(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2025-0034176
(43) 공개일자 2025년03월10일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H10K 85/60 (2023.01) *H05B 33/06* (2006.01)
H05B 33/14 (2006.01) *H10K 102/10* (2023.01)
H10K 50/11 (2023.01) *H10K 50/13* (2023.01)
H10K 50/81 (2023.01) *H10K 50/82* (2023.01)
H10K 85/30 (2023.01)
(52) CPC특허분류
H10K 85/6572 (2023.02)
H05B 33/06 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2025-7005767(분할)
(22) 출원일자(국제) 2013년04월09일
심사청구일자 없음
(62) 원출원 특허 10-2023-7036440
원출원일자(국제) 2013년04월09일
심사청구일자 2023년10월24일
(85) 번역문제출일자 2025년02월21일
(86) 국제출원번호 PCT/JP2013/061339
(87) 국제공개번호 WO 2013/157559
국제공개일자 2013년10월24일
(30) 우선권주장
JP-P-2012-096808 2012년04월20일 일본(JP)
JP-P-2013-052791 2013년03월15일 일본(JP)

(71) 출원인
가부시키가이샤 한도오따이 에네루기 켄큐쇼
일본국 가나가와켄 아쓰기시 하세 398
(72) 발명자
세오 사토시
일본 243-0036 가나가와켄 아쓰기시 하세 398 가부시키가이 샤 한도오따이 에네루기 켄큐쇼 내
야마자키 슌페이
일본 243-0036 가나가와켄 아쓰기시 하세 398 가부시키가이 샤 한도오따이 에네루기 켄큐쇼 내
이시소네 다카히로
일본 243-0036 가나가와켄 아쓰기시 하세 398 가부시키가이 샤 한도오따이 에네루기 켄큐쇼 내
(74) 대리인
양영준, 박충범

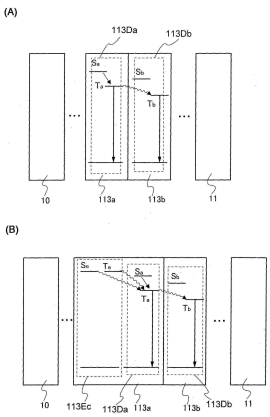
전체 청구항 수 : 총 12 항

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

(57) 요 약

본 발명의 목적은, 복수종의 발광 도펀트를 사용하고 높은 발광 효율을 갖는 발광 소자를 제공하는 것이다. 본 발명의 하나의 실시형태에서는, 각각 상기 발광 소자를 사용함으로써 감소된 소비 전력을 갖는, 발광 장치, 발광 모듈, 발광 표시 장치, 전자 기기, 및 조명 장치가 제공된다. 분자간 에너지 전달의 메커니즘 중 하나인 포스터 메커니즘에 주목한다. 에너지를 공여하는 분자의 발광 파장과, 에너지를 수용하는 분자의 흡수 스펙트럼에 파장의 4제곱을 곱하여 얻은 그래프의 최장파장측 극대 피크가 중첩되게 함으로써 포스터 메커니즘에 의한 효율적인 에너지 전달이 달성된다.

대 표 도 - 도2



(52) CPC특허분류
H05B 33/14 (2013.01)
H10K 50/11 (2023.02)
H10K 50/13 (2023.02)
H10K 50/81 (2023.02)
H10K 50/82 (2023.02)
H10K 85/342 (2023.02)
H10K 85/615 (2023.02)
H10K 85/631 (2023.02)
H10K 85/6576 (2023.02)

명 세 서

청구범위

청구항 1

발광 소자로서,

제1 전극과 제2 전극 사이에 발광층을 갖고,

상기 발광층은, 방향족 아민 골격, 카르바졸 골격, 티오펜 골격, 및 푸란 골격 중 어느 하나를 갖는 제1 화합물, 상기 제1 화합물과 여기 착체를 형성하는 제2 화합물, 및 인광성 화합물을 갖고,

상기 여기 착체의 PL 스펙트럼의 발광 피크 파장의 에너지 값과, 상기 인광성 화합물의 $\varepsilon(\lambda)\lambda^4$로 나타내어지는 함수의 최장파장측 극대값의 파장의 에너지 값의 차가 0.2eV 이하이고,

$\varepsilon(\lambda)$는 몰 흡광 계수를 나타내고, 파장 λ의 함수인, 발광 소자.

청구항 2

발광 소자로서,

제1 전극과 제2 전극 사이에 발광층을 갖고,

상기 발광층은, 방향족 아민 골격, 카르바졸 골격, 티오펜 골격, 및 푸란 골격 중 어느 하나를 갖는 제1 화합물, 상기 제1 화합물과 여기 착체를 형성하는 제2 화합물, 및 이리듐 착체를 갖고,

상기 여기 착체의 PL 스펙트럼의 발광 피크 파장의 에너지 값과, 상기 이리듐 착체의 $\varepsilon(\lambda)\lambda^4$로 나타내어지는 함수의 최장파장측 극대값의 파장의 에너지 값의 차가 0.2eV 이하이고,

$\varepsilon(\lambda)$는 몰 흡광 계수를 나타내고, 파장 λ의 함수인, 발광 소자.

청구항 3

발광 소자로서,

제1 전극과, 제2 전극과, 제1 발광층과, 제2 발광층을 갖고,

상기 제1 발광층은, 상기 제1 전극과 상기 제2 발광층 사이에 제공되고,

상기 제2 발광층은, 상기 제1 발광층과 상기 제2 전극 사이에 제공되고,

상기 제1 발광층은, 방향족 아민 골격, 카르바졸 골격, 티오펜 골격, 및 푸란 골격 중 어느 하나를 갖는 제1 화합물, 상기 제1 화합물과 여기 착체를 형성하는 제2 화합물, 및 제1 인광성 화합물을 갖고,

상기 제2 발광층은, 호스트 재료 및 제2 인광성 화합물을 갖고,

상기 제2 인광성 화합물의 발광은, 상기 제1 인광성 화합물의 발광보다도 장파장이며,

상기 제1 인광성 화합물의 PL 스펙트럼 $F(\lambda)$의 발광 피크 파장의 에너지 값과, 상기 제2 인광성 화합물의 $\varepsilon(\lambda)\lambda^4$로 나타내어지는 함수의 최장파장측의 극대값의 파장의 에너지 값의 차가 0.2eV 이하이고,

$\varepsilon(\lambda)$는 몰 흡광 계수를 나타내고, 파장 λ의 함수인, 발광 소자.

청구항 4

발광 소자로서,

제1 전극과, 제2 전극과, 제1 발광층과, 제2 발광층을 갖고,

상기 제1 발광층은, 상기 제1 전극과 상기 제2 발광층 사이에 제공되고,

상기 제2 발광층은, 상기 제1 발광층과 상기 제2 전극 사이에 제공되고,

상기 제1 발광층은, 방향족 아민 골격, 카르바졸 골격, 티오펜 골격, 및 푸란 골격 중 어느 하나를 갖는 제1 화합물, 상기 제1 화합물과 여기 착체를 형성하는 제2 화합물, 및 제1 인광성 화합물을 갖고,

상기 제2 발광층은, 호스트 재료 및 제2 인광성 화합물을 갖고,

상기 제2 인광성 화합물의 발광은, 상기 제1 인광성 화합물의 발광보다도 장파장이며,

상기 여기 착체의 PL 스펙트럼의 발광 피크 파장의 에너지 값과, 상기 제1 인광성 화합물의 $\varepsilon(\lambda)\lambda^4$로 나타내어지는 함수의 최장파장측의 극대값의 파장의 에너지 값의 차가 0.2eV 이하이고,

상기 제1 인광성 화합물의 PL 스펙트럼 $F(\lambda)$의 발광 피크 파장의 에너지 값과, 상기 제2 인광성 화합물의 $\varepsilon(\lambda)\lambda^4$로 나타내어지는 함수의 최장파장측의 극대값의 파장의 에너지 값의 차가 0.2eV 이하이고,

$\varepsilon(\lambda)$는 몰 흡광 계수를 나타내고, 파장 λ의 함수인, 발광 소자.

청구항 5

제2항에 있어서,

상기 이리듐 착체가 갖는 3개의 리간드 중 2개는 동일한 리간드이고, 1개는 상이한 리간드인, 발광 소자.

청구항 6

제3항 또는 제4항에 있어서,

상기 제1 인광성 화합물은 제1 이리듐 착체이고, 상기 제2 인광성 화합물은 제2 이리듐 착체인, 발광 소자.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 제1 이리듐 착체가 갖는 3개의 리간드 중 2개는 동일한 리간드이고, 1개는 상이한 리간드인, 발광 소자.

청구항 8

제6항에 있어서,

상기 제2 이리듐 착체가 갖는 3개의 리간드 중 2개는 동일한 리간드이고, 1개는 상이한 리간드인, 발광 소자.

청구항 9

제3항 또는 제4항에 있어서,

상기 제1 발광층과 상기 제2 발광층이 서로 접하는, 발광 소자.

청구항 10

제1항 내지 제4항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 제2 화합물은 헤테로시클릭 화합물인, 발광 소자.

청구항 11

발광 장치로서,

제1항 내지 제4항 중 어느 한 항에 따른 발광 소자와, 상기 발광 소자를 제어하는 수단을 갖는, 발광 장치.

청구항 12

전자 기기로서,

제1항 내지 제4항 중 어느 한 항에 따른 발광 소자를 갖는, 전자 기기.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은, 각각 유기 화합물을 발광 물질로서 사용하는 발광 소자, 표시 장치, 발광 장치, 전자 기기, 및 조명 장치에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 최근, 일렉트로루미네센스(EL)를 사용하는 발광 소자에 대한 연구 및 개발이 널리 수행되고 있다. 이러한 발광 소자의 기본적 구조에서는, 한 쌍의 전극 사이에 발광 물질을 함유하는 층(EL 층)이 삽입되어 있다. 이 소자에 전압을 인가함으로써, 발광 물질로부터 발광을 얻을 수 있다.

[0003] 이러한 발광 소자는 자기 발광형 소자이고, 예를 들어, 액정 디스플레이에 비해 높은 화소 시인성을 갖고 백라이트에 대한 필요성이 없다는 점에서 이점을 갖고; 따라서, 이러한 발광 소자는 평판 디스플레이 소자에 적합한 것으로 고려된다. 이러한 발광 소자를 포함하는 디스플레이는 또한, 이들이 박형이고 경량일 수 있다는 점에서 매우 유리하다. 또한, 매우 높은 응답 속도가 이러한 소자의 특징 중 하나이다.

[0004] 이러한 발광 소자의 발광 층은 필름 형태로 형성될 수 있기 때문에, 이들은 평면 발광을 제공하는 것을 가능하게 한다. 따라서, 대면적 소자가 용이하게 형성될 수 있다. 이는 백열 전구 및 LED로 대표되는 점 광원 또는 형광등으로 대표되는 선 광원으로는 얻어지기 어려운 특징이다. 따라서, 발광 소자는 또한 조명 등에 응용가능한 평면 광원으로서 높은 가능성을 갖는다.

[0005] 유기 화합물이 발광 물질로서 사용되고, 한 쌍의 전극 사이에 EL 층이 제공된 유기 EL 소자의 경우, 한 쌍의 전극 사이에 전압을 인가함으로써 캐소드(cathode)로부터 전자 및 애노드(anode)로부터 정공이 발광성을 갖는 EL 층에 주입되어 전류가 흐른다. 주입된 전자 및 정공의 재결합에 의해, 발광성을 갖는 유기 화합물이 여기 상태에 있게 되어 발광을 제공한다.

[0006] 유기 화합물에 의해 형성된 여기 상태는 일중항 여기 상태 및 삼중항 여기 상태를 포함하고, 일중항 여기 상태(S^*)로부터의 발광은 형광이라 부르고, 삼중항 여기 상태(T^*)로부터의 발광은 인광이라 부른다는 것을 인지한다. 또한, 발광 소자에서의 이들의 통계적 생성 비율은 하기와 같이 되는 것으로 여겨진다: $S^*:T^* = 1:3$.

[0007] 일중항 여기 상태로부터 발광하는 화합물(이하, 형광성 화합물이라 부름)에서는, 실온에서, 일반적으로 삼중항 여기 상태로부터의 발광(인광)이 관찰되지 않으며, 일중항 여기 상태로부터의 발광(형광)만이 관찰된다. 따라서, 형광성 화합물을 사용한 발광 소자의 내부 양자 효율(주입된 캐리어에 대한 생성된 광자의 비율)은, S^* 대 T^*의 비율이 1:3인 것에 기초하여 25%의 이론적 한계를 갖는 것으로 여겨진다.

[0008] 한편, 삼중항 여기 상태로부터 발광하는 화합물(이하, 인광성 화합물이라 부름)에서는, 삼중항 여기 상태로부터의 발광(인광)이 관찰된다. 또한, 인광성 화합물에서는, 항간 교차(즉, 일중항 여기 상태로부터 삼중항 여기 상태로의 전이)가 쉽게 일어나기 때문에, 내부 양자 효율이 이론적으로 100%까지 증가할 수 있다. 즉, 형광성 화합물을 사용하는 것보다 높은 발광 효율이 달성될 수 있다. 이러한 이유로, 매우 효율적인 발광 소자를 얻기 위해 현재 인광성 화합물을 사용한 발광 소자가 활발한 개발 중에 있다.

[0009] 특허 문헌 1에 개시된 백색 발광 소자는, 인광을 방출하는 복수종의 발광 도펀트를 함유하는 발광 영역을 포함한다.

선행기술문헌

특허문헌

[0010] (특허문헌 0001) PCT 국제 특허 출원 번호 2004-522276의 일문 번역문

발명의 내용

해결하려는 과제

[0011] 인광성 화합물에서 100%의 내부 양자 효율이 이론적으로 가능하지만, 이러한 높은 효율은 소자 구조 또는 또 다른 재료와의 조합의 최적화 없이는 달성하기 어려울 수 있다. 특히 상이한 밴드(상이한 발광색)를 갖는 복수종의 인광성 화합물을 발광 도펀트로서 포함하는 발광 소자에서는, 에너지 전달을 고려할 뿐만 아니라 에너지 전달의 효율을 최적화하지 않고는 매우 효율적인 발광을 얻기 어렵다. 실제로, 특허 문헌 1에서는, 발광 소자의 모든 발광 도펀트가 인광성 화합물인 경우에도, 외부 양자 효율이 대략 3% 내지 4%이다. 따라서, 광 취출 효율을 고려하는 경우에도, 내부 양자 효율이 20% 이하인 것으로 여겨지고, 이는 인광 발광 소자에 대해서는 낮은 값이다.

[0012] 발광 효율의 향상 이외에도, 상이한 발광색을 나타내는 도펀트를 사용한 다색 발광 소자에서는, 상이한 발광색을 나타내는 도펀트에 의한 발광 사이에 우수한 밸런스를 얻는 것이 또한 필수적이다. 도펀트에 의한 발광 사이의 밸런스를 유지하고, 동시에 높은 발광 효율을 달성하는 것은 쉽지 않다.

[0013] 이러한 관점에서, 본 발명의 하나의 실시형태의 목적은, 복수종의 발광 도펀트를 사용하고 높은 발광 효율을 갖는 발광 소자를 제공하는 것이다. 본 발명의 하나의 실시형태의 또 다른 목적은, 상기 발광 소자를 사용함으로써 소비 전력이 각각 감소된, 발광 장치, 표시 장치, 전자 기기, 및 조명 장치를 제공하는 것이다.

[0014] 본 발명에서는 단지 상기 목적 중 적어도 하나를 달성하는 것이 필수적이다.

과제의 해결 수단

[0015] 본 발명의 하나의 실시형태에서는, 분자간 에너지 전달의 메커니즘 중 하나인 포스터(Förster) 메커니즘에 초점을 두어, 에너지를 공여하는 분자의 발광 스펙트럼 밴드와, 에너지를 수용하는 분자의 흡수 스펙트럼에 파장의 4제곱을 곱하여 얻은 특성 곡선의 최장파장측 피크 사이의 중첩을 얻을 수 있게 하는 분자의 조합을 이용함으로써 포스터 메커니즘에 의한 효율적인 에너지 전달이 달성된다. 여기서, 상기 에너지 전달의 특징 중 하나는, 에너지 전달이 호스트로부터 도펀트로의 일반적 에너지 전달이 아니라, 도펀트로부터 도펀트로의 에너지 전달이라는 점이다. 본 발명의 하나의 실시형태의 발광 소자는, 에너지가 매우 효율적으로 전달될 수 있는 도펀트들의 이러한 조합을 이용하고 도펀트 분자가 적절히 분리되도록 하는 소자 구조를 설계함으로써 얻어질 수 있다.

[0016] 즉, 본 발명의 하나의 실시형태는, 한 쌍의 전극 사이에, 제1 호스트 재료 중에 제1 인광성 화합물이 분산되어 있는 제1 발광 층; 및 제2 호스트 재료 중에 제1 인광성 화합물로부터 방출된 광의 파장보다 긴 파장을 갖는 광을 방출하는 제2 인광성 화합물이 분산되어 있는 제2 발광 층을 포함하는 발광 소자이다. 제2 인광성 화합물의 함수 $\varepsilon(\lambda)\lambda^4$의 최장파장측 피크의 파장이 제1 인광성 화합물의 인광 스펙트럼 $F(\lambda)$과 중첩된다. $\varepsilon(\lambda)$는 각각의 인광성 화합물의 몰 흡광 계수를 나타내고, 이는 파장 λ의 함수임을 인지한다.

[0017] 본 발명의 다른 실시형태는, 한 쌍의 전극 사이에, 제1 호스트 재료 중에 제1 인광성 화합물이 분산되어 있는 제1 발광 층; 및 제2 호스트 재료 중에 제1 인광성 화합물로부터 방출된 광의 파장보다 긴 파장을 갖는 광을 방출하는 제2 인광성 화합물이 분산되어 있는 제2 발광 층을 포함하는 발광 소자이다. 제1 인광성 화합물의 인광 스펙트럼의 피크를 갖는 밴드가 제2 인광성 화합물의 함수 $\varepsilon(\lambda)\lambda^4$의 최장파장측 피크를 갖는 밴드와 중첩된다. $\varepsilon(\lambda)$는 각각의 인광성 화합물의 몰 흡광 계수를 나타내고, 이는 파장 λ의 함수임을 인지한다.

[0018] 본 발명의 또 다른 실시형태는, 제1 발광 층이 제1 유기 화합물을 더 함유하고, 제1 호스트 재료와 제1 유기 화합물이 엑시플렉스(exciplex)를 형성하고, 제1 인광성 화합물로부터 방출된 광이 엑시플렉스로부터 방출된 광보다 긴 파장을 갖는, 상기 구조를 갖는 발광 소자이다.

[0019] 본 발명의 또 다른 실시형태는, 엑시플렉스의 발광 스펙트럼이 제1 인광성 화합물의 함수 $\varepsilon(\lambda)\lambda^4$의 최장파장측 피크의 파장과 중첩되는, 상기 구조를 갖는 발광 소자이다. $\varepsilon(\lambda)$는 각각의 인광성 화합물의 몰 흡광 계수를 나타내고, 이는 파장 λ의 함수임을 인지한다.

[0020] 본 발명의 또 다른 실시형태는, 엑시플렉스의 발광 스펙트럼의 피크를 갖는 밴드가 제1 인광성 화합물의 함수 $\varepsilon(\lambda)\lambda^4$의 최장파장측 피크를 갖는 밴드와 중첩되는, 상기 구조를 갖는 발광 소자이다. $\varepsilon(\lambda)$는 각각의 인광성 화합물의 몰 흡광 계수를 나타내고, 이는 파장 λ의 함수임을 인지한다.

[0021] 본 발명의 또 다른 실시형태는, 제1 인광성 화합물이 500 nm 내지 600 nm의 범위에서 인광 피크를 갖고, 제2 인광성 화합물이 600 nm 내지 700 nm의 범위에서 인광 피크를 갖는, 상기 구조를 갖는 발광 소자이다.

[0022] 본 발명의 또 다른 실시형태는, 전자와 정공의 재결합 영역이 제1 발광 층인, 상기 구조를 갖는 발광 소자이다.

[0023] 본 발명의 또 다른 실시형태는, 제1 발광 층이 제2 발광 층보다 애노드에 더 가깝게 위치하고, 적어도 제2 발광 층에서는 전자 수송성이 정공 수송성보다 높은, 상기 구조를 갖는 발광 소자이다.

[0024] 본 발명의 또 다른 실시형태는, 제1 발광 층이 제2 발광 층보다 애노드에 더 가깝게 위치하고, 제1 호스트 재료 및 제2 호스트 재료 둘 다 전자 수송성을 갖는, 상기 구조를 갖는 발광 소자이다. 전자 수송성을 갖는 재료는 바람직하게는 전자 수송성이 정공 수송성보다 높은 재료임을 인지한다.

[0025] 본 발명의 또 다른 실시형태는, 제1 발광 층이 제2 발광 층보다 캐소드에 더 가깝게 위치하고, 적어도 제2 발광 층에서는 정공 수송성이 전자 수송성보다 높은, 상기 구조를 갖는 발광 소자이다.

[0026] 본 발명의 또 다른 실시형태는, 제1 발광 층이 제2 발광 층보다 캐소드에 더 가깝게 위치하고, 제1 호스트 재료 및 제2 호스트 재료 둘 다 정공 수송성을 갖는, 상기 구조를 갖는 발광 소자이다. 정공 수송성을 갖는 재료는 바람직하게는 정공 수송성이 전자 수송성보다 높은 재료임을 인지한다.

[0027] 본 발명의 또 다른 실시형태는, 제1 발광 층과 제2 발광 층이 서로 접하여 적층된, 상기 구조를 갖는 발광 소자이다.

[0028] 본 발명의 또 다른 실시형태는, 각각 상기 구조를 갖는 발광 소자를 포함하는, 발광 장치, 발광 표시 장치, 전자 기기, 및 조명 장치이다.

[0029] 본 명세서에서 발광 장치는, 발광 소자를 사용한 화상 표시 장치를 그의 카테고리 내에 포함함을 인지한다. 또한, 본 명세서에서 발광 장치의 카테고리는, 발광 소자에 커넥터, 예컨대 이방성 도전성 필름 또는 TCP(테이프 캐리어 패키지)가 제공된 모듈; TCP의 상단에 프린트 배선판이 제공된 모듈; 및 COG(칩 온 글래스) 방법에 의해 발광 소자에 IC(집적 회로)가 직접 장착된 모듈을 포함한다. 또한, 카테고리는 조명 기구 등에 사용되는 발광 장치를 포함한다.

발명의 효과

[0030] 본 발명의 하나의 실시형태는 높은 발광 효율을 갖는 발광 소자를 제공한다. 발광 소자를 사용함으로써, 본 발명의 또 다른 실시형태는, 소비 전력이 각각 감소된, 발광 장치, 발광 표시 장치, 전자 기기, 및 조명 장치를 제공한다.

도면의 간단한 설명

[0031] 도 1의 (A) 내지 도 1의 (C)는 발광 소자의 개념도이다.

도 2의 (A) 및 도 2의 (B)는 발광 층에서의 에너지 전달을 나타낸다.

도 3의 (A) 및 도 3의 (B)는 포스터 에너지 전달을 설명한다.

도 4의 (A) 및 도 4의 (B)는 액티브 매트릭스 발광 장치의 개념도이다.

도 5의 (A) 및 도 5의 (B)는 패시브 매트릭스 발광 장치의 개념도이다.

도 6의 (A) 및 도 6의 (B)는 액티브 매트릭스 발광 장치 구조의 개념도이다.

도 7은 액티브 매트릭스 발광 장치의 개념도이다.

도 8의 (A) 및 도 8의 (B)는 조명 장치의 개념도이다.

도 9의 (A), 도 9의 (B1), 도 9의 (B2), 도 9의 (C), 및 도 9의 (D)는 각각 전자 기기를 나타낸다.

도 10은 전자 기기를 나타낸다.

도 11은 조명 장치를 나타낸다.

도 12는 조명 장치 및 표시 장치를 나타낸다.

도 13은 자동차-장착 표시 장치 및 조명 장치를 나타낸다.

도 14의 (A) 내지 도 14의 (C)는 전자 기기를 나타낸다.

도 15는 발광 소자 1의 휘도-전류 효율 특성을 나타낸다.

도 16은 발광 소자 1의 전압-휘도 특성을 나타낸다.

도 17은 발광 소자 1의 휘도-외부 양자 효율 특성을 나타낸다.

도 18은 발광 소자 1의 휘도-전력 효율 특성을 나타낸다.

도 19는 발광 소자 1의 발광 스펙트럼을 나타낸다.

도 20의 (A) 및 도 20의 (B)는 발광 소자 1에서의 포스터 에너지 전달을 설명한다.

도 21의 (A) 및 도 21의 (B)는 발광 소자 1에서의 포스터 에너지 전달을 설명한다.

도 22는 발광 소자 1에서의 포스터 에너지 전달을 설명한다.

도 23은 2mDBTPDBq-II, PCBA1BP, 및 이들의 혼합막의 PL 스펙트럼을 나타낸다.

도 24는 발광 소자 2의 휘도-전류 효율 특성을 나타낸다.

도 25는 발광 소자 2의 전압-휘도 특성을 나타낸다.

도 26은 발광 소자 2의 휘도-외부 양자 효율 특성을 나타낸다.

도 27은 발광 소자 2의 휘도-전력 효율 특성을 나타낸다.

도 28은 발광 소자 2의 발광 스펙트럼을 나타낸다.

도 29는 발광 소자 2의 신뢰성 시험 결과를 나타낸다.

도 30은 발광 소자 3의 휘도-전류 효율 특성을 나타낸다.

도 31은 발광 소자 3의 전압-휘도 특성을 나타낸다.

도 32는 발광 소자 3의 휘도-외부 양자 효율 특성을 나타낸다.

도 33은 발광 소자 3의 휘도-전력 효율 특성을 나타낸다.

도 34는 발광 소자 3의 발광 스펙트럼을 나타낸다.

도 35는 발광 소자 4의 휘도-전류 효율 특성을 나타낸다.

도 36은 발광 소자 4의 전압-휘도 특성을 나타낸다.

도 37은 발광 소자 4의 휘도-외부 양자 효율 특성을 나타낸다.

도 38은 발광 소자 4의 휘도-전력 효율 특성을 나타낸다.

도 39는 발광 소자 4의 발광 스펙트럼을 나타낸다.

도 40은 발광 소자 5의 휘도-전류 효율 특성을 나타낸다.

도 41은 발광 소자 5의 전압-휘도 특성을 나타낸다.

도 42은 발광 소자 5의 휘도-외부 양자 효율 특성을 나타낸다.

도 43은 발광 소자 5의 휘도-전력 효율 특성을 나타낸다.

도 44는 발광 소자 5의 발광 스펙트럼을 나타낸다.

도 45의 (A) 및 도 45의 (B)는 발광 소자 4에서의 포스터 에너지 전달을 설명한다.

도 46은 발광 소자 4에서의 포스터 에너지 전달을 설명한다.

도 47의 (A) 및 도 47의 (B)는 발광 소자 5에서의 포스터 에너지 전달을 설명한다.

도 48의 (A) 및 도 48의 (B)는 발광 소자 5에서의 포스터 에너지 전달을 설명한다.

도 49는 발광 소자 5에서의 포스터 에너지 전달을 설명한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0032] 이하, 본 발명의 실시형태를 도면을 참조로 하여 상세히 설명할 것이다. 본 발명은 하기에 기재된 설명으로 제한되지 않음을 인지하며, 당업자는 본 발명의 취지 및 범위로부터 벗어나지 않는 다양한 변화 및 변형이 이루어질 수 있음을 용이하게 이해할 것이다. 따라서, 본 발명은 하기에 제공되는 실시형태의 기재 내용으로 제한되는 것으로 해석되어선 안된다.

[0033] (실시형태 1)

[0034] 먼저, 본 발명의 하나의 실시형태의 발광 소자의 동작 원리를 설명할 것이다. 본 발명의 요점은, 제1 인광성 화합물 및 제1 인광성 화합물로부터 방출된 광의 파장보다 긴 파장을 갖는 광을 방출하는 제2 인광성 화합물이 사용되고, 제1 및 제2 인광성 화합물 둘 다 효율적으로 발광하게 됨으로써, 고효율을 갖는 다색 발광 소자가 얻어진다는 것이다.

[0035] 인광성 화합물을 포함하는 다색 발광 소자를 얻기 위한 일반적 방법으로서는, 상이한 발광색을 갖는 복수종의 인광성 화합물을 적절한 비율로 일부 호스트 재료 중에 분산시키는 방법이 제공될 수 있다. 그러나, 이러한 방법에서는, 최장파장을 갖는 광을 방출하는 인광성 화합물이 쉽게 발광하고, 따라서 다색광을 얻기 위한 구조(특히 호스트 재료 중의 인광성 화합물의 농도)의 설계 및 제어가 매우 어렵다.

[0036] 다색 발광 소자를 얻기 위한 또 다른 기술로서는, 상이한 발광색을 갖는 발광 소자를 직렬로 적층시킨, 소위 탠덤(tandem) 구조가 제공될 수 있다. 예를 들어, 청색 발광 소자, 녹색 발광 소자, 및 적색 발광 소자를 직렬로 적층시켜 동시에 발광시킴으로써, 다색광(이 경우, 백색광)을 용이하게 얻을 수 있다. 청색 발광 소자, 녹색 발광 소자, 및 적색 발광 소자가 독립적으로 최적화될 수 있기 때문에 소자 구조가 비교적 용이하게 설계 및 제어될 수 있다. 그러나, 3개 소자의 적층에는 층수의 증가가 수반되고 제작이 복잡해진다. 또한, 소자들간의 접속부(소위, 중간 층)에서 전기적 접촉에 문제가 발생하는 경우, 구동 전압의 증가, 즉, 전력 손실이 초래될 수 있다.

[0037] 한편, 본 발명의 하나의 실시형태의 발광 소자에서는, 한 쌍의 전극 사이에, 제1 호스트 재료 중에 제1 인광성 화합물이 분산되어 있는 제1 발광 층, 및 제2 호스트 재료 중에 제1 인광성 화합물로부터 방출된 광의 파장보다 긴 파장을 갖는 광을 방출하는 제2 인광성 화합물이 분산되어 있는 제2 발광 층이 적층된다. 여기서는, 탠덤 구조의 경우와 달리, 제1 및 제2 발광 층이 서로 접하여 제공될 수 있다.

[0038] 상기에 기재된 본 발명의 하나의 실시형태의 발광 소자의 소자 구조를 도 1의 (A) 내지 도 1의 (C)에 개략적으로 나타내었다. 도 1의 (C)에는, 제1 전극(101), 제2 전극(102), 및 EL 층(103)이 나타나 있다. EL 층(103)은 적어도 발광 층(113)을 포함하고, 적절한 경우 다른 층이 제공될 수 있다. 도 1의 (C)에 나타낸 구조에서는, 정공 주입 층(111), 정공 수송 층(112), 전자 수송 층(114), 및 전자 주입 층(115)이 제공되는 것으로 고려된다. 제1 전극(101)이 애노드로서 기능하고, 제2 전극(102)이 캐소드로서 기능하는 것으로 고려됨을 인지한다.

[0039] 도 1의 (A) 및 도 1의 (B)는 각각 발광 소자 내의 발광 층(113)의 확대도이다. 도 1의 (A) 및 도 1의 (B) 각각에는, 제1 발광 층(113a), 제2 발광 층(113b), 두 층의 조합인 발광 층(113), 제1 인광성 화합물(113Da), 제2 인광성 화합물(113Db), 제1 호스트 재료(113Ha), 및 제2 호스트 재료(113Hb)가 나타나 있다. 도 1의 (B)는 제1 발광 층(113a)이 제1 유기 화합물(113A)을 더 함유하는 경우를 나타내는 개략도이다. 어느 쪽의 경우에도, 인광성 화합물(제1 및 제2 인광성 화합물)은 호스트 재료 중에 분산되어 있어, 인광성 화합물은 호스트 재료에 의해 서로 분리된다. 제1 및 제2 호스트 재료는 서로 동일하거나 상이할 수 있음을 인지한다. 제1 발광 층(113a)이 애노드측에 있을 수 있고 제2 발광 층(113b)이 캐소드측에 있을 수 있거나, 또는 제1 발광 층(113a)이 캐소드측에 있을 수 있고 제2 발광 층(113b)이 애노드측에 있을 수 있다.

[0040] 그러한 경우, 인광성 화합물들 사이에서, 전자 교환 상호작용(소위, 덱스터(Dexter) 메커니즘)에 의한 에너지 전달이 억제된다. 즉, 제1 인광성 화합물(113Da)이 여기된 후, 여기 에너지가 덱스터 메커니즘에 의해 제2 인광성 화합물(113Db)로 전달되는 현상이 방지될 수 있다. 따라서, 최장파장을 갖는 광을 방출하는 제2 인광성 화합물(113Db)이 주로 발광하는 현상이 억제될 수 있다. 제2 발광 층(113b)에서 직접 엑시톤이 생성되는 경우 제2 인광성 화합물(113Db)이 주로 발광하고; 따라서, 캐리어의 재결합 영역이 제1 발광 층(113a) 내에 있는 것(즉, 제1 인광성 화합물(113Da)이 주로 여기되는 것)이 바람직함을 인지한다.

[0041] 제1 인광성 화합물(113Da)로부터의 에너지 전달이 완전히 억제되면, 또한 제2 인광성 화합물(113Db)로부터의 발

광이 얻어질 수 없음을 인지한다. 따라서, 본 발명의 하나의 실시형태에서, 소자 설계는, 제1 인광성 화합물(113Da)의 여기 에너지가 제2 인광성 화합물(113Db)로 부분적으로 전달되도록 수행된다. 이러한 분리된 분자들 간의 에너지 전달은 쌍극자-쌍극자 상호작용(포스터 메커니즘)을 이용함으로써 가능해진다.

[0042] 여기서는, 포스터 메커니즘을 설명한다. 여기 에너지를 공여하는 분자 및 여기 에너지를 수용하는 분자를 이하에서는 각각 에너지 공여체 및 에너지 수용체라 부른다. 즉, 본 발명의 하나의 실시형태에서, 에너지 공여체 및 에너지 수용체는 둘 다 인광성 화합물이고, 호스트 재료에 의해 서로 분리된다.

[0043] 포스터 메커니즘에서는, 에너지 전달을 위해 반드시 직접적 분자간 접촉이 필요하지는 않다. 에너지 공여체와 에너지 수용체간의 쌍극자 진동의 공명 현상에 의해 에너지 전달이 일어난다. 쌍극자 진동의 공명 현상은 에너지 공여체가 에너지를 에너지 수용체에게 공여하게 하고; 따라서, 여기 상태의 에너지 공여체가 기저 상태로 이완되고, 기저 상태의 에너지 수용체가 여기된다. 포스터 메커니즘에 의한 에너지 전달의 속도 상수 k_F는 하기 수학식 1로 나타내어진다.

수학식 1

[0044] $$k_F = \frac{9000c^4K^2\phi \ln 10}{128\pi^5 n^4 N\tau R^6}\int \frac{F(\nu)\varepsilon(\nu)}{\nu^4}d\nu$$

[0045] 수학식 1에서, v는 진동수를 나타내고, F(ν)는 에너지 공여체의 정규화 발광 스펙트럼(일중항 여기 상태로부터의 에너지 전달에서는 형광 스펙트럼, 또한 삼중항 여기 상태로부터의 에너지 전달에서는 인광 스펙트럼)을 나타내고, ε(ν)는 에너지 수용체의 몰 흡광 계수를 나타내고, N은 아보가드로수를 나타내고, n은 매체의 굴절률을 나타내고, R은 에너지 공여체와 에너지 수용체 사이의 분자간 거리를 나타내고, τ는 여기 상태의 측정 수명(형광 수명 또는 인광 수명)을 나타내고, c는 광속을 나타내고, ϕ는 발광 양자 수율(일중항 여기 상태로부터의 에너지 전달에서는 형광 양자 수율, 또한 삼중항 여기 상태로부터의 에너지 전달에서는 인광 양자 수율)을 나타내고, K^2는 에너지 공여체와 에너지 수용체 사이의 전이 쌍극자 모멘트의 배향에 대한 계수(0 내지 4)를 나타낸다. 랜덤 배향에서는 K^2 = 2/3임을 인지한다.

[0046] 수학식 1이 시사하는 바와 같이, 포스터 메커니즘에 의한 에너지 전달(포스터 에너지 전달)을 위한 필수적 조건으로서 하기의 것들이 주어질 수 있다: 1. 에너지 공여체 및 에너지 수용체가 서로 지나치게 멀리 떨어져 있지 않을 것(이는 거리 R에 관련됨); 2. 에너지 공여체는 광을 방출할 것(이는 발광 양자 수율 ϕ에 관련됨); 및 3. 에너지 공여체의 발광 스펙트럼이 에너지 수용체의 흡수 스펙트럼과 중첩될 것(이는 적분항에 관련됨).

[0047] 여기서, 도 1의 (A) 내지 도 1의 (C)를 참조로 하여 이미 설명한 바와 같이, 인광성 화합물(제1 및 제2 인광성 화합물)은 각각의 호스트 재료 중에 분산되고, 호스트 재료에 의해 서로 분리되며; 따라서, 거리 R은 적어도 1 분자 길이 이상(즉, 1 nm 이상)이다. 따라서, 제1 인광성 화합물에서 생성된 여기 에너지가 전적으로 포스터 메커니즘에 의해 제2 인광성 화합물로 전달되지는 않는다. 한편, R이 대략 10 nm 내지 20 nm 이하인 경우에는 거리 R까지의 포스터 에너지 전달이 일어날 수 있다. 제1 인광성 화합물과 제2 인광성 화합물 사이에 적어도 1 분자 길이 이상의 거리 R을 확보하기 위해서는, 호스트 재료 중에 분산된 인광성 화합물의 질량이 바람직하게는 특정 질량 이하로 설정된다. 이것에 기초하여, 발광 층 중의 인광성 화합물의 농도는 10 wt% 이하이다. 인광성 화합물의 농도가 지나치게 낮으면, 유리한 특성이 달성되기 어렵고; 따라서, 본 실시형태에서 인광성 화합물의 농도는 바람직하게는 0.1 wt% 이상 및 10 wt% 이하이다. 구체적으로는, 제1 인광성 화합물이 0.1 wt% 이상 및 5 wt% 이하의 농도로 제1 발광 층(113a) 중에 함유되는 것이 더욱 바람직하다.

[0048] 도 2의 (A) 및 도 2의 (B)는, 제1 인광성 화합물(113Da) 및 제1 인광성 화합물로부터 방출된 광의 파장보다 긴 파장을 갖는 광을 방출하는 제2 인광성 화합물(113Db)가 포함된, 본 발명의 하나의 실시형태의 발광 소자에서의 인광성 화합물들간의 포스터 에너지 전달을 개략적으로 나타낸다. 도 2의 (A) 및 도 2의 (B) 각각에는, 전극(10)과 전극(11) 사이에 제1 발광 층(113a) 및 제2 발광 층(113b)이 적층된 구조가 나타나 있다. 전극(10) 및 전극(11) 중 하나는 애노드로서 기능하고, 다른 하나는 캐소드로서 기능함을 인지한다. 도 2의 (A)에 나타낸 바와 같이, 먼저, 제1 인광성 화합물(113Da)에서 형성된 일중항 여기 상태(S_a)는 항간 교차에 의해 삼중항 여기 상태(T_a)로 변환된다. 즉, 제1 발광 층(113a)에서 엑시톤은 기본적으로 T_a로 집약된다.

[0049] 이어서, T_a 상태의 엑시톤의 에너지(그의 일부는 발광으로 변환됨)는, 부분적으로 포스터 메커니즘에 의해 제2 인광성 화합물(113Db)의 삼중항 여기 상태(T_b)로 전달될 수 있다. 이는, 제1 인광성 화합물(113Da)이 발광성이라는(높은 인광 양자 수율 ϕ을 갖는다는) 사실, 및 제2 인광성 화합물(113Db)에서 일중항 기저 상태로부터 삼중항 여기 상태로의 전자 전이에 상응하는 직접적 흡수가 나타난다는(삼중항 여기 상태의 흡수 스펙트럼이 존재한다는) 사실에 기인한다. 이들 조건이 만족되면, T_a로부터 T_b로의 삼중항-삼중항 포스터 에너지 전달이 가능하다.

[0050] 많은 경우에 제2 인광성 화합물(113Db)의 일중항 여기 상태(S_b)는 제1 인광성 화합물(113Da)의 삼중항 여기 상태(T_a)보다 높은 에너지를 갖고, 따라서 많은 경우에 상기 에너지 전달에 그다지 기여하지 않음을 인지한다. 이러한 이유로, 여기서는 설명을 생략한다. 물론, 제2 인광성 화합물(113Db)의 일중항 여기 상태(S_b)가 제1 인광성 화합물(113Da)의 삼중항 여기 상태(T_a)보다 낮은 에너지를 갖는 경우, 에너지 전달이 유사하게 일어날 수 있다. 그러한 경우, 제2 인광성 화합물(113Db)의 일중항 여기 상태(S_b)로 전달된 에너지는 항간 교차에 의해 제2 인광성 화합물(113Db)의 삼중항 여기 상태(T_b)로 전달되어, 발광에 기여한다.

[0051] 상기 포스터 에너지 전달이, 호스트 재료로가 아니라, 도펀트로서 작용하는 인광성 화합물들 사이에서 효율적으로 일어나게 하기 위해서는, 제1 및 제2 호스트 재료의 흡수 스펙트럼이 제1 인광성 화합물(113Da)의 발광 영역에 있지 않는 것이 바람직함을 인지한다. 이러한 방식으로, 에너지가 호스트 재료(구체적으로는, 제2 호스트 재료)를 통해서는 전달되지 않으면서 도펀트들 사이에서 직접 전달되면, 여분의 에너지 전달 경로의 형성이 억제되고, 높은 발광 효율이 달성될 수 있어, 바람직하다.

[0052] 또한, 제1 호스트 재료는 바람직하게는, 제1 인광성 화합물을 소광시키지 않도록 제1 인광성 화합물의 것보다 높은 삼중항 여기 에너지를 갖는다.

[0053] 상기에 기재된 바와 같이, 본 발명의 하나의 실시형태의 기본 개념은, 제1 및 제2 인광성 화합물이 호스트 재료 및 적층 구조의 사용에 의해 서로 분리된 상태에서, 보다 단파장을 갖는 광을 방출하는 제1 인광성 화합물이 주로 여기되는 소자 구조이다. 이러한 소자 구조에서는 에너지가 포스터 메커니즘에 의해 특정 거리(20 nm 이하)까지 부분적으로 전달되기 때문에, 제1 인광성 화합물의 여기 에너지가 부분적으로 제2 인광성 화합물로 전달된다. 그 결과, 제1 및 제2 인광성 화합물 각각으로부터의 발광을 얻을 수 있다.

[0054] 여기서, 본 발명의 하나의 실시형태에서 더욱 중요한 것은, 재료 및 소자 구조가 상기 에너지 전달을 고려하여 결정된다는 것이다.

[0055] 포스터 에너지 전달을 일으키기 위해, 에너지 공여체는 높은 발광 양자 수율 ϕ을 가져야 한다. 발광 양자 수율과 관련하여, 본 발명의 하나의 실시형태에서는 인광성 화합물(구체적으로, 인광 양자 수율이 0.1 이상인 발광 화합물)이 사용되기 때문에 문제가 없다. 중요한 점은, 수학식 1의 적분항을 크게 하는 것, 즉 에너지 공여체의 발광 스펙트럼 $F(\nu)$이 에너지 수용체의 몰 흡광 계수 $\varepsilon(\nu)$와 적절히 중첩되게 하는 것이다.

[0056] 일반적으로는, 단지 에너지 수용체의 몰 흡광 계수 $\varepsilon(\nu)$가 큰 파장 영역과 에너지 공여체의 발광 스펙트럼(ν)이 중첩되어야(즉, 단지 $F(\nu)$와 $\varepsilon(\nu)$의 곱을 크게 해야)하는 것으로 여겨진다. 그러나, 이것이 포스터 메커니즘에 반드시 적용되는 것은 아닌데, 이는 수학식 1의 적분항이 진동수 ν의 4제곱에 반비례하여 파장 의존성을 갖기 때문이다.

[0057] 보다 쉽게 이해하기 위해, 여기서는, 수학식 1을 변형한다. $\nu = c/\lambda$(여기서, λ는 광의 파장을 나타냄)이기 때문에, 수학식 1은 하기 수학식 2로 변형될 수 있다.

수학식 2

[0058]
$$k_F = \frac{9000K^2\phi\ln 10}{128\pi^5 n^4 N\tau R^6}\int F(\lambda)\varepsilon(\lambda)\lambda^4 d\lambda$$

[0059] 즉, 파장 λ가 길어질수록 적분항이 커진다는 것을 알 수 있다. 단적으로는, 에너지 전달이 장파장측에서 보다 쉽게 일어난다는 것을 나타낸다. 즉, 이는, 몰 흡광 계수 $\varepsilon(\lambda)$가 큰 파장 영역과 $F(\lambda)$가 중첩되어야 한다는

단순한 것이 아니다. $\varepsilon(\lambda)\lambda^4$가 큰 영역과 $F(\lambda)$가 중첩되는 것이 필수적이다.

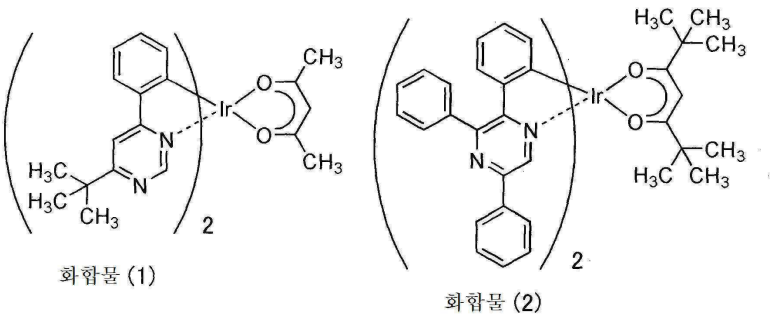
[0060] 따라서, 본 발명의 하나의 실시형태의 발광 소자에서, 제1 인광성 화합물(113Da)로부터의 에너지 전달 효율을 증가시키기 위해서는, 제1 인광성 화합물(113Da)의 발광 스펙트럼의 최대값을 갖는 밴드가 제2 인광성 화합물(113Db)의 함수 $\varepsilon(\lambda)\lambda^4$의 최장파장측 피크를 갖는 밴드와 중첩될 수 있게 하는 인광성 화합물을 제2 인광성 화합물(113Db)로서 사용한다.

[0061] 바람직하게는 제2 인광성 화합물의 함수 $\varepsilon(\lambda)\lambda^4$의 최장파장측 피크의 파장이 제1 인광성 화합물의 인광 스펙트럼 $F(\lambda)$와 중첩됨을 인지한다. 또한, 제1 인광성 화합물(113Da)의 발광 스펙트럼의 상기 최대값을 갖는 밴드가 상기 최대값의 강도의 절반을 갖는 파장 범위가, 제2 인광성 화합물의 함수 $\varepsilon(\lambda)\lambda^4$의 상기 피크를 갖는 밴드가 상기 피크의 강도의 절반을 갖는 파장 범위와 중첩되는 것이 더욱 바람직하고, 이 경우에 스펙트럼간의 중첩이 더 커질 수 있다.

[0062] 상기에 기재된 구조를 갖는 발광 소자에서는, 높은 발광 효율이 달성될 수 있고, 인광성 화합물이 우수한 밸런스로 발광을 제공할 수 있다.

[0063] 이러한 인광성 화합물의 구조를 더 잘 이해하기 위해, 하기에서 구체적 예를 들어 설명한다. 여기서는, 일례로서, 하기에 나타낸 화합물(1)(비스[2-(6-tert-부틸-4-피리미디닐-κN3)페닐-κC](2,4-펜탄디오네이토-κ^2O,O')이리듐(III)(약어: $Ir(tBuppm)_2(acac)$))이 제1 인광성 화합물(113Da)로서 사용되고, 하기에 나타낸 화합물(2)비스(2,3,5-트리페닐피라지네이토)(디피발로일메타네이토)이리듐(III)(약어: $Ir(tppr)_2(dpm)$))이 제1 인광성 화합물(113Da)로부터 방출된 광의 파장보다 긴 파장을 갖는 광을 방출하는 제2 인광성 화합물(113Db)로서 사용되는 경우가 기재된다.

화학식 1



화합물 (1) 화합물 (2)

[0064]

[0065] 도 3의 (A)는 제2 인광성 화합물인 화합물(2)의 몰 흡광 계수 $\varepsilon(\lambda)$ 및 $\varepsilon(\lambda)\lambda^4$를 나타낸다. 몰 흡광 계수 $\varepsilon(\lambda)$는 장파장측에서 보다 작아지지만, $\varepsilon(\lambda)\lambda^4$는 550 nm 부근(이는 화합물(2)의 삼중항 MLCT 흡수 밴드에 상응함)에서 피크를 갖는다. 이 예로부터 알 수 있는 바와 같이, λ^4 항의 영향으로, 제2 인광성 화합물의 $\varepsilon(\lambda)\lambda^4$는 최장파장측에 위치하는 흡수 밴드(삼중항 MLCT 흡수 밴드)에서 피크를 갖는다.

[0066] 도 3의 (B)는 화합물(1)의 포토루미네센스(PL) 스펙트럼 $F(\lambda)$ 및 화합물(2)의 $\varepsilon(\lambda)\lambda^4$를 나타낸다. 화합물(1)은 제1 인광성 화합물이고, 545 nm 부근에서 발광 피크를 가지며 녹색광을 방출한다. 제2 인광성 화합물의 $\varepsilon(\lambda)\lambda^4$의 최장파장측 피크 부근에서, 제1 인광성 화합물의 PL 스펙트럼 $F(\lambda)$가 $\varepsilon(\lambda)\lambda^4$와 크게 중첩되고, 포스터 메커니즘에 의해 제1 인광성 화합물로부터 제2 인광성 화합물로의 에너지 전달이 일어난다. 이 경우, 피크는 삼중항 MLCT 흡수 밴드에 상응하기 때문에, 에너지 전달은 삼중항-삼중항 포스터 에너지 전달임을 인지한다(도 2의 (A) 및 도 2의 (B)에서 T_a-T_b 에너지 전달). 이 때, 제1 인광성 화합물의 PL 스펙트럼 $F(\lambda)$의 발광 피크 파장과 제2 인광성 화합물의 $\varepsilon(\lambda)\lambda^4$의 최장파장측 피크의 파장 사이의 차는 바람직하게는 0.2 eV 이하이고, 이 경우에 에너지 전달이 효율적으로 일어난다. 화합물(1)의 PL 스펙트럼 $F(\lambda)$의 발광 피크 파장은

546 nm이고, 화합물(2)의 $\varepsilon(\lambda)\lambda^4$의 최장파장측 피크의 파장은 543 nm이고, 그 차는 3 nm이며, 이는 0.01 eV에 상응한다. 따라서, 화합물(1)과 화합물(2) 사이의 에너지 전달이 매우 효율적으로 일어나는 것으로 나타난다.

[0067] 상기로부터, 제2 인광성 화합물의 흡수 스펙트럼은, 최장파장측에서, 일중항 기저 상태로부터 삼중항 여기 상태로의 전자 전이에 상응하는 직접적 흡수(예를 들어, 삼중항 MLCT 흡수)를 나타내는 것이 바람직함을 인지한다. 이러한 구조는 도 2의 (A) 및 도 2의 (B)에 나타낸 삼중항-삼중항 에너지 전달의 높은 효율을 제공한다.

[0068] 상기에 기재된 재결합 영역을 얻기 위해서는, 제1 발광 층(113a)이 애노드측에 위치하는 경우, 적어도 제2 발광 층(113b)은 바람직하게는 전자 수송성을 갖고, 제1 발광 층(113a) 및 제2 발광 층(113b) 둘 다 전자 수송성을 가질 수 있다. 제1 발광 층(113a)이 캐소드측에 위치하는 경우에는, 적어도 제2 발광 층(113b)은 바람직하게는 정공 수송성을 갖고, 제1 발광 층(113a) 및 제2 발광 층(113b) 둘 다 정공 수송성을 가질 수 있다.

[0069] 또한, 제1 발광 층(113a)에서는, 제1 호스트 재료(113Ha)의 포토루미네센스(PL) 스펙트럼 $F(\lambda)$의 피크를 갖는 밴드가 제1 인광성 화합물의 함수 $\varepsilon(\lambda)\lambda^4$의 최장파장측 피크를 갖는 밴드와 크게 중첩되는 것이 바람직하다.

[0070] 그러나, 일반적으로, 호스트 재료의 포토루미네센스(PL) 스펙트럼 $F(\lambda)$의 피크를 갖는 밴드와 게스트 재료(제1 인광성 화합물(113Da))의 함수 $\varepsilon(\lambda)\lambda^4$의 최장파장측 피크를 갖는 밴드 사이의 중첩을 얻는 것은 어렵다. 그 이유는, 호스트 재료의 포토루미네센스(PL)는 일반적으로 형광이고, 이는 인광의 에너지 준위보다 높은 에너지 준위로부터의 발광이기 때문에, 형광 스펙트럼이 게스트 재료의 최장파장측의 흡수 스펙트럼(게스트 재료의 삼중항 여기 상태)에 근접한 파장에 있는 호스트 재료의 삼중항 여기 에너지 준위는, 게스트 재료의 삼중항 여기 에너지 준위 미만이 될 가능성이 높다. 호스트 재료의 삼중항 여기 에너지 준위가 게스트 재료의 삼중항 여기 에너지 준위보다 낮게 되면, 게스트 재료의 삼중항 여기 에너지가 호스트 재료로 전달되어, 발광 효율을 감소시킨다.

[0071] 따라서, 본 실시형태에서는, 제1 발광 층(113a)이 제1 유기 화합물(113A)을 더 함유하고, 제1 호스트 재료(113Ha)와 제1 유기 화합물(113A)이 엑시플렉스(또한 여기 착체라 부름)(113Ec)를 형성하는 것이 바람직하다(도 1의 (B) 및 도 2의 (B)). 도 2의 (B)에서,(10) 및(11)은 전극을 나타내고, 이들 중 하나는 애노드로서 기능하고, 이들 중 다른 하나는 캐소드로서 기능한다. 도면에서, 엑시플렉스(113Ec)의 일중항 여기 상태 및 삼중항 여기 상태는 각각 S_e 및 T_e로 나타내었고, 제1 인광성 화합물(113Da)의 일중항 여기 상태 및 삼중항 여기 상태는 각각 S_a 및 T_a로 나타내었고, 제2 인광성 화합물(113Db)의 일중항 여기 상태 및 삼중항 여기 상태는 각각 S_b 및 T_b로 나타내었음을 인지한다.

[0072] 그러한 경우, 제1 발광 층(113a)에서의 캐리어(전자 및 정공)의 재결합시, 제1 유기 화합물(113A)과 제1 호스트 재료(113Ha)는, 전자 및 정공의 재결합에 의해 에너지를 수용하여 엑시플렉스(113Ec)를 형성한다. 엑시플렉스(113Ec)로부터의 형광은 제1 유기 화합물(113A) 단독의 형광 스펙트럼 및 제1 호스트 재료(113Ha) 단독의 형광 스펙트럼에 비해 장파장측의 스펙트럼을 갖고, 또한 엑시플렉스(113Ec)의 일중항 여기 상태 S_e 및 삼중항 여기 상태 T_e는 에너지에 있어 서로 매우 근접한다는 특징을 갖는다. 따라서, 엑시플렉스(113Ec)의 일중항 여기 상태로부터의 발광을 나타내는 PL 스펙트럼 $F(\lambda)$의 피크를 갖는 밴드가 게스트 재료(제1 인광성 화합물(113Da))의 함수 $\varepsilon(\lambda)\lambda^4$의 최장파장측 피크를 갖는 밴드(게스트 재료의 삼중항 여기 상태 T_a의 흡수 스펙트럼에 상응함)와 중첩되면, S_e로부터 T_a로의 에너지 전달 및 T_e로부터 T_a로의 에너지 전달 둘 다가 최대한으로 상승될 수 있다. 이 경우, 엑시플렉스(113Ec)의 발광 피크 파장과 게스트 재료(제1 인광성 화합물(113Da))의 $\varepsilon(\lambda)\lambda^4$의 피크의 파장의 차는 바람직하게는 0.2 eV 이하이고, 이 경우 에너지 전달이 효율적으로 일어난다. 또한, 제1 유기 화합물(113A) 및 제1 호스트 재료(113Ha)의 삼중항 여기 에너지 준위는 바람직하게는 제1 인광성 화합물(113Da)의 삼중항 여기 에너지 준위보다 높게 유지된다.

[0073] 이렇게 제1 인광성 화합물(113Da)로 전달된 에너지의 일부는, 상기에 기재된 바와 같이, 제2 인광성 화합물(113Db)로 전달되어, 제1 인광성 화합물(113Da) 및 제2 인광성 화합물(113Db) 둘 다 효율적으로 발광한다.

[0074] 엑시플렉스(113Ec)의 삼중항 여기 상태(T_e)로부터 제1 인광성 화합물(113Da)로의 에너지 전달은 덱스터 메커니즘에 의해 효율적으로 일어남을 인지한다. 일중항 여기 상태(S_e)로부터의 에너지 전달은 상기에 기재된 포스터

메커니즘에 의해 효율적으로 일어나고, 따라서 전체적으로 효율적인 에너지 전달이 달성된다.

[0075] 제1 유기 화합물(113A)과 제1 호스트 재료(113Ha)가 엑시플렉스를 형성할 수 있는 한, 이들에 대한 특별한 제한은 없고; 전자를 수용하기 쉬운 화합물(전자 트랩핑성을 갖는 화합물)과 정공을 수용하기 쉬운 화합물(정공 트랩핑성을 갖는 화합물)의 조합이 바람직하게 사용된다.

[0076] 전자를 수용하기 쉬운 화합물의 예는, 비스(10-히드록시벤조[h]퀴놀리네이토)베릴륨(II)(약어: $BeBq_2$), 비스(2-메틸-8-퀴놀리놀레이토)(4-페닐페놀레이토)알루미늄(III)(약어: BAlq), 비스(8-퀴놀리놀레이토)아연(II)(약어: Znq), 비스[2-(2-벤족사졸릴)페놀레이토]아연(II)(약어: ZnPBO), 또는 비스[2-(2-벤조티아졸릴)페놀레이토]아연(II)(약어: ZnBTZ) 등의 금속 착체; 2-(4-비페닐릴)-5-(4-tert-부틸페닐)-1,3,4-옥사디아졸(약어: PBD), 3-(4-비페닐릴)-4-페닐-5-(4-tert-부틸페닐)-1,2,4-트리아졸(약어: TAZ), 1,3-비스[5-(p-tert-부틸페닐)-1,3,4-옥사디아졸-2-일]벤젠(약어: OXD-7), 9-[4-(5-페닐-1,3,4-옥사디아졸-2-일)페닐]-9H-카르바졸(약어: CO11), 2,2',2"-(1,3,5-벤젠트리일)트리스(1-페닐-1H-벤즈이미다졸)(약어: TPBI), 또는 2-[3-(디벤조티오펜-4-일)페닐]-1-페닐-1H-벤즈이미다졸(약어: mDBTBIm-II) 등의 폴리아졸 골격을 갖는 헤테로시클릭 화합물; 2-[3-(디벤조티오펜-4-일)페닐]디벤조[f,h]퀴녹살린(약어: 2mDBTPDBq-II), 2-[3'-(디벤조티오펜-4-일)비페닐-3-일]디벤조[f,h]퀴녹살린(약어: 2mDBTBPDBq-II), 2-[3'-(9H-카르바졸-9-일)비페닐-3-일]디벤조[f,h]퀴녹살린(약어: 2mCzBPDBq), 4,6-비스[3-(페난트렌-9-일)페닐]피리미딘(약어: 4,6mPnP2Pm), 또는 4,6-비스[3-(4-디벤조티에닐)페닐]피리미딘(약어: 4,6mDBTP2Pm-II) 등의 디아진 골격을 갖는 헤테로시클릭 화합물; 및 3,5-비스[3-(9H-카르바졸-9-일)페닐]피리딘(약어: 35DCzPPy) 또는 1,3,5-트리[3-(3-피리딜)페닐]벤젠(약어: TmPyPB) 등의 피리딘 골격을 갖는 헤테로시클릭 화합물이다. 상기 재료 중, 디아진 골격을 갖는 헤테로시클릭 화합물 및 피리딘 골격을 갖는 헤테로시클릭 화합물은 높은 신뢰성을 갖고, 따라서 바람직하다. 구체적으로, 디아진(피리미딘 또는 피라진) 골격을 갖는 헤테로시클릭 화합물은 높은 전자 수송성을 가져서 구동 전압의 감소에 기여한다.

[0077] 정공을 수용하기 쉬운 화합물의 예는, 4,4'-비스[N-(1-나프틸)-N-페닐아미노]비페닐(약어: NPB), N,N'-비스(3-메틸페닐)-N,N'-디페닐-[1,1'-비페닐]-4,4'-디아민(약어: TPD), 4,4'-비스[N-(스피로-9,9'-비플루오렌-2-일)-N-페닐아미노]비페닐(약어: BSPB), 4-페닐-4'-(9-페닐플루오렌-9-일)트리페닐아민(약어: BPAFLP), 4-페닐-3'-(9-페닐플루오렌-9-일)트리페닐아민(약어: mBPAFLP), 4-페닐-4'-(9-페닐-9H-카르바졸-3-일)트리페닐아민(약어: PCBA1BP), 4,4'-디페닐-4"-(9-페닐-9H-카르바졸-3-일)트리페닐아민(약어: PCBBi1BP), 4-(1-나프틸)-4'-(9-페닐-9H-카르바졸-3-일)트리페닐아민(약어: PCBANB), 4,4'-디(1-나프틸)-4"-(9-페닐-9H-카르바졸-3-일)트리페닐아민(약어: PCBNBB), 9,9-디메틸-N-페닐-N-[4-(9-페닐-9H-카르바졸-3-일)페닐]플루오렌-2-아민(약어: PCBAF), 또는 N-페닐-N-[4-(9-페닐-9H-카르바졸-3-일)페닐]스피로-9,9'-비플루오렌-2-아민(약어: PCBASF) 등의 방향족 아민 골격을 갖는 화합물; 1,3-비스(N-카르바졸릴)벤젠(약어: mCP), 4,4'-디(N-카르바졸릴)비페닐(약어: CBP), 3,6-비스(3,5-디페닐페닐)-9-페닐카르바졸(약어: CzTP), 또는 3,3'-비스(9-페닐-9H-카르바졸)(약어: PCCP) 등의 카르바졸 골격을 갖는 화합물; 4,4',4"-(벤젠-1,3,5-트리일)트리(디벤조티오펜)(약어: DBT3P-II), 2,8-디페닐-4-[4-(9-페닐-9H-플루오렌-9-일)페닐]디벤조티오펜(약어: DBTFLP-III), 또는 4-[4-(9-페닐-9H-플루오렌-9-일)페닐]-6-페닐디벤조티오펜(약어: DBTFLP-IV) 등의 티오펜 골격을 갖는 화합물; 및 4,4',4"-(벤젠-1,3,5-트리일)트리(디벤조푸란)(약어: DBF3P-II) 또는 4-{3-[3-(9-페닐-9H-플루오렌-9-일)페닐]페닐}디벤조푸란(약어: mmDBFFLBi-II) 등의 푸란 골격을 갖는 화합물이다. 상기 재료 중, 방향족 아민 골격을 갖는 화합물 및 카르바졸 골격을 갖는 화합물은 높은 신뢰성을 갖고, 높은 정공 수송성을 가져서 구동 전압 감소에 기여하기 때문에, 이들 화합물이 바람직하다.

[0078] 제1 유기 화합물(113A) 및 제1 호스트 재료(113Ha)는, 이들이 엑시플렉스를 형성할 수 있고, 엑시플렉스의 포토루미네센스(PL) 스펙트럼 $F(\lambda)$의 피크를 갖는 밴드가 제1 인광성 화합물의 함수 $\varepsilon(\lambda)\lambda^4$의 최장파장측 피크를 갖는 밴드와 중첩되고, 엑시플렉스의 발광 스펙트럼의 피크가 제1 인광성 화합물(113Da)의 발광 스펙트럼의 피크보다 긴 파장을 갖는 한, 이들 화합물로 제한되지 않는다.

[0079] 전자를 수용하기 쉬운 화합물 및 정공을 수용하기 쉬운 화합물이 제1 유기 화합물(113A) 및 제1 호스트 재료(113Ha)에 사용되는 경우, 화합물의 혼합비에 의해 캐리어 밸런스를 조절할 수 있음을 인지한다. 구체적으로는, 제1 유기 화합물(113A) 대 제1 호스트 재료(113Ha)의 비율은 바람직하게는 1:9 내지 9:1이다.

[0080] 여기서, 이 구조에서는, 엑시플렉스의 포토루미네센스(PL) 스펙트럼 $F(\lambda)$의 피크를 갖는 밴드가 제1 인광성 화합물의 함수 $\varepsilon(\lambda)\lambda^4$의 최장파장측 피크를 갖는 밴드와 중첩될 수 있는 엑시플렉스가 형성되도록 제1 호스트

재료(113Ha) 및 제1 유기 화합물(113A)이 선택된다. 밴드들의 중첩이 가능한 한 큰 것이 바람직하다.

[0081] 제1 인광성 화합물의 함수 $\varepsilon(\lambda)\lambda^4$의 최장파장측 피크의 파장은 바람직하게는 엑시플렉스의 포토루미네센스(PL) 스펙트럼 $F(\lambda)$와 중첩됨을 인지한다. 또한, 엑시플렉스의 포토루미네센스(PL) 스펙트럼 $F(\lambda)$의 피크를 갖는 밴드가 상기 피크의 강도의 절반을 갖는 파장 범위가, 제1 인광성 화합물의 함수 $\varepsilon(\lambda)\lambda^4$의 피크를 갖는 밴드가 상기 피크의 강도의 절반을 갖는 파장 범위와 중첩되는 것이 더욱 바람직하고, 이 경우에 스펙트럼간의 중첩이 더 커질 수 있다.

[0082] 상기 구조에서, 제1 호스트 재료(113Ha)와 제1 유기 화합물(113A)로부터 형성된 엑시플렉스로부터 제1 인광성 화합물(113Da)로 에너지가 효율적으로 전달되어 에너지 전달 효율이 향상될 수 있고, 따라서 보다 높은 외부 양자 효율을 갖는 발광 소자가 얻어질 수 있다.

[0083] (실시형태 2)

[0084] 본 실시형태에서는, 실시형태 1에서 설명된 발광 소자의 상세한 구조의 예를 도 1의 (A) 내지 도 1의 (C)를 참조로 하여 하기에서 설명할 것이다.

[0085] 본 실시형태에서의 발광 소자는, 한 쌍의 전극 사이에, 복수의 층을 포함하는 EL 층을 포함한다. 본 실시형태에서, 발광 소자는 제1 전극(101), 제2 전극(102), 및 제1 전극(101)과 제2 전극(102) 사이에 제공된 EL 층(103)을 포함한다. 본 실시형태에서는, 제1 전극(101)이 애노드로서 기능하고, 제2 전극(102)이 캐소드로서 기능한다는 가정 하에 설명함을 인지한다. 즉, 제1 전극(101)의 전위가 제2 전극(102)의 전위보다 높아지도록 제1 전극(101)과 제2 전극(102) 사이에 전압이 인가되면, 발광을 얻을 수 있다.

[0086] 제1 전극(101)이 애노드로서 기능하기 때문에, 제1 전극(101)은 바람직하게는, 높은 일 함수(구체적으로, 4.0 eV 이상의 일 함수)를 갖는 임의의 금속, 합금, 도전성 화합물, 이들의 혼합물 등을 사용하여 형성된다. 구체적으로, 예를 들어, 산화인듐-산화주석(ITO: 산화인듐주석), 규소 또는 산화규소를 함유하는 산화인듐-산화주석, 산화인듐-산화아연, 산화텅스텐 및 산화아연을 함유하는 산화인듐(IWZO) 등을 들 수 있다. 이들 도전성 금속 산화물의 필름은 통상적으로 스퍼터링법에 의해 형성되지만, 졸-겔법 등의 적용에 의해 형성될 수 있다. 형성 방법의 일례에서는, 1 wt% 내지 20 wt%의 산화아연을 산화인듐에 첨가함으로써 얻어진 타겟을 사용하여 스퍼터링법에 의해 산화인듐-산화아연을 침착시킨다. 또한, 산화텅스텐 및 산화아연을 함유하는 산화인듐(IWZO)의 필름은, 산화텅스텐 및 산화아연을 각각 0.5 wt% 내지 5 wt% 및 0.1 wt% 내지 1 wt%로 산화인듐에 첨가한 타겟을 사용하여 스퍼터링법에 의해 형성될 수 있다. 그 외에, 금(Au), 백금(Pt), 니켈(Ni), 텅스텐(W), 크로뮴(Cr), 몰리브데넘(Mo), 철(Fe), 코발트(Co), 구리(Cu), 팔라듐(Pd), 금속 재료의 질화물(예를 들어, 질화티타늄) 등을 들 수 있다. 그래핀이 사용될 수도 있다. 후술하는 복합 재료가 EL 층(103)에서 제1 전극(101)과 접하는 층에 사용되는 경우, 전극 재료를 그의 일 함수에 관계없이 선택할 수 있음을 인지한다.

[0087] EL 층이 실시형태 1에 기재된 것과 유사한 구조를 갖는 발광 층(113)을 포함하는 한, EL 층(103)의 적층 구조에 대한 특별한 제한은 없다. 예를 들어, EL 층(103)은, 정공 주입 층, 정공 수송 층, 발광 층, 전자 수송 층, 전자 주입 층, 캐리어 블록킹 층, 중간 층 등을 적절히 조합하여 형성될 수 있다. 본 실시형태에서, EL 층(103)은 정공 주입 층(111), 정공 수송 층(112), 발광 층(113), 전자 수송 층(114), 및 전자 주입 층(115)이 제1 전극(101) 위에 이 순서로 적층되어 있는 구조를 갖는다. 층에 포함되는 재료를 하기에 구체적으로 기재한다.

[0088] 정공 주입 층(111)은 높은 정공 주입성을 갖는 물질을 함유하는 층이다. 산화몰리브데넘, 산화바나듐, 산화루테늄, 산화텅스텐, 산화망가니즈 등이 사용될 수 있다. 다르게는, 정공 주입 층(111)은 프탈로시아닌계 화합물, 예컨대 프탈로시아닌(약어: H_2Pc) 또는 구리 프탈로시아닌(약어: CuPc), 방향족 아민 화합물, 예컨대 4,4'-비스[N-(4-디페닐아미노페닐)-N-페닐아미노]비페닐(약어: DPAB) 또는 N,N'-비스{4-[비스(3-메틸페닐)아미노]페닐}-N,N'-디페닐-(1,1'-비페닐)-4,4'-디아민(약어: DNTPD), 고분자 화합물, 예컨대 폴리(에틸렌디옥시티오펜)/폴리(스티렌술폰산)(PEDOT/PSS) 등을 사용하여 형성될 수 있다.

[0089] 다르게는, 정공 수송성을 갖는 물질이 수용체 특성을 갖는 물질을 함유하는 복합 재료가 정공 주입 층(111)에 사용될 수 있다. 수용체 특성을 갖는 물질을 함유하는 정공 수송성을 갖는 이러한 물질의 사용은, 그의 일 함수와 관계없이 전극 형성에 사용되는 재료의 선택을 가능하게 함을 인지한다. 즉, 높은 일 함수를 갖는 재료 이외에, 낮은 일 함수를 갖는 재료가 제1 전극(101)에 사용될 수도 있다. 수용체 특성을 갖는 물질로서는, 7,7,8,8-테트라시아노-2,3,5,6-테트라플루오로퀴노디메탄(약어: F_4-TCNQ), 클로라닐 등을 들 수 있다. 또한, 전이 금속 산화물을 들 수 있다. 주기율표의 4족 내지 8족에 속하는 금속의 산화물을 들 수 있다.

구체적으로, 산화바나듐, 산화니오븀, 산화탄탈럼, 산화크로뮴, 산화몰리브데넘, 산화텅스텐, 산화망가니즈, 및 산화레늄이 이들의 전자 수용성이 높다는 점에서 바람직하다. 이들 중, 산화몰리브데넘이, 공기 중에서 안정하고, 낮은 흡습성을 갖고, 취급이 용이하다는 점에서 특히 바람직하다.

[0090] 복합 재료에 사용되는 정공 수송성을 갖는 물질로서는, 방향족 아민 화합물, 카르바졸 유도체, 방향족 탄화수소, 및 고분자 화합물(예를 들어, 올리고머, 덴드리머, 또는 중합체) 등의 각종 유기 화합물 중 임의의 것이 사용될 수 있다. 복합 재료에 사용되는 유기 화합물은 바람직하게는 높은 정공 수송성을 갖는 유기 화합물임을 인지한다. 구체적으로, 10^{-6} ㎠/Vs 이상의 정공 이동도를 갖는 물질이 바람직하게 사용된다. 복합 재료에서 정공 수송성을 갖는 물질로서 사용될 수 있는 유기 화합물을 하기에 구체적으로 기재한다.

[0091] 방향족 아민 화합물의 예는, N,N'-디(p-톨릴)-N,N'-디페닐-p-페닐렌디아민(약어: DTDPPA), 4,4'-비스[N-(4-디페닐아미노페닐)-N-페닐아미노]비페닐(약어: DPAB), N,N'-비스{4-[비스(3-메틸페닐)아미노]페닐}-N,N'-디페닐-(1,1'-비페닐)-4,4'-디아민(약어: DNTPD), 1,3,5-트리스[N-(4-디페닐아미노페닐)-N-페닐아미노]벤젠(약어: DPA3B) 등이다.

[0092] 복합 재료에 사용될 수 있는 카르바졸 유도체의 구체적 예는, 3-[N-(9-페닐카르바졸-3-일)-N-페닐아미노]-9-페닐카르바졸(약어: PCzPCA1), 3,6-비스[N-(9-페닐카르바졸-3-일)-N-페닐아미노]-9-페닐카르바졸(약어: PCzPCA2), 3-[N-(1-나프틸)-N-(9-페닐카르바졸-3-일)아미노]-9-페닐카르바졸(약어: PCzPCN1) 등이다.

[0093] 복합 재료에 사용될 수 있는 카르바졸 유도체의 다른 예는, 4,4'-디(N-카르바졸릴)비페닐(약어: CBP), 1,3,5-트리스[4-(N-카르바졸릴)페닐]벤젠(약어: TCPB), 9-[4-(10-페닐-9-안트릴)페닐]-9H-카르바졸(약어: CzPA), 1,4-비스[4-(N-카르바졸릴)페닐]-2,3,5,6-테트라페닐벤젠 등이다.

[0094] 복합 재료에 사용될 수 있는 방향족 탄화수소의 예는, 2-tert-부틸-9,10-디(2-나프틸)안트라센(약어: t-BuDNA), 2-tert-부틸-9,10-디(1-나프틸)안트라센, 9,10-비스(3,5-디페닐페닐)안트라센(약어: DPPA), 2-tert-부틸-9,10-비스(4-페닐페닐)안트라센(약어: t-BuDBA), 9,10-디(2-나프틸)안트라센(약어: DNA), 9,10-디페닐안트라센(약어: DPAnth), 2-tert-부틸안트라센(약어: t-BuAnth), 9,10-비스(4-메틸-1-나프틸)안트라센(약어: DMNA), 2-tert-부틸-9,10-비스[2-(1-나프틸)페닐]안트라센, 9,10-비스[2-(1-나프틸)페닐]안트라센, 2,3,6,7-테트라메틸-9,10디(1-나프틸)안트라센, 2,3,6,7-테트라메틸-9,10-디(2-나프틸)안트라센, 9,9'-비안트릴, 10,10'-디페닐-9,9'-비안트릴, 10,10'-비스(2-페닐페닐)-9,9'-비안트릴, 10,10'-비스[(2,3,4,5,6-펜타페닐)페닐]-9,9'-비안트릴, 안트라센, 테트라센, 루브렌, 페릴렌, 2,5,8,11-테트라(tert-부틸)페릴렌 등이다. 그 외에, 펜타센, 코로넨 등이 사용될 수도 있다. 1 x 10^{-6} ㎠/Vs 이상의 정공 이동도를 갖고 14 내지 42개의 탄소 원자를 갖는 방향족 탄화수소가 특히 바람직하다.

[0095] 복합 재료에 사용될 수 있는 방향족 탄화수소는 비닐 골격을 가질 수 있음을 인지한다. 비닐 기를 갖는 방향족 탄화수소의 예는, 4,4'-비스(2,2-디페닐비닐)비페닐(약어: DPVBi), 9,10-비스[4-(2,2-디페닐비닐)페닐]안트라센(약어: DPVPA) 등이다.

[0096] 폴리(N-비닐카르바졸)(약어: PVK), 폴리(4-비닐트리페닐아민)(약어: PVTPA), 폴리[N-(4-{N'-[4-(4-디페닐아미노)페닐]페닐-N'-페닐아미노}페닐)메타크릴아미드](약어: PTPDMA), 또는 폴리[N,N'-비스(4-부틸페닐)-N,N'-비스(페닐)벤지딘](약어: 폴리-TPD) 등의 고분자 화합물이 사용될 수도 있다.

[0097] 정공 주입 층을 제공함으로써, 높은 정공 수송성이 달성되어 발광 소자가 작은 구동 전압을 갖는 것을 가능하게 할 수 있다.

[0098] 정공 수송 층(112)은 정공 수송성을 갖는 물질을 함유하는 층이다. 정공 수송성을 갖는 물질의 예는, 4,4'-비스[N-(1-나프틸)-N-페닐아미노]비페닐(약어: NPB), N,N'-비스(3-메틸페닐)-N,N'-디페닐-[1,1'-비페닐]-4,4'-디아민(약어: TPD), 4,4',4"-트리스(N,N-디페닐아미노)트리페닐아민(약어: TDATA), 4,4',4"-트리스[N-(3-메틸페닐)-N-페닐아미노]트리페닐아민(약어: MTDATA), 4,4'-비스[N-(스피로-9,9'-비플루오렌-2-일)-N-페닐아미노]비페닐(약어: BSPB), 4-페닐-4'-(9-페닐플루오렌-9-일)트리페닐아민(약어: BPAFLP) 등과 같은 방향족 아민 화합물이다. 여기서 언급된 물질은 높은 정공 수송성을 갖고, 주로 10^{-6} ㎠/Vs 이상의 정공 이동도를 갖는 것이다. 상기에 기재된 복합 재료에서 정공 수송성을 갖는 물질의 예로서 기재된 유기 화합물이 정공 수송 층(112)에 사용될 수도 있다. 폴리(N-비닐카르바졸)(약어: PVK) 또는 폴리(4-비닐트리페닐아민)(약어: PVTPA) 등의 고분자 화합물이 사용될 수도 있다. 정공 수송성을 갖는 물질을 함유하는 층은 단일 층으로 제한되지 않으며, 임의의 상기 물질을 포함하는 2개 이상의 층의 적층물일 수 있다.

[0099] 발광 층(113)은 제1 인광성 화합물 및 제2 인광성 화합물을 함유하는 층이다. 발광 층(113)은 실시형태 1에 기재된 것과 유사한 구조를 갖기 때문에, 본 실시형태에서의 발광 소자는 매우 높은 발광 효율을 가질 수 있다. 발광 층(113)의 주요 구조에 대해서는 실시형태 1을 참조한다.

[0100] 발광 층(113)에서 제1 인광성 화합물 및 제2 인광성 화합물로서 사용될 수 있는 재료는, 이들이 실시형태 1에 기재된 관계를 갖는 한, 이들에 대한 특별한 제한은 없다. 제1 인광성 화합물 및 제2 인광성 화합물의 예로서 하기의 것들을 들 수 있다.

[0101] 그 예는, 트리스{2-[5-(2-메틸페닐)-4-(2,6-디메틸페닐)-4H-1,2,4-트리아졸-3-일-κN^2]페닐-κC}이리듐(III)(약어: $Ir(mpptz\text{-}dmp)_3$), 트리스(5-메틸-3,4-디페닐-4H-1,2,4-트리아졸레이토)이리듐(III)(약어: $Ir(Mptz)_3$), 또는 트리스[4-(3-비페닐)-5-이소프로필-3-페닐-4H-1,2,4-트리아졸레이토]이리듐(III)(약어: $Ir(iPrptz\text{-}3b)_3$) 등의 4H-트리아졸 골격을 갖는 유기금속 이리듐 착체; 트리스[3-메틸-1-(2-메틸페닐)-5-페닐-1H-1,2,4-트리아졸레이토]이리듐(III)(약어: $Ir(Mptzl\text{-}mp)_3$), 또는 트리스(1-메틸-5-페닐-3-프로필-1H-1,2,4-트리아졸레이토)이리듐(III)(약어: $Ir(Prptzl\text{-}Me)_3$); 이미다졸 골격을 갖는 유기금속 이리듐 착체, 예컨대 fac-트리스[1-(2,6-디이소프로필페닐)-2-페닐-1H-이미다졸]이리듐(III)(약어: $Ir(iPrpmi)_3$) 또는 트리스[3-(2,6-디메틸페닐)-7-메틸이미다조[1,2-f]페난트리디네이토]이리듐(III)(약어: $Ir(dmpimpt\text{-}Me)_3$) 등의 1H-트리아졸 골격을 갖는 유기금속 이리듐 착체; 및 비스[2-(4',6'-디플루오로페닐)피리디네이토-N,$C^{2'}$]이리듐(III) 테트라키스(1-피라졸릴)보레이트(약어: FIr6), 비스[2-(4',6'-디플루오로페닐)피리디네이토-N,$C^{2'}$]이리듐(III) 피콜리네이트(약어: FIrpic), 비스{2-[3',5'-비스(트리플루오로메틸)페닐]피리디네이토-N,$C^{2'}$}이리듐(III) 피콜리네이트(약어: $Ir(CF_3ppy)_2(pic)$), 또는 비스[2-(4',6'-디플루오로페닐)피리디네이토-N,$C^{2'}$]이리듐(III) 아세틸아세토네이트(약어: FIracac) 등의, 전자 흡인 기를 갖는 페닐피리딘 유도체가 리간드인 유기금속 이리듐 착체이다. 이들은 청색 인광을 방출하는 화합물이며, 440 nm 내지 520 nm에서 발광 피크를 갖는다. 상기 화합물 중, 폴리아졸 골격, 예컨대 4H-트리아졸 골격, 1H-트리아졸 골격, 또는 이미다졸 골격을 갖는 유기금속 이리듐 착체는 높은 정공 트랩핑성을 갖는다. 따라서, 임의의 이들 화합물이 본 발명의 하나의 실시형태의 발광 소자에서 제1 인광성 화합물로서 사용되고, 제1 발광 층이 제2 발광 층보다 캐소드에 더 가깝게 제공되고, 제2 발광 층이 정공 수송성을 갖는 것(구체적으로, 제2 호스트 재료가 정공 수송 재료인 것)이 바람직하고, 이 경우, 캐리어의 재결합 영역이 제1 발광 층 내에 있도록 용이하게 제어될 수 있다. 4H-트리아졸 골격을 갖는 유기금속 이리듐 착체는 우수한 신뢰성 및 발광 효율을 갖고, 따라서 특히 바람직함을 인지한다.

[0102] 다른 예는, 트리스(4-메틸-6-페닐피리미디네이토)이리듐(III)(약어: $Ir(mppm)_3$), 트리스(4-t-부틸-6-페닐피리미디네이토)이리듐(III)(약어: $Ir(tBuppm)_3$),(아세틸아세토네이토)비스(6-메틸-4-페닐피리미디네이토)이리듐(III)(약어: $Ir(mppm)_2(acac)$),(아세틸아세토네이토)비스(6-tert-부틸-4-페닐피리미디네이토)이리듐(III)(약어: $Ir(tBuppm)_2(acac)$),(아세틸아세토네이토)비스[6-(2-노르보르닐)-4-페닐피리미디네이토]이리듐(III)(약어: $Ir(nbppm)_2(acac)$),(아세틸아세토네이토)비스[5-메틸-6-(2-메틸페닐)-4-페닐피리미디네이토]이리듐(III)(약어: $Ir(mpmppm)_2(acac)$), 또는(아세틸아세토네이토)비스(4,6-디페닐피리미디네이토)이리듐(III)(약어: $Ir(dppm)_2(acac)$) 등의 피리미딘 골격을 갖는 유기금속 이리듐 착체;(아세틸아세토네이토)비스(3,5-디메틸-2-페닐피라지네이토)이리듐(III)(약어: $Ir(mppr\text{-}Me)_2(acac)$) 또는(아세틸아세토네이토)비스(5-이소프로필-3-메틸-2-페닐피라지네이토)이리듐(III)(약어: $Ir(mppr\text{-}iPr)_2(acac)$) 등의 피라진 골격을 갖는 유기금속 이리듐 착체; 트리스(2-페닐피리디네이토-N,$C^{2'}$)이리듐(III)(약어: $Ir(ppy)_3$), 비스(2-페닐피리디네이토-N,$C^{2'}$)이리듐(III) 아세틸아세토네이트(약어: $Ir(ppy)_2acac$), 비스(벤조[h]퀴놀리네이토)이리듐(III) 아세틸아세토네이트(약어: $Ir(bzq)_2(acac)$), 트리스(벤조[h]퀴놀리네이토)이리듐(III)(약어: $Ir(bzq)_3$), 트리스(2-페닐퀴놀리네이토-N,$C^{2'}$)이리듐(III)(약어: $Ir(pq)_3$), 또는 비스(2-페닐퀴놀리네이토-N,$C^{2'}$)이리듐(III) 아세틸아세토네이트(약어: $Ir(pq)_2(acac)$) 등의 피리딘 골격을 갖는 유기금속 이리듐 착체; 및 트리스(아세틸아세토네이토)(모노페난트롤린)테르븀(III)(약어: $Tb(acac)_3(Phen)$) 등의 희토류 금속 착체이다. 이들은 주로 녹색 인광을 방출하는 화합

물이며, 500 nm 내지 600 nm에서 발광 피크를 갖는다. 상기 화합물 중, 디아진 골격, 예컨대 피리미딘 골격 또는 피라진 골격을 갖는 유기금속 이리듐 착체는 낮은 정공 트랩핑성 및 높은 전자 트랩핑성을 갖는다. 따라서, 임의의 이들 화합물이 본 발명의 하나의 실시형태의 발광 소자에서 제1 인광성 화합물로서 사용되고, 제1 발광층이 제2 발광 층보다 애노드에 더 가깝게 제공되고, 제2 발광 층이 전자 수송성을 갖는 것(구체적으로, 제2 호스트 재료가 전자 수송 재료인 것)이 바람직하고, 이 경우, 캐리어의 재결합 영역이 제1 발광 층 내에 있도록 용이하게 제어될 수 있다. 피리미딘 골격을 갖는 유기금속 이리듐 착체는 특징적으로 높은 신뢰성 및 발광 효율을 갖고, 따라서 특히 바람직함을 인지한다.

[0103] 또 다른 예는, 비스[4,6-비스(3-메틸페닐)피리미디네이토](디이소부틸릴메타노)이리듐(III)(약어: $Ir(5mdppm)_2(dibm)$), 비스[4,6-비스(3-메틸페닐)피리미디네이토](디피발로일메타네이토)이리듐(III)(약어: $Ir(5mdppm)_2(dpm)$), 또는 비스[4,6-디(나프탈렌-1-일)피리미디네이토](디피발로일메타네이토)이리듐(III)(약어: $Ir(dlnpm)_2(dpm)$) 등의 피리미딘 골격을 갖는 유기금속 이리듐 착체;(아세틸아세토네이토)비스(2,3,5-트리페닐피라지네이토)이리듐(III)(약어: $Ir(tppr)_2(acac)$), 비스(2,3,5-트리페닐피라지네이토)(디피발로일메타네이토)이리듐(III)(약어: $Ir(tppr)_2(dpm)$), 또는(아세틸아세토네이토)비스[2,3-비스(4-플루오로페닐)퀴녹살리네이토]이리듐(III)(약어: $Ir(Fdpq)_2(acac)$) 등의 피라진 골격을 갖는 유기금속 이리듐 착체; 트리스(1-페닐이소퀴놀리네이토-N,$C^{2'}$)이리듐(III)(약어: $Ir(piq)_3$) 또는 비스(1-페닐이소퀴놀리네이토-N,$C^{2'}$)이리듐(III) 아세틸아세토네이트(약어: $Ir(piq)_2acac$) 등의 피리딘 골격을 갖는 유기금속 이리듐 착체; 2,3,7,8,12,13,17,18-옥타에틸-21H,23H-포르피린 백금(II)(약어: PtOEP) 등의 백금 착체; 및 트리스(1,3-디페닐-1,3-프로판디오네이토)(모노페난트롤린)유로퓸(III)(약어: $Eu(DBM)_3(Phen)$) 또는 트리스[1-(2-테노일)-3,3,3-트리플루오로아세토네이토](모노페난트롤린)유로퓸(III)(약어: $Eu(TTA)_3(Phen)$) 등의 희토류 금속 착체이다. 이들은 적색 인광을 방출하는 화합물이며, 600 nm 내지 700 nm에서 발광 피크를 갖는다. 상기 화합물 중, 디아진 골격, 예컨대 피리미딘 골격 또는 피라진 골격을 갖는 유기금속 이리듐 착체는 낮은 정공 트랩핑성 및 높은 전자 트랩핑성을 갖는다. 따라서, 디아진 골격을 갖는 유기금속 이리듐 착체가 제2 인광성 화합물로서 사용되고, 제1 발광 층이 제2 발광 층보다 캐노드에 더 가깝게 제공되고, 제2 발광 층이 정공 수송성을 갖는 것(구체적으로, 제2 호스트 재료가 정공 수송 재료인 것)이 바람직하고, 이 경우, 캐리어의 재결합 영역이 제1 발광 층 내에 있도록 용이하게 제어될 수 있다. 피리미딘 골격을 갖는 유기금속 이리듐 착체는 특징적으로 높은 신뢰성 및 발광 효율을 갖고, 따라서 특히 바람직함을 인지한다. 또한, 피라진 골격을 갖는 유기금속 이리듐 착체는 유리한 색도를 갖는 적색 발광을 제공할 수 있기 때문에, 백색 발광 소자에서 유기금속 이리듐 착체의 사용은 백색 발광 소자의 연색성을 향상시킨다.

[0104] 상기 인광성 화합물 이외에도 공지된 인광성 재료로부터 실시형태 1에 기재된 관계를 갖는 제1 인광성 재료 및 제2 인광성 재료를 선택할 수도 있다.

[0105] 인광성 화합물(제1 인광성 화합물(113Da) 및 제2 인광성 화합물(113Db)) 대신에, 열 활성화 지연 형광을 나타내는 재료, 즉 열 활성화 지연 형광성(TADF) 재료가 사용될 수 있음을 인지한다. 여기서, 용어 "지연 형광"은, 통상의 형광과 동일한 스펙트럼 및 매우 긴 수명을 갖는 발광을 지칭한다. 수명은 10^{-6}초 이상, 바람직하게는 10^{-3}초 이상이다. 열 활성화 지연 형광성 재료의 구체적 예는, 풀러린, 그의 유도체, 아크리딘 유도체, 예컨대 프로플라빈, 및 에오신을 포함한다. 그 외에, 금속-함유 포르피린, 예컨대 마그네슘(Mg), 아연(Zn), 카드뮴(Cd), 주석(Sn), 백금(Pt), 인듐(In), 또는 팔라듐(Pd)을 함유하는 포르피린이 사용될 수 있다. 금속-함유 포르피린의 예는, 프로토포르피린-플루오린화주석 착체(SnF_2(Proto IX)), 메소포르피린-플루오린화주석 착체(SnF_2(Meso IX)), 헤마토포르피린-플루오린화주석 착체(SnF_2(Hemato IX)), 코프로포르피린 테트라메틸 에스테르-플루오린화주석 착체(SnF_2(Copro III-4Me)), 옥타에틸포르피린-플루오린화주석 착체(SnF_2(OEP)), 에티오포르피린-플루오린화주석 착체(SnF_2(Etio I)), 및 옥타에틸포르피린-염화백금 착체($PtCl_2$(OEP))를 포함한다. 다르게는, π-전자 풍부 헤테로방향족 고리 및 π-전자 부족 헤테로방향족 고리를 포함하는 헤테로시클릭 화합물, 예컨대 2-(비페닐-4-일)-4,6-비스(12-페닐인돌로[2,3-α]카르바졸-11-일)-1,3,5-트리아진(약어: PIC-TRZ)이 사용될 수 있다. π-전자 풍부 헤테로방향족 고리가 π-전자 부족 헤테로방향족 고리에 직접 결합된 물질이 특히 바람직하게 사용되고, 이는 π-전자 풍부 헤테로방향족 고리의 공여체 특성 및 π-전자 부족 헤테로방향족 고리

의 수용체 특성 둘 다 증가되고, S_1 준위와 T_1 준위 사이의 에너지차가 작아지기 때문임을 인지한다.

[0106] 제1 및 제2 호스트 재료로서 사용될 수 있는 재료에 대한 특별한 제한은 없고; 각종 캐리어 수송 재료를 선택하여, 도 1의 (A) 내지 도 1의 (C)에 나타낸 소자 구조가 얻어지도록 적절히 조합할 수 있다.

[0107] 전자 수송성을 갖는 호스트 재료의 예는, 비스(10-히드록시벤조[h]퀴놀리네이토)베릴륨(II)(약어: $BeBq_2$), 비스(2-메틸-8-퀴놀리놀레이토)(4-페닐페놀레이토)알루미늄(III)(약어: BAlq), 비스(8-퀴놀리놀레이토)아연(II)(약어: Znq), 비스[2-(2-벤족사졸릴)페놀레이토]아연(II)(약어: ZnPBO), 또는 비스[2-(2-벤조티아졸릴)페놀레이토]아연(II)(약어: ZnBTZ) 등의 금속 착체; 2-(4-비페닐릴)-5-(4-tert-부틸페닐)-1,3,4-옥사디아졸(약어: PBD), 3-(4-비페닐릴)-4-페닐-5-(4-tert-부틸페닐)-1,2,4-트리아졸(약어: TAZ), 1,3-비스[5-(p-tert-부틸페닐)-1,3,4-옥사디아졸-2-일]벤젠(약어: OXD-7), 9-[4-(5-페닐-1,3,4-옥사디아졸-2-일)페닐]-9H-카르바졸(약어: CO11), 2,2',2"-(1,3,5-벤젠트리일)트리스(1-페닐-1H-벤즈이미다졸)(약어: TPBI), 또는 2-[3-(디벤조티오펜-4-일)페닐]-1-페닐-1H-벤즈이미다졸(약어: mDBTBIm-II) 등의 폴리아졸 골격을 갖는 헤테로시클릭 화합물; 2-[3-(디벤조티오펜-4-일)페닐]디벤조[f,h]퀴녹살린(약어: 2mDBTPDBq-II), 2-[3'-(디벤조티오펜-4-일)비페닐-3-일]디벤조[f,h]퀴녹살린(약어: 2mDBTBPDBq-II), 2-[3'-(9H-카르바졸-9-일)비페닐-3-일]디벤조[f,h]퀴녹살린(약어: 2mCzBPDBq), 4,6-비스[3-(페난트렌-9-일)페닐]피리미딘(약어: 4,6mPnP2Pm), 또는 4,6-비스[3-(4-디벤조티에닐)페닐]피리미딘(약어: 4,6mDBTP2Pm-II) 등의 디아진 골격을 갖는 헤테로시클릭 화합물; 및 3,5-비스[3-(9H-카르바졸-9-일)페닐]피리딘(약어: 35DCzPPy) 또는 1,3,5-트리[3-(3-피리딜)페닐]벤젠(약어: TmPyPB) 등의 피리딘 골격을 갖는 헤테로시클릭 화합물이다. 상기 재료 중, 디아진 골격을 갖는 헤테로시클릭 화합물 및 피리딘 골격을 갖는 헤테로시클릭 화합물은 높은 신뢰성을 갖고, 따라서 바람직하다. 구체적으로, 디아진(피리미딘 또는 피라진) 골격을 갖는 헤테로시클릭 화합물은 높은 전자 수송성을 가져서 구동 전압의 감소에 기여한다.

[0108] 정공 수송성을 갖는 호스트 재료의 예는, 4,4'-비스[N-(1-나프틸)-N-페닐아미노]비페닐(약어: NPB), N,N'-비스(3-메틸페닐-N,N'-디페닐-[1,1'-비페닐]-4,4'-디아민(약어: TPD), 4,4'-비스[N-(스피로-9,9'-비플루오렌-2-일)-N-페닐아미노]비페닐(약어: BSPB), 4-페닐-4'-(9-페닐플루오렌-9-일)트리페닐아민(약어: BPAFLP), 4-페닐-3'-(9-페닐플루오렌-9-일)트리페닐아민(약어: mBPAFLP), 4-페닐-4'-(9-페닐-9H-카르바졸-3-일)트리페닐아민(약어: PCBA1BP), 4,4'-디페닐-4"-(9-페닐-9H-카르바졸-3-일)트리페닐아민(약어: PCBBi1BP), 4-(1-나프틸)-4'-(9-페닐-9H-카르바졸-3-일)트리페닐아민(약어: PCBANB), 4,4'-디(1-나프틸)-4"-(9-페닐-9H-카르바졸-3-일)트리페닐아민(약어: PCBNBB), 9,9-디메틸-N-페닐-N-[4-(9-페닐-9H-카르바졸-3-일)페닐]플루오렌-2-아민(약어: PCBAF), 또는 N-페닐-N-[4-(9-페닐-9H-카르바졸-3-일)페닐]스피로-9,9'-비플루오렌-2-아민(약어: PCBASF) 등의 방향족 아민 골격을 갖는 화합물; 1,3-비스(N-카르바졸릴)벤젠(약어: mCP), 4,4'-디(N-카르바졸릴)비페닐(약어: CBP), 3,6-비스(3,5-디페닐페닐)-9-페닐카르바졸(약어: CzTP), 또는 3,3'-비스(9-페닐-9H-카르바졸)(약어: PCCP) 등의 카르바졸 골격을 갖는 화합물; 4,4',4"-(벤젠-1,3,5-트리일)트리(디벤조티오펜)(약어: DBT3P-II), 2,8-디페닐-4-[4-(9-페닐-9H-플루오렌-9-일)페닐]디벤조티오펜(약어: DBTFLP-III), 또는 4-[4-(9-페닐-9H-플루오렌-9-일)페닐]-6-페닐디벤조티오펜(약어: DBTFLP-IV) 등의 티오펜 골격을 갖는 화합물; 및 4,4',4"-(벤젠-1,3,5-트리일)트리(디벤조푸란)(약어: DBF3P-II) 또는 4-{3-[3-(9-페닐-9H-플루오렌-9-일)페닐]페닐}디벤조푸란(약어: mmDBFFLBi-II) 등의 푸란 골격을 갖는 화합물이다. 상기 재료 중, 방향족 아민 골격을 갖는 화합물 및 카르바졸 골격을 갖는 화합물은 높은 신뢰성을 갖고, 높은 정공 수송성을 가져서 구동 전압 감소에 기여하기 때문에, 이들 화합물이 바람직하다.

[0109] 호스트 재료는 상기 호스트 재료 뿐만 아니라 공지된 물질로부터 선택될 수 있다. 호스트 재료로서는, 인광성 화합물의 삼중항 준위(기저 상태와 삼중항 여기 상태 사이의 에너지차)보다 높은 삼중항 준위를 갖는 물질이 바람직하게 선택됨을 인지한다. 이들 호스트 재료는 청색 파장 범위에서 흡수 스펙트럼을 갖지 않는 것이 바람직하다. 구체적으로, 흡수 스펙트럼의 흡수단이 바람직하게는 440 nm 이하에 있다.

[0110] 상기에 기재된 구조를 갖는 발광 층(113)의 형성을 위해, 진공 증착법에 의한 공증착(co-evaporation)이 이용될 수 있거나, 또는 다르게는 혼합 용액을 사용한 잉크젯법, 스핀 코팅법, 딥 코팅법 등이 이용될 수 있다.

[0111] 전자 수송 층(114)은 전자 수송성을 갖는 물질을 함유하는 층이다. 예를 들어, 퀴놀린 골격 또는 벤조퀴놀린 골격을 갖는 금속 착체, 예컨대 트리스(8-퀴놀리놀레이토)알루미늄(약어: Alq), 트리스(4-메틸-8-퀴놀리놀레이토)알루미늄(약어: $Almq_3$), 비스(10-히드록시벤조[h]퀴놀리네이토)베릴륨(약어: $BeBq_2$), 또는 비스(2-메틸-8-퀴놀리놀레이토)(4-페닐페놀레이토)알루미늄(약어: BAlq) 등을 함유하는 층이 사용될 수 있다. 다르게는, 옥사졸계 또는 티아졸계 리간드를 갖는 금속 착체, 예컨대 비스[2-(2-히드록시페닐)벤족사졸레이토]아연(약어:

$Zn(BOX)_2$) 또는 비스[2-(2-히드록시페닐)벤조티아졸레이토]아연(약어: $Zn(BTZ)_2$) 등이 사용될 수 있다. 금속 착체 이외에도, 2-(4-비페닐릴)-5-(4-tert-부틸페닐)-1,3,4-옥사디아졸(약어: PBD), 1,3-비스[5-(p-tert-부틸페닐)-1,3,4-옥사디아졸-2-일]벤젠(약어: OXD-7), 3-(4-비페닐릴)-4-페닐-5-(4-tert-부틸페닐)-1,2,4-트리아졸(약어: TAZ), 바쏘페난트롤린(약어: BPhen), 바쏘큐프로인(약어: BCP) 등이 사용될 수도 있다. 여기서 언급된 물질은 높은 전자 수송성을 갖고, 주로 10^{-6} ㎠/Vs 이상의 전자 이동도를 갖는 것들이다. 전자 수송성을 갖는 임의의 상기에 기재된 호스트 재료가 전자 수송 층(114)에 사용될 수 있음을 인지한다.

[0112] 또한, 전자 수송 층(114)은 단일 층으로 제한되지 않으며, 임의의 상기 물질을 함유하는 2개 이상의 층의 적층물일 수 있다.

[0113] 전자 수송 층과 발광 층 사이에는, 전자 캐리어의 수송을 제어하는 층이 제공될 수 있다. 이는 소량의 높은 전자 트랩핑성을 갖는 물질을 상기에 기재된 바와 같은 높은 전자 수송성을 갖는 재료에 첨가함으로써 형성된 층이고, 상기 층은 전자 캐리어의 수송을 억제함으로써 캐리어 밸런스를 조정할 수 있다. 이러한 구조는, 전자가 발광 층으로 통과하는 경우에 발생되는 문제(예컨대 소자 수명 감소)를 막는 데 있어 매우 효과적이다.

[0114] 또한, 전자 수송 층(114)과 제2 전극(102) 사이에는 제2 전극(102)과 접하여 전자 주입 층(115)이 제공될 수 있다. 전자 주입 층(115)에는, 알칼리 금속, 알칼리 토금속, 또는 이들의 화합물, 예컨대 플루오린화리튬(LiF), 플루오린화세슘(CsF), 또는 플루오린화칼슘(CaF_2)이 사용될 수 있다. 예를 들어, 전자 수송성을 갖는 물질을 사용하여 형성되고, 알칼리 금속, 알칼리 토금속, 또는 이들의 화합물을 함유하는 층이 사용될 수 있다. 전자 수송성을 갖는 물질을 사용하여 형성되고, 알칼리 금속 또는 알칼리 토금속을 함유하는 층이 전자 주입 층(115)으로서 바람직하게 사용되고, 이 경우 제2 전극(102)으로부터의 전자 주입이 효율적으로 수행됨을 인지한다.

[0115] 제2 전극(102)에는, 낮은 일 함수(구체적으로, 3.8 eV 이하의 일 함수)를 갖는 임의의 금속, 합금, 도전성 화합물, 및 이들의 혼합물 등이 사용될 수 있다. 이러한 캐소드 재료의 구체적 예는, 주기율표의 1 및 2족에 속하는 원소, 예컨대 알칼리 금속(예를 들어, 리튬(Li) 및 세슘(Cs)), 마그네슘(Mg), 칼슘(Ca), 및 스트론튬(Sr), 이들의 합금(예를 들어, MgAg 및 AlLi), 희토류 금속, 예컨대 유로퓸(Eu) 및 이테르븀(Yb), 이들의 합금 등이다. 그러나, 전자 주입 층이 제2 전극(102)과 전자 수송 층 사이에 제공되는 경우, 제2 전극(102)에는, 일 함수에 관계없이 각종 도전성 재료 중 임의의 것, 예컨대 Al, Ag, ITO, 또는 규소 또는 산화규소를 함유하는 산화인듐-산화주석이 사용될 수 있다. 이들 도전성 재료의 필름은 스퍼터링법, 잉크젯법, 스핀 코팅법 등에 의해 형성될 수 있다.

[0116] 또한, 건식 공정 또는 습식 공정에 관계없이, 각종 방법 중 임의의 것을 이용하여 EL 층(103)을 형성할 수 있다. 예를 들어, 진공 증착법, 잉크젯법, 스핀 코팅법 등을 이용할 수 있다. 다양한 형성 방법을 전극 또는 층에 이용할 수 있다.

[0117] 또한, 전극은 졸-겔법을 이용한 습식 방법에 의해, 또는 금속 재료의 페이스트를 사용한 습식 방법에 의해 형성될 수 있다. 다르게는, 전극은 스퍼터링법 또는 진공 증착법 등의 건식 방법에 의해 형성될 수 있다.

[0118] 상기에 기재된 구조를 갖는 발광 소자에서는, 제1 전극(101)과 제2 전극(102) 사이의 전위차로 인해 전류가 흐르고, 높은 발광성을 갖는 물질을 함유하는 발광 층(113)에서 정공 및 전자가 재결합되어, 광이 방출된다. 즉, 발광 층(113)에 발광 영역이 형성된다.

[0119] 발광은, 제1 전극(101)과 제2 전극(102) 중 하나 또는 둘 다를 통해 취출된다. 따라서, 제1 전극(101)과 제2 전극(102) 중 하나 또는 둘 다는 투광성 전극이다. 제1 전극(101)만이 투광성 전극인 경우, 발광은 제1 전극(101)을 통해 취출된다. 제2 전극(102)만이 투광성 전극인 경우, 발광은 제2 전극(102)을 통해 취출된다. 제1 전극(101) 및 제2 전극(102) 둘 다 투광성 전극인 경우, 발광은 제1 전극(101) 및 제2 전극(102)을 통해 취출된다.

[0120] 제1 전극(101)과 제2 전극(102) 사이에 제공되는 층의 구조는 상기에 기재된 구조로 제한되지 않는다. 바람직하게는, 발광 영역 및 전극과 캐리어 주입 층에 사용되는 금속의 근접성으로 인한 소광을 막을 수 있도록, 정공 및 전자가 재결합되는 발광 영역이 제1 전극(101) 및 제2 전극(102)으로부터 떨어져서 위치한다.

[0121] 또한, 발광 층에서 생성된 엑시톤으로부터의 에너지 전달이 억제될 수 있도록, 바람직하게는, 발광 층(113)과 접하는 정공 수송 층 및 전자 수송 층, 특히 발광 층(113)에서 발광 영역에 보다 가까운 쪽과 접하는 캐리어 수송 층은, 발광 층의 발광 물질 또는 발광 층에 포함된 발광 중심 물질보다 폭넓은 밴드 갭을 갖는 물질을 사용

하여 형성된다.

[0122] 본 실시형태에서 발광 소자는 바람직하게는 유리, 플라스틱 등의 기판 위에 제작된다. 기판 위에 층을 적층시키는 방식으로서는, 층을 제1 전극(101)측으로부터 순차적으로 적층시키거나, 또는 제2 전극(102)측으로부터 순차적으로 적층시킬 수 있다. 발광 장치에서는, 하나의 발광 소자가 하나의 기판 위에 형성될 수 있지만, 복수의 발광 소자가 하나의 기판 위에 형성될 수도 있다. 하나의 기판 위에 형성된 상기에 기재된 바와 같은 복수의 발광 소자로, 소자가 분리된 조명 장치 또는 패시브-매트릭스 발광 장치를 제조할 수 있다. 예를 들어, 유리, 플라스틱 등의 기판 위에 형성된, 박막 트랜지스터(TFT)에 전기적으로 접속된 전극 위에 발광 소자를 형성할 수 있고, 따라서 TFT가 발광 소자의 구동을 제어하는 액티브 매트릭스 발광 장치를 제조할 수 있다. TFT의 구조에 대한 특별한 제한은 없으며, 이는 스태거형(staggered) TFT 또는 역스태거형(inverted staggered) TFT일 수 있음을 인지한다. 또한, TFT에 사용되는 반도체의 결정성은 특별히 제한되지 않으며; 비정질 반도체 또는 결정성 반도체가 사용될 수 있다. 또한, TFT 기판에 형성된 구동 회로는 n형 TFT 및 p형 TFT로, 또는 n형 TFT 또는 p형 TFT로 형성될 수 있다.

[0123] 본 실시형태는 임의의 다른 실시형태와 적절히 조합될 수 있음을 인지한다.

[0124] (실시형태 3)

[0125] 본 실시형태에서는, 실시형태 1 및 2에 기재된 발광 소자를 사용한 발광 장치를 설명할 것이다.

[0126] 본 실시형태에서는, 실시형태 1 및 2에 기재된 발광 소자를 사용한 발광 장치를 도 4의 (A) 및 도 4의 (B)를 참조로 하여 설명한다. 도 4의 (A)는 발광 장치의 상면도이고, 도 4의 (B)는 도 4의 (A)에서 라인 A-B 및 C-D를 따라 절단한 단면도이다. 이 발광 장치는, 발광 소자의 발광을 제어하는 것이며 점선으로 나타낸, 구동 회로부(소스 라인 구동 회로)(601), 화소부(602), 및 구동 회로부(게이트 라인 구동 회로)(603)을 포함한다. 또한, 참조 번호(604)는 밀봉 기판;(625)는 건조제;(605)는 밀봉재(sealing material); 또한(607)은 밀봉재(605)로 둘러싸인 공간을 나타낸다.

[0127] 참조 번호(608)은, 소스 라인 구동 회로(601) 및 게이트 라인 구동 회로(603)로 입력되는 신호를 전송하고, 외부 입력 단자로서 작용하는 FPC(플렉시블 프린트 회로)(609)로부터의 비디오 신호, 클럭 신호, 스타트 신호, 및 리셋 신호 등의 신호를 수신하기 위한 배선을 나타낸다. 여기서는 단지 FPC만을 나타내었지만, 프린트 배선판(PWB)이 FPC에 부착될 수 있다. 본 명세서에서 발광 장치는, 발광 장치 자체 뿐만 아니라 FPC 또는 PWB가 제공된 발광 장치 또한 그의 카테고리 내에 포함한다.

[0128] 다음으로, 단면 구조를 도 4의 (B)를 참조로 하여 설명한다. 소자 기판(610) 위에 구동 회로부 및 화소부가 형성되며; 구동 회로부인 소스 라인 구동 회로(601), 및 화소부(602) 내의 화소 중 하나가 여기에 나타나 있다.

[0129] 소스 라인 구동 회로(601)로서는, n-채널 TFT(623) 및 p-채널 TFT(624)가 조합된 CMOS 회로가 형성된다. 또한, CMOS 회로, PMOS 회로, 또는 NMOS 회로 등의 각종 회로 중 임의의 것으로 구동 회로가 형성될 수 있다. 본 실시형태에서는 기판 위에 구동 회로가 형성된 드라이버 일체형을 나타내었지만, 구동 회로가 반드시 기판 위에 형성되는 것은 아니고, 구동 회로는 기판 위가 아니라 외부에 형성될 수도 있다.

[0130] 화소부(602)는 스위칭 TFT(611), 전류 제어 TFT(612), 및 전류 제어 TFT(612)의 드레인에 전기적으로 접속된 제1 전극(613)을 포함하는 복수의 화소를 포함한다. 제1 전극(613)의 단부를 덮도록 절연물(614)이 형성되며, 여기서는 포지티브 감광성 아크릴 수지 필름이 사용됨을 인지한다.

[0131] 피복성을 향상시키기 위해, 절연물(614)은 그의 상단부 또는 하단부에 곡률을 갖는 곡면을 갖도록 형성된다. 예를 들어, 절연물(614)의 재료에 포지티브 감광성 아크릴이 사용되는 경우, 바람직하게는 절연물(614)의 상단부만이 곡률 반경(0.2 ㎛ 내지 3 ㎛)을 갖는 곡면을 갖는다. 절연물(614)로서는, 네거티브 감광성 수지 또는 포지티브 감광성 수지가 사용될 수 있다.

[0132] 제1 전극(613) 위에는 EL 층(616) 및 제2 전극(617)이 형성된다. 여기서는, 애노드로서 기능하는 제1 전극(613)에 사용되는 재료로서, 높은 일 함수를 갖는 재료가 바람직하게 사용된다. 예를 들어, ITO 필름, 규소를 함유하는 산화인듐주석 필름, 2 wt% 내지 20 wt%로 산화아연을 함유하는 산화인듐 필름, 질화티타늄 필름, 크로뮴 필름, 텅스텐 필름, Zn 필름, Pt 필름 등의 단층 필름, 질화티타늄 필름 및 알루미늄을 주성분으로 함유하는 필름의 적층물, 질화티타늄 필름, 알루미늄을 주성분으로 함유하는 필름, 및 질화티타늄 필름의 3개 층의 적층물 등이 사용될 수 있다. 적층 구조는 낮은 배선 저항, 유리한 옴 접촉(ohmic contact), 및 애노드로서의 기능을 가능하게 한다.

[0133] 또한, EL 층(616)은 증착 마스크를 사용한 증착법, 잉크젯법, 및 스핀 코팅법 등의 각종 방법 중 임의의 방법에 의해 형성된다. EL 층(616)은 실시형태 1 및 2에 기재된 것과 유사한 구조를 갖는다. 또한, EL 층(616)에 포함되는 또 다른 재료로는, 임의의 저분자 화합물 및 고분자 화합물(올리고머 및 덴드리머 포함)이 사용될 수 있다.

[0134] EL 층(616) 위에 형성되고 캐소드로서 기능하는 제2 전극(617)에 사용되는 재료로서는, 낮은 일 함수를 갖는 재료(예를 들어, Al, Mg, Li, Ca, 또는 이들의 합금 또는 화합물, 예컨대 MgAg, MgIn, 또는 AlLi)가 바람직하게 사용된다. EL 층(616)에서 생성된 광이 제2 전극(617)으로 통과되는 경우, 금속 박막 및 투명한 도전성 필름(예를 들어, ITO, 2 wt% 내지 20 wt%로 산화아연을 함유하는 산화인듐, 규소를 함유하는 산화인듐주석, 또는 산화아연(ZnO))의 적층물이 제2 전극(617)에 바람직하게 사용된다.

[0135] 발광 소자는 제1 전극(613), EL 층(616), 및 제2 전극(617)으로 형성됨을 인지한다. 발광 소자는 실시형태 1 및 2에 기재된 발광 소자이다. 본 실시형태의 발광 장치에서, 복수의 발광 소자를 포함하는 화소부는, 실시형태 1 및 2에 기재된 발광 소자 및 상이한 구조를 갖는 발광 소자 둘 다를 포함할 수 있다.

[0136] 또한, 밀봉 기판(604)을 밀봉재(605)로 소자 기판(610)에 부착시켜, 소자 기판(610), 밀봉 기판(604), 및 밀봉재(605)로 둘러싸인 공간(607) 내에 발광 소자(618)가 제공되도록 한다. 공간(607)은 충전제로 충전될 수 있고, 이는 불활성 기체(예컨대 질소 또는 아르곤), 또는 밀봉재(605)로 충전될 수 있다. 밀봉 기판에 오목부를 제공하고, 오목부 내에 건조제(625)를 제공하는 것이 바람직하고, 이 경우 수분의 영향으로 인한 열화가 억제될 수 있다.

[0137] 에폭시계 수지 또는 유리 프릿이 밀봉재(605)에 바람직하게 사용된다. 이러한 재료는 수분 또는 산소를 가능한 한 투과시키지 않는 것이 바람직하다. 밀봉 기판(604)으로서는, 유리 기판, 석영 기판, 또는 섬유유리 강화 플라스틱(FRP), 폴리(비닐 플루오라이드)(PVF), 폴리에스테르, 아크릴 등으로 형성된 플라스틱 기판이 사용될 수 있다.

[0138] 상기에 기재된 바와 같이, 실시형태 1 및 2에 기재된 발광 소자를 사용한 발광 장치가 얻어질 수 있다.

[0139] 본 실시형태에서 발광 장치는 실시형태 1 및 2에 기재된 발광 소자를 사용하여 제작되고, 따라서 유리한 특징을 가질 수 있다. 구체적으로, 실시형태 1 및 2에 기재된 발광 소자는 높은 발광 효율을 갖고, 발광 장치는 감소된 소비 전력을 가질 수 있다. 또한, 발광 소자가 낮은 구동 전압을 갖기 때문에, 발광 장치가 낮은 전압으로 구동될 수 있다.

[0140] 상기에 기재된 바와 같이 본 실시형태에서는 액티브 매트릭스 발광 장치를 설명하였지만, 패시브 매트릭스 발광 장치가 제조될 수도 있다. 도 5의 (A) 및 도 5의 (B)는 본 발명을 이용하여 제조된 패시브 매트릭스 발광 장치를 나타낸다. 도 5의 (A)는 발광 장치의 사시도이고, 도 5의 (B)는 도 5의 (A)에서 라인 X-Y를 따라 절단한 단면도이다. 도 5의 (A) 및 도 5의 (B)에서는, 기판(951) 위에, 전극(952)와 전극(956) 사이에 EL 층(955)이 제공된다. 전극(952)의 단부는 절연 층(953)으로 덮여 있다. 또한, 절연 층(953) 위에는 격벽 층(954)이 제공된다. 격벽 층(954)의 측벽은, 두 측벽 사이의 거리가 기판면을 향할수록 점차 폭이 좁아지도록 경사져 있다. 즉, 격벽 층(954)의 짧은 변 방향을 따라 절단된 단면도는 사다리꼴이며, 하부 변(절연 층(953)의 면 방향과 동일한 방향에 있고 절연 층(953)에 접하는 변)이 상부 변(절연 층(953)의 면 방향과 동일한 방향에 있고 절연 층(953)에 접하지 않은 변)보다 짧다. 이와 같이 제공된 격벽 층(954)은 정전기 등에 기인하는 발광 소자에서의 불량을 막을 수 있다. 패시브 매트릭스 발광 장치는 또한, 낮은 전압에서 동작가능한 실시형태 1 및 2에서의 발광 소자를 포함함으로써 낮은 소비 전력으로 구동될 수 있다. 또한, 발광 장치는 실시형태 1 및 2에 기재된 발광 소자를 포함함으로써 높은 신뢰성을 가질 수 있다.

[0141] 또한, 풀 컬러 디스플레이를 수행하기 위해서는, 발광 소자로부터의 광을 발광 장치의 외부로 통과시키는 광 경로 내에 착색 층 또는 색 변환 층이 제공될 수 있다. 착색 층 등의 사용으로 풀 컬러 디스플레이가 달성되는 발광 장치의 일례를 도 6의 (A) 및 도 6의 (B)에 나타내었다. 도 6의 (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 제1 전극(1024W),(1024R),(1024G), 및(1024B), 격벽(1025), EL 층(1028), 발광 소자의 제2 전극(1029), 밀봉 기판(1031), 및 실란트(1032)가 나타나 있다. 또한, 착색 층(적색 착색 층(1034R), 녹색 착색 층(1034G), 및 청색 착색 층(1034B))이 투명한 기재(1033)에 제공된다. 또한, 흑색 층(흑색 매트릭스)(1035)이 더 제공될 수 있다. 착색 층 및 흑색 층이 제공된 투명한 기재(1033)는 위치조절되어 기판(1001)에 고정된다. 착색 층 및 흑색 층은 오버코트 층(1036)으로 덮임

을 인지한다. 본 실시형태에서, 발광 층의 일부로부터 방출된 광은 착색 층으로 통과되지 않으며, 발광 층의 다른 부분으로부터 방출된 광은 착색 층으로 통과된다. 착색 층으로 통과되지 않는 광은 백색이고, 착색 층 중 어느 하나로 통과되는 광은 적색, 청색, 또는 녹색이며, 4색의 화소를 이용하여 영상이 표시될 수 있다.

[0142] 상기에 기재된 발광 장치는, TFT가 형성된 기판(1001)측으로부터 광이 취출되는 구조(저부 방출 구조)를 갖는 발광 장치이지만, 밀봉 기판(1031)측으로부터 광이 취출되는 구조(상부 방출 구조)를 갖는 발광 장치일 수도 있다. 도 7은 상부 방출 구조를 갖는 발광 장치의 단면도이다. 이 경우, 광을 투과시키지 않는 기판이 기판(1001)으로서 사용될 수 있다. TFT와 발광 소자의 애노드를 접속시키는 접속 전극의 형성 수순까지의 방법은 저부 방출 구조를 갖는 발광 장치의 경우와 유사한 방식으로 수행된다. 이어서, 전극(1022)을 덮도록 제3 층간 절연막(1037)이 형성된다. 제3 층간 절연막(1037)은 평탄화 기능을 가질 수 있다. 제3 층간 절연막(1037)은 제2 층간 절연막의 재료와 유사한 재료를 사용하여 형성될 수 있고, 다르게는 임의의 다른 공지된 재료를 사용하여 형성될 수 있다.

[0143] 여기서 발광 소자의 제1 전극(1024W),(1024R),(1024G), 및(1024B)는 각각 애노드로서 작용하지만, 캐소드로서 작용할 수도 있다. 또한, 도 7에 나타낸 바와 같은 상부 방출 구조를 갖는 발광 장치의 경우, 제1 전극은 바람직하게는 반사 전극이다. EL 층(1028)은 실시형태 1 및 2에 기재된 구조와 유사한 구조를 갖도록 형성되고, 이로써 백색 발광이 얻어질 수 있다. 백색 발광이 얻어질 수 있는 구조로서는, 2개의 EL 층이 사용되는 경우, 하나의 EL 층의 발광 층으로부터 청색광이 얻어지고, 다른 EL 층의 발광 층으로부터 오렌지색광이 얻어지는 구조; 하나의 EL 층의 발광 층으로부터 청색광이 얻어지고, 다른 EL 층의 발광 층으로부터 적색광 및 녹색광이 얻어지는 구조 등을 들 수 있다. 또한, 3개의 EL 층이 사용되는 경우에는, 각각의 발광 층으로부터 적색광, 녹색광, 및 청색광이 얻어져, 백색광을 방출하는 발광 소자가 얻어질 수 있다. 물론, 백색 발광이 얻어지는 구조는, 실시형태 1 및 2에 기재된 구조가 사용되는 한, 이들로 제한되지 않는다.

[0144] 착색 층은 각각, 발광 소자로부터의 광이 발광 장치의 외부로 통과되는 광 경로 내에 제공된다. 도 6의 (A)에 나타낸 바와 같은 저부 방출 구조를 갖는 발광 장치의 경우에는, 착색 층(1034R),(1034G), 및(1034B)이 투명한 기재(1033) 위에 제공되고, 이어서 기판(1001)에 고정될 수 있다. 착색 층은 도 6의 (B)에 나타낸 바와 같이 게이트 절연막(1003)과 제1 층간 절연막(1020) 사이에 제공될 수도 있다. 도 7에 나타낸 상부 방출 구조의 경우에는, 착색 층(적색 착색 층(1034R), 녹색 착색 층(1034G), 및 청색 착색 층(1034B))이 제공되어 있는 밀봉 기판(1031)으로 밀봉이 수행될 수 있다. 밀봉 기판(1031)에는 화소 사이에 위치한 흑색 층(흑색 매트릭스)(1035)이 제공될 수 있다. 착색 층(적색 착색 층(1034R), 녹색 착색 층(1034G), 및 청색 착색 층(1034B)) 및 흑색 층(흑색 매트릭스)(1035)은 오버코트 층(1036)으로 덮일 수 있다. 투광성 기판이 밀봉 기판(1031)으로서 사용됨을 인지한다.

[0145] 이렇게 얻어진 유기 발광 소자의 한 쌍의 전극 사이에 전압이 인가되면, 백색 발광 영역(1044W)이 얻어질 수 있다. 또한, 착색 층을 사용함으로써, 적색 발광 영역(1044R), 청색 발광 영역(1044B), 및 녹색 발광 영역(1044G)이 얻어질 수 있다. 본 실시형태에서의 발광 장치는 실시형태 1 및 2에 기재된 발광 소자를 포함하고; 따라서, 낮은 소비 전력을 갖는 발광 장치가 얻어질 수 있다.

[0146] 또한, 여기서는 적색, 녹색, 청색, 및 백색의 4색을 이용하여 풀 컬러 디스플레이를 수행하는 예를 나타내었지만, 특별한 제한은 없고, 적색, 녹색, 및 청색의 3색을 이용하는 풀 컬러 디스플레이를 수행할 수도 있다.

[0147] 본 실시형태는 임의의 다른 실시형태와 자유롭게 조합될 수 있다.

[0148] (실시형태 4)

[0149] 본 실시형태에서는, 실시형태 1 및 2에 기재된 발광 소자를 조명 장치에 사용한 예를 도 8의 (A) 및 도 8의 (B)를 참조로 하여 설명할 것이다. 도 8의 (B)는 조명 장치의 상면도이고, 도 8의 (A)는 도 8의 (B)에서 라인 e-f를 따라 절단한 단면도이다.

[0150] 본 실시형태에서의 조명 장치에서는, 지지체이며 투광성을 갖는 기판(400) 위에 제1 전극(401)이 형성된다. 제1 전극(401)은 실시형태 3에서의 제1 전극(101)에 상응한다.

[0151] 제1 전극(401) 위에는 보조 전극(402)이 제공된다. 본 실시형태에서 주어진 예에서는 발광이 제1 전극(401)측을 통해 취출되기 때문에, 제1 전극(401)은 투광성을 갖는 재료를 사용하여 형성된다. 보조 전극(402)은 투광성을 갖는 재료의 낮은 도전율을 보상하기 위해 제공되며, 이는 제1 전극(401)의 높은 저항에 의해 초래된 전압 강하에 기인하는 발광면에서의 휘도 불균일성을 억제하는 기능을 갖는다. 보조 전극(402)은 적어도 제1 전극(401)의 재료보다 높은 도전율을 갖는 재료를 사용하여 형성되고, 바람직하게는 알루미늄 등의 높은 도전율을

갖는 재료를 사용하여 형성된다. 제1 전극(401)과 접하는 부분 이외의 보조 전극(402)의 표면은 바람직하게는 절연 층으로 덮임을 인지한다. 이는, 취출이 불가능한 보조 전극(402)의 상부 위에서의 발광을 억제하기 위해, 무효 전류를 감소시키기 위해, 또한 전력 효율 감소를 억제하기 위해서이다. 보조 전극(402)의 형성과 동시에 제2 전극(404)에 전압을 인가하기 위한 패드(412)가 형성될 수 있음을 인지한다.

[0152] 제1 전극(401) 및 보조 전극(402) 위에는 EL 층(403)이 형성된다. EL 층(403)은 실시형태 1 및 2에 기재된 구조를 갖는다. 구조에 대한 설명을 참조한다. EL 층(403)은 바람직하게는 위에서 볼 때 제1 전극(401)보다 약간 더 크게 형성되고, 이 경우 EL 층(403)은 또한 제1 전극(401)과 제2 전극(404) 사이의 단락을 억제하는 절연층으로서 작용할 수 있다.

[0153] 제2 전극(404)은 EL 층(403)을 덮도록 형성된다. 제2 전극(404)은 실시형태 3에서의 제2 전극(102)에 상응하고, 유사한 구조를 갖는다. 본 실시형태에서는, 제1 전극(401)측을 통해 발광이 취출되기 때문에, 제2 전극(404)이 높은 반사율을 갖는 재료를 사용하여 형성되는 것이 바람직하다. 본 실시형태에서, 제2 전극(404)은 패드(412)에 접속되고, 이로써 전압이 인가된다.

[0154] 상기에 기재된 바와 같이, 본 실시형태에 기재된 조명 장치는 제1 전극(401), EL 층(403), 및 제2 전극(404)(및 보조 전극(402))을 포함하는 발광 소자를 포함한다. 발광 소자가 높은 발광 효율을 갖는 발광 소자이기 때문에, 본 실시형태에서의 조명 장치는 낮은 소비 전력을 갖는 조명 장치일 수 있다. 또한, 발광 소자가 높은 신뢰성을 갖는 발광 소자이기 때문에, 본 실시형태에서의 조명 장치는 높은 신뢰성을 갖는 조명 장치일 수 있다.

[0155] 상기 구조를 갖는 발광 소자는 밀봉재(405) 및(406)으로 밀봉 기판(407)에 고정되고, 밀봉이 수행됨으로써, 조명 장치가 완성된다. 밀봉재(405) 또는 밀봉재(406) 중 단지 하나를 사용할 수 있다. 또한, 내부 밀봉재(406)를 건조제와 혼합할 수 있고, 이는 수분이 흡착될 수 있게 하여 신뢰성을 증가시킨다.

[0156] 패드(412), 제1 전극(401), 및 보조 전극(402)의 일부를 밀봉재(405) 및(406)의 외부로 신장시키는 경우, 신장된 부분이 외부 입력 단자로서 작용할 수 있다. 컨버터 등이 장착된 IC 칩(420)이 외부 입력 단자 위에 제공될 수 있다.

[0157] 상기에 기재된 바와 같이, 본 실시형태에 기재된 조명 장치는 EL 소자로서 실시형태 1 및 2에 기재된 발광 소자를 포함하기 때문에, 조명 장치가 낮은 소비 전력을 갖는 조명 장치가 될 수 있다. 또한, 조명 장치는 낮은 구동 전압을 갖는 조명 장치일 수 있다. 또한, 조명 장치는 높은 신뢰성을 갖는 조명 장치일 수 있다.

[0158] (실시형태 5)

[0159] 본 실시형태에서는, 각각 실시형태 1 및 2에 기재된 발광 소자를 포함하는 전자 기기의 예를 설명할 것이다. 실시형태 1 및 2에 기재된 발광 소자는 높은 발광 효율 및 감소된 소비 전력을 갖는다. 그 결과, 본 실시형태에 기재된 전자 기기는 소비 전력이 각각 감소된 발광부를 포함할 수 있다. 또한, 실시형태 1 및 2에 기재된 발광 소자가 낮은 구동 전압을 갖기 때문에, 전자 기기가 낮은 전압으로 구동될 수 있다.

[0160] 상기 발광 소자가 적용되는 전자 기기의 예는, 텔레비전 장치(또한 TV 또는 텔레비전 수신기라 부름), 컴퓨터 등의 모니터, 디지털 카메라 및 디지털 비디오 카메라 등의 카메라, 디지털 포토 프레임, 휴대폰(또한 이동 전화기 또는 휴대 전화기 장치라 부름), 휴대용 게임기, 휴대 정보 단말기, 음향 재생 장치, 파칭코 기계 등의 대형 게임기 등을 포함한다. 이들 전자 기기의 구체적인 예는 하기와 같다.

[0161] 도 9의 (A)는 텔레비전 장치의 일례를 나타낸다. 텔레비전 장치에서는, 하우징(7101) 내에 표시부(7103)가 포함된다. 또한, 여기서, 하우징(7101)은 스탠드(7105)에 의해 지지된다. 표시부(7103)에 화상이 표시될 수 있고, 발광부(7103)에는, 실시형태 1 및 2에 기재된 발광 소자가 매트릭스로 배열된다. 발광 소자는 높은 발광 효율을 가질 수 있다. 또한, 발광 소자는 낮은 전압으로 구동될 수 있다. 또한, 발광 소자는 긴 수명을 가질 수 있다. 따라서, 발광 소자를 사용하여 형성된 표시부(7103)를 포함한 텔레비전 장치는 낮은 소비 전력을 갖는 텔레비전 장치일 수 있다. 또한, 텔레비전 장치는 낮은 구동 전압을 갖는 텔레비전 장치일 수 있다. 또한, 텔레비전 장치는 높은 신뢰성을 갖는 텔레비전 장치일 수 있다.

[0162] 텔레비전 장치의 조작은 하우징(7101)의 조작 스위치 또는 별도의 리모콘 조작기(7110)에 의해 수행될 수 있다. 리모콘 조작기(7110)의 조작 키(7109)로, 채널 및 음량을 조절할 수 있고, 표시부(7103)에 표시된 영상을 조절할 수 있다. 또한, 리모콘 조작기(7110)에는 리모콘 조작기(7110)로부터의 데이터 출력을 표시하기 위한 표시부(7107)가 제공될 수 있다.

[0163] 텔레비전 장치에는 수신기, 모뎀 등이 제공됨을 인지한다. 수신기의 사용에 의해, 일반적인 텔레비전 방송이 수신될 수 있다. 또한, 텔레비전 장치가 모뎀에 의해 무선 또는 유선으로 통신 네트워크에 접속되는 경우, 단방향(발신자로부터 수신자로) 또는 양방향(발신자와 수신자 사이 또는 수신자끼리) 정보 통신이 수행될 수 있다.

[0164] 도 9의 (B1)은 본체(7201), 하우징(7202), 표시부(7203), 키보드(7204), 외부 접속 포트(7205), 포인팅 디바이스(7206) 등을 포함하는 컴퓨터를 나타낸다. 이 컴퓨터는, 실시형태 2 또는 3에 기재된 것과 동일한, 표시부(7203)에 매트릭스로 배열된 발광 소자를 사용하여 제조됨을 인지한다. 도 9의 (B1)에 나타낸 컴퓨터는 도 9의 (B2)에 나타낸 구조를 가질 수 있다. 도 9의 (B2)에 나타낸 컴퓨터에는 키보드(7204) 및 포인팅 디바이스(7206) 대신에 제2 표시부(7210)가 제공된다. 제2 표시부(7210)는 터치 스크린이고, 손가락 또는 전용 펜을 사용한 제2 표시부(7210)에 대한 입력용 디스플레이의 조작에 의해 입력을 수행할 수 있다. 제2 표시부(7210)는 입력용 디스플레이 이외에 화상을 표시할 수도 있다. 표시부(7203)는 터치 스크린일 수도 있다. 두 스크린이 힌지(hinge)로 접속된 경우 문제를 방지할 수 있고; 예를 들어, 컴퓨터가 저장되거나 운반되는 동안 화면이 균열되거나 파괴되는 것이 방지될 수 있다. 발광 소자는 높은 발광 효율을 가질 수 있다. 따라서, 발광 소자를 사용하여 형성된 표시부(7203)를 갖는 이러한 컴퓨터는 보다 적은 전력을 소비한다.

[0165] 도 9의 (C)는 휴대용 게임기가 개폐가능하게 되도록 연결부(7303)로 연결된 2개의 하우징, 하우징(7301) 및 하우징(7302)을 갖는 휴대용 게임기를 나타낸다. 하우징(7301) 내에는 매트릭스로 배열된 실시형태 1 및 2에 기재된 발광 소자를 포함하는 표시부(7304)가 포함되고, 하우징(7302) 내에는 표시부(7305)가 포함된다. 또한, 도 9의 (C)에 나타낸 휴대용 게임기는 스피커부(7306), 기록 매체 삽입부(7307), LED 램프(7308), 입력 수단(조작 키(7309), 연결 단자(7310), 센서(7311)(힘, 변위, 위치, 속도, 가속도, 각속도, 회전수, 거리, 광, 액체, 자기, 온도, 화학 물질, 소리, 시간, 경도, 전기장, 전류, 전압, 전력, 방사선, 유량, 습도, 경사도, 진동, 냄새, 또는 적외선을 측정하는 기능을 갖는 센서), 및 마이크로폰(7312)) 등을 포함한다. 물론, 휴대용 게임기의 구조는, 적어도 표시부(7304) 또는 표시부(7305) 중 하나, 또는 이들 둘 다로서, 매트릭스로 배열된 실시형태 1 및 2에 기재된 발광 소자를 포함하는 표시부가 사용되는 한, 이들로 제한되지 않으며, 구조는 다른 부속 설비를 적절히 포함할 수 있다. 도 9의 (C)에 나타낸 휴대용 게임기는 저장 매체에 저장된 프로그램 또는 데이터를 판독하여 이를 표시부에 표시하는 기능, 및 무선 통신에 의해 또 다른 휴대용 게임기와 정보를 공유하는 기능을 갖는다. 도 9의 (C)에 나타낸 휴대용 게임기의 기능은 이들로 제한되지 않으며, 휴대용 게임기는 다양한 기능을 가질 수 있음을 인지한다. 표시부(7304)에 사용된 발광 소자는 높은 발광 효율을 갖기 때문에, 상기에 기재된 표시부(7304)를 포함하는 휴대용 게임기는 감소된 소비 전력을 갖는 휴대용 게임기일 수 있다. 표시부(7304)에 사용된 발광 소자는 각각 낮은 전압으로 구동될 수 있기 때문에, 휴대용 게임기 또한 낮은 구동 전압을 갖는 휴대용 게임기일 수 있다. 또한, 표시부(7304)에 사용되는 발광 소자는 각각 긴 수명을 갖기 때문에, 휴대용 게임기는 높은 신뢰성을 가질 수 있다.

[0166] 도 9의 (D)는 휴대 전화기의 일례를 나타낸다. 휴대 전화기에는 하우징(7401) 내에 포함되어 있는 표시부(7402), 조작 버튼(7403), 외부 접속 포트(7404), 스피커(7405), 마이크로폰(7406) 등이 제공된다. 휴대 전화기(7400)는 매트릭스로 배열된 실시형태 1 및 2에 기재된 발광 소자를 포함하는 표시부(7402)를 갖는다. 발광 소자는 높은 발광 효율을 가질 수 있다. 또한, 발광 소자는 낮은 전압으로 구동될 수 있다. 또한, 발광 소자는 긴 수명을 가질 수 있다. 따라서, 발광 소자를 사용하여 형성된 표시부(7402)를 포함하는 휴대 전화기는 감소된 소비 전력을 갖는 휴대 전화기일 수 있다. 또한, 휴대 전화기는 낮은 구동 전압을 갖는 휴대 전화기일 수 있다. 또한, 휴대 전화기는 높은 신뢰성을 갖는 휴대 전화기일 수 있다.

[0167] 도 9의 (D)에 나타낸 휴대 전화기의 표시부(7402)를 손가락 등으로 터치하면, 데이터가 휴대 전화기 내로 입력될 수 있다. 이 경우, 손가락 등으로 표시부(7402)를 터치함으로써 전화를 걸고 e-메일을 작성하는 등의 조작이 수행될 수 있다.

[0168] 표시부(7402)는 주로 3개의 화면 모드를 갖는다. 제1 모드는 주로 화상을 표시하는 표시 모드이다. 제2 모드는 주로 문자 등의 정보를 입력하는 입력 모드이다. 제3 모드는 표시 모드 및 입력 모드의 2개의 모드가 조합된 표시-입력 모드이다.

[0169] 예를 들어, 전화를 걸거나 e-메일을 작성하는 경우에는, 표시부(7402)에 대해 주로 문자를 입력하는 문자 입력 모드가 선택되어, 화면 상에 표시된 문자가 입력될 수 있다. 이 경우, 표시부(7402)의 거의 전체 화면에 키보드 또는 번호 버튼이 표시되는 것이 바람직하다.

[0170] 휴대 전화기 내부에 자이로스코프 또는 가속도 센서 등의 경사를 검출하는 센서를 포함하는 검출 장치가 제공되

는 경우, 휴대 전화기의 배향(휴대 전화기가 풍경 모드 또는 인물사진 모드에 대해 수평 또는 수직으로 배치되었는지)을 판단함으로써 표시부(7402)의 화면 상의 표시가 자동으로 변화될 수 있다.

[0171] 화면 모드는 표시부(7402)에 대한 터치 또는 하우징(7401)의 조작 버튼(7403)으로의 조작에 의해 전환된다. 화면 모드는 표시부(7402)에 표시된 화상의 종류에 따라 전환될 수 있다. 예를 들어, 표시부에 표시된 화상의 신호가 동영상 데이터 신호인 경우, 화면 모드는 표시 모드로 전환된다. 신호가 텍스트 데이터 신호인 경우, 화면 모드는 입력 모드로 전환된다.

[0172] 또한, 입력 모드에서, 표시부(7402)에서 광 센서에 의해 검출된 신호가 검출되면서 표시부(7402)를 터치하는 것에 의한 입력이 일정 기간 동안 수행되지 않는 경우, 화면 모드는 입력 모드로부터 표시 모드로 전환되도록 조절될 수 있다.

[0173] 표시부(7402)는 이미지 센서로서 기능할 수 있다. 예를 들어, 손바닥 또는 손가락으로 표시부(7402)를 터치함으로써 장문(palm print), 지문 등을 촬상하고, 이로써 본인 인증을 수행할 수 있다. 또한, 표시부에 근적외선 광을 방출하는 백라이트 또는 센싱용 광원을 제공함으로써, 손가락 정맥, 손바닥 정맥 등을 촬상할 수 있다.

[0174] 본 실시형태에 기재된 구조는 실시형태 1 내지 4에 기재된 임의의 구조와 적절히 조합될 수 있음을 인지한다.

[0175] 상기에 기재된 바와 같이, 실시형태 1 및 2에 기재된 발광 소자를 갖는 발광 장치의 적용 범위는 넓고, 따라서 이러한 발광 장치가 다양한 분야의 전자 기기에 적용될 수 있다. 실시형태 1 및 2에 기재된 발광 소자를 사용함으로써, 감소된 소비 전력을 갖는 전자 기기가 얻어질 수 있다.

[0176] 도 10은 실시형태 1 및 2에 기재된 발광 소자를 백라이트에 사용한 액정 표시 장치의 예를 나타낸다. 도 10 나타낸 액정 표시 장치는 하우징(901), 액정 층(902), 백라이트 유닛(903), 및 하우징(904)을 포함한다. 액정 층(902)은 드라이버 IC(905)에 접속된다. 백라이트 유닛(903)에는 실시형태 1 및 2에 기재된 발광 소자가 사용되며, 여기에 단자(906)를 통해 전류가 공급된다.

[0177] 실시형태 1 및 2에 기재된 발광 소자가 액정 표시 장치의 백라이트에 사용되고; 따라서, 백라이트는 감소된 소비 전력을 가질 수 있다. 또한, 실시형태 2에 기재된 발광 소자의 사용은 면 발광 조명 장치, 및 추가로 대면적의 면 발광 조명 장치의 제조를 가능하게 하고; 따라서, 백라이트는 대면적 백라이트일 수 있고, 액정 표시 장치 또한 대면적 장치일 수 있다. 또한, 실시형태 2에 기재된 발광 소자를 사용한 발광 장치는 종래의 것보다 얇을 수 있고; 따라서, 표시 장치 또한 더 얇을 수 있다.

[0178] 도 11은 실시형태 1 및 2에 기재된 발광 소자를 조명 장치인 테이블 램프에 사용한 예를 나타낸다. 도 11에 나타낸 테이블 램프는 하우징(2001) 및 광원(2002)을 포함하고, 실시형태 4에 기재된 발광 장치가 광원(2002)에 사용된다.

[0179] 도 12는 실시형태 1 및 2에 기재된 발광 소자를 실내 조명 장치(3001) 및 표시 장치(3002)에 사용한 예를 나타낸다. 실시형태 1 및 2에 기재된 발광 소자는 감소된 소비 전력을 갖기 때문에, 감소된 소비 전력을 갖는 조명 장치가 얻어질 수 있다. 또한, 실시형태 1 및 2에 기재된 발광 소자는 대면적을 가질 수 있기 때문에, 발광 소자는 대면적 조명 장치에 사용될 수 있다. 또한, 실시형태 1 및 2에 기재된 발광 소자는 얇기 때문에, 발광 소자는 감소된 두께를 갖는 조명 장치에 사용될 수 있다.

[0180] 실시형태 1 및 2에 기재된 발광 소자는 자동차 차창 또는 자동차 대시보드에 사용될 수도 있다. 도 13은 실시형태 2에 기재된 발광 소자가 자동차 차창 및 자동차 대시보드에 사용된 하나의 모드를 나타낸다. 디스플레이(5000) 내지(5005)는 각각 실시형태 1 및 2에 기재된 발광 소자를 포함한다.

[0181] 디스플레이(5000) 및 디스플레이(5001)는 자동차 차창에 제공되고 실시형태 1 및 2에 기재된 발광 소자를 포함하는 표시 장치이다. 실시형태 1 및 2에 기재된 발광 소자는, 투광성을 갖는 전극으로 형성된 제1 전극 및 제2 전극을 포함함으로써, 그를 통해 반대쪽이 보일 수 있는, 소위 시쓰루(see-through) 표시 장치로 형성될 수 있다. 이러한 시쓰루 표시 장치는, 시야를 방해하지 않으면서 자동차의 차창에도 제공될 수 있다. 구동을 위한 트랜지스터가 제공되는 경우에는, 유기 반도체 재료를 사용한 유기 트랜지스터 또는 산화물 반도체를 사용한 트랜지스터 등의 투광성을 갖는 트랜지스터가 바람직하게 사용됨을 인지한다.

[0182] 디스플레이(5002)는, 필러부에 제공되고 실시형태 1 및 2에 기재된 발광 소자를 포함하는 표시 장치이다. 디스플레이(5002)는, 차체에 제공된 촬상 유닛에 의해 촬영된 영상을 비춤으로써 필러부에 의한 시야 방해를 보완할 수 있다. 유사하게, 대시보드에 제공된 디스플레이(5003)은 차체 외부에 제공된 촬상 유닛에 의해 촬영된 영상을 비춤으로써 차체에 의한 시야 방해를 보완할 수 있고, 이는 사각 지대를 제거하고 안전성을 향상시킨다. 운

전자가 볼 수 없는 영역을 보완하기 위해 영상을 비춤으로써, 운전자가 용이하게, 또한 편안하게 안전성을 확인하는 것이 가능하다.

[0183] 디스플레이(5004) 및 디스플레이(5005)는 네비게이션 데이터, 속도계, 타코미터, 주행거리, 급유량, 기어변속 지시기, 및 에어컨 설정 등의 각종 정보를 제공할 수 있다. 디스플레이의 항목 또는 레이아웃은 사용자에 의해 적절히 자유롭게 변화될 수 있다. 이러한 정보는 또한 디스플레이(5000) 내지(5003)에 의해 나타날 수 있음을 인지한다. 디스플레이(5000) 내지(5005)는 조명 장치로서 사용될 수도 있다.

[0184] 실시형태 1 및 2에 기재된 발광 소자는 높은 발광 효율 및 낮은 소비 전력을 가질 수 있다. 따라서, 디스플레이(5000) 내지(5005)와 같은 대형 화면이 다수 제공된 경우에도 배터리 부하가 작고, 이는 쾌적한 사용을 제공한다. 이러한 이유로, 각각 실시형태 1 및 2에 기재된 발광 소자를 포함하는 발광 장치 및 조명 장치는 차량용 발광 장치 및 차량용 조명 장치에 적합하게 사용될 수 있다.

[0185] 도 14의 (A) 및 도 14의 (B)는 접을 수 있는 태블릿 단말기의 예를 나타낸다. 도 14의 (A)는 펼쳐진 태블릿 단말기를 나타낸다. 태블릿 단말기는 하우징(9630), 표시부(9631a), 표시부(9631b), 표시 모드 스위치(9034), 전원 스위치(9035), 절전 모드 스위치(9036), 잠금쇠(9033), 및 조작 스위치(9038)을 포함한다. 태블릿 단말기에서는, 표시부(9631a) 및 표시부(9631b) 중 하나 또는 둘 다가 실시형태 1 및 2에 기재된 발광 소자를 포함하는 발광 장치를 사용하여 형성됨을 인지한다.

[0186] 표시부(9631a)의 일부는 터치스크린 영역(9632a)일 수 있고, 표시된 조작 키(9637)가 터치되면 데이터가 입력될 수 있다. 표시부(9631a)의 절반은 단지 표시 기능을 갖고, 나머지 절반은 터치스크린 기능을 갖지만, 본 발명의 하나의 실시형태는 이 구조로 제한되지 않는다. 전체 표시부(9631a)가 터치스크린 기능을 가질 수 있다. 예를 들어, 키보드가 표시부(9631a)의 전체 영역에 표시되어 표시부(9631a)가 터치스크린으로서 사용되고; 따라서, 표시부(9631b)는 디스플레이 화면으로서 사용될 수 있다.

[0187] 표시부(9631a)와 같이, 표시부(9631b)의 일부는 터치스크린 영역(9632b)일 수 있다. 터치스크린에 키보드를 나타내기/숨기기 위한 스위칭 버튼(9639)을 손가락, 스타일러스 등으로 터치하면, 키보드가 표시부(9631b)에 표시될 수 있다.

[0188] 터치스크린 영역(9632a) 및 터치스크린 영역(9632b)에서 동시에 터치 입력을 수행할 수 있다.

[0189] 표시 모드 스위치(9034)는, 예를 들어 인물사진 모드, 풍경 모드 등 사이, 또한 흑백 표시와 컬러 표시 사이에서 표시를 전환시킬 수 있다. 절전 스위치(9036)는 태블릿 단말기 내에 포함된 광 센서에 의해 검출된 태블릿 단말기의 사용시 외부 광량에 따라 디스플레이의 휘도를 조절할 수 있다. 광 센서 이외에도, 자이로스코프 또는 가속도 센서 등의 경사 검출용 센서를 포함한 또 다른 검출 장치가 태블릿 단말기 내에 포함될 수 있다.

[0190] 도 14의 (A)는 표시부(9631a) 및 표시부(9631b)가 동일한 표시 면적을 갖는 예를 나타내지만, 본 발명의 하나의 실시형태는 그 예로 제한되지 않는다. 표시부(9631a) 및 표시부(9631b)는 상이한 표시 면적 및 상이한 표시 품질을 가질 수 있다. 예를 들어, 표시부(9631a) 및(9631b) 중 하나에 보다 높은 정밀도의 화상이 표시될 수 있다.

[0191] 도 14의 (B)는 접혀진 태블릿 단말기를 나타낸다. 태블릿 단말기는 하우징(9630), 태양 전지(9633), 충방전 제어 회로(9634), 배터리(9635), 및 DC-DC 컨버터(9636)를 포함한다. 일례로, 도 14의 (B)는 배터리(9635) 및 DC-DC 컨버터(9636)를 포함한 충방전 제어 회로(9634)를 나타낸다.

[0192] 태블릿 단말기를 접을 수 있기 때문에, 태블릿 단말기를 사용하지 않을 때 하우징(9630)을 폐쇄할 수 있다. 그 결과, 표시부(9631a) 및 표시부(9631b)를 보호할 수 있어, 높은 내구성 및 장기간 사용 동안 높은 신뢰성을 갖는 태블릿 단말기가 제공된다.

[0193] 도 14의 (A) 및 도 14의 (B)에 나타낸 태블릿 단말기는, 각종 데이터(예를 들어, 정지 영상, 동영상, 및 텍스트 화상)의 표시 기능, 캘린더, 날짜, 시간 등을 표시부에 표시하는 기능, 터치 입력에 의해 표시부에 표시된 데이터를 조작 또는 편집하는 터치-입력 기능, 및 각종 소프트웨어(프로그램)에 의한 처리 제어 기능 등의 다른 기능을 가질 수 있다.

[0194] 태블릿 단말기의 표면에 제공된 태양 전지(9633)는 터치스크린, 표시부, 비디오 신호 처리부 등에 전력을 공급할 수 있다. 태양 전지(9633)는 하우징(9630)의 한쪽 또는 양쪽 표면에 제공될 수 있어, 배터리(9635)가 효율적으로 충전될 수 있음을 인지한다.

[0195] 도 14의 (B)에 나타낸 충방전 제어 회로(9634)의 구조 및 동작을 도 14의 (C)의 블록도를 참조로 하여 설명할 것이다. 도 14의 (C)는 태양 전지(9633), 배터리(9635), DC-DC 컨버터(9636), 컨버터(9638), 스위치(SW1) 내지(SW3), 및 표시부(9631)를 나타낸다. 배터리(9635), DC-DC 컨버터(9636), 컨버터(9638), 및 스위치(SW1) 내지(SW3)은 도 14의 (B)에 나타낸 충방전 제어 회로(9634)에 상응한다.

[0196] 먼저, 외부 광을 이용하여 태양 전지(9633)에 의해 전력이 생성되는 경우의 동작예를 설명한다. 태양 전지에 의해 생성된 전력의 전압을 DC-DC 컨버터(9636)에 의해 상승시키거나 하강시켜 배터리(9635)의 충전을 위한 전압이 되도록 한다. 이어서, 태양 전지(9633)로부터의 전력을 표시부(9631)의 동작에 이용하는 경우, 스위치(SW1)를 켜고, 전력의 전압을 컨버터(9638)에 의해 상승시키거나 하강시켜 표시부(9631)에 필요한 전압이 되도록 한다. 화상이 표시부(9631)에 표시되지 않는 경우에는, 스위치(SW1)를 끄고, 스위치(SW2)를 켜서 배터리(9635)를 충전시킨다.

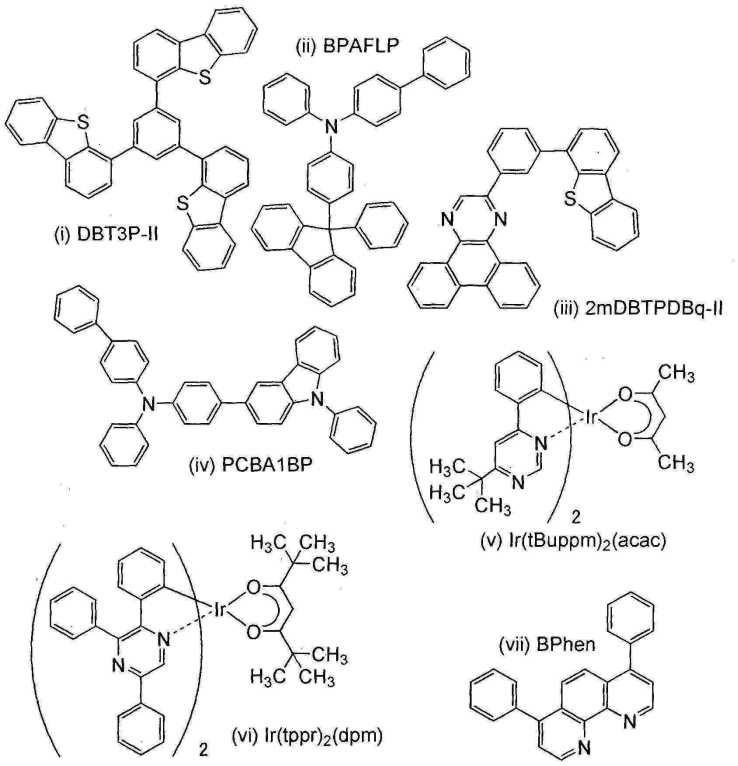
[0197] 태양 전지(9633)를 발전 수단의 예로서 설명하였지만, 발전 수단은 특별히 제한되지 않으며, 배터리(9635)는 압전 소자 또는 열전 변환 소자(펠티에(Peltier) 소자) 등의 또 다른 발전 수단에 의해 충전될 수 있다. 배터리(9635)는 무선(비-접촉)으로 전력을 송수신하여 충전을 수행할 수 있는 무접점 전력 전송 모듈, 또는 조합 사용되는 임의의 다른 충전 수단에 의해 충전될 수 있고, 반드시 발전 수단이 제공되는 것은 아니다.

[0198] 본 발명의 하나의 실시형태는, 표시부(9631)가 포함되는 한, 도 14의 (A) 내지 도 16의 (C)에 나타낸 형상을 갖는 태블릿 단말기로 제한되지 않는다.

[0199] [실시예 1]

[0200] 본 실시예에서는, 실시형태 1 및 실시형태 2에 기재된 본 발명의 하나의 실시형태에 상응하는 발광 소자의 제작 방법 및 그의 특성을 설명한다. 본 실시예에서 사용된 유기 화합물의 구조식을 하기에 나타내었다.

화학식 2

[0201] 

[0202] 다음으로, 본 실시예에서의 발광 소자의 제작 방법을 하기에서 설명한다.

[0203] 먼저, 산화규소를 함유하는 산화인듐주석(ITSO)의 필름을 스퍼터링법에 의해 유리 기판 위에 형성함으로써, 제1 전극(101)을 형성하였다. 그의 두께는 110 nm였고, 전극 면적은 2 mm x 2 mm였다. 여기서, 제1 전극(101)은

발광 소자의 애노드로서 기능하는 전극이다.

[0204] 다음으로, 기판 위에 발광 소자를 형성하기 위한 전처리로서, 기판 표면을 물로 세척하고 200℃에서 1시간 동안 소성을 수행한 후, UV 오존 처리를 370초 동안 수행하였다.

[0205] 그 후, 기판을 압력이 대략 10^{-4} Pa로 감소된 진공 증착 장치로 옮기고, 진공 증착 장치의 가열 챔버에서 170℃에서 30분 동안 진공 소성을 수행하고, 이어서 기판을 약 30분 동안 냉각시켰다.

[0206] 이어서, 제1 전극(101)이 형성되어 있는 기판을, 제1 전극(101)이 형성되어 있는 면이 아래를 향하도록, 진공 증착 장치에 제공된 기판 홀더에 고정시켰다. 진공 증착 장치 내 압력을 약 10^{-4} Pa로 감소시켰다. 그 후, 제1 전극(101) 위에, 구조식(i)로 표시되는 4,4',4"-(벤젠-1,3,5-트리일)트리(디벤조티오펜)(약어: DBT3P-II) 및 산화몰리브데넘(VI)을 저항 가열을 이용하여 증착법에 의한 공증착에 의해 침착시켜, 정공 주입 층(111)을 형성하였다. 정공 주입 층(111)의 두께를 33 nm로 설정하고, DBT3P-II 대 산화몰리브데넘의 중량비를 4:2로 조정하였다. 공증착법은 복수의 증발원으로부터 하나의 처리 챔버에서 동시에 증착을 수행하는 증착법을 지칭함을 인지한다.

[0207] 다음으로, 구조식(ii)로 표시되는 4-페닐-4'-(9-페닐플루오렌-9-일)트리페닐아민(약어: BPAFLP)의 필름을 정공 주입 층(111) 위에 20 nm의 두께로 형성하여, 정공 수송 층(112)을 형성하였다.

[0208] 또한, 정공 수송 층(112) 위에, 구조식(iii)으로 표시되는 2-[3-(디벤조티오펜-4-일)페닐]디벤조[f,h]퀴녹살린(약어: 2mDBTPDBq-II), 구조식(iv)로 표시되는 4-페닐-4'-(9-페닐-9H-카르바졸-3-일)트리페닐아민(약어: PCBA1BP), 및 구조식(v)로 표시되는 비스[2-(6-tert-부틸-4-피리미디닐-κN3)페닐-κC](2,4-펜탄디오네이토-κ^2O,O')이리듐(III)(약어: $Ir(tBuppm)_2(acac)$)을, 2mDBTPDBq-II 대 PCBA1BP 대 $[Ir(tBuppm)_2(acac)]$의 질량비를 0.8:0.2:0.05로 하여 20 nm의 두께로 공증착에 의해 침착시켜, 제1 발광 층(113a)을 형성하고; 이어서, 2mDBTPDBq-II 및 구조식(vi)으로 표시되는 비스(2,3,5-트리페닐피라지네이토)(디피발로일메타네이토)이리듐(III)(약어: $Ir(tppr)_2(dpm)$)을, 2mDBTPDBq-II 대 $Ir(tppr)_2(dpm)$의 질량비를 1:0.06으로 하여 20 nm의 두께로 공증착에 의해 침착시켜, 제2 발광 층(113b)을 형성하였다. 호스트 재료인 2mDBTPDBq-II와 PCBA1BP는 엑시플렉스를 형성함을 인지한다.

[0209] 이어서, 발광 층(113) 위에, 2mDBTPDBq-II의 15-nm-두께 필름이 형성되고, 구조식(vii)로 표시되는 바쏘페난트롤린(약어: BPhen)의 15-nm-두께 필름이 형성되도록 전자 수송 층(114)을 형성하였다.

[0210] 전자 수송 층(114)의 형성 후, 플루오린화리튬(LiF)을 1 nm의 두께로 증착시켜, 전자 주입 층(115)을 형성하였다.

[0211] 마지막으로, 알루미늄을 200 nm의 두께로 증착시켜 캐소드로서 기능하는 제2 전극(102)을 형성하였다. 따라서, 본 실시예에서의 발광 소자 1을 제작하였다.

[0212] 모든 상기 증착 수순에서, 증착은 저항-가열법에 의해 수행하였음을 인지한다.

[0213] 표 1에 상기에 기재된 바와 같이 얻어진 발광 소자 1의 소자 구조를 나타내었다.

[0214] [표 1]

정공 주입 층	정공 수송 층	발광 층		전자 수송 층		전자 주입 층
		제1 발광 층	제2 발광 층			
DBT3P-II: MoO_x 4:2 33 nm	BPAFLP 20 nm	2mDBTPDBq-II: PCBA1BP: $Ir(tBuppm)_2(acac)$ 0.8:0.2:0.05 20 nm	2mDBTPDBq-II: $Ir(tppr)_2(dpm)$ 1:0.06 20 nm	2mDBTPDBq-II 15 nm	Bphen 15 nm	LiF 1 nm

[0215]

[0216] 발광 소자 1을, 질소 분위기를 함유하는 글러브 박스 내에서 유리 기판을 사용하여 밀봉하여, 공기에 노출되지 않도록 하였다(구체적으로, 밀봉재를 소자의 외부 연부에 도포하고, 밀봉시 80℃에서 1시간 동안 열 처리를 수행함).

[0217] 발광 소자 1에서는, 제1 인광성 화합물(113Da) 및 제2 인광성 화합물(113Db)로서 각각 $Ir(tBuppm)_2(acac)$ 및

$Ir(tppr)_2(dpm)$을 사용하였다. 여기서, $Ir(tBuppm)_2(acac)$의 PL 스펙트럼과 $Ir(tppr)_2(dpm)$의 $\varepsilon(\lambda)\lambda^4$ 사이의 관계를 설명한다. λ는 파장을 나타내고, $\varepsilon(\lambda)$는 몰 흡광 계수를 나타냄을 인지한다.

[0218] 도 20의 (A)는 $Ir(tppr)_2(dpm)$의 몰 흡광 계수 $\varepsilon(\lambda)$ 및 $\varepsilon(\lambda)\lambda^4$의 그래프를 나타낸다. 몰 흡광 계수 $\varepsilon(\lambda)$는 장파장측 영역에서 뚜렷한 피크를 갖지 않지만, $\varepsilon(\lambda)\lambda^4$의 그래프는 543 nm에서 극대값을 포함하는 피크를 갖는다. 이 피크는 $Ir(tppr)_2(dpm)$의 삼중항 MLCT 흡수를 나타낸다. 이 피크가 제1 인광성 화합물(113Da)의 발광 피크와 중첩을 가지면, 에너지 전달 효율이 크게 증가할 수 있다.

[0219] 도 20의 (B)는 제1 인광성 화합물(113Da)인 $Ir(tBuppm)_2(acac)$의 PL 스펙트럼 $F(\lambda)$ 및 제2 인광성 화합물(113Db)인 $Ir(tppr)_2(dpm)$의 $\varepsilon(\lambda)\lambda^4$의 그래프를 나타낸다. 그래프로부터 알 수 있는 바와 같이, $Ir(tBuppm)_2(acac)$의 PL 스펙트럼 $F(\lambda)$의 피크를 갖는 밴드는 $Ir(tppr)_2(dpm)$의 $\varepsilon(\lambda)\lambda^4$의 최장파장측 피크를 갖는 밴드와 크게 중첩되고, 이는 상기 조합이 매우 효율적인 에너지 전달을 가능하게 함을 나타낸다. 또한, 제1 인광성 화합물(113Da)인 $Ir(tBuppm)_2(acac)$는 546 nm에서 발광 피크를 갖고, 제2 인광성 화합물(113Db)인 $Ir(tppr)_2(dpm)$의 $\varepsilon(\lambda)\lambda^4$를 나타내는 스펙트럼은 543 nm에서 장파장측 극대값을 갖고, 따라서 그 차는 3 nm이다. 파장 546 nm 및 543 nm는 각각 2.27 eV 및 2.28 eV에 상응하고, 따라서 그 차는 0.01 eV이고, 이는 0.2 eV 미만이고; 따라서, 피크의 위치가 또한 효율적인 에너지 전달의 발생을 시사한다.

[0220] 다음으로, 도 21의 (A)는 제1 인광성 화합물(113Da)인 $Ir(tBuppm)_2(acac)$의 몰 흡광 계수 $\varepsilon(\lambda)$ 및 $\varepsilon(\lambda)\lambda^4$의 그래프를 나타낸다. 몰 흡광 계수 $\varepsilon(\lambda)$의 그래프에서 장파장측 영역의 피크는 단파장측의 피크보다 낮은 강도를 갖지만, $\varepsilon(\lambda)\lambda^4$의 그래프는 494 nm에서 높은 강도를 갖는 피크를 갖는다. 이 피크를 갖는 피크는 $Ir(tBuppm)_2(acac)$의 삼중항 MLCT 흡수를 나타낸다. 이 피크가 에너지 공여체의 발광 피크와 중첩을 가지면, 에너지 전달 효율이 크게 증가할 수 있다.

[0221] 여기서, 본 실시예에서의 발광 소자 1에서는, 제1 호스트 재료인 2mDBTPDBq-II와 제1 유기 화합물인 PCBA1BP가 엑시플렉스(113Ec)를 형성하고, 엑시플렉스(113Ec)로부터 제1 인광성 화합물(113Da)로 에너지가 전달된다. 도 23은 2mDBTPDBq-II, PCBA1BP, 및 이들의 혼합막(2mDBTPDBq-II 대 PCBA1BP의 질량비는 0.8:0.2임)의 PL 스펙트럼을 나타내고, 2mDBTPDBq-II와 제1 유기 화합물인 PCBA1BP가 엑시플렉스(113Ec)를 형성하였음을 알 수 있다. 도 21의 (B)는 엑시플렉스의 PL 스펙트럼 $F(\lambda)$ 및 제1 인광성 화합물(113Da)인 $Ir(tBuppm)_2(acac)$의 $\varepsilon(\lambda)\lambda^4$의 그래프를 나타낸다. 그래프로부터 알 수 있는 바와 같이, 엑시플렉스의 PL 스펙트럼 $F(\lambda)$의 피크를 갖는 밴드가 $Ir(tBuppm)_2(acac)$의 $\varepsilon(\lambda)\lambda^4$의 최장파장측 피크를 갖는 밴드와 중첩되고, 이는 상기 조합이 효율적인 에너지 전달을 가능하게 함을 나타낸다. 또한, 엑시플렉스의 PL 스펙트럼은 519 nm에서 피크를 갖고, 제1 인광성 화합물(113Da)인 $Ir(tBuppm)_2(acac)$의 $\varepsilon(\lambda)\lambda^4$를 나타내는 스펙트럼은 494 nm에서 장파장측 극대값을 갖고, 따라서 그 차는 25 nm이다. 파장 519 nm 및 494 nm는 에너지로 환산시 각각 2.39 eV 및 2.51 eV에 상응하고, 따라서 그 차는 0.12 eV이고, 이는 0.2 eV 미만이고; 따라서, 피크의 위치가 또한 효율적인 에너지 전달의 발생을 시사한다.

[0222] 도 23으로부터 알 수 있는 바와 같이, 제1 호스트 재료(113Ha)인 2mDBTPDBq-II의 PL 스펙트럼은 426 nm에서 피크를 갖고, 이는 에너지로 환산시 2.91 eV에 상응한다. 또한, 제1 유기 화합물(113A)인 PCBA1BP의 PL 스펙트럼은 405 nm에서 피크를 갖고, 이는 에너지로 환산시 3.06 eV에 상응한다. $Ir(tBuppm)_2(acac)$의 $\varepsilon(\lambda)\lambda^4$를 나타내는 스펙트럼은 494 nm에서 장파장측 피크를 갖고, 이는 에너지로 환산시 2.51 eV에 상응한다. 따라서, 제1 호스트 재료(113Ha)인 2mDBTPDBq-II와의 차는 0.4 eV이고, 제1 유기 화합물(113A)인 PCBA1BP와의 차는 0.55 eV이고, 이들 각각은 0.2 eV를 초과하고; 따라서, 2mDBTPDBq-II 또는 PCBA1BP로부터 $Ir(tBuppm)_2(acac)$로 에너지가 용이하게 전달됨을 알 수 있다.

[0223] 도 22는 엑시플렉스의 PL 스펙트럼 $F(\lambda)$, $Ir(tBuppm)_2(acac)$의 PL 스펙트럼 $F(\lambda)$, $Ir(tppr)_2(dpm)$의 PL 스펙

트럼 F(λ), $Ir(tBuppm)_2(acac)$의 $\varepsilon(\lambda)\lambda^4$, 및 $Ir(tppr)_2(dpm)$의 $\varepsilon(\lambda)\lambda^4$를 나타낸다. 먼저 엑시플렉스의 PL 스펙트럼과 $Ir(tBuppm)_2(acac)$의 $\varepsilon(\lambda)\lambda^4$ 사이의 중첩(피크 A 부근)을 이용하여 엑시플렉스로부터 $Ir(tBuppm)_2(acac)$로, 또한 이어서 $Ir(tBuppm)_2(acac)$의 PL 스펙트럼과 $Ir(tppr)_2(dpm)$의 $\varepsilon(\lambda)\lambda^4$ 사이의 중첩(피크 B 부근)을 이용하여 $Ir(tBuppm)_2(acac)$로부터 $Ir(tppr)_2(dpm)$으로 단계적으로 에너지가 전달될 수 있다는 것을 알 수 있다. 엑시플렉스로부터 제2 인광성 화합물인 $Ir(tppr)_2(dpm)$으로의 직접적 에너지 전달이 또한 가능함을 인지한다. 그 이유는, 도 22로부터 알 수 있는 바와 같이, $Ir(tppr)_2(dpm)$의 $\varepsilon(\lambda)\lambda^4$가 또한 $Ir(tppr)_2(dpm)$의 삼중항 MLCT 흡수 밴드(피크 B 부근)의 단파장측에서 엑시플렉스의 PL 스펙트럼 F(λ)와 중첩되기 때문이다.

[0224] 발광 소자의 소자 특성을 측정하였다. 측정은 실온에서(25℃에서 유지되는 분위기에서) 수행하였음을 인지한다.

[0225] 도 15는 발광 소자 1의 휘도-전류 효율 특성을 나타낸다. 도 15에서, 수평축은 휘도(cd/㎡)를 나타내고, 수직축은 전류 효율(cd/A)을 나타낸다. 도 16은 그의 전압-휘도 특성을 나타낸다. 도 16에서, 수평축은 전압(V)을 나타내고, 수직축은 휘도(cd/㎡)를 나타낸다. 도 17은 그의 휘도-외부 양자 효율 특성을 나타낸다. 도 17에서, 수평축은 휘도(cd/㎡)를 나타내고, 수직축은 외부 양자 효율(%)을 나타낸다. 도 18은 그의 휘도-전력 효율 특성을 나타낸다. 도 18에서, 수평축은(cd/㎡)를 나타내고, 수직축은 전력 효율(lm/w)을 나타낸다.

[0226] 상기로부터, 발광 소자 1은 우수한 소자 특성을 갖는 것으로 나타났다. 특히, 도 15, 도 17, 및 도 18로부터 알 수 있는 바와 같이, 발광 소자는 매우 높은 발광 효율을 갖고, 실용 휘도(1000 cd/㎡) 부근에서 20% 이상의 높은 외부 양자 효율을 갖는다. 또한, 전류 효율은 약 60 cd/A이고, 전력 효율은 약 60 lm/W이었으며, 이들은 매우 우수한 값이다.

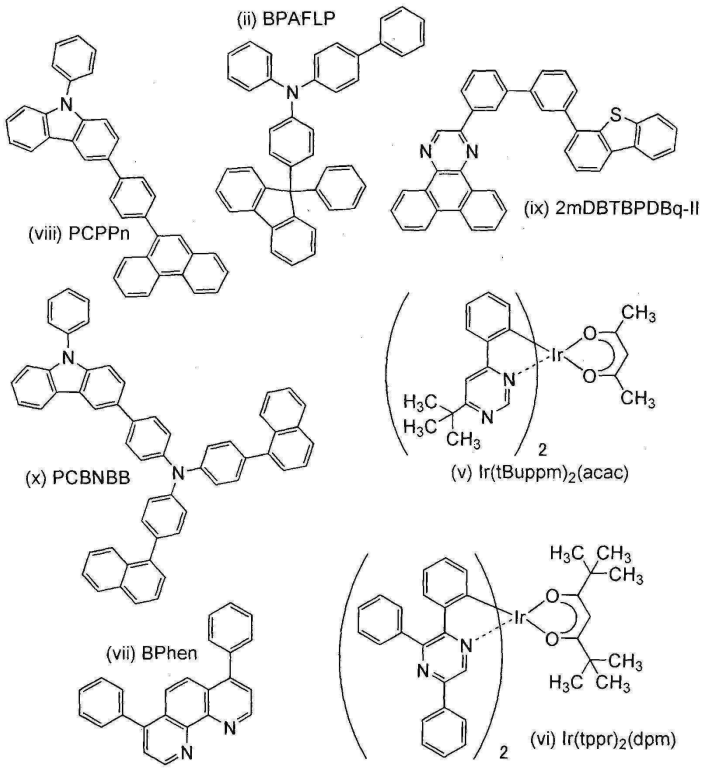
[0227] 도 19는, 발광 소자 1에 0.1 mA의 전류가 흐르게 하였을 때 얻어진 발광 소자 1의 발광 스펙트럼을 나타낸다. 도 19에서, 수평축은 파장(nm)을 나타내고, 수직축은 발광 강도(임의 단위)를 나타낸다. 도 19는, 발광 소자 1이 비스[2-(6-tert-부틸-4-피리미디닐-κN3)페닐-κC](2,4-펜탄디오네이토-κ^2O,O')이리듐(III)(약어: $Ir(tBuppm)_2(acac)$))으로부터 유래된 녹색 파장 범위의 파장을 갖는 광 및 비스(2,3,5-트리페닐피라지네이토)(디피발로일메타네이토)이리듐(III)(약어: $Ir(tppr)_2(dpm)$))으로부터 유래된 적색 파장 범위의 파장을 갖는 광을 우수한 밸런스로 포함하는 발광 스펙트럼을 나타낸다는 것을 보여준다.

[0228] 상기로부터, 본 발명의 하나의 실시형태에 상응하는 발광 소자 1은 높은 발광 효율을 갖고, 2종의 발광 중심 물질로부터의 광을 우수한 밸런스로 제공하는 것으로 나타났다.

[0229] [실시예 2]

[0230] 본 실시예에서는, 실시형태 1 및 실시형태 2에 기재된 본 발명의 하나의 실시형태에 상응하는 발광 소자의 제작 방법 및 그의 특성을 설명한다. 본 실시예에서 사용된 유기 화합물의 구조식을 하기에 나타내었다.

화학식 3



[0231]

[0232] 다음으로, 본 실시예에서의 발광 소자의 제작 방법을 하기에서 설명한다.

[0233] 먼저, 산화규소를 함유하는 산화인듐주석(ITSO)의 필름을 스퍼터링법에 의해 유리 기판 위에 형성함으로써, 제1 전극(101)을 형성하였다. 그의 두께는 110 nm였고, 전극 면적은 2 ㎜ x 2 ㎜였다. 여기서, 제1 전극(101)은 발광 소자의 애노드로서 기능하는 전극이다.

[0234] 다음으로, 기판 위에 발광 소자를 형성하기 위한 전처리로서, 기판 표면을 물로 세척하고 200℃에서 1시간 동안 소성을 수행한 후, UV 오존 처리를 370초 동안 수행하였다.

[0235] 그 후, 기판을 압력이 대략 10^{-4} Pa로 감소된 진공 증착 장치로 옮기고, 진공 증착 장치의 가열 챔버에서 170℃에서 30분 동안 진공 소성을 수행하고, 이어서 기판을 약 30분 동안 냉각시켰다.

[0236] 이어서, 제1 전극(101)이 형성되어 있는 기판을, 제1 전극(101)이 형성되어 있는 면이 아래를 향하도록, 진공 증착 장치에 제공된 기판 홀더에 고정시켰다. 진공 증착 장치 내 압력을 약 10^{-4} Pa로 감소시켰다. 그 후, 제1 전극(101) 위에, 구조식(viii)로 표시되는 3-[4-(9-페난트릴)-페닐]-9-페닐-9H-카르바졸(약어: PCPPn) 및 산화몰리브데넘(VI)을 저항 가열을 이용하여 증착법에 의한 공증착에 의해 침착시켜, 정공 주입 층(111)을 형성하였다. 정공 주입 층(111)의 두께를 33.3 nm로 설정하고, PCPPn 대 산화몰리브데넘의 중량비를 1:0.5로 조정하였다. 공증착법은 복수의 증발원으로부터 하나의 처리 챔버에서 동시에 증착을 수행하는 증착법을 지칭함을 인지한다.

[0237] 다음으로, 구조식(ii)로 표시되는 4-페닐-4'-(9-페닐플루오렌-9-일)트리페닐아민(약어: BPAFLP)의 필름을 정공 주입 층(111) 위에 20 nm의 두께로 형성하여, 정공 수송 층(112)을 형성하였다.

[0238] 또한, 정공 수송 층(112) 위에, 구조식(ix)로 표시되는 2-[3'-(디벤조티오펜-4-일)비페닐-3-일]디벤조[f,h]퀴녹살린(약어: 2mDBTBPDBq-II), 구조식(x)으로 표시되는 4,4'-디(1-나프틸)-4"-(9-페닐-9H-카르바졸-3-일)트리페닐아민(약어: PCBNBB), 및 구조식(v)로 표시되는 비스[2-(6-tert-부틸-4-피리미디닐-κN3)페닐-κC](2,4-펜탄디오네이토-κ20,0')이리듐(III)(약어: $Ir(tBuppm)_2(acac)$)을, 2mDBTBPDBq-II 대 PCBNBB 대 $[Ir(tBuppm)_2(acac)]$의 질량비를 0.8:0.2:0.06으로 하여 20 nm의 두께로 공증착에 의해 침착시켜, 제1 발광 층(113a)을

형성하고; 이어서, 2mDBTBPDBq-II 및 구조식(vi)로 표시되는 비스(2,3,5-트리페닐피라지네이토)(디피발로일메타네이토)이리듐(III)(약어: $Ir(tppr)_2(dpm)$)을, 2mDBTBPDBq-II 대 $Ir(tppr)_2(dpm)$의 질량비를 1:0.06으로 하여 20 nm의 두께로 공증착에 의해 침착시켜, 제2 발광 층(113b)을 형성하였다. 호스트 재료인 2mDBTBPDBq-II와 PCBNBB는 엑시플렉스를 형성함을 인지한다.

[0239] 이어서, 발광 층(113) 위에, 2mDBTBPDBq-II의 15-nm-두께 필름이 형성되고, 구조식(vii)로 표시되는 바쏘페난트롤린(약어: BPhen)의 15-nm-두께 필름이 형성되도록 전자 수송 층(114)을 형성하였다.

[0240] 전자 수송 층(114)의 형성 후, 플루오린화리튬(LiF)을 1 nm의 두께로 증착시켜, 전자 주입 층(115)을 형성하였다.

[0241] 마지막으로, 알루미늄을 200 nm의 두께로 증착시켜 캐소드로서 기능하는 제2 전극(102)을 형성하였다. 따라서, 본 실시예에서의 발광 소자 2를 제작하였다.

[0242] 모든 상기 증착 수순에서, 증착은 저항-가열법에 의해 수행하였음을 인지한다.

[0243] 표 2에 상기에 기재된 바와 같이 얻어진 발광 소자 2의 소자 구조를 나타내었다.

[0244] [표 2]

[0245]

정공 주입 층	정공 수송 층	발광 층		전자 수송 층		전자 주입 층
		제1 발광 층	제2 발광 층			
PCPPn: MoO_x 4:2 33 nm	BPAFLP 20 nm	2mDBTBPDBq-II: PCBNBB: $Ir(tBuppm)_2(acac)$ 0.8:0.2:0.06 20 nm	2mDBTBPDBq-II: $Ir(tppr)_2(dpm)$ 1:0.06 20 nm	2mDBTBPDBq-II 15 nm	Bphen 15 nm	LiF 1 nm

[0246] 발광 소자 2를, 질소 분위기를 함유하는 글러브 박스 내에서 유리 기판을 사용하여 밀봉하여, 공기에 노출되지 않도록 하였다(구체적으로, 밀봉재를 소자의 외부 연부에 도포하고, 밀봉시 80℃에서 1시간 동안 열 처리를 수행함).

[0247] 발광 소자 2에서는, 발광 소자 1에서와 같이, 제1 인광성 화합물(113Da) 및 제2 인광성 화합물(113Db)로서 각각 $Ir(tBuppm)_2(acac)$ 및 $Ir(tppr)_2(dpm)$을 사용하였다. 따라서, $Ir(tBuppm)_2(acac)$의 PL 스펙트럼과 $Ir(tppr)_2(dpm)$의 $\varepsilon(\lambda)\lambda^4$ 사이의 관계는 발광 소자 1의 경우에서와 동일하고, 이에 대한 설명은 반복하지 않는다. 실시예 1에서의 도 20의 (A) 및 도 20의 (B)를 참조로 한 설명을 참조한다. 따라서, 발광 소자 2에서의 제1 인광성 화합물(113Da)과 제2 인광성 화합물(113Db) 사이에서 에너지 전달이 효율적으로 일어남이 시사된다.

[0248] 발광 소자의 소자 특성을 측정하였다. 측정은 실온에서(25℃에서 유지되는 분위기에서) 수행하였음을 인지한다.

[0249] 도 24는 발광 소자 2의 휘도-전류 효율 특성을 나타낸다. 도 25는 그의 전압-휘도 특성을 나타낸다. 도 26은 그의 휘도-외부 양자 효율 특성을 나타낸다. 도 27은 그의 휘도-전력 효율 특성을 나타낸다.

[0250] 상기로부터, 발광 소자 2는 우수한 소자 특성을 갖는 것으로 나타났다. 특히, 도 24, 도 26, 및 도 27로부터 알 수 있는 바와 같이, 발광 소자는 매우 높은 발광 효율을 갖고, 실용 휘도(1000 cd/㎡) 부근에서 20% 이상의 높은 외부 양자 효율을 갖는다. 또한, 전류 효율은 약 60 cd/A이고, 전력 효율은 약 60 lm/W이었으며, 이들은 매우 우수한 값이다.

[0251] 도 28은, 발광 소자 2에 0.1 mA의 전류가 흐르게 하였을 때 얻어진 발광 소자 2의 발광 스펙트럼을 나타낸다. 도 28은, 발광 소자 2가 비스[2-(6-tert-부틸-4-피리미디닐-κN3)페닐-κC](2,4-펜탄디오네이토-κ^2O,O')이리듐(III)(약어: $Ir(tBuppm)_2(acac)$)으로부터 유래된 녹색 파장 범위의 파장을 갖는 광 및 비스(2,3,5-트리페닐피라지네이토)(디피발로일메타네이토)이리듐(III)(약어: $Ir(tppr)_2(dpm)$)으로부터 유래된 적색 파장 범위의 파장을 갖는 광을 우수한 밸런스로 포함하는 발광 스펙트럼을 나타낸다는 것을 보여준다.

[0252] 또한, 도 29는 5000 cd/m^2의 초기 휘도를 100%로 하고, 전류 밀도가 일정한 조건 하에서의 신뢰성 시험 결과를 나타낸다. 도 29에서 알 수 있는 바와 같이, 5000 cd/㎡의 초기 휘도를 이용한 신뢰성 시험에도 불구하고, 발

광 소자 2는 70시간 경과 후에 초기 휘도의 96%를 유지하였고; 따라서, 발광 소자가 높은 신뢰성을 갖는 것으로 나타났다.

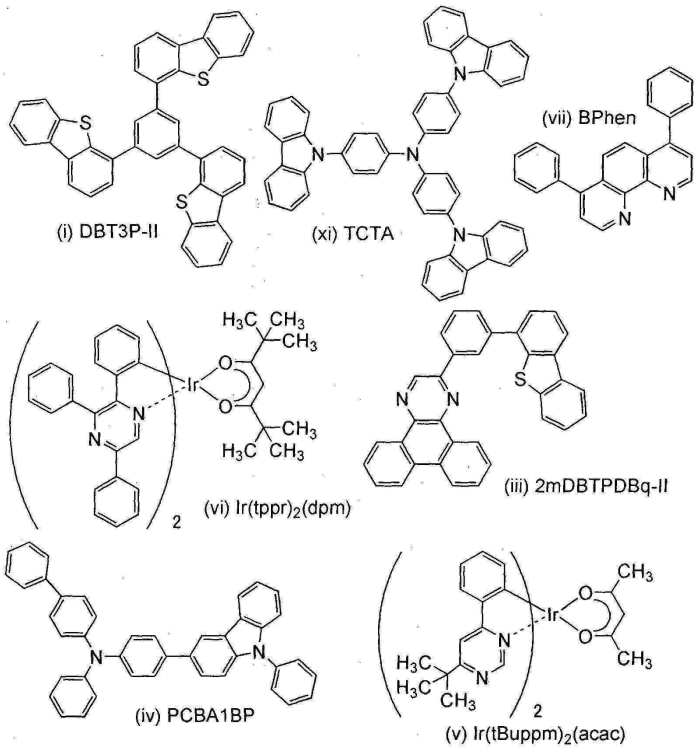
[0253] 상기로부터, 본 발명의 하나의 실시형태에 상응하는 발광 소자 2는 높은 발광 효율을 갖고, 2종의 발광 중심 물질로부터의 광을 우수한 밸런스로 제공하는 것으로 나타났다. 또한, 발광 소자는 높은 신뢰성 및 긴 수명을 갖는 것으로 나타났다.

[0254] [실시예 3]

[0255] 본 실시예에서는, 실시형태 1 및 실시형태 2에 기재된 본 발명의 하나의 실시형태에 상응하는 발광 소자의 제작 방법 및 그의 특성을 설명한다. 본 실시예에서 사용된 유기 화합물의 구조식을 하기에 나타내었다.

화학식 4

[0256]



[0257] 다음으로, 본 실시예에서의 발광 소자의 제작 방법을 하기에서 설명한다.

[0258] 먼저, 산화규소를 함유하는 산화인듐주석(ITSO)의 필름을 스퍼터링법에 의해 유리 기판 위에 형성함으로써, 제1 전극(101)을 형성하였다. 그의 두께는 110 nm였고, 전극 면적은 2 ㎜ x 2 ㎜였다. 여기서, 제1 전극(101)은 발광 소자의 애노드로서 기능하는 전극이다.

[0259] 다음으로, 기판 위에 발광 소자를 형성하기 위한 전처리로서, 기판 표면을 물로 세척하고 200℃에서 1시간 동안 소성을 수행한 후, UV 오존 처리를 370초 동안 수행하였다.

[0260] 그 후, 기판을 압력이 대략 10^{-4} Pa로 감소된 진공 증착 장치로 옮기고, 진공 증착 장치의 가열 챔버에서 170℃에서 30분 동안 진공 소성을 수행하고, 이어서 기판을 약 30분 동안 냉각시켰다.

[0261] 이어서, 제1 전극(101)이 형성되어 있는 기판을, 제1 전극(101)이 형성되어 있는 면이 아래를 향하도록, 진공 증착 장치에 제공된 기판 홀더에 고정시켰다. 진공 증착 장치 내 압력을 약 10^{-4} Pa로 감소시켰다. 그 후, 제1 전극(101) 위에, 구조식(i)로 표시되는 4,4',4"-(벤젠-1,3,5-트리일)트리(디벤조티오펜)(약어: DBT3P-II) 및 산화몰리브데넘(VI)을 저항 가열을 이용하여 증착법에 의한 공증착에 의해 침착시켜, 정공 주입 층(111)을 형성하였다. 정공 주입 층(111)의 두께를 40 nm로 설정하고, DBT3P-II 대 산화몰리브데넘의 중량비를 4:2로 조정하였다. 공증착법은 복수의 증발원으로부터 하나의 처리 챔버에서 동시에 증착을 수행하는 증착법을 지칭함을 인

지한다.

[0262] 다음으로, 구조식(xi)로 표시되는 4,4',4"-트리(N-카르바졸릴)트리페닐아민(약어: TCTA)의 필름을 정공 주입 층(111) 위에 10 nm의 두께로 형성하여, 정공 수송 층(112)을 형성하였다.

[0263] 또한, 정공 수송 층(112) 위에, TCTA 및 구조식(vi)으로 표시되는 비스(2,3,5-트리페닐피라지네이토)(디피발로일메타네이토)이리듐(III)(약어: $Ir(tppr)_2(dpm)$)을, TCTA 대 $Ir(tppr)_2(dpm)$의 질량비를 1:0.1로 하여 10 nm의 두께로 공증착에 의해 침착시켜, 제2 발광 층(113b)을 형성하고; 이어서, 구조식(iii)으로 표시되는 2-[3-(디벤조티오펜-4-일)페닐]디벤조[f,h]퀴녹살린(약어: 2mDBTPDBq-II), 구조식(iv)로 표시되는 4-페닐-4'-(9-페닐-9H-카르바졸-3-일)트리페닐아민(약어: PCBA1BP), 및 구조식(v)로 표시되는 비스[2-(6-tert-부틸-4-피리미디닐-κN3)페닐-κC](2,4-펜탄디오네이토-κ^2O,O')이리듐(III)(약어: $Ir(tBuppm)_2(acac)$)을, 2mDBTPDBq-II 대 PCBA1BP 대 $Ir(tBuppm)_2(acac)$의 질량비를 0.8:0.2:0.05로 하여 5 nm의 두께로 공증착에 의해 침착시켜, 제1 발광 층(113a)을 형성하였다. 호스트 재료인 2mDBTPDBq-II와 PCBA1BP는 엑시플렉스를 형성함을 인지한다.

[0264] 이어서, 발광 층(113) 위에, 2mDBTPDBq-II 및 $Ir(tBuppm)_2(acac)$를, 2mDBTPDBq-II 대 $Ir(tBuppm)_2(acac)$의 질량비를 1:0.05로 하여 20 nm의 두께로 공증착에 의해 침착시키고, 2mDBTPDBq-II의 필름을 10 nm의 두께로 형성시키고, 이어서 구조식(vii)로 표시되는 바쏘페난트롤린(약어: BPhen)을 20 nm의 두께로 형성시키는 방식으로 전자 수송 층(114)을 형성하였다.

[0265] 전자 수송 층(114)의 형성 후, 플루오린화리튬(LiF)을 1 nm의 두께로 증착시켜, 전자 주입 층(115)을 형성하였다.

[0266] 마지막으로, 알루미늄을 200 nm의 두께로 증착시켜 캐소드로서 기능하는 제2 전극(102)을 형성하였다. 따라서, 본 실시예에서의 발광 소자 3을 제작하였다.

[0267] 모든 상기 증착 수순에서, 증착은 저항-가열법에 의해 수행하였음을 인지한다.

[0268] 표 3에 상기에 기재된 바와 같이 얻어진 발광 소자 3의 소자 구조를 나타내었다. 발광 소자 3의 정공 수송 층의 재료 및 제2 호스트 재료는 발광 소자 1 및 발광 소자 2의 것들과 매우 상이하다. 또한, 제1 및 제2 발광 층의 전극에 대한 위치 및 전자 수송 층의 구조에 있어서도 큰 차이가 있다.

[0269] [표 3]

[0270]

정공 주입 층	정공 수송 층	발광 층		전자 수송 층			전자 주입 층
		제1 발광 층	제2 발광 층				
DBT3P-II: MoO_x 4:2 40 nm	TCTA 10 nm	TCTA: $Ir(tppr)_2(dpm)$ 1:0.1 10 nm	2mDBTPDBq-II: PCBA1BP: $Ir(tBuppm)_2(acac)$ 0.8:0.2:0.05 5 nm	2mDBTPDBq-II: $Ir(tBuppm)_2(acac)$ 0.8:0.05 20 nm	2mDBTPDBq-II 10 nm	Bphen 20 nm	LiF 1 nm

[0271] 발광 소자 3을, 질소 분위기를 함유하는 글러브 박스 내에서 유리 기판을 사용하여 밀봉하여, 공기에 노출되지 않도록 하였다(구체적으로, 밀봉재를 소자의 외부 연부에 도포하고, 밀봉시 80℃에서 1시간 동안 열 처리를 수행함).

[0272] 발광 소자 3에서는, 발광 소자 1에서와 같이, 제1 인광성 화합물(113Da) 및 제2 인광성 화합물(113Db)로서 각각 $Ir(tBuppm)_2(acac)$ 및 $Ir(tppr)_2(dpm)$을 사용하였다. 따라서, $Ir(tBuppm)_2(acac)$의 PL 스펙트럼과 $Ir(tppr)_2(dpm)$의 $\varepsilon(\lambda)\lambda^4$ 사이의 관계는 발광 소자 1의 경우에서와 동일하고, 이에 대한 설명은 반복하지 않는다. 실시예 1에서의 도 20의 (A) 및 도 20의 (B)를 참조로 한 설명을 참조한다. 따라서, 발광 소자 3에서의 제1 인광성 화합물(113Da)과 제2 인광성 화합물(113Db) 사이에서 에너지 전달이 효율적으로 일어남이 시사된다.

[0273] 발광 소자의 소자 특성을 측정하였다. 측정은 실온에서(25℃에서 유지되는 분위기에서) 수행하였음을 인지한다.

[0274] 도 30은 발광 소자 3의 휘도-전류 효율 특성을 나타낸다. 도 31은 그의 전압-휘도 특성을 나타낸다. 도 32는 그의 휘도-외부 양자 효율 특성을 나타낸다. 도 33은 그의 휘도-전력 효율 특성을 나타낸다.

[0275] 상기로부터, 발광 소자 3는 우수한 소자 특성을 갖는 것으로 나타났다. 특히, 도 30, 도 32, 및 도 33으로부터 알 수 있는 바와 같이, 발광 소자는 매우 높은 발광 효율을 갖고, 실용 휘도(1000 cd/㎡) 부근에서 20% 이상의 높은 외부 양자 효율을 갖는다. 또한, 전류 효율은 약 60 cd/A이고, 전력 효율은 약 70 lm/W이었으며, 이들은 매우 우수한 값이다.

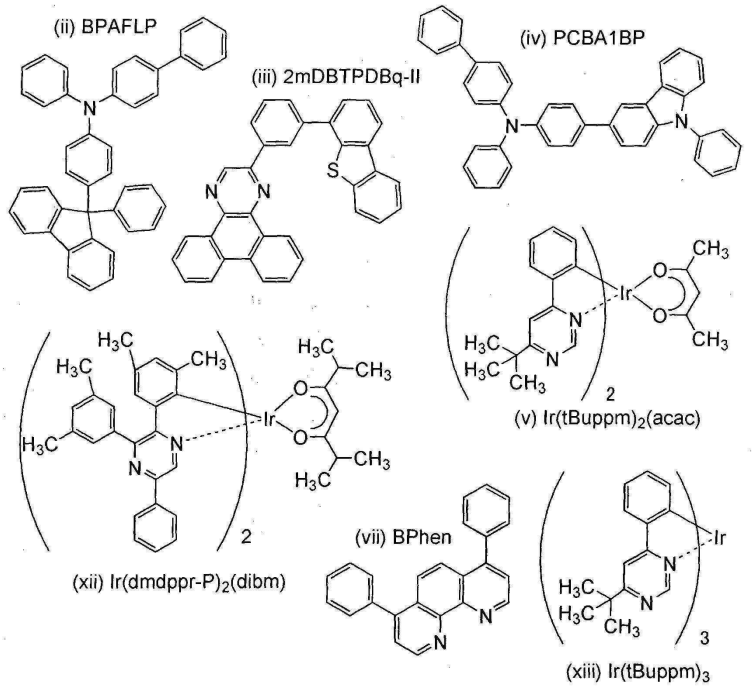
[0276] 도 34는, 발광 소자 3에 0.1 mA의 전류가 흐르게 하였을 때 얻어진 발광 소자 3의 발광 스펙트럼을 나타낸다. 도 34는, 발광 소자 3이(비스[2-(6-tert-부틸-4-피리미디닐-κN3)페닐-κC](2,4-펜탄디오네이토-κ^2O,O')이리듐(III)(약어: $Ir(tBuppm)_2(acac)$)으로부터 유래된 녹색 파장 범위의 파장을 갖는 광 및 비스(2,3,5-트리페닐피라지네이토)(디피발로일메타네이토)이리듐(III)(약어: $Ir(tppr)_2(dpm)$)으로부터 유래된 적색 파장 범위의 파장을 갖는 광을 우수한 밸런스로 포함하는 발광 스펙트럼을 나타낸다는 것을 보여준다.

[0277] 상기로부터, 본 발명의 하나의 실시형태에 상응하는 발광 소자 3은, 발광 소자 1 또는 2의 것과 상이한 호스트 물질이 사용됨에도 불구하고, 높은 발광 효율을 갖고, 2종의 발광 중심 물질로부터의 광을 우수한 밸런스로 제공하는 것으로 나타났다.

[0278] [실시예 4]

[0279] 본 실시예에서는, 실시형태 1 및 실시형태 2에 기재된 본 발명의 하나의 실시형태에 상응하는 발광 소자의 제작 방법 및 그의 특성을 설명한다. 본 실시예에서 사용된 유기 화합물의 구조식을 하기에 나타내었다.

화학식 5



[0280]

[0281] 다음으로, 본 실시예에서의 발광 소자(발광 소자 4 및 발광 소자 5)의 제작 방법을 하기에서 설명한다.

[0282] 먼저, 산화규소를 함유하는 산화인듐주석(ITSO)의 필름을 스퍼터링법에 의해 유리 기판 위에 형성함으로써, 제1 전극(101)을 형성하였다. 그의 두께는 110 nm였고, 전극 면적은 2 ㎜ x 2 ㎜였다. 여기서, 제1 전극(101)은 발광 소자의 애노드로서 기능하는 전극이다.

[0283] 다음으로, 기판 위에 발광 소자를 형성하기 위한 전처리로서, 기판 표면을 물로 세척하고 200℃에서 1시간 동안 소성을 수행한 후, UV 오존 처리를 370초 동안 수행하였다.

[0284] 그 후, 기판을 압력이 대략 10^{-4} Pa로 감소된 진공 증착 장치로 옮기고, 진공 증착 장치의 가열 챔버에서 170℃에서 30분 동안 진공 소성을 수행하고, 이어서 기판을 약 30분 동안 냉각시켰다.

[0285] 이어서, 제1 전극(101)이 형성되어 있는 기판을, 제1 전극(101)이 형성되어 있는 면이 아래를 향하도록, 진공 증착 장치에 제공된 기판 홀더에 고정시켰다. 진공 증착 장치 내 압력을 약 10^{-4} Pa로 감소시켰다. 그 후, 제1 전극(101) 위에, 구조식(ii)로 표시되는 4-페닐-4'-(9-페닐플루오렌-9-일)트리페닐아민(약어: BPAFLP) 및 산화몰리브데넘(VI)을 저항 가열을 이용하여 증착법에 의한 공증착에 의해 침착시켜, 정공 주입 층(111)을 형성하였다. 정공 주입 층(111)의 두께를 33.3 nm로 설정하고, BPAFLP 대 산화몰리브데넘의 중량비를 1:0.5로 조정하였다. 공증착법은 복수의 증발원으로부터 하나의 처리 챔버에서 동시에 증착을 수행하는 증착법을 지칭함을 인지한다.

[0286] 다음으로, BPAFLP의 필름을 정공 주입 층(111) 위에 20 nm의 두께로 형성하여, 정공 수송 층(112)을 형성하였다.

[0287] 또한, 정공 수송 층(112) 위에, 구조식(iii)으로 표시되는 2-[3-(디벤조티오펜-4-일)페닐]디벤조[f,h]퀴녹살린(약어: 2mDBTPDBq-II), 구조식(iv)로 표시되는 4-페닐-4'-(9-페닐-9H-카르바졸-3-일)트리페닐아민(약어: PCBA1BP), 및 구조식(v)로 표시되는 비스[2-(6-tert-부틸-4-피리미디닐-κN3)페닐-κC](2,4-펜탄디오네이토-κ^2O,O')이리듐(III)(약어: $Ir(tBuppm)_2(acac)$)을, 2mDBTPDBq-II 대 PCBA1BP 대 $[Ir(tBuppm)_2(acac)]$의 질량비를 0.8:0.2:0.06으로 하여 20 nm의 두께로 공증착에 의해 침착시켜, 제1 발광 층(113a)을 형성하고; 이어서, 2mDBTPDBq-II 및 구조식(xii)으로 표시되는 비스{4,6-디메틸-2-[3-(3,5-디메틸페닐)-5-페닐-2-피라지닐-κN]페닐-κC}(2,6-디메틸-3,5-헵탄디오네이토-κ^2O,O')이리듐(III)(약어: $[Ir(dmdppr\text{-}P)_2(dibm)]$)을, 2mDBTPDBq-II 대 $[Ir(dmdppr\text{-}P)_2(dibm)]$의 질량비를 1:0.06으로 하여 20 nm의 두께로 공증착에 의해 침착시켜, 제2 발광 층(113b)을 형성하였다. 호스트 재료인 2mDBTPDBq-II와 PCBA1BP는 엑시플렉스를 형성함을 인지한다.

[0288] 이어서, 발광 층(113) 위에, 2mDBTPDBq-II의 15-nm-두께 필름이 형성되고, 구조식(vii)로 표시되는 바쏘페난트롤린(약어: BPhen)의 15-nm-두께 필름이 형성되도록 전자 수송 층(114)을 형성하였다.

[0289] 전자 수송 층(114)의 형성 후, 플루오린화리튬(LiF)을 1 nm의 두께로 증착시켜, 전자 주입 층(115)을 형성하였다.

[0290] 마지막으로, 알루미늄을 200 nm의 두께로 증착시켜 캐소드로서 기능하는 제2 전극(102)을 형성하였다. 따라서, 본 실시예에서의 발광 소자 4를 제작하였다.

[0291] 제1 발광 층(113a)이 $[Ir(tBuppm)_2(acac)]$ 대신에 구조식(xiii)으로 표시되는 트리스[2-(6-tert-부틸-4-피리미디닐-κN3)페닐-κC]이리듐(III)(약어: $[Ir(tBuppm)_3)]$)을 함유하는 것을 제외하고는, 발광 소자 4와 동일한 방식으로 발광 소자 5를 제작하였다.

[0292] 모든 상기 증착 수순에서, 증착은 저항-가열법에 의해 수행하였음을 인지한다.

[0293] 표 4 및 5에 상기에 기재된 바와 같이 얻어진 발광 소자 4 및 5의 소자 구조를 나타내었다.

[0294] [표 4]

[0295]

정공 주입 층	정공 수송 층	발광 층		전자 수송 층		전자 주입 층
		제1 발광 층	제2 발광 층			
BPAFLP: MoO_x 4:2 33 nm	BPAFLP 20 nm	2mDBTPDBq-II: PCBA1BP: $Ir(tBuppm)_2(acac)$ 0.8:0.2:0.06 20 nm	2mDBTPDBq-II: $Ir(dmdppr\text{-}P)_2(dibm)$ 1:0.06 20 nm	2mDBTPDBq-II 15 nm	Bphen 15 nm	LiF 1 nm

[0296] [표 5]

정공 주입 층	정공 수송 층	발광 층		전자 수송 층		전자 주입 층
		제1 발광 층	제2 발광 층			
BPAFLP: MoO_x 4:2 33 nm	BPAFLP 20 nm	2mDBTPDBq-II: PCBA1BP: $Ir(tBuppm)_3$ 0.8:0.2:0.06 20 nm	2mDBTPDBq-II: $Ir(dmdppr\text{-}P)_2(dibm)$ 1:0.06 20 nm	2mDBTPDBq-II 15 nm	Bphen 15 nm	LiF 1 nm

[0297]

[0298] 발광 소자 4 및 5를, 질소 분위기를 함유하는 글러브 박스 내에서 유리 기판을 사용하여 밀봉하여, 공기에 노출되지 않도록 하였다(구체적으로, 밀봉재를 소자의 외부 연부에 도포하고, 밀봉시 80℃에서 1시간 동안 열 처리를 수행함).

[0299] 발광 소자 4에서는, 제1 인광성 화합물(113Da) 및 제2 인광성 화합물(113Db)로서 각각 $Ir(tBuppm)_2(acac)$ 및 $[Ir(dmdppr\text{-}P)_2(dibm)]$을 사용하였다. 여기서, $Ir(tBuppm)_2(acac)$의 PL 스펙트럼과 $[Ir(dmdppr\text{-}P)_2(dibm)]$의 $\varepsilon(\lambda)\lambda^4$ 사이의 관계를 설명한다. λ는 파장을 나타내고, $\varepsilon(\lambda)$는 몰 흡광 계수를 나타냄을 인지한다.

[0300] 도 45의 (A)는 발광 소자 4에서의 제2 인광성 화합물(113Db)인 $[Ir(dmdppr\text{-}P)_2(dibm)]$의 몰 흡광 계수 $\varepsilon(\lambda)$ 및 $\varepsilon(\lambda)\lambda^4$의 그래프를 나타낸다. 몰 흡광 계수 $\varepsilon(\lambda)$는 장파장측 영역에서 뚜렷한 피크를 갖지 않지만, $\varepsilon(\lambda)\lambda^4$의 그래프는 509 nm에서 극대값 및 550 nm 및 605 nm 부근에서 숄더를 포함하는 피크를 갖는다. 이 피크는 $[Ir(dmdppr\text{-}P)_2(dibm)]$의 삼중항 MLCT 흡수를 나타낸다. 이 피크가 제1 인광성 화합물(113Da)의 발광 피크와 중첩을 가지면, 에너지 전달 효율이 크게 증가할 수 있다.

[0301] 도 45의 (B)는 발광 소자 4에서의 제1 인광성 화합물(113Da)인 $Ir(tBuppm)_2(acac)$의 PL 스펙트럼 $F(\lambda)$ 및 제2 인광성 화합물(113Db)인 $[Ir(dmdppr\text{-}P)_2(dibm)]$의 $\varepsilon(\lambda)\lambda^4$의 그래프를 나타낸다. 그래프로부터 알 수 있는 바와 같이, $Ir(tBuppm)_2(acac)$의 PL 스펙트럼 $F(\lambda)$의 피크를 갖는 밴드는 $[Ir(dmdppr\text{-}P)_2(dibm)]$의 $\varepsilon(\lambda)\lambda^4$의 최장파장측 피크를 갖는 밴드와 크게 중첩되고, 이는 상기 조합이 매우 효율적인 에너지 전달을 가능하게 함을 나타낸다. 또한, 제1 인광성 화합물(113Da)인 $Ir(tBuppm)_2(acac)$는 546 nm에서 발광 피크를 갖고, 제2 인광성 화합물(113Db)인 $[Ir(dmdppr\text{-}P)_2(dibm)]$의 $\varepsilon(\lambda)\lambda^4$를 나타내는 스펙트럼은 509 nm에서 장파장측 극대값을 갖고, 따라서 그 차는 37 nm이다. 파장 546 nm 및 509 nm는 각각 2.27 eV 및 2.44 eV에 상응하고, 따라서 그 차는 0.17 eV이고, 이는 0.2 eV 미만이고; 따라서, 피크의 위치가 또한 효율적인 에너지 전달의 발생을 시사한다. $[Ir(dmdppr\text{-}P)_2(dibm)]$의 $\varepsilon(\lambda)\lambda^4$를 나타내는 스펙트럼에서 장파장측 피크(피크 C)는 $Ir(tBuppm)_2(acac)$의 스펙트럼 $F(\lambda)$와 거의 중첩되지 않지만, $[Ir(dmdppr\text{-}P)_2(dibm)]$의 $\varepsilon(\lambda)\lambda^4$를 나타내는 스펙트럼에서 피크 C를 포함하는 밴드는 장파장측에서 브로드 형상을 갖고, 장파장측에서, 스펙트럼은 $Ir(tBuppm)_2(acac)$의 발광 스펙트럼 $F(\lambda)$와 크게 중첩됨을 인지한다. 따라서, 매우 효율적인 에너지 전달이 달성된다.

[0302] 발광 소자 4에서는, 제1 호스트 재료인 2mDBTPDBq-II와 제1 유기 화합물인 PCBA1BP가 엑시플렉스를 형성하고, 따라서 에너지가 제1 인광성 화합물(113Da)인 $Ir(tBuppm)_2(acac)$로 효율적으로 전달된다. 관계는 발광 소자 1에서의 것과 유사하고, 이는 실시예 1에서 상세히 설명하였고; 따라서, 설명은 반복하지 않는다. 실시예 1에서의 상응하는 설명을 참조한다.

[0303] 도 46은 엑시플렉스의 PL 스펙트럼 $F(\lambda)$, $Ir(tBuppm)_2(acac)$의 PL 스펙트럼 $F(\lambda)$, $[Ir(dmdppr\text{-}P)_2(dibm)]$의 PL 스펙트럼 $F(\lambda)$, $Ir(tBuppm)_2(acac)$의 $\varepsilon(\lambda)\lambda^4$, 및 $[Ir(dmdppr\text{-}P)_2(dibm)]$의 $\varepsilon(\lambda)\lambda^4$를 나타낸다. 먼저 엑시플렉스의 PL 스펙트럼과 $Ir(tBuppm)_2(acac)$의 $\varepsilon(\lambda)\lambda^4$ 사이의 중첩(피크 A 부근)을 이용하여 엑시플렉스로부터 $Ir(tBuppm)_2(acac)$로, 또한 이어서 $Ir(tBuppm)_2(acac)$의 PL 스펙트럼과 $[Ir(dmdppr\text{-}P)_2(dibm)]$의 $\varepsilon(\lambda)\lambda$

^{4} 사이의 중첩(피크 C 내지 650 nm의 범위 부근)을 이용하여 Ir(tBuppm)$_2$(acac)로부터 [Ir(dmdppr-P)$_2$(dibm)]으로 단계적으로 에너지가 전달될 수 있다는 것을 알 수 있다. 엑시플렉스로부터 제2 인광성 화합물인 [Ir(dmdppr-P)$_2$(dibm)]으로의 직접적 에너지 전달이 또한 가능함을 인지한다. 그 이유는, 도 46으로부터 알 수 있는 바와 같이, [Ir(dmdppr-P)$_2$(dibm)]의 $\varepsilon(\lambda)\lambda^4$가 또한 [Ir(dmdppr-P)$_2$(dibm)]의 삼중항 MLCT 흡수 밴드(피크 C 부근)에서 엑시플렉스의 PL 스펙트럼 F(λ)와 중첩되기 때문이다.

[0304] 발광 소자 5에서는, 제1 인광성 화합물(113Da) 및 제2 인광성 화합물(113Db)로서 각각 Ir(tBuppm)$_3$ 및 [Ir(dmdppr-P)$_2$(dibm)]을 사용하였다. 여기서, Ir(tBuppm)$_3$의 PL 스펙트럼과 [Ir(dmdppr-P)$_2$(dibm)]의 $\varepsilon(\lambda)\lambda^4$ 사이의 관계를 설명한다. λ는 파장을 나타내고, ε(λ)는 몰 흡광 계수를 나타냄을 인지한다.

[0305] 도 47의 (A)는 발광 소자 5에서의 제2 인광성 화합물(113Db)인 [Ir(dmdppr-P)$_2$(dibm)]의 몰 흡광 계수 ε(λ) 및 $\varepsilon(\lambda)\lambda^4$의 그래프를 나타낸다. 몰 흡광 계수 ε(λ)는 장파장측 영역에서 뚜렷한 피크를 갖지 않지만, $\varepsilon(\lambda)\lambda^4$의 그래프는 509 nm에서 극대값 및 550 nm 및 605 nm 부근에서 숄더를 포함하는 피크를 갖는다. 이 피크는 [Ir(dmdppr-P)$_2$(dibm)]의 삼중항 MLCT 흡수를 나타낸다. 이 피크가 제1 인광성 화합물(113Da)의 발광 피크와 중첩을 가지면, 에너지 전달 효율이 크게 증가할 수 있다.

[0306] 도 47의 (B)는 발광 소자 5에서의 제1 인광성 화합물(113Da)인 Ir(tBuppm)$_3$의 PL 스펙트럼 F(λ) 및 제2 인광성 화합물(113Db)인 [Ir(dmdppr-P)$_2$(dibm)]의 $\varepsilon(\lambda)\lambda^4$의 그래프를 나타낸다. 그래프로부터 알 수 있는 바와 같이, Ir(tBuppm)$_3$의 PL 스펙트럼 F(λ)의 피크를 갖는 밴드는 [Ir(dmdppr-P)$_2$(dibm)]의 $\varepsilon(\lambda)\lambda^4$의 최장파장측 피크를 갖는 밴드와 크게 중첩되고, 이는 상기 조합이 매우 효율적인 에너지 전달을 가능하게 함을 나타낸다. 또한, 제1 인광성 화합물(113Da)인 Ir(tBuppm)$_3$은 540 nm에서 발광 피크를 갖고, 제2 인광성 화합물(113Db)인 [Ir(dmdppr-P)$_2$(dibm)]의 $\varepsilon(\lambda)\lambda^4$를 나타내는 스펙트럼은 509 nm에서 장파장측 극대값을 갖고, 따라서 그 차는 31 nm이다. 파장 540 nm 및 509 nm는 각각 2.30 eV 및 2.44 eV에 상응하고, 따라서 그 차는 0.14 eV이고, 이는 0.2 eV 미만이고; 따라서, 피크의 위치가 또한 효율적인 에너지 전달의 발생을 시사한다. [Ir(dmdppr-P)$_2$(dibm)]의 $\varepsilon(\lambda)\lambda^4$를 나타내는 스펙트럼에서 장파장측 극대값(피크 C)은 Ir(tBuppm)$_3$의 스펙트럼 F(λ)와 거의 중첩되지 않지만, [Ir(dmdppr-P)$_2$(dibm)]의 $\varepsilon(\lambda)\lambda^4$를 나타내는 스펙트럼에서 피크 C를 포함하는 밴드는 장파장측에서 브로드 형상을 갖고, 장파장측에서, 스펙트럼은 Ir(tBuppm)$_3$의 발광 스펙트럼 F(λ)와 크게 중첩됨을 인지한다. 따라서, 매우 효율적인 에너지 전달이 달성된다.

[0307] 다음으로, 도 48의 (A)는 발광 소자 5에서의 제1 인광성 화합물(113Da)인 Ir(tBuppm)$_3$의 몰 흡광 계수 ε(λ) 및 $\varepsilon(\lambda)\lambda^4$의 그래프를 나타낸다. $\varepsilon(\lambda)\lambda^4$의 그래프는 409 nm 및 465 nm에서 높은 강도를 갖는 피크 및 494 nm에서 숄더를 포함하는 피크를 갖는다. 이 피크는 Ir(tBuppm)$_3$의 삼중항 MLCT 흡수를 나타낸다. 이 피크가 에너지 공여체의 발광 피크와 중첩을 가지면, 에너지 전달 효율이 크게 증가할 수 있다.

[0308] 여기서, 본 실시예에서의 발광 소자 5에서는, 제1 호스트 재료인 2mDBTPDBq-II와 제1 유기 화합물인 PCBA1BP가 엑시플렉스(113Ec)를 형성하고, 엑시플렉스(113Ec)로부터 제1 인광성 화합물(113Da)로 에너지가 전달된다. 도 23은 2mDBTPDBq-II, PCBA1BP, 및 이들의 혼합막(2mDBTPDBq-II 대 PCBA1BP의 질량비는 0.8:0.2임)의 PL 스펙트럼을 나타내고, 2mDBTPDBq-II와 제1 유기 화합물인 PCBA1BP가 엑시플렉스(113Ec)를 형성하였음을 알 수 있다. 도 48의 (B)는 엑시플렉스의 PL 스펙트럼 F(λ) 및 제1 인광성 화합물(113Da)인 Ir(tBuppm)$_3$의 $\varepsilon(\lambda)\lambda^4$의 그래프를 나타낸다. 그래프로부터 알 수 있는 바와 같이, 엑시플렉스의 PL 스펙트럼 F(λ)의 피크를 갖는 밴드가 상기 피크의 강도의 절반을 갖는 파장 범위의 일부가, Ir(tBuppm)$_3$의 함수 $\varepsilon(\lambda)\lambda^4$의 최장파장측 피크를 갖는 밴드가 상기 피크의 강도의 절반을 갖는 파장 범위의 일부와 중첩되고, 이는 상기 조합이 효율적인 에너지 전달을 가능하게 함을 나타낸다.

[0309] 도 49는 엑시플렉스의 PL 스펙트럼 F(λ), $Ir(tBuppm)_3$의 PL 스펙트럼 F(λ), $[Ir(dmdppr\text{-}P)_2(dibm)]$의 PL 스펙트럼 F(λ), $Ir(tBuppm)_3$의 $\varepsilon(\lambda)\lambda^4$, 및 $[Ir(dmdppr\text{-}P)_2(dibm)]$의 $\varepsilon(\lambda)\lambda^4$를 나타낸다. 먼저 엑시플렉스의 PL 스펙트럼과 $Ir(tBuppm)_3$의 $\varepsilon(\lambda)\lambda^4$ 사이의 중첩(피크 A 부근)을 이용하여 엑시플렉스로부터 $Ir(tBuppm)_3$으로, 또한 이어서 $Ir(tBuppm)_3$의 PL 스펙트럼과 $[Ir(dmdppr\text{-}P)_2(dibm)]$의 $\varepsilon(\lambda)\lambda^4$ 사이의 중첩(피크 C 내지 650 nm의 범위 부근)을 이용하여 $Ir(tBuppm)_3$로부터 $[Ir(dmdppr\text{-}P)_2(dibm)]$으로 단계적으로 에너지가 전달될 수 있다는 것을 알 수 있다. 엑시플렉스로부터 제2 인광성 화합물인 $[Ir(dmdppr\text{-}P)_2(dibm)]$으로의 직접적 에너지 전달이 또한 가능함을 인지한다. 그 이유는, 도 49로부터 알 수 있는 바와 같이, $[Ir(dmdppr\text{-}P)_2(dibm)]$의 $\varepsilon(\lambda)\lambda^4$가 $[Ir(dmdppr\text{-}P)_2(dibm)]$의 삼중항 MLCT 흡수 밴드(피크 C 부근)에서 엑시플렉스의 PL 스펙트럼 F(λ)와 중첩되기 때문이다.

[0310] 발광 소자의 소자 특성을 측정하였다. 측정은 실온에서(25℃에서 유지되는 분위기에서) 수행하였음을 인지한다.

[0311] 도 35는 발광 소자 4의 휘도-전류 효율 특성을 나타낸다. 도 36은 그의 전압-휘도 특성을 나타낸다. 도 37은 그의 휘도-외부 양자 효율 특성을 나타낸다. 도 38은 그의 휘도-전력 효율 특성을 나타낸다.

[0312] 상기로부터, 발광 소자 4는 우수한 소자 특성을 갖는 것으로 나타났다. 특히, 도 35, 도 37, 및 도 38로부터 알 수 있는 바와 같이, 발광 소자는 매우 높은 발광 효율을 갖고, 실용 휘도(1000 cd/㎡) 부근에서 20% 이상의 높은 외부 양자 효율을 갖는다. 또한, 전류 효율은 약 50 cd/A이고, 전력 효율은 약 50 lm/W이었으며, 이들은 매우 우수한 값이다.

[0313] 도 39는, 발광 소자 4에 0.1 mA의 전류가 흐르게 하였을 때 얻어진 발광 소자 4의 발광 스펙트럼을 나타낸다. 도 39에서, 수평축은 파장(nm)을 나타내고, 수직축은 발광 강도(임의 단위)를 나타낸다. 도 39는, 발광 소자 4가 $[Ir(tBuppm)_2(acac)]$으로부터 유래된 녹색 파장 범위의 파장을 갖는 광 및 $[Ir(dmdppr\text{-}P)_2(dibm)]$으로부터 유래된 적색 파장 범위의 파장을 갖는 광을 우수한 밸런스로 포함하는 발광 스펙트럼을 나타낸다는 것을 보여준다.

[0314] 도 40은 발광 소자 5의 휘도-전류 효율 특성을 나타낸다. 도 41은 그의 전압-휘도 특성을 나타낸다. 도 42는 그의 휘도-외부 양자 효율 특성을 나타낸다. 도 43은 그의 휘도-전력 효율 특성을 나타낸다.

[0315] 상기로부터, 발광 소자 5는 우수한 소자 특성을 갖는 것으로 나타났다. 특히, 도 40, 도 42, 및 도 43으로부터 알 수 있는 바와 같이, 발광 소자는 매우 높은 발광 효율을 갖고, 실용 휘도(1000 cd/㎡) 부근에서 약 25%의 높은 외부 양자 효율을 갖는다. 또한, 전류 효율은 약 65 cd/A이고, 전력 효율은 약 70 lm/W이었으며, 이들은 매우 우수한 값이다.

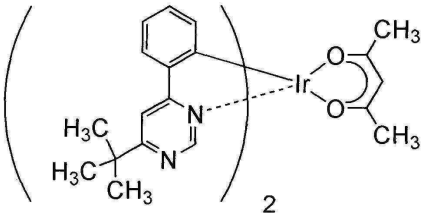
[0316] 도 44는, 발광 소자 5에 0.1 mA의 전류가 흐르게 하였을 때 얻어진 발광 소자 5의 발광 스펙트럼을 나타낸다. 도 44에서, 수평축은 파장(nm)을 나타내고, 수직축은 발광 강도(임의 단위)를 나타낸다. 도 44는, 발광 소자 5가 $[Ir(tBuppm)_2(acac)]$으로부터 유래된 녹색 파장 범위의 파장을 갖는 광 및 $[Ir(dmdppr\text{-}P)_2(dibm)]$으로부터 유래된 적색 파장 범위의 파장을 갖는 광을 우수한 밸런스로 포함하는 발광 스펙트럼을 나타낸다는 것을 보여준다.

[0317] 상기로부터, 각각 본 발명의 하나의 실시형태에 상응하는 발광 소자 4 및 5는 높은 발광 효율을 갖고, 2종의 발광 중심 물질로부터의 광을 우수한 밸런스로 제공하는 것으로 나타났다.

[0318] (참고예 1)

[0319] 상기 실시형태에서 사용된 유기금속 착체, 비스[2-(6-tert-부틸-4-피리미디닐-κN3)페닐-κC](2,4-펜탄디오네이토-κ^2O,O')이리듐(III)(약어: $[Ir(tBuppm)_2(acac)]$)의 합성예를 설명한다. $[Ir(tBuppm)_2(acac)]$의 구조를 하기에 나타내었다.

화학식 6



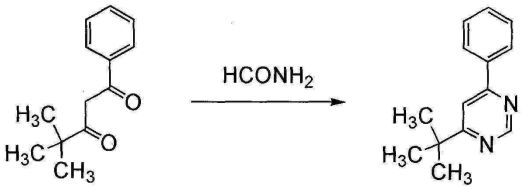
Ir(tBuppm)$_2$(acac)

[0320]

[0321] <수순 1: 4-tert-부틸-6-페닐피리미딘(약어: HtBuppm)의 합성>

[0322] 먼저, 22.5 g의 4,4-디메틸-1-페닐펜탄-1,3-디온 및 50 g의 포름아미드를 환류관이 장착된 나스 플라스크에 넣고, 플라스크 내의 공기를 질소로 치환하였다. 이 반응 용기를 가열하여, 반응 용액을 5시간 동안 환류시켰다. 그 후, 이 용액을 수산화나트륨의 수용액에 붓고, 유기 층을 디클로로메탄으로 추출하였다. 얻어진 유기 층을 물 및 포화 염화나트륨 수용액으로 세척하고, 황산마그네슘으로 건조시켰다. 건조 후 용액을 여과하였다. 이 용액의 용매를 증류시키고, 이어서 얻어진 잔류물을 전개 용매로서 헥산 및 에틸 아세테이트를 10:1의 부피비로 사용하여 실리카 겔 컬럼 크로마토그래피에 의해 정제하여, 피리미딘 유도체 HtBuppm(무색 오일형 물질, 수율 14%)을 얻었다. 수순 1의 합성 반응식을 하기에 나타내었다.

화학식 7



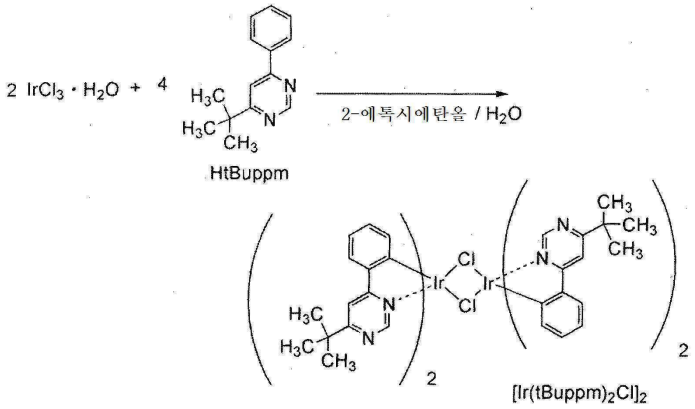
HtBuppm

[0323]

[0324] <수순 2: 디-μ-클로로-비스[비스(6-tert-부틸-4-페닐피리미디네이토)이리듐(III)](약어: [Ir(tBuppm)$_2$Cl]$_2$)의 합성>

[0325] 다음으로, 15 mL의 2-에톡시에탄올, 5 mL의 물, 수순 1에서 얻어진 1.49 g의 HtBuppm, 및 1.04 g의 염화이리듐 수화물($IrCl_3 \cdot H_2O$)을 환류관이 장착된 나스 플라스크에 넣고, 플라스크 내의 공기를 아르곤으로 치환하였다. 그 후, 마이크로파 조사(2.45 GHz, 100 W)를 1시간 동안 수행하여 반응을 일으켰다. 용매를 증류시키고, 이어서 얻어진 잔류물을 흡인-여과하고, 에탄올로 세척하여, 복핵 착체 [Ir(tBuppm)$_2$Cl]$_2$(황녹색 분말, 수율 73%)를 얻었다. 수순 2의 합성 반응식을 하기에 나타내었다.

화학식 8

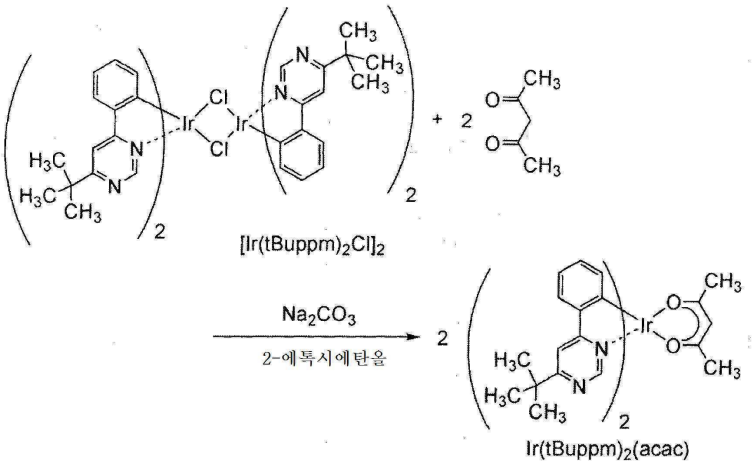


[0326]

[0327] <수순 3:(아세틸아세토네이토)비스(6-tert-부틸-4-페닐피리미디네이토)이리듐(III)(약어: [Ir(tBuppm)$_2$(acac)])의 합성>

[0328] 또한, 40 mL의 2-에톡시에탄올, 수순 2에서 얻어진 1.61 g의 복핵 착체 [Ir(tBuppm)$_2$Cl]$_2$, 0.36 g의 아세틸아세톤, 및 1.27 g의 탄산나트륨을 환류관이 장착된 나스 플라스크에 넣고, 플라스크 내의 공기를 아르곤으로 치환하였다. 그 후, 마이크로파 조사(2.45 GHz, 120 W)를 60분 동안 수행하여 반응을 일으켰다. 용매를 증류시키고, 얻어진 잔류물을 에탄올로 흡인-여과하고, 물 및 에탄올로 세척하였다. 이 고체를 디클로로메탄 중에 용해시키고, 혼합물을, 셀라이트(와코 퓨어 케미칼 인더스트리즈, 리미티드(Wako Pure Chemical Industries, Ltd.) 제조, 카탈로그 번호 531-16855), 알루미나, 및 셀라이트가 이 순서로 적층된 여과 보조제로 여과하였다. 용매를 증류시키고, 얻어진 고체를 디클로로메탄 및 헥산의 혼합 용매로 재결정화시켜, 목적물을 황색 분말로서 얻었다(수율 68%). 수순 3의 합성 반응식을 하기에 나타내었다.

화학식 9



[0329]

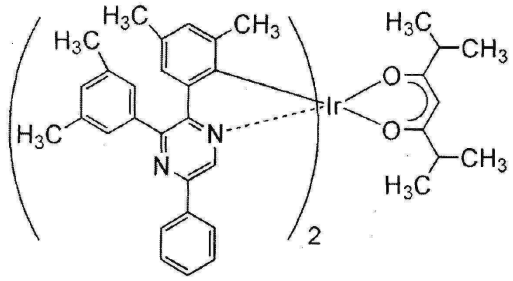
[0330] 수순 3에서 얻어진 황색 분말의 핵 자기 공명(^{1}H NMR) 분광법에 의한 분석 결과를 하기에 나타내었다. 결과는, 유기금속 착체 Ir(tBuppm)$_2$(acac)가 얻어진 것으로 나타났다.

[0331] ^{1}H NMR. δ(CDCl$_3$): 1.50(s, 18H), 1.79(s, 6H), 5.26(s, 1H), 6.33(d, 2H), 6.77(t, 2H), 6.85(t, 2H), 7.70(d, 2H), 7.76(s, 2H), 9.02(s, 2H).

[0332] (참고예 2)

[0333] 본 참고예에서는, 실시예에서 사용된 유기금속 이리듐 착체, 비스{4,6-디메틸-2-[3-(3,5-디메틸페닐)-5-페닐-2-피라지닐-κN]페닐-κC}(2,6-디메틸-3,5-헵탄디오네이토-κ^2O,O')이리듐(III)(약어: [Ir(dmdppr-P)$_2$(dibm)])의 합성 방법을 설명한다. [Ir(dmdppr-P)$_2$(dibm)]의 구조를 하기에 나타내었다.

화학식 10



[Ir(dmdppr-P)$_2$(dibm)]

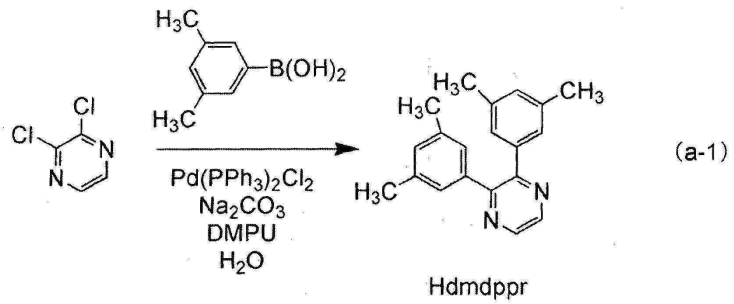
[0334]

[0335] <수순 1: 2,3-비스(3,5-디메틸페닐)피라진(약어: Hdmdppr)의 합성>

[0336] 먼저, 5.00 g의 2,3-디클로로피라진, 10.23 g의 3,5-디메틸페닐보론산, 7.19 g의 탄산나트륨, 0.29 g의 비스(트리페닐포스핀)팔라듐(II) 디클로라이드(약어: Pd(PPh$_3$)$_2$Cl$_2$), 20 mL의 물, 및 20 mL의 아세토니트릴을 환류관이 장착된 나스 플라스크에 넣고, 플라스크 내의 공기를 아르곤으로 치환하였다. 이 반응 용기에 마이크로파(2.45 GHz, 100 W)를 60분 동안 조사하여 가열하였다. 여기서, 플라스크에 2.55 g의 3,5-디메틸페닐보론산, 1.80 g의 탄산나트륨, 0.070 g의 Pd(PPh$_3$)$_2$Cl$_2$, 5 mL의 물, 및 5 mL의 아세토니트릴을 더 넣고, 다시 60분 동안 마이크로파(2.45 GHz, 100 W)를 조사하여 가열을 수행하였다.

[0337] 이어서, 이 용액에 물을 첨가하고, 유기 층을 디클로로메탄으로 추출하였다. 얻어진 유기 층을 포화 탄산수소나트륨 수용액, 물, 및 포화 염화나트륨 수용액으로 세척하고, 황산마그네슘으로 건조시켰다. 건조 후, 용액을 여과하였다. 이 용액의 용매를 증류시키고, 얻어진 잔류물을 전개 용매로서 헥산 및 에틸 아세테이트를 5:1의 부피비로 사용하여 플래쉬 컬럼 크로마토그래피에 의해 정제하였다. 용매를 증류시키고, 얻어진 고체를 전개 용매로서 디클로로메탄 및 에틸 아세테이트를 10:1의 부피비로 사용하여 플래쉬 컬럼 크로마토그래피에 의해 정제하여, 제조하고자 한 피라진 유도체인 Hdmdppr(약어)을 백색 분말로서 44%의 수율로 얻었다. 마이크로파 조사는 마이크로파 합성 시스템(디스커버(Discover), 씨이엠 코포레이션(CEM Corporation) 제조)을 이용하여 수행하였음을 인지한다. 수순 1의 합성 반응식을 하기(a-1)에 나타내었다.

화학식 11



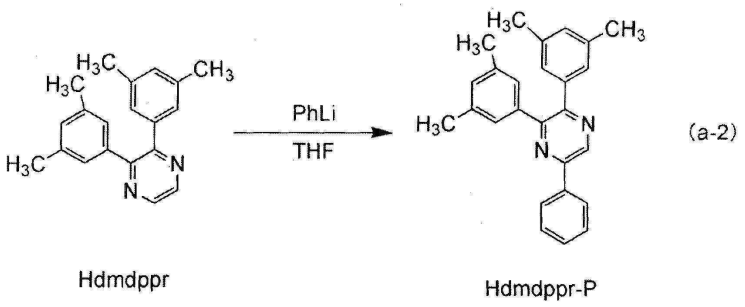
Hdmdppr (a-1)

[0338]

[0339] <수순 2: 2,3-비스(3,5-디메틸페닐)-5-페닐피라진(약어: Hdmdppr-P)의 합성>

[0340] 먼저, 수순 1에서 얻어진 4.28 g의 Hdmdppr(약어) 및 80 mL의 건조 THF를 3-목 플라스크에 넣고, 플라스크 내의 공기를 질소로 치환하였다. 플라스크를 아이스로 냉각시킨 후, 9.5 mL의 페닐 리튬(부틸 에테르 중 페닐 리튬의 1.9 M 용액)을 적가하고, 혼합물을 실온에서 23.5시간 동안 교반하였다. 반응 용액을 물에 붓고, 용액을 클로로포름으로 추출하였다. 얻어진 유기 층을 물 및 포화 염화나트륨 수용액으로 세척하고, 황산마그네슘으로 건조시켰다. 얻어진 혼합물에 산화망가니즈를 첨가하고, 혼합물을 30분 동안 교반하였다. 이어서, 용액을 여과하고, 용매를 증류시켰다. 얻어진 잔류물을 전개 용매로서 디클로로메탄을 사용하여 실리카 겔 컬럼 크로마토그래피에 의해 정제하여, 제조하고자 한 피라진 유도체인 Hdmdppr-P(약어)를 오렌지색 오일로서 26%의 수율로 얻었다. 수순 2의 합성 반응식을 하기(a-2)에 나타내었다.

화학식 12



(a-2)

Hdmdppr

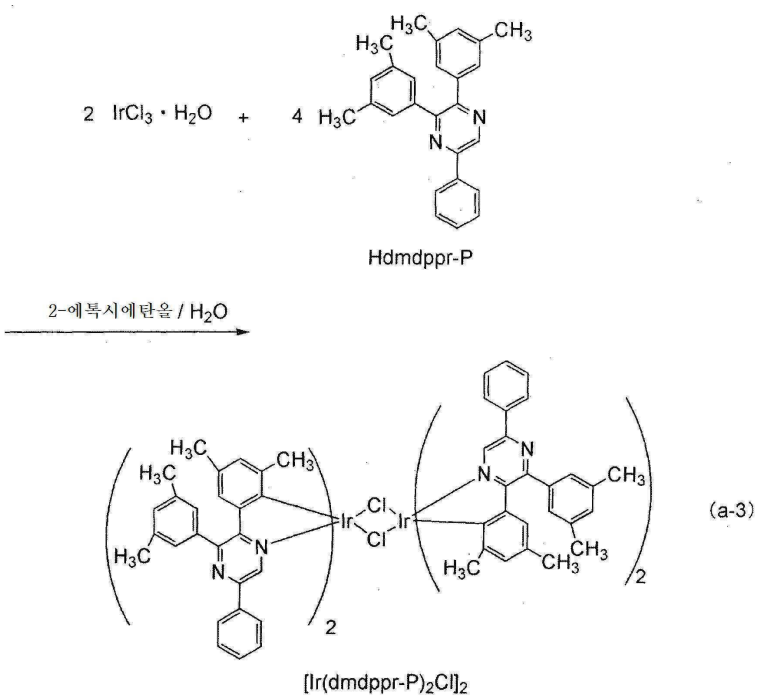
Hdmdppr-P

[0341]

[0342] <수순 3: 디-μ-클로로-테트라키스{4,6-디메틸-2-[3-(3,5-디메틸페닐)-5-페닐-2-피라지닐-κN]페닐-κC}디이리듐(III)(약어: $[Ir(dmdppr\text{-}P)_2Cl]_2$)의 합성>

[0343] 다음으로, 환류관이 장착된 나스 플라스크에 15 mL의 2-에톡시에탄올, 5 mL의 물, 수순 2에서 얻어진 1.40 g의 Hdmdppr-P(약어), 및 0.51 g의 염화이리듐 수화물($IrCl_3 \cdot H_2O$)(시그마-알드리치 코포레이션(Sigma-Aldrich Corporation) 제조)을 넣고, 플라스크 내 공기를 아르곤으로 치환하였다. 그 후, 마이크로파(2.45 GHz, 100 W) 조사를 1시간 동안 수행하여 반응시켰다. 용매를 증류시키고, 이어서 얻어진 잔류물을 흡인-여과하고, 에탄올로 세척하여, 복핵 착체인 $[Ir(dmdppr\text{-}P)_2Cl]_2$(약어)를 적갈색 분말로서 58%의 수율로 얻었다. 수순 3의 합성 반응식을 하기(a-3)에 나타내었다.

화학식 13



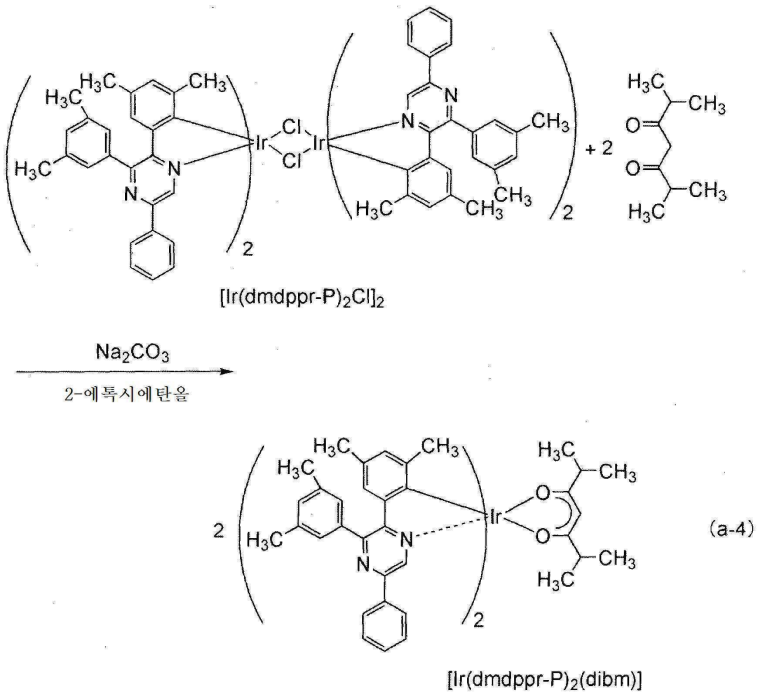
(a-3)

[0344]

[0345] <수순 4: 비스{4,6-디메틸-2-[3-(3,5-디메틸페닐)-5-페닐-2-피라지닐-κN]페닐-κC}(2,6-디메틸-3,5-헵탄디오네이토-κ^2O,O')이리듐(III)(약어: [Ir(dmdppr-P)$_2$(dibm)])의 합성>

[0346] 또한, 환류관이 장착된 나스 플라스크에, 30 mL의 2-에톡시에탄올, 수순 3에서 얻어진 복핵 착체인 0.94 g의 [Ir(dmdppr-P)$_2$Cl]$_2$(약어), 0.23 g의 디이소부티릴메탄(약어: Hdibm), 및 0.52 g의 탄산나트륨을 넣고, 플라스크 내 공기를 아르곤으로 치환하였다. 그 후, 마이크로파(2.45 GHz, 120 W)를 60분 동안 조사하여 혼합물을 가열하였다. 용매를 증류시키고, 얻어진 잔류물을 에탄올로 흡인-여과하였다. 얻어진 고체를 물 및 에탄올로 세척하고, 디클로로메탄 및 에탄올의 혼합 용매로 재결정화를 수행하여, 본 발명의 하나의 실시형태에서의 유기금속 착체, [Ir(dmdppr-P)$_2$(dibm)](약어)을 암적색 분말로서 75%의 수율로 얻었다. 수순 4의 합성 반응식을 하기 (a-4)에 나타내었다.

화학식 14



[0347]

[0348] 상기에 기재된 합성 방법에 의해 얻어진 암적색 분말의 핵 자기 공명(^{1}H-NMR) 분광법에 의한 분석 결과를 하기에 나타내었다. 이들 결과는, 상기 합성예에서 유기금속 착체 [Ir(dmdppr-P)$_2$(dibm)](약어)가 얻어진 것으로 나타났다.

[0349] ^{1}H-NMR. δ(CDCl$_3$): 0.79(d, 6H), 0.96(d, 6H), 1.41(s, 6H), 1.96(s, 6H), 2.24-2.28(m, 2H), 2.41(s, 12H), 5.08(s, 1H), 6.46(s, 2H), 6.82(s, 2H), 7.18(s, 2H), 7.39-7.50(m, 10H), 8.03(d, 4H), 8.76(s, 2H).

부호의 설명

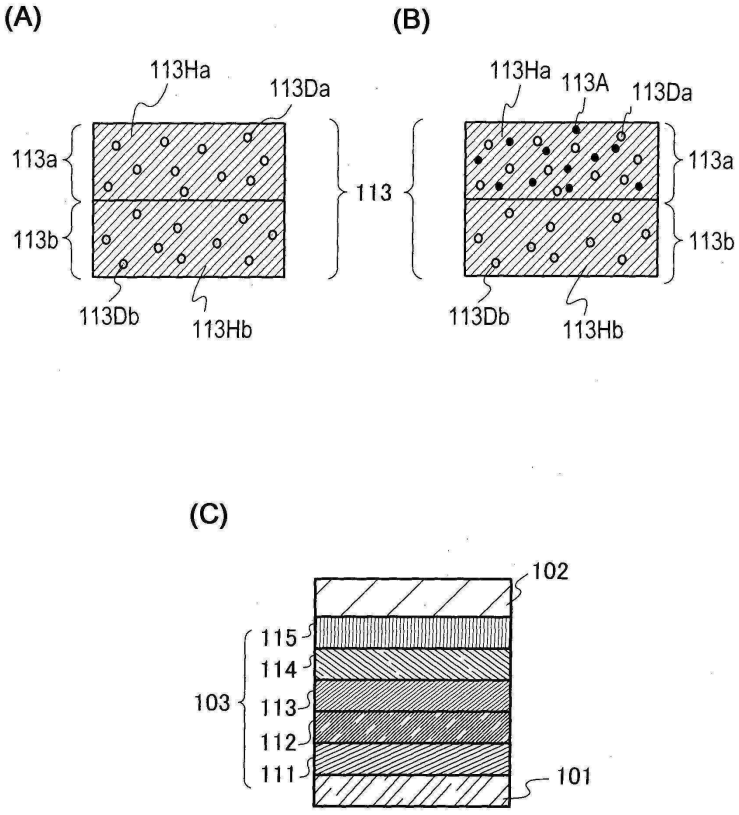
[0350] 10: 전극, 11: 전극, 101: 제1 전극, 102: 제2 전극, 103: EL 층, 111: 정공 주입 층, 112: 정공 수송 층, 113: 발광 층, 113a: 제1 발광 층, 113Da: 제1 인광성 화합물, 113Ha: 제1 호스트 재료, 113b: 제2 발광 층, 113Db: 제2 인광성 화합물, 113Hb: 제2 호스트 재료, 113A: 제1 유기 화합물, 113Ec: 엑시플렉스, 114: 전자 수송 층, 115: 전자 주입 층, 400: 기판, 401: 제1 전극, 402: 보조 전극, 403: EL 층, 404: 제2 전극, 405: 밀봉재, 406: 밀봉재, 407: 밀봉 기판, 412: 패드, 420: IC 칩, 601: 구동 회로부(소스 라인 구동 회로), 602: 화소부, 603: 구동 회로부(게이트 라인 구동 회로), 604: 밀봉 기판, 605: 밀봉재, 607: 공간, 608: 배선, 609: FPC(플렉시블 프린트 회로), 610: 소자 기판, 611: 스위칭 TFT, 612: 전류 제어 TFT, 613: 제1 전극, 614: 절연물, 616: EL 층, 617: 제2 전극, 618: 발광 소자, 623: n-채널 TFT, 624: p-채널 TFT, 625: 건조제, 901: 하우징, 902: 액정 층, 903: 백라이트 유닛, 904: 하우징, 905: 드라이버 IC, 906: 단자, 951: 기판, 952: 전극, 953: 절연 층, 954: 격벽 층, 955: EL 층, 956: 전극, 1001: 기판, 1002: 하지 절연막, 1003: 게이트 절연막, 1006: 게이트 전극, 1007: 게이트 전극, 1008: 게이트 전극, 1020: 제1 층간 절연막, 1021: 제2 층간 절연막, 1022: 전극, 1024W: 발광 소자의 제1 전극, 1024R: 발광 소자의 제1 전극, 1024G: 발광 소자의 제1 전극, 1024B: 발광 소자의 제1 전극, 1025: 격벽, 1028: EL 층, 1029: 발광 소자의 제2 전극, 1031: 밀봉 기판, 1032: 실란트, 1033: 투명한 기재, 1034R: 적색 착색 층, 1034G: 녹색 착색 층, 1034B: 청색 착색 층, 1035: 흑색 층(흑색 매트릭스), 1036: 오버코트 층, 1037: 제3 층간 절연막, 1040: 화소부, 1041: 구동 회로부, 1042: 주변부, 1044W: 백색 발광 영역, 1044R: 적색 발광 영역, 1044B: 청색 발광 영역, 1044G: 녹색 발광 영역, 2001: 하우징, 2002: 광원, 3001: 조명 장치, 3002: 표시 장치, 5000: 디스플레이, 5001: 디스플레이, 5002: 디스플레이, 5003: 디스플레이, 5004: 디스플레이, 5005: 디스플레이, 7101: 하우징, 7103: 표시부, 7105: 스탠드, 7107: 표시부, 7109: 조작 키, 7110: 리모콘 조작기, 7201: 본체, 7202: 하우징, 7203: 표시부,

7204: 키보드, 7205: 외부 접속 포트, 7206: 포인팅 디바이스, 7210: 제2 표시부, 7301: 하우징, 7302: 하우징, 7303: 연결부, 7304: 표시부, 7305: 표시부, 7306: 스피커부, 7307: 기록 매체 삽입부, 7308: LED 램프, 7309: 조작 키, 7310: 연결 단자, 7311: 센서, 7400: 휴대 전화기, 7401: 하우징, 7402: 표시부, 7403: 조작 버튼, 7404: 외부 접속 포트, 7405: 스피커, 7406: 마이크로폰, 9033: 잠금쇠, 9034: 스위치, 9035: 전원 스위치, 9036: 스위치, 9038: 조작 스위치, 9630: 하우징, 9631: 표시부, 9631a: 표시부, 9631b: 표시부, 9632a: 터치스크린 영역, 9632b: 터치스크린 영역, 9633: 태양 전지, 9634: 충방전 제어 회로, 9635: 배터리, 9636: DC-DC 컨버터, 9637: 조작 키, 9638: 컨버터, 및 9639: 버튼.

본 출원은, 2012년 4월 20일에 일본 특허청에 출원된 일본 특허 출원 일련 번호 2012-096808, 및 2013년 3월 15일에 일본 특허청에 출원된 일본 특허 출원 일련 번호 2013-052791에 기초한 것이며, 이들 출원의 전문이 본원에 참조로 포함된다.

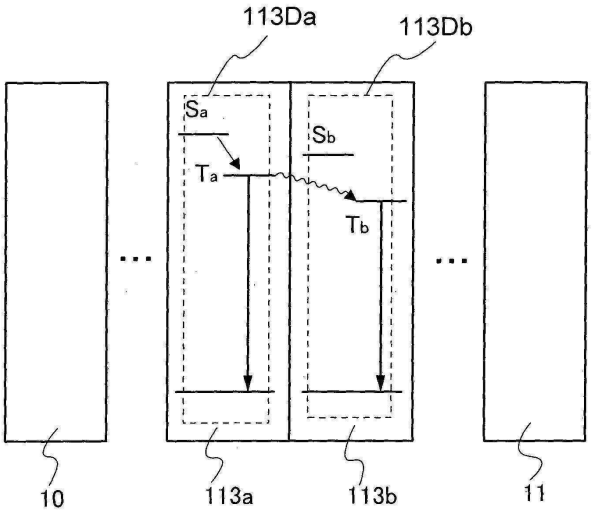
도면

도면1

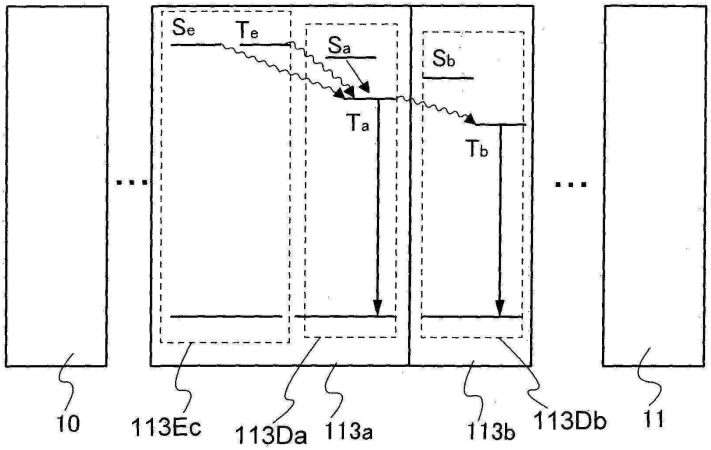


도면2

(A)

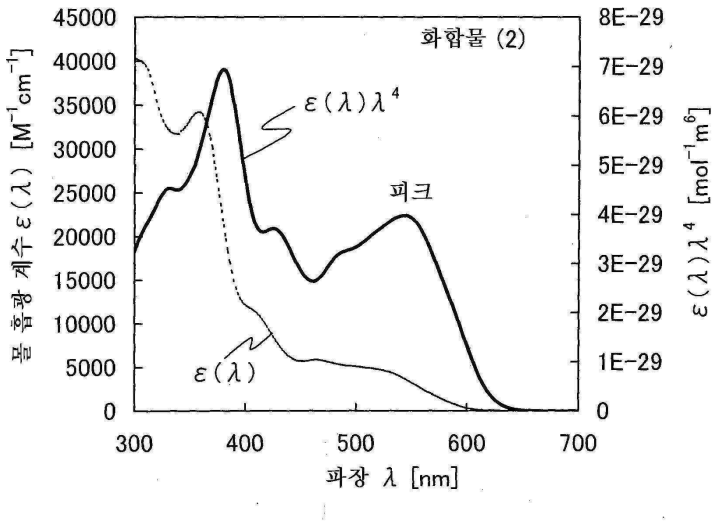

113Da
113Db
Sa
Sb
Ta
Tb
10
113a
113b
11

(B)

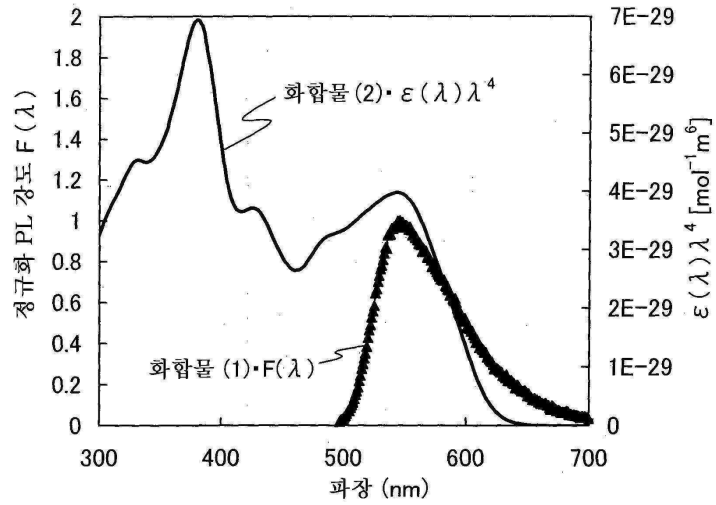

Se
Te
Sa
Sb
Ta
Tb
10
113Ec
113Da
113a
113b
113Db
11

도면3

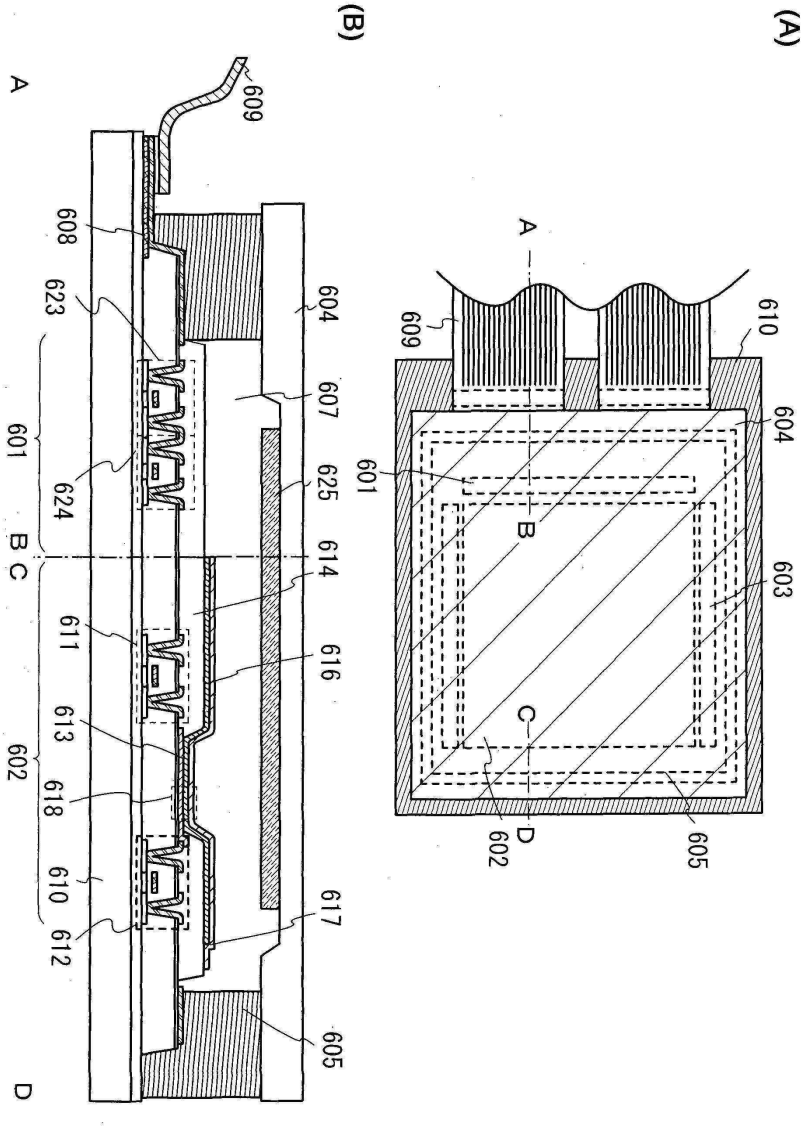
(A)


화합물 (2)
ε(λ)λ⁴
피크
ε(λ)
몰 흡광 계수 ε(λ) [M⁻¹cm⁻¹]
ε(λ)λ⁴ [mol⁻¹m⁶]
파장 λ [nm]
45000
40000
35000
30000
25000
20000
15000
10000
5000
0
8E-29
7E-29
6E-29
5E-29
4E-29
3E-29
2E-29
1E-29
0
300
400
500
600
700

(B)

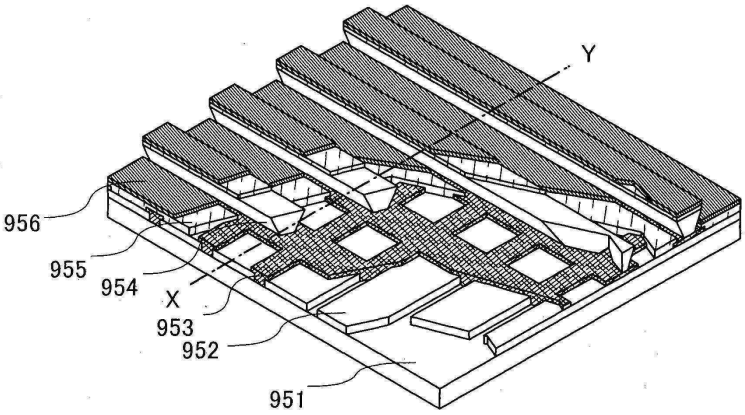

화합물 (2)· ε(λ)λ⁴
화합물 (1)·F(λ)
정규화 PL 강도 F(λ)
ε(λ)λ⁴ [mol⁻¹m⁶]
파장 (nm)
2
1.8
1.6
1.4
1.2
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
7E-29
6E-29
5E-29
4E-29
3E-29
2E-29
1E-29
0
300
400
500
600
700

도면4

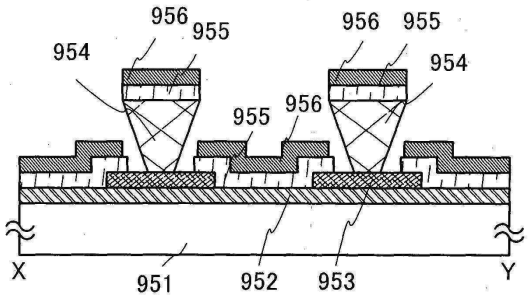

(A)
(B)
A
B
C
D
609
610
604
601
603
602
605
608
623
607
625
624
614
611
616
613
618
617
612

도면5

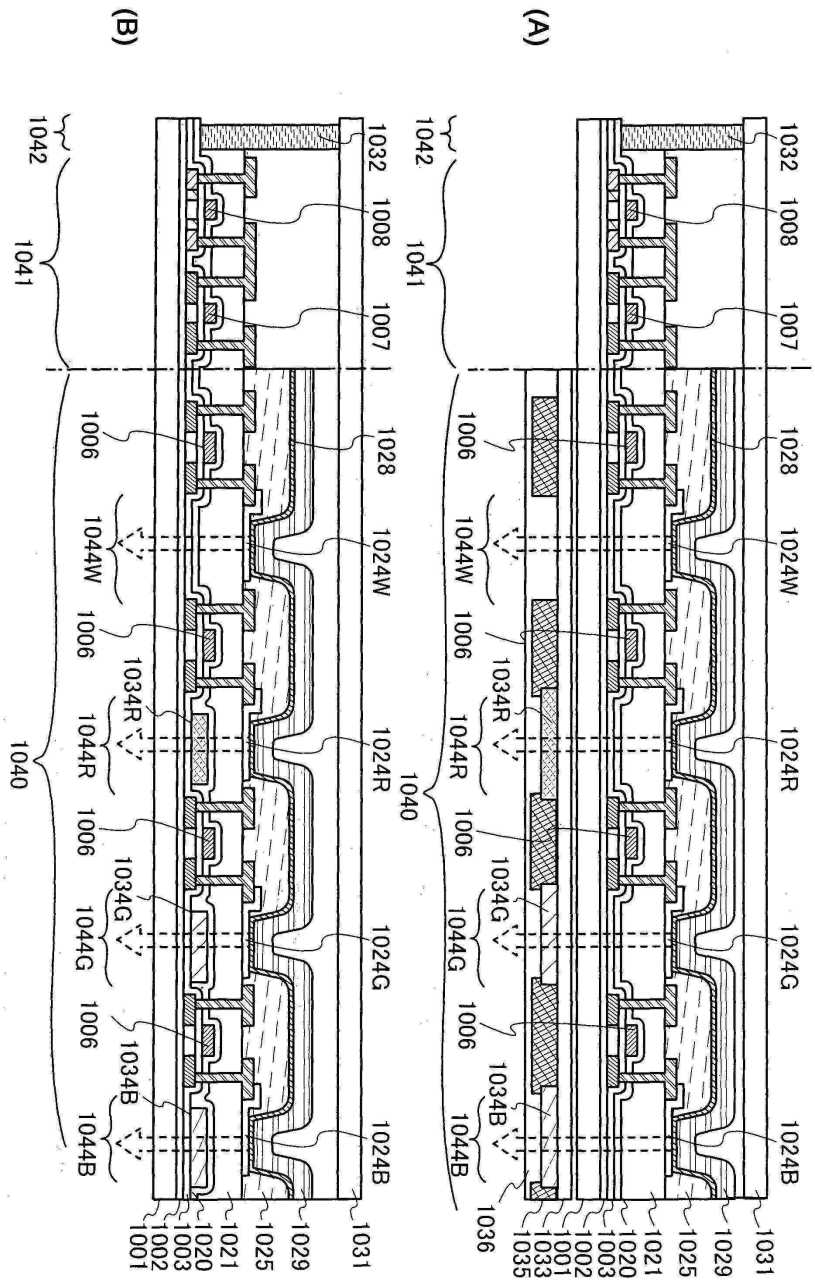
(A)


Y
956
955
954
X
953
952
951

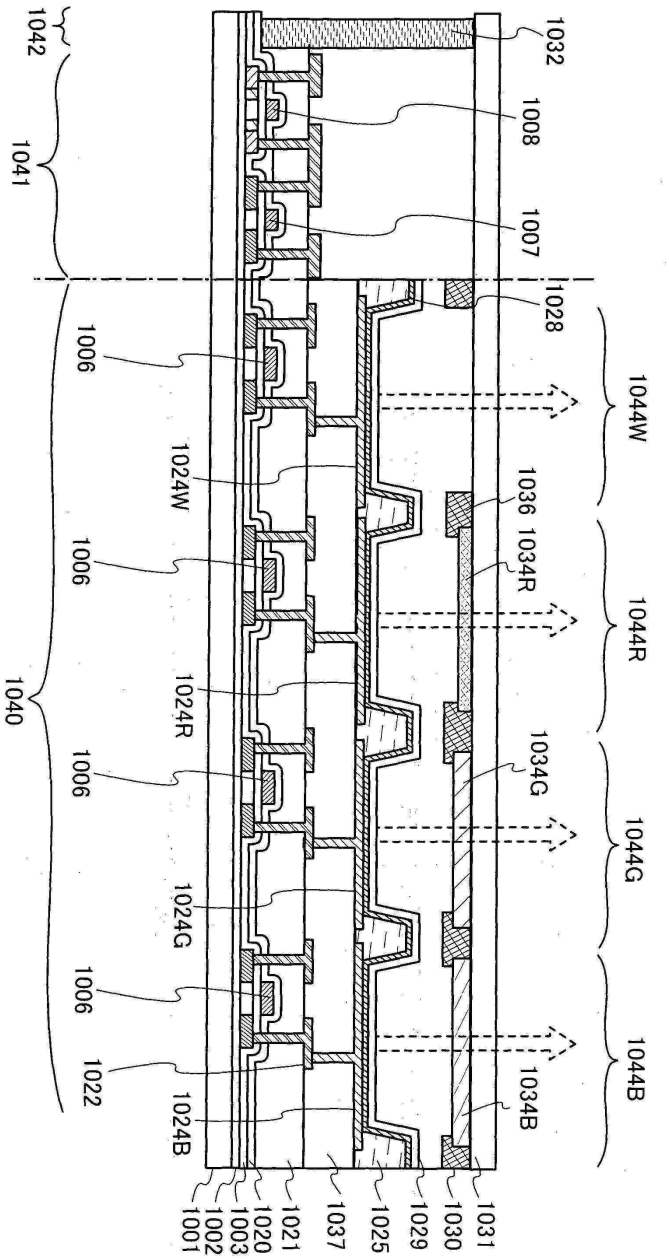
(B)


956
955
954
956
955
954
955
956
X
951
952
953
Y

도면6

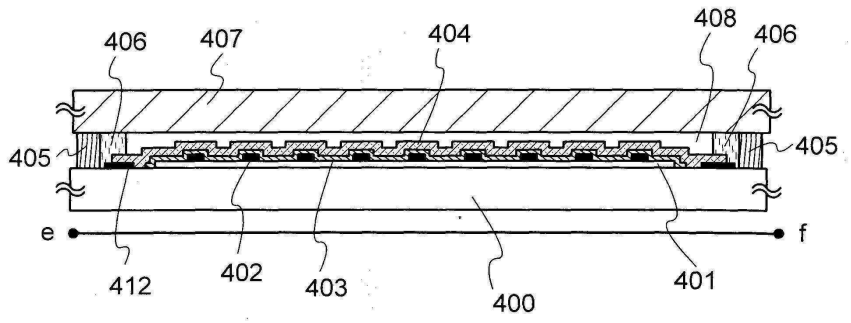

(A)
(B)
1042
1041
1040
1032
1008
1007
1006
1028
1024W
1044W
1034R
1024R
1044R
1034G
1024G
1044G
1034B
1024B
1044B
1036
1035
1033
1001
1002
1003
1020
1021
1025
1029
1031

도면7

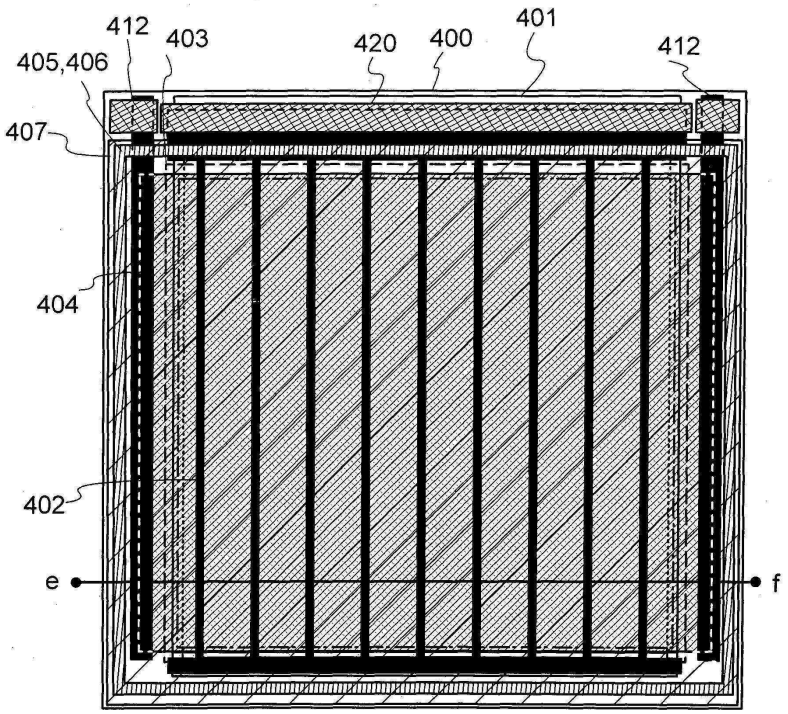

1042
1041
1040
1032
1008
1007
1028
1006
1024W
1006
1024R
1006
1024G
1006
1022
1024B
1044W
1036
1034R
1044R
1034G
1044G
1034B
1044B
1001
1002
1003
1020
1021
1037
1025
1029
1030
1031

도면8

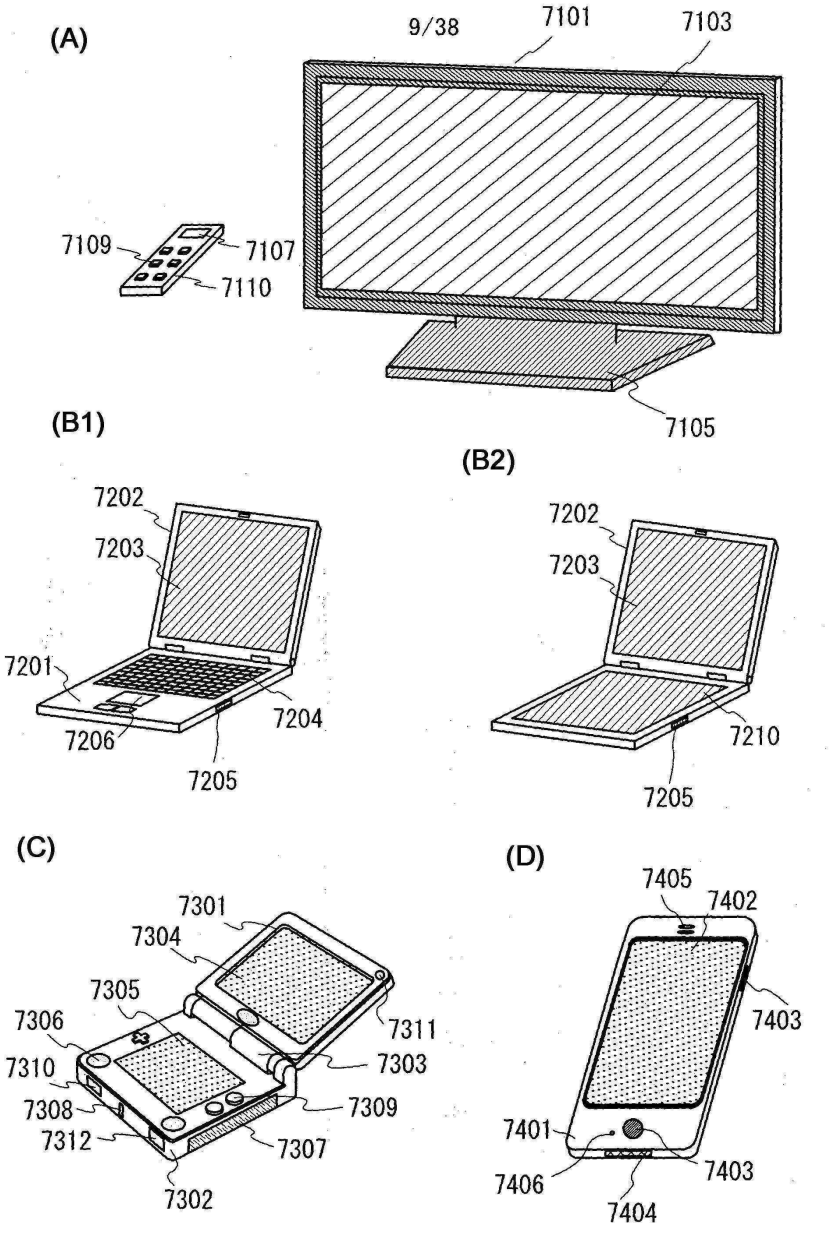
(A)


406
407
404
408
406
405
405
e
f
412
402
403
400
401

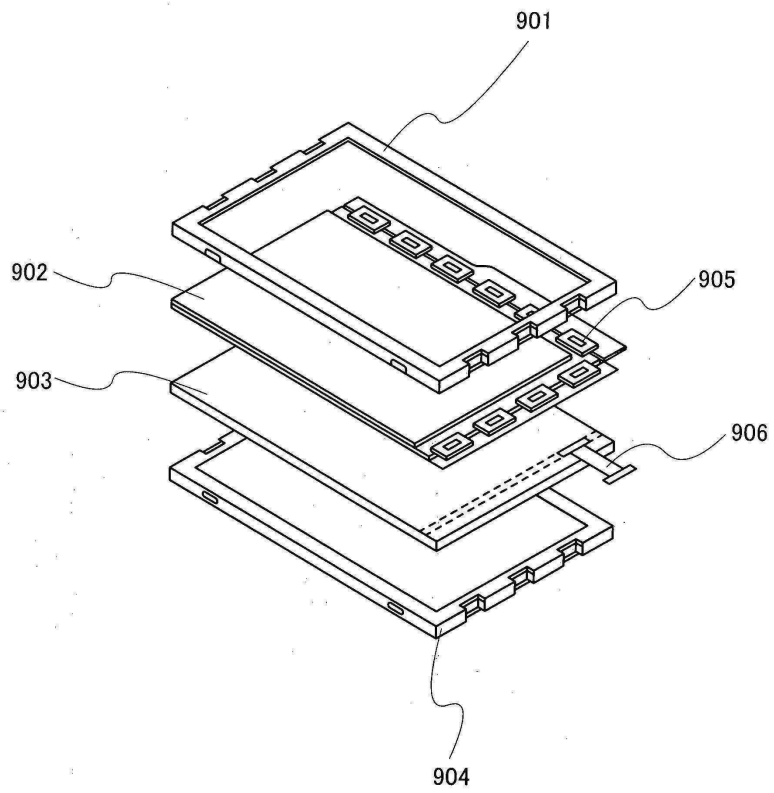
(B)


412
403
420
400
401
412
405,406
407
404
402
e
f

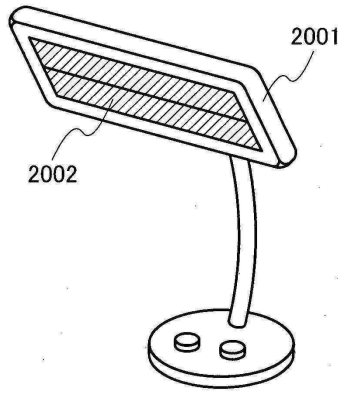
도면9


(A)
9/38
7101
7103
7109
7107
7110
7105
(B1)
7202
7203
7201
7204
7206
7205
(B2)
7202
7203
7210
7205
(C)
7301
7304
7305
7306
7311
7310
7303
7308
7309
7312
7307
7302
(D)
7405
7402
7403
7401
7403
7406
7404

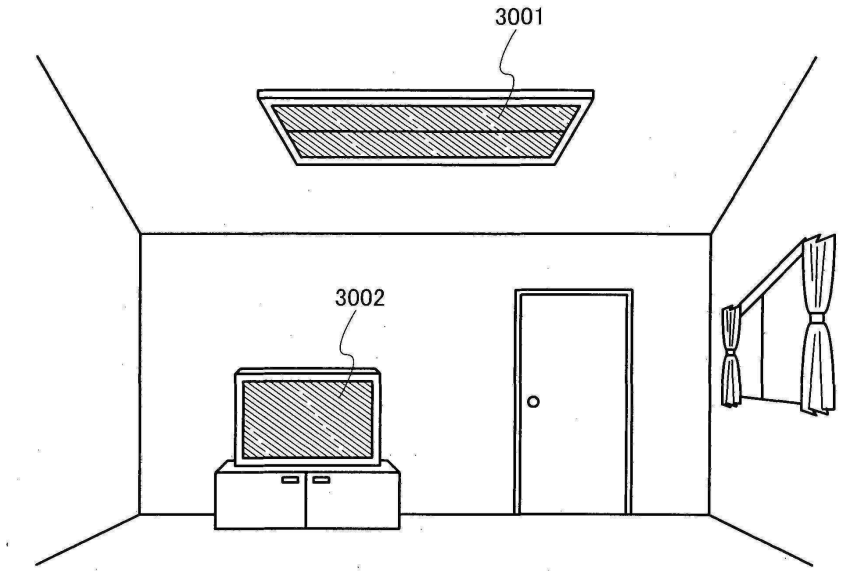
도면10



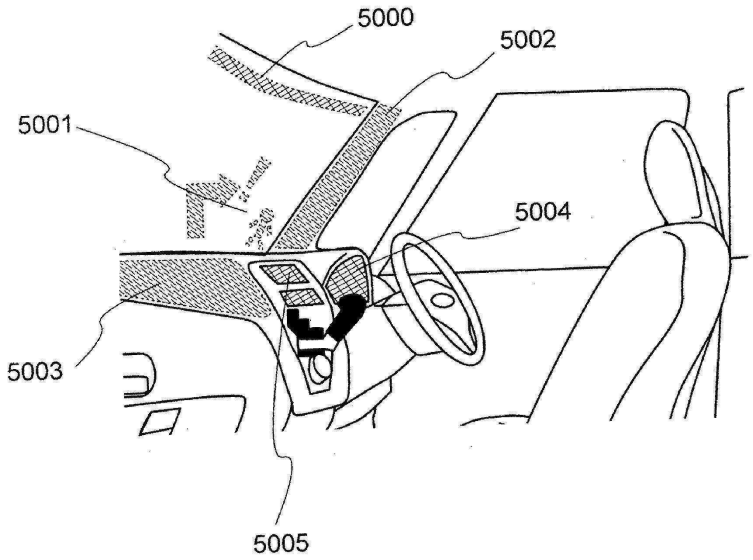
도면11



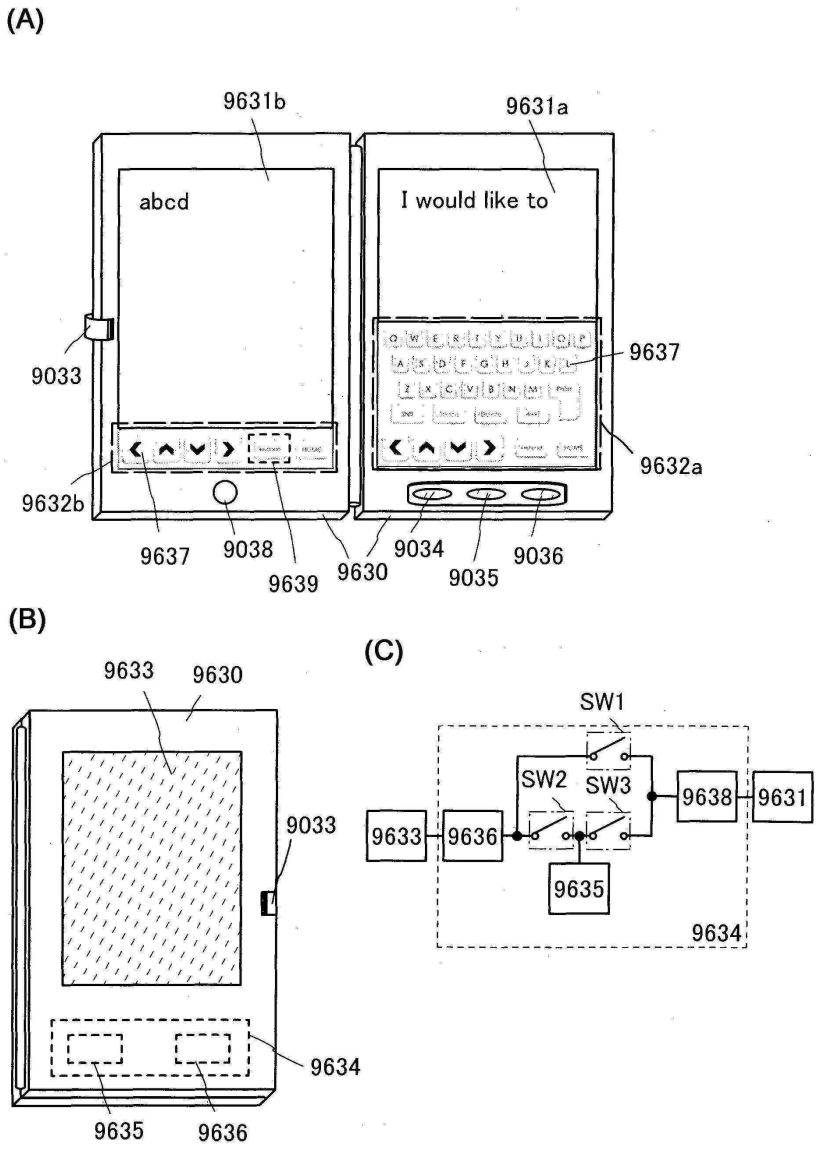
도면12



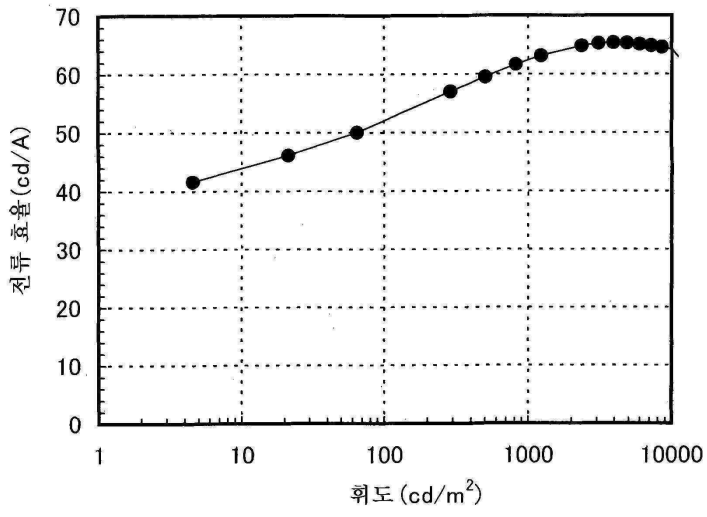
도면13



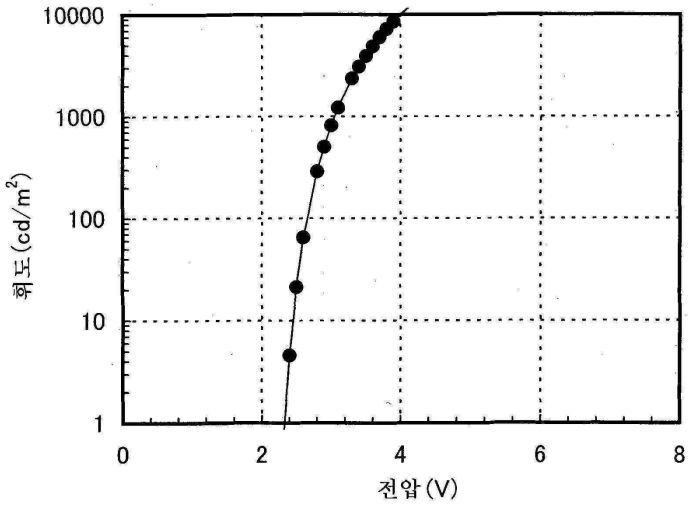
도면14


(A)
9631b
9631a
abcd
I would like to
9033
9637
9632a
9632b
9637
9038
9639
9630
9034
9035
9036
(B)
9633
9630
9033
9634
9635
9636
(C)
SW1
SW2
SW3
9638
9631
9633
9636
9635
9634

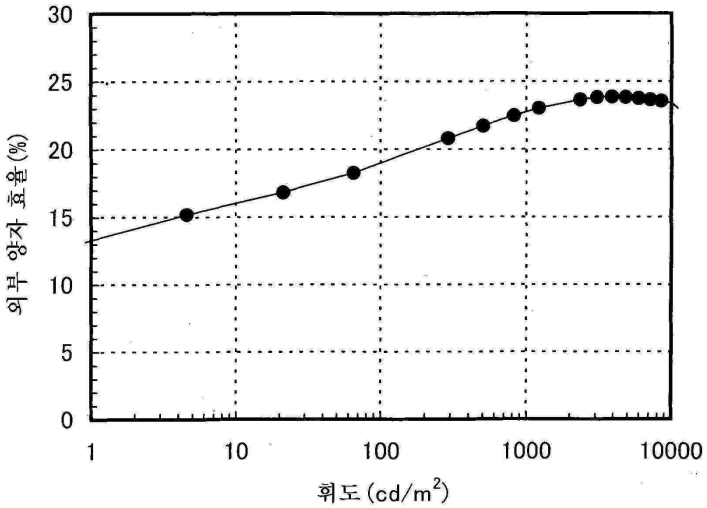
도면15


70
60
50
40
30
20
10
0
전류 효율(cd/A)
1
10
100
1000
10000
휘도 (cd/m²)

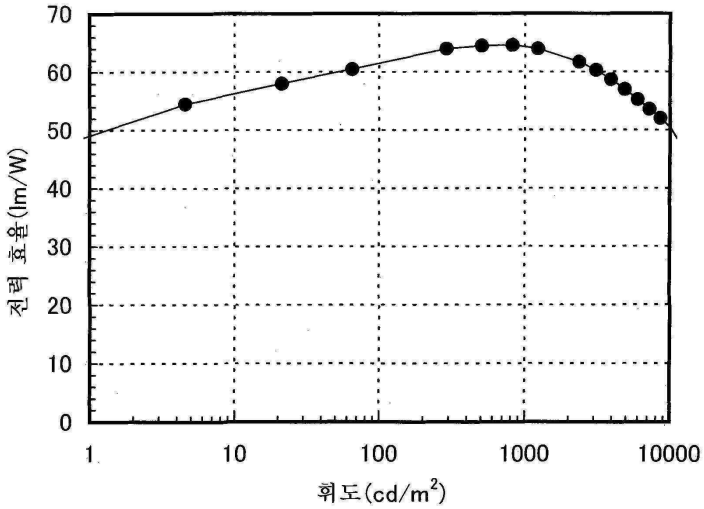
도면16



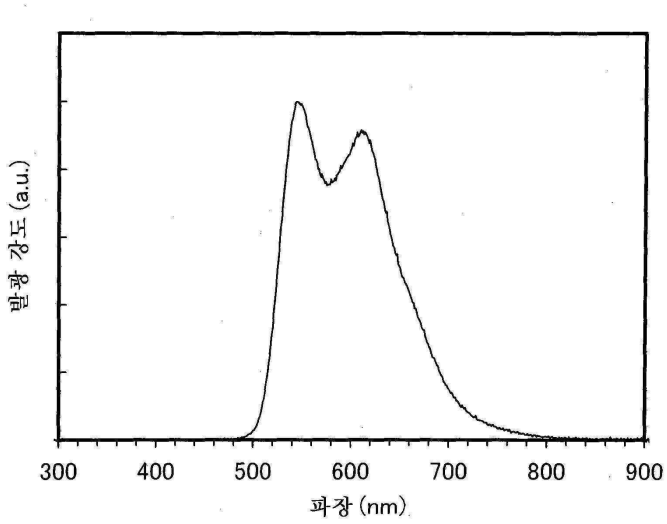
도면17



도면18

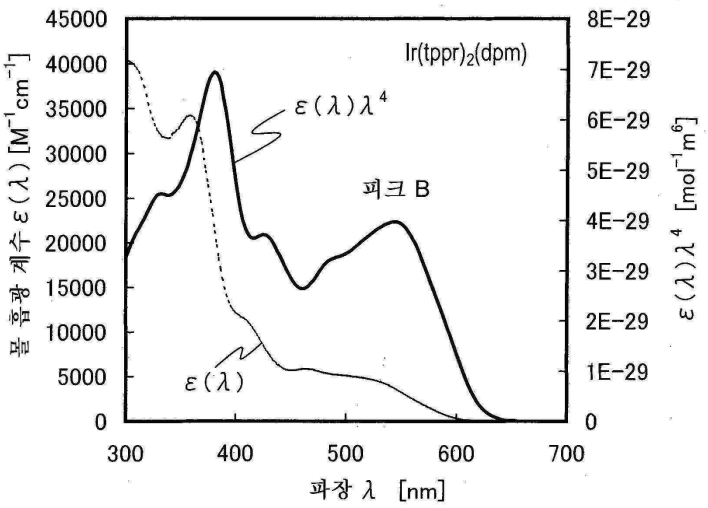


도면19

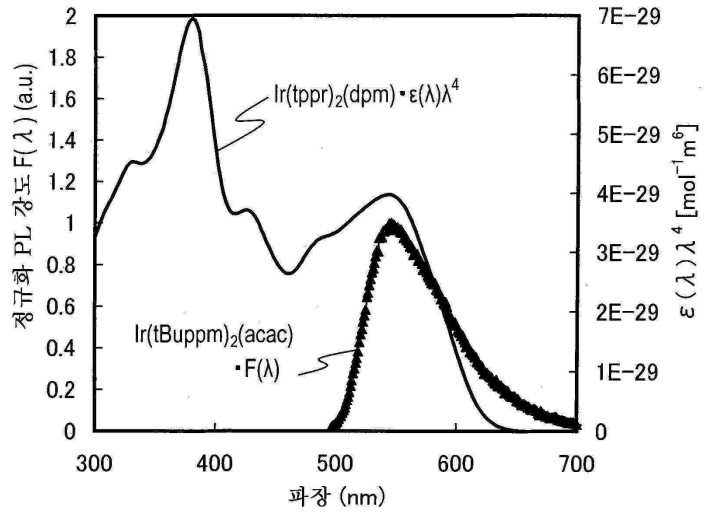


도면20

(A)

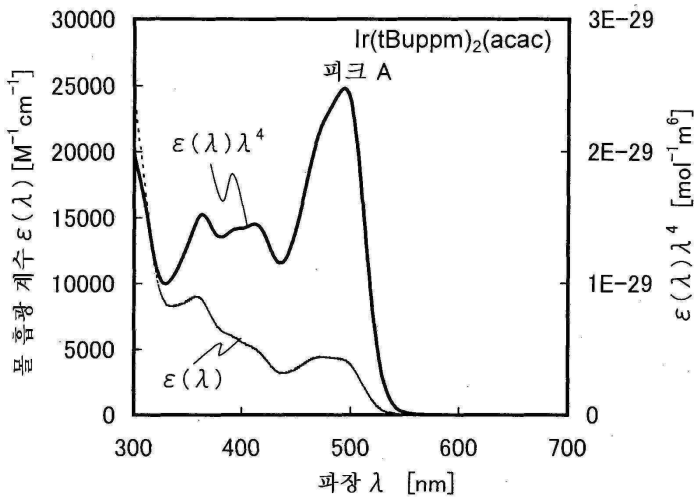

Ir(tppr)2(dpm)
ε(λ)λ4
피크 B
ε(λ)
몰 흡광 계수 ε(λ) [M-1cm-1]
ε(λ)λ4 [mol-1m6]
파장 λ [nm]

(B)

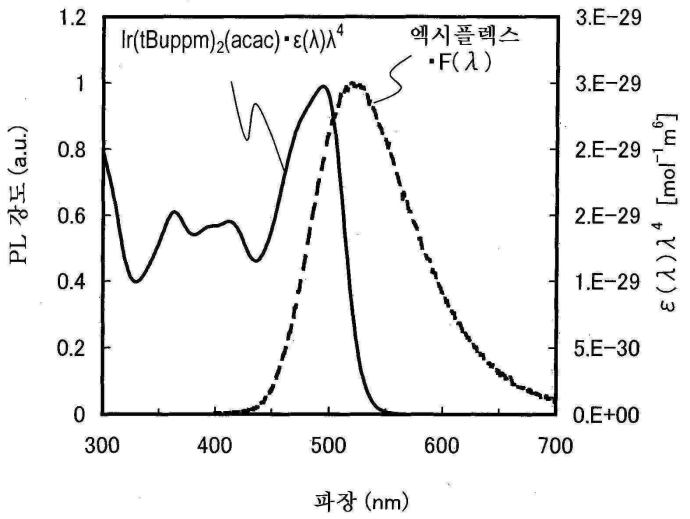

Ir(tppr)2(dpm)·ε(λ)λ4
Ir(tBuppm)2(acac)
·F(λ)
정규화 PL 강도 F(λ) (a.u.)
ε(λ)λ4 [mol-1m6]
파장 (nm)

도면21

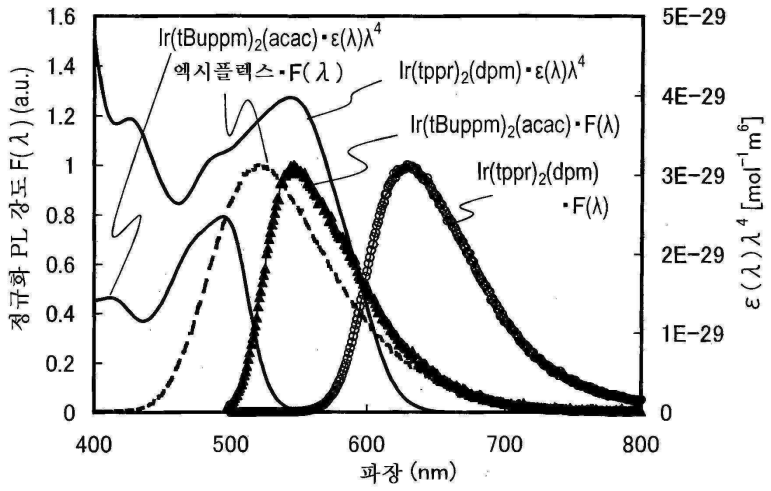
(A)


Ir(tBuppm)2(acac)
피크 A
ε(λ)λ4
ε(λ)
몰 흡광 계수 ε(λ) [M-1cm-1]
ε(λ)λ4 [mol-1m6]
30000
25000
20000
15000
10000
5000
0
3E-29
2E-29
1E-29
0
300
400
500
600
700
파장 λ [nm]

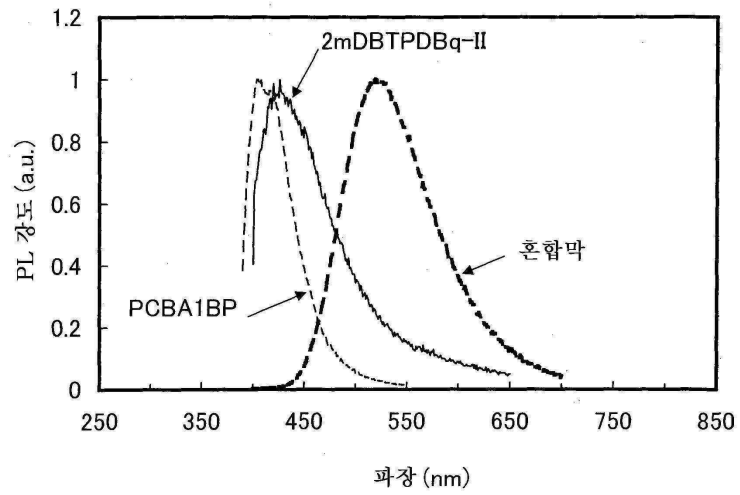
(B)


Ir(tBuppm)2(acac)·ε(λ)λ4
엑시플렉스
·F(λ)
PL 강도 (a.u.)
ε(λ)λ4 [mol-1m6]
1.2
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
3.E-29
3.E-29
2.E-29
2.E-29
1.E-29
5.E-30
0.E+00
300
400
500
600
700
파장 (nm)

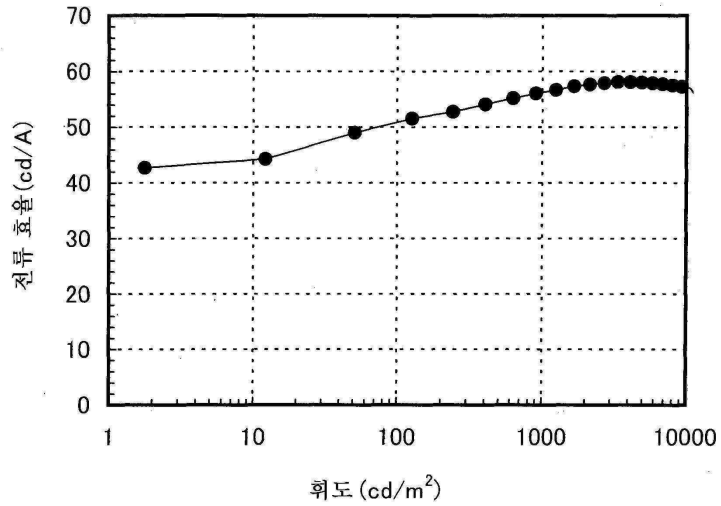
도면22



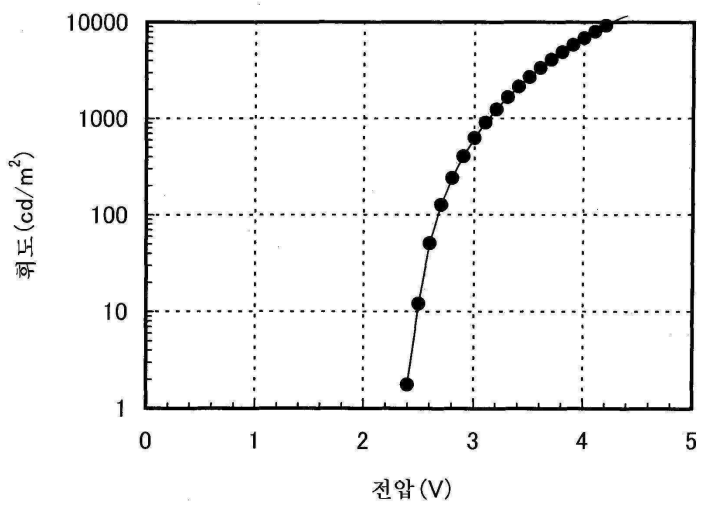
도면23



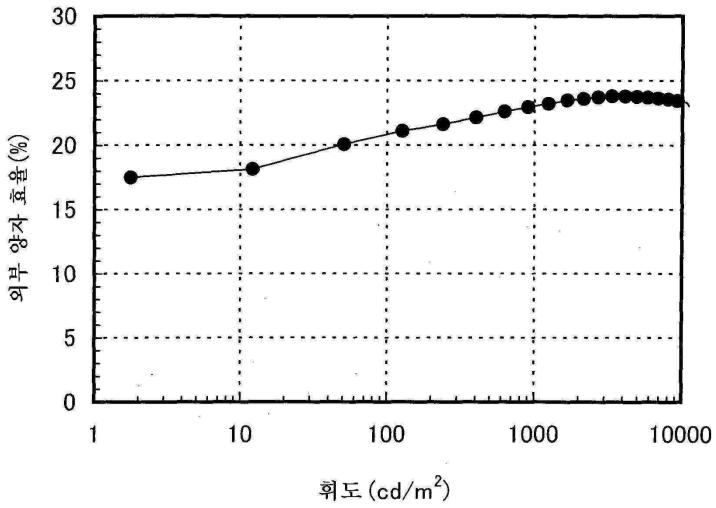
도면24



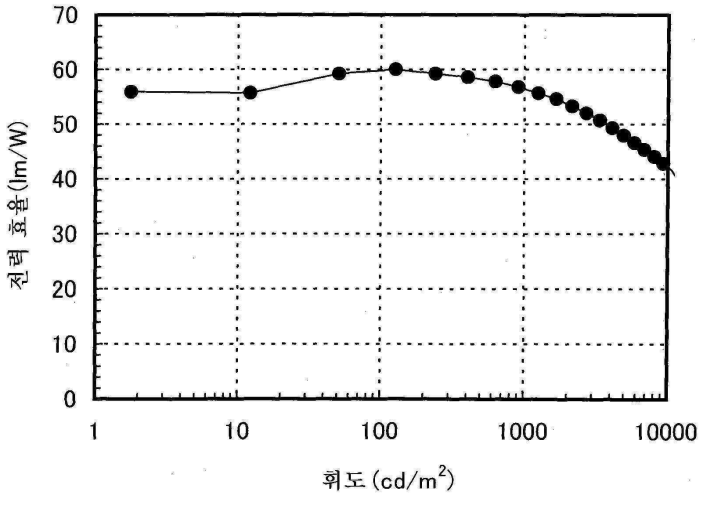
도면25



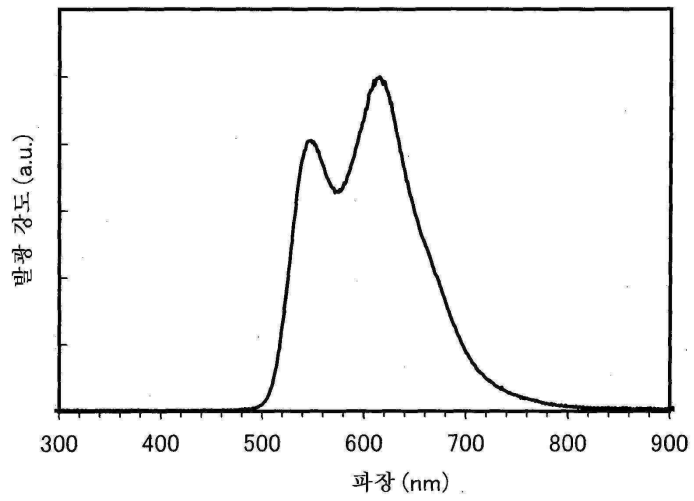
도면26



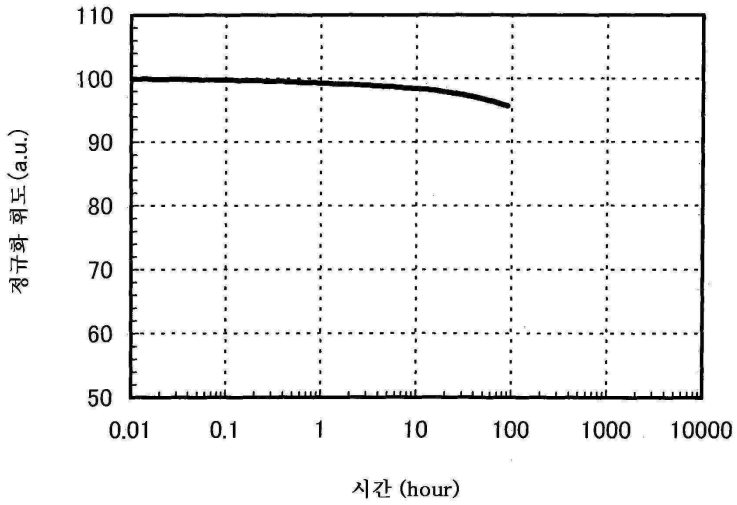
도면27



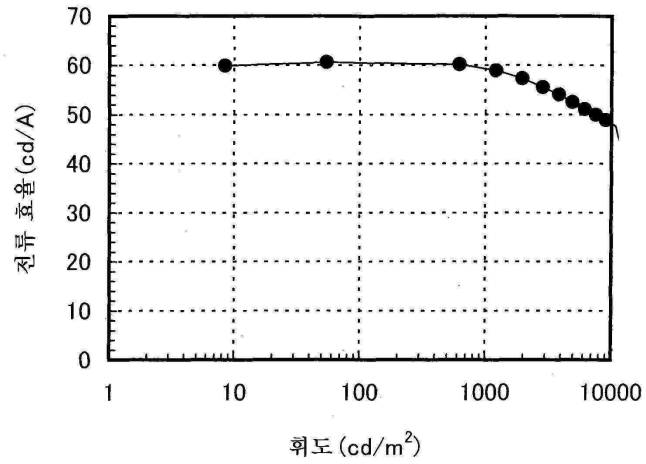
도면28



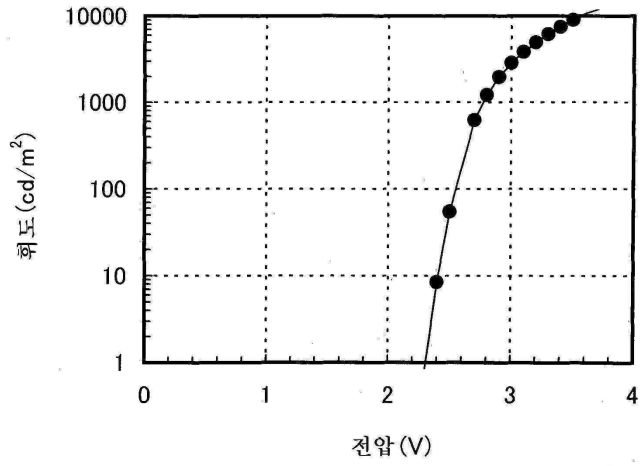
도면29



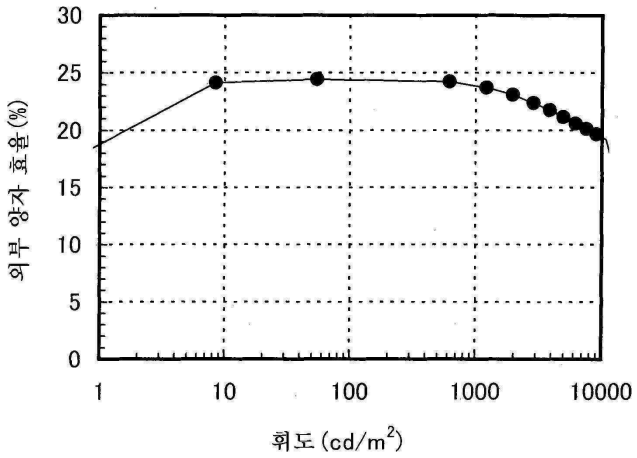
도면30



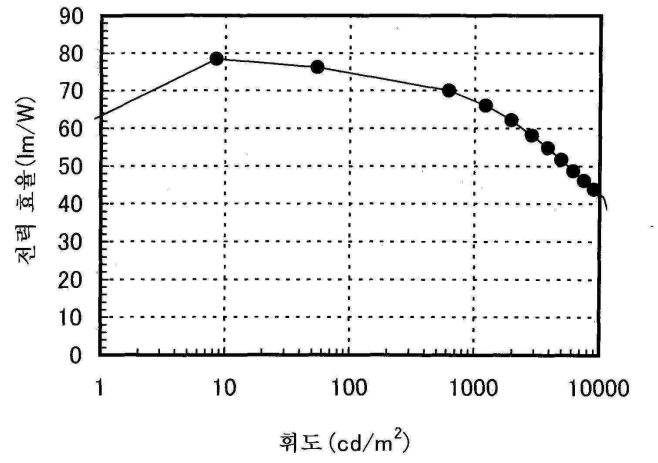
도면31



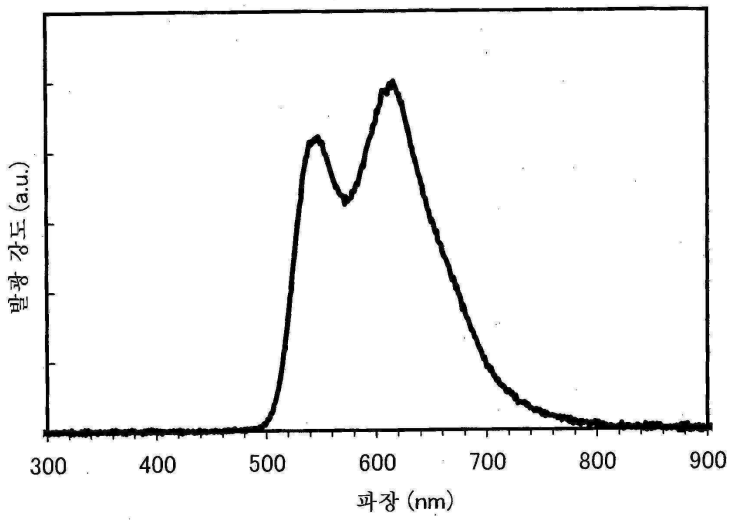
도면32



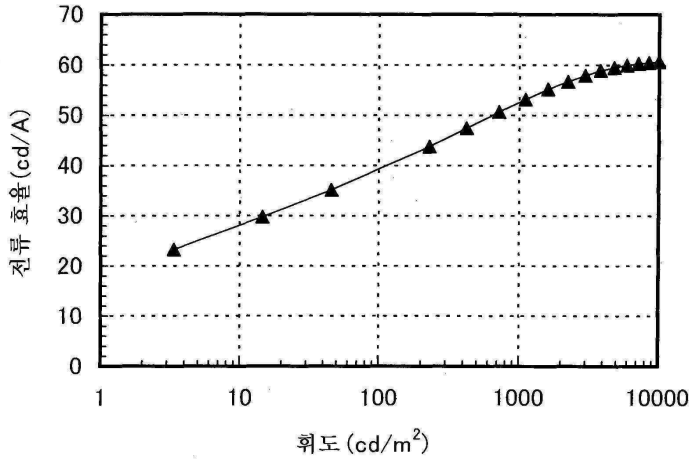
도면33



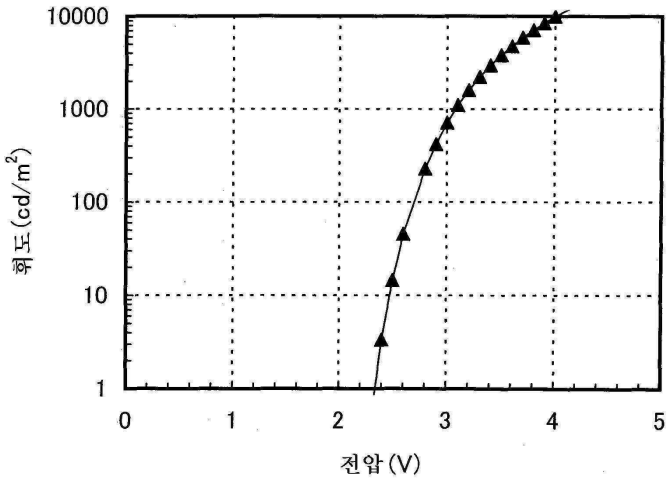
도면34



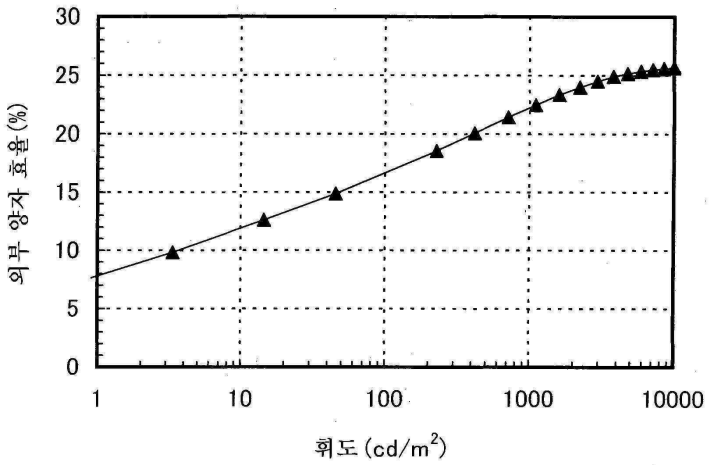
도면35



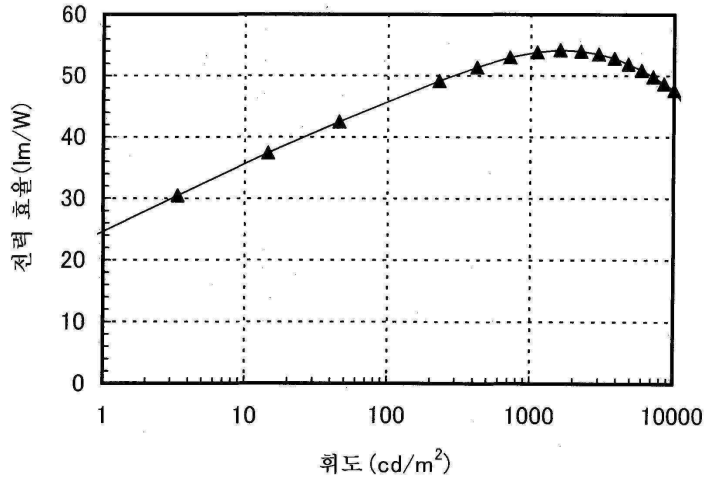
도면36



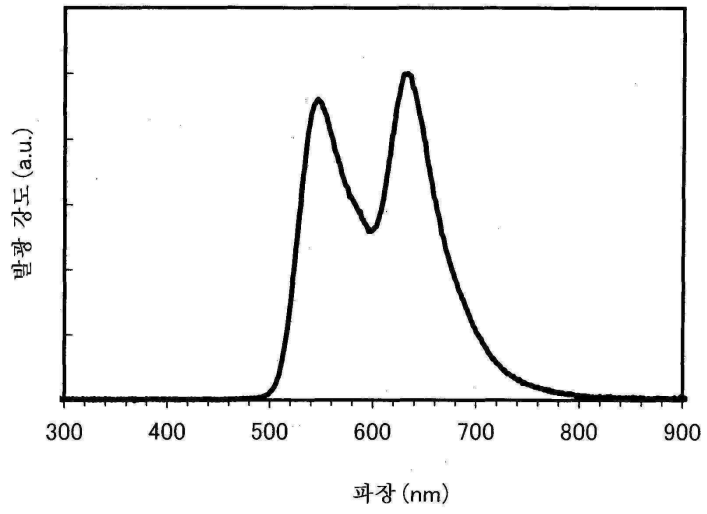
도면37



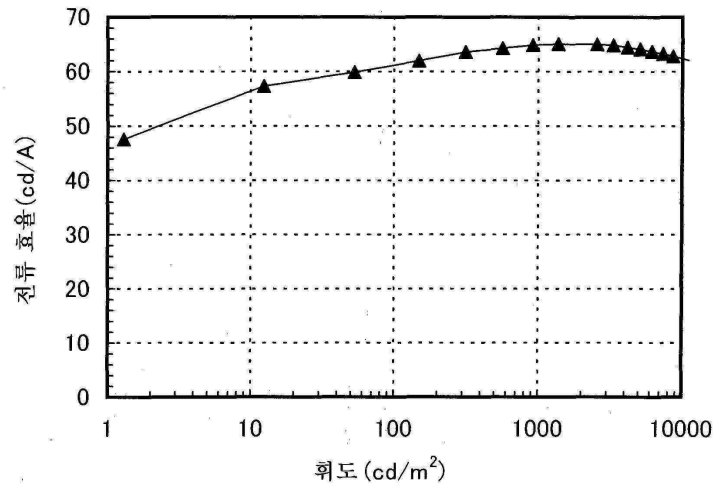
도면38



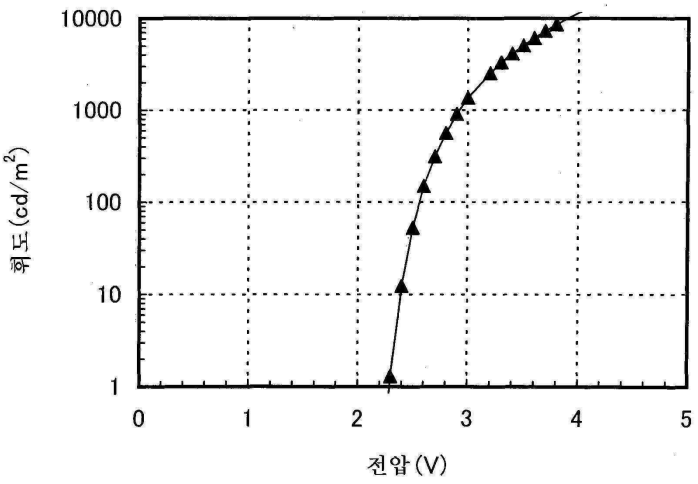
도면39



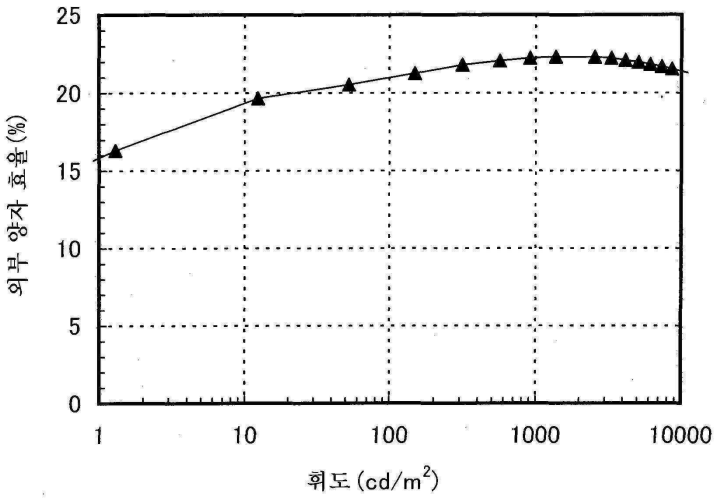
도면40



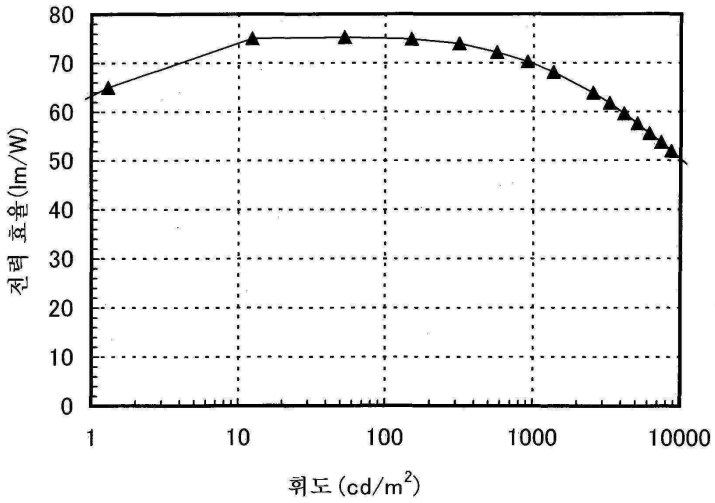
도면41



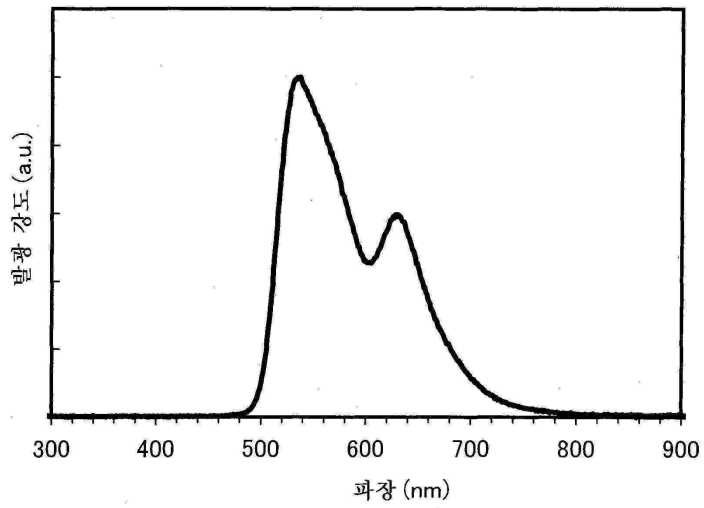
도면42



도면43

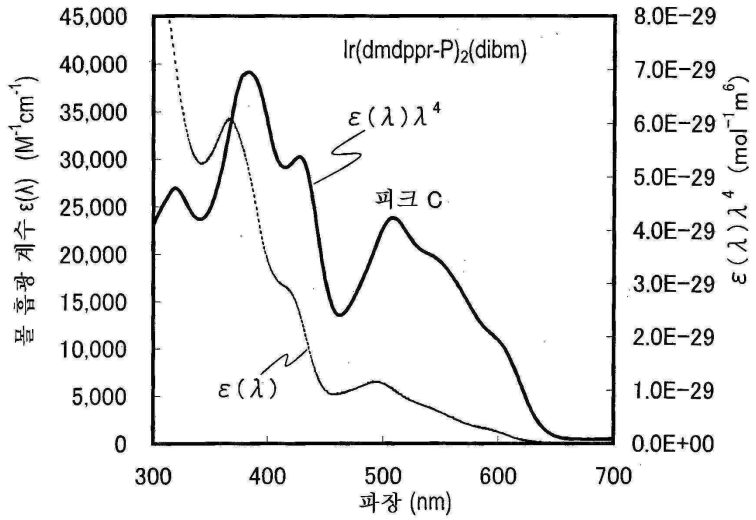

80
70
60
50
40
30
20
10
0
전력 효율 (lm/W)
1
10
100
1000
10000
휘도 (cd/m2)

도면44

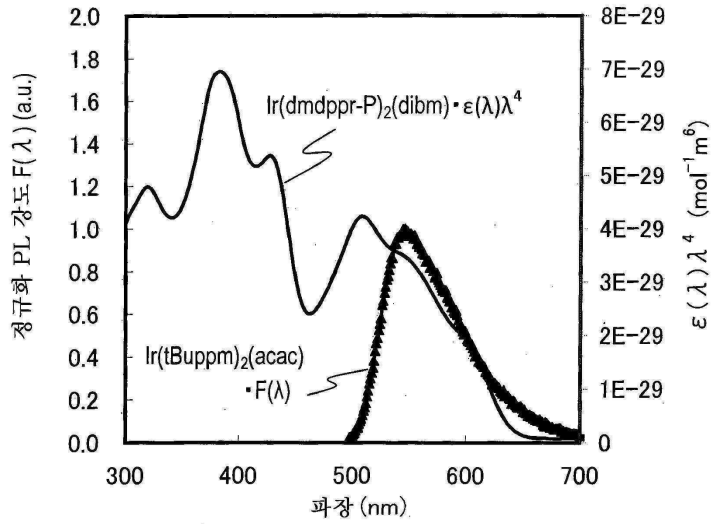

발광 강도 (a.u.)
300
400
500
600
700
800
900
파장 (nm)

도면45

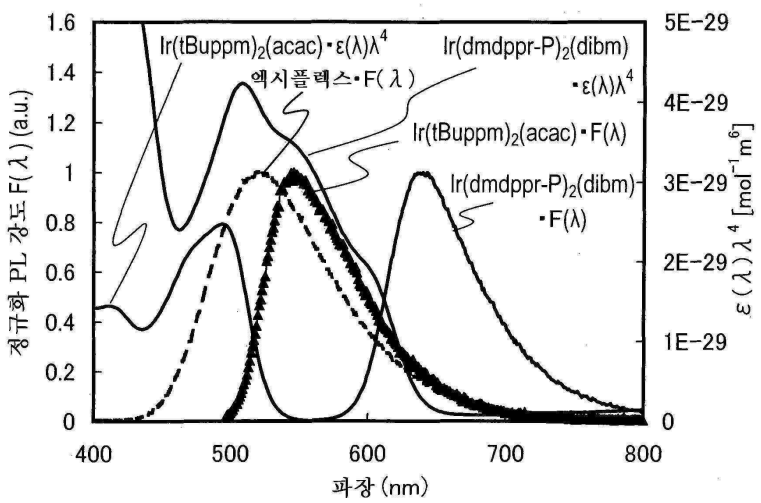
(A)


Ir(dmdppr-P)2(dibm)
ε(λ)λ4
피크 C
ε(λ)
몰 흡광 계수 ε(λ) (M-1cm-1)
ε(λ)λ4 (mol-1m6)
45,000
40,000
35,000
30,000
25,000
20,000
15,000
10,000
5,000
0
8.0E-29
7.0E-29
6.0E-29
5.0E-29
4.0E-29
3.0E-29
2.0E-29
1.0E-29
0.0E+00
300
400
500
600
700
파장 (nm)

(B)

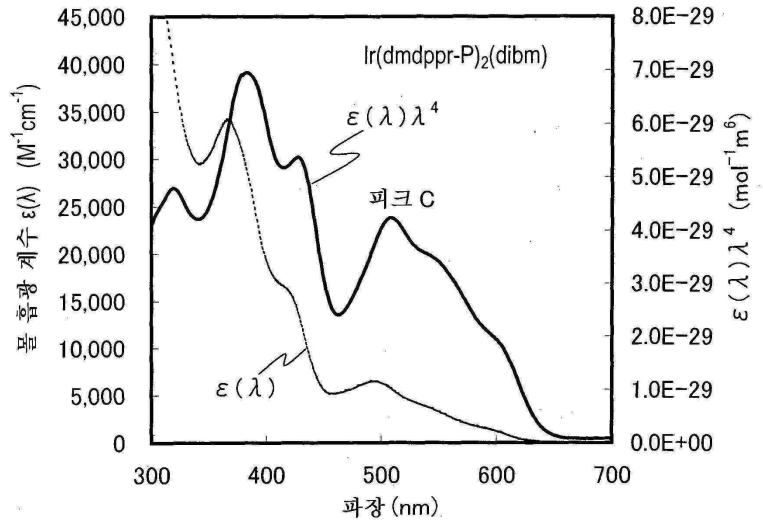

Ir(dmdppr-P)2(dibm)·ε(λ)λ4
Ir(tBuppm)2(acac)
·F(λ)
정규화 PL 강도 F(λ) (a.u.)
ε(λ)λ4 (mol-1m6)
2.0
1.8
1.6
1.4
1.2
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
8E-29
7E-29
6E-29
5E-29
4E-29
3E-29
2E-29
1E-29
0
300
400
500
600
700
파장 (nm)

도면46

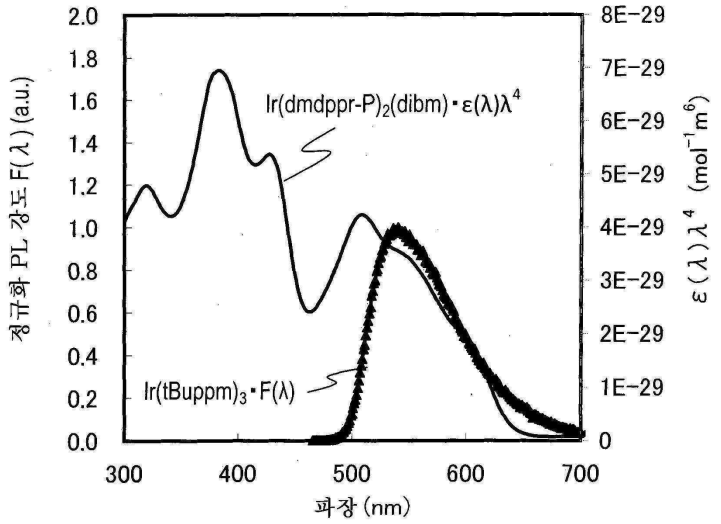

1.6
1.4
1.2
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
정규화 PL 강도 F(λ) (a.u.)
400
500
600
700
800
파장 (nm)
5E-29
4E-29
3E-29
2E-29
1E-29
0
ε(λ)λ⁴ [mol⁻¹m⁶]
Ir(tBuppm)2(acac)·ε(λ)λ4
엑시플렉스·F(λ)
Ir(dmdppr-P)2(dibm)
·ε(λ)λ4
Ir(tBuppm)2(acac)·F(λ)
Ir(dmdppr-P)2(dibm)
·F(λ)

도면47

(A)

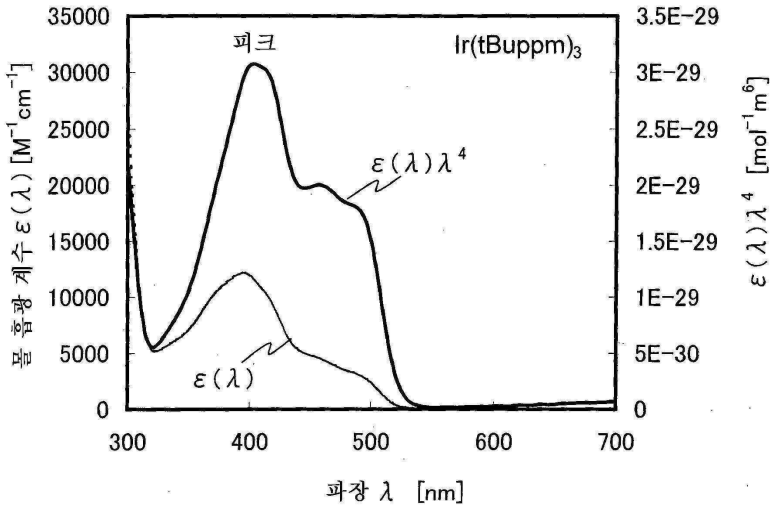

Ir(dmdppr-P)2(dibm)
ε(λ)λ4
피크 C
ε(λ)
몰 흡광 계수 ε(λ) (M-1cm-1)
ε(λ)λ4 (mol-1m6)
45,000
40,000
35,000
30,000
25,000
20,000
15,000
10,000
5,000
0
8.0E-29
7.0E-29
6.0E-29
5.0E-29
4.0E-29
3.0E-29
2.0E-29
1.0E-29
0.0E+00
300
400
500
600
700
파장 (nm)

(B)

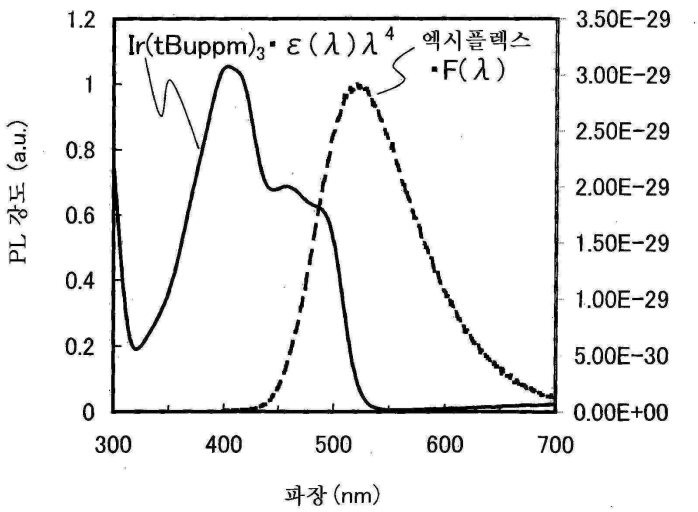

Ir(dmdppr-P)2(dibm)·ε(λ)λ4
Ir(tBuppm)3·F(λ)
정규화 PL 강도 F(λ) (a.u.)
ε(λ)λ4 (mol-1m6)
2.0
1.8
1.6
1.4
1.2
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
8E-29
7E-29
6E-29
5E-29
4E-29
3E-29
2E-29
1E-29
0
300
400
500
600
700
파장 (nm)

도면48

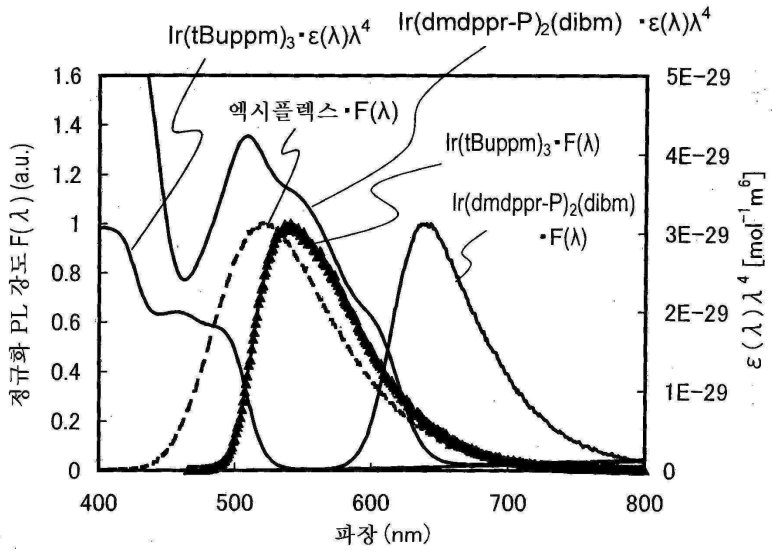
(A)


35000
30000
25000
20000
15000
10000
5000
0
몰 흡광 계수 ε(λ) [M-1cm-1]
피크
Ir(tBuppm)3
ε(λ)λ4
ε(λ)
3.5E-29
3E-29
2.5E-29
2E-29
1.5E-29
1E-29
5E-30
0
ε(λ)λ4 [mol-1m6]
300
400
500
600
700
파장 λ [nm]

(B)


1.2
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
PL 강도 (a.u.)
Ir(tBuppm)3 · ε(λ)λ4
엑시플렉스
· F(λ)
3.50E-29
3.00E-29
2.50E-29
2.00E-29
1.50E-29
1.00E-29
5.00E-30
0.00E+00
300
400
500
600
700
파장 (nm)

도면49


Ir(tBuppm)3·ε(λ)λ4
Ir(dmdppr-P)2(dibm) ·ε(λ)λ4
엑시플렉스·F(λ)
Ir(tBuppm)3·F(λ)
Ir(dmdppr-P)2(dibm)
·F(λ)
정규화 PL 강도 F(λ) (a.u.)
ε(λ)λ4 [mol-1m6]
파장 (nm)
1.6
1.4
1.2
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
5E-29
4E-29
3E-29
2E-29
1E-29
0
400
500
600
700
800