

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 特 許 公 報 (B 2)

(11) 特許番号

特許第3522107号  
(P3522107)

(45) 発行日 平成16年4月26日(2004.4.26)

(24) 登録日 平成16年2月20日(2004.2.20)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

識別記号

F I

H 0 1 S 5/028

H 0 1 S 5/028

請求項の数 2 (全 12 頁)

<p>(21) 出願番号 特願平10-129076</p> <p>(22) 出願日 平成10年5月12日(1998.5.12)</p> <p>(65) 公開番号 特開平11-238940</p> <p>(43) 公開日 平成11年8月31日(1999.8.31)</p> <p>審査請求日 平成10年5月12日(1998.5.12)</p> <p>審判番号 不服2001-16040(P2001-16040/J1)</p> <p>審判請求日 平成13年9月7日(2001.9.7)</p> <p>(31) 優先権主張番号 特願平9-349319</p> <p>(32) 優先日 平成9年12月18日(1997.12.18)</p> <p>(33) 優先権主張国 日本 (J P)</p>	<p>(73) 特許権者 000004237 日本電気株式会社 東京都港区芝五丁目7番1号</p> <p>(72) 発明者 上野 芳康 東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内</p> <p>(72) 発明者 千田 浩明 東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内</p> <p>(74) 代理人 100109313 弁理士 机 昌彦 (外2名)</p> <p>合議体 審判長 森 正幸 審判官 稲積 義登 審判官 町田 光信</p> <p style="text-align: right;">最終頁に続く</p>
---	---

(54) 【発明の名称】 半導体レーザ

1

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】 半導体レーザ導波路の光出射端面に1層あるいは複数の層からなるコーティング膜を備える半導体レーザにおいて、

前記コーティング膜を構成する層の少なくとも1層の屈折率  $n_1$  を前記半導体レーザ導波路の等価屈折率  $n_{eff}$  と前記光出射端面の反射率  $R_1$  について、

【数1】

$$n_1 = \sqrt{n_{eff} \times \frac{1-R_1}{(1-\sqrt{R_1})^2}}$$

で規定される - 20% ~ 10% の範囲、かつ、 $n_1^2 > n_{eff}$  とすることを特徴とする半導体レーザ。

2

【請求項2】 半導体レーザ導波路の光出射端面に複数の層からなるコーティング膜を備える半導体レーザにおいて、

前記コーティング膜を構成する層の少なくとも1層の屈折率  $n_1$  を前記半導体レーザ導波路の等価屈折率  $n_{eff}$  と前記光出射端面の反射率  $R_1$  について、

【数3】

$$n_1 = \sqrt{n_{eff} \times \frac{1-R_1}{(1-\sqrt{R_1})^2}}$$

10

で規定される - 20% ~ 10% の範囲、かつ、 $n_1^2 > n_{eff}$  とし、前記屈折率  $n_1$  の層以外の層の厚さを、その屈折率  $n_1$  と

し、レーザ発振波長 としたときに、

【数 4】

$$\frac{\lambda}{2n_f}$$

とすることを特徴とする半導体レーザ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光ディスク装置や光通信装置に利用される高出力な半導体レーザ、に関するものである。

【0002】

【従来の技術】半導体レーザの光出力が一定のレベルに達したとき、光出射端面で端面破壊 (COD : Catastrophic Optical Damage) が起きる。このため、半導体レーザの光出力は一定の値 (COD 光出力) 以下に制限される。COD が発生するのは、半導体内部の光密度が半導体固有の値 (COD 光密度) に達したときである。

【0003】COD 光出力を向上させる手法の 1 つは、誘電体等の膜による光出射端面のコーティングである。光出射端面にコーティングを施して端面反射率を下げると、半導体導波路内部の光密度が低下して COD 光出力が向上する。Hakki と Nash がジャーナル・オブ・アプライド・フィジックス誌、第 4 5 巻、第 9 号、3 9 0 7 ~ 3 9 1 2 頁、1 9 7 4 年で報告した端面反射率  $R_1$  と COD 光出力の関係式は、

【0004】

【数 1 3】

$$\frac{P_{coated}}{P_{uncoated}} = n_{eff} \frac{1 - R_1}{(1 + \sqrt{R_1})^2} \quad \text{式 1}$$

である (上記文献中の式 (4))。ここで、

$P_{coated}$  : 反射率  $R_1$  の端面コーティングを施したレーザの COD 光出力、

$P_{uncoated}$  : 端面コーティングを施していないレーザの COD 光出力、

$R_1$  : 出射端面反射率、

$n_{eff}$  : 半導体導波路の等価屈折率、

である。Hakki と Nash の報告以来これまで、この関係式が高出力半導体レーザの設計に用いられてきた。なお、式 1 の 左辺、

【0005】

【数 1 4】

$$\frac{P_{coated}}{P_{uncoated}}$$

、を COD 指標と呼ぶことにする。

【0006】Hakki らの関係式によれば、COD 指標を増加させるには、反射率を減らす以外に方法がない。ま

た、反射率が無限小の極限では COD 指標は最大値  $n_{eff}$  に収束する。従って、COD 指標を  $n_{eff}$  以上に増大させることはできない。しかし、反射率  $R_1$  を小さくすると発振しきい値キャリア密度が増加し、半導体レーザの発振特性が劣化する。たとえば、発振しきい値電流の増大や温度特性の劣化等が起きる。

【0007】一方、特開平 8 - 3 0 7 0 0 4 号公報には、半導体レーザのコーティング膜の屈折率と半導体内部の光密度の関係が示されている。この公開公報の図 6 には、コーティング膜の屈折率がある値より大きな場合に、反射率が増加し、かつ、半導体内部の光密度が低下することが示されている。ここで、コーティング膜の膜厚 ( $d_1^A$ ) と屈折率 ( $n_1^A$ ) とレーザ光波長 ( $\lambda$ ) は、関係式、

【0008】

【数 1 5】

$$d_1^A = \frac{\lambda}{4n_1^A}$$

を充たすとしている。例えば、屈折率が 1.3 のとき反射率は 0.10、半導体内部光密度 ( $|E_A|^2$ ) は 0.6 である。一方、屈折率が 2.5 のときも反射率は 0.10 だが、半導体内部光密度 ( $|E_A|^2$ ) が 0.2 と小さい。このように、上記公報に開示される結果は明らかに Hakki らの結果と異なるものである。

【0009】上記公報では専ら、「少なくとも 2 層の誘電体膜で構成されたコーティング膜」の作用と実施例について記載されており、「発明が解決しようとする課題」の末尾には、「端面膜を 1 層の誘電体膜で構成したファブリ・ペロ型の LD では、LD の設計から要請される LD 出射端面の反射率を得る為の条件と、COD 破壊を回避するために要請される半導体材料部分と端面膜との界面での光電場強度を極小にするための条件とを同時に満足することは一般には実現できないという問題があった。」と記載されている。しかし、実施例の 2 層誘電体膜で構成されたコーティング膜による光電場強度最小値が 1 層誘電体膜による光電場強度最小値より小さいかどうかは明らかにされていない。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】特開平 8 - 3 0 7 0 0 4 号公報では、1 層 (単層) からなるコーティング膜が Hakki らの関係式を上回る COD 指標を示す場合があることが示唆されている。しかし、コーティング膜厚と屈折率の最適条件が明らかにされておらず、また、Hakki らの報告との比較も明らかにされていない。

【0011】以上述べたように、半導体レーザの COD 光出力に関する誘電体膜のコーティング条件についての最適条件はいまだ明らかではなく、これにより、設計される半導体レーザを最適化することが困難であるという問題点がある。

【0012】本発明の目的は、半導体レーザのCOD光出力に関する誘電体膜のコーティング条件を明らかにすること、そのようなコーティング膜が半導体内部光密度へ与える作用を明らかにすることにより出力特性が改善された半導体レーザを実現することを目的とする。

- 【0013】
- 【0014】
- 【0015】
- 【0016】
- 【0017】
- 【0018】
- 【0019】
- 【0020】
- 【0021】
- 【0022】
- 【0023】

【課題を解決するための手段】本発明による半導体レーザは、半導体レーザ導波路の光出射端面に1層あるいは複数の層からなるコーティング膜を備える半導体レーザにおいて、前記コーティング膜を構成する層の少なくとも1層の屈折率 $n_1$ を前記半導体レーザ導波路の等価屈折率 $n_{eff}$ と前記光出射端面の反射率 $R_1$ について、

- 【0024】
- 【数22】

$$n_1 = \sqrt{n_{eff} \times \frac{1 - R_1}{(1 - \sqrt{R_1})^2}}$$

で規定される - 20% ~ 10% の範囲、かつ、 $n_1^2 > n_{eff}$  とすることを特徴とする。

【0025】本発明の他の実施の形態による半導体レーザは、半導体レーザ導波路の光出射端面に複数の層からなるコーティング膜を備える半導体レーザにおいて、前記コーティング膜を構成する層の少なくとも1層の屈折率 $n_1$ を前記半導体レーザ導波路の等価屈折率 $n_{eff}$ と前記光出射端面の反射率 $R_1$ について、

- 【0026】
- 【数23】

$$n_1 = \sqrt{n_{eff} \times \frac{1 - R_1}{(1 - \sqrt{R_1})^2}}$$

で規定される - 20% ~ 10% の範囲、かつ、 $n_1^2 > n_{eff}$  とし、前記屈折率 $n_1$ の層以外の層の厚さを、その屈折率 $n_j$ とし、レーザ発振波長  $\lambda$  としたときに、

- 【0027】
- 【数25】

$$\frac{\lambda}{2n_j}$$

とすることを特徴とする。

- 【0028】
- 【0029】
- 【0030】
- 【0031】
- 10 【0032】
- 【0033】「作用」以下、本発明の高反射率膜コーティングを半導体レーザに施すことにより、式1が示す以上にCOD光出力が増大することについて説明する。本発明によるコーティング膜では、式1は成り立たない。
- 【0034】まず、図1を参照して一般的な半導体レーザの端面コーティング膜部分の入射光電界と反射光電界の関係式を導くことについて説明する。図1ではコーティング膜は誘電体複合膜として表わされ、屈折率が $n_1$ で厚さ $d \times_1$ の誘電体1と屈折率が $n_2$ で厚さ $d \times_2$ の誘電体2からなる2層コーティング膜とされているが、さらに多層であってもよい。

【0035】光の位相を、例えば、レーザー研究誌、第18巻、第3号、38頁~46頁、1990年に報告されているとして考慮に入れると、レーザ内部から多層コーティング膜に入射する光電界 ( $E_1^R$ )、コーティング膜界面で反射する光電界 ( $E_1^L$ )、コーティング膜から外部へ透過する光電界、つまり出力光電界、 $E_3^R$ 、の間の関係は次のように表される。

- 【0036】
- 30 【数28】

$$\begin{pmatrix} E_1^R \\ E_1^L \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} s_{11} & s_{12} \\ s_{21} & s_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} E_3^R \\ 0 \end{pmatrix} \quad \text{式2}$$

ここで、

- 【0037】
- 【数29】

$$S = \begin{pmatrix} s_{11} & s_{12} \\ s_{21} & s_{22} \end{pmatrix} \quad \text{式3}$$

- 【0038】
- 40 【数30】

$$s = B_0^{-1} \times \prod_{l=1}^m U_l \times B_{m+1} \quad \text{式4}$$

- 【0039】
- 【数31】

$$B_i = \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ n_i & n_i \end{pmatrix} \quad \text{式5}$$

- 【0040】
- 【数32】

$$U_l = B_l \times M_l^{-1} \times B_l^{-1} \quad \text{式6}$$

【0041】

【数33】

$$M_l = \begin{pmatrix} \beta_l & 0 \\ 0 & \frac{1}{\beta_l} \end{pmatrix} \quad \text{式7}$$

【0042】

【数34】

$$\beta_l = \exp(-i \times \phi_l) \quad \text{式8}$$

【0043】

【数35】

$$\phi_l = k_l \times dx_l \quad \text{式9}$$

【0044】

【数36】

$$k_l = \frac{2\pi \times n_l}{\lambda} \quad \text{式10}$$

である。mはコーティング膜の層数を表す。dx<sub>l</sub>、n<sub>l</sub> (l = 1, 2, ..., m)はそれぞれ半導体界面から数えてl番目のコーティング膜の層厚と屈折率である。半導体導波路の等価屈折率、半導体レーザ外部の気体(空気あるいは封入ガス)の屈折率をそれぞれn<sub>0</sub>、n<sub>m+1</sub>とした。λはレーザ発振光の波長である。一方、半導体導波路との界面の内側の光強度(P<sub>10</sub>)とコーティング膜を透過する出力光の光強度(P<sub>11</sub>)はそれぞれ、

【0045】

【数37】

$$P_{10} = n_{eff} \times |E_1^R + E_1^L|^2 \quad \text{式11}$$

$$P_{11} = |E_3^R|^2 \quad \text{式12}$$

である。等価屈折率n<sub>0</sub>を半導体レーザ内部の等価屈折率n<sub>eff</sub>に置き換え、外部気体の屈折率n<sub>m+1</sub>を1とした。式2を使って、式11と式12の比を求めると、

【0046】

【数38】

$$\frac{P_{11}}{P_{10}} = \frac{|E_3^R|^2}{n_{eff} \times |E_1^R + E_1^L|^2} = \frac{1}{n_{eff}} \times \left| \frac{1}{s_{21} + s_{11}} \right|^2 \quad \text{式13}$$

である。アンコートレーザの場合、この比は、

【0047】

【数39】

$$\frac{P_{11}^{uncoating}}{P_{10}} = \frac{1}{n_{eff}} \quad \text{式14}$$

となる。コーティングを施したレーザもコーティングを施さないレーザ(アンコートレーザ)も、内部光強度(P<sub>10</sub>)が一定の(COD光密度)に達したときにCODを起こす。従って、COD指標は、

【0048】

【数40】

$$\frac{P_{11}}{P_{10}} \text{ と } \frac{P_{11}^{uncoated}}{P_{10}}$$

の比に等しい。式13と式14を使って、

【0049】

【数41】

$$\frac{P_{coated}}{P_{uncoated}} = \left| \frac{1}{s_{21} + s_{11}} \right|^2 \quad \text{式15}$$

10 である。一方、端面反射率R<sub>1</sub>は、

【0050】

【数42】

$$R_1 = \left| \frac{E_{1L}}{E_{1R}} \right|^2 = \left| \frac{s_{21}}{s_{11}} \right|^2 \quad \text{式16}$$

である。

【0051】以下、本発明の作用とHakkiらの式1が表す作用の違いを説明する。簡明に説明するため、端面コーティング膜は単一の層からなるものとする。さらに簡単にするため、端面コーティング膜の厚さが

【0052】

【数43】

$$dx_1 = \frac{\lambda}{4n_1}$$

の関係を満たす特殊な場合を考える。式15と式16からCOD指標と反射率を求めると、

【0053】

【数44】

$$\frac{P_{coated}}{P_{uncoated}} = n_1^2 \quad \text{式17}$$

30

$$R_1 = \left| \frac{n_1^2 - n_{eff}}{n_1^2 + n_{eff}} \right|^2 \quad \text{式18}$$

となる。さらに式17と式18を使って

【0054】

【数45】

$$\frac{P_{coated}}{P_{uncoated}}$$

40

と端面反射率R<sub>1</sub>の関係式を求めると、n<sub>1</sub><sup>2</sup> > n<sub>eff</sub>の場合の結果は、n<sub>1</sub><sup>2</sup> < n<sub>eff</sub>の場合と異なることがわかる。n<sub>1</sub><sup>2</sup> < n<sub>eff</sub>の場合、

【0055】

【数46】

$$\frac{P_{coated}}{P_{uncoated}} = n_{eff} \times \frac{1 - R_1}{(1 + \sqrt{R_1})^2} \quad \text{式19}$$

であるが、n<sub>1</sub><sup>2</sup> > n<sub>eff</sub>の場合には、

50 【0056】

【数 4 7】

$$\frac{P_{coated}}{P_{uncoated}} = n_{eff} \times \frac{1 - R_1}{(1 - \sqrt{R_1})^2} \quad \text{式 2 0}$$

である。この違いは、入射光電界 ( $E_1^R$ ) と反射光電界 ( $E_1^L$ ) の位相関係に起因するものである。式 2 を解いて反射光電界 ( $E_1^L$ ) を入射光電界 ( $E_1^R$ ) で表すと、

【0 0 5 7】

【数 4 8】

$$E_1^L = \frac{n_{eff}^2 - n_1^2}{n_1^2 + n_{eff}^2} \times E_1^R \quad \text{式 2 1}$$

である。コーティング膜の屈折率が小さな ( $n_1^2 < n_{eff}^2$ ) である場合、式 2 1 の右辺の符号は正である。つまり、反射光の位相は入射光に等しい。従って、入射光と反射光が半導体界面内部で干渉する時、入射光と反射光が重なり合う (constructive interference)。この場合の COD 指標の関係式 (式 1 9) は、Hakki の式 1 と完全に一致する。実際、Hakki が式 1 を使って考察したレーザのコーティング膜の材質は SiO<sub>2</sub> であり、屈折率は 1.9 であったので (Ettenberg ら、アプライドフィジクスレターズ誌、第 18 巻、第 12 号、571~573 頁、1971 年)、 $n_1^2 < n_{eff}^2$  の関係を充たしていた。Hakki らは論文に明示していないものの、 $n_1^2 < n_{eff}^2$  の場合だけを考慮したことになる。

【0 0 5 8】これに対してコーティング膜の屈折率が大きな ( $n_1^2 > n_{eff}^2$ ) である場合、式 2 1 の右辺の符号は負である。つまり、反射光の位相は入射光と逆転する。従って、入射光と反射光が半導体界面内部で干渉する時、これらの光電界は打ち消し合う (destructive interference)。

【0 0 5 9】ここで重要なことは、式 2 0 の右辺が式 1 9 の右辺より常に大きなことである。これは半導体内部で光電界が打ち消し合い、内部光密度が下がるためである。従って、条件  $n_1^2 > n_{eff}^2$  を充たす端面コーティングを施した本発明の半導体レーザの COD 指標は、端面反射率  $R_1$  が同じで条件  $n_1^2 < n_{eff}^2$  を充たす従来設計の半導体レーザよりも大きい。以上が本発明の基本的な作用である。

【0 0 6 0】

【発明の実施の形態】次に、本発明の実施例について図面を参照して説明する。

【0 0 6 1】図 2 (A) は本発明による高屈折率膜コーティングを施した半導体レーザの一実施例の COD 指標  $P_{coated} / P_{uncoated}$  と端面反射率  $R_1$  の関係を示す図である。

【0 0 6 2】COD 指標  $P_{coated} / P_{uncoated}$  は、上述した式 1 5 と式 1 6 を使って計算した。計算においてコーティング膜は 1 層とし、屈折率が 2.80、2.50、2.25、2.00、1.68、1.46 の 6 種類

の異なるコーティング膜についてそれぞれ計算を行った。膜厚は、それぞれ、

【0 0 6 3】

【数 4 9】

$$0 \leq dx_1 \leq \frac{\lambda}{2n_1}$$

の条件を満たすものとし、半導体導波路の等価屈折率 ( $n_{eff}$ ) は 3.30 とした。従って、屈折率  $n_1 = 2.80$ 、 $2.50$ 、 $2.25$ 、 $2.00$  のコーティング膜が  $n_1^2 > n_{eff}^2$  を充たす。コーティング膜の屈折率が 2.50 の場合を例にとると、膜厚が増えるとともに反射率が下がり COD 指標  $P_{coated} / P_{uncoated}$  が上がる。

【0 0 6 4】

【数 5 0】

$$dx_1 = \frac{\lambda}{4n_1}$$

の時、COD 指標  $P_{coated} / P_{uncoated}$  は最大値に達する。COD 指標  $P_{coated} / P_{uncoated}$  の最大値は、式 1 7 から  $n_1^2 = 6.2$  である。この時の端面反射率  $R_1$  は、式 1 8 から 0.095 である。さらに膜厚を増やすと端面反射率  $R_1$  と COD 指標  $P_{coated} / P_{uncoated}$  の関係は元の関係曲線上を戻り、

【0 0 6 5】

【数 5 1】

$$dx_1 = \frac{\lambda}{2n_1}$$

のときに端面反射率  $R_1 = 0.3$ 、COD 指標  $P_{coated} / P_{uncoated} = 1.0$ 、つまりコーティングを施していないレーザと同じ値に戻る。

【0 0 6 6】図 2 (A) は、 $n_1^2 > n_{eff}^2$  を充たす場合 ( $n_1 = 2.80$ 、 $2.50$ 、 $2.25$ 、 $2.00$ ) の COD 指標が、これを充たさない場合 ( $n_1 = 1.68$ 、 $1.46$ ) に比べてはるかに高いことを示す。図 2 (A) 中の破線は、式 2 0 が表す曲線である。式 2 0 は、本発明による COD 指標の上限を示す。比較のため、Hakki らによる式 1 が表す関係を図 2 (B) に示す。すでに述べたように、Hakki らの式 1 は式 1 9 と完全に一致する。図 2 (A) の中では、Hakki らの式 1 が COD 指標の下限を与える (図 2 (A) の点線)。

【0 0 6 7】図 2 (A) から明らかなように、それぞれの反射率  $R_1$  に対して最も大きな COD 指標を与える最適コーティング膜屈折率  $n_1$  が存在する。その値は、

【0 0 6 8】

【数 5 2】

$$n_1 = \sqrt{n_{eff} \times \frac{1 - R_1}{(1 - \sqrt{R_1})^2}} \quad \text{式 2 2}$$

である。式17と式20から導いた。例えば  $n_{eff} = 3.30$  とすると、 $R_1 = 0.06$  のとき最適な屈折率  $n_1$  は  $2.33$ 、 $R_1 = 0.1$  のとき  $2.52$ 、 $R_1 = 0.2$  のとき  $2.94$  である。最適コーティング膜を使って膜厚を

【0069】

【数53】

$$\frac{\lambda}{4n_1}$$

とする時、最大COD指標 ( $= n_1^2$ ) を得る。

【0070】半導体レーザーではその出力を高くするために端面反射率を低くすることが望ましい。上述したように理想的なコーティング膜屈折率  $n_1$  は式22で表わされるものとなるが、図2(A)からその前後の範囲であっても十分なCOD指標の半導体レーザーを得ることが分かる。屈折率を理想的なものよりも低く設定することによりCOD指標  $P_{coated} / P_{uncoated}$  は下がるものの端面反射率を低く抑えて発振効率を高めることができる。また、屈折率を理想的なものよりも高く設定することにより端面反射率が上がるもののCOD指標  $P_{coated} / P_{uncoated}$  を高くすることができる。

【0071】図2(A)には式22で表わされる理想的なコーティング膜屈折率  $n_1$  として  $R_1 = 0.10$  のときの屈折率  $2.52$  に近いものとして屈折率  $2.50$  のものが示されている。これを基準として図2(A)に示される他の屈折率の特性を参照すると、屈折率  $2.50$  に対して  $-20\%$  の屈折率  $2.00$  のものでも十分な端面反射率およびCOD指標  $P_{coated} / P_{uncoated}$  を得ることができ、約  $+10\%$  の屈折率  $2.80$  のものでも十分な端面反射率およびCOD指標  $P_{coated} / P_{uncoated}$  を得ることが分かる。

【0072】以上から、式22で表わされる理想的なコーティング膜屈折率  $n_1$  はこれに限定されることはなく、屈折率  $n_1$  から  $-20\%$  の範囲でもよく、屈折率  $n_1$  から  $+10\%$  の範囲でもよい。

【0073】端面反射率  $R_1 = 0.10$  が必要な場合、図2(A)の  $n_1 = 2.50$  のコーティング膜(例えば、TiON)が最適に近い。膜厚を

【0074】

【数54】

$$\frac{\lambda}{4n_1}$$

よりやや小さな

【0075】

【数55】

$$\frac{\lambda}{n_1} \times 0.227$$

とすれば、反射率  $R_1 = 0.1$ 、COD指標 =  $5.6$  を

得る。図3(A)に、この場合のコーティング膜近傍の光強度分布を示す ( $\lambda = 633\text{nm}$  とした)。半導体とコーティング膜の界面の半導体側で入射波と反射波が打ち消し合い、定在波の節となっているので、CODが発生しにくい。このCOD指標は、従来よく使われる  $Al_2O_3$  コーティングを施した場合、

【0076】

【数56】

$$(R_1 = 10\%, n_1 = 1.68, \text{膜厚} = \frac{\lambda}{n_1} \times 0.163)$$

10

のCOD指標より  $3.0$  倍大きな値である。 $Al_2O_3$  コーティングでは、半導体とコーティング膜の界面で定在波の腹が形成されている(図3(B)参照)。なお、図3(B)では、その出力光密度が図3(A)の出力光密度と同じになるように、描かれている。

【0077】図4(A)は、本発明による実施例の1つとしての  $AlGaInP$  半導体レーザーの構造を示す断面図である。半導体ダブルヘテロ構造は、p型 ( $Al_{0.7}Ga_{0.3})_{0.5}In_{0.5}$  Pクラッド層4、 $AlGaInP$  多重量子井戸活性層5、および、n型 ( $Al_{0.7}Ga_{0.3})_{0.5}In_{0.5}$  Pクラッド層6から構成されている。 $AlGaInP$  多重量子井戸活性層5は、( $Al_{0.05}Ga_{0.95}$ ) $_{0.5}In_{0.5}$  P量子井戸(厚さ  $10\text{nm}$ )と ( $Al_xGa_{1-x}$ ) $_{0.5}In_{0.5}$  Pバリア層から構成されている。 $Al$ 組成 ( $x$ ) は  $0.3 \sim 0.7$  程度である。多重量子井戸の両側には  $50 \sim 250\text{nm}$  程度と薄い光ガイド層を設けておく。本実施例の半導体レーザーの発振波長は  $640\text{nm}$  であり半導体導波路の等価屈折率 ( $n_{eff}$ ) は  $3.30$  である。半導体レーザー前方端面のコーティング膜は屈折率が  $2.50$  のTiONである。膜厚を

【0078】

【数57】

$$dx_1 = \frac{\lambda}{n_1} \times 0.23 = 59\text{nm}$$

とし、反射率  $R_1 = 0.1$ 、COD指標 =  $5.6$  を得た。図4(A)のA-A断面を図4(B)に示す。 $GaAs$  ブロック層10が、基本横モード発振を安定化する。 $GaAs$  ブロック層10の代わりに、 $Al_{0.5}In_{0.5}$  Pブロック層や図4(C)に示す ( $Al_xGa_{1-x}$ ) $_{0.5}In_{0.5}$  Pブロック層11

【0079】

【数58】

$$(0.5 \leq x \leq 1.0)$$

を用いてもよい。

【0080】さらに、図5に示すように多重量子井戸活性層5の代わりに、 $AlGaInP$  バルク活性層12を用いてもよい。

【0081】図6(A)に、本発明による他の実施例と

50

してのInGaAs/AlGaAs半導体レーザの断面を示す。本実施例の半導体レーザの発振波長は0.98  $\mu\text{m}$ である。従って、前方端面(出射端面)のコーティング膜をTiON、屈折率を2.50、コーティング膜厚を90nmとして、反射率 $R_1 = 0.1$ 、COD指標=5.6を得た。図6(B)は図6(A)のA-A断面である。

【0082】図7に、本発明による他の実施例としてのAlGaAs半導体レーザの断面を示す。本実施例の半導体レーザの発振波長は0.83  $\mu\text{m}$ である。従って、前方端面のコーティング膜をTiON、屈折率を2.50、コーティング膜厚を76nmとして、反射率 $R_1 = 0.1$ 、COD指標=5.6を得た。

【0083】図8に、本発明による他の実施例としての本発明の実施例の1つのInGaAlAs半導体レーザであり、阿南ら、エレクトロニクス・レターズ誌、第33巻、第12号、1048-1049頁、1997年により報告されている構造の半導体レーザの構成を示す断面図である。本実施例の半導体レーザの発振波長は1.3  $\mu\text{m}$ である。従って、前方端面のコーティング膜をTiON、屈折率を2.50、コーティング膜厚を120nmとした。In

GaAsP系材料を用いた従来の1.3~1.7  $\mu\text{m}$ 帯半導体レーザではCODが報告されていないものの、Alを含む材料を用いた1.3~1.7  $\mu\text{m}$ 帯半導体レーザではCODが発生する可能性が高い。InGaAs/InAlAsを用いた1.55  $\mu\text{m}$ 帯光変調器で観測された入力端面の損傷(中尾ら、第58回応用物理学会学術講演会、1997年10月2日、講演予稿集No.3、p.1121、論文番号4p-ZB-9)はCODによく似た現象であり、Alを含む材料を用いた1.3~1.7  $\mu\text{m}$ 帯半導体レーザでCODが発生する可能性を強く示唆している。本発明によれば、Alを含む1.3~1.7  $\mu\text{m}$ 帯の半導体レーザのCODを抑制することができる。

【0084】端面コーティングに用いる高屈折率材料としては、TiONの他に、AlON等、様々なものが可能である。表1に、本発明で利用できるコーティング膜材料と、その屈折率を列記する。CaF<sub>2</sub>、CeO<sub>2</sub>、(レーザハンドブック、1975年再版、p191)等、光学材料としてよく知られている他の材料も利用可能である。

【0085】

【表1】

各種端面バシベーション材料の屈折率				
材 料 名	屈 折 率		透過波長領域 ( $\mu\text{m}$ )	参考文献
	常光線	異常光線		
TiO <sub>2</sub>	2.616	2.903		[1]
アモルファスTiO <sub>2</sub>	2.25			
TiO <sub>x</sub> N <sub>1-x</sub>	2.25~2.75			
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.768	1.760		[1]
アモルファスAl <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.68			
AlO <sub>x</sub> N <sub>1-x</sub>	1.68~2.25			
AlN	2.25		> 0.2 $\mu\text{m}$	[2]
AlP	2.99		> 0.51 $\mu\text{m}$	[2]
AlAs	3.2		> 0.58 $\mu\text{m}$	[2]
SiO <sub>2</sub>	1.46			
SiO <sub>x</sub> N <sub>1-x</sub>	1.46~1.96			
C	2.42		> 0.23 $\mu\text{m}$	[2]
SiC	2.5~2.7		> 0.54 $\mu\text{m}$	[2]
BN	2.2		> 0.21 $\mu\text{m}$	[2]
BP	3.0-3.5		> 0.62 $\mu\text{m}$	[2]
GaN	2.0		> 0.37 $\mu\text{m}$	[2]
GaP	5.19		> 0.55 $\mu\text{m}$	[2]
GaAs	3.655		> 0.86 $\mu\text{m}$	[2]
ZnO	2.0		> 0.36 $\mu\text{m}$	[2]
ZnS	2.26		> 0.32 $\mu\text{m}$	[2]
ZnSe	2.6~2.7		> 0.46 $\mu\text{m}$	[2]
CdS	2.30		> 0.48 $\mu\text{m}$	[2]

【 0 0 8 6 】

【表 2】



	17			18
CdSe	2.55		> 0.67 $\mu\text{m}$	[2]
Se	2.78	3.58	> 0.60 $\mu\text{m}$	[2]
TiCl	2.2~2.7		> 0.39 $\mu\text{m}$	[2]
TlBr	2.4~2.7		> 0.48 $\mu\text{m}$	[2]
臭化ヨウ化タリウム(KRS-5)	2.395		> 0.5 $\mu\text{m}$	[1], [2]
臭化ヨウ化タリウム(KRS-6)	~2.4		> 0.4 $\mu\text{m}$	[2]
AgCl	2.09		> 0.37 $\mu\text{m}$	[1], [2]
AgBr	~2.1		> 0.46 $\mu\text{m}$	[2]
TiO <sub>2</sub>	2.4-2.9			[3]
TiO <sub>2</sub>	2.5			[4], [5]
CeO <sub>2</sub>	2.30			[3]
ZrO <sub>2</sub>	2.10			[3]
Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	2.6			[4]
Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> : SiO <sub>2</sub>	1.5-2.2			[6]
TiO <sub>2</sub> : SiO <sub>2</sub>	1.5-2.5			
Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> : Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.6-2.6			
TiO <sub>2</sub> : Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.6-2.6			
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.4			[4]
Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.1			[4]
ZnO	2.0			[4]

出典：

- [1] 理科年表平成6年版(国立天文台編集、平成5年11月30日発行)、種々の物質の屈折率、p.517-518。  
 [2] 光物性ハンドブック(朝倉書店、1984年3月20日発行)、付録A1。  
 [3] 現代光科学I、大津元一著(朝倉書店)、p.93。  
 [4] V.R.Costich, CRC handbook of laser science and technology, ed. M. J. Weber (CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida, 1987), Vol. V, Sec. 2. 1, Table 2. 1. 4, p. 414.  
 [5] Handbook of Optics, ed. M. Bass (McGraw-Hill, Inc., New York, 1995), Table 20, p. 122.  
 [6] 番伍根ら、第45回応用物理学関係連合講演会講演予稿集No.3, 28a-SG-5, p. 1102, 1998年3月28日。

半導体レーザの等価屈折率が3.30、半導体レーザの設計反射率が0.10の場合、式22により最適コーティング膜屈折率は2.52である。TiO<sub>x</sub>N<sub>1-x</sub>の酸素組成を30-50%とすると、優れたコーティング膜となる。TiO<sub>x</sub>N<sub>1-x</sub>の成膜条件を選んで屈折率を制御することも可能である。半導体レーザの設計反射率が0.05の場合、最適コーティング膜屈折率は2.28に低下する。酸素組成の大きなTiO<sub>x</sub>N<sub>1-x</sub>の他、窒素組成の大きなAlO<sub>x</sub>N<sub>1-x</sub>、SiO<sub>x</sub>N<sub>1-x</sub>、等が適する。

【0087】なお、TiONを含めていくつかのコーティング膜材料は反応性が高く、空気中の水蒸気等とも反応し、屈折率や透過率が変動する問題がある。このような場合には、COD制御用コーティング膜の外部に保護コーティング膜を施して保護することが可能である。保護コーティング膜の厚さを充分薄くする。保護コーティング膜の厚さを、

【0088】

【数59】

$$\frac{\lambda}{2n_j}$$

、としてもよい。これらの場合、図3(A)に示した半導体第1コーティング膜界面の光強度分布が保たれ、本発明の作用が保たれる。

【0089】一方、いくつかのコーティング膜材料を半導体に直接コーティングすると、コーティング膜が半導体に強い歪を与えて結晶欠陥を発生させる、等の問題がある。このような場合、COD制御用コーティング膜と半導体の間に半導体保護コーティング膜を施すことが可能である。半導体保護コーティング膜の厚さを充分薄くする。半導体保護コーティング膜の厚さを、

【0090】

50 【数60】

$$\frac{\lambda}{2n_j} \quad 19$$

、としてもよい。これらの場合も、図3(A)に示した半導体第1コーティング膜界面の光強度分布が保たれ、本発明の作用が保たれる。

【0091】

【発明の効果】本発明の半導体レーザでは、従来知られていた限界値以上の光出力を得ることができる。また、従来と比べて比較的高い端面反射率を持つ端面コーティングで高い光出力を得ることができる。従って、しきい値電流や温度特性、等の発振特性を良好に保ちながら安定性と信頼性の高い高出力半導体レーザを実現する。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の作用を説明する説明図である。

【図2】(A)は本発明の端面コーティングの効果を示す図であり、(B)は比較例としての従来の端面コーティングの効果を示す図である。

【図3】(A)は本発明の半導体レーザの光強度分布を示す説明するための図であり、(B)は比較例としての従来の半導体レーザの光強度分布を示す図である。

【図4】(A)は本発明の実施例の1つのAlGaInP多重量子井戸レーザの構成を示す断面図、(B)はAlGaInP多重量子井戸レーザの第2の断面図、(C)はAlGaInP多重量子井戸レーザの第2断面のもう1つの例を示す図である。

【図5】本発明の実施例の1つのAlGaInPバルク活性層レーザを示す図である。

【図6】(A)は本発明の実施例の1つのInGaAs/AlGaAsレーザを示す断面図、(B)はInGaAs/AlGaAsレーザの第2の断面を示す図であ

\*る。

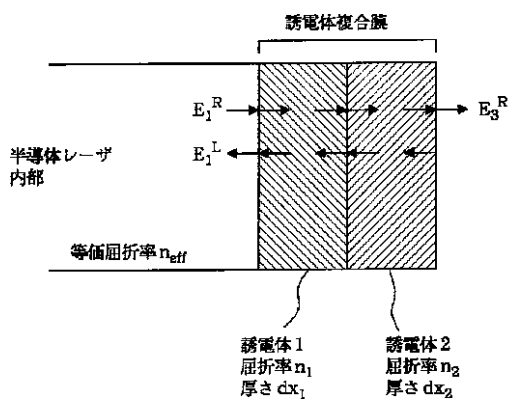
【図7】本発明の実施例の1つのAlGaAsレーザを示す図である。

【図8】本発明の実施例の1つのInGaAsP/InGaAlAsレーザを示す図である。

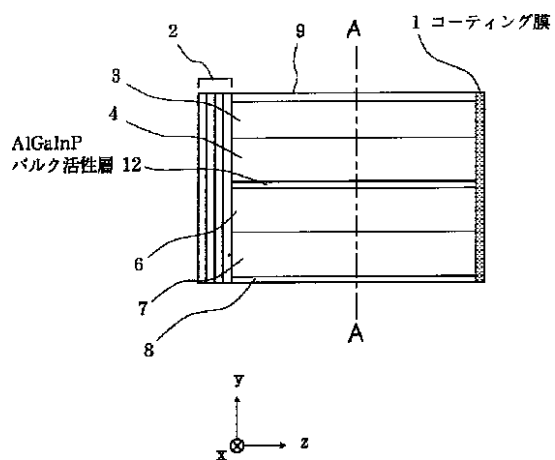
【符号の説明】

- 1 前方端面コーティング膜
- 2 高反射率コーティング膜
- 3 GaAs
- 4 AlGaInPクラッド層
- 5 AlGaInP多重量子井戸活性層
- 6 AlGaInPクラッド層
- 7 GaAs基板
- 8 電極
- 9 電極
- 10 GaAsブロック層
- 11 AlGaInPブロック層
- 12 AlGaInPバルク活性層
- 13 AlGaAsクラッド層
- 14 InGaAs/AlGaAs多重量子井戸活性層
- 15 AlGaAsクラッド層
- 16 AlGaAsブロック層
- 17 AlGaAs多重量子井戸活性層
- 18 InP層
- 19 InGaAsPクラッド層
- 20 InGaAsP/InGaAlAs多重量子井戸活性層
- 21 InGaAsPクラッド層
- 22 InP基板

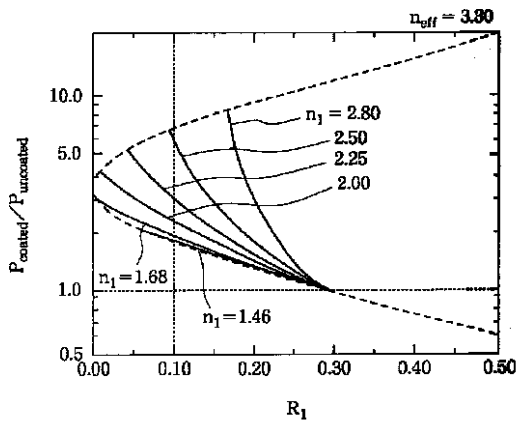
【図1】



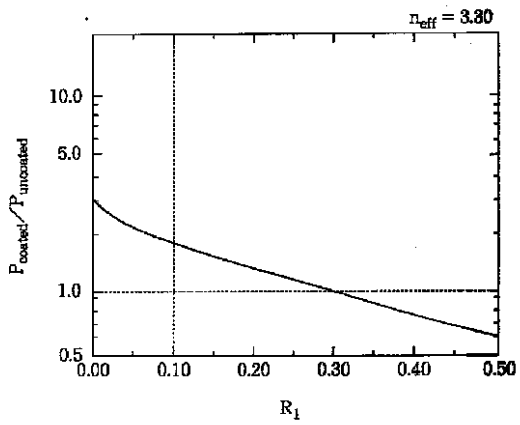
【図5】



【図 2】

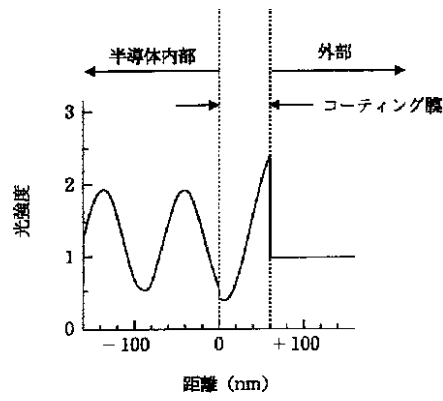


(A)

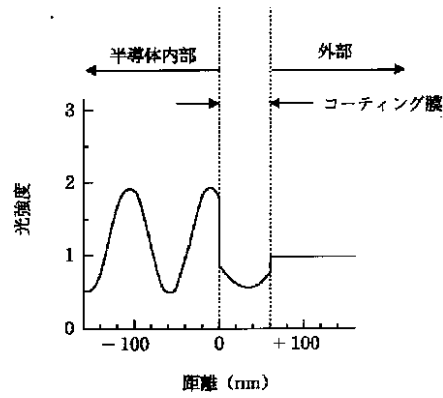


(B)

【図 3】

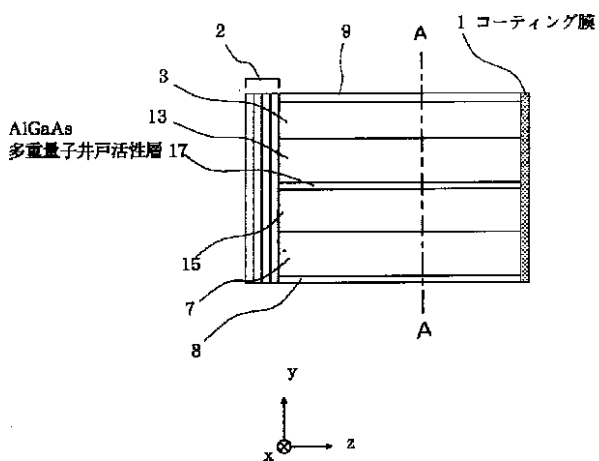


(A)

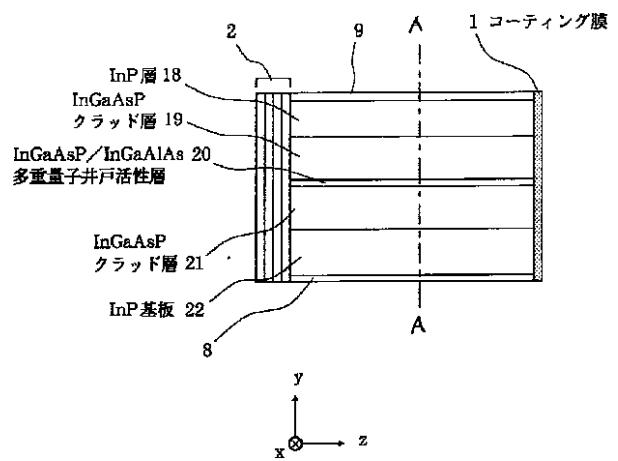


(B)

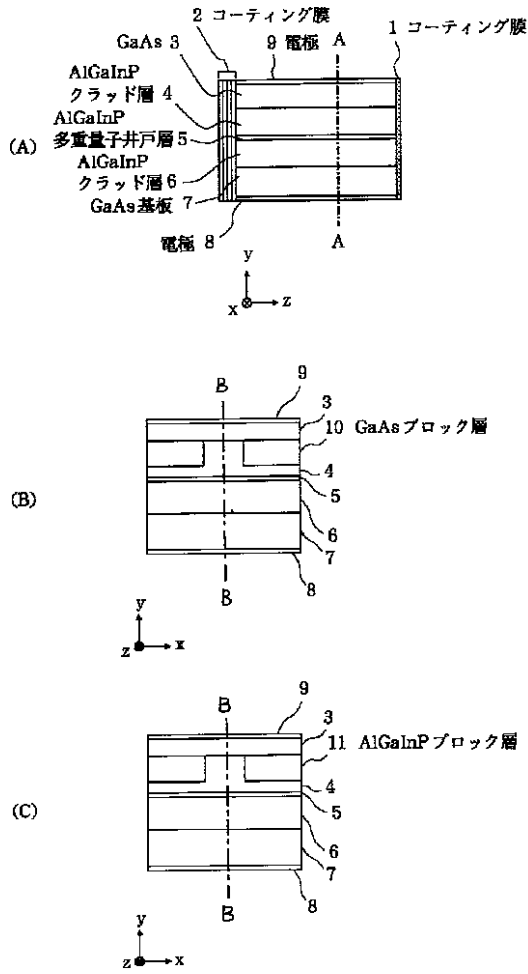
【図 7】



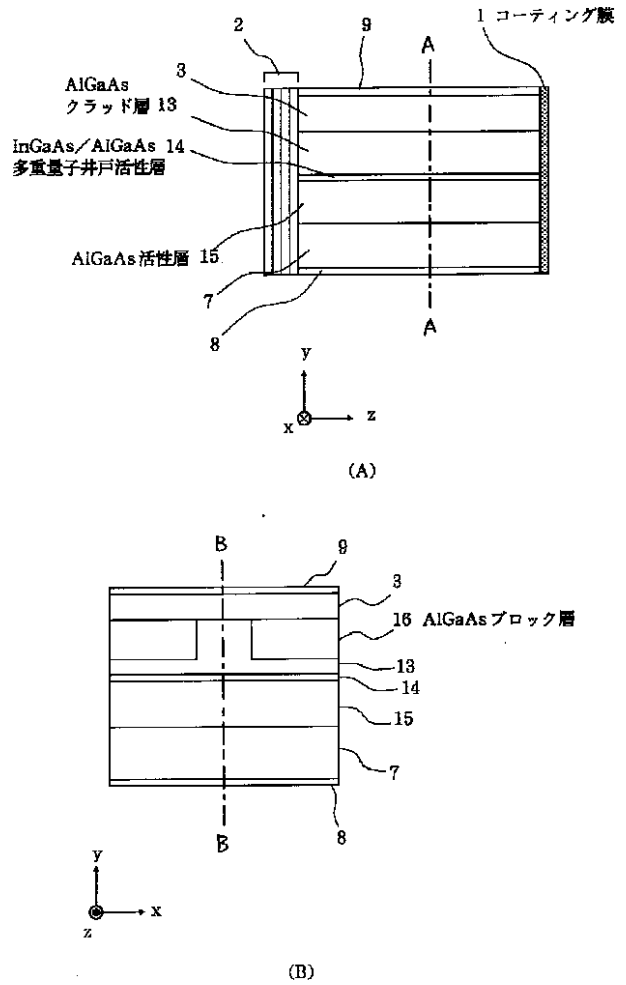
【図 8】



【図 4】



【図 6】



フロントページの続き

- (56) 参考文献 特開 平 8 - 307004 ( J P , A )
- 特開 平 9 - 260777 ( J P , A )
- 特開 平 5 - 37085 ( J P , A )

- (58) 調査した分野(Int.Cl.<sup>7</sup>, D B 名)
- H01S 5/00