



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2018년01월15일
(11) 등록번호 10-1818725
(24) 등록일자 2018년01월09일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01S 5/183 (2015.01)

(52) CPC특허분류
H01S 5/183 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2017-0115800

(22) 출원일자 2017년09월11일

심사청구일자 2017년09월11일

(56) 선행기술조사문헌

JP2010080571 A*

JP2012114185 A*

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

주식회사 레이아이알

경기도 수원시 영통구 광고로 156, 406호 (이의동, 광고비즈니스센터)

(72) 발명자

최원진

경기도 성남시 분당구 장안로 15 장안마을, 12동1402호(분당동, 건영아파트)

(74) 대리인

특허법인다나

전체 청구항 수 : 총 13 항

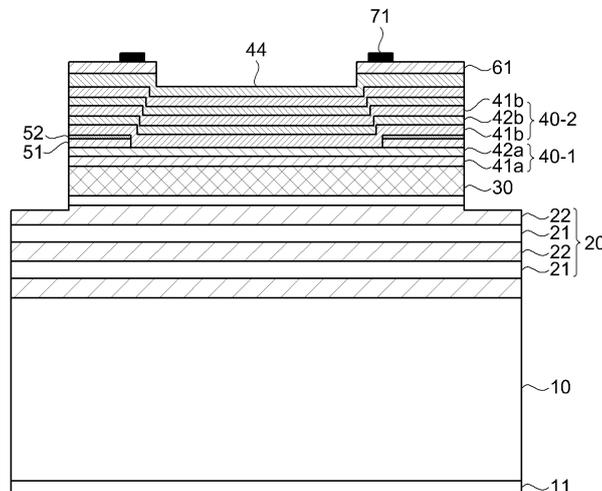
심사관 : 조성찬

(54) 발명의 명칭 수직 공동 표면 방출 레이저

(57) 요약

실시 예는, 기판; 상기 기판 상에 배치되는 제1반사층; 상기 제1반사층 상에 배치되는 활성층; 상기 활성층 상에 배치되고, 중앙에 배치된 제1홀을 포함하는 산화층; 상기 산화층 및 제1홀 상에 배치되는 제2반사층; 및 상기 제2반사층 상에 배치되는 제1전극을 포함하고, 상기 제2반사층은 상기 제1홀 상에 배치되는 단차부를 포함하는 수직 공동 표면 방출 레이저를 개시한다.

대표도 - 도1



명세서

청구범위

청구항 1

기관;

상기 기관 상에 배치되는 제1반사층;

상기 제1반사층 상에 배치되는 활성층;

상기 활성층 상에 배치되고, 중앙에 배치된 제1홀을 포함하는 산화층;

상기 산화층 및 제1홀 상에 배치되는 제2반사층;

상기 산화층과 상기 제2반사층 사이에 배치되는 캡핑층; 및

상기 제2반사층 상에 배치되는 제1전극을 포함하고,

상기 제2반사층은 상기 제1홀 상에 배치되는 단차부를 포함하는 수직 공동 표면 방출 레이저.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 제2반사층은

복수 개의 제1서브층 및 복수 개의 제2서브층을 포함하고,

상기 복수 개의 제1서브층과 제2서브층은 교대로 배치되고,

상기 제1서브층은 상기 제2서브층보다 굴절률이 높은 수직 공동 표면 방출 레이저.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 제2반사층은 상기 제1전극에 가까워질수록 상기 단차부의 폭이 좁아지는 수직 공동 표면 방출 레이저.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 제2반사층은 최외곽층에 형성된 제1홀을 포함하고,

상기 제1홀은 상기 제1홀보다 직경이 작은 수직 공동 표면 방출 레이저.

청구항 5

삭제

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 캡핑층은 상기 제1홀의 내측벽으로 연장된 연장부를 포함하는 수직 공동 표면 방출 레이저.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 연장부의 두께는 상기 캡핑층의 두께보다 얇은 수직 공동 표면 방출 레이저.

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 기관의 하부에 배치되는 제2전극을 포함하는 수직 공동 표면 방출 레이저.

청구항 9

제1항에 있어서,

제1전극과 제2 반사층 사이에 배치되는 오믹층을 포함하고,

상기 오믹층의 에너지 밴드갭은 상기 기관의 에너지 밴드갭과 같거나 낮고,

상기 오믹층의 에너지 밴드갭은 상기 활성층에서 출사되는 광의 에너지와 같거나 낮은 수직 공동 표면 방출 레이저.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 오믹층은 중앙에 배치된 제2홀을 포함하고,

상기 제1홀의 직경은 상기 제2홀의 직경보다 큰 수직 공동 표면 방출 레이저.

청구항 11

제10항에 있어서,

상기 제2홀의 직경은 상기 제1홀의 직경의 6% 내지 98%인 수직 공동 표면 방출 레이저.

청구항 12

제11항에 있어서,

상기 오믹층은 AlInGaAs, InGaAs, GaAs, AlInGaAsSb, AlInGaAsPSb, InGaAsP, InGaAsPSb, GaAsSb, InGaAsSb, InAsSb, AlGaAsSb, AlGaAsP, AlGaInAsP 중 어느 하나를 포함하는 수직 공동 표면 방출 레이저.

청구항 13

기관 상에 제1반사층, 활성층, 및 산화층을 순차로 형성하는 단계;

상기 산화층의 중앙에 제1홀을 형성하는 단계;

상기 산화층 상에 캡핑층을 형성하는 단계;

상기 캡핑층 및 상기 제1홀 상에 제2 반사층을 형성하는 단계;

상기 산화층을 측면에서부터 산화시키는 단계;를 포함하고,

상기 제2 반사층을 형성하는 단계에서,

상기 제2 반사층은 복수 개의 층을 반복하여 적층하고, 상기 제2 반사층의 최상층에는 상기 제1홀보다 직경이 작은 제1홀이 형성되는 수직 공동 표면 방출 레이저 제조방법.

청구항 14

삭제

청구항 15

제13항에 있어서,

상기 산화시키는 단계 이후에,

상기 제2반사층 상에 오믹층을 전체적으로 형성한 후, 상기 제1홀에 대응되는 영역을 제거하여 제2홀을 형성하는 수직 공동 표면 방출 레이저 제조방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 실시 예는 수직 공동 표면 방출 레이저에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 상업적으로 현재 사용되는 수직 공동 표면 발광 레이저(VCSEL)의 현저한 진보는 산화물 개구부(oxide aperture)의 도입에 의해 이루어 왔다.

[0003] 산화물 개구부(oxide aperture)는 AlGaAs 층이 고온의 N₂ 및 H₂O 혼합가스 분위기에 노출되면서 H₂O 분자가 AlGaAs층 내부에서 확산 과정을 거치면서 AlGaAs 물질과의 화학 반응의 결과로 AlGaAs 물질이 AlO_x:As 형태로 변형되는 산화 공정에 기인하여 형성된다. 이런 화학적 산화 공정은 AlGaAs 층 중의 Al 함량, 수증기 함량, 반응챔버 온도 및 결정학 등의 처리 조건에 강하게 의존하기 때문에 산화물 개구부(oxide aperture)의 형 방향의 형상 및 크기를 제어하기 어려운 문제가 있다. 따라서, 동일 웨이퍼 상에서 산화물 개구부(oxide aperture)를 균일하게 형성하기 어려운 문제가 있다.

[0004] 이와 같은 문제를 극복하고자 현재까지는 습식 산화(wet oxidation) 공정 장치의 온도 균일도 및 온도 재현으로 극복하고자 많은 노력을 기울여오고 있다.

[0005] 현재는 고가의 상업적 제조 공정 장치를 이용하여 산화물 개구부(oxide aperture)의 형성을 정밀하게 제어하고 있지만 아직 근본적인 문제해결이 되지 못하고 생산 단가만 높이고 있는 실정이다. 또한, 이런 정밀한 장치를 이용하더라도 적어도 오차가 1μm 이상 발생하는 문제가 있다. [M. Grabherr, D. Wiedenmann, R. Jaeger, and R. King, "Fabrication and performance of tunable single-mode VCSELs emitting in the 750 to 1000 nm range," Proc. SPIE 5737, 120-128 (2005) 참조]. 일반적인 VCSEL소자의 산화물 개구부 지름이 5~10μm정도 이므로 1μm의 공정 오차는 소자 특성 수율을 크게 악화시킬 수 있다.

[0006] 또한, 정밀 제어를 위해 산화 공정을 1장씩 진행할 수 밖에 없어 작업 효율이 극히 낮아지는 문제가 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 실시 예는 산화물 개구부(oxide aperture)가 균일한 수직 공동 표면 방출 레이저를 제공한다.

[0008] 실시 예는 산화물 개구부(oxide aperture)의 형성을 자동적으로 종료함으로써 산화물 개구부를 쉽고 정확하게

제어할 수 있는 수직 공동 표면 방출 레이저 제조 방법을 제공한다.

[0009] 실시 예에서 해결하고자 하는 과제는 이에 한정되는 것은 아니며, 아래에서 설명하는 과제의 해결수단이나 실시 형태로부터 파악될 수 있는 목적이나 효과도 포함된다고 할 것이다.

과제의 해결 수단

[0010] 본 발명의 일 실시 예에 따른 수직 공동 표면 방출 레이저는, 기판; 상기 기판 상에 배치되는 제1반사층; 상기 제1반사층 상에 배치되는 활성층을 중심에 위치시킨 레이저 캐비티; 상기 활성층을 중심에 위치시킨 레이저 캐비티 상에 배치되고, 중앙에 배치된 제1홀을 포함하는 산화층; 상기 산화층 및 제1홀 상에 배치되는 제2반사층; 및 상기 제2반사층 상에 배치되는 제1전극을 포함하고, 상기 제2반사층은 상기 제1홀 상에 배치되는 단차부를 포함한다.

[0011] 상기 제2반사층은 복수 개의 제1서브층 및 복수 개의 제2서브층을 포함하고, 상기 복수 개의 제1서브층과 제2서브층은 교대로 배치되고, 상기 제1서브층은 상기 제2서브층보다 굴절률이 높을 수 있다.

[0012] 상기 제2반사층은 상기 제1전극에 가까워질수록 상기 단차부가 좁아질 수 있다.

[0013] 상기 제2반사층은 최외곽층에 형성된 제1홀을 포함하고, 상기 제1홀은 상기 제1홀보다 직경이 작을 수 있다.

[0014] 상기 산화층과 상기 제2반사층 사이에 배치되는 캡핑층을 포함할 수 있다.

[0015] 상기 캡핑층은 상기 제1홀의 내측벽으로 연장된 연장부를 포함할 수 있다.

[0016] 상기 연장부의 두께는 상기 절연층의 두께보다 얇을 수 있다.

[0017] 상기 기판의 하부에 배치되는 제2전극을 포함할 수 있다.

[0018] 상기 제1전극은 중앙에 배치된 제2홀을 포함하고, 상기 제1홀의 직경은 상기 제2홀의 직경보다 클 수 있다.

발명의 효과

[0019] 실시 예에 따르면, 산화물 개구부를 형성하는 산화 공정이 자동적으로 종료되므로 습식 산화(wet oxidation) 공정의 불안정성을 개선할 수 있다.

[0020] 또한, 저가의 습식 산화(wet oxidation) 공정 장치를 사용함에도 불구하고 산화물 개구부(oxide aperture)의 크기 조절이 획기적으로 쉽고 안정되게 제어할 수 있으며, 수습 장의 웨이퍼를 한 공정에서 동시에 진행할 수 있다.

[0021] 따라서, 수직 공동 표면 방출 레이저의 제조 공정이 간편해지고 공정 생산성을 크게 개선될 수 있다. 또한 산화물 개구부(oxide aperture)의 크기 조절 수율이 크게 향상될 수 있다.

[0022] 본 발명의 다양하면서도 유익한 장점과 효과는 상술한 내용에 한정되지 않으며, 본 발명의 구체적인 실시형태를 설명하는 과정에서 보다 쉽게 이해될 수 있을 것이다.

도면의 간단한 설명

[0023] 도 1은 본 발명의 일 실시 예에 따른 레이저 소자의 개념도이고,
 도 2는 도 1의 일부 확대도이고,
 도 3은 종래 반도체 소자에서 산화물 개구부를 형성하는 방법을 보여주는 도면이고,
 도 4은 도 2의 제1변형예이고,
 도 5는 도 2의 제2변형예이고,
 도 6는 도 2의 제3변형예이고,
 도 7은 본 발명의 실시 예에 따른 레이저 소자의 산화물 층이 없는 소자의 중심 부분의 발광 영역에 대한 계산된 반사율 그래프이고,
 도 8은 본 발명의 실시 예에 따른 레이저 소자의 계산된 반사 굴절률 및 전기장 강도를 나타낸 그래프이고,

도 9는 본 발명의 실시 예에 따른 레이저 소자의 위상 시프트 각도를 계산한 그래프이고,
 도 10a 내지 도 10k는 본 발명의 일 실시 예에 따른 레이저 소자의 제조 방법을 보여주는 도면이고,
 도 11a 내지 도 11c는 본 발명의 다른 실시 예에 따른 레이저 소자의 제조방법을 보여주는 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0024] 본 발명은 다양한 변경을 가할 수 있고 여러 가지 실시예를 가질 수 있는 바, 특정 실시예들을 도면에 예시하고 설명하고자 한다. 그러나, 이는 본 발명을 특정한 실시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변경, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다.
- [0025] 제2, 제1 등과 같이 서수를 포함하는 용어는 다양한 구성요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 상기 구성요소들은 상기 용어들에 의해 한정되지는 않는다. 상기 용어들은 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하는 목적으로만 사용된다. 예를 들어, 본 발명의 권리 범위를 벗어나지 않으면서 제2 구성요소는 제1 구성요소로 명명될 수 있고, 유사하게 제1 구성요소도 제2 구성요소로 명명될 수 있다. 및/또는 이라는 용어는 복수의 관련된 기재된 항목들의 조합 또는 복수의 관련된 기재된 항목들 중의 어느 항목을 포함한다.
- [0026] 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "연결되어" 있다거나 "접속되어" 있다고 언급된 때에는, 그 다른 구성요소에 직접적으로 연결되어 있거나 또는 접속되어 있을 수도 있지만, 중간에 다른 구성요소가 존재할 수도 있다고 이해되어야 할 것이다. 반면에, 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "직접 연결되어" 있다거나 "직접 접속되어" 있다고 언급된 때에는, 중간에 다른 구성요소가 존재하지 않는 것으로 이해되어야 할 것이다.
- [0027] 본 출원에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시예를 설명하기 위해 사용된 것으로, 본 발명을 한정하려는 의도가 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 출원에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 명세서상에 기재된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.
- [0028] 다르게 정의되지 않는 한, 기술적이거나 과학적인 용어를 포함해서 여기서 사용되는 모든 용어들은 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 가지고 있다. 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 것과 같은 용어들은 관련 기술의 문맥 상 가지는 의미와 일치하는 의미를 가지는 것으로 해석되어야 하며, 본 출원에서 명백하게 정의하지 않는 한, 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미로 해석되지 않는다.
- [0029] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 실시예를 상세히 설명하되, 도면 부호에 관계없이 동일하거나 대응하는 구성 요소는 동일한 참조 번호를 부여하고 이에 대한 중복되는 설명은 생략하기로 한다.
- [0030] 도 1은 본 발명의 일 실시 예에 따른 레이저 소자의 개념도이고, 도 2는 도 1의 일부 확대도이고, 도 3은 종래 반도체 소자에서 산화물 개구를 형성하는 방법을 보여주는 도면이고, 도 4은 도 2의 제1변형예이고, 도 5는 도 2의 제2변형예이고, 도 6는 도 2의 제3변형예이다.
- [0031] 도 1 및 도 2를 참조하면, 실시 예에 따른 레이저 소자는, 기판(10), 기판(10) 상에 배치되는 제1반사층(20), 제1반사층(20) 상에 배치되는 활성층을 중심에 위치시킨 레이저 캐비티(30), 중앙에 배치된 제1홀(h1)을 포함하는 산화층(51), 산화층(51) 및 제1홀(h1) 상에 배치되는 제2반사층(40), 제2반사층(40) 상에 배치되는 제1전극(71), 및 기판(10)의 하부에 배치되는 제2전극(11)을 포함할 수 있다.
- [0032] 레이저 캐비티(30)는 제1반사층(20)과 제2반사층(40) 사이의 전체 영역을 의미할 수 있다. 활성층은 두께 방향으로 레이저 캐비티(30)의 중앙에 배치될 수 있다. 예시적으로 활성층의 상부와 하부에 복수 개의 반도체층이 더 배치될 수 있으나 반드시 이에 한정하지 않는다.
- [0033] 적층된 반도체 구조는 유기 금속 화학적 기상 증착법(Metal-Organic Chemical Vapor Deposition: MOCVD), 액상 에피택시법(Liquid Phase Epitaxy: LPE), 분자빔 에피택시법(Molecular Beam Epitaxy: MBE) 등을 이용하여 제조할 수 있으나 반드시 이에 한정하지는 않는다.
- [0034] 기판(10)은 반절연성 또는 전도성 기판일 수 있다. 예시적으로 기판(10)은 도핑 농도가 높은 GaAs 기판으로서, 도핑 농도는 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 내지 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 정도일 수 있다. 필요에 따라 기판(10) 상에 AlGaAs 또는 GaAs 박막과 같은 반도체 버퍼층을 더 배치할 수 있으나 반드시 이에 한정하지 않는다.

- [0035] 제1반사층(20)은 n형의 초격자(superlattice) 구조의 분산형 브래그 반사기(Distributed Bragg Reflector: DBR)를 포함할 수 있다. 제1반사층(20)은 전술한 MOCVD, MBE 등의 기법에 의해 기판(10) 상에 에피택셜 증착될 수 있다.
- [0036] 제1반사층(20)은 VCSEL 구조에서 내부 반사 기능을 수행할 수 있다. 제1반사층(20)은 복수 개의 제1-1층(21)과 복수 개의 제1-2층(22)이 교대로 적층되어 이루어질 수 있다. 제1-1층(21)과 제1-2층(22)은 모두 AlGaAs일 수 있으나 제1-1층(21)의 알루미늄 조성비가 더 높을 수 있다.
- [0037] 제1반사층(20)을 이루고 있는 제1-1층(21)과 제1-2층(22)들은 VCSEL에 의해 발생하는 광 파장의 약 1/4 정도인 유효 광학 두께를 갖는 것이 바람직하며, 또 VCSEL의 높은 내부 반사를 위해 가능하다면 전체적으로 약 100%의 반사율을 갖는 것이 바람직하다.
- [0038] 제1반사층(20)의 반사율은 그 내부를 구성하는 제1-1층(21)과 제1-2층(22) 사이의 굴절율의 차와, 제1-1층(21)과 제1-2층(22)의 적층수에 의존할 수 있다. 그러므로, 높은 반사율을 얻기 위해서는 굴절율의 차가 크고 적층수가 적을수록 좋을 수 있다.
- [0039] 또한 전기적인 저항을 줄이기 위하여 제1-1층(21)과 제1-2층(22) 사이에 제1-1층(21) 및 제1-2층(22)의 Al 조성비를 1차원적 혹은 2차원적으로 연속 변화시킨 Al 그레이딩(grading)된 AlGaAs 층을 위치시킬 수도 있다.
- [0040] 레이저 캐비티(30)는 하나 이상의 양자 우물(quantum well)층과 배리어(barrier)층을 포함할 수 있다. 양자 우물층은 GaAs, AlGaAs, AlGaAsSb, InAlGaAs, AlInGaP, GaAsP 또는 InGaAsP 중 어느 하나가 선택될 수 있고, 배리어층은 AlGaAs, InAlGaAs, InAlGaAsP, AlGaAsSb, GaAsP, GaInP, AlInGaP, 또는 InGaAsP 중 어느 하나가 선택될 수 있다.
- [0041] 레이저 캐비티(30)는 레이저 소자의 충분한 광학적 이득을 제공하도록 설계될 수 있다. 예시적으로 실시 예에 따른 레이저 캐비티(30)는 약 850nm의 파장대의 광을 방출하기 위해 적절한 두께 및 조성비를 가지는 양자우물층을 중심에 가질 수 있다. 그러나, 양자우물층이 출력하는 레이저의 파장대는 특별히 한정하지 않는다.
- [0042] 산화층(51)은 레이저 캐비티(30) 상에 배치될 수 있다. 산화층(51)은 제2반사층(40)과 동일한 종류의 도펀트로 도핑될 수 있다. 예시적으로 산화층(51)은 약 10^{18} cm^{-3} 농도로서 p형 도펀트가 도핑될 수 있으나 반드시 이에 한정하지 않는다.
- [0043] 산화층(51)은 알루미늄을 함유하는 반도체 화합물, 예를 들면, AlAs, AlGaAs, InAlGaAs 등을 포함할 수 있다. 실시 예에 따른 산화층(51)은 중앙에 제1홀(h1)이 배치될 수 있다. 즉, 산화층(51)은 중앙에 홀이 형성된 도넛 형상을 가질 수 있다. 산화층(51)은 저항이 상대적으로 높고 굴절율은 상대적으로 낮으므로 제1홀(h1)을 통해 전류를 통과시킬 수 있으며, 레이저광을 소자의 중앙쪽으로 모을 수 있다. 제1홀(h1)의 내부에는 제2반사층(40)이 배치되어 단차를 형성할 수 있다. 또한 제2홀(h2) 영역내에서 양자우물층에서 발생한 광이 라운드 트립(round-trip)을 통하여 증배되고 제2홀(h2)의 상층으로 레이저광이 방출될 수 있다.
- [0044] 도 3을 참조하면, 종래 레이저 구조는 산화층(1)의 측벽을 노출시켜 산화시킨다. 산화는 측벽에서 점차 중심으로 진행할 수 있다. 산화된 외측 부분(1a)은 저항성이 증가하게 되며, 산화되지 않은 중앙 부분(1b)은 전류나 광을 통과시키는 산화물 개구부(oxide aperture)로 기능할 수 있다.
- [0045] 그러나, 산화층(1)의 산화 정도는 산화층(1)이 함유하고 있는 반도체 화합물의 조성, 화합물의 배향, 층의 두께 및 산화 공정 등 다양한 조건에 의해 영향을 받을 수 있다. 즉, 산화물 개구부(oxide aperture)를 정밀하게 제어하는 것이 매우 어렵다.
- [0046] 그러나, 실시 예에 따르면, 제1홀(h1) 및 제1홀(h1)에 배치된 제2반사층(40)이 산화를 자동으로 종료시키는 스톱퍼 역할을 수행할 수 있다. 즉, 산화 조건을 변경하여도 제1홀(h1)이 형성된 산화층(51)이 모두 산화되면 더 이상 산화될 영역이 존재하지 않게 된다. 따라서, 정밀하게 산화 정도를 제어하지 않아도 제1홀(h1)의 직경에 대응하는 산화물 개구부를 가질 수 있는 장점이 있다. 따라서, 제조 공정이 단순해지고 수율이 개선될 수 있다. 또한, 수습 장의 웨이퍼를 한번의 산화 공정으로 산화시킬 수 있어 생산 속도가 빨라질 수 있다.
- [0047] 따라서, 실시 예에 따른 산화층(51)은 산화 반응이 잘 일어나도록 조건을 변경할 수 있다. 예시적으로 산화층(51)은 두께가 커질수록, 알루미늄 조성비가 높아질수록, 도핑 농도가 높아질수록 산화 반응이 잘 일어날 수 있다.
- [0048] 산화층(51)의 두께는 50Å 내지 5000Å일 수 있다. 산화층(51)의 두께가 50Å보다 작은 경우에는 산화율이 매우

낮아 공정시간이 너무 길어지는 문제가 있으며, 두께가 5000Å보다 큰 경우에는 산화 후 두께 수축(shrink)에 의해 산화물 개구부 끝단에서 크랙이 발생하는 문제가 있다.

- [0049] 산화층(51)의 도핑 농도는 $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 내지 $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 일 수 있다. 산화층(51)의 도핑농도가 $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 보다 작은 경우에는 산화 속도 낮아져 공정이 길어지는 문제가 있으며, 도핑농도가 $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 보다 큰 경우에는 내부 결함이 커져 크랙이 발생할 위험이 높다.
- [0050] 산화층(51)의 알루미늄 조성은 80% 내지 100%일 수 있다. 산화층(51)의 알루미늄 조성이 80%이하인 경우에는 산화 속도 낮아져 공정이 길어지는 문제가 있다.
- [0051] 산화층(51) 상에는 캡핑층(52)이 배치될 수 있다. 캡핑층(52)은 공정 중 또는 공정 후 산화층이 외부 환경에 노출되는 것으로부터 보호하는 역할을 수행할 수 있다. 전술한 바와 같이 산화층(51)은 쉽게 산화될 수 있도록 알루미늄의 조성이 높고 도핑 농도가 높게 설계될 수 있다. 따라서, 캡핑층(51)이 없는 경우 산화층(51)은 산화 공정을 진행하기 전에 이미 산화될 수도 있다. 이미 산화된 산화층(51) 상에는 반도체층의 성장이 어려우므로 제2 반사층의 성장이 어려워질 수 있다. 따라서, 캡핑층(52)은 산화층이 산화 공정 전에 미리 산화되는 것을 방지할 수 있다.
- [0052] 실시 예에 따른 산화층(51)은 그 위에 제2 반사층(20)의 재성장이 가능하도록 알루미늄을 함유하는 반도체 화합물, 예를 들면, AlAs, AlGaAs, InAlGaAs 등을 포함할 수 있다. 즉, 실시 예에 따른 산화층은 그 위에 반도체층이 성장될 수 있도록 비소(As)를 포함할 수 있다.
- [0053] 캡핑층(52)은 GaAs, InAlGaAs, AlGaAsSb, AlGaAsP, GaInP, InGaAsP, AlInGaP 중 적어도 어느 하나가 선택될 수 있으나 반드시 이에 한정하지 않는다.
- [0054] 캡핑층(52)이 알루미늄을 포함하는 경우, 캡핑층(52)의 알루미늄 조성은 산화층(51)의 알루미늄 조성보다 작을 수 있다. 예시적으로 캡핑층(52)의 알루미늄 조성은 0% 내지 60%일 수 있다. 캡핑층(52)의 알루미늄 조성이 60%보다 큰 경우에는, 공정 중 캡핑층(52)의 표면이 공기 중에 노출되어 산화되는 문제가 발생될 수 있으며, 제2 반사층(20)을 형성한 이후에도 산화층(51)의 산화시 캡핑층(52)이 같이 산화되는 문제가 있을 수 있다.
- [0055] 캡핑층(52)의 두께는 2.5Å 내지 5000Å일 수 있다. 캡핑층(52)의 두께가 2.5Å이하인 경우에는 캡핑층(52)이 너무 얇아 산소의 침투를 효과적으로 차단하지 못하는 문제가 있으며, 두께가 5000Å이상인 경우에는 제2반사층(20)의 재성장시 단차가 너무 커져 균일한 계면을 형성하기 어려운 문제가 있다.
- [0056] 도 4를 참조하면, 캡핑층(52)은 산화층(51)의 제1홀(h1)의 내벽으로 연장된 연장부(52a)를 포함할 수 있다. 이 경우 연장부가 제1홀(h1)의 내부에 배치된 제2반사층(41b)과 산화층(51) 사이의 계면 결합 생성을 억제할 수 있다. 연장부(52a)의 최소 두께는 2.5Å 내지 2000Å일 수 있다. 연장부(52a)의 두께가 2.5Å 이하인 경우에는 제2 반사층(40-2)과 산화층(51) 사이의 계면 결합이 발생하는 것을 억제하지 못하는 문제가 있으며, 두께가 2000Å 이상인 경우에는 제2반사층(40-2) 성장시 산화층(51) 측면 부근에서 성장되는 반사막들의 균일성에 문제가 발생될 수 있다.
- [0057] 연장부(52a)는 산화층(51)의 상부에 캡핑층(52)을 형성한 후, PH₃ 분위기(InGaP 또는 InGaAsP계열 물질) 또는 AsH₃ 분위기(GaAs계 물질)에서 고온 열처리하면 예지 에 있던 물질이 상대적으로 낮은 제1홀(h1)의 내부로 이동하여 형성될 수 있다.
- [0058] 도 5를 참조하면, 제1홀(h1)의 내벽은 경사면(53)을 가질 수 있다. 내벽의 경사는 식각 과정에서 비의도적으로 형성될 수 있다. 그러나, 제1홀(h1)의 내벽의 경사는 의도적으로 형성될 수도 있다. 제1홀(h1)이 경사면(53)을 갖는 경우 그 위에 제2반사층(40)의 형성이 용이해지는 장점이 있다.
- [0059] 제1홀(h1)의 내벽의 경사 각도(θ1)는 제1홀(h1)의 지름이 10μm일 경우 35.5° 내지 87° 일 수 있다. 경사 각도가 35.5° 보다 작은 경우 제2홀(h2)의 지름이 1μm 이하가 되어 광출력이 급격히 떨어지는 문제가 생길 수 있으며 경사 각도가 87° 보다 큰 경우 제1홀(h1)의 내벽에 제2반사층(40)의 각 층이 균일하게 형성되지 못할 수도 있다.
- [0060] 제1홀(h1)의 내벽의 경사 각도(θ1)는 제1홀(h1)의 지름이 15μm일 경우 35.5° 내지 87° 일 수 있다. 경사 각도가 24.5° 보다 작은 경우 제2홀(h2)의 지름이 1μm 이하가 되어 광출력이 급격히 떨어지는 문제가 생길 수 있으며, 경사 각도가 87° 보다 큰 경우 제1홀(h1)의 내벽에 제2반사층(40)의 각 층의 적층이 균일하게 형성되지 못할

수도 있다.

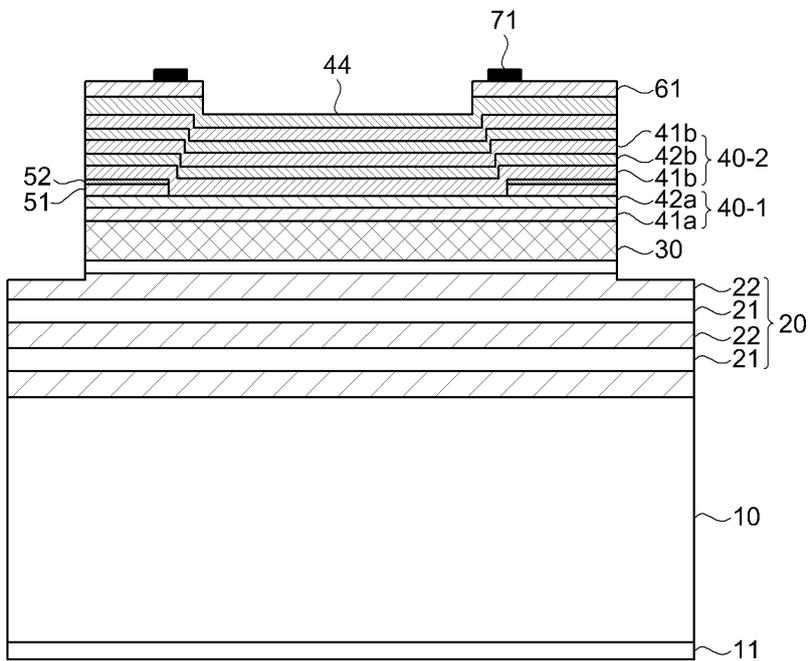
- [0061] 도 6을 참조하면, 산화층(51)의 제1홀(h1)에 투광층(54)이 더 배치될 수 있다. 투광층(54)은 전류 주입이 원활하도록 전도성을 갖고, 활성층을 중심에 위치시킨 레이저 캐비티(30)에서 출사되는 광이 잘 출사될 수 있도록 투과율이 높은 재질이 선택될 수 있다. 예시적으로 투광층(54)은 InAlGaAs, InAlGaP, InGaAsP 및 ZnSeS와 같은 반도체 화합물이 선택될 수 있으나 반드시 이에 한정하지 않는다.
- [0062] 다시 도 2를 참조하면, 제2반사층(40)은 산화층(51)과 제1홀(h1)의 상부에 배치될 수 있다. 제2반사층(40)은 제1반사층(20)과 동일하게 제2-1층(41b)과 제2-2층(42b)을 포함할 수 있다. 제2-1층(41b)과 제2-2층(42b)은 모두 AlGaAs의 조성을 가질 수 있으나, 제2-1층(41b)의 알루미늄 조성비가 더 높을 수 있다.
- [0063] 제2반사층(40)은 제1반사층(20)과 다른 극성을 갖도록 도핑될 수 있다. 예시적으로 제1반사층(20)과 기판(10)이 n형 도펀트로 도핑되었다면, 제2반사층(40)은 p형 도펀트로 도핑될 수 있다.
- [0064] 제2반사층(40)은 VCSEL로부터 반사율을 줄이기 위해 제1반사층(20)보다 층수가 적을 수 있다. 즉, 제2반사층(40)의 반사율은 제1반사층(20)보다 작을 수 있다.
- [0065] 제2반사층(40)은 제1홀(h1) 상에 배치되는 단차부(43)를 포함할 수 있다. 단차부(43)는 제1홀(h1)에 의해 가장자리 영역보다 낮게 배치된 영역으로 정의할 수 있다. 단차부(43)의 두께는 제1홀(h1)의 깊이와 대응될 수 있으나 반드시 이에 한정하지 않는다.
- [0066] 제2반사층(40)의 단차부(43)는 산화층(51)에서 멀어질수록 점차 작아질 수 있다. 제2반사층(40)의 적층수가 많아지면서 각 층의 두께만큼 단차부(43)의 직경은 작아질 수 있다. 따라서, 제2반사층(40)의 최외곽층은 가장 단차를 갖는 제1홀(44)이 배치될 수 있다. 제1홀(44)의 직경은 제1홀(h1)의 직경보다 작을 수 있다. 제1홀(44)의 깊이는 제1홀(h1)의 깊이와 동일하거나 더 작을 수 있다.
- [0067] 제2반사층의 반사율은 제1홀의 상면까지의 두께를 기준으로 설계될 수 있다. 이때, 제1홀(44)이 배치된 영역은 광이 분포 및 증배(propagation and amplification)되는 영역(In-Phase 영역, S1)이며, 제1홀(44)의 외측 영역은 광이 분포하지 않는 영역(anti-phase 영역, S2)으로 정의할 수 있다.
- [0068] 실시 예에 따르면 제1홀(h1)의 직경은 제1홀(44)의 직경보다 클 수 있다. 대부분의 레이저광은 S1 영역에 분포하므로 제1홀(h1)의 끝단은 광 분포 및 광 증배 영역에 영향을 주지 않는다. 따라서, 제1홀(h1)의 끝단에서 광 산란(optical scattering) 및 광 흡수를 최소화할 수 있다. 따라서, 광 효율을 높이고, 소자의 수명 또한 기존의 구조보다 향상할 수 있다.
- [0069] 만약, 제1홀(h1)의 직경이 광이 분포하는 영역(S1)의 내측에 배치되거나 직경이 동일한 경우 제1홀(h1)의 끝단에서 광이 산란되거나 흡수되는 문제가 발생할 수 있다.
- [0070] 제1홀(h1)의 직경 100%를 기준으로 제1홀(44) 및 제2홀(h2)의 직경은 제1홀(h1) 직경의 6% 내지 98%일 수 있다. 보편적인 산화물 개구부의 직경은 5~15 μ m 정도이다. 이때 직경이 6%보다 작은 경우에는 제1홀(44)의 직경이 1 μ m 이하가 되어 광출력이 급격히 떨어지는 문제가 발생할 수 있으며, 직경이 98%보다 큰 경우에는 제2반사층(40)의 각 층이 불균일하게 형성되어 각 층이 국부적으로 끊기는 문제가 발생할 수 있다.
- [0071] 제2반사층의 일부(40-1)는 산화층(51)의 하부에 배치될 수 있다. 즉, 산화층(51)과 캡핑층(52)은 제2반사층(40)의 사이에 배치될 수 있다. 이러한 구조는 레이저 캐비티(30)를 보호할 수 있는 장점이 있다.
- [0072] 이때, 산화층(51)의 하부에 배치되어 1차로 성장한 제2반사층(40-1)은 단차부(43)가 없는 반면, 산화층(51)의 상부에 재성장된 제2반사층(40-2)은 단차부(43)를 갖게 될 수 있다.
- [0073] 제1전극(71)은 제2반사층(40) 상에 배치될 수 있고, 제2전극(11)은 기판(10)의 하부에 배치될 수 있다. 그러나, 반드시 이에 한정되는 것은 아니고 제2전극(11)의 기판(10)의 상부를 노출시킨 후, 노출된 영역에 배치될 수도 있다.
- [0074] 제1전극(71)과 제2전극(11)은 ITO(indium tin oxide), IZO(indium zinc oxide), IZTO(indium zinc tin oxide), IAZO(indium aluminum zinc oxide), IGZO(indium gallium zinc oxide), IGTO(indium gallium tin oxide), AZO(aluminum zinc oxide), ATO(antimony tin oxide), GZO(gallium zinc oxide), IZON(IZO Nitride), AGZO(Al-Ga ZnO), IGZO(In-Ga ZnO), ZnO, IrOx, RuOx, NiO, RuOx/ITO, Ni/IrOx/Au, 또는 Ni/IrOx/Au/ITO, Ag, Ni, Cr, Ti, Al, Rh, Pd, Ir, Sn, In, Ru, Mg, Zn, Pt, Au, Hf 중 적어도 하나를 포함하여 형성될 수 있으나, 이러한 재료에 한정되는 않는다.

- [0075] 예시적으로, 제1전극(71)은 복수의 금속층(예: Ti/Pt/Au)을 가질 수 있다. 이때, Ti의 두께는 약 100 내지 400 옴스트롱일 수 있고 Au의 두께는 3000 내지 20000옴스트롱일 수 있으나 반드시 이에 한정하지 않는다.
- [0076] 제2전극(11)은 복수의 금속층(예: AuGe/Ni/Au)을 가질 수 있다. 이때, AuGe의 두께는 1000옴스트롱일 수 있고, Ni의 두께는 100옴스트롱일 수 있고, Au의 두께는 2000옴스트롱일 수 있으나 반드시 이에 한정하지 않는다.
- [0077] 제1전극(71)과 제2반사층(40) 사이에는 오믹층(61)이 더 배치될 수 있다. 오믹층(61)은 낮은 오믹 저항을 위한, GaAs 기판보다 밴드갭이 같거나 낮으면서 방출 레이저 광의 에너지 보다 같거나 낮은 밴드갭을 갖는 물질을 포함할 수 있다. 예시적으로 오믹층(61)은 AlInGaAs, InGaAs, GaAs, AlInGaAsSb, AlInGaAsPSb, InGaAsP, InGaAsPSb, GaAsSb, InGaAsSb, InAsSb, AlGaAsSb, AlGaAsP, AlGaInAsP 중 어느 하나가 선택될 수 있다. 실시 예에 따르면, 오믹층(61)에 형성된 제2홀(h2)은 제1홀(44)과 대응되는 직경을 가질 수 있다. 즉, 오믹층(61)은 광이 분포하지 않는 영역에 배치되므로 광 출력에 영향을 미치지 않을 수 있다.
- [0078] 도 7은 본 발명의 실시 예에 따른 레이저 소자의 반사율을 측정된 그래프이고, 도 8은 본 발명의 실시 예에 따른 레이저 소자의 반사 굴절률 및 전기장 강도를 측정된 그래프이고, 도 9는 본 발명의 실시 예에 따른 레이저 소자의 페이지 시프트 각도를 측정된 그래프이다.
- [0079] 도 7은 850nm에서 제2반사층(40)의 반사율이 약 99.5%, 제1반사층(20)의 반사율이 약 99.9%인 구조의 반사율 스펙트럼을 나타낸 것이다. 따라서, 제1반사층(20)과 제2반사층(40) 사이에서 증폭된 850nm의 레이저 광은 제2반사층(40)을 통해 출사될 수 있다.
- [0080] 도 8을 참조하면, 캡핑층(52), 산화층(51)의 측면, 제2 반사층 일부(42a) 상에 재성장한 계면(점선으로 표시된 경계면)이 스탠딩 웨이브(standing wave)의 벨리 부분에 배치되어 재성장 계면으로 인한 레이저 소자 내부의 광 손실을 최소화할 수 있다. 이때 하부 제2 반사층(40-1) 중 최상층(42a)의 Al 조성비는 방출 레이저 광의 에너지 거의 같은 밴드갭을 가질 수 있을 만큼까지 가능한 낮게 하여 재성장시 Al에 의한 표면 산화 문제를 최소화하는 것이 바람직하다. 즉, 하부 제2반사층(40-1) 일부의 최상층(42a)의 Al 조성은 850nm 레이저 파장의 경우 약 5% 내외일 수 있다. 또한 재성장 되는 상부 제2 반사층(40-2)의 첫 층(42b)의 Al 조성은 850nm 레이저 파장의 경우 5%~25% 일 수 있다.
- [0081] 도 9를 참조하면, 850nm에서 레이저 캐비티(30)의 중심을 기준으로 광 분포 영역(In-phase 영역) 내에 배치되어 있음을 확인할 수 있다.
- [0082] 도 10a 내지 도 10k는 본 발명의 일 실시 예에 따른 레이저 소자의 제조 방법을 보여주는 도면이다.
- [0083] 도 10a를 참조하면, 기판(10), 제1반사층(20), 레이저 캐비티(30), 제2반사층(40), 산화층(51), 및 캡핑층(52)을 차례로 형성할 수 있다. 각 층의 특징은 전술한 구성이 그대로 적용될 수 있다.
- [0084] 도 10b를 참조하면, 캡핑층(52) 상에 제1마스크를 배치한 후 식각하여 캡핑층(52)과 산화층(51)의 중앙에 제1홀(h1)을 형성할 수 있다. 제1마스크(81)는 SiO₂, SixOy, Si₃N₄, Si_xN_y, SiO_xN_y, Al₂O₃, TiO₂, AlN 또는 포토 리지스트일 수 있으나 반드시 이에 한정하지 않는다.
- [0085] 도 10c 및 도 10d를 참조하면, 산화층(51)과 제1홀(h1) 상에 다시 상부 제2반사층(40-2)을 재성장시킬 수 있다. 따라서, 산화층(51)은 하부 제2 반사층(40-1) 및 상부 제2반사층(40-1) 사이에 배치될 수 있다.
- [0086] 산화층(51) 상에 배치되는 상부 제2반사층(40-2)은 제1홀(h1) 상에 배치되는 단차부(43)를 포함할 수 있다. 단차부(43)는 제1홀(h1)에 의해 가장자리 영역보다 낮게 배치될 수 있다. 단차부(43)의 두께는 제1홀(h1)의 깊이와 대응될 수 있으나 반드시 이에 한정하지 않는다.
- [0087] 제2반사층(40)의 단차부(43)는 산화층(51)에서 멀어질수록 점차 작아질 수 있다. 제2반사층(40)의 적층 횟수가 증가하면서 각 층의 두께만큼 단차부(43)의 직경은 작아질 수 있다. 따라서, 제2반사층(40)의 최외곽층은 제1홀(44)이 배치될 수 있다. 제1홀(44)의 직경은 제1홀(h1)의 직경보다 작을 수 있다. 제1홀(44)의 깊이는 제1홀(h1)의 깊이와 동일하거나 더 작을 수 있다.
- [0088] 이후, 제2반사층(40) 상에 오믹층(61)을 전체적으로 형성한 후, 제1홀(44)에 대응되는 영역을 제거하여 제2홀(h2)을 형성할 수 있다. 실시 예에 따르면, 대부분의 레이저광은 오믹층(61)에 입사되지 않고 제2홀(h2)을 통해 방출될 수 있다. 따라서, 오믹층(61)은 GaAs 기판보다 밴드갭이 같거나 낮으면서 방출 레이저 광의 에너지 보다 같거나 낮은 밴드갭을 갖는 물질을 사용할 수 있다.

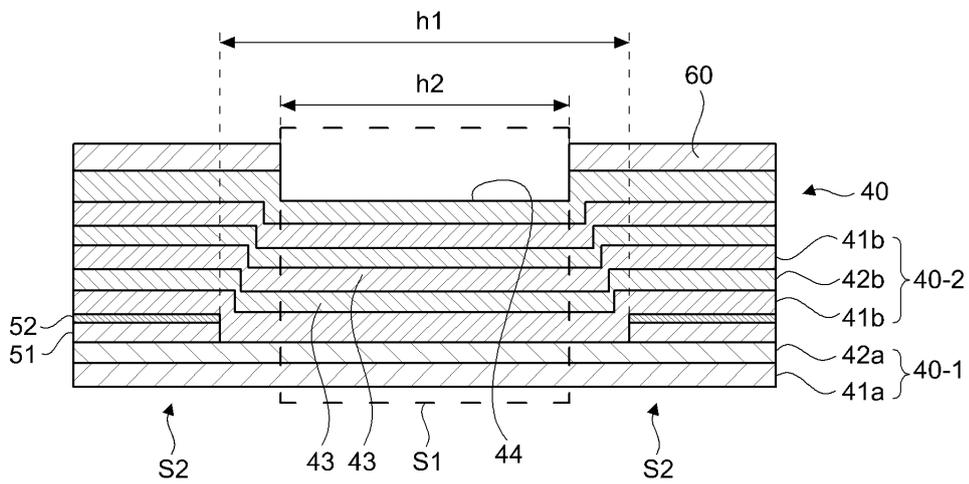
- [0089] 도 10e 내지 도 10h를 참조하면, 오믹층(61) 상에 제1전극(71)을 형성하고 그 위에 제2마스크(82)를 형성한 후, 제2마스크(82)가 제거된 테두리 영역을 식각할 수 있다.
- [0090] 도 10i를 참조하면, 산화층(51)의 측면을 산화시킬 수 있다. 실시 예에 따르면 제1홀(h1)에 의해 이미 전류가 주입되어 광이 출사될 수 있는 어퍼쳐가 형성되어 있으므로 산화층(51)의 산화 정도를 정확하게 조절할 필요가 없다. 즉, 산화층(51)이 모두 산화되면 산화 공정은 자동적으로 종료될 수 있다.
- [0091] 예시적으로 산화 공정은 300℃ ~ 450℃ 부근의 온도 범위에서, N₂ 및 H₂O 혼합가스 분위기를 갖춘 반응관에 시료를 약 30 내지 50분간 노출하여 수행될 수 있으나 반드시 이에 한정하지 않는다. 또한, 실시 예에 따른 산화층(51)은 산화가 빠르게 진행될 수 있도록 두께, 도핑농도, 및 알루미늄 조성을 조절할 수 있다.
- [0092] 도 10j를 참조하면, 식각한 테두리 영역에 보호층(90)을 배치할 수 있다. 보호층(90)은 레이저 소자의 외측을 보호할 수 있는 다양한 재질이 선택될 수 있다. 예시적으로 보호층(90)은 SiO₂, Si₃N₄, SiON, Ta₂O₅, HfO₂, BCB(benzocyclobutene), 폴리이미드(polyimide) 중 적어도 하나일 수 있으나 반드시 이에 한정하지 않는다. 또한, 필요에 따라 보호층(90)을 경화시키는 공정을 더 진행할 수 있다.
- [0093] 도 10k를 참조하면, 제1전극(71)과 연결되는 패드 전극(72)을 형성할 수 있다. 또한, 기판(10)의 하부에는 제2전극(11)을 형성할 수 있다.
- [0094] 도 11a 내지 도 11c는 본 발명의 다른 실시 예에 따른 레이저 소자의 제조방법을 보여주는 도면이다.
- [0095] 도 11a 및 도 11b를 참조하면, 기판(10), 제1반사층(20), 활성층을 중심에 위치시킨 레이저 캐비티(30), 제2반사층(40), 산화층(51), 및 캡핑층(52)을 차례로 형성하고, 캡핑층(52) 상에 제1마스크(81)를 배치한 후 식각하여 캡핑층(52)과 산화층(51)의 중앙에 제1홀(h1)을 형성할 수 있다.
- [0096] 이후, 산화층(51)의 상부에 캡핑층(52)을 형성하고 열처리하여 제1홀(h1)의 내벽에 캡핑층(52)의 연장부(52a)를 형성할 수 있다. 구체적으로 산화층(51)의 상부에 캡핑층(52)을 형성하고 PH₃ 분위기(InGaP 또는 InGaAsP계열 물질) 또는 AsH₃ 분위기(GaAs계 물질)에서 고온 열처리하면 에지(edge)에 있던 캡핑 물질이 상대적으로 낮은 제1홀(h1)의 내부로 이동하여 연장부(52a)가 형성될 수 있다. 이때, 열처리 온도는 500℃ 내지 900℃일 수 있다. 이러한 구성에 의하면 연장부(52a)가 산화의 진행을 방지하는 스톱퍼 역할을 수행할 수 있다.
- [0097] 도 11c를 참조하면, 산화층(51)과 제1홀(h1) 상에 제2반사층(40)을 형성할 수 있다. 이후 공정은 도 10e 내지 10k와 동일하게 진행할 수 있다.
- [0098] 본 실시 예에 따른 레이저 소자는 3D 얼굴인식 및 3D 이미징 기술의 광원으로 사용될 수 있다. 3D 얼굴인식 및 3D 이미징 기술은 2차원적 어레이 형태로 패턴화된 광원 매트릭스가 필요하다. 이런 2차원적 어레이 형태로 패턴화된 광원 매트릭스를 물체에 조사하고 반사되는 광의 패턴을 분석할 수 있다. 이때 2차원적 어레이 형태로 패턴화된 광원 매트릭스 중에서 각 형태물체의 굴곡된 표면에서 반사된 엘리먼트광들의 변형된 상태들을 분석하면 물체의 3차원 이미지를 구성할 수 있게 된다. 이런 2차원적 어레이 형태로 패턴화된 광원(Structured light source)을 실시 예에 따른 VCSEL 어레이를 제작하면, 각 엘리먼트 광원의 특성이 균일한 2차원적 어레이 형태로 패턴화된 광원(Structured light source) 매트릭스를 제공할 수 있다.
- [0099] 또한, 본 발명에 따른 레이저 소자는 광통신 소자, CCTV, 자동차용 나이트 비전(night vision), 동작 인식, 의료/치료, IoT용 통신 소자, 열추적 카메라, 열화상 카메라, SOL (Solid state laser)의 펌핑 분야, 플라스틱 필름의 접합을 위한 가열공정 등 많은 응용 분야에서 저가의 VCSEL 광원으로 사용될 수 있다.
- [0100] 이상에서 실시예를 중심으로 설명하였으나 이는 단지 예시일 뿐 본 발명을 한정하는 것이 아니며, 본 발명이 속하는 분야의 통상의 지식을 가진 자라면 본 실시예의 본질적인 특성을 벗어나지 않는 범위에서 이상에 예시되지 않은 여러 가지의 변형과 응용이 가능함을 알 수 있을 것이다. 예를 들어, 실시예에 구체적으로 나타난 각 구성 요소는 변형하여 실시할 수 있는 것이다. 그리고 이러한 변형과 응용에 관계된 차이점들은 첨부된 청구 범위에서 규정하는 본 발명의 범위에 포함되는 것으로 해석되어야 할 것이다.

도면

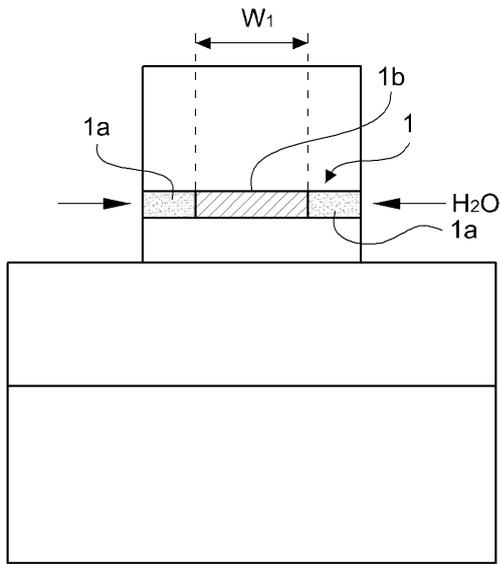
도면1



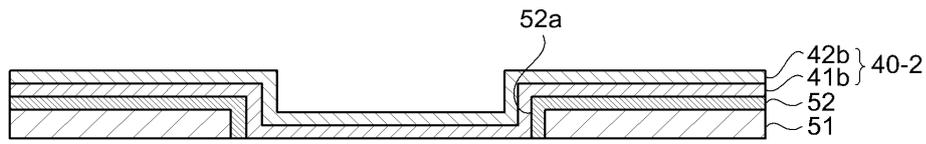
도면2



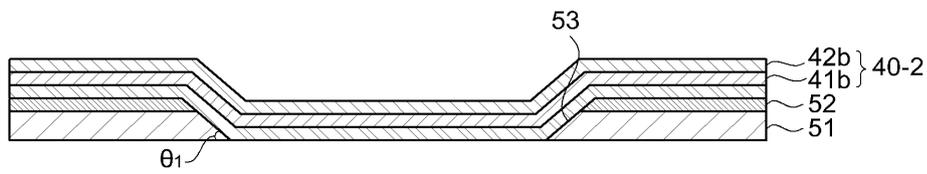
도면3



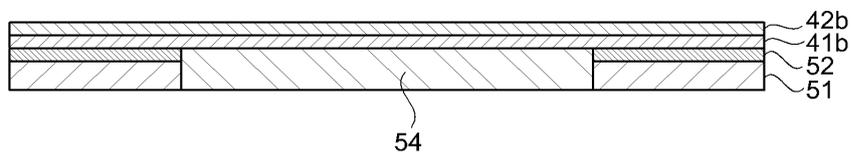
도면4



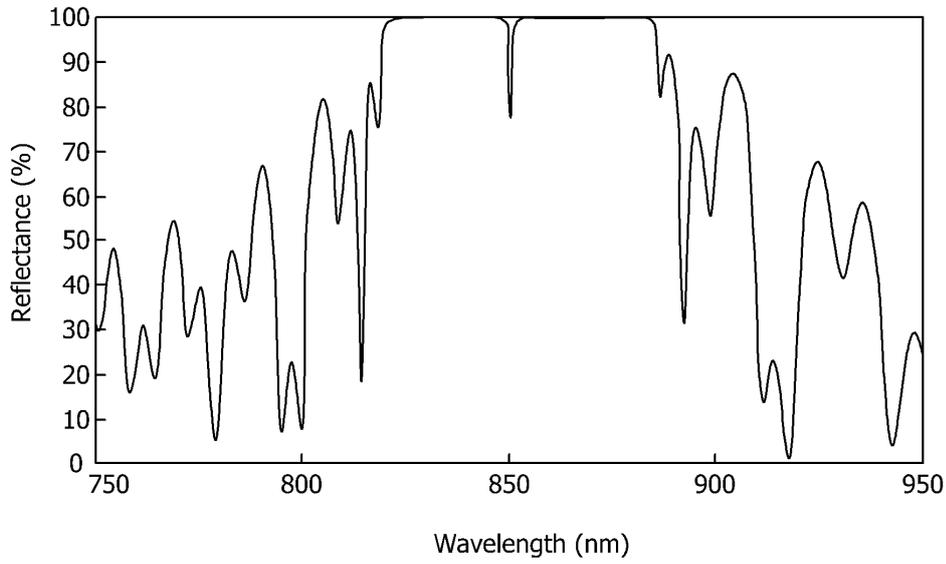
도면5



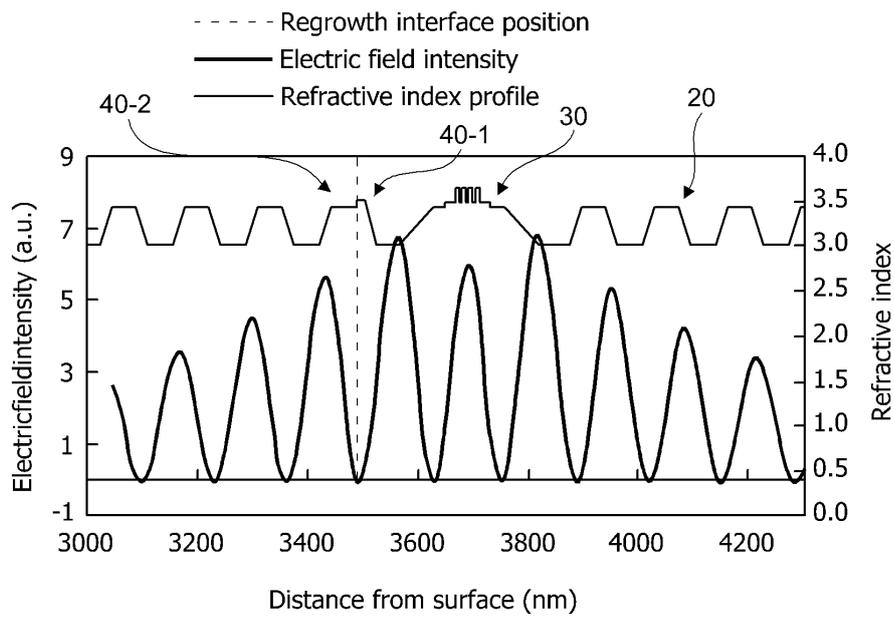
도면6



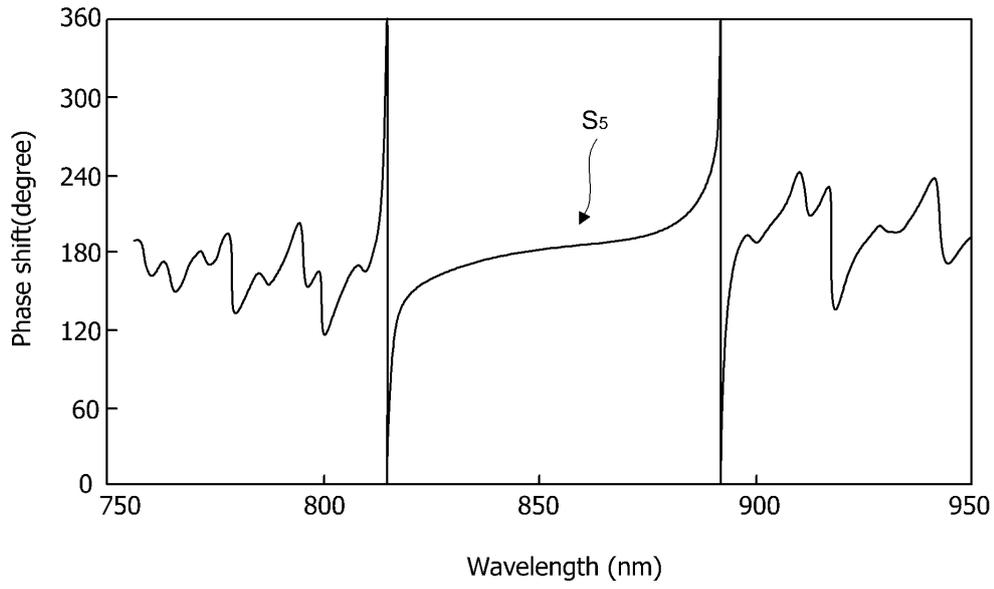
도면7



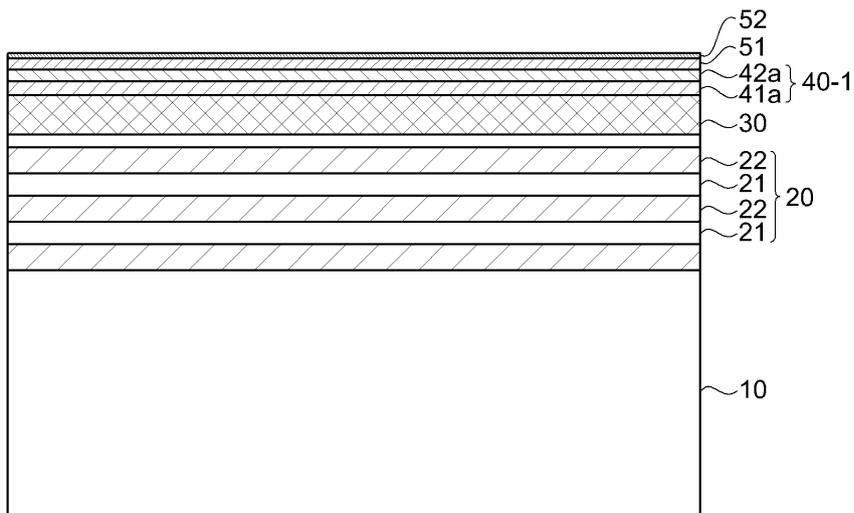
도면8



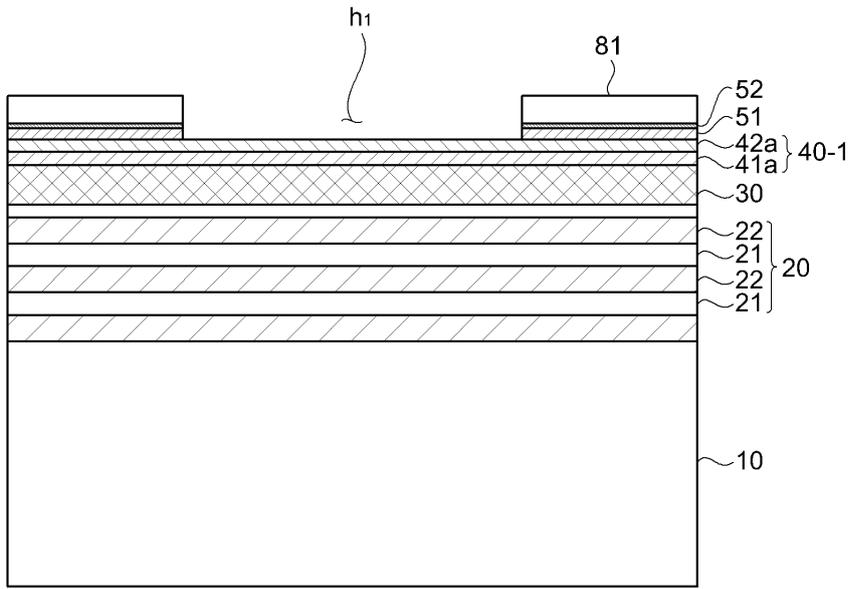
도면9



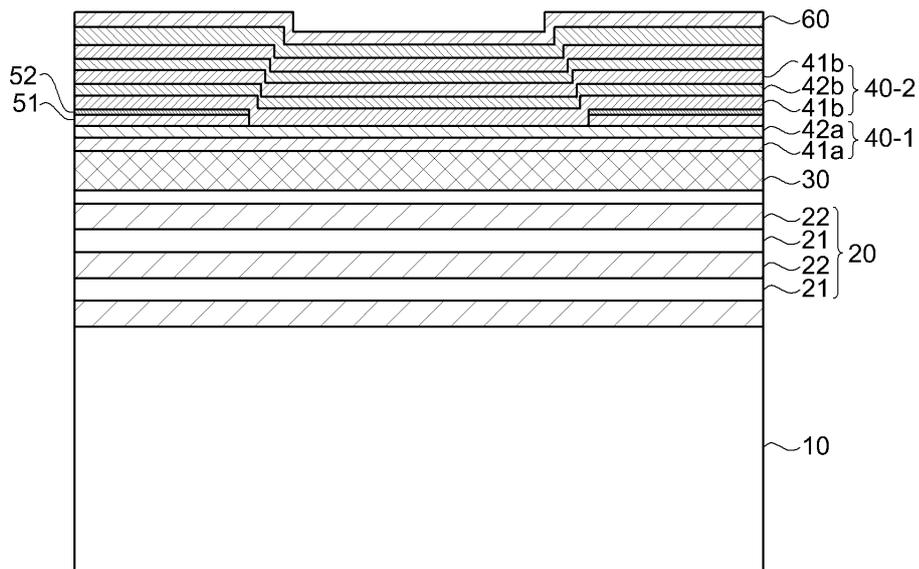
도면10a



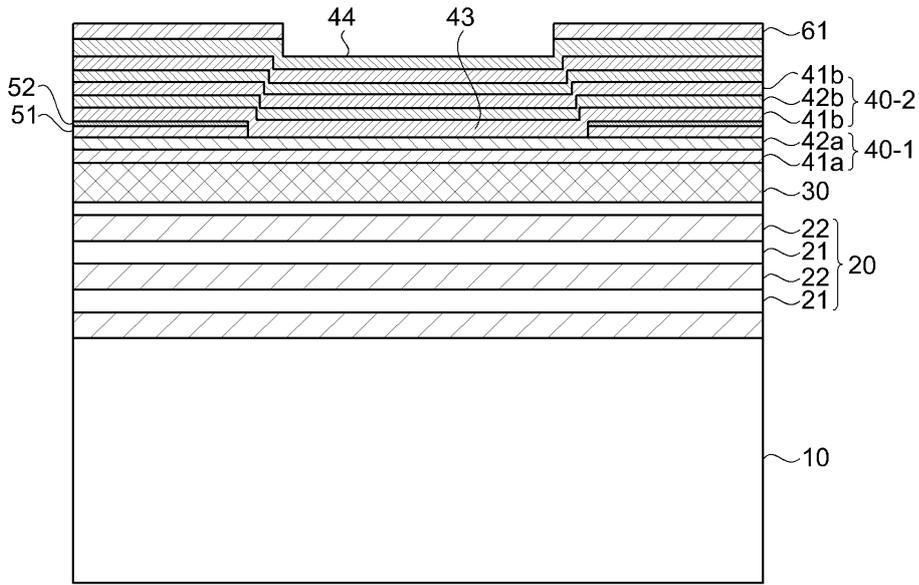
도면10b



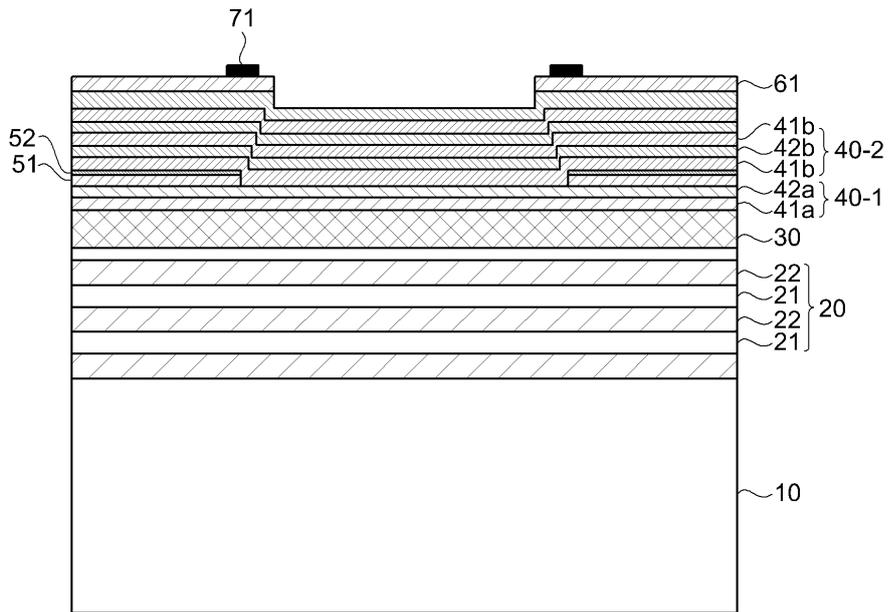
도면10c



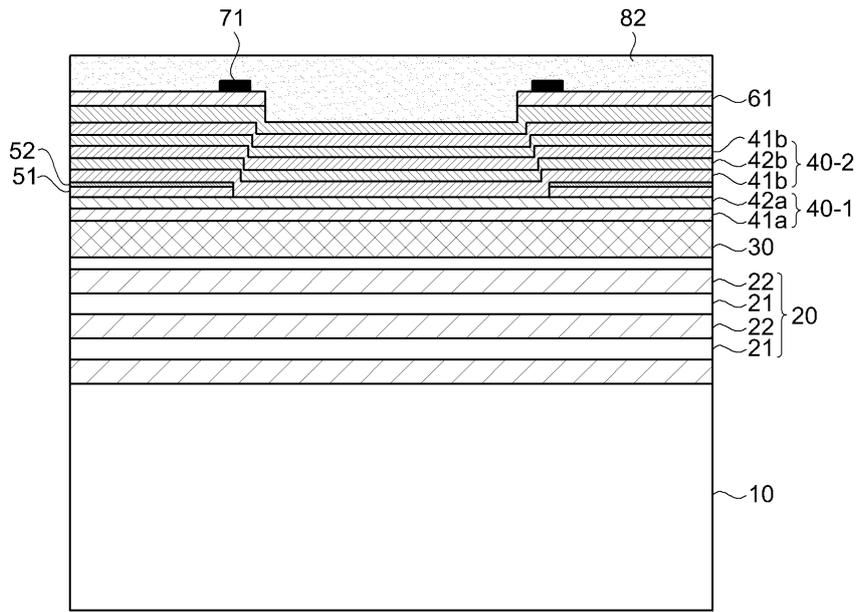
도면10d



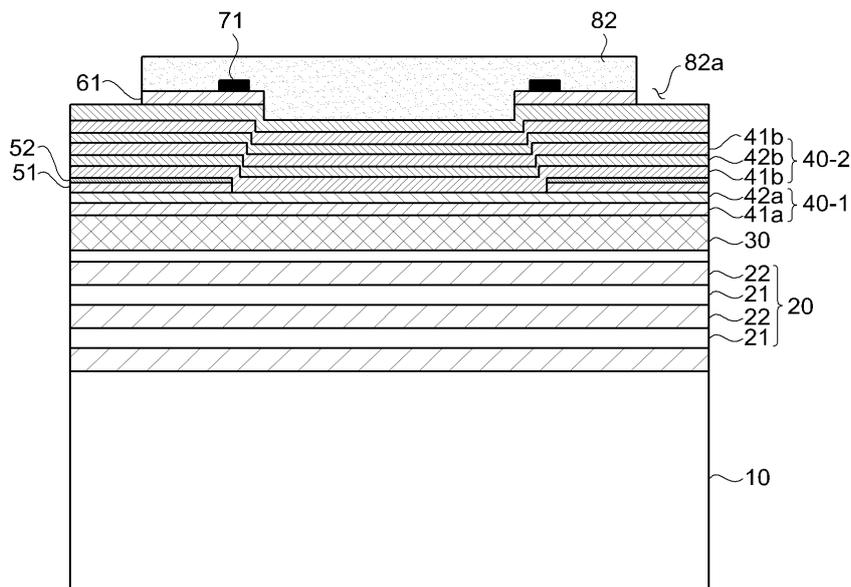
도면10e



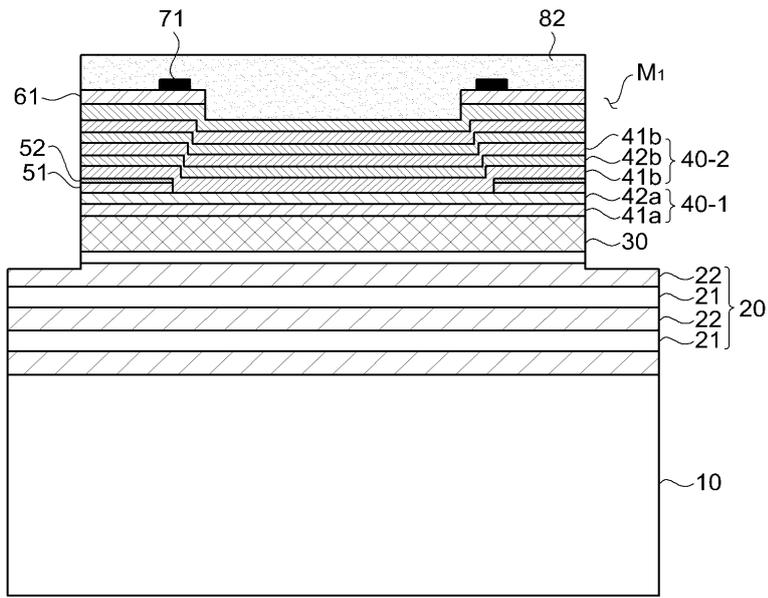
도면10f



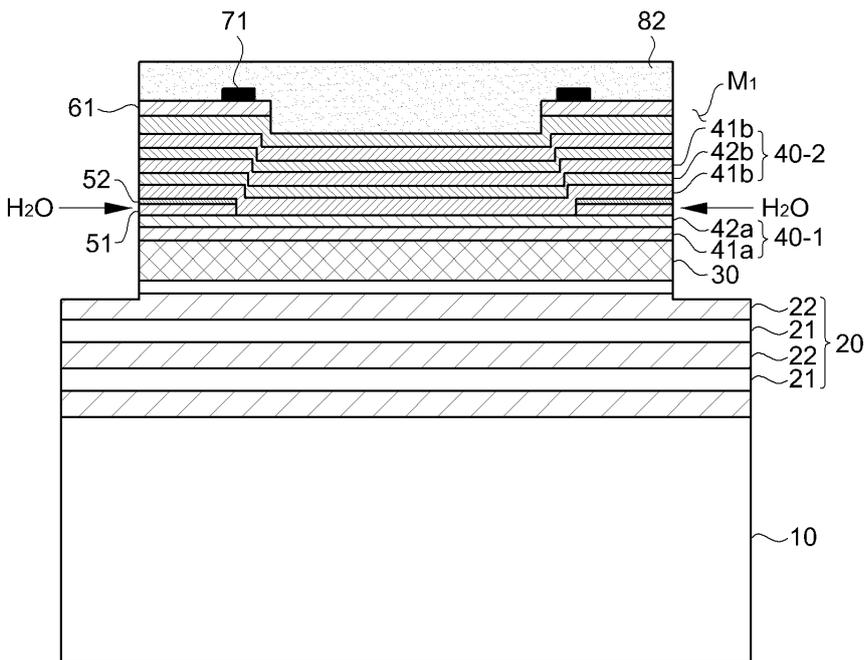
도면10g



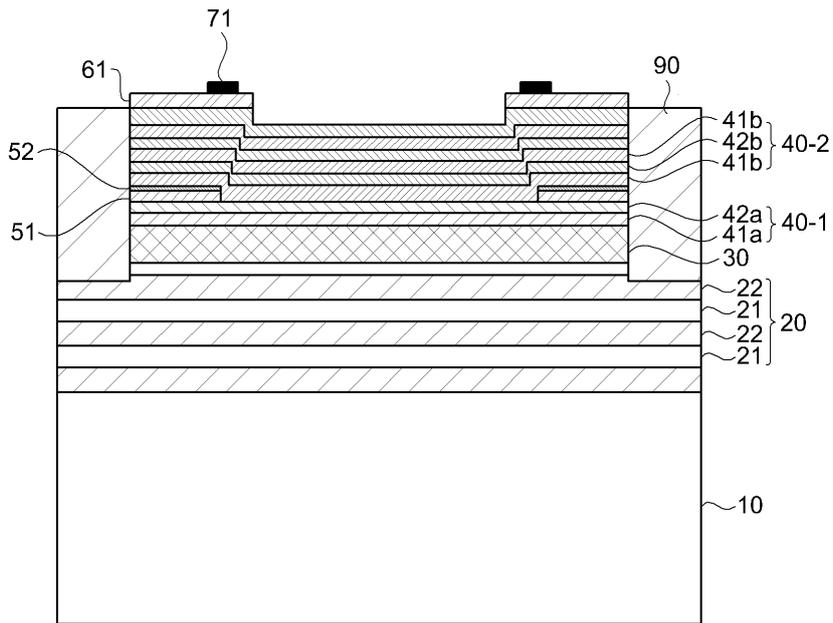
도면10h



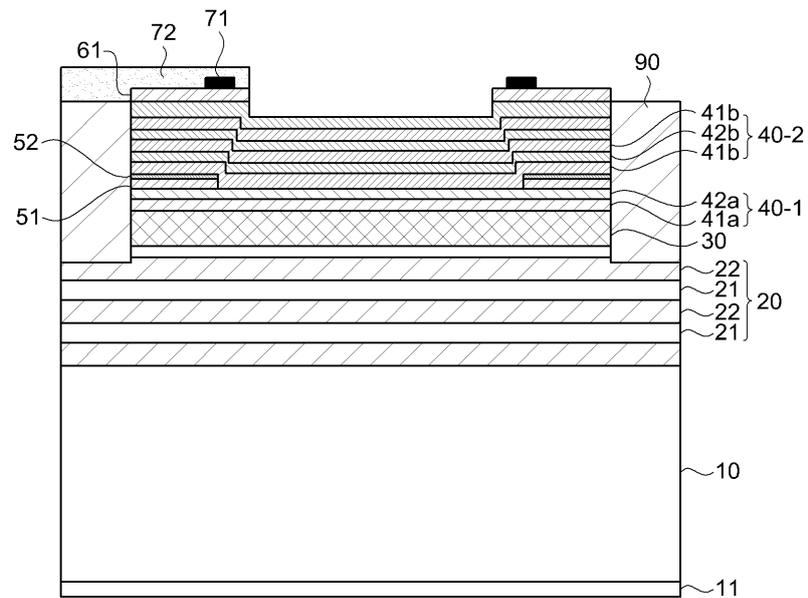
도면10i



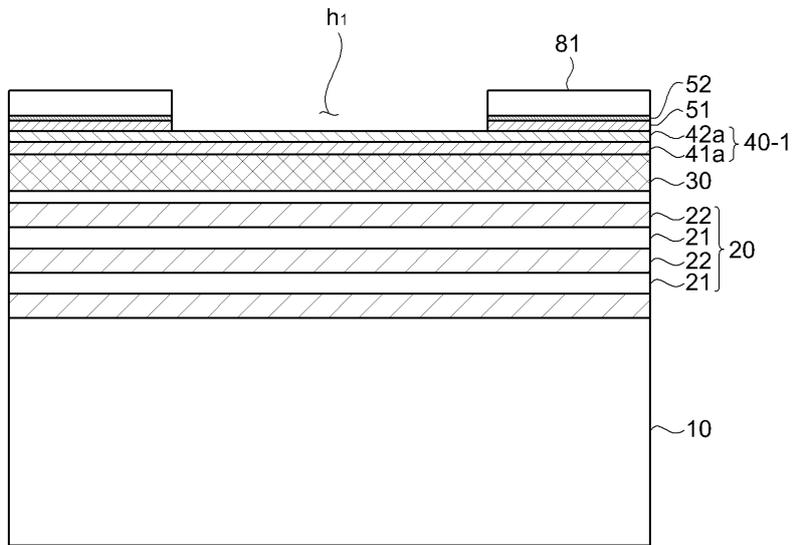
도면10j



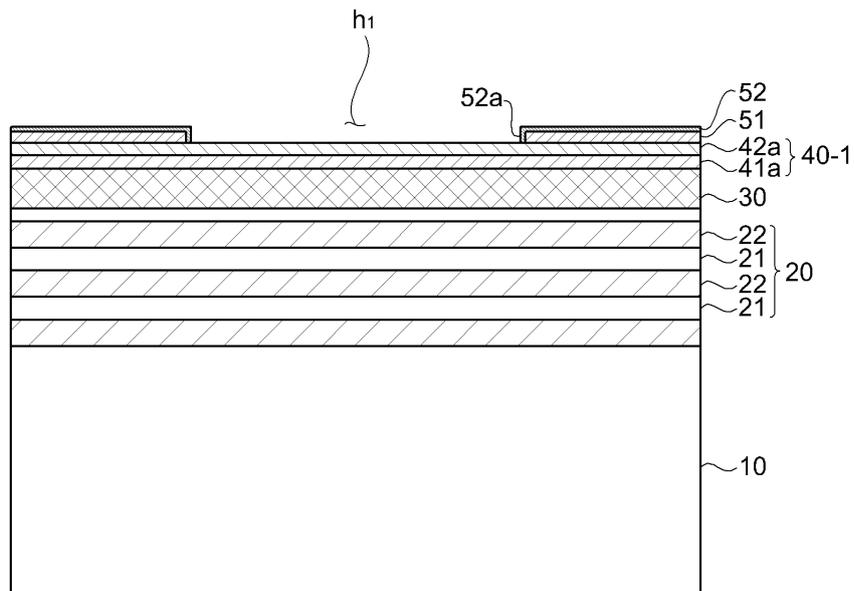
도면10k



도면11a



도면11b



도면11c

