



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2008년04월30일  
(11) 등록번호 10-0826732  
(24) 등록일자 2008년04월24일

(51) Int. Cl.

*H01S 5/18* (2006.01)

(21) 출원번호 10-2007-0063029

(22) 출원일자 2007년06월26일

심사청구일자 2007년06월26일

(65) 공개번호 10-2008-0000530

(43) 공개일자 2008년01월02일

(30) 우선권주장

JP-P-2006-00176372 2006년06월27일 일본(JP)

JP-P-2007-00080820 2007년03월27일 일본(JP)

(56) 선행기술조사문헌

KR100631359 B

KR1020060048158 A

KR1020040100962 A

전체 청구항 수 : 총 9 항

심사관 : 이용배

(54) 면발광형 반도체 레이저

(57) 요약

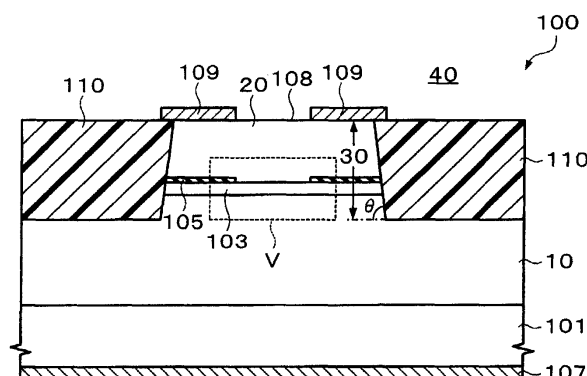
레이저광의 발진 모드수를 삭감할 수가 있고, 또한, 단순히 전류 협착층의 직경을 작게 하는 경우보다도 고효율화가 가능한 면발광형 반도체 레이저를 제공한다. 본 발명에 따른 면발광형 반도체 레이저(100)는, 하부 미러(10)와, 하부 미러의 상방에 형성된 활성층(103)과, 활성층의 상방에 형성된 상부 미러(20)를 포함하고, 하부 미러 및 상부 미러는, 복수의 단위 다층막을 적층한 다층막 미러이며, 단위 다층막은, 상하 방향으로 적층된 1조의 저굴절율층과 고굴절율층을 갖고, 단위 다층막은, 하기 수학적 식 1을 만족하고, 활성층은, 하기 수학적 식 2를 만족한다.

$$d_D < \lambda / 2n_D \quad \cdots(1)$$

$$d_A > m \lambda / 2n_A \quad \cdots(2)$$

단,  $\lambda$ 는, 면발광형 반도체 레이저의 설계 파장이며,  $m$ 은, 양의 정수이며,  $d_0$ 는, 단위 다층막의 두께이며,  $n_0$ 는, 단위 다층막의 평균 굴절율이며,  $d_A$ 는, 활성층의 두께이며,  $n_A$ 는, 활성층의 평균 굴절율이다.

대표도 - 도1



## 특허청구의 범위

### 청구항 1

하부 미러와,  
상기 하부 미러의 상방에 형성된 활성층과,  
상기 활성층의 상방에 형성된 상부 미러를 포함하고,  
상기 하부 미러 및 상기 상부 미러는, 복수의 단위 다층막을 적층한 다층막 미러이며,  
상기 단위 다층막은, 상하 방향으로 적층된 1조의 저굴절율층과 고굴절율층을 갖고,  
상기 단위 다층막은, 하기 수학적식 1

$$d_D < \lambda / 2n_D \quad \cdots(1)$$

을 만족하고,  
상기 활성층은, 하기 수학적식 2

$$d_A > m \lambda / 2n_A \quad \cdots(2)$$

를 만족하고,  
단,  
 $\lambda$ 는, 상기 면발광형 반도체 레이저의 설계 파장이며,  
 $m$ 은, 양의 정수이며,  
 $d_D$ 는, 상기 단위 다층막의 두께이며,  
 $n_D$ 는, 상기 단위 다층막의 평균 굴절율이며,  
 $d_A$ 는, 상기 활성층의 두께이며,  
 $n_A$ 는, 상기 활성층의 평균 굴절율인 면발광형 반도체 레이저.

### 청구항 2

제1항에 있어서,  
상기 수학적식 1은, 상기 복수의 단위 다층막 중의 적어도 하나에 대하여 만족되는 면발광형 반도체 레이저.

### 청구항 3

제2항에 있어서,  
상기 수학적식 1은, 상기 복수의 단위 다층막 중의 모두에 대하여 만족되는 면발광형 반도체 레이저.

### 청구항 4

제2항에 있어서,  
상기 수학적식 1을 만족하지 않는 상기 단위 다층막은, 하기 수학적식 3

$$d_D = \lambda / 2n_D \quad \cdots(3)$$

을 만족하는 면발광형 반도체 레이저.

### 청구항 5

제1항 내지 제4항 중 어느 한 항에 있어서,

하기 수학식 4

$$d_H + d_L < \lambda / 4n_L + \lambda / 4n_H \quad \cdots(4)$$

을 만족하고,

단,

$d_H$ 는, 상기 저굴절율층의 두께이며,

$d_L$ 은, 상기 고굴절율층의 두께이며,

$n_L$ 은, 상기 저굴절율층의 굴절율이며,

$n_H$ 는, 상기 고굴절율층의 굴절율인 면발광형 반도체 레이저.

#### 청구항 6

제1항에 있어서,

상기 하부 미러 및 상기 상부 미러는 분포 브래그 반사형(DBR) 미러인 면발광형 반도체 레이저.

#### 청구항 7

제1항에 있어서,

상기 활성층에서 공진하는 광 중,

저차의 공진 모드 성분은, 레이저 발진에 이르고,

고차의 공진 모드 성분은, 레이저 발진에 이르지 않는 면발광형 반도체 레이저.

#### 청구항 8

제1항에 있어서,

상기 활성층에서 공진하는 광 중,

저차의 공진 모드 성분의 에너지 증폭율은 플러스이고,

고차의 공진 모드 성분의 에너지 증폭율은 마이너스인 면발광형 반도체 레이저.

#### 청구항 9

제7항 또는 제8항에 있어서,

상기 저차의 공진 모드 성분은, 0차의 공진 모드 성분이며,

상기 고차의 공진 모드 성분은, 1차 이상의 공진 모드 성분인 면발광형 반도체 레이저.

### 명 세 서

#### 발명의 상세한 설명

##### 발명의 목적

##### 종래기술의 문헌 정보

<40> [특허 문헌1] 일본 특개 2003-86895호 공보

##### 발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

<41> 본 발명은, 면발광형 반도체 레이저에 관한 것이다.

<42> 최근에, 면발광형 반도체 레이저의 용도의 확대에 의해, 면발광형 반도체 레이저의 발진 모드수를 삭감하면서

고출력화하는 것이 기대되고 있다. 예를 들면, 산화 협착층을 갖는 면발광형 반도체 레이저에서는, 산화 협착층의 개구경을 작게 함으로써, 모드수를 삭감할 수 있다.

<43> 한편, 반도체 레이저의 출력은, 주입되는 전류값과 함께 커지고, 어떤 전류값에서 최대값(롤오프점)에 도달한다. 반도체 레이저에서는, 전류 주입에 의해 디바이스 온도가 상승함과 함께, 이득 스펙트럼이 시프트하고, 어떤 온도에서 이득이 최대값을 맞이하기 때문이다. 예를 들면 면발광형 반도체 레이저의 산화 협착층의 개구경이 작은 경우에는, 디바이스 온도가 상승하기 쉬워, 낮은 전류값에서 롤오프점에 도달하기 때문에, 충분한 출력을 얻을 수 없는 경우가 있다. 따라서, 디바이스 온도의 상승을 방지하기 위해, 예를 들면 상기 특허 문헌1에는, 전류 협착부에 달하는 홈을 발광부의 주변부에 파고, 이 홈 상에 직접 전극을 형성함으로써, 발열부부터 전극까지의 거리를 짧게 해서 방열성을 높이는 기술이 개시되어 있다.

### 발명이 이루고자 하는 기술적 과제

<44> 본 발명의 목적은, 레이저광의 발진 모드수를 삭감할 수가 있고, 또한, 단순히 전류 협착층의 직경을 작게 하는 경우보다도 고출력화가 가능한 면발광형 반도체 레이저를 제공하는 것에 있다.

### 발명의 구성 및 작용

<45> 본 발명에 따른 면발광형 반도체 레이저는, 하부 미러와, 상기 하부 미러의 상방에 형성된 활성층과, 상기 활성층의 상방에 형성된 상부 미러를 포함하고, 상기 하부 미러 및 상기 상부 미러는, 복수의 단위 다층막을 적층한 다층막 미러이며, 상기 단위 다층막은, 상하 방향으로 적층된 1조의 저굴절율층과 고굴절율층을 갖고, 상기 단위 다층막은, 하기 수학식 1을 만족하고, 상기 활성층은, 하기 수학식 2를 만족한다.

#### 수학식 1

<46> 
$$d_D < \lambda / 2n_D$$

#### 수학식 2

<47> 
$$d_A > m\lambda / 2n_A$$

<48> 단,

<49>  $\lambda$ 는, 상기 면발광형 반도체 레이저의 설계 파장이며,

<50>  $m$ 은, 양의 정수이며,

<51>  $d_D$ 는, 상기 단위 다층막의 두께이며,

<52>  $n_D$ 는, 상기 단위 다층막의 평균 굴절율이며,

<53>  $d_A$ 는, 상기 활성층의 두께이며,

<54>  $n_A$ 는, 상기 활성층의 평균 굴절율이다.

<55> 본 발명에 따른 면발광형 반도체 레이저에서는, 상기 수학식 1 및 수학식 2가 만족된다. 이에 의해, 예를 들면, 전류 협착층의 두께나 직경 등에 상관없이, 상기 활성층에서 공진하는 광(이하 「공진광」이라 함) 중, 저차의 공진 모드 성분의 에너지 증가율을 거의 감소시키지 않고, 고차의 공진 모드 성분의 에너지 증가율을 감소시킬 수 있다. 이것은, 후술하는 수치 계산예에서도 확인되어 있다. 그 결과, 단순히 전류 협착층의 개구경을 작게 하는 경우와 비교해서 면발광형 반도체 레이저의 출력을 감소시키지 않고, 고차의 공진 모드 성분의 공진광을 레이저 발진시키지 않도록 할 수 있다. 따라서, 본 발명에 따르면, 레이저광의 발진 모드수를 삭감할 수가 있고, 또한, 단순히 전류 협착층의 직경을 작게 하는 경우보다도 고출력화가 가능한 면발광형 반도체 레이저를 제공할 수 있다.

<56> 또한, 본 발명에서, 설계 파장이란, 상기 면발광형 반도체 레이저에서 발생하는 광 중 강도가 최대인 광의 파장을 말한다.

<57> 또한, 본 발명에 따른 기재에서는, 「상방」이라는 문언을, 예를 들면, 「특정한 것(이하 「A」라 함)의 「상방」에 형성된 다른 특정한 것(이하 「B」라 함)」등으로 이용하고 있다. 본 발명에 따른 기재에서는, 이 예와 같은 경우에, A 상에 직접 B가 형성되어 있는 경우와, A 상에 다른 것을 개재하여 B가 형성되어 있는 경우가 포함되는 것으로서, 「상방」이라는 문언을 이용하고 있다.

<58> 또한, 본 발명에서, 「상하 방향으로 적층된 1조의 저굴절율층과 고굴절율층」이라고 하는 경우에는, 저굴절율층과 고굴절율층의 사이에 다른 층이 적층되어 있는 경우가 포함되는 것으로 한다.

<59> 또한, 본 발명에 따른 기재에서, 예를 들면  $\lambda/2n_0$ 는,  $\lambda/(2n_0)$ 를 나타내고 있다.

<60> 본 발명에 따른 면발광형 반도체 레이저에서, 상기 수학식 1은, 상기 복수의 단위 다층막 중의 적어도 하나에 대하여 만족될 수 있다.

<61> 본 발명에 따른 면발광형 반도체 레이저에서, 상기 수학식 1은, 상기 복수의 단위 다층막 중의 모두에 대하여 만족될 수 있다

<62> 본 발명에 따른 면발광형 반도체 레이저에서, 상기 수학식 1을 만족하지 않는 상기 단위 다층막은, 하기 수학식 3을 만족할 수 있다

### 수학식 3

$$d_D = \lambda/2n_D$$

<63> 본 발명에 따른 면발광형 반도체 레이저에서, 하기 수학식 4를 만족할 수 있다.

### 수학식 4

$$d_H + d_L < \lambda/4n_L + \lambda/4n_H$$

<65> 단,  
 <66>  $d_H$ 는, 상기 저굴절율층의 두께이며,  
 <67>  $d_L$ 은, 상기 고굴절율층의 두께이며,  
 <68>  $n_L$ 은, 상기 저굴절율층의 굴절율이며,  
 <69>  $n_H$ 는, 상기 고굴절율층의 굴절율이다.

<71> 본 발명에 따른 면발광형 반도체 레이저에서, 상기 하부 미러 및 상기 상부 미러는, 분포 브래그 반사형(DBR) 미러일 수 있다.

<72> 본 발명에 따른 면발광형 반도체 레이저에서, 상기 활성층에서 공진하는 광 중, 저차의 공진 모드 성분은, 레이저 발진에 이르고, 고차의 공진 모드 성분은, 레이저 발진에 이르지 않을 수 있다.

<73> 본 발명에 따른 면발광형 반도체 레이저에서, 상기 활성층에서 공진하는 광 중, 저차의 공진 모드 성분의 에너지 증폭율은 플러스이고, 고차의 공진 모드 성분의 에너지 증폭율은 마이너스일 수 있다.

<74> 본 발명에 따른 면발광형 반도체 레이저에서, 상기 저차의 공진 모드 성분은, 0차의 공진 모드 성분이며, 상기 고차의 공진 모드 성분은, 1차 이상의 공진 모드 성분일 수 있다.

<75> <발명을 실시하기 위한 최량의 형태>

<76> 이하, 본 발명의 바람직한 실시 형태에 대하여, 도면을 참조하면서 설명한다.

<77> 1. 우선, 본 실시 형태에 따른 면발광형 반도체 레이저(100)에 대하여 설명한다.

<78> 도 1은, 면발광형 반도체 레이저(100)를 개략적으로 도시하는 단면도이며, 도 2는, 도 1의 영역 V를 확대해서 도시한 개략도이다.

- <79> 면발광형 반도체 레이저(100)는, 도 1에 도시한 바와 같이, 기판(101)과, 하부 미러(10)와, 활성층(103)과, 상부 미러(20)와, 절연층(110)과, 제1 전극(107)과, 제2 전극(109)을 포함할 수 있다.
- <80> 기판(101)으로서는, 예를 들면 제1 도전형(예를 들면 n형) GaAs 기판 등을 이용할 수 있다.
- <81> 기판(101) 상에는, 예를 들면 제1 도전형의 하부 미러(10)가 형성되어 있다. 하부 미러(10)는, 단위 다층막(10p)을 복수 적층한 다층막 미러이다. 단위 다층막(10p)은, 도 2에 도시한 바와 같이, 예를 들면, 저굴절율층(10L)과, 저굴절율층(10L) 하에 형성된 고굴절율층(10H)으로 이루어질 수 있다. 즉, 하부 미러(10)는, 예를 들면, 저굴절율층(10L)과 고굴절율층(10H)을 교대로 적층한 분포 브래그 반사형(DBR) 미러일 수 있다. 저굴절율층(10L)은, 예를 들면, n형  $\text{Al}_{0.9}\text{Ga}_{0.1}\text{As}$ 층(굴절율 3.049)으로 이루어질 수 있다. 고굴절율층(10H)은, 예를 들면, n형  $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{As}$ 층(굴절율 3.525)으로 이루어질 수 있다. 단위 다층막(10p)의 적층수(페어수)는, 예를 들면 35.5페어~43.5페어 등으로 할 수 있다. 또한, 하부 미러(10)의 단위 다층막(10p)으로서는, 단위 다층막(10p)의 층 구성이 반복되고, 하부 미러(10)가 구성되는 것이면 된다. 예를 들면, 단위 다층막(10p)은, 저굴절율층(10L)과, 저굴절율층(10L) 상에 형성된 고굴절율층(10H)으로 이루어질 수 있다.
- <82> 하부 미러(10) 상에는, 활성층(103)이 형성되어 있다. 활성층(103)은, 예를 들면, GaAs 웰층과  $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$  배리어층으로 구성되는 양자웰 구조를 3층 겹친 다중 양자웰(MQW) 구조를 갖는다.
- <83> 활성층(103) 상에는, 예를 들면 제2 도전형(예를 들면 p형)의 상부 미러(20)가 형성되어 있다. 상부 미러(20)는, 단위 다층막(20p)을 복수 적층한 다층막 미러이다. 단위 다층막(20p)은, 도 2에 도시한 바와 같이, 예를 들면, 저굴절율층(20L)과, 저굴절율층(20L) 하에 형성된 고굴절율층(20H)으로 이루어질 수 있다. 즉, 상부 미러(20)는, 예를 들면, 저굴절율층(20L)과 고굴절율층(20H)을 교대로 적층한 DBR 미러일 수 있다. 저굴절율층(20L)은, 예를 들면, p형  $\text{Al}_{0.9}\text{Ga}_{0.1}\text{As}$ 층(굴절율 3.049)으로 이루어질 수 있다. 고굴절율층(20H)은, 예를 들면, p형  $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{As}$ 층(굴절율 3.525)으로 이루어질 수 있다. 단위 다층막(20p)의 적층수(페어수)는, 예를 들면 19페어~31페어 등으로 할 수 있다. 또한, 상부 미러(20)의 단위 다층막(20p)으로서는, 단위 다층막(20p)의 층 구성이 반복되고, 상부 미러(20)가 구성되는 것이면 된다. 예를 들면, 단위 다층막(20p)은, 저굴절율층(20L)과, 저굴절율층(20L) 상에 형성된 고굴절율층(20H)으로 이루어질 수 있다.
- <84> 본 실시 형태에서는, 예를 들면, 전술한 복수의 단위 다층막(10p, 20p) 중의 전부에 대하여, 하기 수학식 1이 만족될 수 있다. 또한, 본 실시 형태에서는, 활성층(103)은, 하기 수학식 2를 만족한다.
- <85>  $d_b < \lambda/2n_b \quad \cdots(1)$
- <86>  $d_a > m\lambda/2n_a \quad \cdots(2)$
- <87> 단,
- <88>  $\lambda$ 는, 면발광형 반도체 레이저(100)의 설계 파장이며,
- <89>  $m$ 은, 양의 정수이며,
- <90>  $d_b$ 는, 단위 다층막(10p, 20p)의 두께이며,
- <91>  $n_b$ 는, 단위 다층막(10p, 20p)의 평균 굴절율이며,
- <92>  $d_a$ 는, 활성층(103)의 두께이며,
- <93>  $n_a$ 는, 활성층(103)의 평균 굴절율이다.
- <94> 또한,  $d_b$ 의 하한값, 및,  $d_a$ 의 상한값은,  $\lambda$ 가 다층막 미러(하부 미러(10) 및 상부 미러(20))의 반사 대역에 들어가는지 여부로 결정될 수 있다.  $d_b$ 의 하한값은, 예를 들면,  $\lambda=850\text{nm}$ 의  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ( $x=0.15, 0.90$ )로 이루어지는 다층막 미러에서는, 예를 들면  $\lambda/2n_b$ 에 대하여 5% 정도 작게 한 값으로 할 수 있다. 또한,  $d_a$ 의 상한값은, 설계 파장  $\lambda$ 에 따라서 적절하게 결정되는데, 예를 들면  $m\lambda/2n_a$ 에 대하여 20% 정도 크게 한 값으로 할 수 있다.
- <95> 또한, 전술한 수학식 1 및 수학식 2는, 하기 수학식 5로 바꿔 쓰여질 수 있다.

## 수학식 5

$$2n_D \cdot d_D < \lambda < (2n_A \cdot d_A)/m$$

<96>

<97>

또한, 전술한 수학식 1 및 수학식 2로부터, 활성층(103)의 두께  $d_A$ 와 단위 다층막(10p, 20p)의 두께  $d_D$ 의 비 ( $d_A/d_D$ )는, 하기 수학식 6을 만족할 수 있다.

## 수학식 6

$$d_A/d_D > mn_D/n_A$$

<98>

<99>

설계 파장  $\lambda$ 는, 예를 들면, 780nm, 850nm, 1300nm 등이지만, 특별히 한정되지 않는다. 또한, m이 예를 들면 2 일 경우에는,  $1\lambda$  공진기가 구성되지만, m은, 특별히 한정되지 않는다.

<100>

본 실시 형태에서는, 예를 들면 도 2에 도시한 바와 같이, 하부 미러(10)에서의 복수의 단위 다층막(10p)의 각각의 두께, 및, 상부 미러(20)에서의 복수의 단위 다층막(20p)의 각각의 두께는, 동일한  $d_D$ 일 수 있다. 또한, 본 실시 형태에서는, 예를 들면, 하부 미러(10)에서의 복수의 단위 다층막(10p)의 각각의 평균 굴절율, 및, 상부 미러(20)에서의 복수의 단위 다층막(20p)의 각각의 평균 굴절율은, 동일한  $n_D$ 일 수 있다.

<101>

또한, 예를 들면, 하부 미러(10)에서의 복수의 단위 다층막(10p) 중, 적어도 2개의 단위 다층막(10p)의 두께는, 각각 상이할 수도 있다. 또한, 예를 들면, 하부 미러(10)에서의 복수의 단위 다층막(10p) 중, 적어도 2개의 단위 다층막(10p)의 평균 굴절율은, 각각 상이할 수도 있다. 마찬가지로, 예를 들면, 상부 미러(20)에서의 복수의 단위 다층막(20p) 중, 적어도 2개의 단위 다층막(20p)의 두께 및 평균 굴절율은, 각각 상이할 수도 있다. 전술한 수학식 1은, 하부 미러(10) 및 상부 미러(20)에서의 복수의 단위 다층막(10p, 20p) 중의 적어도 하나에 대하여 만족하면 된다. 예를 들면, 전술한 수학식 1을 만족하지 않는 단위 다층막(10p, 20p)에 대해서는, 하기 수학식 3이 만족될 수 있다.

<102>

$$d_D = \lambda/2n_D \cdots (3)$$

<103>

또한, 예를 들면 도 2에 도시한 바와 같이, 하부 미러(10)의 단위 다층막(10p)이 저굴절율층(10L)과 고굴절율층(10H)으로 이루어지고, 상부 미러(20)의 단위 다층막(20p)이 저굴절율층(20L)과 고굴절율층(20H)으로 이루어지는 경우에는, 전술한 수학식 1은 하기 수학식 4로 바뀌 쓰여질 수 있다.

<104>

$$d_H + d_L < \lambda/4n_L + \lambda/4n_H \cdots (4)$$

<105>

단,

<106>

$d_H$ 는, 상기 저굴절율층의 두께이며,

<107>

$d_L$ 은, 상기 고굴절율층의 두께이며,

<108>

$n_L$ 은, 상기 저굴절율층의 굴절율이며,

<109>

$n_H$ 는, 상기 고굴절율층의 굴절율이다.

<110>

또한, 전술한 하부 미러(10)에서의 단위 다층막(10p)의 적층수, 및, 상부 미러(20)에서의 단위 다층막(20p)의 적층수를 적절하게 조정함으로써, 면발광형 반도체 레이저(100)의 임계값을 조정할 수 있다.

<111>

하부 미러(10), 활성층(103), 및 상부 미러(20)는, 수직 공진기를 구성할 수 있다. 하부 미러(10), 활성층(103), 및 상부 미러(20)를 구성하는 각 층의 조성 및 층수는, 필요에 따라서 적절하게 조정될 수 있다. p형의 상부 미러(20), 불순물이 도핑되어 있지 않은 활성층(103), 및 n형의 하부 미러(10)에 의해, pin 다이오드가 구성된다. 상부 미러(20), 활성층(103), 및 하부 미러(10)의 일부는, 주상의 반도체 퇴적체(이하 「주상부」라 함)(30)를 구성할 수 있다. 주상부(30)의 평면 형상은, 예를 들면 원형 등이다.

<112>

또한, 도 1에 도시한 바와 같이, 예를 들면, 상부 미러(20)를 구성하는 층 중의 적어도 1층을 전류 협착층(10



5)으로 할 수 있다. 전류 협착층(105)은, 활성층(103)에 가까운 영역에 형성되어 있다. 전류 협착층(105)으로서, 예를 들면, AlGaAs층을 산화한 것이나, 프로톤을 주입한 것 등을 이용할 수 있다. 전류 협착층(105)은, 개구부를 갖는 절연층이다. 전류 협착층(105)은 링 형상으로 형성되어 있다.

<113> 기판(101)의 이면(하부 미러(10)측과는 역측의 면)에는, 제1 전극(107)이 형성되어 있다. 제1 전극(107)은, 기판(101)을 통하여, 하부 미러(10)와 전기적으로 접속되어 있다. 제1 전극(107)은, 예를 들면, 하부 미러(10)의 상면 상에 형성될 수도 있다.

<114> 상부 미러(20) 및 절연층(110) 상에는, 제2 전극(109)이 형성되어 있다. 제2 전극(109)은, 상부 미러(20)와 전기적으로 접속되어 있다. 제2 전극(109)은, 주상부(30) 상에 개구부를 갖는다. 그 개구부에 의해, 상부 미러(20)의 상면 상에 제2 전극(109)이 설치되어 있지 않은 영역이 형성된다. 이 영역이, 레이저광의 출사면(108)이다. 출사면(108)의 평면 형상은, 예를 들면 원형 등이다.

<115> 절연층(110)은, 하부 미러(10) 상에 형성되어 있다. 절연층(110)은, 주상부(30)를 둘러싸도록 형성되어 있다. 절연층(110)은, 제2 전극(109)과 하부 미러(10)를 전기적으로 분리시킬 수 있다.

<116> 2. 다음으로, 본 실시 형태에 따른 면발광형 반도체 레이저(100)의 제조 방법의 일례에 대하여, 도면을 참조하면서 설명한다.

<117> 도 3 및 도 4는, 도 1에 도시하는 본 실시 형태의 면발광형 반도체 레이저(100)의 일 제조 공정을 모식적으로 도시하는 단면도이다.

<118> (1) 우선, 도 3에 도시한 바와 같이, 기판(101)으로서, 예를 들면 n형 GaAs 기판을 준비한다. 다음으로, 기판(101) 상에, 조성을 변조시키면서 에피택셜 성장시킴으로써, 반도체 다층막(150)을 형성한다. 반도체 다층막(150)은, 하부 미러(10), 활성층(103), 및 상부 미러(20)를 구성하는 반도체층을 순서대로 적층한 것이다. 또한, 상부 미러(20)를 성장시킬 때에, 활성층(103) 근방 중 적어도 1층을, 나중에 산화되어서 전류 협착층(105)으로 되는 층으로 할 수 있다. 전류 협착층(105)으로 되는 층으로서, 예를 들면, Al 조성이 0.95 이상인 AlGaAs층 등을 이용할 수 있다.

<119> (2) 다음으로, 도 4에 도시한 바와 같이, 반도체 다층막(150)을 패터닝하여, 원하는 형상의 하부 미러(10), 활성층(103), 및 상부 미러(20)를 형성한다. 이에 의해, 주상부(30)가 형성된다. 반도체 다층막(150)의 패터닝은, 예를 들면 리소그래피 기술 및 에칭 기술 등을 이용하여 행하여질 수 있다.

<120> 다음으로, 예를 들면 400℃ 정도의 수증기 분위기 속에, 상기 공정에 의해 주상부(30)가 형성된 기판(101)을 투입함으로써, 전술한 전류 협착층(105)으로 되는 층을 측면으로부터 산화하여, 전류 협착층(105)을 형성한다.

<121> (3) 다음으로, 도 1에 도시한 바와 같이, 하부 미러(10) 상에, 주상부(30)를 둘러싸도록 절연층(110)을 형성한다. 우선, 예를 들면 스핀 코팅법 등을 이용하여 전체면에 폴리이미드 수지 등으로 이루어지는 절연층을 형성한다. 다음으로, 예를 들면 CMP법 등을 이용하여 주상부(30)의 상면을 노출시킨다. 다음으로, 예를 들면 리소그래피 기술 및 에칭 기술 등을 이용하여 절연층을 패터닝한다. 이와 같이 하여 원하는 형상의 절연층(110)을 형성할 수 있다.

<122> 다음으로, 제1 전극(107) 및 제2 전극(109)을 형성한다. 이들 전극은, 예를 들면, 진공 증착법 및 리프트오프법의 조합 등에 의해, 원하는 형상으로 형성될 수 있다. 또한, 각 전극을 형성하는 순번은, 특별히 한정되지 않는다.

<123> (4) 이상의 공정에 의해, 도 1에 도시한 바와 같이, 본 실시 형태의 면발광형 반도체 레이저(100)가 얻어진다.

<124> 3. 다음으로, 수치 계산예에 대하여 설명한다.

<125> 본 수치 계산예에서는, 시간 영역 차분법(FDTD법)을 이용하여, 본 실시 형태에 따른 면발광형 반도체 레이저(100)에 대하여 광학 시뮬레이션을 행하였다. 시뮬레이션은, 6개의 샘플(No.1~6)에 대하여 행하였다. 수치 계산을 적용한 샘플의 구조는, 이하와 같다.

<126> 기판(101): n형 GaAs 기판(굴절율 3.62)

<127> 하부 미러(10)의 단위 다층막(10p):n형  $Al_{0.9}Ga_{0.1}As$ 층(굴절율 3.049)과 n형  $Al_{0.15}Ga_{0.85}As$ 층(굴절율 3.525)으로 이루어지는 2층 구조



- <128> 하부 미러(10)의 단위 다층막(10p)의 평균 굴절율  $n_D:2n_Hn_L/(n_H+n_L)=3.2697$
- <129> 활성층(103):GaAs층(굴절율 3.6201)과  $Al_{0.3}Ga_{0.7}As$ 층(굴절율 3.4297)으로 이루어지는 양자웰 구조를 3층 겹친 3QW 구조
- <130> 활성층(103)의 평균 굴절율  $n_A:3.3838$
- <131> 상부 미러(20)의 단위 다층막(20p):p형  $Al_{0.9}Ga_{0.1}As$ 층(굴절율 3.049)과 p형  $Al_{0.15}Ga_{0.85}As$ 층(굴절율 3.525)으로 이루어지는 2층 구조
- <132> 상부 미러(20)의 단위 다층막(20p)의 평균 굴절율  $n_D:2n_Hn_L/(n_H+n_L)=3.2697$
- <133> 절연층(110):폴리이미드 수지(굴절율 1.78)
- <134> 면발광형 반도체 레이저(100)의 외부 공간(40):공기(굴절율 1.00)
- <135> 주상부(30)의 경사각(포스트 경사각)  $\theta$ :80도
- <136> 평면에서 보아 주상부(30)의 외부 직경(포스트 직경):약 50 $\mu m$
- <137> 주상부(30)에서의 하부 미러(10)의 패어수:4패어
- <138> 전류 협착층(105):활성층(103) 상의 1층째의 AlGaAs층을 산화한 것(굴절율 1.6)
- <139> 전류 협착층(105)의 개구부 직경:13 $\mu m$
- <140> 전류 협착층(105)의 두께:12nm, 30nm
- <141> 설계 파장  $\lambda$ :850nm
- <142> 전술한 수학식 2에서의 m:2
- <143> 또한, 본 수치 계산예의 각 샘플에서는, 하부 미러(10)에서의 복수의 단위 다층막(10p)을 구성하는 각 층의 두께, 및, 상부 미러(20)에서의 복수의 단위 다층막(20p)을 구성하는 각 층의 두께는, 동일한 비로 되도록 결정하였다. 구체적으로는,  $n_H$  및  $n_L$ 에 반비례하도록 결정하였다. 또한, 하부 미러(10)에서의 복수의 단위 다층막(10p)의 각각의 평균 굴절율, 및, 상부 미러(20)에서의 복수의 단위 다층막(20p)의 각각의 평균 굴절율은, 동일한  $n_D$ 로 했다.
- <144> 또한, 각 수치 계산 샘플의 활성층(103)의 두께  $d_A$ 와 단위 다층막(10p, 20p)의 두께  $d_D$ 의 비  $d_A/d_D$ 는, No.1과 No.4에서는,  $2n_D/n_A(=1.9325)$ 의 1.15배, No.2와 No.5에서는, 1.10배, No.3과 No.6에서는, 1.05배로 했다. 또한, 비교예로서,  $d_A/d_D$ 가  $2n_D/n_A$ 와 동등한 것, 즉,  $d_D=\lambda/4n_H+\lambda/4n_L=\lambda/2n_D(=0.12998\mu m)$ , 및,  $d_A=m\lambda/2n_A(=0.25119\mu m)$ 인 것에 대해서도 시뮬레이션을 행하였다.
- <145> 각 수치 계산 샘플(No.1~6) 및 비교예에서의 단위 다층막(10p, 20p)의 두께  $d_D$ , 활성층(103)의 두께  $d_A$ , 이들의 비  $d_A/d_D$ , 하부 미러(10)의 패어수, 및, 상부 미러(20)의 패어수를 표 1 및 표 2에 나타낸다. 표 1은, 전류 협착층(105)의 두께가 12nm인 경우이고, 표 2는, 30nm인 경우이다. 또한, AlGaAs의 격자 주기를 상회하는 유효 자릿수로 되어 있지만, 어디까지나 계산상 이용한 값이며, 현실에 의거한 값의 것을 이용하면 특별히 문제는 없다. 각 두께  $d_D$  및  $d_A$ 는, 설계 파장  $\lambda$ 가 850nm로 되도록 조정되어 있다. 각 수치 계산 샘플(No.1~6)에서의 두께  $d_D$  및  $d_A$ 는, 전술한 하기 수학식 1 및 수학식 2를 만족하고 있다.
- <146>  $d_D < \lambda/2n_D \cdots(1)$
- <147>  $d_A > m\lambda/2n_A \cdots(2)$
- <148> 단, 본 수치 계산예에서는, m=2이다.
- <149> 또한, 각 패어수에 대해서는, 단위 다층막(10p, 20p)의 두께  $d_D$ 를 바꾼 경우의 미러 손실이, 각 샘플에서 동등하게 되도록, 일차원 FDTD법을 이용하여 광자 수명을 계산하는 것으로부터 산출했다. 이것은, 비교를 위해, 후

술하는 0차의 공진 모드 성분의 광자 수명을 동일 정도로 유지하기 위해서만 행하고 있어, 본건과 페어수가 서로 다른 경우도 본 발명으로부터 일탈하는 것은 아니다.

표 1

<150>

No.	$d_D[\mu m]$	$d_A[\mu m]$	$d_A/d_D$	하부 미러 페어수	상부 미러 페어수
1	0.12663	0.28144	$1.9325 \times 1.15$	43.5	31
2	0.12766	0.27139	$1.9325 \times 1.10$	37.5	28
3	0.12878	0.26132	$1.9325 \times 1.05$	35.5	26
비교예	0.12998	0.25119	1.9325	37.5	25

표 2

<151>

No.	$d_D[\mu m]$	$d_A[\mu m]$	$d_A/d_D$	하부 미러 페어수	상부 미러 페어수
4	0.12630	0.28070	$1.9325 \times 1.15$	43.5	31
5	0.12741	0.27086	$1.9325 \times 1.10$	37.5	28
6	0.12853	0.26080	$1.9325 \times 1.05$	35.5	26
비교예	0.12998	0.25119	1.9325	37.5	25

<152>

각 수치 계산 샘플(No.1~6) 및 비교예에 대하여, 2차원 FDTD법을 이용하여, 0차의 공진 모드 성분(이하 「0차 모드 성분」이라 함)과 1차의 공진 모드 성분(이하 「1차 모드 성분」이라 함)의 공진광의 활성층 에너지의 증가율을 계산한 결과를 도 5 및 도 6에 도시한다. 또한, 활성층(103)에는, 전류 주입 시에 상당하는 계인을 부여해서 계산을 행하고 있다. 도 5는, 전류 협착층(105)의 두께가 12nm인 경우이며, 도 6은, 30nm인 경우이다. 횡축은, 단위 다층막(10p, 20p)의 두께  $d_0$ 이고, 종축은, 활성층 에너지의 증가율이다. 도 5 및 도 6에 도시한 바와 같이,  $d_0$ 를 작게 하면( $d_A/d_0$ 를 크게 하면), 0차 모드 성분의 공진광의 에너지 증가율은, 거의 변화되지 않는 것에 대해, 1차 모드 성분의 공진광의 에너지 증가율은, 감소하는 것을 알 수 있다.  $d_0$ 를 작게 해 가면( $d_A/d_0$ 를 크게 해 가면), 1차 모드 성분의 공진광의 에너지 증가율은 마이너스로 바뀌어 있고, 레이저 발진에 이르지 않는 상태로 되는 것을 알 수 있다. 즉, 공진광 중, 1차 이상의 공진 모드 성분은, 레이저 발진하지 않고(따라서, 면발광형 반도체 레이저(100)로부터 출사되지 않고), 0차 모드 성분의 공진광만이 레이저 발진한다(따라서, 면발광형 반도체 레이저(100)로부터 출사된다). 따라서, 면발광형 반도체 레이저(100)로부터 출사되는 레이저광의 싱글 모드화가 가능하게 된다. 또한, 공진광 중, 고차의 공진 모드 성분(예를 들면 1차 모드 성분)의 삭감은, 도 5 및 도 6에 도시한 바와 같이, 전류 협착층(105)의 두께에 상관없이 가능한 것을 알 수 있다.

<153>

또한, 전술한 수치 계산예에서는, 공진광 중, 저차의 공진 모드 성분(이하 「저차 모드 성분」으로 함)으로서 0차 모드 성분을 이용하고, 고차의 공진 모드 성분(이하 「고차 모드 성분」으로 함)으로서 1차 모드 성분을 이용하여 시뮬레이션을 행하였지만, 본 실시 형태는 이에 한정되는 것은 아니다. 저차 모드 성분은, 고차 모드 성분에 대하여, 차수가 낮은 것이면 된다. 따라서, 예를 들면, 저차 모드 성분으로서 3차 이하의 공진 모드 성분을 이용하고, 고차 모드 성분으로서 4차 이상의 공진 모드 성분을 이용하는 것 등도 가능하다.

<154>

4. 다음으로, 실험예에 대하여 설명한다.

<155>

본 실험예에서는, 우선, 일차원의 시간 영역 차분법(FDTD법)을 이용하여, 본 실시 형태에 따른 면발광형 반도체 레이저(100)에 대하여 광학 시뮬레이션을 행하고, Q값(일차원의 계산을 위해, 세로 방향의 광가둠 효과에 상당함)이 동일 정도로 되도록 설계를 행하였다. Q값을 동일 정도로 맞추므로써, 임계값 전류, 즉, 최저차의 모드가 발진에 이르는 전류값을 동일 정도로 맞출 수 있다. 본 시뮬레이션에서는, 3개의 조건 A~C의 면발광형 반도체 레이저에 대하여 행하였다. 수치 계산을 적용한 샘플의 구조는, 이하와 같다. 또한, 특별히 기재하지 않는 한, 전술한 수치 계산예의 샘플의 구조와 동일하다.

<156>

하부 미러(10)의 단위 다층막(10p):n형  $Al_{0.9}Ga_{0.1}As$ 층(굴절율 3.049)과 n형  $Al_{0.12}Ga_{0.88}As$ 층(굴절율 3.544)으로

이루어지는 2층 구조

<157> 하부 미러(10)의 단위 다층막(10p)의 평균 굴절율  $n_D:2n_Hn_L/(n_H+n_L)=3.278$

<158> 활성층(103):GaAs층(굴절율 3.6201)과  $Al_{0.3}Ga_{0.7}As$ 층(굴절율 3.4297)으로 이루어지는 양자웰 구조를 3층 겹친 3QW 구조를, 상하의 AlGaAs로 이루어지는 그레이디드 인덱스(Graded Index)층 사이에 끼우는 GRIN-SCH(graded-index separate-confinement heterostructure) 구조

<159> 활성층(103)의 평균 굴절율  $n_A:3.3838$

<160> 상부 미러(20)의 단위 다층막(20p):p형  $Al_{0.9}Ga_{0.1}As$ 층(굴절율 3.049)과 p형  $Al_{0.12}Ga_{0.88}As$ 층(굴절율 3.544)으로 이루어지는 2층 구조

<161> 상부 미러(20)의 단위 다층막(20p)의 평균 굴절율  $n_D:2n_Hn_L/(n_H+n_L)=3.274$

<162> 전류 협착층(105)의 개구부 직경:4.5 $\mu m$ , 6.0 $\mu m$

<163> 전류 협착층(105)의 두께:12nm

<164> 또한, 각 샘플의 활성층(103)의 두께  $d_A$ 와 단위 다층막(10p, 20p)의 두께  $d_D$ 의 비  $d_A/d_D$ 는, 조건 A에서는,  $2n_D/n_A$  ( $=r_0=1.96$ )의 1.05배, 조건 B에서는, 1.10배, 조건 C에서는, 1.15배로 했다. 또한, 비교예로서,  $d_A/d_D$ 가  $2n_D/n_A$ 와 동등한 것, 즉,  $d_D=\lambda/4n_H+\lambda/4n_L=\lambda/2n_D$  ( $=129.66$  nm), 및,  $d_A=m\lambda/2n_A$  ( $=253.77nm$ )인 것에 대해서도 시뮬레이션을 행하였다.

<165> 각 샘플(조건 A~C) 및 비교예에서의 단위 다층막(10p, 20p)의 전체의 두께  $d_D$ , 그  $d_D$ 의 내역(즉, 고굴절율층(10H, 20H)의 두께 및 저굴절율층(10L, 20L)의 두께), 활성층(103)의 두께  $d_A$ , 및,  $d_A$ 의  $d_D$ 에 대한 비  $d_A/d_D$ 를 표 3에 나타낸다. 또한, AlGaAs의 격자 주기를 상회하는 유효 자릿수로 되어 있지만, 어디까지나 계산상 이용한 값이며, 현실에 의거한 값의 것을 이용하면 특별히 문제는 없다. 또한, 각 샘플(조건 A~C) 및 비교예에서의 설계 파장, 하부 미러(10)의 페어수, 상부 미러(20)의 페어수, 및, Q값을 표 4에 나타낸다. 각 샘플(조건 A~C)에서의 두께  $d_D$  및  $d_A$ 는, 전술한 하기 수학식 1 및 수학식 2를 만족하고 있다.

<166>  $d_D < \lambda/2n_D \dots(1)$

<167>  $d_A > m\lambda/2n_A \dots(2)$

<168> 단, 본 수치 계산예에서는,  $m=2$ 이다.

표 3

<169>

조건	d <sub>D</sub> [nm]			d <sub>A</sub> [nm]	d <sub>A</sub> /d <sub>D</sub>
	전체	내역			
		고굴절율층	저굴절율층		
비교예	129.66	59.96	69.69	253.77	r <sub>0</sub> =1.96
A	127.64	59.03	68.61	263.34	1.05r <sub>0</sub>
B	126.58	58.57	68.04	273.59	1.10r <sub>0</sub>
C	125.53	58.05	67.48	283.67	1.15r <sub>0</sub>

표 4

조건	설계 파장[nm]	하부 미러 페어수	상부 미러 페어수	Q값
비교예	853.3	40.5	23	15560
A	850.11		24	16040
B	850.14		25	14620
C	850.18		29	15400

<171> 표 3 및 표 4로부터, 모든 조건에서, Q값이 동일 정도로 되도록 설계할 수 있는 것을 알 수 있다.

<172> 다음으로, 전술한 설계에서 각 샘플(조건 A~C)을 실제로 제작했다. 제작한 개수는, 144개이다. 제작한 면발광형 반도체 레이저의 발진 파장(피크 파장)의 평균값을 표 5에 나타낸다.

표 5

<173>

조건	$d_A/d_B$	발진 파장[nm]	
		전류 협착층 개구부 직경 9.0 $\mu$ m	전류 협착층 개구부 직경 12.0 $\mu$ m
A	1.05 $r_0$	852.52	850.75
B	1.10 $r_0$	853.93	851.87
C	1.15 $r_0$	851.64	854.82

<174> 표 5에 나타낸 바와 같이, 어느 조건에서든, 제작한 면발광형 반도체 레이저는, 동일 정도의 파장으로 발진하고 있는 것을 알 수 있다.

<175> 하기 표 6은, 면발광형 반도체 레이저의 임계값 전류의 평균값을 나타낸다.

표 6

<176>

조건	$d_A/d_B$	임계값 전류[mA]	
		전류 협착층 개구부 직경 9.0 $\mu$ m	전류 협착층 개구부 직경 12.0 $\mu$ m
A	1.05 $r_0$	0.308	0.421
B	1.10 $r_0$	0.423	0.479
C	1.15 $r_0$	0.393	0.425

<177> 표 6에 도시한 바와 같이, 전류 협착층(105)의 개구부 직경이 4.5 $\mu$ m인 경우에도, 6.0 $\mu$ m인 경우에도, 임계값 전류는 동일 정도로 맞추어져 있는 것을 알 수 있다. 이에 의해, 최저차의 공진 모드 성분이 발진에 이르는 전류를 동일 정도로 맞출 수 있는 것을 알 수 있다.

<178> 다음으로, 각 샘플(조건 A~C)에 대하여 전류(3.0mA, 4.0mA, 5.0mA)를 주입하고, 발진한 공진 모드 성분의 수(이하 「모드수」라고도 함)를 측정하였다. 도 7~도 12에, 모드수가 1, 2, 3, 4, 및 5 이상이었던 샘플의 각각의 합계수를 나타낸다. 또한, 도 7~도 9는, 전류 협착층(105)의 개구부 직경이 4.5 $\mu$ m인 경우이며, 도 10~도 12는, 6.0 $\mu$ m인 경우이다. 또한, 도 7 및 도 10은, 조건 A의 경우이며, 도 8 및 도 11은, 조건 B의 경우이며, 도 9 및 도 12는, 조건 C의 경우이다.

<179> 도 7~도 12에 도시한 바와 같이, 전류 협착층(105)의 개구부 직경이 4.5 $\mu$ m인 경우에도, 6.0 $\mu$ m인 경우에도, 동일 전류값에서,  $d_B$ 를 작게 하면( $d_A/d_B$ 를 크게 하면), 모드수가 3 이상인 샘플 총수는, 감소하는 것을 알 수 있다. 따라서,  $d_A/d_B$ 를 크게 함으로써, 고차의 공진 모드 성분(예를 들면 2차 이상의 공진 모드 성분)의 발진을, 임계값 전류를 동일 정도로 유지하면서 억제할 수 있는 것을 알 수 있다. 즉, 최저차의 공진 모드 성분의 발진하기 용이함을 동일 정도로 유지하면서, 고차의 공진 모드 성분의 발진을 억제하는 것이 가능한 것을 알 수 있다.

<180> 또한, 모드수가 3 이상인 샘플 총수가 가장 적은 구조는, 도 7~도 12, 표 4, 및 표 6에 나타낸 바와 같이, Q값이 작은(즉 임계값 전류가 큰) 조건 B ( $d_A/d_B=1.10r_0$ )의 구조가 아니라, Q값이 큰(즉 임계값 전류가 작은) 조건 C ( $d_A/d_B=1.15r_0$ )의 구조인 것을 알 수 있다. 이것으로부터, 본 실험 결과에서의 고차의 공진 모드 성분의 발진의 억제는, 임계값 전류의 증가에 의해 모든 공진 모드 성분이 발진하기 어려워진 것에 의한 것은 아니고, 본 발명의 효과에 의해 고차의 공진 모드 성분의 발진이 억제된 것에 의한 것인 것을 알 수 있다.

- <181> 다음으로, 각 샘플(조건 A~C)을 레이저 발진시키고, 레이저광의 FFP(Far Field Pattern)에서의 방사각을 측정하였다. 여기에서는, 방사각의 정의로서, 강도가 최대로 되는 각도의 양측에서, 최대 강도의  $1/e^2$  ( $e$ 는 자연대수의 밑으로서, 네이피어수  $e=2.71828\cdots$ )의 강도로 되는 각도의 차(전체 각)를 이용하였다. 예를 들면, +14도와 -13도에서  $1/e^2$ 로 된 경우에는, 방사각은,  $14-(-13)=27$ 도이다. 도 13 및 도 14에, 직교하는 x축 및 y축에서의 방사각(각각  $FFP_x$  및  $FFP_y$ )을 나타낸다. 또한, 도 13은, 전류 협착층(105)의 개구부 직경이  $4.5\mu\text{m}$ 인 경우이고, 도 14는,  $6.0\mu\text{m}$ 인 경우이다.
- <182> 도 13 및 도 14에 도시한 바와 같이, 전류 협착층(105)의 개구부 직경이  $4.5\mu\text{m}$ 인 경우에도,  $6.0\mu\text{m}$ 인 경우에도,  $d_0$ 를 작게 하면( $d_A/d_0$ 를 크게 하면), 방사각은, 저감하는 것을 알 수 있다. 이것은, 본 실시 형태의 면발광형 반도체 레이저(100)에 따르면, 큰 값을 갖는  $k_{//}$ (후술함)을 해로 하지 않을 수 있기 때문이다.
- <183> 5. 다음으로, 본 실시 형태의 변형예에 대하여 설명한다. 또한, 전술한 실시예와 다른 점에 대하여 설명하고, 동일한 점에 대해서는 설명을 생략한다.
- <184> 도 15는, 본 변형예에 따른 면발광형 반도체 레이저의 일부를 개략적으로 도시하는 단면도이다. 하부 미러(10)의 단위 다층막(10p)은, 예를 들면, 저굴절율층(10L)과, 저굴절율층(10L) 하에 형성된 제1 그레이디드 인덱스(Graded Index)층(이하 「제1 GI층」으로 함)(12)과, 제1 GI층(12) 하에 형성된 고굴절율층(10H)과, 고굴절율층(10H) 하에 형성된 제2 그레이디드 인덱스층(이하 「제2 GI층」으로 함)(14)으로 이루어질 수 있다. 제1 GI층(12)으로서는, 예를 들면, AlGaAs층의 Al 조성을 0.12로부터 0.9까지 하방향으로 연속적으로 증가시킨 것 등을 이용할 수 있다. 또한, 제2 GI층(14)으로서는, 예를 들면, AlGaAs층의 Al 조성을 0.9로부터 0.12까지 하방향으로 연속적으로 감소시킨 것 등을 이용할 수 있다. 또한, 마찬가지로, 상부 미러(20)의 단위 다층막(20p)은, 예를 들면, 저굴절율층(20L)과, 저굴절율층(20L) 하에 형성된 제1 GI층(22)과, 제1 GI층(22) 하에 형성된 고굴절율층(20H)과, 고굴절율층(20H) 하에 형성된 제2 GI층(24)으로 이루어질 수 있다.
- <185> 또한, 전술한 변형예는 일레이며, 이것에 한정되는 것은 아니다.
- <186> 6. 본 실시 형태에 따른 면발광형 반도체 레이저(100)에서는, 전술한 하기 수학식 1 및 수학식 2가 만족한다.
- <187> 
$$d_0 < \lambda/2n_0 \quad \cdots(1)$$
- <188> 
$$d_A > m\lambda/2n_A \quad \cdots(2)$$
- <189> 이에 의해, 전류 협착층(105)의 두께, 개구부 직경, 포스트(주상부(30))의 경사각  $\theta$ , 외부 직경 등에 상관없이, 저차 모드 성분의 공진광의 에너지 증가율을 그다지 감소시키지 않고, 고차 모드 성분의 공진광의 에너지 증가율을 감소시킬 수 있다. 이것은, 전술한 수치 계산예에서도 확인되어 있다. 그 결과, 면발광형 반도체 레이저(100)의 출력을 감소시키지 않고, 고차 모드의 공진광을 레이저 발진하지 않도록 할 수 있다. 게다가, 출력이 증가시켰다고 해도, 고차 모드의 공진광을 레이저 발진하지 않도록 하는 것도 가능하다. 따라서, 본 실시 형태에 따르면, 레이저광의 발진 모드수를 삭감할 수가 있고, 또한, 단순히 전류 협착층의 직경을 작게 하는 경우보다도 고출력화가 가능한 면발광형 반도체 레이저를 제공할 수 있다. 또한, 상기 수학식 1 및 수학식 2가 만족되는 것에 의해, 본 실시 형태에 따른 면발광형 반도체 레이저(100)의 작용 효과가 발휘되는 이유는 이하와 같다.
- <190> 공진기 내의 파수 벡터의 크기  $|k|$ 는, 진공 중의 파수 벡터의 크기  $k_0$ 의 유효 굴절율  $n_{\text{eff}}$ 배이다. 이것을 수학식으로 표현하면, 다음과 같이 된다.

## 수학식 7

<191> 
$$|k| = n_{\text{eff}} k_0 = \sqrt{k_z^2 + k_{//}^2}$$

<192> 단,  $k_z$ 는, 공진기 내의 파수 벡터의 수직 방향의 성분이며,  $k_{//}$ 는, 면방향의 성분이다.

<193>  $k_z$  및  $k_{//}$ 은, 전류 협착층(105)을 포함하는 클래드 영역과, 전류 협착층(105)을 포함하지 않는 코어 영역의 경계

에서의 전반사 조건을 만족하는 범위에서, 전자계의 연속성이 만족되도록 결정된다. 면발광형 반도체 레이저에서는,  $k_z$ 와  $k_{eff}k_0$ 는 가까운 값이기 때문에, 전술한 식으로부터 알 수 있는 바와 같이,  $k_{//}$ 는 작은 값이다. 따라서, 전술한 전자계의 연속성을 만족하는  $k_{//}$ 의 해, 즉, 수학적 상에서 허용되는 가로 모드의 수는 한정되어 온다. 면발광형 반도체 레이저에서는, 그 중에서 전반사 조건을 만족시키는 것만이 발진한다. 본 발명에서는,  $k_z$ 를 더욱 크게 함으로써,  $k_{//}$ 의 해를 전반사 조건보다도 더욱 제한하고 있다.  $k_z$ 는, 하부 미러(10)나 상부 미러(20)의 단위 다층막(10p, 20p)의 두께  $d_0$ 를 얇게 하는 것에 의해 크게 할 수 있다. 이에 의해  $k_{//}$ 의 해를 제한함으로써, 레이저광의 발진 모드수의 삭감이 가능하게 된다. 또한, 활성층(103)의 두께  $d_A$ 를 두껍게 함으로써 단파장화를 방지할 수 있다.

<194> 따라서,  $d_0$ 를 작게 하고,  $d_A$ 를 크게 하는, 즉, 두께비  $d_A/d_0$ 를 크게 하는(구체적으로는  $m_0/n_A$ 보다도 크게 하는) 것에 의해, 전류 협착층(105)의 두께 등에 상관없이, 레이저광의 발진 모드수를 삭감할 수 있음과 함께, 원하는 설계 파장으로 레이저 발진시킬 수 있다.

<195> 7. 상기한 바와 같이, 본 발명의 실시 형태에 대하여 상세하게 설명했지만, 본 발명의 신규 사항 및 효과로부터 실제적으로 이탈하지 않는 많은 변형이 가능한 것은 당업자에게는 용이하게 이해할 수 있을 것이다. 따라서, 이와 같은 변형에는 전부 본 발명의 범위에 포함되는 것으로 한다.

<196> 예를 들면, 전술한 본 발명의 실시 형태에 따른 면발광형 반도체 레이저는, 예를 들면, 배열 구조를 갖는 소자, 플립 칩 구조를 갖는 소자, 정전 파괴(ESD) 대책 구조를 갖는 소자, 모니터 포토다이오드(MPD)를 갖는 소자, 잉크젯 마이크로렌즈를 갖는 소자, 유전체 미러를 갖는 소자, CAN이나 세라믹 패키지를 이용한 OSA(Optical Sub-Assembly) 등의 광 모듈, 그들을 조립한 광전송 장치 등에 적용될 수 있다.

<197> 또한, 예를 들면, 에피택셜 리프트오프(ELO)법 등을 이용하는 경우, 면발광형 반도체 레이저(100)의 기판(101)은 분리될 수 있다. 즉, 면발광형 반도체 레이저(100)는, 기판(101)을 갖지 않을 수 있다.

### 발명의 효과

<198> 본 발명에 따르면, 레이저광의 발진 모드수를 삭감할 수가 있고, 또한, 단순히 전류 협착층의 직경을 작게 하는 경우보다도 고효율화가 가능한 면발광형 반도체 레이저를 제공할 수 있다.

### 도면의 간단한 설명

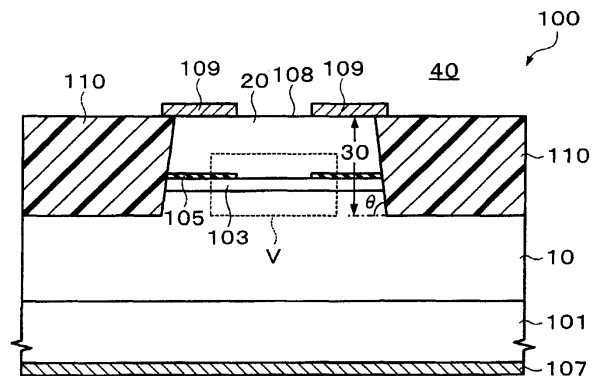
- <1> 도 1은 본 실시 형태에 따른 면발광형 반도체 레이저를 개략적으로 도시하는 단면도.
- <2> 도 2는 본 실시 형태에 따른 면발광형 반도체 레이저의 일부를 개략적으로 도시하는 단면도.
- <3> 도 3은 본 실시 형태의 면발광형 반도체 레이저의 일 제조 공정을 개략적으로 도시하는 단면도.
- <4> 도 4는 본 실시 형태의 면발광형 반도체 레이저의 일 제조 공정을 개략적으로 도시하는 단면도.
- <5> 도 5는 수치 계산예의 각 모드의 공진광의 에너지 증가율의 계산 결과를 도시하는 도면.
- <6> 도 6은 수치 계산예의 각 모드의 공진광의 에너지 증가율의 계산 결과를 도시하는 도면.
- <7> 도 7은 실험예에서의 모드수와 샘플의 합계수의 관계를 도시하는 도면.
- <8> 도 8은 실험예에서의 모드수와 샘플의 합계수의 관계를 도시하는 도면.
- <9> 도 9는 실험예에서의 모드수와 샘플의 합계수의 관계를 도시하는 도면.
- <10> 도 10은 실험예에서의 모드수와 샘플의 합계수의 관계를 도시하는 도면.
- <11> 도 11은 실험예에서의 모드수와 샘플의 합계수의 관계를 도시하는 도면.
- <12> 도 12는 실험예에서의 모드수와 샘플의 합계수의 관계를 도시하는 도면.
- <13> 도 13은 실험예에 따른 직교하는 2축에서의 방사각을 도시하는 도면.
- <14> 도 14는 실험예에 따른 직교하는 2축에서의 방사각을 도시하는 도면.
- <15> 도 15는 본 실시 형태의 면발광형 반도체 레이저의 변형예를 개략적으로 도시하는 단면도.



- <16> <도면의 주요 부분에 대한 부호의 설명>
- <17> 10 : 하부 미러
- <18> 10p : 단위 다층막
- <19> 10L : 저굴절율층
- <20> 10H : 고굴절율층
- <21> 12 : 제1 GI층
- <22> 14 : 제2 GI층
- <23> 20 : 상부 미러
- <24> 20p : 단위 다층막
- <25> 20L : 저굴절율층
- <26> 20H : 고굴절율층
- <27> 22 : 제1 GI층
- <28> 24 : 제2 GI층
- <29> 30 : 주상부
- <30> 40 : 외부 공간
- <31> 100 : 면발광형 반도체 레이저
- <32> 101 : 기판
- <33> 103 : 활성층
- <34> 105 : 전류 협착층
- <35> 107 : 제1 전극
- <36> 108 : 출사면
- <37> 109 : 제2 전극
- <38> 110 : 절연층
- <39> 150 : 반도체 다층막

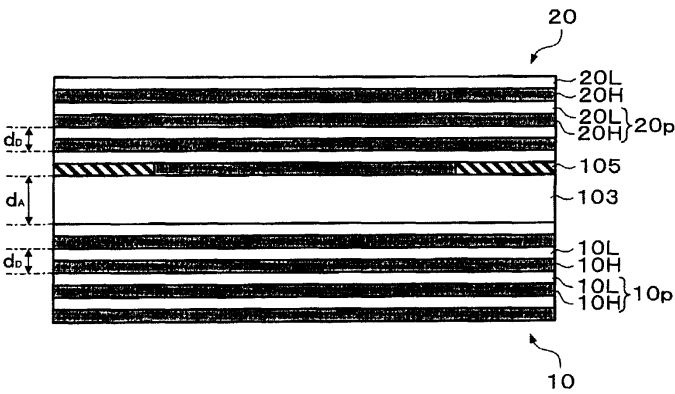
## 도면

도면1

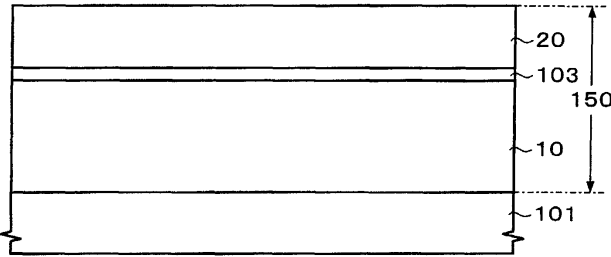




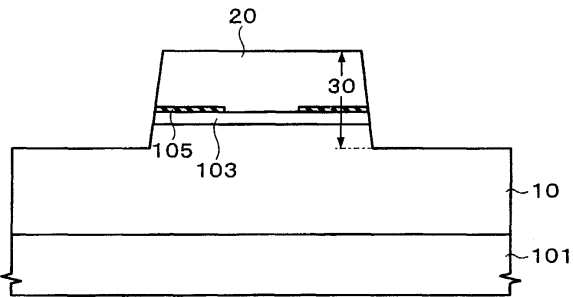
도면2



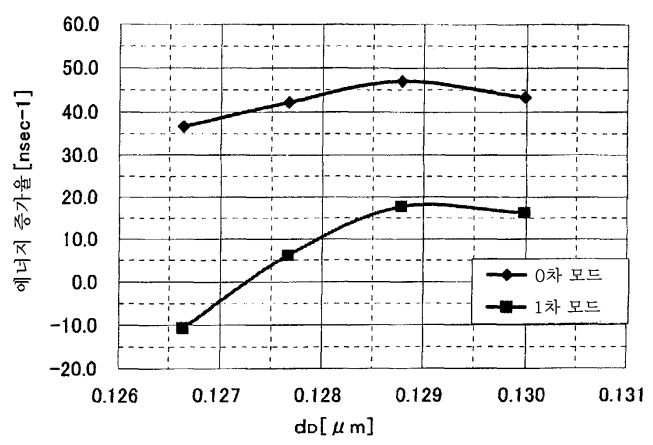
도면3



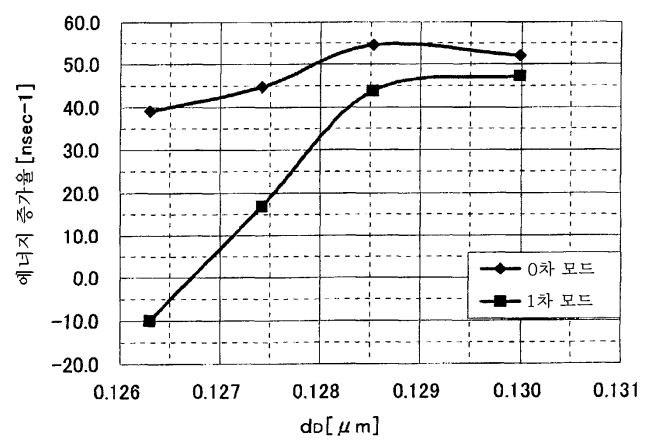
도면4



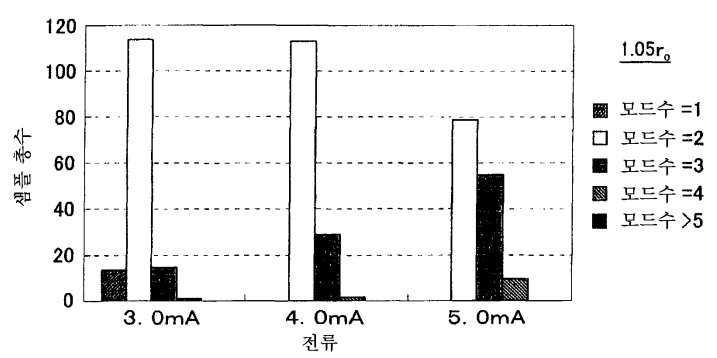
도면5



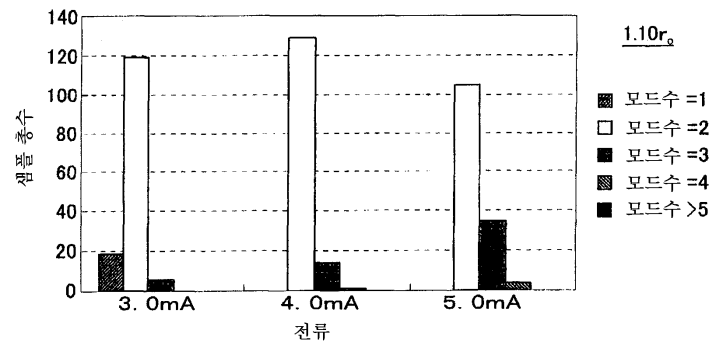
도면6



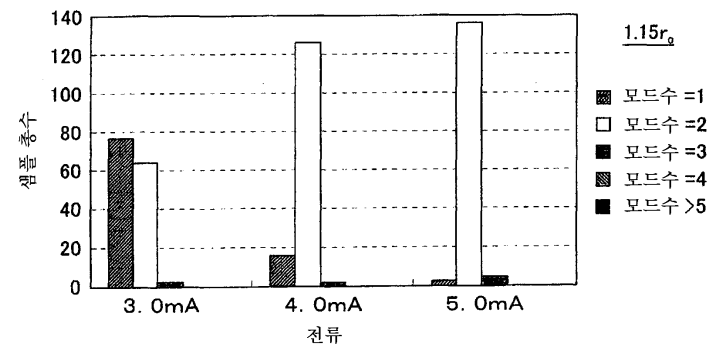
도면7



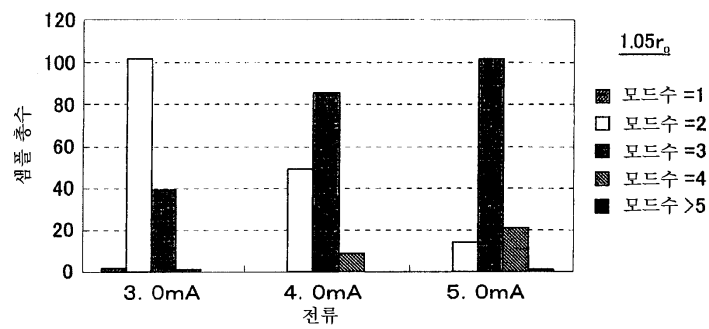
도면8



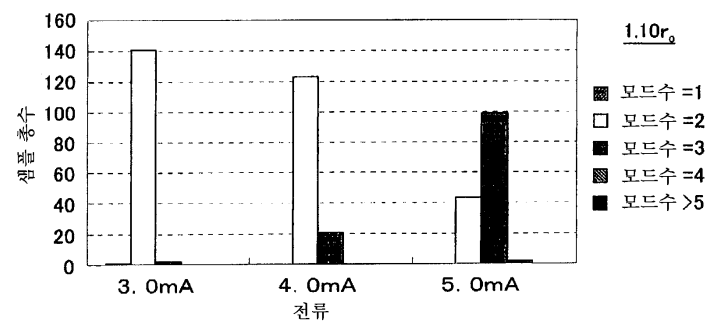
도면9



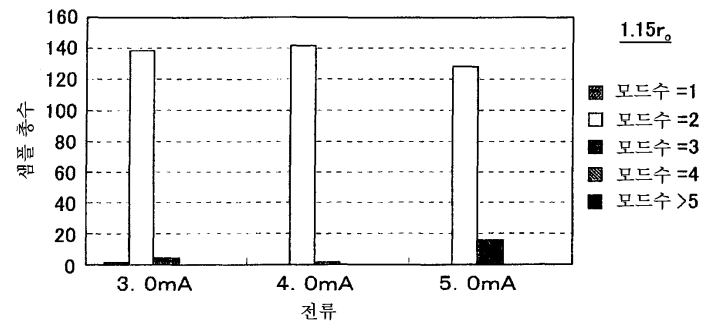
도면10



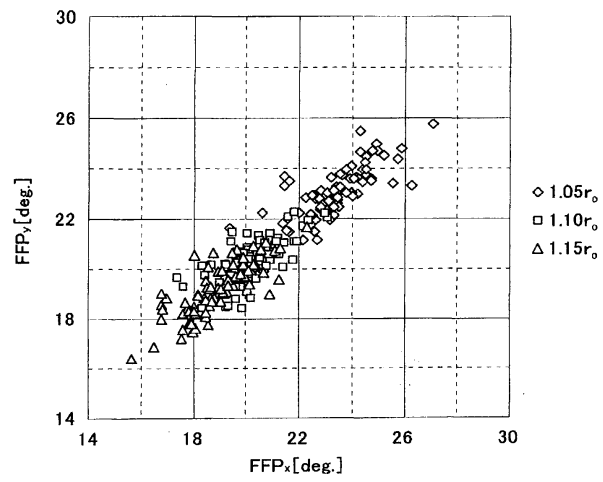
도면11



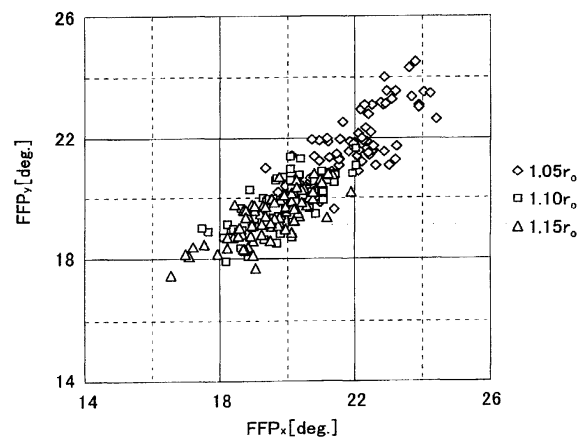
도면12



도면13



도면14



도면15

