(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2022년10월31일
(11) 등록번호 10-2461670
(24) 등록일자 2022년10월27일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 33/06 (2010.01) *H01L 33/00* (2010.01)
H01L 33/10 (2010.01) *H01L 33/44* (2010.01)
H01L 33/60 (2010.01)
(52) CPC특허분류
H01L 33/06 (2013.01)
H01L 33/0012 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2019-7023141
(22) 출원일자(국제) 2018년02월06일
심사청구일자 2021년01월08일
(85) 번역문제출일자 2019년08월06일
(65) 공개번호 10-2019-0116299
(43) 공개일자 2019년10월14일
(86) 국제출원번호 PCT/EP2018/052960
(87) 국제공개번호 WO 2018/146096
국제공개일자 2018년08월16일
(30) 우선권주장
17382061.4 2017년02월08일
유럽특허청(EPO)(EP)
(56) 선행기술조사문헌
JP2008135591 A
JP2006216722 A*
JP2013062354 A
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
콘세호 수페리오르 데 인베스티가시오네스 시엔티피카스
스페인왕국28006마드리드세라노117
(72) 발명자
알렌, 밀란, 베니토
스페인, 28760 트렌스 칸토스 (마드리드), 8, 이삭 뉴톤 내, 인스티튜토 드 마이크로일렉트로니카 드 마드리드 (아이엠엠-씨엔엠)
퓨스터, 시그네스, 다비드
스페인, 28760 트렌스 칸토스 (마드리드), 8, 이삭 뉴톤 내, 인스티튜토 드 마이크로일렉트로니카 드 마드리드 (아이엠엠-씨엔엠)
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
김순웅

전체 청구항 수 : 총 12 항 심사관 : 배성주

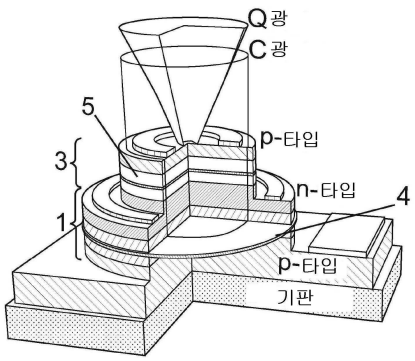
(54) 발명의 명칭 **양자 광원 장치 및 이의 양자 광학 회로**

(57) 요 약

본 문서는 모놀리식이며 양자 광을 방출할 수 있는 장치를 설명하는데, 이러한 장치는 종래기술에서 알려진 이전의 구성(특정 단점들을 야기하는 특정 요소들을 요구하는 구성)을 사용하지 않으며, 이러한 종래기술의 문제점은 본 명세서에서 설명되는 본 발명의 장치를 구현함으로써 해결될 수 있다. 이러한 방식에서, 양자 광 방출기들이

(뒷면에 계속)

대 표 도 - 도1b



미세공동들 혹은 광자 결정들(PC)과 같은 광자 구조들 내에 매립되는 경우, 장치 내의 전류와는 독립적으로 양자 광 방출기들의 파장 혹은 전하의 상태를 제어하는 전송기의 사용이 구현되고 적절하게 기능하는 바, 이는 상이한 조성 및 도핑 타입들을 갖는 반도체 층들을 적층시킴으로써 달성된다. 양자 광 방출기 회로가 또한 본 명세서에서 개시되는 본 발명의 실시형태인데, 이러한 양자 광 방출기 회로는 상기 장치들 중 적어도 두 개의 장치를 포함하는 양자 광학 회로이다.

(52) CPC특허분류
H01L 33/0016 (2013.01)
H01L 33/0062 (2013.01)
H01L 33/0083 (2013.01)
H01L 33/10 (2013.01)
H01L 33/44 (2013.01)
H01L 33/60 (2013.01)

(72) 발명자
곤잘레즈, 디아즈, 욜란다
스페인, 28760 트렌스 칸토스 (마드리드), 8, 이삭 뉴톤 내, 인스티튜토 드 마이크로일렉트로니카 드 마드리드 (아이엠엠-씨엔엠)

곤잘레즈, 소토스, 루이사
스페인, 28760 트렌스 칸토스 (마드리드), 8, 이삭 뉴톤 내, 인스티튜토 드 마이크로일렉트로니카 드 마드리드 (아이엠엠-씨엔엠)

명 세 서

청구범위

청구항 1

양자 광원 장치(quantum light source device)로서,

상기 양자 광원 장치는 모놀리식(monolithic)이고, p-타입 반도체 물질, n-타입 반도체 물질 및 진성 반도체 물질로부터 선택된 반도체 물질의 기판 상에:

- 상기 기판의 상부 상에 위치하는 하위 다이오드(1); 및
- 상기 하위 다이오드(1)의 상부 상에 위치하는 상위 다이오드(3);

를 포함하고,

상기 하위 다이오드(1)는:

- p-타입 반도체 물질 및 n-타입 반도체 물질로부터 선택된 반도체 물질의 블록(2)으로서, 상기 기판이 도핑될 때 상기 기판의 도핑 타입(type of doping)과 동일한 도핑 타입을 갖는 상기 블록(2);
- 상기 블록(2) 내에 정렬되며 상기 블록(2)의 도핑 타입과 동일한 도핑 타입을 갖는 제1층 반도체 물질(11);
- 상기 제1층 반도체 물질(11) 상에 위치하는 반도체 물질의 제2층(12)으로서, 전기발광에 의해 클래식 광(Clight)을 생성하도록 구성된 적어도 양자 웰(quantum well)(4), 또는 클래식 광을 흡수하고 양자 광을 재-방출하도록 구성된 적어도 하나의 양자 광 방출기(quantum light emitter)(5)를 또한 포함하는 상기 반도체 물질의 제2층(12); 및
- 반도체 물질의 상기 제2층(12) 상에 위치하는 반도체 물질의 제3층(13)으로서, 반도체 물질의 제1층(11)이 n-타입 반도체 물질인 경우 p-타입 반도체 물질로 만들어지고, 반도체 물질의 상기 제1층(11)이 p-타입 반도체 물질인 경우 n-타입 반도체 물질로 만들어지는 반도체 물질의 상기 제3층(13);

을 포함하고,

상기 상위 다이오드(3)는:

- 반도체 물질의 상기 제3층(13) 상에 정렬되는 반도체 물질의 제4층(31)으로서, 반도체 물질의 제1층(11)이 n-타입 반도체 물질인 경우 p-타입 반도체 물질로 만들어지고, 반도체 물질의 상기 제1층(11)이 p-타입 반도체 물질인 경우 n-타입 반도체 물질로 만들어지는 반도체 물질의 상기 제4층(31);
- 반도체 물질의 상기 제4층(31)의 상부 상에 위치하는 반도체 물질의 제5층(32)으로서, 반도체 물질의 상기 제2층(12)이 적어도 하나의 양자 광 방출기(5)를 포함하는 경우 전기발광에 의해 클래식 광(Clight)을 생성하도록 구성된 적어도 하나의 양자 웰(4)을 또한 포함하거나, 반도체 물질의 상기 제2층(12)이 적어도 하나의 양자 웰(4)을 포함하는 경우 클래식 광을 흡수하고 양자 광을 재-방출하도록 구성된 적어도 하나의 양자 광 방출기(5)를 또한 포함하는 반도체 물질의 상기 제5층(32); 및
- 반도체 물질의 상기 제5층(32) 상에 정렬되는 반도체 물질의 제6층(33)으로서, 반도체 물질의 제1층(11)이 n-타입 반도체 물질인 경우 n-타입 반도체 물질로 만들어지고, 반도체 물질의 상기 제1층(11)이 p-타입 반도체 물질인 경우 p-타입 반도체 물질로 만들어지는 반도체 물질의 상기 제6층(33);

을 포함하고,

상기 양자 광원 장치는 상기 기판 상에:

- 반도체 물질의 상기 제1층(11) 또는 반도체 물질 블록(2) 상에 위치하여 상기 반도체 물질들 중 적어도 하나에 대한 전기적 옴 접촉(ohmic electrical contact)을 발생시키는 제 1 금속 층(21);

- 반도체 물질의 상기 제3층(13) 또는 반도체 물질의 상기 제4층(31) 상에 위치하여 상기 반도체 물질들 중 적어도 하나에 대한 전기적 옴 접촉을 발생시키는 제 2 금속 층(22); 및

- 반도체 물질의 상기 제6층(33) 상에 위치하여 상기 반도체 물질에 대한 전기적 옴 접촉을 발생시키는 제 3 금속 층(23);

을 더 포함하고,

상기 양자 광원 장치는 n-광자 포크 상태 분류(n-photon Fock states classification)에 따라 전류를 양자 광으로 변환하도록 구성되는 것을 특징으로 하는, 양자 광원 장치.

청구항 2

제1항에 있어서,

반도체 물질의 상기 제2층(12)은 적어도 하나의 양자 웰(4)을 포함하고, 반도체 물질의 상기 제6층(33)이 전기 절연(isolating) 층 또는 금속 층으로 대체(replace)되는 것을 특징으로 하는, 양자 광원 장치.

청구항 3

제1항에 있어서,

반도체 물질의 상기 제2층(12)은 적어도 하나의 양자 웰(4)을 포함하고, 상기 제 3 금속 층(23) 및 반도체 물질의 제6층(33)은 제거되는 것을 특징으로 하는, 양자 광원 장치.

청구항 4

제1항 내지 제3항 중 어느 하나의 항에 있어서,

상기 다이오드들(1,3) 중 적어도 하나의 다이오드의 반도체 물질들로부터 방출되는 광의 적어도 일부를 반사하기 위해 브래그 반사기 및 미러(51,52,53)를 더 포함하는 양자 광원 장치.

청구항 5

제1항 내지 제3항 중 어느 하나의 항에 있어서,

양자 광이 상기 블록(2)을 통과하도록 상기 블록(2) 또는 상기 기판 상에 정렬되는, 광섬유 슈라우더 결합기(optical fiber shroud coupler)(41) 및 반사-방지 코팅(42) 중 적어도 하나를 더 포함하는 양자 광원 장치.

청구항 6

제1항 내지 제3항 중 어느 하나의 항에 있어서,

상기 양자 광 방출기(5)를 포함하는 반도체 물질의 상기 제5층(32) 상에 제조되어 상기 양자 광 방출기(5) 아래에 공극(air gap)을 정의하는 적어도 하나의 멤브레인(membrane)(61)을 더 포함하는 양자 광원 장치.

청구항 7

제1항 내지 제3항 중 어느 하나의 항에 있어서,

상기 양자 광 방출기(5)를 포함하는 반도체 물질의 상기 제5층(32) 내에 적어도 하나의 광자 구조(photonic structure)를 더 포함하는 양자 광원 장치.

청구항 8

제6항에 있어서,

상기 멤브레인(61)은 적어도 하나의 광자 구조를 포함하는, 양자 광원 장치.

청구항 9

제1항 내지 제3항 중 어느 하나의 항에 있어서,

반도체 물질의 상기 제5층(32)은 기계적 진동기(mechanical oscillator)를 포함하는, 양자 광원 장치.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 기계적 진동기는 캔틸레버(cantilever)(62)인, 양자 광원 장치.

청구항 11

제1항 내지 제3항 중 어느 하나의 항에 있어서,

상기 기판 및 반도체 물질의 상기 층들(11, 12, 13, 31, 32, 33)은, III-V 화합물 반도체, II-VI 화합물 반도체, 및 IV족 반도체로 이루어진 그룹으로부터 선택되는 물질 또는 물질들의 조합으로 제조되는 것을 특징으로 하는, 양자 광원 장치.

청구항 12

제1항 내지 제3항 중 어느 하나의 항에 기술된 장치로서 적어도 두 개의 장치들을 포함하는 양자 광학 회로(quantum optical circuit).

청구항 13

삭제

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명의 목적은 물리학 분야와 관련되고, 구체적으로 양자 물리학 분야와 관련된다.

[0002] 본 발명은 양자 광원(quantum light source)에 관한 것으로, 더 구체적으로는 단일 광자들(single photons) 혹은 얽힌 광자 쌍들(entangled photon pairs)을 발생시킬 수 있는 장치에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0003] 새로운 양자 정보 기술의 개발은 광 및 물질의 양자 이론의 본질적인 영역이다. 이러한 이론의 수년 동안의 개발 이후 오늘날에도, 대부분의 장치들은 하나의 실시형태 혹은 또 하나의 다른 실시형태(또는 이들 모두)가 연속체 매질(continuum medium)인 것으로 고려되는 준 고전적인 이론에 근거하여 대게 작동한다.

[0004] 오늘날까지, 가장 작은 상업용 트랜지스터조차도 그 나노미터 크기의 피처들에도 불구하고 평형 및 전하 수송의 고전적인 방정식들로 상당히 잘 설명될 수 있다. 광이 연속적인 전자기파로서 취급되는 대부분의 발광 장치들 및 검출기들에 대해 동일한 것이 말해질 수 있다. 이러한 이론의 정교함의 힘 그리고 이들의 엄청난 범위의 응용을 인식하지만, 조만간 우리의 기술적 성숙도는 임계적 장벽을 뛰어넘을 것이고 이로부터 광 및 물질의 양자 속성들이 그 최대 잠재력까지 개발될 것임이 분명하다.

[0005] 2013년에, 서유럽의 거주민들은 인터넷을 통해 상업적 거래에 2150억€를 소비했고, 그리고 사용자들 중 72%는 어떤 종류의 상업적 거래를 온라인으로 수행한다. 고전적 암호화 및 양자 암호화의 목표는 현대의 통신에서 데이터 프라이버시 및 보안을 보전할 수 있는 새로운 방법 및 기술을 개발하는 것이다.

[0006] 공개키 암호화에 기반을 둔 첫 번째 알고리즘은 리베스트(Rivest), 샤미르(Shamir) 및 아들만(Adleman)에 의해 30년 전에 규정되었고, 오늘날에도, 이러한 알고리즘(RSA)은 인터넷으로부터의 민감한 정보의 대부분을 암호화하는데 사용된다.

[0007] 그러한 방식으로 암호화된 메시지들이 불가침적인 것이 아님을 이해할 필요가 있다. 이들의 암호해독은 지루한 수학적 문제이지만, 해결할 수 없는 것은 아니다. 고전적인 인수분해의 방법을 사용하는 경우, 현대의 데스크탑 컴퓨터는 256-비트 RSA 키를 갖는 암호화된 메시지를 해독하기 위해 수 천년을 필요로 하게 될 것이다. 하지만,

만약 양자 컴퓨터에서 실행되는 양자 인수분해 알고리즘이 이러한 작업에 사용된다면, 해당 작업은 훨씬 덜 힘들게 될 것이다. 이러한 결과물이 곧바로 기대될 수는 없어도, 이러한 양자 컴퓨터들의 능력은 다섯-자리 숫자들 혹은 16비트들의 인수분해의 최근 실증으로 '점점 강력'해지고 있다.

[0008] 공개키 방법들에 대한 대안으로, 일회성 암호화는 무한한 계산 능력을 갖고 있는 적대자들에 대해 안전하다. 이것의 유일한 결점은 개인키들을 교환하기 위한 방법이 깨질 수 없는 것으로 증명돼야만 한다는 것이다. 다행히도, 양자 정보 이론은 공개키 알고리즘들의 보안 침해 문제를 야기할 뿐만 아니라 개인키 교환을 위한 "불가침적" 방법들도 제공한다. 가장 잘 알려진 암호화 양자 프로토콜은 BB84인데, 이 프로토콜은 "양자 상태의 복제불가 정리(no cloning theorem of quantum states)"에 기반을 두고 있으며, 이 정리는 또한 불확정성의 원리(principle of uncertainty)로부터 유래한다. 양자 상태에서 인코딩된 정보는 측정 프로세스 동안 비가역적으로 변경된다. 이것은 두 명의 합법적 파트너들이 양자 상태에서 인코딩된 정보를 교환함과 아울러 그 프라이버시가 훼손되었을 때를 알아차리는 다양한 방법들을 가능하게 한다. 양자 정보 프로토콜들의 이러한 독점적 속성은 합법적 교섭담당자들 간의 절대적 개인키들의 불가침적 교환을 가능하게 한다.

[0009] 단일-광자 소스들은 광을 단일 입자들 혹은 광자들로서 방출하는 광원들이다. 이들은 간섭 광원들(레이저들) 및 열 광원들(예컨대, 백열광 전구들 및 수은-증기 램프들)과는 다른 것이다. 하이젠베르크의 불확정성 원리는 단일 주파수의 광자들의 정확한 수를 갖는 상태는 생성될 수 없음을 말한다. 하지만, 포크 상태(Fock states)(혹은 수 상태(number states))는 전기장 진폭이 좁은 대역폭에 걸쳐 분포되어 있는 시스템에 대해 연구될 수 있다. 이러한 맥락에서, 단일-광자 소스는 효과적으로 1-광자 수 상태를 일으키고, 반면 얽힌 광자 쌍 소스 상태는 효과적으로 2-광자 수 상태를 일으키는데, 포크 상태 혹은 수 상태는 잘-정의된 수의 양자들을 갖는 포크 공간의 요소인 광의 양자 상태이다.

[0010] 양자 원격통신에 대해, 단일 광자들 혹은 얽힌 광자 쌍들과 같은 광의 양자 상태는 양자 정보의 선호되는 캐리어들이다. 이들을 발생시키고 조작하기 위해, 수많은 연구 그룹들 및 기업들이 양자 광 이론을 응용하고 그 응용을 기술화하기 위해 무수한 노력을 한다. 사실, 소위 '양자 모뎀'은 실험실 밖에서 대기업 및 기관 고객을 대상으로 하는 프로토타입으로서 이미 존재한다. 이들을 대중화하기 위해서, 이러한 기술은 마이크로프로세서 및 무어의 법칙이 창안된 이래로 다른 디지털 기술과 함께 일어났던 바와 같이 소형화 및 통합화의 주기를 거칠 필요가 있다. 핵심적인 질문은 새로운 양자 정보 기술에서 일반적으로 사용될 수 있는 신뢰 가능하고 통합되며 스케일링가능한 양자 광원을 어떻게 만들 것인가이다.

[0011] 광의 양자 속성들은 20세기 초 흑체 복사 및 광전 효과를 설명하기 위해 아인슈타인 및 플랑크에 의해 가정되었다. 하지만, 70년대가 되어서야 비로소 개별 광자들의 검출을 포함하는 광의 양자 성질의 첫 번째 실험적 증거가 발견되었다. 이러한 선구적인 연구로부터 얻어진 것은 로컬 관측자의 관점에서 보면 원자의 개별 양자 상태에 의해 방출되는 광 흐름은 단일 광자들(하나씩 차례로 방출되는 광자들)로 만들어지지만, 대부분의 광원들은 일반적으로 이러한 규칙을 이행하지 않는다는 것이다. 이것을 보는 간단한 방법은 특정 광원에 존재하는 두 개의 비관련된 개별 원자들이 두 개의 비관련된 광자들을 동시에 방출할 수 있다는 것이다.

[0012] 후속하는 수십 년은 양자 정보 이론의 발전에 기초가 되었지만 BB84 프로토콜의 발표, 인터넷의 출현, 그리고 원격통신의 안전성에 대한 사회의 관심 증가와 함께 단지 1984년 이후에야 양자 정보 이론 및 기술은 이들의 현재 적합성을 점차 획득했다.

[0013] 이러한 기술을 개발하기 위해 적절한 물리적 시스템을 찾는 것은 쉽지 않다. 개별 원자들 및 이온들에 관한 실험의 성공에도 불구하고, 반도체 광원 및 광섬유에 기반을 둔 기존의 원격통신 기술에 맞게 새로운 양자 프로토콜을 적용하기 위해서 이러한 물리적 시스템들이 순응할 수 없음은 명백했다. 90년대 중반에, 개별 분자들을 양자 광 방출기들로서 사용하면서, 많은 원자들로 이루어진 물리적 시스템들이 또한 단일 전자가 매번 여기된다면 단일 광자들을 방출할 수 있음을 보여주는 새로운 길이 열렸다.

[0014] 새로운 세기가 도래하고 나서야 고체 상태 시스템들 내의 단일 광자 소스들이 명백하게 실증되었다. 이것은, 다이아몬드 내의 색 중심들, 유리 내에 분산된 콜로이드 CdTe 양자점들, 그리고 에피텍셜 방법들에 의해 GaAs 상에 성장된 InAs 양자점들에서 거의 동시에 보고되었다.

[0015] 수년에 걸쳐 이러한 연구가 유행하게 되었고, 그리고 다음과 같은 세 개의 카테고리로 분류될 수 있는 다양한 양자 시스템에서 양자 광원들이 실증되었다.

[0016] I.- GaAs, InP, GaN과 같은 반도체 메트릭스에서 나노구조화되고 에피텍셜 방법에 의해 성장된 다양한 반도체 물질들을 기반으로 하는 양자 광 방출기들.

[0017] II.- 고체 기판들 혹은 폴리머들 상에 분산된 유기 및 무기 나노구조들 및 분자들을 기반으로 하는 양자 광 방출기들.

[0018] III.- 다이아몬드 혹은 탄화 규소와 같은 큰 에너지 밴드갭이 결정들 내에 매립된 공공(vacancies) 및 결함(defects)을 기반으로 하는 양자 광 방출기들.

[0019] 모든 작동을 언급하고 이들의 결과를 비교하는 것은 여기서 이용가능한 것보다 훨씬 더 많은 공간을 차지하게 될 것이고, 따라서 우리는 각각의 카테고리의 대표로서 InAs/GaAs 양자점들, 콜로이드 양자점들, 그리고 다이아몬드 상의 질소 공공들의 비교를 따를 것이다. 후자의 두 개는 실온에서 원활하게 동작하고, 반면 첫 번째 카테고리의 대부분의 양자 광 소스들은 적절한 작동을 위해 낮은 온도(<77 K)를 요구한다. 온도는 제안된 기술적 목적을 위해 중대한 이점이지만 유일한 이점은 아니다. 적절한 기술이 되기 위해서 상이한 접근법들의 실제 잠재력을 결정하는 몇 가지 실용적이고 기본적인 다음과 같은 요건들이 존재한다.

[0020] - 파장: 현재, 중거리 및 장거리의 광학적 원격통신은 광섬유를 통해 이루어진다. 신호 감쇠는 dB/km 단위로 측정되고, 근적외선 및 단파장 적외선에서는 낮고, 1.55 미크론에서 최소치를 가지며, 가시 및 자외선 범위에서는 훨씬 더 높다. GaAs-기반 및 InP-기반 양자점들의 방출은 자연적으로 850 내지 1700 nm 범위의 적외선을 커버한다. 다른 시스템들은 전형적으로 가시 혹은 UV에서 방출을 행한다.

[0021] - 통합성: 현대 광학 정보 기술은, 광의 발생(검출)이 전송기(수용기) 측에서 단일 광자 칩 내의 신호 프로세싱 컴포넌트들과 함께 패키징되어 있는 광자 집적 회로들을 기반으로 한다. 이것은 전자 산업의 소형화 단계를 따르는 산업이다. 반도체 웨이퍼들 및 에피텍셜 물질들은, 전자 산업으로부터 알려진 미세평면 제조 기술들을 사용하여, 광 방출기들 및 검출기들, 광 증폭기들, 그리고 또한 도파관들과 같은 수동 컴포넌트들을 제조하기 위해 이미 사용된다. 다이아몬드는 기계적 강도 및 화학적 안정성이 더 높기 때문에, 또는 콜로이드 양자점들, 분자들, 탄소 나노튜브들, ...은 환경에 대한 내구성 혹은 복원성이 불량하기 때문에, 이들은 산업 규모에 맞춰 기존의 제조 공정들에 맞게 적용하기에 적절하지 않을 수 있거나 쉽지 않을 수 있다. 이러한 규칙에 대한 예외가 SiC인데, 전자공학 및 광전자공학에서 SiC의 사용은 잘 알려져 있다.

[0022] - 전기적으로 구동되는 능력: 첫 번째 고체 상태 레이저들은 활성 매질의 전자들을 더 높은 에너지 레벨로 여기시켰던 외부 광원들로 펌핑되었다. 전기적 에너지를 직접적으로 간섭성 광으로 변환할 수 있는 첫 번째 레이저들은 이온화된 가스들을 기반으로 했는데, 이 경우 전류는 여기 에너지를 제공하는 전극들 사이에서 흘렀다. 이러한 소스들은 더블 헤테로구조 레이저 다이오드가 처음 발명되고 이후 양자 웰 레이저 다이오드가 발명될 때까지는 여전히 거대한 기구들이었다. 이러한 소형 광원들은 전력 소비가 낮고 변조 속도가 높아 현대 원격통신에서 요구되는 바에 따라 전기적 데이터를 광으로 직접 변환하는 것을 가능하게 했다. 만약 목표가 통합화 및 소형화라면, OLED를 포함하는, 내구성이 있고 쉽게 제조되는 반도체 물질로 만들어진 전기적으로 구동되는 양자 광원들은 이러한 측면에서 그렇게 개발되지 못한 다른 대안들보다 큰 이점을 제공함은 명백하다.

[0023] - 광자들의 비구별성: 소스에 의해 방출되는 개별 광자들의 비구별성은 양자 처리 알고리즘들에 있어서 그리고 또한 양자 암호화 프로토콜들에 있어서 필수적인 파라미터이다. 비구별성은 동일한 소스의 두 개의 광자들을 기술하는 웨이브 패킷들 간의 차이의 부재로서 측정된다. 이것의 방해물은 발생 과정(순수한 영위상화) 동안 환경에 의해 야기되는 무작위 위상 편이다. 고체 상태 환경에서 광자들의 방출을 담당하는 전자들은 그들 간의 원치않는 상호작용을 일으키게 됨과 아울러 결정 격자의 다른 여기들(즉, 음자들)과의 원치않는 상호작용을 일으키게 되는데, 이는 방출되는 광자의 방출 선폭(Hz 단위로 측정됨)을 그 수명을 거스르며 넓힌다(후자의 경우는 이상적으로 퓨리에 변환된 광자일 것임). 실온에서 다이아몬드 내의 불순물들에 의해 방출되는 광자들의 선폭은 InAs 광자점들에서의 감금된 여기자들에 의해 방출되는 것보다 10의 몇 차수 배 이상 더 높다. 온도를 1.8K로 낮추면, 양쪽은 비슷하게 되지만, 다이아몬드는 에피텍셜 양자 방출기들에 대한 자신의 주요한 기술적 이점(실온 동작)을 잃는다.

[0024] 카테고리 I의 양자 광 방출기의 독점적 이점은 2002년에 도시바 래버러토리스(캠브리지)에서 활용되었다. InAs/GaAs 양자점들에서의 단일 광자 방출의 실증 직후에, 도시바 랩스는 직접적인 전기적 주입을 기반으로 첫 번째 모놀리식 양자 광원을 개발했다. 도시바 설계는 p-i-n 다이오드로 구성되는데, 이 다이오드의 진성 영역에서 InGaAs 자기-조립된 양자점들이 분자 빔 에피텍시(Molecular Beam Epitaxy, MBE)에 의해 성장된다. 다이오드에 직접적인 바이어스를 인가하면, 다수 캐리어들이, 도핑된 층들로부터 광을 생성하는 양자점들로 주입된다. 만약 단일 양자점의 광이 공간적으로 그리고 스펙트럼적으로 필터링된다면, 그 결과는 전기적 주입을 갖는 양자 광원이다.

[0025] US2002196827A1에서 도시바에 의해 제시 및 입증된 설계는, 외부 광원에 의한 여기보다 (특히 에너지 소비 및 시스템 통합 측면에서) 큰 이점을 제시하고, 또한 다음 섹션에서 설명되는 어떤 문제들(우리의 제안이 치유하려고 의도하고 있는 문제들)을 함께 갖고 있다. 몇 가지 변형을 통해, 도시바의 p-i-n 설계는 카테고리 I의 상이한 물질들을 갖는 모놀리식 양자 광원들을 제조하는데 사용되었다. 다른 카테고리들에서, 이러한 설계는 더 폭넓은 범위의 물질들에서 양자 광의 전력선 발생의 가능성을 탐색하며 점진적으로 반복되어 왔다.

[0026] 도시바 랩스(2002)의 설계는 움직일 수 없는 상태로 있으며 비록 효율을 증가시키기 위해서 혹은 얽힌 광자들의 쌍들을 생성하기 위해서 자신들에 의해 혹은 다른 사람들에 의해 개량되었을 지라도, 모든 후속하는 개발들은 양자점들/결함들을 포함하는 단일 능동 영역과 그리고 전기적 캐리어들의 주입을 위한 두 개의 도핑된 영역들을 갖는 2-단자 장치에 기반을 두고 있다.

[0027] 2-단자 설계는 몇 가지 단점을 갖는다.

[0028] **1.- 수 개의 핵심적인 파라미터들의 상충되는 제어:** 외부 전기장은 카테고리 I의 양자 광 방출기들의 방출 파장 및 전하 상태를 양자 감금 슈타크 효과 및 용량성 쿨롱 전하를 통해 각각 제어하기 위한 유용한 자원이다. 단일 p-i-n 접합에 기반을 둔 설계는 방출기의 전하의 상태 및/또는 그 방출 파장을 장치에 주입되는 전류와 독립적으로 제어하는 것을 (불가능하지 않는 경우) 어렵게 한다. 개척자인 도시바의 연구에서 알 수 있는 바와 같이, 양자 광 방출기는 단지 가장 낮은 전류(<80 nA)에 대해서만 단일 파장에서 동작한다. 더 높은 전류에 대해서, 새로운 방출선들이 더 낮은 에너지에서 출현하고 더 높은 방출 전류에 대해서는 연속 스펙트럼이 된다. 실제로 이것은 원치않는 새로운 광원의 출현과 단일 광자보다 더 많은 방출이 동시에 출현함을 의미하게 된다. 이것은 양자 광원의 밝기에 대한 제어를 방해하는데, 왜냐하면 주입되는 전류에 의해 결정되는 초당 광자들의 수가 그 방출되는 광자들의 파장 혹은 양자 특성에 영향을 미치지 않고서는 많이 변경될 수 없기 때문이다. 이러한 단점은 도시바의 설계에 기반을 둔 모든 전기적으로 구동되는 양자 광원들에서 공통된다.

[0029] **2.- 초박막 멤브레인들에서의 제한된 성능:** 2-단자-설계는 양자점들이 초박막 멤브레인들에 매립되는 상황에서 쉽게 적용될 수 없다. 최고의 실용적 중요성의 예는 광자 결정 미세공동(Photonic Crystal Microcavities, PCM) 매립, 예컨대, 양자점들에 기반을 둔 전기적으로 구동되는 양자 광원들의 제조이다. PCM은 퍼셀 효과(약한 광-물질 결합)를 통해 양자 광원의 밝기를 증가시키는 통합된 양자 광자학에서 중요한 컴포넌트이다. 이들은 또한 공동 양자 전기역학(강한 광-물질 결합)을 기반으로 하여 양자 리피터들 및 스핀-광자 인터페이스들을 개발하는데 기초가 된다. 양쪽 경우에서, 공동 모드와 양자 광 방출기 에너지 간의 스펙트럼 조정이 중요하다. 일부 그룹은 이러한 미세공동들 내에 매립되는 양자 광 방출기들의 방출 파장을 외부 전기장에 의해 제어하기 위해 2 단자 장치들을 사용했다(슈타크 효과). 또한, PCM에 매립되는 양자 광 방출기들의 집합으로부터 넓고 약한 전기발광이 실증되었다.

[0030] 그러나, 통합된 양자 광자학에 대한 PCM의 커다란 잠재력에 불구하고, 전기적으로 구동되는 양자 광원들을 PCM에 매립하는 것은 매우 어렵다. 그 이유는 광자 결정이 유전체 환경에 극히 민감하기 때문인데, 따라서 품질 인자(앞서 언급된 양쪽 응용에 대해 중요한 파라미터)를 과감히 감소시키지 않고서는 PCM의 상부 상에 금속 전극들이 증착될 수 없다. 이러한 근본적인 제약으로 인해, 금속 전극들은 PC 경계로부터 (전형적으로는 ~20 미크론 혹은 그 이상) 떨어져 증착돼야만 하고, 이것은 다수 캐리어들이 (PCM 중심에 위치한) 양자 방출기에 도달하기 전에 옆으로 이동할 필요가 있는 경로를 크게 증가시킨다. ~20 미크론은 대부분의 광전자 응용에 대해 적당한 거리이지만, 여기에 관련된 PCM은 2-단자 설계에 따라 캐리어 주입 p-i-n 구조를 포함하는 ~100-nm-두께의 멤브레인 상에 제조된다. 이러한 경우에, 도핑된 층들은 단지 ~30-nm-두께만을 가질 수 있는데, 이것은 시트 저항이 본질적으로 높아지게 할 뿐만 아니라 PC 제조 공정에 의해 악화되게 한다. 따라서, 이러한 장치는 역 바이어스로 전기장을 인가함으로써 양자 광 방출기 파장을 제어하기 위한 수단으로 주로 탐색되었다. 이러한 경우, 다수 캐리어 전류는 필요하지 않거나 또는 어떠한 역할도 하지 않는다.

[0031] 양자 광 방출기가 초박막 멤브레인의 사용으로 혜택을 받는 또 하나의 다른 응용 분야는 양자 상태의 변형 공학과 관련된다. 이것은 특히 타입 I 및 III의 양자 광 방출기를 사용하여, 얽힌 광자 쌍들(Entangled Photon Pairs, EPP)을 생성하는 것에 관련된다. 성장된 대로의 방출기들은 일반적으로, 이들의 깨진 결정 대칭성이 성장 평면에서 외부 필드를 인가함으로써 복원되지 않는다면, EPP를 방출하지 않는다. 초박막 멤브레인의 사용은 (전형적으로 압전 변환기에 의해 유발되는) 적절한 외부에서 가해진 기계적 힘으로 이러한 상태를 설계할 수 있게 한다. 모놀리식 장치에 전기적으로 구동되는 캐리어 주입 및 변형 공학을 부가하는 것은, 양자 광원, 양자 리피터 및 메모리의 개발에 영향을 미칠 것이고, 기존의 설계의 경우 앞서 설명된 바와 같이 초박만 멤브레인의 높은 시트 저항에 의해 또한 손상을 받는다.

[0032] 동일한 단점이 양자 광을 이용한 송신 캔틸레버, 멤브레인 및 다른 초박막 나노-광기계적 공진기에 기반을 둔 통합된 양자 감지기의 개발을 방해한다.

[0033] **3.- 제한된 시스템 통합:** 통합된 양자 광회로(Integrated Quantum Photonic Circuits, IQPC)는, 임의의 다른 통합된 광회로처럼, 단일 칩 상에 복수의 기능을 통합시키는 것에 기반을 두고 있다. 전기적으로 구동되는 양자 광원 및 메모리는 도파관, 위상 변조기, 광 검출기, 광기계적 공진기, ...을 포함하는 수동 및 능동 컴포넌트들의 긴 목록 중 바로 첫 번째 것이다. 2 단자 설계에 기반을 둔 양자 광원은 수개의 핵심적인 파라미터들의 상충되는 제어 및 초박막 멤브레인에서의 제한된 성능을 보여주고, 이는 이러한 모놀리식 컴포넌트들을 IQPC에 통합하는 것을 악화시킨다. 포획된 원자들 및 이온들보다 더 큰 정도로, 고체 상태 시스템에 기반을 둔 양자 광원 및 메모리는 그들의 속성의 통계적 변동들에 의해 야기된 그리고/또는 그들의 환경에서 야기된 비균일성 확장 문제를 겪는다. 양자 광회로 응용을 위해서, 상이한 컴포넌트들은 독립적으로 조정돼야만 하고, 그리고 궁극적인 IQPC를 위해서, 이것은 가용 공간을 현명하게 이용하여 국소적으로 행해져야만 한다. 2-단자-설계는, 1에서 지적된 바와 같이, 양자 광원 파장 혹은 밝기와 같은 핵심적인 파라미터를 독립적인 방식으로 변경할 만큼 충분한 유용성이 부족하고(조정 요건), 또는 2에서 지적된 바와 같이, 광자 결정 멤브레인 혹은 초박막 컴포넌트 상에 일반적으로 용이하게 구현될 수 없다(공간 요건). 재설계된 모놀리식 설계가, 아래에 제시되는 본 발명의 설명 섹션에서 설명되는 바와 같이, 완화시킬 수 있는 다수의 문제들 중 단지 몇 가지 예가 있다.

[0034] **모놀리식 양자 광원 장치들에 대한 종래 기술**

[0035] 도시바의 본래의 설계에서, 캐리어들은 "매립된 양자 광 방출기들에서의 전기발광"을 직접적으로 발생시키기 위해 p-i-n 다이오드의 도핑된 층들로부터 주입된다. 전기발광 강도는 장치 바이어스를 변경시킴으로써 제어되고, 이러한 광의 양자 속성들은 광자 흐름의 스펙트럼 및 공간 필터링으로부터 일어난다.

[0036] 본 발명의 목적에 의해 다루어지는 일부 양상들에 대한 부분적 해법을 제공하려는 몇 가지 개발들이 있다.

[0037] 유안(Yuan)의 논문("Electrically Driven Single-Photon Source" Science 295 (5552) 102 - 5 February 2002)에는, p-i-n 접합형(즉, 두 개의 상이하게 도핑된 영역들 및 두 개의 단자들을 갖는 PIN 다이오드)의 진성 영역에 나타난 단일 양자점의 전기발광으로부터 발생되는 단일 광자의 전기적으로 유도된 방사원이 개시되어 있다. 이러한 문서는 어떻게 낮은 레벨의 주입 전류 하에서 양자점 전기발광의 스펙트럼이 여기자들의 재결합으로 인해 단일의 뚜렷한 선을 드러내는지를 상세히 설명한다. 방출된 광의 2차 자기상관 함수는 요구형 단일-광자 방출이 나노초-이하-길이의 전압 펄스들에 의해 자극받을 수 있음을 보여준다.

[0038] 도시바의 활동과 함께, 예를 들어, 문서 US2011108744에서는, 광자 소스가 설명되는데, 여기서 광자 소스는, 양자점; 상기 양자점을 통해 전기장을 인가하도록 구성된 전기적 접촉들; 그리고 상기 접촉들에 결합되는 파워 소스를 포함하고, 상기 전기적 소스는 캐리어들이 상기 양자점에 공급되어 2-여기자 혹은 더 높은 차수의 여기자를 형성하도록 전위를 인가하게 되어 있다. 이 문서에서, 광자들의 상기 소스는 또한, 캐리어가 상기 양자점까지 가고 상기 양자점으로부터 오는데 소요되는 시간을 증가시키도록 구성된 장벽을 포함하고, 그 시간은 양자점에서의 여기자의 방사의 수명보다 더 크며, 양자점은 2-여기자, 더 높은 차수의 여기자의 붕괴 동안 광자 방출에 적합하다.

[0039] WO2011009465는 반도체 물질로부터 만들어진 본질적으로 원뿔형 나노와이어에 기반을 둔 광자 양자 광의 소스를 설명하는데, 여기서 나노와이어는 광자 방출기에 전기적으로 연결되는 전극들의 쌍에 의해 보완되고, 광자 방출기는 나노와이어에 통합되며 구동 전압이 전극들 사이에서 인가되는 경우 단일 광자를 발생 혹은 방출시킬 수 있다. 이 문서는 나노와이어가 공기 혹은 진공으로 둘러싸여 주변 물질(공기)과 나노와이어의 굴절률 간의 결과적인 관계를 이용할 수 있음을 설명한다. 이 문서는 또한 전극들이 광학적으로 투명하여 반사방지 요소의 일부로서 사용될 수 있음을 상세히 설명한다.

발명의 내용

[0040] 종래 기술에서 존재하는 앞서 언급된 단점들은 본 발명의 조정가능한 모놀리식 양자 광원 장치(tunable monolithic quantum light source device) 및 이 장치의 양자 광학 회로(quantum optical circuit)를 구현함으로써 해결될 수 있는데, 본 발명은 종래 기술에서 제안된 양자 광 방출 다이오드(quantum light emitting diode)의 개념 및 다수 캐리어들(majority carriers)의 주입 모드(injection mode)를 바꾼다.

[0041] 이러한 목적을 위해, n-광자 포크 상태 분류(n-photon Fock states classification)에 따라 광자 광을 생성할 수 있는 양자 광 방출 장치인 이러한 조정가능한 모놀리식 양자 광원 장치(즉, 1-광자 수 상태들을 생성하는 단

일-광자 소스 또는 2-광자 수 상태들을 생성할 수 있는 얽힌 광자 쌍 소스, 등)는 새로운 단자 및 새로운 장치 능동 층을 제공한다.

[0042] 본 발명의 양자 광 방출 장치의 목적에 있어서, 고전적인 광의 양자 광으로의 인-시츄 변환(in-situ conversion)은 어떠한 비-선형적 광학 프로세스를 수반함이 없이 수행되고, 이것은 본 발명의 양자 광 방출 장치의 목적의 핵심적인 요소들 중 하나인 것으로 말할 수 있음에 유의해야 한다. 파라미터적 하향-변환(parametric down-conversion)과 같은 비-선형 광학 프로세스들은 펌핑 광원(pumping light source)의 비-선형 매질(non-linear medium) 내에서의 주파수 변환에 의해 단일 광자들 및 얽힌 광자 쌍들을 생성할 수 있다. 펌프 광(pump light)은 전형적으로 외부 고-출력 레이저 소스(high-power laser source)에 의해 제공된다. 비록 반도체 화합물들을 사용하여 모놀리식으로 펌프 소스와 비-선형 매질을 통합하려는 시도가 행해질 수 있지만, 이러한 장치의 설계 및 작동 원리는 본 발명의 목적과는 매우 다르게 될 것이다.

[0043] 따라서, 본 발명의 목적은 배터리와 같은 전압원으로부터 양자 광을 발생시킬 수 있음과 동시에 파장 및 밝기와 같은 그 핵심적인 속성들을 독립적으로 조정할 수 있는 모놀리식 장치이다. LED가 전류를 강력한 백색광으로 변환하여 우리의 거리를 밝히고 또는 레이저 다이오드가 DVD 상의 데이터를 판독하고 기록하는 것과 같이, 본원발명의 장치는 상기 모놀리식 장치와는 별개인 다른 능동 컴포넌트들을 요구함이 없이 전류를 높은 비구별성을 갖는 단일 광자들 혹은 얽힌 광자 쌍들로 변환할 것이다.

[0044] 본 발명의 목적은 초박막 멤브레인들(ultrathin membranes), 광자 결정 미세공동들(photonic crystal microcavities) 및 도파관들(waveguides) 또는 더 일반적으로는, 그 유전체 환경(dielectric environment)에 민감한 나노장치들(nanodevices)에서 구현될 때 제한된 성능을 갖는 기존의 전기적으로 구동되는 양자 광원들의 잘-알려진 문제에 대한 해법을 찾아낸다. 이러한 모든 경우들에서, 새로운 설계는 소스의 모놀리식 특성을 훼손함이 없이 문제를 해결한다.

[0045] 본 발명의 목적은, 그 새로운 조정 능력 및 광학적 통합 가능성으로 인해, 양자 광의 현행 모놀리식 소스들을 향상시키고, 양자 통신에서 큰 잠재력을 가지지만, 또한 양자 정보 처리 및 계측을 위한 더 실현가능한 광자 집적 회로들(photonic integrated circuits)에 대한 문호를 개방한다.

[0046] 본 발명의 장치는 모놀리식 구조 "p-i-n-i-p" 내에 (바람직하게는 두 개의) 다이오드들의 세트 및 (바람직하게는 두 개의) 진성 영역(intrinsic area)들의 세트를 포함한다. 하위 진성 및 도핑된 층들은 하나 이상의 양자 웰들(Quantum Wells, QW)을 포함하고, 반면 상위 진성 층들은 바람직하게는 양자 광 방출기들(예컨대, 에피택셜 QD들)을 포함하는 단일 층을 포함한다. 하부 다이오드는 순방향 바이어스(forward bias)로 동작하는 바, 즉 "QW에서의 전기발광"을 생성하는 다수 캐리어들을 주입함으로써 동작한다. 이러한 고전적인 광(Classic light)(C광(Clight))은 사실 발광 다이오드(Light Emitting Diode, LED)에 의해 방출된 종래의 광으로, 양자 광 방출기들을 포함하는 상위 능동 구역에 도달할 때까지 장치를 통해 전파하는 광이다. 이러한 영역에서, 고전적인 광은 흡수되어 전자-정공 쌍들(electron-hole pairs)을 발생시키고, 이러한 전자-정공 쌍들은 양자 광 방출기들에 의해 포획되어 양자 광으로서 재-방출된다. 그 다음에 양자 광은 필요에 따라 양자 광원들의 시간, 공간 및 스펙트럼 필터링을 위한 알려진 방법들에 따라 수집된다. 상위 다이오드는 독립적으로 구동될 수 있고, 2-단자 설계에서는 존재하지 않는 다음과 같은 다수의 기능들을 가능하게 한다.

[0047] • 양자 감금 슈타크 효과(quantum confined Stark effect)를 통한 양자 광 방출기 에너지의 제어, 이에 따라 캐리어 주입 메커니즘과는 독립적인 양자 광원 파장의 제어.

[0048] • 캐리어 주입 메커니즘과는 독립적인, 추가적인 전기적 캐리어들의 용량성 혹은 확산성 로딩(loading) 및 언로딩(unloading)을 통한 QD 전하 상태의 제어.

[0049] • 두 개의 독립적인 파라미터들(하위 다이오드에서의 전류 주입(고전적인 광 강도의 변조) 또는 상위 다이오드의 역전기장(QD들에서의 전하의 완전 공핍(full depletion))을 사용하는 양자 광원 강도 또는 밝기의 변조.

[0050] • 유전체 환경 혹은 양자 광원 밝기를 손상시킴 없이, (광자 결정 미세공동들/도파관들, 나노-광기계적 감지기들, 변형 공학 멤브레인들 등을 포함하는) 초박막 멤브레인들에 매립된 양자 광원들 또는 양자 메모리들의 완전한 전기적 구동.

[0051] 3-단자 설계는, 모놀리식으로 매립된 펌핑 광원의 주입 레벨과는 독립적으로, 양자 광 방출기 상태들의 복합적인 수직 및/또는 측면 전기적 게이팅(electrical gating)의 구현을 가능하게 한다. 이것은 고도로 통합된 양자

광회로들의 실현가능한 조정 및 공간-절약 요건들을 이행하기 위해 가장 중요하다. 보다 구체적으로, 아래와 같은 것을 가능하게 한다.

[0052] • 하나 이상의 도핑된 층들을 완전히 혹은 선택적으로 제거함과 아울러 수동 영역들, 전기적으로 역전된 능동 영역들, 측면 게이트들, 쇼트키 게이트들, 전계 효과 트랜지스터들 등(이들 모두는 모놀리식으로 매립된 펌핑 광원(고전적 광원)의 주입 레벨과는 독립적으로 동일한 웨이퍼에서 동작함)을 정의하기 위한 희생층 및 에칭-정지 층 그리고 표준 미세제조 방법들의 사용.

[0053] 또한, 3-단자 개념은 모놀리식 매립된 펌핑 광원의 구성에 어떠한 특정 제한도 부과하지 않으며 또한 양자 광원의 설계에도 어떠한 특정 제한을 부과하지 않는다. 특히,

[0054] • 고전적인 광 방출 장치들의 분야에서 현재 및 미래의 모든 발전이 구현될 수 있다. 특히, 기존의 LED 설계들 대신에, 브래그 반사기들(Bragg reflectors)이 고전적인 광 스펙트럼을 좁히고 그 변조 속도 및 깊이를 증가시키기 위해 공진성 공동 LED(resonant cavity LED)들 또는 수직 공동 레이저(Vertical Cavity laser)(VCSEL)들을 제조하는데 사용될 수 있다. 양극 산화(anodic oxidation) 혹은 다른 방법에 의해 전류 차단 층들의 형성에 기반을 둔 전류 감금 전략들이 또한, 하위 혹은 상위 다이오드에서 전류를 흐르게 하거나 차단하기 위해서 아울러 효율/변조 속도 및 깊이를 또한 증가시키기 위해 구현될 수 있다. 이러한 발전들은 모두 요구형 단일 광자들 및 얽힌 광자 쌍들의 모놀리식 전기적 발생을 향상시키기 위한 설계에 손쉽게 통합될 수 있다.

[0055] • 양자 광원 제조를 위한 새로운 물질의 연구에서 현재 및 미래의 모든 발전이 통합될 수 있다. 특히, 양자 광 방출기들은 펌핑 광을 흡수할 수 있으면서도 단일 캐리어들을 보유할 수 있고/있거나 양자 광을 방출할 수 있는 물질들의 임의의 조합으로 만들어질 수 있다. 또한, 현장에서 제어되는 양자 광 방출기들 혹은 선택적으로 지정되는 양자 광 방출기들에 기반을 둔 결정론적 제조 방법들이 본 발명의 설계와 완전히 호환가능하다.

도면의 간단한 설명

[0056] 설명된 것을 보충하기 위해, 그리고 본 발명의 바람직한 실제 실시예에 따른 본 발명의 특성들의 더 나은 이해를 돕기 위해, 상기 설명의 통합 부분으로서 도면들의 세트가 수반되는바, 도면들에는 한정적으로가 아니라 예시적으로 다음과 같은 것이 나타나 있다.

도 1a 및 도 1b. - 도 1a에서는 최신 기술에 관한 사시도를 보여주고 있으며, 도 1b에서는 본 발명의 장치에 관한 사시도를 보여주고 있다.

도 2. - 장치에서 포아송 및 표류-확산 방정식들을 자기-모순없이 풀어 얻어진 유한 요소법 시뮬레이션을 보여준다. 컬러 맵은 VEB = VCB = 0V인 전자들의 에너지를 표시한다.

도 3. - 상이한 VCE 및 VBE에 대한 계산된 베이스 및 컬렉터 전류들을 보여주며, 여기서 수송 방정식들은 공통 베이스 구성에서의 바이폴라 트랜지스터에서와 같이 풀어진다. 조정가능한 양자 광 방출기에 대한 설계는 트랜지스터 효과를 거의 완전히 감쇠(90 dB 감쇠)시키도록 최적화되었는데, 즉 방출기에 의해 주입되는 모든 전류는 전적으로 양자 웰들에서 전기발광을 발생시키는 것에 기여한다.

도 4. - 전기적으로 조정가능한 양자 속성들을 갖는 모놀리식 양자 광원으로서 본 발명의 장치의 p-i-n-i-p 구성의 사례를 보여준다.

도 5. - 상부 도핑된 층이 상부 쇼트키 접촉으로 교체된 본 발명의 장치의 사례를 보여준다.

도 6. - 미러들 및 브래그 반사기들을 포함하는 본 발명의 장치의 p-i-n-i-p 구성의 사례를 보여준다.

도 7. - 양자 광이 기판 측으로부터 추출되는 그러한 방식으로 변형된 본 발명의 장치의 사례를 보여준다.

도 8. - 양자 방출기들이 멤브레인 내의 광자 결정(PC) 구조들 내에 매립되고 이들의 양자 광 방출이 동일한 장치 내에서 전기적으로 구동될 수 있는 본 발명의 장치의 사례를 보여준다.

도 9. - (파장, 전하 상태와 같은) 양자 방출기들의 속성들이, 멤브레인 내의 광자 결정(PC) 구조들 내에 매립되어 있는 동안, 그 인가된 전압에 의해 전기적으로 조정될 수 있는 본 발명의 장치의 사례를 보여준다. 이와 동시에, 이들의 양자 광 방출은 동일한 장치 내에서 전기적으로 구동될 수 있다.

도 10. - 양자 방출기들이 멤브레인 내에 매립되고 이들의 속성들이 외부 변환기로 가해진 응력 혹은 열에 의해 조정되는 본 발명의 장치의 사례를 보여준다. 이와 동시에, 이들의 양자 광 방출은 동일한 장치 내에서 전기적

으로 구동될 수 있다.

도 11. - 양자 방출기들이 멤브레인 내에서 p-i-n 접합 내에 매립되어 이들의 속성들이 그 인가된 전압에 의해 그리고/또는 외부 변환기로 가해진 응력 혹은 열에 의해 조정되게 되는 본 발명의 장치의 사례를 보여준다. 이와 동시에, 이들의 양자 광 방출은 동일한 장치 내에서 전기적으로 구동될 수 있다.

도 12. - 동일한 기판으로부터의 본 발명의 둘 이상의 장치들을 포함하는 조정가능한 양자 광원 어레이의 도면을 보여준다. 상이한 기능들을 구현하기 위해, 능동 및 수동 에피택셜 층들이 각각의 장치로부터 선택적으로 제거될 수 있다. 잔존하는 능동 층들 각각은 상이한 바이어스로 독립적으로 구동될 수 있다. 이와 동시에, 이들의 양자 광 방출은 동일한 장치 내에서 전기적으로 구동될 수 있다.

도 13. - 동일한 기판으로부터의 본 발명의 둘 이상의 장치들을 포함하는 기본적인 양자 광학 회로의 도면을 보여준다. 장치들은 광 도파관들 및 흡수기들에 의해 회로 내에서 상호연결된다. 장치들은 양자 광의 속성들을 방출, 검출 혹은 변경하기 위해 독립적으로 바이어싱될 수 있다. 이와 동시에, 이들의 양자 광 방출은 동일한 장치 내에서 전기적으로 구동될 수 있다.

도 14. - 동일한 기판으로부터의 본 발명의 둘 이상의 장치들을 포함하는 기본적인 양자 광학 회로의 도면을 보여준다. 양자 방출기들/수용기들의 양자 속성들은 외부 압전 변환기들, 가열기들 및/또는 내부 전기장들에 의해 제어된다. 장치들은 광 도파관들 및/또는 흡수기들에 의해 연결된다. 양자 광은 광자 결정 미세공동들 및 도파관들로 포획되어 회로로 지향된다. 장치들은 양자 광의 속성들을 방출, 검출 혹은 변경하기 위해 독립적으로 바이어싱될 수 있다. 이와 동시에, 이들의 양자 광 방출은 동일한 장치 내에서 전기적으로 구동될 수 있다.

도 15. - 양자 방출기들이 양자 계측 및 감지 응용들을 위해 캔틸레버와 같은 나노광기계적 장치 내에 매립되고 이들의 양자 광 방출이 동일한 장치 내에서 전기적으로 구동될 수 있는 본 발명의 장치의 사례를 보여준다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0057] 본 발명의 제 1 양상의 장치의 가능한 바람직한 실시예에서는, 도 1b 및 도 4에서 제시된 바와 같이 양자 광을 방출할 수 있는 장치가 제공되며, 여기서 장치는 적어도 양자 웰(4)에 의해 방출된 광에 대해 부분적으로 투명해야만 하는 하위 다이오드(1)를 적어도 갖고, 그리고 상기 방출된 광을 부분적으로 혹은 완전히 흡수해야하며 양자 광 방출기들이 있는 적어도 하나의 상위 다이오드(3)를 갖는다. 이러한 것은 실제로 문제가 되지 않는데, 왜냐하면 이러한 규칙을 충족시키는 다양한 조합의 반도체 물질들이 존재하기 때문이다.

[0058] 가능한 바람직한 구성에서, 본 발명의 장치는 상이한 도핑 p-i-n-i-p 혹은 대안적으로 n-i-p-i-n을 갖는 수 개의 구역들을 포함하며, 비록 장치가 다수의 특정 구역들을 갖도록 개발될 수 있지만, 도 1b에 제시된 장치에서는 5개의 구역이 있으며, 이러한 방식으로 p-타입 반도체, 진성 반도체 혹은 n-타입 반도체의 교번하는 층들이 구비되게 되고, p-타입 반도체와 n-타입 반도체의 각각의 층들을 갖는 층들의 쌍들이 구비되며, 이들 사이에 다이오드들(1,3)이 정렬된다.

[0059] 따라서, 도 1b 혹은 도 4에 제시된 장치의 기본 설계는, (n-타입 혹은 p-타입으로) 도핑될 수 있거나 진성일 수 있는 기판 상에, 반도체 물질의 블록(block)(2)을 포함할 수 있고, 여기서 블록(2)은 또한, n-타입 반도체 물질 혹은 p-타입 반도체 물질 중에 선택될 수 있고 해당 물질로 각각 도핑될 수 있다. 언급할 가치가 있는 것으로, 기판의 물질은 블록(2)의 물질에 따라 달라지며, 이에 따라 블록(2)이 n-타입을 가질 때 기판은 n-타입 물질 혹은 진성 물질로 만들어지고, 또는 블록(2)이 p-타입으로 만들어질 때 기판은 p-타입 물질 혹은 진성 물질로 만들어진다. n-타입 반도체 물질 혹은 p-타입 반도체 물질의 선택이 앞서 언급된 p-i-n-i-p 구조 혹은 대안적으로 n-i-p-i-n 구조가 되게 한다. 이러한 기본 설계가 본 발명의 바람직한 실시예의 초석이 되고, 여기서, 반도체 물질들에 상관없이(이러한 반도체 물질들은 바람직하게는 III-V 화합물 반도체 물질들로부터 선택될 수 있음), 그리고 n-타입 물질 층, p-타입 물질 층 및 진성 물질 층의 가능한 다양한 정렬들을 고려하여, 모놀리식인 양자 광 방출 장치가 형성되며, 이러한 양자 광 방출 장치는, 이와 같은 바람직한 실시예에서는 p-타입 반도체 물질 블록(2)인 상기 블록(2) 상에, 다음과 같은 것을 포함한다.

[0060] • 하위 다이오드(1), 이러한 하위 다이오드(1)는 블록(2)을 포함하고, 그리고 상기 블록의 상부 상에 반도체 물질의 제1층(11)을 포함하고, 그리고 반도체 물질의 제2층(12)을 포함하며, 여기서 반도체 물질의 제1층(11)은 블록(2)과 동일한 조성을 가질 수 있고 바람직하게는 p-타입 반도체 물질로 만들어지며, 반도체 물질의 제2층(12)은 바람직하게는 진성 물질로 만들어지고, 반도체 물질의 상기 제2층(12)은 양자 웰들(quantum wells)(4)을 포함할 수 있다. 반도체 물질의 제2층(12) 상에 위치하는 반도체 물질의 제3층(13)이 제공되며, 이러한 반도체

물질의 제3층(13)은 본 경우에서 바람직하게는 n-타입 반도체 물질로 만들어지고 또한 양자 웰들(4)을 포함할 수 있다. 기능적인 것으로 고려되는 것은 하나 혹은 하나보다 많은 양자 웰들(4)을 갖는 장치가 여전히 동작하게 될 것이라는 것이고, 명확화를 위해, 여기서는 복수의 양자 웰들(4)이 제공된다.

[0061] • 상위 다이오드(3), 이러한 상위 다이오드(3)는 반도체 물질의 제4층(31) 및 반도체 물질의 제5층(32)을 포함하고, 여기서 반도체 물질의 제4층(31)은 반도체 물질의 제3층(13)의 조성과 동일한 조성을 가질 수 있고 바람직하게는 n-타입 반도체 물질로 만들어지며, 반도체 물질의 제5층(32)은 반도체 물질의 제4층(31)의 상부 상에 위치하며 바람직하게는 진성 물질로 만들어지고, 반도체 물질의 제5층(32)은 또한 양자 광 방출기들(5)을 포함할 수 있는데, 즉, 이러한 양자 광 방출기들(5)은 반도체 양자점들(quantum dots)(5)일 수 있거나, 또는 양자 광을 방출할 수 있는 다른 양자 물질들, 즉 탄소 나노튜브들(carbon nanotubes), 유기 분자들(organic molecules), 단일 층 물질들(single layer materials), ...일 수 있다. 반도체 물질의 상기 제5층(32)의 상부 상에는 반도체 물질의 제6층(33)이 제공되고, 반도체 물질의 상기 제6층(33)은 바람직하게는 p-타입 반도체 물질로 만들어진다.

[0062] • 제 1 금속 층(21)이 또한 제공되는데, 여기서 제 1 금속 층(21)은 반도체 물질의 제1층(11) 또는 반도체 물질 블록(2) 상에 위치하여 상기 반도체 물질들 중 적어도 하나에 전기적 옴 접촉(ohmic electrical contact)을 발생시키고, 이에 따라 제 1 전기적 접촉을 형성한다. 제 2 금속 층(22)이 또한 제공되는데, 여기서 제 2 금속 층(22)은 반도체 물질의 제3층(13) 또는 반도체 물질의 제4층(31) 상에 위치하여 상기 반도체 물질들 중 적어도 하나에 전기적 옴 접촉을 발생시키고, 이에 따라 제 2 전기적 접촉을 형성한다. 제 3 금속 층(23)이 또한 제공되는데, 여기서 제 3 금속 층(23)은 반도체 물질의 제6층(32) 상에 위치하여 상기 반도체 물질들(32)에 전기적 옴 접촉을 발생시키고, 이에 따라 제 3 전기적 접촉을 형성한다.

[0063] 앞서 언급된 바와 같이, 본 발명의 장치에는 반도체 물질의 층들(11, 12, 13, 31, 32, 33)을 위한 n-타입, p-타입 및 진성 반도체 물질들의 가능한 다양한 정렬들이 제공될 수 있고, 이러한 의미에서, 본 발명의 장치의 가능한 대안적 실시예들에서, 블록(2) 및 반도체 물질의 제1층(11)은 n-타입 반도체 물질로 만들어지고, 반도체 물질의 제2층(12) 및 반도체 물질의 제5층(32)은 진성 반도체 물질로 만들어지고, 반도체 물질의 제3층(13) 및 반도체 물질의 제4층(31)은 p-타입 반도체 물질로 만들어지고, 그리고 제 6 반도체 층(33)은 n-타입 반도체 물질로 만들어진다. 반도체 물질들의 구성을 뒤집으면 p-i-n-i-p 구성 혹은 대안적으로 n-i-p-i-n 구성이 되며, 여기서 i는 진성 층을 표시한다.

[0064] 본 발명은 앞서 설명된 기본 모델에 기반을 둔 다양한 구성들을 제공할 수 있는데, 이에 따라, 반도체 물질의 제2층(12) 상에 위치하는 반도체 물질의 제3층(13)은, 반도체 물질의 제1층(11)이 n-타입 반도체 물질을 가질 때 p-타입 반도체 물질로 만들어질 수 있고, 또는 반도체 물질의 제1층(11)이 p-타입 반도체 물질을 가질 때 n-타입 반도체 물질로 만들어질 수 있다. 유사하게, 반도체 물질의 제3층(13) 상에 정렬되는 반도체 물질의 제4층(31)은, 반도체 물질의 제1층(11)이 n-타입 반도체 물질을 가질 때 p-타입 반도체 물질로 만들어질 수 있고, 또는 반도체 물질의 제1층(11)이 p-타입 반도체 물질을 가질 때 n-타입 반도체 물질로 만들어질 수 있다. 유사한 방식으로, 반도체 물질의 제4층(31)의 상부 상에 위치하는 반도체 물질의 제5층(32)은 또한, 반도체 물질의 제2층(12)이 적어도 하나의 양자 광 방출기(5)를 포함할 때 적어도 하나의 양자 웰(4)을 포함하고, 또는 반도체 물질의 제2층(12)이 적어도 하나의 양자 웰(4)을 포함할 때 적어도 하나의 양자 광 방출기(5)를 포함한다. 본 발명의 장치의 모든 가능한 실시예들은 앞서의 초기 구성들 중 어느 하나로부터 시작할 수 있다.

[0065] 반도체 물질의 제2층(12)이 적어도 하나의 양자 웰(4)을 포함하는 본 발명의 장치의 대안적 실시예의 경우, 이러한 실시예에서, 제 3 금속 층(23) 및 반도체 물질의 제6층(33)은 제거될 수 있고, 또는 반도체 물질의 제6층(33)은 전기 절연(isolating) 층 혹은 금속 층으로 대체될 수 있다.

[0066] 도 1b에 제시된 경우에서, 장치는 대략 980 nm에서 양자 광을 방출하도록 설계되고, 이에 따라 하위 다이오드(1)는 III-V 화합물 반도체들의 조합으로 만들어지며(본 경우에서는 다양한 조성의 $Al_xGa_{1-x}As$), 아울러 대략 785 nm에서 방출을 갖는 GaAs의 양자 웰들(4)을 포함하고, 반면 상위 다이오드(3)는 III-V 화합물 반도체들의 조합으로 만들어지는바, 본 경우에서는 GaAs로 만들어지고 그 흡수 계수는 이러한 파장에 대해 > 10^5 cm^{-1}이다. 제4층(32)은 하나 이상의 양자점들을 포함하고, 이러한 양자점들은 $In_xGa_{1-x}As$로 만들어지며, 그 방출은 대략 980 nm이다. 실제로, 785 nm는 InGaAs/GaAs 양자점들(5)을 여기시키기 위한 표준 파장이고, 단지 100-nm-두께의 GaAs의 층은 광의 > 64%을 흡수하기에 충분하다.

[0067] 이러한 광으로 생성된 캐리어들은, 낮은 온도에서, 높은 품질의 GaAs에서 쉽게 확산되며, 이에 따라 양자점들(5)에 의한 포획 확률은 매우 높게 된다. 본 발명의 양자 광 방출 장치 목적은 광섬유 원격통신 윈도우들(fiber telecommunications windows)(1.31 미크론, 1.55 미크론, 등)과 같은 다른 스펙트럼 윈도우들에 맞게 또는 가시 범위 및 자외선 범위에서의 자유 공간 원격통신에 맞게 구성될 수 있다. 이러한 목적을 위해, 물질들의 GaAs 기반 조합을 물질들의 InP 기반 조합, 물질들의 GaN 기반 조합, 혹은 관련 스펙트럼 범위를 커버할 수 있게 하는 물질들의 다른 적절한 조합으로 변경하는 것이 진행될 수 있다.

[0068] 본 발명은 (하위 다이오드(1)에 일어나는) 전기적 캐리어 주입의 프로세스에 영향을 미침이 없이 양자 광 방출기들(5)에 전기장을 인가하는 능력을 상위 다이오드(3)에게 제공한다. 이러한 전기장은 슈타크 효과(Stark effect)를 통해 강도 및 에너지 측면에서 양자 광 방출기들(5)의 방출을 변조하는데 사용되고, 아울러 쿨롱 차단 메커니즘(Coulomb blockade mechanism)에 의해 그 전하를 제어하는데 사용된다. 이를 통해, 양자 광 방출기들(5)의 방출 제어는 2 단자 설계의 근본적인 문제들 중 하나인 전류 레벨 및 캐리어 주입과 무관하게 수행될 수 있다.

[0069] 본 발명의 또 하나의 다른 실시예에서는, 본 발명의 장치 상에, 광자 결정 미세공동(photonic crystal microcavity)과 같은 광자 구조들(photonic structures)을 생성하는 것이 가능하고, 뿐만 아니라 미러들(mirrors), 도파관들(waveguides), 광 결합기들(light couplers) 및 분할기들(dividers), ...과 같은 임의의 다른 광자 컴포넌트(photonic component)를 생성하는 것이 가능하며, 또는 필러들(pillars), 멤브레인들(membranes)(61), 캔틸레버들(cantilevers)(62)과 같은 기계적 컴포넌트를 생성하는 것이 가능하다. 이러한 피처들(features)의 구현은 알려진 제조 기법들을 사용하여 종래의 설계들에 이미 존재하는 것들에 대해 어떠한 추가적인 노력도 요구하지 않는다. 상기 피처들을 구현함으로써, 전체 장치는 또한 외부 광원들의 개입 없이 모놀리식 양자 광원으로서 여전히 동작한다.

[0070] 삽입 광자 구조들(insertion photonic structures)이 바람직하게는 반도체 물질의 제5층(32) 내에 준비되고, 이에 따라 반도체 물질의 제5층(32) 내에 존재하는 경우 양자 광 방출기들(5)이 매립된다. 하지만 유의해야만 하는 것으로, 반도체 물질의 제6층(33)이 반도체 물질의 상기 제5층(32)의 상부 상에 제공될 수 있고, 바로 이러한 경우에 광자 구조들은 반도체 물질의 상기 제5층(32) 및 제6층(33)에 모두 포함될 수 있다.

[0071] 광의 발생 및 흡수의 메커니즘들을 논외로 하면, 본 발명의 장치의 전자적 설계는 공통 베이스 구성에서의 BJT 타입 트랜지스터와 유사하다. 하지만, 장치의 설계는 기생 트랜지스터 효과(parasitic transistor effect)를 제거하기 위해 변경돼야 한다. 이를 수행하기 위해, 중간의 도핑된 영역들(13+31)(바이폴라 트랜지스터의 베이스)이, 진성 구역으로부터 다른 구역으로의 다수 캐리어들의 주입을 제거하기 위해, (두께 및 조성에 있어) 세심하게 설계돼야만 한다. 따라서, 두 개의 다이오드들 간의 상호연결은 양자 광 방출기들에서의 원치않는 전하의 축적을 피하도록 순수하게 광학적이다.

[0072] 본 발명의 장치는, 도 4에 도시된 (p-i-n-i-p 구성에 대응하는) 장치와 같은 조정가능한 모놀리식 양자 광원으로서의 장치를 가능하게 하는 방식으로 제조될 수 있다. 도 4의 장치는 양자 방출기 속성들의 독립적인 소스 밝기 및 전압 제어를 제공한다.

[0073] 하지만, 장치의 구조에 대한 변경들이 적용될 수 있고, 이는 장치의 다양한 실시예들 및 응용들을 제공하며, 이러한 의미에서, 반도체 물질의 제6층(33)을 금속성 쇼트키 접촉으로 대체함으로써 도 5에 도시된 바와 같은 조정가능한 모놀리식 양자 광원 p-i-n-i-쇼트키 구성이 획득될 수 있는데, 이것은 장치가 양자 방출기 속성들의 독립적인 소스 밝기 및 전압 제어를 제공할 수 있게 한다.

[0074] 반도체 물질의 제5층(32)에 포함되는 양자 광 방출기들은 비-에피택셜 성질(non-epitaxial nature)을 가질 수 있고 수 개의 방법들에 의해 반도체 물질의 제4층(31) 상에 증착될 수 있다. 이러한 경우에, 양자 광 방출기 속성들의 전압 조정 능력은 또한, 반도체 물질의 제6층(33)을 전기 절연(isolating) 물질로 대체하고 금속-절연체-반도체 트랜지스터에서와 같이 금속 층(23)을 통해 게이팅 전압들(gating voltages)을 인가하여 달성될 수 있으며, 이것은 장치가 양자 방출기 속성들의 독립적인 소스 밝기 및 전압 제어를 제공할 수 있게 한다.

[0075] 본 발명의 장치에는 또한, 도 6에 도시된 바와 같이, 광학적 능동 층들을 둘러싸는 브래그 반사기들(Bragg reflectors) 및 미러들(mirrors)(51, 52, 53)이 제공될 수 있다. 간단한 설계에서, 앞서의 층들(이러한 층들은 양자 웰들(4)을 포함함) 내에 양자 방출기들(5)이 할당되는 경우, 단일 하부 브래그 미러(51)는 양자 웰들(4)에 의해 기판 방향으로 방출된 광을 다시 양자 광 방출기(5) 영역들로 반사한다. 제 2 브래그 미러(51)가 두 개의 다이오드들(1,3) 사이에 할당되어 양자 광을 위쪽으로 선택적으로 반사할 수 있다. 번갈아 혹은 동시에, 상부

금속 미러(53)는 모든 광을 다시 아래쪽으로 블록(2)을 향해 반사할 수 있다. 브래그 반사기들 및 미러들(51,52,53)의 이러한 사용 및 다른 사용은 고전적인 광 및 양자 광 흐름의 본질적으로 수직 방향(즉, 성장 방향에 평행한 방향)에서의 전파를 관리할 수 있게 하며, 숙련된 사람이 이해하게 되는 바와 같이 브래그 반사기들 및 미러들(51,52,53)의 구성은 양자 웰들(4) 및 양자 방출기들(5)의 정렬에 따라 달라질 수 있다. 이들의 위치 및 개수는 또한, 스펙트럼 대역폭을 좁히도록 설계될 수 있고, 아울러 소스의 변조 속도 및 깊이를 증가시키도록 설계될 수 있다. 전형적인 구성이 도 7 상에 도시되어 있는데, 여기서 장치는 다양한 타입의 브래그 반사기들 및/또는 미러들을 갖는 p-i-n-i-p 구성을 갖고 있으며, 이것은 블록(2)을 통과해 광학적으로 설계된 기판을 향하는 양자 광(Quantum Light, QL)의 반사가 일어나게 할 수 있다. 이러한 것은 블록(2) 혹은 기판에 광섬유 슈라우더 결합기들(optical fiber shroud couplers)(41), 반사방지 코팅들(antireflection coatings)(42), ...을 설치하고, 상부 브래그 반사기들 및/또는 미러들에 의해 반사된 양자 광(QL)을 획득함으로써 달성된다. 이러한 후자의 구성은 광섬유 슈라우더 결합기(41) 및 반사-방지 코팅들(42) 중 적어도 하나가 블록(2) 혹은 기판 상에 정렬되어 양자 광이 블록(2)을 통과하게 되는 그러한 실시예를 제공한다.

[0076] 본 발명의 장치는 또한, 하나 이상의 박막 멤브레인들(61)을 포함하고, 이러한 박막 멤브레인들(61)은 또한 양자점들(5)과 같은 양자 방출기들(5)을 포함할 수 있다. 따라서, 멤브레인들(61)은 반도체 물질의 제6층(33) 또는 반도체 물질의 제5층(32) 상에 제조되어 양자점들(5) 아래에 공극(air gap)을 생성할 수 있다. 멤브레인들(61)은 또한, 광-물질 결합(light-matter coupling) 및/또는 광 전파(light propagation)를 변경하는 유전체 환경을 양자 광 방출기(5)가 갖도록 하기 위해 광자 결정(Photonic Crystal, PC)들과 같은 광자 구조들을 포함할 수 있다. 도 8은 반도체 물질의 제5층(32) 상의 멤브레인들(61)이 하나 이상의 광자 구조들을 각각 할당하도록 변형된 결과적인 장치를 보여주며, 이러한 실시예에서 반도체 물질의 제5층(32)의 상부 상에는 추가 층들이 있을 수 있거나 없을 수 있다. 광자 구조들은 하나 이상의 양자 방출기들(5)을 포함할 수 있다. 전체 장치는 광-물질 결합을 증진시키고 그리고/또는 광 전파를 맞춤 조정하면서도 외부 광원들의 개입 없이 양자 광을 방출할 수 있다. 이러한 실시예로부터 결과적으로 생성되는 장치는 반도체 물질의 제5층(32) 상에 제조되어 양자 방출기들(5) 아래에 공극을 정의하는 하나의 멤브레인(61)을 제공할 수 있고, 앞서 언급된 바와 같이, 상기 멤브레인(61)은 광자 구조를 포함할 수 있으며, 여기서 광자 구조는 양자 광 방출기들(5)이 매립된 광자 결정 구조들과 같은 광 포획 혹은 인도 구조들이다. 숙련된 사람이 인정하게 되는 바와 같이, 이것은 동일한 작업을 수행하기 위해 종래 기술의 임의의 기존 한계들을 해결할 수 있다.

[0077] 도 8의 장치는 앞서 언급된 바와 같이 상부 쇼트키 접촉 혹은 금속-절연체 구조를 부가하여 또는 반도체 물질의 제6층(33) 및 제 3 금속 층(23)을 다시 복원시켜 완성될 수 있다. 따라서, 상위 다이오드(3) 구조에는 반도체 물질의 제5층(32)이 매립될 수 있고, 반도체 물질의 제5층(32)은 또한 양자 방출기들(5)을 포함한다. 멤브레인들(61) 및/또는 광자 구조들은 상위 다이오드(3) 구조 상에 직접 제조될 수 있다. 도 9에 제시된 전체 장치는 외부 광원들의 개입 없이 양자 광을 방출할 수 있고, 이와 동시에 양자 방출기들은 PC 구조들에 매립된 상태에서 전기적으로 조정된다.

[0078] 멤브레인들(61)은 또한, 상부에 할당되거나 가까이 할당되는, 응력 변환기들(stress transducers)(63), 바람직하게는 피에조변환기들(piezotransducers), 가열기들로서 동작하는 전기적 저항들, 등과 같은 외부 요소들을 통해 양자 방출기 속성들을 변경시키는데 유용하다. 이러한 실시예들의 경우, 도 10에서 제시되는 바와 같이 반도체 물질의 제6층(33)의 상부 상에는 추가 층이 없을 수 있고, 또는 도 11에서 제시되는 바와 같이 전체 상위 다이오드 구조(3)가 보전될 수 있다. 외부 응력 및/또는 열은 장치의 다른 기능들에 영향을 미침이 없이 장치의 조정 능력들을 증가시키기 위해 아울러 매립된 양자 방출기들(5)의 속성들을 더 변경하기 위해 상기 변환기들(63)에 의해 국소적으로 인가된다. 전체 장치는 외부 광원들의 개입 없이 작동하는 조정가능한 양자 광 방출 장치이다.

[0079] 본 발명의 또 하나의 다른 양상에서, 그리고 본 발명의 양자 광 방출 장치가 기판을 사용하여 제조되고, 이러한 기판으로부터 장치의 다양한 컴포넌트들이 에피택시(epitaxy)를 사용하여 정의된다는 것을 고려하면, 하나 이상의 장치가 기판 상에 발생되어 본 명세서에 의해 설명되는 장치들과 같은 장치들을 적어도 두 개 포함하는 통합된 광학 회로 혹은 양자 광회로를 정의할 수 있다.

[0080] 도 12는 두 개의 이러한 장치들의 어레이(array)의 예를 보여주는데, 여기서 모놀리식 양자 광원들은, 동일한 웨이퍼 내에서 상이한 기능들을 통합하고 독립적인 전압 바이어스 방식을 구현하기 위해 선택적으로 제거 혹은 변경된 그들의 반도체 및 금속 층들을 갖는다. 장치들은 독립적으로 구동되어 양자 광을 방출 혹은 검출하기 위해 또는 양자 방출기들의 속성들을 변경시키기 위해 전류와 전압이 흐르게 할 수 있다. 이와 동시에, 양자 광

방출은 회로 내에서 전기적으로 구동될 수 있다.

[0081] 도 13은 양자 광학 회로의 예를 보여주는데, 여기서 동일한 기판 내의 둘 이상의 장치들은 광 도파관들 및 흡수기들에 의해 연결된다. 이러한 회로들의 기능은 앞서 설명된 바와 같이 광자 구조들 및/또는 외부 변환기들을 보유하는 멤브레인들(61)을 부가함으로써 크게 증진될 수 있다. 그 결과가 도 14에 제시된다. 회로 내의 각각의 장치는 양자 광의 속성들을 방출, 검출, 혹은 변경하기 위해 독립적으로 구동될 수 있다. 이와 동시에, 양자 광 방출은 회로 내에서 전기적으로 구동될 수 있다.

[0082] 앞서의 실시예들 중 임의의 것은 매립된 양자 광 방출기들(5)을 갖는 캔틸레버들(62)과 같은 그러한 나도-광기계적 시스템들을 포함하도록 변경될 수 있다. 하나의 예가 도 15에서 제시되는데, 여기서 반도체 물질의 제5층(32)의 일부는 하나 이상의 양자 방출기들(5)이 매립된 캔틸레버(62)의 형태로 성형되어 있다. 이러한 실시예에서, 반도체 물질의 제6층(33)의 상부 상에는 추가 층이 없을 수 있다. 전체 장치는 양자 광기계적 계측 및 감지기 응용들에 적합한 환경에서 양자 광을 방출할 것이다. 이것은 외부 광원들의 개입 없이 행해진다. 결과적인 장치는 캔틸레버(62)와 같은 기계적 진동기(mechanical oscillator)를 포함하는 반도체 물질의 제5층(32)을 제공한다.

[0083] 비록 양자 광 방출기들(5)이 각각의 실시예에 따라 상이한 층들 내에 정렬될 수 있지만, 반도체 물질의 제5층(32)이 양자 광 방출기들(5)을 포함하는 층일 수 있고, 이러한 경우, 상기 양자 광 방출기들(5)은 상기 제 5 반도체 물질(32)의 상부 상에 위치할 수 있거나, 또는 상기 제 5 반도체 물질(32) 아래에 위치할 수 있다.

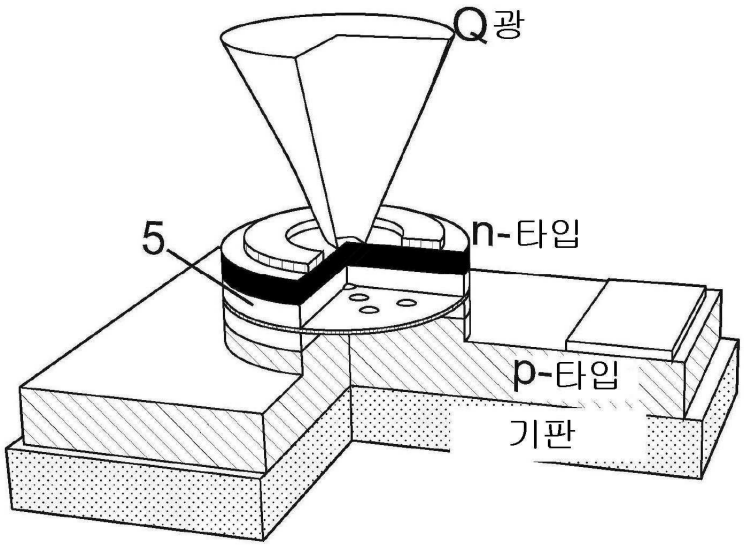
[0084] 가능한 다른 실시예들에서, 본 발명의 장치에는 또한, 장치를 통해 전기적 전류가 흐르게 하기 위한 하나 이상의 전류 차단 층들(current blocking layers)이 설치될 수 있다. 이러한 전류 차단 층들은 앞서 설명된 실시예 중 어느 하나에 통합될 수 있다.

[0085] 장치의 구성에 상관없이, 기판 및 반도체 물질의 층들(11, 12, 13, 31, 32, 33)은, III-V 화합물 반도체들, II-VI 화합물 반도체들, 및 IV족 반도체들로 이루어진 그룹으로부터 선택되는 물질 또는 물질들의 조합으로 만들어질 수 있다.

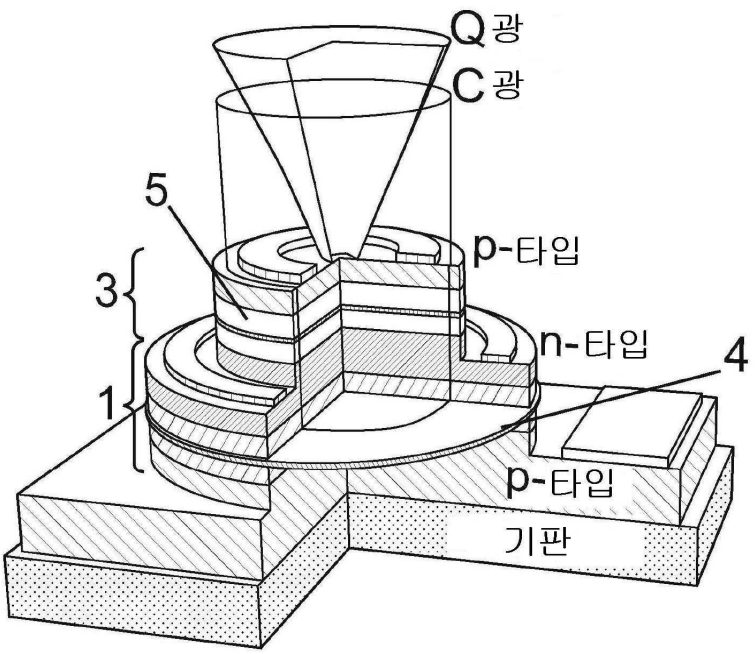
[0086] 본 발명의 제 2 양상에서는, 본 발명의 제 1 양상의 장치로서 적어도 두 개의 장치들을 포함하는 통합된 광학 회로 혹은 양자 광회로가 제공된다.

도면

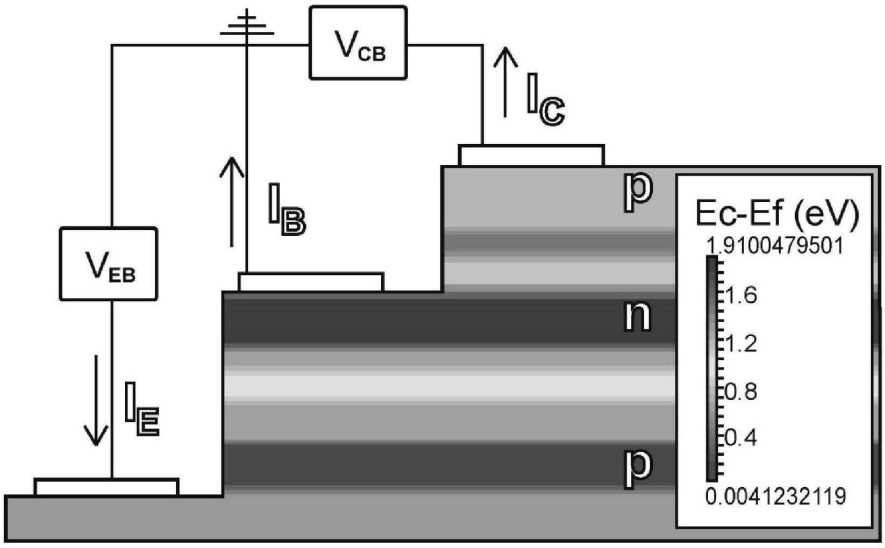
도면1a



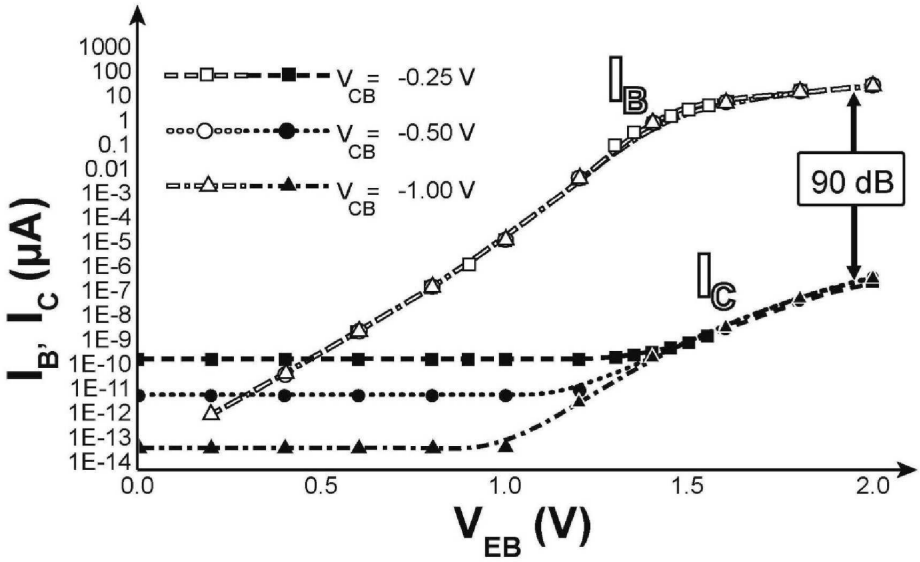
도면1b


Q광
C광
5
3
1
p-타입
n-타입
4
p-타입
기판

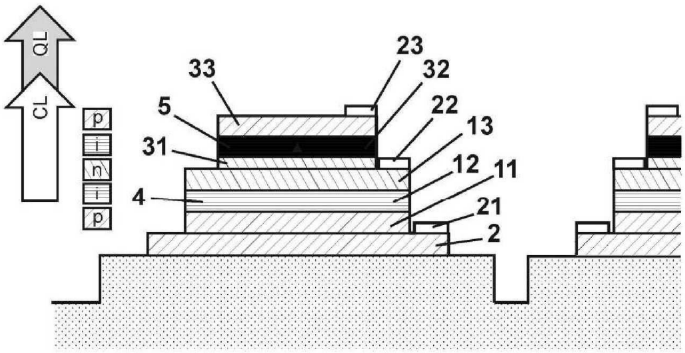
도면2


VCB
IC
IB
VEB
IE
p
n
p
Ec-Ef (eV)
1.9100479501
1.6
1.2
0.8
0.4
0.0041232119

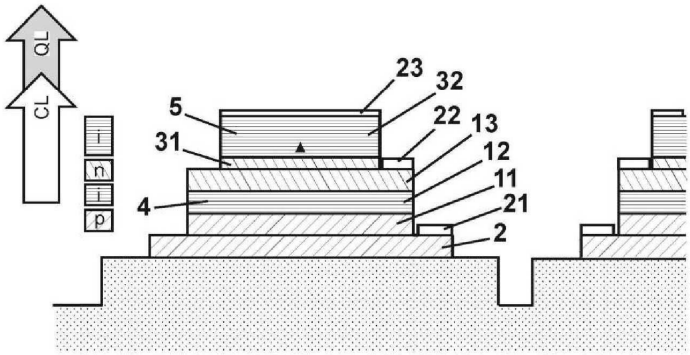
도면3


1000
100
10
1
0.1
0.01
1E-3
1E-4
1E-5
1E-6
1E-7
1E-8
1E-9
1E-10
1E-11
1E-12
1E-13
1E-14
I_B, I_C (μA)
V_{CB} = -0.25 V
V_{CB} = -0.50 V
V_{CB} = -1.00 V
I_B
I_C
90 dB
0.0
0.5
1.0
1.5
2.0
V_{EB} (V)

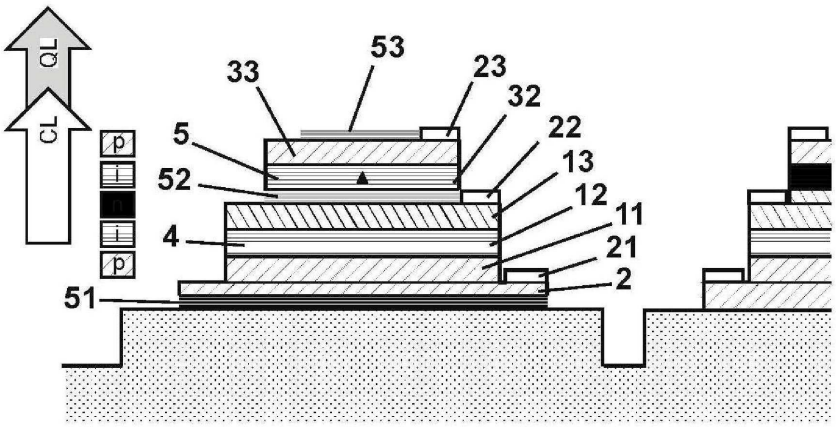
도면4


QL
CL
p
i
n
i
p
33
23
32
5
22
13
31
12
11
4
21
2

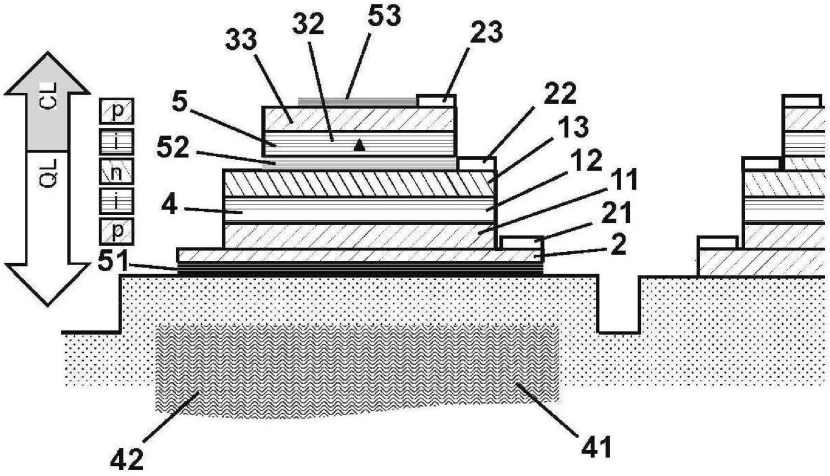
도면5


QL
CL
i
n
i
p
23
32
5
22
13
31
12
11
4
21
2

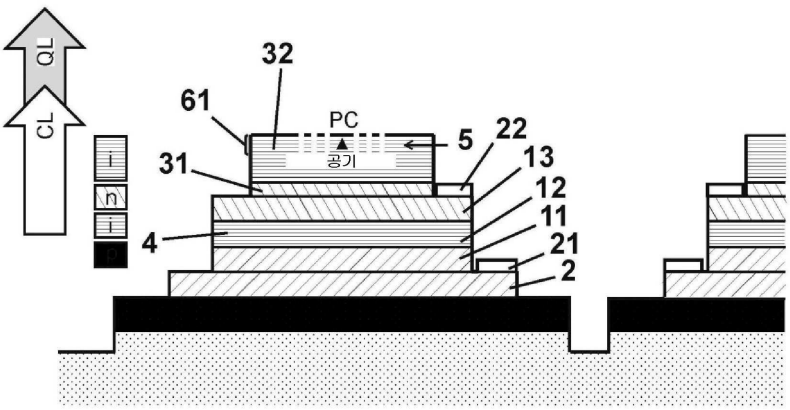
도면6


QL
CL
p
i
n
i
p
53
33
23
32
5
22
52
13
12
11
4
21
2
51

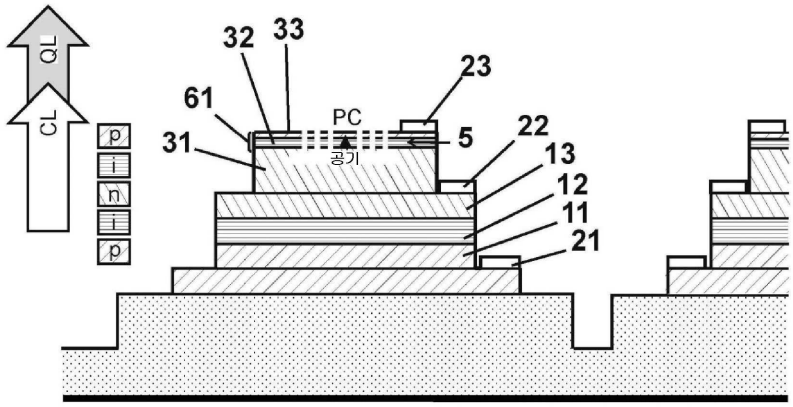
도면7


CL
QL
p
i
n
i
p
33
32
53
23
5
22
52
13
12
11
4
21
2
51
42
41

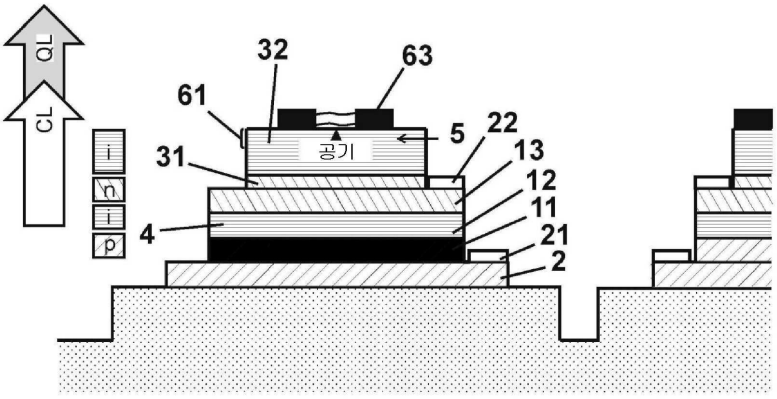
도면8


QL
CL
i
n
i
p
32
61
PC
공기
5
22
31
13
12
11
4
21
2

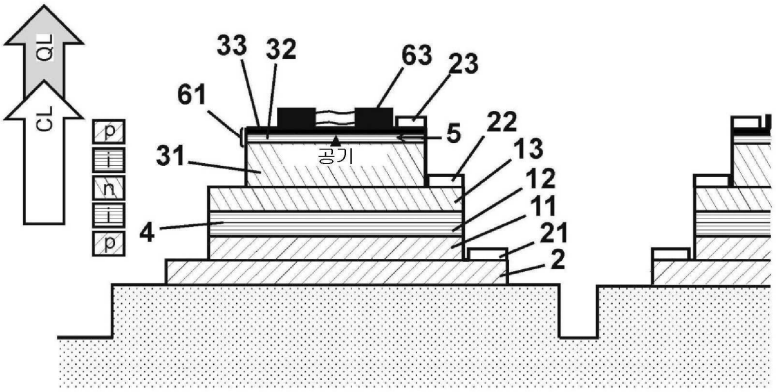
도면9



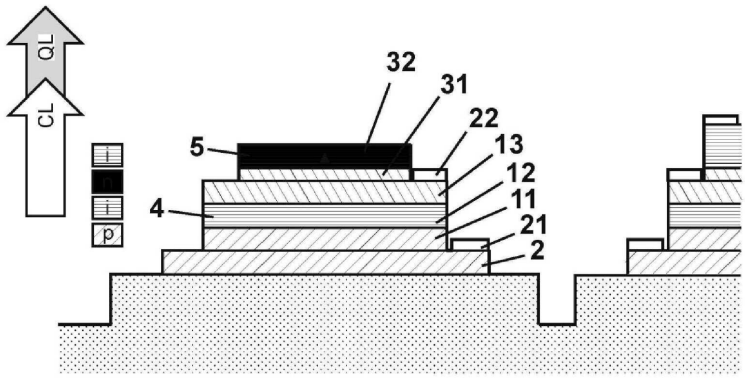
도면10



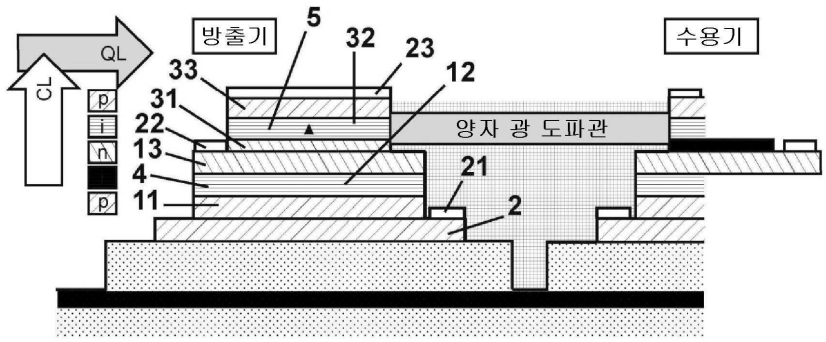
도면11



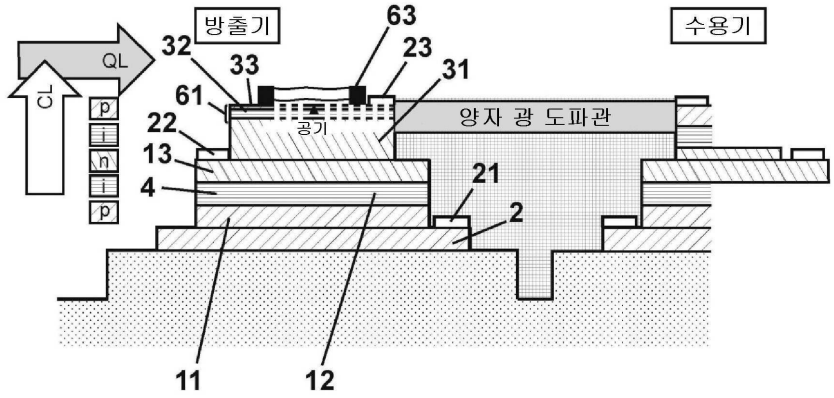
도면12



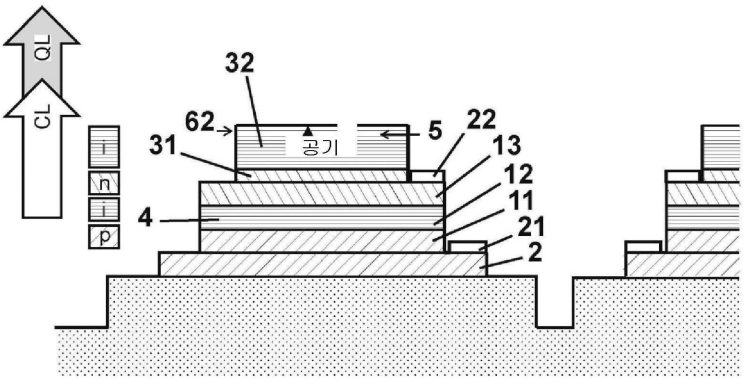
도면13



도면14



도면15



【심사관 직권보정사항】

【직권보정 1】

【보정항목】 청구범위

【보정세부항목】 청구항 6

【변경전】

제1항 내지 제3항 중 어느 하나의 항에 있어서,

상기 양자 방출기(5)를 포함하는 반도체 물질의 상기 제5층(32) 상에 제조되어 상기 양자 방출기(5) 아래에 공극(air gap)을 정의하는 적어도 하나의 멤브레인(membrane)(61)을 더 포함하는 양자 광원 장치.

【변경후】

제1항 내지 제3항 중 어느 하나의 항에 있어서,

상기 양자 광 방출기(5)를 포함하는 반도체 물질의 상기 제5층(32) 상에 제조되어 상기 양자 광 방출기(5) 아래에 공극(air gap)을 정의하는 적어도 하나의 멤브레인(membrane)(61)을 더 포함하는 양자 광원 장치.

【직권보정 2】

【보정항목】 청구범위

【보정세부항목】 청구항 7

【변경전】

제1항 내지 제3항 중 어느 하나의 항에 있어서,

상기 양자 방출기(5)를 포함하는 반도체 물질의 상기 제5층(32) 내에 적어도 하나의 광자 구조(photonic structure)를 더 포함하는 양자 광원 장치.

【변경후】

제1항 내지 제3항 중 어느 하나의 항에 있어서,

상기 양자 광 방출기(5)를 포함하는 반도체 물질의 상기 제5층(32) 내에 적어도 하나의 광자 구조(photonic structure)를 더 포함하는 양자 광원 장치.