(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2018-0015354
(43) 공개일자 2018년02월13일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01S 3/06 (2006.01) *G01B 11/16* (2006.01)
G02B 27/10 (2006.01) *H01S 3/063* (2006.01)
(52) CPC특허분류
H01S 3/0602 (2013.01)
G01B 11/16 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2016-0098732
(22) 출원일자 2016년08월03일
심사청구일자 2016년08월03일

(71) 출원인
고려대학교 산학협력단
서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)
(72) 발명자
박홍규
서울특별시 서초구 신반포로 270, 133동 2003호
최재혁
서울특별시 동작구 매봉로 134, 9동 302호
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
특허법인 누리

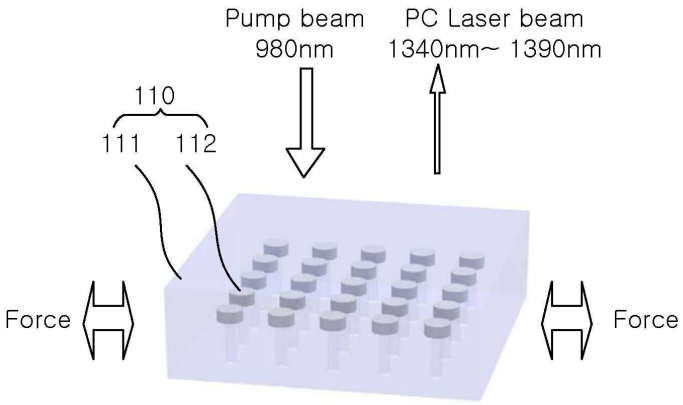
전체 청구항 수 : 총 23 항

(54) 발명의 명칭 **광결정 구조 레이저 및 스트레인 측정 장치**

(57) 요 약

본 발명은 광결정 구조 레이저 및 스트레인 측정 장치를 제공한다. 이 광결정 구조 레이저는 배치 평면에서 매트릭스 형태로 2차원적으로 배열되는 디스크 형태의 광결정 구조; 및 상기 광 결정 구조을 지지하고 적어도 상기 광 결정의 측면을 감싸도록 배치된 플랙서블 기판을 포함한다.

대 표 도 - 도2



(52) CPC특허분류
G02B 27/1026 (2013.01)
H01S 3/0637 (2013.01)
(72) 발명자
권순홍
경기도 성남시 수정구 모란로 65, 108동 1301호
김경호
충청남도 천안시 동남구 중앙로 255-11, 201동 502호
노유신
서울특별시 강서구 화곡로66길 80, 101동 402호
소재필
서울특별시 성북구 인촌로12길 58, A동 507호
이정민
서울특별시 성북구 인촌로24길 3-42
황민수
서울특별시 광진구 광나루로56길 32, 207동 1006호

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 2009-0081565
부처명 연구재단
연구관리전문기관 연구재단
연구사업명 창의연구사업
연구과제명 극미세나노선광소자연구단
기 여 율 1/1
주관기관 고려대학교
연구기간 2016.03.01 ~ 2017.02.28

명 세 서

청구범위

청구항 1

배치 평면에서 매트릭스 형태로 2차원적으로 배열되는 디스크 형태의 광결정 구조; 및

상기 광 결정 구조을 지지하고 적어도 상기 광 결정의 측면을 감싸도록 배치된 플랙서블 기판을 포함하는 것을 특징으로 하는 광결정 구조 레이저.

청구항 2

제1 항에 있어서,

상기 광결정 구조의 배열 주기는 550nm 내지 700 nm이고,

상기 광결정 구조는 Γ-포인트 밴드-에지 모드(Γ-point band-edge mode)에서 발진하는 것을 특징으로 하는 광결정 구조 레이저.

청구항 3

제2 항에 있어서,

상기 광결정 구조의 레이저 이득 매질은 적외선 영역에서 자발 방출하는 InGaAsP 또는 650 nm 근처에서 자발 방출하는 AlGaAs인 것을 특징으로 하는 광결정 구조 레이저.

청구항 4

제3 항에 있어서,

상기 광결정 구조는 차례로 적층된 InGaAsP 하부 클래딩층, 양자 우물 InGaAsP 활성층; 및 InGaAsP 상부 클래딩층을 포함하는 것을 특징으로 하는 광결정 구조 레이저.

청구항 5

제1 항에 있어서,

상기 플랙서블 기판은 PDMS(Polydimethylsiloxane), 폴리이미드(polyimide), 또는 PET(Polyethylene Terephthalate) 인 것을 특징으로 하는 광결정 구조 레이저.

청구항 6

제1 항에 있어서,

상기 플렉서블 기판에 스트레인 인가하는 압력 인가 수단을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 광결정 구조 레이저.

청구항 7

기판 상에 식각 정지층을 형성하는 단계;

상기 식각 정지층 상에 버퍼층을 형성하는 단계;

상기 버퍼층 상에 광결정 활성층을 형성하는 단계;

상기 광결정 활성층 상에 레지스트를 도포하고 패터닝하여 레지스트 마스크를 형성하는 단계;

상기 레지스트 마스크를 식각 마스크로 하여 상기 광결정 활성층 및 상기 버퍼층을 건식 식각하여 2차원적으로 배열된 광결정 구조를 형성하는 단계;

상기 광결정 구조의 상기 버퍼층을 선택적으로 습식 식각하여 얇아진 광결정 지지부를 형성하는 단계;

상기 얇아진 광결정 지지부가 형성된 기판 상에 폴리머를 코팅하고 경화시키는 단계;

상기 기판을 제거하여 폴리머에 매몰된 상기 광결정 구조를 제공하는 단계; 및

상기 얇아진 광결정 지지부를 습식 식각을 통하여 제거하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 광결정 구조 레이저의 제조 방법.

청구항 8

제7 항에 있어서,

상기 기판은 InP이고,

상기 식각 정지층은 InGaAs이고,

상기 버퍼층은 InP이고,

상기 광결정 활성층은 InGaAsP을 포함하는 것을 특징으로 하는 광결정 구조 레이저의 제조 방법.

청구항 9

제7 항에 있어서,

상기 폴리머는 PDMS(Polydimethylsiloxane), 폴리이미드(polyimide), 또는 PET(Polyethylene Terephthalate) 중에서 적어도 하나를 포함하는 특징으로 하는 광결정 구조 레이저의 제조 방법.

청구항 10

제7항에 있어서,

상기 건식 식각은 염소 가스 분위기 하에서 아르곤 이온를 가속하여 수행하는 화학적 도움 이온 빔 식각(Chemically assisted ion beam etching)인 것을 특징으로 하는 광결정 구조 레이저의 제조 방법.

청구항 11

플랙서블 기판에 매몰된 광결정 구조 레이저;

상기 광 결정 구조 레이저에 펌프 광을 제공하는 펌프 광원;

상기 광결정 구조 레이저에 인가되는 외부 압력에 따라 변하는 레이저 파장을 검출하는 파장 검출부; 및

상기 레이저 파장을 이용하여 상기 광결정 구조 레이저의 변형 정도를 산출하는 처리부를 포함하는 것을 특징으로 하는 스트레인 측정 장치.

청구항 12

제11 항에 있어서,

상기 광결정 구조 레이저는:

배치 평면에서 매트릭스 형태로 2차원적으로 배열되는 디스크 형태의 광결정 구조; 및

상기 광 결정 구조를 지지하고 적어도 상기 광 결정의 측면을 감싸도록 배치된 플랙서블 기판을 포함하는 것을 특징으로 하는 스트레인 측정 장치.

청구항 13

제12 항에 있어서,

상기 광결정 구조의 배열 주기는 550nm 내지 700 nm인 것을 특징으로 하는 스트레인 측정 장치.

청구항 14

제12 항에 있어서,

상기 광결정 구조의 레이저 이득 매질은 적외선 영역에서 자발 방출하는 InGaAsP 또는 650 nm 근처에서 자발 방

출하는 AlGaAs인 것을 특징으로 하는 스트레인 측정 장치.

청구항 15

제14 항에 있어서,

상기 광결정 구조는 차례로 적층된 InGaAsP 하부 클래딩층, 양자 우물 InGaAsP 활성층; 및 InGaAsP 상부 클래딩층을 포함하는 것을 특징으로 하는 스트레인 측정 장치.

청구항 16

제11 항에 있어서,

상기 펌프 광원의 방출하는 상기 펌프광을 제공받아 상기 광결정 구조 레이저에 전달하고, 상기 광결정 구조 레이저에서 방출되는 레이저 광을 제공받아 상기 분광기에 전달하는 이색성 미러;

상기 펌프 광원과 상기 이색성 미러 사이에 배치되는 평행광 렌즈; 및

상기 이색성 미러와 상기 광결정 구조 레이저 사이에 배치되어 상기 펌프광을 상기 상기 광결정 구조 레이저에 집속하는 대물렌즈; 중에서 적어도 하나를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 스트레인 측정 장치.

청구항 17

제16 항에 있어서,

조명광을 출력하는 조명 광원;

상기 조명광을 제공받아 상기 광결정 구조 레이저에 제공하도록 상기 이색성 미러와 상기 대물 렌즈 사이에 배치되는 빔 결합기;

상기 이색성 미러와 상기 분광기 사이에 배치되어 빔 경로를 변경하는 반사 거울;

상기 반사 거울과 상기 분광기 사이에 배치되어 빔을 분리하는 빔 분리기; 및

상기 빔 분리기로부터 분리된 빔을 이용하여 촬상하는 카메라; 중에서 적어도 하나를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 스트레인 측정 장치.

청구항 18

제11 항에 있어서,

상기 플랙서블 기판은 PDMS(Polydimethylsiloxane), 폴리이미드(polyimide), 또는 PET(Polyethylene Terephthalate) 중에서 적어도 하나를 포함하는 것을 특징으로 하는 스트레인 측정 장치.

청구항 19

제11 항에 있어서,

상기 펌프 광의 출력은 600 마이크로 와트 이상인 것을 특징으로 하는 스트레인 측정 장치.

청구항 20

내부에 케비티를 구비하고 입구 채널 및 출구 채널를 포함하는 하우징;

상기 하우징의 내부에 배치된 pH-민감 하이드로겔(ph-sensitive hydrogel);및

상기 하우징의 일면에 배치된 광결정 구조 레이저;를 포함하고,

상기 pH-민감 하이드로겔은 액상 용액의 pH 레벨에 따라 부피 변화를 제공하고, 상기 광결정 구조 레이저는 상기 부피 변화에 의하여 변형되는 것을 특징으로 하는 광결정 구조 레이저 기반 pH 센서.

청구항 21

제20 항에 있어서,

상기 광결정 구조 레이저는:

배치 평면에서 매트릭스 형태로 2차원적으로 배열되는 디스크 형태의 광결정 구조; 및

상기 광 결정 구조를 지지하고 적어도 상기 광 결정의 측면을 감싸도록 배치된 플랙서블 기판을 포함하는 광결정 구조 레이저 기반 pH 센서.

청구항 22

광결정 구조 레이저 기반 pH 센서;

상기 광 결정 구조 레이저에 펌프 광을 제공하는 펌프 광원;

상기 광결정 구조 레이저에 인가되는 외부 압력에 따라 변하는 레이저 파장을 검출하는 파장 검출부; 및

상기 레이저 파장을 이용하여 상기 광결정 구조 레이저의 변형 정도를 산출하는 처리부를 포함하는 것을 특징으로 하는 pH 측정 장치.

청구항 23

제22 항에 있어서,

상기 광결정 구조 레이저 기반 pH 센서는:

내부에 케비티를 구비하고 입구 채널 및 출구 채널를 포함하는 하우징;

상기 하우징의 내부에 배치된 pH-민감 하이드로겔(ph-sensitive hydrogel);및

상기 하우징의 일면에 배치된 광결정 구조 레이저;를 포함하고,

상기 pH-민감 하이드로겔은 액상 용액의 pH 레벨에 따라 부피 변화를 제공하고, 상기 광결정 구조 레이저는 상기 부피 변화에 의하여 변형되는 것을 특징으로 하는 pH 측정 장치.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 기계적인 변화에 따라 파장을 변경하는 광결정 구조 레이저에 관한 것으로, 더 구체적으로 광결정 구조 레이저를 이용하여 변형을 검출하는 스트레인 센서 에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 광 결정(photonic crystal)은 광자에 영향을 주는 주기적인 광학 나노 구조(periodic optical nanostructure)이다. 상기 광 결정을 이용한 레이저는 외부로부터 펌프광을 제공받아 상기 펌프광의 파장보다 더 긴 레이저 빔을 발생시킨다. 상기 광 결정의 이득 매질로서 InGaAsP 양자 우물 구조가 사용되는 경우, 상기 광 결정 레이저는 1550 nm 근처에서 레이저 빔을 발생시킨다.

[0003] 기존의 스트레인 게이지(strain gauge)는 저항의 변화를 측정하는 방식으로 이루어져 왔다. 기존의 저항변화를 측정하는 스트레인게이지는 측정범위와 분해능의 측면에서 한계를 갖는다. 따라서, 측정범위와 분해능를 높인 스트레인 센서가 요구된다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0004] 본 발명의 해결하고자 하는 일 기술적 과제는 변형에 의하여 주파수를 변경하는 파장 가변 광결정 레이저를 제공하는 것이다.

[0005] 본 발명의 해결하고자 하는 일 기술적 과제는 인장력과 압축력에 의한 변형을 레이저의 광의 주파수로 측정하는 스트레인 센서를 제공하는 것이다.

[0006] 본 발명의 해결하고자 하는 일 기술적 과제는 높은 분해능을 특징으로 하는 고품위 광결정 레이저를 이용하여

새로운 형태의 고분해능 스트레인 센서의 제조 방법을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0007] 본 발명의 일 실시예에 따른 광결정 구조 레이저는 배치 평면에서 매트릭스 형태로 2차원적으로 배열되는 디스크 형태의 광결정 구조; 및 상기 광 결정 구조을 지지하고 적어도 상기 광 결정의 측면을 감싸도록 배치된 플랙서블 기판을 포함한다.

[0008] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 광결정 구조의 배열 주기는 550nm 내지 700 nm이고, 상기 광결정 구조는 Γ-포인트 밴드-에지 모드(Γ-point band-edge mode)에서 발진할 수 있다.

[0009] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 광결정 구조의 레이저 이득 매질은 적외선 영역에서 자발 방출하는 InGaAsP 또는 650 nm 근처에서 자발 방출하는 AlGaAs일 수 있다.

[0010] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 광결정 구조는 차례로 적층된 InGaAsP 하부 클래딩층, 양자 우물 InGaAsP 활성층; 및 InGaAsP 상부 클래딩층을 포함할 수 있다.

[0011] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 플랙서블 기판은 PDMS(Polydimethylsiloxane), 폴리이미드(polyimide), 또는 PET(Polyethylene Terephthalate) 일 수 있다.

[0012] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 플렉서블 기판에 스트레인 인가하는 압력 인가 수단을 더 포함할 수 있다.

[0013] 본 발명의 일 실시예에 따른 광결정 구조 레이저의 제조 방법은 기판 상에 식각 정지층을 형성하는 단계; 상기 식각 정지층 상에 버퍼층을 형성하는 단계; 상기 버퍼층 상에 광결정 활성층을 형성하는 단계; 상기 광결정 활성층 상에 레지스트를 도포하고 패터닝하여 레지스트 마스크를 형성하는 단계; 상기 레지스트 마스크를 식각 마스크로 하여 상기 광결정 활성층 및 상기 버퍼층을 건식 식각하여 2차원적으로 배열된 광결정 구조를 형성하는 단계; 상기 광결정 구조의 상기 버퍼층을 선택적으로 습식 식각하여 얇아진 광결정 지지부를 형성하는 단계; 상기 얇아진 광결정 지지부가 형성된 기판 상에 폴리머를 코팅하고 경화시키는 단계; 상기 기판을 제거하여 폴리머에 매몰된 상기 광결정 구조를 제공하는 단계; 및 상기 얇아진 광결정 지지부를 습식 식각을 통하여 제거하는 단계를 포함한다.

[0014] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 기판은 InP이고, 상기 식각 정지층은 InGaAs이고, 상기 버퍼층은 InP이고, 상기 광결정 활성층은 InGaAsP을 포함할 수 있다.

[0015] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 폴리머는 PDMS(Polydimethylsiloxane), 폴리이미드(polyimide), 또는 PET(Polyethylene Terephthalate) 중에서 적어도 하나를 포함할 수 있다.

[0016] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 건식 식각은 염소 가스 분위기 하에서 아르곤 이온를 가속하여 수행하는 화학적 도움 이온 빔 식각(Chemically assisted ion beam etching)일 수 있다.

[0017] 본 발명의 일 실시예에 따른 스트레인 측정 장치는 플랙서블 기판에 매몰된 광결정 구조 레이저; 상기 광 결정 구조 레이저에 펌프 광을 제공하는 펌프 광원; 상기 광결정 구조 레이저에 인가되는 외부 압력에 따라 변하는 레이저 파장을 검출하는 파장 검출부; 및 상기 레이저 파장을 이용하여 상기 광결정 구조 레이저의 변형 정도를 산출하는 처리부를 포함한다.

[0018] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 광결정 구조 레이저는, 배치 평면에서 매트릭스 형태로 2차원적으로 배열되는 디스크 형태의 광결정 구조; 및 상기 광 결정 구조를 지지하고 적어도 상기 광 결정의 측면을 감싸도록 배치된 플랙서블 기판을 포함할 수 있다.

[0019] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 광결정 구조의 배열 주기는 550nm 내지 700 nm일 수 있다.

[0020] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 광결정 구조의 레이저 이득 매질은 적외선 영역에서 자발 방출하는 InGaAsP 또는 650 nm 근처에서 자발 방출하는 AlGaAs일 수 있다.

[0021] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 광결정 구조는 차례로 적층된 InGaAsP 하부 클래딩층, 양자 우물 InGaAsP 활성층; 및 InGaAsP 상부 클래딩층을 포함할 수 있다.

[0022] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 펌프 광원의 방출하는 상기 펌프광을 제공받아 상기 광결정 구조 레이저에 전달하고, 상기 광결정 구조 레이저에서 방출되는 레이저 광을 제공받아 상기 분광기에 전달하는 이색성 미러; 상기 펌프 광원과 상기 이색성 미러 사이에 배치되는 평행광 렌즈; 및 상기 이색성 미러와 상기 광결정 구조 레

이저 사이에 배치되어 상기 펌프광을 상기 상기 광결정 구조 레이저에 집속하는 대물렌즈; 중에서 적어도 하나를 더 포함할 수 있다.

[0023] 본 발명의 일 실시에에 있어서, 조명광을 출력하는 조명 광원; 상기 조명광을 제공받아 상기 광결정 구조 레이저에 제공하도록 상기 이색성 미러와 상기 대물 렌즈 사이에 배치되는 빔 결합기; 상기 이색성 미러와 상기 분광기 사이에 배치되어 빔 경로를 변경하는 반사 거울; 상기 반사 거울과 상기 분광기 사이에 배치되어 빔을 분리하는 빔 분리기; 및 상기 빔 분리기로부터 분리된 빔을 이용하여 촬상하는 카메라; 중에서 적어도 하나를 더 포함할 수 있다.

[0024] 본 발명의 일 실시에에 있어서, 상기 플랙서블 기판은 PDMS(Polydimethylsiloxane), 폴리이미드(polyimide), 또는 PET(Polyethylene Terephthalate) 중에서 적어도 하나를 포함할 수 있다.

[0025] 본 발명의 일 실시에에 있어서, 상기 펌프 광의 출력은 600 마이크로 와트 이상일 수 있다.

[0026] 본 발명의 일 실시예에 따른 광결정 구조 레이저 기반 pH 센서는 내부에 케비티를 구비하고 입구 채널 및 출구 채널를 포함하는 하우징; 상기 하우징의 내부에 배치된 pH-민감 하이드로겔(ph-sensitive hydrogel);및 상기 하우징의 일면에 배치된 광결정 구조 레이저;를 포함한다. 상기 pH-민감 하이드로겔은 액상 용액의 pH 레벨에 따라 부피 변화를 제공하고, 상기 광결정 구조 레이저는 상기 부피 변화에 의하여 변형된다.

[0027] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 광결정 구조 레이저는, 배치 평면에서 매트릭스 형태로 2차원적으로 배열되는 디스크 형태의 광결정 구조; 및 상기 광 결정 구조를 지지하고 적어도 상기 광 결정의 측면을 감싸도록 배치된 플랙서블 기판을 포함할 수 있다.

[0028] 본 발명의 일 실시예에 따른 pH 측정 장치는 광결정 구조 레이저 기반 pH 센서; 상기 광 결정 구조 레이저에 펌프 광을 제공하는 펌프 광원; 상기 광결정 구조 레이저에 인가되는 외부 압력에 따라 변하는 레이저 파장을 검출하는 파장 검출부; 및 상기 레이저 파장을 이용하여 상기 광결정 구조 레이저의 변형 정도를 산출하는 처리부를 포함한다.

[0029] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 광결정 구조 레이저 기반 pH 센서는, 내부에 케비티를 구비하고 입구 채널 및 출구 채널를 포함하는 하우징; 상기 하우징의 내부에 배치된 pH-민감 하이드로겔(ph-sensitive hydrogel); 및 상기 하우징의 일면에 배치된 광결정 구조 레이저;를 포함할 수 있다. 상기 pH-민감 하이드로겔은 액상 용액의 pH 레벨에 따라 부피 변화를 제공하고, 상기 광결정 구조 레이저는 상기 부피 변화에 의하여 변형될 수 있다.

발명의 효과

[0030] 본 발명의 일 실시예에 따른 스트레인 센서는 광학적으로 뛰어난 특성을 갖는 광결정 구조 레이저를 이용하면 넓은 측정범위와 높은 분해능을 갖는 새로운 형태의 스트레인 게이지 또는 스트레인 센서를 제작할 수 있다. 특히, 상기 광결정 구조 레이저의 주파수는 외부 환경에 거의 영향을 받지 않는 가장 안정적인 물리량으로, 물체의 변형이 주파수로 발현되면, 높은 정밀도와 안정성을 제공할 수 있다. 또한, 본 발명의 스트레인 게이지는 넓은 변형의 범위를 측정할 수 있다. 이러한 특징은 높은 품위값을 갖는 광결정 공진기를 통해서 구현할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0031] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 스트레인 측정 장치를 나타내는 개념도이다.

도 2는 도 1의 광 결정 구조 레이저를 나타내는 사시도이다.

도 3은 도 2의 광 결정 구조 레이저를 나타내는 단면도이다.

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 광결정 구조 레이저의 제조 방법을 설명하는 사시도이다.

도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 광결정 구조 레이저의 제조 방법을 설명하는 단면도들이다.

도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 광결정 구조에 대한 밴드 구조를 확인한 결과이다.

도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 광결정 구조 레이저에서 인가된 스트레인에 따른 파장 이동을 나타내는 실험 결과이다.

도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 광결정 구조 레이저에서 레이저로 발진하기 위해서는 펌핑광의 문턱값 실험

결과이다.

도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 스트레인에 따른 광결정 구조 레이저의 스펙트럼을 나타내는 도면이다.

도 10은 본 발명의 일 실시예에 따른 스트레인에 따른 광결정 구조 레이저의 광학 현미경 사진, 발진 모드의 사진, 및 발진 모드의 시뮬레이션 결과이다.

도 11은 본 발명의 일 실시예에 따른 광결정 구조 레이저 기반 pH 센서를 설명하는 개념도이다.

도 12는 본 발명의 다른 실시예에 따른 pH에 따른 부피 팽창을 설명하는 개념도이다.

도 13은 본 발명의 일 실시예에 따른 수용액의 pH 레벨에 따른 광결정 구조 레이저의 발진 파장을 나타내는 결과이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0032] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 광결정 구조를 이용하여 나노레이저가 제공된다. 상기 광결정 구조는 빛의 파장 정도의 주기성을 갖고 굴절률이 다른 두 물질이 공간적으로 반복되는 구조이다. 못과 같은 모양이 반복적으로 배열되어 있는 광결정 구조를 신축성 있는 플렉서블 지지 물질(또는 플렉서블 기판)에 매몰시켜, 광결정 구조 나노레이저를 제작하였다. 이 나노레이저는 레이저 구조를 잡아 당기거나 압축하는 등 외부 압력을 가하면, 레이저 파장이 변하는 새로운 형태의 광결정 구조 레이저이다.

[0033] 상기 광결정 구조 레이저는 광결정 구조의 격자 주기에 따라 레이저 파장이 결정된다. 외부 압력에 따라 광결정 구조의 격자 주기가 변화되고, 레이저 파장이 변한다. 이러한 원리를 이용하면 구조에 가해지는 압력이나 구조의 변화를 측정할 수 있다. 특히 레이저는 파장의 선폭이 매우 좁아서 파장의 변화를 민감하게 감지할 수 있기 때문에 센서로서의 활용도가 높다.

[0034] 미세한 구조 변화에 따라 광결정 구조 레이저의 파장 변화가 실험적으로 측정되었다. 유연한 광결정 구조 레이저는 -10% 에서 12% 까지 변형되는 동안, 약 26 nm의 레이저 파장 변화를 보인다. 상기 레이저 파장의 선폭이 약 0.6 nm 이하임을 고려하면, 매우 큰 폭의 파장 변화이다. 즉, 센서의 눈금에 해당하는 선폭은 매우 좁고 동작범위는 넓기 때문에, 높은 감도의 압력 센서로 동작할 수 있다. 또한 레이저 구조가 변형되는 방향에 따라 레이저 모드의 편광과 모양이 변화함을 카메라로 확인하였다. 압력의 여부와 압력이 가해지는 방향을 시각적으로 볼 수 있는 최초의 실험 결과이다.

[0035] 이 압력 센서를 이용하여 액체의 산도(pH)를 측정할 수 있는 새로운 방법을 제안한다. 상기 압력 센서에 액체의 산도에 반응하여 부피가 바뀌는 하이드로겔을 부착하면, 광학적으로 산도를 감지할 수 있는 화학 센서가 구현된다. 액체가 주입되면 pH 감응성 하이드로겔의 부피가 변하고, 압력 센서에 압력을 인가한다. 이때 변하는 레이저 파장의 변화를 측정하는 원리이다. 건조 상태, 약산(pH 2.5, 아세트산), 중성(pH 7)의 3가지 상태에 대하여 산성도를 성공적으로 측정하였다. 산성도가 바뀜에 따라 레이저 파장의 변화가 안정적이고 가역적으로 변함을 확인하였다.

[0036] 실시예의 설명에 있어서, 각 층(막), 영역, 홀 또는 구조물들이 기판, 각 층(막), 영역, 패드 또는 홀들의 상/위(on)에 또는 "하/아래(under)"에 형성되는 것으로 기재되는 경우에 있어, 상/위(on)와 "하/아래(under)"는 "직접(directly)" 또는 "다른 층을 개재하여 (indirectly)" 형성되는 것을 모두 포함한다. 또한 각층의 상/위 또는 하/아래에 대한 기준은 도면을 기준으로 설명한다.

[0037] 도면에서 유사한 참조부호는 여러 측면에 걸쳐서 동일하거나 유사한 기능을 지칭한다.

[0038] 이하, 도면을 참조하여 본 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용을 실시예에 기초하여 설명하도록 하며, 이들 실시예는 당업자가 본 발명을 실시할 수 있기에 충분하도록 상세히 설명된다.

[0039] 본 발명의 다양한 실시예는 서로 다르지만 상호 배타적일 필요는 없음이 이해되어야 한다. 예를 들어, 여기에 기재되어 있는 특정 형상, 구조, 및 특성은 일 실시예에 관련하여 본 발명의 정신 및 범위를 벗어나지 않으면서 다른 실시예로 구현될 수 있다.

[0040] 또한, 각각의 개시된 실시예 내의 개별 구성요소의 위치 또는 배치는 본 발명의 정신, 및 범위를 벗어나지 않으면서 변경될 수 있음이 이해되어야 한다. 따라서, 후술하는 상세한 설명은 한정적인 의미로서 취하려는 것이 아니며, 본 발명의 범위는 적절하게 설명된다면 그 청구항들이 주장하는 것과 균등한 모든 범위와 더불어 첨부된 청구항에 의해서만 한정된다.

[0041] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 스트레인 측정 장치를 나타내는 개념도이다.

[0042] 도 2는 도 1의 광 결정 구조 레이저를 나타내는 사시도이다.

[0043] 도 3은 도 2의 광 결정 구조 레이저를 나타내는 단면도이다.

[0044] 도 1 내지 도 3을 참조하면, 스트레인 측정 장치(100)는 플랙서블 기판(111)에 매몰된 광결정 구조 레이저(110); 상기 광 결정 구조 레이저(110)에 펌프 광을 제공하는 펌프 광원(140); 상기 광결정 구조 레이저(110)에 인가되는 외부 압력에 따라 변하는 레이저 파장을 검출하는 파장 검출부(150); 및 상기 레이저 파장을 이용하여 상기 광결정 구조 레이저의 변형 정도를 산출하는 처리부(160)를 포함한다.

[0045] 상기 광결정 구조 레이저(110)는 플랙서블 기판(111)과 상기 플랙서블 기판에 매몰된 광결정 구조(112)를 포함한다. 상기 광결정 구조 레이저(110)는 펌프 광을 제공받아 상기 광결정 구조(112)에 의하여 결정된 공진기의 구조에 따른 파장을 가진 레이저 빔을 방출할 수 있다. 상기 광결정 구조 레이저(110)는 필름 형태로 측정 대상(102)에 부착될 수 있다. 상기 측정 대상(102)이 변형되는 경우, 상기 광결정 구조 레이저(110)의 파장은 상기 변형 정도에 따라 변경될 수 있다. 상기 광결정 구조 레이저(110)는 추후에 상세히 설명한다. 상기 측정 대상(102)은 상기 광 결정 구조 레이저의 파장을 변경하기 위한 압력 인가 수단으로 변경될 수 있다.

[0046] 상기 펌프 광원(140)은 상기 광결정 구조 레이저(110)에 펌프광을 제공할 수 있다. 상기 펌프 광원(140)은 펄스 레이저일 수 있다. 상기 펌프 광원(140)은 980 nm의 다이오드 레이저일 수 있다. 상기 펌프 광원(140)은 상기 광결정 구조 레이저의 이득 물질에 따라 적절히 선택될 수 있다. 상기 펌프 광원(140)은 상기 광결정 구조 레이저의 발진을 위하여 사용된다. 상기 펌프 광의 출력은 600 마이크로 와트 이상일 수 있다. 상기 광결정 구조 레이저(110)를 발진시키기 위하여, 상기 펌프 광원의 출력은 문턱 전력(~600 마이크로 와트) 이상을 출력할 수 있다.

[0047] 상기 파장 검출부(150)는 상기 광결정 구조 레이저의 중심 파장을 검출할 수 있다. 예를 들어, 상기 파장 검출부(150)는 분광기일 수 있다.

[0048] 상기 처리부(160)는 상기 파장 검출부가 검출한 레이저의 중심 파장 및 파장의 변화를 상기 광결정 구조 레이저(110)의 변형 정도로 변환할 수 있다. 상기 처리부는 상기 광결정 구조 레이저(110)의 변형 정도를 표시하는 표시부를 포함할 수 있다.

[0049] 이색성 미러(130)는 상기 펌프 광원(140)의 방출하는 상기 펌프광을 제공받아 상기 광결정 구조 레이저(110)에 전달하고, 상기 광결정 구조 레이저에서 방출되는 레이저 광을 제공받아 상기 파장 검출부(150)에 전달할 수 있다. 상기 이색성 미러(130)는 980nm의 펌프광을 반사시키고 상기 광결정 구조 레이저의 1400nm 대역의 레이저 광을 투과시킬 수 있다.

[0050] 평행광 렌즈(173)는 상기 펌프 광원과 상기 이색성 미러 사이에 배치되어 상기 펌프광을 평행광으로 변환할 수 있다. 이에 따라, 상기 평행광은 상기 이색성 미러에 의하여 반사되어 상기 광결정 구조 레이저에 전달될 수 있다.

[0051] 대물렌즈(120)는 상기 이색성 미러(130)와 상기 광결정 구조 레이저(110) 사이에 배치되어 상기 펌프광을 상기 광결정 구조 레이저(110)에 집속할 수 있다. 상기 대물 렌즈(120)는 현미경의 대물 렌즈로 동작하거나 상기 펌프광을 집속하여 상기 광결정 구조 레이저(110)에 특정 위치에 제공할 수 있다.

[0052] 조명 광원(171)은 상기 광결정 구조 레이저(171)의 표면 형상을 확인하기 위하여 사용될 수 있다. 상기 조명 광원(171)은 적외선 또는 가시광선 영역의 백색 광원일 수 있다.

[0053] 빔 결합기(172)는 상기 조명광을 제공받아 상기 광결정 구조 레이저(110)에 제공하도록 상기 이색성 미러(130)와 상기 대물 렌즈(120) 사이에 배치될 수 있다. 상기 빔 결합기(172)는 상기 조명광을 반사시켜 상기 광결정 구조 레이저에 제공할 수 있다. 이에 따라, 상기 광결정 구조 레이저에 반사된 조명광은 상기 빔 결합기(172) 및 상기 이색성 미러(130)를 투과하여 카메라(177)에 제공될 수 있다. 이에 따라, 상기 카메라(177)는 상기 광결정 구조 레이저의 표면 형상 또는 변형을 특정한 패턴으로 표시될 수 있다.

[0054] 반사 거울(174)은 상기 이색성 미러(130)와 상기 파장 검출부(150) 사이에 배치되어 빔 경로를 변경할 수 있다. 빔 분리기(176)는 상기 반사 거울(174)과 상기 파장 검출부(150) 사이에 배치되어 빔을 분리할 수 있다. 상기 카메라(177)는 상기 빔 분리기(176)로부터 분리된 빔을 이용하여 촬상할 수 있다.

[0055] 실리콘 블록(175)은 980nm의 펌프광이 카메라(177) 또는 파장 검출부(150)으로 들어가는 것을 막을 수 있다.

[0056] 상기 광결정 구조 레이저(110)는 배치 평면에서 매트릭스 형태로 2차원적으로 배열되는 디스크 형태의 광결정 구조(112); 및 상기 광 결정 구조를 지지하고 적어도 상기 광 결정 구조의 측면을 감싸도록 배치된 플랙서블 기판(111)을 포함할 수 있다. 상기 광결정 구조 레이저(110)는 휘어지는 정도 또는 변형 정도에 따라 동일한 펌핑광에 대하여 다른 파장에서 발진을 제공할 수 있다. 이에 따라, 상기 광결정 구조 레이저(110)는 스트레인 센서로서 동작할 수 있다.

[0057] 상기 광결정 구조(112)의 배열 주기는 550nm 내지 700 nm일 수 있다. 상기 광결정 구조(112)의 레이저 이득 매질은 적외선 영역에서 자발 방출하는 InGaAsP 또는 650 nm 근처에서 자발 방출하는 AlGaAs일 수 있다.

[0058] 상기 광결정 구조(112)는 차례로 적층된 InGaAsP 하부 클래딩층, 양자 우물 InGaAsP 활성층; 및 InGaAsP 상부 클래딩층을 포함할 수 있다. 상기 InGaAsP 하부 클래딩층은 p형-InGaAsP 층, 진성-InGaAsP층, 베리어-InGaAsP 층을 포함할 수 있다. 상기 양자 우물 InGaAsP 활성층은 양자 우물-InGAsP층/베리어-InGaAsP 층/ 양자 우물-InGAsP층/베리어-InGaAsP 층/ 양자 우물-InGAsP층을 포함할 수 있다. 상기 InGaAsP 상부 클래딩층은 베리어-InGaAsP 층/진성-InGaAsP층/ n형-InGaAsP층을 포함할 수 있다.

[0059] 상기 광결정 구조(112)는 2차원적으로 사각 격자(square lattice) 구조로 배열된 디스크들을 포함할 수 있다. 상기 디스크들은 적어도 10 x 10 이상의 배열을 가질 수 있다. 바람직하게는, 디스크들은 적어도 20 x 20 일 수 있다. 상기 디스크의 반지름은 200 nm 수준이고, 상기 디스크의 두께는 250 nm 수준일 수 있다.

[0060] 상기 플랙서블 기판(111)은 PDMS(Polydimethylsiloxane), 폴리이미드(polyimide), 또는 PET(Polyethylene Terephthalate) 중에서 적어도 하나를 포함할 수 있다. 상기 플랙서블 기판(111)은 상기 디스크 형태의 광결정 구조의 측면 및 상부면을 덮을 수 있다. 상기 플렉서블 기판(111)은 상기 디스크 형태의 광결정 구조의 하부에 형성된 관통홀(113a)을 포함할 수 있다. 상기 관통홀(113a)의 직경은 상기 상기 디스크 형태의 광결정 구조의 직경보다 작을 수 있다. 상기 관통홀(113a)은 광결정 지지부(113b)를 선택적으로 식각하여 형성될 수 있다. 상기 광결정 지지부(113b)는 InP 재질일 수 있다.

[0061] 본 발명의 변형된 실시예에 따르면, 상기 관통홀(113a)은 상기 플렉서블 기판과 동일한 재질로 매워질 수 있다.

[0062] 상기 광결정 구조(110)의 레이저 파장을 결정하는 요소로는 광 결정의 구조변수가 가장 중요하다. 사각 격자 광결정 어레이의 주기는 650 nm이고, 광결정 구조의 디스크는 3층의 양자 우물을 가진 InGaAsP 이고, 상기 디스크의 반지름은 200nm이고, 두께는 250 nm이다. 상기 광결정 지지부의 반지름은 120 nm이고, 높이는 800 nm이다. 상기 광결정 지지부가 InP인 경우, 상기 광결정 지지부의 굴절률(약 3.3) 과 PDMS 재질의 플렉서블 기판의 굴절률(약 1.4)은 광결정 구조 레이저의 파장을 결정하는 요소이다.

[0063] 본 발명의 일 실시예에 따르면, InGaAsP, PDMS의 굴절률에 대해 적외선 파장에서 레이저 발진이 가능하도록 구조변수를 결정하였다.

[0064] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 적외선 영역 (1300~1500 nm) 에서 자발방출을 하는 물질인 InGaAsP를 이득물질로 이용하여 광결정 구조 레이저가 제공된다. 가시광선에 비해 파장이 긴 적외선 파장에서 공진하는 공진기는 가시광 영역의 공진기보다 크기가 커서, 제작이 용이하다. 일반적으로 공진기의 크기는 파장의 길이에 비례하여 결정되기 때문이다.

[0065] 다른 영역, 예를 들어 가시광선 영역에 해당하는 광결정 구조 레이저를 만들어 스트레인 게이지로 사용될 수 있다. AlGaAs는 빨강색(약 650 nm)에서 자발방출하는 물질이다. 650 nm 근처에서 공진모드를 갖도록 AlGaAs를 못 헤드(광결정 구조의 디스크)로 하는 못 배열 구조의 광결정 구조를 만들면 가시광선 영역에서 동작하는 스트레인 게이지가 제공될 수 있다.

[0066] 이하, 본 발명의 일 실시예에 따른 광결정 구조 레이저의 제조 방법이 설명된다.

[0067] 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 광결정 구조 레이저의 제조 방법을 설명하는 사시도이다.

[0068] 도 4를 참조하면, 광결정 구조 레이저의 제조 방법은 철못 구조의 광결정 구조를 기판(101) 상에 형성한다(a). 이어서, 상기 기판 상에 폴리머를 코팅한다(b). 이어서, 상기 기판을 물리적으로 분리하여(c), 상기 폴리머에 매몰된 광결정 구조 레이저를 형성한다(d). 상기 폴리머는 플렉서블 기판으로 동작한다.

[0069] 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 광결정 구조 레이저의 제조 방법을 설명하는 단면도들이다.

[0070] 도 5를 참조하면, 광결정 구조 레이저의 제조 방법은 기판(101) 상에 식각 정지층(102)을 형성하는 단계; 상기 식각 정지층(102) 상에 버퍼층(103)을 형성하는 단계; 상기 버퍼층(103) 상에 광결정 활성층(104)을 형성하는 단계; 상기 광결정 활성층(104) 상에 레지스트(105)를 도포하고 패터닝하여 레지스트 마스크(105a)를 형성하는 단계; 상기 레지스트 마스크(105a)를 식각 마스크로 하여 상기 광결정 활성층(104) 및 상기 버퍼층(103)을 건식 식각하여 2차원적으로 배열된 광결정 구조(112)를 형성하는 단계; 상기 광결정 구조(112)의 상기 버퍼층을 선택적으로 습식 식각하여 얇아진 광결정 지지부(113b)를 형성하는 단계; 상기 얇아진 광결정 지지부(113b)가 형성된 기판(101) 상에 폴리머(111)를 코팅하고 경화시키는 단계; 상기 기판(101)을 제거하여 상기 폴리머(111)에 매몰된 상기 광결정 구조(112)를 제공하는 단계; 및 상기 얇아진 광결정 지지부(113b)를 습식 식각을 통하여 제거하는 단계를 포함한다.

[0071] 도 5(a)를 참조하면, 기판(101) 상에 식각 정지층(102)을 형성한다. 이어서, 상기 식각 정지층(102) 상에 버퍼층(103)을 형성한다. 이어서, 상기 버퍼층(103) 상에 광결정 활성층(104)을 형성한다. 이어서, 상기 광결정 활성층 상에 레지스트(105)를 도포하고 패터닝하여 레지스트 마스크(105a)를 형성한다. 상기 기판(101)은 InP이고, 상기 식각 정지층(102)은 InGaAs이고, 상기 버퍼층(103)은 InP이고, 상기 광결정 활성층(104)은 InGaAsP을 포함할 수 있다. 상기 광결정 활성층(104)은 차례로 적층된 InGaAsP 하부 클래딩층, 양자 우물 InGaAsP 활성층; 및 InGaAsP 상부 클래딩층을 포함할 수 있다. 상기 InGaAsP 하부 클래딩층은 p형-InGaAsP 층, 진성-InGaAsP층, 베리어-InGaAsP 층을 포함할 수 있다. 상기 양자 우물 InGaAsP 활성층은 양자 우물-InGAsP층/베리어-InGaAsP 층/ 양자 우물-InGAsP층/베리어-InGaAsP 층/ 양자 우물-InGAsP층을 포함할 수 있다. 상기 InGaAsP 상부 클래딩층은 베리어-InGaAsP 층/진성-InGaAsP층/ n형-InGaAsP층을 포함할 수 있다.

[0072] 상기 레지스트 마스크(105a)는 전자빔 리소그라피 공정 또는 포토리소그라피 공정 등에 의하여 형성될 수 있다.

[0073] 도 5(b) 및 도 5(c)를 참조하면, 상기 레지스트 마스크(105a)를 식각 마스크로 하여 상기 광결정 활성층(104) 및 상기 버퍼층(103)을 건식 식각하여 2차원적으로 배열된 광결정 구조(112)를 형성한다. 상기 건식 식각은 염소 가스 분위기 하에서 아르곤 이온를 가속하여 수행하는 화학적 도움 이온 빔 식각(Chemically assisted ion beam etching)일 수 있다. 상기 건식 식각 공정을 통하여, 원기둥 배열 구조가 형성될 수 있다. 상기 건식 식각이 완료된 후, 산소(02) 플라즈마를 사용하여, 상기 레지스트 마스크를 제거한다.

[0074] 도 5(d)를 참조하면, 상기 광결정 구조(112)의 상기 버퍼층을 선택적으로 습식 식각하여 얇아진 광결정 지지부(113b)를 형성한다. 상기 습식 식각은 HCl용액을 이용하여 InP 재질의 광결정 지지부(113b)를 얇게하여 못 모양 배열구조를 형성할 수 있다. InP는 염산에 녹지만, InGaAsP는 염산에 녹지않는 선택적 습식 식각 공정이 사용될 수 있다.

[0075] 본 발명의 변형된 실시예에 따르면, 상기 광결정 지지부(또는 InP 포스트)가 있어도 상기 광결정 구조 레이저(112)는 발진할 수 있다. 그러나, 상기 광결정 지지부(또는 InP 포스트)가 없으면 레이저에 중요 요소인 공진기의 품위값()이 향상될 수 있다. 이에 따라, 펌핑 광의 더 작은 에너지로 상기 광결 구조 레이저를 구동할 수 있다.

[0076] 도 5(e)를 참조하면, 상기 얇아진 광결정 지지부(113b)가 형성된 기판(101) 상에 폴리머(111)를 코팅하고 경화시킨다. 상기 폴리머는 PDMS일 수 있다. 상기 폴리머의 코팅은 스핀 코팅 또는 롤러를 이용하여 수행될 수 있다. 상기 폴리머는 열경화되거나 자외선 경화될 수 있다.

[0077] 도 5(f)를 참조하면, 상기 기판(101)을 제거하여 폴리머에 매몰된 상기 광결정 구조(112)를 제공한다. 상기 기판과 상기 폴리머는 물리적으로 외력에 의하여 분리된다. 이어서, 상기 얇아진 광결정 지지부(113b)를 습식 식각을 통하여 제거한다. 상기 습식 식각은 HCl용액을 이용하여 수행될 수 있다. 이에 따라, 상기 광결정 구조 레이저가 형성된다. 상기 광결정 구조 레이저는 광결정 구조가 매몰된 플렉서블 기판을 포함할 수 있다.

[0078] 상기 폴리머(111)는 PDMS(Polydimethylsiloxane), 폴리이미드(polyimide), 또는 PET(Polyethylene Terephthalate) 중에서 적어도 하나를 포함할 수 있다.

[0079] 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 광결정 구조에 대한 밴드 구조를 확인한 결과이다.

[0080] 도 6을 참조하면, 네모로 표시된 부분이 본 발명에서 사용한 레이저의 Γ 포인트- 밴드-에지 모드(Γ-point band-edge mode)이다. 상기 Γ 포인트- 밴드-에지 모드는 못 대가리 구조의 주기(lattice constant)에 따라 공진 파장이 결정된다. 주기가 550 nm 에서 700 nm로 증가함에 따라 공진 주파수는 감소한다.

[0081] 이러한 원리로 본 발명의 일 실시예에 따른 광결정 구조 레이저에 압력을 가하여 구조를 변형시키면, 여기되는

레이저 파장의 변화를 확인함으로써 스트레인을 측정하는 센서로 사용될 수 있다.

[0082] 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 광결정 구조 레이저에서 인가된 스트레인에 따른 파장 이동을 나타내는 실험 결과이다.

[0083] 도 7을 참조하면, 파장 이동은 외력이 인가되지 않은 경우의 파장을 기준으로 외력이 인가된 경우의 파장의 차이로 주어진다. 상기 광결정 구조 레이저(110)는 압력이 인가된 경우에도 레이저 파장의 선폭이 ~ 0.6 nm 수준으로 매우 좁아 매우 민감하게 스트레인을 감지할 수 있다. 또한 상기 광결정 구조 레이저(110)는 스트레인의 변화에 무관하게 좁은 선폭을 유지한다. 또한, 상기 파장 이동은 스트레인에 대하여 선형적으로 변하여 별도의 신호 처리가 요구되지 않는다. 스트레인의 양의 값은 인장을 의미하고, 스트레인의 음의 값은 압축을 의미한다. -10 퍼센트 내지 12 퍼센트의 스트레인 변화에 대하여, 상기 파장 변화는 26 nm이다.

[0084] 도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 광결정 구조 레이저에서 레이저로 발진하기 위해서는 펌핑광의 문턱값 실험 결과이다.

[0085] 도 8을 참조하면, 상기 광결정 구조 레이저(110)가 발진하기 위해서는 문턱값 이상의 파워를 갖는 펌프 레이저 빔이 필요하다. -7.3% ~ 6.9% 까지 각 스트레인 별 펌프 레이저 빔의 문턱값을 확인하였다. 문턱값은 레이저로 발진되기 위해 최소로 필요한 펌프 광원의 파워를 의미한다. 대부분의 스트레인 영역에서는 약 600 mW 정도의 문턱값을 보였고, 약 1000 mW 이상의 펌프광원의 파워에 대해서는 충분히 레이저로 동작할 수 있다.

[0086] 도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 스트레인에 따른 광결정 구조 레이저의 스펙트럼을 나타내는 도면이다.

[0087] 도 9를 참조하면, -10% 내지 +12 %의 스트레인에 대하여, 광결정 구조 레이저(110)의 중심 파장은 1350 nm 내지 1380 nm에 대응한다. 상기 펌프 광원은 펄스 모드로 동작하는 980m의 레이저 다이오드이다.

[0088] 도 10은 본 발명의 일 실시예에 따른 스트레인에 따른 광결정 구조 레이저의 광학 현미경 사진, 발진 모드의 사진, 및 발진 모드의 시뮬레이션 결과이다.

[0089] 도 10을 참조하면, 광결정 구조 레이저의 광학 현미경 사진은 펌프광이 없는 조명광 하에서 현미경에 달려있는 가시광선 영역의 컬러 카메라를 사용하였다. 또한, 상기 발진 모드의 사진은 조명광이 없이 펌프 광 하에서 카메라(177)를 통하여 촬상되었다. 상기 카메라의 이미지를 통해 스트레인의 형태(방향)을 알 수 있다. 또한 상기 카메라의 이미지를 통해 대략적인 스트레인의 정도를 확인할 수 있다. 조명광 하에서, 압축력이 인가된 경우, 녹색으로 보이며, 인장력이 인가된 경우, 노란색이 나타난다.

[0090] 또한, 발진 모드의 경우, 압축력이 인가된 경우, 수직 방향으로 두 개의 점이 분리된다. 인장력이 인가된 경우, 수평 방향으로 두 개의 점이 분리된다. 이 결과는 시뮬레이션 결과와 일치한다.

[0091] 도 11은 본 발명의 일 실시예에 따른 광결정 구조 레이저 기반 pH 센서를 설명하는 개념도이다.

[0092] 도 11을 참조하면, pH 측정 장치(200)는 광결정 구조 레이저(110) 기반 pH 센서(210); 상기 광 결정 구조 레이저에 펌프 광을 제공하는 펌프 광원(140); 상기 광결정 구조 레이저에 인가되는 외부 압력에 따라 변하는 레이저 파장을 검출하는 파장 검출부(150); 및 상기 레이저 파장을 이용하여 상기 광결정 구조 레이저의 변형 정도를 산출하는 처리부(260)를 포함한다.

[0093] 상기 광결정 구조 레이저 기반 pH 센서(210)는 내부에 케비티를 구비하고 입구 채널 및 출구 채널를 포함하는 하우징(214); 상기 하우징의 내부에 배치된 pH-민감 하이드로겔(ph-sensitive hydrogel,216); 및 상기 하우징의 일면에 배치된 광결정 구조 레이저(110);를 포함한다. 상기 pH-민감 하이드로겔은 액상 용액의 pH 레벨에 따라 부피 변화를 제공하고, 상기 광결정 구조 레이저(110)는 상기 부피 변화에 의하여 변형된다.

[0094] 상기 하우징(214)은 투명한 재질로 구성되고, 고정된 체적을 유지할 수 있다. 상기 하우징(214)의 재질은 투명한 유리 재질, 부피 팽창이 거의 없는 투명 플라스틱 계열일 수 있다. 상기 하우징은 유체가 유입되는 입구와 유체가 유출되는 출구를 포함할 수 있다. 상기 광결정 구조 레이저(110)는 상기 하우징의 뚜껑일 수 있다. 이에 따라, 상기 하우징과 상기 광결정 구조 레이저(110)는 내부에 케비티를 제공할 수 있다.

[0095] 상기 pH-민감 하이드로겔(216)은 주위 물질의 pH 레벨에 따라 부피를 변경하는 물질이다. 상기 pH-민감 하이드로겔(216)은 ??COOH, -SO3H, 또는 ??NH2와 같은 기능 그룹(functional groups)을 포함할 수 있다.

[0096] 상기 광결정 구조 레이저(110)는 배치 평면에서 매트릭스 형태로 2차원적으로 배열되는 디스크 형태의 광결정 구조(112); 및 상기 광 결정 구조를 지지하고 적어도 상기 광 결정의 측면을 감싸도록 배치된 플랙서블 기판

(111)을 포함한다.

[0097] 주어진 pH 레벨을 가진 수용액(aqueous solution)은 상기 하우징의 입구로 주입되고, 상기 액체 용액은 상기 pH-민감 하이드로겔과 접촉하고, 상기 pH-민감 하이드로겔은 부피 팽창을 수행한다.

[0098] 상기 수용액(aqueous solution)의 pH 레벨에 따라, 서로 다른 기계적 스트레인이 상기 광결정 구조 레이저 기반 pH 센서에 인가된다. 이에 따라. 상기 광결정 구조 레이저 기반 pH 센서는 pH 레벨에 의존하는 레이저 파장을 제공한다.

[0099] 도 12는 본 발명의 다른 실시예에 따른 pH에 따른 부피 팽창을 설명하는 개념도이다.

[0100] 도 12를 참조하면, 상기 하우징(214) 내에서 수용액이 없어 건조 상태인 경우, 상기 pH-민감 하이드로겔(216)은 원래 부피를 유지할 수 있다. 상기 수용액의 pH가 낮은 경우(acetic acid; pH =2.5)인 경우, 상기 pH-민감 하이드로겔(216)은 조금 팽창할 수 있다. 상기 수용액의 pH가 중간인 경우(neutral; pH=7)인 경우, 상기 pH-민감 하이드로겔(216)은 많이 팽창할 수 있다. 상기 수용액에 따른 상기 pH-민감 하이드로겔의 팽창 정도는 상기 광결정 구조 레이저(212)의 구부림 정도를 제공할 수 있다. 상기 구부림(변형) 정도에 따라, 상기 광결정 구조 레이저(212)는 다른 파장에서 발진할 수 있다.

[0101] 도 13은 본 발명의 일 실시예에 따른 수용액의 pH 레벨에 따른 광결정 구조 레이저의 발진 파장을 나타내는 결과이다.

[0102] 도 13을 참조하면, 건조 상태인 경우, 레이저의 파장은 1257.6 nm이고, 산성 상태인 경우, 1264.6 nm이고, 중성 상태인 경우, 1267.4 nm이다.

[0103] 본 발명의 일 실시예에 따른 광결정 구조 레이저는 건축물 구조 변화 측정 센서, 모션센서 기능을 구비한 웨어러블 디바이스, 화학반응 감지를 위한 초소형 바이오 센서 등 다양한 분야로의 적용될 수 있다.

[0104] 이상과 같이 본 발명에서는 구체적인 구성 요소 등과 같은 특정 사항들과 한정된 실시 예 및 도면에 의해 설명되었으나 이는 본 발명의 보다 전반적인 이해를 돕기 위해서 제공된 것일 뿐, 본 발명은 상기의 실시 예에 한정되는 것은 아니며, 본 발명이 속하는 분야에서 통상적인 지식을 가진 자라면 이러한 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다.

[0105] 따라서 본 발명의 사상은 설명된 실시 예에 국한되어 정해져서는 아니되며, 후술하는 특허청구범위뿐 아니라 이 특허청구범위와 균등하거나 등가적 변형이 있는 모든 것들은 본 발명 사상의 범주에 속한다고 할 것이다.

부호의 설명

[0106] 100: 스트레인 측정 장치

110: 광 결정 구조 레이저

111: 플랙서블 기판

112: 광결정 구조

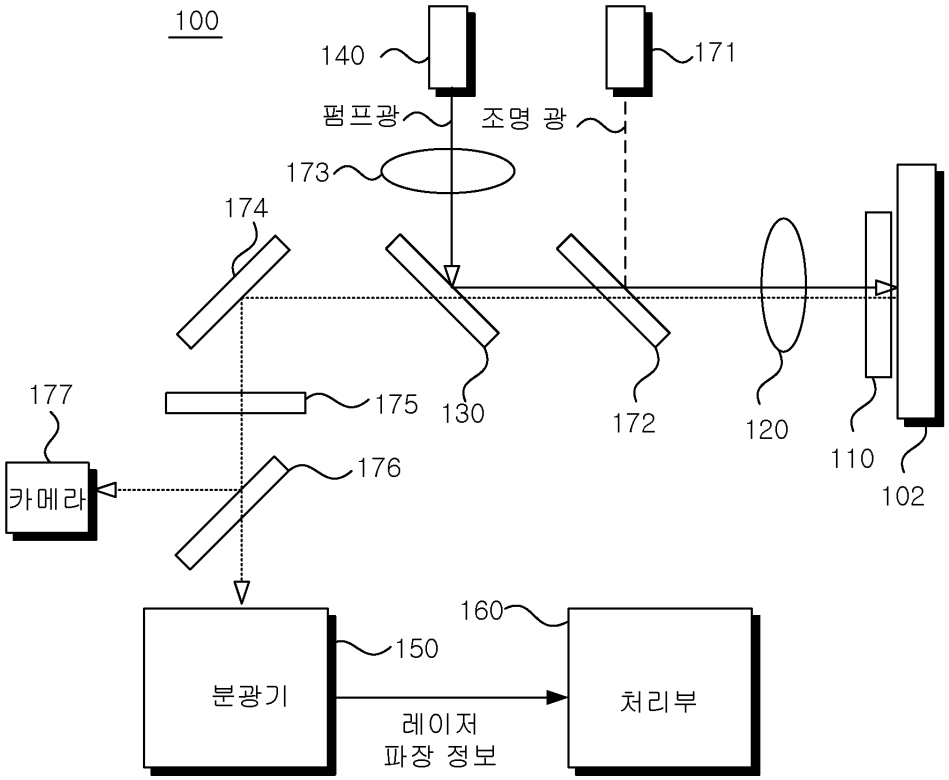
120: 대물 렌즈

140: 펌프 광원

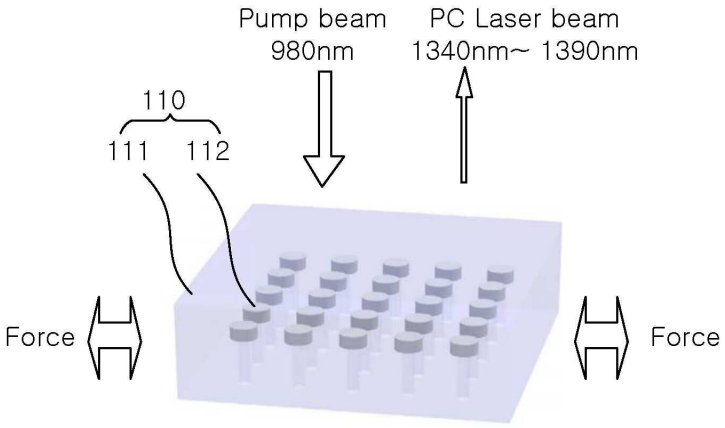
150: 파장 검출부

도면

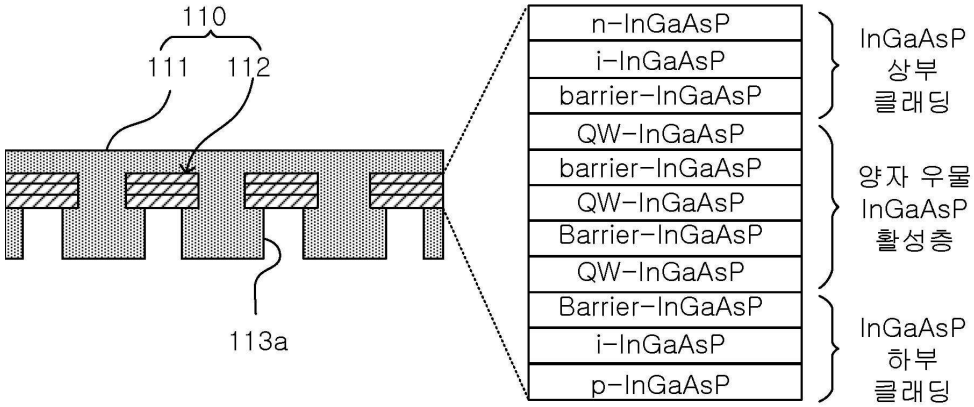
도면1


100
140
171
펌프광
조명 광
173
174
177
175
130
172
120
110
102
176
카메라
160
150
분광기
처리부
레이저
파장 정보

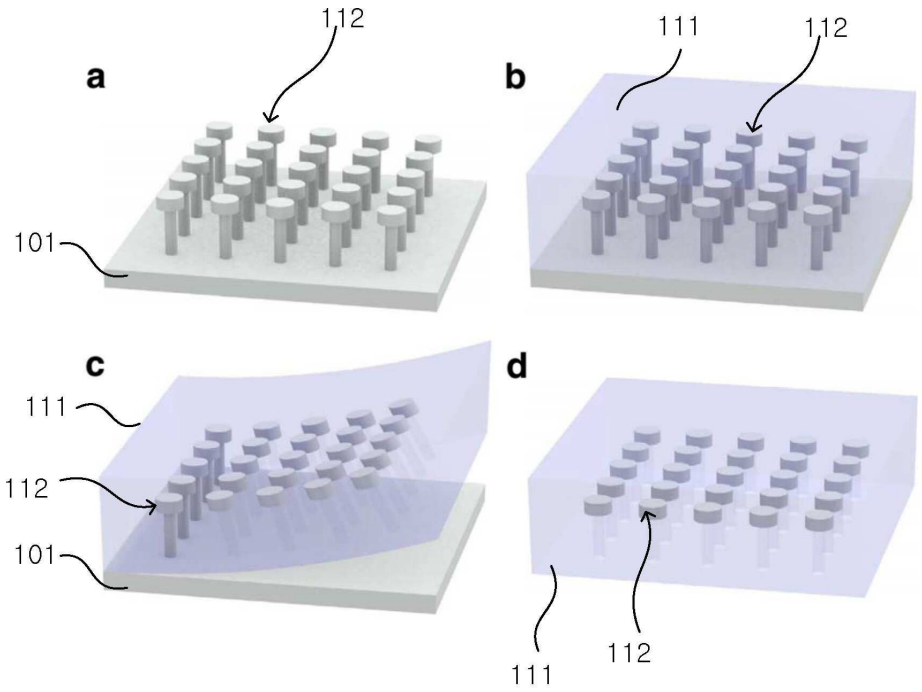
도면2


Pump beam
980nm
PC Laser beam
1340nm~ 1390nm
110
111
112
Force
Force

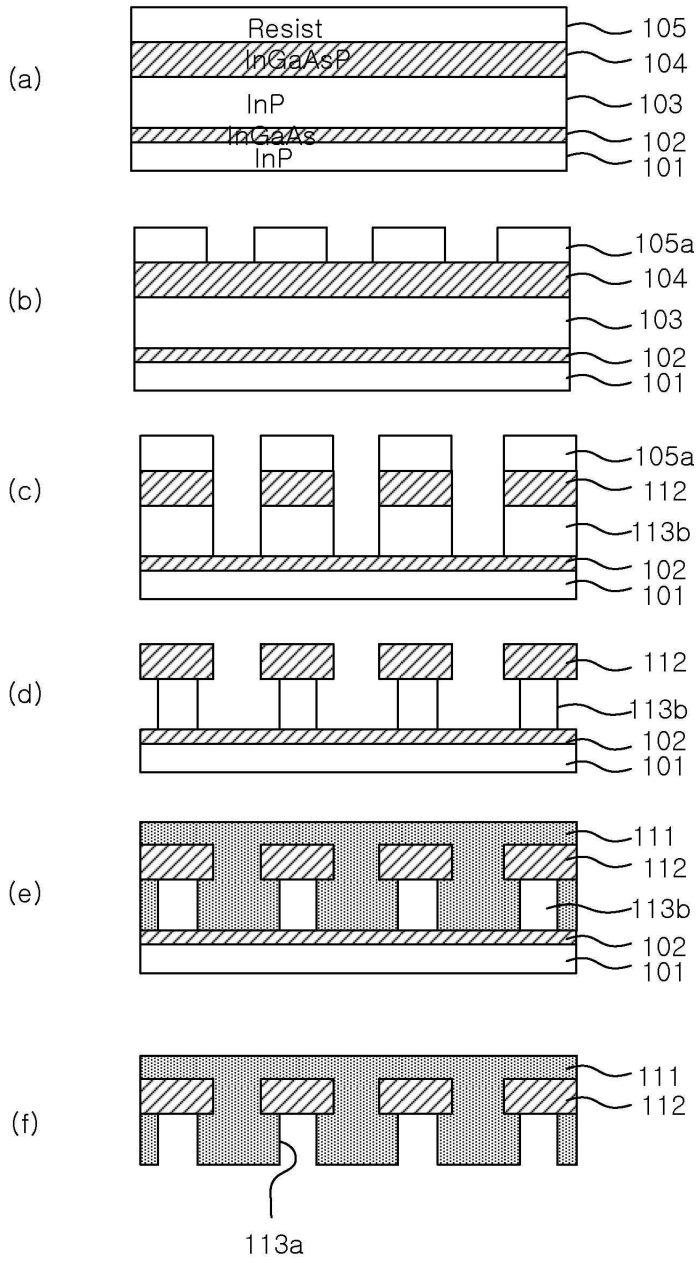
도면3


110
111
112
113a
n-InGaAsP
i-InGaAsP
barrier-InGaAsP
QW-InGaAsP
barrier-InGaAsP
QW-InGaAsP
Barrier-InGaAsP
QW-InGaAsP
Barrier-InGaAsP
i-InGaAsP
p-InGaAsP
InGaAsP 상부 클래딩
양자 우물 InGaAsP 활성층
InGaAsP 하부 클래딩

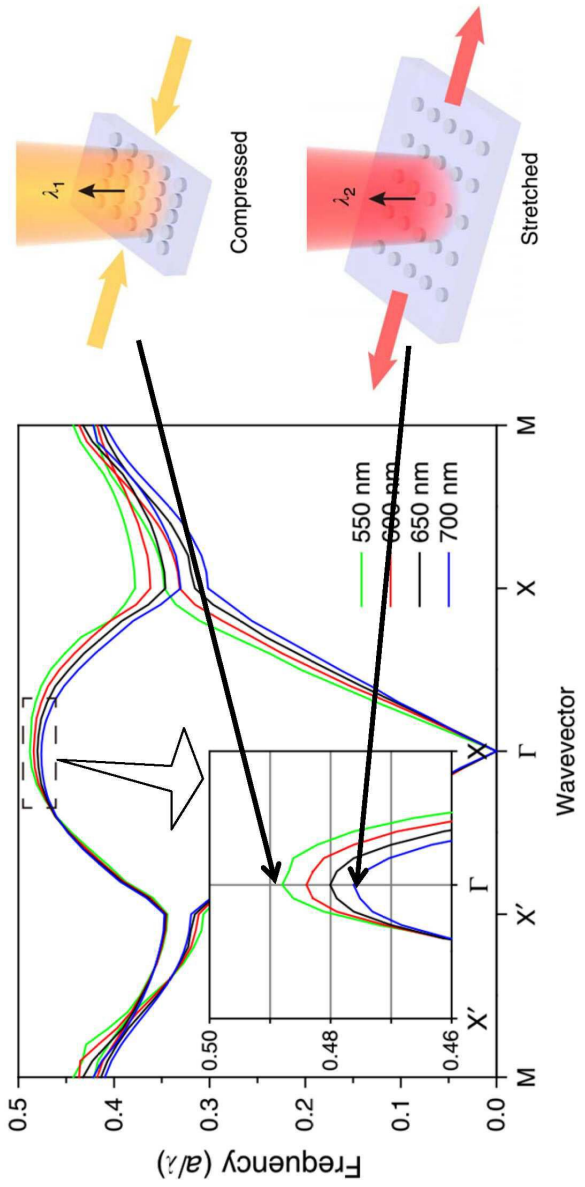
도면4


a
112
101
b
111
112
c
111
112
101
d
111
112

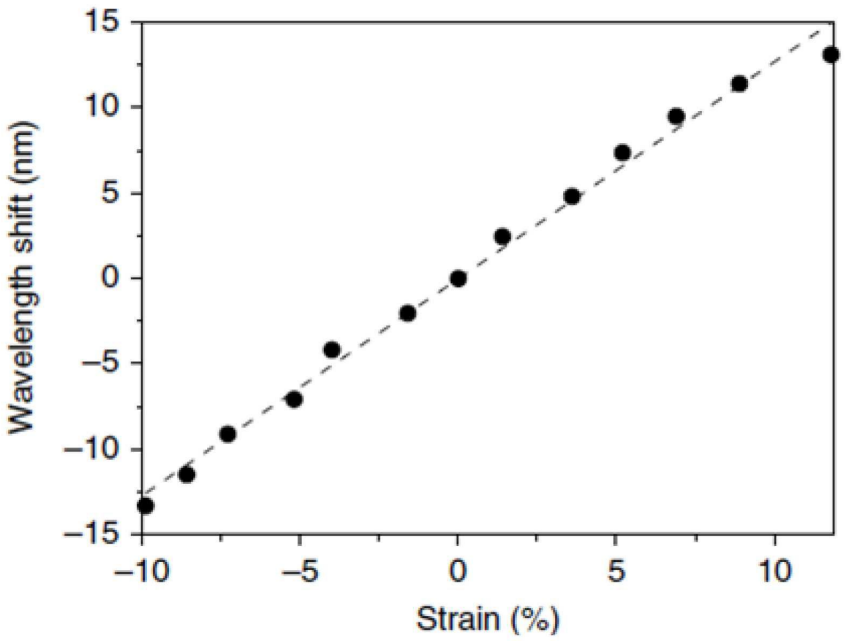
도면5


(a)
Resist
InGaAsP
InP
InGaAs
InP
105
104
103
102
101
(b)
105a
104
103
102
101
(c)
105a
112
113b
102
101
(d)
112
113b
102
101
(e)
111
112
113b
102
101
(f)
111
112
113a

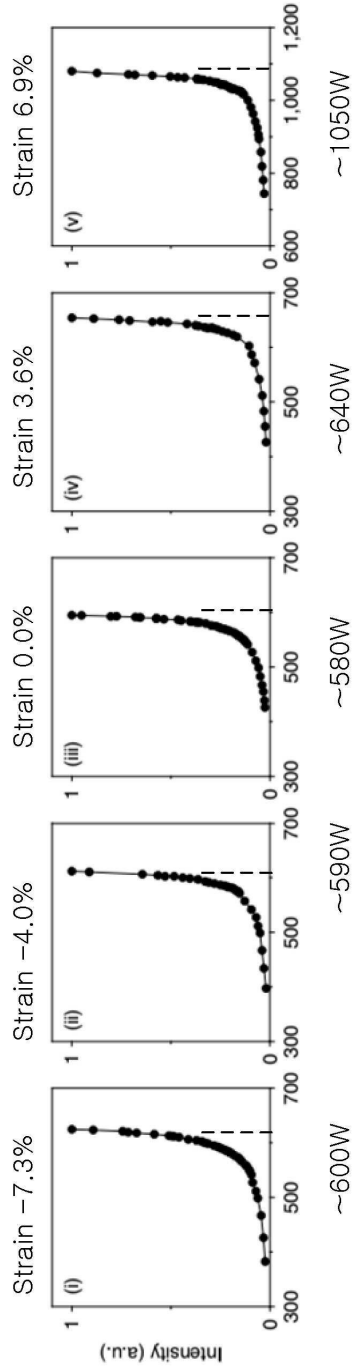
도면6


Compressed
Stretched
λ1
λ2
550 nm
600 nm
650 nm
700 nm
Frequency (a/λ)
Wavevector
M
X
Γ
X′
M
0.0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.46
0.48
0.50

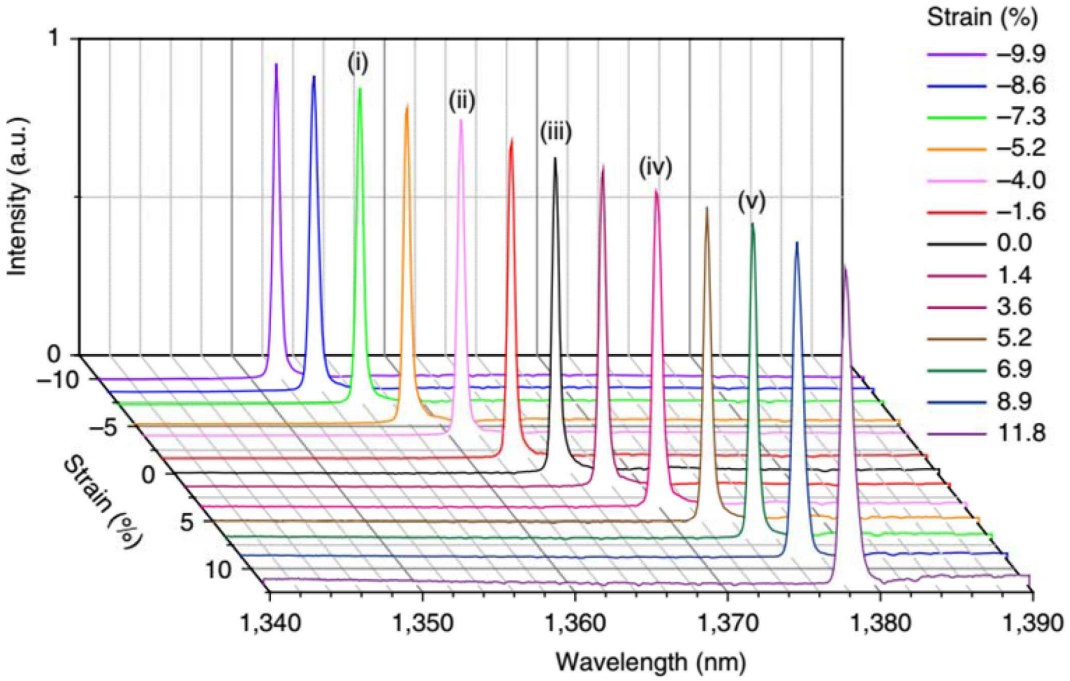
도면7



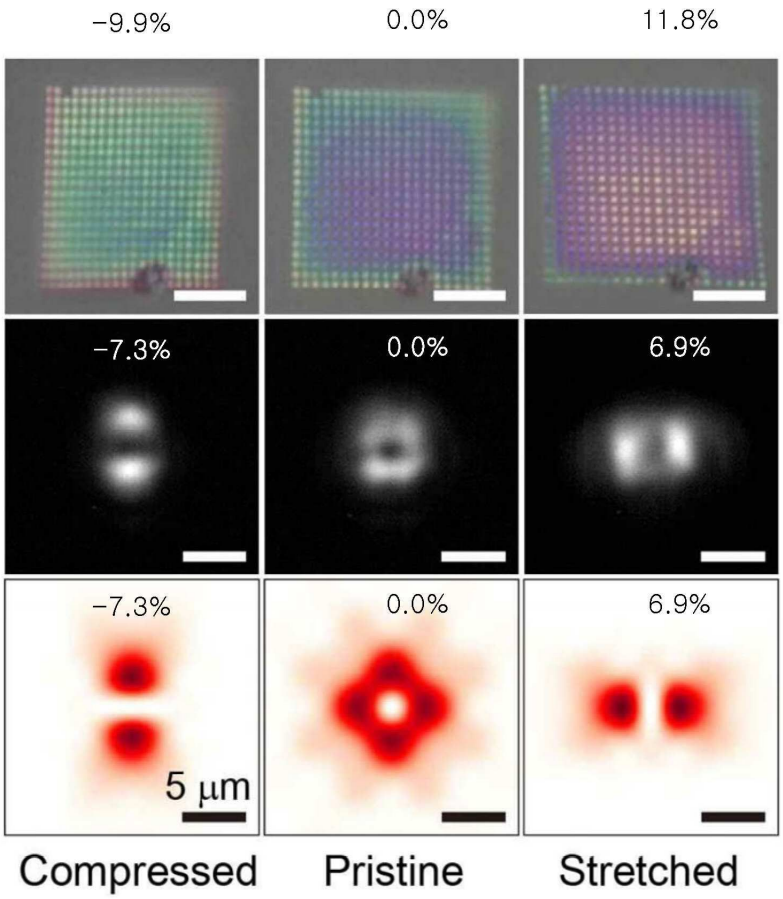
도면8


Strain −7.3%
Strain −4.0%
Strain 0.0%
Strain 3.6%
Strain 6.9%
(i)
(ii)
(iii)
(iv)
(v)
Intensity (a.u.)
~600W
~590W
~580W
~640W
~1050W

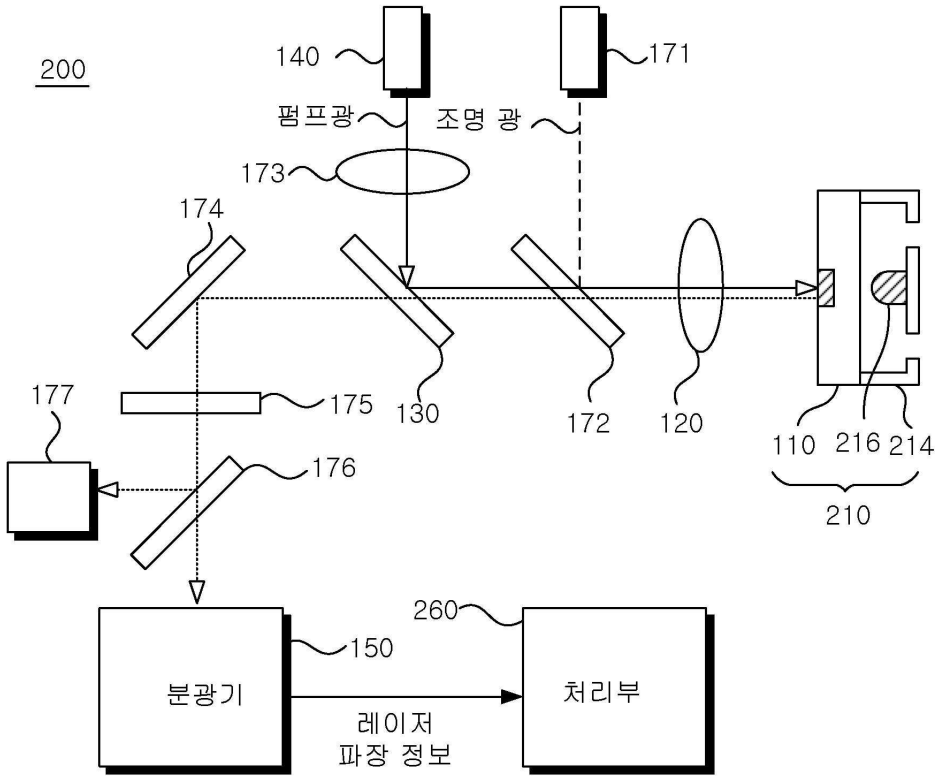
도면9


Strain (%)
−9.9
−8.6
−7.3
−5.2
−4.0
−1.6
0.0
1.4
3.6
5.2
6.9
8.9
11.8
Intensity (a.u.)
1
0
(i)
(ii)
(iii)
(iv)
(v)
−10
−5
0
5
10
Strain (%)
1,340
1,350
1,360
1,370
1,380
1,390
Wavelength (nm)

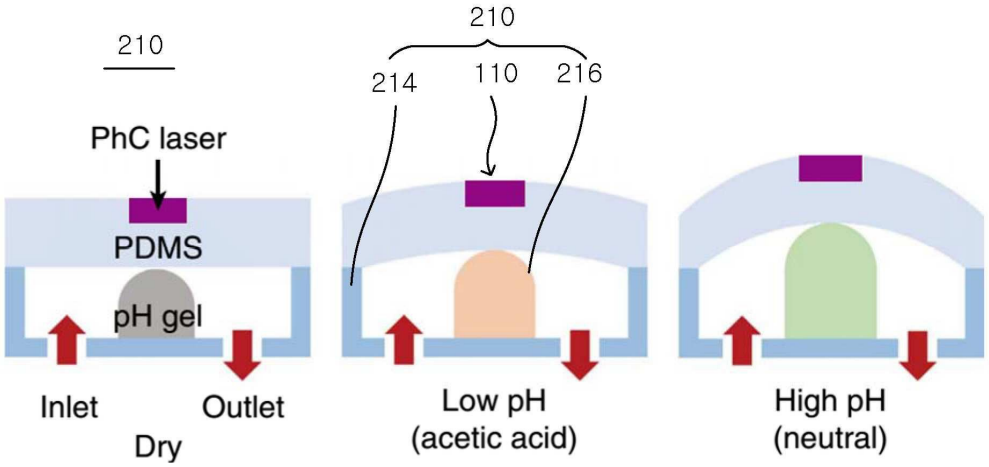
도면10


−9.9%
0.0%
11.8%
−7.3%
0.0%
6.9%
−7.3%
0.0%
6.9%
5 μm
Compressed
Pristine
Stretched

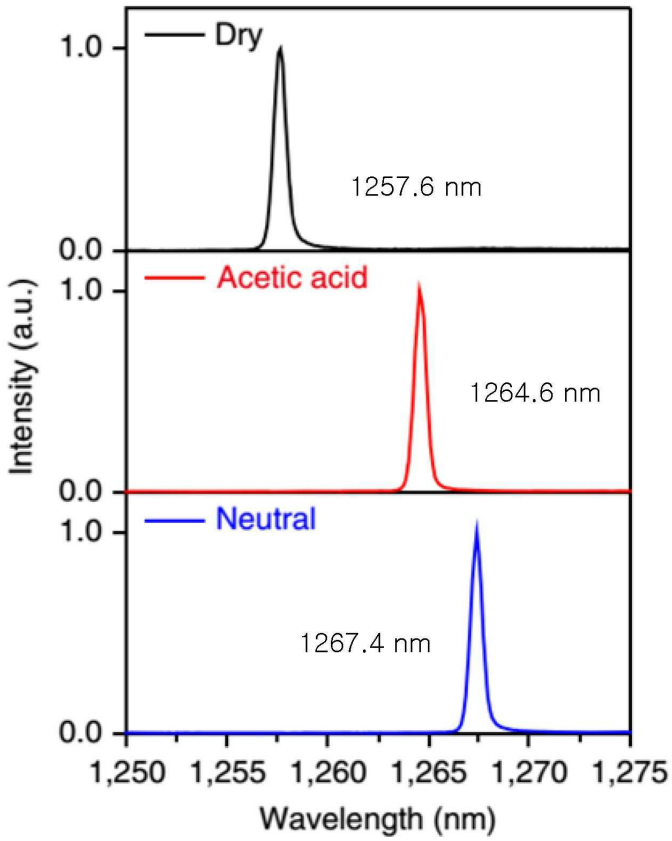
도면11


200
140
171
펌프광
조명 광
173
174
177
175
130
172
120
110
216
214
210
176
260
150
분광기
처리부
레이저
파장 정보

도면12


210
210
214
110
216
PhC laser
PDMS
pH gel
Inlet
Outlet
Dry
Low pH
(acetic acid)
High pH
(neutral)

도면13


Dry
1257.6 nm
Acetic acid
1264.6 nm
Neutral
1267.4 nm
1.0
0.0
Intensity (a.u.)
1,250
1,255
1,260
1,265
1,270
1,275
Wavelength (nm)