



공개특허 10-2025-0035611

(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)(11) 공개번호 10-2025-0035611  
(43) 공개일자 2025년03월12일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
*H10K 50/858* (2023.01) *C30B 29/54* (2006.01)  
*H10K 50/11* (2023.01) *H10K 50/852* (2023.01)  
*H10K 71/00* (2023.01)
- (52) CPC특허분류  
*H10K 50/858* (2023.02)  
*C30B 29/54* (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2025-7006814(분할)
- (22) 출원일자(국제) 2016년06월21일  
심사청구일자 2025년02월28일
- (62) 원출원 특허 10-2018-7002358  
원출원일자(국제) 2016년06월21일  
심사청구일자 2021년06월21일
- (85) 번역문제출일자 2025년02월28일
- (86) 국제출원번호 PCT/US2016/038479
- (87) 국제공개번호 WO 2016/209797  
국제공개일자 2016년12월29일
- (30) 우선권주장  
62/183,771 2015년06월24일 미국(US)

- (71) 출원인  
레드 뱅크 테크놀로지스 엘엘씨  
미국 뉴저지 07701 레드 뱅크 스테이츠어 플레이스 90
- (72) 발명자  
매그노, 존, 엔.  
미국, 뉴욕 11780, 세인트 제임스, 모리치스 베이로드 535  
코치, 제네, 씨.  
미국, 뉴저지 08755, 톰스 리버, 도버 체이스 대로 1010
- (74) 대리인  
장훈

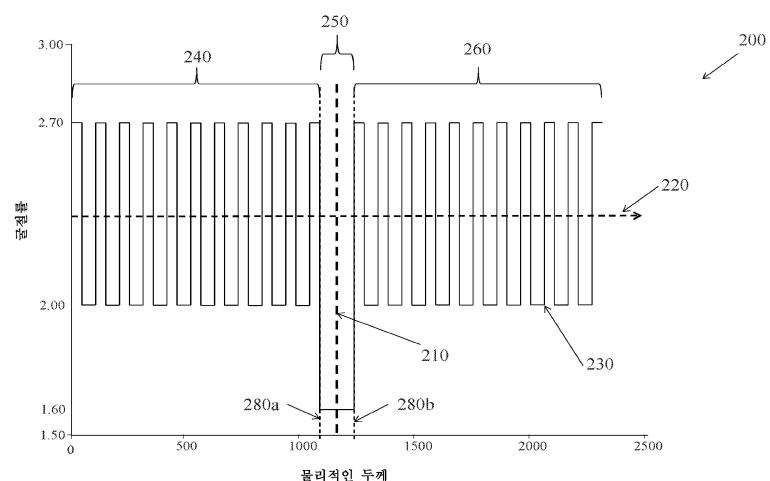
전체 청구항 수 : 총 10 항

(54) 발명의 명칭 국한된 이미터를 갖는 밴드-에지 방출 강화 유기 발광 다이오드

### (57) 요 약

유기 발광 다이오드를 갖는 발광 광결정 및 이를 제조하는 방법들이 개시된다. 밴드-캡 또는 스텁-밴드를 갖는 광자 구조 내에 배치된 유기 발광 다이오드는 광자 구조가 밴드-캡의 에지들에서 발생하는 파장들에서 광을 방출하도록 허용한다. 이 기능을 제공하는 광결정 구조들은 분산형 브래그 반사기들(Bragg reflectors), 정렬된 네마틱 액정들, 및 홀로그램으로 기록된 격자들과 같이 주기적으로 변하는 굴절률을 갖는 재료들을 포함할 수 있다.

### 대 표 도



(52) CPC특허분류

**H10K 50/11** (2023.02)

**H10K 50/852** (2023.02)

**H10K 71/00** (2023.02)

---

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

단일 발광 광결정(single light emitting photonic crystal)을 포함하는 발광 장치로서, 상기 단일 발광 광결정은 상기 광결정 내에 배치된 유기 전계발광 이미터 재료를 갖고, 상기 광결정은 고 굴절률 재료들 및 저 굴절률 재료들의 교호층들(alternating layers)을 포함하는, 발광 장치.

#### 청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 전계발광 이미터 재료는 상기 고 굴절률 재료들의 층들 중 하나 내에 배치되는, 발광 장치.

#### 청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 전계발광 이미터 재료는 상기 저 굴절률 재료들의 층들 중 하나 내에 배치되는, 발광 장치.

#### 청구항 4

제 1 항에 있어서,

밴드-캡을 갖고, 상기 유기 전계발광 이미터 재료는 상기 광결정의 상기 밴드-캡과 적어도 부분적으로 중첩하는 자유 공간 방출 스펙트럼(free space emission spectrum)을 갖는, 발광 장치.

#### 청구항 5

제 4 항에 있어서,

상기 밴드-캡은 적어도 하나의 에지를 규정하고, 및 상기 광결정은 상기 밴드-캡의 에지에 대응하는 파장에서 광을 방출하는, 발광 장치.

#### 청구항 6

제 4 항에 있어서,

상기 밴드-캡은 중심 파장을 규정하고, 상기 전계발광 이미터 재료는 재료의 단일층 내에 배치되고 상기 층은 상기 밴드-캡의 중심 파장의 1/4의 광학 두께를 갖는, 발광 장치.

#### 청구항 7

제 4 항에 있어서,

상기 밴드-캡은 중심 파장을 규정하고, 상기 전계발광 이미터 재료는 재료의 단일층 내에 배치되고 상기 층은 상기 밴드-캡의 중심 파장의 3/4의 광학 두께를 갖는, 발광 장치.

#### 청구항 8

제 4 항에 있어서,

상기 고 굴절률 재료들 및 저 굴절률 재료들의 교호층들은 유기 전계발광 재료를 포함하지 않는 재료의 적어도 하나의 층을 포함하고, 상기 층은 상기 광결정의 상기 밴드-캡의 중심 파장의 1/4의 광학 두께를 갖는, 발광 장치.

#### 청구항 9

제 4 항에 있어서,

상기 고 굴절률 재료들 및 저 굴절률 재료들의 교호층들은 적어도 한쌍의 인접층들을 포함하고, 상기 한쌍의 인접층들의 결합된 광학 두께는 상기 광결정의 밴드-캡의 중심 파장의 1/2과 동일한, 발광 장치.

## 청구항 10

제 1 항에 있어서,

상기 유기 전계발광 재료의 분자들은 방출된 광의 투과 축에 평행한 유도 방출을 최대화하기 위해 공간적으로 배향되는, 발광 장치.

## 발명의 설명

### 기술분야

[0001] 관련 출원에 대한 상호-참조

[0002] 본 출원은 2015년 6월 24일에 출원된 미국 가출원 제 62/183,771 호의 우선 출원일의 35 U.S.C. § 119(e)하의 이권을 주장하며, 그 개시내용은 본 명세서에 참고로 포함된다.

[0003] 기술분야

[0004] 본 발명은 개선된 발광 장치 및 이를 제조하는 방법들에 관한 것이다.

## 배경기술

[0005] 유기 발광 다이오드들("OLEDs")은 두 전극들 사이에 유기 재료층을 배치하여 만들어진 광전자 장치들로서, 전압 전위가 전극들에 인가되고 전류가 유기 재료를 통해 주입될 때, 가시 광선이 유기 재료 또는 방출 재료로부터 방출된다. 높은 전력 효율, 저렴한 제조 비용, 경량 및 내구성으로 인해, OLED들은 휴대용 및 비-휴대용 장치들은 물론 소비자 조명용으로 시각 디스플레이들을 만드는 데 종종 사용된다.

[0006] OLED들은 조명 및 디스플레이 장치 시장에서 액정 디스플레이("LCD") 장치들을 빠르게 대체하고 있다. 이것은 뷔 경험, 크기, 중량 및 단순성에서의 장점들에 의해 이루어진다. 미국 특허들 제 7,335,921 호, 제 9,129,552 호 및 미국 특허 출원 공보 제 2004/0069995 호에서, 발광 다이오드("LED") 장치들 및 특히 OLED들은 하나 이상의 피드백 수단들이 유도 방출 현상을 이용하여 강화된 레벨들의 광 방출 및 에너지 효율을 제공하도록 발광 다이오드 구조들과 통합되는 것이 기술되어 있다. 이들 장치들은 총체적으로 피드백 강화 유기 발광 다이오드들(FE-OLED들)이라고 칭해진다. 미국 특허 제 9,129,552호 출원은 디스플레이 장치들에서 FE-OLED들을 이용하는 방법들을 기술한다. 일반적으로 FE-OLED 아키텍처들은 비레이저 및 레이저 응용 분야들에 유용하다. 피드백 광에 의해 유도된 방출을 통해 광이 FE-OLED에 의해 방출되기 때문에, 그러한 방출된 광은 주로 시준되어 장치의 표면에 수직으로 또는 거의 수직으로 방출된다.

[0007] 비-레이징 FE-OLED들의 큰 장점은 장치들의 에너지 효율이 종래의 OLED들에 비해 크게 강화된다는 점이다. 종래의 OLED들에서 생성된 광의 대부분은 내부 반사들에 의해 장치 내에 갇혀 장치 표면의 수직으로부터 충분히 면각에서 방출되기 때문에 이들 장치들로부터 결코 나타나지 않는다. 근본적으로 FE-OLED들에 의해 방출되는 모든 광이 가까운 법선각에서 방출되기 때문에, 장치들 내에서 생성되는 거의 모든 광이 빠져나간다. 이로 인해 에너지 효율이 3 배 증가할 수 있다.

[0008] FE-OLED들의 두드러진 특징은 2개의 피드백 수단들, 예를 들어 2개의 광결정들 사이에 형성된 공진 공동이다. 이 공진 공동 내에는, 대향하는 피드백 수단에 의해 공진 공동 내에 국한된 광자들에 의해 유도된 유도 방출의 결과로서 광자들을 방출하는 이미터 재료층이 배치된다. 이들 실시예들 중 일부에서, 완전한 OLED가 공진 공동 내에 형성된다. 이미터 재료 또는 이미터에 의해 방출된 광을 이미터 재료를 향해 그리고 이를 통해 다시 향하게 하기 위해 피드백 수단을 조정함으로써, 방출된 광은 공진 공동 내에서 국한된다 - 즉, 이것은 2개의 피드백 수단 사이에서 앞뒤로 순환되어, 이미터 재료를 반복적으로 통과시켜 이미터 재료에서 추가의 유도 방출을 유도 할 가능성을 증가시킨다. 이러한 방식으로 이미터 재료에서의 광의 피크 광 전력을 국한하기 위해 피드백 수단 사이에서 이미터의 위치를 조정함으로써, 광 방출 효율이 강화되고, 결과적으로 생긴 장치들이 공지된 OLED들보다 개선된다. 결과적으로, 공진 공동 내의 이미터 재료로부터 출력된 광 전력의 양은 장치에 인가된 전력의 관점에서 매우 효율적이다. 또한, 유도 방출은 공진 공동 계면에 수직으로 발생하고 따라서 FE-OLED 방출면에 수직이기 때문에, 방출 재료의 평면 내로의 방출 또는 계면 경계들에서의 전체 내부 굴절에 의해서는 광이 거의

손실되지 않는다. 피드백 수단을 제조하는 방법들은 미국 특허 출원 공보 제 2004/0069995 호("'995 출원")에 기술되어 있으며, 이는 본 명세서에 그 전체가 참고로 포함된다.

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

[0009] 공지된 FE-OLED 장치들의 단점은 장치 설계상의 물리적 제약들을 요하기 때문에 어떤 규모로든 제조하는 것이 어렵다는 점이다. FE-OLED들이 종래의 LED들 및 OLED들에 비해 상당한 개선들을 제공하지만, 광학 효율을 증가시키고 OLED들의 다기능 및 이점들을 제공하면서, 장치 설계 프로세스를 단순화하고 고수율 제조 공정들을 허용하는 반면 생성된 열을 감소시키고 전반적인 전력 소비를 줄여서, 광범위한 방출 주파수들에 걸친 조정이 가능하며 현재 사용 가능한 OLED 및 LED 광원들보다 오래 지속되는 발광 장치가 바람직하다.

### 과제의 해결 수단

[0010] 광결정은 밴드-캡 또는 스톱-밴드를 발생시키는 굴절률의 값에 주기적인 변화가 있는 구조를 갖는 재료이다. 이것은, 광자 밴드-캡을 나타내는 광결정 또는 밴드-캡을 갖는 광결정으로 칭해진다. 광자 밴드-캡 또는 스톱-밴드는 전자기 방사(EMR)가 구조를 통해 굴절률 변화 방향으로 전파할 수 없는, 즉 광이 그 방향으로 전파할 수 없는 매체의 투과 스펙트럼에서의 광장들의 범위이다. 광결정들은, 다른 곳들의 '941 출원에 개시된 바와 같이, 굴절률 변화 및 이에 따른 스톱-밴드가 단일 방향 또는 차원, 즉 분산형 브래그 반사기("DBR")나 2 또는 3 차원들이 되도록 설계될 수 있다. 광의 전파 모드들의 관점에서 스톱-밴드를 기술할 때, 광결정은 광장들의 밴드에 걸친 전자기과 모드들이 허용되지 않는 구조이다. 광결정을 통해 전파되는 것이 금지된 광장들의 범위는 광결정 구조의 굴절률 변화의 주기에 의해 결정된다. 이 밴드-캡 또는 스톱-밴드는 고체 물리학의 밴드-캡들을 생성하기 위해 반도체 내의 전자과 기능에 작용하는 결정질 원자 격자에 대한 전자기 아날로그이다. 즉, 광결정 내에서 EMR 과동 방정식에 대한 특정 해들은 특정 광장 범위 내에서 금지된다. 과동 방정식에 대한 해들이 존재하지 않는 이 광장 범위는 밴드-캡 또는 스톱-밴드이다. 특정 구조에 대한 스톱-밴드는 투과 축의 방향으로 광결정 자체의 주기를 조정함으로써 광장 범위를 갖는 광이 투과 축을 따라 전파하는 것을 금지하도록 조정된다. DBR의 경우, 이것은 구성층들의 광학 두께를 조정하여 달성될 수 있다.

[0011] 광결정들은 여러 가지 방법들로 생성될 수 있는데, 예를 들어 '995 출원 및 미국 특허 제 7,335,921 호("'921 특허")는 광결정들이 취할 수 있는 다수의 대안적인 형태들을 개시한다. '921은 그 전체가 본 명세서에 참고로 포함된다. 스톱-밴드들을 갖는 광결정들은 DBR들을 이용하여 생성될 수 있으며, 또한 홀로그램으로 기록된 격자들, 오펠들, 역 오펠들, 정렬된 네마틱 액정들, 키랄 액정들 및 잠재적으로 종합된 리오티로픽 액정 구조들을 이용하여 생성될 수 있다.

### 도면의 간단한 설명

[0012] 도 1은 유기 발광 다이오드의 기본 구조를 도시한 도면.

도 2는 단순 모델 결합 모드 장치의 굴절률 프로파일을 도시한 도면.

도 3은 결합 모드 장치 공진 공동을 오버레이하는 결합 모드 장치를 통해 분배된 광의 광학 세기를 도시한 도면.

도 4는 광 굴절률 프로파일 및 대응하는 투과율 스펙트럼을 갖는 매질에서의 상태 스펙트럼의 밀도를 도시한 도면.

도 5는 모델 밴드-에지 방출 광자 구조 장치의 굴절률 프로파일을 도시한 도면.

도 6은 밴드-에지 방출 광자 구조 장치를 통해 분배된 광의 광학 세기를 도시한 도면.

도 7은 기술된 다양한 실시예들의 연관된 굴절률 프로파일과 함께 본 발명의 다양한 실시예들을 도시한 도면.

도 8은 본 발명의 다양한 실시예들을 도시한 도면.

도 9는 본 발명의 다양한 실시예들을 도시한 도면.

도 10은 본 발명의 다양한 실시예들을 도시한 도면.

도 11은 밴드-에지 방출 광자 구조 장치의 설계 고려 사항을 도시한 도면.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0013]

종래의 OLED들, 예를 들어 도 1에 도시된 OLED들(100)은 일반적으로 각각이 장치의 기능을 개선시키는 역할을 하는 다수의 기능층들로 구성된다. 예를 들어, OLED(100)는 기판(110), 투명 애노드(120), 정공 주입층(130), 정공 수송층(140), 이미터층(150), 전자 수송층(160) 및 금속 캐소드(170)로 이루어진다. 장치(100)는 다음과 같이 기능한다: 애노드와 캐소드 사이에 전위차가 인가되면, 양으로 대전된 정공들이 애노드(120)로부터 정공 주입층(130)으로 주입된다. 부과된 전계의 영향으로 정공들은 정공 주입층으로부터 전송 수송층(140)을 통해 이미터층(150)으로 흐른다. 동시에 전자들은 캐소드(170)로부터 전자 수송층(160)으로 주입된다. 부과된 전계의 영향으로 전자들은 전자 수송층으로부터 이미터층(150)으로 흐른다. 이미터층에서 전자들 및 홀들은 단일 유기 분자들 상에서 함께 쌍을 이루며 분자들을 전자적으로 여기된 상태들로 촉진시킨다. 그 후에 이러한 여기 상태들(여기자들)이 붕괴되어 광자들을 방출하거나 즉 광을 생성한다. 특정 응용을 위해 OLED의 애노드과 캐소드 사이에 전위를 인가하는 방법들 및 장치가 공지되어 있음을 알 것이다.

[0014]

OLED들에서 정공 주입층들(130), 정공 수송층들(140), 이미터층들(150) 및 전자 수송층들(160)은 모두 유기 재료들로 구성된다. 통상적인 장치는 또한 전자 주입층들, 홀 차단층들 및 전자 차단층들과 같은 추가층들을 포함할 수 있다. 일반적으로, OLED의 다양한 층들을 형성하기 위한 유기 재료들은 매우 낮은 전하 반송파(전자 또는 정공) 이동도들을 갖는다. 결과적으로, 이를 층들이 모두 두꺼우면, 매우 큰 임피던스 손실들이 OLED들에서 발생하여 장치들을 매우 높은 전압들에서 동작하게 하고 열적 결함을 일으켜 장치 수명이 단축되게 한다.

[0015]

결합-모드 장치들로도 알려진 FE-OLED는 2개의 피드백 수단들 사이의 공동 또는 결합 내에 높은 광자 밀도를 생성하여 유도 방출 현상을 이용하는데, 여기서 방출 재료, 예를 들어 OLED의 이미터를 공동에 포함한다. 피드백 수단은 2개의 광결정들일 수 있으며, 스톱-밴드들은 방출 재료에 의해 방출된 광을 다시 방출 재료쪽으로 반사시키도록 조정된다. 대안적으로, 피드백 수단은 금속 반사기 또는 미러에 대향하는 단일 광결정일 수 있거나, 피드백 수단은 2개의 홀로그래픽으로 기록된 재료 격자들일 수 있다. 상술한 바와 같이, FE-OLED들은 디스플레이들에 사용되는 종래의 발광 장치들에 비해 많은 개선들을 제공한다; 그러나 FE-OLED들은 대량 생산이 어렵기 때문에 어려움을 겪고 있다.

[0016]

이러한 어려움들을 예시하기 위해 DBR 표면들이 서로 평행하도록 공동으로 분리된 2개의 DBR들로 이루어진 FE-OLED의 단순화된 모델(도시되지 않음)을 고려한다. 또한, 투과 축(220)에 평행한 그러한 모델 FE-OLED 장치를 통해 이동하는 광에 의해 경험되는 굴절률 프로파일(200)을 도시한 도 2를 고려하고; 장치 내의 결과로서 생긴 광 세기 분포(270)를 도시한 도 3을 고려한다. 이러한 장치의 굴절률 프로파일(250)을 갖는 공동 내에서, OLED(도시되지 않음) 또는 그 일부가 형성될 수 있다. 이상적으로는, OLED의 이미터 재료가 공동 내의 평면(210)을 따라 정확하게 정렬되고 평면(210)이 최대 광 세기를 이상적으로 경험하여 이미터 재료 내에서 추가의 유도 방출을 최대화하도록 OLED가 형성된다. 이러한 장치에서, 장치를 통해 이동하는 광은 투과 축(220)을 따라 변화하는 굴절률을 경험할 것이다. 이러한 굴절률의 변화하는 굴절률은 굴절률 프로파일(240)에 대응하는 광결정의 제 1 부분, 또는 굴절률 프로파일(260)에 대응하는 광결정의 제 2 부분을 주기적으로 통과할 것이지만, 이 주기성은 공동에 의해 차단되어 위상 슬립(phase slip)을 유발할 것이다. 모델 장치는 굴절률 프로파일(230)을 발생시키는 43개의 층들의 스택(도시되지 않음)으로 구성된다. 프로파일(240)의 제 1 셋션은 2.70의 굴절률을 갖는 투명 재료의 43.98nm 두께의 11개의 층들의 스택에 대응하고, 이들 층들 사이에는 2.00의 굴절률을 갖는 각각 59.38nm 두께의 투명 재료의 10개의 층들이 삽입된다. 층들은 스택을 통해 고 굴절률과 저 굴절률이 교호하며, 각각 층들은 광학 두께(굴절률에 물리적 두께를 곱함)가 118.8nm인 물리적 두께를 가지거나, 또는 파장이 475nm인 광에 대한 1/4 파장 두께를 가진다. 이들 21개의 층들 중 마지막의 상부에는 1.60의 굴절률을 갖는 재료의 148.44nm 두께의 층(250)이 있다. 이 층의 상부에는 스택의 제 1층(21)과 동일한 21개의 더 많은 층으로 구성된 제 2 피드백 수단(260)이 있다. 이 모델에서, 발광은 중앙 148.44nm 두께 층의 중심의 평면(210)에서 발생하는 것으로 가정된다. 요약하면, FE-OLED들은 2개의 피드백 수단들, 예를 들면, 2개의 피드백 수단들 사이의 공동(250) 내에 위치된 OLED의 이미터층을 갖는 2개의 광결정들(예를 들어, 240 및 260)로 구현된다.

[0017]

도 3은 OLED가 475nm의 파장을 갖는 광을 스택으로 방출할 때, 도 2의 투과 축(220)을 따라 상술된 FE-OLED를 통한 모델링된 광 세기 분포(270)를 도시한다. 평면(210)에 대응하는 중심 148.44nm 두께 층의 중심의 광 세기의 강하게 피크된 최대 또는 안티-노드가 있고, 이 중심층의 경계들(280a 및 280b)에서 세기가 0인 노드들이 있음을 알 수 있다. 따라서 2개의 21개의 층 피드백 구조들은 148.44nm 두께의 중심 층에 의해 형성된 공동으로 광을 다시 반사시킨다.

- [0018] FE-OLED들의 동작 원리는, 이미터가 평면(210) 상에 정확하게 중심에 있는 한, 공동 내의 높은 광자 밀도가 공동 내의 이미터로부터 매우 효율적인 발광 유도를 유발한다는 것이다. 이러한 타입의 장치들이 가진 어려움들은 최대 광 세기가 공동 내의 매우 협소한 영역에서 발생하고, 광 세기가 평면(210)으로부터 멀어지면서 급속히 떨어지기 때문에 발생한다. 도 2 및 도 3에 도시된 모델링된 예에서, 이 평면은 피드백층들 사이의 공동 내에 중심이 맞춰진다. 그러나, 이 단순화된 모델에서, 공동 내의 재료는 균일한 굴절률을 갖는다.
- [0019] 실제로, 굴절률들이 다른 상이한 재료들을 포함하는 다수의 OLED 기능층들이 공동(250) 내에 놓여 있고, 이로 인해 상이하고 보다 복잡한 광 세기 분포가 생기기 때문에, 이것은 일반적으로 그렇지 않다. OLED를 구성하는 층들의 두께 및 위치는 주로 전자 고려 사항들에 의해 결정되며, 따라서 최대 광 세기가 발생하는 평면(210)에 이미터층을 위치시키는 것이 가능하지 않을 수 있다. 가능하다면, 최대 광 세기(210)의 위치에서 발생하도록 이미터층을 맞추는 것은 어려운 작업이다. 다른 문제는 이들 장치들의 공동에서 광 세기 국한의 세기가 공동 두께에 매우 민감하고, OLED의 유기층 두께들이 매우 엄격한 허용 오차로 유지되지 않으면 장치마다 상당히 다를 수 있다는 것이다. 다시 도 2 및 프로파일(230)이 모델링된 장치를 참조하면, 공동이 광 국한에 필수적이기 때문에, 공진 공동(250) 및 이에 따른 이미터층, 및 다양한 실시예들에서 이미터층을 둘러싸는 기능 및 비-기능 층들은 광결정 자체의 일부로 기능하지 않는다(기능할 수 없다). 따라서, 결합-모드 장치들은, 예를 들면 (240 및 260)으로 기술된 굴절률 프로파일들을 가지고, 예를 들면 2개의 광결정을 가지고, OLED의 이미터층이 2개의 피드백 수단들 사이의 공동(250)에 있는 2개의 피드백 수단들로 구현된다.
- [0020] 요약하면, 현재까지 적당한 층 두께들을 유지해야 하는 것과 관련된 수율 문제들, 서로 필요한 2개의 광결정 구조들을 공간적으로 맞추는 것에 대한 어려움, 및 장치 내의 광 분포의 피크 광 전력으로 이미터층을 맞추는 것에 대한 어려움으로 인해 FE-OLED들의 상업적 잠재력을 실현할 수 없었다; 피크 광 전력은 그 자체가 각 피드백 수단의 굴절률의 주기, 공동의 두께, 2개의 피드백 수단들의 특별한 맞춤 및 OLED층들의 존재에 기인하여 공동 내에서 실제로 발생하는 굴절률의 변화들 사이의 상호 작용에 의존한다. FE-OLED 타입 장치들을 제조하는 것에 대한 어려움을 감안할 때, 스톱-밴드를 이동시키기 위해 굴절률 변화의 주기를 수정하는 것이 2개의 장치들 사이의 공진 광학 공동의 크기의 수정, 공진 공동의 양측에 있는 2개의 피드백 수단들의 위상의 맞춤과 또한 피크 광 전력(210)에 놓이도록 공진 광학 공동 내의 이미터층의 위치 맞춤을 필요로 하기 때문에 여러 색상들의 광(즉, 원하는 출력 스펙트럼)을 제공하도록 제조 공정들을 수정하는 것도 마찬가지로 어렵다.
- [0021] 광자 스톱-밴드의 스펙트럼 에지들에서 발견되는 EMR 모드들에서 나타나는 현상을 이용한 유도 방출들에 기초한 제 2 타입의 장치 강화가 개시된다. 이러한 제 2 타입의 장치는 밴드-에지 방출 장치로 지칭된다. 밴드 에지 방출은 광이 광결정 구조 내부로 방출될 때 발생한다. 이미터 재료가 광결정 내에 배치되고, 예를 들어 전압(전기 펌핑)의 인가에 의해 또는 광학적 펌핑에 의해 여기되어, 일부가 스톱-밴드에 의해 중첩되는 광장들의 밴드를 갖는 광을 방출할 때, 광은 그 밴드에서 광자 구조를 통해 전파되는 것이 금지된다. 대신에 스톱-밴드 또는 밴드-캡의 에지에서 광장들을 갖는 광이 광결정으로 방출된 다음 광결정 구조의 표면 또는 표면들로부터 출현할 것이다. 이러한 타입의 장치의 다양한 실시예들에서, 이미터 재료는 광결정을 구성하는 DBR의 하나의 층 내에 완전히 배치된다.
- [0022] 이미터 재료가 광결정 내에 도입되고, 이미터 재료의 방출 스펙트럼의 일부분이 광결정의 광자 스톱-밴드에 의해 중첩되면, 그 방출 모드들 또는 자유 공간에 존재하는 상태들은, 광결정이 없다면, 파괴적이라고 가정하는 것이 솔깃하다. 그러나, 그러한 방출 모드들은 광결정으로부터 축출되거나, 광결정 내에 존재하지 않도록 금지되며, 파괴되는 대신에 스톱-밴드의 에지들에서 '적층(stacked-up)'되는 것으로 생각할 수 있다. 상태 밀도의 관점에서, EMR 스펙트럼의 주파수 간격 당 허용 가능한 파 전파 상태들 또는 모드들의 수는 실질적으로 스톱-밴드의 에지들에서 증가한다.
- [0023] 상술한 바와 같이, 광자 밴드-캡 내의 광의 광장들에 대해서는 자연 방출이 억제된다. 이것은 여기 상태의 원자가 자연 방출 또는 유도 방출을 통해 탈-여기되는 가능성이 주어진 모드들에 대한 전반적인 광자 밴드-캡을 소멸시키는 광자 상태 밀도에 비례하기 때문이다. 예시에서, 도 4는 광결정 내에 배치된 방출 매체의 상태 밀도 스펙트럼(400) 및 상태 밀도가 0이 되어 밴드-캡(404) 내에 있는 주파수들, 즉 주파수들 B와 C 사이의 주파수들을 갖는 모드들의 전파를 금지하는 스톱-밴드 또는 밴드-캡(404)을 갖는 광결정에 대한 투과 스펙트럼(402)을 도시한다. 이 스펙트럼의 오버레이는 광결정 외부에 존재하는 방출 재료의 상태 스펙트럼(414)의 자유 공간 밀도이다. EMR 주파수의 관점에서, 주파수 B는 스톱-밴드(404)의 하부 경계(410)를 형성하고 주파수 C는 스톱-밴드(404)의 상부 경계(412)를 형성한다. 방출하는 분자가 그 주변으로 방출할 광량은 광을 전파하기에 이용 가능한 상태 밀도에 의존할 것이므로, 상태 밀도 스펙트럼(400)을 갖는 주변의 광결정으로 방출하는 이미터 분자는 주파수들 A와 B 사이의 하부 범위(406) 또는 주파수들 C와 D 사이의 상부 범위(408)에 있는 주파수들에서 상당

히 많은 광 광자들을 방출할 것이다. 또한, 광결정들은, 하부 범위(406)을 통한 투과율의 감소 및 그 다음 주파수가 증가함에 따라 상부 범위(408)을 통한 투과율의 증가를 나타내고, 따라서 밴드-에지 방출이 장치를 벗어나도록 허용하는 투과율 스펙트럼(402)에 의해 알 수 있는 바와 같이, 밴드-에지 주파수들에 적어도 부분적으로 투명하다는 이점을 갖는다.

[0024] 도 4를 참조하면, 스톱-밴드(404) 내에 속하는 주파수들을 갖는 EMR 모드들이 스톱-밴드(404)를 갖는 광결정 내의 이미터 재료에 의해 유도될 때, 스톱-밴드(404) 내의 EMR에 대한 상태 밀도는 억제되고 0으로 향하는 반면, 좌측으로부터 하한(410)에 접근하거나 또는 우측으로부터 상한(412)에 접근하는 주파수들을 가진 광의 모드들에 대한 상태 밀도는, 특히 주파수들 A 및 B 사이의 하부 범위(406), 및 주파수들 C 및 D 사이 상부 범위(408)의 주파수들을 갖는 광의 모드들에 대해 실질적으로 증가한다. 하부 범위(406) 및 상부 범위(408)에서의 이들 방출들은 밴드-에지 방출들로 알려져 있다. 도 4로부터 알 수 있는 바와 같이, 자유 공간(예를 들면, 41 4)과 관련하여 범위들 A-B 및 C-D를 넘어 상태 밀도가 증가하므로, 범위들 A-B 및 C-D는 스톱-밴드에서 바깥쪽으로 변경될 수 있으며 여전히 밴드-에지 방출들을 포함하는 것으로 기술될 것이다.

[0025] 하부 범위(406)의 주파수  $v_{AB}$ 에 중심을 둔 주파수 스펙트럼을 갖는 밴드-에지 방출은  $k_{AB} = (2\pi / \lambda_{AB})$ 를 갖는 광의 모드들에 대응하는 파장  $\lambda_{AB} = (c/v_{AB})$ 를 중심으로 하는 파장 스펙트럼을 갖는 EMR에 대응하고; 마찬가지로 상부 범위(408)의  $v_{CD}$ 에 중심을 둔 주파수 스펙트럼을 갖는 밴드-에지 방출은  $k_{CD} = (2\pi / \lambda_{CD})$ 를 갖는 광의 모드들에 대응하는 파장  $\lambda_{CD} = (c/v_{CD})$ 를 중심으로 하는 파장 스펙트럼을 갖는 EMR에 대응한다.  $v_{AB}$ 를 중심으로 하는 밴드-에지 방출 스펙트럼은  $E_{AB} = hv_{AB} = h(c/\lambda_{AB})$ ( $h$ 는 플랑크 상수)를 중심으로 에너지의 통계적 분포를 갖는 광자들로 구성된다. 파장  $\lambda_{AB}$ 와 동등한 주파수  $v_{AB}$ 를 갖는 이들 장치들의 광은  $k_{AB}$ 를 중심으로 한 작은 파수 밴드에서 매우 많은 수의 모드들을 가질 것이다. 파수  $k_{AB}$ 를 갖는 모드들은 변화하는 위상들  $\phi$ 을 가질 수 있다. 반면에, FE-OLED 장치들에서 모드들은 모두 예를 들면 도 3에서와 같이 공동 에지들 상에 고정된 노드들을 가지고, 따라서 허용되는 파수 각각에 대해 단일 모드가 존재하고, 밴드 에지 장치들에서, 동일한 파수를 갖는 많은 모드들이 허용되며, 이는 하기에 논의되는 바와 같이, 장치를 통한 광자 밀도 대 위치의 플롯이 노드들 없이 평坦하다는 것을 의미한다. 결과적으로, 광결정 내의 이미터층 위치의 변화들은 밴드-에지 장치에서 거의 영향을 미치지 않는다.

[0026] 이러한 밴드-에지 모드들에 대한 광결정의 부분 투과율 때문에, 이들 파장들에서 방출된 광은 밴드-에지 광결정을 포함하는 매체 내에서 축적된다. 스톱-밴드에 인접한 파장들에서의 광자 방출의 정상보다 높은 레벨의 결합은 내부 반사들로 인한 매체 내의 이들 광자들의 축적과 결합하여 광결정 매체의 벌크 전체에 걸쳐 매우 높은 광자 밀도들을 산출한다. 이러한 높은 광자 밀도들은 광결정 내에 임베딩된 본질적으로 모든 여기 상태의 이미터 분자들로부터 추가의 유도 방출을 보장한다. 1-차원 광결정에서, 유도 방출 광자들의 전파 방향은 방출면에 수직이다.

[0027] 지금까지 고체 상태 밴드-에지 유기 발광 다이오드들(BE-OLED들)은 광결정 구조에서 광자들의 가정된 분포와 이미터 재료에 의해 점유된 훨씬 작은 부피 사이의 공간 불일치로 인해 가능하지 않은 것처럼 보였다. 광결정 구조의 범위에 걸쳐 이미터 재료를 도핑하지 않으면, 이전에 생성된 밴드-에지 레이저들의 경우에서처럼, 여기된 이미터 분자들과 광 결정에 혼입된 이전에 방출된 광의 불충분한 상호작용이 유용하고 효율적인 발광 장치를 불가능하게 한다는 것이 받아들여졌다.

[0028] 놀랍게도, 단일 광결정 내의 단일 박층 내에 임베딩된 OLED를 포함하는 새로운 발광 장치는 상당한 양의 방출된 광을 제공하면서 비-레이징 밴드-에지 발광 장치로서 기능 할 것이다. 또한, 이러한 장치는 종래의 LED들, OLED들 및 공동 탑재 FE-OLED들 보다 실질적으로 향상된 효율을 제공한다. 대략 와트 당 300 루멘의 광 출력이 달성되었다. 이러한 증가된 효율은 더 적은 열을 생산하고 생성하는 더 단순한 이점을 가지면서 실현된다. 개시된 장치들은 추가적으로 광결정의 광자 스톱-밴드의 밴드 에지에 근접하게 발생하는 비교적 좁은 주파수 범위 내에서 주로 발생하는 매우 정교한 방출 스펙트럼을 제공한다. 이들 장치들의 제조는 또한 설계자가 단일 인자 - 즉 굴절률의 주기성 - 만을 변화시킴으로써 결과로서 생긴 장치의 출력 주파수(즉, 방출된 광의 색상)를 쉽게 미세 조정할 수 있도록 한다.

[0029] 이는 비교적 좁은 방출 스펙트럼 때문에 선택된 파장들의 채도가 높은 색상들을 방출하는 장치들을 제작할 수 있게 한다. 결과적으로, 밴드-에지 방출을 사용하는 적색, 녹색 및 청색 필셀들로 제조된 전체-색상 OLED 디스플레이들은 CIE 색 공간에 걸쳐 광범위한 색상 범위를 복제할 수 있다.

[0030]

본 발명의 개선들 및 특징들과 이를 달성하는 방법들은 이하의 실시예들의 상세한 설명 및 첨부 도면들을 참조하면 더욱 용이하게 이해될 수 있다. 그러나, 본 발명은 많은 상이한 형태들로 구체화될 수 있으며, 본 명세서에 기재된 실시예들에 한정되는 것으로 해석되어서는 안된다. 오히려, 이들 실시예들은 본 개시내용이 철저하고 완전하게 이루어지며 본 발명의 개념을 당업자에게 완전히 전달할 수 있도록 제공되며, 본 발명은 첨부된 청구 범위들 및 그 등가물들에 의해서만 규정될 것이다. 따라서, 일부 실시예들에서, 공지된 구조들 및 장치들은 불필요한 세부 사항으로 본 발명의 설명을 모호하게 하지 않기 위해 도시되지 않는다. 동일한 번호들은 전반에 걸쳐 동일한 요소들을 지칭한다. 도면들에서, 충들 및 영역들의 두께는 명확성을 위해 과장된다.

[0031]

요소 또는 층이 다른 요소 또는 층의 "상에(on)" 또는 "연결된(connected to)" 것으로 언급될 때, 그것은 다른 요소 또는 층 상에 직접 있거나 또는 연결될 수 있거나 또는 개재 요소들 또는 층들이 존재할 수 있다는 것을 이해할 것이다. 대조적으로, 요소가 다른 요소 또는 층 "상에 직접(directly on)" 또는 "에 직접 연결된(directly connected to)" 것으로 언급될 때, 개재 요소들 또는 층들이 존재하지 않는다. 본 명세서에 사용된 바와 같이, 용어 "및/또는(and/or)"은 하나 이상의 연관된 열거된 항목들의 임의 및 모든 조합들을 포함한다.

"적어도 하나(at least one of)"와 같은 표현들은 요소들의 목록 앞에서 요소들의 전체 목록을 수정하고 목록의 개별 요소들을 수정하지 않는다. 또한, "일 수 있다(may)"의 사용은 본 발명의 실시예들을 기술할 때, "본 발명의 하나 이상의 실시예들(one or more embodiments of the present invention)"을 의미한다. 광의 과장의 관점에서 본 발명의 장치 실시예들의 물리적 구성요소들 또는 부분들의 두께들 또는 길이들을 설명할 때, 그 두께는 그러한 구성요소를 통과하는 광이 등가의 광학 두께(즉, 굴절률  $\times$  물리적 두께)를 경험하는 두께이다. 예를 들어, 굴절률이 1.1이고 방출된 광이 600nm인 매체에서 방출된 광의 과장의 1/4의 광학 두께와 동일한 물리적 길이는 150nm의 광학 두께, 또는 광학 두께를 1.1로 나눈 값과 동일한 물리적 두께, 이에 따라 136.36nm의 물리적 두께를 유발한다. 당업자는 기술된 구성요소의 기능에 의해 그러한 등가의 두께가 필요하고 두께 및 광학 두께가 상호 교환적으로 사용될 수 있는 경우를 알 것이다.

[0032]

"아래(below)", "아래(밑에)", "하부(lower)", "위(above)", "상부(upper)" 등과 같은 공간적으로 관련된 용어들은 설명의 편의를 위해 도면들에 도시된 한 요소 또는 특징의 다른 요소(들) 또는 특징(들)에 대한 관계를 기술하도록 본 명세서에서 사용될 수 있다. 공간적으로 관련된 용어들은 도면들에 도시된 방향 외에도 사용 또는 동작시 장치의 상이한 방향들을 포함하도록 의도된 것으로 이해될 것이다.

[0033]

본 명세서에 기술된 실시예들은 본 발명의 이상적인 개략도들에 의해 평면도들 및/또는 단면도들을 참조하여 기술될 것이다. 따라서, 예시도들은 제조 기술들 및/또는 허용 오차들에 따라 수정될 수 있다. 따라서, 본 발명의 실시예들은 도면들에 도시된 것에 한정되지 않고, 제조 공정들에 기초하여 형성된 구성의 수정들을 포함한다. 따라서, 도면들에 도시된 영역들은 개략적인 특성들을 가지며, 도면들에 도시된 영역들의 형상들은 요소들의 영역들의 특정 형상들의 예들이며, 본 발명의 양태들을 제한하지는 않는다.

[0034]

일 실시예에서, 본 명세서에 개시된 장치는 광결정 내에 배치된 이미터 재료를 갖는 단일 광결정일 수 있다. 다양한 실시예들에서 이미터 재료는 OLED의 이미터층에 위치될 수 있다. 또한, 다양한 실시예들에서, 단일 광결정은 DBR일 수 있고, 장치를 통과하는 광이 실질적으로 주기적인 굴절률 프로파일을 경험하도록 하는 방식으로 구성된 상이한 굴절률들을 갖는 다양한 재료들의 일련의 층들로 구성될 수 있다. 굴절률 프로파일은 도 5에 도시된 바와 같은 주기적인 구형과 타입의 함수일 수 있거나, 또는 다른 실시예에서 연속적으로 변하는 실질적으로 주기적인 굴절률일 수 있다.

[0035]

OLED는 단일 박층으로 형성될 수 있다. 광결정이 DBR인 경우, OLED는 대안적으로 단일층 또는 하나 이상의 교호하는 굴절률층들을 포함할 수 있다. 이러한 타입의 장치에서, 일반적으로 OLED들에서 발견되는 이미터층 및 연관된 전하 반송과 수송층 및 전하 반송과 차단층은 함께 결합하여 하나 이상의 활성층들 또는 활성 구역들을 형성한다. 대안적으로, OLED 구성요소들은 적당한 굴절률을 갖는 비활성 재료 내에 포함되며, OLED 구성요소들 및 재료는 함께 활성층 또는 활성 영역을 형성한다. 본 명세서에서 사용된 바와 같이, 활성 구역 및 활성층 및 활성 영역은 동의어로 사용되며, 일반적으로, 특정 방향으로 광결정을 통과하는 광에 의해 경험된 굴절률이 활성 영역을 포함하는 기하학을 통과하면서 실질적으로 중단되지 않는 실질적으로 연속적으로 변화하는 주기적인 굴절률을 경험하는 것을 제외하고, 그 기하학과 무관하게, OLED로서 기능하는 양태들 또는 구성요소들을 포함하는 임의 부분의 광결정을 의미한다. 본 명세서에서 사용되는 바와 같이, 비활성 재료는 OLED 장치의 전기적 기능과 관련이 없는 임의의 재료를 의미한다. 활성 영역은 부분적으로 비활성 재료를 포함할 수 있다. 일 실시예에서, 광결정은 하나의 층에서 다음 층으로의 교호하는 굴절률(예를 들어, 고, 저, 고, 저, 고, 저 등)을 갖는 유전체 층들의 스택으로 구성되는 DBR을 포함하고 활성층 또는 층들은 광학 두께가  $\lambda/4$ 이고  $\lambda$ 은 광결정의 스텝-밴드의 중심 주파수의 과장이고, 이미터 재료를 포함하는 활성층의 굴절률은 각각의 인접층의 굴절률보다 낮다. 대

안적으로, 활성 구역 또는 층의 굴절률은 각 인접층의 굴절률보다 높다. 다른 실시예에서, 서로 인접한 2개의 활성 구역들이 존재하며, 한 활성층은 다른 활성층보다 높은 굴절률을 갖는다. 다른 실시예에서, 3개의 활성층들이 있으며, 하나는 애노드를 포함하고, 하나는 그 전극들을 뺀 OLED를 포함하고, 하나는 캐소드를 포함하며, 애노드층과 캐소드층은 OLED층에 각각 인접한다. 또한, 광결정 전체에 추가적인 활성 영역들 또는 구역들 또는 층들이 있을 수 있다. 광결정이 DBR인 임의의 경우에, 광결정들의  $\lambda/4$  광학 두께 특성의 교호하는 고 굴절률층 및 저 굴절률층의 패턴은 활성층(들)을 포함하는 전체 장치 스택을 통해 수행되므로, 애노드 및 캐소드에 전력이 인가될 때 밴드-에지에서 광을 방출하는 단일 광결정 구조를 형성한다. 보다 일반적으로, 주기적 굴절률의 주기는 발광 광결정 전체에 걸쳐 실질적으로 중단되지 않는다.

[0036] 이들 장치들에서, 광결정 구조에서 밀도가 축적된 광자들의 박막(바람직하게는  $\lambda/4$  광학 두께 이하의) 유기 이미터 재료층과의 상호 작용은 레이징을 유도하는 것이 아니라, 본질적으로 모든 광 방출이 자연스럽게 유도되도록 보장하기에 충분히 상호작용한다. 따라서, 방출은 BE-OLED로부터 방출된 광이 무-반점 방출(speckle-free emission)이기 때문에 디스플레이 및 조명 응용들에 특히 유용하다. 무-반점 방출은 눈에 보이는 레이저 광의 잘 알려진 반점 효과 - 즉 뷰잉 표면에 레이저 광자들의 파괴적인 간섭에 의해 생성되는 '소금 및 후추(salt and pepper)' 효과를 내지 않는 유도 방출에 의해 생성된 시준 광이다.

[0037] OLED는 자유 공간 전계발광 방출이 밴드-에지 광장들에서 상당히 높은 라디언스, 즉 장치 표면에 수직으로 측정될 때 바람직하게는 재료에 대한 피크 스펙트럼 전계발광에서의 라디언스의 적어도 25%, 가장 바람직하게는 적어도 50%인 라디언스를 나타내는 방출 재료를 포함한다. 즉, 유기 발광 다이오드에 이용되는 발광 재료에 의해 방출된 발광 광의 측정된 라디언스는 그 발광 표면에 수직으로 측정된 이미터 재료의 발광 방출 스펙트럼의 피크 라디언스의  $1/4$ 보다 크다. 즉, 자유 공간 내의 이미터 재료는 광결정의 밴드-에지 광장들에 대응하는 광장들에서 상당한 양의 광을 방출한다. 단순화를 위해, 이는 이미터 재료가 밴드-캡에 또는 광결정의 밴드-에지 모드들에 광을 방출하는 것을 지칭한다.

[0038] 개시된 장치들의 특히 유리한 양태는 장치 내의 이미터층의 위치가 결합-모드 장치들의 경우만큼 정밀할 필요는 없다는 것이다.

[0039] 다음의 논의에서, 도 2 & 도 3을 도 5 & 도 6과 비교한다. 개시된 BE-OLED 장치의 단순화된 컴퓨터 모델의 굴절률 프로파일(510)이 도 5에 도시된다. 이 예에서 기술된 장치(도시되지 않음)는 고( $n_2$ ) 굴절률(520) 및 저( $n_1$ ) 굴절률(530)이 교호하는 43개의 층들 또는 구역들로 이루어진다. (이 층들의 수는 단지 예시적인 목적을 위한 것이며, 반드시 최적 수의 장치층들일 필요는 없다.) 구역 4는 발광 재료를 포함하는 층에 해당한다. 이러한 구조가 주어지면, 구역 4의 이미터로부터 광이 광결정 구조 내에 존재하는 밴드 에지 광 전파 모드들로 방출될 때, 장치 내의 광 세기(610)의 분포는 도 6에 도시된 바와 같다. 이러한 분포는 매우 많은 수의 모드들이 존재하고 이들이 다중 광장들을 가질 뿐만 아니라 임의의 특정 방출 광장에 대한 장치 층 경계들에 대해 상이한 위상 관계들을 갖기 때문에 발생한다. 이것은 단일 광 전파 모드 및 중심층 또는 구역의 중심에서 급격히 정점을 이루는 광 세기 분포가 존재하는 도 2 및 도 3에 의해 기술된 FE-OLED 장치들과 대조적이다. 도 5의 구역 4를 포함하는 구역 1 내지 구역 7이 도 6의 광 세기 분포(610) 상에 투영될 때, 이미터층은 구역 4에, 또는 그 점에 대해 구역 2 내지 구역 6에 어디든지 위치할 수 있으며, 이들 영역 2 내지 영역 6 중 어느 하나에서 광 세기의 차가 거의 없기 때문에, 장치 성능에 영향이 거의 없음을 알 수 있다.

[0040] 도 7은 발광 장치(700)에 개시된 다양한 실시예들의 단면들을 도시한다. 발광 장치(700)는 층들(710, 712, 714)(점선으로 표시됨)을 포함하는 활성 구역(708), 이것의 비-제한적인 예는 DBR(도시되지 않음)이고; 투과 층(704); 방출면(706); 및 활성 구역(708)을 포함하는 광결정 구조(702)이다. 활성 구역(708)은 광결정 구조(702) 내에 배치되거나 형성되며 유기층(710), 애노드(712) 및 캐소드(714)를 더 포함한다. 유기층은 유기 전계발광 재료(도시되지 않음)를 포함하는 하위층 및 전하 수송 재료(도시되지 않음)를 포함하는 하위층을 더 포함한다. 유기층(710)은 전하 반송파 수송층들, 전하 반송파 주입층들, 전하 반송파 차단층들을 포함하는 하나 이상의 추가 하위층들(도시되지 않음)을 더 포함할 수 있고, 따라서 유기층(710)이 하나 이상의 추가 OLED 기능층들을 포함할 수 있음을 알 것이다. 층들(710, 712 및 714)은 함께 OLED를 포함하는 것을 알 것이다. 알 수 있는 바와 같이, 애노드(712) 및 캐소드(714)는 각각 단일 전극일 수 있거나 대안적으로 다수의 전극층들(도시되지 않음)을 더 포함할 수 있다. 활성 구역(708)은 광자 구조의 투과 층(704)을 따라서 주기적으로 변하는 굴절률(750)이 붕괴되지 않거나 실질적으로 붕괴되지 않도록 형성된다.

[0041] 바람직하게는, 유기층(710)은 주기적 굴절률(750)에 의해 생성된 스톱-밴드에 의해 광자 구조 내에서 금지된 중심 광장에 대응하는 단일 광장의 대략  $1/4$ 의 최대 광학 두께를 갖는다(여기에서 주기적인 굴절률은 정현파로서

도시되지만, 대안적으로 이것은 구형파에 더 가깝거나 실질적으로 구형파나 어떤 다른 실질적으로 주기적으로 변하는 굴절률일 수 있다). 특정 실시예에서 1/4 파장의 광학 두께가 비실용적이라면, 유기층(710)의 광학 두께는 스텁-밴드의 중심 파장의 대략 3/4과 같을 수 있다. 예를 들어, 층들(710, 712 및 714) 각각의 광학 두께는 스텁-밴드의 중심 파장의 대략 1/4이다. 애노드(712) 및 캐소드(714) 양단에 인가된 전위에 의해 활성화될 때, 유기 이미터 분자들이 여기되고 광자들이 광결정의 밴드-에지 모드들로 방출된다. 결과적으로, 가시광(716)은 예를 들어 도 4의 밴드들(406 또는 408)에서 밴드-에지 방출들에 대응하는 파장들에서 방출면(706)으로부터 방출된다. 바람직하게는, 유기층(710) 내의 유기 이미터 재료의 분자들은 투과 축(704)에 평행한 유도 방출을 최대화하기 위해 공간적으로 배향된다. 알 수 있는 바와 같이, 적절히 구성될 때, 장치(700)는 스텁-밴드를 갖는 광자 구조이고, 장치(700)의 상태 스펙트럼 및 투과율 스펙트럼의 밀도는 도 4에 도시된 것들과 유사할 것이다.

[0042] 다양한 실시예들에서, 활성 구역(708)은 애노드층(712) 및 캐소드층(714)의 굴절률보다 낮은 굴절률을 갖는 유기층(710)을 포함하고, 애노드층 및 캐소드층의 굴절률들은 광자 구조의 인접한 부분들보다 높다. 다양한 실시예들에서, 애노드 및 캐소드는 유기층(710)의 대향 측면들에 인접할 수 있으며, 각각은 스텁-밴드의 중심 파장의 1/4 파장에 해당하는 두께를 가질 수 있고, 발광 재료의 하위층을 포함하는 유기층(710)은 스텁-밴드의 중심 파장의 1/4 파장에 해당하는 두께를 가질 수 있고 애노드층 및 캐소드층의 굴절률보다 낮은 굴절률을 갖는다.

[0043] 도 7은 또한 개시된 발광 장치(720)의 다양한 다른 실시예들을 도시한다. 장치(720)와 유사하게, 장치(720)는 층들(732, 728 및 734)(점선으로 표시됨), 이것의 비-제한적인 예는 예컨대 DBR이고; 투과 축(724); 방출면(726); 활성 구역(728)을 포함하는 광결합 구조(722)를 포함한다. 활성 구역(728)은 광자 구조(722) 내에 배치되거나 형성되며, 유기층(730)을 더 포함한다. 광자 구조(720)는 2개의 추가 활성 구역들(732 및 734)을 더 포함하고, 각각은 중심 파장의 1/4 파장에 해당하는 두께를 가질 수 있고 애노드층(732) 및 캐소드층(734)을 각각 포함한다. 유기층(730)은 유기 이미터 재료를 포함한다. 유기층(730)은 전하 반송파충들 및 전하 주입충들(도시되지 않음)과 같은 추가 OLED 기능충들을 더 포함할 수 있다. 유기층(730)은 또한 하나 이상의 초박막 금속충들, 예를 들면 사마륨과 은의 50:50 혼합물로 형성된 제 1의 0.5nm 캐소드층(도시되지 않음) 또는 초박막 전하 주입충을 포함할 수 있는데, 이들 충들은 비교적 저 굴절률을 갖는 재료들로 형성될 수 있다. 알 수 있는 바와 같이, 애노드(732) 및 캐소드(734)는 각각 단일 전극일 수 있거나 대안적으로 다중층의 전극(도시되지 않음)을 포함할 수 있다. 하나 이상의 OLED 기능충들이 각각의 굴절률에 따라서 애노드층(732) 또는 캐소드층(734) 내에 위치될 수 있음을 알 것이다. 활성 구역(728)은 광자 구조의 투과 축을 따라 주기적으로 변하는 굴절률(750)이 방해받지 않도록 형성된다. 바람직하게, 활성 구역(728)은 주기적인 굴절률(750)에 의해 생성된 스텁-밴드로 인해 광자 구조 내에서 금지된 중심 모드에 대응하는 단일 파장의 대략 1/4의 두께를 갖는다. (700)과 (720) 사이의 물리적 차이 중 하나는, 활성 구역(728)이 광자 구조의 2차원(즉, 도 7에 도시된 단면을 가로질러 그리고 도 7의 페이지로) 전체적으로 평면적으로 연장되는 반면, 활성 구역(708)은 광자 구조(장치(700))의 경계까지 연장되지 않는 점선(708)에 의해 완전히 둘러싸인다. 따라서, 활성 영역은 층들일 필요는 없지만, 보다 일반적으로 광결정의 수평 범위의 작은 영역에 한정된 구역이 될 수 있음을 알 것이다. 바람직하게는, 유기 방출 재료를 포함하는 구역은 수직 방향으로 전체 광결정의 광학 두께의 10% 미만을 포함하는 영역 내에 한정되거나 국한될 수 있다. 활성 구역은 바람직한 두께보다 작거나 더 클 수 있음을 알 것이다. 이미터 재료는 광결정(720)의 수직 두께의 10% 이하를 포함하는 단일층 내에 국한될 수 있음을 알 것이다.

[0044] 다양한 개시된 실시예들에서, 발광 장치(720)는 11개 이상의 진공 증착충들을 포함하는 광결정일 수 있다. 이들 11개의 충들은 먼저, 저-고-저-고-저-고의 패턴의 굴절률이 교호하는 4개 이상의 유전체 재료충들일 수 있고, 이어서 제 5 충은 애노드를 포함하고, 제 6 충은 유기 이미터 재료(또는 전극들을 뺀 OLED)를 포함하고 제 7 충은, 캐소드를 포함하고, 최종적으로 패턴 고-저-고-저-고-저의 교호하는 굴절률을 갖는 4개 이상의 유전체 재료들의 추가충들을 포함하며, 각각의 충은 실질적으로 동일한 광학 두께를 가진다. 개시된 다양한 실시예들에서, OLED를 포함하는 제 5 충, 제 6 충 및 제 7 충은 정공 주입충, 정공 수송충, 이미터충, 전자 수송충 및 전자 주입충과 같은 다양한 하위충들을 더 포함할 수 있다. 다른 실시예들에서, 첫 번째 4개의 충들은 고 굴절률 및 저 굴절률이 교호하는 6 또는 아마도 8개의 진공 증착충들로 대체될 수 있거나, 최종 4개의 충들은 고 굴절률 및 저 굴절률이 교호하는 6개의 또는 아마도 8개의 진공 증착충들로 대체될 수 있다. 고 굴절률충 및 저 굴절률충이 교호하는 추가충들이 본 발명을 벗어나지 않고 혼입될 수 있음을 알 것이다. 다양한 개시된 실시예들에서, 예시적인 장치, 예를 들어 (720)은 기판(762) 상에 형성될 수 있으며, 이는 유리 또는 플라스틱과 같은 유전체 재료를 포함할 수 있다.

[0045] 본 명세서에 개시된 장치들의 다양한 양태들은 스피터링 기술들, 또는 진공 증착 기술들, 또는 당업자에 의해 인식되는 다른 유사한 기술들을 이용하여 형성될 수 있다. 장치들은 또한 이들 기술들의 조합을 사용하여 형성

될 수 있다. 다양한 실시예들에서, 밴드-에지형 강화된 OLED는 도 7에 도시된 구조들 중 어느 하나를 가질 수 있다. 도 7에 도시된 예들은 축척하여 도시되지 않았음을 유념한다. 또한, 이 예시적인 실시예에서, 두께는 대략적으로, 예를 들어, 159nm인 것이 바람직하지만, 하기 실시예의 구성층들을 형성하기 위해 사용된 기술들의 한계들을 고려하면 약간 다를 수 있음을 유념한다. 사소한 변형들은 장치가 용인되어 성능에 그다지 영향을 미치지 않는다 - 이는 변형들에 훨씬 더 민감한 공동형 장치들(예를 들면, FE-OLED들)을 능가하는 또 다른 개선 사항이다. 비-제한적인 예들로서, 광결정(720)의 구조는 다음의 예시적인 실시예들에 따라 형성될 수 있다.

[0046] 바람직한 일 실시예에서, 광자 구조(722)는 광결정을 포함할 수 있다. 광자 구조(722)를 형성하기 위해, 고 굴절률과 저 굴절률이(서로에 대해) 교호하고 각각의 층이 159nm 광학 두께를 갖는 2개의 연속적인 쌍들의 유전체 재료층들이 투명 기판(762) 상에 형성될 수 있다. 각각의 쌍은 TiO<sub>2</sub>를 포함하는 고 굴절률층 및 SiO<sub>2</sub>를 포함할 수 있는 저 굴절률층을 포함할 수 있다. 대안적인 저 굴절률층들의 비-제한적인 예들은 LiF 또는 MgF<sub>2</sub>로 형성될 수 있다. 대안적인 고 굴절률층들의 비-제한적인 예들은 Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>로 형성될 수 있다. 그러한 경우의 고 굴절률층은 유리 또는 플라스틱과 같은 유전체 재료를 포함하는 기판(762)에 인접하여 또는 기판(762) 상에 형성될 것이며, 비교적 저굴절률을 가질 것이다. 그 후에 저 굴절률층은 고 굴절률층에 인접하여 형성될 것이다. 각각의 쌍은 이전 굴절률 쌍 상에 형성되어 고 굴절률층이 저 굴절률층에 인접하게 또는 저 굴절률층 상에 형성되어, 예를 들어 기판(762) 상에서, 광결정(722)은 먼저 71.7nm의 TiO<sub>2</sub>층(2.218의 측정된 굴절률에 기초한 159nm의 광학 두께)을 한번 스퍼터링한 다음 108.8nm의 SiO<sub>2</sub>층(1.462의 측정된 굴절률에 기초한 159nm의 광학 두께)을 한번 스퍼터링하고, 이들 단계들을 두번 더 반복하여, 이 중간 결과가 저 굴절률을 갖는 최상층을 포함하도록 형성될 수 있다.

[0047] 이 중간 결과에는 애노드(732)가 형성될 수 있는데, 예를 들어, 애노드(732)는 79.2nm 두께의 In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-ZnO층(인듐-아연 산화물, IZO, 90 : 10)(2.008의 측정된 굴절률에 기초한 159nm의 광학 두께)을 포함하는 투명한 무기 반도체 애노드일 수 있다. 대안적으로, In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>를 In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SnO<sub>2</sub>(인듐 주석 산화물, ITO)는 IZO로 대체할 수 있다. 갈륨-인듐-주석 산화물과 같은 삼원 산화물은 이 재료가 대안적인 것보다 청색 광에 대해 더 우수한 투과율을 가질 수 있기 때문에, 청색 광을 방출하는 장치들에 사용될 수 있다. 이 애노드(732) 상에, 예를 들면 OLED(전극들을 뺀)를 구성하는 다양한 유기 재료들 및 저 굴절률 재료를 포함하는 159nm의 광학 두께를 갖는 활성층(728)이 형성되는데, 활성층(728)의 굴절률이 애노드(732)의 굴절률보다 낮게 한다.

[0048] 바로 위의 예를 계속하면, 활성 구역(728)은 예를 들어 다양한 구성 하위층들의 열 증착에 의해 형성될 수 있고, 이들은 N, N'-비스(나프탈렌-1-일)-N, N'-비스(페닐)-벤지딘(NPB)의 층(예를 들어, 1.831의 측정된 굴절률에 기초한 65.6nm의 광학 두께에 해당하는 31.8nm의 물리적 두께)을 포함할 수 있고, 이 재료는 정공 수성 재료 및 트리스-(8-하이드록시 퀴놀린) 알루미늄(Alq<sub>3</sub>)층(예를 들어, 1.724의 측정된 굴절률에 기초한 92.3nm의 광학 두께에 해당하는 47.8nm의 물리적 두께)로서 기능하고 이 재료는 전자 수송 재료 및 방출 재료 모두로서 기능한다. 따라서, 광자 구조(722)의 활성 구역(728)은 유기층(730)을 유기층(730)을 포함한다. 이 예시적인 실시예에서 활성 구역(728)에 대한 2가지 제약들은 이것이 대략 159nm의 광학 두께를 가진다는 것과, 구성층들의 굴절률이 각각 애노드층(732)의 굴절률보다 낮다는 것이다. 하나 이상의 추가 기능(예를 들면, 캐소드의 금속 및 전자 주입층들) 또는 비-기능층들은 활성 구역(728)의 필요한 두께를 달성하기 위해 필요한 경우 스페이서들로서 작용할 수 있다. 이 중간 결과가 완성되면, 광자 구조(722)는 비교적 저 굴절률을 갖는 기판, 각각 고 굴절률 및 저 굴절률의 교호하는 유전체층들의 3개의 교호하는 쌍들, 고 굴절률을 갖는 애노드층 및 저 굴절률을 갖는 활성 구역을 포함하며, 중간 결과의 각층은 광학 두께가 대략 159nm이다. 선택적으로, Alq<sub>3</sub>층 상에 진공 열 증착이 형성되어 물리적 두께가 0.5nm인 플루오르화 리튬(도시되지 않음)의 전자 주입층(1.294의 굴절률에 기초한 0.6nm의 광학 두께)이 형성될 수 있다. 이 박막의, 비교적 저 굴절률층은 총 0.6nm의 광학 두께를 갖는다.

[0049] 바로 위의 예를 계속하면, 진공 열 증착에 의한 사마륨과 은의 50:50 혼합물로 형성된 제 1의 0.5nm 캐소드층(도시되지 않음)이 플루오르화 리튬의 상부에 침착될 수 있다. 이 층은 0.5nm의 광학 두께를 가지며, 따라서 광결정의 굴절률 프로파일에 무시할 수 있는 효과를 가지며, 활성층(728) 또는 제 2 캐소드층(734)의 일부로서 고려될 수 있다. 예를 들어, 제 2 캐소드층(734)은 제 1 캐소드층 상에 형성될 수 있다. 제 2 캐소드층(734)은 스퍼터링된 IZO 또는 다른 투명한 도전 산화물로 제조될 수 있는 대략 159nm 두께의 광학 두께를 갖는다. 제 2 캐소드층(734)은 활성 구역(728)을 포함하는 재료들과 비교할 때 비교적 고 굴절률을 가지며, SiO<sub>2</sub> 또는 그 대체

물들과 비교할 때 고 굴절률을 갖는다.

[0050] 캐소드층에서 저 굴절률 및 고 굴절률이 교호하는 2개의 연속적인 쌍들의 유전체 재료층들이 형성될 수 있으며, 각각의 층은 대략 150nm 두께이다. 각각의 쌍은 SiO<sub>2</sub>를 포함할 수 있는 저 굴절률층과 TiO<sub>2</sub>를 포함하는 고 굴절률층을 포함할 수 있다. 상술한 바와 같이, 대안적인 저 굴절률층의 비-제한적인 예들은 LiF 또는 MgF<sub>2</sub>로 형성될 수 있다. 대안적인 고 굴절률층의 비-제한적인 예들은 Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>로 형성될 수 있다. 그러한 경우의 저 굴절률층은 캐소드층(734)에 인접하여 또는 캐소드층(734)의 상부에 형성될 것이며, 비교적 고 굴절률을 가질 것이다. 각각의 쌍은 이전 굴절률 쌍 상에 형성되어 고 굴절률층이 저 굴절률층에 인접하게 또는 저 굴절률층 상에 형성되어, 예를 들어 캐소드층(734) 상에서, 광결정(722)은 159nm의 SiO<sub>2</sub>층을 한번 스퍼터링한 다음 159nm의 Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>층을 한번 스퍼터링하고, 이를 한번 더 반복하여, 이 중간 결과가 고 굴절률을 갖는 최상층을 갖는 단일 광결정(722)을 포함하도록 형성되는 것이 계속될 수 있다. 광결정 내의 이미터 재료는 장치의 전체 광학 두께의 10% 미만인 영역으로 한정됨을 알 것이다.

[0051] 다른 대안적인 예시적인 실시예에서, 예시적인 광결정, 예를 들어 (720)은 다음과 같이 형성될 수 있다. 유리 또는 플라스틱을 포함하는 투명 기판(762)으로 시작한다. 상술한 실시예에서와 같이, 고 굴절률과 저 굴절률이 (서로에 대해) 교호하고 각각의 층이 147.5nm의 광학 두께를 갖는 2개의 연속적인 쌍들의 유전체 재료층들이 기판 상에 형성될 수 있다. 각각의 쌍은 Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>를 포함하는 고 굴절률층 및 SiO<sub>2</sub>를 포함할 수 있는 저 굴절률층을 포함할 수 있다. 대안적인 저 굴절률층들의 비-제한적인 예들은 LiF 또는 MgF<sub>2</sub>로 형성될 수 있다. 대안적인 고 굴절률층들의 비-제한적인 예들은 TiO<sub>2</sub>로 형성될 수 있다. 그러한 경우의 고 굴절률층은 유리 또는 플라스틱과 같은 기판에 인접하게 형성될 것이며, 비교적 저굴절률을 가질 것이다. 각각의 쌍은 이전 쌍 상에 형성되어 고 굴절률층이 저 굴절률층에 인접하게 또는 저 굴절률층 상에 형성되어, 예를 들어 기판(762) 상에서, 광결정(722)은 먼저 82.2nm의 Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>층(1.795의 측정된 굴절률에 기초한 147.5nm의 광학 두께)을 한번 스퍼터링한 다음 101.2nm의 SiO<sub>2</sub>층(1.457의 측정된 굴절률에 기초한 147.5nm의 광학 두께)을 한번 스퍼터링하고, 이를 단계들을 두번 더 반복하여, 이 중간 결과가 저 굴절률을 갖는 최상층을 포함하도록 형성될 수 있다.

[0052] 상술한 이전의 실시예에서와 같이, 이 중간 결과가 애노드(732)로 형성될 때, 예를 들어, 애노드(732)는 73.5nm 두께의 In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-ZnO층(인듐-아연 산화물, IZO)(2.008의 측정된 굴절률에 기초한 147.5nm의 광학 두께)을 포함하는 투명한 무기 반도체 애노드일 수 있다. 대안적으로, 애노드(732)는 10%의 ZnO<sub>2</sub> 및 90%의 In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>를 포함하는 147.5nm의 광학 두께층을 포함할 수 있다. 이 애노드(732) 상에, 예를 들면 OLED를 구성하는 다양한 유기 및 다른 저 굴절률 재료들을 포함하는 147.5nm의 전체 광학 두께를 갖는 활성층(728)이 형성되는데, 활성층(728)의 굴절률이 애노드(732)의 굴절률보다 낮게 한다.

[0053] 바로 위의 예를 계속하면, 활성 구역(728)은 예를 들어 다양한 구성 하위층들의 열 증착에 의해 형성될 수 있고, 이 경우에는 (바람직하게는 다음 순서로): 정공 주입층으로서 기능하는 2.0nm 두께의 구리 프탈로시아닌(CuPC)의 열 증착층(1.318의 굴절률에 기초한 2.6nm의 광학 두께), 또는 대안적으로 디피라지노[2,3-f:2',3'-h]퀴녹살린(-2,3,6,7,10,11-헥사카보니트릴(HAT-CN); 뒤이어 이 재료가 정공 수송 재료로서 기능하는 4,4'-비스(9-카르바졸릴)-1,1'-바이페닐(CBP)의 35.0nm 두께의 열 증착층(1.840의 굴절률에 기초한 64.4nm의 광학 두께); 이 재료가 방출 재료로서 기능하는 8%-비스[2-(2-페리디닐-N)페닐-C](아세틸아세토네이토)이리듐(III)(Ir(ppy)<sub>2</sub>(acac))가 도핑된 열 증착된 CBP의 15.0nm 두께층(1.831의 굴절률에 기초한 27.5nm의 광학 두께); 전자 주입층으로서 기능하는 2,2',2''-(1,3,5-벤젠트릴-트리스(1-페닐-1-H-벤지미다졸)(TPBi)의 29.3nm 두께층(1.736의 굴절률에 기초한 50.8nm의 광학 두께); 전자 주입층으로서 기능하는 8-하이드록시퀴놀리놀리늄(Liq)의 1.0nm 층(1.7의 굴절률에 기초한 1.7nm의 광학 두께)을 포함할 수 있다. 따라서, 활성 구역(728)은 유기층(730)을 포함한다. 이 예시적인 실시예에서 활성 구역(728)에 대한 2가지 제약들은 이것이 대략 147.5nm의 두께를 가진다는 것과, 구성층들의 굴절률이 애노드층(732)의 굴절률보다 각각 낮다는 것이다. 활성 구역(728)의 필요한 두께를 달성하기 위해 필요한 경우 하나 이상의 추가 기능(예를 들어, 캐소드의 금속 및 전자 주입층들) 또는 비-기능층들이 스페이서들로서 작용할 수 있다. 이 중간 결과가 완성되면, 광결정(722)은 비교적 저 굴절률을 갖는 기판, 고 굴절률 및 저 굴절률의 교호하는 유전체층들의 3개의 교호적인 쌍들, 고 굴절률을 갖는 애노드층 및 저 굴절률을 갖는 활성 구역을 포함하고 중간 결과의 각각의 층은 두께가 대략 147.5nm이다. 또한, 이 예에서 CuPC 및 CBP를 각각 포함하는 정공 주입층 및 정공 수송층은 N,N'-비스-(1-나프탈레닐)-N,N'-비스-페닐-

(1,1'-비페닐)-4,4'-디아민(NBP)의 한 층으로 대체되며, 이는 전자 차단 특성들을 가진 정공 수송 재료이다.

[0054] 바로 위의 예를 계속하면, 전공 열 증착에 의한 사마륨과 은의 50:50 혼합물로 형성된 제 1의 0.5nm 캐소드층(도시되지 않음)이 8-하이드록시퀴놀린리튬의 상부에 침착될 수 있다. 이 층은 0.5nm의 광학 두께를 가진다. 예를 들어, 제 2 캐소드층(734)은 제 1 캐소드층 상에 형성될 수 있다. 제 2 캐소드층(734)은 스퍼터링된 IZO 또는 다른 투명한 도전 산화물로 제조될 수 있는 대략 147.5nm 두께의 광학 두께를 갖는다. 제 2 캐소드층(734)은 활성 구역(728)을 포함하는 재료들과 비교할 때 비교적 고 굴절률을 가지며, SiO<sub>2</sub> 또는 그 대체물들과 비교할 때 고 굴절률을 갖는다.

[0055] 캐소드층에서 저 굴절률 및 고 굴절률이 교호하는 3개의 연속적인 쌍들의 유전체 재료층들이 침착될 수 있으며, 각각의 층은 대략 147.5nm 두께이다. 각각의 쌍은 SiO<sub>2</sub>를 포함할 수 있는 저 굴절률층과 Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>를 포함하는 고 굴절률층을 포함할 수 있다. 상술한 바와 같이, 대안적인 저 굴절률층의 비-제한적인 예들은 석영, LiF 또는 MgF<sub>2</sub>로 형성될 수 있다. 대안적인 고 굴절률층의 비-제한적인 예들은 TiO<sub>2</sub>로 형성될 수 있다. 그러한 경우의 저 굴절률층은 캐소드층(734)에 인접하여 또는 캐소드층(734)의 상부에 형성될 것이며, 비교적 고 굴절률을 가질 것이다. 각각의 쌍은 이전 굴절률 쌍 상에 형성되어 고 굴절률층이 저 굴절률층에 인접하게 또는 저 굴절률층 상에 형성되어, 예를 들어 캐소드층(734) 상에서, 광결정(722)은 대략 147.5nm의 SiO<sub>2</sub>층을 한번 스퍼터링한 다음 대략 147.5nm의 Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>층을 한번 스퍼터링하고, 이를 두번 더 반복하여, 이 최종 결과가 고 굴절률을 갖는 최상층을 갖는 단일 광결정(722)을 포함하도록 형성되는 것이 계속될 수 있다.

[0056] 다른 대안적인 예시적인 실시예에서, 예시적인 광결정, 예를 들어 (720)은 다음과 같이 형성될 수 있다. 유리 또는 플라스틱을 포함하는 투명 기판(762)으로 시작한다. 고 굴절률과 저 굴절률이 (서로에 대해) 교호하고 각각의 층이 162nm의 광학 두께를 갖는 2개의 연속적인 쌍들의 유전체 재료층들이 기판 상에 형성될 수 있다. 각각의 쌍은 TiO<sub>2</sub>를 포함하는 고 굴절률층 및 SiO<sub>2</sub>를 포함할 수 있는 저 굴절률층을 포함할 수 있다. 대안적인 저 굴절률층들의 비-제한적인 예들은 LiF 또는 MgF<sub>2</sub>로 형성될 수 있다. 대안적인 고 굴절률층들의 비-제한적인 예는 Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>로 형성될 수 있다. 그러한 경우의 고 굴절률층은 유리 또는 플라스틱과 같은 기판에 인접하게 형성될 것이며, 비교적 저굴절률을 가질 것이다. 각각의 쌍은 이전 쌍 상에 형성되어 고 굴절률층이 저 굴절률층에 인접하게 또는 저 굴절률층 상에 형성되어, 예를 들어 기판(762) 상에서, 광결정(722)은 먼저 73.4nm의 TiO<sub>2</sub>층(2.206의 측정된 굴절률에 기초한 162nm의 광학 두께)을 한번 스퍼터링한 다음 110.7nm의 SiO<sub>2</sub>층(1.463의 측정된 굴절률에 기초한 162nm의 광학 두께)을 한번 스퍼터링하고, 이를 단계들을 한번 더 반복하여, 이 중간 결과가 저 굴절률을 갖는 최상층을 포함하도록 형성될 수 있다.

[0057] 이전 실시예에 상술된 바와 같이, 이 중간 결과가 애노드(732)로 형성될 때, 예를 들어, 애노드(732)는 82.4nm 두께의 In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-ZnO층(인듐-아연 산화물, IZO)(1.966의 측정된 굴절률에 기초한 162nm의 광학 두께)을 포함하는 투명한 무기 반도체 애노드일 수 있다. 대안적으로, 애노드(732)는 10%의 ZnO<sub>2</sub> 및 90%의 In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>를 포함하는 162nm의 광학 두께층을 포함할 수 있다. 이 애노드(732) 상에, 예를 들면 OLED를 구성하는 다양한 유기 및 다른 저 굴절률 재료들을 포함하는 162nm의 전체 광학 두께를 갖는 활성층(728)이 형성되는데, 활성층(728)의 굴절률이 애노드(732)의 굴절률보다 낮게 한다.

[0058] 바로 위의 예를 계속하면, 활성 구역(728)은 예를 들어 다양한 구성 하위층들의 열 증착에 의해 형성될 수 있고, 이 경우에, 전공 주입 및 수송층으로서 기능하는 N, N'-비스(32나프탈렌-1-일)-N, N'-비스(페닐)-벤지딘(NPB)의 열 증착층(예를 들어, 1.748의 측정된 굴절률에 기초한 35nm의 광학 두께에 해당하는 20nm의 물리적 두께); 뒤이어 삼중 차단 재료로서 기능하는 4,4',4"-트리(N-카르바조일)트리페닐아민(TcTa)의 5.0nm 두께의 열 증착층(1.807의 굴절률에 기초한 9.0nm의 광학 두께)의 5.0nm 두께의 열 증착 된 층; 이 재료가 방출 재료로서 기능하는 10% 비스(2-페닐벤조티아졸라토)(아세틸아세토네이트)이리듐(III)(Ir(bt)<sub>2</sub>(acac))가 도핑된 9-(3-(3,5-디(페리딘-2-일)-1H-1,2,4-트리아졸-1-일)페닐-9H-카바졸(m-CBTZ)의 15.0nm 두께의 열 증착층(1.935의 굴절률에 기초한 29.0nm의 광학 두께); 전자 수송층으로서 기능하는 51.4nm 두께의 TPBi층(1.708의 굴절률에 기초한 87.8nm의 광학 두께); 및 0.5nm 플루오르화 리튬층(1.391의 굴절률에 기초한 0.7nm의 광학 두께)를 포함할 수 있다. 따라서 활성 영역(728)은 유기층(730)을 포함한다. 이 예시적인 실시예에서 활성 구역(728)에 대한 2가지 제약들은 이것이 대략 162nm의 두께를 가진다는 것과, 구성층들의 굴절률이 애노드층(732)의 굴절률보다 각각 낮다는 것이다. 활성 구역(728)의 필요한 두께를 달성하기 위해 필요한 경우 하나 이상의 추가 기능(예를 들어,

캐소드의 금속 및 전자 주입층들) 또는 비-기능층들이 스페이서들로서 작용할 수 있다. 이 중간 결과가 완성되면, 광결정(722)은 비교적 저 굴절률을 갖는 기판, 고 굴절률 및 저 굴절률의 교호하는 유전체층들의 2개의 교호적인 쌍들, 고 굴절률을 갖는 애노드층 및 저 굴절률을 갖는 활성 구역을 포함하고 중간 결과의 각각의 층은 두께가 대략 162nm이다.

[0059] 바로 위의 예를 계속하면, 진공 열 증착에 의한 사마륨과 은의 50:50 혼합물로 형성된 제 1의 0.5nm 캐소드층(도시되지 않음)이 플루오르화 리튬의 상부에 침착될 수 있다. 이 층은 0.5nm의 광학 두께를 가진다. 예를 들어, 제 2 캐소드층(734)은 제 1 캐소드층 상에 형성될 수 있다. 제 2 캐소드층(734)은 스퍼터링된 IZO 또는 다른 투명한 도전 산화물로 제조될 수 있는 대략 162nm 두께의 광학 두께를 갖는다. 제 2 캐소드층(734)은 활성 구역(728)을 포함하는 재료들과 비교할 때 비교적 고 굴절률을 가지며, SiO<sub>2</sub> 또는 그 대체물들과 비교할 때 고 굴절률을 갖는다.

[0060] 캐소드층에서 저 굴절률 및 고 굴절률이 교호하는 3개의 연속적인 쌍들의 유전체 재료층들이 형성될 수 있으며, 각각의 층은 대략 162nm 두께이다. 각각의 쌍은 SiO<sub>2</sub>를 포함할 수 있는 저 굴절률층과 TiO<sub>2</sub>를 포함하는 고 굴절률층을 포함할 수 있다. 상술한 바와 같이, 대안적인 저 굴절률층의 비-제한적인 예들은 LiF 또는 MgF<sub>2</sub>로 형성될 수 있다. 대안적인 고 굴절률층의 비-제한적인 예들은 Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>로 형성될 수 있다. 그러한 경우의 저 굴절률층은 캐소드층(734)에 인접하여 또는 캐소드층(734)의 상부에 형성될 것이며, 비교적 고 굴절률을 가질 것이다. 각각의 쌍은 이전 쌍 상에 형성되어 고 굴절률층이 저 굴절률층에 인접하게 또는 저 굴절률층 상에 형성되어, 예를 들어 캐소드층(734) 상에서, 광결정(722)은 대략 162nm의 SiO<sub>2</sub>층을 한번 스퍼터링한 다음 대략 162nm의 Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>층을 한번 스퍼터링하고, 이를 두번 더 반복하여, 이 최종 결과가 고 굴절률을 갖는 최상층을 갖는 단일 광결정(722)을 포함하도록 형성될 수 있다.

[0061] 상술한 예시적인 실시예들에서, 광이 광결정(722)의 각각의 "단부(end)" 또는 표면(726)으로부터 투과 축(736)에 대략 평행하게 방출될 것을 당업자라면 알 것이다. 한쪽 단부에서만 방출되도록 장치를 구성하기 위해, 한쪽 단부에 미러나 반사기를 배치해야 한다. 금속 미러들이 사용될 때, 예를 들어, 인접한 층의 두께를 증가시킴으로써, 금속 표면으로부터의 반사시에 발생하는 위상 편이에 대한 허용이 이루어져야 한다. 대안적으로, 당업자라면, 각각의 단부로부터 광이 방출되지 않거나 광이 거의 방출되지 않을 때까지 장치의 한 단부에서 고-굴절률/저-굴절률 유전체 쌍들의 수를 단순히 증가시키는 것이 가능할 것이다.

[0062] 당업자는 금속 캐소드, 다양한 층 경계들 및 굴절률의 알려지지 않거나 제어할 수 없는 변동들에 의해 야기된 광의 위상의 작은 변화들이 다양한 구성요소들에서 두께의 조정을 요구할 수 있음을 알 것이다. 이러한 변동들은 결정적인 기준에 따라 발생하며, 따라서 선택된 재료들이 주어지면 TBP층과 같은 하나 이상의 층들의 두께를 조정하여 이러한 사소한 변동들을 보정할 수 있다. 또한, ITO 및 IZO를 스퍼터링 할 때, 이를 재료에서 굴절률의 변동들이 발생할 것이며, 이는 정확한 광학 두께를 달성하기 위해 물리적인 두께를 조정함으로써 설명될 수 있다.

[0063] 본 발명의 장치들의 광결정 구조들로부터 방출된 광은 장치의 평면에 수직인 방향으로(투과 축(704)에 평행한) 전파한다. 따라서, 이 광과 연관된 전기 벡터들은 모두 장치의 평면에 평행하게 배향된다. 이것은 이 광이 실질적으로 장치의 평면 내에 있는 구성요소들로 전이 모멘트들을 갖는 여기된 상태 분자들로부터의 방출만을 단지 유도한다는 것을 의미한다. 전이 모멘트들이 장치의 평면에 실질적으로 수직인 분자들을 여기시키는 데 사용되는 에너지는 따라서 평면내 발광 또는 비방사 완화 메커니즘들에 손실될 수 있다. 이러한 이유 때문에, 이방성 호스트가 장치의 평면에서 방출 도편트들의 전이 모멘트를 우선적으로 정렬시키는 호스트-도편트 혼합물들이 바람직하다. 일례는 Ir(ppy)<sub>2</sub>(acac)로 도핑된 CBP이다.

[0064] 당업자는 다양한 다른 양태들이 상이한 층 구성을 가질 수 있다는 것을 또한 알 것이다. 개시된 장치(800)의 다양한 추가 실시예들이 도 8에 도시된다. 도시된 실시예들은 밴드-캡을 갖는 광결정을 포함할 수 있고, 교호하는 고 굴절률 유전체 재료들과 저 굴절률 유전체 재료들로 형성될 수 있으며, 주기적으로 변하는 굴절률, 및 자유 공간 전계발광 방출이 밴드-에지 광장들에서 상당히 높은 라디언스를 나타내는 이미터 재료를 포함하는 OLED를 생성할 수 있으며, 즉 장치 표면에 대해 수직 방향으로 측정될 때 재료에 대한 피크 스펙트럼 전계발광에서의 라디언스의 바람직하게는 적어도 25%, 가장 바람직하게는 적어도 50%이다. 즉, 유기 발광 다이오드에 이용되는 발광 재료에 의해 방출된 발광 광의 측정된 라디언스는 그 발광 표면에 수직으로 측정된 이미터 재료에 의해 방출된 발광 광의 측정된 라디언스는 그 발광 표면에 대해 수직 방향으로 측정된 이미터 재료의 발광 방출 스펙트럼의 피크 라디언스의 1/4보다 크다. 이 장치는 3개의 하위-구조, 즉 광결정 구조의 제 1 부분(810), 중앙 저

굴절률 구역(812), 및 광결정 구조의 제 2 부분(814)을 포함한다. "일부(a portion)"에 대한 언급은 단일의 통합된 광결정(single unitary photonic crystal)으로 형성되는 (800)의 구성요소들에 대한 설명을 용이하게 하기 위한 협약을 의미한다. 이를 3개의 하위 구조들과는 별도로, 도 8에 도시된 장치들의 구조들은 또한, 투명 애노드(822), 낮은 일 함수 금속으로 구성된 박막 제 1 캐소드층(834), 및 제 2 투명 캐소드층(836)을 포함할 수 있다. 투명 애노드(822)는 인듐-주석 산화물 또는 인듐-아연 산화물과 같은 임의의 적합한 투명 도전 재료로부터 제조될 수 있다. 제 1 캐소드층은 알루미늄, 마그네슘/은 합금, 은/회토류 합금 또는 사마륨이나 이테르븀과 같은 순수한 회토류 금속과 같은 임의의 적합한 낮은 일 함수 금속의 투명 박막으로 제조될 수 있다. 제 2 캐소드층(836)은 인듐-주석 산화물과 같은 임의의 적합한 투명 도전 재료로 제조될 수 있다. 예를 들어, (834 및 836)의 재료들이 서로 호환되지 않는 경우, 제 2 금속층이 선택적으로 층들(834 및 836) 사이에 삽입될 수도 있다.

[0065]

광결정 구조의 제 1 부분(810)은 다수(이 비-제한적인 실시예에서는 5개이지만 많거나 적을 수 있음)층 쌍들(816)을 포함할 수 있다. 층 쌍들의 각각은 투명 고 굴절률 재료층(818) 및 투명 저 굴절률 재료층(820)을 포함한다. 층 쌍들(816)을 포함하는 층들 각각은 광결정 하위-구조(810)의 스텝-밴드의 중심 파장의 1/4과 동일한 광학 두께를 갖는다. 광학 두께는 층의 물리적 두께와 층의 굴절률을 곱한 것과 같다. 광결정 구조의 제 2 부분(814)은 다수(이 비-제한적인 예에서는 5개이지만, 더 많거나 적을 수 있음)층 쌍들(838)을 포함할 수 있다. 층 쌍들의 각각은 투명 저 굴절률 재료층(840) 및 투명 고 굴절률 재료층(842)을 포함할 수 있다. 층 쌍들(838)을 포함하는 층들 각각은 광결정 하위-구조(814)의 스텝-밴드의 중심 파장의 약 1/4과 동일한 광학 두께를 가질 수 있으며, 이는 광결정 하위-구조(810)의 두께와 동일하다.

[0066]

중앙 저 굴절률 구역(812)은 정공 주입층(824), 정공 수송층(826), 이미터층(828), 전자 수송층(830) 및 전자 주입층(832)을 포함할 수 있다. 중앙 저 굴절률 구역(812)에 포함된 모든 층들은 전극들(822 및 836)의 굴절률보다 낮은 굴절률을 가지며, 구역(812)에 포함된 모든 층들의 전체 광학 두께는 광결정 하위-구조(810 및 814)의 스텝-밴드들의 중심 파장의 1/4과 동일하다. 다양한 실시예들에서, 이미터층(828)은 방출 스펙트럼 및 흡수 스펙트럼을 갖는 이미터 재료를 포함하고, 밴드-캡은 (장치의 각 층의 광학 두께를 변경하거나, 보다 일반적으로는 주기적인 굴절률 프로파일의 공간적 주기의 물리적 길이를 변경함으로써) 조정되어, 밴드-캡의 밴드-에지에서의 밴드-에지 광 방출의 피크 라디언스 파장이, 이미터 재료의 자유 공간 광 방출이 이미터의 피크 라디언스의 바람직하게는 1/4보다 크고 가장 바람직하게는 1/2보다 큰 파장이 되게 한다. 방출 재료의 자유 공간 전계 발광 방출이 밴드-에지 파장들에서 상당히 높은 라디언스, 즉, 재료에 대한 피크 스펙트럼 전계발광의 라디언스의 바람직하게는 적어도 25%, 가장 바람직하게는 적어도 50%인 라디언스를 나타낸다.

[0067]

전극층들(822 및 836)은 중앙 저 굴절률 구역(812)의 재료들보다 높은 굴절률을 가질 수 있지만, 인접한 층들(820 및 840) 각각보다 높은 굴절률들을 또한 가질 수 있다. 전극층들(822 및 836)은 또한 광결정 하위-구조(814 및 816)의 스텝-밴드의 중심 파장의 1/4과 동일한 광학 두께를 가질 수 있다. 캐소드층(834)은 초박막일 수 있고 일반적으로 캐소드(836)의 광학 두께에 무시할 수 있는 영향을 미치지만, 광학 설계면에서 중앙 저 굴절률 구역(812) 또는 캐소드층(836) 중 어느 하나(2개의 굴절률 중 어느 것이 더 가깝다)의 일부로서 세어야 한다. 이러한 방식으로, 층들(820, 822, 812(복합층), 836 및 840)의 시퀀스는 광결정에 포함시키기 위해 필요한 굴절률의 저/고/저/고/저 교호를 나타낼 수 있다. 따라서, 하위-구조들(810, 812, 814) 및 층들(822 및 836) 모두는 통합된 조합으로서 단일 광결정 구조(800)를 형성할 수 있음을 알 수 있다.

[0068]

장치(800)가 전기적으로 활성화될 때, 정공들은 애노드(822)에서 정공 주입층(824) 및 정공 수송층(826)을 통해 이미터층(828)으로 흐른다. 동시에 전자들은 캐소드층들(834 및 836)에서 전자 주입층(832) 및 전자 수송층(830)을 통해 이미터층(828)으로 흐른다. 전자들 및 정공들은 층(828)에서 발광 재료 분자들 상에서 재결합하여 여기자들을 생성한다. 이미터층(828)은 광결정 구조 내부에 있을 수 있기 때문에, 그 층에서 생성된 여기자들은 광결정의 스텝-밴드 내의 파장들에서 광을 방출할 수 없다. 그러나, 층(828) 내의 발광 재료의 방출 밴드가 스텝-밴드의 밴드-에지 파장들과 중첩되는 경우, 광 방출이 발생하고, 이들 파장들에서의 높은 상태 밀도 때문에 비정상적으로 높은 방출 레벨들이 발생한다. 광결정은 광자 밀도를 증가시키는 구조 내의 밴드-에지 방출로부터 거의 모든 광 방출이 유도 방출인 여기자들과 상호 작용하는 광자가 충분히 있는 지점으로 광을 트래핑한다(traps). 그러나 설계상으로 그리고 일반적으로 재료들의 특성으로 인해, 이러한 장치들에서 달성할 수 있는 전류 레벨들에서 레이징을 지원하기 위한 유기 재료들의 레이저 이득이 불충분하다. 유도 방출로부터의 광이 장치 내의 전파 방향에서 거의 수직이기 때문에, 내부 반사 및 광의 트래핑으로 인한 손실은 거의 없으며, 결과적으로 장치는 매우 에너지 효율적이다.

[0069]

중앙 저 굴절률 구역(812)을 포함하는 층들의 성질 및 수는 광을 방출하기 위해 전기적으로 활성화될 수 있는

이미터층이 존재하는 한 및 그 이미터 재료의 방출 스펙트럼이 광결정의 스톱-밴드를 중첩하는 파장들을 포함하는 한 결합될 수 있다. 예를 들어, 정공 주입층(824) 및 정공 수송층의 기능들은 개별적인 단일층으로 결합될 수 있다. 전자 주입층(832) 및 전자 수송층(830)의 기능들은 별도의 단일층으로 결합될 수 있다. 추가의 정공 수송층 또는 전자 수송층에는 물론 정공 차단층, 전자 차단층 및 삼중 차단층이 도입될 수 있다.

[0070] 장치(800)의 광결정 구조는 장치의 기능성 OLED층들과 같이 한 번에 한층 쌓일 수 있다. 따라서, 광결정 구조들은 불연속 주기적인 굴절률 프로파일을 가질 수 있다.

[0071] 일부 경우들에서는, 장치(800)의 적절한 전기적 기능이 중앙 저 굴절률 구역(812)의 전체 두께가 광결정(800)의 스톱-밴드의 원하는 중심 파장의 1/4보다 클 것을 요구할 수 있다. 예를 들어, 이 문제는 청색 또는 보라색 광 또는 임의의 다른 색상을 생성하도록 설계된 장치들에서 발생할 수 있지만 필수적인 것은 아니다. 이것이 그러한 경우, 중앙 저 굴절률 구역(812)의 두께는 광학 두께에서 광결정 하위-구조들(810 및 814)의 스톱-밴드들의 중심 파장의 3/4의 합계가 될 수 있다. 교호하는 층들의 수가 도 8에서 기술된 수보다 많거나 적을 수 있고 최적의 층 수가 용도에 따라 다를 수 있음을 알 것이다.

[0072] 구역(812)의 두께를 중심 스톱-밴드 파장의 3/4까지 증가시키는 것은 청색 또는 보라색 방출 장치들에 대한 최상의 해결책이 아닐 수도 있다. 대신에 대안적인 해결책은 도 9에 도시된 변경된 설계(900)이다. 장치(900)는 광결정 구조의 제 1 부분(910), 중앙 저 굴절률 구역(912), 및 광결정 구조의 제 2 부분(914)이 존재한다는 점에서 장치(800)와 상당히 유사하며, 이들 3개의 하위-구조들은 장치(800)의 하위-구조들(810, 812 및 814)에 대응한다. 여기에서 차이점은 중앙 저 굴절률 구역(912)이 이미터층(928), 전자 수송층(930) 및 전자 주입층(932)만을 포함한다는 점이다. 정공 주입층(924)은 정공 수송층(926)과 결합하여 다른 저 굴절률 구역(944)을 구성한다. 이 저 굴절률 구역은 제 2 정공 수송층(946)에 의해 중앙 저 굴절률 구역(912)으로부터 분리된다. 정공 수송층(946)의 재료는 구역들(944, 912)의 재료들보다 높은 굴절률을 갖는다. 구역(912)을 구성하는 층들의 결합된 광학 두께는 광결정 하위-구조들(910 및 914)의 스톱-밴드들의 중심 파장의 1/4과 동일하다. 구역(944)을 구성하는 2개 층의 결합된 광학 두께는 광결정 하위-구조들(910, 914)의 스톱-밴드들의 중심 파장의 1/4과 동일하고, 층(946), 애노드(922) 및 캐소드층(936)의 광학 두께는 각각 광결정 하위-구조들(910, 914)의 스톱-밴드들의 중심 파장의 1/4와 동일하다. 따라서, 이 광결정 구조의 제 1 부분(910), 저 굴절률 구역(944), 중앙 저 굴절률 구역(912) 및 광결정 구조의 제 2 부분(914)은 층들(922, 946 및 936)과 결합하여 단일 광결정 구조를 생성하는 것을 알 수 있다. 이 구조는 장치(800)에 대해 기술된 것과 동일한 방식으로 이미터층(928)에 의해 방출된 광과 상호 작용한다.

[0073] 추가의 대안적인 실시예들이 도 10에 도시된 단파장 광 발생에 내재된 잠재적인 문제점을 해결할 수 있는 장치(1000)에 의해 예시된다. 이 장치는 광결정 구조의 제 1 부분(1010), 중앙 저 굴절률 구역(1012), 및 광결정 구조의 제 2 부분(1014)을 가지고, 이들 3개의 하위-구조들은 장치(800)의 하위-구조들(810, 812 및 814)에 대응한다. 이 장치에서 차이점은 중앙 저 굴절률 구역(1012)이 이미터층(1028), 정공 수송층(930) 및 정공 주입층(1032)만을 포함한다는 점이다. 전자 주입층(1024)은 전자 수송층(1026)과 결합하여 다른 저 굴절률 구역(1044)을 구성한다. 이 저 굴절률 구역은 제 2 전자 수송층(1046)에 의해 중앙 저 굴절률 구역(1012)으로부터 분리된다. 전자 수송층(1046)의 재료는 구역들(1044, 1012)의 재료들보다 높은 굴절률을 갖는다. 구역(1012)을 구성하는 층들의 결합된 광학 두께는 광결정 하위-구조들(1010 및 1014)의 스톱-밴드들의 중심 파장의 1/4에 해당한다. 구역(1044)을 구성하는 2개 층의 결합된 광학 두께는 광결정 하위-구조들(1010 및 1014)의 스톱-밴드들의 중심 파장의 1/4에 해당하고, 층(1046), 애노드(1022) 및 캐소드층(1036)의 광학 두께는 각각 광결정 하위-구조들(1010 및 1014)의 스톱-밴드들의 중심 파장의 1/4에 해당한다. 따라서, 광결정 구조의 제 1 부분(1010), 저 굴절률 구역(1044), 중앙 저 굴절률 구역(1012), 및 광결정 구조의 제 2 부분(1014)이 층들(1022, 1046 및 1036)과 결합하여 단일 광결정 구조를 생성하는 것을 알 수 있다. 이 구조는 상기 장치(800)에 대해 기술된 것과 동일한 방식으로 이미터층(1028)에 의해 방출된 광과 상호 작용한다.

[0074] (800, 900 및 1000)과 같은 장치들은 레이저 광을 생성할 수 없고, 광 발생이 일어나는 미소-공동(micro-cavity)이 없고, 스톱-밴드-에지 유도 방출을 사용하고, 불연속 굴절률 프로파일들을 갖는 광결정들을 갖기 때문에 공지된 장치들과 다르다. 현재로서는 이것이 매우 높은 에너지 효율을 갖는 상업적으로 실현 가능한 OLED 장치들의 생산을 가능하게 하는 장치 특성들의 유일한 조합일 수 있다.

[0075] 도 11은 이미터 재료와 밴드-캡 재료의 조합을 선택하는 방법을 도시한다. 밴드-캡(1120)을 갖는 광결정의 예시적인 투과 스펙트럼(1110)이 예시되어 있다. 예시적인 이미터 재료의 흡수 스펙트럼(1130) 및 방출 스펙트럼(1140)이 또한 도시된다. 도시된 바와 같이, 방출 스펙트럼은  $\lambda_{pp}$ 에서 발생하는 피크 출력(1150),  $\lambda_{1/2pp}$ 에서

발생하는 하프 피크 출력(1160) 및  $\lambda_{1/4\text{PP}}$ 에서 발생하는 1/4 피크 출력(1195)을 갖는다. 바람직하게는, 고효율 장치를 달성하기 위해, 광결정은 가능한 한 적게 흡수 스펙트럼(1130)의 영역들과 중첩하는 스펙트럼의 영역에서, 즉 이미터 재료에 의한 낮은 흡수가 있는 영역(1180)에서, 밴드-캡(1170)의 에지가 피크 방출 파장(1150)과 1/4 피크 방출 파장(1195) 사이에 있도록 구성된다. 가장 바람직하게는, 흡수 스펙트럼(1130)의 영역들과 중첩되는 스펙트럼의 영역에서, 즉 이미터 재료에 의한 낮은 흡수가 있는 영역(1180)에서, 밴드-캡(1170)의 에지가 피크 방출 파장(1150)과 1/2 피크 방출 파장(1160) 사이에 있도록 구성된다. 밴드-캡 에지(1170)는 이미터총을 통과하는 광의 단일 통과에 대한 광 흡수가 1% 미만인 파장에 있을 수 있다. 바람직하게는, 밴드 에지(1170)는 이미터총을 통과하는 광의 단일 통과에 대한 광 흡수가 1/2% 미만이고 또한 1/4 피크 라디언스보다 큰 방출 스펙트럼의 파장에 대응하는 파장에 있을 수 있다.

[0076] (1190). 또한, 이미터 재료의 방출 스펙트럼은 하나보다 많은 피크를 가질 수 있으며, 본 명세서에서 피크 라디언스의 논의들은 밴드-캡에 인접한 스펙트럼의 영역에 관련된다는 것을 알 것이다. 개시된 장치의 출력 광은 장치의 출력 스펙트럼이 총 두께들 및 이에 따른 밴드-에지 파장들을 조정함으로써 맞추어질 수 있도록 밴드-에지에 대응하는 파장들에 기초하여 결정된다는 것을 알 것이다. 하나의 파장에 대응하는 스텝-밴드를 갖는 제 1 광결정은 제 1 광결정으로부터의 투과 스펙트럼에서 위 또는 아래로 이동되는 스텝-밴드를 갖는 제 2 광결정에 대해 투명하거나 실질적으로 투명할 수 있기 때문에, 2개 이상의 스텝-밴드들에 대응하는 밴드-에지 광을 방출할 수 있는 단일 장치는 하나 이상의 광결정들을 서로 위에 적층함으로써 형성될 수 있다.

[0077] 종종, OLED 장치들의 이미터 재료 분자들은 다른 것들에 비해 분자 배향과 관련하여 어떤 방향으로 광 방출을 선호하는 형상들을 갖는다. 이 때문에, 이미터총의 이미터 재료의 분자들을 특정 배향으로 균일하게 정렬함으로써, 다른 것들보다 이미터총의 평면에 대해 일부 방향들에서 광이 더 강하게 방출될 것이다. 이것은 분자들의 분자 오비탈들이 모양과 전자 분극성의 점에서 비대칭이기 때문이다. 입사광 또는 광 방출파의 상호 작용은 광의 전기 벡터가 오비탈 내에서 가장 높은 전기 분극성의 방향을 따라 있을 때 가장 강할 것이다. 그러나 광의 방출이나 흡수는 2개의 분자 오비탈들, 즉 흥분 상태와 전자 기저 상태의 분자 오비탈들을 관련시키기 때문에, 또한 가장 높은 전기 분극성의 방향들이 이 두 오비탈들에 대해 매우 자주 다르기 때문에, 가장 높은 상호 작용 또는 방출을 생성하는 광의 전기 벡터 방향은 두 오비탈들에 대한 가장 높은 전자 분극성이 방향들 사이의 중간이다. 가장 높은 상호 작용을 일으키는 광의 전기 벡터 방향은 광파의 상호 작용에 의해 분자에서 유도된 과도 전기 쌍극자의 방향이기 때문에(또는 반대로 광을 방출하는 과도 전기 쌍극자의 방향에 의해) 전이 모멘트(또는 전이 쌍극자 모멘트)라 칭해진다. 따라서, 이미터 분자들이 그들의 전이 모멘트들이 피드백 광의 전파 방향에 수직이 되도록 균일하게 정렬되면, 이미터 재료들과 피드백 광 사이의 상호 작용의 효율이 최대가 되어 최대 유도 방출을 생성하는 것을 알 수 있다. 이러한 종류의 정렬은, 기저층 표면에 "놓여서(lay down)" 이방성 환경을 생성하여 이미터 분자들을 정렬시키는 강성 막대 또는 디스크형 분자들을 갖는 주 재료들에 용해된 올바른 기하학의 강성 이방성 이미터 분자들을 이용함으로써 달성될 수 있다. 이러한 거동을 나타낼 수 있는 주 재료들은 4,4'-비스(카르바졸-9-일)바이페닐(CBP) 및 N,N'-비스(나프탈렌-1-일)N,N'-비스-(페닐)벤지딘(NBP)이다.

[0078] 일부 이리듐(III) 유기 금속 인광 이미터 재료들은 자신의 분자들을 일부 주 재료들에 의해 자발적으로 정렬시켜 원하는 인광 방출을 위한 전이 모멘트들이 주로 OLED 방출 층의 평면에 주로 정렬되도록 할 수 있다. 특히, 방향족 화합물들을 함유하는 방향족 치환된 질소를 포함하는 2개의 리간드들 및 제 3 아세토아세테네이트 리간드를 갖는 일부 혜테로렙티 이리듐 III 복합체들은 이러한 종류의 정렬을 나타냈다. 이것의 예들은, 4,4'-비스(카르바졸-9-일)비페닐 호스트의 비스(2페닐피리딘)(아세틸아세토네이트)이리듐(III)도펜트 및 N,N'-비스(나프탈렌-1-일)N,N'-비스(페닐)벤지딘의 비스(2메틸디벤조[f, h]퀴녹살린)(아세틸아세토네이트)이리듐(III)이다. 이와 같은 이방성 이미터 재료 제제들은 본 발명의 장치들의 에너지 효율을 추가로 증가시키는 데 유리하게 사용될 수 있다.

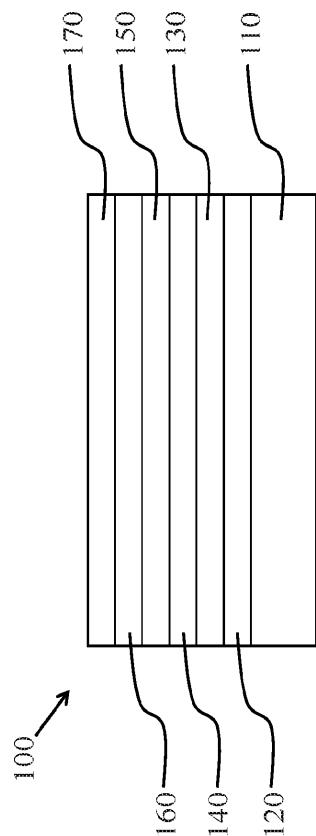
[0079] 상술한 실시예들은 예시적인 예들이며, 본 발명은 이를 특정 실시예들에 한정되는 것으로 해석되어서는 안된다. 예를 들어, OLED 장치들이 방출 장치들의 예들로서 사용되었지만, OLED들에 한정되지 않고 다른 발광 재료 또는 구조들이 사용될 수 있다. 또한, 굴절률 프로파일들, 광의 방향 등이 평면에 대해 "수직(normal)"인 것으로 기술되었지만, 수직 또는 실질적으로 수직에 가까운 범위이며 정확하게 수직일 필요는 없음을 이해해야 한다. 따라서, 본 출원에 기술된 실시예들은 평면에 대해 거의 수직이거나 실질적으로 수직인 경우들을 포함할 수도 있다. 또한, 상이한 실시예들을 참조하여 기술된 다양한 구성요소들 및 양태들이 상이한 실시예들 간에 상호 교환 가능하며, 하나의 특정 실시예에 한정되지 않는다. 따라서, 첨부된 청구 범위들에서 규정된 본 발명의 사상 또는 범위를 벗어나지 않고 당업자에 의해 다양한 변경들 및 수정들이 이루어질 수 있다.

[0080]

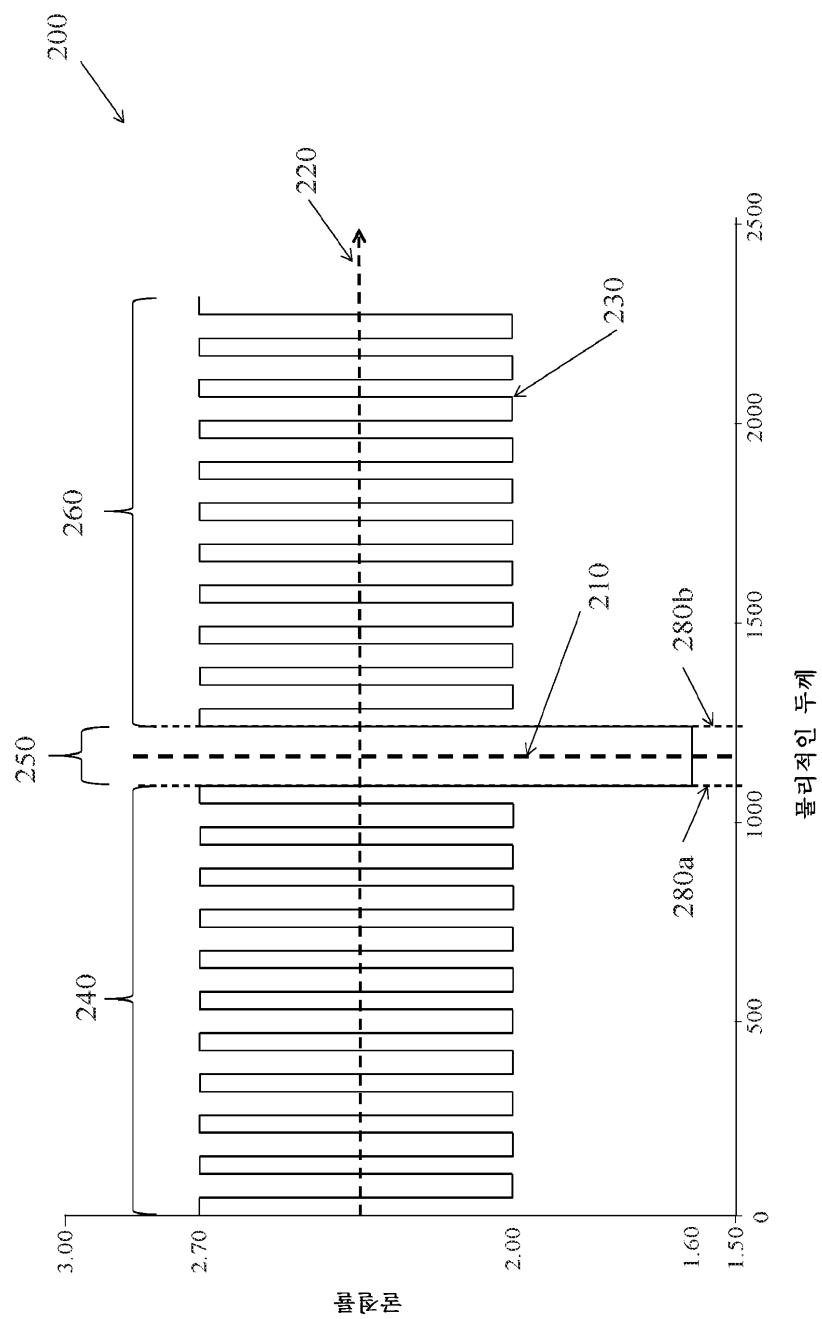
본 발명이 예시적 실시예들을 참조하여 구체적으로 도시되고 기술되었지만, 다음의 청구 범위들 및 그 등가물들에서 규정된 본 발명의 사상 또는 범위를 벗어나지 않고 형태 및 세부사항들에서 다양한 변화들이 이루어질 수 있음을 당업자는 이해할 것이다. 따라서, 본 발명의 실시예들은 모든 면에서 예시적이고 제한적인 것으로서 간주되며, 본 발명의 범위를 나타내기 위해 상기 설명보다는 오히려 첨부된 청구 범위들 및 그 등가물들을 참조하는 것이 바람직하다.

## 도면

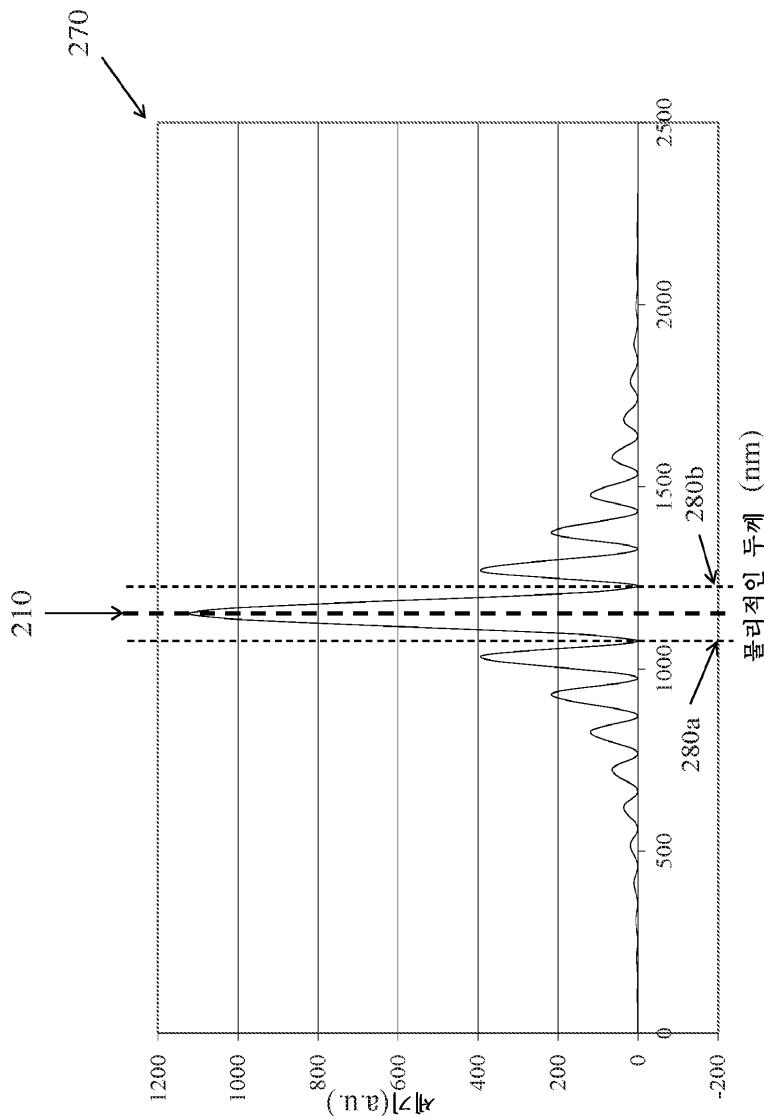
### 도면1



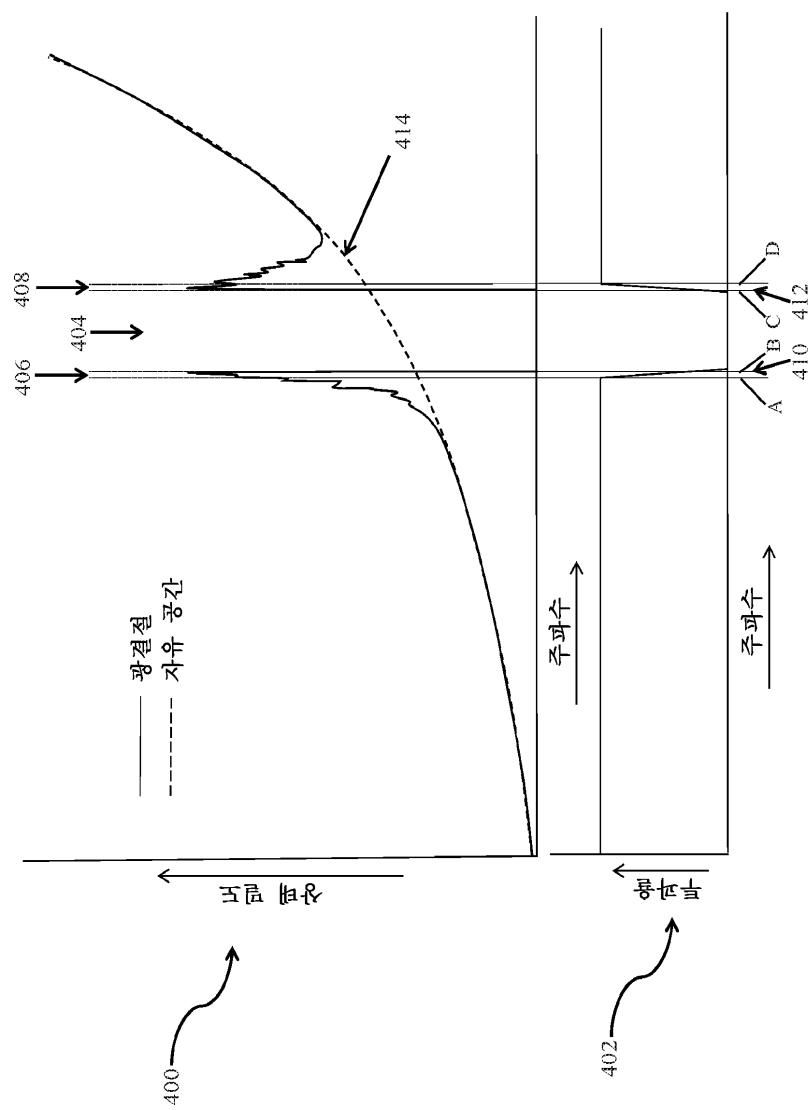
도면2



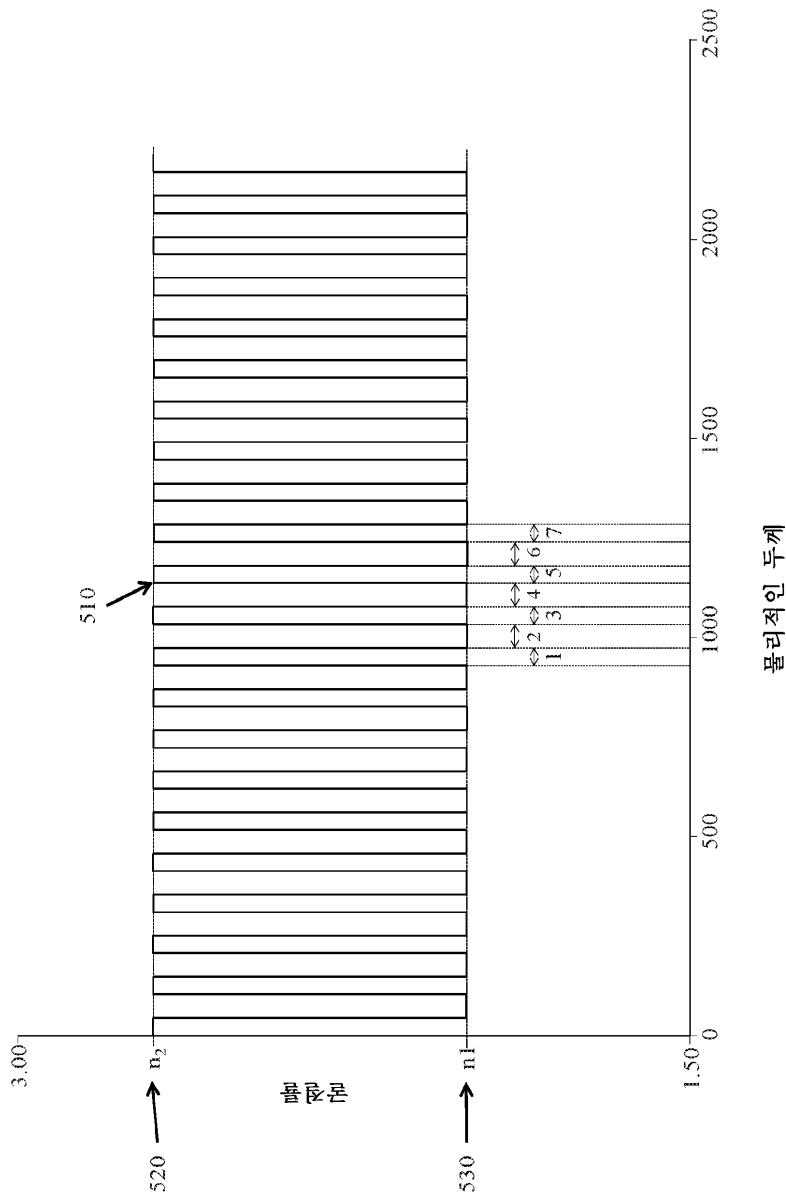
도면3



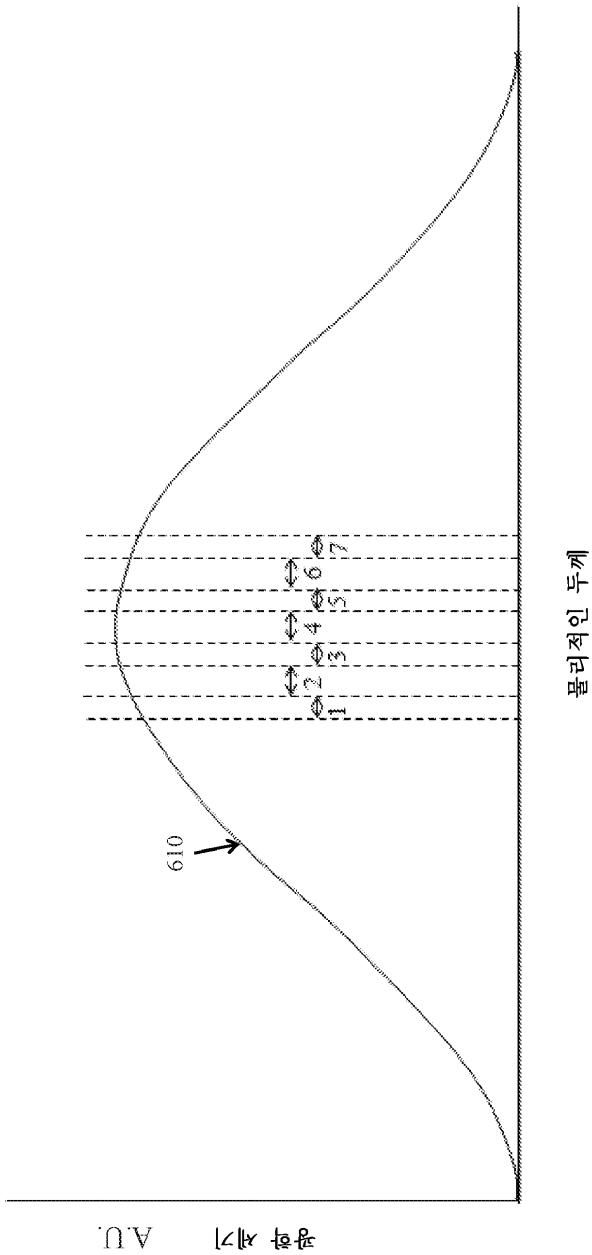
도면4



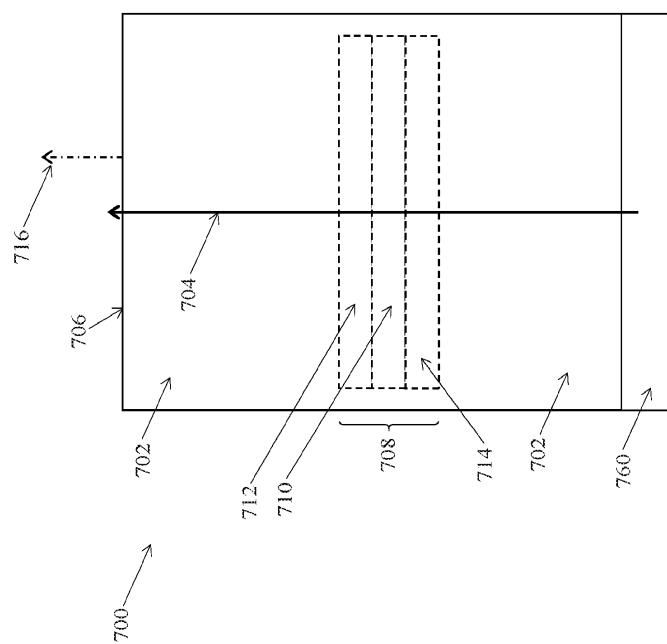
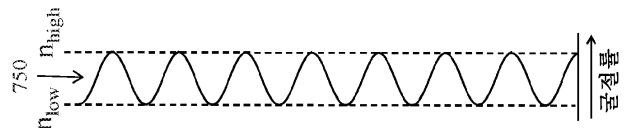
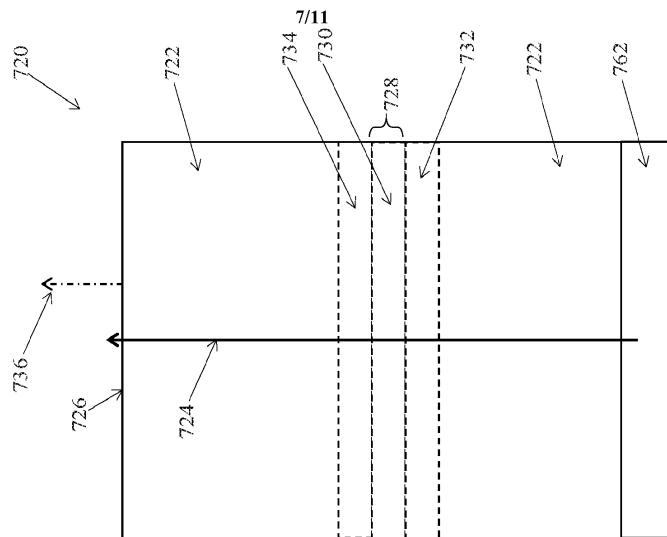
도면5



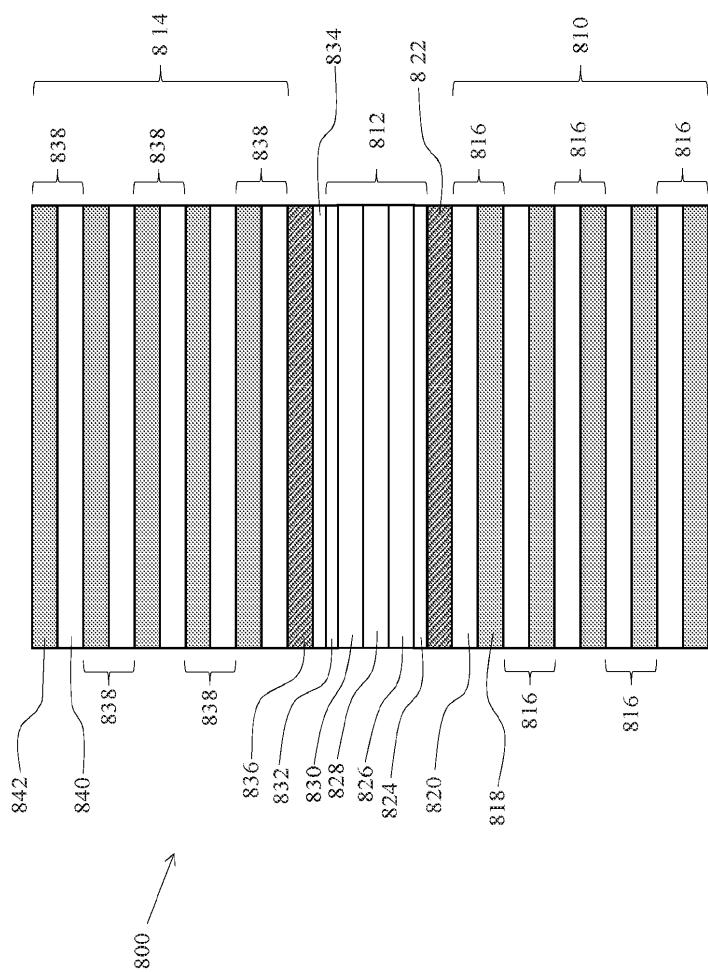
도면6



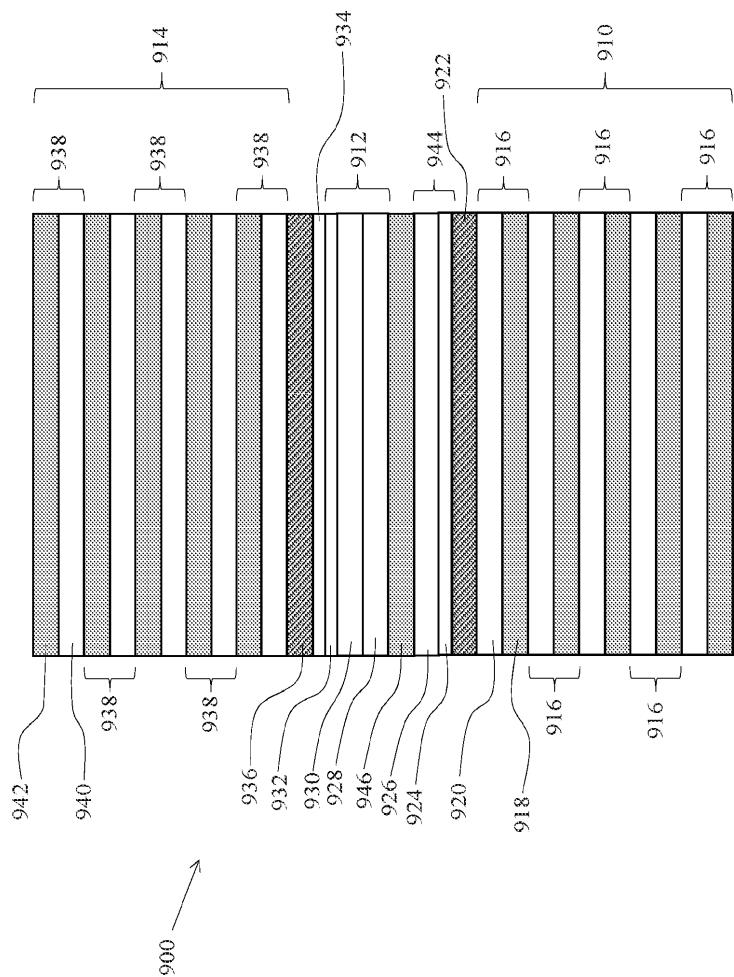
도면7



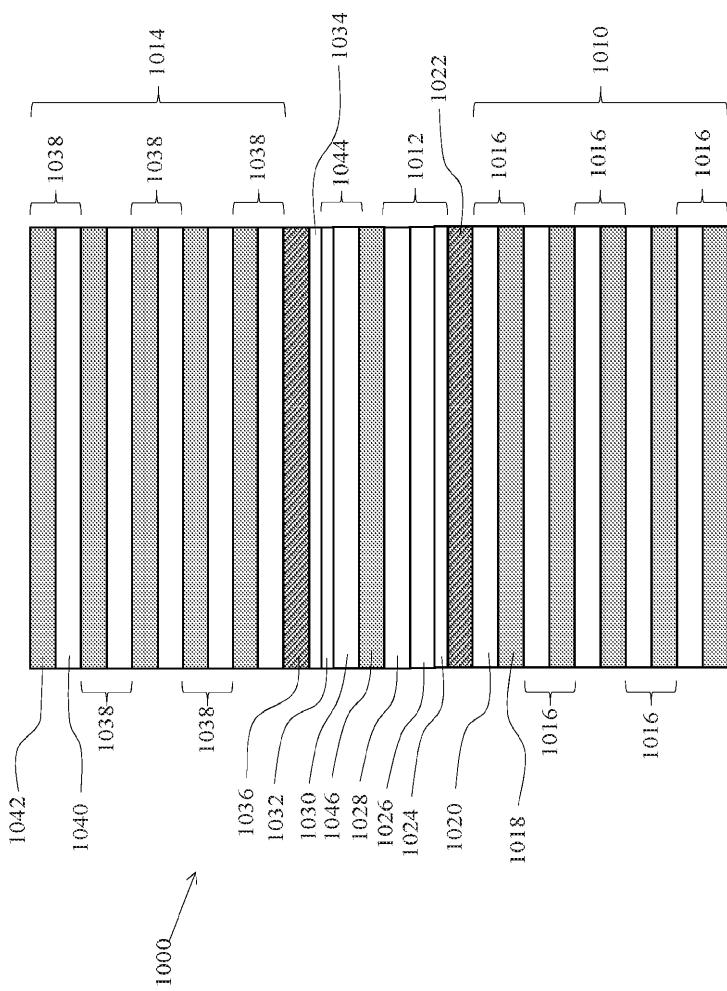
도면8



## 도면9



## 도면10



## 도면11

