



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2021년05월03일

(11) 등록번호 10-2247414

(24) 등록일자 2021년04월27일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

H01L 33/00 (2010.01) H01L 33/12 (2010.01)

H01L 33/18 (2010.01) H01L 33/24 (2010.01)

H01L 33/36 (2010.01) H01L 33/54 (2010.01)

H01L 33/56 (2010.01)

(52) CPC특허분류

H01L 33/002 (2013.01)

H01L 33/12 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2019-0176539

(22) 출원일자 2019년12월27일

심사청구일자 2019년12월27일

(56) 선행기술조사문헌

US20170294629 A1*

Nature Communications volume 10, Article number: 109 (2019)

Nature Communications volume 9, Article number: 2623 (2018)

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

경희대학교 산학협력단

경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732 (서천동, 경희대학교 국제캠퍼스내)

(72) 발명자

김영덕

경기도 성남시 분당구 성남대로 449 로얄팰리스 D-503(정자동, 로얄팰리스)

(74) 대리인

특허법인 고려

전체 청구항 수 : 총 18 항

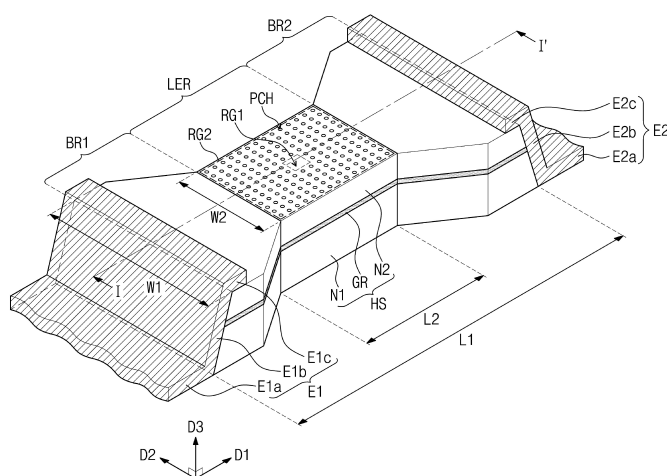
심사관 : 배성주

(54) 발명의 명칭 광결정 구조를 이용한 광원

(57) 요약

본 발명은 기관, 상기 기관 상에 차례로 적층되는 제1 봉지층, 그래핀층 및 제2 봉지층을 포함하는 이중 접합 구조체, 상기 제1 봉지층, 상기 그래핀층 및 상기 제2 봉지층을 수직적으로 관통하는 광결정 홀들, 및 상기 이중 접합 구조체의 양 단부에 각각 연결되는 제1 및 제2 전극들을 포함하되, 상기 이중 접합 구조체는 상기 제1 및 제2 전극들과 각각 접촉하는 버퍼 영역들 및 상기 버퍼 영역들 사이의 발광 영역을 포함하고, 상기 광결정 홀들은 상기 발광 영역에 제공되고, 상기 발광 영역의 폭은 상기 버퍼 영역들의 폭들보다 작은 광결정 구조를 이용한 광원을 제공한다. 또한, 상기 광결정 구조를 이용한 광원은 광검출기로 활용 가능하다.

대표도



(52) CPC특허분류

H01L 33/18 (2013.01)

H01L 33/24 (2013.01)

H01L 33/36 (2013.01)

H01L 33/54 (2013.01)

H01L 33/56 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 SRFC-TB1803-04

부처명 삼성전자(주)

과제관리(전문)기관명 삼성전자 미래기술육성센터

연구사업명 차세대 통신/네트워크 및 융복합 기술

연구과제명 초고속 그래핀 광원 기반 광대역 초소형 광통신 칩 개발

기 여 율 1/1

과제수행기관명 경희대학교 산학협력단

연구기간 2018.09.01 ~ 2021.08.31

공지예외적용 : 있음

명세서

청구범위

청구항 1

기관;

상기 기관 상에 차례로 적층되는 제1 봉지층, 그래핀층 및 제2 봉지층을 포함하는 이중 접합 구조체;

상기 제1 봉지층, 상기 그래핀층 및 상기 제2 봉지층을 수직적으로 관통하는 광결정 홀들; 및

상기 이중 접합 구조체의 양 단부에 각각 연결되는 제1 및 제2 전극들을 포함하되,

상기 이중 접합 구조체는 상기 제1 및 제2 전극들과 각각 접촉하는 버퍼 영역들 및 상기 버퍼 영역들 사이의 발광 영역을 포함하고,

상기 광결정 홀들은 상기 발광 영역에 제공되고,

상기 발광 영역의 폭은 상기 버퍼 영역들의 폭들보다 작은 광결정 구조를 이용한 광원.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 제1 봉지층 및 상기 제2 봉지층은 육방정 질화 붕소(hexagonal boron nitride, hBN)를 포함하고,

상기 제1 봉지층 및 상기 제2 봉지층 각각과 상기 그래핀층의 접합은 반 데르 발스 이중 접합인 광결정 구조를 이용한 광원.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 기관과 상기 이중 접합 구조체 사이에 제공되는 복수 개의 광도파로들을 더 포함하고,

상기 광도파로들은 서로 이격되는 광결정 구조를 이용한 광원.

청구항 4

제 3 항에 있어서,

상기 광도파로들은 실리콘 또는 실리콘 질화물을 포함하는 광결정 구조를 이용한 광원.

청구항 5

제 3 항에 있어서,

상기 광도파로들 중 적어도 일부는 상기 발광 영역과 수직적으로 중첩되는 광결정 구조를 이용한 광원.

청구항 6

제 1 항에 있어서,

상기 광결정 홀들은 일정한 반경을 가지고,

서로 인접한 광결정 홀들의 중심들 사이의 거리는 제1 격자 상수로 정의되고,
상기 발광 영역에서 상기 제1 격자 상수는 일정한 광결정 구조를 이용한 광원.

청구항 7

제 6 항에 있어서,
상기 광결정 홀들의 반경은 50nm 내지 150nm이고,
상기 제1 격자 상수는 300nm 내지 400nm인 광결정 구조를 이용한 광원.

청구항 8

제 1 항에 있어서,
상기 발광 영역은 육각형 형상의 경계를 갖는 홀 영역들을 포함하고,
상기 홀 영역들 각각에서 상기 광결정 홀들의 크기는 서로 다른 광결정 구조를 이용한 광원.

청구항 9

제 8 항에 있어서,
상기 광결정 홀들의 크기는 상기 발광 영역의 가장자리에서 중심부로 갈수록 작아지는 광결정 구조를 이용한 광원.

청구항 10

제 8 항에 있어서,
서로 인접한 광결정 홀들의 중심들 사이의 거리는 제2 격자 상수로 정의되고,
상기 제2 격자 상수는 300nm 내지 400nm이고,
상기 광결정 홀들의 반경들은 상기 제2 격자 상수에 비례하여 결정되는 광결정 구조를 이용한 광원.

청구항 11

제 1 항에 있어서,
상기 제1 전극 및 상기 제2 전극이 서로 이격되는 방향은 제1 방향으로, 상기 제1 방향에 수직한 방향은 제2 방향으로 각각 정의되고,
상기 광원의 동작 전압은 상기 발광 영역의 상기 제1 방향으로의 길이에 비례하고,
상기 광원의 동작 전류는 상기 발광 영역의 상기 제2 방향으로의 폭에 비례하는 광결정 구조를 이용한 광원.

청구항 12

기관;
상기 기관 상에 차례로 적층되는 제1 봉지층, 그래핀층 및 제2 봉지층을 포함하는 이중 접합 구조체;
상기 제1 봉지층, 상기 그래핀층 및 상기 제2 봉지층을 수직적으로 관통하는 광결정 홀들; 및

상기 이중 접합 구조체의 양 단부에 각각 연결되는 제1 및 제2 전극들을 포함하되,

상기 이중 접합 구조체는 상기 광결정 홀들이 제공되지 않는 제1 영역 및 상기 제1 영역을 둘러싸며, 상기 광결정 홀들이 규칙적으로 배열되는 제2 영역을 포함하는 광결정 구조를 이용한 광원.

청구항 13

제 12 항에 있어서,

상기 이중 접합 구조체는 상기 제2 영역과 상기 제1 전극 사이 및 상기 제2 영역과 상기 제2 전극 사이의 버퍼 영역들을 더 포함하는 광결정 구조를 이용한 광원.

청구항 14

제 12 항에 있어서,

상기 광결정 홀들의 크기는 상기 제1 영역으로부터 상기 제2 영역의 가장자리로 갈수록 작아지는 광결정 구조를 이용한 광원.

청구항 15

제 14 항에 있어서,

상기 제1 영역은 상기 이중 접합 구조체의 상면의 중심부에 위치하는 광결정 구조를 이용한 광원.

청구항 16

제 12 항에 있어서,

상기 기판과 상기 이중 접합 구조체 사이에 제공되는 복수 개의 광도파로들을 더 포함하고,

상기 광도파로들은 서로 이격되고,

상기 제1 영역은 상기 광도파로들 중 적어도 하나와 수직적으로 중첩되는 광결정 구조를 이용한 광원.

청구항 17

제 12 항에 있어서,

상기 제1 전극 및 상기 제2 전극은 각각 소스 전극 또는 드레인 전극이고,

상기 제1 전극 및 상기 제2 전극에 펄스 전압 또는 직류 바이어스 전압이 인가되는 광결정 구조를 이용한 광원.

청구항 18

제 12 항에 있어서,

상기 광결정 홀들의 크기 및 간격을 조정(adjust)하여 공명 진동수를 제어(control)하는 광결정 구조를 이용한 광원.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 광결정 구조를 이용한 광원에 관한 것으로, 보다 구체적으로 반 데르 발스(van der Waals) 이중 접합 구조에 형성된 광결정 구조를 이용한 광원에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 광결정(photonic crystal) 구조란, 넓은 의미로, 광자(photon)의 운동에 영향을 미쳐 물질의 광학적인 성질을 이용할 수 있도록 하는 구조를 의미한다. 또한, 좁은 의미로는 주기적인 광학적 나노 구조를 통해 물질의 광학적인 성질을 이용하는 구조를 의미하고, 이러한 주기적인 구조는 1차원, 2차원 또는 3차원으로 형성될 수 있다. 광결정 구조는 빛을 가두거나 조작할 필요가 있는 다양한 기술에 활용될 수 있고, 광변조, 광검출 또는 광통신에 활용하기 위한 다양한 연구가 진행되고 있다.

[0003] 또한, 기존의 발광 다이오드(light emitting diode, LED)가 물질의 밴드 구조 특성을 이용하는 것과 달리, 그래핀 광원의 발광 메커니즘은 열 전자에 의한 흑체 복사를 기반으로 한다. 일반적으로, 흑체 복사는 가시광선에서 적외선 영역까지 매우 넓은 파장의 스펙트럼을 가지고 있어 발광 효율이 낮고 광통신 기술에 적용하는데 한계가 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0004] 본 발명의 일 기술적 과제는 공간적 발광 영역 및 발광 파장을 조절할 수 있는 광결정 구조를 이용한 광원을 제공하는데 있다.

[0005] 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 이상에서 언급한 과제에 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 과제들은 아래의 기재로부터 해당 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

[0006] 상술한 기술적 과제들을 해결하기 위하여 본 발명의 실시예에 따른 광결정 구조를 이용한 광원은 기판, 상기 기판 상에 차례로 적층되는 제1 봉지층, 그래핀층 및 제2 봉지층을 포함하는 이중 접합 구조체, 상기 제1 봉지층, 상기 그래핀층 및 상기 제2 봉지층을 수직적으로 관통하는 광결정 홀들, 및 상기 이중 접합 구조체의 양 단부에 각각 연결되는 제1 및 제2 전극들을 포함하되, 상기 이중 접합 구조체는 상기 제1 및 제2 전극들과 각각 접촉하는 버퍼 영역들 및 상기 버퍼 영역들 사이의 발광 영역을 포함하고, 상기 광결정 홀들은 상기 발광 영역에 제공되고, 상기 발광 영역의 폭은 상기 버퍼 영역들의 폭들보다 작을 수 있다.

[0007] 또한, 본 발명의 실시예에 따른 광결정 구조를 이용한 광원은 기판, 상기 기판 상에 차례로 적층되는 제1 봉지층, 그래핀층 및 제2 봉지층을 포함하는 이중 접합 구조체, 상기 제1 봉지층, 상기 그래핀층 및 상기 제2 봉지층을 수직적으로 관통하는 광결정 홀들, 및 상기 이중 접합 구조체의 양 단부에 각각 연결되는 제1 및 제2 전극들을 포함하되, 상기 이중 접합 구조체는 상기 광결정 홀들이 제공되지 않는 제1 영역 및 상기 제1 영역을 둘러싸며, 상기 광결정 홀들이 규칙적으로 제공되는 제2 영역을 포함할 수 있다.

발명의 효과

[0008] 본 발명의 실시예에 따른 광결정 구조를 이용한 광원은 반 데르 발스(van der Waals) 이중 접합 구조에 형성된 광결정 구조를 이용하여 이중 접합 계면에서 강한 빛-물질 상호 작용을 일으킬 수 있고, 이에 따라 높은 품질인자(Q-factor)를 유지할 수 있다.

[0009] 또한, 본 발명의 실시예에 따른 광결정 구조를 이용한 광원은 광결정 구조의 변형을 통해 공간적 발광 영역 및 발광 파장을 조절할 수 있고, 이에 따라 에너지 효율을 보다 높일 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0010] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 광결정 구조를 이용한 광원의 구조를 설명하기 위한 사시도이다.

도 2 및 도 3은 본 발명의 실시예에 따른 광결정 구조를 이용한 광원의 구조를 설명하기 위한 단면도들로, 도 1을 I-I'선으로 자른 단면에 대응된다.

도 4a 및 도 5a는 본 발명의 실시예에 따른 광결정 구조를 이용한 광원의 발광 영역을 설명하기 위한 평면도들이다.

도 4b 및 도 5b는 본 발명의 실시예에 따른 광결정 구조를 이용한 광원의 공명 진동수 시뮬레이션 결과를 설명하기 위한 그래프들로, 각각 도 4a 및 도 4b의 광결정 구조에 따른 결과이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0011] 본 발명의 구성 및 효과를 충분히 이해하기 위하여, 첨부한 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예를 상세히 설명한다.
- [0012] 본 발명은 이하에서 개시되는 실시예에 한정되는 것이 아니라, 여러 가지 형태로 구현될 수 있고 다양한 수정 및 변경을 가할 수 있다. 단지, 본 실시예의 설명을 통해 본 발명의 개시가 완전하도록 하며, 본 발명이 속하는 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자에게 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위하여 제공되는 것이다. 첨부된 도면에서 설명의 편의를 위하여 각 구성 요소의 비율은 과장되거나 축소될 수 있다.
- [0013] 본 명세서에서 사용된 용어는 실시예를 설명하기 위한 것이며 본 발명을 제한하고자 하는 것은 아니다. 또한 본 명세서에서 사용되는 용어들은 다르게 정의되지 않는 한, 해당 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 통상적으로 알려진 의미로 해석될 수 있다.
- [0014] 본 명세서에서, 단수형은 문구에서 특별히 언급하지 않는 한 복수형도 포함한다. 명세서에서 사용되는 ‘포함한다(comprises)’ 및/또는 ‘포함하는(comprising)’은 언급된 구성요소, 단계, 동작 및/또는 소자는 하나 이상의 다른 구성요소, 단계, 동작 및/또는 소자의 존재 또는 추가를 배제하지 않는다.
- [0015] 본 명세서에서 제1, 제2 등의 용어가 다양한 영역, 방향, 형상 등을 기술하기 위해서 사용되었지만, 이들 영역, 방향, 형상이 이 같은 용어들에 의해서 한정되어서는 안 된다. 이들 용어들은 단지 어느 소정 영역, 방향 또는 형상을 다른 영역, 방향 또는 형상과 구별시키기 위해서 사용되었을 뿐이다. 따라서, 어느 한 실시예에서 제1 부분으로 언급된 부분이 다른 실시예에서는 제2 부분으로 언급될 수도 있다. 여기에 설명되고 예시되는 실시예는 그것의 상보적인 실시예도 포함한다. 명세서 전체에 걸쳐서 동일한 참조번호로 표시된 부분들은 동일한 구성 요소들을 나타낸다.
- [0016] 이하, 도면들을 참조하여 본 발명의 실시예에 따른 광결정 구조를 이용한 광원에 대하여 상세히 설명한다.
- [0018] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 광결정 구조를 이용한 광원의 구조를 설명하기 위한 사시도이다. 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 광결정 구조를 이용한 광원의 구조를 설명하기 위한 단면도로, 도 1을 I-I'선으로 자른 단면에 대응된다.
- [0019] 도 1 및 도 2를 참조하면, 본 발명의 실시예에 따른 광결정 구조를 이용한 광원은 제1 전극(E1), 제2 전극(E2), 및 제1 전극(E1)과 제2 전극(E2) 사이의 이중 접합 구조체(HS)를 포함할 수 있다. 제1 전극(E1), 제2 전극(E2) 및 이중 접합 구조체(HS)는 기판(100) 상에 제공될 수 있다. 기판(100)은, 예를 들어, 실리콘 산화물을 포함할 수 있다.
- [0020] 제1 전극(E1)은 이중 접합 구조체(HS)의 일 단부(an end portion)와 접촉할 수 있다. 제1 전극(E1)은 이중 접합 구조체(HS)의 일 단부와 오티스 컨택 방법으로 접촉할 수 있고, 이로 인해 컨택 저항이 최소화될 수 있다. 보다 구체적으로, 제1 전극(E1)은 제1 방향(D1) 및 제2 방향(D2)으로 연장되는 제1 부분(E1a) 및 제3 부분(E1c), 제1 부분(E1a) 및 제3 부분(E1c)을 연결하는 제2 부분(E1b)을 포함할 수 있다. 제1 방향(D1) 및 제2 방향(D2)은 동일한 평면 상에서 연장되며, 서로 수직인 방향일 수 있다. 일 예로, 제2 부분(E1b)은 제3 방향(D3)에 대하여 기울기를 갖는 방향으로 연장될 수 있다. 제3 방향(D3)은 제1 방향(D1) 및 제2 방향(D2)과 수직인 방향일 수 있다. 제2 전극(E2)은 제1 전극(E1)이 접하는 일 단부와 대향되는 이중 접합 구조체(HS)의 다른 일 단부(another end portion)와 접촉할 수 있다. 제2 전극(E2)은 제1 전극(E1)과 제1 방향(D1)으로 서로 이격될 수 있다. 보다 구체적으로, 제2 전극(E2)은 제1 방향(D1) 및 제2 방향(D2)으로 연장되는 제1 부분(E2a) 및 제3 부분(E2c), 제1 부분(E2a) 및 제3 부분(E2c)을 연결하는 제2 부분(E2b)을 포함할 수 있다. 제2 전극(E2)의 제1 내지 제3 부분들(E2a, E2b, E2c)은 각각 제1 전극(E1)의 제1 내지 제3 부분들(E1a, E1b, E1c)과 실질적으로 동일한 형상을 가질 수 있다. 다만, 이는 예시적인 것일 뿐, 제1 전극(E1) 및 제2 전극(E2)은 각각 이중 접합 구조체(HS)와 전기적으로 연결되는 다양한 형상을 가질 수 있다. 제1 전극(E1) 및 제2 전극(E2)은 금속을 포함할 수 있다. 예를 들어, 제1 전극(E1) 및 제2 전극(E2)은 크롬(Cr), 팔라듐(Pd) 및 금(Au) 중 어느 하나를 포함할 수 있다. 제1 전극(E1) 및 제2 전극(E2)은 각각 소스 전극 및 드레인 전극 중 어느 하나일 수 있다. 보다 구체

적으로, 제1 전극(E1)이 소스 전극일 경우, 제2 전극(E2)은 드레인 전극이고, 제1 전극(E1)이 드레인 전극일 경우, 제2 전극(E2)은 소스 전극일 수 있다. 제1 전극(E1) 및 제2 전극(E2)을 통해, 이중 접합 구조체(HS)의 동작을 위한 전압이 인가되고, 전류가 흐를 수 있다.

[0021] 제1 전극(E1) 및 제2 전극(E2)을 통해 인가되는 전압은 펄스(pulse) 전압 또는 직류 전압일 수 있다. 제1 전극(E1) 및 제2 전극(E2)에 펄스 전압이 인가되는 경우, 광원의 초고속 직접 변조가 가능하다. 이때, 펄스 전압은 약 2 Volts 이하일 수 있다. 제1 전극(E1) 및 제2 전극(E2)에 직류 바이어스 전압(DC bias voltage)이 인가되는 경우, 그래핀층(GR)의 줄 히팅(Joule heating)에 의한 이중 접합 구조체(HS)의 열 팽창을 이용하여 광원의 공명 진동수 (또는 파장) 및 품질값을 제어할 수 있다. 이때, 직류 바이어스 전압은 약 5 Volts 이상일 수 있다.

[0022] 이중 접합 구조체(HS)는, 평면적 관점에서, 제1 버퍼 영역(BR1), 제2 버퍼 영역(BR2), 및 제1 버퍼 영역(BR1)과 제2 버퍼 영역(BR2) 사이의 발광 영역(LER)을 포함할 수 있다. 이때, 복수 개의 광결정 홀들(PCH)을 포함하는 광결정 구조가 발광 영역(LER)에 제공될 수 있다. 발광 영역(LER)은 광결정 홀들(PCH)이 제공되지 않는 제1 영역(RG1) 및 제1 영역(RG1)을 둘러싸며, 광결정 홀들(PCH)이 제공되는 제2 영역(RG2)을 포함할 수 있다. 제2 영역(RG2)에서 광결정 홀들(PCH)은 규칙적으로 배열될 수 있고, 제1 영역(RG1)은 제2 영역(RG2)에서 광결정 홀들(PCH)이 배열되는 규칙이 깨진 영역으로 정의될 수 있다. 일 예로, 제1 영역(RG1)은 발광 영역(LER)의 중심부에 위치할 수 있다. 다만, 도시된 바와 달리, 제1 영역(RG1)은 복수로 제공될 수 있고, 중심부가 아닌 곳에 위치할 수 있다. 예를 들어, 제1 영역(RG1)은 서로 다른 위치에 1개 내지 30개가 제공될 수 있다. 제1 영역(RG1)의 위치를 제어하여, 본 발명에 따른 광원의 국소적 발광 위치를 결정할 수 있다. 복수 개의 광결정 홀들(PCH)의 배열 형태 및 제1 영역(RG1)의 위치에 대하여 도 4a 및 도 5a를 참조하여 상세히 후술한다. 발광 영역(LER)은 제1 버퍼 영역(BR1)을 사이에 두고 제1 전극(E1)과 제1 방향(D1)으로 서로 이격될 수 있다. 또한, 발광 영역(LER)은 제2 버퍼 영역(BR2)을 사이에 두고 제2 전극(E2)과 제1 방향(D1)으로 서로 이격될 수 있다. 제1 버퍼 영역(BR1) 및 제2 버퍼 영역(BR2)은 발광 영역(LER)에서 발생하는 열이 제1 전극(E1) 및 제2 전극(E2)에 전달되는 것을 방지할 수 있다.

[0023] 이중 접합 구조체(HS)의 제1 방향(D1)으로의 최대 길이는 제1 길이(L1)로 정의될 수 있고, 이중 접합 구조체(HS)의 제2 방향(D2)으로의 최대 폭은 제1 폭(W1)으로 정의될 수 있다. 제1 폭(W1)을 통해 이중 접합 구조체(HS)와 제1 전극(E1) 및 제2 전극(E2) 사이의 콘택 저항을 결정할 수 있다. 예를 들어, 제1 길이(L1) 및 제1 폭(W1)은 각각 약 2 μm 내지 10 μm일 수 있다.

[0024] 발광 영역(LER)의 제1 방향(D1)으로의 길이는 제2 길이(L2)로 정의될 수 있고, 발광 영역(LER)의 제2 방향(D2)으로의 폭은 제2 폭(W2)으로 정의될 수 있다. 예를 들어, 제2 길이(L2) 및 제2 폭(W2)은 각각 약 1 μm 내지 5 μm일 수 있다. 일 예로, 발광 영역(LER)은 제1 방향(D1)으로의 길이가 일정하고, 제2 방향(D2)으로의 폭이 일정한 직사각형 형태의 상면을 가질 수 있다. 제2 길이(L2)는 제1 길이(L1)보다 작고, 제2 폭(W2)은 제1 폭(W1)보다 작을 수 있다. 이로 인해, 본 발명에 따른 광원이 안정적으로 동작할 수 있다. 보다 구체적으로, 발광 영역(LER)의 제2 폭(W2)이 제1 폭(W1)보다 작은 점으로 인하여, 발광 위치를 국소화시킬 수 있다. 발광 위치가 국소화됨에 따라 품질값이 높아질 수 있고, 품질값이 높아짐에 따라 광원의 에너지 효율이 높아질 수 있다. 본 발명에 따른 광원의 동작 전류 크기(I)는 제2 폭(W2)에 비례할 수 있다. 즉, 제2 폭(W2)을 통해 광원의 동작 전류 크기(I)를 결정할 수 있다. 본 발명에 따른 광원의 동작 전류 크기(I)와 제2 폭(W2)의 비례 관계는 [수학식 1]로 표현될 수 있다.

[0025] [수학식 1]

$$I = W2 \times \alpha$$

[0026] [수학식 1]에서 I는 동작 전류 크기이고, α는 비례 상수이다. 동작 전류 크기의 단위는 mA이고, 비례 상수 α의 단위는 mA/μm이다. 예를 들어, 비례 상수 α는 약 1 내지 2일 수 있다.

[0028] 또한, 발광 영역(LER)의 제2 길이(L2)가 제1 길이(L1)보다 작은 점으로 인하여, 그래핀층(GR)의 줄 히팅에 의해 제1 전극(E1) 및 제2 전극(E2)의 변형 및 손상을 줄일 수 있다. 본 발명에 따른 광원의 동작 전압 크기(V)는 제2 길이(L2)에 비례할 수 있다. 즉, 제2 길이(L2)를 통해 광원의 동작 전압 크기(V)를 결정할 수 있다. 본 발명에 따른 광원의 동작 전압 크기(V)와 제2 길이(L2)의 비례 관계는 [수학식 2]로 표현될 수 있다.

[0029] [수학식 2]

$$V = L2 \times \beta$$

[0030]

[0031] [수학식 2]에서 V는 동작 전압 크기이고, β 는 비례 상수이다. 동작 전압 크기의 단위는 Volts이고, 비례 상수 β 의 단위는 Volts/ μm 이다. 예를 들어, 비례 상수 β 는 약 1 내지 5일 수 있다.

[0032] 제1 버퍼 영역(BR1)의 제2 방향(D2)으로의 폭은 제1 방향(D1)으로 갈수록 감소할 수 있다. 한편, 제2 버퍼 영역(BR2)의 제2 방향(D2)으로의 폭은 제1 방향(D1)으로 갈수록 증가할 수 있다. 제1 버퍼 영역(BR1) 및 제2 버퍼 영역(BR2)의 제2 방향(D2)으로의 최대 폭들은 각각 제1 폭(W1)과 실질적으로 동일할 수 있다. 일 예로, 제1 버퍼 영역(BR1) 및 제2 버퍼 영역(BR2)은 발광 영역(LER)을 사이에 두고 대칭적인 형상을 가질 수 있다. 제1 버퍼 영역(BR1) 및 제2 버퍼 영역(BR2) 각각의 제2 방향(D2)으로의 최소 폭은 발광 영역(LER)의 제2 방향(D2)으로의 폭(즉, 제2 폭(W2))과 실질적으로 동일할 수 있다. 도시된 바와 달리, 제1 버퍼 영역(BR1) 및 제2 버퍼 영역(BR2)의 모서리 부분의 프로파일은 곡선 형태일 수 있다.

[0033] 또한, 이중 접합 구조체(HS)는, 단면적 관점에서, 제3 방향(D3)으로 차례로 적층된 제1 봉지층(N1), 그래핀층(GR) 및 제2 봉지층(N2)을 포함할 수 있다. 그래핀층(GR)의 제3 방향(D3)으로의 두께는 제1 봉지층(N1) 및 제2 봉지층(N2)의 제3 방향(D3)으로의 두께보다 작을 수 있다. 일 예로, 제1 봉지층(N1)의 제3 방향(D3)으로의 두께는 제2 봉지층(N2)의 제3 방향(D3)으로의 두께보다 작을 수 있다. 일 예로, 이중 접합 구조체(HS)의 제1 방향(D1)으로의 길이는 제3 방향(D3)으로 갈수록 감소할 수 있다. 이때, 제1 봉지층(N1)의 제1 방향(D1)으로의 최대 길이는 제1 길이(L1)와 실질적으로 동일할 수 있다. 일 예로, 제1 전극(E1)의 제1 부분(E1a)의 상면 및 제2 전극(E2)의 제1 부분(E2a)의 상면은 각각 제1 봉지층(N1)의 상면보다 낮은 레벨에 위치할 수 있다. 또한, 일 예로, 제1 전극(E1)의 제3 부분(E1c)의 하면 및 제2 전극(E2)의 제3 부분(E2c)의 상면은 제2 봉지층(N2)의 상면과 공면을 이룰 수 있다.

[0034] 광결정 홀들(PCH)은 제1 봉지층(N1), 그래핀층(GR) 및 제2 봉지층(N2)을 관통할 수 있다. 광결정 홀들(PCH)은 이중 접합 구조체(HS)를 관통하여, 제1 봉지층(N1), 그래핀층(GR) 및 제2 봉지층(N2) 각각의 측면들과 기판(100)의 상면을 노출시킬 수 있다. 제1 봉지층(N1) 및 제2 봉지층(N2)은, 일 예로, 육방정 질화 붕소(hexagonal boron nitride, hBN)를 포함할 수 있다. 육방정 질화 붕소(hBN)는 고온에서 안정적이고, 봉지 효과가 우수할 수 있다. 이에 따라, 제1 봉지층(N1) 및 제2 봉지층(N2)은 본 발명에 따른 광결정 구조를 이용한 광원의 기대 수명을 늘릴 수 있다. 또한, 육방정 질화 붕소(hBN)의 굴절률은 실리콘 산화물의 굴절률 또는 실리콘 질화물의 굴절률보다 클 수 있다. 이에 따라, 제1 봉지층(N1) 및 제2 봉지층(N2)은 기판(100) 상에서 광도와 손실을 줄일 수 있다. 이때, 그래핀층(GR)과 제1 봉지층(N1) 및 제2 봉지층(N2) 각각의 접합은 반 데르 발스 이중 접합(van der Waals heterostructure)일 수 있다. 그래핀층(GR)과 제1 봉지층(N1) 및 제2 봉지층(N2)의 이중 접합으로 인하여, 본 발명에 따른 광원은 우수한 그래핀 특성을 유지하면서 접합 계면에서의 강한 빛-물질 상호 작용을 통해 광을 방출할 수 있다.

[0035] 도 3은 본 발명의 실시예에 따른 광결정 구조를 이용한 광원의 구조를 설명하기 위한 단면도로, 도 1을 I-I' 선으로 자른 단면에 대응된다. 이하에서, 설명의 편의를 위해 도 1 및 도 2를 참조하여 설명한 것과 실질적으로 동일한 사항에 대한 설명은 생략한다.

[0036] 도 3을 참조하면, 광도파로(110)가 이중 접합 구조체(HS)와 기판(100) 사이 또는 제1 전극(E1) 및 제2 전극(E2)과 기판(100) 사이에 제공될 수 있다. 광도파로(110)는, 예를 들어, 실리콘 또는 실리콘 질화물을 포함할 수 있다. 광도파로(110)는 제2 방향(D2)으로 연장될 수 있다. 광도파로(110)는 복수로 제공될 수 있고, 복수의 광도파로들(110)은 제1 방향(D1)으로 서로 이격될 수 있다. 광도파로들(110) 중 적어도 일부는 발광 영역(LER)과 제3 방향(D3)으로 중첩될 수 있다. 광도파로들(110) 사이의 빈 공간은 갭 영역(GAP)으로 정의될 수 있다. 일 예로, 복수의 광도파로들(110) 중 어느 하나는 발광 영역(LER) 전체와 제3 방향(D3)으로 중첩될 수 있다. 즉, 광도파로들(110) 중 어느 하나의 제1 방향(D1)으로의 길이는 발광 영역(LER)의 제2 길이(L2)에 따라 결정될 수 있다. 이와 반대로, 발광 영역(LER)의 제2 길이(L2)가 광도파로들(110) 중 어느 하나의 제1 방향(D1)으로의 길이에 따라 결정될 수 있다. 다만, 도시된 바와 달리, 복수의 광도파로들(110)이 각각 발광 영역(LER) 일부와 제3 방향(D3)으로 중첩될 수 있다. 또한, 복수의 광도파로들(110) 중 어느 하나는 제1 영역(RG1)과 제3 방향(D3)으로 중첩될 수 있다. 제1 영역(RG1)의 위치 및 개수를 제어하여, 본 발명에 따른 광원의 이중 접합 구조체(HS)와 광도파로(110) 사이의 커플링을 향상시킬 수 있다.

- [0038] 도 3의 구조에서, 제1 전극(E1) 및 제2 전극(E2)에 직류 바이어스 전압(DC bias voltage)이 인가되는 경우, 그 래핀층(GR)의 줄 히팅에 의한 이중 접합 구조체(HS)의 열 팽창을 이용하여 광도파로(110)로 커플링되는 광원의 파장을 제어할 수 있다. 이때, 직류 바이어스 전압은 약 5 Volts 이상일 수 있다. 또한, 도 3의 구조에서, 광도파로(110)를 통해 전달되는 광신호를 검출 또는 측정할 수 있다. 보다 구체적으로, 제1 전극(E1) 및 제2 전극(E2)에 전압을 인가하지 않고, 그 래핀층(GR)에 흐르는 전압 및 전류를 측정하여 광신호 중 특정 파장을 검출 또는 측정할 수 있다. 즉, 본 발명에 따른 광결정 구조를 이용한 광원을 광검출기로 활용할 수 있다.
- [0040] 도 4a는 본 발명의 실시예에 따른 광결정 구조를 이용한 광원의 발광 영역을 설명하기 위한 평면도이다. 도 4b는 본 발명의 실시예에 따른 광결정 구조를 이용한 광원의 공명 진동수 시뮬레이션 결과를 설명하기 위한 그래프로, 도 4a의 광결정 구조에 따른 결과이다.
- [0041] 도 4a를 참조하면, 이중 접합 구조체(HS)를 관통하는 복수 개의 광결정 홀들(PCH)이 제공될 수 있다. 일 예로, 제1 영역(RG1)은 이중 접합 구조체(HS)의 상면의 중심부에 제공될 수 있다. 광결정 홀들(PCH)은 제2 영역(RG2) 내에서 제1 방향(D1)으로 일정한 간격을 두고 배열될 수 있다. 또한, 광결정 홀들(PCH)은 제2 영역(RG2) 내에서 제2 방향(D2)으로 가면서 지그재그 형태로 배열될 수 있다. 일 예로, 광결정 홀들(PCH)의 크기는 일정할 수 있다. 즉, 광결정 홀들(PCH) 각각의 반경은 제1 반경(R1)으로 동일할 수 있다. 예를 들어, 제1 반경(R1)은 약 50nm 내지 150nm일 수 있다. 바람직하게는, 제1 반경(R1)은 약 90nm 내지 130nm일 수 있다. 또한, 서로 인접한 광결정 홀들(PCH)의 중심들 사이의 거리는 제1 격자 상수(lattice constant)(LC1)로 정의될 수 있다. 제2 영역(RG2) 내에서 제1 격자 상수(LC1)의 크기는 일정할 수 있다. 예를 들어, 제1 격자 상수(LC1)는 약 300nm 내지 400nm일 수 있다. 바람직하게는, 제1 격자 상수(LC1)는 약 340nm 내지 380nm일 수 있다. 이때, 제1 반경(R1) 및/또는 제1 격자 상수(LC1)의 값을 조정(adjust)하여, 광원의 공명 진동수를 제어(control)할 수 있다.
- [0042] 도 4b를 참조하면, 도 4a의 광결정 구조에 따른 공명 진동수 시뮬레이션의 결과가 도시된다. 그래프에서 가로축은 광원의 발광 파장을 의미하고, 세로축은 방출되는 광의 세기의 상대적인 값을 의미한다.
- [0043] 도 4a의 광결정 구조에 따른 시뮬레이션은 제1 공진 모드(CM1) 및 제2 공진 모드(CM2)를 나타낸다. 제1 공진 모드(CM1)는 약 756nm를 중심 파장으로 하는 스펙트럼을 가질 수 있고, 제2 공진 모드(CM2)는 약 790nm를 중심 파장으로 하는 스펙트럼을 가질 수 있다. 이때, 중심 파장이란 방출되는 광의 스펙트럼에서 세기가 가장 큰 파장을 의미할 수 있다. 한편, 제1 흑체 복사 스펙트럼(BBR1)은 파장에 따라 세기가 증가하는 경향을 가질 수 있다. 제1 흑체 복사 스펙트럼(BBR1)은 제1 공진 모드(CM1) 및 제2 공진 모드(CM2)의 스펙트럼보다 넓은 파장 대역을 가지고, 피크를 가지지 않을 수 있다. 즉, 제1 공진 모드(CM1) 및 제2 공진 모드(CM2)의 스펙트럼은 제1 흑체 복사 스펙트럼(BBR1)과 비교할 때, 상대적으로 폭이 좁은 가우시안 분포를 가질 수 있다. 특히, 제2 공진 모드(CM2)의 폭이 좁은 약 200nm일 수 있다.
- [0045] 도 5a는 본 발명의 실시예에 따른 광결정 구조를 이용한 광원의 발광 영역을 설명하기 위한 평면도이다. 도 5b는 본 발명의 실시예에 따른 광결정 구조를 이용한 광원의 공명 진동수 시뮬레이션 결과를 설명하기 위한 그래프로, 도 5a의 광결정 구조에 따른 결과이다.
- [0046] 도 5a를 참조하면, 발광 영역(LER) 내에 이중 접합 구조체(HS)를 관통하는 복수 개의 광결정 홀들(PCH)이 제공될 수 있다. 발광 영역(LER)은 제1 내지 제3 홀 영역들(HR1, HR2, HR3)을 포함할 수 있다. 일 예로, 제1 영역(RG1)은 제3 홀 영역(HR3) 내부에 제공될 수 있다. 제1 홀 영역(HR1)의 바깥쪽 경계는 제2 영역(RG2)의 경계와 실질적으로 동일할 수 있다. 예를 들어, 광결정 홀들(PCH)은 제1 홀 영역(HR1) 내부에 제공되는 제1 홀들(H1), 제2 홀 영역(HR2) 내부에 제공되는 제2 홀들(H2), 및 제3 홀 영역(HR3) 내부에 제공되는 제3 홀들(H3)을 포함할 수 있다. 이때, 제1 내지 제3 홀 영역들(HR1, HR2, HR3)의 경계들은 육각형 형상(hexagonal shape)을 가질 수 있다. 다만, 이는 예시적인 것일 뿐, 제1 내지 제3 홀 영역들(HR1, HR2, HR3)의 경계들은 육각형 형상에 제한되지 않고 다양한 형상을 가질 수 있다. 일 예로, 제1 영역(RG1)은 발광 영역(LER)의 상면의 중심부에 제공될 수 있다. 보다 구체적으로, 제1 영역(RG1)은 제3 홀 영역(HR3)의 중심부에 제공될 수 있다. 제1 홀들(H1)의 크기는 제2 홀들(H2)의 크기보다 클 수 있다. 또한, 제2 홀들(H2)의 크기는 제3 홀들(H3)의 크기보다 클 수 있다. 즉, 발광 영역(LER)의 가장자리에서 중심부로 갈수록, 광결정 홀들(PCH)의 크기가 단계적으로 작아질 수 있다. 서로 인접한 광결정 홀들(PCH)의 중심들 사이의 거리는 제2 격자 상수(LC2)로 정의될 수 있다. 광결정 홀들(PCH)의 크기가 일정하지 않음으로 인하여, 제2 격자 상수(LC2)의 크기는 일정하지 않을 수 있다. 예를 들어, 제2 격자 상수(LC2)는 약 300nm 내지 400nm일 수 있다. 바람직하게는, 제2 격자 상수(LC2)는 약 310nm 내지 350nm일 수 있다. 또한, 예를 들어, 제1 홀들(H1) 각각의 반경은 제2 격자 상수(LC2)의 약 0.2배일 수 있고, 제2 홀들(H2) 각각의 반경은 제2 격자 상수(LC2)의 약 0.25배일 수 있으며, 제3 홀들(H3) 각각의 반경은 제2 격자 상수(LC2)

의 약 0.3배일 수 있다. 즉, 제1 내지 제3 홀들(H1, H2, H3)의 크기는 제2 격자 상수(LC2)에 비례하여 결정될 수 있다. 다만, 도시된 바와 달리, 발광 영역(LER)에 4개 이상의 홀 영역들이 제공되고, 각각의 홀 영역들에서 광결정 홀들(PCH)은 서로 다른 크기를 가질 수 있다.

[0047] 즉, 도 5a의 광결정 구조에 따르면, 제2 격자 상수(LC2)의 값을 조정하여, 광원의 공명 진동수를 제어할 수 있다. 또한, 광결정 홀들(PCH)의 크기의 단계적 변형으로 인하여 보다 좁은 발광 스펙트럼을 얻을 수 있다. 보다 좁은 발광 스펙트럼으로 인하여 품위값이 높아질 수 있고, 품위값이 높아짐에 따라 광원의 에너지 효율이 높아질 수 있다.

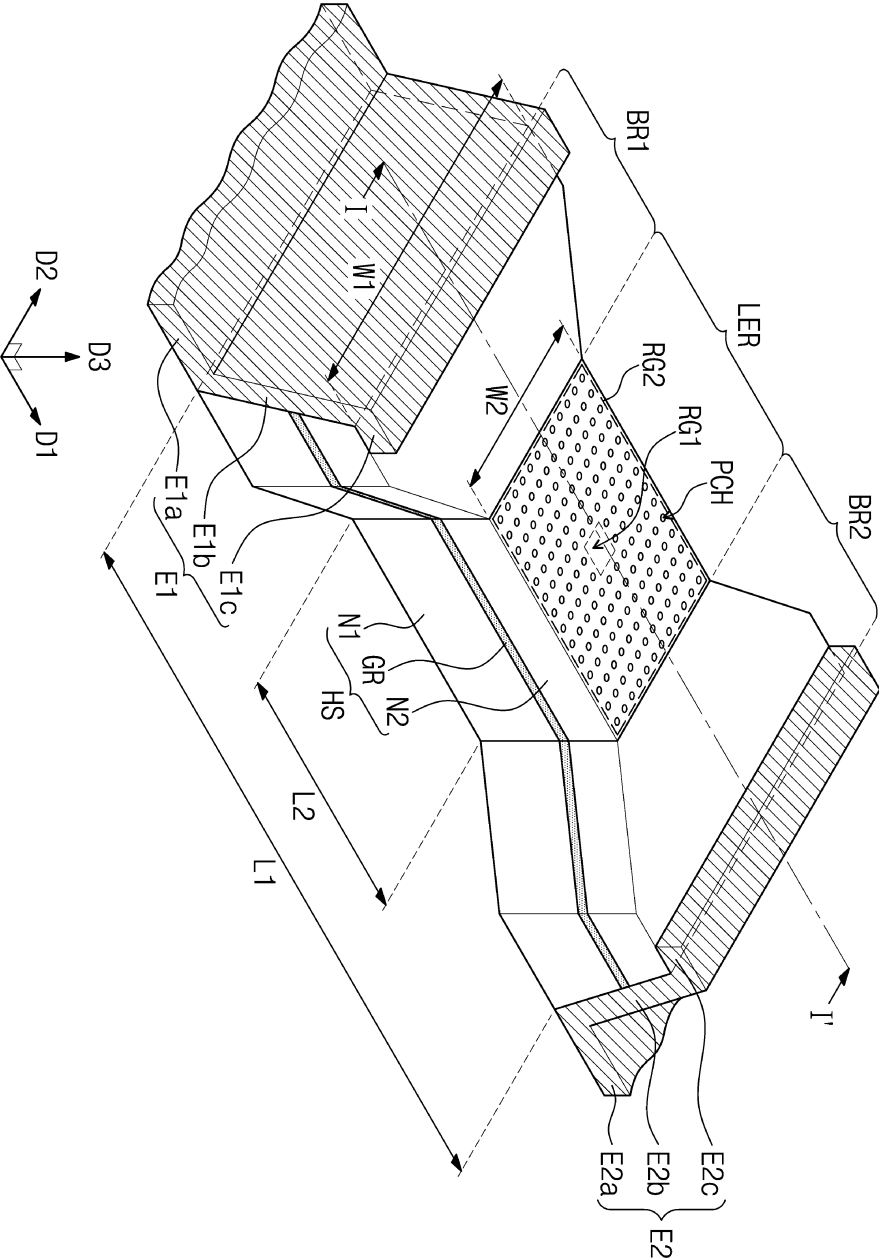
[0048] 도 5b를 참조하면, 도 5a의 광결정 구조에 따른 공명 진동수 시뮬레이션의 결과가 도시된다. 그래프에서 가로축은 광원의 발광 파장을 의미하고, 세로축은 방출되는 광의 세기의 상대적인 값을 의미한다.

[0049] 도 5a의 광결정 구조에 따른 시뮬레이션은 제3 공진 모드(CM3) 및 제4 공진 모드(CM4)를 나타낸다. 제3 공진 모드(CM3)는 약 793nm를 중심 파장으로 하는 스펙트럼을 가질 수 있고, 제4 공진 모드(CM4)는 약 916nm를 중심 파장으로 하는 스펙트럼을 가질 수 있다. 이때, 중심 파장이란 방출되는 광의 스펙트럼에서 세기가 가장 큰 파장을 의미할 수 있다. 한편, 제2 흑체 복사 스펙트럼(BBR2)은 파장에 따라 세기가 증가하는 경향을 가질 수 있다. 제2 흑체 복사 스펙트럼(BBR2)은 제3 공진 모드(CM3) 및 제4 공진 모드(CM4)의 스펙트럼보다 넓은 파장 대역을 가지고, 피크를 가지지 않을 수 있다. 즉, 제3 공진 모드(CM3) 및 제4 공진 모드(CM4)의 스펙트럼은 제2 흑체 복사 스펙트럼(BBR2)과 비교할 때, 상대적으로 품위값이 높은 가우시안 분포를 가질 수 있다. 특히, 제3 공진 모드(CM3)의 품위값은 약 1385일 수 있다. 도 4a의 광결정 구조에 따른 공진 모드와 비교하면, 도 5a의 광결정 구조에 따른 공진 모드가 보다 높은 품위값을 가질 수 있다.

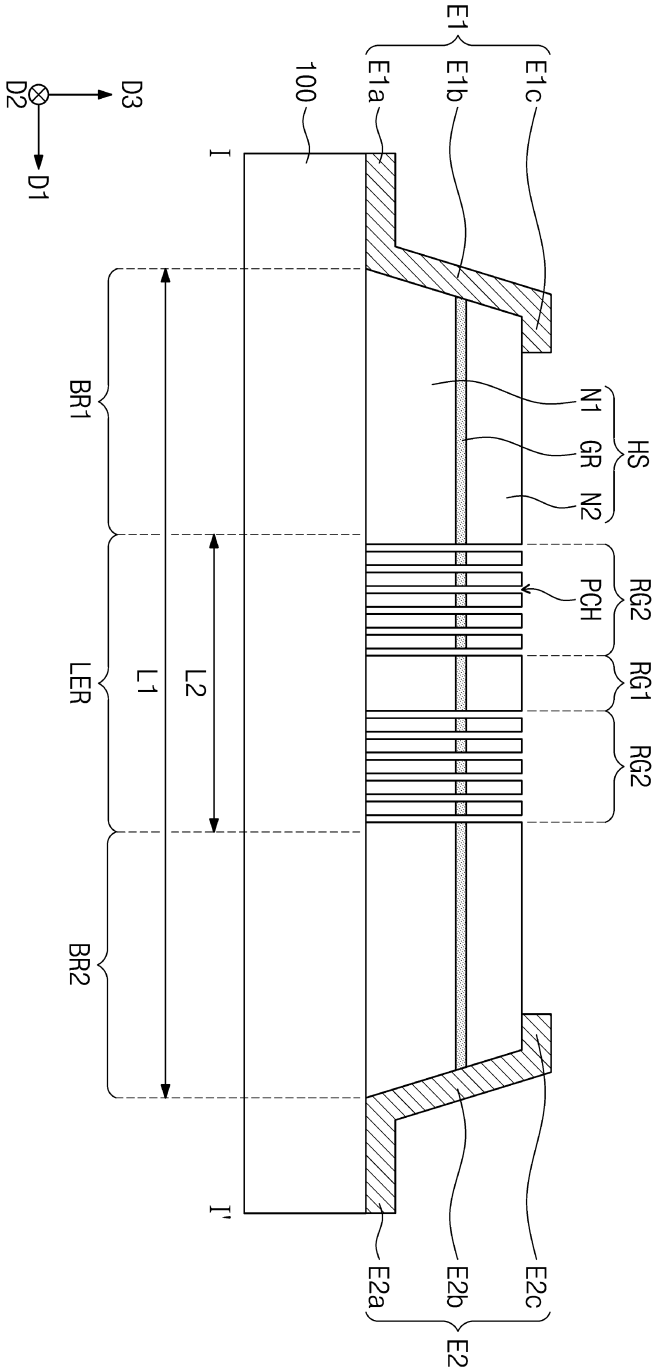
[0051] 이상, 첨부된 도면들을 참조하여 본 발명의 실시예들을 설명하였지만, 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자는 본 발명이 그 기술적 사상이나 필수적인 특징을 변경하지 않고서 다른 구체적인 형태로 실시될 수 있다는 것을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로 이상에서 기술한 실시예들은 모든 면에서 예시적인 것이며 한정적이 아닌 것으로 이해해야만 한다.

도면

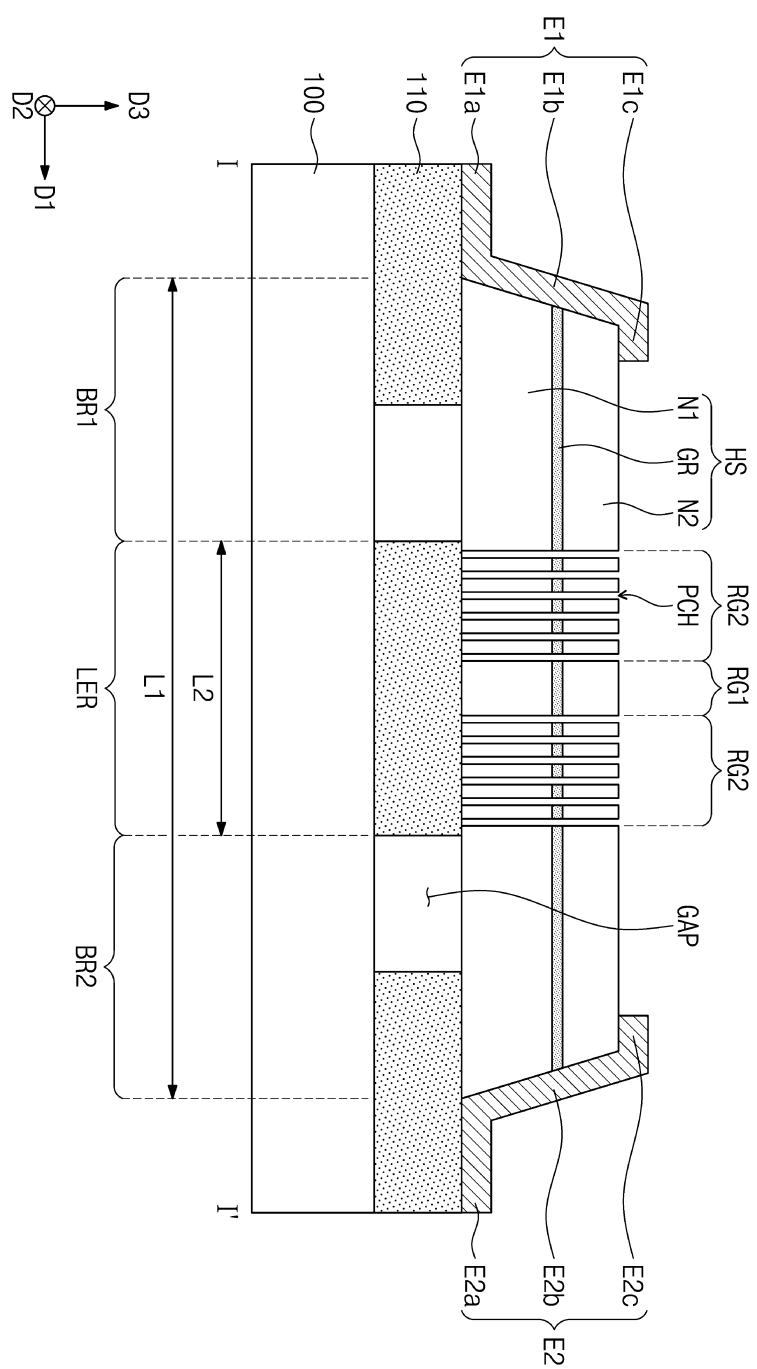
도면1



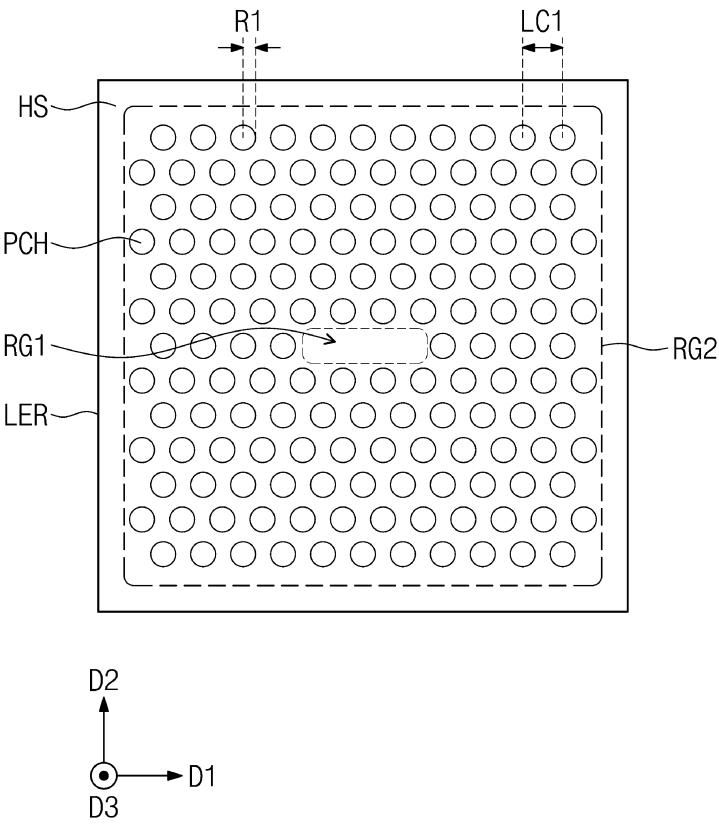
도면2



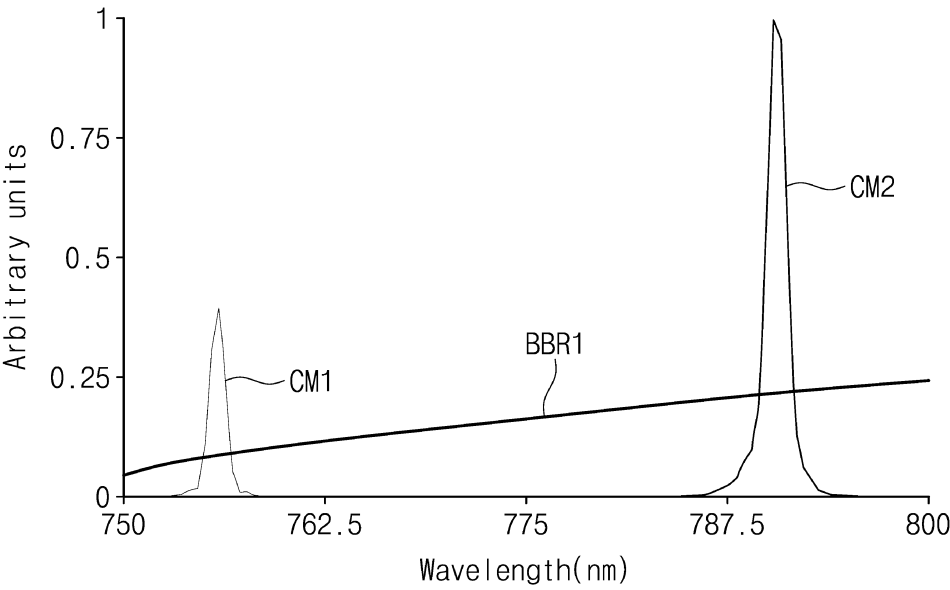
도면3



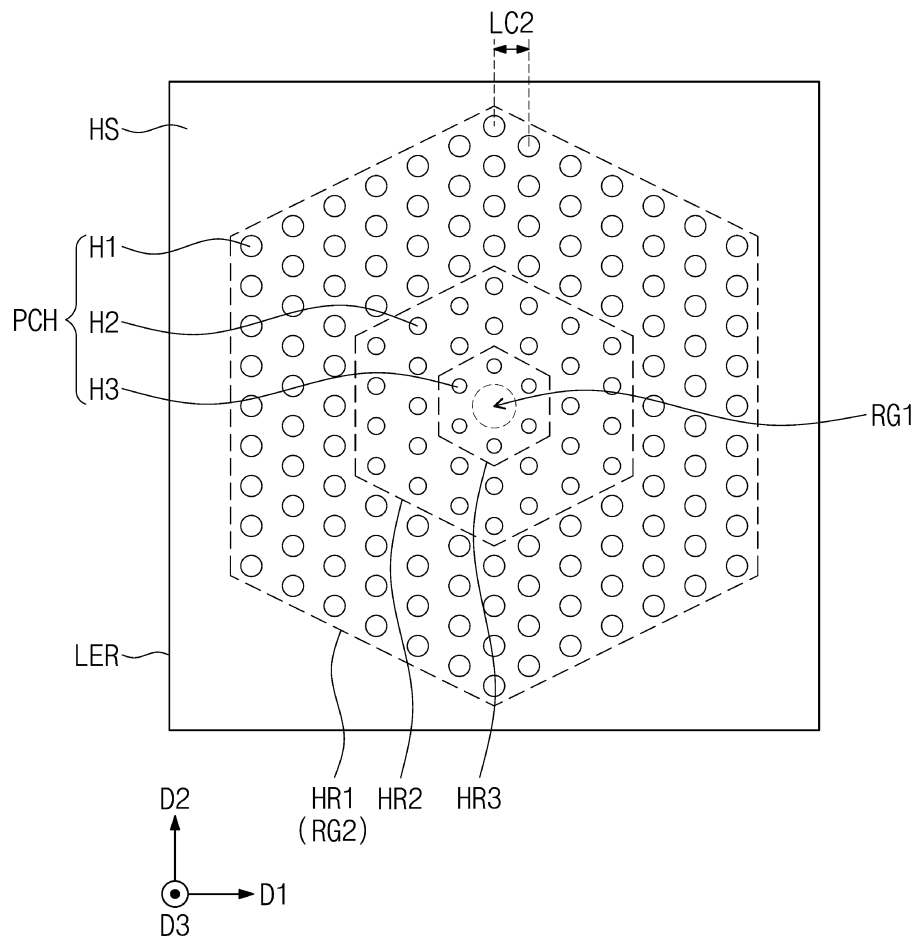
도면4a



도면4b



도면5a



도면5b

