



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2018년04월13일
(11) 등록번호 10-1834015
(24) 등록일자 2018년02월23일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01S 5/183 (2015.01) *H01S 5/02* (2006.01)
H01S 5/026 (2006.01) *H01S 5/10* (2006.01)
(21) 출원번호 10-2011-7020785
(22) 출원일자(국제) 2010년01월22일
 심사청구일자 2015년01월21일
(85) 번역문제출일자 2011년09월06일
(65) 공개번호 10-2011-0126661
(43) 공개일자 2011년11월23일
(86) 국제출원번호 PCT/DK2010/050015
(87) 국제공개번호 WO 2010/091688
 국제공개일자 2010년08월19일
(30) 우선권주장
 09153659.9 2009년02월25일
 유럽특허청(EPO)(EP)
 61/151,631 2009년02월11일 미국(US)

(56) 선행기술조사문헌

JP2002543452 A*

L. Ferrier et al., Proc. of SPIE, Vol. 6989,
April 21 2008, 69890W-1 - 69890W-12쪽.*J. Witzens et al., Appl. Phys. Lett., vol.
86, March 2 2005, 101105-1 - 101105-3쪽.

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

전체 청구항 수 : 총 13 항

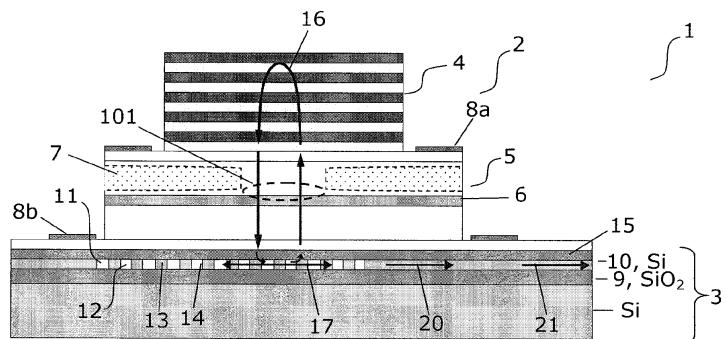
심사관 : 조성찬

(54) 발명의 명칭 하이브리드 수직공진 레이저

(57) 요약

본 발명은 실리콘 플랫폼(3) 상에 광자회로용 광원(2)을 제공하는 것이다. 수직공진 레이저는 상부 거울층(4)과 기판 상의 실리콘 층(10)에 회절격자 영역(11)에 바다 반사형 회절격자(12) 사이에 배열된 개인 영역(101)으로 형성된다. 회절격자 영역(11)로부터의 빛을 수용하는 웨이브가이드(18,19)는 회절격자 영역에 연결되거나 그 내부에 형성되고, VCL용 4개의 아웃풋 커플러로 기능한다. 따라서, 수직 레이저 모드(16)는 실리콘 층에 형성된 평면 웨이브가이드의 측면 평면 모드(17,20)에 연결되며, 빛은 실리콘에 SOI 혹은 CMOS 기판 상에 예컨대 광자회로에 구비될 수 있다.

대 표 도 - 도1a



명세서

청구범위

청구항 1

III-V족 반도체 재질에 형성된 활성영역(5)과, 아웃-커플링 거울층으로 사용되지 않고 99.5% 이상의 반사도를 가진 고 반사도 상부 거울층(4)으로 이루어진 층상 구조물(2)을 제공하는 단계와;

실리콘 층(10)에 형성되고 상기 실리콘 층을 구성하는 실리콘의 굴절률보다 낮은 굴절률을 가진 영역(14)과 상기 실리콘과 동일한 굴절률을 가진 실리콘 층 부분(13)으로 구성된 1D 혹은 2D 주기적인 굴절률 격자(12)로 이루어진 회절격자 영역(11)을, 상기 실리콘 층(10)의 하부에 구비되고 상기 실리콘보다 낮은 굴절률을 가진 층(9)으로 지지된 실리콘 층(10)에 형성하는 단계;

상기 회절격자 영역(11)으로부터 웨이브가이드(18, 19)까지 빛의 측면 아웃-커플링을 조성하도록 상기 실리콘 층(10)의 상기 회절격자 영역 내에 형성되거나 인접해 있는 단부를 갖춘 웨이브가이드(18, 19)를 형성하는 단계; 및

상기 층상 구조물(2)과 상기 회절격자 영역(11) 사이에 실리콘의 굴절률보다 낮은 굴절률을 가진 층(15, 15', 15'')을 제공하는 단계를 포함하고,

상기 주기적인 굴절률 격자(12)는 바닥 반사형 회절격자를 형성하고, 상기 상부 거울층(4)과 회절격자 영역(11) 사이에 VCL 캐비티가 형성되도록, 상기 층상 구조물(2)을 상기 회절격자 영역(11) 위에 배열하는 단계;를 포함하고,

상기 실리콘 층(10)에 형성된 웨이브가이드는 상기 회절격자 영역(11) 내에 격자 웨이브가이드(18; GWG)를 형성하고, 상기 회절격자 영역(11) 외부에 굴절률 차이 웨이브가이드(19; ICWG)를 형성하는 단계를 포함하며,

상기 실리콘보다 낮은 굴절률을 가진 층(9)은 적어도 $\lambda/2n_{supp}$ (n_{supp} 는 상기 층(9)의 굴절률, λ 는 레이저의 파장)의 두께를 가져, 상기 회절격자 영역의 빛을 수직방향으로 형성하고 상기 층(9)의 하부층과 에바네센트 결합을 배제하는 것을 특징으로 하는, 실리콘 플랫폼에서 바닥 회절격자 영역을 사용하는 실리콘 플랫폼에 수직공진 레이저(VCL) 구조물(1)을 하이브리드화하는 방법.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 VCL에 레이저 광선을 비추기 시작하는 단계와 VCL 캐비티로부터 회절격자 영역(11)의 측면 모드까지 빛을 연결하는 단계를 추가로 포함하는, 방법.

청구항 3

제2항에 있어서, 상기 회절격자 영역(11)의 측면 모드(17)로부터 GWG 모드(20)까지 빛을 연결하는 단계를 추가로 포함하는, 방법.

청구항 4

제2항에 있어서, 상기 회절격자 영역(11)으로부터 ICWG 모드(21)까지 빛을 연결하는 단계를 추가로 포함하는, 방법.

청구항 5

제1항에 있어서, 상기 VCL 캐비티의 유효 캐비티 길이(d_{eff})와 레이저 파장(λ)은 상기 층상 구조물(2)과 상기

회절격자 영역(11) 사이에 상기 실리콘의 굴절률보다 낮은 굴절률을 가진 층(15, 15', 15'') 두께를 조절하여 제어되는, 방법.

청구항 6

제1항 내지 제5항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 VCL의 광학적 게인(gain) 영역(101, 201, 301, 401, 501)의 위치 선정은 상기 회절격자 영역 상에 층상 구조물을 배열한 후에 결정되는, 방법.

청구항 7

III-V족 반도체 재질에 형성된 활성영역(5)과, 아웃-커플링 거울층으로 사용되지 않고 99.5% 이상의 반사도를 가진 고 반사도 상부 거울층(4)으로 이루어진 층상 구조물(2)과;

실리콘 층(10)에 형성되고 상기 실리콘 층을 구성하는 실리콘의 굴절률보다 낮은 굴절률을 가진 영역(14)과 상기 실리콘과 동일한 굴절률을 가진 실리콘 층 부분(13)에 형성된 1D 혹은 2D 주기적인 굴절률 격자(12)로 이루어지고, 상기 실리콘 층의 하부에 구비되고 상기 실리콘보다 낮은 굴절률을 가진 층(9)으로 지지된 회절격자 영역(11);

상기 실리콘 층의 회절격자 영역(11)의 상부에 구비되고 상기 실리콘의 굴절률보다 낮은 굴절률을 가진 층(15, 15', 15'')을 포함하고,

상기 층상 구조물(2)은 상기 거울층(4)과 상기 회절격자 영역(11) 사이에 VCL 캐비티가 형성되도록 상기 회절격자 영역(11) 상에 배열되고, 상기 주기적인 굴절률 격자는 바닥 반사형 회절격자를 형성하며, 상기 바닥 반사형 회절격자는 VCL 캐비티의 수직 공진 모드로부터 회절격자 영역의 평면(in-plane) 모드로 빛을 연결하며;

상기 실리콘 층에 형성되고, 상기 회절격자 영역으로부터 웨이브가이드까지 빛이 용이하게 연결되도록 상기 회절격자 영역 내에 형성되거나 인접해 있는 단부를 갖춘 웨이브가이드(18, 19);로 이루어지고,

상기 실리콘 층에 형성된 웨이브가이드는 상기 회절격자 영역(11) 내에 형성된 격자 웨이브가이드(18;GWG) 및 상기 회절격자 영역(11) 외부에 형성된 굴절률 차이 웨이브가이드(19;ICWG)를 포함하고,

상기 실리콘보다 낮은 굴절률을 가진 층(9)은 적어도 $\lambda/2n_{\text{supp}}$ (n_{supp} 는 상기 층(9)의 굴절률, λ 는 레이저의 파장)의 두께를 가져, 상기 회절격자 영역의 빛을 수직방향으로 형성하고 상기 층(9)의 하부층과 에바네센트 결합을 배제하는 것을 특징으로 하는, 하이브리드 수직공진 레이저(VCL) 구조물(1).

청구항 8

제7항에 있어서, 상기 층상 구조물(2)과 회절격자 영역(11) 사이에 낮은 굴절률을 가진 층은 상기 층상 구조물 상에 형성된 산화물 층으로 되어 있는, 하이브리드 수직공진 레이저 구조물.

청구항 9

제7항에 있어서, 상기 층상 구조물(2)과 회절격자 영역(11) 사이에 낮은 굴절률을 가진 층(15, 15'')은 공기로 이루어지고, 상기 층상 구조물은 상기 층상 구조물이 상기 회절격자 영역 위에 배열될 경우에 공기층이 형성되도록 하나 이상의 메사(25, 715:mesa)를 포함하는, 하이브리드 수직공진 레이저 구조물.

청구항 10

제7항에 있어서, 상기 GWG는 회절격자 영역으로부터 GWG까지 빛이 용이하게 연결되도록 배열된, 하이브리드 수직공진 레이저 구조물.

청구항 11

제7항 내지 제10항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 ICWG는 상기 회절격자 영역으로부터 ICWG까지 빛이 용이하게 연결되도록 배열된, 하이브리드 수직공진 레이저 구조물.

청구항 12

실리콘 층을 구성하는 실리콘보다 낮은 굴절률을 가진 층(9)으로 지지된 실리콘 층(10)과;

상기 실리콘 층(10)에 형성되고, 상기 실리콘 층(10)을 구성하는 실리콘의 굴절률보다 낮은 굴절률을 가진 영역(14)과 상기 실리콘과 동일한 굴절률을 가진 실리콘 층 부분(13)에 형성된 1D 혹은 2D 주기적인 굴절률 격자(12)로 이루어진 회절격자 영역(11);

상기 회절격자 영역(11)은 수직 공진 모드의 빛을 평면 모드의 빛으로 연결하는 영역; 및

상기 실리콘 층(10)에 형성되고 상기 회절격자 영역(11)의 평면 모드로부터 웨이브가이드까지 빛이 용이하게 연결되도록 상기 회절격자 영역(11) 내에 형성되거나 인접해 있는 단부를 갖춘 웨이브가이드(18, 19);로 이루어지며,

상기 웨이브 가이드는 상기 회절격자 영역(11) 내에 형성된 격자 웨이브가이드(18;GWG) 및 상기 회절격자 영역(11) 외부에 형성된 굴절률 차이 웨이브가이드(19;ICWG)를 포함하고,

상기 실리콘보다 낮은 굴절률을 가진 층(9)은 적어도 $\lambda/2n_{supp}$ (n_{supp} 는 상기 층(9)의 굴절률, λ 는 레이저의 파장)의 두께를 가져, 상기 회절격자 영역의 빛을 수직방향으로 형성하고 상기 층(9)의 하부층과 에바네센트 결합을 배제하는 것을 특징으로 하는, 측면 배향된 웨이브가이드를 갖춘 실리콘 기반의 반사형 회절격자.

청구항 13

총상 구조물(2)은 III-V족 반도체 재질에 형성된 활성영역(5)과, 아웃-커플링 거울층으로 사용되지 않고 99.5% 이상의 반사도를 가진 고 반사도 상부 거울층(4)으로 이루어지고,

실리콘 플랫폼 기판은, 실리콘 층의 하부에 구비되고 상기 실리콘 층을 구성하는 실리콘보다 낮은 굴절률을 가진 층(9)으로 지지된 실리콘 층(10)과, 상기 실리콘 층에 형성되며 상기 실리콘의 굴절률보다 낮은 굴절률을 가진 영역(14)과 상기 실리콘과 동일한 굴절률을 가진 실리콘 층 부분(13)에 형성된 1D 혹은 2D 주기적인 굴절률 격자(12)로 이루어진 회절격자 영역(11)과, 상기 실리콘 층(10)에 형성되고 상기 회절격자 영역으로부터 웨이브 가이드까지 빛이 용이하게 연결되도록 상기 회절격자 영역 내에 형성되거나 인접해 있는 단부를 갖춘 웨이브가이드(18, 19)로 이루어지는데,

상기 총상 구조물(2)이 상기 회절격자 영역(11) 상에 배열될 경우에 상기 회절격자 영역 상에 상기 실리콘의 굴절률보다 낮은 굴절률을 가진 층(15, 15', 15'')을 제공하며,

상기 회절격자 영역(11) 내에 형성된 격자 웨이브가이드(18;GWG) 및 상기 회절격자 영역(11) 외부에 형성된 굴절률 차이 웨이브가이드(19;ICWG)를 포함하고,

상기 실리콘보다 낮은 굴절률을 가진 층(9)은 적어도 $\lambda/2n_{supp}$ (n_{supp} 는 상기 층(9)의 굴절률, λ 는 레이저의 파장)의 두께를 가져, 상기 회절격자 영역의 빛을 수직방향으로 형성하고 상기 층(9)의 하부층과 에바네센트 결합을 배제하는 것을 특징으로 하는, 층상 구조물(2)과 이 층상 구조물을 수용하는 실리콘 플랫폼 기판(3).

청구항 14

삭제

청구항 15

삭제

발명의 설명

기술 분야

- [0001] 본 발명은 실리콘 가공기법과 호환가능한 실리콘 플랫폼 상의 광자회로(photonic circuit)에 빛을 공급한다. 특히, 본 발명은 반사형 회절격자 수직공진 레이저(grating-mirror vertical-cavity laser)를 사용하여 이러한 회로소자에 빛을 공급한다.

배경 기술

- [0002] 실리콘 기반의 광자회로에 작고 효율적인 전기 펌핑 광원을 집적하려는 시도는 이미 널리 알려져 있다.
- [0003] Gunn(Photonics Spectra지 2006년도 3월호, 62~67쪽)은 이러한 시도에 대해 기재하고 있으며, 빛을 비집적 외부 레이저 광원으로 공급받는 해결책을 제안하고 있다. 광섬유를 통해, 빛은 집적 홀로그래픽 렌즈로 안내되어 집적 웨이브가이드(waveguide)에 결합된다. 이러한 시도는 장황한 정렬과 후속 패키징이 필요한 단점을 갖는다.
- [0004] Fang, 외 (Optics Express 14, 9203쪽(2006년판))는 단면-발광(edge-emitting) 전기 펌핑 AlGaInAs-실리콘 감쇠 레이저 아키텍처를 기재한다. 아키텍처는 실리콘 온 인슐레이터(이하 SOI:silicon on insulator) 기판에 결합된 웨이퍼이며, 레이저 캐비티는 기본 SOI 기판에 실리콘 웨이브가이드로만 한정된다. 단면-발광 분산 브라그 반사소자(이하 DBR) 레이저는 제WO 2008/068209호에 기재되어, 실리콘 웨이브가이드에 더욱 쉽게 결합한다. 단면-발광 레이저를 기반으로 하는 해결책은 광자회로에 쉽게 결합하지만, 비교적 높은 전력 소모 및 비내재된(non-intrinsic) 단일 모드 제어의 단점을 가진다.
- 제US 2007/0201526호에 기재된 수직공진 표면발광 레이저는 낮은 전력 소모와 훌륭한 단일 모드 제어의 장점을 갖는다. 하지만, 이러한 레이저는 표면발광 설계 때문에 실리콘에 집적될 웨이브가이드에 결합하는 데에 어려운 단점이 있다.
- Ferrier L. 외 ("마이크로레이저로 집적된 III-V/Si를 위한 광결정 거울층을 기초로 한 수직 마이크로캐비티"; Proc. of the SPIE Vol. 6989, 2008, 69890w-1~69890w-12 쪽)은 광결정(PhC) 거울층을 사용하고 측면 웨이브가이드에 결합하는 수직 마이크로캐비티에 관련된 다수의 설정을 기재한다.
- [0005] 따라서, 바람직하기로는 실리콘 플랫폼 상에 광원을 집적하는 개선된 방식을 제공해야 할 것이며, 특히 바람직하기로는 광자회로에 빛을 더욱 효과적 및/또는 신뢰할 수 있는 방식으로 제공해야 할 것이다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0006] 본 발명의 목적은 종래기술을 대체할 수 있는 대안을 제공하는 것이다.
- [0007] 특히, 본 발명의 목적은 광자회로에 빛을 공급하는 종래기술의 전술된 단점을 해결할 수 있는 하이브리드 수직공진 레이저(이하 하이브리드 VCL)와 방법을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

- [0008] 그러므로 전술된 목적과 다른 목적들은 실리콘 플랫폼에서 바닥 회절격자를 사용하는 실리콘 플랫폼 상에 다양한 하이브리드 VCL 구조물을 제작하는 방법을 적용하여 본 발명의 제1양상으로 달성되되, 이 방법은,
- [0009] III-V 재질에 형성된 활성영역과, 높은 반사도를 가진 상부 거울층으로 이루어진 층상 구조물을 제공하는 단계와;
- [0010] 실리콘 층에 형성되고 상기 실리콘 층의 굴절률보다 낮은 굴절률을 가진 영역과 실리콘 층부에 형성된 1D 혹은 2D 주기적인 굴절률 격자로 이루어지고, 실리콘 층보다 낮은 굴절률을 가진 층으로 지지된 실리콘 층에 회절격자 영역을 형성하는 단계;

- [0011] 상기 회절격자 영역으로부터 웨이브가이드까지 빛의 측면 아웃-커플링을 조성하도록 상기 회절격자 영역 내에 형성되거나 인접해 있는 단부를 갖춘 웨이브가이드를 상기 실리콘 층에 형성하는데, 이는 회절격자 영역과 인접하게 연결 및/또는 그 내부에 연결되어 이루어지는 단계; 및
- [0012] 층상 구조물과 회절격자 영역 사이에 실리콘 층의 굴절률보다 낮은 굴절률을 가진 층을 제공하는 단계를 포함하여, 상기 주기적인 굴절률 격자가 바닥 반사형 회절격자를 설치하여 상부 거울층과 회절격자 영역 사이에 VCL 캐비티를 형성하고, 상기 웨이브가이드는 바람직하기로 VCL 캐비티에 대해서 측면으로 배향되고 VCL용 아웃-커플링 웨이브가이드로 기능하도록, 층상 구조물을 회절격자 영역 위에 배열하는 단계;를 포함한다.
- [0013] 아래에는 다수의 양상, 바람직하거나 선택적인 특징, 부재, 실례 및 실시들이 기술될 것이다. 일 실시예 혹은 양상에 대해 기술된 특징 혹은 부재들은 적용할 수 있는 다른 실시예 혹은 양상에 적용 또는 조합될 수 있다. 예컨대, 하이브리드 VCL 구조물과 연계되어 적용되는 구조적이고 기능적인 특징은 적당한 각색으로 하이브리드 VCL를 위한 방법과 연계된 특징으로도 사용될 수 있고, 반대로 사용될 수 있다. 발명자에 의해 구현되듯이 본 발명의 기초 메커니즘의 설명은 설명을 목적으로 하고, 본 발명을 추론하는 소급적 분석에 사용되지 않는다.
- [0014] 구조물은 높은 반사율을 가진 상부 거울층과, 활성영역, 및 바닥 반사형 회절격자로 이루어지며, 이 바닥 반사형 회절격자는 "반사형 회절격자 수직공진 레이저(grating mirror vertical-cavity laer; 이하 GMVCL) 구조물"과 VCL 구조물로 간주되거나 바닥 반사형 회절격자를 사용하여 형성된다. 본 설명의 의미에서, 이러한 용어들은 동일한 의미를 가진다. 또한, 층상 구조물은 높은 반사율을 가진 상부 거울층과 활성영역으로 이루어지지만, 상황에 따라 "부분 VCL 구조물" 혹은 단순히 "층상 구조물"로 간주된 바닥 반사형 회절격자를 구비하지 않는다.
- [0015] 하이브리드 VCL 구조물은 평면 웨이브가이드까지 빛을 측면으로 방출하는 반면에, 수직공진 표면발광 레이저 (vertical-cavity surface-emitting laer; 이하 VCSEL)는 거울층 표면에서 공기층까지 수직으로 방출한다. 따라서, 하이브리드 VCL은 아웃풋 커플러와 같은 기능을 하지 않도록 높은 반사율을 가진 상부 거울층과, III-V 재질로 형성된 활성영역, 및 상부 거울층을 갖춘 VCL 캐비티를 만드는 높은 반사율을 가진 바닥 반사형 회절격자를 형성하는 실리콘 기반의 회절격자 영역 뿐만 아니라 VCL 캐비티에서 실리콘 기반에 외부 광자회로로 빛을 방출하는 측면으로 배향된 웨이브가이드로 이루어진 구조물이다.
- [0016] 2D 반사형 회절격자를 사용하는 종래기술인 VCSEL의 실례는 예컨대 미국 제US 2007/0201526호에서 찾아볼 수 있다. 이 구조물은 여러 방식에서 본 발명과 차이를 가지고 있는데, 이러한 차이점 중 하나는 단부 거울층 중 하나가 레이저 표면 발광을 만드는 아웃풋 커플러와 같은 기능을 하도록 감소된 반사율을 가진다. 추가로, 제US 2007/0201526호는 측면으로 빛을 생산하는 2D 회절격자 구조물을 보유하지하는 층에 평면 웨이브가이드 구조물을 구비하지 않는다. 그럼에도 불구하고, 기법은 유사하고 본 설명에 걸쳐 만들어진 VCSEL 기법을 광범위하게 참조하고 있다. 따라서, 본 발명은 또한 매우 낮은 전력소비, 탁월한 단일-모드 특성 및 모드 제어를 가진 성숙된 VCSEL 기법을 사용할 수 있는 장점을 갖는다. 추가로, VCSEL 기법의 사용은 포장의 단순화를 허용한다.
- [0017] 부분 VCL 구조물에 광학적 그리고 전기적 집중을 획득하는 방식은 하이브리드하는 동안에 느슨한 정렬 공차를 제공하는데, 즉, 바닥 반사형 회절격자 상에 부분 VCL 구조물의 정확한 위치선정에 종속되지 않거나, 다시 말하자면, 바닥 반사형 회절격자가 광학적 그리고 전기적 집중을 달성하기 위해 역할을 수행하거나 기여하지 않는다.
- [0018] 상부 거울층은 일상의 상부-발광 유형의 VCSEL과 같은 아웃-커플링 거울층으로 사용되지 않아 VCSEL의 정상 아웃-커플링 거울층보다 높은 반사율을 가진다. 바람직하기로, 상부 거울층은 가능한 한 100%에 가까운 반사율을 가지는데, 예컨대 도핑 없는 경우에는 99.95% 이상의 반사율을 가진다. 상부 거울층은 분산 브라그 반사소자 (distributed Bragg reflector; 이하 DBR), 반사형 회절격자, 이들의 조합, 또는 다른 유형의 반사장치일 수 있다. 재질의 선택 그리고 광학적 그리고 전기적 집중을 획득하는 방법에 따라, 상부 거울층은 활성영역, 활성영역에 결합되거나 또는 활성영역에 적층된 웨이퍼를 갖춰 에피탁시 성장할 수 있다.
- [0019] 본 발명은 VCL 캐비티를 만드는 바닥 반사장치와 유입되는 빛의 일부를 웨이브가이드까지 전달하는 로우터 (router) 혹은 커플러로 반사형 회절격자를 사용한다. 높은 반사율을 가진 반사형 회절격자는 반사 메커니즘에 따라 2개 유형으로 분류될 수 있다. 일 유형에서, 회절격자의 빛의 측면 진행 광학적 밴드갭(photonic bandgap; 이하 PBG) 모드와 빛의 입사 수직 진행 자유공간 모드의 공진 결합이 굴절 공정에서 유발되는 반면에, 다른 유형에서는 유발되지 않는다. 2개의 유형들이 100%에 가까운 반사율을 제공하더라도, PBG 모드-유발 유형만이 반사장치와 로우터/커플러와 같은 기능을 수행할 수 있고, 본 발명에 바람직하게 적용된다. 이러한 반사형 회절격자 유형에서, 입사 자유공간 모드의 빛은 회절격자로 분산되고; 분산된 빛의 일부가 Γ (감마)-포인트 슬로우

라이트 PGB 모드; PBG 모드에 빛은 회절되어 측면으로 진행하고 자유 공간 모드로 복귀하여 결합한다. 이러한 결합과정은 공진을 가져올 수 있다. 반사형 회절격자에 연결되거나 그 내부에 평면 웨이브가이드가 없으면, 이러한 공진 결합과정은 100%에 가까운 반사율을 가져올 수 있다. 만약 아웃-커플링 웨이브가이드가 회절격자 영역에 연결되거나 그 내부에 형성되어 있다면, 회절격자의 PBG 모드는 웨이브가이드 모드와 적당하게 결합될 수 있고; 이는 예컨대 최신의 훌로그램 회절격자 커플러의 결합율과 비교할 수 있는 약 -3dB의 높은 라우팅/결합율을 제공한다. 하지만, PBG 모드를 유발하지 않는 반사형 회절격자의 다른 유형에서, 자유공간 모드에 빛은 회절격자로 분산되지만 PBG 모드와 격렬하게 결합되지 않아; 라우팅율이 더욱 낮아진다.

[0020] 웨이브가이드, 평면, 아웃-커플링 웨이브가이드를 참조,는 실리콘 층에 형성되고 바람직하기로 회절격자 영역에 회절격자 웨이브가이드(GWG)와 이 회절격자 영역 외부에 굴절률 차이 웨이브가이드(index contrast waveguide, 이하 ICWG)를 구비한다. GWG는 중간 웨이브가이드로 PBG 모드에서 ICWG 모드까지 빛의 일부를 용이하게 추출한다. GWG와 ICWG의 연결부와, GWG의 위상 기학학을 최적화하여, 라우팅율은 -3dB보다 높게 증가될 수 있다. 측면 웨이브가이드를 갖춘 바닥 반사형 회절격자는 약 99.5%의 반사율과 -3dB의 라우팅율을 가진다. 이러한 반사값은 정식 VCSEL의 수직 아웃풋 거울층의 반사율과 비교할 수 있다.

[0021] 반사형 회절격자의 라우팅 함수는 정식 회절격자 커플러의 결합 함수와는 상당히 다르다. 본 발명의 반사형 회절격자에서, 입사광의 매우 작은 일부는 평면 웨이브가이드로 보내지는 반면에 대부분의 입사광은 반사된다. 예컨대, 반사형 회절격자가 99.5%의 반사율을 가지고 -3dB의 라우팅율을 가진 경우에, 입사광의 99.5%는 반사되지만 0.25%는 웨이브가이드로 보내진다. 그와는 반대로, 최신의 훌로그램 회절격자 커플러에서, 예컨대 -3dB, 즉 입사광의 50%가 웨이브가이드와 결합된다(Photonics Spectra지, 2006년 3월호, pp.62~67).

[0022] 회절격자 영역에 연결 혹은 그 내부에 형성된 웨이브가이드의 형태로 평면 아웃풋 커플러와 PBG 모드와 결합하여 공진을 유발하는 높은 반사율을 가진 반사형 회절격자의 조합은 새로운 것이다. 지금까지 보고된 걸보기에 유사한 대부분의 회절격자 구조물은 구조적 형상, 기능 또는 (슬로우 라이트 모드의 유발에 의한) 반사공정의 양상에서 본 발명의 반사형 회절격자와 다르다. 예컨대:

[0023] · 제 US 2007/0153860호, I. -S. Chung 외 ("박막의 공기층을 갖춘 서브파장 반사형 회절격자 VCSEL", IEEE Photonics Technology Letters, 2 (2008) 20, 105~107 쪽)과 제 WO 2005/089098호에서, 반사는 슬로우 라이트 PBG 모드와 결합하여 공진을 유발하지 못함.

[0024] · 제 US 6,031,243호에서, 회절격자는 반사장치로 작동하지 않음.

[0025] · 제 US 2007/0201526호에서, 반사형 회절격자는 측면 아웃풋을 위해 연결된 웨이브가이드를 구비하지 않고 슬로우 라이트 PBG 모드는 분산 도표에서 Γ (감마) 지점에서 떨어져 위치됨.

[0026] · R. Jones 외 ("하이브리드 실리콘 레이저를 기반으로 하는 회절격자"). Proceedings of SPIE, vol. 7230, pp 72300U-1)에서, 회절격자는 레이저 진동수를 선택하여 사용하고, 라우터 혹은 반사장치와 같은 기능을 갖지 않음.

[0027] · H. Wu 외 ("초 광대역 SOI 쌍 블레이즈 반사형 회절격자(ultra broadband SOI binary blazed grating mirror)", 5th IEEE International Conference on Group IV Photonics, pp 299~301)에서, 회절격자는 표면 회절격자로, 다시 말하자면, 회절격자의 바닥은 낮은 반사율 지수를 가진 재질로 지지되지 않는다. 따라서, 이의 반사율은 99%를 초과하지 않아 레이저로 충분하지 않는다.

[0028] 특히, 본 발명은 많은 종래기술의 해결책보다 정렬 오차에 덜 민감한 방식으로 실리콘 플랫폼 상에 하이브리드화된 하이브리드 VCL 구조물을 사용하는 광자회로에 빛을 공급하는 장점을 가지며, 이에 국한되지는 않는다. 이는 더욱 쉽게 공급할 수 있어 다른 부분을 조립하는 동안에 저가의 정렬을 제공할 수 있는 장점을 가진다.

[0029] 본 발명은 또한 1D 혹은 2D 수동 회절격자와 바람직하기로 회절격자 웨이브가이드에 적용할 수 있는 장점을 가진다. 문헌에서, 2D 회절격자와 회절격자 웨이브가이드는 종종 광결정(photon crystal; 이하 PhC)과 광결정 웨이브가이드(이하 PhCWG)로 각각 불려진다. 이후에서는 혼선을 피하기 위해, PhC와 PhCWG는 각각 2D 회절격자와 GWG로 불리게 된다.

[0030] 하이브리드화는 하이브리드로 만들기 위해 다른 종 혹은 변형을 혼합하는 행위이다. 본 내용에서, IV족 재질로 형성된 구조물과 원소들의 주기율표에 III족과 V족의 재질로 형성된 구조물을 물리적으로 그리고 기능적으로 연결하는 것을 의미한다. 유사하기로, 하이브리드 구조물은 III-V족 재질로 형성된 구조물에 IV족 재질로 형성된 구조물을 연결한 것이나, 이와 반대로 연결한 것이다. 연결은 통상적으로 웨이퍼 기법으로 만들어지며, 바람직

하기로 부분 VCL 구조물의 III-V 층 활성영역이 실리콘 기반의 회절격자 영역에 웨이퍼 결합된다. 다른 연결기법도 이익도로에 적합하다면 사용될 수 있다.

[0031] 아래에서, 용어 "하이브리드화 VCL"은 높은 반사율을 가진 상부 거울층과 활성영역(III족-V족 재질)으로 이루어진 층상 구조물이 회절격자 영역(IV족 재질)에 연결될 경우에 얻어지는 구조물을 의미한다. 이러한 연결은 전술된 정의에 따라 VCL(회절격자 영역이 바닥 거울층으로 제공됨)과 하이브리드화 구조물을 제공한다. 하지만, 이 분야에서 만들어진 다른 용어를 보장하기 위해, "하이브리드 VCL"도 반사형 회절격자를 사용하도록 되어 있는 "하이브리드화 VCL 구조물"로 언급된다. 본 설명의 의미 내에서, 이는 동일한 의미를 가진다.

[0032] 당해분야의 숙련자들에게 알려져 있듯이, 실리콘 층은 기판 상에 배열된 다수의 개별적인 실리콘 층부일 수 있는데, 몇몇 부분은 잠재적으로 다른 높이를 가진다. 또한, 비록 실리콘이 현 기법에서 바람직한 방법일지라도, 유사한 특성을 가진 다른 재질, 예컨대 다른 유형의 IV족 재질, V족 화합물 또는 높은 굴절지수를 가진 재질과 같은 다른 재질이 본 발명에 실리콘을 대체할 수 있다.

[0033] 제2양상에서, 본 발명은 하이브리드 VCL 구조물을 구비하는데;

[0034] III족-V족 재질로 형성된 활성영역과, 아웃-커플링 거울층으로 사용되지 않고 99.95% 이상의 반사도를 가진 높은 반사도를 가진 상부 거울층으로 이루어진 층상 구조물과;

[0035] 실리콘 층으로 형성되고 상기 실리콘 층의 굴절률보다 낮은 굴절률을 가지고 실리콘 층으로 형성된 영역과 실리콘 층부로 형성된 1D 혹은 2D 주기적인 굴절률 격자로 이루어진 회절격자 영역;

[0036] 상기 실리콘 층의 회절격자 영역의 상부에 구비된 상기 실리콘 층의 굴절률보다 낮은 굴절률을 가진 층;으로,

[0037] 상기 층상 구조물은 상기 회절격자 영역 상에 배열되어 주기적인 굴절률 격자가 상부 거울층과 회절격자 영역 사이에 VCL 캐비티를 형성하는 바닥 반사형 회절격자를 설치하며, 상기 바닥 반사형 회절격자는 VCL 캐비티의 수직모드에 빛을 회절격자 영역의 평면(in-plane) 모드까지 용이하게 연결하며;

[0038] 상기 실리콘 층으로 형성되고, 회절격자 영역으로부터 웨이브가이드까지 빛을 용이하게 결합하도록 상기 회절격자 영역 내에 형성되거나 인접해 있는 단부를 갖춘 웨이브가이드;로 이루어진다.

[0039] 제3양상은 제2양상에서 회절격자 영역을 가진 실리콘 기반의 기판에 관한 것으로, 단독으로 구비된다. 따라서, 제3양상에서, 본 발명은 측면으로 배향된 웨이브가이드를 갖춘 실리콘 기반의 반사형 회절격자를 제공하는데,

[0040] 낮은 굴절률을 가진 층으로 지지된 실리콘 층과;

[0041] 상기 실리콘 층의 굴절률보다 낮은 굴절률을 가진 실리콘 층에 형성된 영역과 실리콘 층부로 형성된 1D 혹은 2D 주기적인 굴절률 격자로 이루어진 회절격자 영역;

[0042] 법선의 입사빛을 반사하고 상기 회절격자 영역의 평면 모드까지 법선의 입사빛을 결합하도록 반사형 회절격자를 형성하는 회절격자의 일부; 및

[0043] 상기 실리콘 층에 형성되고 상기 회절격자 영역의 평면 모드로부터 웨이브가이드까지 빛을 용이하게 결합하도록 상기 회절격자 영역 내에 형성되거나 인접해 있는 각 단부를 갖춘 웨이브가이드;로 이루어진다.

[0044] 낮은 굴절률을 가진 층과 같은 회절격자 영역의 상부에 형성된 임의의 층은 레이저 파장으로 특명하게 된다. 예컨대, 레이저 파장은 1.1, 1.3, 및 1.55μm이다.

[0045] 소자의 제조공정 동안에, 반사형 회절격자의 반사도는 석판 인쇄로 회절격자 설계, 다시 말하자면 회절격자의 두께, 주기, 공기 충전율, 및 패턴형상을 변화시켜 조정할 수 있는 반면에, GMVCL의 레이저 파장은 실리콘 회절격자 위에 낮은 굴절률을 가진 층의 두께를 변화시켜 조정할 수 있다.

[0046] 제4양상에서, 부분 VCL 구조물과 제2양상에서의 회절격자 영역을 가진 기판으로 개별적으로 조립되지 않은 구조물로 함께 제공된다. 여기서 제3양상에서, 본 발명은 제2양상에서 기술된 바와 같은 부분 VCL 구조물과 제2양상에 기술된 바와 같이 실리콘 층을 구비하는데, 연결된 구조물 대신에 조립용 키트(kit)로 구비된다.

[0047] 덧붙여서 혹은 선택가능하기로, 제4양상은 층상 구조물과 이 층상 구조물을 수용하는 실리콘 플랫폼 기판을 구비할 수 있는바;

[0048] 층상 구조물은 III족-V족 재질로 형성된 활성영역과, 아웃-커플링 거울층으로 사용되지 않고 거의 100%에 가까운 예컨대 99.95% 이상의 반사도를 가진 높은 반사도를 가진 상부 거울층으로 이루어지고,

- [0049] 실리콘 층은 낮은 굴절률을 가진 층으로 지지되고, 상기 실리콘 층에 형성되며 상기 실리콘 층의 굴절률보다 낮은 굴절률을 가진 영역과 실리콘 층부에 형성된 1D 혹은 2D 주기적인 굴절률 격자와,
- [0050] 실리콘 층에 형성되고, 상기 회절격자 영역으로부터 상기 웨이브가이드까지 빛을 용이하게 결합하도록 상기 회절격자 영역 내에 형성되거나 인접해 있는 각 단부를 갖춘 웨이브가이드로 이루어지는데,
- [0051] 상기 회절격자 영역 혹은 층상 구조물 중 적어도 하나는 상기 층상 구조물이 회절격자 영역 상에 배열될 경우에 상기 회절격자 영역 상에 상기 실리콘 층의 굴절률보다 낮은 굴절률을 가진 층을 제공하도록 구조화된다.
- [0052] 몇몇 실시예에서, 회절격자 영역에 GWG는 주기적인 굴절률 격자의 평면 PBG 모드에서 직접 회절격자 영역 외부에 형성된 웨이브가이드, 지수 콘트라스트 웨이브가이드까지 결합되어 생략될 수 있다. 하지만, 이는 결합율을 저감시킬 수 있다.
- [0053] 바람직하기로, 본 방법의 실시예는 VCL 캐비티에서 회절격자의 평면 PBG 모드까지 빛을 결합하는 단계를 포함한다. 따라서, 하이브리드화 구조물은 실리콘 층에 평면 회절격자 모드로 빛을 효과적으로 공급하는 기능을 하는데, 실리콘 플랫폼 상에 광자회로에 빛을 공급하는 데에 유용하다.
- [0054] ICWG와의 결합은 중간 GWG를 통해 촉진될 수 있는데, 바람직하기로 회절격자 영역 내에 형성된다. 이 실시예에서, 방법의 실시예는 회절격자 영역의 평면 PBG 모드로부터 실리콘 층, 바람직하기로는 회절격자 영역 내에 형성된 GWG의 웨이브가이드 모드까지 빛을 결합하는 단계를 추가로 포함한다. 이러한 배열은 VCL이 빛을 방출할 때 나타나는 바닥 반사형 회절격자에 GWG와 VCL 캐비티 모드 사이에 부분적인 중첩을 보장하고, GWG 모드의 모드 분산이 PBG 모드의 모드 분산과 유사하거나 단열적으로 변형되도록 GWG의 기하학적 설계로 실현될 수 있다.
- [0055] GWG의 위상 기하학과, GWG 및 ICWG의 연결부의 최적화는 모드 연결/라우팅하는 동안에 원치 않는 산란 손실을 추가로 줄이기 위해 전반적인 라우팅 효율을 증가시킬 수 있다.
- [0056] 추가로, VCL의 광학 개인 영역의 정의는 실리콘 층 상에 부분 VCL 구조물을 배열한 후에 실현되는 것이 바람직하다. 이는 광학적 개인 영역이 통상적으로 웨이퍼 결합으로 실행된 조립 후에 주기적 굴절률 격자와 바람직하게 중첩되도록 형성될 수 있는 장점을 제공하는바, 서로에 대해서 더 이상 이동하지 않는다. 이는 조립하는 동안에 거의 혹은 어떠한 정렬을 위한 수고도 필요로 하지 않다는 것을 의미한다. VCL의 광학적 개인 영역의 위치 설정은 현재 구멍을 한정하거나 유사하게 VCL 구조물의 활성영역의 제한된 부분에 대전입자를 안내하도록 한다.
- [0057] 본 발명은 저렴하고, 조밀하며 효율적인 방식으로 실리콘 플랫폼 상에 광자회로를 위한 광원을 제공한다. 본 발명의 기본적인 개념은 표준 VCSEL 기법을 기초로 한 상부 거울층과 활성영역 사이에 수직 레이저 캐비티를 형성하고, 기판 상에 실리콘 층으로 형성된 굴절률 반사형 회절격자된 바닥 거울층을 형성하는 것이다. 실리콘 층 내에 반사형 회절격자는 반사형 회절격자에서 반사과정이 수직 공진 모드를 반사형 회절격자의 평면 PBG 모드로 전환하도록 되어 있다. 평면 PBG 모드를 평면 웨이브가이드와 결합하는 단계를 통해, 빛은 예컨대 SOI/CMOS 기판 상에 평면 광자회로를 제공할 수 있다. 모든 제조 과정은 성숙된 III-V VCSEL 기법과 실리콘 기법을 사용하여 실행될 수 있다.
- [0058] 본 발명의 이러한 양상과 다른 양상들은 기술된 실시예를 참조로 하여 아래의 설명에서 더욱 명백해질 것이다.
- [0059] 이제, 본 발명의 실시예는 첨부도면을 참조로 하여 더욱 구체적으로 기술될 것이다. 첨부도면은 본 발명을 실시하는 하나의 방안을 도시하고 있으며 청구범위의 범주 내에서 벗어나지 않는 다른 실현가능한 실시예를 제한하는 것으로 해석하지 않는다.

발명의 효과

- [0060] 이상 본 발명의 설명에 의하면, 본 발명은 실리콘 플랫폼 상에 광원을 집적하는 개선된 방식을 제공하는 것으로, 특히 광자회로에 빛을 더욱 효과적 및/또는 신뢰할 수 있는 방식을 제공한다.

도면의 간단한 설명

- [0061] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 SOI 기판 상에 하이브리드 VCL를 개략적 도시한 것이다. 도 1a는 조립된 구조물의 종단면도이다. 도 1b, 도 1c 및 도 1d는 SOI 기판의 평면도로서, 웨이브가이드를 위한 다른 실시예와 추가

최적화 영역을 도해한다.

도 2 내지 도 7은 광 모드 집중과 게인/전기 집중을 위한 다른 4개의 집중 구조를 도시한다.

도 8은 본 발명의 실시예에 따른 조율가능한 하이브리드 VCL를 도시한다.

도 9 내지 도 12는 본 발명의 실시예에 따른 다른 조립체와 조립 구조를 개략적으로 도시한다.

도 13 및 도 14는 본 발명의 실시예에 따른 회절격자 영역의 다른 레이아웃을 도시한다.

도 15는 본 발명의 실시예에 따른 동적(시간영역) 수치 모사로부터의 프레임이다.

도 16a 및 도 16b는 도 1b에 도시된 영역을 최적화하는 설계를 도시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0062] 도 1a 및 도 1b는 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 하이브리드 반사형 회절격자 VCL 구조물 뿐만 아니라 반사형 회절격자 VCL 구조물의 하이브리드 형성방법을 도해하고 있다.
- [0063] 우선, 조립된 구조물과 작동원리는 도 1a 내지 도 1c와 연계되어 기술된다. 도 1a에서, 하이브리드 VCL 구조물(1)이 도시되며, 부분 VCL 구조물(2)과 실리콘 플랫폼 기판(3)로 이루어진다.
- [0064] 부분 VCL 구조물(2)은 다른 반사율을 가진 층을 교대로 적층시킨 분산 브라그 반사소자(이하 DBR; distributed Bragg reflector)로 구현되는 고반사 상부 거울층(4)로 이루어진다. DBR은 VCSEL용 상부 거울층을 일반적으로 사용하고, 이들의 반사율은 정밀하게 조율될 수 있으며, III-V 재질 뿐만 아니라 SiO_2 를 함유한 다른 재질로 형성될 수 있다.
- [0065] 일반적인 VCSEL를 위해, 상부 거울층은 아웃-커플링(out-coupling) 거울층으로 수행하고, 통상적으로 99% 이상의 반사율을 갖고 있지만 바닥 거울층의 반사율 보다는 낮은 반사율을 가진다. 현재 하이브리드 VCL에서, 상부 거울층은 아웃-커플링 거울층으로 사용되지 않고, 이로 인해 반사율을 높게 해야 한다. 하이브리드 VCL의 높은 반사 상부 거울층(4)은 바람직하기로 99.5% 보다 높은, 99.9%, 99.95%와 같은 반사율을 가진다. 상부 거울층(4)의 반사율의 최적값은 반사형 회절격자(12)의 반사율과, 양자우물구조(이하 QW) 내에 하나의 통과 게인(pass gain), 및 표적 미분 양자 효율을 고려하여 결정되어야 한다.
- [0066] 부분 VCL 구조물(2)은 추가로 III-V 재질로 형성된 활성영역(5)을 추가로 구비한다. 활성영역(5)은 임의의 작용 가능한 VCSEL 활성영역으로 형성될 수 있고, 통상적으로 일련의 에피탁시(epitaxially) 성장된 III-V 재질 층으로 이루어진다. 통상적인 설계는 교대 QW 층(예컨대, $1.3\mu\text{m}$ 보다 긴 파장을 위한 InAlGaAs 또는 InGaNAs와, 850-nm 파장을 위한 GaAs)과 차폐층으로 이루어진 QW 구조물(6)을 샌드위치구조로 상부 및 하부 집중 층을 구비한다.
- [0067] 부분 VCL 구조물(2)은 일 실시예에서 바닥 거울층을 배제하고 높은 반사율을 가진 상부 거울층을 가진 표준 VCSEL 구조물로 구비될 수 있다.
- [0068] 도 1a에 도시된 하이브리드 VCL의 실시예에서 전기접점(8a,8b)은 활성영역(5) 바로 위와 바로 아래에 위치된다. 이러한 접촉 구조는 내부공진접촉(intra-cavity contact)으로 불려진다. 내부공진접촉의 경우에, 상부 거울층(4)은 미도프(undoped)될 수 있다. 필요하다면, 전기접점(8a)은 상부 거울층(4)의 상부에 형성될 수 있다. 이러한 접촉 구조는 외부공진접촉(extra-cavity contact)이라 불려진다. 외부공진접촉의 경우에, 상부 거울층은 적당하게 도프되어야 한다.
- [0069] 광학적 게인 집중의 달성
- [0070] 아래에서, 광학적 게인 영역의 위치와 GMVCL에 광학적 모드를 형성하는 가능한 방식들은 도 1 내지 도 7와 연계되어 설명된다. 기술되지 않은 GMVCL의 부재는 도 1a 및 도 1b와 연계되어 기술된 것과 유사하다고 가정된다.
- [0071] 도 1a에 도시된 하이브리드 VCL의 실시예에서, 광학적 집중은 양성자 주입(proton implantation)으로 형성된 전류 구멍으로 제공되어, 광학적 모드가 열 렌즈 효과로 형성된다. 양성자에 의해 주입된 영역(7)은 절연되어, 전류 구멍과 같이 작동하고 게인영역(101)을 형성한다.
- [0072] 도 2에 도시된 하이브리드 VCL의 실시예에서, 게인영역(201)은 양성자 주입영역(202)으로 형성되는 반면에, 광

학적 모드가 상부 거울층(4) 내의 유전체 구멍(203)으로 형성된다. 유전체 구멍은 바람직하기로 알루미늄 함량이 높은 층의 산화로 형성된다. 따라서, 알루미늄 함량이 높은 층은 거울층(4)가 준비될 때 유전체 구멍이 형성되는 위치에 공급되어야만 한다.

[0073] 도 3에 도시된 하이브리드 VCL의 실시예에서, 광학적 게인영역(301)과 광학적 모드는 유전체 구멍(303), 바람직하기로는 활성영역에 형성된 산화 구멍으로 형성된다. 유전체 구멍(303)의 형성을 위해서, 상부 접점(8a)과 영역(6) 사이의 층들 중 하나의 층은 산화를 위해 알루미늄 함량이 높아야 한다. 상부 거울층은 영역과 에피택시 성장되거나, 활성영역과 웨이퍼 결합되거나, 혹은 활성영역의 상부에 증착될 수 있는 미도프된 DBR이다.

[0074] 도 4에 도시된 하이브리드 VCL의 실시예에서, 광학적 게인영역(401)과 광학적 모드는 유전체 구멍(403)으로 형성된다. 양성자 주입영역(402)은 고속 작업에 바람직하다.

[0075] 도 5에 도시된 하이브리드 VCL의 실시예에서, 광학적 게인영역(501)은 터널접합(503)으로 형성되는 반면에, 광학적 모드는 터널접합(503)과 열 렌즈 효과로 형성된다. 터널접합에서, 높게 n-도핑 및 p-도핑된 박막층들이 함께 삽입되고, 전류는 이 접합을 통해서만 흐르게 된다. 선택적으로, 실시예는 광학적 접중의 추가 조율을 위해서 내부공진 공기 층(507)을 구비할 수 있다.

[0076] 도 6에 도시된 하이브리드 VCL의 실시예에서, 상부 거울층은 p-도핑된 DBR로, 이는 활성영역과 바람직하게 에피택시 성장된다. 산화 구멍(203)은 광학적 그리고 게인 접중을 위해 알루미늄 함량이 높은 층을 산화하여 형성된다. 이 구조물은 GaAs 격자정합(lattice matched) 재질로 실현될 수 있다.

[0077] 도 7a 및 도 7b에 도시된 하이브리드 VCL의 실시예에서, 광학적 접중은 DBR의 수직 전위부(703)로 구비되며 게인 접중은 양성자 주입영역(707)으로 구비된다. 상부 DBR(4)은 수직 전위부(703)를 형성하기 위해 얇은 내부공진 공기층을 만든 후에 증착된다. 이 구조물은 InP 또는 GaAs 격자정합 재질로 실현될 수 있다. InP 격자정합의 경우에, P 접점 층(709)은 흡수가 좋은 InGaAs이다. 불필요한 흡수를 피하기 위해, P 접점 층(709)의 중심이 제거되는 것이 바람직하다. GaAs 격자정합 재질의 경우에는, 이러한 제거는 필요하지 않는다. 도 7a는 낮은 지수의 산화물 층(15')을 갖춘 하이브리드 VCL을 도시하며, 도 7b는 산화물 스페이서 층 혹은 메사(715; mesa)를 사용하여 형성된 낮은 지수의 공기층(15")을 갖춘 하이브리드 VCL을 도시한다.

[0078] 실리콘 플랫폼 기판과 회절격자 영역

[0079] 바람직하게, 실리콘 플랫폼 기판(3)은 실리콘 층(10)으로 덮어 씌어진 지지층(9; 통상적으로 SiO_2)과 실리콘 기판으로 이루어진 SOI 기판이다. 다른 구성도 가능하지만, 이 경우에 실리콘 층은 낮은 반사지수를 가진 층으로 지지되는 것이 바람직하다. 실리콘 플랫폼 기판(3)은 도 1b 내지 도 1d의 평면도로 도시된다.

[0080] 바람직한 실시예에서, SOI 기판은 또한 접적 광자회로 및 전기회로를 보유지지한다. 바람직하기로, 회절격자 영역(11)을 구비한 광자회로는 상보형 금속산화반도체(CMOS; complementary metal-oxide-semiconductor)와 같은 성숙되고 정밀한 실리콘 가공기법을 사용하여 형성되는 동시에 전기회로는 동일한 기법을 사용하여 형성된다.

[0081] 실리콘 층(10)의 상부에는 회절격자 영역(11)과 웨이브가이드(18 또는 19)를 형성한다. 회절격자 영역(11)은 실리콘 층 부분(13)과 실리콘 층의 굴절율보다 낮은 굴절율을 가진 실리콘 층에 형성된 영역(14)으로 형성된 1D 혹은 2D 주기적인 굴절율 격자(12; periodic refractive index grating)로 이루어진다. 영역(14)은 이러한 영역에서 구멍을 형성하기 위해 예컨대 성숙된 실리콘 가공기법으로 실리콘 층을 제거하여 형성될 수 있다. 이 구멍들은 비어진 상태를 유지하거나 실리콘 층 부분(13)을 파괴하지 않고 구현될 수 있다면 낮은 지수 재질로 잠재적으로 충전될 수 있다. 선택 가능한 시도로는, 영역(14)은 실리콘 층의 이 영역의 다른 변형으로 형성된다. 주기적인 굴절율 격자(12)의 부분(13)과 영역(14)의 패턴성과 주기성은 도 13 및 도 14와 연계하여 추후에 구체적으로 기술될 것이다.

[0082] 낮은 지수 층

[0083] 전술되었듯이, 실리콘 층(10)은 낮은 굴절율을 가진 층으로 지지되며, 이 경우에는 SiO_2 층(9)으로 되는 것이 바람직하다. 유사하게, 실리콘 층(10) 상에 층도 낮은 굴절율을 가지는 것이 바람직하다. 회절격자 영역(11)으로부터 높은 반사도를 획득하기 위해 낮은 굴절율의 층들 사이에 회절격자 영역(11)은 바람직하게 샌드위치 구조로 되어 있다.

[0084] 이러한 목적을 위해서, 실리콘 층(10)과 부분 VCL 구조물(2) 사이에 층(15)은 실리콘 보다 낮은 굴절율을 가진 재질로 충전된다. 도 1a와 도 9d에 도시된 실시예에서, 이러한 낮은 지수의 층은 산화물 층(15')으로 구비된다. 산화물 층(15')은 도 9a에 도시된 바와 같이 조립되기 전에 부분 VCL 구조물(2) 상에 구비된다. 도 9b 및 도 9c는 개별적으로 결합된 웨이퍼들의 정단면 프로파일과 우측단면 프로파일을 도시한다. 도 10d에 도시된 실시예에서, GMVCL은 회절격자 영역(11) 상에 공기 층(15'')을 형성하는 구조를 유발한다. 여기서, 구조는 회절격자 영역을 둘러싸는 메사(25)일 수 있다. 도 10a에 도시된 바와 같이, 메사(25)는 웨이퍼 결합하는 동안에 정렬을 배제하기 위해 조립 전에 실리콘 층(10) 상에 구비되는 것이 바람직하다. 도 10b 및 도 10c는 개별적으로 결합된 웨이퍼들의 정단면 프로파일과 우측단면 프로파일을 도시한다. 에반에센트 결합(evanescent coupling)을 제거하기 위해, 산화물 층(15') 혹은 공기층(15'')의 두께는 바람직하게 $\lambda/2n_{gap}$ 의 최소 두께를 가지는데, 여기서 λ 는 인터레스트(interest)의 레이저 파장이며 n_{gap} 은 산화물 층(15')과 공기층(15'')의 굴절율이다. 통상적으로 $\lambda = 1550\text{nm}$ 에서, 산화물 층(15')의 최소 두께는 약 500nm이고, 공기층(15'')의 최소 두께는 780nm이다.

[0085] 산화물 층(15')과 공기층(15'')의 두께를 가변화하므로써, VCL 캐비티의 유효 캐비티 길이는 변화될 수 있다. 레이저 파장(λ)의 변화는 다음의 관계식으로 결정된다:

수학식 1

$$\Phi_{top} + \frac{2\pi n_{eff} d_{eff}}{\lambda} + \Phi_{grat} = 2\pi N, N = \text{정수}$$

[0086]

[0087] 여기서, Φ_{top} 과 Φ_{grat} 는 상부 거울층과 바닥 반사형 회절격자로부터의 반사형 위상변이이다. n_{eff} 는 VCL 캐비티의 유효 굴절율이다. 따라서, 레이저 파장(λ)은 다중의 파장 공급원에 적합한 하이브리드 VCL을 만드는 가공 중에 용이하게 선택될 수 있다.

[0088]

반사형 회절격자와 웨이브가이드

[0089] 낮은 지수의 층(9, 15)으로 둘러싸여 있는 주기적인 굴절율 격자(12)는 하이브리드 VCL을 위한 바닥 거울층과 같은 기능을 하는 높은 지수 콘트라스트 반사형 회절격자를 이루어서, VCL 캐비티가 주기적인 굴절율 격자(12)와 상부 거울층(4) 사이에 형성된다.

[0090]

영역(14)은 바람직하기로 높은 반사도를 제공하기 위해 수직공진 모드(16)의 측면 연장보다 크게 되어 있다. 주기적인 굴절율 격자(12)의 두께는 실리콘 층(10)의 두께일 수 있지만, 회절격자 영역(11)의 선별적인 에칭으로 더욱 작아질 수도 있다. 두께, 주기, 및 공기 충전율과 같은 반사형 회절격자의 주요 매개변수의 바람직한 수치는 추후에 기술된다.

[0091]

지지층(9), 여기서는 SiO_2 ,은 회절격자 영역(11)에 빛을 수직방향으로 형성하여, 바람직하기로는 낮은 굴절율을 가진다. 실리콘 기판과 바람직하지 못한 에반에센트 결합을 배제하기 위해, 지지층은 바람직하기로 $\lambda/2n_{supp}$ 의 최소 두께를 가지는데, 여기서 n_{supp} 은 지지층의 굴절율이다. 통상적으로 $\lambda = 1550\text{nm}$ 이고 지지층은 SiO_2 에서, 최소 두께는 약 500nm일 것이다.

[0092]

바닥 반사형 회절격자의 높은 반사도의 발생은 유발될 모드의 견지에서 설명된다. 유발될 모드는 도 1a 및 도 1b에 개략적으로 도시된다. 우선, VCL 캐비티는 화살표 루프(16)로 표시된 수직 공진 모드를 지지하다. 화살표(17)는 회절격자의 측면으로 퍼져나가는 슬로우 라이트 모드를 표시한다. 이러한 슬로우 라이트 모드는 주기적인 굴절율 격자(12)의 고유모드(eigen mode)이다. 모드(16) 내에 높은 회절격자에 입사되면 회절되어, 회절된 빛의 일부는 모드(17)에 결합되며; 모드(17) 내에 높은 모드(16)로 복귀하여 결합된다. 이러한 결합공정은 공진을 유발하여 높은 반사도를 야기할 수 있다. 결합에서 유발되는 모드(17)의 갯수는 설계에 따라서 하나 혹은 복수개일 수 있다. 전반적인 회절격자 영역이 정확하게 주기적으로 제공되면 결합 손실은 기대할 수 없다.

[0093]

전술된 바와 같이 하이브리드 구조물은 실리콘 플랫폼 상에 평면(in-plane) 모드에 빛을 효과적으로 공급하는 기능을 돋는다. 측면으로 배향된 아웃-커플링 웨이브가이드, 그리고 실리콘 플랫폼에 광자회로 혹은 이와 유사

한 곳에 추가로 슬로우 라이트 모드(17)에 빛의 결합은 아래에 기술된다.

[0094] 도 1에 도해된 바람직한 실시예에서, 빛은 회절격자 영역(11)에 연결된 실리콘 층(10)에 형성된 굴절률 차이 웨이브가이드(19; index contrast waveguide, 이하 ICWG)에 결합되어, 바람직하기로 도 1b에 도시된 바와 같이 회절격자 영역(11) 내에 형성된 중간 회절격자 웨이브가이드(18; intermediate grating waveguide, 이하 GWG)를 통해 결합된다. 선택가능하기로, 빛은 도 1c에 도시된 바와 같이 회절격자 영역에 결합되어 형성된 ICWG(19)에 접적 결합된다. 다른 선택으로는, 빛은 도 1d에 도해된 바와 같이 회절격자 영역(11) 내에 형성된 GWG(18)에만 결합된다.

[0095] GWG(18)은 회절격자 영역(11)의 주기적인 굴절율 격자(12)에 선 결함(line defect)으로 구성될 수 있고 도 1a 및 도 1b에 도시된 바와 같이 측면으로 퍼지는 GWG 모드(20)를 지지한다. GWG(18)은 도 1b의 원호(16a)에 도해된 바와 같이 활성영역(101)으로 결정된 수직공진 모드(16)의 측면 연장으로 약간 겹쳐지게 배열되어야 한다. 그런 다음에, 빛의 일부가 PBG 모드(17)에서 GWG 모드(20)까지 추출될 수 있다. GWG(18)는 효과적인 추출을 위해 최적화될 수 있다. 이러한 논점은 도 16과 연계하여 추후에 기술될 것이다.

[0096] ICWG(19)는 바람직하기로 포토리소그래피(photolithography)와 예칭으로 실리콘 층의 일부를 제거하여 회절격자 영역 외부에 형성된 리지(ridge) 웨이브가이드이다. ICWG(19)는 측면으로 퍼지는 ICWG 모드(21)를 지지하고 GWG(18)의 단부에서 회절격자 영역과 근접하게 배열된다. 그런 다음에, GWG(18)로부터의 GWG 모드(20)가 ICWG 모드(21)로 전환한다. ICWG(19)는 실리콘 플랫폼 상에 광자회로의 부분에 연결될 수 있다. GWG(18)와 ICWG(19) 사이의 연결부분은 더 나은 전화율을 위해 최적화될 수 있다. 이러한 논점은 도 16과 연계하여 추후에 기술될 것이다.

[0097] 블록 형성

[0098] 요약하자면, 바람직한 실시예에서 하이브리드 VCL(1)의 블록 형성은,

[0099] · DBR로 불려지는 다층박막 거울층 혹은 단일층 반사형 회절격자일 수 있으며, 활성영역의 상부에서 에피택시 성장되거나, 활성영역에서 웨이퍼 결합되거나, 활성영역의 상부에서 증착될 수 있는 상부 거울층(4)과,

[0100] · InP 혹은 GaAs 격자정합 재질일 수 있으며, 다른 III-V 반도체는 적용 목적에 따라 사용될 수 있는 활성영역 (5),

[0101] · 도 1 내지 도 7에 기술된 바와 같은 수직 전위된 DBR, 산화물 구명, 및 열 렌즈와 같이 다양한 방식으로 획득될 수 있는 광학적 집중을 위한 수단, 및

[0102] · 도 1 내지 도 7에 기술된 바와 같이 양성자 주입, 산화물 구명, 및 터널접합과 같은 다양한 방식으로 획득될 수 있는 개인 집중을 위한 수단과 함께 부분 VCL 구조물을 이루는 상부와;

[0103] 산화물(혹은 다른 낮은 지수의 재질) 혹은 공기일 수 있고, 층이 산화물 층(15')을 경우에, 상기 산화물 층은 도 11a에 도해된 바와 같이 결합 전에 활성영역에 증착되는 것이 바람직하며 반면에, 공기층(15")일 경우에, 스페이서 층은 도 11a에 도해된 바와 같이 회절격자 패턴을 만들기 전에 SOI에 증착되는 것이 바람직한 낮은 지수의 층(15);

[0104] · 실리콘을 기반의 반사형 회절격자(12)와,

[0105] · 측면의 아웃-커플링 격자 웨이브가이드(18)를 형성한 회절격자 영역(11)을 가진 SOI 기판과 같은 실리콘 플랫폼 기판(3); 및

[0106] 금속 접합(metal contact);으로 이루어진다. 이 금속 접합은 개인 집중 장치에 따라 P와 N 접합 또는 N과 N 접합일 수 있다. 예컨대, 주입 혹은 산화물 구명이 개인 집중을 위해 사용될 경우에, P와 N 접합이 사용되어야 한다. 터널 접합의 경우에는, N과 N 접합이 사용되어야 한다. 설계에 따라서, 상부 접합은 상부 거울층(외부공진 접촉 구조)의 상부 혹은 활성영역(내부공진 접촉)의 상부에 형성될 수 있다. 외부공진 접촉은 도 8에 도해된 바와 같이 조율가능한 레이저를 필요로 한다. 선택적으로, 금속 접합은 고도프된 접합층 상에 형성된다. 활성영역이 InP-격자정합 재질로 구성되고 P 금속 접합이 요구될 때, P 접합층은 바람직하기로 흡수가 좋은 InGaAs이다. 따라서, 이 층(107)의 부분은 도 7a와 도 7b 및 도 11d에 도해된 바와 같이 원치 않는 흡수를 배제하기 위해 제거를 필요로 한다.

- [0107] 다양한 실시예들이 이러한 블록 형성이 조합될 수 있게 다른 방식으로 도해된다. 하지만, 기술된 설계는 이러한 실시예에 한정되지 않으며, 임의의 다른 조합은 아웃-커플링 목적을 위한 측면으로 방위설정된 웨이브가이드와 실리콘 기반의 반사형 회절격자로 하이브리드될 수 있는 한 가능하다.
- [0108] 도 8에 도시된 실시예에서, 하이브리드 VCL 구조물은 조율가능한 하이브리드 레이저이다. 상부 반사형 회절격자(806)는 튜닝 접합(809)을 통해 전압 혹은 전류를 인가하여 정전기력(Optics Express 15, 1222(2007)에 상세히 기재됨), 압전력(IEEE J. Selected Topics in Quant. Electron. 13, 374(2007)에 상세히 기재됨), 혹은 열적 유도 변형(IEEE Photon. Technol. Lett. 18, 688(2006)에 상세히 기재됨)을 사용하여 이동할 수 있다. 이동 가능한 상부 반사형 회절격자는 DBR 혹은 회절격자와 DBR의 혼합물로 교체될 수 있다. 튜닝 공기층의 두께가 변경되므로, 레이저의 방출 웨이브가이드도 가변될 수 있다.
- [0109] 제작
- [0110] 아래에는 앞서 기술된 몇몇 실시예에 따른 하이브리드 VCL을 제작하는 다른 실시예들이 기술될 것이다. 우선적으로, 하이브리드 VCL 구조물(1)의 통상적인 제작은 도 2와 연계하여 기술된다.
- [0111] 부분 VCL 구조물(2)이 성숙된 VCSEL 기법을 기초로 하므로, 전술된 바와 같이 부분 VCL 구조물(2)의 제작은 VCSEL을 제작하는 숙련자들의 범위 내에서 고려된다. 유사하게, 실리콘 플랫폼 기판(3)에 회절격자 영역(11)의 제작은 성숙되고, 정밀하며 저가의 표준 실리콘 처리기법을 기초로 하는데, 이는 통상적으로 동일한 실리콘 플랫폼 기판(3) 상에 전기회로의 제작과 동시에 이루어질 것이다.
- [0112] 부분 VCL 구조물(2)은 실리콘 플랫폼 기판(3) 상에 배열되어 (수직전위된 DBR 영역(703), 유전체 구멍, 열 렌즈 효과, 혹은 상부 거울층(4)의 측면 연장으로 한정된) GMVCL의 교차하는 광학적 모드 집중과 회절격자 영역(11) 사이에서 중첩된다.
- [0113] 하이브리드 VCL 구조물의 대부분의 실시예에서, 실리콘 플랫폼 기판(3) 상에 도 9a의 부분 VCL 에피(epi) 구조물(2')의 정렬은 임의의 중요한 정렬 효과를 유발하지 않는다. 웨이퍼 결합을 위한 정렬은 낮은 제작단가로 하이브리드 VCL의 대량 생산을 가능하게 하는데 필요로 하지 않는다. 이러한 특성은 도 1 내지 도 7에 도시된 하이브리드 VCL 구조물의 실시예에서 구체적으로 기술된다.
- [0114] 도 1a에 도시된 하이브리드 VCL 구조물의 실시예에서, 양성자 주입은 도 9에 기술된 바와 같이 웨이퍼를 결합한 후에 하이브리드 VCL의 통상적인 처리 도중에 실시된다. 양성자 주입영역(202)의 위치선정은 회절격자 영역(11)과 GWG(18)의 정렬로 한정될 수 있다. 따라서, 정렬 효과는 웨이퍼 결합을 위해서 필요로 하지 않는다.
- [0115] 도 2에 도시된 하이브리드 VCL 구조물의 실시예에서, 양성자 주입과 산화는 웨이퍼를 결합한 후에 하이브리드 VCL의 통상적인 처리 도중에 실행된다. 양성자 주입영역(202)과 유전체 구멍(203)의 위치선정은 회절격자 영역(11)과 GWG(18)의 정렬로 한정될 수 있다. 따라서, 정렬 효과는 웨이퍼 결합을 위해서 필요로 하지 않는다.
- [0116] 도 3에 도시된 하이브리드 VCL 구조물의 실시예에서, 유전체 구멍은 웨이퍼를 결합한 후에 하이브리드 GMVCL의 통상적인 처리 도중에 산화를 사용하여 형성된다. 유전체 구멍(303)의 위치선정은 회절격자 영역(11)과 GWG(18)의 정렬로 한정될 수 있다. 따라서, 정렬 효과는 웨이퍼 결합을 위해서 필요로 하지 않는다.
- [0117] 도 4에 도시된 하이브리드 VCL 구조물의 실시예에서, 유전체 구멍(403)을 위한 양성자 주입과 산화는 웨이퍼를 결합한 후에 하이브리드 VCL의 통상적인 처리 도중에 실행된다. 양성자 주입영역(402)과 유전체 구멍(403)의 위치선정은 회절격자 영역(11)과 GWG(18)의 정렬로 한정될 수 있다. 따라서, 정렬 효과는 웨이퍼 결합을 위해 필요로 하지 않는다.
- [0118] 도 5에 도시된 하이브리드 VCL 구조물의 실시예에서, 터널접합(503)은 부분 VCL 에피 구조물(2')의 에피택시 성장 도중에 재생 기법으로 형성된다. 회절격자 영역(11)과 GWG(18)를 터널접합(503)과의 정렬이 부분 VCL 에피 구조물(2')과 실리콘 플랫폼 기판(3)을 결합할 때에 필요로 한다.
- [0119] 아래에서는 도 7a 및 도 7b와 연계되어 기술될 하이브리드 VCL의 제작에 대해 기술한다. 여기서 기술될 제작방법은 당해분야의 숙련자들에 의해 도 1 내지 도 8과 연계되어 기술될 다른 실시예들이 적용되거나 적용가능하게 변형될 수 있다.
- [0120] 도 7a의 하이브리드 VCL을 위한 제작흐름도는 도 11a 내지 도 11e에 도해된다. 도 11a에 도해된 바와 같이, 증착될 산화층(15')을 가진 활성영역(5)과 웨이브가이드(18)를 가진 실리콘 기반의 반사형 회절격자(12)는 개별적

으로 준비된다. 그런 다음에, 이들은 도 11b에 도시된 바와 같이 웨이퍼 결합된다. 개인 접종을 위해서, 양성자 주입영역(707)은 도 11c에 도시된 바와 같이 형성된다. 그런 다음에, 도 11d에 도시된 바와 같이, 메사가 형성되고, 흡수가 높은 P 접합층(709)의 중앙 부분이 제거되어, 수직 전위될 DBR의 형성을 위한 얇은 트렌치(704;trench)는 에칭되고, 금속 접합(708)이 형성된다. 그런 다음에, 상부 DBR이 도 11e에 도시된 바와 같이 증착된다. 정렬은 웨이퍼 결합 단계에서 필요로 하지 않는다. 다른 정밀한 정렬은 대부분의 적용에 충분한 포토리 소그래피 분석으로 결정된다.

[0121] 도 12a 및 도 12b는 도 7b의 하이브리드 VCL을 위한 제작흐름도의 일부를 도시한다. 흐름도는 낮은 지수의 산화물 층이 활성영역(5)에 증착되고 대신에 메사(715)가 낮은 지수의 공기층(15")을 만들기 위해 기판(3) 위에 형성되는 것을 제외하고는 도 11a 내지 도 11e에 기술된 것과 유사하다(도 12b).

[0122] 회절격자 영역-특징과 모의 실험

[0123] 회절격자 영역(11)의 주기적인 굴절율 격자(12)의 다른 1D, 2D, 변형된 2D 패턴이 도 1b와 도 13 및 도 14에 도시된다. 3가지 경우에서, 패턴은 주기적으로 고유모드를 갖어야만 한다. 도 14에 도시된 바와 같이, 단일 패턴의 형상은 필요하면 특이하게 만들어질 수 있다.

[0124] 이상적인 설계 관점에서, 패턴은 바람직한 PBG 모드 분산과 결과 거울특성을 산출하는 것이 중요하다. 제작 관점에서, 얇은 회절격자 층 구조물의 기계적 안정성과 제작의 용이성 및 제작 비용이 패턴을 선택할 때 고려되어야 한다.

[0125] 반사형 회절격자의 주기성, 두께, 굴절률, 및 공기 충전비율은 반사형 회절격자 층의 PBG 모드의 분산으로 결정한다. 아래에서, 반사형 회절격자의 전술된 설계 매개변수의 가능한 범위가 기재된다. 임의의 다른 값은 또한 바람직한 고유모드 분산을 좌우한다면 사용될 수 있다.

[0126] 회절격자 패턴, 1D 또는 2D의 주기성은 0.4λ 에서 0.8λ 까지 분포될 수 있는데, 여기서 λ 는 인터레스트의 레이저 파장이다.

[0127] 회절격자 층의 광학적 두께는 층의 굴절률에 의해 증가될 층의 물리적 두께로 한정된다.

[0128] 공기 충전비율은 20%에서 70%까지 분포한다. 공기 충전비율은 하나의 회절격자 영역(13+14)의 영역 중 공기(혹은 다른 낮은 지수의 재질) 영역(14) 부분으로 한정된다.

[0129] 본 발명의 실시예의 기능의 수치 모의 실험이 실행되었다. 도 15는 시간 범위 내에서 동적 모의 실험을 도시한 것으로, 흰색과 검정색은 각각 높고 낮은 전자기(EM)장 세기를 나타낸다. 모사 장치의 설계는 도 3에 도시된 것과 유사하며, 도 15는 또한 실리콘 층 내에 부분 VCL 구조물(2)과 회절격자 영역(11) 및 ICWG(19)의 근사 위치를 나타낸다.

[0130] 보여지듯이, 수직 렌즈 모드(도 1a에 16)로부터 ICWG 모드(도 1a에 21)까지 적당하게 결합된다.

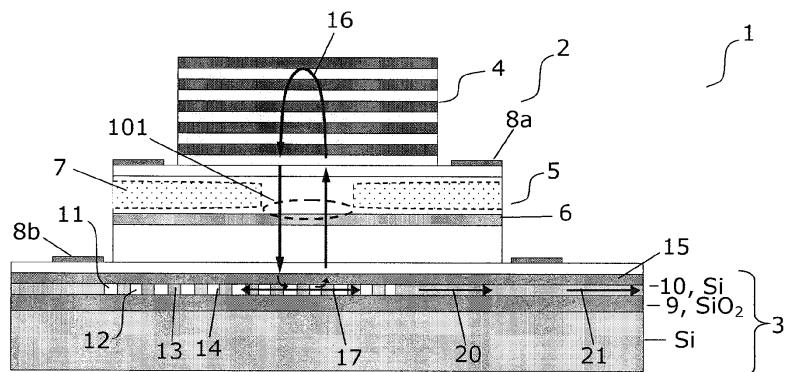
[0131] 전술된 바와 같이, 주기적 회절격자 영역(12)에 PBG 모드(17)로부터 GWG(18)의 GWG 모드(20)까지 빛의 추출은 추가로 최적화될 수 있어 바람직하지 못한 결합 손실을 줄인다. 도 1b에 연결부분(28)은 위상학적으로 최적화되어 회절격자의 주기성 파괴로 산란 손실을 최소화한다. GWG(18)의 형상은 GWG 모드(20)의 분산이 더 나은 모드 정합을 위해 PBG 모드(17)와 유사해지도록 최적화될 수 있다. GWG(18)의 GWG 모드(20)로부터 ICWG(19)의 ICWG 모드(21)까지 모드 전환의 효율성은 도 1b 또는 도 1c에 연결부분(30)을 위상학적으로 최적화하여 최대화시킬 수 있다. 위상학적 최적화의 개략적인 일례는 도 16에 도시된다. 도 16a와 도 16b는 각각 최적화되지 전과 최적화 후의 연결부분(30)을 도시한다.

[0132] 이러한 위상 최적화의 일례는 예컨대 L. Yang 외, Electronic Letters, 13, 937쪽(2007년도)에 기재되며, 전송에서 5dB의 향상을 보고하고 있다.

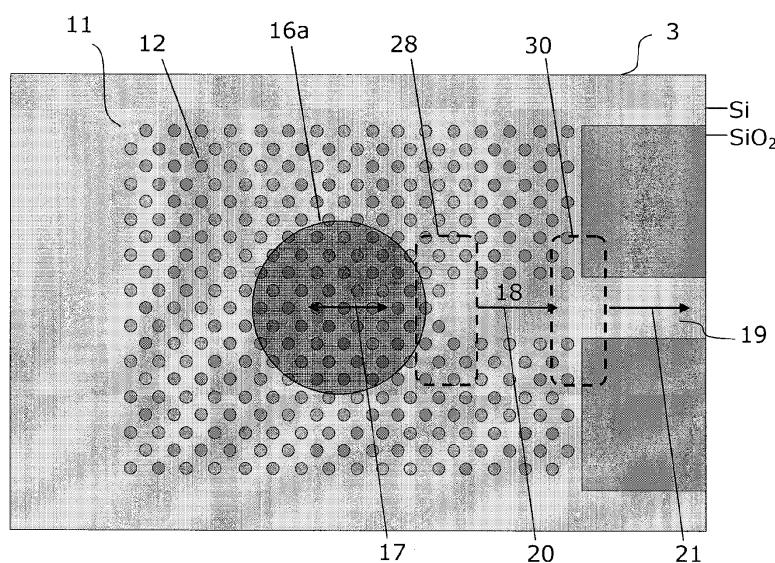
[0133] 비록 본 발명이 특정 실시예와 연계하여 기술되었더라도, 여기 실례들에 어떠한 방식으로도 제한되지 않는다. 본 발명의 범위는 첨부된 청구범위의 견지에서 병합된다. 청구범위의 내용에서, "구비하는" 혹은 "구비하다"라는 용어는 다른 가능한 부재 혹은 단계를 배제하지 않는다. 또한, "하나"와 같은 참조적 진술은 복수를 배제하지 않는다. 첨부도면에 표기된 부재에 대해서 청구범위에 참조 기호의 사용이 본 발명의 범위를 제한하지 않는다. 추가로, 다른 청구범위에 기술된 개별적인 특징들이 바람직하게 조합될 수 있고, 다른 청구범위에 이러한 특징들의 설명은 특징들의 조합이 가능하지 않거나 바람직하다는 것을 배제하지 않는다.

도면

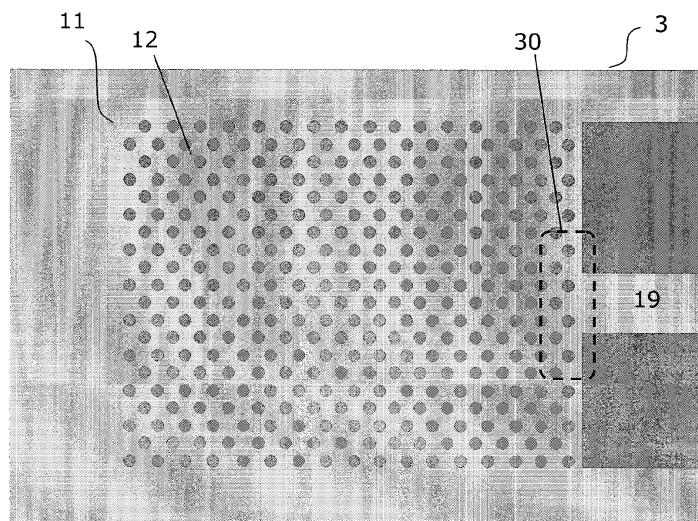
도면 1a



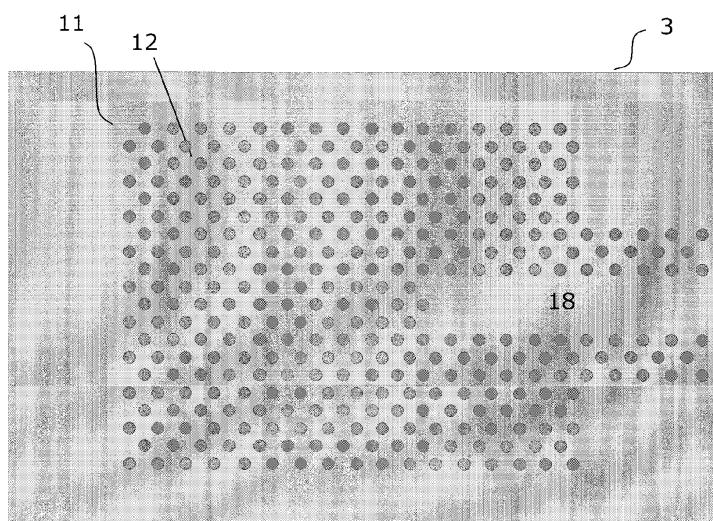
도면 1b



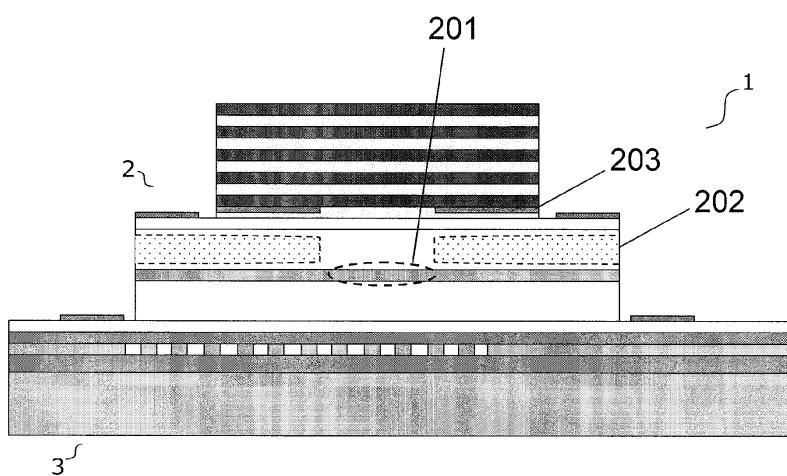
도면1c



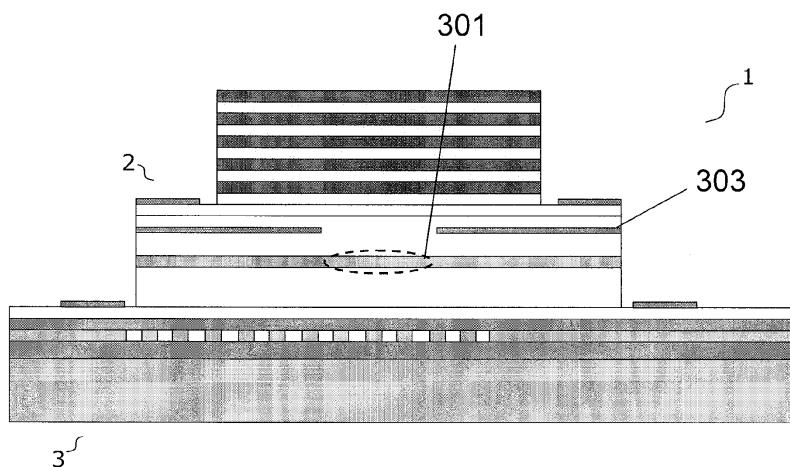
도면1d



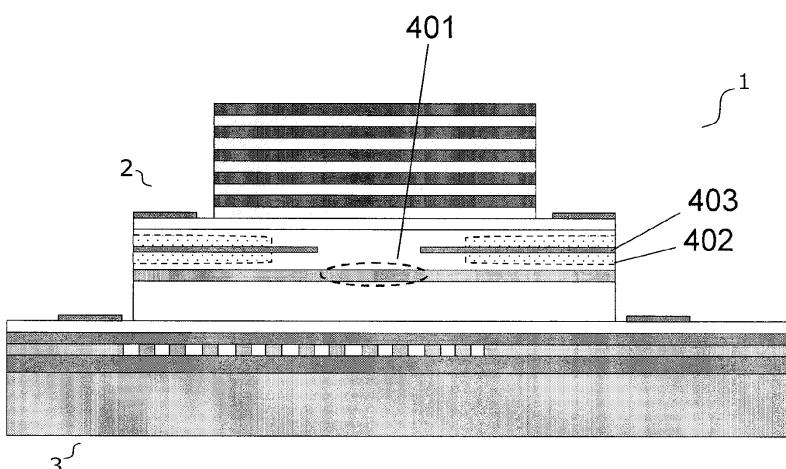
도면2



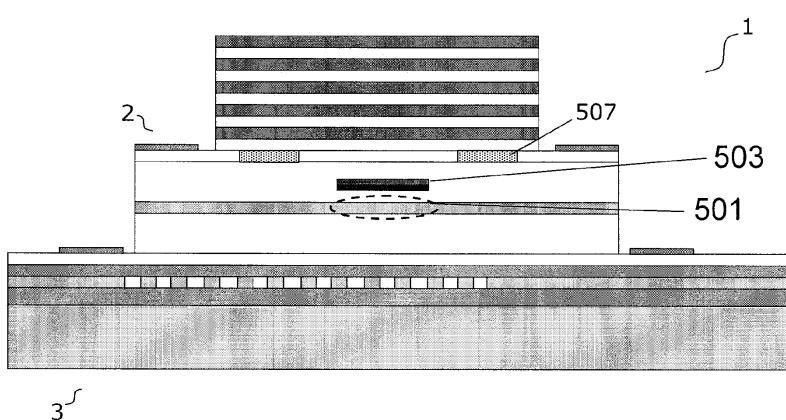
도면3



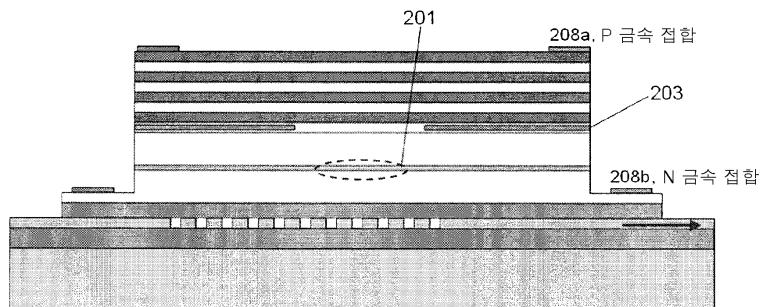
도면4



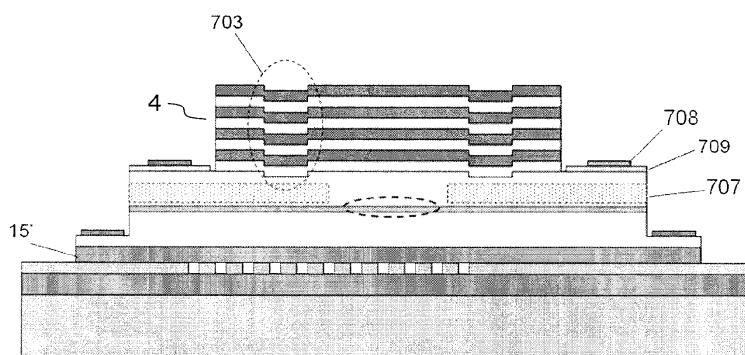
도면5



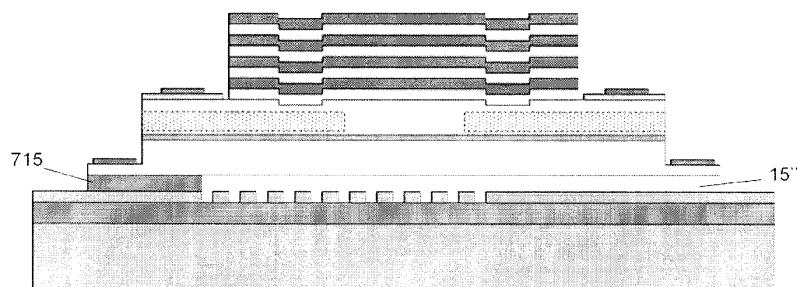
도면6



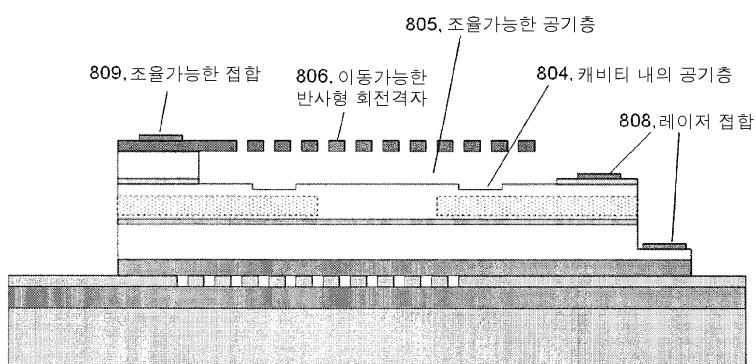
도면7a



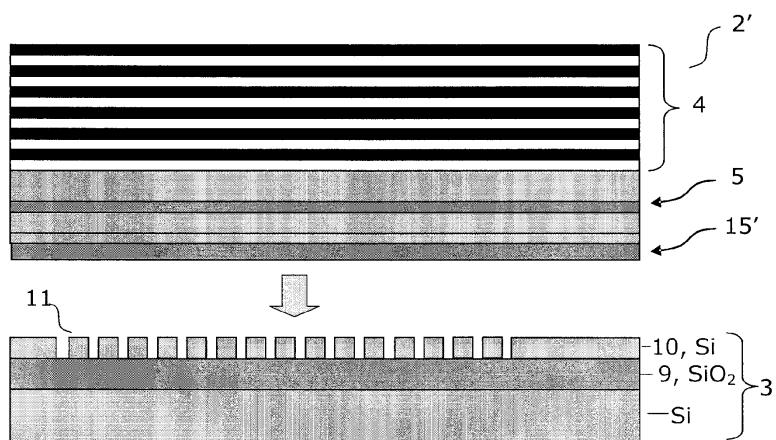
도면7b



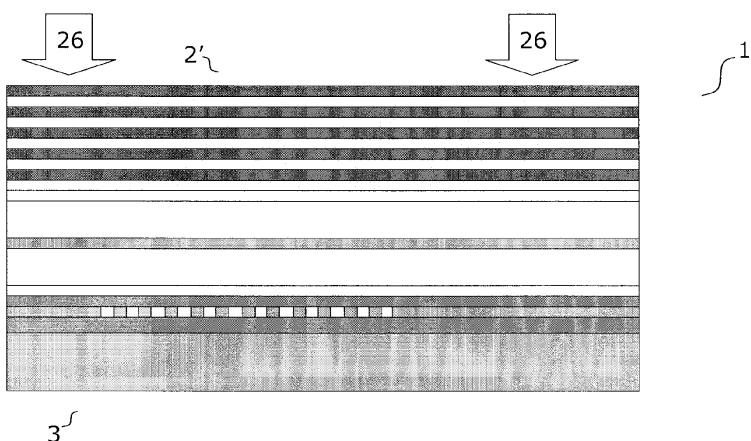
도면8



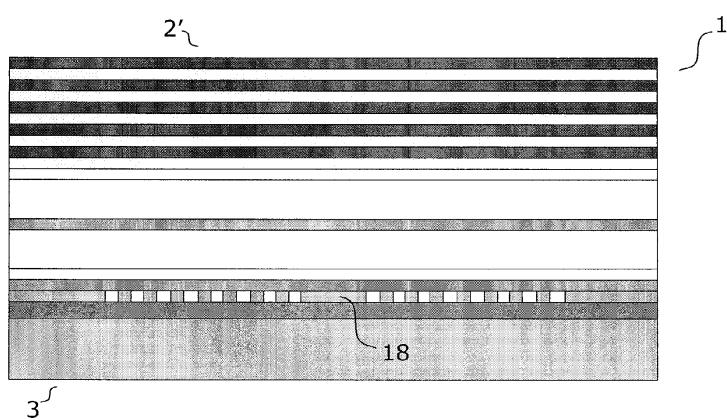
도면9a



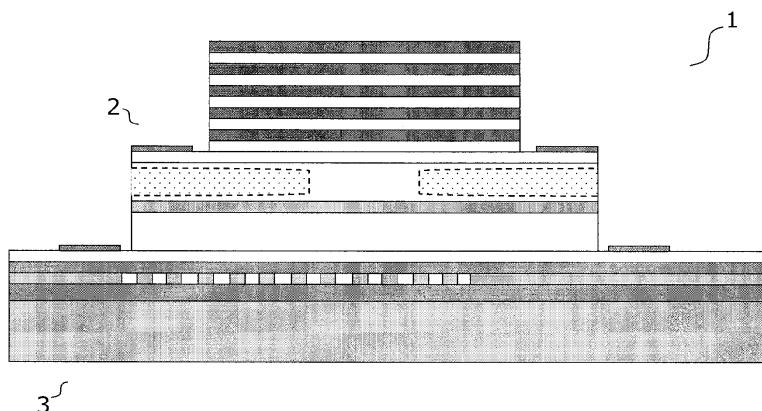
도면9b



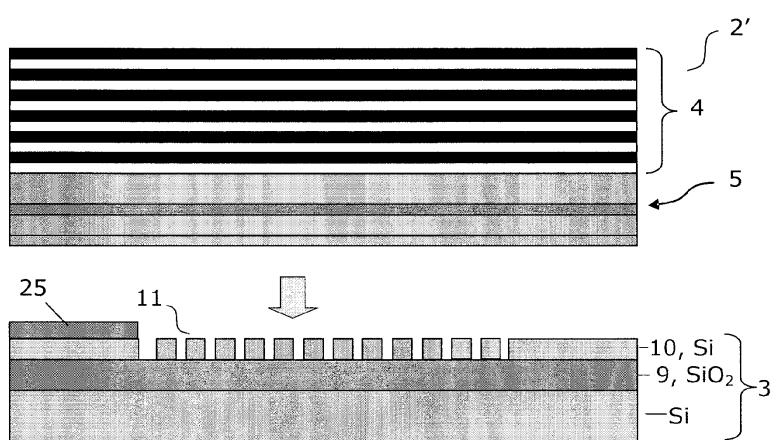
도면9c



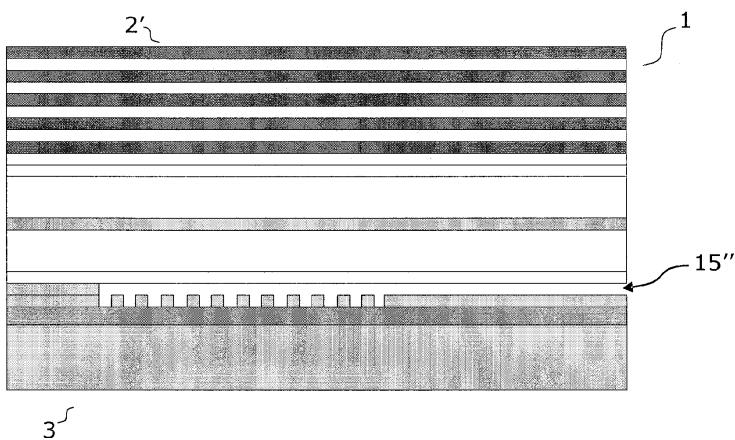
도면9d



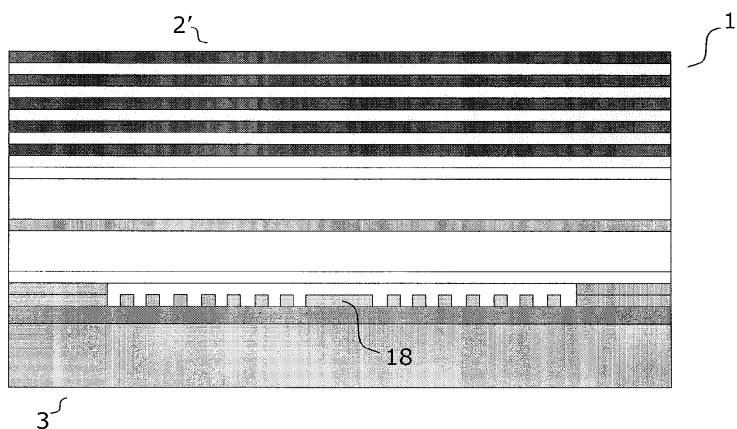
도면10a



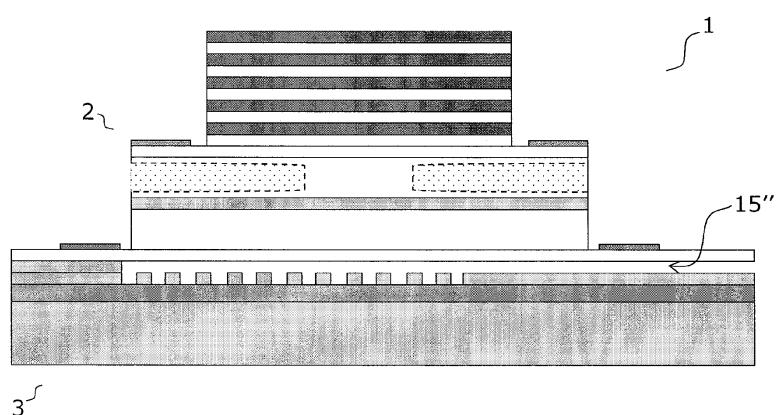
도면10b



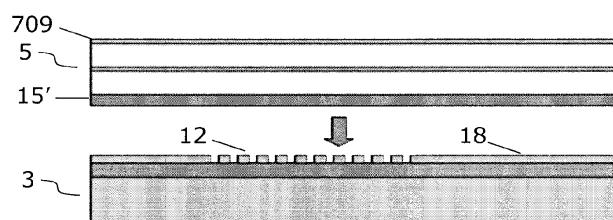
도면10c



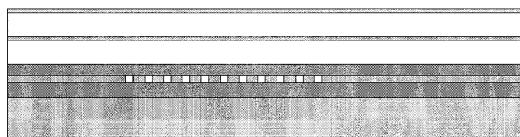
도면10d



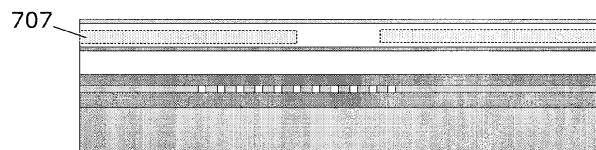
도면11a



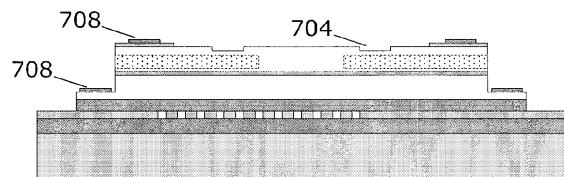
도면11b



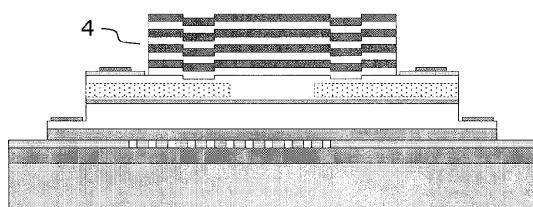
도면11c



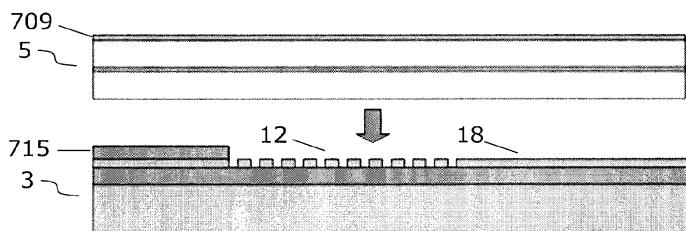
도면11d



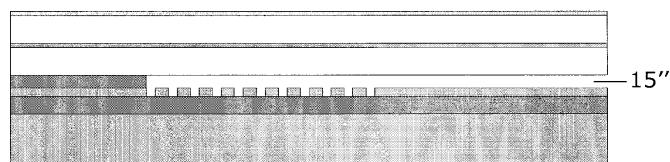
도면11e



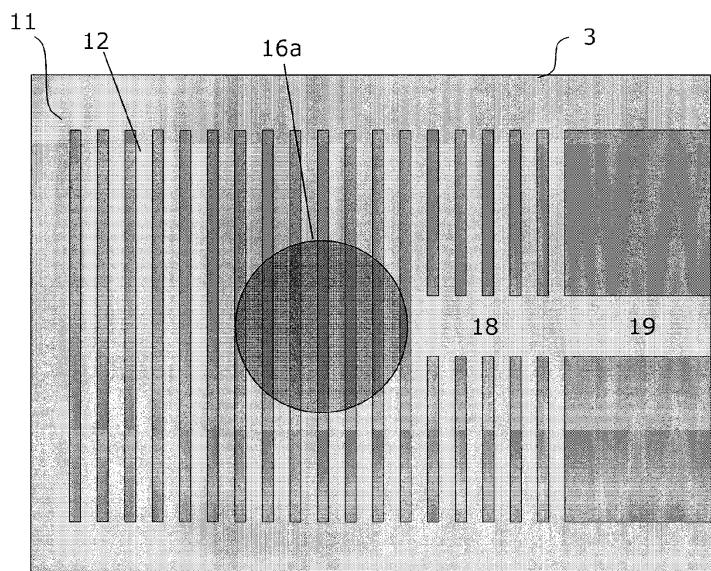
도면12a



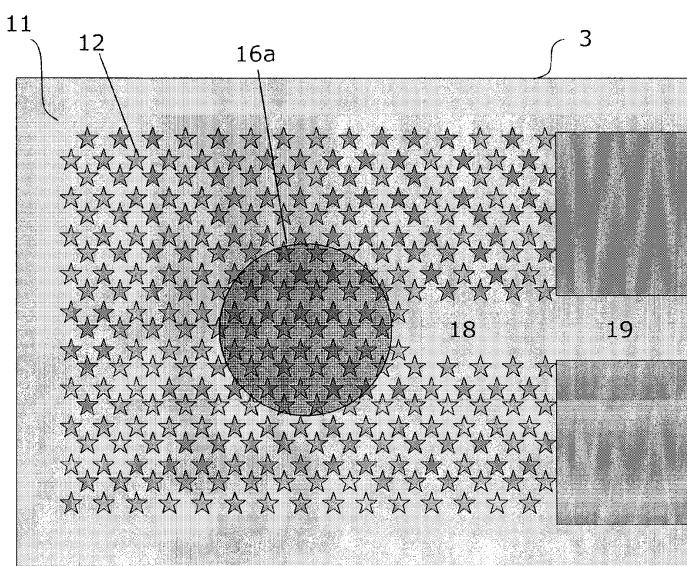
도면12b



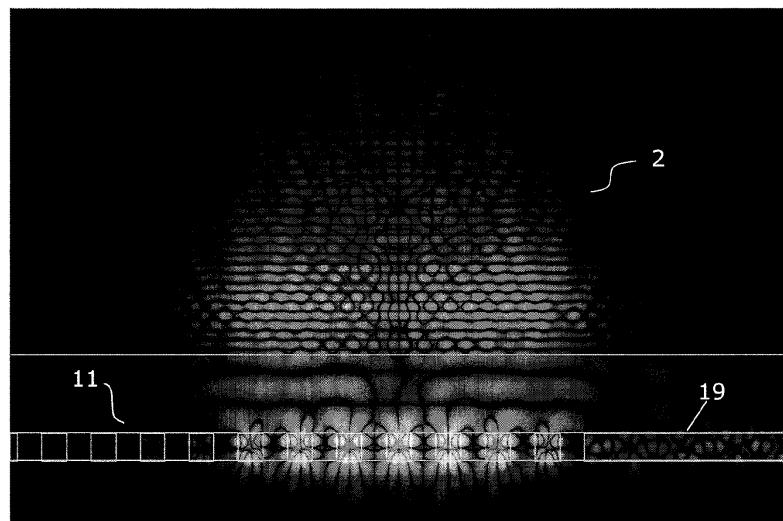
도면13



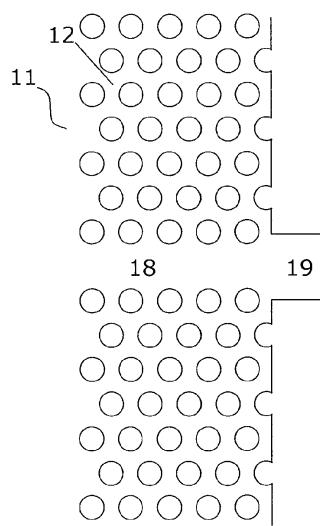
도면14



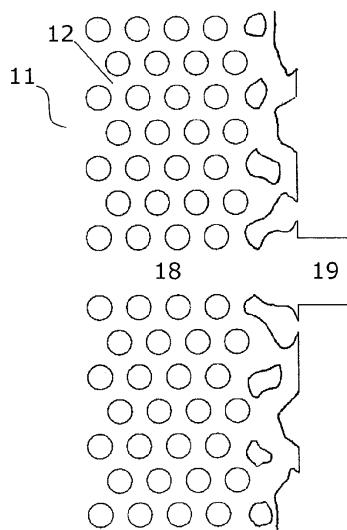
도면15



도면16a



도면16b



【심사관 직권보정사항】

【직권보정 1】

【보정항목】 청구범위

【보정세부항목】 청구항 1, 7, 12, 13

【변경전】

상기 실리콘(10)보다

【변경후】

상기 실리콘 층(10) 보다

【직권보정 2】

【보정항목】 청구범위

【보정세부항목】 청구항 13

【변경전】

상기 웨이브가이드까지

【변경후】

웨이브가이드까지

【직권보정 3】

【보정항목】 청구범위

【보정세부항목】 청구항 13

【변경전】

상기 실리콘 보다 낮은 굴절율을

【변경후】

상기 실리콘 층 보다 낮은 굴절율을

【직권보정 4】

【보정항목】 청구범위

【보정세부항목】 청구항 13

【변경전】

상기 실리콘과 동일한 굴절율을 가진

【변경후】

상기 실리콘 층과 동일한 굴절율을 가진

【직권보정 5】

【보정항목】 청구범위

【보정세부항목】 청구범위 13

【변경전】

상기 실리콘의 굴절율보다

【변경후】

상기 실리콘 층의 굴절율보다