



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2025-0026895
(43) 공개일자 2025년02월25일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H10K 85/60 (2023.01) H10K 101/30 (2023.01)
H10K 50/11 (2023.01) H10K 50/13 (2023.01)
H10K 85/30 (2023.01)
- (52) CPC특허분류
H10K 85/631 (2023.02)
H10K 50/11 (2023.02)
- (21) 출원번호 10-2025-7005328(분할)
- (22) 출원일자(국제) 2012년02월06일
심사청구일자 없음
- (62) 원출원 특허 10-2021-7038585
원출원일자(국제) 2012년02월06일
심사청구일자 2021년12월24일
- (85) 번역문제출일자 2025년02월19일
- (86) 국제출원번호 PCT/JP2012/053200
- (87) 국제공개번호 WO 2012/111579
국제공개일자 2012년08월23일
- (30) 우선권주장
JP-P-2011-031462 2011년02월16일 일본(JP)

- (71) 출원인
가부시키가이샤 한도오따이 에네루기 켄큐쇼
일본국 가나가와켄 아쓰기시 하세 398
- (72) 발명자
시타가키 사토코
일본 243-0036 가나가와켄 아쓰기시 하세 398 가부시키가이샤 한도오따이 에네루기 켄큐쇼 내
세오 사토시
일본 243-0036 가나가와켄 아쓰기시 하세 398 가부시키가이샤 한도오따이 에네루기 켄큐쇼 내
(뒷면에 계속)
- (74) 대리인
김진희, 김태홍

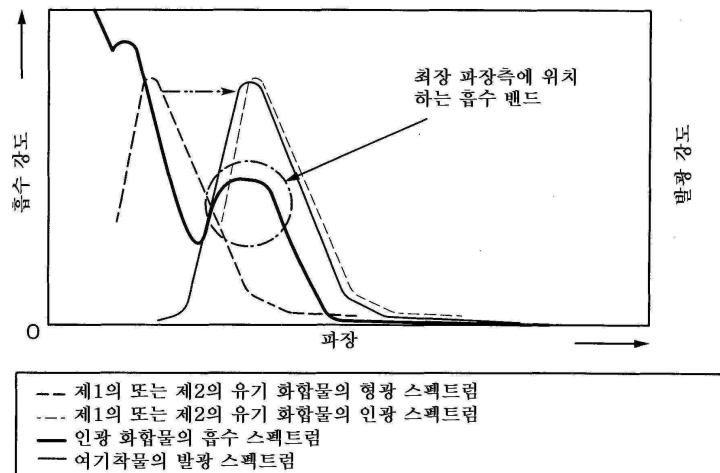
전체 청구항 수 : 총 1 항

(54) 발명의 명칭 **발광 엘리먼트**

(57) 요약

본 발명은 외부 양자 효율이 높은 발광 엘리먼트에 관한 것이다. 또한, 본 발명은 수명이 긴 발광 엘리먼트에 관한 것이다. 한쌍의 전극 사이에 인광 화합물, 제1의 유기 화합물 및 제2의 유기 화합물을 함유하는 발광층을 포함하는 발광 엘리먼트가 제공되며, 제1의 유기 화합물 및 제2의 유기 화합물의 조합은 여기착물(여기된 착물)을 형성한다. 발광 엘리먼트는 여기착물의 발광 스펙트럼과 인광 화합물의 흡수 스펙트럼 사이의 중첩을 이용하여 에너지를 이동시켜 에너지 이동 효율이 높다. 그러므로, 외부 양자 효율이 높은 발광 엘리먼트를 얻을 수 있다.

대표도 - 도25



(52) CPC특허분류

H10K 50/13 (2023.02)

H10K 85/342 (2023.02)

H10K 85/6572 (2023.02)

H10K 2101/30 (2023.02)

(72) 발명자

오사와 노부하루

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

이노우에 히데코

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

스즈키 구니히코

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

명세서

청구범위

청구항 1

발광 엘리먼트에 있어서,

한 쌍의 전극; 및

상기 한 쌍의 전극 사이의, 인광 화합물, 제1의 유기 화합물, 및 제2의 유기 화합물을 포함하는 발광층을 포함하며,

상기 제1의 유기 화합물 및 상기 제2의 유기 화합물은 여기착물을 형성하도록 선택되고,

상기 인광 화합물의 흡수 스펙트럼은 제1의 흡수 피크 및 제2의 흡수 피크를 포함하고,

상기 제1의 흡수 피크는 상기 인광 화합물의 흡수 스펙트럼에서의 최장 파장측에 위치하고,

상기 제2의 흡수 피크는 상기 흡수 스펙트럼의 상기 제1의 흡수 피크보다 단파장 측에 위치하고,

상기 제2의 흡수 피크는 상기 제1의 흡수 피크의 다음에 위치하고,

상기 여기착물의 형광 스펙트럼의 피크는 상기 제2의 흡수 피크보다 장파장에 위치하고, 상기 제1의 흡수 피크보다 단파장에 위치하는, 발광 엘리먼트.

발명의 설명

기술분야

[0001] 본 발명은 유기 전계발광(EL) 현상을 사용한 발광 엘리먼트에 관한 것이다(이하, 상기 발광 엘리먼트는 또한 유기 EL 엘리먼트로서 지칭된다).

배경기술

[0002] 유기 EL 엘리먼트의 연구 및 개발이 활발히 이루어지고 있다. 유기 EL 엘리먼트의 기본 구조는 발광성 유기 화합물을 포함하는 층(이하, 또한 발광층으로 지칭함)이 한쌍의 전극의 사이에 개재되어 있다. 유기 EL 엘리먼트는 박형 및 경량화, 입력 신호로의 고속 반응 및, 직류 저 전압 구동의 가능성 등과 같은 특징으로 인하여 차세대 평판 디스플레이 엘리먼트로서 주목받아 왔다. 또한, 그러한 발광 엘리먼트를 사용한 디스플레이는 콘트라스트 및 화질이 우수하며 그리고 시야각이 넓은 특징을 갖는다. 추가로, 유기 EL 엘리먼트는 평광원이므로 액정 디스플레이의 백라이트 및 조명 디바이스의 광원으로 적용하고자 시도하였었다.

[0003] 유기 EL 엘리먼트의 발광 메커니즘은 캐리어-주입형이다. 즉, 전극 사이에 개재된 발광층에 전압 인가에 의하여, 전극으로부터 주입된 전자 및 정공은 재결합되어 발광 물질이 여기되며, 여기 상태가 기저 상태로 이완시 발광된다. 2가지 유형의 여기 상태인 일중항 여기 상태(S^*) 및 삼중항 여기 상태(T^*)가 존재할 수 있다. 발광 엘리먼트에서 여기 상태의 통계적 생성비는 $S^*:T^*=1:3$ 인 것으로 고려된다.

[0004] 일반적으로, 발광 유기 화합물의 기저 상태는 일중항 상태이다. 그러므로, 일중항 여기 상태(S^*)로부터의 발광은 동일한 스핀 다중도 사이의 전자 전이에 의하여 야기되므로 형광으로 지칭된다. 다른 한편으로, 삼중항 여기 상태(T^*)로부터의 발광은 상이한 스핀 다중도 사이에 전자 전이가 발생하는 인광으로 지칭된다. 여기서, 형광을 발광하는 화합물(이하, 형광 화합물로 지칭함)에서 일반적으로 인광은 실온에서 관찰되지 않으며, 형광만이 관찰된다. 따라서, 형광 화합물을 포함하는 발광 엘리먼트에서의 내부 양자 효율(주입된 캐리어에 대한 생성된 광자의 비)의 이론적 한계치는 $S^*:T^*=1:3$ 에 기초하여 25%인 것으로 추정한다.

[0005] 다른 한편으로, 인광을 발광하는 화합물(이하, 인광 화합물로 지칭함)을 사용하는 경우, 이론상 100%의 내부 양자 효율이 달성될 수 있다. 즉, 형광 화합물을 사용하는 것보다 더 높은 발광 효율을 얻을 수 있다. 이러한

이유로, 인광 화합물을 포함하는 발광 엘리먼트는 고 효율의 발광 엘리먼트를 달성하기 위하여 최근 수년간 활발히 개발되어 왔다. 인광 화합물로서, 이리듐 등을 중심 금속으로서 갖는 유기금속 착물은 인광 양자 효율이 높아서 특히 주목받아 왔으며, 예를 들면 중심 금속으로서 이리듐을 갖는 유기금속 착물은 특허 문헌 1에서의 인광 물질로서 개시되어 있다.

- [0006] 상기 기재된 인광 화합물을 사용하여 발광 엘리먼트의 발광층을 형성시 인광 화합물에서의 농도 소광 또는 삼중항-삼중항 소멸로 인한 소광을 억제하기 위하여, 또다른 화합물의 매트릭스 중에서 인광 화합물을 분산시키도록 발광층이 종종 형성된다. 여기서, 매트릭스로서 기능하는 화합물은 호스트 물질로 지칭하며, 인광 화합물 등과 같은 매트릭스에 분산된 화합물은 게스트 물질로 지칭한다.
- [0007] [선행 기술 문헌]
- [0008] [특허 문헌]
- [0009] [특허 문헌 1] PCT 국제 공보 번호 00/70655

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0010] 그러나, 일반적으로 유기 EL 엘리먼트의 광 추출 효율은 약 20% 내지 30%인 것으로 알려져 있다. 따라서, 반사 전극 및 투명 전극에 의한 광 흡수를 고려하면, 인광 화합물을 포함하는 발광 엘리먼트의 외부 양자 효율의 한계치는 최대 약 25%이다.
- [0011] 본 발명의 하나의 실시형태의 목적은 외부 양자 효율이 높은 발광 엘리먼트를 제공하는 것이다. 본 발명의 하나의 실시형태의 또다른 목적은 수명이 긴 발광 엘리먼트를 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

- [0012] 본 발명의 하나의 실시형태는 인광 화합물, 제1의 유기 화합물 및 제2의 유기 화합물을 포함하는 발광층을 한쌍의 전극 사이에 포함하는 발광 엘리먼트이며, 제1의 유기 화합물 및 제2의 유기 화합물의 조합은 여기착물을 형성한다.
- [0013] 본 발명의 또다른 실시형태는 인광 화합물, 제1의 유기 화합물 및 제2의 유기 화합물을 포함하는 발광층을 한쌍의 전극 사이에 포함하는 발광 엘리먼트이며, 제1의 유기 화합물 및 제2의 유기 화합물의 조합은 여기착물을 형성하며, 여기착물이 인광 화합물에 작용하여 인광 화합물이 인광을 발광한다.
- [0014] 본 발명의 또다른 실시형태는 인광 화합물, 제1의 유기 화합물 및 제2의 유기 화합물을 포함하는 발광층을 한쌍의 전극 사이에 포함하는 발광 엘리먼트이며, 여기착물은 제1의 유기 화합물의 일중항 여기자로부터 형성된다.
- [0015] 본 발명의 또다른 실시형태는 인광 화합물, 제1의 유기 화합물 및 제2의 유기 화합물을 포함하는 발광층을 한쌍의 전극 사이에 포함하는 발광 엘리먼트이며, 여기착물은 제1의 유기 화합물의 음이온 및 제2의 유기 화합물의 양이온으로부터 형성된다.
- [0016] 전술한 발광 엘리먼트에서, 여기착물의 여기 에너지는 인광 화합물로 전이되어 인광 화합물이 인광을 발광하는 것이 바람직하다.
- [0017] 전술한 발광 엘리먼트에서, 제1의 유기 화합물 및 제2의 유기 화합물 중 적어도 하나는 형광 화합물인 것이 바람직하다.
- [0018] 전술한 발광 엘리먼트에서, 인광 화합물은 유기금속 착물인 것이 바람직하다.
- [0019] 본 발명의 하나의 실시형태의 발광 엘리먼트는 발광 디바이스, 전자 디바이스 및 조명 디바이스에 적용될 수 있다.
- [0020] 본 발명의 하나의 실시형태에 의하면, 외부 양자 효율이 높은 발광 엘리먼트가 제공될 수 있다. 본 발명의 또다른 실시형태에 의하면, 수명이 긴 발광 엘리먼트가 제공될 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0021] 도 1a 및 도 1b는 각각 실시예 1에 의한 흡수 스펙트럼 및 발광 스펙트럼을 도시한다.

- 도 2a 및 2b는 각각 실시예 2에 의한 흡수 스펙트럼 및 발광 스펙트럼을 도시한다.
- 도 3은 실시예 3의 발광 엘리먼트의 전류 밀도-휘도 특징을 도시한다.
- 도 4는 실시예 3의 발광 엘리먼트의 전압-휘도 특징을 도시한다.
- 도 5는 실시예 3의 발광 엘리먼트의 휘도-전류 효율 특징을 도시한다.
- 도 6은 실시예 3의 발광 엘리먼트의 휘도-외부 양자 효율 특징을 도시한다.
- 도 7은 실시예 3의 발광 엘리먼트의 발광 스펙트럼을 도시한다.
- 도 8은 실시예 3의 발광 엘리먼트의 신뢰성 테스트를 도시한다.
- 도 9는 실시예 4의 발광 엘리먼트의 전류 밀도-휘도 특징을 도시한다.
- 도 10은 실시예 4의 발광 엘리먼트의 전압-휘도 특징을 도시한다.
- 도 11은 실시예 4의 발광 엘리먼트의 휘도-전류 효율 특징을 도시한다.
- 도 12는 실시예 4의 발광 엘리먼트의 휘도-외부 양자 효율 특징을 도시한다.
- 도 13은 실시예 4의 발광 엘리먼트의 발광 스펙트럼을 도시한다.
- 도 14는 실시예 4의 발광 엘리먼트의 신뢰성 테스트를 도시한다.
- 도 15는 실시예의 발광 엘리먼트의 구조를 도시한다.
- 도 16a 내지 도 16c는 각각 본 발명의 하나의 실시양태의 발광 엘리먼트를 도시한다.
- 도 17은 본 발명의 하나의 실시양태에 적용된 여기착물의 에너지 준위를 도시한다.
- 도 18a 및 18b는 각각 실시예 5에 의한 흡수 스펙트럼 및 발광 스펙트럼을 도시한다.
- 도 19는 실시예 6의 발광 엘리먼트의 전류 밀도-휘도 특징을 도시한다.
- 도 20은 실시예 6의 발광 엘리먼트의 전압-휘도 특징을 도시한다.
- 도 21은 실시예 6의 발광 엘리먼트의 휘도-전류 효율 특징을 도시한다.
- 도 22는 실시예 6의 발광 엘리먼트의 휘도-외부 양자 효율 특징을 도시한다.
- 도 23은 실시예 6의 발광 엘리먼트의 발광 스펙트럼을 도시한다.
- 도 24는 실시예 6의 발광 엘리먼트의 신뢰성 테스트를 도시한다.
- 도 25는 본 발명의 하나의 실시형태의 개념을 도시한다.
- 도 26a 및 도 26b는 각각 실시예 7에 의한 흡수 스펙트럼 및 발광 스펙트럼을 도시한다.
- 도 27은 실시예 8의 발광 엘리먼트의 전류 밀도-휘도 특징을 도시한다.
- 도 28은 실시예 8의 발광 엘리먼트의 전압-휘도 특징을 도시한다.
- 도 29는 실시예 8의 발광 엘리먼트의 휘도-전류 효율 특징을 도시한다.
- 도 30은 실시예 8의 발광 엘리먼트의 휘도-외부 양자 효율 특징을 도시한다.
- 도 31은 실시예 8의 발광 엘리먼트의 발광 스펙트럼을 도시한다.
- 도 32a 및 도 32b는 각각 실시예 9에 의한 흡수 스펙트럼 및 발광 스펙트럼을 도시한다.
- 도 33은 실시예 10의 발광 엘리먼트의 전류 밀도-휘도 특징을 도시한다.
- 도 34는 실시예 10의 발광 엘리먼트의 전압-휘도 특징을 도시한다.
- 도 35는 실시예 10의 발광 엘리먼트의 휘도-전류 효율 특징을 도시한다.
- 도 36은 실시예 10의 발광 엘리먼트의 휘도-외부 양자 효율 특징을 도시한다.
- 도 37은 실시예 10의 발광 엘리먼트의 발광 스펙트럼을 도시한다.

- 도 38은 실시예 10의 발광 엘리먼트의 신뢰성 테스트를 도시한다.
- 도 39a 및 도 39b는 각각 실시예 11에 의한 흡수 및 발광 스펙트럼을 도시한다.
- 도 40은 실시예 12의 발광 엘리먼트의 전류 밀도-휘도 특징을 도시한다.
- 도 41은 실시예 12의 발광 엘리먼트의 전압-휘도 특징을 도시한다.
- 도 42는 실시예 12의 발광 엘리먼트의 휘도-전류 효율 특징을 도시한다.
- 도 43은 실시예 12의 발광 엘리먼트의 휘도-외부 양자 효율 특징을 도시한다.
- 도 44는 실시예 12의 발광 엘리먼트의 발광 스펙트럼을 도시한다.
- 도 45는 실시예 12의 발광 엘리먼트의 신뢰성 테스트를 도시한다.
- 도 46a 및 도 46b는 각각 실시예 13에 의한 흡수 스펙트럼 및 발광 스펙트럼을 도시한다.
- 도 47은 실시예 14의 발광 엘리먼트의 전류 밀도-휘도 특징을 도시한다.
- 도 48은 실시예 14의 발광 엘리먼트의 전압-휘도 특징을 도시한다.
- 도 49는 실시예 14의 발광 엘리먼트의 휘도-전류 효율 특징을 도시한다.
- 도 50은 실시예 14의 발광 엘리먼트의 휘도-외부 양자 효율 특징을 도시한다.
- 도 51은 실시예 14의 발광 엘리먼트의 발광 스펙트럼을 도시한다.
- 도 52a 및 도 52b는 각각 실시예 15에 의한 흡수 스펙트럼 및 발광 스펙트럼을 도시한다.
- 도 53은 실시예 16의 발광 엘리먼트의 전류 밀도-휘도 특징을 도시한다.
- 도 54는 실시예 16의 발광 엘리먼트의 전압-휘도 특징을 도시한다.
- 도 55는 실시예 16의 발광 엘리먼트의 휘도-전류 효율 특징을 도시한다.
- 도 56은 실시예 16의 발광 엘리먼트의 휘도-외부 양자 효율 특징을 도시한다.
- 도 57은 실시예 16의 발광 엘리먼트의 발광 스펙트럼을 도시한다.
- 도 58a 및 도 58b는 각각 실시예 17에 의한 흡수 스펙트럼 및 발광 스펙트럼을 도시한다.
- 도 59는 실시예 18의 발광 엘리먼트의 전류 밀도-휘도 특징을 도시한다.
- 도 60은 실시예 18의 발광 엘리먼트의 전압-휘도 특징을 도시한다.
- 도 61은 실시예 18의 발광 엘리먼트의 휘도-전류 효율 특징을 도시한다.
- 도 62는 실시예 18의 발광 엘리먼트의 휘도-외부 양자 효율 특징을 도시한다.
- 도 63은 실시예 18의 발광 엘리먼트의 발광 스펙트럼을 도시한다.
- 도 64는 본 발명의 하나의 실시형태에 의한 계산 결과를 도시한다.
- 도 65aa, 도 65ab, 도 65ba, 도 65bb, 도 65ca 및 도 65cb는 본 발명의 하나의 실시형태에 의한 계산 결과를 도시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0022] 실시형태는 도면을 참조하여 기재할 것이다. 본 발명은 하기의 상세한 설명에 한정되지 않는 점에 유의하며 그리고 본 발명의 정신 및 범주로부터 벗어남이 없이 다양한 변경에 및 수정예가 가능할 수 있는 것으로 당업자는 용이하게 이해할 것이다. 그러므로, 본 발명은 하기 실시형태에서의 기재내용으로 한정되는 것으로 해석되지 않아야 한다. 하기 기재된 본 발명의 구조에서, 동일한 부분 또는 유사한 기능을 갖는 부분은 동일한 부호를 상이한 도면에서 표기하며, 그러한 부분의 설명은 반복하지 않는다.

[0023] 실시형태 1

[0024] 본 실시형태에서, 본 발명의 하나의 실시형태의 발광 엘리먼트를 기재할 것이다.

- [0025] 본 실시형태의 발광 엘리먼트는 발광 물질인 게스트 물질, 제1의 유기 화합물 및 제2의 유기 화합물을 함유하는 발광층을 포함한다. 구체적으로는, 인광 화합물은 게스트 물질로서 사용된다. 제1의 및 제2의 유기 화합물 중 하나에서 발광층에 포함된 비율이 다른 하나보다 더 큰 것을 호스트 물질로 지칭한다는 점에 유의한다.
- [0026] 게스트 물질이 호스트 물질 중에 분산된 구조는 발광층이 결정화되는 것을 방지할 수 있다. 추가로, 게스트 물질의 농도가 높음으로 인하여 농도 소광을 억제할 수 있으며, 그래서 발광 엘리먼트는 발광 효율이 더 높을 수 있다.
- [0027] 본 실시형태에서, 제1의 및 제2의 유기 화합물 각각의 삼중항 여기 에너지의 준위(T_1 준위)는 게스트 물질보다 높은 것이 바람직하다는 점에 유의한다. 이는 제1의 유기 화합물(또는 제2의 유기 화합물)의 T_1 준위가 게스트 물질보다 더 낮으며, 발광에 기여하는 게스트 물질의 삼중항 여기 에너지는 제1의 유기 화합물(또는 제2의 유기 화합물)에 의하여 소광되며, 그리하여 발광 효율이 감소되기 때문이다.
- [0028] <발광의 기본 과정>
- [0029] 우선, 인광 화합물을 게스트 물질로서 사용한 발광 엘리먼트에서의 발광의 일반적인 기본 과정을 설명한다.
- [0030] (1) 전자 및 정공이 게스트 분자내에서 재결합되고, 게스트 분자가 여기되는 경우(직접 재결합 과정).
- [0031] (1-1) 게스트 분자의 여기 상태가 삼중항 여기 상태일 때, 게스트 분자가 인광을 발광한다.
- [0032] (1-2) 게스트 분자의 여기 상태가 일중항 여기 상태일 때, 일중항 여기 상태의 게스트 분자는 삼중항 여기 상태에 항간(intersystem) 교차되고, 인광을 발광한다.
- [0033] 환언하면, (1)에서의 직접 재결합 과정에서, 게스트 분자의 항간 교차 및 인광 양자 효율이 높은 한, 높은 발광 효율을 얻을 수 있다. 상기 기재한 바와 같이, 호스트 분자의 T_1 준위는 게스트 분자의 T_1 준위보다 높은 것이 바람직하다는 것에 유의한다.
- [0034] (2) 전자 및 정공이 호스트 분자에서 재결합되어 호스트 분자가 여기 상태가 되는 경우(에너지 이동 과정).
- [0035] (2-1) 호스트 분자의 여기 상태가 삼중항 여기 상태이고 그리고 호스트 분자의 T_1 준위가 게스트 분자보다 높을 때, 여기 에너지는 호스트 분자로부터 게스트 분자로 이동되며, 그리하여 게스트 분자는 삼중항 여기 상태가 된다. 삼중항 여기 상태인 게스트 분자는 인광을 발광한다. 게스트 분자의 일중항 여기 에너지 준위(S_1 준위)로의 에너지 이동이 이론상 발생할 수 있으나, 다수의 경우에서 게스트 분자의 S_1 준위가 호스트 분자의 T_1 준위보다 에너지가 더 높기 때문에 주요 에너지 이동 과정이 발생할 것 같지 않다는 점에 유의하며, 그러므로, 그의 설명은 여기서 제시하지 않는다.
- [0036] (2-2) 호스트 분자의 여기 상태가 일중항 여기 상태이고 그리고 호스트 분자의 S_1 준위가 게스트 분자의 S_1 준위 및 T_1 준위보다 더 높을 때, 여기 에너지는 호스트 분자로부터 게스트 분자로 이동되며, 그리하여 게스트 분자는 일중항 여기 상태 또는 삼중항 여기 상태가 된다. 삼중항 여기 상태의 게스트 분자는 인광을 발광한다. 게다가, 일중항 여기 상태의 게스트 분자는 삼중항 여기 상태로 항간 교차되어 인광을 발광한다.
- [0037] 환언하면, (2)에서의 에너지 이동 과정에서, 호스트 분자의 삼중항 여기 에너지 및 일중항 여기 에너지 모두가 어떻게 게스트 분자로 효율적으로 이동될 수 있는지가 중요하다.
- [0038] 상기 기재한 에너지 이동 과정을 감안하면, 호스트 분자의 여기 에너지가 게스트 분자로 이동되기 이전에, 호스트 분자 그 자체가 광 또는 열로서 여기 에너지를 발광하여 탈활성화될 때, 발광 효율이 감소된다. 본 발명자들은 호스트 분자가 일중항 여기 상태에 있을 때(상기 (2-2))는 호스트 분자가 삼중항 여기 상태에 있을 때(상기 (2-1))에 비하여 에너지는 인광 화합물인 게스트 분자로 이동되지 않을 것이며, 발광 효율이 감소되기 쉽다는 것을 알아냈다. 그래서, 본 발명자들은 과제로서 그러한 사실에 주목하였다. 그의 이유는 보다 상세한 에너지 이동 과정을 고려하여 하기와 같이 발견되었다.
- [0039] <에너지 이동 과정>
- [0040] 하기는 분자간 에너지 이동 과정을 상세하게 설명한다.
- [0041] 우선, 분자간 에너지 이동의 메카니즘으로서, 하기 2가지 메카니즘을 제안한다. 여기 에너지를 제공하는 분자

를 호스트 분자로서 지칭하며, 여기 에너지를 받는 분자는 게스트 분자로서 지칭한다.

[0042] <<포스터(Foerster) 메카니즘(쌍극자-쌍극자 상호작용)>>

[0043] 포스터 메카니즘(또한 포스터 공명 에너지 이동으로도 지칭됨)에서, 분자간 직접 접촉은 에너지 이동에 필요하지 않다. 호스트 분자 및 게스트 분자 사이의 쌍극자 진동의 공명 현상을 통하여 에너지 이동이 발생한다. 쌍극자 진동의 공명 현상에 의하여, 호스트 분자는 게스트 분자에 에너지를 제공하여 호스트 분자가 기저 상태가 되며, 게스트 분자는 여기 상태가 된다. 포스터 메카니즘의 속도 상수 $k_{h^* \rightarrow g}$ 는 하기 수학적 식 1로 나타낸다:

[0044] <수학적 식 1>

[0045]
$$k_{h^* \rightarrow g} = \frac{9000c^4 K^2 \phi \ln 10}{128\pi^5 n^4 N \tau R^6} \int \frac{f'_h(\nu) \epsilon_g(\nu)}{\nu^4} d\nu$$

[0046] 수학적 식 1에서, ν 는 진동수를 나타내며, $f'_h(\nu)$ 는 호스트 분자의 정규화된 발광 스펙트럼(일중항 여기 상태로부터의 에너지 이동에서의 형광 스펙트럼 및 삼중항 여기 상태로부터의 에너지 이동에서의 인광 스펙트럼)을 나타내며, $\epsilon_g(\nu)$ 는 게스트 분자의 몰 흡광 계수를 나타내며, N 은 아보가드로의 수를 나타내며, n 은 매체의 굴절율을 나타내며, R 은 호스트 분자 및 게스트 분자 사이의 분자간 거리를 나타내며, τ 는 여기 상태의 측정된 수명(형광 수명 또는 인광 수명)을 나타내며, c 는 광속을 나타내며, ϕ 는 발광 양자 효율(일중항 여기 상태로부터 에너지 이동에서의 형광 양자 효율 및 삼중항 여기 상태로부터 에너지 이동에서의 인광 양자 효율)을 나타내며, K^2 는 호스트 분자 및 게스트 분자 사이의 전이 쌍극자 모멘트의 배향의 계수(0 내지 4)를 나타낸다. 랜덤 배향의 경우 $K^2=2/3$ 인 것에 유의한다.

[0047] <<텍스터(Dexter) 메카니즘(전자 교환 상호작용)>>

[0048] 텍스터 메카니즘(또한 텍스터 전자 이동으로 지칭함)에서, 호스트 분자 및 게스트 분자는 그의 궤도의 중첩이 발생하는 접촉 유효 범위에 근접하며, 여기 상태에서의 호스트 분자 및 기저 상태에서의 게스트 분자의 전자 교환을 통하여 에너지 이동이 발생한다. 텍스터 메카니즘의 속도 상수 $k_{h^* \rightarrow g}$ 는 하기 수학적 식 2로 나타낸다:

[0049] <수학적 식 2>

[0050]
$$k_{h^* \rightarrow g} = \left(\frac{2\pi}{h}\right) K^2 \exp\left(-\frac{2R}{L}\right) \int f'_h(\nu) \epsilon'_g(\nu) d\nu$$

[0051] 수학적 식 2에서, h 는 플랑크(Planck) 상수를 나타내며, K 는 에너지의 차원을 갖는 상수를 나타내며, ν 는 진동수를 나타내며, $f'_h(\nu)$ 는 호스트 분자의 정규화된 발광 스펙트럼(일중항 여기 상태로부터의 에너지 이동에서의 형광 스펙트럼 및 삼중항 여기 상태로부터의 에너지 이동에서의 인광 스펙트럼)을 나타내며, $\epsilon'_g(\nu)$ 는 게스트 분자의 정규화된 흡수 스펙트럼을 나타내며, L 은 유효 분자 반경을 나타내며, R 은 호스트 분자 및 게스트 분자 사이의 분자간 거리를 나타낸다.

[0052] 여기서, 호스트 분자로부터 게스트 분자로의 에너지 이동의 효율 Φ_{ET} (에너지 이동 효율 Φ_{ET})은 하기 화학식 3으로 나타내는 것으로 생각된다. 화학식 3에서, k_r 은 호스트 분자의 발광 과정(일중항 여기 상태로부터의 에너지 이동에서의 형광 및 삼중항 여기 상태로부터의 에너지 이동에서의 인광)의 속도 상수를 나타내며, k_n 은 호스트 분자의 비발광 과정(열 불활성화 또는 항간 교차)의 속도 상수를 나타내며, τ 는 호스트 분자의 여기 상태의 측정된 수명을 나타낸다:

[0053] <수학적 식 3>

[0054]
$$\Phi_{ET} = \frac{k_{h^* \rightarrow g}}{k_r + k_n + k_{h^* \rightarrow g}} = \frac{k_{h^* \rightarrow g}}{\left(\frac{1}{\tau}\right) + k_{h^* \rightarrow g}}$$

[0055] 우선, 수학적 식 3에 의하면, 또다른 경합하는 속도 상수 $k_r + k_n (= 1/\tau)$ 에 비하여 에너지 이동의 속도 상수 $k_{h^* \rightarrow g}$

g 를 추가로 증가시킴으로써 에너지 이동 효율 Φ_{ET} 는 증가될 수 있는 것으로 밝혀졌다. 그 후, 에너지 이동의 속도 상수 $k_{h^* \rightarrow g}$ 를 증가시키기 위하여, 수학적 식 1 및 수학적 식 2에 기초하여 포스터 메카니즘 및 텍스터 메카니즘에서 호스트 분자의 발광 스펙트럼(일중항 여기 상태로부터 에너지 이동에서의 형광 스펙트럼 및 삼중항 여기 상태로부터 에너지 이동에서의 인광 스펙트럼)은 게스트 분자의 흡수 스펙트럼과 크게 중첩되는 것이 바람직하다.

[0056] 여기서, 본 발명자들은 호스트 분자의 발광 스펙트럼 및 게스트 분자의 흡수 스펙트럼 사이의 중첩을 고려하여 게스트 분자의 흡수 스펙트럼에서의 최장 파장측(최저 에너지측)에서의 흡수 밴드가 중요하다고 생각하였다.

[0057] 본 실시형태에서, 인광 화합물은 게스트 물질로서 사용된다. 인광 화합물의 흡수 스펙트럼에서, 발광에 가장 크게 기여하는 것으로 고려되는 흡수 밴드는 일중항 기저 상태로부터 삼중항 여기 상태로의 직접 전이에 해당하는 흡수 파장과 그의 부근에 있으며, 이는 최장 파장측에 있는 흡수 밴드에 있다. 그러므로, 호스트 물질의 발광 스펙트럼(형광 스펙트럼 및 인광 스펙트럼)은 인광 화합물의 흡수 스펙트럼에서 최장 파장측의 흡수 밴드와 중첩되는 것이 바람직한 것으로 고려된다.

[0058] 예를 들면, 대부분의 유기금속 착물, 특히 발광 이리듐 착물은 최장 파장측의 흡수 밴드로서 약 500 nm 내지 600 nm에서 넓은 흡수 밴드를 갖는다(사실상, 넓은 흡수 밴드는 발광 파장에 의존하여 더 짧거나 또는 더 긴 파장측에 존재할 수 있다). 이러한 흡수 밴드는 주로 삼중항 MLCT(금속 대 리간드 전하 이동) 전이에 기초한다. 흡수 밴드는 또한 삼중항 $\pi-\pi^*$ 전이 및 일중항 MLCT 전이에 기초한 흡수를 포함하며, 이러한 흡수가 서로에 대하여 중첩되어 흡수 스펙트럼에서 최장 파장측에 넓은 흡수 밴드를 형성하는 것으로 고려된다는 점에 유의한다. 환언하면, 최저 일중항 여기 상태 및 최저 삼중항 여기 상태 사이의 차이는 작으며, 이들 상태에 기초한 흡수는 서로 중첩되어 흡수 스펙트럼에서 최장 파장측에 넓은 흡수 밴드를 형성한다. 그러므로, 상기 기재한 바와 같이, 유기금속 착물(특히 이리듐 착물)이 게스트 물질로서 사용되는 경우 최장 파장측에서의 넓은 흡수 밴드는 호스트 물질의 발광 스펙트럼과 크게 중첩되는 것이 바람직하다.

[0059] 여기서, 우선, 호스트 물질의 삼중항 여기 상태로부터의 에너지 이동을 고려할 것이다. 상기 기재한 논의로부터, 삼중항 여기 상태로부터의 에너지 이동에서 호스트 물질의 인광 스펙트럼 및 게스트 물질의 최장 파장측에서의 흡수 밴드는 서로 크게 중첩되는 것이 바람직하다.

[0060] 형광 화합물은 일반적으로 호스트 물질로서 사용되며; 그리하여 인광 수명(τ)은 밀리초 또는 매우 크게 길다(즉, $k_r + k_n$ 이 낮다)는 점에 유의한다. 이는 삼중항 여기 상태로부터 기저 상태(일중항)로의 전이가 금지된 전이이기 때문이다. 상기 수학적 식 3은 에너지 이동 효율 Φ_{ET} 에 대하여 유리하다는 것을 나타낸다. 이는 또한 일반적으로 삼중항 여기 상태의 호스트 물질로부터 삼중항 여기 상태의 게스트 물질로 에너지가 이동된다는 것을 시사한다.

[0061] 그러나, 여기서 문제가 되는 것은 일중항 여기 상태의 호스트 물질로부터의 에너지 이동이다. 삼중항 여기 상태로부터의 에너지 이동뿐 아니라, 일중항 여기 상태로부터의 에너지 이동을 효율적으로 수행하기 위하여, 호스트 물질은 그의 인광 스펙트럼뿐 아니라, 형광 스펙트럼을 게스트 물질의 최장 파장측에서 흡수 밴드와 중첩되도록 설계되어야만 한다는 것은 상기 기재된 논의로부터 명백하다. 환언하면, 호스트 물질의 형광 스펙트럼이 그의 인광 스펙트럼과 유사한 위치를 갖도록 호스트 물질을 설계하지 않을 경우, 일중항 여기 상태 및 삼중항 여기 상태 모두에서 호스트 물질로부터 효과적인 에너지 이동을 달성할 수 없다.

[0062] 그러나, S_1 준위는 일반적으로 T_1 준위와는 크게 상이하며(S_1 준위 > T_1 준위); 그래서, 형광 발광 파장은 또한 인광 발광 파장과는 크게 상이하다(형광 발광 파장 < 인광 발광 파장). 예를 들면, 인광 화합물을 포함하는 발광 엘리먼트에서 호스트 물질로서 통상적으로 사용되는 4,4'-디(N-카르바졸릴)비페닐(약어: CBP)은 약 500 nm에서 인광 스펙트럼을 가지며, 약 400 nm에서 형광 스펙트럼을 갖는데, 이들은 약 100 nm 정도 차이가 있다. 이러한 예는 또한 호스트 물질의 형광 스펙트럼이 인광 스펙트럼과 유사한 위치에 있도록 호스트 물질을 설계하는 것이 매우 곤란하다는 것을 나타낸다. 그러므로, 본 발명자들은 일중항 여기 상태에서의 호스트 물질로부터 게스트 물질로의 에너지 이동에서의 효율을 개선시키는 것은 주요한 과제가 되는 것으로 고려된다.

[0063] 호스트 물질로서 사용되는 형광 화합물의 형광 수명(τ)이 나노초 정도로 매우 짧다(즉, $k_r + k_n$ 이 높다)는 점에 유의한다. 이는 일중항 여기 상태로부터 기저 상태(일중항)로의 전이가 허용된 전이이기 때문이다. 상기 화학식 3은 에너지 이동 효율 Φ_{ET} 에 대하여 불리하다는 것을 나타낸다. 이는 또한 에너지가 일중항 여기 상태의 호스트 물질로부터 게스트 물질로 에너지가 이동되는 것이 일반적으로 발생되지 않다는 것을 시사한다.

- [0064] 본 발명의 하나의 실시형태는 일중항 여기 상태의 호스트 물질로부터 게스트 물질로의 에너지 이동 효율의 문제점을 극복할 수 있는 유용한 기술이 된다.
- [0065] 지금까지는 인광 화합물은 항간 교차가 단일 여기 상태 및 삼중항 여기 상태 모두를 발광으로 변환시킬 수 있으므로(상기 기재된 "(1) 직접 재결합 과정"으로 지칭함), 인광 화합물을 포함하는 발광 엘리먼트는 내부 양자 효율이 이론적으로 100%를 달성할 수 있는 것으로 고려되는 것에 유의한다. 게다가, 광 추출 효율이 20%이라는 가정하에서 외부 양자 효율이 20%인 발광 엘리먼트는 실질적으로 100%의 내부 양자 효율을 달성한 것으로 논의되었다. 그러나, 사실상 호스트 물질의 일중항 여기 상태로부터의 상기 기재된 에너지 이동이 간과되었으므로, 이러한 통상의 발광 엘리먼트는 100%의 내부 양자 효율을 달성하지 않은 것으로 고려된다. 이는 본 발명자가 하기 기재한 본 발명의 실시형태를 수행함으로써 30%의 외부 양자 효율을 달성하였다는 사실에 기초한다. 환언하면, 30% 이상의 외부 양자 효율은 100%의 내부 양자 효율에 해당하며, 본 발명의 하나의 실시형태는 이를 달성하기 위한 유용한 기술이 된다. 이는 20%의 통상의 외부 양자 효율이 70% 이하의 내부 양자 효율에 해당하는 것으로 추정할 수 있다는 것을 나타낸다는 점에 유의한다.
- [0066] <본 발명의 하나의 실시형태>
- [0067] 본 발명의 하나의 실시형태는 인광 화합물, 제1의 유기 화합물 및 제2의 유기 화합물을 포함하는 발광층을 한쌍의 전극 사이에 포함하며, 제1의 유기 화합물 및 제2의 유기 화합물의 조합이 여기착물을 형성하는 발광 엘리먼트이다.
- [0068] 제1의 유기 화합물 및 제2의 유기 화합물은 캐리어 재결합을 통하여 (또는 일중항 여기자로부터) 여기착물(또한 여기된 착물로 지칭됨)을 형성한다. 형성된 여기착물이 발광되는 경우, 그의 발광 파장은 각각의 제1의 및 제2의 유기 화합물의 발광 파장(형광 파장)에 대하여 더 긴 파장측에 위치한다. 환언하면, 여기착물의 형성에 의하여, 제1의 유기 화합물의 형광 스펙트럼 및 제2의 유기 화합물의 형광 스펙트럼은 더 긴 파장측에 위치하는 발광 스펙트럼으로 변환될 수 있다.
- [0069] 그러므로, 도 25에 예시한 바와 같이, 제1의 유기 화합물(또는 제2의 유기 화합물)의 형광 스펙트럼이 최장 파장측에 위치하는 인광 화합물의 흡수 밴드에 대하여 더 짧은 파장측에 위치하며 그리고 흡수 밴드와 중첩되지 않는 경우조차, 흡수 밴드와의 중첩이 크도록 여기착물을 형성하여 긴 파장을 갖는 발광 스펙트럼을 얻을 수 있다. 본 발명의 하나의 실시형태의 발광 엘리먼트는 여기착물의 발광 스펙트럼 및 인광 화합물의 흡수 스펙트럼 사이의 중첩을 사용하여 에너지를 이동시키므로 에너지 이동 효율이 높다. 그러므로, 본 발명의 하나의 실시형태에서, 외부 양자 효율이 높은 발광 엘리먼트를 얻을 수 있다.
- [0070] 게다가, 여기착물은 여기 상태에서만 존재하므로 에너지를 흡수할 수 있는 기저 상태를 갖지 않는다. 그러므로, 인광 화합물의 일중항 여기 상태 및 삼중항 여기 상태가 여기착물로 역에너지 이동에 의하여 인광 화합물이 발광전 불활성화되는(즉 발광 효율이 저하됨) 현상은 원칙적으로 발생하지 않는 것으로 고려된다. 이는 또한 외부 양자 효율의 개선에 기여한다.
- [0071] 게다가, 여기착물은 일중항 여기된 에너지 및 삼중항 여기된 에너지 사이의 차이가 매우 작은 것으로 고려된다. 환언하면, 단일 상태에서부터의 여기착물의 발광 스펙트럼 및 삼중항 상태에서부터의 발광 스펙트럼은 서로 매우 근접하다. 따라서, 여기착물의 발광 스펙트럼(일반적으로 일중항 상태에서부터의 여기착물의 발광 스펙트럼)이 상기 기재한 바와 같이 최장 파장측에서 인광 화합물의 흡수 밴드와 중첩되도록 설계를 수행하는 경우, 여기착물의 삼중항 상태에서부터의 발광 스펙트럼(실온에서 관찰되지 않으며 그리고 다수의 경우에서 저온에서조차 관찰되지 않음)은 또한 최장 파장측에 위치하는 인광 화합물의 흡수 밴드와 중첩된다. 보다 구체적으로는, 이는 여기착물로부터 일중항 상태 및 삼중항 상태 모두에서 인광 화합물에 대하여 효율적으로 에너지를 이동시킬 수 있다는 것을 의미한다.
- [0072] 실제로 여기착물이 상기 특징을 갖는지에 대하여 하기 기재된 바와 같이 분자 궤도 계산을 수행하였다. 일반적으로, 헤테로방향족 화합물 및 방향족 아민의 조합은 종종 방향족 아민의 최저 비점유 분자 궤도(LUMO) 준위보다 더 깊은 헤테로방향족 화합물의 LUMO 준위(전자를 쉽게 수용하는 성질) 및 헤테로방향족 화합물의 최고 점유 분자 궤도(HOMO) 준위보다 더 얕은 방향족 아민의 HOMO 준위(정공을 쉽게 수용하는 성질)의 영향하에서 여기착물을 형성한다. 그래서, 헤테로방향족 화합물의 LUMO를 형성하는 대표적인 골격인 디벤조[*f,h*]퀴놀살린(약어: DBq) 및 방향족 아민의 HOMO를 형성하는 대표적인 골격인 트리페닐아민(약어: TPA)의 조합을 사용하여 계산하였다.
- [0073] 우선, DBq 단독 및 TPA 단독의 최저 일중항 여기 상태(S_1) 및 최저 삼중항 여기 상태(T_1)에서의 최적의 분자 구

조 및 여기 에너지는 시간 의존 밀도 범함수 이론(TD-DFT)을 사용하여 계산하였다. 게다가, DBq 및 TPA의 이량체의 여기 에너지를 계산하였다. DFT에서, 총 에너지는 퍼텐셜 에너지, 전자 사이의 정전 에너지, 전자 운동 에너지 및 전자 사이의 복잡한 상호작용 모드를 포함하는 교환-상관 에너지의 합으로서 나타난다. 또한, DFT에서, 교환-상관 상호작용은 전자 밀도로 나타낸 1 전자 포텐셜의 범함수(또다른 범함수의 함수)로 근사치를 구하여 고속 및 고정밀 계산이 가능하다. 여기서, 하이브리드 범함수인 B3LYP는 교환-상관 에너지에 관한 각각의 파라미터의 무게를 규정하는데 사용된다. 게다가, 기초 함수로서, 6-311(각각의 원자가 궤도에 대한 3가지의 단축 함수를 사용한 삼중-분할 원자가 기초 세트의 기초 함수)를 모든 원자에 적용하였다. 상기 기초 함수에 의하여, 예를 들면, 수소 원자인 경우 1s 내지 3s 오비탈을 고려하며, 탄소 원자의 경우 1s 내지 4s 및 2p 내지 4p 오비탈을 고려한다. 게다가, 계산 정밀도를 개선시키기 위하여, 분극 기초 세트로서 수소 원자에는 p 함수를, 수소 원자 이외의 원자에는 d 함수를 가하였다.

- [0074] 가우시안(Gaussian) 09를 양자 화학 계산 프로그램으로서 사용한 것에 유의한다. 계산에는 고 성능 컴퓨터(알티스(Altix) 4700, 에스지아이 재팬, 리미티드(SGI Japan, Ltd.) 제조)를 사용하였다.
- [0075] 우선, DBq 단독, TPA 단독 및 DBq 및 TPA의 이량체의 HOMO 준위 및 LUMO 준위를 계산하였다. 도 64는 HOMO 준위 및 LUMO 준위를 도시하며, 도 65aa, 도 65ab, 도 65ba, 도 65bb, 도 65ca 및 도 65cb는 HOMO 및 LUMO 분포를 도시한다.
- [0076] 도 65aa은 DBq 단독의 LUMO 분포; 도 65ab는 DBq 단독의 HOMO 분포; 도 65ba는 TPA 단독의 LUMO 분포; 도 65bb는 TPA 단독의 HOMO 분포; 도 65ca는 DBq 및 TPA의 이량체의 LUMO 분포; 및 도 65cb는 DBq 및 TPA의 이량체의 HOMO 분포를 도시한다.
- [0077] 도 64에 도시한 바와 같이, DBq 및 TPA의 이량체는 TPA의 LUMO 준위보다 더 깊은(더 낮은) DBq의 LUMO 준위(-1.99 eV) 및 DBq의 HOMO 준위보다 더 얕은(더 높은) TPA의 HOMO 준위(-5.21 eV)의 영향하에서 DBq 및 TPA의 여기착물을 형성한다는 것을 시사한다. 사실상, 도 65ca 및 도 65cb로부터 명백한 바와 같이, DBq 및 TPA의 이량체의 LUMO는 DBq 측에 분포되며, 그의 HOMO는 TPA 측에 분포된다.
- [0078] 그 다음, DBq 단독의 S_1 및 T_1 에서의 최적의 분자 구조로부터 얻은 여기 에너지를 나타낸다. 여기서, S_1 및 T_1 여기 에너지는 DBq 단독으로부터 얻은 각각의 형광 및 인광 파장에 해당한다. DBq 단독의 S_1 여기 에너지는 3.294 eV이고, 형광 파장은 376.4 nm이다. DBq 단독의 T_1 여기 에너지는 2.460 eV이고, 인광 파장은 504.1 nm이다.
- [0079] 게다가, TPA 단독의 S_1 및 T_1 의 최적의 분자 구조로부터 얻은 여기 에너지를 나타낸다. 여기서, S_1 및 T_1 여기 에너지는 TPA 단독으로부터 얻은 각각의 형광 및 인광 파장에 해당한다. TPA 단독의 S_1 여기 에너지는 3.508 eV이고, 형광 파장은 353.4 nm이다. TPA 단독의 T_1 여기 에너지는 2.610 eV이고, 인광 파장은 474.7 nm이다.
- [0080] 더욱이, S_1 및 T_1 에서 DBq 및 TPA의 이량체의 최적의 분자 구조로부터 얻은 여기 에너지를 나타낼 것이다. S_1 및 T_1 여기 에너지는 DBq 및 TPA의 이량체로부터 얻은 각각의 형광 및 인광 파장에 해당한다. DBq 및 TPA의 이량체의 S_1 여기 에너지는 2.036 eV이고, 형광 파장은 609.1 nm이다. DBq 및 TPA의 이량체의 T_1 여기 에너지는 2.030 eV이고, 인광 파장은 610.0 nm이다.
- [0081] 상기로부터 DBq 단독 및 TPA 단독의 각각의 인광 파장은 형광 파장에 대하여 약 100 nm 정도로 더 긴 파장측으로 이동되는 것으로 밝혀졌다. 이러한 결과는 상기 기재된 CBP(측정값)와 유사한 경향을 나타내며, 계산의 타당성을 뒷받침한다.
- [0082] 다른 한편으로, DBq 및 TPA의 이량체의 형광 파장은 DBq 단독 및 TPA 단독의 형광 파장에 대하여 더 긴 파장측에 위치하는 것으로 밝혀졌다. 이러한 결과는 하기 기재된 실시예(측정값)와 유사한 경향을 나타내며, 계산의 타당성을 뒷받침한다. 또한, DBq 및 TPA의 이량체의 형광 파장 및 인광 파장 사이의 차이는 단지 0.9 nm이며, 이들 파장은 실질적으로 동일한 것으로 밝혀졌다.
- [0083] 이러한 결과는 여기착물이 일중항 여기 에너지 및 삼중항 여기 에너지를 실질적으로 동일한 에너지로 집약시킬 수 있다는 것을 나타낸다. 그러므로, 상기 기재한 바와 같이 여기착물은 그의 일중항 상태 및 삼중항 상태 모두로부터 인광 화합물에 대하여 효율적으로 에너지를 이동시킬 수 있다는 것을 나타낸다.
- [0084] 그러한 효과는 에너지 이동에 대한 매체로서 여기착물의 사용에 대하여 특이적이다. 일반적으로, 호스트 물질

의 일중항 여기 상태 또는 삼중항 여기 상태로부터 인광 화합물로의 에너지 이동을 고려한다. 다른 한편으로, 본 발명의 하나의 실시형태는 호스트 물질 및 또다른 물질의 여기착물(제1의 유기 화합물 및 제2의 유기 화합물의 여기착물)이 우선 형성되며, 여기착물로부터의 에너지 이동을 사용하는 통상의 기술과는 크게 상이하다. 게다가, 이러한 차이는 종래에는 없는 높은 발광 효율을 제공한다.

[0085] 일반적으로, 발광 엘리먼트의 발광층에 대한 여기착물의 사용은 발광색을 제어할 수 있는 가치, 일반적으로 발광 효율에서의 상당한 감소를 야기하는 가치를 갖는다는 점에 유의한다. 그러므로, 여기착물의 사용은 매우 효율적인 발광 엘리먼트를 얻는데 적절하지 않은 것으로 고려된다. 그러나, 본 발명자들은 인광 화합물로의 에너지 이동을 위한 매체로서 여기착물의 사용이 본 발명의 하나의 실시형태에 제시된 바와 같이 발광 효율이, 반대로, 최대화될 수 있다는 것을 발견하였다. 이러한 기술적 개념은 통상의 고정 개념과는 상반되는 것이다.

[0086] 여기착물의 발광 스펙트럼 및 게스트 물질의 흡수 스펙트럼이 서로 충분하게 중첩되도록 하기 위하여, 발광 스펙트럼의 피크의 에너지 및 흡수 스펙트럼에서의 최저 에너지측에서의 흡수 밴드의 피크의 에너지 사이의 차이는 바람직하게는 0.3 eV 이하이다. 상기 차이는 더욱 바람직하게는 0.2 eV 이하, 더욱 더 바람직하게는 0.1 eV 이하이다.

[0087] 게다가, 본 발명의 하나의 실시형태에서, 제1의 유기 화합물 또는 제2의 유기 화합물의 일중항 여기자로부터 여기착물이 형성된다.

[0088] 본 발명의 하나의 실시형태의 발광 엘리먼트에서, 여기착물 형성의 가능한 기본 과정은 제1의 및 제2의 유기 화합물 중 하나가 일중항 여기자를 형성한 후, 기저 상태의 다른 하나와 상호작용하는 것이다. 상기 기재한 바와 같이, 여기착물의 발광 스펙트럼 및 인광 화합물의 흡수 스펙트럼이 크게 중첩될 수 있어서, 에너지 이동 효율이 증가될 수 있다. 따라서, 외부 양자 효율이 높은 발광 엘리먼트를 얻을 수 있다.

[0089] 일중항 여기자는 상기 기재한 바와 같이 여기 수명이 짧다(τ 가 작다). 그래서, 여기 에너지가 일중항 여기자로부터 게스트 물질로 이동되기 이전에 여기 에너지의 일부가 (발광 또는 열 불활성화를 통하여) 불활성화되는 문제가 있다(수학식 3에서 Φ_{ET} 는 작아지는 경향이 있다). 그러나, 본 발명의 하나의 실시형태에서, 일중항 여기자는 여기착물을 신속하게 형성하므로 그러한 여기 에너지의 불활성화는 억제될 수 있다. 더욱이, 여기착물은 여기 수명이 비교적 길며, 이는 에너지 이동 효율 Φ_{ET} 에 유리한 것으로 고려된다. 따라서, 엘리먼트의 효율 뿐 아니라 그의 수명에 영향을 미칠 수 있는 호스트 물질의 일중항 여기 에너지의 불활성화는 본 발명의 하나의 실시형태의 적용에 의하여 억제될 수 있어서 수명이 긴 발광 엘리먼트를 얻을 수 있다.

[0090] 본 발명의 하나의 실시형태에서, 여기착물의 여기 에너지는 인광 화합물로 충분히 이동되며 그리고 여기착물로부터의 발광은 실질적으로 관찰되지 않으므로 바람직하다. 그러므로, 여기착물을 통하여 인광 화합물로 에너지를 이동시켜 인광 화합물이 인광을 발광하는 것이 바람직하다.

[0091] 상기 기재된 에너지 이동의 개념에 의하면, 본 발명의 하나의 실시형태는 제1의 및 제2의 유기 화합물 중 적어도 하나가 형광 화합물(즉, 일중항 여기 상태로부터 발광 또는 열 불활성이 발생되기 쉬운 화합물)인 경우 유효하다. 그러므로, 제1의 및 제2의 유기 화합물 중 적어도 하나는 형광 화합물인 것이 바람직하다.

[0092] 인광 화합물이 호스트 물질로서 작용하는 유기 화합물로서 사용되는 경우에서, 유기 화합물 그 자체는 발광되기 쉬우며, 에너지를 게스트 물질로 이동시키기는 곤란하다는 점에 유의한다. 이러한 경우에서, 유기 화합물이 효율적으로 발광될 수 있는 경우에는 이로우나, 호스트 물질로서 작용하는 유기 화합물이 농도 소광의 문제를 야기하므로 높은 발광 효율을 달성하기는 곤란하다. 이러한 이유로, 유기 화합물은 형광 화합물이 되며 그리고 상기 기재된 조성물을 사용하여 에너지 이동을 달성하는 것이 바람직하다.

[0093] 게다가, 본 발명의 하나의 실시형태에서, 인광 화합물은 유기금속 착물인 것이 바람직하다.

[0094] 본 발명의 하나의 실시형태에 사용된 여기착물을 하기에서 구체적으로 기재한다.

[0095] <여기착물>

[0096] 여기착물(여기된 착물)은 여기 상태가 상이한 분자 사이의 상호작용에 의하여 형성된다. 여기착물은 일반적으로 비교적 깊은 LUMO 준위를 갖는 물질 및 비교적 얇은 HOMO 준위를 갖는 물질 사이에서 용이하게 형성되는 것으로 공지되어 있다.

[0097] 발광 파장은 HOMO 준위 및 LUMO 준위 사이의 에너지의 차이에 의존한다. 에너지 차이가 클 때, 발광 파장은 짧다. 에너지 차이가 작을 때, 발광 파장은 길다.

- [0098] 여기서, 본 발명의 하나의 실시형태에 사용된 제1의 유기 화합물 및 제2의 유기 화합물의 HOMO 준위 및 LUMO 준위는 서로 상이하다. 구체적으로는, 에너지 준위는 제1의 유기 화합물의 HOMO 준위 < 제2의 유기 화합물의 HOMO 준위 < 제1의 유기 화합물의 LUMO 준위 < 제2의 유기 화합물의 LUMO 준위의 순서로 높다(도 17 참조).
- [0099] 여기착물이 이들 2종의 유기 화합물에 의하여 형성될 때, 여기착물의 LUMO 준위 및 HOMO 준위는 각각 제1의 유기 화합물 및 제2의 유기 화합물로부터 유래한다(도 17 참조). 그러므로, 여기착물의 에너지 차이는 제1의 유기 화합물의 에너지 차이 및 제2의 유기 화합물의 에너지 차이보다 작다. 환언하면, 여기착물의 발광 파장은 제1의 유기 화합물 및 제2의 유기 화합물의 발광 파장보다 더 길다.
- [0100] 본 발명의 하나의 실시형태에 사용된 여기착물의 형성 과정은 크게 2개의 과정으로 분류되는 것으로 고려된다.
- [0101] <<일렉트로플렉스>>
- [0102] 본 명세서에서, 용어 "일렉트로플렉스"는 기저 상태의 제1의 유기 화합물 및 기저 상태의 제2의 유기 화합물이 여기착물을 직접 형성한다는 것을 의미한다.
- [0103] 상기 기재한 바와 같이, 일반적으로 전자 및 정공이 호스트 물질 중에서 재결합될 때, 여기 에너지는 여기 상태의 호스트 물질로부터 게스트 물질로 이동되며, 게스트 물질은 여기 상태가 되어 발광된다.
- [0104] 이때, 여기 에너지가 호스트 물질로부터 게스트 물질로 이동되기 이전에, 호스트 물질 그 자체는 발광되거나 또는 여기 에너지는 열 에너지가 되며, 이는 여기 에너지의 부분 불활성화를 초래한다. 특히, 호스트 물질이 일중항 여기 상태에 있는 경우, 삼중항 여기 상태에 있는 경우보다 여기 수명이 더 짧으며, 이는 일중항 여기 에너지의 불활성화를 쉽게 초래한다. 여기 에너지의 불활성화는 발광 엘리먼트의 수명 감소의 원인 중 하나가 된다.
- [0105] 그러나, 본 발명의 하나의 실시형태에서, 일렉트로플렉스는 캐리어를 갖는 제1의 유기 화합물 및 제2의 유기 화합물(양이온 또는 음이온)로부터 형성되며; 그리하여 여기 수명이 짧은 일중항 여기자의 형성이 억제될 수 있다. 환언하면, 일중항 여기자의 형성 없이 여기착물이 직접 형성되는 과정이 될 수 있다. 그래서, 일중항 여기 에너지의 불활성화가 억제될 수 있다. 따라서, 수명이 긴 발광 엘리먼트를 얻을 수 있다.
- [0106] 예를 들면, 제1의 유기 화합물이 전자-포획 성질을 갖는 화합물이며 그리고 제2의 유기 화합물이 정공-포획 성질을 갖는 화합물인 경우에서, 일렉트로플렉스는 제1의 유기 화합물의 음이온 및 제2의 유기 화합물의 양이온으로부터 직접 형성된다. 이는 상기 기재된 방식으로 호스트 물질의 일중항 여기 상태의 생성을 억제하고 그리고 에너지를 일렉트로플렉스로부터 게스트 물질로 이동시켜 발광 효율이 높은 발광 엘리먼트를 얻는 신규한 개념이다. 호스트 물질의 삼중항 여기 상태의 생성은 유사하게 억제되며 그리고 일렉트로플렉스가 직접 형성되므로, 일렉트로플렉스로부터 게스트 물질로의 에너지 이동이 고려된다는 점에 유의한다. 이러한 메카니즘도 또한 신규하다.
- [0107] 형성된 일렉트로플렉스의 발광 스펙트럼은 제1의 및 제2의 유기 화합물 각각의 발광 파장에 대하여 더 긴 파장측에 위치한다.
- [0108] 일렉트로플렉스의 발광 스펙트럼 및 인광 화합물의 흡수 스펙트럼 사이의 중첩은 제1의 유기 화합물(또는 제2의 유기 화합물)의 발광 스펙트럼 및 인광 화합물의 흡수 스펙트럼 사이의 중첩보다 더 크다. 본 발명의 하나의 실시형태의 발광 엘리먼트는 일렉트로플렉스의 발광 스펙트럼 및 인광 화합물의 흡수 스펙트럼 사이의 중첩을 이용하여 에너지를 이동시키며 그리하여 높은 에너지 이동 효율을 갖는다. 그러므로, 본 발명의 하나의 실시형태에서, 외부 양자 효율이 높은 발광 엘리먼트를 얻을 수 있다.
- [0109] <<여기자에 의한 여기착물의 형성>>
- [0110] 또다른 과정으로서, 제1의 및 제2의 유기 화합물 중 하나가 일중항 여기자를 형성하여 기저 상태의 다른 하나와 상호작용하여 여기착물을 형성하는 기본 과정이 고려된다. 일렉트로플렉스와 달리, 제1의 유기 화합물 또는 제2의 유기 화합물의 일중항 여기 상태는 이 경우에는 일시적으로 생성되지만, 이는 여기착물로 신속하게 전환되어 단일 여기 에너지의 불활성화를 억제할 수 있다. 그래서, 제1의 유기 화합물 또는 제2의 유기 화합물의 여기 에너지의 불활성화를 억제할 수 있다. 따라서, 본 발명의 하나의 실시형태에서, 수명이 긴 발광 엘리먼트를 얻을 수 있다. 호스트 물질의 삼중항 여기 상태는 또한 여기착물로 신속하게 전환되며, 여기착물로부터 게스트 물질로 에너지가 이동되는 것으로 고려되는 점에 유의한다.
- [0111] 형성된 여기착물의 발광 스펙트럼은 제1의 및 제2의 유기 화합물의 각각의 발광 파장에 대하여 더 긴 파장측에

위치한다.

- [0112] 여기착물의 발광 스펙트럼 및 인광 화합물의 흡수 스펙트럼 사이의 중첩은 제1의 유기 화합물(또는 제2의 유기 화합물)의 발광 스펙트럼 및 인광 화합물의 흡수 스펙트럼 사이의 중첩보다 크다. 본 발명의 하나의 실시형태의 발광 엘리먼트는 여기착물의 발광 스펙트럼 및 인광 화합물의 흡수 스펙트럼 사이의 중첩을 사용하여 에너지를 이동시키며, 그리하여 에너지 이동 효율이 높다. 따라서, 본 발명의 하나의 실시형태에서, 외부 양자 효율이 높은 발광 엘리먼트를 얻을 수 있다.
- [0113] 예를 들면, 제1의 유기 화합물이 전자-포획 성질을 갖는 화합물이며, 제2의 유기 화합물은 정공-포획 성질을 갖는 화합물이며 그리고 이들 화합물의 HOMO 준위 사이의 차이 및 LUMO 준위 사이의 차이가 큰(구체적으로는, 0.3 eV 이상) 경우에서, 전자는 제1의 유기 화합물로 선택적으로 주입되며, 정공은 제2의 유기 화합물로 선택적으로 주입된다. 이러한 경우에서, 일중항 여기자를 통하여 여기착물이 형성되는 과정에서 일렉트로플렉스가 형성되는 과정이 우선하는 것으로 판단된다.
- [0114] 이러한 실시형태는 임의의 기타의 실시형태와 적절하게 조합될 수 있다는 점에 유의한다.
- [0115] 실시형태 2
- [0116] 본 실시형태에서, 본 발명의 하나의 실시형태의 발광 엘리먼트는 도 16a 내지 도 16c를 참조하여 기재한다
- [0117] 도 16a는 제1의 전극(103) 및 제2의 전극(108) 사이에 EL층(102)을 포함하는 발광 엘리먼트를 도시한다. 도 16a에서의 발광 엘리먼트는 제1의 전극(103)의 위에 정공 주입층(701), 정공 수송층(702), 발광층(703), 전자 수송층(704) 및 전자 주입층(705)의 순서로 적층되어 있으며, 그 위에 제2의 전극(108)이 제공된다.
- [0118] 제1의 전극(103)은 일 함수가 큰(구체적으로는, 4.0 eV 이상) 임의의 금속, 합금, 전도성 화합물, 그의 혼합물 등을 사용하여 형성되는 것이 바람직하다. 그의 구체적인 예로는 산화인듐-산화주석(ITO: 산화인듐주석), 규소 또는 산화규소를 함유하는 산화인듐-산화주석, 산화인듐-산화아연(산화인듐아연), 산화텅스텐 및 산화아연을 함유하는 산화인듐(IWZO) 등을 들 수 있다. 이들 전도성 금속 산화물의 필름은 일반적으로 스퍼터링 방법에 의하여 형성되지만, 졸-겔 방법 등의 적용에 의하여 형성될 수 있다. 예를 들면, 산화인듐-산화아연 필름은 산화아연을 산화인듐에 1 내지 20 중량%로 첨가한 타겟을 사용하는 스퍼터링 방법에 의하여 형성될 수 있다. 추가로, IWZO 필름은 산화텅스텐을 산화인듐에 0.5 내지 5 중량%로 첨가하고 그리고 산화아연을 산화인듐에 0.1 내지 1 중량%로 첨가하는 타겟을 사용하는 스퍼터링 방법에 의하여 형성될 수 있다. 기타의 예로는 그라펜, 금, 백금, 니켈, 텅스텐, 크롬, 몰리브덴, 철, 코발트, 구리, 팔라듐, 금속 물질의 질화물(예, 질화티탄) 등을 들 수 있다.
- [0119] EL층(102)에 포함되며 그리고 제1의 전극(103)과 접촉하여 형성된 층이 유기 화합물 및 전자 수용체(수용체)를 혼합하여 후술하는 복합 물질을 형성하는 경우, 제1의 전극(103)에 사용되는 물질로서 일 함수와는 무관하게 임의의 각종 금속, 합금, 전기 전도성 화합물, 그의 혼합물 등을 사용할 수 있으며; 예를 들면, 알루미늄, 은, 알루미늄을 포함하는 합금(예, Al-Si) 등도 또한 사용될 수 있다는 점에 유의한다.
- [0120] 제1의 전극(103)은 예를 들면 스퍼터링 방법, 증착법(진공 증착법 포함) 등에 의하여 형성될 수 있다.
- [0121] 제2의 전극(108)은 일 함수가 낮은(바람직하게는 3.8 eV 이하) 임의의 금속, 합금, 전기 전도성 화합물, 그의 혼합물 등을 사용하여 형성되는 것이 바람직하다. 그의 구체적인 예로는 원소주기율표의 1족 및 2족에 속하는 원소, 즉 리튬 및 세슘 등의 알칼리 금속, 칼슘 및 스트론튬, 마그네슘 등의 알칼리 토금속, 그의 합금(예, Mg-Ag 및 Al-Li), 유토프 및 이테르븀 등의 희토류 금속, 그의 합금, 알루미늄, 은 등을 들 수 있다.
- [0122] 유기 화합물 및 전자 공여체(공여체)를 혼합하여 형성된 후술하는 복합 물질을 사용하여 EL층(102)에 포함되며 그리고 제2의 전극(108)과 접촉되어 형성된 층을 형성할 때, Al, Ag, ITO 및 규소 또는 산화규소를 함유하는 산화인듐-산화주석 등의 임의의 각종 전도성 물질은 일 함수와 상관 없이 사용될 수 있다.
- [0123] 제2의 전극(108)이 형성될 때, 진공 증착법 또는 스퍼터링 방법이 사용될 수 있다는 점에 유의한다. 은 페이스트 등을 사용하는 경우에서, 코팅 방법, 잉크젯 방법 등을 사용할 수 있다.
- [0124] EL층(102)은 적어도 발광층(703)을 포함한다. EL층(102)의 일부의 경우, 공지의 물질을 사용할 수 있으며, 저분자계 화합물 또는 고분자계 화합물을 사용할 수 있다. EL층(102)을 형성하는 물질은 유기 화합물로 이루어질 수 있거나 또는 무기 화합물을 일부로서 포함할 수 있다는 점에 유의한다.
- [0125] 추가로, 도 16a에 도시한 바와 같이, EL층(102)은 발광층(703)뿐 아니라, 정공 주입 성질이 높은 물질을 포함하

는 정공 주입층(701), 정공 수송 성질이 높은 물질을 포함하는 정공 수송층(702), 전자 수송 성질이 높은 물질을 포함하는 전자 수송층(704), 전자 주입 성질이 높은 물질을 포함하는 전자 주입층(705) 등의 층의 적절한 조합을 포함한다.

- [0126] 정공 주입층(701)은 정공 주입 성질이 높은 물질을 함유하는 층이다. 정공 주입 성질이 높은 물질로서, 산화물 리브덴, 산화티탄, 산화바나듐, 산화레늄, 산화루테튬, 산화크롬, 산화지르코늄, 산화하프늄, 산화탄탈륨, 산화 은, 산화텅스텐 또는 산화망간 등의 금속 산화물을 사용할 수 있다. 대안으로, 프탈로시아닌(약어: H₂Pc) 또는 구리(II) 프탈로시아닌(약어: CuPc) 등의 프탈로시아닌계 화합물을 사용할 수 있다.
- [0127] 사용할 수 있는 물질의 기타예로는 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-(4-디페닐아미노페닐)-N-페닐아미노]비페닐(약어: DPAB), 4,4'-비스(N-(4-[N'-(3-메틸페닐)-N'-페닐아미노]페닐)-N-페닐아미노)비페닐(약어: DNTPD), 1,3,5-트리스[N-(4-디페닐아미노페닐)-N-페닐아미노]벤젠(약어: DPA3B), 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) 및 3-[N-(1-나프틸)-N-(9-페닐카르바졸-3-일)아미노]-9-페닐카르바졸(약어: PCzPCN1) 등의 저 분자 유기 화합물인 방향족 아민 화합물 등을 들 수 있다.
- [0128] 사용할 수 있는 물질의 기타의 예로는 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) 및 폴리[N,N'-비스(4-부틸페닐)-N,N'-비스(페닐)벤지딘](약어: 폴리-TPD) 등의 고 분자 화합물(예, 올리고머, 덴드리머 및 중합체) 및, 폴리(3,4-에틸렌디옥시티오펜)/폴리(스티렌술폰산)(PEDOT/PSS) 및 폴리아닐린/폴리(스티렌술폰산)(PAni/PSS) 등의 산을 첨가한 고 분자 화합물을 들 수 있다.
- [0129] 정공 주입층(701)의 경우, 유기 화합물 및 전자 수용체(수용체)를 혼합하여 형성된 복합 물질을 사용할 수 있다. 전자 수용체에 의하여 유기 화합물 중에서 정공이 생성되는 상기 복합 물질은 정공 주입 및 정공 수송 성질이 크다. 이러한 경우에서, 유기 화합물은 생성된 정공을 수송하는데 있어서 우수한 물질(정공 수송 성질이 높은 물질)이 바람직하다.
- [0130] 복합 물질에 사용되는 유기 화합물의 예로는 방향족 아민 화합물, 카르바졸 유도체, 방향족 탄화수소 및 고 분자 화합물(예, 올리고머, 덴드리머 및 중합체) 등의 각종 화합물을 들 수 있다. 복합 물질에 사용되는 유기 화합물은 정공 수송 성질이 높은 유기 화합물이 바람직하며, 구체적으로는 10⁻⁶ cm²/Vs 이상의 정공 이동도를 갖는 물질이 바람직하다. 상기 물질 이외에, 전자보다 정공의 수송성이 큰 임의의 물질을 사용할 수 있다는 점에 유의한다. 복합 물질에 사용될 수 있는 유기 화합물은 하기에 구체적으로 기재한다.
- [0131] 복합 물질에 사용될 수 있는 유기 화합물의 예로는 TDATA, MTDATA, DPAB, DNTPD, DPA3B, PCzPCA1, PCzPCA2, PCzPCN1, 4,4'-비스[N-(1-나프틸)-N-페닐아미노]비페닐(약어: NPB 또는 α-NPD), N,N'-비스(3-메틸페닐)-N,N'-디페닐-[1,1'-비페닐]-4,4'-디아민(약어: TPD) 및 4-페닐-4'-(9-페닐플루오렌-9-일)트리페닐아민(약어: BPAFLP) 등의 방향족 아민 화합물 및, 4,4'-디(N-카르바졸릴)비페닐(약어: CBP), 1,3,5-트리스[4-(N-카르바졸릴)페닐]벤젠(약어: TCPB), 9-[4-(N-카르바졸릴)페닐]-10-페닐안트라센(약어: CzPA), 9-페닐-3-[4-(10-페닐-9-안트릴)페닐]-9H-카르바졸(약어: PCzPA) 및 1,4-비스[4-(N-카르바졸릴)페닐]-2,3,5,6-테트라페닐벤젠 등의 카르바졸 유도체를 들 수 있다.
- [0132] 사용할 수 있는 유기 화합물의 기타의 예로는 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), 9,10-비스[2-(1-나프틸)페닐]-2-tert-부틸안트라센, 9,10-비스[2-(1-나프틸)페닐]안트라센 및 2,3,6,7-테트라메틸-9,10-디(1-나프틸)안트라센 등의 방향족 탄화수소 화합물을 들 수 있다.
- [0133] 사용할 수 있는 유기 화합물의 기타의 예로는 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, 펜타센, 코로넨, 4,4'-비스(2,2-디페닐비닐)비페닐(약어: DPVBi) 및 9,10-비스[4-(2,2-디페닐비닐)페닐]안트라센(약어: DPVPA) 등의 방향족 탄화수소 화합물을 들 수 있다

- [0134] 추가로, 전자 수용체의 예로는 7,7,8,8-테트라시아노-2,3,5,6-테트라플루오로퀴노디메탄(약어: F₄-TCNQ) 및 클로라닐 등의 유기 화합물, 전이 금속의 산화물, 원소주기율표의 4족 내지 8족에 속하는 금속의 산화물 등을 들 수 있다. 구체적으로는, 산화바나듐, 산화니오븀, 산화탄탈륨, 산화크롬, 산화몰리브덴, 산화텅스텐, 산화망간 및 산화레늄은 그의 높은 전자-수용 성질로 인하여 바람직하다. 이들 중에서, 산화몰리브덴은 공기 중에서 안정하고, 흡습성이 낮으며, 취급이 용이하여 특히 바람직하다.
- [0135] 복합 물질은 상기 기재된 전자 수용체 및, PVK, PVTPA, PTPDMA 또는 폴리-TPD 등의 상기 기재된 고 분자 화합물을 사용하여 형성될 수 있으며, 정공 주입층(701)에 사용될 수 있다.
- [0136] 정공 수송층(702)은 정공 수송 성질이 높은 물질을 함유하는 층이다. 정공 수송 성질이 높은 물질의 예로는 NPB, TPD, BPAFLP, 4,4'-비스[N-(9,9-디메틸플루오렌-2-일)-N-페닐아미노]비페닐(약어: DFLDPBi) 및 4,4'-비스[N-(스피로-9,9'-비플루오렌-2-일)-N-페닐아미노]비페닐(약어: BSPB) 등의 방향족 아민 화합물을 들 수 있다. 여기서 언급한 물질은 주로 정공 이동도가 10⁻⁶ cm²/Vs 이상인 물질이다. 상기 물질 이외에, 전자보다 정공의 수송성이 큰 임의의 물질을 사용할 수 있다는 점에 유의한다. 정공 수송 성질이 높은 물질을 함유하는 층은 단일 층에 한정되지 않으며, 그리고 임의의 상기 물질을 함유하는 2개 이상의 층의 적층체일 수 있다는 점에 유의한다.
- [0137] 정공 수송층(702)의 경우, CBP, CzPA 또는 PCzPA 등의 카르바졸 유도체 또는 t-BuDNA, DNA 또는 DPAnth 등의 안트라센 유도체를 사용할 수 있다.
- [0138] 정공 수송층(702)의 경우, PVK, PVTPA, PTPDMA 또는 폴리-TPD 등의 고 분자 화합물을 또한 사용할 수 있다.
- [0139] 발광층(703)은 발광 물질을 함유하는 층이다. 본 실시형태의 발광층(703)은 인광 화합물, 제1의 유기 화합물 및 제2의 유기 화합물을 함유한다. 인광 화합물은 발광 물질(게스트 물질)이다. 제1의 및 제2의 유기 화합물 중 하나가 발광층(703)에서 다른 하나보다 함유량이 더 높은 것이 호스트 물질이다. 구체적으로 실시형태 1을 참조할 수 있다.
- [0140] 인광 화합물로서, 유기금속 착물이 바람직하며, 특히 이리듐 착물이 바람직하다. 상기 기재한 포스터 메카니즘으로 인한 에너지 이동을 고려하면, 최상 파장측에 위치하는 인광 화합물의 흡수 밴드의 몰 흡광 계수는 바람직하게는 2,000 M⁻¹ · cm⁻¹ 이상, 더욱 바람직하게는 5,000 M⁻¹ · cm⁻¹ 이상이다. 몰 흡광 계수가 높은 화합물의 예로는 비스(3,5-디메틸-2-페닐피라지나토)(디피발로일메타나토)이리듐(III)(약어: [Ir(mppr-Me)₂(dpm)]), (아세틸아세토나토)비스(4,6-디페닐피리미디나토)이리듐(III)(약어: [Ir(dppm)₂(acac)]), 비스(2,3,5-트리페닐피라지나토)(디피발로일메타나토)이리듐(III)(약어: [Ir(tppr)₂(dpm)]), (아세틸아세토나토)비스(6-메틸-4-페닐피리미디나토)이리듐(III)(약어: [Ir(mppm)₂(acac)]), (아세틸아세토나토)비스(6-tert-부틸-4-페닐피리미디나토)이리듐(III)(약어: [Ir(tBuppm)₂(acac)]) 등을 들 수 있다. 특히, [Ir(dppm)₂(acac)] 등의 몰 흡광 계수가 5,000 M⁻¹ · cm⁻¹ 이상인 물질을 사용할 경우, 약 30%의 외부 양자 효율을 달성할 수 있는 발광 엘리먼트를 얻을 수 있다.
- [0141] 제1의 유기 화합물 및 제2의 유기 화합물은 바람직하게는 예를 들면 2-[3-(디벤조티오펜-4-일)페닐]디벤조[*f*,*h*]퀴녹살린(약어: 2mDBTPDBq-II), 2-[4-(3,6-디페닐-9H-카르바졸-9-일)페닐]디벤조[*f*,*h*]퀴녹살린(약어: 2CzPDBq-III), 7-[3-(디벤조티오펜-4-일)페닐]디벤조[*f*,*h*]퀴녹살린(약어: 7mDBTPDBq-II), 6-[3-(디벤조티오펜-4-일)페닐]디벤조[*f*,*h*]퀴녹살린(약어: 6mDBTPDBq-II) 및 2-[4-(디벤조티오펜-4-일)페닐]-1-페닐-1H-벤즈이미다졸(약어: DBTBI-II) 등의 전자를 수용하기 쉬운 화합물 중 임의의 하나(통상적으로 헤테로방향족 화합물) 및, 4,4'-비스[N-(1-나프틸)-N-페닐아미노]비페닐(약어: NPB 또는 α-NPD), 4-페닐-4'-(9-페닐-9H-카르바졸-3-일)트리페닐아민(약어: PCBA1BP), 4,4'-디(1-나프틸)-4''-(9-페닐-9H-카르바졸-3-일)트리페닐아민(약어: PCBNBB), 4-(1-나프틸)-4'-페닐트리페닐아민(약어: αNBA1BP), 2,7-비스[N-(4-디페닐아미노페닐)-N-페닐아미노]-스피로-9,9'-비플루오렌(약어: DPA2SF), 4,4',4''-트리스[N-(1-나프틸)-N-페닐아미노]트리페닐아민(약어: 1'-TNATA) 및 9-페닐-9H-3-(9-페닐-9H-카르바졸-3-일)카르바졸(약어: PCCP) 등의 정공을 수용하기 쉬운 화합물 중 임의의 하나(통상적으로 방향족 아민 화합물 및 카르바졸 화합물)의 조합이다. 상기 조성물을 사용하면, 여기착물로부터의 에너지 이동에 의해서 뿐 아니라, 발광층에서 정공 수송 및 전자 수송 사이의 캐리어 균형의 조절에 의하여 발광 효율 및 수명의 개선 효과를 얻을 수 있다. 조합이 여기착물을 형성할 수 있는 한 본 발명은 이들 화합물에 한정되지 않는다는 점에 유의한다.

- [0142] 여기착물은 2개의 층 사이의 계면에서 형성될 수 있다는 점에 유의한다. 예를 들면, 제2의 유기 화합물을 함유하는 층 및 제1의 유기 화합물을 함유하는 층을 적층시킬 경우, 여기착물은 그의 계면 부근에서 형성된다. 이들 2개의 층은 본 발명의 하나의 실시형태에서 발광층으로서 사용될 수 있다. 그러한 경우에서, 인광 화합물은 계면의 부근에서 첨가된다. 인광 화합물은 2개의 층 중 하나 또는 둘다에 첨가될 수 있다.
- [0143] 전자 수송층(704)은 전자 수송 성질이 높은 물질을 함유하는 층이다. 전자 수송 성질이 큰 물질의 예로는 Alq_3 , 트리스(4-메틸-8-퀴놀리놀라토)알루미늄(약어: $Almq_3$), 비스(10-히드록시벤조[h]퀴놀리나토)베릴륨(약어: $BeBq_2$), $BAlq$, $Zn(BOX)_2$ 및 비스[2-(2-히드록시페닐)벤조티아졸라토]아연(약어: $Zn(BTZ)_2$) 등의 금속 착물을 들 수 있다. 그의 기타의 예로는 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-tert-부틸페닐)-4-페닐-5-(4-비페닐릴)-1,2,4-트리아졸(약어: TAZ), 3-(4-tert-부틸페닐)-4-(4-에틸페닐)-5-(4-비페닐릴)-1,2,4-트리아졸(약어: p-EtTAZ), 바토펜안트롤린(약어: BPhen), 바토클로프로인(약어: BCP), 4,4'-비스(5-메틸벤조사졸-2-일)스틸벤(약어: BzOs) 등의 헤테로방향족 화합물을 들 수 있다. 여전히 기타의 예로는 폴리(2,5-피리딘-디일)(약어: PPy), 폴리[(9,9-디헥실플루오렌-2,7-디일)-co-(피리딘-3,5-디일)](약어: PF-Py) 및 폴리[(9,9-디옥틸플루오렌-2,7-디일)-co-(2,2'-비피리딘-6,6'-디일)](약어: PF-BPy) 등의 고 분자 화합물을 들 수 있다. 여기서 언급된 물질은 주로 전자 이동도가 10^{-6} cm^2/Vs 이상인 물질이다. 상기 물질 이외에, 정공보다 전자의 수송성이 큰 임의의 물질을 전자 수송층에 사용할 수 있다는 점에 유의한다.
- [0144] 추가로, 전자 수송층은 단일층으로 한정되지 않으며, 임의의 상기 물질을 함유하는 2개 이상의 층의 적층체일 수 있다.
- [0145] 전자 주입층(705)은 전자 주입 성질이 높은 물질을 함유하는 층이다. 전자 주입층(705)에 사용될 수 있는 물질의 예로는 리튬, 세슘, 칼슘, 불소화리튬, 불소화세슘, 불소화칼슘 및 산화리튬 등의 알칼리 금속, 알칼리 토금속 및 그의 화합물, 불소화에르븀 등의 희토류 금속 화합물 및 전자 수송층(704)에 사용되는 전술한 물질을 들 수 있다.
- [0146] 대안으로, 유기 화합물 및 전자 공여체(공여체)를 혼합하여 형성된 복합 물질은 전자 주입층(705)에 사용될 수 있다. 그러한 복합 물질은 전자 공여체에 의하여 유기 화합물에 전자가 생성되므로 전자 주입성 및 전자 수송성이 높다. 여기서 유기 화합물은 생성된 전자의 수송이 우수한 물질인 것이 바람직하며, 구체적으로 전자 수송층(704)을 위한 임의의 상기 물질(금속 착물 및 헤테로방향족 화합물 등)을 사용할 수 있다. 전자 공여체로서, 유기 화합물에 대한 전자-공여 성질을 나타내는 물질을 사용할 수 있다. 전자 공여체의 바람직한 구체적인 예로는 리튬, 세슘, 마그네슘, 칼슘, 에르븀 및 이테르븀 등의 알칼리 금속, 알칼리 토금속 및 희토류 금속을 들 수 있다. 임의의 알칼리 금속 산화물 및 알칼리 토금속 산화물이 바람직하며, 그의 예로는 산화리튬, 산화칼슘, 산화바륨 등 및 산화마그네슘 등의 루이스 염기 또는 테트라티아폴발렌(약어: TTF) 등의 유기 화합물을 사용할 수 있다.
- [0147] 상기 언급한 정공 주입층(701), 정공 수송층(702), 발광층(703), 전자 수송층(704) 및 전자 주입층(705)은 각각 증착법(진공 증착법 포함), 잉크젯 방법 또는 코팅 방법 등의 방법에 의하여 형성될 수 있다는 점에 유의한다.
- [0148] 복수의 EL층은 도 16b에 도시한 바와 같이 제1의 전극(103) 및 제2의 전극(108) 사이에서 적층될 수 있다. 그러한 경우에서, 전하 발생층(803)은 적층되어 있는 제1의 EL층(800) 및 제2의 EL층(801) 사이에 제공되는 것이 바람직하다. 전하 발생층(803)은 상기 기재된 복합 물질을 사용하여 형성될 수 있다. 추가로, 전하 발생층(803)은 복합 물질을 함유하는 층 및 또다른 물질을 함유하는 층을 포함하는 적층된 구조를 가질 수 있다. 그러한 경우에서, 또다른 물질을 함유하는 층으로서, 전자-공여 물질 및 전자 수송 성질이 높은 물질을 함유하는 층, 투명한 전도성 필름으로 형성된 층 등을 사용할 수 있다. 상기 구조를 갖는 발광 엘리먼트의 경우, 에너지 이동 및 소광 등의 문제가 발생하기 어려우며, 물질 선택의 폭이 넓어서 높은 발광 효율 및 긴 수명 모두를 갖는 발광 엘리먼트를 용이하게 얻을 수 있다. 게다가, EL층 중 하나로부터의 인광 및 EL 층 중 다른 하나로부터의 형광을 제공하는 발광 엘리먼트를 용이하게 얻을 수 있다. 이러한 구조는 EL층의 임의의 상기 기재된 구조와 조합될 수 있다.
- [0149] 더욱이, EL층의 발광 색상을 상이하게 함으로써 발광 엘리먼트로부터 전체로서 소정의 색상의 광을 얻을 수 있다. 예를 들면, 2개의 EL층을 갖는 발광 엘리먼트에서 제1의 및 제2의 EL층의 발광 색상은 보색 관계에 있어서 전체로서 백색광을 발광하는 발광 엘리먼트를 생성할 수 있다. 추가로, 3개 이상의 EL층을 갖는 발광 엘리먼트에도 마찬가지로 적용된다.

- [0150] 도 16c에 도시한 바와 같이, EL층(102)은 제1의 전극(103) 및 제2의 전극(108)의 사이에서 정공 주입층(701), 정공 수송층(702), 발광층(703), 전자 수송층(704), 전자 주입 완충층(706), 전자 릴레이층(707) 및, 제2의 전극(108)과 접촉되는 복합재료층(708)을 포함할 수 있다.
- [0151] 제2의 전극(108)과 접촉되는 복합재료층(708)을 제공하며, 특히 제2의 전극(108)이 스퍼터링 방법에 의하여 형성될 때 EL층(102)에 야기되는 손상이 감소될 수 있는 것이 바람직하다. 정공 수송 성질이 높은 유기 화합물이 수용체 물질을 함유하는 상기 기재된 복합 물질을 사용하여 복합재료층(708)을 형성할 수 있다.
- [0152] 추가로, 전자 주입 완충층(706)을 제공하므로써, 복합재료층(708) 및 전자 수송층(704) 사이의 주입 차단이 감소될 수 있으며, 그래서 복합재료층(708)에 생성된 전자는 전자 수송층(704)에 용이하게 주입될 수 있다.
- [0153] 전자 주입 완충층(706)의 경우, 알칼리 금속, 알칼리 토금속, 희토류 금속, 상기 금속의 화합물(예, 알칼리 금속 화합물 (예컨대 산화리튬 등의 산화물, 할로겐화물 및 탄산리튬 또는 탄산세슘 등의 탄산염 포함), 알칼리 토금속 화합물(산화물, 할로겐화물 및 탄산염 포함) 또는 희토류 금속 화합물(산화물, 할로겐화물 및 탄산염 포함) 등의 전자 주입 성질이 높은 물질을 사용할 수 있다.
- [0154] 추가로, 전자 주입 완충층(706)이 전자 수송 성질이 높은 물질 및 공여체 물질을 포함하는 경우에서, 공여체 물질 대 전자 수송 성질이 높은 물질의 질량비가 0.001:1 내지 0.1:1 범위내가 되도록 공여체 물질을 첨가하는 것이 바람직하다. 알칼리 금속, 알칼리 토금속, 희토류 금속, 상기 금속의 화합물(예, 알칼리 금속 화합물 (산화물, 할로겐화물 및 탄산리튬 또는 탄산세슘 등의 탄산염 포함), 알칼리 토금속 화합물(산화물, 할로겐화물 및 탄산염 포함) 및 희토류 금속 화합물(산화물, 할로겐화물 및 탄산염 포함)뿐 아니라, 공여체 물질로서 테트라티아나프타센(약어: TTN), 니켈로센 또는 데카메틸니켈로센 등의 유기 화합물을 사용할 수 있다는 점에 유의한다. 전자 수송 성질이 높은 물질로서, 상기 기재된 전자 수송층(704)에 대한 물질과 유사한 물질을 사용할 수 있다는 점에 유의한다.
- [0155] 더욱이, 전자 릴레이층(707)은 전자 주입 완충층(706) 및 복합재료층(708) 사이에서 형성되는 것이 바람직하다. 전자 릴레이층(707)은 반드시 제공되지는 않지만; 전자 수송 성질이 높은 전자 릴레이층(707)을 제공함으로써, 전자는 전자 주입 완충층(706)으로 신속하게 수송될 수 있다.
- [0156] 복합재료층(708) 및 전자 주입 완충층(706) 사이에 전자 릴레이층(707)이 개재되어 있는 구조는 복합재료층(708)에 함유된 수용체 물질 및 전자 주입 완충층(706)에 함유된 공여체 물질이 서로 상호작용하기가 어려워져서 그의 기능이 서로 방해하기 어려운 구조이다. 그러므로, 구동 전압에서의 증가가 방지될 수 있다.
- [0157] 전자 릴레이층(707)은 전자 수송 성질이 높은 물질을 함유하며 그리고 전자 수송 성질이 높은 물질의 LUMO 준위가 복합재료층(708)에 함유된 수용체 물질의 LUMO 준위 및 전자 수송층(704)에 함유된 전자 수송 성질이 높은 물질의 LUMO 준위 사이에 위치하도록 형성된다. 전자 릴레이층(707)이 공여체 물질을 함유하는 경우에서, 공여체 물질의 공여체 준위는 또한 복합재료층(708)에 함유된 수용체 물질의 LUMO 준위 및 전자 수송층(704)에 함유된 전자 수송 성질이 높은 물질의 LUMO 준위 사이에 위치하도록 조절된다. 에너지 준위의 구체적인 수치로서, 전자 릴레이층(707)에 함유된 전자 수송 성질이 높은 물질의 LUMO 준위는 바람직하게는 -5.0 eV 이상, 더욱 바람직하게는 -5.0 eV 이상, -3.0 eV 이하이다.
- [0158] 전자 릴레이층(707)에 함유된 전자 수송 성질이 높은 물질로서, 프탈로시아닌계 물질 또는 금속-산소 결합 및 방향족 리간드를 갖는 금속 착물을 사용하는 것이 바람직하다.
- [0159] 전자 릴레이층(707)에 함유된 프탈로시아닌계 물질로서, 구체적으로는 임의의 CuPc, 프탈로시아닌 주석(II) 착물(SnPc), 프탈로시아닌 아연 착물(ZnPc), 코발트(II) 프탈로시아닌, β-형태(CoPc), 프탈로시아닌 철(FePc) 및 바나딜 2,9,16,23-테트라펜옥시-29H,31H-프탈로시아닌(PhO-VOPc)을 사용하는 것이 바람직하다.
- [0160] 전자 릴레이층(707)에 함유된 금속-산소 결합 및 방향족 리간드를 갖는 금속 착물로서, 금속-산소 이중 결합을 갖는 금속 착물을 사용하는 것이 바람직하다. 금속-산소 이중 결합은 수용체 성질(전자를 용이하게 수용하는 성질)을 가지며; 그리하여 전자는 더욱 용이하게 이동(공여 및 수용)할 수 있다. 추가로, 금속-산소 이중 결합을 갖는 금속 착물은 안정한 것으로 고려된다. 그래서, 금속-산소 이중 결합을 갖는 금속 착물의 사용은 발광 엘리먼트가 낮은 전압에서 더 안정하게 구동되도록 할 수 있다.
- [0161] 금속-산소 결합 및 방향족 리간드를 갖는 금속 착물로서, 프탈로시아닌계 물질이 바람직하다. 구체적으로는, 임의의 바나딜 프탈로시아닌(VOPc), 프탈로시아닌 산화주석(IV) 착물(SnOPc) 및 프탈로시아닌 산화티탄 착물(TiOPc)은 분자 구조면에서 금속-산소 이중 결합이 또다른 분자에 대하여 용이하게 작용하며 그리고 수용체 성

질이 높아서 바람직하다.

- [0162] 전술한 프탈로시아닌계 물질로서, 펜옥시 기를 갖는 프탈로시아닌계 물질이 바람직하다는 점에 유의한다. 구체적으로는, PhO-VOPc 등의 펜옥시 기를 갖는 프탈로시아닌 유도체가 바람직하다. 펜옥시 기를 갖는 프탈로시아닌 유도체는 용매 중에서 가용성이어서 발광 엘리먼트의 형성 동안 취급이 용이한 잇점 및, 필름 형성에 사용되는 장치의 유지가 용이한 잇점을 갖는다.
- [0163] 전자 릴레이층(707)은 공여체 물질을 더 포함할 수 있다. 공여체 물질로서, 알칼리 금속, 알칼리 토금속, 희토류 금속 및 상기 금속의 화합물(예, 알칼리 금속 화합물(산화리튬 등의 산화물, 할로겐화물 및, 탄산리튬 또는 탄산세슘 등의 탄산염 포함), 알칼리 토금속 화합물(산화물, 할로겐화물 및 탄산염 포함) 및 희토류 금속 화합물(산화물, 할로겐화물 및 탄산염 포함))뿐 아니라, 테트라티아나프타센(약어: TTN), 니켈로센 또는 데카메틸니켈로센 등의 유기 화합물을 사용할 수 있다. 상기 공여체 물질이 전자 릴레이층(707)에 함유될 때, 전자는 용이하게 이동될 수 있으며 그리고 발광 엘리먼트는 더 낮은 전압에서 구동될 수 있다.
- [0164] 공여체 물질이 전자 릴레이층(707)에 함유되는 경우에서, 전자 수송 성질이 높은 물질로서 상기 제시된 물질 이외에, 복합재료층(708)에 함유된 수용체 물질의 수용체 준위보다 더 높은 LUMO 준위를 갖는 물질을 사용할 수 있다. 구체적으로는, LUMO 준위가 -5.0 eV 이상, 바람직하게는 -5.0 eV 이상 그리고 -3.0 eV 이하인 물질을 사용하는 것이 바람직하다. 상기 물질의 예로서, 페릴렌 유도체, 질소 함유 축합 방향족 화합물 등이 제시된다. 질소 함유 축합 방향족 화합물은 그의 높은 안정성으로 인하여 전자 릴레이층(707)에 사용되는 것이 바람직하다는 점에 유의한다.
- [0165] 페릴렌 유도체의 구체적인 예로는 3,4,9,10-페릴렌테트라카르복실산 2무수물(약어: PTCDA), 3,4,9,10-페릴렌테트라카르복실-비스-벤즈이미다졸(약어: PTCBI), N,N'-디옥틸-3,4,9,10-페릴렌테트라카르복실 디이미드(약어: PTCDI-C8H), N,N'-디헥실-3,4,9,10-페릴렌테트라카르복실 디이미드(약어: Hex PTC) 등이 있다.
- [0166] 질소 함유 축합 방향족 화합물의 구체적인 예로는 피라지노[2,3-f][1,10]페난트롤린-2,3-디카르보니트릴(약어: PPDN), 2,3,6,7,10,11-헥사시아노-1,4,5,8,9,12-헥사아자트리페닐렌(약어: HAT(CN)₆), 2,3-디페닐피리도[2,3-b]피라진(약어: 2PYPR), 2,3-비스(4-플루오로페닐)피리도[2,3-b]피라진(약어: F2PYPR) 등이 있다.
- [0167] 그 외에, 7,7,8,8-테트라시아노퀴노디메탄(약어: TCNQ), 1,4,5,8-나프탈렌테트라카르복실산 2무수물(약어: NTCDA), 퍼플루오로펜타센, 구리 헥사데카플루오로프탈로시아닌(약어: F₁₆CuPc), N,N'-비스(2,2,3,3,4,4,5,5,6,6,7,7,8,8,8-펜타데카플루오로옥틸)-1,4,5,8-나프탈렌테트라카르복실 디이미드(약어: NTCDI-C8F), 3',4'-디부틸-5,5"-비스(디시아노메틸렌)-5,5"-디히드로-2,2':5',2"-터티오펜(약어: DCMT), 메타노폴러렌(예, [6,6]-페닐 C₆₁ 부티르산 메틸 에스테르) 등을 사용할 수 있다.
- [0168] 공여체 물질이 전자 릴레이층(707)에 함유되는 경우, 전자 수송 성질이 높은 물질 및 공여체 물질의 공증착 등의 방법에 의하여 전자 릴레이층(707)이 형성될 수 있다는 점에 유의한다.
- [0169] 정공 주입층(701), 정공 수송층(702), 발광층(703) 및 전자 수송층(704)은 각각 상기 기재된 물질을 사용하여 형성될 수 있다.
- [0170] 상기 기재한 바와 같이, 본 실시형태의 EL층(102)이 형성될 수 있다.
- [0171] 상기 기재된 발광 엘리먼트에서, 제1의 전극(103) 및 제2의 전극(108) 사이에 형성된 전위차에 의하여 전류가 흐르며, EL층(102)에 정공 및 전자가 재결합되어 발광된다. 그후, 이러한 발광은 제1의 전극(103) 또는 제2의 전극(108) 중 어느 하나 또는 둘다를 통하여 외부로 추출된다. 그러므로, 제1의 전극(103) 또는 제2의 전극(108) 중 어느 하나 또는 둘다는 가시광에 대한 투광 성질을 갖는 전극이 된다.
- [0172] 제1의 전극(103) 및 제2의 전극(108) 사이에 제공된 층의 구조는 상기 기재된 구조로 한정되지 않는다는 점에 유의한다. 대안으로, 금속에 대한 발광 영역의 근접으로 인한 소광을 방지하도록 하기 위하여 제1의 전극(103) 및 제2의 전극(108)로부터 분리된 부분에 정공 및 전자가 재결합되는 발광 영역이 제공되는 한 상기 이외의 것을 사용할 수 있다.
- [0173] 환언하면, 층의 적층 구조에는 특정한 제한은 없다. 전자 수송 성질이 높은 물질, 정공 수송 성질이 높은 물질, 전자 주입 성질이 높은 물질, 정공 주입 성질이 높은 물질, 양극형 물질(전자 수송 성질이 높고 그리고 정공 수송 성질이 높은 물질), 정공-차단 물질 등을 포함하는 층을 발광층과 자유롭게 조합할 수 있다.
- [0174] 본 실시형태에 기재된 발광 엘리먼트의 사용에 의하여, 발광 엘리먼트의 구동이 트랜지스터에 의하여 제어되는

패시브 매트릭스 발광 디바이스 또는 액티브 매트릭스 발광 디바이스를 제조할 수 있다. 더욱이, 발광 디바이스는 전자 디바이스, 조명 디바이스 등에 적용될 수 있다.

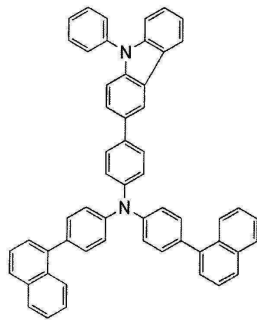
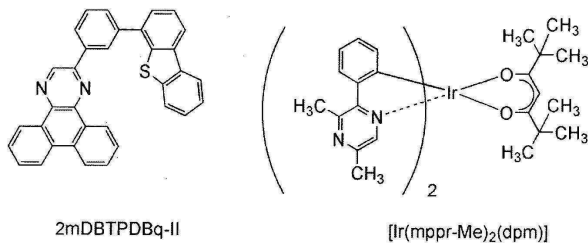
[0175] 상기 기재된 방식으로, 본 발명의 하나의 실시형태의 발광 엘리먼트를 제조할 수 있다.

[0176] 이러한 실시형태는 임의의 기타 실시형태와 적절히 조합할 수 있다는 점에 유의한다.

[0177] 실시예 1

[0178] 본 실시예에서, 본 발명의 하나의 실시형태의 발광 엘리먼트에 사용될 수 있는 제1의 유기 화합물, 제2의 유기 화합물 및 인광 화합물의 조합의 예는 도 1a 및 도 1b를 참조하여 기재한다.

[0179] 본 실시예에서 사용한 인광 화합물은 비스(3,5-디메틸-2-페닐피라지나토)(디피발로일메타나토)이리듐(III)(약어: $[\text{Ir}(\text{mppr-Me})_2(\text{dpm})]$)이다. 본 실시예에서 사용한 제1의 유기 화합물은 2-[3-(디벤조티오펜-4-일)페닐]디벤조[*f,h*]퀴놀살린(약어: 2mDBTPDBq-II)이다. 본 실시예에서 사용한 제2의 유기 화합물은 4,4'-디(1-나프틸)-4''-(9-페닐-9H-카르바졸-3-일)트리페닐아민(약어: PCBNBB)이다. 본 실시예에 사용된 물질의 화학식을 하기에 제시한다.



[0180]

[0181] <흡수 스펙트럼>

[0182] 도 1a 및 도 1b는 각각 $[\text{Ir}(\text{mppr-Me})_2(\text{dpm})]$ 의 디클로로메탄 용액 중의 인광 화합물인 $[\text{Ir}(\text{mppr-Me})_2(\text{dpm})]$ 의 자외-가시 흡수 스펙트럼(이하, 간단히 흡수 스펙트럼으로 지칭함)을 도시한다. 흡수 스펙트럼은 자외-가시 분광 광도계(V-550, 자스코 코포레이션(JASCO Corporation) 제조)를 사용하여 디클로로메탄 용액(0.093 mmol/l)을 석영 셀에 넣은 상태로 실온에서 측정하였다.

[0183] <발광 스펙트럼>

[0184] 또한, 도 1a 및 도 1b는 각각 제1의 유기 화합물인 2mDBTPDBq-II의 박막의 발광 스펙트럼(발광 스펙트럼 1), 제2의 유기 화합물인 PCBNBB의 박막의 발광 스펙트럼(발광 스펙트럼 2) 및 2mDBTPDBq-II 및 PCBNBB의 혼합 물질의 박막의 발광 스펙트럼(발광 스펙트럼 3)을 도시한다. 도 1a에서, 가로축은 파장(nm)을 나타내며, 세로축은 몰 흡광 계수 $\epsilon (\text{M}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1})$ 및 흡광 강도(임의 단위)를 나타낸다. 도 1b에서, 가로축은 에너지(eV)를 나타내며, 세로축은 몰 흡광 계수 $\epsilon (\text{M}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1})$ 및 흡광 강도(임의 단위)를 나타낸다.

[0185] 도 1a에서의 흡수 스펙트럼으로부터 알 수 있는 바와 같이, $[\text{Ir}(\text{mppr-Me})_2(\text{dpm})]$ 은 약 520 nm에서 넓은 흡수 밴드를 갖는다. 이러한 흡수 밴드는 발광에 크게 기여하는 것으로 고려된다.

[0186] 발광 스펙트럼 3은 발광 스펙트럼 1 및 2보다 더 긴 파장(더 낮은 에너지)에서 피크를 갖는다. 게다가, 발광 스펙트럼 3의 피크는 발광 스펙트럼 1 및 2의 피크보다 흡수 밴드에 더 근접한다. 도 1a 및 도 1b는 발광 스펙

트럼 3이 발광에 크게 기여하는 흡수 스펙트럼의 흡수 밴드와 최대로 중첩된다는 것을 도시한다. 구체적으로는, 흡수 스펙트럼에서 흡수 밴드의 피크(약 520 nm에서의 솔더 피크) 및 발광 스펙트럼 3의 피크 사이의 차이는 0.04 eV이다.

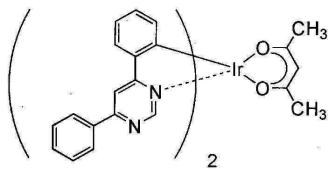
[0187] 2mDBTPDBq-II 및 PCBNBB의 혼합 물질의 발광 스펙트럼은 유기 화합물 단독의 발광 스펙트럼보다 더 긴 파장(더 낮은 에너지)에서 피크를 갖는 것으로 밝혀졌다. 이는 2mDBTPDBq-II를 PCBNBB와 혼합하여 여기착물이 형성된다는 것을 나타낸다.

[0188] 혼합 물질의 발광 스펙트럼은 발광에 크게 기여하는 것으로 고려되는 [Ir(mppr-Me)₂(dpm)] 흡수 스펙트럼에서의 흡수 밴드와 크게 중첩되는 것으로 밝혀졌다. 그래서, 이는 2mDBTPDBq-II 및 PCBNBB의 혼합 물질 및 [Ir(mppr-Me)₂(dpm)]을 포함하는 발광 엘리먼트는 혼합 물질의 발광 스펙트럼 및 인광 화합물의 흡수 스펙트럼 사이의 중첩을 사용하여 에너지를 이동시키므로 에너지 이동 효율이 높다는 것을 시사한다. 따라서, 외부 양자 효율이 높은 발광 엘리먼트를 얻을 수 있다는 것을 시사한다.

[0189] 실시예 2

[0190] 본 실시예에서, 본 발명의 하나의 실시형태의 발광 엘리먼트에 사용될 수 있는 제1의 유기 화합물, 제2의 유기 화합물 및 인광 화합물의 조합의 일례는 도 2a 및 도 2b를 참조하여 기재한다.

[0191] 본 실시예에 사용된 인광 화합물은 (아세틸아세토나토)비스(4,6-디페닐피리미디나토)이리듐(III)(약어: [Ir(dppm)₂(acac)])이다. 본 실시예에 사용된 제1의 유기 화합물은 2mDBTPDBq-II이다. 본 실시예에 사용된 제2의 유기 화합물은 PCBNBB이다. 본 실시예에 사용된 물질의 화학식은 하기에 제시한다. 실시예 1에 사용된 물질의 화학식은 여기서 생략한다는 점에 유의한다.



[Ir(dppm)₂(acac)]

[0192]

[0193] <흡수 스펙트럼>

[0194] 도 2a 및 도 2b는 각각 [Ir(dppm)₂(acac)]의 디클로로메탄 용액 중의 인광 화합물인 [Ir(dppm)₂(acac)]의 자외-가시 흡수 스펙트럼(이하, 간단히 흡수 스펙트럼으로 지칭함)을 도시한다. 흡수 스펙트럼은 자외-가시 분광 광도계(V-550, 자스코 코포레이션 제조)를 사용하여 디클로로메탄 용액(0.093 mmol/l)을 석영 셀에 넣은 상태로 실온에서 측정하였다.

[0195] <발광 스펙트럼>

[0196] 또한, 도 2a 및 도 2b는 각각 제1의 유기 화합물인 2mDBTPDBq-II의 박막의 발광 스펙트럼(발광 스펙트럼 4), 제2의 유기 화합물인 PCBNBB의 박막의 발광 스펙트럼(발광 스펙트럼 5) 및 2mDBTPDBq-II 및 PCBNBB의 혼합 물질의 박막의 발광 스펙트럼(발광 스펙트럼 6)을 도시한다. 도 2a에서, 가로축은 파장(nm)을 나타내며, 세로축은 물 흡광 계수 ϵ ($M^{-1} \cdot cm^{-1}$) 및 흡광 강도(임의 단위)를 나타낸다. 도 2b에서, 가로축은 에너지(eV)를 나타내며, 세로축은 물 흡광 계수 ϵ ($M^{-1} \cdot cm^{-1}$) 및 흡광 강도(임의 단위)를 나타낸다.

[0197] 도 2a에서의 흡수 스펙트럼으로부터 알 수 있는 바와 같이, [Ir(dppm)₂(acac)]는 약 520 nm에서 넓은 흡수 밴드를 갖는다. 이러한 흡수 밴드는 발광에 크게 기여하는 것으로 고려된다.

[0198] 발광 스펙트럼 6은 발광 스펙트럼 4 및 5보다 더 긴 파장(더 낮은 에너지)에서 피크를 갖는다. 게다가, 발광 스펙트럼 6의 피크는 발광 스펙트럼 4 및 5의 피크보다 흡수 밴드에 더 근접한다. 도 2a 및 도 2b는 발광 스펙트럼 6이 발광에 크게 기여하는 흡수 스펙트럼의 흡수 밴드와 최대로 중첩된다는 것을 도시한다. 구체적으로는, 흡수 스펙트럼에서의 흡수 밴드의 피크(515 nm) 및 발광 스펙트럼 6의 피크 사이의 차이는 0.02 eV이다.

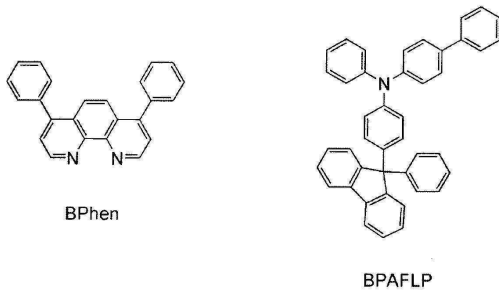
[0199] 2mDBTPDBq-II 및 PCBNBB의 혼합 물질의 발광 스펙트럼은 유기 화합물 단독의 발광 스펙트럼보다 더 긴 파장(더

낮은 에너지)에서 피크를 갖는 것으로 밝혀졌다. 이는 2mDBTPDBq-II를 PCBNBB와 혼합하여 여기착물이 형성된다는 것을 시사한다.

[0200] 혼합 물질의 발광 스펙트럼의 피크는 발광에 크게 기여하는 것으로 고려되는 $[\text{Ir}(\text{dppm})_2(\text{acac})]$ 의 흡수 스펙트럼에서의 흡수 밴드와 크게 중첩되는 것으로 밝혀졌다. 그래서, 이는 2mDBTPDBq-II 및 PCBNBB의 혼합 물질 및 $[\text{Ir}(\text{dppm})_2(\text{acac})]$ 를 포함하는 발광 엘리먼트가 혼합 물질의 발광 스펙트럼 및 인광 화합물의 흡수 스펙트럼 사이의 중첩을 사용하여 에너지를 이동시키므로 에너지 이동 효율이 높다는 것을 시사한다. 따라서, 외부 양자 효율이 높은 발광 엘리먼트를 얻을 수 있다는 것을 시사한다.

[0201] 실시예 3

[0202] 본 실시예에서, 본 발명의 하나의 실시형태의 발광 엘리먼트는 도 15를 참조하여 기재한다. 본 실시예에 사용된 물질의 화학식은 하기에 제시한다. 상기 실시예에 사용된 물질의 화학식은 여기서 생략한다는 점에 유의한다.



[0203]

[0204] 본 실시예의 발광 엘리먼트 1 및 비교용 발광 엘리먼트 2의 제조 방법을 하기에 기재한다.

[0205] 발광 엘리먼트 1

[0206] 우선, 유리 기판(1100)의 위에 산화규소를 함유하는 산화인듐주석(ITSO)의 필름을 스퍼터링 방법에 의하여 형성하여 애노드로서 기능하는 제1의 전극(1101)을 형성하였다. 두께를 110 nm로 설정하고, 전극 면적을 2 mm×2 mm로 설정한 점에 유의한다.

[0207] 그 다음, 기판(1100)의 위에 발광 엘리먼트를 형성하기 위한 전처리로서, 기판 표면을 물로 세정하고, 200℃에서 1 시간 동안 소성을 실시한 후 UV 오존 처리를 370 초 동안 실시하였다.

[0208] 그후, 압력을 약 10^{-4} Pa로 감소시킨 진공 증착 장치에 기판을 도입하고, 진공 증착 장치의 가열실에서 170℃에서 30 분 동안 진공 소성을 실시한 후, 기판(1100)을 약 30 분 동안 냉각시켰다.

[0209] 그 다음, 제1의 전극(1101)이 제공된 면이 아래를 향하도록 제1의 전극(1101)이 제공된 기판(1100)을 진공 증착 장치내의 기판 홀더에 고정시켰다. 진공 증착 장치내의 압력을 약 10^{-4} Pa로 감압시켰다. 그후, 4-페닐-4'-(9-페닐플루오렌-9-일)트리페닐아민(약어: BPAFLP) 및 산화몰리브덴(VI)을 공증착시켜 제1의 전극(1101)의 위에 정공 주입층(1111)을 형성하였다. 정공 주입층(1111)의 두께를 40 nm로 설정하고, BPAFLP 대 산화몰리브덴의 증량비를 4:2(=BPAFLP:산화몰리브덴)로 조절하였다.

[0210] 그 다음, 정공 주입층(1111)의 위에 BPAFLP의 필름을 20 nm의 두께로 형성하여 정공 수송층(1112)을 형성하였다.

[0211] 더욱이, 2mDBTPDBq-II, PCBNBB 및 $[\text{Ir}(\text{mppr-Me})_2(\text{dpm})]$ 을 공증착시켜 정공 수송층(1112)의 위에 발광층(1113)을 형성하였다. 여기서, 2mDBTPDBq-II 대 PCBNBB 대 $[\text{Ir}(\text{mppr-Me})_2(\text{dpm})]$ 의 증량비를 0.8:0.2:0.05(=2mDBTPDBq-II:PCBNBB: $[\text{Ir}(\text{mppr-Me})_2(\text{dpm})]$)으로 조절하였다. 발광층(1113)의 두께를 40 nm로 설정하였다.

[0212] 추가로, 발광층(1113)의 위에 2mDBTPDBq-II의 필름을 10 nm의 두께로 형성하여 제1의 전자 수송층(1114a)을 형성하였다.

[0213] 그 다음, 제1의 전자 수송층(1114a)의 위에 바토펜안트라센(약어: BPhen)의 필름을 20 nm의 두께로 형성하여 제

2의 전자 수송층(1114b)을 형성하였다.

[0214] 추가로, 제2의 전자 수송층(1114b)의 위에 불소화리튬(LiF)의 필름을 증착에 의하여 1 nm의 두께로 형성하여 전자 주입층(1115)을 형성하였다.

[0215] 마지막으로, 알루미늄 필름을 증착에 의하여 필름 200 nm의 두께로 캐소드로서 기능하는 제2의 전극(1103)으로서 형성하였다. 그리하여 본 실시예의 발광 엘리먼트 1을 제조하였다.

[0216] 비교용 발광 엘리먼트 2

[0217] 비교용 발광 엘리먼트 2의 발광층(1113)은 2mDBTPDBq-II 및 [Ir(mppr-Me)₂(dpm)]을 공증착시켜 형성하였다. 여기서, 2mDBTPDBq-II 대 [Ir(mppr-Me)₂(dpm)]의 중량비를 1:0.05(=2mDBTPDBq-II:[Ir(mppr-Me)₂(dpm)])으로 조절하였다. 발광층(1113)의 두께를 40 nm로 설정하였다. 발광층(1113) 이외의 성분은 발광 엘리먼트 1과 유사한 방식으로 제조하였다.

[0218] 상기 모든 증착 단계에서, 증착은 저항 가열 방법에 의하여 실시하였다는 점에 유의한다.

[0219] 하기 표 1은 상기 기재한 바와 같이 하여 얻은 발광 엘리먼트 1 및 비교용 발광 엘리먼트 2의 엘리먼트 구조를 나타낸다.

[0220] 표 1

	제1의 전극	정공 주입층	정공 수송층	발광층	제1의 전자 수송층	제2의 전자 수송층	전자 주입층	제2의 전극
발광 엘리먼트 1	ITO 110 nm	BPAFLP:MoO _x (=4:2) 40 nm	BPAFLP 20 nm	2mDBTPDBq-II:PCBNBB:[Ir(mppr-Me) ₂ (dpm)] (=0.8:0.2:0.05) 40 nm	2mDBTPDBq-II 10 nm	BPhen 20 nm	LiF 1 nm	Al 200 nm
비교용 발광 엘리먼트 2	ITO 110 nm	BPAFLP:MoO _x (=4:2) 40 nm	BPAFLP 20 nm	2mDBTPDBq-II:[Ir(mppr-Me) ₂ (dpm)] (=1:0.05) 40 nm	2mDBTPDBq-II 10 nm	BPhen 20 nm	LiF 1 nm	Al 200 nm

[0221]

[0222] 질소 대기를 함유하는 글로브 박스내에서, 이들 발광 엘리먼트를 대기에 노출되지 않도록 봉지 처리하였다. 그 후, 이들 발광 엘리먼트의 작동 특성을 측정하였다. 측정은 실온에서 (25℃에서 유지된 대기 중에서) 실시하였다는 점에 유의한다.

[0223] 도 3은 발광 엘리먼트 1 및 비교용 발광 엘리먼트 2의 전류 밀도-휘도 특징을 도시한다. 도 3에서, 가로축은 전류 밀도(mA/cm²)을 나타내며, 세로축은 휘도(cd/m²)를 나타낸다. 도 4는 그의 전압-휘도 특징을 도시한다. 도 4에서, 가로축은 전압(V)을 나타내며, 세로축은 휘도(cd/m²)를 나타낸다. 도 5는 그의 휘도-전류 효율 특징을 도시한다. 도 5에서, 가로축은 휘도(cd/m²)를 나타내며, 세로축은 전류 효율(cd/A)을 나타낸다. 도 6은 그의 휘도-외부 양자 효율 특징을 도시한다. 도 6에서, 가로축은 휘도(cd/m²)를 나타내며, 세로축은 외부 양자 효율(%)을 나타낸다.

[0224] 추가로, 하기 표 2는 발광 엘리먼트 1 및 비교용 발광 엘리먼트 2 각각의 약 1,000 cd/m²의 휘도에서의 전압(V), 전류 밀도(mA/cm²), CIE 색도 좌표(x, y), 전류 효율(cd/A), 전원 효율(lm/W) 및 외부 양자 효율(%)을 나타낸다.

[0225] 표 2

	전압 (V)	전류 밀도 (mA/cm ²)	색도 좌표 (x, y)	휘도 (cd/m ²)	전류 효율 (cd/A)	전원 효율 (lm/W)	외부 양자 효율 (%)
발광 엘리먼트 1	3.0	1.8	(0.56, 0.44)	1200	64	67	24
비교용 발광 엘리먼트 2	3.1	2.1	(0.55, 0.44)	960	45	46	17

[0226]

[0227] 도 7은 0.1 mA의 전류를 인가하여 얻은 발광 엘리먼트 1 및 비교용 발광 엘리먼트 2의 발광 스펙트럼을 도시한다. 도 7에서, 가로축은 파장(nm)을 나타내며, 세로축은 흡광 강도(임의 단위)를 나타낸다. 표 2에 나타낸 바와 같이, 1,200 cd/m²의 휘도에서 발광 엘리먼트 1의 CIE 색도 좌표는 (x, y)=(0.56, 0.44)이고, 960 cd/m²의

휘도에서 비교용 발광 엘리먼트 2의 CIE 색도 좌표는 (x, y)=(0.55, 0.44)이었다. 이러한 결과는 [Ir(mppr-Me)₂(dpm)]으로부터 유래하는 오렌지색 발광을 발광 엘리먼트 1 및 비교용 발광 엘리먼트 2로부터 얻었다는 것을 나타낸다.

[0228] 표 2 및 도 3 내지 도 6으로부터 알 수 있는 바와 같이, 발광 엘리먼트 1은 비교용 발광 엘리먼트 2에 비하여 전류 효율이 높고, 전원 효율이 높으며, 외부 양자 효율이 높다.

[0229] 본 실시예의 발광 엘리먼트 1에서, 실시예 1에 기재된 2mDBTPDBq-II, PCBNBB 및 [Ir(mppr-Me)₂(dpm)]을 발광층에 사용하였다. 실시예 1에 기재한 바와 같이, 2mDBTPDBq-II 및 PCBNBB의 혼합 물질의 발광 스펙트럼(여기착물의 발광 스펙트럼)은 2mDBTPDBq-II 또는 PCBNBB 단독의 발광 스펙트럼에 비하여 [Ir(mppr-Me)₂(dpm)]의 흡수 스펙트럼과 더 크게 중첩된다. 본 실시예의 발광 엘리먼트 1은 중첩을 이용하여 에너지를 이동시키므로 에너지 이동 효율이 높으며, 그리하여 비교용 발광 엘리먼트 2에 비하여 외부 양자 효율이 더 높은 것으로 고려된다.

[0230] 상기 결과는 외부 양자 효율이 높은 엘리먼트가 본 발명의 하나의 실시형태의 적용에 의하여 얻을 수 있다는 것을 나타낸다.

[0231] 그 다음, 발광 엘리먼트 1 및 비교용 발광 엘리먼트 2에 신뢰성 테스트를 실시하였다. 신뢰성 테스트의 결과로도 8에 도시한다. 도 8에서, 세로축은 초기 휘도 100%로 정규화된 휘도(%)를 나타내며, 가로축은 엘리먼트의 구동 시간(h)을 나타낸다.

[0232] 신뢰성 테스트에서, 발광 엘리먼트 1 및 비교용 발광 엘리먼트 2는 초기 휘도를 5,000 cd/m²로 설정하고 그리고 전류 밀도가 일정한 조건하에서 구동시켰다.

[0233] 120 시간 후 비교용 발광 엘리먼트 2의 휘도는 초기 휘도의 58%이었다. 630 시간후 발광 엘리먼트 1의 휘도는 초기 휘도의 65%이었다. 이러한 결과로부터, 발광 엘리먼트 1은 비교용 발광 엘리먼트 2보다 수명이 더 긴 것으로 밝혀졌다.

[0234] 상기 결과는 신뢰성이 높은 엘리먼트가 본 발명의 하나의 실시형태의 적용에 의하여 얻을 수 있다는 것을 나타낸다.

[0235] 실시예 4

[0236] 본 실시예에서, 본 발명의 하나의 실시형태의 발광 엘리먼트는 도 15를 참조하여 기재한다. 본 실시예에서 사용한 물질은 상기 실시예에서 사용하였으므로, 여기서 그의 화학식은 생략한다.

[0237] 본 실시예의 발광 엘리먼트 3의 제조 방법을 하기에 기재하고자 한다.

[0238] 발광 엘리먼트 3

[0239] 우선, 유리 기판(1100)의 위에 ITS0의 필름을 스퍼터링 방법에 의하여 형성하여 애노드로서 기능하는 제1의 전극(1101)을 형성하였다. 두께를 110 nm로 설정하고, 전극 면적을 2 mm×2 mm로 설정한 점에 유의한다.

[0240] 그 다음, 기판(1100)의 위에 발광 엘리먼트를 형성하기 위한 전처리로서, 기판 표면을 물로 세정하고, 200℃에서 1 시간 동안 소성을 실시한 후 UV 오존 처리를 370 초 동안 실시하였다.

[0241] 그후, 압력을 약 10⁻⁴ Pa로 감소시킨 진공 증착 장치에 기판을 도입하고, 진공 증착 장치의 가열실에서 170℃에서 30 분 동안 진공 소성을 실시한 후, 기판(1100)을 약 30 분 동안 냉각시켰다.

[0242] 그 다음, 제1의 전극(1101)이 제공된 면이 아래를 향하도록 제1의 전극(1101)이 제공된 기판(1100)을 진공 증착 장치내의 기판 홀더에 고정시켰다. 진공 증착 장치내의 압력을 약 10⁻⁴ Pa로 감압시켰다. 그후, BPAFLP 및 산화몰리브덴(VI)을 공증착시켜 제1의 전극(1101)의 위에 정공 주입층(1111)을 형성하였다. 정공 주입층(1111)의 두께를 40 nm로 설정하고, BPAFLP 대 산화몰리브덴의 중량비를 4:2(=BPAFLP:산화몰리브덴)로 조절하였다.

[0243] 그 다음, 정공 주입층(1111)의 위에 BPAFLP의 필름을 20 nm의 두께로 형성하여 정공 수송층(1112)을 형성하였다.

[0244] 더욱이, 2mDBTPDBq-II, PCBNBB 및 [Ir(dppm)₂(acac)]를 공증착시켜 정공 수송층(1112)의 위에 발광층(1113)을 형성하였다. 여기서, 2mDBTPDBq-II 대 PCBNBB 대 [Ir(dppm)₂(acac)]의 중량비를 0.8:0.2:0.05(=2mDBTPDBq-

II:PCBNBB:[Ir(dppm)₂(acac)]로 조절하였다. 발광층(1113)의 두께를 40 nm로 설정하였다.

[0245] 추가로, 발광층(1113)의 위에 2mDBTPDBq-II의 필름을 10 nm의 두께로 형성하여 제1의 전자 수송층(1114a)을 형성하였다.

[0246] 그 다음, 제1의 전자 수송층(1114a)의 위에 BPhen의 필름을 20 nm의 두께로 형성하여 제2의 전자 수송층(1114b)을 형성하였다.

[0247] 추가로, 제2의 전자 수송층(1114b)의 위에 LiF의 필름을 증착에 의하여 1 nm의 두께로 형성하여 전자 주입층(1115)를 형성하였다.

[0248] 마지막으로, 알루미늄 필름을 증착에 의하여 200 nm의 두께로 캐소드로서 기능하는 제2의 전극(1103)으로서 형성하였다. 그리하여 본 실시예의 발광 엘리먼트 3를 제조하였다.

[0249] 상기 모든 증착 단계에서, 증착은 저항 가열 방법에 의하여 실시하였다는 점에 유의한다.

[0250] 하기 표 3은 상기 기재한 바와 같이 하여 얻은 발광 엘리먼트 3의 엘리먼트 구조를 나타낸다.

[0251] 표 3

	제1의 전극	정공 주입층	정공 수송층	발광층	제1의 전자 수송층	제2의 전자 수송층	전자 주입층	제2의 전극
발광 엘리먼트 3	ITO 110 nm	BPAFLP:MoO _x (=4:2) 40 nm	BPAFLP 20 nm	2mDBTPDBq-II:PCBNBB:[Ir(dppm) ₂ (acac)] (=0.8:0.2:0.05) 40 nm	2mDBTPDBq-II 10 nm	BPhen 20 nm	LiF 1 nm	Al 200 nm

[0252]

[0253] 질소 대기를 함유하는 글로브 박스내에서, 발광 엘리먼트 3를 대기에 노출되지 않도록 봉지 처리하였다. 그 후, 발광 엘리먼트의 작동 특성을 측정하였다. 측정은 실온에서 (25℃에서 유지된 대기 중에서) 실시하였다는 점에 유의한다.

[0254] 도 9는 발광 엘리먼트 3의 전류 밀도-휘도 특징을 도시한다. 도 9에서, 가로축은 전류 밀도(mA/cm²)을 나타내며, 세로축은 휘도(cd/m²)를 나타낸다. 도 10은 그의 전압-휘도 특징을 도시한다. 도 10에서, 가로축은 전압(V)을 나타내며, 세로축은 휘도(cd/m²)를 나타낸다. 도 11은 그의 휘도-전류 효율 특징을 도시한다. 도 11에서, 가로축은 휘도(cd/m²)를 나타내며, 세로축은 전류 효율(cd/A)을 나타낸다. 도 12는 그의 휘도-외부 양자 효율 특징을 나타낸다. 도 12에서, 가로축은 휘도(cd/m²)를 나타내며, 세로축은 외부 양자 효율(%)을 나타낸다.

[0255] 추가로, 하기 표 4는 1,100 cd/m²의 휘도에서 발광 엘리먼트 3의 전압(V), 전류 밀도(mA/cm²), CIE 색도 좌표(x, y), 전류 효율(cd/A), 전원 효율(lm/W) 및 외부 양자 효율(%)을 나타낸다.

[0256] 표 4

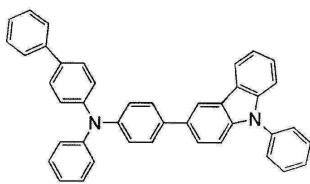
	전압 (V)	전류 밀도 (mA/cm ²)	색도 좌표 (x, y)	전류 효율 (cd/A)	전원 효율 (lm/W)	외부 양자 효율 (%)
발광 엘리먼트 3	2.9	1.5	(0.54, 0.46)	77	83	28

[0257]

[0258] 도 13은 0.1 mA의 전류를 인가하여 얻은 발광 엘리먼트 3의 발광 스펙트럼을 도시한다. 도 13에서, 가로축은 파장(nm)을 나타내며, 세로축은 흡광 강도(임의 단위)를 나타낸다. 표 4에 나타낸 바와 같이, 1,100 cd/m²의 휘도에서 발광 엘리먼트 3의 CIE 색도 좌표는 (x, y)=(0.54, 0.46)이었다. 이러한 결과는 발광 엘리먼트 3으로부터 [Ir(dppm)₂(acac)]로부터 유래하는 오렌지색 발광을 얻었다는 것을 나타낸다.

[0259] 표 4 및 도 9 내지 도 12로부터 알 수 있는 바와 같이, 발광 엘리먼트 3은 전류 효율이 높고, 전원 효율이 높으며 그리고 외부 양자 효율이 높다. 특히, 발광 엘리먼트 3은 1,100 cd/m²의 휘도에서 외부 양자 효율이 28%로 매우 높다. 상기 기재한 바와 같이, 외부 양자 효율의 상한치는 약 25%인 것으로 알려졌다. 그러나, 이러한 외부 양자 효율의 결과는 상한치를 상회한다.

- [0260] 본 실시예의 발광 엘리먼트에서, 실시예 2에 기재된 2mDBTPDBq-II, PCBNBB 및 [Ir(dppm)₂(acac)]를 발광층에 사용한다. 실시예 2에 기재한 바와 같이, 2mDBTPDBq-II 및 PCBNBB의 혼합 물질의 발광 스펙트럼(여기착물의 발광 스펙트럼)은 2mDBTPDBq-II 또는 PCBNBB 단독의 발광 스펙트럼에 비하여 [Ir(dppm)₂(acac)]의 흡수 스펙트럼과 더 크게 중첩되었다. 본 실시예의 발광 엘리먼트는 중첩을 사용하여 에너지를 이동시키므로 에너지 이동 효율이 높고, 그리하여 외부 양자 효율이 예상밖으로 높은 것으로 고려된다.
- [0261] 실시예 2의 결과는 발광 엘리먼트 3에 사용된 게스트 물질의 흡수 스펙트럼에서 최장 파장측에서의 흡수 밴드의 피크가 발광 스펙트럼의 피크에 근접하며, 피크에서의 몰 흡광 계수가 크다(> 5,000 M⁻¹·cm⁻¹)는 것을 나타낸다. 이들 결과로부터, 발광 엘리먼트 3은 에너지 이동 효율이 특히 높아서 예상밖으로 높은 외부 양자 효율을 갖는 것으로 고려된다.
- [0262] 상기 결과는 외부 양자 효율이 높은 엘리먼트가 본 발명의 하나의 실시형태의 적용에 의하여 얻을 수 있다는 것을 나타낸다.
- [0263] 그 다음, 발광 엘리먼트 3은 신뢰성 테스트를 실시하였다. 신뢰성 테스트의 결과를 도 14에 도시하였다. 도 14에서, 세로축은 초기 휘도 100%로 정규화된 휘도(%)를 나타내며, 가로축은 엘리먼트의 구동 시간(h)을 나타낸다.
- [0264] 신뢰성 테스트에서, 발광 엘리먼트 3은 초기 휘도를 5,000 cd/m²로 설정하고 그리고 전류 밀도가 일정한 조건하에서 구동시켰다.
- [0265] 발광 엘리먼트 3은 320 시간 동안 구동후 초기 휘도의 92%를 유지하였다.
- [0266] 상기 결과는 본 발명의 하나의 실시형태의 적용에 의하여 신뢰성이 높은 엘리먼트를 얻을 수 있다는 것을 나타낸다.
- [0267] 실시예 5
- [0268] 본 실시예에서, 본 발명의 하나의 실시형태의 발광 엘리먼트에 사용될 수 있는 제1의 유기 화합물, 제2의 유기 화합물 및 인광 화합물의 조합의 예를 도 18a 및 도 18b를 참조하여 기재한다.
- [0269] 본 실시예에 사용된 인광 화합물은 [Ir(dppm)₂(acac)]이다. 본 실시예에 사용된 제1의 유기 화합물은 2mDBTPDBq-II이다. 본 실시예에 사용된 제2의 유기 화합물은 4-페닐-4'-(9-페닐-9H-카르바졸-3-일)트리페닐아민(약어: PCBA1BP)이다. 본 실시예에 사용된 물질의 화학식은 하기에 제시한다. 상기 실시예에 사용된 물질의 화학식은 여기서 생략한다는 점에 유의한다.



PCBA1BP

- [0270]
- [0271] <흡수 스펙트럼>
- [0272] 도 18a 및 도 18b는 각각 [Ir(dppm)₂(acac)]의 디클로로메탄 용액 중의 인광 화합물인 [Ir(dppm)₂(acac)]의 자외-가시 흡수 스펙트럼(이하, 간단히 흡수 스펙트럼으로 지칭함)을 도시한다. 흡수 스펙트럼은 자외-가시 분광 광도계(V-550, 자스코 코포레이션 제조)를 사용하여 디클로로메탄 용액(0.093 mmol/l)을 석영 셀에 넣은 상태로 실온에서 측정하였다.
- [0273] <발광 스펙트럼>
- [0274] 또한, 도 18a 및 도 18b는 각각 제1의 유기 화합물인 2mDBTPDBq-II의 박막의 발광 스펙트럼(발광 스펙트럼 7), 제2의 유기 화합물인 PCBA1BP의 박막의 발광 스펙트럼(발광 스펙트럼 8) 및 2mDBTPDBq-II 및 PCBA1BP의 혼합 물질의 박막의 발광 스펙트럼(발광 스펙트럼 9)을 도시한다. 도 18a에서, 가로축은 파장(nm)을 나타내며, 세로축은 몰 흡광 계수 ϵ (M⁻¹·cm⁻¹) 및 흡광 강도(임의 단위)를 나타낸다. 도 18b에서, 가로축은 에너지(eV)를 나타

내며, 세로축은 몰 흡광 계수 ϵ ($M^{-1} \cdot cm^{-1}$) 및 흡광 강도(임의 단위)를 나타낸다.

- [0275] 도 18a에서의 흡수 스펙트럼으로부터 알 수 있는 바와 같이, $[Ir(dppm)_2(acac)]$ 는 약 520 nm에서 넓은 흡수 밴드를 갖는다. 이러한 흡수 밴드는 발광에 크게 기여하는 것으로 고려된다.
- [0276] 발광 스펙트럼 9는 발광 스펙트럼 7 및 8보다 더 긴 파장(더 낮은 에너지)에서 피크를 갖는다. 게다가, 발광 스펙트럼 9의 피크는 발광 스펙트럼 7 및 8의 피크보다 흡수 밴드에 더 근접한다. 도 18a 및 도 18b는 발광 스펙트럼 9가 발광에 크게 기여하는 흡수 스펙트럼의 흡수 밴드와 최대한으로 중첩된다는 것을 도시한다. 구체적으로는, 흡수 스펙트럼에서의 흡수 밴드의 피크(515 nm)와 발광 스펙트럼 9의 피크 사이의 차이는 0.02 eV이다.
- [0277] 2mDBTPDBq-II 및 PCBA1BP의 혼합 물질의 발광 스펙트럼은 유기 화합물 단독의 발광 스펙트럼보다 더 긴 파장(더 낮은 에너지)에서 피크를 갖는 것으로 밝혀졌다. 이는 2mDBTPDBq-II를 PCBA1BP와 혼합하여 여기착물을 형성한다는 것을 나타낸다.
- [0278] 혼합 물질의 발광 스펙트럼의 피크는 발광에 크게 기여하는 것으로 고려되는 $[Ir(dppm)_2(acac)]$ 의 흡수 스펙트럼에서의 흡수 밴드와 크게 중첩되는 것으로 밝혀졌다. 그래서, 이는 2mDBTPDBq-II 및 PCBA1BP의 혼합 물질 및 $[Ir(dppm)_2(acac)]$ 를 포함하는 발광 엘리먼트가 혼합 물질의 발광 스펙트럼 및 인광 화합물의 흡수 스펙트럼 사이의 중첩을 사용하여 에너지를 이동시키므로 에너지 이동 효율이 높다는 것을 시사한다. 따라서, 외부 양자 효율이 높은 발광 엘리먼트를 얻을 수 있다는 것을 시사한다.
- [0279] 실시예 6
- [0280] 본 실시예에서, 본 발명의 하나의 실시형태의 발광 엘리먼트는 도 15를 참조하여 기재한다. 본 실시예에서 사용한 물질은 상기 실시예에서 사용하였으므로, 여기서 그의 화학식은 생략한다.
- [0281] 본 실시예의 발광 엘리먼트 4의 제조 방법을 하기에 기재하고자 한다.
- [0282] 발광 엘리먼트 4
- [0283] 우선, 유리 기판(1100)의 위에 ITS0의 필름을 스퍼터링 방법에 의하여 형성하여 애노드로서 기능하는 제1의 전극(1101)을 형성하였다. 두께를 110 nm로 설정하고, 전극 면적을 2 mm×2 mm로 설정한 점에 유의한다.
- [0284] 그 다음, 기판(1100)의 위에 발광 엘리먼트를 형성하기 위한 전처리로서, 기판 표면을 물로 세정하고, 200℃에서 1 시간 동안 소성을 실시한 후 UV 오존 처리를 370 초 동안 실시하였다.
- [0285] 그후, 압력을 약 10^{-4} Pa로 감소시킨 진공 증착 장치에 기판을 도입하고, 진공 증착 장치의 가열실에서 170℃에서 30 분 동안 진공 소성을 실시한 후, 기판(1100)을 약 30 분 동안 냉각시켰다.
- [0286] 그 다음, 제1의 전극(1101)이 제공된 면이 아래를 향하도록 제1의 전극(1101)이 제공된 기판(1100)을 진공 증착 장치내의 기판 홀더에 고정시켰다. 진공 증착 장치내의 압력을 약 10^{-4} Pa로 감압시켰다. 그후, BPAFLP 및 산화몰리브덴(VI)을 공증착시켜 제1의 전극(1101)의 위에 정공 주입층(1111)을 형성하였다. 정공 주입층(1111)의 두께를 40 nm로 설정하고, BPAFLP 대 산화몰리브덴의 중량비를 4:2(=BPAFLP:산화몰리브덴)로 조절하였다.
- [0287] 그 다음, 정공 주입층(1111)의 위에 BPAFLP의 필름을 20 nm의 두께로 형성하여 정공 수송층(1112)을 형성하였다.
- [0288] 더욱이, 2mDBTPDBq-II, PCBA1BP 및 $[Ir(dppm)_2(acac)]$ 를 공증착시켜 정공 수송층(1112)의 위에 발광층(1113)을 형성하였다. 여기서, 2mDBTPDBq-II 대 PCBA1BP 대 $[Ir(dppm)_2(acac)]$ 의 중량비를 0.8:0.2:0.1(=2mDBTPDBq-II:PCBA1BP:[$Ir(dppm)_2(acac)$])로 조절하였다. 발광층(1113)의 두께를 40 nm로 설정하였다.
- [0289] 추가로, 발광층(1113)의 위에 2mDBTPDBq-II의 필름을 15 nm의 두께로 형성하여 제1의 전자 수송층(1114a)을 형성하였다.
- [0290] 그 다음, 제1의 전자 수송층(1114a)의 위에 BPhen의 필름을 15 nm의 두께로 형성하여 제2의 전자 수송층(1114b)을 형성하였다.
- [0291] 추가로, 제2의 전자 수송층(1114b)의 위에 LiF의 필름을 증착에 의하여 1 nm의 두께로 형성하여 전자 주입층(1115)을 형성하였다.

[0292] 마지막으로, 알루미늄 필름을 증착에 의하여 필름 200 nm의 두께로 캐소드로서 기능하는 제2의 전극(1103)으로서 형성하였다. 그리하여 본 실시예의 발광 엘리먼트 4를 제조하였다.

[0293] 상기 모든 증착 단계에서, 증착은 저항 가열 방법에 의하여 실시하였다는 점에 유의한다.

[0294] 하기 표 5는 상기 기재한 바와 같이 하여 얻은 발광 엘리먼트 4의 엘리먼트 구조를 나타낸다.

[0295] 표 5

	제1의 전극	정공 주입층	정공 수송층	발광층	제1의 전자 수송층	제2의 전자 수송층	전자 주입층	제2의 전극
발광 엘리먼트 4	ITO 110 nm	BPAFLP:MoO _x (=4:2) 40 nm	BPAFLP 20 nm	2mDBTPDBq-II:PCBA1BP:[Ir(dppm) ₂ (acac)] (=0.8:0.2:0.1) 40 nm	2mDBTPDBq-II 15 nm	BPhen 15 nm	LiF 1 nm	Al 200 nm

[0296]

[0297] 질소 대기를 함유하는 글로브 박스내에서, 발광 엘리먼트 4를 대기에 노출되지 않도록 봉지 처리하였다. 그후, 발광 엘리먼트의 작동 특성을 측정하였다. 측정은 실온에서 (25℃에서 유지된 대기 중에서) 실시하였다는 점에 유의한다.

[0298] 도 19는 발광 엘리먼트 4의 전류 밀도-휘도 특징을 도시한다. 도 19에서, 가로축은 전류 밀도(mA/cm²)를 나타내며, 세로축은 휘도(cd/m²)를 나타낸다. 도 20은 그의 전압-휘도 특징을 도시한다. 도 20에서, 가로축은 전압(V)을 나타내며, 세로축은 휘도(cd/m²)를 나타낸다. 도 21은 그의 휘도-전류 효율 특징을 도시한다. 도 21에서, 가로축은 휘도(cd/m²)를 나타내며, 세로축은 전류 효율(cd/A)을 나타낸다. 도 22는 그의 휘도-외부 양자 효율 특징을 나타낸다. 도 22에서, 가로축은 휘도(cd/m²)를 나타내며, 세로축은 외부 양자 효율(%)을 나타낸다.

[0299] 추가로, 하기 표 6은 1,100 cd/m²의 휘도에서 발광 엘리먼트 4의 전압(V), 전류 밀도(mA/cm²), CIE 색도 좌표(x, y), 전류 효율(cd/A), 전원 효율(lm/W) 및 외부 양자 효율(%)을 나타낸다.

[0300] 표 6

	전압 (V)	전류 밀도 (mA/cm ²)	색도 좌표 (x, y)	전류 효율 (cd/A)	전원 효율 (lm/W)	외부 양자 효율 (%)
발광 엘리먼트 4	3.0	1.4	(0.57, 0.43)	76	70	31

[0301]

[0302] 도 23은 0.1 mA의 전류를 인가하여 얻은 발광 엘리먼트 4의 발광 스펙트럼을 도시한다. 도 23에서, 가로축은 파장(nm)을 나타내며, 세로축은 흡광 강도(임의 단위)를 나타낸다. 표 6에 제시한 바와 같이, 1,100 cd/m²의 휘도에서 발광 엘리먼트 4의 CIE 색도 좌표는 (x, y)=(0.57, 0.43)이었다. 이러한 결과는 발광 엘리먼트 4로부터 [Ir(dppm)₂(acac)]로부터 유래하는 오렌지색 발광을 얻었다는 것을 나타낸다.

[0303] 표 6 및 도 19 내지 도 22로부터 알 수 있는 바와 같이, 발광 엘리먼트 4는 전류 효율이 높으며, 전원 효율이 높으며 그리고 외부 양자 효율이 높다. 특히, 발광 엘리먼트 4는 1,100 cd/m²의 휘도에서 외부 양자 효율이 31%로 매우 높다. 상기 기재한 바와 같이, 외부 양자 효율의 상한치는 약 25%인 것으로 알려졌다. 그러나, 이러한 외부 양자 효율의 결과는 상한치를 상회한다.

[0304] 본 실시예의 발광 엘리먼트에서, 실시예 5에 기재된 2mDBTPDBq-II, PCBA1BP 및 [Ir(dppm)₂(acac)]는 발광층에 사용하였다. 실시예 5에서 설명한 바와 같이, 2mDBTPDBq-II 및 PCBA1BP의 혼합 물질의 발광 스펙트럼(여기착물의 발광 스펙트럼)은 2mDBTPDBq-II 또는 PCBA1BP 단독의 발광 스펙트럼과 비교시 [Ir(dppm)₂(acac)] 흡수 스펙트럼과 더 크게 중첩된다. 본 실시예의 발광 엘리먼트는 중첩을 사용하여 에너지를 이동시키므로 에너지 이동 효율이 높으며, 외부 양자 효율이 예상밖으로 높은 것으로 고려된다.

[0305] 실시예 5의 결과는 발광 엘리먼트 4에 사용된 게스트 물질의 흡수 스펙트럼에서의 최장 파장측에서의 흡수 밴드의 피크가 발광 스펙트럼의 피크에 근접하며, 피크에서의 몰 흡광 계수가 높다(> 5,000 M⁻¹ · cm⁻¹)는 것을 나타

낸다. 이들 결과로부터, 발광 엘리먼트 4는 에너지 이동 효율이 특히 높아서 예상밖으로 높은 외부 양자 효율을 갖는 것으로 고려된다.

[0306] 상기 결과는 외부 양자 효율이 높은 엘리먼트가 본 발명의 하나의 실시형태의 적용에 의하여 얻을 수 있다는 것을 나타낸다.

[0307] 그 다음, 발광 엘리먼트 4는 신뢰성 테스트를 실시하였다. 신뢰성 테스트의 결과를 도 24에 도시한다. 도 24에서, 세로축은 초기 휘도 100%로 정규화된 휘도(%)를 나타내며, 가로축은 엘리먼트의 구동 시간(h)을 나타낸다.

[0308] 신뢰성 테스트에서, 발광 엘리먼트 4는 초기 휘도를 5,000 cd/m²로 설정하고 그리고 전류 밀도가 일정한 조건하에서 구동시켰다.

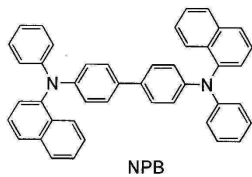
[0309] 발광 엘리먼트 4는 170 시간 동안 구동후 초기 휘도의 95%를 유지하였다.

[0310] 상기 결과는 본 발명의 하나의 실시형태의 적용에 의하여 신뢰성이 높은 엘리먼트를 얻을 수 있다는 것을 나타낸다.

[0311] 실시예 7

[0312] 본 실시예에서, 본 발명의 하나의 실시형태의 발광 엘리먼트에 사용될 수 있는 제1의 유기 화합물, 제2의 유기 화합물 및 인광 화합물의 조합의 예를 도 26a 및 도 26b를 참조하여 기재한다.

[0313] 본 실시예에 사용된 인광 화합물은 [Ir(dppm)₂(acac)]이다. 본 실시예에 사용된 제1의 유기 화합물은 2mDBTPDBq-II이다. 본 실시예에 사용된 제2의 유기 화합물은 4,4'-비스[N-(1-나프틸)-N-페닐아미노]비페닐(약어: NPB)이다. 본 실시예에 사용된 물질의 화학식은 하기에 제시한다. 상기 실시예에 사용된 물질의 화학식은 여기서 생략한다는 점에 유의한다.



[0314]

[0315] <흡수 스펙트럼>

[0316] 도 26a 및 도 26b는 각각 [Ir(dppm)₂(acac)]의 디클로로메탄 용액 중의 인광 화합물인 [Ir(dppm)₂(acac)]의 자외-가시 흡수 스펙트럼(이하, 간단히 흡수 스펙트럼으로 지칭함)을 도시한다. 흡수 스펙트럼은 자외-가시 분광광도계(V-550, 자스코 코포레이션 제조)를 사용하여 디클로로메탄 용액(0.093 mmol/l)을 석영 셀에 넣은 상태로 실온에서 측정하였다.

[0317] <발광 스펙트럼>

[0318] 또한, 도 26a 및 도 26b는 각각 제1의 유기 화합물인 2mDBTPDBq-II의 박막의 발광 스펙트럼(발광 스펙트럼 10) 및 2mDBTPDBq-II 및 NPB의 혼합 물질의 박막의 발광 스펙트럼(발광 스펙트럼 11)을 도시한다. 도 26a에서, 가로축은 파장(nm)을 나타내며, 세로축은 몰 흡광 계수 ϵ (M⁻¹·cm⁻¹) 및 흡광 강도(임의 단위)를 나타낸다. 도 26b에서, 가로축은 에너지(eV)를 나타내며, 세로축은 몰 흡광 계수 ϵ (M⁻¹·cm⁻¹) 및 흡광 강도(임의 단위)를 나타낸다.

[0319] 도 26a에서의 흡수 스펙트럼으로부터 알 수 있는 바와 같이, [Ir(dppm)₂(acac)]는 약 520 nm에서 넓은 흡수 밴드를 갖는다. 이러한 흡수 밴드는 발광에 크게 기여하는 것으로 고려된다.

[0320] 발광 스펙트럼 11은 발광 스펙트럼 10보다 더 긴 파장(더 낮은 에너지)에서 피크를 갖는다. 게다가, 발광 스펙트럼 11의 피크는 발광 스펙트럼 10의 피크보다 흡수 밴드에 근접한다. 제2의 유기 화합물인 NPB의 발광 스펙트럼은 약 430 nm에서 피크를 갖는 것으로 알려져 있다. 이는 발광 스펙트럼 11이 NPB의 발광 스펙트럼보다 더 긴 파장(더 낮은 에너지)에서 피크를 갖는다는 것을 의미한다. 또한, 이는 발광 스펙트럼 11의 피크가 NPB의 발광 스펙트럼의 피크보다 흡수 밴드에 근접하다는 것을 의미한다. 상기 발견은 발광 스펙트럼 11이 발광에 크게 기여하는 흡수 스펙트럼의 흡수 밴드와 최대한으로 중첩된다는 것을 나타낸다. 구체적으로는, 흡수 스펙트럼에

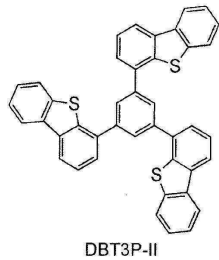
서의 흡수 밴드의 피크(515 nm) 및 발광 스펙트럼 11의 피크 사이의 차이가 0.09 eV이었다.

[0321] 2mDBTPDBq-II 및 NPB의 혼합 물질의 발광 스펙트럼은 유기 화합물 단독의 발광 스펙트럼보다 더 긴 파장(더 낮은 에너지)에서 피크를 갖는 것으로 밝혀졌다. 이는 2mDBTPDBq-II를 NPB와 혼합하여 여기착물이 형성된다는 것을 나타낸다.

[0322] 혼합 물질의 발광 스펙트럼의 피크는 발광에 크게 기여하는 것으로 고려되는 $[\text{Ir}(\text{dppm})_2(\text{acac})]$ 의 흡수 스펙트럼에서 흡수 밴드와 크게 중첩되는 것으로 밝혀졌다. 그래서, 이는 2mDBTPDBq-II 및 NPB의 혼합 물질 및 $[\text{Ir}(\text{dppm})_2(\text{acac})]$ 를 포함하는 발광 엘리먼트가 혼합 물질의 발광 스펙트럼 및 인광 화합물의 흡수 스펙트럼 사이의 중첩을 사용하여 에너지를 이동시키므로 에너지 이동 효율이 높다는 것을 시사한다. 따라서, 외부 양자 효율이 높은 발광 엘리먼트를 얻을 수 있다는 것을 시사한다.

[0323] 실시예 8

[0324] 본 실시예에서, 본 발명의 하나의 실시형태의 발광 엘리먼트는 도 15를 참조하여 기재한다. 본 실시예에 사용된 물질의 화학식을 하기에 제시한다. 상기 실시예에 사용된 물질의 화학식은 여기서 생략한다는 점에 유의한다.



[0325]

[0326] 본 실시예의 발광 엘리먼트 5 및 비교용 발광 엘리먼트 6의 제조 방법을 하기에 기재하고자 한다.

[0327] 발광 엘리먼트 5

[0328] 우선, 유리 기판(1100)의 위에 ITS0의 필름을 스퍼터링 방법에 의하여 형성하여 애노드로서 기능하는 제1의 전극(1101)을 형성하였다. 두께를 110 nm로 설정하고, 전극 면적을 2 mm×2 mm로 설정한 점에 유의한다.

[0329] 그 다음, 기판(1100)의 위에 발광 엘리먼트를 형성하기 위한 전처리로서, 기판 표면을 물로 세정하고, 200℃에서 1 시간 동안 소성을 실시한 후 UV 오존 처리를 370 초 동안 실시하였다.

[0330] 그후, 압력을 약 10^{-4} Pa로 감소시킨 진공 증착 장치에 기판을 도입하고, 진공 증착 장치의 가열실에서 170℃에서 30 분 동안 진공 소성을 실시한 후, 기판(1100)을 약 30 분 동안 냉각시켰다.

[0331] 그 다음, 제1의 전극(1101)이 제공된 면이 아래를 향하도록 제1의 전극(1101)이 제공된 기판(1100)을 진공 증착 장치내의 기판 홀더에 고정시켰다. 진공 증착 장치내의 압력을 약 10^{-4} Pa로 감압시켰다. 그후, 4,4',4''-(1,3,5-벤젠트리틸)트리(디벤조트리오펜)(약어: DBT3P-II) 및 산화몰리브덴(VI)을 공증착시켜 제1의 전극(1101)의 위에 정공 주입층(1111)을 형성하였다. 정공 주입층(1111)의 두께를 40 nm로 설정하고, DBT3P-II 대 산화몰리브덴의 중량비를 4:2(=DBT3P-II:산화몰리브덴)로 조절하였다.

[0332] 그 다음, 정공 주입층(1111)의 위에 BPAFLP의 필름을 20 nm의 두께로 형성하여 정공 수송층(1112)을 형성하였다.

[0333] 더욱이, 2mDBTPDBq-II, NPB 및 $[\text{Ir}(\text{dppm})_2(\text{acac})]$ 를 공증착시켜 정공 수송층(1112)의 위에 발광층(1113)을 형성하였다. 여기서, 2mDBTPDBq-II 대 NPB 대 $[\text{Ir}(\text{dppm})_2(\text{acac})]$ 의 중량비를 0.8:0.2:0.05(=2mDBTPDBq-II:NPB:[$\text{Ir}(\text{dppm})_2(\text{acac})$])로 조절하였다. 발광층(1113)의 두께를 40 nm로 설정하였다.

[0334] 추가로, 발광층(1113)의 위에 2mDBTPDBq-II의 필름을 10 nm의 두께로 형성하여 제1의 전자 수송층(1114a)을 형성하였다.

[0335] 그 다음, 제1의 전자 수송층(1114a)의 위에 BPhen의 필름을 20 nm의 두께로 형성하여 제2의 전자 수송층(1114b)을 형성하였다.

[0336] 추가로, 제2의 전자 수송층(1114b)의 위에 LiF의 필름을 1 nm의 두께로 증착시켜 형성하여 전자 주입층(1115)을 형성하였다.

[0337] 마지막으로, 알루미늄 필름을 증착에 의하여 필름 200 nm의 두께로 캐소드로서 기능하는 제2의 전극(1103)으로서 형성하였다. 그리하여 본 실시예의 발광 엘리먼트 5를 제조하였다.

[0338] 비교용 발광 엘리먼트 6

[0339] 비교용 발광 엘리먼트 6의 발광층(1113)을 2mDBTPDBq-II 및 [Ir(dppm)₂(acac)]를 공증착시켜 형성하였다. 여기서, 2mDBTPDBq-II 대 [Ir(dppm)₂(acac)]의 중량비를 1:0.05(=2mDBTPDBq-II:[Ir(dppm)₂(acac)])로 조절하였다. 발광층(1113)의 두께를 40 nm로 설정하였다. 발광층(1113) 이외의 성분은 발광 엘리먼트 5와 유사한 방식으로 제조하였다.

[0340] 상기 모든 증착 단계에서, 증착은 저항 가열 방법에 의하여 실시하였다는 점에 유의한다.

[0341] 하기 표 7은 상기 기재한 바와 같이 하여 얻은 발광 엘리먼트 5 및 비교용 발광 엘리먼트 6의 엘리먼트 구조를 나타낸다.

[0342] 표 7

	제1의 전극	정공 주입층	정공 수송층	발광층	제1의 전자 수송층	제2의 전자 수송층	전자 주입층	제2의 전극
발광 엘리먼트 5	ITO 110 nm	DBT3P-II:MoOx (=4:2) 40 nm	BPAFLP 20 nm	2mDBTPDBq-II:NPB:[Ir(dppm) ₂ (acac)] (=0.8:0.2:0.05) 40 nm	2mDBTPDBq-II 10 nm	BPhen 20 nm	LiF 1 nm	Al 200 nm
비교용 발광 엘리먼트 6	ITO 110 nm	DBT3P-II:MoOx (=4:2) 40 nm	BPAFLP 20 nm	2mDBTPDBq-II:[Ir(dppm) ₂ (acac)] (=1:0.05) 40 nm	2mDBTPDBq-II 10 nm	BPhen 20 nm	LiF 1 nm	Al 200 nm

[0343]

[0344] 질소 대기를 함유하는 글로브 박스내에서, 이들 발광 엘리먼트를 대기에 노출되지 않도록 봉지 처리하였다. 그 후, 이들 발광 엘리먼트의 작동 특성을 측정하였다. 측정은 실온에서 (25℃에서 유지된 대기 중에서) 실시하였다는 점에 유의한다.

[0345] 도 27은 발광 엘리먼트 5 및 비교용 발광 엘리먼트 6의 전류 밀도-휘도 특징을 도시한다. 도 27에서, 가로축은 전류 밀도(mA/cm²)를 나타내며, 세로축은 휘도(cd/m²)를 나타낸다. 도 28은 그의 전압-휘도 특징을 도시한다. 도 28에서, 가로축은 전압(V)을 나타내며, 세로축은 휘도(cd/m²)를 나타낸다. 도 29는 그의 휘도-전류 효율 특징을 도시한다. 도 29에서, 가로축은 휘도(cd/m²)를 나타내며, 세로축은 전류 효율(cd/A)을 나타낸다. 도 30은 그의 휘도-외부 양자 효율 특징을 나타낸다. 도 30에서, 가로축은 휘도(cd/m²)를 나타내며, 세로축은 외부 양자 효율(%)을 나타낸다.

[0346] 추가로, 하기 표 8은 약 1,000 cd/m²의 휘도에서 각각의 발광 엘리먼트 5 및 비교용 발광 엘리먼트 6의 전압 (V), 전류 밀도(mA/cm²), CIE 색도 좌표(x, y), 전류 효율(cd/A), 전원 효율(lm/W) 및 외부 양자 효율(%)을 나타낸다.

[0347] 표 8

	전압 (V)	전류 밀도 (mA/cm ²)	색도 좌표 (x, y)	휘도 (cd/m ²)	전류 효율 (cd/A)	전원 효율 (lm/W)	외부 양자 효율 (%)
발광 엘리먼트 5	2.9	1.5	(0.57, 0.43)	1100	75	81	29
비교용 발광 엘리먼트 6	2.9	1.3	(0.56, 0.44)	830	65	71	24

[0348]

[0349] 도 31은 0.1 mA의 전류를 인가하여 얻은 발광 엘리먼트 5 및 비교용 발광 엘리먼트 6의 발광 스펙트럼을 도시한다. 도 31에서, 가로축은 파장(nm)을 나타내며, 세로축은 흡광 강도(임의 단위)를 나타낸다. 표 8에 나타낸 바와 같이, 1,100 cd/m²의 휘도에서 발광 엘리먼트 5의 CIE 색도 좌표는 (x, y)=(0.57, 0.43)이고, 830 cd/m²

의 휘도에서 비교용 발광 엘리먼트 6의 CIE 색도 좌표는 (x, y)=(0.56, 0.44)이었다. 이러한 결과는 발광 엘리먼트 5 및 비교용 발광 엘리먼트 6으로부터 [Ir(dppm)₂(acac)]로부터 유래하는 오렌지색 발광을 얻었다는 것을 나타낸다.

[0350] 표 8 및 도 27 내지 도 30으로부터 알 수 있는 바와 같이, 발광 엘리먼트 5는 비교용 발광 엘리먼트 6보다 전류 효율이 높으며, 전원 효율이 높고 그리고 외부 양자 효율이 높다.

[0351] 발광 엘리먼트 5에서, 실시예 7에 기재한 2mDBTPDBq-II, NPB 및 [Ir(dppm)₂(acac)]는 발광층에 사용된다. 실시예 7에 기재한 바와 같이, 2mDBTPDBq-II 및 NPB의 혼합 물질의 발광 스펙트럼(여기착물의 발광 스펙트럼)은 2mDBTPDBq-II 단독의 발광 스펙트럼에 비하여 발광에 크게 기여하는 것으로 고려되는 [Ir(dppm)₂(acac)]의 흡수 스펙트럼에서의 흡수 밴드와 더 크게 중첩된다. 발광 엘리먼트 5는 중첩을 사용하여 에너지를 이동시키므로 비교용 발광 엘리먼트 6보다 에너지 이동 효율이 높은 것으로 고려된다.

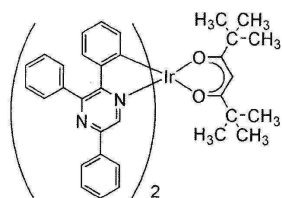
[0352] 실시예 7의 결과는 발광 엘리먼트 5에 사용된 인광 화합물의 흡수 스펙트럼에서 최장 파장측에서의 흡수 밴드의 피크가 발광 스펙트럼의 피크에 근접하며, 피크에서의 몰 흡광 계수가 크다(> 5,000 M⁻¹·cm⁻¹)는 것을 나타낸다. 이들 결과로부터, 발광 엘리먼트 5는 에너지 이동 효율이 특히 높아서 예상밖으로 높은 외부 양자 효율을 갖는 것으로 고려된다.

[0353] 상기 결과는 본 발명의 하나의 실시형태의 적용에 의하여 외부 양자 효율이 높은 엘리먼트를 얻을 수 있다는 것을 나타낸다.

[0354] 실시예 9

[0355] 본 실시예에서, 본 발명의 하나의 실시형태의 발광 엘리먼트에 사용될 수 있는 제1의 유기 화합물, 제2의 유기 화합물 및 인광 화합물의 조합의 예는 도 32a 및 도 32b를 참조하여 기재한다.

[0356] 본 실시예에 사용된 인광 화합물은 비스(2,3,5-트리페닐피라지나토)(디피발로일메타나토)이리듐(III)(약어: [Ir(tppr)₂(dpm)])이다. 본 실시예에 사용된 제1의 유기 화합물은 2mDBTPDBq-II이다. 본 실시예에 사용된 제2의 유기 화합물은 NPB이다. 본 실시예에 사용된 물질의 화학식은 하기에 제시한다. 상기 실시예에 사용된 물질의 화학식은 여기서 생략한다는 점에 유의한다.



[Ir(tppr)₂(dpm)]

[0357]

[0358] <흡수 스펙트럼>

[0359] 도 32a 및 도 32b는 각각 [Ir(tppr)₂(dpm)]의 디클로로메탄 용액 중의 인광 화합물인 [Ir(tppr)₂(dpm)]의 자외-가시 흡수 스펙트럼(이하, 간단히 흡수 스펙트럼으로 지칭함)을 도시한다. 흡수 스펙트럼은 자외-가시 분광 광도계(V-550, 자스코 코포레이션 제조)를 사용하여 디클로로메탄 용액(0.094 mmol/l)을 석영 셀에 넣은 상태로 실온에서 측정하였다.

[0360] <발광 스펙트럼>

[0361] 도 32a 및 도 32b는 각각 제1의 유기 화합물인 2mDBTPDBq-II의 박막의 발광 스펙트럼(발광 스펙트럼 12) 및 2mDBTPDBq-II 및 NPB의 혼합 물질의 박막의 발광 스펙트럼(발광 스펙트럼 13)을 도시한다. 도 32a에서, 가로축은 파장(nm)을 나타내며, 세로축은 몰 흡광 계수 ε(M⁻¹·cm⁻¹) 및 흡광 강도(임의 단위)를 나타낸다. 도 32b에서, 가로축은 에너지(eV)를 나타내며, 세로축은 몰 흡광 계수 ε(M⁻¹·cm⁻¹) 및 흡광 강도(임의 단위)를 나타낸다.

[0362] 도 32a에서의 흡수 스펙트럼으로부터 알 수 있는 바와 같이, [Ir(tppr)₂(dpm)]은 약 530 nm에서 넓은 흡수 밴드

를 갖는다. 이러한 흡수 밴드는 발광에 크게 기여하는 것으로 고려된다.

[0363] 발광 스펙트럼 13은 발광 스펙트럼 12보다 더 긴 파장(더 낮은 에너지)에서 피크를 갖는다. 게다가, 발광 스펙트럼 13의 피크는 발광 스펙트럼 12의 피크보다 흡수 밴드에 근접한다. 제2의 유기 화합물인 NPB의 발광 스펙트럼은 약 430 nm에서 피크를 갖는 것으로 알려졌다. 이는 발광 스펙트럼 13이 NPB의 발광 스펙트럼보다 더 긴 파장(더 낮은 에너지)에서 피크를 갖는다는 것을 의미한다. 또한, 발광 스펙트럼 13의 피크는 NPB의 발광 스펙트럼의 피크보다 흡수 밴드에 근접한다는 것을 의미한다. 상기 발견은 발광 스펙트럼 13이 발광에 크게 기여하는 흡수 스펙트럼의 흡수 밴드와 최대로 중첩된다는 것을 나타낸다. 구체적으로는, 흡수 스펙트럼에서 흡수 밴드의 피크(약 530 nm에서의 솔더 피크) 및 발광 스펙트럼 13의 피크 사이의 차이는 0.01 eV이다.

[0364] 2mDBTPDBq-II 및 NPB의 혼합 물질의 발광 스펙트럼은 유기 화합물 단독의 발광 스펙트럼보다 더 긴 파장(더 낮은 에너지)에서 피크를 갖는 것으로 발견되었다. 이는 2mDBTPDBq-II를 NPB와 혼합하여 여기착물이 형성된다는 것을 나타낸다.

[0365] 혼합 물질의 발광 스펙트럼의 피크는 발광에 크게 기여하는 것으로 고려되는 [Ir(tppr)₂(dpm)]의 흡수 스펙트럼에서의 흡수 밴드와 크게 중첩되는 것으로 밝혀졌다. 그래서, 이는 2mDBTPDBq-II 및 NPB의 혼합 물질 및 [Ir(tppr)₂(dpm)]을 포함하는 발광 엘리먼트가 혼합 물질의 발광 스펙트럼 및 인광 화합물의 흡수 스펙트럼 사이의 중첩을 사용하여 에너지를 이동시키므로 에너지 이동 효율이 높다는 것을 시사한다. 따라서, 외부 양자 효율이 높은 발광 엘리먼트를 얻을 수 있다는 것을 시사한다.

[0366] 실시예 10

[0367] 본 실시예에서, 본 발명의 하나의 실시형태의 발광 엘리먼트는 도 15를 참조하여 기재한다. 본 실시예에서 사용한 물질은 상기 실시예에서 사용하였으므로, 여기서 그의 화학식은 생략한다.

[0368] 본 실시예의 발광 엘리먼트 7 및 비교용 발광 엘리먼트 8의 제조 방법을 하기에 기재하고자 한다.

[0369] 발광 엘리먼트 7

[0370] 발광 엘리먼트 7의 발광층(1113)은 2mDBTPDBq-II, NPB 및 [Ir(tppr)₂(dpm)]을 공증착시켜 형성하였다. 여기서, 2mDBTPDBq-II 대 NPB 대 [Ir(tppr)₂(dpm)]의 중량비를 0.8:0.2:0.05(=2mDBTPDBq-II:NPB:[Ir(tppr)₂(dpm)])으로 조절하였다. 발광층(1113)의 두께를 40 nm로 설정하였다. 발광층(1113) 이외의 성분은 실시예 8에 기재된 발광 엘리먼트 5와 유사한 방식으로 제조하였다.

[0371] 비교용 발광 엘리먼트 8

[0372] 비교용 발광 엘리먼트 8의 발광층(1113)은 2mDBTPDBq-II 및 [Ir(tppr)₂(dpm)]을 공증착시켜 형성하였다. 여기서, 2mDBTPDBq-II 대 [Ir(tppr)₂(dpm)]의 중량비를 1:0.05(=2mDBTPDBq-II:[Ir(tppr)₂(dpm)])로 조절하였다. 발광층(1113)의 두께를 40 nm로 설정하였다. 발광층(1113) 이외의 성분은 실시예 8에 기재된 발광 엘리먼트 5와 유사한 방식으로 제조하였다.

[0373] 하기 표 9는 상기 기재한 바와 같이 하여 얻은 발광 엘리먼트 7 및 비교용 발광 엘리먼트 8의 엘리먼트 구조를 나타낸다.

[0374] 표 9

	제1의 전극	정공 주입층	정공 수송층	발광층	제1의 전자 수송층	제2의 전자 수송층	전자 주입층	제2의 전극
발광 엘리먼트 7	ITO 110 nm	DBT3P-II:MoO _x (=4:2) 40 nm	BPAFLP 20 nm	2mDBTPDBq-II:NPB:[Ir(tppr) ₂ (dpm)] (=0.8:0.2:0.05) 40 nm	2mDBTPDBq-II 10 nm	BPhen 20 nm	LiF 1 nm	Al 200 nm
비교용 발광 엘리먼트 8	ITO 110 nm	DBT3P-II:MoO _x (=4:2) 40 nm	BPAFLP 20 nm	2mDBTPDBq-II:[Ir(tppr) ₂ (dpm)] (=1:0.05) 40 nm	2mDBTPDBq-II 10 nm	BPhen 20 nm	LiF 1 nm	Al 200 nm

[0375] [0376] 질소 대기를 함유하는 글로브 박스내에서, 이들 발광 엘리먼트를 대기에 노출되지 않도록 봉지 처리하였다. 그

후, 이들 발광 엘리먼트의 작동 특성을 측정하였다. 측정은 실온에서 (25℃에서 유지된 대기 중에서) 실시하였다는 점에 유의한다.

[0377] 도 33은 발광 엘리먼트 7 및 비교용 발광 엘리먼트 8의 전류 밀도-휘도 특징을 도시한다. 도 33에서, 가로축은 전류 밀도(mA/cm²)를 나타내며, 세로축은 휘도(cd/m²)를 나타낸다. 도 34는 그의 전압-휘도 특징을 도시한다. 도 34에서, 가로축은 전압(V)을 나타내며, 세로축은 휘도(cd/m²)를 나타낸다. 도 35는 그의 휘도-전류 효율 특징을 도시한다. 도 35에서, 가로축은 휘도(cd/m²)를 나타내며, 세로축은 전류 효율(cd/A)을 나타낸다. 도 36은 그의 휘도-외부 양자 효율 특징을 도시한다. 도 36에서, 가로축은 휘도(cd/m²)를 나타내며, 세로축은 외부 양자 효율(%)을 나타낸다.

[0378] 추가로, 하기 표 10은 약 1,000 cd/m²의 휘도에서 각각의 발광 엘리먼트 7 및 비교용 발광 엘리먼트 8의 전압 (V), 전류 밀도(mA/cm²), CIE 색도 좌표(x, y), 전류 효율(cd/A), 전원 효율(lm/W) 및 외부 양자 효율(%)을 나타낸다.

[0379] 표 10

	전압 (V)	전류 밀도 (mA/cm ²)	색도 좌표 (x, y)	휘도 (cd/m ²)	전류 효율 (cd/A)	전원 효율 (lm/W)	외부 양자 효율 (%)
발광 엘리먼트 7	3.3	4.1	(0.66, 0.34)	1100	26	25	22
비교용 발광 엘리먼트 8	3.6	7.4	(0.66, 0.34)	1000	14	12	11

[0380]

[0381] 도 37은 0.1 mA의 전류를 인가하여 얻은 발광 엘리먼트 7 및 비교용 발광 엘리먼트 8의 발광 스펙트럼을 도시한다. 도 37에서, 가로축은 파장(nm)을 나타내며, 세로축은 흡광 강도(임의 단위)를 나타낸다. 표 10에 제시한 바와 같이, 1,100 cd/m²의 휘도에서의 발광 엘리먼트 7의 CIE 색도 좌표는 (x, y)=(0.66, 0.34)이고, 1,000 cd/m²의 휘도에서 비교용 발광 엘리먼트 8의 CIE 색도 좌표는 (x, y)=(0.66, 0.34)이었다. 이러한 결과는 [Ir(tppr)₂(dpm)]으로부터 유래하는 적색 발광이 발광 엘리먼트 7 및 비교용 발광 엘리먼트 8로부터 얻었다는 것을 나타낸다.

[0382] 표 10 및 도 33 내지 도 36으로부터 알 수 있는 바와 같이, 발광 엘리먼트 7은 비교용 발광 엘리먼트 8보다 전류 효율이 높고, 전원 효율이 높고 그리고 외부 양자 효율이 높다.

[0383] 발광 엘리먼트 7에서, 실시예 9에 기재한 2mDBTPDBq-II, NPB 및 [Ir(tppr)₂(dpm)]을 발광층에 사용하였다. 실시예 9에 기재한 바와 같이, 2mDBTPDBq:II 및 NPB의 혼합 물질의 발광 스펙트럼(여기착물의 발광 스펙트럼)은 2mDBTPDBq-II 단독의 발광 스펙트럼에 비하여 발광에 크게 기여하는 것으로 고려되는 [Ir(tppr)₂(dpm)]의 흡수 스펙트럼에서의 흡수 밴드와 크게 중첩된다. 발광 엘리먼트 7은 중첩을 사용하여 에너지를 이동시키므로 에너지 이동 효율이 높은 것으로 고려되며, 그리하여 비교용 발광 엘리먼트 8보다 외부 양자 효율이 높다.

[0384] 상기 결과는 본 발명의 하나의 실시형태의 적용에 의하여 외부 양자 효율이 높은 엘리먼트를 얻을 수 있다는 것을 나타낸다.

[0385] 그 다음, 발광 엘리먼트 7 및 비교용 발광 엘리먼트 8은 신뢰성 테스트를 실시하였다. 신뢰성 테스트의 결과로도 38에 도시한다. 도 38에서, 세로축은 초기 휘도 100%로 정규화된 휘도(%)를 나타내며, 가로축은 엘리먼트의 구동 시간(h)을 나타낸다.

[0386] 신뢰성 테스트에서, 발광 엘리먼트 7 및 비교용 발광 엘리먼트 8은 초기 휘도를 5,000 cd/m²로 설정하고 그리고 전류 밀도는 일정한 조건하에서 구동시켰다.

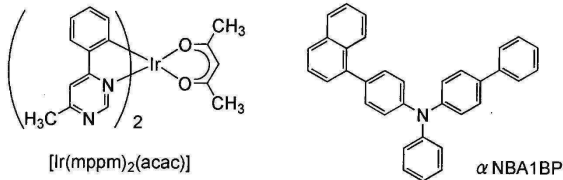
[0387] 97 시간 후 비교용 발광 엘리먼트 8의 휘도는 초기 휘도의 63%이었다. 98 시간 후 발광 엘리먼트 7의 휘도는 초기 휘도의 87%이었다. 이러한 결과로부터 발광 엘리먼트 7은 비교용 발광 엘리먼트 8보다 수명이 더 긴 것으로 밝혀졌다.

[0388] 상기 결과는 본 발명의 하나의 실시형태의 적용에 의하여 신뢰성이 높은 엘리먼트를 얻을 수 있다는 것을 나타낸다.

[0389] 실시예 11

[0390] 본 실시예에서, 본 발명의 하나의 실시형태의 발광 엘리먼트에 사용될 수 있는 제1의 유기 화합물, 제2의 유기 화합물 및 인광 화합물의 조합의 예를 도 39a 및 도 39b를 참조하여 기재한다.

[0391] 본 실시예에 사용된 인광 화합물은 (아세틸아세토나토)비스(6-메틸-4-페닐피리미디나토)이리듐(III)(약어: [Ir(mppm)₂(acac)])이다. 본 실시예에 사용된 제1의 유기 화합물은 2mDBTPDBq-II이다. 제2의 유기 화합물인 PCBA1BP 및 4-(1-나프틸)-4'-페닐트리페닐아민(약어: αNBA1BP)의 2중을 본 실시예에 사용한다. 본 실시예에 사용된 물질의 화학식을 하기에 제시한다. 상기 실시예에 사용된 물질의 화학식은 여기서 생략한다는 점에 유의한다.



[0392]

[0393] <흡수 스펙트럼>

[0394] 도 39a 및 도 39b는 각각 [Ir(mppm)₂(acac)]의 디클로로메탄 용액 중의 인광 화합물인 [Ir(mppm)₂(acac)]의 자외-가시 흡수 스펙트럼(이하, 간단히 흡수 스펙트럼으로 지칭함)을 도시한다. 흡수 스펙트럼은 자외-가시 분광 광도계(V-550, 자스코 코포레이션 제조)를 사용하여 디클로로메탄 용액(0.10 mmol/l)을 석영 셀에 넣은 상태에서 실온에서 측정하였다.

[0395] <발광 스펙트럼>

[0396] 또한, 도 39a 및 도 39b는 각각 제1의 유기 화합물인 2mDBTPDBq-II의 박막의 발광 스펙트럼(발광 스펙트럼 14), 제2의 유기 화합물인 PCBA1BP의 박막의 발광 스펙트럼(발광 스펙트럼 15), 제2의 유기 화합물인 αNBA1BP의 박막의 발광 스펙트럼(발광 스펙트럼 16), 2mDBTPDBq-II 및 PCBA1BP의 혼합 물질의 박막의 발광 스펙트럼(발광 스펙트럼 17) 및 2mDBTPDBq-II 및 αNBA1BP의 혼합 물질의 박막의 발광 스펙트럼(발광 스펙트럼 18)을 도시한다. 도 39a에서, 가로축은 파장(nm)을 나타내며, 세로축은 몰 흡광 계수 ε (M⁻¹ · cm⁻¹) 및 흡광 강도(임의 단위)를 나타낸다. 도 39b에서, 가로축은 에너지(eV)를 나타내며, 세로축은 몰 흡광 계수 ε (M⁻¹ · cm⁻¹) 및 흡광 강도(임의 단위)를 나타낸다.

[0397] 도 39a에서의 흡수 스펙트럼으로부터 알 수 있는 바와 같이, [Ir(mppm)₂(acac)]는 약 490 nm에서 넓은 흡수 밴드를 갖는다. 이러한 흡수 밴드는 발광에 크게 기여하는 것으로 고려된다.

[0398] 2mDBTPDBq-II 및 PCBA1BP의 혼합 물질의 발광 스펙트럼(발광 스펙트럼 17) 및 2mDBTPDBq-II 및 αNBA1BP의 혼합 물질의 발광 스펙트럼(발광 스펙트럼 18) 각각은 유기 화합물 단독의 발광 스펙트럼보다 더 긴 파장(더 낮은 에너지)에서 피크를 갖는 것으로 밝혀졌다. 이는 2mDBTPDBq-II를 PCBA1BP와 혼합하여 여기착물을 형성한다는 것을 나타낸다. 또한, 2mDBTPDBq-II를 αNBA1BP와 혼합하여 여기착물을 형성한다는 것을 나타낸다.

[0399] 각각의 혼합 물질의 발광 스펙트럼의 피크는 발광에 크게 기여하는 것으로 고려되는 [Ir(mppm)₂(acac)]의 흡수 스펙트럼에서의 흡수 밴드와 크게 중첩되는 것으로 밝혀졌다. 그래서, 이는 2mDBTPDBq-II 및 PCBA1BP의 혼합 물질 및 [Ir(mppm)₂(acac)]를 포함하는 발광 엘리먼트 및, 2mDBTPDBq-II 및 αNBA1BP의 혼합 물질 및 [Ir(mppm)₂(acac)]를 포함하는 발광 엘리먼트는 혼합 물질의 발광 스펙트럼 및 인광 화합물의 흡수 스펙트럼 사이의 중첩을 사용하여 에너지를 이동시키므로 에너지 이동 효율이 높다는 것을 시사한다. 따라서, 외부 양자 효율이 높은 발광 엘리먼트를 얻을 수 있다는 것을 시사한다.

[0400] 발광 스펙트럼 18은 발광 스펙트럼 17보다 더 짧은 파장(더 높은 에너지)에서 피크를 갖는다. 게다가, 발광 스펙트럼 18의 피크는 발광 스펙트럼 17의 피크보다 흡수 밴드에 근접한다. 구체적으로는, 흡수 스펙트럼에서 흡수 밴드의 피크(약 490 nm에서의 숄더 피크) 및 발광 스펙트럼 17의 피크 사이의 차이는 0.15 eV이고, 흡수 스펙트럼에서 흡수 밴드의 피크(약 490 nm에서의 숄더 피크) 및 발광 스펙트럼 18의 피크 사이의 차이는 0.01 eV이다.

- [0401] 발광 스펙트럼 17 및 발광 스펙트럼 18의 피크 사이의 차이는 PCBA1BP 및 α NBA1BP의 HOMO 준위 사이의 차이로 인한 것으로 고려된다. 구체적으로는, PCBA1BP의 HOMO 준위는 -5.43 eV인 반면, α NBA1BP의 HOMO 준위는 -5.52 eV이다(각각은 순환 전압전류(CV) 측정에 의하여 계산하였다). α NBA1BP는 PCBA1BP보다 더 낮은(더 깊은) HOMO 준위를 갖기 때문에, 발광 스펙트럼 18은 발광 스펙트럼 17보다 더 짧은 파장(더 높은 에너지)에서 피크를 갖는 것으로 고려된다.
- [0402] 실시예 12
- [0403] 본 실시예에서, 본 발명의 하나의 실시형태의 발광 엘리먼트는 도 15를 참조하여 기재한다. 본 실시예에서 사용한 물질은 상기 실시예에서 사용하였으므로, 여기서 그의 화학식은 생략한다.
- [0404] 본 실시예의 발광 엘리먼트 9 및 발광 엘리먼트 10의 제조 방법을 하기에 기재하고자 한다.
- [0405] 발광 엘리먼트 9
- [0406] 우선, 유리 기판(1100)의 위에 ITS0의 필름을 스퍼터링 방법에 의하여 형성하여 애노드로서 기능하는 제1의 전극(1101)을 형성하였다. 두께를 110 nm로 설정하고, 전극 면적을 2 mm \times 2 mm로 설정한 점에 유의한다.
- [0407] 그 다음, 기판(1100)의 위에 발광 엘리먼트를 형성하기 위한 전처리로서, 기판 표면을 물로 세정하고, 200°C 에서 1 시간 동안 소성을 실시한 후 UV 오존 처리를 370 초 동안 실시하였다.
- [0408] 그후, 압력을 약 10^{-4} Pa로 감소시킨 진공 증착 장치에 기판을 도입하고, 진공 증착 장치의 가열실에서 170°C 에서 30 분 동안 진공 소성을 실시한 후, 기판(1100)을 약 30 분 동안 냉각시켰다.
- [0409] 그 다음, 제1의 전극(1101)이 제공된 면이 아래를 향하도록 제1의 전극(1101)이 제공된 기판(1100)을 진공 증착 장치내의 기판 홀더에 고정시켰다. 진공 증착 장치내의 압력을 약 10^{-4} Pa로 감압시켰다. 그후, BPAFLP 및 산화몰리브덴(VI)을 공증착시켜 제1의 전극(1101)의 위에 정공 주입층(1111)을 형성하였다. 정공 주입층(1111)의 두께를 40 nm로 설정하고, BPAFLP 대 산화몰리브덴의 중량비를 $4:2$ (=BPAFLP:산화몰리브덴)로 조절하였다.
- [0410] 그 다음, 정공 주입층(1111)의 위에 BPAFLP의 필름을 20 nm의 두께로 형성하여 정공 수송층(1112)을 형성하였다.
- [0411] 더욱이, 2mDBTPDBq-II, PCBA1BP 및 $[\text{Ir}(\text{mppy})_2(\text{acac})]$ 를 공증착시켜 정공 수송층(1112)의 위에 발광층(1113)을 형성하였다. 여기서, 2mDBTPDBq-II 대 PCBA1BP 대 $[\text{Ir}(\text{mppy})_2(\text{acac})]$ 의 중량비를 $0.8:0.2:0.05$ (=2mDBTPDBq-II:PCBA1BP: $[\text{Ir}(\text{mppy})_2(\text{acac})]$)로 조절하였다. 발광층(1113)의 두께를 40 nm로 설정하였다.
- [0412] 추가로, 발광층(1113)의 위에 2mDBTPDBq-II의 필름을 10 nm의 두께로 형성하여 제1의 전자 수송층(1114a)을 형성하였다.
- [0413] 그 다음, 제1의 전자 수송층(1114a)의 위에 BPhen의 필름을 20 nm의 두께로 형성하여 제2의 전자 수송층(1114b)을 형성하였다.
- [0414] 추가로, 제2의 전자 수송층(1114b)의 위에 LiF의 필름을 증착에 의하여 1 nm의 두께로 형성하여 전자 주입층(1115)을 형성하였다.
- [0415] 마지막으로, 알루미늄 필름을 증착에 의하여 필름 200 nm의 두께로 캐소드로서 기능하는 제2의 전극(1103)으로서 형성하였다. 그리하여 본 실시예의 발광 엘리먼트 9를 제조하였다.
- [0416] 발광 엘리먼트 10
- [0417] 발광 엘리먼트 10의 발광층(1113)은 2mDBTPDBq-II, α NBA1BP 및 $[\text{Ir}(\text{mppy})_2(\text{acac})]$ 를 공증착시켜 형성하였다. 여기서, 2mDBTPDBq-II 대 α NBA1BP 대 $[\text{Ir}(\text{mppy})_2(\text{acac})]$ 의 중량비를 $0.8:0.2:0.05$ (=2mDBTPDBq-II: α NBA1BP: $[\text{Ir}(\text{mppy})_2(\text{acac})]$)로 조절하였다. 발광층(1113)의 두께를 40 nm로 설정하였다. 발광층(1113) 이외의 성분은 발광 엘리먼트 9와 유사한 방식으로 제조하였다.
- [0418] 상기 모든 증착 단계에서, 증착은 저항 가열 방법에 의하여 실시하였다는 점에 유의한다.
- [0419] 하기 표 11은 상기 기재한 바와 같이 하여 얻은 발광 엘리먼트 9 및 발광 엘리먼트 10의 엘리먼트 구조를 나타

낸다.

[0420] 표 11

	제1의 전극	정공 주입층	정공 수송층	발광층	제1의 전자 수송층	제2의 전자 수송층	전자 주입층	제2의 전극
발광 엘리먼트 9	ITO 110 nm	BPAFLP:MoOx (=4:2) 40 nm	BPAFLP 20 nm	2mDBTPDBq-II:PCBA1BP:[Ir(mppm) ₂ (acac)] (=0.8:0.2:0.05) 40 nm	2mDBTPDBq-II 10 nm	BPhen 20 nm	LiF 1 nm	Al 200 nm
발광 엘리먼트 10	ITO 110 nm	BPAFLP:MoOx (=4:2) 40 nm	BPAFLP 20 nm	2mDBTPDBq-II:α-NBA1BP:[Ir(mppm) ₂ (acac)] (=0.8:0.2:0.05) 40 nm	2mDBTPDBq-II 10 nm	BPhen 20 nm	LiF 1 nm	Al 200 nm

[0421]

[0422]

질소 대기를 함유하는 글로브 박스내에서, 이들 발광 엘리먼트를 대기에 노출되지 않도록 봉지 처리하였다. 그 후, 이들 발광 엘리먼트의 작동 특성을 측정하였다. 측정은 실온에서 (25℃에서 유지된 대기 중에서) 실시하였다는 점에 유의한다.

[0423]

도 40은 발광 엘리먼트 9 및 발광 엘리먼트 10의 전류 밀도-휘도를 도시한다. 도 40에서, 가로축은 전류 밀도 (mA/cm²)를 나타내며, 세로축은 휘도(cd/m²)를 나타낸다. 도 41은 그의 전압-휘도 특징을 도시한다. 도 41에서, 가로축은 전압(V)을 나타내며, 세로축은 휘도(cd/m²)를 나타낸다. 도 42는 그의 휘도-전류 효율 특징을 도시한다. 도 42에서, 가로축은 휘도(cd/m²)를 나타내며, 세로축은 전류 효율(cd/A)을 나타낸다. 도 43은 그의 휘도-외부 양자 효율 특징을 나타낸다. 도 43에서, 가로축은 휘도(cd/m²)를 나타내며, 세로축은 외부 양자 효율(%)을 나타낸다.

[0424]

추가로, 하기 표 12는 약 1,000 cd/m²의 휘도에서 각각의 발광 엘리먼트 9 및 발광 엘리먼트 10의 전압(V), 전류 밀도(mA/cm²), CIE 색도 좌표(x, y), 전류 효율(cd/A), 전원 효율(lm/W) 및 외부 양자 효율(%)을 나타낸다.

[0425]

표 12

	전압 (V)	전류 밀도 (mA/cm ²)	색도 좌표 (x, y)	휘도 (cd/m ²)	전류 효율 (cd/A)	전원 효율 (lm/W)	외부 양자 효율 (%)
발광 엘리먼트 9	3.2	1.6	(0.43, 0.56)	1100	69	68	20
발광 엘리먼트 10	3.0	1.1	(0.43, 0.56)	860	75	79	21

[0426]

[0427]

도 44는 0.1 mA의 전류를 인가하여 얻은 발광 엘리먼트 9 및 발광 엘리먼트 10의 발광 스펙트럼을 도시한다. 도 44에서, 가로축은 파장(nm)을 나타내며, 세로축은 흡광 강도(임의 단위)를 나타낸다. 표 12에 나타난 바와 같이, 1,100 cd/m²의 휘도에서 발광 엘리먼트 9의 CIE 색도 좌표는 (x, y)=(0.43, 0.56)이고, 860 cd/m²의 휘도에서 발광 엘리먼트 10의 CIE 색도 좌표는 (x, y)=(0.43, 0.56)이었다. 이러한 결과는 [Ir(mppm)₂(acac)]로부터 유래하는 황록색 발광을 발광 엘리먼트 9 및 발광 엘리먼트 10으로부터 얻었다는 것을 나타낸다.

[0428]

표 12 및 도 40 내지 도 43로부터 알 수 있는 바와 같이, 발광 엘리먼트 9 및 발광 엘리먼트 10은 각각 전류 효율이 높고, 전원 효율이 높으며 그리고 외부 양자 효율이 높다.

[0429]

각각의 발광 엘리먼트 9 및 발광 엘리먼트 10에서, 실시예 11에 기재된 PCBA1BP 또는 α-NBA1BP, 2mDBTPDBq-II 및 [Ir(mppm)₂(acac)]는 발광층에 사용한다. 실시예 11에 기재한 바와 같이, 2mDBTPDBq-II 및 PCBA1BP 또는 α-NBA1BP의 혼합 물질의 발광 스펙트럼(여기착물의 발광 스펙트럼)은 발광에 크게 기여하는 것으로 고려되는 [Ir(mppm)₂(acac)]의 흡수 스펙트럼에서 흡수 밴드와 크게 중첩된다. 발광 엘리먼트 9 및 발광 엘리먼트 10은 각각 중첩을 사용하여 에너지를 이동시키므로 에너지 이동 효율이 높고, 그리하여 외부 양자 효율이 높은 것으로 고려된다.

[0430]

상기 결과는 본 발명의 하나의 실시형태의 적용에 의하여 외부 양자 효율이 높은 엘리먼트를 얻을 수 있다는 것

을 나타낸다.

[0431] 그 다음, 발광 엘리먼트 9 및 발광 엘리먼트 10은 신뢰성 테스트를 실시하였다. 신뢰성 테스트의 결과를 도 45에 도시한다. 도 45에서, 세로축은 초기 휘도 100%로 정규화된 휘도(%)를 나타내며, 가로축은 엘리먼트의 구동 시간(h)을 나타낸다.

[0432] 신뢰성 테스트에서, 초기 휘도를 5,000 cd/m²로 설정하고 그리고 전류 밀도는 일정한 조건하에서 발광 엘리먼트 9 및 발광 엘리먼트 10을 구동시켰다.

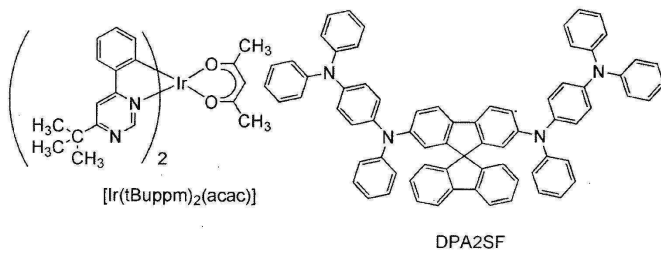
[0433] 260 시간 후 발광 엘리먼트 9의 휘도는 초기 휘도의 74%이었다. 260 시간 후 발광 엘리먼트 10의 휘도는 초기 휘도의 75%이었다. 결과로부터, 발광 엘리먼트 9 및 발광 엘리먼트 10은 수명이 긴 것으로 밝혀졌다.

[0434] 상기 결과는 본 발명의 하나의 실시형태의 적용에 의하여 신뢰성이 높은 엘리먼트를 얻을 수 있다는 것을 나타낸다.

[0435] 실시예 13

[0436] 본 실시예에서, 본 발명의 하나의 실시형태의 발광 엘리먼트에 사용될 수 있는 제1의 유기 화합물, 제2의 유기 화합물 및 인광 화합물의 조합의 예는 도 46a 및 도 46b를 참조하여 기재한다.

[0437] 본 실시예에 사용된 인광 화합물은 (아세틸아세토나토)비스(6-tert-부틸-4-페닐피리미디나토)이리듐(III)(약어: [Ir(tBuppm)₂(acac)])이다. 본 실시예에 사용된 제1의 유기 화합물은 2mDBTPDBq-II이다. 제2의 유기 화합물인 NPB 및 2,7-비스[N-(4-디페닐아미노페닐)-N-페닐아미노]-스피로-9,9'-비플루오렌(약어: DPA2SF)의 2중을 본 실시예에서 사용한다. 본 실시예에 사용된 물질의 화학식을 하기에 제시한다. 상기 실시예에 사용된 물질의 화학식은 여기서 생략한다는 점에 유의한다.



[0438]

[0439] <흡수 스펙트럼>

[0440] 도 46a 및 도 46b는 각각 [Ir(tBuppm)₂(acac)]의 디클로로메탄 용액 중의 인광 화합물인 [Ir(tBuppm)₂(acac)]의 자외-가시 흡수 스펙트럼(이하, 간단히 흡수 스펙트럼으로 지칭함)을 도시한다. 흡수 스펙트럼은 자외-가시 분광 광도계(V-550, 자스코 코포레이션 제조)를 사용하여 디클로로메탄 용액(0.093 mmol/l)을 석영 셀에 넣은 상태로 실온에서 측정하였다.

[0441] <발광 스펙트럼>

[0442] 또한, 도 46a 및 도 46b는 각각 제1의 유기 화합물인 2mDBTPDBq-II의 박막의 발광 스펙트럼(발광 스펙트럼 19), 제2의 유기 화합물인 DPA2SF의 박막의 발광 스펙트럼(발광 스펙트럼 20), 2mDBTPDBq-II 및 DPA2SF의 혼합 물질의 박막의 발광 스펙트럼(발광 스펙트럼 21) 및 2mDBTPDBq-II 및 NPB의 혼합 물질의 박막의 발광 스펙트럼(발광 스펙트럼 22)를 도시한다.

[0443] 도 46a에서, 가로축은 파장(nm)을 나타내며, 세로축은 몰 흡광 계수 ϵ (M⁻¹·cm⁻¹) 및 흡광 강도(임의 단위)를 나타낸다. 도 46b에서, 가로축은 에너지(eV)를 나타내며, 세로축은 몰 흡광 계수 ϵ (M⁻¹·cm⁻¹) 및 흡광 강도(임의 단위)를 나타낸다.

[0444] 도 46a에서의 흡수 스펙트럼으로부터 알 수 있는 바와 같이, [Ir(tBuppm)₂(acac)]는 약 490 nm에서 넓은 흡수 밴드를 갖는다. 이러한 흡수 밴드는 발광에 크게 기여하는 것으로 고려된다.

[0445] 2mDBTPDBq-II 및 DPA2SF의 혼합 물질의 발광 스펙트럼(발광 스펙트럼 21)은 유기 화합물 단독의 발광 스펙트럼보다 더 긴 파장(더 낮은 에너지)에서 피크를 갖는 것으로 밝혀졌다. 이는 2mDBTPDBq-II를 DPA2SF와 혼합하여

여기착물을 형성한다는 것을 나타낸다.

- [0446] NPB 단독의 발광 스펙트럼은 약 430 nm에서 피크를 갖는 것으로 알려져 있다. 도 46a는 2mDBTPDBq-II 및 NPB의 혼합 물질의 발광 스펙트럼(발광 스펙트럼 22)은 430 nm보다 긴 파장에서 피크를 갖기 때문에, 2mDBTPDBq-II를 NPB와 혼합하여 여기착물이 형성된다는 것을 도시한다.
- [0447] 혼합 물질의 발광 스펙트럼의 피크는 발광에 크게 기여하는 것으로 고려되는 $[\text{Ir}(\text{tBuppm})_2(\text{acac})]$ 의 흡수 스펙트럼에서 흡수 밴드와 크게 중첩되는 것으로 밝혀졌다. 그래서, 이는 2mDBTPDBq-II 및 DPA2SF의 혼합 물질 및 $[\text{Ir}(\text{tBuppm})_2(\text{acac})]$ 를 포함하는 발광 엘리먼트 및, 2mDBTPDBq-II 및 NPB의 혼합 물질 및 $[\text{Ir}(\text{tBuppm})_2(\text{acac})]$ 를 포함하는 발광 엘리먼트는 이들이 혼합 물질의 발광 스펙트럼 및 인광 화합물의 흡수 스펙트럼 사이의 중첩을 사용하여 에너지를 이동시키므로 에너지 이동 효율이 높다는 것을 시사한다. 따라서, 외부 양자 효율이 높은 발광 엘리먼트를 얻을 수 있다는 것을 시사한다.
- [0448] 발광 스펙트럼 22는 발광 스펙트럼 21보다 더 짧은 파장(더 높은 에너지)에서 피크를 갖는다. 게다가, 발광 스펙트럼 22의 피크는 발광 스펙트럼 21의 피크보다 흡수 밴드에 근접한다. 상기 발견은 도 46a 및 도 46b에서 발광 스펙트럼 22가 발광에 크게 기여하는 흡수 스펙트럼의 흡수 밴드와 최대 중첩된다는 것을 나타낸다. 구체적으로는, 흡수 스펙트럼에서의 흡수 밴드의 피크 및 발광 스펙트럼 21의 피크 사이의 차이는 0.39 eV이고, 흡수 스펙트럼에서의 흡수 밴드의 피크 및 발광 스펙트럼 22의 피크 사이의 차이는 0.19 eV이다.
- [0449] 발광 스펙트럼 21 및 발광 스펙트럼 22의 피크 사이의 차이는 제2의 유기 화합물로서 사용된 DPA2SF 및 NPB의 HOMO 준위 사이의 차이로 인한 것으로 고려된다. 구체적으로는, DPA2SF의 HOMO 준위는 -5.09 eV인 반면, NPB의 HOMO 준위는 -5.38 eV이었다(각각은 순환 전압전류(CV) 측정에 의하여 계산하였다). NPB는 DPA2SF보다 더 낮은(더 깊은) HOMO 준위를 가지므로, 발광 스펙트럼 22는 발광 스펙트럼 21보다 더 짧은 파장(더 높은 에너지)에서 피크를 갖는 것으로 고려된다.
- [0450] 상기 기재는 2mDBTPDBq-II 및 NPB의 혼합 물질 및 $[\text{Ir}(\text{tBuppm})_2(\text{acac})]$ 를 포함하는 발광 엘리먼트가 혼합 물질의 발광 스펙트럼 및 인광 화합물의 흡수 스펙트럼 사이의 더 큰 중첩을 사용하여 에너지를 이동시키므로 2mDBTPDBq-II 및 DPA2SF의 혼합 물질 및 $[\text{Ir}(\text{tBuppm})_2(\text{acac})]$ 를 포함하는 발광 엘리먼트보다 에너지 이동 효율이 더 높다는 것을 나타낸다. 따라서, 외부 양자 효율이 높은 발광 엘리먼트를 얻을 수 있다는 것을 시사한다.
- [0451] 게다가, 본 실시예는 제1의 유기 화합물을 변경시키지 않고 단순히 제2의 유기 화합물을 변경시켜 제1의 유기 화합물 및 제2의 유기 화합물의 혼합 물질의 발광 스펙트럼 및 인광 화합물의 흡수 스펙트럼 사이의 중첩이 증가될 수 있는 것으로 밝혀졌다. 환언하면, 인광 화합물의 발광 색상(발광에 크게 기여하는 흡수 스펙트럼의 흡수 밴드의 위치)을 변경시키는 경우에서조차 단지 제2의 유기 화합물을 변경시킴으로써 중첩을 증가시킬 수 있는 조합을 얻을 수 있으며, 외부 양자 효율이 높고 그리고 수명이 긴 발광 엘리먼트를 얻을 수 있다는 것을 나타낸다.
- [0452] 실시예 14
- [0453] 본 실시예에서, 본 발명의 하나의 실시형태의 발광 엘리먼트는 도 15를 참조하여 기재한다. 본 실시예에서 사용한 물질은 상기 실시예에서 사용하였으므로, 여기서 그의 화학식은 생략한다.
- [0454] 본 실시예의 발광 엘리먼트 11 및 발광 엘리먼트 12의 제조 방법을 하기에 기재하고자 한다.
- [0455] 발광 엘리먼트 11
- [0456] 우선, 유리 기판(1100)의 위에 ITS0의 필름을 스퍼터링 방법에 의하여 형성하여 애노드로서 기능하는 제1의 전극(1101)을 형성하였다. 두께를 110 nm로 설정하고, 전극 면적을 2 mm×2 mm로 설정한 점에 유의한다.
- [0457] 그 다음, 기판(1100)의 위에 발광 엘리먼트를 형성하기 위한 전처리로서, 기판 표면을 물로 세정하고, 200℃에서 1 시간 동안 소성을 실시한 후 UV 오존 처리를 370 초 동안 실시하였다.
- [0458] 그후, 압력을 약 10^{-4} Pa로 감소시킨 진공 증착 장치에 기판을 도입하고, 진공 증착 장치의 가열실에서 170℃에서 30 분 동안 진공 소성을 실시한 후, 기판(1100)을 약 30 분 동안 냉각시켰다.
- [0459] 그 다음, 제1의 전극(1101)이 제공된 면이 아래를 향하도록 제1의 전극(1101)이 제공된 기판(1100)을 진공 증착 장치내의 기판 홀더에 고정시켰다. 진공 증착 장치내의 압력을 약 10^{-4} Pa로 감압시켰다. 그후, DBT3P-II 및

산화몰리브덴(VI)을 공증착시켜 제1의 전극(1101)의 위에 정공 주입층(1111)을 형성하였다. 정공 주입층(1111)의 두께를 40 nm로 설정하고, DBT3P-II 대 산화몰리브덴의 중량비를 4:2(=DBT3P-II:산화몰리브덴)로 조절하였다.

[0460] 그 다음, 정공 주입층(1111)의 위에 BPAFLP의 필름을 20 nm의 두께로 형성하여 정공 수송층(1112)을 형성하였다.

[0461] 더욱이, 2mDBTPDBq-II, DPA2SF 및 $[\text{Ir}(\text{tBuppm})_2(\text{acac})]$ 를 공증착시켜 정공 수송층(1112)의 위에 발광층(1113)을 형성하였다. 여기서, 2mDBTPDBq-II 대 DPA2SF 대 $[\text{Ir}(\text{tBuppm})_2(\text{acac})]$ 의 중량비를 0.8:0.2:0.05(=2mDBTPDBq-II:DPA2SF: $[\text{Ir}(\text{tBuppm})_2(\text{acac})]$)로 조절하였다. 발광층(1113)의 두께를 40 nm로 설정하였다.

[0462] 추가로, 발광층(1113)의 위에 2mDBTPDBq-II의 필름을 10 nm의 두께로 형성하여 제1의 전자 수송층(1114a)을 형성하였다.

[0463] 그 다음, 제1의 전자 수송층(1114a)의 위에 BPhen의 필름을 20 nm의 두께로 형성하여 제2의 전자 수송층(1114b)을 형성하였다.

[0464] 추가로, 제2의 전자 수송층(1114b)의 위에 LiF의 필름을 증착에 의하여 1 nm의 두께로 형성하여 전자 주입층(1115)을 형성하였다.

[0465] 마지막으로, 알루미늄 필름을 증착에 의하여 200 nm의 두께로 캐소드로서 기능하는 제2의 전극(1103)으로서 형성하였다. 그리하여 본 실시예의 발광 엘리먼트 11을 제조하였다.

[0466] 발광 엘리먼트 12

[0467] 발광 엘리먼트 12의 발광층(1113)은 2mDBTPDBq-II, NPB 및 $[\text{Ir}(\text{tBuppm})_2(\text{acac})]$ 를 공증착시켜 형성하였다. 여기서, 2mDBTPDBq-II 대 NPB 대 $[\text{Ir}(\text{tBuppm})_2(\text{acac})]$ 의 중량비를 0.8:0.2:0.05(=2mDBTPDBq-II:NPB: $[\text{Ir}(\text{tBuppm})_2(\text{acac})]$)로 조절하였다. 발광층(1113) 이외의 성분은 발광 엘리먼트 11과 유사한 방식으로 제조하였다.

[0468] 상기 모든 증착 단계에서, 증착은 저항 가열 방법에 의하여 실시하였다는 점에 유의한다.

[0469] 하기 표 13은 상기 기재한 바와 같이 하여 얻은 발광 엘리먼트 11 및 발광 엘리먼트 12의 엘리먼트 구조를 나타낸다.

[0470] 표 13

	제1의 전극	정공 주입층	정공 수송층	발광층	제1의 전자 수송층	제2의 전자 수송층	전자 주입층	제2의 전극
발광 엘리먼트 11	ITO 110 nm	DBT3P-II:MoO _x (=4:2) 40 nm	BPAFLP 20 nm	2mDBTPDBq-II:DPA2SF: $[\text{Ir}(\text{tBuppm})_2(\text{acac})]$ (=0.8:0.2:0.05) 40 nm	2mDBTPDBq-II 10 nm	BPhen 20 nm	LiF 1 nm	Al 200 nm
발광 엘리먼트 12	ITO 110 nm	DBT3P-II:MoO _x (=4:2) 40 nm	BPAFLP 20 nm	2mDBTPDBq-II:NPB: $[\text{Ir}(\text{tBuppm})_2(\text{acac})]$ (=0.8:0.2:0.05) 40 nm	2mDBTPDBq-II 10 nm	BPhen 20 nm	LiF 1 nm	Al 200 nm

[0471]

[0472] 질소 대기를 함유하는 글로브 박스내에서, 이들 발광 엘리먼트를 대기에 노출되지 않도록 봉지 처리하였다. 그 후, 이들 발광 엘리먼트의 작동 특성을 측정하였다. 측정은 실온에서 (25°C에서 유지된 대기 중에서) 실시하였다는 점에 유의한다.

[0473] 도 47은 발광 엘리먼트 11 및 발광 엘리먼트 12의 전류 밀도-휘도 특징을 도시한다. 도 47에서, 가로축은 전류 밀도(mA/cm²)를 나타내며, 세로축은 휘도(cd/m²)를 나타낸다. 도 48은 그의 전압-휘도 특징을 도시한다. 도 48에서, 가로축은 전압(V)을 나타내며, 세로축은 휘도(cd/m²)를 나타낸다. 도 49는 그의 휘도-전류 효율 특징을 도시한다. 도 49에서, 가로축은 휘도(cd/m²)를 나타내며, 세로축은 전류 효율(cd/A)을 나타낸다. 도 50은 그의 휘도-외부 양자 효율 특징을 나타낸다.

[0474] 도 50에서, 가로축은 휘도(cd/m²)를 나타내며, 세로축은 외부 양자 효율(%)을 나타낸다.

[0475] 추가로, 하기 표 14는 약 1,000 cd/m²의 휘도에서 각각의 발광 엘리먼트 11 및 발광 엘리먼트 12의 전압(V), 전류 밀도(mA/cm²), CIE 색도 좌표(x, y), 전류 효율(cd/A), 전원 효율(lm/W) 및 외부 양자 효율(%)을 나타낸다.

[0476] 표 14

	전압 (V)	전류 밀도 (mA/cm ²)	색도 좌표 (x, y)	휘도 (cd/m ²)	전류 효율 (cd/A)	전원 효율 (lm/W)	외부 양자 효율 (%)
발광 엘리먼트 11	2.9	1.7	(0.43, 0.56)	890	52	56	15
발광 엘리먼트 12	2.8	1.0	(0.42, 0.57)	820	84	95	23

[0477]

[0478] 도 51은 0.1 mA의 전류를 인가하여 얻은 발광 엘리먼트 11 및 발광 엘리먼트 12의 발광 스펙트럼을 도시한다. 도 51에서, 가로축은 파장(nm)을 나타내며, 세로축은 흡광 강도(임의 단위)를 나타낸다. 표 14에 나타난 바와 같이, 890 cd/m²의 휘도에서 발광 엘리먼트 11의 CIE 색도 좌표는 (x, y)=(0.43, 0.56)이었으며, 820 cd/m²의 휘도에서 발광 엘리먼트 12의 CIE 색도 좌표는 (x, y)=(0.42, 0.57)이었다. 이러한 결과는 [Ir(tBuppm)₂(acac)]로부터 유래하는 황록색 발광을 발광 엘리먼트 11 및 발광 엘리먼트 12로부터 얻었다는 것을 나타낸다.

[0479] 표 14 및 도 47 내지 도 50으로부터 알 수 있는 바와 같이, 발광 엘리먼트 11 및 발광 엘리먼트 12는 각각 전류 효율이 높고, 전원 효율이 높으며 그리고 외부 양자 효율이 높다.

[0480] 각각의 발광 엘리먼트 11 및 발광 엘리먼트 12에서 실시예 13에 기재된 DPA2SF 또는 NPB, 2mDBTPDBq-II 및 [Ir(tBuppm)₂(acac)]를 발광층에 사용한다. 실시예 13에 기재한 바와 같이, 2mDBTPDBq-II 및 DPA2SF 또는 NPB의 혼합 물질의 발광 스펙트럼(여기착물의 발광 스펙트럼)은 발광에 크게 기여하는 것으로 고려되는 [Ir(tBuppm)₂(acac)]의 흡수 스펙트럼에서의 흡수 밴드와 크게 중첩된다. 발광 엘리먼트 11 및 발광 엘리먼트 12는 각각 중첩을 사용하여 에너지를 이동시키므로 에너지 이동 효율이 높고, 그리하여 외부 양자 효율이 높은 것으로 고려된다. 특히, 2mDBTPDBq-II 및 NPB의 혼합 물질의 발광 스펙트럼은 2mDBTPDBq-II 및 DPA2SF의 혼합 물질의 발광 스펙트럼보다 흡수 밴드와 더 크게 중첩된다. 그러므로, 발광 엘리먼트 12는 더 큰 중첩을 사용하여 에너지를 이동시키므로 발광 엘리먼트 11보다 에너지 이동 효율이 더 높으며, 그리하여 양자 효율이 높은 것으로 고려된다. 마찬가지로 실시예 13에서의 결과를 참조하면, 여기착물의 발광 스펙트럼의 피크의 에너지 및 흡수 스펙트럼에서의 최저 에너지측에서의 흡수 밴드의 피크의 에너지 사이의 차이는 0.3 eV 이하인 것이 바람직한 것으로 밝혀졌다.

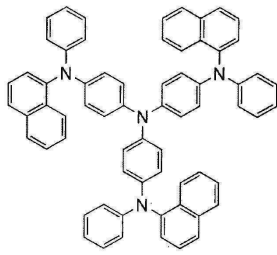
[0481] 본 실시예에서, 제1의 유기 화합물(2mDBTPDBq-II에 해당)을 변경시키지 않고 단순히 제2의 유기 화합물을 변경시켜(DPA2SF 대신에 NPB 사용) 추가로 외부 양자 효율이 높은 발광 엘리먼트를 얻는다.

[0482] 상기 결과는 본 발명의 하나의 실시형태의 적용에 의하여 외부 양자 효율이 높은 엘리먼트를 얻을 수 있다는 것을 나타낸다.

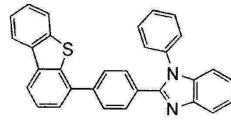
[0483] 실시예 15

[0484] 본 실시예에서, 본 발명의 하나의 실시형태의 발광 엘리먼트에 사용될 수 있는 제1의 유기 화합물, 제2의 유기 화합물 및 인광 화합물의 조합의 예는 도 52a 및 도 52b를 참조하여 기재한다.

[0485] 본 실시예에 사용된 인광 화합물은 [Ir(mppr-Me)₂(dpm)]이다. 제1의 유기 화합물인 2mDBTPDBq-II 및 2-[4-(디벤조티오펜-4-일)페닐]-1-페닐-1H-벤조이미다졸(약어: DBTBI-m-II)의 2중을 본 실시예에 사용한다. 본 실시예에 사용된 제2의 유기 화합물은 4,4',4"-트리스[N-(1-나프틸)-N-페닐아미노]트리페닐아민(약어: 1'-TNATA)이다. 본 실시예에 사용된 물질의 화학식을 하기에 제시한다. 상기 실시예에 사용된 물질의 화학식은 여기서 생략한다는 점에 유의한다.



1'-TNATA



DBTBIIm-II

[0486]

[0487]

<흡수 스펙트럼>

[0488]

도 52a 및 도 52b는 각각 $[\text{Ir}(\text{mppy-Me})_2(\text{dpm})]$ 의 디클로로메탄 용액 중의 인광 화합물인 $[\text{Ir}(\text{mppy-Me})_2(\text{dpm})]$ 의 자외-가시 흡수 스펙트럼(이하, 간단히 흡수 스펙트럼으로 지칭함)을 도시한다. 흡수 스펙트럼은 자외-가시 분광 광도계(V-550, 자스코 코포레이션 제조)를 사용하여 디클로로메탄 용액(0.093 mmol/l)을 석영 셀에 넣은 상태로 실온에서 측정하였다.

[0489]

<발광 스펙트럼>

[0490]

도 52a 및 도 52b는 각각 제1의 유기 화합물인 2mDBTPDBq-II의 박막의 발광 스펙트럼(발광 스펙트럼 23), 제1의 유기 화합물인 DBTBIIm-II의 박막의 발광 스펙트럼(발광 스펙트럼 24), 제2의 유기 화합물인 1'-TNATA의 박막의 발광 스펙트럼(발광 스펙트럼 25), 2mDBTPDBq-II 및 1'-TNATA의 혼합 물질의 박막의 발광 스펙트럼(발광 스펙트럼 26) 및 DBTBIIm-II 및 1'-TNATA의 혼합 물질의 박막의 발광 스펙트럼(발광 스펙트럼 27)을 도시한다. 도 52a에서, 가로축은 파장(nm)을 나타내며, 세로축은 몰 흡광 계수 $\epsilon (\text{M}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1})$ 및 흡광 강도(임의 단위)를 나타낸다. 도 52b에서, 가로축은 에너지(eV)를 나타내며, 세로축은 몰 흡광 계수 $\epsilon (\text{M}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1})$ 및 흡광 강도(임의 단위)를 나타낸다.

[0491]

도 52a에서의 흡수 스펙트럼으로부터 알 수 있는 바와 같이, $[\text{Ir}(\text{mppy-Me})_2(\text{dpm})]$ 은 약 520 nm에서 넓은 흡수 밴드를 갖는다. 이러한 흡수 밴드는 발광에 크게 기여하는 것으로 고려된다.

[0492]

2mDBTPDBq-II 및 1'-TNATA의 혼합 물질의 발광 스펙트럼(발광 스펙트럼 26) 및 DBTBIIm-II 및 1'-TNATA의 혼합 물질의 발광 스펙트럼(발광 스펙트럼 27) 각각은 유기 화합물 단독의 발광 스펙트럼보다 더 긴 파장(더 낮은 에너지)에서 피크를 갖는 것으로 밝혀졌다. 이는 2mDBTPDBq-II를 1'-TNATA와 혼합하여 여기착물이 형성된다는 것을 나타낸다. 또한, DBTBIIm-II를 1'-TNATA와 혼합하여 여기착물이 형성된다는 것을 나타낸다.

[0493]

각각의 혼합 물질의 발광 스펙트럼의 피크는 발광에 크게 기여하는 것으로 고려되는 $[\text{Ir}(\text{mppy-Me})_2(\text{dpm})]$ 의 흡수 스펙트럼에서 흡수 밴드와 크게 중첩되는 것으로 밝혀졌다. 그리하여 2mDBTPDBq-II 및 1'-TNATA의 혼합 물질 및 $[\text{Ir}(\text{mppy-Me})_2(\text{dpm})]$ 를 포함하는 발광 엘리먼트 및 DBTBIIm-II 및 1'-TNATA의 혼합 물질 및 $[\text{Ir}(\text{mppy-Me})_2(\text{dpm})]$ 을 포함하는 발광 엘리먼트는 각각 혼합 물질의 발광 스펙트럼 및 인광 화합물의 흡수 스펙트럼 사이의 중첩을 사용하여 에너지를 이동시키므로 에너지 이동 효율이 높은 것으로 나타났다. 따라서, 외부 양자 효율이 높은 발광 엘리먼트를 얻을 수 있다는 것을 시사한다.

[0494]

발광 스펙트럼 27은 발광 스펙트럼 26보다 더 짧은 파장(더 높은 에너지)에서 피크를 갖는다. 게다가, 발광 스펙트럼 27의 피크는 발광 스펙트럼 26의 피크보다 흡수 밴드에 더 근접하다. 상기 발견은 도 52a 및 도 52b에서 발광 스펙트럼 27이 발광에 크게 기여하는 흡수 스펙트럼의 흡수 밴드와 최대로 중첩된다는 것을 나타낸다. 구체적으로는, 흡수 스펙트럼에서 흡수 밴드의 피크(약 520 nm에서의 솔더 피크) 및 발광 스펙트럼 26의 피크 사이의 차이는 0.35 eV이고, 흡수 스펙트럼에서 흡수 밴드의 피크(약 520 nm에서의 솔더 피크) 및 발광 스펙트럼 27의 피크 사이의 차이는 0.01 eV이다.

[0495]

발광 스펙트럼 26 및 발광 스펙트럼 27의 피크 사이의 차이는 DBTBIIm-II 및 제1의 유기 화합물로서 사용된 2mDBTPDBq-II의 LUMO 준위 사이의 차이로 인한 것으로 고려된다. 구체적으로는, 2mDBTPDBq-II의 LUMO 준위는 -2.95 eV인 반면, DBTBIIm-II의 LUMO 준위는 -2.52 eV이다(각각은 순환 전압전류(CV) 측정에 의하여 계산한다). DBTBIIm-II는 2mDBTPDBq-II보다 더 높은(더 얇은) LUMO 준위를 갖기 때문에, HOMO 준위가 높은 1'-TNATA와 DBTBIIm-II의 혼합 물질의 발광 스펙트럼은 너무 긴 파장에서 피크를 갖지 않는(즉, 발광 스펙트럼 27이 발광 스펙트럼 26보다 더 짧은 파장에서 피크를 갖는다).

펙트럼 26보다 더 짧은 파장에서 피크를 갖는) 것으로 고려된다.

- [0496] 상기 기재는 DBTBI_m-II 및 1'-TNATA의 혼합 물질 및 [Ir(mppr-Me)₂(dpm)]을 포함하는 발광 엘리먼트는 혼합 물질의 발광 스펙트럼 및 인광 화합물의 흡수 스펙트럼 사이의 더 큰 중첩을 사용하여 에너지를 이동시키므로 2mDBTPDBq-II 및 1'-TNATA의 혼합 물질 및 [Ir(mppr-Me)₂(dpm)]을 포함하는 발광 엘리먼트보다 에너지 이동 효율이 더 높은 것으로 나타난다. 따라서, 외부 양자 효율이 높은 발광 엘리먼트를 얻을 수 있다는 것을 시사한다.
- [0497] 게다가, 본 실시예는 제1의 유기 화합물 및 제2의 유기 화합물의 혼합 물질의 발광 스펙트럼 및 인광 화합물의 흡수 스펙트럼 사이의 중첩이 제2의 유기 화합물을 변경하지 않고 단순히 제1의 유기 화합물을 변경시켜 증가시킬 수 있는 것으로 밝혀졌다. 환언하면, 인광 화합물의 발광 색상(발광에 크게 기여하는 흡수 스펙트럼에서 흡수 밴드의 위치)을 변경시키는 경우에서조차 단순히 제1의 유기 화합물을 변경시켜 중첩을 증가시킬 수 있는 조합을 얻을 수 있으며 그리고, 외부 양자 효율이 높고 그리고 수명이 긴 발광 엘리먼트를 얻을 수 있다는 것을 나타낸다.
- [0498] 실시예 16
- [0499] 본 실시예에서, 본 발명의 하나의 실시형태의 발광 엘리먼트는 도 15를 참조하여 기재한다. 본 실시예에서 사용한 물질은 상기 실시예에서 사용하므로, 여기서 그의 화학식은 생략한다.
- [0500] 본 실시예의 발광 엘리먼트 13 및 발광 엘리먼트 14의 제조 방법을 하기에 기재하고자 한다.
- [0501] 발광 엘리먼트 13
- [0502] 우선, 유리 기판(1100)의 위에 ITS0의 필름을 스퍼터링 방법에 의하여 형성하여 애노드로서 기능하는 제1의 전극(1101)을 형성하였다. 두께를 110 nm로 설정하고, 전극 면적을 2 mm×2 mm로 설정한 점에 유의한다.
- [0503] 그 다음, 기판(1100)의 위에 발광 엘리먼트를 형성하기 위한 전처리로서, 기판 표면을 물로 세정하고, 200℃에서 1 시간 동안 소성을 실시한 후 UV 오존 처리를 370 초 동안 실시하였다.
- [0504] 그후, 압력을 약 10⁻⁴ Pa로 감소시킨 진공 증착 장치에 기판을 도입하고, 진공 증착 장치의 가열실에서 170℃에서 30 분 동안 진공 소성을 실시한 후, 기판(1100)을 약 30 분 동안 냉각시켰다.
- [0505] 그 다음, 제1의 전극(1101)이 제공된 면이 아래를 향하도록 제1의 전극(1101)이 제공된 기판(1100)을 진공 증착 장치내의 기판 홀더에 고정시켰다. 진공 증착 장치내의 압력을 약 10⁻⁴ Pa로 감압시켰다. 그후, BPAFLP 및 산화몰리브덴(VI)을 공증착시켜 제1의 전극(1101)의 위에 정공 주입층(1111)을 형성하였다. 정공 주입층(1111)의 두께를 40 nm로 설정하고, BPAFLP 대 산화몰리브덴의 중량비를 4:2(=BPAFLP:산화몰리브덴)로 조절하였다.
- [0506] 그 다음, 정공 주입층(1111)의 위에 BPAFLP의 필름을 20 nm의 두께로 형성하여 정공 수송층(1112)을 형성하였다.
- [0507] 더욱이, 2mDBTPDBq-II, 1'-TNATA 및 [Ir(mppr-Me)₂(dpm)]을 공증착시켜 정공 수송층(1112)의 위에 발광층(1113)을 형성하였다. 여기서, 2mDBTPDBq-II 대 1'-TNATA 대 [Ir(mppr-Me)₂(dpm)]의 중량비를 0.8:0.2:0.05(=2mDBTPDBq-II:1'-TNATA:[Ir(mppr-Me)₂(dpm)])으로 조절하였다. 발광층(1113)의 두께를 20 nm로 설정하였다.
- [0508] 추가로, 발광층(1113)의 위에 2mDBTPDBq-II의 필름을 30 nm의 두께로 형성하여 제1의 전자 수송층(1114a)을 형성하였다.
- [0509] 그 다음, 제1의 전자 수송층(1114a)의 위에 BPhen의 필름을 20 nm의 두께로 형성하여 제2의 전자 수송층(1114b)을 형성하였다.
- [0510] 추가로, 제2의 전자 수송층(1114b)의 위에 LiF의 필름을 증착에 의하여 1 nm의 두께로 형성하여 전자 주입층(1115)을 형성하였다.
- [0511] 마지막으로, 알루미늄 필름을 증착에 의하여 필름 200 nm의 두께로 캐소드로서 기능하는 제2의 전극(1103)으로서 형성하였다. 그리하여 본 실시예의 발광 엘리먼트 13을 제조하였다.

[0512] 발광 엘리먼트 14

[0513] 발광 엘리먼트 14의 발광층(1113)은 DBTBI_m-II, 1'-TNATA 및 [Ir(mppr-Me)₂(dpm)]을 공증착시켜 형성하였다. 여기서, DBTBI_m-II 대 1'-TNATA 대 [Ir(mppr-Me)₂(dpm)]의 중량비를 0.8:0.2:0.05(=DBTBI_m-II:1'-TNATA:[Ir(mppr-Me)₂(dpm)])으로 조절하였다. 발광층(1113)의 두께를 20 nm로 설정하였다.

[0514] DBTBI_m-II의 필름을 30 nm의 두께로 형성하여 발광 엘리먼트 14의 제1의 전자 수송층(1114a)을 형성하였다. 발광층(1113) 및 제1의 전자 수송층(1114a) 이외의 성분은 발광 엘리먼트 13과 유사한 방식으로 제조하였다.

[0515] 상기 모든 증착 단계에서, 증착은 저항 가열 방법에 의하여 실시하였다는 점에 유의한다.

[0516] 하기 표 15는 상기 기재한 바와 같이 하여 얻은 발광 엘리먼트 13 및 발광 엘리먼트 14의 엘리먼트 구조를 나타낸다.

[0517] 표 15

	제1의 전극	정공 주입층	정공 수송층	발광층	제1의 전자 수송층	제2의 전자 수송층	전자 주입층	제2의 전극
발광 엘리먼트 13	ITO 110 nm	BPAFLP:MoO _x (=4:2) 40 nm	BPAFLP 20 nm	2mDBTPDBq-II:1'-TNATA:[Ir(mppr-Me) ₂ (dpm)] (=0.8:0.2:0.05) 20 nm	2mDBTPDBq-II 30 nm	BPhen 20 nm	LiF 1 nm	Al 200 nm
발광 엘리먼트 14	ITO 110 nm	BPAFLP:MoO _x (=4:2) 40 nm	BPAFLP 20 nm	DBTBI _m -II:1'-TNATA:[Ir(mppr-Me) ₂ (dpm)] (=0.8:0.2:0.05) 20 nm	DBTBI _m -II 30 nm	BPhen 20 nm	LiF 1 nm	Al 200 nm

[0518]

[0519] 질소 대기를 함유하는 글로브 박스내에서, 이들 발광 엘리먼트를 대기에 노출되지 않도록 봉지 처리하였다. 그 후, 이들 발광 엘리먼트의 작동 특성을 측정하였다. 측정은 실온에서 (25°C에서 유지된 대기 중에서) 실시하였다는 점에 유의한다.

[0520] 도 53은 발광 엘리먼트 13 및 발광 엘리먼트 14의 전류 밀도-휘도 특징을 도시한다. 도 53에서, 가로축은 전류 밀도(mA/cm²)를 나타내며, 세로축은 휘도(cd/m²)를 나타낸다. 도 54는 그의 전압-휘도 특징을 도시한다. 도 54에서, 가로축은 전압(V)을 나타내며, 세로축은 휘도(cd/m²)를 나타낸다. 도 55는 그의 휘도-전류 효율 특징을 도시한다. 도 55에서, 가로축은 휘도(cd/m²)를 나타내며, 세로축은 전류 효율(cd/A)을 나타낸다. 도 56은 그의 휘도-외부 양자 효율 특징을 나타낸다. 도 56에서, 가로축은 휘도(cd/m²)를 나타내며, 세로축은 외부 양자 효율(%)을 나타낸다.

[0521] 추가로, 하기 표 16은 860 cd/m²의 휘도에서 각각의 발광 엘리먼트 13 및 발광 엘리먼트 14의 전압(V), 전류 밀도(mA/cm²), CIE 색도 좌표(x, y), 전류 효율(cd/A), 전원 효율(lm/W) 및 외부 양자 효율(%)을 나타낸다.

[0522] 표 16

	전압 (V)	전류 밀도 (mA/cm ²)	색도 좌표 (x, y)	휘도 (cd/m ²)	전류 효율 (cd/A)	전원 효율 (lm/W)	외부 양자 효율 (%)
발광 엘리먼트 13	3.1	2.9	(0.53, 0.46)	860	29	30	11
발광 엘리먼트 14	3.8	1.5	(0.53, 0.46)	860	58	48	21

[0523]

[0524] 도 57은 0.1 mA의 전류를 인가하여 얻은 발광 엘리먼트 13 및 발광 엘리먼트 14의 발광 스펙트럼을 도시한다. 도 57에서, 가로축은 파장(nm)을 나타내며, 세로축은 흡광 강도(임의 단위)를 나타낸다. 표 16에 나타낸 바와 같이, 860 cd/m²의 휘도에서 각각의 발광 엘리먼트 13 및 발광 엘리먼트 14의 CIE 색도 좌표는 (x, y)=(0.53, 0.46)이었다. 이러한 결과는 발광 엘리먼트 13 및 발광 엘리먼트 14로부터 [Ir(mppr-Me)₂(dpm)]으로부터 유래

하는 오렌지색 발광을 얻었다는 것을 나타낸다.

[0525] 표 16 및 도 53 내지 도 56으로부터 알 수 있는 바와 같이, 발광 엘리먼트 13 및 발광 엘리먼트 14는 각각 전류 효율이 높고, 전원 효율이 높으며 그리고 외부 양자 효율이 높다.

[0526] 각각의 발광 엘리먼트 13 및 발광 엘리먼트 14에서, 실시예 15에 기재된 2mDBTPDBq-II 또는 DBTBIm-II, 1'-TNATA 및 $[\text{Ir}(\text{mppy-Me})_2(\text{dpm})]$ 은 발광층에 사용한다. 실시예 15에 기재한 바와 같이, 2mDBTPDBq-II 또는 DBTBIm-II 및 1'-TNATA의 혼합 물질의 발광 스펙트럼(여기착물의 발광 스펙트럼)은 발광에 크게 기여하는 것으로 고려되는 $[\text{Ir}(\text{mppy-Me})_2(\text{dpm})]$ 의 흡수 스펙트럼에서 흡수 밴드와 크게 중첩된다. 발광 엘리먼트 13 및 발광 엘리먼트 14는 각각 중첩을 사용하여 에너지를 이동시키므로 에너지 이동 효율이 높고, 그리하여 외부 양자 효율이 높은 것으로 고려된다. 특히, DBTBIm-II 및 1'-TNATA의 혼합 물질의 발광 스펙트럼은 2mDBTPDBq-II 및 1'-TNATA의 혼합 물질의 발광 스펙트럼보다 흡수 밴드와 더 크게 중첩된다. 그러므로, 발광 엘리먼트 14는 더 큰 중첩을 사용하여 에너지를 이동시키므로 발광 엘리먼트 13보다 에너지 이동 효율이 더 크며, 그리하여 양자 효율이 높은 것으로 고려된다. 마찬가지로, 실시예 15에서의 결과를 참조하면, 여기착물의 발광 스펙트럼의 피크의 에너지 및 흡수 스펙트럼에서의 최저 에너지층에서 흡수 밴드의 피크의 에너지 사이의 차이는 0.3 eV 이하인 것이 바람직한 것으로 밝혀졌다.

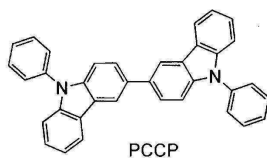
[0527] 본 실시예에서, 추가로 외부 양자 효율이 높은 발광 엘리먼트는 제2의 유기 화합물(1'-TNATA에 해당)을 변경시키지 않고 단순히 제1의 유기 화합물을 변경시켜(2mDBTPDBq-II 대신에 DBTBIm-II를 사용함) 얻는다.

[0528] 상기 결과는 본 발명의 하나의 실시형태의 적용에 의하여 외부 양자 효율이 높은 엘리먼트를 얻을 수 있다는 것을 나타낸다.

[0529] 실시예 17

[0530] 본 실시예에서, 본 발명의 하나의 실시형태의 발광 엘리먼트에 사용될 수 있는 제1의 유기 화합물, 제2의 유기 화합물 및 인광 화합물의 조합의 예는 도 58a 및 도 58b를 참조하여 기재한다.

[0531] 본 실시예에 사용된 인광 화합물은 $[\text{Ir}(\text{mppy-Me})_2(\text{dpm})]$ 이다. 본 실시예에 사용된 제1의 유기 화합물은 2mDBTPDBq-II이다. 제2의 유기 화합물인 PCBNBB 및 9-페닐-9H-3-(9-페닐-9H-카르바졸-3-일)카르바졸(약어: PCCP)의 2종을 본 실시예에서 사용한다. 본 실시예에 사용한 물질의 화학식을 하기에 제시한다. 상기 실시예에 사용된 물질의 화학식은 여기서 생략한다는 점에 유의한다.



[0532] <흡수 스펙트럼>

[0534] 도 58a 및 도 58b는 각각 $[\text{Ir}(\text{mppy-Me})_2(\text{dpm})]$ 의 디클로로메탄 용액 중의 인광 화합물인 $[\text{Ir}(\text{mppy-Me})_2(\text{dpm})]$ 의 자외-가시 흡수 스펙트럼(이하, 간단히 흡수 스펙트럼으로 지칭함)을 도시한다. 흡수 스펙트럼은 자외-가시 분광 광도계(V-550, 자스코 코포레이션 제조)를 사용하여 디클로로메탄 용액(0.093 mmol/l)을 석영 셀에 넣은 상태로 실온에서 측정하였다.

[0535] <발광 스펙트럼>

[0536] 도 58a 및 도 58b는 각각 제1의 유기 화합물인 2mDBTPDBq-II의 박막의 발광 스펙트럼(발광 스펙트럼 28), 제2의 유기 화합물인 PCBNBB의 박막의 발광 스펙트럼(발광 스펙트럼 29), 제2의 유기 화합물인 PCCP의 박막의 발광 스펙트럼(발광 스펙트럼 30), 2mDBTPDBq-II 및 PCBNBB의 혼합 물질의 박막의 발광 스펙트럼(발광 스펙트럼 31) 및 2mDBTPDBq-II 및 PCCP의 혼합물의 박막의 발광 스펙트럼(발광 스펙트럼 32)을 도시한다. 도 58a에서, 가로축은 파장(nm)을 나타내며, 세로축은 물 흡광 계수 ϵ ($\text{M}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$) 및 흡광 강도(임의 단위)를 나타낸다. 도 58b에서, 가로축은 에너지(eV)를 나타내며, 세로축은 물 흡광 계수 ϵ ($\text{M}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$) 및 흡광 강도(임의 단위)를 나타낸다.

[0537] 도 58a에서의 흡수 스펙트럼으로부터 알 수 있는 바와 같이, $[\text{Ir}(\text{mppy-Me})_2(\text{dpm})]$ 은 약 500 nm에서 넓은 흡수

밴드를 갖는다. 이러한 흡수 밴드는 발광에 크게 기여하는 것으로 고려된다.

- [0538] 2mDBTPDBq-II 및 PCBNBB의 혼합 물질의 발광 스펙트럼(발광 스펙트럼 31) 및 2mDBTPDBq-II 및 PCCP의 혼합 물질의 발광 스펙트럼(발광 스펙트럼 32) 각각은 유기 화합물 단독의 발광 스펙트럼보다 더 긴 파장(더 낮은 에너지)에서 피크를 갖는 것으로 밝혀졌다. 이는 2mDBTPDBq-II를 PCBNBB와 혼합하여 여기착물이 형성되는 것을 나타낸다. 또한, 2mDBTPDBq-II를 PCCP와 혼합하여 여기착물이 형성되는 것을 나타낸다.
- [0539] 각각의 혼합 물질의 발광 스펙트럼의 피크는 발광에 크게 기여하는 것으로 고려되는 $[\text{Ir}(\text{mppr-Me})_2(\text{dpm})]$ 의 흡수 스펙트럼에서의 흡수 밴드와 큰 중첩을 갖는 것으로 밝혀졌다. 그리하여 2mDBTPDBq-II 및 PCBNBB의 혼합 물질 및 $[\text{Ir}(\text{mppr-Me})_2(\text{dpm})]$ 을 포함하는 발광 엘리먼트 및 2mDBTPDBq-II 및 PCCP의 혼합 물질 및 $[\text{Ir}(\text{mppr-Me})_2(\text{dpm})]$ 을 포함하는 발광 엘리먼트는 각각 혼합 물질의 발광 스펙트럼 및 인광 화합물의 흡수 스펙트럼 사이의 중첩을 사용하여 에너지를 이동시키므로 에너지 이동 효율이 높은 것으로 나타난다. 따라서, 외부 양자 효율이 높은 발광 엘리먼트를 얻을 수 있다는 것을 시사한다.
- [0540] 게다가, 본 실시예는 방향족 아민계 화합물 또는 카르바졸 화합물이 여기착물을 형성하는 제1의 및 제2의 유기 화합물 중 하나로서 사용될 수 있다는 것을 나타낸다.
- [0541] 실시예 18
- [0542] 본 실시예에서, 본 발명의 하나의 실시형태의 발광 엘리먼트는 도 15를 참조하여 기재한다. 본 실시예에서 사용한 물질은 상기 실시예에서 사용하였으므로, 여기서 그의 화학식은 생략한다.
- [0543] 본 실시예의 발광 엘리먼트 15 및 발광 엘리먼트 16의 제조 방법을 하기에 기재하고자 한다.
- [0544] 발광 엘리먼트 15
- [0545] 우선, 유리 기판(1100)의 위에 ITS0의 필름을 스퍼터링 방법에 의하여 형성하여 애노드로서 기능하는 제1의 전극(1101)을 형성하였다. 두께를 110 nm로 설정하고, 전극 면적을 2 mm×2 mm로 설정한 점에 유의한다.
- [0546] 그 다음, 기판(1100)의 위에 발광 엘리먼트를 형성하기 위한 전처리로서, 기판 표면을 물로 세정하고, 200℃에서 1 시간 동안 소성을 실시한 후 UV 오존 처리를 370 초 동안 실시하였다.
- [0547] 그후, 압력을 약 10^{-4} Pa로 감소시킨 진공 증착 장치에 기판을 도입하고, 진공 증착 장치의 가열실에서 170℃에서 30 분 동안 진공 소성을 실시한 후, 기판(1100)을 약 30 분 동안 냉각시켰다.
- [0548] 그 다음, 제1의 전극(1101)이 제공된 면이 아래를 향하도록 제1의 전극(1101)이 제공된 기판(1100)을 진공 증착 장치내의 기판 홀더에 고정시켰다. 진공 증착 장치내의 압력을 약 10^{-4} Pa로 감압시켰다. 그후, BPAFLP 및 산화몰리브덴(VI)을 공증착시켜 제1의 전극(1101)의 위에 정공 주입층(1111)을 형성하였다. 정공 주입층(1111)의 두께를 40 nm로 설정하고, BPAFLP 대 산화몰리브덴의 중량비를 4:2(=BPAFLP:산화몰리브덴)로 조절하였다.
- [0549] 그 다음, 정공 주입층(1111)의 위에 BPAFLP의 필름을 20 nm의 두께로 형성하여 정공 수송층(1112)을 형성하였다.
- [0550] 더욱이, 2mDBTPDBq-II, PCBNBB 및 $[\text{Ir}(\text{mppr-Me})_2(\text{dpm})]$ 을 공증착시켜 정공 수송층(1112)의 위에 발광층(1113)을 형성하였다. 여기서, 2mDBTPDBq-II 대 PCBNBB 대 $[\text{Ir}(\text{mppr-Me})_2(\text{dpm})]$ 의 중량비를 0.8:0.2:0.05(=2mDBTPDBq-II:PCBNBB:[$\text{Ir}(\text{mppr-Me})_2(\text{dpm})$])으로 조절하였다. 발광층(1113)의 두께를 20 nm로 설정하였다.
- [0551] 추가로, 발광층(1113)의 위에 2mDBTPDBq-II, PCBNBB 및 $[\text{Ir}(\text{mppr-Me})_2(\text{dpm})]$ 을 공증착시켜 발광층(1113)의 위에 제1의 전자 수송층(1114a)을 형성하였다. 여기서, 2mDBTPDBq-III 대 PCBNBB 대 $[\text{Ir}(\text{mppr-Me})_2(\text{dpm})]$ 의 중량비를 0.8:0.2:0.05(=2mDBTPDBq-III:PCBNBB:[$\text{Ir}(\text{mppr-Me})_2(\text{dpm})$])으로 조절하였다. 제1의 전자 수송층(1114a)의 두께를 40 nm로 설정하였다.
- [0552] 그 다음, 제1의 전자 수송층(1114a)의 위에 BPhen의 필름을 10 nm의 두께로 형성하여 제2의 전자 수송층(1114b)을 형성하였다.
- [0553] 추가로, 제2의 전자 수송층(1114b)의 위에 LiF의 필름을 증착에 의하여 1 nm의 두께로 형성하여 전자 주입층

(1115)을 형성하였다.

[0554] 마지막으로, 알루미늄 필름을 증착에 의하여 200 nm의 두께로 캐소드로서 기능하는 제2의 전극(1103)으로서 형성하였다. 그리하여 본 실시예의 발광 엘리먼트 15를 제조하였다.

[0555] 발광 엘리먼트 16

[0556] 발광 엘리먼트 16의 발광층(1113)은 2mDBTPDBq-II, PCCP 및 [Ir(mppr-Me)₂(dpm)]을 공증착시켜 형성하였다. 여기서, 2mDBTPDBq-II 대 PCCP 대 [Ir(mppr-Me)₂(dpm)]의 중량비를 0.8:0.2:0.05(=2mDBTPDBq-II:PCCP:[Ir(mppr-Me)₂(dpm)])으로 조절하였다. 발광층(1113)의 두께를 20 nm로 설정하였다. 발광층(1113) 이외의 성분은 발광 엘리먼트 15와 유사한 방식으로 제조하였다.

[0557] 상기 모든 증착 단계에서, 증착은 저항 가열 방법에 의하여 실시하였다는 점에 유의한다.

[0558] 하기 표 17은 상기 기재한 바와 같이 하여 얻은 발광 엘리먼트 15 및 발광 엘리먼트 16의 엘리먼트 구조를 나타낸다.

[0559] 표 17

	제1의 전극	정공 주입층	정공 수송층	발광층	제1의 전자 수송층	제2의 전자 수송층	전자 주입층	제2의 전극
발광 엘리먼트 15	ITO 110 nm	BPAFLP:MoOx (=4:2) 40 nm	BPAFLP 20 nm	2mDBTPDBq-II:PCBNBB: [Ir(mppr-Me) ₂ (dpm)] (=0.8:0.2:0.05) 20 nm	2mDBTPDBq-II:PCBNBB: [Ir(mppr-Me) ₂ (dpm)] (=0.8:0.2:0.05) 40 nm	BPhen 10 nm	LiF 1 nm	Al 200 nm
발광 엘리먼트 16	ITO 110 nm	BPAFLP:MoOx (=4:2) 40 nm	BPAFLP 20 nm	2mDBTPDBq-II:PCCP: [Ir(mppr-Me) ₂ (dpm)] (=0.8:0.2:0.05) 20 nm	2mDBTPDBq-II:PCBNBB: [Ir(mppr-Me) ₂ (dpm)] (=0.8:0.2:0.05) 40 nm	BPhen 10 nm	LiF 1 nm	Al 200 nm

[0560]

[0561] 질소 대기를 함유하는 글로브 박스내에서, 이들 발광 엘리먼트를 대기에 노출되지 않도록 봉지 처리하였다. 그 후, 이들 발광 엘리먼트의 작동 특성을 측정하였다. 측정은 실온에서 (25°C에서 유지된 대기 중에서) 실시하였다는 점에 유의한다.

[0562] 도 59는 발광 엘리먼트 15 및 발광 엘리먼트 16의 전류 밀도-휘도 특징을 도시한다. 도 59에서, 가로축은 전류 밀도(mA/cm²)를 나타내며, 세로축은 휘도(cd/m²)를 나타낸다. 도 60은 그의 전압-휘도 특징을 도시한다. 도 60에서, 가로축은 전압(V)을 나타내며, 세로축은 휘도(cd/m²)를 나타낸다. 도 61은 그의 휘도-전류 효율 특징을 도시한다. 도 61에서, 가로축은 휘도(cd/m²)를 나타내며, 세로축은 전류 효율(cd/A)을 나타낸다. 도 62는 그의 휘도-외부 양자 효율 특징을 나타낸다. 도 62에서, 가로축은 휘도(cd/m²)를 나타내며, 세로축은 외부 양자 효율(%)을 나타낸다.

[0563] 추가로, 하기 표 18은 1,200 cd/m²의 휘도에서 각각의 발광 엘리먼트 15 및 발광 엘리먼트 16의 전압(V), 전류 밀도(mA/cm²), CIE 색도 좌표(x, y), 전류 효율(cd/A), 전원 효율(lm/W) 및 외부 양자 효율(%)을 나타낸다.

[0564] 표 18

	전압 (V)	전류 밀도 (mA/cm ²)	색도 좌표 (x, y)	휘도 (cd/m ²)	전류 효율 (cd/A)	전원 효율 (lm/W)	외부 양자 효율 (%)
발광 엘리먼트 15	3.0	1.7	(0.54, 0.45)	1200	67	70	24
발광 엘리먼트 16	3.0	1.7	(0.54, 0.46)	1200	69	72	24

[0565]

[0566] 도 63은 0.1 mA의 전류를 인가하여 얻은 발광 엘리먼트 15 및 발광 엘리먼트 16의 발광 스펙트럼을 도시한다. 도 63에서, 가로축은 파장(nm)을 나타내며, 세로축은 흡광 강도(임의 단위)를 나타낸다. 표 18에 나타낸 바와 같이, 1,200 cd/m²의 휘도에서 발광 엘리먼트 15의 CIE 색도 좌표는 (x, y)=(0.54, 0.45)이고, 1,200 cd/m²의

휘도에서 발광 엘리먼트 16의 CIE 색도 좌표는 (x, y)=(0.54, 0.46)이었다. 이러한 결과는 [Ir(mppr-Me)₂(dpm)]으로부터 유래하는 오렌지색 발광을 발광 엘리먼트 15 및 발광 엘리먼트 16으로부터 얻었다는 것을 나타낸다.

[0567] 표 18 및 도 59 내지 도 62로부터 알 수 있는 바와 같이, 발광 엘리먼트 15 및 발광 엘리먼트 16은 각각 전류 효율이 높고, 전원 효율이 높으며 그리고 외부 양자 효율이 높다.

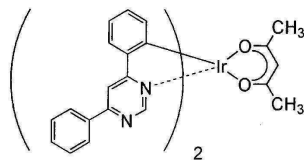
[0568] 각각의 발광 엘리먼트 15 및 발광 엘리먼트 16에서, 실시예 17에 기재된 2mDBTPDBq-II, PCBNBB 또는 PCCP 및 [Ir(mppr-Me)₂(dpm)]을 발광층에 사용한다. 실시예 17에 기재한 바와 같이, 2mDBTPDBq-II 및 PCBNBB 또는 PCCP의 혼합 물질의 발광 스펙트럼(여기착물의 발광 스펙트럼)은 발광에 크게 기여하는 것으로 고려되는 [Ir(mppr-Me)₂(dpm)]의 흡수 스펙트럼에서 흡수 밴드와 큰 중첩을 갖는다. 발광 엘리먼트 15 및 발광 엘리먼트 16은 각각 중첩을 사용하여 에너지를 이동시키므로 에너지 이동 효율이 높고, 그리하여 외부 양자 효율이 높은 것으로 고려된다.

[0569] 게다가, 본 실시예는 방향족 아민계 화합물(PCBNBB) 또는 카르바졸 화합물(PCCP)을 사용하여 여기착물을 형성할 수 있으며 그리고 외부 양자 효율이 높은 발광층을 얻을 수 있다는 것을 나타낸다.

[0570] 상기 결과는 본 발명의 하나의 실시형태의 적용에 의하여 외부 양자 효율이 높은 엘리먼트를 얻을 수 있다는 것을 나타낸다.

[0571] 참고예 1

[0572] 상기 실시예에서 사용한 유기금속 착물 (아세틸아세토나토)비스(4,6-디페닐피리미디나토)이리듐(III)(또다른 명칭: 비스[2-(6-페닐-4-피리미디닐-κ³)페닐-κ¹](2,4-펜탄디오나토-κ² O, O')이리듐(III))(약어: [Ir(dppm)₂(acac)])의 합성예를 기재한다. [Ir(dppm)₂(acac)]의 구조를 하기에 제시한다.

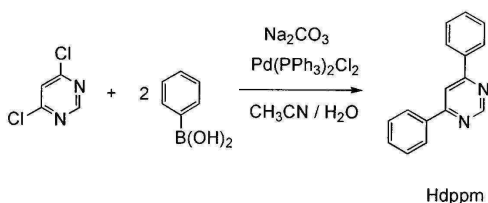


[0573] [Ir(dppm)₂(acac)]

[0574] 단계 1: 4,6-디페닐피리미딘(약어: Hdppm)의 합성

[0575] 우선, 5.02 g의 4,6-디클로로피리미딘, 8.29 g의 페닐보론산, 7.19 g의 탄산나트륨, 0.29 g의 2염화비스(트리페닐포스핀)팔라듐(II)(약어: Pd(PPh₃)₂Cl₂), 20 ml의 물 및 20 ml의 아세토니트릴을 환류관이 장착된 나스 플라스크에 넣고, 플라스크내의 공기를 아르곤으로 대체하였다. 이러한 반응 용기를 극초단파(2.45 GHz, 100 W)로 60 분 동안 조사하여 가열하였다. 여기서, 추가로 2.08 g의 페닐보론산, 1.79 g의 탄산나트륨, 0.070 g의 Pd(PPh₃)₂Cl₂, 5 ml의 물 및 5 ml의 아세토니트릴을 플라스크에 넣고, 혼합물을 다시 극초단파(2.45 GHz, 100 W)로 60 분 동안 조사하여 가열하였다. 그후, 물을 이 용액에 첨가하고, 유기층을 디클로로메탄으로 추출하였다. 얻은 추출물의 용액을 물로 세정하고, 황산마그네슘으로 건조시켰다. 건조시킨 후의 용액을 여과하였다. 이 용액의 용매를 증류 제거한 후, 얻은 잔류물을 전개 용매로서 디클로로메탄을 사용하는 실리카 겔 컬럼 크로마토그래피로 정제하여 피리미딘 유도체 Hdppm(황백색 분말, 수율 38%)을 얻었다. 극초단파를 사용한 조사의 경우, 극초단파 합성계(디스커버(Discover), 씨이엠 코포레이션(CEM Corporation) 제조)를 사용한 점에 유의한다. 단계 1의 합성 반응식 a-1을 하기에 제시한다.

[0576] 합성 반응식 a-1

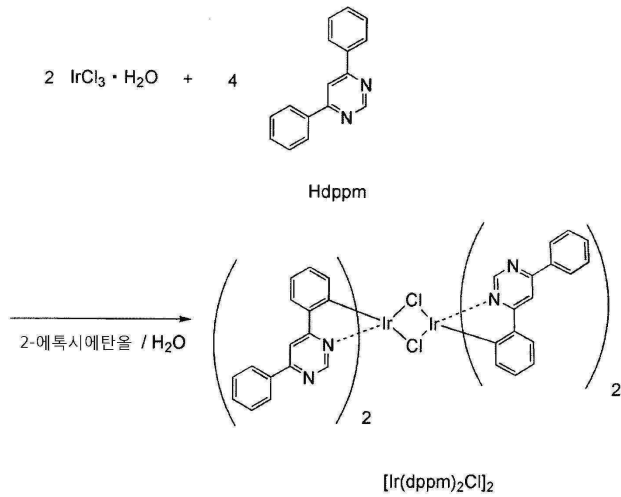


[0577]

[0578] 단계 2: 디- μ -클로로-비스[비스(4,6-디페닐피리미디나토)이리듐(III)](약어: $[\text{Ir}(\text{dppm})_2\text{Cl}]_2$)의 합성)

[0579] 그 다음, 15 ml의 2-에톡시에탄올, 5 ml의 물, 단계 1에서 얻은 1.10 g의 Hdppm 및 0.69 g의 염화이리듐 수화물 ($\text{IrCl}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$)을 환류관이 장착된 나스 플라스크에 넣고, 나스 플라스크내의 공기를 아르곤으로 대체하였다. 그 후, 극초단파(2.45 GHz, 100 W)를 사용한 조사를 1 시간 동안 수행하여 반응시켰다. 용매를 증류 제거한 후, 얻은 잔류물을 여과하고, 에탄올로 세정하여 복핵 착물 $[\text{Ir}(\text{dppm})_2\text{Cl}]_2$ 를 얻었다(적갈색 분말, 수율 88%). 단계 2의 합성 반응식 a-2를 하기에 제시한다:

[0580] 합성 반응식 a-2

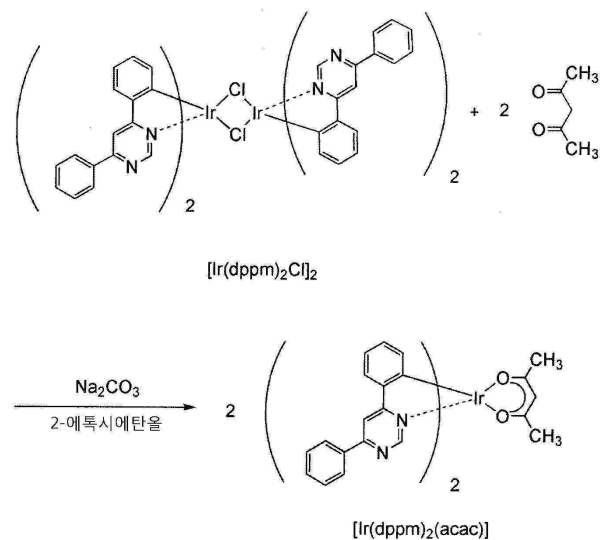


[0581]

[0582] 단계 3: (아세틸아세토나토)비스(4,6-디페닐피리미디나토)이리듐(III)(약어: $[\text{Ir}(\text{dppm})_2(\text{acac})]$)의 합성

[0583] 더욱이, 40 ml의 2-에톡시에탄올, 단계 2에서 얻은 1.44 g의 $[\text{Ir}(\text{dppm})_2\text{Cl}]_2$, 0.30 g의 아세틸아세톤 및 1.07 g의 탄산나트륨을 환류관이 장착된 나스 플라스크에 넣고, 나스 플라스크내의 공기를 아르곤으로 대체하였다. 그 후, 극초단파(2.45 GHz, 120 W)를 사용한 조사를 60 분 동안 실시하여 반응시켰다. 용매를 증류 제거하고, 얻은 잔류물을 디클로로메탄에 용해시키고, 여과를 수행하여 불용성 물질을 제거하였다. 얻은 여과액을 물에 이어서 포화 염수로 세정하고, 황산마그네슘으로 건조시켰다. 건조시킨 후의 용액을 여과하였다. 이 용액의 용매를 증류 제거한 후, 전개 용매로서 디클로로메탄 및 에틸 아세테이트를 50:1의 부피비로 사용하는 실리카 겔 컬럼 크로마토그래피로 잔류물을 정제하였다. 그 후, 디클로로메탄 및 헥산의 혼합 용매를 사용하여 재결정화를 실시하여 목적하는 오렌지색 분말(수율 32%)을 얻었다. 단계 3의 합성 반응식 a-3을 하기에 제시한다:

[0584] 합성 반응식 a-3



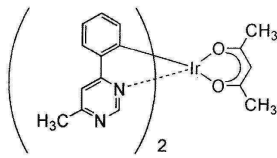
[0585]

[0586] 단계 3에서 얻은 오렌지색 분말의 핵자기 공명 분광법(¹H NMR)에 의한 분석 결과를 하기에 기재한다. 이러한 결과는 유기금속 착물 [Ir(dppm)₂(acac)]를 얻었다는 것을 나타낸다.

[0587] ¹H NMR. δ (CDCl₃): 1.83 (s, 6H), 5.29 (s, 1H), 6.48 (d, 2H), 6.80 (t, 2H), 6.90 (t, 2H), 7.55-7.63 (m, 6H), 7.77 (d, 2H), 8.17 (s, 2H), 8.24 (d, 4H), 9.17 (s, 2H).

[0588] 참고예 2

[0589] 상기 실시예에서 사용한 유기금속 착물 (아세틸아세토나토)비스(6-메틸-4-페닐피리미디나토)이리듐(III)(또다른 명칭: 비스[2-(6-메틸-4-피리미디닐-κN3)페닐-κC](2,4-펜탄디오나토-κ²O,O')이리듐(III))(약어: [Ir(mppm)₂(acac)])의 합성예를 구체적으로 기재한다. [Ir(mppm)₂(acac)]의 구조를 하기에 제시한다.



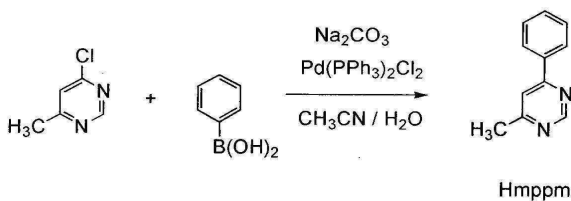
[Ir(mppm)₂(acac)]

[0590]

[0591] 단계 1: 4-메틸-6-페닐피리미딘(약어: Hmppm)의 합성

[0592] 우선, 4.90 g의 4-클로로-6-메틸피리미딘, 4.80 g의 페닐보론산, 4.03 g의 탄산나트륨, 0.16 g의 2염화비스(트리페닐포스핀)팔라듐(II)(약어: Pd(PPh₃)₂Cl₂), 20 ml의 물 및 10 ml의 아세토니트릴을 환류관이 장착된 나스 플라스크에 넣고, 플라스크내의 공기를 아르곤으로 대체하였다. 이러한 반응 용기를 극초단파(2.45 GHz, 100 W)로 60 분 동안 조사하여 가열하였다. 여기서, 2.28 g의 페닐보론산, 2.02 g의 탄산나트륨, 0.082 g의 Pd(PPh₃)₂Cl₂, 5 ml의 물 및 10 ml의 아세토니트릴을 플라스크에 더 넣고, 혼합물을 다시 극초단파(2.45 GHz, 100 W)로 60 분 동안 조사하여 가열하였다. 그후, 물을 이 용액에 첨가하고, 디클로로메탄으로 추출하였다. 얻은 추출물의 용액을 포화 탄산나트륨 수용액, 물에 이어서 포화 염수로 세정하고, 황산마그네슘으로 건조시켰다. 건조시킨 후의 용액을 여과하였다. 이 용액의 용매를 증류 제거한 후, 전개 용매로서 디클로로메탄 및 에틸 아세테이트를 9:1의 부피비로 사용하는 실리카 겔 컬럼 크로마토그래피로 잔류물을 정제하여 목적하는 피리미딘 유도체 Hmppm(오렌지색 오일 물질, 수율 46%)을 얻었다. 극초단파를 사용한 조사의 경우, 극초단파 합성계(디스커버, CEM 코포레이션 제조)를 사용한 점에 유의한다. 단계 1의 합성 반응식 b-1을 하기에 제시한다.

[0593] 합성 반응식 b-1

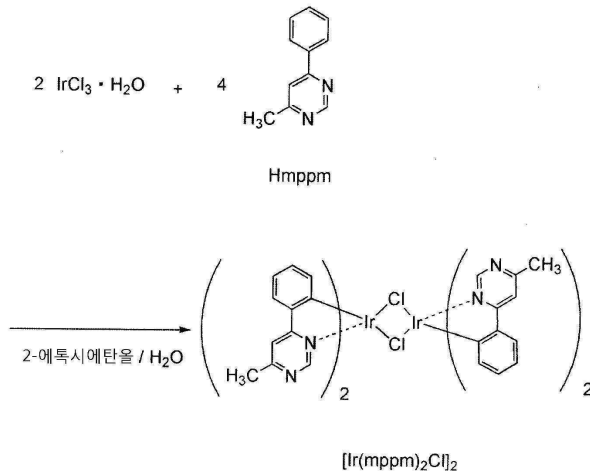


[0594]

[0595] 단계 2: 디-μ-클로로-비스[비스(6-메틸-4-페닐피리미디나토)이리듐(III)](약어: [Ir(mppm)₂Cl]₂)의 합성

[0596] 그 다음, 15 ml의 2-에톡시에탄올, 5 ml의 물, 단계 1에서 얻은 1.51 g의 Hmppm 및 1.26 g의 염화이리듐 수화물 (IrCl₃·H₂O)을 환류관이 장착된 나스 플라스크에 넣고, 나스 플라스크내의 공기를 아르곤으로 대체하였다. 그 후, 극초단파(2.45 GHz, 100 W)를 사용한 조사를 1 시간 동안 수행하여 반응시켰다. 용매를 증류 제거한 후, 얻은 잔류물을 에탄올로 세정하고, 여과하여 복핵 착물 [Ir(mppm)₂Cl]₂ (암록색 분말, 수율 77%)을 얻었다. 단계 2의 합성 반응식 b-2을 하기에 제시한다.

[0597] 합성 반응식 b-2

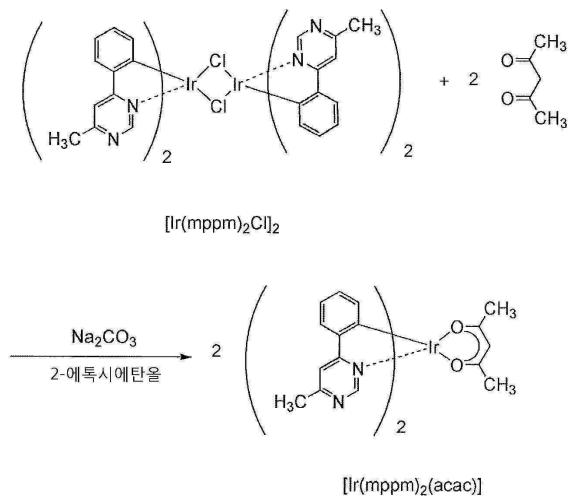


[0598]

[0599] 단계 3: (아세틸아세토나토)비스(6-테르-4-페닐피리미디나토)이리듐(III)(약어: [Ir(mppm)₂(acac)])의 합성

[0600] 더욱이, 40 ml의 2-에톡시에탄올, 단계 2에서 얻은 1.84 g의 복핵 착물 [Ir(mppm)₂Cl]₂, 0.48 g의 아세틸아세톤 및 1.73 g의 탄산나트륨을 환류관이 장착된 나스 플라스크에 넣고, 나스 플라스크내의 공기를 아르곤으로 대체하였다. 그후, 극초단파(2.45 GHz, 120 W)를 사용한 조사를 60 분 동안 실시하여 반응시켰다. 용매를 증류 제거하고, 얻은 잔류물을 디클로로메탄에 용해시키고, 여과를 실시하여 불용성 물질을 제거하였다. 얻은 여과액을 물에 이어서 포화 염수로 세정하고, 황산마그네슘으로 건조시켰다. 건조시킨 후의 용액을 여과하였다. 이 용액의 용매를 증류 제거한 후, 얻은 잔류물을 전개 용매로서 디클로로메탄 및 에틸 아세테이트를 4:1의 부피비로 사용하는 실리카 겔 컬럼 크로마토그래피로 정제하였다. 그후, 디클로로메탄 및 헥산의 혼합 용매를 사용하여 재결정화를 실시하여 목적하는 황색 분말(수율 22%)을 얻었다. 단계 3의 합성 반응식 b-3을 하기에 제시한다.

[0601] 합성 반응식 b-3



[0602]

[0603] 단계 3에서 얻은 황색 분말의 핵자기 공명 분광법(¹H NMR)의 분석 결과를 하기에 기재한다. 이들 결과는 유기 금속 착물 [Ir(mppm)₂(acac)]를 얻었다는 것을 나타낸다.

[0604] ¹H NMR. δ (CDCl₃): 1.78 (s, 6H), 2.81 (s, 6H), 5.24 (s, 1H), 6.37 (d, 2H), 6.77 (t, 2H), 6.85 (t, 2H), 7.61-7.63 (m, 4H), 8.97 (s, 2H).

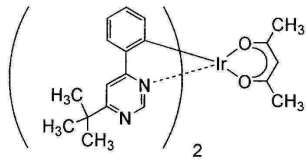
[0605] 참고예 3

[0606] 상기 실시예에서 사용한 유기금속 착물 (아세틸아세토나토)비스(6-tert-부틸-4-페닐피리미디나토)이리듐(III)

(또다른

명칭:

비스[2-(6-tert-부틸-4-피리미디닐-κN3)페닐-κC](2,4-펜탄디오나토-κ²O,O')이리듐(III)(약어: [Ir(tBuppm)₂(acac)])의 합성예를 기재한다. [Ir(tBuppm)₂(acac)]의 구조를 하기에 제시한다.



[Ir(tBuppm)₂(acac)]

[0607]

[0608]

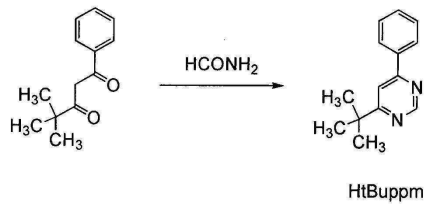
단계 1: 4-tert-부틸-6-페닐피리미딘(약어: HtBuppm)의 합성

[0609]

우선, 22.5 g의 4,4-디메틸-1-페닐펜탄-1,3-디온 및 50 g의 포름아미드를 환류관이 장착된 나스 플라스크에 넣고, 플라스크내의 공기를 질소로 대체하였다. 이러한 반응 용기를 가열하여 반응 용액을 5 시간 동안 환류시켰다. 그후, 이 용액을 수산화나트륨 수용액에 붓고, 유기층을 디클로로메탄으로 추출하였다. 얻은 유기층을 물 및 포화 염수로 세정하고, 황산마그네슘으로 건조시켰다. 건조시킨 후의 용액을 여과하였다. 이 용액의 용매를 증류 제거한 후, 전개 용매로서 헥산 및 에틸 아세테이트를 10:1의 부피비로 사용하는 실리카 겔 컬럼 크로마토그래피로 잔류물을 정제하여 피리미딘 유도체 HtBuppm(무색 오일 물질, 수율 14%)을 얻었다. 단계 1의 합성 반응식 c-1을 하기에 제시한다:

[0610]

합성 반응식 c-1



[0611]

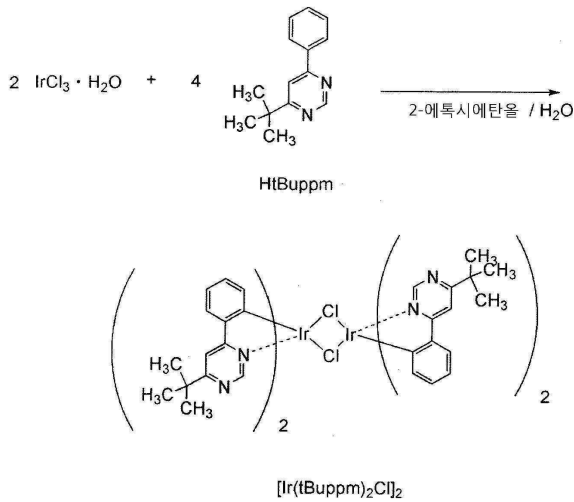
[0612]

단계 2: 디-μ-클로로-비스[비스(6-tert-부틸-4-페닐피리미디나토)이리듐(III)](약어: [Ir(tBuppm)₂Cl]₂)의 합성

[0613]

그 다음, 15 ml의 2-에톡시에탄올, 5 ml의 물, 단계 1에서 얻은 1.49 g의 HtBuppm 및 1.04 g의 염화이리듐 수화물(IrCl₃·H₂O)을 환류관이 장착된 나스 플라스크에 넣고, 플라스크내의 공기를 아르곤으로 대체하였다. 그후, 극초단파(2.45 GHz, 100 W)를 사용한 조사를 1 시간 동안 수행하여 반응시켰다. 용매를 증류 제거한 후, 얻은 잔류물을 흡입 여과하고, 에탄올로 세정하여 복색 착물 [Ir(tBuppm)₂Cl]₂(황록색 분말, 수율 73%)을 얻었다. 단계 2의 합성 반응식 c-2를 하기에 제시한다.

[0614] 합성 반응식 c-2

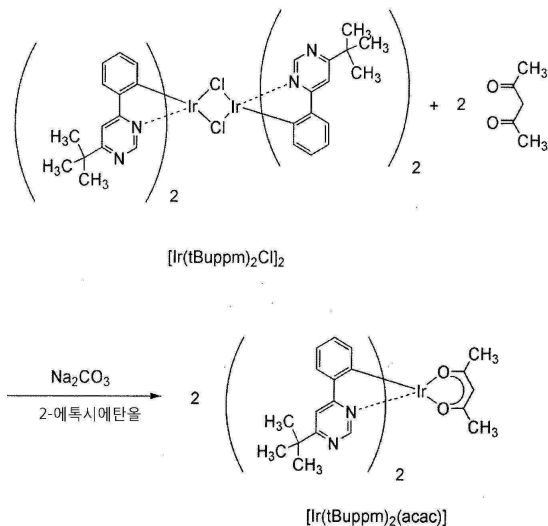


[0615]

[0616] 단계 3: (아세틸아세토나토)비스(6-tert-부틸-4-페닐피리미디나토)이리듐(III)(약어: [Ir(tBuppm)₂(acac)])의 합성

[0617] 추가로, 40 ml의 2-에톡시에탄올, 단계 2에서 얻은 1.61 g의 복합 착물 [Ir(tBuppm)₂Cl]₂, 0.36 g의 아세틸아세톤 및 1.27 g의 탄산나트륨을 환류관이 장착된 나스 플라스크에 넣고, 플라스크내의 공기를 아르곤으로 대체하였다. 그후, 극초단파(2.45 GHz, 120 W)를 사용한 조사를 60 분 동안 실시하여 반응시켰다. 용매를 증류 제거하고, 얻은 잔류물을 에탄올을 사용하여 흡입 여과하고, 물, 에탄올로 세정하였다. 이 고체를 디클로로메탄에 용해시키고, 셀라이트(Celite)(와코 퓨어 케미칼 인더스트리즈, 리미티드(Wako Pure Chemical Industries, Ltd.) 제조, 카타로그 번호 531-16855), 알루미늄 및 셀라이트의 순서로 적층시킨 여과 보조제를 통하여 혼합물을 여과하였다. 용매를 증류 제거하고, 얻은 고체를 디클로로메탄 및 헥산의 혼합 용매로 재결정시켜 목적하는 물질을 황색 분말로서 얻었다(수율 68%). 단계 3의 합성 반응식 c-3을 하기에 제시한다.

[0618] 합성 반응식 c-3



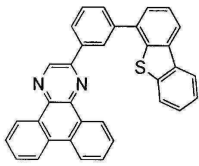
[0619]

[0620] 단계 3에서 얻은 황색 분말의 핵자기 공명 분광법(¹H NMR)에 의한 분석 결과는 하기에 기재한다. 이들 결과는 유기금속 착물 [Ir(tBuppm)₂(acac)]를 얻었다는 것을 나타낸다.

[0621] ¹H NMR. δ (CDCl₃): 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).

[0622] 참고예 4

[0623] 상기 실시예에서 사용한 2-[3-(디벤조티오펜-4-일)페닐]디벤조[*f,h*]퀴놀살린(약어: 2mDBTPDBq-II)의 합성 방법을 기재한다.



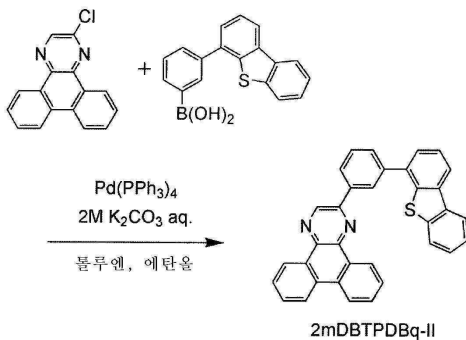
2mDBTPDBq-II

[0624]

[0625] 2-[3-(디벤조티오펜-4-일)페닐]디벤조[*f,h*]퀴놀살린(약어: 2mDBTPDBq-II)의 합성

[0626] 2-[3-(디벤조티오펜-4-일)페닐]디벤조[*f,h*]퀴놀살린(약어: 2mDBTPDBq-II)의 합성 반응식 d-1을 하기에 제시한다:

[0627] 합성 반응식 d-1



[0628]

[0629] 우선, 5.3 g(20 mmol)의 2-클로로디벤조[*f,h*]퀴놀살린, 6.1 g(20 mmol)의 3-(디벤조티오펜-4-일)페닐보론산, 460 mg (0.4 mmol)의 테트라리스(트리페닐포스핀)팔라듐(0), 300 ml의 톨루엔, 20 ml의 에탄올 및 20 ml의 탄산 칼륨의 2M 수용액을 2 l 3목 플라스크에 넣었다. 혼합물을 감압하에서 교반하여 탈기시키고, 3목 플라스크내의 공기를 질소로 대체하였다. 이 혼합물을 질소 흐름하에서 100℃에서 7.5 시간 동안 교반하였다. 실온으로 냉각시킨 후, 얻은 혼합물을 여과하여 백색 잔류물을 얻었다. 얻은 잔류물을 물, 에탄올의 순서로 세정한 후, 건조시켰다. 얻은 고체를 약 600 ml의 고온의 톨루엔에 용해시킨 후, 셀라이트 및 플로리실(Florisil)을 통하여 흡입 여과하여 맑은 무색 여과액을 얻었다. 얻은 여과액을 농축시키고, 약 700 ml의 실리카 겔을 사용하는 실리카 겔 컬럼 크로마토그래피로 정제하였다. 고온의 톨루엔을 전개 용매로서 사용하여 크로마토그래피를 실시하였다. 아세톤 및 에탄올을 얻은 고체에 첨가한 후, 초음파를 사용한 조사를 실시하였다. 그후, 생성된 현탁된 고체를 여과로 수집하고, 얻은 고체를 건조시켜 7.85 g의 백색 분말을 80% 수율로 얻었다.

[0630] 상기 목적하는 물질은 고온의 톨루엔 중에서는 비교적 가용성이었으나, 냉각시 침전되기 쉬운 물질이다. 추가로, 물질은 아세톤 및 에탄올 등의 기타 유기 용매 중에서 난용성이다. 그래서, 이와 같은 다양한 용해도의 이용은 상기 기재된 바와 같은 단순한 방법에 의하여 고 수율로 합성하게 된다. 구체적으로는, 반응이 완료된 후, 혼합물을 다시 실온이 되게 하고, 침전된 고체를 여과로 수집하여 대부분의 불순물이 용이하게 제거될 수 있었다. 추가로, 전개 용매로서 고온의 톨루엔을 사용한 컬럼 크로마토그래피에 의하여 침전이 용이한 목적하는 물질을 용이하게 정제할 수 있었다.

[0631] 트레인(train) 승화 방법에 의하여, 4.0 g의 얻은 백색 분말을 정제하였다. 정제에서는 백색 분말을 300℃에서 5.0 Pa의 압력하에서 5 ml/min의 아르곤 기체의 유속으로 가열하였다. 정제후, 목적하는 물질을 3.5 g의 백색 분말로서 수율 88%로 얻었다.

[0632] 핵 자기 공명 분광법(¹H NMR)에 의하여 이러한 화합물이 목적하는 2-[3-(디벤조티오펜-4-일)페닐]디벤조[*f,h*]퀴놀살린(약어: 2mDBTPDBq-II)이라는 것을 확인하였다.

[0633] 얻은 물질의 ¹H NMR 데이터를 하기에 제시한다.

[0634] ¹H NMR (CDCl₃, 300 MHz): δ (ppm)=7.45-7.52 (m, 2H), 7.59-7.65 (m, 2H), 7.71-7.91 (m, 7H), 8.20-8.25

(m, 2H), 8.41 (d, J=7.8 Hz, 1H), 8.65 (d, J=7.5 Hz, 2H), 8.77-8.78 (m, 1H), 9.23 (dd, J=7.2 Hz, 1.5 Hz, 1H), 9.42 (dd, J=7.8 Hz, 1.5 Hz, 1H), 9.48 (s, 1H).

부호의 설명

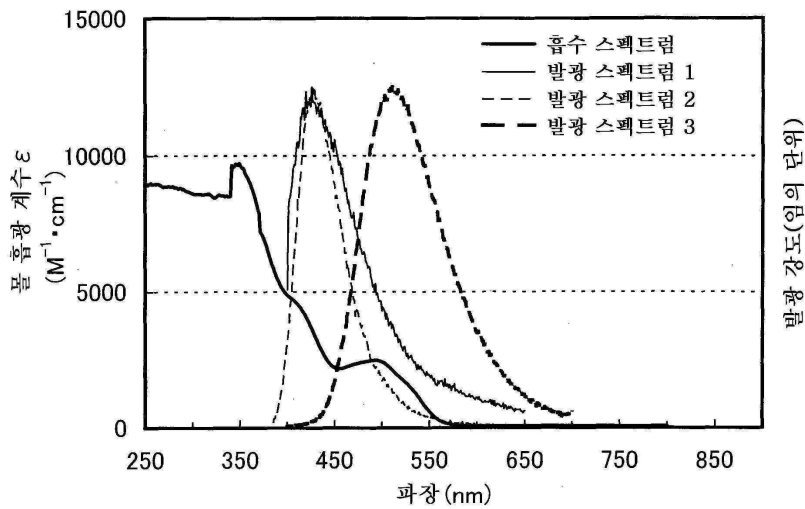
[0635]

102: EL층, 103: 제1의 전극, 108: 제2의 전극, 701: 정공 주입층, 702: 정공 수송층, 703: 발광층, 704: 전자 수송층, 705: 전자 주입층, 706: 전자 주입 완충층, 707: 전자 릴레이층, 708: 복합재료층, 800: 제1의 EL층, 801: 제2의 EL층, 803: 전하 발생층, 1100: 기관, 1101: 제1의 전극, 1103: 제2의 전극, 1111: 정공 주입층, 1112: 정공 수송층, 1113: 발광층, 1114a: 제1의 전자 수송층, 1114b: 제2의 전자 수송층 및 1115: 전자 주입층.

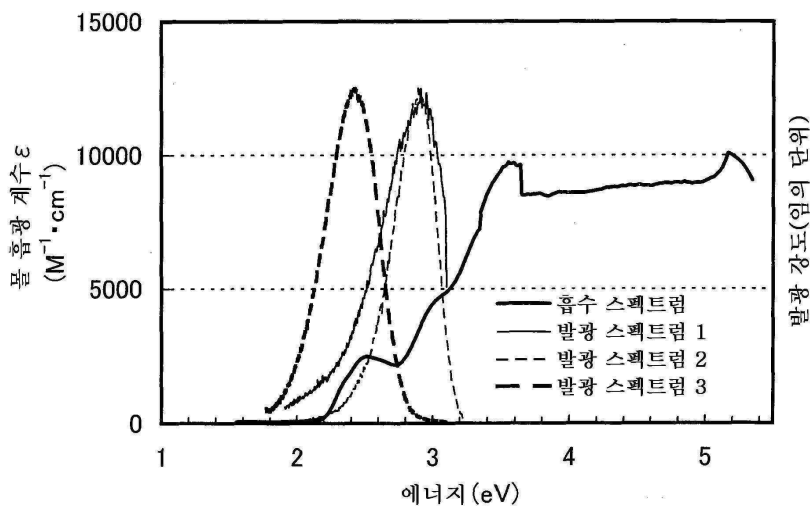
본 출원은 2011년 2월 16일자로 일본 특허청에 출원된 일본 특허 출원 제2011-031462호에 기초한 것이며, 이 출원의 개시내용은 그 전문이 본원에 참고로 포함된다.

도면

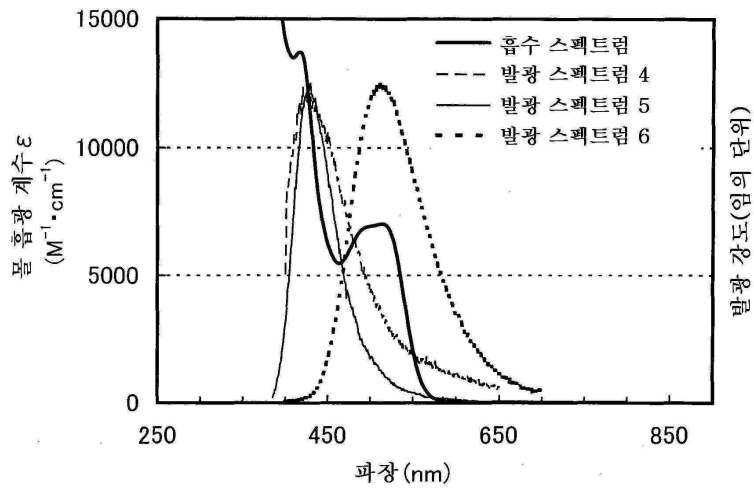
도면1a



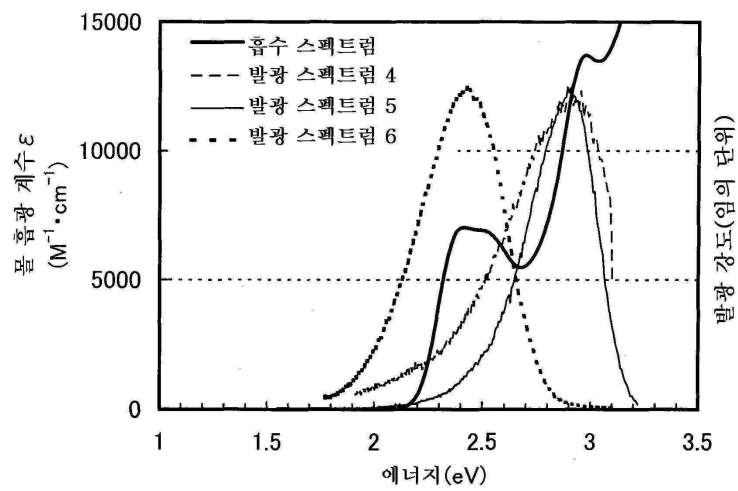
도면1b



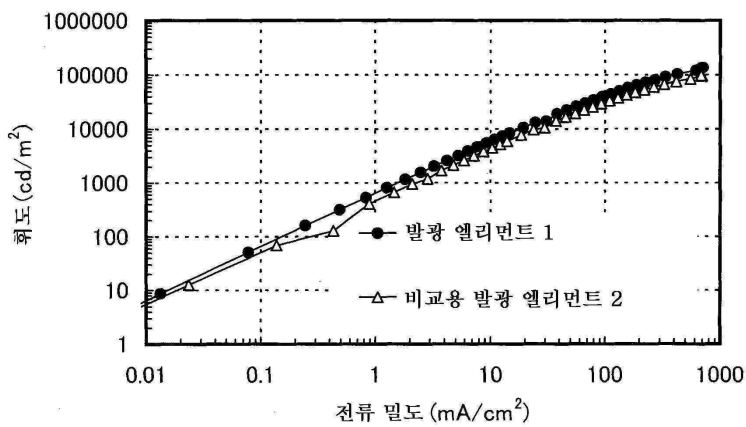
도면2a



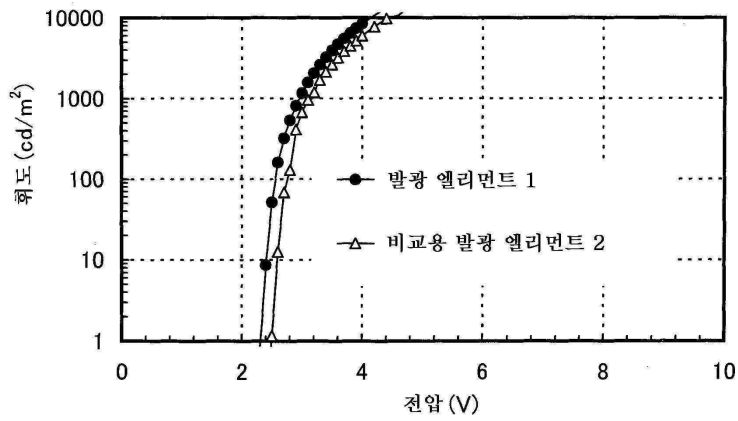
도면2b



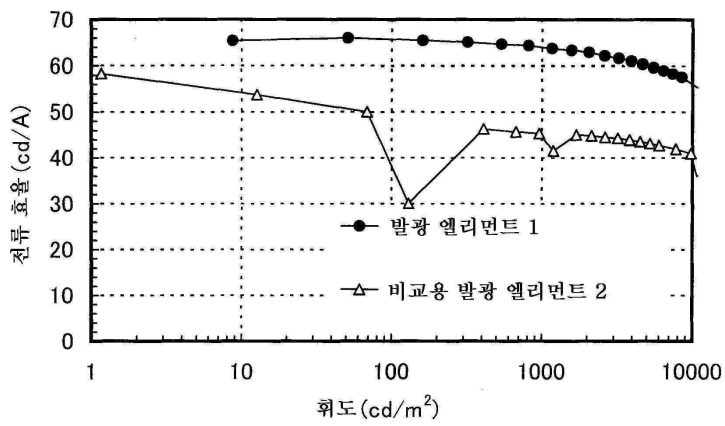
도면3



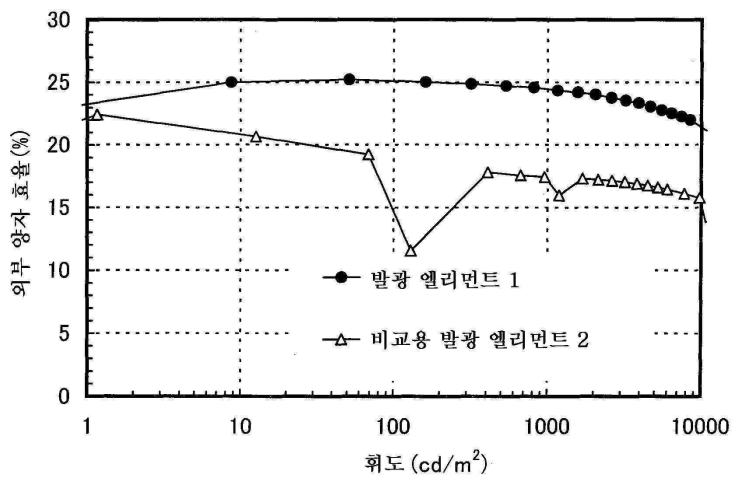
도면4



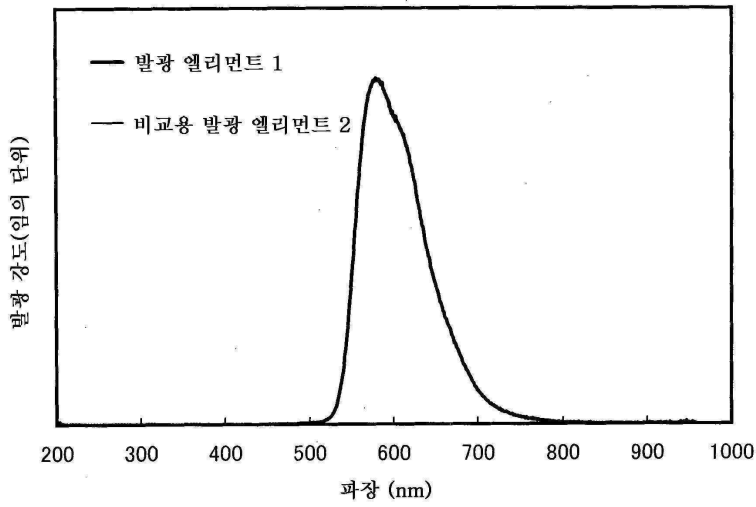
도면5



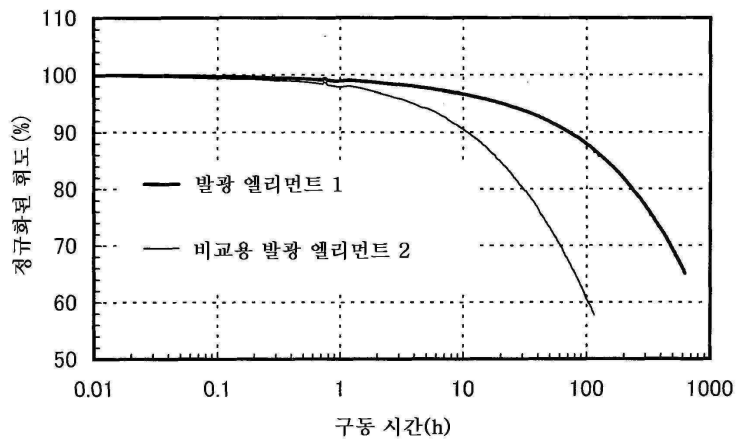
도면6



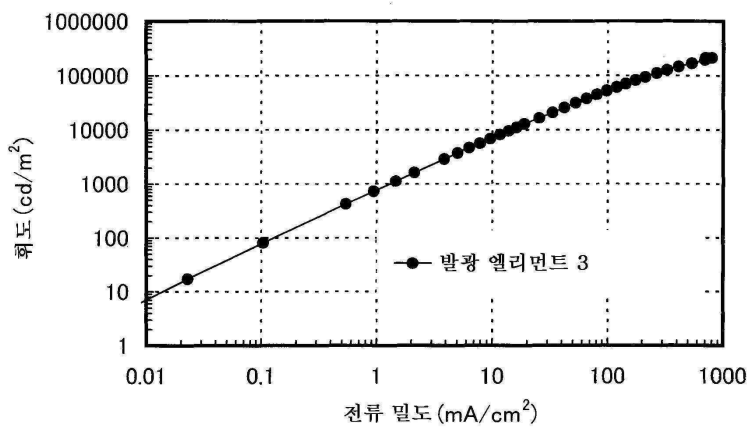
도면7



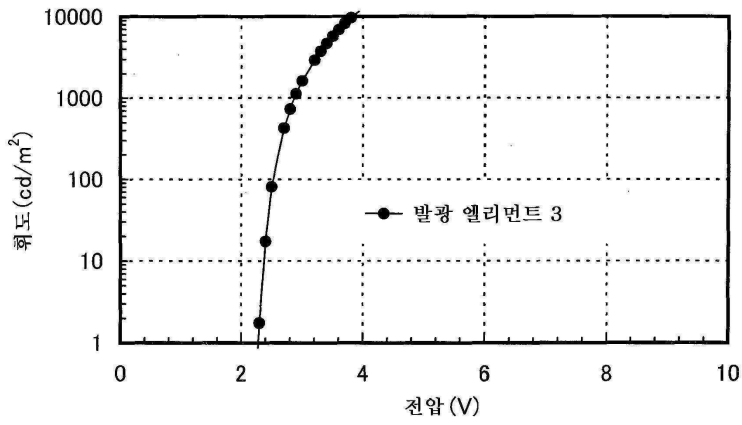
도면8



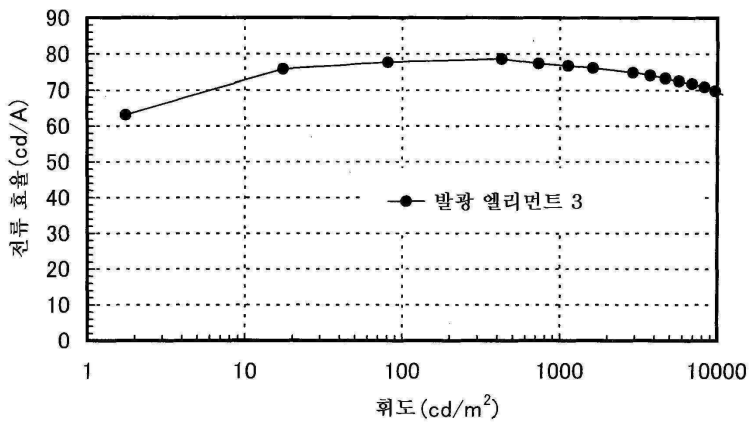
도면9



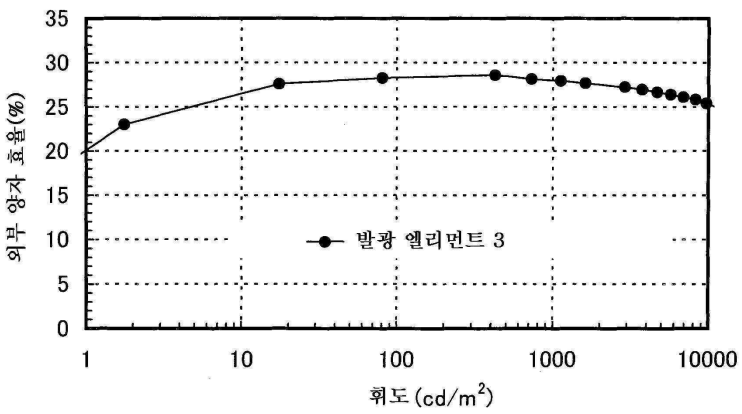
도면10



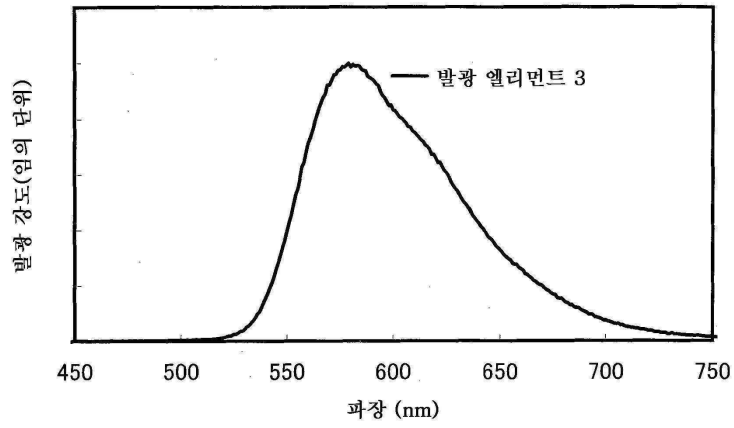
도면11



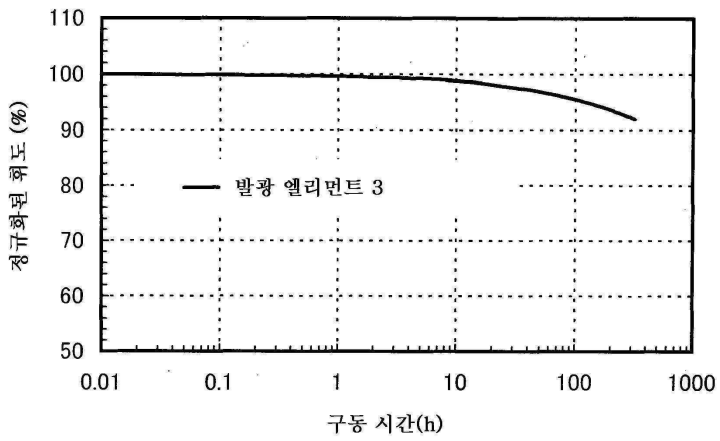
도면12



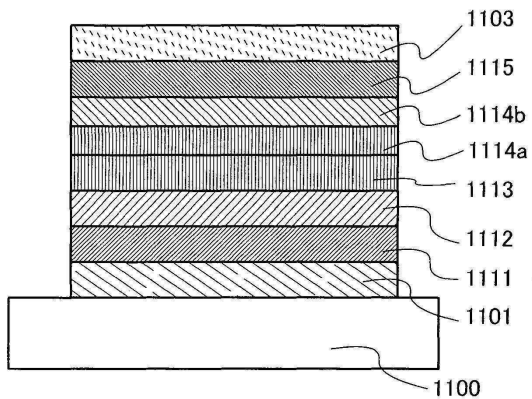
도면13



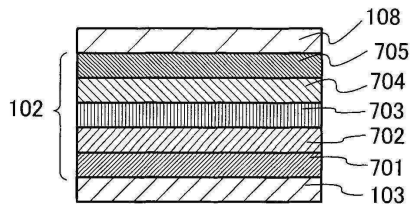
도면14



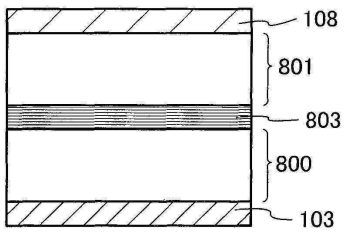
도면15



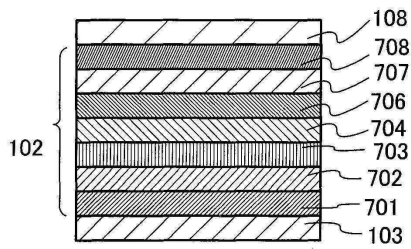
도면16a



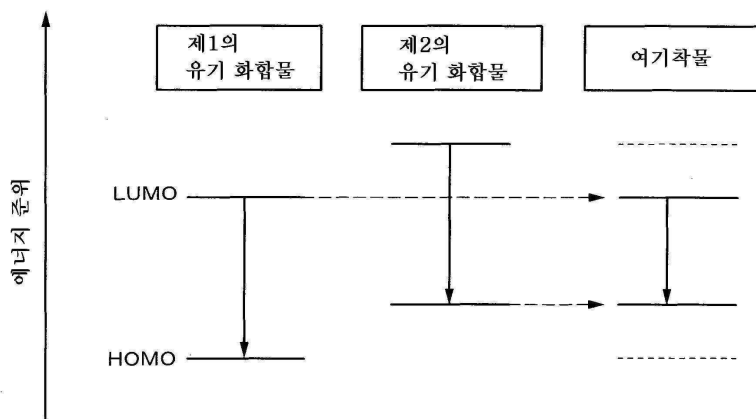
도면16b



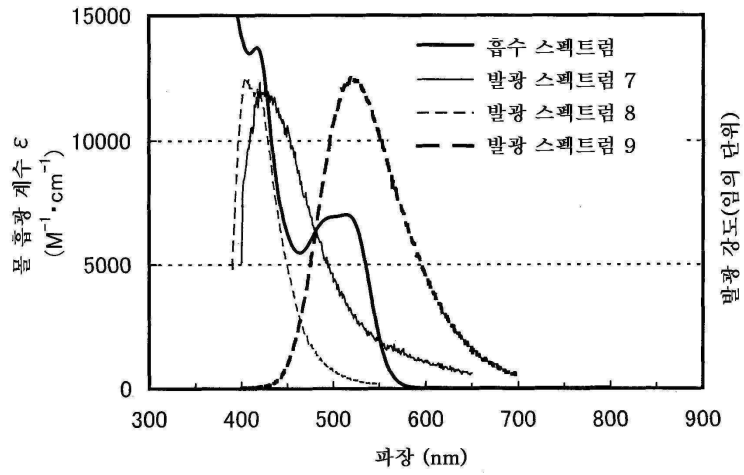
도면16c



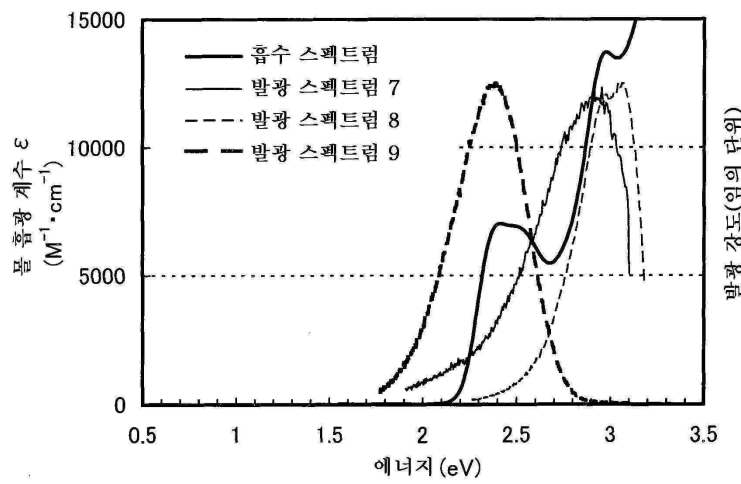
도면17



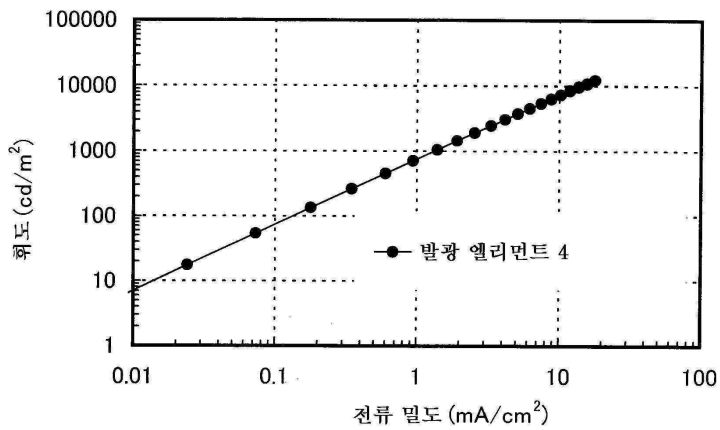
도면18a



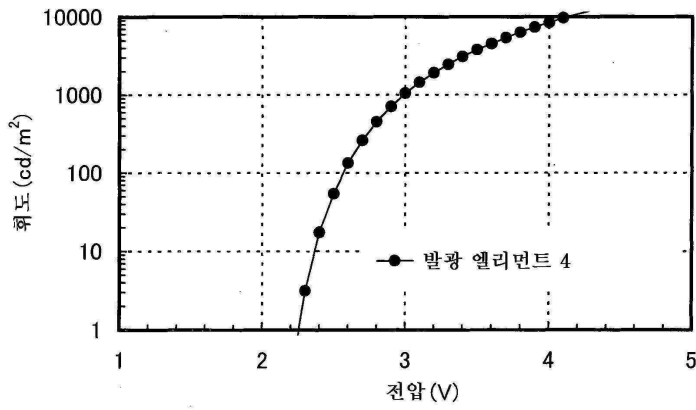
도면18b



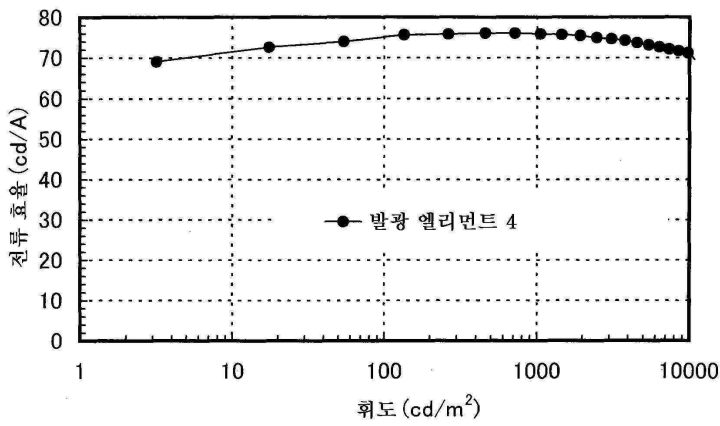
도면19



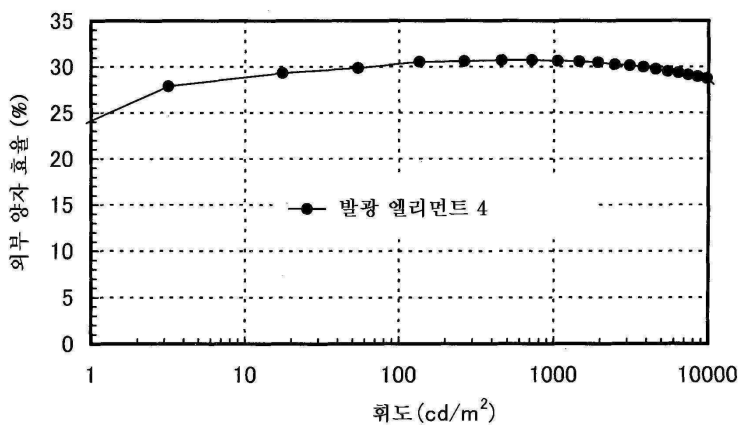
도면20



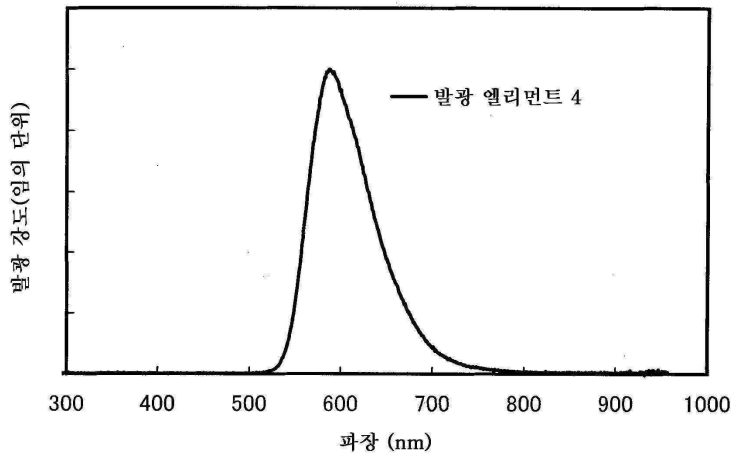
도면21



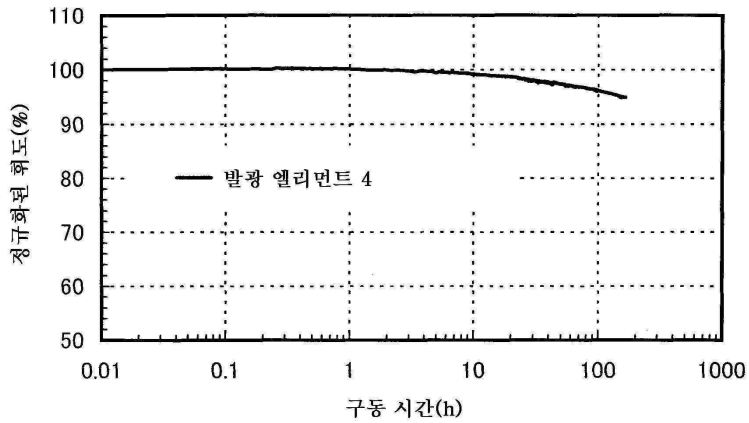
도면22



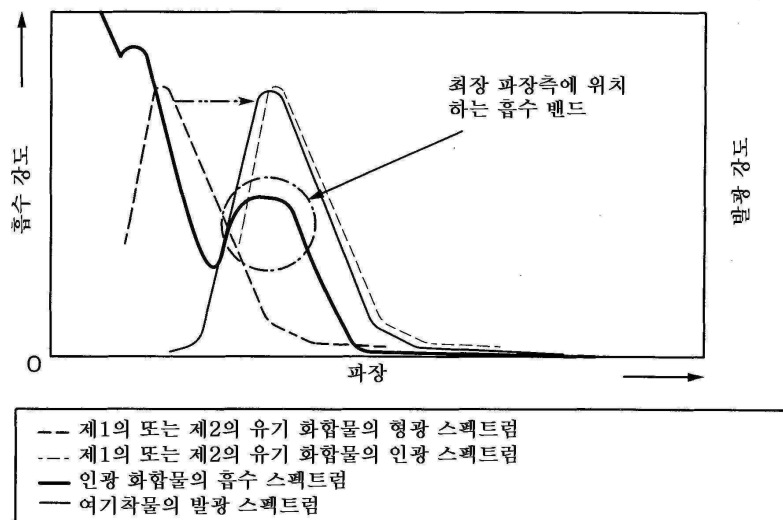
도면23



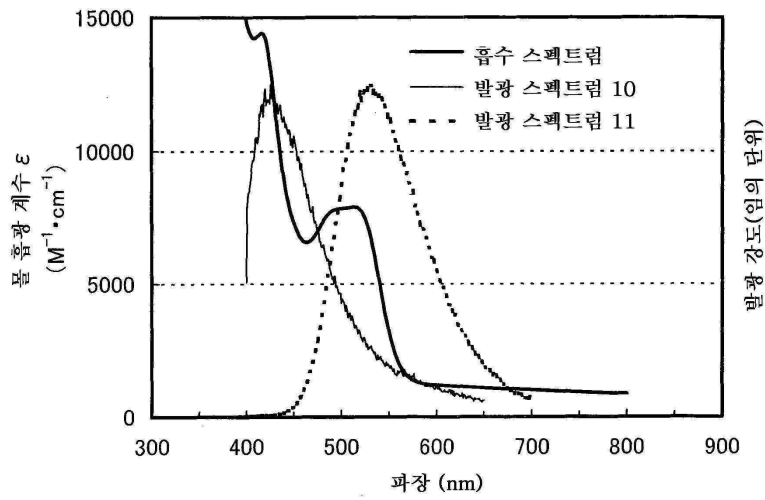
도면24



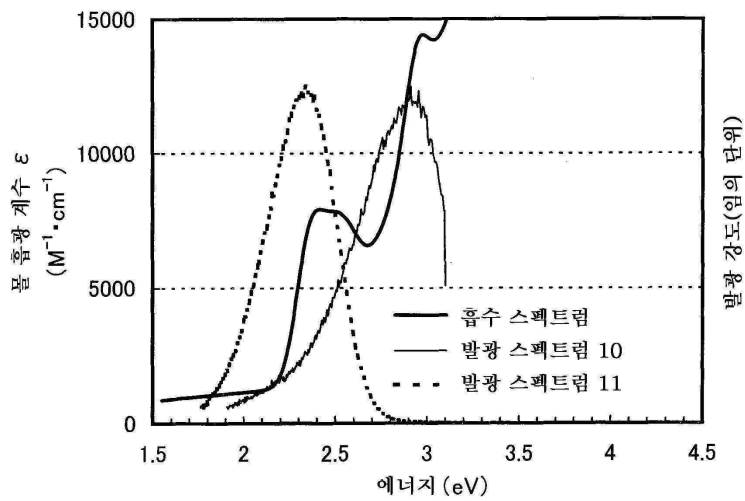
도면25



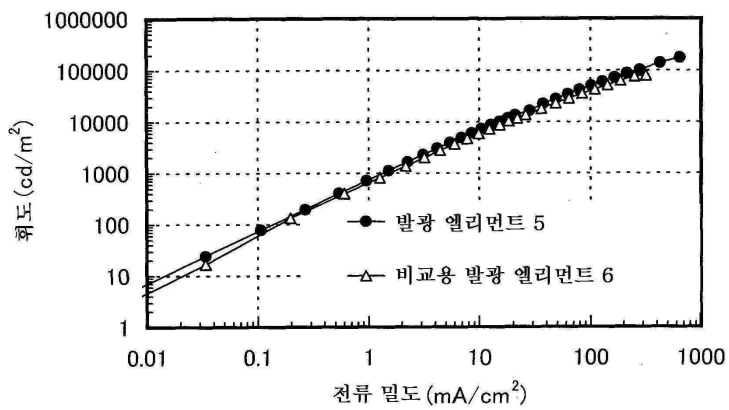
도면26a



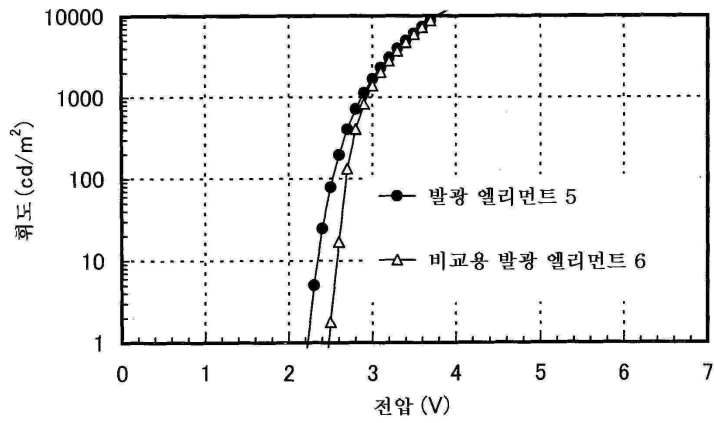
도면26b



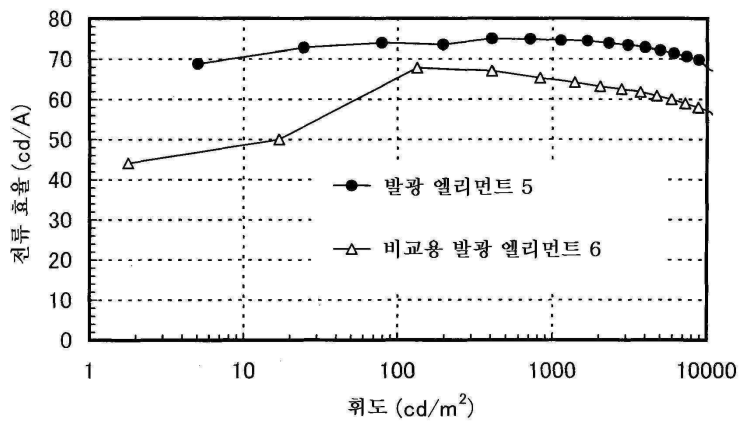
도면27



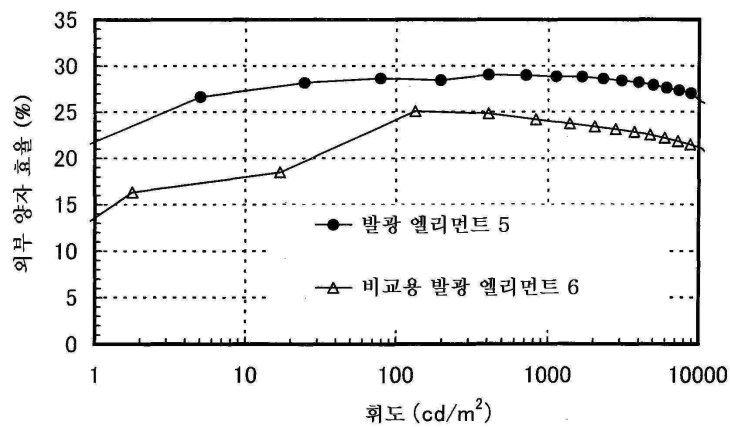
도면28



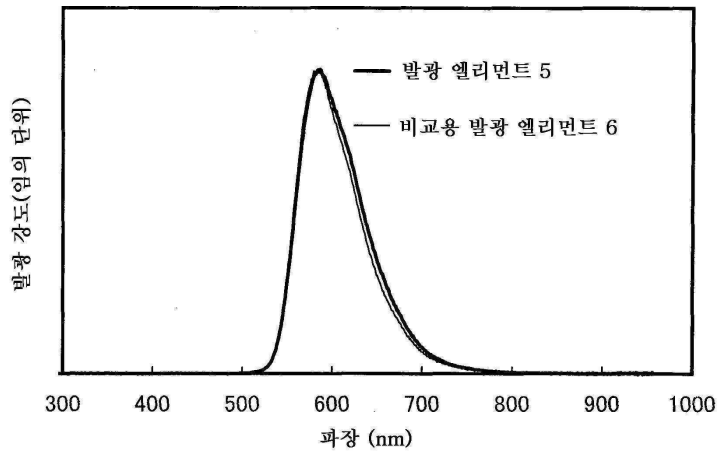
도면29



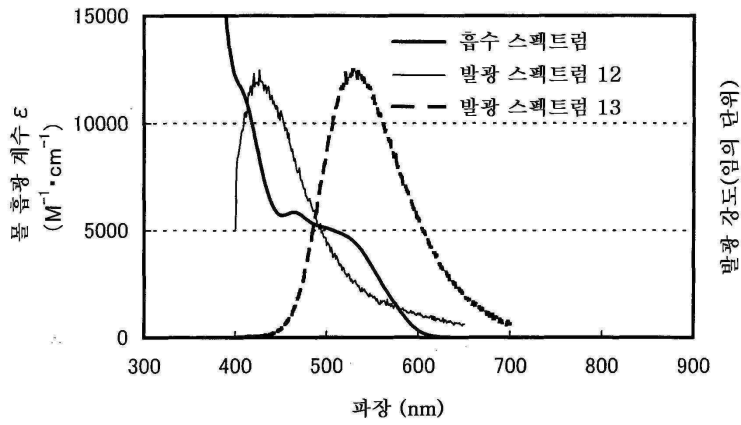
도면30



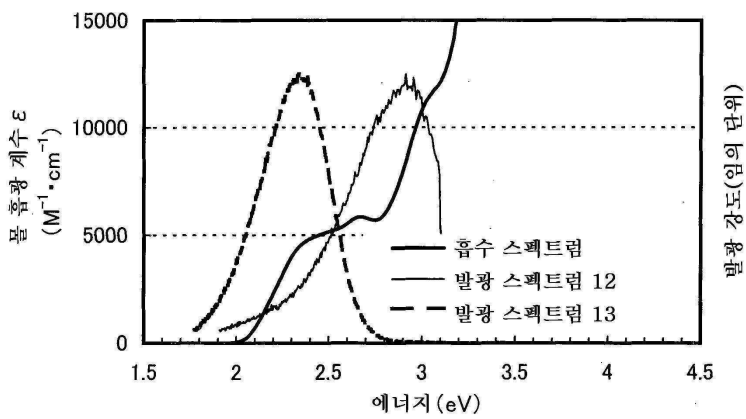
도면31



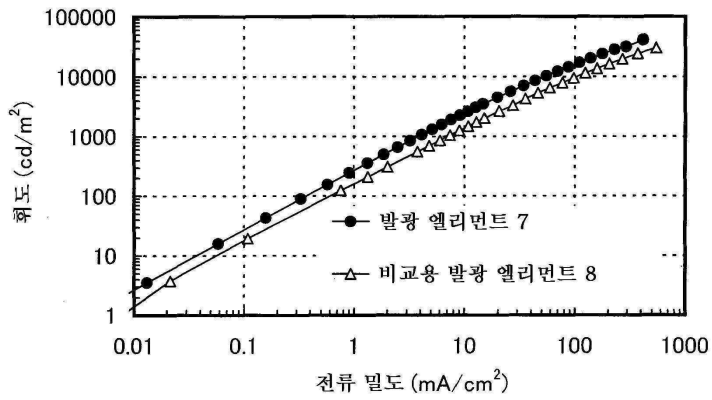
도면32a



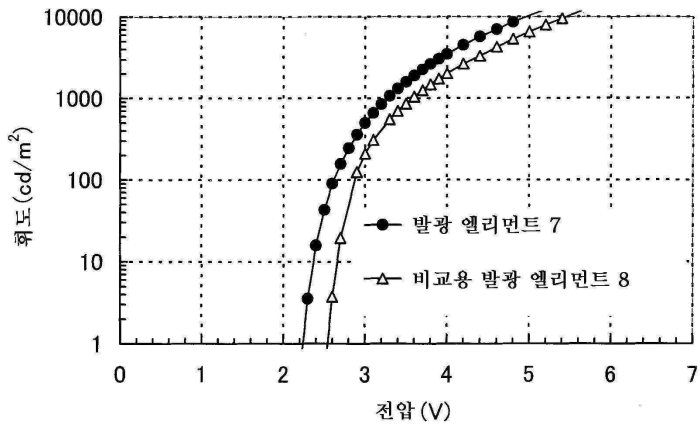
도면32b



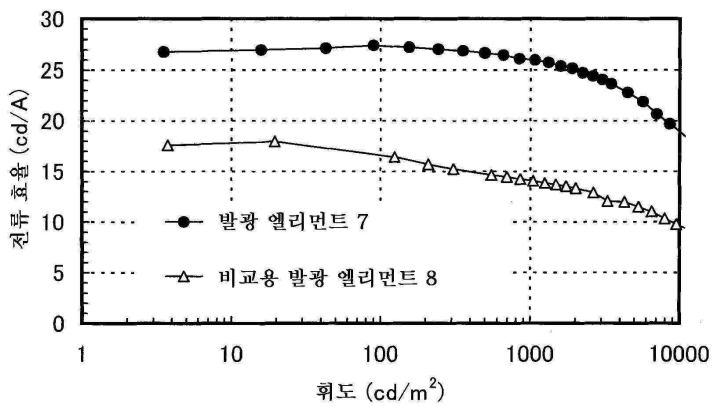
도면33



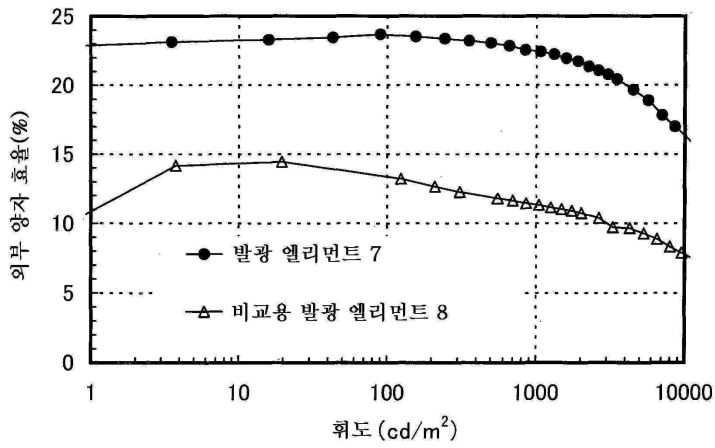
도면34



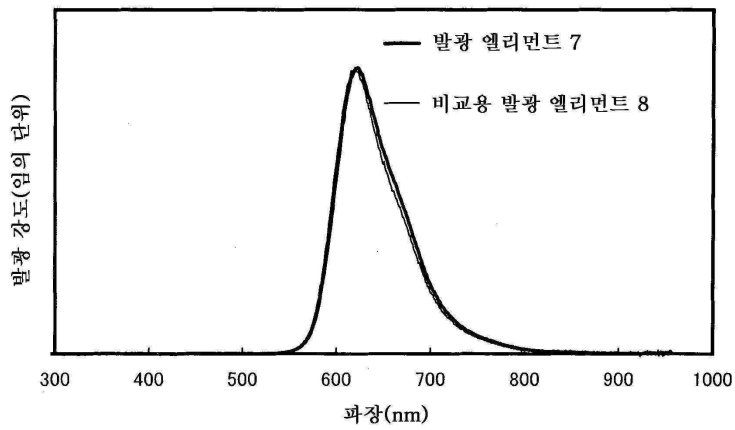
도면35



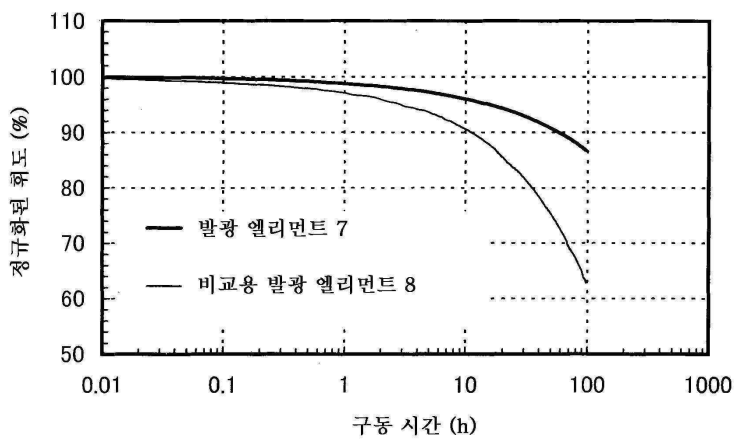
도면36



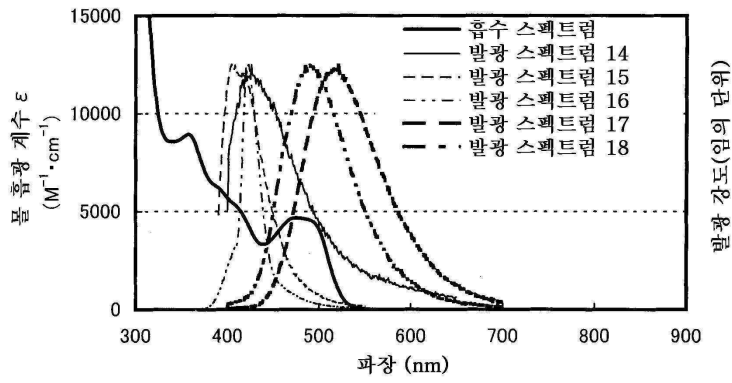
도면37



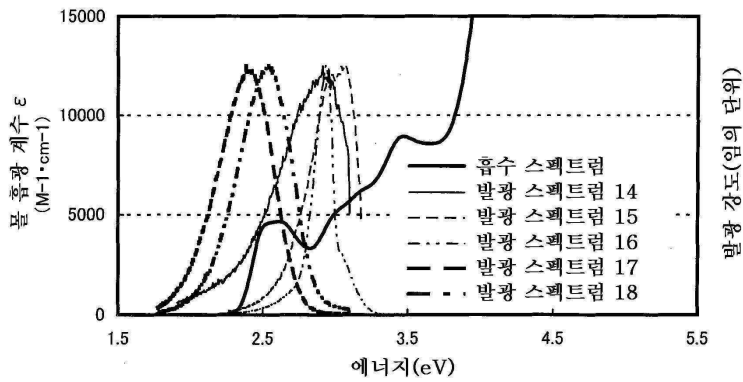
도면38



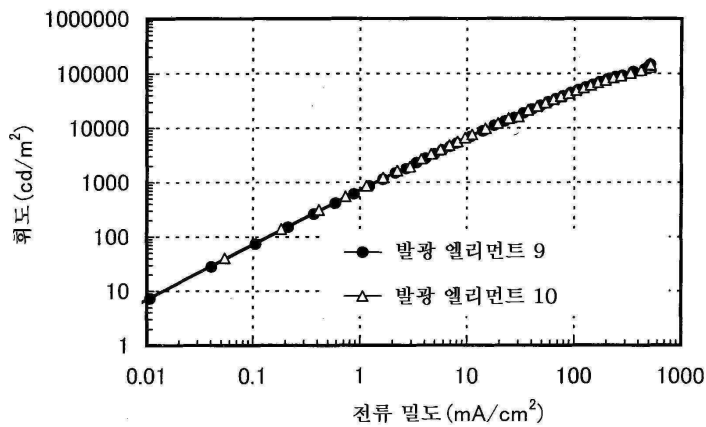
도면39a



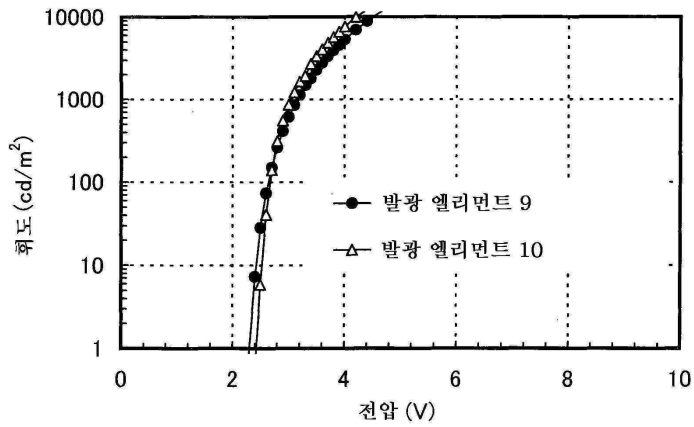
도면39b



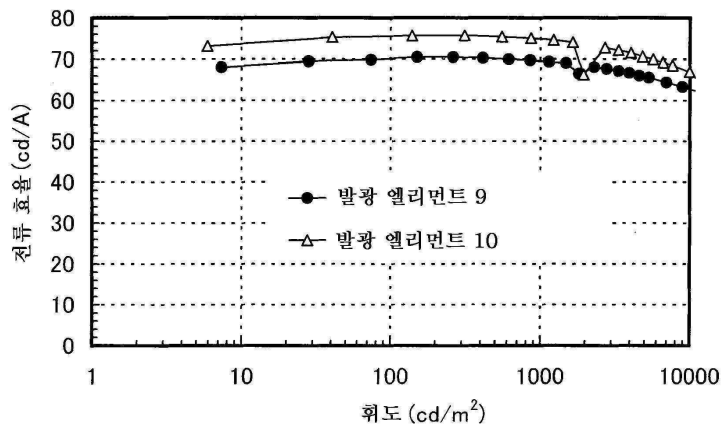
도면40



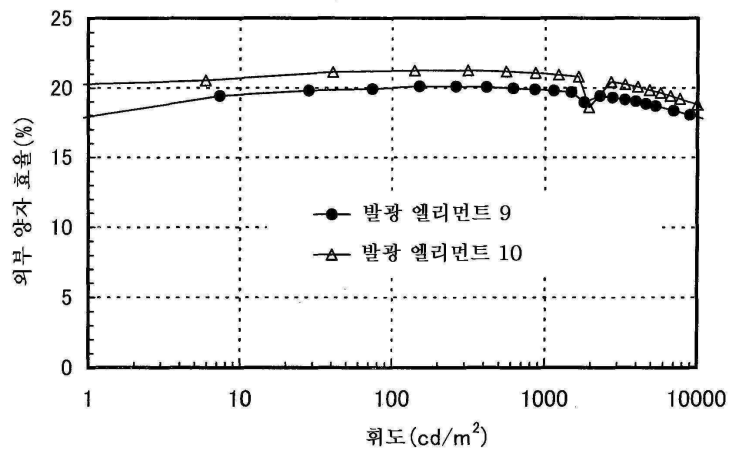
도면41



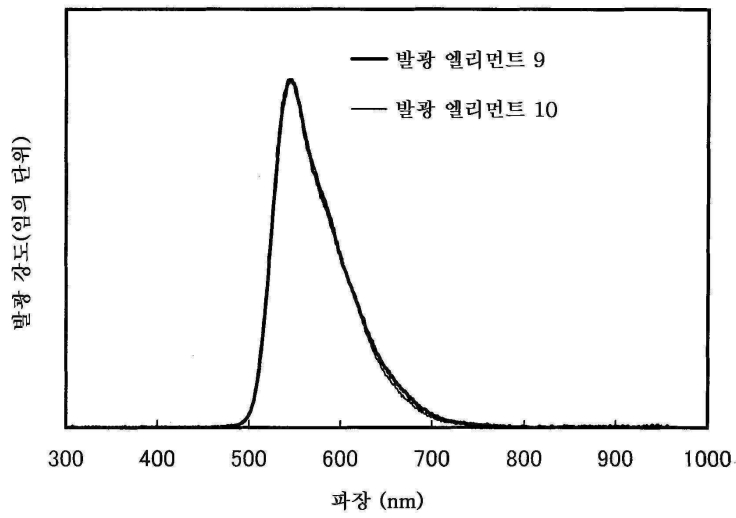
도면42



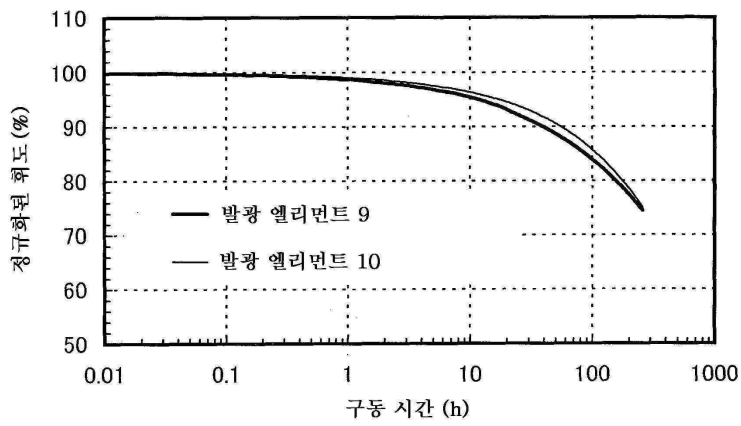
도면43



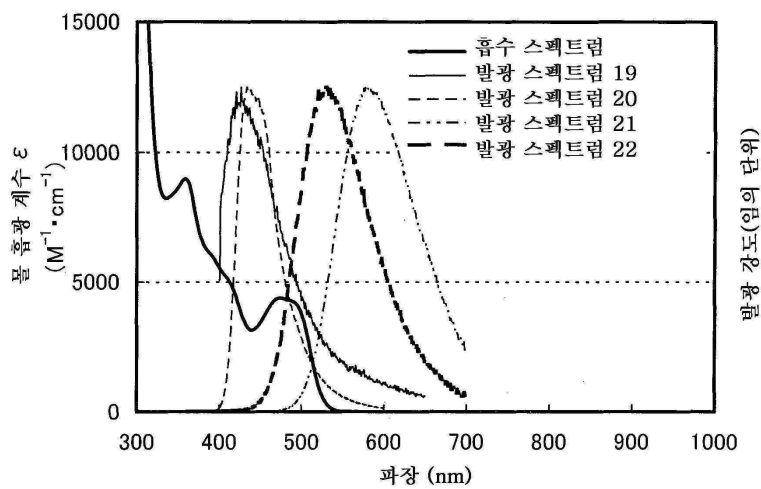
도면44



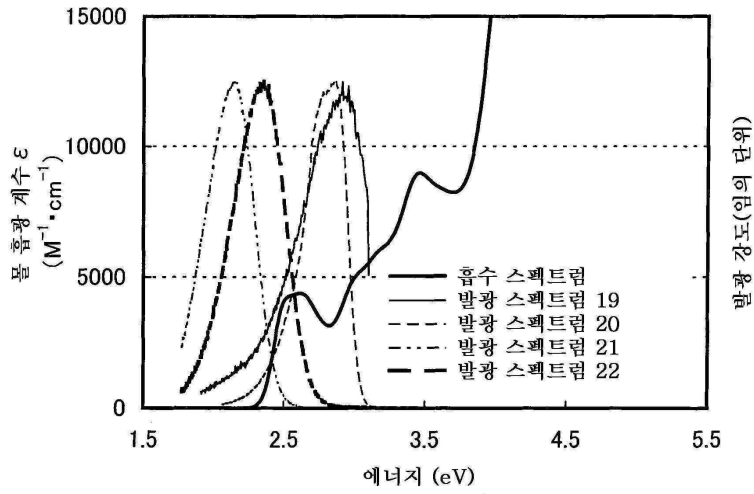
도면45



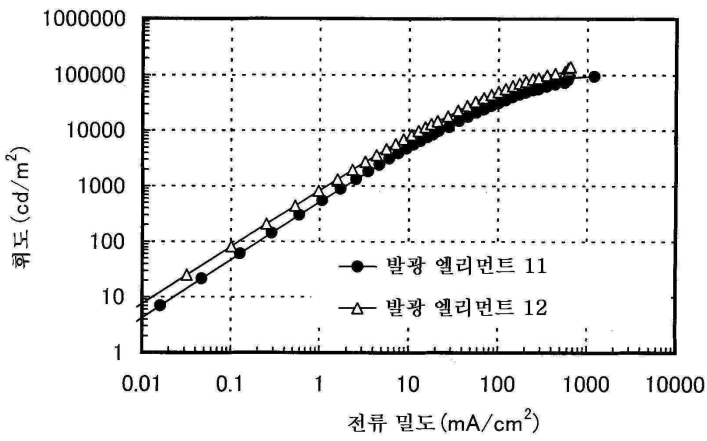
도면46a



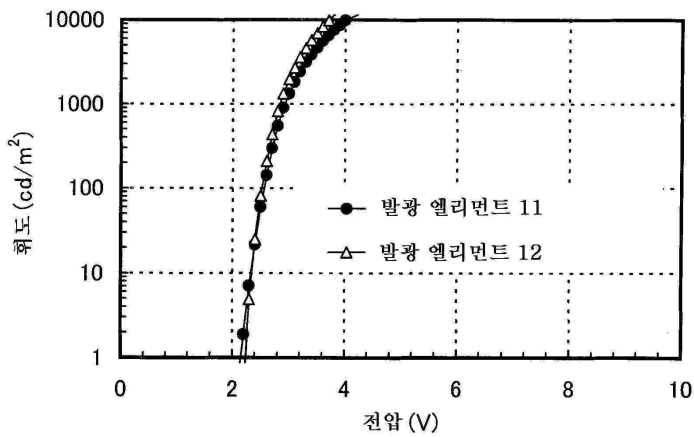
도면46b



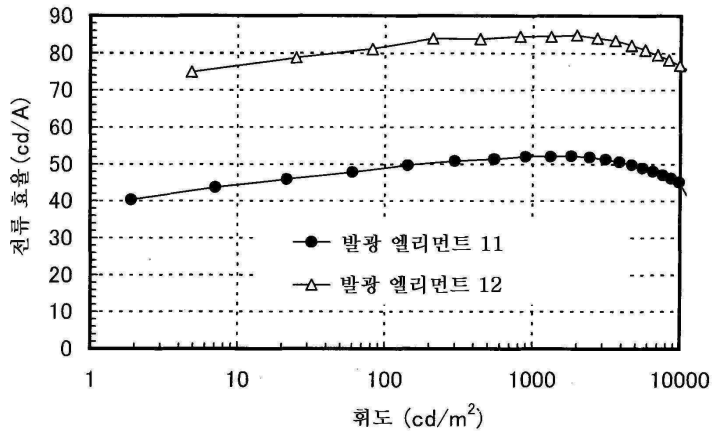
도면47



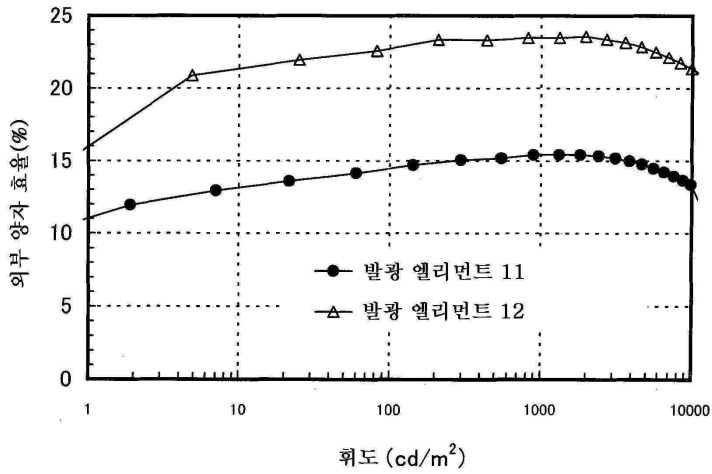
도면48



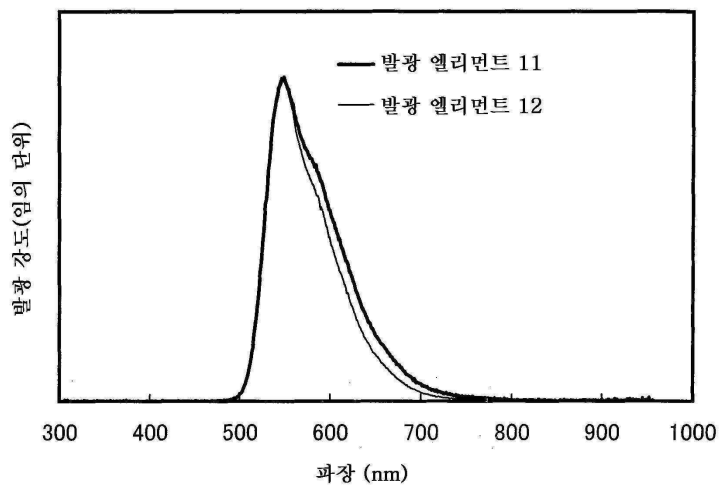
도면49



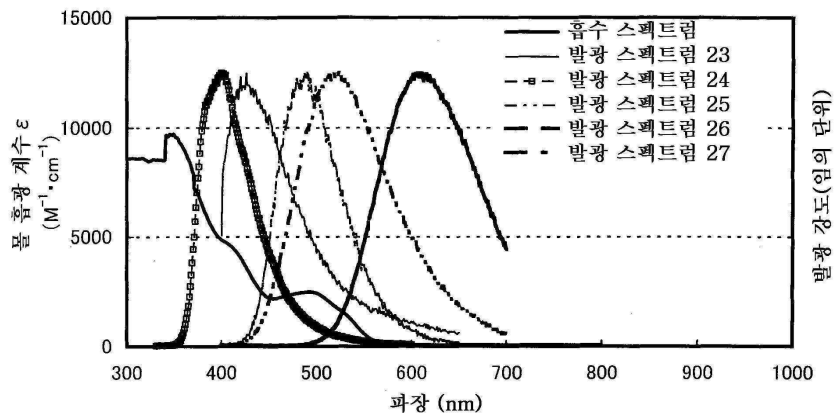
도면50



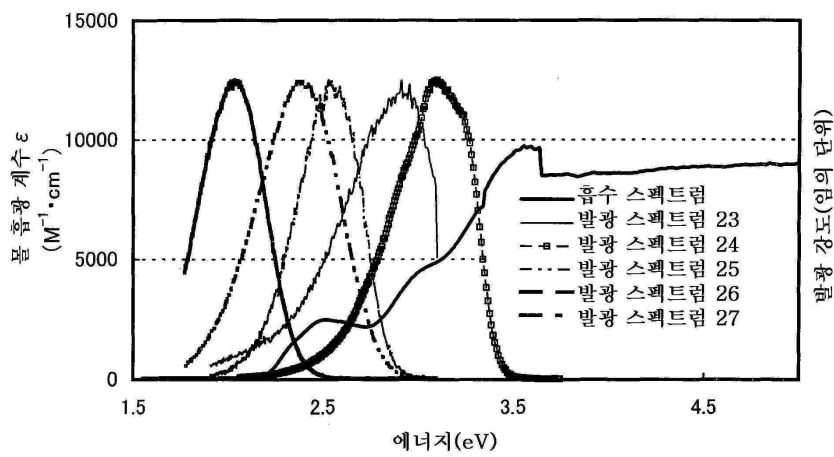
도면51



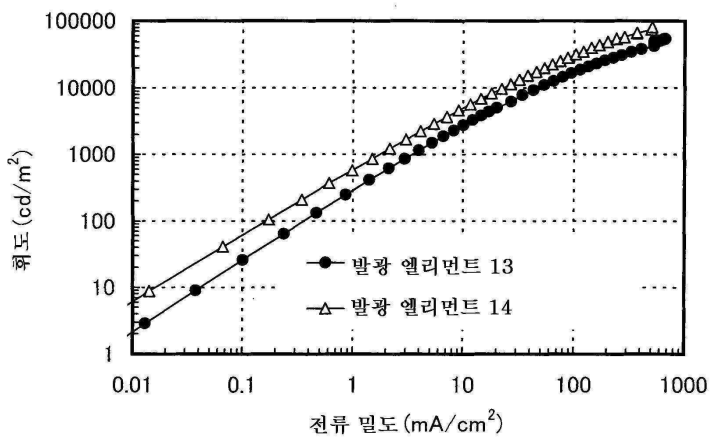
도면52a



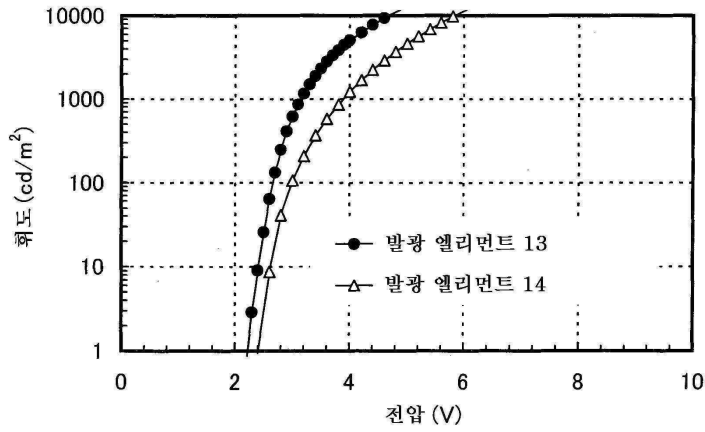
도면52b



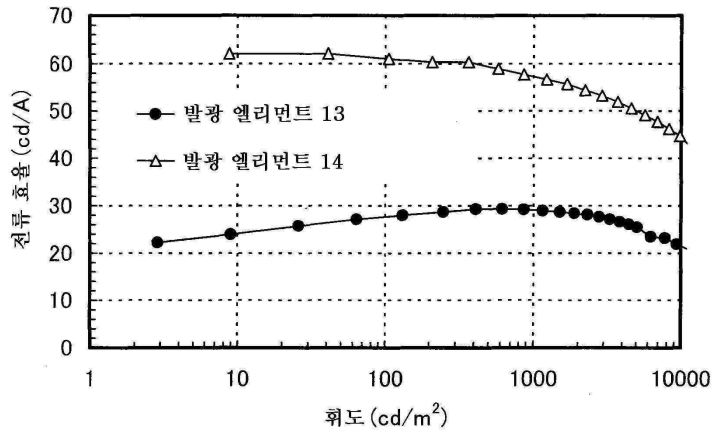
도면53



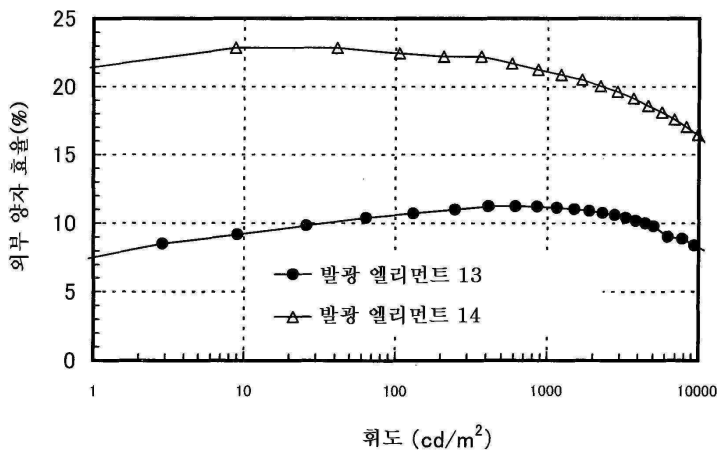
도면54



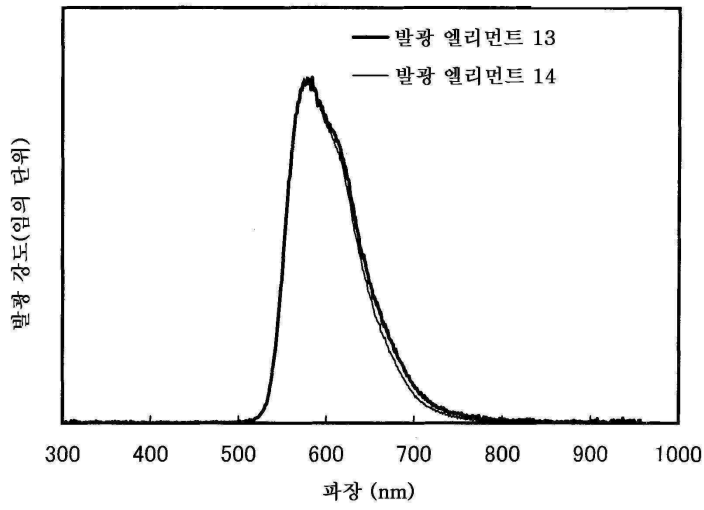
도면55



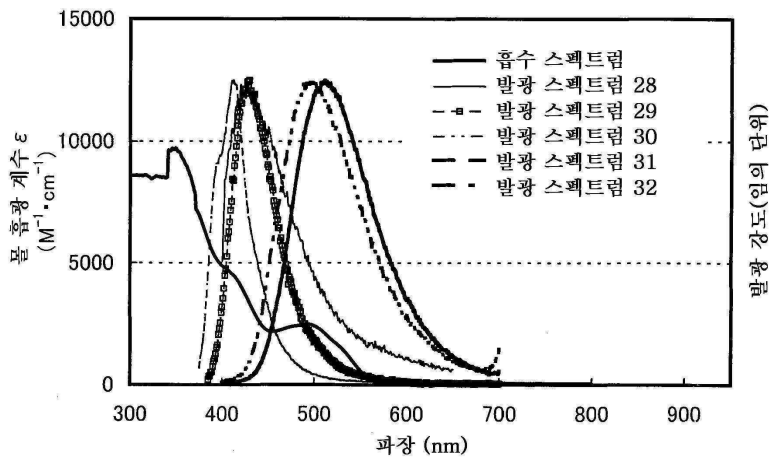
도면56



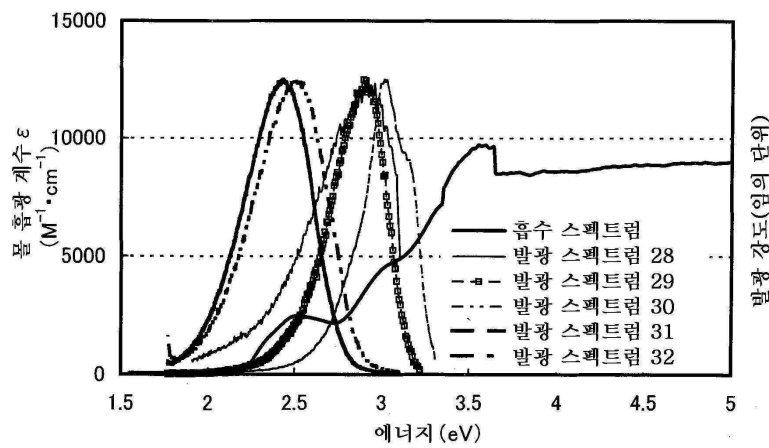
도면57



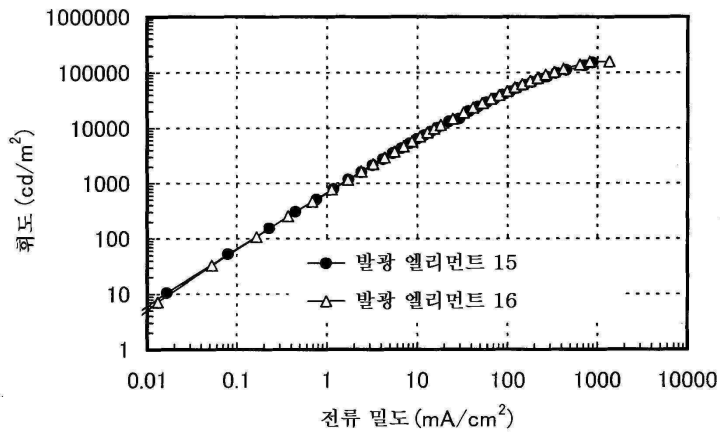
도면58a



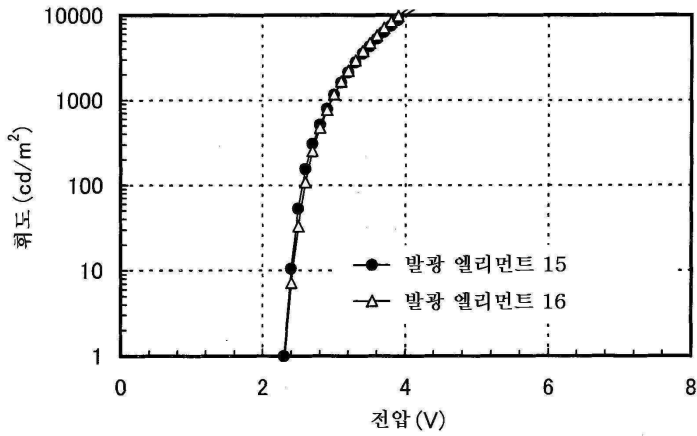
도면58b



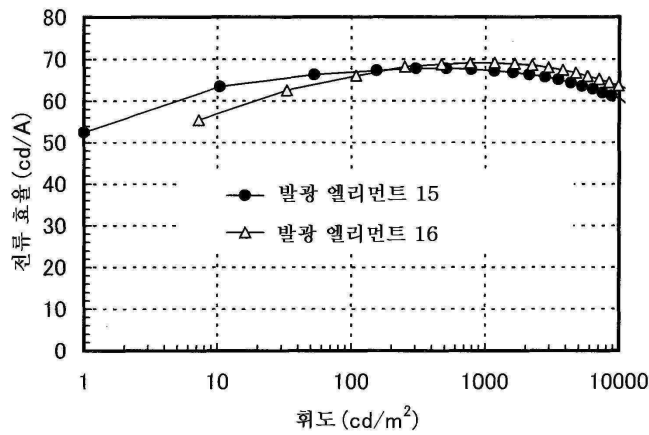
도면59



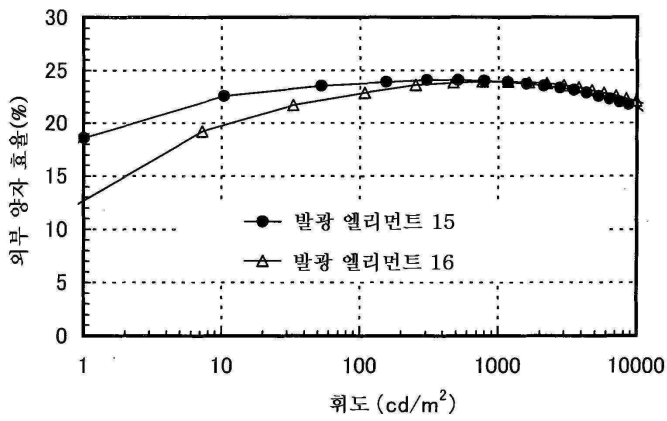
도면60



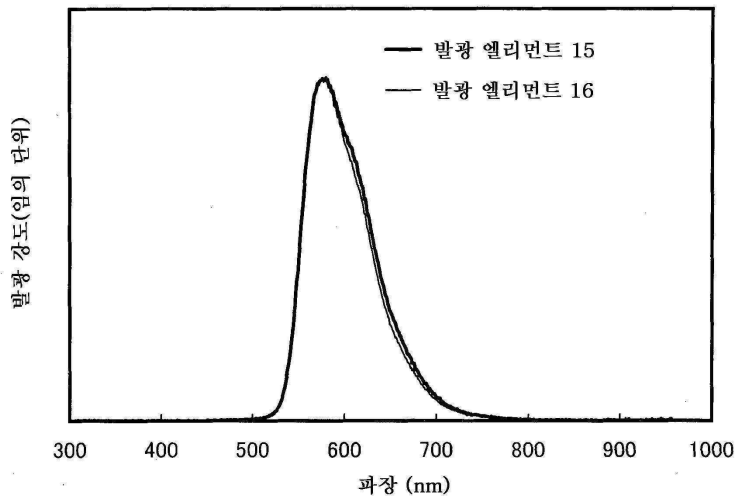
도면61



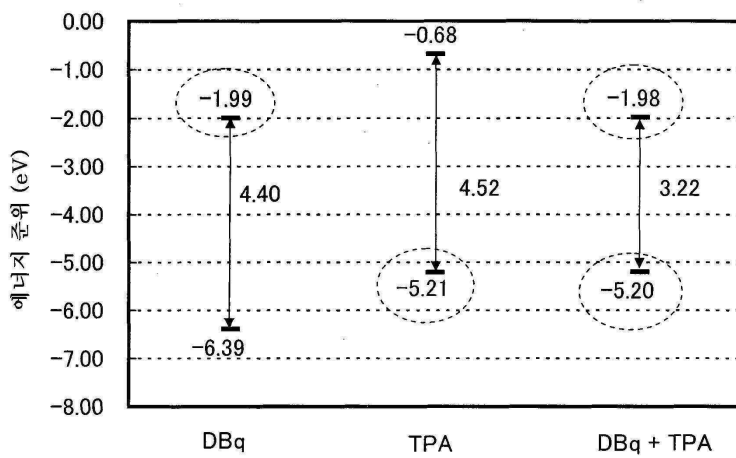
도면62



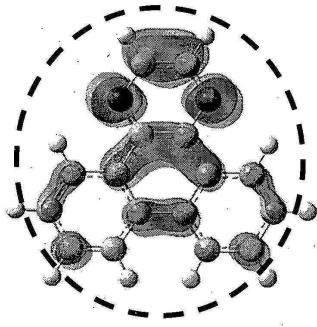
도면63



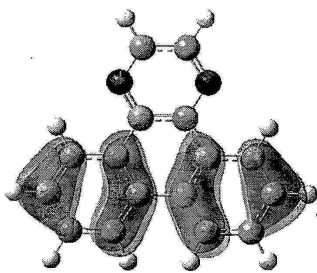
도면64



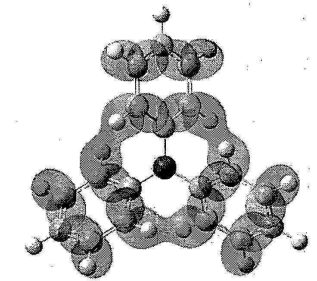
도면 65aa



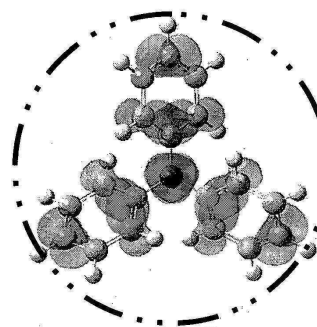
도면 65ab



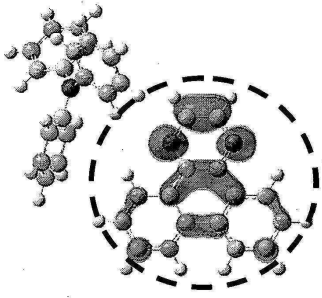
도면 65ba



도면 65bb



도면65ca



도면65cb

