



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2021-0090038
(43) 공개일자 2021년07월19일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

H01L 33/06 (2010.01) H01L 27/15 (2006.01)
H01L 33/00 (2010.01) H01L 33/20 (2010.01)
H01L 33/30 (2010.01) H01L 33/38 (2010.01)

(52) CPC특허분류

H01L 33/06 (2013.01)
H01L 27/156 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2020-0003351

(22) 출원일자 2020년01월09일

심사청구일자 2020년01월09일

(71) 출원인

울산과학기술원

울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50

(72) 발명자

김제형

울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50

전웅배

울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50

(74) 대리인

특허법인(유한)아이시스

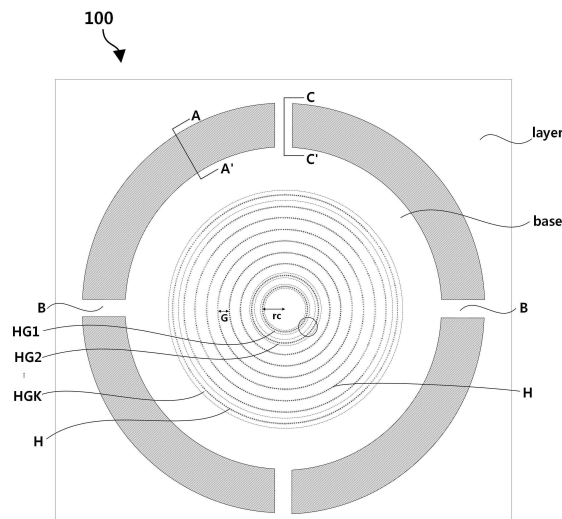
전체 청구항 수 : 총 23 항

(54) 발명의 명칭 양자 광원

(57) 요약

본 실시예에 의한 양자 광원은 반도체 베이스(base)와, 반도체 베이스를 관통하고 중심으로부터 이격된 복수의 홀(hole)들을 포함하는 하나 이상의 홀 그룹들을 포함하고, 동일한 홀 그룹에 포함된 복수의 홀들은 중심으로부터 동일한 거리만큼 이격된다.

대표도



(52) CPC특허분류

H01L 33/0062 (2013.01)

H01L 33/0083 (2013.01)

H01L 33/20 (2013.01)

H01L 33/30 (2013.01)

H01L 33/38 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	2018R1C1B6001695
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	신진연구사업
연구과제명	이차원 원자층 기반의 고효율 양자광원 개발 및 양자 상호작용 연구
기 여 율	50/100
과제수행기관명	울산과학기술원
연구기간	2019.03.01 ~ 2020.02.29

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	2019-0-00434
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	정보통신기술진흥센터
연구사업명	IT·SW융합산업원천기술개발
연구과제명	양자센서의 고신뢰도 동작을 위한 양자광원 기술 개발
기 여 율	50/100
과제수행기관명	한국과학기술연구원(KIST)
연구기간	2019.04.01 ~ 2019.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

반도체 베이스(base);

상기 반도체 베이스를 관통하고 중심으로부터 이격된 복수의 홀(hole)들을 포함하는 하나 이상의 홀 그룹들을 포함하고,

동일한 상기 홀 그룹에 포함된 상기 복수의 홀들은 상기 중심으로부터 동일한 거리만큼 이격된 양자 광원.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 반도체 베이스(base)는 III-V 반도체 및 II-VI 반도체, 다이아몬드, SiC 중 어느 하나를 포함하는 양자 광원.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 III-V 반도체는 InP, GaAs, GaN 중 어느 하나이고, 상기 II-VI 반도체는 ZnO, CdSe 중 어느 하나인 양자 광원.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 반도체 베이스(base)는 양자점, 고체 점 결함(defect center structure), 도핑 이온 및 이차원 물질 중 어느 하나를 포함하는 양자 광원.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 양자점은 III-V 반도체 양자점이고,

상기 도핑 이온은 어븀(Er) 이온이며,

상기 이차원 물질은 텅스텐다이스셀레나이드(WSe₂) 및 육방정 질화 붕소(hBN, hexagonal boron nitride) 중 어느 하나인 양자 광원.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 동일한 홀 그룹에 포함된 복수의 홀들의 반지름은 서로 동일한 양자 광원.

청구항 7

제1항에 있어서,

서로 다른 상기 홀 그룹에 포함된 복수의 홀들의 반지름은 서로 상이한 양자 광원.

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 복수의 홀 그룹에 포함된 상기 홀들의 반지름은 상기 중심으로부터 이격된 거리가 증가할수록 감소하는 양

자 광원.

청구항 9

제1항에 있어서,
상기 양자 광원은
레이어와 하나 이상의 브릿지(bridge)로 연결된 양자 광원.

청구항 10

제1항에 있어서,
상기 양자 광원은,
상기 양자 광원의 제1 면에 연결된 제1 전극과,
상기 양자 광원의 상기 제1 면의 방향과 반대 방향인 제2 면과 연결된 제2 전극을 포함하며,
상기 제1 전극과 상기 제2 전극에 제공되는 에너지에 의하여 단일 또는 얹힘 광자를 제공하는 양자 광원.

청구항 11

제1항에 있어서,
상기 양자 광원은,
레이저가 조사되어 제공되는 에너지에 의하여 단일 또는 얹힘 광자를 제공하는 양자 광원.

청구항 12

제1항에 있어서,
상기 양자 광원은,
상기 중심과 상기 홀 그룹 사이의 이격 거리, 상기 홀 그룹들 사이의 이격거리 및 홀 그룹에 속한 홀들의 반지름 중 어느 하나 이상에 따라 제공하는 파장이 제어되는 양자 광원.

청구항 13

반도체 레이어;
반도체 베이스(base)와, 상기 반도체 베이스를 관통하고 중심으로부터 이격된 복수의 홀(hole)들을 포함하는 하나 이상의 홀 그룹들을 포함하고, 동일한 상기 홀 그룹에 포함된 상기 복수의 홀들은 상기 중심으로부터 동일한 거리만큼 이격된 단위 양자 광원 및
상기 단위 양자 광원과 상기 반도체 레이어를 연결하는 브릿지를 포함하며,
복수의 상기 단위 양자 광원들이 어레이로 배치된 양자 광원 어레이.

청구항 14

제13항에 있어서,
상기 반도체 베이스(base) 및 상기 반도체 레이어(layer)는 III-V 반도체 및 II-VI 반도체 중 어느 하나를 포함하는 양자 광원 어레이.

청구항 15

제13항에 있어서,
상기 III-V 반도체는 InP, GaAs, GaN 중 어느 하나 이고, 상기 II-VI 반도체는 ZnO, CdSe 중 어느 하나인 양자 광원 어레이.

청구항 16

제13항에 있어서,

상기 반도체 베이스는 양자점, 고체 점 결함(defect center structure), 도핑 이온 및 이차원 물질 중 어느 하나를 포함하는 양자 광원 어레이.

청구항 17

제13항에 있어서,

상기 양자점은 III-V 반도체 양자점이고,

상기 도핑 이온은 어븀(Er) 이온이며,

상기 이차원 물질은 텅스텐다이셀레나이드(WSe₂) 및 육방정 질화 붕소(hBN, hexagonal boron nitride) 중 어느 하나인 양자 광원 어레이.

청구항 18

제13항에 있어서,

상기 동일한 홀 그룹에 포함된 복수의 홀들의 반지름은 서로 동일한 양자 광원 어레이.

청구항 19

제13항에 있어서,

서로 다른 상기 홀 그룹에 포함된 복수의 홀들의 반지름은 서로 상이한 양자 광원 어레이.

청구항 20

제13항에 있어서,

상기 복수의 홀 그룹에 포함된 상기 홀들의 반지름은 상기 중심으로부터 이격된 거리가 증가할수록 감소하는 양자 광원 어레이.

청구항 21

제13항에 있어서,

상기 단위 양자 광원은,

상기 단위 양자 광원의 제1 면에 연결된 제1 전극과,

상기 단위 양자 광원의 상기 제1 면의 방향의 제2 면과 연결된 제2 전극을 포함하며,

상기 제1 전극과 상기 제2 전극에 제공되는 에너지에 의하여 단일 또는 얽힘 광자를 제공하는 양자 광원 어레이.

청구항 22

제13항에 있어서,

상기 양자 광원 어레이는,

레이저가 조사되어 제공되는 에너지에 의하여 단일 또는 얽힘 광자를 제공하는 양자 광원 어레이.

청구항 23

제13항에 있어서,

상기 단위 양자 광원은,

상기 중심과 상기 홀 그룹 사이의 이격 거리, 상기 홀 그룹들 사이의 이격거리 및 홀 그룹에 속한 홀들의 반지름 중 어느 하나 이상에 따라 제공하는 파장이 제어되는 양자 광원 어레이.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 기술은 양자 광원과 관련된다.

배경 기술

[0002] 양자정보는 1과 0로 구분되는 비트(Bit) 대신 중첩 원리를 이용하여 1과 0을 동시에 표현하는 것이 가능한 "양자 비트(Quantum Bit)"를 이용한다. 양자정보 처리에는 원자나 빛, 슈퍼 컨덕팅 소자 등 다양한 접근 방식이 존재하며, 빛, 즉 광자(光子)를 이용한 양자 정보 처리에 관심이 집중되고 있다. 빛의 편광이나 시간, 경로 정보 등을 이용하면 전자의 스핀(Spin)처럼 양자 비트를 구현할 수 있기 때문이다.

[0003] 최근에는 양자 물리의 특징인 중첩성, 양자 얽힘, 복사 불가능성을 나타내는 양자광원(Quantum light source)이 개발돼 이를 이용한 양자 시뮬레이터나 양자전송, 양자 암호와 같은 응용기술이 활발히 연구되고 있다. 양자 광원이란, 고전 광원과 차별화된 단일 또는 얽힘 광자를 생성하는 광원을 의미하며, 단일 원자 또는 단일 양자 점과 같은 단일 양자구조에서 빛이 생성된다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0004] 기존 고체 기반 양자 광원 중 양자광을 좁은 각도로 수직 방출이 가능한 구조는 불스 아이 구조(Bull's eye)가 대표적이다. 기존 불스 아이 구조는 동심원 형태의 격자(circular grating)형태의 다수 링(ring) 구조를 가진다. 기존 불스 아이 구조에서 방사된 광은 방출광의 각도가 개구수(NA, numerical aperture) 작은 광섬유와 결합하기에는 충분히 작지 않아 고효율의 광자 신호 전달을 위해서는 추가적인 광학 시스템이 요구된다. 따라서 광섬유와 결합이 용이하면서도 높은 효율을 유지하기 위해서는 좁은 각도에서의 수직 광 방사가 가능한 광학구조와 결합된 양자 광원 개발이 선행되어야 한다.

[0005] 본 기술이 해결하고자 하는 과제는 상기한 종래 기술에 의한 양자 광원의 문제점을 해소하기 위한 것이다. 즉, 본 기술이 해결하고자 하는 과제는 높은 수직 광추출 효율을 얻을 수 있는 양자 광원을 제공하는 것이 본 기술이 해결하고자 하는 과제 중 하나이다.

과제의 해결 수단

[0006] 본 실시예에 의한 양자 광원은 반도체 양자 구조를 포함하는 베이스(base)와, 반도체 베이스를 관통하고 중심으로부터 이격된 복수의 홀(hole)들을 포함하는 하나 이상의 홀 그룹들을 포함하고, 동일한 홀 그룹에 포함된 복수의 홀들은 중심으로부터 동일한 거리만큼 이격된다.

[0007] 본 실시예에 의한 양자 광원 어레이는 양자 구조를 포함하는 반도체 레이어(layer)와, 고효율 단위 양자 광원을 위한 반도체 베이스 (base), 반도체 베이스 관통하고 중심으로부터 이격된 복수의 홀(hole)들을 포함하는 하나 이상의 홀 그룹들을 포함하고, 동일한 홀 그룹에 포함된 복수의 홀들은 중심으로부터 동일한 거리만큼 이격된 단위 양자 광원 및 단위 양자 광원과 반도체 기판을 연결하는 브릿지(Bridge)를 포함하며, 복수의 단위 양자 광원들이 어레이로 배치된다.

발명의 효과

[0008] 본 실시예에 의한 양자 광원은 개구율이 낮은 광 섬유에 대하여 높은 광결합 효율을 얻을 수 있으며, 높은 광추출 효율을 가지고, 좁은 각도로 광방출이 가능하다는 장점이 제공된다.

도면의 간단한 설명

[0009] 도 1은 본 실시예에 의한 양자 광원의 개요를 도시한 평면도이다.

도 2는 도 1에서 실선 원으로 표시된 영역을 확대하여 표시한 도면이다.

도 3(a)는 도 1에서 A-A' 선을 따른 단면도이고, 도 3(b)는 도 1에서 C-C' 선을 따른 단면도이다.

도 4는 다른 실시예에 의한 양자 광원에 포함된 베이스의 평면도이다.

도 5는 양자 광원을 어레이 형태로 배치한 양자 광원 어레이의 현미경(SEM) 사진이다.

도 6은 본 실시예에 의한 양자 광원 동작의 실시예를 개요적으로 설명하기 위한 도면이다.

도 7은 본 실시예에 의한 양자 광원 동작의 다른 실시예를 개요적으로 설명하기 위한 도면이다.

도 8(a)는 양자 광원의 현미경(SEM) 사진이고, 도 8(b)는 방출하는 광의 스펙트럼을 도시한 그래프이다.

도 9(a) 및 도 9(b)는 종래(볼스 아이 구조)의 양자 광원과 본 실시예에 의한 양자 광원이 발산하는 전기장의 광학 모드를 도시한 도면들이다.

도 10은 시료의 빛을 포집하는 포집 각도와 관련된 광학계의 개구율에 따른 구조별 광포집 효율(collection efficiency)을 비교한 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0010] 본 발명에 관한 설명은 구조적 내지 기능적 설명을 위한 실시예에 불과하므로, 본 발명의 권리범위는 본문에 설명된 실시예에 의하여 제한되는 것으로 해석되어서는 아니 된다. 즉, 실시예는 다양한 변경이 가능하고 여러 가지 형태를 가질 수 있으므로 본 발명의 권리범위는 기술적 사상을 실현할 수 있는 균등물들을 포함하는 것으로 이해되어야 한다.
- [0011] 한편, 본 출원에서 서술되는 용어의 의미는 다음과 같이 이해되어야 할 것이다.
- [0012] 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한 복수의 표현을 포함하는 것으로 이해되어야 하고, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 실시된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.
- [0013] 각 단계들은 문맥상 명백하게 특정 순서를 기재하지 않은 이상 명기된 순서와 다르게 일어날 수 있다. 즉, 각 단계들은 명기된 순서와 동일하게 일어날 수도 있고 실질적으로 동시에 수행될 수도 있으며 반대의 순서대로 수행될 수도 있다.
- [0014] 여기서 사용되는 모든 용어들은 다르게 정의되지 않는 한, 본 발명이 속하는 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 가진다. 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 것과 같은 용어들은 관련 기술의 문맥상 가지는 의미와 일치하는 것으로 해석되어야 하며, 본 출원에서 명백하게 정의하지 않는 한 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미를 지니는 것으로 해석될 수 없다.
- [0015] 이하에서는 첨부된 도면들을 참조하여 본 실시예에 의한 양자 광원을 설명한다. 도 1은 본 실시예에 의한 양자 광원(100)의 개요를 도시한 평면도이고, 도 2는 도 1에서 실선 원으로 표시된 영역을 확대하여 표시한 도면이다. 도 1 및 도 2를 참조하면, 본 실시예에 의한 양자 광원(100)은 반도체 베이스(base)와, 상기 반도체 베이스(base)를 관통하고 중심으로부터 이격된 복수의 홀(hole)들을 포함하는 하나 이상의 홀 그룹(HG1, HG2, ..., HGK)들을 포함하고, 동일한 상기 홀 그룹에 포함된 상기 복수의 홀들은 상기 중심으로부터 동일한 거리만큼 이격된다.
- [0016] 홀 그룹(HG1, HG2, ..., HGK)들은 복수의 홀(H)들을 포함한다. 도 1 및 도 2로 예시된 실시예에서, 동일한 홀 그룹에 포함된 홀(H)들은 동일한 반지름(r)을 가지고, 인접한 홀의 중심 사이 간격(d)이 동일하도록 상호 이격될 수 있다. 인접한 홀 그룹과 홀 그룹은 서로 간의 간격이 동일하도록 상호 이격될 수 있다. 각각의 홀(H)들은 반도체 베이스(base)를 관통하여 형성된다.
- [0017] 양자 광원(100)이 제공하는 광의 파장은 중심으로부터 첫 번째 홀 그룹 사이의 거리 r_c , 홀들의 반지름 r , 인접한 홀 그룹 사이의 거리 G , 인접한 홀의 중심 사이 간격 d 에 의하여 결정된다.
- [0018] 광 파장(λ)은 홀 그룹 사이의 거리 G 와 물질이 가지는 유효 굴절율(effective refractive index (n_{eff}))에 의해서 크게 결정이 되며 주관계는 다음과 같다. $\lambda = G \times n_{eff}$. r_c , r , d 등의 변수 등은 시뮬레이션을 통해 최적화될 수 있으며, 일례로, 도 8에 사용된 구조는 InP 물질에서 1300 nm 광파장을 갖는 광학구조의 예시이며, 사용된 변수는 다음과 같다. $G=485$ nm, $r_c=2.7 \times G$, $r=0.105 \times G$, $d=0.6 \times G$ 이다.
- [0019] 도 3(a)는 도 1의 A-A'선을 따른 단면도이고, 도 3(b)는 도 1의 C-C'선을 따른 단면도이다. 도 3(a) 및 도

3(b)를 참조하면, 양자 광원(100)은 반도체 층(130)과 희생층(120) 및 반도체층(110)이 적층된 기판으로부터 형성된다. 반도체층(110)은 패터닝되어 반도체 층(110)을 관통하고 중심으로부터 이격된 복수의 홀(hole)들을 포함하는 하나 이상의 홀 그룹(HG1, HG2, ..., HGK)들이 형성되어 베이스(base)를 형성할 수 있다.

[0020] 양자 광원(100)의 형성과정에서 베이스 하부의 희생층(120)은 식각되어 제거된다. 반도체 베이스(base)와 레이어(layer)는 브릿지(B)에 의하여 연결되나, 브릿지(B)가 형성되지 않은 부분은 서로 이격된다. 레이어(layer)는 반도체층(110) 중 반도체 베이스(base) 및/또는 브릿지(B)로 패터닝되지 않은 부분일 수 있다.

[0021] 반도체 베이스(base)는 III-V 반도체 및 II-VI 반도체 중 어느 하나로 형성될 수 있다. 일 예로, III-V 반도체는 InP, GaAs, GaN일 수 있으며, II-VI 반도체는 ZnO, CdSe 일 수 있다. 이외에도 양자 구조를 포함하는 다이아몬드, SiC 등의 물질일 수 있다. 일 실시예로, 반도체 멤브레인(membrane)과 브릿지(B) 및 반도체 베이스(base)는 동일한 반도체 기판을 패터닝하여 형성될 수 있다.

[0022] 도 3(a) 및 도 3(b)로 예시된 실시예에서, 반도체 베이스(base)는 양자구조(quantum structure, QS)를 포함한다. 일 예로, 양자 구조는 (quantum structure)은 InAs, InGaAs, GaN, InGaN 양자점 중 하나일 수 있으며, 양자점은 반도체 층 사이에 위치할 수 있다. 도시되지 않은 다른 실시예에 의하면 반도체 베이스(base)에는 고체점 결함(defect center), 도핑 이온 및 이차원 물질 중 어느 하나 이상을 포함할 수 있다. 도핑 이온은 Erbium(Er) 이온 일 수 있고, 이차원 물질은 텅스텐다이셀레나이드(WSe2) 및 육방정 질화 붕소(hBN, hexagonal boron nitride) 중 어느 하나일 수 있다. 양자점(quantum dot), NV 센터 구조(nitrogen-vacancy center structure), 도핑 이온 및 이차원 물질은 양자 광원을 생성하는 광원 역할을 한다. 양자 구조를 포함하는 베이스는 생성된 양자 광원을 수직으로 방출하는 효율을 증가시킨다.

[0023] 도 4는 다른 실시예에 의한 양자 광원에 포함된 베이스(base)의 평면도이다. 설명의 편의를 위하여 브릿지(B)와 레이어(layer)는 도시를 생략하였다. 도 4로 예시된 실시예에 의하면, 중심으로부터 서로 동일한 거리에 위치하여 동일한 홀 그룹에 포함된 복수의 홀들의 반지름은 서로 동일하고, 중심으로부터 이격될수록 동일한 홀 그룹들에 포함된 복수의 홀들의 반지름은 감소한다. 또한, 이웃한 홀 그룹 사이의 간격은 홀 그룹이 중심으로부터 이격된 거리가 증가할수록 감소한다.

[0024] 도시되지 않은 다른 실시예에 의하면, 중심으로부터 서로 동일한 거리에 위치하여 동일한 홀 그룹에 포함된 복수의 홀들의 반지름은 서로 동일할 수 있으나, 중심으로부터 거리가 변화함에 따라 동일한 홀 그룹들에 포함된 복수의 홀들의 반지름은 변화할 수 있다. 또한, 이웃한 홀 그룹 사이의 간격도 홀 그룹이 중심으로부터의 거리가 변화할수록 변화할 수 있다.

[0025] 도 5는 양자 광원을 어레이 형태로 배치한 양자 광원 어레이의 현미경(SEM) 사진이다. 도 5를 참조하면, 복수의 단위 양자 광원 어레이를 단일한 반도체 기판에 배치하여 양자 광원 어레이를 형성할 수 있다. 양자 광원 어레이에 포함된 하나 이상의 양자 광원은 도 1로 예시된 것과 같이 동일한 홀 그룹에 포함된 홀(H)들은 동일한 반지름(r)을 가지고, 인접한 홀의 중심 사이 간격(d)이 동일하도록 상호 이격되고, 인접한 홀 그룹과 홀 그룹은 서로 간의 간격이 동일하도록 상호 이격되며, 각각의 홀(H)들은 반도체 베이스(base)를 관통하여 형성된 구조를 가질 수 있다.

[0026] 양자 광원 어레이에 포함된 하나 이상의 양자 광원은 도 2로 예시된 것과 같이 중심으로부터 서로 동일한 거리에 위치하여 동일한 홀 그룹에 포함된 복수의 홀들의 반지름은 서로 동일하고, 중심으로부터 이격될수록 동일한 홀 그룹들에 포함된 복수의 홀들의 반지름은 감소하며 이웃한 홀 그룹 사이의 간격은 홀 그룹이 중심으로부터 이격된 거리가 증가할수록 감소하는 구조를 가질 수 있다.

[0027] 또한, 양자 광원 어레이에 포함된 하나 이상의 양자 광원은 중심으로부터 서로 동일한 거리에 위치하여 동일한 홀 그룹에 포함된 복수의 홀들의 반지름은 서로 동일하며, 중심으로부터 이격될수록 동일한 홀 그룹들에 포함된 복수의 홀들의 반지름은 증가하고, 이웃한 홀 그룹 사이의 간격은 홀 그룹이 중심으로부터 이격된 거리가 증가할수록 증가하는 구조를 가질 수 있다.

[0028] 이하에서는 도 6 내지 도 7을 참조하여 본 실시예에 의한 양자 광원을 살펴본다. 양자 광원(100)은 점착성 전사 기판(미도시, adhesive transfer substrate)로 전사된다. 일 실시예로, 반도체 기판에 형성된 양자 광원(100)이 점착성 전사 기판과 접촉하면 베이스(base)와 기판(100)을 연결하는 브릿지(B)가 파괴되고, 양자 광원(100)은 점착성 전사 기판으로 전사된다. 일 실시예로, 점착성 전사 기판은 점착성 표면을 가지는 폴리머 기판일 수 있으며, 일 예로, 점착성 전사 기판은 투명한 PDMS 기판일 수 있다. 점착성 전사 기판에 점사된 양자 광원(100)은 광섬유(500)의 코어(core)와 정렬되어 부착된다.

- [0029] 전사과정은 광학 현미경을 통해 진행될 수 있으며, 광섬유 반대쪽에서 가이드 레이저를 입사시켜 광섬유 코어의 위치를 확인할 수 있다. 고배율의 현미경과 정밀 위치 제어 스테이지를 통해 양자광원과 광섬유 코어(core) 사이의 정밀 얼라인 및 결합이 가능하다.
- [0030] 도 6은 본 실시예에 의한 양자 광원(100) 동작의 실시예를 개요적으로 도시한 도면이다. 도 6을 참조하면, 양자 광원(100)은 광섬유의 일 단부의 중심에 위치한다. 양자 광원(100)의 제1 면은 제1 전극(E1)과 전기적으로 연결되고, 제2 면은 제2 전극(E2)과 연결된다. 제1 전극(E1)과 제2 전극(E2)에는 전압원이 연결되어 양자 광원(100)에 구동 전력을 제공한다. 도 6으로 예시된 실시예는 제1 전극(E1)과 제2 전극(E2)은 전압원이 연결되나, 도시되지 않은 실시예에서, 제1 전극(E1)과 제2 전극(E2)은 전류원이 연결된다. 일 실시예로, 광섬유와 결합하지 않는 면으로 단일 또는 얹힘 광자가 방출되는 것을 방지하기 위하여 제1 면에 형성된 제1 전극(E1)은 금(gold), 은(silver) 등의 높은 반사율을 가지는 물질로 형성될 수 있다. 제1 전극(E1)은 양자 광원(100)이 목적하지 않는 방향으로 방출한 양자를 반사하는 미러(mirror)로 기능할 수 있다.
- [0031] 전압원 및 전류원 등의 전원에 의하여 양자 광원(100)에 에너지가 제공됨에 따라 양자 광원(100)은 단일 또는 얹힘 광자를 광섬유를 통하여 제공하며 낮은 개구율을 가지는 광섬유에 효율적인 광학 결합이 가능하다.
- [0032] 도 7은 본 실시예에 의한 양자 광원(100) 동작의 다른 실시예를 개요적으로 도시한 도면이다. 도 7을 참조하면, 레이저 소스(Laser Source)는 커플러(coupler)를 거쳐 양자 광원(100)에 레이저를 조사한다. 양자 광원(100)에 조사된 레이저의 에너지에 의하여 양자 광원(100)은 단일 또는 얹힘 광자를 생성하여 출력한다. 일 실시예로, 양자 광원(100)에는 목적하지 않는 방향으로 양자가 방출되는 것을 방지하기 위하여 미러(M)가 형성될 수 있다.
- [0033] 양자 광원(100)에서 방출된 단일 또는 얹힘 광자는 광 섬유(500)를 거쳐 광섬유 커플러(fiber coupler) 제공된다. 광섬유 커플러(fiber coupler)를 거친 양자 광원은 광 섬유를 통해 유도된다. 도시되지 않은 실시예에서 광 섬유에 양자 광원의 일부 레이저가 일부 포함되는 것을 막기 위해서 광 섬유 파장 필터 또는 편광 필터가 포함될 수 있다. 도시된 양자 광원(100)은 낮은 개구율을 가지는 광섬유와 효율적인 광학 결합이 가능하다는 장점이 제공된다.
- [0034] **모의 실험예**
- [0035] 이하에서는 도 8(a) 및 도 8(b)를 참조하여 본 실시예에 의한 양자 광원의 실험 결과를 살펴본다. 도 8(a)는 양자 광원(100)의 현미경(SEM) 사진이고, 도 8(b)는 방출하는 광의 스펙트럼을 도시한 그래프이다. 도 8(a)를 참조하면, 양자 광원은, 중심과 인접한 홀 그룹 사이의 거리가 1000nm, 양자 광원에 포함된 복수의 홀들의 반지름이 52.5nm, 이웃하는 홀 그룹 사이의 이격 거리가 500nm, 동일한 홀 그룹에 속하는 홀들 사이의 중심과 중심 사이의 거리가 300nm로 설계 되어 방출하는 파장이 1300nm가 되도록 설계되었다. 이와 같이 설계된 양자 광원은 방출하는 광의 파장이 1300nm 임을 도 8(b)로 확인할 수 있다.
- [0036] 도 9(a) 및 도 9(b)는 종래의 양자 광원과 본 실시예에 의한 양자 광원이 발산하는 전기장의 광학 모드를 도시한 도면들이다. 도 9(a) 및 도 9(b)를 참조하면, 종래의 양자 광원은 전기장을 널리 퍼지게 발산하는 것을 위에서 확인한 광학 모드 및 옆에서 확인한 광학 모드로부터 확인할 수 있다. 그러나, 본 실시예에 의한 양자 광원은 전기장을 더 좁은 각도로 발산하는 것을 도 9(b)로부터 확인할 수 있다.
- [0037] 도 10은 시료의 빛을 포집하는 포집 각도와 관련된 광학계의 개구율에 따른 구조별 광포집 효율(collection efficiency)을 비교한 그래프이다. 도 10을 참조하면, 광 섬유에 해당하는 광 포집 각도(collection angle)인 $NA = 0.1$ 일 때 종래 기술의 효율에 비하여 2배 이상의 효율을 가지는 것을 알 수 있다. 나아가, $NA = 0.35$, $NA = 0.7$ 인 경우에도 종래 기술에 비하여 높은 효율을 가지는 것을 확인할 수 있다.
- [0038] 본 발명에 대한 이해를 돕기 위하여 도면에 도시된 실시예를 참고로 설명되었으나, 이는 실시를 위한 실시예로, 예시적인 것에 불과하며, 당해 분야에서 통상적 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 타 실시예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 따라서, 본 발명의 진정한 기술적 보호범위는 첨부된 특허청구범위에 의해 정해져야 할 것이다.

부호의 설명

[0039] 100: 양자 광원

rc: 중심과 첫 번째 홀 그룹 사이의 이격 거리

B: 브릿지 H: 홀

r: 홀들의 반지름 G: 인접한 홀 그룹 사이의 거리

d: 인접한 홀의 중심 사이 간격 sub: 반도체 기판

base: 반도체 베이스 QD: 양자점

cladding: 클래딩 core: 코어

E1: 제1 전극 E2: 제2 전극

Laser Source: 레이저 소스 coupler: 커플러

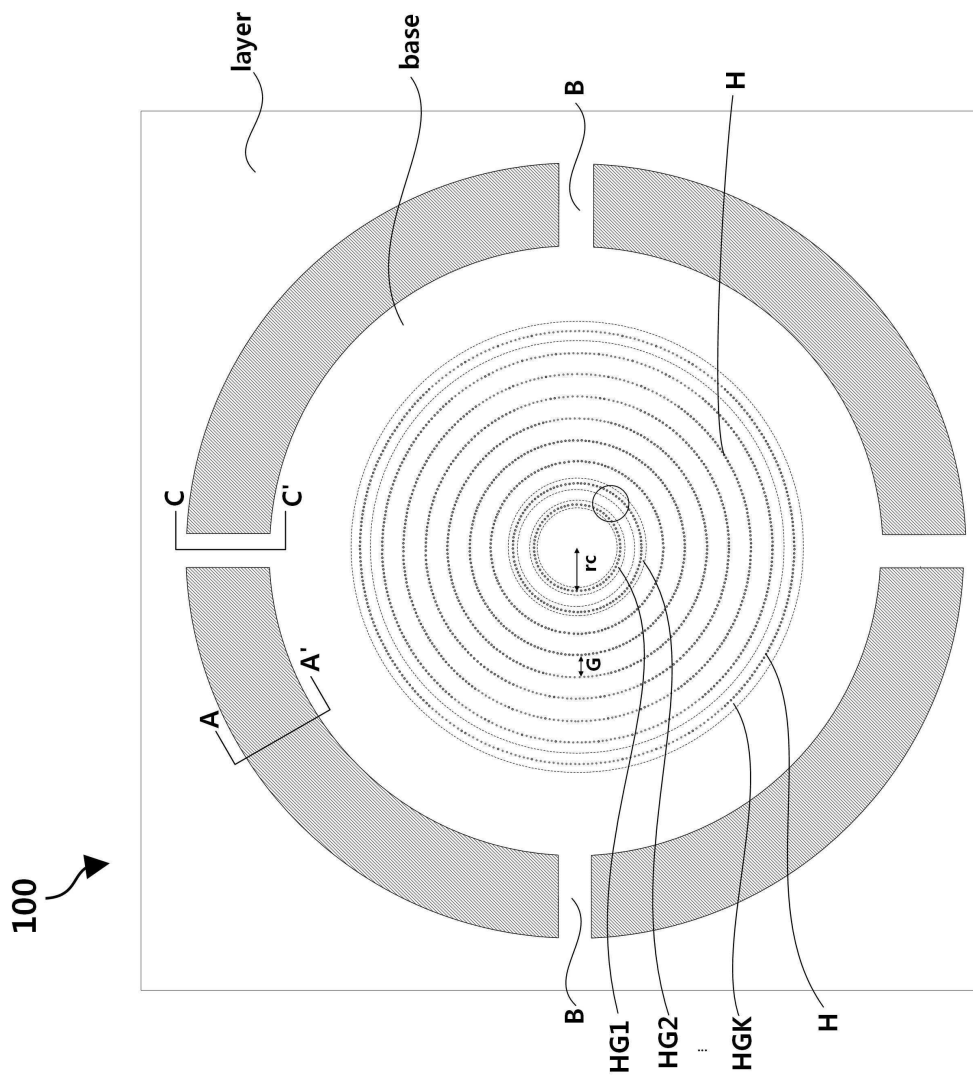
M:미러 500: 광 섬유

QS: 양자 구조

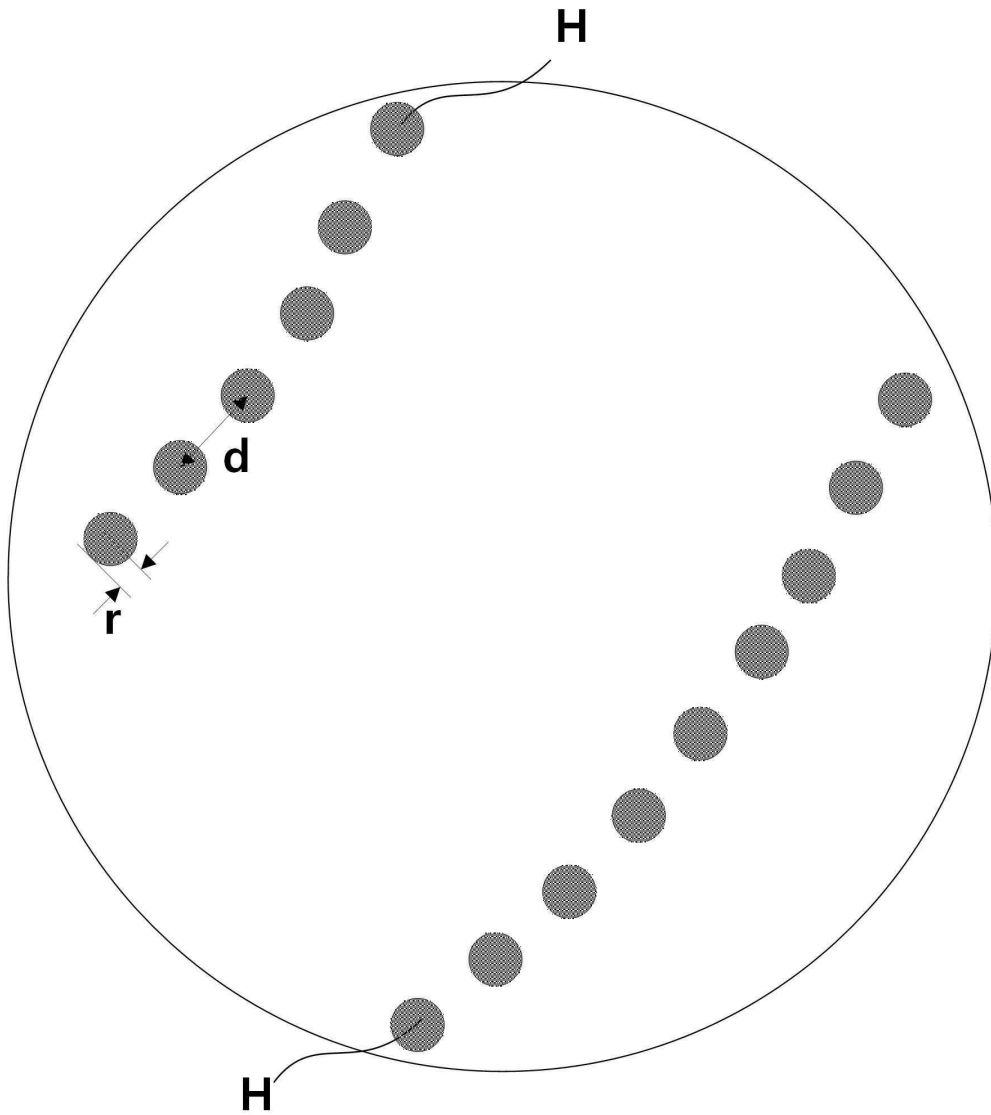
HG1, HG2, ...HGK: 홀 그룹

도면

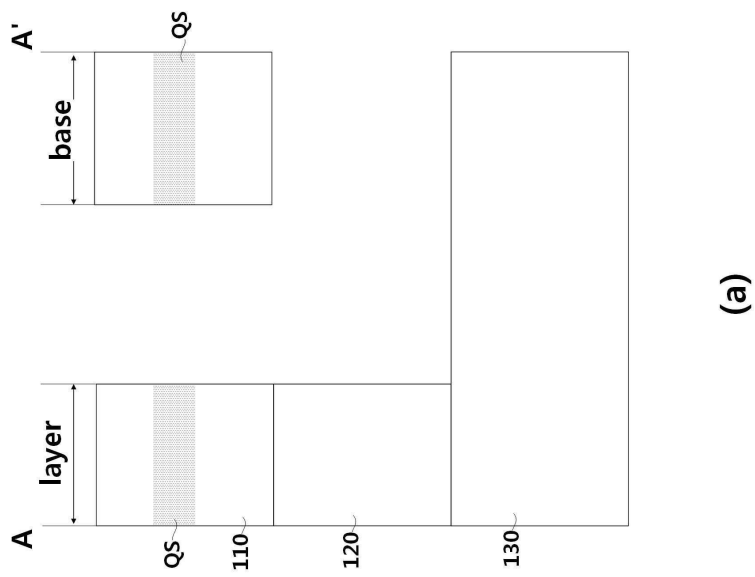
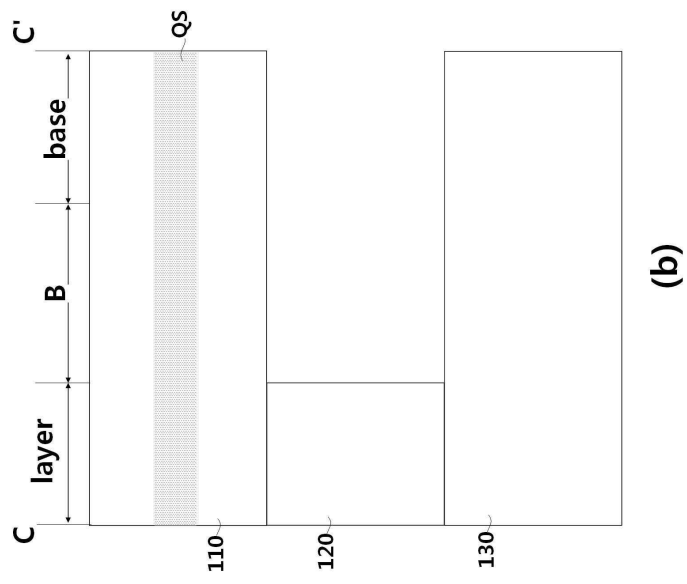
도면1



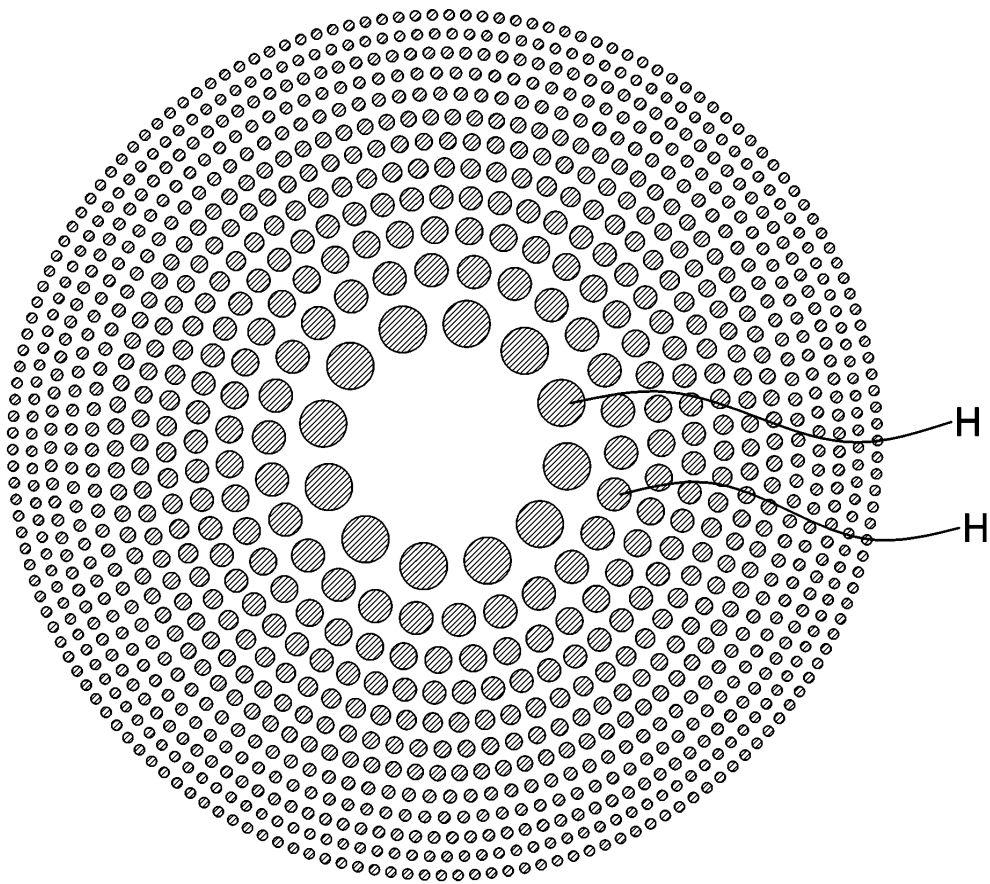
도면2



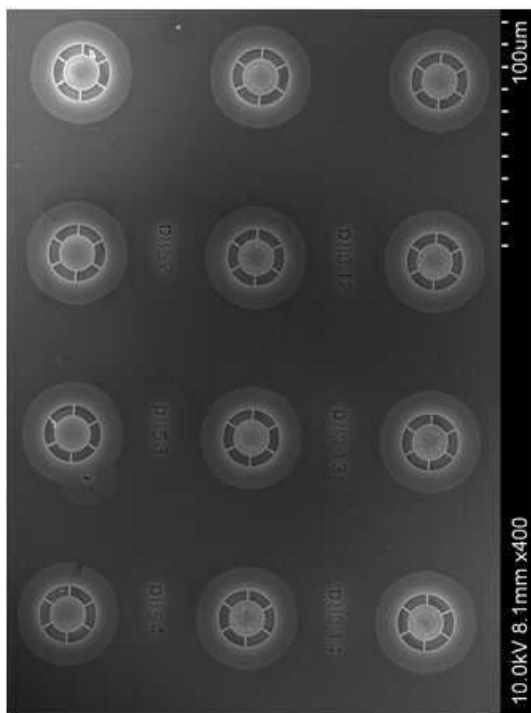
도면3



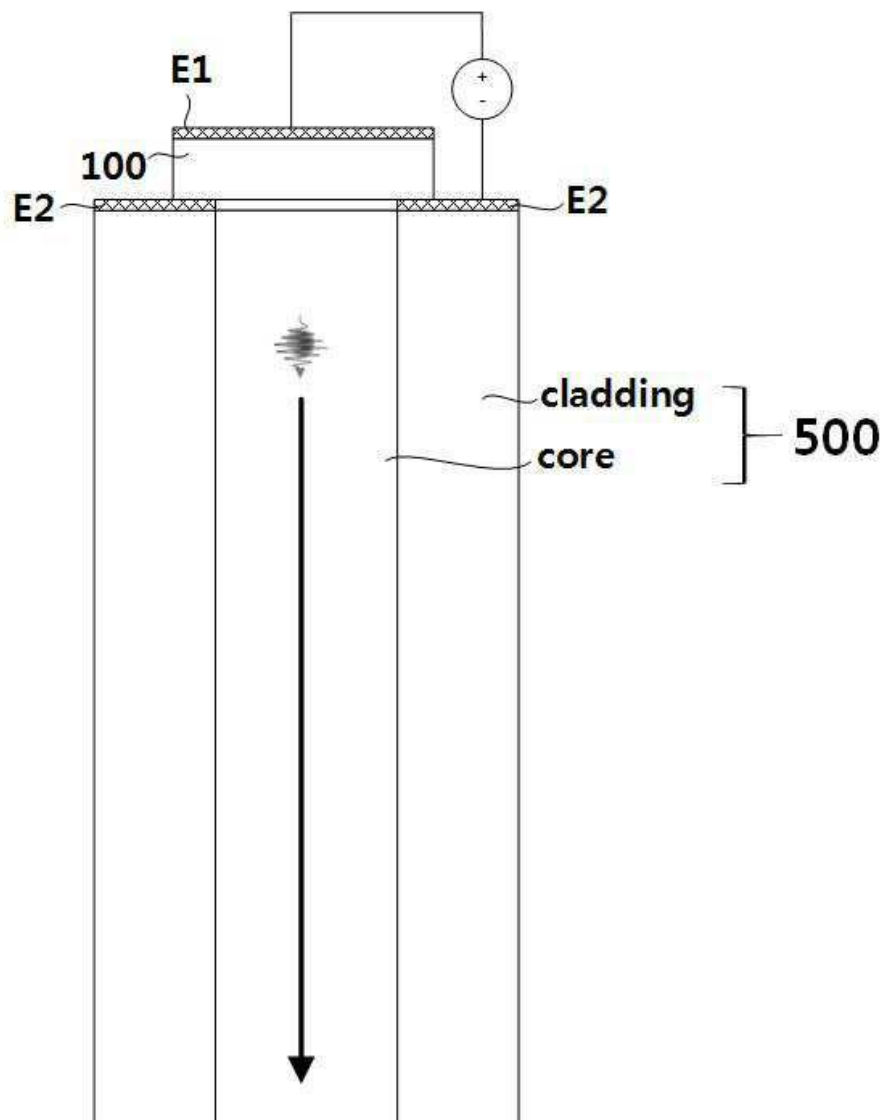
도면4



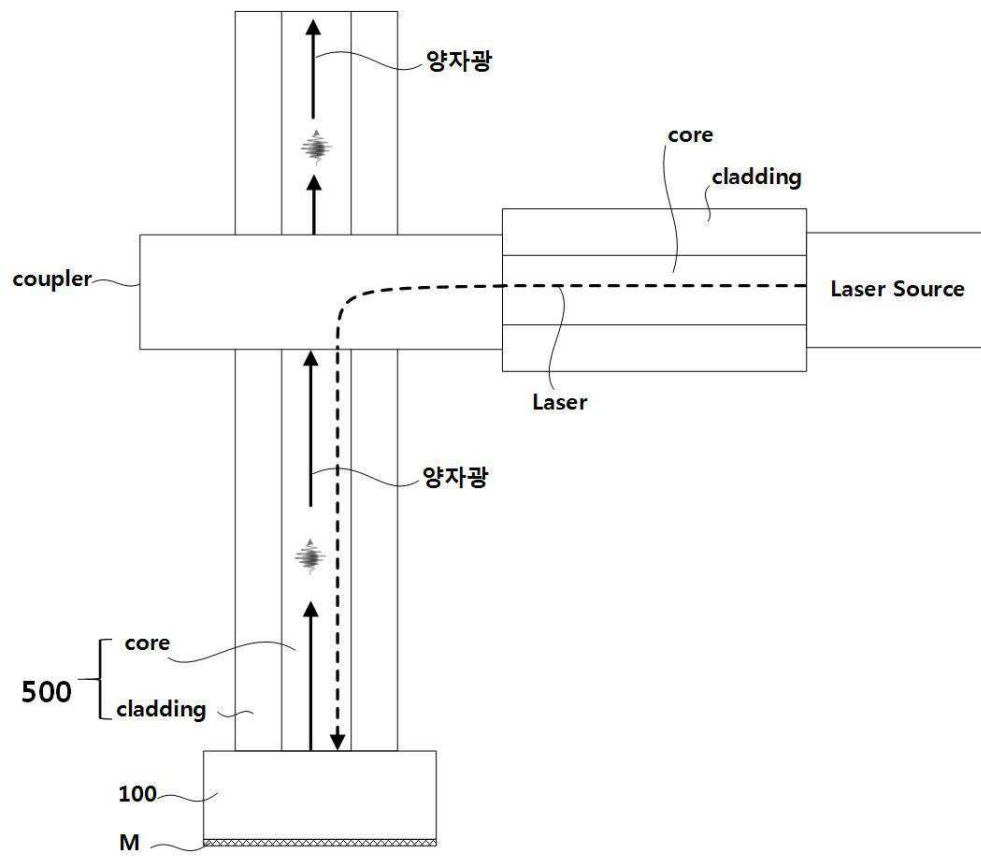
도면5



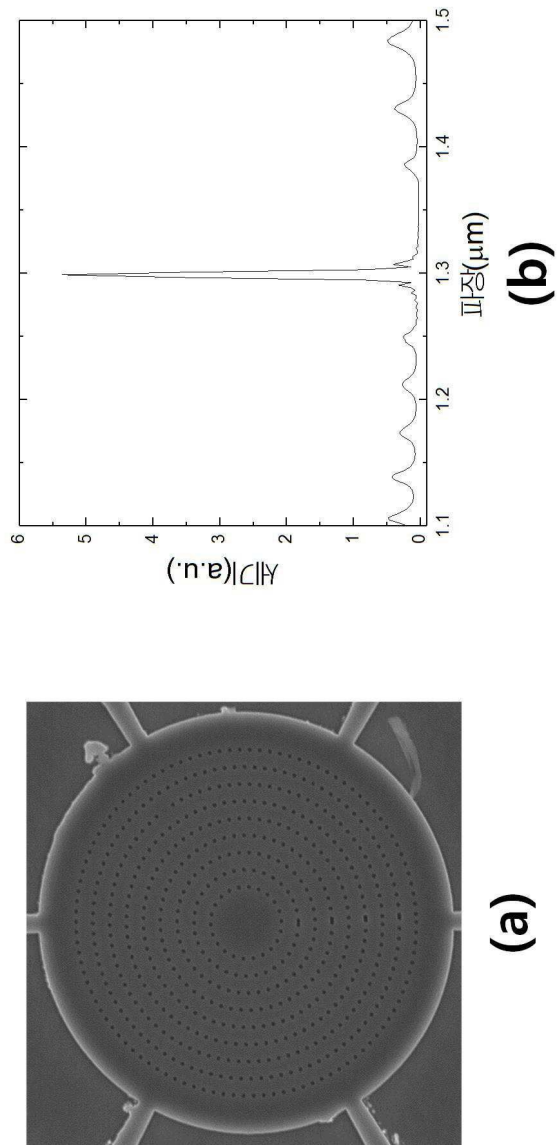
도면6



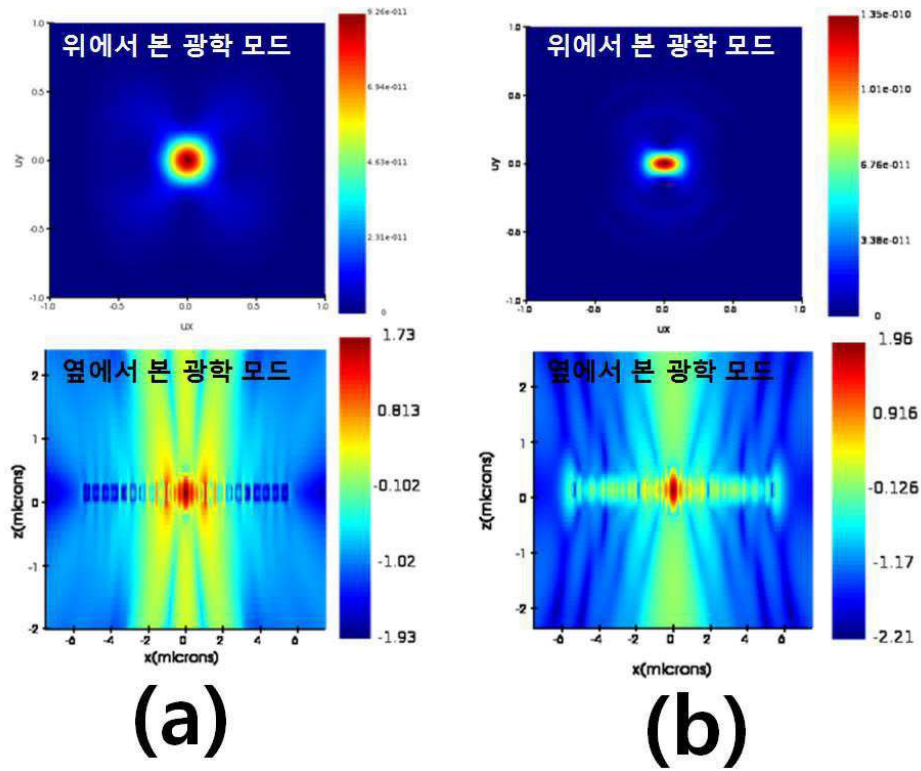
도면7



도면8



도면9



도면10

