



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2025년02월18일
(11) 등록번호 10-2768857
(24) 등록일자 2025년02월12일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H10K 50/00 (2023.01) H10K 99/00 (2023.01)
(52) CPC특허분류
H10K 50/11 (2023.02)
H10K 50/15 (2023.02)
(21) 출원번호 10-2018-7015452
(22) 출원일자(국제) 2016년11월21일
심사청구일자 2021년11월16일
(85) 번역문제출일자 2018년05월31일
(65) 공개번호 10-2018-0088818
(43) 공개일자 2018년08월07일
(86) 국제출원번호 PCT/IB2016/056990
(87) 국제공개번호 WO 2017/093843
국제공개일자 2017년06월08일
(30) 우선권주장
JP-P-2015-234485 2015년12월01일 일본(JP)
JP-P-2016-051071 2016년03월15일 일본(JP)
(56) 선행기술조사문헌
KR1020120100709 A*
(뒷면에 계속)
전체 청구항 수 : 총 18 항

(73) 특허권자
가부시키가이샤 한도오파이 에네루기 켄큐쇼
일본국 가나가와켄 아쓰기시 하세 398
(72) 발명자
하시모토 나오키
일본 2430036 가나가와 아쓰기시 하세 398 가부시
키가이샤 한도오파이 에네루기 켄큐쇼 내
스즈키 츠네히로
일본 2430036 가나가와 아쓰기시 하세 398 가부시
키가이샤 한도오파이 에네루기 켄큐쇼 내
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
양영준, 박충범

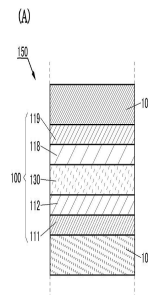
심사관 : 신재경

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

(57) 요약

본 발명은 형광성 재료를 포함하고 발광 효율이 높은 발광 소자를 제공한다. TTA에 의한 지연 형광 성분이 발광 성분 중에서 높은 비율을 차지하는 발광 소자를 제공한다. 발광 효율이 높고 소비전력이 낮은 신규 발광 소자를 제공한다. 발광 소자는 양극, 음극, 및 EL층을 포함한다. EL층은 호스트 재료를 포함하는 발광층, 및 발광층과 접촉되는 제 1 재료를 포함하는 전자 수송층을 포함한다. 제 1 재료의 LUMO 준위는 호스트 재료의 LUMO 준위보다 높다. TTA에 의한 지연 형광 성분의 비율은 EL층으로부터의 발광의 10% 이상이다. TTA에 의한 지연 형광 성분의 비율은 발광의 15% 이상이어도 좋다.

대표도



(52) CPC특허분류

H10K 50/16 (2023.02)
H10K 85/615 (2023.02)
H10K 85/622 (2023.02)
H10K 85/626 (2023.02)
H10K 85/654 (2023.02)
H10K 85/6572 (2023.02)
H10K 85/6576 (2023.02)

(72) 발명자

세오 사토시

일본 2430036 가나가와 아쓰기시 하세 398 가부시
키가이샤 한도오파이 에네루기 켄큐쇼 내

세오 히로미

일본 2430036 가나가와 아쓰기시 하세 398 가부시
키가이샤 한도오파이 에네루기 켄큐쇼 내

기도 히로미츠

일본 2430036 가나가와 아쓰기시 하세 398 가부시
키가이샤 한도오파이 에네루기 켄큐쇼 내

(56) 선행기술조사문헌

JP2015109407 A
CN105098086 A
KR1020120024624 A
KR1020130025858 A
KR1020120092550 A
US20140339522 A1

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

명세서

청구범위

청구항 1

발광 소자로서,

양극;

음극; 및

상기 양극과 상기 음극 사이의 EL층을 포함하고,

상기 EL층은 발광층 및 상기 발광층과 접촉되는 전자 수송층을 포함하고,

상기 발광층은 호스트 재료 및 형광성 재료를 포함하고,

상기 전자 수송층은 제 1 재료를 포함하고,

상기 제 1 재료의 LUMO 준위는 상기 호스트 재료의 LUMO 준위보다 낮고,

상기 형광성 재료의 LUMO 준위는 상기 호스트 재료의 상기 LUMO 준위 이상이고,

삼중항-삼중항 소멸에 의한 지연 형광 성분의 비율은 상기 EL층으로부터의 발광 전체의 10% 이상인, 발광 소자.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 삼중항-삼중항 소멸에 의한 상기 지연 형광 성분의 상기 비율은 상기 EL층으로부터의 상기 발광 전체의 15% 이상인, 발광 소자.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 제 1 재료는 다이아진 골격 또는 트라이아진 골격을 갖는 축합 복소 방향 고리 골격을 포함하는 물질인, 발광 소자.

청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 제 1 재료는 피라진 골격 또는 피리미딘 골격을 포함하는 물질인, 발광 소자.

청구항 5

제 1 항에 있어서,

상기 제 1 재료의 삼중항 여기 에너지는 상기 발광층에 포함되는 재료 중에서 가장 삼중항 여기 에너지가 높은 물질의 삼중항 여기 에너지보다 0.2eV 이상 높은, 발광 소자.

청구항 6

제 1 항에 있어서,

상기 발광층과 접촉되는 정공 수송층을 더 포함하고,

상기 정공 수송층은 제 2 재료를 포함하고,

상기 제 2 재료의 LUMO 준위는 상기 호스트 재료의 상기 LUMO 준위보다 높은, 발광 소자.

청구항 7

제 1 항에 있어서,

상기 발광층과 접촉되는 정공 수송층을 더 포함하고,

상기 정공 수송층은 제 2 재료를 포함하고,

상기 제 2 재료의 삼중항 여기 에너지는 상기 발광층에 포함되는 재료 중에서 가장 삼중항 여기 에너지가 높은 물질의 삼중항 여기 에너지보다 0.2eV 이상 높은, 발광 소자.

청구항 8

삭제

청구항 9

제 1 항에 있어서,

상기 형광성 재료의 삼중항 여기 에너지는 상기 호스트 재료의 삼중항 여기 에너지보다 높은, 발광 소자.

청구항 10

삭제

청구항 11

제 1 항에 있어서,

상기 발광층은 청색광을 방출하는, 발광 소자.

청구항 12

전자 기기로서,

제 1 항에 따른 발광 소자를 포함하는 발광 장치;

트랜지스터; 및

센서, 조작 버튼, 스피커, 또는 마이크로폰을 포함하는, 전자 기기.

청구항 13

발광 소자로서,

양극;

음극; 및

상기 양극과 상기 음극 사이의 EL층을 포함하고,

상기 EL층은 발광층 및 상기 발광층과 접촉되는 전자 수송층을 포함하고,

상기 발광층은 호스트 재료 및 형광성 재료를 포함하고,

상기 전자 수송층은 제 1 재료를 포함하고,

상기 제 1 재료의 LUMO 준위는 상기 호스트 재료의 LUMO 준위보다 0.05eV 이상 낮고,

상기 형광성 재료의 LUMO 준위는 상기 호스트 재료의 상기 LUMO 준위 이상이고,

삼중항-삼중항 소멸에 의한 지연 형광 성분의 비율은 상기 EL층으로부터의 발광 전체의 10% 이상인, 발광 소자.

청구항 14

제 13 항에 있어서,

상기 삼중항-삼중항 소멸에 의한 상기 지연 형광 성분의 상기 비율은 상기 EL층으로부터의 상기 발광 전체의 15% 이상인, 발광 소자.

청구항 15

제 13 항에 있어서,

상기 제 1 재료는 다이아진 골격 또는 트리아진 골격을 갖는 축합 복소 방향 고리 골격을 포함하는 물질인, 발광 소자.

청구항 16

제 13 항에 있어서,

상기 제 1 재료는 피라진 골격 또는 피리미딘 골격을 포함하는 물질인, 발광 소자.

청구항 17

제 13 항에 있어서,

상기 제 1 재료의 삼중항 여기 에너지는 상기 발광층에 포함되는 재료 중에서 가장 삼중항 여기 에너지가 높은 물질의 삼중항 여기 에너지보다 0.2eV 이상 높은, 발광 소자.

청구항 18

제 13 항에 있어서,

상기 발광층과 접촉되는 정공 수송층을 더 포함하고,

상기 정공 수송층은 제 2 재료를 포함하고,

상기 제 2 재료의 LUMO 준위는 상기 호스트 재료의 상기 LUMO 준위보다 높은, 발광 소자.

청구항 19

제 13 항에 있어서,

상기 발광층과 접촉되는 정공 수송층을 더 포함하고,

상기 정공 수송층은 제 2 재료를 포함하고,

상기 제 2 재료의 삼중항 여기 에너지는 상기 발광층에 포함되는 재료 중에서 가장 삼중항 여기 에너지가 높은 물질의 삼중항 여기 에너지보다 0.2eV 이상 높은, 발광 소자.

청구항 20

삭제

청구항 21

제 13 항에 있어서,

상기 형광성 재료의 삼중항 여기 에너지는 상기 호스트 재료의 삼중항 여기 에너지보다 높은, 발광 소자.

청구항 22

삭제

청구항 23

삭제

청구항 24

삭제

청구항 25

삭제

청구항 26

삭제

청구항 27

삭제

청구항 28

삭제

청구항 29

삭제

청구항 30

삭제

청구항 31

삭제

청구항 32

삭제

청구항 33

삭제

청구항 34

삭제

청구항 35

삭제

청구항 36

삭제

청구항 37

삭제

청구항 38

삭제

청구항 39

삭제

청구항 40

삭제

청구항 41

삭제

청구항 42

삭제

청구항 43

삭제

청구항 44

삭제

청구항 45

삭제

청구항 46

삭제

청구항 47

삭제

청구항 48

삭제

청구항 49

삭제

청구항 50

삭제

청구항 51

삭제

청구항 52

삭제

청구항 53

삭제

청구항 54

삭제

발명의 설명

기술 분야

[0001]

본 발명의 일 형태는 발광 소자, 표시 모듈, 조명 모듈, 표시 장치, 발광 장치, 전자 기기, 및 조명 장치에 관한 것이다. 또한, 본 발명의 일 형태는 상기 기술 분야에 한정되지 않는다. 본 명세서 등에 개시(開示)된 발명의 일 형태의 기술 분야는 물건, 방법, 또는 제조 방법에 관한 것이다. 또한, 본 발명의 일 형태는 공정(process), 기계(machine), 제품(manufacture), 또는 조성물(composition of matter)에 관한 것이다. 특히, 본 명세서에 개시된 본 발명의 일 형태의 기술 분야의 예에는 반도체 장치, 표시 장치, 액정 표시 장치, 발광

장치, 조명 장치, 전력 저장 장치, 기억 장치, 촬상 장치, 이들 중 어느 것의 구동 방법, 및 이들 중 어느 것의 제조 방법이 포함된다.

배경 기술

- [0002] 근년에 들어, EL(electroluminescence)을 사용한 발광 소자의 연구 개발이 활발하게 수행되고 있다. 이러한 발광 소자의 기본적인 구조에서는, 발광 재료를 포함하는 층(EL층)이 한 쌍의 전극 사이에 끼워져 있다. 이 소자의 한 쌍의 전극 사이에 전압을 인가함으로써, 발광 재료로부터의 발광을 얻을 수 있다.
- [0003] 상기 발광 소자는 자기 발광형이기 때문에, 이 발광 소자가 사용된 표시 장치는 시인성(視認性)이 높고, 백라이트가 불필요하고, 소비전력이 낮은 등의 이점을 갖는다. 또한, 발광 소자는 표시 장치의 두께 및 중량이 저감되고 응답 속도가 향상되는 점에서도 효과적이다.
- [0004] 유기 재료를 포함하고 한 쌍의 전극 사이에 제공되는 EL층을 포함하는 발광 소자(예를 들어, 유기 EL 소자)에서는, 한 쌍의 전극 사이에 전압을 인가함으로써, 발광성을 갖는 EL층에 음극으로부터 전자가, 양극으로부터 정공이 주입되기 때문에 전류가 흐른다. 그리고, 주입된 전자와 정공이 재결합함으로써, 발광성을 갖는 유기 재료가 여기 상태가 되어 발광이 얻어진다.
- [0005] 유기 재료에 의하여 형성되는 여기 상태는 단일항 여기 상태(S^*) 또는 삼중항 여기 상태(T^*)일 수 있다. 단일항 여기 상태로부터의 발광을 형광이라고 하고, 삼중항 여기 상태로부터의 발광을 인광이라고 한다. 이 발광 소자에서의 $S^*:T^*$ 의 통계적인 생성 비율은 1:3이다. 바꿔 말하면, 인광을 방출하는 재료를 포함하는 발광 소자는 형광을 방출하는 재료를 포함하는 발광 소자보다 발광 효율이 높다. 그러므로, 근년에 들어, 삼중항 여기 상태를 발광으로 변환할 수 있는 인광성 재료를 포함하는 발광 소자가 활발하게 개발되고 있다.
- [0006] 인광성 재료를 포함하는 발광 소자 중에서, 청색광을 방출하는 발광 소자는, 삼중항 여기 에너지 준위가 높은 안정적인 재료의 개발이 어렵기 때문에, 아직 실용화에 이르지 못하고 있다. 이러한 이유로, 청색광을 방출하는 발광 소자에서는 더 안정적인 형광성 재료가 개발되고 있고, 형광성 재료를 포함하는 발광 소자의 발광 효율을 향상시키는 기술이 연구되고 있다.
- [0007] 삼중항 여기 상태의 일부를 발광으로 변환할 수 있는 발광 기구로서, 삼중항-삼중항 소멸(TTA)이 알려져 있다. TTA란 2개의 삼중항 여기자가 서로 근접하는 경우, 여기 에너지가 이동하고 스핀각 운동량이 교환되어 단일항 여기자를 형성하는 공정을 말한다.
- [0008] TTA가 일어나는 화합물로서는, 안트라센 화합물이 알려져 있다. 비특허문헌 1에는, 청색광을 방출하는 발광 소자의 호스트 재료로서 안트라센 화합물을 사용함으로써, 10%를 넘는 외부 양자 효율을 달성하는 것이 개시되어 있다. 이 비특허문헌 1에는 안트라센 화합물의 TTA에 의한 지연 형광 성분의 비율이 발광 소자의 발광 성분의 약 10%인 것도 개시되어 있다.
- [0009] 또한, TTA에 의한 지연 형광 성분의 비율이 높은 화합물로서 테트라센 화합물이 알려져 있다. 비특허문헌 2에는, 테트라센 화합물로부터의 발광 중에서 TTA에 의한 지연 형광 성분은 안트라센 화합물보다 높은 비율을 차지하는 것이 개시되어 있다.
- [0010] 또한, TTA가 일어나는 경우와 TTA가 일어나지 않는 경우와 비교하여, 형광성 재료의 수명이 충분히 길어진다는(지연 형광이 생성된다). 발광 소자의 지연 형광은 안정적인 캐리어의 주입을 어느 시점에서 정지한 후, 발광의 감쇠를 관찰함으로써 확인될 수 있다. 또한, 이 경우, 지연 형광의 스펙트럼은 안정적으로 캐리어를 주입하는 동안의 발광 스펙트럼과 중첩된다.

선행기술문헌

비특허문헌

- [0011] (비특허문헌 0001) Tsunenori SUZUKI 외 6명, Japanese Journal of Applied Physics, vol. 53, 052102(2014)
- (비특허문헌 0002) D. Y. Kondakov 외 3명, Journal of Applied Physics, vol. 106, 124510(2009)

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0012] 형광성 재료를 포함하는 발광 소자의 발광 효율을 향상시키기 위해서는, 발광에 기여하지 않는 삼중항 여기자의 에너지를 발광성을 갖는 단일항 여기자의 에너지로 변환하고, 변환 효율을 향상시키는 것이 중요하다. 바꿔 말하면, TTA에 의하여 삼중항 여기자의 에너지를 단일항 여기자의 에너지로 변환하는 것이 중요하다; 특히, 발광 소자의 발광 성분 중에서, TTA에 의한 지연 형광 성분의 비율을 높아야 한다. 이것은 TTA에 의한 지연 형광 성분의 비율이 증가되는 것은 발광성을 갖는 단일항 여기자의 생산 비율이 증가되는 것을 의미하기 때문이다.
- [0013] 상기 관점에서, 본 발명의 일 형태의 목적은 형광성 재료를 포함하고 발광 효율이 높은 발광 소자를 제공하는 것이다. 본 발명의 일 형태의 다른 목적은 TTA에 의한 지연 형광 성분이 발광 성분 중에서 높은 비율을 차지하는 발광 소자를 제공하는 것이다. 본 발명의 일 형태의 다른 목적은 발광 효율이 높고 소비전력이 낮은 신규 발광 소자를 제공하는 것이다. 본 발명의 일 형태의 다른 목적은 신규 표시 장치를 제공하는 것이다.
- [0014] 또한, 상기 목적의 기재는, 다른 목적의 존재를 배제하지 않는다. 본 발명의 일 형태는 반드시 모든 목적을 달성할 필요는 없다. 다른 목적은 명세서 등의 기재로부터 명백해지고 추출될 수 있다.

과제의 해결 수단

- [0015] 본 발명의 일 형태는 양극, 음극, 및 양극과 음극 사이의 EL층을 포함하는 발광 소자이다. EL층은 발광층, 및 발광층과 접촉되는 전자 수송층을 포함한다. 발광층은 호스트 재료를 포함한다. 전자 수송층은 제 1 재료를 포함한다. 제 1 재료의 LUMO 준위는 호스트 재료의 LUMO 준위보다 낮다. 삼중항-삼중항 소멸에 의한 지연 형광 성분의 비율은 EL층으로부터의 발광 전체의 10% 이상이다.
- [0016] 본 발명의 일 형태는 양극, 음극, 및 양극과 음극 사이의 EL층을 포함하는 발광 소자이다. EL층은 발광층, 및 발광층과 접촉되는 전자 수송층을 포함한다. 발광층은 호스트 재료를 포함한다. 전자 수송층은 제 1 재료를 포함한다. 제 1 재료의 LUMO 준위는 호스트 재료의 LUMO 준위보다 0.05eV 이상 낮다. 삼중항-삼중항 소멸에 의한 지연 형광 성분의 비율은 EL층으로부터의 발광 전체의 10% 이상이다.
- [0017] 또한, 본 발명의 일 형태에서, 삼중항-삼중항 소멸에 의한 지연 형광 성분의 비율은 EL층으로부터의 발광 전체의 15% 이상이어도 좋다. 제 1 재료는 다이아진 골격 또는 트리아진 골격을 갖는 축합 복소 방향 고리 골격을 포함하는 물질이어도 좋다. 제 1 재료는 피라진 골격 또는 피리미딘 골격을 포함하는 물질이어도 좋다. 제 1 재료의 삼중항 여기 에너지는 발광층에 포함되는 재료 중에서 삼중항 여기 에너지가 가장 높은 물질의 삼중항 여기 에너지보다 0.2eV 이상 높아도 좋다.
- [0018] 본 발명의 일 형태는 발광층과 접촉되는 정공 수송층을 포함하는 발광 소자이어도 좋다. 정공 수송층은 제 2 재료를 포함한다. 제 2 재료의 LUMO 준위는 호스트 재료의 LUMO 준위보다 높다. 또는, 발광층과 접촉되는 정공 수송층을 포함하는 발광 소자에서, 정공 수송층은 제 2 재료를 포함하여도 좋고, 제 2 재료의 삼중항 여기 에너지는 발광층에 포함되는 재료 중에서 삼중항 여기 에너지가 가장 높은 물질의 삼중항 여기 에너지보다 0.2eV 이상 높아도 좋다.
- [0019] 본 발명의 일 형태는 형광성 재료를 더 포함하는 발광층을 포함하는 발광 소자이어도 좋다. 형광성 재료의 삼중항 여기 에너지는 호스트 재료의 삼중항 여기 에너지보다 높아도 좋다. 형광성 재료의 LUMO 준위는 호스트 재료의 LUMO 준위 이상이어도 좋다. 발광층은 청색광을 방출하여도 좋다.
- [0020] 본 발명의 일 형태는 발광 소자, 및 트랜지스터 또는 기판을 포함하는 발광 장치이다. 본 발명의 다른 일 형태는 상기 발광 장치에 더하여, 센서, 조작 버튼, 스피커, 또는 마이크로폰을 포함하는 전자 기기이어도 좋다. 본 발명의 다른 일 형태는 상기 발광 장치에 더하여, 하우징을 포함하는 조명 장치이어도 좋다.

발명의 효과

- [0021] 본 발명의 일 형태에 의하여, 형광성 재료를 포함하고 발광 효율이 높은 발광 소자를 제공할 수 있다. 본 발명의 다른 일 형태에 의하여, TTA에 의한 지연 형광 성분이 발광 성분 중에서 높은 비율을 차지하는 발광 소자를 제공할 수 있다. 본 발명의 다른 일 형태에 의하여, 발광 효율이 높고 소비전력이 낮은 신규 발광 장치를 제공할 수 있다. 본 발명의 다른 일 형태에 의하여, 신규 표시 장치를 제공할 수 있다.

[0022] 또한, 이들 효과의 기재는 다른 효과의 존재를 배제하지 않는다. 본 발명의 일 형태는 반드시 모든 효과를 가질 필요는 없다. 다른 효과는 명세서, 도면, 및 청구항 등의 기재로부터 명백해질 것이고 추출될 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0023] 도 1의 (A) 내지 도 1의 (C)는 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자의 단면 모식도, 및 에너지 준위의 상관을 도시한 모식도이다.

도 2는 에너지 배리어 및 재결합 영역을 나타낸 것이다.

도 3의 (A) 내지 도 3의 (C)는 전이 쌍극자 모멘트의 성분을 나타낸 것이다.

도 4의 (A) 및 도 4의 (B)는 분자 배향의 측정 방법을 도시한 모식도이다.

도 5는 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자의 단면 모식도이다.

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

도 7의 (A) 및 도 7의 (B)는 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자의 단면 모식도, 및 에너지 준위의 상관을 도시한 모식도이다.

도 8의 (A) 및 도 8의 (B)는 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자의 단면 모식도, 및 에너지 준위의 상관을 도시한 모식도이다.

도 9의 (A) 및 도 9의 (B)는 본 발명의 일 형태에 따른 표시 장치를 도시한 블록도 및 회로도이다.

도 10의 (A) 및 도 10의 (B)는 본 발명의 일 형태에 따른 터치 패널의 예를 도시한 사시도이다.

도 11의 (A) 내지 도 11의 (C)는 본 발명의 일 형태에 따른 표시 장치 및 터치 센서의 예를 도시한 단면도이다.

도 12의 (A) 및 도 12의 (B)는 본 발명의 일 형태에 따른 터치 패널의 예를 도시한 단면도이다.

도 13의 (A) 및 도 13의 (B)는 본 발명의 일 형태에 따른 터치 센서의 블록도 및 타이밍 차트이다.

도 14는 본 발명의 일 형태에 따른 터치 센서의 회로도이다.

도 15는 본 발명의 일 형태에 따른 표시 모듈을 도시한 사시도이다.

도 16의 (A) 내지 도 16의 (G)는 본 발명의 일 형태에 따른 전자 기기를 도시한 것이다.

도 17은 본 발명의 일 형태에 따른 조명 장치를 도시한 것이다.

도 18은 발광 소자를 도시한 것이다.

도 19는 발광 소자 1 내지 발광 소자 8의 LUMO 준위에 대한 지연 형광 성분의 비율을 나타낸 것이다.

도 20은 발광 소자 1 내지 발광 소자 8의 지연 형광 성분의 비율에 대한 외부 양자 효율을 나타낸 것이다.

도 21은 발광 소자 4-2의 전류 밀도-휘도 특성을 나타낸 것이다.

도 22는 발광 소자 4-2의 전압-휘도 특성을 나타낸 것이다.

도 23은 발광 소자 4-2의 휘도-전류 효율 특성을 나타낸 것이다.

도 24는 발광 소자 4-2의 전압-전류 특성을 나타낸 것이다.

도 25는 발광 소자 4-2의 휘도-외부 양자 효율 특성을 나타낸 것이다.

도 26은 발광 소자 4-2의 발광 스펙트럼을 나타낸 것이다.

도 27은 발광 소자 4-2의 과도(過渡) 형광의 감쇠 곡선을 나타낸 것이다.

도 28은 발광 소자 4-2의 신뢰성을 나타낸 것이다.

도 29는 발광 소자 9의 각도 의존, 및 계산 결과를 나타낸 것이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0024] 이하에서, 본 발명의 일 형태에 대하여 설명하겠다. 또한, 본 발명의 취지 및 범위로부터 벗어남이 없이 여기에 기재된 형태 및 상세한 사항을 다양하게 변경할 수 있다는 것은 통상의 기술자라면 쉽게 이해할 수 있다. 그러므로, 본 발명은 실시형태의 설명에 한정되어 해석되지 말아야 한다.
- [0025] 또한, 본 명세서에서 설명하는 각 도면에서, 양극, EL층, 중간층, 및 음극 등 구성 요소의 크기 및 두께 등은, 명료화를 위하여 과장되어 있는 경우가 있다. 그러므로, 구성 요소의 크기는 도면의 크기 및 구성 요소들 사이의 상대적인 크기에 한정되지 않는다.
- [0026] 본 명세서 등에서, "제 1", "제 2", 및 "제 3" 등의 서수사는 편의상 사용되고, 공정의 순서 또는 위치 관계를 나타내는 것은 아니다. 그러므로, 예를 들어, "제 1"을 "제 2" 또는 "제 3"으로 적절히 치환하여도 설명할 수 있다. 또한, 본 명세서 등에서의 서수사는 본 발명의 일 형태를 특징하는 것과 반드시 동일할 필요는 없다.
- [0027] 본 명세서 등에서 설명하는 본 발명의 구조에서, 동일한 부분 또는 비슷한 기능을 갖는 부분은 상이한 도면에서 공통 부호로 나타내어지고, 이러한 부분에 대한 설명은 반복하지 않는다. 또한, 비슷한 기능을 갖는 부분에는 동일한 해칭 패턴을 적용하고, 그 부분을 특별히 부호로 나타내지 않는 경우가 있다.
- [0028] 본 명세서에서, 색은 색상(단색의 광의 파장에 상당함), 채도(선명도, 즉 백색과 상이한 정도), 및 명암도(밝기, 즉 광의 강도)의 3개의 측면으로 규정된다. 본 명세서에서, 색은 상기 3개의 측면 중 하나만으로 규정되어도 좋고, 임의로 선택된 2개의 측면으로 규정되어도 좋다. 본 명세서에서, 2개의 광의 색들 사이의 차이, 상기 3개의 측면 중 적어도 하나에 차이가 있다는 것을 의미하고, 2개의 광의 스펙트럼 형상 또는 스펙트럼에서의 피크들의 상대 강도의 분포에 차이가 있다는 것도 포함한다.
- [0029] 또한, "막" 및 "층"이라는 용어는 경우 또는 상황에 따라 서로 바꿀 수 있다. 예를 들어, "도전층"이라는 용어를 "도전막"이라는 용어로 변경할 수 있는 경우가 있고, "절연막"이라는 용어를 "절연층"이라는 용어로 변경할 수 있는 경우가 있다.
- [0030] 본 명세서 등에서, 단일항 여기 상태(S^*)란 여기 에너지를 갖는 단일항 상태를 말한다. 단일항 여기 상태 중에서, 에너지가 가장 낮은 여기 상태를 가장 낮은 단일항 여기 상태라고 한다. 단일항 여기 에너지 준위는 단일항 여기 상태의 에너지 준위를 의미한다. 단일항 여기 에너지 준위 중에서, 가장 낮은 여기 에너지 준위를 가장 낮은 단일항 여기 에너지(S_1) 준위라고 한다. 또한, 본 명세서 등에서, "단일항 여기 상태" 및 "단일항 여기 에너지 준위"라는 단순한 표현은 각각 가장 낮은 단일항 여기 상태 및 S_1 준위를 의미하는 경우가 있다.
- [0031] 본 명세서 등에서, 삼중항 여기 상태(T^*)란 여기 에너지를 갖는 삼중항 상태를 말한다. 삼중항 여기 상태 중에서, 에너지가 가장 낮은 여기 상태를 가장 낮은 삼중항 여기 상태라고 한다. 삼중항 여기 에너지 준위는 삼중항 여기 상태의 에너지 준위를 의미한다. 삼중항 여기 에너지 준위 중에서, 가장 낮은 여기 에너지 준위를 가장 낮은 삼중항 여기 에너지(T_1) 준위라고 한다. 또한, 본 명세서 등에서, "삼중항 여기 상태" 및 "삼중항 여기 에너지 준위"라는 단순한 표현은 각각 가장 낮은 삼중항 여기 상태 및 T_1 준위를 의미하는 경우가 있다.
- [0032] 본 명세서 등에서, 형광성 재료란, 단일항 여기 상태가 기저 상태로 완화될 때 가시광 영역에서 광을 방출하는 재료를 말한다. 인광성 재료란 삼중항 여기 상태가 기저 상태로 완화될 때 실온에서 가시광 영역에서 광을 방출하는 재료를 말한다. 즉, 인광성 재료란 삼중항 여기 에너지를 가시광으로 변환할 수 있는 재료를 말한다.
- [0033] 또한, 본 명세서 등에서, "실온"이란, 0℃ 내지 40℃의 범위의 온도를 말한다.
- [0034] 본 명세서 등에서, 청색의 파장 영역이란 400nm 이상 550nm 이하의 파장 영역을 말하고, 청색광은 상기 파장 영역에 적어도 하나의 발광 스펙트럼 피크를 갖는다.
- [0035] (실시형태 1)
- [0036] <발광 소자의 구조예>
- [0037] 우선, 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자의 구조에 대하여, 이하에서 도 1의 (A) 내지 도 1의 (C)를 참조하여 설명하겠다.
- [0038] 도 1의 (A)는 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자(150)의 단면 모식도이다.
- [0039] 발광 소자(150)는 한 쌍의 전극(전극(101) 및 전극(102)), 및 그들 사이의 EL층(100)을 포함한다. EL층(100)은 적어도 발광층(130)을 포함한다. 또한, 본 실시형태의 설명에서는, 한 쌍의 전극의 전극(101) 및 전극(102)

2)이 각각 양극 및 음극으로서 기능하는 것으로 가정하지만, 발광 소자(150)의 구조는 이들을 교환할 수 있다.

- [0040] 도 1의 (A)에 도시된 EL층(100)은 발광층(130)에 더하여, 기능층을 포함한다. 기능층은 정공 주입층(111), 정공 수송층(112), 전자 수송층(118), 및 전자 주입층(119)을 포함한다. 또한, EL층(100)의 구조는 도 1의 (A)에 도시된 구조에 한정되지 않고, 정공 주입층(111), 정공 수송층(112), 전자 수송층(118), 및 전자 주입층(119) 중에서 선택된 적어도 하나의 층을 포함하는 구조를 채용하여도 좋다. 또는, EL층(100)은 예를 들어, 정공 또는 전자의 주입 배리어를 저감시키거나, 정공 또는 전자의 수송성을 향상시키거나, 정공 또는 전자의 수송을 저해하거나, 또는 전극에 의한 쿨링(quenching) 현상을 억제할 수 있는 기능층을 포함하여도 좋다.
- [0041] 도 1의 (B)는 도 1의 (A)에서의 발광층(130)의 예를 도시한 단면 모식도이다. 도 1의 (B)에서의 발광층(130)은 적어도 호스트 재료(131) 및 게스트 재료(132)를 포함한다.
- [0042] 호스트 재료(131)는 삼중항 여기 에너지를 TTA가 일어남으로써 단일항 여기 에너지로 변환하는 기능을 갖는 것이 바람직하고, 이로써 발광층(130)에서 생성된 삼중항 여기 에너지를 부분적으로 호스트 재료(131)의 TTA에 의하여 단일항 여기 에너지로 변환할 수 있다. TTA에 의하여 생성된 단일항 여기 에너지는 게스트 재료(132)로 이동하여, 형광으로서 추출할 수 있다. 이것을 달성하기 위해서는, 호스트 재료(131)의 가장 낮은 단일항 여기 에너지(S1) 준위가 게스트 재료(132)의 S1 준위보다 높은 것이 바람직하다. 또한, 호스트 재료(131)의 가장 낮은 삼중항 여기 에너지(T1) 준위가 게스트 재료(132)의 T1 준위보다 낮은 것이 바람직하다.
- [0043] 또한, 호스트 재료(131)는 단일 화합물 또는 복수의 화합물로 구성되어도 좋다. 게스트 재료(132)는 발광 유기 재료이어도 좋고, 이 발광 유기 재료는 형광을 방출할 수 있는 재료(이하, 형광성 재료라고도 함)인 것이 바람직하다. 형광성 재료를 게스트 재료(132)로서 사용하는 구조에 대하여 이하에서 설명하겠다. 게스트 재료(132)를 형광성 재료로 바꿔 말하여도 좋다.
- [0044] <발광 소자의 발광 기구>
- [0045] 우선, 발광 소자(150)의 발광 기구에 대하여 이하에서 설명한다.
- [0046] 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자(150)에서는, 한 쌍의 전극(전극(101) 및 전극(102)) 사이에 전압을 인가함으로써, 음극으로부터 전자가, 그리고 양극으로부터 정공이 EL층(100)에 주입되기 때문에, 전류가 흐른다. 주입된 전자 및 정공이 재결합함으로써, 여기자가 형성된다. 캐리어의 재결합에 의하여 생성되는, 단일항 여기자 대 삼중항 여기자의 비율은 통계적으로 얻어진 확률에 따르면 약 1:3이다. 따라서, 단일항 여기자의 형성 확률은 25%이다.
- [0047] 또한, "여기자"란 캐리어(전자 및 정공) 쌍을 말한다. 여기자가 여기 에너지를 갖기 때문에, 여기자가 생성되는 재료는 여기 상태가 된다.
- [0048] 다음 2개의 과정을 거쳐, EL층(100)에서 단일항 여기자가 형성되고, 게스트 재료(132)로부터의 발광을 얻을 수 있다.
- [0049] (α) 직접 형성 과정; 및
- [0050] (β) TTA 과정.
- [0051] <<(α) 직접 형성 과정>>
- [0052] 우선, EL층(100)에 포함되는 발광층(130)에서 캐리어(전자 및 정공)가 재결합하여 단일항 여기자를 형성하는 경우에 대하여 설명한다.
- [0053] 캐리어가 호스트 재료(131)에서 재결합하는 경우, 여기자가 형성되어 호스트 재료(131)가 여기 상태(단일항 여기 상태 또는 삼중항 여기 상태)가 된다. 이때, 호스트 재료(131)의 여기 상태가 단일항 여기 상태인 경우, 단일항 여기 에너지가 호스트 재료(131)의 S1 준위로부터 게스트 재료(132)의 S1 준위로 이동함으로써, 게스트 재료(132)의 단일항 여기 상태가 형성된다. 또한, 호스트 재료(131)의 여기 상태가 삼중항 여기 상태인 경우에 대해서는, (β) TTA 과정에서 후술한다.
- [0054] 캐리어가 게스트 재료(132)에서 재결합하는 경우, 여기자가 형성되어 게스트 재료(132)가 여기 상태(단일항 여기 상태 또는 삼중항 여기 상태)가 된다.
- [0055] 형성된, 게스트 재료(132)의 여기 상태가 단일항 여기 상태인 경우, 발광은 게스트 재료(132)의 단일항 여기 상태로부터 얻어진다. 이 경우, 높은 발광 효율을 얻기 위해서는, 게스트 재료(132)의 형광 양자 수율이 높은 것

이 바람직하다.

[0056] 게스트 재료(132)가 삼중항 여기 상태가 되는 경우, 게스트 재료(132)가 형광성 재료이기 때문에, 게스트 재료(132)의 삼중항 여기 상태는 열 불활성화되고 발광에 기여하지 않는다. 그러나, 호스트 재료(131)의 T1 준위가 게스트 재료(132)의 T1 준위보다 낮은 경우, 게스트 재료(132)의 삼중항 여기 에너지는 게스트 재료(132)의 T1 준위로부터, 게스트 재료(132)보다 매우 다량으로 존재하는 호스트 재료(131)의 T1 준위로 이동될 수 있다. 이 경우, 삼중항 여기 에너지를 후술하는 (β) TTA 과정에 의하여 단일항 여기 에너지로 변환할 수 있다. 따라서, TTA의 발생 확률을 향상시키기 위해서는, 호스트 재료(131)의 T1 준위를 게스트 재료(132)의 T1 준위보다 낮게 해야 한다.

[0057] 호스트 재료(131)의 T1 준위가 게스트 재료(132)의 T1 준위보다 높은 경우, 게스트 재료(132)의 중량비가 호스트 재료(131)의 중량비보다 낮으면, 게스트 재료(132)의 캐리어가 재결합하는 확률은 저감될 수 있다. 또한, 호스트 재료(131)의 T1 준위로부터 게스트 재료(132)의 T1 준위로 에너지가 이동할 확률은 저감될 수 있다. 구체적으로, 호스트 재료(131)에 대한 게스트 재료(132)의 중량비는 0보다 크고 0.05 이하인 것이 바람직하다.

[0058] << (β) TTA 과정 >>

[0059] 다음에, 발광층(130)에서의 캐리어의 재결합 과정에서 형성된 삼중항 여기자로부터 단일항 여기자가 형성되는 경우에 대하여 설명한다.

[0060] 여기서, 호스트 재료(131)의 T1 준위가 게스트 재료(132)의 T1 준위보다 낮은 경우에 대하여 설명한다. 이 경우의 에너지 준위의 상관을 도 1의 (C)에 모식적으로 나타낸다. 도 1의 (C)에서의 용어 및 부호를 이하에 열거한다. 또한, 호스트 재료(131)의 T1 준위는 게스트 재료(132)의 T1 준위보다 높아도 좋다.

[0061] Host(131): 호스트 재료(131)

[0062] Guest(132): 게스트 재료(132)(형광성 재료)

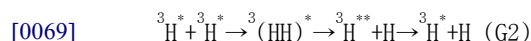
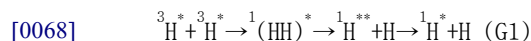
[0063] S_{FH} : 호스트 재료(131)의 S1 준위

[0064] T_{FH} : 호스트 재료(131)의 T1 준위

[0065] S_{FG} : 게스트 재료(132)(형광성 재료)의 S1 준위

[0066] T_{FG} : 게스트 재료(132)(형광성 재료)의 T1 준위.

[0067] 캐리어가 호스트 재료(131)에서 재결합하고, 여기자가 생성되어 호스트 재료(131)가 여기 상태가 된다. 이때 생성된 여기자가 삼중항 여기자인 경우, 2개의 삼중항 여기자는 서로 접근하고, 이들 중 한쪽은 호스트 재료(131)의 S1 준위(S_{FH})의 에너지를 갖는 단일항 여기자로 변환될 수 있다(도 1의 (C)에서의 TTA 참조). 이 단일항 여기자가 생성되면서 삼중항 여기자의 개수가 감소되는 반응은 일반식(G1) 또는 일반식(G2)에 의하여 나타내어진다.



[0070] 일반식(G1)의 반응에서는, 호스트 재료(131)에서 스핀 양자수의 합계가 0인 2개의 삼중항 여기자(${}^3\text{H}^*$)로부터 스핀 양자수의 합계가 0인 한 쌍의 여기자(${}^1(\text{HH})^*$)가 형성되고, 전자적 또는 진동적으로 여기된 고차 단일항 여기자(${}^1\text{H}^{**}$)를 통하여 단일항 여기자(${}^1\text{H}^*$)가 생성된다. 일반식(G2)의 반응에서는, 호스트 재료(131)에서 스핀 양자수의 합계가 1(원자 단위)인 2개의 삼중항 여기자(${}^3\text{H}^*$)로부터 스핀 양자수의 합계가 1인 한 쌍의 여기자(${}^3(\text{HH})^*$)가 형성되고, 전자적 또는 진동적으로 여기된 고차 삼중항 여기자(${}^3\text{H}^{**}$)를 통하여 삼중항 여기자(${}^3\text{H}^*$)가 생성된다. 또한, 일반식(G1) 및 일반식(G2)에서, H는 호스트 재료(131)의 기저 상태를 나타낸다.

[0071] 일반식(G1) 및 일반식(G2)에서, 스핀 양자수의 합계가 1(원자 단위)인 삼중항 여기자의 쌍은 시핀 양자수가 0인 삼중항 여기자의 쌍의 3배 있다. 바꿔 말하면, 2개의 삼중항 여기자로부터 여기자가 형성되는 경우, 단일항 여기자:삼중항 여기자의 형성 비율은 통계적으로 얻어진 확률에 따르면 1:3이다. 발광층(130)의 삼중항 여기자의

밀도가 충분히 높은 경우(예를 들어, $1 \times 10^{12} \text{ cm}^{-3}$ 이상)에는, 서로 접근하는 2개의 삼중항 여기자의 반응만을 고려할 수 있고, 삼중항 여기자 단체의 쿨링은 무시된다.

[0072] 따라서, 일반식(G1)의 1개의 반응 및 일반식(G2)의 3개의 반응에 의하여, 1개의 단일항 여기자($^1\text{H}^*$), 및 전자적 또는 진동적으로 여기된 3개의 고차 삼중항 여기자($^3\text{H}^{**}$)는 8개의 삼중항 여기자로부터 형성된다($^3\text{H}^*$).

[0073] $8^3\text{H}^* \rightarrow ^1\text{H}^* + 3^3\text{H}^{**} + 4\text{H} \rightarrow ^1\text{H}^* + 3^3\text{H}^* + 4\text{H}$ (G3)

[0074] 일반식(G3)에서 생성된, 전자적 또는 진동적으로 여기된 고차 삼중항 여기자($^3\text{H}^{**}$)는 급속한 완화에 의하여 삼중항 여기자($^3\text{H}^*$)가 되고 나서, 다시 다른 삼중항 여기자와 일반식(G3)의 반응을 반복한다. 따라서, 일반식(G3)에서, 모든 삼중항 여기자($^3\text{H}^*$)가 단일항 여기자($^1\text{H}^*$)로 변환되면, 하나의 단일항 여기자($^1\text{H}^*$)가 5개의 삼중항 여기자($^3\text{H}^*$)로부터 생성된다(일반식(G4)).

[0075] $5^3\text{H}^* \rightarrow ^1\text{H}^* + 4\text{H}$ (G4)

[0076] 한 쌍의 전극으로부터 주입된 캐리어의 재결합에 의하여 직접 형성되는 단일항 여기자($^1\text{H}^*$)와 삼중항 여기자($^3\text{H}^*$)의 비율은 통계적으로 다음과 같다; $^1\text{H}^*:^3\text{H}^*=1:3$ 이다. 즉, 한 쌍의 전극으로부터 주입된 캐리어의 재결합에 의하여 단일항 여기자가 직접 형성되는 확률은 25%이다.

[0077] 한 쌍의 전극으로부터 주입된 캐리어의 재결합에 의하여 직접 형성되는 단일항 여기자와, TTA에 의하여 형성되는 단일항 여기자를 합하면, 한 쌍의 전극으로부터 주입된 캐리어의 재결합에 의하여 직접 형성된 20개의 여기자(단일항 여기자와 삼중항 여기자의 합계)로부터 8개의 단일항 여기자를 형성할 수 있다(일반식(G5)). 즉, TTA는 단일항 여기자의 형성 확률을 종래의 값인 25%로부터 최대 40%(=8/20)까지 향상시킬 수 있다.

[0078] $5^1\text{H}^* + 15^3\text{H}^* \rightarrow 5^1\text{H}^* + (3^1\text{H}^* + 12\text{H})$ (G5)

[0079] 상기 과정을 거쳐 형성된 단일항 여기자에 의하여 형성된 호스트 재료(131)의 단일항 여기 상태에서는, 에너지가 호스트 재료(131)의 S1 준위(S_{FH})로부터, S_{FH} 보다 낮은 게스트 재료(132)의 S1 준위(S_{FG})로 이동한다(도 1의 (C)의 Route A 참조). 그리고, 단일항 여기 상태가 된 게스트 재료(132)는 형광을 방출한다.

[0080] 캐리어가 게스트 재료(132)에서 재결합하고, 형성된 여기자에 의하여 형성되는 여기 상태가 삼중항 여기 상태인 경우, 호스트 재료(131)의 T1 준위(T_{FH})가 게스트 재료(132)의 T1 준위(T_{FG})보다 낮으면, T_{FG} 의 삼중항 여기 에너지는 불활성화되지 않고, T_{FH} 로 이동하여(도 1의 (C)의 Route B 참조) TTA에 기여한다.

[0081] 게스트 재료(132)의 T1 준위(T_{FG})가 호스트 재료(131)의 T1 준위(T_{FH})보다 낮은 경우, 게스트 재료(132)의 중량비가 호스트 재료(131)의 중량비보다 낮은 것이 바람직하다. 구체적으로, 호스트 재료(131)에 대한 게스트 재료(132)의 중량비는 0보다 크고 0.05 이하인 것이 바람직하고, 게스트 재료(132)에서의 캐리어의 재결합 확률은 저감된다. 또한, 호스트 재료(131)의 T1 준위(T_{FH})로부터 게스트 재료(132)의 T1 준위(T_{FG})로의 에너지 이동의 확률은 저감될 수 있다.

[0082] 상술한 바와 같이, 발광층(130)에서 형성되는 삼중항 여기자를 TTA에 의하여 단일항 여기자로 변환할 수 있어, 게스트 재료(132)로부터의 발광을 효율적으로 얻을 수 있다.

[0083] <TTA의 발생 확률>

[0084] 상술한 바와 같이, 단일항 여기자의 형성 확률 및 발광 소자의 발광 효율을 TTA에 의하여 향상시킬 수 있다; 따라서, 높은 발광 효율을 달성하기 위해서는, TTA의 발생 확률(TTA 효율이라고도 함)을 향상시키는 것이 중요하다. 즉, TTA에 의한 지연 형광 성분은 발광 소자로부터의 발광 중 높은 비율을 차지해야 한다.

[0085] 상술한 바와 같이, TTA 과정에 의하여 단일항 여기자의 형성 확률을, 한 쌍의 전극으로부터 주입된 캐리어의 재결합에 의하여 직접 형성되는 단일항 여기자에 의하여 차지되는 25%를 포함하는 최대 40%까지 향상시킬 수 있다. 따라서, TTA에 의한 지연 형광 성분의 비율을 발광 소자로부터의 발광 중 최대 37.5%((40%-25%)/40%)까지 향상시킬 수 있다.

- [0086] <발광에서의 지연 형광 성분의 증가로 향상된 발광 효율>
- [0087] 예를 들어, 청색광을 방출하고 호스트 재료로서 일반적으로 사용되는 안트라센 화합물을 포함하는 발광 소자에서, TTA에 의한 지연 형광 성분은 발광의 약 10%를 차지한다. 또한, 본 명세서에서, 지연 형광이란 발광층으로의 캐리어의 안정적인 주입을 정지한 후에 얻어진 광을 말하고, 이 광은 캐리어가 안정적으로 주입될 때의 발광 강도에 대하여 0.01 이상의 강도비로 1×10^{-6} 초 이상 연속적으로 방출된다.
- [0088] 청색광을 방출하는 발광 소자의 발광 효율을 향상시키기 위해서는, 발광에서의 TTA에 의한 지연 형광 성분의 비율을 더 향상시킬 필요가 있다.
- [0089] 상술한 바와 같이, TTA 과정에서는, 발광층(130)에서의 캐리어의 재결합 과정에서 형성되는 삼중항 여기자로부터 단일항 여기자가 형성된다. 그러나, 캐리어의 재결합 과정에서 형성되는 삼중항 여기자가 다른 과정에서 퀸치되면, 그들이 단일항 여기자의 형성에 기여하지 않고, 발광 소자로부터의 발광의 TTA에 의한 지연 형광 성분의 감소가 일어난다.
- [0090] 형성된 삼중항 여기자는 다양한 요인에 의하여 퀸치될 수 있고, 그 요인 중 하나는 발광층(130)에서의 캐리어 전자의 작용이다. 발광층(130)에서 형성된 삼중항 여기자가 캐리어 전자와 상호 작용하면 퀸치되는 경우가 있다.
- [0091] 따라서, 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자에서는, 발광층(130)의 캐리어 전자의 밀도가 조정되어 삼중항 여기자의 퀸치가 저감된다. 발광층(130)의 캐리어 전자는 주로 전자 수송층(118)으로부터 공급된다; 따라서, 전자 수송층(118)으로부터 발광층(130)으로의 캐리어의 이동만을 조절할 필요가 있다. 이것은 전자 수송층(118)에 사용되는 재료의 LUMO 준위와, 발광층(130)에 포함되는 호스트 재료(131)의 LUMO 준위 사이에 에너지 배리어를 제작함으로써 달성할 수 있다.
- [0092] 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자에서, 전자 수송층(118)에 사용되는 재료의 LUMO 준위는 발광층(130)에 포함되는 호스트 재료(131)의 LUMO 준위보다 낮아져, 캐리어 전자의 이동에 대한 에너지 배리어가 형성된다. 발광층(130)으로의 캐리어 전자의 이동이 억제되면, 발광층(130)의 캐리어 재결합 영역이 전자 수송층(118) 측으로 확대되고, 삼중항 여기자 및 캐리어 전자 양쪽의 밀도가 재결합 영역에서 더 낮아지기 때문에, 삼중항 여기자의 퀸치의 확률이 감소된다. 삼중항 여기자의 감소된 밀도가 TTA 자체의 발생 확률을 저감시킬 가능성이 있는 것은 말할 나위 없다. 그러나, 본 발명자들은 삼중항 여기자의 감소된 밀도에 의한 악영향을 보충하는 것보다 감소된 전자 밀도에 의한 삼중항 여기자의 퀸치를 방지하는 효과가 크고, TTA는 상기 구조에서 더 일어나기 쉬운 것을 발견하였다.
- [0093] 도 2는 전자 수송층(118)에 사용되는 재료의 LUMO 준위가 발광층(130)에 포함되는 호스트 재료(131)의 LUMO 준위보다 높은 또는 낮은 에너지 다이어그램을 나타낸 것이다. 도 2로부터 전자 수송층(118)(ETL)과 발광층(130)(EmL) 사이에 에너지 배리어가 형성되면, 재결합 영역이 전자 수송층(118)(ETL) 측으로 확대되고, 삼중항 여기자 및 전자 양쪽의 밀도가 감소되어 삼중항 여기자의 퀸치의 확률이 저감되는 것을 알았다. 퀸치의 확률이 저감됨으로써 TTA 과정에서 삼중항 여기자로부터 형성되는 단일항 여기자의 수가 향상되어, 발광 소자로부터의 발광의 TTA에 의한 지연 형광 성분이 증가된다. 그 결과, 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자의 발광 효율을 향상시킬 수 있다.
- [0094] 본 발명의 일 형태에서, 예를 들어, TTA에 의한 지연 형광 성분의 비율은 발광 소자로부터의 발광의 10% 이상일 수 있다. 또한, LUMO 준위가 비교적 깊은 재료가 전자 수송층(118)에 사용되면, TTA에 의한 지연 형광 성분의 비율은 발광 소자로부터의 발광의 15% 이상일 수 있다. 이러한 효과를 달성하기 위하여, 전자 수송층(118)에 사용되는 재료의 LUMO 준위와, 발광층(130)에 포함되는 호스트 재료(131)의 LUMO 준위 사이에 0.05eV 이상의 적절한 에너지 배리어를 제작하는 것이 바람직하다.
- [0095] 여기서, 전자 수송층(118)에 사용되는 재료의 LUMO 준위가 매우 깊은 경우, 캐리어 전자가 전자 수송층(118)으로부터 발광층(130)으로 이동하기 어려워져, 발광층(130)의 캐리어 밸런스에 영향을 미치기 때문에, 발광 소자의 발광 효율이 저감될 수 있다. 한편, 상술한 에너지 배리어의 크기는 전자 수송층(118)으로부터 발광층(130)으로의 캐리어 전자의 이동을 적절히 억제하는 데 충분히 커야 한다. 따라서, 전자 수송층(118)에 사용되는 재료의 LUMO 준위와, 발광층(130)에 포함되는 호스트 재료(131)의 LUMO 준위의 차이는 0.05eV 이상 0.3eV 이하인 것이 바람직하다.
- [0096] 상술한 바와 같이, 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자는 전자 수송층(118)으로부터 발광층(130)으로의 캐리어

전자의 이동을 적절히 억제한다. 따라서, 발광층(130)에서 캐리어 전자가 호스트 재료(131)보다 양이 적은 게스트 재료(132)에 의하여 포획되면, 전자는 발광층(130)에서도 이동하기 어려워져, 불필요한 구동 전압의 증가가 일어난다. 이 관점에서, 게스트 재료의 LUMO 준위는 호스트 재료의 LUMO 준위보다 높은 것이 바람직하다.

[0097] 또한, TTA 이외의, 발광 소자의 지연 형광의 요인은 삼중항 여기 상태에서부터 단일항 여기 상태로의 역항간 교차에 의한 열 활성화 지연 형광일 수 있다. 역항간 교차가 효율적으로 일어나기 위해서는, S1 준위와 T1 준위의 에너지 차이가 0.2eV 이하인 것이 바람직하다. 바꿔 말하면, S1 준위와 T1 준위의 0.2eV보다 큰 에너지 차이는 역항간 교차를 일으키기 어렵다. 그러므로, TTA가 효율적으로 일어나기 위해서는, TTA가 일어나는 화합물의 가장 낮은 단일항 여기 에너지 준위와 가장 낮은 삼중항 여기 에너지 준위의 에너지 차이가 0.2eV보다 큰 것이 바람직하고, 0.5eV 이상인 것이 더 바람직하다.

[0098] 유기 화합물의 가장 낮은 단일항 여기 에너지 준위는 유기 화합물에서의 기저 상태에서부터 가장 낮은 단일항 여기 상태로의 전이 시의 흡수 스펙트럼으로부터 관찰될 수 있다. 또는, 가장 낮은 단일항 여기 에너지 준위를 유기 화합물의 형광 스펙트럼의 피크 파장으로부터 추정하여도 좋다. 또한, 가장 낮은 삼중항 여기 에너지 준위는 유기 화합물에서의 기저 상태에서부터 가장 낮은 삼중항 여기 상태로의 전이 시의 흡수 스펙트럼으로부터 관찰될 수 있지만, 이 전이는 금지된 전이이기 때문에, 관찰하기 어려운 경우가 있다. 이러한 경우, 가장 낮은 삼중항 여기 에너지 준위를 유기 화합물의 인광 스펙트럼의 피크 파장으로부터 추정하여도 좋다. 따라서, 유기 화합물의 형광 스펙트럼과 인광 스펙트럼의 피크 파장 사이와 동등한 에너지 값의 차이는 0.2eV보다 큰 것이 바람직하고, 0.5eV 이상인 것이 더 바람직하다.

[0099] <정공 수송층 및 발광 효율의 향상>

[0100] 전자 수송층(118)에 포함되는 재료와, 발광 효율 사이의 관계에 대해서는 상기에서 설명하였다. 다음에, 정공 수송층(112)에 포함되는 재료와, 발광 효율 사이의 관계에 대하여 설명하겠다.

[0101] 정공 수송층(112)에 포함되는 재료는 호스트 재료(131)보다 높은 LUMO 준위를 갖는 것이 바람직하다. 정공 수송층(112)에 포함되는 재료가 호스트 재료(131)와 동일한 LUMO 준위를 갖는 경우, 발광층(130)에 도달하는 캐리어 전자가 발광층(130)에 머무르지 않고, 정공 수송층(112)으로 이동한다. 그리고, 정공 수송층(112)에서도 캐리어가 재결합하여, 발광층(130)에서의 캐리어의 재결합의 효율이 저감된다. 이로써, 정공 수송층(112)에서 생성된 여기자의 에너지가 발광층(130)의 발광 재료로 이동하지 않으면, 발광 효율이 감소된다.

[0102] 따라서, 정공 수송층(112)에 포함되는 재료는 호스트 재료(131)보다 높은 LUMO 준위를 갖는 것이 바람직하다. 또한, 정공 수송층(112)에 포함되는 재료의 LUMO 준위가 호스트 재료(131)의 LUMO 준위보다 0.3eV 이상 높으면, 발광층(130)으로부터 정공 수송층(112)으로의 캐리어 전자의 이동을 효율적으로 억제할 수 있기 때문에 바람직하다.

[0103] <삼중항 여기 에너지의 이동의 억제>

[0104] 다음과 같이, 발광층(130)에서 생성된 삼중항 여기 에너지가 발광층(130)을 떠나지 않도록 발광층(130)에 머무른다.

[0105] 발광층(130)에서 생성된 삼중항 여기 에너지는 외부로 이동하고, 발광층(130)에서의 TTA의 발생 확률이 감소된다. 바꿔 말하면, 삼중항 여기 에너지의 이동의 억제가 발광층에서의 TTA의 발생 확률을 높게 유지하고 발광 소자의 발광 효율을 높게 한다.

[0106] 우선, 발광층(130)으로부터 정공 수송층(112)으로의 삼중항 여기 에너지의 이동을 억제하기 위해서는, 정공 수송층(112)에 포함되는 재료의 T1 준위를 발광층(130)에 포함되는 호스트 재료(131)의 T1 준위보다 높게 하는 것이 바람직하고, 0.2eV 이상 높게 하는 것이 더 바람직하다.

[0107] 마찬가지로, 발광층(130)으로부터 전자 수송층(118)으로의 삼중항 여기 에너지의 이동을 억제하기 위해서는, 전자 수송층(118)에 포함되는 재료의 T1 준위를 발광층(130)에 포함되는 호스트 재료(131)의 T1 준위보다 높게 하는 것이 바람직하고, 0.2eV 이상 높게 하는 것이 더 바람직하다.

[0108] 삼중항 여기 에너지가 이동하는 것을 방지하고 삼중항 여기 에너지가 발광층(130)에 머무르면, 삼중항 여기 에너지는 TTA에 의해서만 손실되기 쉬워져, 발광층(130)에서의 TTA의 발생 확률 및 발광 소자의 발광 효율을 높게 유지할 수 있다.

[0109] <지연 형광 성분의 측정>

- [0110] 발광층으로부터의 발광에서의 지연 형광 성분을 측정하는 방법의 예에 대하여 설명한다.
- [0111] 캐리어가 발광층에 안정적으로 주입되면, 발광층으로부터의 발광은 지연 형광 성분 및 다른 성분을 포함하는 강도를 갖는다. 발광층에 충분한 기간 캐리어가 주입되면, 지연 형광에 관한 발광 강도는 최대값으로 도달한다. 따라서, 발광에서의 지연 형광 성분의 비율이란 캐리어가 발광층에 안정적으로 주입된 상태에서의 값을 말한다.
- [0112] 발광에서의 지연 형광 성분의 비율을 발광층으로의 캐리어의 주입을 정지하고 감쇄하는 광을 측정함으로써 측정하여도 좋다. 캐리어의 주입이 정지된 후, 형광은 일반적으로 수ns에서 퀀치하지만, 지연 형광은 수 μ s에서 퀀치한다. 따라서, 수 μ s에서 퀀치하는 성분을 관찰함으로써 지연 형광을 측정할 수 있다.
- [0113] 발광층으로의 캐리어의 주입이 정지된 후의 수 μ s 동안 스트리크(streak) 카메라로 광의 감쇄를 관찰함으로써, 지수 함수적인 감쇄 곡선을 얻을 수 있다. 발광층으로의 캐리어의 주입이 정지된 직후에 발광은 지연 형광 성분 및 다른 성분을 포함한다; 수nsec 이상 후에는, 실질적으로 지연 형광 성분만이 머무른다. 따라서, 감쇄 곡선이 지수 함수와 피팅함으로써, 시간을 파라미터로 하는 감쇄 곡선의 식을 얻을 수 있다.
- [0114] 감쇄 곡선의 식을 시간 0s로 하여 캐리어 주입이 정지될 때의 지연 형광 성분의 강도의 값을 추산한다. 발광층으로의 캐리어 주입을 정지한 순간에 캐리어가 안정적으로 주입된다, 즉, 추산된 지연 형광 성분의 강도는 캐리어가 안정적으로 주입될 때의 지연 형광 성분의 강도와 동등하다. 캐리어가 안정적으로 주입되는 발광층의 발광 강도, 및 얻어진 지연 형광 성분의 강도로부터 발광에서의 지연 형광 성분의 비율을 산출할 수 있다.
- [0115] 또한, 발광층으로부터의 발광에서의 지연 형광 성분은 분자간 상호 작용을 갖는 TTA 과정에서 유래하는 지연 형광뿐만 아니라, 분자의 삼중항 여기 에너지 준위로부터 단일항 여기 에너지 준위로의 에너지 이동에서 유래하는 열 활성화 지연 형광(TADF)도 포함할 수 있다. TADF은 삼중항 여기 에너지 준위로부터 단일항 여기 에너지 준위로 역에너지 이동할 수 있는, 다음의 조건하에서 생성된다. TADF를 일으키기 위해서는, 에너지 준위를 양쪽으로 가까워질 필요가 있고, 구체적으로는, 사이의 에너지 갭을 0.2eV 이하로 해야 한다. 그러나, 발광층에 사용되는 분자 중 일부밖에 이 조건을 만족시키지 않는다. 따라서, 에너지 갭이 작은 분자가 발광층에 사용되지 않으면, TADF에 대하여 고려할 필요는 없고, 발광층으로부터의 발광에서의 지연 형광 성분은 실질적으로 TTA 과정에서 유래할 수 있다.
- [0116] 구체적인 측정에 대해서는, 실시예를 참조할 수 있다.
- [0117] <분자 배향 및 추출 효율>
- [0118] 유기 EL에서는, 캐리어가 발광층에 공급되고 발광층에서 캐리어가 재결합하여, 발광층에 포함되는 게스트 재료로부터 광이 방출된다. 발광이 이방성인 경우, 즉, 각도 의존 강도를 갖는 경우가 있다. 발광은 게스트 재료의 전이 쌍극자 모멘트에 수직이다; 따라서, 전이 쌍극자 모멘트의 배향이 발광의 각도 의존에 영향을 미친다. 유기 분자의 전이 쌍극자 모멘트의 배향은 유기 분자의 분자 배향의 영향을 받기 때문에, 게스트 재료로부터의 발광은 게스트 재료의 분자 배향에 의하여 이방성을 갖는 경우가 있다.
- [0119] 발광층은 복수의 분자를 포함하고, 게스트 재료는 호스트 재료 내에 분산된다. 일부의 발광층의 제작 조건에서는, 게스트 분자가 호스트 재료에서 무작위로 배향되지 않고, 어느 방향으로 배향된다, 즉, 게스트 분자는 불균일한 분자 배향을 가져도 좋다. 발광층에서 게스트 재료가 발광 소자로부터 광을 용이하게 추출할 수 있는 배향을 가지면, 발광 소자의 추출 효율은 향상된다. 구체적으로, 게스트 분자는 이들의 전이 쌍극자 모멘트가 기판 표면에 수평이 되도록 배향되는 것이 바람직하다.
- [0120] 실제의 발광 소자에서의 분자 배향의 평가에서는, 발광층의 분자, 더 구체적으로는 게스트 재료의 전이 쌍극자 모멘트의 배향은 직접 관찰하기 어렵다. 그러므로, 발광층에서의 발광 재료의 분자 배향을 평가하기 위하여, 본 발명자들은 발광층으로부터 방출되는 광을 선형적으로 편광하여 p-편광 성분을 추출하고, 얻어진 가시 영역으로부터 근적외 영역까지(440nm로부터 956nm까지)의 p-편광 발광 스펙트럼의 적분 강도의 각도 의존을 측정하여 계산(시뮬레이션)에 의하여 분석한다. 분자 배향의 평가 방법에 대하여, 이하에서 설명하겠다.
- [0121] 게스트 분자가 호스트 분자로 무작위로 배향되면, 다음 상태가 얻어진다. 모든 분자의 전이 쌍극자 모멘트의 합계는 서로 직교되는 x 방향, y 방향, 및 z 방향에서 동일한 성분을 갖는다. 예를 들어, x 방향 및 y 방향을 따른 평면에 층이 존재하고 층의 분자가 등방적으로 배향되는 경우, 2개의 차원을 갖는 층에 수평의 전이 쌍극자 모멘트의 성분은 전체의 성분 중 2/3(67%)이고, 층에 수직인 성분은 전체의 성분 중 1/3(33%)이다.
- [0122] 다음에 측정에 대하여 설명하겠다. 발광층으로부터의 광의 강도의 측정에서, 광은 검출기에 들어가기 전에 Glan-Taylor 편광기에 들어가고 통과한다. 따라서, 특정 방향의 편광 성분만을 검출기에 의하여 검출할 수 있

다.

- [0123] 여기서, 도 3의 (A) 내지 도 3의 (C)에 나타난 바와 같이, 광의 전이 쌍극자 모멘트의 성분 3종류를 A) 발광층(130)에 평행하고 검출기의 관찰 방향(180)에 평행한 방향의 전이 쌍극자 모멘트의 성분(181), B) 발광층(130)에 평행하고 검출기의 관찰 방향(180)에 수직인 방향의 전이 쌍극자 모멘트의 성분(182), 및 C) 발광층(130)에 수직인 방향의 전이 쌍극자 모멘트의 성분(183)으로 결정한다. 성분 B는 검출기와 발광층(130) 사이의 Glan-Taylor 편광기를 통과할 수 없기 때문에, 검출기에 의하여 검출되지 않는다. 바꿔 말하면, 성분 A 및 성분 C를 포함하는 p-편광 발광은 이 측정에서 관찰된다.
- [0124] 다음에, 발광의 각도 의존을 측정하기 위하여, 검출기(185)에 수직인 방향에 발광층(130)이 있는 초기 위치로부터 발광층(130)을 서서히 기울인다. 도 4의 (A)는 초기 상태를 나타내고, 도 4의 (B)는 기울인 발광층(130)(기울기 각 θ)을 나타낸다. 초기 상태(기울기 각=0°)에서, 발광층(130)의 정면에 있는 검출기(185)는 상술한 성분 C에서 유래하는 광을 측정하지 않고, 성분 A를 측정한다. 발광층(130)의 기울기 각이 넓어질수록, 검출기(185)에 의하여, 성분 A뿐만 아니라, 기울기 각에 따라서는 성분 C가 서서히 측정된다. 이와 같이, 발광의 각도 의존을 측정할 수 있다.
- [0125] 소자로부터 추출되는 광에서, 발광층(130)에 수직인 성분은 발광층(130)에 평행한 성분보다 매우 낮은 강도를 갖는다; 이 경우, 성분 C를 측정하기 어렵다. 따라서, 발광 소자에서의 각 층의 두께를 미리 조정하고, 발광층(130)에 평행한 성분의 발광 강도는 광학 간섭을 이용함으로써 저감된다. 발광 소자로부터 추출되는 일직선의 광은 발광층(130)으로부터 직접 추출되는 성분, 및 발광층(130)에서 생성된 광이 전극에 들어가고 반사한 후에 추출되는 성분을 포함한다. 발광 소자의 각 층의 두께를 조정함으로써, 2개의 성분의 위상을 반전시키고 상쇄한다. 이것은 성분 A를 약화시켜, 성분 C의 관찰을 용이하게 할 수 있다.
- [0126] 발광층으로부터의 발광의 각도 의존을 상술한 바와 같이 측정할 수 있다. 가로축이 초기 상태로부터의 발광층(130)의 기울기 각을 나타내고, 세로축이 발광 스펙트럼의 정규화된 적분 강도를 나타내는 측정 결과를 플롯하여 그래프를 얻는다. 그래프의 형상은 발광에서의 성분 C에 대한 성분 A의 비율에 따라 변화된다. 발광에서의 성분 C에 대한 성분 A의 비율이 상이한 각 그래프의 형상을 계산(시뮬레이션)에 의하여 얻을 수 있다. 바꿔 말하면, 계산 결과의 그래프를 측정 결과의 그래프로 피팅함으로써, 발광에서의 성분 C에 대한 성분 A의 비율을 얻을 수 있다. 각 분자(이 경우에는 게스트 재료)는 독자의 전이 쌍극자 모멘트를 갖는다; 따라서, 게스트 재료의 배향에 관한 정보를 성분 C에 대한 성분 A의 비율로부터 얻을 수 있다.
- [0127] 67%를 넘는 성분 A는 발광층에 평행한 다량의 전이 쌍극자 모멘트의 성분을 의미한다; 간단히 말하면, 100%의 성분 A는 완전한 수평 배향을 의미한다. 전이 쌍극자 모멘트에 수직인 방향으로 광이 방출되기 때문에, 전이 쌍극자 모멘트가 발광층에 평행해질수록, 추출 효율이 향상된다. 즉, 소자의 발광 효율은 성분 A가 100%에 가까워질수록 높아진다.
- [0128] 또한, 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자로부터 방출되는 광이 상기 측정에서 관찰되면, 게스트 재료가 무작위가 아니라 특정 방향으로 배향되고, 전이 쌍극자 모멘트가 발광층에 수직인 방향으로 크게 편향되는 것을 알았다. 전이 쌍극자 모멘트가 발광층에 수직인 방향으로 편향될수록 발광층에 수직인 방향에서의 발광의 강도는 높아진다. 이것은 게스트 재료의 배향이 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자의 높은 발광 효율에 기여하는 것을 가리킨다.
- [0129] 또한, 측정 및 계산의 상세한 사항에 대해서는, 실시예의 설명을 참조할 수도 있다.
- [0130] <재료>
- [0131] 다음에, 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자의 구성 요소에 대하여 상세히 설명하겠다.
- [0132] <<발광층>>
- [0133] 발광층(130)에서는, 게스트 재료(132)의 중량비가 적어도 호스트 재료(131)의 중량비보다 높고, 게스트 재료(132)(인광성 재료)가 호스트 재료(131) 내에 분산된다. 발광층(130)의 호스트 재료(131)는 방출된 광 중 삼중항-삼중항 소멸(TTA)에 의한 지연 형광 성분이 높은 비율을 차지하는 유기 화합물인 것이 바람직하다; 구체적으로는, TTA에 의한 지연 형광 성분이 20% 이상을 차지하는 유기 화합물인 것이 바람직하다. 또한, 발광층(130)에서, 호스트 재료(131)는 1종류의 화합물 또는 복수의 화합물로 구성되어도 좋다.
- [0134] 발광층(130)에서, 게스트 재료(132)는 이들에 특히 한정되지 않지만, 안트라센 유도체, 테트라센 유도체, 크리센 유도체, 페난트렌 유도체, 피렌 유도체, 페릴렌 유도체, 스틸벤 유도체, 아크리돈 유도체, 쿠마린 유도체,

폐녹사진 유도체, 또는 폐노싸이아진 유도체 등이 바람직하고, 예를 들어 다음 재료 중 임의의 재료를 사용할 수 있다.

[0135] 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-9*H*-플루오렌-9-일)페닐]피렌-1,6-다이아민 (약칭: 1,6FLPAPrn), *N,N'*-비스(3-메틸페닐)-*N,N'*-비스[3-(9-페닐-9*H*-플루오렌-9-일)페닐]피렌-1,6-다이아민 (약칭: 1,6mMemFLPAPrn), *N,N'*-비스[4-(9*H*-카바졸-9-일)페닐]-*N,N'*-다이페닐스티렌-4,4'-다이아민 (약칭: YGA2S), 4-(9*H*-카바졸-9-일)-4'-(10-페닐-9-안트릴)트라이페닐아민 (약칭: YGAPA), 4-(9*H*-카바졸-9-일)-4'-(9,10-다이페닐-2-안트릴)트라이페닐아민 (약칭: 2YGAPPA), *N*,9-다이페닐-*N*-[4-(10-페닐-9-안트릴)페닐]-9*H*-카바졸-3-아민 (약칭: PCAPA), 페틸렌, 2,5,8,11-테트라(*tert*-뷰틸)페틸렌 (약칭: TBP), 4-(10-페닐-9-안트릴)-4'-(9-페닐-9*H*-카바졸-3-일)트라이페닐아민 (약칭: PCBAPA), *N,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]-9*H*-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''''*-옥타페닐다이벤조[*g,p*]크리센-2,7,10,15-테트라아민 (약칭: DBC1), 쿠마린 30, *N*-(9,10-다이페닐-2-안트릴)-*N*,9-다이페닐-9*H*-카바졸-3-아민 (약칭: 2PCAPA), *N*-[9,10-비스(1,1'-바이페닐-2-일)-2-안트릴]-*N*,9-다이페닐-9*H*-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-(9*H*-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, 5,12-비스(1,1'-바이페닐-4-일)-6,11-다이페닐테트라센 (약칭: BPT), 2-(2-{2-[4-(다이메틸아미노)페닐]에텐일}-6-메틸-4*H*-피란-4-일리텐)프로페인다이ナイト릴 (약칭: DCM1), 2-(2-메틸-6-[2-(2,3,6,7-테트라하이드로-1*H*,5*H*-벤조[*i,j*]퀴놀리진-9-일)에텐일]-4*H*-피란-4-일리텐)프로페인다이ナイト릴 (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-1*H*,5*H*-벤조[*i,j*]퀴놀리진-9-일)에텐일]-4*H*-피란-4-일리텐)프로페인다이ナイト릴 (약칭: DCJTI), 2-{2-*tert*-뷰틸-6-[2-(1,1,7,7-테트라메틸-2,3,6,7-테트라하이드로-1*H*,5*H*-벤조[*i,j*]퀴놀리진-9-일)에텐일]-4*H*-피란-4-일리텐}프로페인다이ナイト릴 (약칭: DCJTB), 2-(2,6-비스{2-[4-(다이메틸아미노)페닐]에텐일}-4*H*-피란-4-일리텐)프로페인다이ナイト릴 (약칭: BisDCM), 2-{2,6-비스[2-(8-메톡시-1,1,7,7-테트라메틸-2,3,6,7-테트라하이드로-1*H*,5*H*-벤조[*i,j*]퀴놀리진-9-일)에텐일]-4*H*-피란-4-일리텐}프로페인다이ナイト릴 (약칭: BisDCJTM), 및 5,10,15,20-테트라페닐비스벤조[5,6]인데노[1,2,3-*cd*:1',2',3'-*lm*]페릴렌이 포함된다.

[0136] 또한, 발광층(130)은 호스트 재료(131) 및 게스트 재료(132) 이외의 재료를 포함하여도 좋다.

[0137] 발광층(130)에 사용할 수 있는 재료에 특별한 한정은 없지만, 예를 들어, 다음 재료 중 임의의 재료를 사용할 수 있다; 트리스(8-퀴놀리놀레이토)알루미늄(III)(약칭: Alq), 트리스(4-메틸-8-퀴놀리놀레이토)알루미늄(III)(약칭: Almq₃), 비스(10-하이드록시벤조[h]퀴놀리네이트)베릴륨(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: ZnPBO), 및 비스[2-(2-벤조싸이아졸릴)페놀레이토]아연(II)(약칭: ZnBTZ) 등의 금속 착체; 2-(4-바이페닐릴)-5-(4-*tert*-부틸페닐)-1,3,4-옥사다이아졸(약칭: PBD), 1,3-비스[5-(*p-tert*-부틸페닐)-1,3,4-옥사다이아졸-2-일]벤젠(약칭: OXD-7), 3-(4-바이페닐릴)-4-페닐-5-(4-*tert*-부틸페닐)-1,2,4-트리아졸(약칭: TAZ), 2,2',2''-(1,3,5-벤젠트라이일)트리스(1-페닐-1*H*-벤즈이미다졸)(약칭: TPBI), 바소페난트롤린(약칭: BPhen), 바소큐프로인(약칭: BCP), 및 9-[4-(5-페닐-1,3,4-옥사다이아졸-2-일)페닐]-9*H*-카바졸(약칭: CO11) 등의 복소 고리 화합물; 및 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), 및 4,4'-비스[*N*-(스파이로-9,9'-바이플루오렌-2-일)-*N*-페닐아미노]바이페닐(약칭: BSPB) 등의 방향족 아민 화합물이 있다. 또한, 안트라센 유도체, 페난트렌 유도체, 피렌 유도체, 크리센 유도체, 및 다이벤조[*g,p*]크리센 유도체 등의 축합 다환 방향족 화합물을 사용할 수 있다. 이들의 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), 4-(9*H*-카바졸-9-일)-4'-(10-페닐-9-안트릴)트라이페닐아민(약칭: YGAPA), *N*,9-다이페닐-*N'*-[4-(10-페닐-9-안트릴)페닐]-9*H*-카바졸-3-아민(약칭: PCAPA), *N*,9-

다이페닐-*N*-{4-[4-(10-페닐-9-안트릴)페닐]-9H-카바졸-3-아민(약칭: PCAPBA), *N*,9-다이페닐-*N*-(9,10-다이페닐-2-안트릴)-9H-카바졸-3-아민(약칭: 2PCAPA), 6,12-다이메톡시-5,11-다이페닐크리센, *N,N,N',N',N'',N''',N''',N''''*-옥타페닐다이벤조[*g,p*]크리센-2,7,10,15-테트라아민(약칭: DBC1), 9-[4-(10-페닐-9-안트릴)페닐]-9H-카바졸(약칭: CzPA), 3,6-다이페닐-9-[4-(10-페닐-9-안트릴)페닐]-9H-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 공지의 물질 중에서, 게스트 재료(132)의 에너지 갭보다 넓은 에너지 갭을 갖는 하나 이상의 물질을 선택하는 것이 바람직하다.

[0138] 또한, 발광층(130)은 2층 이상의 층이 적층된 구조를 가질 수 있다. 예를 들어, 제 1 발광층과 제 2 발광층을 정공 수송층 측으로부터 이 순서대로 적층함으로써 발광층(130)을 형성하는 경우, 정공 수송성을 갖는 물질은 제 1 발광층의 호스트 재료로서 사용되고, 전자 수송성을 갖는 물질은 제 2 발광층의 호스트 재료로서 사용된다. 또는, 발광층(130)은 호스트 재료 및 게스트 재료를 포함하는 제 1 영역, 및 호스트 재료를 포함하는 제 2 영역을 포함하여도 좋다.

[0139] 다음에, 도 1의 (A)에서의 발광 소자(150)의 다른 구성 요소의 상세한 사항에 대하여, 이하에서 설명하겠다.

[0140] <<한 쌍의 전극>>

[0141] 전극(101) 및 전극(102)은 정공 및 전자를 발광층(130)에 주입하는 기능을 갖는다. 전극(101) 및 전극(102)은 예를 들어 금속, 합금, 또는 도전성 화합물, 또는 이들의 혼합물 또는 적층체를 사용하여 형성될 수 있다. 금속의 대표적인 예는 알루미늄이고, 이 이외에 은, 텅스텐, 크로뮴, 몰리브데넘, 구리, 또는 타이타늄 등의 전이 금속, 리튬 또는 세슘 등의 알칼리 금속, 또는 칼슘 또는 마그네슘 등의 제 2 족 금속이 사용될 수 있다. 전이 금속으로서 이터븀(Yb) 등의 희토류 금속을 사용하여도 좋다. 상기 금속 중 어느 것을 포함한 합금은 합금으로서 사용될 수 있고, MgAg 및 AlLi를 예로서 들 수 있다. 도전성 화합물로서는 산화 인듐-산화 주석(indium tin oxide) 등의 금속 산화물을 들 수 있다. 도전성 화합물로서 그래핀(graphene) 등의 무기 탄소계 재료를 사용할 수도 있다. 상술한 바와 같이, 이들 재료 중 2개 이상 적층함으로써 전극(101) 및/또는 전극(102)을 형성하여도 좋다.

[0142] 발광층(130)으로부터 방출되는 광은 전극(101) 및/또는 전극(102)을 통하여 추출된다. 그러므로, 전극(101) 및 전극(102) 중 적어도 한쪽은 가시광을 투과시킨다. 광이 추출되는 전극이 금속 또는 합금 등의 광 투과율이 낮은 재료를 사용하여 형성되는 경우, 전극(101) 및/또는 전극(102)은 가시광을 투과시키는 데 충분히 얇은 두께(예를 들어, 두께 1nm 내지 10nm)로 형성된다.

[0143] <<정공 주입층>>

[0144] 정공 주입층(111)은 한 쌍의 전극 중 한쪽(전극(101) 또는 전극(102))으로부터의 정공 주입의 배리어를 저감하여 정공 주입을 촉진하는 기능을 갖고, 예를 들어 전이 금속 산화물, 프탈로사이아닌 유도체, 또는 방향족 아민을 사용하여 형성된다. 전이 금속 산화물로서는, 산화 몰리브데넘, 산화 바나듐, 산화 루테튬, 산화 텅스텐, 또는 산화 망가니즈 등을 들 수 있다. 프탈로사이아닌 유도체로서는, 프탈로사이아닌 또는 금속 프탈로사이아닌 등을 들 수 있다. 방향족 아민으로서, 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.

[0145] 정공 주입층(111)으로서, 정공 수송 재료와 정공 수송 재료로부터 전자를 받는 특성을 갖는 재료의 복합 재료를 포함하는 층을 사용할 수도 있다. 또는, 전자 수용성을 갖는 재료를 포함하는 층과 정공 수송 재료를 포함하는 층의 적층을 사용하여도 좋다. 정상(定常) 상태 또는 전계 존재하에서, 이들 재료 사이를 전하가 이동할 수 있다. 전자 수용성을 갖는 재료의 예로서는, 퀸오다이메테인 유도체, 클로라닐 유도체, 및 헥사아자트라이페닐렌 유도체 등의 유기 액셉터를 들 수 있다. 구체적인 예에는 7,7,8,8-테트라사이아노-2,3,5,6-테트라플루오로퀴노다이메테인(약칭: F₄-TCNQ), 클로라닐, 또는 2,3,6,7,10,11-헥사사이아노-1,4,5,8,9,12-헥사아자트라이페닐렌(약칭: HAT-CN) 등의 전자 흡인기(할로젠기 또는 사이아노기)를 갖는 화합물이 있다. 또는, 제 4족 내지 제 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.

- [0146] 정공 수송 재료로서는 전자보다 정공을 많이 수송하는 성질을 갖는 재료를 사용할 수 있고, 정공 이동도가 $1 \times 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 이상인 재료가 바람직하다. 구체적으로는, 방향족 아민, 카바졸 유도체, 방향족 탄화수소, 또는 스티렌 유도체 등을 사용할 수 있다. 또한, 정공 수송 재료는 고분자 화합물이어도 좋다.
- [0147] 정공 수송성이 높은 방향족 아민 화합물의 예에는 *N,N'*-다이(*p*-톨릴)-*N,N'*-다이페닐-*p*-페닐렌다이아민(약칭: DTDPPA), 4,4'-비스[*N*-(4-다이페닐아미노페닐)-*N*-페닐아미노]바이페닐(약칭: DPAB), *N,N'*-비스{4-[비스(3-메틸페닐)아미노]페닐}-*N,N'*-다이페닐-(1,1'-바이페닐)-4,4'-다이아민(약칭: DNTPD), 및 1,3,5-트리스[*N*-(4-다이페닐아미노페닐)-*N*-페닐아미노]벤젠(약칭: DPA3B)이 포함된다.
- [0148] 카바졸 유도체의 구체적인 예에는 3-[*N*-(9-페닐카바졸-3-일)-*N*-페닐아미노]-9-페닐카바졸(약칭: PCzPCA1), 3,6-비스[*N*-(9-페닐카바졸-3-일)-*N*-페닐아미노]-9-페닐카바졸(약칭: PCzPCA2), 3-[*N*-(1-나프틸)-*N*-(9-페닐카바졸-3-일)아미노]-9-페닐카바졸(약칭: PCzPCN1), 및 3-[4-(9-페난트릴)-페닐]-9-페닐-9*H*-카바졸(약칭: PCPPn)이 있다.
- [0149] 카바졸 유도체의 다른 예에는 4,4'-다이(*N*-카바졸릴)바이페닐(약칭: CBP), 1,3,5-트리스[4-(*N*-카바졸릴)페닐]벤젠(약칭: TCPB), 9-[4-(10-페닐-9-안트릴)페닐]-9*H*-카바졸(약칭: CzPA), 및 1,4-비스[4-(*N*-카바졸릴)페닐]-2,3,5,6-테트라페닐벤젠이 포함된다.
- [0150] 방향족 탄화수소의 예에는 2-*tert*-부틸-9,10-다이(2-나프틸)안트라센(약칭: t-BuDNA), 2-*tert*-부틸-9,10-다이(1-나프틸)안트라센, 9,10-비스(3,5-다이페닐페닐)안트라센(약칭: DPPA), 2-*tert*-부틸-9,10-비스(4-페닐페닐)안트라센(약칭: t-BuDBA), 9,10-다이(2-나프틸)안트라센(약칭: DNA), 9,10-다이페닐안트라센(약칭: DPAnth), 2-*tert*-부틸안트라센(약칭: t-BuAnth), 9,10-비스(4-메틸-1-나프틸)안트라센(약칭: DMNA), 2-*tert*-부틸-9,10-비스[2-(1-나프틸)페닐]안트라센, 9,10-비스[2-(1-나프틸)페닐]안트라센, 2,3,6,7-테트라메틸-9,10-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*-부틸)페릴렌이 있다. 다른 예에는 펜타센 및 코로넨이 있다. 정공 이동도가 $1 \times 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 이상이고 탄소수가 14 내지 42인 방향족 탄화수소가 특히 바람직하다.
- [0151] 방향족 탄화수소는 바이닐 골격을 가져도 좋다. 바이닐기를 갖는 방향족 탄화수소의 예에는 4,4'-비스(2,2-다이페닐바이닐)바이페닐(약칭: DPVBi) 및 9,10-비스[4-(2,2-다이페닐바이닐)페닐]안트라센(약칭: DPVPA)이 있다.
- [0152] 다른 예에는 폴리(*N*-바이닐카바졸)(약칭: PVK), 폴리(4-바이닐트라이페닐아민)(약칭: PVTPA), 폴리[*N*-(4-{4-[4-(4-다이페닐아미노)페닐]페닐}-*N'*-페닐아미노)페닐]메타크릴아마이드(약칭: PTPDMA), 및 폴리[*N,N'*-비스(4-부틸페닐)-*N,N'*-비스(페닐)벤지딘](약칭: Poly-TPD) 등의 고분자 화합물이다.
- [0153] <<정공 수송층>>
- [0154] 정공 수송층(112)은 정공 수송 재료를 포함하는 층이며 정공 주입층(111)의 재료로서 예시한 재료 중 임의의 것을 사용하여 형성할 수 있다. 정공 수송층(112)이 정공 주입층(111)에 주입된 정공을 발광층(130)에 수송하는 기능을 갖기 위해서는, 정공 수송층(112)의 HOMO(highest occupied molecular orbital) 준위가 정공 주입층(111)의 HOMO 준위와 동등하거나 가까운 것이 바람직하다.
- [0155] 정공 수송 재료로서, 정공 주입층(111)의 재료로서 든 재료에 더하여, 정공 수송성이 높은 다음 물질 중 어느 것을 사용할 수 있다: 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',4"-트리스(*N,N'*-다이페닐아미노)트라이페닐아민(약칭: TDATA), 4,4',4"-트리스[*N*-(3-메틸페닐)-*N*-페닐아미노]트라이페닐아민(약칭: MTDATA), 4,4'-비스[*N*-(스파이로-9,9'-바이플루오렌-2-일)-*N*-페닐아미노]바이페닐(약칭: BSPB), 및 4-페닐-4'-(9-페닐플루오렌-9-일)트라이페닐아민(약칭: BPAFLP) 등의 방향족 아민 화합물이다. 여기서 열거한 물질은 주로 $1 \times 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 이상의 정공 이동도를 갖는 물질이다. 또한, 전자 수송성보다 정공 수송성이 높기만 하면, 여기서 열거한 물질 이외의 어떤 물질을 사용하여도 좋다. 정공 수송성이 높은 물질을 포함하는 층은 단층에 한정되지 않고, 상술한 물질을 포함하는 2층 이상의 층을 적층하여도 좋다.
- [0156] 정공 수송층(112)에 포함되는 정공 수송 재료는 발광층의 호스트 재료(131)보다 LUMO 준위 및 가장 낮은 삼중항 여기 에너지(T1) 준위가 높은 것이 바람직하다. 정공 수송층(112)에 포함되는 재료가 호스트 재료(131)와 동일

한 LUMO 준위를 갖는 경우, 발광층(130)에 도달하는 캐리어 전자가 발광층(130)에 머무르지 않고, 정공 수송층(112)으로 이동한다. 그리고, 적은 여기자가 발광층(130)에서 재결합하여 발광 효율이 저감된다. 가장 낮은 삼중항 여기 에너지(T1) 준위가 호스트 재료의 에너지 준위와 동등한 경우, TTA는 발광층(130)에서 생성된 삼중항 여기자로부터 일어나지 않기 때문에, 삼중항 에너지는 정공 수송층(112)으로 확산되어, 발광 효율의 저감을 일으킨다.

[0157] 예를 들어, 정공 수송층(112)에 포함되는 정공 수송 재료로서 3-[4-(9-페난트릴)-페닐]-9-페닐-9H-카바졸(약칭: PCPPn)을 사용하는 것이 바람직하다. PCPPn은 LUMO 준위 및 T1 준위가 적절히 높다; 따라서, 발광층(130)으로부터 정공 수송층(112)으로의 캐리어 전자의 확산을 적절히 억제하여, 발광층(130)에서의 TTA의 발생 확률, 및 발광 소자의 발광 효율을 높일 수 있다.

[0158] <<전자 수송층>>

[0159] 전자 수송층(118)은, 전자 주입층(119)을 통하여 한 쌍의 전극 중 다른 쪽(전극(101) 또는 전극(102))으로부터 주입된 전자를 발광층(130)에 수송하는 기능을 갖는다. 전자 수송 재료로서는 정공보다 전자를 많이 수송하는 성질을 갖는 재료를 사용할 수 있고, 전자 이동도가 $1 \times 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 이상인 재료가 바람직하다. 구체적인 예에는 퀴놀린 배위자, 벤조퀴놀린 배위자, 옥사졸 배위자, 또는 싸이아졸 배위자를 갖는 금속 착체, 옥사다이하졸 유도체, 트리아아졸 유도체, 페난트롤린 유도체, 피리딘 유도체, 바이피리딘 유도체, 및 피리미딘 유도체 등이 포함된다.

[0160] 구체적인 예에는 트리스(8-퀴놀리놀레이트)알루미늄(III)(약칭: Alq), 트리스(4-메틸-8-퀴놀리놀레이트)알루미늄(III)(약칭: Almq₃), 비스(10-하이드록시벤조[h]퀴놀리네이트)베틸륨(II)(약칭: BeBq₂), 및 비스(2-메틸-8-퀴놀리놀레이트)(4-페닐페놀레이트)알루미늄(III)(약칭: BA1q) 등의 퀴놀린 또는 벤조퀴놀린 골격을 갖는 금속 착체가 포함된다. 또는, 비스[2-(2-하이드록시페닐)벤조옥사졸레이트]아연(II)(약칭: Zn(BOX)₂) 또는 비스[2-(2-하이드록시페닐)벤조싸이아졸레이트]아연(II)(약칭: Zn(BTZ)₂) 등의, 옥사졸계 배위자 또는 싸이아졸계 배위자를 갖는 금속 착체를 사용할 수 있다. 이 금속 착체 이외에는, 다음 것 중 어느 것을 사용할 수 있다: 2-(4-바이페닐일)-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-바이페닐일)-4-페닐-5-(4-tert-뷰틸페닐)-1,2,4-트리아아졸(약칭: TAZ), 바소페난트롤린(약칭: BPhen), 및 바소큐프로인(약칭: BCP)이다. 여기서 설명한 물질은 주로 전자 이동도가 $1 \times 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 이상인 물질이다. 전자 수송층(118)은 단층에 한정되지 않고, 상술한 물질을 포함하는 층을 2층 이상 적층하여도 좋다.

[0161] 특히, LUMO가 깊은 전자 수송 재료로서는, 2,2'-(피리딘-2,6-다이일)비스(4,6-다이페닐피리미딘)(약칭: 2,6(P2Pm)2Py), 2,9-비스(나프탈렌-2-일)-4,7-다이페닐-1,10-페난트롤린(약칭: NBPhe), 또는 2,2'-(피리딘-2,6-다이일)비스(4-페닐벤조[h]퀴나졸린)(약칭: 2,6(P-Bqn)2Py) 등을 사용하는 것이 바람직하다.

[0162] LUMO가 깊은 다른 전자 수송 재료로서는, 분자 구조 내에 다이아진 골격 또는 트리아진 골격을 포함하는 축합 복소 방향 고리 골격을 포함하는 물질을 사용하는 것이 바람직하다. 분자 구조 내에 피라진 골격 또는 피리미딘 골격을 포함하는 물질을 사용하는 것도 바람직하다.

[0163] 전자 수송층(118)에 사용되는 재료의 LUMO 준위가 발광층(130)에 포함되는 호스트 재료(131)의 LUMO 준위보다 낮아지는 경우, 캐리어 전자의 이동에 대한 에너지 배리어를 형성할 수 있다. 에너지 배리어가 발광층(130)으로의 캐리어 전자의 이동을 억제하여, 발광층(130)의 캐리어 재결합 영역이 전자 수송층(118) 측으로 확대되고, 삼중항 여기자 및 캐리어 전자 양쪽의 밀도가 재결합 영역에서 더 낮아지기 때문에, 삼중항 여기지로의 캐리어 전자의 주입에 의하여 일어나는 여기자의 퀀칭이 감소된다.

[0164] 전자 수송층(118)과 발광층(130) 사이에, 전자 캐리어의 수송을 제어하는 층을 제공하여도 좋다. 이것은 상술한 전자 수송성이 높은 재료에 전자 트랩성이 높은 물질을 소량 첨가함으로써 형성되는 층이고, 이 층은 전자 캐리어의 이동을 지연시킴으로써 캐리어 밸런스를 조절할 수 있다. 이러한 구조는 발광층을 전자가 통과할 때에 발생하는 문제(소자 수명의 저하 등)를 방지하는 데 매우 효과적이다.

[0165] <<전자 주입층>>

[0166] 전자 주입층(119)은 전극(102)으로부터의 전자 주입의 배리어를 저감하여 전자 주입을 촉진하는 기능을 갖고, 예를 들어 제 1족 금속 또는 제 2족 금속, 또는 이들 금속 중 어느 것의 산화물, 할로젠화물, 또는 탄산염을 사

용하여 형성할 수 있다. 또는, 전자 수송 재료(상술함), 및 전자 수송 재료에 대하여 전자를 공여하는 성질을 갖는 재료를 포함하는 복합 재료를 사용할 수도 있다. 전자 공여성을 갖는 재료로서는, 제 1족 금속, 제 2족 금속, 또는 이들 금속 중 어느 것의 산화물 등을 들 수 있다.

[0167] 또한, 상술한 발광층, 정공 주입층, 정공 수송층, 전자 수송층, 및 전자 주입층의 각각은 증착법(진공 증착법을 포함함), 잉크젯법, 도포법, 또는 그라비아 인쇄법 등에 의하여 형성할 수 있다. 상술한 재료 이외에도, 상기 발광층, 정공 주입층, 정공 수송층, 전자 수송층, 및 전자 주입층에는 무기 화합물 또는 고분자 화합물(예를 들어, 올리고머, 덴드리머, 또는 폴리머)을 사용하여도 좋다.

[0168] <<기관>>

[0169] 유리 또는 플라스틱 등의 기관 위에 발광 소자(150)를 제작하여도 좋다. 기관 위에 적층하는 방법으로서, 전극(101) 측으로부터 순차적으로 적층하여도 좋고 전극(102) 측으로부터 순차적으로 적층하여도 좋다.

[0170] 또한, 예를 들어, 발광 소자(150)를 형성할 수 있는 기관으로서 유리, 석영, 또는 플라스틱 등을 사용할 수 있다. 또는, 플렉시블 기관을 사용할 수 있다. 플렉시블 기관은 예를 들어 폴리카보네이트 또는 폴리아릴레이트로 이루어진 플라스틱 기관 등, 구부릴 수 있는 기관이다. 필름, 증착으로 형성된 무기 필름 등을 사용할 수도 있다. 또한, 발광 소자 및 광학 소자의 제작 공정에 있어서 지지체로서 기능하기만 하면, 또는 발광 소자 및 광학 소자를 보호하는 기능을 갖기만 하면 이들 이외의 재료를 사용할 수 있다.

[0171] 예를 들어, 다양한 기관을 사용하여 발광 소자(150)를 형성할 수 있다. 기관의 종류는 특정한 것에 한정되지 않는다. 기관으로서, 반도체 기관(예를 들어 단결정 기관 또는 실리콘 기관), SOI 기관, 유리 기관, 석영 기관, 플라스틱 기관, 금속 기관, 스테인리스스틸 기관, 스테인리스스틸포일을 포함하는 기관, 텅스텐 기관, 텅스텐포일을 포함하는 기관, 플렉시블 기관, 접합 필름, 섬유 재료를 포함하는 종이, 또는 기재 필름 등을 사용할 수 있다. 유리 기관의 예에는 바륨보로실리케이트 유리 기관, 알루미늄보로실리케이트 유리 기관, 및 소다 석회 유리 기관이 포함된다. 플렉시블 기관, 접합 필름, 및 기재 필름 등의 예에는, 폴리에틸렌테레프탈레이트(PET), 폴리에틸렌나프탈레이트(PEN), 폴리에테르설폰(PES), 및 폴리테트라플루오로에틸렌(PTFE)으로 대표되는 플라스틱 기관이다. 다른 예에는 아크릴 등의 수지가 있다. 다른 예에는 폴리프로필렌, 폴리에스터, 폴리플루오린화바이닐, 및 폴리염화바이닐이 있다. 다른 예에는 폴리아마이드, 폴리이미드, 아라미드, 에폭시, 증착에 의하여 형성된 무기 필름, 및 종이가 있다.

[0172] 또는, 상기 기관으로서 플렉시블 기관을 사용하여도 좋고, 플렉시블 기관 위에 직접 발광 소자를 제공하여도 좋다. 또는, 기관과 발광 소자 사이에 박리층을 제공하여도 좋다. 박리층은 그 위에 형성된 발광 소자가 일부 또는 전부 완성될 때 기관으로부터 분리하고 다른 기관으로 전치하기 위하여 사용될 수 있다. 이 경우, 내열성이 낮은 기관 또는 플렉시블 기관으로도 발광 소자를 전치할 수 있다. 상기 박리층에는, 예를 들어, 텅스텐막 및 산화 실리콘막인 무기막을 포함하는 적층 또는 기관 위에 형성된 폴리이미드 등의 수지막이 사용될 수 있다.

[0173] 바꿔 말하면, 기관을 사용하여 발광 소자를 형성한 후에, 다른 기관으로 발광 소자를 전치하여도 좋다. 발광 소자가 전치되는 기관의 예로서는, 상술한 기관에 더하여, 셀로판 기관, 석재 기관, 목재 기관, 천 기관(천연 섬유(예를 들어 견, 면, 또는 마), 합성 섬유(예를 들어 나일론, 폴리우레탄, 또는 폴리에스터), 또는 재생 섬유(예를 들어 아세테이트, 큐프라, 레이온, 또는 재생 폴리에스터)를 포함함), 피혁 기관, 및 고무 기관이 포함된다. 이러한 기관을 사용함으로써, 내구성이 높은 발광 소자, 내열성이 높은 발광 소자, 경량의 발광 소자, 또는 박형의 발광 소자를 얻을 수 있다.

[0174] 상술한 기관 위에 형성되는, 예를 들어 전계 효과 트랜지스터(FET)와 전기적으로 접속된 전극 위에 발광 소자(150)를 형성하여도 좋고, 이로써 FET가 발광 소자(150)의 구동을 제어하는 액티브 매트릭스 표시 장치를 제작할 수 있다.

[0175] 본 발명의 일 형태에 대하여 본 실시형태에서 설명하였다. 다른 실시형태에 대해서도 다른 실시형태에서 설명하겠다. 또한, 본 발명의 일 형태는 이들에 한정되지 않는다. 예를 들어, 본 발명의 일 형태에는 TTA에 의한 지연 형광 성분의 비율이 EL층으로부터의 발광의 10% 이상이고 전자 수송층에 포함되는 재료의 LUMO 준위가 발광층에 포함되는 호스트 재료의 LUMO 준위보다 낮은 예를 나타내지만, 이것에 한정되지 않는다. 상황 또는 조건에 따라, 본 발명의 일 형태에서, 지연 형광 성분은 EL층으로부터의 발광의 10% 이상을 차지할 필요는 없다. 또는, 전자 수송층에 포함되는 재료의 LUMO 준위는 호스트 재료의 LUMO 준위보다 높아도 좋다. 다른 예로서, 본 발명의 일 형태에는 전자 수송층에 포함되는 재료의 LUMO 준위가 발광층에 포함되는 호스트 재료의 LUMO 준위보다 0.05eV 이상 낮은 예를 나타내지만, 이것에 한정되지 않는다. 상황 또는 조건에 따라, 본 발명의 일 형태

태에서, 예를 들어, 전자 수송층에 포함되는 재료의 LUMO 준위가 발광층에 포함되는 호스트 재료의 LUMO 준위보다 0.05eV 이상 낮을 필요는 없다.

[0176] 본 실시형태에서 상술한 구조는 다른 실시형태에서 설명하는 구조 중 임의의 것과 적절히 조합할 수 있다.

[0177] (실시형태 2)

[0178] 본 실시형태에서는, 실시형태 1에서 설명한, 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자의 구조예에 대하여, 도 5 내지 도 7의 (B)를 참조하여 설명하겠다.

[0179] <발광 소자의 구조예 1>

[0180] 이하에서 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자의 구조예에 대하여 도 5를 참조하여 설명하겠다. 도 5는 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자를 도시한 단면 모식도이다.

[0181] 도 5에서의 발광 소자(250)는 광이 기관(200)을 통하여 추출되는 보텀 이미션 구조를 갖는다. 그러나, 본 발명의 일 형태는 이 구조에 한정되지 않고, 발광 소자로부터 방출되는 광이 기관(200)과는 반대 방향으로 추출되는 톱 이미션 구조, 또는 발광 소자로부터 방출되는 광이, 발광 소자가 형성되는 기관(200)에 대하여 상하 양쪽의 방향으로 추출되는 듀얼 이미션 구조를 가져도 좋다.

[0182] 발광 소자(250)는 기관(200) 위에 전극(101) 및 전극(102)을 포함한다. 전극(101)과 전극(102) 사이에는, 발광층(123B), 발광층(123G), 및 발광층(123R)이 제공된다. 정공 주입층(111), 정공 수송층(112), 전자 수송층(118), 및 전자 주입층(119)도 제공된다.

[0183] 발광 소자가 보텀 이미션 구조를 갖는 경우, 전극(101)은 광을 투과시키는 기능을 갖는 것이 바람직하고, 전극(102)은 광을 반사하는 기능을 갖는 것이 바람직하다.

[0184] 도 5에 도시된 발광 소자(250)에서는 전극(101)과 전극(102) 사이에 끼워진 영역(221B), 영역(221G), 및 영역(221R) 사이에 격벽(140)이 제공된다. 격벽(140)은 절연성을 갖는다. 격벽(140)은 전극(101)의 단부를 덮고, 상기 전극과 중첩되는 개구를 갖는다. 격벽(140)에 의하여, 상기 영역에서 기관(200) 위에 제공된 전극(101)을 섬 형상으로 분할할 수 있다.

[0185] 발광층(123B), 발광층(123G), 및 발광층(123R)은 상이한 색의 광을 방출하는 기능을 갖는 발광 재료를 포함하는 것이 바람직하다. 예를 들어, 발광층(123B), 발광층(123G), 및 발광층(123R)이 각각 청색광, 녹색광, 및 적색광을 방출하는 기능을 갖는 발광 재료를 포함하는 경우, 발광 소자(250)를 풀 컬러 표시 장치에 사용할 수 있다. 발광층들의 두께는 동일하여도 좋고 상이하여도 좋다.

[0186] 실시형태 1에서 설명한 바와 같이, 전자 수송층(118)에 사용되는 재료의 LUMO 준위는 발광층(123B)에 포함되는 호스트 재료의 LUMO 준위보다 낮아진다. 이로써, 지연 형광 성분이 발광층(123B)으로부터의 발광 중 비교적 높은 비율을 차지하는 발광 소자를 제작할 수 있다.

[0187] 또한, 발광층(123B), 발광층(123G), 및 발광층(123R) 중 하나 이상은 2층 이상의 적층을 포함하여도 좋다.

[0188] <발광 소자의 구조예 2>

[0189] 다음에, 도 5에 도시된 발광 소자와는 상이한 구조예에 대하여 도 6의 (A) 및 도 6의 (B)를 참조하여 이하에서 설명하겠다.

[0190] 도 6의 (A) 및 도 6의 (B)는 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자의 단면도이다. 도 6의 (A) 및 도 6의 (B)에서, 도 5의 부분과 비슷한 기능을 갖는 부분은 도 5에서와 동일한 해칭 패턴으로 나타내어지고, 특별히 부호로 표시하지 않는 경우가 있다. 또한, 비슷한 기능을 갖는 부분에는 공통된 부호를 사용하고, 이러한 부분에 대한 자세한 설명을 반복하지 않는 경우가 있다.

[0191] 도 6의 (A) 및 도 6의 (B)는 각각 한 쌍의 전극 사이에, 발광층들 사이에 제공된 전하 발생층(115)을 개재(介在)하여 복수의 발광층이 적층되는 탠덤 발광 소자의 구조예를 도시한 것이다. 도 6의 (A)에 도시된 발광 소자(252)는 기관(200)과는 반대의 방향으로 광이 추출되는 톱 이미션 구조를 갖고, 도 6의 (B)에 도시된 발광 소자(254)는 기관(200)을 통하여 광이 추출되는 보텀 이미션 구조를 갖는다. 그러나, 본 발명의 일 형태는 이들 구조에 한정되지 않고, 발광 소자로부터 방출되는 광이, 발광 소자가 형성되는 기관(200)의 상하 양쪽의 방향으로 추출되는 듀얼 이미션 구조를 가져도 좋다.

[0192] 발광 소자(252) 및 발광 소자(254)는 각각 기관(200) 위에 전극(101), 전극(102), 전극(103), 및 전극(104)을

포함한다. 전극(101)과 전극(102) 사이, 전극(102)과 전극(103) 사이, 그리고 전극(102)과 전극(104) 사이에는, 발광층(160), 전하 발생층(115), 및 발광층(170)이 제공된다. 정공 주입층(111), 정공 수송층(112), 전자 수송층(113), 전자 주입층(114), 정공 주입층(116), 정공 수송층(117), 전자 수송층(118), 및 전자 주입층(119)이 더 제공된다.

[0193] 전극(101)은 도전층(101a), 및 도전층(101a) 위에 있고 도전층(101a)과 접촉되는 도전층(101b)을 포함한다. 전극(103)은 도전층(103a), 및 도전층(103a) 위에 있고 도전층(103a)과 접촉되는 도전층(103b)을 포함한다. 전극(104)은 도전층(104a), 및 도전층(104a) 위에 있고 도전층(104a)과 접촉되는 도전층(104b)을 포함한다.

[0194] 도 6의 (A)에 도시된 발광 소자(252) 및 도 6의 (B)에 도시된 발광 소자(254)에서는, 전극(101)과 전극(102) 사이에 끼워진 영역(222B)과, 전극(102)과 전극(103) 사이에 끼워진 영역(222G)과, 전극(102)과 전극(104) 사이에 끼워진 영역(222R) 사이에, 격벽(140)이 제공된다. 격벽(140)은 절연성을 갖는다. 격벽(140)은 전극(101), 전극(103), 및 전극(104)의 단부를 덮고, 상기 전극과 중첩되는 개구를 갖는다. 격벽(140)에 의하여, 상기 영역에서 기판(200) 위에 제공된 전극을 섬 형상으로 분할할 수 있다.

[0195] 발광 소자(252) 및 발광 소자(254)는 각각 영역(222B)으로부터 방출되는 광, 영역(222G)으로부터 방출되는 광, 및 영역(222R)으로부터 방출되는 광이 추출되는 방향으로 광학 소자(224B), 광학 소자(224G), 및 광학 소자(224R)가 제공된 기판(220)을 포함한다. 각 영역으로부터 방출되는 광은 각 광학 소자를 통하여 발광 소자 외부로 방출된다. 바꿔 말하면, 영역(222B)으로부터의 광, 영역(222G)으로부터의 광, 및 영역(222R)으로부터의 광은 각각, 광학 소자(224B), 광학 소자(224G), 및 광학 소자(224R)를 통하여 방출된다.

[0196] 광학 소자(224B), 광학 소자(224G), 및 광학 소자(224R)는 각각 입사광으로부터 특정의 색의 광을 선택적으로 투과시키는 기능을 갖는다. 예를 들어, 광학 소자(224B)를 통하여 영역(222B)으로부터 방출되는 광은 청색광이고, 광학 소자(224G)를 통하여 영역(222G)으로부터 방출되는 광은 녹색광이고, 광학 소자(224R)를 통하여 영역(222R)으로부터 방출되는 광은 적색광이다.

[0197] 또한, 도 6의 (A) 및 도 6의 (B)에서는 광학 소자를 통하여 영역으로부터 방출되는 청색광(B), 녹색광(G), 및 적색광(R)을 파선의 화살표로 모식적으로 나타내었다.

[0198] 광학 소자들 사이에는 차광층(223)이 제공된다. 차광층(223)은 인접한 영역들로부터 방출되는 광을 차단하는 기능을 갖는다. 또한, 차광층(223)을 생략하여도 좋다.

[0199] <<마이크로캐비티>>

[0200] 또한, 발광 소자(252) 및 발광 소자(254)는 각각 마이크로캐비티 구조를 갖는다.

[0201] 발광층(160) 및 발광층(170)으로부터 방출되는 광은 한 쌍의 전극(예를 들어, 전극(101) 및 전극(102)) 사이에서 공진된다. 각 발광 소자(252 및 254)에서 각 영역에서의 도전층(도전층(101b), 도전층(103b), 및 도전층(104b))의 두께를 조정하여, 발광층(160) 및 발광층(170)으로부터 방출되는 광의 파장을 강화시킬 수 있다. 또한, 정공 주입층(111) 및 정공 수송층(112) 중 적어도 하나의 두께를 영역들간에서 상이하게 하여 발광층(160) 및 발광층(170)으로부터 방출되는 광의 파장을 강화시켜도 좋다.

[0202] 예를 들어, 전극(101) 내지 전극(104)의 광을 반사하는 기능을 갖는 도전 재료의 굴절률이 발광층(160) 또는 발광층(170)의 굴절률보다 낮은 경우, 전극(101)의 도전층(101b)의 두께를 조정하여 전극(101)과 전극(102) 사이의 광로의 길이가 $m_b \lambda_B / 2$ (m_b 는 자연수이고 λ_B 는 영역(222B)에서 강화되는 광의 파장임)가 되도록 한다. 마찬가지로, 전극(103)의 도전층(103b)의 두께를 조정하여 전극(103)과 전극(102) 사이의 광로의 길이가 $m_g \lambda_G / 2$ (m_g 는 자연수이고 λ_G 는 영역(222G)에서 강화되는 광의 파장임)가 되도록 한다. 또한, 전극(104)의 도전층(104b)의 두께를 조정하여 전극(104)과 전극(102) 사이의 광로의 길이가 $m_r \lambda_R / 2$ (m_r 는 자연수이고 λ_R 는 영역(222R)에서 강화되는 광의 파장임)가 되도록 한다.

[0203] 상술한 바와 같이, 각 영역에서의 한 쌍의 전극 사이의 광로의 길이를 조정하는 마이크로캐비티 구조에 의하여, 전극 부근에서의 광의 산란 및 흡수를 억제할 수 있고, 이에 따라 추출 효율이 높아진다. 상기 구조에서 도전층(101b), 도전층(103b), 및 도전층(104b) 각각은 광을 투과시키는 기능을 갖는 것이 바람직하다. 도전층(101b), 도전층(103b), 및 도전층(104b)의 재료는 동일하여도 좋고 상이하여도 좋다. 도전층(101b), 도전층(103b), 및 도전층(104b) 각각은 2층 이상의 적층을 가져도 좋다.

[0204] 또한, 도 6의 (A)에 도시된 발광 소자(252)는 톱 이미전 구조를 갖기 때문에 전극(101)의 도전층(101a), 전극

(103)의 도전층(103a), 및 전극(104)의 도전층(104a)은 광을 반사하는 기능을 갖는 것이 바람직하다. 또한, 전극(102)은 광을 투과시키는 기능과 광을 반사하는 기능을 갖는 것이 바람직하다.

[0205] 도 6의 (B)에 도시된 발광 소자(254)는 보텀 이미션 구조를 갖기 때문에 전극(101)의 도전층(101a), 전극(103)의 도전층(103a), 및 전극(104)의 도전층(104a)은 광을 투과시키는 기능과 광을 반사하는 기능을 갖는 것이 바람직하다. 또한, 전극(102)은 광을 반사하는 기능을 갖는 것이 바람직하다.

[0206] 도전층(101a), 도전층(103a), 및 도전층(104a)에 사용되는 재료는 발광 소자(252) 및 발광 소자(254) 각각에서 동일하여도 좋고 상이하여도 좋다. 도전층(101a), 도전층(103a), 및 도전층(104a)을 동일한 재료를 사용하여 형성하면, 발광 소자(252) 및 발광 소자(254)의 제조 비용을 저감할 수 있다. 도전층(101a), 도전층(103a), 및 도전층(104a) 각각은 2개 이상의 적층을 가져도 좋다.

[0207] 실시형태 1에서 설명한 바와 같이, 전자 수송층(113)에 사용되는 재료의 LUMO 준위는 발광층(170)에 포함되는 호스트 재료의 LUMO 준위보다 낮아지고, 전자 수송층(118)에 사용되는 재료의 LUMO 준위는 발광층(160)에 포함되는 호스트 재료의 LUMO 준위보다 낮아진다. 이로써, 지연 형광 성분이 발광층으로부터의 발광 중 비교적 높은 비율을 차지하는 발광 소자를 제작할 수 있다.

[0208] 발광층(160) 및 발광층(170)은 각각 예를 들어, 발광층(170a) 및 발광층(170b)의 2층의 적층 구조를 가질 수 있다. 상이한 색의 광을 방출하는 기능을 갖는 2종류의 발광 재료(제 1 화합물 및 제 2 화합물)를 2개의 발광층에 사용함으로써, 복수의 발광색의 광을 동시에 얻을 수 있다. 발광층(160) 및 발광층(170)으로부터의 발광을 조합함으로써, 백색의 광이 얻어질 수 있도록, 발광 재료를 선택하는 것이 특히 바람직하다.

[0209] 발광층(160) 또는 발광층(170)은, 3층 이상이 적층된 구조를 가져도 좋고, 발광 재료를 포함하지 않는 층을 포함하여도 좋다.

[0210] 본 실시형태에서 설명한 구조는 다른 실시형태에서 설명하는 구조 중 임의의 것과 적절히 조합할 수 있다.

[0211] (실시형태 3)

[0212] 본 실시형태에서는, 실시형태 1 및 실시형태 2에서 설명한 구조와 상이한 구조를 갖는 발광 소자 및 상기 발광 소자의 발광 기구에 대하여 도 7의 (A) 내지 도 8의 (B)를 참조하여 이하에서 설명하겠다.

[0213] <발광 소자의 구조에 1>

[0214] 도 7의 (A)는 발광 소자(450)의 단면 모식도이다.

[0215] 도 7의 (A)에 도시된 발광 소자(450)는 한 쌍의 전극(전극(401) 및 전극(402)) 사이에 복수의 발광 유닛(도 7의 (A)에서의 발광 유닛(441) 및 발광 유닛(442))을 포함한다. 하나의 발광 유닛은 도 1의 (A)에 도시된 EL층(100)과 동일한 구조를 갖는다. 즉, 도 1의 (A)에서의 발광 소자(150)는 하나의 발광 유닛을 포함하고, 한편 발광 소자(450)는 복수의 발광 유닛을 포함한다. 또한, 발광 소자(450)의 다음 설명에서는 전극(401)이 양극으로서 기능하고 전극(402)이 음극으로서 기능하지만, 발광 소자(450)에서 이 기능은 교환되어도 좋다.

[0216] 도 7의 (A)에 도시된 발광 소자(450)에서 발광 유닛(441)과 발광 유닛(442)이 적층되고, 발광 유닛(441)과 발광 유닛(442) 사이에는 전하 발생층(445)이 제공된다. 또한, 발광 유닛(441)과 발광 유닛(442)은 같은 구조를 가져도 좋고, 상이한 구조를 가져도 좋다. 예를 들어, 도 1의 (A)에 도시된 EL층(100)을 발광 유닛(441)에 사용하는 것이 바람직하다.

[0217] 즉, 발광 소자(450)는 발광층(420) 및 발광층(430)을 포함한다. 발광 유닛(441)은 발광층(420)에 더하여 정공 주입층(411), 정공 수송층(412), 전자 수송층(413), 및 전자 주입층(414)을 포함한다. 발광 유닛(442)은 발광층(430)에 더하여 정공 주입층(416), 정공 수송층(417), 전자 수송층(418), 및 전자 주입층(419)을 포함한다.

[0218] 전하 발생층(445)은 유기 화합물과 엑셉터 물질의 복합 재료를 포함한다. 상기 복합 재료에는 실시형태 1에서 설명한 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) 등 다양한 화합물을 사용할 수 있다. 정공 이동도가 $1 \times 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 이상인 유기 화합물을 사용하는 것이 바람직하다. 또한, 전자 수송성보다 정공 수송성이 더 높지만 다른 유기 재료를 사용하여도 좋다. 유기 화합물 및 엑셉터 물질의 복합 재료의 캐리어 주입성 및 캐리어 수송성이 우수하기 때문에, 저전압 구동 또는 저전류 구동을 실현할 수 있다. 또한, 발광 유닛(442)과 같이 양극 측의 발광 유닛의 면이 전하 발생층(445)에 접촉되는 경우에는, 전하 발생층(445)이 발광 유닛의 정공 주입층 또는 정공 수송층으로서도 기능할 수 있기 때문에, 발광 유닛에는

정공 주입층 또는 정공 수송층이 포함될 필요는 없다.

- [0219] 전하 발생층(445)은 유기 화합물과 엑셉터 물질의 복합 재료를 포함하는 층과 다른 재료를 포함하는 층의 적층 구조를 가져도 좋다. 예를 들어, 전하 발생층(445)은 유기 화합물과 엑셉터 물질의 복합 재료를 포함하는 층과, 전자 도너성을 갖는 재료 중에서 선택된 하나의 화합물과 전자 수송성이 높은 화합물을 포함하는 층을 조합하여 사용하여 형성되어도 좋다. 또한, 전하 발생층(445)은 유기 화합물과 엑셉터 물질을 포함하는 층과 투명 도전막을 포함하는 층을 조합하여 사용하여 형성되어도 좋다.
- [0220] 발광 유닛(441)과 발광 유닛(442) 사이에 제공된 전하 발생층(445)은 전극(401)과 전극(402) 사이에 전압이 인가될 때 한쪽의 발광 유닛에 전자가 주입될 수 있고 다른 쪽의 발광 유닛에는 정공이 주입될 수 있는 한, 어느 구조를 가져도 좋다. 예를 들어, 도 7의 (A)에서, 전극(401)의 전위가 전극(402)의 전위보다 높도록 전압이 인가될 때 전하 발생층(445)은 발광 유닛(441)에 전자를 주입하고 발광 유닛(442)에 정공을 주입한다.
- [0221] 도 7의 (A)의 발광 소자는 2개의 발광 유닛을 포함하지만, 발광 소자는 3개 이상 적층된 발광 유닛을 포함하여도 좋다. 발광 소자(450)와 같이, 전하 발생층에 의하여 분할된 복수의 발광 유닛은 한 쌍의 전극 사이에 배치되고, 전류 밀도를 낮게 유지하면서, 수명이 긴 고휘도 발광 소자를 달성할 수 있다. 소비전력이 낮은 발광 소자를 제공할 수도 있다.
- [0222] 발광층(420)은 호스트 재료(421) 및 게스트 재료(422)를 포함한다. 발광층(430)은 호스트 재료(431) 및 게스트 재료(432)를 포함한다. 호스트 재료(431)는 유기 화합물(431_1) 및 유기 화합물(431_2)을 포함한다.
- [0223] 본 실시형태에서 발광층(420)은 도 1의 (A)에서의 발광층(130)과 동일한 구조를 갖는다. 즉, 발광층(420)에서의 호스트 재료(421) 및 게스트 재료(422)는 각각 발광층(130)에서의 호스트 재료(131) 및 게스트 재료(132)에 상당한다. 이하의 설명에서, 발광층(430)에 포함되는 게스트 재료(432)는 인광성 재료인 것으로 한다. 또한, 전극(401), 전극(402), 정공 주입층(411) 및 정공 주입층(416), 정공 수송층(412 및 정공 수송층(417), 전자 수송층(413 및 전자 수송층(418), 그리고 전자 주입층(414 및 전자 주입층(419)은 각각 실시형태 1에서의 전극(101), 전극(102), 정공 주입층(111), 정공 수송층(112), 전자 수송층(118), 및 전자 주입층(119)에 상당한다. 그러므로, 본 실시형태에서는 이 자세한 설명은 생략한다.
- [0224] 실시형태 1에서 설명한 바와 같이, 전자 수송층(413)에 사용되는 재료의 LUMO 준위는 발광층(420)에 포함되는 호스트 재료의 LUMO 준위보다 낮아지고, 전자 수송층(418)에 사용되는 재료의 LUMO 준위는 발광층(430)에 포함되는 호스트 재료의 LUMO 준위보다 낮아진다. 이로써, 지연 형광 성분이 발광층으로부터의 발광 중 비교적 높은 비율을 차지하는 발광 소자를 제작할 수 있다.
- [0225] <<발광층(420)의 발광 기구>>
- [0226] 발광층(420)의 발광 기구는 도 1의 (A)에서의 발광층(130)의 발광 기구와 비슷하다.
- [0227] <<발광층(430)의 발광 기구>>
- [0228] 다음에, 발광층(430)의 발광 기구에 대하여 이하에서 설명하겠다.
- [0229] 발광층(430)에 포함되는 유기 화합물(431_1) 및 유기 화합물(431_2)은 들뜬 복합체를 형성한다. 여기의 설명에서는, 유기 화합물(431_1)은 호스트 재료로서 기능하고 유기 화합물(431_2)은 어시스트 재료로서 기능한다.
- [0230] 유기 화합물(431_1)과 유기 화합물(431_2)의 조합은 발광층(430)에서 들뜬 복합체를 형성할 수 있지만 하면 되지만, 한쪽의 유기 화합물이 정공 수송성을 갖는 재료이고 다른 쪽의 유기 화합물이 전자 수송성을 갖는 재료인 것이 바람직하다.
- [0231] 발광층(430)에서의 유기 화합물(431_1), 유기 화합물(431_2), 및 게스트 재료(432)의 에너지 준위의 상관을 도 7의 (B)에 도시하였다. 도 7의 (B)에서의 용어 및 부호가 무엇을 나타내는지는 다음과 같다:
- [0232] Host(431_1): 유기 화합물(431_1)(호스트 재료);
- [0233] Assist(431_2): 유기 화합물(431_2)(어시스트 재료);
- [0234] Guest(432): 게스트 재료(432)(인광성 재료);
- [0235] Exciplex: 들뜬 복합체
- [0236] S_{PH}: 유기 화합물(431_1)의 가장 낮은 단일항 여기 상태의 준위;

- [0237] T_{PH} : 유기 화합물(431_1)의 가장 낮은 삼중항 여기 상태의 준위;
- [0238] T_{PG} : 게스트 재료(432)(인광성 재료)의 가장 낮은 삼중항 여기 상태의 준위;
- [0239] S_E : 들뜬 복합체의 가장 낮은 단일항 여기 상태의 준위; 및
- [0240] T_E : 들뜬 복합체의 가장 낮은 삼중항 여기 상태의 준위.
- [0241] 유기 화합물(431_1) 및 유기 화합물(431_2)에 의하여 형성되는, 들뜬 복합체의 가장 낮은 단일항 여기 상태의 준위(S_E)와, 들뜬 복합체의 가장 낮은 삼중항 여기 상태의 준위(T_E)는 서로 가까워진다(도 7의 (B)의 Route C 참조).
- [0242] 들뜬 복합체의 S_E 및 T_E 의 양쪽의 에너지를 게스트 재료(432)(인광성 재료)의 가장 낮은 삼중항 여기 상태의 준위로 이동시켜, 발광이 얻어진다(도 7의 (B)의 Route D 참조).
- [0243] 본 명세서 등에서의 상술한 Route C 및 Route D의 공정은 ExTET(exciplex-triplet energy transfer)라고 불리기도 좋다.
- [0244] 정공을 받는 유기 화합물(431_1) 및 유기 화합물(431_2) 중 한쪽 및 전자를 받는 유기 화합물(431_1) 및 유기 화합물(431_2) 중 다른 쪽이 서로 가까워지면, 당장 들뜬 복합체가 형성된다. 또는, 한쪽의 화합물이 여기 상태가 되면 그 한쪽이 즉시 다른 쪽의 화합물과 상호 작용함으로써 들뜬 복합체가 형성된다. 그러므로, 발광층(430)에서의 여기자의 대부분이 들뜬 복합체로서 존재한다. 들뜬 복합체의 밴드 갭은 유기 화합물(431_1) 및 유기 화합물(431_2) 각각보다 좁기 때문에 들뜬 복합체가 정공 및 전자의 재결합에 의하여 형성될 때 구동 전압을 저하시킬 수 있다.
- [0245] 발광층(430)이 상기 구조를 가지면, 발광층(430)의 게스트 재료(432)(인광성 재료)로부터의 발광을 효율적으로 얻을 수 있다.
- [0246] 또한, 발광층(420)으로부터 방출되는 광이 발광층(430)으로부터 방출되는 광보다 단파장 측에 피크를 갖는 것이 바람직하다. 단파장의 광을 방출하는 인광성 재료를 사용한 발광 소자는 휘도 열화가 빠른 경향이 있다. 단파장의 발광에 형광을 사용함으로써, 휘도 열화가 작은 발광 소자를 제공할 수 있다.
- [0247] 또한, 발광층(420)과 발광층(430)은 상이한 발광 파장의 광을 방출시킴으로써, 다색(多色) 발광 소자로 할 수 있다. 이 경우, 발광 소자의 발광 스펙트럼은 상이한 발광 피크를 갖는 광을 조합함으로써 형성되기 때문에, 적어도 2개의 피크를 갖는다.
- [0248] 상기 구조는 백색 발광을 얻기 위해서도 적합하다. 발광층(420)과 발광층(430)이 보색 광을 방출하면, 백색 발광을 얻을 수 있다.
- [0249] 또한, 발광층(420) 및 발광층(430) 중 한쪽 또는 양쪽에 파장이 상이한 광을 방출하는 복수의 발광 재료를 사용함으로써, 3원색이나 4색 이상으로 이루어지는 연색성이 높은 백색 발광을 얻을 수 있다. 이 경우, 발광층(420) 및 발광층(430) 중 한쪽 또는 양쪽을 층상으로 분할하여도 좋고, 이 분할한 층 각각은 서로 상이한 발광 재료를 포함하여도 좋다.
- [0250] <발광층에 사용할 수 있는 재료의 예>
- [0251] 다음에, 발광층(420) 및 발광층(430)에 사용할 수 있는 재료에 대하여 설명하겠다.
- [0252] <<발광층(420)에 사용할 수 있는 재료>>
- [0253] 발광층(420)에 사용할 수 있는 재료로서, 실시형태 1에서 설명한 발광층(130)에 사용할 수 있는 재료 중 어느 것을 사용하여도 좋다.
- [0254] <<발광층(430)에 사용할 수 있는 재료>>
- [0255] 발광층(430)에서는, 유기 화합물(431_1)(호스트 재료)이 중량비로 가장 높은 비율로 존재하고 게스트 재료(432)(인광성 재료)가 유기 화합물(431_1)(호스트 재료) 내로 분산된다.
- [0256] 유기 화합물(431_1)(호스트 재료)의 예에는, 아연 또는 알루미늄계 금속 착체, 옥사다이아졸 유도체, 트리아아졸 유도체, 벤즈이미다졸 유도체, 퀴녹살린 유도체, 다이벤조퀴녹살린 유도체, 다이벤조사이오펜 유도체, 다이

벤조퓨란 유도체, 피리미딘 유도체, 트라이아진 유도체, 피리딘 유도체, 바이피리딘 유도체, 및 페난트롤린 유도체가 포함된다. 다른 예에는 방향족 아민 및 카바졸 유도체 등이 있다.

- [0257] 게스트 재료(432)(인광성 재료)로서, 이리듐, 로듐, 또는 백금계의 유기 금속 착체 또는 금속 착체를 사용할 수 있고; 특히 이리듐계 오쏘 금속화된 착체 등의 유기 이리듐 착체가 바람직하다. 오쏘 금속화된 배위자로서, 4*H*-트리아졸 배위자, 1*H*-트리아졸 배위자, 이미다졸 배위자, 피리딘 배위자, 피리미딘 배위자, 피라진 배위자, 및 아이소퀴놀린 배위자 등을 들 수 있다. 금속 착체로서, 포르피린 배위자를 갖는 백금 착체 등을 들 수 있다.
- [0258] 유기 화합물(431_2)(어시스트 재료)로서, 유기 화합물(431_1)과 함께 들뜬 복합체를 형성할 수 있는 물질을 사용한다. 이 경우, 들뜬 복합체의 발광 피크가 흡수대, 구체적으로 게스트 재료(432)(인광성 재료)의 삼중항 MLCT(Metal to Ligand Charge Transfer) 전이의 가장 긴 파장 측의 흡수대와 중첩되도록, 유기 화합물(431_1), 유기 화합물(431_2), 및 게스트 재료(432)(인광성 재료)가 선택되는 것이 바람직하다. 이에 의하여 발광 효율이 극적으로 향상된 발광 소자를 제공하는 것이 가능하게 된다. 또한, 열 활성화 지연 형광성 재료가 인광성 재료 대신에 사용되는 경우, 가장 긴 파장 측의 흡수대가 단일항 흡수대인 것이 바람직하다.
- [0259] 발광층(430)에 포함되는 발광 재료로서는, 삼중항 여기 에너지를 발광으로 변환할 수 있는 재료이기만 하면 어느 재료를 사용하여도 좋다. 삼중항 여기 에너지를 발광으로 변환할 수 있는 재료의 예로서는, 인광성 재료에 더하여 열 활성화 지연 형광(TADF) 재료를 들 수 있다. 그러므로, 설명에서의 "인광성 재료"란 용어는 "열 활성화 지연 형광성 재료"란 용어와 바꿀 수 있다. 또한, 열 활성화 지연 형광성 재료는, 삼중항 여기 상태를 약간의 열 에너지를 사용하여 단일항 여기 상태로 업컨버트할 수 있고(즉 역항간 교차가 가능하고) 단일항 여기 상태에서부터의 발광(형광)을 효율적으로 나타내는 재료이다. 삼중항 여기 에너지 준위와 단일항 여기 에너지 준위 사이의 차이가 바람직하게는 0eV보다 크고 0.2eV 이하, 더 바람직하게는 0eV보다 크고 0.1eV 이하인 조건하에서 열 활성화 지연 형광이 효율적으로 얻어진다.
- [0260] 열 활성화 지연 형광을 방출하는 재료는 그 자체로 삼중항 여기 상태에서부터 역항간 교차에 의하여 단일항 여기 상태를 형성할 수 있는 재료이어도 좋고, 들뜬 복합체를 형성하는 2종류의 재료의 조합이어도 좋다.
- [0261] 발광층(420) 및 발광층(430)에 포함되는 발광 재료의 발광색에 제한은 없고, 그들은 동일하여도 좋고 상이하여도 좋다. 발광 재료로부터의 발광은 혼합되고 소자 외부로 추출되므로, 예를 들어 발광색이 보색인 경우, 발광 소자는 백색광을 방출할 수 있다. 발광 소자의 신뢰성을 고려하면, 발광층(420)에 포함되는 발광 재료의 발광 피크 파장은 발광층(430)에 포함되는 발광 재료의 발광 피크 파장보다 짧은 것이 바람직하다.
- [0262] <발광 소자의 구조예 2>
- [0263] 다음에, 도 7의 (A) 및 도 7의 (B)에 도시된 발광 소자와는 상이한 구조예에 대하여, 도 8의 (A) 및 도 8의 (B)를 참조하여 이하에서 설명하겠다.
- [0264] 도 8의 (A)는 발광 소자(452)의 단면 모식도이다.
- [0265] 도 8의 (A)에서의 발광 소자(452)에서는, 한 쌍의 전극(전극(401) 및 전극(402)) 사이에 EL층(400)이 끼워진다. 또한, 발광 소자(452)에서, 전극(401)은 양극으로서 기능하고, 전극(402)은 음극으로서 기능한다.
- [0266] EL층(400)은 발광층(420) 및 발광층(430)을 포함한다. 발광 소자(452)에서의 EL층(400)으로서, 발광층(420) 및 발광층(430), 정공 주입층(411), 정공 수송층(412), 전자 수송층(418), 그리고 전자 주입층(419)이 도시되었다. 그러나, 이 적층 구조는 일례이고, 발광 소자(452)에서의 EL층(400)의 구조는 이에 한정되지 않는다. 예를 들어, EL층(400)의 상기 층의 적층 순서는 변경되어도 좋다. 또는, EL층(400)에서, 상기 층 이외의 기능층을 제공하여도 좋다. 기능층은 예를 들어, 캐리어(전자 또는 정공)를 주입하는 기능, 캐리어를 수송하는 기능, 캐리어를 억제하는 기능, 또는 캐리어를 생성하는 기능을 가져도 좋다.
- [0267] 발광층(420)은 호스트 재료(421) 및 게스트 재료(422)를 포함한다. 발광층(430)은 호스트 재료(431) 및 게스트 재료(432)를 포함한다. 호스트 재료(431)는 유기 화합물(431_1) 및 유기 화합물(431_2)을 포함한다. 이하의 설명에서, 게스트 재료(422)는 형광성 재료이고 게스트 재료(432)는 인광성 재료이다.
- [0268] <<발광층(420)의 발광 기구>>
- [0269] 발광층(420)의 발광 기구는 도 1의 (A)에서의 발광층(130)의 발광 기구와 비슷하다.
- [0270] <<발광층(430)의 발광 기구>>

- [0271] 발광층(430)의 발광 기구는 도 7의 (A)에서의 발광층(430)의 발광 기구와 비슷하다.
- [0272] <<발광층(420) 및 발광층(430)의 발광 기구>>
- [0273] 발광층(420) 및 발광층(430) 각각의 발광 기구에 대해서는 상술하였다. 발광 소자(452)와 같이, 발광층(420) 및 발광층(430)이 서로 접촉되는 경우, 발광층(420)과 발광층(430)의 계면에서 에너지가 들뜬 복합체로부터 발광층(420)의 호스트 재료(421)로 이동되더라도(특히 삼중항 여기 준위의 에너지가 이동하는 경우), 삼중항 여기 에너지가 발광층(420)에서 발광으로 변환될 수 있다.
- [0274] 발광층(420)의 호스트 재료(421)의 T1 준위가 발광층(430)의 유기 화합물(431_1) 및 유기 화합물(431_2)의 T1 준위보다 낮은 것이 바람직하다. 발광층(420)에서, 호스트 재료(421)의 S1 준위는 게스트 재료(422)(형광성 재료)의 S1 준위보다 높은 것이 바람직한 한편 호스트 재료(421)의 T1 준위가 게스트 재료(422)(형광성 재료)의 T1 준위보다 낮은 것이 바람직하다.
- [0275] 도 8의 (B)는 발광층(420)에서 TTA가 이용되고, 발광층(430)에서 ExTET가 이용되는 경우의 에너지 준위의 상관을 나타낸 것이다. 도 8의 (B)에서의 용어 및 부호가 무엇을 나타내는지는 다음과 같다:
- [0276] Fluorescence EML(420): 형광 발광층(발광층(420));
- [0277] Phosphorescence EML(430): 인광 발광층(발광층(430));
- [0278] S_{FH} : 호스트 재료(421)의 가장 낮은 단일항 여기 상태의 준위;
- [0279] T_{FH} : 호스트 재료(421)의 가장 낮은 삼중항 여기 상태의 준위;
- [0280] S_{FG} : 게스트 재료(422)(형광성 재료)의 가장 낮은 단일항 여기 상태의 준위;
- [0281] T_{FG} : 게스트 재료(422)(형광성 재료)의 가장 낮은 삼중항 여기 상태의 준위;
- [0282] S_{PH} : 호스트 재료(유기 화합물(431_1))의 가장 낮은 단일항 여기 상태의 준위;
- [0283] T_{PH} : 호스트 재료(유기 화합물(431_1))의 가장 낮은 삼중항 여기 상태의 준위;
- [0284] T_{PG} : 게스트 재료(432)(인광성 재료)의 가장 낮은 삼중항 여기 상태의 준위;
- [0285] S_E : 들뜬 복합체의 가장 낮은 단일항 여기 상태의 준위; 및
- [0286] T_E : 들뜬 복합체의 가장 낮은 삼중항 여기 상태의 준위.
- [0287] 도 8의 (B)에 나타난 바와 같이, 들뜬 복합체는 여기 상태에서만 존재하기 때문에, 들뜬 복합체들 사이의 여기자의 확산이 일어나기 어렵다. 또한, 들뜬 복합체의 여기 준위(S_E) 및 여기 준위(T_E)는 발광층(430)의 유기 화합물(431_1)(인광성 재료의 호스트 재료)의 여기 준위(S_{PH}) 및 여기 준위(T_{PH})보다 낮기 때문에, 들뜬 복합체로부터 유기 화합물(431_1)로의 에너지 확산은 일어나지 않는다. 마찬가지로, 들뜬 복합체로부터 유기 화합물(431_2)로의 에너지 확산도 일어나지 않는다. 즉, 인광 발광층(발광층(430))에서 들뜬 복합체의 여기자 확산 거리가 짧기 때문에, 인광 발광층(발광층(430))의 발광 효율이 유지될 수 있다. 또한, 형광 발광층(발광층(420))과 인광 발광층(발광층(430)) 사이의 계면을 통하여 인광 발광층(발광층(430))의 들뜬 복합체의 삼중항 여기 에너지의 일부가 형광 발광층(발광층(420))으로 확산되더라도 확산에 의하여 일어난 형광 발광층(발광층(420))의 삼중항 여기 에너지는 TTA를 통하여 발광에 사용되기 때문에 에너지 손실이 저감될 수 있다.
- [0288] 상술한 바와 같이, 발광 소자(452)에서는 발광층(430)에 ExTET가 이용되고 발광층(420)에 TTA가 이용되기 때문에, 에너지 손실이 저감되고, 높은 발광 효율이 달성된다. 발광 소자(452)와 같이, 발광층(420) 및 발광층(430)이 서로 접촉되는 경우, 에너지 손실에 더하여 EL층(400)의 개수를 저감시킬 수 있다. 따라서, 제작 비용이 낮은 발광 소자를 얻을 수 있다.
- [0289] 또한, 발광층(420) 및 발광층(430)은 서로 반드시 접촉될 필요는 없다. 이 경우, 발광층(430)에서 생성되는 여기 상태의 유기 화합물(431_1) 또는 유기 화합물(431_2), 또는 여기 상태의 게스트 재료(432)(인광성 재료)로부터 발광층(420) 중의 호스트 재료(421) 또는 게스트 재료(422)(형광성 재료)로의 텍스터 기구에 의한 에너지 이동(특히 삼중항 에너지 이동)을 방지하는 것이 가능하다. 그러므로, 발광층(420)과 발광층(430) 사이에 제공되

는 층의 두께는 수nm이어도 좋다.

- [0290] 발광층(420)과 발광층(430) 사이에 제공되는 층은 단일 재료를 포함하여도 좋고, 또는 정공 수송 재료 및 전자 수송 재료의 양쪽을 포함하여도 좋다. 단일 재료의 경우, 바이폴러 재료를 사용하여도 좋다. 여기서 바이폴러 재료란, 전자 이동도와 정공 이동도의 비율이 100 이하인 재료를 말한다. 또는, 정공 수송 재료 또는 전자 수송 재료 등을 사용하여도 좋다. 상기 층에 포함되는 재료 중 적어도 하나는 발광층(430)의 호스트 재료(유기 화합물(431_1) 또는 유기 화합물(431_2))와 동일하여도 좋다. 이것은 발광 소자의 제조를 용이하게 하고, 구동 전압을 저감시킨다. 또한, 정공 수송 재료 및 전자 수송 재료는 들뜬 복합체를 형성하여도 좋고, 이로써 여기자의 확산을 효과적으로 방지한다. 구체적으로는 발광층(430)의 여기 상태에서의 호스트 재료(유기 화합물(431_1) 또는 유기 화합물(431_2)) 또는 여기 상태에서의 게스트 재료(432)(인광성 재료)로부터 발광층(420) 중의 호스트 재료(421) 또는 게스트 재료(422)(형광성 재료)로의 에너지 이동을 방지하는 것이 가능하다.
- [0291] 또한, 발광 소자(452)에서는, 캐리어 재결합 영역이 어느 정도까지 분포되는 것이 바람직하다. 그러므로, 발광층(420) 또는 발광층(430)은 적당한 캐리어 트랩성을 갖는 것이 바람직하다. 발광층(430)의 게스트 재료(432)(인광성 재료)는 전자 트랩성을 갖는 것이 특히 바람직하다. 또는, 발광층(420)의 게스트 재료(422)(형광성 재료)는 정공 트랩성을 갖는 것이 바람직하다.
- [0292] 또한, 발광층(420)으로부터 방출된 광은 발광층(430)으로부터 방출된 광보다 단파장 측에서 피크를 갖는 것이 바람직하다. 단파장의 광을 방출하는 인광성 재료를 사용한 발광 소자의 휘도는 빠르게 열화되는 경향이 있기 때문에, 단파장의 형광을 채용하여 발광의 열화가 더 작은 발광 소자를 제공할 수 있다.
- [0293] 또한, 발광층(420)과 발광층(430)이 상이한 발광 파장의 광을 방출하면, 다색 발광 소자를 달성할 수 있다. 이 경우, 발광 소자의 발광 스펙트럼은 상이한 발광 피크를 갖는 광을 조합함으로써 형성되기 때문에, 적어도 2개의 피크를 갖는다.
- [0294] 상기 구조는 백색 발광을 얻기에도 적합하다. 발광층(420) 및 발광층(430)이 보색의 광을 방출하면, 백색 발광을 얻을 수 있다.
- [0295] 또한, 발광층(420)에 파장이 상이한 광을 방출하는 복수의 발광 물질을 사용함으로써 3원색 또는 4색 이상의 색으로 이루어지는 연색성이 높은 백색 발광을 얻을 수 있다. 이 경우, 발광층(420)은 층들로 분할되어도 좋고, 분할된 층들 각각은 다른 층과는 상이한 발광 재료를 포함하여도 좋다.
- [0296] <발광층에 사용할 수 있는 재료>
- [0297] 다음에, 발광층(420) 및 발광층(430)에 사용할 수 있는 재료에 대하여 설명하겠다.
- [0298] <<발광층(420)에 사용할 수 있는 재료>>
- [0299] 발광층(420)에서는, 호스트 재료(421)가 중량비로 가장 많이 존재하고, 게스트 재료(422)(형광성 재료)는 호스트 재료(421) 내에 분산된다. 호스트 재료(421)의 S1 준위는 게스트 재료(422)(형광성 재료)의 S1 준위보다 높은 것이 바람직한 한편 호스트 재료(421)의 T1 준위가 게스트 재료(422)(형광성 재료)의 T1 준위보다 낮은 것이 바람직하다.
- [0300] <<발광층(430)에 사용할 수 있는 재료>>
- [0301] 발광층(430)에서는, 호스트 재료(유기 화합물(431_1) 또는 유기 화합물(431_2))가 중량비로 가장 많이 존재하고, 게스트 재료(432)(인광성 재료)는 호스트 재료(유기 화합물(431_1) 및 유기 화합물(431_2)) 내에 분산된다. 발광층(430)의 호스트 재료(유기 화합물(431_1) 또는 유기 화합물(431_2))의 T1 준위는 발광층(420)의 게스트 재료(422)(형광성 재료)의 T1 준위보다 높은 것이 바람직하다.
- [0302] 호스트 재료(유기 화합물(431_1) 및 유기 화합물(431_2)) 및 게스트 재료(432)(형광성 재료)로서는, 도 7의 (A) 및 도 7의 (B)에서 설명한 발광 소자(450)의 호스트 재료 및 게스트 재료를 사용할 수 있다.
- [0303] 또한, 발광층(420) 및 발광층(430)은 증착법(진공 증착법을 포함함), 잉크젯법, 도포법, 또는 그라비아 인쇄 등에 의하여 형성할 수 있다.
- [0304] 본 실시형태에서 설명한 구조는 다른 실시형태에서 설명하는 구조 중 임의의 것과 적절히 조합할 수 있다.
- [0305] (실시형태 4)
- [0306] 본 실시형태에서는, 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자를 포함하는 표시 장치에 대하여, 도 9의 (A) 및 도 9

의 (B)를 참조하여 설명하겠다.

- [0307] 또한, 도 9의 (A)는 본 발명의 일 형태에 따른 표시 장치를 도시한 블록도이고, 도 9의 (B)는 본 발명의 일 형태에 따른 표시 장치의 화소 회로를 도시한 회로도이다.
- [0308] <표시 장치에 대한 설명>
- [0309] 도 9의 (A)에 도시된 표시 장치는, 표시 소자의 화소들을 포함하는 영역(이하, 이 영역을 화소부(802)라고 함), 화소부(802) 외측에 제공되며 화소들을 구동시키기 위한 회로를 포함하는 회로부(이하, 이 부분을 구동 회로부(804)라고 함), 소자를 보호하는 기능을 가지는 회로(이하, 이 회로를 보호 회로(806)라고 함), 및 단자부(807)를 포함한다. 또한, 보호 회로(806)를 반드시 제공할 필요는 없다.
- [0310] 구동 회로부(804)의 일부 또는 전체를, 화소부(802)가 형성되는 기판 위에 형성하면, 부품 수와 단자 수를 줄일 수 있으므로 바람직하다. 구동 회로부(804)의 일부 또는 전체를, 화소부(802)가 형성되는 기판 위에 형성하지 않는 경우, 구동 회로부(804)의 일부 또는 전체를 COG 또는 TAB(tape automated bonding)에 의하여 실장할 수 있다.
- [0311] 화소부(802)는, X 행(X 는 2 이상의 자연수임) Y 열(Y 는 2 이상의 자연수임)로 배치된 표시 소자들을 구동시키기 위한 복수의 회로(이하, 이러한 회로들을 화소 회로들(801)이라고 함)를 포함한다. 구동 회로부(804)는, 화소를 선택하기 위하여 신호(주사 신호)를 공급하기 위한 회로(이하, 이 회로를 주사선 구동 회로(804a)라고 함) 및 화소의 표시 소자를 구동시키기 위하여 신호(데이터 신호)를 공급하기 위한 회로(이하, 이 회로를 신호선 구동 회로(804b)라고 함) 등의 구동 회로를 포함한다.
- [0312] 주사선 구동 회로(804a)는 시프트 레지스터 등을 포함한다. 단자부(807)를 통하여, 주사선 구동 회로(804a)는 시프트 레지스터를 구동시키기 위한 신호를 받고 신호를 출력한다. 예를 들어, 주사선 구동 회로(804a)는, 스타트 펄스 신호 또는 클럭 신호 등을 받고, 펄스 신호를 출력한다. 주사선 구동 회로(804a)는, 주사 신호를 공급받는 배선들(이하, 이러한 배선들을 주사선들(GL₁ 내지 GL _{X})이라고 함)의 전위를 제어하는 기능을 가진다. 또한, 주사선들(GL₁ 내지 GL _{X})을 개별적으로 제어하기 위하여, 복수의 주사선 구동 회로(804a)를 제공하여도 좋다. 또는, 주사선 구동 회로(804a)는, 초기화 신호를 공급하는 기능을 가진다. 이에 한정되지 않고, 주사선 구동 회로(804a)는 다른 신호를 공급할 수 있다.
- [0313] 신호선 구동 회로(804b)는 시프트 레지스터 등을 포함한다. 단자부(807)를 통하여, 신호선 구동 회로(804b)는, 시프트 레지스터를 구동시키기 위한 신호뿐만 아니라, 데이터 신호의 바탕이 되는 신호(화상 신호)를 받는다. 신호선 구동 회로(804b)는, 화소 회로(801)에 기록될, 화상 신호에 기초한 데이터 신호를 생성하는 기능을 가진다. 또한, 신호선 구동 회로(804b)는, 스타트 펄스 신호 또는 클럭 신호 등의 입력에 의하여 생성되는 펄스 신호에 따라, 데이터 신호의 출력을 제어하는 기능을 가진다. 또한, 신호선 구동 회로(804b)는, 데이터 신호를 공급받는 배선들(이하, 이러한 배선들을 데이터선들(DL₁ 내지 DL _{Y})이라고 함)의 전위를 제어하는 기능을 가진다. 또는, 신호선 구동 회로(804b)는, 초기화 신호를 공급하는 기능을 가진다. 이에 한정되지 않고, 신호선 구동 회로(804b)는 다른 신호를 공급할 수 있다.
- [0314] 신호선 구동 회로(804b)는 예를 들어, 복수의 아날로그 스위치를 포함한다. 신호선 구동 회로(804b)는, 복수의 아날로그 스위치를 순차적으로 온으로 함으로써, 화상 신호를 시분할하여 얻어지는 신호를, 데이터 신호로서 출력할 수 있다. 신호선 구동 회로(804b)는 시프트 레지스터 등을 포함하여도 좋다.
- [0315] 복수의 화소 회로(801) 각각에, 주사 신호가 공급되는 복수의 주사선(GL) 중 하나를 통하여 펄스 신호가 입력되고, 데이터 신호가 공급되는 복수의 데이터선(DL) 중 하나를 통하여 데이터 신호가 입력된다. 복수의 화소 회로(801) 각각에 있어서의 데이터 신호의 기록 및 유지는, 주사선 구동 회로(804a)에 의하여 제어된다. 예를 들어, m 행 n 열체(m 는 X 이하의 자연수이고, n 은 Y 이하의 자연수임)의 화소 회로(801)에는, 주사선(GL _{m})을 통하여 주사선 구동 회로(804a)로부터 펄스 신호가 입력되고, 주사선(GL _{m})의 전위에 따라 데이터선(DL _{n})을 통하여 신호선 구동 회로(804b)로부터 데이터 신호가 입력된다.
- [0316] 도 9의 (A)에 나타난 보호 회로(806)는, 예를 들어 주사선 구동 회로(804a)와 화소 회로(801) 사이의 주사선(GL)에 접속된다. 또는, 보호 회로(806)는, 신호선 구동 회로(804b)와 화소 회로(801) 사이의 데이터선(DL)에 접속된다. 또는, 보호 회로(806)는, 주사선 구동 회로(804a)와 단자부(807) 사이의 배선에 접속될 수 있다. 또는, 보호 회로(806)는, 신호선 구동 회로(804b)와 단자부(807) 사이의 배선에 접속될 수 있다. 또한, 단자부(807)는, 외부 회로로부터 표시 장치에 전력, 제어 신호, 및 화상 신호를 입력하기 위한 단자를 가지는 부분을

의미한다.

- [0317] 보호 회로(806)는, 이 보호 회로에 접속된 배선에 특정한 범위 외의 전위가 인가되었을 때에, 이 보호 회로에 접속된 해당 배선을 다른 배선에 전기적으로 접속시키는 회로이다.
- [0318] 도 9의 (A)에 도시된 바와 같이, 화소부(802) 및 구동 회로부(804)와 보호 회로(806)를 접속시켜, ESD(electrostatic discharge) 등에 의하여 발생하는 과전류에 대한 표시 장치의 내성을 향상시킬 수 있다. 또한, 보호 회로(806)의 구성은 이에 한정되지 않고, 예를 들어, 보호 회로(806)가 주사선 구동 회로(804a) 또는 신호선 구동 회로(804b)와 접속되어도 좋다. 또는, 보호 회로(806)는 단자부(807)에 접속되어도 좋다.
- [0319] 도 9의 (A)에 구동 회로부(804)가 주사선 구동 회로(804a) 및 신호선 구동 회로(804b)를 포함하는 예를 나타내었지만, 구조는 이에 한정되지 않는다. 예를 들어, 주사선 구동 회로(804a)만을 형성하여도 좋고, 신호선 구동 회로가 형성된 별도로 준비된 기관(예를 들어, 단결정 반도체막 또는 다결정 반도체막으로 형성된 구동 회로 기관)을 실장하여도 좋다.
- [0320] <화소 회로의 구조예>
- [0321] 도 9의 (A)에서의 복수의 화소 회로(801)의 각각은 예를 들어 도 9의 (B)에 도시된 구조를 가질 수 있다.
- [0322] 도 9의 (B)에 도시된 화소 회로(801)는, 트랜지스터(852 및 854), 용량 소자(862), 및 발광 소자(872)를 포함한다.
- [0323] 트랜지스터(852)의 소스 전극 및 드레인 전극 중 한쪽은, 데이터 신호를 공급받는 배선(데이터선(DL_n))에 전기적으로 접속된다. 트랜지스터(852)의 게이트 전극은, 게이트 신호를 공급받는 배선(주사선(GL_m))에 전기적으로 접속된다.
- [0324] 트랜지스터(852)는, 데이터 신호를 기록할지 여부를 제어하는 기능을 가진다.
- [0325] 용량 소자(862)의 한 쌍의 전극 중 한쪽은 전위가 공급되는 배선(이하, 전위 공급선(VL_a)이라고 함)에 전기적으로 접속되고, 다른 쪽은 트랜지스터(852)의 소스 전극 및 드레인 전극 중 다른 쪽에 전기적으로 접속된다.
- [0326] 용량 소자(862)는 기록된 데이터를 저장하기 위한 유지 용량으로서 기능한다.
- [0327] 트랜지스터(854)의 소스 전극 및 드레인 전극 중 한쪽은 전위 공급선(VL_a)에 전기적으로 접속된다. 또한, 트랜지스터(854)의 게이트 전극은 트랜지스터(852)의 소스 전극 및 드레인 전극 중 다른 쪽에 전기적으로 접속된다.
- [0328] 발광 소자(872)의 애노드 및 캐소드 중 한쪽은 전위 공급선(VL_b)에 전기적으로 접속되고, 다른 쪽은 트랜지스터(854)의 소스 전극 및 드레인 전극 중 다른 쪽에 전기적으로 접속된다.
- [0329] 발광 소자(872)로서는, 실시형태 1 내지 실시형태 3에 기재된 발광 소자들 중 어느 것을 사용할 수 있다.
- [0330] 또한, 전위 공급선(VL_a) 및 전위 공급선(VL_b) 중 한쪽에는 고전원 전위(VDD)가 공급되고, 다른 쪽에는 저전원 전위(VSS)가 공급된다.
- [0331] 도 9의 (B)의 화소 회로(801)를 포함하는 표시 장치에서는 예를 들어, 도 9의 (A)의 주사선 구동 회로(804a)에 의하여 행마다 순차적으로 화소 회로(801)를 선택함으로써, 트랜지스터(852)를 온으로 하고 데이터 신호를 기록한다.
- [0332] 트랜지스터(852)가 오프가 되면, 데이터가 기록된 화소 회로(801)는 유지 상태가 된다. 또한, 트랜지스터(854)의 소스 전극과 드레인 전극 사이에 흐르는 전류량은, 기록된 데이터 신호의 전위에 따라 제어된다. 발광 소자(872)는 흐르는 전류의 양에 대응하는 휘도로 광을 방출한다. 이 동작을 행마다 순차적으로 행함으로써, 화상이 표시된다.
- [0333] 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자는 표시 장치의 화소에 능동 소자가 포함되는 액티브 매트릭스 방식 또는 표시 장치의 화소에 능동 소자가 포함되지 않는 패시브 매트릭스 방식에 사용될 수 있다.
- [0334] 액티브 매트릭스 방식에서는 능동 소자(비선형 소자)로서, 트랜지스터뿐만 아니라 다양한 능동 소자(비선형 소자)를 사용할 수 있다. 예를 들어, MIM(metal insulator metal) 또는 TFD(thin film diode) 등을 사용할 수도 있다. 이들 소자는 적은 제작 단계 수로 형성될 수 있기 때문에, 제작 비용을 삭감할 수 있거나 또는 수율을 향상시킬 수 있다. 또는, 이들 소자의 크기는 작기 때문에, 개구율을 향상시킬 수 있어, 소비전력을 저감할 수

있고 고휘도화를 달성할 수 있다.

- [0335] 액티브 매트릭스 방식 외의 방식으로, 능동 소자(비선형 소자)를 사용하지 않는 패시브 매트릭스 방식을 사용할 수도 있다. 능동 소자(비선형 소자)를 사용하지 않기 때문에, 제작 단계 수가 적고, 제작 비용을 삭감할 수 있거나 또는 수율을 향상시킬 수 있다. 또는, 능동 소자(비선형 소자)를 사용하지 않기 때문에, 개구율을 향상시킬 수 있어, 예를 들어 소비전력을 저감할 수 있거나 또는 고휘도화를 달성할 수 있다.
- [0336] 본 실시형태에서 설명한 구조는 다른 실시형태에서 설명하는 구조 중 임의의 것과 적절히 조합할 수 있다.
- [0337] (실시형태 5)
- [0338] 본 실시형태에서는 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자를 포함하는 표시 장치, 및 상기 표시 장치에 입력 장치가 제공된 전자 기기에 대하여, 도 10의 (A) 내지 도 14를 참조하여 설명하겠다.
- [0339] <터치 패널의 설명 1>
- [0340] 본 실시형태에서는 전자 기기의 예로서 표시 장치와 입력 장치를 포함하는 터치 패널(2000)에 대하여 설명한다. 또한, 입력 장치로서 터치 센서를 사용하는 예에 대하여 설명하겠다.
- [0341] 도 10의 (A) 및 도 10의 (B)는 터치 패널(2000)의 사시도이다. 또한, 간략화를 위하여 도 10의 (A) 및 도 10의 (B)는 터치 패널(2000)의 대표적인 구성 요소를 도시하고 있다.
- [0342] 터치 패널(2000)은 표시 장치(2501) 및 터치 센서(2595)를 포함한다(도 10의 (B) 참조). 또한, 터치 패널(2000)은 기판(2510), 기판(2570), 및 기판(2590)을 포함한다. 기판(2510), 기판(2570), 및 기판(2590)의 각각은 가요성을 가진다. 또한, 기판들(2510, 2570, 및 2590) 중 하나 또는 모두가 가요성을 가지지 않아도 된다.
- [0343] 표시 장치(2501)는 기판(2510) 위의 복수의 화소, 및 화소들에 신호를 공급하는 복수의 배선(2511)을 포함한다. 복수의 배선(2511)은 기판(2510)의 외주부까지 리드되고, 복수의 배선(2511)의 일부가 단자(2519)를 형성한다. 단자(2519)는 FPC(2509(1))에 전기적으로 접속된다.
- [0344] 기판(2590)은 터치 센서(2595), 및 터치 센서(2595)에 전기적으로 접속된 복수의 배선(2598)을 포함한다. 복수의 배선(2598)은 기판(2590)의 외주부까지 리드되고, 복수의 배선(2598)의 일부는 단자를 형성한다. 단자는 FPC(2509(2))에 전기적으로 접속된다. 또한, 도 10의 (B)에서는 명료화를 위하여, 기판(2590)의 후면 측(기판(2510)과 마주 보는 쪽)에 제공되는 터치 센서(2595)의 전극 및 배선 등을 실선으로 나타내었다.
- [0345] 터치 센서(2595)로서는, 예를 들어, 정전 용량 터치 센서를 사용할 수 있다. 정전 용량 터치 센서의 예에는, 표면형 정전 용량 터치 센서 및 투영형 정전 용량 터치 센서가 있다.
- [0346] 투영형 정전 용량 터치 센서의 예로서는, 주로 구동 방법에 차이가 있는 자기 용량 터치 센서와 상호 용량 터치 센서가 있다. 상호 용량형을 사용하면, 여러 지점을 동시에 검지할 수 있게 되므로 바람직하다.
- [0347] 또한, 도 10의 (B)에 도시된 터치 센서(2595)는 투영형 정전 용량 터치 센서를 사용한 예이다.
- [0348] 또한, 터치 센서(2595)로서는, 손가락 등 검지 대상의 근접 또는 접촉을 검지할 수 있는 다양한 센서를 사용할 수 있다.
- [0349] 투영형 정전 용량 터치 센서(2595)는 전극(2591) 및 전극(2592)을 포함한다. 전극(2591)은 복수의 배선(2598) 중 어느 것에 전기적으로 접속되고, 전극(2592)은 복수의 배선(2598) 중 다른 어느 것에 전기적으로 접속된다.
- [0350] 전극들(2592)은 도 10의 (A) 및 도 10의 (B)에 도시된 바와 같이, 사변형의 한 모서리가 다른 사변형의 한 모서리에 연결되어 있는, 복수의 사변형이 하나의 방향으로 배열된 형상을 가진다.
- [0351] 전극들(2591)의 각각은 사변형의 형상을 가지고, 전극(2592)이 연장되는 방향과 교차되는 방향으로 배열된다.
- [0352] 배선(2594)은 전극(2592)이 사이에 위치하는 2개의 전극(2591)을 전기적으로 접속시킨다. 전극(2592)과 배선(2594)이 교차하는 면적은 가능한 한 작은 것이 바람직하다. 이러한 구조에 의하여, 전극이 제공되지 않은 영역의 면적을 축소할 수 있어, 투과율의 편차를 저감할 수 있다. 그 결과, 터치 센서(2595)를 통과하는 광의 휘도 편차를 저감할 수 있다.
- [0353] 또한 전극(2591) 및 전극(2592)의 형상은 이에 한정되지 않고 다양한 형상 중 임의의 것으로 할 수 있다. 예를 들어 복수의 전극(2591)을, 전극들(2591) 사이의 틈이 가능한 한 작아지도록 배치하고, 절연층을 개재하여 전극

(2592)을, 전극(2591)과 중첩되지 않는 영역이 형성되도록 전극(2591)으로부터 이격하여 제공한 구조를 채용하여도 좋다. 이 경우, 인접한 2개의 전극(2592) 사이에, 이들 전극과 전기적으로 절연된 더미 전극을 제공하면 투과율이 상이한 영역의 면적을 축소할 수 있으므로 바람직하다.

[0354] <표시 장치의 설명>

[0355] 다음에 표시 장치(2501)에 대하여 도 11의 (A)를 참조하여 자세히 설명한다. 도 11의 (A)는 도 10의 (B)의 일 점쇄선 X1-X2를 따라 취한 단면도에 상당한다.

[0356] 표시 장치(2501)는 매트릭스로 배열된 복수의 화소를 포함한다. 화소들의 각각은 표시 소자와, 표시 소자를 구동하는 화소 회로를 포함한다.

[0357] 백색광을 방출하는 발광 소자를 표시 소자로서 사용하는 예에 대하여 이하에서 설명하겠지만, 표시 소자는 이러한 소자에 한정되지 않는다. 예를 들어, 인접한 화소에서 상이한 색의 광이 방출될 수 있도록, 상이한 색의 광을 방출하는 발광 소자를 포함하여도 좋다.

[0358] 기관(2510) 및 기관(2570)에는 예를 들어, 투습성이 $1 \times 10^{-5} \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ 이하, 바람직하게는 $1 \times 10^{-6} \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ 이하인 플렉시블 재료를 바람직하게 사용할 수 있다. 또는, 기관(2510) 및 기관(2570)에는 열 팽창 계수가 서로 실질적으로 같은 재료를 사용하는 것이 바람직하다. 예를 들어, 재료의 선팽창률은 바람직하게는 $1 \times 10^{-3} / \text{K}$ 이하이고, 더 바람직하게는 $5 \times 10^{-5} / \text{K}$ 이하이고, 더욱 바람직하게는 $1 \times 10^{-5} / \text{K}$ 이하이다.

[0359] 또한, 기관(2510)은 발광 소자로의 불순물 확산을 방지하는 절연층(2510a), 플렉시블 기관(2510b), 및 절연층(2510a)과 플렉시블 기관(2510b)을 서로 접합하는 접착층(2510c)을 포함하는 적층체이다. 기관(2570)은 발광 소자로의 불순물 확산을 방지하는 절연층(2570a), 플렉시블 기관(2570b), 및 절연층(2570a)과 플렉시블 기관(2570b)을 서로 접합하는 접착층(2570c)을 포함하는 적층체이다.

[0360] 접착층(2510c) 및 접착층(2570c)에는 예를 들어, 폴리에스터, 폴리올레핀, 폴리아마이드(예를 들어, 나일론, 아라미드), 폴리이미드, 폴리카보네이트, 또는 아크릴 수지, 폴리우레탄, 또는 에폭시 수지를 사용할 수 있다. 또는, 실리콘(silicone) 등의 실록산 결합을 가지는 수지를 포함하는 재료를 사용할 수 있다.

[0361] 기관(2510)과 기관(2570) 사이에는 밀봉층(2560)이 제공된다. 밀봉층(2560)은 대기보다 높은 굴절률을 가지는 것이 바람직하다. 도 11의 (A)에 도시된 바와 같이, 광이 밀봉층(2560) 측으로 추출되는 경우에는 밀봉층(2560)은 광학 접착층으로도 기능할 수 있다.

[0362] 밀봉층(2560)의 외주부에 실란트를 형성하여도 좋다. 실란트를 사용함으로써, 기관(2510), 기관(2570), 밀봉층(2560), 및 실란트로 둘러싸인 영역에 발광 소자(2550R)를 제공할 수 있다. 또한, 밀봉층(2560) 대신에 불활성 가스(질소 및 아르곤 등)를 사용하여도 좋다. 불활성 가스 내에 건조제를 제공하여, 수분 등을 흡착시켜도 좋다. 자외선 경화 수지 또는 열 경화 수지를 사용하여도 좋다; 예를 들어, PVC(폴리바이닐클로라이드)계 수지, 아크릴 수지, 폴리이미드계 수지, 에폭시계 수지, 실리콘(silicone)계 수지, PVB(폴리바이닐부티랄)계 수지, 또는 EVA(에틸렌바이닐아세테이트)계 수지를 사용할 수 있다. 실란트로서는 에폭시계 수지 또는 유리 프릿(glass frit)을 사용하는 것이 바람직하다. 실란트에 사용하는 재료로서는 수분 및 산소를 투과시키지 않는 재료를 사용하는 것이 바람직하다.

[0363] 표시 장치(2501)는 화소(2502R)를 포함한다. 화소(2502R)는 발광 모듈(2580R)을 포함한다.

[0364] 화소(2502R)는 발광 소자(2550R), 및 발광 소자(2550R)에 전력을 공급할 수 있는 트랜지스터(2502t)를 포함한다. 또한, 트랜지스터(2502t)는 화소 회로의 일부로서 기능한다. 발광 모듈(2580R)은 발광 소자(2550R) 및 착색층(2567R)을 포함한다.

[0365] 발광 소자(2550R)는 하부 전극, 상부 전극, 및 하부 전극과 상부 전극 사이의 EL층을 포함한다. 발광 소자(2550R)로서는, 예를 들어, 실시형태 1 내지 실시형태 4에서 설명한 발광 소자 중 임의의 것을 사용할 수 있다.

[0366] 하부 전극과 상부 전극 사이에 마이크로캐비티 구조를 채용하여 특정한 파장의 광의 강도를 높여도 좋다.

[0367] 밀봉층(2560)이 광 추출 측에 제공되는 경우, 밀봉층(2560)은 발광 소자(2550R) 및 착색층(2567R)과 접촉된다.

[0368] 착색층(2567R)은 발광 소자(2550R)와 중첩되는 영역에 위치한다. 따라서, 발광 소자(2550R)로부터 방출되는 광의 일부는 착색층(2567R)을 통과하여 도면에서 화살표로 나타낸 바와 같이 발광 모듈(2580R)의 외부로

방출된다.

- [0369] 표시 장치(2501)는 광 추출 측에 차광층(2567BM)을 포함한다. 차광층(2567BM)은 착색층(2567R)을 둘러싸도록 제공되어 있다.
- [0370] 착색층(2567R)은 특정 파장 영역의 광을 투과시키는 기능을 가지는 착색층이다. 예를 들어, 적색 파장 영역의 광을 투과시키는 컬러 필터, 녹색 파장 영역의 광을 투과시키는 컬러 필터, 청색 파장 영역의 광을 투과시키는 컬러 필터, 또는 황색 파장 영역의 광을 투과시키는 컬러 필터 등을 사용할 수 있다. 각 컬러 필터는 다양한 재료 중 임의의 것을 사용하여 인쇄법, 잉크젯법, 또는 포토리소그래피 기술을 사용한 에칭법 등에 의하여 형성할 수 있다.
- [0371] 표시 장치(2501)에는 절연층(2521)이 제공된다. 절연층(2521)은 트랜지스터(2502t)를 덮는다. 또한, 절연층(2521)은 화소 회로에 기인한 요철을 덮는 기능을 가진다. 절연층(2521)은 불순물 확산을 억제하는 기능을 가져도 좋다. 이에 의하여 불순물 확산에 의하여 트랜지스터(2502t) 등의 신뢰성이 저하되는 것을 방지할 수 있다.
- [0372] 발광 소자(2550R)는 절연층(2521) 위에 형성된다. 발광 소자(2550R)의 하부 전극의 단부와 중첩되도록 격벽(2528)이 제공된다. 또한, 기관(2510)과 기관(2570) 사이의 간격을 제어하는 스페이서를 격벽(2528) 위에 형성하여도 좋다.
- [0373] 주사전 구동 회로(2503g(1))는 트랜지스터(2503t) 및 용량 소자(2503c)를 포함한다. 또한, 구동 회로와 화소 회로를 동일한 공정에서 동일한 기관 위에 형성할 수 있다.
- [0374] 기관(2510) 위에는 신호를 공급할 수 있는 배선(2511)이 제공된다. 배선(2511) 위에는 단자(2519)가 제공된다. 단자(2519)에는 FPC(2509(1))가 전기적으로 접속된다. FPC(2509(1))는 비디오 신호, 클럭 신호, 스타트 신호, 또는 리셋 신호 등을 공급하는 기능을 가진다. 또한, FPC(2509(1))에는 PWB(printed wiring board)가 제공되어도 좋다.
- [0375] 또한, 표시 장치(2501)에는 다양한 구조 중 임의의 것의 트랜지스터를 사용할 수 있다. 도 11의 (A)는 보텀 게이트 트랜지스터를 사용하는 예를 도시한 것이지만 본 발명은 이 예에 한정되지 않고, 도 11의 (B)에 도시된 바와 같이 톱 게이트 트랜지스터를 표시 장치(2501)에 사용하여도 좋다.
- [0376] 또한, 트랜지스터(2502t) 및 트랜지스터(2503t)의 극성에 대한 특별한 한정은 없다. 예를 들어, 이들 트랜지스터에는 n채널 및 p채널 트랜지스터를 사용하여도 좋고, n채널 트랜지스터 또는 p채널 트랜지스터 중 어느 한쪽을 사용하여도 좋다. 또한, 트랜지스터(2502t 및 2503t)에 사용되는 반도체막의 결정성에 대한 특별한 한정은 없다. 예를 들어, 비정질 반도체막 또는 결정성 반도체막을 사용하여도 좋다. 반도체 재료의 예에는 13족 반도체(예를 들어, 갈륨을 포함하는 반도체), 14족 반도체(예를 들어, 실리콘을 포함하는 반도체), 화합물 반도체(산화물 반도체를 포함함), 및 유기 반도체가 포함된다. 트랜지스터들(2502t 및 2503t) 중 하나 또는 양쪽 모두에 에너지 갭이 2eV 이상, 바람직하게는 2.5eV 이상, 더 바람직하게는 3eV 이상인 산화물 반도체를 사용하는 것이 바람직하고, 이로써 트랜지스터의 오프 상태 전류를 저감할 수 있다. 산화물 반도체의 예에는 In-Ga 산화물 및 In-M-Zn 산화물(M은 알루미늄(Al), 갈륨(Ga), 이트륨(Y), 지르코늄(Zr), 란타넘(La), 세륨(Ce), 주석(Sn), 하프늄(Hf), 또는 네오디뮴(Nd)을 나타냄)이 포함된다.
- [0377] <터치 센서의 설명>
- [0378] 다음에 터치 센서(2595)에 대하여 도 11의 (C)를 참조하여 자세히 설명한다. 도 11의 (C)는 도 10의 (B)의 일 접선헌선 X3-X4를 따라 취한 단면도에 상당한다.
- [0379] 터치 센서(2595)는 기관(2590) 상에 스텔저 패턴으로 제공된 전극(2591) 및 전극(2592), 전극(2591) 및 전극(2592)을 덮는 절연층(2593), 및 인접한 전극들(2591)을 서로 전기적으로 접속시키는 배선(2594)을 포함한다.
- [0380] 전극(2591) 및 전극(2592)은 투광성 도전 재료를 사용하여 형성된다. 투광성 도전 재료로서는 산화 인듐, 인듐 주석 산화물, 인듐 아연 산화물, 산화 아연, 또는 갈륨이 첨가된 산화 아연 등의 도전성 산화물을 사용할 수 있다. 또한, 그래핀을 포함하는 막을 사용할 수도 있다. 그래핀을 포함하는 막은 예를 들어 산화 그래핀을 포함하는 막을 환원하여 형성할 수 있다. 환원 방법으로는, 가열 등의 방법을 채용할 수 있다.
- [0381] 전극(2591) 및 전극(2592)은 예를 들어, 스퍼터링법에 의하여 기관(2590)에 투광성 도전 재료를 퇴적한 다음, 포토리소그래피 등 다양한 패턴 형성 기술 중 임의의 것에 의하여 불필요한 부분을 제거함으로써 형성할 수 있

다.

- [0382] 절연층(2593)의 재료의 예에는, 아크릴 수지 또는 에폭시 수지 등의 수지, 실리콘(silicone) 등의 실록산 결합을 가지는 수지, 및 산화 실리콘, 산화 질화 실리콘, 또는 산화 알루미늄 등의 무기 절연 재료가 있다.
- [0383] 전극(2591)에 도달하는 개구가 절연층(2593)에 형성되고, 배선(2594)은 인접한 전극들(2591)을 전기적으로 접속시킨다. 투광성 도전 재료는 터치 패널의 개구율을 높일 수 있으므로 배선(2594)으로서 적합하게 사용할 수 있다. 또한, 전기 저항을 저감할 수 있기 때문에, 배선(2594)에는 전극(2591) 및 전극(2592)보다 도전성이 높은 재료를 적합하게 사용할 수 있다.
- [0384] 하나의 전극(2592)이 한 방향으로 연장되고, 복수의 전극(2592)이 스트라이프 형상으로 제공된다. 배선(2594)은 전극(2592)과 교차한다.
- [0385] 하나의 전극(2592)이 한 쌍의 전극(2591) 사이에 제공된다. 배선(2594)은 한 쌍의 전극(2591)을 전기적으로 접속시킨다.
- [0386] 또한, 복수의 전극(2591)은 반드시 하나의 전극(2592)과 직교하는 방향으로 배치될 필요는 없고, 0° 보다 크고 90° 미만의 각도로 하나의 전극(2592)과 교차하도록 배치되어도 좋다.
- [0387] 배선(2598)은 전극들(2591 및 2592) 중 한쪽에 전기적으로 접속된다. 배선(2598)의 일부는 단자로서 기능한다. 배선(2598)에는 알루미늄, 금, 백금, 은, 니켈, 타이타늄, 텅스텐, 크로뮴, 몰리브데넘, 철, 코발트, 구리, 또는 팔라듐 등의 금속 재료 또는 이들 금속 재료 중 어느 것을 포함하는 합금 재료를 사용할 수 있다.
- [0388] 또한, 절연층(2593) 및 배선(2594)을 덮는 절연층을 제공하여 터치 센서(2595)를 보호하여도 좋다.
- [0389] 배선(2598)과 FPC(2509(2))는 접착층(2599)에 의하여 전기적으로 접속된다.
- [0390] 접착층(2599)으로서는, 이방성 도전 필름(ACF: anisotropic conductive film) 또는 이방성 도전 페이스트(ACP: anisotropic conductive paste) 등 중 임의의 것을 사용할 수 있다.
- [0391] <터치 패널의 설명 2>
- [0392] 다음에 터치 패널(2000)에 대하여 도 12의 (A)를 참조하여 자세하게 설명한다. 도 12의 (A)는 도 10의 (A)의 일점쇄선 X5-X6을 따라 취한 단면도에 상당한다.
- [0393] 도 12의 (A)에 도시된 터치 패널(2000)에서는, 도 11의 (A)를 참조하여 설명한 표시 장치(2501)와 도 11의 (C)를 참조하여 설명한 터치 센서(2595)가 서로 접합되어 있다.
- [0394] 도 12의 (A)에 도시된 터치 패널(2000)은 도 11의 (A) 및 도 11의 (C)를 참조하여 설명한 구성 요소에 더하여 접착층(2597) 및 반사 방지층(2567p)을 포함한다.
- [0395] 접착층(2597)은 배선(2594)과 접촉하여 제공된다. 또한, 접착층(2597)에 의하여 기관(2590)이 기관(2570)에 접합되어, 터치 센서(2595)가 표시 장치(2501)와 중첩되어 있다. 접착층(2597)은 투광성을 가지는 것이 바람직하다. 접착층(2597)에는 열 경화 수지 또는 자외선 경화 수지를 사용할 수 있다. 예를 들어, 아크릴 수지, 우레탄계 수지, 에폭시계 수지, 또는 실록산계 수지를 사용할 수 있다.
- [0396] 반사 방지층(2567p)은 화소와 중첩되는 영역에 배치된다. 반사 방지층(2567p)으로서는, 예를 들어 원편광판을 사용할 수 있다.
- [0397] 다음에, 도 12의 (A)에 도시된 구조와 다른 구조를 가지는 터치 패널에 대하여 도 12의 (B)를 참조하여 설명한다.
- [0398] 도 12의 (B)는 터치 패널(2001)의 단면도이다. 도 12의 (B)에 도시된 터치 패널(2001)은 표시 장치(2501)에 대한 터치 센서(2595)의 위치가, 도 12의 (A)에 도시된 터치 패널(2000)과 다르다. 이하에서는 상이한 부분에 대하여 자세하게 설명하고, 그 외의 비슷한 부분에 대해서는 상술한 터치 패널(2000)의 설명을 참조한다.
- [0399] 착색층(2567R)은 발광 소자(2550R)와 중첩되는 영역에 배치된다. 도 12의 (B)에 도시된 발광 소자(2550R)는 트랜지스터(2502t)가 제공되어 있는 측으로 광을 방출한다. 따라서, 발광 소자(2550R)로부터 방출되는 광의 일부는 착색층(2567R)을 통과하여, 도 12의 (B)에서 화살표로 나타낸 바와 같이 발광 모듈(2580R)의 외부로 방출된다.
- [0400] 터치 센서(2595)는 표시 장치(2501)의 기관(2510) 측에 제공된다.

- [0401] 접착층(2597)은 기관(2510)과 기관(2590) 사이에 제공되며, 터치 센서(2595)를 표시 장치(2501)에 접합시킨다.
- [0402] 도 12의 (A) 또는 도 12의 (B)에 도시된 바와 같이, 광은 발광 소자로부터 기관(2510) 및 기관(2570) 중 한쪽 또는 양쪽 모두를 통하여 방출되어도 좋다.
- [0403] <터치 패널의 구동 방법의 설명>
- [0404] 다음에, 터치 패널의 구동 방법의 예에 대하여 도 13의 (A) 및 도 13의 (B)를 참조하여 설명한다.
- [0405] 도 13의 (A)는 상호 용량 터치 센서의 구조를 도시한 블록도이다. 도 13의 (A)에는 펄스 전압 출력 회로(2601) 및 전류 검지 회로(2602)를 도시하였다. 또한, 도 13의 (A)에서, 6개의 배선(X1 내지 X6)은 펄스 전압이 인가되는 전극(2621)을 나타내고, 6개의 배선(Y1 내지 Y6)은 전류의 변화를 검출하는 전극(2622)을 나타낸다. 도 13의 (A)에는 전극(2621) 및 전극(2622)이 서로 중첩되는 영역에 각각 형성되는 용량 소자(2603)도 도시하였다. 또한, 전극(2621) 및 전극(2622)의 기능은 치환이 가능하다.
- [0406] 펄스 전압 출력 회로(2601)는 배선들(X1 내지 X6)에 펄스 전압을 순차적으로 인가하기 위한 회로이다. 배선(X1 내지 X6)에 펄스 전압이 인가됨으로써 용량 소자(2603)의 전극(2621) 및 전극(2622) 사이에 전계가 발생된다. 이 전극들 사이의 전계가 차폐될 때, 예를 들어 용량 소자(2603)(상호 용량)에서 변화가 일어난다. 이 변화를 이용하여, 검지 대상의 근접 또는 접촉을 검지할 수 있다.
- [0407] 전류 검지 회로(2602)는, 용량 소자(2603)에서의 상호 용량의 변화에 의하여 일어나는 배선(Y1 내지 Y6)을 통하여 흐르는 전류의 변화를 검지하기 위한 회로이다. 검지 대상의 근접 또는 접촉이 없으면 배선(Y1 내지 Y6)에서 전류 값의 변화가 검지되지 않지만, 검지 대상의 근접 또는 접촉에 의하여 상호 용량이 감소되면 전류 값의 감소가 검출된다. 또한, 전류 값의 검지에는 적분 회로 등을 사용한다.
- [0408] 도 13의 (B)는 도 13의 (A)에 도시된 상호 용량 터치 센서에서의 입출력 파형을 나타낸 타이밍 차트이다. 도 13의 (B)에서는 1프레임 기간에 모든 행렬에서 검지 대상이 검지된다. 도 13의 (B)는 검지 대상이 검지되지 않는 기간(비(非)터치) 및 검지 대상이 검지되는 기간(터치)을 나타낸 것이다. 도 13의 (B)에서, 검지된 배선(Y1 내지 Y6)의 전류 값은 전압 값의 파형으로서 나타내었다.
- [0409] 배선들(X1 내지 X6)에는 펄스 전압이 순차적으로 인가되고, 이 펄스 전압에 따라 배선들(Y1 내지 Y6)의 파형이 변화된다. 검지 대상의 근접 또는 접촉이 없는 경우에는 배선(X1 내지 X6)의 전압의 변화에 따라 배선(Y1 내지 Y6)의 파형이 균일하게 변화된다. 검지 대상이 근접 또는 접촉되는 부분에서는 전류 값이 감소되기 때문에 전압 값의 파형이 변화된다.
- [0410] 이런 식으로 상호 용량의 변화를 검지함으로써 검지 대상의 근접 또는 접촉을 검지할 수 있다.
- [0411] <센서 회로의 설명>
- [0412] 도 13의 (A)에는 터치 센서로서 배선의 교차부에 용량 소자(2603)만이 제공되는 패시브 매트릭스형 터치 센서를 도시하였다; 또는, 트랜지스터 및 용량 소자를 포함하는 액티브 매트릭스형 터치 센서를 사용하여도 좋다. 도 14는 액티브 매트릭스형 터치 센서에 포함되는 센서 회로의 예를 도시한 것이다.
- [0413] 도 14의 센서 회로는 용량 소자(2603) 및 트랜지스터(2611, 2612, 및 2613)를 포함한다.
- [0414] 트랜지스터(2613)의 게이트에는 신호(G2)가 입력된다. 트랜지스터(2613)의 소스 및 드레인 중 한쪽에는 전압(VRES)이 인가되고, 트랜지스터(2613)의 소스 및 드레인 중 다른 쪽에는 용량 소자(2603)의 한쪽 전극 및 트랜지스터(2611)의 게이트가 전기적으로 접속된다. 트랜지스터(2611)의 소스 및 드레인 중 한쪽은 트랜지스터(2612)의 소스 및 드레인 중 한쪽에 전기적으로 접속되고, 트랜지스터(2611)의 소스 및 드레인 중 다른 쪽에는 전압(VSS)이 인가된다. 트랜지스터(2612)의 게이트에는 신호(G1)가 입력되고, 트랜지스터(2612)의 소스 및 드레인 중 다른 쪽에는 배선(ML)이 전기적으로 접속된다. 용량 소자(2603)의 다른 쪽 전극에는 전압(VSS)이 인가된다.
- [0415] 다음에, 도 14의 센서 회로의 동작에 대하여 설명한다. 먼저, 트랜지스터(2613)를 온으로 하는 전위가 신호(G2)로서 공급됨으로써, 전압(VRES)에 대응하는 전위가 트랜지스터(2611)의 게이트에 접속되는 노드(n)에 인가된다. 그리고, 트랜지스터(2613)를 오프로 하는 전위가 신호(G2)로서 인가됨으로써, 노드(n)의 전위가 유지된다.
- [0416] 그리고, 손가락 등 검지 대상의 근접 또는 접촉에 의하여 용량 소자(2603)의 상호 용량이 변화됨에 따라 노드

(n)의 전위가 VRES에서 변화된다.

- [0417] 판독 동작에서, 트랜지스터(2612)를 온으로 하는 전위를 신호(G1)로서 공급한다. 노드(n)의 전위에 따라 트랜지스터(2611)를 흐르는 전류, 즉 배선(ML)을 흐르는 전류가 변화된다. 이 전류를 검지함으로써 검지 대상의 근접 또는 접촉을 검지할 수 있다.
- [0418] 트랜지스터(2611), 트랜지스터(2612), 및 트랜지스터(2613)의 각각에는 채널 영역이 형성되는 반도체층으로서 산화물 반도체층을 사용하는 것이 바람직하다. 특히 트랜지스터(2613)로서 이러한 트랜지스터를 사용하면, 노드(n)의 전위가 오랫동안 유지될 수 있고 노드(n)에 VRES를 다시 공급하는 동작(리프레시 동작)의 빈도를 줄일 수 있으므로 바람직하다.
- [0419] 본 실시형태에서 설명한 구조는 다른 임의의 실시형태에서 설명하는 구조와 적절히 조합하여 사용할 수 있다.
- [0420] (실시형태 6)
- [0421] 본 실시형태에서는 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자를 포함하는 표시 모듈 및 전자 기기에 대하여 도 15 및 도 16의 (A) 내지 도 16의 (G)를 참조하여 설명하겠다.
- [0422] <표시 모듈>
- [0423] 도 15에 도시된 표시 모듈(8000)에서, 상부 커버(8001)와 하부 커버(8002) 사이에, FPC(8003)에 접속된 터치 센서(8004), FPC(8005)에 접속된 표시 장치(8006), 프레임(8009), 인쇄 기관(8010), 및 배터리(8011)가 제공되어 있다.
- [0424] 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자는 예를 들어, 표시 장치(8006)에 사용될 수 있다.
- [0425] 상부 커버(8001) 및 하부 커버(8002)의 형상 및 크기는, 터치 센서(8004) 및 표시 장치(8006)의 크기에 따라 적절히 변경될 수 있다.
- [0426] 터치 센서(8004)는, 저항막 방식 터치 센서 또는 정전 용량 방식 터치 센서일 수 있고, 표시 장치(8006)와 중첩하여 형성되어도 좋다. 표시 장치(8006)의 대향 기관(밀봉 기관)은 터치 센서 기능을 가질 수 있다. 광학식 터치 센서가 얻어지도록 표시 장치(8006)의 각 화소에 포토센서를 제공하여도 좋다.
- [0427] 프레임(8009)은 표시 장치(8006)를 보호하고, 또한 인쇄 기관(8010)의 동작에 의하여 발생하는 전자기파를 차단하기 위한 전자기 실드로도 기능한다. 프레임(8009)은 방열판(radiator plate)으로서 기능하여도 좋다.
- [0428] 인쇄 기관(8010)은 전원 회로와, 비디오 신호 및 클럭 신호를 출력하기 위한 신호 처리 회로를 포함한다. 전원 회로에 전력을 공급하기 위한 전원으로서, 외부 상용 전원 또는 별도로 제공된 배터리(8011)를 사용하여도 좋다. 배터리(8011)는 상용 전원을 사용하는 경우에는 생략할 수 있다.
- [0429] 표시 모듈(8000)에, 편광판, 위상차판, 또는 프리즘 시트 등의 부재를 추가적으로 제공할 수 있다.
- [0430] <전자 기기>
- [0431] 도 16의 (A) 내지 도 16의 (G)는 전자 기기를 도시한 것이다. 전자 기기는 하우징(9000), 표시부(9001), 스피커(9003), 조작 키(9005)(전원 스위치 또는 조작 스위치를 포함함), 접속 단자(9006), 센서(9007)(힘, 변위, 위치, 속도, 가속도, 각속도, 회전수, 거리, 광, 액체, 자기, 온도, 화학 물질, 소리, 시간, 경도, 전계, 전류, 전압, 전력, 방사선, 유량, 습도, 기율기, 진동, 냄새, 또는 적외선을 측정 또는 검지하는 기능을 가지는 센서), 및 마이크로폰(9008) 등을 포함할 수 있다.
- [0432] 도 16의 (A) 내지 도 16의 (G)에 도시된 전자 기기는, 예를 들어 다양한 데이터(정지 화상, 동영상, 및 텍스트 화상 등)를 표시부에 표시하는 기능, 터치 센서 기능, 달력, 날짜, 및 시간 등을 표시하는 기능, 다양한 소프트웨어(프로그램)로 처리를 제어하는 기능, 무선 통신 기능, 무선 통신 기능으로 다양한 컴퓨터 네트워크에 접속되는 기능, 무선 통신 기능으로 다양한 데이터를 송수신하는 기능, 및 기억 매체에 저장된 프로그램 또는 데이터를 판독하고 표시부에 프로그램 또는 데이터를 표시하는 기능의 다양한 기능을 가질 수 있다. 또한, 도 16의 (A) 내지 도 16의 (G)에 도시된 전자 기기의 기능은 상술한 것에 한정되지 않고, 전자 기기는 다양한 기능을 가질 수 있다. 도 16의 (A) 내지 도 16의 (G)에 도시되어 있지 않지만, 전자 기기는 복수의 표시부를 포함하여도 좋다. 전자 기기는 카메라 등을 포함하여도 좋고, 정지 화상을 촬영하는 기능, 동영상을 촬영하는 기능, 촬영한 화상을 기억 매체(외부 기억 매체 또는 카메라에 포함되는 기억 매체)에 저장하는 기능, 또는 촬영한 화상을 표시부에 표시하는 기능 등을 가져도 좋다.

- [0433] 도 16의 (A) 내지 도 16의 (G)에 도시된 전자 기기에 대하여 이하에서 자세히 설명한다.
- [0434] 도 16의 (A)는 휴대 정보 단말기(9100)의 사시도이다. 휴대 정보 단말기(9100)의 표시부(9001)는 플렉시블하다. 그러므로, 구부러진 하우징(9000)의 곡면을 따라 표시부(9001)를 제공할 수 있다. 또한, 표시부(9001)는 터치 센서를 포함하고, 손가락 또는 스타일러스 등으로 화면을 터치함으로써 조작을 행할 수 있다. 예를 들어, 표시부(9001)에 표시된 아이콘을 터치하여 애플리케이션을 기동할 수 있다.
- [0435] 도 16의 (B)는 휴대 정보 단말기(9101)의 사시도이다. 휴대 정보 단말기(9101)는 예를 들어, 전화기, 노트, 및 정보 열람 시스템 중 하나 이상으로서 기능한다. 구체적으로는, 휴대 정보 단말기는 스마트폰으로서 사용할 수 있다. 또한, 도 16의 (B)에 도시되지 않은 스피커(9003), 접속 단자(9006), 및 센서(9007) 등을, 도 16의 (A)에 도시된 휴대 정보 단말기(9100)와 같이 휴대 정보 단말기(9101)에 배치할 수 있다. 휴대 정보 단말기(9101)는 문자 및 화상 정보를 그 복수의 면에 표시할 수 있다. 예를 들어, 3개의 조작 버튼(9050)(조작 아이콘 또는 간단하게 아이콘이라고도 함)을 표시부(9001)의 하나의 면에 표시할 수 있다. 또한, 파선의 직사각형으로 나타난 정보(9051)를 표시부(9001)의 다른 면에 표시할 수 있다. 정보(9051)의 예에는, 이메일, SNS(social networking service) 메시지, 및 전화 등의 수신을 알리는 표시; 이메일 및 SNS 메시지의 제목 및 송신자; 날짜; 시각; 배터리의 잔량; 및 안테나의 수신 강도가 포함된다. 또는, 정보(9051) 대신에 조작 버튼(9050) 등을 표시하여도 좋다.
- [0436] 도 16의 (C)는 휴대 정보 단말기(9102)의 사시도이다. 휴대 정보 단말기(9102)는 표시부(9001)의 3개 이상의 면에 정보를 표시하는 기능을 가진다. 여기서는, 정보(9052), 정보(9053), 및 정보(9054)가 상이한 면에 표시되어 있다. 예를 들어, 휴대 정보 단말기(9102)의 사용자는, 자신 옷의 가슴 포켓에 휴대 정보 단말기(9102)를 넣은 상태로 표시(여기서는 정보(9053))를 볼 수 있다. 구체적으로는, 착신한 전화의 발신자의 전화 번호 또는 이름 등을, 휴대 정보 단말기(9102)의 상방에서 볼 수 있는 위치에 표시한다. 따라서 사용자는, 휴대 정보 단말기(9102)를 포켓에서 꺼내지 않고 표시를 보고, 전화를 받을지 여부를 결정할 수 있다.
- [0437] 도 16의 (D)는 손목시계형 휴대 정보 단말기(9200)의 사시도이다. 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 구부러져 있고, 구부러진 표시면에 화상이 표시될 수 있다. 휴대 정보 단말기(9200)는, 기존의 통신 표준에 따른 통신 방식인 근거리 무선 통신을 채용할 수 있다. 그 경우, 예를 들어 휴대 정보 단말기(9200)와 무선 통신이 가능한 헤드셋 간의 상호 통신을 행할 수 있어 핸즈프리 통화가 가능하다. 휴대 정보 단말기(9200)는 접속 단자(9006)를 포함하고, 커넥터를 통하여 다른 정보 단말기에 데이터를 직접 송신하거나, 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 행하여도 좋다.
- [0438] 도 16의 (E), 도 16의 (F), 및 도 16의 (G)는 폴더블 휴대 정보 단말기(9201)의 사시도이다. 도 16의 (E)는 펼친 휴대 정보 단말기(9201)를 도시한 사시도이다. 도 16의 (F)는 펼치고 있는 중 또는 접고 있는 중의 휴대 정보 단말기(9201)를 도시한 사시도이다. 도 16의 (G)는, 접은 휴대 정보 단말기(9201)를 도시한 사시도이다. 휴대 정보 단말기(9201)는, 접었을 때 휴대가 매우 쉽다. 휴대 정보 단말기(9201)를 펼치면, 이음매 없는 큰 표시 영역의 일람성이 높다. 휴대 정보 단말기(9201)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(9201)를 접음으로써, 휴대 정보 단말기(9201)를, 펼친 상태에서 접은 상태로 가역적으로 변형할 수 있다. 예를 들어, 휴대 정보 단말기(9201)는 곡률 반경 1mm 이상 150mm 이하로 구부릴 수 있다.
- [0439] 본 실시형태에서의 전자 기기는 각각 여러 종류의 정보를 표시하기 위한 표시부를 포함한다. 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자는, 표시부가 없는 전자 기기에도 사용될 수 있다. 본 실시형태에서 설명한 전자 기기에서는, 표시부가 플렉시블하고, 휘어진 표시면에 표시를 수행할 수 있거나, 또는 표시부가 폴더블이다; 그러나, 전자 기기의 구조는 이들 예에 한정되지 않고, 표시부가 플렉시블하지 않고 평면부에 표시를 수행하는 구조를 채용하여도 좋다.
- [0440] 본 실시형태에서 설명한 구조는 다른 실시형태에서 설명하는 구조 중 임의의 것과 적절히 조합할 수 있다.
- [0441] (실시형태 7)
- [0442] 본 실시형태에서는 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자를 사용한 조명 장치의 예에 대하여, 도 17을 참조하여 설명하겠다.

[0443] 도 17은 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 실시형태에 기재된 발광 소자는 박막 형태이기 때문에 하우징을 더 자유로이 설계하는 것이 가능하다. 그러므로, 조명 장치를 다양한 형태로 정교하게 설계할 수 있다. 또한, 방의 벽에 대형 조명 장치(8503)를 제공하여도 좋다. 조명 장치의 전원 온/오프를 제어하기 위하여 조명 장치(8501, 8502, 및 8503)에 터치 센서를 제공하여도 좋다.

[0444] 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.

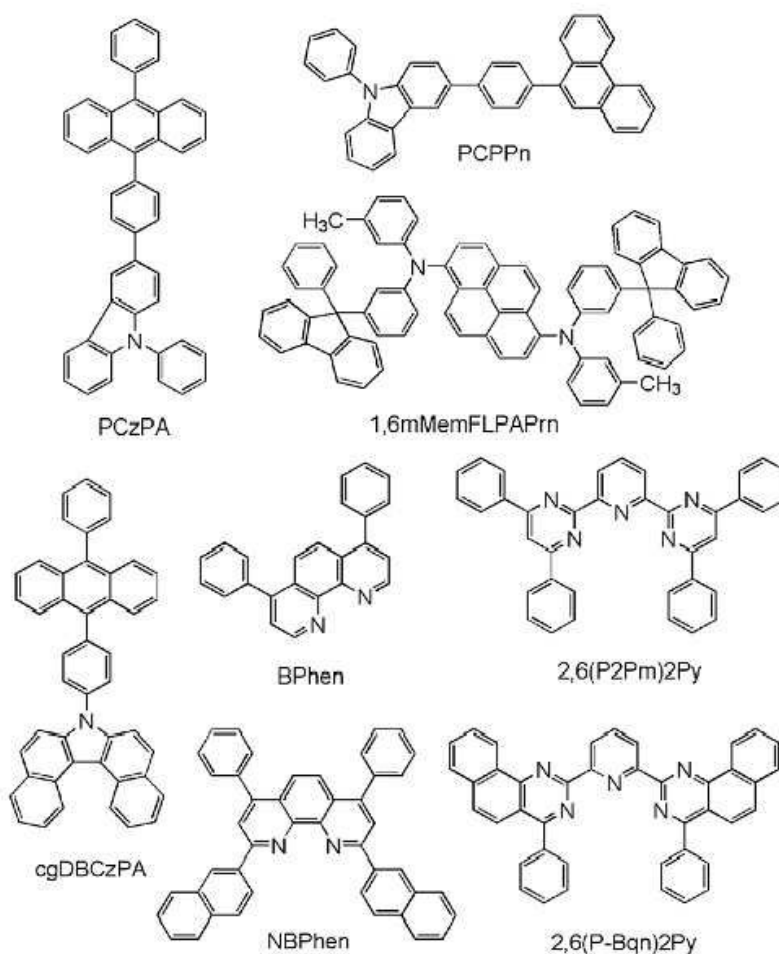
[0445] 이러한 식으로, 발광 소자를 사용한 다양한 조명 장치를 얻을 수 있다. 또한, 이러한 조명 장치는 본 발명의 일 형태에 포함된다.

[0446] 본 실시형태에서 설명한 구조는 다른 임의의 실시형태에서 설명한 구조와 적절히 조합하여 사용할 수 있다.

[0447] (실시예 1)

[0448] 본 실시예에서는, 구조가 상이한 8개의 발광 소자를 제작하였다. 또한, 8개의 발광 소자는 정공 수송층에 사용되는 재료가 상이한 4개의 발광 소자, 및 정공 수송층에 사용되는 재료만이 전자(前者)의 4개의 발광 소자와 상이한 4개의 발광 소자를 포함한다. 또한, 발광 소자 1 내지 발광 소자 8의 제작에 대해서는 도 18을 참조하여 설명한다. 본 실시예에 사용되는 재료의 화학식은 다음과 같다.

[0449] [화학식 1]



[0450]

[0451] <<발광 소자 1 내지 발광 소자 8의 제작>>

[0452] 우선, 스퍼터링법에 의하여 유리 기판(900) 위에 산화 실리콘을 포함하는 인듐 주석 산화물(ITO)을 성막함으로써, 양극으로서 기능하는 제 1 전극(901)을 형성하였다. 또한, 제 1 전극의 두께는 70nm이고, 또한 면적은 2mm

×2mm이다.

- [0453] 다음에, 기관(900) 위에 발광 소자를 형성하기 위한 전처리로서, 기관의 표면을 물로 세척하고 200℃에서 1시간 동안 소성하고 나서, UV 오존 처리를 370초 동안 수행하였다.
- [0454] 그 후, 압력을 약 1×10^{-4} Pa까지 저감시킨 진공 증착 장치로 기관을 이동하고, 진공 증착 장치의 가열실에서 170℃에서 30분 동안의 진공 소성을 수행하였다. 그리고, 기관(900)을 약 30분 동안 냉각하였다.
- [0455] 다음에, 제 1 전극(901)이 형성된 기관의 표면이 아래 쪽을 향하도록, 기관(900)을 진공 증착 장치 내에 제공된 홀더에 고정하였다. 본 실시예에서는, EL층(902)에 포함되는, 정공 주입층(911), 정공 수송층(912), 발광층(913), 전자 수송층(914), 및 전자 주입층(915)이 진공 증착법에 의하여 순차적으로 형성된다.
- [0456] 진공 증착 장치 내의 압력을 1×10^{-4} Pa까지 저감시킨 후, 발광 소자 1 내지 발광 소자 4의 경우, 3-[4-(9-페난트릴)-페닐]-9-페닐-9H-카바졸(약칭: PCPPn) 및 산화 폴리브테늄을 PCPPn:산화 폴리브테늄의 중량비가 4:2가 되도록 공증착에 의하여 성막하여, 정공 주입층(911)을 제 1 전극(901)에 형성하였다. 두께는 10nm로 하였다. 발광 소자 5 내지 발광 소자 8의 경우, 9-페닐-3-[4-(10-페닐-9-안트릴)페닐]-9H-카바졸(약칭: PCzPA) 및 산화 폴리브테늄을 PCzPA:산화 폴리브테늄의 중량비가 4:2가 되도록 공증착에 의하여 성막하여, 정공 주입층(911)을 제 1 전극(901)에 형성하였다. 두께는 10nm로 설정하였다. 또한, 공증착이란, 상이한 복수의 물질을 각각 상이한 증발원으로부터 동시에 증발시키는 증착법이다.
- [0457] 다음에, 발광 소자 1 내지 발광 소자 4의 경우, 정공 주입층(911)에 PCPPn을 두께 30nm가 되도록 증착에 의하여 성막하여, 정공 수송층(912)을 형성하였다. 발광 소자 5 내지 발광 소자 8의 경우, 정공 주입층(911)에 PCzPA를 두께 30nm가 되도록 증착에 의하여 성막하여, 정공 수송층(912)을 형성하였다.
- [0458] 그리고, 정공 수송층(912)에, 7-[4-(10-페닐-9-안트릴)페닐]-7H-다이벤조[c,g]카바졸(약칭: cgDBCzPA), 및 N,N'-비스(3-메틸페닐)-N,N'-비스[3-(9-페닐-9H-플루오렌-9-일)페닐]피렌-1,6-다이아민(약칭: 1,6mMemFLPAPr n)을, cgDBCzPA:1,6mMemFLPAPr n의 중량비가 1:0.03이 되도록 공증착에 의하여 성막하여, 발광층(913)을 형성하였다. 또한, 두께는 25nm로 하였다.
- [0459] 다음에, 발광 소자 1 및 발광 소자 5의 경우, 발광층(913)에, 바소페난트롤린(약칭: BPhen)을 두께 25nm가 되도록 증착에 의하여 성막하여, 전자 수송층(914)을 형성하였다. 발광 소자 2 및 발광 소자 6의 경우, 발광층(913)에, 2,2'-(피리딘-2,6-다이일)비스(4,6-다이페닐피리미딘)(약칭: 2,6(P2Pm)2Py)을 두께 25nm가 되도록 증착에 의하여 성막하여, 전자 수송층(914)을 형성하였다. 발광 소자 3 및 발광 소자 7의 경우, 발광층(913)에, 2,9-비스(나프탈렌-2-일)-4,7-다이페닐-1,10-페난트롤린(약칭: NBPhen)을 두께 25nm가 되도록 증착에 의하여 성막하여, 전자 수송층(914)을 형성하였다. 발광 소자 4 및 발광 소자 8의 경우, 발광층(913)에, 2,2'-(피리딘-2,6-다이일)비스(4-페닐벤조[h]퀴나졸린)(약칭: 2,6(P-Bqn)2Py)을 두께 25nm가 되도록 증착에 의하여 성막하여, 전자 수송층(914)을 형성하였다.
- [0460] 또한, 전자 수송층(914)에 플루오린화 리튬을 두께 1nm가 되도록 증착에 의하여 성막하여, 전자 주입층(915)을 형성하였다.
- [0461] 마지막으로, 알루미늄을 전자 주입층(915)에 두께 200nm가 되도록 증착에 의하여 성막하여, 음극으로서 기능하는 제 2 전극(903)을 형성하였다. 따라서, 발광 소자 1 내지 발광 소자 8을 제작하였다. 또한, 상기 모든 증착 단계에서, 증착은 저항 가열법에 의하여 수행하였다.
- [0462] 표 1에는, 이와 같이 하여 얻어진 발광 소자 1 내지 발광 소자 8의 구조를 나타내고 있다.

[0463] [표 1]

	제 1 전극	정공 주입층	정공 수송층	발광층	전자 수송층	전자 주입층	제 2 전극
발광 소자 1	ITO (70nm)	PCPFn :MoOx (4:2 10nm)	PCPFn (30nm)	*	Bphen (25nm)	LiF (1nm)	Al (200nm)
발광 소자 2	ITO (70nm)	PCPFn :MoOx (4:2 10nm)	PCPFn (30nm)	*	2,6(F2Pm)2 Py (25nm)	LiF (1nm)	Al (200nm)
발광 소자 3	ITO (70nm)	PCPFn :MoOx (4:2 10nm)	PCPFn (30nm)	*	NBPhen (25nm)	LiF (1nm)	Al (200nm)
발광 소자 4	ITO (70nm)	PCPFn :MoOx (4:2 10nm)	PCPFn (30nm)	*	2,6(F- Bqn)2Py (25nm)	LiF (1nm)	Al (200nm)
발광 소자 5	ITO (70nm)	PCzFA :MoOx (4:2 10nm)	PCzFA (30nm)	*	Bphen (25nm)	LiF (1nm)	Al (200nm)
발광 소자 6	ITO (70nm)	PCzFA :MoOx (4:2 10nm)	PCzFA (30nm)	*	2,6(F2Pm)2 Py (25nm)	LiF (1nm)	Al (200nm)
발광 소자 7	ITO (70nm)	PCzFA :MoOx (4:2 10nm)	PCzFA (30nm)	*	NBPhen (25nm)	LiF (1nm)	Al (200nm)
발광 소자 8	ITO (70nm)	PCzFA :MoOx (4:2 10nm)	PCzFA (30nm)	*	2,6(F- Bqn)2Py (25nm)	LiF (1nm)	Al (200nm)

[0464]

[0465]

*cgDBCzPA:1,6mMemFLPAPrn(1:0.03 25nm)

[0466]

제작한 발광 소자 1 내지 발광 소자 8을 공기에 노출되지 않도록, 질소 분위기하의 글러브 박스 내에서 밀봉하였다(소자를 둘러싸도록 실란트를 도포하고, 밀봉 시에 UV 처리를 수행하고 80℃에서 1시간 동안 가열 처리를 수행하였다). 또한, 이하의 측정을 위하여 제작한 각 발광 소자의 개수는 4개이다.

[0467]

<<발광 소자 1 내지 발광 소자 8의 특성>>

[0468]

제작한 발광 소자 1 내지 발광 소자 8(각 소자의 개수는 4임)을 피코초 형광 수명 측정 시스템(Hamamatsu Photonics K.K. 제조)을 사용하여 측정하였다. 발광 소자에서의 형광의 수명을 측정하기 위하여, 구형(矩形)과 펄스 전압을 발광 소자에 인가하고, 전압의 하강으로부터 감쇄되는 광을, 스트리크 카메라를 사용하여 시간 분해 측정하였다. 펄스 전압은 주파수 10Hz로 인가하였다. 반복적인 측정에 의하여 얻어진 데이터를 적산함으로써, S/N비가 높은 데이터를 얻었다. 측정은 실온(300K)에서 펄스 전압 약 3V, 펄스 시간폭 100 μsec, 음 바이어스 전압 -5V, 및 측정 시간 50 μsec의 조건하에서 수행하였다.

[0469]

측정에 의하여 얻어진 과도 형광의 감쇄 곡선을 식(f1)으로 피팅하였다.

[0470]

$$L = \sum_{n=1} A_n \exp\left(-\frac{t}{a_n}\right) \quad (f1)$$

[0471]

또한, 식(f1)에서 L 및 t 는 각각 정규화된 발광 강도 및 경과 시간을 나타낸다.

[0472] 측정에 의하여 얻어진 감쇄 곡선은 $n=1$ 및 2로 피팅할 수 있었다. 발광 소자 1 내지 발광 소자 8은 각각 형광 성분뿐만 아니라 지연 형광 성분을 포함하는 것도 알았다. 또한, 지연 형광 성분이란 펄스 전압을 차단한 직후, 즉, 발광층으로의 캐리어의 주입이 정지된 후에 측정되는 형광을 말한다. 측정된 지연 형광 성분은 발광 소자의 EL층에서의 삼중항-삼중항 소멸(TTA)의 발생을 의미한다. 지연 형광 성분의 비율이란 펄스 전압이 공급될 때의 발광 소자의 형광 강도에 대한, 펄스 전압이 차단된 직후의 발광 소자의 형광 강도의 비율; 바꿔 말하면, 캐리어가 발광층에 안정적으로 주입될 때의 발광 소자의 형광 강도에 대한, 캐리어 주입이 정지된 직후의 발광 소자의 형광 강도의 비율을 말한다. 이하의 표 2는 각 발광 소자 1 내지 발광 소자 8의 지연 형광 성분의 비율을 나타내고 있다.

[0473] 또한, 발광 소자 1 내지 발광 소자 8의 발광 특성을 측정하여 외부 양자 효율을 얻었다. 또한, 기판을 -80° 내지 80° 의 각도로 회전시키면서 광의 시야각 의존성을 측정하고, 전계 발광의 배광 특성을 고려하는 식으로 각 발광 소자의 외부 양자 효율을 얻었다. 그 결과를 이하의 표 2에 나타내고 있다. 또한, 측정은 실온에서 (25°C 로 유지된 분위기에서) 수행하였다.

[0474] [표 2]

	지연 형광 성분의 비율 (%)	외부 양자 효율 (%)	펄스 전압 (V)
발광 소자 1	12.3	8.97	3.15
	12.5	9.04	3.10
	12.1	9.17	3.10
	10.9	9.02	3.10
발광 소자 2	13.7	9.12	3.10
	12.0	9.21	3.10
	13.0	9.17	3.10
	14.0	9.23	3.10
발광 소자 3	18.1	9.37	3.15
	16.2	9.79	3.15
	17.4	9.76	3.15
	18.2	9.72	3.15
발광 소자 4	20.7	9.66	3.20
	20.4	9.76	3.20
	19.5	9.55	3.20
	20.9	9.33	3.20
발광 소자 5	8.8	7.71	3.00
	7.7	7.83	3.00
	6.8	7.91	3.05
	6.6	7.84	2.95
발광 소자 6	7.3	7.83	3.00
	7.1	7.92	3.00
	8.7	8.02	3.05
	7.7	7.96	3.00
발광 소자 7	10.1	7.91	3.00
	10.2	8.29	3.05
	9.4	8.34	3.05
	11.1	8.23	3.05
발광 소자 8	12.5	8.09	3.20
	12.0	8.13	3.15
	12.4	8.09	3.20
	13.4	7.87	3.20

[0475]

[0476] 표 3은 발광 소자 1 내지 발광 소자 8의 전자 수송층에 사용되는 재료의 LUMO 준위를 나타내고 있다. LUMO 준위는 *N,N*-다이메틸폼아마이드(약칭: DMF)용매에서의 각 재료의 사이클릭 볼타메트리 측정으로부터 추산되었다.

[0477] [표 3]

	전자 수송층	LUMO 준위 (eV)
발광 소자 1 및 5	Bphen	-2.63
발광 소자 2 및 6	2,6(P2Pm)2Py	-2.78
발광 소자 3 및 7	NBPhen	-2.83
발광 소자 4 및 8	2,6(P-Bqn)2Py	-2.92

[0478]

[0479] 도 19는 발광 소자 1 내지 발광 소자 8의 전자 수송층에 사용되는 재료의 LUMO 준위(eV)(표 3에 나타내어짐)에 대한 지연 형광 성분의 비율(%)을 나타낸 것이다. 도 19에서, 정공 수송층에 PCPPn을 사용한 발광 소자 1 내지 발광 소자 4는 공통 플롯이고, 정공 수송층에 PCzPA를 사용한 발광 소자 5 내지 발광 소자 8도 공통 플롯이다.

[0480] 이 결과는 비율은 정공 수송층에 사용되는 각 재료에 따라 상이한 값을 갖지만, 지연 형광 성분의 비율은 전자 수송층에 사용되는 재료의 LUMO 준위가 높아질수록 증가되는 경향이 있는 것을 가리킨다. 즉, LUMO 준위가 가장 높은, 2,6(P-Bqn)2Py(-2.92eV)를 사용하는 발광 소자는 전자 수송층 이외의 구조가 동일한 다른 발광 소자보다 높은 지연 형광 성분의 비율을 갖는다.

[0481] 도 20은 발광 소자 1 내지 발광 소자 8의 지연 형광 성분의 비율(%)과 외부 양자 효율(%)의 관계를 나타낸 것이다.

[0482] 이 결과는 지연 형광 성분(%)의 비율에 따라 외부 양자 효율(%)이 증가되는 것을 나타낸다.

[0483] 여기서, I_P 가 직접 형성 과정에서의 형광 강도이고, I_D 가 TTA에 의한 지연 형광의 강도인, 지연 형광 성분(X)의 비율을 식(f2)에 의하여 나타낸다.

$$X = \frac{I_D}{I_P + I_D} \quad (f2)$$

[0484]

[0485] 외부 양자 효율(EQE)의 정의에 따르면, I_D 가 0($X=0$)일 때의 단일항 여기자의 생성 비율(α)은 0.25이다. 그러나, α 는 I_D 에 따라 증가된다, 즉, EQE는 I_P+I_D 에 비례한다. 따라서, 식(f3)이 얻어진다.

$$EQE \propto I_P + I_D = I_P \times \frac{1}{1-X} \quad (f3)$$

[0486]

[0487] X는 도 20에서의 x축과 동등하기 때문에, 도 20에 나타낸 바와 같이, 정공 수송층에 PCPPn을 사용하는 발광 소자 1 내지 발광 소자 4의 지연 형광 성분의 비율(%)과 외부 양자 효율(%)의 관계, 및 정공 수송층에 PCzPA를 사용하는 발광 소자 5 내지 발광 소자 8의 지연 형광 성분의 비율(%)과 외부 양자 효율(%)의 관계를 식(f3)으로 치환할 수 있다. 이것은 지연 형광 성분의 비율(%)과 외부 양자 효율(%)이 상관관계를 갖는 것을 나타낸다.

[0488] 또한, 표 1에 나타낸 발광 소자 4와 동일한 구조를 갖는 발광 소자 4-2를 제작하고, 그 특성을 측정하였다. 또한, 도 21은 발광 소자 4-2의 전류 밀도-휘도 특성을 나타내고, 도 22는 그들의 전압-휘도 특성을 나타내고, 도 23은 그들의 휘도-전류 효율 특성을 나타내고, 도 24는 그들의 전압-전류 특성을 나타내고, 도 25는 그들의 휘도-외부 양자 효율 특성을 나타낸다. 여기서, 기판을 -80° 내지 80° 의 각도로 회전시키면서 광의 시야각의 존성을 측정하고, 전계 발광의 배광 특성을 고려하는 상술한 식으로 도 25에 나타낸 발광 소자의 외부 양자 효율

율을 얻었다. 도 21 내지 도 24에 나타난 발광 소자의 특성값은 색채 휘도계 BM-5A(TOPCON TECHNOHOUSE CORPORATION 제조)로 정면 휘도로부터 산출되었다.

표 4에는 약 1000 cd/m^2 의 휘도에서의 발광 소자 4-2의 주요 특성의 초기값을 나타내고 있다.

[표 4]

	전압 (V)	전류 밀도 (mA/cm ²)	색도(x,y)	휘도 (cd/m ²)	전류 효율 (cd/A)	전력 효율 (lm/W)	외부 양자 효율 (%)
발광 소자 4-2	3.2	8.6	(0.14,0.14)	1100	13	13	9.0

도 26은 발광 소자 4-2에 12.5 mA/cm^2 의 전류 밀도로 전류가 공급될 때의 발광 스펙트럼을 나타낸 것이다. 도 26에 나타난 바와 같이, 발광 소자 4-2의 발광 스펙트럼의 피크는 464nm 부근이고, 이것은 아마 발광 소자 4-2의 발광층에 게스트 재료(도펀트)로서 사용되는 1,6mMemFLPAPr에서 유래한다.

도 27은 발광 소자 4-2의 과도 형광의 감쇠 곡선을 나타낸 것이다. 또한, 도 27에서, 세로축은 안정적으로 캐리어가 주입되는 상태(펄스 전압이 공급될 때)에서의 정규화된 발광 강도를 나타내고, 가로축은 펄스 전압의 강하 후의 경과 시간을 나타낸다. 도 27에 나타난 감쇠 곡선을 식(f1)으로 피팅함으로써, 21.5%의 지연 형광 성분 비율을 얻었다.

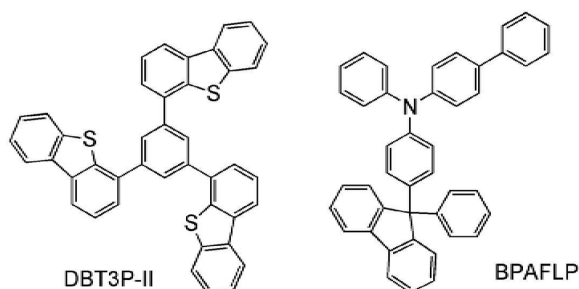
다음에, 발광 소자 4-2의 신뢰성 시험을 수행하였다. 도 28은 신뢰성 시험의 결과를 나타낸 것이다. 도 28에서, 세로축은 초기 휘도를 100%로 하였을 때의 정규화된 휘도(%)를 나타내고, 가로축은 소자의 구동 시간(h)을 나타낸다. 또한, 신뢰성 시험에서, 초기 휘도를 5000 cd/m^2 로 하고 전류 밀도를 일정하게 한 조건하에서 발광 소자 4-2를 구동시켰다.

결과적으로, 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자 4-2는 높은 신뢰성을 나타내었다.

(실시예 2)

본 실시예에서는, 발광 소자의 발광층에서의 발광에 기여하는 분자의 전이 쌍극자 모멘트 배향을 추산하였다. 구체적으로는, p-편광 발광 성분의 스펙트럼 강도의 각도 의존성을 측정하고, 그 결과를 계산(시뮬레이션)에 의하여 분석함으로써, 분자의 전이 쌍극자 모멘트 배향을 추산하였다. 본 실시예에서 사용되는 재료 중에서, 실시예 1에서 설명하지 않은 재료는 다음 화학식에 의하여 나타내어진다.

[화학식 2]



<<발광 소자 9의 제작>>

우선, 측정하는 발광 소자 9의 제작에 대하여, 도 18을 참조하여 설명하겠다. 우선, 스퍼터링법에 의하여 유리 기판(900) 위에 산화 실리콘을 포함하는 인듐 주석 산화물(ITO)을 성막함으로써, 양극으로서 기능하는 제 1 전극(901)을 형성하였다. 또한, 제 1 전극의 두께는 70nm이고, 또한 면적은 $2 \text{ mm} \times 2 \text{ mm}$ 이다.

다음에, 기판(900) 위에 발광 소자를 형성하기 위한 전처리로서, 기판의 표면을 물로 세척하고 200℃에서 1시간 동안 소성하고 나서, UV 오존 처리를 370초 동안 수행하였다.

- [0503] 그 후, 압력을 약 1×10^{-4} Pa까지 저감시킨 진공 증착 장치로 기판을 이동하고, 진공 증착 장치의 가열실에서 170 °C에서 30분 동안의 진공 소성을 수행하였다. 그리고, 기관(900)을 약 30분 동안 냉각하였다.
- [0504] 다음에, 제 1 전극(901)이 형성된 기관의 표면이 아래 쪽을 향하도록, 기관(900)을 진공 증착 장치 내에 제공된 홀더에 고정하였다. 본 실시예에서는, EL층(902)에 포함되는, 정공 주입층(911), 정공 수송층(912), 발광층(913), 전자 수송층(914), 및 전자 주입층(915)이 진공 증착법에 의하여 순차적으로 형성된다.
- [0505] 진공 증착 장치 내의 압력을 1×10^{-4} Pa까지 저감시킨 후, 1,3,5-트라이(다이벤조사이오펜-4-일)벤젠(약칭: DBT3P-II) 및 산화 몰리브데넘을 DBT3P-II:산화 몰리브데넘의 중량비가 2:1이 되도록 공증착에 의하여 성막하여, 정공 주입층(911)을 제 1 전극(901)에 형성하였다. 두께는 10nm로 하였다. 또한, 공증착이란, 상이한 복수의 물질을 각각 상이한 증발원으로부터 동시에 증발시키는 증착법이다.
- [0506] 그리고, 정공 주입층(911)에 BPAFLP를 두께 30nm가 되도록 증착에 의하여 성막하여, 정공 수송층(912)을 형성하였다.
- [0507] 그리고, 정공 수송층(912)에, 7-[4-(10-페닐-9-안트릴)페닐]-7H-다이벤조[c,g]카바졸(cgDBCzPA), 및 N,N'-비스(3-메틸페닐)-N,N'-비스[3-(9-페닐-9H-플루오렌-9-일)페닐]피렌-1,6-다이아민(1,6mMemFLPAPrn)을, cgDBCzPA:1,6mMemFLPAPrn의 중량비가 1:0.03이 되도록 공증착에 의하여 성막하여, 발광층(913)을 형성하였다. 또한, 두께는 15nm로 하였다.
- [0508] 다음에, 7-[4-(10-페닐-9-안트릴)페닐]-7H-다이벤조[c,g]카바졸(cgDBCzPA)을 발광층(913)에 두께 20nm가 되도록 형성하고, 2,9-비스(나프탈렌-2-일)-4,7-다이페닐-1,10-페난트롤린(약칭: NBPhen)을 그들에 두께 15nm가 되도록 증착에 의하여 성막하여, 정공 수송층(914)을 형성하였다.
- [0509] 또한, 산화 리튬을 전자 수송층(914)에 두께 0.1nm가 되도록 증착에 의하여 성막하고 나서, 구리 프탈로사이아닌(CuPc)을 두께 2nm가 되도록 증착에 의하여 성막하고, 두께 60nm가 되도록, 또한 1,3,5-트라이(다이벤조사이오펜-4-일)벤젠(약칭: DBT3P-II) 및 산화 몰리브데넘을 DBT3P-II:산화 몰리브데넘의 중량비가 2:1이 되도록, 공증착에 의하여 성막하여, 전자 주입층(915)을 형성하였다.
- [0510] 마지막으로, 알루미늄을 전자 주입층(915)에 두께 200nm가 되도록 증착에 의하여 성막하여, 음극으로서 기능하는 제 2 전극(903)을 형성하였다. 따라서, 발광 소자 9를 제작하였다. 또한, 상기 모든 증착 단계에서, 증착은 저항 가열법에 의하여 수행하였다.
- [0511] 발광 소자 9에서의 각 층의 두께는 최소 정면 휘도가 얻어지도록 결정하였다. 이로써, 발광층(913)에 수직인 방향에서 성분을 갖는 전이 쌍극자 모멘트에서 유래하는 휘도가 상대적으로 증가되어 발광의 측정이 용이해진다.
- [0512] <<편광 측정>>
- [0513] 다음에, 측정에 대하여 설명하겠다. 멀티채널 분광기(PMA-12, Hamamatsu Photonics K.K. 제조)를 검출기로서 사용하였다. Edmund Optics Inc.제조의 편광기를 발광 소자 9로부터 검출기까지의 광로에 배치하면, 관찰 방향에 평행한 성분만이 검출기에 도달된다. 편광기를 통과한 광은 PMA-12(멀티채널 분광기, Hamamatsu Photonics K.K. 제조)에서 검지되고, 발광 스펙트럼을 얻었다. 이때, 기관의 발광면의 정면을 0°로 하고 0°로부터 80°까지의 각도에 의하여 기관을 회전시키고, 각 각도에서 발광 스펙트럼을 측정하고, 스펙트럼의 적분 강도를 플랫폼하였다.
- [0514] <<계산(시뮬레이션)>>
- [0515] 다음에, 계산에 대하여 설명하겠다. 계산은 Cybernet Systems Corporation에 의하여 개발된 유기 디바이스 시뮬레이터 "setfos"를 사용하여 수행하였다. 파라미터로서 소자의 적층 구조, 막 두께, 각 층의 굴절률 n 및 소광 계수 k , 발광 위치, 및 발광 스펙트럼을 설정하고, 발광 분자의 전이 쌍극자 모멘트의 배향의 정도를 가변 파라미터로서 설정하면서 피팅을 수행하였다(후술하는 파라미터 a). 또한, 발광 위치는 정공 수송층과 발광층의 계면 근방인 것으로 가정하였다. 각 층의 두께는 샘플을 제작할 때의 증착 장치에서의 수정 진동자(레이트 모니터)의 값으로부터 얻어지고, 굴절률 n 및 소광 계수 k 는 분광 엘립소메트리의 분석 결과로부터 얻어졌다. 발광 스펙트럼은 박막의 포토루미네선스(PL) 측정에 의하여 얻어졌다.
- [0516] 전이 쌍극자 모멘트의 배향의 정도를 파라미터 a 로 정의한다. 즉, 파라미터 a 는 전이 쌍극자 모멘트의 발광층

에 수직 및 평행한 성분의 합계 중 전이 쌍극자 모멘트의 발광층에 수직인 성분의 비율을 가리킨다. $a=1$ 일 때, 전이 쌍극자 모멘트는 발광층에 수직인 성분만을 포함하지만, $a=0$ 일 때 발광층에 평행한 성분만을 포함한다. 등방적으로 배향된 분자의 전이 쌍극자 모멘트는 서로 직교되는, x 방향, y 방향, 및 z 방향으로 동일한 성분을 갖는다; 이 경우, $a=0.33$ 이다.

[0517] <<측정 결과와 계산(시뮬레이션)의 피팅>>

[0518] 도 29는 $a=0$ (전이 쌍극자 모멘트가 완전히 수직임), $a=0.16$, $a=0.33$ (전이 쌍극자 모멘트가 무작위로 배향됨), 및 $a=1$ (전이 쌍극자 모멘트가 완전히 수직임)에서의 계산 결과, 및 측정된 각도 의존성의 플롯의 값을 나타낸 것이다. 전이 쌍극자 모멘트의 성분 중 84%가 발광층에 평행한 방향에서의 성분이고, 그들의 16%가 수직 방향에서의 성분인($a=0.16$) 계산 결과는 측정된 각도 의존성의 플롯의 값과 거의 동등하였다. 이것은 발광 소자 9의 발광층(913)에 포함되는 발광 분자의 전이 쌍극자 모멘트의 성분 중 84%가 발광층(913)에 평행한 방향에 있다, 즉, 대부분의 전이 쌍극자 모멘트가 발광층에 수직인 방향으로 편향된다는 가정을 도출한다.

[0519] 상기 결과는 발광층에서의 발광 분자가 무작위가 아니라, 수직 방향으로 다수 배향되는 것을 나타낸다. 이들 수직 방향으로 다수 배향된 발광 분자는 아마 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자의 발광 효율을 비교적 높인다. 따라서, 본 발명의 일 형태에 따른 발광 소자에서는, 발광 재료(본 실시예에서는 게스트 재료)의 전이 쌍극자 모멘트가 발광층에 평행한 성분, 및 발광층에 수직인 성분으로 분할된 경우, 발광층에 평행한 성분의 비율이 80% 이상 100% 이하인 것이 바람직하다.

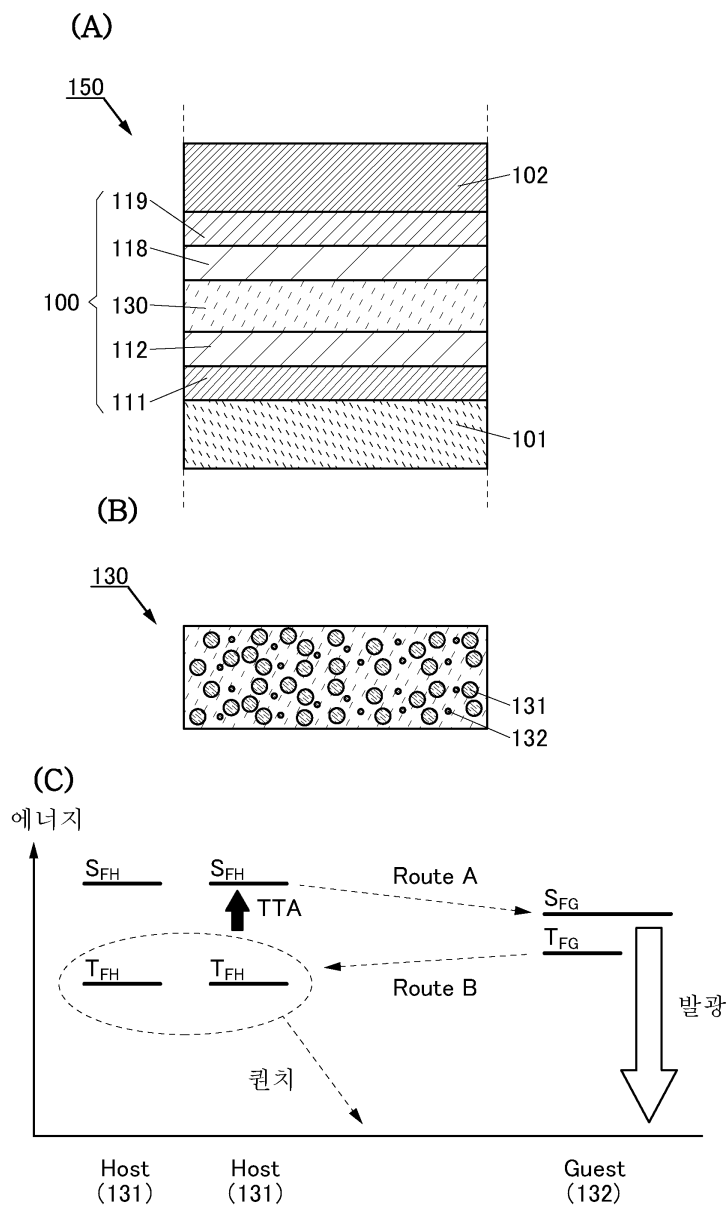
부호의 설명

[0520] 100: EL층, 101: 전극, 101a: 도전층, 101b: 도전층, 102: 전극, 103: 전극, 103a: 도전층, 103b: 도전층, 104: 전극, 104a: 도전층, 104b: 도전층, 111: 정공 주입층, 112: 정공 수송층, 113: 전자 수송층, 114: 전자 주입층, 115: 전하 발생층, 116: 정공 주입층, 117: 정공 수송층, 118: 전자 수송층, 119: 전자 주입층, 123B: 발광층, 123G: 발광층, 123R: 발광층, 130: 발광층, 131: 호스트 재료, 132: 게스트 재료, 140: 격벽, 150: 발광 소자, 160: 발광층, 170: 발광층, 170b: 발광층, 180: 검출기의 관찰 방향, 181: 전이 쌍극자 모멘트의 성분, 182: 전이 쌍극자 모멘트의 성분, 183: 전이 쌍극자 모멘트의 성분, 185: 검출기, 200: 기관, 220: 기관, 221B: 영역, 221G: 영역, 221R: 영역, 222B: 영역, 222G: 영역, 222R: 영역, 223: 차광층, 224B: 광학 소자, 224G: 광학 소자, 224R: 광학 소자, 250: 발광 소자, 252: 발광 소자, 254: 발광 소자, 400: EL층, 401: 전극, 402: 전극, 411: 정공 주입층, 412: 정공 수송층, 413: 전자 수송층, 414: 전자 주입층, 416: 정공 주입층, 417: 정공 수송층, 418: 전자 수송층, 419: 전자 주입층, 420: 발광층, 421: 호스트 재료, 422: 게스트 재료, 430: 발광층, 431: 호스트 재료, 431_1: 유기 화합물, 431_2: 유기 화합물, 432: 게스트 재료, 441: 발광 유닛, 442: 발광 유닛, 445: 전하 발생층, 450: 발광 소자, 452: 발광 소자, 801: 화소 회로, 802: 화소부, 804: 구동 회로부, 804a: 주사선 구동 회로, 804b: 신호선 구동 회로, 806: 보호 회로, 807: 단자부, 852: 트랜지스터, 854: 트랜지스터, 862: 용량 소자, 872: 발광 소자, 900: 기관, 901: 제 1 전극, 902: EL층, 903: 제 2 전극, 911: 정공 주입층, 912: 정공 수송층, 913: 발광층, 914: 전자 수송층, 915: 전자 주입층, 2000: 터치 패널, 2001: 터치 패널, 2501: 표시 장치, 2502R: 화소, 2502t: 트랜지스터, 2503c: 용량 소자, 2503g: 주사선 구동 회로, 2503t: 트랜지스터, 2509: FPC, 2510: 기관, 2510a: 절연층, 2510b: 플렉시블 기관, 2510c: 접착층, 2511: 배선, 2519: 단자, 2521: 절연층, 2528: 격벽, 2550R: 발광 소자, 2560: 밀봉층, 2567BM: 차광층, 2567p: 반사 방지층, 2567R: 착색층, 2570: 기관, 2570a: 절연층, 2570b: 플렉시블 기관, 2570c: 접착층, 2580R: 발광 모듈, 2590: 기관, 2591: 전극, 2592: 전극, 2593: 절연층, 2594: 배선, 2595: 터치 센서, 2597: 접착층, 2598: 배선, 2599: 접착층, 2601: 펄스 전압 출력 회로, 2602: 전류 검지 회로, 2603: 용량 소자, 2611: 트랜지스터, 2612: 트랜지스터, 2613: 트랜지스터, 2621: 전극, 2622: 전극, 8000: 표시 모듈, 8001: 상부 커버, 8002: 하부 커버, 8003: FPC, 8004: 터치 센서, 8005: FPC, 8006: 표시 장치, 8009: 프레임, 8010: 인쇄 기관, 8011: 배터리, 8501: 조명 장치, 8502: 조명 장치, 8503: 조명 장치, 8504: 조명 장치, 9000: 하우징, 9001: 표시부, 9003: 스피커, 9005: 조작 키, 9006: 접속 단자, 9007: 센서, 9008: 마이크로폰, 9050: 조작 버튼, 9051: 정보, 9052: 정보, 9053: 정보, 9054: 정보, 9055: 힌지, 9100: 휴대 정보 단말기, 9101: 휴대 정보 단말기, 9102: 휴대 정보 단말기, 9200: 휴대 정보 단말기, 9201: 휴대 정보 단말기.

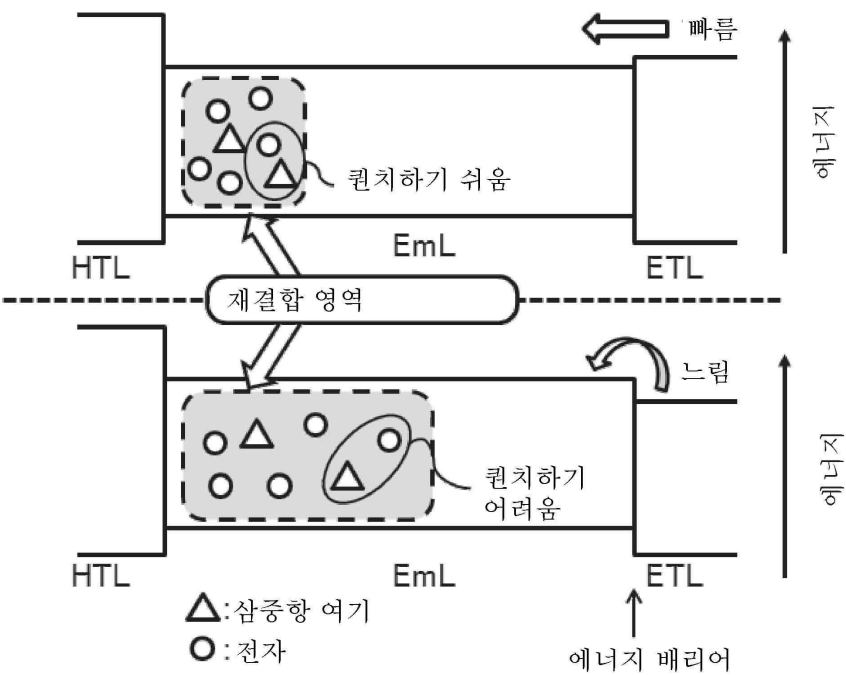
본 출원은 2015년 12월 1일에 일본 특허청에 출원된 일련 번호 2015-234485의 일본 특허 출원, 2016년 3월 15일에 일본 특허청에 출원된 일련 번호 2016-051071의 일본 특허 출원에 기초하고, 본 명세서에 그 전문이 참조로 통합된다.

도면

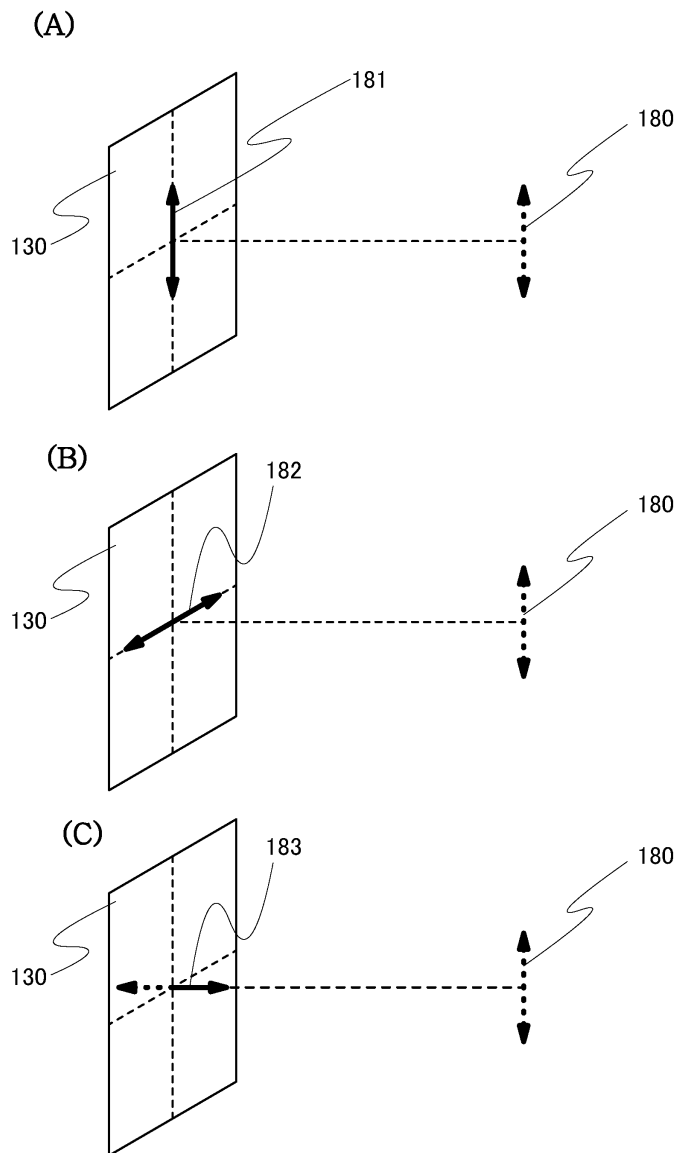
도면1



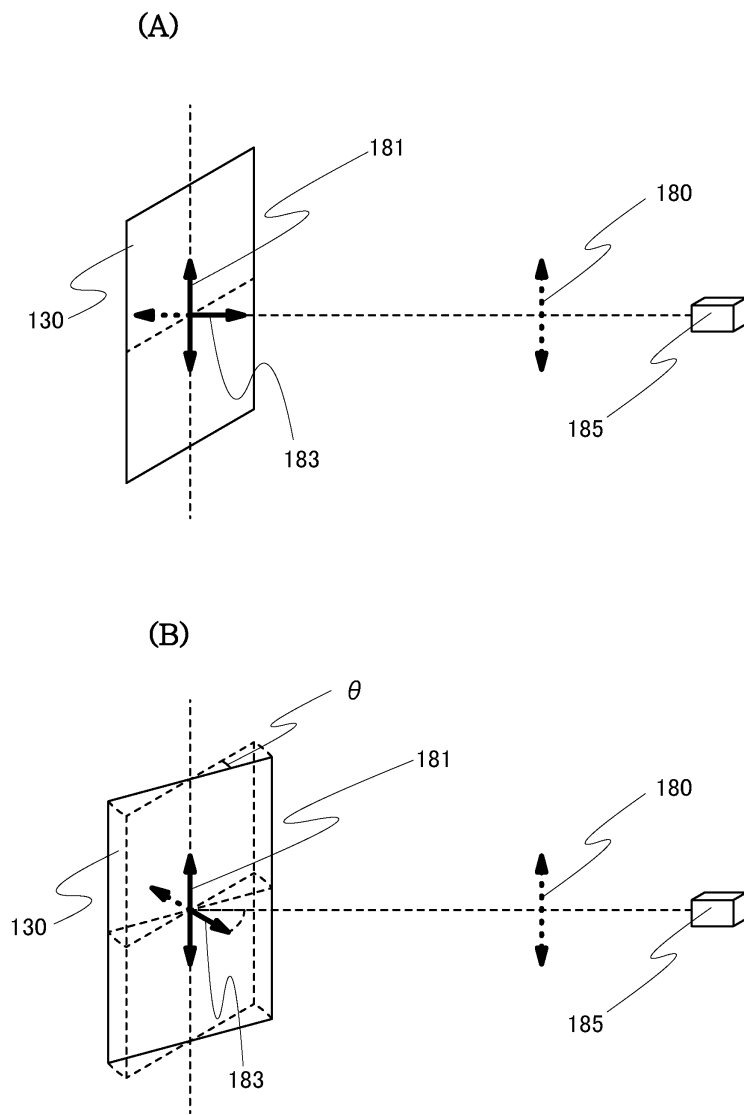
도면2



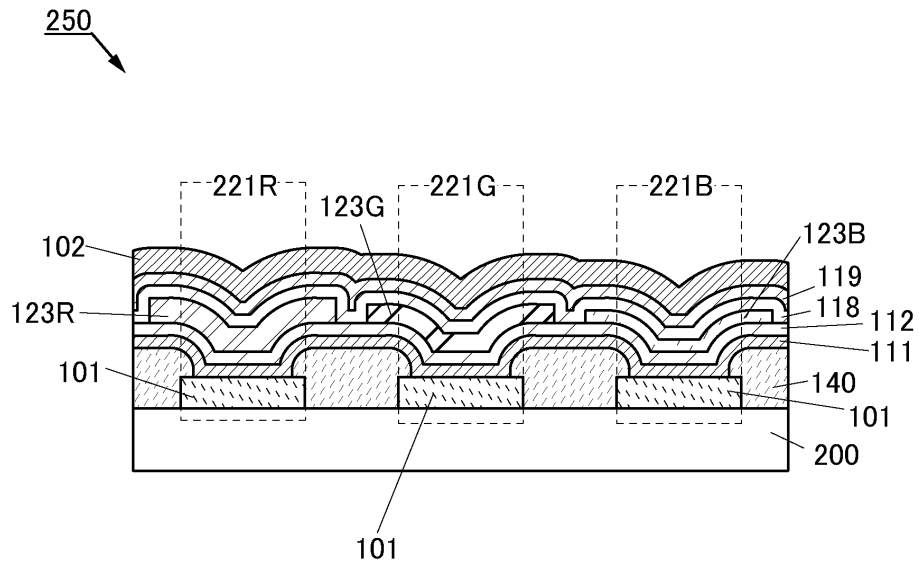
도면3



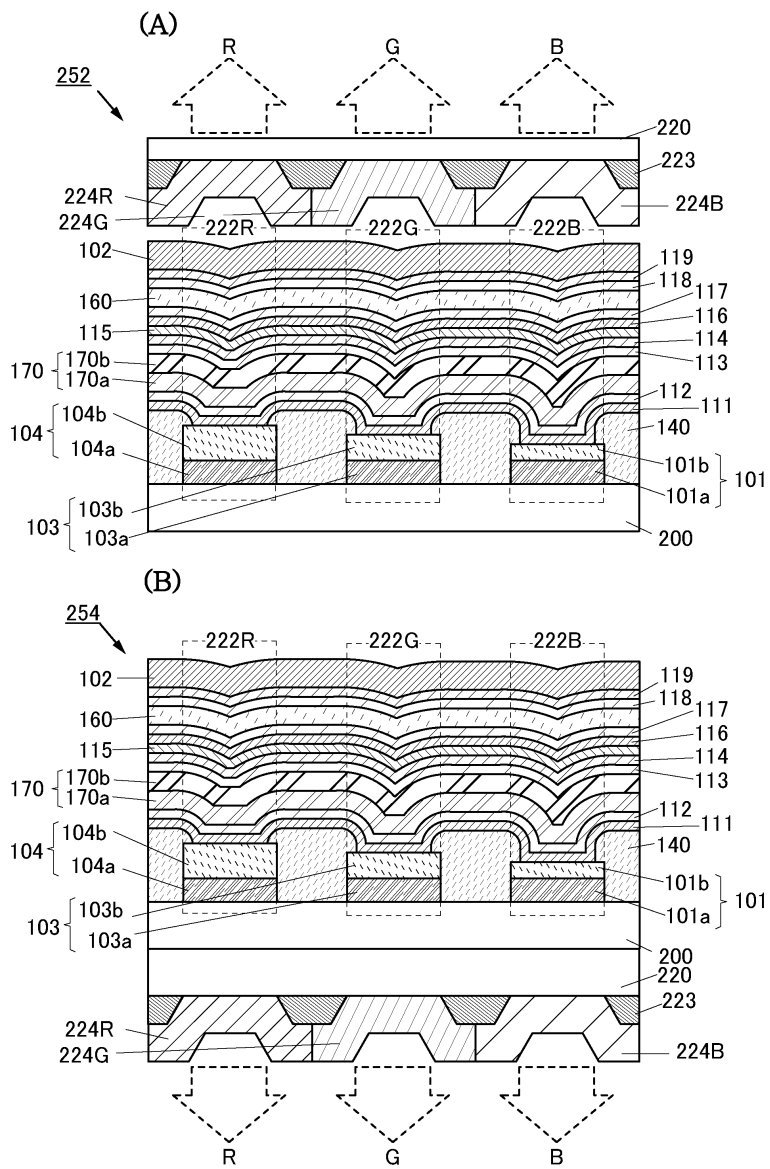
도면4



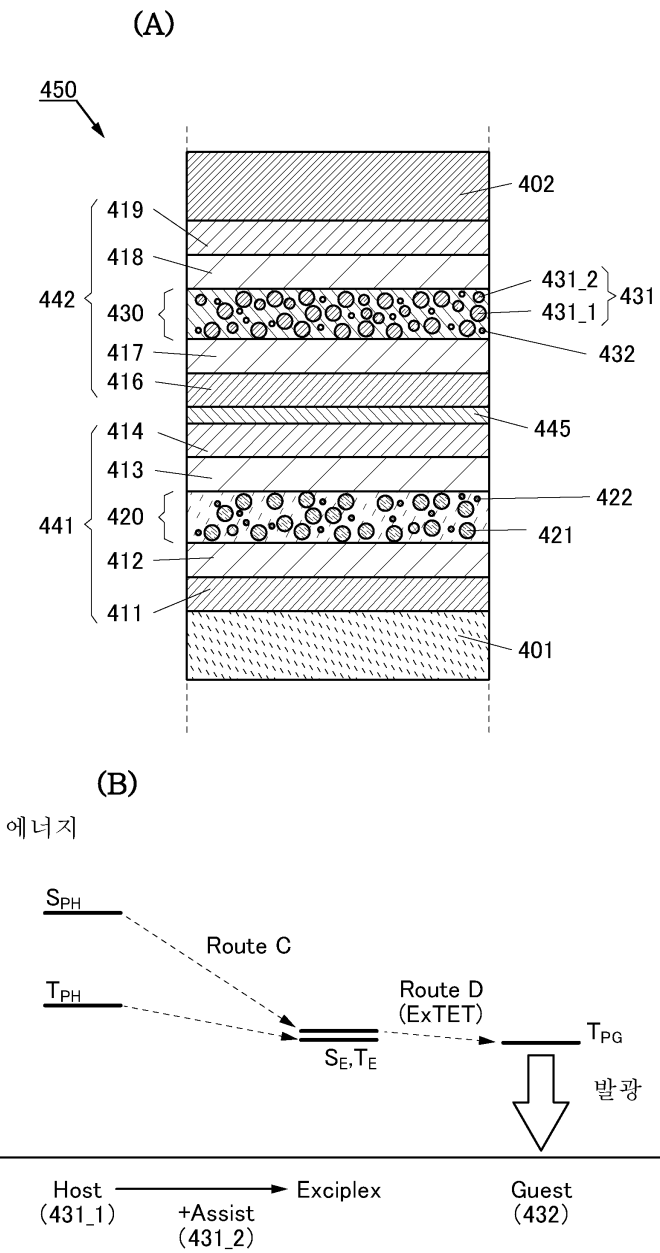
도면5



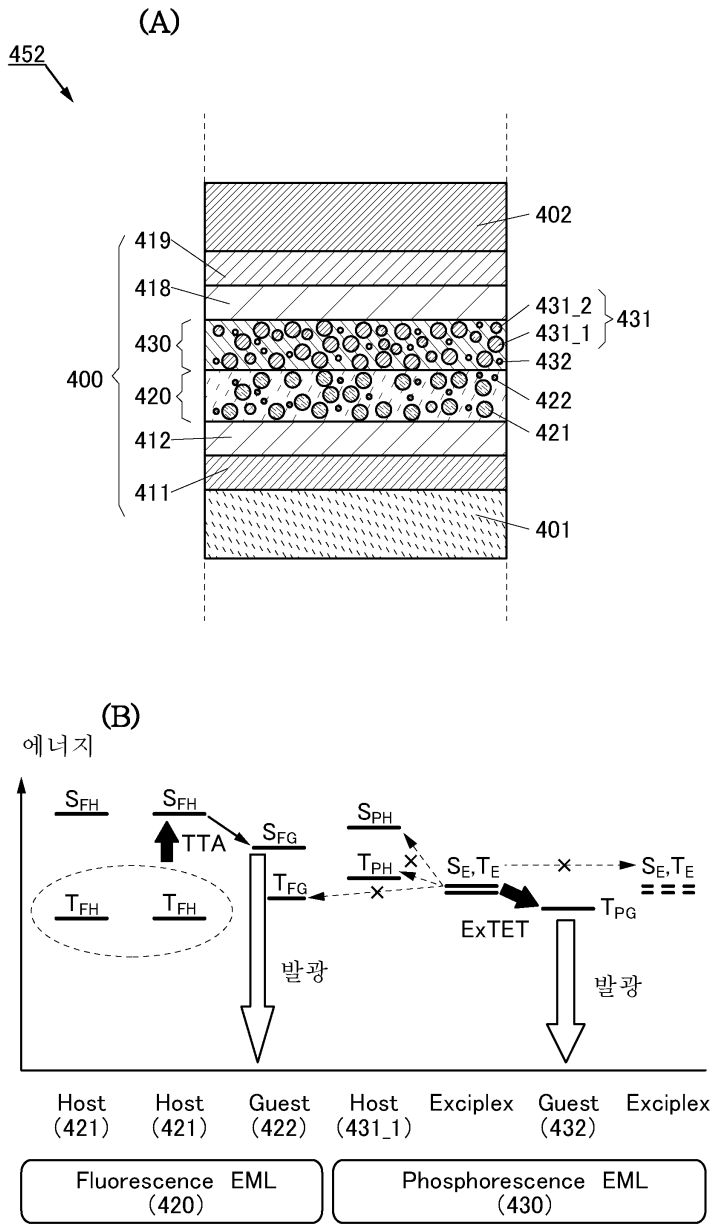
도면6



도면7

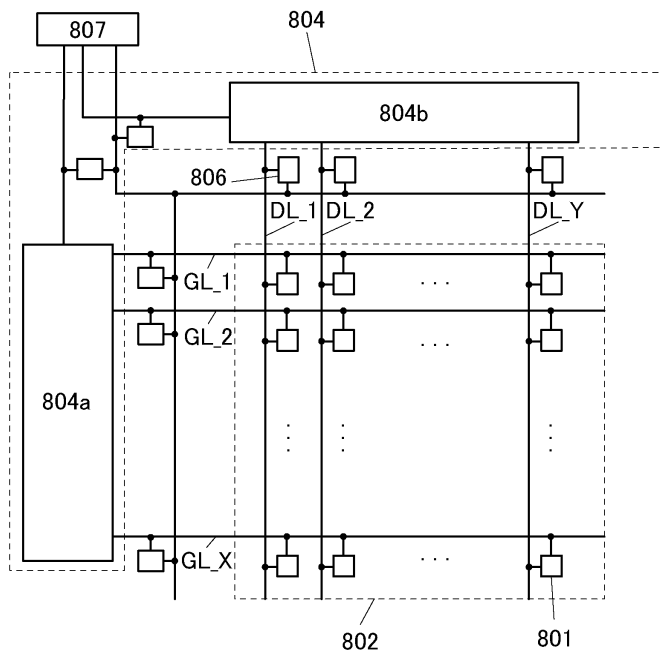


도면8

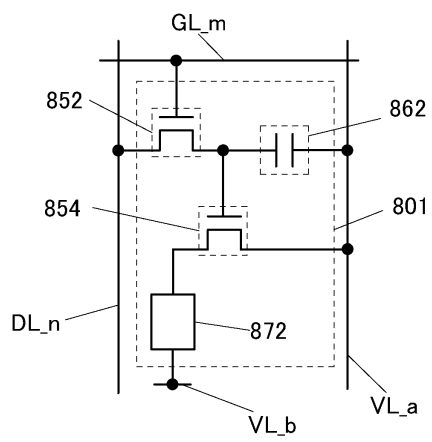


도면9

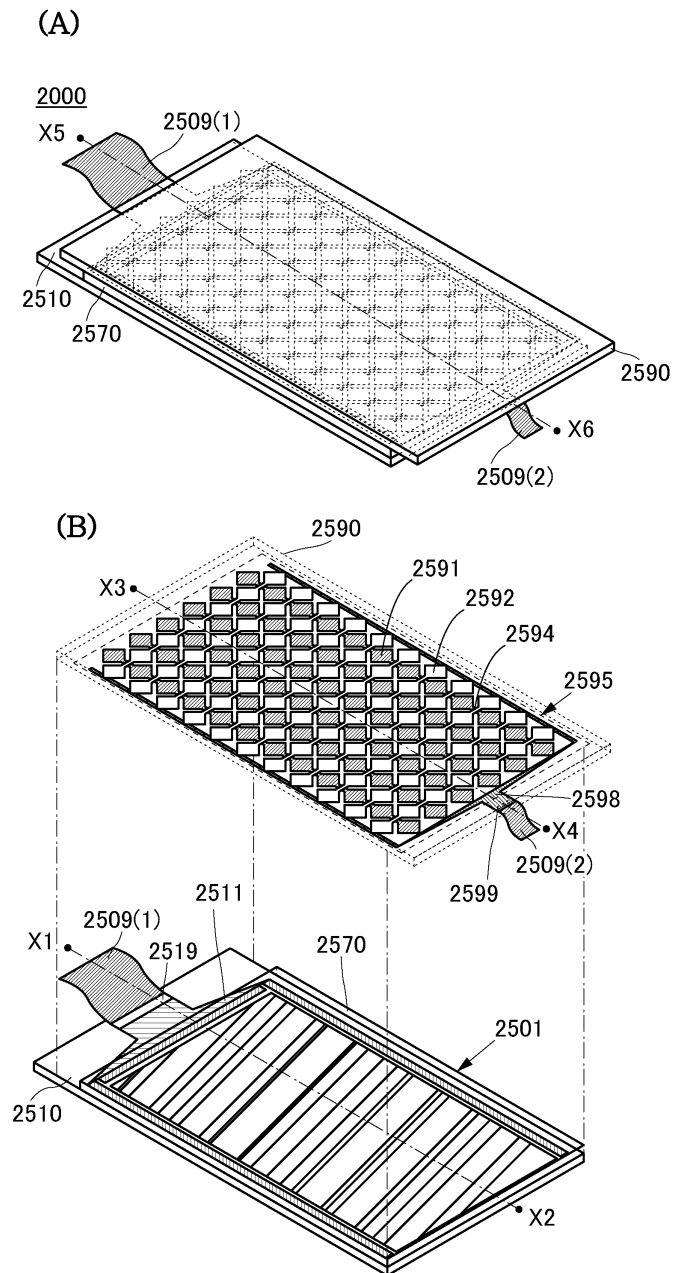
(A)



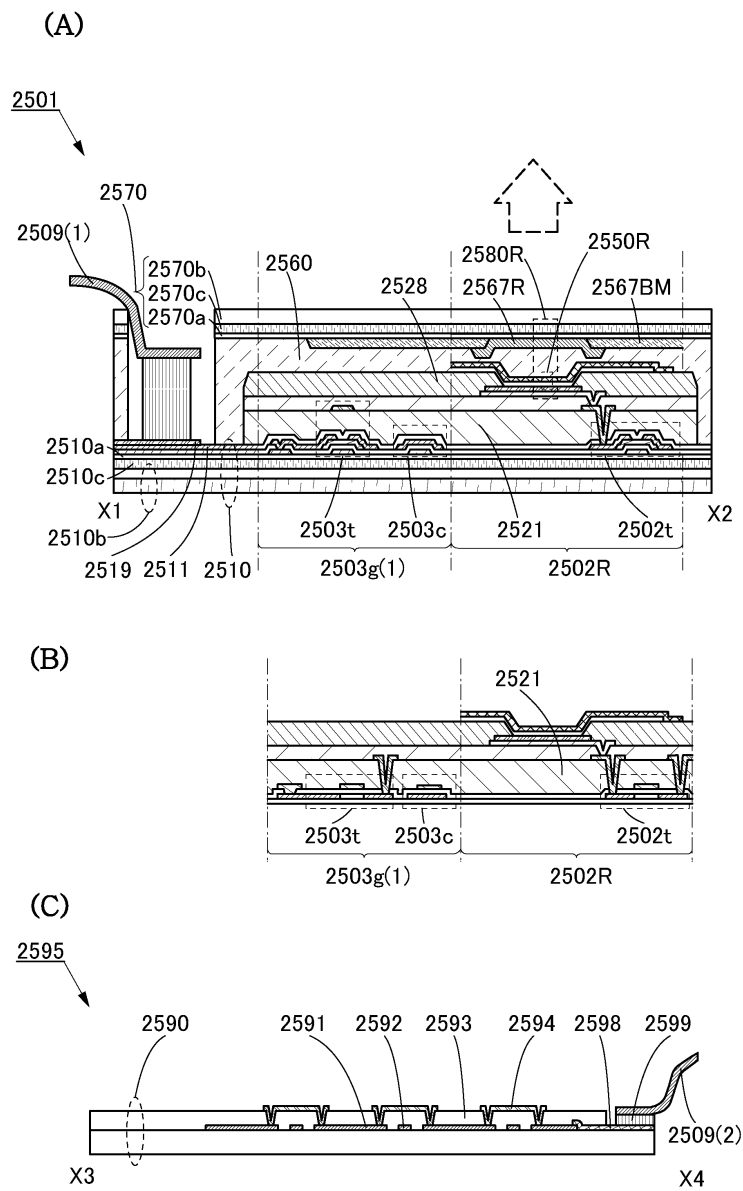
(B)



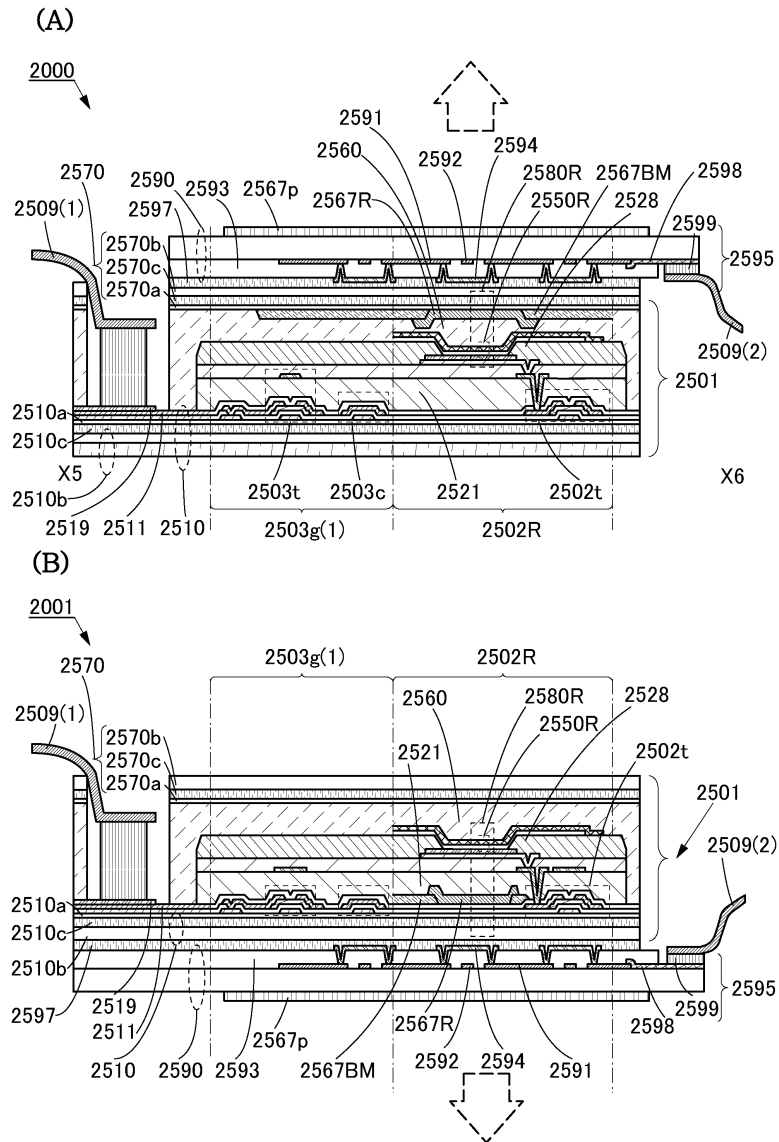
도면10



도면11

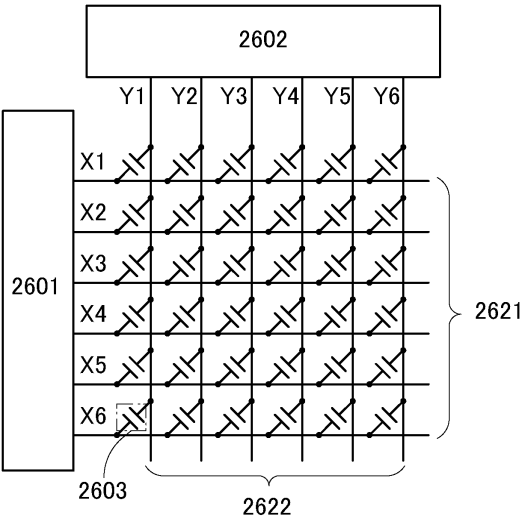


도면12

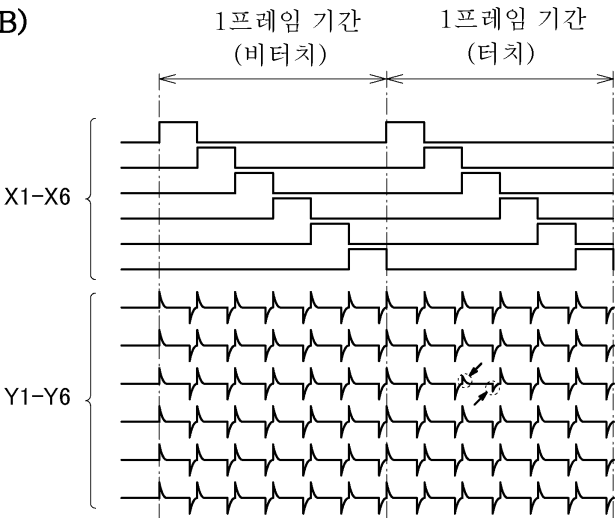


도면13

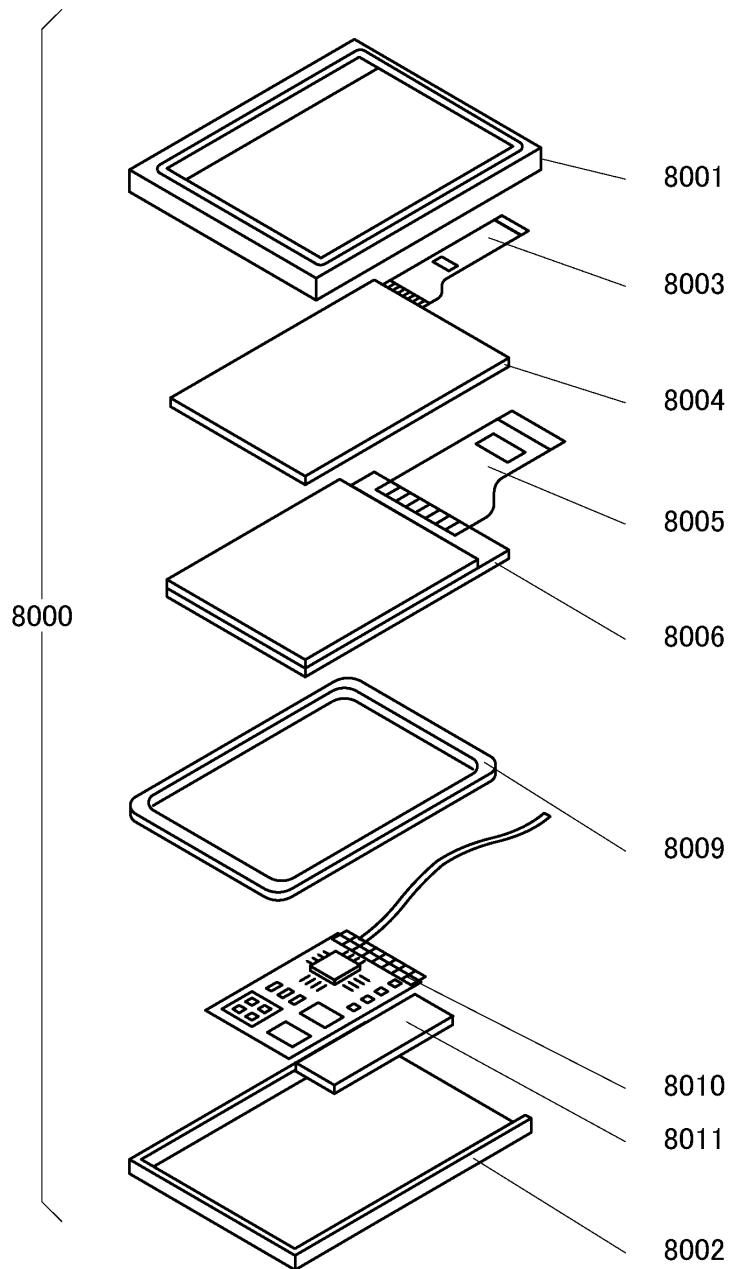
(A)



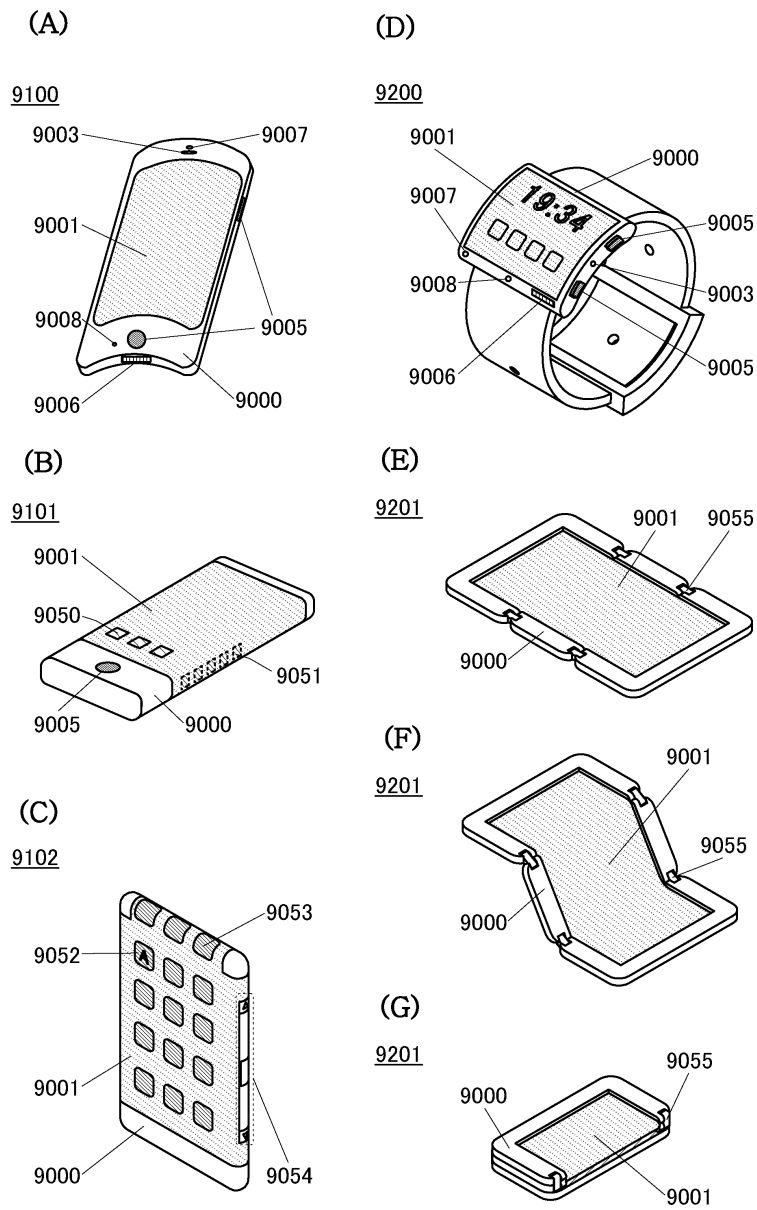
(B)



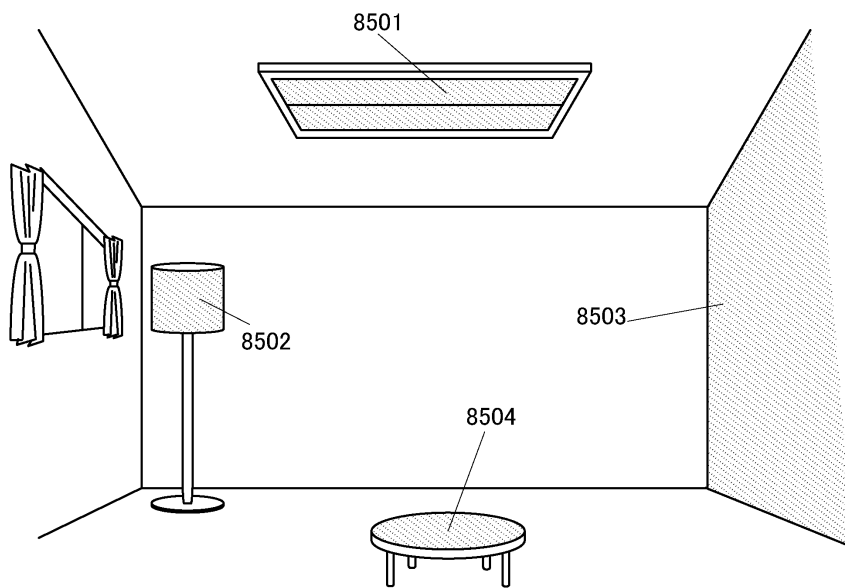
도면15



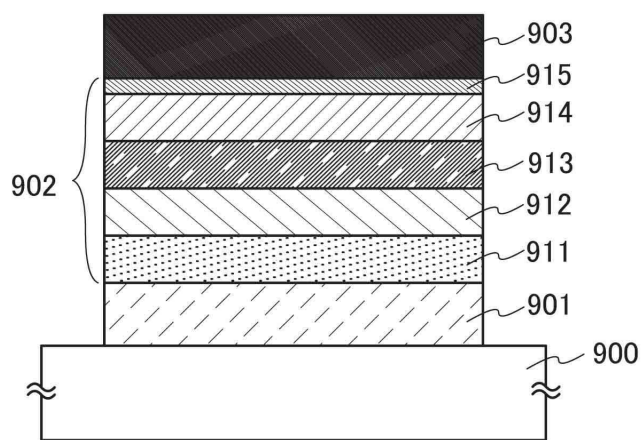
도면16



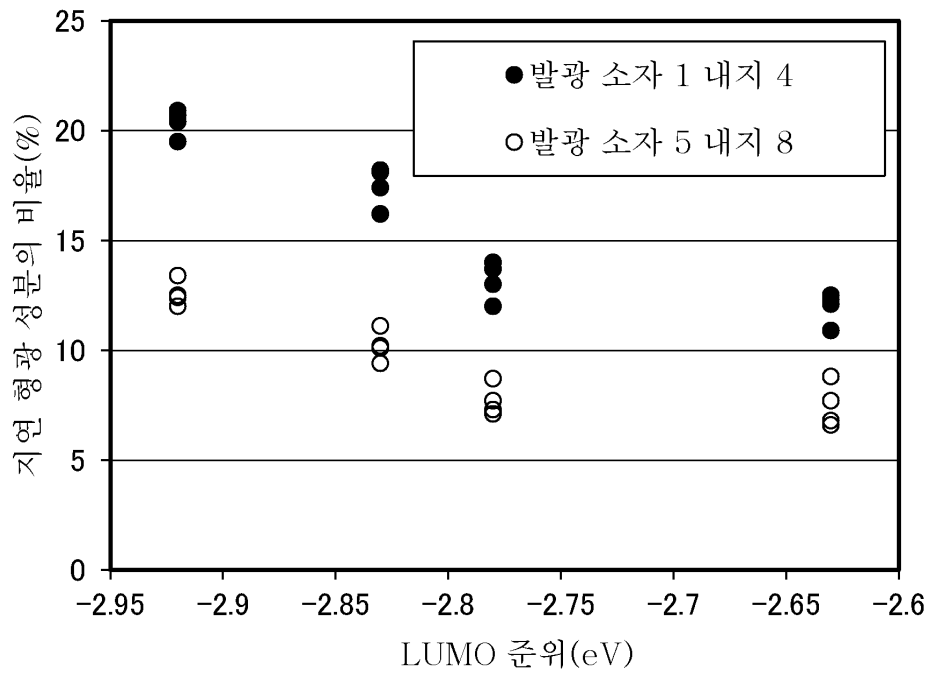
도면17



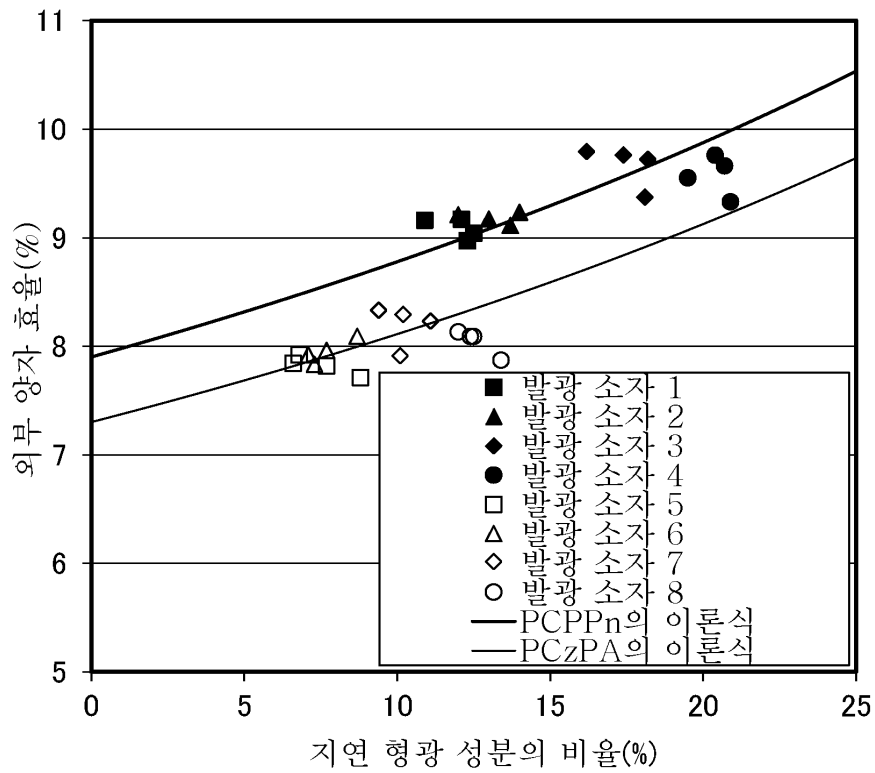
도면18



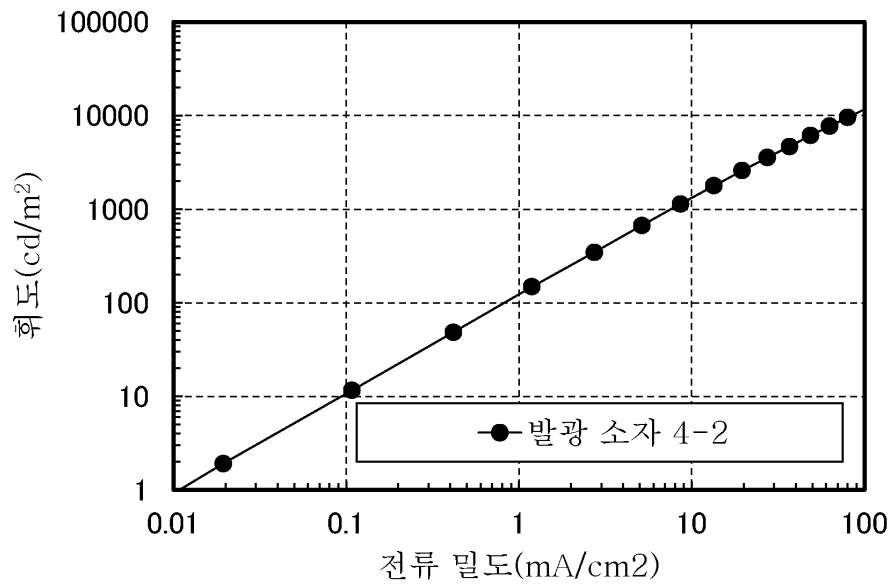
도면19



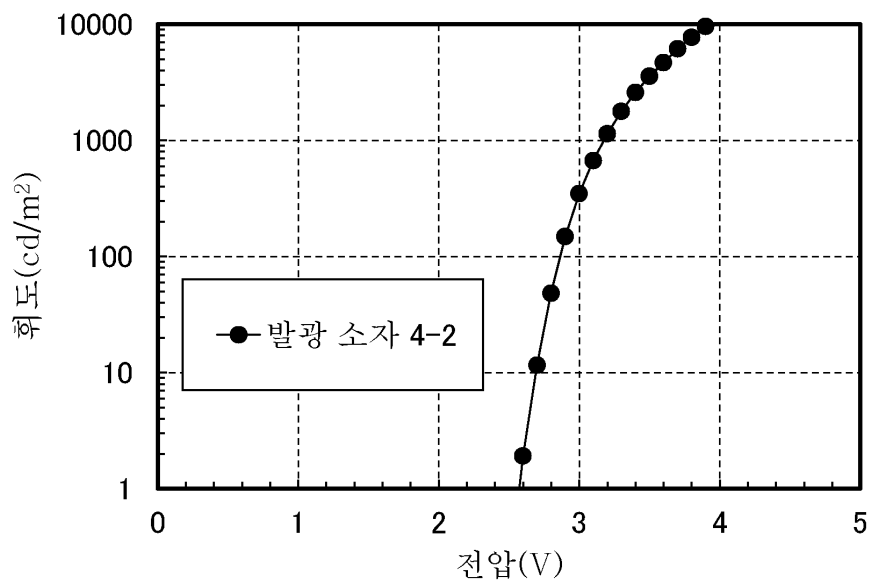
도면20



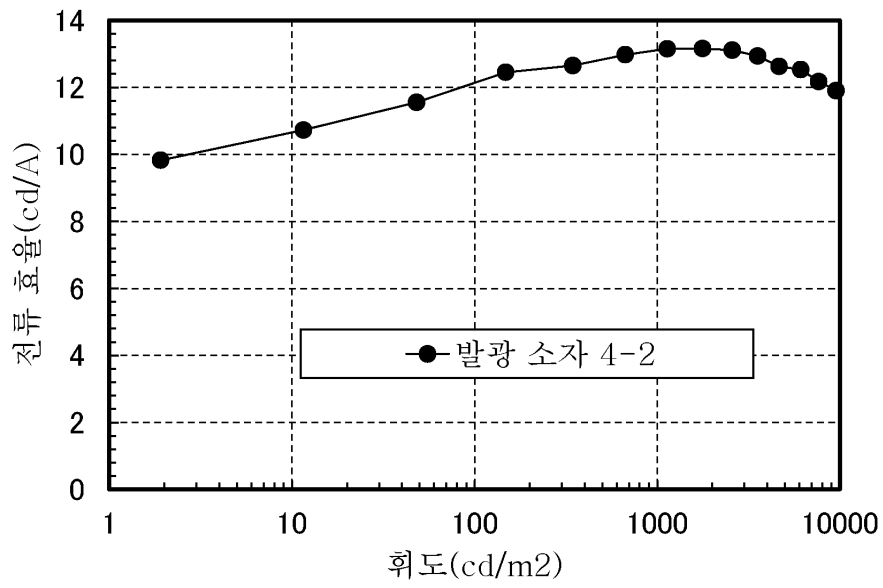
도면21



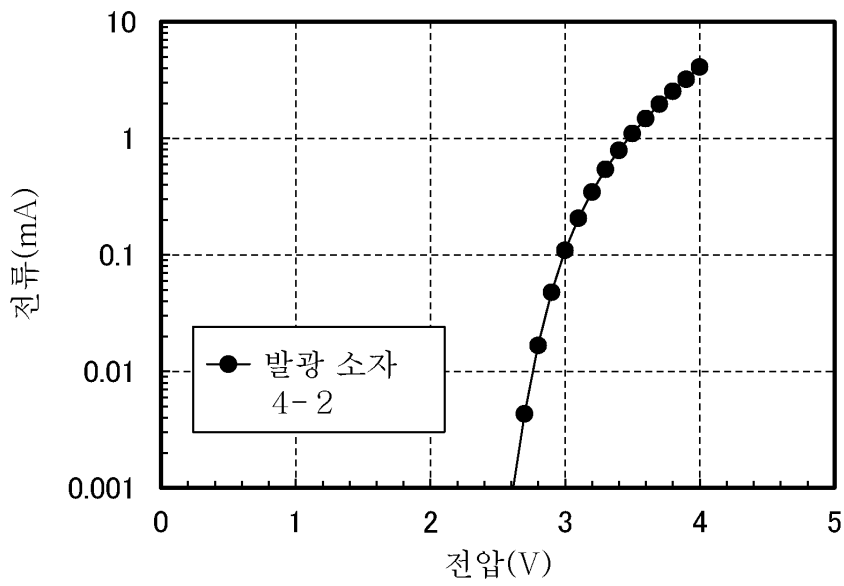
도면22



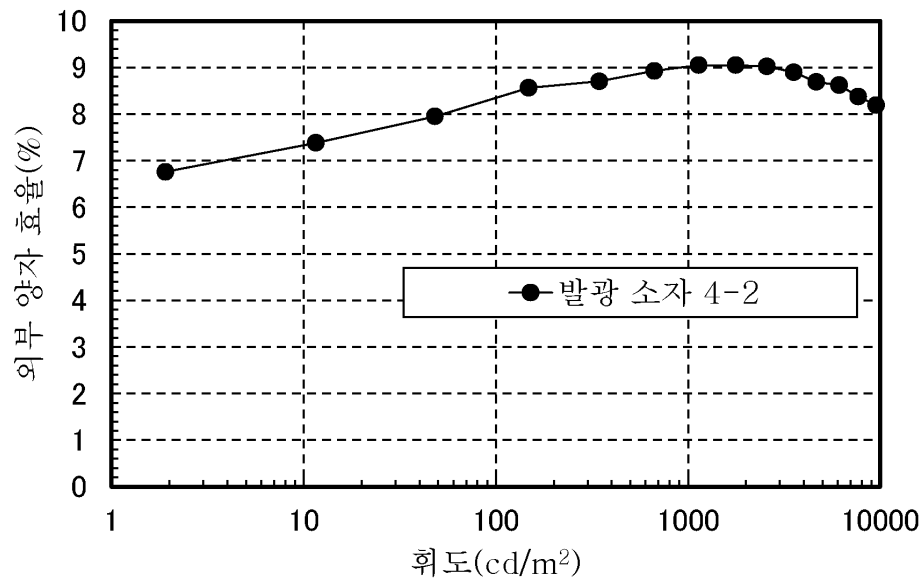
도면23



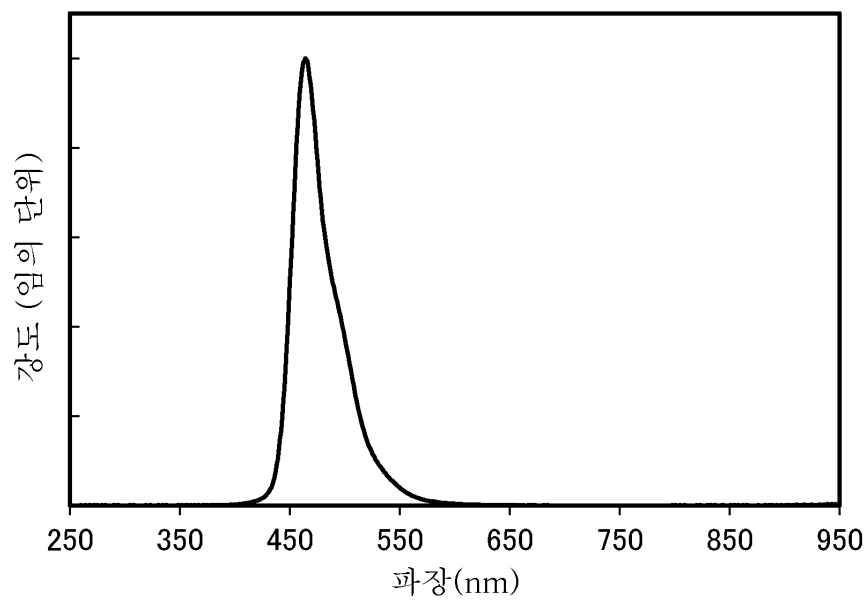
도면24



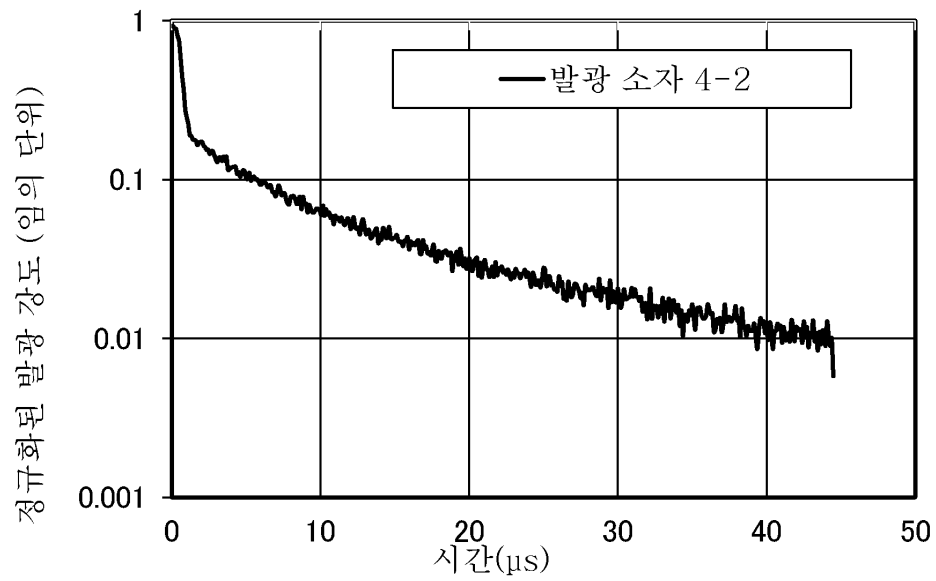
도면25



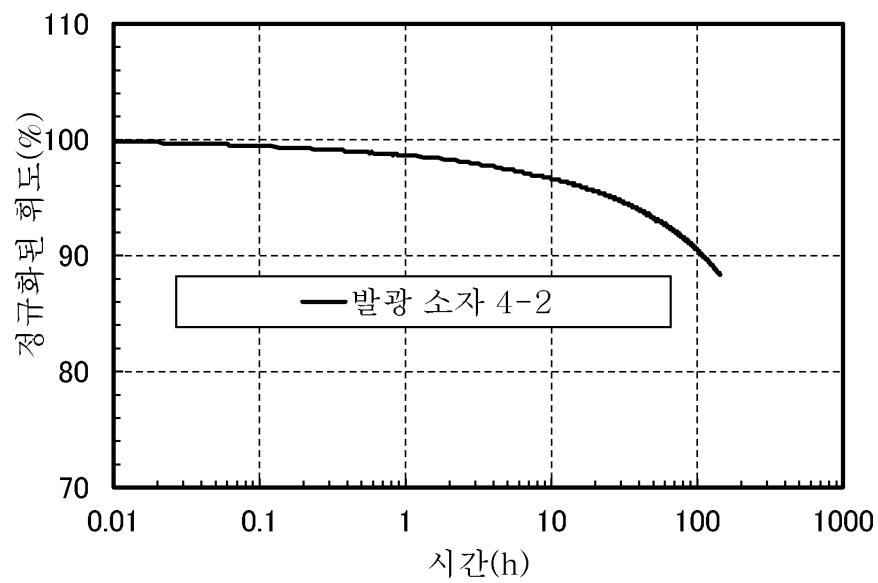
도면26



도면27



도면28



도면29

