기 에너지가 공여된다.

[0113] 발광층(130)이 상술한 구조를 가지면, 형광성 화합물로부터의 발광을 효율적으로 얻을 수 있다.

[0114] <발광층의 구조예 3>

[0115] 도 3은 본 발명의 일 형태의 발광 소자의 발광층에서의 에너지 준위의 상관의 일례를 나타낸 것이다. 본 구조예에서는 화합물(131)은 TADF 재료이다. 또한 S_{C1}은 화합물(131)의 S1 준위를 나타내고, 도 3에서의 기타의 용어 및 부호는 도 1의 (C)와 같다.

[0116] 도 3에서 화합물(131) 또는 화합물(132)이 정공 및 전자를 받으면 여기 상태가 형성된다. 화합물(132)의 여기 에너지는 화합물(131)로 신속히 이동할 수 있다(도 3의 루트 A_{11}). 이때 $S_{C2} \geq S_{C1}$ 및 $T_{C2} \geq T_{C1}$인 것이 바람직하다. 화합물(131)은 열 활성화 지연 형광 재료이기 때문에, 화합물(131)의 삼중항 여기 에너지는 실온 정도의 온도에서 단일항 여기 에너지로 업컨버전된다(도 3의 루트 A_{12}). 또한 화합물(131)의 단일항 여기 에너지 준위(S_{C1})로부터 화합물(133)의 단일항 여기 에너지 준위(S_G)로의 에너지 이동(도 3의 루트 A_{13})은 허용되기 때문에, 루트 A_{11} 내지 루트 A_{13}의 과정을 거쳐 화합물(131)의 삼중항 여기 에너지가 화합물(133)의 단일항 여기 에너지 준위(S_G)로 이동할 수 있다. 여기서 도 3에 나타낸 바와 같이, $T_{C2} \geq T_{C1} \geq S_G$이면 단일항 여기 에너지 및 삼중항 여기 에너지의 양쪽이 화합물(131 및 132)로부터 게스트 재료인 화합물(133)로 효율적으로 이동하기 때문에 바람직하다.

[0117] 상술한 업컨버전을 효율적으로 진행시키기 위하여, TADF 재료의 S1 준위(S_{C2})와 T1 준위(T_{C2})의 에너지 차는 0eV보다 크고 0.2eV 이하인 것이 바람직하고, 0eV보다 크고 0.1eV 이하인 것이 더 바람직하다.

[0118] T_{C1}로부터 T_G로 이동한 삼중항 여기 에너지는 비활성화한다(도 3의 루트 A_{14}). 따라서 루트 A_{14}를 거치는 에너지 이동의 양은 적은 것이 바람직하다. 루트 A_{14}를 거치는 에너지 이동을 피하기 위해서는 T_{C1}과 T_G의 에너지 차가 큰 것이 바람직하므로, T_G는 2.0eV 이하인 것이 바람직하다. 이러한 구조를 가지면, 발광 효율이 높고 신뢰성

이 높은 발광 소자를 얻을 수 있다.

[0119] 위의 발광층의 구조예에서 설명한 바와 같이, 화합물(132)은 TADF 재료이기 때문에 삼중항 여기 에너지를 업컨버전에 의하여 단일항 여기 에너지로 변환하는 기능을 가진다(도 3의 루트 A_{15}). 화합물(132)의 단일항 여기 에너지는 화합물(133)로 신속히 이동할 수 있다(도 3의 루트 A_{16}). 이때 $S_{C2} \geq S_G$인 것이 바람직하다.

[0120] 위의 발광층의 구조예에서 설명한 바와 같이, 본 발명의 일 형태의 발광 소자에서는, 삼중항 여기 에너지가 도 3 중의 루트 A_{11} 내지 루트 A_{13}을 거쳐 게스트 재료인 화합물(133)로 이동하는 경로와, 삼중항 여기 에너지가 도 3 중의 루트 A_{15} 및 루트 A_{16}을 거쳐 화합물(133)로 이동하는 경로가 있다. 삼중항 여기 에너지가 형광성 화합물로 이동하는 경로에 의하여 형광 발광 소자의 발광 효율을 높일 수 있다. 또한 삼중항 여기 에너지가 형광성 화합물로 각각 이동하는 복수의 경로에 의하여 발광 효율을 더 높일 수 있다.

[0121] 또한 루트 A_{11}은 루트 A_{15}로 나타내어지는 역 계간 교차가 일어나지 않더라도 일어날 수 있다. 즉 루트 A_{11}로 나타내어지는 에너지 이동은 루트 A_{15}로 나타내어지는 역 계간 교차가 일어났는지 여부에 상관없이 일어날 수 있다.

[0122] <발광층의 구조예 4>

[0123] 도 4의 (A)는 4가지 재료를 포함하는 발광층(130)을 나타낸 것이다. 도 4의 (A)에서 발광층(130)은 화합물(131), 화합물(132), 화합물(133), 및 화합물(134)을 포함한다. 본 발명의 일 형태에서, 화합물(131)은 삼중항 여기 에너지를 발광으로 변환하는 기능을 가진다. 화합물(132)은 TADF 재료인 것이 바람직하다. 화합물(133)은 형광을 방출하는 게스트 재료이다. 화합물(134)은 화합물(132)과 함께 들뜬 복합체를 형성하는 유기 화합물이다.

[0124] 도 4의 (B)는 발광층(130)에서의 화합물(131, 132, 133, 및 134)의 에너지 준위의 상관을 나타낸 것이다. 다음은 도 4의 (B)에서의 용어 및 부호가 나타내는 것에 대하여 설명하는 것이다. 도 4의 (B)에서의 기타의 용어 및 부호는 도 2의 (B)와 같다.

[0125] S_{C3}: 화합물(134)의 S1 준위

[0126] T_{C3}: 화합물(134)의 T1 준위

[0127] 본 구조예에 있어서, 본 발명의 일 형태의 발광 소자에서는 발광층(130)에 포함되는 화합물(132)과 화합물(134)이 들뜬 복합체를 형성한다. 들뜬 복합체의 S1 준위(S_E)와 T1 준위(T_E)는 서로 인접한다(도 4의 (B)의 루트 A_{17} 참조).

[0128] 상술한 바와 같이, 상기 과정을 거쳐 형성된 들뜬 복합체는 여기 에너지를 잃으면, 들뜬 복합체를 형성하고 있는 2개의 물질이 원래의 분리된 물질로서 개별적으로 거동한다.

[0129] 들뜬 복합체의 여기 에너지 준위(S_E 및 T_E)는, 들뜬 복합체를 형성하는 물질(화합물(132)과 화합물(134))의 S1 준위(S_{C2} 및 S_{C3})보다 낮기 때문에, 더 낮은 여기 에너지로 여기 상태를 형성할 수 있다. 이로써 발광 소자(150)의 구동 전압을 감소시킬 수 있다.

[0130] 여기서 화합물(131)은 인광성 화합물이기 때문에, 단일항 상태와 삼중항 상태 사이의 계간 교차가 허용된다. 그러므로 들뜬 복합체의 단일항 여기 에너지 및 삼중항 여기 에너지의 양쪽이 화합물(131)로 신속히 이동한다(루트 A_{18}). 이때 $T_E \geq T_{C1}$인 것이 바람직하다. 또한 화합물(131)의 삼중항 여기 에너지를 화합물(133)의 단일항 여기 에너지로 효율적으로 변환할 수 있다(루트 A_{19}). 여기서 도 4의 (B)에 나타낸 바와 같이 $T_E \geq T_{C1} \geq S_G$이면 화합물(131)의 여기 에너지가 단일항 여기 에너지로서 게스트 재료인 화합물(133)로 효율적으로 이동하기 때문에 바람직하다.

[0131] 여기서 들뜬 복합체를 형성할 수 있는 임의의 화합물(132)과 화합물(134)의 조합으로 할 수 있는데, 이들 중 한쪽이 정공 수송성을 가지는 화합물이고, 다른 쪽이 전자 수송성을 가지는 화합물인 것이 바람직하다. 이 경우, 도너-억셉터 들뜬 복합체가 형성되기 쉬워지기 때문에, 들뜬 복합체의 효율적인 형성이 가능하다. 화합물(132)과 화합물(134)이 정공 수송성을 가지는 화합물과 전자 수송성을 가지는 화합물의 조합인 경우에는, 그 혼합비에 따라 캐리어 밸런스를 쉽게 제어할 수 있다. 구체적으로는 정공 수송성을 가지는 화합물 대 전자 수송성

을 가지는 화합물의 중량비를 1:9 내지 9:1의 범위 내로 하는 것이 바람직하다. 상기 구성을 가짐으로써 캐리어 밸런스를 쉽게 제어할 수 있기 때문에, 캐리어 재결합 영역도 쉽게 제어할 수 있다.

[0132] 들뜬 복합체를 효율적으로 형성하는 재료의 조합으로서는, 화합물(132 및 134) 중 한쪽의 HOMO 준위가 다른 쪽의 HOMO 준위보다 높고, 한쪽의 LUMO 준위가 다른 쪽의 LUMO 준위보다 높은 것이 바람직하다. 구체적으로는, 화합물(132)과 화합물(134)의 HOMO 준위의 에너지 차는 바람직하게는 0.1eV 이상이고, 더 바람직하게는 0.2eV 이상이고, 더욱 바람직하게는 0.3eV 이상이다. 또한 화합물(132)과 화합물(134)의 LUMO 준위의 에너지 차는 바람직하게는 0.1eV 이상이고, 더 바람직하게는 0.2eV 이상이고, 더욱 바람직하게는 0.3eV 이상이다. 이러한 에너지 준위의 상관은, 한 쌍의 전극(전극(101 및 102))으로부터 주입된 캐리어인 전자 및 정공이 화합물(132) 및 화합물(134)에 주입되기 쉬워지기 때문에 적합하다. 또한 화합물(132)의 HOMO 준위가 화합물(134)의 HOMO 준위와 동등하여도 좋고, 또는 화합물(132)의 LUMO 준위가 화합물(134)의 LUMO 준위와 동등하여도 좋다.

[0133] 또한 화합물(132 및 134)의 에너지 준위의 상관은 도 4의 (B)에 나타낸 것에 한정되지 않는다. 즉 화합물(132)의 단일항 여기 에너지 준위(S_{C2})는 화합물(134)의 단일항 여기 에너지 준위(S_{C3})보다 높아도 낮아도 좋고, 화합물(132)의 삼중항 여기 에너지 준위(T_{C2})는 화합물(134)의 삼중항 여기 에너지 준위(T_{C3})보다 높아도 낮아도 좋다.

[0134] 본 발명의 일 형태의 발광 소자에서, 화합물(132)은 π전자 부족 골격을 포함하는 것이 바람직하다. 이러한 구성에 의하여 화합물(132)의 LUMO 준위가 낮아지므로 들뜬 복합체를 형성하는데 적합하다.

[0135] 또한 본 발명의 일 형태의 발광 소자에서, 화합물(132)은 π전자 과잉 골격을 포함하는 것이 바람직하다. 이러한 구성에 의하여 화합물(132)의 HOMO 준위가 높아지므로 들뜬 복합체를 형성하는데 적합하다.

[0136] 위의 발광층의 구조예에서 설명한 바와 같이, 화합물(132)은 TADF 재료이기 때문에 들뜬 복합체를 형성하지 않는 화합물(132)은 삼중항 여기 에너지를 업컨버전에 의하여 단일항 여기 에너지로 변환하는 기능을 가진다(도 4의 (B)의 루트 A_{21}). 화합물(132)의 단일항 여기 에너지는 화합물(133)로 신속히 이동할 수 있다(도 4의 (B)의 루트 A_{22}). 이때 $S_{C2} \geq S_G$인 것이 바람직하다.

[0137] 위의 발광층의 구조예에서 설명한 바와 같이, 본 발명의 일 형태의 발광 소자에서는, 삼중항 여기 에너지가 도 4의 (B) 중의 루트 A_{17} 내지 루트 A_{19}를 거쳐 게스트 재료인 화합물(133)로 이동하는 경로와, 삼중항 여기 에너지가 도 4의 (B) 중의 루트 A_{21} 및 루트 A_{22}를 거쳐 화합물(133)로 이동하는 경로가 있다. 삼중항 여기 에너지가 형광성 화합물로 이동하는 경로에 의하여 형광 발광 소자의 발광 효율을 높일 수 있다. 또한 삼중항 여기 에너지가 형광성 화합물로 각각 이동하는 복수의 경로에 의하여 발광 효율을 더 높일 수 있다.

[0138] T_{C1}로부터 T_G로 이동한 삼중항 여기 에너지는 비활성화한다(도 4의 (B)의 루트 A_{20}). 따라서 루트 A_{20}을 거치는 에너지 이동의 양은 적은 것이 바람직하다. 루트 A_{20}을 거치는 에너지 이동을 피하기 위해서는 화합물(131, 132, 및 134)의 총량에 대한 화합물(133)의 중량비가 낮은 것이 바람직하다. 구체적으로는 화합물(131, 132, 및 134)의 총량에 대한 화합물(133)의 중량비가 0.001 이상 0.05 이하인 것이 바람직하고, 0.001 이상 0.01 이하인 것이 더 바람직하다.

[0139] 또한 T_G는 2.0eV 이하이면 신뢰성이 높은 발광 소자를 얻을 수 있기 때문에 바람직하다.

[0140] <에너지 이동 기구>

[0141] 여기서 분자간의 에너지 이동 과정을 지배하는 인자에 대하여 설명한다. 분자간의 에너지 이동 기구로서는, 2가지 기구, 즉 푀르스터 기구(쌍극자-쌍극자 상호 작용)와 덱스터 기구(전자 교환 상호 작용)가 제안되고 있다. 여기서는, 여기 상태에 있는 제 1 재료로부터 바닥 상태에 있는 제 2 재료로의 여기 에너지의 공여에 관하여, 제 1 재료와 제 2 재료의 분자간의 에너지 이동 과정에 대하여 설명하는데, 이는 이들 재료 중 한쪽이 들뜬 복합체인 경우에도 마찬가지로 적용될 수 있다.

[0142] <<푀르스터 기구>>

[0143] 푀르스터 기구에서는, 에너지 이동에 분자간의 직접적인 접촉이 필요하지 않고, 제 1 재료와 제 2 재료 사이의 쌍극자 진동의 공명 현상을 통하여 에너지가 이동한다. 쌍극자 진동의 공명 현상에 의하여, 제 1 재료가 제 2 재료에 에너지를 제공하기 때문에, 여기 상태에 있는 제 1 재료가 바닥 상태가 되고 바닥 상태에 있는 제 2 재

료가 여기 상태가 된다. 또한 푀르스터 기구의 속도 상수 $k_{h^*\rightarrow g}$는 수학식 1로 나타내어진다.

[0144] [수학식 1]

[0145]
$$k_{h^*\rightarrow g}=\frac{9000c^4K^2\phi\ln 10}{128\pi^5n^4N\pi R^6}\int\frac{f'_h(\nu)\varepsilon_g(\nu)}{\nu^4}d\nu \quad \cdots(1)$$

[0146] 수학식 1에서 ν는 진동수를 나타내고, $f'_h(\nu)$는 제 1 재료의 정규화된 발광 스펙트럼(단일항 여기 상태로부터의 에너지 이동을 논하는 경우에는 형광 스펙트럼, 삼중항 여기 상태로부터의 에너지 이동을 논하는 경우에는 인광 스펙트럼)을 나타내고, $\varepsilon_g(\nu)$는 제 2 재료의 몰 흡수 계수를 나타내고, N은 아보가드로 수를 나타내고, n은 매체의 굴절률을 나타내고, R는 제 1 재료와 제 2 재료의 분자간 거리를 나타내고, τ는 측정되는 여기 상태의 수명(형광 수명 또는 인광 수명)을 나타내고, c는 빛의 속도를 나타내고, ϕ는 발광 양자 수율(단일항 여기 상태로부터의 에너지 이동을 논하는 경우에는 형광 양자 수율, 삼중항 여기 상태로부터의 에너지 이동을 논하는 경우에는 인광 양자 수율)을 나타내고, K^2는 제 1 재료와 제 2 재료 사이의 전이 쌍극자 모멘트의 배향의 계수(0 내지 4)를 나타낸다. 또한 랜덤 배향에서는, K^2=2/3이다.

[0147] <<덱스터 기구>>

[0148] 덱스터 기구에서, 제 1 재료와 제 2 재료는 이들의 궤도가 중첩되는 접촉 유효 거리에 가깝고, 여기 상태에 있는 제 1 재료와 바닥 상태에 있는 제 2 재료가 전자를 교환하여 에너지 이동이 일어난다. 또한 덱스터 기구의 속도 상수 $k_{h^*\rightarrow g}$는 수학식 2로 나타내어진다.

[0149] [수학식 2]

[0150]
$$k_{h^*\rightarrow g}=\left(\frac{2\pi}{h}\right)K^2\exp\left(-\frac{2R}{L}\right)\int f'_h(\nu)\varepsilon'_g(\nu)d\nu \quad \cdots(2)$$

[0151] 수학식 2에서, h는 플랑크 상수를 나타내고, K는 에너지 차원을 가지는 상수를 나타내고, ν는 진동수를 나타내고, $f'_h(\nu)$는 제 1 재료의 정규화된 발광 스펙트럼(단일항 여기 상태로부터의 에너지 이동을 논하는 경우에는 형광 스펙트럼, 삼중항 여기 상태로부터의 에너지 이동을 논하는 경우에는 인광 스펙트럼)을 나타내고, $\varepsilon'_g(\nu)$는 제 2 재료의 정규화된 흡수 스펙트럼을 나타내고, L은 실효 분자 반경을 나타내고, R는 제 1 재료와 제 2 재료의 분자간 거리를 나타낸다.

[0152] 여기서 제 1 재료로부터 제 2 재료로의 에너지 이동 효율(에너지 이동 효율 ϕ_{ET})은 수학식 3으로 나타내어진다. 이 식에서, k_r는 제 1 재료의 발광 과정(단일항 여기 상태로부터의 에너지 이동을 논하는 경우에는 형광, 삼중항 여기 상태로부터의 에너지 이동을 논하는 경우에는 인광)의 속도 상수를 나타내고, k_n은 제 2 재료의 비발광 과정(열 비활성화 또는 계간 교차)의 속도 상수를 나타내고, τ는 측정되는 제 1 재료의 여기 상태의 수명을 나타낸다.

[0153] [수학식 3]

[0154]
$$\phi_{ET}=\frac{k_{h^*\rightarrow g}}{k_r+k_n+k_{h^*\rightarrow g}}=\frac{k_{h^*\rightarrow g}}{\left(\frac{1}{\tau}\right)+k_{h^*\rightarrow g}} \quad \cdots(3)$$

[0155] 수학식 3에 따르면, 에너지 이동 효율 ϕ_{ET}는, 에너지 이동의 속도 상수 $k_{h^*\rightarrow g}$를 크게 하여 다른 경합하는 속도 상수 k_r+k_n(=1/τ)이 상대적으로 작아지도록 함으로써 높일 수 있는 것을 알 수 있다.

[0156] <<에너지 이동을 촉진하기 위한 개념>>

[0157] 먼저 푀르스터 기구에 의한 에너지 이동에 대하여 생각한다. 수학식 3에 수학식 1을 대입함으로써 τ를 소거할 수 있다. 그러므로 푀르스터 기구에 있어서 에너지 이동 효율 ϕ_{ET}는 제 1 재료의 여기 상태의 수명 τ에 의존

하지 않는다. 또한 발광 양자 수율 ϕ(단일항 여기 상태로부터의 에너지 이동을 논하는 경우에는 형광 양자 수율, 삼중항 여기 상태로부터의 에너지 이동을 논하는 경우에는 인광 양자 수율)가 높을 때는 높은 에너지 이동 효율 ϕ_{ET}가 얻어진다고 할 수 있다.

[0158] 또한 제 1 재료의 발광 스펙트럼(단일항 여기 상태로부터의 에너지 이동을 논하는 경우에는 형광 스펙트럼, 삼중항 여기 상태로부터의 에너지 이동을 논하는 경우에는 인광 스펙트럼)이 제 2 재료의 흡수 스펙트럼(단일항 바닥 상태로부터 단일항 여기 상태로의 전이에 상당하는 흡수)과 크게 중첩되는 것이 바람직하다. 또한 제 2 재료의 몰 흡수 계수도 높은 것이 바람직하다. 이는 제 1 재료의 발광 스펙트럼이 제 2 재료의 가장 장파장 측의 흡수대와 중첩되는 것을 뜻한다. 제 2 재료에서 단일항 바닥 상태로부터 삼중항 여기 상태로의 직접 전이는 금지되기 때문에, 제 2 재료의 삼중항 여기 상태에서의 몰 흡수 계수는 무시할 수 있다. 그러므로 퍼르스터 기구에 의한 제 1 재료의 여기 상태로부터 제 2 재료로의 삼중항 여기 상태로의 에너지 이동의 과정은 무시할 수 있고, 제 2 재료의 단일항 여기 상태로의 에너지 이동의 과정만을 고려한다.

[0159] 다음으로 덱스터 기구에 의한 에너지 이동에 대하여 생각한다. 수학식 2에 따르면, 속도 상수 $k_{h^*\rightarrow g}$를 크게 하기 위해서는, 제 1 재료의 발광 스펙트럼(단일항 여기 상태로부터의 에너지 이동을 논하는 경우에는 형광 스펙트럼, 삼중항 여기 상태로부터의 에너지 이동을 논하는 경우에는 인광 스펙트럼)이 제 2 재료의 흡수 스펙트럼(단일항 바닥 상태로부터 단일항 여기 상태로의 전이에 상당하는 흡수)과 크게 중첩되는 것이 바람직하다. 그러므로 에너지 이동 효율은, 제 1 재료의 발광 스펙트럼을 제 2 재료의 가장 장파장 측의 흡수대와 중첩시킴으로써 최적화할 수 있다.

[0160] 수학식 3에 수학식 2를 대입하면, 덱스터 기구에서의 에너지 이동 효율 ϕ_{ET}가 τ에 의존하는 것을 알 수 있다. 전자 교환에 기초한 에너지 이동 과정인 덱스터 기구에서는, 제 1 재료의 단일항 여기 상태로부터 제 2 재료의 단일항 여기 상태로의 에너지 이동에 더하여, 제 1 재료의 삼중항 여기 상태로부터 제 2 재료의 삼중항 여기 상태로의 에너지 이동이 일어난다.

[0161] 제 1 재료로부터 제 2 재료로의 에너지 이동과 비슷한 식으로, 들뜬 복합체로부터 형광성 화합물로의 에너지 이동 과정에서도 퍼르스터 기구 및 덱스터 기구의 양쪽에 의한 에너지 이동이 일어난다.

[0162] 제 2 재료가 형광성 화합물인 본 발명의 일 형태의 발광 소자에서는, 제 2 재료의 삼중항 여기 상태로의 에너지 이동 효율이 낮은 것이 바람직하다. 즉 제 1 재료로부터 제 2 재료로의 덱스터 기구에 기초한 에너지 이동 효율이 낮은 것이 바람직하고, 제 1 재료로부터 제 2 재료로의 퍼르스터 기구에 기초한 에너지 이동 효율이 높은 것이 바람직하다.

[0163] 상술한 바와 같이, 퍼르스터 기구에서의 에너지 이동 효율은 제 1 재료의 여기 상태의 수명 τ에 의존하지 않는다. 한편 덱스터 기구에서의 에너지 이동 효율은 제 1 재료의 여기 수명 τ에 의존한다. 덱스터 기구에서의 에너지 이동 효율을 저하시키기 위해서는, 제 1 재료의 여기 수명 τ가 짧은 것이 바람직하다.

[0164] 상기 관점에서, 본 발명의 일 형태에서는, 제 1 재료에 들뜬 복합체 또는 TADF 재료를 사용하고, 상기 들뜬 복합체를 형성하는 화합물들 중 한쪽이 삼중항 여기 에너지를 발광으로 변환할 수 있다. 본 발명의 일 형태의 구조에 의하여, 들뜬 복합체(제 1 재료)의 삼중항 여기 상태로부터 단일항 여기 상태로의 역 계간 교차를 촉진시킬 수 있고, 들뜬 복합체(제 1 재료)의 삼중항 여기 상태의 여기 수명 τ를 짧게 할 수 있다. 또한 들뜬 복합체(제 1 재료)의 삼중항 여기 상태로부터 단일항 바닥 상태로의 전이를 촉진시킬 수 있고, 들뜬 복합체(제 1 재료)의 삼중항 여기 상태의 여기 수명 τ를 짧게 할 수 있다. 이 결과, 들뜬 복합체(제 1 재료)의 삼중항 여기 상태로부터 형광성 화합물(제 2 재료)의 삼중항 여기 상태로의 덱스터 기구에서의 에너지 이동 효율을 저하시킬 수 있기 때문에, 본 발명의 일 형태에 의하여 발광 효율이 높은 발광 소자를 제공할 수 있다.

[0165] 또한 들뜬 복합체로부터 방출되는 빛에서 열 활성화 지연 형광 성분의 형광 수명은 짧은 것이 바람직하고, 구체적으로는 10ns 이상 50μs 이하, 더 바람직하게는 10ns 이상 20μs 이하, 더욱 바람직하게는 10ns 이상 10μs 이하이다.

[0166] 퍼르스터 기구의 속도 상수는 제 1 재료와 제 2 재료 사이의 거리의 6승에 반비례하고, 덱스터 기구의 속도 상수는 제 1 재료와 제 2 재료 사이의 거리의 지수 함수에 반비례한다. 따라서 2개의 분자들 사이의 거리가 약 1nm 이하인 경우에는 덱스터 기구가 우세하고, 상기 거리가 약 1nm 이상인 경우에는 퍼르스터 기구가 우세하다. 덱스터 기구의 에너지 이동 효율을 저하시키기 위해서는, 제 1 재료와 제 2 재료 사이의 거리가 큰 것이 바람직하고, 구체적으로는 0.7nm 이상, 더 바람직하게는 0.9nm 이상, 더욱 바람직하게는 1nm 이상이다. 또한 퍼르스

터 기구에 의한 에너지 이동을 효율적으로 일으키기 위해서는, 제 1 재료와 제 2 재료 사이의 거리가 5nm 이하인 것이 바람직하다.

[0167] 따라서 본 발명의 일 형태에서, 형광성 화합물인 화합물(133)은 탄소수가 각각 2 이상인 적어도 2개의 알킬기를 포함하는 것이 바람직하다. 또는 화합물(133)은 탄소수가 각각 3 내지 10인 적어도 2개의 분기된 알킬기를 포함하는 것이 바람직하다. 또는 화합물(133)은 탄소수가 각각 3 내지 10인 적어도 2개의 환식 탄화수소기, 또는 탄소수가 각각 3 내지 10인 적어도 2개의 가교 환식(bridged cyclic) 탄화수소기를 포함하는 것이 바람직하다. 또한 화합물(133)은 탄소수가 3 내지 12인 축합 방향족 탄화수소를 포함하는 것이 바람직하다.

[0168] <재료>

[0169] 다음으로 본 발명의 일 형태의 발광 소자의 구성요소에 대하여 이하에서 자세히 설명한다.

[0170] <<발광층>>

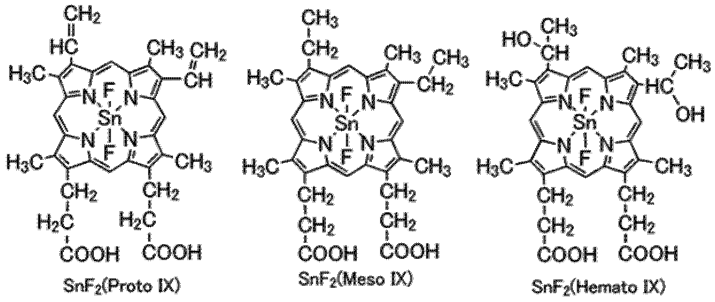
[0171] 발광층(130)에 사용할 수 있는 재료에 대하여 이하에서 설명한다.

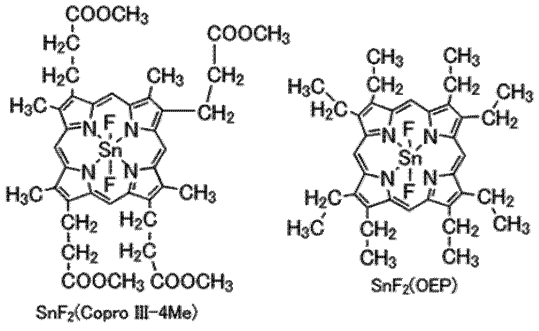
[0172] 화합물(132)의 예에는 TADF 재료가 포함된다. 화합물(132)의 S1 준위와 T1 준위의 에너지 차는 작은 것이 바람직하고, 구체적으로는 0eV보다 크고 0.2eV 이하이다.

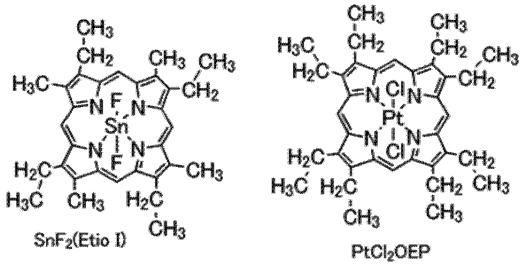
[0173] 화합물(132)은 정공 수송성을 가지는 골격 및 전자 수송성을 가지는 골격을 포함하는 것이 바람직하다. 또는 화합물(132)은 π전자 과잉 골격 및 방향족 아민 골격 중 하나와, π전자 부족 골격을 포함하는 것이 바람직하다. 이로써 분자 내에서 도너-억셉터 여기 상태가 형성되기 쉬워진다. 또한 화합물(132)의 분자 내에서 도너성 및 억셉터성의 양쪽을 높이기 위해서는, 전자 수송성을 가지는 골격과 정공 수송성을 가지는 골격이 서로 직접 결합하는 구조를 포함하는 것이 바람직하다. 또는 π전자 과잉 골격 및 방향족 아민 골격 중 하나와, π전자 부족 골격이 직접 결합하는 구조를 포함하는 것이 바람직하다. 분자 내에서의 도너성 및 억셉터성의 양쪽을 높임으로써, 화합물(132)에서 HOMO가 분포되는 영역과 LUMO가 분포되는 영역의 중첩을 작게 할 수 있고, 화합물(132)의 단일항 여기 에너지 준위와 삼중항 여기 에너지 준위의 에너지 차를 작게 할 수 있다. 또한 화합물(132)의 삼중항 여기 에너지 준위를 높게 유지할 수 있다.

[0174] 열 활성화 지연 형광 재료가 1종류의 재료로 구성되는 경우, 예를 들어 이하의 재료 중 임의의 것을 사용할 수 있다.

[0175] 우선 풀러렌, 그 유도체, 프로플라빈 등의 아크리딘 유도체, 및 에오신 등을 들 수 있다. 다른 예에는, 마그네슘(Mg), 아연(Zn), 카드뮴(Cd), 주석(Sn), 백금(Pt), 인듐(In), 또는 팔라듐(Pd)을 포함하는 포르피린 등의 금속 함유 포르피린이 포함된다. 금속 함유 포르피린의 예에는 프로토포르피린-플루오린화 주석 착물(SnF_2(Proto IX)), 메소포르피린-플루오린화 주석 착물(SnF_2(Meso IX)), 헤마토포르피린-플루오린화 주석 착물(SnF_2(Hemato IX)), 코프로포르피린 테트라메틸에스터-플루오린화 주석 착물(SnF_2(Copro III-4Me)), 옥타에틸포르피린-플루오린화 주석 착물(SnF_2(OEP)), 에티오포르피린-플루오린화 주석 착물(SnF_2(Etio I)), 및 옥타에틸포르피린-염화백금 착물($PtCl_2$(OEP))이 포함된다.

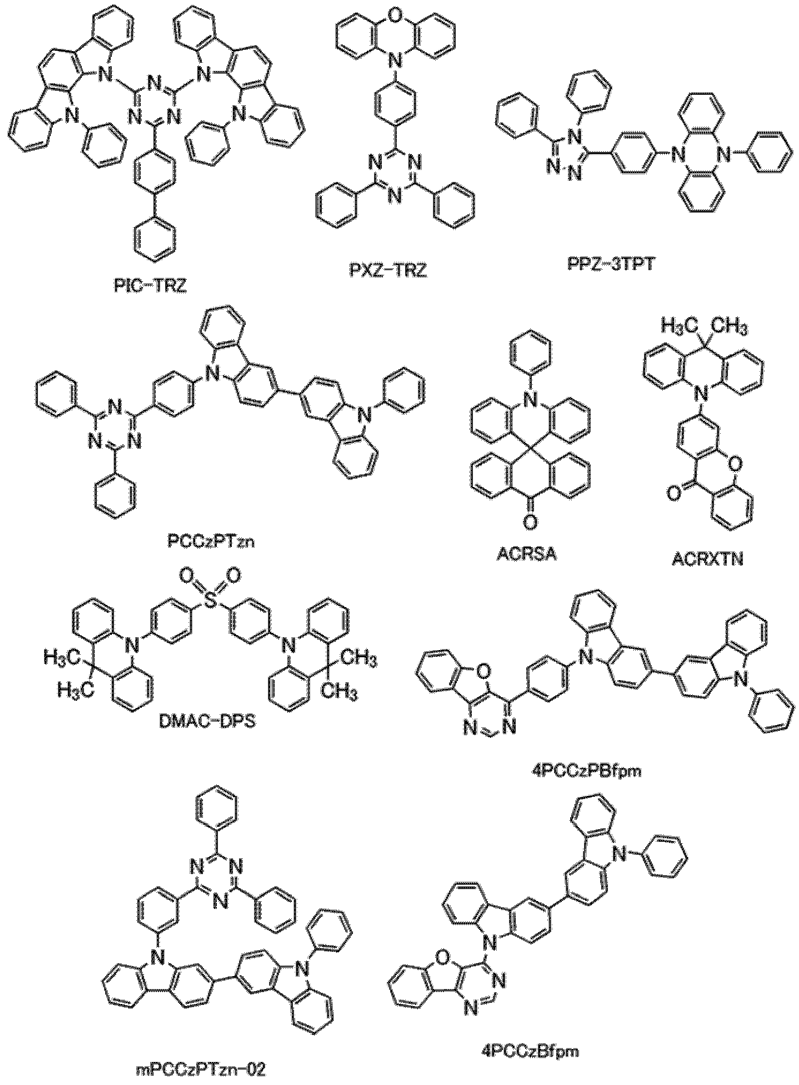






[0176]

[0177] 1종류의 재료로 구성되는 열 활성화 지연 형광 재료로서는, π전자 과잉 골격 및 π전자 부족 골격을 포함하는 헤테로 고리 화합물도 사용할 수 있다. 구체적으로는 2-(바이페닐-4-일)-4,6-비스(12-페닐인돌로[2,3-*a*]카바졸-11-일)-1,3,5-트라이아진(약칭: PIC-TRZ), 2-{4-[3-(*N*-페닐-9*H*-카바졸-3-일)-9*H*-카바졸-9-일]페닐}-4,6-다이페닐-1,3,5-트라이아진(약칭: PCCzPTzn), 2-[4-(10*H*-페녹사진-10-일)페닐]-4,6-다이페닐-1,3,5-트라이아진(약칭: PXZ-TRZ), 3-[4-(5-페닐-5,10-다이하이드로페나진-10-일)페닐]-4,5-다이페닐-1,2,4-트라이아졸(약칭: PPZ-3TPT), 3-(9,9-다이메틸-9*H*-아크리딘-10-일)-9*H*-크산텐-9-온(약칭: ACRXTN), 비스[4-(9,9-다이메틸-9,10-다이하이드로아크리딘)페닐]설폰(약칭: DMAC-DPS), 10-페닐-10*H*,10'*H*-스파이로[아크리딘-9,9'-안트라센]-10'-온(약칭: ACRSA), 4-(9'-페닐-3,3'-바이-9*H*-카바졸-9-일)벤조퓨로[3,2-*d*]피리미딘(약칭: 4PCCzBfpm), 4-[4-(9'-페닐-3,3'-바이-9*H*-카바졸-9-일)페닐]벤조퓨로[3,2-*d*]피리미딘(약칭: 4PCCzPBfpm), 또는 9-[3-(4,6-다이페닐-1,3,5-트라이아진-2-일)페닐]-9'-페닐-2,3'-바이-9*H*-카바졸(약칭: mPCCzPTzn-02) 등을 사용할 수 있다. 상기 헤테로 고리 화합물은, 그에 포함되는 π전자 과잉 골격 및 π전자 부족 골격 때문에, 전자 수송성 및 정공 수송성이 높아 바람직하다. π전자 부족 골격 중에서, 피리딘 골격, 다이아진 골격(피리미딘 골격, 피라진 골격, 또는 피리다진 골격), 및 트라이아진 골격은 안정성 및 신뢰성이 높아 특히 바람직하다. 특히 벤조퓨로피리미딘 골격, 벤조티에노피리미딘 골격, 벤조퓨로피라진 골격, 및 벤조티에노피라진 골격은 억셉터성 및 신뢰성이 높기 때문에 바람직하다. π전자 과잉 골격 중에서, 아크리딘 골격, 페녹사진 골격, 페노싸이아진 골격, 퓨란 골격, 싸이오펜 골격, 및 피롤 골격은 안정성 및 신뢰성이 높기 때문에, 이들 골격 중 적어도 하나가 포함되는 것이 바람직하다. 퓨란 골격으로서는 다이벤조퓨란 골격이 바람직하다. 싸이오펜 골격으로서는 다이벤조싸이오펜 골격이 바람직하다. 피롤 골격으로서, 인돌 골격, 카바졸 골격, 바이카바졸 골격, 및 3-(9-페닐-9*H*-카바졸-3-일)-9*H*-카바졸 골격이 특히 바람직하다. 또한 π전자 과잉 골격이 π전자 부족 골격에 직접 결합된 물질은, π전자 과잉 골격의 도너성 및 π전자 부족 골격의 억셉터성이 모두 높고, 단일항 여기 상태의 준위와 삼중항 여기 상태의 준위의 차가 작아지기 때문에 특히 바람직하다. 또한 사이아노기 등의 전자 흡인기가 결합된 방향족 고리를 π전자 부족 골격으로서 사용하여도 좋다.



[0178]

[0179] 다음으로 화합물(131)은 상술한 바와 같이 삼중항 여기 에너지를 발광으로 변환하는 기능을 가지는 것이 바람직하다. 이 기능을 가지는 유기 화합물의 예에는 인광 재료 및 열 활성화 지연 형광 재료가 포함된다.

[0180] 상기 인광성 화합물로서는, 이리듐계, 로듐계, 또는 백금계의 유기 금속 착물 또는 금속 착물을 사용할 수 있다. 또한 포르피린 리간드를 가지는 백금 착물 또는 유기 이리듐 착물을 사용할 수 있고, 구체적으로는 이리듐계 오쏘 금속화 착물 등의 유기 이리듐 착물을 사용하는 것이 바람직하다. 오쏘 금속화 리간드로서는, 4*H*-트라이아졸 리간드, 1*H*-트라이아졸 리간드, 이미다졸 리간드, 피리딘 리간드, 피리미딘 리간드, 피라진 리간드, 및 아이소퀴놀린 리간드 등을 사용할 수 있다. 이 경우에는, 화합물(131)(인광성 화합물)은 삼중항 MLCT(metal to ligand charge transfer) 전이의 흡수대를 가진다.

[0181] 청색 또는 녹색의 파장 영역에 발광 피크를 가지는 물질의 예에는 트리스{2-[5-(2-메틸페닐)-4-(2,6-다이메틸페닐)-4*H*-1,2,4-트라이아졸-3-일-κN^2]페닐-κ*C*}이리듐(III)(약칭: Ir(mpptz-dmp)$_3$), 트리스(5-메틸-3,4-다이페닐-4*H*-1,2,4-트라이아졸레이토)이리듐(III)(약칭: Ir(Mptz)$_3$), 트리스[4-(3-바이페닐)-5-아이소프로필-3-페닐-4*H*-1,2,4-트라이아졸레이토]이리듐(III)(약칭: Ir(iPrptz-3b)$_3$), 및 트리스[3-(5-바이페닐)-5-아이소프로필-4-페닐-4*H*-1,2,4-트라이아졸레이토]이리듐(III)(약칭: Ir(iPr5btz)$_3$) 등의 4*H*-트라이아졸 골격을 가지는 유기 금속 이리듐 착물; 트리스[3-메틸-1-(2-메틸페닐)-5-페닐-1*H*-1,2,4-트라이아졸레이토]이리듐(III)(약칭: Ir(Mptz1-mp)$_3$) 및 트리스(1-메틸-5-페닐-3-프로필-1*H*-1,2,4-트라이아졸레이토)이리듐(III)(약칭: Ir(Prptz1-Me)$_3$) 등의 1*H*-트라이아졸 골격을 가지는 유기 금속 이리듐 착물; *fac*-트리스[1-(2,6-다이아이소프로필페닐)-2-페닐-1*H*-이미다졸]이리듐(III)(약칭: Ir(iPrpmi)$_3$) 및 트리스[3-(2,6-다이메틸페닐)-7-메틸이미다조[1,2-*f*]페난트리디네이토]이리듐(III)(약칭: Ir(dmpimpt-Me)$_3$) 등의 이미다졸 골격을 가지는 유기 금속 이리듐 착물; 및 비스[2-

(4',6'-다이플루오로페닐)피리디네이토-$N,C^{2'}$]이리듐(III)테트라키스(1-피라졸릴)보레이트(약칭: FIr6), 비스[2-(4',6'-다이플루오로페닐)피리디네이토-$N,C^{2'}$]이리듐(III)피콜리네이트(약칭: FIrpic), 비스{2-[3',5'-비스(트라이플루오로메틸)페닐]피리디네이토-$N,C^{2'}$}이리듐(III)피콜리네이트(약칭: $Ir(CF_3ppy)_2(pic)$), 및 비스[2-(4',6'-다이플루오로페닐)피리디네이토-$N,C^{2'}$]이리듐(III)아세틸아세토네이트(약칭: FIr(acac)) 등의 전자 흡인기를 가지는 페닐피리딘 유도체를 리간드로 하는 유기 금속 이리듐 착물이 포함된다. 상술한 재료 중에서, 4*H*-트라이아졸 골격, 1*H*-트라이아졸 골격, 또는 이미다졸 골격 등의 질소 함유 5원 헤테로 방향족 고리 골격을 가지는 유기 금속 이리듐 착물은, 삼중항 여기 에너지, 신뢰성, 및 발광 효율이 높기 때문에 특히 바람직하다.

[0182] 녹색 또는 황색의 파장 영역에 발광 피크를 가지는 물질의 예에는, 트리스(4-메틸-6-페닐피리미디네이토)이리듐(III)(약칭: $Ir(mppm)_3$), 트리스(4-*t*-뷰틸-6-페닐피리미디네이토)이리듐(III)(약칭: $Ir(tBuppm)_3$), (아세틸아세토네이토)비스(6-메틸-4-페닐피리미디네이토)이리듐(III)(약칭: $Ir(mppm)_2(acac)$), (아세틸아세토네이토)비스(6-*tert*-뷰틸-4-페닐피리미디네이토)이리듐(III)(약칭: $Ir(tBuppm)_2(acac)$), (아세틸아세토네이토)비스[4-(2-노보닐)-6-페닐피리미디네이토]이리듐(III)(약칭: $Ir(nbppm)_2(acac)$), (아세틸아세토네이토)비스[5-메틸-6-(2-메틸페닐)-4-페닐피리미디네이토]이리듐(III)(약칭: $Ir(mpmppm)_2(acac)$), (아세틸아세토네이토)비스{4,6-다이메틸-2-[6-(2,6-다이메틸페닐)-4-피리미딘일-κN^3]페닐-κC}이리듐(III)(약칭: $Ir(dmppm\text{-}dmp)_2(acac)$), 및 (아세틸아세토네이토)비스(4,6-다이페닐피리미디네이토)이리듐(III)(약칭: $Ir(dppm)_2(acac)$) 등의 피리미딘 골격을 가지는 유기 금속 이리듐 착물; (아세틸아세토네이토)비스(3,5-다이메틸-2-페닐피라지네이토)이리듐(III)(약칭: $Ir(mppr\text{-}Me)_2(acac)$) 및 (아세틸아세토네이토)비스(5-아이소프로필-3-메틸-2-페닐피라지네이토)이리듐(III)(약칭: $Ir(mppr\text{-}iPr)_2(acac)$) 등의 피라진 골격을 가지는 유기 금속 이리듐 착물; 트리스(2-페닐피리디네이토-$N,C^{2'}$)이리듐(III)(약칭: $Ir(ppy)_3$), 비스(2-페닐피리디네이토-$N,C^{2'}$)이리듐(III)아세틸아세토네이트(약칭: $Ir(ppy)_2(acac)$), 비스(벤조[*h*]퀴놀리네이토)이리듐(III)아세틸아세토네이트(약칭: $Ir(bzq)_2(acac)$), 트리스(벤조[*h*]퀴놀리네이토)이리듐(III)(약칭: $Ir(bzq)_3$), 트리스(2-페닐퀴놀리네이토-$N,C^{2'}$)이리듐(III)(약칭: $Ir(pq)_3$), 및 비스(2-페닐퀴놀리네이토-$N,C^{2'}$)이리듐(III)아세틸아세토네이트(약칭: $Ir(pq)_2(acac)$) 등의 피리딘 골격을 가지는 유기 금속 이리듐 착물; 비스(2,4-다이페닐-1,3-옥사졸레이토-$N,C^{2'}$)이리듐(III)아세틸아세토네이트(약칭: $Ir(dpo)_2(acac)$), 비스{2-[4'-(퍼플루오로페닐)페닐]피리디네이토-$N,C^{2'}$}이리듐(III)아세틸아세토네이트(약칭: $Ir(p\text{-}PF\text{-}ph)_2(acac)$), 및 비스(2-페닐벤조싸이아졸레이토-$N,C^{2'}$)이리듐(III)아세틸아세토네이트(약칭: $Ir(bt)_2(acac)$) 등의 유기 금속 이리듐 착물; 및 트리스(아세틸아세토네이토)(모노페난트롤린)터븀(III)(약칭: $Tb(acac)_3(Phen)$) 등의 희토류 금속 착물이 포함된다. 상술한 재료 중에서, 피리미딘 골격을 가지는 유기 금속 이리듐 착물은 신뢰성 및 발광 효율이 두드러지게 높기 때문에 특히 바람직하다.

[0183] 황색 또는 적색의 파장 영역에 발광 피크를 가지는 물질의 예에는, (다이아이소뷰타이릴메타네이토)비스[4,6-비스(3-메틸페닐)피리미디네이토]이리듐(III)(약칭: $Ir(5mdppm)_2(dibm)$), 비스[4,6-비스(3-메틸페닐)피리미디네이토](다이피발로일메타네이토)이리듐(III)(약칭: $Ir(5mdppm)_2(dpm)$), 및 비스[4,6-다이(나프탈렌-1-일)피리미디네이토](다이피발로일메타네이토)이리듐(III)(약칭: $Ir(d1npm)_2(dpm)$) 등의 피리미딘 골격을 가지는 유기 금속 이리듐 착물; (아세틸아세토네이토)비스(2,3,5-트라이페닐피라지네이토)이리듐(III)(약칭: $Ir(tppr)_2(acac)$), 비스(2,3,5-트라이페닐피라지네이토)(다이피발로일메타네이토)이리듐(III)(약칭: $Ir(tppr)_2(dpm)$), 및 (아세틸아세토네이토)비스[2,3-비스(4-플루오로페닐)퀴녹살리네이토]이리듐(III)(약칭: $Ir(Fdpq)_2(acac)$) 등의 피라진 골격을 가지는 유기 금속 이리듐 착물; 트리스(1-페닐아이소퀴놀리네이토-$N,C^{2'}$)이리듐(III)(약칭: $Ir(piq)_3$) 및 비스(1-페닐아이소퀴놀리네이토-$N,C^{2'}$)이리듐(III)아세틸아세토네이트(약칭: $Ir(piq)_2(acac)$) 등의 피리딘 골격을 가지는 유기 금속 이리듐 착물; 2,3,7,8,12,13,17,18-옥타에틸-21*H*,23*H*-포르피린 백금(II)(약칭: PtOEP) 등

의 백금 착물; 및 트리스(1,3-다이페닐-1,3-프로페인다이오네이토)(모노페난트롤린)유로퓸(III)(약칭: $Eu(DBM)_3(Phen)$) 및

트리스[1-(2-테노일)-3,3,3-트라이플루오로아세토네이토](모노페난트롤린)유로퓸(III)(약칭: $Eu(TTA)_3(Phen)$)

등의 희토류 금속 착물이 포함된다. 상술한 재료 중에서, 피리미딘 골격을 가지는 유기 금속 이리듐 착물은 신뢰성 및 발광 효율이 두드러지게 높으므로 특히 바람직하다. 또한 피라진 골격을 가지는 유기 금속 이리듐 착물은 색도가 양호한 적색 발광을 제공할 수 있다.

[0184] 화합물(131)로서 사용할 수 있는 재료의 예에는 상기 열 활성화 지연 형광 재료가 포함된다.

[0185] 또한 형광성 화합물을 발광층(130)에서 화합물(133)로서 사용하는 것이 바람직하다. 형광성 화합물은 특별히 한정되지 않지만, 안트라센 유도체, 테트라센 유도체, 크리센 유도체, 페난트렌 유도체, 피렌 유도체, 페릴렌 유도체, 스틸벤 유도체, 아크리돈 유도체, 쿠마린 유도체, 페녹사진 유도체, 또는 페노싸이아진 유도체 등이 바람직하다.

[0186] 구체적인 예로서는 5,6-비스[4-(10-페닐-9-안트릴)페닐]-2,2'-바이피리딘(약칭: PAP2BPy), 5,6-비스[4'-(10-페닐-9-안트릴)바이페닐-4-일]-2,2'-바이피리딘(약칭: PAPP2BPy), *N*,*N*'-다이페닐-*N*,*N*'-비스[4-(9-페닐-9*H*-플루오렌-9-일)페닐]피렌-1,6-다이아민(약칭: 1,6FLPAPrn), *N*,*N*'-비스(3-메틸페닐)-*N*,*N*'-비스[3-(9-페닐-9*H*-플루오렌-9-일)페닐]피렌-1,6-다이아민(약칭: 1,6mMemFLPAPrn), *N*,*N*'-비스[4-(9-페닐-9*H*-플루오렌-9-일)페닐]-*N*,*N*'-비스(4-*tert*-뷰틸페닐)피렌-1,6-다이아민(약칭: 1,6tBu-FLPAPrn), *N*,*N*'-다이페닐-*N*,*N*'-비스[4-(9-페닐-9*H*-플루오렌-9-일)페닐]-3,8-다이사이클로헥실피렌-1,6-다이아민(약칭: ch-1,6FLPAPrn), *N*,*N*'-비스[4-(9*H*-카바졸-9-일)페닐]-*N*,*N*'-다이페닐스틸벤-4,4'-다이아민(약칭: YGA2S), 4-(9*H*-카바졸-9-일)-4'-(10-페닐-9-안트릴)트라이페닐아민(약칭: YGAPA), 4-(9*H*-카바졸-9-일)-4'-(9,10-다이페닐-2-안트릴)트라이페닐아민(약칭: 2YGAPPA), *N*,9-다이페닐-*N*-[4-(10-페닐-9-안트릴)페닐]-9*H*-카바졸-3-아민(약칭: PCAPA), 페릴렌, 2,5,8,11-테트라(*tert*-뷰틸)페릴렌(약칭: TBP), 4-(10-페닐-9-안트릴)-4'-(9-페닐-9*H*-카바졸-3-일)트라이페닐아민(약칭: PCBAPA), *N*,*N*''-(2-*tert*-뷰틸안트라센-9,10-다이일다이-4,1-페닐렌)비스[*N*,*N*',*N*'-트라이페닐-1,4-페닐렌다이아민](약칭: DPABPA), *N*,9-다이페닐-*N*-[4-(9,10-다이페닐-2-안트릴)페닐]-9*H*-카바졸-3-아민(약칭: 2PCAPPA), *N*-[4-(9,10-다이페닐-2-안트릴)페닐]-*N*,*N*',*N*'-트라이페닐-1,4-페닐렌다이아민(약칭: 2DPAPPA), *N*,*N*,*N*',*N*',*N*'',*N*'',*N*''',*N*'''-옥타페닐다이벤조[*g*,*p*]크리센-2,7,10,15-테트라아민(약칭: DBC1), 쿠마린30, *N*-(9,10-다이페닐-2-안트릴)-*N*,9-다이페닐-9*H*-카바졸-3-아민(약칭: 2PCAPA), *N*-[9,10-비스(1,1'-바이페닐-2-일)-2-안트릴]-*N*,9-다이페닐-9*H*-카바졸-3-아민(약칭: 2PCABPhA), *N*-(9,10-다이페닐-2-안트릴)-*N*,*N*',*N*'-트라이페닐-1,4-페닐렌다이아민(약칭: 2DPAPA), *N*-[9,10-비스(1,1'-바이페닐-2-일)-2-안트릴]-*N*,*N*',*N*'-트라이페닐-1,4-페닐렌다이아민(약칭: 2DPABPhA), 9,10-비스(1,1'-바이페닐-2-일)-*N*-[4-(9*H*-카바졸-9-일)페닐]-*N*-페닐안트라센-2-아민(약칭: 2YGABPhA), *N*,*N*,9-트라이페닐안트라센-9-아민(약칭: DPhAPhA), 쿠마린6, 쿠마린545T, *N*,*N*'-다이페닐퀴나크리돈(약칭: DPQd), 루브렌, 2,8-다이-*tert*-뷰틸-5,11-비스(4-*tert*-뷰틸페닐)-6,12-다이페닐테트라센(약칭: TBRb), 나일 레드, 5,12-비스(1,1'-바이페닐-4-일)-6,11-다이페닐테트라센(약칭: BPT), 2-(2-{2-[4-(다이메틸아미노)페닐]에텐일}-6-메틸-4*H*-피란-4-일리덴)프로페인다이나이트릴(약칭: DCM1), 2-{2-메틸-6-[2-(2,3,6,7-테트라하이드로-1*H*,5*H*-벤조[*ij*]퀴놀리진-9-일)에텐일]-4*H*-피란-4-일리덴}프로페인다이나이트릴(약칭: DCM2), *N*,*N*,*N*',*N*'-테트라키스(4-메틸페닐)테트라센-5,11-다이아민(약칭: p-mPhTD), 7,14-다이페닐-*N*,*N*,*N*',*N*'-테트라키스(4-메틸페닐)아세나프토[1,2-*a*]플루오란텐-3,10-다이아민(약칭: p-mPhAFD), 2-{2-아이소프로필-6-[2-(1,1,7,7-테트라메틸-2,3,6,7-테트라하이드로-1*H*,5*H*-벤조[*ij*]퀴놀리진-9-일)에텐일]-4*H*-피란-4-일리덴}프로페인다이나이트릴(약칭: DCJTI), 2-{2-*tert*-뷰틸-6-[2-(1,1,7,7-테트라메틸-2,3,6,7-테트라하이드로-1*H*,5*H*-벤조[*ij*]퀴놀리진-9-일)에텐일]-4*H*-피란-4-일리덴}프로페인다이나이트릴(약칭: DCJTB), 2-(2,6-비스{2-[4-(다이메틸아미노)페닐]에텐일}-4*H*-피란-4-일리덴)프로페인다이나이트릴(약칭: BisDCM), 2-{2,6-비스[2-(8-메톡시-1,1,7,7-테트라메틸-2,3,6,7-테트라하이드로-1*H*,5*H*-벤조[*ij*]퀴놀리진-9-일)에텐일]-4*H*-피란-4-일리덴}프로페인다이나이트릴(약칭: BisDCJTM), 및 5,10,15,20-테트라페닐비스벤조[5,6]인데노[1,2,3-*cd*:1',2',3'-*lm*]페릴렌이 포함된다.

[0187] 화합물(131)과 화합물(132)로 들뜬 복합체가 형성되는 경우, 형성되는 들뜬 복합체의 발광 피크가 발광 재료인 화합물(133)의 가장 장파장 측(저에너지 측)의 흡수대와 중첩되도록 화합물(131), 화합물(132), 및 화합물(133)을 선택하는 것이 바람직하다. 이에 의하여 발광 효율이 대폭적으로 향상된 발광 소자를 제공할 수 있다.

[0188] 발광층(130)은 2 이상의 층들을 포함할 수 있다. 예를 들어, 제 1 발광층과 제 2 발광층을 정공 수송층 측에서부터 이 순서대로 적층하여 발광층(130)을 형성하는 경우, 제 1 발광층은 정공 수송성을 가지는 물질을 호스트

재료로서 사용하여 형성되고, 제 2 발광층은 전자 수송성을 가지는 물질을 호스트 재료로서 사용하여 형성된다.

[0189] 도 4의 (A) 및 (B)에 도시된 바와 같이, 발광층(130)은 화합물(131, 132, 및 133) 외의 재료(화합물(134))를 포함하여도 좋다. 이 경우, 화합물(132)과 화합물(134)로 들뜬 복합체가 형성되는 것이 바람직하다. 이러한 상태로 하기 위해서는, 화합물(132 및 134) 중 한쪽의 HOMO 준위가 발광층(130)의 재료에서 가장 높고, 화합물(132 및 134) 중 다른 쪽의 LUMO 준위가 발광층(130)의 재료에서 가장 낮은 것이 바람직하다. 즉 화합물(132 및 134) 중 한쪽의 HOMO 준위가 화합물(132 및 134) 중 다른 쪽의 HOMO 준위 및 화합물(131)의 HOMO 준위보다 높고, 화합물(132 및 134) 중 상기 다른 쪽의 LUMO 준위가 화합물(132 및 134) 중 상기 한쪽의 LUMO 준위 및 화합물(131)의 LUMO 준위보다 낮은 것이 바람직하다. 이러한 상태로 함으로써, 화합물(132)과 화합물(131)로 들뜬 복합체를 형성하는 반응을 억제할 수 있다.

[0190] 화합물(134)로서는, 예를 들어, 다음의 정공 수송성 재료 및 전자 수송성 재료 중 임의의 것을 사용할 수 있다.

[0191] 정공 수송성 재료로서는 전자보다 정공을 많이 수송하는 성질을 가지는 재료를 사용할 수 있고, 정공 이동도가 1×10^{-6} cm^2/Vs 이상인 재료가 바람직하다. 구체적으로는 방향족 아민 또는 카바졸 유도체 등을 사용할 수 있다. 또한 상기 정공 수송성 재료는 고분자 화합물이어도 좋다.

[0192] 정공 수송성이 높은 재료의 예에는 *N*,*N*'-다이(*p*-톨릴)-*N*,*N*'-다이페닐-*p*-페닐렌다이아민(약칭: DTDPPA), 4,4'-비스[*N*-(4-다이페닐아미노페닐)-*N*-페닐아미노]바이페닐(약칭: DPAB), *N*,*N*'-비스{4-[비스(3-메틸페닐)아미노]페닐}-*N*,*N*'-다이페닐-(1,1'-바이페닐)-4,4'-다이아민(약칭: DNTPD), 및 1,3,5-트리스[*N*-(4-다이페닐아미노페닐)-*N*-페닐아미노]벤젠(약칭: DPA3B) 등의 방향족 아민 화합물이 포함된다.

[0193] 카바졸 유도체의 구체적인 예에는 3-[*N*-(4-다이페닐아미노페닐)-*N*-페닐아미노]-9-페닐카바졸(약칭: PCzDPA1), 3,6-비스[*N*-(4-다이페닐아미노페닐)-*N*-페닐아미노]-9-페닐카바졸(약칭: PCzDPA2), 3,6-비스[*N*-(4-다이페닐아미노페닐)-*N*-(1-나프틸)아미노]-9-페닐카바졸(약칭: PCzTPN2), 3-[*N*-(9-페닐카바졸-3-일)-*N*-페닐아미노]-9-페닐카바졸(약칭: PCzPCA1), 3,6-비스[*N*-(9-페닐카바졸-3-일)-*N*-페닐아미노]-9-페닐카바졸(약칭: PCzPCA2), 및 3-[*N*-(1-나프틸)-*N*-(9-페닐카바졸-3-일)아미노]-9-페닐카바졸(약칭: PCzPCN1)이 포함된다.

[0194] 카바졸 유도체의 다른 예에는 4,4'-다이(*N*-카바졸릴)바이페닐(약칭: CBP), 1,3,5-트리스[4-(*N*-카바졸릴)페닐]벤젠(약칭: TCPB), 및 1,4-비스[4-(*N*-카바졸릴)페닐]-2,3,5,6-테트라페닐벤젠이 포함된다.

[0195] 정공 수송성이 높은 재료의 예에는, 4,4'-비스[*N*-(1-나프틸)-*N*-페닐아미노]바이페닐(약칭: NPB 또는 α-NPD), *N*,*N*'-비스(3-메틸페닐)-*N*,*N*'-다이페닐-[1,1'-바이페닐]-4,4'-다이아민(약칭: TPD), 4,4',4''-트리스(카바졸-9-일)트라이페닐아민(약칭: TCTA), 4,4',4''-트리스[*N*-(1-나프틸)-*N*-페닐아미노]트라이페닐아민(약칭: 1'-TNATA), 4,4',4''-트리스(*N*,*N*-다이페닐아미노)트라이페닐아민(약칭: TDATA), 4,4',4''-트리스[*N*-(3-메틸페닐)-*N*-페닐아미노]트라이페닐아민(약칭: m-MTDATA), 4,4'-비스[*N*-(스파이로-9,9'-바이플루오렌-2-일)-*N*-페닐아미노]바이페닐(약칭: BSPB), 4-페닐-4'-(9-페닐플루오렌-9-일)트라이페닐아민(약칭: BPAFLP), 4-페닐-3'-(9-페닐플루오렌-9-일)트라이페닐아민(약칭: mBPAFLP), *N*-(9,9-다이메틸-9*H*-플루오렌-2-일)-*N*-{9,9-다이메틸-2-[*N*'-페닐-*N*'-(9,9-다이메틸-9*H*-플루오렌-2-일)아미노]-9*H*-플루오렌-7-일}페닐아민(약칭: DFLADFL), *N*-(9,9-다이메틸-2-다이페닐아미노-9*H*-플루오렌-7-일)다이페닐아민(약칭: DPNF), 2-[*N*-(4-다이페닐아미노페닐)-*N*-페닐아미노]스파이로-9,9'-바이플루오렌(약칭: DPASF), 4-페닐-4'-(9-페닐-9*H*-카바졸-3-일)트라이페닐아민(약칭: PCBA1BP), 4,4'-다이페닐-4''-(9-페닐-9*H*-카바졸-3-일)트라이페닐아민(약칭: PCBBi1BP), 4-(1-나프틸)-4'-(9-페닐-9*H*-카바졸-3-일)트라이페닐아민(약칭: PCBANB), 4,4'-다이(1-나프틸)-4''-(9-페닐-9*H*-카바졸-3-일)트라이페닐아민(약칭: PCBNBB), 4-페닐다이페닐-(9-페닐-9*H*-카바졸-3-일)아민(약칭: PCA1BP), *N*,*N*'-비스(9-페닐카바졸-3-일)-*N*,*N*'-다이페닐벤젠-1,3-다이아민(약칭: PCA2B), *N*,*N*',*N*''-트라이페닐-*N*,*N*',*N*''-트리스(9-페닐카바졸-3-일)벤젠-1,3,5-트라이아민(약칭: PCA3B), *N*-(4-바이페닐)-*N*-(9,9-다이메틸-9*H*-플루오렌-2-일)-9-페닐-9*H*-카바졸-3-아민(약칭: PCBiF), *N*-(1,1'-바이페닐-4-일)-*N*-[4-(9-페닐-9*H*-카바졸-3-일)페닐]-9,9-다이메틸-9*H*-플루오렌-2-아민(약칭: PCBBiF), 9,9-다이메틸-*N*-페닐-*N*-[4-(9-페닐-9*H*-카바졸-3-일)페닐]플루오렌-2-아민(약칭: PCBAF), *N*-페닐-*N*-[4-(9-페닐-9*H*-카바졸-3-일)페닐]스파이로-9,9'-바이플루오렌-2-아민(약칭: PCBASF), 2-[*N*-(9-페닐카바졸-3-일)-*N*-페닐아미노]스파이로-9,9'-바이플루오렌(약칭: PCASF), 2,7-비스[*N*-(4-다이페닐아미노페닐)-*N*-페닐아미노]-스파이로-9,9'-바이플루오렌(약칭: DPA2SF), *N*-[4-(9*H*-카바졸-9-일)페닐]-*N*-(4-페닐)페닐아닐린(약칭: YGA1BP), 및 *N*,*N*'-비스[4-(카바졸-9-일)페닐]-*N*,*N*'-다이페닐-9,9-다이메틸플루오렌-2,7-다이아민(약칭: YGA2F) 등의 방향족 아민 화합물이 포함된다. 다른 예에는 3-[4-(1-나프틸)-페닐]-9-페닐-9*H*-카바졸(약칭: PCPN), 3-[4-(9-페난트릴)-페닐]-9-페닐-9*H*-카바졸(약칭: PCPPn), 3,3'-비스(9-페닐-9*H*-카바졸)(약칭: PCCP), 1,3-비스(*N*-카바졸릴)벤젠(약칭: mCP), 3,6-비스(3,5-다이페닐페닐)-9-페닐카바졸(약칭: CzTP), 4-

{3-[3-(9-페닐-9*H*-플루오렌-9-일)페닐]페닐}다이벤조퓨란(약칭: mmDBFFLBi-II), 4,4',4''-(벤젠-1,3,5-트라이일)트라이(다이벤조퓨란)(약칭: DBF3P-II), 1,3,5-트라이(다이벤조싸이오펜-4-일)-벤젠(약칭: DBT3P-II), 2,8-다이페닐-4-[4-(9-페닐-9*H*-플루오렌-9-일)페닐]다이벤조싸이오펜(약칭: DBTFLP-III), 4-[4-(9-페닐-9*H*-플루오렌-9-일)페닐]-6-페닐다이벤조싸이오펜(약칭: DBTFLP-IV), 및 4-[3-(트라이페닐렌-2-일)페닐]다이벤조싸이오펜(약칭: mDBTPTp-II) 등의 아민 화합물, 카바졸 화합물, 싸이오펜 화합물, 퓨란 화합물, 플루오렌 화합물, 트라이페닐렌 화합물, 및 페난트렌 화합물 등이 포함된다. 여기에 기재된 물질은 주로 정공 이동도가 $1\times10^{-6}cm^2/Vs$ 이상인 물질이다. 다만 이들 물질 외에, 전자보다 정공을 많이 수송하는 성질을 가지는 임의의 물질을 사용하여도 좋다.

[0196] 전자 수송성 재료로서는 정공보다 전자를 많이 수송하는 성질을 가지는 재료를 사용할 수 있고, 전자 이동도가 $1\times10^{-6}cm^2/Vs$ 이상인 재료가 바람직하다. 전자를 용이하게 받는 화합물(전자 수송성을 가지는 재료)로서는, 질소 함유 헤테로 방향족 화합물 등의 π전자 부족형 헤테로 방향족 화합물 또는 금속 착물 등을 사용할 수 있다. 구체적인 예에는, 퀴놀린 리간드, 벤조퀴놀린 리간드, 옥사졸 리간드, 또는 싸이아졸 리간드를 가지는 금속 착물이 포함된다. 다른 예에는 옥사다이아졸 유도체, 트라이아졸 유도체, 페난트롤린 유도체, 피리딘 유도체, 바이피리딘 유도체, 피리미딘 유도체, 벤조퓨로피리미딘 유도체, 및 벤조티에노피리미딘 유도체가 포함된다. 또한 이들 물질 외에, 정공보다 전자를 많이 수송하는 성질을 가지는 임의의 물질을 전자 수송층에 사용하여도 좋다.

[0197] 전자 수송성 재료의 구체적인 예에는 트리스(8-퀴놀리놀레이토)알루미늄(III)(약칭: Alq), 트리스(4-메틸-8-퀴놀리놀레이토)알루미늄(III)(약칭: $Almq_3$), 비스(10-하이드록시벤조[*h*]퀴놀리네이토)베릴륨(II)(약칭: $BeBq_2$), 비스(2-메틸-8-퀴놀리놀레이토)(4-페닐페놀레이토)알루미늄(III)(약칭: BAlq), 또는 비스(8-퀴놀리놀레이토)아연(II)(약칭: Znq) 등의 퀴놀린 골격 또는 벤조퀴놀린 골격을 가지는 금속 착물이 포함된다. 또는 비스[2-(2-벤즈옥사졸릴)페놀레이토]아연(II)(약칭: ZnPBO) 또는 비스[2-(2-벤조싸이아졸릴)페놀레이토]아연(II)(약칭: ZnBTZ) 등의 옥사졸계 또는 싸이아졸계 리간드를 가지는 금속 착물을 사용할 수 있다. 이러한 금속 착물 외에는, 2-(4-바이페닐릴)-5-(4-*tert*-뷰틸페닐)-1,3,4-옥사다이아졸(약칭: PBD), 1,3-비스[5-(*p*-*tert*-뷰틸페닐)-1,3,4-옥사다이아졸-2-일]벤젠(약칭: OXD-7), 9-[4-(5-페닐-1,3,4-옥사다이아졸-2-일)페닐]-9*H*-카바졸(약칭: CO11), 3-(4-바이페닐릴)-4-페닐-5-(4-*tert*-뷰틸페닐)-1,2,4-트라이아졸(약칭: TAZ), 2,2',2''-(1,3,5-벤젠트라이일)트리스(1-페닐-1*H*-벤즈이미다졸)(약칭: TPBI), 2-[3-(다이벤조싸이오펜-4-일)페닐]-1-페닐-1*H*-벤즈이미다졸(약칭: mDBTBIm-II), 바소페난트롤린(약칭: BPhen), 바소큐프로인(약칭: BCP), 및 2,9-비스(나프탈렌-2-일)-4,7-다이페닐-1,10-페난트롤린(약칭: NBPhen) 등의 헤테로 고리 화합물; 2-[3-(다이벤조싸이오펜-4-일)페닐]다이벤조[*f*,*h*]퀴녹살린(약칭: 2mDBTPDBq-II), 2-[3'-(다이벤조싸이오펜-4-일)바이페닐-3-일]다이벤조[*f*,*h*]퀴녹살린(약칭: 2mDBTBPDBq-II), 2-[3'-(9*H*-카바졸-9-일)바이페닐-3-일]다이벤조[*f*,*h*]퀴녹살린(약칭: 2mCzBPDBq), 2-[4-(3,6-다이페닐-9*H*-카바졸-9-일)페닐]다이벤조[*f*,*h*]퀴녹살린(약칭: 2CzPDBq-III), 7-[3-(다이벤조싸이오펜-4-일)페닐]다이벤조[*f*,*h*]퀴녹살린(약칭: 7mDBTPDBq-II), 6-[3-(다이벤조싸이오펜-4-일)페닐]다이벤조[*f*,*h*]퀴녹살린(약칭: 6mDBTPDBq-II), 4,6-비스[3-(페난트렌-9-일)페닐]피리미딘(약칭: 4,6mPnP2Pm), 4,6-비스[3-(4-다이벤조싸이엔일)페닐]피리미딘(약칭: 4,6mDBTP2Pm-II), 및 4,6-비스[3-(9*H*-카바졸-9-일)페닐]피리미딘(약칭: 4,6mCzP2Pm) 등의 다이아진 골격을 가지는 헤테로 고리 화합물; PCCzPTzn 등의 트라이아진 골격을 가지는 헤테로 고리 화합물; 3,5-비스[3-(9*H*-카바졸-9-일)페닐]피리딘(약칭: 35DCzPPy) 및 1,3,5-트라이[3-(3-피리딜)페닐]벤젠(약칭: TmPyPB) 등의 피리딘 골격을 가지는 헤테로 고리 화합물; 및 4,4'-비스(5-메틸벤즈옥사졸-2-일)스틸벤(약칭: BzOs) 등의 헤테로 방향족 화합물 중 임의의 것을 사용할 수 있다. 또는 폴리(2,5-피리딘다이일)(약칭: PPy), 폴리[(9,9-다이헥실플루오렌-2,7-다이일)-*co*-(피리딘-3,5-다이일)](약칭: PF-Py), 또는 폴리[(9,9-다이옥틸플루오렌-2,7-다이일)-*co*-(2,2'-바이피리딘-6,6'-다이일)](약칭: PF-BPy) 등의 고분자 화합물을 사용할 수 있다. 여기에 기재된 물질은 주로 전자 이동도가 $1\times10^{-6}cm^2/Vs$ 이상인 물질이다. 또한 이들 물질 외에, 정공보다 전자를 많이 수송하는 성질을 가지는 임의의 물질을 사용하여도 좋다.

[0198] 화합물(134)과 화합물(132)로 들뜬 복합체가 형성되는 경우, 형성되는 들뜬 복합체의 발광 피크가 화합물(131)의 가장 장파장 측(저에너지 측)의 흡수대와 중첩되도록 화합물(131), 화합물(132), 및 화합물(134)을 선택하는 것이 바람직하다. 이에 의하여 발광 효율이 대폭적으로 향상된 발광 소자가 실현된다.

[0199] <<한 쌍의 전극>>

[0200] 전극(101) 및 전극(102)은 발광층(130)에 정공 및 전자를 주입하는 기능을 가진다. 전극(101) 및 전극(102)은 금속, 합금, 또는 도전성 화합물, 또는 이들의 혼합물 또는 적층체 등을 사용하여 형성할 수 있다. 금속의 대표적인 예로서는 알루미늄(Al)이 있고, 이 외에 은(Ag), 텅스텐, 크로뮴, 몰리브데넘, 구리, 또는 타이타늄 등의 전이 금속, 리튬(Li) 또는 세슘 등의 알칼리 금속, 또는 칼슘 또는 마그네슘(Mg) 등의 2족 금속을 사용할 수 있다. 전이 금속으로서는, 이터븀(Yb) 등의 희토류 금속을 사용하여도 좋다. 상술한 금속 중 어느 것을 포함하는 합금을 합금으로서 사용할 수 있고, MgAg 및 AlLi를 예로 들 수 있다. 도전성 화합물의 예에는, 인듐 주석 산화물(이하 ITO라고 함), 실리콘 또는 산화 실리콘을 포함하는 인듐 주석 산화물(ITSO), 인듐 아연 산화물, 및 텅스텐 및 아연을 포함하는 인듐 산화물 등의 금속 산화물이 포함된다. 그래핀 등의 무기 탄소계 재료를 도전성 화합물로서 사용할 수도 있다. 상술한 바와 같이, 이들 재료 중 2개 이상을 적층함으로써, 전극(101) 및/또는 전극(102)을 형성하여도 좋다.

[0201] 발광층(130)으로부터 방출되는 빛은 전극(101) 및/또는 전극(102)을 통하여 추출된다. 그러므로 전극(101 및 102) 중 적어도 한쪽은 가시광을 투과시킨다. 빛을 투과시키는 도전성 재료로서는, 가시광 투과율이 40% 이상 100% 이하, 바람직하게는 60% 이상 100% 이하이고, 저항률이 $1\times10^{-2}\Omega\cdot cm$ 이하인 도전성 재료를 사용할 수 있다. 광 추출 측의 전극은 빛을 투과시키는 기능과 빛을 반사하는 기능을 가지는 도전성 재료를 사용하여 형성되어도 좋다. 도전성 재료로서는, 가시광 반사율이 20% 이상 80% 이하, 바람직하게는 40% 이상 70% 이하이고, 저항률이 $1\times10^{-2}\Omega\cdot cm$ 이하인 도전 재료를 사용할 수 있다. 빛이 추출되는 쪽의 전극이 금속 또는 합금 등 광투과성이 낮은 재료를 사용하여 형성되는 경우, 가시광을 투과할 수 있을 정도로 얇은 두께(예를 들어 두께 1nm 내지 10nm)로 전극(101) 및/또는 전극(102)을 형성한다.

[0202] 본 명세서 등에서는 빛을 투과시키는 전극으로서, 가시광을 투과시키고 도전성을 가지는 재료를 사용한다. 상기 재료의 예에는 상술한 ITO로 대표되는 산화물 도전체층에 더하여, 산화물 반도체층, 및 유기 물질을 포함하는 유기 도전체층이 포함된다. 유기 물질을 포함하는 유기 도전체층의 예에는 유기 화합물과 전자 공여체(도너)를 혼합한 복합 재료를 포함하는 층, 및 유기 화합물과 전자 수용체(억셉터)를 혼합한 복합 재료를 포함하는 층이 포함된다. 투명 도전층의 저항률은 바람직하게는 $1\times10^{5}\Omega\cdot cm$ 이하, 더 바람직하게는 $1\times10^{4}\Omega\cdot cm$ 이하이다.

[0203] 전극(101) 및 전극(102)의 형성 방법으로서는 스퍼터링법, 증착법, 인쇄법, 도포법, MBE(molecular beam epitaxy)법, CVD법, 펄스 레이저 퇴적법, 또는 ALD(atomic layer deposition)법 등을 적절히 사용할 수 있다.

[0204] <<정공 주입층>>

[0205] 정공 주입층(111)은 한 쌍의 전극(전극(101) 또는 전극(102))으로부터의 정공 주입의 장벽을 저감하여 정공 주입을 촉진하는 기능을 가지고, 예를 들어 전이 금속 산화물, 프탈로사이아닌 유도체, 또는 방향족 아민을 사용하여 형성된다. 전이 금속 산화물로서는, 몰리브데넘 산화물, 바나듐 산화물, 루테늄 산화물, 텅스텐 산화물, 또는 망가니즈 산화물 등을 들 수 있다. 프탈로사이아닌 유도체로서는, 프탈로사이아닌 또는 금속 프탈로사이아닌 등을 들 수 있다. 방향족 아민으로서는, 벤지딘 유도체 또는 페닐렌다이아민 유도체 등을 들 수 있다. 폴리싸이오펜 또는 폴리아닐린 등의 고분자 화합물을 사용할 수도 있고, 그 대표적인 예에는 자기 도핑된 폴리싸이오펜인 폴리(에틸렌다이옥시싸이오펜)/폴리(스타이렌설폰산)이 있다.

[0206] 정공 주입층(111)으로서, 정공 수송성 재료와 정공 수송성 재료로부터 전자를 받는 특성을 가지는 재료의 복합 재료를 포함하는 층을 사용할 수도 있다. 또는 전자 수용성을 가지는 재료를 포함하는 층과 정공 수송성 재료를 포함하는 층의 적층을 사용하여도 좋다. 정상(定常) 상태 또는 전계 존재하에서, 이들 재료 사이를 전하가 이동할 수 있다. 전자 수용성을 가지는 재료의 예로서는, 퀴노다이메테인 유도체, 클로라닐 유도체, 및 헥사아자트라이페닐렌 유도체 등의 유기 억셉터를 들 수 있다. 구체적인 예로서는 7,7,8,8-테트라사이아노-2,3,5,6-테트라플루오로퀴노다이메테인(약칭: F_4-TCNQ), 클로라닐, 2,3,6,7,10,11-헥사사이아노-1,4,5,8,9,12-헥사아자트라이페닐렌(약칭: HAT-CN), 또는 1,3,4,5,7,8-헥사플루오로테트라사이아노-나프토퀴노다이메테인(약칭: F6-TCNNQ) 등의 전자 흡인기(할로젠기(예를 들어 플루오로기) 또는 사이아노기)를 가지는 화합물이 있다. 특히 HAT-CN과 같이 헤테로 원자를 복수로 가지는 축합 방향족 고리에 전자 흡인기가 결합된 화합물이 열적으로 안정되어 있기 때문에 바람직하다. 전자 흡인기(특히 사이아노기, 또는 플루오로기 등의 할로젠기)를 포함하는 [3]라디알렌 유도체는 전자 수용성이 매우 높기 때문에 바람직하다. 구체적인 예에는 α,α',α''-1,2,3-사이클로프로페인트라이일리덴트리스[4-사이아노-2,3,5,6-테트라플루오로벤젠아세토나이트릴], α,α',α''-1,2,3-사이클로프로페인트라이일리덴트리스[2,6-다이클로로-3,5-다이플루오로-4-(트라이플루

오로메틸)벤젠아세토나이트릴], 및 α,α',α''-1,2,3-사이클로프로페인트라이일리덴트리스[2,3,4,5,6-펜타플루오로벤젠아세토나이트릴]가 포함된다. 또는 4족 내지 8족 금속의 산화물 등의 전이 금속 산화물을 사용할 수 있다. 구체적으로는 산화 바나듐, 산화 나이오븀, 산화 탄탈럼, 산화 크로뮴, 산화 몰리브데넘, 산화 텅스텐, 산화 망가니즈, 또는 산화 레늄 등을 사용할 수 있다. 특히, 산화 몰리브데넘은 대기 중에서 안정적이고 흡습성이 낮으며 취급하기 쉬우므로 바람직하다.

[0207] 정공 수송성 재료로서는 전자보다 정공을 많이 수송하는 성질을 가지는 재료를 사용할 수 있고, 정공 이동도가 $1\times10^{-6}cm^2/Vs$ 이상인 재료가 바람직하다. 구체적으로는 발광층(130)에 사용할 수 있는 정공 수송성 재료의 예로서 위에서 든 방향족 아민, 카바졸 유도체, 방향족 탄화수소, 및 스틸벤 유도체 등 중 임의의 것을 사용할 수 있다. 또한 정공 수송성 재료는 고분자 화합물이어도 좋다.

[0208] 방향족 탄화수소의 예에는 2-*tert*-뷰틸-9,10-다이(2-나프틸)안트라센(약칭: t-BuDNA), 2-*tert*-뷰틸-9,10-다이(1-나프틸)안트라센, 9,10-비스(3,5-다이페닐페닐)안트라센(약칭: DPPA), 2-*tert*-뷰틸-9,10-비스(4-페닐페닐)안트라센(약칭: t-BuDBA), 9,10-다이(2-나프틸)안트라센(약칭: DNA), 9,10-다이페닐안트라센(약칭: DPAnth), 2-*tert*-뷰틸안트라센(약칭: t-BuAnth), 9,10-비스(4-메틸-1-나프틸)안트라센(약칭: DMNA), 2-*tert*-뷰틸-9,10-비스[2-(1-나프틸)페닐]안트라센, 9,10-비스[2-(1-나프틸)페닐]안트라센, 2,3,6,7-테트라메틸-9,10-다이(1-나프틸)안트라센, 2,3,6,7-테트라메틸-9,10-다이(2-나프틸)안트라센, 9,9'-바이안트릴, 10,10'-다이페닐-9,9'-바이안트릴, 10,10'-비스(2-페닐페닐)-9,9'-바이안트릴, 10,10'-비스[(2,3,4,5,6-펜타페닐)페닐]-9,9'-바이안트릴, 안트라센, 테트라센, 루브렌, 페릴렌, 및 2,5,8,11-테트라(*tert*-뷰틸)페릴렌이 포함된다. 다른 예에는, 펜타센 및 코로넨이 포함된다. 정공 이동도가 $1\times10^{-6}cm^2/Vs$ 이상이고 탄소수가 14 내지 42인 방향족 탄화수소가 특히 바람직하다.

[0209] 방향족 탄화수소는 바이닐 골격을 가져도 좋다. 바이닐기를 가지는 방향족 탄화수소의 예에는 4,4'-비스(2,2-다이페닐바이닐)바이페닐(약칭: DPVBi) 및 9,10-비스[4-(2,2-다이페닐바이닐)페닐]안트라센(약칭: DPVPA)이 포함된다.

[0210] 다른 예에는 폴리(*N*-바이닐카바졸)(약칭: PVK), 폴리(4-바이닐트라이페닐아민)(약칭: PVTPA), 폴리[*N*-(4-{*N*'-[4-(4-다이페닐아미노)페닐]페닐-*N*'-페닐아미노}페닐)메타크릴아마이드](약칭: PTPDMA), 및 폴리[*N*,*N*'-비스(4-뷰틸페닐)-*N*,*N*'-비스(페닐)벤지딘](약칭: poly-TPD) 등의 고분자 화합물이 포함된다.

[0211] <<정공 수송층>>

[0212] 정공 수송층(112)은 정공 수송성 재료를 포함하는 층이며 정공 주입층(111)의 재료로서 예시한 재료들 중 임의의 것을 사용하여 형성할 수 있다. 정공 수송층(112)이 정공 주입층(111)에 주입된 정공을 발광층(130)으로 수송하는 기능을 가지기 위해서는, 정공 수송층(112)의 HOMO 준위가 정공 주입층(111)의 HOMO 준위와 같거나 가까운 것이 바람직하다.

[0213] 정공 수송성 재료로서는, 정공 주입층(111) 및 화합물(134)의 재료로서 예시한 재료들 중 임의의 것을 사용할 수 있다. 정공 수송성 재료로서는 정공 이동도가 $1\times10^{-6}cm^2/Vs$ 이상인 물질을 사용하는 것이 바람직하다. 다만 이들 물질 외에, 전자보다 정공을 많이 수송하는 성질을 가지는 임의의 물질을 사용하여도 좋다. 정공 수송성이 높은 물질을 포함하는 층은 단층에 한정되지 않고, 상술한 물질을 포함하는 2층 이상을 적층하여도 좋다.

[0214] <<전자 수송층>>

[0215] 전자 수송층(118)은, 전자 주입층(119)을 통하여 한 쌍의 전극 중 다른 쪽(전극(101) 또는 전극(102))으로부터 주입된 전자를 발광층(130)으로 수송하는 기능을 가진다. 전자 수송성 재료로서는 정공보다 전자를 많이 수송하는 성질을 가지는 재료를 사용할 수 있고, 전자 이동도가 $1\times10^{-6}cm^2/Vs$ 이상인 재료가 바람직하다. 또한 이들 물질 외에, 정공보다 전자를 많이 수송하는 성질을 가지는 임의의 물질을 사용하여도 좋다.

[0216] 전자 수송성 재료로서는, 화합물(134)의 재료로서 예시한 재료들 중 임의의 것을 사용할 수 있다. 전자 수송성 재료로서는 전자 이동도가 $1\times10^{-6}cm^2/Vs$ 이상인 물질을 사용하는 것이 바람직하다. 또한 전자 수송층(118)은 단층에 한정되지 않고, 상술한 물질을 포함하는 2층 이상의 적층이어도 좋다.

[0217] 전자 수송층(118)과 발광층(130) 사이에, 전자 캐리어의 이동을 제어하는 층을 제공하여도 좋다. 전자 캐리어의 이동을 제어하는 층은, 상술한 전자 수송성이 높은 재료에 전자 트랩성이 높은 물질을 소량 첨가하여 형성되

고, 전자 캐리어의 이동을 억제함으로써 캐리어 밸런스를 조절할 수 있다. 이러한 구조는 발광층을 전자가 통과할 때에 발생되는 문제(소자 수명의 저하 등)를 방지하는 데 매우 효과적이다.

[0218] <<전자 주입층>>

[0219] 전자 주입층(119)은 전극(102)으로부터의 전자 주입의 장벽을 저감하여 전자 주입을 촉진하는 기능을 가지고, 예를 들어 1족 금속 또는 2족 금속, 또는 이들 금속 중 어느 것의 산화물, 할로젠화물, 또는 탄산염을 사용하여 형성할 수 있다. 또는 상술한 전자 수송성 재료 및 전자 수송성 재료에 대하여 전자를 공여하는 성질을 가지는 재료를 포함하는 복합 재료를 사용할 수 있다. 전자 공여성을 가지는 재료로서는, 1족 금속, 2족 금속, 또는 이들 금속 중 어느 것의 산화물 등을 들 수 있다. 구체적으로는 플루오린화 리튬(LiF), 플루오린화 소듐(NaF), 플루오린화 세슘(CsF), 플루오린화 칼슘(CaF_2), 또는 리튬 산화물(LiO_x) 등의 알칼리 금속, 알칼리 토금속, 또는 그 화합물을 사용할 수 있다. 또는 플루오린화 어븀(ErF_3)과 같은 희토류 금속 화합물을 사용할 수 있다. 전자 주입층(119)에 전자화물(electride)을 사용하여도 좋다. 전자화물의 예에는 칼슘과 알루미늄의 혼합 산화물(calcium oxide-aluminum oxide)에 높은 농도로 전자를 첨가한 물질이 포함된다. 전자 주입층(119)은 전자 수송층(118)에 사용할 수 있는 물질을 사용하여 형성하여도 좋다.

[0220] 전자 주입층(119)에, 유기 화합물과 전자 공여체(도너)를 혼합한 복합 재료를 사용하여도 좋다. 이러한 복합 재료는 전자 공여체에 의하여 유기 화합물에서 전자가 발생되기 때문에, 전자 주입성 및 전자 수송성이 우수하다. 이 경우, 유기 화합물은 발생된 전자의 수송에 우수한 재료인 것이 바람직하다. 구체적으로는 예를 들어, 상술한 전자 수송층(118)을 형성하는 물질(예를 들어 금속 착물 및 헤테로 방향족 화합물)을 사용할 수 있다. 전자 공여체로서는, 유기 화합물에 대하여 전자 공여성을 나타내는 물질을 사용하여도 좋다. 구체적으로는 알칼리 금속, 알칼리 토금속, 및 희토류 금속이 바람직하고, 리튬, 세슘, 마그네슘, 칼슘, 어븀, 및 이터븀 등을 들 수 있다. 또한 알칼리 금속 산화물 또는 알칼리 토금속 산화물이 바람직하고, 리튬 산화물, 칼슘 산화물, 및 바륨 산화물 등을 들 수 있다. 또는 산화 마그네슘 등의 루이스 염기를 사용할 수 있다. 또는 테트라싸이아플루발렌(약칭: TTF) 등의 유기 화합물을 사용할 수 있다.

[0221] 또한 상술한 발광층, 정공 주입층, 정공 수송층, 전자 수송층, 및 전자 주입층의 각각은 증착법(진공 증착법을 포함함), 잉크젯법, 도포법, 노즐 인쇄법, 또는 그라비어 인쇄법 등에 의하여 형성할 수 있다. 상술한 재료 외에도, 상기 발광층, 정공 주입층, 정공 수송층, 전자 수송층, 및 전자 주입층에는 퀀텀닷(quantum dot) 등의 무기 화합물 또는 고분자 화합물(예를 들어 올리고머, 덴드리머, 및 폴리머)을 사용하여도 좋다.

[0222] 퀀텀닷은 예를 들어, 콜로이드 퀀텀닷, 합금 퀀텀닷, 코어셸 퀀텀닷, 또는 코어 퀀텀닷이어도 좋다. 2족 및 16족에 속하는 원소, 13족 및 15족에 속하는 원소, 13족 및 17족에 속하는 원소, 11족 및 17족에 속하는 원소, 또는 14족 및 15족에 속하는 원소를 포함하는 퀀텀닷을 사용하여도 좋다. 또는 카드뮴(Cd), 셀레늄(Se), 아연(Zn), 황(S), 인(P), 인듐(In), 텔루륨(Te), 납(Pb), 갈륨(Ga), 비소(As), 또는 알루미늄(Al) 등의 원소를 포함하는 퀀텀닷을 사용하여도 좋다.

[0223] 웨트 프로세스에 사용되는 액체 매체의 예에는, 메틸에틸케톤 및 사이클로헥사논 등의 케톤류; 에틸아세테이트 등의 지방산 에스터류; 다이클로로벤젠 등의 할로젠화 탄화수소류; 톨루엔, 자일렌, 메시틸렌, 및 사이클로헥실벤젠 등의 방향족 탄화수소류; 사이클로헥세인, 데칼린, 및 도데케인 등의 지방족 탄화수소류; 다이메틸폼아마이드(DMF); 또는 다이메틸설폭사이드(DMSO) 등의 유기 용매가 있다.

[0224] 발광층에 사용할 수 있는 고분자 화합물의 예에는, 폴리[2-메톡시-5-(2-에틸헥실옥시)-1,4-페닐렌바이닐렌](약칭: MEH-PPV) 또는 폴리(2,5-다이옥틸-1,4-페닐렌바이닐렌) 등의 폴리페닐렌바이닐렌(PPV) 유도체; 폴리(9,9-다이-*n*-옥틸플루오렌일-2,7-다이일)(약칭: PF8), 폴리[(9,9-다이-*n*-옥틸플루오렌일-2,7-다이일)-*alt*-(벤조[2,1,3]싸이아다이아졸-4,8-다이일)](약칭: F8BT), 폴리[(9,9-다이-*n*-옥틸플루오렌일-2,7-다이일)-*alt*-(2,2'-바이싸이오펜-5,5'-다이일)](약칭: F8T2), 폴리[(9,9-다이옥틸-2,7-다이바이닐렌플루오렌일렌)-*alt*-(9,10-안트라센)], 또는 폴리[(9,9-다이헥실플루오렌-2,7-다이일)-*alt*-(2,5-다이메틸-1,4-페닐렌)] 등의 폴리플루오렌 유도체; 폴리(3-헥실싸이오펜-2,5-다이일)(약칭: P3HT) 등의 폴리알킬싸이오펜(PAT) 유도체; 및 폴리페닐렌 유도체가 포함된다. 이들 고분자 화합물, PVK, 폴리(2-바이닐나프탈렌), 또는 폴리[비스(4-페닐)(2,4,6-트라이메틸페닐)아민](약칭: PTAA) 등에 발광성 화합물을 도핑하고 발광층에 사용하여도 좋다. 발광성 화합물로서는, 상술한 발광성 화합물 중 임의의 것을 사용할 수 있다.

[0225] 본 발명의 일 형태에서는 벤조퓨로피리미딘 골격 또는 벤조티에노피리미딘 골격을 가지는 유기 화합물과, 삼중항 여기 에너지를 발광으로 변환할 수 있는 유기 화합물과, 형광을 방출하는 유기 화합물의 3가지 유기 화합물

의 조합을 사용하여 발광층(130)을 형성하지만, 상술한 골격 또는 기능을 가지는 고분자 화합물을 사용할 수도 있다. 예를 들어, 벤조퓨로피리미딘 골격 또는 벤조티에노피리미딘 골격과, 삼중항 여기 에너지를 발광으로 변환할 수 있는 치환기와, 형광을 방출하는 치환기를 가지는 고분자 화합물을 사용하여 발광층(130)을 형성하여도 좋다. 또는 벤조퓨로피리미딘 골격 또는 벤조티에노피리미딘 골격과, 삼중항 여기 에너지를 발광으로 변환할 수 있는 치환기를 가지는 고분자 화합물과, 형광을 방출하는 저분자 물질의 조합을 사용하여 발광층(130)을 형성하여도 좋다. 이러한 고분자 화합물을 사용함으로써 재료의 이용 효율이 높아져 제작 비용이 저감된다.

[0226] <<기판>>

[0227] 본 발명의 일 형태의 발광 소자는 유리 또는 플라스틱 등의 기판 위에 형성하면 좋다. 기판 위에 적층하는 방법으로서는, 층들을 전극(101) 측에서부터 순차적으로 적층하여도 좋고, 전극(102) 측에서부터 순차적으로 적층하여도 좋다.

[0228] 본 발명의 일 형태의 발광 소자를 형성할 수 있는 기판에는, 예를 들어 유리, 석영, 또는 플라스틱 등을 사용할 수 있다. 또는 플렉시블 기판을 사용할 수 있다. 플렉시블 기판이란 예를 들어, 폴리카보네이트 또는 폴리아릴레이트로 만들어진 플라스틱 기판 등의 구부릴 수 있는 기판이다. 필름 또는 무기 증착 필름 등을 사용할 수도 있다. 기판이 발광 소자 또는 제작 공정에서 지지체로서 기능하거나 발광 소자를 보호하는 기능을 가지기만 하면, 다른 재료를 사용하여도 좋다.

[0229] 본 명세서 등에서 발광 소자는 예를 들어, 다양한 기판 중 임의의 것을 사용하여 형성할 수 있다. 기판의 종류는 특별히 한정되지 않는다. 기판의 예에는, 반도체 기판(예를 들어 단결정 기판 또는 실리콘 기판), SOI 기판, 유리 기판, 석영 기판, 플라스틱 기판, 금속 기판, 스테인리스 스틸 기판, 스테인리스 스틸 포일을 포함하는 기판, 텅스텐 기판, 텅스텐 포일을 포함하는 기판, 플렉시블 기판, 접합 필름, 섬유상의 재료를 포함하는 CNF(cellulose nanofiber) 및 종이, 및 기재 필름이 포함된다. 유리 기판의 예에는 바륨 붕규산염 유리 기판, 알루미노붕규산염 유리 기판, 및 소다 석회 유리 기판이 포함된다. 플렉시블 기판, 접합 필름, 및 기재 필름 등의 예에는 폴리에틸렌 테레프탈레이트(PET), 폴리에틸렌 나프탈레이트(PEN), 폴리에터 설폰(PES), 및 폴리테트라플루오로에틸렌(PTFE)으로 대표되는 플라스틱의 기판이 포함된다. 다른 예에는 아크릴 등의 수지가 있다. 또한 폴리프로필렌, 폴리에스터, 폴리플루오린화 바이닐, 및 폴리염화 바이닐을 예로 들 수 있다. 다른 예에는 폴리아마이드, 폴리이미드, 아라미드, 에폭시, 무기 증착 필름, 및 종이가 포함된다.

[0230] 또는 기판으로서 플렉시블 기판을 사용하고 플렉시블 기판 상에 발광 소자가 직접 제공되어도 좋다. 또는 기판과 발광 소자 사이에 분리층을 제공하여도 좋다. 분리층은, 분리층 위에 형성된 발광 소자의 일부 또는 전체를 기판으로부터 분리하여 다른 기판으로 전치할 때에 사용할 수 있다. 이러한 경우, 발광 소자는 내열성이 낮은 기판 또는 플렉시블 기판으로도 전치될 수 있다. 상술한 분리층에는, 예를 들어 텅스텐막과 산화 실리콘막의 무기막을 포함하는 적층, 또는 기판 위에 폴리이미드 등의 수지막이 형성된 구조를 사용할 수 있다.

[0231] 바꿔 말하면, 기판을 사용하여 발광 소자를 형성한 후에 발광 소자를 다른 기판으로 전치하여도 좋다. 발광 소자가 전치되는 기판의 예에는, 상술한 기판에 더하여, 셀로판 기판, 석재 기판, 목재 기판, 천 기판(천연 섬유(예를 들어 견, 면, 및 마), 합성 섬유(예를 들어 나일론, 폴리우레탄, 및 폴리에스터), 및 재생 섬유(예를 들어 아세테이트, 큐프라, 레이온, 및 재생 폴리에스터) 등을 포함함), 피혁 기판, 및 고무 기판이 포함된다. 이러한 기판을 사용하면, 내구성이 높거나, 내열성이 높거나, 가볍거나, 또는 얇은 발광 소자를 형성할 수 있다.

[0232] 발광 소자(150)는 예를 들어, 상술한 기판 위에 형성된 전계 효과 트랜지스터(FET)에 전기적으로 접속되는 전극 위에 형성되어도 좋다. 이에 따라 FET가 발광 소자(150)의 구동을 제어하는 액티브 매트릭스 표시 장치를 제작할 수 있다.

[0233] 본 실시형태에서 상술한 구조는 다른 실시형태에서 설명하는 구조 중 임의의 것과 적절히 조합될 수 있다.

[0234] (실시형태 2)

[0235] 본 실시형태에서는 실시형태 1에서 설명한 구조와 다른 구조를 가지는 발광 소자에 대하여 도 5를 참조하여 이하에서 설명한다. 도 5에서, 도 1의 (A)의 부분과 비슷한 기능을 가지는 부분은 도 1의 (A)에서와 같은 해치 패턴으로 표시하고, 특별히 부호로 표시하지 않는 경우가 있다. 또한 비슷한 기능을 가지는 부분에는 공통된 부호를 사용하고, 그 부분에 대한 자세한 설명을 생략하는 경우가 있다.

[0236] <발광 소자의 구조예 2>

[0237] 도 5는 발광 소자(250)의 단면 모식도이다.

[0238] 도 5에 도시된 발광 소자(250)는 한 쌍의 전극(전극(101) 및 전극(102)) 사이에 복수의 발광 유닛(발광 유닛(106) 및 발광 유닛(108))을 포함한다. 발광 유닛들 중 하나는 도 1의 (A)에 도시된 EL층(100)과 같은 구조를 가지는 것이 바람직하다. 즉 도 1의 (A)에 도시된 발광 소자(150)는 하나의 발광 유닛을 포함하고, 한편 발광 소자(250)는 복수의 발광 유닛을 포함하는 것이 바람직하다. 발광 소자(250)에 대한 이하의 설명에 있어서 전극(101)은 양극으로서 기능하고 전극(102)은 음극으로서 기능하지만, 발광 소자(250)에서 상기 기능은 교체되어도 좋다.

[0239] 도 5에 도시된 발광 소자(250)에서는, 발광 유닛(106)과 발광 유닛(108)이 적층되어 있고, 발광 유닛(106)과 발광 유닛(108) 사이에는 전하 발생층(115)이 제공되어 있다. 또한 발광 유닛(106) 및 발광 유닛(108)은 같은 구조를 가져도 좋고 다른 구조를 가져도 좋다. 예를 들어, 발광 유닛(108)에 EL층(100)과 비슷한 구조를 사용하는 것이 바람직하다.

[0240] 발광 소자(250)는 발광층(120) 및 발광층(170)을 포함한다. 발광 유닛(106)은 발광층(120)에 더하여, 정공 주입층(111), 정공 수송층(112), 전자 수송층(113), 및 전자 주입층(114)을 포함한다. 발광 유닛(108)은 발광층(170)에 더하여, 정공 주입층(116), 정공 수송층(117), 전자 수송층(118), 및 전자 주입층(119)을 포함한다.

[0241] 발광 소자(250)에서, 발광 유닛(106) 및 발광 유닛(108) 각각의 어느 층은 본 발명의 일 형태의 유기 화합물을 포함한다. 또한 상기 유기 화합물을 포함하는 층은 전자 수송층(113) 또는 전자 수송층(118)인 것이 바람직하고, 발광층(120) 또는 발광층(170)인 것이 더 바람직하다.

[0242] 전하 발생층(115)은 정공 수송성 재료에 전자 수용체인 억셉터 물질이 첨가된 구조를 가져도 좋고, 전자 수송성 재료에 전자 공여체인 도너 물질이 첨가된 구조를 가져도 좋다. 또는 이들 구조의 양쪽이 적층되어도 좋다.

[0243] 전하 발생층(115)이 유기 화합물과 억셉터 물질의 복합 재료를 포함하는 경우, 실시형태 1에서 설명한 정공 주입층(111)에 사용할 수 있는 복합 재료를 상기 복합 재료로서 사용하면 좋다. 유기 화합물로서는, 방향족 아민 화합물, 카바졸 화합물, 방향족 탄화수소, 및 고분자 화합물(올리고머, 덴드리머, 또는 폴리머 등) 등의 다양한 화합물을 사용할 수 있다. 정공 이동도가 $1\times10^{-6}cm^2/Vs$ 이상인 재료를 유기 화합물로서 사용하는 것이 바람직하다. 또한 이들 물질 외에, 전자보다 정공을 많이 수송하는 성질을 가지는 임의의 물질을 사용하여도 좋다. 유기 화합물과 억셉터 물질의 복합 재료는 캐리어 주입성 및 캐리어 수송성이 우수하기 때문에, 저전압 구동 및 저전류 구동을 실현할 수 있다. 또한 양극 측의 발광 유닛의 표면이 전하 발생층(115)과 접촉하는 경우에는, 전하 발생층(115)이 발광 유닛의 정공 주입층 또는 정공 수송층으로서도 기능할 수 있기 때문에, 상기 발광 유닛에 정공 주입층 또는 정공 수송층이 반드시 포함될 필요는 없다. 음극 측의 발광 유닛의 표면이 전하 발생층(115)과 접촉하는 경우에는, 전하 발생층(115)이 발광 유닛의 전자 주입층 또는 전자 수송층으로서도 기능할 수 있기 때문에, 상기 발광 유닛에 전자 주입층 또는 전자 수송층이 반드시 포함될 필요는 없다.

[0244] 전하 발생층(115)은, 유기 화합물과 억셉터 물질의 복합 재료를 포함하는 층과, 다른 재료를 포함하는 층의 적층 구조를 가져도 좋다. 예를 들어, 유기 화합물과 억셉터 물질의 복합 재료를 포함하는 층과, 전자 공여성 물질 중에서 선택된 하나의 화합물 및 전자 수송성이 높은 화합물을 포함하는 층의 조합을 사용하여 전하 발생층(115)을 형성하여도 좋다. 또한 전하 발생층(115)을, 유기 화합물과 억셉터 물질의 복합 재료를 포함하는 층과 투명 도전막을 포함하는 층의 조합을 사용하여 형성하여도 좋다.

[0245] 발광 유닛(106)과 발광 유닛(108) 사이에 제공되는 전하 발생층(115)은, 전극(101)과 전극(102) 사이에 전압이 인가된 경우에 한쪽의 발광 유닛에 전자가 주입되고 다른 쪽의 발광 유닛에 정공이 주입된다. 예를 들어, 도 5에서, 전극(101)의 전위가 전극(102)의 전위보다 높아지도록 전압을 인가할 때 전하 발생층(115)은 발광 유닛(106)에 전자를 주입하고 발광 유닛(108)에 정공을 주입한다.

[0246] 또한 광 추출 효율의 관점에서, 전하 발생층(115)은 가시광 투과성(구체적으로는, 40% 이상의 가시광 투과율)을 가지는 것이 바람직하다. 전하 발생층(115)은 한 쌍의 전극(전극(101 및 102))보다 도전율이 낮을 때에도 기능한다.

[0247] 상술한 재료 중 어느 것을 사용하여 형성된 전하 발생층(115)은, 발광층의 적층으로 인하여 일어나는 구동 전압의 상승을 억제할 수 있다.

[0248] 도 5를 참조하여 2개의 발광 유닛을 가지는 발광 소자에 대하여 설명하였지만, 3개 이상의 발광 유닛을 적층한 발광 소자에도 비슷한 구조를 사용할 수 있다. 발광 소자(250)에서와 마찬가지로, 전하 발생층에 의하여 나누

어진 복수의 발광 유닛을 한 쌍의 전극 사이에 배치하면, 전류 밀도는 낮게 유지되면서 고휘도로 발광할 수 있고, 또한 수명이 긴 발광 소자를 제공할 수 있다. 또한 저소비전력의 발광 소자를 제공할 수 있다.

[0249] 또한 상술한 각 구조에서, 발광 유닛(106) 및 발광 유닛(108)에 사용되는 게스트 재료의 발광색은 같아도 좋고 상이하여도 좋다. 같은 색의 빛을 방출하는 게스트 재료를 발광 유닛(106) 및 발광 유닛(108)에 사용하는 경우, 발광 소자(250)는 작은 전류값으로 높은 발광 휘도를 나타낼 수 있기 때문에 바람직하다. 발광 유닛(106) 및 발광 유닛(108)에 상이한 색의 빛을 방출하는 게스트 재료를 사용하는 경우, 발광 소자(250)는 다색(多色) 발광을 나타낼 수 있기 때문에 바람직하다. 이 경우, 발광 파장이 상이한 복수의 발광 재료를 발광층(120 및 170)의 한쪽 또는 양쪽에 사용하면, 발광 소자(250)는 발광 피크가 상이한 빛들이 합성되어 얻어지는 빛을 방출한다. 즉 발광 소자(250)의 발광 스펙트럼은 적어도 2개의 극댓값을 가진다.

[0250] 상술한 구조는 백색 발광을 얻기 위해서도 적합하다. 발광층(120) 및 발광층(170)이 보색의 빛을 방출하는 경우, 백색 발광을 얻을 수 있다. 연색성이 높은 백색 발광 또는 적어도 적색, 녹색, 및 청색의 발광을 얻을 수 있도록 게스트 재료를 선택하는 것이 특히 바람직하다.

[0251] 발광층(120) 및 발광층(170)의 한쪽 또는 양쪽이 실시형태 1에서 설명한 발광층(130)의 구조를 가지면, 발광 효율 및 신뢰성이 높은 발광 소자를 얻을 수 있어 바람직하다. 발광층(130)에 포함되는 게스트 재료는 형광 발광 재료이다. 그러므로 발광층(120) 및 발광층(170)의 한쪽 또는 양쪽이 실시형태 1에서 설명한 발광층(130)의 구조를 가지면, 발광 스펙트럼이 날카롭고 색 순도가 높은 빛을 방출하는 발광 소자를 얻을 수 있다.

[0252] 3개 이상의 발광 유닛이 적층된 발광 소자의 경우, 발광 유닛에 사용되는 게스트 재료의 발광색은 같아도 좋고 상이하여도 좋다. 발광 소자가, 같은 발광색을 나타내는 복수의 발광 유닛을 포함하는 경우, 이 발광 유닛들의 발광색은, 다른 발광 유닛의 발광색에 비하여 작은 전류값으로 발광 휘도를 높게 할 수 있다. 이러한 구조는 발광색을 조정하는데 적합하다. 특히, 이러한 구조는 발광 효율이 상이하며 상이한 발광색을 나타내는 게스트 재료가 사용되는 경우에 적합하다. 예를 들어, 발광 소자가, 형광 재료를 포함하며 같은 색의 빛을 방출하는 2개의 발광 유닛과, 인광 재료를 포함하며 상기 형광 재료의 색과 상이한 색의 빛을 방출하는 하나의 발광 유닛으로 이루어지는 3층 구조를 가지는 경우, 형광과 인광의 강도를 조정할 수 있다. 즉 각색의 발광 강도는 발광 유닛의 개수를 변경함으로써 조정할 수 있다.

[0253] 발광 소자가 형광 발광 유닛 2개와 인광 발광 유닛 1개를 포함하는 경우, 다음과 같은 발광 유닛의 조합이 바람직하다: 청색 형광 재료를 포함하는 발광 유닛 2개와 황색 인광 재료를 포함하는 발광 유닛 1개의 조합; 청색 형광 재료를 포함하는 발광 유닛 2개와 적색 인광 재료 및 녹색 인광 재료를 포함하는 발광 유닛 1개의 조합; 및 청색 형광 재료를 포함하는 발광 유닛 2개와 적색 인광 재료, 황색 인광 재료, 및 녹색 인광 재료를 포함하는 발광 유닛 1개의 조합. 이러한 조합들은 효율적인 백색 발광이 가능하므로 바람직하다.

[0254] 발광층(120 및 170) 중 적어도 하나는 층들로 분할되고 각 분할된 층은 다른 발광 재료를 포함하여도 좋다. 즉 발광층(120 및 170) 중 적어도 하나는 2개 이상의 층으로 구성되어도 좋다. 예를 들어, 제 1 발광층 및 제 2 발광층을 정공 수송층 측으로부터 이 순서대로 적층하여 발광층을 형성하는 경우, 제 1 발광층은 정공 수송성을 가지는 재료를 호스트 재료로서 사용하여 형성하고, 제 2 발광층은 전자 수송성을 가지는 재료를 호스트 재료로서 사용하여 형성한다. 제 1 발광층에 포함되는 발광 재료는 제 2 발광층에 포함되는 발광 재료와 같아도 좋고 달라도 좋다. 또한 상기 재료는 같은 색의 빛 또는 상이한 색의 빛을 방출하는 기능을 가져도 좋다. 3원색 또는 4색 이상으로 형성되는 연색성이 높은 백색 발광은, 상이한 색의 빛을 방출하는 복수의 발광 재료를 사용함으로써 얻을 수 있다.

[0255] 본 실시형태는 다른 실시형태 중 임의의 것과 적절히 조합될 수 있다.

[0256] (실시형태 3)

[0257] 본 실시형태에서는 실시형태 1 및 실시형태 2에서 설명한 발광 소자를 포함한 발광 장치에 대하여 도 6의 (A) 및 (B)를 참조하여 설명한다.

[0258] 도 6의 (A)는 발광 장치의 상면도이고, 도 6의 (B)는 도 6의 (A)의 선 A-B 및 선 C-D를 따라 취한 단면도이다. 이 발광 장치는 발광 소자의 발광을 제어하는, 점선으로 나타낸 구동 회로부(소스 측 구동 회로)(601), 화소부(602), 및 구동 회로부(게이트 측 구동 회로)(603)를 포함한다. 또한 부호 604는 밀봉 기판을 나타내고, 부호 625는 건조제를 나타내고, 부호 605는 실재를 나타낸다. 실재(605)로 둘러싸인 부분은 공간(607)이다.

[0259] 또한 리드 배선(608)은 소스 측 구동 회로(601) 및 게이트 측 구동 회로(603)에 입력되는 신호를 전송(傳送)하

며, 외부 입력 단자로서 기능하는 FPC(flexible printed circuit)(609)로부터 비디오 신호, 클록 신호, 스타트 신호, 및 리셋 신호 등을 받는 배선이다. 여기서는 FPC만을 도시하였지만, FPC에는 인쇄 배선판(PWB)이 장착되어도 좋다. 본 명세서의 발광 장치는 발광 장치 자체뿐만 아니라, FPC 또는 PWB가 제공된 발광 장치도 그 범주에 포함한다.

[0260] 다음으로 발광 장치의 단면 구조에 대하여 도 6의 (B)를 참조하여 설명한다. 소자 기판(610) 위에 구동 회로부 및 화소부가 형성되어 있다. 여기서는, 구동 회로부인 소스 측 구동 회로(601)와, 화소부(602)의 하나의 화소를 도시하였다.

[0261] 소스 측 구동 회로(601)에서는, n채널 TFT(623)와 p채널 TFT(624)를 조합한 CMOS 회로가 형성된다. 구동 회로는 CMOS 회로, PMOS 회로, 또는 NMOS 회로 등의 다양한 회로를 사용하여 형성되어도 좋다. 본 실시형태에서는 기판 위에 구동 회로를 형성한 드라이버 일체형에 대하여 설명하지만, 구동 회로가 기판 위에 반드시 형성될 필요는 없고, 기판 외부에 형성되어도 좋다.

[0262] 화소부(602)는 스위칭 TFT(611), 전류 제어 TFT(612), 및 전류 제어 TFT(612)의 드레인에 전기적으로 접속된 제 1 전극(613)을 각각 포함한 복수의 화소를 포함한다. 또한 제 1 전극(613)의 단부를 덮어 절연물(614)이 형성되어 있다. 절연물(614)은 포지티브 감광성 수지막을 사용하여 형성될 수 있다.

[0263] 절연물(614) 위에 형성되는 막의 피복성을 향상시키기 위하여, 절연물(614)은 그 상단부 또는 하단부에 곡률을 가지는 곡면을 가지도록 형성된다. 예를 들어, 절연물(614)의 재료로서 감광성 아크릴을 사용하는 경우, 절연물(614)의 상단부만이 곡면을 가지는 것이 바람직하다. 상기 곡면의 곡률 반경은 0.2㎛ 이상 0.3㎛ 이하인 것이 바람직하다. 절연물(614)로서는, 네거티브 감광성 재료 및 포지티브 감광성 재료 중 어느 쪽이든 사용할 수 있다.

[0264] 제 1 전극(613) 위에는 EL층(616) 및 제 2 전극(617)이 형성되어 있다. 양극으로서 기능하는 제 1 전극(613)에 사용하는 재료로서는, 일함수가 높은 재료를 사용하는 것이 바람직하다. 예를 들어, ITO막, 실리콘을 포함하는 인듐 주석 산화물막, 산화 아연을 2wt% 내지 20wt% 포함하는 산화 인듐막, 질화 타이타늄막, 크로뮴막, 텅스텐막, Zn막, 또는 Pt막 등의 단층막, 질화 타이타늄막과 알루미늄을 주성분으로서 포함하는 막의 적층, 또는 질화 타이타늄막, 알루미늄을 주성분으로서 포함하는 막, 및 질화 타이타늄막의 3개의 층을 포함하는 적층 등을 사용할 수 있다. 적층 구조에 의하여 낮은 배선 저항, 양호한 옴 접촉(ohmic contact), 및 양극으로서의 기능이 실현된다.

[0265] EL층(616)은 증착 마스크를 사용한 증착법, 잉크젯법, 및 스핀 코팅법 등의 다양한 방법 중 임의의 것으로 형성된다. EL층(616)에 포함되는 재료로서는, 저분자 화합물 또는 고분자 화합물(올리고머 또는 덴드리머를 포함함)을 사용하여도 좋다.

[0266] EL층(616) 위에 형성되고 음극으로서 기능하는 제 2 전극(617)에 사용하는 재료로서는, 일함수가 낮은 재료(예를 들어 Al, Mg, Li, Ca, 또는 이들의 합금 또는 화합물(MgAg, MgIn, 또는 AlLi 등))를 사용하는 것이 바람직하다. EL층(616)에서 발생된 빛이 제 2 전극(617)을 통과하는 경우에는, 금속 박막과 투명 도전막(예를 들어 ITO, 산화 아연을 2wt% 이상 20wt% 이하로 포함하는 산화 인듐, 실리콘을 포함하는 인듐 주석 산화물, 또는 산화 아연(ZnO))을 포함하는 적층을 제 2 전극(617)에 사용하는 것이 바람직하다.

[0267] 또한 제 1 전극(613), EL층(616), 및 제 2 전극(617)으로 발광 소자(618)가 형성되어 있다. 발광 소자(618)는 실시형태 1 및 실시형태 2에서 설명한 구조를 가지는 것이 바람직하다. 본 실시형태의 발광 장치에서, 복수의 발광 소자를 포함한 화소부는 실시형태 1 및 실시형태 2에서 설명한 구조를 가지는 발광 소자와, 다른 구조를 가지는 발광 소자의 양쪽을 포함하여도 좋다.

[0268] 실재(605)로 밀봉 기판(604)을 소자 기판(610)에 접착시킴으로써, 소자 기판(610), 밀봉 기판(604), 및 실재(605)로 둘러싸인 공간(607)에 발광 소자(618)가 제공된다. 공간(607)은 충전재로 충전되어 있다. 충전재는 불활성 가스(질소 또는 아르곤 등), 또는 수지 및/또는 건조제이어도 좋다.

[0269] 실재(605)에는 에폭시계 수지 또는 유리 프릿(glass frit)을 사용하는 것이 바람직하다. 이러한 재료는 수분 또는 산소를 가능한 한 투과시키지 않는 것이 바람직하다. 밀봉 기판(604)으로서는 유리 기판, 석영 기판, 또는 FRP(fiber reinforced plastic), PVF(polyvinyl fluoride), 폴리에스터, 또는 아크릴 등으로 형성된 플라스틱 기판을 사용할 수 있다.

[0270] 상술한 식으로 실시형태 1 및 실시형태 2에서 설명한 발광 소자를 포함한 발광 장치를 얻을 수 있다.

[0271] <발광 장치의 구조예 1>

[0272] 도 7의 (A) 및 (B)는 발광 장치의 일례로서 백색 발광을 나타내는 발광 소자 및 착색층(컬러 필터)을 포함한 발광 장치를 각각 도시한 것이다.

[0273] 도 7의 (A)에는 기판(1001), 하지 절연막(base insulating film)(1002), 게이트 절연막(1003), 게이트 전극(1006, 1007, 및 1008), 제 1 층간 절연막(1020), 제 2 층간 절연막(1021), 주변부(1042), 화소부(1040), 구동 회로부(1041), 발광 소자의 제 1 전극(1024W, 1024R, 1024G, 및 1024B), 격벽(1026), EL층(1028), 발광 소자의 제 2 전극(1029), 밀봉 기판(1031), 실재(1032), 적색 화소(1044R), 녹색 화소(1044G), 청색 화소(1044B), 및 백색 화소(1044W) 등을 도시하였다.

[0274] 도 7의 (A)에서는, 착색층(적색 착색층(1034R), 녹색 착색층(1034G), 및 청색 착색층(1034B))이 투명 기재(1033)에 제공되어 있다. 흑색층(블랙 매트릭스)(1035)을 추가로 제공하여도 좋다. 착색층 및 흑색층이 제공된 투명 기재(1033)는 위치가 맞추어져(positioned) 기판(1001)에 고정된다. 또한 착색층 및 흑색층은 오버코트층(1036)으로 덮여 있다. 도 7의 (A)에서, 일부 발광층으로부터 방출된 빛은 착색층을 통과하지 않고, 나머지 발광층으로부터 방출된 빛은 착색층을 통과한다. 착색층을 통과하지 않는 빛은 백색이고, 착색층들 중 어느 하나를 통과하는 빛은 적색, 청색, 또는 녹색이기 때문에, 4가지 색의 화소를 사용하여 화상을 표시할 수 있다.

[0275] 도 7의 (B)는 적색 착색층(1034R), 녹색 착색층(1034G), 및 청색 착색층(1034B)을 게이트 절연막(1003)과 제 1 층간 절연막(1020) 사이에 형성한 예를 도시한 것이다. 도 7의 (B)에 도시된 바와 같이, 착색층은 기판(1001)과 밀봉 기판(1031) 사이에 제공되어도 좋다.

[0276] 상술한 발광 장치는, TFT가 형성되는 기판(1001) 측으로부터 빛이 추출되는 구조(보텀 이미션 구조(bottom emission structure))를 가지지만, 밀봉 기판(1031) 측으로부터 빛이 추출되는 구조(톱 이미션 구조(top emission structure))를 가져도 좋다.

[0277] <발광 장치의 구조예 2>

[0278] 도 8의 (A) 및 (B)는 각각 톱 이미션 구조를 가지는 발광 장치의 단면도이다. 이 경우, 빛을 투과시키지 않는 기판을 기판(1001)으로서 사용할 수 있다. TFT와 발광 소자의 양극을 접속시키는 접속 전극을 형성하는 단계까지의 공정은 보텀 이미션 구조를 가지는 발광 장치와 비슷한 식으로 수행된다. 그리고 제 3 층간 절연막(1037)이 전극(1022)을 덮어 형성된다. 이 절연막은 평탄화 기능을 가져도 좋다. 제 3 층간 절연막(1037)은 제 2 층간 절연막(1021)과 비슷한 재료를 사용하여 형성될 수 있고, 또는 다른 다양한 재료 중 임의의 것을 사용하여 형성될 수 있다.

[0279] 여기서 발광 소자의 하부 전극들(1025W, 1025R, 1025G, 및 1025B)의 각각은 양극으로서 기능하지만, 음극으로서 기능하여도 좋다. 또한 도 8의 (A) 및 (B)에 도시된 바와 같은 톱 이미션 구조를 가지는 발광 장치의 경우, 하부 전극(1025W, 1025R, 1025G, 및 1025B)은 반사 전극인 것이 바람직하다. 또한 제 2 전극(1029)은 빛을 반사하는 기능과 빛을 투과시키는 기능을 가지는 것이 바람직하다. 제 2 전극(1029)과 하부 전극들(1025W, 1025R, 1025G, 및 1025B) 사이에 마이크로캐비티 구조를 사용하여, 특정 파장의 빛을 증폭하는 것이 바람직하다. EL층(1028)은, 백색 발광을 얻을 수 있는, 실시형태 1 및 실시형태 2에서 설명한 구조와 비슷한 구조를 가지도록 형성된다.

[0280] 도 7의 (A) 및 (B), 그리고 도 8의 (A) 및 (B)에서, 백색 발광을 제공하는 EL층의 구조는 예를 들어, 복수의 발광층을 사용하거나 복수의 발광 유닛을 사용함으로써 실현될 수 있다. 또한 백색 발광을 제공하는 구조는 상기에 한정되지 않는다.

[0281] 도 8의 (A) 및 (B)에 도시된 바와 같은 톱 이미션 구조의 경우, 착색층(적색 착색층(1034R), 녹색 착색층(1034G), 및 청색 착색층(1034B))이 제공된 밀봉 기판(1031)으로 밀봉을 수행할 수 있다. 밀봉 기판(1031)에는 화소들 사이에 위치하는 흑색층(블랙 매트릭스)(1035)이 제공되어도 좋다. 착색층(적색 착색층(1034R), 녹색 착색층(1034G), 및 청색 착색층(1034B))과 흑색층(블랙 매트릭스)은 오버코트층으로 덮여 있어도 좋다. 또한 밀봉 기판(1031)으로서는 투광성 기판을 사용한다.

[0282] 도 8의 (A)에는 적색, 녹색, 및 청색의 3색을 사용하여 풀 컬러 표시를 수행하는 구조를 도시하였지만, 도 8의 (B)에 도시된 바와 같이 적색, 녹색, 청색, 및 백색의 4색을 사용하여 풀 컬러 표시를 수행하여도 좋다. 또한 풀 컬러 표시를 수행하는 구조는 이들에 한정되지 않는다. 예를 들어 적색, 녹색, 청색, 및 황색의 4색을 사용하여 풀 컬러 표시를 수행하여도 좋다.

[0283] 본 발명의 일 형태의 발광 소자에서는 게스트 재료로서 형광 재료를 사용한다. 형광 재료는 인광 재료보다 날카로운 스펙트럼을 가지기 때문에, 색 순도가 높은 발광을 얻을 수 있다. 그러므로 상기 발광 소자를 사용함으로써 본 실시형태에서 설명한 발광 장치는 높은 색 재현성을 가질 수 있다.

[0284] 상술한 식으로 실시형태 1 및 실시형태 2에서 설명한 발광 소자를 포함한 발광 장치를 얻을 수 있다.

[0285] 본 실시형태는 다른 실시형태 중 임의의 것과 적절히 조합될 수 있다.

[0286] (실시형태 4)

[0287] 본 실시형태에서는 본 발명의 일 형태의 전자 기기 및 표시 장치에 대하여 설명한다.

[0288] 본 발명의 일 형태에 따르면, 평면을 포함하며 발광 효율 및 신뢰성이 높은 전자 기기 및 표시 장치를 제작할 수 있다. 본 발명의 일 형태에 따르면, 곡면을 포함하며 발광 효율 및 신뢰성이 높은 전자 기기 및 표시 장치를 제작할 수 있다. 본 발명의 일 형태의 발광 소자는 색 순도가 높은 빛을 방출할 수 있다. 그러므로 본 실시형태의 발광 장치에 상기 발광 소자를 사용함으로써 색 재현성이 높은 전자 기기 및 표시 장치를 얻을 수 있다.

[0289] 전자 기기의 예에는, 텔레비전 장치, 데스크톱형 또는 노트북형 퍼스널 컴퓨터, 컴퓨터 등의 모니터, 디지털 카메라, 디지털 비디오 카메라, 디지털 포토 프레임, 휴대 전화기, 휴대용 게임기, 휴대 정보 단말기, 음향 재생 장치, 및 파친코기 등의 대형 게임기가 포함된다.

[0290] 도 9의 (A) 및 (B)에 도시된 휴대 정보 단말기(900)는 하우징(901), 하우징(902), 표시부(903), 및 힌지부(905) 등을 포함한다.

[0291] 하우징(901)과 하우징(902)은 힌지부(905)에 의하여 서로 연결된다. 휴대 정보 단말기(900)는, 닫힌 상태(도 9의 (A))로부터 도 9의 (B)에 도시된 바와 같이 펼칠 수 있다. 따라서 휴대 정보 단말기(900)는 들고 다닐 때는 휴대성이 높고 사용 시에는 표시 영역이 크기 때문에 시인성이 우수하다.

[0292] 휴대 정보 단말기(900)에서, 힌지부(905)에 의하여 서로 연결된 하우징(901)과 하우징(902)에 걸쳐 플렉시블한 표시부(903)가 제공된다.

[0293] 본 발명의 일 형태를 사용하여 제작된 발광 장치를 표시부(903)에 사용할 수 있다. 이로써 휴대 정보 단말기의 신뢰성을 높일 수 있다.

[0294] 표시부(903)는 문서 데이터, 정지 화상, 및 동영상 등 중 적어도 하나를 표시할 수 있다. 표시부에 문서 데이터를 표시할 때, 휴대 정보 단말기(900)를 전자책 단말기로서 사용할 수 있다.

[0295] 휴대 정보 단말기(900)가 펼쳐지면 표시부(903)는 완만히 만곡된다. 예를 들어, 곡률 반경 1㎜ 이상 50㎜ 이하, 바람직하게는 5㎜ 이상 30㎜ 이하로 만곡된 부분을 포함하면서 표시부(903)가 유지된다. 표시부(903)의 일부는 하우징(901)으로부터 하우징(902)까지 화소가 연속적으로 배치되기 때문에, 휘어진 채로 화상을 표시할 수 있다.

[0296] 표시부(903)는 터치 패널로서 기능하고 손가락 또는 스타일러스 등으로 제어할 수 있다.

[0297] 표시부(903)는 하나의 플렉시블 디스플레이를 사용하여 형성되는 것이 바람직하다. 이로써 하우징(901)과 하우징(902) 사이에서 연속적인 화상을 표시할 수 있다. 또한 하우징(901) 및 하우징(902) 각각에 디스플레이가 제공되어도 좋다.

[0298] 힌지부(905)는, 휴대 정보 단말기(900)가 펼쳐질 때, 하우징(901)과 하우징(902) 사이에 형성되는 각도가 소정의 각도보다 크게 되지 않도록 로크 기구를 포함하는 것이 바람직하다. 예를 들어, 하우징(901)과 하우징(902)이 로크되는(이들이 더 이상 펼쳐지지 않는) 각도는 90° 이상 180° 미만인 것이 바람직하고, 대표적으로는 90°, 120°, 135°, 150°, 또는 175° 등으로 할 수 있다. 이 경우, 휴대 정보 단말기(900)의 편리성, 안전성, 및 신뢰성을 향상시킬 수 있다.

[0299] 힌지부(905)가 로크 기구를 포함하면, 과도한 힘이 표시부(903)에 가해지지 않기 때문에, 표시부(903)의 파손을 방지할 수 있다. 그러므로 신뢰성이 높은 휴대 정보 단말기를 제공할 수 있다.

[0300] 하우징(901) 및 하우징(902)에는 전원 버튼, 조작 버튼, 외부 접속 포트, 스피커, 또는 마이크로폰 등이 제공되어도 좋다.

[0301] 하우징(901) 및 하우징(902) 중 한쪽에는 무선 통신 모듈이 제공되고, 인터넷, LAN(local area network), 또는 Wi-Fi(등록 상표) 등의 컴퓨터 네트워크를 통하여 데이터를 송수신할 수 있다.

[0302] 도 9의 (C)에 도시된 휴대 정보 단말기(910)는 하우징(911), 표시부(912), 조작 버튼(913), 외부 접속 포트(914), 스피커(915), 마이크로폰(916), 및 카메라(917) 등을 포함한다.

[0303] 본 발명의 일 형태를 사용하여 제작된 발광 장치를 표시부(912)에 사용할 수 있다. 이로써 높은 수율로 휴대 정보 단말기를 제작할 수 있다.

[0304] 휴대 정보 단말기(910)는 표시부(912)에 터치 센서를 포함한다. 전화를 걸거나 문자를 입력하는 등의 조작을 표시부(912)를 손가락 또는 스타일러스 등으로 터치함으로써 수행할 수 있다.

[0305] 조작 버튼(913)을 사용하여, 전원을 온 또는 오프로 할 수 있다. 또한 표시부(912)에 표시되는 화상의 종류를 전환할 수 있고, 예를 들어 조작 버튼(913)으로 메일 작성 화면으로부터 메인 메뉴 화면으로의 화상 전환을 수행한다.

[0306] 자이로스코프 센서 또는 가속도 센서 등의 검출 장치가 휴대 정보 단말기(910) 내부에 제공되는 경우, 표시부(912)의 화면의 표시의 방향은, 휴대 정보 단말기(910)의 방향(휴대 정보 단말기(910)가, 수평으로 놓여 있는지 수직으로 놓여 있는지)을 판단하여 자동으로 전환될 수 있다. 또한 표시부(912)를 터치하는 것, 조작 버튼(913)의 조작, 또는 마이크로폰(916)을 사용한 음성 입력 등에 의하여 화면의 표시 방향을 변경할 수 있다.

[0307] 휴대 정보 단말기(910)는 예를 들어, 전화기, 노트, 및 정보 열람 시스템 중 하나 이상으로서 기능한다. 구체적으로는 휴대 정보 단말기(910)는 스마트폰으로서 사용할 수 있다. 휴대 정보 단말기(910)는 예를 들어 이동 전화, 이메일, 텍스트의 열람 및 편집, 음악 재생, 동영상 재생, 인터넷 통신, 및 컴퓨터 게임 등의 다양한 애플리케이션을 실행할 수 있다.

[0308] 도 9의 (D)에 도시된 카메라(920)는 하우징(921), 표시부(922), 조작 버튼(923), 및 셔터 버튼(924) 등을 포함한다. 또한 탈착 가능한 렌즈(926)가 카메라(920)에 장착된다.

[0309] 본 발명의 일 형태를 사용하여 제작된 발광 장치를 표시부(922)에 사용할 수 있다. 이로써 카메라의 신뢰성을 높일 수 있다.

[0310] 여기서 도시된 카메라(920)의 렌즈(926)는 교환을 위하여 하우징(921)으로부터 떼어낼 수 있지만, 렌즈(926)는 하우징(921)에 통합되어도 좋다.

[0311] 셔터 버튼(924)을 눌러 카메라(920)로 정지 화상 또는 동영상을 촬상할 수 있다. 또한 터치 패널의 기능을 가지는 표시부(922)를 터치함으로써 화상을 촬상할 수 있다.

[0312] 또한 카메라(920)에는 스트로보스코프 또는 뷰파인더 등이 추가로 장착될 수 있다. 또는 이들이 하우징(921)에 통합되어도 좋다.

[0313] 도 10의 (A)는 청소 로봇의 예를 도시한 모식도이다.

[0314] 청소 로봇(5100)은 그 상면에 있는 디스플레이(5101), 그 측면에 있는 복수의 카메라(5102), 브러시(5103), 및 조작 버튼(5104)을 포함한다. 도시하지 않았지만, 청소 로봇(5100)의 저면에는 타이어 및 흡인구 등이 제공되어 있다. 또한 청소 로봇(5100)은 적외선 센서, 초음파 센서, 가속도 센서, 압전 센서, 광 센서, 및 자이로스코프 센서 등의 다양한 센서를 포함한다. 청소 로봇(5100)은 무선 통신 수단을 가진다.

[0315] 청소 로봇(5100)은 자주식(自走式)이고, 먼지(5120)를 검출하고 저면에 제공된 흡인구를 통하여 먼지를 청소할 수 있다.

[0316] 청소 로봇(5100)은 카메라(5102)로 촬영한 화상을 분석하여 벽, 가구, 또는 단차 등의 장애물의 유무를 판단할 수 있다. 화상의 분석에 의하여, 청소 로봇(5100)이 배선 등, 브러시(5103)에 걸리기 쉬운 물건을 검출한 경우, 브러시(5103)의 회전을 정지할 수 있다.

[0317] 디스플레이(5101)에는 배터리의 잔량 및 청소한 먼지의 양 등을 표시할 수 있다. 디스플레이(5101)에는 청소 로봇(5100)이 주행한 경로를 표시하여도 좋다. 디스플레이(5101)를 터치 패널로 하고, 디스플레이(5101)에 조작 버튼(5104)을 제공하여도 좋다.

[0318] 청소 로봇(5100)은 스마트폰 등의 휴대 전자 기기(5140)와 통신할 수 있다. 휴대 전자 기기(5140)는 카메라

(5102)로 촬영한 화상을 표시할 수 있다. 그러므로 청소 로봇(5100)의 소유자는 밖에서라도 자신의 방을 모니터할 수 있다. 소유자는 스마트폰 등의 휴대 전자 기기(5140)로 디스플레이(5101)의 표시를 확인할 수도 있다.

[0319] 본 발명의 일 형태의 발광 장치는 디스플레이(5101)에 사용할 수 있다.

[0320] 도 10의 (B)에 도시된 로봇(2100)은 연산 장치(2110), 조도 센서(2101), 마이크로폰(2102), 상부 카메라(2103), 스피커(2104), 디스플레이(2105), 하부 카메라(2106), 장애물 센서(2107), 및 이동 기구(2108)를 포함한다.

[0321] 마이크로폰(2102)은 사용자의 말하는 목소리 및 환경음 등을 검출하는 기능을 가진다. 스피커(2104)는 음성을 출력하는 기능을 가진다. 로봇(2100)은 마이크로폰(2102) 및 스피커(2104)를 사용하여 사용자와 소통할 수 있다.

[0322] 디스플레이(2105)는 다양한 종류의 정보를 표시하는 기능을 가진다. 로봇(2100)은 사용자가 원하는 정보를 디스플레이(2105)에 표시할 수 있다. 디스플레이(2105)에는 터치 패널이 제공되어도 좋다. 디스플레이(2105)는 떼어낼 수 있는 정보 단말기이어도 좋고, 이 경우 디스플레이는 로봇(2100)의 정위치에 있을 때 충전 및 데이터의 수수가 가능하다.

[0323] 상부 카메라(2103) 및 하부 카메라(2106) 각각은 로봇(2100)의 주변의 화상을 촬영하는 기능을 가진다. 장애물 센서(2107)는 로봇(2100)이 이동 기구(2108)를 사용하여 전진하는 방향의 장애물을 검출할 수 있다. 로봇(2100)은 상부 카메라(2103), 하부 카메라(2106), 및 장애물 센서(2107)로 주위의 환경을 인식함으로써 안전하게 이동할 수 있다.

[0324] 본 발명의 일 형태의 발광 장치는 디스플레이(2105)에 사용할 수 있다.

[0325] 도 10의 (C)는 고글형 디스플레이의 예를 도시한 것이다. 고글형 디스플레이는 예를 들어, 하우징(5000), 표시부(5001), 스피커(5003), LED 램프(5004), 조작 키(5005)(전원 스위치 또는 조작 스위치를 포함함), 접속 단자(5006), 센서(5007)(힘, 변위, 위치, 속도, 가속도, 각속도, 회전수, 거리, 빛, 액체, 자기(磁氣), 온도, 화학물질, 소리, 시간, 경도(硬度), 전기장, 전류, 전압, 전력, 방사선, 유량, 습도, 경사도, 진동, 냄새, 또는 적외선을 측정하는 기능을 가지는 센서), 마이크로폰(5008), 제 2 표시부(5002), 지지체(5012), 및 이어폰(5013) 등을 포함한다.

[0326] 본 발명의 일 형태의 발광 장치는 표시부(5001) 및 제 2 표시부(5002)에 사용할 수 있다.

[0327] 도 11의 (A) 및 (B)는 접을 수 있는 휴대 정보 단말기(5150)를 도시한 것이다. 접을 수 있는 휴대 정보 단말기(5150)는 하우징(5151), 표시 영역(5152), 및 굴곡부(5153)를 포함한다. 도 11의 (A)는 펼쳐진 휴대 정보 단말기(5150)를 도시한 것이다. 도 11의 (B)는 접힌 휴대 정보 단말기(5150)를 도시한 것이다. 휴대 정보 단말기(5150)는 큰 표시 영역(5152)에도 불구하고, 접으면 크기가 작고 휴대성이 우수하다.

[0328] 표시 영역(5152)은 굴곡부(5153)로 반으로 접을 수 있다. 굴곡부(5153)는 플렉시블한 부재 및 복수의 지지 부재를 포함한다. 표시 영역이 접힐 때 플렉시블한 부재는 신장되고 굴곡부(5153)의 곡률 반경이 2㎜ 이상, 바람직하게는 5㎜ 이상이 된다.

[0329] 또한 표시 영역(5152)은 터치 센서(입력 장치)를 포함한 터치 패널(입출력 장치)이어도 좋다. 본 발명의 일 형태의 발광 장치는 표시 영역(5152)에 사용할 수 있다.

[0330] 본 실시형태는 다른 실시형태 중 임의의 것과 적절히 조합될 수 있다.

[0331] (실시형태 5)

[0332] 본 실시형태에서는 본 발명의 일 형태의 발광 소자를 다양한 조명 장치에 사용한 예에 대하여 도 12를 참조하여 설명한다. 본 발명의 일 형태의 발광 소자를 사용함으로써, 발광 효율이 높고 신뢰성이 높은 조명 장치를 제작할 수 있다.

[0333] 가요성을 가지는 기판 위에 제작된 본 발명의 일 형태의 발광 소자를 사용함으로써, 곡면을 가지는 발광 영역을 가지는 전자 기기 또는 조명 장치를 얻을 수 있다.

[0334] 또한 본 발명의 일 형태의 발광 소자가 사용된 발광 장치를 자동차의 조명에도 사용할 수 있고, 그 예에는 앞유리 및 천장 등의 조명이 있다.

[0335] 도 12는 상기 발광 소자를 실내 조명 장치(8501)에 사용한 예를 도시한 것이다. 상기 발광 소자는 보다 대면적

으로 할 수 있기 때문에 대면적의 조명 장치를 형성할 수도 있다. 또한 곡면을 가지는 하우징을 사용함으로써 발광 영역이 곡면을 가지는 조명 장치(8502)를 형성할 수도 있다. 본 실시형태에서 설명하는 발광 소자는 박막 형태이기 때문에 하우징을 더 자유로이 설계하는 것이 가능하다. 그러므로 조명 장치를 다양한 형태로 정교하게 설계할 수 있다. 또한 방의 벽에 대형 조명 장치(8503)를 제공하여도 좋다. 조명 장치(8501, 8502, 및 8503)에 터치 센서를 제공하여 조명 장치의 전원 온/오프를 제어하여도 좋다.

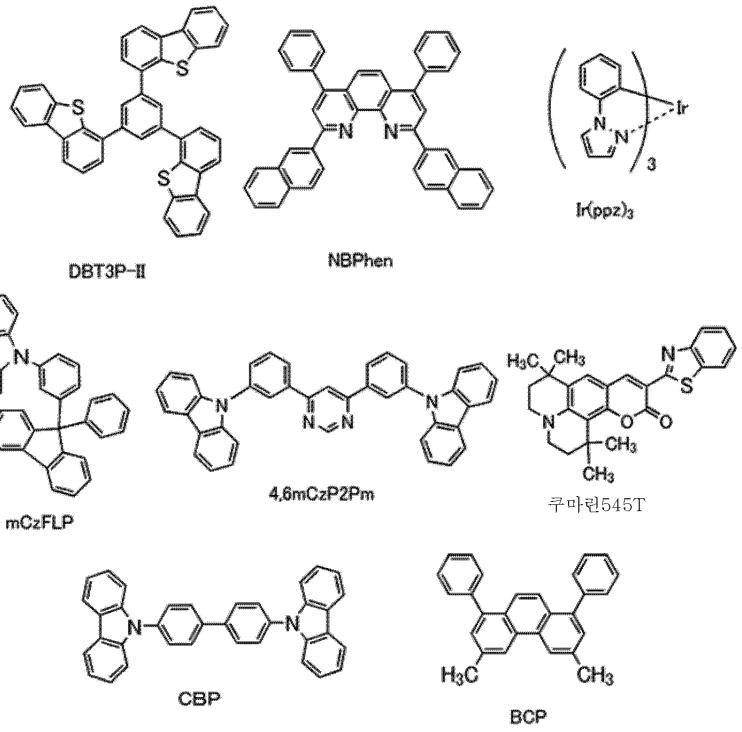
[0336] 또한 발광 소자를 테이블 표면 측에 사용하면 테이블로서 기능하는 조명 장치(8504)를 얻을 수 있다. 발광 소자를 다른 가구의 일부로서 사용하면 그 가구로서 기능하는 조명 장치를 얻을 수 있다.

[0337] 상술한 바와 같이 본 발명의 일 형태의 발광 소자를 사용하여 조명 장치 및 전자 기기를 얻을 수 있다. 또한 상기 발광 소자는 본 실시형태에서 설명된 조명 장치 및 전자 기기에 한정되지 않고, 다양한 분야의 조명 장치 및 전자 기기에 사용될 수 있다.

[0338] 본 실시형태에서 설명한 구조는 다른 실시형태에서 설명한 구조 중 임의의 것과 적절히 조합될 수 있다.

[0339] (실시예 1)

[0340] 본 실시예에서는 본 발명의 일 형태의 발광 소자의 제작예에 대하여 설명한다. 본 실시예에서 제작된 발광 소자 각각의 구조는 도 1의 (A)에 도시된 것과 같다. 소자 구조의 자세한 사항을 표 1에 나타내었다. 여기서 사용한 화합물의 구조 및 약칭을 아래에 나타내었다. 다른 화합물의 구조 및 약칭에 대해서는 상술한 실시형태를 참조하기 바란다.



[0341]

[0342] [표 1]

	층	부호	두께(nm)	재료	중량비
발광 소자 1	전극	102	200	Al	-
	전자 주입층	119	1	LiF	-
	전자 수송층	118(2)	10	NBphen	-
		118(1)	20	4,6mCzP2Pm	-
	발광층	130	30	4PCCzBfpm:Ir(ppz)$_3$:쿠마린545T	0.8:0.2:0.005
	정공 수송층	112	20	mCzFLP	-
	정공 주입층	111	40	DBT3P-II:MoO_3	1:0.5
	양극	101	70	ITSO	-
비교 발광 소자 2	전극	102	200	Al	-
	전자 주입층	119	1	LiF	-
	전자 수송층	118(2)	10	NBphen	-
		118(1)	20	4,6mCzP2Pm	-
	발광층	130	30	4PCCzBfpm:Ir(ppz)$_3$	0.8:0.2
	정공 수송층	112	20	mCzFLP	-
	정공 주입층	111	40	DBT3P-II:MoO_3	1:0.5
	양극	101	70	ITSO	-
발광 소자 3	전극	102	200	Al	-
	전자 주입층	119	1	LiF	-
	전자 수송층	118(2)	10	NBphen	-
		118(1)	20	4,6mCzP2Pm	-
	발광층	130	30	4PCCzPBfpm:Ir(ppz)$_3$:쿠마린545T	0.8:0.2:0.005
	정공 수송층	112	20	mCzFLP	-
	정공 주입층	111	40	DBT3P-II:MoO_3	1:0.5
	양극	101	70	ITSO	-
비교 발광 소자 4	전극	102	200	Al	-
	전자 주입층	119	1	LiF	-
	전자 수송층	118(2)	10	NBphen	-
		118(1)	20	4,6mCzP2Pm	-
	발광층	130	30	4PCCzPBfpm:Ir(ppz)$_3$	0.8:0.2
	정공 수송층	112	20	mCzFLP	-
	정공 주입층	111	40	DBT3P-II:MoO_3	1:0.5
	양극	101	70	ITSO	-
비교 발광 소자 5	전극	102	200	Al	-
	전자 주입층	119	1	LiF	-
	전자 수송층	118(2)	10	NBphen	-
		118(1)	20	BCP	-
	발광층	130	30	CBP:Ir(ppz)$_3$:쿠마린545T	0.8:0.2:0.005
	정공 수송층	112	20	mCzFLP	-
	정공 주입층	111	40	DBT3P-II:MoO_3	1:0.5
	양극	101	70	ITSO	-

[0343]

[0344] <발광 소자의 제작>

[0345] 아래에서 본 실시예의 발광 소자의 제작 방법에 대하여 설명한다.

[0346] <<발광 소자 1의 제작>>

[0347] 전극(101)으로서 유리 기판 위에 ITSO막을 두께 70nm가 되도록 형성하였다. 또한 전극(101)의 전극 면적은 4mm^2(2mm X 2mm)로 하였다.

[0348] 다음으로 정공 주입층(111)으로서 전극(101) 위에 DBT3P-II 및 산화 몰리브데넘(MoO_3)을, DBT3P-II 대 MoO_3의 중량비가 1:0.5, 두께가 40nm가 되도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다.

[0349] 이어서 정공 수송층(112)으로서 정공 주입층(111) 위에 9-[3-(9-페닐-9*H*-플루오렌-9-일)페닐]-9*H*-카바졸(약칭: mCzFLP)을 두께 20nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.

[0350] 다음으로 발광층(130)으로서 정공 수송층(112) 위에 4PCCzBfpm, 트리스[2-(1*H*-피라졸-1-일-κN^2)페닐-κ*C*]이리듐(III)(약칭: Ir(ppz)$_3$), 및 10-(2-벤조싸이아졸릴)-2,3,6,7-테트라하이드로-1,1,7,7-테트라메틸-1*H*,5*H*,11*H*-[1]벤조피라노[6,7,8-*ij*]퀴놀리진-11-온(약칭: 쿠마린545T)을, 4PCCzBfpm 대 Ir(ppz)$_3$ 대 쿠마린545T의 중량비가 0.8:0.2:0.005, 두께가 30nm가 되도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다. 발광층(130)에서는 쿠마린545T가 형광성 화합물이고 Ir(ppz)$_3$이 인광성 화합물이다.

[0351] 다음으로 전자 수송층(118)으로서 발광층(130) 위에 4,6mCzP2Pm을 두께 20nm로, NBPhen을 두께 10nm로 증착에 의하여 순차적으로 퇴적시켰다. 그리고 전자 주입층(119)으로서 전자 수송층(118) 위에 LiF을 두께 1nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.

[0352] 다음으로 전극(102)으로서 전자 주입층(119) 위에 알루미늄(Al)을 두께 200nm가 되도록 퇴적시켰다.

[0353] 다음으로 질소 분위기를 포함한 글러브 박스 내에서 유기 재료를 퇴적시킨 유리 기판에 유기 EL용 실재를 사용하여 밀봉을 위한 유리 기판을 고정함으로써 발광 소자 1을 밀봉하였다. 구체적으로는 유리 기판 위의 유기 재료를 둘러싸도록 실재를 도포하고 상기 유리 기판과 밀봉을 위한 유리 기판을 접합한 후, 파장 365nm의 자외광을 6J/cm^2로 조사하고 80℃에서의 가열 처리를 1시간 동안 실시하였다. 상술한 단계를 거쳐 발광 소자 1을 제작하였다.

[0354] <<비교 발광 소자 2의 제작>>

[0355] 발광층(130)을 형성하는 단계를 제외하고는 상술한 발광 소자 1과 같은 단계를 거쳐 비교 발광 소자 2를 제작하였다.

[0356] 비교 발광 소자 2의 발광층(130)으로서 4PCCzBfpm 및 $Ir(ppz)_3$을, 4PCCzBfpm 대 $Ir(ppz)_3$의 중량비가 0.8:0.2, 두께가 30nm가 되도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다. 비교 발광 소자 2와 발광 소자 1에는 형광성 화합물이 포함되어 있는지 여부의 차이가 있으며, 다른 구성요소는 같다.

[0357] <<발광 소자 3의 제작>>

[0358] 발광층(130)을 형성하는 단계를 제외하고는 상술한 발광 소자 1과 같은 단계를 거쳐 발광 소자 3을 제작하였다.

[0359] 발광 소자 3의 발광층(130)으로서 4-[4-(9'-페닐-3,3'-바이-9*H*-카바졸-9-일)페닐]벤조퓨로[3,2-*d*]피리미딘(약칭: 4PCCzPBfpm), $Ir(ppz)_3$, 및 쿠마린545T를, 4PCCzPBfpm 대 $Ir(ppz)_3$ 대 쿠마린545T의 중량비가 0.8:0.2:0.005, 두께가 30nm가 되도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다.

[0360] <<비교 발광 소자 4의 제작>>

[0361] 발광층(130)을 형성하는 단계를 제외하고는 상술한 발광 소자 3과 같은 단계를 거쳐 비교 발광 소자 4를 제작하였다.

[0362] 비교 발광 소자 4의 발광층(130)으로서 4PCCzPBfpm 및 $Ir(ppz)_3$을, 4PCCzPBfpm 대 $Ir(ppz)_3$의 중량비가 0.8:0.2, 두께가 30nm가 되도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다. 비교 발광 소자 4와 발광 소자 3에는 형광성 화합물이 포함되어 있는지 여부의 차이가 있으며, 다른 구성요소는 같다.

[0363] <<비교 발광 소자 5의 제작>>

[0364] 발광층(130) 및 전자 수송층(118)을 형성하는 단계를 제외하고는 상술한 발광 소자 1과 같은 단계를 거쳐 비교 발광 소자 5를 제작하였다.

[0365] 비교 발광 소자 5의 발광층(130)으로서 4,4'-비스(9-카바졸릴)바이페닐(약칭: CBP), $Ir(ppz)_3$, 및 쿠마린545T를, CBP 대 $Ir(ppz)_3$ 대 쿠마린545T의 중량비가 0.8:0.2:0.005, 두께가 30nm가 되도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다. 비교 발광 소자 5와 발광 소자 1의 차이는 호스트 재료이다. 비교 발광 소자 5는 TADF 재료가 아니라 CBP를 호스트 재료로서 사용하여 제작하였다.

[0366] 다음으로 전자 수송층(118)으로서 발광층(130) 위에 바소큐프로인(약칭: BCP)을 두께 10nm로, NBPhen을 두께 15nm로 증착에 의하여 순차적으로 퇴적시켰다.

[0367] <발광 소자의 특성>

[0368] 다음으로 제작한 발광 소자 1 및 발광 소자 3 그리고 비교 발광 소자 2, 비교 발광 소자 4, 및 비교 발광 소자 5의 특성을 측정하였다. 휘도 및 CIE 색도는 색채 휘도계(BM-5A, TOPCON TECHNOHOUSE CORPORATION 제조)를 사용하여 측정하고, 전계 발광 스펙트럼은 멀티 채널 분광기(PMA-11, Hamamatsu Photonics K.K. 제조)를 사용하여 측정하였다.

[0369] 발광 소자 1 및 발광 소자 3 그리고 비교 발광 소자 2, 비교 발광 소자 4, 및 비교 발광 소자 5의 휘도-전류 효율 특성을 도 13에, 전압-전류 특성을 도 14에, 휘도-외부 양자 효율 특성을 도 15에 나타내었다. 발광 소자 1 및 발광 소자 3 그리고 비교 발광 소자 2, 비교 발광 소자 4, 및 비교 발광 소자 5에 2.5mA/cm^2의 전류 밀도에서 전류를 공급하였을 때의 전계 발광 스펙트럼을 도 16에 나타내었다. 또한 발광 소자의 측정은 실온에서(23℃로 유지된 분위기에서) 실시하였다.

[0370] 표 2는 1000cd/m^2 부근에서의 발광 소자 1 및 발광 소자 3 그리고 비교 발광 소자 2, 비교 발광 소자 4, 및 비교 발광 소자 5의 소자 특성을 나타낸 것이다.

[0371] [표 2]

[0372]

	전압 (V)	전류 밀도 (mA/cm^2)	CIE 색도 (x, y)	휘도 (cd/m^2)	전류 효율 (cd/A)	전력 효율 (lm/W)	외부 양자 효율 (%)
발광 소자 1	3.60	3.10	(0.231, 0.652)	1020	33.0	28.8	9.92
비교 발광 소자 2	3.50	2.42	(0.249, 0.541)	1040	43.1	38.7	14.4
발광 소자 3	3.50	5.02	(0.276, 0.644)	1130	22.5	20.2	6.67
비교 발광 소자 4	3.30	2.78	(0.342, 0.592)	1000	36.0	34.2	10.7
비교 발광 소자 5	6.00	32.4	(0.212, 0.658)	991	3.1	1.6	0.9

[0373] 도 16에 나타낸 바와 같이, 발광 소자 1 및 발광 소자 3 그리고 비교 발광 소자 5의 전계 발광 스펙트럼은 각각 509nm에 피크 파장을 가진다. 이는 발광 소자 1 및 발광 소자 3 그리고 비교 발광 소자 5가 형광성 화합물인 쿠마린545T에서 유래되는 녹색 빛을 방출하는 것을 시사한다. 그러므로 본 발명의 일 형태의 발광 소자 1 및 발광 소자 3은 각각 전계 발광 스펙트럼이, 비교 발광 소자 2 및 비교 발광 소자 4에 비하여 단파장에 피크를 가지며 반치전폭이 작아, 색 순도가 높은 빛을 방출할 수 있다. 따라서 본 발명의 일 형태의 발광 소자는 표시 장치에 적합하다.

[0374] 도 13, 도 15, 및 표 2에 나타낸 바와 같이, 발광 소자 1 및 발광 소자 3은 발광 효율(전류 효율, 전력 효율, 및 외부 양자 효율)이 높다. 한 쌍의 전극으로부터 주입된 캐리어(정공 및 전자)의 재결합에 의한 단일항 엑시톤의 최대 생성 확률은 25%이기 때문에, 광 추출 효율이 25%이라는 전제를 바탕으로 하면 최대 외부 양자 효율은 6.25%가 된다. 비록 발광 소자 1 및 발광 소자 3은 각각 형광 발광 소자이지만 외부 양자 효율은 6.25%보다 높다. 이는 본 발명의 일 형태의 발광 소자 1 및 발광 소자 3에 있어서, 단일항 엑시톤뿐만 아니라 삼중항 엑시톤도, 인광성 화합물인 $Ir(ppz)_3$에 기인한 중원자 효과 및 TADF 재료에 기인한 역 계간 교차에 의하여 형광에 기여시킬 수 있기 때문이다.

[0375] 발광 소자 1 및 발광 소자 3의 발광 효율은 비교 발광 소자 5보다 높다. 상술한 바와 같이, 비교 발광 소자 5는 발광층(130)에 TADF 재료가 아니라 CBP를 포함하기 때문에, 비교 발광 소자 5는 TADF 재료에 기인한 역 계간 교차로 가능하게 되는, 삼중항 엑시톤을 단일항 엑시톤으로 변환하는 기능을 가지지 않는다. 한편 본 발명의 일 형태의 발광 소자 1 및 발광 소자 3은 발광층(130)에 TADF 재료를 포함하기 때문에, 발광 소자 1 및 발광 소자 3에서는 역 계간 교차에 의하여 삼중항 엑시톤을 단일항 엑시톤으로 변환할 수 있다. 그래서 발광 소자 1 및 발광 소자 3의 발광 효율을 높일 수 있다.

[0376] <시간 분해 발광 측정>

[0377] 다음으로 발광 소자 1 및 발광 소자 3 그리고 비교 발광 소자 2 및 비교 발광 소자 4에 대하여 시간 분해 발광 측정을 실시하였다.

[0378] 측정에는 피코초 형광 수명 측정 시스템(Hamamatsu Photonics K.K. 제조)을 사용하였다. 발광 소자의 형광 수명을 측정하기 위하여, 발광 소자에 구형(矩形)파 펄스 전압을 인가하고, 그 전압의 하강부터 감쇠(減衰)되는 빛을 스트리크 카메라(streak camera)를 사용하여 시간 분해 측정하였다. 펄스 전압은 주파수 10Hz로 인가하였

다. 반복적인 측정에 의하여 얻어진 데이터를 적산함으로써, S/N비가 높은 데이터를 얻었다. 측정은 실온(300K)에서, 발광 소자의 휘도가 1000cd/m^2 부근이 되도록 3V 내지 4V 정도의 펄스 전압을 인가하고, 펄스 시간 폭(pulse time width)을 100μsec로 하고, (소자가 구동되지 않을 때의) 네거티브 바이어스 전압을 -5V로 하고, 측정 시간을 20μsec로 하는 조건에서 실시하였다. 도 17은 측정 결과를 나타낸 것이다. 또한 도 17에서, 세로축은 안정적으로 캐리어가 주입되는 상태(즉 펄스 전압이 인가될 때)에서의 정규화된 발광 강도를 나타내고, 가로축은 펄스 전압의 하강 후의 경과 시간을 나타낸다.

[0379] 도 17에 나타낸 바와 같이, 발광 소자 1 및 발광 소자 3으로부터의 발광의 감쇠 속도는 비교 발광 소자 2 및 비교 발광 소자 4로부터의 발광의 감쇠 속도보다 빠르다. 이는 발광 소자 1 및 발광 소자 3에서 여기 에너지가 발광으로 신속히 변환된 것을 뜻하며, 따라서 발광층 중에서 엑시톤 밀도가 높더라도(다량의 전류가 흐르고 있더라도) 발광을 효율적으로 추출할 수 있다. 이러한 이유로, 도 13 및 도 15에 나타낸 바와 같이 발광 소자 1 및 발광 소자 3은 롤 오프(roll-off)가 작다. 고휘도 영역에 속하는 15000cd/m^2 부근에서의 발광 소자 1, 비교 발광 소자 2, 발광 소자 3, 및 비교 발광 소자 4의 외부 양자 효율은 각각 8.0%, 7.3%, 4.8%, 및 4.2%이다. 즉 발광 소자 1은 비교 발광 소자 2보다 효율이 높고, 발광 소자 3은 비교 발광 소자 4보다 효율이 높다. 이러한 작은 롤 오프는 본 발명의 일 형태의 발광 소자의 특징 중 하나이다.

[0380] <CV 측정 결과>

[0381] 다음으로 상기 발광 소자의 발광층에 사용된 재료의 전기 화학 특성(산화 반응 특성 및 환원 반응 특성)을 사이클릭 볼타메트리(CV) 측정에 의하여 측정하였다. 또한 측정에는 전기 화학 분석기(ALS 모델 600A 또는 600C, BAS Inc. 제조)를 사용하고, 측정은 각 재료를 *N*,*N*-다이메틸폼아마이드(약칭: DMF)에 용해시켜 얻은 용액에 대하여 실시하였다. 측정에서는 참조 전극에 대한 작용 전극의 전위를 적절한 범위 내에서 변화시켜, 산화 피크 전위 및 환원 피크 전위를 얻었다. 또한 -4.94eV로 추산된 참조 전극의 산화 환원 전위 및 얻어진 피크 전위에서 각 화합물의 HOMO 준위 및 LUMO 준위를 산출하였다.

[0382] CV 측정 결과에서 산출한 $Ir(ppz)_3$의 HOMO 준위 및 LUMO 준위는 각각 -5.39eV 및 -1.77eV이었다. 4PCCzBfpm의 HOMO 준위 및 LUMO 준위는 각각 -5.70eV 및 -2.84eV이었다. 4PCCzPBfpm의 HOMO 준위 및 LUMO 준위는 각각 -5.64eV 및 -3.01eV이었다.

[0383] 상술한 바와 같이 4PCCzBfpm 및 4PCCzPBfpm의 LUMO 준위는 $Ir(ppz)_3$의 LUMO 준위보다 낮고, $Ir(ppz)_3$의 HOMO 준위는 4PCCzBfpm 및 4PCCzPBfpm의 HOMO 준위보다 높다. 따라서 발광 소자 1 및 발광 소자 3과 마찬가지로 발광층에 상기 화합물을 사용하는 경우에는, 캐리어인 전자 및 정공이 한 쌍의 전극으로부터 4PCCzBfpm 또는 4PCCzPBfpm 및 $Ir(ppz)_3$에 효율적으로 주입되기 때문에, 4PCCzBfpm 또는 4PCCzPBfpm과 $Ir(ppz)_3$은 들뜬 복합체를 형성할 수 있다. 그러므로 발광 소자 1 및 발광 소자 3은 각각 ExEF를 이용한 발광 소자이다.

[0384] 4PCCzBfpm과 $Ir(ppz)_3$으로 형성되는 들뜬 복합체는 4PCCzBfpm에 LUMO 준위를, $Ir(ppz)_3$에 HOMO 준위를 가진다. 4PCCzBfpm의 LUMO 준위와 $Ir(ppz)_3$의 HOMO 준위의 에너지 차는 2.55eV이다. 이 값은, 도 16에서의 비교 발광 소자 2의 발광 스펙트럼의 피크 파장에서 산출되는 발광 에너지(2.42eV)와 실질적으로 일치한다. 이는 비교 발광 소자 2의 발광 스펙트럼이, 4PCCzBfpm과 $Ir(ppz)_3$으로 형성되는 들뜬 복합체에 기인한 발광에 상당하는 것을 뜻한다. 들뜬 복합체에서는 S1 준위와 T1 준위의 차가 작기 때문에, 상기 발광 에너지를 들뜬 복합체의 S1 준위 및 T1 준위 각각의 에너지(2.42eV)로 간주할 수 있다.

[0385] 마찬가지로, 4PCCzPBfpm과 $Ir(ppz)_3$으로 형성되는 들뜬 복합체는 4PCCzPBfpm에 LUMO 준위를, $Ir(ppz)_3$에 HOMO 준위를 가진다. 4PCCzPBfpm의 LUMO 준위와 $Ir(ppz)_3$의 HOMO 준위의 에너지 차는 2.38eV이다. 이 값은, 도 16에서의 비교 발광 소자 4의 발광 스펙트럼의 피크 파장에서 산출되는 발광 에너지(2.30eV)와 실질적으로 일치한다. 이는 비교 발광 소자 4의 발광 스펙트럼이, 4PCCzPBfpm과 $Ir(ppz)_3$으로 형성되는 들뜬 복합체에 기인한 발광에 상당하는 것을 뜻한다. 들뜬 복합체에서는 S1 준위와 T1 준위의 차가 작기 때문에, 상기 발광 에너지를 들뜬 복합체의 S1 준위 및 T1 준위 각각의 에너지(2.30eV)로 간주할 수 있다.

[0386] <들뜬 복합체의 발광 스펙트럼과 게스트 재료의 흡수 스펙트럼의 관계>

[0387] 도 18은 쿠마린545T의 톨루엔 용액의 흡수 스펙트럼의 측정 결과, 및 비교 발광 소자 2 및 비교 발광 소자 4에서의 들뜬 복합체의 발광 스펙트럼을 나타낸 것이다. 또한 흡수 스펙트럼은 자외-가시 분광 광도계(V-550,

JASCO Corporation 제조)를 사용하여 실온에서(23℃로 유지된 분위기에서) 측정하였다.

[0388] 도 18에 나타낸 바와 같이, 쿠마린545T의 흡수 스펙트럼과, 비교 발광 소자 2 및 비교 발광 소자 4에서의 들뜬 복합체의 발광 스펙트럼이 서로 부분적으로 중첩된다. 그러므로 4PCCzBfpm과 $Ir(ppz)_3$으로 형성되는 들뜬 복합체 및 4PCCzPBfpm과 $Ir(ppz)_3$으로 형성되는 들뜬 복합체로부터 형광성 화합물인 쿠마린545T에 여기 에너지를 효율적으로 공여할 수 있다. 이로써 도 16에 나타낸 전계 발광 스펙트럼을 가지는 발광 소자 1 및 발광 소자 3과 마찬가지로, 들뜬 복합체의 전계 발광 스펙트럼보다 짧은 피크 파장을 가지는 빛을 방출하는 발광 소자를 제공할 수 있다.

[0389] <T1 준위의 측정>

[0390] 다음으로 4PCCzBfpm 및 4PCCzPBfpm의 T1 준위를 측정하였다. 측정 방법에 대해서는 후술한다. 그 결과 4PCCzBfpm 및 4PCCzPBfpm의 T1 준위는 각각 2.58eV 및 2.46eV이었다.

[0391] 또한 $Ir(ppz)_3$의 T1 준위를 추산하기 위하여 흡수 스펙트럼 및 발광 스펙트럼을 측정하였다. $Ir(ppz)_3$을 용해시킨 다이클로로메테인 용액을 준비하고 석영셀을 사용하여 흡수 스펙트럼을 측정하였다. 흡수 스펙트럼은 자외-가시 분광 광도계(V-550, JASCO Corporation 제조)를 사용하여 측정하였다. 측정된 시료의 스펙트럼에서 석영셀 및 용매의 흡수 스펙트럼을 뺐다. 측정은 실온에서(23℃로 유지된 분위기에서) 실시하였다.

[0392] 상술한 흡수 스펙트럼의 데이터에서 흡수단(absorption edge)을 산출하고 직접 전이를 가정하여 전이 에너지를 추산하였다. 그 결과 $Ir(ppz)_3$의 전이 에너지는 3.27eV로 산출되었다. $Ir(ppz)_3$은 인광성 화합물이기 때문에 가장 저에너지 측의 흡수단은 삼중항 여기 상태로부터의 전이에 기초한 흡수대이다. 그러므로 $Ir(ppz)_3$의 T1 준위는 상기 흡수단에서 3.27eV로 산출되었다.

[0393] 상술한 측정 결과에 의하여, 4PCCzBfpm의 T1 준위(2.58eV) 및 4PCCzPBfpm의 T1 준위(2.46eV)는 $Ir(ppz)_3$의 T1 준위(3.27eV)보다 낮고, 4PCCzBfpm의 T1 준위(2.58eV) 및 4PCCzPBfpm의 T1 준위(2.46eV)는 4PCCzBfpm과 $Ir(ppz)_3$으로 형성되는 들뜬 복합체의 T1 준위(2.42eV) 및 4PCCzPBfpm과 $Ir(ppz)_3$으로 형성되는 들뜬 복합체의 T1 준위(2.30eV)보다 높다는 것이 증명된다. 그러므로 4PCCzBfpm과 $Ir(ppz)_3$으로 형성되는 들뜬 복합체의 삼중항 여기 에너지는 4PCCzBfpm 또는 $Ir(ppz)_3$에 의하여 비활성화되지 않고, 4PCCzPBfpm과 $Ir(ppz)_3$으로 형성되는 들뜬 복합체의 삼중항 여기 에너지는 4PCCzPBfpm 또는 $Ir(ppz)_3$에 의하여 비활성화되지 않는다. 그 결과, 상기 들뜬 복합체 각각의 삼중항 여기 에너지는 발광으로 변환될 수 있거나, 역 계간 교차에 의하여 단일항 여기 에너지로 변환될 수 있거나, 또는 형광성 화합물로 이동될 수 있다.

[0394] 또한 $Ir(ppz)_3$의 발광 스펙트럼을 실온에서 측정하였을 때, $Ir(ppz)_3$으로부터 발광은 관측되지 않았다. 비특허문헌 1에는 $Ir(ppz)_3$의 발광 양자 수율이 실온에서 1% 미만인 것이 개시되어 있다. 이에 의하여 $Ir(ppz)_3$은 실온에서 빛을 방출하지 않는 재료인 것이 시사된다. 따라서 발광 양자 수율이 1% 미만으로 낮은 화합물을 사용하는 경우에도 발광 효율이 높은 발광 소자를 얻을 수 있다.

[0395] <호스트 재료의 과도 형광 특성>

[0396] 여기서 발광 소자 1 및 발광 소자 3에 각각 사용된 4PCCzBfpm 및 4PCCzPBfpm이 TADF 재료인지 여부를 확인하기 위하여, 시간 분해 발광 측정에 의하여 4PCCzBfpm 및 4PCCzPBfpm의 과도 형광 특성을 조사하였다.

[0397] 시간 분해 발광 측정은, 석영 기판 위에 비스[2-(다이페닐포스피노)페닐]에터옥사이드(약칭: DPEPO) 및 4PCCzPBfpm을 DPEPO 대 4PCCzPBfpm의 중량비가 0.8:0.2, 두께가 50nm가 되도록 동시 증착함으로써 형성한 박막 시료, 그리고 석영 기판 위에 DPEPO 및 4PCCzBfpm을 DPEPO 대 4PCCzBfpm의 중량비가 0.8:0.2, 두께가 50nm가 되도록 동시 증착함으로써 형성한 박막 시료에 대하여 실시하였다.

[0398] 측정에는 피코초 형광 수명 측정 시스템(Hamamatsu Photonics K.K. 제조)을 사용하였다. 박막의 형광 수명을 측정하기 위하여, 박막에 펄스 레이저 광을 조사하고, 레이저 광 조사부터 감쇠되는 빛을 스트리크 카메라를 사용하여 시간 분해 측정하였다. 펄스 레이저로서 파장 337nm의 질소 가스 레이저를 사용하였다. 박막에는 펄스 폭 500ps의 펄스 레이저 광을 10Hz의 반복률로 조사하였다. 반복적인 측정에 의하여 얻어진 데이터를 적산함으로써, S/N비가 높은 데이터를 얻었다. 측정은 실온에서(23℃로 유지된 분위기에서) 실시하였다.

[0399] 도 19의 (A) 및 (B)는 측정에 의하여 얻어진 4PCCzBfpm의 과도 형광 특성을 나타낸 것이다. 또한 도 19의 (A)는 발광 수명이 짧은 발광 성분의 측정 결과를 나타낸 것이고, 도 19의 (B)는 발광 수명이 긴 발광 성분의 측정 결과를 나타낸 것이다. 나타내지 않았지만, 4PCCzPBfpm의 과도 형광 특성은 4PCCzBfpm과 같은 식으로 측정하고 이하와 같이 산출하였다.

[0400] 도 19의 (A) 및 (B)에 나타낸 감쇠 곡선을 수학식 4로 피팅하였다.

[0401] [수학식 4]

$$L = \sum_{n=1} A_n \exp\left(-\frac{t}{a_n}\right) \quad \cdots (4)$$

[0402]

[0403] 수학식 4에서 L은 정규화된 발광 강도를 나타내고 t는 경과 시간을 나타낸다. 감쇠 곡선의 피팅 결과는 4PCCzBfpm 및 4PCCzPBfpm의 박막 시료로부터 방출된 빛이 형광 수명이 상이한 복수의 발광 성분을 포함하는 것을 나타낸다. 4PCCzBfpm의 박막 시료의 발광 성분에는 형광 수명이 11.7ns인 초기 형광 성분과, 수명이 217μs로 가장 긴 지연 형광 성분이 적어도 포함되고, 4PCCzPBfpm의 박막 시료의 발광 성분에는 형광 수명이 11.0ns인 초기 형광 성분과, 수명이 301μs로 가장 긴 지연 형광 성분이 적어도 포함된다. 즉 4PCCzBfpm 및 4PCCzPBfpm은 실온에서 지연 형광을 나타내는 열 활성화 지연 형광 재료이다.

[0404] <S1 준위 및 T1 준위의 측정>

[0405] 열 활성화 지연 형광으로 이어지는 역 계간 교차가 효율적으로 일어나도록 하기 위하여 S1 준위와 T1 준위의 에너지 차는 바람직하게는 0eV보다 크고 0.3eV 이하이고, 더 바람직하게는 0eV보다 크고 0.2eV 이하이다. 4PCCzBfpm 및 4PCCzPBfpm의 S1 준위 및 T1 준위를 측정하는 산출을 실시하였다.

[0406] 4PCCzBfpm 및 4PCCzPBfpm의 S1 준위와 T1 준위를 산출하기 위하여 그 발광 스펙트럼을 측정하였다. 도 20은 4PCCzBfpm의 발광 스펙트럼의 측정 결과를 나타낸 것이고, 도 21은 4PCCzPBfpm의 발광 스펙트럼의 측정 결과를 나타낸 것이다.

[0407] 상기 발광 스펙트럼은 측정 온도를 10K로 하고, PL 현미경인 LabRAM HR-PL(HORIBA, Ltd. 제조), 및 CCD 검출기를 사용하고, 여기광으로서 He-Cd 레이저 광(325nm)을 사용하여 측정하였다. 측정을 위하여 박막을 두께 50nm가 되도록 석영 기판 위에 형성하고, 질소 분위기에서 그 퇴적 표면에 다른 석영 기판을 접착하였다.

[0408] 또한 상기 발광 스펙트럼의 측정에서 통상의 발광 스펙트럼의 측정에 더하여 수명이 긴 발광에 초점을 맞춘 시간 분해 발광 스펙트럼의 측정도 실시하였다. 본 발광 스펙트럼의 측정에서는 측정 온도를 저온(10K)으로 하였기 때문에, 통상의 발광 스펙트럼의 측정에서는 주된 발광 성분인 형광에 더하여 인광이 관측되었다. 또한 수명이 긴 발광에 초점을 맞춘 시간 분해 발광 스펙트럼의 측정에서는 주로 인광이 관측되었다.

[0409] 발광 스펙트럼의 측정 결과는 4PCCzBfpm의 발광 스펙트럼에서 형광 성분 및 인광 성분의 가장 단파장 측의 피크(숄더를 포함함) 파장이 각각 455nm 및 480nm이었다는 것을 나타낸다. 4PCCzPBfpm의 발광 스펙트럼에서는 형광 성분 및 인광 성분의 가장 단파장 측의 피크(숄더를 포함함) 파장은 각각 480nm 및 505nm이었다.

[0410] 따라서 상기 피크(숄더를 포함함) 파장에서 산출한 4PCCzBfpm의 S1 준위 및 T1 준위는 각각 2.72eV 및 2.58eV이기 때문에 S1 준위와 T1 준위의 에너지 차는 0.14eV이다. 또한 4PCCzPBfpm의 S1 준위 및 T1 준위는 각각 2.58eV 및 2.46eV이기 때문에 S1 준위와 T1 준위의 에너지 차는 0.12eV이다.

[0411] 발광 스펙트럼의 측정 결과에서 알 수 있는 바와 같이, 4PCCzBfpm의 발광 스펙트럼에서 형광 성분 및 인광 성분의 단파장 측의 상승 부분의 파장은 각각 435nm 및 464nm이다. 또한 4PCCzPBfpm의 발광 스펙트럼에서는 형광 성분 및 인광 성분의 단파장 측의 상승 부분의 파장은 각각 458nm 및 491nm이다. 또한 발광 스펙트럼의 단파장 측의 상승 부분의 파장은 상기 스펙트럼의 접선의 기울기가 극댓값을 가지는 부분에서의 상기 접선과 가로축의 교점에서의 파장이다.

[0412] 따라서 상기 상승 부분의 파장에서 산출한 4PCCzBfpm의 S1 준위 및 T1 준위는 각각 2.85eV 및 2.67eV이기 때문에 S1 준위와 T1 준위의 에너지 차는 0.18eV이다. 또한 4PCCzPBfpm의 S1 준위 및 T1 준위는 각각 2.71eV 및 2.53eV이기 때문에 S1 준위와 T1 준위의 에너지 차는 0.18eV이다.

[0413] 상술한 바와 같이 발광 스펙트럼의 가장 단파장 측의 피크(숄더를 포함함) 파장 및 발광 스펙트럼의 단파장 측

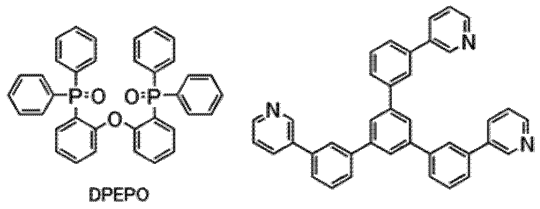
의 상승 부분의 파장의 양쪽에서 산출하였을 때, 4PCCzPBfpm 및 4PCCzBfpm 각각의 S1 준위와 T1 준위의 에너지 차는 0eV보다 크고 0.2eV 이하로 매우 작다. 그래서 4PCCzPBfpm 및 4PCCzBfpm은 각각 역 계간 교차에 의하여 삼중항 여기 에너지를 단일항 여기 에너지로 변환하는 기능 및 열 활성화 지연 형광을 나타내는 기능을 가진다.

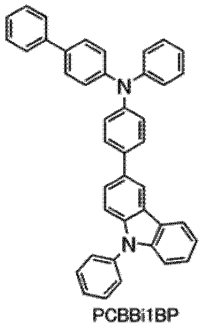
[0414] <발광 소자의 신뢰성>

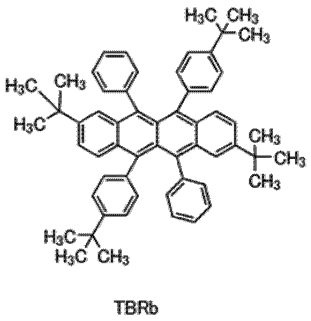
[0415] 도 22는 발광 소자 1 및 발광 소자 3 그리고 비교 발광 소자 2, 비교 발광 소자 4, 및 비교 발광 소자 5에 대하여 실시한, 0.5mA의 정전류로의 구동 시험 결과를 나타낸 것이다. 도 22에 나타낸 바와 같이, 발광 소자 1은 비교 발광 소자 2보다 신뢰성이 높고, 발광 소자 3은 비교 발광 소자 4보다 신뢰성이 높다. 발광 소자 1과 비교 발광 소자 2, 그리고 발광 소자 3과 비교 발광 소자 4에는 형광성 화합물이 포함되어 있는지 여부의 차이가 있다. 상술한 바와 같이, 발광 소자 1 및 발광 소자 3에서는 형광성 화합물로부터의 빛이 얻어졌고, 비교 발광 소자 2 및 비교 발광 소자 4에서는 들뜬 복합체로부터의 빛이 얻어졌다. 이는 본 발명의 일 형태의 발광 소자와 마찬가지로 형광성 화합물로부터 발광이 얻어지면 신뢰성이 향상되는 것을 나타낸다. 또한 발광 소자 1 및 발광 소자 3은 비교 발광 소자 5보다 신뢰성이 높다. 이는 TADF성을 가지는 호스트 재료를 사용함으로써 신뢰성이 높은 발광 소자를 얻을 수 있다는 것을 시사한다.

[0416] (실시예 2)

[0417] 본 실시예에서는 본 발명의 일 형태의 발광 소자 및 비교 발광 소자의 제작예에 대하여 설명한다. 본 실시예에서 제작된 발광 소자 각각의 구조는 도 1의 (A)에 도시된 것과 같다. 소자 구조의 자세한 사항을 표 3에 나타내었다. 여기서 사용한 화합물의 구조 및 약칭을 아래에 나타내었다. 또한 다른 화합물의 구조 및 약칭에 대해서는 실시예 1 및 상술한 실시형태를 참조하기 바란다.







[0418]

[0419] [표 3]

	층	부호	두께 (nm)	재료	중량비
발광 소자 6	전극	102	200	Al	-
	전자 주입층	119	1	LiF	-
	전자 수송층	118(2)	10	NBphen	-
		118(1)	20	4,6mCzP2Pm	-
	발광층	130	40	4PCCzBfpm:GD270:TBRb	0.8:0.2:0.01
	정공 수송층	112	20	PCBBi1BP	-
	정공 주입층	111	45	DBT3P-II:MoO_3	1:0.5
	양극	101	70	ITSO	-
비교 발광 소자 7	전극	102	200	Al	-
	전자 주입층	119	1	LiF	-
	전자 수송층	118(2)	10	NBphen	-
		118(1)	20	4,6mCzP2Pm	-
	발광층	130	40	4PCCzBfpm:GD270	0.8:0.2
	정공 수송층	112	20	PCBBi1BP	-
	정공 주입층	111	45	DBT3P-II:MoO_3	1:0.5
	양극	101	70	ITSO	-
비교 발광 소자 8	전극	102	200	Al	-
	전자 주입층	119	1	LiF	-
	전자 수송층	118(2)	15	NBphen	-
		118(1)	10	BCP	-
	발광층	130	30	CBP:GD270:TBRb	0.8:0.2:0.01
	정공 수송층	112	20	mCzFLP	-
	정공 주입층	111	45	DBT3P-II:MoO_3	1:0.5
	양극	101	70	ITSO	-
비교 발광 소자 9	전극	102	200	Al	-
	전자 주입층	119	1	LiF	-
	전자 수송층	118(2)	20	TmPyPB	-
		118(1)	5	DPEPO	-
	발광층	130	30	DPEPO:4PCCzBfpm:TBRb	0.8:0.2
	정공 수송층	112	20	mCzFLP	-
	정공 주입층	111	45	DBT3P-II:MoO_3	1:0.5
	양극	101	70	ITSO	-

[0420]

[0421] <발광 소자의 제작>

[0422] 아래에서 본 실시예의 발광 소자의 제작 방법에 대하여 설명한다.

[0423] <<발광 소자 6의 제작>>

[0424] 전극(101)으로서 유리 기판 위에 ITSO막을 두께 70nm가 되도록 형성하였다. 또한 전극(101)의 전극 면적은 $4mm^2$(2mm X 2mm)로 하였다.

[0425] 다음으로 정공 주입층(111)으로서 전극(101) 위에 DBT3P-II 및 산화 몰리브데넘(MoO_3)을, DBT3P-II 대 MoO_3의 중량비가 1:0.5, 두께가 45nm가 되도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다.

[0426] 이어서 정공 수송층(112)으로서 정공 주입층(111) 위에 PCBBi1BP를 두께 20nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.

[0427] 다음으로 발광층(130)으로서 정공 수송층(112) 위에 4PCCzBfpm, GD270(Jilin Optical and Electronic Materials Co., Ltd. 제조), 및 2,8-다이-*tert*-뷰틸-5,11-비스(4-*tert*-뷰틸페닐)-6,12-다이페닐테트라센(약칭: TBRb)을, 4PCCzBfpm 대 GD270 대 TBRb의 중량비가 0.8:0.2:0.01, 두께가 40nm가 되도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다. 발광층(130)에서는 GD270이 인광성 화합물이고, TBRb가 형광성 화합물이다.

[0428] 다음으로 전자 수송층(118)으로서 발광층(130) 위에 4,6mCzP2Pm을 두께 20nm로, NBPhen을 두께 10nm로 증착에 의하여 순차적으로 퇴적시켰다. 그리고 전자 주입층(119)으로서 전자 수송층(118) 위에 LiF을 두께 1nm가 되도

록 증착에 의하여 퇴적시켰다.

[0429] 다음으로 전극(102)으로서 전자 주입층(119) 위에 알루미늄(Al)을 두께 200nm가 되도록 퇴적시켰다.

[0430] 다음으로 질소 분위기를 포함한 글러브 박스 내에서 유기 재료를 퇴적시킨 유리 기판에 유기 EL용 실재를 사용하여 밀봉을 위한 유리 기판을 고정함으로써 발광 소자 6을 밀봉하였다. 구체적으로는 유리 기판 위의 유기 재료를 둘러싸도록 실재를 도포하고 상기 유리 기판과 밀봉을 위한 유리 기판을 접합한 후, 파장 365nm의 자외광을 6J/cm^2로 조사하고 80℃에서의 가열 처리를 1시간 동안 실시하였다. 상술한 단계를 거쳐 발광 소자 6을 제작하였다.

[0431] <<비교 발광 소자 7의 제작>>

[0432] 발광층(130)을 형성하는 단계를 제외하고는 상술한 발광 소자 6과 같은 단계를 거쳐 비교 발광 소자 7을 제작하였다.

[0433] 비교 발광 소자 7의 발광층(130)으로서 4PCCzBfpm 및 GD270을, 4PCCzBfpm 대 GD270의 중량비가 0.8:0.2, 두께가 40nm가 되도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다. 발광 소자 6의 발광층(130)과는 달리, 비교 발광 소자 7의 발광층(130)에는 형광성 화합물인 TBRb가 포함되지 않았다.

[0434] <<비교 발광 소자 8의 제작>>

[0435] 전극(101)으로서 유리 기판 위에 ITSO막을 두께 70nm가 되도록 형성하였다. 또한 전극(101)의 전극 면적은 4mm^2(2mm X 2mm)로 하였다.

[0436] 다음으로 정공 주입층(111)으로서 전극(101) 위에 DBT3P-II 및 산화 몰리브데넘(MoO_3)을, DBT3P-II 대 MoO_3의 중량비가 1:0.5, 두께가 45nm가 되도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다.

[0437] 이어서 정공 수송층(112)으로서 정공 주입층(111) 위에 mCzFLP를 두께 20nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.

[0438] 다음으로 발광층(130)으로서 정공 수송층(112) 위에 CBP, GD270, 및 TBRb를, CBP 대 GD270 대 TBRb의 중량비가 0.8:0.2:0.01, 두께가 30nm가 되도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다. 비교 발광 소자 8의 발광층(130)은 호스트 재료가 발광 소자 6의 발광층(130)과는 다르다. 발광 소자 6은 TADF 재료를 사용하여 제작하였고, 비교 발광 소자 8은 TADF 재료가 아니라 CBP를 사용하여 제작하였다.

[0439] 다음으로 전자 수송층(118)으로서 발광층(130) 위에 바소큐프로인(약칭: BCP)을 두께 10nm로, NBPhen을 두께 15nm로 증착에 의하여 순차적으로 퇴적시켰다. 그리고 전자 주입층(119)으로서 전자 수송층(118) 위에 LiF을 두께 1nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.

[0440] 다음으로 전극(102)으로서 전자 주입층(119) 위에 알루미늄(Al)을 두께 200nm가 되도록 퇴적시켰다.

[0441] 다음으로 질소 분위기를 포함한 글러브 박스 내에서 유기 재료를 퇴적시킨 유리 기판에 유기 EL용 실재를 사용하여 밀봉을 위한 유리 기판을 고정함으로써 비교 발광 소자 8을 밀봉하였다. 구체적으로는 유리 기판 위의 유기 재료를 둘러싸도록 실재를 도포하고 상기 유리 기판과 밀봉을 위한 유리 기판을 접합한 후, 파장 365nm의 자외광을 6J/cm^2로 조사하고 80℃에서의 가열 처리를 1시간 동안 실시하였다. 상술한 단계를 거쳐 비교 발광 소자 8을 제작하였다.

[0442] <<비교 발광 소자 9의 제작>>

[0443] 발광층(130) 및 전자 수송층(118)을 형성하는 단계를 제외하고는 상술한 비교 발광 소자 8과 같은 단계를 거쳐 비교 발광 소자 9를 제작하였다.

[0444] 비교 발광 소자 9의 발광층(130)으로서 비스[2-(다이페닐포스피노)페닐]에터옥사이드(약칭: DPEPO), 4PCCzBfpm, 및 TBRb를, DPEPO 대 4PCCzBfpm 대 TBRb의 중량비가 0.8:0.2:0.01, 두께가 30nm가 되도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다. 발광 소자 6의 발광층(130)과는 달리, 비교 발광 소자 9의 발광층(130)에는 인광성 화합물이 포함되지 않았다.

[0445] 다음으로 전자 수송층(118)으로서 발광층(130) 위에 DPEPO를 두께 5nm로, 1,3,5-트라이[3-(3-피리딜)페닐]벤젠(약칭: TmPyPB)을 두께 20nm로 증착에 의하여 순차적으로 퇴적시켰다.

[0446] <발광 소자의 특성>

[0447] 다음으로 제작한 발광 소자 6 및 비교 발광 소자 7 내지 비교 발광 소자 9의 특성을 측정하였다. 또한 측정 방법은 실시예 1에서 사용한 것과 비슷하다.

[0448] 발광 소자 6 및 비교 발광 소자 7 내지 비교 발광 소자 9의 휘도-전류 효율 특성을 도 23에, 전압-전류 특성을 도 24에, 휘도-외부 양자 효율 특성을 도 25에 나타내었다. 발광 소자 6 및 비교 발광 소자 7 내지 비교 발광 소자 9에 2.5mA/cm^2의 전류 밀도에서 전류를 공급하였을 때의 전계 발광 스펙트럼을 도 26에 나타내었다. 또한 발광 소자의 측정은 실온에서(23℃로 유지된 분위기에서) 실시하였다.

[0449] 표 4는 1000cd/m^2 부근에서의 발광 소자 6 및 비교 발광 소자 7 내지 비교 발광 소자 9의 소자 특성을 나타낸 것이다.

[0450] [표 4]

	전압 (V)	전류 밀도 (mA/cm^2)	CIE 색도 (x, y)	휘도 (cd/m^2)	전류 효율 (cd/A)	전력 효율 (lm/W)	외부 양자 효율 (%)
발광 소자 6	2.90	1.61	(0.468, 0.526)	1182	73.4	79.6	22.5
비교 발광 소자 7	2.90	1.83	(0.338, 0.635)	1143	62.5	67.7	16.9
비교 발광 소자 8	4.40	2.31	(0.446, 0.547)	1218	52.7	37.6	15.4
비교 발광 소자 9	6.40	7.25	(0.423, 0.507)	1057	14.6	7.2	4.5

[0451]

[0452] 도 26에 나타낸 바와 같이, 발광 소자 6, 비교 발광 소자 8, 및 비교 발광 소자 9의 발광 스펙트럼은 각각 565nm, 562nm, 및 561nm에 피크 파장을 가지고, 반치전폭이 각각 72nm, 67nm, 및 69nm 정도이다. 이는 발광 소자 6, 비교 발광 소자 8, 및 비교 발광 소자 9가 황색 빛을 방출하는 것을 시사한다. 따라서 발광 소자 6, 비교 발광 소자 8, 및 비교 발광 소자 9로부터 방출되는 빛은 형광성 화합물인 TBRb에서 유래되는 것이었다. 또한 비교 발광 소자 7의 발광 스펙트럼은 528nm에 피크 파장을 가지고, 반치전폭이 76nm이다. 이는 비교 발광 소자 7이 녹색 빛을 방출하는 것을 시사한다. 따라서 비교 발광 소자 7로부터 방출되는 빛은 GD270에서 유래되는 것이었다. 그러므로 본 발명의 일 형태의 발광 소자 6은 비교 발광 소자 7에 비하여 발광 스펙트럼의 피크 파장의 반치전폭이 작아, 색 순도가 높은 빛을 방출할 수 있다. 따라서 본 발명의 일 형태의 발광 소자는 표시 장치에 적합하다.

[0453] 비록 발광 소자 6은 형광 발광 소자이지만 도 23, 도 25, 및 표 4에 나타낸 바와 같이 외부 양자 효율은 형광 발광 소자의 최대 외부 양자 효율인 6.25%보다 높다. 이는 본 발명의 일 형태의 발광 소자 6에 있어서, 단일항 엑시톤뿐만 아니라, 삼중항 엑시톤도 인광성 화합물인 GD270을 경유하여 형광에 기여시킬 수 있기 때문이다. 또한 상술한 바와 같이, 발광 소자 6에 포함되는 4PCCzBfpm은 TADF 재료이기 때문에, TADF 재료에 기인한 역 계간 교차에 의하여 삼중항 엑시톤을 형광에 기여시킬 수 있기 때문에, 발광 효율을 높일 수 있다.

[0454] 발광 소자 6의 발광 효율은 비교 발광 소자 8보다 높다. 상술한 바와 같이, 비교 발광 소자 8은 발광층(130)에 TADF 재료가 아니라 CBP를 포함하기 때문에, 비교 발광 소자 8은 TADF 재료에 기인한 역 계간 교차로 가능하게 되는, 삼중항 엑시톤을 단일항 엑시톤으로 변환하는 기능을 가지지 않는다. 한편 본 발명의 일 형태의 발광 소자 6은 발광층(130)에 TADF 재료를 포함하기 때문에, 발광 소자 6에서는 TADF 재료에 기인한 역 계간 교차에 의하여 삼중항 엑시톤을 단일항 엑시톤으로 변환할 수 있다. 그래서 발광 소자 6의 발광 효율을 비교 발광 소자 8보다 높일 수 있다.

[0455] 발광 소자 6의 발광 효율은 비교 발광 소자 9보다 높다. 상술한 바와 같이, 비교 발광 소자 9는 발광층(130)에 TADF 재료를 포함하지만 인광성 화합물은 포함하지 않기 때문에, 비교 발광 소자 9에서는 인광성 화합물을 경유하여 삼중항 엑시톤을 형광에 기여시킬 수 없다. 한편 본 발명의 일 형태의 발광 소자 6은 발광층(130)에 TADF 재료에 더하여 인광성 화합물을 포함한다. 그래서 발광 소자 6에서는 TADF 재료에 기인한 역 계간 교차에 의하

여 효율이 높아지는 효과에 더하여, 인광성 화합물을 경유하여 삼중항 엑시톤을 형광에 기여시킬 수 있다. 따라서 발광 소자 6의 발광 효율을 비교 발광 소자 9보다 높일 수 있다.

[0456] <시간 분해 발광 측정>

[0457] 다음으로 발광 소자 6 및 비교 발광 소자 7에 대하여 시간 분해 발광 측정을 실시하였다. 결과를 도 27에 나타내었다. 측정 방법은 실시예 1에서 설명한 것과 비슷하다.

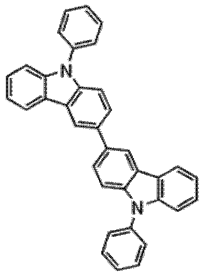
[0458] 도 27에 나타낸 바와 같이, 발광 소자 6으로부터의 발광의 감쇠 속도는 비교 발광 소자 7로부터의 발광의 감쇠 속도보다 빠르다. 이는 발광 소자 6에서 여기 에너지가 발광으로 신속히 변환된 것을 뜻하며, 따라서 발광층 중에서 엑시톤 밀도가 높더라도(다량의 전류가 흐르고 있더라도) 발광을 효율적으로 추출할 수 있다. 이러한 이유로, 도 23 및 도 25에 나타낸 바와 같이 발광 소자 6은 롤 오프가 작다. 또한 발광 소자 6은 비교 발광 소자 7보다 발광 효율이 높다. 발광 소자 6의 발광층(130)은 비교 발광 소자 7의 발광층에 형광성 화합물인 TBRb가 첨가된 구조를 가진다. 도 27에 나타낸 바와 같이, 형광성 화합물을 첨가함으로써 빛의 감쇠 속도가 빨라지므로 엑시톤의 비활성화가 억제된다. 그래서 발광 소자 6의 발광 효율은 비교 발광 소자 7보다 높다.

[0459] <발광 소자의 신뢰성>

[0460] 도 28은 발광 소자 6 그리고 비교 발광 소자 7 및 비교 발광 소자 8에 대하여 실시한, 2.0mA의 정전류로의 구동 시험 결과를 나타낸 것이다. 도 28에 나타낸 바와 같이, 발광 소자 6은 비교 발광 소자 7보다 신뢰성이 높다. 발광 소자 6과 비교 발광 소자 7에는 형광성 화합물이 포함되어 있는지 여부의 차이가 있다. 상술한 바와 같이, 발광 소자 6에서는 형광성 화합물로부터의 빛이 얻어졌고, 비교 발광 소자 7에서는 인광성 화합물로부터의 빛이 얻어졌다. 이는 본 발명의 일 형태의 발광 소자와 마찬가지로 형광성 화합물로부터 발광이 얻어지면 신뢰성이 향상되는 것을 나타낸다. 또한 발광 소자 6은 비교 발광 소자 8보다 신뢰성이 높다. 이는 TADF성을 가지는 호스트 재료를 사용함으로써 신뢰성이 높은 발광 소자를 얻을 수 있다는 것을 시사한다.

[0461] (실시예 3)

[0462] 본 실시예에서는 본 발명의 일 형태의 발광 소자 및 비교 발광 소자의 제작예에 대하여 설명한다. 본 실시예에서 제작된 발광 소자 각각의 구조는 도 1의 (A)에 도시된 것과 같다. 소자 구조의 자세한 사항을 표 5에 나타내었다. 여기서 사용한 화합물의 구조 및 약칭을 아래에 나타내었다. 또한 다른 화합물의 구조 및 약칭에 대해서는 상술한 실시예 및 실시형태를 참조하기 바란다.



PCCP

[0463]

[0464] [표 5]

	층	부호	두께 (nm)	재료	중량비
발광 소자 10	전극	102	200	Al	-
	전자 주입층	119	1	LiF	-
	전자 수송층	118(2)	10	NBphen	-
		118(1)	20	PCCzPTzn	-
	발광층	130	40	PCCzPTzn:GD270:TBRb	0.8:0.2:0.01
	정공 수송층	112	20	PCBBi1BP	-
	정공 주입층	111	45	DBT3P-II:MoO_3	1:0.5
	양극	101	70	ITSO	-
비교 발광 소자 11	전극	102	200	Al	-
	전자 주입층	119	1	LiF	-
	전자 수송층	118(2)	10	NBphen	-
		118(1)	20	PCCzPTzn	-
	발광층	130	40	PCCzPTzn:GD270	0.8:0.2
	정공 수송층	112	20	PCBBi1BP	-
	정공 주입층	111	45	DBT3P-II:MoO_3	1:0.5
	양극	101	70	ITSO	-
비교 발광 소자 12	전극	102	200	Al	-
	전자 주입층	119	1	LiF	-
	전자 수송층	118(2)	10	NBphen	-
		118(1)	20	PCCzPTzn	-
	발광층	130	30	PCCzPTzn:TBRb	1:0.01
	정공 수송층	112	20	PCCP	-
	정공 주입층	111	45	DBT3P-II:MoO_3	1:0.5
	양극	101	70	ITSO	-

[0465]

[0466] <발광 소자의 제작>

[0467] 아래에서 본 실시예의 발광 소자의 제작 방법에 대하여 설명한다.

[0468] <<발광 소자 10의 제작>>

[0469] 전극(101)으로서 유리 기판 위에 ITSO막을 두께 70nm가 되도록 형성하였다. 또한 전극(101)의 전극 면적은 $4mm^2$(2mm X 2mm)로 하였다.

[0470] 다음으로 정공 주입층(111)으로서 전극(101) 위에 DBT3P-II 및 산화 몰리브데넘(MoO_3)을, DBT3P-II 대 MoO_3의 중량비가 1:0.5, 두께가 45nm가 되도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다.

[0471] 이어서 정공 수송층(112)으로서 정공 주입층(111) 위에 PCBBi1BP를 두께 20nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.

[0472] 다음으로 발광층(130)으로서 정공 수송층(112) 위에 PCCzPTzn, GD270(Jilin Optical and Electronic Materials Co., Ltd. 제조), 및 TBRb를, PCCzPTzn 대 GD270 대 TBRb의 중량비가 0.8:0.2:0.01, 두께가 40nm가 되도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다. 발광층(130)에서는 GD270이 인광성 화합물이고, TBRb가 형광성 화합물이다.

[0473] 다음으로 전자 수송층(118)으로서 발광층(130) 위에 PCCzPTzn을 두께 20nm로, NBPhen을 두께 10nm로 증착에 의하여 순차적으로 퇴적시켰다. 그리고 전자 주입층(119)으로서 전자 수송층(118) 위에 LiF을 두께 1nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.

[0474] 다음으로 전극(102)으로서 전자 주입층(119) 위에 알루미늄(Al)을 두께 200nm가 되도록 퇴적시켰다.

[0475] 다음으로 질소 분위기를 포함한 글러브 박스 내에서 유기 재료를 퇴적시킨 유리 기판에 유기 EL용 실재를 사용하여 밀봉을 위한 유리 기판을 고정함으로써 발광 소자 10을 밀봉하였다. 구체적으로는 유리 기판 위의 유기 재료를 둘러싸도록 실재를 도포하고 상기 유리 기판과 밀봉을 위한 유리 기판을 접합한 후, 파장 365nm의 자외광을 $6J/cm^2$로 조사하고 80℃에서의 가열 처리를 1시간 동안 실시하였다. 상술한 단계를 거쳐 발광 소자 10을

제작하였다.

[0476] <<비교 발광 소자 11의 제작>>

[0477] 발광층(130)을 형성하는 단계를 제외하고는 상술한 발광 소자 10과 같은 단계를 거쳐 비교 발광 소자 11을 제작하였다.

[0478] 비교 발광 소자 11의 발광층(130)으로서 PCCzPTzn 및 GD270을, PCCzPTzn 대 GD270의 중량비가 0.8:0.2, 두께가 40nm가 되도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다. 발광 소자 10의 발광층(130)과는 달리, 비교 발광 소자 11의 발광층(130)에는 형광성 화합물인 TBRb가 포함되지 않았다.

[0479] <<비교 발광 소자 12의 제작>>

[0480] 정공 수송층(112) 및 발광층(130)을 형성하는 단계를 제외하고는 상술한 발광 소자 10과 같은 단계를 거쳐 비교 발광 소자 12를 제작하였다.

[0481] 비교 발광 소자 12의 정공 수송층(112)으로서 정공 주입층(111) 위에 PCCP를 두께 20nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.

[0482] 다음으로 발광층(130)으로서 PCCzPTzn 및 TBRb를, PCCzPTzn 대 TBRb의 중량비가 1:0.01, 두께가 30nm가 되도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다. 발광 소자 10의 발광층(130)과는 달리, 비교 발광 소자 12의 발광층(130)에는 인광성 화합물인 GD270이 포함되지 않았다.

[0483] <발광 소자의 특성>

[0484] 다음으로 제작한 발광 소자 10, 비교 발광 소자 11, 비교 발광 소자 12, 및 상술한 비교 발광 소자 8의 특성을 측정하였다. 또한 측정 방법은 실시예 1에서 사용한 것과 비슷하다.

[0485] 발광 소자 10 그리고 비교 발광 소자 8, 비교 발광 소자 11, 및 비교 발광 소자 12의 휘도-전류 효율 특성을 도 29에, 전압-전류 특성을 도 30에, 휘도-외부 양자 효율 특성을 도 31에 나타내었다. 발광 소자 10 그리고 비교 발광 소자 8, 비교 발광 소자 11, 및 비교 발광 소자 12에 $2.5mA/cm^2$의 전류 밀도에서 전류를 공급하였을 때의 전계 발광 스펙트럼을 도 32에 나타내었다. 또한 발광 소자의 측정은 실온에서(23℃로 유지된 분위기에서) 실시하였다.

[0486] 표 6은 $1000cd/m^2$ 부근에서의 발광 소자 10 그리고 비교 발광 소자 11 및 비교 발광 소자 12의 소자 특성을 나타낸 것이다.

[0487] [표 6]

	전압 (V)	전류 밀도 (mA/cm^2)	CIE 색도 (x, y)	휘도 (cd/m^2)	전류 효율 (cd/A)	전력 효율 (lm/W)	외부 양자 효율 (%)
발광 소자 10	2.40	0.73	(0.472, 0.523)	648	88.3	115.6	27.2
비교 발광 소자 11	2.50	1.43	(0.345, 0.631)	992	69.2	87.0	18.8
비교 발광 소자 12	2.70	3.37	(0.435, 0.536)	894	26.5	30.9	7.95

[0488]

[0489] 도 32에 나타낸 바와 같이, 발광 소자 10 그리고 비교 발광 소자 8 및 비교 발광 소자 12의 발광 스펙트럼은 각각 566nm, 562nm, 및 560nm에 피크 파장을 가지고, 반치전폭이 각각 74nm, 67nm, 및 69nm 정도이다. 이는 발광 소자 10 그리고 비교 발광 소자 8 및 비교 발광 소자 12가 황색 빛을 방출하는 것을 시사한다. 따라서 발광 소자 10 그리고 비교 발광 소자 8 및 비교 발광 소자 12로부터 방출되는 빛은 형광성 화합물인 TBRb에서 유래되는 것이었다. 또한 비교 발광 소자 11의 발광 스펙트럼은 533nm에 피크 파장을 가지고, 반치전폭이 78nm이다. 이는 비교 발광 소자 11이 녹색 빛을 방출하는 것을 시사한다. 따라서 비교 발광 소자 11로부터 방출되는 빛은 GD270에서 유래되는 것이었다. 그러므로 본 발명의 일 형태의 발광 소자 10은 비교 발광 소자 11에 비하여 발광 스펙트럼의 피크 파장의 반치전폭이 작아, 색 순도가 높은 빛을 방출할 수 있다. 따라서 본 발명의 일 형태

의 발광 소자는 표시 장치에 적합하다.

[0490] 비록 발광 소자 10은 형광 발광 소자이지만 도 29, 도 31, 및 표 6에 나타낸 바와 같이 외부 양자 효율은 6.25%보다 높다. 이는 본 발명의 일 형태의 발광 소자 10에 있어서, 단일항 엑시톤뿐만 아니라, 삼중항 엑시톤도 인광성 화합물인 GD270을 경유하여 형광에 기여시킬 수 있기 때문이다. 또한 후술하는 바와 같이, 발광 소자 10에 포함되는 PCCzPTzn은 TADF 재료이기 때문에, TADF 재료에 기인한 역 계간 교차에 의하여 삼중항 엑시톤을 형광에 기여시킬 수 있기 때문에, 발광 효율을 높일 수 있다.

[0491] 발광 소자 10의 발광 효율은 비교 발광 소자 8보다 높다. 상술한 바와 같이, 비교 발광 소자 8은 발광층(130)에 TADF 재료가 아니라 CBP를 포함하기 때문에, 비교 발광 소자 8은 TADF 재료에 기인한 역 계간 교차로 가능하게 되는, 삼중항 엑시톤을 단일항 엑시톤으로 변환하는 기능을 가지지 않는다. 한편 본 발명의 일 형태의 발광 소자 10은 발광층(130)에 TADF 재료를 포함하기 때문에, 발광 소자 10에서는 TADF 재료에 기인한 역 계간 교차에 의하여 삼중항 엑시톤을 단일항 엑시톤으로 변환할 수 있다. 그래서 발광 소자 10의 발광 효율을 비교 발광 소자 8보다 높일 수 있다.

[0492] 발광 소자 10의 발광 효율은 비교 발광 소자 12보다 높다. 상술한 바와 같이, 비교 발광 소자 12는 발광층(130)에 TADF 재료를 포함하지만 인광성 화합물은 포함하지 않기 때문에, 비교 발광 소자 12에서는 인광성 화합물을 경유하여 삼중항 엑시톤을 형광에 기여시킬 수 없다. 한편 본 발명의 일 형태의 발광 소자 10은 발광층(130)에 TADF 재료에 더하여 인광성 화합물을 포함한다. 그래서 발광 소자 10에서는 TADF 재료에 기인한 역 계간 교차에 의하여 효율이 높아지는 효과에 더하여, 인광성 화합물을 경유하여 삼중항 엑시톤을 형광에 기여시킬 수 있다. 따라서 발광 소자 10의 발광 효율을 비교 발광 소자 12보다 높일 수 있다.

[0493] <시간 분해 발광 측정>

[0494] 다음으로 발광 소자 10 및 비교 발광 소자 11에 대하여 시간 분해 발광 측정을 실시하였다. 결과를 도 33에 나타내었다. 측정 방법은 위의 실시예에서 설명한 것과 비슷하다.

[0495] 도 33에 나타낸 바와 같이, 발광 소자 10으로부터의 발광의 감쇠 속도는 비교 발광 소자 11로부터의 발광의 감쇠 속도보다 빠르다. 이는 발광 소자 10에서 여기 에너지가 발광으로 신속히 변환된 것을 뜻하며, 따라서 발광층 중에서 엑시톤 밀도가 높더라도(다량의 전류가 흐르고 있더라도) 발광을 효율적으로 추출할 수 있다. 이러한 이유로, 도 29 및 도 31에 나타낸 바와 같이 발광 소자 10은 롤 오프가 작다. 또한 발광 소자 10은 비교 발광 소자 11보다 발광 효율이 높다. 발광 소자 10의 발광층(130)은 비교 발광 소자 11의 발광층(130)에 형광성 화합물인 TBRb가 첨가된 구조를 가진다. 도 33에 나타낸 바와 같이, 형광성 화합물을 첨가함으로써 빛의 감쇠 속도가 빨라지므로 엑시톤의 비활성화가 억제된다. 그래서 발광 소자 10의 발광 효율을 비교 발광 소자 11보다 높일 수 있다.

[0496] <호스트 재료의 과도 형광 특성>

[0497] 여기서 발광 소자 10에 사용된 PCCzPTzn이 TADF 재료인지 여부를 확인하기 위하여 시간 분해 발광 측정에 의하여 PCCzPTzn의 과도 형광 특성을 조사하였다. 시간 분해 발광 측정은 실시예 1에서 설명한 것과 비슷한 식으로 실시하였다. 이 측정에는 석영 기판 위에 PCCzPTzn을 두께 50nm가 되도록 증착함으로써 형성한 박막 시료를 사용하였다.

[0498] 도 34는 측정에 의하여 얻어진 PCCzPTzn의 과도 형광 특성을 나타낸 것이다.

[0499] 도 34에 나타낸 감쇠 곡선을 수학식 4로 피팅하였다. 피팅 결과는 PCCzPTzn의 박막 시료로부터 방출된 빛이 형광 수명이 상이한 복수의 발광 성분을 포함하는 것을 나타낸다. PCCzPTzn의 박막 시료의 발광 성분에는 형광 수명이 15.0ns인 초기 형광 성분과, 수명이 1.5μs로 가장 긴 지연 형광 성분이 적어도 포함된다. 즉 PCCzPTzn은 실온에서 지연 형광을 나타내는 열 활성화 지연 형광 재료이다.

[0500] <S1 준위 및 T1 준위의 측정>

[0501] 다음으로 PCCzPTzn의 S1 준위 및 T1 준위를 산출하기 위하여 저온(10K)에서 그 발광 스펙트럼을 측정하였다. 측정 방법은 실시예 1에서 설명한 것과 비슷하다. 도 35는 측정 결과를 나타낸 것이다.

[0502] 도 35에 나타낸 바와 같이, PCCzPTzn의 발광 스펙트럼에서 형광 성분 및 인광 성분의 가장 단파장 측의 피크(숄더를 포함함) 파장은 각각 472nm 및 491nm이었다.

[0503] 따라서 상기 피크(숄더를 포함함) 파장에서 산출한 PCCzPTzn의 S1 준위 및 T1 준위는 각각 2.63eV 및 2.53eV이

기 때문에 S1 준위와 T1 준위의 에너지 차는 0.10eV이다.

[0504] 또한 도 35에 나타낸 바와 같이, PCCzPTzn의 발광 스펙트럼에서 형광 성분 및 인광 성분의 단파장 측의 상승 부분의 파장은 각각 450nm 및 477nm이다. 또한 발광 스펙트럼의 단파장 측의 상승 부분의 파장은 상기 스펙트럼의 접선의 기울기가 극댓값을 가지는 부분에서의 상기 접선과 가로축의 교점에서의 파장이다.

[0505] 따라서 상기 상승 부분의 파장에서 산출한 PCCzPTzn의 S1 준위 및 T1 준위는 각각 2.76eV 및 2.60eV이기 때문에 S1 준위와 T1 준위의 에너지 차는 0.16eV이다.

[0506] 상술한 바와 같이 발광 스펙트럼의 가장 단파장 측의 피크(숄더를 포함함) 파장 및 발광 스펙트럼의 단파장 측의 상승 부분의 파장의 양쪽에서 산출하였을 때, PCCzPTzn의 S1 준위와 T1 준위의 에너지 차는 0eV보다 크고 0.2eV 이하로 매우 작다. 그래서 PCCzPTzn은 역 계간 교차에 의하여 삼중항 여기 에너지를 단일항 여기 에너지로 변환하는 기능 및 열 활성화 지연 형광을 나타내는 기능을 가진다.

[0507] <발광 소자의 신뢰성>

[0508] 도 36은 발광 소자 10 그리고 비교 발광 소자 8, 비교 발광 소자 11, 및 비교 발광 소자 12에 대하여 실시한, 2.0mA의 정전류로의 구동 시험 결과를 나타낸 것이다. 도 36에 나타낸 바와 같이, 발광 소자 10은 비교 발광 소자 11보다 신뢰성이 높다. 상술한 바와 같이, 발광 소자 10에서는 형광성 화합물로부터의 빛이 얻어졌고, 비교 발광 소자 11에서는 인광성 화합물로부터의 빛이 얻어졌다. 이는 본 발명의 일 형태의 발광 소자와 마찬가지로 형광성 화합물로부터 발광이 얻어지면 신뢰성이 향상되는 것을 나타낸다. 또한 발광 소자 10은 비교 발광 소자 12보다 신뢰성이 높다. 상술한 바와 같이, 발광 소자 10에서는 TADF 재료 및 인광성 화합물을 경유하여 삼중항 여기 에너지를 형광성 화합물로 이동시킬 수 있다. 한편 비교 발광 소자 12에서는 TADF 재료만을 경유하여 삼중항 여기 에너지를 형광성 화합물로 이동시킬 수 있다. 이는 본 발명의 일 형태의 발광 소자와 마찬가지로 삼중항 여기 에너지를 형광성 화합물로 각각 이동시키는 복수의 경로를 가지는 발광 소자가 보다 신뢰성이 있는 것을 시사한다. 또한 발광 소자 10은 비교 발광 소자 8보다 신뢰성이 높다. TADF성을 가지는 호스트 재료를 사용함으로써 신뢰성이 높은 발광 소자를 얻을 수 있다.

[0509] 설명한 바와 같이, 본 발명의 일 형태는 발광 효율이 높고 신뢰성이 높은 발광 소자를 제공할 수 있다. 또한 본 발명의 일 형태는 구동 전압이 낮고 저소비전력의 발광 소자를 제공할 수 있다.

[0510] (실시예 4)

[0511] 본 실시예에서는 본 발명의 일 형태의 발광 소자 및 비교 발광 소자의 제작예에 대하여 설명한다. 본 실시예에서 제작된 발광 소자 각각의 구조는 도 1의 (A)에 도시된 것과 같다. 소자 구조의 자세한 사항을 표 7에 나타내었다. 여기서 사용되는 화합물의 구조 및 약칭에 대해서는 상술한 실시예 및 실시형태를 참조하기 바란다.

[0512] [표 7]

	층	부호	두께 (nm)	재료	중량비
발광 소자 13	전극	102	200	Al	-
	전자 주입층	119	1	LiF	-
	전자 수송층	118(2)	10	NBphen	-
		118(1)	20	mPCCzPTzn-02	-
	발광층	130	40	mPCCzPTzn-02:GD270:TBRb	0.8:0.2:0.01
	정공 수송층	112	20	mCzFLP	-
	정공 주입층	111	45	DBT3P-II:MoO_3	1:0.5
	양극	101	70	ITSO	-
비교 발광 소자 14	전극	102	200	Al	-
	전자 주입층	119	1	LiF	-
	전자 수송층	118(2)	10	NBphen	-
		118(1)	20	mPCCzPTzn-02	-
	발광층	130	40	mPCCzPTzn-02:GD270	0.8:0.2
	정공 수송층	112	20	mCzFLP	-
	정공 주입층	111	45	DBT3P-II:MoO_3	1:0.5
	양극	101	70	ITSO	-
비교 발광 소자 15	전극	102	200	Al	-
	전자 주입층	119	1	LiF	-
	전자 수송층	118(2)	10	NBphen	-
		118(1)	20	mPCCzPTzn-02	-
	발광층	130	30	mPCCzPTzn-02:TBRb	1:0.01
	정공 수송층	112	20	PCCP	-
	정공 주입층	111	45	DBT3P-II:MoO_3	1:0.5
	양극	101	70	ITSO	-

[0513]

[0514] <발광 소자의 제작>

[0515] 아래에서 본 실시예의 발광 소자의 제작 방법에 대하여 설명한다.

[0516] <<발광 소자 13의 제작>>

[0517] 전극(101)으로서 유리 기판 위에 ITSO막을 두께 70nm가 되도록 형성하였다. 또한 전극(101)의 전극 면적은 $4mm^2$(2mm X 2mm)로 하였다.

[0518] 다음으로 정공 주입층(111)으로서 전극(101) 위에 DBT3P-II 및 산화 몰리브데넘(MoO_3)을, DBT3P-II 대 MoO_3의 중량비가 1:0.5, 두께가 45nm가 되도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다.

[0519] 이어서 정공 수송층(112)으로서 정공 주입층(111) 위에 mCzFLP를 두께 20nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.

[0520] 다음으로 발광층(130)으로서 정공 수송층(112) 위에 mPCCzPTzn-02, GD270(Jilin Optical and Electronic Materials Co., Ltd. 제조), 및 TBRb를, mPCCzPTzn-02 대 GD270 대 TBRb의 중량비가 0.8:0.2:0.01, 두께가 40nm가 되도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다. 발광층(130)에서는 GD270이 인광성 화합물이고, TBRb가 형광성 화합물이다.

[0521] 다음으로 전자 수송층(118)으로서 발광층(130) 위에 mPCCzPTzn-02를 두께 20nm로, NBPhen을 두께 10nm로 증착에 의하여 순차적으로 퇴적시켰다. 그리고 전자 주입층(119)으로서 전자 수송층(118) 위에 LiF을 두께 1nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.

[0522] 다음으로 전극(102)으로서 전자 주입층(119) 위에 알루미늄(Al)을 두께 200nm가 되도록 퇴적시켰다.

[0523] 다음으로 질소 분위기를 포함한 글러브 박스 내에서 유기 재료를 퇴적시킨 유리 기판에 유기 EL용 실재를 사용하여 밀봉을 위한 유리 기판을 고정함으로써 발광 소자 13을 밀봉하였다. 구체적으로는 유리 기판 위의 유기 재료를 둘러싸도록 실재를 도포하고 상기 유리 기판과 밀봉을 위한 유리 기판을 접합한 후, 파장 365nm의 자외광을 $6J/cm^2$로 조사하고 80℃에서의 가열 처리를 1시간 동안 실시하였다. 상술한 단계를 거쳐 발광 소자 13을

제작하였다.

[0524] <<비교 발광 소자 14의 제작>>

[0525] 발광층(130)을 형성하는 단계를 제외하고는 상술한 발광 소자 13과 같은 단계를 거쳐 비교 발광 소자 14를 제작하였다.

[0526] 비교 발광 소자 14의 발광층(130)으로서 mPCCzPTzn-02 및 GD270을, mPCCzPTzn-02 대 GD270의 중량비가 0.8:0.2, 두께가 40nm가 되도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다. 발광 소자 13의 발광층(130)과는 달리, 비교 발광 소자 14의 발광층(130)에는 형광성 화합물인 TBRb가 포함되지 않았다.

[0527] <<비교 발광 소자 15의 제작>>

[0528] 정공 수송층(112) 및 발광층(130)을 형성하는 단계를 제외하고는 상술한 발광 소자 13과 같은 단계를 거쳐 비교 발광 소자 15를 제작하였다.

[0529] 비교 발광 소자 15의 정공 수송층(112)으로서 정공 주입층(111) 위에 PCCP를 두께 20nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.

[0530] 다음으로 발광층(130)으로서 mPCCzPTzn-02 및 TBRb를, mPCCzPTzn-02 대 TBRb의 중량비가 1:0.01, 두께가 30nm가 되도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다. 발광 소자 13의 발광층(130)과는 달리, 비교 발광 소자 15의 발광층(130)에는 인광성 화합물인 GD270이 포함되지 않았다.

[0531] <발광 소자의 특성>

[0532] 다음으로 제작한 발광 소자 13, 비교 발광 소자 14, 비교 발광 소자 15, 및 상술한 비교 발광 소자 8의 특성을 측정하였다. 또한 측정 방법은 실시예 1에서 사용한 것과 비슷하다.

[0533] 발광 소자 13 그리고 비교 발광 소자 8, 비교 발광 소자 14, 및 비교 발광 소자 15의 휘도-전류 효율 특성을 도 37에, 전압-전류 특성을 도 38에, 휘도-외부 양자 효율 특성을 도 39에 나타내었다. 발광 소자 13 그리고 비교 발광 소자 8, 비교 발광 소자 14, 및 비교 발광 소자 15에 2.5mA/cm^2의 전류 밀도에서 전류를 공급하였을 때의 전계 발광 스펙트럼을 도 40에 나타내었다. 또한 발광 소자의 측정은 실온에서(23℃로 유지된 분위기에서) 실시하였다

[0534] 표 8은 1000cd/m^2 부근에서의 발광 소자 13 그리고 비교 발광 소자 14 및 비교 발광 소자 15의 소자 특성을 나타낸 것이다.

[0535] [표 8]

[0536]

	전압 (V)	전류 밀도 (mA/cm^2)	CIE 색도 (x, y)	휘도 (cd/m^2)	전류 효율 (cd/A)	전력 효율 (lm/W)	외부 양자 효율 (%)
발광 소자 13	3.20	1.10	(0.462, 0.532)	977	88.9	87.3	27.1
비교 발광 소자 14	3.30	1.18	(0.339, 0.634)	983	83.6	79.6	22.6
비교 발광 소자 15	2.90	5.91	(0.451, 0.534)	871	14.7	16.0	4.44

[0537] 도 40에 나타낸 바와 같이, 발광 소자 13 그리고 비교 발광 소자 8 및 비교 발광 소자 15의 발광 스펙트럼은 각각 564nm, 562nm, 및 562nm에 피크 파장을 가지고, 반치전폭이 각각 72nm, 67nm, 및 69nm 정도이다. 이는 발광 소자 13 그리고 비교 발광 소자 8 및 비교 발광 소자 15가 황색 빛을 방출하는 것을 시사한다. 따라서 발광 소자 13 그리고 비교 발광 소자 8 및 비교 발광 소자 15로부터 방출되는 빛은 형광성 화합물인 TBRb에서 유래되는 것이었다. 또한 비교 발광 소자 14의 발광 스펙트럼은 527nm에 피크 파장을 가지고, 반치전폭이 73nm이다. 이는 비교 발광 소자 14가 녹색 빛을 방출하는 것을 시사한다. 따라서 비교 발광 소자 14로부터 방출되는 빛은 GD270에서 유래되는 것이었다. 그러므로 본 발명의 일 형태의 발광 소자 13은 비교 발광 소자 14에 비하여 발광 스펙트럼의 피크 파장의 반치전폭이 작아, 색 순도가 높은 빛을 방출할 수 있다. 따라서 본 발명의 일 형태의 발광 소자는 표시 장치에 적합하다.

[0538] 비록 발광 소자 13은 형광 발광 소자이지만 도 37, 도 39, 및 표 8에 나타낸 바와 같이 외부 양자 효율은 6.25%보다 높다. 이는 본 발명의 일 형태의 발광 소자 13에 있어서, 단일항 엑시톤뿐만 아니라, 삼중항 엑시톤도 인광성 화합물인 GD270을 경유하여 형광에 기여시킬 수 있기 때문이다. 또한 후술하는 바와 같이, 발광 소자 13에 포함되는 mPCCzPTzn-02는 TADF 재료이기 때문에, TADF 재료에 기인한 역 계간 교차에 의하여 삼중항 엑시톤을 형광에 기여시킬 수 있기 때문에, 발광 효율을 높일 수 있다.

[0539] 발광 소자 13의 발광 효율은 비교 발광 소자 8보다 높다. 상술한 바와 같이, 비교 발광 소자 8은 발광층(130)에 TADF 재료가 아니라 CBP를 포함하기 때문에, 비교 발광 소자 8은 TADF 재료에 기인한 역 계간 교차로 가능하게 되는, 삼중항 엑시톤을 단일항 엑시톤으로 변환하는 기능을 가지지 않는다. 한편 본 발명의 일 형태의 발광 소자 13은 발광층(130)에 TADF 재료를 포함하기 때문에, 발광 소자 13에서는 TADF 재료에 기인한 역 계간 교차에 의하여 삼중항 엑시톤을 단일항 엑시톤으로 변환할 수 있다. 그래서 발광 소자 13의 발광 효율을 비교 발광 소자 8보다 높일 수 있다.

[0540] 발광 소자 13의 발광 효율은 비교 발광 소자 15보다 높다. 상술한 바와 같이, 비교 발광 소자 15는 발광층(130)에 TADF 재료를 포함하지만 인광성 화합물은 포함하지 않기 때문에, 비교 발광 소자 15에서는 인광성 화합물을 경유하여 삼중항 엑시톤을 형광에 기여시킬 수 없다. 한편 본 발명의 일 형태의 발광 소자 13은 TADF 재료에 더하여 인광성 화합물을 포함한다. 그래서 인광성 화합물을 경유하여 삼중항 엑시톤을 형광에 기여시킬 수 있다. 따라서 발광 소자 13의 발광 효율을 비교 발광 소자 15보다 높일 수 있다.

[0541] <시간 분해 발광 측정>

[0542] 다음으로 mPCCzPTzn-02가 TADF 재료인지 여부를 확인하기 위하여 시간 분해 발광 측정을 실시하였다. 결과를 도 41에 나타내었다. 측정 방법은 위의 실시예에서 설명한 것과 비슷하다. 이 측정에는 표 9에 나타낸 소자 구조를 가지는 발광 소자 16을 사용하였다.

[0543] [표 9]

	층	부호	두께 (nm)	재료	중량비
발광 소자 16	전극	102	200	Al	-
	전자 주입층	119	1	LiF	-
	전자 수송층	118(2)	10	NBphen	-
		118(1)	20	mPCCzPTzn-02	-
	발광층	130	30	mPCCzPTzn-02	-
	정공 수송층	112	20	PCCP	-
	정공 주입층	111	30	DBT3P-II:MoO_3	1:0.5
	양극	101	70	ITSO	-

[0544]

[0545] 도 41에 나타낸 바와 같이, 발광 소자 16에서는 형광 수명이 상이한 복수의 발광 성분이 관측되었다. 구체적으로는 발광 수명이 짧은 초기 형광 성분과, 발광 수명이 긴 지연 형광 성분이 관측되었다. 그래서 mPCCzPTzn-02는 TADF 재료이다. 한편 도 41에 나타낸 바와 같이, 모든 발광 성분(초기 형광 성분 및 지연 형광 성분) 중의 지연 형광 성분의 비율은 10% 정도이다. 이는 삼중항 엑시톤이 단일항 엑시톤으로 변환된 후, 발광으로 변환되는 단일항 엑시톤의 비율이 4% 정도로 산출된다는 것을 시사한다. 그러므로 mPCCzPTzn-02는 TADF성을 가지지만 그 발광 효율은 높지 않다. 하지만 상술한 바와 같이, 발광 소자 13은 27%를 넘는 매우 높은 외부 양자 효율을 가진다. 따라서 본 발명의 일 형태의 발광 소자에 사용하는 TADF 재료는 TADF성을 가지기만 하면 발광 효율은 낮아도 좋다.

[0546] <S1 준위 및 T1 준위의 측정>

[0547] 다음으로 mPCCzPTzn-02의 S1 준위 및 T1 준위를 산출하기 위하여 저온(10K)에서 그 발광 스펙트럼을 측정하였다. 측정 방법은 실시예 1에서 설명한 것과 비슷하다. 도 42는 측정 결과를 나타낸 것이다.

[0548] 도 42에 나타낸 바와 같이, mPCCzPTzn-02의 발광 스펙트럼에서 형광 성분 및 인광 성분의 가장 단파장 측의 피크(숄더를 포함함) 파장은 각각 471nm 및 496nm이었다.

[0549] 따라서 상기 피크(숄더를 포함함) 파장에서 산출한 mPCCzPTzn-02의 S1 준위 및 T1 준위는 각각 2.63eV 및

2.50eV이기 때문에 S1 준위와 T1 준위의 에너지 차는 0.13eV이다.

[0550] 상술한 바와 같이 발광 스펙트럼의 가장 단파장 측의 피크(숄더를 포함함) 파장에서 산출한, mPCCzPTzn-02의 S1 준위와 T1 준위의 에너지 차는 0eV보다 크고 0.2eV 이하로 매우 작다. 그래서 mPCCzPTzn-02는 역 계간 교차에 의하여 삼중항 여기 에너지를 단일항 여기 에너지로 변환하는 기능 및 열 활성화 지연 형광을 나타내는 기능을 가진다.

[0551] <발광 소자의 신뢰성>

[0552] 도 43은 발광 소자 13 그리고 비교 발광 소자 8, 비교 발광 소자 14, 및 비교 발광 소자 15에 대하여 실시한, 2.0mA의 정전류로의 구동 시험 결과를 나타낸 것이다. 도 43에 나타낸 바와 같이, 발광 소자 13은 비교 발광 소자 14보다 신뢰성이 높다. 상술한 바와 같이, 발광 소자 13에서는 형광성 화합물로부터의 빛이 얻어졌고, 비교 발광 소자 14에서는 인광성 화합물로부터의 빛이 얻어졌다. 이는 본 발명의 일 형태의 발광 소자와 마찬가지로 형광성 화합물로부터 발광이 얻어지면 신뢰성이 향상되는 것을 나타낸다. 또한 발광 소자 13은 비교 발광 소자 15보다 신뢰성이 높다. 상술한 바와 같이, 발광 소자 13에서는 TADF 재료 및 인광성 화합물을 경유하여 삼중항 여기 에너지를 형광성 화합물로 이동시킬 수 있다. 한편 비교 발광 소자 15에서는 TADF 재료만을 경유하여 삼중항 여기 에너지를 형광성 화합물로 이동시킬 수 있다. 이는 본 발명의 일 형태의 발광 소자와 마찬가지로 삼중항 여기 에너지를 형광성 화합물로 각각 이동시키는 복수의 경로를 가지는 발광 소자가 보다 신뢰성이 있는 것을 시사한다. 또한 발광 소자 13은 비교 발광 소자 8보다 신뢰성이 높다. TADF성을 가지는 호스트 재료를 사용함으로써 신뢰성이 높은 발광 소자를 얻을 수 있다.

[0553] 설명한 바와 같이, 본 발명의 일 형태는 발광 효율이 높고 신뢰성이 높은 발광 소자를 제공할 수 있다. 또한 본 발명의 일 형태는 구동 전압이 낮고 저소비전력의 발광 소자를 제공할 수 있다.

[0554] (실시예 5)

[0555] 본 실시예에서는 본 발명의 일 형태의 발광 소자 및 비교 발광 소자의 제작예에 대하여 설명한다. 본 실시예에서 제작된 발광 소자 각각의 구조는 도 1의 (A)에 도시된 것과 같다. 소자 구조의 자세한 사항을 표 10에 나타내었다. 여기서 사용되는 화합물의 구조 및 약칭에 대해서는 상술한 실시예 및 실시형태를 참조하기 바란다.

[0556] [표 10]

	층	부호	두께 (nm)	재료	중량비
발광 소자 17	전극	102	200	Al	-
	전자 주입층	119	1	LiF	-
	전자 수송층	118(2)	10	NBphen	-
		118(1)	20	mPCCzPTzn-02	-
	발광층	130	40	mPCCzPTzn-02:PCCP:GD270:TBRb	0.5:0.5:0.1:0.01
	정공 수송층	112	20	mCzFLP	-
	정공 주입층	111	45	DBT3P-II:MoO_3	1:0.5
	양극	101	70	ITSO	-
비교 발광 소자 18	전극	102	200	Al	-
	전자 주입층	119	1	LiF	-
	전자 수송층	118(2)	10	NBphen	-
		118(1)	20	mPCCzPTzn-02	-
	발광층	130	40	mPCCzPTzn-02:PCCP:GD270	0.5:0.5:0.1
	정공 수송층	112	20	mCzFLP	-
	정공 주입층	111	45	DBT3P-II:MoO_3	1:0.5
	양극	101	70	ITSO	-

[0557]

[0558] <발광 소자의 제작>

[0559] 아래에서 본 실시예의 발광 소자의 제작 방법에 대하여 설명한다.

[0560] <<발광 소자 17의 제작>>

[0561] 전극(101)으로서 유리 기판 위에 ITSO막을 두께 70nm가 되도록 형성하였다. 또한 전극(101)의 전극 면적은 $4mm^2$(2mm X 2mm)로 하였다.

[0562] 다음으로 정공 주입층(111)으로서 전극(101) 위에 DBT3P-II 및 산화 몰리브데넘(MoO_3)을, DBT3P-II 대 MoO_3의 중량비가 1:0.5, 두께가 45nm가 되도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다.

[0563] 이어서 정공 수송층(112)으로서 정공 주입층(111) 위에 mCzFLP를 두께 20nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.

[0564] 다음으로 발광층(130)으로서 정공 수송층(112) 위에 mPCCzPTzn-02, PCCP, GD270, 및 TBRb를, mPCCzPTzn-02 대 PCCP 대 GD270 대 TBRb의 중량비가 0.5:0.5:0.1:0.01, 두께가 40nm가 되도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다. 발광층(130)에서는 TBRb가 형광성 화합물이다.

[0565] 다음으로 전자 수송층(118)으로서 발광층(130) 위에 mPCCzPTzn-02를 두께 20nm로, NBPhen을 두께 10nm로 증착에 의하여 순차적으로 퇴적시켰다. 그리고 전자 주입층(119)으로서 전자 수송층(118) 위에 LiF을 두께 1nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.

[0566] 다음으로 전극(102)으로서 전자 주입층(119) 위에 알루미늄(Al)을 두께 200nm가 되도록 퇴적시켰다.

[0567] 다음으로 질소 분위기를 포함한 글러브 박스 내에서 유기 재료를 퇴적시킨 유리 기판에 유기 EL용 실재를 사용하여 밀봉을 위한 유리 기판을 고정함으로써 발광 소자 17을 밀봉하였다. 구체적으로는 유리 기판 위의 유기 재료를 둘러싸도록 실재를 도포하고 상기 유리 기판과 밀봉을 위한 유리 기판을 접합한 후, 파장 365nm의 자외광을 $6J/cm^2$로 조사하고 80℃에서의 가열 처리를 1시간 동안 실시하였다. 상술한 단계를 거쳐 발광 소자 17을 제작하였다.

[0568] <<비교 발광 소자 18의 제작>>

[0569] 발광층(130)을 형성하는 단계를 제외하고는 상술한 발광 소자 17과 같은 단계를 거쳐 비교 발광 소자 18을 제작하였다.

[0570] 비교 발광 소자 18의 발광층(130)으로서 mPCCzPTzn-02, PCCP, 및 GD270을, mPCCzPTzn-02 대 PCCP 대 GD270의 중량비가 0.5:0.5:0.1, 두께가 40nm가 되도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다. 발광 소자 17의 발광층(130)과는 달리, 비교 발광 소자 18의 발광층(130)에는 형광성 화합물인 TBRb가 포함되지 않았다.

[0571] <발광 소자의 특성>

[0572] 다음으로 제작한 발광 소자 17, 비교 발광 소자 18, 및 상술한 발광 소자 13의 특성을 측정하였다. 또한 측정 방법은 실시예 1에서 사용한 것과 비슷하다.

[0573] 발광 소자 13 및 발광 소자 17 그리고 비교 발광 소자 18의 휘도-전류 효율 특성을 도 44에, 전압-전류 특성을 도 45에, 휘도-외부 양자 효율 특성을 도 46에 나타내었다. 발광 소자 13 및 발광 소자 17 그리고 비교 발광 소자 18에 $2.5mA/cm^2$의 전류 밀도에서 전류를 공급하였을 때의 전계 발광 스펙트럼을 도 47에 나타내었다. 또한 발광 소자의 측정은 실온에서(23℃로 유지된 분위기에서) 실시하였다.

[0574] 표 11은 $1000cd/m^2$ 부근에서의 발광 소자 17 및 비교 발광 소자 18의 소자 특성을 나타낸 것이다.

[0575] [표 11]

[0576]

	전압 (V)	전류 밀도 (mA/cm^2)	CIE 색도 (x, y)	휘도 (cd/m^2)	전류 효율 (cd/A)	전력 효율 (lm/W)	외부 양자 효율 (%)
발광 소자 17	3.60	1.12	(0.434, 0.557)	1123	100.5	87.7	29.2
비교 발광 소자 18	3.60	1.05	(0.318, 0.649)	949	90.8	79.3	24.5

[0577] 도 47에 나타낸 바와 같이, 발광 소자 13 및 발광 소자 17의 전계 발광 스펙트럼은 각각 564nm 및 559nm에 피크 파장을 가지고, 반치전폭이 각각 72nm 및 71nm 정도이다. 이는 발광 소자 13 및 발광 소자 17이 황색 빛을 방

출하는 것을 시사한다. 따라서 발광 소자 13 및 발광 소자 17로부터 방출되는 빛은 형광성 화합물인 TBRb에서 유래되는 것이었다. 또한 비교 발광 소자 18의 전계 발광 스펙트럼은 524nm에 피크 파장을 가지고, 반치전폭이 72nm이다. 이는 비교 발광 소자 18이 녹색 빛을 방출하는 것을 시사한다. 따라서 비교 발광 소자 18로부터 방출되는 빛은 인광성 화합물인 GD270에서 유래되는 것이었다.

[0578] 도 44, 도 46, 및 표 11에 나타낸 바와 같이, 발광 소자 13 및 발광 소자 17 그리고 비교 발광 소자 18은 발광 효율(전류 효율, 전력 효율, 및 외부 양자 효율)이 매우 높다. 비록 발광 소자 17은 형광 발광 소자이지만 외부 양자 효율은 6.25%보다 훨씬 높다. 이는 캐리어(정공 및 전자)의 재결합에 의하여 생성된 단일항 엑시톤에서 유래되는 발광에 더하여 삼중항 엑시톤에서 유래되는 발광이 얻어졌기 때문이며, 인광성 화합물인 GD270을 경유하여 형광성 화합물인 TBRb로 여기 에너지가 이동한 것을 시사한다. 또한 상술한 바와 같이, 발광 소자 17에 포함되는 mPCCzPTzn-02는 TADF 재료이기 때문에, TADF 재료에 기인한 역 계간 교차에 의하여 삼중항 엑시톤을 형광에 기여시킬 수 있기 때문에, 발광 효율을 높일 수 있다.

[0579] <CV 측정 결과>

[0580] 다음으로 상술한 화합물의 전기 화학적 특성(산화 반응 특성 및 환원 반응 특성)을 사이클릭 볼타메트리(CV) 측정에 의하여 측정하여 HOMO 준위 및 LUMO 준위를 산출하였다. 측정은 실시예 1에서 설명한 것과 비슷한 식으로 실시하였다.

[0581] CV 측정 결과에서, mPCCzPTzn-02의 HOMO 준위 및 LUMO 준위는 각각 -5.69eV 및 -3.00eV로 산출된다. 또한 PCCP의 HOMO 준위 및 LUMO 준위는 각각 -5.63eV 및 -1.96eV로 산출된다.

[0582] 따라서 mPCCzPTzn-02는 PCCP보다 높은 HOMO 준위 및 낮은 LUMO 준위를 가지기 때문에 mPCCzPTzn-02와 PCCP는 발광층에서 들뜬 복합체를 형성하는 조합이다.

[0583] mPCCzPTzn-02와 PCCP로 형성된 들뜬 복합체의 발광 스펙트럼의 피크 파장에서 산출된 S1 준위 및 T1 준위는 각각 2.45eV이다. 또한 GD270의 T1 준위는 2.44eV(클로로폼 용액의 흡수단에서 산출함)이기 때문에, 들뜬 복합체의 여기 에너지는 GD270으로 이동할 수 있다.

[0584] <들뜬 복합체 형성의 조사>

[0585] mPCCzPTzn-02와 PCCP가 들뜬 복합체를 형성하는지 여부를 조사하기 위하여 표 12에 나타낸 발광 소자 19 및 상술한 발광 소자 16을 제작하였다. 또한 들뜬 복합체가 형성되는지 여부를 조사하기 위하여 mPCCzPTzn-02의 발광 스펙트럼과, mPCCzPTzn-02와 PCCP의 혼합막의 발광 스펙트럼을 서로 비교하였다.

[0586] [표 12]

	층	부호	두께 (nm)	재료	중량비
발광 소자 19	전극	102	200	Al	-
	전자 주입층	119	1	LiF	-
	전자 수송층	118(2)	10	NBphen	-
		118(1)	20	mPCCzPTzn-02	-
	발광층	130	30	mPCCzPTzn-02:PCCP	0.8:0.2
	정공 수송층	112	20	PCCP	-
	정공 주입층	111	30	DBT3P-II:MoO_3	1:0.5
	양극	101	70	ITSO	-

[0587]

[0588] <<EL 스펙트럼>>

[0589] 도 48은 발광 소자 16 및 발광 소자 19에 2.5mA/cm^2의 전류 밀도에서 전류를 공급하였을 때 얻어지는 EL 스펙트럼을 나타낸 것이다. 도 48에 나타낸 바와 같이 발광 소자 16에서는 mPCCzPTzn-02로부터의 빛이 얻어진다. 또한 발광 소자 19로부터의 빛은 발광 소자 16으로부터의 빛보다 장파장 측에 피크를 가진다. 또한 발광 소자 19의 발광 스펙트럼의 피크 파장에서 산출되는 발광 에너지(2.45eV)는 mPCCzPTzn-02의 LUMO 준위와 PCCP의 HOMO 준위의 차(2.63eV)와 실질적으로 일치한다. 그러므로 mPCCzPTzn-02와 PCCP는 들뜬 복합체를 형성한다.

[0590] <<시간 분해 발광 측정>>

[0591] 발광 소자 16 및 발광 소자 19에 대하여 시간 분해 발광 측정을 실시하였다. 결과를 도 49에 나타내었다. 도 49에 나타낸 바와 같이, 발광 소자 19 중의 지연 형광 성분의 비율은 발광 소자 16 중의 지연 형광 성분의 비율

보다 높다. 또한 발광 소자 19는 발광 소자 16 중의 발광 성분보다 수명이 긴 발광 성분을 포함한다. 즉 발광 소자 16과 발광 소자 19의 과도 응답 특성은 다르다. 그러므로 mPCCzPTzn-02와 PCCP는 들뜬 복합체를 형성한다.

[0592] <들뜬 복합체의 발광 스펙트럼과 게스트 재료의 흡수 스펙트럼의 관계>

[0593] 도 50은 TBRb의 톨루엔 용액의 흡수 스펙트럼의 측정 결과, 및 비교 발광 소자 18의 발광 스펙트럼을 나타낸 것이다. 측정은 위의 실시예에서 설명한 것과 비슷한 식으로 실시하였다.

[0594] 도 50에 나타낸 바와 같이, TBRb의 흡수 스펙트럼과, 비교 발광 소자 18의 발광 스펙트럼이 서로 부분적으로 중첩된다. 그러므로 mPCCzPTzn-02와 PCCP로 형성되는 들뜬 복합체로부터 GD270을 경유하여 형광성 화합물인 TBRb에 여기 에너지를 효율적으로 공여할 수 있다. 인광성 화합물인 GD270을 경유하여 TBRb로 에너지가 이동됨으로써 삼중항 여기 에너지를 형광에 기여시킬 수 있다. 들뜬 복합체를 형성하지 않은 mPCCzPTzn-02가 여기된 경우, mPCCzPTzn-02는 TADF성을 가지기 때문에 역 계간 교차에 의하여 삼중항 엑시톤으로부터 단일항 엑시톤이 생성된다. 발광층(130)에서 상기 TADF 재료에 의하여 단일항 엑시톤이 생성되고 인광성 화합물인 GD270을 경유하여 형광성 화합물인 TBRb로 삼중항 여기 에너지가 이동되기 때문에, 발광 소자 17은 매우 높은 발광 효율을 가질 수 있다.

[0595] <발광 소자의 신뢰성>

[0596] 발광 소자 13 및 발광 소자 17 그리고 비교 발광 소자 18에 대하여 2.0mA의 정전류로의 구동 시험을 실시하였다. 표 13은 이 구동 시험에서의 LT_{60}(휘도가 40% 감소하는 시간)을 나타낸 것이다.

[0597] [표 13]

[0598]

	LT_{60}(h)
발광 소자 17	690
비교 발광 소자 18	430
발광 소자 13	580

[0599] 표 13에 나타낸 바와 같이, 발광 소자 13 및 발광 소자 17 그리고 비교 발광 소자 18은 높은 신뢰성을 가진다. 또한 발광 소자 17은 비교 발광 소자 18보다 신뢰성이 높다. 또한 발광 소자 17은 발광 소자 13보다 LT_{60}이 길다. 따라서 호스트 재료로서 TADF 재료를 사용하고, 들뜬 복합체를 이용함으로써 신뢰성이 높은 발광 소자를 얻을 수 있다.

부호의 설명

[0600] 100: EL층, 101: 전극, 102: 전극, 106: 발광 유닛, 108: 발광 유닛, 111: 정공 주입층, 112: 정공 수송층, 113: 전자 수송층, 114: 전자 주입층, 115: 전하 발생층, 116: 정공 주입층, 117: 정공 수송층, 118: 전자 수송층, 119: 전자 주입층, 120: 발광층, 130: 발광층, 131: 화합물, 132: 화합물, 133: 화합물, 134: 화합물, 150: 발광 소자, 170: 발광층, 250: 발광 소자, 601: 소스 측 구동 회로, 602: 화소부, 603: 게이트 측 구동 회로, 604: 밀봉 기판, 605: 실재, 607: 공간, 608: 배선, 609: FPC, 610: 소자 기판, 611: 스위칭 TFT, 612: 전류 제어 TFT, 613: 전극, 614: 절연물, 616: EL층, 617: 전극, 618: 발광 소자, 623: n채널 TFT, 624: p채널 TFT, 625: 건조제, 900: 휴대 정보 단말기, 901: 하우징, 902: 하우징, 903: 표시부, 905: 힌지부, 910: 휴대 정보 단말기, 911: 하우징, 912: 표시부, 913: 조작 버튼, 914: 외부 접속 포트, 915: 스피커, 916: 마이크로폰, 917: 카메라, 920: 카메라, 921: 하우징, 922: 표시부, 923: 조작 버튼, 924: 셔터 버튼, 926: 렌즈, 1001: 기판, 1002: 하지 절연막, 1003: 게이트 절연막, 1006: 게이트 전극, 1007: 게이트 전극, 1008: 게이트 전극, 1020: 층간 절연막, 1021: 층간 절연막, 1022: 전극, 1024B: 전극, 1024G: 전극, 1024R: 전극, 1024W: 전극, 1025B: 하부 전극, 1025G: 하부 전극, 1025R: 하부 전극, 1025W: 하부 전극, 1026: 격벽, 1028: EL층, 1029: 전극, 1031: 밀봉 기판, 1032: 실재, 1033: 기재, 1034B: 착색층, 1034G: 착색층, 1034R: 착색층, 1035: 흑색층, 1036: 오버코트층, 1037: 층간 절연막, 1040: 화소부, 1041: 구동 회로부, 1042: 주변부, 1044B: 청색

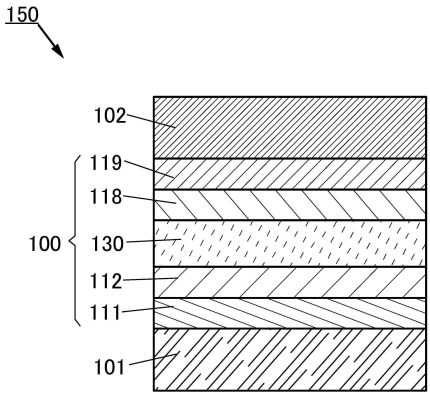
화소, 1044G: 녹색 화소, 1044R: 적색 화소, 1044W: 백색 화소, 2100: 로봇, 2101: 조도 센서, 2102: 마이크로폰, 2103: 상부 카메라, 2104: 스피커, 2105: 디스플레이, 2106: 하부 카메라, 2107: 장애물 센서, 2108: 이동 기구, 2110: 연산 장치, 5000: 하우징, 5001: 표시부, 5002: 표시부, 5003: 스피커, 5004: LED 램프, 5005: 조작 키, 5006: 접속 단자, 5007: 센서, 5008: 마이크로폰, 5012: 지지체, 5013: 이어폰, 5100: 청소 로봇, 5101: 디스플레이, 5102: 카메라, 5103: 브러시, 5104: 조작 버튼, 5120: 먼지, 5140: 휴대 전자 기기, 5150: 휴대 정보 단말기, 5151: 하우징, 5152: 표시 영역, 5153: 굴곡부, 8501: 조명 장치, 8502: 조명 장치, 8503: 조명 장치, 및 8504: 조명 장치.

본 출원은 2017년 11월 2일에 일본 특허청에 출원된 일련 번호 2017-213080의 일본 특허 출원에 기초하고, 본 명세서에 그 전문이 참조로 통합된다.

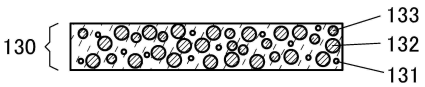
도면

도면1

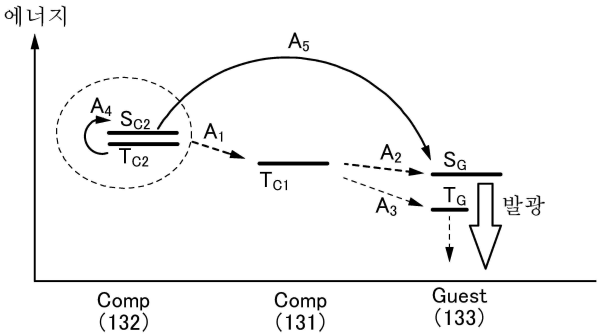
(A)



(B)

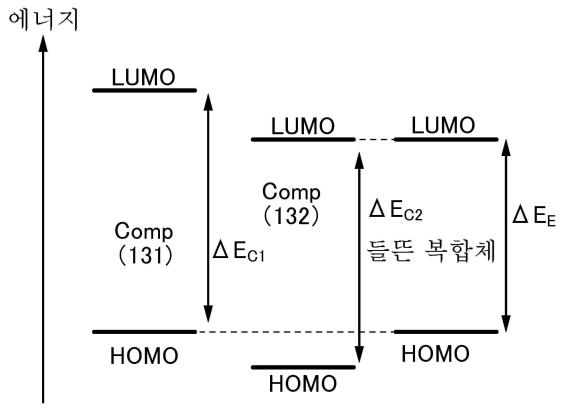


(C)

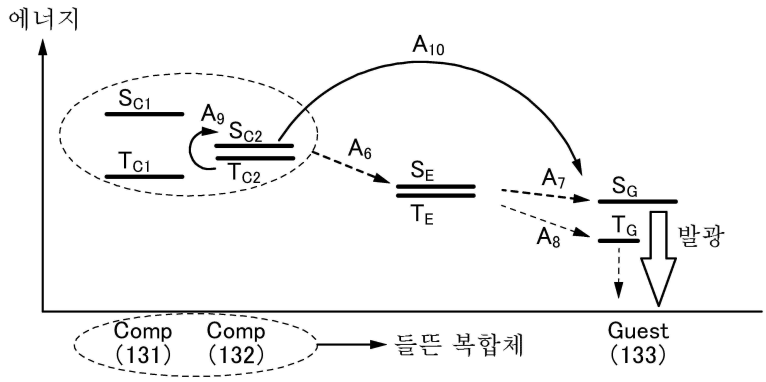


도면2

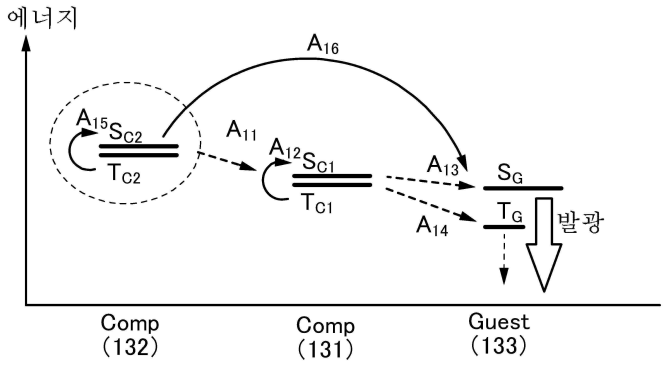
(A)


에너지
LUMO
Comp
(131)
ΔEC1
LUMO
Comp
(132)
ΔEC2
LUMO
ΔEE
들뜬 복합체
HOMO
HOMO
HOMO

(B)

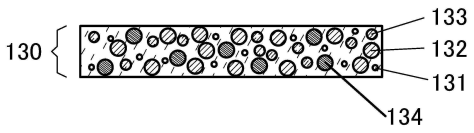

에너지
A10
SC1
A9
SC2
TC1
TC2
A6
SE
TE
A7
A8
SG
TG
발광
Comp
(131)
Comp
(132)
들뜬 복합체
Guest
(133)

도면3

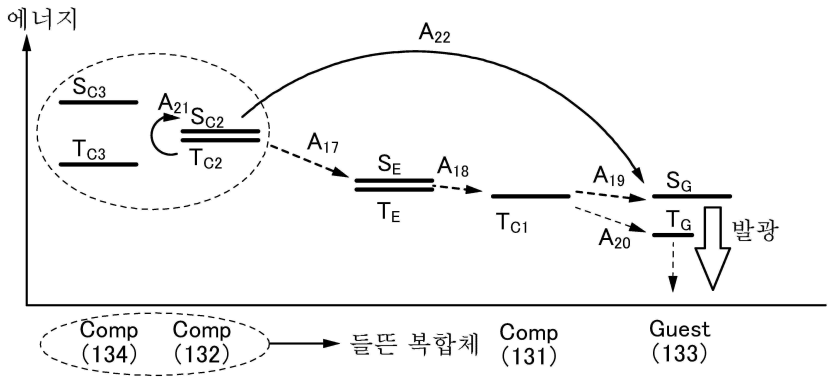

에너지
A16
A15
SC2
TC2
A11
A12
SC1
TC1
A13
A14
SG
TG
발광
Comp
(132)
Comp
(131)
Guest
(133)

도면4

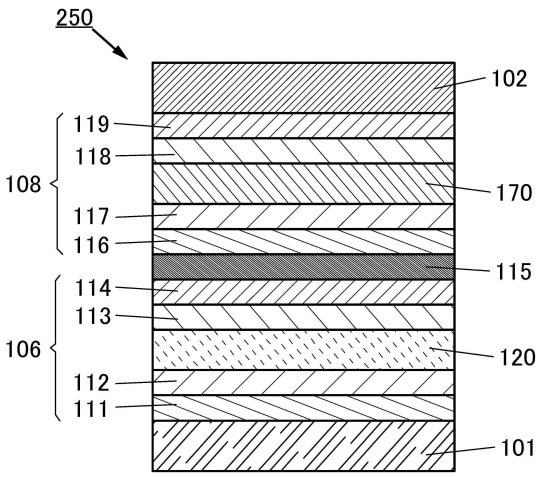
(A)


130
133
132
131
134

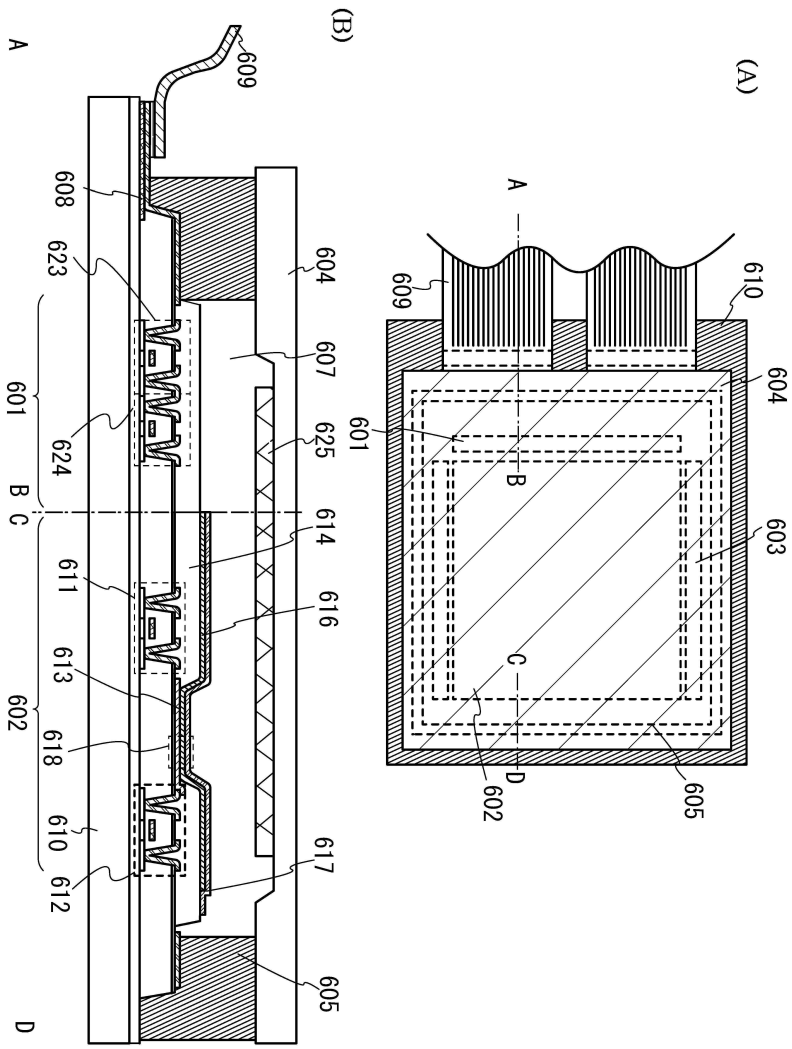
(B)


에너지
A22
SC3
A21
SC2
TC3
TC2
A17
SE
A18
TE
TC1
A19
SG
A20
TG
발광
Comp
(134)
Comp
(132)
들뜬 복합체
Comp
(131)
Guest
(133)

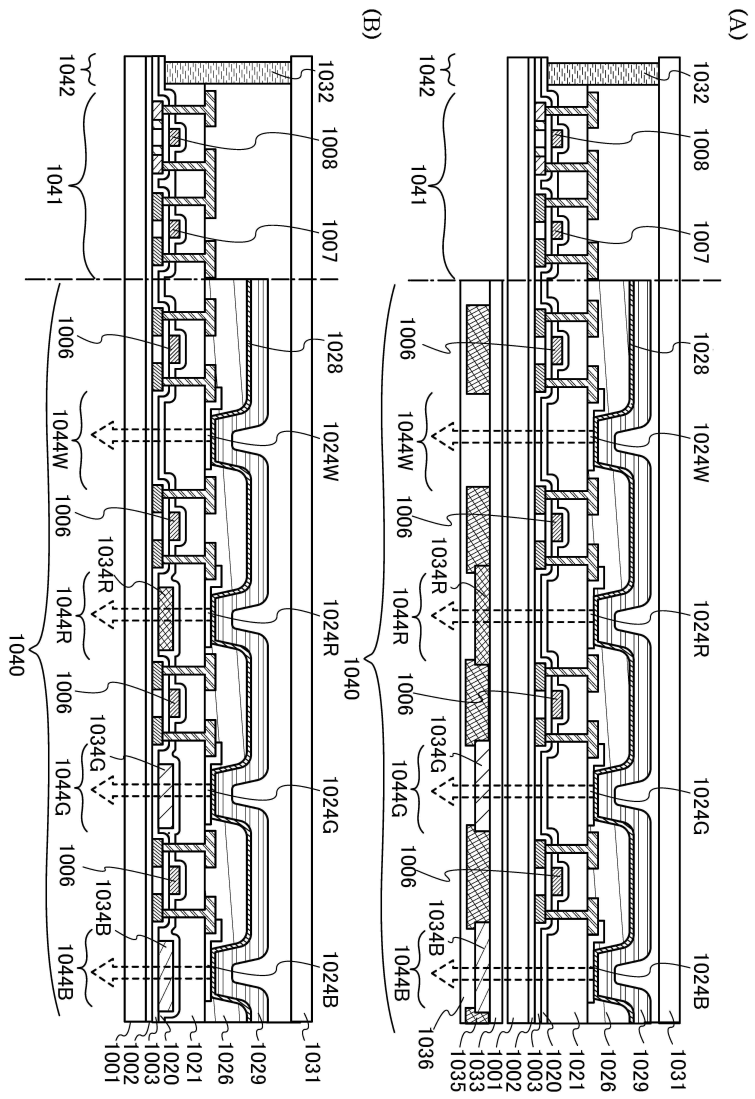
도면5


250
102
119
118
108
170
117
116
115
114
113
106
120
112
111
101

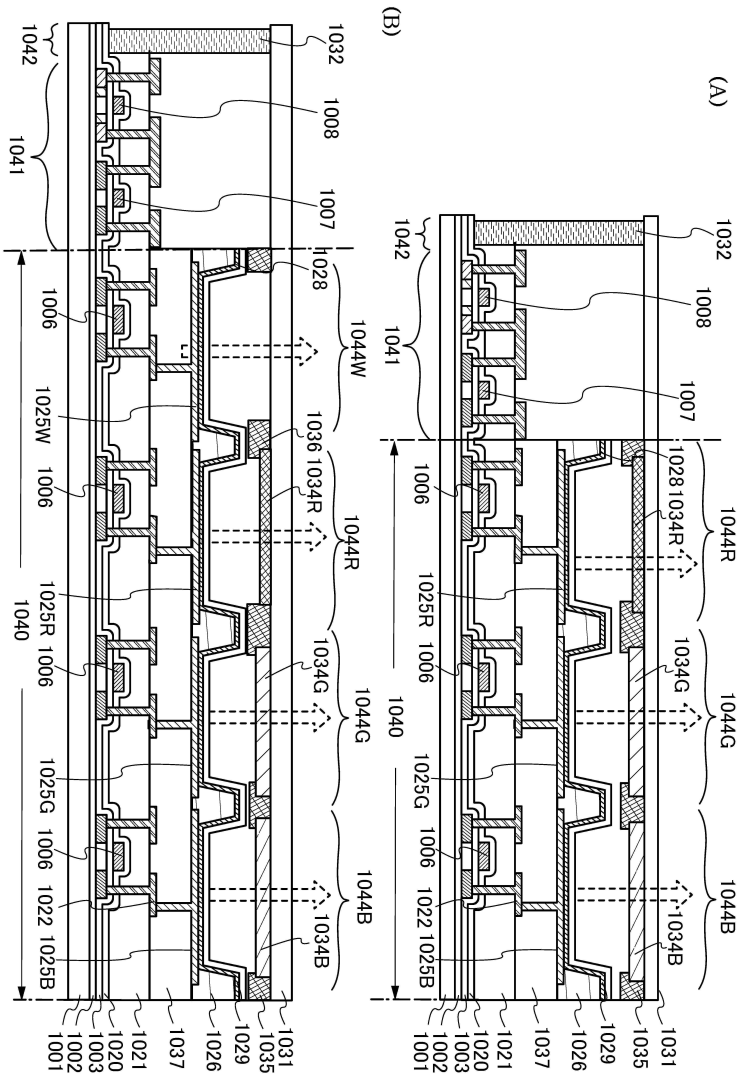
도면6


(A)
A
B
C
D
609
610
604
601
603
602
605
(B)
A
B
C
D
609
608
623
604
607
601
625
624
614
611
616
613
602
618
610
612
617
605

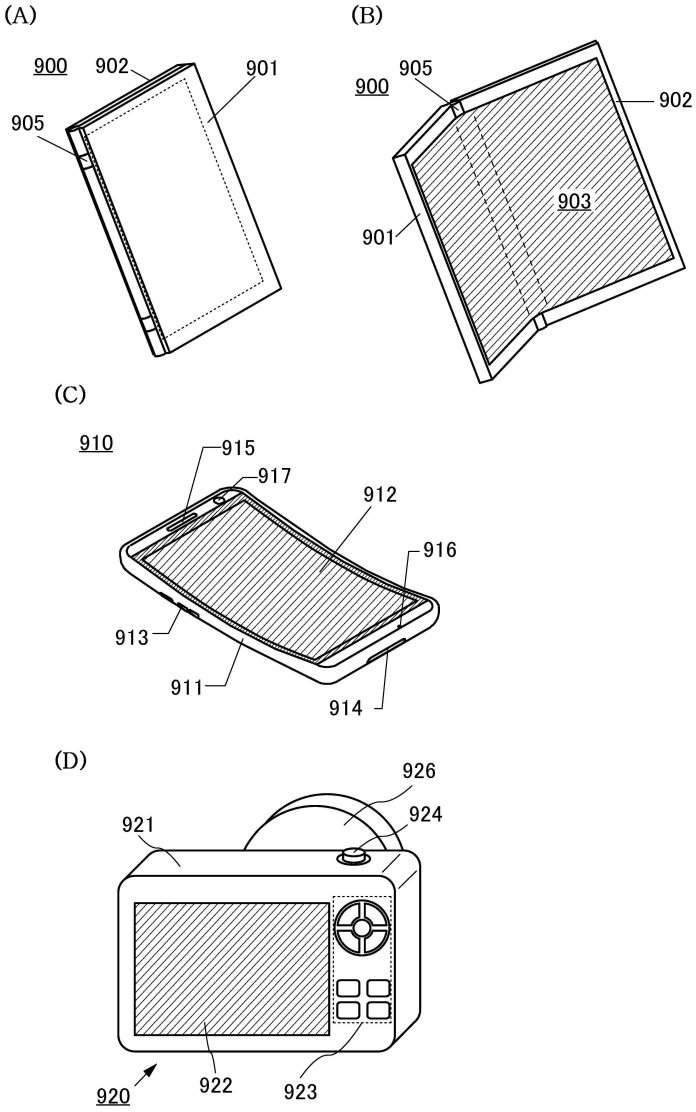
도면7


(A)
1032
1008
1007
1042
1041
1028
1006
1044W
1024W
1034R
1044R
1024R
1040
1034G
1044G
1024G
1034B
1044B
1024B
1036
1035
1033
1001
1002
1003
1020
1021
1026
1029
1031
(B)
1032
1008
1007
1042
1041
1028
1006
1044W
1024W
1034R
1044R
1024R
1040
1034G
1044G
1024G
1034B
1044B
1024B
1031
1029
1026
1021
1020
1003
1002
1001

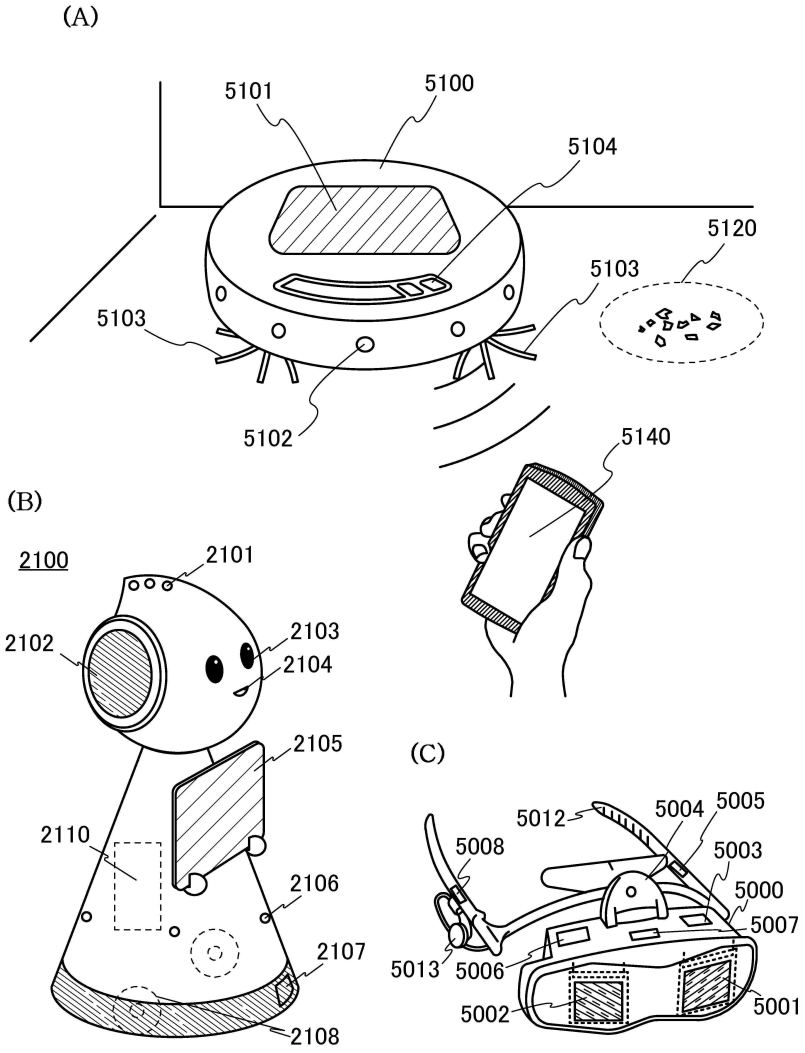
도면8


(A)
(B)
1032
1008
1007
1042
1041
1006
1028
1034R
1044R
1025R
1040
1034G
1044G
1025G
1022
1025B
1044B
1001
1002
1003
1020
1021
1037
1026
1029
1035
1031

도면9

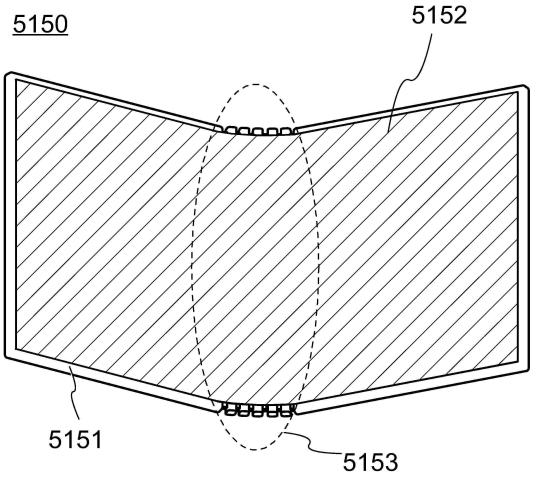

(A)
900
902
901
905
(B)
905
900
902
903
901
(C)
910
915
917
912
916
913
911
914
(D)
926
924
921
920
922
923

도면10

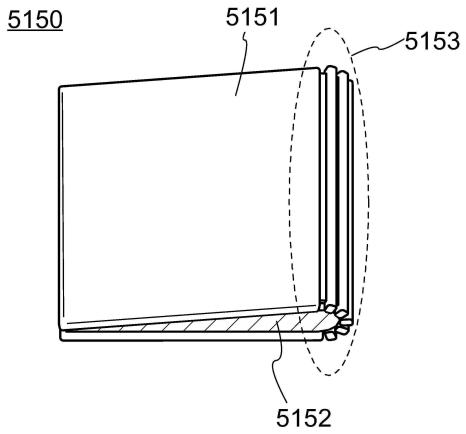

(A)
5101
5100
5104
5120
5103
5103
5102
5140
(B)
2100
2101
2102
2103
2104
2105
2110
2106
2107
2108
(C)
5012
5004
5005
5008
5003
5000
5007
5013
5006
5002
5001

도면11

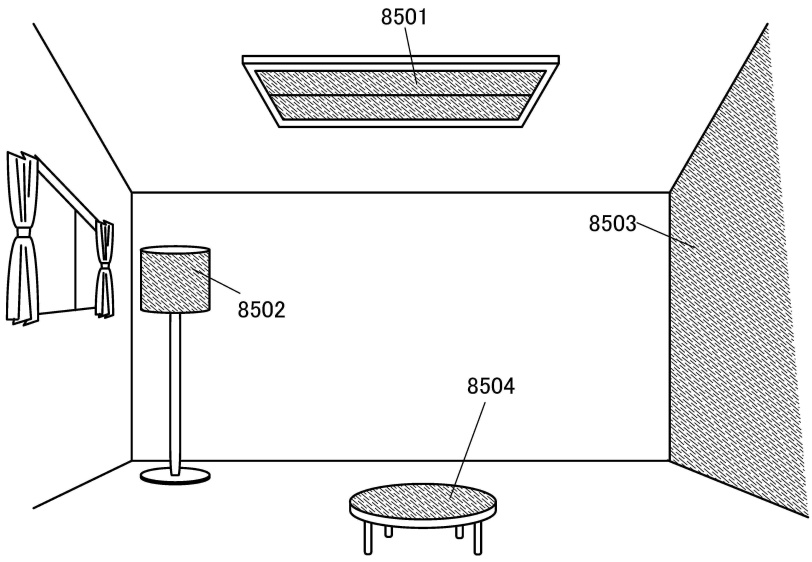
(A)



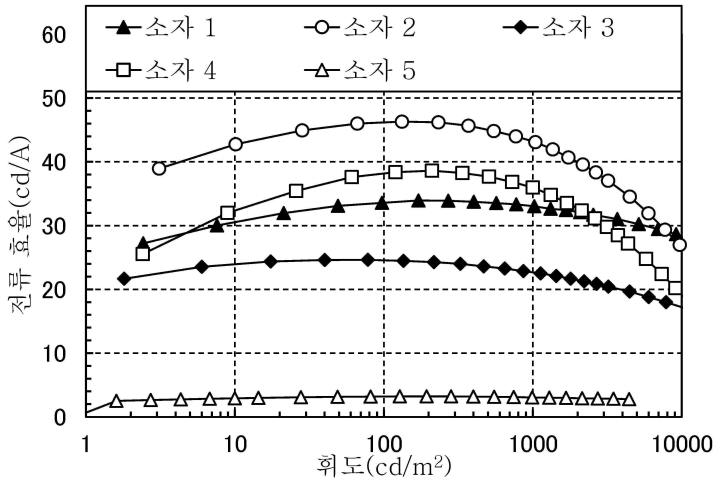
(B)



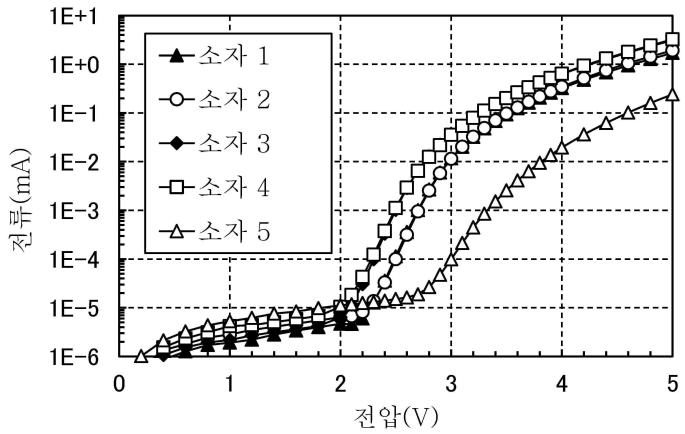
도면12



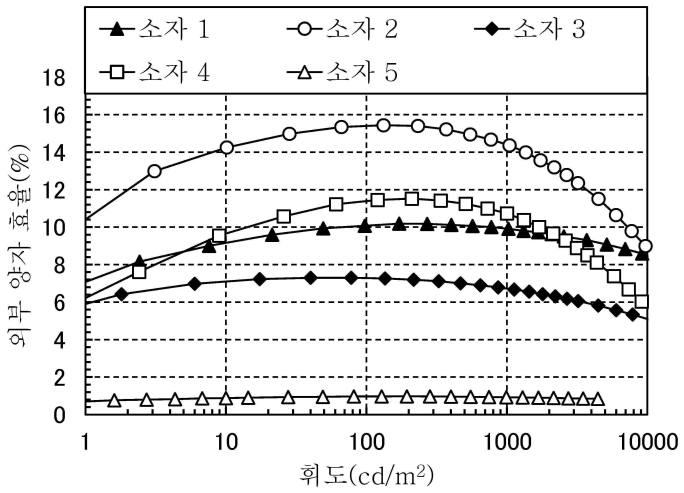
도면13



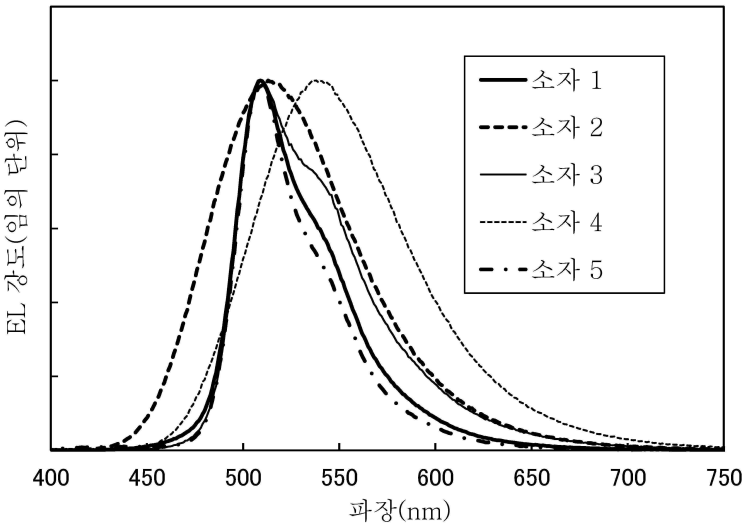
도면14



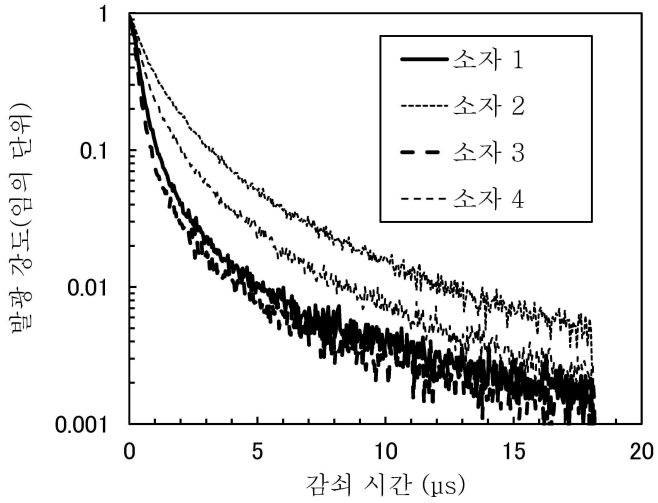
도면15



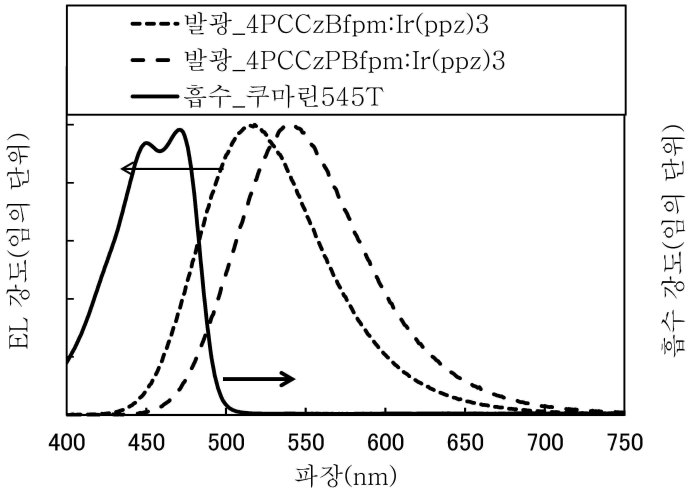
도면16



도면17

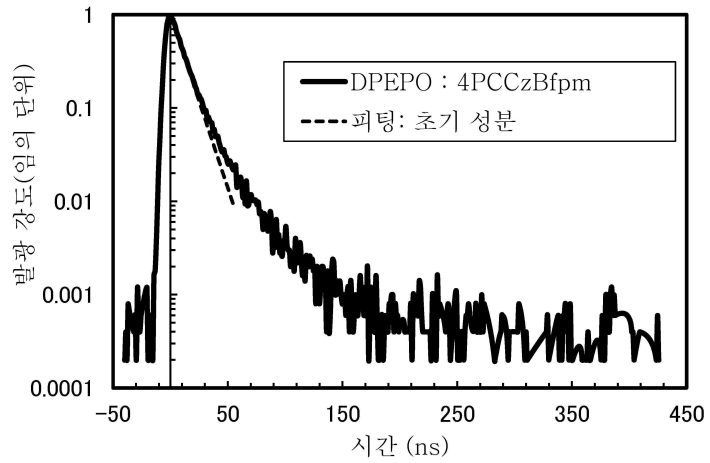


도면18

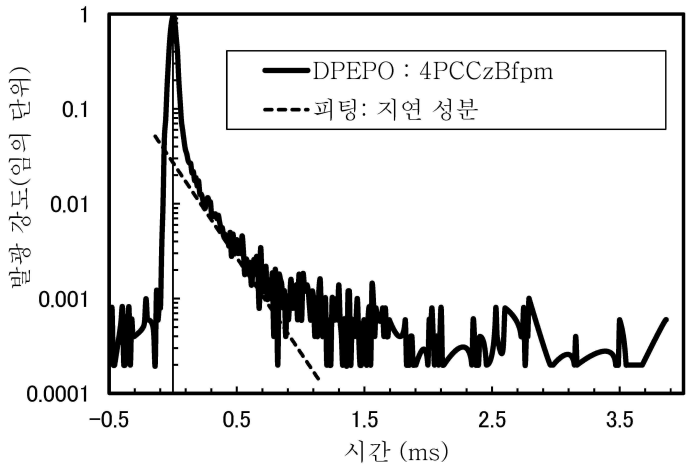


도면19

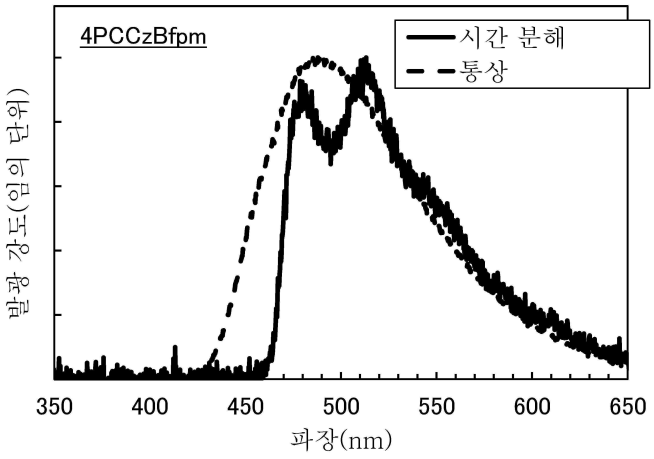
(A)


DPEPO : 4PCCzBfpm
피팅: 초기 성분
발광 강도(임의 단위)
1
0.1
0.01
0.001
0.0001
-50
50
150
250
350
450
시간 (ns)

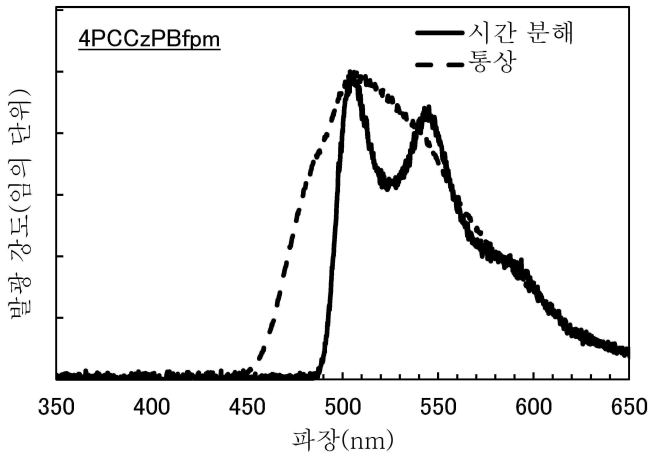
(B)


DPEPO : 4PCCzBfpm
피팅: 지연 성분
발광 강도(임의 단위)
1
0.1
0.01
0.001
0.0001
-0.5
0.5
1.5
2.5
3.5
시간 (ms)

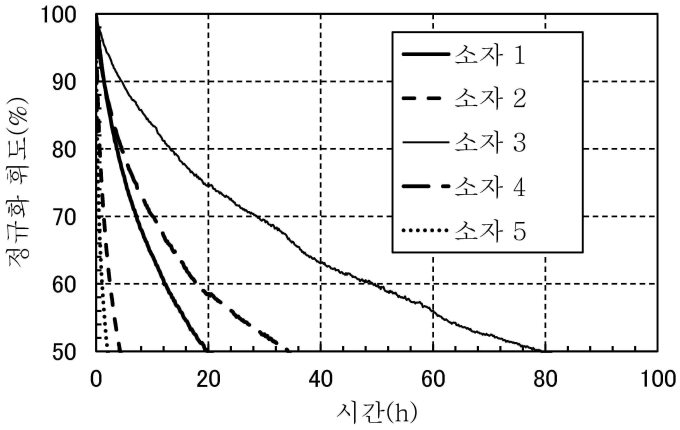
도면20


4PCCzBfpm
시간 분해
통상
발광 강도(임의 단위)
350
400
450
500
550
600
650
파장(nm)

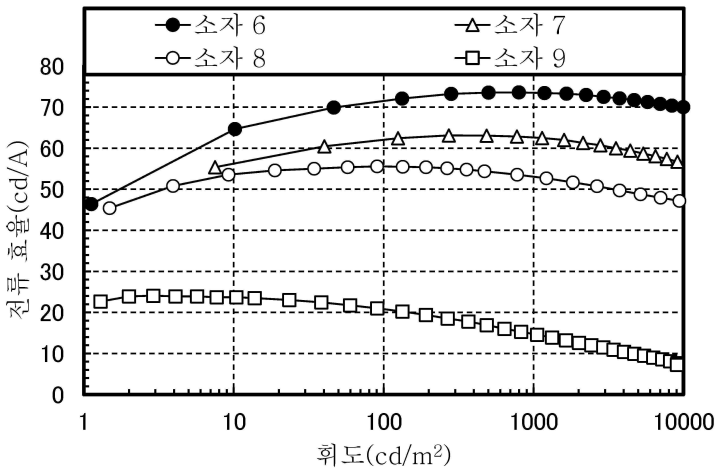
도면21



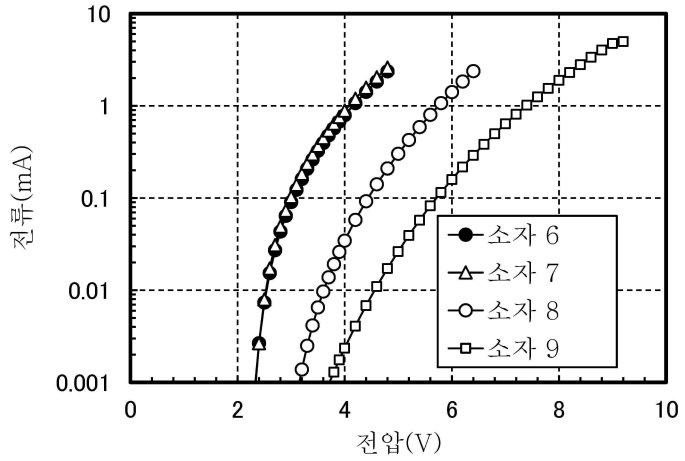
도면22



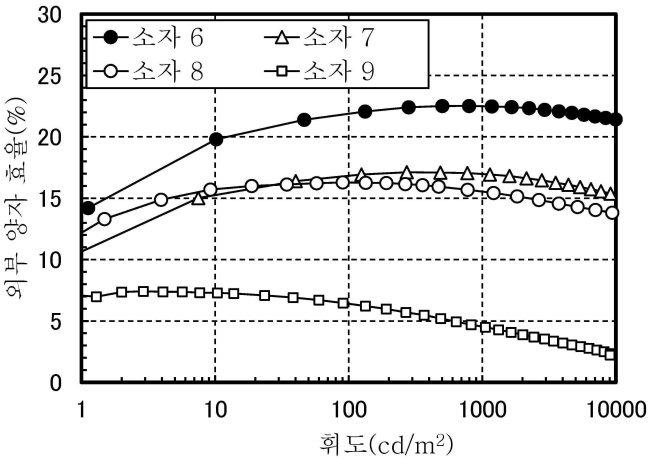
도면23



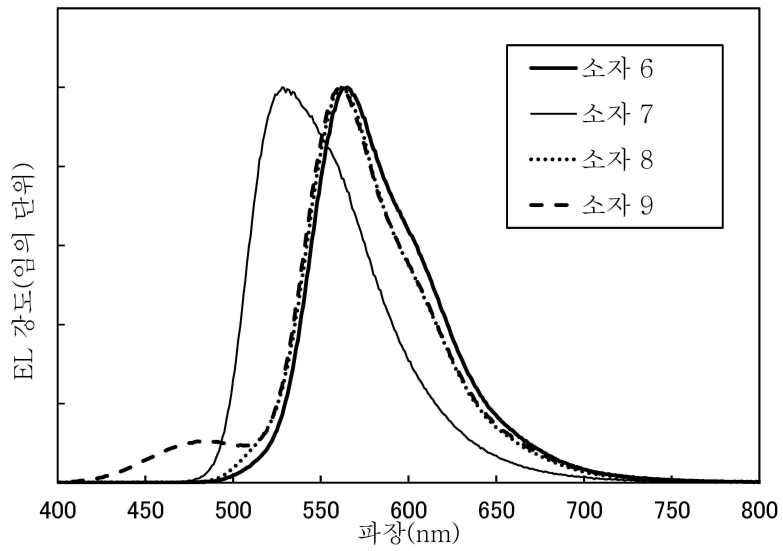
도면24



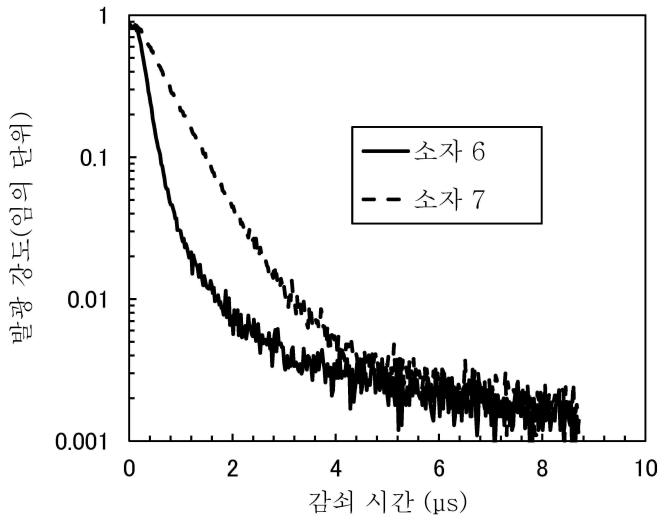
도면25



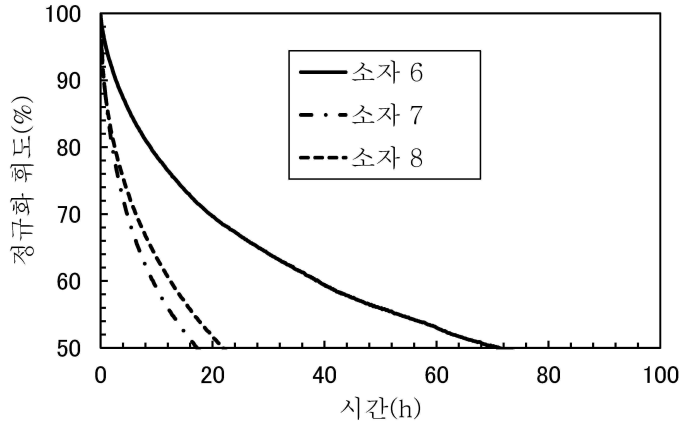
도면26



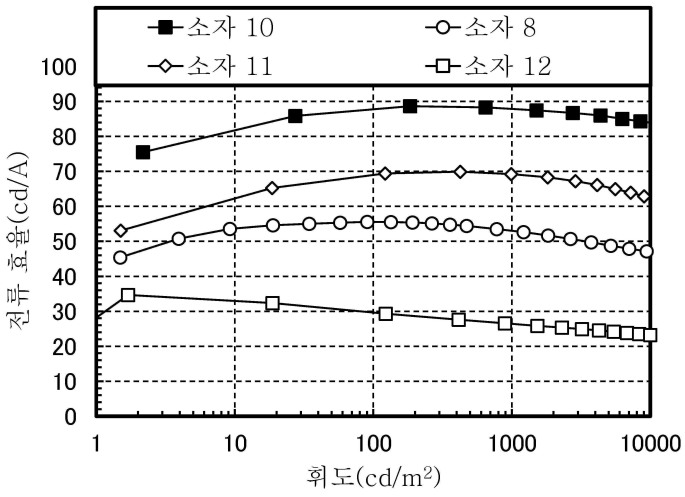
도면27



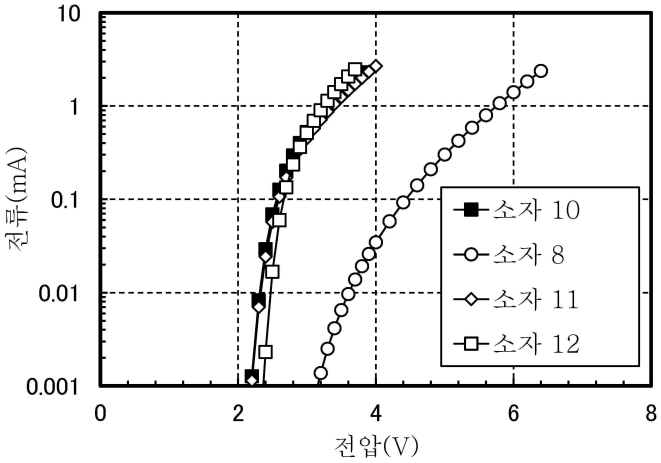
도면28



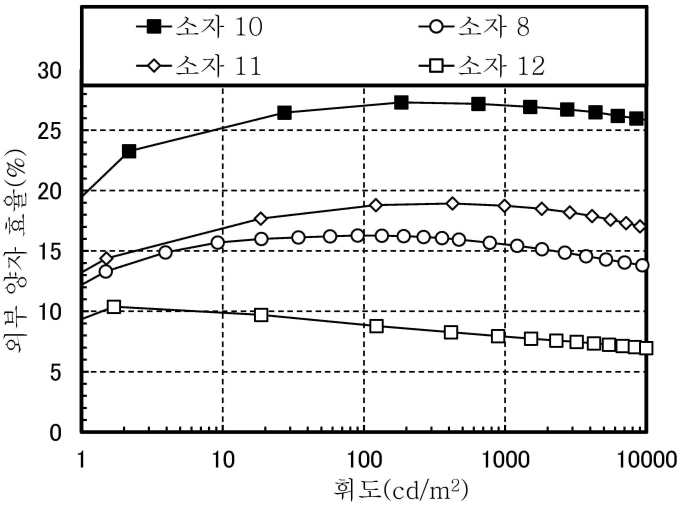
도면29



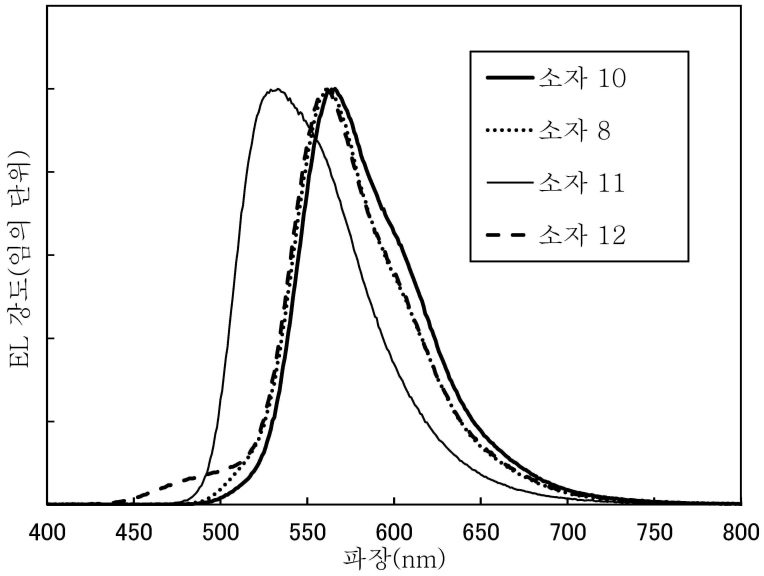
도면30



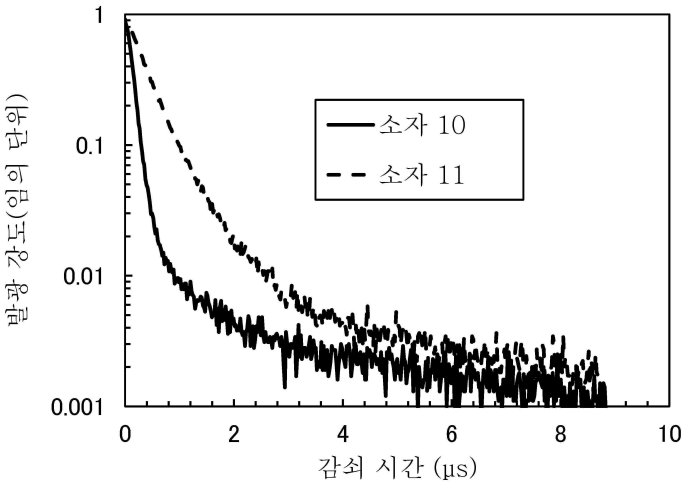
도면31



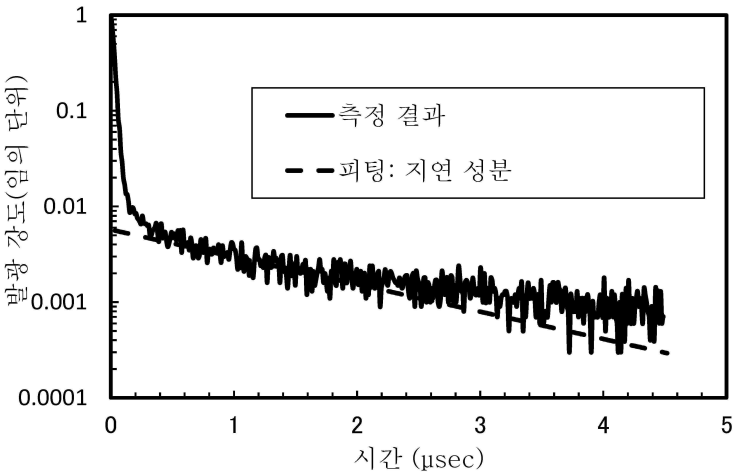
도면32



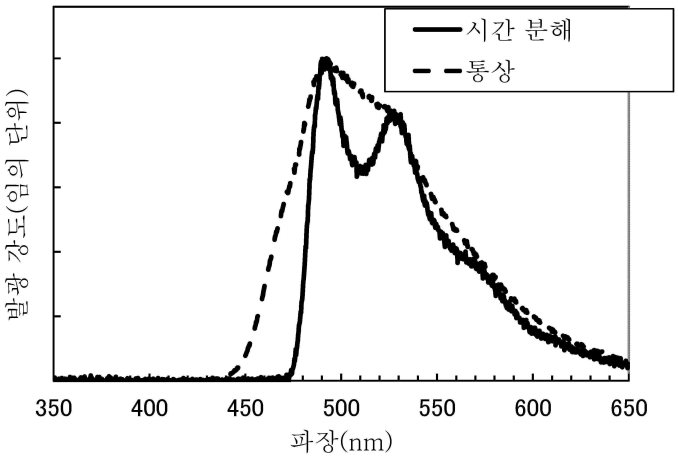
도면33



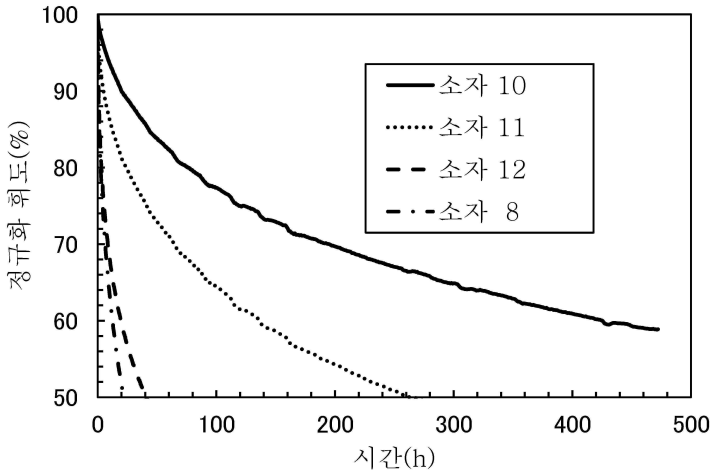
도면34



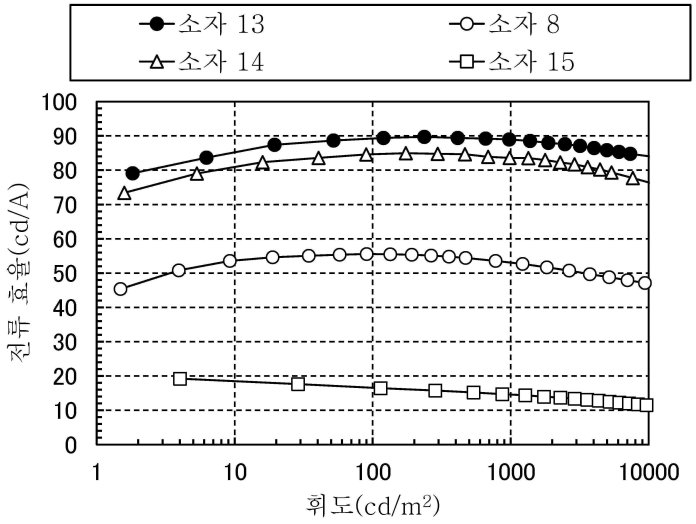
도면35



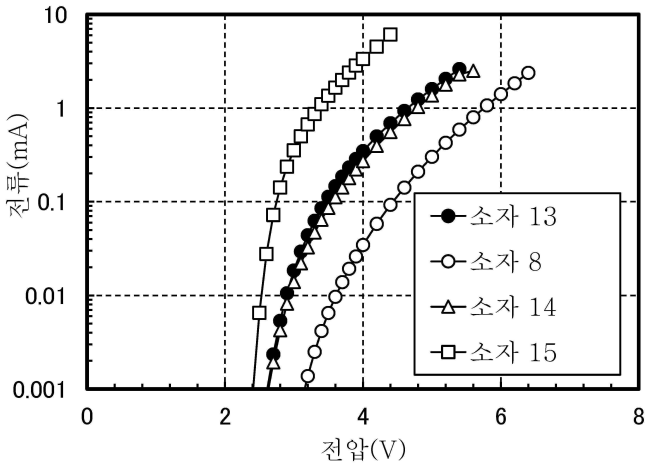
도면36



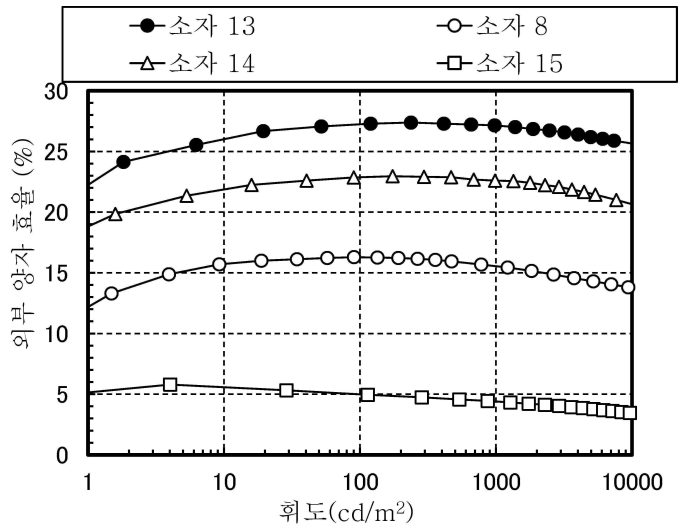
도면37



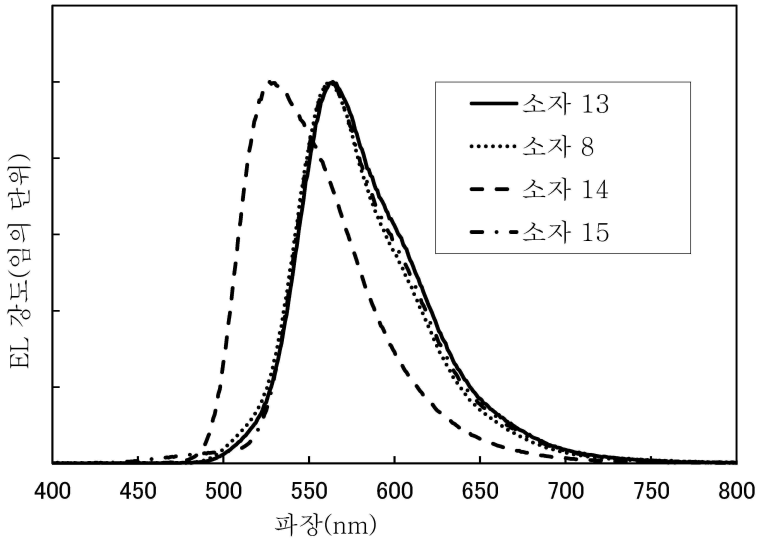
도면38



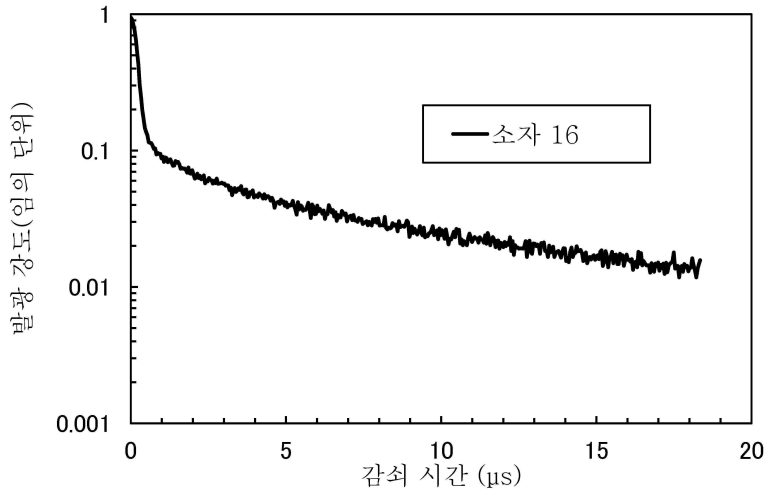
도면39


소자 13
소자 8
소자 14
소자 15
외부 양자 효율 (%)
휘도(cd/m²)
0
5
10
15
20
25
30
1
10
100
1000
10000

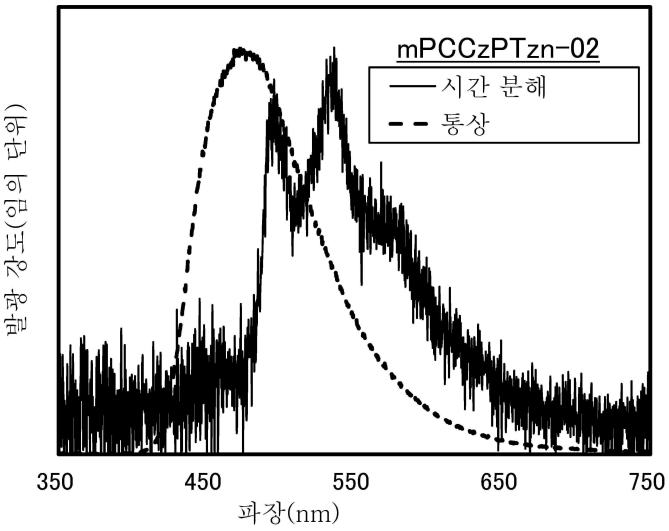
도면40


소자 13
소자 8
소자 14
소자 15
EL 강도(임의 단위)
파장(nm)
400
450
500
550
600
650
700
750
800

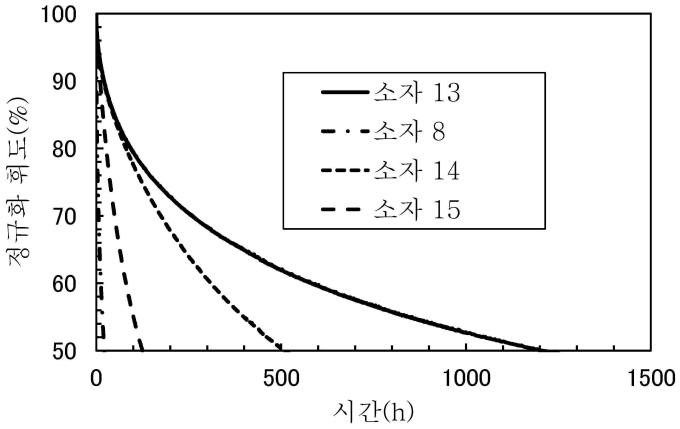
도면41



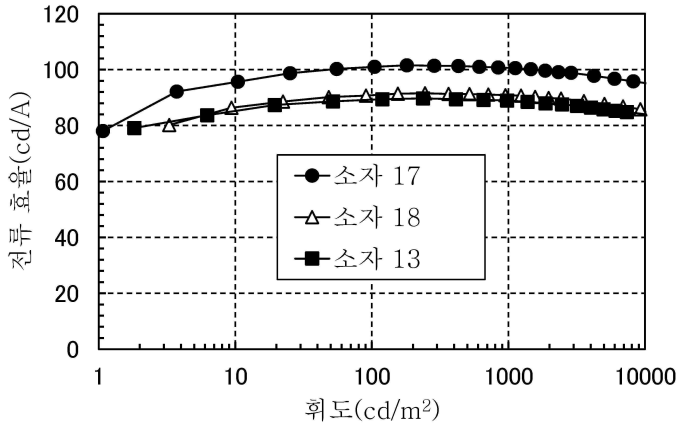
도면42



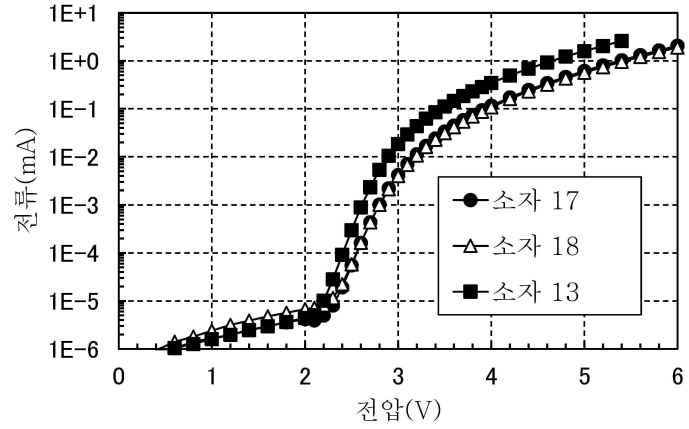
도면43



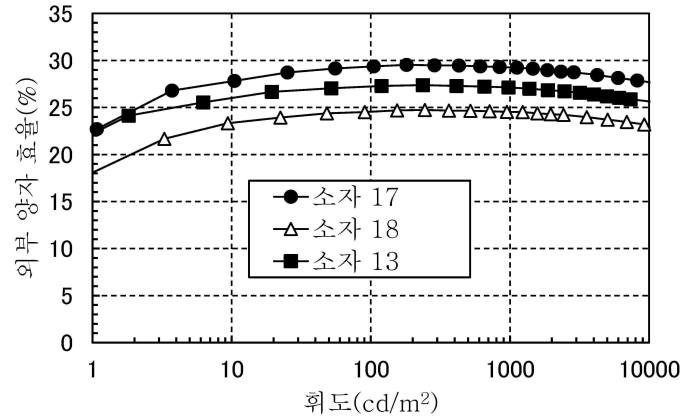
도면44



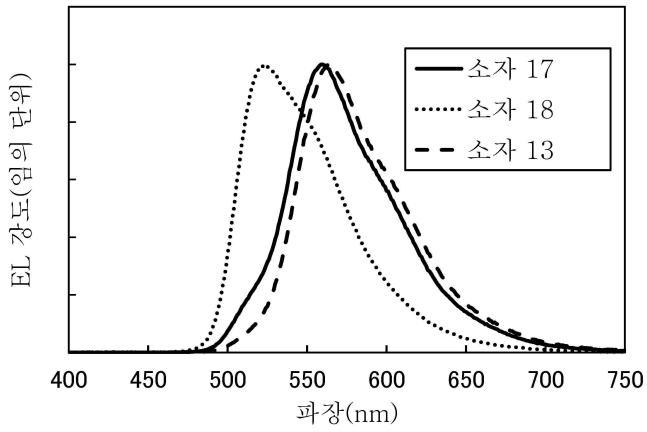
도면45



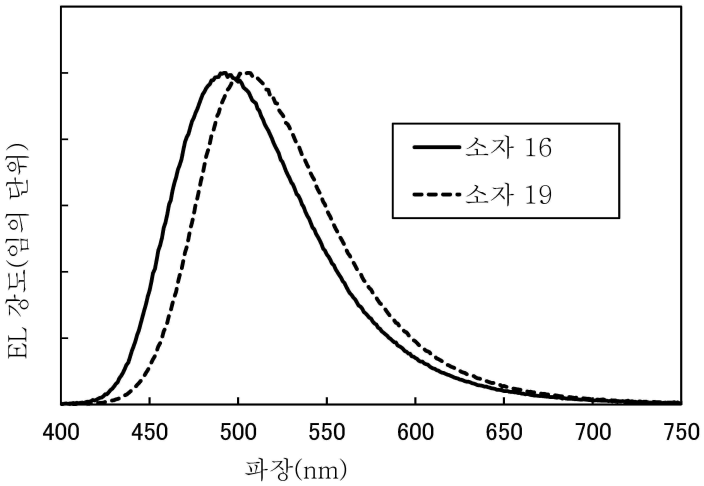
도면46



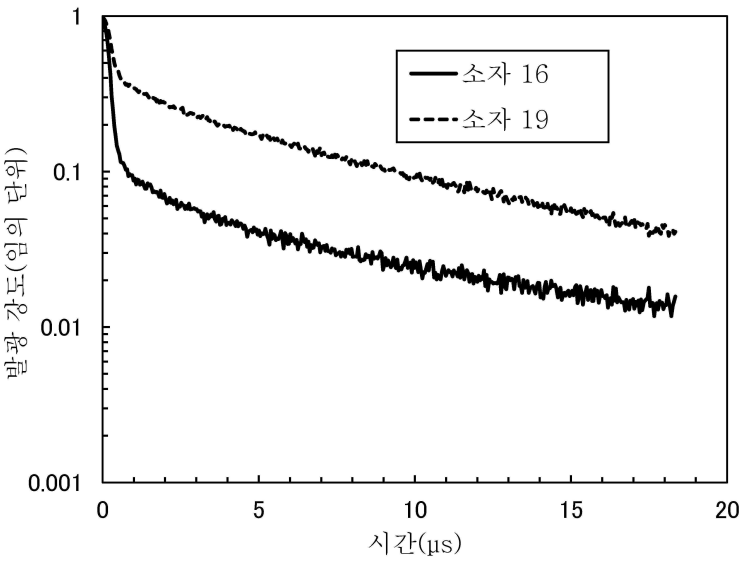
도면47



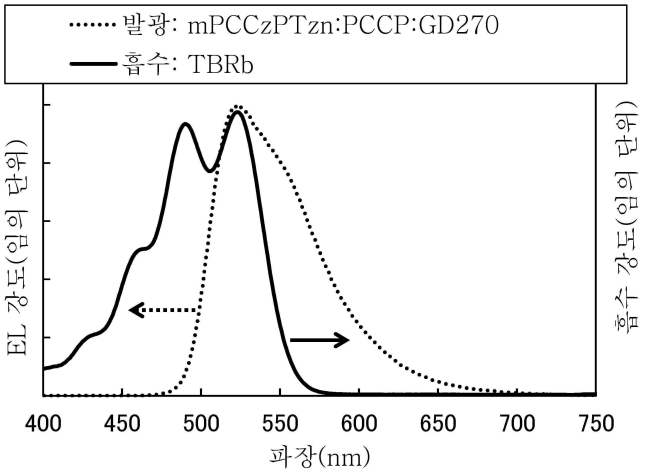
도면48



도면49



도면50


발광: mPCCzPTzn:PCCP:GD270
흡수: TBRb
EL 강도(임의 단위)
흡수 강도(임의 단위)
400
450
500
550
600
650
700
750
파장(nm)