



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2020년09월10일
(11) 등록번호 10-2154694
(24) 등록일자 2020년09월04일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 51/50 (2006.01) H01L 27/32 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H01L 51/5012 (2013.01)
H01L 27/32 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2020-7015017(분할)
(22) 출원일자(국제) 2012년03월26일
심사청구일자 2020년05월26일
(85) 번역문제출일자 2020년05월26일
(65) 공개번호 10-2020-0062381
(43) 공개일자 2020년06월03일
(62) 원출원 특허 10-2019-7020153
원출원일자(국제) 2012년03월26일
심사청구일자 2019년07월11일
(86) 국제출원번호 PCT/JP2012/058770
(87) 국제공개번호 WO 2012/137693
국제공개일자 2012년10월11일
(30) 우선권주장
JP-P-2011-085423 2011년04월07일 일본(JP)
(56) 선행기술조사문헌
KR1020110065507 A
(뒷면에 계속)

(73) 특허권자
가부시키가이샤 한도오파이 에네루기 켄큐쇼
일본국 가나가와켄 아쓰기시 하세 398
(72) 발명자
세오 사토시
일본 243-0036 가나가와켄 아쓰기시 하세 398 가
부시키가이샤 한도오파이 에네루기 켄큐쇼 내
시타가키 사토코
일본 243-0036 가나가와켄 아쓰기시 하세 398 가
부시키가이샤 한도오파이 에네루기 켄큐쇼 내
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
장수길, 박충범, 이중희

전체 청구항 수 : 총 9 항

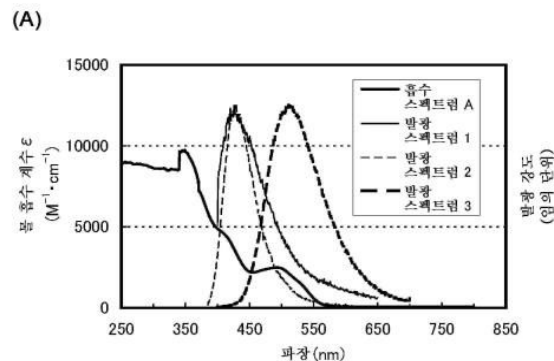
심사관 : 정명주

(54) 발명의 명칭 발광 소자

(57) 요약

본 발명은, 인광성 화합물의 사용량이 적으며 발광 효율이 높거나 수명이 긴 발광 소자를 제공하는 것이다. 한 쌍의 전극 사이에 발광층을 포함하는 발광 소자를 제공하는 것이며, 이 발광 소자는 인광성 화합물, 제 1 유기 화합물, 및 제 2 유기 화합물을 포함하고, 제 1 유기 화합물과 제 2 유기 화합물의 조합은 여기 착체를 형성한다. 이 발광 소자는 여기 착체의 발광 스펙트럼과 인광성 화합물의 흡수 스펙트럼의 중첩을 이용하여 에너지를 이동하기 때문에, 인광성 화합물의 농도가 낮은 경우에도 에너지 이동 효율이 높다.

대표도



(52) CPC특허분류

H01L 51/5048 (2013.01)

H01L 2251/5376 (2013.01)

(72) 발명자

오사와 노부하루

일본 243-0036 가나가와켄 아쓰기시 하세 398 가부
시키키가이샤 한도오따이 에네루기 켄큐쇼 내

이노우에 히데코

일본 243-0036 가나가와켄 아쓰기시 하세 398 가부
시키키가이샤 한도오따이 에네루기 켄큐쇼 내

가도마 히로시

일본 243-0036 가나가와켄 아쓰기시 하세 398 가부
시키키가이샤 한도오따이 에네루기 켄큐쇼 내

오사카 하루에

일본 243-0036 가나가와켄 아쓰기시 하세 398 가부
시키키가이샤 한도오따이 에네루기 켄큐쇼 내

야마자키 쉐페이

일본 243-0036 가나가와켄 아쓰기시 하세 398 가부
시키키가이샤 한도오따이 에네루기 켄큐쇼 내

(56) 선행기술조사문헌

JP2006203172 A

JP2012243983 A

JP2012004526 A

US20050056815 A1

JP2010222331 A

JP2002203683 A

JP2010030996 A

JP2003317966 A

JP2008247810 A

JP2006182775 A

JP2004506305 A

JP2012044125 A

KR1020110099173 A

EP2363398 A

KR1020030041972 A

EP1202608 A2

JP2008288344 A

KR100689124 B1

Sci. Technol. Adv. Mater., 15, 034202, 2014
(2014.05.27.)

KR1020140018133 A

KR1020130116185 A

KR1020130092447 A

Semicond. Sci. Technol. 2006, Vol.21 pp.
1373-1376.

Dalton Trans., 2008, pp.2081-2099.

Semicond. Sci. Technol. 2006, Vol. 21, pp.
R35-R47.

KR1020070058623 A

J. of Applied Physics, 2004, Vol. 95, pp.
948-953.

Organic Electronics, 2009, pp.240-246.

W02010026859 A1

명세서

청구범위

청구항 1

발광 소자로서,

한 쌍의 전극 사이에 발광층을 포함하고,

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

상기 제 1 유기 화합물과 상기 제 2 유기 화합물은 여기 착체를 형성하는 조합이고,

상기 제 1 유기 화합물과 상기 제 2 유기 화합물 중 한쪽은 카바졸 고리의 3위가 치환된 카바졸 화합물이고,

상기 여기 착체의 발광 스펙트럼과 상기 인광성 화합물의 가장 긴 파장 측에 위치하는 흡수 밴드는 중첩되고,

상기 여기 착체의 발광 스펙트럼의 피크는 상기 제 1 유기 화합물의 발광 스펙트럼의 피크 및 상기 제 2 유기 화합물의 발광 스펙트럼의 피크에 비해 상기 인광성 화합물의 가장 긴 파장 측에 위치하는 흡수 밴드와 가까운 위치에 있는, 발광 소자.

청구항 2

발광 소자로서,

한 쌍의 전극 사이에 발광층을 포함하고,

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

상기 제 1 유기 화합물과 상기 제 2 유기 화합물은 여기 착체를 형성하는 조합이고,

상기 제 1 유기 화합물과 상기 제 2 유기 화합물 중 한쪽은 카바졸 고리의 3위가 치환된 카바졸 화합물이고,

상기 여기 착체의 발광 스펙트럼과 상기 인광성 화합물의 가장 긴 파장 측에 위치하는 흡수 밴드는 중첩되고,

상기 여기 착체의 발광 스펙트럼의 피크는 상기 제 1 유기 화합물의 발광 스펙트럼의 피크 및 상기 제 2 유기 화합물의 발광 스펙트럼의 피크에 비해 상기 인광성 화합물의 가장 긴 파장 측에 위치하는 흡수 밴드의 피크와 가까운 위치에 있는, 발광 소자.

청구항 3

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서,

상기 제 1 유기 화합물과 상기 제 2 유기 화합물의 합계 중량에 대한 상기 인광성 화합물의 중량비가 0.1% 이상 2.5% 이하인, 발광 소자.

청구항 4

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서,

상기 인광성 화합물은 유기금속 착체인, 발광 소자.

청구항 5

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서,

상기 인광성 화합물은 이리듐을 포함하는, 발광 소자.

청구항 6

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서,

상기 여기 착체의 발광 스펙트럼의 피크의 에너지와 상기 인광성 화합물의 흡수 스펙트럼의 가장 긴 파장 측에

위치하는 흡수 대역의 피크의 에너지의 차이가 0.2eV 이하인, 발광 소자.

청구항 7

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서,

상기 여기 착체의 발광 스펙트럼의 피크의 에너지와 상기 인광성 화합물의 흡수 스펙트럼의 가장 긴 파장 측에 위치하는 흡수 대역의 피크의 에너지의 차이가 0.1eV 이하인, 발광 소자.

청구항 8

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서,

상기 인광성 화합물의 가장 긴 파장 측에 위치하는 흡수 대역의 몰 흡수 계수가 $5000\text{M}^{-1}\text{cm}^{-1}$ 이상인, 발광 소자.

청구항 9

제 1 항 또는 제 2 항에 기재된 발광 소자를 포함하는, 발광 장치.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 유기 일렉트로루미네선스(EL)(이하에서는 유기 EL 소자라고도 함)를 이용한 발광 소자에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 유기 EL 소자의 연구 개발이 활발히 진행되고 있다(특허 문헌 1, 특허 문헌 2, 및 비특허 문헌 1 참조). 유기 EL 소자의 기본적인 구성에 있어서는, 한 쌍의 전극 사이에 발광성 유기 화합물을 포함한 층(이하에서는 발광층이라고도 함)이 개재(介在)된다. 유기 EL 소자는 박형화 및 경량화가 가능하고, 입력 신호에 대하여 고속으로 응답하고, 또한 직류 저전압 구동이 가능한 등의 특성에 의하여, 차세대 평판(flat panel) 디스플레이 소자로서 주목을 받고 있다.

[0003] 또한, 이러한 발광 소자를 사용한 디스플레이는, 콘트라스트 및 화질이 우수하고, 시야각이 넓은 특징을 갖는다. 또한, 유기 EL 소자는 면광원이기 때문에, 상기 발광 소자는 액정 디스플레이의 백 라이트 및 조명 장치 등 광원으로서 적용되는 것이 고려되고 있다.

[0004] 유기 EL 소자의 발광 기구는 캐리어 주입 체계(carrier-injection system)이다. 즉, 전극 사이에 개재된 발광층에 전압을 인가함으로써, 전극으로부터 주입된 전자 및 정공은 재결합하여 발광 물질을 여기시키고, 여기 상태가 기저 상태로 되돌아올 때 광이 방출된다. 가능한 여기 상태로서는 일중항 여기 상태(S^*)와 삼중항 여기 상태(T^*)의 2종류가 있다. 또한, 발광 소자에 있어서의 그 통계적인 생성 비율은 $S^*:T^*=1:3$ 인 것으로 생각되고 있다.

[0005] 일반적으로는 발광성 유기 화합물의 기저 상태가 일중항 상태이다. 따라서, 일중항 여기 상태(S^*)로부터의 발광은, 동일 스핀 다중도 사이의 전자 전이(electron transition)에 의하여 발생하기 때문에 형광이라고 불린다. 한편, 삼중항 여기 상태(T^*)로부터의 발광은, 상이한 스핀 다중도 사이에서 전자 전이가 발생하는 인광이라고 불린다. 여기서 일반적으로는, 형광을 발하는 화합물(이하에서는 형광성 화합물이라고 함)에 있어서, 실온에서 인광은 관측되지 않고 형광만이 관측된다. 따라서, 형광성 화합물을 사용한 발광 소자에 있어서의 내부 양자 효율(주입된 캐리어에 대하여 발생한 포톤(photon)의 비율)은 $S^*:T^*=1:3$ 에 기초하여 이론적 한계가 25%라고 추정된다.

[0006] 한편, 인광을 발하는 화합물(이하에서는 인광성 화합물이라고 함)을 사용하면 이론상으로는 100%의 내부 양자 효율을 달성할 수 있다. 즉, 형광성 화합물을 사용하는 경우보다 높은 발광 효율을 얻을 수 있다. 따라서, 고효율의 발광 소자를 실현하기 위해서, 인광성 화합물을 사용한 발광 소자가 근년 활발히 개발되고 있다. 특히, 인광성 화합물로는, 그 인광 양자 효율이 높기 때문에, 이리듐 등을 중심 금속으로서 갖는 유기금속 착체가 주목을 받고 있으며, 예를 들어 특허 문헌 1에서는, 이리듐을 중심 금속으로서 갖는 유기금속 착체가 인광 재료로

서 개시(開示)되어 있다.

- [0007] 상술한 인광성 화합물을 사용하여 발광 소자의 발광층을 형성하는 경우, 인광성 화합물에서의 농도 소광(消光)이나 삼중항-삼중항 소멸에 기인한 소광을 억제하기 위하여, 다른 화합물의 매트릭스 중에 상기 인광성 화합물이 분산되도록 발광층을 형성하는 경우가 많다. 여기서, 매트릭스를 구성하는 화합물은 호스트라고 불리고, 인광성 화합물과 같이 매트릭스 중에 분산되는 화합물은 게스트(또는 도펀트(dopant))라고 불린다.
- [0008] 또한, 특허 문헌 2 또는 비특허 문헌 1에는 전자 수송성이 높은 재료와 정공 수송성이 높은 재료의 혼합을 사용하여 발광층을 형성하는 방법이 설명되어 있다. 예를 들어, 비특허 문헌 1에서는, 전자 수송성이 높은 트리스(8-퀴놀리놀라토)알루미늄 착체(약칭: Alq₃) 및 정공 수송성이 높은 4,4'-비스[N-(1-나프틸)-N-페닐아미노]바이페닐(약칭: NPB)의 2가지 재료, 및 게스트(도펀트)로서 메틸퀴나크리돈(약칭: mqa)을 사용하는 발광 장치가 제안되어 있다.
- [0009] 이러한 구조의 발광층에서는, 2가지 호스트가 상이한 기능을 갖기 때문에, 전자 및 정공이 좋은 밸런스로 이동될 수 있다. 즉, 전자는 Alq₃에 의하여 이동되고 정공은 NPB에 의하여 이동되어 전자 및 정공이 mqa에 도달함으로써 mqa는 여기될 수 있다. mqa로부터는 형광만이 방출되지만, 특허 문헌 2에는 인광성 화합물을 게스트로서 사용하여 삼중항 여기 상태에서부터의 발광을 얻을 수 있는 것이 개시되어 있다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0010] (특허문헌 0001) 국제 공개 제 2000/070655호
(특허문헌 0002) 미국 특허 제 7572522호 명세서

비특허문헌

- [0011] (비특허문헌 0001) Vi-En Choong et al., "Organic light-emitting diodes with a bipolar transport layer", Appl. Phys. Lett., 75, 172(1999).

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0012] 이리듐은 희소 원소(또는 희소 금속)(클라크 수 $1 \times 10^{-7}\%$)이고, 지표(地表) 근방의 이리듐 매장량은, 이리듐보다 비싼 백금(클라크 수 $5 \times 10^{-7}\%$)과 금(클라크 수 $5 \times 10^{-7}\%$)의 매장량보다 적다. 따라서, 이리듐의 안정적인 공급이 우려되고 있어, 그 사용량은 적은 것이 요구된다.
- [0013] 그런데, 일반적으로는, 인광성 화합물이 게스트이고 이 게스트의 농도가 현저히 저하되면, 발광 효율이 저하된다. 이 이유는 이하와 같이 설명할 수 있다. 게스트 분자를 여기시키는 데 대략 2개의 과정이 생각된다. 하나는, 전자와 정공을 게스트 분자에 주입하여 게스트 분자를 여기시키는 직접 재결합 과정이다. 다른 하나는, 여기된 호스트 분자의 상태가 게스트 분자로 이동되는 에너지 이동 과정이다.
- [0014] 직접 재결합 과정의 비율을 높이기 위해서는, 게스트 농도가 높을 필요가 있다. 따라서, 게스트 농도가 저하되면 재결합 확률도 떨어져 발광 효율이 저하된다.
- [0015] 한편, 에너지 이동 과정에 관해서는, 포스터(Förster) 기구와 텍스터(Dexter) 기구의 2개의 이론이 제안되고 있다.
- [0016] 포스터 기구(포스터 공명 에너지 이동이라고도 함)는 에너지 이동에 분자 사이의 직접적인 접촉이 필요하지 않다. 호스트 분자와 게스트 분자 사이의 쌍극자 진동의 공명 현상을 통하여 에너지가 이동한다고 생각된다. 쌍극자 진동의 공명 현상에 의하여 호스트 분자는 게스트 분자에 에너지를 제공하여, 호스트 분자는 기저 상태가

되고 게스트 분자는 여기 상태가 된다. 포스터 기구의 속도 상수 $k_{h \rightarrow g}^*$ 는 수학식 (1)로 나타내어진다.

[수학식 1]

$$k_{h \rightarrow g}^* = \frac{9000c^4 K^2 \phi \ln 10}{128\pi^5 n^4 N \tau R^6} \int \frac{f'_h(\nu) \varepsilon'_g(\nu)}{\nu^4} d\nu \cdot \cdot \cdot (1)$$

수학식 (1)에 있어서, ν 는 진동수를 나타내고, $f'_h(\nu)$ 는 호스트 분자의 규격화된 발광 스펙트럼(일중항 여기 상태로부터의 에너지 이동에서의 형광 스펙트럼, 및 삼중항 여기 상태로부터의 에너지 이동에서의 인광 스펙트럼)을 나타내고, $\varepsilon'_g(\nu)$ 는 게스트 분자의 몰 흡수 계수를 나타내고, N 은 아보가드로 수(Avogadro's number)를 나타내고, n 은 매체의 굴절률을 나타내고, R 은 호스트 분자와 게스트 분자의 분자간 거리를 나타내고, τ 은 여기 상태의 측정되는 수명(형광 수명 또는 인광 수명)을 나타내고, c 는 광속을 나타내고, ϕ 은 발광 양자 효율(일중항 여기 상태로부터의 에너지 이동에서의 형광 양자 효율, 및 삼중항 여기 상태로부터의 에너지 이동에서의 인광 양자 효율)을 나타내고, K^2 는 호스트 분자와 게스트 분자 사이의 전이 쌍극자 모멘트의 배향의 계수(0 내지 4)를 나타낸다. 또한, 랜덤 배향에서 $K^2=2/3$ 이다.

텍스터 기구(텍스터 전자 이동이라고도 함)에서는, 호스트 분자와 게스트 분자가 그들의 궤도가 중첩되는 접촉 유효 거리(contact effective range)에 근접하여, 여기 상태의 호스트 분자와 기저 상태의 게스트 분자가 전자를 교환함으로써, 에너지 이동을 일으킨다. 텍스터 기구의 속도 상수 $k_{h \rightarrow g}^*$ 는 수학식 (2)로 나타내어진다.

[수학식 2]

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

수학식 (2)에 있어서, h 는 플랑크(Planck) 상수를 나타내고, K 는 에너지 차원을 갖는 상수를 나타내고, ν 는 진동수를 나타내고, $f'_h(\nu)$ 는 호스트 분자의 규격화된 발광 스펙트럼(일중항 여기 상태로부터의 에너지 이동에서의 형광 스펙트럼, 삼중항 여기 상태로부터의 에너지 이동에서의 인광 스펙트럼)을 나타내고, $\varepsilon'_g(\nu)$ 는 게스트 분자의 규격화된 흡수 스펙트럼을 나타내고, L 은 실효 분자 반경(effective molecular radius)을 나타내고, R 은 호스트 분자와 게스트 분자의 분자간 거리를 나타낸다.

일반적으로는, 텍스터 기구에 의한 에너지 이동 가능 거리는 1nm 이하 정도이고, 포스터 기구에 의한 에너지 이동 가능 거리는 10nm 이하 정도이다. 따라서, 게스트 농도가 낮고 게스트 분자와 여기된 호스트 분자간의 거리가 크면, 에너지 이동 효율은 현저히 저하된다. 그래서, 게스트 농도는 3% 이상일 필요가 있다.

상술한 바와 같이, 캐리어의 재결합으로부터 여기된 게스트의 형성까지의 소과정(elementary process)을 생각하면, 효율적으로 게스트를 여기 상태로 하기 위하여 게스트 농도는 높을 필요가 있다. 그런데, 게스트 농도가 높으면, 게스트의 응집으로 인한 발광 효율의 저하, 소위 농도 소광이 생기기 때문에, 게스트가 효율적으로 여기 상태로 되더라도 결과적으로 소자의 발광 효율은 저하된다. 즉, 게스트 농도가 낮으면 여기된 게스트의 생성 효율이 낮아지는 한편, 게스트 농도가 높으면 농도 소광이 생긴다. 어느 쪽이든 발광 효율이 저하된다는 딜레마가 있다.

상술한 문제를 감안하여, 본 발명의 일 형태의 목적은 신규의 발광 기구를 사용하여 게스트 농도가 저하된 발광 소자를 제공하는 것이다. 또한, 본 발명의 일 형태의 목적은 효율이 높은 발광 장치를 제공하는 것이다. 또한, 본 발명의 일 형태의 목적은 수명이 긴 발광 장치를 제공하는 것이다. 또한, 본 발명의 일 형태의 목적은 열화가 적은 발광 장치를 제공하는 것이다. 또한, 본 발명의 일 형태의 목적은 신뢰성이 높은 발광 장치를 제공하는 것이다. 본 발명의 일 형태는 상기 목적들 중 적어도 하나를 달성할 수 있다.

과제의 해결 수단

본 발명의 일 형태는, 인광성 화합물, 제 1 유기 화합물, 및 제 2 유기 화합물을 포함하는 발광층을 한 쌍의 전극 사이에 갖고, 제 1 유기 화합물과 제 2 유기 화합물은 여기 착체를 형성하고, 제 1 유기 화합물과 제 2 유기 화합물의 합계 중량에 대한 인광성 화합물의 중량비가 0.1% 내지 2.5%, 바람직하게는 0.1% 내지 1.5%, 더 바람

직하게는 0.1% 내지 0.5%인 발광 소자이다.

[0028] 본 발명의 다른 형태는, 인광성 화합물, 제 1 유기 화합물, 및 제 2 유기 화합물을 한 쌍의 전극 사이에 포함하는 발광층을 갖고, 적어도 하나의 제 1 유기 화합물과 적어도 하나의 제 2 유기 화합물이 여기 착체를 형성하고, 여기 착체는 인광성 화합물에 작용하여 인광성 화합물이 인광을 발하고, 제 1 유기 화합물과 제 2 유기 화합물의 합계 중량에 대한 인광성 화합물의 중량비가 0.1% 내지 2.5%, 바람직하게는 0.1% 내지 1.5%, 더 바람직하게는 0.1% 내지 0.5%인 발광 소자이다.

[0029] 본 발명의 다른 형태는, 인광성 화합물, 제 1 유기 화합물, 및 제 2 유기 화합물을 포함하는 발광층을 한 쌍의 전극 사이에 갖고, 제 1 유기 화합물 또는 제 2 유기 화합물의 일중항 여기자(exciton)로부터 제 1 유기 화합물과 제 2 유기 화합물의 여기 착체가 형성되고, 제 1 유기 화합물과 제 2 유기 화합물의 합계 중량에 대한 인광성 화합물의 중량비가 0.1% 내지 2.5%, 바람직하게는 0.1% 내지 1.5%, 더 바람직하게는 0.1% 내지 0.5%인 발광 소자이다.

[0030] 본 발명의 다른 형태는, 인광성 화합물, 제 1 유기 화합물, 및 제 2 유기 화합물을 포함하는 발광층을 한 쌍의 전극 사이에 갖고, 제 1 유기 화합물의 음이온 및 제 2 유기 화합물의 양이온으로부터 제 1 유기 화합물과 제 2 유기 화합물의 여기 착체가 형성되고, 제 1 유기 화합물과 제 2 유기 화합물의 합계 중량에 대한 인광성 화합물의 중량비가 0.1% 내지 2.5%, 바람직하게는 0.1% 내지 1.5%, 더 바람직하게는 0.1% 내지 0.5%인 발광 소자이다.

[0031] 상술한 발광 소자 중 어느 것에 있어서, 여기 착체의 여기 에너지는 인광성 화합물로 이동하여 인광성 화합물이 인광을 발하는 것이 바람직하다.

[0032] 상술한 발광 소자 중 어느 것에 있어서, 제 1 유기 화합물 및 제 2 유기 화합물 중 적어도 하나는 형광성 화합물인 것이 바람직하다.

[0033] 상술한 발광 소자 중 어느 것에 있어서, 인광성 화합물은 이리듐을 함유한 유기금속 착체인 것이 바람직하다.

[0034] 상술한 발광 소자 중 어느 것에 있어서, 여기 착체의 발광 스펙트럼의 피크에서 인광성 화합물의 몰 흡수 계수는 $5000\text{M}^{-1}\text{cm}^{-1}$ 이상인 것이 바람직하다.

[0035] 상술한 발광 소자 중 어느 것에 있어서, 제 1 유기 화합물은 정공 수송성보다 전자 수송성이 높고, 제 2 유기 화합물은 전자 수송성보다 정공 수송성이 높은 것이 바람직하다.

[0036] 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자는 발광 장치, 전자 기기, 및 조명 장치에 적용할 수 있다.

발명의 효과

[0037] 상술한 에너지 이동 과정에 있어서, 호스트 분자로부터 게스트 분자로의 에너지 이동의 효율(에너지 이동 효율 Φ_{ET})은 수학적 (3)으로 나타내어진다고 생각된다. 이 수학적식에 있어서, k_r 은 호스트 분자의 발광 과정(호스트 분자의 일중항 여기 상태로부터의 에너지 이동에서의 형광, 및 호스트 분자의 삼중항 여기 상태로부터의 에너지 이동에서의 인광)의 속도 상수를 나타내고, k_n 은 비발광 과정(열 실효(thermal deactivation) 또는 항간 교차(intersystem crossing))의 속도 상수를 나타내고, τ 는 호스트 분자의 여기 상태의 측정되는 수명을 나타낸다.

[0038] [수학적식 3]

$$\Phi_{ET} = \frac{k_{H^* \rightarrow G}}{k_r + k_n + k_{H^* \rightarrow G}} = \frac{k_{H^* \rightarrow G}}{\left(\frac{1}{\tau}\right) + k_{H^* \rightarrow G}} \dots (3)$$

[0039]

[0040] 우선, 수학적식 (3)으로부터, 다른 경합하는 속도 상수 $k_r + k_n (=1/\tau)$ 에 비하여 에너지 이동의 속도 상수 $k_{H^* \rightarrow G}$ 를 훨씬 높임으로써 에너지 이동 효율 Φ_{ET} 을 높일 수 있는 것을 알 수 있다. 그리고, 에너지 이동의 속도 상수 $k_{H^* \rightarrow G}$ 를 높이기 위해서는 수학적식 (1) 및 수학적식 (2)에 기초하여, 포스터 기구 및 텍스터 기구에 있어서, 호스트 분자의 발광 스펙트럼(일중항 여기 상태로부터의 에너지 이동에서의 형광 스펙트럼, 및 삼중항 여기 상태로부터의 에너지 이동에서의 인광 스펙트럼)이 게스트 분자의 흡수 스펙트럼과 크게 중첩되는 것이 바람직하다.

[0041] 또한, 호스트 분자의 발광 피크에서 게스트 분자의 흡수력이 높을수록, 호스트 분자로부터 게스트 분자로 에너

지가 더 쉽게 이동할 수 있는 것을 알 수 있다.

- [0042] 즉, 호스트 분자의 여기 상태의 에너지 준위와 게스트 분자의 여기 상태의 에너지 준위가 대략 같게 되도록 설정하고 게스트 분자의 여기 상태로의 전이 확률을 높임으로써, 에너지가 더 쉽게 이동한다.
- [0043] 그런데, 이 조건으로는, 종래와 같이 호스트로서 단일 재료를 사용하면, 여기된 게스트 분자의 에너지가 기저 상태의 호스트 분자로 쉽게 이동하기 때문에 결과적으로 발광 효율의 저하를 초래한다.
- [0044] 이 문제는 여기 착체를 사용하여 해결할 수 있다. 여기서, 여기 착체에 대하여 설명한다. 여기 착체(여기된 착체)는 여기 상태에서의 이중 분자들간의 상호 작용에 의하여 형성된다. 여기 착체는 비교적 깊은 LUMO(Lowest Unoccupied Molecular Orbital) 준위를 갖는 재료와 비교적 얕은 HOMO(Highest Occupied Molecular Orbital) 준위를 갖는 재료 사이에 형성되기 쉽다고 알려져 있다.
- [0045] 여기서, 본 발명의 일 형태에 사용되는 제 1 유기 화합물 및 제 2 유기 화합물의 HOMO 준위 및 LUMO 준위는 서로 상이하다. 구체적으로 에너지 준위는, 제 1 유기 화합물의 HOMO 준위 < 제 2 유기 화합물의 HOMO 준위 < 제 1 유기 화합물의 LUMO 준위 < 제 2 유기 화합물의 LUMO 준위의 순서로 높다.
- [0046] 하지만, 이 조건이 만족되어도 반드시 여기 착체가 형성되는 것은 아니하며, 예를 들어 비특히 문헌 1의 Alq₃과 NPB는 여기 착체를 형성하지 않는다. 또한, 여기 착체가 형성되지 않을 때는 이하의 효과를 얻지 못한다.
- [0047] 제 1 유기 화합물과 제 2 유기 화합물에 의하여 여기 착체가 형성될 때, 여기 착체의 LUMO 준위 제 1 유기 화합물에서, HOMO 준위는 제 2 유기 화합물에서 유래한다. 따라서, 여기 착체의 에너지 차는 제 1 유기 화합물의 에너지 차 및 제 2 유기 화합물의 에너지 차보다 작다. 즉, 여기 착체의 발광 파장은 제 1 유기 화합물 및 제 2 유기 화합물의 발광 파장보다 긴 파장 측으로 위치된다.
- [0048] 여기 착체의 형성 과정은 크게 분류하여 다음 2개의 과정이 생각된다. 제 1 과정은 일렉트로플렉스(electroplex)의 형성이다. 본 명세서에서는 "일렉트로플렉스"라는 용어는 기저 상태의 제 1 유기 화합물 및 기저 상태의 제 2 유기 화합물이 직접 여기 착체를 형성하는 것을 말한다. 구체적으로는, 제 1 유기 화합물의 음이온과 제 2 유기 화합물의 양이온이 인접한 경우에 양쪽이 여기 착체를 형성한다.
- [0049] 상술한 관계로부터, 제 1 유기 화합물이 전자 트랩성을 갖는 화합물이고 제 2 유기 화합물이 정공 트랩성을 갖는 화합물인 경우, 일렉트로플렉스는 제 1 유기 화합물의 음이온과 제 2 유기 화합물의 양이온으로부터 직접 형성된다.
- [0050] 형성된 일렉트로플렉스의 발광 스펙트럼은 제 1 유기 화합물 및 제 2 유기 화합물 각각의 발광 파장보다 긴 파장 측으로 위치된다.
- [0051] 일렉트로플렉스의 발광 스펙트럼과 인광성 화합물의 흡수 스펙트럼의 중첩은 제 1 유기 화합물(또는 제 2 유기 화합물)의 발광 스펙트럼과 인광성 화합물의 흡수 스펙트럼의 중첩보다 크다. 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자는 여기 착체의 발광 스펙트럼과 게스트로서 기능하는 인광성 화합물의 흡수 스펙트럼의 중첩을 이용하여 에너지를 이동시키기 때문에 에너지 이동 효율이 높다. 따라서, 본 발명의 일 형태에 따르면, 외부 양자 효율이 높은 발광 소자를 얻을 수 있다.
- [0052] 상술한 바와 같이, 일반적으로는, 전자 및 정공이 호스트 재료에서 재결합한 경우, 여기 에너지는 여기 상태의 호스트 분자로부터 게스트 분자로 이동함으로써, 게스트 분자가 여기 상태로 되어 발광한다.
- [0053] 이 때, 호스트 분자로부터 게스트 분자로 여기 에너지가 이동하기 전에, 호스트 분자 자체가 원하지 않는 파장으로 발광하거나, 여기 에너지가 열 에너지로 되면, 여기 에너지의 일부를 잃는다(실활). 특히, 호스트 분자가 일중항 여기 상태에 있는 경우에는, 삼중항 여기 상태에 있는 경우보다 여기 수명이 짧아, 일중항 여기자의 실활이 일어나기 쉬워진다. 여기자의 실활은 발광 소자의 수명의 저하의 요인의 하나이다.
- [0054] 그런데, 본 발명의 일 형태에 따르면, 일렉트로플렉스는 캐리어(양이온 또는 음이온)를 갖는 제 1 유기 화합물 및 제 2 유기 화합물로부터 형성되기 때문에, 여기 수명이 짧은 일중항 여기자의 형성을 억제할 수 있다. 즉, 일중항 여기자를 형성하지 않고 여기 착체를 직접 형성하는 과정이 있을 수 있다. 이로써, 상기 일중항 여기자의 실활을 억제할 수 있다. 따라서, 수명이 긴 발광 소자를 얻을 수 있다.
- [0055] 이와 같이, 호스트의 일중항 여기 상태의 발생을 억제하고, 일렉트로플렉스로부터 게스트 분자로 에너지를 이동함으로써 발광 효율이 높은 발광 소자를 얻는 것은 새로운 개념이다.

- [0056] 다른 과정으로는, 호스트로서 기능하는 제 1 유기 화합물 및 제 2 유기 화합물 중 하나가 일중항 여기자를 형성한 후, 기저 상태의 다른 하나와 상호 작용하여 여기 착체를 형성하는 소과정이 생각될 수 있다. 일렉트로플렉스와 달리, 호스트의 일중항 여기자가 이 경우에 일시적으로 생성되지만, 이는 여기 착체로 신속하게 전환되어 일중항 여기자의 실활을 억제할 수 있다.
- [0057] 하기의 실험 결과도, 호스트의 일중항 여기자가 여기 착체로 신속하게 전환되는 것을 나타낸다. 그러므로, 호스트의 실활을 억제할 수 있다. 따라서, 본 발명의 일 형태에 따르면, 수명이 긴 발광 소자를 얻을 수 있다.
- [0058] 이 경우도, 형성된 여기 착체의 발광 스펙트럼은 제 1 유기 화합물 및 제 2 유기 화합물의 각각의 발광 파장보다 긴 파장 측으로 위치된다.
- [0059] 여기 착체의 발광 스펙트럼과 인광성 화합물의 흡수 스펙트럼의 중첩은 제 1 유기 화합물(또는 제 2 유기 화합물)의 발광 스펙트럼과 인광성 화합물의 흡수 스펙트럼의 중첩보다 크다. 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자는 여기 착체의 발광 스펙트럼과 인광성 화합물의 흡수 스펙트럼의 중첩을 이용하여 에너지를 이동시키기 때문에 에너지 이동 효율이 높다. 따라서, 본 발명의 일 형태에 따르면, 외부 양자 효율이 높은 발광 소자를 제공할 수 있다.
- [0060] 또한, 상술한 관계에 따르면, 제 1 유기 화합물은 전자 트랩성을 갖는 화합물인 한편 제 2 유기 화합물은 정공 트랩성을 갖는 화합물이다. 이들 화합물의 HOMO 준위와 LUMO 준위의 차가 큰 경우(구체적으로는 0.3eV 이상)에는, 전자는 우선적으로 제 1 유기 화합물에 들어가고 정공은 우선적으로 제 2 유기 화합물에 들어간다. 이 경우, 일중항 여기자를 거쳐 여기 착체가 형성되는 과정보다 일렉트로플렉스가 형성되는 과정이 우선적이라고 생각된다.
- [0061] 또한, 여기 착체는 그 여기 상태에서만 에너지 준위를 갖는다는 개념이 있다. 따라서, 여기 착체를 형성하는 분자는 기저 상태에서 독립된 2개 이상의 분자이고, 이들 분자는 기저 상태에서 어느 여기 착체도 형성하지 않는다.
- [0062] 예를 들어, 여기 상태의 여기 착체로부터 기저 상태의 게스트 분자로 에너지가 이동하여 게스트 분자가 여기 상태가 될 때, 이 게스트 분자가 다른 분자를 여기시키고자 하는 경우에, 여기될 분자는 본 발명의 일 형태에서는 제 1 유기 화합물 또는 제 2 유기 화합물만이다. 여기 상태의 게스트 분자가 제 1 유기 화합물 또는 제 2 유기 화합물을 여기시키고자 하는 경우, 여기 상태의 게스트 분자의 에너지가 충분하지 않기 때문에 여기가 일어날 수 없다.
- [0063] 즉, 게스트 분자의 여기 상태의 에너지가 여기 착체로 반대 이동하는 것으로 인한 발광(즉, 발광 효율의 손실)전의 게스트 분자의 실활 현상은 원리적으로 일어나지 않는다고 생각된다. 이것도 발광 효율의 향상에 기여한다.
- [0064] 상술한 바와 같이, 본 발명의 일 형태에 따르면, 에너지가 이동하는 분자간의 여기 상태와 기저 상태의 에너지차는 대략 같은 것이 바람직하다. 즉, 여기 착체의 여기 에너지 준위와 게스트의 여기 에너지 준위는 대략 같다. 한편, 여기 착체를 형성하는 제 1 유기 화합물 및 제 2 유기 화합물의 여기 에너지 준위는 여기 착체의 여기 에너지 준위보다 높다.
- [0065] 즉, 여기 상태의 게스트 분자가 제 1 유기 화합물 또는 제 2 유기 화합물을 여기시키고자 할 때, 에너지가 충분하지 않기 때문에 게스트 분자로부터 다른 분자로 에너지가 이동하는 확률은 매우 낮다. 따라서, 본 발명의 일 형태에 따르면 발광 효율이 높아진다. 또한, 열 실활을 억제할 수 있어, 발광 소자는 수명이 길고, 열화가 적고, 높은 신뢰성을 가질 수 있다.
- [0066] 또한, 상술한 바와 같이, 제 1 유기 화합물 또는 제 2 유기 화합물의 일중항 여기자로부터 여기 착체가 형성되는 경우가 있다. 즉, 가능한 여기 착체 형성의 소과정은 제 1 유기 화합물 및 제 2 유기 화합물 중 한쪽이 일중항 여기자를 형성한 후, 기저 상태의 다른 쪽과 상호 작용하는 것이다. 이 과정은 매우 신속하게 수행된다고 생각된다.
- [0067] 일중항 여기자는 여기 수명이 짧다(τ 가 작음). 따라서, 여기 에너지가 호스트의 일중항 여기자로부터 게스트 재료로 이동하기 전에 (원하지 않는 파장에서의 발광 또는 열 실활을 통하여) 여기 에너지의 일부를 잃는다는 문제가 있다(수학식 (3)에서 Φ_{ET} 는 작아지는 경향이 있다).
- [0068] 하지만, 본 발명의 일 형태에 따르면, 호스트의 일중항 여기자가 신속하게 여기 착체를 형성하기 때문에 여기

에너지의 실활을 억제할 수 있다. 또한, 여기 착체는 여기 수명이 비교적 길고, 이것은 에너지 이동 효율 Φ_{ET} 를 높게 한다고 생각된다. 따라서, 소자의 효율뿐 아니라 그 수명에도 영향을 미칠 수 있는 호스트의 일중항 여기자의 실활을 억제할 수 있어서 수명이 긴 발광 소자를 실현할 수 있다.

- [0069] 또한, 여기 착체의 여기 에너지는 인광성 화합물로 충분히 이동하여, 여기 착체로부터의 발광은 소자로부터 실질적으로 관찰되지 않는 것이 바람직하다. 따라서, 호스트의 여기 착체를 통하여 인광성 화합물로 에너지를 이동시켜 인광성 화합물이 인광을 발하는 것이 바람직하다.
- [0070] 상술한 에너지 이동의 개념에 따르면, 제 1 유기 화합물 및 제 2 유기 화합물 중 적어도 하나가 형광성 화합물(즉, 일중항 여기 상태에서부터 발광이나 열 실활이 일어나기 쉬운 화합물)인 경우는 효과적이다. 따라서, 제 1 유기 화합물 및 제 2 유기 화합물 중 적어도 하나는 형광성 화합물인 것이 바람직하다.
- [0071] 호스트 재료로서 기능하는 유기 화합물(제 1 유기 화합물 및/또는 제 2 유기 화합물)로서 인광성 화합물을 사용하는 경우, 이 유기 화합물 자체가 발광되기 쉬워지고 게스트 재료로 에너지를 이동시키기 어려워진다. 이 경우, 유기 화합물은 효과적으로 발광하면 좋지만, 호스트로서 기능하는 유기 화합물은 농도 소광의 문제를 일으키기 때문에 높은 발광 효율을 달성하기 어렵다. 이 이유로부터, 이 유기 화합물은 형광성 화합물이고 상술한 구성에 의하여 에너지 이동이 달성되는 것이 바람직하다.
- [0072] 또한, 제 1 유기 화합물 및 제 2 유기 화합물로부터 여기 착체가 형성될 때 상술한 효과를 얻을 수 있다. 예를 들어, 비특히 문헌 1에 개시된 방법으로는 여기 착체가 형성되지 않기 때문에, 직접 재결합 과정을 통하여 게스트 분자가 여기될 수 있어서 발광 효율은 충분히 높지 않다.
- [0073] 또한 일반적으로, 발광 소자의 발광층으로의 여기 착체의 사용은 발광색을 제어할 수 있는 등의 유용성을 갖지만, 발광 효율의 상당한 감소를 일으키는 경우가 많다. 따라서, 여기 착체의 사용은 고효율의 발광 소자를 얻는 데 적절하지 않은 것으로 고려되어 왔다.
- [0074] 하지만, 본 발명자들은 인광성 화합물로의 에너지 이동을 위한 매체로서 여기 착체를 사용하는 것은, 본 발명의 일 형태에서 기재한 바와 같이, 반대로 발광 효율을 최대화할 수 있다는 것을 발견하였다. 이 기술적 개념은 종래의 고정 개념과는 대립된다.
- [0075] 또한, 본 발명의 일 형태에 따르면, 여기 착체의 여기 에너지 준위 및 여기 상태의 게스트의 에너지 준위를 대략 같게 되도록 설정하고, 게스트의 여기 상태로의 전이 확률을 높임으로써, 에너지 이동 과정의 확률이 높아진다. 그 결과, 게스트 농도가 0.1% 내지 2.5%, 바람직하게는 0.1% 내지 1.5%, 더 바람직하게는 0.1% 내지 0.5%인 경우라도 충분한 에너지 이동을 실현할 수 있다. 이러한 농도에 의하여 농도 소광이 억제될 수 있음으로써, 발광 효율이 최대화될 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0076] 도면에 있어서,
- 도 1의 (A) 내지 (C)는 각각 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자를 도시한 것이고,
- 도 2의 (A) 및 (B)는 각각 실시예 1에서의 흡수 스펙트럼 및 발광 스펙트럼을 나타낸 것이고,
- 도 3의 (A) 및 (B)는 각각 실시예 2에서의 흡수 스펙트럼 및 발광 스펙트럼을 나타낸 것이고,
- 도 4는 실시예 3에서의 발광 소자의 휘도와 전류 밀도의 관계를 나타낸 것이고,
- 도 5는 실시예 3에서의 발광 소자의 휘도와 전압의 관계를 나타낸 것이고,
- 도 6은 실시예 3에서의 발광 소자의 전류와 전압의 관계를 나타낸 것이고,
- 도 7은 실시예 3에서의 발광 소자의 색도와 휘도의 관계를 나타낸 것이고,
- 도 8은 실시예 3에서의 발광 소자의 전류 효율과 휘도의 관계를 나타낸 것이고,
- 도 9는 실시예 3에서의 발광 소자의 파워 효율과 휘도의 관계를 나타낸 것이고,
- 도 10은 실시예 3에서의 발광 소자의 양자 효율과 휘도의 관계를 나타낸 것이고,
- 도 11은 실시예 3에서의 발광 소자의 발광 스펙트럼을 나타낸 것이고,

도 12는 실시예 4에서의 발광 소자의 휘도와 전류 밀도의 관계를 나타낸 것이고,
 도 13은 실시예 4에서의 발광 소자의 휘도와 전압의 관계를 나타낸 것이고,
 도 14는 실시예 4에서의 발광 소자의 전류와 전압의 관계를 나타낸 것이고,
 도 15는 실시예 4에서의 발광 소자의 색도와 휘도의 관계를 나타낸 것이고,
 도 16은 실시예 4에서의 발광 소자의 전류 효율과 휘도의 관계를 나타낸 것이고,
 도 17은 실시예 4에서의 발광 소자의 파워 효율과 휘도의 관계를 나타낸 것이고,
 도 18은 실시예 4에서의 발광 소자의 외부 양자 효율과 휘도의 관계를 나타낸 것이고,
 도 19는 실시예 4에서의 발광 소자의 발광 스펙트럼을 나타낸 것이고,
 도 20은 실시예 5에서의 발광 소자의 휘도와 전류 밀도의 관계를 나타낸 것이고,
 도 21은 실시예 5에서의 발광 소자의 휘도와 전압의 관계를 나타낸 것이고,
 도 22는 실시예 5에서의 발광 소자의 전류와 전압의 관계를 나타낸 것이고,
 도 23은 실시예 5에서의 발광 소자의 색도와 휘도의 관계를 나타낸 것이고,
 도 24는 실시예 5에서의 발광 소자의 전류 효율과 휘도의 관계를 나타낸 것이고,
 도 25는 실시예 5에서의 발광 소자의 파워 효율과 휘도의 관계를 나타낸 것이고,
 도 26은 실시예 5에서의 발광 소자의 외부 양자 효율과 휘도의 관계를 나타낸 것이고,
 도 27은 실시예 5에서의 발광 소자의 외부 에너지 효율과 휘도의 관계를 나타낸 것이고,
 도 28은 실시예 5에서의 발광 소자의 발광 스펙트럼을 나타낸 것이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0077] 이하에서 실시형태에 대하여 도면을 참조하여 자세히 설명한다. 다만, 본 발명의 이하의 설명에 한정되지 않고, 본 발명의 취지 및 범위에서 벗어남이 없이 다양하게 변경할 수 있는 것은 당업자에 의하여 용이하게 이해될 수 있다. 따라서, 본 발명은 이하의 실시형태의 설명에 한정되어 해석되면 안된다. 또한, 이하에서 설명하는 본 발명의 구성에 있어서, 동일 부분 또는 유사한 기능을 갖는 부분을 다른 도면간에서 같은 부호에 의하여 나타내고, 이러한 부분의 설명은 반복하지 않는다.
- [0078] (실시형태 1)
- [0079] 본 실시형태에서는 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자에 대하여 설명한다. 본 실시형태의 발광 소자는 발광 물질로서 게스트와, 게스트가 분산되는 호스트를 포함하는 발광층을 포함한다. 구체적으로는, 인광성 화합물을 게스트로서 사용하고 제 1 유기 화합물과 제 2 유기 화합물을 호스트로서 사용한다. 또한, 제 1 유기 화합물 및 제 2 유기 화합물의 조합은 여기 착체를 형성한다.
- [0080] 본 실시형태에서, 호스트로서 사용한 각 유기 화합물의 삼중항 여기 에너지의 준위(T^* 준위)는 게스트의 삼중항 여기 에너지의 준위보다 높은 것이 바람직하다. 이 이유는, 호스트의 T^* 준위가 게스트의 T^* 준위보다 낮으면, 발광에 기여하는 게스트의 삼중항 여기 에너지가 호스트에 의하여 소광(퀵칭)되어, 발광 효율이 저하되기 때문이다.
- [0081] 상술한 바와 같이, 게스트의 T^* 준위가 여기 착체의 T^* 준위와 대략 같은 경우, 게스트의 T^* 준위는 제 1 유기 화합물(또는 제 2 유기 화합물)의 T^* 준위보다 낮다. 그래서, 많은 경우에 이 문제는 극복할 수 있다.
- [0082] 호스트로서 기능하는 제 1 유기 화합물 및 제 2 유기 화합물은 여기 착체를 형성한다. 형성된 여기 착체가 발광할 때, 그 발광 파장은 제 1 유기 화합물과 제 2 유기 화합물 각각의 발광 파장(형광 파장)보다 긴 파장 측으로 위치된다. 바꿔 말하면, 여기 착체의 형성에 의하여, 제 1 유기 화합물의 형광 스펙트럼과 제 2 유기 화합물의 형광 스펙트럼은 더 긴 파장 측으로 위치되는 발광 스펙트럼으로 변환될 수 있다.
- [0083] 따라서, 제 1 유기 화합물(또는 제 2 유기 화합물)의 형광 스펙트럼이 인광성 화합물의 가장 긴 파장 측으로 위

치되는 흡수 밴드보다 짧은 파장 측으로 위치되고 흡수 밴드와 중첩되지 않는 경우라도, 여기 착체를 형성함으로써, 흡수 밴드와의 큰 중첩을 갖도록 형광 스펙트럼을 긴 파장의 발광 스펙트럼으로 변환할 수 있다.

- [0084] 본 실시형태의 발광 소자는 여기 착체의 발광 스펙트럼과 인광성 화합물의 흡수 스펙트럼의 중첩을 사용하여 여기 착체로부터 인광성 화합물로 에너지를 이동하기 때문에, 게스트 농도가 0.1% 내지 2.5%, 바람직하게는 0.1% 내지 1.5%, 더 바람직하게는 0.1% 내지 0.5%인 경우라도 충분한 에너지 이동 효율을 제공할 수 있다.
- [0085] 여기 착체의 발광 스펙트럼과 게스트 재료의 흡수 스펙트럼을 충분히 중첩시키기 위해서는, 발광 스펙트럼의 피크의 에너지와 흡수 스펙트럼의 가장 낮은 에너지 측의 흡수 밴드의 피크의 에너지의 차가 0.3eV 이하인 것이 바람직하다. 이 차가 0.2eV 이하인 것이 더 바람직하고, 0.1eV 이하인 것이 더욱 바람직하다.
- [0086] 본 실시형태의 발광 소자에 대하여 도 1의 (A) 내지 (C)를 참조하여 설명한다.
- [0087] 도 1의 (A)는 제 1 전극(101)과 제 2 전극(103) 사이에 EL층(102)을 갖는 발광 소자를 도시한 것이다. 도 1의 (A)의 발광 소자는, 제 1 전극(101) 위에 순차적으로 적층된 정공 주입층(111), 정공 수송층(112), 발광층(113), 전자 수송층(114), 전자 주입층(115), 및 전자 주입층(115) 위에 제공된 제 2 전극(103)을 포함한다.
- [0088] 제 1 전극(101)으로서는 일함수가 큰(구체적으로는 4.0eV 이상의 일함수) 금속, 합금, 전기 전도성 화합물, 및 이들의 혼합물 등을 사용하는 것이 바람직하다. 구체적인 예로서는, 산화 인듐-산화 주석(ITO: indium tin oxide), 실리콘 또는 산화 실리콘을 함유한 산화 인듐-산화 주석, 산화 인듐-산화 아연(인듐 아연 옥사이드), 산화 텅스텐과 산화 아연을 함유한 산화 인듐(IWZO) 등을 들 수 있다.
- [0089] 이러한 도전성 금속 산화물막은 보통 스퍼터링법에 의하여 형성하지만, 졸-겔(sol-gel)법 등에 의하여 형성하여도 좋다. 예를 들어, 산화 인듐-산화 아연의 막은 산화 인듐에 1wt% 내지 20wt%의 산화 아연이 첨가된 타깃을 사용하여 스퍼터링법으로 형성할 수 있다. IWZO막은 산화 인듐에 0.5wt% 내지 5wt%의 산화 텅스텐과 0.1wt% 내지 1wt%의 산화 아연이 첨가된 타깃을 사용하여 스퍼터링법으로 형성할 수 있다.
- [0090] 다른 예로서는 그래핀, 금, 백금, 니켈, 텅스텐, 크롬, 몰리브덴, 철, 코발트, 구리, 팔라듐, 및 금속 재료의 질화물(예를 들어 질화 티타늄) 등을 들 수 있다.
- [0091] 또한, EL층(102)에 있어서, 제 1 전극(101)에 접하여 형성되는 층은, 후술하는 유기 화합물과 전자 수용체(억셉터)가 혼합된 복합 재료를 사용하여 형성하는 경우에는, 일함수에 관계없이, 다양한 금속, 합금, 전기 전도성 화합물, 및 이들의 혼합물 등 중 어느 것을 사용하여 제 1 전극(101)을 형성할 수 있다. 예를 들어, 알루미늄(Al), 은(Ag), 또는 알루미늄을 함유한 합금(예를 들어, Al-Si) 등을 사용할 수 있다.
- [0092] 제 1 전극(101)은 예를 들어 스퍼터링법 또는 증착법(진공 증착법을 포함함) 등으로 형성할 수 있다.
- [0093] 제 2 전극(103)으로서는, 일함수가 작은(구체적으로는 3.8eV 이하의 일함수) 금속, 합금, 전기 전도성 화합물, 및 이들의 혼합물 등 중 어느 것이 사용되는 것이 바람직하다. 그 구체적인 예로서는, 주기율표의 제 1 족 및 제 2 족에 속하는 원소, 즉 리튬 및 세슘 등의 알칼리 금속, 칼슘 및 스트론튬 등의 알칼리 토금속, 마그네슘, 이들의 합금(예를 들면, Mg-Ag, Al-Li), 유로퓸 및 이테르븀 등의 희토류 금속, 이들의 합금, 알루미늄, 및 은 등을 들 수 있다.
- [0094] EL층(102)에 포함되고 제 2 전극(103)에 접하는 층이 후술하는 유기 화합물과 전자 공여체(도너)를 포함한 복합 재료를 사용하여 형성되는 경우, 일함수에 관계없이, Al, Ag, ITO, 실리콘 또는 산화 실리콘을 함유한 산화 인듐-산화 주석 등 다양한 도전성 재료의 어느 것을 사용할 수 있다.
- [0095] 또한, 제 2 전극(103)은 진공 증착법 또는 스퍼터링법으로 형성할 수 있다. 또는, 은 페이스트 등을 사용할 경우에는, 도포법 또는 잉크젯법 등을 사용할 수 있다.
- [0096] EL층(102)은 적어도 발광층(113)을 포함한다. EL층(102)의 일부에는 공지의 물질을 사용할 수 있고, 저분자 화합물 및 고분자 화합물 중 하나를 사용할 수 있다. 또한, EL층(102)을 형성하는 물질은 유기 화합물만으로 이루어질 수 있고, 또는 일부에 무기 화합물을 포함할 수도 있다.
- [0097] 또한, 도 1의 (A)에 도시된 바와 같이, EL층(102)은, 발광층(113)에 더하여, 정공 수송성이 높은 물질을 함유한 정공 주입층(111), 정공 수송성이 높은 물질을 함유한 정공 수송층(112), 전자 수송성이 높은 물질을 함유한 전자 수송층(114), 전자 주입성이 높은 물질을 함유한 전자 주입층(115) 등을 적절히 적층함으로써 형성된다.
- [0098] 정공 주입층(111)은 정공 주입성이 높은 물질을 함유한 층이다. 정공 주입성이 높은 물질로서는, 산화 몰리브

텐, 산화 티타늄, 산화 바나듐, 산화 레늄, 산화 루테튬, 산화 크롬, 산화 지르코늄, 산화 프늄, 산화 탄탈, 산화 은, 산화 텅스텐, 산화 망간 등의 금속 산화물을 사용할 수 있다. 프탈로사이아닌(약칭: H₂Pc) 또는 구리(II)프탈로사이아닌(약칭: CuPc) 등의 프탈로사이아닌계 화합물을 사용할 수도 있다.

[0099] 또는, 저분자의 유기 화합물인 4,4',4''-트리스(N,N-다이페닐아미노)트라이페닐아민(약칭: TDATA), 4,4',4''-트리스[N-(3-메틸페닐)-N-페닐아미노]트라이페닐아민(약칭: MTDATA), 4,4'-비스[N-(4-다이페닐아미노페닐)-N-페닐아미노]바이페닐(약칭: DPAB), 4,4'-비스[N-{4-[N'-(3-메틸페닐)-N'-페닐아미노]페닐}-N-페닐아미노]바이페닐(약칭: DNTPD), 1,3,5-트리스[N-(4-다이페닐아미노페닐)-N-페닐아미노]벤젠(약칭: DPA3B), 3-[N-(9-페닐카바졸-3-일)-N-페닐아미노]-9-페닐카바졸(약칭: PCzPCA1), 3,6-비스[N-(9-페닐카바졸-3-일)-N-페닐아미노]-9-페닐카바졸(약칭: PCzPCA2), 3-[N-(1-나프틸)-N-(9-페닐카바졸-3-일)아미노]-9-페닐카바졸(약칭: PCzPCN1) 등의 방향족 아민 화합물을 사용할 수 있다.

[0100] 또는, 고분자 화합물(예를 들어 올리고머, 덴드리머, 또는 폴리머)을 사용할 수 있다. 예를 들어, 폴리(N-비닐카바졸)(약칭: PVK), 폴리(4-비닐트라이페닐아민)(약칭: PVTPA), 폴리[N-(4-{N'-(4-(4-다이페닐아미노)페닐)페닐-N'-페닐아미노}페닐)메타크릴아마이드](약칭: PTPDMA), 폴리[N,N'-비스(4-부틸페닐)-N,N'-비스(페닐)벤지딘](약칭: Poly-TPD) 등의 고분자 화합물을 사용할 수 있다. 폴리(3,4-에틸렌다이옥시티오펜)/폴리(스타이렌설폰산)(PEDOT/PSS), 폴리아닐린/폴리(스타이렌설폰산)(PANI/PSS) 등의 산이 첨가된 고분자 화합물을 사용할 수도 있다.

[0101] 정공 주입층(111)에는 유기 화합물과 전자 수용체(억셉터)를 혼합한 복합 재료를 사용하여도 좋다. 이러한 복합 재료는, 전자 수용체에 의하여 유기 화합물에 정공이 발생하기 때문에, 정공 주입성 및 정공 수송성이 우수하다. 이 경우, 유기 화합물은, 발생한 정공의 수송이 우수한 재료(정공 수송성이 높은 물질)인 것이 바람직하다.

[0102] 복합 재료에 사용되는 유기 화합물로서, 방향족 아민 화합물, 카바졸 유도체, 방향족 탄화수소, 고분자 화합물(올리고머, 덴드리머, 또는 폴리머 등)과 같은 다양한 화합물을 사용할 수 있다. 복합 재료에 사용하는 유기 화합물은 정공 수송성이 높은 유기 화합물인 것이 바람직하다. 구체적으로는, 10⁻⁶ cm²/Vs 이상의 정공 이동도를 갖는 물질을 사용하는 것이 바람직하다. 다만, 전자 수송성보다 정공 수송성이 높은 물질이면 상술한 물질 이외의 물질을 사용하여도 좋다. 이하에서는, 복합 재료에 사용할 수 있는 유기 화합물을 구체적으로 열거한다.

[0103] 복합 재료에 사용할 수 있는 유기 화합물의 예로서는 TDATA, MTDATA, DPAB, DNTPD, DPA3B, PCzPCA1, PCzPCA2, PCzPCN1, 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-페닐-4'-(9-페닐플루오렌-9-일)트라이페닐아민(약칭: BPAFLP) 등의 방향족 아민 화합물이나, 4,4'-다이(N-카바졸일)바이페닐(약칭: CBP), 1,3,5-트리스[4-(N-카바졸일)페닐]벤젠(약칭: TCPB), 9-[4-(N-카바졸일)페닐]-10-페닐안트라센(약칭: CzPA), 9-페닐-3-[4-(10-페닐-9-안트릴)페닐]-9H-카바졸(약칭: PCzPA), 1,4-비스[4-(N-카바졸일)페닐]-2,3,5,6-테트라페닐벤젠 등의 카바졸 유도체를 들 수 있다.

[0104] 또한, 2-tert-부틸-9,10-다이(2-나프틸)안트라센(약칭: t-BuDNA), 2-tert-부틸-9,10-다이(1-나프틸)안트라센, 9,10-비스(3,5-다이페닐페닐)안트라센(약칭: DPPA), 2-tert-부틸-9,10-비스(4-페닐페닐)안트라센(약칭: t-BuDBA), 9,10-다이(2-나프틸)안트라센(약칭: DNA), 9,10-다이페닐안트라센(약칭: DPAnth), 2-tert-부틸안트라센(약칭: t-BuAnth), 9,10-비스(4-메틸-1-나프틸)안트라센(약칭: DMNA), 9,10-비스[2-(1-나프틸)페닐]-2-tert-부틸안트라센, 9,10-비스[2-(1-나프틸)페닐]안트라센, 2,3,6,7-테트라메틸-9,10-다이(1-나프틸)안트라센 등의 방향족 탄화수소 화합물을 사용할 수 있다.

[0105] 또는, 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, 2,5,8,11-테트라(tert-부틸)페릴렌, 펜타센, 코로넨, 4,4'-비스(2,2-다이페닐비닐)바이페닐(약칭: DPVBi), 9,10-비스[4-(2,2-다이페닐비닐)페닐]안트라센(약칭: DPVPA) 등의 방향족 탄화수소 화합물을 사용할 수 있다.

[0106] 또한, 전자 수용체로서는 7,7,8,8-테트라시아노-2,3,5,6-테트라플루오르퀴노다이메탄(약칭: F₄-TCNQ), 클로라닐 등의 유기 화합물, 및 전이 금속 산화물을 들 수 있다. 또한, 주기율표의 제 4 족 내지 제 8 족에 속하는 금속의 산화물을 들 수도 있다. 구체적으로는, 산화 바나듐, 산화 니오브, 산화 탄탈, 산화 크롬, 산화 몰리브덴, 산화 텅스텐, 산화 망간, 및 산화 레늄은 전자 수용성이 높기 때문에 바람직하다. 그 중에서도, 특히 산화 몰

리브텐은 대기 중에서도 안정적이고 흡습성이 낮으며 취급하기 쉽기 때문에 바람직하다.

[0107] 또한, 상술한 PVK, PVTPA, PTPDMA, Poly-TPD 등의 고분자 화합물과, 상술한 전자 수용체의 복합 재료를 사용하여 정공 주입층(111)을 형성하여도 좋다.

[0108] 정공 수송층(112)은 정공 수송성이 높은 물질을 함유한 층이다. 정공 수송성이 높은 물질의 예로서는 NPB, TPD, BPAFLP, 4,4'-비스[N-(9,9-다이메틸플루오렌-2-일)-N-페닐아미노]바이페닐(약칭: DFLDPBi), 4,4'-비스[N-(스피로-9,9'-바이플루오렌-2-일)-N-페닐아미노]바이페닐(약칭: BSPB) 등의 방향족 아민 화합물을 들 수 있다. 여기서 기술한 물질은 주로 $10^{-6} \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 이상의 정공 이동도를 갖는 물질이다. 다만, 전자 수송성보다 정공의 수송성이 높은 물질이면 상술한 재료 이외의 물질을 사용하여도 좋다. 정공 수송성이 높은 물질을 함유한 층은 단층에 한정되지 않고 상술한 물질들을 함유한 2층 이상의 층이 적층되어도 좋다.

[0109] 정공 수송층(112)에는 CBP, CzPA, 또는 PCzPA 등의 카바졸 유도체나 t-BuDNA, DNA, 또는 DPAnth 등의 안트라센 유도체를 사용하여도 좋다.

[0110] 또는, 정공 수송층(112)에는, PVK, PVTPA, PTPDMA, 또는 Poly-TPD 등의 고분자 화합물을 사용할 수 있다.

[0111] 발광층(113)은 발광 물질을 포함한 층이다. 본 실시형태의 발광층(113)은 게스트로서 인광성 화합물, 호스트로서 제 1 유기 화합물 및 제 2 유기 화합물을 포함한다. 2가지 이상의 호스트를 사용할 수 있다. 게스트의 중량비는, 호스트의 합계 중량(호스트로서 제 1 유기 화합물 및 제 2 유기 화합물이 사용될 때는 그들의 합계 중량)의 0.1% 내지 2.5%, 바람직하게는 0.1% 내지 1.5%, 더 바람직하게는 0.1% 내지 0.5%이다.

[0112] 인광성 화합물로서는, 유기금속 착체가 바람직하며, 특히 이리듐 착체가 바람직하다. 상술한 포스터 기구에 의한 에너지 이동을 고려하면, 가장 긴 파장 측에 위치되는 인광성 화합물의 흡수 밴드의 물 흡수 계수는 $2000 \text{ M}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ 이상이 바람직하며, $5000 \text{ M}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ 이상이 더 바람직하다.

[0113] 이와 같이 물 흡수 계수가 높은 화합물의 예로서는, 비스(3,5-다이메틸-2-페닐피라지나토)(다이피발로일메타나토)이리듐(III)(약칭: $[\text{Ir}(\text{mppr-Me})_2(\text{dpm})]$), (아세틸아세토나토)비스(4,6-다이페닐피리미디나토)이리듐(III)(약칭: $[\text{Ir}(\text{dppm})_2(\text{acac})]$), (아세틸아세토나토)비스[4-(2-노르보르닐)-6-페닐피리미디나토]이리듐(III)(약칭: $[\text{Ir}(\text{nbppm})_2(\text{acac})]$), (2,6-다이메틸-3,5-헵탄디오나토- $\kappa^2 \text{O}, \text{O}'$)비스[4-메틸-2-(3-메틸-4-피리미디닐- κN3)페닐- κC]이리듐(III)(약칭: $[\text{Ir}(\text{5mdppm})_2(\text{dibm})]$), (아세틸아세토나토)비스(2-페닐다이벤조[f,h]퀴녹살리나토)이리듐(III)(약칭: $[\text{Ir}(\text{dbq-P})_2(\text{acac})]$) 등을 들 수 있다. 특히, $[\text{Ir}(\text{dppm})_2(\text{acac})]$ 과 같이, $5000 \text{ M}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ 이상의 물 흡수 계수를 갖는 재료를 사용하면, 30% 정도의 외부 양자 효율을 실현할 수 있는 발광 소자를 얻을 수 있다.

[0114] 제 1 유기 화합물과 제 2 유기 화합물의 조합의 예로서는, 2-[3-(다이벤조티오펜-4-일)페닐]다이벤조[f,h]퀴녹살린(약칭: 2mDBTPDBq-II), 2-[4-(3,6-다이페닐-9H-카바졸-9-일)페닐]다이벤조[f,h]퀴녹살린(약칭: 2CzPDBq-III), 7-[3-(다이벤조티오펜-4-일)페닐]다이벤조[f,h]퀴녹살린(약칭: 7mDBTPDBq-II), 6-[3-(다이벤조티오펜-4-일)페닐]다이벤조[f,h]퀴녹살린(약칭: 6mDBTPDBq-II)과 같은 전자를 수용하기 쉬운 화합물 중 적어도 하나와, 4,4'-비스[N-(1-나프틸)-N-페닐아미노]바이페닐(약칭: NPB 또는 α -NPD), 4-페닐-4'-(9-페닐-9H-카바졸-3-일)트라이페닐아민(약칭: PCBA1BP), 4,4'-다이(1-나프틸)-4''-(9-페닐-9H-카바졸-3-일)트라이페닐아민(약칭: PCBNBB)과 같은 정공을 수용하기 쉬운 화합물 중 적어도 하나의 조합이 바람직하다. 다만, 그 조합이 여기 착체를 형성할 수 있으면, 본 발명은 이들 화합물에 한정되지 않는다.

[0115] 표 1은 2mDBTPDBq-II, PCBNBB, 및 이들을 사용할 때에 적합한 인광성 화합물인 $[\text{Ir}(\text{dppm})_2(\text{acac})]$ 및 $[\text{Ir}(\text{mppr-Me})_2(\text{dpm})]$ 의 주된 물리적 특성을 나타낸 것이다.

표 1

물질	LUMO 준위	HOMO 준위	T* 준위
2mDBTPDBq-II	-2.78eV	-5.88eV	2.54eV
PCBNBB	-2.31eV	-5.46eV	2.40eV
$[\text{Ir}(\text{dppm})_2(\text{acac})]$	-2.98eV	-5.56eV	2.22eV

$[\text{Ir}(\text{mppr-Me})_2(\text{dpm})]$	-2.77eV	-5.50eV	2.26eV
---	---------	---------	--------

- [0117] 2mDBTPDBq-II와 PCBNBB가 혼합된 발광층(113)에서는, LUMO 준위는 -2.78eV이고 HOMO 준위는 -5.46eV이다. 이들 준위는 2mDBTPDBq-II와 PCBNBB의 여기 착체의 LUMO 준위 및 HOMO 준위와 동일하다. 또한, 인광성 화합물인 $[\text{Ir}(\text{mppr-Me})_2(\text{dpm})]$ 의 LUMO 준위 및 HOMO 준위도 실질적으로 동일한 준위이다.
- [0118] 한편, $[\text{Ir}(\text{dppm})_2(\text{acac})]$ 의 LUMO 준위 및 HOMO 준위는 양쪽 모두가 상술한 것보다 낮기 때문에, $[\text{Ir}(\text{dppm})_2(\text{acac})]$ 는 전자를 트랩하기 쉬운 것으로 알 수 있다. 이는 $[\text{Ir}(\text{dppm})_2(\text{acac})]$ 를 게스트로서 사용한 경우에는, $[\text{Ir}(\text{mppr-Me})_2(\text{dpm})]$ 을 사용한 경우보다 직접 재결합 과정의 확률이 높다는 것을 시사한다.
- [0119] 또한, 삼중항 여기 상태의 $[\text{Ir}(\text{mppr-Me})_2(\text{dpm})]$ 및 $[\text{Ir}(\text{dppm})_2(\text{acac})]$ 각각의 에너지 준위(T^* 준위)는 삼중항 여기 상태의 2mDBTPDBq-II 및 PCBNBB 각각의 에너지 준위보다 0.1eV 이상 낮다. 따라서, 삼중항 여기 상태의 $[\text{Ir}(\text{mppr-Me})_2(\text{dpm})]$ 또는 $[\text{Ir}(\text{dppm})_2(\text{acac})]$ 가 2mDBTPDBq-II 또는 PCBNBB의 삼중항 여기 상태로 이동할 확률은 낮다. 특히, $[\text{Ir}(\text{dppm})_2(\text{acac})]$ 의 T^* 준위는 0.18eV 이상 낮고, 이는 $[\text{Ir}(\text{dppm})_2(\text{acac})]$ 가 $[\text{Ir}(\text{mppr-Me})_2(\text{dpm})]$ 보다 발광 효율이 높다는 것을 시사한다.
- [0120] 전자 수송층(114)은 전자 수송성이 높은 물질을 함유한 층이다. 전자 수송성이 높은 물질로서는, Alq_3 , 트리스(4-메틸-8-퀴놀리놀라토)알루미늄(약칭: Almq_3), 비스(10-하이드록시벤조[h]-퀴놀리나토)베릴륨(약칭: BeBq_2), BAIq , $\text{Zn}(\text{BOX})_2$, 비스[2-(2-하이드록시페닐)벤조티아졸라토]아연(약칭: $\text{Zn}(\text{BTZ})_2$) 등의 금속 착체를 들 수 있다. 또한, 2-(4-바이페닐릴)-5-(4-tert-부틸페닐)-1,3,4-옥사디아졸(약칭: PBD), 1,3-비스[5-(p-tert-부틸페닐)-1,3,4-옥사디아졸-2-일]벤젠(약칭: OXD-7), 3-(4-tert-부틸페닐)-4-페닐-5-(4-바이페닐릴)-1,2,4-트라이아졸(약칭: TAZ), 3-(4-tert-부틸페닐)-4-(4-에틸페닐)-5-(4-바이페닐릴)-1,2,4-트라이아졸(약칭: p-EtTAZ), 바소페난트롤린(약칭: BPhen), 바소쿠프로인(약칭: BCP), 4,4'-비스(5-메틸벤조옥사졸-2-일)스틸벤(약칭: BzOs) 등의 복소 방향족 화합물도 사용할 수 있다. 또는, 폴리(2,5-피리딘다이일)(약칭: PPy), 폴리[(9,9-다이헥실플루오렌-2,7-다이일)-co-(피리딘-3,5-다이일)](약칭: PF-Py), 폴리[(9,9-다이옥틸플루오렌-2,7-다이일)-co-(2,2'-바이피리딘-6,6'-다이일)](약칭: PF-BPy) 등의 고분자 화합물을 사용할 수 있다. 여기에 든 물질은 주로 $10^{-6} \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 이상의 전자 이동도를 갖는 물질이다. 다만, 정공 수송성보다 전자 수송성이 높은 물질이면, 상기 이외의 물질을 전자 수송층에 사용하여도 좋다.
- [0121] 또한, 전자 수송층은 단층에 한정되지 않고, 상술한 물질로 이루어지는 2층 이상을 적층하여도 좋다.
- [0122] 전자 주입층(115)은 전자 주입성이 높은 물질을 포함한 층이다. 전자 주입층(115)에는 리튬, 세슘, 칼슘, 불화 리튬, 불화 세슘, 불화 칼슘, 또는 산화 리튬 등의 알칼리 금속, 알칼리 토금속, 또는 그들의 화합물을 사용할 수 있다. 또한, 불화 에르븀과 같은 희토류 금속 화합물을 사용할 수도 있다. 또는, 상술한 전자 수송층(114)을 형성하는 물질을 사용할 수도 있다.
- [0123] 또는, 전자 주입층(115)에 유기 화합물과 전자 공여체(도너)를 혼합한 복합 재료를 사용하여도 좋다. 이 복합 재료는 전자 공여체에 의하여 유기 화합물에 전자가 발생하기 때문에, 전자 주입성 및 전자 수송성이 우수하다.
- [0124] 이 경우, 유기 화합물은, 발생한 전자의 수송이 우수한 재료인 것이 바람직하다. 구체적으로는, 예를 들어 상술한 전자 수송층(114)을 형성하는 재료(예를 들어 금속 착체 또는 복소 방향족 화합물)를 사용할 수 있다.
- [0125] 전자 공여체로서는, 유기 화합물에 대하여 전자 공여성을 나타내는 물질을 사용할 수 있고, 구체적으로는 리튬, 세슘, 마그네슘, 칼슘, 에르븀, 이테르븀 등, 알칼리 금속, 알칼리 토금속 또는 희토류 금속을 사용하는 것이 바람직하다. 또한, 알칼리 금속 산화물이나 알칼리 토금속 산화물이 바람직하고, 예를 들어 산화 리튬, 산화 칼슘, 및 산화 바륨 등을 들 수 있다. 또는, 산화 마그네슘과 같은 루이스 염기를 사용할 수도 있다. 또는, 테트라티아플발렌(약칭: TTF) 등의 유기 화합물을 사용할 수 있다.
- [0126] 또한, 상술한 정공 주입층(111), 정공 수송층(112), 발광층(113), 전자 수송층(114), 및 전자 주입층(115)은 각각 증착법(진공 증착법 등), 잉크젯법, 도포법 등의 방법으로 형성할 수 있다.
- [0127] 도 1의 (B)에 도시된 바와 같이, 제 1 전극(101)과 제 2 전극(103) 사이에 복수의 EL층이 적층되어도 좋다. 이

경우, 적층된 제 1 EL층(104)과 제 2 EL층(105) 사이에 전하 발생층(106)을 제공하는 것이 바람직하다. 전하 발생층(106)은 상술한 복합 재료 중 어느 것을 사용하여 형성할 수 있다.

[0128] 또한, 전하 발생층(106)은, 복합 재료를 함유한 층과 다른 재료를 함유한 층을 포함하는 적층 구조를 가져도 좋다. 이 경우, 다른 재료를 함유한 층으로서, 전자 공여성 물질과 전자 수송성이 높은 물질을 포함하는 층, 투명 도전막으로 형성된 층 등을 사용할 수 있다.

[0129] 이와 같은 구성을 갖는 발광 소자에 관해서는, 에너지의 이동 및 소광 등의 문제가 일어나기 어렵고, 재료의 선택의 여지가 넓어짐으로써 발광 효율이 높고 긴 수명을 갖는 발광 소자를 용이하게 얻을 수 있다. 또한, 한쪽의 EL층으로부터 인광, 다른 쪽의 EL층으로부터 형광을 제공하는 발광 소자를 용이하게 얻을 수 있다. 또한, 이 구조는 상술한 EL층의 구조와 조합할 수 있다.

[0130] 또한, 각각이 다른 색을 발광하는 EL층을 형성함으로써, 발광 소자는 전체로서 원하는 색의 발광을 제공할 수 있다. 예를 들어, 제 1 EL층의 발광색과 제 2 EL층의 발광색이 보색이 되도록 2개의 EL층을 갖는 발광 소자를 형성함으로써, 발광 소자는 전체로서 백색 발광을 제공할 수 있다. 이것은 3개 이상의 EL층을 갖는 발광 소자에도 적용될 수 있다.

[0131] 도 1의 (C)에 도시된 바와 같이, EL층(102)은 제 1 전극(101)과 제 2 전극(103) 사이에 정공 주입층(111), 정공 수송층(112), 발광층(113), 전자 수송층(114), 전자 주입 버퍼층(116), 전자 릴레이층(117), 및 제 2 전극(103)과 접하는 복합 재료층(118)을 포함하여도 좋다.

[0132] 제 2 전극(103)과 접하는 복합 재료층(118)을 제공하면, 특히 스퍼터링법을 사용하여 제 2 전극(103)을 형성할 때에 EL층(102)에 주어지는 대미지를 저감할 수 있어서 바람직하다. 복합 재료층(118)은, 상술한 정공 수송성이 높은 유기 화합물에 엑셉터 물질이 함유된 복합 재료를 사용하여 형성할 수 있다.

[0133] 또한, 전자 주입 버퍼층(116)을 제공함으로써, 복합 재료층(118)과 전자 수송층(114) 사이의 주입 장벽을 저감할 수 있기 때문에, 복합 재료층(118)에서 발생한 전자를 전자 수송층(114)에 용이하게 주입할 수 있다.

[0134] 전자 주입 버퍼층(116)에는, 알칼리 금속, 알칼리 토금속, 희토류 금속, 이들 금속의 화합물(예를 들어, 알칼리 금속 화합물(산화 리튬 등의 산화물, 할로겐화물, 탄산 리튬이나 탄산 세슘 등의 탄산염 등), 알칼리 토금속 화합물(산화물, 할로겐화물, 탄산염 등), 희토류 금속의 화합물(산화물, 할로겐화물, 탄산염 등)) 등, 전자 주입성이 높은 물질을 사용할 수 있다.

[0135] 또한, 전자 주입 버퍼층(116)이 전자 수송성이 높은 물질과 도너 물질을 포함하는 경우에는, 전자 수송성이 높은 물질에 대한 도너 물질의 질량비가 0.001:1 내지 0.1:1이 되도록 도너 물질을 첨가하는 것이 바람직하다.

[0136] 또한, 도너 물질로서는, 알칼리 금속, 알칼리 토금속, 희토류 금속, 상술한 금속의 화합물(예를 들어 알칼리 금속 화합물(산화 리튬 등의 산화물, 할로겐화물, 탄산 리튬이나 탄산 세슘 등의 탄산염을 포함함), 알칼리 토금속 화합물(산화물, 할로겐화물, 탄산 염을 포함함), 또는 희토류 금속의 화합물(산화물, 할로겐화물, 탄산염을 포함함)) 외에도, 테트라티아나프타센(약칭: TTN), 니켈로센, 데카메틸니켈로센 등의 유기 화합물을 사용할 수 있다.

[0137] 또한, 전자 수송성이 높은 물질로서는, 상술한 전자 수송층(114)에 사용되는 재료와 같은 재료를 사용할 수 있다.

[0138] 또한, 전자 주입 버퍼층(116)과 복합 재료층(118) 사이에 전자 릴레이층(117)을 형성하는 것이 바람직하다. 전자 릴레이층(117)은 반드시 제공할 필요는 없지만, 전자 수송성이 높은 전자 릴레이층(117)을 제공함으로써, 전자 주입 버퍼층(116)에 전자를 신속하게 수송할 수 있다.

[0139] 복합 재료층(118)과 전자 주입 버퍼층(116) 사이에 전자 릴레이층(117)이 끼워진 구조는, 복합 재료층(118)에 함유된 엑셉터 물질과, 전자 주입 버퍼층(116)에 함유된 도너 물질이 상호 작용하기 어려워, 이들의 기능이 상호 간섭하는 것은 거의 없다. 따라서, 구동 전압의 상승을 방지할 수 있다.

[0140] 전자 릴레이층(117)은 전자 수송성이 높은 물질을 함유하며, 전자 수송성이 높은 물질의 LUMO 준위가, 복합 재료층(118)에 함유된 엑셉터 물질의 LUMO 준위와, 전자 수송층(114)에 함유된 전자 수송성이 높은 물질의 LUMO 준위 사이에 위치되도록 형성된다.

[0141] 전자 릴레이층(117)이 도너 물질을 함유하는 경우에는, 이 도너 물질의 도너 준위는 복합 재료층(118)의 엑셉터 물질의 LUMO 준위와 전자 수송층(114)에 함유된 전자 수송성이 높은 물질의 LUMO 준위의 사이에 위치되도록 제

어된다. 구체적인 에너지 준위의 수치로서는, 전자 릴레이층(117)에 함유된 전자 수송성이 높은 물질의 LUMO 준위는 바람직하게는 -5.0eV 이상, 더 바람직하게는 -5.0eV 이상 -3.0eV 이하이다.

[0142] 전자 릴레이층(117)에 포함되는 전자 수송성이 뛰어난 물질로서는 프탈로사이아닌계 재료 또는 금속-산소 결합과 방향족 배위자를 갖는 금속 착체를 사용하는 것이 바람직하다.

[0143] 전자 릴레이층(117)에 함유되는 프탈로사이아닌계 재료로서는, 구체적으로는 CuPc, 프탈로사이아닌 주석(II) 착체(SnPc), 프탈로사이아닌 아연 착체(ZnPc), 코발트(II) 프탈로사이아닌, β -폼(CoPc), 프탈로사이아닌 철(FePc), 바나딜 2,9,16,23-테트라페녹시-29H,31H-프탈로사이아닌(PhO-VOPc) 중 어느 것을 사용하는 것이 바람직하다.

[0144] 전자 릴레이층(117)에 포함되고 금속-산소 결합과 방향족 배위자를 갖는 금속 착체로서는, 금속-산소 이중 결합을 갖는 금속 착체를 사용하는 것이 바람직하다. 금속-산소 이중 결합은 엑셉터성(전자를 수용하기 쉬운 성질)을 갖기 때문에, 더 용이하게 전자가 이동(주고 받음)될 수 있다. 또한, 금속-산소 이중 결합을 갖는 금속 착체는 안정적이라고 생각된다. 따라서, 금속-산소 이중 결합을 갖는 금속 착체를 사용함으로써 발광 소자를 저전압으로 더 안정적으로 구동할 수 있다.

[0145] 금속-산소 결합과 방향족 배위자를 갖는 금속 착체로서는 프탈로사이아닌계 재료가 바람직하다. 구체적으로는, 바나딜 프탈로사이아닌(VOPc), 프탈로사이아닌 주석(IV) 옥사이드 착체(SnOPc), 및 프탈로사이아닌 티타늄 옥사이드 착체(TiOPc) 중 어느 것이, 분자 구조의 관점에서 금속-산소 이중 결합이 다른 분자에 작용하기 쉽고 엑셉터성이 높기 때문에 바람직하다.

[0146] 또한, 상술한 프탈로사이아닌계 재료로서는 페녹시기를 갖는 프탈로사이아닌계 재료가 바람직하다. 구체적으로는, PhO-VOPc 등 페녹시기를 갖는 프탈로사이아닌 유도체가 바람직하다. 페녹시기를 갖는 프탈로사이아닌 유도체는 용매에 용해될 수 있다. 이 이유로부터, 이러한 프탈로사이아닌 유도체는 발광 소자를 형성하는 데 취급하기 쉽다는 이점과, 막 형성에 사용하는 장치의 메인テナンス(maintenance)가 용이해진다는 이점을 갖는다.

[0147] 전자 릴레이층(117)은 도너 물질을 추가적으로 함유하여도 좋다. 도너 물질의 예로서는 알칼리 금속, 알칼리 토금속, 희토류 금속, 및 상술한 금속의 화합물(알칼리 금속 화합물(산화물, 할로겐화물, 탄산리튬이나 탄산 세슘 등의 탄산염을 포함함), 알칼리 토금속 화합물(산화물, 할로겐화물, 탄산염을 포함함), 및 희토류 금속 화합물(산화물, 할로겐화물, 탄산염을 포함함) 등) 외에도, 테트라티아나프타센(약칭: TTN), 니켈로센, 데카메틸니켈로센 등의 유기 화합물을 들 수 있다. 전자 릴레이층(117)에 이러한 도너 물질을 포함시키면, 전자가 이동하기 쉬워져서 발광 소자를 더 낮은 전압으로 구동할 수 있다.

[0148] 전자 릴레이층(117)에 도너 물질을 포함시킬 경우, 전자 수송성이 높은 물질로서 상술한 재료 외에, 복합 재료층(118)에 포함되는 엑셉터 물질의 엑셉터 준위보다 높은 LUMO 준위를 갖는 물질을 사용할 수 있다.

[0149] 구체적인 에너지 준위로서는 LUMO 준위가 -5.0eV 이상, 바람직하게는 -5.0eV 이상 -3.0eV 이하이다. 이러한 물질의 예로서는 페릴렌 유도체 및 질소 함유 축합 방향족 화합물을 들 수 있다. 또한, 질소 함유 축합 방향족 화합물은 안정적이기 때문에, 전자 릴레이층(117)에 사용하는 것이 바람직하다.

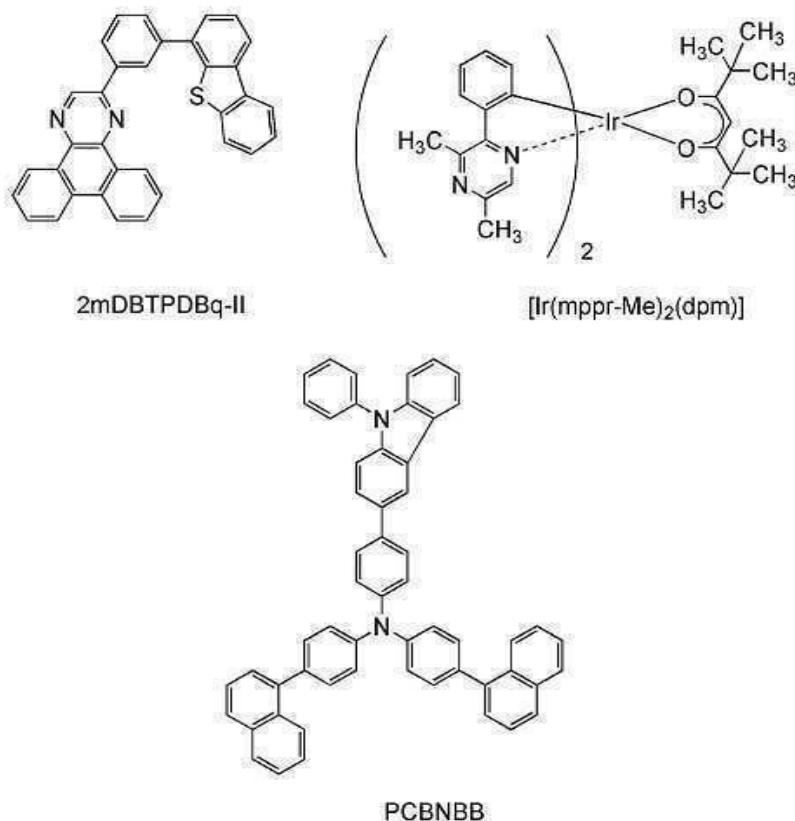
[0150] 페릴렌 유도체의 구체적인 예로서는 3,4,9,10-페릴렌테트라카르복실릭다이안하이드라이드(약칭: PTCDA), 3,4,9,10-페릴렌테트라카르복실릭-비스-벤즈이미다졸(약칭: PTCBI), N,N'-다이옥틸-3,4,9,10-페릴렌테트라카복실산다이이미드(약칭: PTCDI-C8H), N,N'-다이헥실-3,4,9,10-페릴렌테트라카복실산다이이미드(약칭: Hex PTC) 등을 들 수 있다.

[0151] 질소 함유 축합 방향족 화합물의 구체적인 예로서는, 피라지노[2,3-f][1,10]페난트롤린-2,3-다이카르보나이트릴(약칭: PPDN), 2,3,6,7,10,11-헥사시아노-1,4,5,8,9,12-헥사아자트라이페닐렌(약칭: HAT(CN)₆), 2,3-다이페닐피리도[2,3-b]피라진(약칭: 2PYPR), 2,3-비스(4-플루오로페닐)피리도[2,3-b]피라진(약칭: F2PYPR) 등을 들 수 있다.

[0152] 그 외에도, 7,7,8,8-테트라시아노퀴노다이메탄(약칭: TCNQ), 1,4,5,8-나프탈렌테트라카복실산다이안하이드라이드(약칭: NTCDA), 퍼플루오로펜타센, 구리헥사테카플루오로프탈로사이아닌(약칭: F₁₆CuPc), N,N'-비스(2,2,3,3,4,4,5,5,6,6,7,7,8,8,8-펜타테카플루오로옥틸)-1,4,5,8-나프탈렌테트라카복실산다이이미드(약칭: NTCDI-C8F), 3',4'-다이부틸-5,5''-비스(다이시아노메틸렌)-5,5''-다이하이드로-2,2':5',2''-테르티오펜(약칭: DCMT), 메

타노플러렌(예를 들어, [6,6]-페닐C₆₁부티르산메틸에스테르 등을 사용할 수 있다.

- [0153] 또한, 전자 릴레이층(117)에 도너 물질을 포함시키는 경우, 전자 수송성이 높은 물질과 도너 물질의 공증착 등의 방법에 의하여 전자 릴레이층(117)을 형성할 수 있다.
- [0154] 정공 주입층(111), 정공 수송층(112), 발광층(113), 및 전자 수송층(114)은 상술한 재료 중 어느 것을 사용하여 각각 형성할 수 있다.
- [0155] 상술한 바와 같이 하여 본 실시형태의 EL층(102)을 형성할 수 있다.
- [0156] 상술한 발광 소자에서는, 제 1 전극(101)과 제 2 전극(103) 사이에 생긴 전위차에 의하여 전류가 흘러, EL층(102)에서 정공과 전자가 재결합함으로써 발광한다. 그리고, 이 발광은 제 1 전극(101) 및 제 2 전극(103) 중 한쪽 또는 양쪽을 통하여 외부에 추출된다. 따라서, 제 1 전극(101) 및 제 2 전극(103) 중 한쪽 또는 양쪽이 가시광을 투과시키는 특성을 갖는 전극이다.
- [0157] 또한, 제 1 전극(101)과 제 2 전극(103) 사이에 제공되는 층의 구성은 상술한 구조에 한정되지 않는다. 또는, 발광 영역과 금속의 근접으로 인한 소광을 방지하기 위하여, 제 1 전극(101) 및 제 2 전극(103)으로부터 떨어진 부위에 정공과 전자가 재결합하는 발광 영역을 제공하는 한 상술한 구조 이외의 구조를 사용하여도 좋다.
- [0158] 즉, 층의 적층 구조는 특별히 한정되지 않고, 전자 수송성이 높은 물질, 정공 수송성이 높은 물질, 전자 주입성이 높은 물질, 정공 주입성이 높은 물질, 바이폴러성 물질(전자 수송성 및 정공 수송성이 높은 물질), 또는 정공 블록 재료 등으로 이루어진 층을 발광층과 자유로이 조합할 수 있다.
- [0159] 또한, 본 실시형태에서 설명한 발광 소자를 사용하여 패시브 매트릭스형 발광 장치, 또는 트랜지스터가 발광 소자의 구동을 제어하는 액티브 매트릭스형 발광 장치를 형성할 수 있다. 또한, 상기 발광 장치를 전자 기기 또는 조명 장치 등에 적용할 수 있다.
- [0160] 상술한 바와 같이 하여 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자를 제작할 수 있다. 본 실시형태는 다른 실시형태의 어느 것을 적절히 조합할 수 있다.
- [0161] (실시예 1)
- [0162] 본 실시예에서는, 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자에 사용될 수 있는 제 1 유기 화합물, 제 2 유기 화합물, 및 인광성 화합물의 조합의 예에 대하여 도 2의 (A) 및 (B)를 참조하여 설명한다.
- [0163] 본 실시예에 사용된 인광성 화합물은 비스(3,5-다이메틸-2-페닐피라지나토)(다이피발로일메타나토)이리듐(III)(약칭: [Ir(mppr-Me)₂(dpm)])이다. 본 실시예에 사용된 제 1 유기 화합물은 2-[3-(다이벤조티오펜-4-일)페닐]다이벤조[f,h]퀴녹살린(약칭: 2mDBTPDBq-II)이다. 본 실시예에 사용된 제 2 유기 화합물은 4,4'-다이(1-나프틸)-4"-(9-페닐-9H-카바졸-3-일)트라이페닐아민(약칭: PCBNBB)이다. 상술한 재료의 화학식을 이하에 나타낸다.



[0164]

[0165] < 흡수 스펙트럼 >

[0166] 도 2의 (A) 및 (B)는 다이클로로메탄 용액 중의 인광성 화합물인 [Ir(mppr-Me)₂(dpm)]의 자외-가시 흡수 스펙트럼(흡수 스펙트럼 A)을 각각 도시한 것이다. 흡수 스펙트럼은, 자외-가시 분광 광도계(JASCO 주식회사에 의하여 제조된 V-550)를 사용하여, 다이클로로메탄 용액(0.093mmol/L)을 석영 셀에 넣고 실온에서 측정하였다.

[0167] < 발광 스펙트럼 >

[0168] 도 2의 (A) 및 (B)에는 제 1 유기 화합물인 2mDBTPDBq-II의 박막의 발광 스펙트럼(발광 스펙트럼 1), 제 2 유기 화합물인 PCBNBB의 박막의 발광 스펙트럼(발광 스펙트럼 2), 및 2mDBTPDBq-II와 PCBNBB의 혼합 재료의 박막의 발광 스펙트럼(발광 스펙트럼 3)을 각각 도시하였다. 도 2의 (A)에서 가로축은 파장(nm)을 나타내고 세로축은 몰 흡수 계수 ϵ ($M^{-1} \cdot cm^{-1}$) 및 발광 강도(임의 단위)를 나타낸다. 도 2의 (B)에서 가로축은 에너지(eV)를 나타내고 세로축은 몰 흡수 계수 ϵ ($M^{-1} \cdot cm^{-1}$) 및 발광 강도(임의 단위)를 나타낸다.

[0169] 도 2의 (A)의 흡수 스펙트럼 A로부터 알 수 있듯이, [Ir(mppr-Me)₂(dpm)]은 500nm 부근에 넓은 흡수 밴드를 갖는다. 이 흡수 밴드는 발광에 크게 기여한다고 고려된다.

[0170] 발광 스펙트럼 3은 발광 스펙트럼 1 및 발광 스펙트럼 2보다 더 긴 파장(더 낮은 에너지)에서 피크를 갖는다. 또한, 발광 스펙트럼 3의 피크는 발광 스펙트럼 1 및 발광 스펙트럼 2의 피크보다 흡수 밴드에 더 근접한다. 도 2의 (A) 및 (B)는 발광 스펙트럼 3이 발광에 크게 기여하는 흡수 스펙트럼 A의 흡수 밴드와 최대 중첩을 갖는 것을 나타낸다. 구체적으로는, 흡수 스펙트럼 A와 발광 스펙트럼 3간의 피크 차는 0.10eV이다.

[0171] 2mDBTPDBq-II와 PCBNBB의 혼합 재료의 발광 스펙트럼은 각각의 유기 화합물 단독의 발광 스펙트럼보다 더 긴 파장(더 낮은 에너지)에서 피크를 갖는 것을 알았다. 이는 2mDBTPDBq-II와 PCBNBB의 혼합물로부터 여기 착체가 형성된다는 것을 나타낸다.

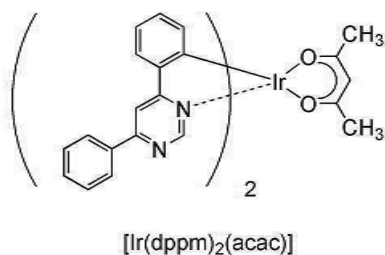
[0172] 혼합 재료의 발광 스펙트럼은 발광에 크게 기여하는 것으로 고려되는 [Ir(mppr-Me)₂(dpm)]의 흡수 스펙트럼에서의 흡수 밴드와 큰 중첩을 갖는 것을 알았다. 따라서, 게스트로서 [Ir(mppr-Me)₂(dpm)]을, 호스트로서 2mDBTPDBq-II와 PCBNBB의 혼합 재료를 포함하는 발광 소자는, 혼합 재료의 발광 스펙트럼과 인광성 화합물의 흡수 스펙트럼의 중첩을 사용하여 에너지를 이동시키기 때문에 에너지 이동 효율이 높은 것이 시사된다. 따라서,

외부 양자 효율이 높은 발광 소자를 제공할 수 있다.

[0173] (실시예 2)

[0174] 본 실시예에서는, 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자에 사용될 수 있는 제 1 유기 화합물, 제 2 유기 화합물, 및 인광성 화합물의 조합의 예에 대하여 도 3의 (A) 및 (B)를 참조하여 설명한다.

[0175] 본 실시예에 사용된 인광성 화합물은 (아세틸아세토나토)비스(4,6-다이페닐피리미디나토)이리듐(III)(약칭: $[\text{Ir}(\text{dppm})_2(\text{acac})]$)이다. 본 실시예에 사용된 제 1 유기 화합물은 2mDBTPDBq-II이다. 본 실시예에 사용된 제 2 유기 화합물은 PCBNBB이다. 본 실시예에 사용된 재료의 화학식을 이하에 나타낸다. 또한, 실시예 1에 사용된 재료의 화학식은 여기서는 나타내지 않는다.



[0176]

[0177] < 흡수 스펙트럼 >

[0178] 도 3의 (A) 및 (B)는 다이클로로메탄 용액 중의 인광성 화합물인 $[\text{Ir}(\text{dppm})_2(\text{acac})]$ 의 자외-가시 흡수 스펙트럼(흡수 스펙트럼 B)을 각각 도시한 것이다. 흡수 스펙트럼은, 자외-가시 분광 광도계(JASCO 주식회사에 의하여 제조된 V-550)를 사용하여, 다이클로로메탄 용액(0.093mmol/L)을 석영 셀에 넣고 실온에서 측정하였다.

[0179] < 발광 스펙트럼 >

[0180] 도 3의 (A) 및 (B)에는 제 1 유기 화합물인 2mDBTPDBq-II의 박막의 발광 스펙트럼(발광 스펙트럼 4), 제 2 유기 화합물인 PCBNBB의 박막의 발광 스펙트럼(발광 스펙트럼 5), 및 2mDBTPDBq-II와 PCBNBB의 혼합 재료의 박막의 발광 스펙트럼(발광 스펙트럼 6)을 각각 도시하였다. 도 3의 (A)에서 가로축은 파장(nm)을 나타내고 세로축은 몰 흡수 계수 $\epsilon (\text{M}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1})$ 및 발광 강도(임의 단위)를 나타낸다. 도 3의 (B)에서 가로축은 에너지(eV)를 나타내고 세로축은 몰 흡수 계수 $\epsilon (\text{M}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1})$ 및 발광 강도(임의 단위)를 나타낸다.

[0181] 도 3의 (A)의 흡수 스펙트럼 B로부터 알 수 있듯이, $[\text{Ir}(\text{dppm})_2(\text{acac})]$ 은 520nm 부근에 넓은 흡수 밴드를 갖는다. 이 흡수 밴드는 발광에 크게 기여한다고 고려된다.

[0182] 발광 스펙트럼 6은 발광 스펙트럼 4 및 발광 스펙트럼 5보다 더 긴 파장(더 낮은 에너지)에서 피크를 갖는다. 또한, 발광 스펙트럼 6의 피크는 발광 스펙트럼 4 및 발광 스펙트럼 5의 피크보다 흡수 밴드에 더 근접한다. 도 3의 (A) 및 (B)는 발광 스펙트럼 6이 발광에 크게 기여하는 흡수 스펙트럼 B의 흡수 밴드와 최대 중첩을 갖는 것을 나타낸다. 구체적으로는, 흡수 스펙트럼 B와 발광 스펙트럼 6의 피크 차는 0.02eV이다.

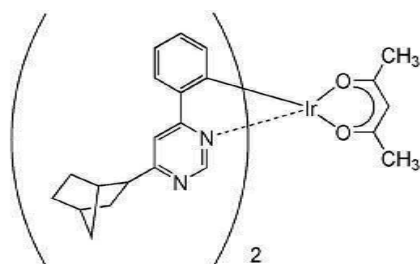
[0183] 2mDBTPDBq-II와 PCBNBB의 혼합 재료의 각각의 발광 스펙트럼은 유기 화합물 단독의 발광 스펙트럼보다 더 긴 파장(더 낮은 에너지)에서 피크를 갖는 것을 알았다. 이는 2mDBTPDBq-II와 PCBNBB의 혼합물로부터 여기 착체가 형성된다는 것을 나타낸다.

[0184] 혼합 재료의 발광 스펙트럼의 피크는 발광에 크게 기여하는 것으로 고려되는 $[\text{Ir}(\text{dppm})_2(\text{acac})]$ 의 흡수 스펙트럼에서의 흡수 밴드와 큰 중첩을 갖는 것을 알았다. 또한, 몰 흡수 계수는 $5000\text{M}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ 이다. 따라서, 게스트로서 $[\text{Ir}(\text{dppm})_2(\text{acac})]$ 을, 호스트로서 2mDBTPDBq-II와 PCBNBB의 혼합 재료를 포함하는 발광 소자는, 혼합 재료의 발광 스펙트럼과 인광성 화합물의 흡수 스펙트럼의 중첩을 사용하여 에너지를 이동시키기 때문에 에너지 이동 효율이 높은 것이 시사된다. 게스트 농도가 낮더라도 충분한 에너지 이동이 기대될 수 있다.

[0185] (실시예 3)

[0186] 본 실시예에서는, 발광 소자에 있어서, 인광성 화합물로서 기능하는 유기금속 착체, (아세틸아세토나토)비스[4-(2-노르보르닐)-6-페닐피리미디나토]이리듐(III)(약칭: $[\text{Ir}(\text{nbppm})_2(\text{acac})]$)을 게스트로서 사용하고, 게스트 농

도를 변화시켰다. 이와 같이 하여, 발광 소자의 특성을 측정하였다. $[\text{Ir}(\text{nbppm})_2(\text{acac})]$ 의 구조를 이하에 나타낸다.



$[\text{Ir}(\text{nbppm})_2(\text{acac})]$

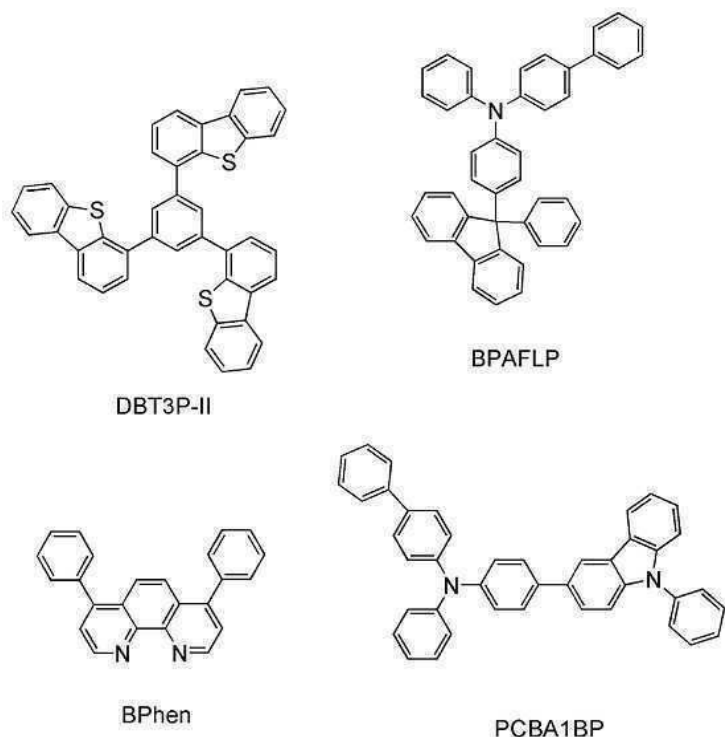
[0187]

[0188]

본 실시예에 사용된 제 1 유기 화합물은 2mDBTPDBq-II이다. 본 실시예에 사용된 제 2 유기 화합물은 4-페닐-4'-(9-페닐-9H-카바졸-3-일)트라이페닐아민(약칭: PCBA1BP)이다. 실시예 1의 2mDBTPDBq-II와 PCBNBB의 조합과 마찬가지로, 2mDBTPDBq-II와 PCBA1BP의 조합은 여기 착체를 형성하고, 발광 스펙트럼은 실시예 1과 대략 같은 부분에 위치된다.

[0189]

본 실시예에서는, 게스트 농도가 다른 발광 소자 1, 발광 소자 2, 및 발광 소자 3을 제작하고, 이들의 특성을 비교하였다. 발광 소자 1, 발광 소자 2, 및 발광 소자 3의 구조를 도 1의 (A)에 도시하였다. 본 실시예에 사용된 유기 화합물의 구조식을 이하에 나타내지만, 상술한 화합물은 제외하였다.



[0190]

[0191]

양극으로서 기능하는 제 1 전극(101)으로서 110nm의 두께로 실리콘을 포함한 인듐 주석 산화물(ITSO)이 형성된 유리 기판을 준비하였다. ITSO 표면은, 표면 면적의 2mm×2mm가 노출되도록 폴리이미드막으로 덮었다. 전극 면적은 2mm×2mm로 하였다. 이 기판 위에 발광 소자를 형성하기 위한 전처리로서, 기판 표면을 물로 세정하고, 200℃로 1시간 동안 소성한 후, UV 오존 처리를 370초 동안 수행하였다.

[0192]

그 후, 10^{-4} Pa 정도까지 감압된 진공 증착 장치 내에 기판을 도입하고, 진공 증착 장치의 가열실에 있어서 170℃로 30분 동안 진공 소성한 후, 이 기판을 30분 정도 식혔다. 그리고, ITSO가 제거된 면이 하방을 향하도록, 진공 증착 장치 내의 증착실에 제공된 홀더에 기판을 고정하였다.

[0193]

증착실 내의 압력을 10^{-4} Pa 정도까지 감소시켰다. 그리고, 1,3,5-트라이(다이벤조티오펜-4-일)벤젠(약칭:

DBT3P-II)과 산화 몰리브덴(VI)을 산화 몰리브덴에 대한 DBT3P-II의 중량비가 4:2가 되도록 공증착함으로써 정공 주입층(111)을 형성하였다. 정공 주입층(111)의 두께는 40nm로 하였다. 또한, 공증착 방법은 상이한 복수의 물질을 각각 다른 증착원으로부터 동시에 증발시키는 증착 방법이다.

[0194] 다음에, 4-페닐-4'-(9-페닐플루오렌-9-일)트라이페닐아민(약칭: BPAFLP)을 20nm의 두께로 증착에 의해 퇴적시킴으로써 정공 수송층(112)을 형성하였다.

[0195] 정공 수송층(112) 위에, 2mDBTPDBq-II, PCBA1BP, 및 $[\text{Ir}(\text{nbppm})_2(\text{acac})]$ 을, PCBA1BP와 $[\text{Ir}(\text{nbppm})_2(\text{acac})]$ 에 대한 2mDBTPDBq-II의 중량비가 0.8 : 0.2 : x가 되도록 공증착함으로써, 두께 40nm의 발광층(113)을 형성하였다. 이 때, 발광 소자 1의 경우에는 x는 0.01, 발광 소자 2의 경우에는 x는 0.025, 발광 소자 3의 경우에는 x는 0.05로 하였다.

[0196] 다음에, 2mDBTPDBq-II를 10nm의 두께로 증착에 의해 퇴적시키고, 그 후 바소페난트롤린(약칭: BPhen)을 20nm의 두께로 증착에 의해 퇴적시킴으로써, 전자 수송층(114)을 형성하였다. 즉, 본 실시예에서는, 전자 수송층(114)은 두께가 10nm인 2mDBTPDBq-II의 제 1 전자 수송층과 두께가 20nm인 BPhen의 제 2 전자 수송층을 포함한다.

[0197] 또한, 전자 수송층(114) 위에 1nm의 두께로 불화 리튬을 증착에 의해 퇴적시킴으로써 전자 주입층(115)을 형성하였다. 이와 같이 하여 EL층(102)을 형성하였다. 또한, 상술한 증착 공정에 있어서, 증착은 모두 저항 가열 법으로 수행하였다.

[0198] 마지막으로, 음극으로서 기능하는 제 2 전극(103)으로서 알루미늄을 두께 200nm로 퇴적시킴으로써, 발광 소자를 제작하였다. 표 2는 발광 소자의 적층 구조를 나타낸 것이다. 표 2에서, 발광 소자 1의 경우에는 x는 0.01, 발광 소자 2의 경우에는 x는 0.025, 발광 소자 3의 경우에는 x는 0.05로 하였다.

표 2

	발광 소자 1 내지 발광 소자 3
제 1 전극	ITO, 110nm
정공 주입층	DBT3P-II:MoOx (=4:2), 40nm
정공 수송층	BPAFLP, 20nm
발광층	2mDBTPDBq-II : PCBA1BP : $[\text{Ir}(\text{nbppm})_2(\text{acac})]$
	(=0.8:0.2:x),
	40nm
전자 수송층	2mDBTPDBq-II, 10nm
	BPhen, 20nm
전자 주입층	LiF, 1nm
제 2 전극	Al, 200nm

[0200] 이와 같이 하여 제작된 발광 소자(발광 소자 1 내지 발광 소자 3)를 대기에 노출시키지 않고 질소 분위기하의 글러브 박스에서 밀봉하였다(1시간 동안 80℃의 가열 처리에 의한 밀봉). 그 후에, 발광 소자의 작동 특성을 측정하였다. 또한, 측정은 실온(25℃로 유지된 분위기)에서 수행하였다.

[0201] 도 4는 발광 소자 1 내지 발광 소자 3의 휘도와 전류 밀도의 관계를 나타낸 것이다. 도 4에서 세로축은 휘도(cd/m^2), 가로축은 전류 밀도(mA/cm^2)를 나타낸다. 도 5는 발광 소자 1 내지 3의 휘도와 전압의 관계를 나타낸 것이다. 도 5에서 세로축은 휘도(cd/m^2), 가로축은 전압(V)을 나타낸다. 도 6은 발광 소자 1 내지 3의 전류와 전압의 관계를 나타낸 것이다. 도 6에서 세로축은 전류(mA), 가로축은 전압(V)을 나타낸다. 도 7은 발광 소자 1 내지 3의 색도와 휘도의 관계를 나타낸 것이다. 도 7에서 세로축은 색도, 가로축은 휘도(cd/m^2)를 나타낸다.

[0202] 도 8은 발광 소자 1 내지 3의 전류 효율과 휘도의 관계를 나타낸 것이다. 도 8에서 세로축은 전류 효율(cd/A), 가로축은 휘도(cd/m^2)를 나타낸다. 도 9는 발광 소자 1 내지 3의 파워 효율과 휘도의 관계를 나타낸 것이다. 도 9에서 세로축은 파워 효율(lm/W), 가로축은 휘도(cd/m^2)를 나타낸다. 도 10은 발광 소자 1 내지 3의 양자 효율과 휘도의 관계를 나타낸 것이다. 도 10에서 세로축은 외부 양자 효율(%), 가로축은 휘도(cd/m^2)를 나타낸다. 도 11은 발광 소자 1 내지 3의 발광 스펙트럼을 나타낸 것이다. 도 11에서 세로축은 발광 강도(임의 단위), 가로축은 파장(nm)을 나타낸다.

[0203] 도 4 내지 도 11에 있어서, LE1은 발광 소자 1을 나타내고, LE2는 발광 소자 2를 나타내고, LE3은 발광 소자 3을 나타낸다.

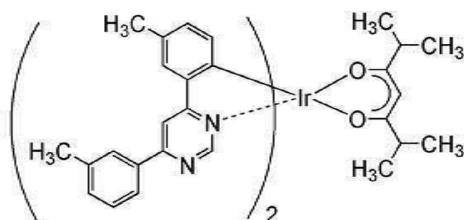
[0204] 도 4 내지 도 11에 따르면, 게스트 농도가 낮은 발광 소자 1은 발광 소자 2 및 발광 소자 3보다 발광 효율이 높은 것을 알 수 있다. 표 3은 발광 소자 1 내지 발광 소자 3의 주된 특성을 나타낸 것이다. 표 3에서 LE1은 발광 소자 1을 나타내고, LE2는 발광 소자 2를 나타내고, LE3은 발광 소자 3을 나타낸다. 표 3에서는 호스트의 합계 중량에 대한 게스트의 중량비가 1%인 발광 소자 1은 상기 발광 소자 1보다 상기 게스트의 비율이 높은 발광 소자 2 및 발광 소자 3보다 더 뛰어난 특성을 나타낼 수 있다는 것을 밝힌다.

표 3

		LE1(1%)	LE2(2.5%)	LE3(5%)
전압(V)		2.9	2.9	2.9
전류 밀도	(mA/cm ²)	1.23	1.33	1.18
색도 _x		0.4277	0.4463	0.4613
색도 _y		0.5615	0.5451	0.5301
휘도	(cd/m ²)	1195.0	1243.0	1001.0
전류 효율	(cd/A)	97.17	93.12	84.70
파워 효율	(lm/W)	105.27	100.87	91.75
외부 양자 효율(%)		26.90	26.57	25.36

[0206] (실시예 4)

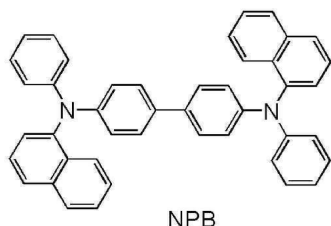
[0207] 본 실시예에서는, 인광성 화합물로서 기능하는 유기금속 착체, (2,6-다이메틸-3,5-헵탄디오나토-κ²O,O')비스[4-메틸-2-(3-메틸-4-피리미디닐-κN3)페닐-κC]이리듐(III)(약칭: [Ir(5mdppm)₂(dibm)])을 게스트로서 사용하고, 게스트 농도를 변화시켰다. 이와 같이 하여 발광 소자의 특성을 측정하였다. [Ir(5mdppm)₂(dibm)]의 구조는 이하에 나타낸다.



[Ir(5mdppm)₂(dibm)]

[0208]

[0209] 본 실시예에 사용된 제 1 유기 화합물은 2mDBTPDBq-II이다. 본 실시예에서 사용된 제 2 유기 화합물은 4,4'-비스[N-(1-나프틸)-N-페닐아미노]바이페닐(약칭: NPB)이다. NPB의 구조식을 이하에 나타낸다. 2mDBTPDBq-II와 NPB의 조합은 실시예 1에서의 조합과 마찬가지로 여기 착체를 형성하고, 발광 스펙트럼은 실시예 1과 대략 같은 부분에 위치된다.



NPB

[0210]

[0211] 본 실시예에서는, 게스트 농도가 다른 발광 소자 4, 발광 소자 5, 및 발광 소자 6을 제작하고, 이들의 특성을 비교하였다. 도 1의 (A)에 발광 소자 4, 발광 소자 5, 및 발광 소자 6의 구조를 도시하였다.

- [0212] 양극으로서 기능하는 제 1 전극(101)으로서 110nm의 두께로 실리콘을 포함한 인듐 주석 산화물(ITSO)이 형성된 유리 기판을 준비하였다. ITSO 표면은, 표면 면적의 $2\text{mm} \times 2\text{mm}$ 가 노출되도록 폴리이미드막으로 덮었다. 전극 면적은 $2\text{mm} \times 2\text{mm}$ 로 하였다. 이 기판 위에 발광 소자를 형성하기 위한 전처리로서, 기판 표면을 물로 세정하고, 200°C 로 1시간 동안 소성한 후, UV 오존 처리를 370초 동안 수행하였다.
- [0213] 그 후, 10^{-4}Pa 정도까지 감압된 진공 증착 장치 내에 기판을 도입하고, 진공 증착 장치의 가열실에 있어서 170°C 로 30분 동안 진공 소성한 후, 이 기판을 30분 정도 식혔다. 그리고, ITSO가 제공된 면이 하방을 향하도록, 기판을 진공 증착 장치 내의 증착실에 제공된 홀더에 고정하였다.
- [0214] 증착실 내의 압력을 10^{-4}Pa 정도까지 감소시켰다. 그리고, DBT3P-II와 산화 몰리브덴(VI)을 산화 몰리브덴에 대한 DBT3P-II의 중량비가 4:2가 되도록 공증착함으로써 정공 주입층(111)을 형성하였다. 정공 주입층(111)의 두께는 40nm로 하였다.
- [0215] 다음에, BPAFLP를 20nm의 두께로 증착에 의해 퇴적시킴으로써 정공 수송층(112)을 형성하였다.
- [0216] 정공 수송층(112) 위에, 2mDBTPDBq-II, NBP, 및 $[\text{Ir}(\text{5mdppm})_2(\text{dibm})]$ 을, NBP와 $[\text{Ir}(\text{5mdppm})_2(\text{dibm})]$ 에 대한 2mDBTPDBq-II의 중량비가 $0.8 : 0.2 : x$ 가 되도록 공증착함으로써, 두께 40nm의 발광층(113)을 형성하였다. 이때, 발광 소자 4의 경우에는 x는 0.01, 발광 소자 52의 경우에는 x는 0.025, 발광 소자 6의 경우에는 x는 0.05로 하였다.
- [0217] 다음에, 2mDBTPDBq-II를 10nm의 두께로 증착하고, 그 후 BPhen을 20nm의 두께로 증착에 의해 퇴적시킴으로써, 전자 수송층(114)을 형성하였다. 그리고, 전자 수송층(114) 위에 1nm의 두께로 불화 리튬을 증착에 의해 퇴적시킴으로써 전자 주입층(115)을 형성하였다. 이와 같이 하여 EL층(102)을 형성하였다. 또한, 상술한 증착 공정에 있어서, 증착은 모두 저항 가열법으로 수행하였다.
- [0218] 마지막으로, 음극으로서 기능하는 제 2 전극(103)으로서 알루미늄을 두께 200nm로 퇴적시킴으로써, 발광 소자를 제작하였다. 표 4는 발광 소자의 적층 구조를 나타낸 것이다. 표 4에서, 발광 소자 4의 경우에는 x는 0.01, 발광 소자 5의 경우에는 x는 0.025, 발광 소자 6의 경우에는 x는 0.05로 하였다.

표 4

[0219]

	발광 소자 4 내지 발광 소자 6
제 1 전극	ITSO, 110nm
정공 주입층	DBT3P-II:MoO _x (=4:2), 40nm
정공 수송층	BPAFLP, 20nm
발광층	2mDBTPDBq-II : NBP : $[\text{Ir}(\text{5mdppm})_2(\text{dibm})]$
	(=0.8:0.2:x),
	40nm
전자 수송층	2mDBTPDBq-II, 10nm
	BPhen, 20nm
전자 주입층	LiF, 1nm
제 2 전극	Al, 200nm

[0220] 이와 같이 하여 제작된 발광 소자(발광 소자 4 내지 발광 소자 6)를 대기에 노출시키지 않고 질소 분위기하의 글러브 박스에서 밀봉하였다(1시간 동안 80°C 의 가열 처리에 의한 밀봉). 그 후에, 발광 소자의 작동 특성을 측정하였다. 또한, 측정은 실온(25°C 로 유지된 분위기)에서 수행하였다.

[0221] 도 12는 발광 소자 4 내지 6의 휘도와 전류 밀도의 관계를 나타낸 것이다. 도 12에서 세로축은 휘도(cd/m^2), 가로축은 전류 밀도(mA/cm^2)를 나타낸다. 도 13은 발광 소자 4 내지 6의 휘도와 전압의 관계를 나타낸 것이다. 도 13에서 세로축은 휘도(cd/m^2), 가로축은 전압(V)을 나타낸다. 도 14는 발광 소자 4 내지 6의 전류와 전압의 관계를 나타낸 것이다. 도 14에서 세로축은 전류(mA), 가로축은 전압(V)을 나타낸다. 도 15는 발광 소자 4 내지 6의 색도와 휘도의 관계를 나타낸 것이다. 도 15에서 세로축은 색도, 가로축은 휘도(cd/m^2)를 나타낸다.

[0222] 도 16은 발광 소자 4 내지 6의 전류 효율과 휘도의 관계를 나타낸 것이다. 도 16에서 세로축은 전류 효율

(cd/A), 가로축은 휘도(cd/m²)를 나타낸다. 도 17은 발광 소자 4 내지 6의 파워 효율과 휘도의 관계를 나타낸 것이다. 도 17에서 세로축은 파워 효율(lm/W), 가로축은 휘도(cd/m²)를 나타낸다. 도 18은 발광 소자 4 내지 6의 외부 양자 효율과 휘도의 관계를 나타낸 것이다. 도 18에서 세로축은 외부 양자 효율(%), 가로축은 휘도(cd/m²)를 나타낸다. 도 19는 발광 소자 4 내지 6의 발광 스펙트럼을 나타낸 것이다. 도 19에서 세로축은 발광 강도(임의 단위), 가로축은 파장(nm)을 나타낸다.

[0223] 도 12 내지 도 19에 있어서, LE4는 발광 소자 4를 나타내고, LE5는 발광 소자 5를 나타내고, LE6은 발광 소자 6을 나타낸다.

[0224] 도 12 내지 도 19에 따르면, 게스트 농도가 낮은 발광 소자 4는 발광 소자 5 및 발광 소자 6보다 발광 효율이 높은 것을 알 수 있다. 표 5는 발광 소자 4 내지 발광 소자 6의 주된 특성을 나타낸 것이다. 표 5에서 LE4는 발광 소자 4를 나타내고, LE5는 발광 소자 5를 나타내고, LE6은 발광 소자 6을 나타낸다. 표 5에서는 호스트의 합계 중량에 대한 게스트의 중량비가 1%인 발광 소자 4는 상기 발광 소자 4보다 상기 게스트의 비율이 높은 발광 소자 5 및 발광 소자 6보다 더 뛰어난 특성을 나타낼 수 있다는 것을 밝힌다.

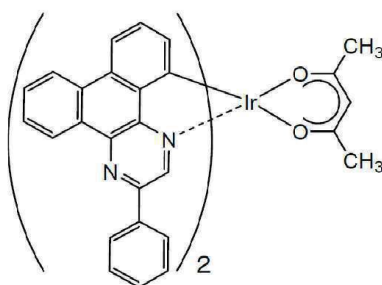
표 5

[0225]

	LE4(1%)	LE5(2.5%)	LE6(5%)
전압(V)	2.8	2.8	2.8
전류 밀도(mA/cm ²)	1.13	1.92	1.80
색도 _x	0.5901	0.6004	0.6179
색도 _y	0.4079	0.3996	0.3821
휘도 (cd/m ²)	767.8	1209.0	931.6
전류 효율(cd/A)	67.78	62.92	51.68
파워 효율(lm/W)	76.05	68.17	55.98
외부 양자 효율(%)	29.85	29.44	28.25

[0226] (실시예 5)

[0227] 본 실시예에서는, 인광성 화합물로서 기능하는 유기금속 착체, (아세틸아세토나토)비스(2-페닐다이벤조[f,h]퀴놀살리나토)이리듐(III)(약칭: [Ir(dbq-P)₂(acac)])을 게스트로서 사용하고, 게스트 농도를 변화시켰다. 이와 같이 하여 발광 소자의 특성을 측정하였다. [Ir(dbq-P)₂(acac)]의 구조는 이하에 나타낸다.



[Ir(dbq-P)₂(acac)]

[0228]

[0229] 본 실시예에 사용된 제 1 유기 화합물은 2mDBTPDBq-II이다. 본 실시예에서 사용된 제 2 유기 화합물은 NPB이다. 2mDBTPDBq-II와 NPB의 조합은 실시예 1의 조합(2mDBTPDBq-II와 PCBNBB)과 마찬가지로 여기 착체를 형성하고, 발광 스펙트럼은 실시예 1과 대략 같은 부분에 위치된다.

[0230] 본 실시예에서는, 게스트 농도가 다른 발광 소자 7, 발광 소자 8, 및 발광 소자 9를 제작하고, 이들의 특성을 비교하였다. 도 1의 (A)에 발광 소자 7, 발광 소자 8, 및 발광 소자 9의 구조를 도시하였다.

[0231] 양극으로서 기능하는 제 1 전극(101)으로서 110nm의 두께로 실리콘을 포함한 인듐 주석 산화물(ITSO)이 형성된 유리 기판을 준비하였다. ITSO 표면은, 표면 면적의 2mm×2mm가 노출되도록 폴리이미드막으로 덮었다. 전극 면적은 2mm×2mm로 하였다. 이 기판 위에 발광 소자를 형성하기 위한 전처리로서, 기판 표면을 물로 세정하고,

200℃로 1시간 동안 소성한 후, UV 오존 처리를 370초 동안 수행하였다.

[0232] 그 후, 10^{-4} Pa 정도까지 감압된 진공 증착 장치 내에 기판을 도입하고, 진공 증착 장치의 가열실에 있어서 170℃로 30분 동안 진공 소성한 후, 이 기판을 30분 정도 식혔다. 그리고, ITS0가 제공된 면이 하방을 향하도록, 기판을 진공 증착 장치 내의 증착실에 제공된 홀더에 고정하였다.

[0233] 증착실 내의 압력을 10^{-4} Pa 정도까지 감소시켰다. 그리고, DBT3P-II와 산화 몰리브덴(VI)을 산화 몰리브덴에 대한 DBT3P-II의 중량비가 4:2가 되도록 공증착함으로써 정공 주입층(111)을 형성하였다. 정공 주입층(111)의 두께는 40nm로 하였다.

[0234] 다음에, BPAFLP를 20nm의 두께로 증착에 의해 퇴적시킴으로써 정공 수송층(112)을 형성하였다.

[0235] 정공 수송층(112) 위에, 2mDBTPDBq-II, NBP, 및 $[\text{Ir}(\text{dbq-P})_2(\text{acac})]$ 을, NBP와 $[\text{Ir}(\text{dbq-P})_2(\text{acac})]$ 에 대한 2mDBTPDBq-II의 중량비가 0.8 : 0.2 : x가 되도록 공증착함으로써, 두께 40nm의 발광층(113)을 형성하였다. 이때, 발광 소자 7의 경우에는 x는 0.01, 발광 소자 8의 경우에는 x는 0.025, 발광 소자 9의 경우에는 x는 0.05로 하였다.

[0236] 다음에, 2mDBTPDBq-II를 10nm의 두께로 증착에 의해 퇴적시키고, 그 후 BPhen을 20nm의 두께로 증착에 의해 퇴적시킴으로써, 전자 수송층(114)을 형성하였다. 또한, 전자 수송층(114) 위에 1nm의 두께로 불화 리튬을 증착함으로써 전자 주입층(115)을 형성하였다. 이와 같이 하여 EL층(102)을 형성하였다. 또한, 상술한 증착 공정에 있어서, 증착은 모두 저항 가열법으로 수행하였다.

[0237] 마지막으로, 음극으로서 기능하는 제 2 전극(103)으로서 알루미늄을 두께 200nm로 형성함으로써, 발광 소자를 제작하였다. 표 6은 발광 소자의 적층 구조를 나타낸 것이다. 표 6에서, 발광 소자 7의 경우에는 x는 0.01, 발광 소자 8의 경우에는 x는 0.025, 발광 소자 9의 경우에는 x는 0.05로 하였다.

표 6

	발광 소자 7 내지 발광 소자 9
제 1 전극	ITS0, 110nm
정공 주입층	DBT3P-II:MoOx (=4:2), 40nm
정공 수송층	BPAFLP, 20nm
발광층	2mDBTPDBq-II : NBP : $[\text{Ir}(\text{dbq-P})_2(\text{acac})]$
	(=0.8:0.2:x),
	40nm
전자 수송층	2mDBTPDBq-II, 10nm
	BPhen, 20nm
전자 주입층	LiF, 1nm
제 2 전극	Al, 200nm

[0239] 이와 같이 하여 제작된 발광 소자(발광 소자 7 내지 발광 소자 9)를 대기에 노출시키지 않고 질소 분위기하의 글러브 박스에서 밀봉하였다(1시간 동안 80℃의 가열 처리에 의한 밀봉). 그 후에, 발광 소자의 작동 특성을 측정하였다. 또한, 측정은 실온(25℃로 유지된 분위기)에서 수행하였다.

[0240] 도 20은 발광 소자 7 내지 9의 휘도와 전류 밀도의 관계를 나타낸 것이다. 도 20에서 세로축은 휘도(cd/m^2), 가로축은 전류 밀도(mA/cm^2)를 나타낸다. 도 21은 발광 소자 7 내지 9의 휘도와 전압의 관계를 나타낸 것이다. 도 21에서 세로축은 휘도(cd/m^2), 가로축은 전압(V)을 나타낸다. 도 22는 발광 소자 7 내지 9의 전류와 전압의 관계를 나타낸 것이다. 도 22에서 세로축은 전류(mA), 가로축은 전압(V)을 나타낸다. 도 23은 발광 소자 7 내지 9의 색도와 휘도의 관계를 나타낸 것이다. 도 23에서 세로축은 색도, 가로축은 휘도(cd/m^2)를 나타낸다.

[0241] 도 24는 발광 소자 7 내지 9의 전류 효율과 휘도의 관계를 나타낸 것이다. 도 24에서 세로축은 전류 효율(cd/A), 가로축은 휘도(cd/m^2)를 나타낸다. 도 25는 발광 소자 7 내지 9의 파워 효율과 휘도의 관계를 나타낸 것이다. 도 25에서 세로축은 파워 효율(lm/W), 가로축은 휘도(cd/m^2)를 나타낸다. 도 26은 발광 소자 7 내지 9의 외부 양자 효율과 휘도의 관계를 나타낸 것이다. 도 26에서 세로축은 외부 양자 효율(%), 가로축은 휘도

(cd/m^2)를 나타낸다. 도 27은 발광 소자 7 내지 9의 외부 에너지 효율과 휘도의 관계를 나타낸 것이다. 도 27에서 세로축은 외부 에너지 효율(%), 가로축은 휘도(cd/m^2)를 나타낸다. 도 28은 발광 소자 7 내지 9의 발광 스펙트럼을 나타낸 것이다. 도 28에서 세로축은 발광 강도(임의 단위), 가로축은 파장(nm)을 나타낸다.

[0242] 도 20 내지 도 28에 있어서, LE7은 발광 소자 7을 나타내고, LE8은 발광 소자 8을 나타내고, LE9는 발광 소자 9를 나타낸다.

[0243] 도 20 내지 도 28에 따르면, 게스트 농도가 낮은 발광 소자 7은 발광 소자 8 및 발광 소자 9보다 발광 효율이 높은 것을 알 수 있다. 표 7은 발광 소자 7 내지 발광 소자 9의 주된 특성을 나타낸 것이다. 표 7에서 LE7은 발광 소자 7을 나타내고, LE8은 발광 소자 8을 나타내고, LE9는 발광 소자 9를 나타낸다. 표 7에서는 호스트의 합계 중량에 대한 게스트의 중량비가 1%인 발광 소자 7은 상기 발광 소자 7보다 상기 게스트의 비율이 높은 발광 소자 8 및 발광 소자 9보다 더 뛰어난 특성을 나타낼 수 있다는 것을 밝힌다.

표 7

[0244]

	LE7 (1%)	LE8(2.5%)	LE9 (5%)
전압(V)	3.2	3.5	4.0
전류 밀도(mA/cm^2)	2.35	3.45	4.36
색도 _x	0.6331	0.6508	0.6591
색도 _y	0.3655	0.3492	0.3409
휘도(cd/m^2)	874.0	969.9	1037.0
전류 효율(cd/A)	37.17	28.13	23.79
파워 효율(lm/W)	36.46	25.25	18.69
외부 양자 효율(%)	22.59	20.94	20.27
에너지 효율(%)	13.97	11.66	9.80

[0245] 본 출원은 2011년 4월 7일에 일본 특허청에 출원된 일련 번호가 2011-085423인 일본 특허 출원에 기초하고, 본 명세서에 그 전문이 참조로 통합된다.

부호의 설명

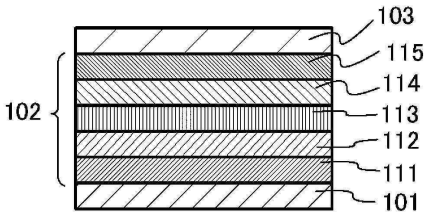
[0246]

101: 제 1 전극, 102: EL층, 103: 제 2 전극, 104: 제 1 EL층, 105: 제 2 EL층, 106: 전하 발생층, 111: 정공 주입층, 112: 정공 수송층, 113: 발광층, 114: 전자 수송층, 115: 전자 주입층, 116: 전자 주입 버퍼층, 117: 전자 릴레이층, 118: 복합 재료층

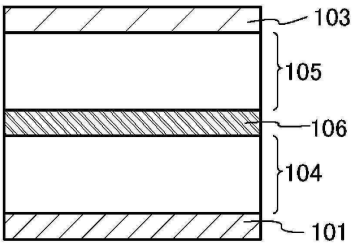
도면

도면1

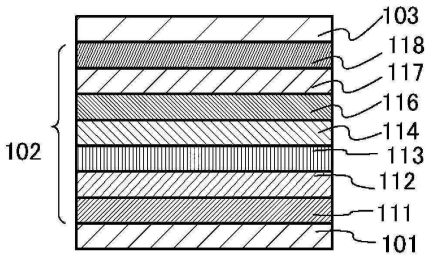
(A)



(B)

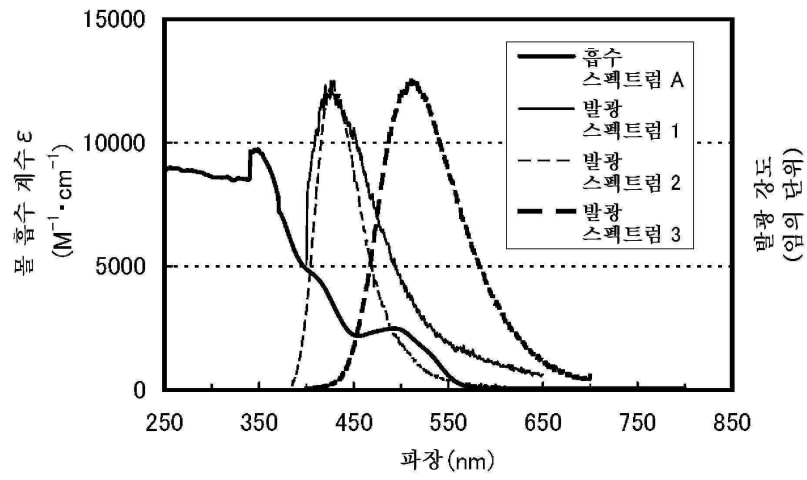


(C)

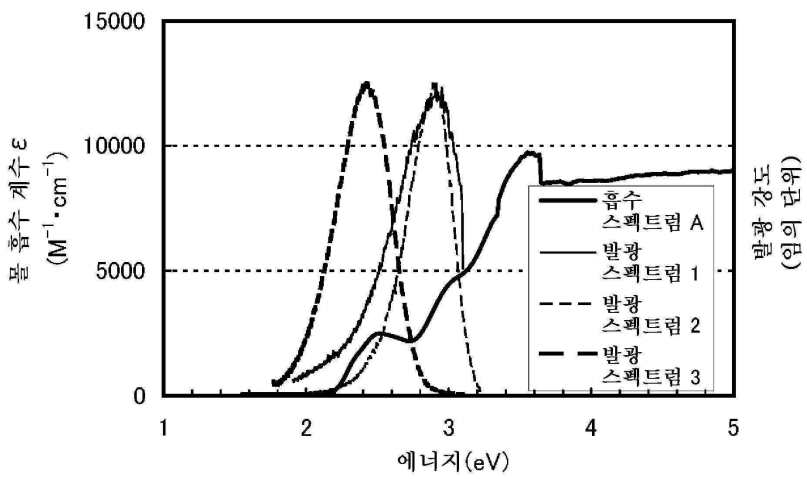


도면2

(A)

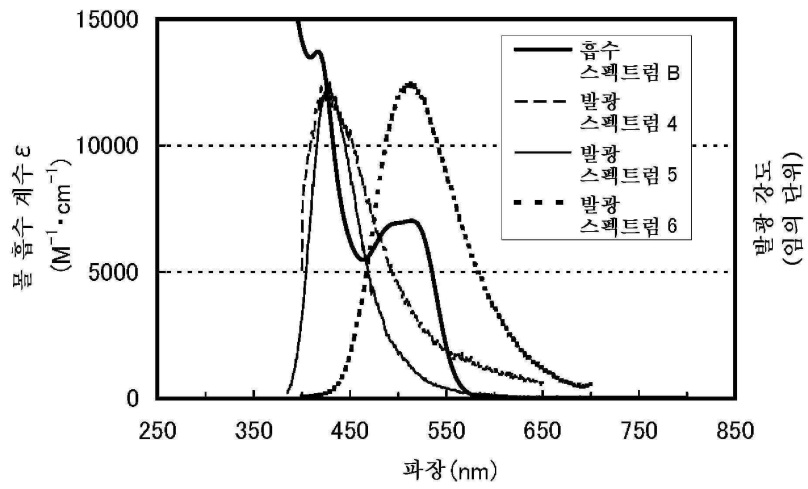


(B)

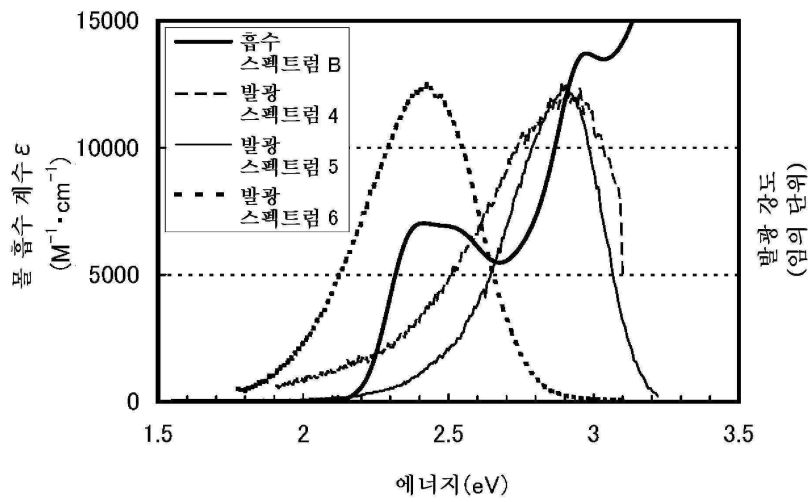


도면3

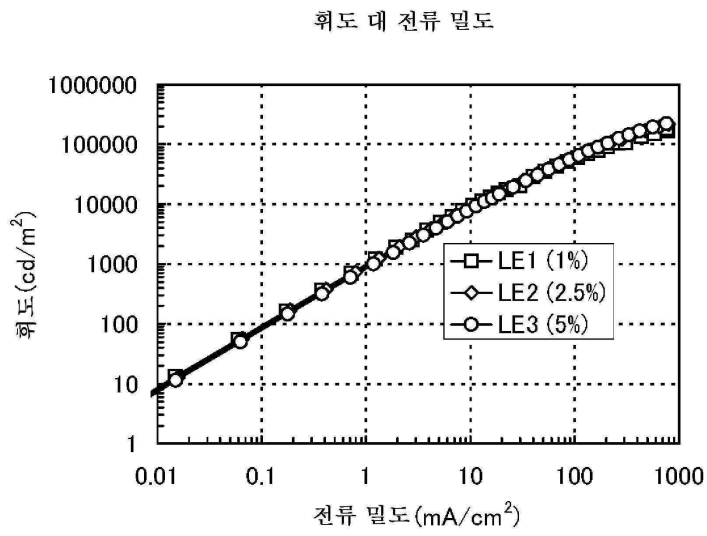
(A)



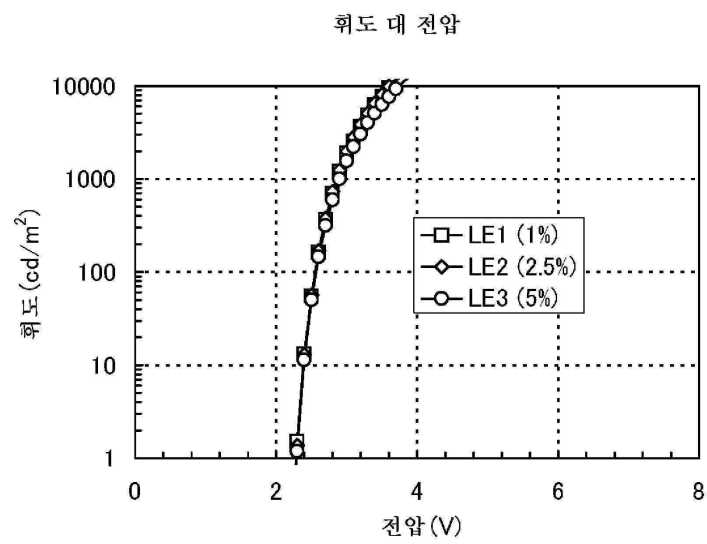
(B)



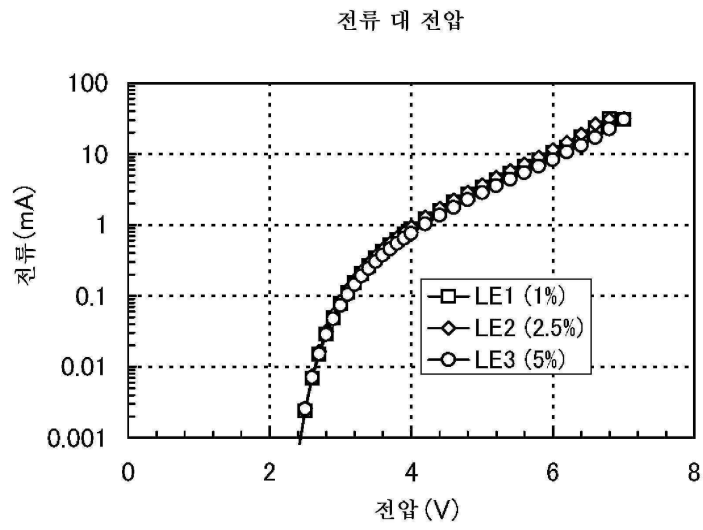
도면4



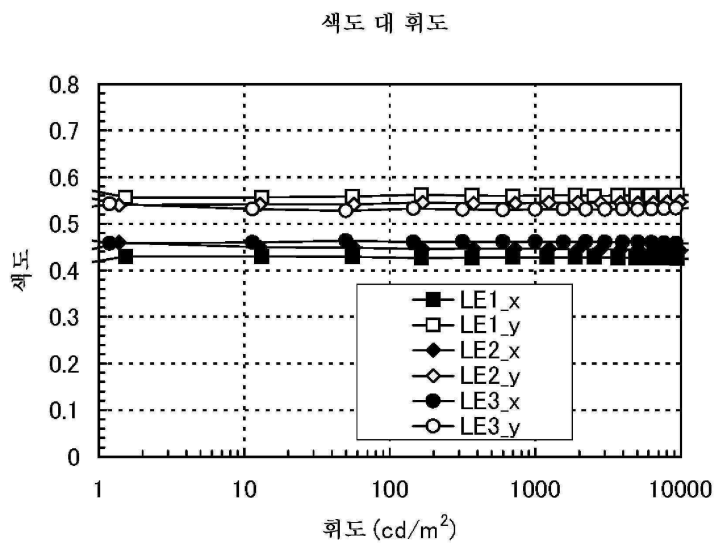
도면5



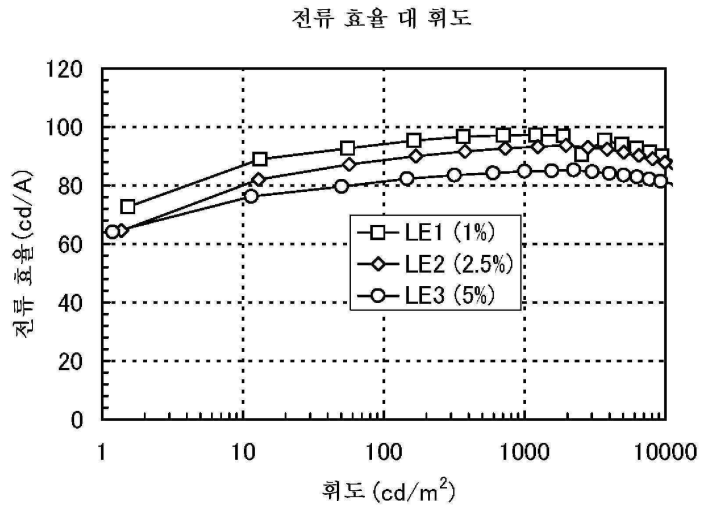
도면6



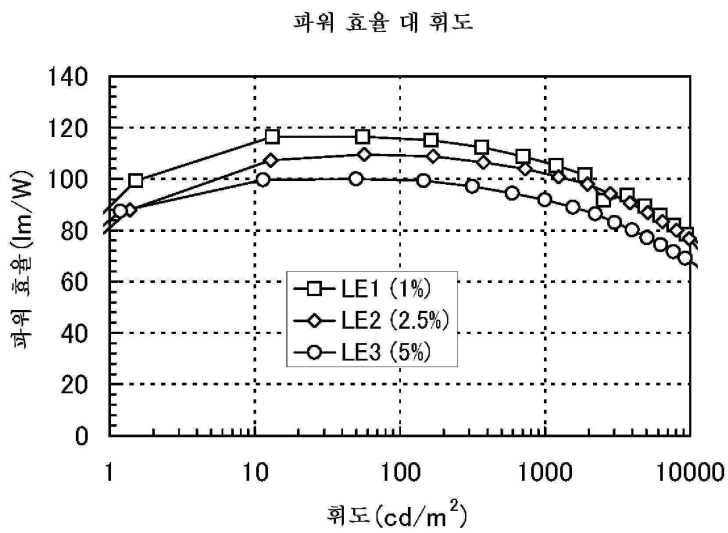
도면7



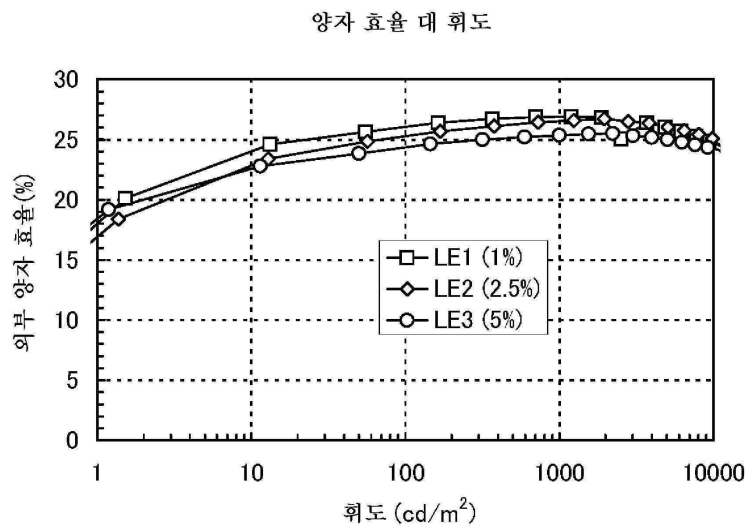
도면8



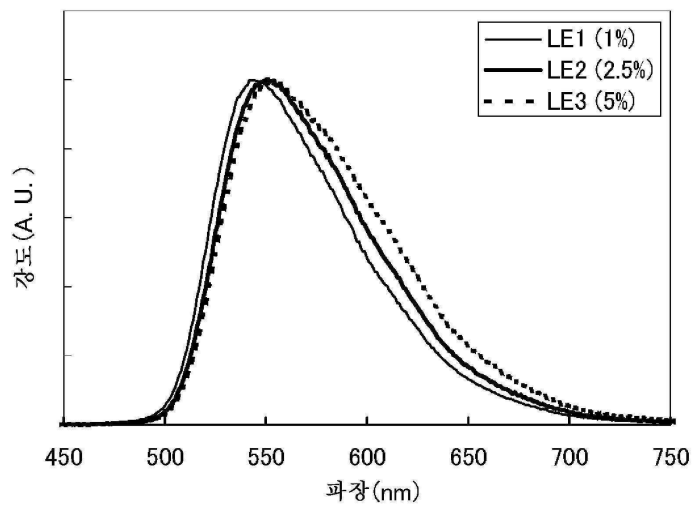
도면9



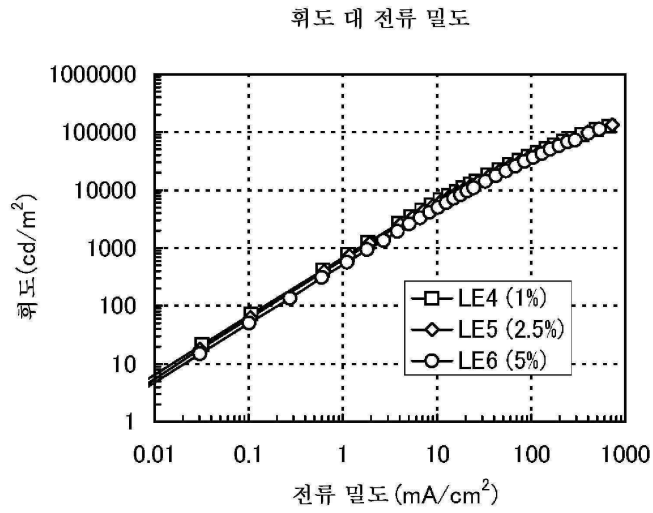
도면10



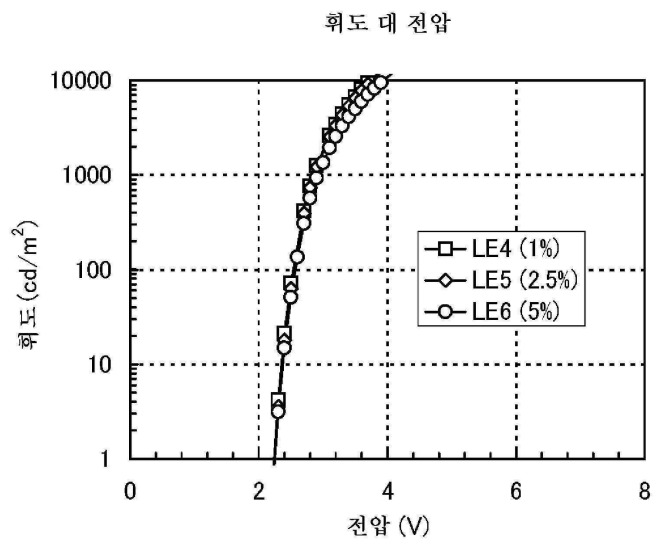
도면11



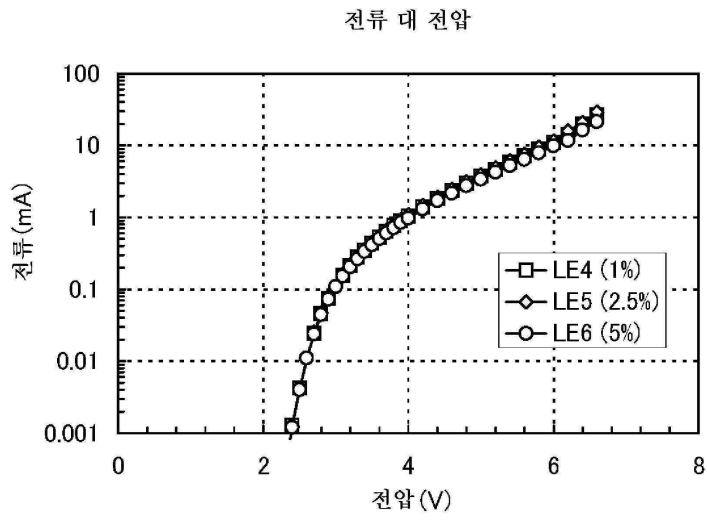
도면12



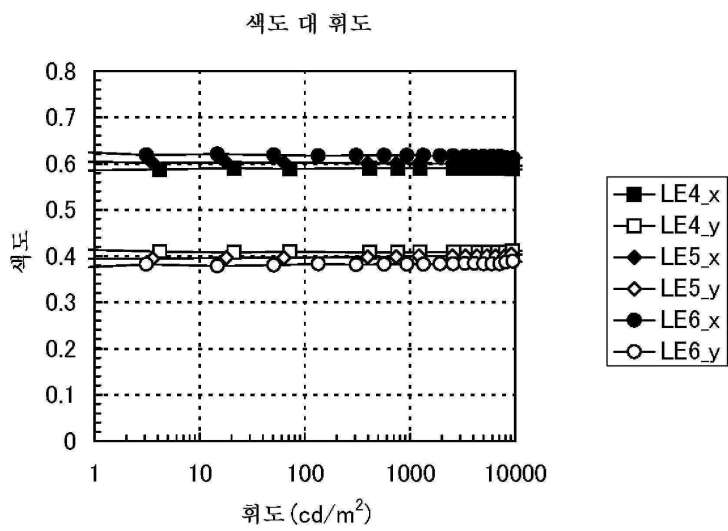
도면13



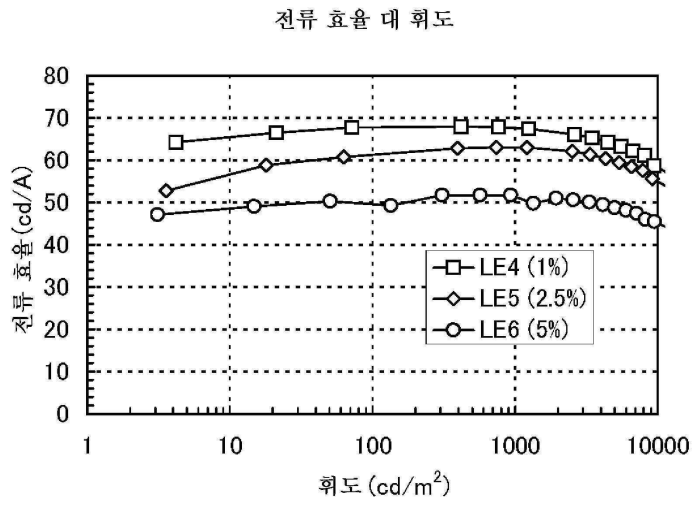
도면14



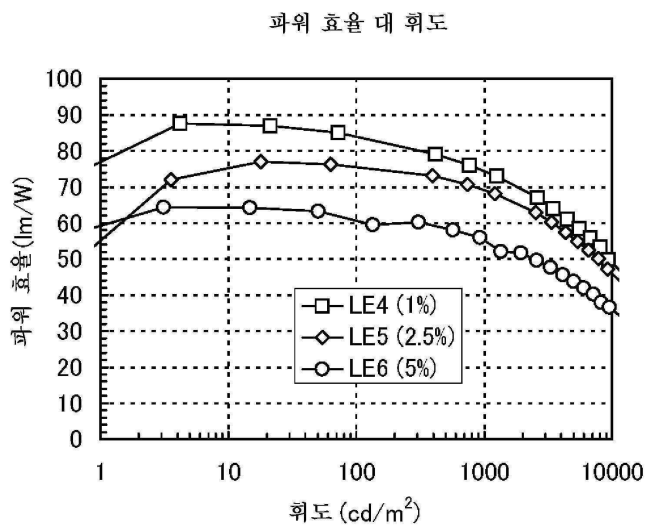
도면15



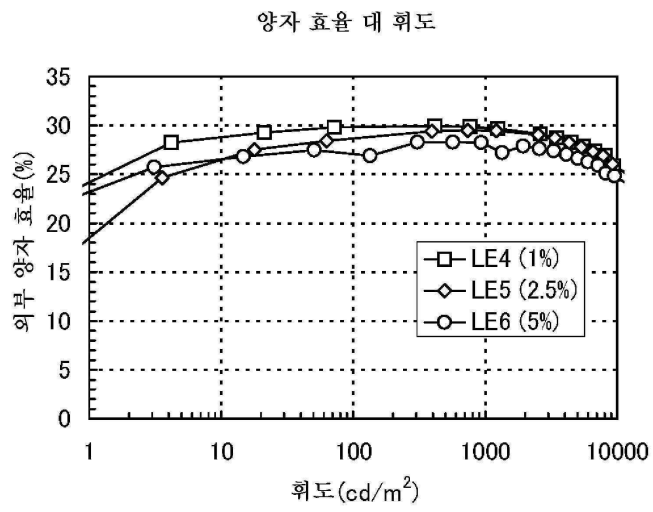
도면16



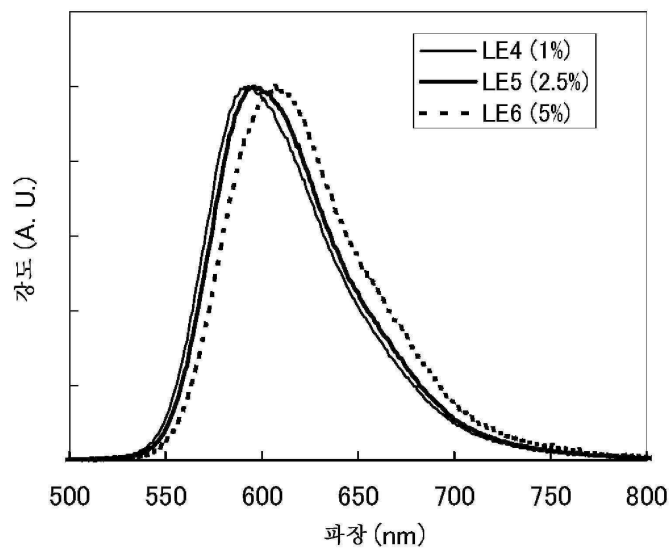
도면17



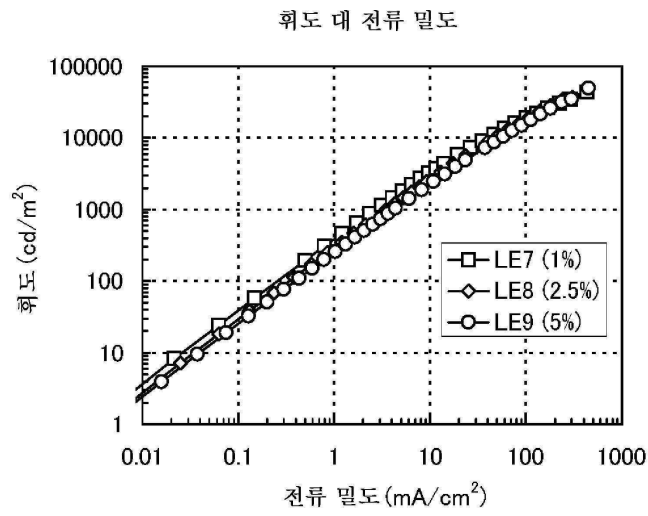
도면18



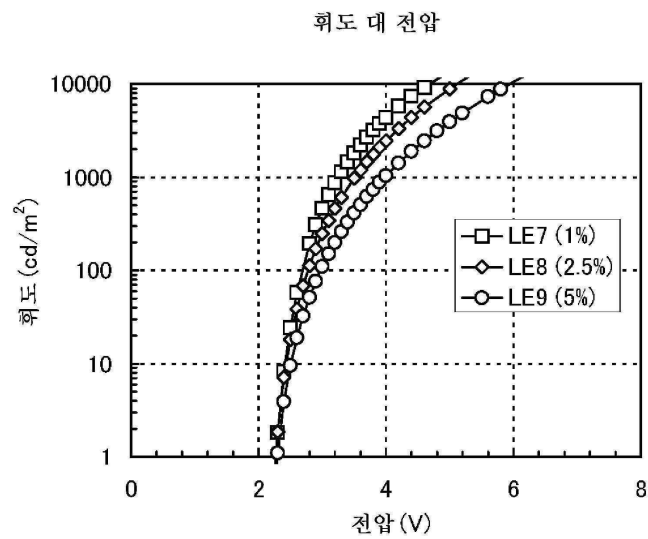
도면19



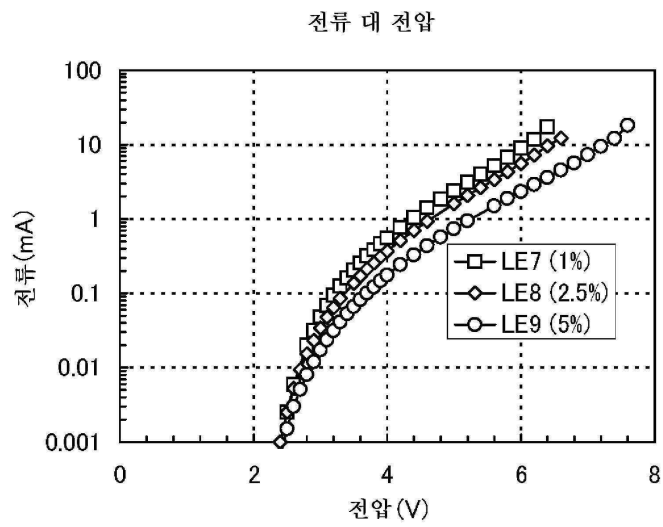
도면20



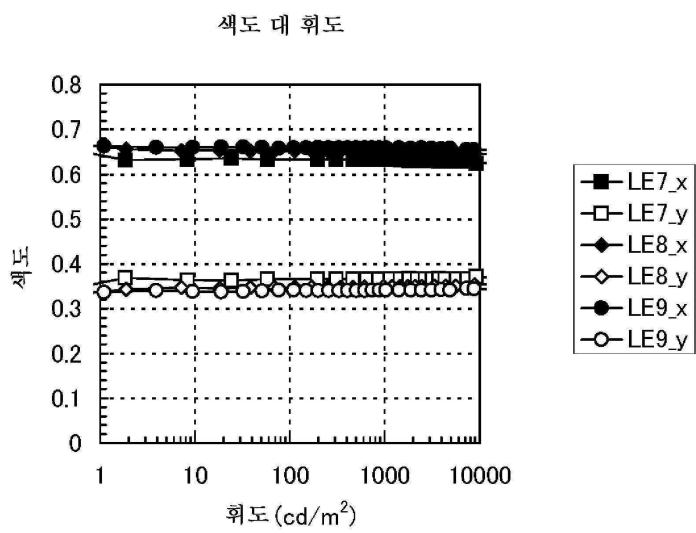
도면21



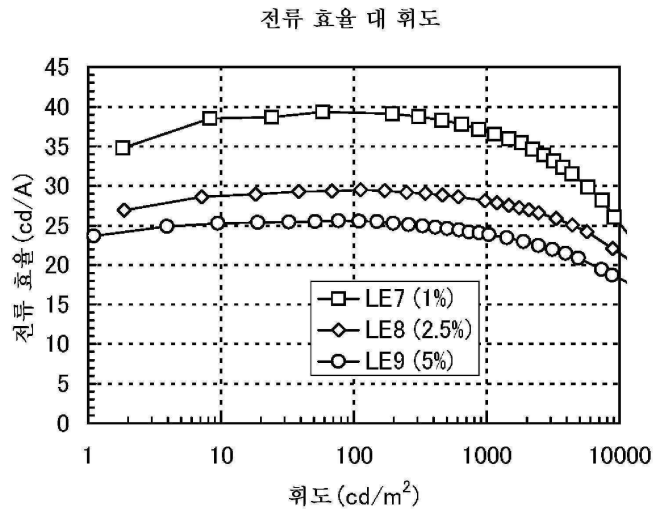
도면22



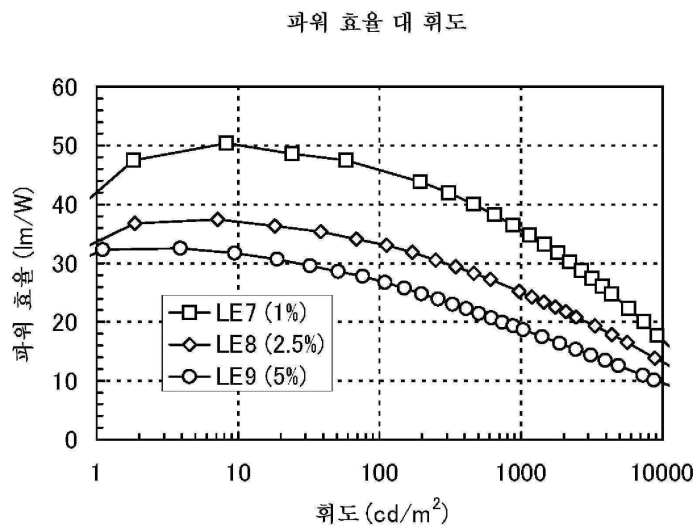
도면23



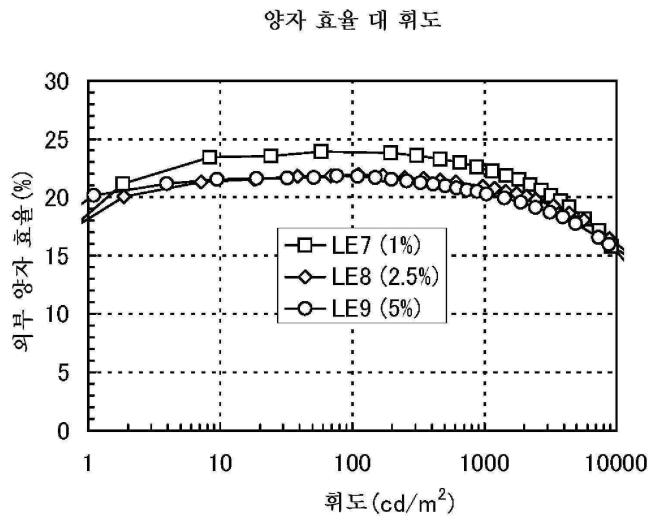
도면24



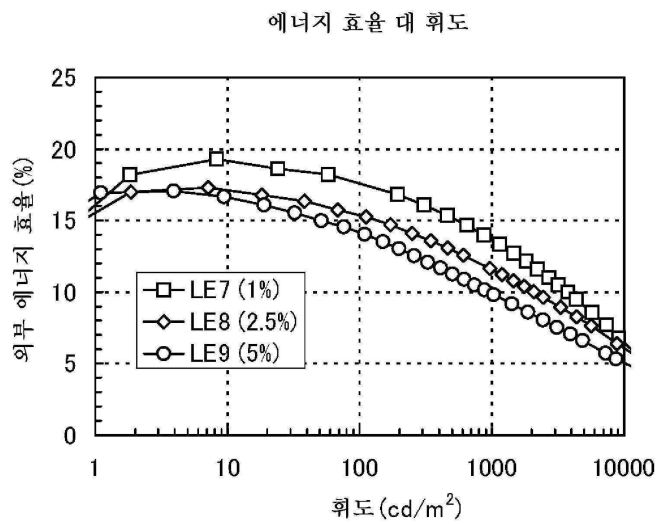
도면25



도면26



도면27



도면28

