(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号

特許第4497251号
(P4497251)

(45)発行日　平成22年7月7日(2010.7.7)　(24)登録日　平成22年4月23日(2010.4.23)

(51)Int.Cl.			F I		
H01S	5/028	(2006.01)	H01S	5/028	
G02B	5/08	(2006.01)	G02B	5/08	A
G02B	5/26	(2006.01)	G02B	5/26	
G02B	5/28	(2006.01)	G02B	5/28	

請求項の数 1　(全 15 頁)

(21)出願番号　特願平11-209020
(22)出願日　平成11年7月23日(1999.7.23)
(65)公開番号　特開2000-332342(P2000-332342A)
(43)公開日　平成12年11月30日(2000.11.30)
審査請求日　平成17年8月11日(2005.8.11)
(31)優先権主張番号　特願平11-70346
(32)優先日　平成11年3月16日(1999.3.16)
(33)優先権主張国　日本国(JP)

前置審査

(73)特許権者　000005223
富士通株式会社
神奈川県川崎市中原区上小田中４丁目１番１号
(74)代理人　100091340
弁理士　高橋　敬四郎
(72)発明者　小路　元
神奈川県川崎市中原区上小田中４丁目１番１号　富士通株式会社内
(72)発明者　米田　昌博
神奈川県川崎市中原区上小田中４丁目１番１号　富士通株式会社内
(72)発明者　雙田　晴久
神奈川県川崎市中原区上小田中４丁目１番１号　富士通株式会社内

最終頁に続く

(54)【発明の名称】半導体レーザの製造方法

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
端面を有する等価屈折率n_0のレーザダイオードを準備する工程と、
反射すべき光の波長λを決定する工程と、
前記レーザダイオードを保護部材で覆う前の該レーザダイオードの周囲の屈折率ns_1と、前記レーザオードを覆う保護部材の屈折率ns_2とを決定する工程と、
前記レーザダイオードの前記端面に、屈折率n_1の第１の層と屈折率n_2の第２の層とを交互にｋ組（ｋは正の整数）成膜する工程であって、該第１の層の膜厚が、
【数１】
$(\lambda/4+(\lambda/2)\times N_1)/n_1$　（N_1は０または正の整数）
となり、該第２の層の膜厚が、
【数２】
$(\lambda/4+(\lambda/2)\times N_2)/n_2$　（N_2は０または正の整数）
となるように成膜する工程と、
屈折率n_1の第３の層の膜厚をd_3としたとき、
【数３】
$d_3=d+(\lambda/2n_1)\times N_3$　（N_3は０または正の整数）
及び

【数４】

$$\cos^2\Delta = \frac{\dfrac{n_1^{\,2}}{ns_1 ns_2} n_1^{\,2} a^4 - n_0^{\,2}}{\left(1+\dfrac{n_1^{\,2}}{ns_1 ns_2}\right)\left(n_1^{\,2} a^4 - n_0^{\,2}\right)}$$

$$\Delta = \frac{2\pi n_1 d}{\lambda}$$

$$a = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^k \qquad （kは0または正の整数）$$

を満足するように該第３の層の膜厚d_3を決定する工程と、
最上の第２の層の表面上に、前記第３の層の膜厚d_3を決定する工程で決定された膜厚を有する第３の層を成膜する工程と
を有する半導体レーザの製造方法。

【発明の詳細な説明】
【０００１】
【発明の属する技術分野】
本発明は、半導体レーザの製造方法に関する。
【０００２】
【従来の技術】
反射すべき光の波長の１／４の光学膜厚を有する２種類以上の薄膜を積層した多層膜構造の反射膜が知られている。この多層膜構造の反射膜を、レーザダイオードの光共振器の端面に形成することにより、低しきい値化、高出力化等を図ることができる。
【０００３】
【発明が解決しようとする課題】
一対の共振器端面を有する半導体レーザ装置のレーザ特性の指標となる基本的なパラメータとして、しきい値利得、外部微分量子効率、前後比、及びスロープ効率が挙げられる。
しきい値利得g_{th}は、
【０００４】
【数４０】
$g_{th} = \alpha_i + (1/L)\ln(1/(R_f R_r)^{1/2})$
と定義される。ここで、α_iは、光共振器内の内部損失、Ｌは共振器長、R_f及びR_rは、それぞれ前端面及び後端面の反射率である。
【０００５】
外部微分量子効率η_dは、
【０００６】
【数４１】
$\eta_d = \eta_i \times \ln(1/R)/(\alpha_i L + \ln(1/R))$
と定義される。ここで、η_iは、内部量子効率であり、$R = R_f = R_r$と仮定した。
【０００７】
前後比ｒは、
【０００８】
【数４２】
$r = ((1-R_f)/(1-R_r)) \times (R_r/R_f)^{1/2}$

と定義される。
スロープ効率S_dは、
【０００９】
【数４３】
$S_d = 1.24 \times \eta_d / \lambda$
と定義される。ここで、λは、発振波長である。
【００１０】
上記定義式から分かるように、反射率R_f及びR_rが低下すると、外部微分量子効率η_d及びスロープ効率S_dは向上するが、しきい値利得g_{th}が増加する。すなわち、しきい値電流が増加してしまう。特に、高温動作環境においては、しきい値電流の増加により光出力特性が損なわれる場合がある。
【００１１】
通常、レーザダイオードの特性評価は、大気もしくは不活性ガス雰囲気中で行われる。ところが、実際の動作時には、レーザダイオードを実装基板上に実装した後、樹脂等で被覆する。光共振器の反射端面を樹脂で被覆すると、反射率が低下し、しきい値利得g_{th}が増加してしまう。このため、実際の使用環境下における光出力特性を評価することが困難である。
【００１２】
本発明の目的は、実際の使用環境に近い条件で特性評価を行うことが可能な半導体レーザの製造方法を提供することである。
【００１３】
【課題を解決するための手段】
本発明の一観点によると、端面を有する等価屈折率n_0のレーザダイオードを準備する工程と、反射すべき光の波長λを決定する工程と、前記レーザダイオードを保護部材で覆う前の該レーザダイオードの周囲の屈折率ns_1と、前記レーザオードを覆う保護部材の屈折率ns_2とを決定する工程と、
前記レーザダイオードの前記端面に、屈折率n_1の第１の層と屈折率n_2の第２の層とを交互にｋ組（ｋは正の整数）成膜する工程であって、該第１の層の膜厚が、
【００１４】
【数４４】
$(\lambda/4 + (\lambda/2) \times N_1) / n_1$ （N_1は０または正の整数）
となり、該第２の層の膜厚が、
【００１５】
【数４５】
$(\lambda/4 + (\lambda/2) \times N_2) / n_2$ （N_2は０または正の整数）
となるように成膜する工程と、屈折率n_1の第３の層の膜厚をd_3としたとき、
【００１６】
【数４６】
$d_3 = d + (\lambda / 2n_1) \times N_3$ （N_3は０または正の整数）
及び
【００１７】
【数４７】

$$\cos^2\Delta = \frac{\frac{n_1^2}{ns_1 ns_2} n_1^2 a^4 - n_0^2}{\left(1+\frac{n_1^2}{ns_1 ns_2}\right)\left(n_1^2 a^4 - n_0^2\right)}$$

$$\Delta = \frac{2\pi n_1 d}{\lambda}$$

$$a = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^k \qquad (\text{ｋは０または正の整数})$$

【００１８】
を満足するように該第３の層の膜厚ｄ$_3$を決定する工程と、最上の第２の層の表面上に、前記第３の層の膜厚ｄ$_3$を決定する工程で決定された膜厚を有する第３の層を成膜する工程とを有する半導体レーザの製造方法が提供される。
【００１９】
この反射膜の、屈折率ｎｓ$_1$の媒質中における反射率と、屈折率ｎｓ$_2$の媒質中における反射率とは等しい。このため、屈折率ｎｓ$_1$の媒質中で、この反射膜を適用した光学部材の光学特性を測定することにより、屈折率ｎｓ$_2$の媒質中における光学特性を予測することができる。
【００５０】
【発明の実施の形態】
図１は、本発明の第１の実施例による反射膜の断面図を示す。屈折率ｎ$_0$の光学媒質１の反射面上に、積層構造を有する反射膜５が形成されている。反射膜５は、屈折率ｎ$_1$の第１の層２と屈折率ｎ$_2$の第２の層３とが交互にｋ組積層され、最上の第２の層３の表面上に、屈折率ｎ$_1$の第３の層４が形成された積層構造を有する。ここで、ｋは、正の整数である。
【００５１】
反射すべき光の波長をλとしたとき、第１の層２の膜厚ｄ$_1$は、
【００５２】
【数６５】
ｄ$_1$＝（λ／４＋（λ／２）×Ｎ$_1$）／ｎ$_1$　（Ｎ$_1$は０または正の整数）
である。第２の層３の膜厚ｄ$_2$は、
【００５３】
【数６６】
ｄ$_2$＝（λ／４＋（λ／２）×Ｎ$_2$）／ｎ$_2$　（Ｎ$_2$は０または正の整数）
である。
【００５４】
外部の媒質（第３の層４に接している媒質）の屈折率がｎｓ$_1$である場合とｎｓ$_2$である場合との反射率が等しくなるように反射膜５を設計する方法について説明する。第３の層４の膜厚ｄ$_3$は、
【００５５】
【数６７】
ｄ$_3$＝ｄ＋（λ／２ｎ$_1$）×Ｎ$_3$　（Ｎ$_3$は０または正の整数）
及び、
【００５６】

【数６８】

$$\cos^2\Delta=\frac{\frac{n_1^{\,2}}{ns_1ns_2}n_1^{\,2}a^4-n_0^{\,2}}{\left(1+\frac{n_1^{\,2}}{ns_1ns_2}\right)\left(n_1^{\,2}a^4-n_0^{\,2}\right)}$$

$$\Delta=\frac{2\pi n_1 d}{\lambda}$$

$$a=\left(\frac{n_1}{n_2}\right)^k \qquad (\text{ｋは０または正の整数})$$

【００５７】
を満足するように選択されている。
【００５８】
波長λの光に対する反射膜５の反射率Ｒ［％］は、
【００５９】
【数６９】

$$R^2=1-\frac{4\times\frac{n_0}{ns}}{\left[\left\{1-\left(\frac{n_1}{ns}\right)^2\right\}a^2-\left\{\left(\frac{n_0}{n_1}\right)^2-\left(\frac{n_0}{ns}\right)^2\right\}b^2\right]\cos^2\Delta+\left\{\left(\frac{n_1}{ns}\right)a+\left(\frac{n_0}{n_1}\right)b\right\}^2}$$

$$\Delta=\frac{2\pi n_1 d}{\lambda}$$

$$a=\left(\frac{n_1}{n_2}\right)^k$$

$$b=\left(\frac{n_2}{n_1}\right)^k$$

【００６０】
と表される。ここで、ｎｓは、第３の層４に接触している外部媒質の屈折率である。
【００６１】
式（６８）を満足するように第３の層４の膜厚を設定しておくと、式（６９）からわかるように、外部媒質の屈折率がns_1の場合の反射率と、屈折率がns_2の場合の反射率とが等しくなる。例えば、$ns_1=1$とし、ns_2を、反射膜５の実際の使用時における外部媒質の屈折率に等しくしておくと、大気中または不活性ガス中における反射膜５の反射率が、実際の使用時における反射率に等しくなる。
【００６２】

このため、大気中で反射率の評価実験を行うことにより、実際の使用時における反射率を高精度で予測することができる。なお、第１の層２、第２の層３、及び第３の層４を、これらの膜厚が上述の計算で得られた理想膜厚と等しくなるように成膜することは困難である。現実的には、各層の膜厚が、理想膜厚から±２０％程度相違している場合であっても、良好な効果が得られるであろう。従って、本明細書において、薄膜の「膜厚」は、計算式により与えられる理想膜厚から±２０％増減した膜厚を含むものとする。

【００６３】

図２は、上記第１の実施例による反射膜を用いた第２の実施例による半導体レーザ装置の断面図を示す。上部が開口した外枠１０内にプラットホーム１３が配置されている。プラットホーム１３は、例えばシリコン基板により構成される。プラットホーム１３の表面上に、レーザダイオード８及びフォトダイオード１４が搭載されている。レーザダイオード８は、例えばＩｎＧａＡｓＰ／ＩｎＰ系の発振波長１．３μｍのファブリペロー型レーザ装置である。この光共振器の等価屈折率n_0は３．２３である。

【００６４】

レーザダイオード８の光共振器の両端面には、上記第１の実施例による反射膜５Ａ及び５Ｂが成膜されている。図１における第１の層２及び第３の層４はSiO_2で形成され、その屈折率n_1は１．４５であり、第２の層３はＳｉで形成され、その屈折率n_2は３．８である。SiO_2膜及びＳｉ膜は、例えばイオンアシスト蒸着、プラズマ励起型化学気相成長、熱化学気相成長、またはスパッタリング等により形成することができる。

【００６５】

反射膜５Ｂを透過して後方に放射されたレーザ光は、フォトダイオード１４に入射する。フォトダイオード１４の出力信号を測定することにより、レーザダイオード８の発振状況を監視することができる。

【００６６】

反射膜５Ａを透過して前方に放射されたレーザ光の一部は、光ファイバ１２に入射する。光ファイバ１２は、プラットフォーム１３の表面上に載置され、押え板１５により、その位置が固定されている。光ファイバ１２は、外枠１０の側面を貫通して、外枠１０の外まで導出されている。光ファイバ１２の、外枠１０を貫通する部分は、ホルダ１１で保護されている。

【００６７】

フォトダイオード１４、レーザダイオード８、及び光ファイバ１２の端部を、封止樹脂１６が覆う。封止樹脂１６は、例えばシリコーン樹脂等で形成される。シリコーン樹脂の屈折率は、１．３８である。外枠１０の開口部は、蓋１７で塞がれている。外枠１０の底に、複数の信号入出力用端子１８が取り付けられている。

【００６８】

式（４４）及び式（４５）から、図１における第１の層２の膜厚d_1は２２４ｎｍ、第２の層２の膜厚d_2は８６ｎｍとなる。なお、ここでは、$N_1=N_2=0$とした。式（６８）の$ns_1=1$、$ns_2=1.38$とすると、$\cos^2\Delta=0.395$になる。これから、第３の層４の膜厚d_3は、一例として、１２７ｎｍと求められる。このとき、式（６９）から、反射率Ｒ［％］は、７６．７％となる。

【００６９】

図３は、上記第２の実施例によるレーザダイオードの、樹脂封止前後のしきい値の変化を、動作温度の関数として示す。横軸は、動作温度を単位℃で表し、縦軸はシリコーン樹脂で封止する前後のしきい値の変動幅を単位％で表す。グラフ中の実線ａは、上記第２の実施例によるレーザダイオードのしきい値変動幅を示し、実線ｂは、図１に示す第３の層４を設けない反射膜を用いたレーザダイオードのしきい値変動幅を示す。

【００７０】

第１の実施例による反射膜を用いた場合には、しきい値変動幅が５％以下である。これに対し、第３の層を設けない場合には、しきい値変動幅が２０～４５％程度になる。このように、第１の実施例の反射膜を用いることにより、樹脂封止前後のしきい値変動幅を少な

くすることができる。特に、動作温度が高い場合に、その効果が高いことがわかる。

【００７１】

これは、第１の実施例による反射膜の大気中における反射率と、樹脂封止後における反射率とがほぼ等しいためである。図１に示す第３の層４を用いない場合には、大気中における反射率と樹脂封止後における反射率とが異なるため、樹脂封止前後でしきい値が大きく変動する。第１の実施例による反射膜を用いると、大気中でレーザダイオードのしきい値を評価し、樹脂封止後のしきい値を高精度に予測することができる。

【００７２】

上記第２の実施例では、図１の第１及び第２の層２及び３として、SiO_2とＳｉを用いたが、その他の材料、例えばＡｌ、Ｓｉ、Ｔｉ、Ｚｎ、Ｍｇ、またはＬｉの酸化物、窒化物、または弗化物を用いてもよい。また、反射膜をレーザダイオードの光共振器端面に形成する場合には、端面に直接接する第１の層を絶縁材料で形成することが好ましい。

【００７３】

上記第２の実施例では、ファブリペロー型レーザを例にとって説明したが、第１の実施例による反射膜は、その他のレーザダイオード、例えば分布帰還型レーザダイオード、分布ブラッグ反射型レーザダイオードに適用することも可能である。

【００７４】

通常の材料の屈折率は１以上であるため、式（６８）のns_1及びns_2は共に１以上である。また、一般的にレーザダイオードの発振波長域で使用され得る反射膜材料の屈折率は４以下である。このため、一般的には、

【００７５】

【数７０】

$$1 \leqq (ns_1 \times ns_2) \leqq 16$$

と考えられる。

【００７６】

この条件と、式（６８）から、

【００７７】

【数７１】

$$\arccos\left(\sqrt{\frac{\frac{n_1^2}{16}n_1^2a^4-n_0^2}{\left(1+\frac{n_1^2}{16}\right)\left(n_1^2a^4-n_0^2\right)}}\right)\times\frac{\lambda}{2\pi n_1}\leq d\leq\arccos\left(\sqrt{\frac{n_1^2n_1^2a^4-n_0^2}{\left(1+n_1^2\right)\left(n_1^2a^4-n_0^2\right)}}\right)\times\frac{\lambda}{2\pi n_1}$$

【００７８】

及び

【００７９】

【数７２】

$$\arccos\left(-\sqrt{\frac{n_1^2n_1^2a^4-n_0^2}{\left(1+n_1^2\right)\left(n_1^2a^4-n_0^2\right)}}\right)\times\frac{\lambda}{2\pi n_1}\leq d\leq\arccos\left(-\sqrt{\frac{\frac{n_1^2}{16}n_1^2a^4-n_0^2}{\left(1+\frac{n_1^2}{16}\right)\left(n_1^2a^4-n_0^2\right)}}\right)\times\frac{\lambda}{2\pi n_1}$$

$$a=\left(\frac{n_1}{n_2}\right)^k$$

【００８０】
が得られる。すなわち、図１の第３の層４の膜厚をd_3とした時、膜厚d_3は、式（６７）、（７１）、及び（７２）を満足するように制約を受ける。例えば、ｋ＝１、n_0＝３．２３、n_1＝１．４５、n_2＝３．８の場合、
【００８１】
【数７３】
４９ｎｍ≦ｄ≦１３８ｎｍ、または、３１１ｎｍ≦ｄ≦４１１ｎｍ
が得られる。
【００８２】
上記第２の実施例では、レーザダイオードの反射端面に適用する反射膜について説明したが、第１の実施例による反射膜は、レーザダイオード以外の屈折率ns_1の光学媒質の反射面上に形成してもよい。このとき、反射膜を屈折率ns_2の光学媒質で覆う。反射膜がレーザダイオードに適用されている場合には、そのレーザダイオードの発振波長が、この反射膜の反射すべき光の波長に相当する。反射膜が、光学媒質の反射端面上に形成されている場合には、その反射膜の反射すべき光の波長は、下記の方法で特定することができる。
【００８３】
図１に示す第１の層２及び第２の層３の光学膜厚は、共に、
【００８４】
【数７４】
λ／４＋（λ／２）×Ｎ　（Ｎは０または正の整数）
である。ここで、光学膜厚とは、実際の膜厚に、その膜の屈折率を乗じた膜厚を意味する。反射膜を構成する第１の層２と第２の層３の膜厚を測定し、光学膜厚を求める。この第１及び第２の層の光学膜厚に対し、式（７４）のＮを種々変化させて波長λを特定する。このとき、第１の層に関するＮと第２の層に関するＮとは、等しくなくてもよい。
【００８５】
反射すべき波長が特定されると、ns_1＝１を代入した式（６８）、及び式（６７）から、図１に示す第３の層４の好適な膜厚d_3を求めることができる。このように形成された反射膜においては、屈折率が１の雰囲気中、例えば大気中における反射率と、屈折率ns_2の媒質中における反射率とが等しい。このため、大気中で反射率を評価することにより、屈折率ns_2の媒質中における反射率を高精度に予測することができる。
【００８６】
次に、本発明の第３の実施例による光学装置の構成について説明する。上記第１の実施例の反射膜は、基本的に、対象とする光の波長の１／４の厚さの膜の積層を含んでいる。第３の実施例による反射膜は３層構造を有し、各膜の厚さは波長の１／４にこだわることなく決定される。
【００８７】
図４に、第３の実施例による光学装置の断面図を示す。光学媒質２０の表面上に、第１の層２１、第２の層２２、及び第３の層２３が積層されている。第１～第３の層２１～２３の３層により反射膜２４が構成される。光学媒質２０は、等価屈折率３．２３、発振波長１．３１μｍのレーザダイオードであり、第１の層２１及び第３の層２３は、屈折率１．４５のSiO_2で形成され、第２の層２２は、屈折率３．８のシリコンで形成されている。
【００８８】
第１～第３の層２１～２３の膜厚を種々変化させて、上記３層構造の反射膜２４を大気中に置いた場合の波長１．３１μｍ及びその近傍の波長の光に対する反射率と、屈折率１．３８の樹脂で被覆した場合のそれとを計算により求めた。
【００８９】
図５は、大気中に配置した場合の反射率と樹脂封止した場合の反射率とがほぼ等しくなり、かつ対象とする光の波長が変動した場合の反射率の変動が比較的少ないという条件を満

足する膜厚の組み合わせを、反射率Ｒ［％］の関数として示す。横軸は反射率Ｒを単位％で表し、縦軸は膜厚を単位ｎｍで表す。図中の実線ａ１、ａ２、及びａ３は、それぞれ第１、第２、及び第３の層２１、２２、及び２３の膜厚を示す。

【００９０】

一般的に、レーザダイオードの劈開面と空気との界面の反射率は３０％程度である。通常、レーザダイオードに適用される反射膜は、劈開面と空気との界面の反射率以下とされる。このため、図５の反射率の上限を３０％としている。また、反射率が１５％以下となる領域では、所望の解が得られなかった。すなわち、３層構造の反射膜を用いる場合には、反射膜の設計値を１５％以上とすることが好ましい。このため、図５の反射率の下限を１５％としている。

【００９１】

第１の層２１の膜厚d_1（曲線ａ１）を反射率Ｒ［％］の２次式で近似すると、

【００９２】

【数７５】

$$d_1=(0.11-9.2\times10^{-3}R+2.2\times10^{-4}R^2)\lambda_0/n_1$$

となる。ここで、λ_0は対象とする光の波長、すなわち１．３１μｍであり、n_1は第１の層２１の屈折率、すなわち１．４５である。なお、膜厚d_1は波長λ_0にほぼ比例すると考えられるため、膜厚d_1を波長λ_0の一次式として表した。

【００９３】

同様に、第２の層２２の膜厚d_2（曲線ａ２）は、

【００９４】

【数７６】

$$d_2=(-8.7\times10^{-3}+3.5\times10^{-3}R-1.2\times10^{-5}R^2)\times(-3.6+17/n_2)\lambda_0$$

と近似される。ここで、n_2は第２の層２２の屈折率、すなわち３．８である。なお、（－３．６＋１７／n_2）の項は、屈折率n_2を３．６から３．８５まで変化させて得られた図５と同様のグラフから導き出された項である。

【００９５】

実際に、プラズマ励起型化学気相成長、スパッタリング等により形成したシリコン膜の屈折率は、成膜条件のばらつき等により、概ね３．６～３．８５の範囲内で変動する。従って、第２の層２２の膜厚は、実際の成膜条件に適合した屈折率n_2を式（７６）に代入して決定することが好ましい。

【００９６】

第３の層２３の膜厚d_3（曲線ａ３）は、

【００９７】

【数７７】

$$d_3=(0.23-4.9\times10^{-3}R+7.7\times10^{-5}R^2)\lambda_0/n_3$$

と近似される。ここで、n_3は第３の層２３の屈折率、すなわち１．４５である。

【００９８】

また、各膜厚d_1～d_3が、式（７５）～（７７）から求まる値を中心として±１５ｎｍの範囲（図５の破線の範囲）で増減した場合、計算結果によると、反射率は±３％程度の範囲内で変動する。例えば、反射率が２５％となるように膜厚を設定した場合、膜厚の１５ｎｍ程度の変動により反射率が２２％と２８％との間で変動する。この程度の反射率の変動は、許容範囲内である。

【００９９】

また、各膜厚d_1～d_3が、目標値から±１５ｎｍ程度増減した場合、レーザダイオードを空気中に配置した場合の反射率と樹脂封止した場合の反射率との差は、高々２％程度であるという計算結果が得られた。これに対し、単層反射膜を用いた場合には、その差は１０％にもなる。すなわち、各膜厚d_1～d_3が±１５ｎｍの範囲で増減しても、空気中における反射率と樹脂封止後の反射率との差を小さくするという十分な効果が期待される。例え

ば、反射率を２６％としたい場合の好適な膜厚d_1、d_2、及びd_3は、それぞれ２８．２ｎｍ以下、６６．２～９６．２ｎｍ、及び１２１．２～１５１．２ｎｍとなる。

【０１００】

なお、第１の層２１の膜厚を目標値から－１５ｎｍだけ薄くすると、膜厚d_1が０ｎｍになってしまう場合がある。ただし、実際には第１の層２１を成膜するため、現実には膜厚d_1が０ｎｍになることはなく、０ｎｍよりも厚くなる。現実的には、少なくとも２ｎｍ以上の膜厚になるであろう。

【０１０１】

上記第３の実施例では、図５からわかるように、第１の層２１の膜厚d_1の取りうる範囲は４０ｎｍ以下である。従来の多層反射膜では、各層の厚さが１／４波長を基準に決定されるため、一般的なレーザダイオードに用いられる反射膜の各層の膜厚は２２０ｎｍ以上である。光学媒体に接する第１の層の膜厚を４０ｎｍ以下としていることは、第３の実施例の大きな特徴といえる。

【０１０２】

なお、第３の実施例では、光学媒質の実効屈折率を３．２３とした場合について考察したが、光学媒質の屈折率が３．２３±０．０５の範囲内である場合に、好適な膜厚は、上述の式（７５）～（７７）で近似することができる。

【０１０３】

上記第３の実施例では、光学媒質に接する第１の層２１をSiO_2で形成し、その上の第２の層２２をシリコンで形成し、その上の第３の層２３をSiO_2で形成した。その他の材料についても、好ましい膜厚の組み合わせを計算により求めた。以下、他の材料を用いた場合の第１～第３の変形例による光学装置の膜厚の組み合わせについて説明する。なお、第１～第３の変形例で使用される光学媒質の屈折率は、第３の実施例の場合と同様である。

【０１０４】

まず、第３の実施例の第１の変形例について説明する。第１の変形例においては、図４の第１の層２１及び第３の層２３を酸化アルミニウムで形成し、第２の層２２をシリコンで形成する。なお、酸化アルミニウムで形成された第１及び第３の層の屈折率n_1及びn_3を１．７２とした。

【０１０５】

第１の層２１の好適な膜厚d_1、第２の層２２の好適な膜厚d_2、及び第３の層２３の好適な膜厚d_3は、それぞれ、

【０１０６】

【数７８】

$$d_1=(1.7\times10^{-3}+1.1\times10^{-3}R+3.1\times10^{-5}R^2)\lambda_0/n_1$$
$$d_2=(2.3\times10^{-2}+3.5\times10^{-3}R-5.6\times10^{-5}R^2)\times(-1.4+8.9/n_2)\lambda_0$$
$$d_3=(0.21-1.9\times10^{-3}R+2.1\times10^{-5}R^2)\lambda_0/n_3$$

となる。

【０１０７】

この場合の、各膜厚の許容範囲は、上述の式から求められた目標膜厚d_1～d_3の±１５ｎｍである。また、第１の層の膜厚の上限は６０ｎｍである。例えば、反射率を２６％にするための好適な膜厚d_1、d_2、及びd_3は、それぞれは、２３．８～５３．８ｎｍ、７５．８～１０５．８ｎｍ、及び１１７．５～１４７．５ｎｍとなる。

【０１０８】

次に、第３の実施例の第２の変形例について説明する。第２の変形例においては、図４の第１の層２１を酸化シリコンで形成し、第２の層２２をシリコンで形成し、第３の層２３を酸化アルミニウムで形成する。すなわち、n_1＝１．４５、n_2＝３．６～３．８５、n_3＝１．７２である。

【０１０９】

第１の層２１の好適な膜厚d_1、第２の層２２の好適な膜厚d_2、及び第３の層２３の好適な膜厚d_3は、それぞれ、

【０１１０】

【数７９】

$$d_1=(-3.1\times10^{-5}+3.6\times10^{-3}R-3.5\times10^{-5}R^2)\lambda_0/n_1$$
$$d_2=(3.5\times10^{-2}+2.5\times10^{-3}R-3.6\times10^{-5}R^2)\times(-2.6+1.4/n_2)\lambda_0$$
$$d_3=(0.21-1.9\times10^{-3}R+2.1\times10^{-5}R^2)\lambda_0/n_3$$

となる。

【０１１１】

この場合の、各膜厚の許容範囲は、上述の式から求められた目標膜厚d_1～d_3の±１５ｎｍである。また、第１の層の膜厚の上限は４０ｎｍである。例えば、反射率を２６％にするための好適な膜厚d_1、d_2、及びd_3は、それぞれは、２０．４～５０．４ｎｍ、７３．４～１０３．４ｎｍ、及び１１７．５～１４７．５ｎｍとなる。

【０１１２】

次に、第３の実施例の第３の変形例について説明する。第３の変形例においては、図４の第１の層２１を酸化アルミニウムで形成し、第２の層２２をシリコンで形成し、第３の層２３を酸化シリコンで形成する。すなわち、$n_1=1.72$、$n_2=3.6$～3.85、$n_3=1.45$である。

【０１１３】

第１の層２１の好適な膜厚d_1、第２の層２２の好適な膜厚d_2、及び第３の層２３の好適な膜厚d_3は、それぞれ、

【０１１４】

【数８０】

$$d_1=(0.12-1.2\times10^{-2}R+3.2\times10^{-4}R^2)\lambda_0/n_1$$
$$d_2=(-2.7\times10^{-2}+3.4\times10^{-3}R+2.4\times10^{-5}R^2)\times(-3.8+2.8/n_2)\lambda_0$$
$$d_3=(0.23-4.9\times10^{-3}R+7.7\times10^{-5}R^2)\lambda_0/n_3$$

となる。

【０１１５】

この場合の、各膜厚の許容範囲は、上述の式から求められた目標膜厚d_1～d_3の±１５ｎｍである。また、第１の層の膜厚の上限は５０ｎｍである。例えば、反射率を２６％にするための好適な膜厚d_1、d_2、及びd_3は、それぞれは、０．９～３０．９ｎｍ、６９．６～９９．６ｎｍ、及び１２１．２～１５１．２ｎｍとなる。

【０１１６】

上述のように、第１～第３の層の材料の組み合わせを変えると、各層の好適な膜厚も変わる。種々の材料の組み合わせについて、図５と同様のグラフを求めることにより、樹脂封止前の反射率と樹脂封止後の反射率との差の小さな３層反射膜を得ることが可能になる。

【０１１７】

図６は、第３の実施例（第１～第３の変形例を含む）による反射膜を図２に示すレーザダイオードに適用した場合の、樹脂封止前と樹脂封止後とのしきい値の変動量を、樹脂封止前のしきい値に対する比率で示す。横軸及び縦軸は、図３のそれらと同様である。

【０１１８】

図６中の折れ線群ｃが、第３の実施例による３層反射膜を用いた場合のしきい値の変動幅を示し、折れ線群ｄが、従来の単層反射膜を用いた場合のしきい値の変動幅を示す。従来の場合には、樹脂封止することによりしきい値が２０％以上上昇している。これに対し、第３の実施例による３層反射膜を用いた場合には、しきい値変動率が±５％以下である。このように、第３の実施例による３層反射膜を用いることにより、樹脂封止することによって生ずるしきい値の変動を抑制することができる。

【０１１９】

以上実施例に沿って本発明を説明したが、本発明はこれらに制限されるものではない。例えば、種々の変更、改良、組み合わせ等が可能なことは当業者に自明であろう。

【０１２０】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明によると、反射膜の外部媒質が取り替えられた場合でも、特定の波長の光に対する反射率の変動幅を少なくすることができる。この反射膜をレーザダイオードの光共振器の端面に適用すると、大気中でしきい値を測定することにより、樹脂封止後のしきい値を高精度に予測することが可能になる。

【図面の簡単な説明】

【図１】第１の実施例による光学装置の断面図である。

【図２】第２の実施例による半導体レーザ装置の断面図である。

【図３】第２の実施例及び比較例による半導体レーザ装置の、樹脂封止前後のしきい値の変動幅の温度特性を示すグラフである。

【図４】第３の実施例による光学装置の断面図である。

【図５】第３の実施例による光学装置の反射膜に用いられる多層膜の膜厚を示すグラフである。

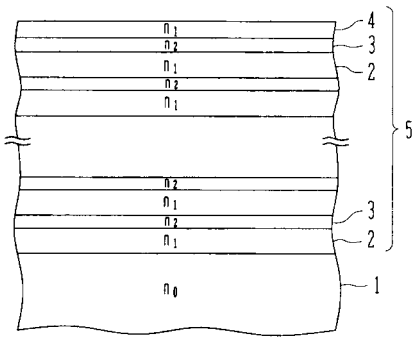
【図６】第３の実施例及び比較例による反射膜を適用した半導体レーザ装置の、樹脂封止前後のしきい値の変動幅の温度特性を示すグラフである。

【符号の説明】

１、２０　光学媒質
２、２１　第１の層
３、２２　第２の層
４、２３　第３の層
５、２４　反射膜
１０　外枠
１１　ホルダ
１２　光ファイバ
１３　プラットホーム
１４　フォトダイオード
１５　押え板
１６　封止樹脂
１７　蓋
１８　信号入出力用端子

【図１】

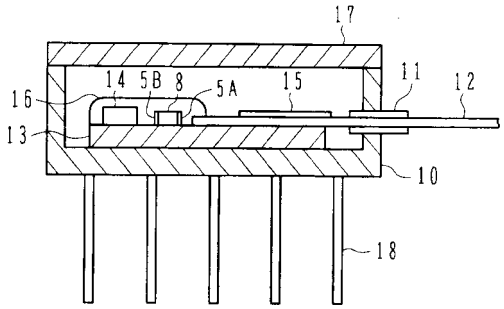
第１の実施例による光学装置



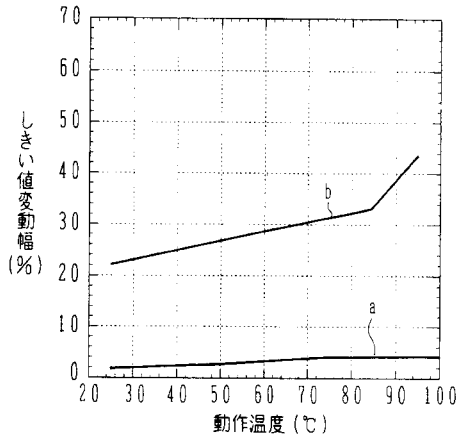
1：光学媒質　　4：第３の層
2：第１の層　　5：反射膜
3：第２の層

【図２】

第２の実施例による半導体レーザ装置

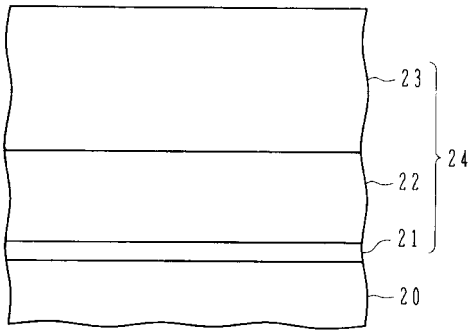


【図３】



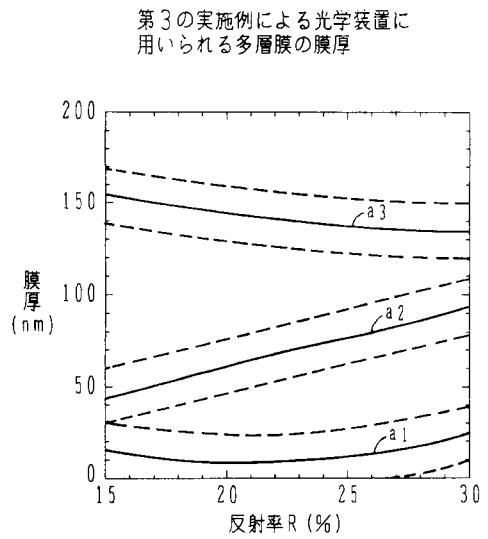
【図４】

第３の実施例による光学装置

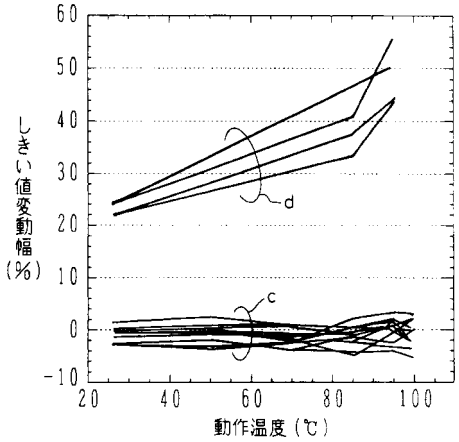


20：光学媒質　　23：第３の層
21：第１の層　　24：反射膜
22：第２の層

【図５】


第３の実施例による光学装置に
用いられる多層膜の膜厚
膜厚
(nm)
200
150
100
50
0
15
20
25
30
反射率R(%)
a3
a2
a1

【図６】


しきい値変動幅
(%)
60
50
40
30
20
10
0
-10
20
40
60
80
100
動作温度(℃)
d
c

フロントページの続き

審査官　角地　雅信

(56)参考文献　特開平１１－０６８２３０（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
H01S 5/00-5/50