



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2024년08월09일

(11) 등록번호 10-2694103

(24) 등록일자 2024년08월07일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H10K 50/17 (2023.01) **H10K 101/30** (2023.01)
H10K 50/11 (2023.01) **H10K 50/19** (2023.01)
H10K 59/121 (2023.01) **H10K 59/38** (2023.01)
H10K 59/80 (2023.01) **H10K 85/60** (2023.01)
- (52) CPC특허분류
H10K 50/171 (2023.02)
H10K 50/11 (2023.02)
- (21) 출원번호 **10-2023-7030561(분할)**
- (22) 출원일자(국제) **2018년04월03일**
 심사청구일자 **2023년09월20일**
- (85) 번역문제출일자 **2023년09월07일**
- (65) 공개번호 **10-2023-0133985**
- (43) 공개일자 **2023년09월19일**
- (62) 원출원 특허 **10-2019-7032489**
 원출원일자(국제) **2018년04월03일**
 심사청구일자 **2021년03월24일**
- (86) 국제출원번호 **PCT/IB2018/052274**
- (87) 국제공개번호 **WO 2018/185642**
 국제공개일자 **2018년10월11일**
- (30) 우선권주장
 JP-P-2017-077059 2017년04월07일 일본(JP)
 (뒷면에 계속)
- (56) 선행기술조사문헌
 KR1020040107399 A*
 KR1020060120505 A*
 *는 심사관에 의하여 인용된 문헌

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

전체 청구항 수 : 총 11 항

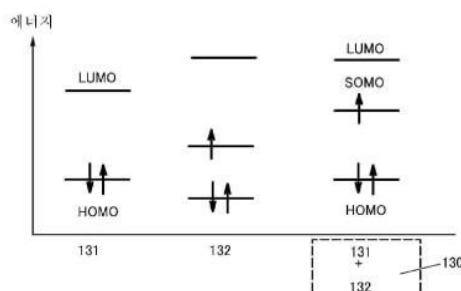
심사관 : 김상걸

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

(57) 요약

구동 전압이 낮고 신뢰성이 있는 발광 소자를 제공한다. 상기 발광 소자는 음극과 발광층 사이에 전자 주입층을 포함한다. 상기 전자 주입층은 비공유 전자쌍을 가지는 유기 화합물과 전이 금속의 혼합막이다. 상기 전이 금속의 원자와 상기 유기 화합물은 SOMO를 형성한다.

대표도



(52) CPC특허분류

H10K 50/19 (2023.02)
H10K 59/1213 (2023.02)
H10K 59/38 (2023.02)
H10K 59/40 (2023.02)
H10K 59/87 (2023.02)
H10K 85/656 (2023.02)
H10K 85/6572 (2023.02)
H10K 2101/30 (2023.02)

(30) 우선권주장

JP-P-2017-077061 2017년04월07일 일본(JP)
JP-P-2017-114262 2017년06월09일 일본(JP)

명세서

청구범위

청구항 1

발광 소자로서,
양극과 음극 사이의 발광층;
상기 발광층과 상기 음극 사이의 제 1 층; 및
상기 발광층과 상기 양극 사이의 제 2 층을 포함하고,
상기 제 1 층은 제 1 유기 화합물 및 전이 금속을 포함하고,
상기 제 1 유기 화합물은 피리딘 고리, 다이아진 고리, 및 트리아진 고리 중 적어도 하나를 포함하고,
상기 전이 금속은 주기율표의 5족, 7족, 9족, 또는 11족에 속하는 금속이고,
상기 제 2 층은 방향족 아민 화합물, 카바졸 유도체, 또는 인돌 유도체를 포함하는, 발광 소자.

청구항 2

발광 소자로서,
양극과 음극 사이의 제 1 발광 유닛 및 제 2 발광 유닛;
상기 제 1 발광 유닛과 상기 제 2 발광 유닛 사이의 제 1 층; 및
상기 제 1 층 및 상기 양극 사이의 제 2 층을 포함하고,
상기 제 1 층은 제 1 유기 화합물 및 전이 금속을 포함하고,
상기 제 1 유기 화합물은 피리딘 고리, 다이아진 고리, 및 트리아진 고리 중 적어도 하나를 포함하고,
상기 전이 금속은 주기율표의 5족, 7족, 9족, 또는 11족에 속하는 금속이고,
상기 제 2 층은 방향족 아민 화합물, 카바졸 유도체, 또는 인돌 유도체를 포함하는, 발광 소자.

청구항 3

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서,
상기 제 1 유기 화합물은 복수의 헤테로고리에 걸쳐 공액이중결합 N-C-C-N을 가지는, 발광 조사.
발광 소자.

청구항 4

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서,
상기 제 1 유기 화합물은 탄소수가 25 내지 100인, 발광 소자.

청구항 5

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서,
상기 제 1 유기 화합물은 1,10-페난트롤린 골격을 포함하지 않는, 발광 소자.

청구항 6

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서,
상기 제 1 유기 화합물의 LUMO 준위는 -3.6eV 이상 -2.3eV 이하인, 발광 소자.

청구항 7

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서,
상기 음극과 상기 제 1 층 사이의 제 3 층을 더 포함하고,
상기 제 3 층은 전자 부족형 헤테로방향족 고리를 포함하는 제 2 유기 화합물을 포함하는, 발광 소자.

청구항 8

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서,
알칼리 금속 및 알칼리 토금속이 포함되지 않는, 발광 소자.

청구항 9

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서,
상기 제 1 층에서의 상기 제 1 유기 화합물에 대한 상기 전이 금속의 몰 비율이 0.2 이상 0.8 이하인, 발광 소자.

청구항 10

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서,
상기 음극은 상기 전이 금속과 같은 금속을 포함하는, 발광 소자.

청구항 11

표시 장치로서,
제 1 항 또는 제 2 항에 따른 발광 소자; 및
컬러 필터 및 트랜지스터 중 적어도 하나를 포함하는, 표시 장치.

청구항 12

삭제

청구항 13

삭제

청구항 14

삭제

청구항 15

삭제

청구항 16

삭제

청구항 17

삭제

청구항 18

삭제

청구항 19

삭제

청구항 20

삭제

청구항 21

삭제

발명의 설명

기술 분야

- [0001] 본 발명의 일 형태는 전자 주입층을 포함하는 신규 발광 소자에 관한 것이다. 또한 본 발명의 일 형태는 상기 발광 소자를 각각 포함하는 표시 장치, 전자 기기, 및 조명 장치에 관한 것이다.
- [0002] 또한 본 발명의 일 형태는 상술한 기술분야에 한정되지 않는다. 본 명세서 등에 개시(開示)된 발명의 일 형태의 기술분야는 물건, 방법, 또는 제작 방법에 관한 것이다. 또한 본 발명의 일 형태는 공정(process), 기계(machine), 제품(manufacture), 및 조성물(composition of matter)에 관한 것이다. 구체적으로는, 본 명세서에 개시된 본 발명의 일 형태의 기술분야의 예에는 반도체 장치, 표시 장치, 액정 표시 장치, 발광 장치, 조명 장치, 축전 장치, 기억 장치, 이들 중 임의의 것의 구동 방법, 및 이들 중 임의의 것의 제작 방법이 포함된다.

배경 기술

- [0003] 근년, EL(electroluminescence)을 이용한 발광 소자에 대한 연구 개발이 널리 진행되고 있다. 이러한 발광 소자의 기본적인 구조에서는, 발광 물질을 포함하는 층(EL층)이 한 쌍의 전극 사이에 개재(介在)되어 있다. 이 소자의 전극들 사이에 전압을 인가함으로써, 발광 재료로부터의 발광을 얻을 수 있다.
- [0004] 상술한 발광 소자는 자발광형이기 때문에, 이 발광 소자를 사용한 표시 장치는 시인성이 높고, 백라이트가 불필요하고, 소비전력이 낮다는 등 이점을 가진다. 또한 이러한 발광 소자는 얇고 가볍게 형성할 수 있고, 응답 속도가 빠르다는 이점도 가진다.
- [0005] 일반적인 발광 소자에서는, 음극과 발광층 사이에 전자 주입층을 제공하여 구동 전압을 저감한다. 전자 주입층에는, 전자 주입층과 음극 사이의 전자 주입의 장벽을 낮추기 위하여, 알칼리 금속 또는 알칼리 토금속 등 일함수가 낮은 금속(대표적으로는 리튬(Li) 또는 칼슘(Ca)) 또는 이들의 화합물이 사용된다(예를 들어 특허문헌 1).
- [0006] 상술한 발광 소자를 발광 장치에 사용하는 경우, 상이한 색의 광을 방출하는 기능을 가지는 EL층을 화소 내의 부화소에 제공하는 방식(이하, 개별 착색 방식이라고 함), 그리고 예를 들어 백색 광을 방출하는 기능을 가지는 공통의 EL층 및 상이한 색의 광을 투과시키는 기능을 가지는 컬러 필터를 화소 내의 부화소에 제공하는 방식(이하, 컬러 필터 방식이라고 함)의 2개의 방식이 있다.
- [0007] 컬러 필터 방식의 이점 중 하나는 모든 부화소로 EL층을 공유할 수 있다는 것이다. 따라서, 개별 착색 방식에 비하여, EL층의 재료의 손실이 적고 EL층 형성에 필요한 공정 수를 줄일 수 있기 때문에, 낮은 비용으로 또한 높은 생산성으로 발광 장치를 제작할 수 있다. 또한 개별 착색 방식에서는 부화소들 간에서의 EL층의 재료 혼입을 방지하기 위하여 부화소들 사이에 스페이서를 제공할 필요가 있지만, 컬러 필터 방식은 이러한 스페이서를 필요로 하지 않기 때문에 화소 밀도가 더 높은 고해상도의 발광 장치가 가능해진다.
- [0008] 상기 발광 소자는 EL층에 포함되는 발광 물질의 종류에 따라 다양한 색의 광을 방출할 수 있다. 상기 발광 소자를 조명 장치에 적용하는 관점에서, 백색 광 또는 백색에 가까운 색의 광을 방출하는 고효율의 발광 소자가 요구된다. 상기 발광 소자를 컬러 필터 방식을 이용한 발광 장치에 적용하는 관점에서, 색 순도가 높은 광을 방출하는 고효율의 발광 소자가 요구된다. 또한 조명 장치 및 발광 장치에 사용되는 발광 소자에는 저소비전력이 요구된다.
- [0009] 발광 소자의 발광 효율을 높이기 위해서는, 발광 장치로부터의 광 추출 효율을 높이는 것이 중요하다. 발광 소자로부터의 광 추출 효율을 높이기 위해서는, 한 쌍의 전극 사이에서의 광의 공진 효과를 이용한 미소 광 공진기(마이크로캐비티) 구조를 사용하여 특정 파장을 가지는 광의 강도를 증가시키는 방법이 제안되고 있다(예를 들어 특허문헌 2 참조).

- [0010] 백색 광을 방출하는 발광 소자로서, 복수의 EL층 사이에 전하 발생층을 포함하는 소자(탠덤 소자)가 제안되고 있다.
- [0011] 이러한 발광 소자의 소자 특성을 향상시키기 위하여, 소자 구조의 개량 및 재료의 개량 등이 활발히 진행되고 있다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0012] (특허문헌 0001) 일본 공개특허공보 제2001-102175호
(특허문헌 0002) 일본 공개특허공보 제2015-130319호

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0013] 일함수가 낮은 금속 및 이 금속의 화합물은 산소 또는 물과의 반응성이 높기 때문에 취급하기 어렵다. 상기 금속 또는 상기 화합물이 발광 소자에 사용되면 산소 또는 물로 인하여, 발광 소자의 발광 효율의 저하, 구동 전압의 상승, 또는 신뢰성의 저하 등이 발생하는 경우가 있다. 따라서, 산소 및 물에 의한 영향을 거의 받지 않고, 전자 주입층과 음극 사이의 전자 주입의 장벽이 낮은 전자 주입층의 개발이 요구되고 있다.
- [0014] 또한 탠덤 소자의 전하 발생층에 인접한 전자 주입층은 우수한 전자 주입성을 가질 필요가 있다. 따라서, 리튬 또는 세슘 등의 알칼리 금속 또는 알칼리 금속의 화합물, 혹은 칼슘 등의 알칼리 토금속 또는 알칼리 토금속의 화합물이 전자 주입층에 사용된다. 그러나, 상기 금속 또는 상기 화합물이 전자 주입층에 사용되면, 상기 금속이 전자 수송층으로 확산되어 크로스토크를 일으키는 경우가 있다.
- [0015] 상술한 문제를 감안하여, 본 발명의 일 형태의 과제는 구동 전압이 낮은 발광 소자를 제공하는 것이다. 본 발명의 일 형태의 다른 과제는 습기 저항이 높은 발광 소자를 제공하는 것이다. 본 발명의 일 형태의 다른 과제는 내산화성이 높은 발광 소자를 제공하는 것이다. 본 발명의 일 형태의 다른 과제는 저소비전력의 발광 소자를 제공하는 것이다. 본 발명의 일 형태의 다른 과제는 신뢰성이 높은 발광 소자를 제공하는 것이다. 본 발명의 일 형태의 다른 과제는 신규 발광 소자를 제공하는 것이다. 본 발명의 일 형태의 다른 과제는 신규 반도체 장치를 제공하는 것이다. 본 발명의 일 형태의 다른 과제는 크로스토크가 일어나기 어려운 발광 소자를 제공하는 것이다. 본 발명의 일 형태의 다른 과제는 색 순도가 높은 광을 방출하는 발광 소자를 제공하는 것이다.
- [0016] 본 발명의 일 형태의 다른 과제는 각각 상기 발광 소자를 포함하고 습기 저항이 높은 전자 기기 및 조명 장치를 제공하는 것이다. 본 발명의 일 형태의 다른 과제는 상기 발광 소자가 사용된 저소비전력의 발광 장치를 제공하는 것이다. 본 발명의 일 형태의 다른 과제는 상기 발광 소자가 사용된 장수명의 발광 장치를 제공하는 것이다.
- [0017] 또한 상술한 과제의 기재는 다른 과제의 존재를 방해하지 않는다. 본 발명의 일 형태에서는, 과제 모두를 달성할 필요는 없다. 다른 과제가 명세서 등의 기재로부터 명백해질 것이며 추출될 수 있다.

과제의 해결 수단

- [0018] 본 발명의 일 형태는 양극과 음극 사이에 발광층을 포함하고, 발광층과 음극 사이에 제 1 층을 포함하는 발광 소자이다. 제 1 층은 비공유 전자쌍을 가지는 제 1 유기 화합물, 및 전이 금속을 포함한다. 제 1 유기 화합물과 전이 금속은 SOMO(single occupied molecular orbital)를 형성한다.
- [0019] 본 발명의 다른 형태는, 양극과 음극 사이에 제 1 발광 유닛 및 제 2 발광 유닛을 포함하고, 제 1 발광 유닛과 제 2 발광 유닛 사이에 제 1 층을 포함하는 발광 소자이다. 제 1 층은 제 1 유기 화합물 및 전이 금속을 포함한다. 제 1 유기 화합물은 비공유 전자쌍을 가진다. 제 1 유기 화합물과 전이 금속은 SOMO를 형성한다.
- [0020] 본 발명의 다른 형태는 양극과 음극 사이에 제 1 발광 유닛 및 제 2 발광 유닛을 포함하고, 제 1 발광 유닛과 제 2 발광 유닛 사이에 제 1 층 및 전하 발생층을 포함하는 발광 소자이다. 제 1 층과 전하 발생층은 서로 접한다. 제 1 층은 제 1 유기 화합물 및 제 1 전이 금속을 포함한다. 제 1 유기 화합물은 비공유 전자쌍을

가진다. 제 1 유기 화합물과 제 1 전이 금속은 SOMO를 형성한다.

- [0021] 상술한 형태 중 임의의 것에서, 제 1 유기 화합물은 전자 부족형 헤테로방향족 고리를 포함하는 것이 바람직하다. 제 1 유기 화합물은 피리딘 고리, 다이아진 고리, 및 트리아진 고리 중 적어도 하나를 포함하는 것이 더 바람직하다.
- [0022] 상술한 형태 중 임의의 것에서, 제 1 유기 화합물은 탄소수가 25 내지 100인 것이 바람직하다.
- [0023] 상술한 형태 중 임의의 것에서, 제 1 유기 화합물은 1,10-페난트롤린 골격을 포함하지 않는 것이 바람직하다.
- [0024] 상술한 형태 중 임의의 것에서, 제 1 유기 화합물의 LUMO(lowest unoccupied molecular orbital) 준위는 -3.6eV 이상 -2.3eV 이하인 것이 바람직하다.
- [0025] 상술한 형태 중 임의의 것에서, 전이 금속은 주기율표의 5족, 7족, 9족, 또는 11족에 속하는 금속인 것이 바람직하다. 전이 금속이 11족에 속하는 금속인 것이 더 바람직하다. 전이 금속이 Ag인 것이 더욱 바람직하다.
- [0026] 상술한 형태 중 임의의 것에서, 음극과 제 1 층 사이에 제 2 층이 포함되고, 제 2 층은 전자 부족형 헤테로방향족 고리를 가지는 제 2 유기 화합물을 포함하는 것이 바람직하다.
- [0027] 상술한 형태 중 임의의 것에서, 제 2 유기 화합물의 LUMO 준위는 SOMO 준위보다 낮은 것이 바람직하다.
- [0028] 상술한 형태 중 임의의 것에서, 알칼리 금속 및 알칼리 토금속은 발광 소자에 포함되지 않는 것이 바람직하다.
- [0029] 상술한 형태 중 임의의 것에서, 제 1 층에서의 제 1 유기 화합물에 대한 금속의 몰 비율(molar ratio)이 0.2 이상 0.8 이하인 것이 바람직하다.
- [0030] 상술한 형태 중 임의의 것에서, 음극은 제 1 층에 포함되는 금속과 같은 금속을 포함하는 것이 바람직하다. 또한 발광층이 제 1 유기 화합물을 포함하는 것이 바람직하다.
- [0031] 본 발명의 다른 일 형태는 상술한 구조 중 임의의 것을 가지는 표시 장치와, 하우징 및 터치 센서 중 적어도 하나를 포함하는 전자 기기이다. 본 발명의 다른 일 형태는 상술한 구조 중 임의의 것을 가지는 발광 소자와, 하우징 및 터치 센서 중 적어도 하나를 포함하는 조명 장치이다. 본 발명의 일 형태의 범주에는 발광 소자를 포함한 발광 장치뿐만 아니라, 발광 장치를 포함한 전자 기기도 포함된다. 즉, 본 명세서에서 발광 장치란 화상 표시 장치 또는 광원(조명 장치를 포함함)을 말한다. FPC(flexible printed circuit) 또는 TCP(tape carrier package) 등의 커넥터가 발광 소자에 접속된 표시 모듈, TCP 끝에 인쇄 배선판이 제공된 표시 모듈, 및 COG(chip on glass) 방식에 의하여 집적 회로(IC)가 발광 소자에 직접 탑재된 표시 모듈도 본 발명의 형태이다.

발명의 효과

- [0032] 본 발명의 일 형태는 구동 전압이 낮은 발광 소자를 제공할 수 있다. 본 발명의 일 형태는 습기 저항이 높은 발광 소자를 제공할 수 있다. 본 발명의 일 형태는 내산화성이 높은 발광 소자를 제공할 수 있다. 본 발명의 일 형태는 저소비전력의 발광 소자를 제공할 수 있다. 본 발명의 일 형태는 신뢰성이 높은 발광 소자를 제공할 수 있다. 본 발명의 일 형태는 신규 발광 소자를 제공할 수 있다. 본 발명의 일 형태는 신규 반도체 장치를 제공할 수 있다. 본 발명의 일 형태는 크로스토크가 일어나기 어려운 발광 소자를 제공할 수 있다. 본 발명의 일 형태는 색 순도가 높은 광을 방출하는 발광 소자를 제공할 수 있다.
- [0033] 본 발명의 일 형태는 각각 상기 발광 소자를 포함하고 습기 저항이 높은 전자 기기 및 조명 장치를 제공할 수 있다. 본 발명의 일 형태는 상기 발광 소자가 사용된 저소비전력의 발광 장치를 제공할 수 있다. 본 발명의 일 형태는 상기 발광 소자가 사용된 장수명의 발광 장치를 제공할 수 있다.
- [0034] 또한 이들 효과의 기재는 다른 효과의 존재를 방해하지 않는다. 본 발명의 일 형태는 상술한 효과 모두를 반드시 달성할 필요는 없다. 다른 효과가 명세서, 도면, 및 청구항 등의 기재로부터 명백해질 것이며 추출될 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0035] 도 1의 (A) 내지 (C)는 본 발명의 일 형태의 발광 소자를 도시한 단면 모식도 및 전자 주입층에서의 에너지 준위의 상관을 도시한 도면.
- 도 2의 (A) 및 (B)는 본 발명의 일 형태의 발광 소자를 각각 도시한 단면 모식도.

- 도 3의 (A) 및 (B)는 본 발명의 일 형태의 발광 소자를 각각 도시한 단면 모식도.
- 도 4의 (A) 및 (B)는 본 발명의 일 형태의 표시 장치를 도시한 상면도 및 단면 모식도.
- 도 5의 (A) 및 (B)는 본 발명의 일 형태의 표시 장치를 각각 도시한 단면 모식도.
- 도 6은 본 발명의 일 형태의 표시 장치를 도시한 단면 모식도.
- 도 7의 (A) 내지 (G)는 트랜지스터의 예를 도시한 단면도.
- 도 8의 (A) 내지 (D)는 본 발명의 일 형태의 전자 기기를 나타낸 도면.
- 도 9의 (A) 내지 (E)는 본 발명의 일 형태의 표시 장치를 도시한 사시도.
- 도 10의 (A) 내지 (C)는 본 발명의 일 형태의 조명 장치를 나타낸 도면.
- 도 11은 본 발명의 일 형태의 조명 장치를 나타낸 도면.
- 도 12는 실시예의 발광 소자를 도시한 단면 모식도.
- 도 13은 실시예의 발광 소자의 전류 효율-휘도 특성을 나타낸 도면.
- 도 14는 실시예의 발광 소자의 전류 밀도-전압 특성을 나타낸 도면.
- 도 15는 실시예의 발광 소자의 전력 효율-휘도 특성을 나타낸 도면.
- 도 16은 실시예의 발광 소자의 외부 양자 효율-휘도 특성을 나타낸 도면.
- 도 17은 실시예의 발광 소자의 전계 발광 스펙트럼을 나타낸 도면.
- 도 18은 실시예의 박막의 흡수 스펙트럼을 나타낸 도면.
- 도 19는 실시예의 박막의 흡수 스펙트럼을 나타낸 도면.
- 도 20은 실시예의 박막의 흡수 스펙트럼을 나타낸 도면.
- 도 21은 실시예의 발광 소자의 전류 효율-휘도 특성을 나타낸 도면.
- 도 22는 실시예의 발광 소자의 전류-전압 특성을 나타낸 도면.
- 도 23은 실시예의 발광 소자의 전력 효율-휘도 특성을 나타낸 도면.
- 도 24는 실시예의 발광 소자의 외부 양자 효율-휘도 특성을 나타낸 도면.
- 도 25는 실시예의 발광 소자의 전계 발광 스펙트럼을 나타낸 도면.
- 도 26은 실시예의 박막의 흡수 스펙트럼을 나타낸 도면.
- 도 27은 실시예의 발광 소자의 전류 효율-휘도 특성을 나타낸 도면.
- 도 28은 실시예의 발광 소자의 전류 밀도-전압 특성을 나타낸 도면.
- 도 29는 실시예의 발광 소자의 전력 효율-휘도 특성을 나타낸 도면.
- 도 30은 실시예의 발광 소자의 외부 양자 효율-휘도 특성을 나타낸 도면.
- 도 31은 실시예의 발광 소자의 전계 발광 스펙트럼을 나타낸 도면.
- 도 32는 실시예의 발광 소자의 전류 효율-휘도 특성을 나타낸 도면.
- 도 33은 실시예의 발광 소자의 전류-전압 특성을 나타낸 도면.
- 도 34는 실시예의 발광 소자의 전력 효율-휘도 특성을 나타낸 도면.
- 도 35는 실시예의 발광 소자의 외부 양자 효율-휘도 특성을 나타낸 도면.
- 도 36은 실시예의 발광 소자의 전계 발광 스펙트럼을 나타낸 도면.
- 도 37은 실시예의 발광 소자를 도시한 단면 모식도.
- 도 38은 실시예의 발광 소자의 전류 효율-휘도 특성을 나타낸 도면.

- 도 39는 실시예의 발광 소자의 전류 밀도-전압 특성을 나타낸 도면.
- 도 40은 실시예의 발광 소자의 전력 효율-휘도 특성을 나타낸 도면.
- 도 41은 실시예의 발광 소자의 외부 양자 효율-휘도 특성을 나타낸 도면.
- 도 42는 실시예의 발광 소자의 전계 발광 스펙트럼을 나타낸 도면.
- 도 43은 실시예의 발광 소자의 구동 수명 시험의 결과를 나타낸 도면.
- 도 44는 실시예의 발광 소자의 구동 수명 시험의 결과를 나타낸 도면.
- 도 45는 실시예의 발광 소자의 구동 수명 시험의 결과를 나타낸 도면.
- 도 46은 실시예의 발광 소자의 전류 효율-휘도 특성을 나타낸 도면.
- 도 47은 실시예의 발광 소자의 전류-전압 특성을 나타낸 도면.
- 도 48은 실시예의 발광 소자의 전계 발광 스펙트럼을 나타낸 도면.
- 도 49의 (A) 및 (B)는 본 발명의 일 형태의 발광 소자를 각각 도시한 단면 모식도.
- 도 50의 (A) 및 (B)는 본 발명의 일 형태의 발광 소자를 각각 도시한 단면 모식도.
- 도 51은 실시예의 발광 소자를 도시한 단면 모식도.
- 도 52의 (A) 및 (B)는 실시예의 발광 소자의 확대 사진.
- 도 53은 실시예의 밝기와 인접 화소로부터의 거리의 관계를 나타낸 도면.
- 도 54는 실시예의 발광 소자를 도시한 단면 모식도.
- 도 55는 실시예의 발광 소자의 전류 효율-휘도 특성을 나타낸 도면.
- 도 56은 실시예의 발광 소자의 전류 밀도-전압 특성을 나타낸 도면.
- 도 57은 실시예의 발광 소자의 전력 효율-휘도 특성을 나타낸 도면.
- 도 58은 실시예의 발광 소자의 외부 양자 효율-휘도 특성을 나타낸 도면.
- 도 59는 실시예의 발광 소자의 전계 발광 스펙트럼을 나타낸 도면.
- 도 60은 실시예의 발광 소자의 전류 효율-휘도 특성을 나타낸 도면.
- 도 61은 실시예의 발광 소자의 전류 밀도-전압 특성을 나타낸 도면.
- 도 62는 실시예의 발광 소자의 전력 효율-휘도 특성을 나타낸 도면.
- 도 63은 실시예의 발광 소자의 외부 양자 효율-휘도 특성을 나타낸 도면.
- 도 64는 실시예의 발광 소자의 전계 발광 스펙트럼을 나타낸 도면.
- 도 65는 실시예의 발광 소자의 전류 효율-휘도 특성을 나타낸 도면.
- 도 66은 실시예의 발광 소자의 전류 밀도-전압 특성을 나타낸 도면.
- 도 67은 실시예의 발광 소자의 전력 효율-휘도 특성을 나타낸 도면.
- 도 68은 실시예의 발광 소자의 외부 양자 효율-휘도 특성을 나타낸 도면.
- 도 69는 실시예의 발광 소자의 전계 발광 스펙트럼을 나타낸 도면.
- 도 70은 실시예의 발광 소자를 도시한 단면 모식도.
- 도 71은 실시예의 발광 소자의 전류 효율-휘도 특성을 나타낸 도면.
- 도 72는 실시예의 발광 소자의 전류-전압 특성을 나타낸 도면.
- 도 73은 실시예의 발광 소자의 전력 효율-휘도 특성을 나타낸 도면.
- 도 74는 실시예의 발광 소자의 외부 양자 효율-휘도 특성을 나타낸 도면.

- 도 75는 실시예의 발광 소자의 전계 발광 스펙트럼을 나타낸 도면.
- 도 76은 실시예의 발광 소자의 전류 효율-휘도 특성을 나타낸 도면.
- 도 77은 실시예의 발광 소자의 전류-전압 특성을 나타낸 도면.
- 도 78은 실시예의 발광 소자의 외부 양자 효율-휘도 특성을 나타낸 도면.
- 도 79는 실시예의 발광 소자의 전계 발광 스펙트럼을 나타낸 도면.
- 도 80은 실시예의 발광 소자의 전류 효율-휘도 특성을 나타낸 도면.
- 도 81은 실시예의 발광 소자의 전류-전압 특성을 나타낸 도면.
- 도 82는 실시예의 발광 소자의 외부 양자 효율-휘도 특성을 나타낸 도면.
- 도 83은 실시예의 발광 소자의 전계 발광 스펙트럼을 나타낸 도면.
- 도 84는 실시예의 발광 소자의 전류 효율-휘도 특성을 나타낸 도면.
- 도 85는 실시예의 발광 소자의 전류-전압 특성을 나타낸 도면.
- 도 86은 실시예의 발광 소자의 외부 양자 효율-휘도 특성을 나타낸 도면.
- 도 87은 실시예의 발광 소자의 전계 발광 스펙트럼을 나타낸 도면.
- 도 88의 (A) 및 (B)는 실시예에서의 유기 화합물의 LUMO 준위와 항온항습 보존 시험 후의 발광 면적 비율의 관계를 각각 나타낸 도면.
- 도 89는 실시예의 발광 소자를 도시한 단면 모식도.
- 도 90은 실시예의 발광 소자의 전류 효율-휘도 특성을 나타낸 도면.
- 도 91은 실시예의 발광 소자의 전류-전압 특성을 나타낸 도면.
- 도 92는 실시예의 발광 소자의 전력 효율-휘도 특성을 나타낸 도면.
- 도 93은 실시예의 발광 소자의 전계 발광 스펙트럼을 나타낸 도면.
- 도 94는 실시예의 발광 소자의 전류 효율-휘도 특성을 나타낸 도면.
- 도 95는 실시예의 발광 소자의 전류-전압 특성을 나타낸 도면.
- 도 96은 실시예의 발광 소자의 외부 양자 효율-휘도 특성을 나타낸 도면.
- 도 97은 실시예의 발광 소자의 전계 발광 스펙트럼을 나타낸 도면.
- 도 98은 실시예의 발광 소자의 전류 효율-휘도 특성을 나타낸 도면.
- 도 99는 실시예의 발광 소자의 전류-전압 특성을 나타낸 도면.
- 도 100은 실시예의 발광 소자의 외부 양자 효율-휘도 특성을 나타낸 도면.
- 도 101은 실시예의 발광 소자의 전계 발광 스펙트럼을 나타낸 도면.
- 도 102는 실시예의 발광 소자의 전류 효율-휘도 특성을 나타낸 도면.
- 도 103은 실시예의 발광 소자의 전류-전압 특성을 나타낸 도면.
- 도 104는 실시예의 발광 소자의 외부 양자 효율-휘도 특성을 나타낸 도면.
- 도 105는 실시예의 발광 소자의 전계 발광 스펙트럼을 나타낸 도면.
- 도 106은 실시예의 발광 소자의 구동 수명 시험을 나타낸 도면.
- 도 107은 전자 스핀 공명(ESR) 측정의 결과를 나타낸 도면.
- 도 108은 실시예의 발광 소자의 전류 효율-휘도 특성을 나타낸 도면.
- 도 109는 실시예의 발광 소자의 전류-전압 특성을 나타낸 도면.

도 110은 실시예의 발광 소자의 외부 양자 효율-휘도 특성을 나타낸 도면.

도 111은 실시예의 발광 소자의 전계 발광 스펙트럼을 나타낸 도면.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0036] 본 발명의 실시형태에 대하여 도면을 참조하여 아래에서 설명한다. 그러나 본 발명은 이하의 설명에 한정되지 않고, 본 발명의 범위 및 취지에서 벗어남이 없는 한 그 형태 및 자세한 사항을 다양하게 변경할 수 있다. 따라서, 본 발명은 이하의 실시형태의 내용에 한정하여 해석되지 말아야 한다.
- [0037] 또한 도면 등에 도시된 각 구조의 위치, 크기, 또는 범위 등은 이해를 쉽게 하기 위하여 정확히 표시되지 않는 경우가 있다. 그러므로, 개시된 발명은 도면 등에 개시된 위치, 크기, 또는 범위 등에 반드시 한정될 필요는 없다.
- [0038] 또한 본 명세서 등에서 "제 1" 및 "제 2" 등의 서수는 편의상 사용하는 것이고, 공정 순서 또는 적층 순서를 나타내는 것은 아니다. 따라서, 예를 들어 "제 1"을 "제 2" 또는 "제 3"으로 적절히 바꿔도 설명이 가능하다. 또한 본 명세서 등에서의 서수는 본 발명의 일 형태를 특징하는 것과 반드시 같을 필요는 없다.
- [0039] 본 명세서 등에서 도면을 참조하여 발명의 구조를 설명함에 있어서, 같은 부분에는 상이한 도면에서 공통의 부호를 사용한다.
- [0040] 본 명세서 등에서는, 경우 또는 상황에 따라 "막" 및 "층"이라는 용어를 서로 교체할 수 있다. 예를 들어, "도전층"이라는 용어를 "도전막"이라는 용어로 바꿀 수 있는 경우가 있다. 또한 "절연막"이라는 용어를 "절연층"이라는 용어로 바꿀 수 있는 경우가 있다.
- [0041] (실시형태 1)
- [0042] 본 실시형태에서는, 본 발명의 일 형태의 발광 소자에 대하여 도 1의 (A) 내지 (C)를 참조하여 아래에서 설명한다.
- [0043] <발광 소자의 구조에 1>
- [0044] 도 1의 (A)는 본 발명의 일 형태의 발광 소자(150)의 단면 모식도이다.
- [0045] 발광 소자(150)는 한 쌍의 전극(전극(101) 및 전극(102)), 및 상기 한 쌍의 전극 사이의 EL층(100)을 포함한다. EL층(100)은 적어도 발광층(140) 및 전자 주입층(130)을 포함한다.
- [0046] 도 1의 (A)에 나타난 EL층(100)은 발광층(140) 및 전자 주입층(130)에 더하여, 정공 주입층(111), 정공 수송층(112), 및 전자 수송층(118) 등의 기능층을 포함한다.
- [0047] 본 실시형태에서는 한 쌍의 전극인 전극(101) 및 전극(102)이 각각 양극 및 음극으로서 기능하는 것으로 가정하여 설명하지만, 발광 소자(150)의 구조는 이에 한정되지 않는다. 즉 전극(101)이 음극이어도 좋고, 전극(102)이 양극이어도 좋고, 전극들 사이의 층들의 적층 순서가 거꾸로 되어도 좋다. 바꿔 말하면, 양극 측에서부터 정공 주입층(111), 정공 수송층(112), 발광층(140), 전자 수송층(118), 및 전자 주입층(130)이 이 순서대로 적층되어도 좋다.
- [0048] 또한 EL층(100)의 구조는 도 1의 (A)에 나타난 구조에 한정되지 않고, EL층(100)은 적어도 발광층(140) 및 전자 주입층(130)을 포함하고, 정공 주입층(111), 정공 수송층(112), 및 전자 수송층(118)은 포함하지 않아도 된다.
- [0049] 이들 층은 그 기능에 따라 한 쌍의 전극 사이의 EL층에 형성될 수 있고, 상술한 층에 한정되지 않는다. 바꿔 말하면, 한 쌍의 전극 사이의 EL층은 정공 또는 전자의 주입의 장벽을 낮추거나, 정공 또는 전자의 수송성을 높이거나, 정공 또는 전자의 수송성을 저해하거나, 또는 전극으로 인한 소광 현상을 억제하는 등의 기능을 가지는 층을 포함하여도 좋다.
- [0050] 발광층(140)은 호스트 재료 및 게스트 재료(발광 재료)를 포함하는 것이 바람직하다.
- [0051] 호스트 재료로서는, 정공을 수송하는 기능(정공 수송성)을 가지는 재료 및 전자를 수송하는 기능(전자 수송성)을 가지는 재료 중 한쪽 또는 양쪽을 사용하는 것이 바람직하다. 또는, 정공 수송성 및 전자 수송성을 가지는 재료를 사용하는 것이 바람직하다.
- [0052] 호스트 재료가 전자 수송성 재료와 정공 수송성 재료의 조합인 경우, 혼합비를 조정함으로써 캐리어 밸런스를

쉽게 제어할 수 있다. 구체적으로, 전자 수송성 재료 대 정공 수송성 재료의 중량비가 1:9 내지 9:1의 범위 내인 것이 바람직하다. 이 구조에 의하여 캐리어 밸런스를 쉽게 제어할 수 있기 때문에, 캐리어 재결합 영역도 쉽게 제어할 수 있다.

- [0053] 게스트 재료는 발광성 화합물일 수 있고, 발광성 화합물은 형광을 방출할 수 있는 물질(이하, 형광성 화합물이라고도 함) 또는 인광을 방출할 수 있는 물질(이하, 인광성 화합물이라고도 함)인 것이 바람직하다.
- [0054] 발광 소자의 구동 전압을 저감하기 위해서는, 발광층(140)과 전극(102) 사이의 전자 주입의 장벽을 낮출 필요가 있다. 그러므로, 발광층(140)과 전극(102) 사이에 전자 주입층(130)을 제공하는 것이 바람직하다. 기존 발광 소자에서는, 일함수가 낮은 알칼리 금속 또는 알칼리 토금속을 포함하는 금속 재료를 사용하여 전자 주입층(130)이 형성된다. 그러나, 일함수가 낮은 금속 재료는 산소 또는 물과의 반응성이 높기 때문에, 이러한 금속 재료가 발광 소자에 사용되면, 발광 소자에서 발광 효율의 저하, 구동 전압의 상승, 소자 수명의 저하, 또는 수축(shrinkage)의 발생(발광부 단부에서의 비발광 영역) 등이 일어나, 발광 소자의 특성 열화 또는 신뢰성 저하로 이어지는 경우가 있다. 바꿔 말하면, 일함수가 낮은 금속 재료는 소자 열화를 일으킬 수 있다. 따라서, 발광 소자의 특성 열화 또는 신뢰성 저하를 억제하는 관점에서는 알칼리 금속 또는 알칼리 토금속을 가지지 않는 발광 소자가 바람직하다.
- [0055] 한편, 일함수가 높은 금속은 산소 및 물과의 반응성이 낮지만, 이러한 금속을 전자 주입층(130)에 사용하면, 전자 주입층(130)과 전극(102) 사이에 전자 주입의 장벽이 형성된다. 이 경우, 발광 소자에서 구동 전압의 상승 또는 발광 효율의 저하가 일어난다.
- [0056] 본 발명자들은 비공유 전자쌍을 가지는 화합물과 전이 금속의 상호 작용에 의하여 SOMO를 형성하고, 조합하여 상기 SOMO를 형성하는 상기 화합물과 상기 전이 금속의 복합 재료를 전자 주입층에 사용함으로써, 전자 주입층과 음극 사이의 전자 주입의 장벽을 저감할 수 있고 발광 소자의 습기 저항을 높일 수 있다는 것을 발견하였다.
- [0057] 비공유 전자쌍을 가지는 화합물과 전이 금속의 상호 작용에 의하여 SOMO를 형성하기 위해서는, 상기 화합물과 상기 전이 금속의 전자수의 합이 홀수인 것이 바람직하다. 따라서, 상기 화합물의 전자수가 짝수인 경우, 상기 전이 금속은 주기율표에서 홀수 그룹에 속하는 금속인 것이 바람직하다. 상기 화합물의 전자수가 홀수인 경우, 상기 전이 금속은 주기율표에서 짝수 그룹에 속하는 금속인 것이 바람직하다.
- [0058] 비공유 전자쌍을 가지는 화합물로서는, 전자를 수송하는 기능을 가지는 유기 화합물을 사용하는 것이 바람직하다. 또한 상기 전이 금속에 대하여 전자 수용체로서 기능하는 유기 화합물을 사용하는 것이 바람직하다.
- [0059] 따라서, 본 발명의 일 형태의 발광 소자는 비공유 전자쌍을 가지는 유기 화합물과 전이 금속의 복합 재료를 전자 주입층에 사용한 발광 소자이다.
- [0060] 전이 금속은 물 및 산소와의 반응성이 낮기 때문에, 전이 금속을 포함하는 발광 소자에서는, 일함수가 낮은 금속을 사용한 경우에 일어날 수 있는 물 및 산소로 인한 소자 열화가 거의 일어나지 않는다. 그러므로, 본 발명의 일 형태에 따르면, 습기 저항이 높고 내산화성이 높은 발광 소자를 제공할 수 있다.
- [0061] 도 1의 (B)는 본 발명의 일 형태의 발광 소자에서의 전자 주입층(130)의 모식도이다. 전자 주입층(130)은 비공유 전자쌍을 가지는 화합물(131) 및 전이 금속(132)을 포함한다.
- [0062] 도 1의 (C)는 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자의 전자 주입층(130)에서의 에너지를 나타낸 도면이다. 전이 금속(132)과 화합물(131)을 혼합하면, 화합물(131)이 전이 금속(132)의 원자와 상호 작용되어 SOMO가 형성된다. 이때, 화합물(131)과 전이 금속(132)의 원자의 상호 작용에 의하여 형성되는 HOMO(highest occupied molecular orbital) 준위는 유기 화합물(131)의 HOMO 준위와 같은 정도인 것이 바람직하다. 전자를 수송하는 기능을 가지는 유기 화합물을 화합물(131)에 사용하는 경우, 화합물(131)의 HOMO 준위는 낮고, 정공이 화합물(131)에 주입되기 어렵다. 따라서, 화합물(131)과 전이 금속(132)의 원자의 상호 작용에 의하여 형성되는 HOMO 준위가 유기 화합물(131)의 HOMO 준위와 같은 정도인 경우, 전자 주입층(130)과 전극(102) 사이의 정공 주입의 장벽이 높기 때문에, 전자 주입층(130)으로부터 전극(102)으로 정공이 통과하기 어렵고, 이 결과 발광 소자의 배리어 밸런스가 향상된다. 또한 본 명세서 등에서 HOMO는 전자로 점유되어 있는, 궤도의 에너지가 가장 높은 분자 궤도를 말한다.
- [0063] SOMO는 하나의 전자만을 가지는 궤도이다. 발광 소자(150)에 전압이 인가되면, SOMO 내의 전자가 발광 소자 내의 캐리어로서 기능하고, 전자 수송층(118) 및 발광층(140)에 수송된다. 또한 전극(102)으로부터 전자 주입층(130)에 전자를 쉽게 주입할 수 있다. 즉, 전자 주입층(130)이 조합하여 SOMO를 형성하는 재료들을 포함하는

경우, 전극(102)으로부터 EL층(100)에 전자를 쉽게 주입할 수 있다. SOMO 준위는 화합물(131)의 LUMO 준위보다 낮은 것이 바람직하다. 따라서, 화합물(131)의 LUMO 준위는 높은 것이 바람직하다. 구체적으로, 화합물(131)의 LUMO 준위는 -3.6eV 이상 -2.3eV 이하인 것이 바람직하다. 이러한 LUMO 준위를 가지는 유기 화합물과 전이 금속을 혼합하면, 상호 작용에 의하여 전자 주입에 적합한 SOMO 준위가 형성됨으로써, 전자 주입층(130)과 전극(102) 사이의 전자 주입의 장벽을 낮출 수 있다.

[0064] 또한 유기 재료의 HOMO 준위 및 LUMO 준위는 일반적으로 CV(cyclic voltammetry), 광전자 분광법, 광 흡수 분광법, 또는 역 광전자 분광법 등에 의하여 추산할 수 있다. 상이한 화합물의 값을 서로 비교하는 경우, 같은 측정 방법으로 추산된 값을 사용하는 것이 바람직하다.

[0065] 상술한 전이 금속은 5족, 7족, 9족, 또는 11족에 속하는 것이 바람직하다. 홀수 그룹에 속하는 전이 금속 중, 최외각의 궤도에 하나의 전자(홀전자)를 가지는 금속은, 화합물(131)과 조합하여 SOMO를 형성하기 쉬운 성질이 있기 때문에 특히 바람직하다.

[0066] <양자 화학 계산에 의한 전이 금속(132)과 화합물(131)의 상호 작용에 의하여 형성되는 SOMO 준위의 추산>

[0067] SOMO의 형성에는 화합물(131)과 전이 금속(132)의 상호 작용이 필요하다. 따라서, 유기 화합물이 다양한 전이 금속 원자와 상호 적용된 경우의 안정화 에너지, 및 유기 화합물과 전이 금속 원자의 상호 작용에 의하여 형성되는 SOMO 준위를 양자 화학 계산에 의하여 추산하였다. 결과를 표 1에 나타낸다. 또한 비공유 전자쌍을 가지는 유기 화합물로서, 아래에 나타낸 2,9-비스(나프탈렌-2-일)-4,7-다이페닐-1,10-페난트롤린(약칭: NBPhen)을 사용한다.

[0068] [화학식 1]



[0069] .

[0070] [표 1]

| | 안정화 에너지(eV) | HOMO (eV) | SOMO (eV) | LUMO (eV) |
|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|
| NBPhen | - | -5.74 | - | -2.04 |
| NBPhen + Cu | -2.28 | -5.04 | -3.04 | -1.99 |
| NBPhen + Ag | -0.23 | -5.85 | -3.26 | -2.07 |
| NBPhen + Au | -0.23 | -5.85 | -4.41 | -2.67 |
| NBPhen + Co | -2.47 | -5.25 | -3.10 | -2.09 |
| NBPhen + Mn | -2.70 | -5.43 | -3.31 | -1.98 |
| NBPhen + Li | -2.31 | -5.50 | -2.96 | -1.91 |

[0071]

[0072] 양자 화학 계산 프로그램으로서는 Gaussian 09를 사용한다. 계산에는 고성능 컴퓨터(ICE X, SGI Japan, Ltd. 제조)를 사용한다. 우선, 유기 화합물 단독의 기저 상태, 각 전이 금속 단독의 기저 상태, 및 유기 화합물과 각 전이 금속의 복합 재료의 기저 상태에서의 가장 안정적인 구조를 밀도 범함수 이론(DFT)에 의하여 계산한다. 기저 함수로서는 6-311G(d,p) 및 LanL2DZ를 사용하고, 범함수로서는 B3LYP를 사용한다. 다음으로, 유기 화합물 단독의 총에너지와 전이 금속 단독의 총에너지의 합을, 유기 화합물과 전이 금속의 복합 재료의 총에너지로부터 뺀으로써 안정화 에너지를 계산한다. 즉, (안정화 에너지)=(유기 화합물과 전이 금속의 복합 재료의 총에너지)-(유기 화합물 단독의 총에너지)-(전이 금속 단독의 총에너지)를 만족시킨다. DFT에서, 총에너지는 퍼텐셜 에너지와, 전자 간의 정전 에너지와, 전자의 운동 에너지와, 전자 간의 복잡한 상호 작용 모두를 포함한 교환 상관 에너지의 합으로 나타내어진다. 또한 DFT에서는, 전자 밀도의 단위로 나타내어진 하나의 전자 퍼텐셜의 범함수(다른 함수의 함수)로 교환 상관 상호 작용을 근사하여 정확도가 높은 계산이 가능해진다.

[0073] 표 1에 나타낸 바와 같이, 상기 복합 재료의 전이 금속으로서, 7족에 속하는 전이 금속인 마그네슘(Mn), 9족에 속하는 전이 금속인 코발트(Co), 그리고 11족에 속하는 구리(Cu), 은(Ag), 및 금(Au)을 사용하는 경우, 안정화 에너지는 음의 값이다. 이것은, 비공유 전자쌍을 가지는 유기 화합물(여기서는 NBPhen)과 전이 금속을 혼합한 경우, 유기 화합물이 전이 금속의 원자와 상호 작용되는 상태가, 유기 화합물이 전이 금속의 원자와 상호 작용되지 않는 상태보다 더 안정적인 것을 가리킨다. 즉 표 1은, 비공유 전자쌍을 가지는 화합물과 전이 금속을 혼합하면 유기 화합물이 전이 금속과 상호 작용되고, 유기 화합물과 전이 금속의 복합 재료가 안정적으로 되는 것을 보여준다. 또한 표 1 및 표 2의 HOMO 및 LUMO의 에너지 준위의 값은 계산된 값이고, 이 값은 측정된 값과 상이한 경우가 있다.

[0074] SOMO는 유기 화합물과 전이 금속의 상호 작용에 의하여 형성된다. 상기 SOMO는 금속의 홀전자에서 유래하는 궤도이고, 유기 화합물의 궤도 상에도 분포된다. 따라서, 전이 금속의 전자 궤도와 유기 화합물의 전자 궤도가 서로 상호 작용되는 것을 보여준다. 표 1은 상기 SOMO 준위를 나타낸다. 화합물(131)과 전이 금속(132)의 복합 재료를 전자 주입층(130)에 사용하는 경우, 전자 주입의 관점에서 SOMO 준위가 높을수록 바람직하다. 따라서 본 발명의 일 형태에서, 화합물(131)과 상호 작용되는 전이 금속(132)에는, 전자 주입층의 재료로서 널리 사용되는 Li과 같은 정도의 SOMO 준위를 각각 가지는 Cu, Ag, Co, 및 Mn이 특히 적합하다.

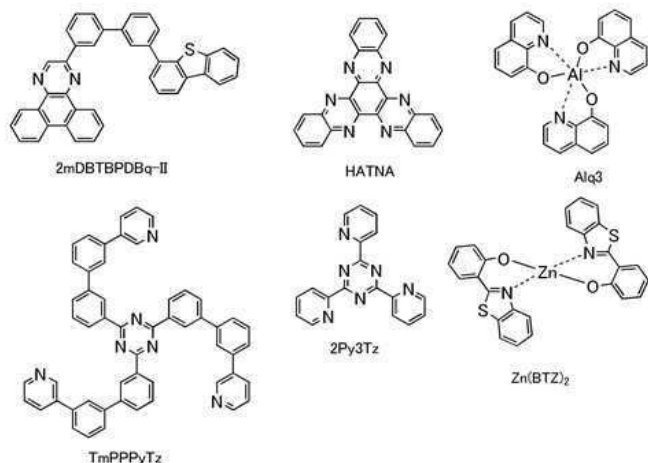
[0075] 화합물(131)과 전이 금속(132)의 상호 작용을 통하여 SOMO를 형성함으로써, 전자 주입층(130)에 홀전자가 형성된다. 따라서, SOMO의 형성은 전자 스핀 공명(ESR)에 의하여 관찰할 수 있다. 전극(102)으로부터 발광층(140)에 전자를 양호하게 주입하기 위해서는, SOMO에서 유래하는 스핀 밀도는 1×10^{16} spins/cm³ 이상인 것이 바람직하고, 5×10^{16} spins/cm³ 이상인 것이 더 바람직하고, 1×10^{17} spins/cm³ 이상인 것이 더욱 바람직하다.

[0076] 한편, 발광 소자의 제작 공정에서, 발광 소자의 EL층, 특히 전자 주입층 및 음극은 진공 증착법에 의하여 형성되는 것이 일반적이다. 이 경우, 진공 증착에 의하여 쉽게 퇴적될 수 있는 재료, 즉 용점이 낮은 재료를 사용하는 것이 바람직하다. 11족에 속하는 원소의 융점은 7족 또는 9족에 속하는 원소의 융점보다 낮기 때문에, 11족에 속하는 원소를 진공 증착에 의한 퇴적에 적합하게 사용할 수 있다. 11족에 속하는 원소 중, Ag은 융점이 특히 낮아 바람직하다. 또한 진공 증착법을 사용하면 전이 금속 원자와 유기 화합물을 쉽게 혼합할 수 있어 바람직하다.

[0077] Ag 또는 Cu는 음극 재료로서 사용할 수도 있다. 전자 주입층(130)과 전극(102)에 같은 재료를 사용하면 발광 소자를 쉽게 제작할 수 있기 때문에 바람직하다. 또한 전자 주입층(130)과 전극(102)에 같은 재료를 사용함으로써, 전자 주입층(130)과 전극(102) 사이의 밀착성을 높일 수 있고, 이로써 발광 소자의 신뢰성을 높일 수 있다. 또한 발광 소자의 제작 비용을 저감할 수 있다.

[0078] 다음으로, 전이 금속(132)으로서 Ag을 사용하고 화합물(131)로서 비공유 전자쌍을 가지는 다양한 유기 화합물을 사용하고, 화합물(131)과 Ag 원자 사이에서 상호 작용이 일어날 때의 안정화 에너지 및 SOMO 준위를 양자 화학 계산에 의하여 추산하였다. 이들 결과를 표 2에 나타낸다. 추산에 사용된 유기 화합물과 그들의 약칭을 아래에 나타낸다. 또한 양자 화학 계산의 계산 방법은 표 1에 나타낸 값의 계산에 사용한 계산 방법과 마찬가지로이다.

[0079] [화학식 2]



[0080]

[0081] [표 2]

| | 안정화 에너지(eV) | HOMO (eV) | SOMO (eV) | LUMO (eV) |
|---------------------------|-------------|--------------|--------------|--------------|
| 2mDBTBPD Bq-II | - | -5.96 | - | -2.10 |
| 2mDBTBPD Bq-II + Ag | -0.08 | -5.98 | -4.37 | -2.71 |
| Alq3 | - | -5.25 | - | -2.01 |
| Alq3 + Ag | -0.16 | -5.42 | -3.78 | -2.20 |
| HATNA | - | -6.65 | - | -2.90 |
| HATNA + Ag | -0.59 | -6.30 | -4.05 | -3.01 |
| 2Py3Tzn | - | -6.89 | - | -2.20 |
| 2Py3Tzn + Ag | -0.28 | -6.78 | -3.63 | -2.45 |
| TmPPPyTz | - | -6.52 | - | -2.26 |
| TmPPPyTz + Ag | -0.04 | -6.55 | -4.51 | -2.89 |
| Zn(BTZ) ₂ | - | -5.60 | - | -2.00 |
| Zn(BTZ) ₂ + Ag | -0.14 | -5.68 | -4.09 | -2.33 |

[0082]

[0083]

표 2에서, 비공유 전자쌍을 가지는 다양한 유기 화합물이 전이 금속(여기서는 Ag)과 혼합된 경우에 안정화 에너지가 음의 값을 취하는 것은, 비공유 전자쌍을 가지는 유기 화합물과 전이 금속의 복합 재료가 상호 작용에 의하여 안정화되는 것을 보여준다.

[0084]

화합물(131)이 전이 금속(132)의 원자와 상호 작용된 경우, 전이 금속(132)의 원자 및 화합물(131)이 각각, 전자 도너 및 전자 억셉터로서 기능하는 것이 바람직하다. 이 경우, 화합물(131)은 전자 부족형 헤테로방향족 고리를 가지는 것이 바람직하다. 이러한 구조를 가지는 화합물(131)은 전자를 받기 쉽기 때문에, 화합물(131)과 전이 금속(132)의 원자가 서로 상호 작용된 경우의 안정화 에너지를 작게 할 수 있다. 전자 부족형 헤테로방향족 고리를 가지는 화합물은 전자 수송성이 양호하기 때문에, 발광 소자의 구동 전압을 저감하는 관점에서는 이러한 화합물을 전자 주입층의 화합물(131)로서 사용하는 것이 바람직하다.

[0085]

전자 부족형 헤테로방향족 고리는 질소 함유 헤테로방향족 고리인 것이 바람직하고, 질소 함유 헤테로방향족 고리가 피리딘 고리, 다이아진 고리(피리미딘 고리, 피라진 고리, 또는 피리다진 고리), 및 트리아진 고리 중 적어도 하나를 가지는 것이 더 바람직하다. 이들 고리는 전기 화학적 안정성이 높기 때문에, 이들 고리를 포함한 발광 소자는 높은 신뢰성을 가질 수 있다. 또한 이들 고리는 전자 수송성이 높기 때문에 발광 소자의 구동 전압을 저감할 수 있다. 또한 전자 부족형 헤테로방향족 고리를 가지는 화합물은 금속 착체이어도 좋다.

[0086]

화합물(131)로서 유기 화합물을 사용하는 경우, 유기 화합물은 탄소수가 25 내지 100인 것이 바람직하다. 유기 화합물이 이러한 탄소수를 가지는 경우, 유기 화합물은 높은 승화성을 가질 수 있기 때문에, 진공 증착에서 유기 화합물의 열 분해를 억제할 수 있고, 이에 의하여 양호한 재료 사용 효율을 실현할 수 있다. 또한 유리 전이점(Tg)이 100℃ 이상인 것이 바람직하다. 이러한 Tg를 가지는 유기 화합물을 EL층에 사용하면, 발광 소자는 높은 내열성을 가질 수 있다.

[0087]

표 1 및 표 2에 나타낸 바와 같이, NBPhen, 다이퀴녹살리노[2,3-*a*:2',3'-*c*]페나진(약칭: HATNA), 및 2,4,6-트리스[3'-(피리딘-3-일)바이페닐-3-일]-1,3,5-트리아진(약칭: TmPPPyTz)이 Ag 원자와 상호 작용된 경우의 안정화 에너지는, 다른 유기 화합물이 Ag 원자와 상호 작용된 경우의 안정화 에너지보다 낮다. 이것은 상술한 화합물(NBPhen, HATNA, 및 TmPPPyTz)의 헤테로고리는 각각 복수의 헤테로고리에 걸쳐 공액이중결합 N-C-C-N을 가지므로, 화합물(131)과 전이 금속(132)의 상호 작용에 의하여 킬레이트 고리(고리 구조)를 형성할 수 있기 때문이다. 따라서, 화합물(131)이 전이 금속(132)의 원자에 배위한 경우, 킬레이트 고리가 형성되면 안정화 에너지가 낮아지기 때문에 바람직하다.

[0088]

화합물(131)에 대한 전이 금속(132)의 몰 비율은 0.1 이상 10 이하가 바람직하고, 0.2 이상 2 이하가 더 바람직하고, 0.2 이상 0.8 이하가 더욱 바람직하다. 전이 금속(132)과 화합물(131)을 이러한 몰 비율로 혼합하면, 전자 주입성이 양호한 발광 소자를 제공할 수 있다. 화합물(131)에 대한 전이 금속(132)의 몰 비율이 상술한 비율과 비교하여 지나치게 낮은 경우, 전이 금속(132)과 상호 작용되어 SOMO를 형성하는 화합물(131)의 양이 적어, 전자 주입성이 저하되는 경우가 있다. 화합물(131)에 대한 전이 금속(132)의 몰 비율이 상술한 비율과

비교하여 지나치게 높은 경우, 전자 주입층(130)의 투과율이 저하되어, 발광 소자의 발광 효율이 저하되는 경우가 있다.

[0089] 전자 주입층(130)의 두께는 3nm 이상이 바람직하고, 5nm 이상이 더 바람직하다. 이 구조에 의하여, 전이 금속(132)과 화합물(131)의 복합 재료가 양호하게 기능할 수 있다. 전자 주입층(130)의 두께는 50nm 이하가 바람직하고, 20nm 이하가 더 바람직하고, 10nm 이하가 더욱 바람직하다. 이 구조에 의하여, 전자 주입층(130)이 광을 흡수하기 어렵게 됨으로써, 발광 소자는 높은 발광 효율을 가질 수 있다.

[0090] 다음으로, 짝수 그룹에 속하는 전이 금속인 철(Fe)을 전이 금속(132)으로서 사용하고 구리 프탈로사이아닌(약칭: CuPc)을 화합물(131)로서 사용하고, 전이 금속(132)과 화합물(131) 사이에서 상호 작용이 일어난 경우의 안정화 에너지 및 SOMO 준위를 양자 화학 계산에 의하여 추산하였다. 그 결과를 표 3에 나타낸다. 또한 양자 화학 계산의 계산 방법은 표 1에 나타낸 값의 계산에 사용한 계산 방법과 마찬가지로 한다.

[0091] [표 3]

| | 안정화 에너지(eV) | HOMO (eV) | SOMO (eV) | LUMO (eV) |
|-----------|-------------|-----------|-----------|-----------|
| CuPc | - | -5.17 | -6.55 | -2.98 |
| CuPc + Fe | -3.80 | -4.84 | -3.92 | -2.95 |

[0092] 구리 프탈로사이아닌은 홀수의 전자를 가지는 화합물이고, HOMO 준위보다 낮은 에너지 준위에 SOMO가 위치한다. 표 3에 나타낸 바와 같이, 비공유 전자쌍을 가지는 유기 화합물로서 구리 프탈로사이아닌을 사용하고 짝수 그룹에 속하는 전이 금속(여기서는 Fe)과 혼합한 경우, 안정화 에너지는 음의 값을 취한다. 즉, 비공유 전자쌍을 가지는 유기 화합물과 전이 금속의 원자의 상호 작용이 안정화로 이어지는 것을 보여준다.

[0094] 구리 프탈로사이아닌과 Fe의 상호 작용에 의하여, 구리 프탈로사이아닌과 Fe의 복합 재료의 SOMO가 형성된다. 상기 SOMO의 에너지 준위는 구리 프탈로사이아닌의 HOMO 준위와 LUMO 준위 사이에 있다. 따라서, 전자 주입층(130)에 복합 재료를 사용함으로써, 전자 주입성이 높은 발광 소자를 제공할 수 있다.

[0095] <발광 소자의 구조예 2>

[0096] 도 1의 (A) 내지 (C)에 나타낸 발광 소자(150)와 상이한 구조예에 대하여 도 2의 (A) 및 (B)를 참조하여 설명한다.

[0097] 도 2의 (A) 및 (B)는 각각 본 발명의 일 형태의 발광 장치의 단면 모식도이다. 또한 도 2의 (A) 및 (B)에서 도 1의 (A) 내지 (C)와 비슷한 기능을 가지는 부분은 같은 해치 패턴으로 나타내고, 부호로 나타내지 않은 경우가 있다. 또한 비슷한 기능을 가지는 부분에는 공통의 부호를 사용하고, 그런 부분에 대한 자세한 설명을 반복하지 않는 경우가 있다.

[0098] 도 2의 (A)에 나타낸 발광 소자(152)는 한 쌍의 전극(전극(101) 및 전극(102)) 및 한 쌍의 전극 사이의 EL층(105)을 포함한다. EL층(105)은 발광층(140) 및 전자 주입층(130)을 적어도 포함한다. 또한 버퍼층(117)이 포함된다. 버퍼층(117)은 전자 주입층(130)과 전극(102) 사이에 제공된다.

[0099] 도 2의 (A)에 나타낸 EL층(105)은 발광층(140)에 더하여, 정공 주입층(111), 정공 수송층(112), 및 전자 수송층(118) 등의 기능층을 포함한다.

[0100] 전극(102)과 전자 수송층(118) 사이에 제공된 버퍼층(117)에 의하여, 전자 수송층(118), 전자 주입층(130), 및 발광층(140) 등이 산소 및 수분과 접할 확률이 저하되기 때문에, 발광 소자의 습기 저항 및 내산화성을 높일 수 있다.

[0101] 본 발명의 일 형태에서, 전자 주입층(130)에는 상술한 화합물(131)과 전이 금속(132)의 복합 재료를 사용하고, 버퍼층(117)에는 전자 부족형 헥테로방향족 고리를 가지는 유기 화합물을 사용한다. 상술한 바와 같이 전자 부족형 헥테로방향족 고리는 전자 수송성이 높기 때문에 발광 소자의 구동 전압을 저감할 수 있다.

[0102] 전자 주입층(130)과 전극(102) 사이에 버퍼층(117)을 끼우면, 전극(102)과 전자 주입층(130) 사이의 에너지 장벽을 낮출 수 있어 바람직하다. 버퍼층의 두께는 1nm 이상 20nm 이하인 것이 바람직하다. 이러한 구조에 의하여, 높은 전자 수송성을 유지하면서 전자 주입의 장벽을 낮출 수 있다.

[0103] 버퍼층(117)에 사용되는 유기 화합물의 LUMO 준위는 전자 주입층(130)에 형성되는 SOMO 준위보다 낮은 것이 바

람직하다. 이 구조에 의하여, 전자 주입층(130)과 전극(102) 사이의 전자 주입의 장벽을 낮출 수 있다.

- [0104] 또한 상술한 비공유 전자쌍을 가지는 화합물(131)과 전이 금속(132)의 복합 재료를 박막 태양 전지에 사용할 수 있다. 구체적으로는, 박막 태양 전지의 전자 주입층에도 상술한 복합 재료를 적합하게 사용할 수 있다.
- [0105] <발광 소자의 구조에 3>
- [0106] 도 2의 (B)에 나타낸 발광 소자(154)는 한 쌍의 전극(전극(101) 및 전극(102)) 및 한 쌍의 전극 사이의 EL층(107)을 포함한다. EL층(107)은 발광층(140) 및 전자 주입층(130)을 적어도 포함한다. 또한 전하 발생층(160)이 포함된다. 전하 발생층(160)은 전자 주입층(130)과 전극(102) 사이에 제공된다.
- [0107] 도 2의 (B)에 나타낸 EL층(107)은 발광층(140)에 더하여, 정공 주입층(111), 정공 수송층(112), 및 전자 수송층(118) 등의 기능층을 포함한다.
- [0108] 전극(102)과 전자 수송층(118) 사이에 제공된 전하 발생층(160)에 의하여, 전자 수송층(118), 전자 주입층(130), 및 발광층(140) 등에 들어가는 산소 및 수분의 양이 저하되기 때문에, 발광 소자의 습기 저항 및 내산화성을 높일 수 있다.
- [0109] 상술한 바와 같이, 전하 발생층(160)이 정공 수송성 재료 및 전자 수용성 재료를 포함하고, 전자 주입층(130)이 일함수가 낮은 알칼리 금속 또는 알칼리 토금속을 포함한 금속 재료를 포함하는 경우, 전자 주입층(130)에 사용되는 재료로부터 전하 발생층(160)의 전자 수용성 재료가 전자를 추출한다. 따라서, 전하 발생층(160)과 전자 주입층(130) 사이의 계면 근방에서 공핍층이 형성되어, 구동 전압이 상승되는 경우가 있다. 종래에는 공핍층의 형성을 방지하기 위하여, 전자 주입층(130)과 전하 발생층(160) 사이에, 전자를 수송하는 기능을 가지는 층이 필요하였다.
- [0110] 한편, 본 발명의 일 형태의 발광 소자에서는, 전자 주입층(130)이 비공유 전자쌍을 가지는 화합물과 전이 금속의 혼합 재료를 포함하고, 이 경우에는 전하 발생층(160)의 전자 수용성을 가지는 재료에 의하여 전자가 거의 추출되지 않는다. 따라서, 상술한 공핍층의 형성 없이 전하 발생층(160)을 제공할 수 있으므로, 적층수가 적고 낮은 구동 전압으로 구동되는 발광 소자를 제작할 수 있다.
- [0111] 전하 발생층(160)의 두께는 특별히 한정되지 않고 적절히 제어할 수 있다. 예를 들어, 발광층(140)부터 전극(102)까지의 두께를 제어함으로써, 발광층(140)으로부터 방출되는 광을 발광 소자의 외부에 효율적으로 추출할 수 있다. 즉, 전하 발생층(160)의 두께를 제어함으로써 광 추출 효율을 높일 수 있다.
- [0112] 전하 발생층(160)은 전극(102)과 접하는 것이 바람직하다. 이 구조에 의하여, 전극(102)과 EL층(107) 사이의 전자 주입의 장벽을 낮출 수 있음으로써, 발광 소자의 구동 전압을 저감할 수 있다. 전하 발생층(160)은 전자 주입층(130)과 접하는 것이 더 바람직하다. 상술한 바와 같이 본 발명의 일 형태에서는, 전하 발생층(160)이 전자 주입층(130)과 접하는 경우에도 구동 전압이 낮은 발광 소자를 제작할 수 있다. 이 구조에 의하여, EL층(107)의 적층수를 줄일 수 있다.
- [0113] 전하 발생층(160)의 전자 수용성 재료로서는 전이 금속 산화물을 적합하게 사용할 수 있다. 전이 금속 산화물의 예에는 산화 타이타늄, 산화 바나듐, 산화 탄탈럼, 산화 몰리브데넘, 산화 텅스텐, 산화 레늄, 산화 루테튬, 산화 크로뮴, 산화 지르코늄, 산화 하프늄, 및 산화 은이 포함된다. 이들 중, 산화 몰리브데넘은 대기에서 안정성이 높고, 흡습성이 낮고, 저렴하기 때문에 특히 바람직하다. 전이 금속 산화물을 사용함으로써 전극(102)과 전하 발생층(160) 사이의 전자 주입의 장벽을 낮출 수 있다. 따라서, 본 발명의 일 형태는 전자 주입층(130)이 전이 금속 원소를 포함하고 전하 발생층(160)이 전이 금속 원소를 포함하는 발광 소자이다. 또한 전하 발생층(160)의 전자 수용성 재료는 상술한 화합물에 한정되지 않는다.
- [0114] 전하 발생층(160)의 정공 수송성 재료로서는 피롤 골격, 싸이오펜 골격, 푸란 골격, 및 방향족 아민 골격 중 하나를 가지는 유기 화합물을 사용하는 것이 바람직하다. 상기 골격을 가지는 유기 화합물은 정공 수송성이 높기 때문에, 상기 골격을 가지는 유기 화합물이 전하 발생층(160)에 사용되는 경우, 발광 소자의 구동 전압을 저감할 수 있다. 전하 발생층(160)의 정공 수송성 재료는 상술한 화합물에 한정되지 않는다.
- [0115] <발광 소자의 구조에 4>
- [0116] 도 1의 (A) 내지 (C)에 나타낸 발광 소자(150) 그리고 도 2의 (A) 및 (B)에 나타낸 발광 소자(152 및 154)의 구조와 상이한 구조예에 대하여 도 49의 (A) 및 (B)를 참조하여 아래에서 설명한다.
- [0117] 도 49의 (A) 및 (B)는 발광 소자(2250a) 및 발광 소자(2250b)의 단면 모식도이다.

- [0118] 발광 소자(2250a 및 2250b) 각각은 기관(2200) 위에 전극(2101), 전극(2102), 전극(2103), 및 전극(2104)을 포함한다. 전극(2101)과 전극(2102) 사이, 전극(2102)과 전극(2103) 사이, 및 전극(2102)과 전극(2104) 사이에는 적어도 발광 유닛(2106), 발광 유닛(2108), 및 전자 주입층(2130)이 제공된다. 발광 유닛(2106)과 발광 유닛(2108) 사이에는 전하 발생층(2115)이 제공된다. 또한 발광 유닛(2106) 및 발광 유닛(2108)은 같은 구조를 가져도 좋고, 상이한 구조를 가져도 좋다.
- [0119] 발광 유닛(2106)과 발광 유닛(2108) 사이에 제공되는 전하 발생층(2115)은, 예를 들어 전극(2101)과 전극(2102) 사이에 전압이 인가된 경우에 한쪽의 발광 유닛에 전자가 주입되고 다른 쪽의 발광 유닛에 정공이 주입되도록 구성된다. 예를 들어 도 49의 (A) 및 (B)에서, 전극(2102)의 전위가 전극(2101)의 전위보다 높아지도록 전압이 인가된 경우, 전하 발생층(2115)은 발광 유닛(2106)에 전자를 주입하고 발광 유닛(2108)에 정공을 주입한다.
- [0120] 발광 유닛(2106)은 예를 들어, 정공 주입층(2111), 정공 수송층(2112), 발광층(2140), 및 전자 수송층(2113)을 포함한다. 발광 유닛(2108)은 예를 들어, 정공 주입층(2116), 정공 수송층(2117), 발광층(2170), 전자 수송층(2118), 및 전자 주입층(2119)을 포함한다.
- [0121] 도 49의 (A) 및 (B)에 나타난 바와 같이, 전자 주입층(2130)은 전자 수송층(2113)과 인접하고 발광 유닛(2108)과 전자 수송층(2113) 사이에 제공되는 것이 바람직하다. 전하 발생층(2115)은 전자 주입층(2130)과 인접하고 전자 주입층(2130)과 발광 유닛(2108) 사이에 위치하는 것이 바람직하다. 이 구조에 의하여, 전자는 발광 유닛(2106)에 효율적으로 수송될 수 있다.
- [0122] 또한 발광 소자의 구조예에서는, 전극(2101), 전극(2103), 및 전극(2104)이 양극으로서 사용되고 전극(2102)이 음극으로서 사용되지만, 발광 소자(2250a) 및 발광 소자(2250b)의 구조는 이에 한정되지 않는다. 즉, 전극(2101), 전극(2103), 및 전극(2104)이 음극이고 전극(2102)이 양극이고, 전극들 사이의 층들의 적층 순서가 거꾸로 되어도 좋다. 즉, 발광 유닛(2106)에서 양극 측으로부터 정공 주입층(2111), 정공 수송층(2112), 발광층(2140), 전자 수송층(2113), 및 전자 주입층(2130)이 이 순서대로 적층되고, 발광 유닛(2108)에서 양극 측으로부터 정공 주입층(2116), 정공 수송층(2117), 발광층(2170), 전자 수송층(2118), 및 전자 주입층(2119)이 이 순서대로 적층된다.
- [0123] 발광 소자(2250a) 및 발광 소자(2250b)의 구조는 도 49의 (A) 및 (B)에 나타난 구조에 한정되지 않는다. 적어도 발광층(2140), 발광층(2170), 전하 발생층(2115), 및 전자 주입층(2130)이 발광 소자(2250a 및 2250b) 각각에 포함되지만, 정공 주입층(2111), 정공 주입층(2116), 정공 수송층(2112), 정공 수송층(2117), 전자 수송층(2113), 전자 수송층(2118), 및 전자 주입층(2119)은 선택적으로 포함되어도 좋다.
- [0124] 층은 한 쌍의 전극 사이에 형성되지만 하면 상술한 층에 한정되지 않는다. 바꿔 말하면, 한 쌍의 전극 사이의 층은 정공 또는 전자의 주입의 장벽을 낮추거나, 정공 또는 전자의 수송성을 높이거나, 정공 또는 전자의 수송성을 저해하거나, 또는 전극으로 인한 소광 현상을 억제하는 등의 기능을 가지는 층을 포함하여도 좋다.
- [0125] 또한 발광 유닛(2108)의 면과 같이, 발광 유닛의 양극 측의 면이 전하 발생층(2115)과 접하면, 전하 발생층(2115)이 발광 유닛(2108)의 전자 주입층으로서도 기능할 수 있는 경우가 있기 때문에, 이러한 경우에는 정공 주입층을 발광 유닛에 반드시 형성할 필요는 없다.
- [0126] 도 49의 (A) 및 (B)에는 2개의 발광 유닛을 각각 가지는 발광 소자를 나타내었지만, 비슷한 구조를 3개 이상의 발광 유닛이 적층된 발광 소자에 적용할 수 있다. 발광 소자(2250a 및 2250b)와 같이 한 쌍의 전극 사이에, 전하 발생층에 의하여 분할된 복수의 발광 유닛을 배치하는 경우, 전류 밀도를 낮게 유지하면서 수명이 긴 고휘도의 발광 소자를 실현할 수 있다. 또한 저소비전력의 발광 소자를 얻을 수 있다.
- [0127] 발광 소자(2250a)에서, 전극(2101), 전극(2103), 및 전극(2104) 각각은 가시광을 반사하는 기능을 가지고, 전극(2102)은 가시광을 투과시키는 기능을 가진다. 발광 소자(2250b)에서, 전극(2101), 전극(2103), 및 전극(2104) 각각은 가시광을 투과시키는 기능을 가지고, 전극(2102)은 가시광을 반사하는 기능을 가진다.
- [0128] 따라서, 발광 소자(2250a)로부터 방출되는 광은 전극(2102)을 통하여 외부에 추출되고, 발광 소자(2250b)로부터 방출되는 광은 전극(2101), 전극(2103), 및 전극(2104)을 통하여 외부에 추출된다. 그러나, 본 발명의 일 형태는 이에 한정되지 않고, 발광 소자가 형성되는 기관(2200)의 위 방향 및 아래 방향의 양쪽에 광이 추출되는 듀얼 이미션 발광 소자를 채용하여도 좋다.
- [0129] 전극(2101)은 도전층(2101a), 및 도전층(2101a) 위에 접하는 도전층(2101b)을 포함한다. 전극(2103)은 도전층(2103a), 및 도전층(2103a) 위에 접하는 도전층(2103b)을 포함한다. 전극(2104)은 도전층(2104a), 및 도전층

(2104a) 위에 접하는 도전층(2104b)을 포함한다.

- [0130] 도전층(2101b), 도전층(2103b), 및 도전층(2104b) 각각은 가시광을 투과시키는 기능을 가진다. 발광 소자(2250a)에서 도전층(2101a), 도전층(2103a), 및 도전층(2104a) 각각은 가시광을 반사하는 기능을 가진다. 발광 소자(2250b)에서 도전층(2101a), 도전층(2103a), 및 도전층(2104a) 각각은 가시광을 투과시키는 기능을 가진다.
- [0131] 도 49의 (A)에 나타난 발광 소자(2250a) 및 도 49의 (B)에 나타난 발광 소자(2250b) 각각은, 전극(2101)과 전극(2102)에 끼워진 영역(2222B), 전극(2102)과 전극(2103)에 끼워진 영역(2222G), 및 전극(2102)과 전극(2104)에 끼워진 영역(2222R) 사이에 격벽(2145)을 포함한다. 격벽(2145)은 절연성을 가진다. 격벽(2145)은 전극(2101, 2103, 및 2104)의 단부를 덮고 이들 전극과 중첩되는 개구를 가진다. 격벽(2145)에 의하여, 이들 영역에서의 기관(2200) 위에 제공된 전극을 섬 형상으로 분리할 수 있다.
- [0132] 도 49의 (A) 및 (B)에서는 정공 주입층(2111), 정공 주입층(2116), 정공 수송층(2112), 정공 수송층(2117), 발광층(2140), 발광층(2170), 전자 수송층(2113), 전자 수송층(2118), 전자 주입층(2119), 전하 발생층(2115), 및 전극(2102)은 분리하지 않고 이들 영역에 제공하였지만, 이들 영역 각각에서 분리하여 제공하여도 좋다.
- [0133] 본 발명의 일 형태의 발광 소자(2250a 및 2250b) 각각에서는, 영역(2222B)의 한 쌍의 전극(전극(2101) 및 전극(2102)) 사이, 영역(2222G)의 한 쌍의 전극(전극(2102) 및 전극(2103)) 사이, 및 영역(2222R)의 한 쌍의 전극(전극(2102) 및 전극(2104)) 사이의 전압 인가에 의하여, 음극으로부터 전자 주입층(2119)에 대한 전자 주입, 및 양극으로부터 정공 주입층(2111)에 대한 정공 주입이 가능해지므로, 전류가 흐른다. 전하 발생층(2115)으로부터 전자 주입층(2130)에 전자가 주입되고, 전하 발생층(2115)으로부터 정공 주입층(2116)에 정공이 주입된다. 주입된 캐리어(전자 및 정공)가 재결합함으로써 여기자가 형성된다. 발광 재료를 포함하는 발광층(2140) 및 발광층(2170)에서 캐리어(전자 및 정공)가 재결합하여 여기자가 형성되면, 발광층(2140) 및 발광층(2170)의 발광 재료가 여기 상태가 되어 발광 재료로부터 발광이 야기된다.
- [0134] 발광층(2140) 및 발광층(2170) 각각은 자색, 청색, 청록색, 녹색, 황록색, 황색, 등황색, 주황색, 및 적색의 광을 방출하는 발광 재료 중 어느 하나 또는 복수를 포함하는 것이 바람직하다.
- [0135] 발광층(2140) 및 발광층(2170) 각각은 2층 구조를 가져도 좋다. 상이한 색의 광을 방출하는 2종류의 발광 재료(제 1 화합물 및 제 2 화합물)를 각각 포함하는 2개의 발광층에 의하여 복수의 색의 광을 방출할 수 있다. 발광층들로부터의 발광을 조합함으로써 백색 광 또는 백색에 가까운 광을 얻을 수 있도록 발광층(2140) 및 발광층(2170)의 발광 재료를 선택하는 것이 특히 바람직하다.
- [0136] 발광층(2140 및 2170) 중 한쪽 또는 양쪽은, 발광 재료를 포함하지 않는 층을 포함하는, 3층 이상으로 이루어지는 적층 구조를 가져도 좋고,
- [0137] 발광 소자(2250a 및 2250b) 각각은 영역(2222B)으로부터 방출되는 광, 영역(2222G)으로부터 방출되는 광, 및 영역(2222R)으로부터 방출되는 광이 추출되는 방향으로, 광학 소자(2224B), 광학 소자(2224G), 및 광학 소자(2224R)가 제공된 기관(2220)을 포함한다. 각 영역으로부터 방출되는 광은 각 광학 소자를 통하여 발광 소자 외부에 방출된다. 바꿔 말하면, 영역(2222B)으로부터의 광, 영역(2222G)으로부터의 광, 및 영역(2222R)으로부터의 광은 각각, 광학 소자(2224B), 광학 소자(2224G), 및 광학 소자(2224R)를 통하여 방출된다.
- [0138] 광학 소자(2224B, 2224G, 및 2224R) 각각은 입사광으로부터 특정의 색의 광을 선택적으로 투과시키는 기능을 가진다. 예를 들어, 광학 소자(2224B)를 통하여 영역(2222B)으로부터 방출되는 광은 청색 광이고, 광학 소자(2224G)를 통하여 영역(2222G)으로부터 방출되는 광은 녹색 광이고, 광학 소자(2224R)를 통하여 영역(2222R)으로부터 방출되는 광은 적색 광이다.
- [0139] 또한 도 49의 (A) 및 (B)에서는 광학 소자를 통하여 영역으로부터 방출되는 청색 광(B), 녹색 광(G), 및 적색 광(R)을 파선의 화살표로 모식적으로 나타내었다. 도 49의 (A)에 나타난 발광 소자(2250a)는 톱 이미션 발광 소자이고, 도 49의 (B)에 나타난 발광 소자(2250b)는 보텀 이미션 발광 소자이다.
- [0140] 광학 소자들 사이에는 차광층(2223)이 제공된다. 차광층(2223)은 인접한 영역들로부터 방출되는 광을 차단하는 기능을 가진다. 또한 차광층(2223)이 없는 구조를 채용하여도 좋다. 광학 소자(2224B, 2224G, 및 2224R) 중 하나 이상이 제공되지 않는 구조를 채용하여도 좋다. 광학 소자(2224B), 광학 소자(2224G), 또는 광학 소자(2224R)가 제공되지 않는 구조에 의하여, 발광 소자로부터 방출되는 광의 추출 효율을 높일 수 있다.
- [0141] 전하 발생층(2115)은, 정공 수송성 재료에 전자 수용체(억셉터)가 첨가되어 얻어진 재료, 또는 전자 수송성 재

료에 전자 공여체(도너)가 첨가되어 얻어진 재료로 형성될 수 있다.

- [0142] 발광 소자의 구동 전압을 저감하기 위해서는, 전하 발생층(2115)에서 생긴 전자가 전자 수송층(2113)에 원활하게 주입되고 수송되도록, 전하 발생층(2115)으로부터 전자 수송층(2113)으로의 전자 주입의 장벽을 낮추는 것이 바람직하다. 따라서, 전하 발생층(2115)과 전자 수송층(2113) 사이에 전자 주입층(2130)을 제공하는 것이 바람직하다. 전자 주입층(2119) 및 전자 주입층(2130)은 전자 주입성이 높은 것이 요구되기 때문에, 리튬(Li) 또는 세슘(Cs) 등의 알칼리 금속, 알칼리 금속의 화합물, 칼슘(Ca) 등의 알칼리 토금속, 또는 알칼리 토금속의 화합물이 전자 주입층(2119 및 2130)에 사용된다. 그러나, 상기 금속 또는 상기 화합물을 전자 주입층(2130)에 사용하는 경우, 예를 들어 도 50의 (A) 및 (B)에 나타난 바와 같이 전극(2103)과 전극(2102) 사이의 전압 인가에 의하여 전류가 영역(2222G)을 흐르게 될 때, 전자 주입층(2130) 및 전자 수송층(2113)을 통하여 영역(2222G)에 인접한 영역(2222B 및 2222R)에도 전류가 흐름으로써, 영역(2222G)뿐만 아니라, 영역(2222G)에 인접한 영역(2222B 및 2222R)으로부터도 광이 방출되는 경우가 있다(이 현상은 크로스토크라고 불림). 또한 도 50의 (A) 및 (B)에서는 영역(2222G, 2222R, 및 2222B)을 흐르는 전류를 실선 화살표로 가리킨다.
- [0143] 상술한 바와 같이 발광 소자에서 크로스토크가 일어나는 경우, 원하는 영역(예를 들어 영역(2222G))뿐만 아니라 다른 영역(예를 들어 영역(2222B 및 2222R))으로부터도 광이 방출되어, 발광 소자(2250a 및 2250b)로부터 방출되는 광의 색 순도 또는 강도의 저하를 일으키는 경우가 있다.
- [0144] 전하 발생층(2115)과 전자 수송층(2113)에 끼워진 전자 주입층(2130)으로부터 알칼리 금속, 알칼리 토금속, 혹은 알칼리 금속 또는 알칼리 토금속의 화합물이 전자 수송층(2113)에 확산되어 전자 수송층(2113)의 도전성(특히, 전압 인가 방향에 수직인 방향의 도전성)이 높아지는 것이 크로스토크의 한 원인이다. 특히, 전자 주입층(2130)에서의 원자 번호가 작은 금속(예를 들어 Li 또는 Ca) 또는 이들의 화합물이 전자 수송층(2113)으로 확산되기 쉽다. 따라서, 크로스토크를 억제하는 관점에서는 전자 주입층(2130)에 알칼리 금속 및 알칼리 토금속이 포함되지 않는 것이 바람직하다. 한편, 알칼리 금속, 알칼리 토금속, 혹은 알칼리 금속 또는 알칼리 토금속의 화합물이 전자 주입층(2130)에 포함되지 않는 경우, 전하 발생층(2115)으로부터 전자 수송층(2113)으로의 전자 주입의 장벽이 높아져 전자가 전자 수송층(2113)에 주입되기 어려워지므로, 그 결과 발광 소자의 구동 전압이 상승되거나 또는 발광 효율이 저하되는 경우가 있다.
- [0145] 따라서, 발광 소자의 구동 전압을 저감하고, 발광 소자의 발광 효율을 높이고, 크로스토크를 억제하기 위해서는, 전자 주입성이 높고 확산되기 어려운 금속을 전자 주입층(2130)에 사용하는 것이 바람직하다. 확산되기 어렵고 전자 주입층(2130)에 사용되는 금속으로서 원자 반경이 긴 금속을 사용하는 것이 바람직하다. 또한 원자량이 큰 금속을 사용하는 것이 바람직하다.
- [0146] 그러나, 확산되기 어려운, 원자 반경이 길거나 또는 원자량이 큰 금속을 전자 주입층(2130)에 사용하는 경우, 전하 발생층(2115)과 전자 수송층(2113) 사이에 전자 주입의 장벽이 형성되어, 발광 소자의 구동 전압 상승 및 발광 효율 저하를 일으키는 경우가 있다.
- [0147] 이것을 감안하여, 본 발명자들은, 조합하여 SOMO를 형성하는 화합물과 전이 금속의 복합 재료를 발광 소자의 전하 발생층(2115)에 인접한 전자 주입층(2130)에 사용하면, 발광 소자는 양호한 전자 주입성을 가질 수 있고 발광 소자에서 크로스토크가 억제되는 것을 발견하였다.
- [0148] 본 발명의 일 형태의 발광 소자는 복수의 발광 유닛이 제공되고, 비공유 전자쌍을 가지는 유기 화합물과 전이 금속의 복합 재료를 포함한 전자 주입층(2130)이 발광 유닛들 사이에 제공된 발광 소자이다.
- [0149] 전이 금속은 원자량이 크고 유기 화합물 내를 확산되기 어렵기 때문에, 크로스토크가 억제된 발광 소자를 제공할 수 있다.
- [0150] 또한 상기 비공유 전자쌍을 가지는 유기 화합물은 전자를 수송하기 때문에, 적어도 π 공액계를 포함하는 것이 바람직하다. 이 경우, π 전자(P_z 궤도)를 가지는 원자가 상기 비공유 전자쌍을 가지거나, 또는 π 전자(P_z 궤도)를 가지는 원자에 결합된(인접한) 원자가 상기 비공유 전자쌍을 포함하는 것이 바람직하다.
- [0151] 도 1의 (A) 내지 (C)에 나타난 전이 금속(132)과 화합물(131)의 복합 재료가 전자 주입층(2130)에 포함되는 경우, 화합물(131)과 전이 금속(132)의 원자의 상호 작용에 의하여 형성되는 HOMO 준위는 유기 화합물(131)의 HOMO 준위와 같은 정도인 것이 바람직하다. 전자를 수송하는 기능을 가지는 유기 화합물을 화합물(131)에 사용하는 경우, 화합물(131)의 HOMO 준위는 낮고 정공이 화합물(131)에 주입되기 어렵다. 따라서, 화합물(131)과 전이 금속(132)의 상호 작용에 의하여 형성되는 HOMO 준위가 유기 화합물(131)의 HOMO 준위와 같은 정도인 경우, 전자 주입층(2130)과 전하 발생층(2115) 사이의 정공 주입의 장벽이 높아지기 때문에, 전자 주입층(213

0)으로부터 전하 발생층(2115)으로 정공이 통과하기 어렵고, 발광 소자의 배리어 밸런스를 향상할 수 있다.

[0152] SOMO는 하나의 전자만을 가지는 궤도이기 때문에, 전자 주입층(2119) 및 전자 주입층(2130)에 상술한 복합 재료를 사용하는 경우, 발광 소자(2250a) 및 발광 소자(2250b)에 전압을 인가함으로써 SOMO 내의 전자가 발광 소자에서 캐리어로서 기능하고 전자 수송층(2113) 및 발광층(2140)에 수송된다. 또한 전하 발생층(2115)으로부터 전자 주입층(2130)에 전자를 쉽게 주입할 수 있다. 즉, 조합하여 SOMO를 형성하는 재료들을 전자 주입층(2130)이 포함하는 경우, 전하 발생층(2115)으로부터 발광 유닛(2106)에 전자를 쉽게 주입할 수 있다. SOMO 준위는 화합물(2131)의 LUMO 준위보다 낮은 것이 바람직하다. 따라서, 화합물(131)의 LUMO 준위는 높은 것이 바람직하다. 구체적으로, 화합물(131)의 LUMO 준위는 -3.6eV 이상 -2.3eV 이하인 것이 바람직하다. 이러한 LUMO 준위를 가지는 유기 화합물과 전이 금속을 혼합하면, 유기 화합물과 전이 금속의 상호 작용에 의하여 전자 주입에 적합한 SOMO 준위가 형성됨으로써, 전자 주입층(2130)과 전하 발생층(2115) 사이의 전자 주입의 장벽을 낮출 수 있다.

[0153] 화합물(131)과 전이 금속(132)의 상호 작용을 통하여 SOMO를 형성함으로써, 전자 주입층(130)에 홀전자가 형성된다. 따라서, SOMO의 형성은 ESR에 의하여 관찰할 수 있다. 전하 발생층(2115)으로부터 발광층(2140)에 전자를 양호하게 주입하기 위해서는, SOMO에서 유래하는 스핀 밀도는 1×10^{16} spins/cm³ 이상인 것이 바람직하고, 5×10^{16} spins/cm³ 이상인 것이 더 바람직하고, 1×10^{17} spins/cm³ 이상인 것이 더욱 바람직하다. 크로스토크를 억제하기 위해서는, SOMO에서 유래하는 스핀 밀도는 5×10^{17} spins/cm³ 이하인 것이 바람직하다.

[0154] <발광 소자의 구성 요소>

[0155] 도 1의 (A) 내지 (C), 도 2의 (A) 및 (B), 도 49의 (A) 및 (B), 그리고 도 50의 (A) 및 (B)에 나타난 발광 소자의 구성 요소에 대하여 아래에서 자세히 설명한다.

[0156] <<전자 주입층>>

[0157] 전자 주입층(130, 2130, 및 2119)은 전자 주입성이 높은 물질을 각각 포함한 층이고, 이들 층에는 상술한 비공유 전자쌍을 가지는 유기 화합물과 전이 금속의 복합 재료를 적합하게 사용할 수 있다. 전자 주입층(130, 2130, 및 2119)에 사용되는 유기 화합물로서는, 전자 수송성이 높은 재료를 사용하는 것이 바람직하고, 구체적으로는 예를 들어, 아래에서 설명하는 금속 착체 또는 헤테로방향족 화합물을 사용할 수 있다.

[0158] 전자 주입층(130), 전자 주입층(2130), 및 전자 주입층(2119)에는, 퀴놀린 배위자, 벤조퀴놀린 배위자, 옥사졸 배위자, 또는 싸이아졸 배위자를 가지는 금속 착체, 피리딘 유도체, 피리미딘 유도체, 피라진 유도체, 트리아진 유도체, 옥사다리아졸 유도체, 트리아아졸 유도체, 또는 페난트롤린 유도체 등을 사용할 수 있다. 구체적으로는 Alq₃, Almq₃, BeBq₂, Balq, 비스(8-퀴놀리노레이트)아연(II)(약칭: Znq), 비스[2-(2-벤즈옥사졸릴)페놀레이트]아연(II)(약칭: ZnPBO), 또는 비스[2-(2-벤조싸이아졸릴)페놀레이트]아연(II)(약칭: ZnBTZ) 등의 금속 착체를 사용할 수 있다. 또한 2-(4-바이페닐릴)-5-(4-tert-뷰틸페닐)-1,3,4-옥사다리아졸(약칭: PBD), 1,3-비스[5-(p-tert-뷰틸페닐)-1,3,4-옥사다리아졸-2-일]벤젠(약칭: OXD-7), 9-[4-(5-페닐-1,3,4-옥사다리아졸-2-일)페닐]-9H-카바졸(약칭: C011), 3-(4-바이페닐릴)-4-페닐-5-(4-tert-뷰틸페닐)-1,2,4-트리아아졸(약칭: TAZ), 3-(4-tert-뷰틸페닐)-4-(4-에틸페닐)-5-(4-바이페닐릴)-1,2,4-트리아아졸(약칭: p-EtTAZ), 4,4'-비스(5-메틸벤즈옥사졸-2-일)스틸벤(약칭: BzOs), 2,2',2''-(1,3,5-벤젠트라이일)트리스(1-페닐-1H-벤즈이미다졸)(약칭: TPBI), 및 2-[3-(다이벤조싸이오펜-4-일)페닐]-1-페닐-1H-벤즈이미다졸(약칭: mDBTBI-1) 등의 아졸 골격을 가지는 헤테로고리 화합물; 2-[3-(다이벤조싸이오펜-4-일)페닐]다이벤조[f,h]퀴녹살린(약칭: 2mDBTPDBq-II), 2-[3'-(다이벤조싸이오펜-4-일)바이페닐-3-일]다이벤조[f,h]퀴녹살린(약칭: 2mDBTPDBq-II), 2-[3'-(9H-카바졸-9-일)바이페닐-3-일]다이벤조[f,h]퀴녹살린(약칭: 2mCzBPDBq), 2-[4-(3,6-다이페닐-9H-카바졸-9-일)페닐]다이벤조[f,h]퀴녹살린(약칭: 2CzPDBq-III), 7-[3-(다이벤조싸이오펜-4-일)페닐]다이벤조[f,h]퀴녹살린(약칭: 7mDBTPDBq-II), 6-[3-(다이벤조싸이오펜-4-일)페닐]다이벤조[f,h]퀴녹살린(약칭: 6mDBTPDBq-II), 4,6-비스[3-(페난트렌-9-일)페닐]피리미딘(약칭: 4,6mPnP2Pm), 4,6-비스[3-(4-다이벤조싸이엔일)페닐]피리미딘(약칭: 4,6mDBTP2Pm-II), 4,6-비스[3-(9H-카바졸-9-일)페닐]피리미딘(약칭: 4,6mCzP2Pm), 및 4-{3-[3'-(9H-카바졸-9-일)]바이페닐-3-일}벤조퓨로[3,2-d]피리미딘(약칭: 4mCzBPBfpm) 등의 다이아진 골격을 가지는 헤테로고리 화합물; 2-{4-[3-(N-페닐-9H-카바졸-3-일)-9H-카바졸-9-일]페닐}-4,6-다이페닐-1,3,5-트리아진(약칭: PCCzPTzn), 2,4,6-트리스[3'-(피리딘-3-일)바이페닐-3-일]-1,3,5-트리아진(약칭: TmPPPyTz), 및 2,4,6-트리스(2-피리딜)-1,3,5-트리아진(약칭: 2Py3Tzn) 등의 트리아진 골격을 가지는 헤테로고리 화합물; 그리고 3,5-비스[3-(9H-카바졸-9-일)페닐]피리딘(약칭: 35DCzPPy), 1,3,5-트라이[3-(3-피리딜)페닐]벤젠(약칭:

TmPyPB), 바소큐프로인(약칭: BCP), 및 2,9-비스(나프탈렌-2-일)-4,7-다이페닐-1,10-페난트롤린(약칭: NBPhen) 등의 피리딘 골격을 가지는 헤테로고리 화합물 중 임의의 것을 사용할 수 있다. 상술한 재료 중, 다이아진 골격 및 트리아진 골격을 가지는 헤테로고리 화합물, 그리고 피리딘 골격을 가지는 헤테로고리 화합물은 신뢰성이 높으므로 바람직하다. 다이아진(피리미딘 또는 피라진) 골격 및 트리아진 골격을 가지는 헤테로고리 화합물은 전자 수송성이 높고 구동 전압의 저감에 기여한다. 여기에 열거한 물질은 주로 전자 이동도가 $1 \times 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 이상인 물질이다. 정공 수송성보다 전자 수송성이 높기만 하면 다른 물질을 전자 주입층(130), 전자 주입층(2130), 및 전자 주입층(2119)에 사용하여도 좋다.

[0159] <<정공 주입층>>

[0160] 정공 주입층(111 및 2111) 각각은 한 쌍의 전극 중 하나(전극(101) 또는 전극(102), 혹은 전극(2101) 또는 전극(2102))로부터의 정공 주입의 장벽을 낮춤으로써 정공 주입을 촉진하는 기능을 가지고, 정공 주입층(2116)은 전하 발생층(2115)으로부터의 정공 주입의 장벽을 낮춤으로써 정공 주입을 촉진하는 기능을 가진다. 정공 주입층(111, 2111, 및 2116)은 예를 들어 전이 금속 산화물, 프탈로사이아닌 유도체, 또는 방향족 아민을 사용하여 각각 형성된다. 전이 금속 산화물로서는, 산화 몰리브데넘, 산화 바나듐, 산화 루테튬, 산화 텅스텐, 또는 산화 마그네슘 등을 들 수 있다. 프탈로사이아닌 유도체로서는 프탈로사이아닌 또는 금속 프탈로사이아닌 등을 들 수 있다. 방향족 아민으로서는 벤지딘 유도체 또는 페닐렌다이아민 유도체 등을 들 수 있다. 폴리싸이오펜 또는 폴리아닐린 등의 고분자 화합물을 사용할 수도 있고, 그 대표적인 예는 자기 도핑된 폴리싸이오펜인 폴리(에틸렌다이옥시싸이오펜)/폴리(스타이렌설폰산)이다.

[0161] 정공 주입층(111, 2111, 및 2116) 각각으로서, 정공 수송성 재료와 이 정공 수송성 재료로부터 전자를 받는 성질을 가지는 재료의 복합 재료를 포함한 층을 사용할 수도 있다. 또는, 전자 수용성을 가지는 재료를 포함한 층과 정공 수송성 재료를 포함한 층의 적층을 사용하여도 좋다. 정상(定常) 상태 또는 전계 존재하에서 이들 재료 사이를 전하가 이동할 수 있다. 전자 수용성을 가지는 재료의 예로서는, 퀴노다이메테인 유도체, 클로라닐 유도체, 및 헥사아자트라이페닐렌 유도체 등의 유기 역셉터를 들 수 있다. 구체적인 예는 7,7,8,8-테트라시아노-2,3,5,6-테트라플루오로퀴노다이메테인(약칭: F₄-TCNQ), 클로라닐, 또는 2,3,6,7,10,11-헥사시아노-1,4,5,8,9,12-헥사아자트라이페닐렌(약칭: HAT-CN) 등의 전자 흡인기(할로젠기 또는 사이아노기)를 가지는 화합물이다. 또는 4족 내지 8족 금속의 산화물 등의 전이 금속 산화물을 사용할 수도 있다. 구체적으로는 산화 바나듐, 산화 나이오븀, 산화 탄탈럼, 산화 크로뮴, 산화 몰리브데넘, 산화 텅스텐, 산화 망가니즈, 또는 산화 레늄 등을 사용할 수 있다. 특히, 산화 몰리브데넘은 대기 중에서 안정적이고 흡습성이 낮고 취급하기 쉽기 때문에 바람직하다.

[0162] 정공 수송성 재료로서는 전자보다 정공을 더 수송하는 성질을 가지는 재료를 사용할 수 있고, 정공 이동도가 $1 \times 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 이상인 재료가 바람직하다. 구체적으로는, 발광층(140)에 사용할 수 있는 정공 수송성 재료의 예로서 기재한 방향족 아민, 카바졸 유도체, 방향족 탄화수소, 및 스틸벤 유도체 등 중 임의의 것을 사용할 수 있다. 또한 정공 수송성 재료는 고분자 화합물이어도 좋다.

[0163] 정공 수송성 재료의 다른 예로서는, 2-*tert*-뷰틸-9,10-다이(2-나프틸)안트라센(약칭: t-BuDNA), 2-*tert*-뷰틸-9,10-다이(1-나프틸)안트라센, 9,10-비스(3,5-다이페닐페닐)안트라센(약칭: DPPA), 2-*tert*-뷰틸-9,10-비스(4-페닐페닐)안트라센(약칭: t-BuDBA), 9,10-다이(2-나프틸)안트라센(약칭: DNA), 9,10-다이페닐안트라센(약칭: DPAnth), 2-*tert*-뷰틸안트라센(약칭: t-BuAnth), 9,10-비스(4-메틸-1-나프틸)안트라센(약칭: DMNA), 2-*tert*-뷰틸-9,10-비스[2-(1-나프틸)페닐]안트라센, 9,10-비스[2-(1-나프틸)페닐]안트라센, 2,3,6,7-테트라메틸-9,10-다이(1-나프틸)안트라센, 2,3,6,7-테트라메틸-9,10-다이(2-나프틸)안트라센, 9,9'-바이안트릴, 10,10'-다이페닐-9,9'-바이안트릴, 10,10'-비스(2-페닐페닐)-9,9'-바이안트릴, 10,10'-비스[(2,3,4,5,6-펜타페닐)페닐]-9,9'-바이안트릴, 안트라센, 테트라센, 루브렌, 페릴렌, 및 2,5,8,11-테트라(*tert*-뷰틸)페릴렌 등의 방향족 탄화수소를 들 수 있다. 다른 예에는 펜타센 및 코로넨 등이 있다. 정공 이동도가 $1 \times 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 이상이고 탄소수 14 내지 42의 방향족 탄화수소가 특히 바람직하다.

[0164] 방향족 탄화수소는 바이닐 골격을 가져도 좋다. 바이닐기를 가지는 방향족 탄화수소로서는 예를 들어 4,4'-비스(2,2-다이페닐바이닐)바이페닐(약칭: DPVBi) 및 9,10-비스[4-(2,2-다이페닐바이닐)페닐]안트라센(약칭: DPVPA) 등이 있다.

[0165] 다른 예는 4-{3-[3-(9-페닐-9*H*-플루오렌-9-일)페닐]페닐}다이벤조퓨란(약칭: mmDBFFLBi-II), 4,4',4'-(벤젠-

1,3,5-트라이일)트라이(다이벤조퓨란)(약칭: DBF3P-II), 1,3,5-트라이(다이벤조싸이오펜-4-일)벤젠(약칭: DBT3P-II), 2,8-다이페닐-4-[4-(9-페닐-9H-플루오렌-9-일)페닐]다이벤조싸이오펜(약칭: DBTFLP-III), 4-[4-(9-페닐-9H-플루오렌-9-일)페닐]-6-페닐다이벤조싸이오펜(약칭: DBTFLP-IV), 및 4-[3-(트라이페닐렌-2-일)페닐]다이벤조싸이오펜(약칭: mDBTPTp-II) 등의 싸이오펜 화합물, 퓨란 화합물, 플루오렌 화합물, 트라이페닐렌 화합물, 및 페난트렌 화합물 등이다. 상술한 화합물 중에서, 피롤 골격, 퓨란 골격, 싸이오펜 골격, 또는 방향족 아민 골격을 포함한 화합물은 안정성 및 신뢰성이 높기 때문에 바람직하다. 또한 이러한 골격을 가지는 화합물은 정공 수송성이 높아 구동 전압의 저감에 기여한다.

[0166] <<정공 수송층>>

[0167] 정공 수송층(112, 2112, 및 2117) 각각은 정공 수송성 재료를 포함하고, 정공 주입층(111, 2111, 및 2116)의 재료의 예로 든 재료 중 임의의 것을 사용하여 형성할 수 있다. 정공 수송층(112, 2112, 및 2117) 각각은 정공 주입층(111, 2111, 및 2116)으로부터 주입된 정공을 발광층(140, 2140, 및 2170)에 수송하는 기능을 가진다.

[0168] 이 경우, 정공 주입층(111)의 엑셉터 재료의 LUMO 준위와 발광층(140)의 재료의 HOMO 준위 사이에 HOMO 준위가 있는 정공 수송성 재료를 정공 수송층(112)에 사용하는 것이 바람직하다. 마찬가지로, 정공 주입층(2111)의 엑셉터 재료의 LUMO 준위와 발광층(2140)의 재료의 HOMO 준위 사이에 HOMO 준위가 있는 정공 수송성 재료를 정공 수송층(2112)에 사용하는 것이 바람직하다. 정공 수송층(112, 2112, 및 2117) 각각은 단층에 한정되지 않고 2층 이상의 적층을 포함하여도 좋다. 이 경우, 발광층(140) 측, 발광층(2140) 측, 및 발광층(2170) 측의 정공 수송성 재료의 HOMO 준위가 각각, 정공 주입층(111) 측, 정공 주입층(2111) 측, 및 정공 주입층(2116) 측의 정공 수송성 재료의 HOMO 준위보다 낮아지는 순서로 정공 수송성 재료를 적층하는 것이 바람직하다. 정공 수송층(112, 2112, 2117) 각각이 2층 이상의 적층을 포함하는 경우, 정공을 원활하게 수송하기 위하여, 정공 수송성 재료들 사이의 HOMO 준위의 차이는 0eV 이상 0.5eV 이하가 바람직하고, 0eV 이상 0.3eV 이하가 더 바람직하고, 0eV 이상 0.2eV 이하가 더욱 바람직하다.

[0169] 정공 수송성 재료의 예에는, 4,4'-비스[N-(1-나프틸)-N-페닐아미노]바이페닐(약칭: NPB), N,N'-비스(3-메틸페닐)-N,N'-다이페닐-[1,1'-바이페닐]-4,4'-다이아민(약칭: TPD), 4,4'-비스[N-(스파이로-9,9'-바이플루오렌-2-일)-N-페닐아미노]바이페닐(약칭: BSPB), 4-페닐-4'-(9-페닐플루오렌-9-일)트라이페닐아민(약칭: BPAFLP), 4-페닐-3'-(9-페닐플루오렌-9-일)트라이페닐아민(약칭: mBPAFLP), 4-페닐-4'-(9-페닐-9H-카바졸-3-일)트라이페닐아민(약칭: PCBA1BP), 4,4'-다이페닐-4''-(9-페닐-9H-카바졸-3-일)트라이페닐아민(약칭: PCBBi1BP), 4-(1-나프틸)-4'-(9-페닐-9H-카바졸-3-일)트라이페닐아민(약칭: PCBANB), 4,4'-다이(1-나프틸)-4''-(9-페닐-9H-카바졸-3-일)트라이페닐아민(약칭: PCBNBB), 9,9'-다이메틸-N-페닐-N-[4-(9-페닐-9H-카바졸-3-일)페닐]플루오렌-2-아민(약칭: PCBAF), 또는 N-페닐-N-[4-(9-페닐-9H-카바졸-3-일)페닐]스파이로-9,9'-바이플루오렌-2-아민(약칭: PCBASF) 등의 방향족 아민 골격을 가지는 화합물; 1,3-비스(N-카바졸릴)벤젠(약칭: mCP), 4,4'-다이(N-카바졸릴)바이페닐(약칭: CBP), 3,6-비스(3,5-다이페닐페닐)-9-페닐카바졸(약칭: CzTP), 또는 3,3'-비스(9-페닐-9H-카바졸)(약칭: PCCP) 등의 카바졸 골격을 가지는 화합물; 4,4',4''-(벤젠-1,3,5-트라이일)트라이(다이벤조싸이오펜)(약칭: DBT3P-II), 2,8-다이페닐-4-[4-(9-페닐-9H-플루오렌-9-일)페닐]다이벤조싸이오펜(약칭: DBTFLP-III), 또는 4-[4-(9-페닐-9H-플루오렌-9-일)페닐]-6-페닐다이벤조싸이오펜(약칭: DBTFLP-IV) 등의 싸이오펜 골격을 가지는 화합물; 및 4,4',4''-(벤젠-1,3,5-트라이일)트라이(다이벤조퓨란)(약칭: DBF3P-II) 또는 4-{3-[3-(9-페닐-9H-플루오렌-9-일)페닐]페닐}다이벤조퓨란(약칭: mmDBFFLBI-II) 등의 퓨란 골격을 가지는 화합물이 포함된다. 상술한 재료 중에서, 방향족 아민 골격을 가지는 화합물 및 카바졸 골격을 가지는 화합물은, 신뢰성이 높고, 정공 수송성이 높아 구동 전압의 저감에 기여하기 때문에 바람직하다. 정공 수송성 재료는 상술한 정공 수송성 재료 외에도 다양한 물질로부터 선택할 수 있다.

[0170] 또한 정공 수송성이 높은 물질의 예에는, 3-[4-(1-나프틸)-페닐]-9-페닐-9H-카바졸(약칭: PCPN), 3-[4-(9-페난트릴)-페닐]-9-페닐-9H-카바졸(약칭: PCPPn), 4-페닐-4'-(9-페닐-9H-카바졸-3-일)트라이페닐아민(약칭: PCBA1BP), 4,4'-다이(1-나프틸)-4''-(9-페닐-9H-카바졸-3-일)트라이페닐아민(약칭: PCBNBB), 4-페닐다이페닐-(9-페닐-9H-카바졸-3-일)아민(약칭: PCA1BP), 3,3'-비스(9-페닐-9H-카바졸)(약칭: PCCP), N-[4-(9H-카바졸-9-일)페닐]-N-(4-페닐)페닐아닐린(약칭: YGA1BP), 1,3,5-트라이(다이벤조싸이오펜-4-일)-벤젠(약칭: DBT3P-II), 4,4',4''-(벤젠-1,3,5-트라이일)트라이(다이벤조퓨란)(약칭: DBF3P-II), 4-페닐-4'-(9-페닐플루오렌-9-일)트라이페닐아민(약칭: BPAFLP), 4-[3-(트라이페닐렌-2-일)페닐]다이벤조싸이오펜(약칭: mDBTPTp-II), 4,4'-비스[N-(1-나프틸)-N-페닐아미노]바이페닐(약칭: NPB 또는 α -NPB), N,N'-비스(3-메틸페닐)-N,N'-다이페닐-[1,1'-바이페닐]-4,4'-다이아민(약칭: TPD), 4,4',4''-트리스(카바졸-9-일)트라이페닐아민(약칭: TCTA), 4,4',4''-트리스(N,N-다이페닐아미노)트라이페닐아민(약칭: TDATA), 4,4',4''-트리스[N-(3-

메틸페닐)-*N*-페닐아미노]트라이페닐아민(약칭: MTDATA), 및 4,4'-비스[*N*-(스파이로-9,9'-바이플루오렌-2-일)-*N*-페닐아미노]바이페닐(약칭: BSPB) 등의 방향족 아민 골격을 가지는 화합물; 3-[*N*-(9-페닐카바졸-3-일)-*N*-페닐아미노]-9-페닐카바졸(약칭: PCzPCA1); 3,6-비스[*N*-(9-페닐카바졸-3-일)-*N*-페닐아미노]-9-페닐카바졸(약칭: PCzPCA2); 및 3-[*N*-(1-나프틸)-*N*-(9-페닐카바졸-3-일)아미노]-9-페닐카바졸(약칭: PCzPCN1) 등이 포함된다. 다른 예에는, 4,4'-다이(*N*-카바졸릴)바이페닐(약칭: CBP) 및 1,3,5-트리스[4-(*N*-카바졸릴)페닐]벤젠(약칭: TPCB) 등의 카바졸 화합물; 아민 화합물; 다이벤조싸이오펜 화합물; 다이벤조퓨란 화합물; 플루오렌 화합물, 트라이페닐렌 화합물; 및 페난트렌 화합물이 포함된다. 여기서 든 물질은 주로 정공 이동도가 $1 \times 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 이상인 물질이다. 다만, 전자보다 정공의 수송성이 높기만 하면, 다른 임의의 재료를 사용하여도 좋다.

[0171] 또한 정공 수송층에 사용할 수 있는 이들 화합물 중 임의의 것을 정공 주입층에도 사용할 수 있다.

[0172] <<전하 발생층>>

[0173] 전하 발생층(160 및 2115) 각각은 정공 수송성 재료에 전자 수용체인 억셉터 물질이 첨가된 구조를 가져도 좋고, 전자 수송성 재료에 전자 공여체인 도너 물질이 첨가된 구조를 가져도 좋다. 또는, 이들 구조의 양쪽이 적층되어도 좋다.

[0174] 전하 발생층(160 및 2115) 각각이 유기 화합물과 억셉터 물질의 복합 재료를 포함하는 경우, 상기 복합 재료에는, 상술한 정공 주입층(111)에 사용할 수 있는 복합 재료를 사용하여도 좋다. 유기 화합물로서는, 방향족 아민 화합물, 카바졸 화합물, 방향족 탄화수소, 및 고분자 화합물(올리고머, 덴드리머, 또는 폴리머 등) 등의 다양한 화합물을 사용할 수 있다. 정공 이동도가 $1 \times 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 이상인 물질을 유기 화합물로서 사용하는 것이 바람직하다. 또한 전자보다 정공의 수송성이 높기만 하면, 다른 임의의 재료를 사용하여도 좋다. 유기 화합물과 억셉터 물질의 복합 재료는 캐리어 주입성 및 캐리어 수송성이 우수하기 때문에, 저전압 구동 및 저전류 구동을 실현할 수 있다. 또한 양극 측의 발광 유닛의 표면이 전하 발생층(160 및 2115)과 접하는 경우에는, 전하 발생층(160 및 2115) 각각이 발광 유닛의 정공 주입층 또는 정공 수송층으로서도 기능할 수 있기 때문에, 상기 발광 유닛에는 정공 주입층 또는 정공 수송층이 반드시 포함될 필요는 없다.

[0175] 전하 발생층(160 및 2115) 각각은, 유기 화합물과 억셉터 물질의 복합 재료를 포함한 층과, 다른 재료를 포함한 층의 적층 구조를 가져도 좋다. 예를 들어, 유기 화합물과 억셉터 물질의 복합 재료를 포함한 층과, 전자 공여성 재료 중에서 선택된 하나의 화합물 및 전자 수송성이 높은 화합물을 포함한 층을 조합하여 전하 발생층(160 및 2115) 각각을 형성하여도 좋다. 또한 전하 발생층(160 및 2115) 각각을, 유기 화합물과 억셉터 물질의 복합 재료를 포함한 층과, 투명 도전성 재료를 포함한 층을 조합하여 형성하여도 좋다.

[0176] 또한 광 추출 효율의 관점에서, 전하 발생층(160 및 2115)은 가시광을 투과시키는 것(구체적으로는 전하 발생층(160 및 2115) 각각이 40% 이상의 가시광 투과율을 가지는 것)이 바람직하다. 전하 발생층(160 및 2115)은 한 쌍의 전극(전극(2101, 2102, 2103, 및 2104))보다 낮은 도전율로도 기능한다.

[0177] 상술한 재료 중 임의의 것을 사용하여 전하 발생층(160 및 2115)을 형성함으로써, 발광층의 적층으로 인한 구동 전압 상승을 억제할 수 있다.

[0178] <<발광층>>

[0179] 발광층(140, 2140, 및 2170) 각각은 자색 광, 청색 광, 청록색 광, 녹색 광, 황록색 광, 황색 광, 주황색 광, 및 적색 광 중 적어도 하나를 방출하는 기능을 가지는 발광 재료를 포함한다. 또한 발광층(140, 2140, 및 2170) 각각은 발광 재료에 더하여 전자 수송성 재료 및/또는 정공 수송성 재료를 호스트 재료로서 포함한다.

[0180] 발광 재료로서는 단일항 여기 에너지를 발광으로 변환하는 발광 물질 및 삼중항 여기 에너지를 발광으로 변환하는 발광 물질 중 임의의 것을 사용할 수 있다. 상기 발광 물질의 예를 아래에 기재한다.

[0181] 단일항 여기 에너지를 발광으로 변환할 수 있는 발광 물질의 예에는 형광을 방출하는 물질(형광성 화합물)이 포함된다. 형광성 화합물에 대한 특별한 한정 없이, 안트라센 유도체, 테트라센 유도체, 크리센 유도체, 페난트렌 유도체, 피렌 유도체, 페릴렌 유도체, 스틸벤 유도체, 아크리돈 유도체, 쿠마린 유도체, 페녹사진 유도체, 또는 페노싸이아진 유도체 등을 사용하는 것이 바람직하고, 예를 들어 다음 물질 중 임의의 것을 사용할 수 있다.

[0182] 형광성 화합물의 구체적인 예에는, 5,6-비스[4-(10-페닐-9-안트릴)페닐]-2,2'-바이피리딘(약칭: PAP2BPy), 5,6-비스[4'-(10-페닐-9-안트릴)바이페닐-4-일]-2,2'-바이피리딘(약칭: PAPP2BPy), *N,N'*-다이페닐-*N,N'*-비스[4-(9-

페닐-9H-플루오렌-9-일)페닐]피렌-1,6-다이아민(약칭: 1,6FLPAPrn), *N,N'*-비스(3-메틸페닐)-*N,N'*-비스[3-(9-페닐-9H-플루오렌-9-일)페닐]피렌-1,6-다이아민(약칭: 1,6mMemFLPAPrn), *N,N'*-비스[4-(9-페닐-9H-플루오렌-9-일)페닐]-*N,N'*-비스(4-*tert*-뷰틸페닐)피렌-1,6-다이아민(약칭: 1,6tBu-FLPAPrn), *N,N'*-다이페닐-*N,N'*-비스[4-(9-페닐-9H-플루오렌-9-일)페닐]-3,8-다이사이클로헥실피렌-1,6-다이아민(약칭: ch-1,6FLPAPrn), *N,N'*-(피렌-1,6-다이일)비스[(6,*N*-다이페닐벤조[*b*]나프토[1,2-*d*]퓨란)-8-아민](약칭: 1,6BnfAPrn-03), *N,N'*-비스[4-(9H-카바졸-9-일)페닐]-*N,N'*-다이페닐스티렌-4,4'-다이아민(약칭: YGA2S), 4-(9H-카바졸-9-일)-4'-(10-페닐-9-안트릴)트라이페닐아민(약칭: YGAPA), 4-(9H-카바졸-9-일)-4'-(9,10-다이페닐-2-안트릴)트라이페닐아민(약칭: 2YGAPPA), *N*,9-다이페닐-*N*-[4-(10-페닐-9-안트릴)페닐]-9H-카바졸-3-아민(약칭: PCAPA), 페틸렌, 2,5,8,11-테트라(*tert*-뷰틸)페틸렌(약칭: TBP), 4-(10-페닐-9-안트릴)-4'-(9-페닐-9H-카바졸-3-일)트라이페닐아민(약칭: PCBAPA), *N,N'*-(2-*tert*-뷰틸안트라센-9,10-다이일다이-4,1-페닐렌)비스[*N,N'*,*N'*-트라이페닐-1,4-페닐렌다이아민](약칭: DPABPA), *N*,9-다이페닐-*N*-[4-(9,10-다이페닐-2-안트릴)페닐]-9H-카바졸-3-아민(약칭: 2PCAPPA), *N*-[4-(9,10-다이페닐-2-안트릴)페닐]-*N,N'*,*N'*-트라이페닐-1,4-페닐렌다이아민(약칭: 2DPAPPA), *N,N,N',N',N',N',N',N',N',N'*-옥타페닐다이벤조[*g,p*]크리센-2,7,10,15-테트라아민(약칭: DBC1), 쿠마린 30, *N*-(9,10-다이페닐-2-안트릴)-*N*,9-다이페닐-9H-카바졸-3-아민(약칭: 2PCAPA), *N*-[9,10-비스(1,1'-바이페닐-2-일)-2-안트릴]-*N*,9-다이페닐-9H-카바졸-3-아민(약칭: 2PCABPhA), *N*-(9,10-다이페닐-2-안트릴)-*N,N'*,*N'*-트라이페닐-1,4-페닐렌다이아민(약칭: 2DPAPA), *N*-[9,10-비스(1,1'-바이페닐-2-일)-2-안트릴]-*N,N'*,*N'*-트라이페닐-1,4-페닐렌다이아민(약칭: 2DPABPhA), 9,10-비스(1,1'-바이페닐-2-일)-*N*-[4-(9H-카바졸-9-일)페닐]-*N*-페닐안트라센-2-아민(약칭: 2YGABPhA), *N,N*,9-트라이페닐안트라센-9-아민(약칭: DPhAPhA), 쿠마린 6, 쿠마린 545T, *N,N'*-다이페닐퀴나크리돈(약칭: DPQd), 루브렌, 2,8-다이-*tert*-뷰틸-5,11-비스(4-*tert*-뷰틸페닐)-6,12-다이페닐테트라센(약칭: TBRb), 나일 레드, 5,12-비스(1,1'-바이페닐-4-일)-6,11-다이페닐테트라센(약칭: BPT), 2-(2-{2-[4-(다이메틸아미노)페닐]에텐일}-6-메틸-4H-피란-4-일리덴)프로페인다이 나이트릴(약칭: DCM1), 2-{2-메틸-6-[2-(2,3,6,7-테트라하이드로-1H,5H-벤조[*ij*]퀴놀리진-9-일)에텐일]-4H-피란-4-일리덴}프로페인다이 나이트릴(약칭: DCM2), *N,N,N',N'*-테트라키스(4-메틸페닐)테트라센-5,11-다이아민(약칭: p-mPhTD), 7,14-다이페닐-*N,N,N',N'*-테트라키스(4-메틸페닐)아세나프토[1,2-*a*]플루오란텐-3,10-다이아민(약칭: p-mPhAFD), 2-{2-아이소프로필-6-[2-(1,1,7,7-테트라메틸-2,3,6,7-테트라하이드로-1H,5H-벤조[*ij*]퀴놀리진-9-일)에텐일]-4H-피란-4-일리덴}프로페인다이 나이트릴(약칭: DCJTI), 2-{2-*tert*-뷰틸-6-[2-(1,1,7,7-테트라메틸-2,3,6,7-테트라하이드로-1H,5H-벤조[*ij*]퀴놀리진-9-일)에텐일]-4H-피란-4-일리덴}프로페인다이 나이트릴(약칭: DCJTB), 2-(2,6-비스{2-[4-(다이메틸아미노)페닐]에텐일}-4H-피란-4-일리덴)프로페인다이 나이트릴(약칭: BisDCM), 2-{2,6-비스[2-(8-메톡시-1,1,7,7-테트라메틸-2,3,6,7-테트라하이드로-1H,5H-벤조[*ij*]퀴놀리진-9-일)에텐일]-4H-피란-4-일리덴}프로페인다이 나이트릴(약칭: BisDCJTM), 및 5,10,15,20-테트라페닐비스벤조[5,6]인테노[1,2,3-*cd*:1',2',3'-*lm*]페틸렌이 포함된다.

[0183]

삼중항 여기 에너지를 발광으로 변환할 수 있는 발광 물질의 예로서, 인광을 방출하는 물질(인광성 화합물)을 들 수 있다. 인광성 화합물로서는, 이리듐계, 로듐계, 또는 백금계의 유기 금속 착체 또는 금속 착체를 사용할 수 있다. 또한 포르피린 배위자를 가지는 백금 착체, 및 유기 이리듐 착체 등을 들 수 있고, 구체적으로는 이리듐계 오쏘 금속 착체 등의 유기 이리듐 착체가 바람직하다. 오쏘 금속화되는 배위자로서는 4H-트리아아졸 배위자, 1H-트리아아졸 배위자, 이미다졸 배위자, 피리딘 배위자, 피리미딘 배위자, 피라진 배위자, 또는 아이소퀴놀린 배위자 등을 들 수 있다. 이 경우, 인광성 화합물은 삼중항 MLCT(metal to ligand charge transfer) 전이를 기초로 하는 흡수대를 가진다.

[0184]

청색 또는 녹색의 파장 범위에 발광 피크를 가지는 물질의 예에는 트리스{2-[5-(2-메틸페닐)-4-(2,6-다이메틸페닐)-4H-1,2,4-트리아아졸-3-일- κN^2]페닐- κC]이리듐(III)(약칭: Ir(mpptz-dmp)₃), 트리스(5-메틸-3,4-다이페닐-4H-1,2,4-트리아아졸레이토)이리듐(III)(약칭: Ir(Mptz)₃), 트리스[4-(3-바이페닐)-5-아이소프로필-3-페닐-4H-1,2,4-트리아아졸레이토]이리듐(III)(약칭: Ir(iPrptz-3b)₃), 및 트리스[3-(5-바이페닐)-5-아이소프로필-4-페닐-4H-1,2,4-트리아아졸레이토]이리듐(III)(약칭: Ir(iPr5bztz)₃) 등의 4H-트리아아졸 골격을 가지는 유기 금속 이리듐 착체; 트리스[3-메틸-1-(2-메틸페닐)-5-페닐-1H-1,2,4-트리아아졸레이토]이리듐(III)(약칭: Ir(Mptz1-mp)₃) 및 트리스(1-메틸-5-페닐-3-프로필-1H-1,2,4-트리아아졸레이토)이리듐(III)(약칭: Ir(Prptz1-Me)₃) 등의 1H-트리아아졸 골격을 가지는 유기 금속 이리듐 착체; *fac*-트리스[1-(2,6-다이아이소프로필페닐)-2-페닐-1H-이미다졸]이리듐(III)(약칭: Ir(iPrpmi)₃) 및 트리스[3-(2,6-다이메틸페닐)-7-메틸이미다조[1,2-*f*]페난트리디네이토]이리듐(III)(약칭: Ir(dmpimpt-Me)₃) 등의 이미다졸 골격을 가지는 유기 금속 이리듐 착체; 및 비스[2-

(4',6'-다이플루오로페닐)피리디네이토- $N, C^{2'}$]이리듐(III)테트라키스(1-피라졸릴)보레이트(약칭: FIr6), 비스[2-(4',6'-다이플루오로페닐)피리디네이토- $N, C^{2'}$]이리듐(III)피콜리네이트(약칭: FIrpic), 비스{2-[3',5'-비스(트라이플루오로메틸)페닐]피리디네이토- $N, C^{2'}$ }이리듐(III)피콜리네이트(약칭: Ir(CF₃ppy)₂(pic)), 및 비스[2-(4',6'-다이플루오로페닐)피리디네이토- $N, C^{2'}$]이리듐(III)아세틸아세토네이트(약칭: FIr(acac)) 등 전자 흡인기를 가지는 페닐피리딘 유도체가 배위자인 유기 금속 이리듐 착체가 포함된다. 상술한 재료 중에서, 4*H*-트리아졸 골격, 1*H*-트리아졸 골격, 또는 이미다졸 골격 등의 질소 함유 5원 헤테로고리 골격을 가지는 유기 금속 이리듐 착체는 삼중항 여기 에너지, 신뢰성, 및 발광 효율이 높아 특히 바람직하다.

[0185]

녹색 또는 황색의 파장 범위에 발광 피크를 가지는 물질의 예에는, 트리스(4-메틸-6-페닐피리미디네이토)이리듐(III)(약칭: Ir(mppm)₃), 트리스(4-*t*-부틸-6-페닐피리미디네이토)이리듐(III)(약칭: Ir(tBuppm)₃), (아세틸아세토네이토)비스(6-메틸-4-페닐피리미디네이토)이리듐(III)(약칭: Ir(mppm)₂(acac)), (아세틸아세토네이토)비스(6-*tert*-부틸-4-페닐피리미디네이토)이리듐(III)(약칭: Ir(tBuppm)₂(acac)), (아세틸아세토네이토)비스[4-(2-노보닐)-6-페닐피리미디네이토]이리듐(III)(약칭: Ir(nbpm)₂(acac)), (아세틸아세토네이토)비스[5-메틸-6-(2-메틸페닐)-4-페닐피리미디네이토]이리듐(III)(약칭: Ir(mpmpm)₂(acac)), (아세틸아세토네이토)비스{4,6-다이메틸-2-[6-(2,6-다이메틸페닐)-4-피리미딘일-κN3]페닐-κC}이리듐(III)(약칭: Ir(dmppm-dmp)₂(acac)), 및 (아세틸아세토네이토)비스(4,6-다이페닐피리미디네이토)이리듐(III)(약칭: Ir(dppm)₂(acac)) 등의 피리미딘 골격을 가지는 유기 금속 이리듐 착체; (아세틸아세토네이토)비스(3,5-다이메틸-2-페닐피라지네이토)이리듐(III)(약칭: Ir(mppr-Me)₂(acac)) 및 (아세틸아세토네이토)비스(5-아이소프로필-3-메틸-2-페닐피라지네이토)이리듐(III)(약칭: Ir(mppr-iPr)₂(acac)) 등의 피라진 골격을 가지는 유기 금속 이리듐 착체; 트리스(2-페닐피리디네이토- $N, C^{2'}$)이리듐(III)(약칭: Ir(ppy)₃), 비스(2-페닐피리디네이토- $N, C^{2'}$)이리듐(III)아세틸아세토네이트(약칭: Ir(ppy)₂(acac)), 비스(벤조[*h*]퀴놀리네이토)이리듐(III)아세틸아세토네이트(약칭: Ir(bzq)₂(acac)), 트리스(벤조[*h*]퀴놀리네이토)이리듐(III)(약칭: Ir(bzq)₃), 트리스(2-페닐퀴놀리네이토- $N, C^{2'}$)이리듐(III)(약칭: Ir(pq)₃), 및 비스(2-페닐퀴놀리네이토- $N, C^{2'}$)이리듐(III)아세틸아세토네이트(약칭: Ir(pq)₂(acac)) 등의 피리딘 골격을 가지는 유기 금속 이리듐 착체; 비스(2,4-다이페닐-1,3-옥사졸레이토- $N, C^{2'}$)이리듐(III)아세틸아세토네이트(약칭: Ir(dpo)₂(acac)), 비스{2-[4'-(퍼플루오로페닐)페닐]피리디네이토- $N, C^{2'}$ }이리듐(III)아세틸아세토네이트(약칭: Ir(p-PF-ph)₂(acac)), 및 비스(2-페닐벤조싸이아졸레이토- $N, C^{2'}$)이리듐(III)아세틸아세토네이트(약칭: Ir(bt)₂(acac)) 등의 유기 금속 이리듐 착체; 및 트리스(아세틸아세토네이토)(모노페난트롤린)터븀(III)(약칭: Tb(acac)₃(Phen)) 등의 희토류 금속 착체가 포함된다. 상술한 재료 중에서, 피리미딘 골격을 가지는 유기 금속 이리듐 착체는 신뢰성 및 발광 효율이 두드러지게 높으므로 특히 바람직하다.

[0186]

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

이토)(모노페난트롤린)유로퓸(III)(약칭: Eu(DBM)₃(Phen)) 및 트리스[1-(2-테노일)-3,3,3-트라이플루오로아세토네이트](모노페난트롤린)유로퓸(III)(약칭: Eu(TTA)₃(Phen)) 등의 희토류 금속 착체가 포함된다. 상술한 재료 중에서, 피리미딘 골격을 가지는 유기 금속 이리듐 착체는 신뢰성 및 발광 효율이 두드러지게 높으므로 특히 바람직하다. 또한 피라진 골격을 가지는 유기 금속 이리듐 착체는 색도가 양호한 적색 발광을 제공할 수 있다.

[0187] 삼중항 여기 에너지를 발광으로 변환할 수 있는 재료의 예로서는 인광성 화합물에 더하여, 열 활성화 지연 형광(TADF) 재료를 들 수 있다. 따라서, 설명에서의 "인광성 화합물"이라는 용어를 "열 활성화 지연 형광 화합물"이라는 용어로 바꿔 말할 수 있다. 열 활성화 지연 형광 화합물은, 단일항 여기 에너지 준위와 삼중항 여기 에너지 준위의 차이가 작고 역항간 교차에 의하여 삼중항 여기 에너지를 단일항 여기 에너지로 변환하는 기능을 가지는 재료이다. 그러므로, 열 활성화 지연 형광 재료는 삼중항 여기 상태를 적은 열 에너지에 의하여 단일항 여기 상태로 업컨버트할 수 있고(즉, 역항간 교차가 가능함), 단일항 여기 상태로부터의 발광(형광)을 효율적으로 나타낼 수 있다. TADF는 단일항 여기 에너지 준위와 삼중항 여기 에너지 준위의 차이가 바람직하게는 0eV보다 크고 0.3eV 이하, 더 바람직하게는 0eV보다 크고 0.2eV 이하, 더욱 바람직하게는 0eV보다 크고 0.1eV 이하인 조건하에서 효율적으로 얻어진다.

[0188] 열 활성화 지연 형광 화합물이 1종류의 화합물로 구성되는 경우, 예를 들어, 아래의 재료 중 임의의 것을 사용할 수 있다.

[0189] 먼저, 풀러렌, 그 유도체, 프로플라빈 등의 아크리딘 유도체, 및 에오신 등을 들 수 있다. 다른 예에는 마그네슘(Mg), 아연(Zn), 카드뮴(Cd), 주석(Sn), 백금(Pt), 인듐(In), 또는 팔라듐(Pd)을 포함한 포르피린 등의 금속 함유 포르피린이 포함된다. 금속 함유 포르피린의 예에는 프로토포르피린-플루오린화 주석 착체(SnF₂(Proto IX)), 메소포르피린-플루오린화 주석 착체(SnF₂(Meso IX)), 헤마토포르피린-플루오린화 주석 착체(SnF₂(Hemato IX)), 코프로포르피린 테트라메틸에스터-플루오린화 주석 착체(SnF₂(Copro III-4Me)), 옥타에틸포르피린-플루오린화 주석 착체(SnF₂(OEP)), 에티오포르피린-플루오린화 주석 착체(SnF₂(Etio I)), 및 옥타에틸포르피린-염화 백금 착체(PtCl₂(OEP))가 포함된다.

[0190] 1종류의 재료로 구성되는 열 활성화 지연 형광성 화합물로서는, π 전자 과잉형 헤테로방향족 골격 및 π 전자 부족형 헤테로방향족 골격을 포함한 헤테로고리 화합물을 사용할 수도 있다. 구체적으로는, 2-(바이페닐-4-일)-4,6-비스(12-페닐인돌로[2,3-*a*]카바졸-11-일)-1,3,5-트리아진(약칭: PIC-TRZ), 2-{4-[3-(*N*-페닐-9*H*-카바졸-3-일)-9*H*-카바졸-9-일]페닐}-4,6-다이페닐-1,3,5-트리아진(약칭: PCCzPTzn), 2-[4-(10*H*-페녹사진-10-일)페닐]-4,6-다이페닐-1,3,5-트리아진(약칭: PXZ-TRZ), 3-[4-(5-페닐-5,10-다이하이드로페나진-10-일)페닐]-4,5-다이페닐-1,2,4-트리아졸(약칭: PPZ-3TPT), 3-(9,9-다이메틸-9*H*-아크리딘-10-일)-9*H*-크산텐-9-온(약칭: ACRXTN), 비스[4-(9,9-다이메틸-9,10-다이하이드로아크리딘)페닐]설펜(약칭: DMAC-DPS), 또는 10-페닐-10*H*,10'*H*-스파이로[아크리딘-9,9'-안트라센]-10'-온(약칭: ACRSA)을 사용할 수 있다. 상기 헤테로고리 화합물은 π 전자 과잉형 헤테로방향족 골격 및 π 전자 부족형 헤테로방향족 골격을 가지기 때문에 전자 수송성 및 정공 수송성이 높아 바람직하다. π 전자 부족형 헤테로방향족 골격 중, 다이아진 골격(피리미딘 골격, 피라진 골격, 또는 피리다진 골격) 및 트리아진 골격은 안정성 및 신뢰성이 높아 특히 바람직하다. π 전자 과잉형 헤테로방향족 골격 중, 아크리딘 골격, 페녹사진 골격, 페노싸이아진 골격, 퓨란 골격, 싸이오펜 골격, 및 피롤 골격은 안정성 및 신뢰성이 높기 때문에, 이들 골격 중 하나 이상이 포함되는 것이 바람직하다. 피롤 골격으로서, 인돌 골격, 카바졸 골격, 또는 9-페닐-3,3'-바이-9*H*-카바졸 골격이 특히 바람직하다. 또한 π 전자 과잉형 헤테로방향족 골격이 π 전자 부족형 헤테로방향족 골격에 직접 결합된 물질은, π 전자 과잉형 헤테로방향족 골격의 도너성 및 π 전자 부족형 헤테로방향족 골격의 억셉터성이 둘 다 높아지고, 단일항 여기 에너지 준위와 삼중항 여기 에너지 준위의 차이가 작아지므로 특히 바람직하다.

[0191] 열 활성화 지연 형광을 나타내는 재료는, 역항간 교차에 의하여 삼중항 여기 상태로부터 단일항 여기 상태를 형성할 수 있는 재료이어도 좋고, 엑시플렉스를 형성하는 복수의 재료의 조합이어도 좋다.

[0192] 발광층(140, 2140, 및 2170)에 사용되는 호스트 재료로서는, 정공 수송성 재료 및 전자 수송성 재료를 사용할 수 있다.

[0193] 발광층의 호스트 재료에 사용할 수 있는 재료에 대한 특별한 제한은 없지만, 예를 들어 다음의 물질 중 임의의 것을 호스트 재료에 사용할 수 있다: 트리스(8-퀴놀리놀레이토)알루미늄(III)(약칭: Alq₃), 트리스(4-메틸-8-퀴

놀리놀레이토)알루미늄(III)(약칭: Almq₃), 비스(10-하이드록시벤조[h]퀴놀리네이트)베틸륨(II)(약칭: BeBq₂), 비스(2-메틸-8-퀴놀리놀레이토)(4-페닐페놀레이토)알루미늄(III)(약칭: BA1q), 비스(8-퀴놀리놀레이토)아연(II)(약칭: Znq), 비스[2-(2-벤즈옥사졸릴)페놀레이토]아연(II)(약칭: ZnPB0), 및 비스[2-(2-벤조싸이아졸릴)페놀레이토]아연(II)(약칭: ZnBTZ) 등의 금속 착체; 2-(4-바이페닐릴)-5-(4-*tert*-뷰틸페닐)-1,3,4-옥사다이하졸(약칭: PBD), 1,3-비스[5-(*p-tert*-뷰틸페닐)-1,3,4-옥사다이하졸-2-일]벤젠(약칭: OXD-7), 3-(4-바이페닐릴)-4-페닐-5-(4-*tert*-뷰틸페닐)-1,2,4-트리아졸(약칭: TAZ), 2,2',2''-(1,3,5-벤젠트라이일)트리스(1-페닐-1*H*-벤즈이미다졸)(약칭: TPBI), 바소큐프로인(약칭: BCP), 및 9-[4-(5-페닐-1,3,4-옥사다이하졸-2-일)페닐]-9*H*-카바졸(약칭: C011) 등의 헤테로고리 화합물; 그리고 4,4'-비스[N-(1-나프틸)-*N*-페닐아미노]바이페닐(약칭: NPB 또는 α -NPD), *N,N'*-비스(3-메틸페닐)-*N,N'*-다이페닐-[1,1'-바이페닐]-4,4'-다이아민(약칭: TPD), 및 4,4'-비스[N-(스파이로-9,9'-바이플루오렌-2-일)-*N*-페닐아미노]바이페닐(약칭: BSPB) 등의 방향족 아민 화합물. 또한 안트라센 유도체, 페난트렌 유도체, 피렌 유도체, 크리센 유도체, 및 다이벤조[g,p]크리센 유도체 등의 축합 다환 방향족 화합물을 사용할 수 있다. 축합 다환 방향족 화합물의 구체적인 예에는, 9,10-다이페닐안트라센(약칭: DPAnth), *N,N'*-다이페닐-9-[4-(10-페닐-9-안트릴)페닐]-9*H*-카바졸-3-아민(약칭: CzA1PA), 4-(10-페닐-9-안트릴)트라이페닐아민(약칭: DPhPA), YGAPA, PCAPA, *N*,9-다이페닐-*N*-{4-[4-(10-페닐-9-안트릴)페닐]페닐}-9*H*-카바졸-3-아민(약칭: PCAPBA), 2PCAPA, 6,12-다이메톡시-5,11-다이페닐크리센, DBC1, 9-[4-(10-페닐-9-안트라센일)페닐]-9*H*-카바졸(약칭: CzPA), 3,6-다이페닐-9-[4-(10-페닐-9-안트릴)페닐]-9*H*-카바졸(약칭: DPCzPA), 9,10-비스(3,5-다이페닐페닐)안트라센(약칭: DPPA), 9,10-다이(2-나프틸)안트라센(약칭: DNA), 2-*tert*-뷰틸-9,10-다이(2-나프틸)안트라센(약칭: t-BuDNA), 9,9'-바이안트릴(약칭: BANT), 9,9'-(스틸벤-3,3'-다이일)다이페난트렌(약칭: DPNS), 9,9'-(스틸벤-4,4'-다이일)다이페난트렌(약칭: DPNS2), 및 1,3,5-트라이(1-피렌일)벤젠(약칭: TPB3)이 포함된다. 이들 물질 및 다양한 물질 중에서 상술한 발광 재료보다 에너지 갭이 넓은 하나 이상의 물질을 선택하는 것이 바람직하다. 또한 발광 재료가 인광성 화합물인 경우, 발광 재료보다 삼중항 여기 에너지가 높은 물질을 호스트 재료로서 선택하는 것이 바람직하다.

[0194] 발광층의 호스트 재료로서 복수의 재료를 사용하는 경우, 엑시플렉스를 형성하는 2종류의 화합물의 조합을 사용하는 것이 바람직하다. 이 경우, 다양한 캐리어 수송성 재료를 적절히 사용할 수 있다. 엑시플렉스를 효율적으로 형성하기 위하여, 전자 수송성 재료와 정공 수송성 재료를 조합하는 것이 특히 바람직하다.

[0195] 이것은 엑시플렉스를 형성하는 전자 수송성 재료와 정공 수송성 재료의 조합을 호스트 재료로서 사용하는 경우, 전자 수송성 재료와 정공 수송성 재료의 혼합비를 조절함으로써, 발광층의 정공과 전자의 캐리어 밸런스를 용이하게 최적화할 수 있다. 발광층의 정공과 전자의 캐리어 밸런스의 최적화는 전자와 정공이 재결합하는 영역이 발광층의 한쪽에 존재하는 것을 방지할 수 있다. 전자와 정공이 재결합하는 영역이 한쪽에 존재하는 것을 방지함으로써, 발광 소자의 신뢰성을 향상시킬 수 있다.

[0196] 전자 수송성 재료로서, 아연 또는 알루미늄을 포함한 금속 착체, 또는 질소 함유 헤테로방향족 화합물 등의 π 전자 부족형 헤테로방향족 화합물 등을 사용할 수 있다. 구체적으로, 비스(10-하이드록시벤조[h]퀴놀리네이트)베틸륨(II)(약칭: BeBq₂), 비스(2-메틸-8-퀴놀리놀레이토)(4-페닐페놀레이토)알루미늄(III)(약칭: BA1q), 비스(8-퀴놀리놀레이토)아연(II)(약칭: Znq), 비스[2-(2-벤즈옥사졸릴)페놀레이토]아연(II)(약칭: ZnPB0), 또는 비스[2-(2-벤조싸이아졸릴)페놀레이토]아연(II)(약칭: ZnBTZ); 2-(4-바이페닐릴)-5-(4-*tert*-뷰틸페닐)-1,3,4-옥사다이하졸(약칭: PBD), 3-(4-바이페닐릴)-4-페닐-5-(4-*tert*-뷰틸페닐)-1,2,4-트리아졸(약칭: TAZ), 1,3-비스[5-(*p-tert*-뷰틸페닐)-1,3,4-옥사다이하졸-2-일]벤젠(약칭: OXD-7), 9-[4-(5-페닐-1,3,4-옥사다이하졸-2-일)페닐]-9*H*-카바졸(약칭: C011), 2,2',2''-(1,3,5-벤젠트라이일)트리스(1-페닐-1*H*-벤즈이미다졸)(약칭: TPBI), 및 2-[3-(다이벤조싸이오펜-4-일)페닐]-1-페닐-1*H*-벤즈이미다졸(약칭: mDBTBIm-II) 등의 아졸 골격을 가지는 헤테로고리 화합물; 2-[3-(다이벤조싸이오펜-4-일)페닐]다이벤조[f,h]퀴녹살린(약칭: 2mDBTPDBq-II), 2-[3'-(다이벤조싸이오펜-4-일)바이페닐-3-일]다이벤조[f,h]퀴녹살린(약칭: 2mDBTPDBq-II), 2-[3'-(9*H*-카바졸-9-일)바이페닐-3-일]다이벤조[f,h]퀴녹살린(약칭: 2mCzBPDBq), 2-[4-(3,6-다이페닐-9*H*-카바졸-9-일)페닐]다이벤조[f,h]퀴녹살린(약칭: 2CzPDBq-III), 7-[3-(다이벤조싸이오펜-4-일)페닐]다이벤조[f,h]퀴녹살린(약칭: 7mDBTPDBq-II), 6-[3-(다이벤조싸이오펜-4-일)페닐]다이벤조[f,h]퀴녹살린(약칭: 6mDBTPDBq-II), 4,6-비스[3-(페난트렌-9-일)페닐]피리미딘(약칭: 4,6mPnP2Pm), 4,6-비스[3-(4-다이벤조싸이엔일)페닐]피리미딘(약칭: 4,6mDBTP2Pm-II), 4,6-비스[3-(9*H*-카바졸-9-일)페닐]피리미딘(약칭: 4,6mCzP2Pm), 및 4-[3-[3'-(9*H*-카바졸-9-일)]바이페닐-3-일]벤조퓨로[3,2-*d*]피리미딘(약칭: 4mCzBPBfpm) 등의 다이아진 골격을 가지는 헤테로고리 화합물; 2-[4-[3-(*N*-페닐-9*H*-카바졸-3-일)-9*H*-카바졸-9-일]페닐]-4,6-다이페닐-1,3,5-트리아진(약칭: PCCzPTzn), 2,4,6-트리스[3'-(피리딘-3-일)바이페닐-3-일]-1,3,5-트리아진(약칭: TmPPPyTz), 및 2,4,6-트리

스(2-피리딜)-1,3,5-트리아진(약칭: 2Py3Tz) 등의 트리아진 골격을 가지는 헤테로고리 화합물; 그리고 3,5-비스[3-(9H-카바졸-9-일)페닐]피리딘(약칭: 35DCzPPy) 및 1,3,5-트라이[3-(3-피리딜)페닐]벤젠(약칭: TmPyPB) 등의 피리딘 골격을 가지는 헤테로고리 화합물 중 임의의 것을 사용할 수 있다. 상술한 재료 중, 다이아진 골격 및 트리아진 골격을 가지는 헤테로고리 화합물, 그리고 피리딘 골격을 가지는 헤테로고리 화합물은 신뢰성이 높아 바람직하다. 다이아진(피리미딘 또는 피라진) 골격 및 트리아진 골격을 가지는 헤테로고리 화합물은 전자 수송성이 높고 구동 전압의 저감에 기여한다.

[0197] 정공 수송성 재료로서, π 전자 과잉형 헤테로방향족 화합물(예를 들어 카바졸 유도체 또는 인돌 유도체) 또는 방향족 아민 화합물 등을 바람직하게 사용할 수 있다. 구체적인 예에는, 2-[N-(9-페닐카바졸-3-일)-N'-페닐아미노]스파이로-9,9'-바이플루오렌(약칭: PCASF), 4,4',4''-트리스[N-(1-나프틸)-N'-페닐아미노]트라이페닐아민(약칭: 1'-TNATA), 2,7-비스[N-(4-다이페닐아미노페닐)-N'-페닐아미노]스파이로-9,9'-바이플루오렌(약칭: DPA2SF), N,N'-비스(9-페닐카바졸-3-일)-N,N'-다이페닐벤젠-1,3-다이아민(약칭: PCA2B), N-(9,9-다이메틸-2-다이페닐아미노-9H-플루오렌-7-일)다이페닐아민(약칭: DPNF), N,N',N''-트라이페닐-N,N',N''-트리스(9-페닐카바졸-3-일)벤젠-1,3,5-트리아민(약칭: PCA3B), 2-[N-(9-페닐카바졸-3-일)-N'-페닐아미노]스파이로-9,9'-바이플루오렌(약칭: PCASF), 2-[N-(4-다이페닐아미노페닐)-N'-페닐아미노]스파이로-9,9'-바이플루오렌(약칭: DPASF), N,N'-비스[4-(카바졸-9-일)페닐]-N,N'-다이페닐-9,9-다이메틸플루오렌-2,7-다이아민(약칭: YGA2F), 4,4'-비스[N-(1-나프틸)-N'-페닐아미노]바이페닐(약칭: NPB), N,N'-비스(3-메틸페닐)-N,N'-다이페닐-[1,1'-바이페닐]-4,4'-다이아민(약칭: TPD), 4,4'-비스[N-(4-다이페닐아미노페닐)-N'-페닐아미노]바이페닐(약칭: DPAB), 4,4'-비스[N-(스파이로-9,9'-바이플루오렌-2-일)-N'-페닐아미노]바이페닐(약칭: BSPB), 4-페닐-4'-(9-페닐플루오렌-9-일)트라이페닐아민(약칭: BPAFLP), 4-페닐-3'-(9-페닐플루오렌-9-일)트라이페닐아민(약칭: mBPAFLP), N-(9,9-다이메틸-9H-플루오렌-2-일)-N-(9,9-다이메틸-2-[N'-페닐-N''-(9,9-다이메틸-9H-플루오렌-2-일)아미노]-9H-플루오렌-7-일)페닐아민(약칭: DFLADFL), 3-[N-(9-페닐카바졸-3-일)-N'-페닐아미노]-9-페닐카바졸(약칭: PCzPCA1), 3-[N-(4-다이페닐아미노페닐)-N'-페닐아미노]-9-페닐카바졸(약칭: PCzDPA1), 3,6-비스[N-(4-다이페닐아미노페닐)-N'-페닐아미노]-9-페닐카바졸(약칭: PCzDPA2), N,N'-비스{4-[비스(3-메틸페닐)아미노]페닐}-N,N'-다이페닐-(1,1'-바이페닐)-4,4'-다이아민(약칭: DNTPD), 3,6-비스[N-(4-다이페닐아미노페닐)-N-(1-나프틸)아미노]-9-페닐카바졸(약칭: PCzTPN2), 및 3,6-비스[N-(9-페닐카바졸-3-일)-N'-페닐아미노]-9-페닐카바졸(약칭: PCzPCA2), 4-페닐-4'-(9-페닐-9H-카바졸-3-일)트라이페닐아민(약칭: PCBA1BP), 4,4'-다이페닐-4'-(9-페닐-9H-카바졸-3-일)트라이페닐아민(약칭: PCBBI1BP), 4-(1-나프틸)-4'-(9-페닐-9H-카바졸-3-일)트라이페닐아민(약칭: PCBANB), 4,4'-다이(1-나프틸)-4'-(9-페닐-9H-카바졸-3-일)트라이페닐아민(약칭: PCBNBB), 3-[N-(1-나프틸)-N-(9-페닐카바졸-3-일)아미노]-9-페닐카바졸(약칭: PCzPCN1), 9,9-다이메틸-N-페닐-N-[4-(9-페닐-9H-카바졸-3-일)페닐]-플루오렌-2-아민(약칭: PCBAF), N-페닐-N-[4-(9-페닐-9H-카바졸-3-일)페닐]스파이로-9,9'-바이플루오렌-2-아민(약칭: PCBASF), N-(4-바이페닐)-N-(9,9-다이메틸-9H-플루오렌-2-일)-9-페닐-9H-카바졸-3-아민(약칭: PCBiF), 및 N-(1,1'-바이페닐-4-일)-N-[4-(9-페닐-9H-카바졸-3-일)페닐]-9,9-다이메틸-9H-플루오렌-2-아민(약칭: PCBBiF) 등의 방향족 아민 골격을 가지는 화합물; 1,3-비스(N-카바졸릴)벤젠(약칭: mCP), 4,4'-다이(N-카바졸릴)바이페닐(약칭: CBP), 3,6-비스(3,5-다이페닐페닐)-9-페닐카바졸(약칭: CzTP), 및 9-페닐-9H-3-(9-페닐-9H-카바졸-3-일)카바졸(약칭: PCCP) 등의 카바졸 골격을 가지는 화합물; 4,4',4''-(벤젠-1,3,5-트라이일)트라이(다이벤조싸이오펜)(약칭: DBT3P-II), 2,8-다이페닐-4-[4-(9-페닐-9H-플루오렌-9-일)페닐]다이벤조싸이오펜(약칭: DBTFLP-III), 및 4-[4-(9-페닐-9H-플루오렌-9-일)페닐]-6-페닐다이벤조싸이오펜(약칭: DBTFLP-IV) 등의 싸이오펜 골격을 가지는 화합물; 그리고 4,4',4''-(벤젠-1,3,5-트라이일)트라이(다이벤조퓨란)(약칭: DBF3P-II) 및 4-{3-[3-(9-페닐-9H-플루오렌-9-일)페닐]페닐}다이벤조퓨란(약칭: mmDBFFLBi-II) 등의 퓨란 골격을 가지는 화합물이 포함된다. 상기 재료 중에서, 방향족 아민 골격을 가지는 화합물 및 카바졸 골격을 가지는 화합물은, 신뢰성이 높고 정공 수송성이 높아 구동 전압의 저감에 기여하기 때문에 바람직하다.

[0198] 또한 엑시플렉스를 형성하고 호스트 재료로서 사용되는 재료들의 조합은, 그들이 캐리어를 수송할 수 있고 그 조합이 엑시플렉스를 형성할 수 있고 그 엑시플렉스의 발광이 발광 재료의 흡수 스펙트럼에서의 가장 장파장 측의 흡수대(단일항 기저 상태에서부터 단일항 여기 상태로의 발광 재료의 전이에 상당하는 흡수)와 중첩되기만 하면 상술한 화합물에 한정되지 않고, 다른 재료를 사용하여도 좋다.

[0199] 발광층의 호스트 재료로서 열 활성화 지연 형광 재료를 사용하여도 좋다.

[0200] 발광층에 사용되는 전자 수송성 재료로서, 전자 주입층에 사용되는 전자 수송성 재료와 같은 재료를 사용할 수 있다. 이에 의하여 발광 소자의 제작이 간략화되어 발광 소자의 제작 비용이 저감된다.

- [0201] <<전자 수송층>>
- [0202] 전자 수송층(118, 2113, 및 2118) 각각은 전자 수송성이 높은 물질을 포함한다. 전자 수송층(118, 2113, 및 2118)에 사용되는 전자 수송성이 높은 물질의 예에는 퀴놀린 배위자, 벤조퀴놀린 배위자, 옥사졸 배위자, 및 싸이아졸 배위자를 가지는 금속 착체, 옥사다이하졸 유도체, 트라이아졸 유도체, 페난트롤린 유도체, 피리딘 유도체, 및 바이피리딘 유도체가 포함된다. 구체적으로, 전자 주입층(130, 2130, 및 2119)에 사용할 수 있는 화합물의 예로서 기재된 금속 착체 및 헤테로방향족 화합물 중 임의의 것을 사용할 수 있다. 또한 전자 수송성이 정공 수송성보다 높기만 하면 전자 수송층(118, 2113, 및 2118)에 다른 물질을 사용하여도 좋다.
- [0203] 전자 수송층(118, 2113, 및 2118) 각각은 단층에 한정되지 않고, 상술한 물질을 포함하는 2층 이상의 적층을 포함하여도 좋다.
- [0204] 전자 수송층(118)과 발광층(140) 사이, 전자 수송층(2113)과 발광층(2140) 사이, 그리고 전자 수송층(2118)과 발광층(2170) 사이에 전자 캐리어의 수송을 제어하는 층을 제공하여도 좋다. 이는 전자 트랩성이 높은 물질을 상술한 전자 수송성이 높은 재료에 소량 첨가함으로써 형성된 층이고, 이 층은 전자 캐리어의 수송을 억제함으로써 캐리어 밸런스를 조정할 수 있다. 이러한 구조는 발광층을 전자가 통과할 때 발생하는 문제(소자 수명의 저하 등)를 방지하는 데 매우 효과적이다.
- [0205] 전자 수송층에 사용되는 전자 수송성 재료로서, 전자 주입층에 사용되는 전자 수송성 재료와 같은 재료를 사용할 수 있다. 전자 수송층에 사용되는 전자 수송성 재료로서, 발광층에 사용되는 전자 수송성 재료와 같은 재료를 사용할 수 있다. 이 구조에 의하여, 발광 소자를 쉽게 제작할 수 있고 발광 소자의 제작 비용을 저감할 수 있다.
- [0206] 또한 상술한 정공 주입층, 정공 수송층, 발광층, 전자 수송층, 및 전자 주입층은 각각 증착법(진공 증착법을 포함함), 잉크젯법, 도포법, 또는 그라비아 인쇄법 등에 의하여 형성할 수 있다. 상술한 재료 외에도, 정공 주입층, 정공 수송층, 발광층, 전자 수송층, 및 전자 주입층에는 퀀텀닷(quantum dot) 등의 무기 화합물, 또는 고분자 화합물(예를 들어 올리고머, 덴드리머, 또는 폴리머)을 사용하여도 좋다.
- [0207] 퀀텀닷은 예를 들어, 콜로이드 퀀텀닷, 합금 퀀텀닷, 코어셸 퀀텀닷, 또는 코어 퀀텀닷이어도 좋다. 2족 및 16족에 속하는 원소, 13족 및 15족에 속하는 원소, 13족 및 17족에 속하는 원소, 11족 및 17족에 속하는 원소, 또는 14족 및 15족에 속하는 원소를 포함한 퀀텀닷을 사용하여도 좋다. 또는, 카드뮴(Cd), 셀레늄(Se), 아연(Zn), 황(S), 인(P), 인듐(In), 텔루륨(Te), 납(Pb), 갈륨(Ga), 비소(As), 또는 알루미늄(Al) 등의 원소를 포함한 퀀텀닷을 사용하여도 좋다.
- [0208] 웨트 프로세스에 사용되는 액체 매체의 예에는 메틸에틸케톤 및 사이클로헥사논 등의 케톤류; 아세트산에틸 등의 지방산에스터류; 다이클로로벤젠 등의 할로젠화 탄화수소류; 톨루엔, 자일렌, 메시틸렌, 및 사이클로헥실벤젠 등의 방향족 탄화수소류; 사이클로헥세인, 테칼린, 및 도데케인 등의 지방족 탄화수소류; 다이메틸포아마이드(DMF); 또는 다이메틸설폭사이드(DMSO) 등의 유기 용매가 있다.
- [0209] 발광층에 사용할 수 있는 고분자 화합물의 예에는, 폴리[2-메톡시-5-(2-에틸헥실옥시)-1,4-페닐렌바이닐렌](약칭: MEH-PPV) 또는 폴리(2,5-다이옥틸-1,4-페닐렌바이닐렌) 등의 폴리페닐렌바이닐렌(PPV) 유도체; 폴리(9,9-다이-*n*-옥틸플루오렌일-2,7-다이일)(약칭: PF8), 폴리[(9,9-다이-*n*-옥틸플루오렌일-2,7-다이일)-*alt*-(벤조[2,1,3]사이아다이하졸-4,8-다이일)](약칭: F8BT), 폴리(9,9-다이-*n*-옥틸플루오렌일-2,7-다이일)-*alt*-(2,2'-바이사이오펜-5,5'-다이일)](약칭: F8T2), 폴리[(9,9-다이옥틸-2,7-다이바이닐렌플루오렌일렌)-*alt*-(9,10-안트라센)], 또는 폴리[(9,9-다이헥실플루오렌-2,7-다이일)-*alt*-(2,5-다이메틸-1,4-페닐렌)] 등의 폴리플루오렌 유도체; 폴리(3-헥실사이오펜-2,5-다이일)(약칭: P3HT) 등의 폴리알킬사이오펜(PAT) 유도체; 그리고 폴리페닐렌 유도체가 포함된다. 이들 고분자 화합물, 혹은 폴리(9-바이닐카바졸)(약칭: PVK), 폴리(2-바이닐나프탈렌), 또는 폴리[비스(4-페닐)(2,4,6-트라이메틸페닐)아민](약칭: PTAA) 등의 고분자 화합물에 발광성 저분자 화합물을 도핑하고 발광층에 사용하여도 좋다. 발광성 저분자 화합물로서는, 상술한 형광성 화합물 중 임의의 것을 사용할 수 있다.
- [0210] <<한 쌍의 전극>>
- [0211] 전극(101, 102, 2101, 2102, 2103, 및 2104) 각각은 발광 소자의 양극 또는 음극으로서 기능한다. 전극(101, 102, 2101, 2102, 2103, 및 2104) 각각은 금속, 합금, 또는 도전성 화합물, 혹은 그들의 혼합물 또는 적층 등을 사용하여 형성할 수 있다.

- [0212] 전극(101) 또는 전극(102)은 광을 반사하는 기능을 가지는 도전 재료를 사용하여 형성하는 것이 바람직하다. 전극(2102) 또는 전극(2101, 2103, 및 2104)은 광을 반사하는 기능을 가지는 도전 재료를 사용하여 형성하는 것이 바람직하다. 도전 재료의 예에는 알루미늄(Al), 및 Al을 포함한 합금 등이 포함된다. Al을 포함한 합금의 예에는, Al 및 Ti을 포함한 합금 그리고 Al, Ni, 및 La을 포함한 합금 등, Al 및 L(L은 타이타늄(Ti), 네오디뮴(Nd), 니켈(Ni), 및 란타넘(La) 중 하나 이상을 나타냄)을 포함한 합금이 포함된다. 알루미늄은 저항이 낮고 광 반사율이 높다. 알루미늄은 지각(地殼)에 대량으로 포함되고 저렴하기 때문에 알루미늄을 사용함으로써 발광 소자의 제작 비용을 저감할 수 있다. 은(Ag)은 광 반사율이 높기 때문에 전극의 재료로서 적합하게 사용할 수 있다. 또한 Ag은 11족에 속하는 전이 금속이고, 전자 주입층에 Ag이 사용된 발광 소자의 음극으로서 Ag을 사용하면 전극과 전자 주입층 사이의 밀착성이 향상되므로 바람직하다. 또는, 예를 들어 Ag과 N(N은 이트륨(Y), Nd, 마그네슘(Mg), 이터븀(Yb), Al, Ti, 갈륨(Ga), 아연(Zn), 인듐(In), 텅스텐(W), 망가니즈(Mn), 주석(Sn), 철(Fe), Ni, 구리(Cu), 팔라듐(Pd), 이리듐(Ir), 및 금(Au) 중 하나 이상)의 합금을 사용할 수 있다. 은을 포함한 합금의 예에는 은, 팔라듐, 및 구리를 포함한 합금, 은 및 구리를 포함한 합금, 은 및 마그네슘을 포함한 합금, 은 및 니켈을 포함한 합금, 은 및 금을 포함한 합금, 그리고 은 및 이터븀을 포함한 합금 등이 포함된다. 그 이외에 텅스텐, 크로뮴(Cr), 몰리브데넘(Mo), 구리, 또는 타이타늄 등의 전이 금속을 사용할 수 있다.
- [0213] 발광층으로부터 방출되는 광은 전극(101 및/또는 102)을 통하여, 혹은 전극(2102) 및/또는 전극(2101, 2103, 및 2104)을 통하여 추출된다. 그러므로, 전극(101) 및 전극(102) 중 적어도 하나, 그리고 전극(2102) 및 일군의 전극(2101, 2103, 및 2104) 중 적어도 하나는 광을 투과시키는 기능을 가지는 도전 재료를 사용하여 형성되는 것이 바람직하다. 도전 재료로서는 가시광 투과율이 40% 이상 100% 이하, 바람직하게는 60% 이상 100% 이하이고, 저항률이 $1 \times 10^{-2} \Omega \cdot \text{cm}$ 이하인 도전 재료를 사용할 수 있다.
- [0214] 전극(101, 102, 2101, 2102, 2103, 및 2104) 각각은 광을 투과 및 반사하는 기능을 가지는 도전 재료를 사용하여 형성하여도 좋다. 도전 재료로서는 가시광 반사율이 20% 이상 80% 이하, 바람직하게는 40% 이상 70% 이하이고, 저항률이 $1 \times 10^{-2} \Omega \cdot \text{cm}$ 이하인 도전 재료를 사용할 수 있다. 예를 들어 도전성의 금속 및 합금, 및 도전성 화합물 등을 1종류 이상 사용할 수 있다. 구체적으로는 인듐 주석 산화물(이하 ITO라고 함), 실리콘 또는 산화 실리콘을 포함한 인듐 주석 산화물(ITSO), 산화 인듐-산화 아연(인듐 아연 산화물), 타이타늄을 포함한 산화 인듐-주석 산화물, 인듐 타이타늄 산화물, 혹은 산화 텅스텐 및 산화 아연을 포함한 산화 인듐 등의 금속 산화물을 사용할 수 있다. 광을 투과시키는 두께(바람직하게는 1nm 이상 30nm 이하의 두께)의 금속 박막을 사용할 수도 있다. 금속으로서 Ag, Ag와 Al의 합금, Ag와 Mg의 합금, Ag와 Au의 합금, 또는 Ag와 Yb의 합금 등을 사용할 수 있다.
- [0215] 도전층(2101b), 도전층(2103b), 및 도전층(2104b)은 광을 투과시키는 기능을 가지는 상술한 도전 재료를 사용하여 각각 형성되는 것이 바람직하다. 도전층(2101a), 도전층(2103a), 및 도전층(2104a)은 광을 반사하는 기능을 가지는 도전 재료, 광을 투과시키는 기능을 가지는 도전 재료, 또는 광을 투과 및 반사하는 기능을 가지는 도전 재료를 사용하여 각각 형성되는 것이 바람직하다.
- [0216] 본 명세서 등에서는 광을 투과시키는 기능을 가지는 재료로서, 가시광을 투과시키고 도전성을 가지는 재료를 사용한다. 상기 재료의 예에는 상술한 ITO로 대표되는 산화물 도전체에 더하여, 산화물 반도체, 및 유기 물질을 포함한 유기 도전체가 포함된다. 유기 물질을 포함한 유기 도전체의 예에는 유기 화합물과 전자 공여체(도너)를 혼합한 복합 재료, 및 유기 화합물과 전자 수용체(억셉터)를 혼합한 복합 재료가 포함된다. 또는 그래핀 등의 무기 탄소계 재료를 사용하여도 좋다. 상기 재료의 저항률은 바람직하게는 $1 \times 10^5 \Omega \cdot \text{cm}$ 이하, 더 바람직하게는 $1 \times 10^4 \Omega \cdot \text{cm}$ 이하이다.
- [0217] 또는, 전극(101) 및 전극(102) 중 적어도 하나, 그리고 전극(2102) 및 일군의 전극(2101, 2103, 및 2104) 중 적어도 하나는 상술한 복수의 재료를 적층시켜 형성하여도 좋다.
- [0218] 광 추출 효율을 향상시키기 위하여, 광을 투과시키는 기능을 가지는 전극보다 굴절률이 높은 재료를 상기 전극과 접촉시켜 형성하여도 좋다. 상기 재료는 가시광을 투과시키는 기능을 가지기만 하면, 도전성이어도 좋고 비도전성이어도 좋다. 상술한 산화물 도전체에 더하여, 산화물 반도체 및 유기 물질을 상기 재료의 예로서 들 수 있다. 유기 물질의 예에는 발광층, 정공 주입층, 정공 수송층, 전자 수송층, 및 전자 주입층의 재료가 포함된다. 또는 무기 탄소계 재료 또는 광을 투과시킬 정도로 얇은 금속막을 사용할 수 있다. 또는, 수 나노미터 내

지 수십 나노미터의 두께를 가지는 적층을 사용하여도 좋다.

- [0219] 전극(101) 또는 전극(102)이 음극으로서 기능하는 경우, 전극은 일함수가 낮은(3.8eV 이하) 재료를 포함하는 것이 바람직하다. 전극(2102) 또는 전극(2101, 2103, 및 2104)이 음극으로서 기능하는 경우, 전극은 일함수가 낮은(3.8eV 이하) 재료를 포함하는 것이 바람직하다.
- [0220] 전극(101) 또는 전극(102)이 양극으로서 사용되는 경우, 양극은 일함수가 높은(4.0eV 이상) 재료를 포함하는 것이 바람직하다. 전극(2102) 또는 전극(2101, 2103, 및 2104)이 양극으로서 기능하는 경우, 양극은 일함수가 높은(4.0eV 이상) 재료를 포함하는 것이 바람직하다.
- [0221] 전극(101) 및 전극(102) 각각은 광을 반사하는 기능을 가지는 도전 재료와 광을 투과시키는 기능을 가지는 도전 재료의 적층으로 하여도 좋다. 이러한 구조는, 각 발광층으로부터 방출되는 원하는 파장의 광이 공진되고 강화되도록 전극(101 및 102) 각각이 광로 길이를 조정하는 기능을 가질 수 있기 때문에 바람직하다. 마찬가지로, 전극(2102) 및/또는 전극(2101, 2103, 및 2104) 각각은 광을 반사하는 기능을 가지는 도전 재료와 광을 투과시키는 기능을 가지는 도전 재료의 적층으로 하여도 좋다. 이러한 구조는, 각 발광층으로부터 방출되는 원하는 파장의 광이 공진되고 강화되도록 전극(2101, 2102, 2103, 및 2104) 각각이 광로 길이를 조정하는 기능을 가질 수 있기 때문에 바람직하다.
- [0222] 전극(101, 102, 2101, 2102, 2103, 및 2104)의 형성 방법으로는 스퍼터링법, 증착법, 인쇄법, 도포법, MBE(molecular beam epitaxy)법, CVD법, 펄스 레이저 퇴적법, 또는 ALD(atomic layer deposition)법 등을 적절히 사용할 수 있다.
- [0223] <<마이크로캐비티 구조>>
- [0224] 본 발명의 일 형태의 발광 소자는, 예를 들어 도 49의 (A) 및 (B)에 나타난 바와 같이, 광을 반사하는 기능을 가지는 도전 재료를 사용하여 전극(2101)이 형성되고 광을 투과 및 반사하는 기능을 가지는 도전 재료를 사용하여 전극(2102)이 형성되는 미소 광 공진기(마이크로캐비티) 구조를 사용할 수 있다. 이 구조에 의하여, 발광층(2140) 또는 발광층(2170)으로부터 방출된 광이 전극들 사이에서 공진될 수 있고, 전극(2102)을 통하여 방출되는 광 중 원하는 광을 강화시킬 수 있다.
- [0225] 또한 본 실시형태에서는 전극(2102) 측(음극 측)에 광이 추출되지만, 전극(2101) 측(양극 측)에 광이 추출되어도 좋다. 이 경우, 전극(2101)은 광을 반사 및 투과시키는 기능을 가지는 도전 재료를 사용하여 형성되고, 전극(2102)은 광을 반사하는 기능을 가지는 도전 재료를 사용하여 형성된다.
- [0226] 발광층(2140 및 2170)으로부터 방출되는 광은 한 쌍의 전극(예를 들어 전극(2101) 및 전극(2102)) 사이에서 공진된다. 발광층(2140 및 2170)은 방출되는 광 중 원하는 파장의 광의 강도를 높이는 위치에 형성된다. 예를 들어, 전극(2101)의 반사 영역부터 발광층(2170)의 발광 영역까지의 광로 길이, 그리고 전극(2102)의 반사 영역부터 발광층(2170)의 발광 영역까지의 광로 길이를 조정함으로써, 발광층(2170)으로부터 방출되는 광 중 원하는 파장의 광을 강화시킬 수 있다. 예를 들어, 전극(2101)의 반사 영역부터 발광층(2140)의 발광 영역까지의 광로 길이, 그리고 전극(2102)의 반사 영역부터 발광층(2140)의 발광 영역까지의 광로 길이를 조정함으로써, 발광층(2140)으로부터 방출되는 광 중 원하는 파장의 광을 강화시킬 수 있다. 발광 소자가 복수의 발광층(여기서는 발광층(2140 및 2170))의 적층을 가지는 경우, 발광층(2140 및 2170)의 광로 길이를 최적화하는 것이 바람직하다.
- [0227] 예를 들어, 발광층(2140)으로부터 얻어지는 원하는 파장의 광(파장: λ)을 증폭시키기 위하여, 전극(2101)의 반사 영역부터 발광층(2140)에서 원하는 파장의 광이 얻어지는 영역(발광 영역)까지의 광로 길이, 그리고 전극(2102)의 반사 영역부터 발광층(2140)에서 원하는 파장의 광이 얻어지는 영역(발광 영역)까지의 광로 길이를 $(2m'-1)\lambda/4$ (m' 은 자연수) 근방으로 조정하는 것이 바람직하다. 여기서, 발광 영역은 발광층(2140)에서 정공과 전자가 재결합하는 영역을 의미한다.
- [0228] 이러한 광학 조정에 의하여, 발광층(2140)으로부터 방출되는 광의 스펙트럼을 좁게 할 수 있고, 색 순도가 높은 발광을 얻을 수 있다.
- [0229] <<기판>>
- [0230] 본 발명의 일 형태의 발광 소자는 유리 또는 플라스틱 등의 기판 위에 형성하여도 좋다. 기판 위에 층들을 적층하는 방법으로는 층들을 전극(101) 측으로부터 순차적으로 적층하여도 좋고 전극(102) 측으로부터 순차적으로 적층하여도 좋다. 발광 소자(2250a) 및 발광 소자(2250b)의 층들을 적층하는 방법으로는 층들을 전극

(2101) 층, 전극(2102) 층, 및 전극(2103) 층으로부터 순차적으로 적층하여도 좋고, 전극(2102) 층으로부터 순차적으로 적층하여도 좋다.

[0231] 본 발명의 일 형태의 발광 소자를 형성할 수 있는 기판에는 예를 들어 유리, 석영, 또는 플라스틱 등을 사용할 수 있다. 또는 플렉시블 기판을 사용할 수 있다. 플렉시블 기판은 예를 들어 폴리카보네이트 또는 폴리아릴레이트로 만들어진 플라스틱 기판 등 구부릴 수 있는 기판이다. 필름 또는 무기 증착 필름 등을 사용할 수 있다. 발광 소자 또는 광학 소자의 제작 공정에서 기판이 지지체로서 기능하기만 하면 다른 재료를 사용하여도 좋다. 발광 소자 또는 광학 소자를 보호하는 기능을 가지는 다른 재료를 사용하여도 좋다.

[0232] 본 명세서 등에서 발광 소자는 예를 들어 다양한 기판 중 임의의 것을 사용하여 형성할 수 있다. 기판의 종류는 특별히 한정되지 않는다. 기판의 예에는 반도체 기판(예를 들어 단결정 기판 또는 실리콘 기판), SOI 기판, 유리 기판, 석영 기판, 플라스틱 기판, 금속 기판, 스테인리스 스틸 기판, 스테인리스 스틸 포일을 포함한 기판, 텅스텐 기판, 텅스텐 포일을 포함한 기판, 플렉시블 기판, 접합 필름, 섬유상의 재료를 포함하는 셀룰로스 나노섬유(CNF) 및 종이, 그리고 기재 필름 등이 포함된다. 유리 기판의 예로서, 바륨 보로실리케이트 유리 기판, 알루미늄 보로실리케이트 유리 기판, 또는 소다 석회 유리 기판 등을 들 수 있다. 플렉시블 기판, 접합 필름, 및 기재 필름 등의 예는 폴리에틸렌 테레프탈레이트(PET), 폴리에틸렌 나프탈레이트(PEN), 폴리에터 설펜(PES), 또는 폴리테트라플루오로에틸렌(PTFE)으로 대표되는 플라스틱의 기판이다. 다른 예에는 아크릴 등의 수지가 있다. 또는, 폴리프로필렌, 폴리에스터, 폴리플루오린화바이닐, 또는 폴리염화바이닐 등을 사용할 수 있다. 또는 폴리아마이드, 폴리이미드, 아라미드, 에폭시, 무기 증착 필름, 또는 종이 등을 사용할 수 있다.

[0233] 기판으로서 플렉시블 기판을 사용하고 발광 소자를 플렉시블 기판에 직접 제공하여도 좋다. 기판과 발광 소자 사이에 분리층을 제공하여도 좋다. 분리층은, 분리층 위에 형성된 발광 소자의 일부 또는 전체를 완성시키고, 기판으로부터 분리하고, 다른 기판으로 전치할 때에 사용할 수 있다. 이러한 경우, 발광 소자를 내열성이 낮은 기판 또는 플렉시블 기판으로도 전치할 수 있다. 상술한 분리층에는, 예를 들어 텅스텐막과 산화 실리콘막의 무기막들을 포함한 적층, 또는 기판 위에 형성된 폴리이미드 등의 수지막을 사용할 수 있다.

[0234] 바꿔 말하면, 기판을 사용하여 발광 소자를 형성한 후에 발광 소자를 다른 기판으로 전치하여도 좋다. 발광 소자를 전치하는 기판의 예에는 상술한 기판에 더하여, 셀로판 기판, 석재 기판, 목재 기판, 천 기판(천연 섬유(예를 들어 견, 면, 또는 마), 합성 섬유(예를 들어 나일론, 폴리우레탄, 또는 폴리에스터), 및 재생 섬유(예를 들어 아세테이트, 쿠프라, 레이온, 또는 재생 폴리에스터 등을 포함함), 피혁 기판, 및 고무 기판이 포함된다. 이러한 기판을 사용함으로써, 내구성이 높은 발광 소자, 내열성이 높은 발광 소자, 가벼운 발광 소자, 또는 얇은 발광 소자를 얻을 수 있다.

[0235] 발광 소자(150), 발광 소자(2250a), 및 발광 소자(2250b)는 예를 들어, 상술한 기판 중 임의의 기판 위에 형성된 전계 효과 트랜지스터(FET)에 전기적으로 접속되는 전극 위에 각각 형성되어도 좋다. 따라서, FET가 발광 소자의 구동을 제어하는 액티브 매트릭스 표시 장치를 제작할 수 있다.

[0236] 광학 소자가 형성된 기판(2220)으로서는 상술한 기판을 사용할 수 있다.

[0237] <<차광층>>

[0238] 차광층(2223)은 외광의 반사를 저감하는 기능을 가진다. 차광층(2223)은 인접한 발광 소자로부터 방출되는 광이 섞이는 것을 방지하는 기능을 가진다. 차광층(2223)으로서는, 금속, 흑색 안료를 포함한 수지, 카본 블랙, 금속 산화물, 또는 복수의 금속 산화물의 고용체를 포함한 복합 산화물 등을 사용할 수 있다.

[0239] <<광학 소자>>

[0240] 광학 소자들(2224B, 2224G, 및 2224R)은 각각 입사광으로부터 특정의 색의 광을 선택적으로 투과시키는 기능을 가진다. 예를 들어, 광학 소자(2224B)를 통하여 영역(2222B)으로부터 방출되는 광은 청색 광이고, 광학 소자(2224G)를 통하여 영역(2222G)으로부터 방출되는 광은 녹색 광이고, 광학 소자(2224R)를 통하여 영역(2222R)으로부터 방출되는 광은 적색 광이다.

[0241] 예를 들어, 광학 소자(2224R, 2224G, 및 2224B)에는 착색층(컬러 필터라고도 함), 밴드 패스 필터, 또는 다층 필터 등을 사용할 수 있다. 또는, 광학 소자로서 색 변환 소자를 사용할 수 있다. 색 변환 소자는 입사광을, 이 입사광보다 파장이 긴 광으로 변환하는 광학 소자이다. 색 변환 소자로서는 퀀텀닷 소자를 적합하게 사용할 수 있다. 퀀텀닷형을 사용함으로써 표시 장치의 색재현성을 높일 수 있다.

[0242] 광학 소자(2224R, 2224G, 및 2224B) 각각 위에 하나 이상의 광학 소자를 더 적층하여도 좋다. 다른 광학 소자

로서는, 예를 들어 원편광판 또는 반사 방지막 등을 제공할 수 있다. 표시 장치의 발광 소자로부터 방출되는 광이 추출되는 측에 제공된 원편광판에 의하여, 표시 장치 외부로부터 들어오는 광이 표시 장치 내부에서 반사되어 외부로 되돌아가는 현상을 방지할 수 있다. 반사 방지막은 표시 장치의 표면으로 반사되는 외광을 약하게 할 수 있다. 이에 의하여 표시 장치로부터 방출되는 광을 선명하게 관찰할 수 있게 된다.

[0243] <<격벽>>

[0244] 격벽(2145)은 절연성을 가지며 무기 또는 유기 재료를 사용하여 형성된다. 무기 재료의 예에는 산화 실리콘, 산화질화 실리콘, 질화산화 실리콘, 질화 실리콘, 산화 알루미늄, 및 질화 알루미늄이 포함된다. 유기 재료의 예에는 아크릴 수지 및 폴리이미드 수지 등의 감광성 수지 재료가 포함된다.

[0245] 또한 산화질화 실리콘막이란, 산소의 비율이 질소의 비율보다 높은 막을 말한다. 산화질화 실리콘막은 산소를 55atomic% 내지 65atomic%, 질소를 1atomic% 내지 20atomic%, 실리콘을 25atomic% 내지 35atomic%, 그리고 수소를 0.1atomic% 내지 10atomic%의 범위로 포함하는 것이 바람직하다. 질화산화 실리콘막이란, 질소의 비율이 산소의 비율보다 높은 막을 말한다. 질화산화 실리콘막은 질소를 55atomic% 내지 65atomic%, 산소를 1atomic% 내지 20atomic%, 실리콘을 25atomic% 내지 35atomic%, 그리고 수소를 0.1atomic% 내지 10atomic%의 범위로 포함하는 것이 바람직하다.

[0246] 본 실시형태에서 설명한 구조는 다른 실시형태 중 임의의 것과 적절히 조합하여 적절히 사용할 수 있다.

[0247] (실시형태 2)

[0248] 본 실시형태에서는, 실시형태 1에서 설명한 구조와 다른 구조를 가지는 발광 소자 및 상기 발광 소자의 발광 기구에 대하여 도 3의 (A) 및 (B)를 참조하여 아래에서 설명한다. 도 3의 (A) 및 (B)에서, 도 1의 (A)와 같은 기능을 가지는 부분은 도 1의 (A)와 같은 해치 패턴으로 나타내어지고 특별히 부호로 나타내지 않는 경우가 있다. 또한 비슷한 기능을 가지는 부분에는 공통된 부호를 사용하고, 그 부분에 대한 자세한 설명을 생략하는 경우가 있다.

[0249] <발광 소자의 구조에 5>

[0250] 도 3의 (A) 및 (B)는 발광 소자(250) 및 발광 소자(252)의 단면 모식도이다.

[0251] 도 3의 (A) 및 (B)에 나타난 발광 소자(250 및 252) 각각은 한 쌍의 전극(전극(101) 및 전극(102)) 사이에 복수의 발광 유닛(도 3의 (A) 및 (B)에서는 발광 유닛(106) 및 발광 유닛(108))을 포함한다. 또한 발광 소자(250 및 252)에 대한 이하의 설명에 있어서 전극(101)은 양극으로서 기능하고 전극(102)은 음극으로서 기능하지만, 발광 소자(250)에서 상기 기능은 교환되어도 좋다.

[0252] 도 3의 (A) 및 (B)에 나타난 발광 소자(250 및 252)에서, 발광 유닛(106)과 발광 유닛(108)이 적층되고, 발광 유닛(106)과 발광 유닛(108) 사이에는 전하 발생층(115)이 제공된다. 또한 발광 유닛(106) 및 발광 유닛(108)은 같은 구조를 가져도 좋고 상이한 구조를 가져도 좋다.

[0253] 발광 소자(250 및 252) 각각은 발광층(140) 및 발광층(170)을 포함한다. 발광 유닛(106)은 발광층(170)에 더하여, 정공 주입층(111), 정공 수송층(112), 전자 수송층(113), 및 전자 주입층(114)을 포함한다. 발광 유닛(108)은 발광층(140)에 더하여, 정공 주입층(116), 정공 수송층(119), 전자 수송층(118), 및 전자 주입층(130)을 포함한다.

[0254] 실시형태 1에서 설명한 비공유 전자쌍을 가지는 유기 화합물과 전이 금속의 복합 재료를 전자 주입층(114) 및 전자 주입층(130)에 적합하게 사용할 수 있다. 이러한 구조에 의하여, 습기 저항이 높고 낮은 구동 전압으로 구동될 수 있으며 신뢰성이 높은 발광 소자를 제공할 수 있다. 또한 도 3의 (B)에 나타난 발광 소자(252)와 같이, 전자 주입층(130)과 전극(102) 사이에 전하 발생층(160)을 제공하여도 좋다. 이 구조에 의하여, 소자의 습기 저항 및 내산화성을 더 향상시킬 수 있다.

[0255] 전하 발생층(115 및 160) 각각은 상술한 바와 같이, 정공 수송성 재료에 엑셉터 물질, 즉 전자 수용체가 첨가된 구조, 및 전자 수송성 재료에 도너 물질, 즉 전자 공여체가 첨가된 구조 중 어느 쪽을 가져도 좋다. 또는, 이들 구조를 양쪽 적층시켜도 좋다. 이 구조에 의하여, 습기 저항이 높은 발광 소자를 쉽게 제작할 수 있다.

[0256] 본 발명의 일 형태의 발광 소자에서, 전하 발생층(115 및 160)은 같은 재료를 사용하여 형성하여도 좋다. 예를 들어, 전하 발생층(115 및 160)은 같은 정공 수송성 재료 및 같은 엑셉터 재료를 사용하여 형성하여도 좋다. 이 구조에 의하여, 습기 저항이 높은 발광 소자를 쉽게 제작할 수 있다.

- [0257] 발광 유닛(106)과 발광 유닛(108) 사이에 제공되는 전하 발생층(115)은, 전극(101)과 전극(102) 사이에 전압이 인가된 경우에 한쪽의 발광 유닛에 전자가 주입될 수 있고 다른 쪽의 발광 유닛에 정공이 주입될 수 있지만 하면 어느 구조를 가져도 좋다. 예를 들어 도 3의 (A) 및 (B)에서, 전극(101)의 전위가 전극(102)의 전위보다 높아지도록 전압이 인가된 경우, 전하 발생층(115)은 발광 유닛(106)에 전자를 주입하고 발광 유닛(108)에 정공을 주입한다.
- [0258] 2개의 발광 유닛을 가지는 발광 소자에 대하여 도 3의 (A) 및 (B)를 참조하여 설명하였지만, 비슷한 구조를 3개 이상의 발광 유닛이 적층된 발광 소자에 적용할 수 있다. 발광 소자(250)와 같이, 한 쌍의 전극 사이에서 복수의 발광 유닛을 전하 발생층으로 분할하면, 전류 밀도를 낮게 유지한 채 높은 휘도로 광을 방출할 수 있고 수명이 긴 발광 소자를 제공할 수 있다. 또한 저소비전력의 발광 소자를 실현할 수 있다.
- [0259] 또한 상술한 각 구조에서, 발광 유닛(106) 및 발광 유닛(108)에 사용되는 게스트 재료의 발광색은 같아도 좋고 상이하여도 좋다. 발광 유닛(106) 및 발광 유닛(108)에 같은 색의 광을 방출하는 게스트 재료를 사용하는 경우, 발광 소자(250 및 252)는 작은 전류값으로 높은 발광 휘도를 나타낼 수 있어 바람직하다. 발광 유닛(106) 및 발광 유닛(108)에 상이한 색의 광을 방출하는 게스트 재료를 사용하는 경우, 발광 소자(250)는 다색(多色) 발광을 나타낼 수 있어, 바람직하다. 이 경우, 발광층(140) 및 발광층(170) 중 한쪽 또는 양쪽에 발광 과장이 상이한 복수의 발광 재료를 사용할 때, 발광 소자(250)는 발광 피크가 상이한 광을 합성하여 얻어지는 광을 방출한다. 즉, 발광 소자(250)의 발광 스펙트럼은 적어도 2개의 극대값을 가진다.
- [0260] 상술한 구조는 백색 발광을 얻기 위해서도 적합하다. 발광층(140) 및 발광층(170)이 보색의 광을 방출하는 경우, 백색 발광을 얻을 수 있다. 연색성이 높은 백색 발광 또는 적어도 적색, 녹색, 및 청색의 발광을 얻을 수 있도록 게스트 재료를 선택하는 것이 특히 바람직하다.
- [0261] 또한 3개 이상의 발광 유닛을 적층한 발광 소자를 사용하는 경우, 발광 유닛들에 사용되는 게스트 재료의 발광색은 같아도 좋고 상이하여도 좋다. 같은 발광색을 나타내는 발광 유닛들을 발광 소자가 포함하는 경우, 이들 발광 유닛의 발광색은 발광 유닛의 다른 발광색보다 적은 전류값으로 더 높은 발광 휘도를 가질 수 있다. 이러한 구조는 발광색을 조정하기 위하여 적합하게 사용할 수 있다. 이 구조는 발광 효율이 상이하고 상이한 발광색을 나타내는 게스트 재료를 사용하는 경우에 특히 적합하다. 예를 들어, 발광 소자가 3층의 발광 유닛을 포함할 때, 발광 유닛은 형광성 화합물을 포함하고 같은 색의 광을 방출하는 2개의 발광 유닛과, 인광성 화합물을 포함하고 형광성 화합물의 색과 상이한 색의 광을 방출하는 하나의 발광 유닛이고, 이 경우에 형광과 인광의 강도를 조정할 수 있다. 즉, 발광 유닛의 수에 의하여, 각 색의 광의 발광 강도를 조정할 수 있다.
- [0262] 형광 발광 유닛 2층 및 인광 발광 유닛 1층을 발광 소자가 포함하는 경우, 발광 유닛의 바람직한 조합은 다음과 같다: 청색 형광성 화합물을 포함한 형광 발광 유닛 2층과, 황색 인광성 화합물을 포함한 인광 발광 유닛 1층의 조합; 청색 형광성 화합물을 포함한 형광 발광 유닛 2층과, 적색 인광성 화합물 및 녹색 인광성 화합물을 포함한 인광 발광 유닛 1층의 조합; 그리고 청색 형광성 화합물을 포함한 형광 발광 유닛 2층과, 적색 인광성 화합물, 황색 인광성 화합물, 및 녹색 인광성 화합물을 포함한 인광 발광 유닛 1층의 조합. 이들 조합은 효율적인 백색 발광을 가능하게 하므로 바람직하다.
- [0263] 발광층들(140 및 170) 중 적어도 한쪽이 층들로 더 분할되고, 상기 분할된 층이 상이한 발광 재료를 포함하여도 좋다. 즉, 발광층들(140 및 170) 중 적어도 한쪽이 2층 이상의 층으로 구성되어도 좋다. 예를 들어, 제 1 발광층과 제 2 발광층을 정공 수송층 측으로부터 이 순서대로 적층하여 발광층을 형성하는 경우, 제 1 발광층은 정공 수송성을 가지는 재료를 호스트 재료로서 사용하여 형성하고, 제 2 발광층은 전자 수송성을 가지는 재료를 호스트 재료로서 사용하여 형성한다. 이 경우, 제 1 발광층에 포함되는 발광 재료는 제 2 발광층에 포함되는 발광 재료와 같아도 좋고 상이하여도 좋다. 또한 이들 재료는 같은 색의 광 또는 상이한 색의 광을 방출하는 기능을 가져도 좋다. 상이한 색의 광을 방출하는 복수의 발광 재료를 사용함으로써, 3원색 또는 4가지 이상의 색으로 이루어지는 연색성이 높은 백색 발광을 얻을 수 있다.
- [0264] 또한 발광 유닛(106 및 108) 및 전하 발생층(115)은 증착법(진공 증착법을 포함함), 잉크젯법, 도포법, 또는 그라비아 인쇄 등에 의하여 형성할 수 있다.
- [0265] 또한 본 실시형태에서 설명한 구조는 다른 실시형태에서 설명한 구조 중 임의의 것과 적절히 조합하여 사용할 수 있다.
- [0266] (실시형태 3)

- [0267] 본 실시형태에서는, 실시형태 1 및 2에서 설명한 발광 소자를 사용한 발광 장치의 예에 대하여 도 4의 (A) 및 (B), 도 5의 (A) 및 (B), 그리고 도 6을 참조하여 아래에서 설명한다.
- [0268] 도 4의 (A)는 발광 장치의 상면도이고, 도 4의 (B)는 도 4의 (A)의 선 A-B 및 선 C-D를 따라 취한 단면도이다. 이 발광 장치는 발광 소자의 발광을 제어하며 점선으로 도시된 구동 회로부(소스측 구동 회로)(601), 화소부(602), 및 구동 회로부(게이트측 구동 회로)(603)를 포함한다. 또한 부호(604)는 밀봉 기판을 나타내고, 부호(625)는 건조제를 나타내고, 부호(605)는 실란트를 나타낸다. 실란트(605)로 둘러싸인 부분은 공간(607)이다.
- [0269] 또한 리드 배선(608)은 소스측 구동 회로(601) 및 게이트측 구동 회로(603)에 입력되는 신호를 전송하며, 외부 입력 단자로서 기능하는 FPC(flexible printed circuit)(609)로부터 비디오 신호, 클럭 신호, 스타트 신호, 및 리셋 신호 등을 받는 배선이다. 여기서는 FPC만을 도시하였지만, FPC에 PWB(printed wiring board)가 장착되어도 좋다. 본 명세서에서의 발광 장치는, 발광 장치 자체뿐만 아니라, FPC 또는 PWB가 제공된 발광 장치도 그 범주에 포함한다.
- [0270] 다음으로, 발광 장치의 단면 구조에 대하여 도 4의 (B)를 참조하여 설명한다. 소자 기판(610) 위에 구동 회로부 및 화소부를 형성한다. 여기서는 구동 회로부인 소스측 구동 회로(601)와, 화소부(602) 중 하나의 화소를 도시하였다.
- [0271] 소스측 구동 회로(601)에는, n채널 TFT(623)와 p채널 TFT(624)가 조합된 CMOS 회로가 형성된다. 구동 회로는 CMOS 회로, PMOS 회로, 또는 NMOS 회로 등의 다양한 회로를 사용하여 형성되어도 좋다. 본 실시형태에서는 기판 위에 구동 회로가 형성된 드라이버 일체형을 설명하지만, 구동 회로는 반드시 기판 위에 형성될 필요는 없고, 기판 외부에 형성되어도 좋다.
- [0272] 화소부(602)는 스위칭 TFT(611), 전류 제어 TFT(612), 및 전류 제어 TFT(612)의 드레인에 전기적으로 접속된 제 1 전극(613)을 포함한 복수의 화소를 포함한다. 또한 제 1 전극(613)의 단부를 덮도록 절연체(614)가 형성된다. 절연체(614)는 포지티브 감광성 수지막을 사용하여 형성될 수 있다.
- [0273] 절연체(614) 위에 형성되는 막의 피복성을 향상시키기 위하여, 절연체(614)는 그 상단부 또는 하단부에 곡률을 가지는 곡면을 가지도록 형성된다. 예를 들어 감광성 아크릴을 절연체(614)의 재료로서 사용하는 경우, 절연체(614)의 상단부만이 곡면을 가지는 것이 바람직하다. 곡면의 곡률 반경은 0.2 μ m 이상 0.3 μ m 이하인 것이 바람직하다. 절연체(614)로서, 네거티브 감광성 재료 또는 포지티브 감광성 재료를 사용할 수 있다.
- [0274] 제 1 전극(613) 위에는 EL층(616) 및 제 2 전극(617)이 형성된다. 양극으로서 기능하는 제 1 전극(613)에 사용되는 재료로서는, 일함수가 높은 재료를 사용하는 것이 바람직하다. 예를 들어, IT0막, 실리콘을 포함한 인듐 주석 산화물막, 산화 아연을 2wt% 내지 20wt% 포함한 산화 인듐막, 질화 타이타늄막, 크로뮴막, 텅스텐막, Zn막, 또는 Pt막 등의 단층막, 질화 타이타늄막과 알루미늄을 주성분으로서 포함한 막을 포함하는 적층, 또는 질화 타이타늄막과 알루미늄을 주성분으로서 포함한 막과 질화 타이타늄막의 3층을 포함하는 적층 등을 사용할 수 있다. 적층 구조는 낮은 배선 저항, 양호한 옴 콘택트(ohmic contact), 및 양극으로서의 기능을 달성한다.
- [0275] EL층(616)은 증착 마스크를 사용하는 증착법, 잉크젯법, 및 스핀 코팅법 등 다양한 방법 중 임의의 방법에 의하여 형성된다. EL층(616)에 포함되는 다른 재료로서는 저분자 화합물 또는 고분자 화합물(올리고머 또는 덴드리머를 포함함)을 사용하여도 좋다.
- [0276] EL층(616) 위에 형성되고 음극으로서 기능하는 제 2 전극(617)에 사용되는 재료로서는, 일함수가 낮은 재료(예를 들어 Al)가 사용되는 것이 바람직하다. EL층(616)에서 발생한 광이 제 2 전극(617)을 통과하는 경우에는, 얇은 금속막과 투명 도전막(예를 들어, IT0, 산화 아연을 2wt% 이상 20wt% 이하로 포함한 산화 인듐, 실리콘을 포함한 인듐 주석 산화물, 또는 산화 아연(ZnO))을 포함하는 적층을 제 2 전극(617)에 사용하는 것이 바람직하다.
- [0277] 또한 제 1 전극(613), EL층(616), 및 제 2 전극(617)으로 발광 소자(618)가 형성된다. 발광 소자(618)는 실시형태 1 및 실시형태 2에서 설명한 구조를 가지는 것이 바람직하다. 본 실시형태의 발광 장치에서, 복수의 발광 소자를 포함하는 화소부는 실시형태 1 및 실시형태 2에서 설명한 구조를 가진 발광 소자 및 상이한 구조를 가지는 발광 소자의 양쪽을 포함하여도 좋다.
- [0278] 실란트(605)로 밀봉 기판(604)을 소자 기판(610)에 접착시켜, 소자 기판(610)과 밀봉 기판(604)과 실란트(605)로 둘러싸인 공간(607)에 발광 소자(618)가 제공된다. 공간(607)은 충전제로 충전되어 있다. 충전제는 불활성 가스(질소 또는 아르곤 등), 혹은 수지 및/또는 건조제이어도 좋다.

- [0279] 실란트(605)에는 에폭시계 수지 또는 유리 프리트(glass frit)를 사용하는 것이 바람직하다. 이러한 재료는 수분 또는 산소를 가능한 한 투과시키지 않는 것이 바람직하다. 밀봉 기관(604)으로서는 유리 기관, 석영 기관, 혹은 FRP(fiber reinforced plastic), PVF(polyvinyl fluoride), 폴리에스터, 또는 아크릴 등으로 형성된 플라스틱 기관을 사용할 수 있다.
- [0280] 상술한 바와 같이, 실시형태 1 및 2에서 설명한 발광 소자를 포함하는 발광 장치를 얻을 수 있다.
- [0281] <발광 장치의 구조예 1>
- [0282] 발광 장치의 예로서, 도 5의 (A) 및 (B) 각각은 백색 발광을 나타내는 발광 소자 및 착색층(컬러 필터)을 포함하는 발광 장치를 나타낸 것이다.
- [0283] 도 5의 (A)에는, 기관(1001), 하지 절연막(1002), 게이트 절연막(1003), 게이트 전극(1006, 1007, 및 1008), 제 1 층간 절연막(1020), 제 2 층간 절연막(1021), 주변부(1042), 화소부(1040), 구동 회로부(1041), 발광 소자의 제 1 전극(1024W, 1024R, 1024G, 및 1024B), 격벽(1026), EL층(1028), 발광 소자의 제 2 전극(1029), 밀봉 기관(1031), 및 실란트(1032) 등을 도시하였다.
- [0284] 도 5의 (A) 및 (B)에서, 착색층(적색 착색층(1034R), 녹색 착색층(1034G), 및 청색 착색층(1034B))이 투명한 기재(1033)에 제공된다. 흑색층(블랙 매트릭스)(1035)이 추가로 제공되어도 좋다. 착색층 및 흑색층이 제공된 투명한 기재(1033)는 위치를 맞추고 기관(1001)에 고정된다. 또한 착색층 및 흑색층은 오버코트층(1036)으로 덮여 있다. 도 5의 (A)에서는, 일부 발광층으로부터 방출되는 광은 착색층을 통과하지 않고, 나머지 발광층으로부터 방출되는 광은 착색층을 통과한다. 착색층을 통과하지 않는 광은 백색이고, 착색층 중 어느 하나를 통과하는 광은 적색, 청색, 또는 녹색이기 때문에, 4색의 화소들을 사용하여 화상을 표시할 수 있다.
- [0285] 도 5의 (B)는 적색 착색층(1034R), 녹색 착색층(1034G), 및 청색 착색층(1034B)이 게이트 절연막(1003)과 제 1 층간 절연막(1020) 사이에 형성된 예를 나타낸 것이다. 도 5의 (B)에 나타낸 바와 같이, 착색층은 기관(1001)과 밀봉 기관(1031) 사이에 제공되어도 좋다.
- [0286] 상술한 발광 장치는, TFT가 형성되는 기관(1001) 측으로부터 광이 추출되는 구조(보텀 이미션 구조)를 가지지만, 밀봉 기관(1031) 측으로부터 광이 추출되는 구조(탑 이미션 구조)를 가져도 좋다.
- [0287] <발광 장치의 구조예 2>
- [0288] 도 6은 탑 이미션 구조를 가지는 발광 장치의 단면도이다. 이 경우, 기관(1001)으로서 광을 투과시키지 않는 기관을 사용할 수 있다. TFT와 발광 소자의 양극을 접속시키는 접속 전극을 형성하는 단계까지의 공정은 보텀 이미션 구조를 가지는 발광 장치와 비슷한 식으로 수행된다. 그리고, 전극(1022)을 덮도록 제 3 층간 절연막(1037)을 형성한다. 이 절연막은 평탄화 기능을 가져도 좋다. 제 3 층간 절연막(1037)은 제 2 층간 절연막(1021)과 비슷한 재료를 사용하여 형성할 수 있고, 또는 다른 다양한 재료 중 임의의 것을 사용하여 형성할 수 있다.
- [0289] 발광 소자의 제 1 하부 전극(1025W, 1025R, 1025G, 및 1025B) 각각은, 여기서는 양극으로서 기능하지만, 음극으로서 기능하여도 좋다. 또한 도 6에 나타낸 바와 같은 탑 이미션 구조를 가지는 발광 장치의 경우, 하부 전극(1025W, 1025R, 1025G, 및 1025B)은 반사 전극인 것이 바람직하다. 또한 제 2 전극(1029)은 광을 반사하는 기능 및 광을 투과시키는 기능을 가지는 것이 바람직하다. 제 2 전극(1029)과 하부 전극(1025W, 1025R, 1025G, 및 1025B) 사이에서 마이크로캐비티 구조를 사용하면, 특정의 파장을 가지는 광이 증폭되므로 바람직하다. EL층(1028)은, 실시형태 2에서 설명한 구조와 비슷한 구조를 가지도록 형성되고, 이로써 백색 발광을 얻을 수 있다.
- [0290] 도 5의 (A) 및 (B) 그리고 도 6에서, 백색 발광을 제공하는 EL층의 구조는, 예를 들어 복수의 발광층을 사용하거나 복수의 발광 유닛을 사용함으로써 실현할 수 있다. 또한 백색 발광을 제공하는 구조는 상술한 것에 한정되지 않는다.
- [0291] 도 6에 나타낸 바와 같은 탑 이미션 구조의 경우, 착색층(적색의 착색층(1034R), 녹색의 착색층(1034G) 및 청색의 착색층(1034B))이 제공된 밀봉 기관(1031)으로 밀봉을 수행할 수 있다. 밀봉 기관(1031)에는 화소들 사이에 위치하는 흑색층(블랙 매트릭스)(1030)이 제공되어도 좋다. 착색층(적색 착색층(1034R), 녹색 착색층(1034G), 및 청색 착색층(1034B))과 흑색층(블랙 매트릭스)은 오버코트층으로 덮여도 좋다. 또한 밀봉 기관(1031)으로서 투광성 기관이 사용된다.

- [0292] 여기서는 적색, 녹색, 청색, 및 백색의 4색을 사용하여 풀 컬러 표시를 수행하는 예를 나타내었지만, 특별한 제한은 없으며, 적색, 녹색, 및 청색의 3색 또는 적색, 녹색, 청색, 및 황색의 4색을 사용하여 풀 컬러 표시를 수행하여도 좋다.
- [0293] 상술한 바와 같이, 실시형태 1 및 2에서 설명한 발광 소자를 포함하는 발광 장치를 얻을 수 있다.
- [0294] 또한 본 실시형태는 다른 실시형태 중 임의의 것과 적절히 조합할 수 있다.
- [0295] (실시형태 4)
- [0296] 본 실시형태에서는, 본 발명의 일 형태의 표시 장치에 사용할 수 있는 트랜지스터에 대하여 도 7의 (A) 내지 (G)를 참조하여 설명한다.
- [0297] 도 7의 (A)에 나타낸 트랜지스터는 소위 채널 에치 보텀 게이트형 트랜지스터이다. 상기 트랜지스터는 기판(411) 위에, 게이트 전극으로서 기능하는 도전층(431), 게이트 절연층으로서 기능하는 절연층(434), 반도체층(432), 그리고 소스 전극 및 드레인 전극으로서 기능하는 한 쌍의 도전층(433a 및 433b)을 포함한다. 도전층(431)과 중첩되는 반도체층(432)의 영역이 채널 형성 영역으로서 기능한다. 반도체층(432)은 도전층(433a 및 433b)에 접촉된다.
- [0298] 도 7의 (A)에 나타낸 트랜지스터는 소스 영역 및 드레인 영역으로서 기능하는 한 쌍의 불순물 반도체층(435)을 포함한다. 불순물 반도체층(435)은 반도체층(432)과 도전층(433a) 사이, 그리고 반도체층(432)과 도전층(433b) 사이에 제공된다. 반도체층(432) 및 불순물 반도체층(435)은 서로 접하여 제공된다. 불순물 반도체층(435)은 도전층(433a) 또는 도전층(433b)과 접하여 제공된다.
- [0299] 예를 들어, 반도체층(432)으로서 실리콘을 포함한 반도체를 사용할 수 있다. 실리콘을 포함한 반도체로서, 예를 들어 수소화 비정질 실리콘, 미결정(microcrystalline) 실리콘, 또는 다결정 실리콘을 사용할 수 있다. 수소화 비정질 실리콘은 대형 기판 위에 높은 수율로 형성할 수 있기 때문에 특히 바람직하다. 본 발명의 일 형태의 표시 장치는, 전계 효과 이동도가 비교적 낮은 비정질 실리콘을 포함한 트랜지스터를 사용한 경우에도 화상을 양호하게 표시할 수 있다.
- [0300] 반도체층(432)에는 유기물을 사용할 수 있다. 예를 들어, 상술한 전자 수송성 재료 또는 정공 수송성 재료를 유기물로서 사용할 수 있다. 또한 폴리싸이오펜, 폴리파라페닐렌 바이닐렌, 또는 폴리다이아세틸렌 등의 고분자 화합물을 사용할 수 있다. 또한 유기물은 이에 한정되지 않는다.
- [0301] 불순물 반도체층(435)을 형성하는 불순물 반도체막은 하나의 도전형을 부여하는 불순물 원소가 첨가된 반도체를 사용하여 형성된다. 트랜지스터가 n채널 트랜지스터인 경우, 예를 들어, 하나의 도전형을 부여하는 불순물 원소가 첨가된 반도체로서 P 또는 As가 첨가된 실리콘이 있다. 트랜지스터가 p채널 트랜지스터인 경우, 예를 들어, 하나의 도전형을 부여하는 불순물 원소로서 B를 첨가할 수 있지만, n채널 트랜지스터를 사용하는 것이 바람직하다. 또한 불순물 반도체층은 비정질 반도체, 또는 미결정 반도체 등의 결정성 반도체를 사용하여 형성하여도 좋다. 또한 실시형태 1에서 설명한 비공유 전자쌍을 가지는 유기 화합물과 전이 금속의 복합 재료를 불순물 반도체층(435)에 적합하게 사용할 수 있다.
- [0302] 도 7의 (B)에 나타낸 트랜지스터는 반도체층(432)과 불순물 반도체층(435) 사이에 반도체층(437)을 포함한다.
- [0303] 반도체층(437)은 반도체층(432)과 같은 반도체막을 사용하여 형성되어도 좋다. 반도체층(437)은, 불순물 반도체층(435)을 형성하기 위한 에칭 시에 반도체층(432)이 제거되는 것을 방지하는 에칭 스톱퍼로서 기능할 수 있다. 도 7의 (A)에는 반도체층(437)이 오른쪽 부분과 왼쪽 부분으로 분리된 예를 나타내었지만, 반도체층(437)의 일부가 반도체층(432)의 채널 형성 영역을 덮어도 좋다.
- [0304] 또한 반도체층(437)에 포함되는 불순물의 농도는 불순물 반도체층(435)에 포함되는 불순물의 농도보다 낮아도 좋다. 이로써, 반도체층(437)을 LDD(lightly doped drain) 영역으로서 기능시킬 수 있고, 트랜지스터를 구동시킬 때의 핫 캐리어 열화를 억제할 수 있다.
- [0305] 도 7의 (C)에 나타낸 트랜지스터에서는, 반도체층(432)의 채널 형성 영역 위에 절연층(484)이 제공된다. 절연층(484)은 불순물 반도체층(435)을 형성하기 위한 에칭 시에 에칭 스톱퍼로서 기능한다.
- [0306] 도 7의 (D)에 나타낸 트랜지스터는 반도체층(432) 대신에 반도체층(432p)을 포함한다. 반도체층(432p)은 결정성이 높은 반도체막을 포함한다. 예를 들어, 반도체층(432p)은 다결정 반도체 또는 단결정 반도체를 포함한다.

이로써, 전계 효과 이동도가 높은 트랜지스터를 제공할 수 있다.

- [0307] 도 7의 (E)에 나타난 트랜지스터는 반도체층(432)의 채널 형성 영역에 반도체층(432p)을 포함한다. 예를 들어, 도 7의 (E)에 나타난 트랜지스터는, 반도체층(432)이 되는 반도체막에 레이저 광 등을 조사하여 반도체막을 국소적으로 결정화시킴으로써 형성될 수 있다. 이로써, 전계 효과 이동도가 높은 트랜지스터를 제공할 수 있다.
- [0308] 도 7의 (F)에 나타난 트랜지스터는 도 7의 (B)에 나타난 트랜지스터의 반도체층(432)의 채널 형성 영역에 결정성을 가지는 반도체층(432p)을 포함한다.
- [0309] 도 7의 (G)에 나타난 트랜지스터는 도 7의 (C)에 나타난 트랜지스터의 반도체층(432)의 채널 형성 영역에 결정성을 가지는 반도체층(432p)을 포함한다.
- [0310] 트랜지스터의 구성요소에 대하여 아래에 자세히 설명한다.
- [0311] 각 트랜지스터는 게이트 전극으로서 기능하는 도전층, 반도체층, 소스 전극으로서 기능하는 도전층, 드레인 전극으로서 기능하는 도전층, 및 게이트 절연층으로서 기능하는 절연층을 포함한다.
- [0312] 또한 본 발명의 일 형태의 표시 장치에 포함되는 트랜지스터의 구조에 특별한 한정은 없다. 예를 들어, 플레인(planar)형 트랜지스터, 스테거형 트랜지스터, 또는 역 스테거형 트랜지스터를 사용하여도 좋다. 톱 게이트형 트랜지스터 또는 보텀 게이트형 트랜지스터를 사용하여도 좋다. 채널 상하에 게이트 전극을 제공하여도 좋다.
- [0313] 트랜지스터에 사용되는 반도체 재료의 결정성에 특별한 한정은 없고, 비정질 반도체 또는 결정성을 가지는 반도체(미결정 반도체, 다결정 반도체, 단결정 반도체, 또는 결정 영역을 부분적으로 포함한 반도체)를 사용하여도 좋다. 결정성을 가지는 반도체를 사용하면, 트랜지스터 특성의 열화를 억제할 수 있으므로 바람직하다.
- [0314] 예를 들어 트랜지스터의 채널이 형성되는 반도체로서 실리콘을 사용할 수 있다. 특히, 실리콘으로서는 비정질 실리콘을 사용하는 것이 바람직하다. 비정질 실리콘을 사용함으로써, 대형 기판 위에 높은 수율로 트랜지스터를 형성할 수 있어 양산성이 우수해진다.
- [0315] 또한 미결정 실리콘, 다결정 실리콘, 또는 단결정 실리콘 등의 결정성을 가지는 실리콘을 사용할 수 있다. 특히, 다결정 실리콘은 단결정 실리콘보다 낮은 온도로 형성될 수 있으며, 비정질 실리콘보다 높은 전계 효과 이동도와 신뢰성을 가진다.
- [0316] 본 실시형태에서 설명한 보텀 게이트형 트랜지스터는 제작 공정의 수를 줄일 수 있기 때문에 바람직하다. 다결정 실리콘보다 저온에서 형성할 수 있는 비정질 실리콘을 반도체층에 사용하면, 내열성이 낮은 재료를 반도체층보다 아래에 있는 배선, 전극, 또는 기판에 사용할 수 있어, 재료 선택의 폭이 넓어진다. 예를 들어, 매우 큰 유리 기판을 바람직하게 사용할 수 있다. 한편, 톱 게이트형 트랜지스터는 자기 정합(self-aligned)적으로 불순물 영역을 형성하기 쉽고, 특성의 편차를 저감시킬 수 있기 때문에 바람직하다. 톱 게이트형 트랜지스터는 다결정 실리콘 또는 단결정 실리콘 등을 채용하는 경우에 특히 바람직한 경우가 있다.
- [0317] <<기판>>
- [0318] 적어도 나중에 수행되는 가열 처리에 견딜 수 있을 정도로 높은 내열성을 가지는 재료이기만 하면, 기판(411)의 재료 성질 등에 특별한 한정은 없다. 예를 들어 유리 기판, 세라믹 기판, 석영 기판, 또는 사파이어 기판 등을 기판(411)으로서 사용하여도 좋다. 또는, 기판(411)으로서, 실리콘 또는 탄소화 실리콘의 단결정 반도체 기판 또는 다결정 반도체 기판, 실리콘 저마늄 등의 화합물 반도체 기판, 혹은 SOI 기판 등을 사용할 수 있고, 또는 반도체 소자가 제공된 이들 기판 중 임의의 것을 사용하여도 좋다. 기판(411)으로서 유리 기판을 사용하는 경우, 제 6 세대(1500mm×1850mm), 제 7 세대(1870mm×2200mm), 제 8 세대(2200mm×2400mm), 제 9 세대(2400mm×2800mm), 및 제 10 세대(2950mm×3400mm) 중 임의의 크기를 가지는 대면적 유리 기판을 사용할 수 있다. 따라서, 대형 표시 장치를 제작할 수 있다. 이러한 대형 기판을 사용하면 제작 비용이 저감될 수 있으므로 바람직하다.
- [0319] 또는 기판(411)으로서 플렉시블 기판을 사용하고 트랜지스터를 플렉시블 기판에 직접 제공하여도 좋다. 기판(411)과 트랜지스터 사이에 분리층을 제공하여도 좋다. 분리층은, 분리층 위에 형성된 트랜지스터의 일부 또는 전체를 완성시키고, 기판(411)으로부터 분리하고, 다른 기판으로 전치할 때에 사용할 수 있다. 이러한 경우, 트랜지스터를 내열성이 낮은 기판 또는 플렉시블 기판으로도 전치할 수 있다.
- [0320] <<도전층>>

- [0321] 트랜지스터의 게이트, 소스, 및 드레인의 재료로서는, 알루미늄, 타이타늄, 크로뮴, 니켈, 구리, 이트륨, 지르코늄, 몰리브데넘, 은, 탄탈럼, 및 텅스텐 등의 금속 중 임의의 것, 또는 이들 금속 중 임의의 것을 주성분으로 포함한 합금을 사용할 수 있다. 이들 재료 중 임의의 것을 포함한 막을 포함하는 단층 구조 또는 다층 구조를 사용할 수 있다. 예를 들어, 실리콘을 포함한 알루미늄막의 단층 구조, 타이타늄막 위에 알루미늄막이 적층된 2층 구조, 텅스텐막 위에 알루미늄막이 적층된 2층 구조, 구리-마그네슘-알루미늄 합금막 위에 구리막이 적층된 2층 구조, 타이타늄막 위에 구리막이 적층된 2층 구조, 텅스텐막 위에 구리막이 적층된 2층 구조, 타이타늄막 또는 질화 타이타늄막, 알루미늄막 또는 구리막, 및 타이타늄막 또는 질화 타이타늄막이 이 순서대로 적층된 3층 구조, 및 몰리브데넘막 또는 질화 몰리브데넘막, 알루미늄막 또는 구리막, 및 몰리브데넘막 또는 질화 몰리브데넘막이 이 순서대로 적층된 3층 구조를 들 수 있다. 또한 산화 인듐, 산화 주석, 또는 산화 아연 등의 산화물을 사용하여도 좋다. 망가니즈를 포함한 구리를 사용하면 에칭에 의한 형상 가공의 제어성이 높아지기 때문에 바람직하다.
- [0322] 트랜지스터의 게이트, 소스, 및 드레인에 사용할 수 있는 투광성 도전 재료로서, 산화 인듐, 인듐 주석 산화물, 인듐 아연 산화물, 산화 아연, 또는 갈륨이 첨가된 산화 아연 등의 도전성 산화물, 혹은 그래핀을 사용할 수 있다. 금, 은, 백금, 마그네슘, 니켈, 텅스텐, 크로뮴, 몰리브데넘, 철, 코발트, 구리, 팔라듐, 또는 타이타늄 등의 금속 재료; 이들 금속 재료를 포함한 합금 재료; 또는 상기 금속 재료의 질화물(예를 들어 질화 타이타늄)을 사용할 수도 있다. 금속 재료 또는 합금 재료(또는 이들의 질화물)를 사용하는 경우, 광을 투과시킬 정도로 막 두께를 얇게 한다. 또는 상술한 재료 중 임의의 것의 적층막을 도전층에 사용할 수 있다. 예를 들어, 인듐 주석 산화물과, 은과 마그네슘의 합금의 적층막을 사용하면, 도전성을 높일 수 있기 때문에 바람직하다. 이들은 표시 장치에 포함되는 다양한 배선 및 전극 등의 도전층, 및 표시 소자에 포함되는 도전층(예를 들어 화소 전극 또는 공통 전극으로서 기능하는 도전층)에도 사용할 수 있다.
- [0323] <<절연층>>
- [0324] 절연층에 사용할 수 있는 절연 재료의 예에는, 아크릴 또는 에폭시 수지 등의 수지, 실리콘(silicone) 등 실록산 결합을 가지는 수지, 및 산화 실리콘, 산화질화 실리콘, 질화산화 실리콘, 질화 실리콘, 또는 산화 알루미늄 등의 무기 절연 재료가 포함된다.
- [0325] 투수성이 낮은 절연막의 예에는, 질소 및 실리콘을 포함한 막(예를 들어 질화 실리콘막 및 질화산화 실리콘막), 그리고 질소 및 알루미늄을 포함한 막(예를 들어 질화 알루미늄막)이 포함된다. 또는, 산화 실리콘막, 산화질화 실리콘막, 또는 산화 알루미늄막 등을 사용하여도 좋다.
- [0326] 또한 실시형태 4에서 설명한 트랜지스터에 포함되는 막(즉 도전막, 절연막, 및 반도체막 등)은 스퍼터링법, CVD(chemical vapor deposition)법, PECVD(plasma-enhanced CVD)법, 진공 증착법, 또는 PLD(pulsed laser deposition)법에 의하여 형성할 수 있다. 그러나 본 발명의 일 형태는 이에 한정되지 않으며, 예를 들어, 도포법, 인쇄법, 열 CVD법, 또는 ALD(atomic layer deposition)법에 의하여 막을 형성하여도 좋다. MOCVD(metal organic CVD)법 등의 열 CVD법에 의하여 도전막, 절연막, 및 반도체막 등을 형성하여도 좋다.
- [0327] (실시형태 5)
- [0328] 본 실시형태에서는, 본 발명의 일 형태의 전자 기기에 대하여 설명한다.
- [0329] 본 발명의 일 형태는 유기 EL을 사용한 발광 소자이므로, 평면을 가지며 발광 효율이 양호하고 신뢰성이 높은 전자 기기를 제작할 수 있다. 본 발명의 일 형태에 따르면, 곡면을 가지며 발광 효율이 양호하고 신뢰성이 높은 전자 기기를 제작할 수 있다.
- [0330] 전자 기기의 예에는, 텔레비전 장치, 데스크톱형 또는 노트북형 퍼스널 컴퓨터, 컴퓨터 등의 모니터, 디지털 카메라, 디지털 비디오 카메라, 디지털 포토 프레임, 휴대 전화기, 휴대용 게임기, 휴대 정보 단말기, 음향 재생 장치, 및 파친코기 등의 대형 게임기가 포함된다.
- [0331] 도 8의 (A) 및 (B)에 나타낸 휴대 정보 단말기(900)는 하우징(901), 하우징(902), 표시부(903), 및 힌지부(905) 등을 포함한다.
- [0332] 하우징(901)과 하우징(902)은 힌지부(905)에 의하여 연결된다. 휴대 정보 단말기(900)는, 닫힌 상태(도 8의 (A))로부터 도 8의 (B)에 나타낸 바와 같이 펼칠 수 있다. 따라서, 휴대 정보 단말기(900)는 가지고 다닐 때는 휴대성이 높고 사용 시에는 표시 영역이 크기 때문에 시인성이 우수하다.
- [0333] 휴대 정보 단말기(900)에서, 힌지부(905)에 의하여 서로 연결된 하우징(901)과 하우징(902)에 걸쳐 플렉시블한

표시부(903)가 제공된다.

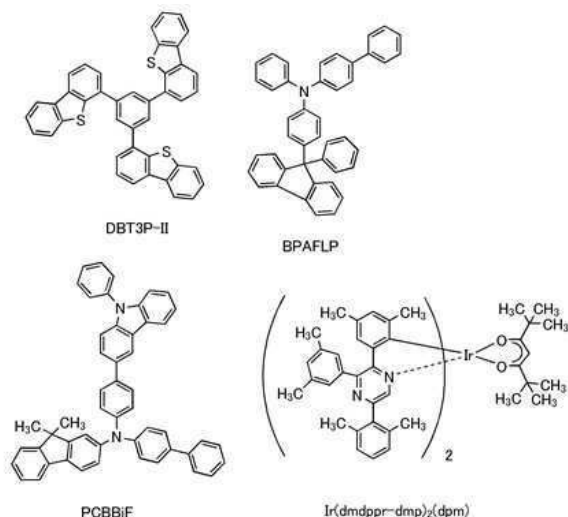
- [0334] 본 발명의 일 형태를 사용하여 제작된 발광 장치는 표시부(903)에 사용될 수 있다. 이로써, 높은 수율로 휴대 정보 단말기를 제작할 수 있다.
- [0335] 표시부(903)는 텍스트, 정지 화상, 및 동영상 등 중 적어도 하나를 표시할 수 있다. 표시부에 텍스트를 표시할 때, 휴대 정보 단말기(900)를 전자책 단말기로서 사용할 수 있다.
- [0336] 휴대 정보 단말기(900)가 펼쳐지면 표시부(903)는 크게 만족된다. 예를 들어, 곡률 반경 1mm 이상 50mm 이하, 바람직하게는 5mm 이상 30mm 이하로 만족된 부분을 포함하면서 표시부(903)가 유지된다. 표시부(903)의 일부는 하우징(901)으로부터 하우징(902)까지 화소들이 연속적으로 배치되기 때문에, 휘어진 채로 화상을 표시할 수 있다.
- [0337] 표시부(903)는 터치 패널로서 기능하고 손가락 또는 스타일러스 등으로 제어할 수 있다.
- [0338] 표시부(903)는 하나의 플렉시블 디스플레이를 사용하여 형성되는 것이 바람직하다. 이로써, 하우징(901)과 하우징(902) 사이에서 연속적인 화상을 표시할 수 있다. 또한 하우징(901) 및 하우징(902) 각각에 디스플레이가 제공되어도 좋다.
- [0339] 힌지부(905)는, 휴대 정보 단말기(900)가 펼쳐질 때, 하우징(901)과 하우징(902) 사이에 형성되는 각도가 소정의 각도보다 크게 되지 않도록 잠금 기구를 포함하는 것이 바람직하다. 예를 들어, 하우징(901)과 하우징(902)이 잠기는(이들이 더 이상 펼쳐지지 않는) 각도는 90° 이상 180° 미만인 것이 바람직하고, 대표적으로는 90°, 120°, 135°, 150°, 또는 175° 등으로 할 수 있다. 이 경우, 휴대 정보 단말기(900)의 편리성, 안전성, 및 신뢰성을 향상시킬 수 있다.
- [0340] 힌지부(905)가 잠금 기구를 포함하면, 과도한 힘이 표시부(903)에 가해지지 않기 때문에, 표시부(903)의 파손을 방지할 수 있다. 그러므로, 신뢰성이 높은 휴대 정보 단말기를 제공할 수 있다.
- [0341] 하우징(901) 및 하우징(902)에는 전원 버튼, 조작 버튼, 외부 접속 포트, 스피커, 또는 마이크로폰 등이 제공되어도 좋다.
- [0342] 하우징(901) 및 하우징(902) 중 어느 하나에는 무선 통신 모듈이 제공되고, 인터넷, LAN(local area network), 또는 Wi-Fi(등록 상표) 등의 컴퓨터 네트워크를 통하여 데이터를 송수신할 수 있다.
- [0343] 도 8의 (C)에 나타난 휴대 정보 단말기(910)는 하우징(911), 표시부(912), 조작 버튼(913), 외부 접속 포트(914), 스피커(915), 마이크로폰(916), 및 카메라(917) 등을 포함한다.
- [0344] 본 발명의 일 형태를 사용하여 제작된 발광 장치를 표시부(912)에 사용할 수 있다. 따라서, 높은 수율로 휴대 정보 단말기를 제작할 수 있다.
- [0345] 휴대 정보 단말기(910)는 표시부(912)에 터치 센서를 포함한다. 전화를 걸거나 문자를 입력하는 등의 조작을 표시부(912)를 손가락 또는 스타일러스 등으로 터치함으로써 수행할 수 있다.
- [0346] 조작 버튼(913)을 사용하여, 전원을 온 또는 오프로 할 수 있다. 또한 표시부(912)에 표시되는 화상의 종류를 전환할 수 있고, 예를 들어 조작 버튼(913)으로 메일 작성 화면으로부터 메인 메뉴 화면으로의 화상 전환을 수행한다.
- [0347] 자이로스코프 센서 또는 가속도 센서 등의 검출 장치가 휴대 정보 단말기(910) 내부에 제공되는 경우, 표시부(912)의 화면의 표시의 방향은, 휴대 정보 단말기(910)의 방향(휴대 정보 단말기(910)가 수평으로 놓여 있는지 수직으로 놓여 있는지)을 판단하여 자동으로 전환될 수 있다. 또한 표시부(912)를 터치하는 것, 조작 버튼(913)의 조작, 또는 마이크로폰(916)을 사용한 음성 입력 등에 의하여 화면의 표시 방향을 변경할 수 있다.
- [0348] 휴대 정보 단말기(910)는 예를 들어, 전화기, 노트, 및 정보 열람 시스템 중 하나 이상으로서 기능한다. 구체적으로는, 휴대 정보 단말기(910)는 스마트폰으로서 사용할 수 있다. 휴대 정보 단말기(910)는 예를 들어 이동 전화, 이메일, 텍스트의 열람 및 편집, 음악 재생, 동영상 재생, 인터넷 통신, 및 컴퓨터 게임 등의 다양한 애플리케이션을 실행할 수 있다.
- [0349] 도 8의 (D)에 나타난 카메라(920)는 하우징(921), 표시부(922), 조작 버튼(923), 및 셔터 버튼(924) 등을 포함한다. 또한 탈착 가능한 렌즈(926)가 카메라(920)에 장착된다.
- [0350] 본 발명의 일 형태를 사용하여 제작된 발광 장치를 표시부(922)에 사용할 수 있다. 따라서, 적소비전력의 카메라

라를 제작할 수 있다.

- [0351] 여기서의 교환을 위하여 카메라(920)의 렌즈(926)를 하우징(921)으로부터 떼어낼 수 있지만, 렌즈(926)는 하우징(921)에 포함되어도 좋다.
- [0352] 셔터 버튼(924)을 눌러 카메라(920)로 정지 화상 또는 동영상을 촬상할 수 있다. 또한 터치 패널의 기능을 가지는 표시부(922)의 터치에 의하여 화상을 촬상할 수도 있다.
- [0353] 또한 카메라(920)에는 스트로보스코프 또는 뷰파인더 등이 추가로 장착될 수 있다. 또는 이들이 하우징(921)에 포함되어도 좋다.
- [0354] 도 9의 (A)는 손목시계형 휴대 정보 단말기(9200)의 사시도이다. 도 9의 (B)는 손목시계형 휴대 정보 단말기(9201)의 사시도이다.
- [0355] 도 9의 (A)에 나타난 휴대 정보 단말기(9200)는 이동 전화, 이메일, 문장의 열람 및 편집, 음악 재생, 인터넷 통신, 및 컴퓨터 게임 등의 다양한 애플리케이션을 실행할 수 있다. 표시부(9001)의 표시면이 휘어져 있고, 휘어진 표시면에 화상을 표시할 수 있다. 휴대 정보 단말기(9200)는, 통신 표준에 맞는 근거리 무선 통신을 채용할 수 있다. 이 경우, 예를 들어 휴대 정보 단말기(9200)와, 무선 통신이 가능한 헤드셋 간의 상호 통신을 실시할 수 있어 핸즈프리 통화가 가능하다. 휴대 정보 단말기(9200)는 접속 단자(9006)를 포함하고, 커넥터를 통하여 다른 정보 단말기에 데이터를 직접 송신하고 다른 정보 단말기로부터 데이터를 직접 수신할 수 있다. 접속 단자(9006)를 통한 충전도 가능하다. 또한 접속 단자(9006)를 사용하지 않고 무선 급전에 의하여 충전 동작을 수행하여도 좋다.
- [0356] 도 9의 (A)에 나타난 휴대 정보 단말기와는 달리, 도 9의 (B)에 나타난 휴대 정보 단말기(9201)에서 표시부(9001)의 표시면은 만곡되어 있지 않다. 또한 휴대 정보 단말기(9201)의 표시부의 외부 상태는 비(非)직사각형(도 9의 (B)에서는 원형)이다.
- [0357] 도 9의 (C) 내지 (E)는 접을 수 있는 휴대 정보 단말기(9202)의 사시도이다. 도 9의 (C)는 펼친 휴대 정보 단말기(9202)를 도시한 사시도이다. 도 9의 (D)는 펼쳐고 있는 중 또는 접고 있는 중의 휴대 정보 단말기(9202)를 도시한 사시도이다. 도 9의 (E)는 접힌 휴대 정보 단말기(9202)를 도시한 사시도이다.
- [0358] 접힌 휴대 정보 단말기(9202)는 휴대성이 높고, 펼쳐진 휴대 정보 단말기(9202)는 이음매가 없는 큰 표시 영역에 의하여 열람성이 높다. 휴대 정보 단말기(9202)의 표시부(9001)는, 힌지(9055)에 의하여 연결된 3개의 하우징(9000)에 의하여 지지된다. 힌지(9055)를 이용하여 2개의 하우징(9000) 사이의 연결부에서 휴대 정보 단말기(9202)를 접음으로써, 휴대 정보 단말기(9202)를, 펼친 형태에서 접은 형태로 가역적으로 변형할 수 있다. 예를 들어, 휴대 정보 단말기(9202)는 곡률 반경 1mm 이상 150mm 이하로 휨 수 있다.
- [0359] 또한 본 실시형태는 다른 실시형태 중 임의의 것과 적절히 조합할 수 있다.
- [0360] (실시형태 6)
- [0361] 본 실시형태에서는, 본 발명의 일 형태의 발광 소자를 다양한 조명 장치에 사용한 예에 대하여 도 10의 (A) 내지 (C) 및 도 11을 참조하여 설명한다. 본 발명의 일 형태의 발광 소자를 사용함으로써, 발광 효율이 양호하고 신뢰성이 높은 발광 장치를 제작할 수 있다.
- [0362] 가요성을 가지는 기관 위에 제작된 본 발명의 일 형태의 발광 소자를 사용함으로써, 곡면을 가지는 발광 영역을 가지는 전자 기기 또는 조명 장치를 얻을 수 있다.
- [0363] 또한 본 발명의 일 형태의 발광 소자가 사용된 발광 장치를 자동차의 조명에도 사용할 수 있고, 그 예에는 앞유리 및 천장 등의 조명이 있다.
- [0364] 도 10의 (A)는 다기능 단말기(3500)의 하나의 면을 도시한 사시도이고, 도 10의 (B)는 다기능 단말기(3500)의 다른 하나의 면을 도시한 사시도이다. 다기능 단말기(3500)의 하우징(3502)에는 표시부(3504), 카메라(3506), 및 조명(3508) 등이 포함되어 있다. 본 발명의 일 형태의 발광 장치는 조명(3508)에 사용될 수 있다.
- [0365] 본 발명의 일 형태의 발광 장치를 포함하는 조명(3508)은 면 광원으로서 기능한다. 그러므로 조명(3508)은 LED로 대표되는 점 광원과 달리 지향성이 낮은 발광을 제공할 수 있다. 예를 들어 조명(3508)과 카메라(3506)를 조합하여 사용하면, 조명(3508)을 점등 또는 점멸시켜 카메라(3506)에 의하여 촬상을 실시할 수 있다. 조명(3508)은 면 광원으로서 기능하기 때문에 자연광 하에서 찍은 듯한 사진을 찍을 수 있다.

- [0366] 또한 도 10의 (A) 및 (B)에 나타낸 다기능 단말기(3500)는 도 9의 (A) 내지 (C)에 나타낸 전자 기기와 같이 다양한 기능을 가질 수 있다.
- [0367] 하우징(3502)은 스피커, 센서(힘, 변위, 위치, 속도, 가속도, 각속도, 회전수, 거리, 광, 액체, 자기, 온도, 화학 물질, 소리, 시간, 경도, 전계, 전류, 전압, 전력, 방사선, 유량, 습도, 기울기, 진동, 냄새, 또는 적외선을 측정 또는 검지하는 기능을 가지는 센서), 및 마이크로폰 등을 포함할 수 있다. 자이로스코프 센서 또는 가속도 센서 등의 기울기를 검출하는 센서를 포함하는 검출 장치를 다기능 단말기(3500) 내부에 제공하면, 다기능 단말기(3500)의 방향(다기능 단말기가 가로 모드가 되도록 수평으로 놓여 있는지 또는 세로 모드가 되도록 수직으로 놓여 있는지)을 판단하여 표시부(3504)의 화면 표시를 자동적으로 전환할 수 있다.
- [0368] 표시부(3504)는 이미지 센서로서 기능하여도 좋다. 예를 들어 표시부(3504)가 손바닥 또는 손가락으로 터치되었을 때 장문 또는 지문 등의 화상을 찍음으로써 개인 인증을 실시할 수 있다. 또한 근적외광을 방출하는 백라이트 또는 센싱용 광원을 표시부(3504)에 제공함으로써 손가락 정맥 또는 손바닥 정맥 등의 화상을 찍을 수 있다. 또한 본 발명의 일 형태의 발광 장치를 표시부(3504)에 사용하여도 좋다.
- [0369] 도 10의 (C)는 보안 라이트(3600)의 사시도이다. 라이트(3600)는 하우징(3602) 외측에 조명(3608)을 포함하고, 하우징(3602)에는 스피커(3610) 등이 포함되어 있다. 본 발명의 일 형태의 발광 소자를 조명(3608)에 사용할 수 있다.
- [0370] 라이트(3600)는 예를 들어, 조명(3608)을 잡거나 쥐었을 때에 광을 방출한다. 하우징(3602)에는 라이트(3600)로부터의 발광 방식을 제어할 수 있는 전자 회로를 제공하여도 좋다. 전자 회로는 1회 또는 간헐적으로 여러 번의 발광을 가능하게 하는 회로이어도 좋고, 발광의 전류값을 제어함으로써 발광량을 조절할 수 있는 회로이어도 좋다. 조명(3608)으로부터의 발광과 동시에 스피커(3610)로부터 대음량의 음향 정보가 출력되도록 하는 회로가 포함되어도 좋다.
- [0371] 라이트(3600)는 다양한 방향으로 광을 방출할 수 있기 때문에 광, 또는 광과 소리로 폭한 등에게 겁을 줄 수 있다. 또한 라이트(3600)는 디지털 스틸 카메라 등의 카메라를 포함하여 사진 촬영 기능을 가져도 좋다.
- [0372] 도 11은 상기 발광 소자를 실내 조명 장치(8501)에 사용한 예를 도시한 것이다. 상기 발광 소자는 보다 대면적으로 할 수 있기 때문에 대면적의 조명 장치를 형성할 수도 있다. 또한 곡면을 가지는 하우징을 사용함으로써 발광 영역이 곡면을 가지는 조명 장치(8502)를 형성할 수도 있다. 본 실시형태에서 설명한 발광 소자는 박막 형태이기 때문에 하우징을 더 자유로이 설계하는 것이 가능하다. 그러므로 조명 장치를 다양한 형태로 정교하게 설계할 수 있다. 또한 방의 벽에 대형 조명 장치(8503)를 제공하여도 좋다. 조명 장치의 전원 온/오프를 제어하기 위하여 조명 장치(8501, 8502, 및 8503)에 터치 센서를 제공하여도 좋다.
- [0373] 또한 발광 소자를 테이블 표면 측에 사용하면, 테이블로서의 기능을 가지는 조명 장치(8504)를 얻을 수 있다. 발광 소자를 다른 가구의 일부로서 사용하면 그 가구로서의 기능을 가지는 조명 장치를 얻을 수 있다.
- [0374] 상술한 바와 같이 본 발명의 일 형태의 발광 장치를 적용함으로써 조명 장치 및 전자 기기를 얻을 수 있다. 또한 상기 발광 장치는 본 실시형태에서 설명된 조명 장치 및 전자 기기에 한정되지 않고, 다양한 분야의 조명 장치 및 전자 기기에 사용될 수 있다.
- [0375] 본 실시형태에서 상술한 구조는 다른 실시형태에서 설명하는 구조 중 임의의 것과 적절히 조합될 수 있다.
- [0376] (실시예 1)
- [0377] 본 실시예에서는, 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자 2 내지 발광 소자 4, 및 비교 발광 소자 1의 제작예에 대하여 설명한다. 본 실시예에서 제작한 발광 소자의 단면 모식도를 도 12에 나타내었다. 자세한 소자 구조를 표 4에 나타내었다. 본 실시예에서 사용한 유기 화합물의 화학식을 아래에 나타내었다. 또한 다른 화합물의 구조 및 약칭에 대해서는 실시형태 1을 참조할 수 있다.

[0378] [화학적 3]



[0379]

[0380] [표 4]

| | 층 | 부호 | 두께(nm) | 재료 | 중량비 |
|------------|--------|--------|--------|--|----------------|
| 비교 발광 소자 1 | 전극 | 102 | 200 | Al | - |
| | 전자 주입층 | 130 | 1 | LiF | - |
| | 전자 수송층 | 118(2) | 20 | NBPhen | - |
| | | 118(1) | 25 | 2mDBTPDBq-II | - |
| | 발광층 | 140 | 40 | 2mDBTPDBq-II:PCBBiF Ir(dmdppr-dmp) ₂ (dpm) | 0.75:0.25:0.06 |
| | 정공 수송층 | 112 | 20 | BPAFLP | - |
| | 정공 주입층 | 111 | 65 | DBT3P-II:MoO ₃ | 1:0.5 |
| | 전극 | 101 | 70 | ITSO | - |
| 발광 소자 2 | 전극 | 102 | 200 | Al | - |
| | 전자 주입층 | 130 | 10 | NBPhen:Ag | 1:0.38 |
| | 전자 수송층 | 118(2) | 10 | NBPhen | - |
| | | 118(1) | 25 | 2mDBTPDBq-II | - |
| | 발광층 | 140 | 40 | 2mDBTPDBq-II:PCBBiF Ir(dmdppr-dmp) ₂ (dpm) | 0.75:0.25:0.06 |
| | 정공 수송층 | 112 | 20 | BPAFLP | - |
| | 정공 주입층 | 111 | 65 | DBT3P-II:MoO ₃ | 1:0.5 |
| | 전극 | 101 | 70 | ITSO | - |
| 발광 소자 3 | 전극 | 102 | 200 | Al | - |
| | 전자 주입층 | 130 | 10 | Alq3:Ag | 1:0.48 |
| | 전자 수송층 | 118(2) | 10 | NBPhen | - |
| | | 118(1) | 25 | 2mDBTPDBq-II | - |
| | 발광층 | 140 | 40 | 2mDBTPDBq-II:PCBBiF Ir(dmdppr-dmp) ₂ (dpm) | 0.75:0.25:0.06 |
| | 정공 수송층 | 112 | 20 | BPAFLP | - |
| | 정공 주입층 | 111 | 65 | DBT3P-II:MoO ₃ | 1:0.5 |
| | 전극 | 101 | 70 | ITSO | - |
| 발광 소자 4 | 전극 | 102 | 200 | Al | - |
| | 전자 주입층 | 130 | 10 | 2mDBTPDBq-II:Ag | 1:0.40 |
| | 전자 수송층 | 118(2) | 10 | NBPhen | - |
| | | 118(1) | 25 | 2mDBTPDBq-II | - |
| | 발광층 | 140 | 40 | 2mDBTPDBq-II:PCBBiF Ir(dmdppr-dmp) ₂ (dpm) | 0.75:0.25:0.06 |
| | 정공 수송층 | 112 | 20 | BPAFLP | - |
| | 정공 주입층 | 111 | 65 | DBT3P-II:MoO ₃ | 1:0.5 |
| | 전극 | 101 | 70 | ITSO | - |

[0381]

[0382] 발광 소자 2 내지 발광 소자 4의 전자 주입층(130)에서 사용한 유기 화합물의 LUMO 준위는 CV(cyclic voltammetry) 측정에 의하여 산출하였다.

[0383]

측정 장치로서는 전기 화학 애널라이저(ALS 모델 600A 또는 600C, BAS Inc. 제조)를 사용하였다. CV 측정용의 용액을 준비하기 위하여, 용매로서 탈수된 다이메틸포아마이드(DMF; Sigma-Aldrich Inc. 제조, 99.8%, 카탈로그 번호 22705-6)를 사용하고, 지지 전해질로서 과염소산 테트라-*n*-부틸암모늄(*n*-Bu₄NClO₄; Tokyo Chemical Industry Co., Ltd. 제조, 카탈로그 번호 T0836)을 100mmol/L의 농도에서 용해시켰다. 또한 측정 대상을 2mmol/L의 농도에서 용해시켰다. 작용 전극으로서 백금 전극(PTE 백금 전극, BAS Inc. 제조)을 사용하고, 보조 전극으로서 다른 백금 전극(VC-3용 Pt 대향 전극(5cm), BAS Inc. 제조)을 사용하고, 참조 전극으로서 Ag/Ag⁺ 전극(RE7 비수용매용 참조 전극, BAS Inc. 제조)을 사용하였다. 또한 측정은 실온(20℃ 내지 25℃)에서

수행하였다. 또한 CV 측정 시의 스캔 속도를 0.1V/sec로 고정하고, 참조 전극에 대한 산화 전위 E_a [V] 및 환원 전위 E_c [V]를 측정하였다. 전위 E_a 는 산화-환원과의 중간 전위이고, 전위 E_c 는 환원-산화과의 중간 전위이다. 여기서, 본 실시예에서 사용한 참조 전극의 진공 준위에 대한 퍼텐셜 에너지는 -4.94[eV]인 것이 알려져 있기 때문에, HOMO 준위[eV]=-4.94- E_a 및 LUMO 준위[eV]=-4.94- E_c 라는 식으로부터 HOMO 준위 및 LUMO 준위를 산출할 수 있다.

- [0384] 상술한 측정에서, NBPhen, Alq₃, 및 2mDBTPDBq-II의 LUMO 준위는 각각 -2.83eV, -2.80eV, 및 -2.94eV로 산출되었다.
- [0385] <발광 소자의 제작>
- [0386] 아래에서, 본 실시예의 발광 소자의 제작 방법에 대하여 설명한다. 비교 발광 소자 1은 전자 주입층에 일반적으로 사용되는 Li 화합물인 LiF를 사용한다. 발광 소자 2 내지 발광 소자 4 각각은 본 발명의 일 형태에 따른, 비공유 전자쌍을 가지는 유기 화합물과 전이 금속의 복합 재료를 전자 주입층에 사용한다.
- [0387] <<비교 발광 소자 1의 제작>>
- [0388] 기판(210) 위에, 전극(101)으로서, ITS0막을 두께 70nm가 되도록 형성하였다. 또한 전극(101)의 전극 면적은 4mm^2 (2mm X 2mm)로 하였다.
- [0389] 다음으로, 전극(101) 위에, 정공 주입층(111)으로서, DBT3P-II 및 산화 몰리브데넘(MoO₃)을 DBT3P-II:MoO₃=1:0.5의 중량비로 두께 65nm가 되도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다.
- [0390] 이 후, 정공 주입층(111) 위에, 정공 수송층(112)으로서, BPAFLP를 두께 20nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다
- [0391] 이 후, 정공 수송층(112) 위에, 발광층(140)으로서, 2mDBTPDBq-II, PCBBiF, 및 비스{4,6-다이메틸-2-[5-(2,6-다이메틸페닐)-3-(3,5-다이메틸페닐)-2-피라진일-κM]페닐-κC}(2,2,6,6-테트라메틸-3,5-헵테인다이오네이트-κ²O,O')이리듐(III)(약칭: Ir(dmdppr-dmp)₂(dpm))을 2mDBTPDBq-II:PCBBiF:Ir(dmdppr-dmp)₂(dpm)=0.75:0.25:0.06의 중량비로 두께 40nm가 되도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다. 또한 발광층(140)에서, 2mDBTPDBq-II 및 PCBBiF는 호스트 재료이고, Ir(dmdppr-dmp)₂(dpm)은 게스트 재료(인광 재료)이다.
- [0392] 다음으로, 발광층(140) 위에, 전자 수송층(118(1))으로서, 2mDBTPDBq-II를 두께 25nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.
- [0393] 이 후, 전자 수송층(118(1)) 위에, 전자 수송층(118(2))으로서, NBPhen을 두께 20nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.
- [0394] 전자 수송층(118(2)) 위에, 전자 주입층(130)으로서, 플루오린화 리튬(LiF)을 두께 1nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.
- [0395] 다음으로, 전자 주입층(130) 위에, 전극(102)으로서, 알루미늄(Al)을 두께 200nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.
- [0396] 이 후, 밀봉시키지 않고 대기하에서 가열 처리를 80℃에서 1시간 동안 수행하였다. 상술한 단계를 거쳐 비교 발광 소자 1을 얻었다.
- [0397] <<발광 소자 2의 제작>>
- [0398] 전자 수송층(118(2)) 및 전자 주입층(130)을 형성하는 단계를 제외하고는 비교 발광 소자 1과 같은 단계를 거쳐 발광 소자 2를 제작하였다.
- [0399] 전자 수송층(118(1)) 위에, 발광 소자 2의 전자 수송층(118(2))으로서, NBPhen을 두께 10nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.
- [0400] 전자 수송층(118(2)) 위에, 전자 주입층(130)으로서, NBPhen 및 Ag을 NBPhen:Ag=1:0.38의 중량비로 두께 10nm가 되도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다.
- [0401] <<발광 소자 3 및 발광 소자 4의 제작>>

[0402] 전자 주입층(130)을 형성하는 단계를 제외하고는 발광 소자 2와 같은 단계를 거쳐 발광 소자 3 및 발광 소자 4를 제작하였다.

[0403] <발광 소자 3의 제작>

[0404] 발광 소자 3의 전자 수송층(118(2)) 위에, 전자 주입층(130)으로서, Alq_3 및 Ag을 $\text{Alq}_3:\text{Ag}=1:0.48$ 의 중량비로 두께 10nm가 되도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다.

[0405] <발광 소자 4의 제작>

[0406] 발광 소자 4의 전자 수송층(118(2)) 위에, 전자 주입층(130)으로서, 2mDBTPDBq-II 및 Ag을 2mDBTPDBq-II:Ag=1:0.40의 중량비로 두께 10nm가 되도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다.

[0407] <발광 소자의 특성>

[0408] 다음으로, 제작한 비교 발광 소자 1 및 발광 소자 2 내지 발광 소자 4의 소자 특성을 측정하였다. 휘도 및 CIE 색도는 색채 휘도계(BM-5A, TOPCON TECHNOHOUSE CORPORATION 제조)에 의하여 측정하고, 전계 발광 스펙트럼은 멀티 채널 분광기(PMA-11, Hamamatsu Photonics K.K. 제조)에 의하여 측정하였다.

[0409] 도 13은 제작한 비교 발광 소자 1 및 발광 소자 2 내지 발광 소자 4의 전류 효율-휘도 특성을 나타낸 것이고, 도 14는 그 전류 밀도-전압 특성을 나타낸 것이고, 도 15는 그 전력 효율-휘도 특성을 나타낸 것이고, 도 16은 그 외부 양자 효율-휘도 특성을 나타낸 것이다. 또한 발광 소자의 측정은 실온(23℃로 유지된 분위기)에서 수행하였다. 도 17은 전류 밀도 $2.5\text{mA}/\text{cm}^2$ 로 전류를 흘릴 때의 발광 소자의 전계 발광 스펙트럼을 나타낸 것이다. 또한 측정은 실온에서 수행하였다.

[0410] $1000\text{cd}/\text{m}^2$ 부근에서의 비교 발광 소자 1 및 발광 소자 2 내지 발광 소자 4의 소자 특성을 표 5에 나타내었다.

[0411] [표 5]

| | 전압 (V) | 전류 밀도 (mA/cm^2) | CIE 색도 (x, y) | 휘도 (cd/m^2) | 전류 효율 (cd/A) | 전력 효율 (lm/W) | 외부 양자 효율(%) |
|-------------------|-----------|--------------------------------------|------------------|----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------|
| 비교 발 광 소자 1 | 3.3 | 2.1 | (0.67, 0.33) | 747 | 35 | 34 | 31 |
| 발광 소 자 2 | 3.6 | 3.0 | (0.67, 0.33) | 1021 | 34 | 30 | 29 |
| 발광 소 자 3 | 5.6 | 3.7 | (0.66, 0.34) | 1017 | 28 | 17 | 23 |
| 발광 소 자 4 | 4.4 | 3.3 | (0.66, 0.34) | 1072 | 32 | 23 | 27 |

[0412]

[0413] 도 16 및 표 5에 나타낸 바와 같이, 비교 발광 소자 1 및 발광 소자 2 내지 발광 소자 4 각각은 외부 양자 효율이 20%를 넘는 높은 발광 효율을 나타내었다. 도 13 및 도 15에 나타낸 바와 같이, 비교 발광 소자 1 및 발광 소자 2 내지 발광 소자 4는 높은 전류 효율 및 전력 효율도 나타내었다. 특히 비교 발광 소자 1, 발광 소자 2, 및 발광 소자 4는 25%를 넘는 매우 높은 외부 양자 효율을 나타내었다. 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자 2 및 발광 소자 4는 전자 주입층에 일반적으로 사용되는 LiF를 사용한 비교 발광 소자 1과 동등한 높은 효율을 나타내었다.

[0414] 도 14에 나타낸 바와 같이, 비교 발광 소자 1 및 발광 소자 2 내지 발광 소자 4는 양호한 전류 밀도-전압 특성을 나타내었다. 특히 발광 소자 2는 비교 발광 소자 1과 전류 밀도-전압 특성이 동등하고, 이것은 NBPhen과 Ag의 복합 재료의 전자 주입성이 매우 높은 것을 나타낸다.

[0415] 도 17에 나타낸 바와 같이, 비교 발광 소자 1 및 발광 소자 2 내지 발광 소자 4 각각은 전계 발광 스펙트럼이 약 619nm에 피크 파장을 가지고 반값전폭이 58nm인 적색 발광을 나타내었다. 얻어진 전계 발광 스펙트럼에 의하여, 광이 게스트 재료인 $\text{Ir}(\text{dmdppr-dmp})_2(\text{dmp})$ 로부터 방출되는 것을 알 수 있다.

[0416] <발광 소자의 신뢰성 시험>

[0417] 비교 발광 소자 1 및 발광 소자 2 내지 발광 소자 4에 대하여 항온항습 보존 시험을 수행하였다. 발광 소자 각

각은 밀봉되지 않으므로 음극 및 EL층이 시험 환경의 분위기에 노출된다. 일반적으로 발광 소자에 수분이 침투하면 검은 점(발광부에서의 비발광 영역) 또는 수축(발광부의 단부에서의 비발광 영역)이 발생하여 발광 소자의 신뢰성에 악영향을 준다. 그래서 항온항습 보존 시험에 의하여 발광 소자의 수분에 대한 신뢰성을 평가할 수 있다.

[0418] 온도 65℃ 및 습도 95%로 유지한 항온조에, 비교 발광 소자 1 및 발광 소자 2 내지 발광 소자 4를 48시간 동안 넣은 후, 각 발광 소자의 발광 상태를 측정하였다.

[0419] 항온항습 보존 시험 전후의 발광 면적 비율을 추산함으로써 발광 상태를 측정하였다. 이 결과를 표 6에 나타내었다.

[0420] [표 6]

| | 발광 면적비 |
|------------|--------|
| 비교 발광 소자 1 | 6% |
| 발광 소자 2 | 56% |
| 발광 소자 3 | 83% |
| 발광 소자 4 | 68% |

[0421]

[0422] 표 6에서 발광 면적 비율(%)은 항온항습 보존 시험 후의 발광 면적/항온항습 보존 시험 전의 발광 면적 \times 100이다. 표 6에 의하여, 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자 2 내지 발광 소자 4 각각은 전자 주입층에 알칼리 금속 화합물인 LiF를 사용한 비교 발광 소자 1보다 발광 면적이 더 큰 것을 알 수 있다. 이것은 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자가 전자 주입층에 알칼리 금속과 같이 일함수가 낮은 재료를 사용한 발광 소자보다 습기 저항이 높은 것을 나타낸다. 이것은 일함수가 낮은 재료는 물과 강하게 반응하여 발광 소자에 수분이 침투하기 때문이다. 한편, 물과 반응하기 쉬운 전이 금속을 사용하는 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자에는 수분이 침투하기 어렵다. 따라서 습기 저항이 높은 발광 소자를 실현할 수 있다.

[0423] <유기 화합물과 전이 금속의 복합 재료의 흡수 스펙트럼>

[0424] 다음으로, 발광 소자 2 내지 발광 소자 4의 전자 주입층에 사용한 유기 화합물과 Ag의 복합 재료로 형성된 박막의 흡수 스펙트럼을 측정하였다. 또한 Ag 박막 및 유기 화합물 박막의 흡수 스펙트럼을 측정하였다. 이 결과를 도 18 내지 도 20에 나타내었다. 석영 기판 위에, 유기 화합물과 Ag의 복합 재료로 형성된 박막을 유기 화합물:Ag=1:1의 몰 비율로 두께 50nm가 되도록 진공 증착에 의하여 형성하였다. 석영 기판 위에, 유기 화합물 박막을 두께 50nm가 되도록 진공 증착에 의하여 형성하였다. 석영 기판 위에, Ag 박막을 두께 2nm가 되도록 진공 증착에 의하여 형성하였다. 또한 두께 2nm의 Ag 박막에 함유된 Ag의 양은 유기 화합물과 Ag의 복합 재료로 형성된 두께 50nm의 박막에 함유된 Ag의 양과 거의 같다. 흡수 스펙트럼은 분광 광도계(U-4100 분광 광도계, Hitachi High-Technologies Corporation 제조)를 사용하여 측정하였다.

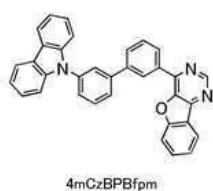
[0425] 도 18 내지 도 20에 나타낸 바와 같이, Ag 박막에 대해서는, 금속 박막에 특유한 표면 플라스몬 피크가 450nm 부근에 관찰되었다. 한편, 유기 화합물과 Ag의 복합 재료에 대해서는, 표면 플라스몬 피크가 관찰되지 않았다. 표면 플라스몬은 금속 박막 또는 금속 나노입자 등의 미세한(나노미터 크기의) 금속의 표면에서 관찰된다. 따라서 유기 화합물과 Ag의 복합 재료에서는, Ag이 Ag 박막 또는 Ag 나노입자와 같이 Ag 원자의 집합체로서 존재하는 것이 아니라, Ag 원자가 유기 화합물과 상호 작용하는 상태에서 존재한다. 바꿔 말하면, 유기 화합물과 전이 금속으로서의 Ag의 복합막에서, 이들이 서로 작용한다.

[0426] 상술한 바와 같이, 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자는 전자 주입성이 양호하므로 구동 전압이 낮고 발광 효율이 높다. 또한 상기 발광 소자는 일함수가 낮은 재료를 사용하지 않으므로 습기 저항이 높다. 본 실시예에 나타낸 구조를 다른 실시형태 및 실시예 중 임의의 것과 적절히 조합하여 사용할 수 있다.

[0427] (실시예 2)

[0428] 본 실시예에서는, 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자 6, 및 비교 발광 소자 5의 제작예에 대하여 설명한다. 본 실시예에서 제작한 발광 소자의 단면 모식도를 도 12에 나타내었다. 자세한 소자 구조를 표 7에 나타내었다. 본 실시예에서 사용한 화합물의 구조 및 약칭을 아래에 나타내었다. 또한 다른 화합물의 구조 및 약칭에 대해서는 상술한 실시형태 및 실시예를 참조할 수 있다.

[0429] [화학식 4]



[0430]

[0431] [표 7]

| | 층 | 부호 | 두께(nm) | 재료 | 중량비 |
|------------|--------|-----|--------|---|----------------|
| 비교 발광 소자 5 | 전극 | 102 | 200 | Al | - |
| | 전자 주입층 | 130 | 1 | LiF | - |
| | 전자 수송층 | 118 | 40 | 4mCzBPBfpm | - |
| | 발광층 | 140 | 40 | 4mCzBPBfpm:PCBBiF: Ir(dmdppr-dmp) ₂ (dpm) | 0.75:0.25:0.06 |
| | 정공 수송층 | 112 | 20 | BPAFLP | - |
| | 정공 주입층 | 111 | 65 | DBT3P-II:MoO ₃ | 1:0.5 |
| | 전극 | 101 | 70 | ITSO | - |
| 발광 소자 6 | 전극 | 102 | 200 | Al | - |
| | 전자 주입층 | 130 | 15 | 4mCzBPBfpm:Ag | 1:0.22 |
| | 전자 수송층 | 118 | 25 | 4mCzBPBfpm | - |
| | 발광층 | 140 | 40 | 4mCzBPBfpm:PCBBiF: Ir(dmdppr-dmp) ₂ (dpm) | 0.75:0.25:0.06 |
| | 정공 수송층 | 112 | 20 | BPAFLP | - |
| | 정공 주입층 | 111 | 65 | DBT3P-II:MoO ₃ | 1:0.5 |
| | 전극 | 101 | 70 | ITSO | - |

[0432]

[0433] 발광 소자 6의 전자 주입층(130)에서 사용한 4mCzBPBfpm의 LUMO 준위는 CV(cyclic voltammetry) 측정에 의하여 산출하였다. 측정은 실시예 1과 비슷한 방법으로 수행하였다.

[0434] 결과적으로, 4mCzBPBfpm 및 Alq₃의 LUMO 준위는 각각 -2.83eV 및 -2.97eV로 산출되었다.

[0435] <발광 소자의 제작>

[0436] 아래에서, 본 실시예의 발광 소자의 제작 방법에 대하여 설명한다. 본 실시예에서는, 전자 수송층은 단층이다. 비교 발광 소자 5는 전자 주입층에 일반적으로 사용되는 Li 화합물인 LiF를 사용한다. 발광 소자 6은 본 발명의 일 형태에 따른, 비공유 전자쌍을 가지는 유기 화합물과 전이 금속의 복합 재료를 전자 주입층에 사용한다. 본 실시예의 발광 소자에서는, 비공유 전자쌍을 가지는 유기 화합물로서 피리미딘 고리를 포함한 유기 화합물을 사용한다.

[0437] <<비교 발광 소자 5의 제작>>

[0438] 기판(210) 위에, 전극(101)으로서, ITSO막을 두께 70nm가 되도록 형성하였다. 또한 전극(101)의 전극 면적은 4mm²(2mm×2mm)로 하였다.

[0439] 다음으로, 전극(101) 위에, 정공 주입층(111)으로서, DBT3P-II 및 MoO₃을 DBT3P-II:MoO₃=1:0.5의 중량비로 두께 70nm가 되도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다.

[0440] 이 후, 정공 주입층(111) 위에, 정공 수송층(112)으로서, BPAFLP를 두께 20nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.

[0441] 이 후, 정공 수송층(112) 위에, 발광층(140)으로서, 4mCzBPBfpm, PCBBiF, 및 Ir(dmdppr-dmp)₂(dpm)을 4mCzBPBfpm:PCBBiF:Ir(dmdppr-dmp)₂(dpm)=0.75:0.25:0.06의 중량비로 두께 40nm가 되도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다. 또한 발광층(140)에서, 4mCzBPBfpm 및 PCBBiF는 호스트 재료이고, Ir(dmdppr-dmp)₂(dpm)은 게스트

재료(인광성 화합물)이다.

[0442] 다음으로, 발광층(140) 위에, 전자 수송층(118)으로서, 4mCzBPBfpm을 두께 40nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.

[0443] 전자 수송층(118) 위에, 전자 주입층(130)으로서, 플루오린화 리튬(LiF)을 두께 1nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.

[0444] 다음으로, 전자 주입층(130) 위에, 전극(102)으로서, 알루미늄(Al)을 두께 200nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.

[0445] 이 후, 밀봉시키지 않고 대기하에서 가열 처리를 80℃에서 1시간 동안 수행하였다. 상술한 단계를 거쳐 비교 발광 소자 5를 얻었다.

[0446] <<발광 소자 6의 제작>>

[0447] 전자 수송층(118) 및 전자 주입층(130)을 형성하는 단계를 제외하고는 비교 발광 소자 5와 같은 단계를 거쳐 발광 소자 6을 제작하였다.

[0448] 발광층(140) 위에, 발광 소자 6의 전자 수송층(118)으로서, 4mCzBPBfpm을 두께 25nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.

[0449] 전자 수송층(118) 위에, 전자 주입층(130)으로서, 4mCzBPBfpm 및 Ag를 4mCzBPBfpm:Ag=1:0.22의 중량비로 두께 15nm가 되도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다.

[0450] <발광 소자의 특성>

[0451] 다음으로, 제작한 비교 발광 소자 5 및 발광 소자 6의 소자 특성을 측정하였다. 측정은 실시예 1과 비슷한 방법으로 수행하였다.

[0452] 도 21은 제작한 비교 발광 소자 5 및 발광 소자 6의 전류 효율-휘도 특성을 나타낸 것이고, 도 22는 그 전류-전압 특성을 나타낸 것이고, 도 23은 그 전력 효율-휘도 특성을 나타낸 것이고, 도 24는 그 외부 양자 효율-휘도 특성을 나타낸 것이다. 도 25는 전류 밀도 $2.5\text{mA}/\text{cm}^2$ 로 전류를 흘릴 때의 발광 소자의 전계 발광 스펙트럼을 나타낸 것이다.

[0453] $1000\text{cd}/\text{m}^2$ 근방에서의 비교 발광 소자 5 및 발광 소자 6의 소자 특성을 표 8에 나타내었다.

[0454] [표 8]

| | 전압 (V) | 전류 밀도 (mA/cm^2) | CIE 색도 (x, y) | 휘도 (cd/m^2) | 전류 효율 (cd/A) | 전력 효율 (lm/W) | 외부 양자 효율(%) |
|---------------|-----------|--------------------------------------|------------------|----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------|
| 비교 발광 소자 5 | 6.6 | 5.9 | (0.66, 0.34) | 1092 | 19 | 9 | 14 |
| 발광 소자 6 | 4.2 | 3.6 | (0.66, 0.34) | 872 | 24 | 18 | 18 |

[0455]

[0456] 도 22에 나타낸 바와 같이, 발광 소자 6은 비교 발광 소자 5와 비교하여 양호한 전류 밀도-전압 특성을 나타내었다. 이것은 발광층의 호스트 재료를 전자 수송층에 사용하고 전자 주입층과 전자 수송층이 접한 경우, 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자는 전자 주입층에 일반적으로 사용되는 LiF를 사용한 발광 소자보다 전자 주입성이 뛰어난 것을 나타낸다.

[0457] 도 21, 도 23, 및 도 24 그리고 표 8에 나타낸 바와 같이, 발광 소자 6은 비교 발광 소자 5보다 높은 발광 효율(전류 효율, 전력 효율, 및 외부 양자 효율)을 나타내었다. 즉, 상술한 바와 같이, 발광 소자 6은 비교 발광 소자 5보다 전자 주입성이 뛰어나므로 양호한 캐리어 밸런스를 가진다.

[0458] 도 25에 나타낸 바와 같이, 비교 발광 소자 5 및 발광 소자 6 각각은 전계 발광 스펙트럼이 약 616nm에 피크 파장을 가지고 반값전폭이 53nm인 적색 발광을 나타내었다. 얻어진 전계 발광 스펙트럼에 의하여, 광이 게스트 재료인 $\text{Ir}(\text{dmdppr-dmp})_2(\text{dmp})$ 로부터 방출되는 것을 알 수 있다.

[0459] 다음으로, 비교 발광 소자 5 및 발광 소자 6의 구동 수명 시험을 수행하였다. 구동 수명 시험의 측정 결과를 도 43에 나타내었다. 또한 구동 수명 시험에서는, 각 발광 소자를 $25\text{mA}/\text{cm}^2$ 의 일정한 전류 밀도로 연속 구동하

였다.

[0460] 도 43에 나타난 바와 같이, 발광 소자 6은 비교 발광 소자 5보다 구동 수명이 길었고 양호한 구동 수명을 나타내었다.

[0461] 즉 본 발명의 일 형태에 따른 전자 주입층을 포함하는 발광 소자는 구동 수명이 양호하다.

[0462] <유기 화합물과 전이 금속의 복합 재료의 흡수 스펙트럼>

[0463] 다음으로, 발광 소자 6의 전자 주입층에 사용한 4mCzBPBfpm과 Ag의 복합 재료의 흡수 스펙트럼을 측정하였다. 이 결과를 도 26에 나타내었다. 시료의 제작 및 측정은 실시예 1과 비슷한 방법으로 수행하였다.

[0464] 도 26에 나타난 바와 같이, Ag 박막에 대해서는, 금속 박막에 특유한 표면 플라스몬 피크가 450nm 부근에 관찰되었다. 한편, 실시예 1과 마찬가지로, 4mCzBPBfpm과 Ag의 복합 재료에는 표면 플라스몬 피크가 관찰되지 않았다. 따라서 4mCzBPBfpm과 Ag의 복합 재료로 형성된 박막에서 4mCzBPBfpm과 Ag은 서로 상호 작용한다고 할 수 있다.

[0465] 상술한 바와 같이, 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자는 전자 주입층 및 전자 수송층에 발광층의 호스트 재료가 사용되고 전자 주입층이 전자 수송층과 접한 소자로서 적합하게 사용될 수 있다. 또한 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자에는 피리미딘 고리를 포함한 재료를 적합하게 사용할 수 있다. 본 실시예에 나타난 구조를 다른 실시형태 및 실시예 중 임의의 것과 적절히 조합하여 사용할 수 있다.

[0466] (실시예 3)

[0467] 본 실시예에서는, 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자 8 내지 발광 소자 10, 및 비교 발광 소자 7의 제작에 대하여 설명한다. 본 실시예에서 제작한 발광 소자의 단면 모식도를 도 12에 나타내었다. 자세한 소자 구조를 표 9에 나타내었다. 또한 본 실시예에서 사용한 화합물의 구조 및 약칭에 대해서는 상술한 실시형태 및 실시예를 참조할 수 있다.

[0468] [표 9]

| | 층 | 부호 | 두께(nm) | 재료 | 중량비 |
|------------|--------|--------|--------|---|----------------|
| 비교 발광 소자 7 | 전극 | 102 | 200 | Al | - |
| | 전자 주입층 | 130 | 0.2 | Li ₂ O | - |
| | 전자 수송층 | 118(2) | 20 | NBPhen | - |
| | | 118(1) | 20 | 2mDBTBPDq-II | - |
| | 발광층 | 140 | 40 | 2mDBTBPDq-II:PCBBiF ₃ Ir(dmdppr-dmp) ₂ (dpm) | 0.75:0.25:0.06 |
| | 정공 수송층 | 112 | 20 | BPAFLP | - |
| | 정공 주입층 | 111 | 65 | DBT3F-II:MoO ₃ | 1:0.5 |
| 발광 소자 8 | 전극 | 101 | 70 | ITO | - |
| | 전극 | 102 | 200 | Al | - |
| | 전자 주입층 | 130 | 5 | NBPhen:Ag | 1:0.19 |
| | 전자 수송층 | 118(2) | 15 | NBPhen | - |
| | | 118(1) | 20 | 2mDBTBPDq-II | - |
| | 발광층 | 140 | 40 | 2mDBTBPDq-II:PCBBiF ₃ Ir(dmdppr-dmp) ₂ (dpm) | 0.75:0.25:0.06 |
| | 정공 수송층 | 112 | 20 | BPAFLP | - |
| 발광 소자 9 | 정공 주입층 | 111 | 65 | DBT3F-II:MoO ₃ | 1:0.5 |
| | 전극 | 101 | 70 | ITO | - |
| | 전극 | 102 | 200 | Al | - |
| | 전자 주입층 | 130 | 5 | 2Py3Tzn:Ag | 1:0.35 |
| | 전자 수송층 | 118(3) | 5 | NBPhen:Ag | 1:0.19 |
| | | 118(2) | 10 | NBPhen | - |
| | 전자 수송층 | 118(1) | 20 | 2mDBTBPDq-II | - |
| 발광 소자 10 | 발광층 | 140 | 40 | 2mDBTBPDq-II:PCBBiF ₃ Ir(dmdppr-dmp) ₂ (dpm) | 0.75:0.25:0.06 |
| | 정공 수송층 | 112 | 20 | BPAFLP | - |
| | 정공 주입층 | 111 | 65 | DBT3F-II:MoO ₃ | 1:0.5 |
| | 전극 | 101 | 70 | ITO | - |
| | 전극 | 102 | 200 | Al | - |
| | 전자 주입층 | 130 | 5 | TmPPPyTz:Ag | 1:0.15 |
| | 전자 수송층 | 118(2) | 15 | NBPhen | - |
| | | 118(1) | 20 | 2mDBTBPDq-II | - |
| 발광 소자 10 | 발광층 | 140 | 40 | 2mDBTBPDq-II:PCBBiF ₃ Ir(dmdppr-dmp) ₂ (dpm) | 0.75:0.25:0.06 |
| | 정공 수송층 | 112 | 20 | BPAFLP | - |
| | 정공 주입층 | 111 | 65 | DBT3F-II:MoO ₃ | 1:0.5 |
| | 전극 | 101 | 70 | ITO | - |

[0469]

[0470] 발광 소자 9 및 발광 소자 10의 전자 주입층(130)에서 사용한 유기 화합물의 LUMO 준위는 CV(cyclic voltammetry) 측정에 의하여 산출하였다. 측정은 실시예 1과 비슷한 방법으로 수행하였다.

[0471] 결과적으로, 2Py3Tzn 및 TmPPPyTz의 LUMO 준위는 각각 -3.15eV 및 -3.00eV로 산출되었다.

- [0472] <발광 소자의 제작>
- [0473] 아래에서, 본 실시예의 발광 소자의 제작 방법에 대하여 설명한다. 비교 발광 소자 7은 전자 주입층에 일반적으로 사용되는 Li 화합물인 Li_2O 을 사용한다. 발광 소자 8 내지 발광 소자 10 각각은 본 발명의 일 형태에 따른, 비공유 전자쌍을 가지는 유기 화합물과 전이 금속의 복합 재료를 전자 주입층에 사용한다. 본 실시예의 발광 소자에서는, 비공유 전자쌍을 가지는 유기 화합물로서 트리아진 고리를 포함한 유기 화합물을 사용한다.
- [0474] <<비교 발광 소자 7의 제작>>
- [0475] 전자 수송층(118) 및 전자 주입층(130)을 형성하는 단계를 제외하고는 비교 발광 소자 1과 같은 단계를 거쳐 비교 발광 소자 7을 제작하였다.
- [0476] 발광층(140) 위에, 전자 수송층(118(1))으로서, 2mDBTBPDq-II를 두께 20nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다. 이어서, 전자 수송층(118(2))으로서, NBPhen을 두께 20nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다. 이 후, 전자 수송층(118(2)) 위에, 전자 주입층(130)으로서, Li_2O 을 두께 0.2nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.
- [0477] <<발광 소자 8 내지 발광 소자 10의 제작>>
- [0478] 전자 수송층(118(2)) 및 전자 주입층(130)을 형성하는 단계를 제외하고는 비교 발광 소자 7과 같은 단계를 거쳐 발광 소자 8 내지 발광 소자 10을 제작하였다.
- [0479] <발광 소자 8의 제작>
- [0480] 전자 수송층(118(1)) 위에, 발광 소자 8의 전자 수송층(118(2))으로서, NBPhen을 두께 15nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.
- [0481] 전자 수송층(118(2)) 위에, 전자 주입층(130)으로서, NBPhen 및 Ag을 NBPhen:Ag=1:0.19의 중량비로 두께 5nm가 되도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다.
- [0482] <발광 소자 9의 제작>
- [0483] 전자 수송층(118(1)) 위에, 발광 소자 9의 전자 수송층(118(2))으로서, NBPhen을 두께 10nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다. 이어서, 전자 수송층(118(3))으로서 NBPhen 및 Ag을 NBPhen:Ag=1:0.19의 중량비로 두께 5nm가 되도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다.
- [0484] 전자 수송층(118(3)) 위에, 전자 주입층(130)으로서, 2Py3Tzn 및 Ag을 2Py3Tzn:Ag=1:0.35의 중량비로 두께 5nm가 되도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다.
- [0485] <발광 소자 10의 제작>
- [0486] 전자 수송층(118(1)) 위에, 발광 소자 10의 전자 수송층(118(2))으로서, NBPhen을 두께 15nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.
- [0487] 전자 수송층(118(2)) 위에, 전자 주입층(130)으로서, TmPPPyTz 및 Ag을 TmPPPyTz:Ag=1:0.15의 중량비로 두께 5nm가 되도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다.
- [0488] <발광 소자의 특성>
- [0489] 다음으로, 제작한 비교 발광 소자 7 및 발광 소자 8 내지 발광 소자 10의 소자 특성을 측정하였다. 측정은 실시예 1과 비슷한 방법으로 수행하였다.
- [0490] 도 27은 제작한 비교 발광 소자 7 및 발광 소자 8 내지 발광 소자 10의 전류 효율-휘도 특성을 나타낸 것이고, 도 28은 그 전류 밀도-전압 특성을 나타낸 것이고, 도 29는 그 전력 효율-휘도 특성을 나타낸 것이고, 도 30은 그 외부 양자 효율-휘도 특성을 나타낸 것이다. 도 31은 전류 밀도 $2.5\text{mA}/\text{cm}^2$ 로 전류를 흘릴 때의 발광 소자의 전계 발광 스펙트럼을 나타낸 것이다.
- [0491] $1000\text{cd}/\text{m}^2$ 부근에서의 비교 발광 소자 7 및 발광 소자 8 내지 발광 소자 10의 소자 특성을 표 10에 나타내었다.

[0492] [표 10]

| | 전압 (V) | 전류 밀도 (mA/cm ²) | CIE 색도 (x, y) | 휘도 (cd/m ²) | 전류 효율 (cd/A) | 전력 효율 (lm/W) | 외부 양자 효율(%) |
|------------|-----------|--------------------------------|------------------|----------------------------|-----------------|-----------------|----------------|
| 비교 발광 소자 7 | 3.2 | 2.5 | (0.66, 0.34) | 964 | 39 | 38 | 31 |
| 발광 소자 8 | 3.3 | 2.9 | (0.66, 0.34) | 1111 | 38 | 36 | 30 |
| 발광 소자 9 | 3.3 | 3.0 | (0.66, 0.34) | 1123 | 37 | 35 | 29 |
| 발광 소자 10 | 3.3 | 2.6 | (0.66, 0.34) | 988 | 38 | 36 | 30 |

[0493]

[0494] 도 30 및 표 10에 나타난 바와 같이, 비교 발광 소자 7 및 발광 소자 8 내지 발광 소자 10 각각은 외부 양자 효율이 25%를 넘는 높은 발광 효율을 나타내었다. 도 27 및 도 29에 나타난 바와 같이, 비교 발광 소자 7 및 발광 소자 8 내지 발광 소자 10은 높은 전류 효율 및 전력 효율도 나타내었다. 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자 8 내지 발광 소자 10은 전자 주입층에 일반적으로 사용되는 Li₂O를 사용한 비교 발광 소자 7과 동등한 높은 효율을 나타내었다.

[0495] 도 28에 나타난 바와 같이, 비교 발광 소자 7 및 발광 소자 8 내지 발광 소자 10은 양호한 전류 밀도-전압 특성을 나타내었다. 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자 8 내지 발광 소자 10은 전자 주입층에 일반적으로 사용되는 Li₂O를 사용한 비교 발광 소자 7과 동등한 전자 주입성을 가지는 것도 알았다.

[0496] 도 31에 나타난 바와 같이, 비교 발광 소자 7 및 발광 소자 8 내지 발광 소자 10 각각은 전계 발광 스펙트럼이 약 616nm에 피크 파장을 가지고 반값전폭이 약 53nm인 적색 발광을 나타내었다. 얻어진 전계 발광 스펙트럼에 의하여, 광이 게스트 재료인 Ir(dmdppr-dmp)₂(dmp)로부터 방출되는 것을 알 수 있다.

[0497] 다음으로, 비교 발광 소자 7 및 발광 소자 8 내지 발광 소자 10의 구동 수명 시험을 수행하였다. 구동 수명 시험의 측정 결과를 도 44에 나타내었다. 또한 구동 수명 시험에서는, 각 발광 소자를 25mA/cm²의 일정한 전류 밀도로 연속 구동하였다.

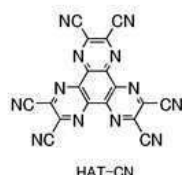
[0498] 도 44에 나타난 바와 같이, 발광 소자 8 내지 발광 소자 10은 비교 발광 소자 7과 동등한 구동 수명을 나타내었다.

[0499] 상술한 바와 같이, 트리아진 고리를 포함한 유기 화합물을 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자에 적합하게 사용할 수 있다. 본 실시예에 나타난 구조를 다른 실시형태 및 실시예 중 임의의 것과 적절히 조합하여 사용할 수 있다.

[0500] (실시예 4)

[0501] 본 실시예에서는, 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자 12 내지 발광 소자 14, 및 비교 발광 소자 11의 제작에 대하여 설명한다. 본 실시예에서 제작한 발광 소자의 단면 모식도를 도 12에 나타내었다. 자세한 소자 구조를 표 11에 나타내었다. 본 실시예에서 사용한 화합물의 구조 및 약칭을 아래에 나타내었다. 또한 다른 화합물의 구조 및 약칭에 대해서는 상술한 실시형태 및 실시예를 참조할 수 있다.

[0502] [화학식 5]



[0503]

[0504] [표 11]

| | 층 | 부호 | 두께(nm) | 재료 | 중량비 |
|-------------|--------|--------|--------|--|----------------|
| 비교 발광 소자 11 | 전극 | 102 | 200 | Al | - |
| | 전자 수송층 | 118(2) | 15 | NBPhen | - |
| | | 118(1) | 20 | 2mDBTBPD Bq-II | - |
| | 발광층 | 140 | 40 | 2mDBTBPD Bq-II:PCBBIF: Ir(dmdppr-dmp) ₂ (dpm) | 0.75:0.25:0.06 |
| | 정공 수송층 | 112 | 20 | BFAFLP | - |
| | 정공 주입층 | 111 | 65 | DBT3P-II:MoO ₃ | 1:0.5 |
| | 전극 | 101 | 70 | ITO | - |
| 발광 소자 12 | 전극 | 102 | 200 | Al | - |
| | 전자 주입층 | 130 | 5 | NBPhen:Ag | 1:0.19 |
| | | 118(2) | 15 | NBPhen | - |
| | 전자 수송층 | 118(1) | 20 | 2mDBTBPD Bq-II | - |
| | | 140 | 40 | 2mDBTBPD Bq-II:PCBBIF: Ir(dmdppr-dmp) ₂ (dpm) | 0.75:0.25:0.06 |
| | 정공 수송층 | 112 | 20 | BFAFLP | - |
| | 정공 주입층 | 111 | 65 | DBT3P-II:MoO ₃ | 1:0.5 |
| 발광 소자 13 | 전극 | 101 | 70 | ITO | - |
| | 전자 주입층 | 102 | 200 | Al | - |
| | | 130(2) | 5 | HATNA:Ag | 1:0.28 |
| | 전자 수송층 | 130(1) | 5 | NBPhen:Ag | 1:0.19 |
| | | 118(2) | 10 | NBPhen | - |
| | 발광층 | 118(1) | 20 | 2mDBTBPD Bq-II | - |
| | | 140(1) | 40 | 2mDBTBPD Bq-II:PCBBIF: Ir(dmdppr-dmp) ₂ (dpm) | 0.75:0.25:0.06 |
| 발광 소자 14 | 정공 수송층 | 112 | 20 | BFAFLP | - |
| | 정공 주입층 | 111 | 65 | DBT3P-II:MoO ₃ | 1:0.5 |
| | 전극 | 101 | 70 | ITO | - |
| | 전자 주입층 | 102 | 200 | Al | - |
| | | 117 | 5 | HAT-CN | - |
| | 전자 수송층 | 130(2) | 5 | HATNA:Ag | 1:0.28 |
| | | 130(1) | 5 | NBPhen:Ag | 1:0.19 |
| 발광 소자 14 | 전자 수송층 | 118(2) | 10 | NBPhen | - |
| | | 118(1) | 20 | 2mDBTBPD Bq-II | - |
| | 발광층 | 140(1) | 40 | 2mDBTBPD Bq-II:PCBBIF: Ir(dmdppr-dmp) ₂ (dpm) | 0.75:0.25:0.06 |
| | | 112 | 20 | BFAFLP | - |
| | 정공 수송층 | 112 | 20 | BFAFLP | - |
| | 정공 주입층 | 111 | 65 | DBT3P-II:MoO ₃ | 1:0.5 |
| | 전극 | 101 | 70 | ITO | - |

[0505]

[0506] 발광 소자 13 및 발광 소자 14의 전자 주입층(130)에서 사용한 HATNA의 LUMO 준위는 CV(cyclic voltammetry) 측정에 의하여 산출하였다. 측정은 실시예 1과 비슷한 방법으로 수행하였다.

[0507] 결과적으로, HATNA의 LUMO 준위는 -3.50eV로 산출되었다.

[0508] <<비교 발광 소자 11의 제작>>

[0509] 전자 수송층(118) 및 전자 주입층(130)을 형성하는 단계를 제외하고는 비교 발광 소자 1과 같은 단계를 거쳐 비교 발광 소자 11을 제작하였다.

[0510] 비교 발광 소자 11의 전자 수송층(118(1))으로서, 2mDBTBPD Bq-II를 두께 20nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.

[0511] 다음으로, 전자 수송층(118(1)) 위에, 전자 수송층(118(2))으로서, NBPhen을 두께 15nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다. 비교 발광 소자 11에서는 전자 수송층(118(2)) 위에 전자 주입층(130)을 제공하지 않았다.

[0512] <<발광 소자 12의 제작>>

[0513] 전자 주입층(130)을 형성하는 단계를 제외하고는 비교 발광 소자 11과 같은 단계를 거쳐 발광 소자 12를 제작하였다.

[0514] 전자 수송층(118(2)) 위에, 발광 소자 12의 전자 주입층(130)으로서, NBPhen 및 Ag을 NBPhen:Ag=1:0.19의 중량 비로 두께 5nm가 되도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다.

[0515] <<발광 소자 13의 제작>>

[0516] 전자 수송층(118(2)) 및 전자 주입층(130)을 형성하는 단계를 제외하고는 비교 발광 소자 11과 같은 단계를 거쳐 발광 소자 13을 제작하였다.

[0517] 전자 수송층(118(1)) 위에, 발광 소자 13의 전자 수송층(118(2))으로서, NBPhen을 두께 10nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.

[0518] 전자 수송층(118(2)) 위에, 전자 주입층(130)으로서, NBPhen 및 Ag을 NBPhen:Ag=1:0.19의 중량비로 두께 5nm가 되도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다. 또한 HATNA 및 Ag을 HATNA:Ag=1:0.28의 중량비로 두께 5nm가 되도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다.

[0519] <<발광 소자 14의 제작>>

[0520] 버퍼층(117)을 추가적으로 형성하는 단계를 제외하고는 발광 소자 13과 같은 단계를 거쳐 발광 소자 14를 제작하였다.

[0521] 전자 주입층(130) 위에, 버퍼층(117)으로서, HAT-CN을 두께 5nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.

[0522] <발광 소자의 특성>

[0523] 다음으로, 제작한 비교 발광 소자 11 및 발광 소자 12 내지 발광 소자 14의 소자 특성을 측정하였다. 측정은 실시예 1과 비슷한 방법으로 수행하였다.

[0524] 도 32는 제작한 비교 발광 소자 11 및 발광 소자 12 내지 발광 소자 14의 전류 효율-휘도 특성을 나타낸 것이고, 도 33은 그 전류-전압 특성을 나타낸 것이고, 도 34는 그 전력 효율-휘도 특성을 나타낸 것이고, 도 35는 그 외부 양자 효율-휘도 특성을 나타낸 것이다. 도 36은 전류 밀도 $2.5\text{mA}/\text{cm}^2$ 로 전류를 흘릴 때의 발광 소자의 전계 발광 스펙트럼을 나타낸 것이다.

[0525] $1000\text{cd}/\text{m}^2$ 부근에서의 비교 발광 소자 11 및 발광 소자 12 내지 발광 소자 14의 소자 특성을 표 12에 나타내었다.

[0526] [표 12]

| | 전압 (V) | 전류 밀도 (mA/cm^2) | CIE 색도 (x, y) | 휘도 (cd/m^2) | 전류 효율 (cd/A) | 전력 효율 (lm/W) | 외부 양자 효율(%) |
|-------------|-----------|--------------------------------------|------------------|----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------|
| 비교 발광 소자 11 | 9.4 | 5.8 | (0.66, 0.34) | 904 | 16 | 5 | 12 |
| 발광 소자 12 | 3.2 | 2.4 | (0.66, 0.34) | 912 | 38 | 38 | 31 |
| 발광 소자 13 | 3.2 | 2.4 | (0.66, 0.34) | 920 | 38 | 37 | 30 |
| 발광 소자 14 | 3.2 | 2.5 | (0.66, 0.34) | 876 | 36 | 36 | 30 |

[0527]

[0528] 도 35 및 표 12에 나타난 바와 같이, 발광 소자 12 내지 발광 소자 14 각각은 외부 양자 효율이 약 30%인 높은 발광 효율을 나타내었다. 도 32 및 도 34에 나타난 바와 같이, 발광 소자 12 내지 발광 소자 14는 높은 전류 효율 및 전력 효율도 나타내었다. 한편, 전자 주입층(130)을 포함하지 않는 비교 발광 소자 11은 효율이 낮고, 이것은 본 발명의 일 형태에 따른 전자 주입층을 포함하는 발광 소자가 양호한 캐리어 밸런스를 가지는 것을 나타낸다. 또한 발광 소자 13 및 발광 소자 14의 효율은 발광 소자 12의 효율과 동등하기 때문에, 비공유 전자쌍을 가지는 유기 화합물로서 HATNA를 적합하게 사용할 수 있다. 음극과 전자 주입층 사이에 적층된 버퍼층을 포함하는 발광 소자 14는 발광 소자 12와 비슷한 특성을 나타내었다.

[0529] 도 33에 나타난 바와 같이, 발광 소자 12 내지 발광 소자 14는 양호한 전류-전압 특성을 나타내었다. 또한 발광 소자 12 내지 발광 소자 14의 전류-전압 특성이 동등한 것은 HATNA와 전이 금속의 복합 재료를 포함한 전자 주입층이 양호한 특성을 나타내는 것을 나타낸다. 음극과 전자 주입층 사이에 적층된 버퍼층을 포함하는 발광 소자 14도 발광 소자 12와 비슷한 특성을 나타내었다. 한편, 전자 주입층(130)을 포함하지 않는 비교 발광 소자 11은 구동 전압이 높고, 이것은 본 발명의 일 형태에 따른 전자 주입층을 포함하는 발광 소자의 전자 주입성이 향상된 것을 나타낸다.

[0530] 도 36에 나타난 바와 같이, 비교 발광 소자 11 및 발광 소자 12 내지 발광 소자 14 각각은 전계 발광 스펙트럼이 약 618nm에 피크 파장을 가지고 반값전폭이 58nm인 적색 발광을 나타내었다. 얻어진 전계 발광 스펙트럼에 의하여, 광이 게스트 재료인 $\text{Ir}(\text{dmdppr-dmp})_2(\text{dmp})$ 로부터 방출되는 것을 알 수 있다.

[0531] 상술한 바와 같이, 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자에는 HATNA와 같이 복수의 고리 구조에 걸쳐 공액이중결합 N-C-C-N을 가지는 유기 화합물을 적합하게 사용할 수 있는 것을 찾았다. 또한 비공유 전자쌍을 가지는 유기

화합물과 전이 금속의 복합 재료를 포함한 전자 주입층과 음극 사이에 적층된 버퍼층을 포함한 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자도 발광 효율이 높고 구동 전압이 낮고, 소비전력이 낮다.

[0532] <발광 소자의 신뢰성 시험>

[0533] 다음으로, 비교 발광 소자 11 및 발광 소자 12 내지 발광 소자 14의 구동 수명 시험을 수행하였다. 구동 수명 시험의 측정 결과를 도 45에 나타내었다. 또한 구동 수명 시험에서는, 각 발광 소자를 $25\text{mA}/\text{cm}^2$ 의 일정한 전류 밀도로 연속 구동하였다.

[0534] 도 45에 나타낸 바와 같이, 발광 소자 12 내지 발광 소자 14는 비교 발광 소자 11보다 긴 구동 수명을 나타내었다. 또한 발광 소자 13 및 발광 소자 14는 발광 소자 12보다 긴 구동 수명을 나타내었고, 이것은 본 발명의 일 형태에 따른 전자 주입층을 포함하는 발광 소자의 신뢰성이 좋은 것을 나타낸다.

[0535] 다음으로, 발광 소자 13 및 발광 소자 14에 대하여 항온항습 보존 시험을 수행하였다. 발광 소자 각각은 밀봉되지 않으므로 음극 및 EL층이 시험 환경의 분위기에 노출된다.

[0536] 온도 65°C 및 습도 95%로 유지한 항온조에, 발광 소자 13 및 발광 소자 14를 48시간 동안 넣은 후, 각 발광 소자의 발광 상태를 측정하였다. 측정은 실시예 1과 비슷한 방법으로 수행하였다. 측정 결과를 표 13에 나타내었다.

[0537] [표 13]

| | 발광 면적비 |
|----------|--------|
| 발광 소자 13 | 83% |
| 발광 소자 14 | 67% |

[0538]

[0539] 항온항습 보존 시험 전후의 발광 면적 비율은 83%(발광 소자 13) 및 67%(발광 소자 14)로 산출되었다. 즉, 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자는 습기 저항이 높은 것을 찾았다.

[0540] 본 실시예에 나타낸 구조를 다른 실시형태 및 실시예 중 임의의 것과 적절히 조합하여 사용할 수 있다.

[0541] (실시예 5)

[0542] 본 실시예에서는, 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자 16 내지 발광 소자 18, 및 비교 발광 소자 15의 제작에 대하여 설명한다. 본 실시예에서 제작한 발광 소자의 단면 모식도를 도 37에 나타내었다. 자세한 소자 구조를 표 14에 나타내었다. 본 실시예에 나타낸 소자는 EL층이 음극 위에 제공된, 소위 역 적층 구조(inverted stacked structure)(EL층이 양극 위에 제공된 구조를 순 적층 구조(ordered stacked structure)라고 함)를 가진다. 또한 본 실시예에서 사용한 유기 화합물의 구조 및 약칭에 대해서는 상술한 실시예 및 실시형태 1을 참조할 수 있다.

[0543] [표 14]

| | 층 | 부호 | 두께(nm) | 재료 | 중량비 |
|-------------|--------|--------|-----------|--|----------------|
| 비교 발광 소자 15 | 전극 | 102 | 200 | Al | - |
| | 정공 주입층 | 111 | 25 | DBT3P-II:MoO ₃ | 1:0.5 |
| | 정공 수송층 | 112 | 20 | BPAFLP | - |
| | 발광층 | 140 | 40 | 2mDBTBPDBq-II:PCBBiF:Ir(dmdppr-dmp) ₂ (dpm) | 0.75:0.25:0.06 |
| | 전자 수송층 | 118(2) | 30 | 2mDBTBPDBq-II | - |
| | | 118(1) | 30 | 1'BPhen | - |
| | 전자 주입층 | 130(2) | 0.2 | Li ₂ O | - |
| | | 130(1) | 5 | 1'BPhen | - |
| 발광 소자 16 | 전극 | 101 | 70 | ITO | - |
| | 전극 | 102 | 200 | Al | - |
| | 정공 주입층 | 111 | 25 | DBT3P-II:MoO ₃ | 1:0.5 |
| | 정공 수송층 | 112 | 20 | BPAFLP | - |
| | 발광층 | 140 | 40 | 2mDBTBPDBq-II:PCBBiF:Ir(dmdppr-dmp) ₂ (dpm) | 0.75:0.25:0.06 |
| | 전자 수송층 | 118(2) | 30 | 2mDBTBPDBq-II | - |
| | | 118(1) | 30 | 1'BPhen | - |
| | 전자 주입층 | 130 | 5 | 1'BPhen:Ag | 1:0.19 |
| 발광 소자 17 | 전극 | 101 | 70 | ITO | - |
| | 전극 | 102 | 200 | Al | - |
| | 정공 주입층 | 111 | 25 | DBT3P-II:MoO ₃ | 1:0.5 |
| | 정공 수송층 | 112 | 20 | BPAFLP | - |
| | 발광층 | 140 | 40 | 2mDBTBPDBq-II:PCBBiF:Ir(dmdppr-dmp) ₂ (dpm) | 0.75:0.25:0.06 |
| | 전자 수송층 | 118(2) | 30 | 2mDBTBPDBq-II | - |
| | | 118(1) | 25 | 1'BPhen | - |
| | 전자 주입층 | 130(2) | 5 | 1'BPhen:Ag | 1:0.19 |
| 발광 소자 18 | 130(1) | 5 | 2Py3Tz:Ag | 1:0.35 | |
| | 전극 | 101 | 70 | ITO | - |
| | 전극 | 102 | 200 | Al | - |
| | 정공 주입층 | 111 | 25 | DBT3P-II:MoO ₃ | 1:0.5 |
| | 정공 수송층 | 112 | 20 | BPAFLP | - |
| | 발광층 | 140 | 40 | 2mDBTBPDBq-II:PCBBiF:Ir(dmdppr-dmp) ₂ (dpm) | 0.75:0.25:0.06 |
| | 전자 수송층 | 118(2) | 30 | 2mDBTBPDBq-II | - |
| | | 118(1) | 25 | 1'BPhen | - |
| 발광 소자 18 | 전자 주입층 | 130(2) | 5 | 1'BPhen:Ag | 1:0.19 |
| | | 130(1) | 5 | TmPPPy:Tz:Ag | 1:0.15 |
| | 전극 | 101 | 70 | ITO | - |
| | | 102 | 200 | Al | - |

[0544]

[0545] <<비교 발광 소자 15의 제작>>

[0546] 기판(210) 위에, 전극(101)으로서, ITO막을 두께 70nm가 되도록 형성하였다. 또한 전극(101)의 전극 면적은 4mm²(2mm×2mm)로 하였다.

[0547] 이 후, 전극(101) 위에, 전자 주입층(130)으로서, NBPhen을 두께 5nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다. 이어서, Li₂O를 두께 0.2nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.

[0548] 다음으로, 전자 주입층(130) 위에, 전자 수송층(118(1))으로서, NBPhen을 두께 30nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다. 이어서, 전자 수송층(118(2))으로서, 2mDBTBPDBq-II를 두께 30nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.

[0549] 다음으로, 전자 수송층(118(2)) 위에, 발광층(140)으로서, 2mDBTBPDBq-II, PCBBiF, 및 Ir(dmdppr-dmp)₂(dpm)을 2mDBTBPDBq-II:PCBBiF:Ir(dmdppr-dmp)₂(dpm)=0.75:0.25:0.06의 중량비로 두께 40nm가 되도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다. 또한 발광층(140)에서, 2mDBTBPDBq-II 및 PCBBiF는 호스트 재료이고, Ir(dmdppr-dmp)₂(dpm)은 게스트 재료(인광성 화합물)이다.

[0550] 다음으로, 발광층(140) 위에, 정공 수송층(112)으로서, BPAFLP를 두께 20nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.

[0551] 다음으로, 정공 수송층(112) 위에, 정공 주입층(111)으로서, DBT3P-II 및 MoO₃을 DBT3P-II:MoO₃=1:0.5의 중량비로 두께 25nm가 되도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다.

[0552] 다음으로, 정공 주입층(111) 위에, 전극(102)으로서, 알루미늄(Al)을 두께 200nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.

[0553] 이 후, 밀봉시키지 않고 대기하에서 가열 처리를 80℃에서 1시간 동안 수행하였다. 상술한 단계를 거쳐 비교

발광 소자 13을 얻었다.

<<발광 소자 16 내지 발광 소자 18의 제작>>

전자 주입층(130) 및 전자 수송층(118(1))을 형성하는 단계를 제외하고는 비교 발광 소자 15와 같은 단계를 거쳐 발광 소자 16 내지 발광 소자 18을 제작하였다.

<발광 소자 16의 제작>

전극(101) 위에, 발광 소자 16의 전자 주입층(130)으로서, NBPhen 및 Ag을 NBPhen:Ag=1:0.19의 중량비로 두께 5nm가 되도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다.

전자 주입층(130) 위에, 전자 수송층(118(1))으로서, NBPhen을 두께 30nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.

<발광 소자 17의 제작>

전극(101) 위에, 발광 소자 17의 전자 주입층(130)으로서, 2Py3Tzn 및 Ag을 2Py3Tzn:Ag=1:0.35의 중량비로 두께 5nm가 되도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다. 이어서, NBPhen 및 Ag을 NBPhen:Ag=1:0.19의 중량비로 두께 5nm가 되도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다.

전자 주입층(130) 위에, 전자 수송층(118(1))으로서, NBPhen을 두께 25nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.

<발광 소자 18의 제작>

전극(101) 위에, 발광 소자 18의 전자 주입층(130)으로서, TmPPPyTz 및 Ag을 TmPPPyTz:Ag=1:0.15의 중량비로 두께 5nm가 되도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다. 이어서, NBPhen 및 Ag을 NBPhen:Ag=1:0.19의 중량비로 두께 5nm가 되도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다.

전자 주입층(130) 위에, 전자 수송층(118(1))으로서, NBPhen을 두께 25nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.

<발광 소자의 특성>

다음으로, 제작한 비교 발광 소자 15 및 발광 소자 16 내지 발광 소자 18의 소자 특성을 측정하였다. 측정은 실시예 1과 비슷한 방법으로 수행하였다.

도 38은 제작한 비교 발광 소자 15 및 발광 소자 16 내지 발광 소자 18의 전류 효율-휘도 특성을 나타낸 것이고, 도 39는 그 전류 밀도-전압 특성을 나타낸 것이고, 도 40은 그 전력 효율-휘도 특성을 나타낸 것이고, 도 41은 그 외부 양자 효율-휘도 특성을 나타낸 것이다. 도 42는 전류 밀도 $2.5\text{mA}/\text{cm}^2$ 로 전류를 흘릴 때의 발광 소자의 전계 발광 스펙트럼을 나타낸 것이다.

$1000\text{cd}/\text{m}^2$ 부근에서의 비교 발광 소자 15 및 발광 소자 16 내지 발광 소자 18의 소자 특성을 표 15에 나타내었다.

[표 15]

| | 전압 (V) | 전류 밀도 (mA/cm^2) | CIE 색도 (x, y) | 휘도 (cd/m^2) | 전류 효율 (cd/A) | 전력 효율 (lm/W) | 외부 양자 효율(%) |
|-------------|-----------|--------------------------------------|------------------|----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------|
| 비교 발광 소자 15 | 4.8 | 2.6 | (0.66, 0.34) | 933 | 36 | 24 | 27 |
| 발광 소자 16 | 4.8 | 2.4 | (0.66, 0.34) | 853 | 36 | 23 | 27 |
| 발광 소자 17 | 4.8 | 3.1 | (0.66, 0.34) | 1135 | 37 | 24 | 27 |
| 발광 소자 18 | 4.6 | 2.3 | (0.66, 0.34) | 937 | 38 | 25 | 28 |

도 41 및 표 15에 나타난 바와 같이, 비교 발광 소자 15 및 발광 소자 16 내지 발광 소자 18 각각은 외부 양자 효율이 25%를 넘는 높은 발광 효율을 나타내었다. 도 38 및 도 40에 나타난 바와 같이, 비교 발광 소자 15 및 발광 소자 16 내지 발광 소자 18은 높은 전류 효율 및 전력 효율도 나타내었다. 또한 발광 소자 16 내지 발광 소자 18은 비교 발광 소자 15와 동등한 효율을 나타내었고, 이것은 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자를 역 적층 소자에 적용한 경우, 양호한 발광 효율을 얻을 수 있는 것을 나타낸다.

도 39에 나타난 바와 같이, 비교 발광 소자 15 및 발광 소자 16 내지 발광 소자 18은 양호한 전류 밀도-전압 특성을 나타내었다. 또한 비교 발광 소자 15 및 발광 소자 16 내지 발광 소자 18은 동등한 전류 밀도-전압 특성을 나타내었고, 이것은 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자를 역 적층 소자에 적용한 경우, 양호한 전류 밀도-

전압 특성을 얻을 수 있는 것을 나타낸다.

[0573] 도 42에 나타난 바와 같이, 비교 발광 소자 15 및 발광 소자 16 내지 발광 소자 18 각각은 전계 발광 스펙트럼이 약 619nm에 피크 파장을 가지고 반값전폭이 58nm인 적색 발광을 나타내었다. 얻어진 전계 발광 스펙트럼에 의하여, 광이 게스트 재료인 $\text{Ir}(\text{dmdppr-dmp})_2(\text{dmp})$ 로부터 방출되는 것을 알 수 있다.

[0574] 상술한 바와 같이, 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자를 역 적층 소자에도 적용할 수 있다. 본 실시예에 나타난 구조를 다른 실시형태 및 실시예 중 임의의 것과 적절히 조합하여 사용할 수 있다.

[0575] (실시예 6)

[0576] 본 실시예에서는, 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자 19의 제작예에 대하여 설명한다. 본 실시예에서 제작한 발광 소자의 단면 모식도는 도 12와 마찬가지로이다. 자세한 소자 구조를 표 16에 나타내었다. 또한 본 실시예에서 사용한 유기 화합물의 구조 및 약칭에 대해서는 실시형태 1을 참조할 수 있다.

[0577] [표 16]

| | 층 | 부호 | 두께 (nm) | 재료 | 중량비 |
|----------|--------|--------|---------|--|----------------|
| 발광 소자 19 | 전극 | 102(2) | 70 | DBT3P-II | - |
| | | 102(1) | 25 | Ag | - |
| | 전자 주입층 | 130 | 5 | NBphen:Ag | 1:0.19 |
| | | 118(2) | 15 | NBphen | - |
| | 전자 수송층 | 118(1) | 25 | 2mDBTBPDq-II | - |
| | | 발광층 | 140(1) | 2mDBTBPDq-II:PCBBiF: $\text{Ir}(\text{dmdppr-dmp})_2(\text{dmp})$ | 0.75:0.25:0.06 |
| | 정공 수송층 | 112 | 20 | BPAFLP | - |
| | 정공 주입층 | 111 | 65 | DBT3P-II:MoO ₃ | 1:0.5 |
| | 전극 | 101(2) | 110 | ITSO | - |
| | | 101(1) | 100 | APC | - |

[0578]

[0579] <발광 소자 19의 제작>

[0580] 아래에서, 본 실시예의 발광 소자의 제작 방법에 대하여 설명한다.

[0581] 기판(210) 위의 전극(101)으로서, 은, 팔라듐, 및 구리의 합금(Ag-Pd-Cu 또는 APC)을 두께 100nm가 되도록 형성한 후, ITSO를 두께 110nm가 되도록 형성하였다. 전극(101)의 전극 면적은 $4\text{mm}^2 (2\text{mm} \times 2\text{mm})$ 로 하였다.

[0582] 다음으로, 전극(101) 위에, 정공 주입층(111)으로서, DBT3P-II 및 산화 몰리브데넘(MoO₃)을 DBT3P-II:MoO₃=1:0.5의 중량비로 두께 65nm가 되도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다.

[0583] 이 후, 정공 주입층(111) 위에, 정공 수송층(112)으로서, BPAFLP를 두께 20nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.

[0584] 이 후, 정공 수송층(112) 위에, 발광층(140)으로서, 2mDBTBPDq-II, PCBBiF, 및 $\text{Ir}(\text{dmdppr-dmp})_2(\text{dmp})$ 을 2mDBTBPDq-II:PCBBiF: $\text{Ir}(\text{dmdppr-dmp})_2(\text{dmp})=0.75:0.25:0.06$ 의 중량비로 두께 40nm가 되도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다. 또한 발광층(140)에서, 2mDBTBPDq-II 및 PCBBiF는 호스트 재료이고, $\text{Ir}(\text{dmdppr-dmp})_2(\text{dmp})$ 은 게스트 재료(인광성 화합물)이다.

[0585] 다음으로, 발광층(140) 위에, 전자 수송층(118(1))으로서, 2mDBTBPDq-II를 두께 25nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.

[0586] 다음으로, 전자 수송층(118(1)) 위에, 전자 수송층(118(2))으로서, NBPhen을 두께 15nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.

[0587] 다음으로, 전자 수송층(118(2)) 위에, 전자 주입층(130)으로서, NBPhen 및 Ag을 NBPhen=1:0.19의 중량비로 두께 5nm가 되도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다.

[0588] 다음으로, 전자 주입층(130) 위에, 전극(102)으로서, Ag을 두께 25nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시키고, 이어, DBT3P-II를 두께 70nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.

[0589] 다음으로, 밀봉시키지 않고 대기하에서 가열 처리를 80℃에서 1시간 동안 수행하였다. 상술한 단계를 거쳐 발

광 소자 19를 얻었다.

[0590] <발광 소자의 특성>

[0591] 다음으로, 제작한 발광 소자 19의 소자 특성을 측정하였다. 측정은 실시예 1과 비슷한 방법으로 수행하였다.

[0592] 도 46은 제작한 발광 소자 19의 전류 효율-휘도 특성을 나타낸 것이고, 도 47은 그 전류-전압 특성을 나타낸 것이다. 도 48은 전류 밀도 $2.5\text{mA}/\text{cm}^2$ 로 전류를 흘릴 때의 발광 소자 19의 전계 발광 스펙트럼을 나타낸 것이다. 또한 측정은 실온에서 수행하였다.

[0593] $1000\text{cd}/\text{m}^2$ 부근에서의 발광 소자 19의 소자 특성을 표 17에 나타내었다.

[0594] [표 17]

| | 전압 (V) | 전류 밀도 (mA/cm^2) | CIE 색도 (x, y) | 휘도 (cd/m^2) | 전류 효율 (cd/A) |
|----------|-----------|--------------------------------------|------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| 발광 소자 19 | 3.0 | 1.0 | (0.67, 0.33) | 998 | 96 |

[0596] 도 48에 나타낸 바와 같이, 발광 소자 19는 전계 발광 스펙트럼이 616nm에 피크 파장을 가지고 반값전폭이 24nm인 적색 발광을 나타내었다. 얻어진 전계 발광 스펙트럼에 의하여, 광이 게스트 재료인 $\text{Ir}(\text{dmdppr-dmp})_2(\text{dmp})$ 로부터 방출되는 것을 알 수 있다.

[0597] 도 46 및 표 17에 나타낸 바와 같이, 발광 소자 19는 짙은 적색을 나타내면서 $96\text{cd}/\text{A}$ 를 넘는 양호한 전류 효율을 나타내었다.

[0598] 도 47에 나타낸 바와 같이, 발광 소자 19는 양호한 전류-전압 특성을 나타내었고, 이것은 NBPhen과 Ag의 복합 재료의 전자 주입성이 양호한 것을 나타낸다. 따라서 전자 주입층(130), 및 음극으로서의 전극(102)에, 같은 재료를 사용한 발광 소자는 양호한 특성을 가진다.

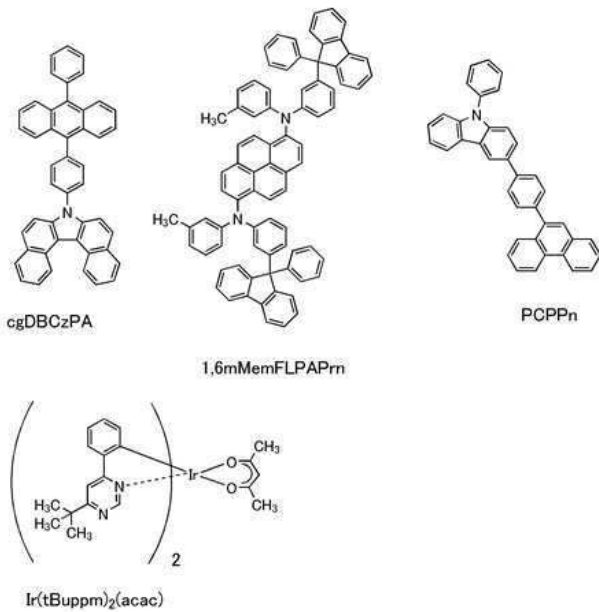
[0599] 본 실시예에 나타낸 구조를 다른 실시형태 및 실시예 중 임의의 것과 적절히 조합하여 사용할 수 있다.

[0600] (실시예 7)

[0601] 본 실시예에서는, 화소 밀도가 326ppi인 패시브 매트릭스 패널을 제작하여 크로스토크를 평가하였다. 이 패널은 스트라이프로 배치된 R 화소, G 화소, B 화소를 포함한다. 화소 크기는 $78\mu\text{m} \times 78\mu\text{m}$ 이었다. 부화소(R 화소, G 화소, B 화소의 각각)의 크기는 $26\mu\text{m} \times 78\mu\text{m}$ 이었다. 개구율은 65.7%이었다.

[0602] 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자 20 및 비교 발광 소자 21의 제작예에 대하여 설명한다. 본 실시예에서 제작한 발광 소자의 단면 모식도를 도 51에 나타내었다. 자세한 소자 구조를 표 18 및 표 19에 나타내었다. 도 51에서 영역(2622R), 영역(2622G), 및 영역(2622B)은 적색 화소, 녹색 화소, 및 청색 화소를 각각 나타낸다. 본 실시예에서 제작한 발광 소자는 복수의 적색(R) 화소, 복수의 녹색(G) 화소, 및 복수의 청색(B) 화소를 포함한다. 본 실시예에서 제작한 발광 소자에서, 복수의 화소는 R 화소, G 화소, B 화소의 순서로 배치된다. 본 실시예에서 사용한 화합물의 구조 및 약칭은 아래와 같다. 또한 다른 화합물의 구조 및 약칭에 대해서는 상술한 실시형태 및 실시예를 참조할 수 있다.

[0603] [화학식 6]



[0604]

[0605] [표 18]

| | 층 | 부호 | 두께(nm) | 재료 | 중량비 |
|-------------|--------|---------|--------|---|--------------|
| 발광 소자 20 | 전극 | 2641(2) | 70 | DBT3P-II | - |
| | | 2641(1) | 20 | Ag | - |
| | 전자 주입층 | 2639 | 0.2 | Li ₂ O | - |
| | 전자 수송층 | 2638(2) | 15 | NBPhen | - |
| | | 2638(1) | 15 | 2mDBTBPDq-II | - |
| | 발광층 | 2646(2) | 20 | 2mDBTBPDq-II:PCBBiF: Ir(dmdppr-dmp) ₂ (dpm) | 0.8:0.2:0.06 |
| | | 2646(1) | 20 | 2mDBTBPDq-II:PCBBiF: Ir(tBuppm) ₂ (acac) | 0.7:0.3:0.06 |
| | 정공 수송층 | 2637 | 20 | BPAFLP | - |
| | 전하 발생층 | 2635 | 13 | DBT3P-II:MoO ₃ | 1:0.5 |
| | 전자 주입층 | 2634 | 5 | NBPhen:Ag | 1:0.19 |
| | 전자 수송층 | 2633(2) | 10 | NBPhen | - |
| | | 2633(1) | 5 | cgDBCzPA | - |
| | 발광층 | 2644 | 30 | cgDBCzPA:1,6mMemFLPAPrn | 1:0.03 |
| | 정공 수송층 | 2632 | 20 | PCPPn | - |
| | 정공 주입층 | 2631 | 13 | DBT3P-II:MoO ₃ | 1:0.5 |
| 비교 발광 소자 21 | 전극 | 표 19 참조 | | | |
| | 전극 | 2641(2) | 70 | DBT3P-II | - |
| | | 2641(1) | 20 | Ag | - |
| | 전자 주입층 | 2639 | 0.2 | Li ₂ O | - |
| | 전자 수송층 | 2638(2) | 20 | NBPhen | - |
| | | 2638(1) | 15 | 2mDBTBPDq-II | - |
| | 발광층 | 2646(2) | 20 | 2mDBTBPDq-II:PCBBiF: Ir(dmdppr-dmp) ₂ (dpm) | 0.8:0.2:0.06 |
| | | 2646(1) | 20 | 2mDBTBPDq-II:PCBBiF: Ir(tBuppm) ₂ (acac) | 0.7:0.3:0.06 |
| | 정공 수송층 | 2637 | 20 | BPAFLP | - |
| | 전하 발생층 | 2635 | 13 | DBT3P-II:MoO ₃ | 1:0.5 |
| | 전자 주입층 | 2634(2) | 1 | CuPc | - |
| | | 2634(1) | 0.2 | Li ₂ O | - |
| | 전자 수송층 | 2633(1) | 15 | NBPhen | - |
| | | 2644 | 5 | cgDBCzPA | - |
| | 발광층 | 2632 | 30 | cgDBCzPA:1,6mMemFLPAPrn | 1:0.03 |
| | 정공 수송층 | 2631 | 20 | PCPPn | - |
| | 정공 주입층 | 631 | 13 | DBT3P-II:MoO ₃ | 1:0.5 |
| | 전극 | 표 19 참조 | | | |

[0606]

[0607] [표 19]

| 화소 | 부호 | 두께 (nm) | 재료 |
|------|-------|------------|----------|
| R 화소 | 2664c | 80 | ITSO |
| | 2664b | 6 | Ti |
| | 2664a | 200 | Al-Ni-La |
| G 화소 | 2663c | 40 | ITSO |
| | 2663b | 6 | Ti |
| | 2663a | 200 | Al-Ni-La |
| B 화소 | 2661b | 6 | Ti |
| | 2661a | 200 | Al-Ni-La |

[0608]

[0609] <발광 소자의 제작>

[0610] 아래에서, 본 실시예의 발광 소자의 제작 방법에 대하여 설명한다. 발광 소자 20은 본 발명의 일 형태에 따른, 2개의 발광 유닛 사이의 전자 주입층에 비공유 전자쌍을 가지는 유기 화합물과 전이 금속의 복합막을 사용한 발광 소자이다. 비교 발광 소자 21은 전자 주입층에 일반적으로 사용되는 Li 화합물인 산화 리튬(Li₂O)을 사용한다.

[0611] <<발광 소자 20의 제작>>

[0612] 기판(2650) 위에, 전극(2661, 2663, 및 2664)으로서, 알루미늄(Al)-니켈(Ni)-란타넘(La) 합금막을 두께 200nm가 되도록 형성하였다. 이어서, 타이타늄(Ti)막을 두께 6nm가 되도록 형성하고, 300℃에서 1시간 동안 가열 처리를 수행하였다. 이 후, R 화소에서 ITSO막을 두께 80nm가 되도록 형성하고, G 화소에서 ITSO막을 두께 40nm가 되도록 형성하였다.

[0613] 다음으로, 전극(2661, 2663, 및 2664) 위에, 정공 주입층(2631)으로서, DBT3P-II 및 산화 몰리브데넘(MoO₃)을 DBT3P-II:MoO₃=1:0.5의 중량비로 두께 13nm가 되도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다.

[0614] 이 후, 정공 주입층(2631) 위에, 정공 수송층(2632)으로서, PCPPn을 두께 20nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.

[0615] 이 후, 정공 수송층(2632) 위에, 발광층(2644)으로서, cgDBCzPA 및 1,6MemFLAPr_n을 cgDBCzPA:1,6MemFLAPr_n=1:0.03의 중량비로 두께 30nm가 되도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다. 또한 발광층(2644)에서 cgDBCzPA는 호스트 재료이고, 1,6MemFLAPr_n은 게스트 재료(형광성 화합물)이다.

[0616] 다음으로, 발광층(2644) 위에, 전자 수송층(2633(1))으로서, cgDBCzPA를 두께 5nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.

[0617] 다음으로, 전자 수송층(2633(1)) 위에, 전자 수송층(2633(2))으로서, NBPhen을 두께 10nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.

[0618] 전자 수송층(2633(2)) 위에, 전자 주입층(2634)으로서, NBPhen 및 Ag을 NBPhen:Ag=1:0.19의 중량비로 두께 5nm가 되도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다.

[0619] 이 후, 전자 주입층(2634) 위에, 전하 발생층(2635)으로서, DBT3P-II와 MoO₃을 DBT3P-II:MoO₃=1:0.5의 중량비로 두께 13nm가 되도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다.

[0620] 이 후, 전하 발생층(2635) 위에, 정공 수송층(2637)으로서, BPAFLP를 두께 20nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.

[0621] 이 후, 정공 수송층(2637) 위에, 발광층(2646)으로서, 2mDBTBPDBq-II, PCBBiF, 및 Ir(tBuppm)₂(acac)을 2mDBTBPDBq-II:PCBBiF:Ir(tBuppm)₂(acac)=0.7:0.3:0.06의 중량비로 두께 20nm가 되도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다. 이어서, 2mDBTBPDBq-II, PCBBiF, 및 Ir(dmdppr-dmp)₂(dpm)을 2mDBTBPDBq-II:PCBBiF:Ir(dmdppr-dmp)₂(dpm)=0.8:0.2:0.06의 중량비로 두께 20nm가 되도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다. 또한 발광층(2646)에서, 2mDBTBPDBq-II 및 PCBBiF는 호스트 재료이고, Ir(dmdppr-dmp)₂(dpm) 및 Ir(tBuppm)₂(acac)는 게스트 재료(인광성 화합물)이다.

[0622] 다음으로, 발광층(2646) 위에, 전자 수송층(2638(1))으로서, 2mDBTBPDBq-II를 두께 15nm가 되도록 증착에 의하여

여 퇴적시켰다.

[0623] 다음으로, 전자 수송층(2638(1)) 위에, 전자 수송층(2638(2))으로서, NBPhen을 두께 15nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.

[0624] 전자 수송층(2638(2)) 위에, 전자 주입층(2639)으로서, Li₂O를 두께 0.2nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.

[0625] 이 후, 전자 주입층(2639) 위에, 전극(2662)으로서, Ag을 두께 20nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다. 이어서, DBT3P-II를 두께 70nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.

[0626] 다음으로, 질소 분위기를 포함한 글러브 박스 내에서, 유기 EL 장치용 실재를 사용하여, 유기 화합물이 퇴적된 기관(2650)에 기관(2652)을 고정함으로써 발광 소자 20을 밀봉하였다. 구체적으로는, 기관(2652) 주변에 실재를 도포하고, 기관(2652)을 유기 화합물이 퇴적된 기관(2650)과 접합한 후, 파장 365nm의 자외광을 6J/cm²에서 조사하고 80℃에서 1시간 동안 가열 처리를 수행하였다. 상기 공정을 거쳐, 발광 소자 20을 얻었다.

[0627] <<비교 발광 소자 21의 제작>>

[0628] 전자 수송층(2633(2)) 및 전자 주입층(2634)을 형성하는 단계를 제외하고는 발광 소자 20과 같은 단계를 거쳐 비교 발광 소자 21을 제작하였다.

[0629] 비교 발광 소자 21의 전자 수송층(2633(2))으로서, NBPhen을 두께 15nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다. 이 후, 전자 주입층(2634)으로서, Li₂O를 두께 0.2nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시키고, 이어서, CuPc를 두께 1nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.

[0630] <각 발광 소자의 크로스토크의 관찰>

[0631] 발광 소자 20 및 비교 발광 소자 21의 크로스토크를 평가하였다. 그 결과를 도 52의 (A) 및 (B)에 나타내었다. 도 52의 (A)는 청색 화소가 발광할 때의 발광 소자 20의 화소의 확대 사진이고, 도 52의 (B)는 청색 화소가 발광할 때의 비교 발광 소자 21의 화소의 확대 사진이다. 도 52의 (A) 및 (B)에서, 화살표로 나타난 청색 화소 및 화살표로 나타난 청색 화소의 왼쪽의 청색 화소에서는 전류가 흐르는 한편으로, 적색 화소, 녹색 화소, 및 화살표로 나타난 청색 화소의 오른쪽의 청색 화소에서는 전류가 흐르지 않는다.

[0632] 도 52의 (A) 및 (B)에 의하여, 비교 발광 소자 21에서는, 전류가 공급되는 청색 화소뿐만 아니라 상기 청색 화소와 인접한 녹색 화소 및 적색 화소도 발광하는 한편으로, 발광 소자 20에서는, 상기 청색 화소와 인접한 녹색 화소 및 적색 화소로부터의 발광이 비교 발광 소자 21과 비교하여 저감된다. 비교 발광 소자 21에서는, 전하 발생층에 인접한 전자 수송층에 알칼리 금속 화합물인 Li₂O를 사용하기 때문에 Li가 전자 수송층으로 확산되기 쉽고, 발광시키는 청색 화소에 공급된 전류가 전자 수송층을 통하여 상기 청색 화소와 인접한 녹색 화소 및 적색 화소로 흘러, 크로스토크를 일으킨다. 한편, 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자 20은 전자 수송층에 전이 금속을 사용하기 때문에 금속의 확산이 일어나기 어려워 크로스토크를 저감할 수 있다.

[0633] 다음으로, 상기 청색 화소와 인접한 화소의 크로스토크로 인한 발광 강도를 상기 청색 화소로부터의 거리에 대하여 추산하였다. 그 결과를 도 53에 나타내었다. 도 53에서, 세로축은 도 52의 (A) 및 (B)에 나타난 데이터로부터 추출한 적색 광의 밝기를 나타내고, 가로축은 도 52의 (A) 및 (B)에 나타난 데이터로부터 추출한, 도 52의 (A) 및 (B)의 화살표로 나타난 청색 화소로부터 이 청색 화소의 오른쪽의 적색 화소까지의 거리를 나타낸 것이다. 세로축 및 가로축 각각은 임의 단위를 나타낸다. 도 53은 발광 소자 20의 발광 강도가 비교 발광 소자 21의 발광 강도보다 낮은 것을 나타낸다. 바꿔 말하면, 발광 소자 20에서는 비교 발광 소자 21보다 크로스토크가 걸치는 거리가 짧다.

[0634] 상술한 바와 같이, 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자에는 크로스토크를 저감하는 효과가 있는 것을 찾았다.

[0635] (실시예 8)

[0636] 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자 22, 및 비교 발광 소자 23의 제작예에 대하여 설명한다. 본 실시예에서 제작한 발광 소자의 단면 모식도를 도 54에 나타내었다. 자세한 소자 구조를 표 20에 나타내었다. 본 실시예에서 사용한 유기 화합물의 구조 및 약칭에 대해서는 상술한 실시예 및 실시형태 1을 참조할 수 있다.

[0637] <발광 소자의 제작>

[0638] 아래에서, 본 실시예의 발광 소자의 제작 방법에 대하여 설명한다. 발광 소자 22는 본 발명의 일 형태에 따른,

2개의 발광 유닛 사이의 전자 주입층에 비공유 전자쌍을 가지는 유기 화합물과 전이 금속의 복합막을 사용한 발광 소자이다. 비교 발광 소자 23은 전자 주입층에 일반적으로 사용되는 Li 화합물인 Li_2O 을 사용한다.

[표 20]

| | 층 | 부호 | 두께(nm) | 재료 | 중량비 |
|-------------|--------|---------|--------|---|--------------|
| 발광 소자 22 | 전극 | 3641 | 200 | Al | - |
| | 전자 주입층 | 3639 | 5 | NBPhen:Ag | 1:0.19 |
| | 전자 수송층 | 3638(2) | 10 | NBPhen | - |
| | | 3638(1) | 15 | 2mDBTBPDBq-II | - |
| | 발광층 | 3646(2) | 20 | 2mDBTBPDBq-II:PCBBiF: Ir(dmqpr-dmp)(dpm) | 0.8:0.2:0.06 |
| | | 3646(1) | 20 | 2mDBTBPDBq-II:PCBBiF: Ir(tBuppm)(acac) | 0.7:0.3:0.06 |
| | | | | | |
| | 정공 수송층 | 3637 | 20 | BPAFLP | - |
| | 전하 발생층 | 3635 | 30 | DBT3P-II:MoO ₃ | 1:0.5 |
| | 전자 주입층 | 3634 | 5 | NBPhen:Ag | 1:0.19 |
| | 전자 수송층 | 3633(2) | 10 | NBPhen | - |
| | | 3633(1) | 5 | cgDBCzPA | - |
| | 발광층 | 3644 | 25 | cgDBCzPA:1,6mMemFLAPrN | 1:0.03 |
| | 정공 수송층 | 3632 | 10 | PCPPn | - |
| | 정공 주입층 | 3631 | 10 | DBT3P-II:MoO ₃ | 1:0.5 |
| 비교 발광 소자 23 | 전극 | 3642 | 70 | ITO | - |
| | 전극 | 3641 | 200 | Al | - |
| | 전자 주입층 | 3639 | 1 | LiF | 1:0.19 |
| | 전자 수송층 | 3638(2) | 15 | NBPhen | - |
| | | 3638(1) | 15 | 2mDBTBPDBq-II | - |
| | 발광층 | 3646(2) | 20 | 2mDBTBPDBq-II:PCBBiF: Ir(dmqpr-dmp)(dpm) | 0.8:0.2:0.06 |
| | | 3646(1) | 20 | 2mDBTBPDBq-II:PCBBiF: Ir(tBuppm)(acac) | 0.7:0.3:0.06 |
| | | | | | |
| | 정공 수송층 | 3637 | 20 | BPAFLP | - |
| | 전하 발생층 | 3635(2) | 30 | DBT3P-II:MoO ₃ | 1:0.5 |
| | | 3635(1) | 1 | CuPc | - |
| | 전자 주입층 | 3634(1) | 0.2 | Li ₂ O | - |
| | 전자 수송층 | 3633(2) | 15 | NBPhen | - |
| | | 3633(1) | 5 | cgDBCzPA | - |
| | 발광층 | 3644 | 25 | cgDBCzPA:1,6mMemFLAPrN | 1:0.03 |
| | 정공 수송층 | 3632 | 10 | PCPPn | - |
| | 정공 주입층 | 3631 | 10 | DBT3P-II:MoO ₃ | 1:0.5 |
| | 전극 | 3642 | 70 | ITO | - |

<<발광 소자 22의 제작>>

기판(3650) 위에, 전극(3642)으로서, ITO막을 두께 70nm가 되도록 형성하였다. 전극 면적은 4mm^2 ($2\text{mm} \times 2\text{mm}$)로 하였다.

이 후, 전극(3642) 위에, 정공 주입층(3631)으로서, DBT3P-II 및 MoO₃을 DBT3P-II:MoO₃=1:0.5의 중량비로 두께 10nm가 되도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다.

이 후, 정공 주입층(3631) 위에, 정공 수송층(3632)으로서, PCPPn을 두께 10nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.

이 후, 정공 수송층(3632) 위에, 발광층(3644)으로서, cgDBCzPA 및 1,6mMemFLAPrN이 cgDBCzPA:1,6mMemFLAPrN=1:0.03의 중량비로 두께 25nm가 되도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다. 또한 발광층(3644)에서 cgDBCzPA는 호스트 재료이고, 1,6mMemFLAPrN은 게스트 재료(형광성 화합물)이다.

다음으로, 발광층(3644) 위에, 전자 수송층(3633(1))으로서, cgDBCzPA를 두께 5nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.

다음으로, 전자 수송층(3633(1)) 위에, 전자 수송층(3633(2))으로서, NBPhen을 두께 10nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.

전자 수송층(3633(2)) 위에, 전자 주입층(3634)으로서, NBPhen 및 Ag을 NBPhen:Ag=1:0.19의 중량비로 두께 5nm가 되도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다.

이 후, 전자 주입층(3634) 위에, 전하 발생층(3635)으로서, DBT3P-II와 MoO₃을 DBT3P-II:MoO₃=1:0.5의 중량비로 두께 30nm가 되도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다.

이 후, 전하 발생층(3635) 위에, 정공 수송층(3637)으로서, BPAFLP를 두께 20nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.

- [0651] 이 후, 정공 수송층(3637) 위에, 발광층(3646)으로서, 2mDBTPDBq-II, PCBBiF, 및 Ir(tBuppm)₂(acac)을 2mDBTPDBq-II:PCBBiF:Ir(tBuppm)₂(acac)=0.7:0.3:0.06의 중량비로 두께 20nm가 되도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다. 이어서, 2mDBTPDBq-II, PCBBiF, 및 Ir(dmdppr-dmp)₂(dpm)을 2mDBTPDBq-II:PCBBiF:Ir(dmdppr-dmp)₂(dpm)=0.8:0.2:0.06의 중량비로 두께 20nm가 되도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다. 또한 발광층(3646)에서, 2mDBTPDBq-II 및 PCBBiF는 호스트 재료이고, Ir(dmdppr-dmp)₂(dpm) 및 Ir(tBuppm)₂(acac)는 게스트 재료(인광성 화합물)이다.
- [0652] 다음으로, 발광층(3646) 위에, 전자 수송층(3638(1))으로서, 2mDBTPDBq-II를 두께 15nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.
- [0653] 다음으로, 전자 수송층(3638(1)) 위에, 전자 수송층(3638(2))으로서, NBPhen을 두께 10nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.
- [0654] 전자 수송층(3638(2)) 위에, 전자 주입층(3639)으로서, NBPhen 및 Ag을 NBPhen:Ag=1:0.19의 중량비로 두께 5nm가 되도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다.
- [0655] 이 후, 전자 주입층(3639) 위에, 전극(3641)으로서, Al을 두께 200nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.
- [0656] 다음으로, 질소 분위기를 포함한 글러브 박스 내에서, 유기 EL 장치용 실재를 사용하여, 유기 화합물이 퇴적된 기관(3650)에 기관(3652)을 고정함으로써 발광 소자 22를 밀봉하였다. 구체적으로는, 기관(3652) 주변에 실재를 도포하고, 기관(3652)을 유기 화합물막이 퇴적된 기관(3650)과 접합한 후, 파장 365nm의 자외광을 6J/cm²에서 조사하고 80℃에서 1시간 동안 가열 처리를 수행하였다. 상기 공정을 거쳐, 발광 소자 22를 얻었다.
- [0657] <<비교 발광 소자 23의 제작>>
- [0658] 전자 수송층(3633(2)), 전자 주입층(3634), 전자 수송층(3638(2)) 및 전자 주입층(3639)을 형성하는 단계를 제외하고는 발광 소자 22와 같은 단계를 거쳐 비교 발광 소자 23을 제작하였다.
- [0659] 전자 수송층(3633(1)) 위에, 비교 발광 소자 23의 전자 수송층(3633(2))으로서, NBPhen을 두께 15nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.
- [0660] 전자 수송층(3633(2)) 위에, 전자 주입층(3634)으로서, Li₂O를 두께 0.2nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시키고, 이어서, CuPc를 두께 1nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.
- [0661] 전자 수송층(3638(1)) 위에, 전자 수송층(3638(2))으로서, NBPhen을 두께 15nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.
- [0662] 전자 수송층(3638(2)) 위에, 전자 주입층(3639)으로서, LiF를 두께 1nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.
- [0663] <<발광 소자의 측정>>
- [0664] 제작한 발광 소자 22 및 비교 발광 소자 23의 소자 특성을 측정하였다. 휘도 및 CIE 색도는 색채 휘도계(BM-5A, TOPCON TECHNOHOUSE CORPORATION 제조)에 의하여 측정하고, 전계 발광 스펙트럼은 멀티 채널 분광기(PMA-11, Hamamatsu Photonics K.K. 제조)에 의하여 측정하였다.
- [0665] 도 55는 제작한 발광 소자 22 및 비교 발광 소자 23의 전류 효율-휘도 특성을 나타낸 것이고, 도 56은 그 전류 밀도-전압 특성을 나타낸 것이고, 도 57은 그 전력 효율-휘도 특성을 나타낸 것이고, 도 58은 그 외부 양자 효율-휘도 특성을 나타낸 것이다. 또한 발광 소자의 측정은 실온(23℃로 유지된 분위기)에서 수행하였다. 도 59는 전류 밀도 2.5mA/cm²로 전류를 흘릴 때의 발광 소자의 전계 발광 스펙트럼을 나타낸 것이다. 또한 측정은 실온에서 수행하였다.
- [0666] 1000cd/m² 부근에서의 발광 소자 22 및 비교 발광 소자 23의 소자 특성을 표 21에 나타내었다.

[0667] [표 21]

| | 전압 (V) | 전류 밀도 (mA/cm ²) | CIE 색도 (x, y) | 휘도 (cd/m ²) | 전류 효율 (cd/A) | 전력 효율 (lm/W) | 외부 양자 효율(%) |
|----------------|-----------|--------------------------------|------------------|----------------------------|-----------------|-----------------|-------------|
| 발광 소자 22 | 6.40 | 2.04 | (0.391, 0.391) | 1030 | 50.4 | 24.8 | 29.7 |
| 비교 발광 소자 23 | 5.80 | 1.64 | (0.390, 0.323) | 876 | 53.2 | 28.8 | 30.6 |

[0668]

[0669] 도 58 및 표 21에 나타낸 바와 같이, 발광 소자 22 및 비교 발광 소자 23 각각은 외부 양자 효율이 30%를 넘는 높은 발광 효율을 나타내었다. 도 55 및 도 57에 나타낸 바와 같이, 발광 소자 22 및 비교 발광 소자 23은 높은 전류 효율 및 전력 효율도 나타내었다. 도 55, 도 57, 및 도 58에 의거하면, 발광 소자 22 및 비교 발광 소자 23은 동등한 발광 효율을 나타내었다. 즉, 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자 22는 전자 주입층에 일반적으로 사용되는 Li₂O 및 LiF를 사용한 비교 발광 소자 23과 동등한 높은 효율을 나타내었다.

[0670]

도 56에 나타낸 바와 같이, 발광 소자 22 및 비교 발광 소자 23은 양호한 전류 밀도-전압 특성을 나타내었다. NBPhen과 Ag의 복합막의 전자 주입성이 매우 높은 것도 알았다.

[0671]

도 59에 나타낸 바와 같이, 발광 소자 22 및 비교 발광 소자 23의 전계 발광 스펙트럼 각각은 약 467nm, 538nm, 및 617nm에 피크 파장을 가지고, 이것은 발광 소자 22 및 비교 발광 소자 23이 청색, 녹색, 및 적색의 3개의 파장 영역 모두에 피크를 가지는 백색 광을 방출하는 것을 나타낸다. 또한 발광 소자 22 및 비교 발광 소자 23은 거의 같은 전계 발광 스펙트럼을 나타내고, 바꿔 말하면, 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자 22는 전자 주입층에 일반적으로 사용되는 Li 화합물을 사용한 비교 발광 소자 23과 동등한 높은 전자 주입성을 가진다.

[0672]

상술한 바와 같이, 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자는 전자 주입층에 일반적으로 사용되는 Li 화합물을 사용한 발광 소자와 동등한 양호한 전자 주입성을 가지기 때문에 구동 전압이 낮고 발광 효율이 높다.

[0673]

(실시예 9)

[0674]

본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자 24 내지 발광 소자 26의 제작예에 대하여 설명한다. 본 실시예에서 제작한 발광 소자의 단면 모식도는 도 54에 나타내었다. 자세한 소자 구조를 표 22에 나타내었다. 또한 본 실시예에서 사용한 화합물의 구조 및 약칭에 대해서는 상술한 실시예 및 실시형태 1을 참조할 수 있다.

[0675] [표 22]

| | 층 | 번호 | 두께(nm) | 재료 | 중량비 |
|-------------|--------|---------|--------|---|----------------|
| 발광 소자 24 | 전극 | 3641 | 200 | Al | - |
| | 전자 주입층 | 3639 | 1 | LiF | - |
| | 전자 수송층 | 3638(2) | 15 | NBPhen | - |
| | 전자 수송층 | 3638(1) | 25 | 2mDBTPDBq-II | - |
| | 발광층 | 3646 | 40 | 2mDBTPDBq-II PCBBiF:Ir(dmdppr-dmp) ₂ (dpm) | 0.75:0.25:0.06 |
| | 정공 수송층 | 3637 | 20 | BPAFLP | - |
| | 전하 발생층 | 3635 | 80 | DBT3P-II MoO ₃ | 1:0.5 |
| | 전자 주입층 | 3634 | 5 | NBPhen:Ag | 1:0.19 |
| | 전자 수송층 | 3633(2) | 15 | NBPhen | - |
| | 전자 수송층 | 3633(1) | 10 | 2mDBTPDBq-II | - |
| | 발광층 | 3644 | 40 | 2mDBTPDBq-II PCBBiF:Ir(dmdppr-dmp) ₂ (dpm) | 0.75:0.25:0.06 |
| | 정공 수송층 | 3632 | 20 | BPAFLP | - |
| 발광 소자 25 | 전극 | 3641 | 200 | Al | - |
| | 전자 주입층 | 3639 | 1 | LiF | - |
| | 전자 수송층 | 3638(2) | 15 | NBPhen | - |
| | 전자 수송층 | 3638(1) | 25 | 2mDBTPDBq-II | - |
| | 발광층 | 3646 | 40 | 2mDBTPDBq-II PCBBiF:Ir(dmdppr-dmp) ₂ (dpm) | 0.75:0.25:0.06 |
| | 정공 수송층 | 3637 | 20 | BPAFLP | - |
| | 전하 발생층 | 3635 | 80 | DBT3P-II MoO ₃ | 1:0.5 |
| | 전자 주입층 | 3634 | 5 | Ag:Ag | 1:0.24 |
| | 전자 수송층 | 3633(2) | 15 | NBPhen | - |
| | 전자 수송층 | 3633(1) | 10 | 2mDBTPDBq-II | - |
| | 발광층 | 3644 | 40 | 2mDBTPDBq-II PCBBiF:Ir(dmdppr-dmp) ₂ (dpm) | 0.75:0.25:0.06 |
| | 정공 수송층 | 3632 | 20 | BPAFLP | - |
| 발광 소자 26 | 전극 | 3641 | 200 | Al | - |
| | 전자 주입층 | 3639 | 1 | LiF | - |
| | 전자 수송층 | 3638(2) | 15 | NBPhen | - |
| | 전자 수송층 | 3638(1) | 25 | 2mDBTPDBq-II | - |
| | 발광층 | 3646 | 40 | 2mDBTPDBq-II PCBBiF:Ir(dmdppr-dmp) ₂ (dpm) | 0.75:0.25:0.06 |
| | 정공 수송층 | 3637 | 20 | BPAFLP | - |
| | 전하 발생층 | 3635 | 80 | DBT3P-II MoO ₃ | 1:0.5 |
| | 전자 주입층 | 3634 | 5 | 2mDBTPDBq-II:Ag | 1:0.20 |
| | 전자 수송층 | 3633(2) | 15 | NBPhen | - |
| | 전자 수송층 | 3633(1) | 10 | 2mDBTPDBq-II | - |
| | 발광층 | 3644 | 40 | 2mDBTPDBq-II PCBBiF:Ir(dmdppr-dmp) ₂ (dpm) | 0.75:0.25:0.06 |
| | 정공 수송층 | 3632 | 20 | BPAFLP | - |
| | 정공 주입층 | 3631 | 65 | DBT3P-II MoO ₃ | 1:0.5 |
| 발광 소자 26 | 전극 | 3642 | 70 | ITO | - |
| | 전극 | 3641 | 200 | Al | - |
| | 전자 주입층 | 3639 | 1 | LiF | - |
| | 전자 수송층 | 3638(2) | 15 | NBPhen | - |
| | 전자 수송층 | 3638(1) | 25 | 2mDBTPDBq-II | - |
| | 발광층 | 3646 | 40 | 2mDBTPDBq-II PCBBiF:Ir(dmdppr-dmp) ₂ (dpm) | 0.75:0.25:0.06 |
| | 정공 수송층 | 3637 | 20 | BPAFLP | - |
| | 전하 발생층 | 3635 | 80 | DBT3P-II MoO ₃ | 1:0.5 |
| | 전자 주입층 | 3634 | 5 | 2mDBTPDBq-II:Ag | 1:0.20 |
| | 전자 수송층 | 3633(2) | 15 | NBPhen | - |
| | 전자 수송층 | 3633(1) | 10 | 2mDBTPDBq-II | - |
| | 발광층 | 3644 | 40 | 2mDBTPDBq-II PCBBiF:Ir(dmdppr-dmp) ₂ (dpm) | 0.75:0.25:0.06 |
| | 정공 수송층 | 3632 | 20 | BPAFLP | - |
| | 정공 주입층 | 3631 | 65 | DBT3P-II MoO ₃ | 1:0.5 |
| | 전극 | 3642 | 70 | ITO | - |

[0676]

[0677] <<발광 소자 24의 제작>>

[0678] 기관(3650) 위에, 전극(3642)으로서, ITO막을 두께 70nm가 되도록 형성하였다. 전극 면적은 4mm²(2mm×2mm)로 하였다.

[0679] 이 후, 전극(3642) 위에, 정공 주입층(3631)으로서, DBT3P-II 및 MoO₃을 DBT3P-II:MoO₃=1:0.5의 중량비로 두께 65nm가 되도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다.

[0680] 이 후, 정공 주입층(3631) 위에, 정공 수송층(3632)으로서, BPAFLP를 두께 20nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.

[0681] 이 후, 정공 수송층(3632) 위에, 발광층(3644)으로서, 2mDBTPDBq-II, PCBBiF, 및 Ir(dmdppr-dmp)₂(dpm)을 2mDBTPDBq-II:PCBBiF:Ir(dmdppr-dmp)₂(dpm)=0.75:0.25:0.06의 중량비로 두께 40nm가 되도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다. 또한 발광층(3644)에서, 2mDBTPDBq-II 및 PCBBiF는 호스트 재료이고, Ir(dmdppr-dmp)₂(dpm)은 게스트 재료(인광성 화합물)이다.

[0682] 다음으로, 발광층(3644) 위에, 전자 수송층(3633(1))으로서, 2mDBTPDBq-II를 두께 10nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.

[0683] 다음으로, 전자 수송층(3633(1)) 위에, 전자 수송층(3633(2))으로서, NBPhen을 두께 15nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.

[0684] 전자 수송층(3633(2)) 위에, 전자 주입층(3634)으로서, NBPhen 및 Ag을 NBPhen:Ag=1:0.19의 중량비로 두께 5nm가 되도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다.

[0685] 이 후, 전자 주입층(3634) 위에, 전하 발생층(3635)으로서, DBT3P-II와 MoO₃을 DBT3P-II:MoO₃=1:0.5의 중량비로 두께 80nm가 되도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다.

- [0686] 이 후, 전하 발생층(3635) 위에, 정공 수송층(3637)으로서, BPAFLP를 두께 20nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.
- [0687] 이 후, 정공 수송층(3637) 위에, 발광층(3646)으로서, 2mDBTBPDq-II, PCBBiF, 및 Ir(dmdppr-dmp)₂(dpm)을 2mDBTBPDq-II:PCBBiF:Ir(dmdppr-dmp)₂(dpm)=0.75:0.25:0.06의 중량비로 두께 40nm가 되도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다. 또한 발광층(3646)에서, 2mDBTBPDq-II 및 PCBBiF는 호스트 재료이고, Ir(dmdppr-dmp)₂(dpm)은 게스트 재료(인광성 화합물)이다.
- [0688] 다음으로, 발광층(3646) 위에, 전자 수송층(3638(1))으로서, 2mDBTBPDq-II를 두께 25nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.
- [0689] 다음으로, 전자 수송층(3638(1)) 위에, 전자 수송층(3638(2))으로서, NBPhen을 두께 15nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.
- [0690] 전자 수송층(3638(2)) 위에, 전자 주입층(3639)으로서, LiF를 두께 1nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.
- [0691] 이 후, 전자 주입층(3639) 위에, 전극(3641)으로서, Al을 두께 200nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.
- [0692] 다음으로, 질소 분위기를 포함한 글러브 박스 내에서, 유기 EL 장치용 실재를 사용하여, 유기 화합물이 퇴적된 기판(3650)에 기판(3652)을 고정함으로써 발광 소자 24를 밀봉하였다. 구체적으로는, 기판(3652) 주변에 실재를 도포하고, 기판(3652)을 유기 화합물막이 퇴적된 기판(3650)과 접합한 후, 파장 365nm의 자외광을 6J/cm²에서 조사하고 80℃에서 1시간 동안 가열 처리를 수행하였다. 상기 공정을 거쳐, 발광 소자 24를 얻었다.
- [0693] <<발광 소자 25 및 발광 소자 26의 제작>>
- [0694] 전자 주입층(3634)을 형성하는 단계를 제외하고는 발광 소자 24와 같은 단계를 거쳐 발광 소자 25 및 발광 소자 26을 제작하였다.
- [0695] <발광 소자 25의 제작>
- [0696] 발광 소자 25의 전자 수송층(3633(2)) 위에, 전자 주입층(3634)으로서, Alq₃ 및 Ag을 Alq₃:Ag=1:0.24의 중량비로 두께 5nm가 되도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다.
- [0697] <발광 소자 26의 측정>
- [0698] 발광 소자 26의 전자 수송층(3633(2)) 위에, 전자 주입층(3634)으로서, 2mDBTBPDq-II 및 Ag을 2mDBTBPDq-II:Ag=1:0.20의 중량비로 두께 5nm가 되도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다.
- [0699] <<발광 소자의 측정>>
- [0700] 제작한 발광 소자 24 내지 발광 소자 26의 소자 특성을 측정하였다. 측정은 실시예 1과 비슷한 방법으로 수행하였다.
- [0701] 도 60은 제작한 발광 소자 24 내지 발광 소자 26의 전류 효율-휘도 특성을 나타낸 것이고, 도 61은 그 전류 밀도-전압 특성을 나타낸 것이고, 도 62는 그 전력 효율-휘도 특성을 나타낸 것이고, 도 63은 그 외부 양자 효율-휘도 특성을 나타낸 것이다. 또한 발광 소자의 측정은 실온(23℃로 유지된 분위기)에서 수행하였다. 도 64는 전류 밀도 2.5mA/cm²로 전류를 흘릴 때의 발광 소자의 전계 발광 스펙트럼을 나타낸 것이다. 또한 측정은 실온에서 수행하였다.
- [0702] 1000cd/m² 부근에서의 발광 소자 24 내지 발광 소자 26의 소자 특성을 표 23에 나타내었다.

[표 23]

| | 전압 (V) | 전류 밀도 (mA/cm ²) | CIE 색도 (x, y) | 휘도 (cd/m ²) | 전류 효율 (cd/A) | 전력 효율 (lm/W) | 외부 양자 효율 (%) |
|-------------|-----------|--------------------------------|------------------|----------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 발광 소자 24 | 6.30 | 1.41 | (0.675, 0.325) | 947 | 67.0 | 33.4 | 57.9 |
| 발광 소자 25 | 8.20 | 1.55 | (0.671, 0.329) | 983 | 63.4 | 24.3 | 51.2 |
| 발광 소자 26 | 7.00 | 1.41 | (0.672, 0.328) | 967 | 69.8 | 30.9 | 56.8 |

[0704]

[0705] 도 63 및 표 23에 나타난 바와 같이, 발광 소자 24 내지 발광 소자 26 각각은 외부 양자 효율이 50%를 넘는 높은 발광 효율을 나타내었다. 도 60 및 도 62에 나타난 바와 같이, 발광 소자 24 내지 발광 소자 26은 높은 전류 효율 및 전력 효율도 나타내었다. 그래서 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자는 발광 효율이 높다.

[0706] 도 61에 나타난 바와 같이, 발광 소자 24 내지 발광 소자 26은 양호한 전류 밀도-전압 특성을 나타내었다. 특히 발광 소자 24 내지 발광 소자 26은 양호한 전류 밀도-전압 특성을 나타내었고, 이것은 전이 금속과 비공유 전자쌍을 가지는 유기 화합물의 복합 재료의 전자 주입성이 높은 것을 나타낸다.

[0707] 도 64에 나타난 바와 같이, 발광 소자 24 내지 발광 소자 26 각각은 전체 발광 스펙트럼이 약 619nm에 피크 파장을 가지고 반값전폭이 60nm인 적색 발광을 나타내었다. 얻어진 전체 발광 스펙트럼에 의하여, 광이 게스트 재료인 Ir(dmdppr-dmp)₂(dmp)로부터 방출되는 것을 알 수 있다.

[0708] 상술한 바와 같이, 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자는 전자 주입성이 양호하므로 구동 전압이 낮고 발광 효율이 높다. 본 실시예에 나타난 구조를 다른 실시형태 및 실시예 중 임의의 것과 적절히 조합하여 사용할 수 있다.

[0709] (실시예 10)

[0710] 본 실시예에서는, 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자 27 내지 발광 소자 29, 및 비교 발광 소자 30의 제작에 대하여 설명한다. 본 실시예에서 제작한 발광 소자의 단면 모식도를 도 54에 나타내었다. 자세한 소자 구조를 표 24 및 표 25에 나타내었다. 본 실시예에서 사용한 화합물의 구조 및 약칭에 대해서는 상술한 실시예 및 실시형태를 참조할 수 있다.

[0711] [표 24]

| | 층 | 부호 | 두께(nm) | 재료 | 중량비 |
|----------|--------|---------|--------|---|----------------|
| 발광 소자 27 | 전극 | 3641 | 200 | Al | - |
| | 전자 주입층 | 3639 | 5 | 11BPhen:Ag | 1:0.19 |
| | 전자 수송층 | 3638(2) | 10 | 11BPhen | - |
| | | 3638(1) | 25 | 2mDBTBPDq-II | - |
| | 발광층 | 3646 | 40 | 2mDBTBPDq-II:PCBBiF: Ir(dmdppr-dmp) ₂ (dmp) | 0.75:0.25:0.06 |
| | 정공 수송층 | 3637 | 20 | BPAFLP | - |
| | 전하 발생층 | 3635 | 80 | DBT3P-II:MoO ₃ | 1:0.5 |
| | 전자 주입층 | 3634 | 5 | 11BPhen:Ag | 1:0.19 |
| | | 3633(2) | 15 | 11BPhen | - |
| | 전자 수송층 | 3633(1) | 10 | 2mDBTBPDq-II | - |
| | | | | 2mDBTBPDq-II:PCBBiF: Ir(dmdppr-dmp) ₂ (dmp) | 0.75:0.25:0.06 |
| | 정공 수송층 | 3632 | 20 | BPAFLP | - |
| 발광 소자 28 | 정공 주입층 | 3631 | 65 | DBT3P-II:MoO ₃ | 1:0.5 |
| | 전극 | 3642 | 70 | ITO | - |
| | 전극 | 3641 | 200 | Al | - |
| | 전자 주입층 | 3639 | 5 | 11BPhen:Ag | 1:0.19 |
| | 전자 수송층 | 3638(2) | 10 | 11BPhen | - |
| | | 3638(1) | 25 | 2mDBTBPDq-II | - |
| | 발광층 | 3646 | 40 | 2mDBTBPDq-II:PCBBiF: Ir(dmdppr-dmp) ₂ (dmp) | 0.75:0.25:0.06 |
| | 정공 수송층 | 3637 | 20 | BPAFLP | - |
| | 전하 발생층 | 3635 | 80 | DBT3P-II:MoO ₃ | 1:0.5 |
| | 전자 주입층 | 3634(2) | 5 | 2Py8Te:Ag | 1:0.35 |
| | | 3634(1) | 5 | 11BPhen:Ag | 1:0.19 |
| | 전자 수송층 | 3633(2) | 10 | 11BPhen | - |
| | | 3633(1) | 10 | 2mDBTBPDq-II | - |
| | 발광층 | 3644 | 40 | 2mDBTBPDq-II:PCBBiF: Ir(dmdppr-dmp) ₂ (dmp) | 0.75:0.25:0.06 |
| | 정공 수송층 | 3632 | 20 | BPAFLP | - |
| | 정공 주입층 | 3631 | 65 | DBT3P-II:MoO ₃ | 1:0.5 |
| | 전극 | 3642 | 70 | ITO | - |

[0712]

[0713] [표 25]

| | 층 | 부호 | 두께(nm) | 재료 | 중량비 |
|-------------|--------|---------|--------|---|----------------|
| 발광 소자 29 | 전극 | 3641 | 200 | Al | - |
| | 전자 주입층 | 3639 | 5 | NBPhen:Ag | - |
| | 전자 수송층 | 3638(2) | 10 | NBPhen | - |
| | | 3638(1) | 25 | 2mDBTPDBq-II | - |
| | 발광층 | 3646 | 40 | 2mDBTPDBq-II:PCBBiF: Ir(dmdppr-dmp) ₂ (dpm) | 0.75:0.25:0.06 |
| | 정공 수송층 | 3637 | 20 | BPAFLP | - |
| | 전하 발생층 | 3635 | 80 | DBT3P-II:MoO ₃ | 1:0.5 |
| | 전자 주입층 | 3634(2) | 5 | TmPPPyTz:Ag | 1:0.15 |
| | | 3634(1) | 5 | NBPhen:Ag | 1:0.19 |
| | 전자 수송층 | 3633(2) | 10 | NBPhen | - |
| | | 3633(1) | 10 | 2mDBTPDBq-II | - |
| | 발광층 | 3644 | 40 | 2mDBTPDBq-II:PCBBiF: Ir(dmdppr-dmp) ₂ (dpm) | 0.75:0.25:0.06 |
| | 정공 수송층 | 3632 | 20 | BPAFLP | - |
| | 정공 주입층 | 3631 | 65 | DBT3P-II:MoO ₃ | 1:0.5 |
| 비교 발광 소자 30 | 전극 | 3642 | 70 | ITSO | - |
| | 전극 | 3641 | 200 | Al | - |
| | 전자 주입층 | 3639 | 1 | LiF | - |
| | 전자 수송층 | 3638(2) | 15 | NBPhen | - |
| | | 3638(1) | 25 | 2mDBTPDBq-II | - |
| | 발광층 | 3646 | 40 | 2mDBTPDBq-II:PCBBiF: Ir(dmdppr-dmp) ₂ (dpm) | 0.75:0.25:0.06 |
| | 정공 수송층 | 3637 | 20 | BPAFLP | - |
| | 전하 발생층 | 3635 | 80 | DBT3P-II:MoO ₃ | 1:0.5 |
| | 전자 주입층 | 3634 | 0.2 | Li ₂ O | - |
| | 전자 수송층 | 3633(2) | 20 | NBPhen | - |
| | | 3633(1) | 10 | 2mDBTPDBq-II | - |
| | 발광층 | 3644 | 40 | 2mDBTPDBq-II:PCBBiF: Ir(dmdppr-dmp) ₂ (dpm) | 0.75:0.25:0.06 |
| | 정공 수송층 | 3632 | 20 | BPAFLP | - |
| | 정공 주입층 | 3631 | 65 | DBT3P-II:MoO ₃ | 1:0.5 |
| | 전극 | 3642 | 70 | ITSO | - |

[0714]

[0715] <발광 소자의 제작>

[0716] 아래에서, 본 실시예의 발광 소자의 제작 방법에 대하여 설명한다. 비교 발광 소자 30은 전자 주입층에 일반적으로 사용되는 Li 화합물인 Li₂O 및 LiF를 사용한다. 발광 소자 27 내지 발광 소자 29 각각은 본 발명의 일 형태에 따른, 비공유 전자쌍을 가지는 유기 화합물과 전이 금속의 복합막을 전자 주입층에 사용한다. 발광 소자 27 내지 발광 소자 29에서는, 비공유 전자쌍을 가지는 유기 화합물로서 트라이아진 고리를 포함한 유기 화합물을 사용한다.

[0717] <<발광 소자 27의 제작>>

[0718] 전자 수송층(3638) 및 전자 주입층(3639)을 형성하는 단계를 제외하고는 발광 소자 24와 같은 단계를 거쳐 발광 소자 27을 제작하였다.

[0719] 발광 소자 27의 전자 수송층(3638(1)) 위에, 전자 수송층(3638(2))으로서, NBPhen을 두께 10nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.

[0720] 전자 수송층(3638(2)) 위에, 전자 주입층(3639)으로서, NBPhen 및 Ag을 NBPhen:Ag=1:0.19의 중량비로 두께 5nm가 되도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다.

[0721] <발광 소자 28 및 발광 소자 29의 제작>

[0722] 전자 수송층(3633(2)) 및 전자 주입층(3634)을 형성하는 단계를 제외하고는 발광 소자 27과 같은 단계를 거쳐 발광 소자 28 및 발광 소자 29를 제작하였다.

[0723] <발광 소자 28의 제작>

[0724] 발광 소자 28의 전자 수송층(3633(1)) 위에, 전자 수송층(3633(2))으로서, NBPhen을 두께 10nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.

[0725] 전자 수송층(3633(2)) 위에, 전자 주입층(3634)으로서, NBPhen 및 Ag을 NBPhen:Ag=1:0.19의 중량비로 두께 5nm가 되도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다. 이어서, 2Py3Tzn 및 Ag을 2Py3Tzn:Ag=1:0.35의 중량비로 두께 5nm가 되도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다.

[0726] <발광 소자 29의 제작>

[0727] 발광 소자 29의 전자 수송층(3633(1)) 위에, 전자 수송층(3633(2))으로서, NBPhen을 두께 10nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.

[0728] 전자 수송층(3633(2)) 위에, 전자 주입층(3634)으로서, NBPhen 및 Ag을 NBPhen:Ag=1:0.19의 중량비로 두께 5nm가 되도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다. 이어서, TmPPyTz 및 Ag을 TmPPyTz:Ag=1:0.15의 중량비로 두께 5nm가 되도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다.

[0729] <비교 발광 소자 30의 제작>

[0730] 전자 수송층(3633(2)), 전자 주입층(3634), 전자 수송층(3638(2)), 및 전자 주입층(3639)을 형성하는 단계를 제외하고는 발광 소자 27과 같은 단계를 거쳐 비교 발광 소자 30을 제작하였다.

[0731] 비교 발광 소자 30의 전자 수송층(3633(1)) 위에, 전자 수송층(3633(2))으로서, NBPhen을 두께 20nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.

[0732] 전자 수송층(3633(2)) 위에, 전자 주입층(3634)으로서, Li₂O를 두께 0.2nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.

[0733] 전자 수송층(3638(1)) 위에, 전자 수송층(3638(2))으로서, NBPhen을 두께 15nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.

[0734] 전자 수송층(3638(2)) 위에, 전자 주입층(3639)으로서, LiF를 두께 1nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.

[0735] <발광 소자의 특성>

[0736] 제작한 발광 소자 27 내지 발광 소자 29 및 비교 발광 소자 30의 소자 특성을 측정하였다. 측정은 실시예 1과 비슷한 방법으로 수행하였다.

[0737] 도 65는 제작한 발광 소자 27 내지 발광 소자 29 및 비교 발광 소자 30의 전류 효율-휘도 특성을 나타낸 것이고, 도 66은 그 전류 밀도-전압 특성을 나타낸 것이고, 도 67은 그 전력 효율-휘도 특성을 나타낸 것이고, 도 68은 그 외부 양자 효율-휘도 특성을 나타낸 것이다. 도 69는 전류 밀도 2.5mA/cm²로 전류를 흘릴 때의 발광 소자의 전계 발광 스펙트럼을 나타낸 것이다.

[0738] 1000cd/m² 부근에서의 발광 소자 27 내지 발광 소자 29 및 비교 발광 소자 30의 소자 특성을 표 26에 나타내었다.

[0739] [표 26]

| | 전압 (V) | 전류 밀도 (mA/cm ²) | CIE 색도 (x, y) | 휘도 (cd/m ²) | 전류 효율 (cd/A) | 전력 효율 (lm/W) | 외부 양자 효율 (%) |
|----------------|-----------|--------------------------------|------------------|----------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 발광 소자 27 | 6.60 | 1.80 | (0.670, 0.331) | 1120 | 63.3 | 29.6 | 52.4 |
| 발광 소자 28 | 6.00 | 1.40 | (0.670, 0.331) | 889 | 62.3 | 33.2 | 53.0 |
| 발광 소자 29 | 6.40 | 1.26 | (0.669, 0.331) | 801 | 63.8 | 33.2 | 52.9 |
| 비교 발광 소자 30 | 7.40 | 1.46 | (0.668, 0.332) | 924 | 63.5 | 26.9 | 52.0 |

[0740]

[0741] 도 68 및 표 26에 나타낸 바와 같이, 발광 소자 27 내지 발광 소자 29 및 비교 발광 소자 30 각각은 외부 양자 효율이 50%를 넘는 높은 발광 효율을 나타내었다. 도 65 및 도 67에 나타낸 바와 같이, 발광 소자 27 내지 발광 소자 29 및 비교 발광 소자 30은 높은 전류 효율 및 전력 효율도 나타내었다. 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자 27 내지 발광 소자 29는 전자 주입층에 일반적으로 사용되는 Li₂O 및 LiF를 사용한 비교 발광 소자 30과 동등한 높은 효율을 나타내었다.

[0742] 도 66에 나타낸 바와 같이, 발광 소자 27 내지 발광 소자 29 및 비교 발광 소자 30은 양호한 전류 밀도-전압 특성을 나타내었다. 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자 27 내지 발광 소자 29는 전자 주입층에 일반적으로 사용되는 재료인 Li₂O 및 LiF를 사용한 비교 발광 소자 30보다 전자 주입성이 뛰어난 것도 알았다.

[0743] 도 69에 나타낸 바와 같이, 발광 소자 27 내지 발광 소자 29 및 비교 발광 소자 30 각각은 전계 발광 스펙트럼이 약 620nm에 피크 파장을 가지고 반값전폭이 약 60nm인 적색 발광을 나타내었다. 얻어진 전계 발광 스펙트럼

에 의하여, 광이 게스트 재료인 $\text{Ir}(\text{dmdppr-dmp})_2(\text{dmp})$ 로부터 방출되는 것을 알 수 있다.

[0744] 상술한 바와 같이, 트리아진 고리를 포함한 유기 화합물을 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자에 적합하게 사용할 수 있다. 본 실시예에 나타난 구조를 다른 실시형태 및 실시예 중 임의의 것과 적절히 조합하여 사용할 수 있다.

[0745] (실시예 11)

[0746] 본 실시예에서는, 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자 32 내지 발광 소자 34, 그리고 비교 발광 소자 31 및 비교 발광 소자 35 내지 비교 발광 소자 37의 제작예에 대하여 설명한다. 본 실시예에서 제작한 발광 소자의 단면 모식도를 도 70에 나타내었다. 자세한 소자 구조를 표 27 내지 표 29에 나타내었다. 본 실시예에서 사용한 화합물의 구조 및 약칭에 대해서는 실시예 1을 참조할 수 있다.

[0747] [표 27]

| | 층 | 부호 | 두께(nm) | 재료 | 중량비 |
|----------------|--------|---------|--------|--|----------------|
| 비교 발광 소자 31 | 전극 | 4102 | 200 | Al | - |
| | 전하 발생층 | 4135 | 15 | DBT3P-II:MoO ₃ | 1:0.5 |
| | 전자 주입층 | 4130 | 0.2 | Li ₂ O | - |
| | 전자 수송층 | 4118(2) | 20 | 1NBPhen | - |
| | | 4118(1) | 5 | 2mDBTBFBDBq-II | - |
| | 발광층 | 4140 | 40 | 2mDBTBFBDBq-II:PCBBiF Ir(dmdppr-dmp) ₂ (dpm) | 0.75:0.25:0.06 |
| | 정공 수송층 | 4112 | 20 | BPAFLF | - |
| | 정공 주입층 | 4111 | 25 | DBT3P-II:MoO ₃ | 1:0.5 |
| 발광 소자 32 | 전극 | 4101 | 110 | ITSO | - |
| | 전극 | 4102 | 200 | Al | - |
| | 전하 발생층 | 4135 | 15 | DBT3P-II:MoO ₃ | 1:0.5 |
| | 전자 주입층 | 4130 | 5 | 1NBPhen:Ag | 1:0.19 |
| | | 4130(2) | 15 | 1NBPhen | - |
| | 전자 수송층 | 4118(2) | 15 | 1NBPhen | - |
| | | 4118(1) | 5 | 2mDBTBFBDBq-II | - |
| | 발광층 | 4140 | 40 | 2mDBTBFBDBq-II:PCBBiF Ir(dmdppr-dmp) ₂ (dpm) | 0.75:0.25:0.06 |
| 발광 소자 33 | 정공 수송층 | 4112 | 20 | BPAFLF | - |
| | 정공 주입층 | 4111 | 25 | DBT3P-II:MoO ₃ | 1:0.5 |
| | 전극 | 4101 | 110 | ITSO | - |
| | 전극 | 4102 | 200 | Al | - |
| | 전하 발생층 | 4135 | 15 | DBT3P-II:MoO ₃ | 1:0.5 |
| | 전자 주입층 | 4130(2) | 5 | Alq ₃ :Ag | 1:0.24 |
| | | 4130(1) | 5 | 1NBPhen:Ag | 1:0.19 |
| | 전자 수송층 | 4118(2) | 10 | 1NBPhen | - |
| | | 4118(1) | 5 | 2mDBTBFBDBq-II | - |
| | 발광층 | 4140 | 40 | 2mDBTBFBDBq-II:PCBBiF Ir(dmdppr-dmp) ₂ (dpm) | 0.75:0.25:0.06 |
| | 정공 수송층 | 4112 | 20 | BPAFLF | - |
| | 정공 주입층 | 4111 | 25 | DBT3P-II:MoO ₃ | 1:0.5 |
| | 전극 | 4101 | 110 | ITSO | - |

[0748]

[0749] [표 28]

| | 층 | 부호 | 두께(nm) | 재료 | 중량비 |
|-------------|--------|---------|--------|---|----------------|
| 발광 소자 34 | 전극 | 4102 | 200 | Al | - |
| | 전자 주입층 | 4135 | 15 | DBT3P-II:MoO ₃ | 1:0.5 |
| | 전자 주입층 | 4130(2) | 5 | HATNA:Ag | 1:0.28 |
| | | 4130(1) | 5 | 1BPPhen:Ag | 1:0.19 |
| | 전자 수송층 | 4118(2) | 10 | 1BPPhen | - |
| | | 4118(1) | 5 | 2mDBTBPFDBq-II | - |
| | 발광층 | 4140 | 40 | 2mDBTBPFDBq-II:PCBBiF :Ir(dmdppr-dmp) ₂ (dpm) | 0.75:0.25:0.06 |
| | 정공 수송층 | 4112 | 20 | BPAFLP | - |
| 비교 발광 소자 35 | 전극 | 4101 | 110 | ITO | - |
| | 전극 | 4102 | 200 | Al | - |
| | 전자 주입층 | 4130 | 5 | 1BPPhen:Ag | 1:0.19 |
| | 전자 수송층 | 4118(2) | 15 | 1BPPhen | - |
| | | 4118(1) | 20 | 2mDBTBPFDBq-II | - |
| | 발광층 | 4140 | 40 | 2mDBTBPFDBq-II:PCBBiF :Ir(dmdppr-dmp) ₂ (dpm) | 0.75:0.25:0.06 |
| | 정공 수송층 | 4112 | 20 | BPAFLP | - |
| | 정공 주입층 | 4111 | 25 | DBT3P-II:MoO ₃ | 1:0.5 |

[0750]

[0751] [표 29]

| | 층 | 부호 | 두께(nm) | 재료 | 중량비 |
|-------------|--------|---------|--------|---|----------------|
| 비교 발광 소자 36 | 전극 | 4102 | 200 | Al | - |
| | 전자 주입층 | 4130(2) | 5 | Alq ₃ :Ag | 1:0.24 |
| | | 4130(1) | 5 | 1BPPhen:Ag | 1:0.19 |
| | 전자 수송층 | 4118(2) | 10 | 1BPPhen | - |
| | | 4118(1) | 20 | 2mDBTBPFDBq-II | - |
| | 발광층 | 4140 | 40 | 2mDBTBPFDBq-II:PCBBiF :Ir(dmdppr-dmp) ₂ (dpm) | 0.75:0.25:0.06 |
| | 정공 수송층 | 4112 | 20 | BPAFLP | - |
| | 정공 주입층 | 4111 | 25 | DBT3P-II:MoO ₃ | 1:0.5 |
| 비교 발광 소자 37 | 전극 | 4101 | 110 | ITO | - |
| | 전극 | 4102 | 200 | Al | - |
| | 전자 주입층 | 4130(2) | 5 | HATNA:Ag | 1:0.28 |
| | | 4130(1) | 5 | 1BPPhen:Ag | 1:0.19 |
| | 전자 수송층 | 4118(2) | 10 | 1BPPhen | - |
| | | 4118(1) | 20 | 2mDBTBPFDBq-II | - |
| | 발광층 | 4140 | 40 | 2mDBTBPFDBq-II:PCBBiF :Ir(dmdppr-dmp) ₂ (dpm) | 0.75:0.25:0.06 |
| | 정공 수송층 | 4112 | 20 | BPAFLP | - |

[0752]

[0753] 발광 소자 32 내지 발광 소자 34 그리고 비교 발광 소자 31 및 비교 발광 소자 35 내지 비교 발광 소자 37의 전자 주입층(4130)에서 사용한 유기 화합물의 LUMO 준위는 CV(cyclic voltammetry) 측정에 의하여 산출하였다. 측정은 실시예 1과 비슷한 방법으로 수행하였다. 이 결과를 표 30에 나타내었다.

[0754] [표 30]

| | LUMO (eV) |
|------------------|-----------|
| NBPhen | -2.83 |
| Alq ₃ | -2.80 |
| HATNA | -3.50 |

[0755]

[0756] <발광 소자의 제작>

[0757] 아래에서, 본 실시예의 발광 소자의 제작 방법에 대하여 설명한다. 비교 발광 소자 31은 전자 주입층에 일반적으로 사용되는 Li 화합물인 산화 리튬(Li₂O)을 사용한다. 발광 소자 32 내지 발광 소자 34 각각은 본 발명의 일 형태에 따른, 비공유 전자쌍을 가지는 유기 화합물과 전이 금속의 복합 재료를 전자 주입층에 사용한다. 비교 발광 소자 35 내지 비교 발광 소자 37은 전자 발생층(4135)이 제공되지 않은 점에서 발광 소자 32 내지 발광 소자 34와 다르다.

[0758] <<비교 발광 소자 31의 제작>>

- [0759] 기판(4210) 위에, 전극(4101)으로서, ITS막을 두께 110nm가 되도록 형성하였다. 또한 전극(4101)의 전극 면적은 4mm^2 ($2\text{mm} \times 2\text{mm}$)로 하였다.
- [0760] 이 후, 전극(4101) 위에, 정공 주입층(4111)으로서, DBT3P-II 및 산화 몰리브데넘(MoO_3)을 DBT3P-II: $\text{MoO}_3=1:0.5$ 의 중량비로 두께 25nm가 되도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다.
- [0761] 이 후, 정공 주입층(4111) 위에, 정공 수송층(4112)으로서, BPAFLP를 두께 20nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.
- [0762] 다음으로, 정공 수송층(4112) 위에, 발광층(4140)으로서, 2mDBTBPDQ-II , PCBBiF, 및 $\text{Ir}(\text{dmdppr-dmp})_2(\text{dpm})$ 을 $2\text{mDBTBPDQ-II}:\text{PCBBiF}:\text{Ir}(\text{dmdppr-dmp})_2(\text{dpm})=0.75:0.25:0.06$ 의 중량비로 두께 40nm가 되도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다. 또한 발광층(4140)에서, 2mDBTBPDQ-II 및 PCBBiF는 호스트 재료이고, $\text{Ir}(\text{dmdppr-dmp})_2(\text{dpm})$ 은 게스트 재료(인광성 화합물)이다.
- [0763] 다음으로, 발광층(4140) 위에, 전자 수송층(4118(1))으로서, 2mDBTBPDQ-II 를 두께 5nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.
- [0764] 다음으로, 전자 수송층(4118(1)) 위에, 전자 수송층(4118(2))으로서, NBPhen을 두께 20nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.
- [0765] 전자 수송층(4118(2)) 위에, 전자 주입층(4130)으로서, Li_2O 를 두께 0.2nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.
- [0766] 이 후, 전자 주입층(4130) 위에, 전하 발생층(4135)으로서, DBT3P-II와 산화 몰리브데넘(MoO_3)을 DBT3P-II: $\text{MoO}_3=1:0.5$ 의 중량비로 두께 15nm가 되도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다.
- [0767] 다음으로, 전하 발생층(4135) 위에, 전극(4102)으로서, 알루미늄(Al)을 두께 200nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.
- [0768] 이 후, 밀봉시키지 않고 대기하에서 가열 처리를 80°C 에서 1시간 동안 수행하였다. 상술한 단계를 거쳐 비교 발광 소자 31을 얻었다.
- [0769] <<발광 소자 32 내지 발광 소자 34의 제작>>
- [0770] 전자 수송층(4118(2)) 및 전자 주입층(4130)을 형성하는 단계를 제외하고는 비교 발광 소자 31과 같은 단계를 거쳐 발광 소자 32 내지 발광 소자 34를 제작하였다.
- [0771] <발광 소자 32의 제작>
- [0772] 전자 수송층(4118(1)) 위에, 발광 소자 32의 전자 수송층(4118(2))으로서, NBPhen을 두께 15nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.
- [0773] 전자 수송층(4118(2)) 위에, 전자 주입층(4130)으로서, NBPhen 및 Ag을 NBPhen:Ag=1:0.19의 중량비로 두께 5nm가 되도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다.
- [0774] <발광 소자 33의 제작>
- [0775] 전자 수송층(4118(1)) 위에, 발광 소자 33의 전자 수송층(4118(2))으로서, NBPhen을 두께 10nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.
- [0776] 전자 수송층(4118(2)) 위에, 전자 주입층(4130)으로서, NBPhen 및 Ag을 NBPhen:Ag=1:0.19의 중량비로 두께 5nm가 되도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다. 이어서, Alq_3 및 Ag을 $\text{Alq}_3:\text{Ag}=1:0.24$ 의 중량비로 두께 5nm가 되도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다.
- [0777] <발광 소자 34의 제작>
- [0778] 전자 수송층(4118(1)) 위에, 발광 소자 34의 전자 수송층(4118(2))으로서, NBPhen을 두께 10nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.
- [0779] 전자 수송층(4118(2)) 위에, 전자 주입층(4130)으로서, NBPhen 및 Ag을 NBPhen:Ag=1:0.19의 중량비로 두께 5nm가 되도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다. 이어서, HATNA 및 Ag을 HATNA:Ag=1:0.28의 중량비로 두께 5nm가 되

도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다.

[0780] <<비교 발광 소자 35의 제작>>

[0781] 전자 수송층(4118) 및 전하 발생층(4135)을 형성하는 단계를 제외하고는 발광 소자 32와 같은 단계를 거쳐 비교 발광 소자 35를 제작하였다.

[0782] 비교 발광 소자 35의 발광층(4140) 위에, 전자 수송층(4118)으로서, 2mDBTBPDq-II를 두께 20nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시키고, 이어서, NBPhen을 두께 15nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.

[0783] 전자 주입층(4130) 위에는, 전하 발생층(4135)을 형성하지 않고, 전극(4102)으로서, 알루미늄(A1)을 두께 200nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.

[0784] <<비교 발광 소자 36의 제작>>

[0785] 전자 수송층(4118) 및 전하 발생층(4135)을 형성하는 단계를 제외하고는 발광 소자 32와 같은 단계를 거쳐 비교 발광 소자 36를 제작하였다.

[0786] 비교 발광 소자 36의 발광층(4140) 위에, 전자 수송층(4118)으로서, 2mDBTBPDq-II를 두께 20nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시키고, 이어서, NBPhen을 두께 10nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.

[0787] 전자 주입층(4130) 위에는, 전하 발생층(4135)을 형성하지 않고, 전극(4102)으로서, 알루미늄(A1)을 두께 200nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.

[0788] <<비교 발광 소자 37의 제작>>

[0789] 전자 수송층(4118) 및 전하 발생층(4135)을 형성하는 단계를 제외하고는 발광 소자 32와 같은 단계를 거쳐 비교 발광 소자 37를 제작하였다.

[0790] 비교 발광 소자 36의 발광층(4140) 위에, 전자 수송층(4118)으로서, 2mDBTBPDq-II를 두께 20nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시키고, 이어서, NBPhen을 두께 10nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.

[0791] 전자 주입층(4130) 위에는, 전하 발생층(4135)을 형성하지 않고, 전극(4102)으로서, 알루미늄(A1)을 두께 200nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.

[0792] <발광 소자의 특성>

[0793] 다음으로, 제작한 비교 발광 소자 31, 발광 소자 32 내지 발광 소자 34, 및 비교 발광 소자 35 내지 비교 발광 소자 37의 소자 특성을 측정하였다. 휘도 및 CIE 색도는 색채 휘도계(BM-5A, TOPCON TECHNOHOUSE CORPORATION 제조)에 의하여 측정하고, 전계 발광 스펙트럼은 멀티 채널 분광기(PMA-11, Hamamatsu Photonics K.K. 제조)에 의하여 측정하였다.

[0794] 도 71은 제작한 비교 발광 소자 31, 발광 소자 32 내지 발광 소자 34, 및 비교 발광 소자 35 내지 비교 발광 소자 37의 전류 효율-휘도 특성을 나타낸 것이고, 도 72는 그 전류-전압 특성을 나타낸 것이고, 도 73은 그 전력 효율-휘도 특성을 나타낸 것이고, 도 74는 그 외부 양자 효율-휘도 특성을 나타낸 것이다. 또한 발광 소자의 측정은 실온(23℃로 유지된 분위기)에서 수행하였다. 도 75는 전류 밀도 $2.5\text{mA}/\text{cm}^2$ 로 전류를 흘릴 때의 발광 소자의 전계 발광 스펙트럼을 나타낸 것이다.

[0795] $1000\text{cd}/\text{m}^2$ 부근에서의 비교 발광 소자 31, 발광 소자 32 내지 발광 소자 34, 및 비교 발광 소자 35 내지 비교 발광 소자 37의 소자 특성을 표 31에 나타내었다.

[0796] [표 31]

| | 전압 (V) | 전류 밀도 (mA/cm ²) | CIE 색도 (x, y) | 휘도 (cd/m ²) | 전류 효율 (cd/A) | 전력 효율 (lm/W) | 외부 양자 효율(%) |
|----------------|-----------|--------------------------------|------------------|----------------------------|-----------------|-----------------|----------------|
| 비교 발광 소자 31 | 4.40 | 3.07 | (0.662, 0.338) | 1150 | 37.5 | 26.8 | 29.0 |
| 발광 소자 32 | 3.60 | 2.37 | (0.663, 0.338) | 932 | 39.3 | 34.3 | 30.7 |
| 발광 소자 33 | 3.60 | 2.72 | (0.662, 0.338) | 1040 | 38.4 | 34.5 | 30.0 |
| 발광 소자 34 | 3.10 | 2.24 | (0.663, 0.337) | 868 | 38.7 | 39.2 | 30.2 |
| 비교 발광 소자 35 | 3.30 | 2.28 | (0.663, 0.337) | 924 | 40.5 | 38.6 | 31.8 |
| 비교 발광 소자 36 | 3.40 | 2.73 | (0.663, 0.337) | 1030 | 39.8 | 36.7 | 30.6 |
| 비교 발광 소자 37 | 3.30 | 2.23 | (0.663, 0.337) | 833 | 39.9 | 37.9 | 30.3 |

[0797]

[0798]

도 74 및 표 31에 나타난 바와 같이, 비교 발광 소자 31, 발광 소자 32 내지 발광 소자 34, 및 비교 발광 소자 35 내지 비교 발광 소자 37 각각은 외부 양자 효율이 25%를 넘는 높은 발광 효율을 나타내었다. 도 71 및 도 73에 나타난 바와 같이, 비교 발광 소자 31, 발광 소자 32 내지 발광 소자 34, 및 비교 발광 소자 35 내지 비교 발광 소자 37은 높은 전류 효율 및 전력 효율도 나타내었다. 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자 32 내지 발광 소자 34는 전자 주입층에 일반적으로 사용되는 Li₂O를 사용한 비교 발광 소자 31과 동등한 높은 효율을 나타내었다. 또한 발광 소자 32 내지 발광 소자 34는 전하 발생층(4135)이 제공되지 않은 비교 발광 소자 35 내지 비교 발광 소자 37과 동등한 높은 효율을 나타내었다.

[0799]

도 72에 나타난 바와 같이, 비교 발광 소자 31, 발광 소자 32 내지 발광 소자 34, 및 비교 발광 소자 35 내지 비교 발광 소자 37은 양호한 전류-전압 특성을 나타내었다. 특히 발광 소자 32 내지 발광 소자 34는 비교 발광 소자 31보다 뛰어난 전류-전압 특성을 나타내었다. 이것은 전자 주입층이 전하 발생층과 접한 경우, 비공유 전자쌍을 가지는 유기 화합물과 전이 금속의 복합 재료는 전자 주입층에 일반적으로 사용되는 Li 화합물보다 전자 주입성이 뛰어난 것을 나타낸다. 또한 전하 발생층을 포함하는 발광 소자 32 내지 발광 소자 34는 전하 발생층을 포함하지 않는 비교 발광 소자 35 내지 비교 발광 소자 37과 동등의 양호한 전류-전압 특성을 나타내었다.

[0800]

도 75에 나타난 바와 같이, 비교 발광 소자 31, 발광 소자 32 내지 발광 소자 34, 및 비교 발광 소자 35 내지 비교 발광 소자 37 각각은 전계 발광 스펙트럼이 약 616nm에 피크 파장을 가지고 반값전폭이 약 58nm인 적색 발광을 나타내었다. 얻어진 전계 발광 스펙트럼에 의하여, 광이 게스트 재료인 Ir(dmdppr-dmp)₂(dmp)로부터 방출되는 것을 알 수 있다.

[0801]

<발광 소자의 신뢰성 시험>

[0802]

발광 소자 32 내지 발광 소자 34 및 비교 발광 소자 35 내지 비교 발광 소자 37에 대하여 항온항습 보존 시험을 수행하였다. 발광 소자 각각은 밀봉되지 않으므로 음극 및 EL층이 시험 환경의 분위기에 노출된다. 일반적으로 발광 소자에 수분이 침투하면 검은 점(발광부에서의 비발광 영역) 또는 수축(발광부의 단부에서의 비발광 영역)이 발생하여 발광 소자의 신뢰성에 악영향을 준다. 그래서 항온항습 보존 시험에 의하여 발광 소자의 수분에 대한 신뢰성을 평가할 수 있다.

[0803]

여기서, 항온항습 보존 시험에서 사용한 비교 발광 소자 A의 소자 구조를 표 32에 나타내었다. 또한 비교 발광 소자 A의 제작 방법에 대해서는 실시예 1에 나타난 것과 비슷하기 때문에 설명하지 않는다. 비교 발광 소자 A도 발광 소자 32 내지 발광 소자 34와 같이 밀봉되지 않는다.

[0804]

[표 32]

| | 층 | 부호 | 두께(nm) | 재료 | 중량비 |
|---------------|--------|---------|--------|--|----------------|
| 비교 발광 소자 A | 전극 | 4102 | 200 | Al | - |
| | 전자 주입층 | 4130 | 0.2 | Li ₂ O | - |
| | 전자 수송층 | 4118(2) | 20 | 11BPhen | - |
| | | 4118(1) | 20 | 2mDBTBPFDBq-II | - |
| | 발광층 | 4140 | 40 | 2mDBTBPFDBq-II:PCBBiF (Ir(dmdppr-dmp) ₂ (dmp)) | 0.75:0.25:0.06 |
| | 정공 수송층 | 4112 | 20 | BPAFLP | - |
| | 정공 주입층 | 4111 | 65 | DBTBP-II:MoO ₃ | 1:0.5 |
| | 전극 | 4101 | 70 | ITO | - |

[0805]

[0806]

온도 65℃ 및 습도 95%로 유지된 항온조예, 비교 발광 소자 A, 발광 소자 32 내지 발광 소자 34, 및 비교 발광

소자 35 내지 비교 발광 소자 37을 48시간 동안 놓은 후, 각 발광 소자의 발광 상태를 측정하였다.

[0807] 향온항습 보존 시험 전후의 발광 면적 비율을 산출함으로써 발광 상태를 평가하였다. 비교 발광 소자 A, 발광 소자 32 내지 발광 소자 34, 및 비교 발광 소자 35 내지 비교 발광 소자 37의 6개의 샘플 각각에 대하여 향온항습 보존 시험을 수행하였다. 발광 면적 비율이 높은 상위 3개의 샘플의 평균 발광 면적을 표 33에 나타내었다.

[0808] [표 33]

| | 발광 면적비 |
|-------------|--------|
| 비교 발광 소자 A | 0% |
| 발광 소자 32 | 84% |
| 발광 소자 33 | 79% |
| 발광 소자 34 | 87% |
| 비교 발광 소자 35 | 78% |
| 비교 발광 소자 36 | 86% |
| 비교 발광 소자 37 | 86% |

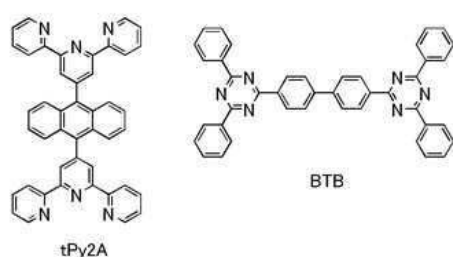
[0809]

[0810] 표 33에서 발광 면적 비율(%)은 향온항습 보존 시험 후의 발광 면적/향온항습 보존 시험 전의 발광 면적 $\times 100$ 이다. 표 33에 의하여, 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자 32 내지 발광 소자 34 각각은 향온항습 보존 시험 후에 79% 이상의 발광 면적 비율을 유지하고, 즉 습기 저항이 양호한 것을 알 수 있다. 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자 32 내지 발광 소자 34 각각의 습기 저항은 전자 주입층(4130)에 Li 화합물인 Li_2O 을 사용한 비교 발광 소자 A보다 향상되었다. 또한 전하 발생층(4135)을 포함하지 않는 비교 발광 소자 35 내지 비교 발광 소자 37은 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자와 동등한 습기 저항을 나타내었다. 물과 반응하기 쉬운 전이 금속을 사용하는 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자에는 수분이 침투하기 어렵다. 따라서 습기 저항이 높은 발광 소자를 실현할 수 있다. 일반적인 발광 소자와 달리, 발광 소자 32 내지 발광 소자 34는 밀봉되지 않으므로, 발광 소자 32 내지 발광 소자 34의 습기 저항은 밀봉에 의하여 더 향상될 것으로 기대된다.

[0811] (실시예 12)

[0812] 본 실시예에서는, 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자 43 내지 발광 소자 46, 및 비교 발광 소자 38 내지 비교 발광 소자 42의 제작예에 대하여 설명한다. 본 실시예의 발광 소자에서는, 비공유 전자쌍을 가지는 유기 화합물로서 트라이아진 고리 및/또는 피리미딘 고리를 포함한 유기 화합물을 사용한다. 본 실시예에서 제작한 발광 소자의 단면 모식도를 도 70에 나타내었다. 자세한 소자 구조를 표 34 내지 표 36에 나타내었다. 본 실시예에서 사용한 화합물의 구조 및 약칭은 아래와 같다. 또한 다른 화합물의 구조 및 약칭에 대해서는 상술한 실시형태 및 실시예를 참조할 수 있다.

[0813] [화학식 7]



[0814]

[0815] [표 34]

| | 층 | 부호 | 두께(nm) | 재료 | 중량비 |
|----------------|--------|---------|--------|---|----------------|
| 비교 발광 소자 38 | 전극 | 4102 | 200 | Al | - |
| | 전하 발생층 | 4135 | 15 | DBT3F-II:MoO ₃ | 1:0.5 |
| | 전자 주입층 | 4130 | 0.2 | Li ₂ O | - |
| | 전자 수송층 | 4113(2) | 20 | 1tBPPhen | - |
| | | 4113(1) | 5 | 2mDBTBFDq-II | - |
| | 발광층 | 4140 | 40 | 2mDBTBFDq-II:PCBBiF :Ir(dmdppr-dmp) ₂ (dpm) | 0.75:0.25:0.06 |
| | 정공 수송층 | 4112 | 20 | BPAFLP | - |
| | 정공 주입층 | 4111 | 65 | DBT3F-II:MoO ₃ | 1:0.5 |
| | 전극 | 4101 | 70 | ITO | - |
| 비교 발광 소자 39 | 전극 | 4102 | 200 | Al | - |
| | 전자 주입층 | 4130(1) | 5 | 2Py3Tz:Ag | 1:0.35 |
| | | 4130(1) | 5 | 1tBPPhen:Ag | 1:0.19 |
| | 전자 수송층 | 4113(2) | 10 | 1tBPPhen | - |
| | | 4113(1) | 20 | 2mDBTBFDq-II | - |
| | 발광층 | 4140 | 40 | 2mDBTBFDq-II:PCBBiF :Ir(dmdppr-dmp) ₂ (dpm) | 0.75:0.25:0.06 |
| | 정공 수송층 | 4112 | 20 | BPAFLP | - |
| | 정공 주입층 | 4111 | 65 | DBT3F-II:MoO ₃ | 1:0.5 |
| | 전극 | 4101 | 70 | ITO | - |
| 비교 발광 소자 40 | 전극 | 4102 | 200 | Al | - |
| | 전자 주입층 | 4135 | 5 | TmPPPyTz:Ag | 1:0.15 |
| | 전자 수송층 | 4113(2) | 15 | 1tBPPhen | - |
| | | 4113(1) | 15 | 2mDBTBFDq-II | - |
| | 발광층 | 4140 | 40 | 2mDBTBFDq-II:PCBBiF :Ir(dmdppr-dmp) ₂ (dpm) | 0.75:0.25:0.06 |
| | 정공 수송층 | 4112 | 20 | BPAFLP | - |
| | 정공 주입층 | 4111 | 65 | DBT3F-II:MoO ₃ | 1:0.5 |
| | 전극 | 4101 | 70 | ITO | - |

[0816]

[0817] [표 35]

| | 층 | 부호 | 두께(nm) | 재료 | 중량비 |
|----------------|--------|---------|---------------------------|--|----------------|
| 비교 발광 소자 41 | 전극 | 4102 | 200 | Al | - |
| | 전자 주입층 | 4130(2) | 5 | tPy2A:Ag | 1:0.30 |
| | | 4130(1) | 5 | 1tBPhen:Ag | 1:0.19 |
| | 전자 수송층 | 4113(2) | 10 | 1tBPhen | - |
| | | 4113(1) | 20 | 2mDBTBFDBq-II | - |
| | 발광층 | 4140 | 40 | 2mDBTBFDBq-II:PCBBiF :Ir(dmdppr-dmp) ₂ (dpm) | 0.75:0.25:0.06 |
| | 정공 수송층 | 4112 | 20 | BPAFLP | - |
| | 정공 주입층 | 4111 | 65 | DBT3F-II:MoO ₃ | 1:0.5 |
| 전극 | 4101 | 70 | ITO | - | |
| 비교 발광 소자 42 | 전극 | 4102 | 200 | Al | - |
| | 전자 주입층 | 4130(2) | 5 | BTB:Ag | 1:0.18 |
| | | 4130(1) | 5 | 1tBPhen:Ag | 1:0.19 |
| | 전자 수송층 | 4113(2) | 10 | 1tBPhen | - |
| | | 4113(1) | 20 | 2mDBTBFDBq-II | - |
| | 발광층 | 4140 | 40 | 2mDBTBFDBq-II:PCBBiF :Ir(dmdppr-dmp) ₂ (dpm) | 0.75:0.25:0.06 |
| | 정공 수송층 | 4112 | 20 | BPAFLP | - |
| | 정공 주입층 | 4111 | 65 | DBT3F-II:MoO ₃ | 1:0.5 |
| 전극 | 4101 | 70 | ITO | - | |
| 발광 소자 43 | 전극 | 4102 | 200 | Al | - |
| | 전하 발생층 | 4135 | 15 | DBT3F-II:MoO ₃ | 1:0.5 |
| | 전자 주입층 | 4130(2) | 5 | 2Py3Tz:Ag | 1:0.35 |
| | | 4130(1) | 5 | 1tBPhen:Ag | 1:0.19 |
| | 전자 수송층 | 4113(2) | 10 | 1tBPhen | - |
| | | 4113(1) | 5 | 2mDBTBFDBq-II | - |
| | 발광층 | 4140 | 40 | 2mDBTBFDBq-II:PCBBiF :Ir(dmdppr-dmp) ₂ (dpm) | 0.75:0.25:0.06 |
| | 정공 수송층 | 4112 | 20 | BPAFLP | - |
| 정공 주입층 | 4111 | 65 | DBT3F-II:MoO ₃ | 1:0.5 | |
| 전극 | 4101 | 70 | ITO | - | |

[0818]

[0819] [표 36]

| | 층 | 부호 | 두께(nm) | 재료 | 중량비 |
|----------|--------|---------|--------|--|----------------|
| 발광 소자 44 | 전극 | +102 | 200 | Al | - |
| | 전하 발생층 | +135 | 15 | DBT3P-II:MoO ₃ | 1:0.5 |
| | 전자 주입층 | +130 | 5 | TmPPPvTz:Ag | 1:0.15 |
| | 전자 수송층 | +118(2) | 15 | 1NBphen | - |
| | | +118(1) | 5 | 2mDBTBFDDBq-II | - |
| | 발광층 | +140 | 40 | 2mDBTBFDDBq-II:FCBBiF Ir(dmdppr-dmp) ₂ (dpm) | 0.75:0.25:0.06 |
| | 정공 수송층 | +112 | 20 | BFAFLP | - |
| | 정공 주입층 | +111 | 65 | DBT3P-II:MoO ₃ | 1:0.5 |
| 발광 소자 45 | 전극 | +101 | 70 | ITSO | - |
| | 전극 | +102 | 200 | Al | - |
| | 전하 발생층 | +135 | 15 | DBT3P-II:MoO ₃ | 1:0.5 |
| | 전자 주입층 | +130(2) | 5 | tPy2A:Ag | 1:0.3 |
| | | +130(1) | 5 | 1NBphen:Ag | 1:0.3 |
| | 전자 수송층 | +118(2) | 10 | 1NBphen | - |
| | | +118(1) | 5 | 2mDBTBFDDBq-II | - |
| | 발광층 | +140 | 40 | 2mDBTBFDDBq-II:FCBBiF Ir(dmdppr-dmp) ₂ (dpm) | 0.75:0.25:0.06 |
| 발광 소자 46 | 정공 수송층 | +112 | 20 | BFAFLP | - |
| | 정공 주입층 | +111 | 65 | DBT3P-II:MoO ₃ | 1:0.5 |
| | 전극 | +101 | 70 | ITSO | - |
| | 전극 | +102 | 200 | Al | - |
| | 전하 발생층 | +135 | 15 | DBT3P-II:MoO ₃ | 1:0.5 |
| | 전자 주입층 | +130(2) | 5 | BTB:Ag | 1:0.18 |
| | | +130(1) | 5 | 1NBphen:Ag | 1:0.19 |
| | 전자 수송층 | +118(2) | 10 | 1NBphen | - |
| | | +118(1) | 5 | 2mDBTBFDDBq-II | - |
| 발광 소자 46 | 발광층 | +140 | 40 | 2mDBTBFDDBq-II:FCBBiF Ir(dmdppr-dmp) ₂ (dpm) | 0.75:0.25:0.06 |
| | 정공 수송층 | +112 | 20 | BFAFLP | - |
| | 정공 주입층 | +111 | 65 | DBT3P-II:MoO ₃ | 1:0.5 |
| | 전극 | +101 | 70 | ITSO | - |

[0820]

[0821] 발광 소자 43 내지 발광 소자 46 및 비교 발광 소자 39 내지 비교 발광 소자 42의 전자 주입층(4130)에서 사용한 유기 화합물의 LUMO 준위는 CV(cyclic voltammetry) 측정에 의하여 산출하였다. 측정은 실시예 1과 비슷한 방법으로 수행하였다. 이 결과를 표 37에 나타내었다.

[0822] [표 37]

| | LUMO (eV) |
|----------|--------------|
| 2Py3Tzn | -3.15 |
| TmPPPvTz | -3.00 |
| tPy2A | -2.91 |
| BTB | -3.01 |

[0823]

[0824] <발광 소자의 제작>

[0825] 아래에서, 본 실시예의 발광 소자의 제작 방법에 대하여 설명한다.

[0826] <<비교 발광 소자 38의 제작>>

[0827] 전극(4101) 및 정공 주입층(4111)을 형성하는 단계를 제외하고는 비교 발광 소자 31과 같은 단계를 거쳐 비교 발광 소자 38을 제작하였다.

[0828] 기판(4210) 위에, 전극(4101)으로서, ITSO막을 두께 70nm가 되도록 형성하였다. 또한 전극(4101)의 전극 면적은 4mm² (2mm×2mm)로 하였다.

[0829] 이 후, 전극(4101) 위에, 정공 주입층(4111)으로서, DBT3P-II 및 MoO₃을 DBT3P-II:MoO₃=1:0.5의 중량비로 두께 65nm가 되도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다.

[0830] <<발광 소자 43 내지 발광 소자 46의 제작>>

[0831] 전자 수송층(4118(2)) 및 전자 주입층(4130)을 형성하는 단계를 제외하고는 비교 발광 소자 38과 같은 단계를 거쳐 발광 소자 43 내지 발광 소자 46을 제작하였다.

[0832] <발광 소자 43의 제작>

[0833] 전자 수송층(4118(1)) 위에, 발광 소자 43의 전자 수송층(4118(2))으로서, NBphen을 두께 10nm가 되도록 증착에

의하여 퇴적시켰다.

- [0834] 전자 수송층(4118(2)) 위에, 전자 주입층(4130)으로서, NBPhen 및 Ag을 NBPhen:Ag=1:0.19의 중량비로 두께 5nm가 되도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다. 이어서, 2Py3Tzn 및 Ag을 2Py3Tzn:Ag=1:0.35의 중량비로 두께 5nm가 되도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다.
- [0835] <발광 소자 44의 제작>
- [0836] 전자 수송층(4118(1)) 위에, 발광 소자 44의 전자 수송층(4118(2))으로서, NBPhen을 두께 15nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.
- [0837] 전자 수송층(4118(2)) 위에, 전자 주입층(4130)으로서, TmPPPyTz 및 Ag을 TmPPPyTz:Ag=1:0.24의 중량비로 두께 5nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.
- [0838] <발광 소자 45의 제작>
- [0839] 전자 수송층(4118(1)) 위에, 발광 소자 45의 전자 수송층(4118(2))으로서, NBPhen을 두께 10nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.
- [0840] 전자 수송층(4118(2)) 위에, 전자 주입층(4130)으로서, NBPhen 및 Ag을 NBPhen:Ag=1:0.3의 중량비로 두께 5nm가 되도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다. 이어서, tPy2A 및 Ag을 tPy2A:Ag=1:0.30의 중량비로 두께 5nm가 되도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다.
- [0841] <발광 소자 46의 제작>
- [0842] 전자 수송층(4118(1)) 위에, 발광 소자 46의 전자 수송층(4118(2))으로서, NBPhen을 두께 10nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.
- [0843] 전자 수송층(4118(2)) 위에, 전자 주입층(4130)으로서, NBPhen 및 Ag을 NBPhen:Ag=1:0.19의 중량비로 두께 5nm가 되도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다. 이어서, BTB 및 Ag을 BTB:Ag=1:0.18의 중량비로 두께 5nm가 되도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다.
- [0844] <<비교 발광 소자 39의 제작>>
- [0845] 전자 수송층(4118) 및 전하 발생층(4135)을 형성하는 단계를 제외하고는 발광 소자 43과 같은 단계를 거쳐 비교 발광 소자 39를 제작하였다.
- [0846] 비교 발광 소자 39의 발광층(4140) 위에, 전자 수송층(4118)으로서, 2mDBTBPDq-II를 두께 20nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시키고, 이어서, NBPhen을 두께 10nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.
- [0847] 전자 주입층(4130) 위에는, 전하 발생층(4135)을 형성하지 않고, 전극(4102)으로서, 알루미늄(Al)을 두께 200nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.
- [0848] <<비교 발광 소자 40의 제작>>
- [0849] 전자 수송층(4118) 및 전하 발생층(4135)을 형성하는 단계를 제외하고는 발광 소자 44와 같은 단계를 거쳐 비교 발광 소자 40을 제작하였다.
- [0850] 비교 발광 소자 40의 발광층(4140) 위에, 전자 수송층(4118)으로서, 2mDBTBPDq-II를 두께 15nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시키고, 이어서, NBPhen을 두께 15nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.
- [0851] 전자 주입층(4130) 위에는, 전하 발생층(4135)을 형성하지 않고, 전극(4102)으로서, 알루미늄(Al)을 두께 200nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.
- [0852] <<비교 발광 소자 41의 제작>>
- [0853] 전자 수송층(4118) 및 전하 발생층(4135)을 형성하는 단계를 제외하고는 발광 소자 45와 같은 단계를 거쳐 비교 발광 소자 41을 제작하였다.
- [0854] 비교 발광 소자 41의 발광층(4140) 위에, 전자 수송층(4118)으로서, 2mDBTBPDq-II를 두께 20nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시키고, 이어서, NBPhen을 두께 10nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.
- [0855] 전자 주입층(4130) 위에는, 전하 발생층(4135)을 형성하지 않고, 전극(4102)으로서, 알루미늄(Al)을 두께 200nm

가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.

[0856] <<비교 발광 소자 42의 제작>>

[0857] 전자 수송층(4118) 및 전하 발생층(4135)을 형성하는 단계를 제외하고는 발광 소자 46과 같은 단계를 거쳐 비교 발광 소자 42를 제작하였다.

[0858] 비교 발광 소자 42의 발광층(4140) 위에, 전자 수송층(4118)으로서, 2mDBTBPDq-II를 두께 20nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시키고, 이어서, NBPhen을 두께 10nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.

[0859] 전자 주입층(4130) 위에는, 전하 발생층(4135)을 형성하지 않고, 전극(4102)으로서, 알루미늄(Al)을 두께 200nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.

[0860] <발광 소자의 특성>

[0861] 다음으로, 제작한 비교 발광 소자 38 내지 비교 발광 소자 42 및 발광 소자 43 내지 발광 소자 46의 소자 특성을 측정하였다. 측정은 실시예 1과 비슷한 방법으로 수행하였다.

[0862] 도 76은 제작한 비교 발광 소자 38 내지 비교 발광 소자 40 그리고 발광 소자 43 및 발광 소자 44의 전류 효율-휘도 특성을 나타낸 것이고, 도 77은 그 전류-전압 특성을 나타낸 것이고, 도 78은 그 외부 양자 효율-휘도 특성을 나타낸 것이다. 도 79는 전류 밀도 $2.5\text{mA}/\text{cm}^2$ 로 전류를 흘릴 때의 발광 소자의 전계 발광 스펙트럼을 나타낸 것이다. 도 80은 제작한 비교 발광 소자 38, 비교 발광 소자 41, 및 비교 발광 소자 42 그리고 발광 소자 45 및 발광 소자 46의 전류 효율-휘도 특성을 나타낸 것이고, 도 81은 그 전류-전압 특성을 나타낸 것이고, 도 82는 그 외부 양자 효율-휘도 특성을 나타낸 것이다. 도 83은 전류 밀도 $2.5\text{mA}/\text{cm}^2$ 로 전류를 흘릴 때의 발광 소자의 전계 발광 스펙트럼을 나타낸 것이다.

[0863] $1000\text{cd}/\text{m}^2$ 부근에서의 비교 발광 소자 38 내지 비교 발광 소자 42 및 발광 소자 43 내지 발광 소자 46의 소자 특성을 표 38에 나타내었다.

[0864] [표 38]

| | 전압 (V) | 전류 밀도 (mA/cm ²) | CIE 색도 (x, y) | 휘도 (cd/m ²) | 전류 효율 (cd/A) | 전력 효율 (lm/W) | 외부 양자 효율(%) |
|----------------|-----------|--------------------------------|------------------|----------------------------|-----------------|-----------------|----------------|
| 비교 발광 소자 38 | 5.20 | 3.47 | (0.662, 0.338) | 1060 | 30.7 | 18.5 | 23.9 |
| 비교 발광 소자 39 | 3.30 | 3.04 | (0.663, 0.337) | 1120 | 37.0 | 35.2 | 29.0 |
| 비교 발광 소자 40 | 3.30 | 2.60 | (0.663, 0.337) | 988 | 38.0 | 36.2 | 30.0 |
| 비교 발광 소자 41 | 3.30 | 3.16 | (0.669, 0.331) | 1050 | 33.3 | 31.7 | 27.8 |
| 비교 발광 소자 42 | 3.40 | 3.28 | (0.672, 0.328) | 1100 | 33.6 | 31.0 | 28.6 |
| 발광 소자 43 | 3.40 | 2.95 | (0.663, 0.337) | 1060 | 36.1 | 33.3 | 28.9 |
| 발광 소자 44 | 4.20 | 2.77 | (0.663, 0.337) | 968 | 34.9 | 26.1 | 27.9 |
| 발광 소자 45 | 3.50 | 3.12 | (0.669, 0.330) | 995 | 31.8 | 28.6 | 27.4 |
| 발광 소자 46 | 3.40 | 3.48 | (0.673, 0.327) | 1100 | 31.7 | 29.3 | 27.7 |

[0865]

[0866] 도 77 및 도 81에 나타낸 바와 같이, 비교 발광 소자 38 내지 비교 발광 소자 42 및 발광 소자 43 내지 발광 소자 46은 양호한 전류-전압 특성을 나타내었다. 특히 발광 소자 43 내지 발광 소자 46은 비교 발광 소자 38보다 뛰어난 전류-전압 특성을 나타내었다. 이것은 전자 주입층이 전하 발생층과 접한 경우, 비공유 전자쌍을 가지는 유기 화합물과 전이 금속의 복합 재료는 전자 주입층에 일반적으로 사용되는 Li 화합물보다 전자 주입성이 뛰어난 것을 나타낸다. 또한 전하 발생층을 포함하는 발광 소자 43 내지 발광 소자 46은 전하 발생층을 포함하지 않는 비교 발광 소자 39 내지 비교 발광 소자 42와 동등의 양호한 전류-전압 특성을 나타내었다.

[0867] 도 78 및 표 38에 나타낸 바와 같이, 비교 발광 소자 38 내지 비교 발광 소자 42 및 발광 소자 43 내지 발광 소자 46 각각은 외부 양자 효율이 20%를 넘는 높은 발광 효율을 나타내었다. 도 76 및 도 80에 나타낸 바와 같이, 비교 발광 소자 38 내지 비교 발광 소자 42 및 발광 소자 43 내지 발광 소자 46은 높은 전류 효율도 나타

내었다. 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자 43 내지 발광 소자 46은 전자 주입층에 일반적으로 사용되는 Li_2O 를 사용한 비교 발광 소자 38보다 높은 효율을 나타내었다. 이것은 발광 소자 43 내지 발광 소자 46이 비교 발광 소자 38보다 뛰어난 캐리어 밸런스를 가지는 것을 나타낸다. 또한 발광 소자 43 내지 발광 소자 46은 전하 발생층(4135)이 제공되지 않은 비교 발광 소자 39 내지 비교 발광 소자 42와 동등한 높은 효율을 나타내었다.

[0868] 도 79 및 도 83에 나타난 바와 같이, 비교 발광 소자 38 내지 비교 발광 소자 42 및 발광 소자 43 내지 발광 소자 46 각각은 전계 발광 스펙트럼이 약 616nm에 피크 파장을 가지고 반값전폭이 54nm인 적색 발광을 나타내었다. 얻어진 전계 발광 스펙트럼에 의하여, 광이 게스트 재료인 $\text{Ir}(\text{dmdppr-dmp})_2(\text{dmp})$ 로부터 방출되는 것을 알 수 있다.

[0869] <발광 소자의 신뢰성 시험>

[0870] 비교 발광 소자 A 및 발광 소자 43 내지 발광 소자 46에 대하여 항온항습 보존 시험을 수행하였다. 발광 소자 각각은 밀봉되지 않으므로 음극 및 EL층이 시험 환경의 분위기에 노출된다. 측정은 실시예 11과 비슷한 방법으로 수행하였다.

[0871] 항온항습 보존 시험 전후의 발광 면적 비율을 산출함으로써 발광 상태를 평가하였다. 발광 소자 43 내지 발광 소자 46 및 비교 발광 소자 A의 3개의 샘플 각각에 대하여 항온항습 보존 시험을 수행하였다. 3개의 샘플의 평균 발광 면적을 표 39에 나타내었다.

[0872] [표 39]

| | 발광 면적비 |
|------------|--------|
| 비교 발광 소자 A | 0% |
| 발광 소자 43 | 76% |
| 발광 소자 44 | 82% |
| 발광 소자 45 | 81% |
| 발광 소자 46 | 80% |

[0873]

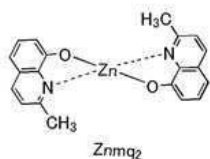
[0874] 표 39에서 발광 면적 비율(%)은 항온항습 보존 시험 후의 발광 면적/항온항습 보존 시험 전의 발광 면적 $\times 100$ 이다. 표 39에 의하여, 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자 43 내지 발광 소자 46 각각은 항온항습 보존 시험 후에 76% 이상의 발광 면적 비율을 유지하고, 즉 습기 저항이 양호한 것을 알 수 있다. 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자 43 내지 발광 소자 46 각각의 습기 저항은 전자 주입층(4130)에 Li 화합물인 Li_2O 를 사용한 비교 발광 소자 A보다 향상되었다. 물과 반응하기 쉬운 전이 금속을 사용하는 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자에는 수분이 침투하기 어렵다. 따라서 습기 저항이 높은 발광 소자를 실현할 수 있다. 일반적인 발광 소자와 달리, 발광 소자 43 내지 발광 소자 46은 밀봉되지 않으므로, 발광 소자 43 내지 발광 소자 46의 습기 저항은 밀봉에 의하여 더 향상될 것으로 기대된다.

[0875] 상술한 바와 같이, 트리아진 고리 및/또는 피리미딘 고리를 포함한 재료를 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자에 적합하게 사용할 수 있다. 본 실시예에 나타난 구조를 다른 실시형태 및 실시예 중 임의의 것과 적절히 조합하여 사용할 수 있다.

[0876] (실시예 13)

[0877] 본 실시예에서는, 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자 49 및 발광 소자 50, 및 비교 발광 소자 47 및 비교 발광 소자 48의 제작예에 대하여 설명한다. 비교 발광 소자 47 및 비교 발광 소자 48과 함께 비교 발광 소자 38의 구조를 표 40에 나타내었다. 발광 소자 49 및 발광 소자 50의 구조를 표 41에 나타내었다. 본 실시예에서 제작한 발광 소자의 단면 모식도를 도 70에 나타내었다. 본 실시예에서 사용한 화합물의 구조 및 약칭을 아래에 나타내었다. 또한 다른 화합물의 구조 및 약칭에 대해서는 상술한 실시형태 및 실시예를 참조할 수 있다.

[0878] [화학적식 8]



[0879]

[0880] [표 40]

| | 층 | 부호 | 두께(nm) | 재료 | 증량비 |
|----------------|--------|---------|--------|---|----------------|
| 비교 발광 소자 33 | 전극 | +102 | 200 | Al | - |
| | 전하 발생층 | +135 | 15 | DBT3P-II:MoO ₃ | 1:0.5 |
| | 전자 주입층 | +130 | 0.2 | Li ₂ O | - |
| | 전자 수송층 | +118(2) | 20 | 11BPhen | - |
| | | +118(1) | 5 | 2mDBTBFDq-II | - |
| | 발광층 | +140 | 40 | 2mDBTBFDq-II:PCBBiF :Ir(dmdppr-dmp) ₂ (dpm) | 0.75:0.25:0.06 |
| | 정공 수송층 | +112 | 20 | BPAFLP | - |
| | 정공 주입층 | +111 | 65 | DBT3P-II:MoO ₃ | 1:0.5 |
| 비교 발광 소자 47 | 전극 | +101 | 70 | ITSO | - |
| | 전극 | +102 | 200 | Al | - |
| | 전자 주입층 | +130(2) | 5 | Zn(BTZ) ₂ :Ag | 1:0.21 |
| | | +130(1) | 5 | 11BPhen:Ag | 1:0.19 |
| | 전자 수송층 | +118(2) | 10 | 11BPhen | - |
| | | +118(1) | 20 | 2mDBTBFDq-II | - |
| | 발광층 | +140 | 40 | 2mDBTBFDq-II:PCBBiF :Ir(dmdppr-dmp) ₂ (dpm) | 0.75:0.25:0.06 |
| | 정공 수송층 | +112 | 20 | BPAFLP | - |
| 비교 발광 소자 48 | 정공 주입층 | +111 | 65 | DBT3P-II:MoO ₃ | 1:0.5 |
| | 전극 | +101 | 70 | ITSO | - |
| | 전자 주입층 | +130(2) | 5 | Znmq ₂ :Ag | 1:0.30 |
| | | +130(1) | 5 | 11BPhen:Ag | 1:0.30 |
| | 전자 수송층 | +118(2) | 10 | 11BPhen | - |
| | | +118(1) | 20 | 2mDBTBFDq-II | - |
| | 발광층 | +140 | 40 | 2mDBTBFDq-II:PCBBiF :Ir(dmdppr-dmp) ₂ (dpm) | 0.75:0.25:0.06 |
| | 정공 수송층 | +112 | 20 | BPAFLP | - |
| 발광 소자 49 | 정공 주입층 | +111 | 65 | DBT3P-II:MoO ₃ | 1:0.5 |
| | 전극 | +101 | 70 | ITSO | - |
| | 전자 주입층 | +130(2) | 5 | Zn(BTZ) ₂ :Ag | 1:0.21 |
| | | +130(1) | 5 | 11BPhen:Ag | 1:0.19 |
| | 전자 수송층 | +118(2) | 10 | 11BPhen | - |
| | | +118(1) | 5 | 2mDBTBFDq-II | - |
| | 발광층 | +140 | 40 | 2mDBTBFDq-II:PCBBiF :Ir(dmdppr-dmp) ₂ (dpm) | 0.75:0.25:0.06 |
| | 정공 수송층 | +112 | 20 | BPAFLP | - |
| 발광 소자 50 | 정공 주입층 | +111 | 65 | DBT3P-II:MoO ₃ | 1:0.5 |
| | 전극 | +101 | 70 | ITSO | - |
| | 전자 주입층 | +130(2) | 5 | Znmq ₂ :Ag | 1:0.30 |
| | | +130(1) | 5 | 11BPhen:Ag | 1:0.19 |
| | 전자 수송층 | +118(2) | 10 | 11BPhen | - |
| | | +118(1) | 5 | 2mDBTBFDq-II | - |
| | 발광층 | +140 | 40 | 2mDBTBFDq-II:PCBBiF :Ir(dmdppr-dmp) ₂ (dpm) | 0.75:0.25:0.06 |
| | 정공 수송층 | +112 | 20 | BPAFLP | - |

[0881]

[0882] [표 41]

| | 층 | 부호 | 두께(nm) | 재료 | 증량비 |
|-------------|--------|---------|--------|---|----------------|
| 발광 소자 49 | 전극 | +102 | 200 | Al | - |
| | 전하 발생층 | +135 | 15 | DBT3P-II:MoO ₃ | 1:0.5 |
| | 전자 주입층 | +130(2) | 5 | Zn(BTZ) ₂ :Ag | 1:0.21 |
| | | +130(1) | 5 | 11BPhen:Ag | 1:0.19 |
| | 전자 수송층 | +118(2) | 10 | 11BPhen | - |
| | | +118(1) | 5 | 2mDBTBFDq-II | - |
| | 발광층 | +140 | 40 | 2mDBTBFDq-II:PCBBiF :Ir(dmdppr-dmp) ₂ (dpm) | 0.75:0.25:0.06 |
| | 정공 수송층 | +112 | 20 | BPAFLP | - |
| 발광 소자 50 | 정공 주입층 | +111 | 65 | DBT3P-II:MoO ₃ | 1:0.5 |
| | 전극 | +101 | 70 | ITSO | - |
| | 전자 주입층 | +130(2) | 5 | Znmq ₂ :Ag | 1:0.30 |
| | | +130(1) | 5 | 11BPhen:Ag | 1:0.19 |
| | 전자 수송층 | +118(2) | 10 | 11BPhen | - |
| | | +118(1) | 5 | 2mDBTBFDq-II | - |
| | 발광층 | +140 | 40 | 2mDBTBFDq-II:PCBBiF :Ir(dmdppr-dmp) ₂ (dpm) | 0.75:0.25:0.06 |
| | 정공 수송층 | +112 | 20 | BPAFLP | - |

[0883]

[0884] 발광 소자 49 및 발광 소자 50 및 비교 발광 소자 47 및 비교 발광 소자 48의 전자 주입층(4130)에서 사용한 유기 화합물의 LUMO 준위는 CV(cyclic voltammetry) 측정에 의하여 산출하였다. 측정은 실시예 1과 비슷한 방법으로 수행하였다. 이 결과를 표 42에 나타내었다.

[0885] [표 42]

| | LUMO (eV) |
|-----------------------|--------------|
| Zn (BTZ) ₂ | -3.16 |
| Znmq ₂ | -2.68 |

[0886]

[0887] <<발광 소자 49 및 발광 소자 50의 제작>>

[0888] 전자 주입층(4130)을 형성하는 단계를 제외하고는 발광 소자 45와 같은 단계를 거쳐 발광 소자 49 및 발광 소자 50을 제작하였다.

[0889] <발광 소자 49의 제작>

[0890] 전자 수송층(4118(2)) 위에, 전자 주입층(4130)으로서, NBPhen 및 Ag을 NBPhen:Ag=1:0.19의 중량비로 두께 5nm가 되도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다. 이어서, Zn(BTZ)₂ 및 Ag을 Zn(BTZ)₂:Ag=1:0.21의 중량비로 두께 5nm가 되도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다.

[0891] <발광 소자 50의 제작>

[0892] 전자 수송층(4118(2)) 위에, 전자 주입층(4130)으로서, NBPhen 및 Ag을 NBPhen:Ag=1:0.30의 중량비로 두께 5nm가 되도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다. 이어서, Znmq₂ 및 Ag을 Znmq₂:Ag=1:0.30의 중량비로 두께 5nm가 되도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다.

[0893] <<비교 발광 소자 47의 제작>>

[0894] 전자 수송층(4118) 및 전하 발생층(4135)을 형성하는 단계를 제외하고는 발광 소자 49와 같은 단계를 거쳐 비교 발광 소자 47을 제작하였다.

[0895] 비교 발광 소자 47의 발광층(4140) 위에, 전자 수송층(4118)으로서, 2mDBTPDBq-II를 두께 20nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시키고, 이어서, NBPhen을 두께 10nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.

[0896] 전자 주입층(4130) 위에는, 전하 발생층(4135)을 형성하지 않고, 전극(4102)으로서, 알루미늄(Al)을 두께 200nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.

[0897] <<비교 발광 소자 48의 제작>>

[0898] 전자 수송층(4118) 및 전하 발생층(4135)을 형성하는 단계를 제외하고는 발광 소자 50과 같은 단계를 거쳐 비교 발광 소자 48을 제작하였다.

[0899] 비교 발광 소자 48의 발광층(4140) 위에, 전자 수송층(4118)으로서, 2mDBTPDBq-II를 두께 20nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시키고, 이어서, NBPhen을 두께 10nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.

[0900] 전자 주입층(4130) 위에는, 전하 발생층(4135)을 형성하지 않고, 전극(4102)으로서, 알루미늄(Al)을 두께 200nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.

[0901] <발광 소자의 특성>

[0902] 다음으로, 제작한 비교 발광 소자 38, 비교 발광 소자 47, 및 비교 발광 소자 48 그리고 발광 소자 49 및 발광 소자 50의 소자 특성을 측정하였다. 측정은 실시예 1과 비슷한 방법으로 수행하였다.

[0903] 도 84는 제작한 비교 발광 소자 38, 비교 발광 소자 47, 및 비교 발광 소자 48 그리고 발광 소자 49 및 발광 소자 50의 전류 효율-휘도 특성을 나타낸 것이고, 도 85는 그 전류-전압 특성을 나타낸 것이고, 도 86은 그 외부 양자 효율-휘도 특성을 나타낸 것이다. 도 87은 전류 밀도 2.5mA/cm²로 전류를 흘릴 때의 발광 소자의 전계 발광 스펙트럼을 나타낸 것이다.

[0904] 1000cd/m² 부근에서의 비교 발광 소자 38, 비교 발광 소자 47, 및 비교 발광 소자 48 그리고 발광 소자 49 및 발광 소자 50의 소자 특성을 표 43에 나타내었다.

[표 43]

| | 전압 (V) | 전류 밀도 (mA/cm ²) | CIE 색도 (x, y) | 휘도 (cd/m ²) | 전류 효율 (cd/A) | 전력 효율 (lm/W) | 외부 양자 효율(%) |
|----------------|-----------|--------------------------------|------------------|----------------------------|-----------------|-----------------|----------------|
| 비교 발광 소자 38 | 5.20 | 3.47 | (0.662, 0.338) | 1060 | 30.7 | 18.5 | 23.9 |
| 비교 발광 소자 47 | 3.40 | 3.18 | (0.672, 0.328) | 1049 | 33.2 | 30.7 | 28.4 |
| 비교 발광 소자 48 | 3.30 | 3.18 | (0.668, 0.332) | 1065 | 33.5 | 31.9 | 27.7 |
| 발광 소자 49 | 3.80 | 3.31 | (0.673, 0.327) | 1041 | 31.4 | 26.0 | 27.6 |
| 발광 소자 50 | 3.40 | 3.24 | (0.669, 0.330) | 1031 | 31.8 | 29.4 | 27.2 |

도 85에 나타난 바와 같이, 비교 발광 소자 38, 비교 발광 소자 47, 및 비교 발광 소자 48 그리고 발광 소자 49 및 발광 소자 50은 동등의 양호한 전류-전압 특성을 나타내었다. 이것은 전자 주입층에 아연 화합물이 사용되고 전자 주입층이 전하 발생층과 접한 경우, 비공유 전자쌍을 가지는 유기 화합물과 전이 금속의 복합 재료는 전자 주입층에 일반적으로 사용되는 Li 화합물과 동등한 전자 주입성을 가지는 것을 나타낸다. 또한 전하 발생층을 포함하는 발광 소자 49 및 발광 소자 50은 전하 발생층을 포함하지 않는 비교 발광 소자 47 및 비교 발광 소자 48과 동등의 양호한 전류-전압 특성을 나타내었다.

도 86 및 표 43에 나타난 바와 같이, 비교 발광 소자 38, 비교 발광 소자 47, 및 비교 발광 소자 48 그리고 발광 소자 49 및 발광 소자 50 각각은 외부 양자 효율이 20%를 넘는 높은 발광 효율을 나타내었다. 도 84에 나타난 바와 같이, 비교 발광 소자 38, 비교 발광 소자 47, 및 비교 발광 소자 48 그리고 발광 소자 49 및 발광 소자 50은 높은 전류 효율도 나타내었다.

도 87에 나타난 바와 같이, 비교 발광 소자 38, 비교 발광 소자 47, 및 비교 발광 소자 48 그리고 발광 소자 49 및 발광 소자 50 각각은 전계 발광 스펙트럼이 약 618nm에 피크 파장을 가지고 반값전폭이 60nm인 적색 발광을 나타내었다. 얻어진 전계 발광 스펙트럼에 의하여, 광이 게스트 재료인 Ir(dmdppr-dmp)₂(dmp)로부터 방출되는 것을 알 수 있다.

<발광 소자의 신뢰성 시험>

비교 발광 소자 A 그리고 발광 소자 49 및 발광 소자 50에 대하여 항온항습 보존 시험을 수행하였다. 발광 소자 각각은 밀봉되지 않으므로 음극 및 EL층이 시험 환경의 분위기에 노출된다. 측정은 실시예 11과 비슷한 방법으로 수행하였다.

항온항습 보존 시험 전후의 발광 면적 비율을 산출함으로써 발광 상태를 평가하였다. 발광 소자 49 및 발광 소자 50 그리고 비교 발광 소자 A의 3개의 샘플 각각에 대하여 항온항습 보존 시험을 수행하였다. 3개의 샘플의 평균 발광 면적을 표 44에 나타내었다.

[표 44]

| | 발광 면적비 |
|---------------|--------|
| 비교 발광 소자 A | 0% |
| 발광 소자 49 | 83% |
| 발광 소자 50 | 83% |

표 44에서 발광 면적 비율(%)은 항온항습 보존 시험 후의 발광 면적/항온항습 보존 시험 전의 발광 면적×100이다. 표 44에 의하여, 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자 49 및 발광 소자 50 각각은 항온항습 보존 시험 후에 80% 이상의 발광 면적 비율을 유지하고, 즉 습기 저항이 양호한 것을 알 수 있다. 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자 49 및 발광 소자 50 각각의 습기 저항은 전자 주입층(4130)에 Li 화합물인 Li₂O를 사용한 비교 발광 소자 A보다 향상되었다. 물과 반응하기 쉬운 전이 금속을 사용하는 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자에는 수분이 침투하기 어렵다. 따라서 습기 저항이 높은 발광 소자를 실현할 수 있다. 일반적인 발광 소자와 달리, 발광 소자 49 및 발광 소자 50은 밀봉되지 않으므로, 발광 소자 49 및 발광 소자 50의 습기 저항은 밀봉에 의하여 더 향상될 것으로 기대된다.

[0916] 상술한 바와 같이, 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자에 아연 착체 등의 금속 착체를 적합하게 사용할 수 있다. 본 실시예에 나타난 구조를 다른 실시형태 및 실시예 중 임의의 것과 적절히 조합하여 사용할 수 있다.

[0917] (실시예 14)

[0918] <항온항습 보존 시험에서의 신뢰성과 전자 주입 재료의 LUMO 준위의 상관>

[0919] 실시예 11 내지 실시예 13에 기재된 상술한 항온항습 보존 시험 결과를 LUMO 준위에 대하여 플롯하였다. 그 결과를 도 88의 (A) 및 (B)에 나타내었다. 또한 같은 소자 구조를 가지는 각 발광 소자의 3개 내지 7개의 샘플에 항온항습 보존 시험을 수행하였다. 전하 발생층을 포함하는 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자의 항온항습 보존 시험의 결과를 도 88의 (A)에 나타내고, 전하 발생층을 포함하지 않는 비교 발광 소자의 항온항습 보존 시험의 결과를 도 88의 (B)에 나타내었다. 도 88의 (A)와 도 88의 (B)를 비교하면, 도 88의 (B)에서는, LUMO 준위가 높은 영역(LUMO 준위가 -3.0eV 이상인 영역)에서 항온항습 보존 시험 후의 발광 면적 비율이 75% 미만인 경우가 있고, 즉 습기 저항에 편차가 있다. 한편, 도 88의 (A)에서는, 이 영역에서 모든 발광 소자가 발광 면적 비율 75%를 넘는 높은 습기 저항을 가진다. 즉, 음극과 전자 주입층 사이에 전하 발생층을 포함하는 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자는 편차가 작고 높은 수율로 제작할 수 있다. 또한 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자는 전자 주입층의 재료의 선택폭이 넓기 때문에 생산성이 높다.

[0920] (실시예 15)

[0921] 상술한 실시예에서는, 기판 위에 양극이 제공되고 양극 위에 EL층이 적층된, 순 적층 구조의 제작예에 대하여 설명하였다. 본 실시예에서는, 기판 위에 음극이 제공되고 음극 위에 EL층이 적층된, 역 적층 구조를 가지는 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자 52 내지 발광 소자 54, 그리고 비교 발광 소자 51 및 비교 발광 소자 55 내지 비교 발광 소자 57의 제작예에 대하여 설명한다. 비교 발광 소자 51은 전자 주입층(4130)에 Li₂O를 사용하고, 비교 발광 소자 55 내지 비교 발광 소자 57은 전하 발생층(4135)을 포함하지 않는다. 본 실시예에서 제작한 발광 소자의 단면 모식도를 도 89에 나타내었다. 자세한 소자 구조를 표 45 내지 표 47에 나타내었다. 본 실시예에서 사용한 화합물의 구조 및 약칭에 대해서는 상술한 실시예 및 실시형태를 참조할 수 있다.

[0922] [표 45]

| | 층 | 부호 | 두께(nm) | 재료 | 중량비 |
|----------------|--------|---------|--------|---|----------------|
| 비교 발광 소자 51 | 전극 | 4101 | 200 | Al | - |
| | 정공 주입층 | 4111 | 25 | DBT3P-II:MoO ₃ | 1:0.5 |
| | 정공 수송층 | 4112 | 20 | BPAFLP | - |
| | 발광층 | 4140 | 40 | 2mDBTBFDq-II:PCBBiF: Ir(dmdppr-dmp) ₂ (dpm) | 0.75:0.25:0.06 |
| | 전자 수송층 | 4118(2) | 5 | 2mDBTBFDq-II | - |
| | | 4118(1) | 15 | 1'BPhen | - |
| | 전자 주입층 | 4130(2) | 0.2 | Li ₂ O | - |
| | | 4130(1) | 5 | 1'BPhen | - |
| | 전하 발생층 | 4135 | 40 | DBT3P-II:MoO ₃ | 1:0.5 |
| | 전극 | 4102 | 70 | ITO | - |
| 발광 소자 52 | 전극 | 4101 | 200 | Al | - |
| | 정공 주입층 | 4111 | 25 | DBT3P-II:MoO ₃ | 1:0.5 |
| | 정공 수송층 | 4112 | 20 | BPAFLP | - |
| | 발광층 | 4140 | 40 | 2mDBTBFDq-II:PCBBiF: Ir(dmdppr-dmp) ₂ (dpm) | 0.75:0.25:0.06 |
| | 전자 수송층 | 4118(2) | 5 | 2mDBTBFDq-II | - |
| | | 4118(1) | 15 | 1'BPhen | - |
| | 전자 주입층 | 4130 | 5 | 1'BPhen:Ag | 1:0.19 |
| | | 4135 | 40 | DBT3P-II:MoO ₃ | 1:0.5 |
| | 전하 발생층 | 4135 | 40 | DBT3P-II:MoO ₃ | 1:0.5 |
| | 전극 | 4102 | 70 | ITO | - |

[0923]

[0924] [표 46]

| | 층 | 부호 | 두께(nm) | 재료 | 중량비 |
|-------------|--------|---------|--------|--|----------------|
| 발광 소자 53 | 전극 | 4101 | 200 | Al | - |
| | 정공 주입층 | 4111 | 25 | DBT3P-II:MoO ₃ | 1:0.5 |
| | 정공 수송층 | 4112 | 20 | BPAFLP | - |
| | 발광층 | 4140 | 40 | 2mDBTBPDBq-II:PCBBiF: Ir(dmdppr-dmp) ₂ (dpm) | 0.75:0.25:0.06 |
| | 전자 수송층 | 4118(2) | 5 | 2mDBTBPDBq-II | - |
| | | 4118(1) | 10 | NBPhen | - |
| | 전자 주입층 | 4130(2) | 5 | NBPhen:Ag | 1:0.19 |
| | | 4130(1) | 5 | Alq ₃ :Ag | 1:0.24 |
| | 전하 발생층 | 4135 | 40 | DBT3P-II:MoO ₃ | 1:0.5 |
| 발광 소자 54 | 전극 | 4102 | 70 | ITSO | - |
| | 전극 | 4101 | 200 | Al | - |
| | 정공 주입층 | 4111 | 25 | DBT3P-II:MoO ₃ | 1:0.5 |
| | 정공 수송층 | 4112 | 20 | BPAFLP | - |
| | 발광층 | 4140 | 40 | 2mDBTBPDBq-II:PCBBiF: Ir(dmdppr-dmp) ₂ (dpm) | 0.75:0.25:0.06 |
| | 전자 수송층 | 4118(2) | 5 | 2mDBTBPDBq-II | - |
| | | 4118(1) | 10 | NBPhen | - |
| | 전자 주입층 | 4130(2) | 5 | NBPhen:Ag | 1:0.19 |
| | | 4130(1) | 5 | HATNA:Ag | 1:0.28 |
| | 전하 발생층 | 4135 | 40 | DBT3P-II:MoO ₃ | 1:0.5 |
| | 전극 | 4102 | 70 | ITSO | - |

[0925]

[0926] [표 47]

| | 층 | 부호 | 두께(nm) | 재료 | 중량비 |
|----------------|--------|---------|--------|--|----------------|
| 비교 발광 소자 55 | 전극 | 4101 | 200 | Al | - |
| | 정공 주입층 | 4111 | 25 | DBT3P-II:MoO ₃ | 1:0.5 |
| | 정공 수송층 | 4112 | 20 | BPAFLP | - |
| | 발광층 | 4140 | 40 | 2mDBTBPDBq-II:PCBBiF: Ir(dmdppr-dmp) ₂ (dpm) | 0.75:0.25:0.06 |
| | 전자 수송층 | 4118(2) | 30 | 2mDBTBPDBq-II | - |
| | | 4118(1) | 30 | NBPhen | - |
| | 전자 주입층 | 4130 | 5 | NBPhen:Ag | 1:0.19 |
| | | 4102 | 70 | ITSO | - |
| | 전극 | 4101 | 200 | Al | - |
| 비교 발광 소자 56 | 정공 주입층 | 4111 | 25 | DBT3P-II:MoO ₃ | 1:0.5 |
| | 정공 수송층 | 4112 | 20 | BPAFLP | - |
| | 발광층 | 4140 | 40 | 2mDBTBPDBq-II:PCBBiF: Ir(dmdppr-dmp) ₂ (dpm) | 0.75:0.25:0.06 |
| | 전자 수송층 | 4118(2) | 30 | 2mDBTBPDBq-II | - |
| | | 4118(1) | 25 | NBPhen | - |
| | 전자 주입층 | 4130(2) | 5 | NBPhen:Ag | 1:0.19 |
| | | 4130(1) | 5 | Alq ₃ :Ag | 1:0.35 |
| | 전극 | 4102 | 70 | ITSO | - |
| | 전극 | 4101 | 200 | Al | - |
| 비교 발광 소자 57 | 정공 주입층 | 4111 | 25 | DBT3P-II:MoO ₃ | 1:0.5 |
| | 정공 수송층 | 4112 | 20 | BPAFLP | - |
| | 발광층 | 4140 | 40 | 2mDBTBPDBq-II:PCBBiF: Ir(dmdppr-dmp) ₂ (dpm) | 0.75:0.25:0.06 |
| | 전자 수송층 | 4118(2) | 30 | 2mDBTBPDBq-II | - |
| | | 4118(1) | 25 | NBPhen | - |
| | 전자 주입층 | 4130(2) | 5 | NBPhen:Ag | 1:0.19 |
| | | 4130(1) | 5 | HATNA:Ag | 1:0.15 |
| | 전극 | 4102 | 70 | ITSO | - |
| | 전극 | 4101 | 200 | Al | - |

[0927]

[0928] <<비교 발광 소자 51의 제작>>

[0929] 기관(4210) 위에, 전극(4102)으로서, ITSO막을 두께 70nm가 되도록 형성하였다. 또한 전극(4102)의 전극 면적은 4mm²(2mm×2mm)로 하였다.

[0930] 이 후, 전극(4102) 위에, 전하 발생층(4135)으로서, DBT3P-II 및 MoO₃을 DBT3P-II:MoO₃=1:0.5의 중량비로 두께 40nm가 되도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다.

[0931] 다음으로, 전하 발생층(4135) 위에, 전자 주입층(4130)으로서, NBPhen을 두께 5nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다. 이어서, Li₂O를 두께 0.2nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.

[0932] 이 후, 전자 주입층(4130) 위에, 전자 수송층(4118(1))으로서, NBPhen을 두께 15nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다. 이어서, 전자 수송층(4118(2))으로서, 2mDBTBPDBq-II를 두께 5nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.

[0933] 이 후, 전자 수송층(4118(2)) 위에, 발광층(4140)으로서, 2mDBTBPDBq-II, PCBBiF, 및 Ir(dmdppr-dmp)₂(dpm)을

2mDBTBPDQ-II:PCBBiF:Ir(dmdppr-dmp)₂(dpm)=0.75:0.25:0.06의 중량비로 두께 40nm가 되도록 동시에 증착에 의하여 퇴적시켰다. 또한 발광층(4140)에서, 2mDBTBPDQ-II 및 PCBBiF는 호스트 재료이고, Ir(dmdppr-dmp)₂(dpm)은 게스트 재료(인광성 화합물)이다.

- [0934] 이 후, 발광층(4140) 위에, 정공 수송층(4112)으로서, BPAFLP를 두께 20nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.
- [0935] 이 후, 정공 수송층(4112) 위에, 정공 주입층(4111)으로서, DBT3P-II 및 MoO₃을 DBT3P-II:MoO₃=1:0.5의 중량비로 두께 25nm가 되도록 동시에 증착에 의하여 퇴적시켰다.
- [0936] 다음으로, 정공 주입층(4111) 위에, 전극(4101)으로서, 알루미늄(Al)을 두께 200nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.
- [0937] 이 후, 밀봉시키지 않고 대기하에서 가열 처리를 80℃에서 1시간 동안 수행하였다. 상술한 단계를 거쳐 비교 발광 소자 51을 얻었다.
- [0938] <<발광 소자 52의 제작>>
- [0939] 전자 주입층(4130)을 형성하는 단계를 제외하고는 비교 발광 소자 51과 같은 단계를 거쳐 발광 소자 52를 제작하였다.
- [0940] 전하 발생층(4135) 위에, 발광 소자 52의 전자 주입층(4130)으로서, NBPhen 및 Ag을 NBPhen:Ag=1:0.19의 중량비로 두께 5nm가 되도록 동시에 증착에 의하여 퇴적시켰다.
- [0941] <<발광 소자 53의 제작>>
- [0942] 전자 주입층(4130) 및 전자 수송층(4118(1))을 형성하는 단계를 제외하고는 비교 발광 소자 51과 같은 단계를 거쳐 발광 소자 53을 제작하였다.
- [0943] 전하 발생층(4135) 위에, 발광 소자 53의 전자 주입층(4130)으로서, Alq₃ 및 Ag을 Alq₃:Ag=1:0.24의 중량비로 두께 5nm가 되도록 동시에 증착에 의하여 퇴적시켰다. 이어서, NBPhen 및 Ag을 NBPhen:Ag=1:0.19의 중량비로 두께 5nm가 되도록 동시에 증착에 의하여 퇴적시켰다.
- [0944] 전자 주입층(4130) 위에, 전자 수송층(4118(1))으로서, NBPhen을 두께 10nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다. 이어서, 전자 수송층(4118(2))으로서, 2mDBTBPDQ-II를 두께 5nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.
- [0945] <<발광 소자 54의 제작>>
- [0946] 전자 주입층(4130) 및 전자 수송층(4118(1))을 형성하는 단계를 제외하고는 비교 발광 소자 51과 같은 단계를 거쳐 발광 소자 54를 제작하였다.
- [0947] 전하 발생층(4135) 위에, 발광 소자 54의 전자 주입층(4130)으로서, HATNA 및 Ag을 HATNA:Ag=1:0.28의 중량비로 두께 5nm가 되도록 동시에 증착에 의하여 퇴적시켰다. 이어서, NBPhen 및 Ag을 NBPhen:Ag=1:0.19의 중량비로 두께 5nm가 되도록 동시에 증착에 의하여 퇴적시켰다.
- [0948] 전자 주입층(4130) 위에, 전자 수송층(4118(1))으로서, NBPhen을 두께 10nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다. 이어서, 전자 수송층(4118(2))으로서, 2mDBTBPDQ-II를 두께 5nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.
- [0949] <<비교 발광 소자 55의 제작>>
- [0950] 전하 발생층(4135) 및 전자 수송층(4118)을 형성하는 단계를 제외하고는 발광 소자 52와 같은 단계를 거쳐 비교 발광 소자 55를 제작하였다.
- [0951] 비교 발광 소자 55에서는, 전하 발생층(4135)을 형성하지 않고, 전극(4102) 위에 전자 주입층(4130)을 형성하였다.
- [0952] 전자 주입층(4130) 위에, 전자 수송층(4118(1))으로서, NBPhen을 두께 30nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다. 이어서, 전자 수송층(4118(2))으로서, 2mDBTBPDQ-II를 두께 30nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.

- [0953] <<비교 발광 소자 56의 제작>>
- [0954] 전하 발생층(4135) 및 전자 수송층(4118)을 형성하는 단계를 제외하고는 발광 소자 53과 같은 단계를 거쳐 비교 발광 소자 56을 제작하였다.
- [0955] 비교 발광 소자 56에서는, 전하 발생층(4135)을 형성하지 않고, 전극(4102) 위에 전자 주입층(4130)을 형성하였다.
- [0956] 전자 주입층(4130) 위에, 전자 수송층(4118(1))으로서, NBPhen을 두께 25nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다. 이어서, 전자 수송층(4118(2))으로서, 2mDBTBPDQ-II를 두께 30nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.
- [0957] <<비교 발광 소자 57의 제작>>
- [0958] 전하 발생층(4135) 및 전자 수송층(4118)을 형성하는 단계를 제외하고는 발광 소자 54와 같은 단계를 거쳐 비교 발광 소자 57을 제작하였다.
- [0959] 비교 발광 소자 57에서는, 전하 발생층(4135)을 형성하지 않고, 전극(4102) 위에 전자 주입층(4130)을 형성하였다.
- [0960] 전자 주입층(4130) 위에, 전자 수송층(4118(1))으로서, NBPhen을 두께 25nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다. 이어서, 전자 수송층(4118(2))으로서, 2mDBTBPDQ-II를 두께 30nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.
- [0961] <발광 소자의 특성>
- [0962] 다음으로, 제작한 비교 발광 소자 51, 발광 소자 52 내지 발광 소자 54, 및 비교 발광 소자 55 내지 발광 소자 57의 소자 특성을 측정하였다. 측정은 실시예 1과 비슷한 방법으로 수행하였다.
- [0963] 도 90은 제작한 비교 발광 소자 51, 발광 소자 52 내지 발광 소자 54, 및 비교 발광 소자 55 내지 비교 발광 소자 57의 전류 효율-휘도 특성을 나타낸 것이고, 도 91은 그 전류-전압 특성을 나타낸 것이고, 도 92는 그 전력 효율-휘도 특성을 나타낸 것이다. 도 93은 전류 밀도 $2.5\text{mA}/\text{cm}^2$ 로 전류를 흘릴 때의 발광 소자의 전계 발광 스펙트럼을 나타낸 것이다.
- [0964] $1000\text{cd}/\text{m}^2$ 부근에서의 비교 발광 소자 51, 발광 소자 52 내지 발광 소자 54, 및 비교 발광 소자 55 내지 비교 발광 소자 57의 소자 특성을 표 48에 나타내었다.
- [0965] [표 48]
- | | 전압
(V) | 전류 밀도
(mA/cm ²) | CIE 색도
(x, y) | 휘도
(cd/m ²) | 전류 효율
(cd/A) | 전력 효율
(lm/W) | 외부 양자
효율(%) |
|----------------|-----------|--------------------------------|------------------|----------------------------|-----------------|-----------------|----------------|
| 비교 발광 소자 51 | 4.00 | 3.09 | (0.664, 0.336) | 1007 | 32.6 | 25.6 | 25.8 |
| 발광 소자 52 | 3.90 | 2.72 | (0.664, 0.335) | 892 | 32.8 | 26.5 | 26.0 |
| 발광 소자 53 | 4.20 | 3.18 | (0.664, 0.336) | 1004 | 32.1 | 24.0 | 25.4 |
| 발광 소자 54 | 3.90 | 3.62 | (0.664, 0.336) | 1112 | 30.7 | 24.8 | 24.5 |
| 비교 발광 소자 55 | 5.00 | 2.77 | (0.662, 0.337) | 1009 | 36.4 | 22.9 | 28.3 |
| 비교 발광 소자 56 | 5.00 | 2.98 | (0.662, 0.337) | 1067 | 35.7 | 22.5 | 27.6 |
| 비교 발광 소자 57 | 5.00 | 2.88 | (0.664, 0.336) | 954 | 33.7 | 21.2 | 26.2 |
- [0966]
- [0967] 표 48에 나타낸 바와 같이, 비교 발광 소자 51, 발광 소자 52 내지 발광 소자 54, 및 비교 발광 소자 55 내지 비교 발광 소자 57 각각은 외부 양자 효율이 약 25%인 매우 높은 발광 효율을 나타내었다. 도 90에 나타낸 바와 같이, 비교 발광 소자 51, 발광 소자 52 내지 발광 소자 54, 및 비교 발광 소자 55 내지 비교 발광 소자 57은 높은 전류 효율도 나타내었다. 도 92 및 표 48에 의하여, 휘도가 약 $200\text{cd}/\text{m}^2$ 이상인 영역에서, 발광 소자 52 내지 발광 소자 54가 비교 발광 소자 55 내지 비교 발광 소자 57보다 뛰어난 전력 효율을 나타내는 것을 알 수 있다. 이것은 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자를 역 적층 소자에 적용한 경우, 양호한 효율을 얻을 수 있는 것을 나타낸다.
- [0968] 도 91에 나타낸 바와 같이, 비교 발광 소자 51, 발광 소자 52 내지 발광 소자 54, 비교 발광 소자 55 내지 비교

발광 소자 57은 양호한 전류-전압 특성을 나타내었다. 또한 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자 52 내지 발광 소자 54는 전하 발생층(4135)을 포함하지 않는 비교 발광 소자 55 내지 비교 발광 소자 57보다 뛰어난 전류-전압 특성을 나타내었다. 이것은 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자를 역 적층 소자에 적용한 경우, 양호한 전류-전압 특성을 얻을 수 있는 것을 나타낸다.

[0969] 도 93에 나타낸 바와 같이, 비교 발광 소자 51, 발광 소자 52 내지 발광 소자 54, 및 비교 발광 소자 55 내지 비교 발광 소자 57 각각은 전계 발광 스펙트럼이 약 617nm에 피크 파장을 가지고 반값전폭이 54nm인 적색 발광을 나타내었다. 얻어진 전계 발광 스펙트럼에 의하여, 광이 게스트 재료인 $\text{Ir}(\text{dmdppr-dmp})_2(\text{dmp})$ 로부터 방출되는 것을 알 수 있다.

[0970] <발광 소자의 신뢰성 시험>

[0971] 발광 소자 52 내지 발광 소자 54에 대하여 항온항습 보존 시험을 수행하였다. 발광 소자 각각은 밀봉되지 않으므로 양극 및 EL층이 시험 환경의 분위기에 노출된다. 측정은 상술한 실시예와 비슷한 방법으로 수행하였다.

[0972] 항온항습 보존 시험 전후의 발광 면적 비율을 산출함으로써 발광 상태를 평가하였다. 발광 소자 52 내지 발광 소자 54의 6개의 샘플 각각에 대하여 항온항습 보존 시험을 수행하였다. 발광 면적 비율이 높은 상위 3개의 샘플의 평균 발광 면적을 표 49에 나타내었다.

[0973] [표 49]

| | 발광 면적비 |
|----------|--------|
| 발광 소자 52 | 79% |
| 발광 소자 53 | 76% |
| 발광 소자 54 | 71% |

[0974]

[0975] 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자 52 내지 발광 소자 54 각각은 항온항습 보존 시험 후에 70% 이상의 발광 면적 비율을 유지하고, 이것은 발광 소자 52 내지 발광 소자 54의 습기 저항이 양호한 것을 나타낸다. 따라서, 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자는 역 적층 소자에 적용된 경우, 양호한 습기 저항을 가질 수 있다.

[0976] 상술한 바와 같이, 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자는 역 적층 소자에 적용될 수도 있다. 본 실시예에 나타난 구조를 다른 실시형태 및 실시예 중 임의의 것과 적절히 조합하여 사용할 수 있다.

[0977] (실시예 16)

[0978] 본 실시예에서는, 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자 58 내지 발광 소자 63의 제작예에 대하여 설명한다. 본 실시예에서 제작한 발광 소자의 단면 모식도를 도 12에 나타내었다. 자세한 소자 구조를 표 50 및 표 51에 나타내었다. 본 실시예에서 사용한 화합물의 구조 및 약칭에 대해서는 상술한 실시예 및 실시형태를 참조할 수 있다.

[표 50]

| | 층 | 부호 | 두께(nm) | 재료 | 중량비 |
|----------|--------|--------|--------|--|----------------|
| 발광 소자 58 | 전극 | 102 | 200 | Al | - |
| | 전자 주입층 | 130(2) | 5 | Alq3:Au | 1:0.1 |
| | | 130(1) | 5 | NBPhen:Ag | 1:0.3 |
| | 전자 수송층 | 118(2) | 10 | NBPhen | - |
| | | 118(1) | 20 | 2mDBTBPD Bq-II | - |
| | 발광층 | 140 | 40 | 2mDBTBPD Bq-II:PCBBiF Ir(dmdppr-dmp) ₂ (dpm) | 0.75:0.25:0.08 |
| | 정공 수송층 | 112 | 20 | PCBBiF | - |
| | 정공 주입층 | 111 | 25 | DBT3P-II:MoO ₃ | 1:0.5 |
| | 전극 | 101 | 110 | ITSO | - |
| 발광 소자 59 | 전극 | 102 | 200 | Al | - |
| | 전자 주입층 | 130(2) | 5 | HATNA:Au | 1:0.5 |
| | | 130(1) | 5 | NBPhen:Ag | 1:0.3 |
| | 전자 수송층 | 118(2) | 10 | NBPhen | - |
| | | 118(1) | 20 | 2mDBTBPD Bq-II | - |
| | 발광층 | 140 | 40 | 2mDBTBPD Bq-II:PCBBiF Ir(dmdppr-dmp) ₂ (dpm) | 0.75:0.25:0.08 |
| | 정공 수송층 | 112 | 20 | PCBBiF | - |
| | 정공 주입층 | 111 | 25 | DBT3P-II:MoO ₃ | 1:0.5 |
| | 전극 | 101 | 110 | ITSO | - |
| 발광 소자 60 | 전극 | 102 | 200 | Al | - |
| | 전자 주입층 | 130 | 5 | Alq3:Cu | 1:0.15 |
| | | 118(2) | 15 | NBPhen | - |
| | 정공 수송층 | 118(2) | 15 | NBPhen | - |
| | | 118(1) | 25 | 2mDBTBPD Bq-II | - |
| | 발광층 | 140 | 40 | 2mDBTBPD Bq-II:PCBBiF Ir(dmdppr-dmp) ₂ (dpm) | 0.75:0.25:0.08 |
| | 정공 수송층 | 112 | 20 | BPAFLP | - |
| | 정공 주입층 | 111 | 65 | DBT3P-II:MoO ₃ | 1:0.5 |
| 발광 소자 61 | 전극 | 102 | 200 | Al | - |
| | 전자 주입층 | 130(2) | 5 | HATNA:Cu | 1:0.15 |
| | | 130(1) | 5 | NBPhen:Cu | 1:0.15 |
| | 전자 수송층 | 118(2) | 10 | NBPhen | - |
| | | 118(1) | 25 | 2mDBTBPD Bq-II | - |
| | 발광층 | 140 | 40 | 2mDBTBPD Bq-II:PCBBiF Ir(dmdppr-dmp) ₂ (dpm) | 0.75:0.25:0.08 |
| | 정공 수송층 | 112 | 20 | BPAFLP | - |
| | 정공 주입층 | 111 | 65 | DBT3P-II:MoO ₃ | 1:0.5 |
| 발광 소자 62 | 전극 | 101 | 70 | ITSO | - |
| | 전극 | 102 | 200 | Al | - |
| | 전자 주입층 | 130 | 5 | Alq3:Mn | 1:0.15 |
| | | 118(2) | 15 | NBPhen | - |
| | 전자 수송층 | 118(2) | 15 | NBPhen | - |
| | | 118(1) | 25 | 2mDBTBPD Bq-II | - |
| | 발광층 | 140 | 40 | 2mDBTBPD Bq-II:PCBBiF Ir(dmdppr-dmp) ₂ (dpm) | 0.75:0.25:0.08 |
| | 정공 수송층 | 112 | 20 | BPAFLP | - |
| | 정공 주입층 | 111 | 65 | DBT3P-II:MoO ₃ | 1:0.5 |
| 발광 소자 63 | 전극 | 101 | 70 | ITSO | - |
| | 전극 | 102 | 200 | Al | - |
| | 전자 주입층 | 130(2) | 5 | HATNA:Co | 1:0.15 |
| | | 130(1) | 5 | NBPhen:Ag | 1:0.3 |
| | 전자 수송층 | 118(2) | 10 | NBPhen | - |
| | | 118(1) | 25 | 2mDBTBPD Bq-II | - |
| | 발광층 | 140 | 40 | 2mDBTBPD Bq-II:PCBBiF Ir(dmdppr-dmp) ₂ (dpm) | 0.75:0.25:0.08 |
| | 정공 수송층 | 112 | 20 | BPAFLP | - |
| | 정공 주입층 | 111 | 65 | DBT3P-II:MoO ₃ | 1:0.5 |
| 발광 소자 64 | 전극 | 101 | 70 | ITSO | - |
| | 전극 | 102 | 200 | Al | - |
| | 전자 주입층 | 130(2) | 5 | HATNA:Co | 1:0.15 |
| | | 130(1) | 5 | NBPhen:Ag | 1:0.3 |
| | 전자 수송층 | 118(2) | 10 | NBPhen | - |
| | | 118(1) | 25 | 2mDBTBPD Bq-II | - |
| | 발광층 | 140 | 40 | 2mDBTBPD Bq-II:PCBBiF Ir(dmdppr-dmp) ₂ (dpm) | 0.75:0.25:0.08 |
| | 정공 수송층 | 112 | 20 | BPAFLP | - |
| 발광 소자 65 | 전극 | 101 | 70 | ITSO | - |
| | 전극 | 102 | 200 | Al | - |
| | 전자 주입층 | 130(2) | 5 | HATNA:Co | 1:0.15 |
| | | 130(1) | 5 | NBPhen:Ag | 1:0.3 |
| | 전자 수송층 | 118(2) | 10 | NBPhen | - |
| | | 118(1) | 25 | 2mDBTBPD Bq-II | - |
| | 발광층 | 140 | 40 | 2mDBTBPD Bq-II:PCBBiF Ir(dmdppr-dmp) ₂ (dpm) | 0.75:0.25:0.08 |
| | 정공 수송층 | 112 | 20 | BPAFLP | - |

[0980]

[0981]

[표 51]

| | 층 | 부호 | 두께(nm) | 재료 | 중량비 |
|----------|--------|--------|--------|--|----------------|
| 발광 소자 61 | 전극 | 102 | 200 | Al | - |
| | 전자 주입층 | 130(2) | 5 | HATNA:Cu | 1:0.15 |
| | | 130(1) | 5 | NBPhen:Cu | 1:0.15 |
| | 전자 수송층 | 118(2) | 10 | NBPhen | - |
| | | 118(1) | 25 | 2mDBTBPD Bq-II | - |
| | 발광층 | 140 | 40 | 2mDBTBPD Bq-II:PCBBiF Ir(dmdppr-dmp) ₂ (dpm) | 0.75:0.25:0.08 |
| | 정공 수송층 | 112 | 20 | BPAFLP | - |
| | 정공 주입층 | 111 | 65 | DBT3P-II:MoO ₃ | 1:0.5 |
| | 전극 | 101 | 70 | ITSO | - |
| 발광 소자 62 | 전극 | 102 | 200 | Al | - |
| | 전자 주입층 | 130 | 5 | Alq3:Mn | 1:0.15 |
| | | 118(2) | 15 | NBPhen | - |
| | 전자 수송층 | 118(2) | 15 | NBPhen | - |
| | | 118(1) | 25 | 2mDBTBPD Bq-II | - |
| | 발광층 | 140 | 40 | 2mDBTBPD Bq-II:PCBBiF Ir(dmdppr-dmp) ₂ (dpm) | 0.75:0.25:0.08 |
| | 정공 수송층 | 112 | 20 | BPAFLP | - |
| | 정공 주입층 | 111 | 65 | DBT3P-II:MoO ₃ | 1:0.5 |
| | 전극 | 101 | 70 | ITSO | - |
| 발광 소자 63 | 전극 | 102 | 200 | Al | - |
| | 전자 주입층 | 130(2) | 5 | HATNA:Co | 1:0.15 |
| | | 130(1) | 5 | NBPhen:Ag | 1:0.3 |
| | 전자 수송층 | 118(2) | 10 | NBPhen | - |
| | | 118(1) | 25 | 2mDBTBPD Bq-II | - |
| | 발광층 | 140 | 40 | 2mDBTBPD Bq-II:PCBBiF Ir(dmdppr-dmp) ₂ (dpm) | 0.75:0.25:0.08 |
| | 정공 수송층 | 112 | 20 | BPAFLP | - |
| | 정공 주입층 | 111 | 65 | DBT3P-II:MoO ₃ | 1:0.5 |
| | 전극 | 101 | 70 | ITSO | - |

[0982]

[0983]

<발광 소자의 제작>

[0984]

아래에서, 본 실시예의 발광 소자의 제작 방법에 대하여 설명한다. 전자 주입층에 사용되는, 전이 금속과 비공유 전자쌍을 가지는 유기 화합물의 복합 재료의 전이 금속으로서, 발광 소자 58 및 발광 소자 59에서는 Au를 사용하고, 발광 소자 60 및 발광 소자 61에서는 Cu를 사용하고, 발광 소자 62에서는 Mn를 사용하고, 발광 소자 63에서는 Co를 사용한다.

- [0985] <<발광 소자 58의 제작>>
- [0986] 기관(210) 위에, 전극(101)으로서, ITS막을 두께 110nm가 되도록 형성하였다. 또한 전극(101)의 전극 면적은 $4\text{mm}^2(2\text{mm} \times 2\text{mm})$ 로 하였다.
- [0987] 이 후, 전극(101) 위에, 정공 주입층(111)으로서, DBT3P-II 및 산화 몰리브데넘(MoO_3)을 DBT3P-II: $\text{MoO}_3=1:0.5$ 의 중량비로 두께 25nm가 되도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다.
- [0988] 이 후, 정공 주입층(111) 위에, 정공 수송층(112)으로서, PCBBiF를 두께 20nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.
- [0989] 이 후, 정공 수송층(112) 위에, 발광층(140)으로서, 2mDBTBPDq-II, PCBBiF, 및 $\text{Ir}(\text{dmdppr-dmp})_2(\text{dpm})$ 을 2mDBTBPDq-II:PCBBiF: $\text{Ir}(\text{dmdppr-dmp})_2(\text{dpm})=0.75:0.25:0.08$ 의 중량비로 두께 40nm가 되도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다. 또한 발광층(140)에서, 2mDBTBPDq-II 및 PCBBiF는 호스트 재료이고, $\text{Ir}(\text{dmdppr-dmp})_2(\text{dpm})$ 은 게스트 재료(인광성 화합물)이다.
- [0990] 다음으로, 발광층(140) 위에, 전자 수송층(118(1))으로서, 2mDBTBPDq-II를 두께 20nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.
- [0991] 다음으로, 전자 수송층(118(1)) 위에, 전자 수송층(118(2))으로서, NBPhen을 두께 10nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.
- [0992] 전자 수송층(118(2)) 위에, 전자 주입층(130(1))으로서, NBPhen 및 Ag을 NBPhen:Ag=1:0.3의 중량비로 두께 5nm가 되도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다.
- [0993] 전자 주입층(130(1)) 위에, 전자 주입층(130(2))으로서, Alq_3 및 Au을 $\text{Alq}_3:\text{Au}=1:0.4$ 의 중량비로 두께 5nm가 되도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다.
- [0994] 다음으로, 전자 주입층(130(2)) 위에, 전극(102)으로서, 알루미늄(Al)을 두께 200nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.
- [0995] 이 후, 밀봉시키지 않고 대기하에서 가열 처리를 80°C 에서 1시간 동안 수행하였다. 상술한 단계를 거쳐 비교 발광 소자 58을 얻었다.
- [0996] <<발광 소자 59의 제작>>
- [0997] 전자 주입층(130(2))을 형성하는 단계를 제외하고는 발광 소자 58과 같은 단계를 거쳐 발광 소자 59를 제작하였다.
- [0998] 전자 주입층(130(1)) 위에, 발광 소자 59의 전자 주입층(130(2))으로서, HATNA 및 Au을 HATNA:Au=1:0.5의 중량비로 두께 5nm가 되도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다.
- [0999] <<발광 소자 60의 제작>>
- [1000] 전자 수송층(118(2)) 및 전자 주입층(130)을 형성하는 단계를 제외하고는 발광 소자 58과 같은 단계를 거쳐 발광 소자 60을 제작하였다.
- [1001] 전자 수송층(118(1)) 위에, 발광 소자 60의 전자 수송층(118(2))으로서, NBPhen을 두께 15nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.
- [1002] 전자 수송층(118(2)) 위에, 전자 주입층(130)으로서, Alq_3 및 Cu을 $\text{Alq}_3:\text{Cu}=1:0.15$ 의 중량비로 두께 5nm가 되도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다.
- [1003] <<발광 소자 61의 제작>>
- [1004] 전자 주입층(130)을 형성하는 단계를 제외하고는 발광 소자 58과 같은 단계를 거쳐 발광 소자 61을 제작하였다.
- [1005] 전자 수송층(118(2)) 위에, 발광 소자 61의 전자 주입층(130(1))으로서, NBPhen 및 Cu을 NBPhen:Cu=1:0.15의 중량비로 두께 5nm가 되도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다.
- [1006] 전자 주입층(130(1)) 위에, 전자 주입층(130(2))으로서, HATNA 및 Cu을 HATNA:Cu=1:0.15의 중량비로 두께 5nm

가 되도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다.

[1007] <<발광 소자 62의 제작>>

[1008] 전자 수송층(118(2)) 및 전자 주입층(130)을 형성하는 단계를 제외하고는 발광 소자 58과 같은 단계를 거쳐 발광 소자 62를 제작하였다.

[1009] 전자 수송층(118(1)) 위에, 발광 소자 62의 전자 수송층(118(2))으로서, NBPhen을 두께 15nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.

[1010] 전자 수송층(118(2)) 위에, 전자 주입층(130)으로서, Alq₃ 및 Mn를 Alq₃:Mn=1:0.15의 중량비로 두께 5nm가 되도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다.

[1011] <<발광 소자 63의 제작>>

[1012] 전자 주입층(130(2))을 형성하는 단계를 제외하고는 발광 소자 58과 같은 단계를 거쳐 발광 소자 63을 제작하였다.

[1013] 전자 주입층(130(1)) 위에, 발광 소자 63의 전자 주입층(130(2))으로서, HATNA 및 Co를 HATNA:Co=1:0.15의 중량비로 두께 5nm가 되도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다.

[1014] <발광 소자의 특성>

[1015] 다음으로, 제작한 발광 소자 58 내지 발광 소자 63의 소자 특성을 측정하였다. 측정은 실시예 1과 비슷한 방법으로 수행하였다.

[1016] 도 94는 제작한 발광 소자 58 내지 발광 소자 63의 전류 효율-휘도 특성을 나타낸 것이고, 도 95는 그 전류-전압 특성을 나타낸 것이고, 도 96은 그 외부 양자 효율-휘도 특성을 나타낸 것이다. 도 97은 전류 밀도 2.5mA/cm²로 전류를 흘릴 때의 발광 소자의 전계 발광 스펙트럼을 나타낸 것이다.

[1017] 1000cd/m² 근방에서의 발광 소자 58 내지 발광 소자 63의 소자 특성을 표 52에 나타내었다.

[1018] [표 52]

| | 전압 (V) | 전류 밀도 (mA/cm ²) | CIE 색도 (x, y) | 휘도 (cd/m ²) | 전류 효율 (cd/A) | 전력 효율 (lm/W) | 외부 양자 효율(%) |
|-------------|-----------|--------------------------------|------------------|----------------------------|-----------------|-----------------|----------------|
| 발광 소자 58 | 3.20 | 2.60 | (0.67, 0.33) | 928 | 35.6 | 35.0 | 29.5 |
| 발광 소자 59 | 3.00 | 2.78 | (0.67, 0.33) | 968 | 34.8 | 36.5 | 29.0 |
| 발광 소자 60 | 3.80 | 2.79 | (0.67, 0.33) | 965 | 34.6 | 28.6 | 28.5 |
| 발광 소자 61 | 3.00 | 2.51 | (0.67, 0.33) | 847 | 33.8 | 35.4 | 27.9 |
| 발광 소자 62 | 4.60 | 3.53 | (0.66, 0.34) | 1091 | 30.9 | 21.1 | 24.0 |
| 발광 소자 63 | 3.10 | 3.23 | (0.66, 0.34) | 1019 | 31.5 | 32.0 | 25.6 |

[1019]

[1020] 도 96 및 표 52에 나타낸 바와 같이, 발광 소자 58 내지 발광 소자 63 각각은 외부 양자 효율이 20%를 넘는 높은 발광 효율을 나타내었다. 도 94 및 표 52에 나타낸 바와 같이, 발광 소자 58 내지 발광 소자 63은 높은 전류 효율도 나타내었다.

[1021] 도 95에 나타낸 바와 같이, 발광 소자 58 내지 발광 소자 63은 양호한 전류-전압 특성을 나타내었고, 이것은 전자 주입층에서, 전이 금속과 비공유 전자쌍을 가지는 유기 화합물의 복합 재료의 전이 금속으로서 Au, Cu, Mn, 또는 Co를 사용할 수 있다는 것을 나타낸다.

[1022] 도 97에 나타낸 바와 같이, 발광 소자 58 내지 발광 소자 63 각각은 전계 발광 스펙트럼이 약 618nm에 피크 파장을 가지고 반값전폭이 약 57nm인 적색 발광을 나타내었다. 얻어진 전계 발광 스펙트럼에 의하여, 광이 게스트 재료인 Ir(dmdppr-dmp)₂(dmp)로부터 방출되는 것을 알 수 있다.

[1023] <발광 소자의 신뢰성 시험>

[1024] 발광 소자 58 내지 발광 소자 63에 대하여 항온항습 보존 시험을 수행하였다. 발광 소자 각각은 밀봉되지 않으므로 음극 및 EL층이 시험 환경의 분위기에 노출된다. 측정은 상술한 실시예와 비슷한 방법으로 수행하였다.

[1025] 향온항습 보존 시험 전후의 발광 면적 비율을 산출함으로써 발광 상태를 평가하였다. 발광 소자 58 내지 발광 소자 63의 3개의 샘플 각각에 대하여 향온항습 보존 시험을 수행하였다. 3개의 샘플의 평균 발광 면적을 표 53에 나타내었다.

[1026] [표 53]

| | 발광 면적비 |
|----------|--------|
| 발광 소자 58 | 83% |
| 발광 소자 59 | 84% |
| 발광 소자 60 | 75% |
| 발광 소자 61 | 67% |
| 발광 소자 62 | 76% |
| 발광 소자 63 | 87% |

[1027]

[1028] 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자 58 내지 발광 소자 63 각각은 향온항습 보존 시험 후에 65% 이상의 발광 면적 비율을 유지하고, 이것은 발광 소자 58 내지 발광 소자 63의 습기 저항이 양호한 것을 나타낸다. 따라서, 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자에는 Au, Cu, Mn, 또는 Co를 적합하게 사용할 수 있다.

[1029] 상술한 바와 같이, 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자에 Au, Cu, Mn, 또는 Co를 사용할 수 있다. 본 실시예에 나타낸 구조를 다른 실시형태 및 실시예 중 임의의 것과 적절히 조합하여 사용할 수 있다.

[1030] (실시예 17)

[1031] 본 실시예에서는, 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자 65 및 발광 소자 66, 및 비교 발광 소자 64의 제작예에 대하여 설명한다. 본 실시예에서 제작한 발광 소자의 단면 모식도를 도 12에 나타내었다. 자세한 소자 구조를 표 54에 나타내었다. 본 실시예에서 사용한 화합물의 구조 및 약칭에 대해서는 상술한 실시예 및 실시형태를 참조할 수 있다.

[1032] [표 54]

| | 층 | 부호 | 두께(nm) | 재료 | 중량비 |
|-------------|--------|--------|--------|-----------------------------|--------|
| 비교 발광 소자 64 | 전극 | 102 | 200 | Al | - |
| | 전자 주입층 | 130 | 0.2 | Li ₂ O | - |
| | 전자 수송층 | 118(2) | 20 | NBPhen | - |
| | | 118(1) | 5 | cgDBCzPA | - |
| | 발광층 | 140 | 25 | cgDBCzPA: 1,6mMemFLPAPrn | 1:0.03 |
| | 정공 수송층 | 112 | 20 | PCPPn | - |
| | 정공 주입층 | 111 | 20 | DBT3P-II:MoO ₃ | 1:0.5 |
| 발광 소자 65 | 전극 | 101 | 70 | ITSO | - |
| | 전극 | 102 | 200 | Al | - |
| | 전자 주입층 | 130(2) | 5 | Alq:Ag | 1:0.3 |
| | | 130(1) | 5 | NBPhen:Ag | 1:0.3 |
| | 전자 수송층 | 118(2) | 10 | NBPhen | - |
| | | 118(1) | 5 | cgDBCzPA | - |
| | 발광층 | 140 | 25 | cgDBCzPA: 1,6mMemFLPAPrn | 1:0.03 |
| 발광 소자 66 | 정공 수송층 | 112 | 20 | PCPPn | - |
| | 정공 주입층 | 111 | 20 | DBT3P-II:MoO ₃ | 1:0.5 |
| | 전극 | 101 | 70 | ITSO | - |
| | 전극 | 102 | 200 | Al | - |
| | 전자 주입층 | 130(2) | 5 | HATNA:Ag | 1:0.3 |
| | | 130(1) | 5 | NBPhen:Ag | 1:0.3 |
| | 전자 수송층 | 118(2) | 10 | NBPhen | - |
| | | 118(1) | 5 | cgDBCzPA | - |
| 발광 소자 66 | 발광층 | 140 | 25 | cgDBCzPA: 1,6mMemFLPAPrn | 1:0.03 |
| | 정공 수송층 | 112 | 20 | PCPPn | - |
| | 정공 주입층 | 111 | 20 | DBT3P-II:MoO ₃ | 1:0.5 |
| | 전극 | 101 | 70 | ITSO | - |

[1033]

[1034] <발광 소자의 제작>

[1035] 아래에서, 본 실시예의 발광 소자의 제작 방법에 대하여 설명한다. 본 실시예에 나타낸 발광 소자는 형광을 방출한다.

- [1036] <<비교 발광 소자 64의 제작>>
- [1037] 기관(210) 위에, 전극(101)으로서, ITS0막을 두께 70nm가 되도록 형성하였다. 또한 전극(101)의 전극 면적은 $4\text{mm}^2(2\text{mm} \times 2\text{mm})$ 로 하였다.
- [1038] 이 후, 전극(101) 위에, 정공 주입층(111)으로서, DBT3P-II 및 산화 몰리브데넘(MoO_3)을 DBT3P-II: $\text{MoO}_3=1:0.5$ 의 중량비로 두께 20nm가 되도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다.
- [1039] 이 후, 정공 주입층(111) 위에, 정공 수송층(112)으로서, PCPPn을 두께 20nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.
- [1040] 이 후, 정공 수송층(112) 위에, 발광층(140)으로서, cgDBCzPA 및 1,6MemFLPAPr_n이 cgDBCzPA:1,6MemFLPAPr_n=1:0.03의 중량비로 두께 25nm가 되도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다. 또한 발광층(140)에서 cgDBCzPA는 호스트 재료이고, 1,6MemFLPAPr_n은 게스트 재료(형광성 화합물)이다.
- [1041] 다음으로, 발광층(140) 위에, 전자 수송층(118(1))으로서, cgDBCzPA를 두께 5nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.
- [1042] 이 후, 전자 수송층(118(1)) 위에, 전자 수송층(118(2))으로서, NBPhen을 두께 20nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.
- [1043] 전자 수송층(118(2)) 위에, 전자 주입층(130)으로서, Li_2O 를 두께 0.2nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.
- [1044] 다음으로, 전자 주입층(130(2)) 위에, 전극(102)으로서, 알루미늄(Al)을 두께 200nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.
- [1045] 이 후, 밀봉시키지 않고 대기하에서 가열 처리를 80℃에서 1시간 동안 수행하였다. 상술한 단계를 거쳐 비교 발광 소자 58을 얻었다.
- [1046] <<발광 소자 65의 제작>>
- [1047] 전자 수송층(118(2)) 및 전자 주입층(130)을 형성하는 단계를 제외하고는 비교 발광 소자 64와 같은 단계를 거쳐 발광 소자 65를 제작하였다.
- [1048] 전자 수송층(118(1)) 위에, 발광 소자 65의 전자 수송층(118(2))으로서, NBPhen을 두께 10nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.
- [1049] 전자 수송층(118(2)) 위에, 전자 주입층(130(1))으로서, NBPhen 및 Ag을 NBPhen:Ag=1:0.3의 중량비로 두께 5nm가 되도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다.
- [1050] 전자 주입층(130(1)) 위에, 전자 주입층(130(2))으로서, Alq₃ 및 Ag을 Alq₃:Ag=1:0.3의 중량비로 두께 5nm가 되도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다.
- [1051] <<발광 소자 66의 제작>>
- [1052] 전자 주입층(130)을 형성하는 단계를 제외하고는 발광 소자 65와 같은 단계를 거쳐 발광 소자 66을 제작하였다.
- [1053] 전자 수송층(118(2)) 위에, 전자 주입층(130)으로서, HATNA 및 Ag을 HATNA:Ag=1:0.3의 중량비로 두께 5nm가 되도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다.
- [1054] <발광 소자의 특성>
- [1055] 다음으로, 제작한 비교 발광 소자 64 그리고 발광 소자 65 및 발광 소자 66의 소자 특성을 측정하였다. 측정은 실시예 1과 비슷한 방법으로 수행하였다.
- [1056] 도 98은 제작한 비교 발광 소자 64 그리고 발광 소자 65 및 발광 소자 66의 전류 효율-휘도 특성을 나타낸 것이고, 도 99는 그 전류-전압 특성을 나타낸 것이고, 도 100은 그 외부 양자 효율-휘도 특성을 나타낸 것이다. 도 101은 전류 밀도 $2.5\text{mA}/\text{cm}^2$ 로 전류를 흘릴 때의 발광 소자의 전계 발광 스펙트럼을 나타낸 것이다.
- [1057] $1000\text{cd}/\text{m}^2$ 부근에서의 비교 발광 소자 64 그리고 발광 소자 65 및 발광 소자 66의 소자 특성을 표 55에 나타내었다.

[1058] [표 55]

| | 전압 (V) | 전류 밀도 (mA/cm ²) | CIE 색도 (x, y) | 휘도 (cd/m ²) | 전류 효율 (cd/A) | 전력 효율 (lm/W) | 외부 양자 효율(%) |
|----------------|-----------|--------------------------------|------------------|----------------------------|-----------------|-----------------|----------------|
| 비교 발광 소자 64 | 3.00 | 6.92 | (0.14, 0.17) | 936 | 13.5 | 14.2 | 11.1 |
| 발광 소자 65 | 3.10 | 9.82 | (0.14, 0.17) | 1252 | 12.8 | 12.9 | 10.4 |
| 발광 소자 66 | 3.00 | 6.14 | (0.14, 0.17) | 768 | 12.4 | 13.0 | 10.2 |

[1059]

[1060]

도 100 및 표 55에 나타난 바와 같이, 비교 발광 소자 64 그리고 발광 소자 65 및 발광 소자 66은 형광 소자이지만, 이들 각각은 외부 양자 효율이 10%를 넘는 높은 발광 효율을 나타내었다. 도 98에 나타난 바와 같이, 비교 발광 소자 64 그리고 발광 소자 65 및 발광 소자 66은 높은 전류 효율도 나타내었다. 또한 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자 65 및 발광 소자 66은 전자 주입층에 일반적으로 사용되는 Li₂O를 사용한 비교 발광 소자 64와 동등한 높은 효율을 나타내었다.

[1061]

도 99에 나타난 바와 같이, 비교 발광 소자 64 그리고 발광 소자 65 및 발광 소자 66은 양호한 전류-전압 특성을 나타내었다. 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자 65 및 발광 소자 66은 전자 주입층에 일반적으로 사용되는 Li₂O를 사용한 비교 발광 소자 64와 동등한 전자 주입성을 가지는 것도 알았다.

[1062]

도 101에 나타난 바와 같이, 비교 발광 소자 64 그리고 발광 소자 65 및 발광 소자 66 각각은 전계 발광 스펙트럼이 약 466nm에 피크 파장을 가지고 반값전폭이 약 40nm인 청색 발광을 나타내었다. 얻어진 전계 발광 스펙트럼에 의하여, 광이 게스트 재료인 1,6mMemFLPAPrn으로부터 방출되는 것을 알 수 있다.

[1063]

<발광 소자의 신뢰성 시험>

[1064]

비교 발광 소자 64 그리고 발광 소자 65 및 발광 소자 66에 대하여 항온항습 보존 시험을 수행하였다. 발광 소자 각각은 밀봉되지 않으므로 음극 및 EL층이 시험 환경의 분위기에 노출된다. 측정은 상술한 실시예와 비슷한 방법으로 수행하였다.

[1065]

항온항습 보존 시험 전후의 발광 면적 비율을 산출함으로써 발광 상태를 평가하였다. 비교 발광 소자 64 그리고 발광 소자 65 및 발광 소자 66의 6개의 샘플 각각에 대하여 항온항습 보존 시험을 수행하였다. 발광 면적 비율이 높은 상위 3개의 샘플의 평균 발광 면적을 표 56에 나타내었다.

[1066]

[표 56]

| | 발광 면적비 |
|-------------|--------|
| 비교 발광 소자 64 | 0% |
| 발광 소자 65 | 79% |
| 발광 소자 66 | 82% |

[1067]

[1068]

본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자 65 및 발광 소자 66 각각은 항온항습 보존 시험 후에 약 80%의 발광 면적 비율을 유지하고, 이것은 발광 소자 65 및 발광 소자 66의 습기 저항이 양호한 것을 나타낸다. 표 56에 의하여, 발광 소자 65 및 발광 소자 66의 습기 저항이 비교 발광 소자 64보다 향상된 것도 알 수 있다. 따라서, 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자는 형광 소자에 적용된 경우, 양호한 습기 저항을 가질 수 있다.

[1069]

(실시예 18)

[1070]

본 실시예에서는, 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자 68 및 발광 소자 69, 및 비교 발광 소자 67의 제작에 대하여 설명한다. 본 실시예에서 제작한 발광 소자의 단면 모식도를 도 3의 (B)에 나타내었다. 자세한 소자 구조를 표 57 및 표 58에 나타내었다. 본 실시예에서 사용한 화합물의 구조 및 약칭에 대해서는 상술한 실시예 및 실시형태를 참조할 수 있다. 또한 비교 발광 소자 67은 전하 발생층(115)과 접한 전자 주입층(114)에 Li 화합물을 사용하고, 발광 소자 68 및 발광 소자 69는 전자 주입층(114)에 전이 금속과 유기 화합물의 복합 재료를 사용한, 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자이다.

[1071] [표 57]

| | 층 | 부호 | 두께(nm) | 재료 | 중량비 |
|----------------|--------|--------|--------|---|----------------|
| 비교 발광 소자 67 | 전극 | 102 | 200 | Al | - |
| | 전자 주입층 | 130 | 5 | NBPhen:Cu | 1:0.2 |
| | 전자 수송층 | 118(2) | 10 | NBPhen | - |
| | | 118(1) | 25 | 2mDBTPDBq-II | - |
| | 발광층 | 140 | 40 | 2mDBTPDBq-II:PCBBiF: Ir(dmdppr-dmp) ₂ (dpm) | 0.75:0.25:0.08 |
| | 정공 수송층 | 119 | 20 | PCBBiF | - |
| | 전하 발생층 | 115 | 80 | DBT3P-II:MoO ₃ | 1:0.5 |
| | 전자 주입층 | 114 | 0.2 | Li ₂ O | - |
| | 전자 수송층 | 113(2) | 20 | NBPhen | - |
| | | 113(1) | 10 | 2mDBTPDBq-II | - |
| | 발광층 | 170 | 40 | 2mDBTPDBq-II:PCBBiF: Ir(dmdppr-dmp) ₂ (dpm) | 0.75:0.25:0.08 |
| | 정공 수송층 | 112 | 20 | PCBBiF | - |
| 발광 소자 68 | 전극 | 101 | 110 | ITSO | - |
| | 전극 | 102 | 200 | Al | - |
| | 전자 주입층 | 130 | 5 | NBPhen:Cu | 1:0.2 |
| | 전자 수송층 | 118(2) | 10 | NBPhen | - |
| | | 118(1) | 25 | 2mDBTPDBq-II | - |
| | 발광층 | 140 | 40 | 2mDBTPDBq-II:PCBBiF: Ir(dmdppr-dmp) ₂ (dpm) | 0.75:0.25:0.08 |
| | 정공 수송층 | 119 | 20 | PCBBiF | - |
| | 전하 발생층 | 115 | 80 | DBT3P-II:MoO ₃ | 1:0.5 |
| | 전자 주입층 | 114 | 5 | NBPhen:Cu | 1:0.2 |
| | 전자 수송층 | 113(2) | 15 | NBPhen | - |
| | | 113(1) | 10 | 2mDBTPDBq-II | - |
| | 발광층 | 170 | 40 | 2mDBTPDBq-II:PCBBiF: Ir(dmdppr-dmp) ₂ (dpm) | 0.75:0.25:0.08 |
| 발광 소자 69 | 정공 수송층 | 112 | 20 | PCBBiF | - |
| | 정공 주입층 | 111 | 25 | DBT3P-II:MoO ₃ | 1:0.5 |
| | 전극 | 101 | 110 | ITSO | - |
| | 전극 | 102 | 200 | Al | - |
| | 전자 주입층 | 130 | 1 | LiF | - |
| | 전자 수송층 | 118(2) | 16 | NBPhen | - |
| | | 118(1) | 25 | 2mDBTPDBq-II | - |
| | 발광층 | 140 | 40 | 2mDBTPDBq-II:PCBBiF: Ir(dmdppr-dmp) ₂ (dpm) | 0.75:0.25:0.08 |
| | 정공 수송층 | 119 | 20 | PCBBiF | - |
| | 전하 발생층 | 115 | 80 | DBT3P-II:MoO ₃ | 1:0.5 |
| | 전자 주입층 | 114 | 5 | NBPhen:Mn | 1:0.15 |
| | 전자 수송층 | 113(2) | 16 | NBPhen | - |
| | | 113(1) | 10 | 2mDBTPDBq-II | - |
| 발광 소자 69 | 발광층 | 170 | 40 | 2mDBTPDBq-II:PCBBiF: Ir(dmdppr-dmp) ₂ (dpm) | 0.75:0.25:0.08 |
| | 정공 수송층 | 112 | 20 | PCBBiF | - |
| | 정공 주입층 | 111 | 25 | DBT3P-II:MoO ₃ | 1:0.5 |
| | 전극 | 101 | 110 | ITSO | - |

[1072]

[1073] [표 58]

| | 층 | 부호 | 두께(nm) | 재료 | 중량비 |
|----------------|--------|--------|--------|---|----------------|
| 비교 발광 소자 67 | 전극 | 102 | 200 | Al | - |
| | 전자 주입층 | 130 | 5 | NBPhen:Cu | 1:0.2 |
| | 전자 수송층 | 118(2) | 10 | NBPhen | - |
| | | 118(1) | 25 | 2mDBTPDBq-II | - |
| | 발광층 | 140 | 40 | 2mDBTPDBq-II:PCBBiF: Ir(dmdppr-dmp) ₂ (dpm) | 0.75:0.25:0.08 |
| | 정공 수송층 | 119 | 20 | PCBBiF | - |
| | 전하 발생층 | 115 | 80 | DBT3P-II:MoO ₃ | 1:0.5 |
| | 전자 주입층 | 114 | 0.2 | Li ₂ O | - |
| | 전자 수송층 | 113(2) | 20 | NBPhen | - |
| | | 113(1) | 10 | 2mDBTPDBq-II | - |
| | 발광층 | 170 | 40 | 2mDBTPDBq-II:PCBBiF: Ir(dmdppr-dmp) ₂ (dpm) | 0.75:0.25:0.08 |
| | 정공 수송층 | 112 | 20 | PCBBiF | - |
| 발광 소자 68 | 전극 | 101 | 110 | ITSO | - |
| | 전극 | 102 | 200 | Al | - |
| | 전자 주입층 | 130 | 5 | NBPhen:Cu | 1:0.2 |
| | 전자 수송층 | 118(2) | 10 | NBPhen | - |
| | | 118(1) | 25 | 2mDBTPDBq-II | - |
| | 발광층 | 140 | 40 | 2mDBTPDBq-II:PCBBiF: Ir(dmdppr-dmp) ₂ (dpm) | 0.75:0.25:0.08 |
| | 정공 수송층 | 119 | 20 | PCBBiF | - |
| | 전하 발생층 | 115 | 80 | DBT3P-II:MoO ₃ | 1:0.5 |
| | 전자 주입층 | 114 | 5 | NBPhen:Cu | 1:0.2 |
| | 전자 수송층 | 113(2) | 15 | NBPhen | - |
| | | 113(1) | 10 | 2mDBTPDBq-II | - |
| | 발광층 | 170 | 40 | 2mDBTPDBq-II:PCBBiF: Ir(dmdppr-dmp) ₂ (dpm) | 0.75:0.25:0.08 |
| 발광 소자 69 | 정공 수송층 | 112 | 20 | PCBBiF | - |
| | 정공 주입층 | 111 | 25 | DBT3P-II:MoO ₃ | 1:0.5 |
| | 전극 | 101 | 110 | ITSO | - |
| | 전극 | 102 | 200 | Al | - |
| | 전자 주입층 | 130 | 1 | LiF | - |
| | 전자 수송층 | 118(2) | 16 | NBPhen | - |
| | | 118(1) | 25 | 2mDBTPDBq-II | - |
| | 발광층 | 140 | 40 | 2mDBTPDBq-II:PCBBiF: Ir(dmdppr-dmp) ₂ (dpm) | 0.75:0.25:0.08 |
| | 정공 수송층 | 119 | 20 | PCBBiF | - |
| | 전하 발생층 | 115 | 80 | DBT3P-II:MoO ₃ | 1:0.5 |
| | 전자 주입층 | 114 | 5 | NBPhen:Mn | 1:0.15 |
| | 전자 수송층 | 113(2) | 16 | NBPhen | - |
| | | 113(1) | 10 | 2mDBTPDBq-II | - |
| 발광 소자 69 | 발광층 | 170 | 40 | 2mDBTPDBq-II:PCBBiF: Ir(dmdppr-dmp) ₂ (dpm) | 0.75:0.25:0.08 |
| | 정공 수송층 | 112 | 20 | PCBBiF | - |
| | 정공 주입층 | 111 | 25 | DBT3P-II:MoO ₃ | 1:0.5 |
| | 전극 | 101 | 110 | ITSO | - |

[1074]

[1075] <<비교 발광 소자 67의 제작>>

[1076] 전극(101)으로서, ITSO막을 두께 110nm가 되도록 형성하였다. 또한 전극(101)의 전극 면적은 4mm²(2mm×2mm)로 하였다.

[1077] 이 후, 전극(101) 위에, 정공 주입층(111)으로서, DBT3P-II 및 산화 몰리브덴(MoO₃)을 DBT3P-II:MoO₃=1:0.5의 중량비로 두께 25nm가 되도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다.

[1078] 이 후, 정공 주입층(111) 위에, 정공 수송층(112)으로서, PCBBiF를 두께 20nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.

[1079] 이 후, 정공 수송층(112) 위에, 발광층(170)으로서, 2mDBTPDBq-II, PCBBiF, 및 Ir(dmdppr-dmp)₂(dpm)을 2mDBTPDBq-II:PCBBiF:Ir(dmdppr-dmp)₂(dpm)=0.75:0.25:0.08의 중량비로 두께 40nm가 되도록 동시 증착에 의하여

여 퇴적시켰다. 또한 발광층(170)에서, 2mDBTPDBq-II 및 PCBBiF는 호스트 재료이고, Ir(dmdppr-dmp)₂(dpm)은 게스트 재료(인광성 화합물)이다.

- [1080] 다음으로, 발광층(170) 위에, 전자 수송층(113(1))으로서, 2mDBTPDBq-II를 두께 10nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.
- [1081] 이 후, 전자 수송층(113(1)) 위에, 전자 수송층(113(2))으로서, NBPhen을 두께 20nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.
- [1082] 전자 수송층(113(2)) 위에, 전자 주입층(114)으로서, Li₂O를 두께 0.2nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.
- [1083] 이 후, 전자 주입층(114) 위에, 전하 발생층(115)으로서, DBT3P-II와 MoO₃을 DBT3P-II:MoO₃=1:0.5의 중량비로 두께 80nm가 되도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다.
- [1084] 이 후, 전하 발생층(115) 위에, 정공 수송층(119)으로서, PCBBiF를 두께 20nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.
- [1085] 이 후, 정공 수송층(119) 위에, 발광층(140)으로서, 2mDBTPDBq-II, PCBBiF, 및 Ir(dmdppr-dmp)₂(dpm)을 2mDBTPDBq-II:PCBBiF:Ir(dmdppr-dmp)₂(dpm)=0.75:0.25:0.08의 중량비로 두께 40nm가 되도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다. 또한 발광층(140)에서, 2mDBTPDBq-II 및 PCBBiF는 호스트 재료이고, Ir(dmdppr-dmp)₂(dpm)은 게스트 재료(인광성 화합물)이다.
- [1086] 다음으로, 발광층(140) 위에, 전자 수송층(118(1))으로서, 2mDBTPDBq-II를 두께 25nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.
- [1087] 이 후, 전자 수송층(118(1)) 위에, 전자 수송층(118(2))으로서, NBPhen을 두께 10nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.
- [1088] 전자 수송층(118(2)) 위에, 전자 주입층(130)으로서, NBPhen 및 Cu를 NBPhen:Cu=1:0.2의 중량비로 두께 5nm가 되도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다.
- [1089] 다음으로, 전자 주입층(130) 위에, 전극(102)으로서, 알루미늄(Al)을 두께 200nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.
- [1090] 다음으로, 질소 분위기를 포함한 글러브 박스 내에서, 유기 EL 장치용 실재를 사용하여, 유기 화합물이 퇴적된 기관에 밀봉 기관을 고정함으로써 발광 소자 67을 밀봉하였다. 밀봉은 상술한 실시예와 비슷한 방법으로 수행하였다. 상술한 단계를 거쳐 비교 발광 소자 67을 얻었다.
- [1091] <<발광 소자 68의 제작>>
- [1092] 전자 수송층(113(2)) 및 전자 주입층(114)을 형성하는 단계를 제외하고는 비교 발광 소자 67과 같은 단계를 거쳐 발광 소자 68을 제작하였다.
- [1093] 전자 수송층(113(1)) 위에, 발광 소자 68의 전자 수송층(113(2))으로서, NBPhen을 두께 15nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.
- [1094] 전자 수송층(113(2)) 위에, 전자 주입층(114)으로서, NBPhen 및 Cu를 NBPhen:Cu=1:0.2의 중량비로 두께 5nm가 되도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다.
- [1095] <<발광 소자 69의 제작>>
- [1096] 전자 수송층(113(2)), 전자 주입층(114), 및 전자 주입층(130)을 형성하는 단계를 제외하고는 비교 발광 소자 67과 같은 단계를 거쳐 발광 소자 69를 제작하였다.
- [1097] 전자 수송층(113(1)) 위에, 발광 소자 69의 전자 주입층(113(2))으로서, NBPhen을 두께 15nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.
- [1098] 전자 수송층(113(2)) 위에, 전자 주입층(114)으로서, NBPhen 및 Mn를 NBPhen:Mn=1:0.15의 중량비로 두께 5nm가 되도록 동시 증착에 의하여 퇴적시켰다.

[1099] 전자 수송층(113(2)) 위에, 전자 주입층(130)으로서, LiF을 두께 1nm가 되도록 증착에 의하여 퇴적시켰다.

[1100] <발광 소자의 특성>

[1101] 다음으로, 제작한 비교 발광 소자 67 그리고 발광 소자 68 및 발광 소자 69의 소자 특성을 측정하였다. 측정은 실시예 1과 비슷한 방법으로 수행하였다.

[1102] 도 102는 제작한 비교 발광 소자 67 그리고 발광 소자 68 및 발광 소자 69의 전류-휘도 특성을 나타낸 것이고, 도 103은 그 전류-전압 특성을 나타낸 것이고, 도 104는 그 외부 양자 효율-휘도 특성을 나타낸 것이다. 도 105는 전류 밀도 $2.5\text{mA}/\text{cm}^2$ 로 전류를 흘릴 때의 발광 소자의 전계 발광 스펙트럼을 나타낸 것이다.

[1103] $1000\text{cd}/\text{m}^2$ 부근에서의 비교 발광 소자 67 그리고 발광 소자 68 및 발광 소자 69의 소자 특성을 표 59에 나타내었다.

[1104] [표 59]

| | 전압 (V) | 전류 밀도 (mA/cm^2) | CIE 색도 (x, y) | 휘도 (cd/m^2) | 전류 효율 (cd/A) | 전력 효율 (lm/W) | 외부 양자 효율(%) |
|----------------|-----------|--------------------------------------|------------------|----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------|
| 비교 발광 소자 67 | 6.40 | 1.43 | (0.68, 0.33) | 1036 | 72.8 | 35.6 | 55.2 |
| 발광 소자 68 | 5.80 | 1.67 | (0.68, 0.33) | 1182 | 71.0 | 38.4 | 54.9 |
| 발광 소자 69 | 7.20 | 1.46 | (0.66, 0.34) | 908 | 62.2 | 27.2 | 44.1 |

[1105]

[1106] 도 104 및 표 59에 나타낸 바와 같이, 비교 발광 소자 67 그리고 발광 소자 68 및 발광 소자 69 각각은 외부 양자 효율이 40%를 넘는 높은 발광 효율을 나타내었다. 도 102에 나타낸 바와 같이, 비교 발광 소자 67 그리고 발광 소자 68 및 발광 소자 69는 높은 전류 효율도 나타내었다.

[1107] 도 103에 나타낸 바와 같이, 비교 발광 소자 67 그리고 발광 소자 68 및 발광 소자 69는 양호한 전류-전압 특성을 나타내었고, 이것은 전자 주입층(114)에서 전이 금속과 비공유 전자쌍을 가지는 유기 화합물의 복합 재료의 전이 금속으로서 Cu 또는 Mn를 사용할 수 있다는 것을 나타낸다.

[1108] 도 105에 나타낸 바와 같이, 비교 발광 소자 67 그리고 발광 소자 68 및 발광 소자 69 각각은 전계 발광 스펙트럼이 약 618nm에 피크 파장을 가지고 반값전폭이 약 53nm인 적색 발광을 나타내었다. 얻어진 전계 발광 스펙트럼에 의하여, 광이 게스트 재료인 $\text{Ir}(\text{dmdppr-dmp})_2(\text{dmp})$ 로부터 방출되는 것을 알 수 있다.

[1109] <발광 소자의 신뢰성 시험>

[1110] 다음으로, 비교 발광 소자 67 및 발광 소자 68의 구동 수명 시험을 수행하였다. 구동 수명 시험의 측정 결과로 도 106에 나타내었다. 또한 구동 수명 시험에서는, 각 발광 소자를 $25\text{mA}/\text{cm}^2$ 의 일정한 전류 밀도로 연속 구동하였다.

[1111] 도 106에 나타낸 바와 같이, 발광 소자 68은 비교 발광 소자 67보다 긴 구동 수명을 나타내었다. 이것은 전자 주입층(114)에 유기 화합물과 전이 금속의 복합 재료를 사용한 발광 소자는 신뢰성이 양호하다는 것을 나타낸다.

[1112] (실시예 19)

[1113] 본 실시예에서는, 유기 화합물과 전이 금속의 복합 재료로 형성된 박막의 ESR 측정 결과에 대하여 설명한다.

[1114] <ESR 측정용 박막의 제작>

[1115] 아래에서, ESR 측정용 박막의 제작 방법에 대하여 설명한다.

[1116] 석영 기판 위에, 박막 1로서, NBPhen 및 Ag을 NBPhen:Ag=1:0.19의 중량비로 두께 100nm가 되도록 진공 증착에 의하여 퇴적시켰다. 또한 NBPhen 대 Ag의 몰 비율은 1:1로 하였다.

[1117] 박막 2로서, NBPhen 및 Cu를 NBPhen:Cu=1:0.11의 중량비로 두께 100nm가 되도록 형성하였다.

- [1118] 박막 3으로서, HATNA 및 Ag을 HATNA:Ag=1:0.28의 중량비로 두께 100nm가 되도록 형성하였다.
- [1119] 박막 4로서, HATNA 및 Cu를 HATNA:Cu=1:0.17의 중량비로 두께 100nm가 되도록 형성하였다.
- [1120] 박막 5로서, HATNA 및 Au를 HATNA:Au=1:0.52의 중량비로 두께 100nm가 되도록 형성하였다.
- [1121] 비교 박막 6으로서, NBPhen 및 Li을 NBPhen:Li=1:0.015의 중량비로 두께 100nm가 되도록 형성하였다.
- [1122] 비교 박막 7로서, NBPhen 및 Li₂O을 NBPhen:Li₂O=1:0.05의 중량비로 두께 100nm가 되도록 형성하였다.
- [1123] 유기 화합물 단체로 이루어진 비교 박막 8로서, 석영 기판 위에, NBPhen을 두께 100nm가 되도록 진공 증착에 의하여 퇴적시켰다.
- [1124] ESR는 전자 스핀 공명 장치(E500, Hitachi High-Technologies Corporation 제조)를 사용하여 측정하였다. 측정 조건으로서, 측정 온도를 실온(23℃)으로 하고, 9.2GHz의 고주파 전력(마이크로파 파워) 1mW를 인가하고, 자기장 방향을 박막의 표면과 평행하게 하였다.
- [1125] 도 107은 박막 1 및 비교 박막 8을 ESR에 의하여 측정함으로써 얻은 1차 미분 곡선을 나타낸 것이다. 도 107에서는, 박막 1에서 NBPhen과 Ag이 상호 작용하여 형성된 SOMO에서 유래하는 시그널이 약 $g=2.029$ 에서 관찰되었다. 한편, 비교 박막 8에서는 시그널이 관찰되지 않았다.
- [1126] 박막 1 내지 박막 5 및 비교 박막 6 내지 비교 박막 8의 ESR 측정 결과로부터 산출된 스핀 밀도를 표 60에 나타내었다. 박막 1 내지 박막 5 그리고 비교 박막 6 및 비교 박막 7 각각의 스핀 밀도는 1×10^{17} spins/cm³ 이상이었다. 따라서 본 발명의 일 형태에서 사용할 수 있는 박막 1 내지 박막 5는 도 3의 (A) 및 (B)의 전자 주입층(130) 및 전자 주입층(114)에 적합하게 사용할 수 있다.

[1127] [표 60]

| | 스핀 밀도[spins/cm ³] |
|---------------------------------------|-------------------------------|
| NBPhen (비교 박막 8) | - |
| NBPhen+Ag (박막 1) | 2.3E+17 |
| NBPhen+Cu (박막 2) | 2.3E+18 |
| HATNA+Ag (박막 3) | 3.3E+17 |
| HATNA+Cu (박막 4) | 5.1E+18 |
| HATNA+Au (박막 5) | 1.2E+19 |
| NBPhen+Li (비교 박막 6) | 6.5E+17 |
| NBPhen+Li ₂ O (비교 박막 7) | 6.2E+17 |

- [1128]
- [1129] 박막 1 및 박막 3 각각의 스핀 밀도는 5×10^{17} spins/cm³ 이하이었다. 따라서 본 발명의 일 형태에서 사용할 수 있는 박막 1 및 박막 3은 전하 발생층에 적합하게 사용할 수 있고 크로스토크를 효과적으로 저감할 수 있다.
- [1130] (실시예 20)
- [1131] 본 실시예에서는, 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자 70 내지 발광 소자 73, 및 비교 발광 소자 74의 제작에 대하여 설명한다. 본 실시예에서 제작한 발광 소자의 단면 모식도를 도 70에 나타내었다. 자세한 소자 구조를 표 61 및 표 62에 나타내었다. 또한 소자의 제작 단계에 대해서는 상술한 실시예와 비슷하기 때문에 설명하지 않는다. 본 실시예에서 사용한 화합물의 구조 및 약칭에 대해서는 상술한 실시예를 참조할 수 있다. 또한 발광 소자 70 내지 발광 소자 73은 전자 주입층(4130)에서 전이 금속과 비공유 전자쌍을 가지는 유기 화합물의 복합 재료의 전이 금속으로서 Cu, Au, Mn, 및 Co를 각각 사용한다. 비교 발광 소자 74는 전자 주입층(4130)에 Li 화합물을 사용한다.

[1132] [표 61]

| | 층 | 부호 | 두께(nm) | 재료 | 중량비 |
|----------|--------|---------|--------|--|----------------|
| 발광 소자 70 | 전극 | +102 | 200 | Al | - |
| | 전하 발생층 | +135 | 15 | DBT3P-II:MoO ₃ | 1:0.5 |
| | 전자 주입층 | +130 | 0.2 | 1'BPhen:Cu | 1:0.15 |
| | 전자 수송층 | +118(2) | 15 | 1'BPhen | - |
| | | +118(1) | 5 | 2mDBTBPD Bq-II | - |
| | 발광층 | +140 | 40 | 2mDBTBPD Bq-II:FCBBiF Ir(dmdppr-dmp) ₂ (dpm) | 0.75:0.25:0.08 |
| | 정공 수송층 | +112 | 20 | PCBBiF | - |
| | 정공 주입층 | +111 | 25 | DBT3P-II:MoO ₃ | 1:0.5 |
| | 전극 | +101 | 110 | ITO | - |
| | 전극 | +102 | 200 | Al | - |
| 발광 소자 71 | 전하 발생층 | +135 | 15 | DBT3P-II:MoO ₃ | 1:0.5 |
| | 전자 주입층 | +130(2) | 5 | Alq3:Ag | 1:0.3 |
| | | +130(1) | 5 | 1'BPhen:Ag | 1:0.15 |
| | 전자 수송층 | +118(2) | 10 | 1'BPhen | - |
| | | +118(1) | 5 | 2mDBTBPD Bq-II | - |
| | 발광층 | +140 | 40 | 2mDBTBPD Bq-II:FCBBiF Ir(dmdppr-dmp) ₂ (dpm) | 0.75:0.25:0.08 |
| | 정공 수송층 | +112 | 20 | PCBBiF | - |
| | 정공 주입층 | +111 | 25 | DBT3P-II:MoO ₃ | 1:0.5 |
| | 전극 | +101 | 110 | ITO | - |
| | 전극 | +102 | 200 | Al | - |
| 발광 소자 72 | 전하 발생층 | +135 | 15 | DBT3P-II:MoO ₃ | 1:0.5 |
| | 전자 주입층 | +130(2) | 5 | HAT1A:Mn | 1:0.15 |
| | | +130(1) | 5 | 1'BPhen:Ag | 1:0.3 |
| | 전자 수송층 | +118(2) | 15 | 1'BPhen | - |
| | | +118(1) | 5 | 2mDBTBPD Bq-II | - |
| | 발광층 | +140 | 40 | 2mDBTBPD Bq-II:FCBBiF Ir(dmdppr-dmp) ₂ (dpm) | 0.75:0.25:0.08 |
| | 정공 수송층 | +112 | 20 | PCBBiF | - |
| | 정공 주입층 | +111 | 25 | DBT3P-II:MoO ₃ | 1:0.5 |
| | 전극 | +101 | 110 | ITO | - |
| | 전극 | +102 | 200 | Al | - |

[1133]

[1134] [표 62]

| | 층 | 부호 | 두께(nm) | 재료 | 중량비 |
|-------------|--------|---------|--------|--|----------------|
| 발광 소자 73 | 전극 | +102 | 200 | Al | - |
| | 전하 발생층 | +135 | 15 | DBT3P-II:MoO ₃ | 1:0.5 |
| | 전자 주입층 | +130(2) | 5 | HAT1A:Co | 1:0.15 |
| | | +130(1) | 5 | 1'BPhen:Ag | 1:0.3 |
| | 전자 수송층 | +118(2) | 15 | 1'BPhen | - |
| | | +118(1) | 5 | 2mDBTBPD Bq-II | - |
| | 발광층 | +140 | 40 | 2mDBTBPD Bq-II:FCBBiF Ir(dmdppr-dmp) ₂ (dpm) | 0.75:0.25:0.08 |
| | 정공 수송층 | +112 | 20 | PCBBiF | - |
| | 정공 주입층 | +111 | 25 | DBT3P-II:MoO ₃ | 1:0.5 |
| | 전극 | +101 | 110 | ITO | - |
| 비교 발광 소자 74 | 전극 | +102 | 200 | Al | - |
| | 전하 발생층 | +135 | 15 | DBT3P-II:MoO ₃ | 1:0.5 |
| | 전자 주입층 | +130(1) | 0.2 | Li ₂ O | - |
| | | +118(2) | 20 | 1'BPhen | - |
| | 전자 수송층 | +118(1) | 5 | 2mDBTBPD Bq-II | - |
| | | | | | |
| | 발광층 | +140 | 40 | 2mDBTBPD Bq-II:FCBBiF Ir(dmdppr-dmp) ₂ (dpm) | 0.75:0.25:0.08 |
| | 정공 수송층 | +112 | 20 | PCBBiF | - |
| | 정공 주입층 | +111 | 25 | DBT3P-II:MoO ₃ | 1:0.5 |
| | 전극 | +101 | 110 | ITO | - |

[1135]

[1136] <발광 소자의 특성>

[1137] 다음으로, 제작한 발광 소자 70 내지 발광 소자 73 및 비교 발광 소자 74의 소자 특성을 측정하였다. 측정은 실시예 1과 비슷한 방법으로 수행하였다.

[1138] 도 108은 제작한 발광 소자 70 내지 발광 소자 73 및 비교 발광 소자 74의 전류 효율-휘도 특성을 나타낸 것이고, 도 109는 그 전류-전압 특성을 나타낸 것이고, 도 110은 그 외부 양자 효율-휘도 특성을 나타낸 것이다. 도 111은 전류 밀도 2.5mA/cm²로 전류를 흘릴 때의 발광 소자의 전계 발광 스펙트럼을 나타낸 것이다.

[1139] 1000cd/m² 부근에서의 발광 소자 70 내지 발광 소자 73 및 비교 발광 소자 74의 소자 특성을 표 63에 나타내었다.

[1140] [표 63]

| | 전압 (V) | 전류 밀도 (mA/cm ²) | CIE 색도 (x, y) | 휘도 (cd/m ²) | 전류 효율 (cd/A) | 전력 효율 (lm/W) | 외부 양자 효율(%) |
|----------------|-----------|--------------------------------|------------------|----------------------------|-----------------|-----------------|----------------|
| 발광 소자 70 | 8.00 | 2.72 | (0.668, 0.333) | 1150 | 33.1 | 34.7 | 28.8 |
| 발광 소자 71 | 8.60 | 2.77 | (0.669, 0.331) | 968 | 35.0 | 30.5 | 29.8 |
| 발광 소자 72 | 2.80 | 3.29 | (0.666, 0.334) | 1111 | 33.8 | 37.9 | 27.8 |
| 발광 소자 73 | 2.90 | 3.25 | (0.666, 0.334) | 960 | 29.5 | 32.0 | 24.8 |
| 비교 발광 소자 74 | 3.40 | 2.89 | (0.667, 0.331) | 965 | 33.4 | 30.9 | 28.5 |

[1141]

[1142] 도 110 및 표 63에 나타난 바와 같이, 발광 소자 70 내지 발광 소자 73 및 비교 발광 소자 74 각각은 외부 양자 효율이 25%를 넘는 높은 발광 효율을 나타내었다. 도 108에 나타난 바와 같이, 발광 소자 70 내지 발광 소자 73 및 비교 발광 소자 74는 높은 전류 효율도 나타내었다. 또한 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자 70 내지 발광 소자 73은 전자 주입층에 일반적으로 사용되는 Li₂O를 사용한 비교 발광 소자 74와 동등한 높은 효율을 나타내었다.

[1143] 도 108에 나타난 바와 같이, 발광 소자 70 내지 발광 소자 73 및 비교 발광 소자 74는 양호한 전류-전압 특성을 나타내었다. 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자 70 내지 발광 소자 73은 전자 주입층에 일반적으로 사용되는 Li₂O를 사용한 비교 발광 소자 74와 동등한 전자 주입성을 가지는 것도 알았다.

[1144] 도 111에 나타난 바와 같이, 발광 소자 70 내지 발광 소자 73 및 비교 발광 소자 74 각각은 전계 발광 스펙트럼이 약 618nm에 피크 파장을 가지고 반값전폭이 약 53nm인 적색 발광을 나타내었다. 얻어진 전계 발광 스펙트럼에 의하여, 광이 게스트 재료인 Ir(dmdppr-dmp)₂(dmp)로부터 방출되는 것을 알 수 있다.

[1145] 따라서, 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자의 전자 주입층(4130)에서, 전이 금속과 비공유 전자쌍을 가지는 유기 화합물의 복합 재료의 전이 금속으로서 Au, Cu, Mn, 또는 Co를 사용할 수 있는 것을 알았다.

부호의 설명

[1146] 100: EL층, 101: 전극, 101a: 도전층, 101b: 도전층, 102: 전극, 103: 전극, 103a: 도전층, 103b: 도전층, 104: 전극, 104a: 도전층, 104b: 도전층, 105: EL층, 106: 발광 유닛, 107: EL층, 108: 발광 유닛, 110: EL층, 111: 정공 주입층, 112: 정공 수송층, 113: 전자 수송층, 114: 전자 주입층, 115: 전하 발생층, 116: 정공 주입층, 117: 버퍼층, 118: 전자 수송층, 119: 정공 수송층, 130: 전자 주입층, 131: 화합물, 132: 전이 금속, 140: 발광층, 150: 발광 소자, 152: 발광 소자, 154: 발광 소자, 160: 전하 발생층, 170: 발광층, 210: 기판, 222B: 영역, 223: 차광층, 224B: 광학 소자, 250: 발광 소자, 252: 발광 소자, 411: 기판, 431: 도전층, 432: 반도체층, 432p: 반도체층, 433a: 도전층, 433b: 도전층, 434: 절연층, 435: 불순물 반도체층, 437: 반도체층, 484: 절연층, 601: 소스측 구동 회로, 602: 화소부, 603: 게이트측 구동 회로, 604: 밀봉 기판, 605: 실란트, 607: 공간, 608: 배선, 610: 소자 기판, 611: 스위칭 TFT, 612: 전류 제어 TFT, 613: 전극, 614: 절연체, 616: EL층, 617: 전극, 618: 발광 소자, 623: n채널 TFT, 624: p채널 TFT, 633: 전자 수송층, 900: 휴대 정보 단말기, 901: 하우징, 902: 하우징, 903: 표시부, 905: 힌지부, 910: 휴대 정보 단말기, 911: 하우징, 912: 표시부, 913: 조작 버튼, 914: 외부 접속 포트, 915: 스피커, 916: 마이크로폰, 917: 카메라, 920: 카메라, 921: 하우징, 922: 표시부, 923: 조작 버튼, 924: 셔터 버튼, 926: 렌즈, 1001: 기판, 1002: 하지 절연막, 1003: 게이트 절연막, 1006: 게이트 전극, 1007: 게이트 전극, 1008: 게이트 전극, 1020: 층간 절연막, 1021: 층간 절연막, 1022: 전극, 1024B: 전극, 1024G: 전극, 1024R: 전극, 1024W: 전극, 1025B: 하부 전극, 1025G: 하부 전극, 1025R: 하부 전극, 1025W: 하부 전극, 1026: 격벽, 1028: EL층, 1029: 전극, 1031: 밀봉 기판, 1032: 실란트, 1033: 기재, 1034B: 착색층, 1034G: 착색층, 1034R: 착색층, 1036: 오버코트층, 1037: 층간 절연막, 1040: 화소부, 1041: 구동 회로부, 1042: 주변부, 2101: 전극, 2101a: 도전층, 2101b: 도전층, 2102: 전극, 2103: 전극, 2103a: 도전층, 2103b: 도전층, 2104: 전극, 2104a: 도전층, 2104b: 도전층, 2106: 발광 유닛, 2108: 발광 유닛, 2111: 정공 주입층, 2112: 정공 수송층, 2113: 전자 수송층, 2115: 전하 발생층, 2116: 정공 주입층, 2117: 정공 수송층, 2118: 전자 수송층, 2119: 전자 주입층, 2130: 전자 주입층, 2131: 화합물, 2140: 발광층, 2145: 격벽, 2170: 발광층, 2200: 기판, 2220: 기판, 2222B: 영역, 2222G: 영역, 2222R: 영역, 2223: 차광층, 2224B: 광학 소자, 2224G: 광학 소자, 2224R: 광학 소자, 2250a: 발광 소자, 2250b: 발광 소자, 2622B: 영역, 2622G: 영역, 2622R: 영역, 2631: 정공 주입층, 2632: 정공 수송층, 2633: 전자 수송층,

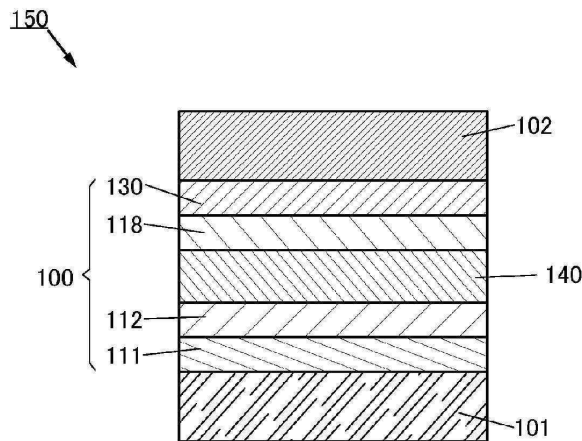
2634: 전자 주입층, 2635: 전하 발생층, 2637: 정공 수송층, 2638: 전자 수송층, 2639: 전자 주입층, 2642: 전극, 2644: 발광층, 2646: 발광층, 2650: 기관, 2652: 기관, 2661: 전극, 2662: 전극, 2663: 전극, 2664: 전극, 3500: 다기능 단말기, 3502: 하우스, 3504: 표시부, 3506: 카메라, 3508: 조명, 3600: 라이트, 3602: 하우스, 3608: 조명, 3610: 스피커, 3631: 정공 주입층, 3632: 정공 수송층, 3633: 전자 수송층, 3634: 전자 주입층, 3635: 전하 발생층, 3637: 정공 수송층, 3638: 전자 수송층, 3639: 전자 주입층, 3641: 전극, 3642: 전극, 3644: 발광층, 3646: 발광층, 3650: 기관, 3652: 기관, 4100: EL층, 4101: 전극, 4102: 전극, 4111: 정공 주입층, 4112: 정공 수송층, 4118: 전자 수송층, 4135: 전하 발생층, 4130: 전자 주입층, 4140: 발광층, 4210: 기관, 8501: 조명 장치, 8502: 조명 장치, 8503: 조명 장치, 8504: 조명 장치, 9000: 하우스, 9001: 표시부, 9006: 접속 단자, 9055: 힌지, 9200: 휴대 정보 단말기, 9201: 휴대 정보 단말기, 9202: 휴대 정보 단말기.

본 출원은 2017년 4월 7일에 일본 특허청에 출원된 일련 번호 2017-077059의 일본 특허 출원, 2017년 4월 7일에 일본 특허청에 출원된 일련 번호 2017-077061의 일본 특허 출원, 및 2017년 6월 9일에 일본 특허청에 출원된 일련 번호 2017-114262의 일본 특허 출원에 기초하고, 본 명세서에 그 전문이 참조로 통합된다.

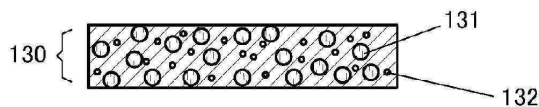
도면

도면1

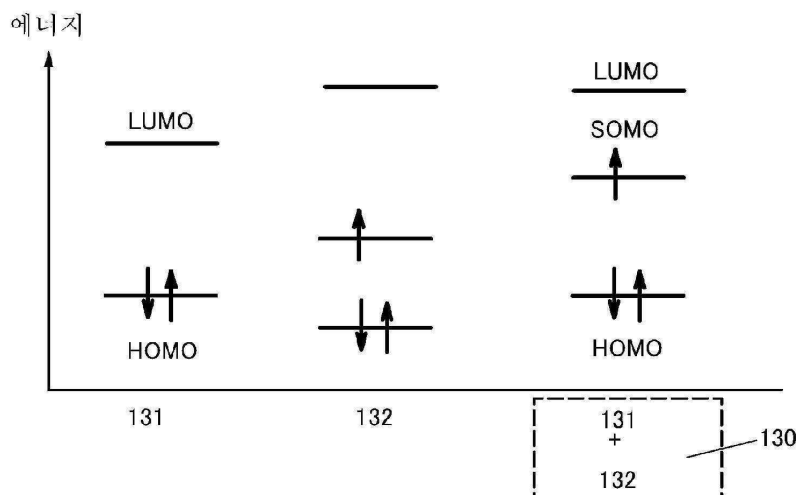
(A)



(B)

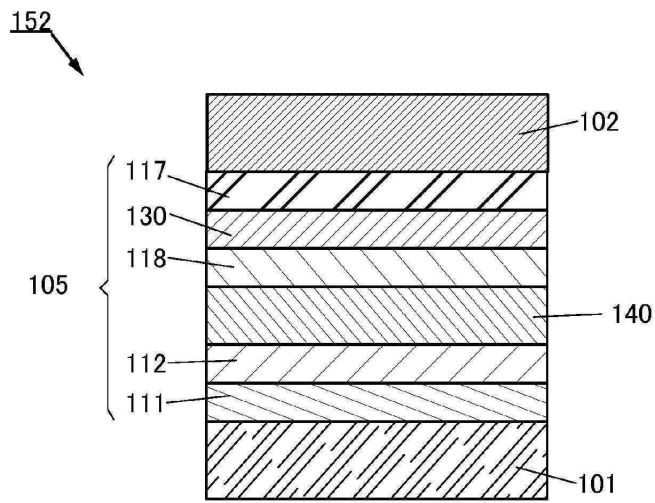


(C)

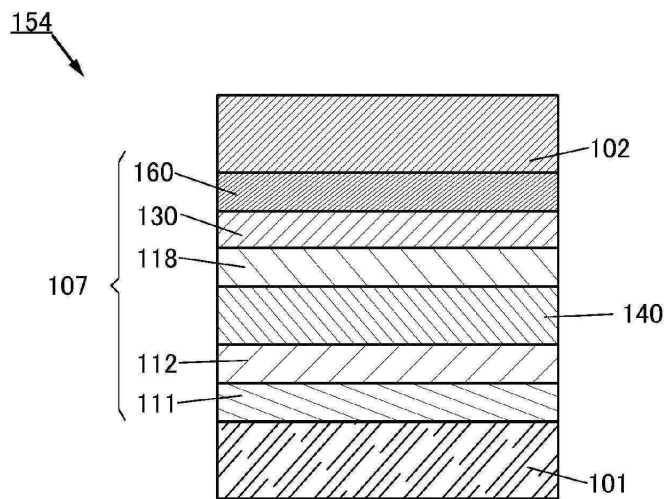


도면2

(A)



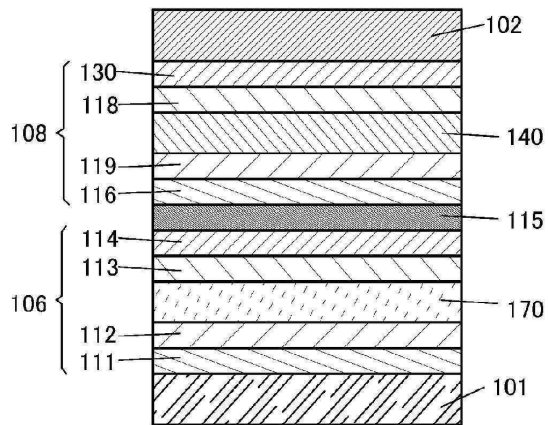
(B)



도면3

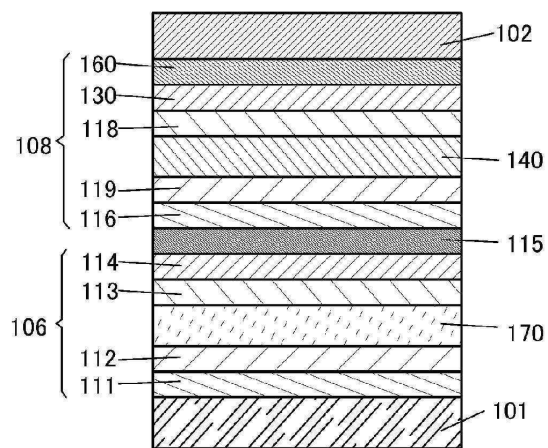
(A)

250

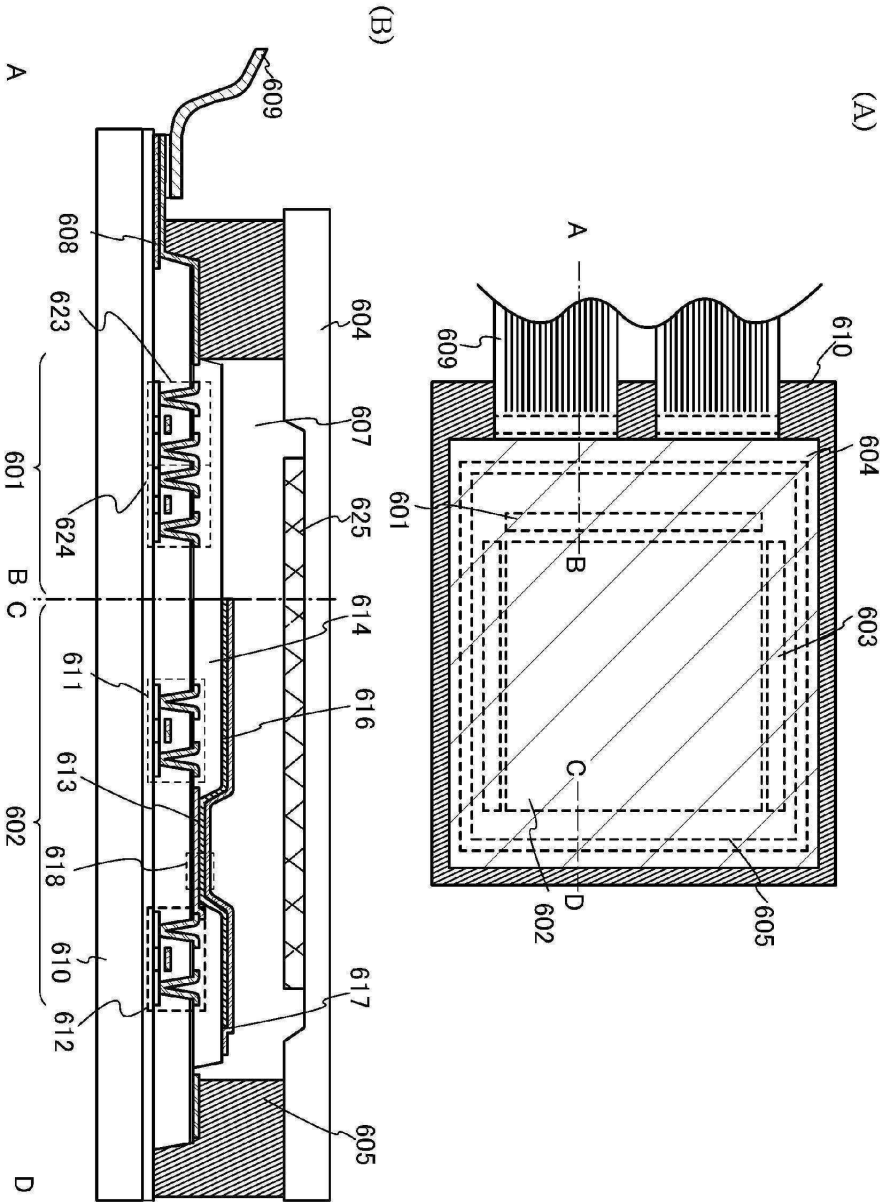


(B)

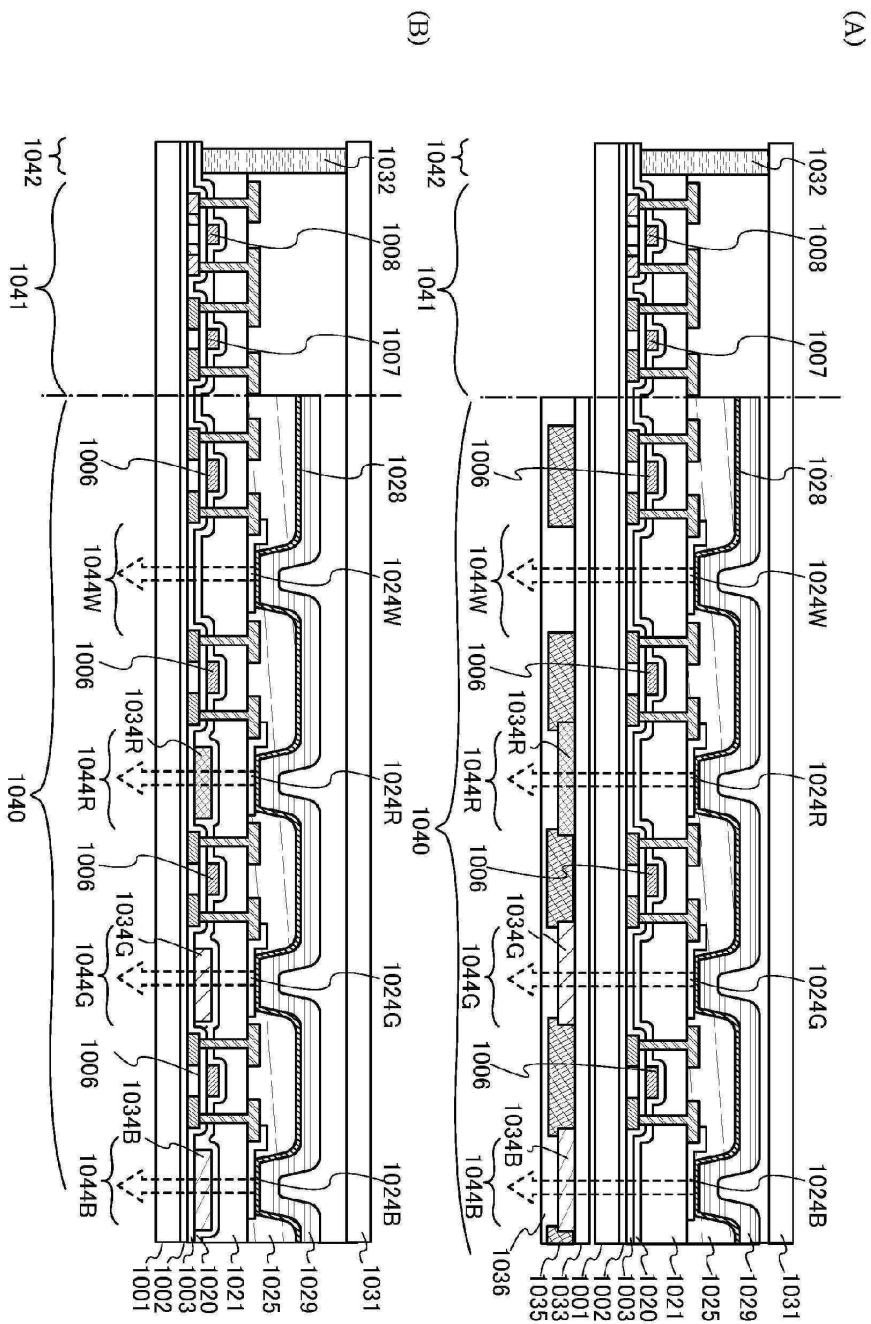
252



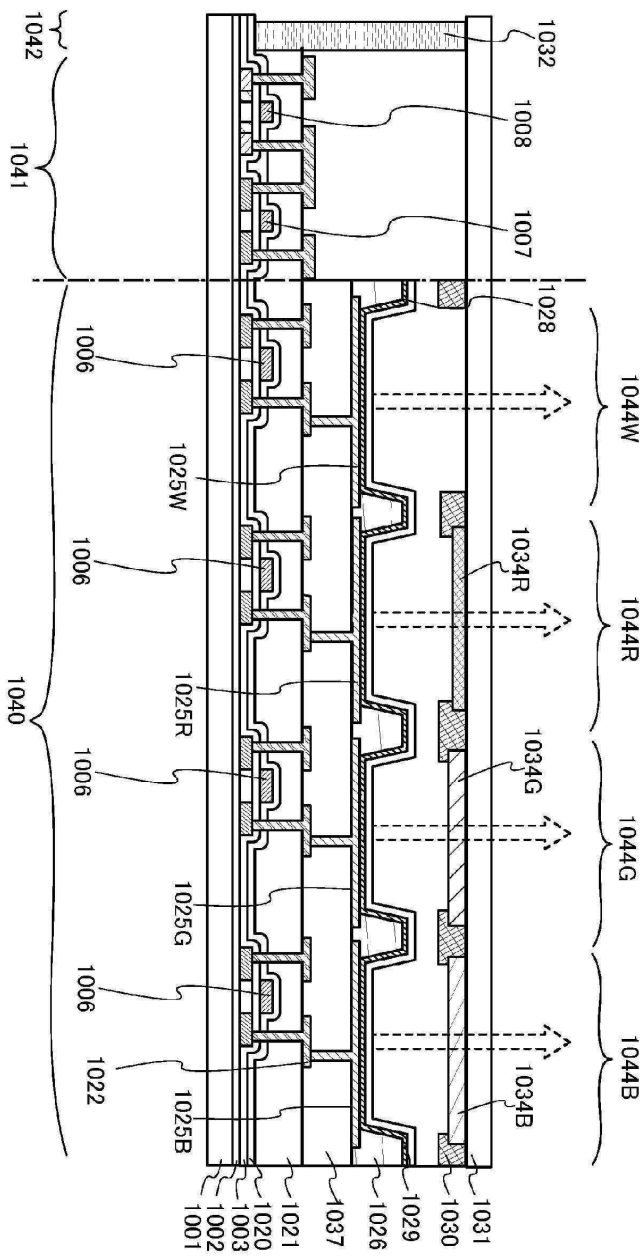
도면4



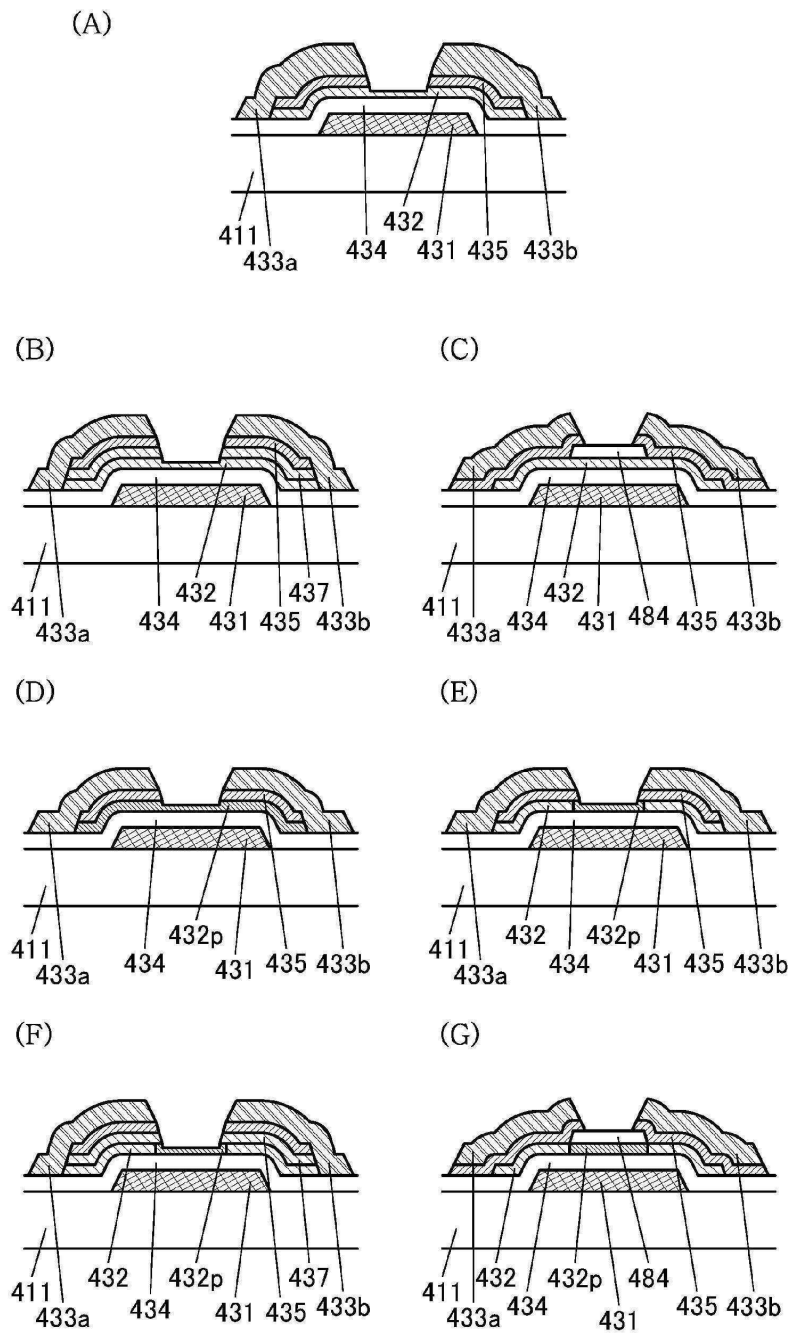
도면5



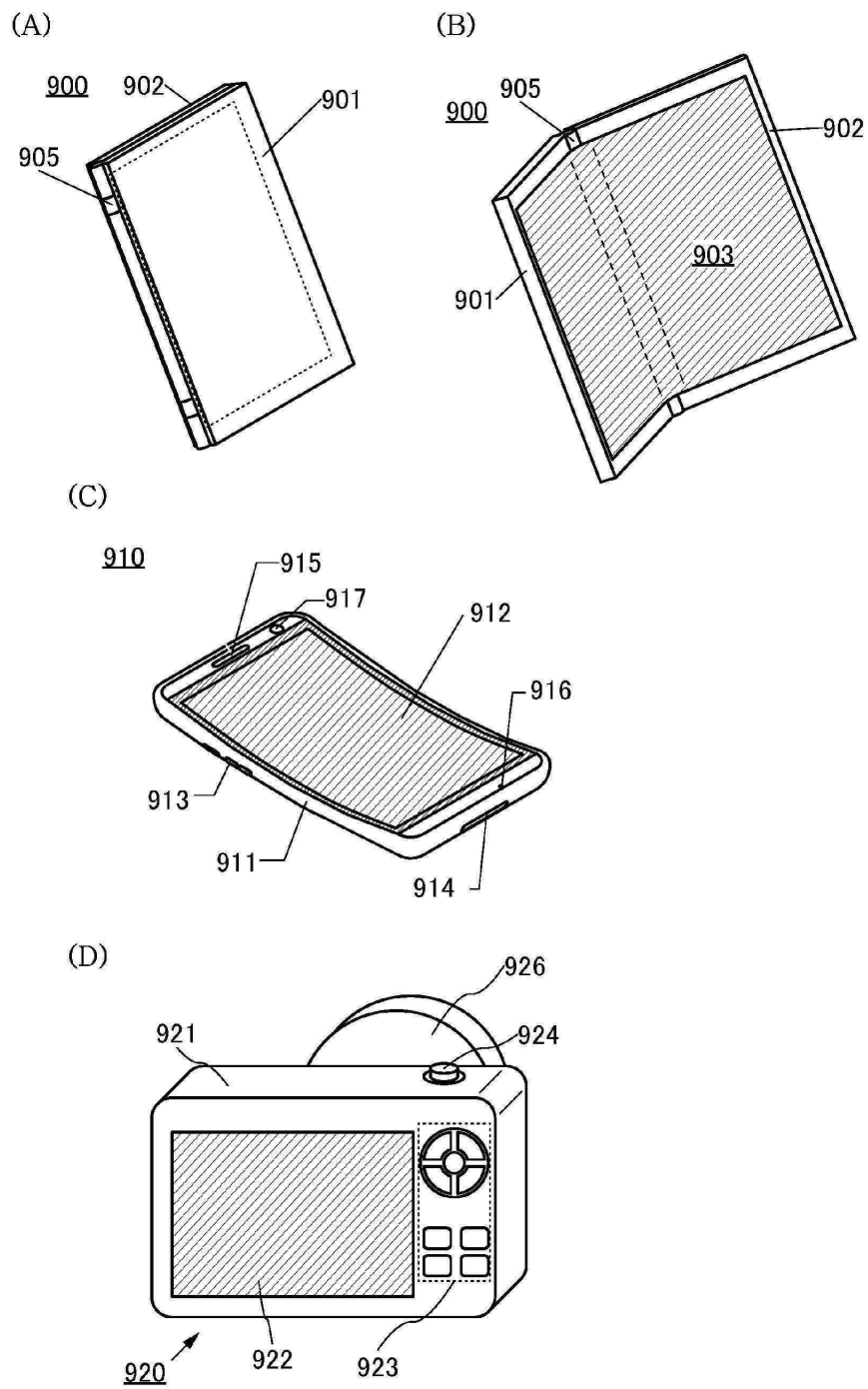
도면6



도면7



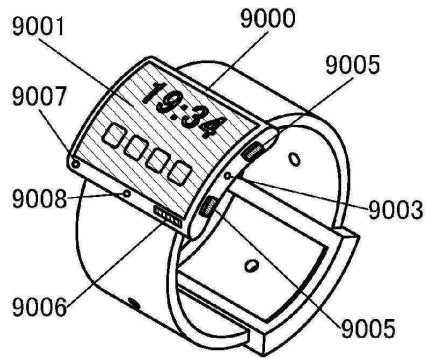
도면8



도면9

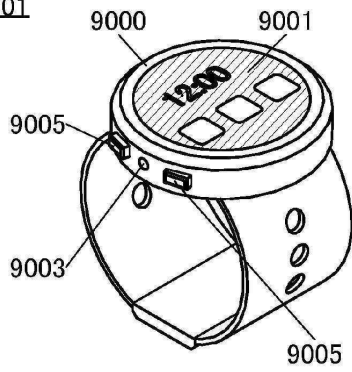
(A)

9200



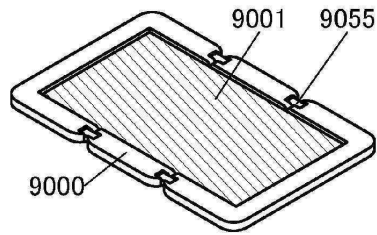
(B)

9201



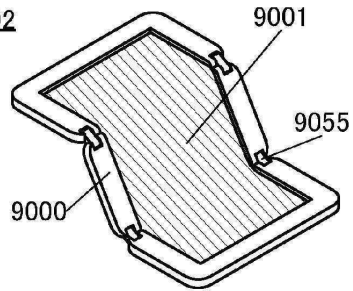
(C)

9202



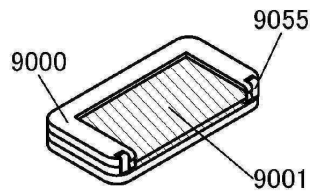
(D)

9202



(E)

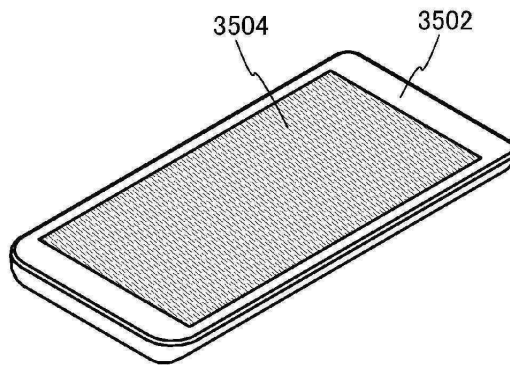
9202



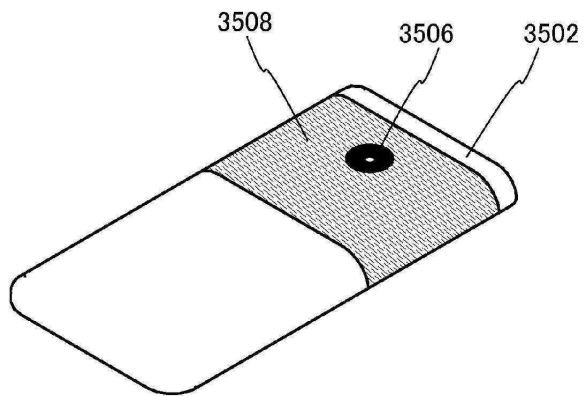
도면10

(A)

3500

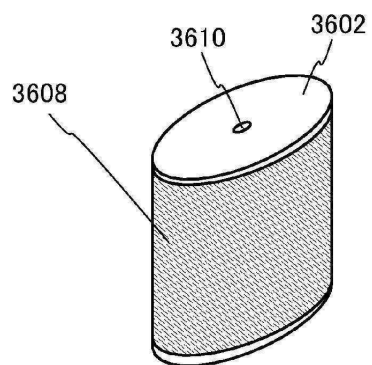


(B)

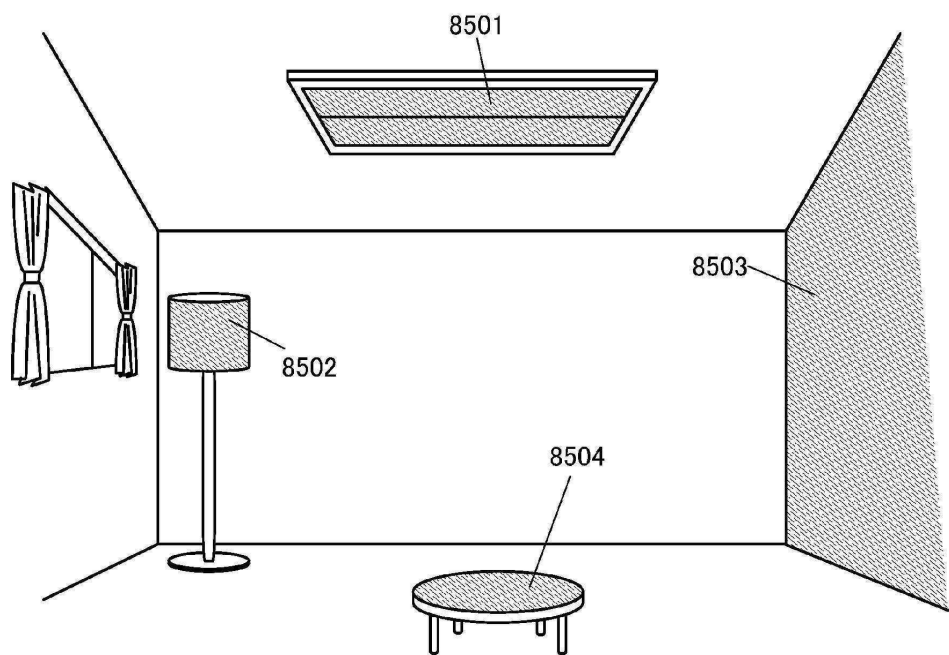


(C)

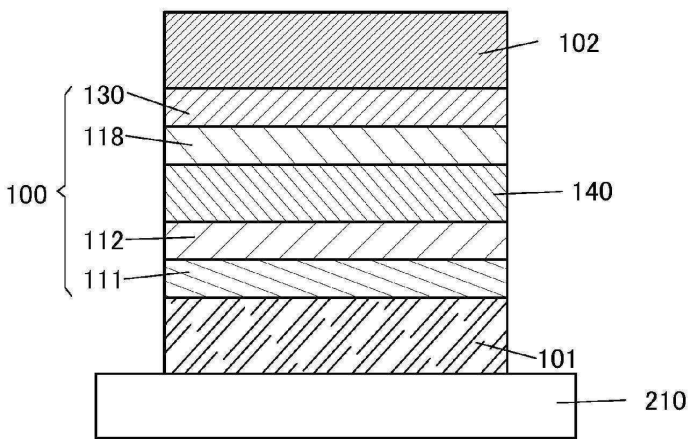
3600



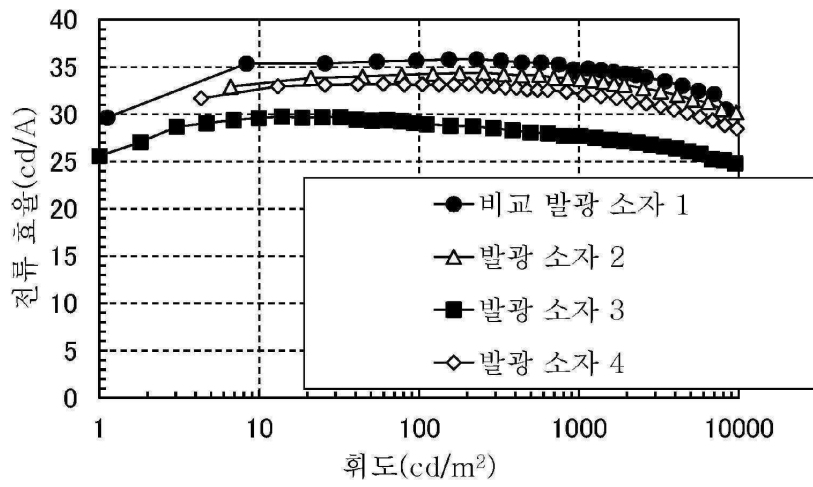
도면11



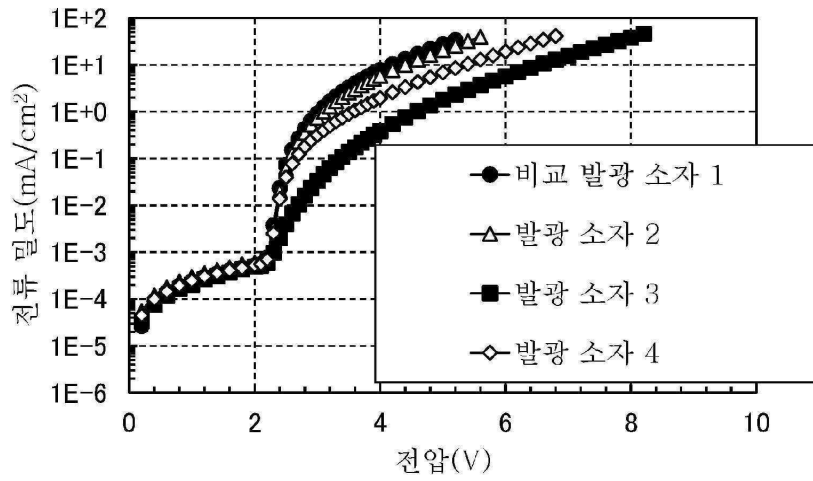
도면12



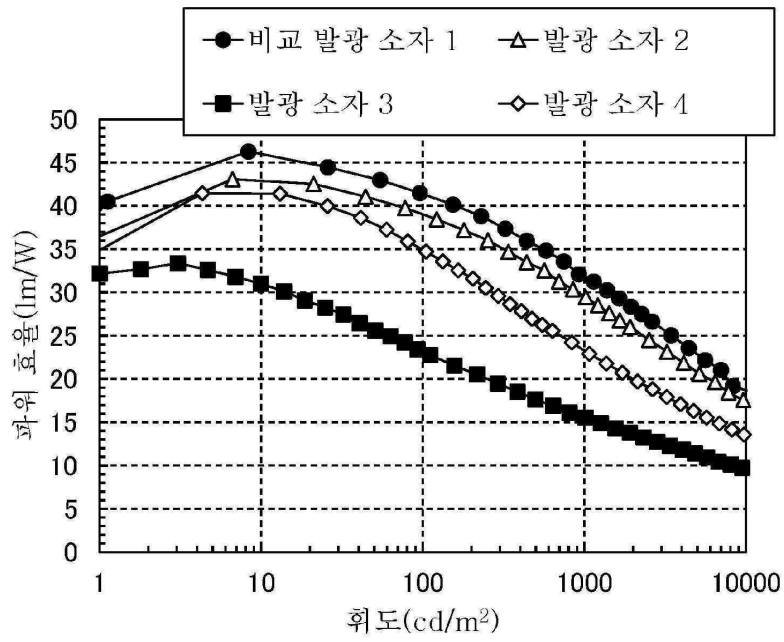
도면13



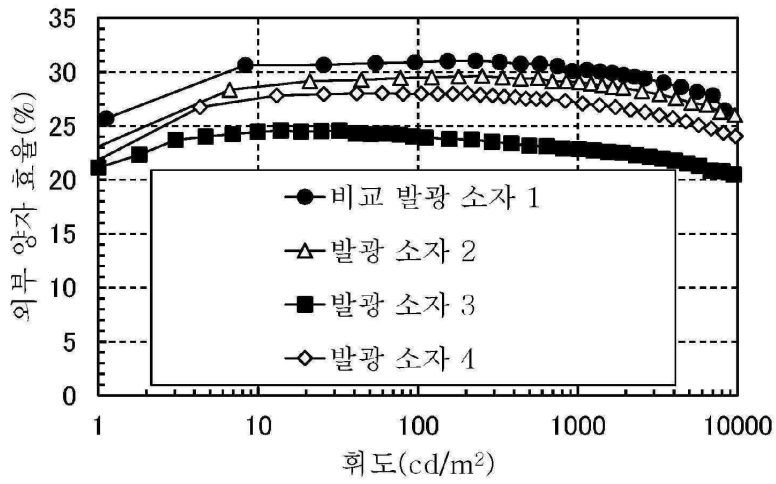
도면14



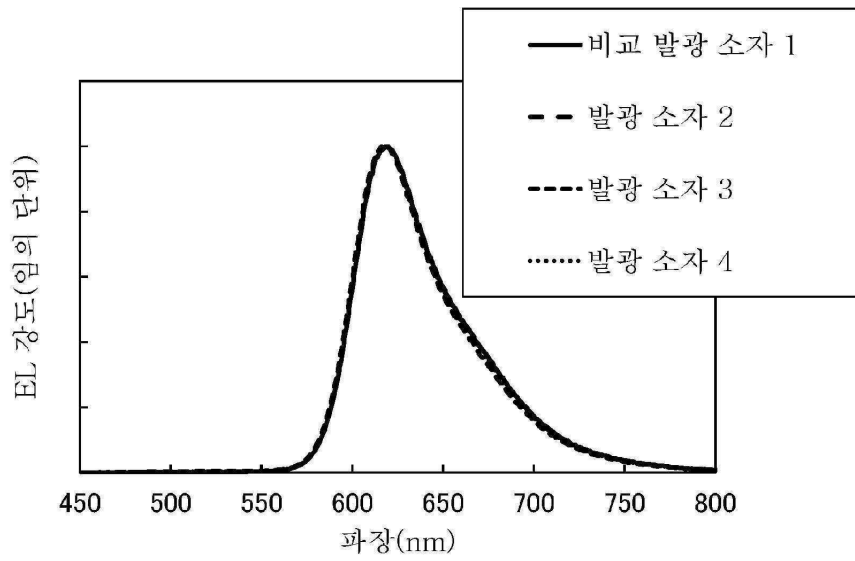
도면15



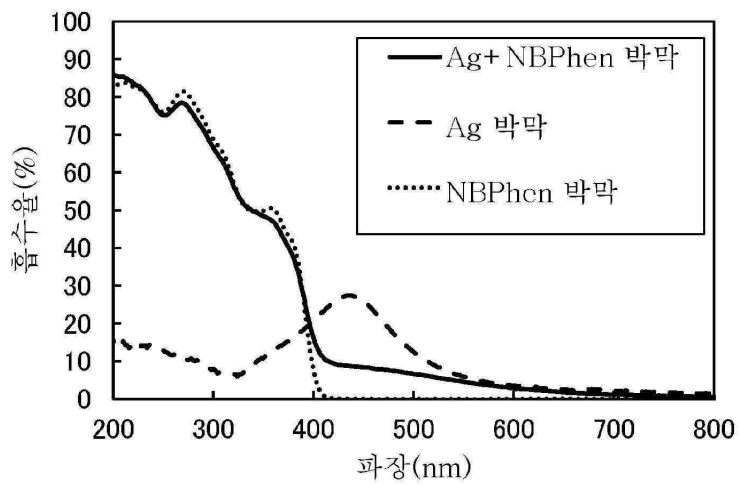
도면16



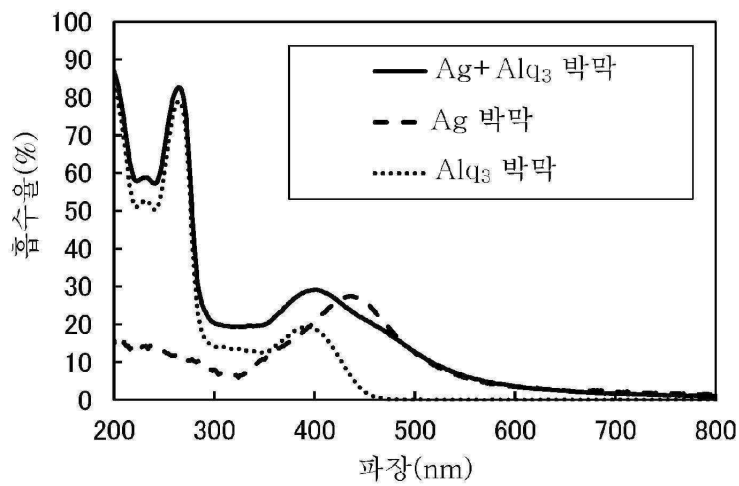
도면17



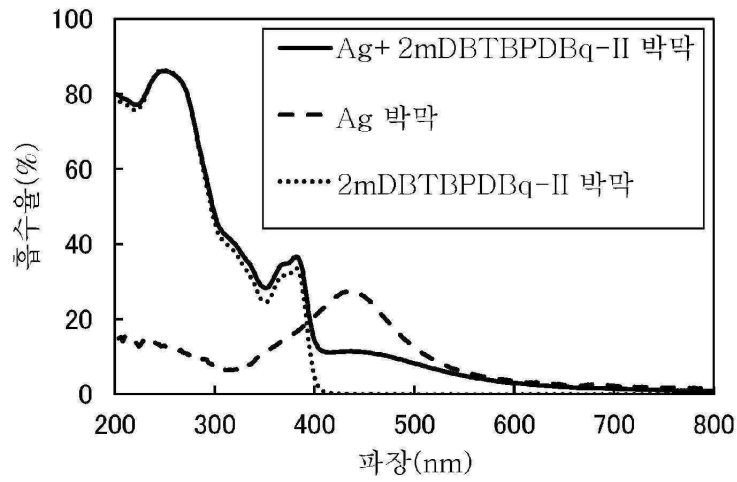
도면18



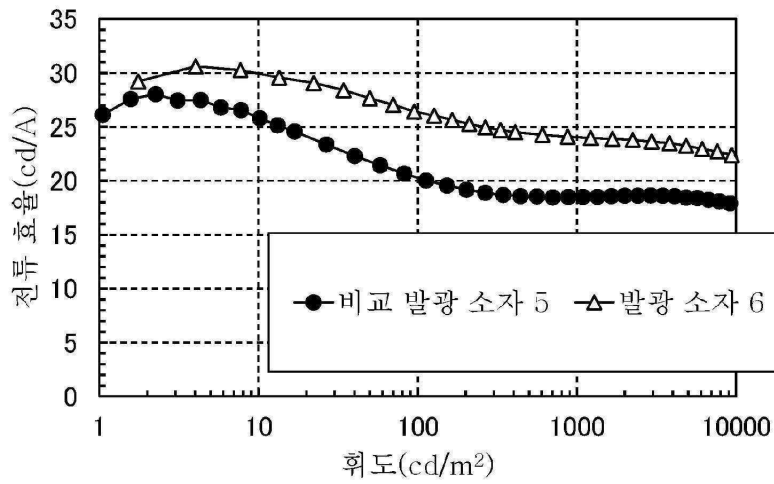
도면19



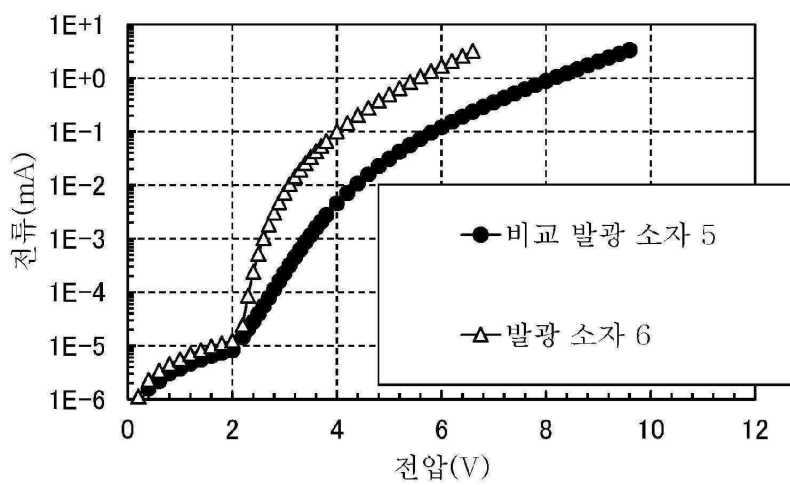
도면20



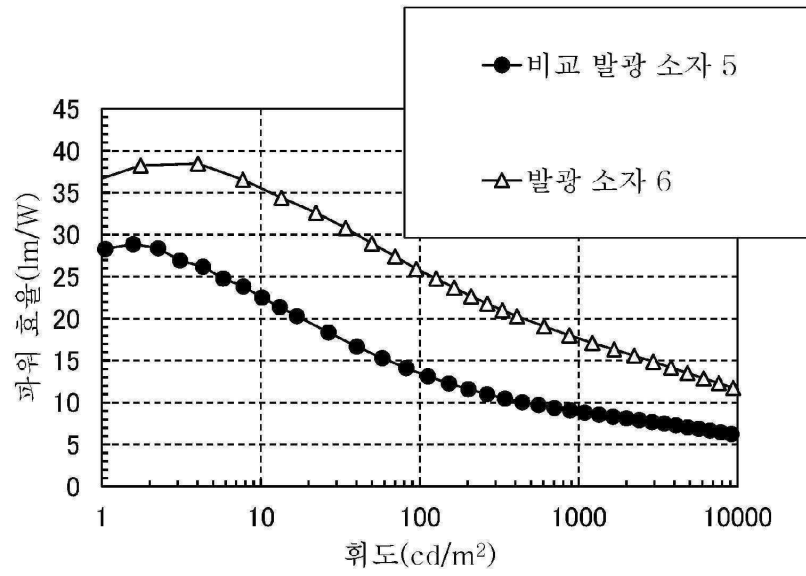
도면21



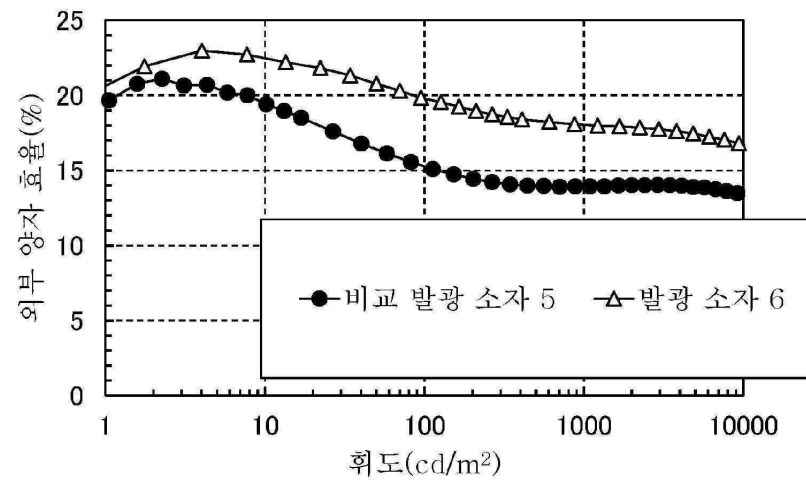
도면22



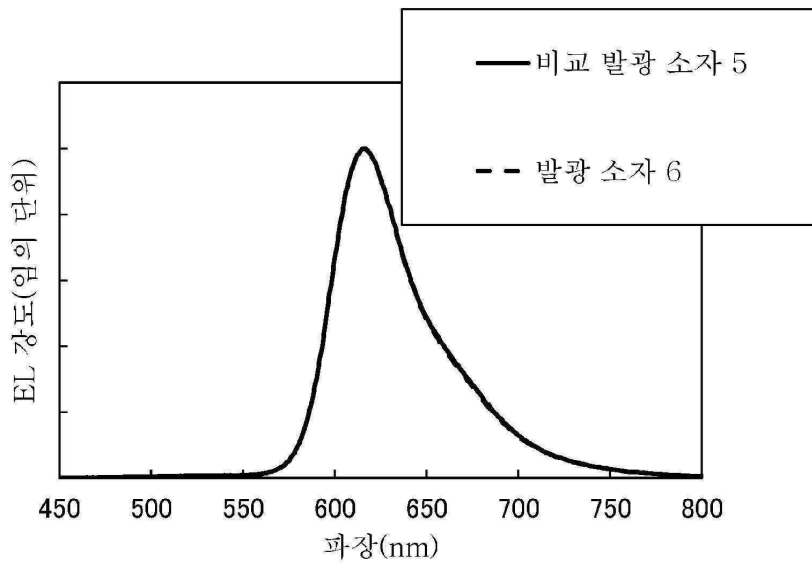
도면23



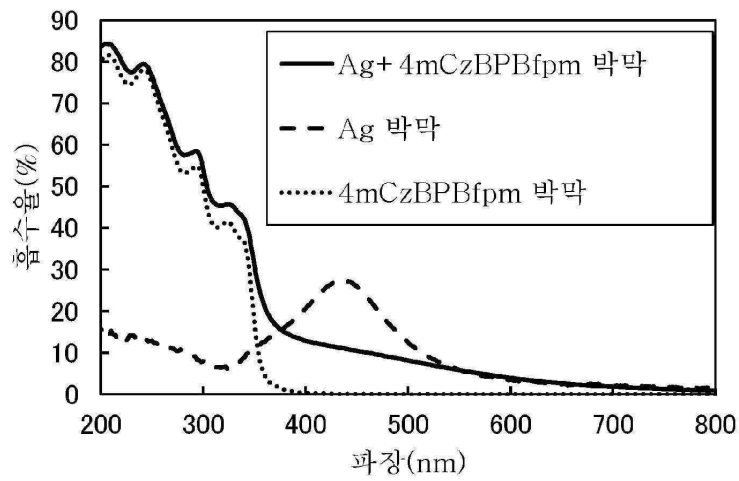
도면24



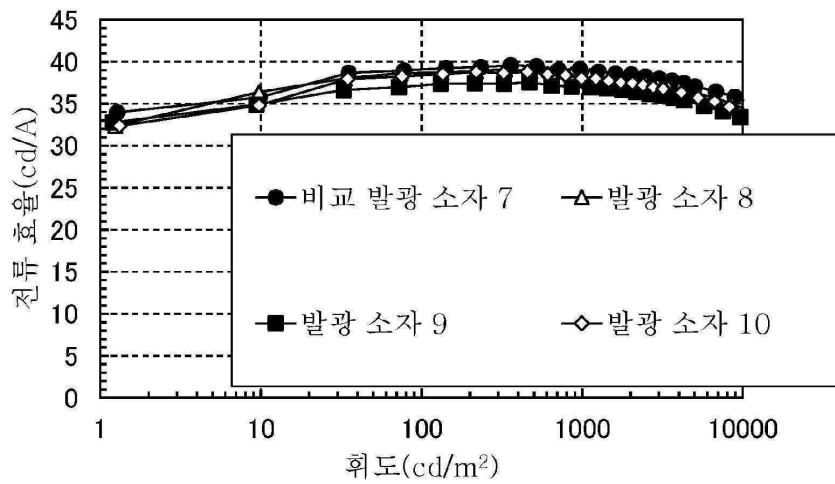
도면25



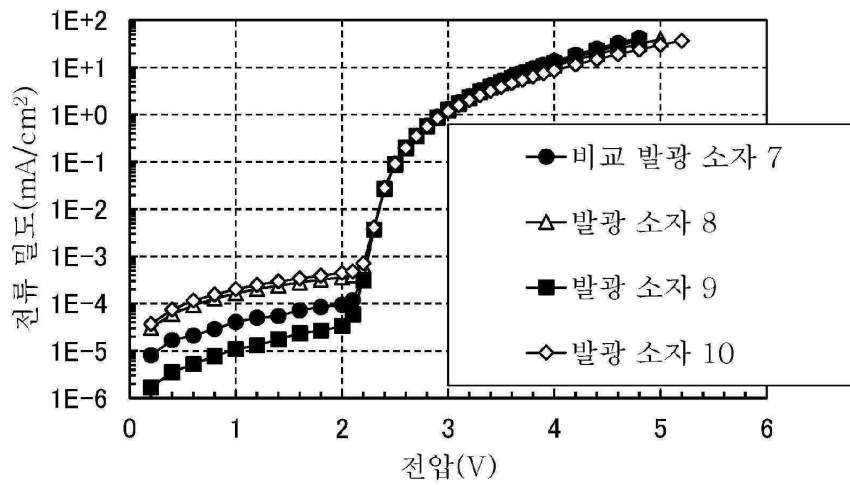
도면26



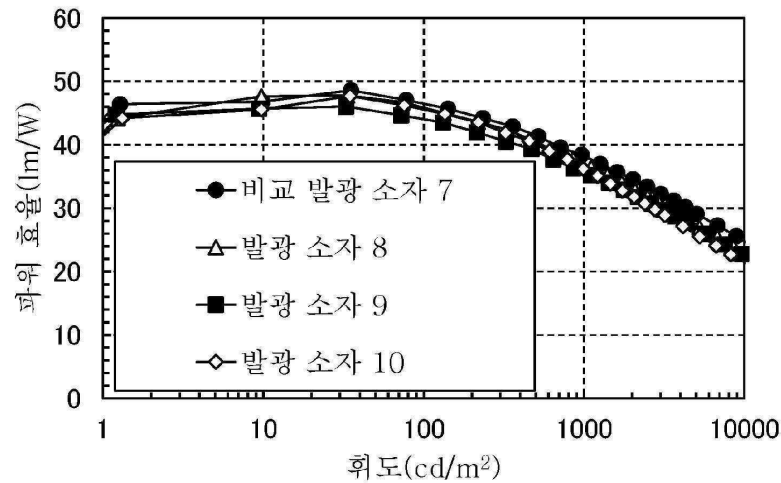
도면27



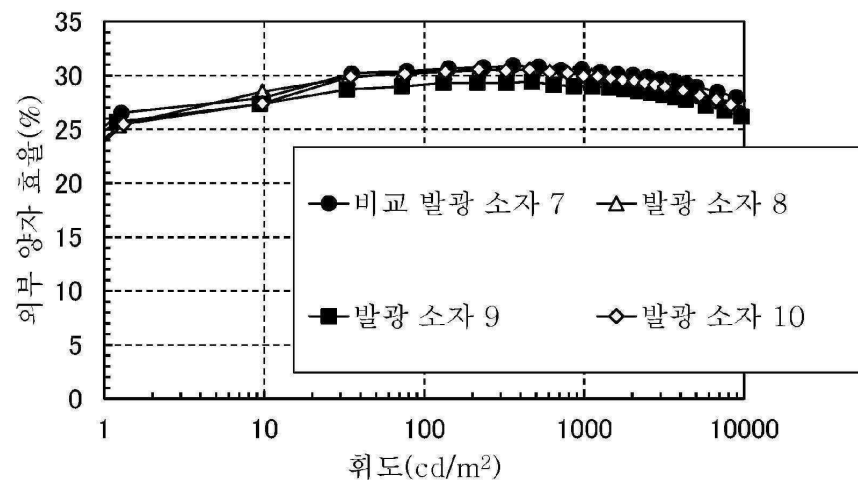
도면28



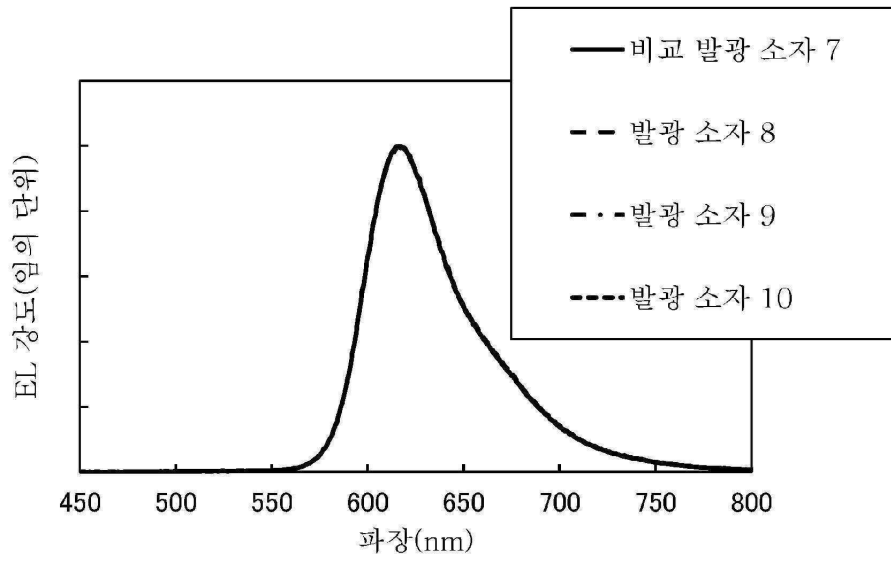
도면29



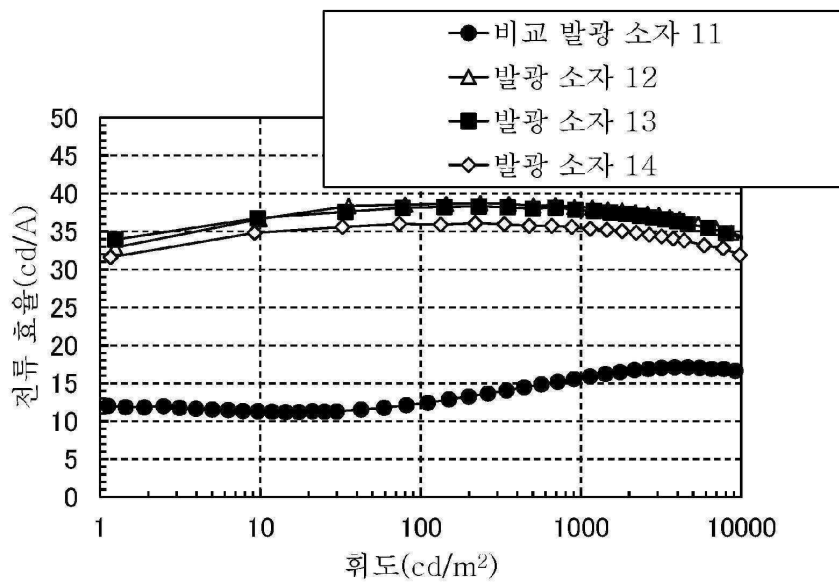
도면30



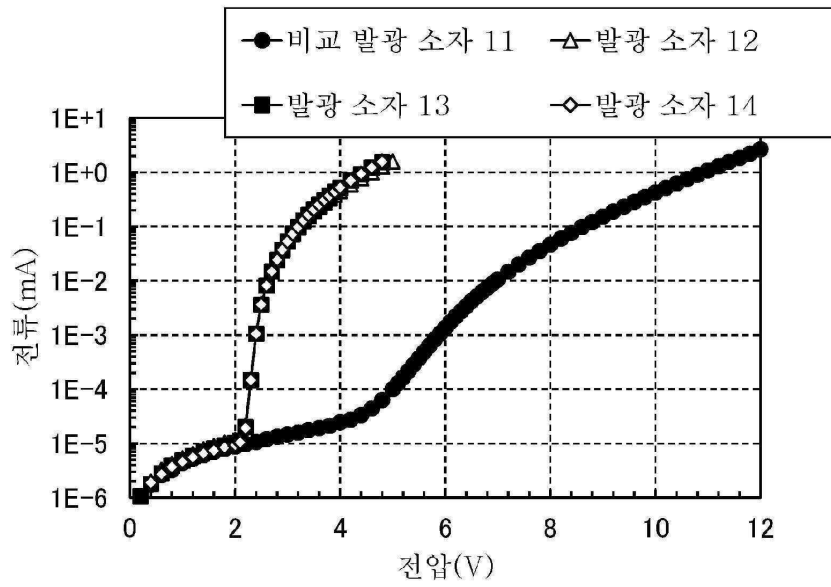
도면31



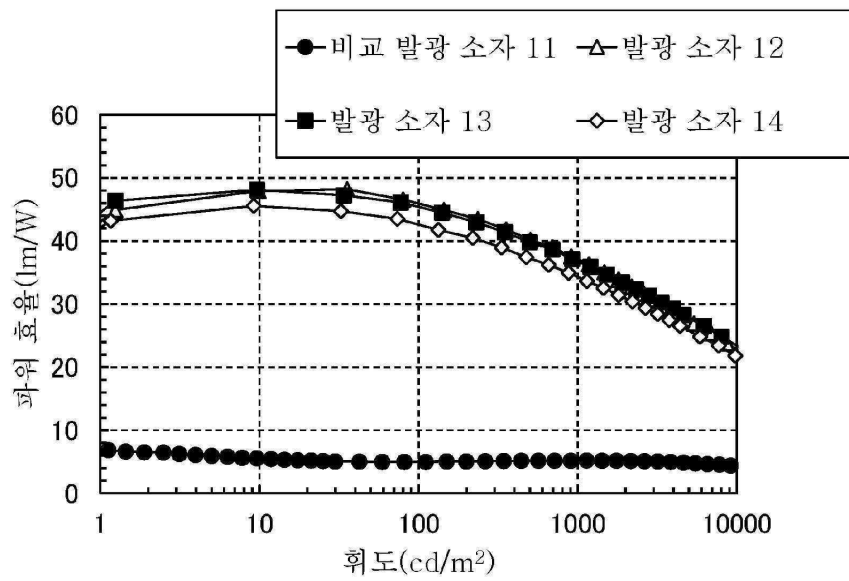
도면32



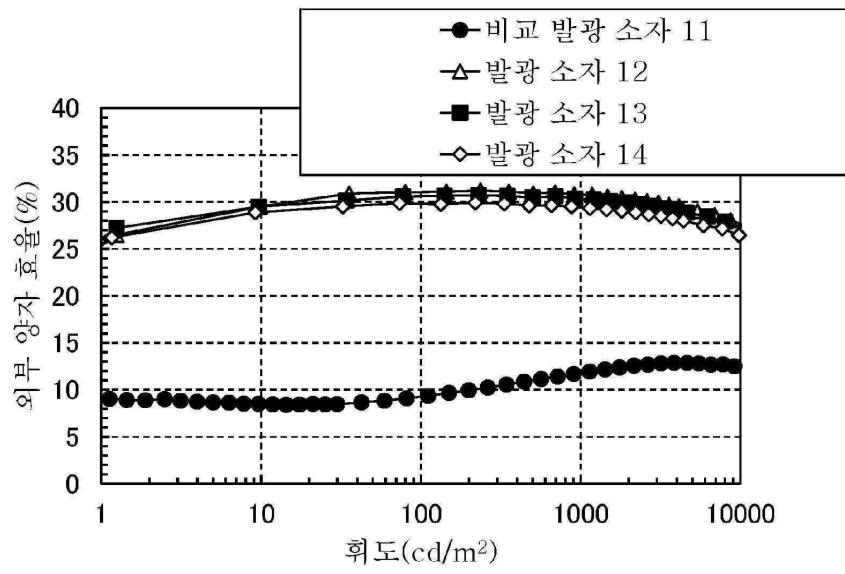
도면33



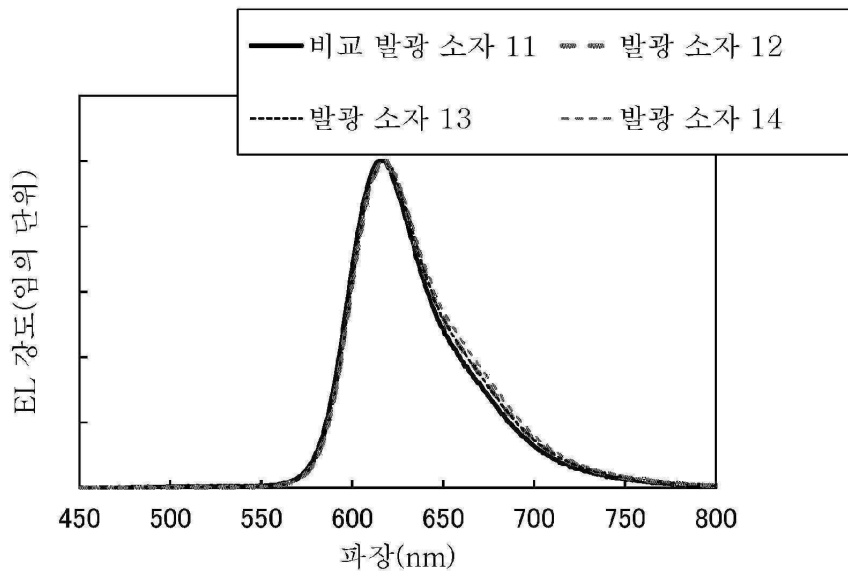
도면34



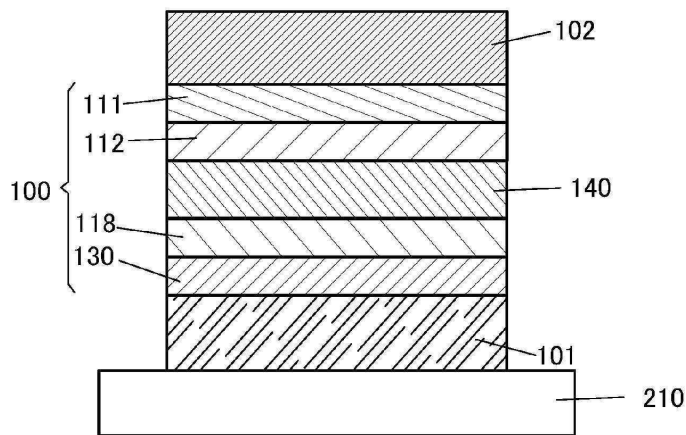
도면35



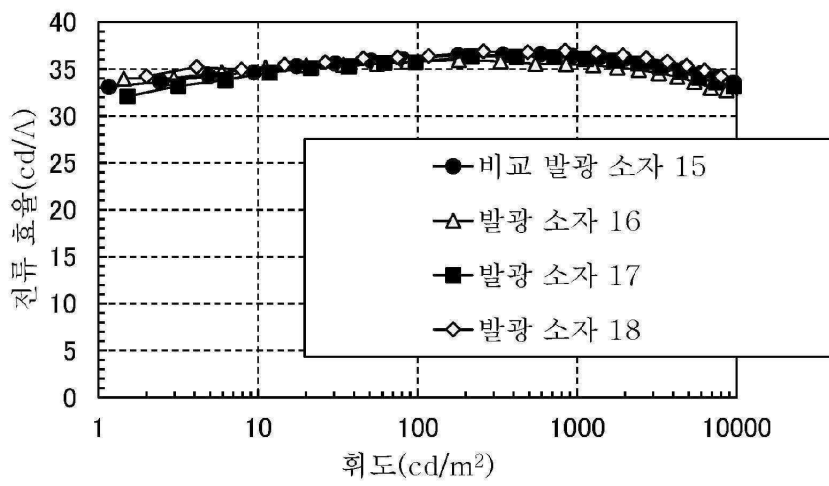
도면36



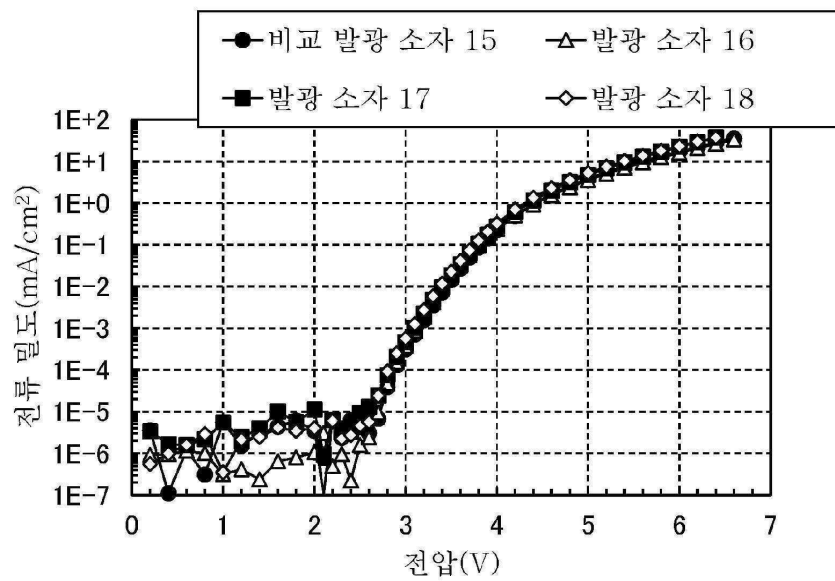
도면37



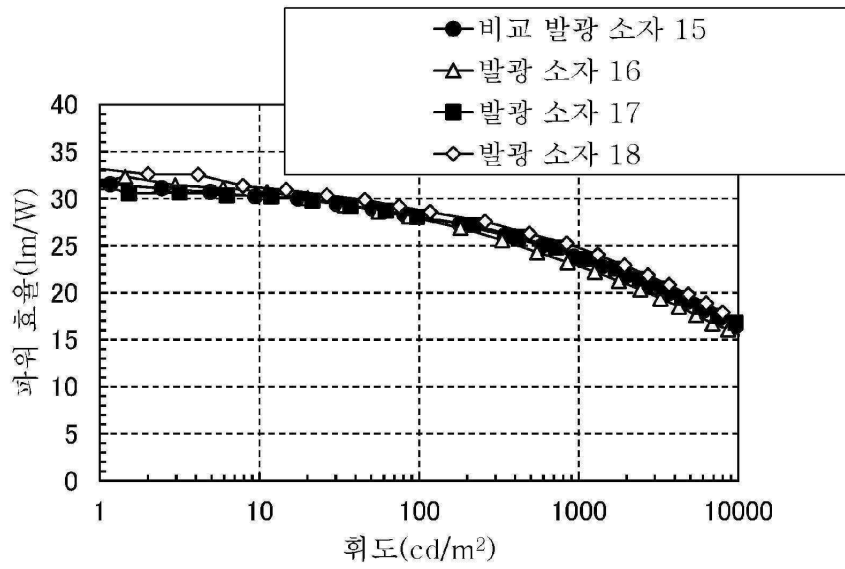
도면38



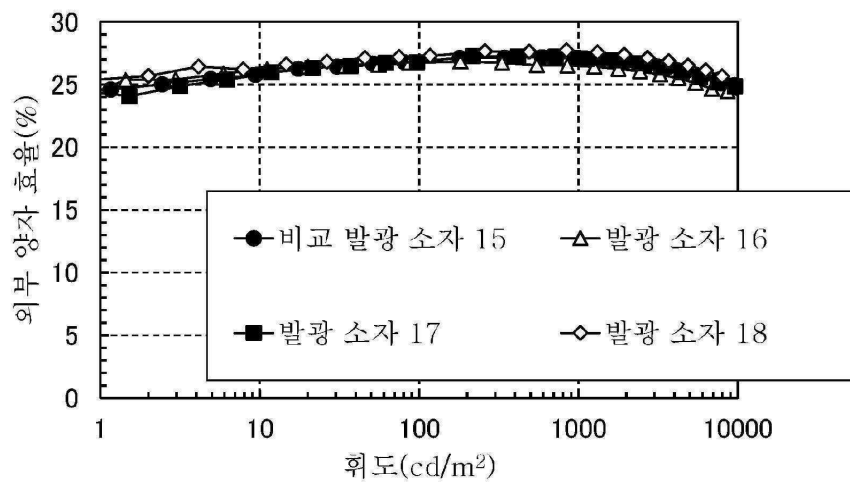
도면39



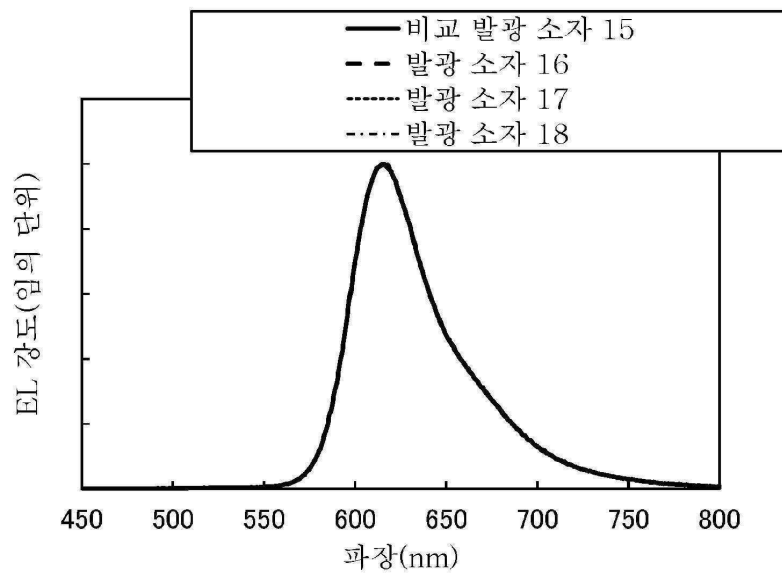
도면40



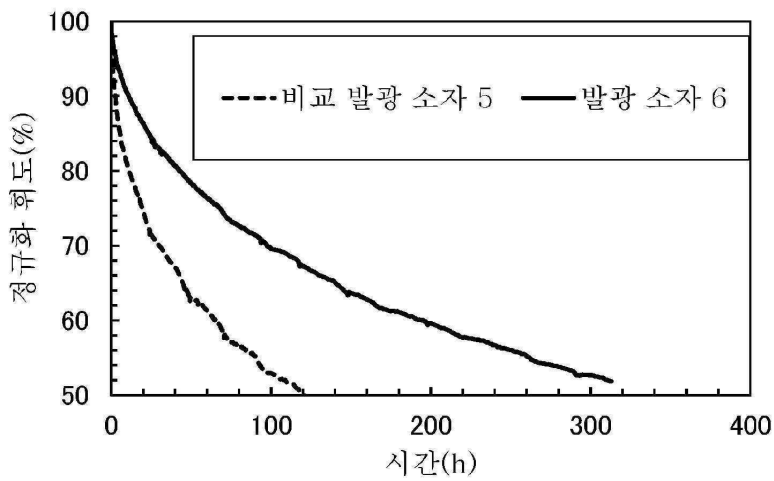
도면41



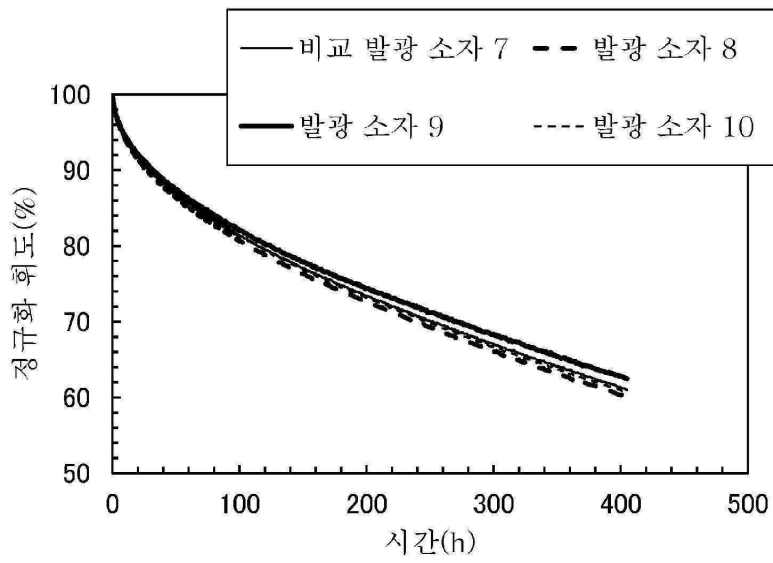
도면42



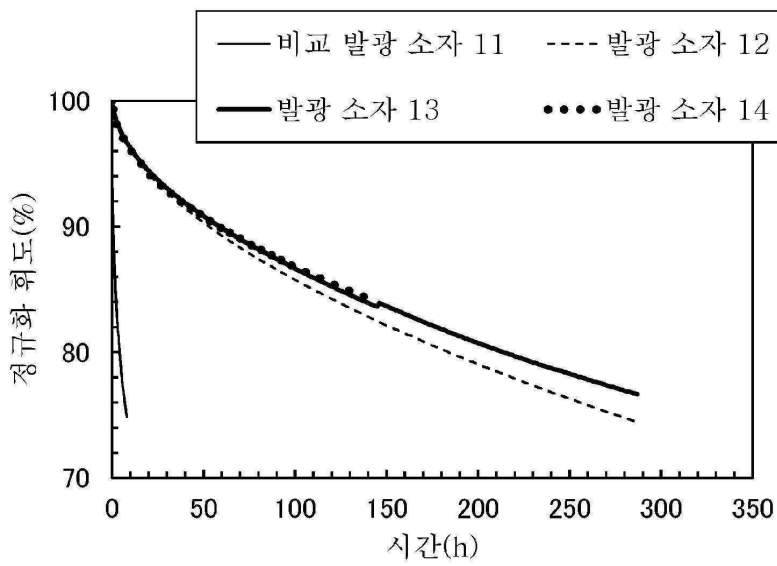
도면43



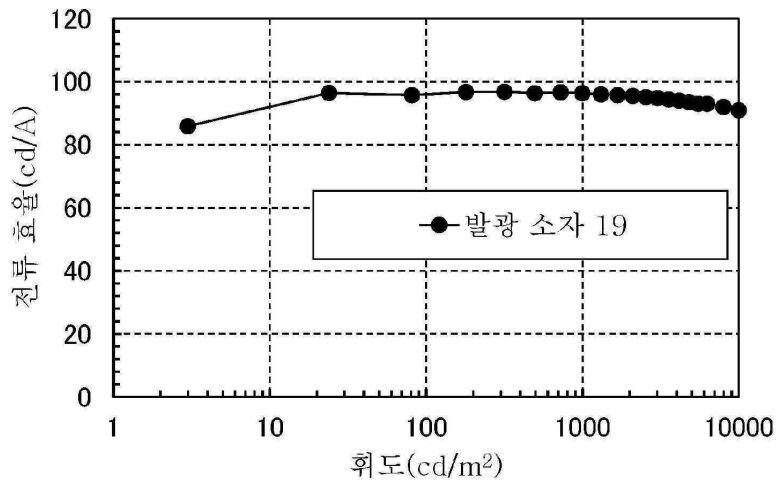
도면44



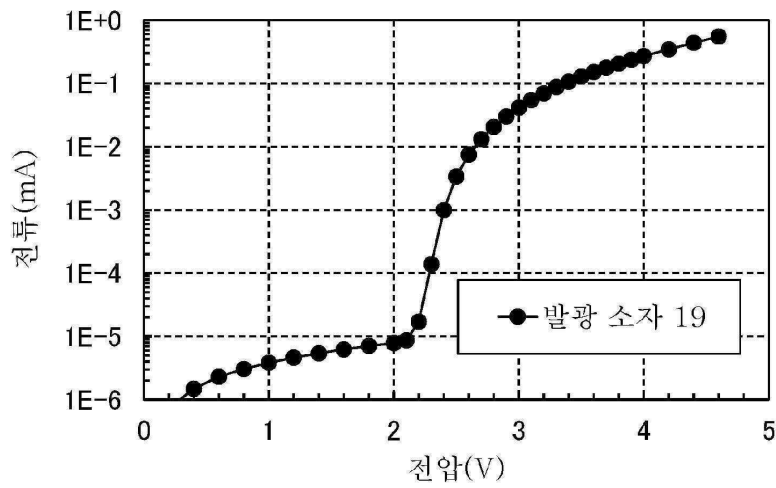
도면45



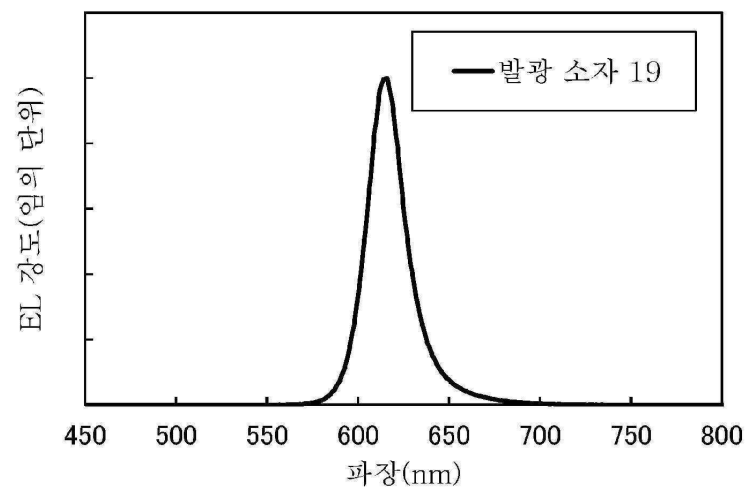
도면46



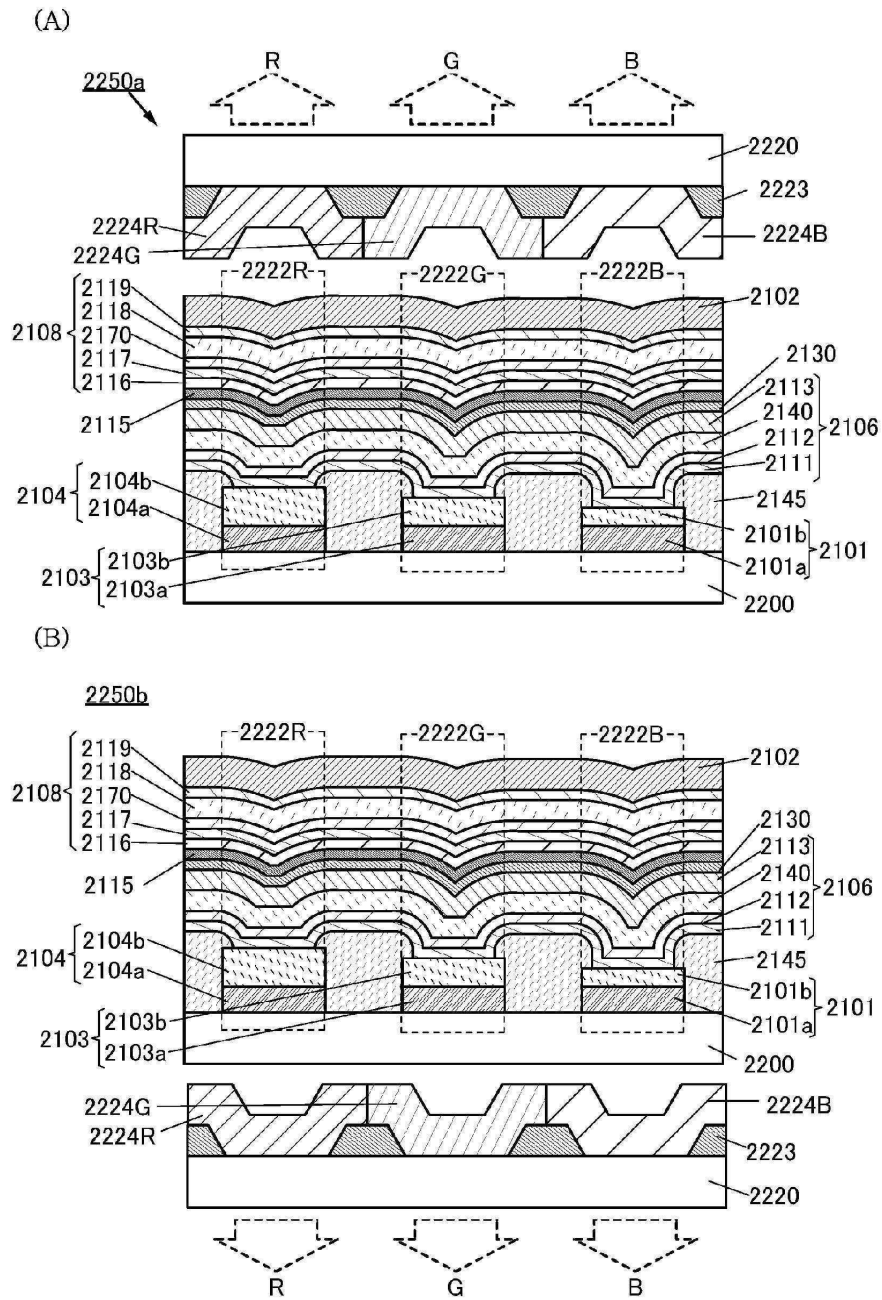
도면47



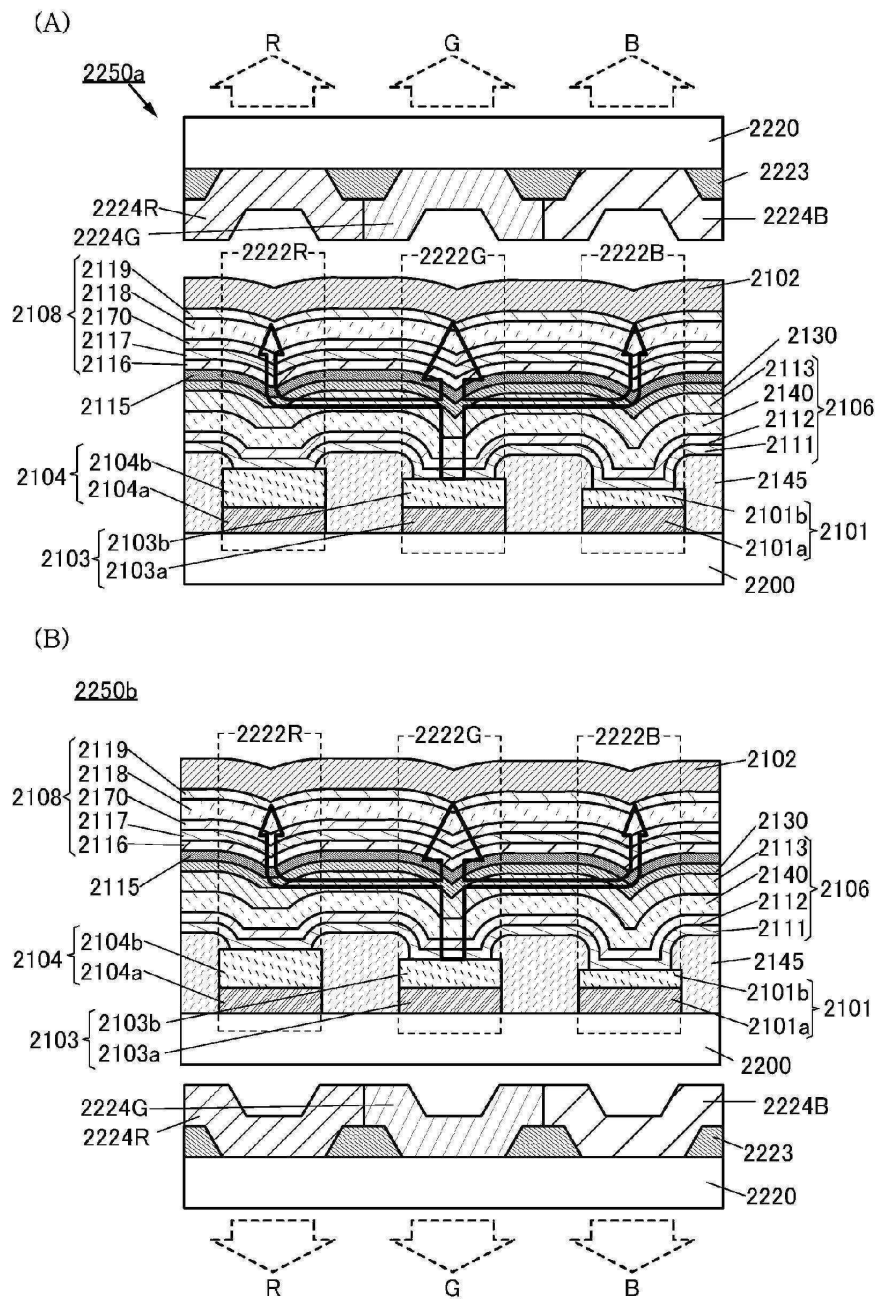
도면48



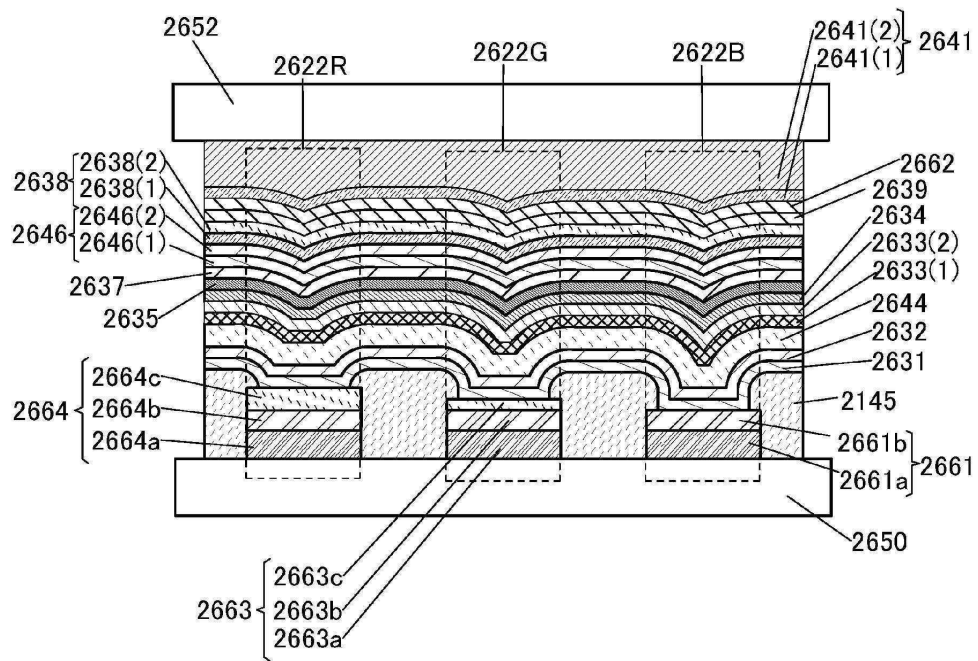
도면49



도면50

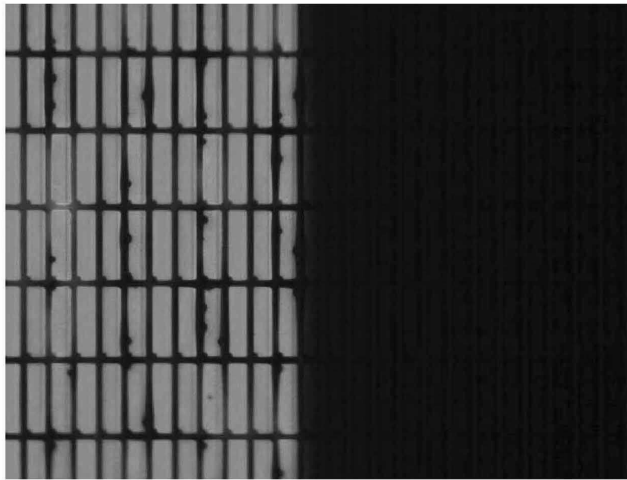


도면51

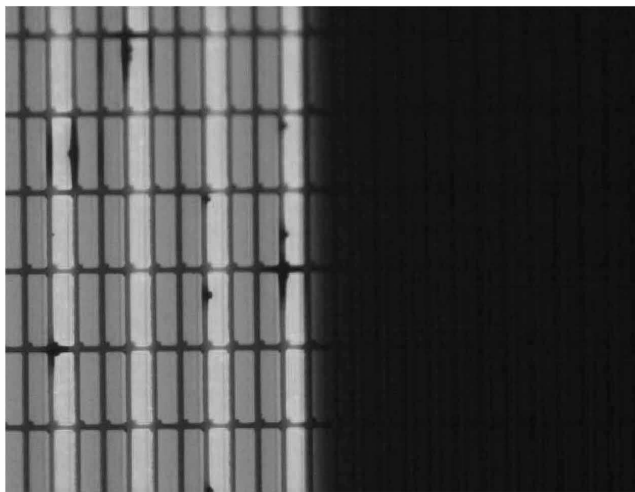


도면52

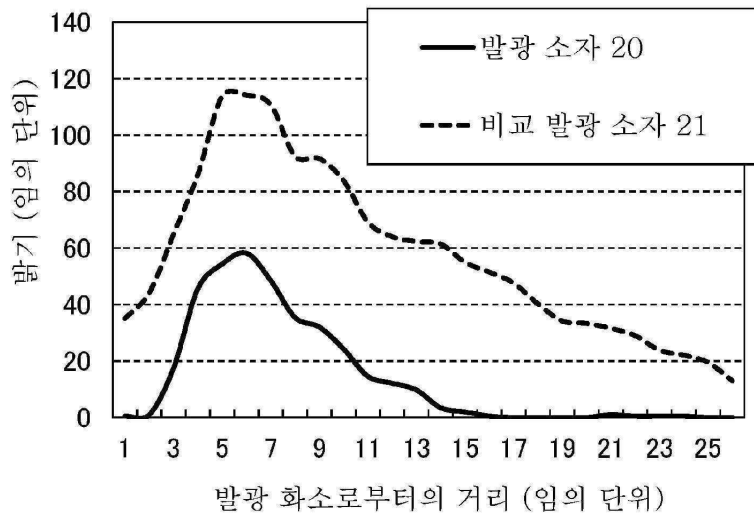
(A)



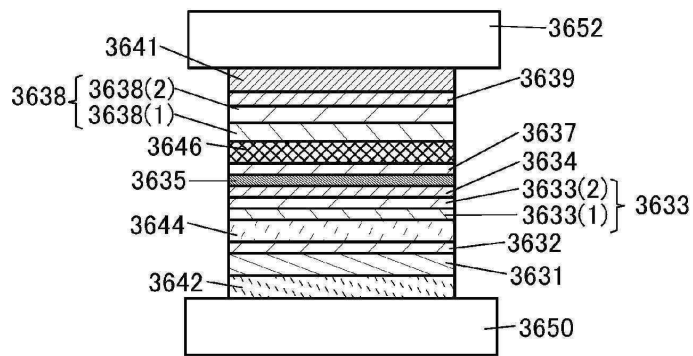
(B)



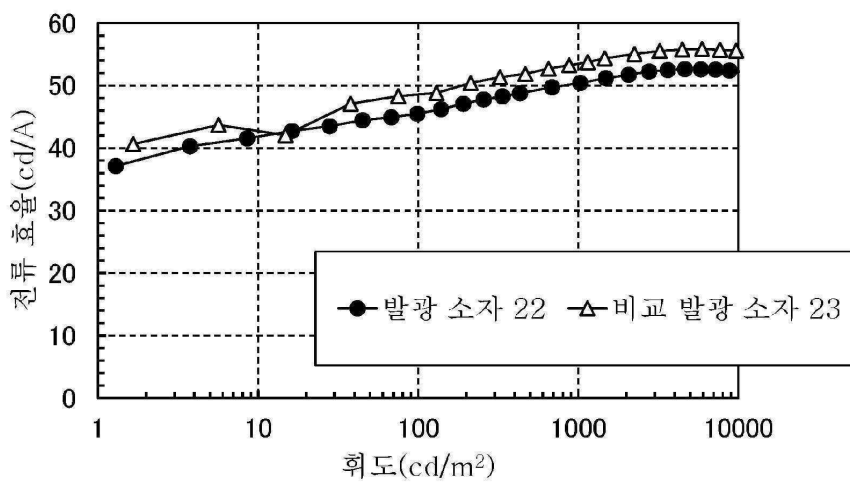
도면53



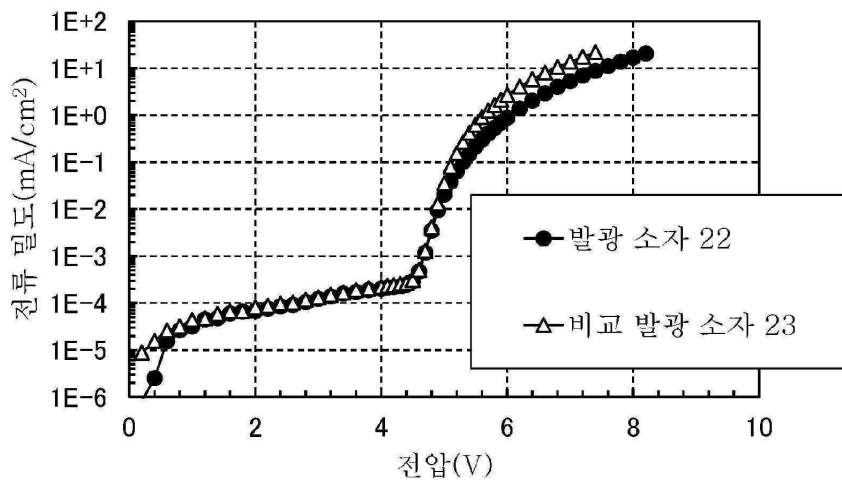
도면54



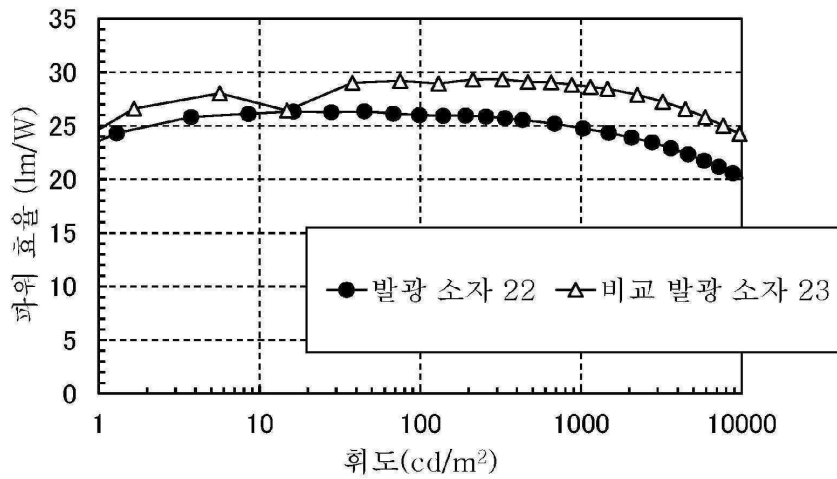
도면55



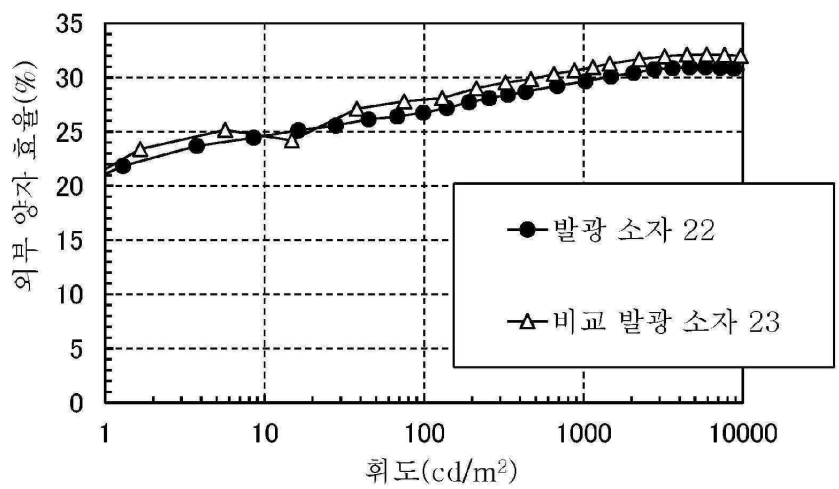
도면56



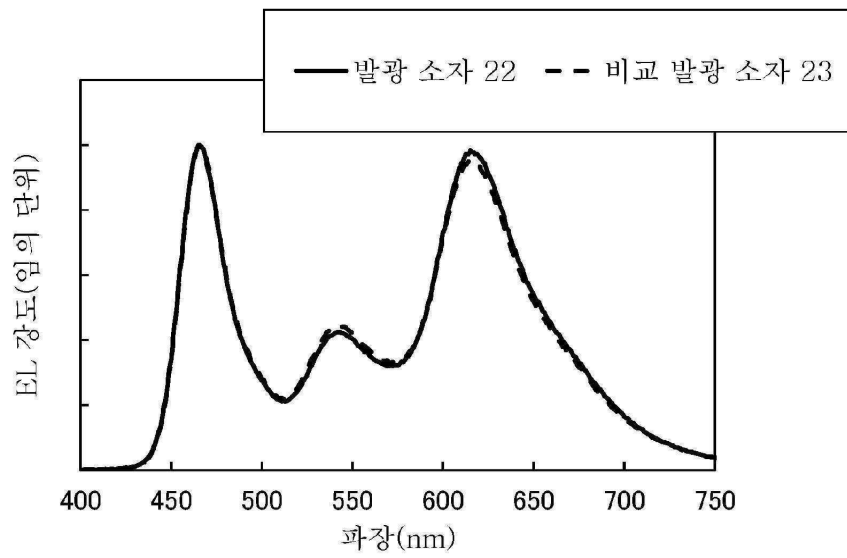
도면57



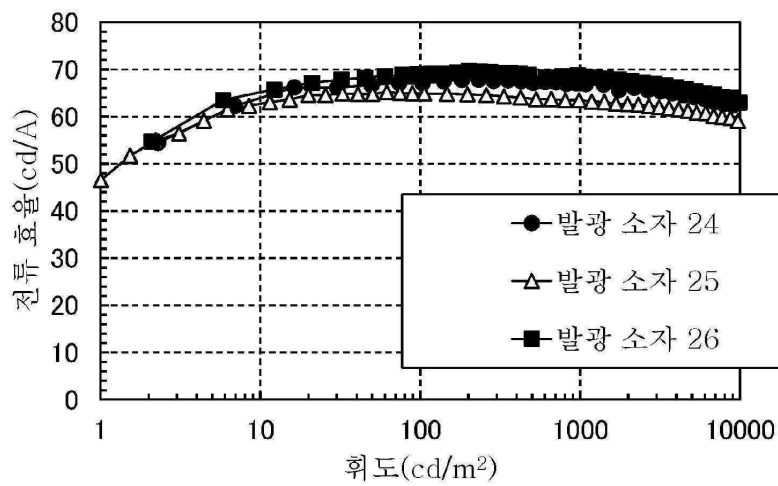
도면58



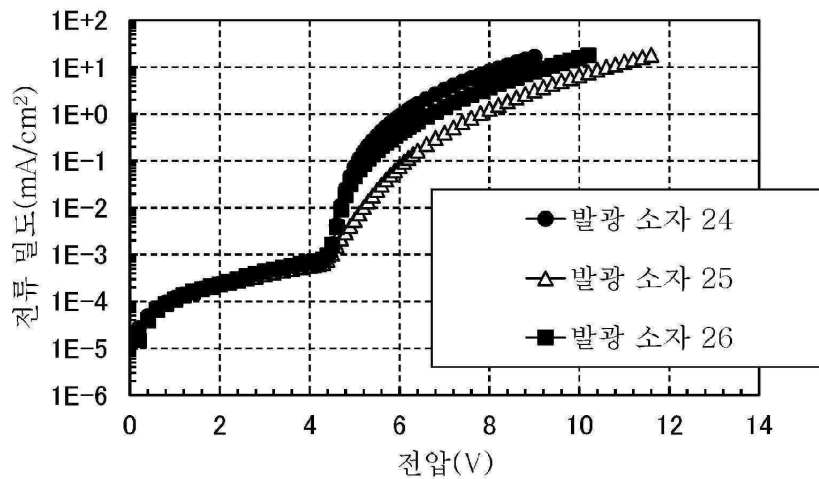
도면59



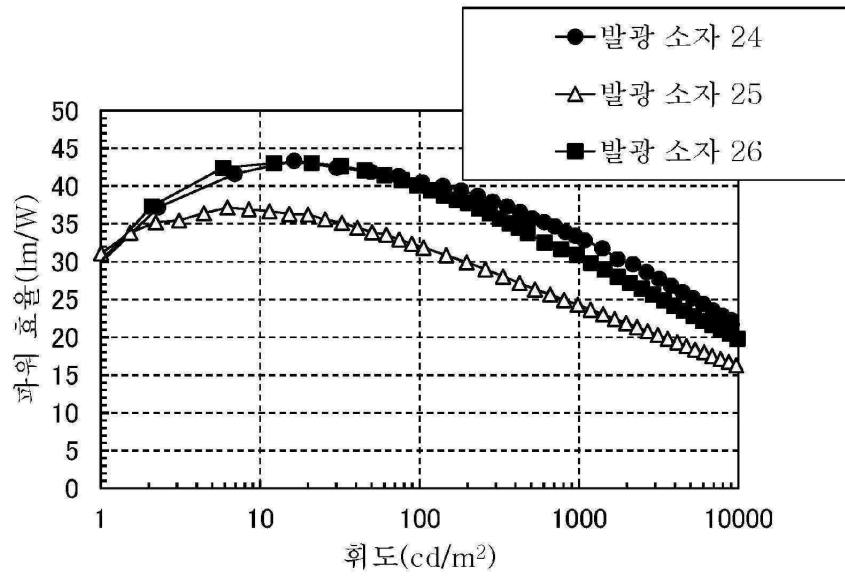
도면60



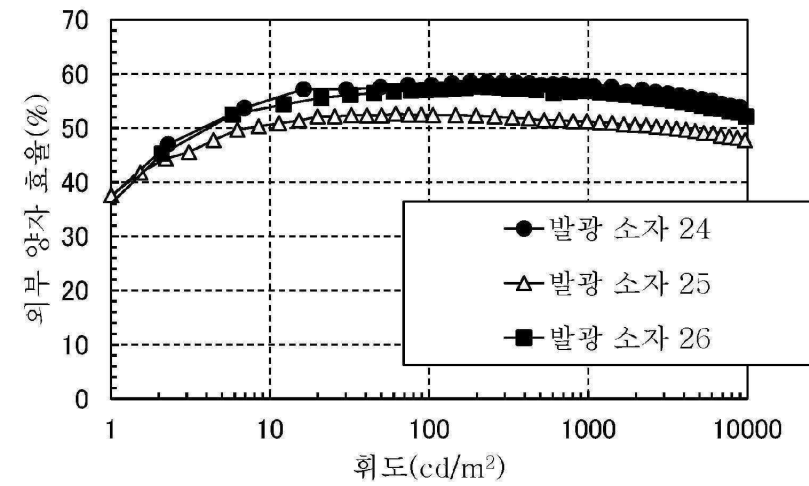
도면61



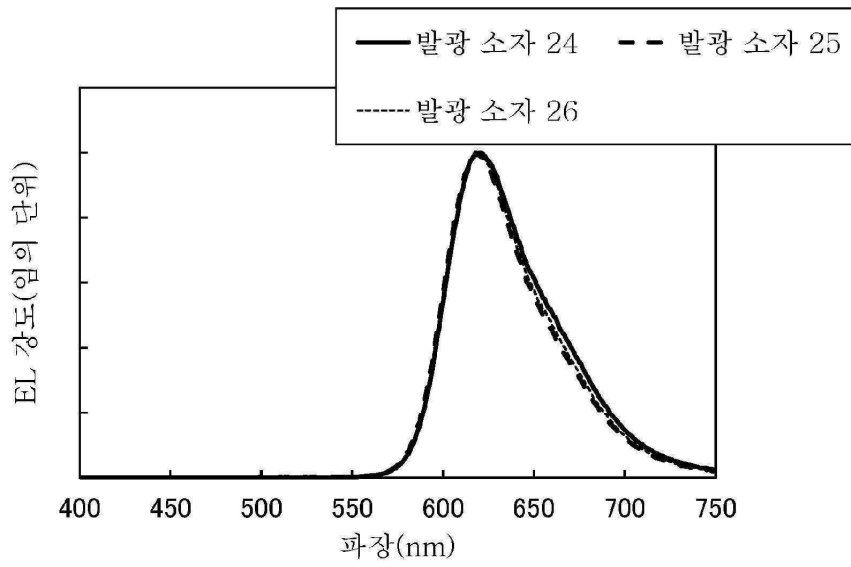
도면62



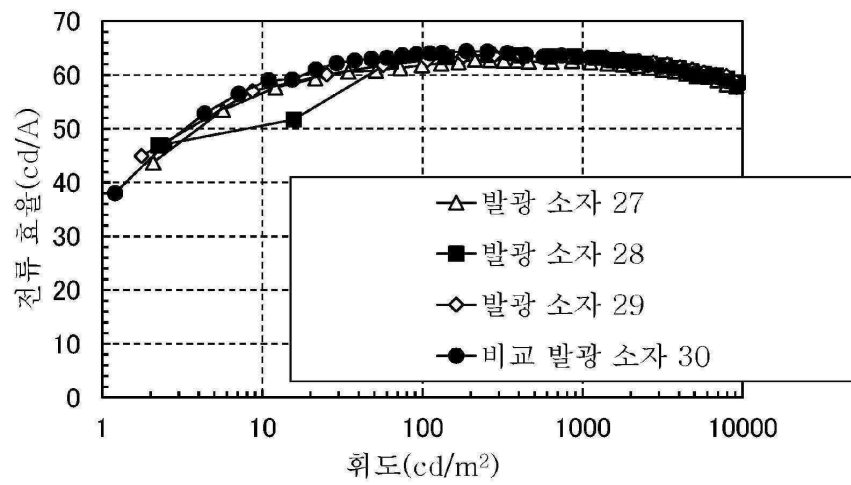
도면63



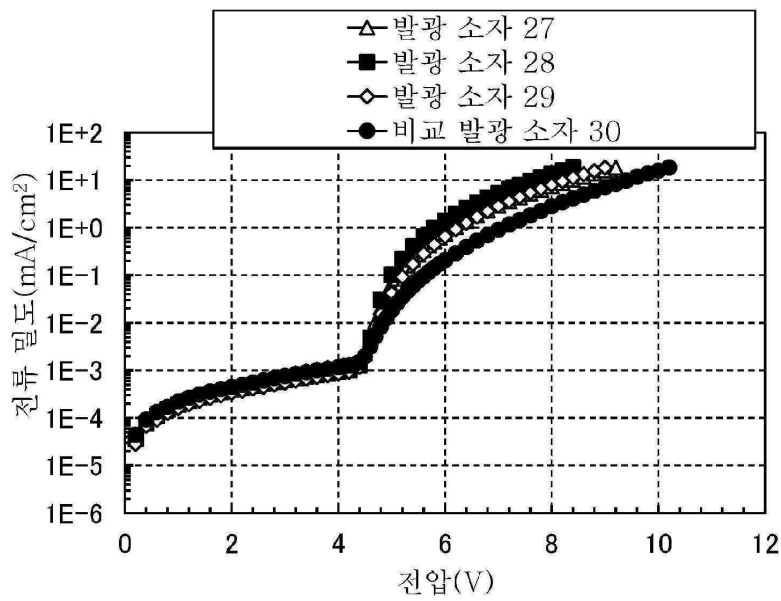
도면64



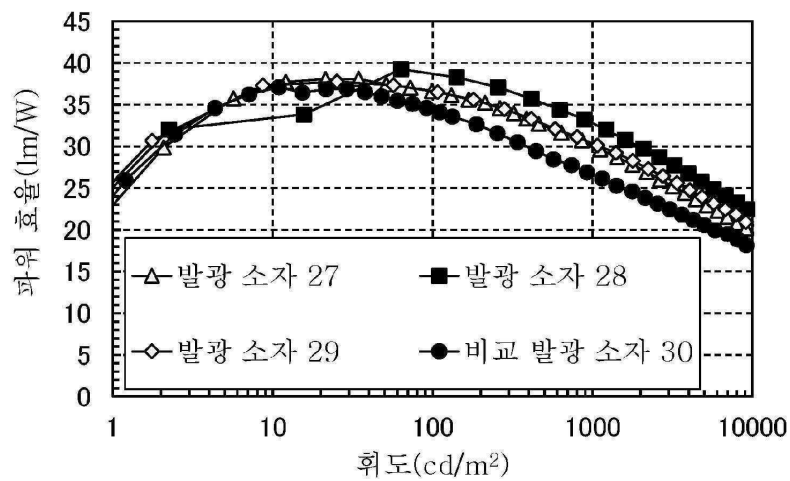
도면65



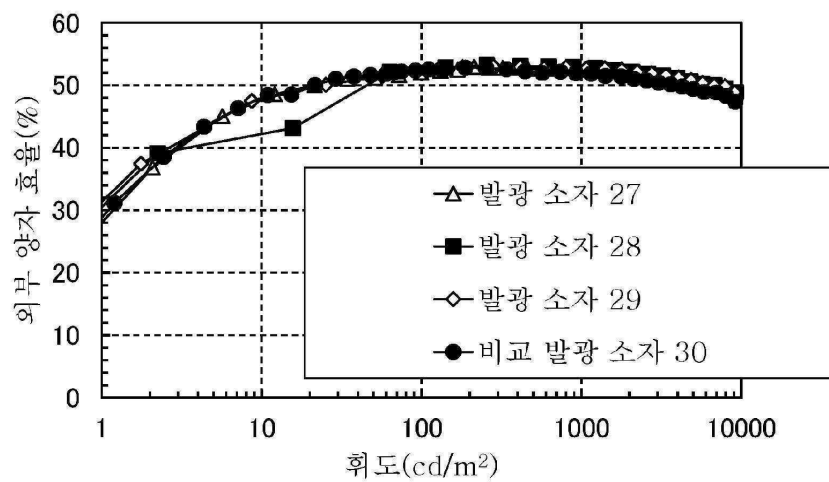
도면66



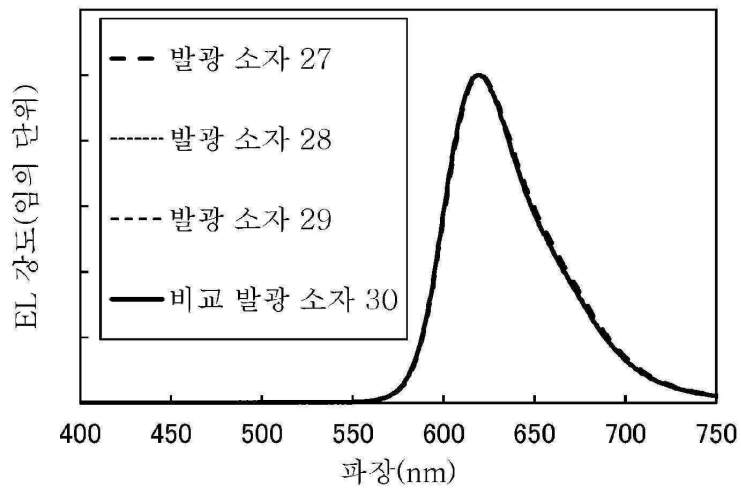
도면67



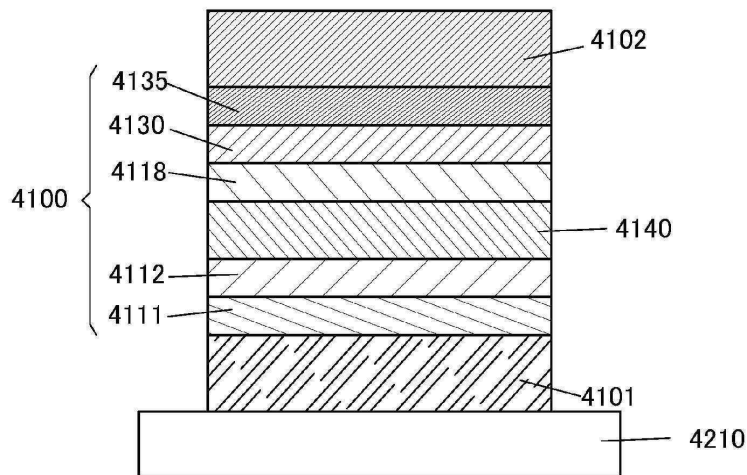
도면68



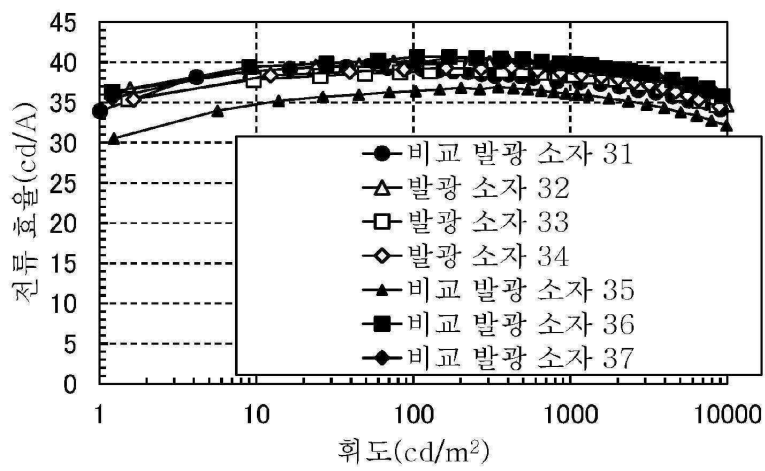
도면69



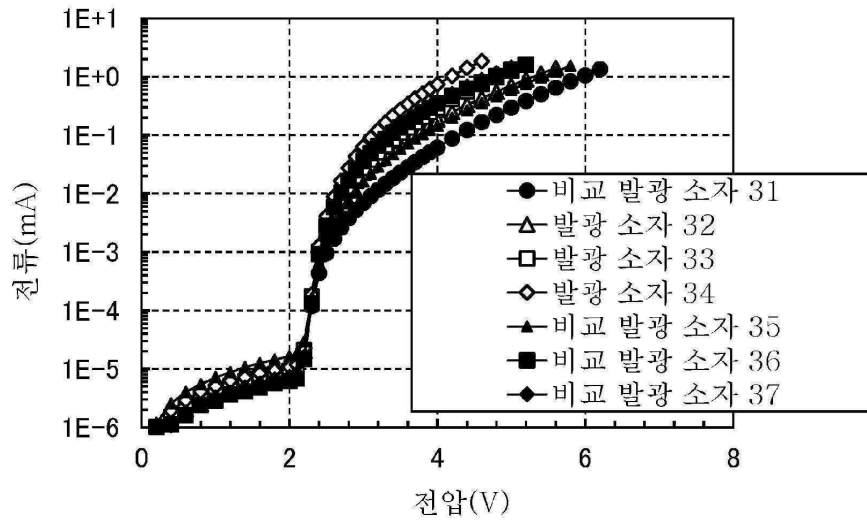
도면70



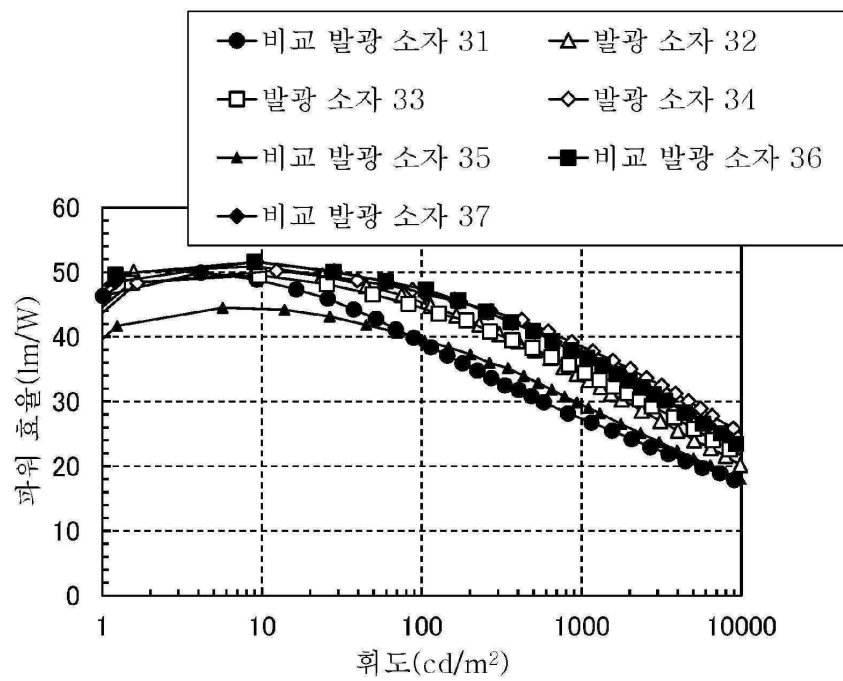
도면71



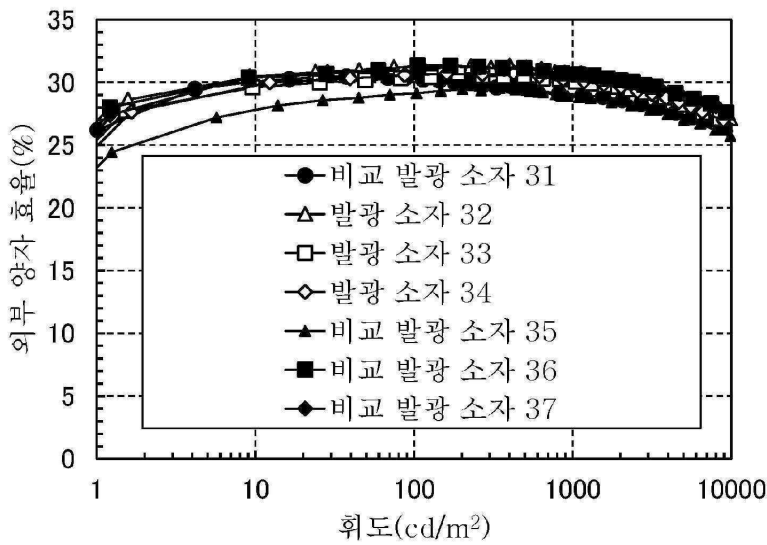
도면72



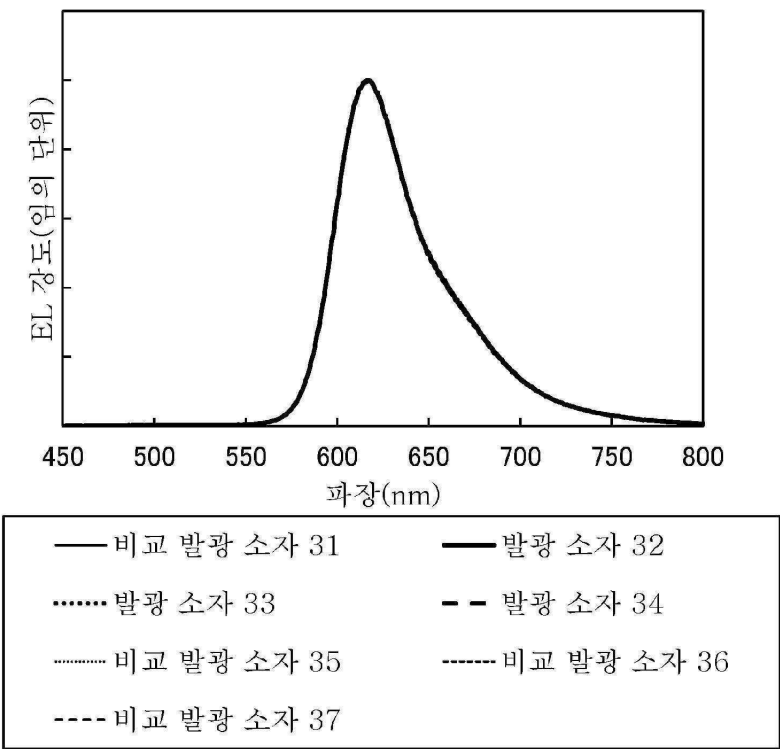
도면73



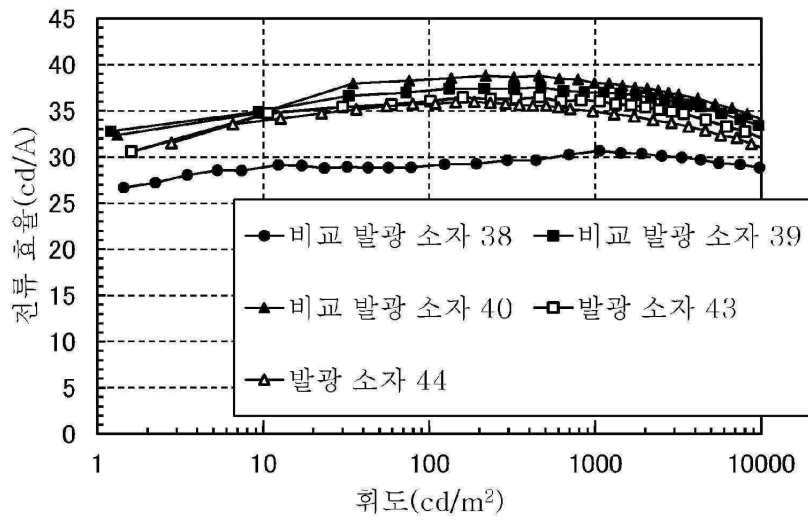
도면74



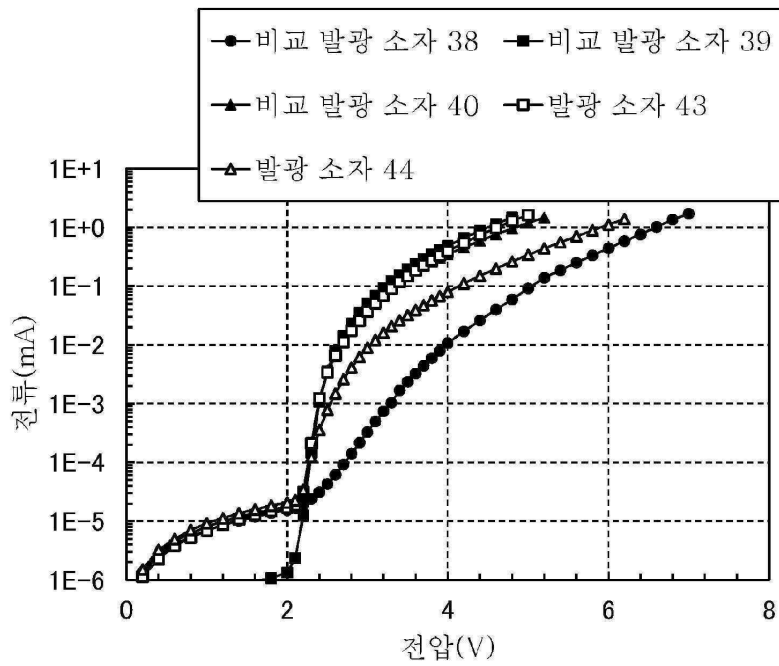
도면75



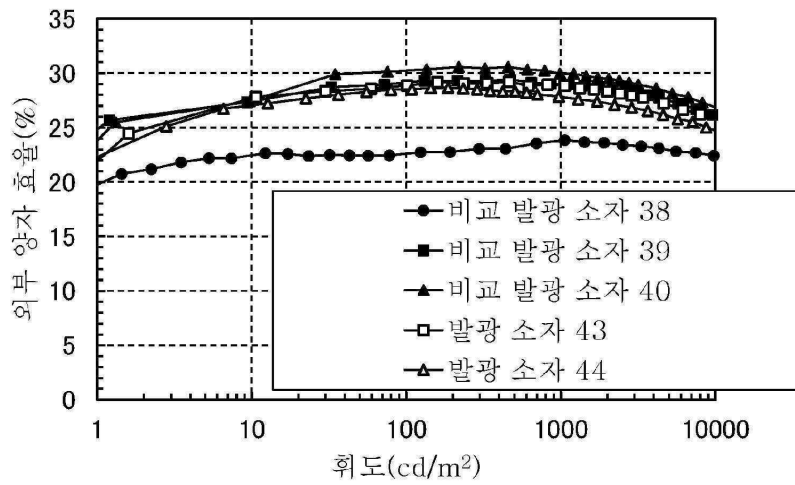
도면76



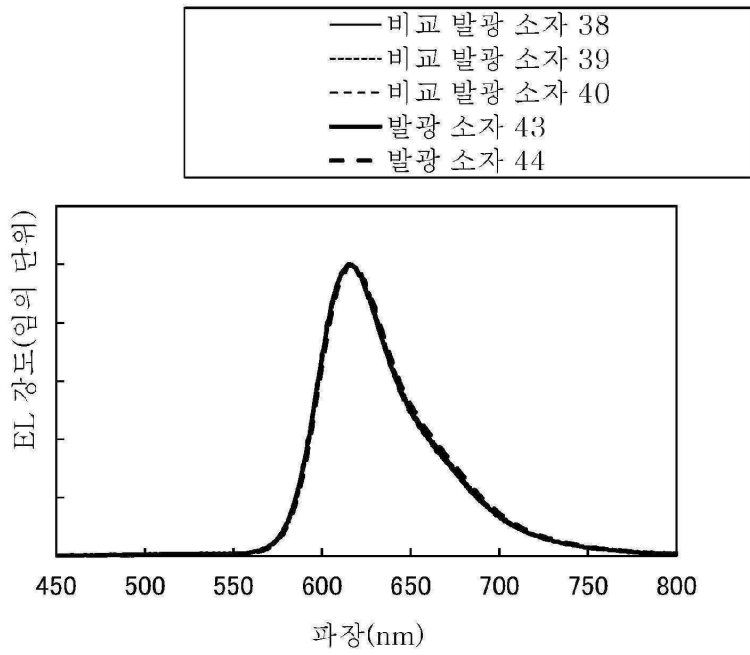
도면77



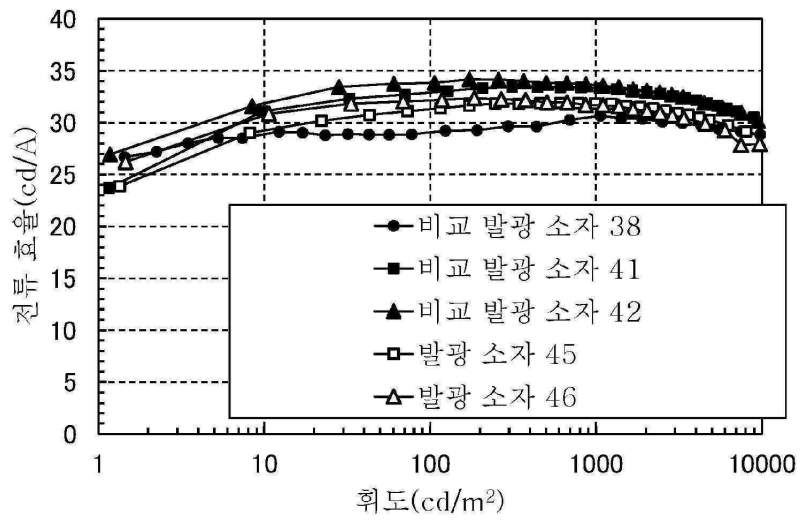
도면78



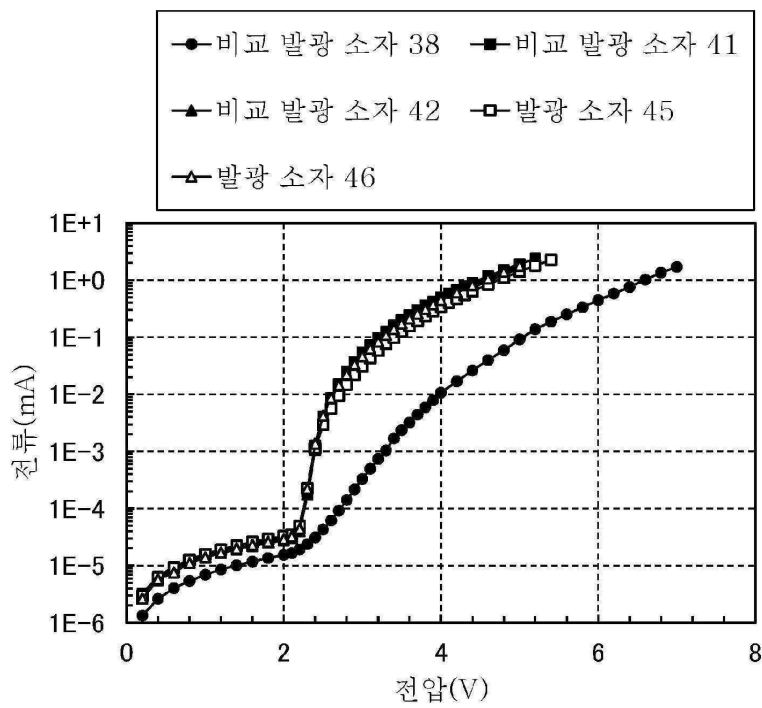
도면79



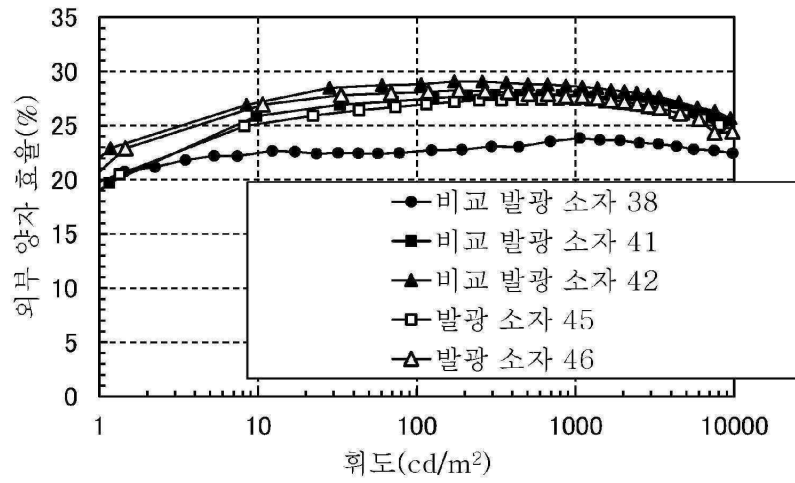
도면80



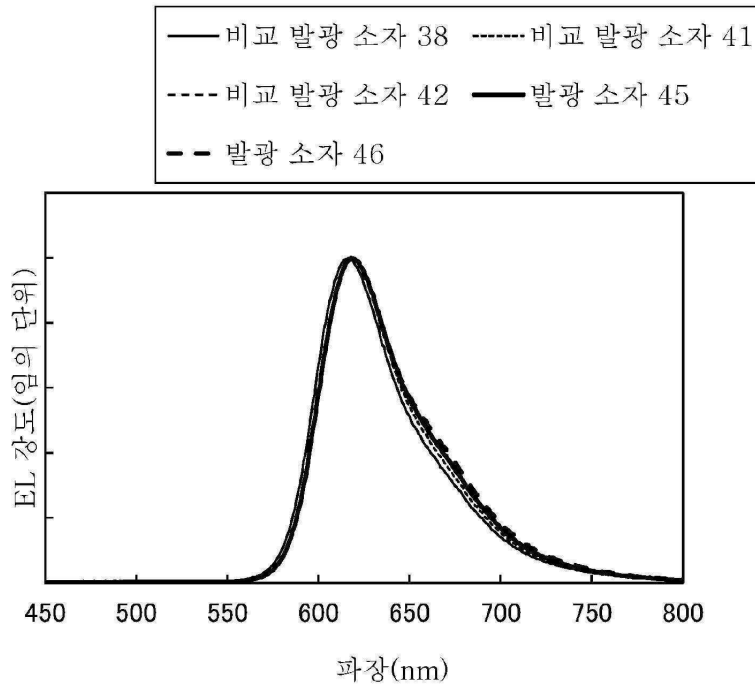
도면81



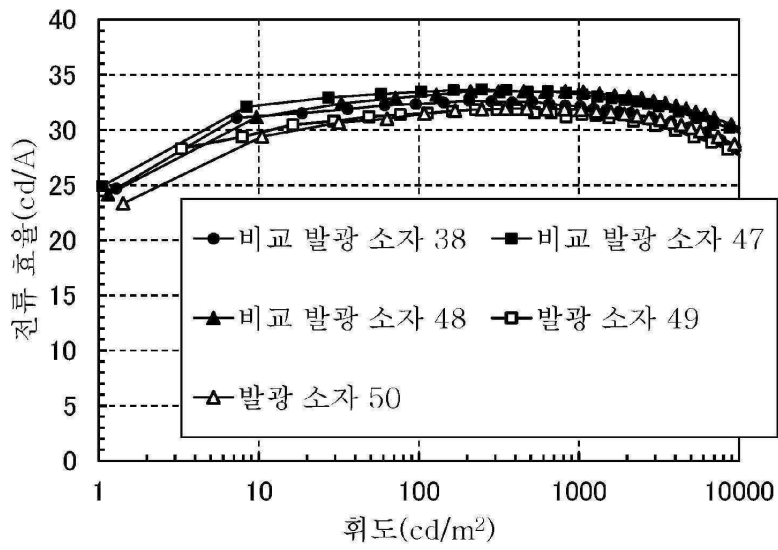
도면82



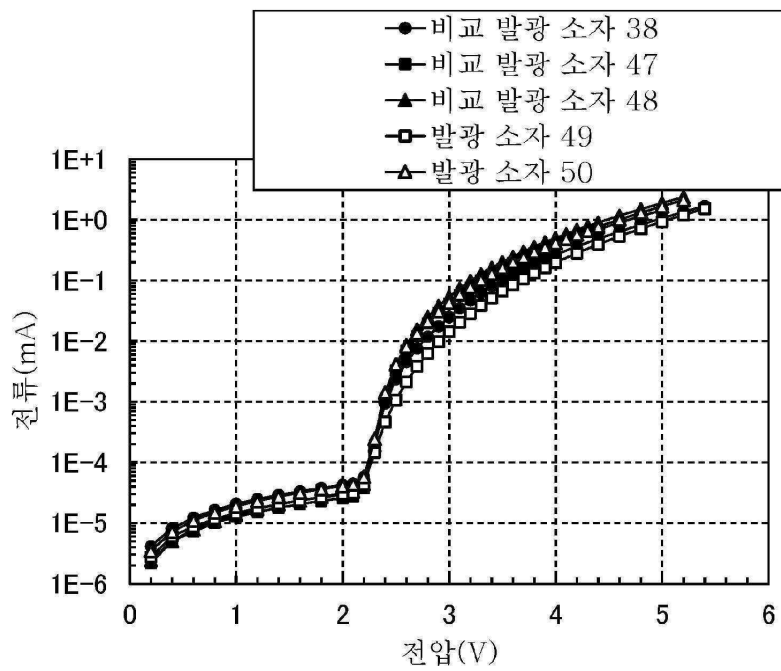
도면83



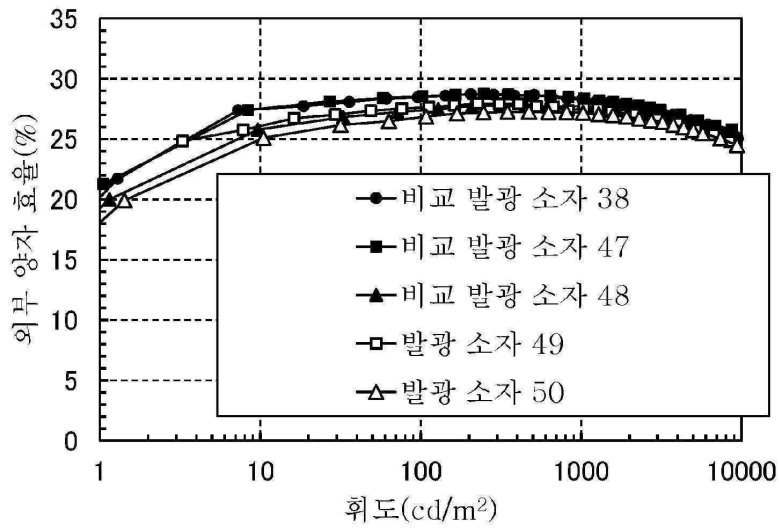
도면84



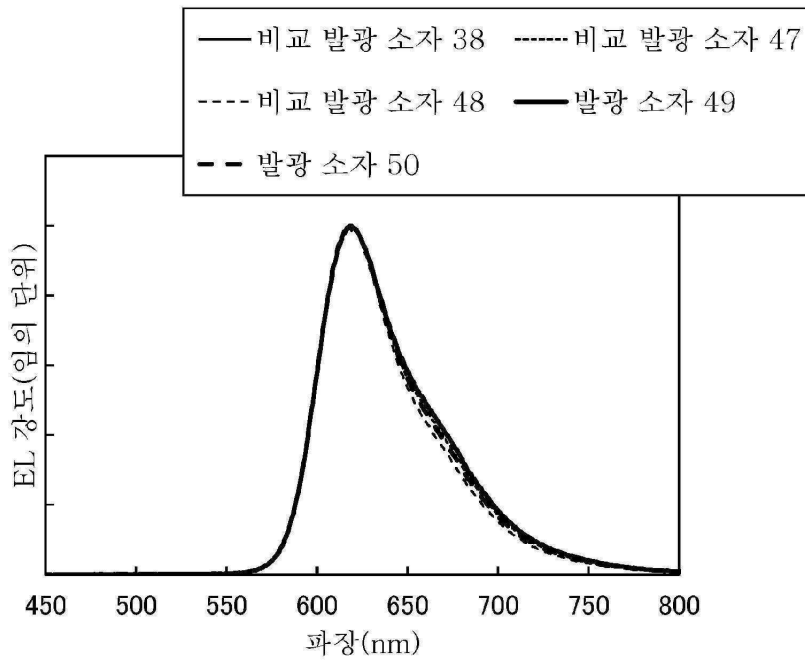
도면85



도면86

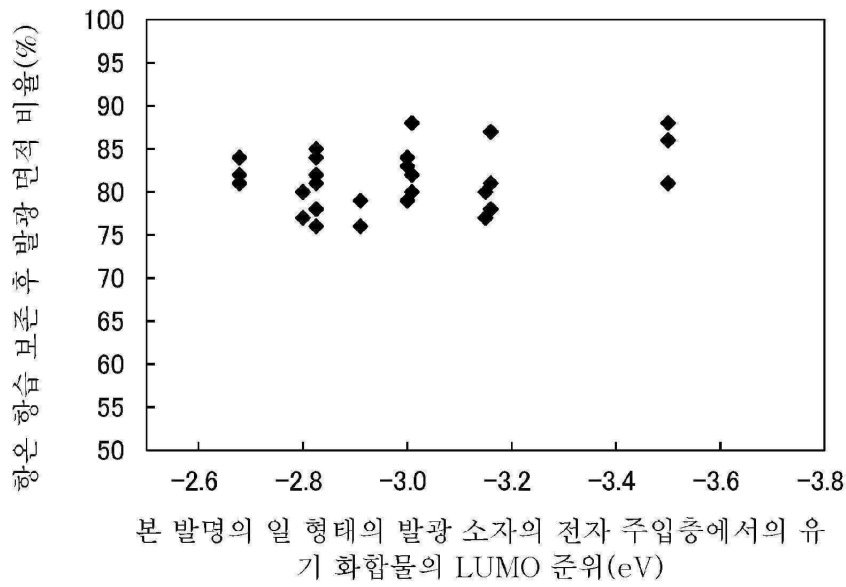


도면87

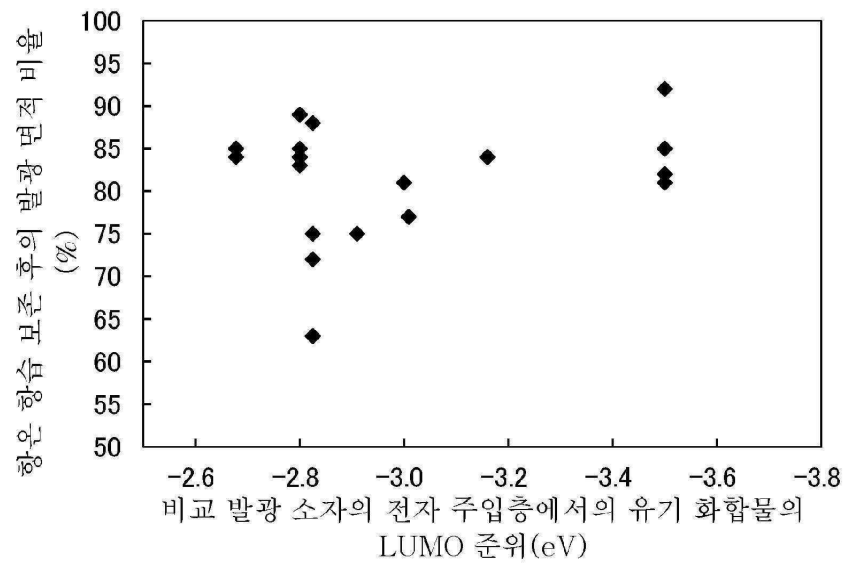


도면88

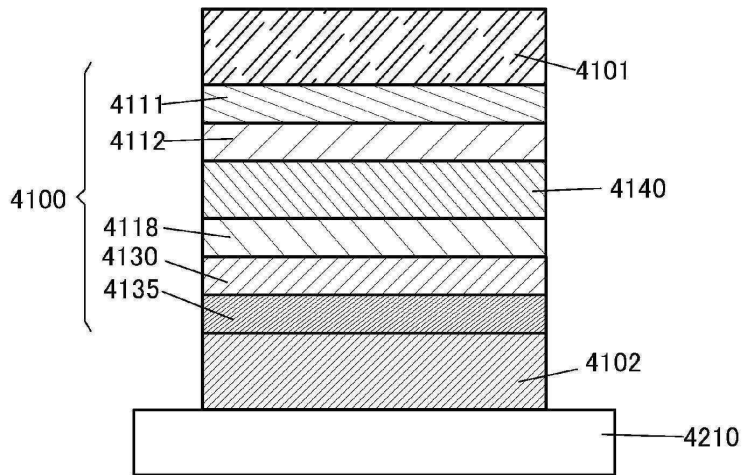
(A)



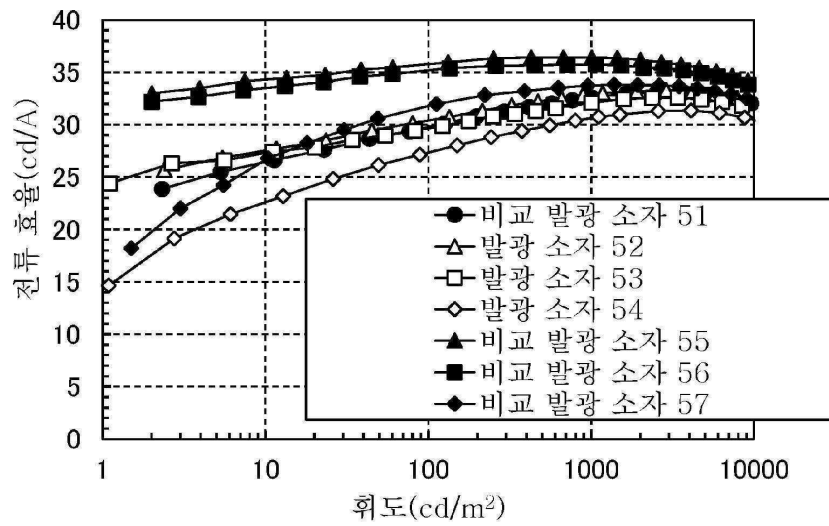
(B)



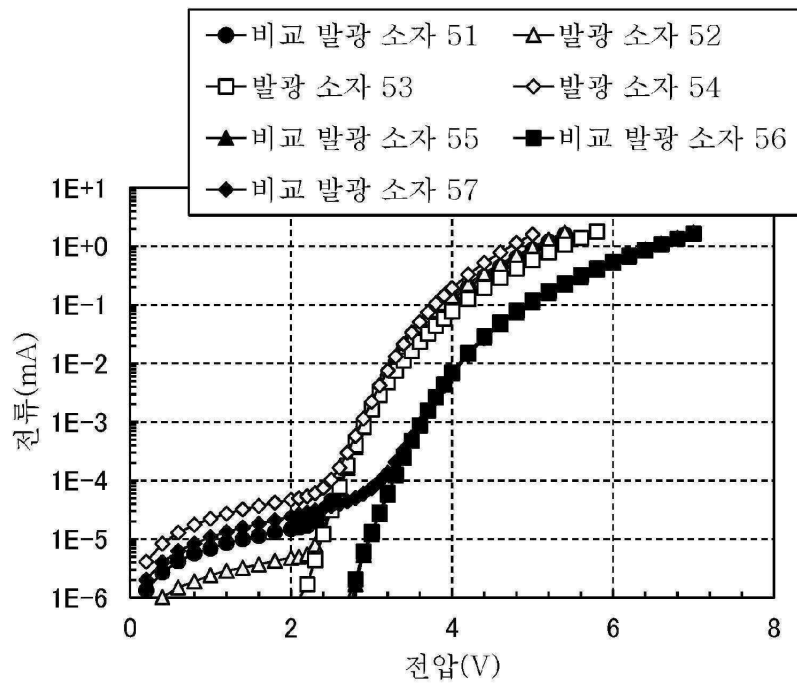
도면89



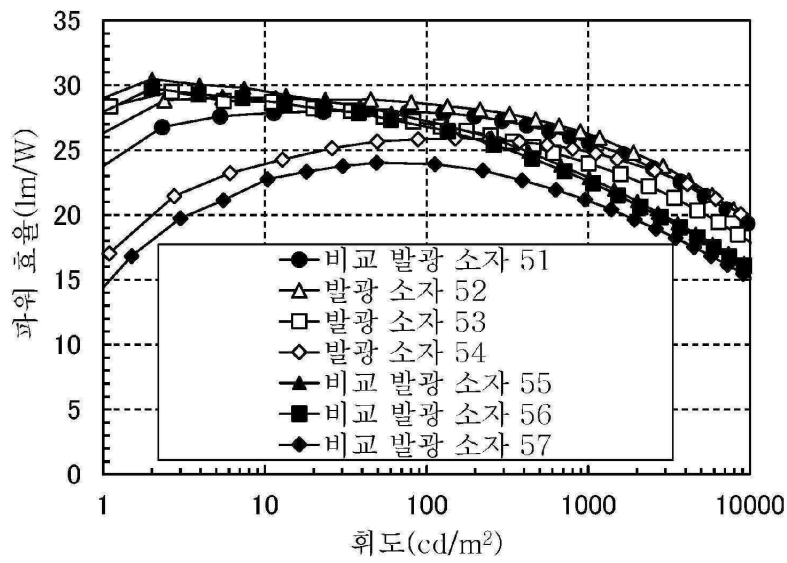
도면90



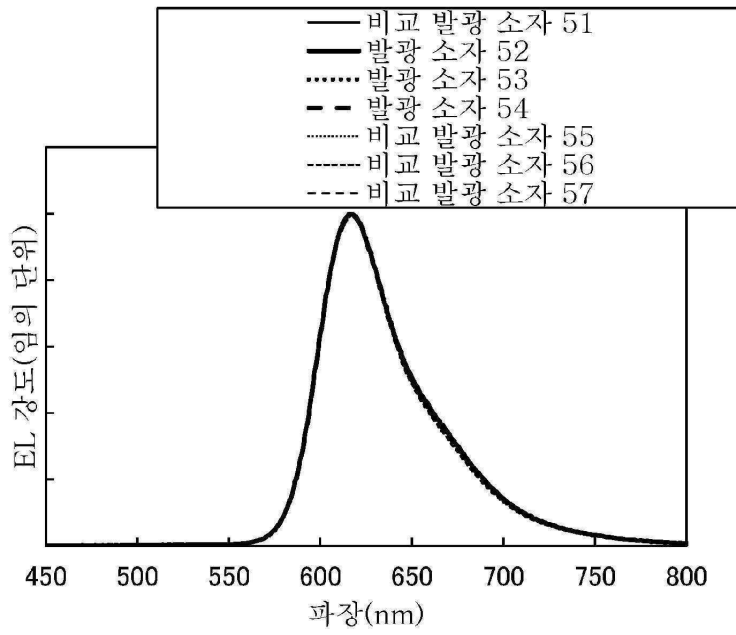
도면91



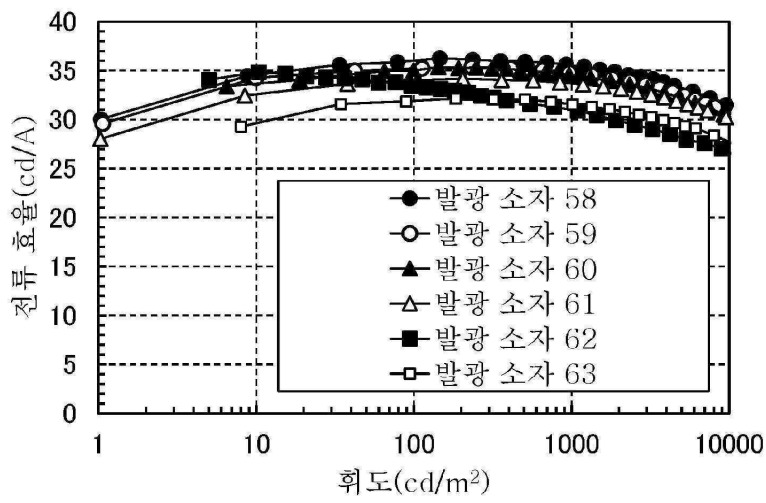
도면92



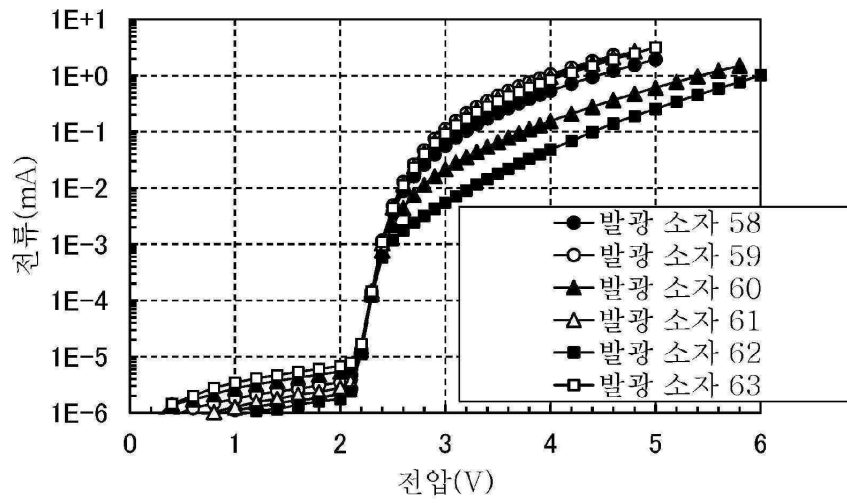
도면93



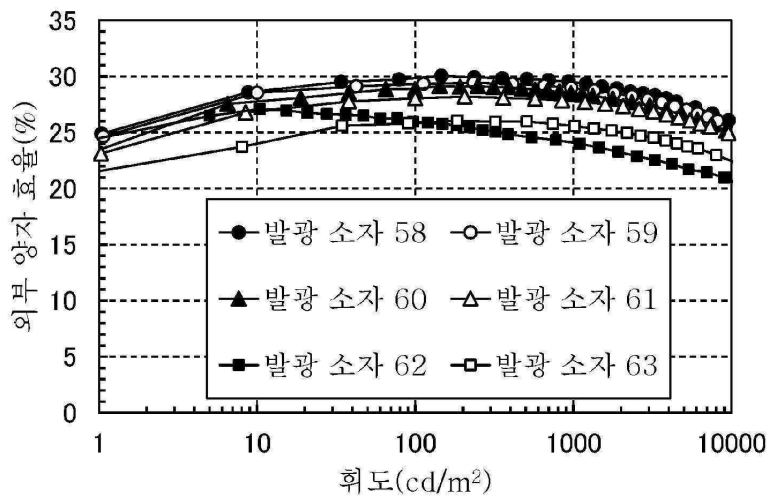
도면94



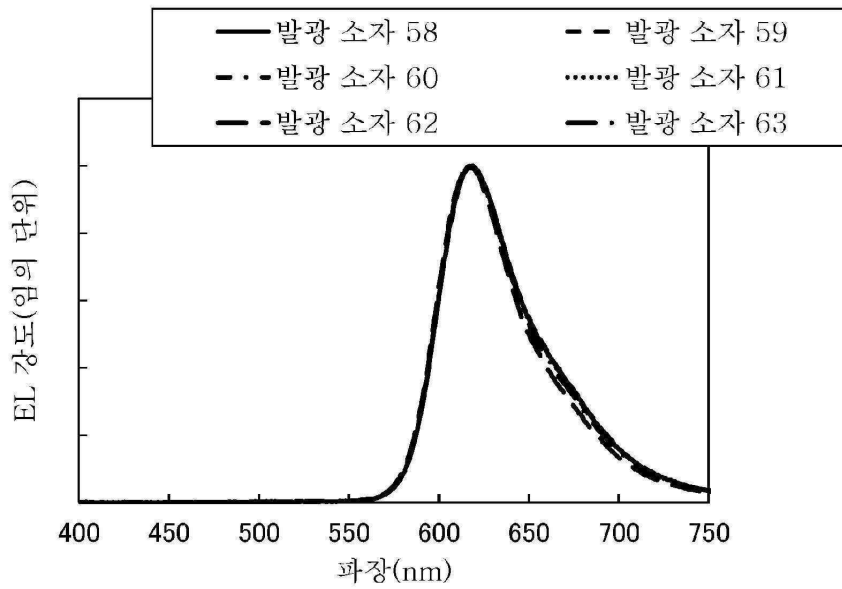
도면95



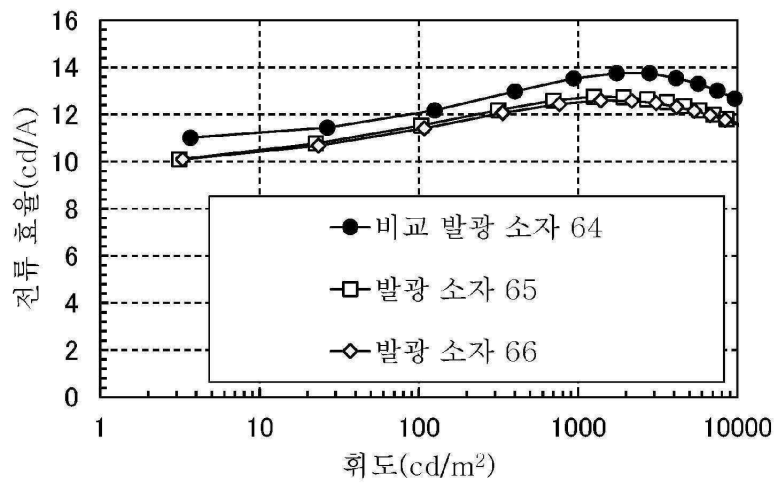
도면96



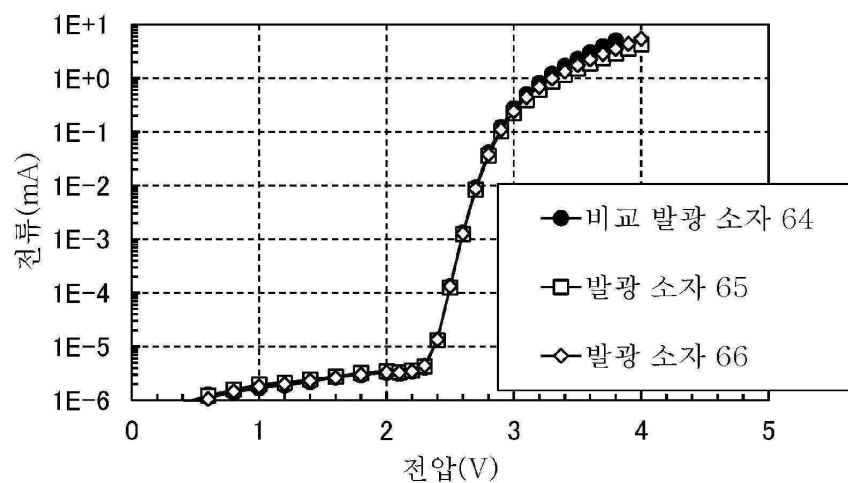
도면97



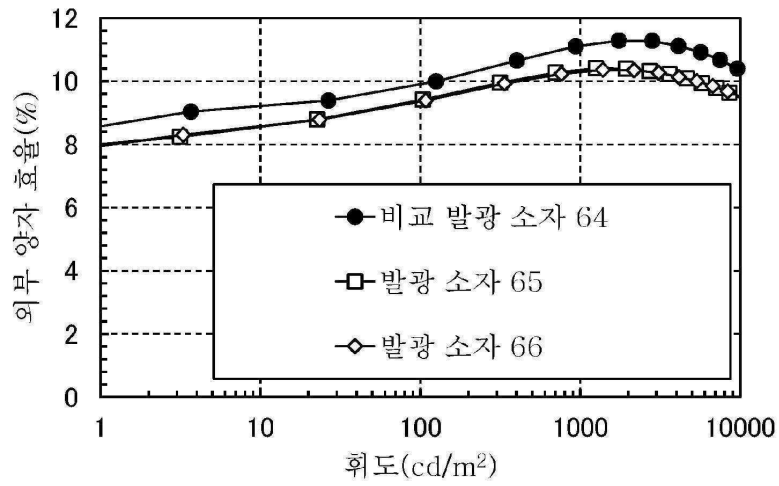
도면98



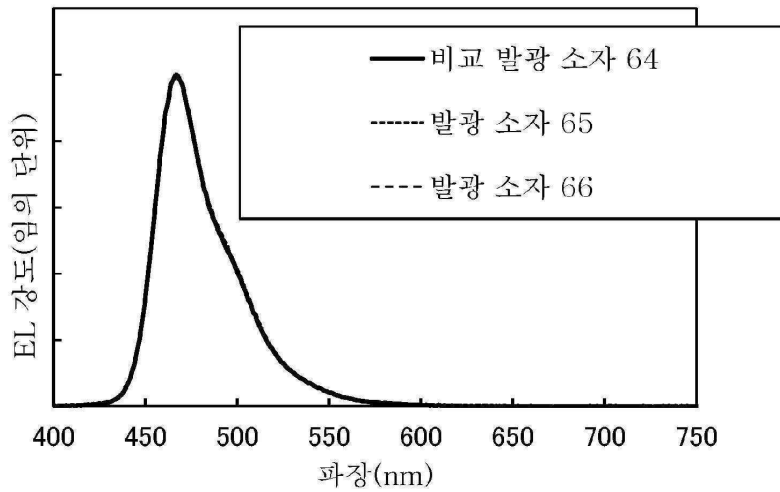
도면99



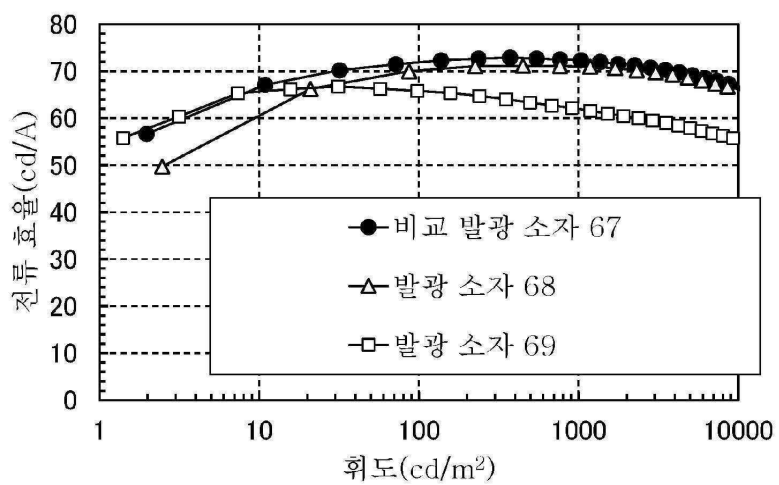
도면100



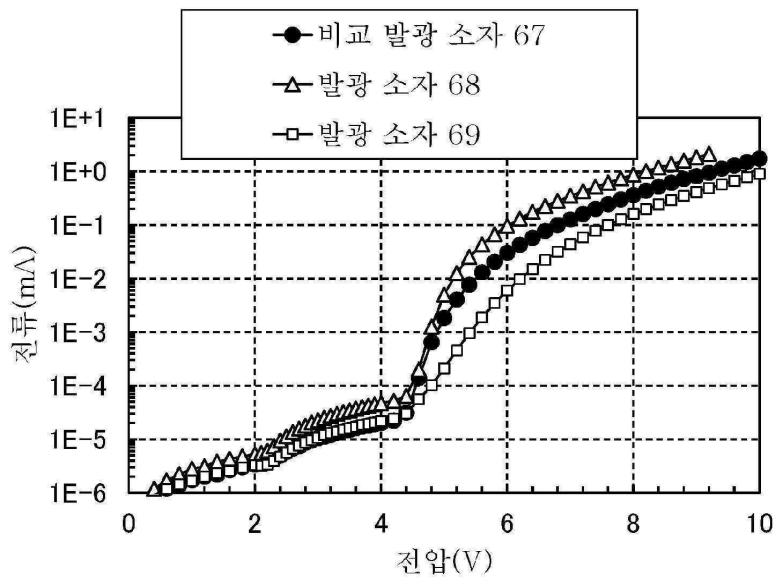
도면101



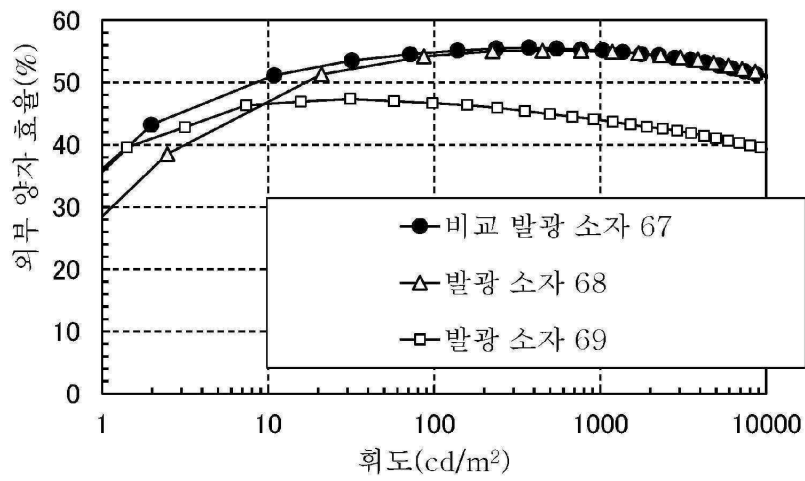
도면102



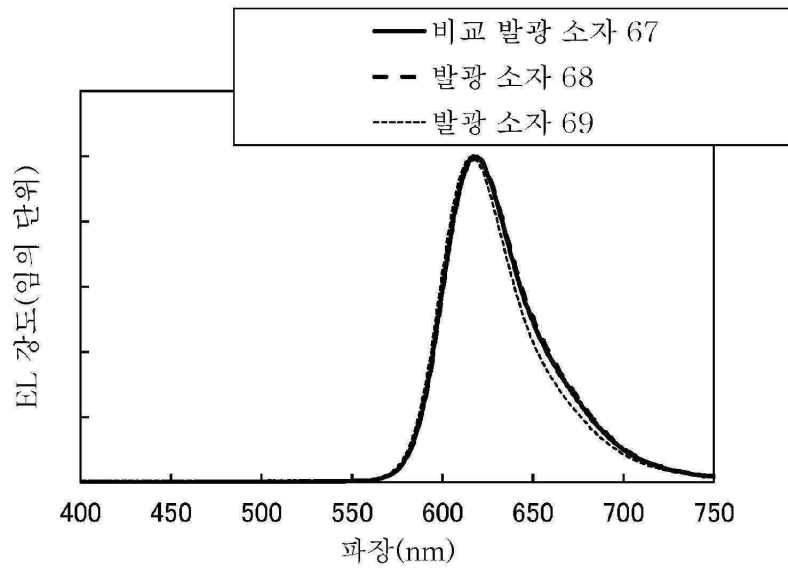
도면103



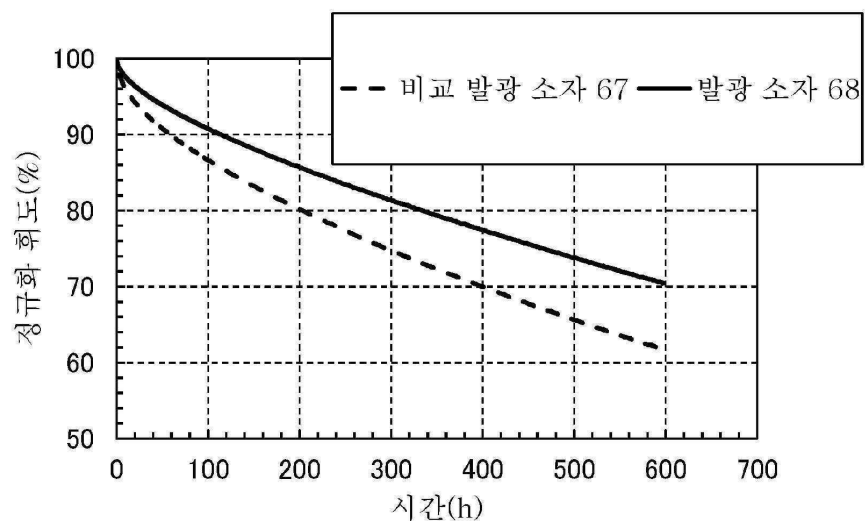
도면104



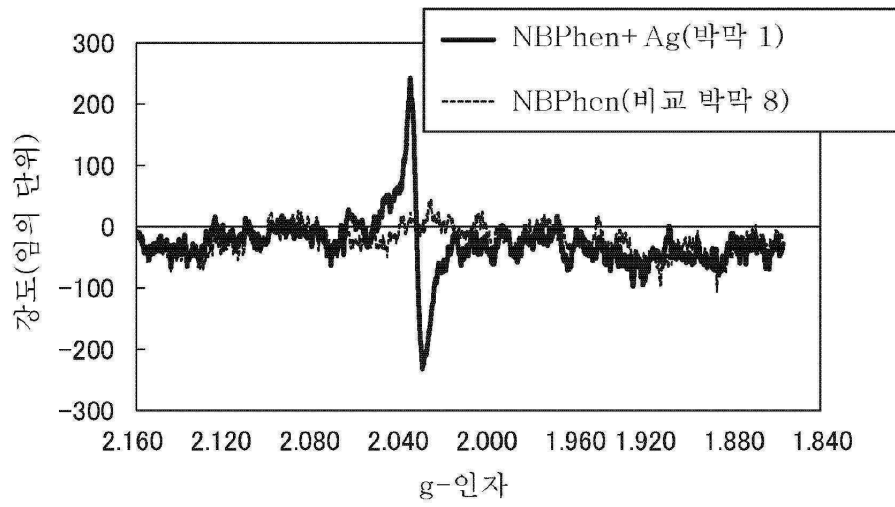
도면105



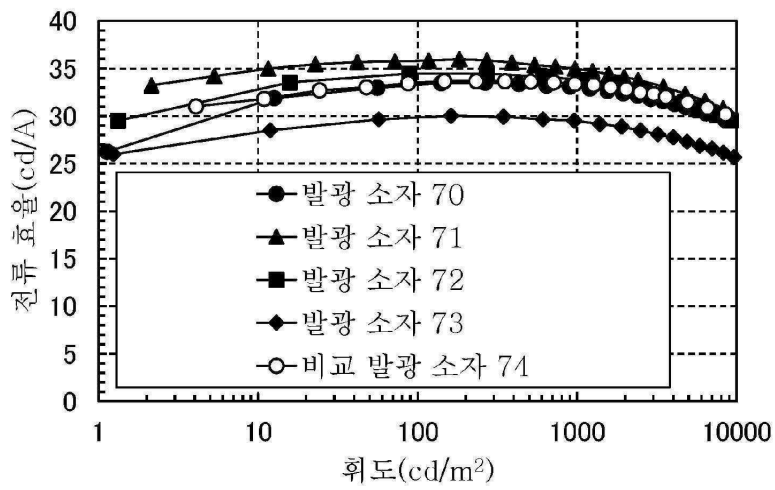
도면106



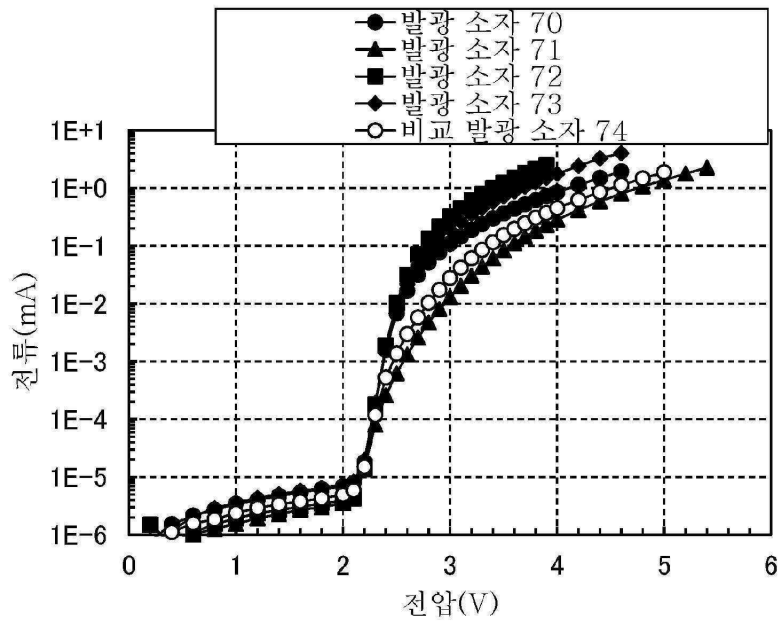
도면107



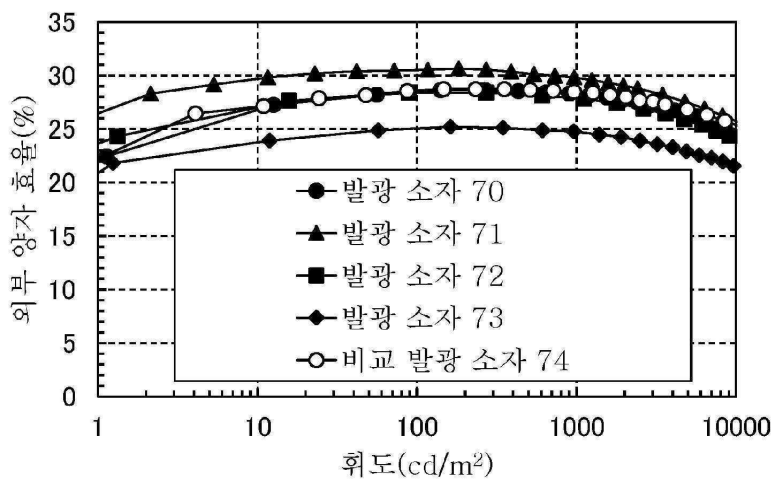
도면108



도면109



도면110



도면111

