



등록특허 10-2717714



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

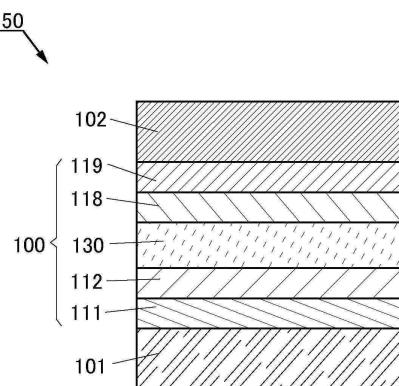
(45) 공고일자 2024년10월16일  
(11) 등록번호 10-2717714  
(24) 등록일자 2024년10월10일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
**H10K 50/00** (2023.01)
- (52) CPC특허분류  
**H10K 50/11** (2023.02)  
**H10K 50/11** (2023.02)
- (21) 출원번호 10-2023-7001129(분할)
- (22) 출원일자(국제) 2017년04월24일  
심사청구일자 2023년02월09일
- (85) 번역문제출일자 2023년01월10일
- (65) 공개번호 10-2023-0012101
- (43) 공개일자 2023년01월25일
- (62) 원출원 특허 10-2022-7000304  
원출원일자(국제) 2017년04월24일  
심사청구일자 2022년01월21일
- (86) 국제출원번호 PCT/IB2017/052329
- (87) 국제공개번호 WO 2017/191526  
국제공개일자 2017년11월09일
- (30) 우선권주장  
JP-P-2016-093152 2016년05월06일 일본(JP)
- (56) 선행기술조사문헌  
KR1020180105234 A\*  
(뒷면에 계속)
- 전체 청구항 수 : 총 17 항
- 심사관 : 김상결
- (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 화합물과 제 2 유기 화합물이 조합되어 들뜬 복합체가 형성될 수 있다. 제 1 유기 화합물은 인광성 화합물이고, 제 3 유기 화합물은 형광성 화합물이다. 발광 소자로부터 방출되는 광은, 제 1 유기 화합물 및 제 2 유기 화합물에 의하여 형성되는 들뜬 복합체로부터 여기 에너지가 공급된 제 3 유기 화합물로부터 방출되는 광을 포함한다.

**대 표 도** - 도1



(52) CPC특허분류

H10K 2101/27 (2023.02)

(56) 선행기술조사문헌

KR1020160026717 A\*

JP2014022666 A\*

JP2014045179 A\*

US20140034927 A1\*

\*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

---

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

발광 소자로서,

한 쌍의 전극; 및

상기 한 쌍의 전극 사이의 발광층을 포함하고,

상기 발광층은 제 1 유기 화합물, 제 2 유기 화합물 및 제 3 유기 화합물을 포함하고,

상기 제 1 유기 화합물은 전이 금속 원소를 포함하고,

상기 제 2 유기 화합물은  $\pi$ 전자 부족형 혜테로방향족 골격 및  $\pi$ 전자 과잉형 혜테로방향족 골격을 포함하고,

상기  $\pi$ 전자 부족형 혜테로방향족 골격과 상기  $\pi$ 전자 과잉형 혜테로방향족 골격은, 치환기를 갖는 아릴렌기 또는 비치환된 아릴렌기를 통하여 결합되고,

상기 아릴렌기는 페닐렌기, 바이페닐다이일기, 나프탈렌다이일기 또는 플루오렌다이일기를 나타내고,

상기 치환기는 탄소수 1 내지 6의 알킬기, 탄소수 3 내지 6의 사이클로알킬기, 또는 탄소수 6 내지 12의 치환 또는 비치환된 아릴기를 나타내고,

상기 제 1 유기 화합물과 상기 제 2 유기 화합물은 둘다 복합체를 형성하고,

상기 제 3 유기 화합물은 단일항 여기 에너지를 발광으로 변환할 수 있고,

상기 제 3 유기 화합물은 광을 방출하는, 발광 소자.

#### 청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기  $\pi$ 전자 부족형 혜테로방향족 골격은 피리딘 골격, 다이아진 골격, 및 트라이아진 골격 중 적어도 하나를 포함하고,

상기  $\pi$ 전자 과잉형 혜테로방향족 골격은 카바졸 골격을 포함하는, 발광 소자.

#### 청구항 3

삭제

#### 청구항 4

발광 소자로서,

한 쌍의 전극; 및

상기 한 쌍의 전극 사이의 발광층을 포함하고,

상기 발광층은 제 1 유기 화합물, 제 2 유기 화합물 및 제 3 유기 화합물을 포함하고,

상기 제 1 유기 화합물은 Ru, Rh, Pd, Os, Ir, 또는 Pt를 포함하고,

상기 제 2 유기 화합물은  $\pi$ 전자 부족형 혜테로방향족 골격과 방향족 골격을 포함하고,

상기  $\pi$ 전자 부족형 혜테로방향족 골격과 상기 방향족 골격은, 치환기를 갖는 아릴렌기 또는 비치환된 아릴렌기를 통하여 결합되고,

상기 아릴렌기는 페닐렌기, 바이페닐다이일기, 나프탈렌다이일기 또는 플루오렌다이일기를 나타내고,

상기 치환기는 탄소수 1 내지 6의 알킬기, 탄소수 3 내지 6의 사이클로알킬기, 또는 탄소수 6 내지 12의 치환

또는 비치환된 아릴기를 나타내고,

상기 제 1 유기 화합물과 상기 제 2 유기 화합물은 둘다 복합체를 형성하고,

상기 제 3 유기 화합물은 형광 물질이고,

상기 제 3 유기 화합물은 광을 방출하는, 발광 소자.

#### 청구항 5

제 4 항에 있어서,

상기  $\pi$ 전자 부족형 혜테로방향족 골격은 옥사다이아졸 골격, 트라이아졸 골격, 페난트롤린 골격, 피리딘 골격, 다이아진 골격, 및 트라이아진 골격 중 적어도 하나를 포함하는, 발광 소자.

#### 청구항 6

제 4 항에 있어서,

상기 방향족 골격은 카바졸 골격, 다이벤조퓨란 골격, 다이벤조싸이오펜 골격, 및 플루오렌 골격 중 하나를 포함하는, 발광 소자.

#### 청구항 7

발광 소자로서,

한 쌍의 전극; 및

상기 한 쌍의 전극 사이의 발광층을 포함하고,

상기 발광층은 제 1 유기 화합물, 제 2 유기 화합물, 및 제 3 유기 화합물을 포함하고,

상기 제 1 유기 화합물은 전이 금속 원소를 포함하고,

상기 제 2 유기 화합물은 전자 수송성을 갖고,

상기 제 3 유기 화합물은 질소 함유 혜테로방향족 고리를 포함하고,

상기 제 1 유기 화합물과 상기 제 2 유기 화합물은 둘다 복합체를 형성하고,

상기 제 3 유기 화합물은 단일항 여기 에너지를 발광으로 변환할 수 있고,

상기 둘다 복합체의 발광 스펙트럼은 상기 제 3 유기 화합물의 흡수 스펙트럼과 중첩되고,

상기 제 3 유기 화합물은 광을 방출하는, 발광 소자.

#### 청구항 8

제 7 항에 있어서,

상기 질소 함유 혜테로방향족 고리는 옥사다이아졸 골격, 트라이아졸 골격, 페난트롤린 골격, 피리딘 골격, 다이아진 골격, 및 트라이아진 골격 중 적어도 하나를 포함하는, 발광 소자.

#### 청구항 9

제 8 항에 있어서,

상기 제 2 유기 화합물은  $\pi$ 전자 과잉형 혜테로방향족 골격 및 방향족 아민 골격 중 적어도 하나를 포함하는, 발광 소자.

#### 청구항 10

제 1 항 또는 제 7 항에 있어서,

상기 제 3 유기 화합물은 형광 물질인, 발광 소자.

**청구항 11**

제 1 항, 제 4 항 및 제 7 항 중 어느 한 항에 있어서,  
상기 제 1 유기 화합물은 이리듐을 포함하는, 발광 소자.

**청구항 12**

제 11 항에 있어서,  
상기 제 1 유기 화합물은 이리듐에 배위하는 배위자를 포함하고,  
상기 배위자는 질소 함유 5원 헤테로고리 골격을 포함하는, 발광 소자.

**청구항 13**

제 1 항, 제 4 항 및 제 7 항 중 어느 한 항에 있어서,  
상기 제 1 유기 화합물 및 상기 제 2 유기 화합물의 총량에 대한 상기 제 3 유기 화합물의 중량비는 0.001 이상 0.05 이하이고,  
상기 제 2 유기 화합물에 대한 상기 제 1 유기 화합물의 중량비는 0.01 이상 0.5 이하인, 발광 소자.

**청구항 14**

제 1 항, 제 4 항 및 제 7 항 중 어느 한 항에 있어서,  
상기 제 1 유기 화합물의 최저 삼중항 여기 에너지 준위는, 상기 제 2 유기 화합물의 최저 삼중항 여기 에너지 준위 이상인, 발광 소자.

**청구항 15**

제 1 항, 제 4 항 및 제 7 항 중 어느 한 항에 있어서,  
상기 들뜬 복합체는 상기 제 3 유기 화합물에 여기 에너지를 공급할 수 있고,  
상기 들뜬 복합체의 발광 스펙트럼은, 상기 제 3 유기 화합물의 흡수 스펙트럼의 가장 긴 파장 측에 있는 흡수 대와 중첩되는, 발광 소자.

**청구항 16**

제 1 항, 제 4 항 및 제 7 항 중 어느 한 항에 있어서,  
상기 제 1 유기 화합물은 실온에서 0% 이상 40% 이하의 발광 양자 수율을 갖는, 발광 소자.

**청구항 17**

제 1 항, 제 4 항 및 제 7 항 중 어느 한 항에 있어서,  
상기 들뜬 복합체로부터 방출되는 광의 발광 효율은, 상기 제 1 유기 화합물로부터 방출되는 광의 발광 효율보다 높은, 발광 소자.

**청구항 18**

표시 장치로서,  
제 1 항, 제 4 항 및 제 7 항 중 어느 한 항에 따른 발광 소자; 및  
컬러 필터 및 트랜지스터 중 적어도 하나를 포함하는, 표시 장치.

**발명의 설명****기술 분야**

[0001] 본 발명의 일 형태는 발광 소자, 상기 발광 소자를 포함하는 표시 장치, 상기 발광 소자를 포함하는 전자 기기,

또는 상기 발광 소자를 포함하는 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, 조명 장치, 축전 장치, 기억 장치, 이들 중 어느 것의 구동 방법, 및 이들 중 어느 것의 제작 방법이 포함된다.

## 배경기술

[0003] 근년, EL(electroluminescence)을 사용한 발광 소자에 대한 연구 개발이 널리 수행되고 있다. 이러한 발광 소자의 기본적인 구조에서는, 발광 물질을 포함하는 층(EL층)이 한 쌍의 전극 사이에 개재(介在)되어 있다. 이 소자의 전극 사이에 전압을 인가함으로써, 발광 물질로부터의 발광을 얻을 수 있다.

[0004] 상술한 발광 소자는 자발광형이기 때문에, 이 발광 소자를 사용한 표시 장치는 시인성이 높고, 백라이트가 불필요하고, 소비전력이 낮다는 등의 이점을 갖는다. 또한, 이러한 발광 소자는, 소자를 얇고 가볍게 제작할 수 있고, 응답 속도가 빠르다는 이점도 갖는다.

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

[0006] 또한, 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 생성비는 1:3이다. 바꿔 말하면, 인광을 방출하는 화합물(인광성 화합물)을 포함하는 발광 소자는 형광을 방출하는 화합물(형광성 화합물)을 포함하는 발광 소자보다 발광 효율이 더 높다. 그러므로, 근년에는 삼중항 여기 상태의 에너지를 발광으로 변환할 수 있는 인광성 화합물을 포함하는 발광 소자가 활발히 개발되고 있다. 예를 들어, 비특허문헌 1에서는, 인광성 화합물인 Ir 착체의 발광 양자 수율의 온도 의존성에 대하여 자세히 조사하여, Ir 착체의 분자 구조와 그 발광 양자 수율의 관계, 그리고 그 원인에 대하여 보고 있다.

[0007] 인광성 화합물을 포함하는 발광 소자 중에서, 특히 청색의 광을 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 소자)의 발광 효율을 높이는 기술이 모색되고 있다.

[0008] 삼중항 여기 에너지를 발광으로 부분적으로 변환할 수 있는 재료로서는, 인광성 화합물에 더하여 열 활성화 지연 형광(TADF: thermally activated delayed fluorescent) 재료가 알려져 있다. 열 활성화 지연 형광 재료에서는, 역 항간 교차(reverse intersystem crossing)에 의하여 삼중항 여기 상태로부터 단일항 여기 상태가 생성되고, 단일항 여기 상태가 발광으로 변환된다.

[0009] 열 활성화 지연 형광 재료를 사용한 발광 소자의 발광 효율을 높이기 위해서는, 삼중항 여기 상태로부터의 단일항 여기 상태의 효율적인 생성뿐만 아니라, 단일항 여기 상태로부터의 효율적인 발광, 즉 높은 형광 양자 수율도 열 활성화 지연 형광 재료에 있어서 중요하다. 그러나, 이 2가지를 만족시키는 발광 재료는 설계하기 어렵다.

[0010] 그래서, 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

[0011] (특허문현 0001) 일본 공개특허공보 특개2014-45179호

### 비특허문현

[0012] (비특허문현 0001) (비특허문선 1) T. Sajoto 외 5명, Journal of American Chemical Society, vol. 131, 9813(2009).

### 발명의 내용

#### 해결하려는 과제

[0013] 열 활성화 지연 형광 재료 및 형광성 화합물을 포함하는 발광 소자의 발광 효율을 높이기 위해서는, 삼중향 여기 상태로부터 단일향 여기 상태를 효율적으로 생성하는 것이 바람직하다. 열 활성화 지연 형광 재료로서 들뜬 복합체를 사용하는 발광 소자에서는, 삼중향 여기 상태로부터 단일향 여기 상태를 효율적으로 생성시켜, 발광 소자의 발광 효율을 더 향상시키는 방법이 개발될 필요가 있다.

[0014] 상기 관점에서, 본 발명의 일 형태의 과제는 발광 효율이 높은 발광 소자를 제공하는 것이다. 본 발명의 일 형태의 또 다른 과제는 구동 전압이 낮은 발광 소자를 제공하는 것이다. 본 발명의 일 형태의 또 다른 과제는 소비전력이 낮은 발광 소자를 제공하는 것이다. 본 발명의 일 형태의 또 다른 과제는 신뢰성이 높은 발광 소자를 제공하는 것이다. 본 발명의 일 형태의 또 다른 과제는 신규 발광 소자를 제공하는 것이다. 본 발명의 일 형태의 또 다른 과제는 신규 발광 장치를 제공하는 것이다. 본 발명의 일 형태의 또 다른 과제는 신규 표시 장치를 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] 본 발명의 일 형태는 2종류의 유기 화합물(제 1 유기 화합물 및 제 2 유기 화합물)을 포함하는 발광 소자이다. 이들 유기 화합물이 조합되어 들뜬 복합체가 형성될 수 있다. 유기 화합물 중 한쪽은 삼중향 여기 에너지를 발광으로 변환하는 기능을 갖는다. 또한, 발광 소자에서는, 단일향 여기 에너지를 발광으로 변환하는 기능을 갖는 제 3 유기 화합물에 들뜬 복합체로부터 여기 에너지가 공급됨으로써, 제 3 유기 화합물로부터 발광을 효율적으로 얻을 수 있다.

[0017] 본 발명의 일 형태는 발광층을 포함하는 발광 소자이다. 발광층은 제 1 유기 화합물, 제 2 유기 화합물, 및 제 3 유기 화합물을 포함한다. 제 1 유기 화합물 및 제 2 유기 화합물 중 한쪽의 LUMO 준위는, 제 1 유기 화합물 및 제 2 유기 화합물 중 다른 쪽의 LUMO 준위 이상이다. 제 1 유기 화합물 및 제 2 유기 화합물 중 한쪽의 HOMO 준위는, 제 1 유기 화합물 및 제 2 유기 화합물 중 다른 쪽의 HOMO 준위 이상이다. 제 1 유기 화합물과 제 2 유기 화합물이 조합되어 들뜬 복합체가 형성될 수 있다. 제 1 유기 화합물은 삼중향 여기 에너지를 발광으로 변환할 수 있다. 제 3 유기 화합물은 단일향 여기 에너지를 발광으로 변환할 수 있다. 발광층으로부터 방출되는 광은 제 3 유기 화합물로부터 방출되는 광을 포함한다.

[0018] 본 발명의 다른 일 형태는 발광층을 포함하는 발광 소자이다. 발광층은 제 1 유기 화합물, 제 2 유기 화합물, 및 제 3 유기 화합물을 포함한다. 제 1 유기 화합물 및 제 2 유기 화합물 중 한쪽의 LUMO 준위는, 제 1 유기 화합물 및 제 2 유기 화합물 중 다른 쪽의 LUMO 준위 이상이다. 제 1 유기 화합물 및 제 2 유기 화합물 중 한쪽의 HOMO 준위는, 제 1 유기 화합물 및 제 2 유기 화합물 중 다른 쪽의 HOMO 준위 이상이다. 제 1 유기 화합물과 제 2 유기 화합물이 조합되어 들뜬 복합체가 형성될 수 있다. 제 1 유기 화합물은 형광을 방출하지 않고 인광을 방출할 수 있다. 제 3 유기 화합물은 형광을 방출할 수 있다. 발광층으로부터 방출되는 광은 제 3 유기 화합물로부터 방출되는 광을 포함한다.

[0019] 본 발명의 다른 일 형태는 발광층을 포함하는 발광 소자이다. 발광층은 제 1 유기 화합물, 제 2 유기 화합물, 및 제 3 유기 화합물을 포함한다. 제 1 유기 화합물의 LUMO 준위는 제 2 유기 화합물의 LUMO 준위 이상이다. 제 1 유기 화합물의 HOMO 준위는 제 2 유기 화합물의 HOMO 준위 이상이다. 제 1 유기 화합물과 제 2 유기 화합

물이 조합되어 들뜬 복합체가 형성될 수 있다. 제 1 유기 화합물은 Ru, Rh, Pd, Os, Ir, 또는 Pt를 포함한다. 발광층으로부터 방출되는 광은 제 3 유기 화합물로부터 방출되는 광을 포함한다.

[0020] 상술한 구조 중 임의의 것에서, 제 1 유기 화합물의 최저 삼중항 여기 에너지 준위는, 제 2 유기 화합물의 최저 삼중항 여기 에너지 준위 이상인 것이 바람직하다.

[0021] 상술한 구조 중 임의의 것에서, 들뜬 복합체는 제 3 유기 화합물에 여기 에너지를 공급할 수 있는 것이 바람직하다. 또한, 들뜬 복합체의 발광 스펙트럼은, 제 3 유기 화합물의 흡수 스펙트럼의 가장 긴 파장 측에 있는 흡수대와 중첩하는 영역을 갖는 것이 바람직하다.

[0022] 상술한 구조 중 임의의 것에서, 제 1 유기 화합물은 이리듐을 포함하는 것이 바람직하다. 제 1 유기 화합물은 이리듐에 배위하는 배위자를 포함하는 것이 바람직하다. 배위자는 질소 함유 5원 헤테로고리 골격을 포함하는 것이 바람직하다.

[0023] 상술한 구조 중 임의의 것에서, 제 2 유기 화합물은 전자를 수송할 수 있는 것이 바람직하다. 제 2 유기 화합물은  $\pi$ 전자 부족형 헤테로방향족 골격을 포함하는 것이 바람직하다.

[0024] 상술한 구조 중 임의의 것에서, 제 1 유기 화합물은 실온에서 0% 이상 40% 이하의 발광 양자 수율을 갖는 것이 바람직하다.

[0025] 상술한 구조 중 임의의 것에서, 들뜬 복합체로부터 방출되는 광의 발광 효율은, 제 1 유기 화합물로부터 방출되는 광의 발광 효율보다 높은 것이 바람직하다.

[0026] 본 발명의 다른 일 형태는 상술한 구조 중 어느 것을 갖는 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 갖는 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(예를 들어, 조명 장치)을 말한다. 발광 장치는, 발광 소자에 FPC(flexible printed circuit) 또는 TCP(tape carrier package) 등의 커넥터가 접속된 표시 모듈, TCP 끝에 인쇄 배선 기판이 제공된 표시 모듈, 및 COG(chip on glass)법에 의하여 발광 소자에 IC(집적 회로)가 직접 실장된 표시 모듈을 그 범주에 포함할 수 있다.

### 발명의 효과

[0027] 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 소비전력이 낮은 발광 소자를 제공할 수 있다. 본 발명의 다른 일 형태는 신뢰성이 높은 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 표시 장치를 제공할 수 있다.

[0028] 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

[0029] 첨부 도면에 있어서:

도 1은 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자의 단면 모식도.

도 2의 (A)는 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자의 발광층의 단면 모식도이고, 도 2의 (B) 및 (C)는 에너지 준위의 상관을 도시한 것.

도 3은 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자의 발광층의 에너지 준위의 상관을 도시한 것.

도 4는 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자의 단면 모식도.

도 5는 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자의 단면 모식도.

도 6의 (A) 및 (B)는 각각 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자의 단면 모식도.

도 7의 (A) 및 (B)는 본 발명의 일 형태에 따른 표시 장치를 도시한 상면도 및 단면 모식도.

도 8의 (A) 및 (B)는 본 발명의 일 형태에 따른 표시 장치를 각각 도시한 단면 모식도.

도 9의 (A) 및 (B)는 본 발명의 일 형태에 따른 표시 장치를 각각 도시한 단면 모식도.

도 10은 본 발명의 일 형태에 따른 표시 모듈을 도시한 사시도.

도 11의 (A) 내지 (G)는 본 발명의 일 형태에 따른 전자 기기를 도시한 것.

도 12의 (A) 내지 (C)는 본 발명의 일 형태에 따른 표시 장치를 도시한 것.

도 13은 본 발명의 일 형태에 따른 조명 장치를 도시한 것.

도 14는 실시예에서의 발광 소자의 휘도-전류 밀도 특성을 나타낸 것.

도 15는 실시예에서의 발광 소자의 휘도-전압 특성을 나타낸 것.

도 16은 실시예에서의 발광 소자의 전류 효율-휘도 특성을 나타낸 것.

도 17은 실시예에서의 발광 소자의 전력 효율-휘도 특성을 나타낸 것.

도 18은 실시예에서의 발광 소자의 외부 양자 효율-휘도 특성을 나타낸 것.

도 19는 실시예에서의 발광 소자의 전계 발광 스펙트럼을 나타낸 것.

도 20은 실시예에서의 박막의 발광 스펙트럼을 나타낸 것.

도 21은 실시예에서의 화합물의 흡수 및 발광 스펙트럼을 나타낸 것.

도 22는 실시예에서의 발광 소자의 휘도-전류 밀도 특성을 나타낸 것.

도 23은 실시예에서의 발광 소자의 휘도-전압 특성을 나타낸 것.

도 24는 실시예에서의 발광 소자의 전류 효율-휘도 특성을 나타낸 것.

도 25는 실시예에서의 발광 소자의 전력 효율-휘도 특성을 나타낸 것.

도 26은 실시예에서의 발광 소자의 외부 양자 효율-휘도 특성을 나타낸 것.

도 27은 실시예에서의 발광 소자의 전계 발광 스펙트럼을 나타낸 것.

도 28은 실시예에서의 화합물의 흡수 스펙트럼을 나타낸 것.

도 29는 실시예에서의 화합물의 흡수 스펙트럼을 나타낸 것.

도 30은 실시예에서의 발광 소자의 외부 양자 효율-휘도 특성을 나타낸 것.

도 31은 실시예에서의 발광 소자의 전계 발광 스펙트럼을 나타낸 것.

도 32는 실시예에서의 파도 EL 곡선을 나타낸 것.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0030]

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

[0031]

또한, 도면 등에 도시된 각 구조의 위치, 크기, 또는 범위 등을 이해를 쉽게 하기 위하여 정확하게 나타내지 않은 경우가 있다. 따라서, 개시된 발명은 도면 등에 개시된 위치, 크기, 또는 범위 등에 반드시 한정되지는 않는다.

[0032]

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 특정하는 것과 반드시 같지는 않다.

- [0033] 본 명세서 등에서 도면을 참조하여 본 발명의 형태를 설명하는 데 있어, 상이한 도면의 같은 구성 요소는 같은 부호로 나타내는 경우가 있다.
- [0034] 본 명세서 등에서는, "막" 및 "층"이라는 용어를 서로 교체할 수 있다. 예를 들어, "도전층"이라는 용어를 "도전막"이라는 용어로 바꿀 수 있는 경우가 있다. 또한, "절연막"이라는 용어를 "절연층"이라는 용어로 바꿀 수 있는 경우가 있다.
- [0035] 본 명세서 등에서, 단일항 여기 상태( $S^*$ )란 여기 에너지를 갖는 단일항 상태를 말한다. S1 준위는 단일항 여기 에너지 준위의 가장 낮은 준위, 즉 가장 낮은 단일항 여기 상태(S1 상태)의 여기 에너지 준위를 의미한다. 삼중항 여기 상태( $T^*$ )란 여기 에너지를 갖는 삼중항 상태를 말한다. T1 준위는 삼중항 여기 에너지 준위의 가장 낮은 준위, 즉 가장 낮은 삼중항 여기 상태(T1 상태)의 여기 에너지 준위를 의미한다. 또한, 본 명세서 등에서, "단일항 여기 상태" 및 "단일항 여기 에너지 준위"라는 단순한 표현은 각각 S1 상태 및 S1 준위를 의미하는 경우가 있다. 또한, "삼중항 여기 상태" 및 "삼중항 여기 에너지 준위"라는 표현은 각각 T1 상태 및 T1 준위를 의미하는 경우가 있다.
- [0036] 본 명세서 등에서 형광성 화합물이란, 단일항 여기 상태로부터 기저 상태로 완화될 때에 가시광 영역의 광을 방출하는 화합물을 말한다. 인광성 화합물이란, 삼중항 여기 상태로부터 기저 상태로 완화될 때에 실온에서 가시광 영역의 광을 방출하는 화합물을 말한다. 즉, 인광성 화합물이란, 삼중항 여기 에너지를 가시광으로 변환할 수 있는 화합물을 말한다.
- [0037] 또한, 본 명세서 등에서 실온이란, 0°C 이상 40°C 이하의 범위의 온도를 말한다.
- [0038] 본 명세서 등에서, 청색의 파장 영역이란 400nm 이상 490nm 미만의 파장 영역을 말하고, 청색의 광은 발광 스펙트럼의 상기 파장 영역에 적어도 하나의 피크를 갖는다. 녹색의 파장 영역이란 490nm 이상 580nm 미만의 파장 영역을 말하고, 녹색의 광은 발광 스펙트럼의 상기 파장 영역에 적어도 하나의 피크를 갖는다. 적색의 파장 영역이란 580nm 이상 680nm 이하의 파장 영역을 말하고, 적색의 광은 발광 스펙트럼의 상기 파장 영역에 적어도 하나의 피크를 갖는다.
- [0039] (실시형태 1)
- [0040] 본 실시형태에서는, 도 1, 도 2의 (A) 내지 (C), 및 도 3을 참조하여 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자에 대하여 이하에서 설명한다.
- [0041] <발광 소자의 구조예>
- [0042] 먼저, 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자의 구조에 대하여 도 1을 참조하여 이하에서 설명한다.
- [0043] 도 1은 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자(150)의 단면 모식도이다.
- [0044] 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.
- [0045] 도 1에 도시된 EL층(100)은 발광층(130)에 더하여, 정공 주입층(111), 정공 수송층(112), 전자 수송층(118), 및 전자 주입층(119) 등의 기능층을 포함한다.
- [0046] 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.
- [0047] 정공 주입층(111), 정공 수송층(112), 전자 수송층(118), 및 전자 주입층(119) 중 적어도 하나가 포함되기만 하면, EL층(100)의 구조는 도 1에 도시된 구조에 한정되지 않는다. 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 퀘칭을 억제하는 기능을 갖는 기능층을 포함하여도 좋다. 또한, 기능층은 단층일 수도 있고 적층일 수도 있다.
- [0048] <발광 소자의 발광 기구>

[0049] 다음으로, 발광층(130)의 발광 기구에 대하여 이하에서 설명한다.

[0050] 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자(150)에서는, 한 쌍의 전극(전극(101 및 102)) 사이에 전압을 인가함으로써, 전자 및 정공이 각각 음극 및 양극으로부터 EL층(100)에 주입될 수 있기 때문에, 전류가 흐른다. 주입된 전자와 정공이 재결합됨으로써, 여기자가 형성된다. 통계적으로 얻은 확률에 따르면, 캐리어(전자 및 정공)의 재결합에 의하여 생성되는 단일항 여기자 대 삼중항 여기자의 비율(생성 확률)은 1:3이다. 바꿔 말하면, 단일항 여기자의 생성 확률은 25%이고, 삼중항 여기자의 생성 확률은 75%이다. 따라서, 발광 소자의 발광 효율을 항상시키기 위해서는, 삼중항 여기자를 발광에 기여시키는 것이 중요하다. 이러한 이유로, 발광층(130)을 위한 발광 재료로서는, 삼중항 여기 에너지를 발광으로 변환시키는 기능을 갖는 재료를 사용하는 것이 바람직하다.

[0051] 삼중항 여기 에너지를 발광으로 변환시키는 기능을 갖는 재료로서는, 인광을 방출할 수 있는 화합물(이하, 인광성 화합물이라고도 함)을 들 수 있다. 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 상태와 삼중항 상태의 항간 교차가 촉진되고, 인광성 화합물의 단일항 기저 상태와 삼중항 여기 상태 사이의 전이가 가능해진다. 이는 인광성 화합물의 단일항 기저 상태와 삼중항 여기 상태 사이의 전이의 확률이 높아지기 때문에, 이 전이에 관련된 발광 효율 및 흡수 확률을 높일 수 있다는 것을 의미한다. 따라서, 인광성 화합물은 스핀 궤도 상호 작용이 큰 금속 원소, 구체적으로는 전이 금속 원소를 포함하는 것이 바람직하다. 특히, 백금족 원소(루테늄(Ru), 로듐(Rh), 팔라듐(Pd), 오스뮴(Os), 이리듐(Ir), 또는 백금(Pt)), 특히 이리듐을 포함하면, 단일항 기저 상태와 삼중항 여기 상태 사이의 직접 전이의 확률을 높일 수 있기 때문에 바람직하다.

[0052] 삼중항 여기 에너지를 발광으로 변환하는 기능을 갖는 재료로서는, 열 활성화 지연 형광(TADF) 재료를 들 수도 있다. 또한, 열 활성화 지연 형광 재료는, T1 준위와 S1 준위의 차이가 작고, 역 항간 교차에 의하여 삼중항 여기 에너지를 단일항 여기 에너지로 변환하는 기능을 갖는 재료이다. 그러므로, 열 활성화 지연 형광 재료는, 적은 열 에너지를 사용하여 삼중항 여기 에너지를 단일항 여기 에너지로 업컨버트(upconvert)(즉, 역 항간 교차)할 수 있고, 단일항 여기 상태를 효율적으로 생성할 수 있다. 들뜬 복합체는 S1 준위와 T1 준위의 차이가 매우 작고, 삼중항 여기 에너지를 단일항 여기 에너지로 변환할 수 있는 열 활성화 지연 형광 재료로서 기능한다.

[0053] 본 발명의 일 형태에서, 발광층(130)은 들뜬 복합체를 형성하는 2종류의 물질을 포함한다. 또한, 발광층(130)은 단일항 여기 에너지를 발광으로 변환할 수 있는 재료를 발광 재료로서 포함한다. 이러한 구조에 의하여, 들뜬 복합체에서 역 항간 교차에 의하여 삼중항 여기 에너지를 단일항 여기 에너지로 변환하고, 단일항 여기 에너지를 발광 재료로 이동시킴으로써, 발광 재료로부터 발광을 효율적으로 얻을 수 있다.

[0054] 들뜬 복합체를 형성하는 화합물을 중 한쪽으로서 삼중항 여기 에너지를 발광으로 단체로 변환할 수 있는 화합물을 사용함으로써, 비(非)발광성 삼중항 여기 에너지를 발광성 단일항 여기 에너지 또는 발광성 삼중항 여기 에너지로 효율적으로 변환할 수 있는 들뜬 복합체가 형성될 수 있는 것을 본 발명자들은 찾아내었다. 들뜬 복합체를 형성하는 화합물을 중 한쪽으로서 중원자를 포함하는 화합물을 사용하면, 스핀 궤도 상호 작용(전자의 스핀 각운동량과 궤도 각운동량의 상호 작용)에 의하여 단일항 상태와 삼중항 상태 사이의 항간 교차가 촉진된다. 바꿔 말하면, 들뜬 복합체에서 삼중항 여기 상태로부터 단일항 여기 상태로의 역 항간 교차가 촉진되기 때문에, 들뜬 복합체에서 단일항 여기 상태의 생성 확률을 높일 수 있다. 이 결과, 단일항 여기 상태로부터 광을 효율적으로 방출하는 들뜬 복합체를 형성할 수 있다. 삼중항 여기 상태로부터 단일항 기저 상태로의 전이의 확률을 높일 수도 있기 때문에, 삼중항 여기 상태로부터 광을 효율적으로 방출하는 들뜬 복합체를 형성할 수 있다. 즉, 두 가지 경우 모두에서, 들뜬 복합체는 광을 방출할지에 대해서는 제한이 없다(들뜬 복합체의 단일항 에너지 및 삼중항 에너지는 서로 근접하기 때문에). 다만, 들뜬 복합체의 여기(발광) 수명은 일반적인 열 활성화 지연 형광 재료보다 상당히 짧다. 이 특징은 들뜬 복합체로부터 발광 재료로의 에너지 이동에 반영되어, 여기 상태로부터의 열화를 억제하기 때문에, 본질적으로 구동 수명이 긴 발광 소자를 얻을 수 있다. 이를 달성하기 위해서는, 들뜬 복합체를 형성하는 화합물을 중 한쪽이 스핀 궤도 상호 작용이 큰 금속 원소, 구체적으로는 전이 금속 원소를 포함하는 것이 바람직하다. 특히, 백금족 원소(루테늄(Ru), 로듐(Rh), 팔라듐(Pd), 오스뮴(Os), 이리듐(Ir), 또는 백금(Pt)), 특히 이리듐을 포함하면, 들뜬 복합체에서 단일항 여기 상태와 삼중항 여기 상태 사이의

항간 교차를 높일 수 있기 때문에 바람직하다.

[0055] 상기 구조에서는, 발광 양자 수율이 높은 재료를 들뜬 복합체를 형성하기 위하여 사용할 필요가 없기 때문에, 재료의 설계가 용이해지고 넓은 선택 범위에서 재료를 선택할 수 있다. 구체적으로는, 들뜬 복합체를 형성하는 화합물들 중 적어도 한쪽이 삼중향 여기 에너지를 발광으로 단체로 변환하는 기능을 갖는 경우 또는 상기 화합물들 중 적어도 한쪽이 백금족 원소(Ru, Rh, Pd, Os, Ir, 또는 Pt)를 포함하는 경우, 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.

[0056] 도 2의 (A)는 도 1의 발광층(130)의 예를 도시한 단면 모식도이다. 도 2의 (A)에 도시된 발광층(130)은 화합물(131), 화합물(132), 및 화합물(133)을 포함한다. 본 발명의 일 형태에서, 화합물(133)은 형광성 화합물인 것이 바람직하다. 또한, 화합물(131)은 인광성 화합물인 것이 바람직하다. 이하에서는 인광성 화합물을 화합물(131)로서 사용하는 구조에 대하여 설명하지만, 화합물이 백금족 원소를 포함하기만 하면, 실온에서 광을 방출하지 않는 화합물을 사용하여도 좋다.

[0057] 발광층(130)에 포함되는 화합물(131) 및 화합물(132)은 들뜬 복합체를 형성하는 것이 바람직하다.

[0058] 화합물(131 및 132)은 들뜬 복합체를 형성할 수 있기만 하면 좋지만, 이를 중 한쪽이 정공을 수송하는 기능(정공 수송성)을 갖는 화합물이고, 다른 쪽이 전자를 수송하는 기능(전자 수송성)을 갖는 화합물인 것이 바람직하다. 이 경우, 도너-액셉터(donor-acceptor) 들뜬 복합체가 쉽게 형성되기 때문에, 들뜬 복합체의 효율적인 형성이 가능하다. 화합물(131 및 132)이 정공 수송성을 갖는 화합물 및 전자 수송성을 갖는 화합물인 경우에는, 그 혼합비를 조정함으로써 캐리어 밸런스를 쉽게 제어할 수 있다. 구체적으로는, 정공 수송성을 갖는 화합물 대 전자 수송성을 갖는 화합물의 중량비를 1:9 내지 9:1의 범위 내로 하는 것이 바람직하다. 이 구조에 의하여 캐리어 밸런스를 쉽게 제어할 수 있기 때문에, 캐리어 재결합 영역도 쉽게 제어할 수 있다.

[0059] 화합물(131) 및 화합물(132)이 들뜬 복합체를 효율적으로 형성하기 위해서는, 화합물(131 및 132) 중 한쪽의 최고 점유 분자 궤도(HOMO라고도 함) 준위가 화합물(131 및 132) 중 다른 쪽의 HOMO 준위보다 높은 것이 바람직하고, 화합물(131 및 132) 중 한쪽의 최저 비점유 분자 궤도(LUMO라고도 함) 준위가 화합물(131 및 132) 중 다른 쪽의 LUMO 준위보다 높은 것이 바람직하다. 또한, 화합물(131)의 HOMO 준위는 화합물(132)의 HOMO 준위와 동등하여도 좋고, 또는 화합물(131)의 LUMO 준위가 화합물(132)의 LUMO 준위와 동등하여도 좋다.

[0060] 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.

[0061] 예를 들어, 화합물(131)이 정공 수송성을 갖고, 화합물(132)이 전자 수송성을 갖는 경우에는, 도 2의 (B)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, 캐리어로서 기능하는 전자 및 정공이 각각 화합물(131) 및 화합물(132)에 쉽게 주입되기 때문에 적합하다.

[0062] 도 2의 (B)에서, Comp(131)은 화합물(131)을 나타내고, Comp(132)는 화합물(132)을 나타내고,  $\Delta E_{c1}$ 은 화합물(131)의 LUMO 준위와 HOMO 준위의 에너지 차를 나타내고,  $\Delta E_{c2}$ 는 화합물(132)의 LUMO 준위와 HOMO 준위의 에너지 차를 나타내고,  $\Delta E_{ex}$ 는 화합물(132)의 LUMO 준위와 화합물(131)의 HOMO 준위의 에너지 차를 나타낸다.

[0063] 화합물(131) 및 화합물(132)에 의하여 형성되는 들뜬 복합체는 화합물(131)에 HOMO를, 화합물(132)에 LUMO를 갖는다. 상기 들뜬 복합체의 여기 에너지는 화합물(132)의 LUMO 준위와 화합물(131)의 HOMO 준위의 에너지 차( $\Delta E_{ex}$ )에 실질적으로 상당하고, 이는 화합물(131)의 LUMO 준위와 HOMO 준위의 에너지 차( $\Delta E_{c1}$ ) 및 화합물(132)의 LUMO 준위와 HOMO 준위의 에너지 차( $\Delta E_{c2}$ )보다 작다. 그러므로, 화합물(131) 및 화합물(132)이 들뜬 복합체를 형성하면, 더 낮은 여기 에너지로 여기 상태를 형성할 수 있다. 더 낮은 여기 에너지를 갖기 때문에, 상기 들뜬 복합체는 안정적인 여기 상태를 형성할 수 있다.

[0064] 도 2의 (C)는 발광층(130)에서의 화합물(131, 132, 및 133)의 에너지 준위의 상관을 나타낸 것이다. 다음은 도 2의 (C)에서의 용어 및 부호가 나타내는 것에 대하여 설명하는 것이다:

[0065] Comp(131): 화합물(131)(인광성 화합물);

- [0066] Comp(132): 화합물(132);
- [0067] Guest(133): 화합물(133)(형광성 화합물)
- [0068]  $S_{C1}$ : 화합물(131)의 S1 준위;
- [0069]  $T_{C1}$ : 화합물(131)의 T1 준위;
- [0070]  $S_{C2}$ : 화합물(132)의 S1 준위;
- [0071]  $T_{C2}$ : 화합물(132)의 T1 준위;
- [0072]  $S_G$ : 화합물(133)의 S1 준위;
- [0073]  $T_G$ : 화합물(133)의 T1 준위;
- [0074]  $S_{Ex}$ : 들뜬 복합체의 S1 준위; 및
- [0075]  $T_{Ex}$ : 들뜬 복합체의 T1 준위.
- [0076] 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자에서는, 발광층(130)에 포함되는 화합물(131) 및 화합물(132)이 들뜬 복합체를 형성한다. 들뜬 복합체의 S1 준위( $S_{Ex}$ )와 들뜬 복합체의 T1 준위( $T_{Ex}$ )는 서로 근접한다(도 2의 (C)의 루트  $A_1$  참조).
- [0077] 들뜬 복합체는 2종류의 재료로 형성되는 여기 상태이고, 다음 2가지 과정 중 어느 쪽을 거쳐 주로 형성된다.
- [0078] 상기 과정 중 하나는 일렉트로플렉스(electroplex)의 형성 과정이다. 본 명세서 등에서 일렉트로플렉스란, 캐리어 주입으로 인하여 형성된 이온화된(양이온 상태 또는 음이온 상태에 있는) 화합물(131 및 132)의 상호 작용에 의하여 형성된 들뜬 복합체를 말한다. 또한, 일렉트로플렉스의 형성 과정은 전자 여기에서 일어난다. 본 실시형태에서, 일렉트로플렉스의 형성 과정은, 화합물(131 및 132) 중 한쪽이 정공을 받고 다른 쪽이 전자를 받고, 화합물(131 및 132)이 서로 상호 작용하여 들뜬 복합체가 즉시 형성되는 과정에 상당한다. 일렉트로플렉스의 형성 과정에서는, 들뜬 복합체가 즉시 형성되며, 화합물(131) 또는 화합물(132)에 의하여 여기 상태가 단체로 형성되지 않는다. 따라서, 들뜬 복합체를 형성하는 화합물들(화합물(131 및 132))의 여기 수명 및 발광 양자 수율 등의 특성은, 들뜬 복합체의 형성 과정에 영향을 미치지 않는다. 바꿔 말하면, 들뜬 복합체를 형성하는 화합물들(화합물(131 및 132))의 발광 양자 수율이 낮은 경우에도, 본 발명의 일 형태는 들뜬 복합체를 효율적으로 형성할 수 있다. 또한, 이 형성 과정에서, 화합물(131)의 S1 준위( $S_{C1}$ )는 화합물(132)의 S1 준위( $S_{C2}$ )보다 높아도 좋고 낮아도 좋고, 화합물(131)의 T1 준위( $T_{C1}$ )는 화합물(132)의 T1 준위( $T_{C2}$ )보다 높아도 좋고 낮아도 좋다.
- [0079] 상기 과정 중 다른 하나는, 여기 에너지를 받음으로써 여기 상태가 된 한쪽의 화합물이, 기저 상태에 있는 다른 쪽의 화합물과 상호 작용할 때 들뜬 복합체를 형성하는 과정이다. 이 들뜬 복합체의 형성 과정은 광 여기 및 전기 여기에서 일어날 수 있다. 본 실시형태에서, 들뜬 복합체의 형성 과정은, 화합물(131 및 132) 중 한쪽이 광 또는 전기 에너지를 받아 여기 상태가 되고, 기저 상태에 있는 다른 쪽과 즉시 상호 작용하여 들뜬 복합체를 형성하는 과정에 상당한다. 이 들뜬 복합체의 형성 과정에서는, 화합물(131)이 여기 상태가 되고 그 여기 상태의 비활성화 속도가 빠른 경우에도, 화합물(131)의 T1 준위( $T_{C1}$ )가 화합물(132)의 T1 준위( $T_{C2}$ ) 이상이기만 하면, 화합물(131)의 T1 준위( $T_{C1}$ )로부터 화합물(132)의 T1 준위( $T_{C2}$ )로 여기 에너지가 이동할 수 있다. 화합물(131)의 T1 준위( $T_{C1}$ )로부터 화합물(132)의 T1 준위( $T_{C2}$ )로 여기 에너지가 이동한 후, 화합물(131) 및 화합물(132)은 들뜬 복합체를 형성할 수 있다. 그러므로, 화합물(131)의 여기 상태의 비활성화 속도가 빠르고 화합물(131)의 발광 양자 수율이 낮더라도, 본 발명의 일 형태는 들뜬 복합체를 효율적으로 형성할 수 있다. 또한, 이 형성 과정에서, 화합물(131)의 S1 준위( $S_{C1}$ )는 화합물(132)의 S1 준위( $S_{C2}$ )보다 높아도 좋고 낮아도 좋다.
- [0080] 상술한 과정 중 어느 쪽을 거쳐 형성된 들뜬 복합체는, 광을 방출하거나 또는 여기 에너지를 다른 재료에 공급하는 등에 의하여 여기 에너지를 잃고 기저 상태가 되면, 들뜬 복합체를 형성하는 2가지 물질은 원래의 2가지 물질로서 기능한다.

- [0081] 들뜬 복합체의 여기 에너지 준위( $S_{Ex}$  및  $T_{Ex}$ )는, 들뜬 복합체를 형성하는 재료들(화합물(131 및 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 저감시킬 수 있다.
- [0082] 들뜬 복합체의 S1 준위 및 T1 준위( $S_{Ex}$  및  $T_{Ex}$ )는 서로 인접하기 때문에, 들뜬 복합체는 열 활성화 지연 형광을 방출하는 기능을 갖는다. 바꿔 말하면, 들뜬 복합체는 역 항간 교차(업컨버전)에 의하여 삼중항 여기 에너지를 단일항 여기 에너지로 변환하는 기능을 갖는다. 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( $S_{Ex}$  및  $T_{Ex}$ )의 에너지 차는 바람직하게는 0eV보다 크고 0.2eV 이하, 더 바람직하게는 0eV보다 크고 0.1eV 이하이다. 또한, 역 항간 교차를 효율적으로 일으키기 위해서는, 들뜬 복합체의 T1 준위( $T_{Ex}$ )가, 들뜬 복합체를 형성하는 재료(화합물(131 및 132))의 T1 준위( $T_{C1}$  및  $T_{C2}$ )보다 낮은 것이 바람직하다. 이 경우에는, 화합물(131) 및 화합물(132)에 의하여 형성되는 들뜬 복합체의 삼중항 여기 에너지의 퀸칭이 일어나기 어려워져, 들뜬 복합체에 의한 삼중항 여기 에너지로부터 단일항 여기 에너지로의 역 항간 교차가 효율적으로 발생한다.
- [0083] 또한, 들뜬 복합체의 단일항 여기 에너지 준위( $S_{Ex}$ )는, 발광 재료로서 기능하는 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( $S_{Ex}$ )로부터 화합물(133)의 단일항 여기 에너지 준위( $S_G$ )로 이동할 수 있다.
- [0084] 본 발명의 일 형태에서는 들뜬 복합체를 형성하는 화합물을 중 한쪽으로서 중원자를 포함하는 화합물을 사용하기 때문에, 단일항 상태와 삼중항 상태 사이의 항간 교차가 촉진된다. 그러므로, 삼중항 여기 상태를 단일항 기저 상태로 전이할 수 있는 들뜬 복합체(즉, 인광을 방출할 수 있는 들뜬 복합체)를 형성할 수 있다. 이 경우, 들뜬 복합체의 삼중항 여기 에너지 준위( $T_{Ex}$ )는 발광 재료로서 기능하는 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( $T_{Ex}$ )로부터 화합물(133)의 단일항 여기 에너지 준위( $S_G$ )로 이동할 수 있다. 또한, 들뜬 복합체의 S1 준위 및 T1 준위( $S_{Ex}$  및  $T_{Ex}$ )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.
- [0085] 상술한 에너지 이동 과정을 거쳐, 화합물(133)은 단일항 여기 상태가 되고 광을 방출할 수 있다(도 2의 (C)의 루트 A<sub>2</sub> 참조).
- [0086] 발광 재료로서 기능하는 화합물(133)의 단일항 여기 상태로부터 효율적인 발광을 얻기 위해서는, 화합물(133)의 형광 양자 수율이 높은 것이 바람직하고, 구체적으로는 50% 이상, 더 바람직하게는 70% 이상, 더욱 바람직하게는 90% 이상이다.
- [0087] 또한, 화합물(133)이 형광성 화합물로서 기능하고, 화합물(133)의 단일항 기저 상태로부터 삼중항 여기 상태로의 직접 전이가 금지되어 있기 때문에, 들뜬 복합체의 단일항 여기 에너지 준위( $S_{Ex}$ )로부터 화합물(133)의 삼중항 여기 에너지 준위( $T_G$ )로의 에너지 이동이 주된 에너지 이동 과정이 되기 어렵다.
- [0088] 들뜬 복합체의 삼중항 여기 에너지 준위( $T_{Ex}$ )로부터 화합물(133)의 삼중항 여기 에너지 준위( $T_G$ )로의 삼중항 여기 에너지의 이동이 일어나면, 삼중항 여기 에너지는 비활성화된다(도 2의 (C)의 루트 A<sub>3</sub> 참조). 그러므로, 루트 A<sub>3</sub>의 에너지 이동이 일어나기 어려우면, 화합물(133)의 삼중항 여기 상태가 생성될 효율을 저감시킬 수 있고, 열 비활성화를 감소시킬 수 있기 때문에 바람직하다. 이 조건으로 하기 위해서는, 화합물(131 및 132)의 총량에 대한 화합물(133)의 중량비가 낮은 것이 바람직하고, 구체적으로는 0.001 이상 0.05 이하가 바람직하고, 0.001 이상 0.01 이하가 더 바람직하다.
- [0089] 또한, 화합물(133)에서 캐리어의 직접 재결합 과정이 지배적이면, 발광층(130)에서 다수의 삼중항 여기자가 생성되기 때문에, 열 비활성화로 인하여 발광 효율이 저하된다. 따라서, 화합물(133)에서 들뜬 복합체의 형성 과

정을 거친 에너지 이동 과정(도 2의 (C)에서의 루트 A<sub>1</sub> 및 A<sub>2</sub>)의 확률이, 캐리어의 직접 재결합 과정의 확률보다 높으면, 화합물(133)의 삼중향 여기 상태의 생성 효율을 저감시킬 수 있고 열 비활성화를 감소시킬 수 있기 때문에 바람직하다. 그러므로, 상술한 바와 같이, 화합물(131 및 132)의 총량에 대한 화합물(133)의 중량비가 낮은 것이 바람직하고, 구체적으로는 0.001 이상 0.05 이하가 바람직하고, 0.001 이상 0.01 이하가 더 바람직하다.

[0090] 일렉트로플렉스의 형성 과정을 더 쉽게 일으키기 위해서는, 예를 들어, 화합물(131)이 정공 수송성을 갖고 화합물(132)이 전자 수송성을 갖는 경우, 화합물(131)의 HOMO 준위가 화합물(132)의 HOMO 준위보다 높고, 화합물(131)의 LUMO 준위가 화합물(132)의 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, 캐리어로서 기능하는 전자 및 정공이 각각 화합물(131) 및 화합물(132)에 쉽게 주입되기 때문에 적합하다.

[0091] 화합물(131)은 전자 수송성을 가져도 좋고, 화합물(132)은 정공 수송성을 가져도 좋다. 이 경우, 도 3의 에너지 밴드도에서와 같이, 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.

[0092] 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.

[0093] 상술한 식으로 루트 A<sub>1</sub> 및 A<sub>2</sub>의 에너지 이동 과정을 모두 효율적으로 일어나게 하면, 발광총(130)에서 생성된 단일향 여기 에너지 및 삼중향 여기 에너지의 양쪽 모두가 화합물(133)의 단일향 여기 에너지로 효율적으로 변환될 수 있기 때문에, 발광 소자(150)는 높은 발광 효율로 광을 방출할 수 있다.

[0094] 본 명세서 등에서는, 상술한 루트 A<sub>1</sub> 및 A<sub>2</sub>를 거친 과정을 ExSET(exciplex-singlet energy transfer) 또는 ExEF(exciplex-enhanced fluorescence)라고 할 수 있다. 바꿔 말하면, 발광총(130)에서는, 들뜬 복합체로부터 형광성 화합물로 여기 에너지가 이동한다.

[0095] 발광총(130)이 상술한 구조를 가지면, 발광총(130)의 형광성 화합물로부터의 발광을 효율적으로 얻을 수 있다.

[0096] <에너지 이동 기구>

[0097] 여기서, 문자간 에너지 이동의 과정을 제어하는 인자에 대하여 설명한다. 문자간 에너지 이동의 기구로서는, 2 가지 기구, 즉 퀘르스터 기구(쌍극자-쌍극자 상호 작용)와 엑스터 기구(전자 교환 상호 작용)가 제안되고 있다. 여기서는, 여기 상태에 있는 제 1 재료와 기저 상태에 있는 제 2 재료의 문자간 에너지 이동 과정에 대하여 설명하지만, 이를 중 한쪽이 들뜬 복합체인 경우에도 마찬가지로 적용할 수 있다.

[0098] <<퀘이스터 기구>>

[0099] 퀘르스터 기구에서는, 에너지 이동에 문자간의 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 기저 상태가 되고 기저 상태에 있는 제 2 재료가 여기 상태가 된다. 또한, 퀘르스터 기구의 속도 상수  $k_{h^* \rightarrow g}$ 는 식 (1)로 나타내어진다.

[0100] [식 1]

$$k_{h^* \rightarrow g} = \frac{9000\epsilon^4 K^2 \phi \ln 10}{128\pi^5 n^4 N \tau R^6} \int \frac{f'_h(v) \epsilon_g(v)}{v^4} dv \quad \dots \text{[식 1]}$$

[0101] [0102] 식 (1)에서 v는 진동수를 나타내고,  $f'_h(v)$ 는 제 1 재료의 정규화된 발광 스펙트럼(단일향 여기 상태로부터의 에너지 이동을 논하는 경우에는 형광 스펙트럼, 그리고 삼중향 여기 상태로부터의 에너지 이동을 논하는 경우에는 인광 스펙트럼)을 나타내고,  $\epsilon_g(v)$ 는 제 2 재료의 몰 흡수 계수를 나타내고, N은 아보가드로 수를 나타내고, n은 매체의 굴절률을 나타내고, R은 제 1 재료와 제 2 재료의 문자간 거리를 나타내고,  $\tau$ 는 측정되는 여기 상태의 수명(형광 수명 또는 인광 수명)을 나타내고, c는 광의 속도를 나타내고,  $\phi$ 는 발광 양자 수율(단일향

여기 상태로부터의 에너지 이동을 논하는 경우에는 형광 양자 수율, 그리고 삼중향 여기 상태로부터의 에너지 이동을 논하는 경우에는 인광 양자 수율)을 나타내고,  $K^2$ 는 제 1 재료와 제 2 재료 사이의 전이 쌍극자 모멘트의 배향의 계수(0 내지 4)를 나타낸다. 또한, 랜덤 배향에서는,  $K^2=2/3$ 이다.

[0103] <<텍스터 기구>>

[0104] 텍스터 기구에서, 제 1 재료와 제 2 재료는 이들의 궤도가 중첩되는 접촉 유효 거리에 가깝고, 여기 상태에 있는 제 1 재료와 기저 상태에 있는 제 2 재료가 전자를 교환하여 에너지 이동이 일어난다. 또한, 텍스터 기구의 속도 상수  $k_{h^* \rightarrow g}$ 는 식 (2)로 나타내어진다.

[0105] [식 2]

$$k_{h^* \rightarrow g} = \left(\frac{2\pi}{h}\right) K^2 \exp\left(-\frac{2R}{L}\right) \int f'_h(v) e'_g(v) dv \quad \dots (2)$$

[0106] [0107] 식 (2)에서,  $h$ 는 플랑크 상수를 나타내고,  $K$ 는 에너지 차원을 갖는 상수를 나타내고,  $v$ 는 진동수를 나타내고,  $f'_h(v)$ 는 제 1 재료의 정규화된 발광 스펙트럼(단일향 여기 상태로부터의 에너지 이동을 논하는 경우에는 형광 스펙트럼, 그리고 삼중향 여기 상태로부터의 에너지 이동을 논하는 경우에는 인광 스펙트럼)을 나타내고,  $e'_g(v)$ 는 제 2 재료의 정규화된 흡수 스펙트럼을 나타내고,  $L$ 은 실효 분자 반경을 나타내고,  $R$ 은 제 1 재료와 제 2 재료의 분자간 거리를 나타낸다.

[0108] 여기서, 제 1 재료로부터 제 2 재료로의 에너지 이동 효율(에너지 이동 효율  $\phi_{ET}$ )은 식 (3)으로 나타내어진다. 이 식에서,  $k_r$ 은 제 1 재료의 발광 과정(단일향 여기 상태로부터의 에너지 이동을 논하는 경우에는 형광, 그리고 삼중향 여기 상태로부터의 에너지 이동을 논하는 경우에는 인광)의 속도 상수를 나타내고,  $k_n$ 은 제 1 재료의 비발광 과정(열 비활성화 또는 항간 교차)의 속도 상수를 나타내고,  $\tau$ 는 측정되는 제 1 재료의 여기 상태의 수명을 나타낸다.

[0109] [식 3]

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

[0110] [0111] 식 (3)에 따르면, 에너지 이동 효율  $\phi_{ET}$ 는, 에너지 이동의 속도 상수  $k_{h^* \rightarrow g}$ 를 크게 하여 다른 경합하는 속도 상수  $k_r+k_n(=1/\tau)$ 이 상대적으로 작아지도록 함으로써 높일 수 있는 것을 알 수 있다.

[0112] <<에너지 이동을 촉진하기 위한 개념>>

[0113] 먼저, 퀘르스터 기구에 의한 에너지 이동에 대하여 생각한다. 식 (3)에 식 (1)을 대입함으로써  $\tau$ 를 소거할 수 있다. 그러므로, 퀘르스터 기구에 있어서 에너지 이동 효율  $\phi_{ET}$ 는 제 1 재료의 여기 상태의 수명  $\tau$ 에 의존하지 않는다. 또한, 발광 양자 수율  $\phi$ (단일향 여기 상태로부터의 에너지 이동을 논하는 경우에는 형광 양자 수율, 그리고 삼중향 여기 상태로부터의 에너지 이동을 논하는 경우에는 인광 양자 수율)가 높을 때는 높은 에너지 이동 효율  $\phi_{ET}$ 가 얻어진다고 할 수 있다.

[0114] 또한, 제 1 재료의 발광 스펙트럼(단일향 여기 상태로부터의 에너지 이동을 논하는 경우에는 형광 스펙트럼, 그리고 삼중향 여기 상태로부터의 에너지 이동을 논하는 경우에는 인광 스펙트럼)이 제 2 재료의 흡수 스펙트럼(단일향 기저 상태로부터 단일향 여기 상태로의 전이에 상당하는 흡수)과 크게 중첩되는 것이 바람직하다. 또한, 제 2 재료의 물 흡수 계수도 높은 것이 바람직하다. 이는 제 1 재료의 발광 스펙트럼이 제 2 재료의 가장 긴 파장 측에 있는 흡수대와 중첩되는 것을 의미한다. 제 2 재료에서 단일향 기저 상태로부터 삼중향 여기 상태로의 직접 전이는 금지되기 때문에, 제 2 재료의 삼중향 여기 상태에서의 물 흡수 계수는 무시할 수 있다. 그러므로, 퀘르스터 기구에 의한 제 1 재료의 여기 상태로부터 제 2 재료로의 삼중향 여기 상태로의 에너지 이동의 과정은 무시할 수 있고, 제 2 재료의 단일향 여기 상태로의 에너지 이동의 과정만을 고려한다.

[0115] 다음으로, 텍스터 기구에 의한 에너지 이동에 대하여 생각한다. 식 (2)에 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, 그리고 삼중항 여기 상태로부터의 에너지 이동을 논하는 경우에는 인광 스펙트럼)이 제 2 재료의 흡수 스펙트럼(단일항 기저 상태로부터 삼중항 여기 상태로의 전이에 상당하는 흡수)과 크게 중첩되는 것이 바람직하다. 그러므로, 에너지 이동 효율은, 제 1 재료의 발광 스펙트럼을 제 2 재료의 가장 긴 파장 측에 있는 흡수대와 중첩시킴으로써 최적화할 수 있다.

[0116] 식 (3)에 식 (2)를 대입하면, 텍스터 기구에서의 에너지 이동 효율  $\phi_{ET}$ 가  $\tau$ 에 의존하는 것을 알 수 있다. 전자 교환에 기초한 에너지 이동 과정인 텍스터 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.

[0117] 제 1 재료로부터 제 2 재료로의 에너지 이동과 비슷한 식으로, 들뜬 복합체로부터 형광성 화합물로의 에너지 이동 과정에서도 퍼스트터 기구 및 텍스터 기구의 양쪽 모두에 의한 에너지 이동이 일어난다.

[0118] 제 2 재료가 형광성 화합물인 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자에서는, 제 2 재료의 삼중항 여기 상태로의 에너지 이동 효율이 낮은 것이 바람직하다. 즉, 제 1 재료로부터 제 2 재료로의 텍스터 기구에 기초한 에너지 이동 효율이 낮은 것이 바람직하고, 제 1 재료로부터 제 2 재료로의 퍼스트터 기구에 기초한 에너지 이동 효율이 높은 것이 바람직하다.

[0119] 상술한 바와 같이, 퍼스트터 기구에서의 에너지 이동 효율은 제 1 재료의 여기 상태의 수명  $\tau$ 에 의존하지 않는다. 한편, 텍스터 기구에서의 에너지 이동 효율은 제 1 재료의 여기 수명  $\tau$ 에 의존한다. 텍스터 기구에서의 에너지 이동 효율을 저하시키기 위해서는, 제 1 재료의 여기 수명  $\tau$ 가 짧은 것이 바람직하다.

[0120] 본 발명의 일 형태에서는, 제 1 재료에 들뜬 복합체를 사용하고, 상기 들뜬 복합체를 형성하는 화합물을 중 한 쪽이 삼중항 여기 에너지를 발광으로 변환시킬 수 있다. 본 발명의 일 형태의 구조에 의하여, 들뜬 복합체(제 1 재료)의 삼중항 여기 상태로부터 단일항 여기 상태로의 역 항간 교차를 촉진시킬 수 있고, 들뜬 복합체(제 1 재료)의 삼중항 여기 상태로부터 단일항 기저 상태로의 전이를 촉진시킬 수 있고, 들뜬 복합체(제 1 재료)의 삼중항 여기 상태의 여기 수명  $\tau$ 를 짧게 할 수 있다. 또한, 들뜬 복합체(제 1 재료)의 삼중항 여기 상태로부터 형광성 화합물(제 2 재료)의 삼중항 여기 상태로의 텍스터 기구에서의 에너지 이동 효율을 저하시킬 수 있다.

[0121] 상술한 바와 같이, 퍼스트터 기구에 의한 들뜬 복합체의 여기 상태로부터 형광성 화합물(제 2 재료)의 삼중항 여기 상태로의 에너지 이동 과정은 무시할 수 있다. 따라서, 본 발명의 일 형태에 따르면, 퍼스트터 기구 및 텍스터 기구의 양쪽 모두에서, 들뜬 복합체의 여기 상태로부터 형광성 화합물(제 2 재료)의 삼중항 여기 상태로의 에너지 이동 과정이 일어나기 어렵게 할 수 있다. 이 결과, 발광층(130)에서의 삼중항 여기 에너지의 비활성화를 억제할 수 있고, 발광 효율이 높은 발광 소자를 제공할 수 있다.

[0122] 또한, 들뜬 복합체로부터 방출되는 광에서 열 활성화 지연 형광 성분의 형광 수명은 짧은 것이 바람직하고, 구체적으로는 10ns 이상 50  $\mu$ s 이하, 더 바람직하게는 10ns 이상 20  $\mu$ s 이하, 더욱 바람직하게는 10ns 이상 10  $\mu$ s 이하이다.

[0123] 퍼스트터 기구의 속도 상수는 제 1 재료와 제 2 재료 사이의 거리의 6승에 반비례하고, 텍스터 기구의 속도 상수는 제 1 재료와 제 2 재료 사이의 거리의 지수 합수에 반비례한다. 따라서, 2개의 분자들 사이의 거리가 약 1nm 이하인 경우에는 텍스터 기구가 우세하고, 상기 거리가 약 1nm 이상인 경우에는 퍼스트터 기구가 우세하다. 텍스터 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, 퍼스트터 기구에 의한 에너지 이동을 효율적으로 일으키기 위해서는, 제 1 재료와 제 2 재료 사이의 거리가 5nm 이하인 것이 바람직하다.

[0124] 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.

[0125] 들뜬 복합체로부터 방출되는 광에서 열 활성화 지연 형광 성분의 비율은 높은 것이 바람직하다. 구체적으로는,

들뜬 복합체로부터 방출되는 광에서 열 활성화 지연 형광 성분의 비율은 바람직하게는 10% 이상, 더 바람직하게는 30% 이상, 더욱 바람직하게는 50% 이상이다.

[0126]

<재료>

[0127]

다음으로, 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자의 구성 요소에 대하여 이하에서 자세히 설명한다.

[0128]

<<발광층>>

[0129]

발광층(130)에 사용할 수 있는 재료에 대하여 이하에서 설명한다.

[0130]

들뜬 복합체가 형성될 수 있지만 하면 화합물(131) 및 화합물(132)에 대하여 특별한 제한은 없지만, 이들 중 한 쪽이 전자를 수송하는 기능을 갖고, 다른 쪽이 정공을 수송하는 기능을 갖는 것이 바람직하다.

[0131]

화합물(132)이 정공을 수송하는 기능을 갖는 경우, 화합물(132)은  $\pi$ 전자 과잉형 헤테로방향족 골격 및 방향족 아민 골격 중 적어도 하나를 포함하는 것이 바람직하다.

[0132]

화합물(132)에 포함되는  $\pi$ 전자 과잉형 헤�테로방향족 골격으로서는, 그 높은 안정성 및 신뢰성 때문에 퓨란 골격, 싸이오펜 골격, 및 피롤 골격 중 하나 이상이 바람직하다. 퓨란 골격으로서는, 다이벤조퓨란 골격이 바람직하다. 싸이오펜 골격으로서는, 다이벤조싸이오펜 골격이 바람직하다. 또한, 피롤 골격으로서는 인돌 골격, 카바졸 골격, 또는 3-(9-페닐-9H-카바졸-3-일)-9H-카바졸 골격이 바람직하다. 이들 골격의 각각은 치환기를 더 가져도 좋다.

[0133]

화합물(132)에 포함되는 방향족 아민 골격으로서는, NH 결합을 포함하지 않는 3급 아민, 특히 트라이아릴아민 골격을 사용하는 것이 바람직하다. 트라이아릴아민 골격의 아릴기로서는, 고리에 포함되는 탄소수가 6 내지 13인 치환 또는 비치환된 아릴기를 사용하는 것이 바람직하고, 그 예에는 페닐기, 나프틸기, 및 플루오렌일기가 포함된다.

[0134]

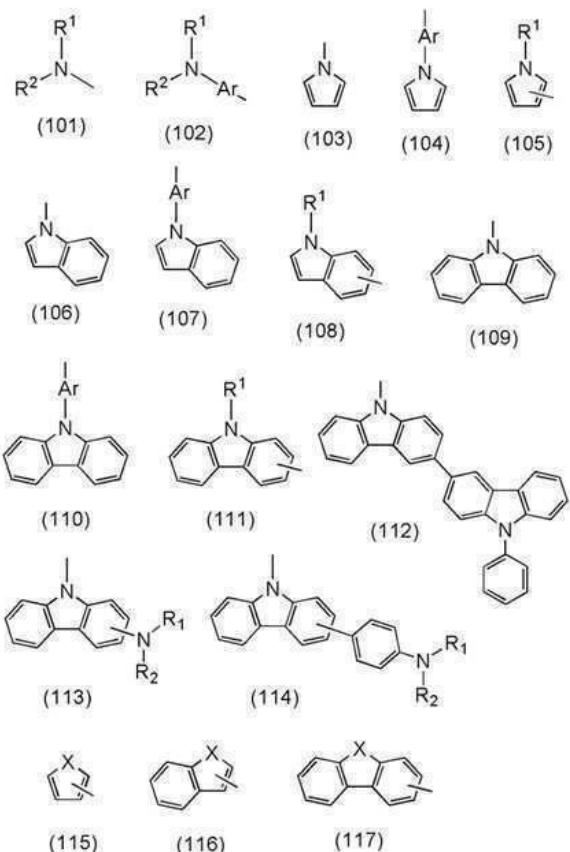
$\pi$ 전자 과잉형 헤�테로방향족 골격 및 방향족 아민 골격을 포함하는 구조는, 정공 수송성이 우수하므로 안정적이고 신뢰성이 높기 때문에 특히 바람직하다. 이러한 구조의 예에는, 카바졸 골격 및 아릴아민 골격을 포함하는 구조가 있다.

[0135]

상술한  $\pi$ 전자 과잉형 헤�테로방향족 골격 및 방향족 아민 골격의 예로서는, 다음 일반식(101) 내지 (117)로 나타내어지는 골격이 제시된다. 또한, 일반식(115) 내지 (117)에서 X는 산소 원자 또는 황 원자를 나타낸다.

[0136]

[화학식 1]



[0137]

[0138]

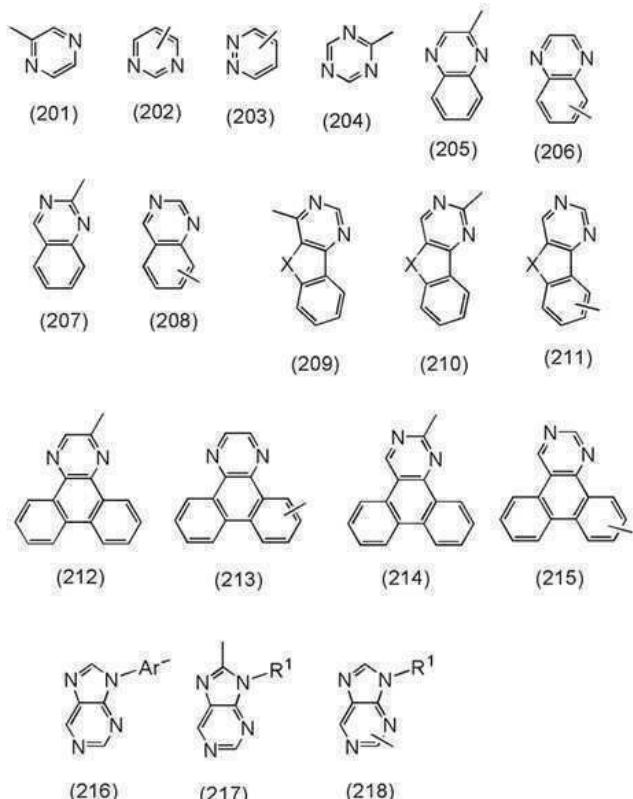
화합물(132)이 전자를 수송하는 기능을 갖는 경우, 화합물(132)은  $\pi$ 전자 부족형 헤테로방향족 골격을 포함하는 것이 바람직하다.  $\pi$ 전자 부족형 헤테로방향족 골격으로서는, 피리딘 골격, 다이아진 골격(피리미딘 골격, 피라진 골격, 또는 피리다진 골격), 또는 트라이아진 골격이 바람직하고, 특히 그 높은 안정성 및 신뢰성 때문에 다이아진 골격 또는 트라이아진 골격이 바람직하다.

[0139]

상술한  $\pi$ 전자 부족형 헤�테로방향족 골격의 예로서는, 다음 일반식(201) 내지 (218)로 나타내어지는 골격이 제시된다. 또한, 일반식(209) 내지 (211)에서 X는 산소 원자 또는 황 원자를 나타낸다.

[0140]

[화학식 2]



[0141]

[0142]

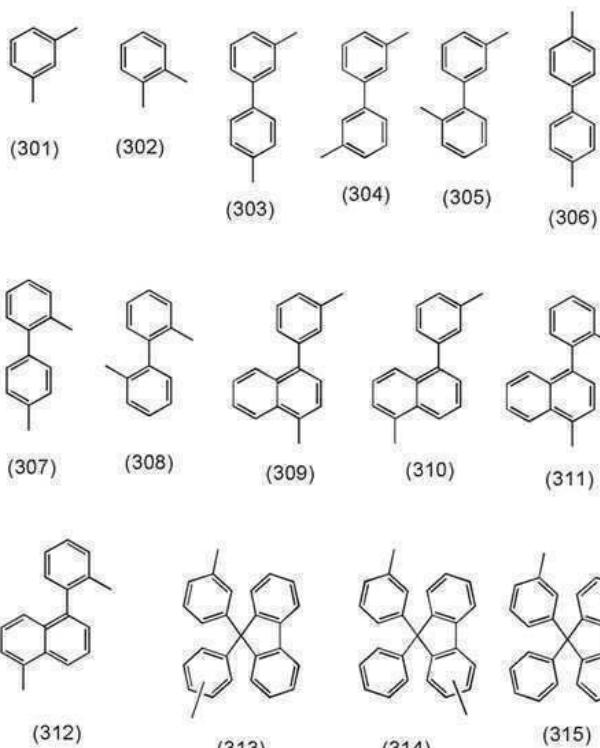
또는, 정공 수송성을 갖는 골격(예를 들어,  $\pi$ 전자 과잉형 혜테로방향족 골격 및 방향족 아민 골격 중 적어도 한쪽) 및 전자 수송성을 갖는 골격(예를 들어,  $\pi$ 전자 부족형 혜테로방향족 골격)이 서로 직접 또는 아릴렌기를 통하여 결합된 화합물을 사용하여도 좋다. 상술한 아릴렌기의 예에는, 페닐렌기, 바이페닐다이일기, 나프탈렌다이일기, 및 플루오렌다이일기가 포함된다.

[0143]

상기 정공 수송성을 갖는 골격과 상기 전자 수송성을 갖는 골격을 결합하는 결합기의 예로서는, 다음 일반식 (301) 내지 (315)로 나타내어지는 기가 제시된다.

[0144]

[화학식 3]



[0145]

[0146]

상술한 방향족 아민 골격(예를 들어, 트라이아릴아민 골격), 상술한  $\pi$  전자 과잉형 혜테로방향족 골격(예를 들어, 퓨란 골격, 싸이오펜 골격, 또는 피롤 골격을 포함하는 고리), 및 상술한  $\pi$  전자 부족형 혜테로방향족 골격(예를 들어, 다이아진 골격 또는 트라이아진 골격을 포함하는 고리) 또는 상술한 일반식(101) 내지 (117), 일반식(201) 내지 (218), 및 일반식(301) 내지 (315)은 각각 치환기를 가져도 좋다. 상기 치환기로서는 탄소수 1 내지 6의 알킬기, 탄소수 3 내지 6의 사이클로알킬기, 또는 탄소수 6 내지 12의 치환 또는 비치환된 아릴기를 선택할 수 있다. 탄소수 1 내지 6의 알킬기의 구체적인 예에는 메틸기, 에틸기, 프로필기, 아이소프로필기, 뷰틸기, 아이소뷰틸기, *tert*-뷰틸기, 및 *n*-헥실기 등이 포함된다. 탄소수 3 내지 6의 사이클로알킬기의 구체적인 예에는 사이클로프로필기, 사이클로뷰틸기, 사이클로펜틸기, 및 사이클로헥실기 등이 포함된다. 탄소수 6 내지 12의 아릴기의 구체적인 예에는 폐닐기, 나프틸기, 및 바이페닐기 등이 있다. 상기 치환기들은 서로 결합하여 고리를 형성하여도 좋다. 예를 들어, 플루오렌기에서의 9위치의 탄소 원자가 치환기로서 2개의 폐닐기를 갖는 경우에는, 상기 폐닐기들이 결합하여 스파이로플루오렌 골격을 형성한다. 또한, 비치환된 기는 합성이 용이하고 원재료가 저렴하다는 장점을 갖는다.

[0147]

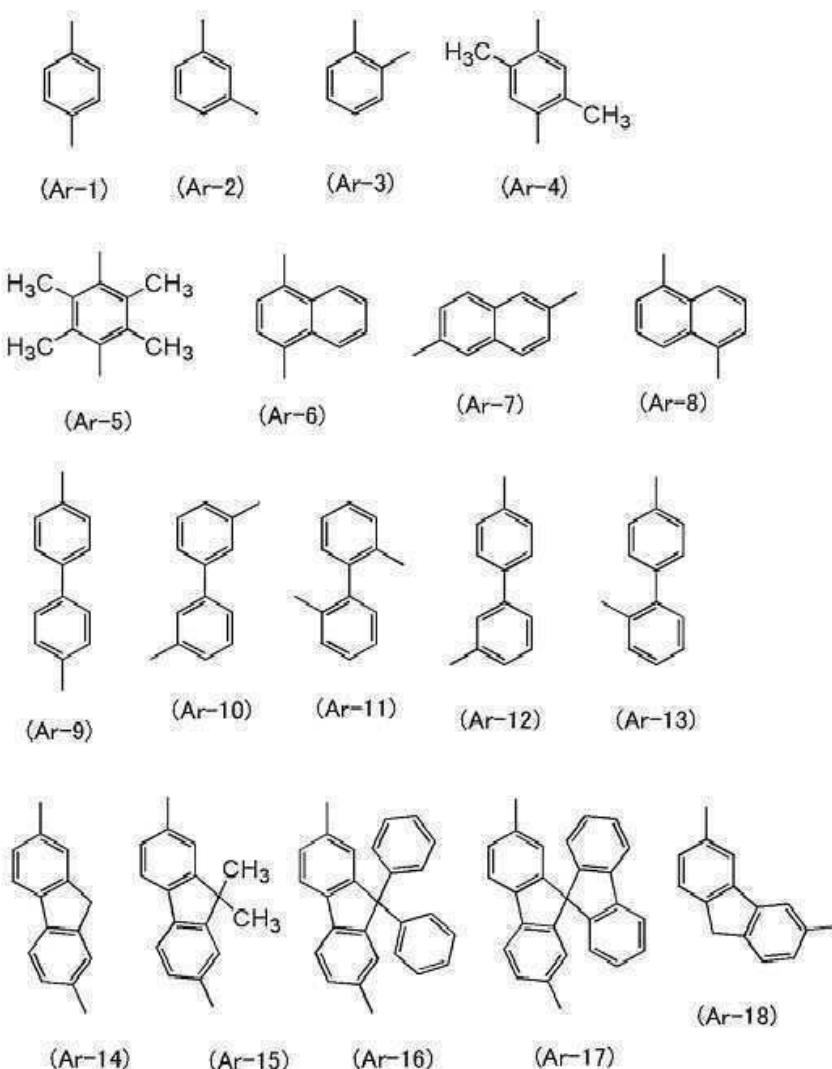
또한, Ar은 단일 결합된 아릴렌기 또는 탄소수 6 내지 13의 아릴렌기를 나타낸다. 상기 아릴렌기는 하나 이상의 치환기를 포함하여도 좋고, 상기 치환기들은 서로 결합하여 고리를 형성하여도 좋다. 예를 들어, 플루오렌 일기에서의 9위치의 탄소 원자가 치환기로서 2개의 폐닐기를 갖고, 상기 폐닐기들이 결합하여 스파이로플루오렌 골격을 형성한다. 탄소수 6 내지 13의 아릴렌기의 구체적인 예에는 폐닐렌기, 나프탈렌다이일기, 바이페닐다이일기, 및 플루오렌다이일기 등이 있다. 상기 아릴렌기가 치환기를 갖는 경우에는, 치환기로서 탄소수 1 내지 6의 알킬기, 탄소수 3 내지 6의 사이클로알킬기, 또는 탄소수 6 내지 12의 아릴기를 선택할 수 있다. 탄소수 1 내지 6의 알킬기의 구체적인 예에는 메틸기, 에틸기, 프로필기, 아이소프로필기, 뷰틸기, 아이소뷰틸기, *tert*-뷰틸기, 및 *n*-헥실기 등이 포함된다. 탄소수 3 내지 6의 사이클로알킬기의 구체적인 예에는 사이클로프로필기, 사이클로뷰틸기, 사이클로펜틸기, 및 사이클로헥실기 등이 포함된다. 탄소수 6 내지 12의 아릴기의 구체적인 예에는 폐닐기, 나프틸기, 및 바이페닐기 등이 있다.

[0148]

Ar로 나타내어지는 아릴렌기로서는, 예를 들어, 아래의 구조식 (Ar-1) 내지 (Ar-18)로 나타내어지는 기를 사용할 수 있다. 또한, Ar로서 사용할 수 있는 기는 이들에 한정되지 않는다.

[0149]

[화학식 4]



[0150]

[0151]

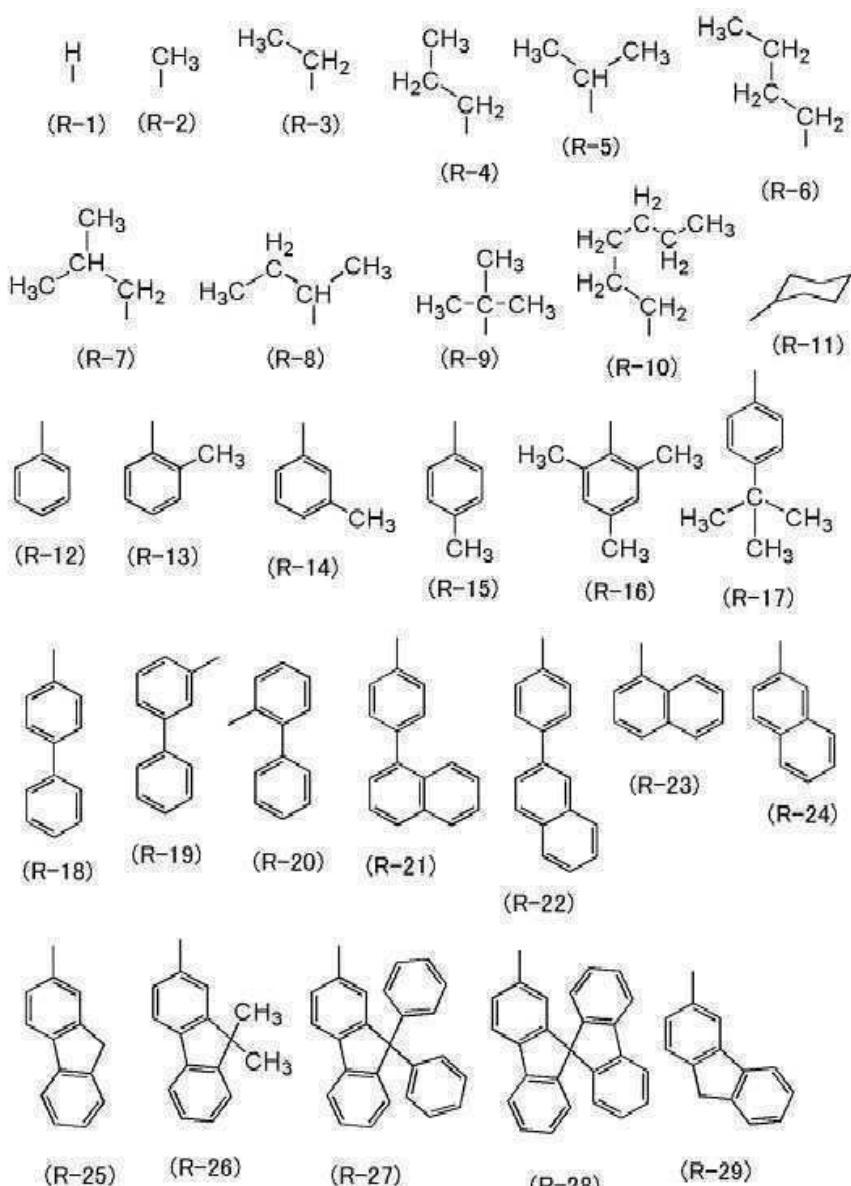
또한,  $R^1$  및  $R^2$ 는 각각 독립적으로 수소, 탄소수 1 내지 6의 알킬기, 탄소수 3 내지 6의 사이클로알킬기, 및 탄소수 6 내지 13의 치환 또는 비치환된 아릴기 중 임의의 것을 나타낸다. 탄소수 1 내지 6의 알킬기의 구체적인 예에는 메틸기, 에틸기, 프로필기, 아이소프로필기, 뷰틸기, 아이소뷰틸기, *tert*-뷰틸기, 및 *n*-헥실기 등이 포함된다. 탄소수 3 내지 6의 사이클로알킬기의 구체적인 예에는 사이클로프로필기, 사이클로뷰틸기, 사이클로펜틸기, 및 사이클로헥실기 등이 포함된다. 탄소수 6 내지 13의 아릴기의 구체적인 예에는 페닐기, 나프탈린기, 바이페닐기, 및 플루오렌일기 등이 있다. 상술한 아릴기 또는 페닐기는 하나 이상의 치환기를 포함하여도 좋고, 상기 치환기들은 서로 결합하여 고리를 형성하여도 좋다. 치환기로서는, 탄소수 1 내지 6의 알킬기, 탄소수 3 내지 6의 사이클로알킬기, 또는 탄소수 6 내지 12의 아릴기를 선택할 수 있다. 탄소수 1 내지 6의 알킬기의 구체적인 예에는 메틸기, 에틸기, 프로필기, 아이소프로필기, 뷰틸기, 아이소뷰틸기, *tert*-뷰틸기, 및 *n*-헥실기 등이 포함된다. 탄소수 3 내지 6의 사이클로알킬기의 구체적인 예에는 사이클로프로필기, 사이클로뷰틸기, 사이클로펜틸기, 및 사이클로헥실기 등이 포함된다. 탄소수 6 내지 12의 아릴기의 구체적인 예에는 페닐기, 나프탈린기, 및 바이페닐기 등이 포함된다.

[0152]

예를 들어,  $R^1$  및  $R^2$ 로 나타내어지는 알킬기 또는 아릴기로서는 아래의 구조식 (R-1) 내지 (R-29)로 나타내어지는 기를 사용할 수 있다. 또한, 알킬기 또는 아릴기로서 사용할 수 있는 기는 이에 한정되지 않는다.

[0153]

[화학식 5]



[0154]

[0155] 일반식(101) 내지 (117), 일반식(201) 내지 (218), 및 일반식(301) 내지 (315), Ar, R<sup>1</sup>, 및 R<sup>2</sup>에 포함될 수 있는 치환기로서는, 예를 들어, 상술한 구조식(R-1) 내지 (R-24)로 나타내어지는 알킬기 또는 아릴기를 사용할 수 있다. 또한, 알킬기 또는 아릴기로서 사용할 수 있는 기는 이에 한정되지 않는다.

[0156]

화합물(132)로서는, 예를 들어, 다음의 정공 수송성 재료 및 전자 수송성 재료 중 임의의 것을 사용할 수 있다.

[0157]

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

[0158]

정공 수송성이 높은 방향족 아민 화합물의 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) 등이 포함된다.

[0159]

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-페닐카

바졸(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) 등이 있다.

[0160] 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-테트라페닐벤젠 등이 있다.

[0161] 정공 수송성이 우수한 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-MTADATA), 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 있다. 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, 싸이오펜화합물, 퓨란 화합물, 플루오렌 화합물, 트라이페닐렌 화합물, 및 페난트렌 화합물 등이 있다. 여기에 기재된 물질은 주로 정공 이동도가  $1 \times 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{Vs}$  이상인 물질이다. 다만 이들 물질 외에, 전자보다 정공을 많이 수송하는 성질을 갖는 임의의 물질을 사용하여도 좋다.

[0162] 전자 수송성 재료로서는, 정공보다 전자를 많이 수송하는 성질을 갖는 재료를 사용할 수 있고, 전자 이동도가  $1 \times 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{Vs}$  이상인 재료가 바람직하다. 전자를 받기 쉬운 재료(전자 수송성을 갖는 재료)로서는, 아연 또는 알루미늄을 포함하는 금속 착체, 또는 질소 함유 혼태로방향족 화합물 등의 π 전자 부족형 혼태로방향족 화합물 등을 사용할 수 있다. 금속 착체로서는, 퀴놀린 배위자, 벤조퀴놀린 배위자, 옥사졸 배위자, 또는 싸이아졸 배위자를 사용할 수 있다. π 전자 부족형 혼태로방향족 화합물로서는, 옥사다이아졸 유도체, 트라이아졸 유도체, 페난트롤린 유도체, 괴리딘 유도체, 바이괴리딘 유도체, 괴리미딘 유도체, 또는 트라이아진 유도체 등을 사용할 수 있다.

[0163] 예에는 트리스(8-퀴놀리놀레이토)알루미늄(III)(약칭: Alq), 트리스(4-메틸-8-퀴놀리놀레이토)알루미늄(III)(약칭: Almq<sub>3</sub>), 비스(10-하이드록시벤조[*h*]퀴놀리네이토)베릴륨(II)(약칭: BeBq<sub>2</sub>), 비스(2-메틸-8-퀴놀리놀레이토)(4-페닐페놀레이토)알루미늄(III)(약칭: BA1q), 비스(8-퀴놀리놀레이토)아연(II)(약칭: Znq)과 같은, 퀴놀린 또는 벤조퀴놀린 골격을 갖는 금속 복합체 등이 포함된다. 또는, 비스[2-(2-벤즈옥사졸릴)페놀레이트]아연(II)(약칭: ZnPBO) 또는 비스[2-(2-벤조싸이아졸릴)페놀레이토]아연(II)(약칭: ZnBTZ) 등의 옥사졸계 또는 싸이

아졸계 배위자를 갖는 금속 복합체를 사용할 수 있다. 이러한 금속 착체 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]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 혜테로고리 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: 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]파리미딘(약칭: 4,6mPnP2Pm), 4,6-비스[3-(4-다이벤조싸이엔일)페닐]파리미딘(약칭: 4,6mCzP2Pm-II), 및 4,6-비스[3-(9*H*-카바졸-9-일)페닐]파리미딘(약칭: 4,6mCzP2Pm) 등의 다이아진 골격을 갖는 혜테로고리 화합물; 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) 등의 트라이아진 골격을 갖는 혜테로고리 화합물; 3,5-비스[3-(9*H*-카바졸-9-일)페닐]파리미딘(약칭: 35DCzPPy) 및 1,3,5-트라이[3-(3-파리미딘)페닐]벤젠(약칭: TmPyPB) 등의 파리미딘 골격을 갖는 혜테로고리 화합물; 및 4,4'-비스(5-메틸벤즈옥사졸-2-일)스틸벤(약칭: BzOs) 등의 혜테로방향족 화합물 중 임의의 것을 사용할 수 있다. 또는, 폴리(2,5-파리미딘다이일)(약칭: PPy), 폴리[(9,9-다이헥실플루오렌-2,7-다이일)-co-(파리미딘-3,5-다이일)](약칭: PF-Py), 또는 폴리[(9,9-다이옥틸플루오렌-2,7-다이일)-co-(2,2'-바이파리미딘-6,6'-다이일)](약칭: PF-BPy) 등의 고분자 화합물을 사용할 수 있다. 여기에 기재된 물질은 주로 전자 이동도가  $1 \times 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{Vs}$  이상인 물질이다. 또한, 정공수송성보다 전자 수송성이 우수하기만 하면, 다른 물질을 사용하여도 좋다.

[0164]

화합물(131)은 삼중항 여기 에너지를 발광으로 변환하는 기능을 갖는 것이 바람직하다. 또한, 화합물(131)이 중원자를 포함하는 경우, 스펀 케도 상호 작용(전자의 스펀 각운동량과 케도 각운동량의 상호 작용)에 의하여 단일항 상태와 삼중항 상태의 향간 교차가 촉진되고, 화합물(131)의 단일항 기저 상태와 삼중항 여기 상태 사이의 전이가 가능해진다. 따라서, 화합물(131)의 단일항 기저 상태와 삼중항 여기 상태 사이의 전이에 관련된 발광 효율 및 흡수 확률을 높일 수 있다. 따라서, 화합물(131)은 스펀 케도 상호 작용이 큰 금속 원소, 구체적으로는 전이 금속 원소를 포함하는 것이 바람직하다. 특히, 백금족 원소(루테튬(Ru), 로듐(Rh), 팔라듐(Pd), 오스뮴(Os), 이리듐(Ir), 또는 백금(Pt)), 특히 이리듐을 포함하면, 단일항 기저 상태와 삼중항 여기 상태 사이의 직접 전이에 관련된 전이 확률을 높일 수 있어 바람직하다.

[0165]

화합물(131)(인광성 화합물)로서는, 이리듐계, 로듐계, 또는 백금계 유기 금속 또는 금속 착체, 또는 포르파린 배위자를 갖는 백금 또는 유기 이리듐 착체를 사용할 수 있고, 특히 이리듐계 오쏘 금속화 착체 등 유기 이리듐 착체를 사용하는 것이 바람직하다. 오쏘 금속화 배위자로서는, 4*H*-트라이아졸 배위자, 1*H*-트라이아졸 배위자, 이미다졸 배위자, 피리딘 배위자, 피리미딘 배위자, 피라진 배위자, 또는 아이소퀴놀린 배위자 등을 사용할 수 있다. 여기서, 화합물(131)(인광성 화합물)은 삼중항 MLCT(metal to ligand charge transfer) 전이의 흡수대를 갖는다.

[0166]

청색 또는 녹색의 광장 범위에 발광 피크를 갖는 물질의 예에는 트리스{2-[5-(2-메틸페닐)-4-(2,6-다이메틸페닐)-4*H*-1,2,4-트라이아졸-3-일- $\kappa$ M2]페닐- $\kappa$ C}이리듐(III)(약칭: Ir(mpptz-dmp)<sub>3</sub>), 트리스(5-메틸-3,4-다이페닐-4*H*-1,2,4-트라이아졸레이토)이리듐(III)(약칭: Ir(Mptz)<sub>3</sub>), 트리스[4-(3-바이페닐)-5-아이소프로필-3-페닐-4*H*-1,2,4-트라이아졸레이토]이리듐(III)(약칭: Ir(iPrptz-3b)<sub>3</sub>), 및 트리스[3-(5-바이페닐)-5-아이소프로필-4-페닐-4*H*-1,2,4-트라이아졸레이토]이리듐(III)(약칭: Ir(iPr5btz)<sub>3</sub>) 등의 4*H*-트라이아졸 골격을 갖는 유기 금속 이리듐 착체; 트리스[3-메틸-1-(2-메틸페닐)-5-페닐-1*H*-1,2,4-트라이아졸레이토]이리듐(III)(약칭: Ir(Mptz1-mp)<sub>3</sub>) 및 트리스(1-메틸-5-페닐-3-프로필-1*H*-1,2,4-트라이아졸레이토)이리듐(III)(약칭: Ir(Prptz1-Me)<sub>3</sub>) 등의 1*H*-트라이아졸 골격을 갖는 유기 금속 이리듐 착체; fac-트리스[1-(2,6-다이아이소프로필페닐)-2-페닐-1*H*-이미다졸]이리듐(III)(약칭: Ir(iPrpmi)<sub>3</sub>) 및 트리스[3-(2,6-다이메틸페닐)-7-메틸이미다조[1,2-*f*]페난트리디네이토]이리듐(III)(약칭: Ir(dmpimpt-Me)<sub>3</sub>) 등의 이미다졸 골격을 갖는 유기 금속 이리듐 착체; 및 비스[2-(4',6'-다이플루오로페닐)파리디네이토-*N,C'*]이리듐(III)테트라카스(1-피라

줄릴)보레이트(약칭:

FIr6),

비스[2-(4', 6'-다이플루오로페닐)페리디네이토-N, C<sup>2'</sup>]이리듐(III)페롤리네이트(약칭: FIRpic),      비스{2-[3', 5'-비스(트라이플루오로메틸)페닐]페리디네이토-N, C<sup>2'</sup>}이리듐(III)페롤리네이트(약칭: Ir(CF<sub>3</sub>ppy)<sub>2</sub>(pic)),      및      비스[2-(4', 6'-다이플루오로페닐)페리디네이토-N, C<sup>2'</sup>]이리듐(III)아세틸아세토네이트(약칭: FIR(acac))      등의      전자      흡인기를      갖는      폐닐페리딘      유도체를      배위자로      하는      유기      금속      이리듐      착체가      포함된다.      상술한      재료      중에서,      4H-트라이아졸      골격,      1H-트라이아졸      골격,      또는      이미다졸      골격      등의      질소      함유      5원      헤테로고리      골격을      포함하는      유기      금속      이리듐      착체는,      삼중향      여기      에너지,      신뢰성,      및      발광      효율이      높기      때문에      특히      바람직하다.

[0167]

녹색      또는      황색의      파장      범위에      발광      피크를      갖는      물질의      예에는,      트리스(4-메틸-6-페닐페리미디네이토)이리듐(III)(약칭: Ir(mppm)<sub>3</sub>),      트리스(4-t-뷰틸-6-페닐페리미디네이토)이리듐(III)(약칭: Ir(tBuppm)<sub>3</sub>),      (아세틸아세토네이토)비스(6-메틸-4-페닐페리미디네이토)이리듐(III)(약칭: Ir(mppm)<sub>2</sub>(acac)),      (아세틸아세토네이토)비스(6-tert-뷰틸-4-페닐페리미디네이토)이리듐(III)(약칭: Ir(tBuppm)<sub>2</sub>(acac)),      (아세틸아세토네이토)비스[4-(2-노보닐)-6-페닐페리미디네이토]이리듐(III)(endo-      및      exo-흔합물)(약칭: Ir(nbppm)<sub>2</sub>(acac)),      (아세틸아세토네이토)비스[5-메틸-6-(2-메틸페닐)-4-페닐페리미디네이토]이리듐(III)(약칭: Ir(mpmpmm)<sub>2</sub>(acac)),      (아세틸아세토네이토)비스(4,6-다이메틸-2-[6-(2,6-다이메틸페닐)-4-페리미딘일-κN<sup>3</sup>]페닐-κC)이리듐(III)(약칭: Ir(dmppm-dmp)<sub>2</sub>(acac)),      및      (아세틸아세토네이토)비스(4,6-다이페닐페리미디네이토)이리듐(III)(약칭: Ir(dppm)<sub>2</sub>(acac))      등의      피리미딘      골격을      갖는      유기      금속      이리듐      착체;      (아세틸아세토네이토)비스(3,5-다이메틸-2-페닐페라지네이토)이리듐(III)(약칭: Ir(mpqr-Me)<sub>2</sub>(acac))      및      (아세틸아세토네이토)비스(5-아이소프로필-3-메틸-2-페닐페라지네이토)이리듐(III)(약칭: Ir(mpqr-iPr)<sub>2</sub>(acac))      등의      피라진      골격을      갖는      유기      금속      이리듐      착체;      트리스(2-페닐페리디네이토-N, C<sup>2'</sup>)이리듐(III)(약칭: Ir(ppy)<sub>3</sub>),      비스(2-페닐페리디네이토-N, C<sup>2'</sup>)아세틸아세토네이트(약칭: Ir(ppy)<sub>2</sub>(acac)),      비스(벤조[h]퀴놀리네이토)이리듐(III)아세틸아세토네이트(약칭: Ir(bzq)<sub>2</sub>(acac)),      트리스(벤조[h]퀴놀리네이토)이리듐(III)(약칭: Ir(bzq)<sub>3</sub>),      트리스(2-페닐퀴놀리네이토-N, C<sup>2'</sup>)이리듐(III)(약칭: Ir(pq)<sub>3</sub>),      및      비스(2-페닐퀴놀리네이토-N, C<sup>2'</sup>)이리듐(III)아세틸아세토네이트(약칭: Ir(dpo)<sub>2</sub>(acac)),      비스{2-[4'-(페플루오로페닐)페닐]페리디네이토-N, C<sup>2'</sup>}이리듐(III)아세틸아세토네이트(약칭: Ir(p-PF-ph)<sub>2</sub>(acac)),      및      비스(2-페닐벤조싸이아졸레이토-N, C<sup>2'</sup>)이리듐(III)아세틸아세토네이트(약칭: Ir(bt)<sub>2</sub>(acac))      등의      유기      금속      이리듐      착체;      및      트리스(아세틸아세토네이토)(모노페난트롤린)터븀(III)(약칭: Tb(acac)<sub>3</sub>(Phen))      등의      희토류      금속      착체가      포함된다.      상술한      재료      중에서,      피리미딘      골격을      갖는      유기      금속      이리듐      착체는      신뢰성      및      발광      효율이      두드러지게      높으므로      특히      바람직하다.

[0168]

황색      또는      적색의      파장      범위에      발광      피크를      갖는      물질의      예에는,      (다이아이소뷰틸릴메타네이토)비스[4,6-비스(3-메틸페닐)페리미디네이토]이리듐(III)(약칭: Ir(5mdppm)<sub>2</sub>(dibm)),      비스[4,6-비스(3-메틸페닐)페리미디네이토](다이페발로일메타네이토)이리듐(III)(약칭: Ir(5mdppm)<sub>2</sub>(dpm)),      및      (다이페발로일메타네이토)비스[4,6-다이(나프탈렌-1-일)페리미디네이토]이리듐(III)(약칭: Ir(d1npm)<sub>2</sub>(dpm))      등의      피리미딘      골격을      갖는      유기      금속      이리듐      착체;      (아세틸아세토네이토)비스(2,3,5-트라이페닐페라지네이토)이리듐(III)(약칭: Ir(tpqr)<sub>2</sub>(acac)),      비스(2,3,5-트라이페닐페라지네이토)(다이페발로일메타네이토)이리듐(III)(약칭: Ir(tpqr)<sub>2</sub>(dpm)),      및      (아세틸아세토네이토)비스[2,3-비스(4-플루오로페닐)퀴녹살리네이토]이리듐(III)(약칭: Ir(Fdpq)<sub>2</sub>(acac))      등의      피라진      골격을      갖는      유기      금속      이리듐      착체;      트리스(1-페닐아이소퀴놀리네이토-N, C<sup>2'</sup>)이리듐(III)(약칭: Ir(piq)<sub>3</sub>)      및      비스(1-페닐아이소퀴놀리네이토-N, C<sup>2'</sup>)이리듐(III)아세틸아세토네이트(약칭: Ir(piq)<sub>2</sub>(acac))      등의      피리딘      골격을      갖는      유기      금속      이리듐      착체;      2,3,7,8,12,13,17,18-옥타에틸-21H,23H-

포르피린 백금(II)(약칭: PtOEP) 등의 백금 치체; 및 트리스(1,3-다이페닐-1,3-프로페인디아이오네이토)(모노페난트롤린)유로퓸(III)(약칭: Eu(DBM)<sub>3</sub>(Phen)) 및 트리스[1-(2-테노일)-3,3,3-트라이플루오로아세토네이토](모노페난트롤린)유로퓸(III)(약칭: Eu(TTA)<sub>3</sub>(Phen)) 등의 희토류 금속 치체가 포함된다. 상술한 재료 중에서, 피리미딘 골격을 갖는 유기 금속 이리듐 치체는 신뢰성 및 발광 효율이 두드러지게 높으므로 특히 바람직하다. 또한, 피라진 골격을 갖는 유기 금속 이리듐 치체는 색도가 양호한 적색 발광을 제공할 수 있다.

[0169] 또한, 형광성 화합물을 발광층(130)에서 화합물(133)로서 사용하는 것이 바람직하다. 형광성 화합물은 특별히 한정되지 않지만, 안트라센 유도체, 테트라센 유도체, 크리센 유도체, 폐난트렌 유도체, 피렌 유도체, 폐릴렌 유도체, 스틸벤 유도체, 아크리돈 유도체, 쿠마린 유도체, 폐녹사진 유도체, 또는 폐노싸이아진 유도체 등이 바람직하다.

[0170] 예에는 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-9H-플루오렌-9-일)페닐]피렌-1,6-다이아민(약칭: 1,6FLPAPrn), N,N'-비스(3-메틸페닐)-N,N'-비스[3-(9-페닐-9H-플루오렌-9-일)페닐]피렌-1,6-다이아민(약칭: 1,6mMemFLPAPrn), N,N'-비스[4-(9-페닐-9H-플루오렌-9-일)페닐]-N,N'-다이페닐-3,8-다이사이클로헥실피렌-1,6-다이아민(약칭: ch-1,6FLPAPrn), N,N'-비스[4-(9-페닐-9H-플루오렌-9-일)페닐]-N,N'-다이페닐-4,4'-다이아민(약칭: YGA2S), 4-(9H-카바졸-9-일)-4'-(10-페닐-9-안트릴)트라이페닐아민(약칭: YGAPA), 4-(9H-카바졸-9-일)-4'-(9,10-다이페닐-2-안트릴)트라이페닐아민(약칭: 2YGAPPA), N,9-다이페닐-N-[4-(10-페닐-9-안트릴)페닐]-9H-카바졸-3-아민(약칭: PCAPA), 폐릴렌, 2,5,8,11-테트라(tert-뷰틸)페릴렌(약칭: TBP), 4-(10-페닐-9-안트릴)-4'-(9-페닐-9H-카바졸-3-일)트라이페닐아민(약칭: PCBAPA), N,N'-(2-tert-뷰틸안트라센-9,10-다이일아이-4,1-페닐렌)비스[N,N',N'-트라이페닐-1,4-페닐렌다이아민](약칭: DPABPA), N,9-다이페닐-N-[4-(9,10-다이페닐-2-안트릴)페닐]-9H-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''''-옥타페닐다이벤조[g,p]크리센-2,7,10,15-테트라아민(약칭: DBC1), 쿠마린 30, N-(9,10-다이페닐-2-안트릴)-N,9-다이페닐-9H-카바졸-3-아민(약칭: 2PCAPA), N-[9,10-비스(1,1'-바이페닐-2-일)-2-안트릴]-N,9-다이페닐-9H-카바졸-3-아민(약칭: 2PCABPhA), N-(9,10-다이페닐-2-안트릴)-N,N',N'-트라이페닐-1,4-페닐렌다이아민(약칭: 2DPAPPA), 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-(9H-카바졸-9-일)페닐]-N-페닐안트라센-2-아민(약칭: 2YGABPhA), N,N,9-트라이페닐안트라센-9-아민(약칭: DPhAPhA), 쿠마린 6, 쿠마린 545T, N,N'-다이페닐퀴나크리돈(약칭: DPQd), 루브렌, 2,8-다이-tert-뷰틸-5,11-비스(4-tert-뷰틸페닐)-6,12-다이페닐테트라센(약칭: TBRb), Nile Red, 5,12-비스(1,1'-바이페닐-4-일)-6,11-다이페닐테트라센(약칭: BPT), 2-{2-[4-(다이메틸아미노)페닐]에텐일}-6-메틸-4H-페란-4-일리덴}프로페인디아이트릴(약칭: DCM1), 2-{2-메틸-6-[2-(2,3,6,7-테트라하이드로-1H,5H-벤조[i,j]퀴놀리진-9-일)에텐일]-4H-페란-4-일리덴}프로페인디아이트릴(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-1H,5H-벤조[i,j]퀴놀리진-9-일)에텐일]-4H-페란-4-일리덴}프로페인디아이트릴(약칭: DCJTI), 2-{2-tert-뷰틸-6-[2-(1,1,7,7-테트라메틸-2,3,6,7-테트라하이드로-1H,5H-벤조[i,j]퀴놀리진-9-일)에텐일]-4H-페란-4-일리덴}프로페인디아이트릴(약칭: DCJTB), 2-(2,6-비스{2-[4-(다이메틸아미노)페닐]에텐일}-4H-페란-4-일리덴}프로페인디아이트릴(약칭: BisDCM), 2-{2,6-비스[2-(8-메톡시-1,1,7,7-테트라메틸-2,3,6,7-테트라하이드로-1H,5H-벤조[i,j]퀴놀리진-9-일)에텐일]-4H-페란-4-일리덴}프로페인디아이트릴(약칭: BisDCJTM), 및 5,10,15,20-테트라페닐비스벤조[5,6]인데노[1,2,3-cd:1',2',3'-lm]페릴렌 등이 포함된다.

[0171] 유기 화합물(131) 및 화합물(132)에 의하여 형성되는 들뜬 복합체의 발광 피크가 발광 재료로서 기능하는 화합물(133)의 가장 긴 파장 측(저에너지 측)에 있는 흡수대와 중첩되도록 화합물(131), 화합물(132), 및 화합물(133)을 선택하는 것이 바람직하다. 이에 의하여, 발광 효율이 대폭으로 향상된 발광 소자를 제공할 수 있다.

[0172] 발광층(130)은 2층 이상이 적층된 구조를 가질 수 있다. 예를 들어, 제 1 발광층과 제 2 발광층을 정공 수송층 층에서부터 이 순서대로 적층하여 발광층(130)을 형성하는 경우, 제 1 발광층은 정공 수송성을 갖는 물질을 호스트 재료로서 사용하여 형성되고, 제 2 발광층은 전자 수송성을 갖는 물질을 호스트 재료로서 사용하여 형성된다.

[0173] 발광층(130)은 화합물(131, 132, 및 133) 외의 재료(화합물(134))를 포함하여도 좋다. 이 경우, 화합물(131) 및 화합물(132)이 효율적으로 들뜬 복합체를 형성하기 위해서는, 화합물(131) 및 화합물(132) 중 한쪽의 HOMO 준위가 발광층(130)의 재료에서 가장 높고, 다른 쪽의 LUMO 준위가 발광층(130)의 재료에서 가장 낮은 것이 바람직하다. 즉, 화합물(131) 및 화합물(132) 중 한쪽의 HOMO 준위가 화합물(131) 및 화합물(132) 중 다른 쪽의 HOMO 준위 및 화합물(134)의 HOMO 준위보다 높은 것이 바람직하고, 화합물(131) 및 화합물(132) 중 다른 쪽의 LUMO 준위가 화합물(131) 및 화합물(132) 중 한쪽의 LUMO 준위 및 화합물(134)의 LUMO 준위보다 낮은 것이 바람직하다. 이러한 에너지 준위의 상관으로 함으로써, 화합물(132) 및 화합물(134)에 의하여 들뜬 복합체를 형성하는 반응을 억제할 수 있다.

[0174] 예를 들어, 화합물(131)이 정공 수송성을 갖고 화합물(132)이 전자 수송성을 갖는 경우에는, 화합물(131)의 HOMO 준위가 화합물(132)의 HOMO 준위 및 화합물(134)의 HOMO 준위보다 높은 것이 바람직하고, 화합물(132)의 LUMO 준위가 화합물(131)의 LUMO 준위 및 화합물(134)의 LUMO 준위보다 낮은 것이 바람직하다. 이 경우, 화합물(134)의 LUMO 준위는 화합물(131)의 LUMO 준위보다 높아도 좋고 낮아도 좋다. 또한, 화합물(134)의 HOMO 준위는 화합물(132)의 HOMO 준위보다 높아도 좋고 낮아도 좋다.

[0175] 또는, 화합물(131)이 전자 수송성을 가져도 좋고, 화합물(132)이 정공 수송성을 가져도 좋다. 이 경우, 화합물(132)의 HOMO 준위는 화합물(131)의 HOMO 준위 및 화합물(134)의 HOMO 준위보다 높은 것이 바람직하고, 화합물(131)의 LUMO 준위는 화합물(132)의 LUMO 준위 및 화합물(134)의 LUMO 준위보다 낮은 것이 바람직하다. 이 경우, 화합물(134)의 LUMO 준위는 화합물(132)의 LUMO 준위보다 높아도 좋고 낮아도 좋다. 또한, 화합물(134)의 HOMO 준위는 화합물(131)의 HOMO 준위보다 높아도 좋고 낮아도 좋다.

[0176] 발광층(130)에 사용할 수 있는 재료(화합물(134))에 특별한 한정은 없지만, 다음 재료 중 임의의 재료를 사용할 수 있으며, 예를 들어, 트리스(8-퀴놀리놀레이토)알루미늄(III)(약칭: Alq), 트리스(4-메틸-8-퀴놀리놀레이토)알루미늄(III)(약칭: Almq<sub>3</sub>), 비스(10-하이드록시벤조[*h*]퀴놀리네이토)베릴륨(II)(약칭: BeBq<sub>2</sub>), 비스(2-메틸-8-퀴놀리놀레이토)(4-페닐페놀레이토)알루미늄(III)(약칭: BA1q), 비스(8-퀴놀리놀레이토)아연(II)(약칭: Znq), 비스[2-(2-벤즈옥사졸릴)페놀레이토]아연(II)(약칭: ZnPBO), 및 비스[2-(2-벤조싸이아졸릴)페놀레이토]아연(II)(약칭: ZnBTZ) 등의 금속 캐체; 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), 3-(4-바이페닐릴)-4-페닐-5-(4-*tert*-뷰틸페닐)-1,2,4-트라이아졸(약칭: TAZ), 2,2',2''-(1,3,5-벤젠틀라이일)-트리스(1-페닐-1*H*-벤즈이미다졸)(약칭: TPBI), 바소페난트롤린(약칭: BPhen), 바소큐프로인(약칭: BCP), 및 9-[4-(5-페닐-1,3,4-옥사다이아졸-2-일)페닐]-9*H*-카바졸(약칭: C011) 등의 헤테로고리 화합물; 및 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), 및 4,4'-비스[*N*-(스파이로-9,9'-바이플루오렌-2-일)-*N*-페닐아미노]바이페닐(약칭: BSPB) 등의 방향족 아민 화합물이 있다. 또한, 안트라센 유도체, 페난트렌 유도체, 피렌 유도체, 크리센 유도체, 및 다이벤조[*g,p*]크리센 유도체 등의 축합 다환 방향족 화합물을 들 수 있으며, 구체적인 예로서는 9,10-다이페닐안트라센(약칭: DPAnth), *N,N*-다이페닐-9-[4-(10-페닐-9-안트릴)페닐]-9*H*-카바졸-3-아민(약칭: CzA1PA), 4-(10-페닐-9-안트릴)트라이페닐아민(약칭: DPhPA), 4-(9*H*-카바졸-9-일)-4'-(10-페닐-9-안트릴)트라이페닐아민(약칭: YGAPA), *N,9*-다이페닐-*N*-[4-(10-페닐-9-안트릴)페닐]-9*H*-카바졸-3-아민(약칭: PCAPA), *N,9*-다이페닐-*N*-{4-[4-(10-페닐-9-안트릴)페닐]-9*H*-카바졸-3-아민(약칭: PCAPBA), *N,9*-다이페닐-*N*-(9,10-다이페닐-2-안트릴)-9*H*-카바졸-3-아민(약칭: 2PCAPA), 6,12-다이메톡시-5,11-다이페닐크리센, *N,N,N',N'',N''',N'''-옥타페닐다이벤조[*g,p*]크리센-2,7,10,15-테트라아민(약칭: DBC1), 9-[4-(10-페닐-9-안트릴)페닐]-9*H*-카바졸(약칭: CzPA), 3,6-다이페닐-9-[4-(10-페닐-9-안트릴)페닐]-9*H*-카바졸(약칭: DPCzPA), 9,10-비스(3,5-다이페닐페닐)안트라센(약칭: DPPA), 9,10-다이(2-나프틸)안트라센(약칭: DNA), 2-*tert*-뷰틸-9,10-다이(2-나프틸)안트라센(약칭: t-BuDNA), 9,9'-바이안트릴(약칭: BANT), 9,9'-(스틸벤-3,3'-다이일)다이페난트렌(약칭: DPNS), 9,9'-(스틸벤-4,4'-다이일)다이페난트렌(약칭: DPNS2), 및 1,3,5-트라이(1-페렌일)벤젠(약칭: TPB3) 등이 있다. 이들 물질 또는 공지의 물질 중에서, 화합물(131) 및 화합물(132)보다 에너지 갭이 넓은 하나 이상의 물질을 선택한다.*

[0177] <<한 쌍의 전극>>

[0178] 전극(101) 및 전극(102)은 발광층(130)에 정공 및 전자를 주입하는 기능을 갖는다. 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, 몰리브데늄, 구리, 또는 타이타늄 등

의 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 예로서 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 텉스텐 및 아연을 포함하는 인듐 산화물 등의 금속 산화물이 포함된다. 그레핀 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.

[0179] 발광층(130)으로부터 방출되는 광은 전극(101) 및/또는 전극(102)을 통하여 추출된다. 그러므로, 전극(101 및 102) 중 적어도 한쪽은 광을 투과시킨다. 광을 투과시키는 도전성 재료로서는, 가시광 투과율이 40% 이상 100% 이하, 바람직하게는 60% 이상 100% 이하이고, 저항률이  $1 \times 10^{-2} \Omega \cdot \text{cm}$  이하인 도전성 재료를 사용할 수 있다. 광 추출 측의 전극은 광을 투과시키는 기능과 광을 반사하는 기능을 갖는 도전성 재료를 사용하여 형성되어도 좋다. 도전성 재료로서는, 가시광 반사율이 20% 이상 80% 이하, 바람직하게는 40% 이상 70% 이하이고, 저항률이  $1 \times 10^{-2} \Omega \cdot \text{cm}$  이하인 도전 재료를 사용할 수 있다. 광이 추출되는 쪽의 전극이 금속 또는 합금 등 광 투과성이 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.

[0180] 본 명세서 등에서는 광을 투과시키는 전극으로서, 가시광을 투과시키고 도전성을 갖는 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 재료)를 혼합한 복합 재료를 포함하는 층, 및 유기 화합물과 전자 수용체(액셉터 재료)를 혼합한 복합 재료를 포함하는 층이 포함된다. 투명 도전층의 저항률은 바람직하게는  $1 \times 10^5 \Omega \cdot \text{cm}$  이하, 더 바람직하게는  $1 \times 10^4 \Omega \cdot \text{cm}$  이하이다.

[0181] 전극(101) 및 전극(102)의 형성 방법으로서는 스퍼터링법, 증착법, 인쇄법, 도포법, MBE(molecular beam epitaxy)법, CVD법, 웨스 레이저 퇴적법, 또는 ALD(atomic layer deposition)법 등을 적절히 사용할 수 있다.

#### <<정공 주입층>>

[0183] 정공 주입층(111)은 한 쌍의 전극(전극(101) 또는 전극(102))으로부터의 정공 주입의 장벽을 저감하여 정공 주입을 촉진하는 기능을 갖고, 예를 들어 전이 금속 산화물, 프탈로사이아닌 유도체, 또는 방향족 아민을 사용하여 형성된다. 전이 금속 산화물로서는, 산화 몰리브데늄, 산화 바나듐, 산화 투테늄, 산화 텉스텐, 또는 산화 망가니즈 등을 들 수 있다. 프탈로사이아닌 유도체로서는, 프탈로사이아닌 또는 금속 프탈로사이아닌 등을 들 수 있다. 방향족 아민으로서는, 벤자린 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.

[0184] 정공 주입층(111)으로서, 정공 수송성 재료와 정공 수송성 재료로부터 전자를 받는 특성을 갖는 재료의 복합 재료를 포함하는 층을 사용할 수도 있다. 또는, 전자 수용성을 갖는 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 갖는 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: F4TCNQ), 클로라닐, 또는 2,3,6,7,10,11-헥사사이아노-1,4,5,8,9,12-헥사아자트라이페닐렌(약칭: HAT-CN) 등의 전자 흡인기(할로젠기 또는 사이아노기)를 갖는 화합물이 있다. 또는, 4족 내지 8족 금속의 산화물 등의 전이 금속 산화물을 사용할 수도 있다. 구체적으로는, 산화 바나듐, 산화 나이오븀, 산화 탄탈럼, 산화 크로뮴, 산화 몰리브데늄, 산화 텉스텐, 산화 망가니즈, 또는 산화 레늄 등을 사용할 수 있다. 특히, 산화 몰리브데늄은 대기 중에서 안정적이고 흡습성이 낮으며 취급하기 쉬우므로 바람직하다.

[0185] 정공 수송성 재료로서는 전자보다 정공을 많이 수송하는 성질을 갖는 재료를 사용할 수 있고, 정공 이동도가  $1 \times 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{Vs}$  이상인 재료가 바람직하다. 구체적으로는, 발광층(130)에 사용할 수 있는 정공 수송성 재료의 예로서의 상기 방향족 아민, 상기 카바졸 유도체, 상기 방향족 탄화수소, 및 상기 스틸벤 유도체 등 중 임의의 것을 사용할 수 있다. 또한, 정공 수송성 재료는 고분자 화합물이어도 좋다.

[0186] 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)페릴렌 등이 있다. 다른 예에는, 펜타센 및 코로넨 등이 있다. 정공 이동도가  $1 \times 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{Vs}$  이상이고 탄소수가 14 내지 42인 방향족 탄화수소가 특히 바람직하다.

[0187] 방향족 탄화수소는 바이닐 골격을 가져도 좋다. 바이닐기를 갖는 방향족 탄화수소의 예에는 4,4'-비스(2,2-다이페닐바이닐)바이페닐(약칭: DPVBi) 및 9,10-비스[4-(2,2-다이페닐바이닐)페닐]안트라센(약칭: DPVPA) 등이 있다.

[0188] 다른 예에는 폴리(*N*-바이닐카바졸)(약칭: PVK), 폴리(4-바이닐트라이페닐아민)(약칭: PVTPA), 폴리[*N*-(4-{*N'*-[4-(4-다이페닐아미노)페닐]-*N*'-페닐아미노}페닐)메타크릴아마이드](약칭: PTPDMA), 및 폴리[*N,N'*-비스(4-뷰틸페닐)-*N,N'*-비스(페닐)벤자린](약칭: poly-TPD) 등의 고분자 화합물이 있다.

#### <<정공 수송층>>

[0190] 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 갖기 위해서는, 정공 수송층(112)의 HOMO 준위가 정공 주입층(111)의 HOMO 준위와 같거나 가까운 것이 바람직하다.

[0191] 정공 수송성 재료로서는, 정공 주입층(111)의 재료로서 예시한 재료들 중 임의의 것을 사용할 수 있다. 정공 수송성 재료로서는 정공 이동도가  $1 \times 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{Vs}$  이상인 물질을 사용하는 것이 바람직하다. 다만, 전자 수송성 보다 정공 수송성이 우수하기만 하면 상술한 물질 외의 임의의 물질을 사용하여도 좋다. 정공 수송성이 우수한 물질을 포함하는 층은 단층에 한정되지 않고, 상술한 물질을 포함하는 2층 이상을 적층하여도 좋다.

#### <<전자 수송층>>

[0193] 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 갖는다. 전자 수송성 재료로서는 정공보다 전자를 많이 수송하는 성질을 갖는 재료를 사용할 수 있고, 전자 이동도가  $1 \times 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{Vs}$  이상인 재료가 바람직하다. 전자를 용이하게 받는 화합물(전자 수송성을 갖는 재료)로서는, 예를 들어 질소 함유 헤테로방향족 화합물 등의  $\pi$  전자부족형 헤테로방향족 화합물 또는 금속 착체 등을 사용할 수 있다. 구체적으로는, 발광층(130)에 사용할 수 있는 전자 수송성 재료로서 기재한 퀴놀린 배위자, 벤조퀴놀린 배위자, 옥사졸 배위자, 또는 싸이아졸 배위자를 갖는 금속 착체를 들 수 있다. 또한, 옥사다이아졸 유도체, 트라이아졸 유도체, 폐난트롤린 유도체, 피리딘 유도체, 바이피리딘 유도체, 및 피리미딘 유도체 등을 들 수 있다. 전자 이동도가  $1 \times 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{Vs}$  이상인 물질이 바람직하다. 또한, 이들 물질 외에, 정공보다 전자를 많이 수송하는 성질을 갖는 임의의 물질을 전자 수송층에 사용하여도 좋다. 전자 수송층(118)은 단층에 한정되지 않고, 상술한 물질을 포함하는 2층 이상의 적층을 포함하여도 좋다.

[0194] 전자 수송층(118)과 발광층(130) 사이에, 전자 캐리어의 이동을 제어하는 층을 제공하여도 좋다. 전자 캐리어의 이동을 제어하는 층은, 상술한 전자 수송성이 우수한 재료에 전자 트랩성이 우수한 물질을 소량 첨가하여 형성되고, 전자 캐리어의 이동을 억제하여 캐리어 밸런스를 조절할 수 있다. 이러한 구조는 발광층을 전자가 통과할 때에 발생되는 문제(소자 수명의 저하 등)를 방지하는 데 매우 효과적이다.

#### <<전자 주입층>>

[0196] 전자 주입층(119)은 전극(102)으로부터의 전자 주입의 장벽을 저감하여 전자 주입을 촉진하는 기능을 갖고, 예를 들어 1족 금속 또는 2족 금속, 또는 이를 금속 중 어느 것의 산화물, 할로젠화물, 또는 탄산염을 사용하여 형성할 수 있다. 또는, 전자 수송성 재료(위에 기재함) 및 전자 수송성 재료에 대하여 전자를 공여하는 성질을 갖는 재료를 포함하는 복합 재료를 사용할 수도 있다. 전자 공여성을 갖는 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<sub>2</sub>), 또는 리튬 산화물(LiO<sub>x</sub>) 등의 알칼리 금속, 알칼리 토금속, 또는 그 화합물을 사용할 수 있다. 또는, 플루오린화 어븀(ErF<sub>3</sub>)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 형성할 수 있다.

[0197] 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 착체 및 헤테로방향족 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. 산화 마그네슘 등의 루이스 염기를 사용하여도 좋다. 테트라싸이아플루발렌(약칭: TTF) 등의 유기 화합물을 사용하여도 좋다.

[0198] 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.

[0199] 퀀텀닷은 예를 들어, 콜로이드 퀀텀닷, 합금 퀀텀닷, 코어 셀 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.

[0200] 웨트 프로세스에 사용되는 액체 매체의 예에는, 메틸에틸케톤 및 사이클로헥사논 등의 케톤; 에틸아세테이트 등의 지방산 에스터; 다이클로로벤젠 등의 할로젠판 탄화수소; 톨루엔, 자일렌, 메시틸렌, 및 사이클로헥실벤젠 등의 방향족 탄화수소; 사이클로헥세인, 데카린, 및 도데케인 등의 지방족 탄화수소; 다이메틸폼아마이드(DMF); 또는 다이메틸설폐사이드(DMSO) 등의 유기 용매가 있다.

[0201] 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 페닐렌바이닐렌(PPV) 유도체; 폴리(9,9-다이-n-옥틸플루오렌일-2,7-다이일)(약칭: PF8), 폴리[(9,9-다이-n-옥틸플루오렌일-2,7-다이일)-a1t-(벤조[2,1,3]싸이아다이아졸-4,8-다이일)](약칭: F8BT), 폴리[(9,9-다이-n-옥틸플루오렌일-2,7-다이일)-a1t-(2,2'-바이싸이오펜-5,5'-다이일)](약칭: F8T2), 폴리[(9,9-다이옥틸-2,7-다이바이닐렌플루오렌일렌)-a1t-(9,10-안트라센)], 또는 폴리[(9,9-다이헥실플루오렌-2,7-다이일)-a1t-(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. 이를 고분자 화합물, 폴리(9-바이닐카바졸)(약칭: 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.

[0202] <<기판>>

[0203] 본 발명의 일 형태의 발광 소자는 유리 또는 플라스틱 등의 기판 위에 형성할 수 있다. 기판 위에 적층하는 방법으로서는, 층들을 전극(101) 측에서부터, 또는 전극(102) 측에서부터 순차적으로 적층할 수 있다.

[0204] 본 발명의 일 형태에 따른 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 증착에 의하여 형성한 무기 필름 등을 사용할 수도 있다. 기판이 발광 소자 또는 광학 소자의 제작 공정에서 지지체로서 기능하기만 하면, 다른 재료를 사용하여도 좋다. 발광 소자 또는 광학 소자를 보호하는 기능을 갖는 다른 재료를 사용하여도 좋다.

- [0205] 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, CNF(cellulose nanofiber) 및 섬유상의 재료를 포함하는 종이, 및 기재 필름 등이 포함된다. 유리 기판의 예로서는 바륨 봉규산염 유리 기판, 알루미노봉규산염 유리 기판, 또는 소다 석회 유리 기판 등을 들 수 있다. 플렉시블 기판, 접합 필름, 및 기재 필름 등의 예에는 폴리에틸렌 테레프탈레이트(PET), 폴리에틸렌 나프탈레이트(PEN), 폴리에티 철피(PES), 및 폴리테트라플루오로에틸렌(PTFE)으로 대표되는 플라스틱의 기판이 있다. 다른 예에는 아크릴 등의 수지가 있다. 또는, 폴리프로필렌, 폴리에스터, 폴리플루오린화 바이닐, 또는 폴리염화 바이닐 등을 사용할 수 있다. 또는, 폴리아마이드, 폴리아미드, 아라미드, 에폭시, 증착에 의하여 형성된 무기 필름, 또는 종이 등을 사용할 수 있다.
- [0206] 또는, 기판으로서 플렉시블 기판을 사용하여도 좋고, 트랜지스터 또는 발광 소자를 플렉시블 기판에 직접 제공하여도 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 폴리아미드 등의 수지막이 형성된 구조를 사용할 수 있다.
- [0207] 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, 또는 마), 합성 섬유(예를 들어, 나일론, 폴리우레탄, 또는 폴리에스터), 또는 재생 섬유(예를 들어, 아세테이트, 큐프라, 레이온, 또는 재생 폴리에스터) 등을 포함함), 괴혁 기판, 및 고무 기판이 포함된다. 이러한 기판을 사용하면, 내구성이 높고, 내열성이 높고, 가볍고, 또는 얇은 발광 소자를 형성할 수 있다.
- [0208] 발광 소자(150)는 예를 들어, 상술한 어느 기판 위에 형성된 전계 효과 트랜지스터(FET)에 전기적으로 접속되는 전극 위에 형성되어도 좋다. 이 경우, FET가 발광 소자의 구동을 제어하는 액티브 매트릭스 표시 장치를 제작할 수 있다.
- [0209] 본 실시형태에서 상술한 구조는 다른 실시형태에서 설명하는 구조 중 임의의 것과 적절히 조합할 수 있다.
- [0210] (실시형태 2)
- [0211] 본 실시형태에서는, 실시형태 1에서 설명한 것과는 다른 구조를 갖는 발광 소자, 및 상기 발광 소자의 발광 기구에 대하여 도 4를 참조하여 이하에서 설명한다. 도 4에서, 도 1의 부분과 비슷한 기능을 갖는 부분은 도 1에서와 같은 해치 패턴으로 나타내고, 특별히 부호로 나타내지 않은 경우가 있다. 또한, 비슷한 기능을 갖는 부분에는 공통된 부호를 사용하고, 그 부분에 대한 자세한 설명을 생략하는 경우가 있다.
- [0212] <발광 소자의 구조예>
- [0213] 도 4는 발광 소자(250)의 단면 모식도이다.
- [0214] 도 4에 도시된 발광 소자(250)는 한 쌍의 전극(전극(101) 및 전극(102)) 사이에 복수의 발광 유닛(도 4에서는 발광 유닛(106) 및 발광 유닛(108))을 포함한다. 하나의 발광 유닛은 도 1에 도시된 EL층(100)과 같은 구조를 갖는다. 즉, 도 1의 발광 소자(150)는 하나의 발광 유닛을 포함하고, 발광 소자(250)는 복수의 발광 유닛을 포함한다. 또한, 발광 소자(250)에 대한 이하의 설명에 있어서, 전극(101)은 양극으로서 기능하고 전극(102)은 음극으로서 기능하지만, 발광 소자(250)에서 상기 기능들이 교체되어도 좋다.
- [0215] 도 4에 도시된 발광 소자(250)에서는, 발광 유닛(106)과 발광 유닛(108)이 적층되어 있고, 발광 유닛(106)과 발광 유닛(108) 사이에 전하 발생층(115)이 제공되어 있다. 또한, 발광 유닛(106) 및 발광 유닛(108)의 구조는 서로 같아도 좋고 달라도 좋다. 예를 들어, 발광 유닛(106)은 도 1에 도시된 EL층(100)과 비슷한 구조를 갖는 것이 바람직하다.
- [0216] 발광 소자(250)는 발광층(130) 및 발광층(140)을 포함한다. 발광 유닛(106)은 발광층(130)에 더하여, 정공 주입층(111), 정공 수송층(112), 전자 수송층(113), 및 전자 주입층(114)을 포함한다. 발광 유닛(108)은 발광층(140)에 더하여, 정공 주입층(116), 정공 수송층(117), 전자 수송층(118), 및 전자 주입층(119)을 포함한다.

- [0217] 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, 이를 양쪽의 구조가 적층되어도 좋다.
- [0218] 전하 발생층(115)이 유기 화합물과 억셉터 물질의 복합 재료를 포함하는 경우, 상기 복합 재료에는, 실시형태 1에서 설명한 정공 주입층(111)에 사용할 수 있는 복합 재료를 사용할 수 있다. 유기 화합물로서는, 방향족 아민 화합물, 카바졸 화합물, 방향족 탄화수소, 및 고분자 화합물(올리고머, 텐드리머, 또는 폴리머 등) 등 다양한 화합물을 사용할 수 있다. 유기 화합물로서는, 정공 이동도가  $1 \times 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{Vs}$  이상인 물질을 사용하는 것이 바람직하다. 또한, 전자보다 정공의 수송성이 높은 물질이기만 하면, 다른 임의의 재료를 사용하여도 좋다. 유기 화합물과 억셉터 물질의 복합 재료는 캐리어 주입성 및 캐리어 수송성이 우수하기 때문에, 저전압 구동 및 저전류 구동을 달성할 수 있다. 또한, 발광 유닛(108)의 경우와 같이, 발광 유닛의 양극 측의 면이 전하 발생층(115)에 접촉하는 경우에는, 전하 발생층(115)이 상기 발광 유닛의 정공 주입층 또는 정공 수송층으로서도 가능할 수 있기 때문에, 상기 발광 유닛에 정공 주입층 또는 정공 수송층이 포함되지 않아도 된다.
- [0219] 전하 발생층(115)은, 유기 화합물과 억셉터 물질의 복합 재료를 포함하는 층과, 다른 재료를 포함하는 층의 적층 구조를 가져도 좋다. 예를 들어, 전하 발생층(115)은, 유기 화합물과 억셉터 물질의 복합 재료를 포함하는 층과, 전자 공여성 물질 중에서 선택된 하나의 화합물 및 전자 수송성이 우수한 화합물을 포함하는 층의 조합을 사용함으로써 형성되어도 좋다. 또한, 전하 발생층(115)은, 유기 화합물과 억셉터 물질의 복합 재료를 포함하는 층과, 투명 도전 재료를 포함하는 층의 조합을 사용함으로써 형성되어도 좋다.
- [0220] 발광 유닛(106)과 발광 유닛(108) 사이에 제공되는 전하 발생층(115)은, 전극(101)과 전극(102) 사이에 전압을 인가하였을 때에, 한쪽의 발광 유닛에 전자가 주입되고, 다른 쪽 발광 유닛에 정공이 주입될 수 있기만 하면, 어떤 구조를 가져도 좋다. 예를 들어, 도 4에서, 전극(101)의 전위가 전극(102)의 전위보다 높아지도록 전압을 인가하였을 때, 전하 발생층(115)은 발광 유닛(106)에 전자를, 발광 유닛(108)에 정공을 주입한다.
- [0221] 또한, 광 추출 효율의 관점에서, 전하 발생층(115)은 가시광 투광성(구체적으로는, 40% 이상의 가시광 투과율)을 갖는 것이 바람직하다. 전하 발생층(115)은, 한 쌍의 전극(전극(101 및 102))보다 도전율이 낮더라도 가능한다. 전하 발생층(115)의 도전율이 한 쌍의 전극과 같은 정도로 높은 경우, 전하 발생층(115)에서 발생한 캐리어가 막 표면 방향으로 흐름으로써, 전극(101) 및 전극(102)이 서로 중첩되지 않는 영역에서 광이 방출되는 경우가 있다. 이러한 불량을 억제하기 위해서는, 전하 발생층(115)이 한 쌍의 전극보다 도전율이 낮은 재료를 사용하여 형성되는 것이 바람직하다.
- [0222] 또한, 상술한 재료 중 임의의 것을 사용하여 전하 발생층(115)을 형성함으로써, 발광층의 적층에 의하여 일어나는 구동 전압의 상승을 억제할 수 있다.
- [0223] 2개의 발광 유닛을 갖는 발광 소자에 대하여 도 4를 참조하여 설명하였지만, 3개 이상의 발광 유닛이 적층된 발광 소자에 비슷한 구조를 적용할 수 있다. 발광 소자(250)에서와 같이, 한 쌍의 전극 사이에서 복수의 발광 유닛이 전하 발생층에 의하여 분할됨으로써, 전류 밀도를 낮게 유지하면서 높은 휘도로 광을 방출할 수 있고, 수명이 긴 발광 소자를 제공할 수 있다. 소비전력이 낮은 발광 소자를 제공할 수 있다.
- [0224] 복수의 유닛 중 적어도 하나에 도 1에 도시한 EL층(100)의 구조를 사용하면, 발광 효율이 높은 발광 소자를 제공할 수 있다.
- [0225] 발광 유닛(106)에 포함되는 발광층(130)이 실시형태 1에서 설명한 구조를 가지면, 발광 소자(250)의 발광 효율은 높으므로 바람직하다.
- [0226] 또한, 발광 유닛(106) 및 발광 유닛(108)에 사용하는 게스트 재료는 같아도 좋고 달라도 좋다. 발광 유닛(106) 및 발광 유닛(108)에 같은 게스트 재료를 사용하는 경우, 발광 소자(250)는 작은 전류값으로 높은 발광 휘도를 나타낼 수 있어 바람직하다. 발광 유닛(106) 및 발광 유닛(108)에 다른 게스트 재료를 사용하는 경우, 발광 소자(250)는 다색(多色) 발광을 나타낼 수 있어 바람직하다. 연색성이 높은 백색 발광, 또는 적어도 적색, 녹색, 및 청색의 발광을 얻을 수 있도록 게스트 재료를 선택하는 것이 특히 바람직하다.
- [0227] 또한, 발광 유닛(106 및 108) 및 전하 발생층(115)은, 증착법(진공 증착법을 포함함), 잉크젯법, 도포법, 또는 그라비어 인쇄 등에 의하여 형성할 수 있다.
- [0228] 또한, 본 실시형태에서 설명한 구조는 다른 실시형태에서 설명하는 구조 중 임의의 것과 적절히 조합할 수

있다.

[0229] (실시형태 3)

[0230] 본 실시형태에서는, 실시형태 1 및 2에서 설명한 것과는 다른 구조를 갖는 발광 소자의 예에 대하여 도 5, 그리고 도 6의 (A) 및 (B)를 참조하여 이하에서 설명한다.

[0231] <발광 소자의 구조예 1>

[0232] 도 5는 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자를 도시한 단면도이다. 도 5에서, 도 1의 부분과 비슷한 기능을 갖는 부분은 도 1에서와 같은 해치 패턴으로 나타내고, 특별히 부호로 나타내지 않은 경우가 있다. 또한, 비슷한 기능을 갖는 부분에는 공통된 부호를 사용하고, 그 부분에 대한 자세한 설명을 생략하는 경우가 있다.

[0233] 도 5의 발광 소자(260)는 기판(200)을 통하여 광이 추출되는 보텀 이미션 구조를 가져도 좋고, 기판(200)과는 반대의 방향으로 광이 추출되는 톱 이미션 구조를 가져도 좋다. 그러나, 본 발명의 일 형태는 이 구조에 한정되지 않고, 발광 소자로부터 방출되는 광이 기판(200)의 상하 양쪽의 방향으로 추출되는 듀얼 이미션 구조를 갖는 발광 소자를 사용하여도 좋다.

[0234] 발광 소자(260)가 보텀 이미션 구조를 갖는 경우, 전극(101)은 광을 투과시키는 기능을 갖는 것이 바람직하고, 전극(102)은 광을 반사하는 기능을 갖는 것이 바람직하다. 또는, 발광 소자(260)가 톱 이미션 구조를 갖는 경우, 전극(101)은 광을 반사하는 기능을 갖는 것이 바람직하고, 전극(102)은 광을 투과시키는 기능을 갖는 것이 바람직하다.

[0235] 발광 소자(260)는 기판(200) 위에 전극(101) 및 전극(102)을 포함한다. 전극들(101 및 102) 사이에는, 발광층(123B), 발광층(123G), 및 발광층(123R)이 제공된다. 정공 주입층(111), 정공 수송층(112), 전자 수송층(118), 및 전자 주입층(119)도 제공된다.

[0236] 전극(101)은 복수의 도전층을 사용하여 형성되어도 좋다. 이 경우, 광을 반사하는 기능을 갖는 도전층 및 광을 투과시키는 기능을 갖는 도전층이 적층되는 것이 바람직하다.

[0237] 전극(101)에는, 실시형태 1에서 설명한 전극(101 또는 102)의 구조 및 재료와 비슷한 구조 및 재료를 사용할 수 있다.

[0238] 도 5에서는 전극(101)과 전극(102) 사이에 끼워진 영역(221B), 영역(221G), 및 영역(221R) 사이에 격벽(145)이 제공되어 있다. 격벽(145)은 절연성을 갖는다. 격벽(145)은 전극(101)의 단부를 덮고, 상기 전극과 중첩되는 개구를 갖는다. 격벽(145)에 의하여, 상기 영역에서 기판(200) 위에 제공된 전극(101)을 섬 형상으로 분할할 수 있다.

[0239] 또한, 발광층(123B)과 발광층(123G)은 격벽(145)과 중첩되는 영역에서 서로 중첩되어도 좋다. 발광층(123G)과 발광층(123R)은 격벽(145)과 중첩되는 영역에서 서로 중첩되어도 좋다. 발광층(123R)과 발광층(123B)은 격벽(145)과 중첩되는 영역에서 서로 중첩되어도 좋다.

[0240] 격벽(145)은 절연성을 가지며 무기 또는 유기 재료를 사용하여 형성된다. 무기 재료의 예에는 산화 실리콘, 산화 질화 실리콘, 질화 산화 실리콘, 질화 실리콘, 산화 알루미늄, 및 질화 알루미늄이 포함된다. 유기 재료의 예에는 아크릴 수지 및 폴리아이드 수지 등의 감광성 수지 재료가 포함된다.

[0241] 발광층(123R, 123G, 및 123B)은 상이한 색의 광을 방출하는 기능을 갖는 발광 재료를 포함하는 것이 바람직하다. 예를 들어, 발광층(123R)이 적색의 광을 방출하는 기능을 갖는 발광 재료를 포함하는 경우, 영역(221R)은 적색의 광을 방출한다. 발광층(123G)이 녹색의 광을 방출하는 기능을 갖는 발광 재료를 포함하는 경우, 영역(221G)은 녹색의 광을 방출한다. 발광층(123B)이 청색의 광을 방출하는 기능을 갖는 발광 재료를 포함하는 경우, 영역(221B)은 청색의 광을 방출한다. 이러한 구조를 갖는 발광 소자(260)를 표시 장치의 화소에 사용함으로써, 풀컬러의 표시 장치를 제작할 수 있다. 발광층들의 두께는 같아도 좋고 달라도 좋다.

[0242] 발광층(123B), 발광층(123G), 및 발광층(123R) 중 하나 이상은 실시형태 1에서 설명한 발광층(130)과 비슷한 구조를 갖는 것이 바람직하다. 이 경우, 발광 효율이 높은 발광 소자를 제작할 수 있다.

[0243] 발광층들(123B, 123G, 및 123R) 중 하나 이상이, 적층된 2개 이상의 층을 포함하여도 좋다.

[0244] 상술한 바와 같이 적어도 하나의 발광층이 실시형태 1에서 설명한 발광층을 포함하고, 상기 발광층을 포함하는 발광 소자(260)를 표시 장치의 화소에 사용하면, 발광 효율이 높은 표시 장치를 제작할 수 있다. 이로써, 발광

소자(260)를 포함하는 표시 장치는 소비전력이 저감될 수 있다.

[0245] 광이 추출되는 전극 위에 컬러 필터를 제공함으로써, 발광 소자(260)의 색 순도를 향상시킬 수 있다. 그러므로, 발광 소자(260)를 포함하는 표시 장치의 색 순도를 향상시킬 수 있다.

[0246] 광이 추출되는 전극 위에 편광판을 제공함으로써, 발광 소자(260)에 의한 외광 반사를 저감시킬 수 있다. 그러므로, 발광 소자(260)를 포함하는 표시 장치의 명암비를 향상시킬 수 있다.

[0247] 발광 소자(260)의 다른 구성 요소에 대해서는, 실시형태 1의 발광 소자의 구성 요소를 참조할 수 있다.

[0248] <발광 소자의 구조예 2>

[0249] 다음으로, 도 5에 도시된 발광 소자와는 다른 구조예에 대하여 도 6의 (A) 및 (B)를 참조하여 이하에서 설명한다.

[0250] 도 6의 (A) 및 (B)는 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자의 단면도이다. 도 6의 (A) 및 (B)에서, 도 5의 부분과 비슷한 기능을 갖는 부분은 도 5에서와 같은 해치 패턴으로 나타내고, 특별히 부호로 나타내지 않은 경우가 있다. 또한, 비슷한 기능을 갖는 부분에는 공통된 부호를 사용하고, 그런 부분에 대한 자세한 설명을 반복하지 않는 경우가 있다.

[0251] 도 6의 (A) 및 (B)는 한 쌍의 전극 사이에 발광층을 포함하는 발광 소자의 구조예를 도시한 것이다. 도 6의 (A)에 도시된 발광 소자(262a)는 기판(200)과는 반대의 방향으로 광이 추출되는 톱 이미션 구조를 갖고, 도 6의 (B)에 도시된 발광 소자(262b)는 기판(200) 측으로 광이 추출되는 보텀 이미션 구조를 갖는다. 그러나, 본 발명의 일 형태는 이를 구조에 한정되지 않고, 발광 소자로부터 방출되는 광이, 발광 소자가 형성되는 기판(200)에 대하여 상하 양쪽의 방향으로 추출되는 듀얼 이미션 구조를 가져도 좋다.

[0252] 발광 소자들(262a 및 262b)의 각각은 기판(200) 위에 전극(101), 전극(102), 전극(103), 및 전극(104)을 포함한다. 전극(101)과 전극(102) 사이, 전극(102)과 전극(103) 사이, 그리고 전극(102)과 전극(104) 사이에는, 적어도 발광층(130) 및 전하 발생층(115)이 제공된다. 정공 주입층(111), 정공 수송층(112), 발광층(140), 전자 수송층(113), 전자 주입층(114), 정공 주입층(116), 정공 수송층(117), 전자 수송층(118), 및 전자 주입층(119)이 더 제공된다.

[0253] 전극(101)은 도전층(101a), 및 도전층(101a) 위에 있고 도전층(101a)과 접촉하는 도전층(101b)을 포함한다. 전극(103)은 도전층(103a), 및 도전층(103a) 위에 있고 도전층(103a)과 접촉하는 도전층(103b)을 포함한다. 전극(104)은 도전층(104a), 및 도전층(104a) 위에 있고 도전층(104a)과 접촉하는 도전층(104b)을 포함한다.

[0254] 도 6의 (A)에 도시된 발광 소자(262a) 및 도 6의 (B)에 도시된 발광 소자(262b)의 각각은, 전극(101)과 전극(102) 사이에 끼워진 영역(222B)과, 전극(102)과 전극(103) 사이에 끼워진 영역(222G)과, 전극(102)과 전극(104) 사이에 끼워진 영역(222R) 사이에, 격벽(145)을 포함한다. 격벽(145)은 절연성을 갖는다. 격벽(145)은 전극(101, 103, 및 104)의 단부를 덮고, 상기 전극과 중첩되는 개구를 갖는다. 격벽(145)에 의하여, 상기 영역에서 기판(200) 위에 제공된 전극을 섬 형상으로 분리할 수 있다.

[0255] 발광 소자들(262a 및 262b)의 각각은 영역(222B)으로부터 방출되는 광, 영역(222G)으로부터 방출되는 광, 및 영역(222R)으로부터 방출되는 광이 추출되는 방향으로 광학 소자(224B), 광학 소자(224G), 및 광학 소자(224R)가 제공된 기판(220)을 포함한다. 각 영역으로부터 방출되는 광은 각 광학 소자를 통하여 발광 소자 외부로 방출된다. 바꿔 말하면, 영역(222B)으로부터의 광, 영역(222G)으로부터의 광, 및 영역(222R)으로부터의 광은 각각, 광학 소자(224B), 광학 소자(224G), 및 광학 소자(224R)를 통하여 방출된다.

[0256] 광학 소자들(224B, 224G, 및 224R)의 각각은 입사광으로부터 특정의 색의 광을 선택적으로 투과시키는 기능을 갖는다. 예를 들어, 광학 소자(224B)를 통하여 영역(222B)으로부터 방출되는 광은 청색의 광이고, 광학 소자(224G)를 통하여 영역(222G)으로부터 방출되는 광은 녹색의 광이고, 광학 소자(224R)를 통하여 영역(222R)으로부터 방출되는 광은 적색의 광이다.

[0257] 예를 들어, 광학 소자(224R, 224G, 및 224B)에는 착색층(컬러 필터라고도 함), 밴드 패스 필터, 또는 다층 필터 등을 사용할 수 있다. 또는, 광학 소자로서 색 변환 소자를 사용할 수 있다. 색 변환 소자는 입사광을, 입사 광보다 파장이 긴 광으로 변환하는 광학 소자이다. 색 변환 소자로서는 쿼터너드 소자를 적합하게 사용할 수 있다. 쿼터너드형을 사용함으로써 표시 장치의 색재현성을 높일 수 있다.

[0258] 각 광학 소자(224R, 224G, 및 224B) 위에 복수의 광학 소자를 적층하여도 좋다. 다른 광학 소자로서는, 예를

들어 원편광판 또는 반사 방지막 등을 제공할 수 있다. 표시 장치의 발광 소자로부터 방출되는 광이 추출되는 측에 원편광판을 제공하면, 표시 장치 외부로부터 입사되는 광이 표시 장치의 내부에서 반사되어 외부로 되돌아가는 현상을 방지할 수 있다. 반사 방지막은 표시 장치의 표면으로 반사되는 외광을 약하게 할 수 있다. 이에 의하여, 표시 장치로부터 방출되는 광이 선명하게 관찰된다.

[0259] 또한, 도 6의 (A) 및 (B)에서는 광학 소자를 통하여 영역으로부터 방출되는 청색의 광(B), 녹색의 광(G), 및 적색의 광(R)을 파선의 화살표로 모식적으로 나타내었다.

[0260] 광학 소자들 사이에는 차광층(223)이 제공된다. 차광층(223)은 인접한 영역들로부터 방출되는 광을 차단하는 기능을 갖는다. 또한, 차광층(223)이 없는 구조를 채용하여도 좋다.

[0261] 차광층(223)은 외광의 반사를 저감하는 기능을 갖는다. 차광층(223)은 인접한 발광 소자로부터 방출되는 광이 섞이는 것을 방지하는 기능을 갖는다. 차광층(223)에는, 금속, 흑색 안료를 포함하는 수지, 카본 블랙, 금속 산화물, 또는 복수의 금속 산화물의 고용체를 포함하는 복합 산화물 등을 사용할 수 있다.

[0262] 기판(200) 및 광학 소자가 제공되는 기판(220)에는, 실시형태 1의 기판을 참조할 수 있다.

[0263] 또한, 발광 소자(262a 및 262b)는 마이크로캐비티 구조를 갖는다.

[0264] <<마이크로캐비티 구조>>

[0265] 발광층(130) 및 발광층(140)으로부터 방출되는 광은 한 쌍의 전극(예를 들어, 전극(101) 및 전극(102)) 사이에서 공진된다. 발광층(130) 및 발광층(140)은 방출되는 광 중 원하는 파장의 광이 강화되는 위치에 형성된다. 예를 들어, 전극(101)의 반사 영역에서 발광층(130)의 발광 영역까지의 광로의 길이 및 전극(102)의 반사 영역에서 발광층(130)의 발광 영역까지의 광로의 길이를 조정함으로써, 발광층(130)으로부터 방출되는 광 중 원하는 파장의 광을 강화시킬 수 있다. 전극(101)의 반사 영역에서 발광층(140)의 발광 영역까지의 광로의 길이 및 전극(102)의 반사 영역에서 발광층(140)의 발광 영역까지의 광로의 길이를 조정함으로써, 발광층(140)으로부터 방출되는 광 중 원하는 파장의 광을 강화시킬 수 있다. 복수의 발광층(여기서는, 발광층(130 및 140))이 적층된 발광 소자의 경우, 발광층(130 및 140)의 광로의 길이를 최적화하는 것이 바람직하다.

[0266] 발광 소자들(262a 및 262b)의 각각에서 각 영역에서의 도전층(도전층(101b), 도전층(103b), 및 도전층(104b))의 두께를 조정함으로써, 발광층(130 및 140)으로부터 방출되는 광 중 원하는 파장의 광을 강화시킬 수 있다. 또한, 정공 주입층(111) 및 정공 수송층(112) 중 적어도 하나의 두께를 영역들 간에서 상이하게 하여 발광층(130 및 140)으로부터 방출되는 광을 강화시켜도 좋다.

[0267] 예를 들어, 전극(101 내지 104)의 광을 반사하는 기능을 갖는 도전성 재료의 굴절률이 발광층(130 또는 140)의 굴절률보다 낮은 경우, 전극(101)의 도전층(101b)의 두께를 조정하여 전극(101)과 전극(102) 사이의 광로의 길이가  $m_B \lambda_B / 2$ ( $m_B$ 는 자연수이고  $\lambda_B$ 는 영역(222B)에서 강화되는 광의 파장임)가 되도록 한다. 마찬가지로, 전극(103)의 도전층(103b)의 두께를 조정하여 전극(103)과 전극(102) 사이의 광로의 길이가  $m_G \lambda_G / 2$ ( $m_G$ 는 자연수이고  $\lambda_G$ 는 영역(222G)에서 강화되는 광의 파장임)가 되도록 한다. 또한, 전극(104)의 도전층(104b)의 두께를 조정하여 전극(104)과 전극(102) 사이의 광로의 길이가  $m_R \lambda_R / 2$ ( $m_R$ 는 자연수이고  $\lambda_R$ 는 영역(222R)에서 강화되는 광의 파장임)가 되도록 한다.

[0268] 상술한 식으로, 각 영역에서의 한 쌍의 전극 사이의 광로의 길이를 조정하는 마이크로캐비티 구조에 의하여, 전극 근방에서의 광의 산란 및 흡수를 억제할 수 있고, 이에 따라 광 추출 효율이 높아진다. 상술한 구조에서 도전층(101b, 103b, 및 104b)은 광을 투과시키는 기능을 갖는 것이 바람직하다. 도전층들(101b, 103b, 및 104b)의 재료는 같아도 좋고 달라도 좋다. 도전층들(101b, 103b, 및 104b)의 각각은 2층 이상의 적층 구조를 가져도 좋다.

[0269] 도 6의 (A)에 도시된 발광 소자(262a)는 텁 이미션 구조를 갖기 때문에 도전층(101a), 도전층(103a), 및 도전층(104a)은 광을 반사하는 기능을 갖는 것이 바람직하다. 또한, 전극(102)은 광을 투과시키는 기능과 광을 반사하는 기능을 갖는 것이 바람직하다.

[0270] 도 6의 (B)에 도시된 발광 소자(262b)는 보텀 이미션 구조를 갖기 때문에 도전층(101a), 도전층(103a), 및 도전층(104a)은 광을 투과시키는 기능과 광을 반사하는 기능을 갖는 것이 바람직하다. 또한, 전극(102)은 광을 반사하는 기능을 갖는 것이 바람직하다.

- [0271] 발광 소자들(262a 및 262b)의 각각에 있어서 도전층들(101a, 103a, 및 104a)은 상이한 재료로 형성되어도 좋고, 같은 재료로 형성되어도 좋다. 도전층들(101a, 103a, 및 104a)을 같은 재료로 형성하면, 발광 소자(262a 및 262b)의 제작 비용을 삼감할 수 있다. 또한, 도전층들(101a, 103a, 및 104a)의 각각은 2개 이상의 층을 포함하는 적층 구조를 가져도 좋다.
- [0272] 발광 소자(262a 및 262b)에서의 발광층(130)이 실시형태 1에서 설명한 구조를 가지면, 발광 효율이 높은 발광 소자를 제작할 수 있으므로 바람직하다.
- [0273] 발광층(140a) 및 발광층(140b)과 같이, 발광층(130 및 140) 중 한쪽 또는 양쪽은 2층으로 이루어지는 적층 구조를 가져도 좋다. 상이한 색의 광을 방출하는 2종류의 발광 재료(제 1 발광 재료 및 제 2 발광 재료)를 포함하는 2개의 발광층에 의하여, 복수의 색의 발광이 가능해진다. 발광층(130 및 140)으로부터의 발광을 조합하여 백색광을 얻을 수 있도록, 발광층의 발광 재료를 선택하는 것이 특히 바람직하다.
- [0274] 발광층(130 및 140) 중 한쪽 또는 양쪽은, 3층 이상으로 이루어지는 적층 구조를 가져도 좋고, 발광 재료를 포함하지 않는 층을 포함하여도 좋다.
- [0275] 상술한 식으로, 실시형태 1에서 설명한 구조를 갖는 발광층을 포함하는 발광 소자(262a 또는 262b)를 표시 장치의 화소에 사용함으로써, 발광 효율이 높은 표시 장치를 제작할 수 있다. 이로써, 발광 소자(262a 또는 262b)를 포함하는 표시 장치의 소비전력이 저감될 수 있다.
- [0276] 발광 소자(262a 및 262b)의 다른 구성 요소에 대해서는, 발광 소자(260) 또는 실시형태 1 또는 2의 발광 소자의 구성 요소를 참조할 수 있다.
- [0277] 또한, 본 실시형태에서 설명한 구조는 다른 실시형태에서 설명하는 구조 중 임의의 것과 적절히 조합할 수 있다.
- [0278] (실시형태 4)
- [0279] 본 실시형태에서는, 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자를 포함하는 표시 장치에 대하여 도 7의 (A) 및 (B), 도 8의 (A) 및 (B), 그리고 도 9의 (A) 및 (B)를 참조하여 설명한다.
- [0280] <표시 장치의 구조예 1>
- [0281] 도 7의 (A)는 표시 장치(600)를 도시한 상면도이고, 도 7의 (B)는 도 7의 (A)의 일점쇄선 A-B 및 일점쇄선 C-D를 따라 취한 단면도이다. 표시 장치(600)는 구동 회로부(신호선 구동 회로부(601) 및 주사선 구동 회로부(603)) 및 화소부(602)를 포함한다. 또한, 신호선 구동 회로부(601), 주사선 구동 회로부(603), 및 화소부(602)는 발광 소자로부터의 발광을 제어하는 기능을 갖는다.
- [0282] 또한, 표시 장치(600)는 소자 기판(610), 밀봉 기판(604), 실재(605), 실재(605)로 둘러싸인 영역(607), 리드 배선(608), 및 FPC(609)를 포함한다.
- [0283] 또한, 리드 배선(608)은 신호선 구동 회로부(601) 및 주사선 구동 회로부(603)에 입력되는 신호를 전송하며, 외부 입력 단자로서 기능하는 FPC(609)로부터 비디오 신호, 클럭 신호, 스타트 신호, 및 리셋 신호 등을 받기 위한 배선이다. 여기서는 FPC(609)만을 도시하였지만, FPC(609)에는 인쇄 배선판(PWB: printed wiring board)이 제공되어도 좋다.
- [0284] 신호선 구동 회로부(601)로서는, n채널 트랜지스터(623)와 p채널 트랜지스터(624)를 조합한 CMOS 회로를 형성한다. 신호선 구동 회로부(601) 또는 주사선 구동 회로부(603)로서는 CMOS 회로, PMOS 회로, 또는 NMOS 회로 등의 다양한 종류의 회로를 사용할 수 있다. 본 실시형태의 표시 장치에서는 구동 회로부가 형성된 드라이버 및 화소가 기판의 같은 표면 위에 형성되어 있지만, 구동 회로부를 반드시 기판 위에 형성할 필요는 없고, 기판 외부에 형성할 수 있다.
- [0285] 화소부(602)는 스위칭 트랜지스터(611), 전류 제어 트랜지스터(612), 및 전류 제어 트랜지스터(612)의 드레인에 전기적으로 접속된 하부 전극(613)을 포함한다. 또한, 하부 전극(613)의 단부를 덮어 격벽(614)이 형성된다. 격벽(614)으로서는 예를 들어, 포지티브형 감광성 아크릴 수지막을 사용할 수 있다.
- [0286] 양호한 피복성을 얻기 위하여, 격벽(614)을, 그 상단부 또는 하단부에 곡률을 갖는 곡면을 갖도록 형성한다. 예를 들어, 격벽(614)의 재료로서 포지티브형 감광성 아크릴을 사용하는 경우, 격벽(614)의 상단부만이 곡률(곡률 반경 0.2 μm 내지 3 μm)을 갖는 곡면을 갖는 것이 바람직하다. 격벽(614)으로서는, 네거티브형 감광성 수지

또는 포지티브형 감광성 수지를 사용할 수 있다.

[0287] 또한, 각 트랜지스터(트랜지스터(611, 612, 623, 및 624))의 구조에 대한 특별한 한정은 없다. 예를 들어, 스태거형 트랜지스터를 사용할 수 있다. 또한, 이들 트랜지스터의 극성에 대한 특별한 한정은 없다. 예를 들어, 이들 트랜지스터에는 n채널 및 p채널 트랜지스터를 사용하여도 좋고, n채널 트랜지스터 또는 p채널 트랜지스터 중 어느 한쪽을 사용하여도 좋다. 또한, 이들 트랜지스터에 사용되는 반도체막의 결정성에 대한 특별한 한정은 없다. 예를 들어, 비정질 반도체막 또는 결정성 반도체막을 사용하여도 좋다. 반도체 재료의 예에는 14족 반도체(예를 들어, 실리콘을 포함하는 반도체), 화합물 반도체(산화물 반도체를 포함함), 및 유기 반도체 등이 포함된다. 예를 들어, 트랜지스터에는 에너지 캡이 2eV 이상, 바람직하게는 2.5eV 이상, 더 바람직하게는 3eV 이상인 산화물 반도체를 사용하는 것이 바람직하고, 이로써 트랜지스터의 오프 상태 전류를 저감할 수 있다. 산화물 반도체의 예에는 In-Ga 산화물 및 In-M-Zn 산화물(M은 알루미늄(Al), 갈륨(Ga), 이트륨(Y), 지르코늄(Zr), 란타넘(La), 세륨(Ce), 주석(Sn), 하프늄(Hf), 또는 네오디뮴(Nd)임) 등이 포함된다.

[0288] 하부 전극(613) 위에는 EL층(616) 및 상부 전극(617)이 형성되어 있다. 여기서 하부 전극(613)은 양극으로서 기능하고, 상부 전극(617)은 음극으로서 기능한다.

[0289] 또한, EL층(616)은 증착 마스크를 사용한 증착법(진공 증착법을 포함함), 액적 토출법(잉크젯법이라고도 함), 스핀 코팅법 등의 도포법, 및 그라비어 인쇄법을 포함하는 다양한 방법 중 임의의 것으로 형성된다. EL층(616)에 포함되는 다른 재료로서는 저분자 화합물 또는 고분자 화합물(울리고머 또는 텐드리머를 포함함)을 사용하여도 좋다.

[0290] 또한, 발광 소자(618)는 하부 전극(613), EL층(616), 및 상부 전극(617)으로 형성된다. 발광 소자(618)는 실시 형태 1 내지 3에 기재된 구조 중 임의의 것을 갖는 것이 바람직하다. 화소부가 복수의 발광 소자를 포함하는 경우, 화소부는 실시형태 1내지 3에 기재된 발광 소자 중 임의의 것과, 이와 상이한 구조를 갖는 발광 소자의 양쪽 모두를 포함하여도 좋다.

[0291] 실재(605)로 밀봉 기판(604)과 소자 기판(610)을 서로 접합하면, 소자 기판(610), 밀봉 기판(604), 및 실재(605)로 둘러싸인 영역(607)에 발광 소자(618)가 제공된다. 영역(607)에는 충전재가 충전되어 있다. 영역(607)에는 불활성 가스(질소 또는 아르곤 등)가 충전되거나, 또는 실재(605)에 사용할 수 있는 자외선 경화 수지 또는 열 경화 수지가 충전되는 경우가 있다. 예를 들어, PVC(polyvinyl chloride)계 수지, 아크릴계 수지, 폴리이미드계 수지, 에폭시계 수지, 실리콘(silicone)계 수지, PVB(polyvinyl butyral)계 수지, 또는 EVA(ethylene vinyl acetate)계 수지를 사용할 수 있다. 밀봉 기판에는 오목부를 제공하고, 오목부에 전조제를 제공하면 수분의 영향으로 인한 열화를 억제할 수 있으므로 바람직하다.

[0292] 발광 소자(618)와 중첩되도록, 밀봉 기판(604) 아래에 광학 소자(621)를 제공한다. 밀봉 기판(604) 아래에는 차광층(622)이 제공된다. 광학 소자(621) 및 차광층(622)의 구조는 각각, 실시형태 3의 광학 소자 및 차광층과 같게 할 수 있다.

[0293] 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(poly(vinyl fluoride)), 폴리에스터, 또는 아크릴 등으로 형성된 플라스틱 기판을 사용할 수 있다.

[0294] 상술한 바와 같이, 실시형태 1 내지 3에 기재된 임의의 발광 소자 및 광학 소자를 포함하는 표시 장치를 얻을 수 있다.

[0295] <표시 장치의 구조예 2>

[0296] 다음으로, 표시 장치의 다른 예에 대하여 도 8의 (A) 및 (B)를 참조하여 설명한다. 또한, 도 8의 (A) 및 (B)는 각각 본 발명의 일 형태에 따른 표시 장치의 단면도이다.

[0297] 도 8의 (A)에는 기판(1001), 하지 절연막(1002), 게이트 절연막(1003), 게이트 전극(1006, 1007, 및 1008), 제1 층간 절연막(1020), 제2 층간 절연막(1021), 주변부(1042), 화소부(1040), 구동 회로부(1041), 발광 소자의 하부 전극(1024R, 1024G, 및 1024B), 격벽(1025), EL층(1028), 발광 소자의 상부 전극(1026), 밀봉층(1029), 밀봉 기판(1031), 및 실재(1032) 등이 도시되어 있다.

[0298] 도 8의 (A)에서는 광학 소자의 예로서, 착색층(적색의 착색층(1034R), 녹색의 착색층(1034G), 및 청색의 착색층(1034B))이 투명 기재(1033)에 제공되어 있다. 또한, 차광층(1035)이 제공되어도 좋다. 착색층 및 차광층이

제공된 투명 기재(1033)는 위치 맞춤하여 기판(1001)에 고정된다. 또한, 착색층 및 차광층은 오버코트층(1036)으로 덮여 있다. 도 8의 (A)의 구조에서는, 적색의 광, 녹색의 광, 및 청색의 광이 착색층을 투과하므로 3가지 색의 화소를 사용하여 화상을 표시할 수 있다.

[0299] 도 8의 (B)는 광학 소자의 예로서 착색층(적색의 착색층(1034R), 녹색의 착색층(1034G), 및 청색의 착색층(1034B))을 게이트 절연막(1003)과 제 1 층간 절연막(1020) 사이에 제공하는 예를 도시한 것이다. 이 구조에서와 같이, 착색층은 기판(1001)과 밀봉 기판(1031) 사이에 제공되어도 좋다.

[0300] 광학 소자의 예로서, 착색층(적색의 착색층(1034R), 녹색의 착색층(1034G), 및 청색의 착색층(1034B))을 제 1 층간 절연막(1020)과 제 2 층간 절연막(1021) 사이에 제공한다.

[0301] 상술한 표시 장치는 트랜지스터가 형성되어 있는 기판(1001) 측으로부터 광을 추출하는 구조(보텀 이미션 구조)를 갖지만, 밀봉 기판(1031) 측으로부터 광을 추출하는 구조(톱 이미션 구조)를 가져도 좋다.

[0302] <표시 장치의 구조예 3>

[0303] 도 9의 (A) 및 (B)의 각각은 톱 이미션 구조를 갖는 표시 장치의 단면도의 예이다. 또한, 도 9의 (A) 및 (B)의 각각은 본 발명의 일 형태에 따른 표시 장치를 도시한 단면도이고, 도 8의 (A) 및 (B)에 도시된 구동 회로부(1041) 및 주변부(1042) 등은 도시되어 있지 않다.

[0304] 이 경우, 기판(1001)으로서는 광을 투과시키지 않는 기판을 사용할 수 있다. 트랜지스터와 발광 소자의 양극을 접속하는 접속 전극을 형성하는 단계까지의 공정은, 보텀 이미션 구조를 갖는 표시 장치와 비슷한 식으로 수행한다. 그리고, 전극(1022)을 덮도록 제 3 층간 절연막(1037)을 형성한다. 이 절연막은 평탄화 기능을 가져도 좋다. 제 3 층간 절연막(1037)은 제 2 층간 절연막과 비슷한 재료를 사용하여 형성될 수 있고, 또는 다른 다양한 재료를 사용하여 형성될 수 있다.

[0305] 여기서는 발광 소자의 하부 전극들(1024R, 1024G, 및 1024B)의 각각이 양극으로서 기능하지만, 음극으로서 기능하여도 좋다. 또한, 도 9의 (A) 및 (B)에 도시된 바와 같은 톱 이미션 구조를 갖는 표시 장치의 경우, 하부 전극(1024R, 1024G, 및 1024B)은 광을 반사하는 기능을 갖는 것이 바람직하다. EL층(1028) 위에 상부 전극(1026)이 제공된다. 상부 전극(1026)은 광을 반사하는 기능 및 광을 투과시키는 기능을 갖는 것이 바람직하고, 상부 전극(1026)과 하부 전극(1024R, 1024G, 및 1024B) 사이에 마이크로캐비티 구조를 사용하여, 특정한 파장의 광의 강도를 높이는 것이 바람직하다.

[0306] 도 9의 (A)에 도시된 바와 같은 톱 이미션 구조의 경우, 착색층(적색의 착색층(1034R), 녹색의 착색층(1034G), 및 청색의 착색층(1034B))이 제공되어 있는 밀봉 기판(1031)으로 밀봉을 수행할 수 있다. 밀봉 기판(1031)에는 화소들 사이에 위치하는 차광층(1035)을 제공하여도 좋다. 또한, 밀봉 기판(1031)으로서는 투광성 기판이 바람직하게 사용된다.

[0307] 도 9의 (A)는 발광 소자들 및 상기 발광 소자들을 위한 착색층들을 제공하는 구조를 예시한 것이지만, 구조는 이에 한정되지 않는다. 예를 들어, 도 9의 (B)에 나타낸 바와 같이, 적색의 착색층(1034R) 및 청색의 착색층(1034B)을 포함하고 녹색의 착색층을 포함하지 않는 구조를 채용하여, 적색, 녹색, 및 청색의 3가지 색으로 풀컬러 표시를 구현하여도 좋다. 발광 소자들에 착색층들을 제공하는 도 9의 (A)에 도시된 구조는, 외광 반사를 억제하는 데 효과적이다. 한편, 발광 소자에 적색의 착색층 및 청색의 착색층을 제공하고 녹색의 착색층이 없는 도 9의 (B)에 도시된 구조는, 녹색의 발광 소자로부터 방출되는 광의 에너지 손실이 적으므로 소비전력을 저감하는 데 효과적이다.

[0308] 위에서는 3가지 색(적색, 녹색, 및 청색)의 부화소를 포함하는 표시 장치에 대하여 설명하였지만, 부화소의 색의 수는 4개(적색, 녹색, 청색, 및 황색, 또는 적색, 녹색, 청색, 및 백색)이어도 좋다. 이 경우, 황색의 광을 투과시키는 기능, 또는 청색, 녹색, 황색, 및 적색에서 선택된 복수의 색의 광을 투과시키는 기능을 갖는 착색층을 사용할 수 있다. 착색층이 청색, 녹색, 황색, 및 적색에서 선택된 복수의 색의 광을 투과시킬 수 있는 경우에는, 착색층을 통과한 광은 백색의 광이어도 좋다. 황색 또는 백색의 광을 나타내는 발광 소자는 발광 효율이 높기 때문에, 이러한 구조를 갖는 표시 장치는 소비전력을 더 저감시킬 수 있다.

[0309] 또한, 도 7의 (A) 및 (B)에 나타낸 표시 장치(600)에서는, 소자 기판(610), 밀봉 기판(604), 및 실재(605)로 둘러싸인 영역(607)에 밀봉층을 형성하여도 좋다. 상기 밀봉층에는 PVC(polyvinyl chloride)계 수지, 아크릴계 수지, 폴리이미드계 수지, 에폭시계 수지, 실리콘계 수지, PVB(polyvinyl butyral)계 수지, 또는 EVA(ethylene vinyl acetate)계 수지 등의 수지를 사용할 수 있다. 또는, 산화 실리콘, 산화 질화 실리콘, 질화 산화

실리콘, 질화 실리콘, 산화 알루미늄, 또는 질화 알루미늄 등의 무기 재료를 사용할 수 있다. 영역(607)에 밀봉층을 형성하면, 물 등의 불순물로 인한 발광 소자(618)의 열화를 방지할 수 있으므로 바람직하다. 또한, 밀봉층을 형성하는 경우, 실재(605)를 반드시 제공할 필요는 없다.

[0310] 밀봉층이 다층 구조를 갖는 경우, 표시 장치(600) 외부에서 물 등의 불순물이 표시 장치 내부에 있는 발광 소자(618)에 들어가는 것을 효과적으로 방지할 수 있다. 밀봉층이 다층 구조를 갖는 경우, 수지와 무기 재료를 적층하는 것이 바람직하다.

[0311] 본 실시형태에서 설명한 구조는 본 실시형태 및 다른 실시형태에서의 다른 구조 중 임의의 것과 적절히 조합할 수 있다.

[0312] (실시형태 5)

[0313] 본 실시형태에서는, 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자를 각각 포함하는 표시 모듈, 전자 기기, 발광 장치, 및 조명 장치에 대하여 도 10, 도 11의 (A) 내지 (G), 도 12의 (A) 내지 (C), 그리고 도 13을 참조하여 설명한다.

[0314] <표시 모듈>

[0315] 도 10의 표시 모듈(8000)에서, 상부 커버(8001)와 하부 커버(8002) 사이에, FPC(8003)에 접속된 터치 센서(8004), FPC(8005)에 접속된 표시 장치(8006), 프레임(8009), 인쇄 기판(8010), 및 배터리(8011)가 제공되어 있다.

[0316] 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자는 예를 들어, 표시 장치(8006)에 사용될 수 있다.

[0317] 상부 커버(8001) 및 하부 커버(8002)의 형상 및 크기는, 터치 센서(8004) 및 표시 장치(8006)의 크기에 따라 적절히 변경될 수 있다.

[0318] 터치 센서(8004)는, 저항식 터치 센서 또는 정전 용량식 터치 센서일 수 있고, 표시 장치(8006)와 중첩하여 형성될 수 있다. 표시 장치(8006)의 대향 기판(밀봉 기판)은 터치 센서 기능을 가질 수 있다. 광학식 터치 센서가 얻어지도록 표시 장치(8006)의 각 화소에 포토센서를 제공하여도 좋다.

[0319] 프레임(8009)은 표시 장치(8006)를 보호하고, 또한 인쇄 기판(8010)의 동작에 의하여 발생되는 전자기파를 차단하기 위한 전자기 실드로서도 기능한다. 프레임(8009)은 방열판(radiator plate)으로서 기능할 수도 있다.

[0320] 인쇄 기판(8010)은 전원 회로와, 비디오 신호 및 클럭 신호를 출력하기 위한 신호 처리 회로를 갖는다. 전원 회로에 전력을 공급하기 위한 전원으로서, 외부 상용 전원 또는 별도로 제공된 배터리(8011)를 사용하여도 좋다. 배터리(8011)는 상용 전원을 사용하는 경우 생략할 수 있다.

[0321] 표시 모듈(8000)에, 편광판, 위상차판, 또는 프리즘 시트 등의 부재를 추가적으로 제공할 수 있다.

[0322] <전자 기기>

[0323] 도 11의 (A) 내지 (G)는 전자 기기를 나타낸 것이다. 이들 전자 기기는 하우징(9000), 표시부(9001), 스피커(9003), 조작 키(9005)(전원 스위치 또는 조작 스위치를 포함함), 접속 단자(9006), 센서(9007)(힘, 변위, 위치, 속도, 가속도, 각속도, 회전수, 거리, 광, 액체, 자기, 온도, 화학 물질, 소리, 시간, 경도, 전계, 전류, 전압, 전력, 방사선, 유량, 습도, 기울기, 진동, 냄새, 또는 적외선을 측정 또는 검지하는 기능을 갖는 센서), 및 마이크로폰(9008) 등을 각각 포함할 수 있다. 또한, 센서(9007)는 맥박 센서 및 지문 센서와 같이 생체 정보를 측정하는 기능을 가져도 좋다.

[0324] 도 11의 (A) 내지 (G)에 도시된 전자 기기는, 예를 들어 다양한 데이터(정지 화상, 동영상, 및 텍스트 화상 등)를 표시부에 표시하는 기능, 터치 센서 기능, 달력, 날짜, 및 시간 등을 표시하는 기능, 다양한 소프트웨어(프로그램)로 처리를 제어하는 기능, 무선 통신 기능, 무선 통신 기능으로 다양한 컴퓨터 네트워크에 접속되는 기능, 무선 통신 기능으로 다양한 데이터를 송수신하는 기능, 및 기억 매체에 저장된 프로그램 또는 데이터를 판독하고 표시부에 프로그램 또는 데이터를 표시하는 기능 등의 다양한 기능을 가질 수 있다. 또한, 도 11의 (A) 내지 (G)에 도시된 전자 기기는 상술한 기능에 한정되지 않고 다양한 기능을 가질 수 있다. 도 11의 (A) 내지 (G)에는 도시되지 않았지만, 전자 기기는 복수의 표시부를 포함하여도 좋다. 전자 기기는 카메라 등을 가져도 좋고, 정지 화상을 촬영하는 기능, 동영상을 촬영하는 기능, 촬영한 화상을 기억 매체(외부 기억 매체 또는 카메라에 포함되는 기억 매체)에 저장하는 기능, 또는 촬영한 화상을 표시부에 표시하는 기능 등을 가져도

좋다.

[0325] 도 11의 (A) 내지 (G)의 전자 기기에 대하여 이하에서 자세히 설명한다.

[0326] 도 11의 (A)는 휴대 정보 단말(9100)의 사시도이다. 휴대 정보 단말(9100)의 표시부(9001)는 플렉시블하다. 그러므로, 구부러진 하우징(9000)의 곡면을 따라 표시부(9001)를 제공할 수 있다. 또한, 표시부(9001)는 터치 센서를 포함하고, 손가락 또는 스타일러스 등으로 화면을 터치함으로써 조작을 수행할 수 있다. 예를 들어, 표시부(9001)에 표시된 아이콘을 터치하여 애플리케이션을 기동할 수 있다.

[0327] 도 11의 (B)는 휴대 정보 단말(9101)을 도시한 사시도이다. 휴대 정보 단말(9101)은 예를 들어, 전화기, 노트, 및 정보 열람 시스템 중 하나 이상으로서 기능한다. 구체적으로는, 휴대 정보 단말은 스마트폰으로서 사용할 수 있다. 또한, 도 11의 (A)의 도면에 도시되지 않은 스피커(9003), 접속 단자(9006), 및 센서(9007) 등을, 도 11의 (A)에 도시한 휴대 정보 단말(9100)과 같이 휴대 정보 단말(9101)에 배치할 수 있다. 휴대 정보 단말(9101)은 문자 및 화상 정보를 그 복수의 면에 표시할 수 있다. 예를 들어, 3개의 조작 버튼(9050)(조작 아이콘 또는 간단하게 아이콘이라고도 함)을 표시부(9001)의 하나의 면에 표시할 수 있다. 또한, 파선의 직사각형으로 나타낸 정보(9051)를 표시부(9001)의 다른 면에 표시할 수 있다. 정보(9051)의 예에는, 이메일, SNS(social networking service) 메시지, 및 전화 등의 수신을 알리는 표시; 이메일 및 SNS 메시지의 제목 및 송신자; 날짜; 시각; 배터리의 잔량; 및 전파 등의 수신 신호의 강도를 나타내는 표시가 포함된다. 정보(9051)가 표시되는 위치에, 정보(9051) 대신에 조작 버튼(9050) 등을 표시하여도 좋다.

[0328] 하우징(9000)의 재료로서는, 예를 들어 합금, 플라스틱, 또는 세라믹을 사용할 수 있다. 플라스틱으로서는, 강화 플라스틱을 사용할 수도 있다. 강화 플라스틱의 일종인 탄소 섬유 강화 플라스틱(CFRP)은, 경량이며 부식되지 않는다는 이점을 갖는다. 강화 플라스틱의 다른 예에는, 유리 섬유를 포함하는 것 및 아라미드 섬유를 포함하는 것이 포함된다. 합금으로서는, 알루미늄 합금 및 마그네슘 합금을 들 수 있다. 특히, 지르코늄, 구리, 니켈, 및 타이타늄을 포함하는 비정질 합금(금속 유리라고도 함)은 탄성 강도가 높다는 면에서 우수하다. 이 비정질 합금은 실온에서 유리 전이 영역을 포함하고, 별크 응고 비정질 합금이라고도 하고 실질적으로 비정질 원자 구조를 갖는다. 응고 주조법(solidification casting method)에 의하여 적어도 일부의 하우징의 주형(鑄型) 내에 합금 재료를 넣고 응고시킴으로써, 별크 응고 비정질 합금을 사용하여 일부의 하우징이 형성된다. 비정질 합금은 지르코늄, 구리, 니켈, 및 타이타늄에 더하여 베릴륨, 실리콘, 나이오븀, 봉소, 갈륨, 몰리브데늄, 텅스텐, 망가니즈, 철, 코발트, 이트륨, 바나듐, 인, 또는 탄소 등을 포함하여도 좋다. 비정질 합금은 응고 주조법 대신에 진공 증착법, 스퍼터링법, 전해 도금법, 또는 무전해 도금법 등에 의하여 형성되어도 좋다. 비정질 합금은 전체로서 장거리 질서(주기 구조)를 갖지 않는 상태를 유지하기만 하면 미결정 또는 나노 결정을 포함하여도 좋다. 또한, 합금이라는 용어는 단일 고체상 구조를 갖는 완전 고용체 합금과, 2개 이상의 상을 갖는 부분 용체의 양쪽을 말한다. 비정질 합금을 사용한 하우징(9000)은 높은 탄성을 가질 수 있다. 휴대 정보 단말(9101)이 낙하되고 이 충격으로 일시적으로 변형되더라도 하우징(9000)에 비정질 합금을 사용하면 원래의 형상으로 되돌아가게 되기 때문에 휴대 정보 단말(9101)의 내충격성을 향상시킬 수 있다.

[0329] 도 11의 (C)는 휴대 정보 단말(9102)을 도시한 사시도이다. 휴대 정보 단말(9102)은 표시부(9001)의 3개 이상의 면에 정보를 표시하는 기능을 갖는다. 여기서는, 정보(9052), 정보(9053), 및 정보(9054)가 상이한 면에 표시되어 있다. 예를 들어, 휴대 정보 단말(9102)의 사용자는, 자신 옷의 가슴 포켓에 휴대 정보 단말(9102)을 넣은 상태로 표시(여기서는 정보(9053))를 볼 수 있다. 구체적으로는, 착신한 전화의 발신자의 전화번호 또는 이름 등을, 휴대 정보 단말(9102)의 상방에서 볼 수 있는 위치에 표시한다. 따라서, 사용자는 휴대 정보 단말(9102)을 포켓에서 꺼내지 않고 표시를 보고, 전화를 받을지 여부를 결정할 수 있다.

[0330] 도 11의 (D)는 손목시계형 휴대 정보 단말(9200)의 사시도이다. 휴대 정보 단말(9200)은 이동 전화, 이메일, 문장의 열람 및 편집, 음악 재생, 인터넷 통신, 및 컴퓨터 게임 등의 다양한 애플리케이션을 실행할 수 있다. 표시부(9001)의 표시면이 구부려져 있고, 구부러진 표시면에 화상이 표시될 수 있다. 휴대 정보 단말(9200)은, 기존의 통신 표준에 따른 통신 방식인 근거리 무선 통신을 채용할 수 있다. 이 경우, 예를 들어, 휴대 정보 단말(9200)과 무선 통신이 가능한 헤드셋 간의 상호 통신을 수행할 수 있어 핸즈프리 통화가 가능하다. 휴대 정보 단말(9200)은 접속 단자(9006)를 포함하고, 커넥터를 통하여 다른 정보 단말에 데이터를 직접 송신하거나, 다른 정보 단말로부터 데이터를 직접 수신할 수 있다. 접속 단자(9006)를 통한 충전이 가능하다. 또한, 접속 단자(9006)를 사용하지 않고 무선 급전에 의하여 충전 동작을 수행하여도 좋다.

[0331] 도 11의 (E), (F), 및 (G)는 폴더블 휴대 정보 단말(9201)의 사시도이다. 도 11의 (E)는 펼친 휴대 정보 단말(9201)을 도시한 사시도이다. 도 11의 (F)는 펼친 상태로부터 접은 상태로 변화되거나, 접은 상태로부터 펼친

상태로 변화되고 있는 휴대 정보 단말(9201)을 도시한 사시도이다. 도 11의 (G)는, 접은 휴대 정보 단말(9201)을 도시한 사시도이다. 휴대 정보 단말(9201)은, 접었을 때 휴대가 매우 쉽다. 휴대 정보 단말(9201)을 펼치면, 이음매 없는 큰 표시 영역의 일람성이 높다. 휴대 정보 단말(9201)의 표시부(9001)는, 헌지(9055)에 의하여 연결된 3개의 하우징(9000)에 의하여 지지된다. 헌지(9055)를 이용하여 2개의 하우징(9000) 사이의 연결부에서 휴대 정보 단말(9201)을 접음으로써, 휴대 정보 단말(9201)을, 펼친 상태에서 접은 상태로 가역적으로 변형할 수 있다. 예를 들어, 휴대 정보 단말(9201)은 곡률 반경 1mm 이상 150mm 이하로 구부릴 수 있다.

[0332] 전자 기기의 예에는 텔레비전 장치(텔레비전 또는 텔레비전 수신기라고도 함), 컴퓨터 등의 모니터, 디지털 카메라, 디지털 비디오 카메라, 디지털 포토 프레임, 휴대 전화기(휴대 전화 또는 휴대 전화 장치라고도 함), 고글형 디스플레이(헤드 마운티드 디스플레이), 휴대용 게임기, 휴대 정보 단말, 음향 재생 장치, 및 파친코기 등의 대형 게임기가 있다.

[0333] 또한, 본 발명의 일 형태에 따른 전자 기기는 이차 전지를 포함하여도 좋다. 이차 전지는 비접촉 전력 전송에 의하여 충전될 수 있는 것이 바람직하다.

[0334] 이차 전지의 예에는 젤 전해질을 사용한 리튬 폴리머 전지(리튬 이온 폴리머 전지) 등의 리튬 이온 이차 전지, 리튬 이온 전지, 니켈 수소 전지, 니켈 카드뮴 전지, 유기 라디칼 전지, 납 축전지, 공기 이차 전지, 니켈 아연 전지, 및 은 아연 전지가 포함된다.

[0335] 본 발명의 일 형태에 따른 전자 기기는 안테나를 포함하여도 좋다. 신호가 안테나에 의하여 수신되면, 전자 기기는 화상 또는 데이터 등을 표시부에 표시할 수 있다. 전자 기기가 이차 전지를 포함하는 경우, 안테나를 비접촉 전력 전송에 사용하여도 좋다.

[0336] 본 발명의 일 형태에 따른 전자 기기 또는 조명 장치는 가요성을 갖기 때문에, 접 또는 빌딩의 내벽/외벽의 곡면 또는 자동차의 내장/외장의 곡면을 따라 제공될 수 있다. 예를 들어, 전자 기기 또는 조명 장치는 자동차의 대시보드, 앞유리, 및 천장 등의 조명에 사용될 수 있다.

#### <발광 장치>

[0338] 도 12의 (A)는 본 실시형태에 나타낸 발광 장치(3000)의 사시도이고, 도 12의 (B)는 도 12의 (A)의 일점쇄선 E-F를 따라 취한 단면도이다. 또한, 도 12의 (A)에서는 도면의 복잡함을 피하기 위하여 구성 요소의 일부를 파선으로 도시하였다.

[0339] 도 12의 (A) 및 (B)에 도시된 발광 장치(3000)는 기판(3001), 기판(3001) 위의 발광 소자(3005), 발광 소자(3005) 주위에 제공된 제 1 밀봉 영역(3007), 및 제 1 밀봉 영역(3007) 주위에 제공된 제 2 밀봉 영역(3009)을 포함한다.

[0340] 광은 발광 소자(3005)로부터 기판(3001) 및 기판(3003) 중 한쪽 또는 양쪽을 통하여 방출된다. 도 12의 (A) 및 (B)에는 발광 소자(3005)로부터 광이 아래쪽(기판(3001) 측)으로 방출되는 구조를 도시하였다.

[0341] 도 12의 (A) 및 (B)에 도시된 바와 같이 발광 장치(3000)는 발광 소자(3005)가 제 1 밀봉 영역(3007) 및 제 2 밀봉 영역(3009)으로 둘러싸이는 이중 밀봉 구조를 갖는다. 이중 밀봉 구조에 의하여, 외부로부터 발광 소자(3005)에 불순물(예를 들어, 물 및 산소 등)이 들어가는 것을 바람직하게 억제할 수 있다. 또한, 반드시 제 1 밀봉 영역(3007) 및 제 2 밀봉 영역(3009)의 양쪽 모두를 제공할 필요는 없다. 예를 들어, 제 1 밀봉 영역(3007)만을 제공하여도 좋다.

[0342] 또한, 도 12의 (B)에서 제 1 밀봉 영역(3007) 및 제 2 밀봉 영역(3009)의 각각은 기판(3001) 및 기판(3003)과 접촉하여 제공되어 있다. 그러나, 이러한 구조에 한정되지 않고, 예를 들어 제 1 밀봉 영역(3007) 및 제 2 밀봉 영역(3009) 중 한쪽 또는 양쪽 모두를 기판(3001) 상에 제공되는 절연막 또는 도전막과 접촉하여 제공하여도 좋다. 또는, 제 1 밀봉 영역(3007) 및 제 2 밀봉 영역(3009) 중 한쪽 또는 양쪽 모두를 기판(3003) 상에 제공되는 절연막 또는 도전막과 접촉하여 제공하여도 좋다.

[0343] 기판(3001) 및 기판(3003)은 각각, 상술한 실시형태에 기재된 기판(200) 및 기판(220)과 비슷한 구조를 가질 수 있다. 발광 소자(3005)는 상술한 실시형태에 기재된 발광 소자 중 임의의 것과 비슷한 구조를 가질 수 있다.

[0344] 제 1 밀봉 영역(3007)에는 유리를 포함하는 재료(예를 들어, 유리 프럿 및 유리 리본 등)를 사용할 수 있다. 제 2 밀봉 영역(3009)에는 수지를 포함하는 재료를 사용할 수 있다. 제 1 밀봉 영역(3007)에 유리를 포함하는 재료를 사용함으로써, 생산성 및 밀봉성을 향상시킬 수 있다. 또한, 제 2 밀봉 영역(3009)에 수지를 포함하는

재료를 사용함으로써, 내충격성 및 내열성을 향상시킬 수 있다. 다만, 제 1 밀봉 영역(3007) 및 제 2 밀봉 영역(3009)에 사용하는 재료는 이에 한정되지 않고, 수지를 포함하는 재료를 사용하여 제 1 밀봉 영역(3007)을 형성하고, 유리를 포함하는 재료를 사용하여 제 2 밀봉 영역(3009)을 형성하여도 좋다.

[0345] 유리 프럿은 예를 들어, 산화 마그네슘, 산화 칼슘, 산화 스트론튬, 산화 바륨, 산화 세슘, 산화 소듐, 산화 포타슘, 산화 봉소, 산화 바나듐, 산화 아연, 산화 텔루륨, 산화 알루미늄, 이산화 실리콘, 산화 납, 산화 주석, 산화 인, 산화 루테늄, 산화 로듐, 산화 철, 산화 구리, 이산화 망가니즈, 산화 몰리브데늄, 산화 나이오븀, 산화 타이타늄, 산화 텅스텐, 산화 비스무트, 산화 지르코늄, 산화 리튬, 산화 안티모니, 납 봉산염 유리, 인산주석 유리, 바나듐산염 유리, 또는 봉규산염 유리를 포함하여도 좋다. 유리 프럿은 적외광을 흡수하기 위하여 적어도 1종류의 전이 금속을 포함하는 것이 바람직하다.

[0346] 상술한 유리 프럿으로서는, 예를 들어 기판에 프럿 페이스트를 도포하고, 가열 처리 또는 레이저 광 조사 등을 수행한다. 프럿 페이스트는 상기 유리 프럿과, 유기 용매로 희석된 수지(바인더라고도 함)를 포함한다. 또한, 유리 프럿에 레이저 광의 광장의 광을 흡수하는 흡수제를 첨가하여도 좋다. 예를 들어, 레이저로서는 Nd:YAG 레이저 또는 반도체 레이저를 사용하는 것이 바람직하다. 레이저 광의 형상은 원형이어도 좋고 사각형이어도 좋다.

[0347] 수지를 포함하는 상술한 재료로서, 예를 들어 폴리에스터, 폴리올레핀, 폴리아마이드(예를 들어, 나일론, 아라미드), 폴리이미드, 폴리카보네이트, 또는 아크릴 수지, 폴리우레탄, 또는 에폭시 수지를 사용할 수 있다. 또는 실리콘(silicone) 등 실록산 결합을 갖는 수지를 포함하는 재료를 사용할 수 있다.

[0348] 또한, 제 1 밀봉 영역(3007) 및 제 2 밀봉 영역(3009) 중 한쪽 또는 양쪽 모두에 유리를 포함하는 재료를 사용하는 경우, 유리를 포함하는 상기 재료는 기판(3001)과 가까운 열 팽창률을 갖는 것이 바람직하다. 상술한 구조에 의하여 열응력으로 인하여 유리를 포함하는 재료 또는 기판(3001)에 크랙이 생기는 것을 억제할 수 있다.

[0349] 예를 들어, 제 1 밀봉 영역(3007)에 유리를 포함하는 재료를 사용하고 제 2 밀봉 영역(3009)에 수지를 포함하는 재료를 사용하는 경우, 다음과 같은 유리한 효과를 얻을 수 있다.

[0350] 제 2 밀봉 영역(3009)은 제 1 밀봉 영역(3007)보다, 발광 장치(3000)의 외주부에 가깝게 제공된다. 발광 장치(3000)에서는 외주부를 향할수록 외력 등으로 인한 변형이 커진다. 그러므로, 더 큰 변형이 생기는 발광 장치(3000)의 외주부, 즉 제 2 밀봉 영역(3009)을, 수지를 포함하는 재료를 사용하여 밀봉하고, 제 2 밀봉 영역(3009)보다 내측에 제공되는 제 1 밀봉 영역(3007)을 유리를 포함하는 재료를 사용하여 밀봉함으로써, 외력 등으로 인한 변형이 생겨도 발광 장치(3000)가 손상되기 어려워진다.

[0351] 또한, 도 12의 (B)에 도시된 바와 같이 제 1 영역(3011)은 기판(3001), 기판(3003), 제 1 밀봉 영역(3007), 및 제 2 밀봉 영역(3009)으로 둘러싸인 영역에 상당한다. 제 2 영역(3013)은 기판(3001), 기판(3003), 발광 소자(3005), 및 제 1 밀봉 영역(3007)으로 둘러싸인 영역에 상당한다.

[0352] 제 1 영역(3011) 및 제 2 영역(3013)은 예를 들어 희가스 또는 질소 가스 등의 불활성 가스로 충전되는 것이 바람직하다. 또는, 제 1 영역(3011) 및 제 2 영역(3013)은 아크릴 수지 또는 에폭시 수지 등의 수지로 충전되는 것이 바람직하다. 또한, 제 1 영역(3011) 및 제 2 영역(3013)에 대해서는 대기압 상태보다 감압 상태가 바람직하다.

[0353] 도 12의 (C)는 도 12의 (B)의 구조의 변형예를 도시한 것이다. 도 12의 (C)는 발광 장치(3000)의 변형예를 도시한 단면도이다.

[0354] 도 12의 (C)는 기판(3003)의 일부에 제공된 오목부에 건조제(3018)를 제공하는 구조를 도시한 것이다. 그 외의 구성 요소는 도 12의 (B)에 도시된 구조와 같다.

[0355] 건조제(3018)로서는, 화학 흡착에 의하여 수분 등을 흡착하는 물질 또는 물리 흡착에 의하여 수분 등을 흡착하는 물질을 사용할 수 있다. 건조제(3018)로서 사용할 수 있는 물질의 예에는 알칼리 금속 산화물, 알칼리 토금속 산화물(예를 들어, 산화 칼슘 및 산화 바륨 등), 황산염, 금속 할로젠화물, 과염소산염, 제올라이트, 및 실리카겔 등이 포함된다.

[0356] <조명 장치>

[0357] 도 13은 상기 발광 소자를 실내 조명 장치(8501)에 사용한 예를 도시한 것이다. 상기 발광 소자는 보다 대면적으로 할 수 있기 때문에 대면적의 조명 장치를 형성할 수도 있다. 또한, 곡면을 갖는 하우징을 사용함으로써,

발광 영역이 곡면을 갖는 조명 장치(8502)를 형성할 수도 있다. 본 실시형태에 기재된 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 장치의 전원 온/오프를 제어하기 위하여 조명 장치(8501, 8502, 및 8503)에 터치 센서를 제공하여도 좋다.

[0358] 또한, 발광 소자를 테이블 표면 측에 사용하면 테이블로서의 기능을 갖는 조명 장치(8504)를 얻을 수 있다. 발광 소자를 다른 가구의 일부로서 사용하면 그 가구로서의 기능을 갖는 조명 장치를 얻을 수 있다.

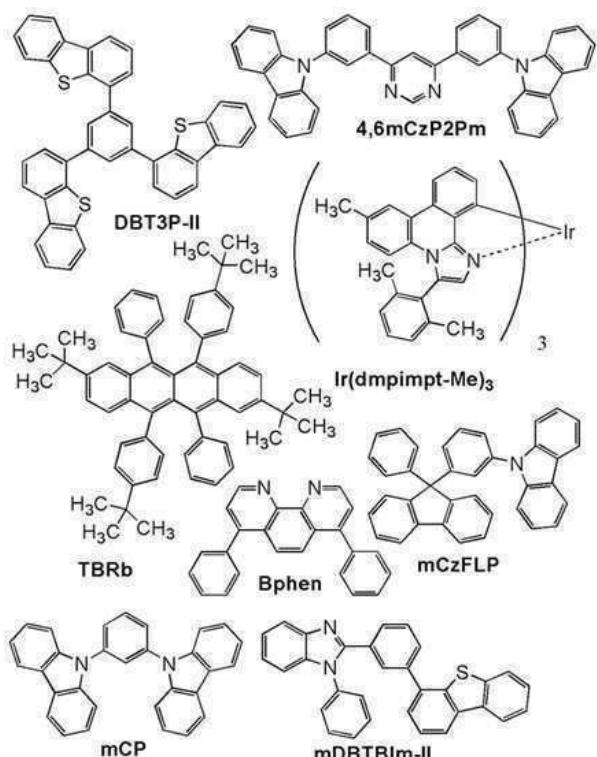
[0359] 상술한 바와 같이, 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자를 적용함으로써, 표시 모듈, 발광 장치, 전자 기기, 및 조명 장치를 얻을 수 있다. 또한, 상기 발광 소자는 본 실시형태에서 설명한 조명 장치 및 전자 기기에 한정되지 않고, 다양한 분야의 전자 기기에 사용할 수 있다.

[0360] 본 실시형태에서 설명한 구조는 다른 실시형태에서 설명하는 구조 중 임의의 것과 적절히 조합할 수 있다.

[0361] (실시예 1)

[0362] 본 실시예에서는, 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자, 및 비교 발광 소자의 제작예를 제시한다. 본 실시예에서 제작한 각 발광 소자의 구조는 도 1에 도시된 것과 같다. 표 1에는 소자 구조의 자세한 사항을 나타내었다. 또한, 여기서 사용한 화합물의 구조 및 약칭을 이하에서 제시한다.

[0363] [화학식 6]



[0364]

표 1

	층	부호	막 두께 (nm)	재료	중량비
발광 소자 1	전극	102	200	Al	-
	전자 주입층	119	1	LiF	-
	전자 수송층	118(2)	10	BPhen	-
		118(1)	20	4,6mCzP2Pm	-
	발광층	130	40	4,6mCzP2Pm:Ir(dmpimpt-Me) <sub>3</sub> :TBRb	1:0.1:0.05
	정공 수송층	112	20	mCzFLP	-
	정공 주입층	111	60	DBT3P-II:MoO <sub>3</sub>	1:0.5
비교 발광 소자 1	전극	101	70	ITSO	-
	전극	102	200	Al	-
	전자 주입층	119	1	LiF	-
	전자 수송층	118(2)	10	BPhen	-
		118(1)	20	4,6mCzP2Pm	-
	발광층	130	40	4,6mCzP2Pm:TBRb	1:0.005
	정공 수송층	112	20	mCzFLP	-
비교 발광 소자 2	정공 주입층	111	60	DBT3P-II:MoO <sub>3</sub>	1:0.5
	전극	101	70	ITSO	-
	전극	102	200	Al	-
	전자 주입층	119	1	LiF	-
	전자 수송층	118(2)	10	BPhen	-
		118(1)	20	4,6mCzP2Pm	-
	발광층	130	40	4,6mCzP2Pm:Ir(dmpimpt-Me) <sub>3</sub>	1:0.1
비교 발광 소자 3	정공 수송층	112	20	mCzFLP	-
	정공 주입층	111	60	DBT3P-II:MoO <sub>3</sub>	1:0.5
	전극	101	70	ITSO	-
	전극	102	200	Al	-
	전자 주입층	119	1	LiF	-
	전자 수송층	118(2)	15	BPhen	-
		118(1)	10	mDBTBIm-II:Ir(dmpimpt-Me) <sub>3</sub>	1:0.08
[0365]	발광층	130	30	mCP:Ir(dmpimpt-Me) <sub>3</sub>	1:0.08
	정공 수송층	112	20	mCP	-
	정공 주입층	111	60	DBT3P-II:MoO <sub>3</sub>	1:0.5
	전극	101	110	ITSO	-

## &lt;발광 소자의 제작&gt;

[0366] 본 실시예에서 제작한 발광 소자의 제작 방법에 대하여 이하에서 설명한다.

## &lt;&lt;발광 소자 1의 제작&gt;&gt;

[0367] 전극(101)으로서, 유리 기판 위에 ITSO막을 두께 70nm로 형성하였다. 전극(101)의 전극 면적은  $4\text{mm}^2$  ( $2\text{mm} \times 2\text{mm}$ )로 하였다.

[0368] 정공 주입층(111)으로서, 전극(101) 위에 DBT3P-II 및 산화 몰리브데넘(MoO<sub>3</sub>)을 1:0.5의 중량비(DBT3P-II:MoO<sub>3</sub>)에서 공중착에 의하여 두께 60nm로 퇴적하였다.

[0369] 정공 수송층(112)으로서는, 정공 주입층(111) 위에 9-[3-(9-페닐-9H-플루오렌-9-일)페닐]-9H-카바졸(약칭: mCzFLP)을 증착에 의하여 두께 20nm로 퇴적하였다.

[0370] 발광층(130)으로서, 정공 수송층(112) 위에 4,6mCzP2Pm, Ir(dmpimpt-Me)<sub>3</sub>, 및 TBRb를 1:0.1:0.05의 중량비 (4,6mCzP2Pm:Ir(dmpimpt-Me)<sub>3</sub>:TBRb)에서 공중착에 의하여 두께 40nm로 퇴적하였다. 발광층(130)에서는, Ir(dmpimpt-Me)<sub>3</sub>이 제 1 유기 화합물에 상당하는 인광성 화합물이고, 4,6mCzP2Pm이 제 2 유기 화합물에 상당하고, TBRb가 제 3 유기 화합물에 상당하는 형광성 화합물이다.

[0371] 전자 수송층(118)으로서는, 발광층(130) 위에 4,6mCzP2Pm 및 Bphen을 각각, 증착에 의하여 두께 20nm 및 10nm로 순차적으로 퇴적하였다. 그리고, 전자 주입층(119)으로서, 전자 수송층(118) 위에 LiF를 증착에 의하여 두께 1nm로 퇴적하였다.

[0372] 전극(102)으로서는, 전자 주입층(119) 위에 알루미늄(Al)을 두께 200nm로 형성하였다.

[0373] 다음으로, 질소 분위기를 포함하는 글로브 박스에서, 유기 EL 장치용 실재를 사용하여, 유기 재료가 퇴적된 유리 기판에 밀봉을 위한 유리 기판을 고정시킴으로써, 전극 및 EL층을 밀봉하였다. 구체적으로는, 유리 기판에 퇴적된 유기 재료를 둘러싸도록 실재를 도포하고, 상기 유리 기판을 밀봉을 위한 유리 기판에 접합시킨 후, 파

장 365nm의 자외광을  $6\text{J}/\text{cm}^2$ 에서 조사하고  $80^\circ\text{C}$ 에서 1시간 동안 가열 처리하였다. 상기 공정을 거쳐, 발광 소자 1을 얻었다.

[0376] <<비교 발광 소자 1 및 2의 제작>>

[0377] 비교 발광 소자 1 및 2는, 발광층(130)을 형성하는 단계를 제외하고는, 상술한 발광 소자 1과 같은 단계를 거쳐 제작되었다.

[0378] 비교 발광 소자 1의 발광층(130)으로서,  $4,6\text{mCzP2Pm}$  및 TBRb를 1:0.005의 중량비( $4,6\text{mCzP2Pm:TBRb}$ )에서 공증착에 의하여 두께 40nm로 퇴적하였다. 발광층(130)에서는, 제 1 유기 화합물은 포함되지 않고,  $4,6\text{mCzP2Pm}$ 이 제 2 유기 화합물에 상당하고, TBRb가 제 3 유기 화합물에 상당하는 형광성 화합물이다.

[0379] 비교 발광 소자 2의 발광층(130)으로서는,  $4,6\text{mCzP2Pm}$  및  $\text{Ir}(\text{dmpimpt-Me})_3$ 을 1:0.1의 중량비( $4,6\text{mCzP2Pm:Ir}(\text{dmpimpt-Me})_3$ )에서 공증착에 의하여 두께 40nm로 퇴적하였다. 발광층(130)에서는,  $\text{Ir}(\text{dmpimpt-Me})_3$ 이 제 1 유기 화합물에 상당하는 인광성 화합물이고,  $4,6\text{mCzP2Pm}$ 이 제 2 유기 화합물에 상당하고, 제 3 유기 화합물에 상당하는 형광성 화합물은 포함되지 않는다.

[0380] <<비교 발광 소자 3의 제작>>

[0381] 전극(101)으로서, 유리 기판 위에 ITS0막을 두께 110nm로 형성하였다. 전극(101)의 전극 면적은  $4\text{mm}^2$ ( $2\text{mm} \times 2\text{mm}$ )로 하였다.

[0382] 정공 주입층(111)으로서, 전극(101) 위에 DBT3P-II 및 산화 몰리브데넘( $\text{MoO}_3$ )을 1:0.5의 중량비(DBT3P-II: $\text{MoO}_3$ )에서 공증착에 의하여 두께 60nm로 퇴적하였다.

[0383] 정공 수송층(112)으로서, 정공 주입층(111) 위에 mCP를 증착에 의하여 두께 20nm로 퇴적하였다.

[0384] 발광층(130)으로서는, 정공 수송층(112) 위에 mCP 및  $\text{Ir}(\text{dmpimpt-Me})_3$ 을 1:0.08의 중량비(mCP: $\text{Ir}(\text{dmpimpt-Me})_3$ )에서 공증착에 의하여 두께 30nm로 퇴적하였다. 발광층(130)에서는,  $\text{Ir}(\text{dmpimpt-Me})_3$ 이 게스트 재료에 상당하는 인광성 화합물이고, mCP가 호스트 재료에 상당한다.

[0385] 전자 수송층(118)으로서는, 발광층(130) 위에 mDBTBIm-II 및  $\text{Ir}(\text{dmpimpt-Me})_3$ 을 1:0.08의 중량비(mDBTBIm-II: $\text{Ir}(\text{dmpimpt-Me})_3$ )에서 공증착에 의하여 두께 10nm로 퇴적한 다음, BPhen을 증착에 의하여 두께 15nm로 퇴적하였다. 그리고, 전자 주입층(119)으로서, 전자 수송층(118) 위에 LiF를 증착에 의하여 두께 1nm로 퇴적하였다.

[0386] 전극(102)으로서는, 전자 주입층(119) 위에 알루미늄(Al)을 두께 200nm로 형성하였다.

[0387] 다음으로, 질소 분위기를 포함하는 글로브 박스에서, 유기 EL 장치용 실재를 사용하여, 유기 재료가 퇴적된 유리 기판에 밀봉을 위한 유리 기판을 고정시킴으로써, 전극 및 EL층을 밀봉하였다. 자세한 방법에 대해서는, 발광 소자 1에 관한 설명을 참조할 수 있다. 상기 공정을 거쳐, 비교 발광 소자 3을 얻었다.

[0388] <발광 소자의 특성>

[0389] 다음으로, 제작한 발광 소자 1 및 비교 발광 소자 1 내지 3의 특성을 측정하였다. 휘도 및 CIE 색도는 색채 휘도계(BM-5A, TOPCON TECHNOHOUSE CORPORATION 제조)에 의하여 측정하고, 전계 발광 스펙트럼은 멀티 채널 분광기(PMA-11, Hamamatsu Photonics K.K. 제조)에 의하여 측정하였다.

[0390] 도 14는 발광 소자 1 및 비교 발광 소자 1 내지 3의 휘도-전류 밀도 특성을 나타낸 것이다. 도 15는 휘도-전압 특성을 나타낸 것이다. 도 16은 전류 효율-휘도 특성을 나타낸 것이다. 도 17은 전력 효율-휘도 특성을 나타낸 것이다. 도 18은 외부 양자 효율-휘도 특성을 나타낸 것이다. 도 19는  $2.5\text{mA}/\text{cm}^2$ 의 전류 밀도로 전류가 공급된 발광 소자 1 및 비교 발광 소자 1 내지 3의 전계 발광 스펙트럼을 나타낸 것이다. 발광 소자의 측정은 실온( $23^\circ\text{C}$ 로 유지된 분위기)에서 수행하였다.

[0391] 표 2는  $1000\text{cd}/\text{m}^2$  근방에서의 발광 소자 1 및 비교 발광 소자 1 내지 3의 소자 특성을 나타낸 것이다.

표 2

	전압 (V)	전류 밀도 (mA/cm <sup>2</sup> )	CIE 색도 (x, y)	휘도 (cd/m <sup>2</sup> )	전류 효율 (cd/A)	전력 효율 (lm/W)	외부 양자 효율(%)
발광 소자 1	3.60	2.67	(0.528, 0.468)	1060	39.6	34.5	14.2
비교 발광 소자 1	3.80	4.91	(0.482, 0.497)	1010	20.7	17.1	6.5
비교 발광 소자 2	3.70	2.80	(0.411, 0.550)	1000	35.9	30.5	11.2
비교 발광 소자 3	6.60	8.46	(0.165, 0.236)	1510	17.9	8.5	10.9

[0392]

[0393] 도 19에 나타낸 바와 같이, 발광 소자 1 및 비교 발광 소자 1의 전계 발광 스펙트럼은 각각 파장 572nm 및 565nm에 피크를 갖는다. 이에 의하여, 발광 소자 1 및 비교 발광 소자 1은 형광성 화합물인 TBRb에서 유래하는 황색의 광을 방출하는 것이 시사된다.

[0394] 또한, 비교 발광 소자 3의 전계 발광 스펙트럼은 파장 460nm에 피크를 갖는다. 이에 의하여, 비교 발광 소자 3은 인광성 화합물인 Ir(dmpimpt-Me)<sub>3</sub>에서 유래하는 청색의 광을 방출하는 것이 시사된다. 비교 발광 소자 2의 전계 발광 스펙트럼은 파장 545nm에 피크를 갖는다. 이에 의하여, 비교 발광 소자 2는 황색의 광을 방출하는 것이 시사된다. 발광 소자 1, 비교 발광 소자 1, 비교 발광 소자 2, 및 비교 발광 소자 3에서, 전계 발광 스펙트럼의 반치 전폭은 각각 83nm, 78nm, 105nm, 및 52nm이다. 비교 발광 소자 2의 전계 발광 스펙트럼은 다른 발광 소자들(발광 소자 1, 비교 발광 소자 1, 및 비교 발광 소자 3)보다 스펙트럼 형상이 넓다. 나중에 설명하는 바와 같이, 스펙트럼 형상이 넓은 비교 발광 소자 2로부터의 발광은, 4,6mCzP2Pm 및 Ir(dmpimpt-Me)<sub>3</sub>에 의하여 형성되는 들뜬 복합체에서 유래한다.

[0395] 도 14, 도 15, 도 16, 도 17, 도 18, 및 표 2에 나타낸 바와 같이, 발광 소자 1에서는, 발광 효율(전류 효율, 전력 효율, 및 외부 양자 효율)이, TBRb에서 유래하는 광도 방출하는 비교 발광 소자 1보다 높다. 한 쌍의 전극으로부터 주입된 캐리어(정공 및 전자)의 재결합에 의하여 생성되는 단일항 여기자의 생성 확률은 최대 25%이기 때문에, 외부로의 광 추출 효율이 30%인 경우의 외부 양자 효율은 최대 7.5%이다. 발광 소자 1은 외부 양자 효율이 7.5%보다 높다. 이는, 발광 소자 1이, 한 쌍의 전극으로부터 주입된 캐리어(정공 및 전자)의 재결합에 의하여 생성된 단일항 여기자에서 유래하는 광에 더하여, 삼중항 여기자로부터의 에너지 이동에서 유래하는 광, 또는 들뜬 복합체에서의 역 항간 교차에 의하여 삼중항 여기자로부터 생성된 단일항 여기자에서 유래하는 광을 형광성 화합물로부터 방출하기 때문이다. 바꿔 말하면, 발광 소자 1은 ExEF를 이용한 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자이다.

[0396] 또한, 발광 소자 1의 고휘도 측에서의 발광 효율의 감소(롤 오프(roll-off)라고도 함)는 비교 발광 소자 2보다 적다. 고휘도 영역에서의 발광 효율(전류 효율, 전력 효율, 및 외부 양자 효율)은 비교 발광 소자 2보다 높다. 즉, 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자의 특징은, 들뜬 복합체에서 유래하는 광을 방출하는 발광 소자보다 롤 오프가 일어나기 어렵다는 점에 있다.

[0397] 또한, 발광 소자 1은 비교 발광 소자 3보다 높은 발광 효율(전류 효율, 전력 효율, 및 외부 양자 효율) 및 낮은 구동 전압에서 구동된다. 그러므로, 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자 1은 발광 효율이 높고, 구동 전압이 낮고, 소비전력이 낮다.

[0398] <CV 측정 결과>

[0399] 상술한 화합물의 전기 화학적 특성(산화 반응 특성 및 환원 반응 특성)을 사이클릭 볼타메트리(CV) 측정에 의하

여 측정하였다. 또한, 측정에는 전기 화학 분석기(ALS 모델 600A 또는 600C, BAS Inc. 제조)를 사용하고, 각 화합물을 *N,N*-다이메틸폼아마이드(약칭: DMF)에 용해시킴으로써 얻은 용액을 측정하였다. 측정에서는, 참조 전극에 대한 작용 전극의 전위를 적절한 범위 내에서 변화시킴으로써, 산화 피크 전위 및 환원 피크 전위를 얻었다. 또한, 각 화합물의 HOMO 준위 및 LUMO 준위는, -4.94eV로 추산된 참조 전극의 산화 환원 전위 및 얻어진 피크 전위에서 산출하였다.

[0400] CV 측정 결과에 따르면, 4,6mCzP2Pm의 산화 전위 및 환원 전위는 각각 0.95V 및 -2.06V이었다. 또한, CV 측정 결과로부터 산출한 4,6mCzP2Pm의 HOMO 준위 및 LUMO 준위는 각각 -5.89eV 및 -2.88eV이었다. 그러므로, 4,6mCzP2Pm은 LUMO 준위가 낮은 것을 알았다. Ir(dmpimpt-Me)<sub>3</sub>의 산화 전위 및 환원 전위는 각각 0.24V 및 -2.67V이었다. 또한, CV 측정 결과로부터 산출한 Ir(dmpimpt-Me)<sub>3</sub>의 HOMO 준위 및 LUMO 준위는 각각 -5.18eV 및 -2.27eV이었다. 그러므로, Ir(dmpimpt-Me)<sub>3</sub>은 HOMO 준위가 높은 것을 알았다.

[0401] 상술한 바와 같이, 4,6mCzP2Pm의 LUMO 준위는 Ir(dmpimpt-Me)<sub>3</sub>의 LUMO 준위보다 낮고, Ir(dmpimpt-Me)<sub>3</sub>의 HOMO 준위는 4,6mCzP2Pm의 HOMO 준위보다 높다. 따라서, 발광 소자 1 및 비교 발광 소자 2에서와 같이 발광층에 상기 화합물을 사용하는 경우에는, 캐리어로서 기능하는 전자 및 정공이 각각 한 쌍의 전극으로부터 4,6mCzP2Pm 및 Ir(dmpimpt-Me)<sub>3</sub>에 효율적으로 주입되기 때문에, 4,6mCzP2Pm 및 Ir(dmpimpt-Me)<sub>3</sub>은 들뜬 복합체를 형성할 수 있다.

[0402] 4,6mCzP2Pm 및 Ir(dmpimpt-Me)<sub>3</sub>에 의하여 형성되는 들뜬 복합체는 4,6mCzP2Pm에 LUMO 준위를, 그리고 Ir(dmpimpt-Me)<sub>3</sub>에 HOMO 준위를 갖는다. 4,6mCzP2Pm의 LUMO 준위와 Ir(dmpimpt-Me)<sub>3</sub>의 HOMO 준위의 에너지 차는 2.30eV이다. 이 값은, 도 19에서의 비교 발광 소자 2의 전계 발광 스펙트럼의 피크 파장으로부터 산출되는 발광 에너지(2.28eV)와 실질적으로 동등하다. 이 결과는, 비교 발광 소자 2의 전계 발광 스펙트럼이, 4,6mCzP2Pm 및 Ir(dmpimpt-Me)<sub>3</sub>에 의하여 형성되는 들뜬 복합체에 기인한 발광에 상당하는 것을 의미한다. 들뜬 복합체에서는, S1 준위와 T1 준위의 차이가 작기 때문에, 상기 발광 에너지를 S1 준위 및 T1 준위의 에너지(2.28eV)로 간주할 수 있다.

[0403] 도 29는 틀루엔 용액에서의 TBRb의 흡수 스펙트럼의 측정 결과를 나타낸 것이다. 흡수 스펙트럼은 자외-가시 분광 광도계(V-550, JASCO Corporation 제조)를 사용하여 실온(23°C로 유지된 분위기)에서 측정하였다.

[0404] 도 29에 나타낸 바와 같이, TBRb의 흡수 스펙트럼은 450nm 내지 550nm 근방에 높은 몰 흡수 계수를 갖는 흡수대를 갖는다. 이 흡수대는 비교 발광 소자 2의 들뜬 복합체(4,6mCzP2Pm 및 Ir(dmpimpt-Me)<sub>3</sub>)에 의하여 형성되는 들뜬 복합체)의 전계 발광 스펙트럼과 중첩되는 영역을 갖는다. 그러므로, 4,6mCzP2Pm 및 Ir(dmpimpt-Me)<sub>3</sub>에 의하여 형성되는 들뜬 복합체로부터, 형광성 화합물인 TBRb에 여기 에너지를 효율적으로 공급할 수 있다.

[0405] 또한, 발광 소자 1의 TBRb의 발광 에너지는, 비교 발광 소자 2의 들뜬 복합체(4,6mCzP2Pm 및 Ir(dmpimpt-Me)<sub>3</sub>)에 의하여 형성되는 들뜬 복합체)의 발광 에너지보다 낮다. 이로부터, 발광 소자 1에서는, 4,6mCzP2Pm 및 Ir(dmpimpt-Me)<sub>3</sub>에 의하여 형성되는 들뜬 복합체로부터, 형광성 화합물인 TBRb에 여기 에너지를 효율적으로 공급할 수 있다고 할 수도 있다. 이 결과, 발광 소자 1은 TBRb에서 유래하는 효율이 높은 발광을 얻을 수 있다.

[0406] 발광 소자 1 및 비교 발광 소자 2 각각에서는, 4,6mCzP2Pm 및 Ir(dmpimpt-Me)<sub>3</sub>이 들뜬 복합체를 형성하기 때문에, 4,6mCzP2Pm의 LUMO 준위와 Ir(dmpimpt-Me)<sub>3</sub>의 HOMO 준위의 차이(2.30eV)에 상당하는 에너지에 의하여 상기 들뜬 복합체를 형성할 수 있다. 한편, 비교 발광 소자 3에서는, Ir(dmpimpt-Me)<sub>3</sub>이 여기되어 광을 방출하기 때문에, 적어도 Ir(dmpimpt-Me)<sub>3</sub>의 LUMO 준위와 HOMO 준위의 차이(2.91eV)에 상당하는 에너지가 여기에 필요하다. 따라서, 발광 소자 1 및 비교 발광 소자 2는, 비교 발광 소자 3보다 낮은 구동 전압으로 광을 방출할 수 있다.

[0407] <T1 준위의 측정>

[0408] 다음으로, 발광층(130)에 사용한 화합물의 T1 준위를 얻기 위하여, 4,6mCzP2Pm의 박막을 진공 증착법에 의하여 석영 기판 위에 형성하고, 이 박막의 발광 스펙트럼을 저온(10K)에서 측정하였다.

[0409] 이 측정은 측정 온도 10K에서 PL 현미경 LabRAM HR-PL(HORIBA, Ltd. 제조), 여기 광으로서 파장 325nm의 He-Cd 레이저, 그리고 CCD 검출기를 사용하여 수행하였다.

- [0410] 상기 발광 스펙트럼의 측정 방법에서는, 통상의 발광 스펙트럼의 측정에 더하여, 수명이 긴 발광에 초점을 맞춘 시간 분해 발광 스펙트럼의 측정도 수행하였다. 이 발광 스펙트럼의 측정 방법에서는, 측정 온도를 저온(10K)으로 설정하였기 때문에, 통상의 발광 스펙트럼의 측정에서는, 주된 발광 성분인 형광에 더하여, 인광이 관찰되었다. 또한, 수명이 긴 발광에 초점을 맞춘 시간 분해 발광 스펙트럼의 측정에서는, 인광이 주로 관찰되었다. 도 20은 저온에서 측정한 4,6mCzP2Pm의 시간 분해 발광 스펙트럼을 나타낸 것이다.
- [0411] 발광 스펙트럼의 측정 결과에 나타낸 바와 같이, 4,6mCzP2Pm의 발광 스펙트럼은, 인광 성분의 가장 짧은 파장 측의 피크(솔더를 포함함)를 459nm에 갖는다.
- [0412] 그러므로, 상기 피크 파장으로부터, 4,6mCzP2Pm의 T1 준위는 2.70eV로 산출된다.
- [0413] <화합물의 흡수 스펙트럼 및 발광 스펙트럼>
- [0414] 다음으로, Ir(dmpimpt-Me)<sub>3</sub>의 흡수 및 발광 스펙트럼의 측정 결과를 도 21에 나타내었다.
- [0415] 흡수 및 발광 스펙트럼의 측정을 위하여, Ir(dmpimpt-Me)<sub>3</sub>을 용해시킨 디아클로로메테인 용액( $1 \times 10^{-4}$  M)을 준비하고, 석영 셀을 사용하였다. 흡수 스펙트럼은 자외-가시 분광 광도계(V-550, JASCO Corporation 제조)를 사용하여 측정하였다. 측정한 상기 용액의 스펙트럼으로부터, 석영 셀 및 용매의 흡수 스펙트럼을 뺐다. 또한, 용액의 발광 스펙트럼은 PL-EL 측정 장치(Hamamatsu Photonics K.K. 제조)를 사용하여 측정하였다. 이 측정은 실온(23°C로 유지된 분위기)에서 수행하였다.
- [0416] 도 21에 나타낸 바와 같이, Ir(dmpimpt-Me)<sub>3</sub>의 흡수 스펙트럼의 가장 낮은 에너지 측(가장 긴 파장 측)에 있는 흡수단은 450nm 근방에 있다. 상기 흡수 스펙트럼의 데이터로부터 흡수단을 산출하고, 직접 전이를 상정하여 전이 에너지를 추산함으로써, Ir(dmpimpt-Me)<sub>3</sub>의 전이 에너지가 2.71eV인 것을 알았다. Ir(dmpimpt-Me)<sub>3</sub>은 인광성 화합물이기 때문에, 가장 낮은 에너지 측에 있는 흡수대는, 삼중향 여기 상태로부터의 전이에 기초한다. 그러므로, Ir(dmpimpt-Me)<sub>3</sub>의 T1 준위는 2.71eV로 산출된다.
- [0417] 상술한 측정 결과로부터, 4,6mCzP2Pm의 T1 준위는 Ir(dmpimpt-Me)<sub>3</sub>의 T1 준위와 동등하고, Ir(dmpimpt-Me)<sub>3</sub>의 T1 준위는 4,6mCzP2Pm 및 Ir(dmpimpt-Me)<sub>3</sub>에 의하여 형성되는 들뜬 복합체의 T1 준위(2.28eV)보다 높은 것을 알았다. 따라서, 4,6mCzP2Pm 및 Ir(dmpimpt-Me)<sub>3</sub>에 의하여 형성되는 들뜬 복합체의 삼중향 여기 에너지는, 4,6mCzP2Pm 또는 Ir(dmpimpt-Me)<sub>3</sub>에 의하여 비활성화되지 않는다. 그러므로, 상기 들뜬 복합체의 삼중향 여기 에너지는 광으로 변환될 수 있거나, 역 항간 교차에 의하여 단일향 여기 에너지로 변환될 수 있거나, 또는 형광성 화합물로 이동될 수 있다.
- [0418] <화합물의 발광 양자 수율>
- [0419] 다음으로, Ir(dmpimpt-Me)<sub>3</sub>의 발광 양자 수율을 측정하였다. Ir(dmpimpt-Me)<sub>3</sub>을 용해시킨 툴루엔 용액( $1 \times 10^{-5}$  M) 및 절대 양자 수율 측정 시스템 C9920-02(Hamamatsu Photonics K.K. 제조)를 사용하여 발광 양자 수율을 측정하였다. 여기 파장은 350nm 내지 550nm의 범위 내로 하였다.
- [0420] 이 측정 결과를 보면, Ir(dmpimpt-Me)<sub>3</sub>의 발광 양자 수율은 7%이었다. 그러므로, Ir(dmpimpt-Me)<sub>3</sub>은 발광 양자 수율이 낮은 발광 재료인 것을 알았다.
- [0421] 한편, 비교 발광 소자 2는, 4,6mCzP2Pm 및 Ir(dmpimpt-Me)<sub>3</sub>에 의하여 형성되는 들뜬 복합체에서 유래하는 광을 방출하고, Ir(dmpimpt-Me)<sub>3</sub>에서 유래하는 광을 방출하는 비교 발광 소자 3보다 발광 효율이 높다. 이는, 비교 발광 소자 2가, 한 쌍의 전극으로부터 주입된 캐리어(정공 및 전자)의 재결합에 의하여 생성된 단일향 여기자에서 유래하는 광에 더하여, 삼중향 여기자에서 유래하는 광, 또는 들뜬 복합체에서의 역 항간 교차에 의하여 삼중향 여기자로부터 생성된 단일향 여기자에서 유래하는 광을 방출하기 때문이다. 즉, 발광 양자 수율이 낮은 화합물을 사용하더라도, 발광 효율이 높은 발광 소자를 얻을 수 있다.
- [0422] 또한, 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자 1에서는, 들뜬 복합체에서 생성된 단일향 여기자 및 삼중향 여기자의 에너지를 형광성 화합물인 TBRb에 공급하고, TBRb로부터 발광을 얻는다. 들뜬 복합체의 여기 에너지가 형광성 화합물에 공급되고, 형광성 화합물로부터 광이 방출됨으로써, 발광 스펙트럼의 폭이 좁고, 고휘도 영역에서

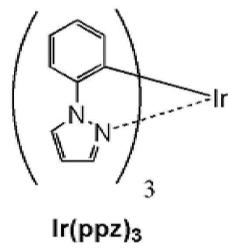
의 효율 저하가 적은 고효율 발광을 얻을 수 있다.

[0423] 본 발명의 일 형태에 의하여, 발광 효율이 높은 발광 소자를 제공할 수 있다. 또한, 본 발명의 일 형태에 의하여, 구동 전압이 낮고 소비전력이 저감된 발광 소자를 제공할 수 있다.

[0424] (실시예 2)

[0425] 본 실시예에서는, 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자, 및 비교 발광 소자의 제작예를 제시한다. 본 실시예에서 제작한 각 발광 소자의 구조는 도 1에 도시된 것과 같다. 표 3에는 소자 구조의 자세한 사항을 나타내었다. 또한, 여기서 사용한 화합물의 구조 및 약칭을 이하에서 제시한다. 또한, 다른 화합물의 구조 및 약칭에 대해서는 실시예 1을 참조한다.

[0426] [화학식 7]



[0427]

표 3

	총	부호	막 두께 (nm)	재료	중량비
발광 소자 2	전극	102	200	Al	-
	전자 주입층	119	1	LiF	-
	전자 수송층	118(2)	10	BPhen	-
		118(1)	20	4,6mCzP2Fm	-
	발광층	130	40	4,6mCzP2Fm:Ir(ppz) <sub>3</sub> :TBRb	1:0.2:0.005
	경공 수송층	112	20	mCzFLP	-
	경공 주입층	111	60	DBT3P-II:MoO <sub>3</sub>	1:0.5
비교 발광 소자 4	전극	101	70	ITSO	-
	전극	102	200	Al	-
	전자 주입층	119	1	LiF	-
	전자 수송층	118(2)	10	BPhen	-
		118(1)	20	4,6mCzP2Fm	-
	발광층	130	40	4,6mCzP2Fm:Ir(ppz) <sub>3</sub>	1:0.2
	경공 수송층	112	20	mCzFLP	-
[0428]	경공 주입층	111	60	DBT3P-II:MoO <sub>3</sub>	1:0.5
	전극	101	70	ITSO	-

[0429] <발광 소자의 제작>

[0430] 본 실시예에서 제작한 발광 소자의 제작 방법에 대하여 이하에서 설명한다. 발광 소자 2 및 비교 발광 소자 4는, 발광층(130)을 형성하는 단계를 제외하고는, 상술한 발광 소자 1과 같은 단계를 거쳐 제작되었다.

[0431] 발광 소자 2의 발광층(130)으로서, 4,6mCzP2Fm, 트리스[2-(1H-페라졸-1-일-κN<sup>2</sup>)페닐-κC]아리듐(III)(약칭: Ir(ppz)<sub>3</sub>), 및 TBRb를 1:0.2:0.005의 중량비(4,6mCzP2Fm:Ir(ppz)<sub>3</sub>:TBRb)에서 공증착에 의하여 두께 40nm로 퇴적하였다. 발광층(130)에서는, Ir(ppz)<sub>3</sub>이 제 1 유기 화합물에 상당하고, 4,6mCzP2Fm이 제 2 유기 화합물에 상당하고, TBRb가 제 3 유기 화합물에 상당하는 형광성 화합물이다.

[0432] 비교 발광 소자 4의 발광층(130)으로서는, 4,6mCzP2Fm 및 Ir(ppz)<sub>3</sub>을 1:0.2의 중량비(4,6mCzP2Fm:Ir(ppz)<sub>3</sub>)에서 공증착에 의하여 두께 40nm로 퇴적하였다. 발광층(130)에서는, Ir(ppz)<sub>3</sub>이 제 1 유기 화합물에 상당하고,

4,6mCzP2Pm○] 제 2 유기 화합물에 상당하고, 제 3 유기 화합물에 상당하는 형광성 화합물이 포함되지 않는다.

[0433] <발광 소자의 특성>

[0434] 다음으로, 제작한 발광 소자 2 및 비교 발광 소자 4의 특성을 측정하였다. 또한, 측정 방법은 실시예 1에서 사용한 것과 비슷하다.

[0435] 도 22는 발광 소자 2 및 비교 발광 소자 4의 휘도-전류 밀도 특성을 나타낸 것이다. 도 23은 휘도-전압 특성을 나타낸 것이다. 도 24는 전류 효율-휘도 특성을 나타낸 것이다. 도 25는 전력 효율-휘도 특성을 나타낸 것이다. 도 26은 외부 양자 효율-휘도 특성을 나타낸 것이다. 도 27은  $2.5\text{mA}/\text{cm}^2$ 의 전류 밀도로 전류가 공급된 발광 소자 2 및 비교 발광 소자 4의 전계 발광 스펙트럼을 나타낸 것이다. 발광 소자의 측정은 실온( $23^\circ\text{C}$ 로 유지된 분위기)에서 수행하였다.

[0436] 표 4는  $1000\text{cd}/\text{m}^2$  근방에서의 발광 소자 2 및 비교 발광 소자 4의 소자 특성을 나타낸 것이다.

**표 4**

	전압 (V)	전류 밀도 (mA/cm <sup>2</sup> )	CIE 색도 (x, y)	휘도 (cd/m <sup>2</sup> )	전류 효율 (cd/A)	전력 효율 (lm/W)	외부 양자 효율(%)
발광 소자 2	3.60	1.31	(0.440, 0.536)	1000	76.2	66.5	22.9
비교 발광 소자 4	3.60	1.42	(0.348, 0.585)	930	65.6	57.2	19.4

[0437]

[0438] 도 27에 나타낸 바와 같이, 발광 소자 2의 전계 발광 스펙트럼은 파장 560nm에 피크를 갖고, 반치 전폭이 80nm이다. 이에 의하여, 발광 소자 2는 황색의 광을 방출하는 것이 시사된다. 발광 소자 2는 형광성 화합물인 TBRb에서 유래하는 광을 방출한다. 또한, 발광 소자 2에 사용한 Ir(ppz)<sub>3</sub>은 저온에서 청색의 광을 방출하는 화합물인 것이 알려져 있지만, Ir(ppz)<sub>3</sub>에서 유래하는 광은 여기서 관찰되지 않았다.

[0439] 비교 발광 소자 4의 전계 발광 스펙트럼은 파장 537nm에 피크를 갖고, 반치 전폭이 94nm로 스펙트럼 형상이 같다. 상술한 바와 같이, 비교 발광 소자 4로부터의 발광은, 4,6mCzP2Pm 및 Ir(ppz)<sub>3</sub>에 의하여 형성되는 들뜬 복합체에서 유래한다.

[0440] 도 22, 도 23, 도 24, 도 25, 도 26, 및 표 4에 나타낸 바와 같이, 발광 소자 2에서는, 발광 효율(전류 효율, 전력 효율, 및 외부 양자 효율)이 비교 발광 소자 4보다 높다. 발광 소자 2 및 비교 발광 소자 4는 각각 외부 양자 효율이 7.5%보다 높다. 이는, 발광 소자 2 및 비교 발광 소자 4가 각각, 한 쌍의 전극으로부터 주입된 캐리어(정공 및 전자)의 재결합에 의하여 생성된 단일항 여기자에서 유래하는 광에 더하여, 삼중항 여기자에서 유래하는 광, 또는 들뜬 복합체에서의 역 항간 교차에 의하여 삼중항 여기자로부터 생성된 단일항 여기자에서 유래하는 광을 방출하기 때문이다. 바꿔 말하면, 비교 발광 소자 4는 들뜬 복합체에서 유래하는 광을 방출하고, 발광 소자 2는 ExEF를 이용한 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자이다.

[0441] 또한, 발광 소자 2의 고휘도 측에서의 발광 효율의 감소(롤 오프라고도 함)는 비교 발광 소자 4보다 적다. 고휘도 영역에서도 발광 효율(전류 효율, 전력 효율, 및 외부 양자 효율)은 높다. 즉, 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자의 특징은, 들뜬 복합체에서 유래하는 광을 방출하는 발광 소자보다 롤 오프가 일어나기 어렵다는 점에 있다.

[0442] <CV 측정 결과>

[0443] 상술한 화합물의 전기 화학적 특성(산화 반응 특성 및 환원 반응 특성)을 사이클릭 볼타메트리(CV) 측정에 의하여 측정하였다. 또한, 측정 방법은 실시예 1에서 사용한 것과 비슷하다. 또한, 4,6mCzP2Pm의 측정 결과에 대해서는, 실시예 1을 참조한다.

- [0444] CV 측정 결과에 따르면, Ir(ppz)<sub>3</sub>의 산화 전위 및 환원 전위는 각각 0.45V 및 -3.17V이다. 또한, CV 측정 결과로부터 산출한 Ir(ppz)<sub>3</sub>의 HOMO 준위 및 LUMO 준위는 각각 -5.39eV 및 -1.77eV이다. 그러므로, Ir(ppz)<sub>3</sub>은 HOMO 준위가 높은 것을 알았다.
- [0445] 상술한 바와 같이, 4,6mCzP2Pm의 LUMO 준위는 Ir(ppz)<sub>3</sub>의 LUMO 준위보다 낮고, Ir(ppz)<sub>3</sub>의 HOMO 준위는 4,6mCzP2Pm의 HOMO 준위보다 높다. 따라서, 발광 소자 2에서와 같이 발광층에 상기 화합물을 사용하는 경우에는, 캐리어로서 기능하는 전자 및 정공이 각각 한 쌍의 전극으로부터 4,6mCzP2Pm 및 Ir(ppz)<sub>3</sub>에 효율적으로 주입되기 때문에, 4,6mCzP2Pm 및 Ir(ppz)<sub>3</sub>은 들뜬 복합체를 형성할 수 있다.
- [0446] 4,6mCzP2Pm 및 Ir(ppz)<sub>3</sub>에 의하여 형성되는 들뜬 복합체는 4,6mCzP2Pm에 LUMO 준위를, 그리고 Ir(ppz)<sub>3</sub>에 HOMO 준위를 갖는다. 4,6mCzP2Pm의 LUMO 준위와 Ir(ppz)<sub>3</sub>의 HOMO 준위의 에너지 차는 2.51eV이다. 이 값은, 도 27에서의 비교 발광 소자 4의 전계 발광 스펙트럼의 피크 파장으로부터 산출되는 발광 에너지(2.31eV)와 실질적으로 동등하다. 이 결과는, 비교 발광 소자 4의 전계 발광 스펙트럼이, 4,6mCzP2Pm 및 Ir(ppz)<sub>3</sub>에 의하여 형성되는 들뜬 복합체에 기인한 발광에 상당하는 것을 의미한다. 들뜬 복합체에서는, S1 준위와 T1 준위의 차이가 작기 때문에, 상기 발광 에너지를 S1 준위 및 T1 준위의 에너지(2.31eV)로 간주할 수 있다.
- [0447] 도 29에 나타낸 바와 같이, TBRb의 흡수 스펙트럼은 450nm 내지 550nm 근방에 높은 몰 흡수 계수를 갖는 흡수대를 갖는다. 이 흡수대는 비교 발광 소자 4의 들뜬 복합체(4,6mCzP2Pm 및 Ir(ppz)<sub>3</sub>에 의하여 형성되는 들뜬 복합체)의 전계 발광 스펙트럼과 중첩되는 영역을 갖는다. 그러므로, 4,6mCzP2Pm 및 Ir(ppz)<sub>3</sub>에 의하여 형성되는 들뜬 복합체로부터, 형광성 화합물인 TBRb에 여기 에너지를 효율적으로 공급할 수 있다.
- [0448] 또한, 발광 소자 2의 TBRb의 발광 에너지는, 비교 발광 소자 4의 들뜬 복합체(4,6mCzP2Pm 및 Ir(ppz)<sub>3</sub>에 의하여 형성되는 들뜬 복합체)의 발광 에너지보다 낮다. 이로부터, 발광 소자 2에서는, 4,6mCzP2Pm 및 Ir(ppz)<sub>3</sub>에 의하여 형성되는 들뜬 복합체로부터, 형광성 화합물인 TBRb에 여기 에너지를 효율적으로 공급할 수 있다고 할 수도 있다. 이 결과, 발광 소자 2는 TBRb에서 유래하는 효율이 높은 발광을 얻을 수 있다.
- [0449] 또한, 4,6mCzP2Pm 및 Ir(ppz)<sub>3</sub>에 의하여 형성되는 들뜬 복합체의 여기 에너지 준위는, 4,6mCzP2Pm의 LUMO 준위와 HOMO 준위의 에너지 차(3.01eV)보다 낮다. 그러므로, 상기 들뜬 복합체를 형성하면, 구동 전압이 낮은 발광 소자를 얻을 수 있다.
- [0450] <화합물의 흡수 스펙트럼>
- [0451] 다음으로, Ir(ppz)<sub>3</sub>의 흡수 스펙트럼의 측정 결과를 도 28에 나타내었다.
- [0452] 흡수 스펙트럼의 측정을 위하여, Ir(ppz)<sub>3</sub>을 용해시킨 다이클로로메테인 용액( $1 \times 10^{-4}$  M)을 준비하고, 석영 셀을 사용하였다. 흡수 스펙트럼은 자외-가시 분광 광도계(V-550, JASCO Corporation 제조)를 사용하여 측정하였다. 측정한 상기 용액의 스펙트럼으로부터, 석영 셀 및 용매의 흡수 스펙트럼을 뺐다. 이 측정은 실온(23°C로 유지된 분위기)에서 수행하였다.
- [0453] 도 28에 나타낸 바와 같이, Ir(ppz)<sub>3</sub>의 흡수 스펙트럼의 가장 낮은 에너지 측(가장 긴 파장 측)에 있는 흡수단은 370nm 근방에 있다. 상기 흡수 스펙트럼의 데이터로부터 흡수단을 산출하고, 직접 전이를 상정하여 전이 에너지를 추산함으로써, Ir(ppz)<sub>3</sub>의 전이 에너지가 3.27eV인 것을 알았다. Ir(ppz)<sub>3</sub>은 인광성 화합물이기 때문에, 가장 낮은 에너지 측에 있는 흡수대는, 삼중항 상태로부터의 전이에 기초한다. 그러므로, 상기 흡수단으로부터 Ir(ppz)<sub>3</sub>의 T1 준위는 3.27eV로 산출된다.
- [0454] 상술한 측정 결과로부터, 4,6mCzP2Pm의 T1 준위는 Ir(ppz)<sub>3</sub>의 T1 준위보다 낮고, 4,6mCzP2Pm의 T1 준위는 4,6mCzP2Pm 및 Ir(ppz)<sub>3</sub>에 의하여 형성되는 들뜬 복합체의 T1 준위(2.28eV)보다 높은 것을 알았다. 따라서, 4,6mCzP2Pm 및 Ir(ppz)<sub>3</sub>에 의하여 형성되는 들뜬 복합체의 삼중항 여기 에너지는, 4,6mCzP2Pm 또는 Ir(ppz)<sub>3</sub>에 의하여 비활성화되지 않는다. 그러므로, 상기 들뜬 복합체의 삼중항 여기 에너지는 광으로 변환될 수 있거나, 역 항간 교차에 의하여 단일항 여기 에너지로 변환될 수 있거나, 또는 형광성 화합물로 이동될 수 있다.

[0455] 또한, Ir(ppz)<sub>3</sub>의 발광 스펙트럼의 측정을 실온에서 시도하였을 때, Ir(ppz)<sub>3</sub>으로부터 방출되는 광은 관찰되지 않았다. 비특허문헌 1에는 Ir(ppz)<sub>3</sub>의 발광 양자 수율이 실온에서 1% 미만인 것이 개시되어 있다. 이에 의하여, Ir(ppz)<sub>3</sub>은 실온에서 광을 방출하지 않는 재료인 것이 시사된다.

[0456] 한편, 4,6mCzP2Pm 및 Ir(ppz)<sub>3</sub>에 의하여 형성되는 들뜬 복합체에서 유래하는 광을 방출하는 비교 발광 소자 4는, 20%보다 높은, 높은 외부 양자 효율을 갖는다. 이는, 비교 발광 소자 4가, 한 쌍의 전극으로부터 주입된 캐리어(정공 및 전자)의 재결합에 의하여 생성된 단일항 여기자에서 유래하는 광에 더하여, 삼중항 여기자에서 유래하는 광, 또는 들뜬 복합체에서의 역 항간 교차에 의하여 삼중항 여기자로부터 생성된 단일항 여기자에서 유래하는 광을 방출하기 때문이다. 즉, 1% 미만으로 발광 양자 수율이 낮은 화합물을 사용하더라도, 발광 효율이 높은 발광 소자를 얻을 수 있다.

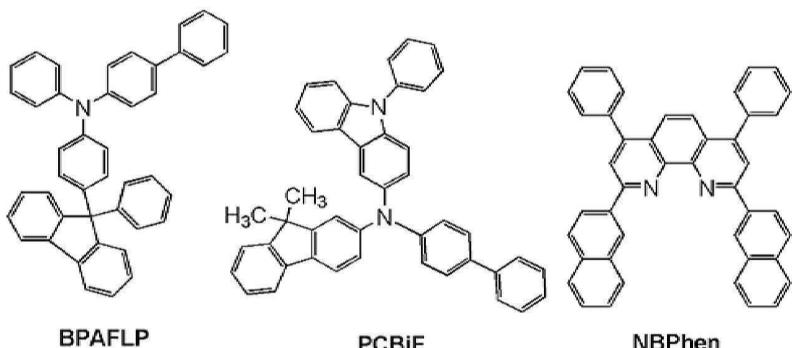
[0457] 또한, 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자 2에서는, 들뜬 복합체에서 생성된 단일항 여기자의 에너지를 형광성 화합물인 TBRb에 공급하고, TBRb로부터 발광을 얻는다. 들뜬 복합체의 여기 에너지가 형광성 화합물에 공급되고, 형광성 화합물로부터 광이 방출됨으로써, 발광 스펙트럼의 폭이 좁고, 고효도 영역에서의 효율 저하가 적은 고효율 발광을 얻을 수 있다.

[0458] 본 발명의 일 형태에 의하여, 발광 효율이 높은 발광 소자를 제공할 수 있다. 또한, 본 발명의 일 형태에 의하여, 구동 전압이 낮고 소비전력이 저감된 발광 소자를 제공할 수 있다.

[0459] (실시예 3)

[0460] 본 실시예에서는, 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자, 및 비교 발광 소자의 제작예를 제시한다. 표 5에는 소자 구조의 자세한 사항을 나타내었다. 또한, 여기서 사용한 화합물의 구조 및 약칭을 이하에서 제시한다. 또한, 다른 화합물의 구조 및 약칭에 대해서는 실시예 1 및 2를 참조한다.

[0461] [화학식 8]



[0462]

표 5

	층	부호	막 두께 (nm)	재료	중량비
발광 소자 3	전극	102	200	Al	-
	전자 주입층	119	1	LiF	-
	전자 수송층	118(2)	10	BPhen	-
		118(1)	20	4,6mCzP2Pm	-
	발광층	130	40	4,6mCzP2Pm:Ir(ppz) <sub>3</sub> :TBRb	1:0.1:0.005
	정공 수송층	112	20	mCzFLP	-
	정공 주입층	111	60	DBT3P-II:MoO <sub>3</sub>	1:0.5
비교 발광 소자 5	전극	101	70	ITSO	-
	전극	102	200	Al	-
	전자 주입층	119	1	LiF	-
	전자 수송층	118(2)	10	BPhen	-
		118(1)	20	4,6mCzP2Pm	-
	발광층	130	40	4,6mCzP2Pm:Ir(ppz) <sub>3</sub>	1:0.1
	정공 수송층	112	20	mCzFLP	-
비교 발광 소자 6	정공 주입층	111	60	DBT3P-II:MoO <sub>3</sub>	1:0.5
	전극	101	70	ITSO	-
	전극	102	200	Al	-
	전자 주입층	119	1	LiF	-
	전자 수송층	118(2)	15	NBPhen	-
		118(1)	20	4,6mCzP2Pm	-
	발광층	130	40	4,6mCzP2Pm:PCBiF	0.8:0.2

[0463]

## &lt;발광 소자의 제작&gt;

[0464]

본 실시예에서 제작한 발광 소자의 제작 방법에 대하여 이하에서 설명한다. 발광 소자 3 및 비교 발광 소자 5는, 발광층(130)을 형성하는 단계를 제외하고는, 상술한 발광 소자 1과 같은 단계를 거쳐 제작되었다.

[0465]

발광 소자 3의 발광층(130)으로서, 4,6mCzP2Pm, Ir(ppz)<sub>3</sub>, 및 TBRb를 1:0.1:0.005의 중량비 (4,6mCzP2Pm:Ir(ppz)<sub>3</sub>:TBRb)에서 공증착에 의하여 두께 40nm로 퇴적하였다. 발광층(130)에서는, Ir(ppz)<sub>3</sub>이 제 1 유기 화합물에 상당하고, 4,6mCzP2Pm이 제 2 유기 화합물에 상당하고, TBRb가 제 3 유기 화합물에 상당하는 형광성 화합물이다.

[0466]

비교 발광 소자 5의 발광층(130)으로서는, 4,6mCzP2Pm 및 Ir(ppz)<sub>3</sub>을 1:0.1의 중량비(4,6mCzP2Pm:Ir(ppz)<sub>3</sub>)에서 공증착에 의하여 두께 40nm로 퇴적하였다. 발광층(130)에서는, Ir(ppz)<sub>3</sub>이 제 1 유기 화합물에 상당하고, 4,6mCzP2Pm이 제 2 유기 화합물에 상당하고, 제 3 유기 화합물에 상당하는 형광성 화합물이 포함되지 않는다.

[0467]

## &lt;비교 발광 소자 6의 제작&gt;

[0468]

전극(101)으로서, 유리 기판 위에 ITSO막을 두께 70nm로 형성하였다. 전극(101)의 전극 면적은 4mm<sup>2</sup>(2mm×2mm)로 하였다.

[0469]

정공 주입층(111)으로서, 전극(101) 위에 DBT3P-II 및 산화 몰리브데넘(MoO<sub>3</sub>)을 1:0.5의 중량비(DBT3P-II:MoO<sub>3</sub>)에서 공증착에 의하여 두께 40nm로 퇴적하였다.

[0470]

정공 수송층(112)으로서는, 정공 주입층(111) 위에 4-페닐-4'-(9-페닐플루오렌-9-일)트라이페닐아민(약칭: BPAFLP)을 증착에 의하여 두께 20nm로 퇴적하였다.

[0471]

발광층(130)으로서는, 정공 수송층(112) 위에 4,6mCzP2Pm 및 N-(4-바이페닐)-N-(9,9-다이메틸-9H-플루오렌-2-일)-9-페닐-9H-카바졸-3-아민(약칭: PCBiF)을 0.8:0.2의 중량비(4,6mCzP2Pm:PCBiF)에서 공증착에 의하여 두께 40nm로 퇴적하였다.

[0472]

전자 수송층(118)으로서는, 발광층(130) 위에 4,6mCzP2Pm 및 Bphen을 각각, 증착에 의하여 두께 20nm 및 15nm

로 순차적으로 퇴적하였다. 그리고, 전자 주입층(119)으로서, 전자 수송층(118) 위에 LiF를 증착에 의하여 두께 1nm로 퇴적하였다.

[0474] 전극(102)으로서는, 전자 주입층(119) 위에 알루미늄(Al)을 두께 200nm로 형성하였다.

[0475] 다음으로, 질소 분위기를 포함하는 글로브 박스에서, 유기 EL 장치용 실재를 사용하여, 유기 재료가 퇴적된 유리 기판에 밀봉을 위한 유리 기판을 고정시킴으로써, 전극 및 EL층을 밀봉하였다. 구체적으로는, 유리 기판에 퇴적된 유기 재료를 둘러싸도록 실재를 도포하고, 상기 유리 기판을 밀봉을 위한 기판에 접합시킨 후, 파장 365nm의 자외광을  $6\text{J/cm}^2$ 에서 조사하고 80°C에서 1시간 동안 가열 처리하였다. 상기 공정을 거쳐, 비교 발광 소자 6을 얻었다.

[0476] <발광 소자의 특성>

[0477] 다음으로, 제작한 발광 소자 3 및 비교 발광 소자 5 및 6의 특성을 측정하였다. 또한, 측정 방법은 실시예 1에서 사용한 것과 비슷하다.

[0478] 도 30은 발광 소자 3 및 비교 발광 소자 5 및 6의 외부 양자 효율-휘도 특성을 나타낸 것이다. 도 31은  $2.5\text{mA/cm}^2$ 의 전류 밀도로 전류가 공급된 발광 소자 3 및 비교 발광 소자 5 및 6의 전계 발광 스펙트럼을 나타낸 것이다. 발광 소자의 측정은 실온(23°C로 유지된 분위기)에서 수행하였다.

[0479] 표 6은  $1000\text{cd/m}^2$  근방에서의 발광 소자 3 및 비교 발광 소자 5 및 6의 소자 특성을 나타낸 것이다.

**표 6**

	전압 (V)	전류 밀도 (mA/cm <sup>2</sup> )	CIE 색도 (x, y)	휘도 (cd/m <sup>2</sup> )	전류 효율 (cd/A)	전력 효율 (lm/W)	외부 양자 효율(%)
발광 소자 3	3.60	1.45	(0.426, 0.538)	905	62.3	54.4	18.9
비교 발광 소자 5	3.60	1.57	(0.327, 0.580)	970	61.3	53.2	18.6
비교 발광 소자 6	3.60	2.05	(0.402, 0.570)	910	44.5	38.8	13.2

[0480]

[0481] 도 31에 나타낸 바와 같이, 비교 발광 소자 5 및 6의 전계 발광 스펙트럼은 각각 파장 526nm 및 548nm에 피크를 갖고, 반치 전폭이 각각 95nm 및 91nm로 스펙트럼 형상이 넓다. 이에 의하여, 비교 발광 소자 5 및 6은 황색의 광을 방출하는 것이 시사된다. 상술한 바와 같이, 비교 발광 소자 5에서 얻어지는 발광은  $4,6\text{mCzP2Pm}$  및  $\text{Ir(ppz)}_3$ 에 의하여 형성되는 들뜬 복합체로부터의 발광이다. 또한, 발광 소자 3의 전계 발광 스펙트럼은 파장 558nm에 피크를 갖고, 반치 전폭이 84nm이다. 이에 의하여, 발광 소자 3은 황색의 광을 방출하는 것이 시사된다. 발광 소자 3은 형광성 화합물인 TBRb에서 유래하는 광을 방출한다. 또한,  $\text{Ir(ppz)}_3$ 은 저온에서 청색의 광을 방출하는 화합물인 것이 알려져 있지만,  $\text{Ir(ppz)}_3$ 에서 유래하는 광은 여기서 관찰되지 않았다.

[0482] 비교 발광 소자 6에서 얻어지는 발광의 피크 파장으로부터 산출되는 발광 에너지는 2.26eV이다. 이 값은, 실시예 1에 기재된 CV 측정에 의하여 산출한  $4,6\text{mCzP2Pm}$ 의 LUMO 준위(-2.88eV)와 PCBiF의 HOMO 준위(-5.26eV)의 에너지 차(2.38eV)와 실질적으로 동등하다. 즉, 비교 발광 소자 6에서 얻어지는 발광은, 발광층 내의  $4,6\text{mCzP2Pm}$  및 PCBiF에 의하여 형성되는 들뜬 복합체에서 유래하는 발광이라고 할 수 있다.

[0483] 도 31에 나타낸 바와 같이, 비교 발광 소자 5의 외부 양자 효율은 비교 발광 소자 6보다 높다. 또한, 비교 발광 소자 5의 외부 양자 효율은 발광 소자 3과 실질적으로 동등하다. 발광 소자 3은 형광성 화합물인 TBRb를 발광층이 더 포함하는 비교 발광 소자 5의 구조를 갖는다. 따라서, 효율이 높은 비교 발광 소자 5는 발광 소자 3

의 높은 효율에 기여하는 것으로 생각된다. 이에 의하여, 비교 발광 소자 5 내의 들뜬 복합체로부터, 형광성 화합물인 TBRb에 여기 에너지를 효율적으로 공급할 수 있는 것이 시사된다.

#### [0484] <박막의 과도 EL 측정>

다음으로, 발광 소자 3 및 비교 발광 소자 5 및 6에 과도 EL 측정을 수행하였다. 측정에는 피코초 형광 수명 측정 시스템(Hamamatsu Photonics K.K. 제조)을 사용하였다. 발광 소자에서의 형광의 수명을 측정하기 위하여, 발광 소자에 구형(矩形)과 펄스 전압을 인가하고, 그 전압의 하강부터 감쇠(減衰)되는 광을 스트리크 카메라(streak camera)를 사용하여 시간 분해 측정하였다. 펄스 전압은 주파수 10Hz로 인가하였다. 반복적인 측정에 의하여 얻은 데이터를 적산함으로써, S/N비가 높은 데이터를 얻었다. 측정은, 실온(300K)에서, 펄스 전압을 약 3V로, 펄스 시간폭(pulse time width)을 100 μsec로, 음 바이어스 전압을 -5V로, 그리고 측정 시간을 발광 소자 3 및 비교 발광 소자 5에 대해서는 20 μsec로, 비교 발광 소자 6에 대해서는 50 μsec로 하는 조건하에서 수행하였다. 도 32에 이 결과를 나타내었다.

[0486] 도 32에 나타낸 바와 같이, 비교 발광 소자 6은 지연 형광 성분을 높은 비율로 포함하고, 발광 수명이 매우 길다. 한편, 비교 발광 소자 5에 포함되는 지연 형광 성분의 비율은 높지 않지만, 도 32에 나타낸 바와 같이 비교 발광 소자 5의 외부 양자 효율은 비교 발광 소자 6보다 높다. 또한, 도 32에 나타낸 바와 같이, 비교 발광 소자 5의 발광 수명은 매우 짧다. 이에 의하여, 여기 상태가 짧은 시간에 기저 상태로 비활성화되는 것이 시사된다. 이러한 발광 수명이 짧은 발광 소자는 신뢰성이 높기 때문에 바람직하다. 비교 발광 소자 5는, 들뜬 복합체에 사용되는 재료에 중원자인 Ir을 포함하기 때문에, 비교 발광 소자 5의 들뜬 복합체의 거동은, 통상의 호스트 재료를 사용하여 형성된 들뜬 복합체 및 TADF 재료와 다른 것으로 생각된다.

[0487] 에너지 이동의 매체로서 비교 발광 소자 5를 사용한 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자 3은, 도 32에 나타낸 바와 같이 비교 발광 소자 5보다 발광 수명이 짧다. 이에 의해서도, 비교 발광 소자 5 내의 들뜬 복합체로부터, 형광성 화합물인 TBRb로 여기 에너지가 효율적으로 이동하는 것이 시사된다. 그러므로, 발광 수명이 짧아질수록, 신뢰성이 향상되는 것으로 생각된다.

[0488] 본 발명의 일 형태에 의하여, 발광 효율이 높은 발광 소자를 제공할 수 있다. 또한, 본 발명의 일 형태에 의하여, 신뢰성이 높은 발광 소자를 제공할 수 있다.

### 부호의 설명

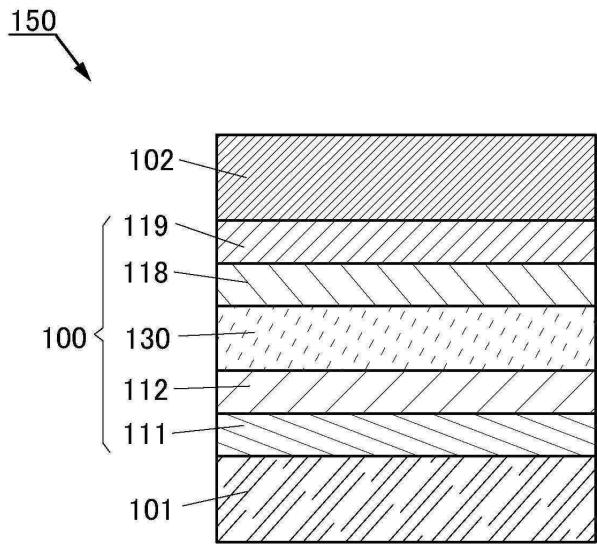
[0489] 100: EL층, 101: 전극, 101a: 도전층, 101b: 도전층, 102: 전극, 103: 전극, 103a: 도전층, 103b: 도전층, 104: 전극, 104a: 도전층, 104b: 도전층, 106: 발광 유닛, 108: 발광 유닛, 111: 정공 주입층, 112: 정공 수송층, 113: 전자 수송층, 114: 전자 주입층, 115: 전하 발생층, 116: 정공 주입층, 117: 정공 수송층, 118: 전자 수송층, 119: 전자 주입층, 123B: 발광층, 123G: 발광층, 123R: 발광층, 130: 발광층, 131: 화합물, 132: 화합물, 133: 화합물, 134: 화합물, 140: 발광층, 140a: 발광층, 140b: 발광층, 145: 격벽, 150: 발광 소자, 200: 기판, 220: 기판, 221B: 영역, 221G: 영역, 221R: 영역, 222B: 영역, 222G: 영역, 222R: 영역, 223: 차광층, 224B: 광학 소자, 224G: 광학 소자, 224R: 광학 소자, 250: 발광 소자, 260: 발광 소자, 262a: 발광 소자, 262b: 발광 소자, 600: 표시 장치, 601: 신호선 구동 회로부, 602: 화소부, 603: 주사선 구동 회로부, 604: 밀봉 기판, 605: 실재, 607: 영역, 608: 배선, 609: FPC, 610: 소자 기판, 611: 트랜지스터, 612: 트랜지스터, 613: 하부 전극, 614: 격벽, 616: EL층, 617: 상부 전극, 618: 발광 소자, 621: 광학 소자, 622: 차광층, 623: 트랜지스터, 624: 트랜지스터, 1001: 기판, 1002: 하지 절연막, 1003: 게이트 절연막, 1006: 게이트 전극, 1007: 게이트 전극, 1008: 게이트 전극, 1020: 충간 절연막, 1021: 충간 절연막, 1022: 전극, 1024B: 하부 전극, 1024G: 하부 전극, 1024R: 하부 전극, 1025: 격벽, 1026: 상부 전극, 1028: EL층, 1029: 밀봉층, 1031: 밀봉 기판, 1032: 실재, 1033: 기재, 1034B: 착색층, 1034G: 착색층, 1034R: 착색층, 1035: 차광층, 1036: 오버 코트층, 1037: 충간 절연막, 1040: 화소부, 1041: 구동 회로부, 1042: 주변부, 3000: 발광 장치, 3001: 기판, 3003: 기판, 3005: 발광 소자, 3007: 밀봉 영역, 3009: 밀봉 영역, 3011: 영역, 3013: 영역, 3018: 건조제, 8000: 표시 모듈, 8001: 상부 커버, 8002: 하부 커버, 8003: FPC, 8004: 터치 센서, 8005: FPC, 8006: 표시 장치, 8009: 프레임, 8010: 인쇄 기판, 8011: 배터리, 8501: 조명 장치, 8502: 조명 장치, 8503: 조명 장치, 8504: 조명 장치, 9000: 하우징, 9001: 표시부, 9003: 스피커, 9005: 조작 키, 9006: 접속 단자, 9007: 센서, 9008: 마이크로폰, 9050: 조작 버튼, 9051: 정보, 9052: 정보, 9053: 정보, 9054: 정보, 9055: 헌지, 9100: 휴대 정보 단말, 9101: 휴대 정보 단말, 9102: 휴대 정보 단말, 9200: 휴대 정보 단말, 9201: 휴대 정보 단말.

본 출원은 2016년 5월 6일에 일본 특허청에 출원된 일련 번호 2016-093152의 일본 특허 출원에 기초하고, 본 명

세서에 그 전문이 참조로 통합된다.

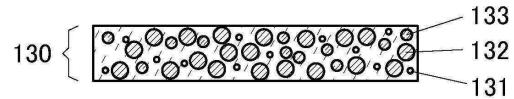
## 도면

### 도면1

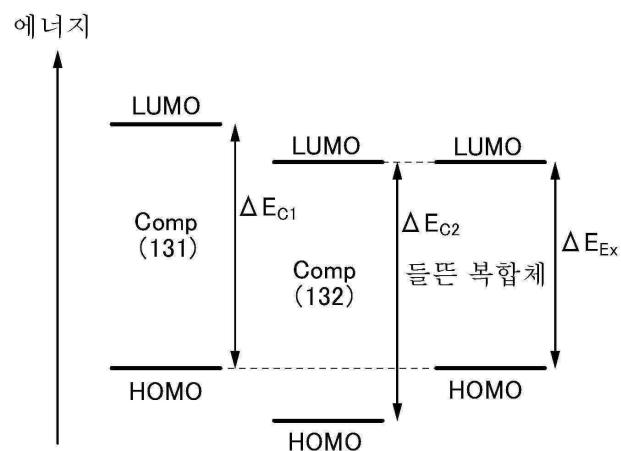


## 도면2

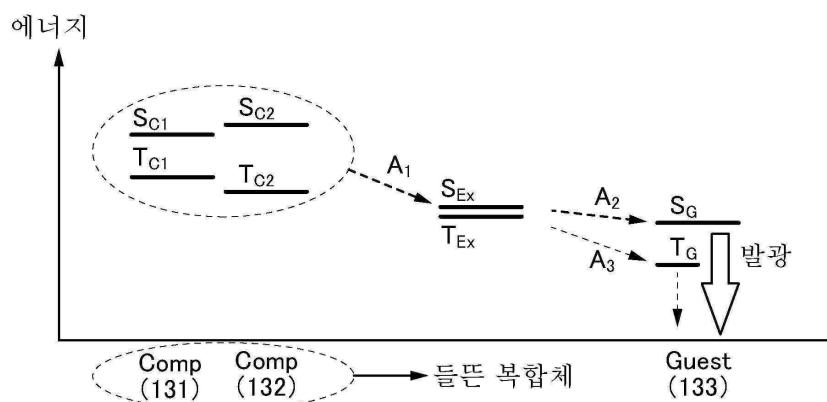
(A)



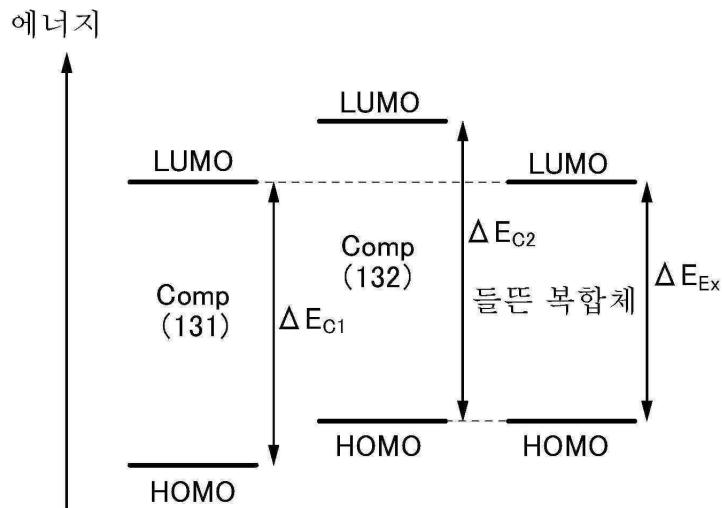
(B)



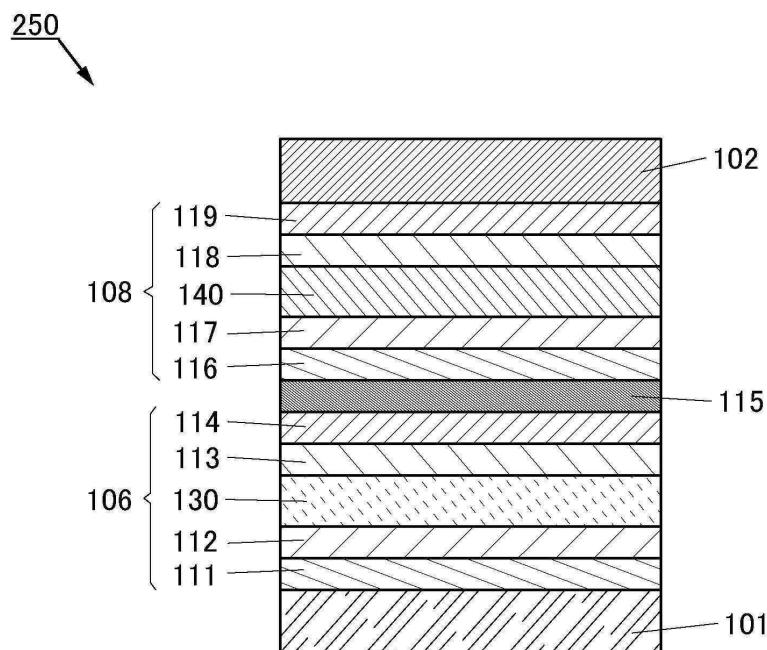
(C)



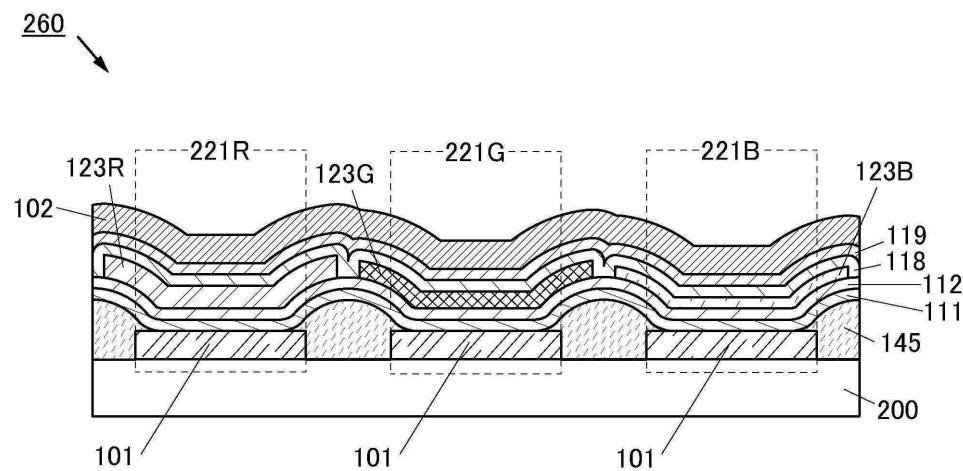
## 도면3



## 도면4

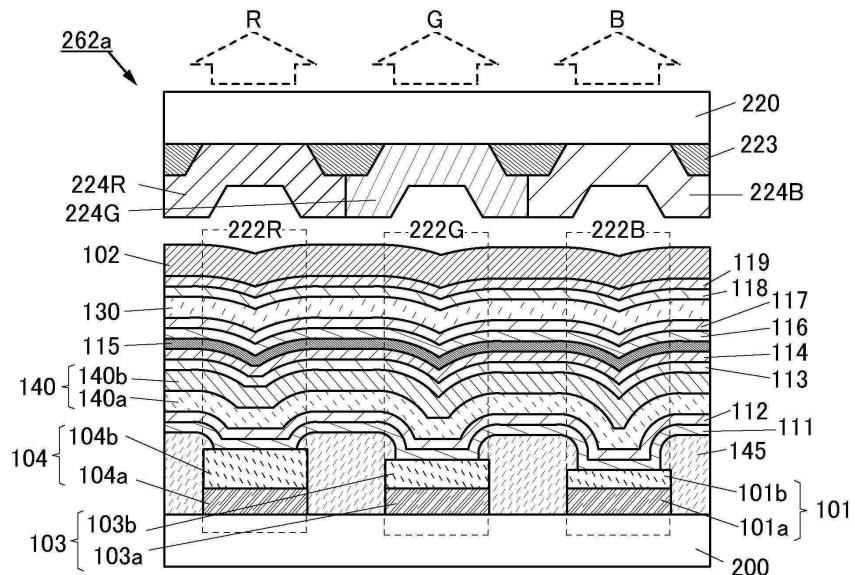


도면5

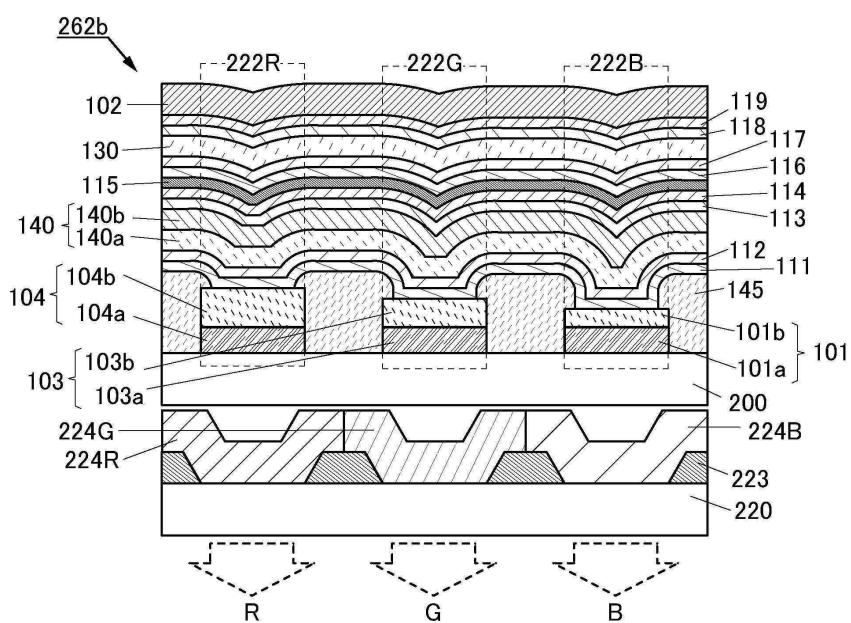


## 도면6

(A)

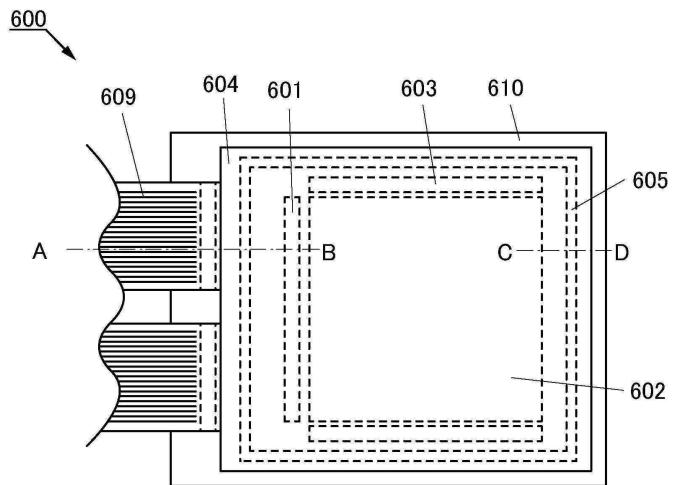


(B)

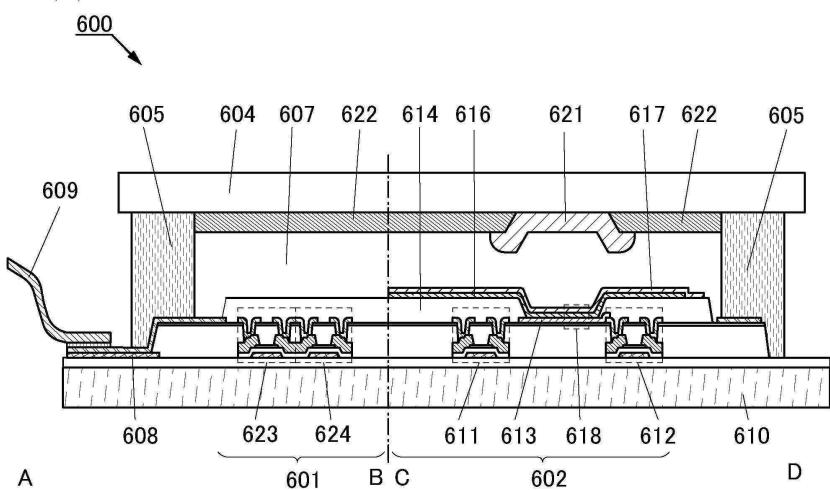


## 도면7

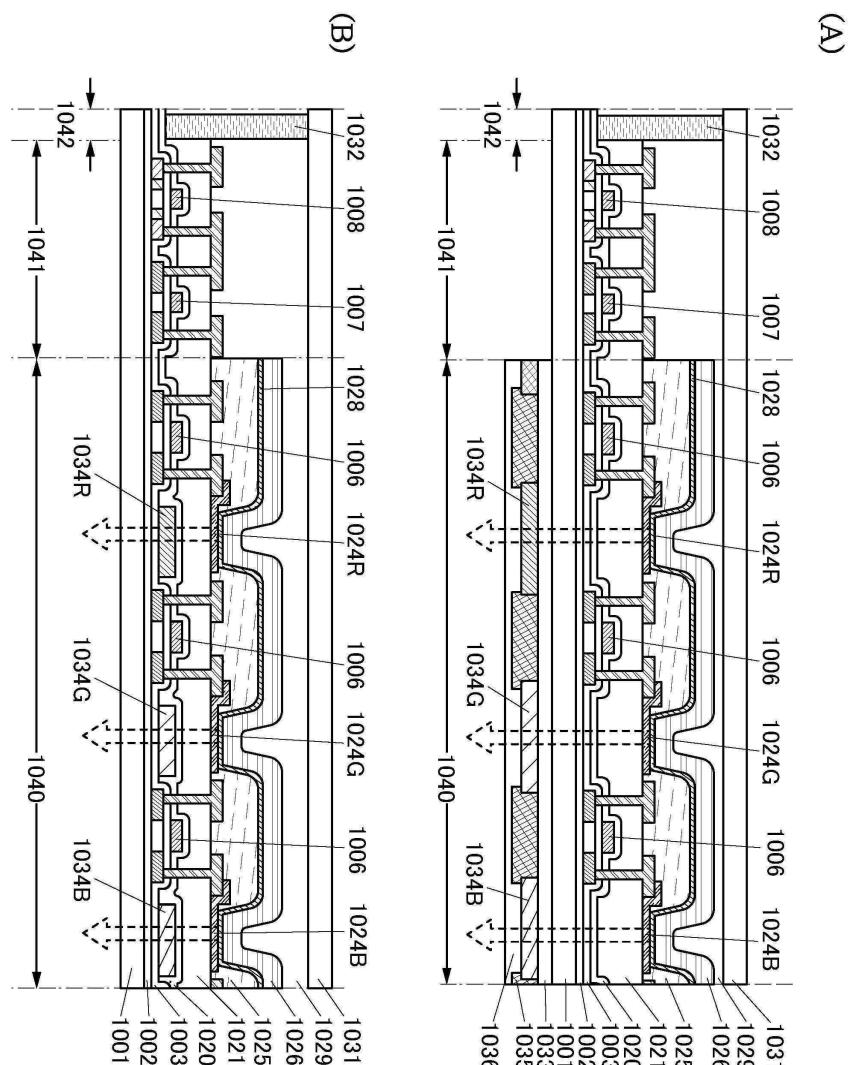
(A)



(B)

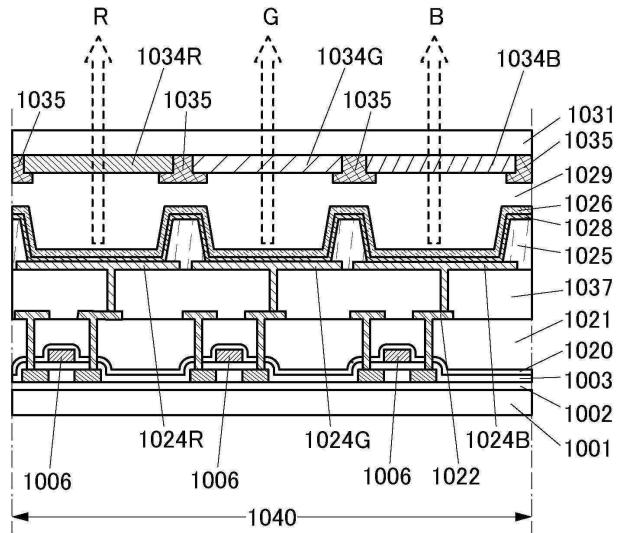


## 도면8

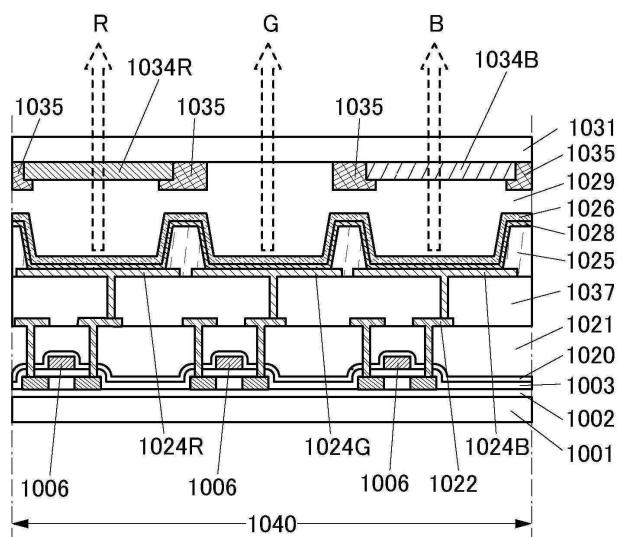


## 도면9

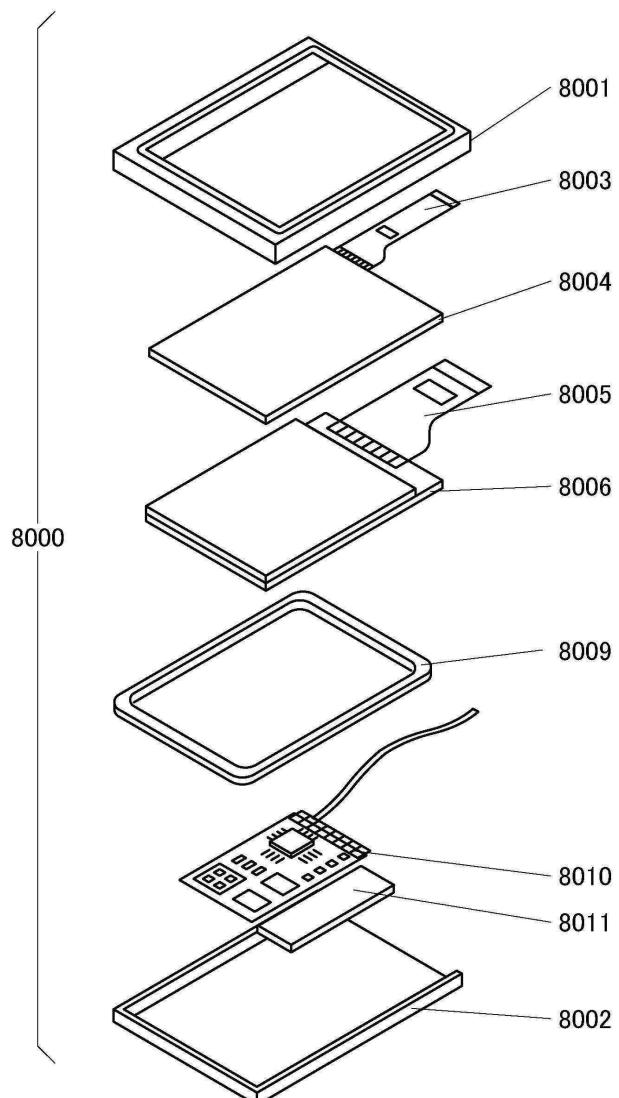
(A)



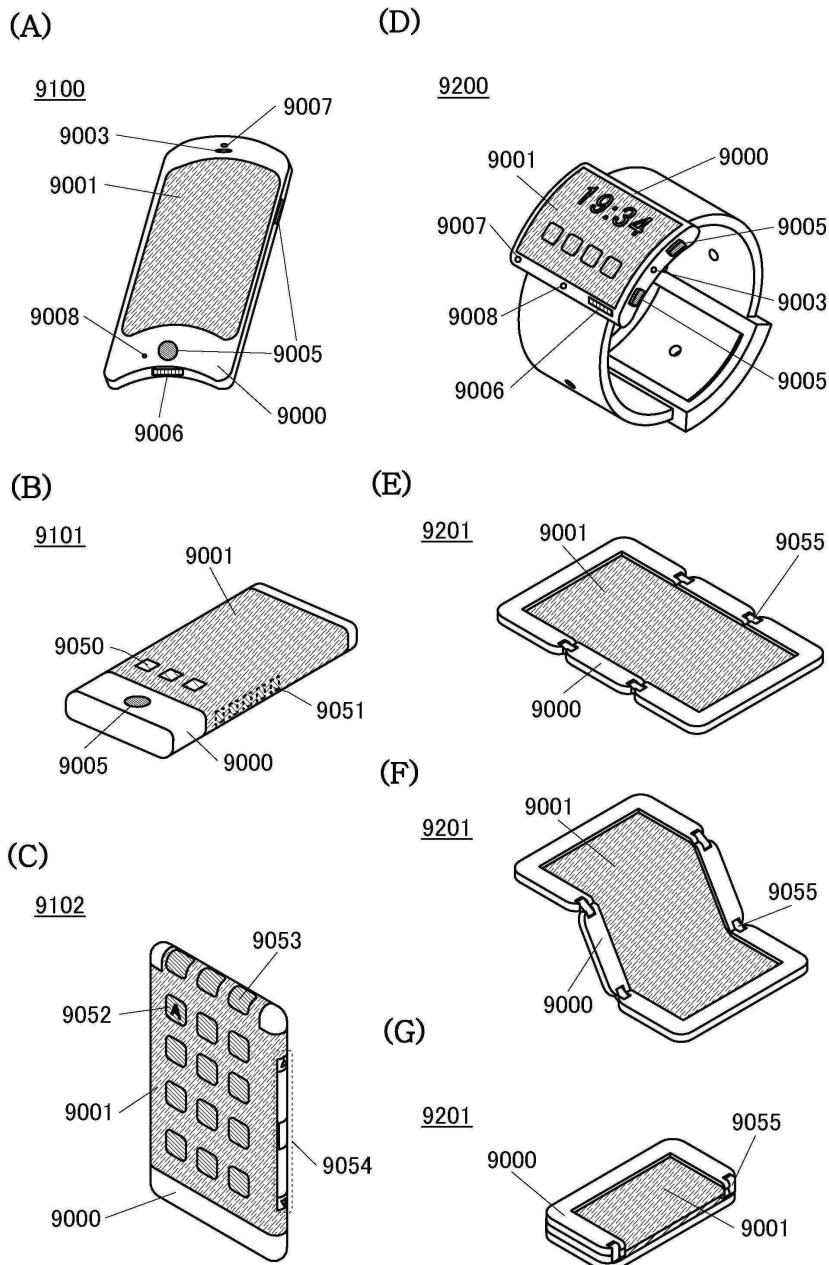
(B)



도면10

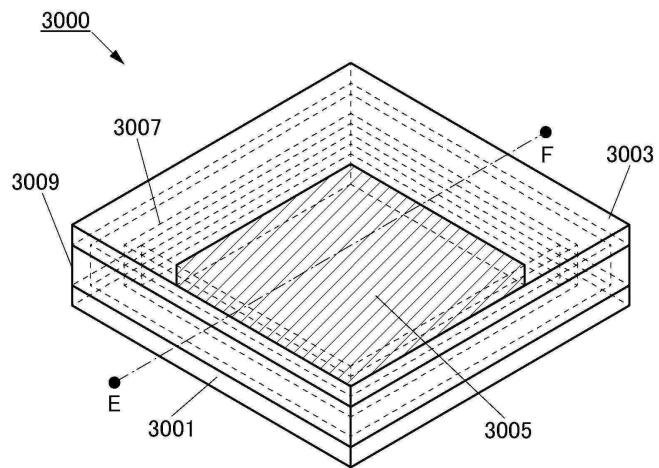


## 도면11

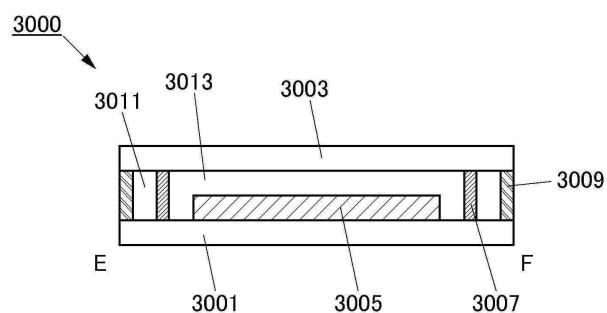


## 도면12

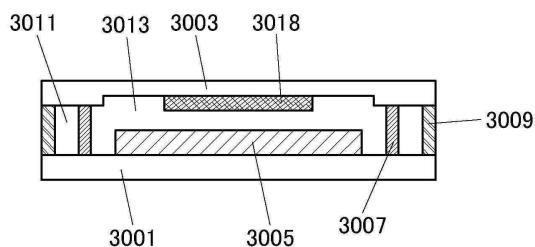
(A)



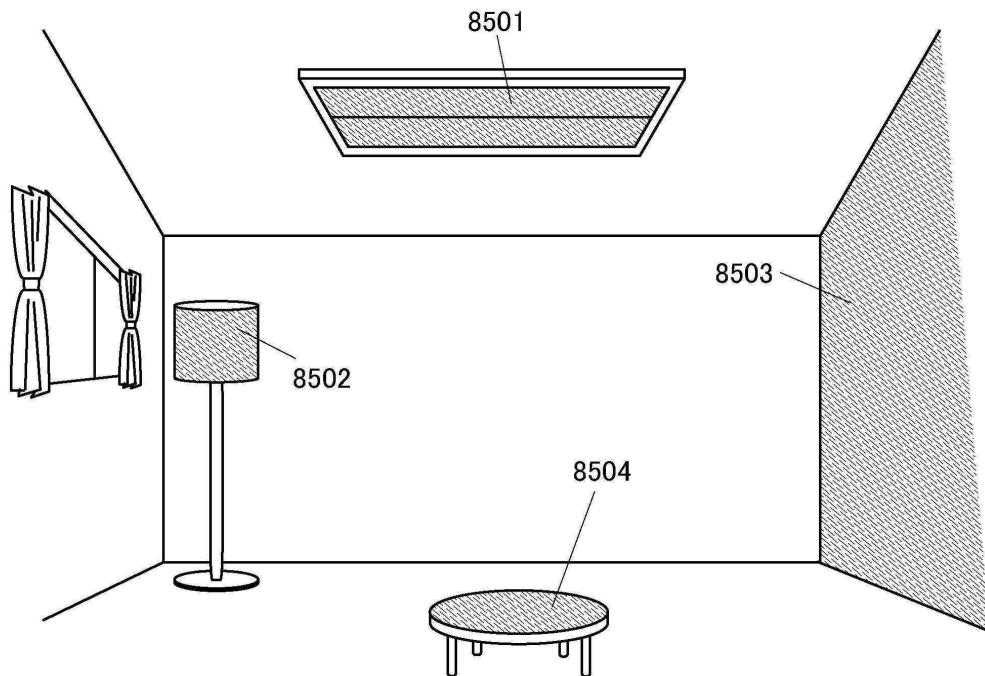
(B)



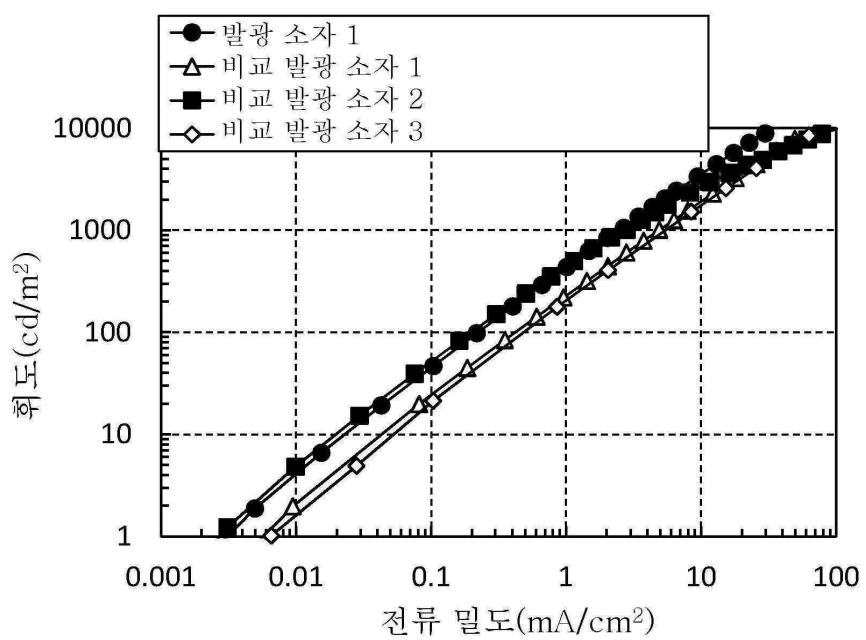
(C)



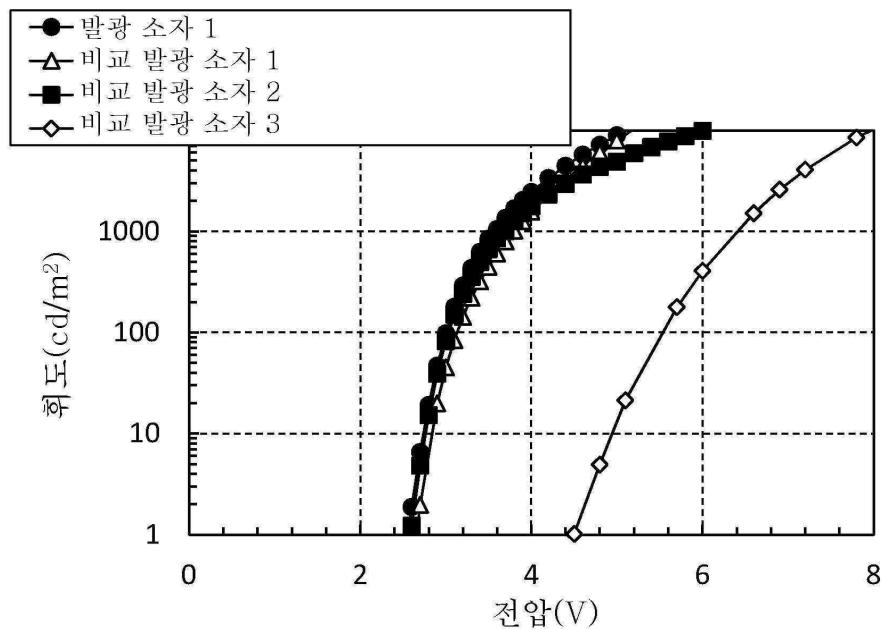
도면13



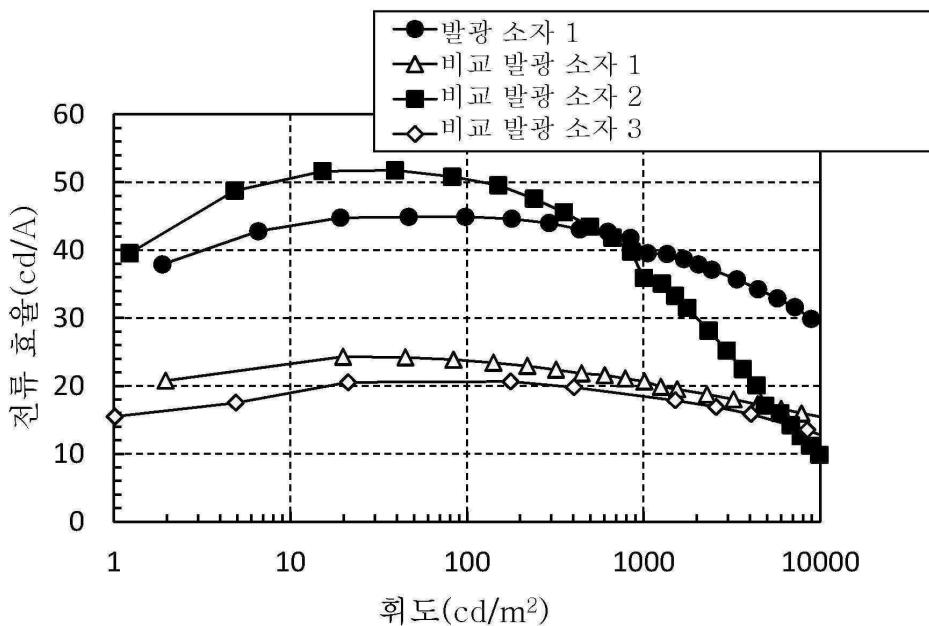
도면14



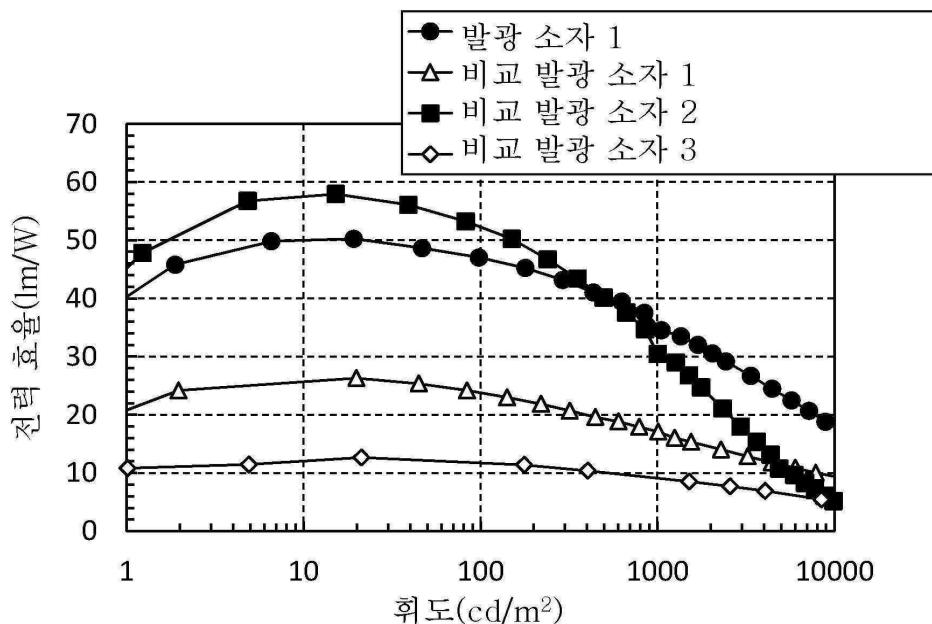
도면15



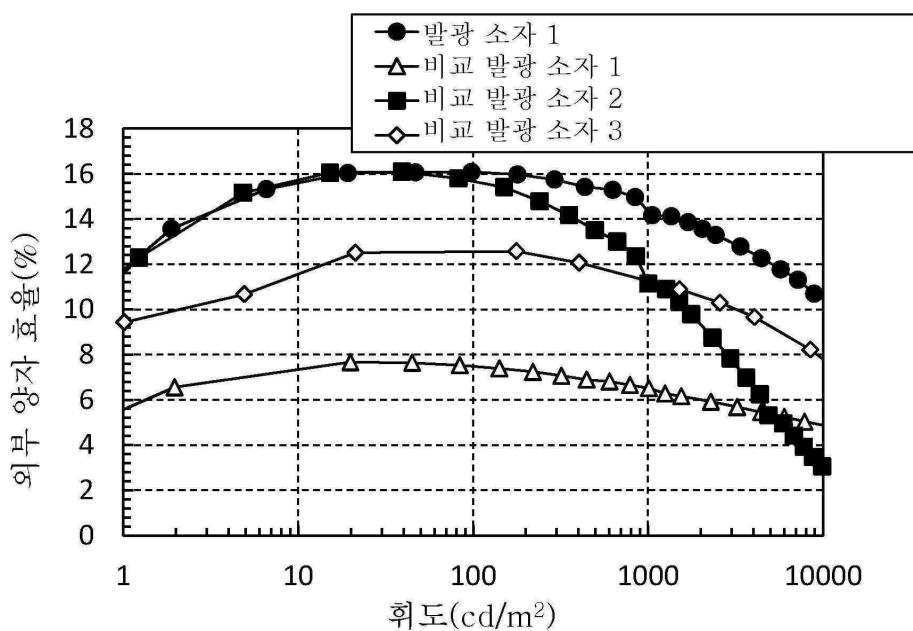
도면16



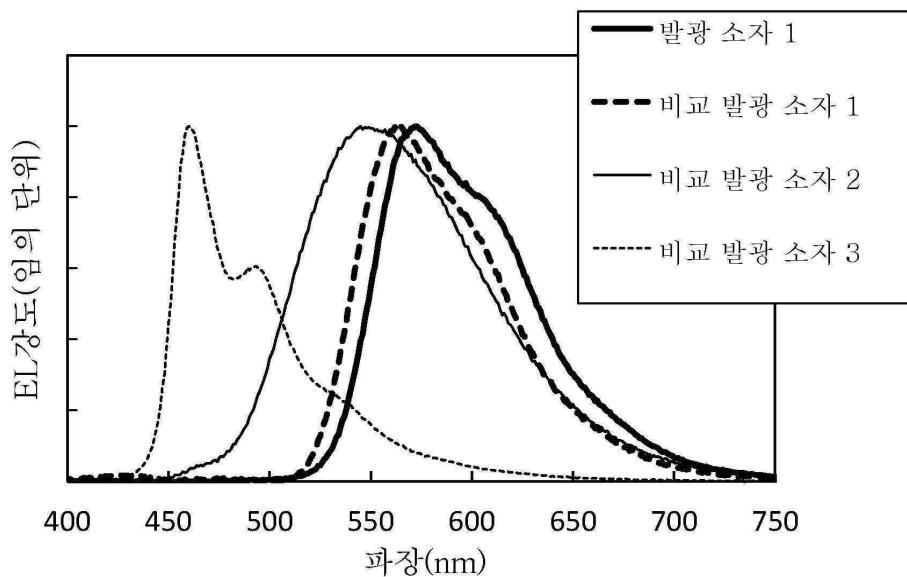
도면17



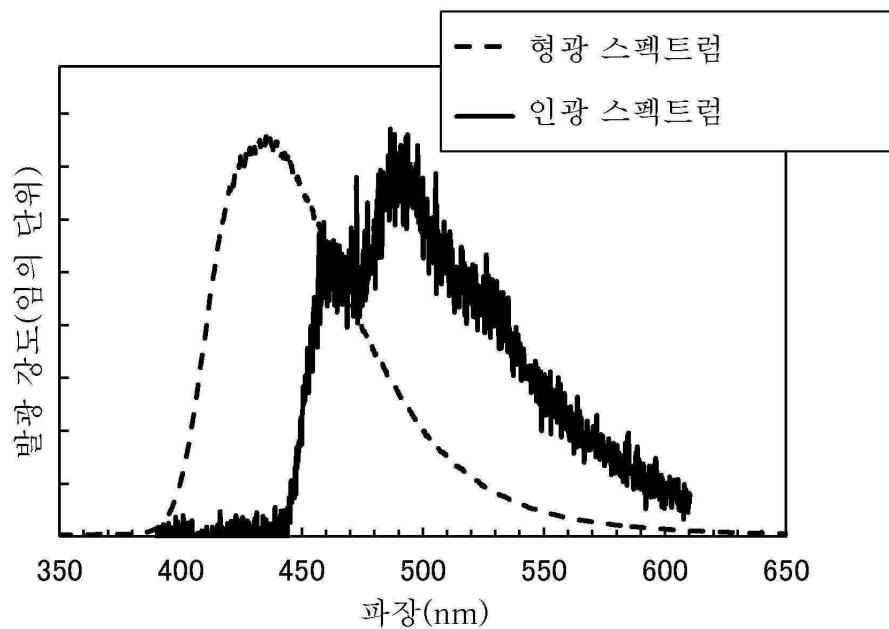
도면18



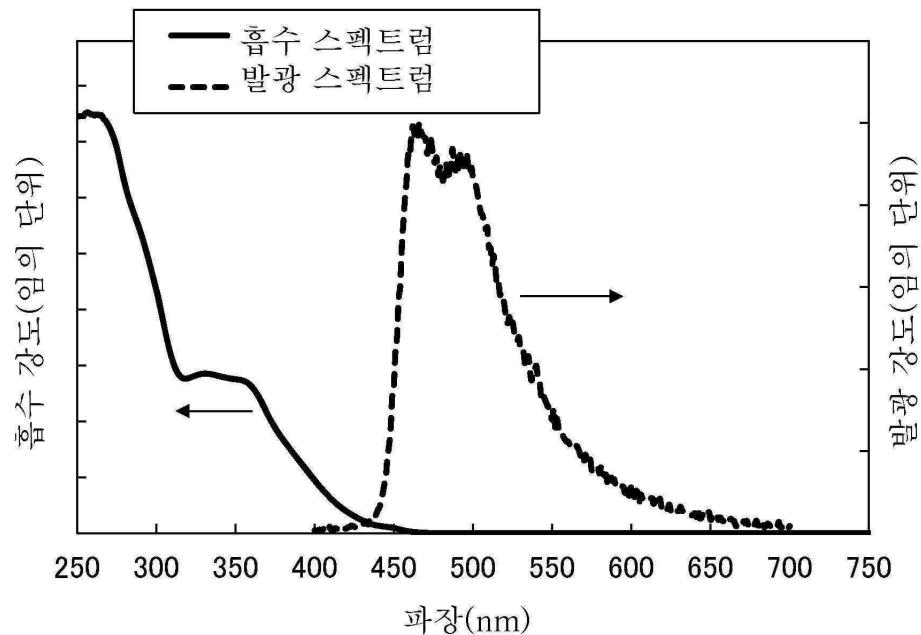
도면19



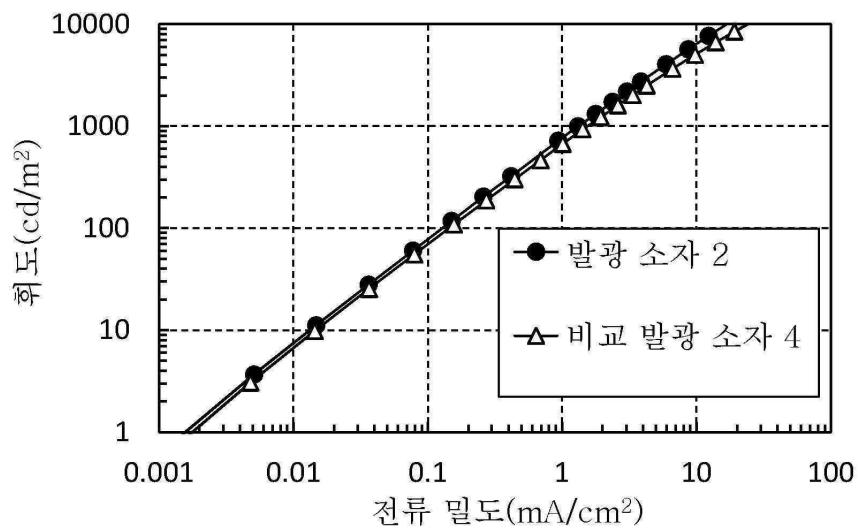
도면20



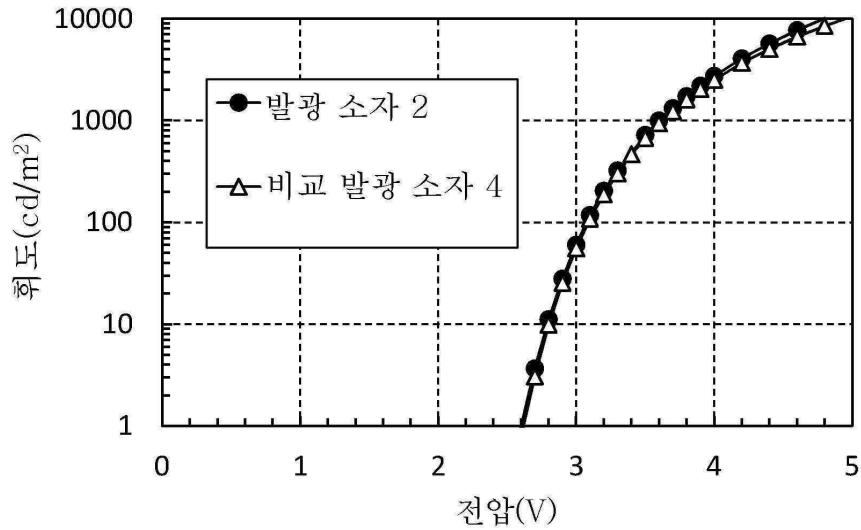
도면21



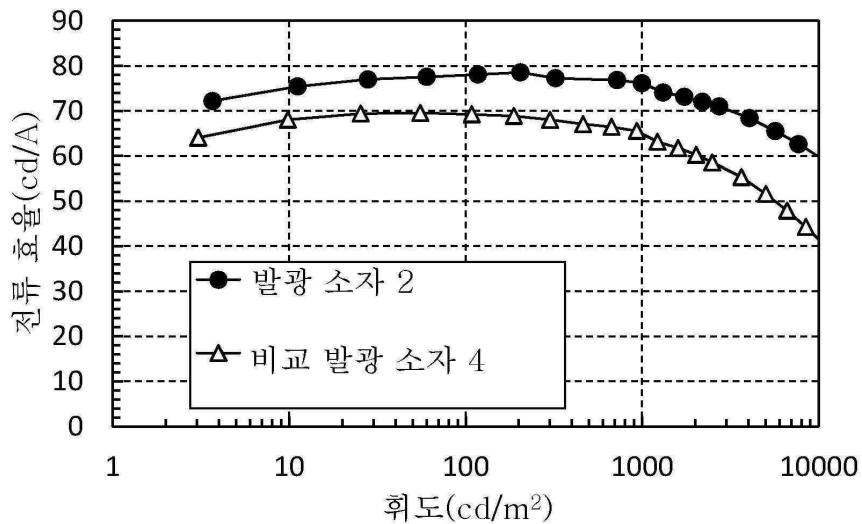
도면22



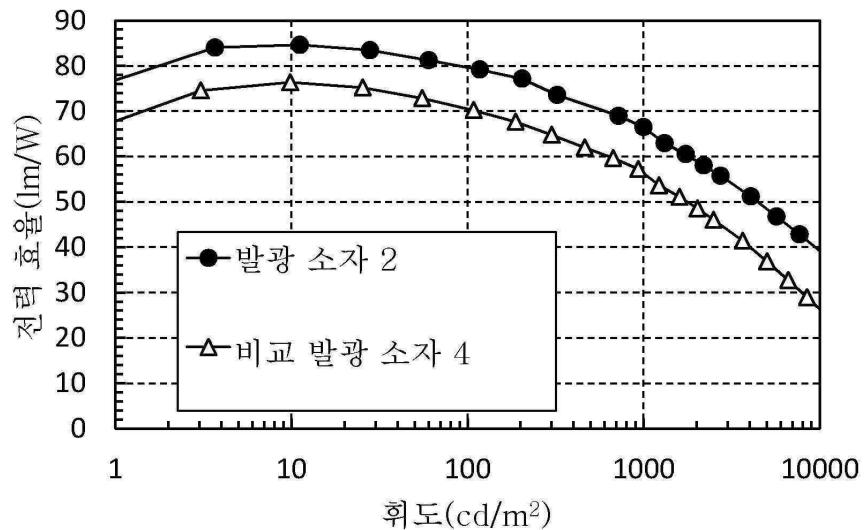
도면23



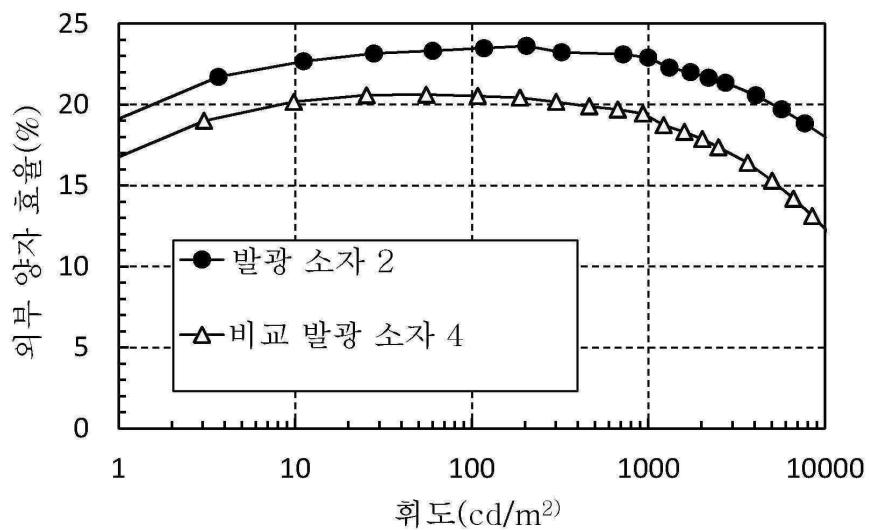
도면24



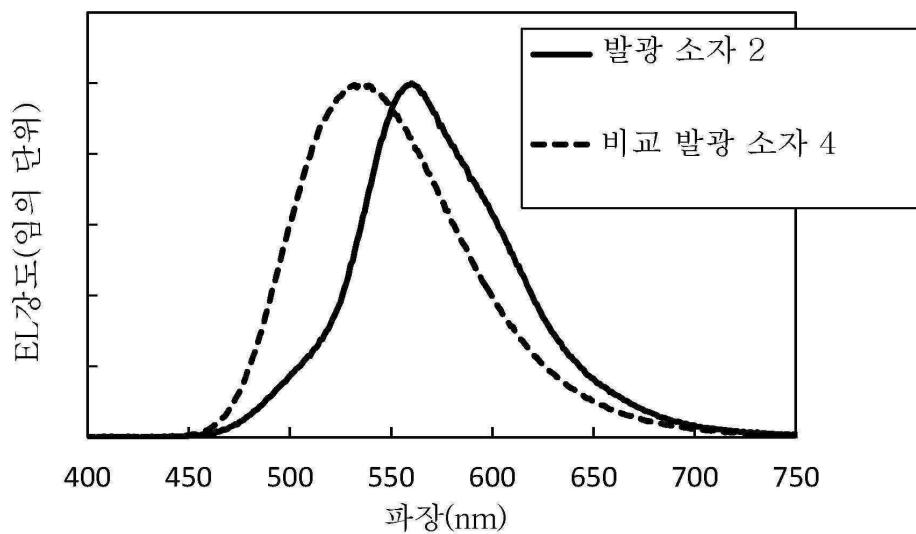
도면25



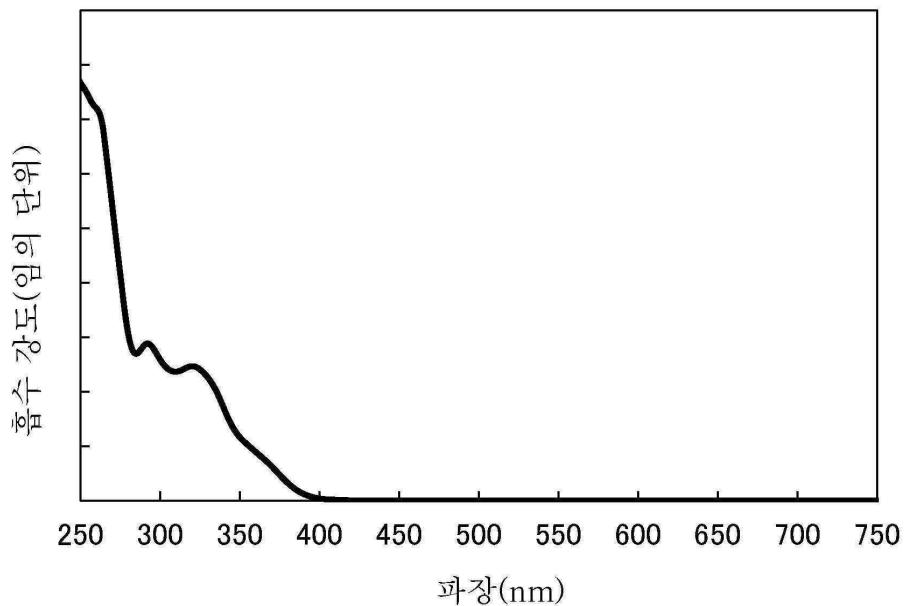
도면26



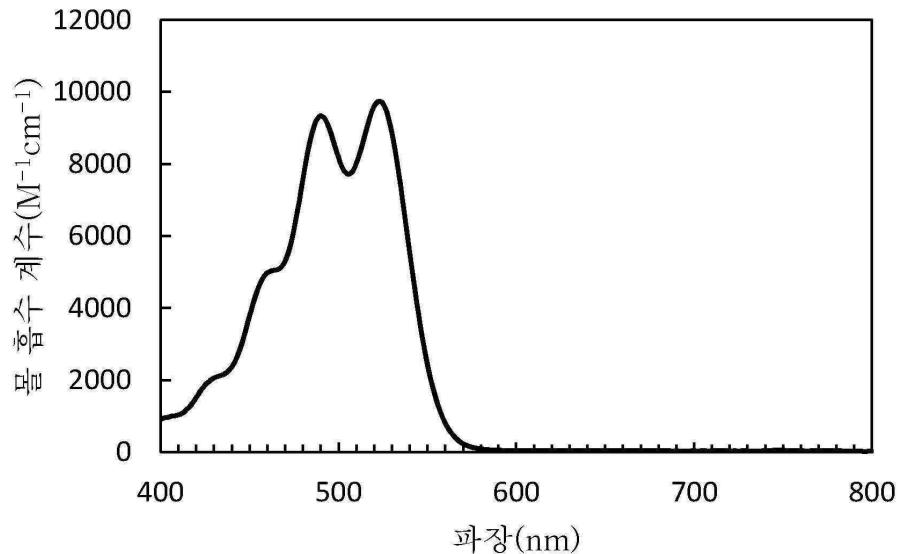
도면27



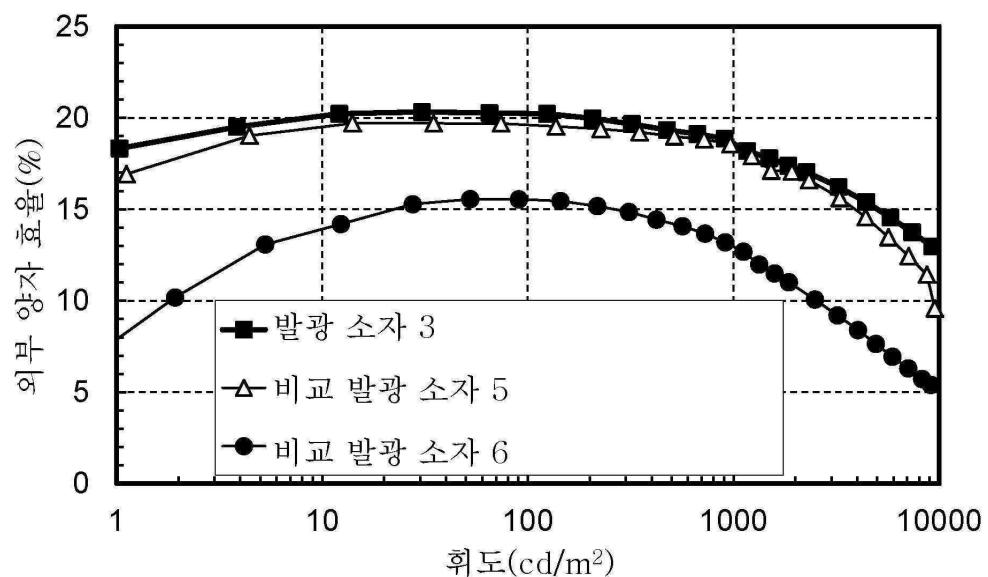
도면28



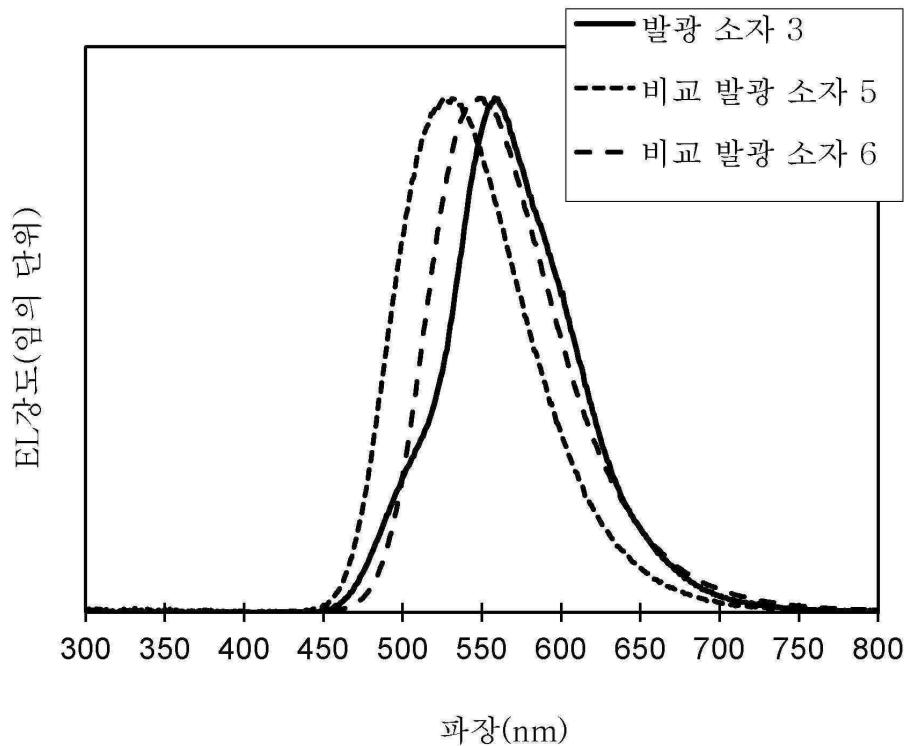
도면29



도면30



도면31



도면32

