

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局(43) 国際公開日
2009年2月5日 (05.02.2009)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2009/016703 A1

- (51) 国際特許分類:
H01S 3/06 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2007/064790
- (22) 国際出願日: 2007年7月27日 (27.07.2007)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 三菱電機株式会社 (Mitsubishi Electric Corporation) [JP/JP]; 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 柳澤 隆行 (YANAGISAWA, Takayuki) [JP/JP]; 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内

Tokyo (JP). 平野 嘉仁 (HIRANO, Yoshihito) [JP/JP]; 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 山本 修平 (YAMAMOTO, Shuhei) [JP/JP]; 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 小矢田 康晴 (KOYATA, Yasuharu) [JP/JP]; 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP).

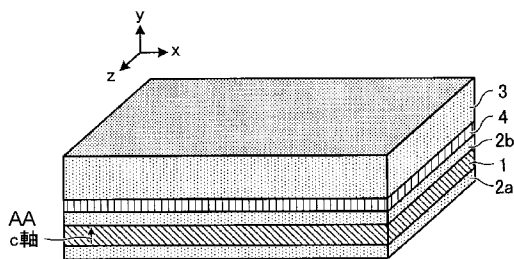
- (74) 代理人: 酒井 宏明 (SAKAI, Hiroaki); 〒1006020 東京都千代田区霞が関三丁目2番5号 霞が関ビルディング 酒井国際特許事務所 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ,

/ 続葉有 /

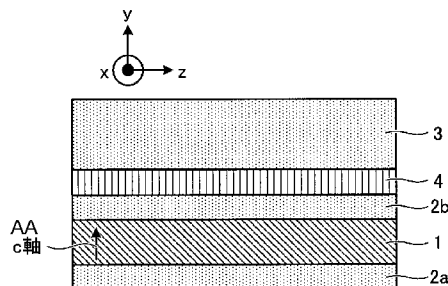
(54) Title: PLANAR WAVEGUIDE LASER APPARATUS

(54) 発明の名称: 平面導波路型レーザ装置

[図1-1]



[図1-2]



AA c-AXIS

(57) Abstract: A planar waveguide laser apparatus having a waveguide composed of planar laser medium (1) with birefringence and cladding (2a,2b) bonded to at least one of faces perpendicular to the thickness direction of the laser medium (1), the apparatus adapted to amplify laser beams by a gain generated by exciting light incident on the laser medium (1) and carry out laser oscillation thereby, wherein the laser medium (1) consists of a material having its optical axis in a cross section perpendicular to a beam axis agreeing with the direction of travel of laser beams, and wherein the cladding (2a,2b) consists of a material having a refractive index falling in the range between refractive indexes for two polarized beams with oscillation planes orthogonal to each other, traveling along the beam axis in the laser medium (1). Oscillation of laser beams of linear polarization can be facilitated.

(57) 要約: 複屈折を有する平板状のレーザ媒質 (1) と、レーザ媒質 (1) の厚さ方向に垂直な面の少なくとも一方の面に接合されるクラッド (2a, 2b) と、によって導波路を形成するとともに、レーザ媒質 (1) に入射される励起光により発生した利得でレーザ光を増幅し、レーザ発振を行う平面導波路型レーザ装置で、レーザ媒質 (1) は、レーザ光の進行方向である光軸に垂直な断面内に光学軸を有する材料からなり、クラッド (2a, 2b) は、レーザ媒質 (1) 中を光軸に沿って進む、振動面が互いに直交する2つの偏光に対する屈折率の間の範囲の屈折率を有する材料からなり、直線偏光のレーザ光を容易に発振する。



OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY,

添付公開書類:
— 国際調査報告書

明 細 書

平面導波路型レーザ装置

技術分野

[0001] この発明は、プリンタやプロジェクションテレビなどの光源に好適な平面導波路型構造を有する平面導波路型レーザ装置に関するものである。

背景技術

[0002] 平面導波路型レーザは、レーザ光の進行方向に伸長した薄い平板状のレーザ媒質の上下両面を、レーザ媒質よりも屈折率の低いクラッドで挟み込んだ構造を有し、レーザ媒質を導波路としても機能させる構造を有する。この平面導波路型レーザは、導波路厚さが薄く励起密度が高いため、誘導放出断面積が小さなレーザ媒質を用いた場合でも大きな利得が得られ、高効率な発振動作が実現可能である。さらに、導波路を幅方向に広げることによって、励起密度を所定の値に保ったままでの出力のスケールアップが可能である。一方で、利得が高く、複数の導波路モードが容易に発振してしまうため、波長変換の際に必要な直線偏光でレーザ発振させることや、所望のモードに制限してレーザ発振させることが課題となる。また、不要な光の増幅（寄生増幅）や、クラッド外部の面と端面での全反射で導波路内に閉じ込められて発振する寄生発振を抑制して、効率よくレーザ光を出力することが課題となる。

[0003] そこで、従来では、所望のモードのレーザ発振を実現する平面導波路型レーザ装置が提案されている（たとえば、非特許文献1参照）。この平面導波路型レーザ装置は、Nd:YAG (Yttrium Aluminum Garnet: $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$) をコアとし、このコアの上下両面に無添加YAGを接合して導波路コアを構成し、さらにこの導波路コアの上下両面（すなわち、無添加YAGの表面）をクラッド層としてのサファイア結晶で挟んだ構造を有する。この導波路構成では、複数の導波路モードで発振する場合があるが、コアの中心付近のみに利得を持たせることによって、導波路基本モードと導波路高次モードとの間に利得の差を発生させ、導波路基本モードのみで発振させることが可能となる。また、導波路の幅方向の発振モードは、励起光の入射形状を基本モードの形状に一致させることによって、基本モードのみを選択的に発振させている。

- [0004] 非特許文献1:Jacob I. Mackenzie, Cheng Li, and David P. Shepherd, “Multi-Watt, High Efficiency, Diffraction-Limited Nd:YAG Planar Waveguide Laser”, IEEE Journal of Quantum Electronics, Vol.39 (2003), p.495

発明の開示

発明が解決しようとする課題

- [0005] しかしながら、上記非特許文献1による平面導波路型レーザ装置では、導波路がTE (Transverse Electric) 偏光 (振動面がc軸とレーザ光の進行方向である光軸の作る平面に垂直でかつ光軸を含む平面内に存在する偏光。通常光ともいう)とTM (Transverse Magnetic) 偏光 (振動面がc軸と光軸の作る平面内に存在する偏光。異常光ともいう)のモードを伝搬するとともに、TE偏光とTM偏光に対する利得が等しい。そのため、これらの二つの偏光のレーザが発振してしまい、直線偏光の出力が得られないという問題点があった。

- [0006] また、コアでの全反射条件を満たさない光のクラッド層の外部の面と、平面導波路型レーザ装置のレーザ出射方向の端面との反射によって、導波路内部で周回する寄生発振や寄生増幅が発生してしまい、目的とするレーザ光のレーザ発振効率を低下させてしまうという問題点もあった。

- [0007] この発明は上記に鑑みてなされたもので、直線偏光のレーザ発振が容易な平面導波路型レーザ装置を得ることを目的とする。また、導波路内部の寄生増幅や寄生発振を抑制して、高効率な平面導波路型レーザ装置を得ることも目的とする。

課題を解決するための手段

- [0008] 上記目的を達成するため、この発明にかかる平面導波路型レーザ装置は、複屈折を有する平板状のレーザ媒質と、前記レーザ媒質の厚さ方向に垂直な面の少なくとも一方の面に接合されるクラッドと、によって導波路を形成するとともに、前記レーザ媒質に入射される励起光によって発生した利得でレーザ光を増幅し、レーザ発振を行う平面導波路型レーザ装置であって、前記レーザ媒質は、前記レーザ光の進行方向である光軸に垂直な断面内に光学軸を有する複屈折材料からなり、前記クラッドは、前記レーザ媒質中を前記光軸に沿って進む、振動面が互いに直交する2つの偏光に対する屈折率の間の範囲の屈折率を有する材料からなることを特徴とする。

発明の効果

- [0009] この発明によれば、レーザ媒質のTE偏光に対する屈折率とTM偏光に対する屈折率との間の屈折率を有する材料をクラッドとして用いるようにしたので、TE偏光かTM偏光のいずれかが全反射条件を満たさなくなり、全反射条件を満たすいずれか一方の偏光のレーザ発振が可能となるという効果を有する。

図面の簡単な説明

- [0010] [図1-1]図1-1は、この発明による平面導波路型レーザ装置の実施の形態1の構成の模式的に示す斜視図である。
- [図1-2]図1-2は、平面導波路型レーザ装置の実施の形態1の構成を模式的に示す断面図である。
- [図2]図2は、この実施の形態1による平面導波路型レーザ装置におけるレーザ光の伝搬の偏光依存性を模式的に示す図である。
- [図3-1]図3-1は、この発明による平面導波路型レーザ装置の製造方法の手順の一例を模式的に示す図である(その1)。
- [図3-2]図3-2は、この発明による平面導波路型レーザ装置の製造方法の手順の一例を模式的に示す図である(その2)。
- [図3-3]図3-3は、この発明による平面導波路型レーザ装置の製造方法の手順の一例を模式的に示す図である(その3)。
- [図3-4]図3-4は、この発明による平面導波路型レーザ装置の製造方法の手順の一例を模式的に示す図である(その4)。
- [図3-5]図3-5は、この発明による平面導波路型レーザ装置の製造方法の手順の一例を模式的に示す図である(その5)。
- [図3-6]図3-6は、この発明による平面導波路型レーザ装置の製造方法の手順の一例を模式的に示す図である(その6)。
- [図4]図4は、実施の形態1の平面導波路型レーザ装置におけるレーザ光の光路の一例を模式的に示す図である。
- [図5-1]図5-1は、この発明による平面導波路型レーザ装置の実施の形態2の構成を模式的に示す斜視図である。

[図5-2]図5-2は、平面導波路型レーザ装置の実施の形態2の構成を模式的に示す断面図である。

[図6]図6は、この実施の形態2による平面導波路型レーザ装置におけるレーザ光の伝搬の様子を模式的に示す図である。

符号の説明

- [0011] 1 レーザ媒質
2a, 2b クラッド
3 基板
4 接合剤
5a, 5b 吸収層

発明を実施するための最良の形態

- [0012] 以下に添付図面を参照して、この発明にかかる平面導波路型レーザ装置の好適な実施の形態を詳細に説明する。なお、これらの実施の形態によりこの発明が限定されるものではない。また、以下の実施の形態で用いられる平面導波路型レーザ装置の斜視図や断面図は模式的なものであり、層の厚みと幅との関係や各層の厚みの比率などは現実のものとは異なる。

- [0013] 実施の形態1.

図1-1は、この発明にかかる平面導波路型レーザ装置の実施の形態1の構成を模式的に示す斜視図であり、図1-2は、平面導波路型レーザ装置の実施の形態1の構成を模式的に示す断面図である。この平面導波路型レーザ装置は、平板状を有するレーザ媒質1と、このレーザ媒質1の上下両面に設けられるクラッド2a, 2bと、を備える。さらに、いずれかのクラッド2a, 2b(ここでは、クラッド2b)の外側の面に基板3が接合剤4を介して接合される。なお、図1-1～図1-2において、レーザ媒質1の最も面積の広い上下の矩形状の面に平行な面内で、この面の直交する2つの辺に平行な方向をそれぞれx軸とz軸とし、これらのx軸とz軸の両方に垂直な方向をy軸とする。ここでは、z軸方向をレーザ光の伝播方向(進行方向)である光軸とする。また、レーザ媒質1のxy平面に平行な形状は、x軸方向がy軸方向に比して長い矩形状となっている。

- [0014] レーザ媒質1は、たとえば励起光によって反転分布状態を形成し、誘導放出によって生成されるレーザ光を増幅する複屈折材料(光学的異方体の材料)によって構成される。そして、このレーザ媒質1は、その材料内での光波の速さ(屈折率)が1つしかない方向である光学軸(optic axis)がxy平面内となるように配置されるが、特に、レーザ媒質1の光学軸は、図中のx軸方向またはy軸方向となるように配置されるのが望ましい。以下の説明では、レーザ媒質1の光学軸をx軸またはy軸方向となるように配置する場合を例に挙げて説明する。また、設計上の点から考慮すると、レーザ媒質1は、複屈折材料の中でも、光学軸が結晶軸のc軸方向と一致する光学的一軸性結晶であることが望ましい。
- [0015] クラッド2a, 2bは、レーザ媒質1中におけるx軸方向の偏光に対する屈折率を n_x とし、y軸方向の偏光に対する屈折率を n_y としたときに、クラッド2a, 2bの屈折率 n_c が n_x と n_y との間の範囲となるような材料によって構成される。なお、ここでは、 $n_x < n_c < n_y$ となるような屈折率 n_c を有する材料をクラッド2a, 2bに使用する場合を例に挙げる。
- [0016] このような条件を満たすレーザ媒質1とクラッド2a, 2bの組み合わせとして、たとえば、レーザ媒質1が YVO_4 を母材とした材料であり、クラッド2a, 2bが Ta_2O_5 である材料の組み合わせや、レーザ媒質1が GdVO_4 を母材とした材料であり、クラッド2a, 2bが Ta_2O_5 である材料の組み合わせを挙げることができる。
- [0017] レーザ媒質1として $\text{Nd}:\text{YVO}_4$ (正方晶系)を、c軸(結晶軸でもあり、光学軸でもある)がy軸方向となるように配置する場合には、この $\text{Nd}:\text{YVO}_4$ は、波長914nmにおいて、通常光(x軸方向の偏光)屈折率 $n_o \sim 1.96 (=n_x)$ 、異常光(y軸方向の偏光)屈折率 $n_e \sim 2.17 (=n_y)$ を有する。また、波長914nmにおいて約2.08の屈折率 n_c を有する Ta_2O_5 の誘電体膜は、 $\text{Nd}:\text{YVO}_4$ の通常光屈折率($n_o = n_x$)と異常光屈折率($n_e = n_y$)との間の屈折率を有するので、クラッド2a, 2bとして用いることができる。
- [0018] 基板3は、レーザ媒質1とクラッド2a, 2bからなる導波路を製造する上で、剛性を高めて、取り扱いを容易にするために、接合剤4によりクラッド2bと接合される。この基板3として、たとえば、無添加 YVO_4 などのレーザ媒質1の活性イオンが添加されていない

い母材などを使用することができる。また、接合剤4として接着剤を使用可能である。なお、レーザ媒質1とクラッド2a, 2bのみで十分な剛性を有する場合には、基板3を設けなくてもよい。

[0019] このレーザ媒質1の上下両面をクラッド2a, 2bで挟んだ構造は、レーザ媒質1内の屈折率がクラッド2a, 2bの屈折率 n_c よりも大きくなる直線偏光のレーザ光に対して、光導波路を形成している。つまり、このようなレーザ光(直線偏光)に対して、レーザ媒質1は、レーザ媒質として機能するとともに、励起光の照射による誘導放出で生じたレーザ光を導波するコアとしても機能する。

[0020] ここで、このような構成を有する平面導波路型レーザ装置の動作について説明する。図2は、この実施の形態1による平面導波路型レーザ装置におけるレーザ光の伝搬の偏光依存性を模式的に示す図である。ここでは、上述したように、c軸(光学軸)がy軸方向となるように平板状に形成したNd:YVO₄からなるレーザ媒質1の上下両面に、Ta₂O₅誘電体膜からなるクラッド2a, 2bを形成した構造を有する平面導波路型レーザ装置を例に挙げて説明する。このときの各屈折率は、 $n_x(=n_o) \sim 1.96$ 、 $n_y(=n_e) \sim 2.17$ 、 $n_c = 2.08$ となる。

[0021] まず、図2のレーザ媒質1の左端側からz軸に沿って、励起光が入射する。レーザ媒質1は、レーザ媒質1の外部から入射してきた励起光を吸収して利得を発生する。そして、z軸方向に進行する自然放出光などを種として、誘導放出によってレーザ光が発生すると、レーザ媒質1は発生したレーザ光に利得を与えてレーザ光を増幅する。ここで、コア屈折率(レーザ媒質1の屈折率)がクラッド屈折率に比べて大きい場合、導波路内を伝搬する光のうち、コアとクラッド2a, 2bの界面で全反射条件を満たす成分がコア内に閉じ込められて、導波路モードとして伝搬する。一方、コア屈折率がクラッド屈折率に比べて小さい場合、コアとクラッド2a, 2bの界面でクラッド2a, 2bに光が漏れ出す放射モードとなり、大きな損失が発生する。

[0022] たとえば、図2に示されるように、レーザ媒質1中をz軸方向に伝搬するレーザ光のうち、y軸方向の偏光を有するレーザ光(TMモードのレーザ光)が感じる屈折率は $n_y \sim 2.17$ であり、クラッド屈折率 $n_c \sim 2.08$ に比べて大きいため、平面導波路型レーザ装置中を導波路モードで伝搬する。一方、x軸方向の偏光を有するレーザ光(TE

モードのレーザ光)が感じる屈折率は $n_x \sim 1.96$ であり、クラッド屈折率 $n_c \sim 2.08$ に比べて小さいため、コア(レーザ媒質1)とクラッド2a, 2bとの境界では全反射が起こらず、放射モードとなる。その結果、このTEモードのレーザ光が平面導波路型レーザ装置中を伝搬する間に大きな損失が発生する。したがって、この例における平面導波路型レーザ装置では、TMモードのレーザ光のみが選択されて増幅されることになる。

[0023] このように、平面導波路型レーザ装置にレーザ光をz軸方向に平行に入射させることによって、平面導波路型レーザ装置は、y軸方向の偏光成分のみを増幅して出力するレーザ増幅器として動作する。また、レーザ媒質1のz軸に垂直な面の一方(励起光源側)に全反射鏡を設置し、もう一方の面に部分反射鏡を設置すると、全反射鏡と部分反射鏡の間でレーザ発振が発生し、部分反射鏡から発振したレーザ光の一部が出力される。このとき、TEモードのレーザ光は大きな損失をうけるためにレーザ発振が抑制され、TMモードのレーザ光のみがレーザ発振して、直線偏光の出力が得られる。したがって、この実施の形態1における平面導波路型レーザ装置では、偏光子などの偏光を制限する光学素子を追加することなく、直線偏光出力を高効率で得ることができる。なお、全反射鏡と部分反射鏡は、レーザ媒質1のz軸に垂直な面に、誘電体膜または金属膜を直接成膜することによって実現してもよい。

[0024] 以上で説明した構成は、特に、レーザ媒質1のx軸方向とy軸方向の誘導放出断面積がほぼ等しい場合に特に有効であり、x軸方向の発振を抑制することによって、y軸方向に直線偏光したレーザ光を高い効率で発振させることが可能である。

[0025] つぎに、このような構成を有する平面導波路型レーザ装置の製造方法について説明する。図3-1～図3-6は、この発明にかかる平面導波路型レーザ装置の製造方法の手順の一例を模式的に示す図である。まず、レーザ媒質1を平板状となるように切断した後、面積の最も広い面(zx面)のうちの一方の面を研磨する(図3-1)。

[0026] ついで、レーザ媒質1の研磨した面に、 $n_x < n_c < n_y$ の屈折率 n_c を有する材料からなるクラッド2bを接合する(図3-2)。このクラッド2bは、オプティカルコンタクトや拡散接合などの方法でレーザ媒質1に直接接合してもよいし、レーザ媒質1よりも小さな屈折率を有する光学接着剤を用いてレーザ媒質1に接合してもよい。また、レーザ媒

質1の研磨した面に、クラッド2bの薄膜をスパッタ法や蒸着法、CVD(Chemical Vacuum Deposition)法などを用いて成膜してもよい。

[0027] ついで、クラッド2bのレーザ媒質1と接合された面とは反対側の面に基板3を接合する(図3-3)。この基板3は、オブティカルコンタクトや拡散接合などの方法でクラッド2bに直接接合してもよいし、金属や光学材料で構成された基板3をレーザ媒質1よりも小さな屈折率を有する光学接着剤で接着してもよい。ここでは、接着剤3でクラッド2bと基板3とを接合する。なお、クラッド2bに基板3を接合する前に、クラッド2bの表面を平坦化するために研磨を行ってもよい。

[0028] その後、レーザ媒質1の基板3で保持されない側の面(zx面)を、所定の厚さとなるまで研磨する(図3-4)。そして、研磨したレーザ媒質1の面に、 $n_x < n_c < n_y$ の屈折率 n_c を有する材料からなるクラッド2aを接合する(図3-5)。このクラッド2aも、図3-2で接合したクラッド2bと同様の方法によって接合することができる。その後、レーザ媒質1、クラッド2a、2bおよび基板3の積層体を基板面に垂直な方向から切断し、所望の大きさの平面導波路型レーザ装置が製造される(図3-6)。

[0029] なお、上述した説明では、 $n_x < n_c < n_y$ の屈折率 n_c を有するクラッド2a、2bをレーザ媒質1の上下両面に設けた場合を説明したが、このような屈折率 n_c を有するクラッドを、レーザ媒質1の上下両面のうち何れか片側の面にだけ設けた場合にも同様の効果を得ることができる。この場合、レーザ媒質1の屈折率 n_c 有するクラッドを設けない側の面は、何も設けずに空気と接するようにしてもよいし(空気をクラッドとしてもよい)、またはレーザ媒質1のx軸方向の偏光に対する屈折率 n_x よりも小さな任意の屈折率を有する材料をクラッドとして用いてもよい。

[0030] また、図1-1～図1-2において、基板3側のクラッド2bを無くして、レーザ媒質1のx軸方向の偏光に対する屈折率 n_x よりも小さな任意の屈折率を有する接合剤4によって、レーザ媒質1を基板3と接合してもよいし、または、レーザ媒質1のx軸方向の偏光に対する屈折率 n_x よりも小さな任意の屈折率を有する基板3をレーザ媒質1に直接接合してもよい。レーザ媒質1に基板3を直接接合する場合には、オブティカルコンタクトや拡散接合を用いることが可能である。

[0031] また、上述した説明では、レーザ媒質1の光学軸がy軸方向に向き、クラッド2a、2b

の屈折率 n_c が $n_x < n_c < n_y$ の場合について説明したが、同じ材料からなるレーザ媒質1の光学軸がx軸方向に向き、クラッド2a, 2bの屈折率 n_c が $n_y < n_c < n_x$ となるように構成してもよい。この場合には、x軸方向に偏光したTMモードのレーザ光のみが選択されることになる。

[0032] このほかにも、レーザ媒質1の通常光(TEモードの偏光)屈折率 n_o が異常光(TMモードの偏光)屈折率 n_e よりも大きい材料からなる場合で、レーザ媒質1の光学軸がy軸方向に向き、クラッド2a, 2bの屈折率 n_c が $n_y (=n_e) < n_c < n_x (=n_o)$ となるように構成したり、レーザ媒質1の光学軸がx軸方向に向き、クラッド2a, 2bの屈折率 n_c が $n_x (=n_e) < n_c < n_y (=n_o)$ となるように構成したりしてもよい。このように構成すれば、上述した説明とは逆に、光学軸に垂直方向の偏光を有するレーザ光(TEモードのレーザ光)は導波路モードで平面導波路型レーザ装置中を伝搬し、光学軸方向の偏光を有するレーザ光(TMモードのレーザ光)は放射モードとなって平面導波路型レーザ装置を伝搬中に大きな損失が発生する。その結果、TEモードのレーザ光のみが選択されて増幅され、x軸またはy軸方向に直線偏光したレーザ光の出力が得られる。

[0033] さらに、レーザ媒質1の光学軸を任意の方向となるように配置し、屈折率 n_c がレーザ媒質1中を伝搬する2つの直線偏光の屈折率 n_e, n_o の間の範囲となるクラッド2a, 2bを用いることによって、任意の方向に直線偏光したレーザ光を得ることができる。

[0034] この実施の形態1によれば、レーザ媒質1の上下両面のうち少なくとも一方の面に、レーザ媒質1で生じる2つの偏光に対する屈折率 n_o, n_e の間の範囲となる屈折率 n_c を有する材料をクラッド2a, 2bに用いるようにしたので、屈折率 n_c よりも大きなレーザ媒質1の屈折率に対応する偏光のみを、平面導波路型レーザ装置中を導波路モードで導波させることができるという効果を有する。

[0035] 実施の形態2.

図4は、実施の形態1の平面導波路型レーザ装置におけるレーザ光の光路の一例を模式的に示す図である。実施の形態1で、クラッド2a, 2bの外側の屈折率がクラッド2a, 2bの屈折率よりも小さい場合に、導波路モードL1として発振するレーザ光のほかに、放射モードとしてクラッド2a, 2bに漏れ出したレーザ光が、クラッド2a, 2bと

外部の境界において反射し、再度、レーザ媒質1に入射して増幅され(以下、出力したいレーザ光以外による増幅を寄生増幅という)、レーザ媒質1に蓄積された利得を消費してしまう現象が生じることがある。このような場合として、クラッド2a, 2bと外部の境界で反射したレーザ光がそのまま出力端面から出力されるクラッド外部伝搬光L2と、放射モードとしてクラッド2a, 2bに漏れ出し、クラッド2a, 2bと外部の境界において全反射するレーザ光が、レーザ媒質1の出力端面でも全反射条件を満たす場合に、レーザ媒質1とクラッド2a, 2b内に完全に閉じ込められる全反射周回モードL3と、がある。

[0036] 特に、全反射条件で反射するレーザ光L2, L3は損失が小さいために、レーザ媒質1とクラッド2a, 2bの内部でレーザ発振(以下、寄生発振という)を発生させ、レーザ媒質1中の利得を消費する。その結果、平面導波路型レーザ装置の増幅器およびレーザ発振器としての効率を低下させてしまう。そこで、この実施の形態2では、放射モードとしてクラッド2a, 2bに漏れ出したレーザ光のクラッド2a, 2bと外部の境界での反射を抑制し、所望のレーザ光のみを高効率に増幅および発振することができる平面導波路型レーザ装置について説明する。

[0037] 図5-1は、この発明にかかる平面導波路型レーザ装置の実施の形態2の構成を模式的に示す斜視図であり、図5-2は、平面導波路型レーザ装置の実施の形態2の構成を模式的に示す断面図である。これらの図において、x軸、y軸およびz軸の方向は、実施の形態1の図1-1～図1-2と同様である。この平面導波路型レーザ装置は、平板状のレーザ媒質1と、このレーザ媒質1の上下両面に接合されるクラッド2a, 2bと、クラッド2a, 2bのレーザ媒質1との接合面に対向する面に接合されるレーザ光を吸収する吸収層5a, 5bと、を備える。吸収層5a, 5bは、レーザ光を吸収する材料であればよく、たとえば、クロム(Cr)やチタン(Ti)などを使用することができる。

[0038] なお、この実施の形態2におけるレーザ媒質1とクラッド2a, 2bは、実施の形態1の図1-1～図1-2に示したレーザ媒質1とクラッド2a, 2bとそれぞれ同様の構成と機能を有する。また、図示は省略したが、実施の形態1の図1-1～図1-2に示したように、接合剤4を用いて基板3をいずれかの吸収層5a, 5bの外側に接合してもよい。

[0039] ここで、このような構成を有する平面導波路型レーザ装置の動作について説明する

。図6は、この実施の形態2による平面導波路型レーザ装置におけるレーザ光の伝搬の様子を模式的に示す図である。ここでは、上述したように、c軸(光学軸)がy軸方向となるように平板状に形成したNd:YVO₄からなるレーザ媒質1の上下両面に、Ta₂O₅誘電体膜からなるクラッド2a, 2bを形成した構造を有する平面導波路型レーザ装置を例に挙げて説明する。このときの各屈折率は、 $n_x(=n_o) \sim 1.96$ 、 $n_y(=n_e) \sim 2.17$ 、 $n_c = 2.08$ となる。

[0040] 吸収層5a, 5bを設けない平面導波路型レーザ装置には、図4で説明したように、コア(レーザ媒質1)とクラッド2a, 2bの境界で全反射してコア内部を伝搬する導波路モードL1と、クラッド2a, 2bと外部の境界で反射されて伝搬し、出力端面から出力するクラッド外部伝搬光L2と、クラッド2a, 2bと外部との境界で反射し、さらに出力端面でも全反射条件を満たして、レーザ媒質1とクラッド2a, 2bの内部でレーザ光が完全に閉じ込められる全反射周回モードL3と、が存在する。このうち、クラッド外部伝搬光L2と全反射周回モードL3は、既に説明したように、レーザ媒質1中で生じる2つの偏光のうち、クラッド2a, 2bの屈折率よりも低い屈折率に対応する偏光によって引き起こされる。

[0041] クラッド外部伝搬光L2および全反射周回モードL3が発生すると、レーザ媒質1に蓄えられた利得を消費してしまうため、所望のレーザ光(導波路モードL1のレーザ光)に対する利得が低下してレーザ光の増幅および発振の効率が低下する。このとき、導波路モードL1以外の成分は、クラッド2a, 2bと外部の境界で反射される。そこで、図6に示されるように、クラッド2a, 2bの外部に吸収層5a, 5bを配置し、クラッド2a, 2bの外部で反射するレーザ光の成分を吸収させることによって、クラッド外部伝搬光L2と全反射周回モードL3を抑制して、導波路モードL1で伝搬する所望のレーザ光を効率よく増幅することが可能となる。

[0042] このような吸収層5a, 5bを有する平面導波路型レーザ装置の製造方法は、実施の形態1の図3-2と図3-5でクラッド2b, 2aをレーザ媒質1に接合した後に、スパッタ法や蒸着法によって、クロムやチタンなどからなる吸収層5b, 5aをクラッド2b, 2aのレーザ媒質1との接合面に対向する面に成膜することによって形成することができる。

[0043] なお、クロムやチタンの金属膜は、吸収率の波長依存性が小さいため、広い波長帯

域のレーザ光を吸収させることが可能である。したがって、レーザ媒質1としてNd:YVO₄を用いて914nmのレーザ光を増幅する場合、Nd:YVO₄が利得を持つ914nm, 1064nm, 1342nmの寄生発振を抑制することが可能である。

[0044] また、吸収層5a, 5bとしてレーザ媒質1が最も大きな利得を持つ波長を選択的に吸収する材料を使用してもよい。たとえば、Nd:YVO₄をレーザ媒質1として使用し、914nmのレーザ光を増幅する場合には、Nd:YVO₄は1064nmに大きな利得を持つため、1064nmの寄生増幅、寄生発振を抑制することが重要である。そこで、吸収層5a, 5bとして、Cr⁴⁺:YAGを使用してもよい。このようにCr⁴⁺:YAGを使用することによって、1064nm付近のレーザ光を選択的に吸収し、1064nmの寄生増幅、寄生発振を抑制することが可能となる。

[0045] さらに、上述した説明では、クラッド2a, 2bのレーザ媒質1に対向する面に吸収層5a, 5bを設ける場合を説明したが、平面導波路型レーザ装置で発生するクラッド外部伝搬光L2および全反射周回モードL3を抑制することができれば、どのようなものであってもよい。たとえば、吸収層5a, 5bの代わりに、クラッド2a, 2bの外部の面を荒らし面としてもよい。この場合、クラッド2a, 2bと外部の境界で反射する光を荒らし面によって散乱させ、寄生増幅、寄生発振の成分に損失を与えることができる。また、クラッド2a, 2bの荒らし面に、吸収層5a, 5bを付着させてもよい。このように構成すれば、荒らし面によるレーザ光の散乱と、吸収層5a, 5bによるレーザ光の吸収によって、寄生増幅や寄生発振を抑制し、所望のレーザ光を効率よく増幅させることが可能となる。

[0046] さらに、クラッド2a, 2bと吸収層5a, 5bを、レーザ媒質1の何れか片側の面だけに設けられるようにしても同様の効果が得られる。このとき、レーザ媒質1のクラッドと吸収層が設けられない側は、何も設けずに空気と接するようにしてもよいし(空気をクラッドとしてもよいし)、またはレーザ媒質1中で2つの偏光が感じる屈折率のうち小さい方の屈折率よりも小さな任意の屈折率を有する材料のクラッドもしくは基板を設けてもよい。

[0047] また、たとえば図5-1～図5-2で、クラッド2aと吸収層5bを無くした場合、このクラッド2aと吸収層5bを無くした側のレーザ媒質1を、レーザ媒質1中で生じる2つの偏

光に対する屈折率のうち小さい方の屈折率よりも小さな任意の屈折率を有する接合剤4によって基板3と接合してもよいし、または、レーザ媒質1中で2つの偏光に対する屈折率のうち小さい方の屈折率よりも小さな任意の屈折率を有する基板3をレーザ媒質1に直接接合してもよい。基板3をレーザ媒質1に直接接合する場合には、オプティカルコンタクトや拡散接合を用いることができる。

- [0048] この実施の形態2によれば、レーザ媒質1中で生じる2つの偏光に対する屈折率のうち小さい方の屈折率に対応する偏光によって引き起こされるクラッド外部伝搬光および全反射周回モードを吸収または散乱させて、寄生増幅および寄生発振を抑制し、導波路モードで伝搬する所望のレーザ光を効率よく増幅することができる。

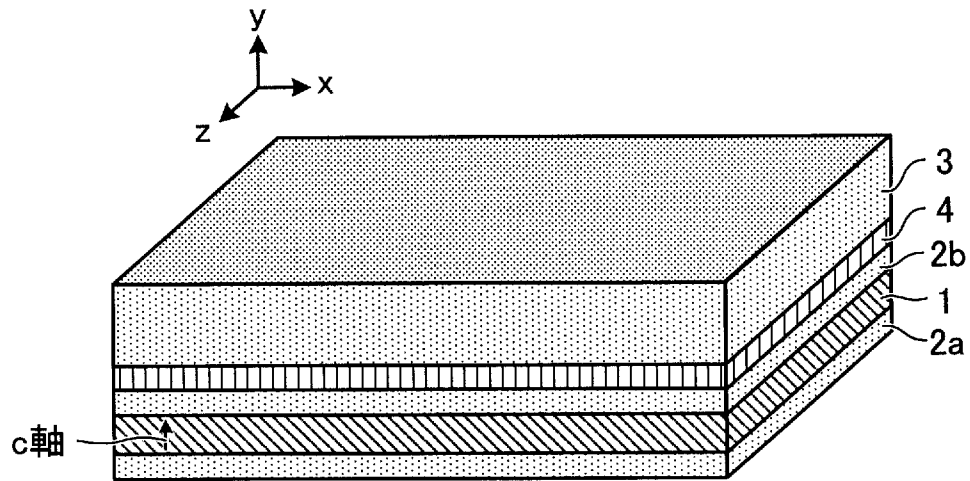
産業上の利用可能性

- [0049] 以上のように、この発明にかかる平面導波路型レーザ装置は、直線偏光を取り出すレーザ光源に有用である。

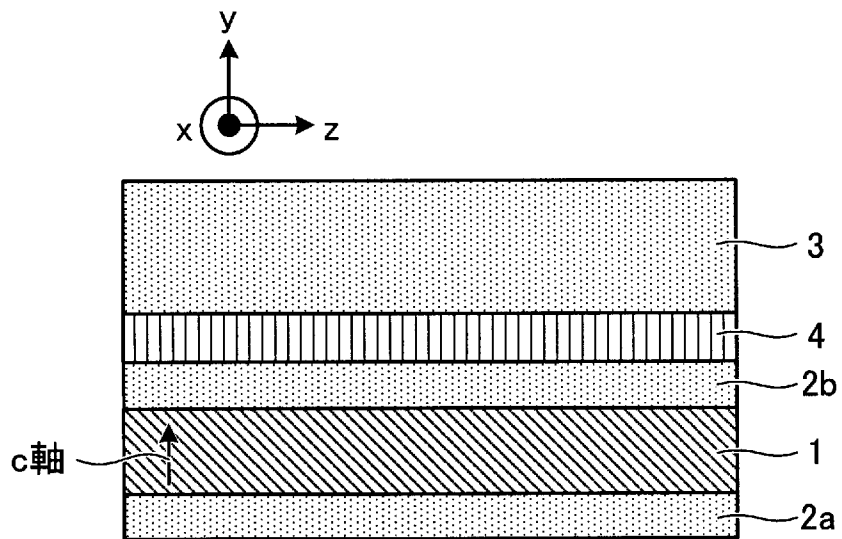
請求の範囲

- [1] 複屈折を有する平板状のレーザ媒質と、前記レーザ媒質の厚さ方向に垂直な面の少なくとも一方の面に接合されるクラッドと、によって導波路を形成するとともに、前記レーザ媒質に入射される励起光によって発生した利得でレーザ光を増幅し、レーザ発振を行う平面導波路型レーザ装置であって、
- 前記レーザ媒質は、前記レーザ光の進行方向である光軸に垂直な断面内に光学軸を有する複屈折材料からなり、
- 前記クラッドは、前記レーザ媒質中を前記光軸に沿って進む、振動面が互いに直交する2つの偏光に対する屈折率の間の範囲の屈折率を有する材料からなることを特徴とする平面導波路型レーザ装置。
- [2] 前記レーザ媒質は、活性イオンが添加された YVO_4 または GdVO_4 であり、前記クラッドは、 Ta_2O_5 の誘電体膜であることを特徴とする請求項1に記載の平面導波路型レーザ装置。
- [3] 前記クラッドの前記レーザ媒質との接合面に対向する面は、レーザ光を散乱する荒らし面であることを特徴とする請求項1または2に記載の平面導波路型レーザ装置。
- [4] 前記クラッドの前記レーザ媒質との接合面に対向する面上に、レーザ光を吸収する吸収層をさらに配置することを特徴とする請求項1に記載の平面導波路型レーザ装置。
- [5] 前記吸収層は、クロム、チタンおよび $\text{Cr}^{4+}:\text{YAG}$ のうちのいずれかであることを特徴とする請求項4に記載の平面導波路型レーザ装置。

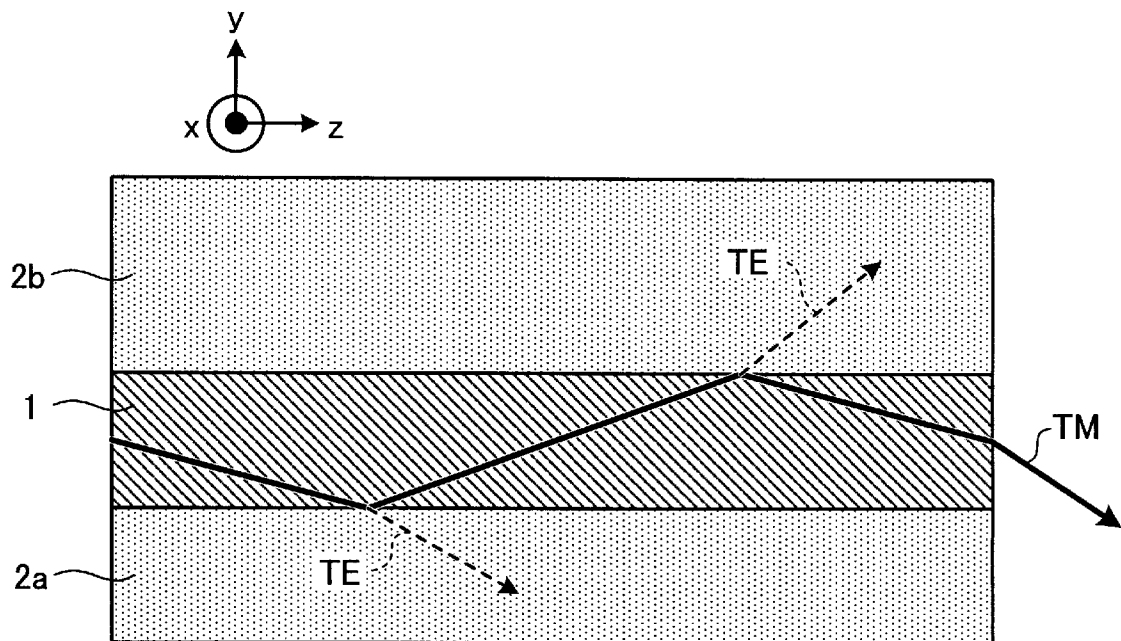
[図1-1]



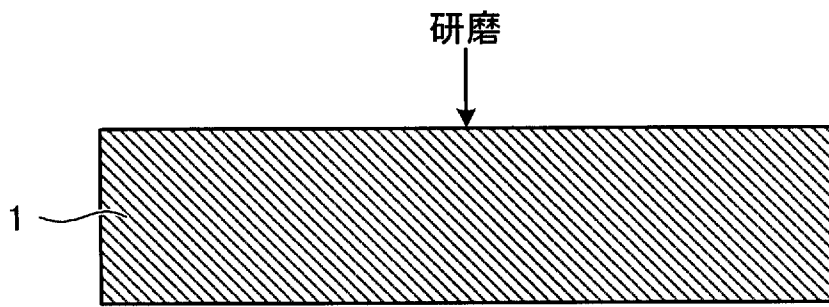
[図1-2]



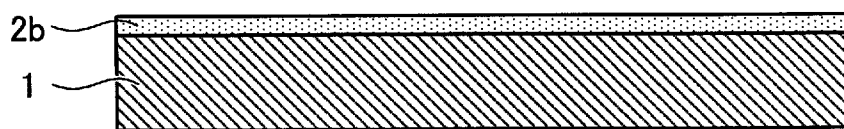
[図2]



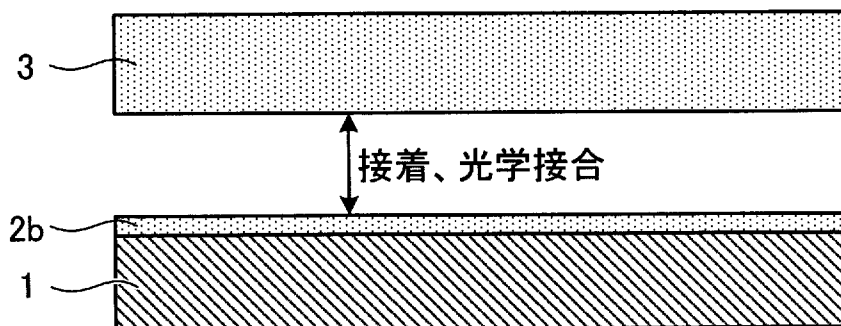
[図3-1]



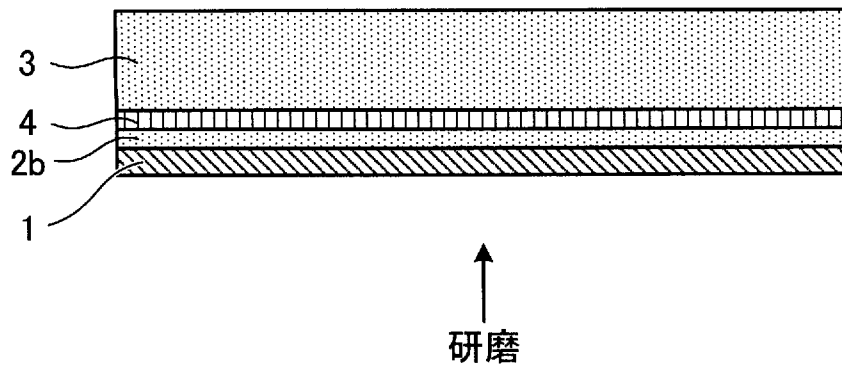
[図3-2]



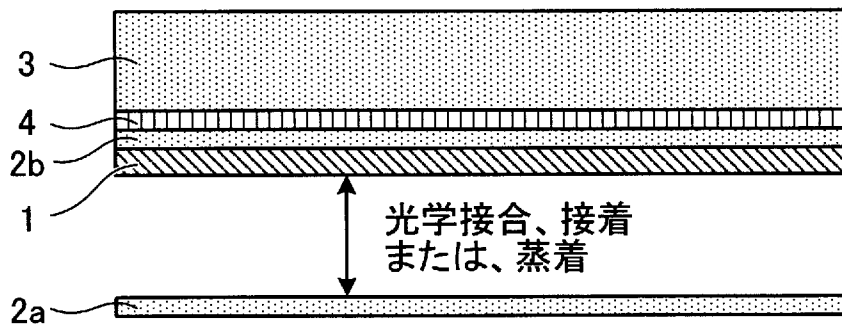
[図3-3]



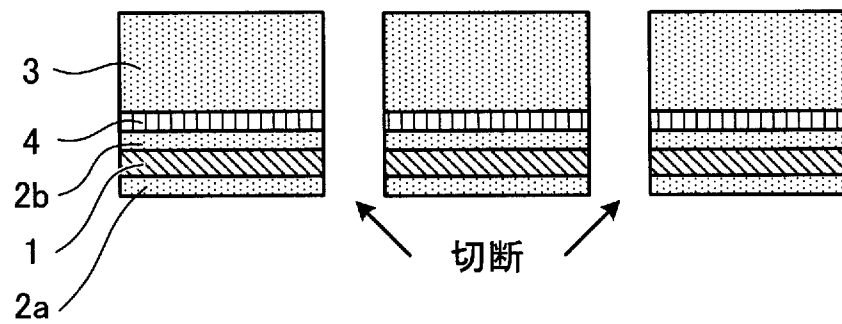
[図3-4]



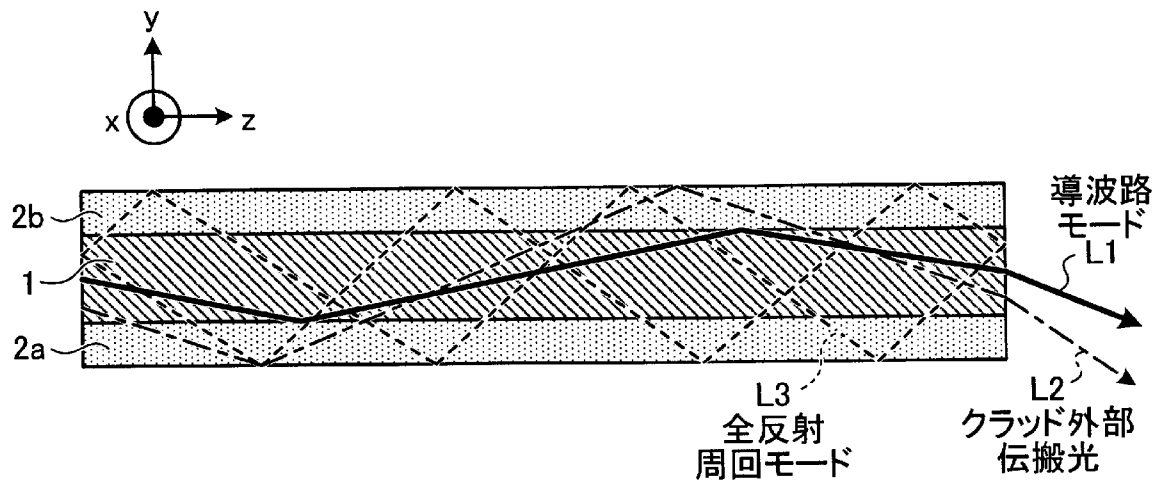
[図3-5]



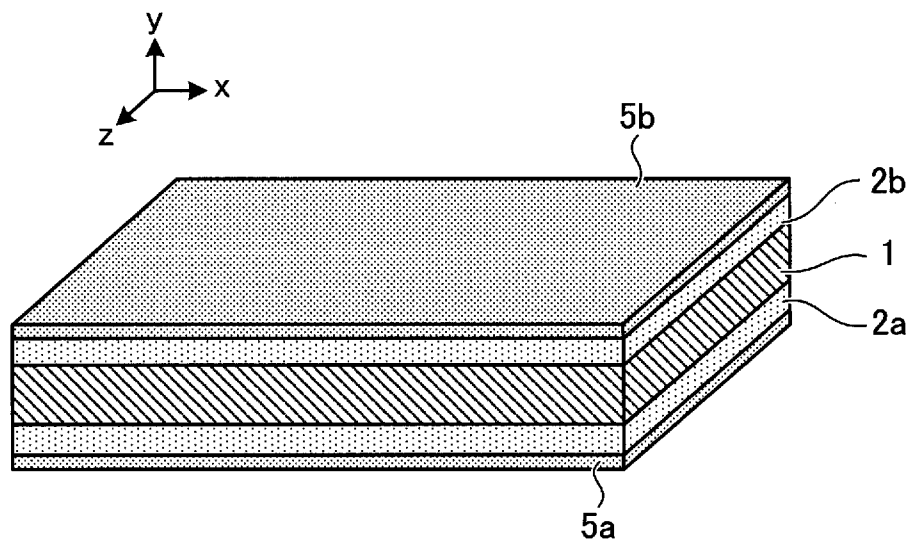
[図3-6]



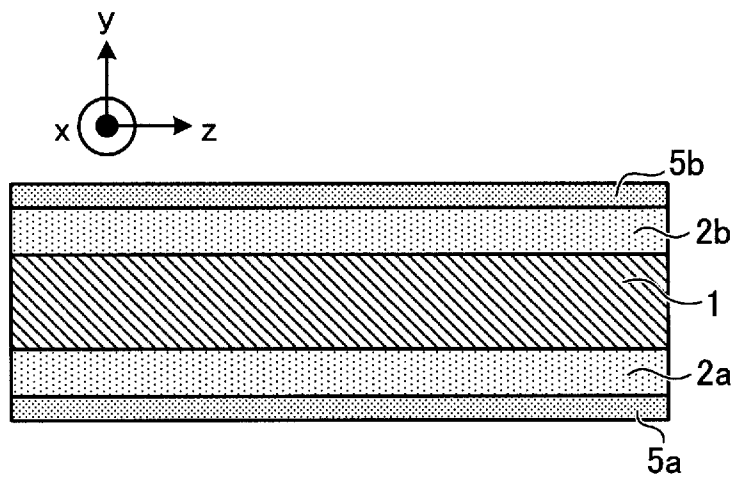
[図4]



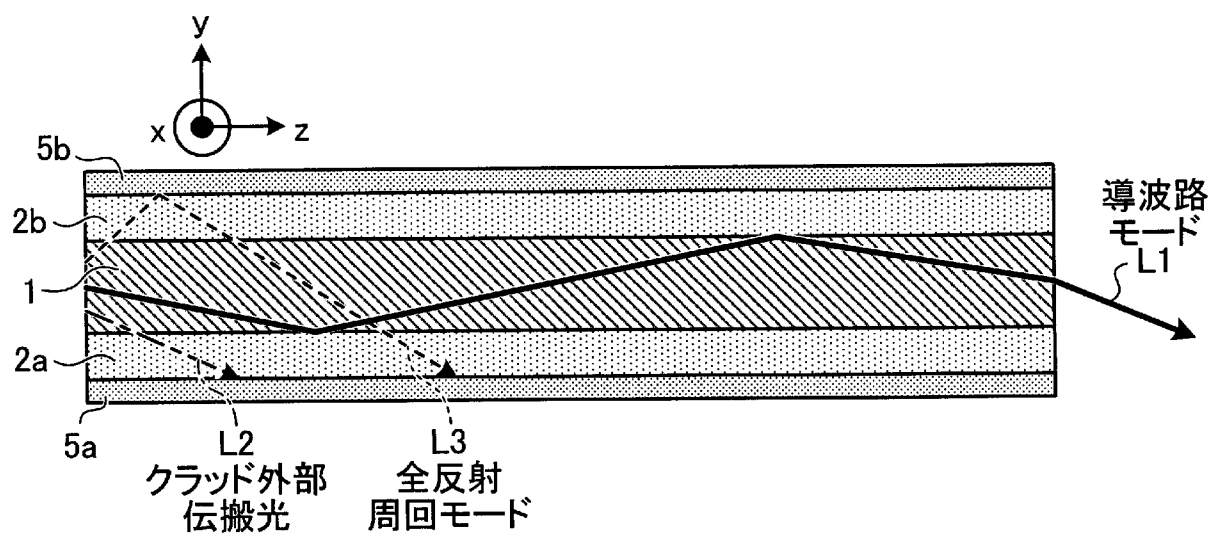
[図5-1]



[図5-2]



[[図6]]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2007/064790

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01S3/06(2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H01S3/00-5/50, G02B6/00, G02B6/12-6/14, G02B6/46

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2007

Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2007 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2007

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

JSTPlus (JDream2)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	Feng Chen, Xue-Lin Wang, Ke-Ming Wang, Ding-Yu Shen, Optical waveguides formed in Nd:YVO ₄ by MeV Si ⁺ implantation, Applied Physics Letters, Volume 80, Issue 19, pp. 3473-3475, 2002	1-5
A	Jacob I. Mackenzie, Cheng Li, and David P. Shepherd, Multi-Watt, High Efficiency, Diffraction-Limited Nd:YAG Planar Waveguide Laser, IEEE JOURNAL OF QUANTUM ELECTRONICS, VOL. 39, NO. 3, pp.493-500, 2003	1-5
A	JP 2004-296671 A (Japan Science and Technology Agency), 21 October, 2004 (21.10.04), Par. Nos. [0033] to [0038]; Figs. 1, 3 (Family: none)	1-5



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T"

later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X"

document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y"

document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&"

document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

16 August, 2007 (16.08.07)

Date of mailing of the international search report

28 August, 2007 (28.08.07)

Name and mailing address of the ISA/

Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2007/064790

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	Tokuyuki Honda, Hiroyuki Morimoto and Hirokazu Matsumoto , Broad Tuning of Nd:YVO ₄ Green Laser by Temperature Control of Intracavity KTiOPO ₄ , Japanese Journal of Applied Physics, Part 1, No. 1A, pp. 97-98, 1993	1-5
A	JP 9-507725 A (Spectra-Physics Lasers, Inc.), 05 August, 1997 (05.08.97), Page 13, lines 3 to 11 & US 5561547 A1 & WO 1995/021479 A1 & EP 742965 A	1-5
A	JP 6-331824 A (Asahi Optical Co., Ltd.), 02 December, 1994 (02.12.94), Par. Nos. [0004] to [0008]; Fig. 1 (Family: none)	1-5

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H01S3/06(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H01S3/00-5/50, G02B6/00, G02B6/12-6/14, G02B6/46

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 0 7 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 0 7 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 0 7 年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

JSTPlus(JDream2)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	Feng Chen, Xue-Lin Wang, Ke-Ming Wang, Ding-Yu Shen, Optical waveguides formed in Nd:YVO ₄ by MeV Si ⁺ implantation, Applied Physics Letters, Volume 80, Issue 19, pp. 3473-3475, 2002	1-5
A	Jacob I. Mackenzie, Cheng Li, and David P. Shepherd, Multi-Watt, High Efficiency, Diffraction-Limited Nd:YAG Planar Waveguide Laser, IEEE JOURNAL OF QUANTUM ELECTRONICS, VOL. 39, NO. 3, pp. 493-500, 2003	1-5

☒ C 欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

1 6 . 0 8 . 2 0 0 7

国際調査報告の発送日

2 8 . 0 8 . 2 0 0 7

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / J P）
郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5
東京都千代田区霞が関三丁目 4 番 3 号

特許庁審査官（権限のある職員）

小林 謙仁

2 K

3 8 1 1

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 2 5 5

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	JP 2004-296671 A (独立行政法人 科学技術振興機構) 2004.10.21, 段落【0033】～【0038】、図1、図3 (ファミリーなし)	1-5
A	Tokuyuki Honda, Hiroyuki Morimoto and Hirokazu Matsumoto , Broad Tuning of Nd:YVO ₄ Green Laser by Temperature Control of Intracavity KTiOPO ₄ , Japanese Journal of Applied Physics, Part 1, No. 1A, pp. 97-98, 1993	1-5
A	JP 9-507725 A (スペクトラフィジックス レイザーズ インコー ポレイテッド) 1997.08.05, 第13頁第3～11行 & US 5561547 A1 & WO 1995/021479 A1 & EP 742965 A	1-5
A	JP 6-331824 A (旭光学工業株式会社) 1994.12.02, 段落【0004】～【0008】、図1 (ファミリーなし)	1-5