

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2011 年 3 月 10 日(10.03.2011)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2011/027471 A1

- (51) 国際特許分類:
H01S 3/094 (2006.01) H01S 3/06 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2009/065577
- (22) 国際出願日: 2009 年 9 月 7 日(07.09.2009)
- (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): 山本 修平 (YAMAMOTO, Shuhei) [—/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]; 〒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). 安藤 俊行 (ANDO, Toshiyuki) [—/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). 秋野 陽介 (AKINO, Yosuke) [—/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). 崎村 武司 (SAKIMURA, Takeshi)

[—/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). 柳澤 隆行 (YANAGISAWA, Takayuki) [—/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).

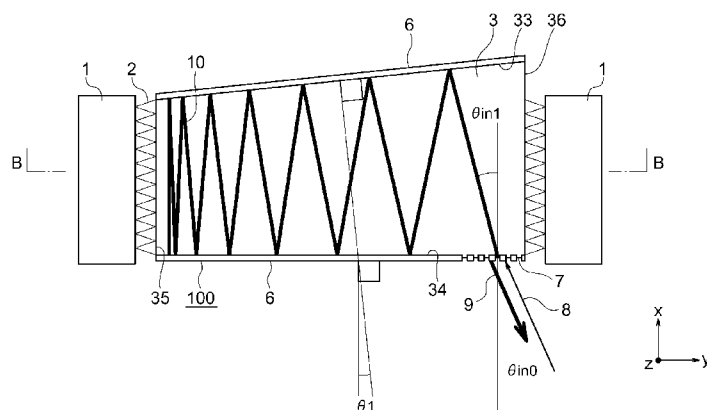
- (74) 代理人: 曾我 道治, 外 (SOGA, Michiharu et al.); 〒1000005 東京都千代田区丸の内三丁目 1 番 1 号 国際ビルディング 8 階 曾我特許事務所 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, 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, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (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, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ

[続葉有]

(54) Title: SOLID LASER-EXCITING MODULE FOR FLAT WAVEGUIDE LASER

(54) 発明の名称: 平面導波路型レーザのための固体レーザ励起モジュール

[図1]



(57) Abstract: Disclosed is a solid laser-exciting module for a flat waveguide laser device, which is provided with a flat laser medium for amplifying a laser light introduced, while propagating same in a direction along a pair of side faces (33 and 34) and reflecting same between the side faces. One face (33) of the pair of side faces is inclined at a predetermined taper angle with respect to a predetermined direction so that the spacing from the other side face (34) extending in the predetermined direction may become gradually wider. The laser light, which is introduced into the laser medium from a predetermined portion of the pair of side faces on the side where the spacing between the side faces is wider, propagates in the laser medium while being reflected between the side faces. The laser beam makes a turn on the side where the spacing between the side faces is narrower in the laser medium, propagates again to the side where the spacing between the side faces is wider, and then is outputted.

(57) 要約:

[続葉有]



(AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

導入されたレーザー光を一对の側面(33, 34)間を反射させながら前記側面に沿った方向に伝播させその間に増幅させる平板状のレーザー媒質を備え、前記一对の側面の一方の側面(33)が所定方向に沿って延びる他方の側面(34)との間隔が徐々に広がるように前記所定方向に対して所定のテーパ角度で傾斜しており、前記一对の側面の側面間隔の広い側の所定箇所から前記レーザー媒質内に導入されたレーザー光を側面間を反射させながら前記レーザー媒質内を伝播させ、さらに前記レーザー媒質内の側面間隔が狭い側で折り返させて再び側面間隔が広い側に伝播させて出力させる平面導波路型レーザー装置のための固体レーザー励起モジュールを提供する。

明 細 書

発明の名称：

平面導波路型レーザのための固体レーザ励起モジュール

技術分野

[0001] この発明は、レーザを用いた計測装置、加工用レーザ装置、プリンターやプロジェクションテレビ等の光源に好適な高出力レーザ装置、特に平面導波路型レーザのための固体レーザ励起モジュールに関する。

背景技術

[0002] 例えば下記非特許文献 1 に示されるような固体レーザにおいて用いられる固体レーザ媒質の形状は、一般にロッド型、スラブ型、ディスク型、平面導波路型、2次元導波路型、ファイバ型等がある。この中でロッド型、スラブ型、ディスク型、平面導波路型等では、側面又はレーザ端面から励起光を導入し、利得を発生させ、レーザ発振器、又は、レーザ増幅器を構成し、レーザ出力を得る。

[0003] ここで、高出力のレーザ出力を得るために高出力励起を行った場合、レーザ媒質内での増幅利得が高くなることから寄生発振や、寄生増幅が生じ、エネルギーの消費が行われることから、レーザ出力や効率が低下することがある。寄生増幅や寄生発振が生じる原因として、レーザ発振器やレーザ増幅器において、レーザ媒質を通過するレーザ光の光路長が、寄生発振や寄生増幅光の光路長よりも短いことがあげられる。このため、一般には寄生発振や寄生増幅が起こらないようにレーザ媒質内の全反射部を荒らし面として周回ができないように工夫をして、寄生発振や寄生増幅光の伝播光路長を短くすることで抑制することがある。

[0004] しかし、このように構成することで、荒らし面を全反射面として、増幅を行いたいレーザ光を反射させることができなくなり、この結果、レーザ媒質内でのレーザ光路が制限され、長い光路長が取れないことから高い増幅率が得られず、レーザ出力や効率が低くなることがあった。さらに、レーザの増

幅率が低いことから、寄生発振や寄生増幅の発生しきい値が低く、寄生発振や寄生増幅が起こり易い等の特徴があった。

[0005] 一方、２次元導波路型やファイバ型では、レーザ光の断面の２次元方向に屈折率分布による光閉じ込めが行われており、光の進行方向は１次元方向となる。このため、寄生発振や寄生増幅の光路とレーザ発振やレーザ増幅の光路が等しいため、寄生発振や寄生増幅が起こり難いといった特徴がある。しかし、レーザ媒質の断面積が小さいため、励起光の導入が困難であり、複雑な構成が必要となることから、高価で信頼性が低い等の特徴がある。

[0006] 一般に平板状のレーザ媒質を利用する形態として、ディスク型がある。ディスク型ではレーザ光は平板面から導入され、薄いレーザ媒質を通過、又は、反射して往復伝播する際にレーザ光の増幅が行われる。このような場合、レーザ媒質の通過距離が短いためレーザ増幅利得が小さいといった特徴がある。このため、レーザ発振器では最適な出力鏡反射率が高くなる。このような場合、僅かな共振器内の損失で出力が低下する等の特徴がある。また、増幅器として用いた場合、増幅率が小さいため低効率であったり、効率を改善する目的でマルチパスさせることがあるが、構成が複雑になる等の特徴がある。さらに、ディスク型の平板面内の伝播長は厚さ方向よりも長いため、平板面内の寄生発振や寄生増幅が起こり易いといった特徴がある。このため、高出力化が困難である等の特徴がある。このように、ディスク型では寄生発振や寄生増幅が起こり易いため、高出力化は困難であり、複雑な寄生発振抑制構造が必要である等の特徴があった。

[0007] 一般に、スラブ型のレーザ媒質では、側面、又は、端面から励起光を導入し、端面からレーザ光を導入する。さらに、レーザ光を導入する端面と対向する端面からレーザ光を出力する。レーザ光はスラブ型レーザ媒質内をジグザグに伝播して光路長を長くする手法が用いられることがある。さらに、このようにジグザグに伝播させることで、レーザ媒質内で発生した熱レンズ効果を平均化して低減することがある。

[0008] しかし、このような場合、ジグザグに伝播することからレーザ光とレーザ

媒質のオーバーラップのない領域が発生する。このため、抽出効率が低いといった特徴がある。さらに、エネルギーの抽出されない部分での利得が高いことから寄生発振や寄生増幅が起こり易い等の特徴もある。また、ジグザグ反射面の対向する2面間での往復光路において寄生発振が起こり易いといった特徴がある。このように、ジグザグスラブ型では寄生発振や寄生増幅が起こり易いため、高出力化は困難であり、複雑な寄生発振抑制構造が必要である等の特徴があった。

先行技術文献

非特許文献

- [0009] 非特許文献1: Jacob I. Mackenzie, "Multi-Watt, High Efficiency, Diffraction-Limited Nd:YAG Planar Waveguide Laser", IEEE Journal of Quantum Electronics, Vol. 39, No. 3, March 2003

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0010] 従来のこの種の高出力レーザ装置において、レーザ媒質の形状がロッド型、スラブ型、ディスク型、平面導波路型等の場合、寄生発振や寄生増幅の光路がレーザ発振やレーザ増幅の光路よりも長いことから、高出力励起時に寄生発振や寄生増幅が生じ、レーザ出力や効率が低下する等の問題があった。

さらに、レーザ媒質の形状が2次元導波路型やファイバ型では、レーザ媒質の断面積が小さいため、励起光の導入が困難であり、複雑な構成が必要となることから、高価で信頼性が低い等の問題があった。

- [0011] この発明は、上記のような課題を解決するためになされたものであり、寄生発振や寄生増幅を抑制し、最も長いレーザ増幅光路を得て、簡単な励起構成により高出力励起を行うことで、高効率で高出力のレーザ出力を得る平面導波路型レーザ装置のための固体レーザ励起モジュールを提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0012] この発明は、導入されたレーザ光を一对の側面間を反射させながら前記側面に沿った方向に伝播させその間に増幅させる平板状のレーザ媒質を備え、前記一对の側面の一方の側面が所定方向に沿って延びる他方の側面との間隔が徐々に広がるように前記所定方向に対して所定のテーパー角度で傾斜しており、前記一对の側面の側面間隔の広い側の所定箇所から前記レーザ媒質内に導入されたレーザ光を側面間を反射させながら前記レーザ媒質内を伝播させ、さらに前記レーザ媒質内の側面間隔が狭い側で折り返させて再び側面間隔が広い側に伝播させて出力させることを特徴とする平面導波路型レーザ装置のための固体レーザ励起モジュールにある。

発明の効果

[0013] この発明では、寄生発振や寄生増幅を抑制し、最も長いレーザ増幅光路を得て、簡単な励起構成により高出力励起を行うことで、高効率で高出力のレーザ出力を得る固体レーザ励起モジュールを提供することができる。

図面の簡単な説明

[0014] [図1] この発明の実施の形態 1 による固体レーザ励起モジュールを含む平面導波路型レーザ装置の上面図である。

[図2] 図 1 の平面導波路型レーザ装置の紙面下側からの側面図である。

[図3] この発明の実施の形態 2 による固体レーザ励起モジュールを含む平面導波路型レーザ装置の側面図である。

[図4] この発明の実施の形態 3 による固体レーザ励起モジュールを含む平面導波路型レーザ装置の側面図である。

[図5] この発明の実施の形態 4 による固体レーザ励起モジュールを含む平面導波路型レーザ装置の側面図である。

[図6] この発明の実施の形態 5 による固体レーザ励起モジュールを含む平面導波路型レーザ装置の側面図である。

[図7] この発明の実施の形態 6 による固体レーザ励起モジュールを含む平面導波路型レーザ装置の上面図である。

[図8] 図 7 の破線で示した領域 C の拡大図である。

[図9] この発明の実施の形態 7 による固体レーザ励起モジュールを含む平面導波路型レーザ装置の上面図である。

[図10] この発明の実施の形態 8 による固体レーザ励起モジュールを含む平面導波路型レーザ装置の上面図である。

[図11] この発明の実施の形態 9 による固体レーザ励起モジュールを含む平面導波路型レーザ装置の上面図である。

[図12] この発明の実施の形態 10 による固体レーザ励起モジュールを含む平面導波路型レーザ装置の上面図である。

[図13] 実際のレーザ光のビームを説明するための図である。

[図14] この発明による固体レーザ励起モジュールのレーザ光の入出力部分の構成を説明するための上面図である。

[図15] この発明による固体レーザ励起モジュールのレーザ光の入出力部分の構成の別の例を示す部分図である。

[図16] この発明による固体レーザ励起モジュールのレーザ光の入出力部分の構成のさらに別の例を示す部分図である。

[図17] この発明による固体レーザ励起モジュールのレーザ光の入出力部分の構成のさらに別の例を示す部分図である。

[図18] この発明による固体レーザ励起モジュールの励起光の導入部分の構成の一例を示す部分側面図である。

[図19] この発明による固体レーザ励起モジュールの励起光の導入部分の構成の別の例を示す部分側面図である。

[図20] この発明による固体レーザ励起モジュールの励起光の導入部分の構成のさらに別の例を示す部分側面図である。

[図21] この発明による固体レーザ励起モジュールの励起光の導入部分の構成のさらに別の例を示す部分側面図である。

[図22] この発明による固体レーザ励起モジュールの励起光の導入部分の構成のさらに別の例を示す部分側面図である。

[図23] この発明による固体レーザ励起モジュールの励起光の導入部分の構成

のさらに別の例を示す部分側面図である。

発明を実施するための形態

[0015] 以下、この発明による平面導波路型レーザ装置を好適な各実施の形態に基づき図面を用いて説明する。なお、各実施の形態で同一もしくは相当する部分は同一符号で示し重複する説明は省略する。

[0016] 実施の形態 1.

図 1 はこの発明の実施の形態 1 による固体レーザ励起モジュールを含む平面導波路型レーザ装置の上面図、図 2 は図 1 の平面導波路型レーザ装置の紙面下側からの側面図である。但し、両図において両側の励起源である半導体レーザ 1 の間にある固体レーザ励起モジュール 100 は図 1 では図 2 の A-A 線に沿った断面図、図 2 では図 1 の B-B 線に沿った断面図で示されている。

[0017] 図 1、図 2 において、固体レーザ励起モジュール 100 は、レーザ媒質 3、レーザ媒質 3 の互いに平行に対向する一対の主面 31、32 上にそれぞれ接合されたクラッド 4a、4b、互に対向する一対の側面 33、34 上にそれぞれ接合されたレーザ光は反射する全反射膜 6、側面 34 の一部に全反射膜 6 の代わりに設けられたレーザ光を透過する反射防止膜 7 を有する。レーザ媒質 3 の互いに平行に対向する一対の端面 35、36 は半導体レーザ 1 から励起光 2 を導入する。

[0018] レーザ媒質 3 としては、一般的な固体レーザ材料を使用することができる。例えば、Nd:YAG、Nd:YLF、Nd:Glass、Nd:YVO₄、Nd:GdVO₄、Yb:YAG、Yb:YLF、Yb:KGW、Yb:KYW、Er:Glass、Er:YAG、Tm:YAG、Tm:YLF、Ho:YAG、Ho:YLF、Tm、Ho:YAG、Tm、Ho:YLF、Ti:Sapphire、Cr:LiSAF等を用いる。これら、固体レーザ材料は結晶の他に、セラミックであっても良い。また、ガラスであっても良い。また、上述せぬ母材に上述せぬ活性媒質を添加した固体レーザ材料であっても良い。

- [0019] レーザ媒質 3 は平面導波路型であり、1 軸方向に厚さの薄い平板の形状である。ここで説明のために、レーザ媒質 3 の厚さ方向を z 軸とし、図 1 に示すようにレーザ媒質 3 の平面内の 2 軸を x 軸、 y 軸と呼び、3 軸がそれぞれ互いに直交した座標系を用いる。
- [0020] レーザ媒質 3 は主面 3 1, 3 2 に平行な $x y$ 面内の形状が 4 角形である。ここで、対向する一对の側面 3 3, 3 4 は平行ではなく、所定方向に沿った側面 3 4 に対して側面 3 3 が $x y$ 面内でテーパ角 $\theta 1$ で傾斜している。すなわち、一方の側面 3 3 が所定方向に沿って延びる他方の側面 3 4 との間隔が徐々に広がるように前記所定方向に対して所定のテーパ角度で傾斜している。レーザ媒質 3 の側面 3 4 上にはレーザ光を反射する全反射膜 6 が施されており、さらに一部にレーザ光を透過する反射防止膜 7 が施されている。また側面 3 3 上は全面にレーザ光を反射する全反射膜 6 が施されている。この構造により、後述するように、レーザ光はレーザ媒質 3 内を側面 3 3, 3 4 間で反射されながら一往復伝播される。
- [0021] 図 2 に示すクラッド 4 a, 4 b は、レーザ媒質 3 に比べて小さな屈折率を有し、レーザ媒質 3 の $x y$ 平面に平行な主面 3 1, 3 2 上にそれぞれ接合されている。クラッド 4 a, 4 b 例えば、光学材料を原料とした膜を蒸着するか、光学材料をオプティカルコンタクト又は拡散接合等によってレーザ媒質 3 と光学的に接合することにより構成される。なおクラッド 4 a, 4 b は図示せぬ基板に接合されていても良い。さらに該基板は図示せぬヒートシンクに接合されていても良い。基板及びヒートシンクはレーザ媒質 3 の $x y$ 平面の片側であっても良いし、対向する 2 面の両側に接合されていてもよい。
- [0022] 両側の半導体レーザ 1 は、レーザ媒質 3 の端面 3 5, 3 6 にそれぞれ近接して配置され、図示は省略したが必要に応じて冷却用のヒートシンクが接合される。半導体レーザ 1 の x 軸方向の大きさは、レーザ媒質 3 の x 軸方向の大きさとほぼ等しく、 x 軸方向にほぼ一様に励起光を出力する。半導体レーザ 1 は、励起光 2 を出力する。ここで、励起光 2 を出力する半導体レーザ 1 は、活性層を x 軸方向に複数配置したマルチエミッタ半導体レーザであって

も良い。この場合、複数の活性層から複数のLD(レーザダイオード)光が出力するので、x軸方向に複数並んだレーザ出力光(励起光)が得られる。また、半導体レーザ1の活性層がx方向に幅の広いブロードエリアLDであっても良い。

[0023] 次に動作について説明する。半導体レーザ1より出力された励起光2は、レーザ媒質3の端面35, 36からレーザ媒質3に入射して、y方向(所定方向に相当する)に伝播しながらレーザ媒質3に吸収される。レーザ媒質3で励起光2が吸収されることで、レーザ媒質3内部でレーザ光に対する利得を発生する。レーザは媒質3内部で発生した利得により、通過するレーザ光は増幅作用を受けて、レーザ出力が増加する。レーザ種光を準備してレーザ媒質3に導入し増幅を行わせることでレーザ増幅器になり、レーザ光の一部を反射する図示せぬ出力鏡をレーザ光軸上に軸と直行するように配置することで、レーザ発振器となる。このため、以降の説明は、特に説明がない限り、レーザ発振器及びレーザ増幅器の両方に適用される。

[0024] ここで、側面34のレーザ光を透過する反射防止膜7からレーザ入射光8をレーザ媒質3内に導入する。レーザ入射光8は反射防止膜7の垂直線に対してxy平面内に θ_{in0} 傾斜している。ここで、レーザ媒質3の屈折率をnとすると、レーザ媒質3内に導入されたレーザ入射光8の反射防止膜7の垂直線に対するxy平面内の傾斜角は、 $\theta_{in1} = \sin^{-1}(1/n \cdot \sin \theta_{in0})$ である。レーザ入射光8はxy平面内で側面33, 34の垂直線に対して傾斜して導入される。レーザ媒質3内に入射したレーザ入射光8は、レーザ媒質内で伝播され側面34とこれと対向する側面33にそれぞれ施してあるレーザ光を反射する全反射膜6で反射される。レーザ入射光8はxy平面内で側面33, 34の垂直線に対して傾斜して導入されたので、側面33で反射したレーザ光は反射防止膜7には戻らず、側面34の反射防止膜7に隣接する位置の全反射膜6に当たり再び反射する。このように、レーザ媒質3内を伝播されるレーザ光は図1にレーザ反射光10で示すように、側面33, 34の全反射膜6で反射され側面33, 34間で反射を繰り返しながら伝播さ

れる。

[0025] 側面 33 は側面 34 に対して $x-y$ 平面内で、側面 33, 34 間の距離が、側面 34 の反射防止膜 7 が施してある一端側の方が側面 34 の他端側よりも広くなるように傾斜角度(テーパ角) θ_1 、傾斜している。このため、反射防止膜 7 から入射したレーザ光が側面 33 で反射する度に、レーザ反射光 10 の側面 34 での入射角と反射角の和が $2\theta_1$ 小さくなる。このためレーザ反射光 10 は、各側面 33, 34 でのレーザ反射光 10 の反射位置の間隔を狭めながら反射を繰り返し、側面 34 での反射角は側面 34 に対して 0 すなわち垂直に近づいていく。

[0026] 側面 34 での反射角が垂直になると側面 33 のテーパ角 θ_1 により、レーザ反射光 10 はレーザ媒質 3 内を折り返す。折り返されたレーザ反射光 10 は再び全反射膜間 6 により側面 33, 34 間で反射を繰り返す。復路においては、側面 34 での入射角と反射角の和が側面 33 で反射するたびに $2\theta_1$ 大きくなる。そして各側面 33, 34 でのレーザ反射光 10 の反射位置の間隔を広げながらレーザ反射光 10 を伝播する。このように復路では往路と略同一の光路を通過しながら、最終的には側面 34 の反射防止膜 7 からレーザ出力光 9 として出力される。

[0027] ここで、反射防止膜 7 から導入されたレーザ入射光 8 の反射防止膜 7 の垂直線に対する $x-y$ 面内の角度を θ_{in1} 、レーザ媒質 3 の屈折率を n とする。このとき、レーザ入射光 8 の内部入射角度 θ_{in1} の最大値は内部全反射角と等しく $\theta_{in1max} = \sin^{-1}(1/n)$ となる。例えば、レーザ媒質 3 が Nd:YAG の場合、最大内部入射角度 $\theta_{in1max} = 33.3$ 度となる。ここで、レーザ媒質 3 内での片側の側面(33, 34)当たりの反射回数を m 回とすると、側面 33 の側面 34 に対する傾斜角度 θ_1 は、 $\theta_1 \doteq \theta_{in1} / (2(m-1))$ ($\doteq$: 略等しい) を満たす角度に設定される。例えば、レーザ媒質を Nd:YAG、レーザ光の内部入射角度を最大の角度 θ_{in1max} 、反射回数を 10 回とすると、 $\theta_1 \doteq 1.85$ 度となる。レーザ媒質 3 内でのビームオーバーラップ効率を向上させるためには、レーザ入射光 8 の

入射角度は小さいほうがよい。また、反射回数 m は多いほうがよい。このため、例えば、レーザ入射光 8 の内部入射角度 $\theta_{in1} = 5$ 度、反射回数 20 回の場合、 $\theta_1 \cong 0.13$ 度の傾斜となる。

[0028] このように側面 33, 34 間の傾斜角度 θ_1 は、レーザ媒質 3 の $x-y$ 面内の y 方向の長さ、 x 方向の幅、レーザ光のビーム幅 w 、反射防止膜 7 の幅等によりビームオーバーラップ効率が高く、反射回数が多くなるように設定される。このような角度は前述したように主に側面 33, 34 間の傾斜角度 $\theta_1 < 2$ 度に設定される。

[0029] このように側面 33, 34 間の傾斜角度を θ_1 としたことから、往路では側面 33 や側面 34 でレーザ光を反射する間隔が反射を繰り返すに従い短くなる。このため、レーザ媒質 3 とレーザ光とのビームオーバーラップ効率が高くなる。さらに、レーザ光の折り返し点付近では、近接した箇所をレーザ光が何度も通過するため、ビームオーバーラップ効率がより高くなり、この結果、レーザの抽出効率が高くなり、高効率で高出力なレーザ光が得られる。

[0030] なお、図 1、図 7～図 12 においてはレーザ光の主軸線を表示しているが、実際にはレーザ光は図 13 のように幅のあるビームが反射防止膜 7 から導入される。

[0031] この構成によれば、レーザ媒質 3 内でのレーザ光(レーザ反射光 10)の光路長を最も長くすることができるので、寄生発振や寄生増幅が起こり難い等の特徴がある。側面 33, 34 を角度 θ_1 で傾斜させているため、上記対向する 2 面間で周回する光路はない。このため、寄生発振や寄生増幅光の最も長いレーザ媒質 3 内の光路は、側面 34 の反射防止膜 7 付近からレーザ反射光 10 と同一の光路となる。一般にはレーザ光の光路よりも寄生発振や寄生増幅光の光路長が長いために、励起出力の増大とともに大きな利得が生じた場合に寄生発振や寄生増幅によるエネルギーの抽出が大きくなり、レーザ出力の効率低下を招く。一方、この構成では、寄生発振や寄生増幅の最も長い光路がレーザ反射光光路と略同一となることから、励起出力の増大とともに

利得が大きくなった場合でも、レーザ光の増幅も同様に大きくなることから、レーザ光の増幅率を超えることがない。このため、高出力励起時でも高効率で高出力なレーザ光を得ることができる。

[0032] レーザ光の往路と復路が略同一であることから、図 14 に示すように分離手段 50 を用いて、レーザ光の偏光を利用した分離を行うことができる。分離手段 50 は、レーザ入射光 8 を透過させ、レーザ出力光 9 を反射させて分離するものであってもよいし、また、レーザ入射光 8 を反射させ、レーザ出力光 9 を透過させて分離するものであってもよい。分離手段 50 は、例えば図 15 に示すように偏光子 51 と $1/4$ 波長板 52 で構成し得る。直線偏光のレーザ入射光 8 を $1/4$ 波長板 52 で円偏光にしてレーザ媒質 3 内に導入させる。レーザ入射光 8 は出力時、再び $1/4$ 波長板 52 を通過することで、レーザ出力光 9 はレーザ入射光 8 と偏光方向が直交した直線偏光の偏光方向となる。このため、偏光子 51 で分離可能となる。

[0033] また、図 16 に示すように分離手段 50 をアイソレータ 54 で構成してもよい。例えば、偏光子 51 と 45 度ファラデーローテータ 53 で構成されるアイソレータ 54 を通過させた後、レーザ媒質 3 にレーザ光を導入する。レーザ媒質 3 内を往復して増幅されたレーザ光はレーザ媒質 3 を出射し再びファラデーローテータを通過する。ファラデーローテータを通過したレーザ光は、入射光に対して偏光が 90 度回転するため、偏光子で入射光と分離される。入射光が偏光子を通過する場合、出力光は偏光子で反射され、入射光が偏光子で反射される場合は、出力光は偏光子を透過する。また、レーザ媒質 3 に導入されるレーザ光はファラデーローテータにより 45 度傾いた直線偏光となる。

[0034] また、図 17 に示すように、図 16 の構成にさらにファラデーローテータ 53 とレーザ媒質 3 の間に $1/2$ 波長板 55 を配置しても良い。 $1/2$ 波長板 55 により 45 度に傾いた直線偏光をレーザ媒質 3 の平板面(主面)に対し平行や直交する直線偏光にすることができる。 $1/2$ 波長板は可逆性であるため、 $1/2$ 波長板を通過する前の入射光と、 $1/2$ 波長板 55 を通過した

出力光は同じ偏光方向の45度傾斜した偏光方向となる。このため、1/2波長板55を配置しないときと同様に、アイソレータ54で偏光分離ができる。このように、レーザ媒質3の主面に対して平行又は直交する直線偏光としたため、例えば、レーザ媒質3が異なる偏光方向に対する利得や増幅波長が異なる場合でも、意図する増幅や、意図する波長の増幅ができる。

[0035] このように分離手段50を用いることで略同一の光路であるレーザ入射光とレーザ出力光を分離することができる。このような分離はレーザ発振器及びレーザ増幅のどちらの構成でも利用可能であるが、特にレーザ増幅器として用いる場合に特に有効である。

[0036] 全反射膜6は、レーザ発振器として用いる場合は、レーザ発振を行う波長に対して高い反射率を設定する。例えば、レーザ媒質3の活性媒質がNdである場合には、0.9 μ m帯、1.06 μ m帯、1.3 μ m帯に利得あり、利得が高い順に、1.06 μ m帯、1.3 μ m帯、0.9 μ m帯である。ここで、0.9 μ m帯のレーザ発振を得たい場合には、1.0 μ m帯、1.3 μ m帯の利得が高いレーザが発振しないように、これらの波長には透過特性を持たせ、レーザ発振を行いたい波長、この場合、0.9 μ m帯に対して全反射特性を持たせることで所望の0.9 μ m帯のレーザ発振光を得ることができる。

[0037] このように、全反射膜6はレーザ発振を行いたい波長帯域に対して全反射特性があり、他の利得波長に対しては透過特性を持たせても良い。このように構成することで所望の波長のレーザ発振光が得られる等の特徴がある。同様に、レーザ増幅器として用いる場合でも、増幅を行いたいレーザ光の波長で全反射であり、他の波長に対して透過特性を持たせても良い。このように構成することで、レーザ媒質3が利得をもつ所望の波長を増幅させることができる。このため、他の波長での寄生増幅によるエネルギーの抽出がなく、高効率、高出力のレーザ増幅器が得られる

[0038] 図2は図1の固体レーザ励起モジュールを含む平面導波路型レーザ装置を紙面の下側から見た側面図である。半導体レーザ1より出力された励起光2

は、レーザ媒質 3 の側面間を反射しながら進むレーザ光の伝播方向の両端の端面 3 5, 3 6 の一方の端面 3 5 からレーザ媒質 3 に入射され、y 方向に伝播しながらレーザ媒質 3 に吸収される。励起光 2 は広がりながら伝播するが、レーザ媒質 3 よりも低屈折率のクラッド 4 a, 4 b で反射することから z 方向で互いに対向するクラッド 4 a, 4 b で閉じ込められ、y 方向に伝播される。同様に反射防止膜 7 から入射したレーザ光は z 方向ではクラッド 4 a, 4 b で反射することから、z 方向ではクラッド 4 a, 4 b で閉じ込められ、x y 面内に伝播される。なお、側面の一方が傾いていることでレーザ光の伝播方向は厳密には、所定方向と定義する y 軸とずれるが、ここでは伝播方向は y 軸と同じ方向とする。

[0039] ここで、クラッド 4 a, 4 b の外側には図示せぬ基板を接合してもよい。このように基板を接合することで剛性を向上させることができる。また、クラッド 4 a, 4 b の外側又は上記基板の外側に図示せぬヒートシンクを配置してもよい。このようにヒートシンクを配置することでレーザ媒質の温度上昇を抑えることができるので、高出力励起が可能となり高出力なレーザ光が得られる。また、レーザ媒質 3 が準 3 準位、準 4 準位及び 3 準位である場合には、温度上昇により利得が低下するため、高効率化のために温度上昇の低減が重要である。このように、クラッド 4 a, 4 b に直接ヒートシンクを接合し熱抵抗の低減を図りレーザ媒質 3 の温度上昇を抑えることで、高効率で高出力なレーザ光を得ることができる。

[0040] 実施の形態 2.

図 3 はこの発明の実施の形態 2 による固体レーザ励起モジュールを含む平面導波路型レーザ装置の図 2 と同じ方向から見た側面図である。上面から見た構成は基本的に図 1 のものと同じである。レーザ媒質 3 の x y 面、すなわち主面 3 1, 3 2 上にはそれぞれ第 1 のクラッド 2 0 がそれぞれ配置され、さらに各第 1 のクラッド 2 0 の外側に第 2 のクラッド 4 a, 4 b がそれぞれ配置されている。ここで、レーザ媒質 3 の屈折率よりも各第 1 のクラッド 2 0 の屈折率は低く、第 1 のクラッド 2 0 の屈折率よりも第 2 のクラッド 4 a

、4bの屈折率が低いように構成される。励起光2は対向する第2のクラッド4a、4b間でz方向に閉じ込められ、レーザ媒質3とその両側の第1のクラッド20を合わせた部分を伝播する。一方、レーザ光は第1のクラッド20で反射するように構成されているため、レーザ媒質3を伝播する。

[0041] 以上のように構成したため、固体レーザ励起モジュール100のレーザ光の伝播方向の両側の端面35a、36aにおいて、励起光2を導入する端面はレーザ媒質3とその上下の2つの第1のクラッド20を合わせた端面となる。このため、励起光2を導入する端面は大きな面積となることから、励起光2の導入が容易になる。また、図3では単層の半導体レーザ1を用いた構成例を示しているが、図18に示すようにz方向に半導体レーザを積層したスタックLD60を用いることができる。このように励起光2の導入面を広く取ることができるので、容易に側面からの励起が可能であり、また、スタックLD等のような高出力な励起源を用いることもできる。ここで、第1のクラッド20とレーザ媒質3を伝播する励起光2はレーザ媒質3を通過する際に吸収され、第1のクラッド20では吸収されずに伝播する。このように構成したことで容易に高出力励起が可能となることから、容易に高出力なレーザ光が得られる。

[0042] なお、高出力な励起源(半導体レーザ1)としてはブロードエリアLD、アレイLD、スタックLD、シングルモードファイバ、マルチモードファイバ、ラージコアファイバ、バンドルファイバ、また、これらファイバをx方向に並べたファイバアレイ等を用いることができる。また、これら励起源をレーザ媒質3の側面33、34に近接して直接励起する構成の他に、図19に示すように励起光2をレンズ61で集光して端面35、35a(36、36a)から導入してもよい。このように構成することで励起光2のビーム径や広がり角を任意に調整できるので、クラッドで反射可能な角度に調整することができる。このため、高効率に励起光をレーザ媒質3に吸収させることができるため高効率で高出力のレーザ光が得られる。

[0043] また、図20に示すように複数のレンズ61で構成されるレンズ群62で

励起光 2 のビーム径や広がり角を調整しても良い。このような複数のレンズ 6 1 により、収差による励起光の広がりをも最小限にすることができるので、より高効率で端面から励起光を導入できる。このため、高効率で高出力なレーザ光が得られる。

[0044] また、図 2 1 に示すようにスタック L D 6 0 から出力される励起光 2 をそれぞれマイクロレンズアレイ 6 3 で平行化した後、レンズ 6 1 で一括集光してもよい。このように構成することでより高出力な励起光 2 をレーザ媒質 3 に導入することができるので、より高出力なレーザ光が得られる。

[0045] また、図 2 2 に示すように平行化した励起光 2 をテーパのついたスラブ導波路 6 4 の幅の広い面から導入して、幅の狭い面から出力することで、断面積を縮小した励起光 2 を用いてもよい。このように構成することでより高出力な励起光 2 をレーザ媒質 3 に導入することができるので、より高出力なレーザ光が得られる。

[0046] また、図 2 3 に示すように広がり角の大きい励起光 2 をテーパのついたスラブ導波路 6 4 の幅の狭い面から導入して、幅の広い面から出力することで、広がり角を小さくした励起光 2 を用いてもよい。このように構成することで、励起光 2 をクラッド 2 0 で反射可能な角度に調整することができる。このため、高効率に励起光をレーザ媒質 3 に吸収させることができるため高効率で高出力なレーザ光が得られる。

[0047] 実施の形態 3 .

図 4 はこの発明の実施の形態 3 による固体レーザ励起モジュールを含む平面導波路型レーザ装置の図 2 と同じ方向から見た側面図である。上面から見た構成は基本的に図 1 のものと同じである。レーザ媒質 3 の x y 面の片面、すなわち主面 3 1 上に第 1 のクラッド 2 0 を配置し、第 1 のクラッド 2 0 の外側に第 2 のクラッド 4 a を配置する。また、レーザ媒質 3 の第 1 のクラッド 2 0 と反対側の主面 3 2 上に第 2 のクラッド 4 b を配置する。このように構成することで、励起光 2 はレーザ媒質 3 と第 1 のクラッド 2 0 間を伝播し、レーザ光はレーザ媒質 3 を伝播する。

[0048] また、励起光 2 は第 1 のクラッド 20 とレーザ媒質 3 を合わせた端面から導入できるので、端面が拡大されるので容易に高出力な励起が可能となり、容易に高出力なレーザ光が得られる。さらに、第 2 のクラッド 4 の下面に図示せぬヒートシンクを接合することで、レーザ媒質 3 の温度上昇を低減できる。このように第 1 のクラッド 20 や基板等の材料を挟まずに第 2 のクラッド 4 b を直接ヒートシンクに接合しているため、熱抵抗を著しく下げることが可能であり、レーザ媒質 3 の温度上昇を抑えることができる。このため、より高効率で高出力なレーザ光を得ることができる。

[0049] 実施の形態 4.

図 5 はこの発明の実施の形態 4 による固体レーザ励起モジュールを含む平面導波路型レーザ装置の図 2 と同じ方向から見た側面図である。上面から見た構成は基本的に図 1 のものと同じである。ここでは一例として図 4 に示した、レーザ媒質 3 の x y 面の片方の面、すなわち主面 31 上に第 1 のクラッド 20 を配置し、第 1 のクラッド 20 の外側に第 2 のクラッド 4 a を配置し、またレーザ媒質 3 の第 1 のクラッド 20 と反対側の主面 32 上に第 2 のクラッド 4 b を配置する構成に適用した例を示した。なお、図 2 に示すようにレーザ媒質 3 の主面 31, 32 上にそれぞれ第 2 のクラッド 4 a, 4 b を接合する構成に適用しても良い。さらに、図示せぬ基板やヒートシンクを配置しても良い。また、図 3 に示すようにレーザ媒質 3 の主面 31, 32 上にそれぞれ第 1 のクラッド 20 を配置した構成に適用しても良い。さらに、図示せぬ基板やヒートシンクを配置しても良い。

[0050] この実施の形態では、固体レーザ励起モジュール 100 の上記所定方向 (y 軸方向) の両端の端面 35 a, 36 a のうち、少なくとも励起光 2 を導入するレーザ媒質 3 と第 1 のクラッド 20 の端面を、 y z 面 (レーザ媒質 3 の主面 31, 32 に垂直で上記所定方向に沿った面) 内で傾斜させるように構成する。励起光 2 は端面 35 a, 36 a から導入され、第 2 のクラッド 4 a, 4 b 間を伝播しながらレーザ媒質 3 を通過する際に吸収される。ここで、端面 35 a, 36 a を y z 面内で傾斜させたため、対向する 2 つの端面 35 a, 36

aとレーザ媒質3との間、又は端面35a, 36aと第1のクラッド20との間、又は端面35a, 36aと第2のクラッド4a, 4bとの間を全反射で閉じ込める寄生発振パスをなくすることができる。このように、端面35a, 36aを傾斜させたことでyz面内での寄生発振がなく、寄生増幅パス長も短くすることができるので、高出力励起時に寄生発振や寄生増幅によるエネルギーの抽出が小さく、利得の減少が小さいことから高出力なレーザ光が得られる。

[0051] 実施の形態5.

図6はこの発明の実施の形態5による固体レーザ励起モジュールを含む平面導波路型レーザ装置の図2と同じ方向から見た側面図である。上面から見た構成は基本的に図1のものと同じである。図6では図5と同様、一例として図4に示した構成に適用した場合を示した。固体レーザ励起モジュール100の構成は図5のものと同じであるが、励起光2を導入する半導体レーザ1の位置が異なる。なお実施の形態4と同様に、図2、図3に示す構成に適用することも可能である。また基板やヒートシンクを配置してもよい。

[0052] 実施の形態4と同様、固体レーザ励起モジュール100の端面35a, 36aのうち、少なくとも励起光2を反射させるレーザ媒質3と第1のクラッド20の端面を、yz面内で傾斜させるように構成されている。半導体レーザ1は励起光2を第2のクラッド4aのxy面(固体レーザ励起モジュール100の最外面)から導入するように配置されている。第1のクラッド4aのxy面から導入された励起光2は、傾斜した端面で反射される。反射した励起光2はレーザ媒質3と第2のクラッド4aを伝播し、伝播しながらレーザ媒質3を通過する際に吸収される。このように励起光2をxy面から導入し傾斜させた端面に反射させるように構成したため、端面の傾斜角度を大きく傾斜させることができる。例えば、45度の角度にすることができる。このように傾斜角度を45度前後に大きくしたため、レーザ媒質3内で発生した自然放出光が端面で全反射した場合、第2のクラッド4a, 4bでは全反射することができずに透過する。このため、寄生発振は発生せず、寄生増幅パス

もレーザ媒質 3 を 1 往復できない。したがって、より高い励起出力を導入しても寄生発振や寄生増幅によるエネルギーの抽出が小さく、利得の減少が小さいことから高出力なレーザ光が得られる。

[0053] 実施の形態 6.

図 7 はこの発明の実施の形態 6 による固体レーザ励起モジュールを含む平面導波路型レーザ装置の上面図である。図 8 は図 7 の破線で示した領域 C の拡大図であり、y 軸方向の縮尺を拡大している。図 7 の固体レーザ励起モジュール 100 では図 1 のモジュール 100 と比べ、傾斜角度 θ_1 が付けられた側面 33 と所定方向 (y 軸方向) に沿って延びる側面 34 の位置が入れ替えられており、さらに側面 33 側の側面間隔が広い側の一部に反射防止膜 7 が設けられている。反射防止膜 7 からレーザ媒質 3 内に入射したレーザ反射光 10 は、対向する側面 33, 34 間で反射を繰り返すことで、反射角が側面に対して垂直に近づいていく。折り返し直前のレーザ反射光 10 の側面 33 又は側面 34 への入射角が 0 ではないように、すなわち入射光が側面に垂直ではないようにレーザ入射光 8 の反射防止膜 7 への入射角度を調整することで、往路と復路では光路が重ならないようにすることができる。

[0054] ここで図 8 に示すように、折り返し時のレーザ反射光 10 の側面 34 と側面 33 での入射角と反射角の和がそれぞれ θ_1 のとき、往路と復路で光路が反転する。このように構成することで、往路で通過していないレーザ媒質 3 上を復路で通過することができるので、ビームオーバーラップ効率が向上しレーザ発振器及びレーザ増幅器の効率が向上し、高出力なレーザ光が得られる。また、レーザ光により効率的にエネルギーの抽出を行うことができるので、レーザ媒質 3 に残存する利得が小さくなることから寄生発振や寄生増幅が起こり難くなる。このため、より高出力な励起をおこなうことが可能であり、より高出力なレーザ光を得ることができる。

[0055] この構成によれば、レーザ媒質 3 内でのレーザ反射光 10 の往路と復路が同じではないため、レーザ入射光 8 とレーザ出力光 9 の光路も同一ではない。このため、レーザ入射光 8 とレーザ出力光 9 は空間的に分離が容易となる。

ことから偏光分離手段を用いる必要がない。このため、特にレーザ増幅器において構成部材を低減可能であり、信頼性も向上する。

[0056] 実施の形態 7.

図 9 はこの発明の実施の形態 7 による固体レーザ励起モジュールを含む平面導波路型レーザ装置の上面図である。図 9 の固体レーザ励起モジュール 100 では、側面 33 上の側面間隔が広い側の一部にレーザ光を透過する反射防止膜 7 が施されており、その他部分にはレーザ光を反射し励起光 2 を透過させる狭帯域反射膜 30 が施されている。また側面 34 上には全体に狭帯域反射膜 30 が施されている。そして側面側にも 2 対の半導体レーザ 1 が設けられている。これにより励起光 2 はレーザ媒質 3 の端面 35, 36 のみならず、側面 33, 34 から導入される。

[0057] 狭帯域反射膜 30 は、例えばレーザ媒質が Nd : YAG である場合には、1064 nm のレーザ光を反射し、808 nm 又は 880 nm の励起光 2 を透過するように設計される。このような特性の膜は誘電体膜を積層することで製作することが可能である。このようにレーザ媒質 3 の x y 面の四方から励起を行う構成としたため、より高出力な励起が可能であり、より高出力なレーザ光を得ることができる。

[0058] 実施の形態 8.

図 10 はこの発明の実施の形態 8 による固体レーザ励起モジュールを含む平面導波路型レーザ装置の上面図である。図 10 の固体レーザ励起モジュール 100 では、側面 33 の反射防止膜 7 と対向する側面 34 の一部に反射防止膜 7a が配置されている。反射防止膜 7a はレーザ光を透過させる膜である。反射防止膜 7 からレーザ媒質 3 内に導入されたレーザ光は側面 33, 34 間を反射しながら伝播する。ここで、往路と復路では同じ光路にならないようにレーザ入射光 8 の角度を調整している。このため、復路を伝播してきたレーザ光が波反射防止膜 7 から出力せずに、対向する側面 34 の反射防止膜 7a から出力される。

[0059] このように、レーザ入射光 8 とレーザ出力光 9 の位置を分離したため、レ

ーザ増幅器の場合にはレーザ入射光とレーザ出力光の分離が容易である。また、レーザ発振器の場合には、レーザ媒質 3 を通過して増幅したレーザ出力光 9 を別のレーザ媒質 3 もしくは固体レーザ励起モジュール 100 に入力してさらに増幅することができる。これにより 1 つのレーザ発振器の共振器内に複数のレーザ媒質もしくは固体レーザ励起モジュールを容易に配置することができ、より高出力なレーザ光が得られる。

[0060] 実施の形態 9.

図 11 はこの発明の実施の形態 9 による平面導波路型レーザ装置の固体レーザ励起モジュールの上面図である。図 11 の固体レーザ励起モジュール 100 で使用される励起光 2 は、例えばファイバ出力光をコリメートレンズ(共に図示省略)で平行化した光である。励起光 2 は一般には半導体レーザ光をファイバに結合して製作される。又はファイバレーザ光(図示省略)の出力を用いてもよい。励起光 2 とレーザ入射光 8 は略同一の光路でレーザ媒質 3 の反射防止膜 7 から導入される。

[0061] 反射防止膜 7 を介してレーザ媒質 3 内に入射された励起光 2 は、レーザ光と同じように対向する側面 33, 34 間を伝播しレーザ媒質 3 内で折り返される。このように構成することで、励起光 2 のレーザ媒質 3 内での伝播光路を長くとることができるので、高効率で励起光 2 をレーザ媒質 3 に吸収させることができ、高効率で高出力なレーザ光が得られる。ここで、レーザ活性媒質が準 3 準位、準 4 準位、3 準位の場合には下準位吸収のため、未励起時にはレーザ光に対する吸収がある。このため、レーザ媒質 3 にレーザ光に対する利得を発生させるために高密度励起が必要となる。言い換えれば、レーザ媒質 3 内に活性媒質が多く含まれる場合には、レーザ光に対する利得を発生させるために高出力の励起光 2 が必要である。レーザ媒質 3 内の活性媒質が少ない場合には、レーザ光に対する利得を発生させるための励起出力は少なくてよい。

[0062] 一方、レーザ媒質が少ない、つまり、活性媒質が低濃度のレーザ媒質 3 の場合には、励起光 2 の吸収係数も減少することから、吸収率を一定に保つた

めには吸収長を長くする必要がある。上記構成によれば、励起光 2 は傾斜した側面をもつ側面間で往復伝播するため吸収長が長い。このため、低濃度のレーザ媒質 3 を用いた場合でも励起光 2 の高い吸収率を得ることができる。このように、低濃度のレーザ媒質 3 を用いたため、下準位吸収による励起光 2 の損失が小さく、高効率で高出力なレーザ光が得られる。また、低濃度のレーザ媒質 3 では利得を発生させる活性媒質が少ないため、レーザ光に対する利得も小さいが、上記構成ではレーザ光は傾斜した側面をもつ側面間で往復伝播されるため、レーザ光の伝播長が長い。このため、単位長さあたりのレーザ媒質 3 の利得が小さい場合でも高効率に高出力なレーザ光が得られる。

[0063] 実施の形態 10.

図 12 はこの発明の実施の形態 10 による固体レーザ励起モジュールを含む平面導波路型レーザ装置の上面図である。図 12 の固体レーザ励起モジュール 100 では、レーザ媒質 3 は 4 角形ではなく、側面 33 は反射防止膜 7 を設けた部分が全反射膜 6 が設けられた部分に対して $x-y$ 面内で角度が付けられている（傾斜している）。ここで、側面 33 の反射防止膜 7 を設けた部分は、往復光路で略同一な光路を持つレーザ反射光 10 のレーザ入射光とレーザ出力光が反射防止膜 7 に対して垂直になるよう角度が付けられている。

[0064] また、波長変換素子 40 がレーザ媒質 3 の外側で反射防止膜 7 に近接して配置されている。波長変換素子 40 は非線形光学材料であり、例えば、周期的分極反転 $\text{LuNb}_3(\text{PPLN})$ や、 LBO 等の非線形光学材料であっても良い。波長変換素子 40 のレーザ光等の伝播方向の両端の端面には、入力側に入射膜 42、出力側に出力膜 41 がそれぞれ設けられている。出力膜 41 は、レーザ媒質 3 で増幅される波長のレーザ光に対し反射特性を示し、波長変換光に対し透過特性を示す。また、反射防止膜 7 側の入射膜 42 は、レーザ光の波長及び波長変換光に対しても透過特性を示す。このように構成したことで、レーザ光は出力膜 41 とレーザ媒質 3 内の往復光路で閉じ込められる。レーザ光が波長変換素子 40 を通過する際に波長変換され、レーザ媒質 3

で増幅されるレーザ光と他の波長の波長変換レーザ光 4 3 が得られる。波長変換レーザ光 4 3 は入射膜 4 2 で反射され出力膜 4 1 を透過し出力される。

[0065] このように例えばレーザ共振器内で、上記構成のレーザ媒質 3 に波長変換素子 4 0 を組み合わせて配置して内部波長変換方式とする。レーザ媒質 3 では往復光路長が長く、寄生発振や寄生増幅が起こらないことから、高出力励起が可能であり、高効率で高出力なレーザ光が得られる。また、内部波長変換方式により波長変換されたレーザ光が出力され、変換されなかったレーザ光は再びレーザ媒質 3 を往復伝播して増幅される。このため、高効率で高出力な波長変換出力が得られる。ここで、波長変換は、レーザ光の波長を $1/2$ にする 2 次高調波の発生でも良いし、 $1/3$ の波長にする 3 次高調波の発生でもよい。また、光パラメトリックによりレーザ光の波長よりも長波長に変換しても良い。

産業上の利用の可能性

[0066] この発明による平面導波路型レーザ装置のための固体レーザ励起モジュールは、多くの分野で使用されているレーザ発振器やレーザ増幅器に適用可能である。

符号の説明

[0067] 1 半導体レーザ、2 励起光、3 レーザ媒質、4 a, 4 b, 2 0 クラッド、6 全反射膜、7, 7 a 波反射防止膜、8 レーザ入射光、9 レーザ出力光、1 0 レーザ反射光、3 0 狭帯域反射膜、3 1, 3 2 側面 3 3, 3 4 側面、3 5, 3 6 端面、4 0 波長変換素子 4 1 出力膜、4 2 入射膜、4 3 波長変換レーザ光、5 0 分離手段、5 1 偏光子、5 2 $1/4$ 波長板、5 3 ファラデーローテータ、5 4 アイソレータ、5 5 $1/2$ 波長板、6 0 スタック LD、6 1 レンズ、6 2 レンズ群、6 3 マイクロレンズアレイ、6 4 スラブ導波路、1 0 0 固体レーザ励起モジュール。

請求の範囲

- [請求項1] 導入されたレーザ光を一对の側面間を反射させながら前記側面に沿った方向に伝播させその間に増幅させる平板状のレーザ媒質を備え、前記一对の側面の一方の側面が所定方向に沿って延びる他方の側面との間隔が徐々に広がるように前記所定方向に対して所定のテーパ角度で傾斜しており、前記一对の側面の側面間隔の広い側の所定箇所から前記レーザ媒質内に導入されたレーザ光を側面間を反射させながら前記レーザ媒質内を伝播させ、さらに前記レーザ媒質内の側面間隔が狭い側で折り返させて再び側面間隔が広い側に伝播させて出力させることを特徴とする平面導波路型レーザ装置のための固体レーザ励起モジュール。
- [請求項2] 前記レーザ媒質が、前記所定方向に沿って対向する一对の主面、前記主面の両側の前記一对の側面及び前記所定方向の両端の対向する一对の端面を有し、
- さらに、
- 前記一对の側面上の側面間隔が広い側の少なくとも1カ所に設けられた少なくとも前記レーザ光を透過させる反射防止膜と、
- 前記反射防止膜以外の前記一对の側面上に設けられたレーザ光を反射させる全反射膜と、
- 前記レーザ媒質を励起させるために導入される励起光と、
- を備えた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のための固体レーザ励起モジュール。
- [請求項3] 前記レーザ媒質の主面に垂直な方向に導波路を形成するために前記一对の主面上にそれぞれ配置された一对のクラッドを備え、主面に垂直の方向では前記レーザ光と前記励起光は前記一对のクラッド間のレーザ媒質を伝播することを特徴とする請求項2に記載の平面導波路型レーザ装置のための固体レーザ励起モジュール。
- [請求項4] 前記レーザ媒質の前記一对の主面上にそれぞれ配置された一对の第

１のクラッドと、

前記一对の第１のクラッドのそれぞれ外側に配置された一对の第２のクラッドと、

を備え、前記レーザ光は前記一对の第１のクラッドの間の前記レーザ媒質を伝播し、前記励起光は前記一对の第２のクラッドの間の前記一对の第１のクラッド及び前記レーザ媒質を伝播することを特徴とする請求項２に記載の平面導波路型レーザ装置のための固体レーザ励起モジュール。

[請求項５]

前記レーザ媒質の前記一对の主面の一方の主面上に配置された第１のクラッドと、

前記第１のクラッドと前記一对の主面の他方の主面上にそれぞれ配置された一对の第２のクラッドと、

を備え、前記レーザ光は前記第１のクラッドと前記一对の第２のクラッドの一方の間の前記レーザ媒質を伝播し、前記励起光は前記一对の第２のクラッドの間の前記第１のクラッド及び前記レーザ媒質を伝播することを特徴とする請求項２に記載の平面導波路型レーザ装置のための固体レーザ励起モジュール。

[請求項６]

前記固体レーザ励起モジュールの前記所定方向の両端の一对の端面のうち前記励起光を導入する部分が、前記レーザ媒質の主面に垂直で前記所定方向に沿った面内で傾斜しており、前記傾斜した端面から励起光を導入することを特徴とする請求項２から５までのいずれか１項に記載の平面導波路型レーザ装置のための固体レーザ励起モジュール。

[請求項７]

前記固体レーザ励起モジュールの前記所定方向の両端の一对の端面のうち前記励起光を導入する部分が、前記レーザ媒質の主面に垂直で前記所定方向に沿った面内で傾斜しており、前記励起光を一番外側の前記クラッド又は第２のクラッドから入射させ傾斜した前記端面で反射させて導入することを特徴とする請求項２から５までのいずれか１

項に記載の平面導波路型レーザ装置のための固体レーザ励起モジュール。

[請求項8] 前記レーザ媒質の一対の側面上に設けられた全反射膜をレーザ光を反射させ励起光を透過させる狭帯域の反射膜とし、前記側面からレーザ媒質内に励起光を導入することを特徴とする請求項2から5までのいずれか1項に記載の平面導波路型レーザ装置のための固体レーザ励起モジュール。

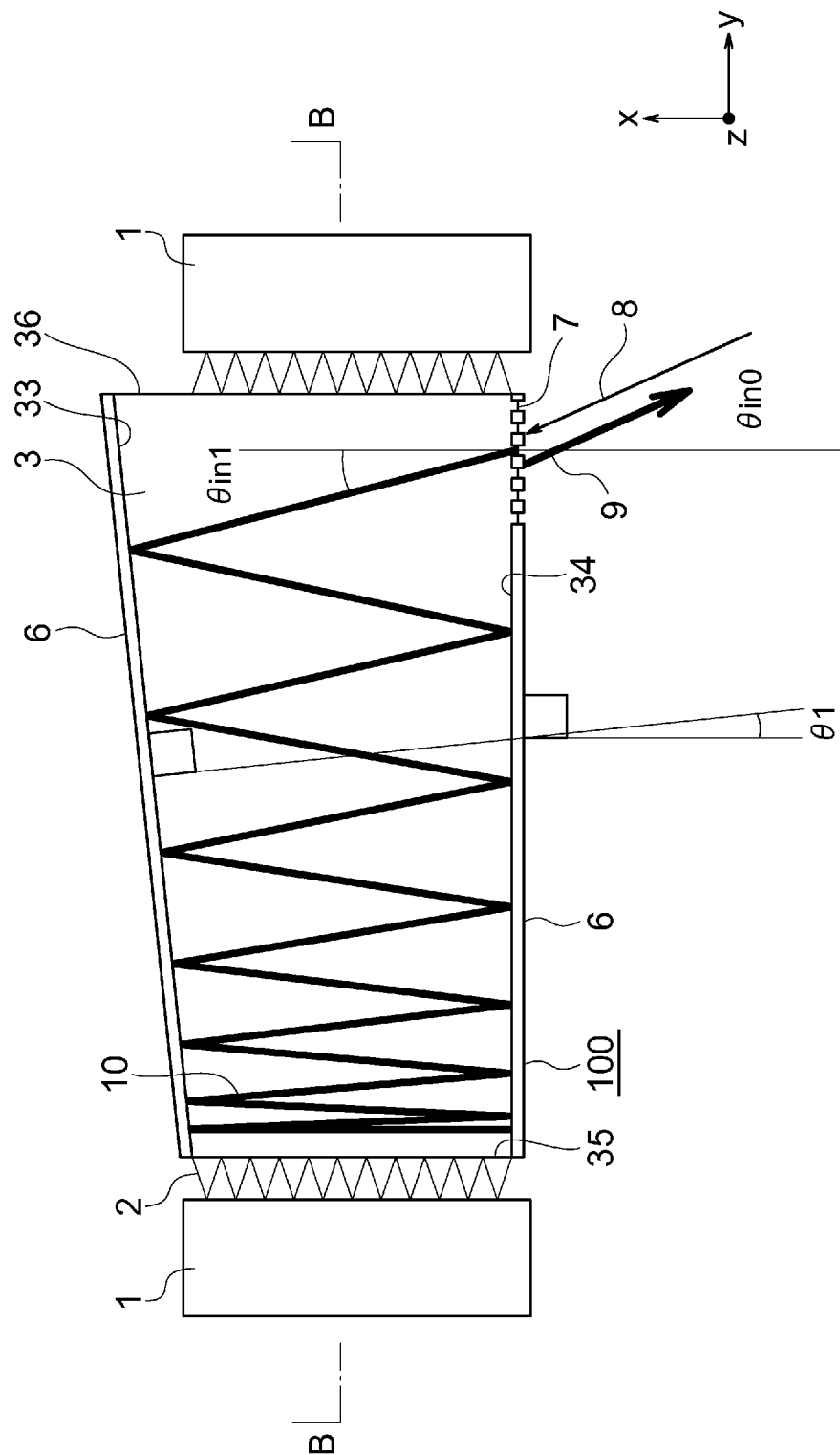
[請求項9] 前記一対の側面の側面間隔が広い側の異なる箇所に、前記レーザ光をレーザ媒質に導入する第1の反射防止膜と、前記レーザ光をレーザ媒質から出力させる第2の反射防止膜とを設けたことを特徴とする請求項2から5までのいずれか1項に記載の平面導波路型レーザ装置のための固体レーザ励起モジュール。

[請求項10] 前記励起光が前記レーザ光と略同一な光路で前記反射防止膜から導入され励起を行うことを特徴とする請求項2から5までのいずれか1項に記載の平面導波路型レーザ装置のための固体レーザ励起モジュール。

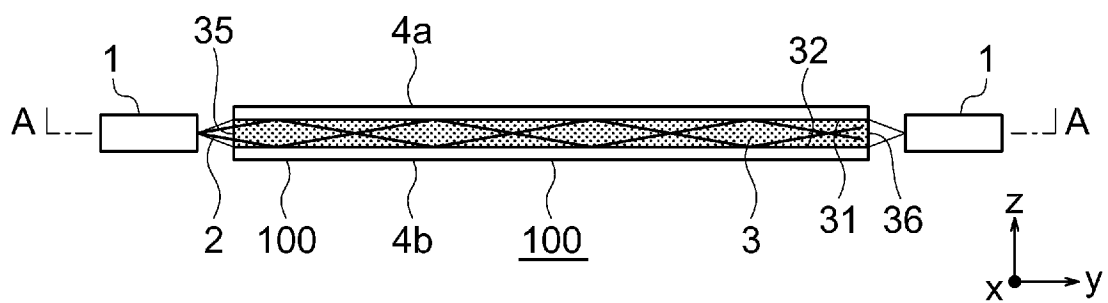
[請求項11] 前記反射防止膜に近接して配置された波長変換素子を備え、前記レーザ媒質で発生したレーザ光が前記波長変換素子を通過する際に他の波長に変換されて波長変換レーザ光を出力することを特徴とする請求項2から5までのいずれか1項に記載の平面導波路型レーザ装置のための固体レーザ励起モジュール。

[請求項12] 前記レーザ光の折り返し直前でのレーザ光の前記側面への入射角が側面に垂直にならない入射角度でレーザ光が前記反射防止膜へ入射されることを特徴とする請求項2から5までのいずれか1項に記載の平面導波路型レーザ装置のための固体レーザ励起モジュール。

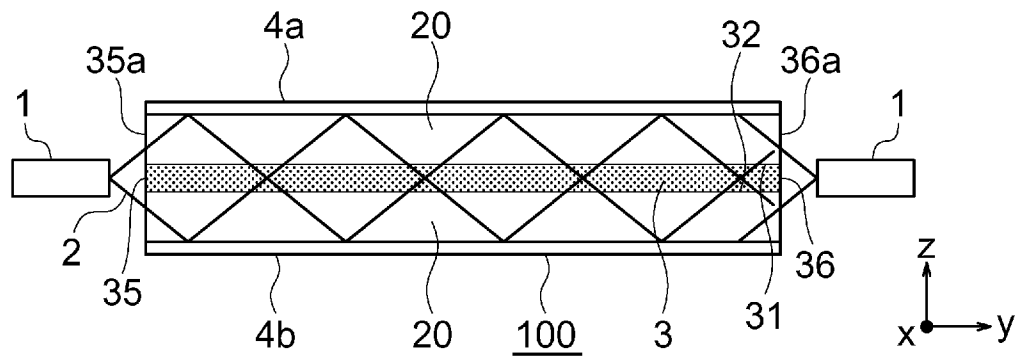
[図1]



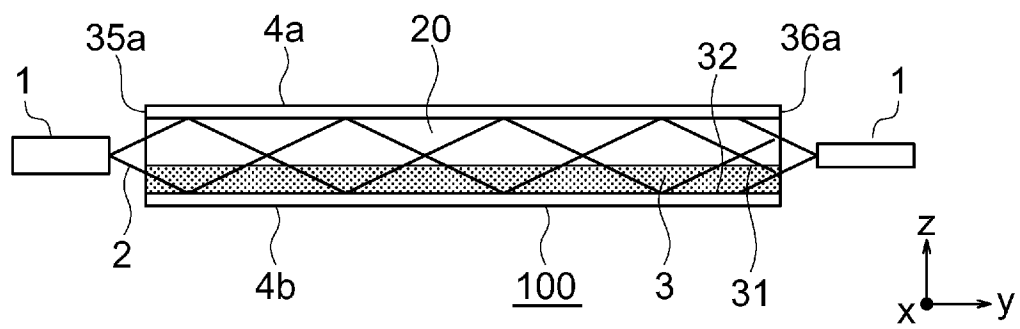
[図2]



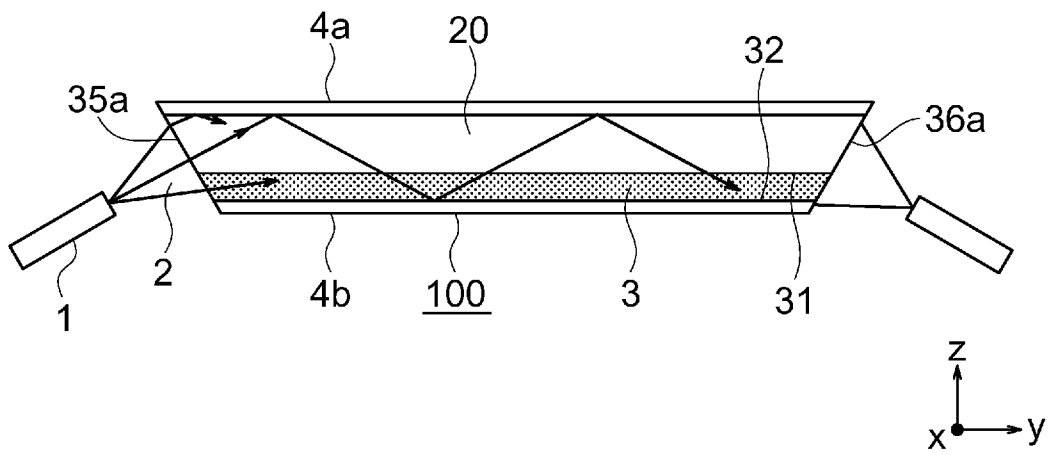
[図3]



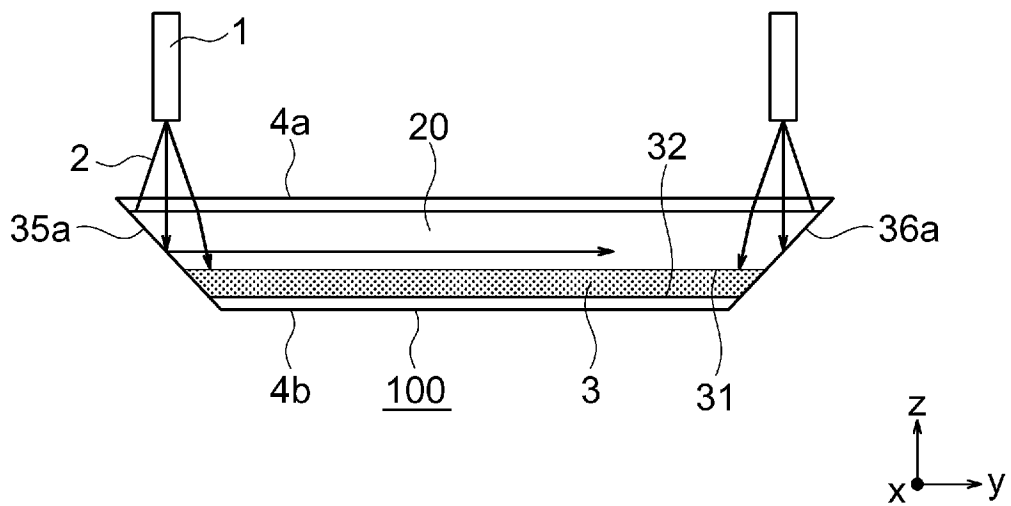
[図4]



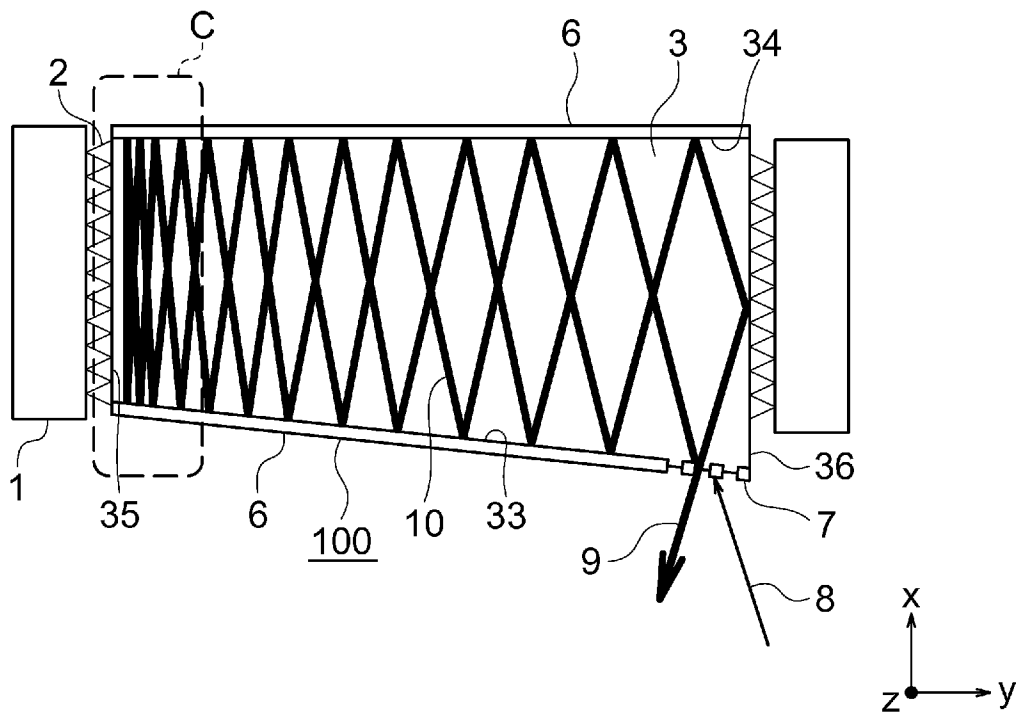
[図5]



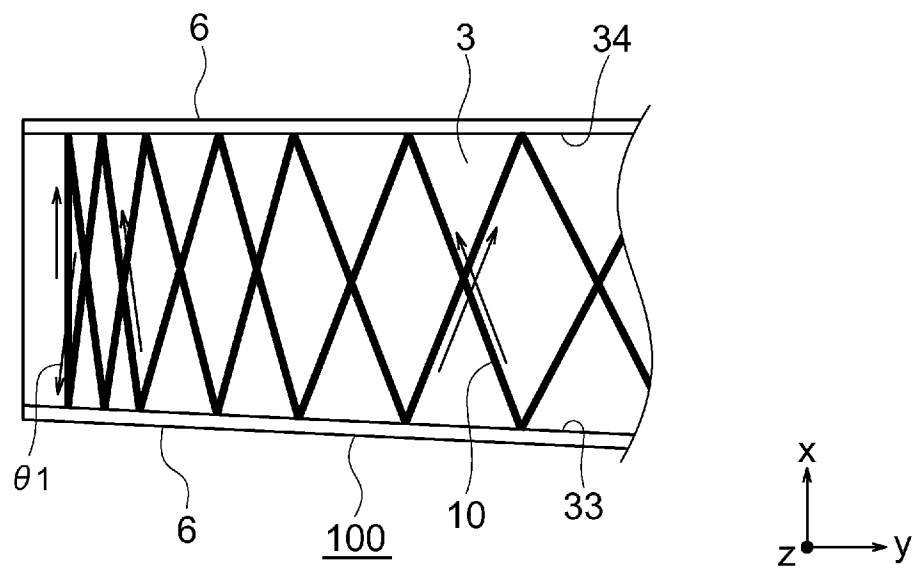
[図6]



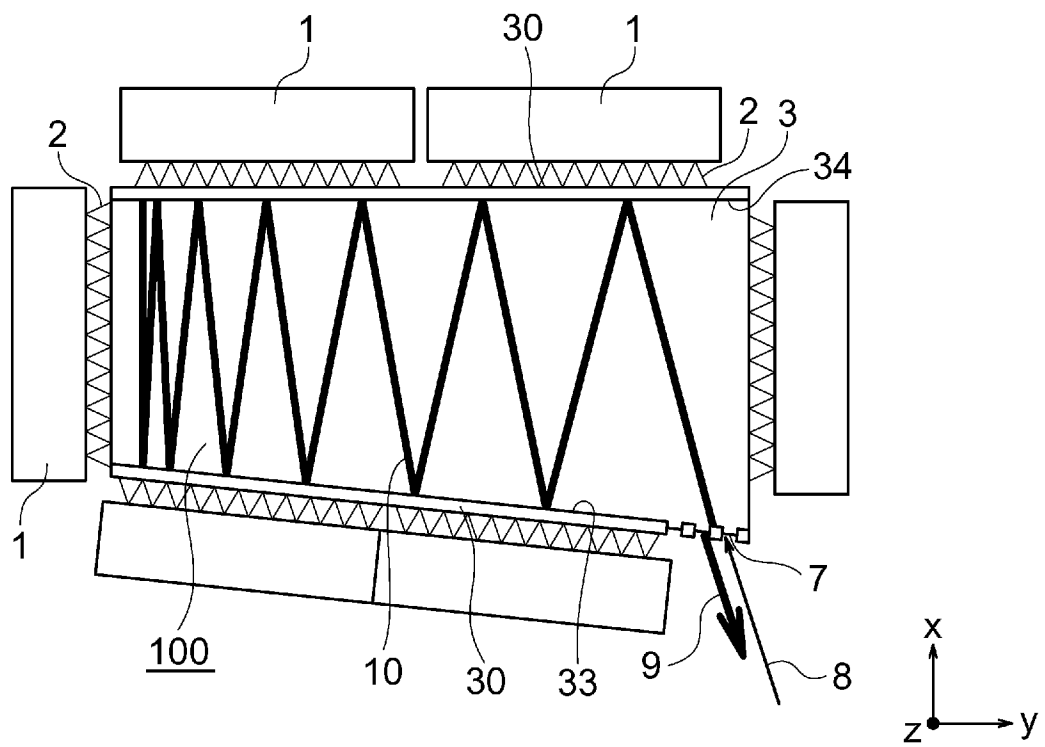
[図7]



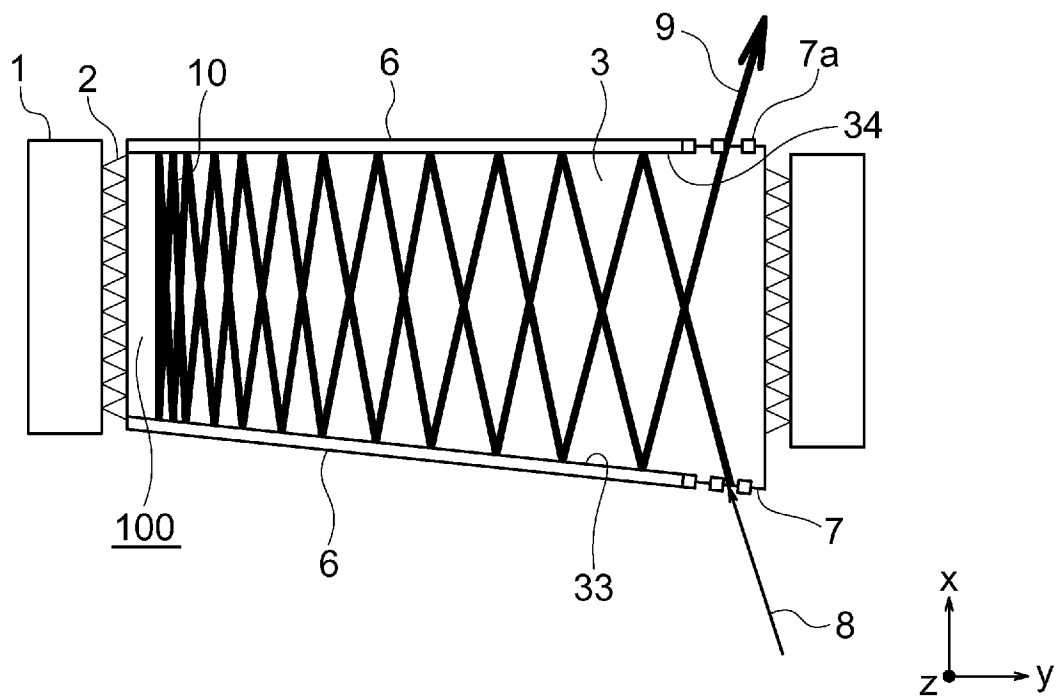
[図8]



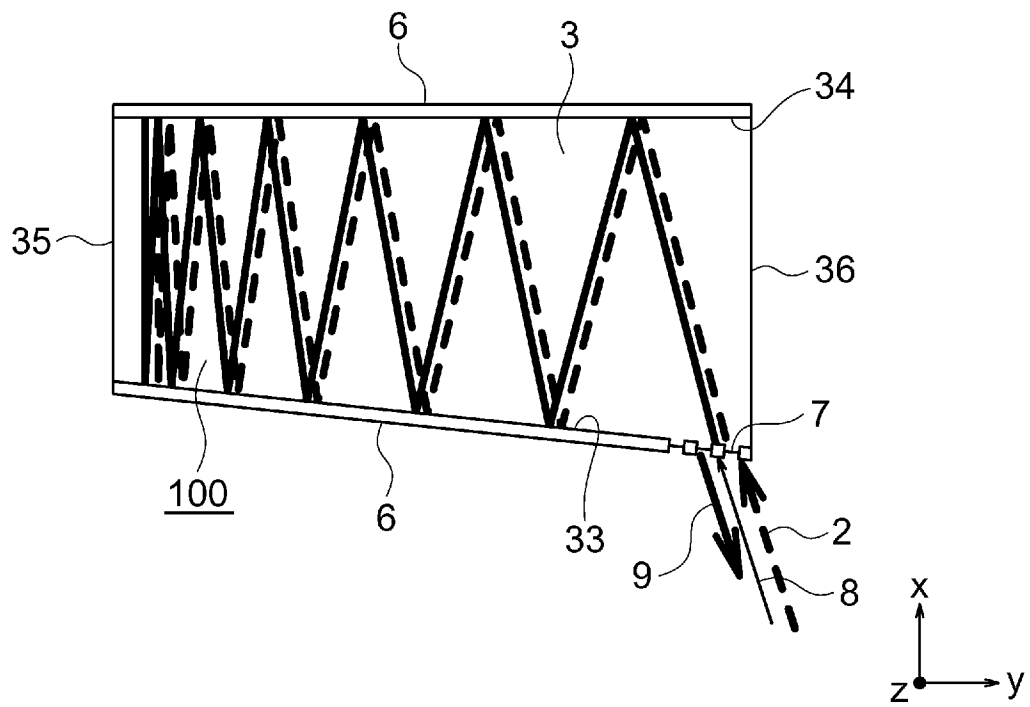
[図9]



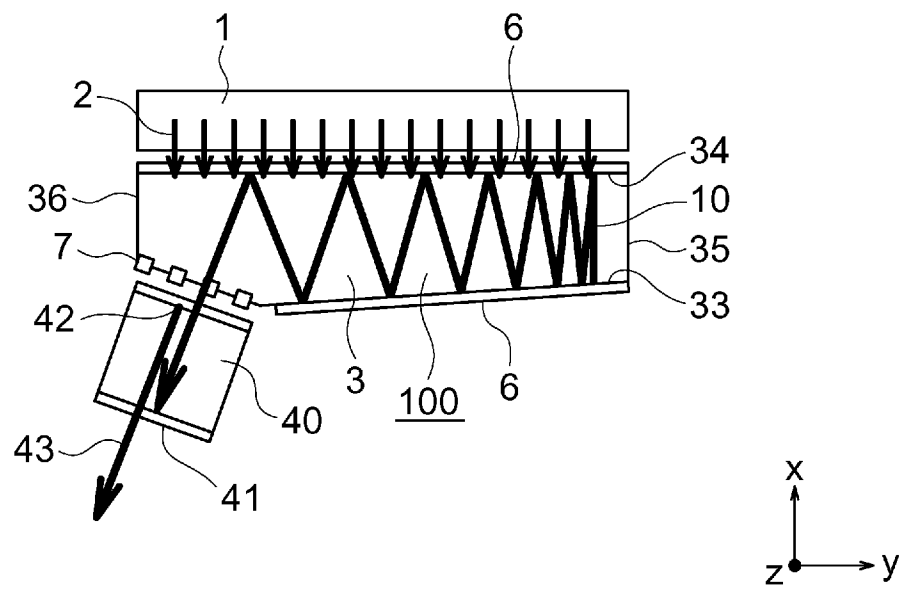
[図10]



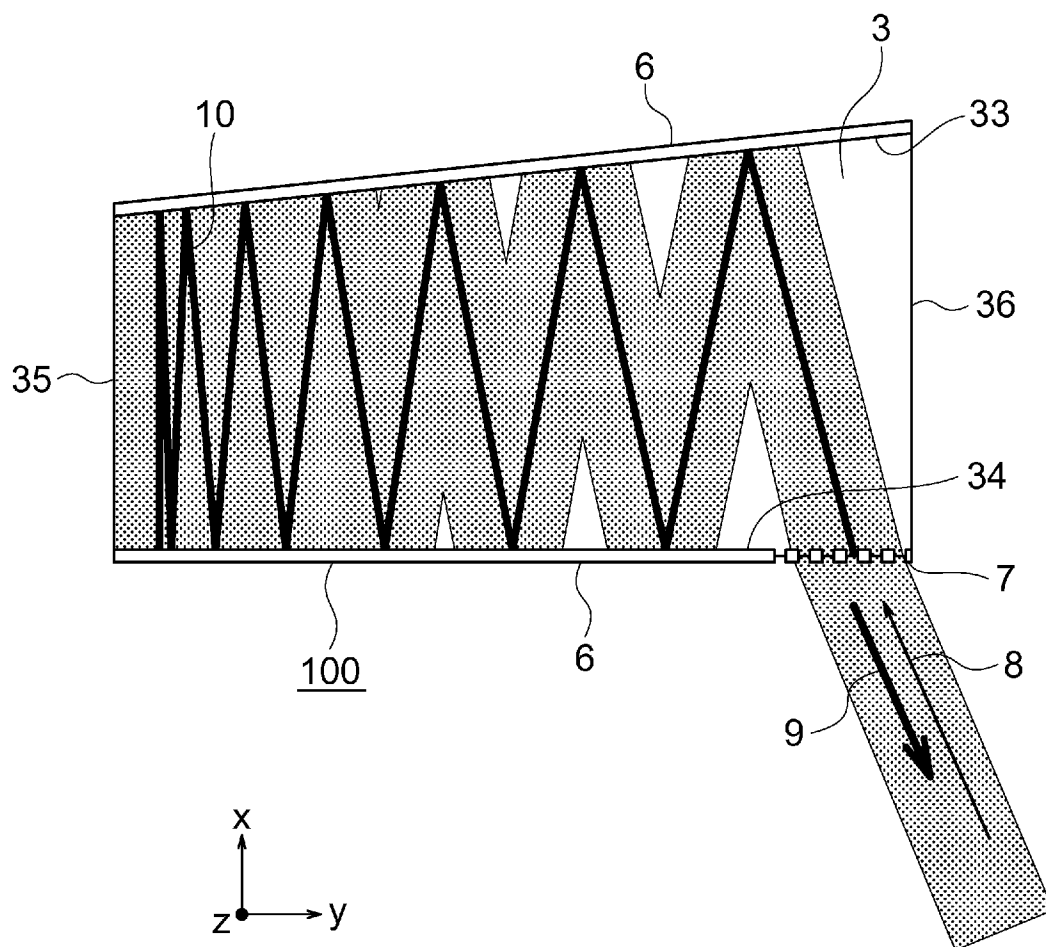
[図11]



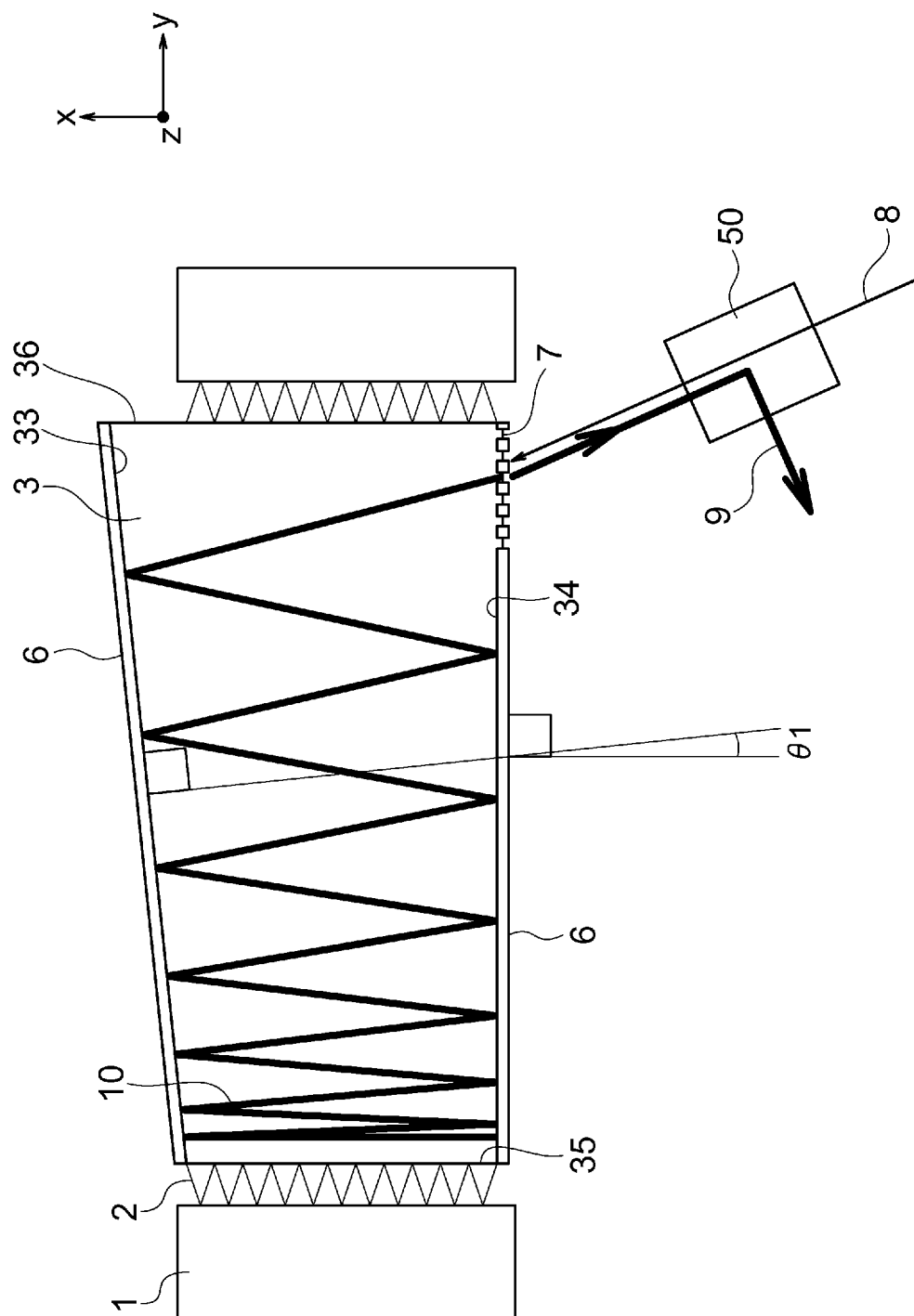
[図12]



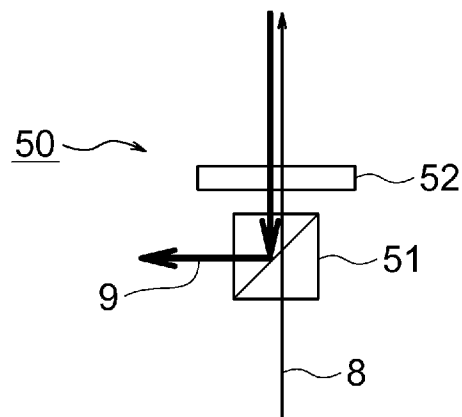
[図13]



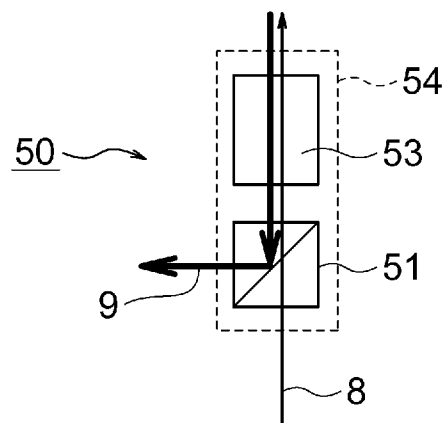
[図14]



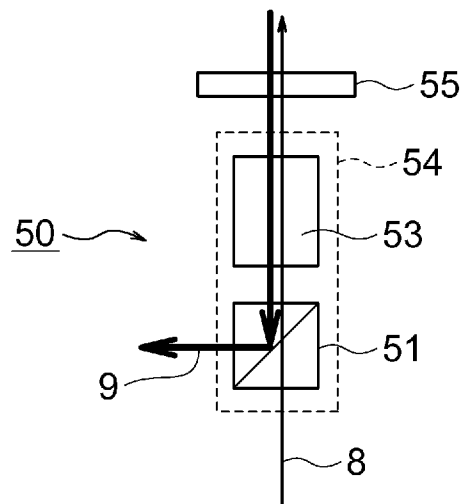
[図15]



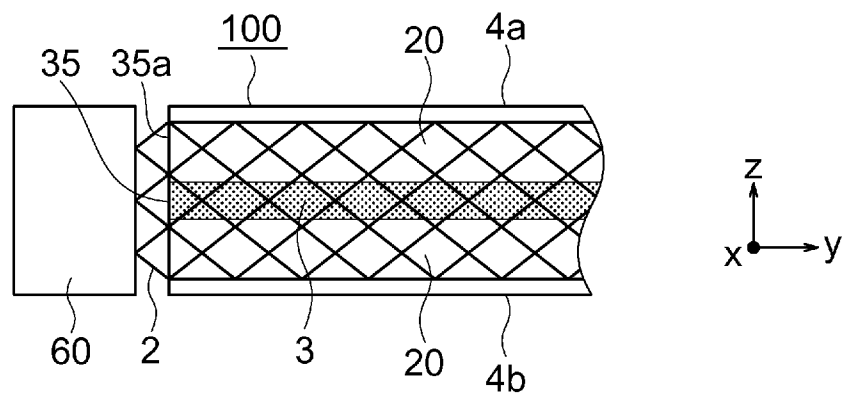
[図16]



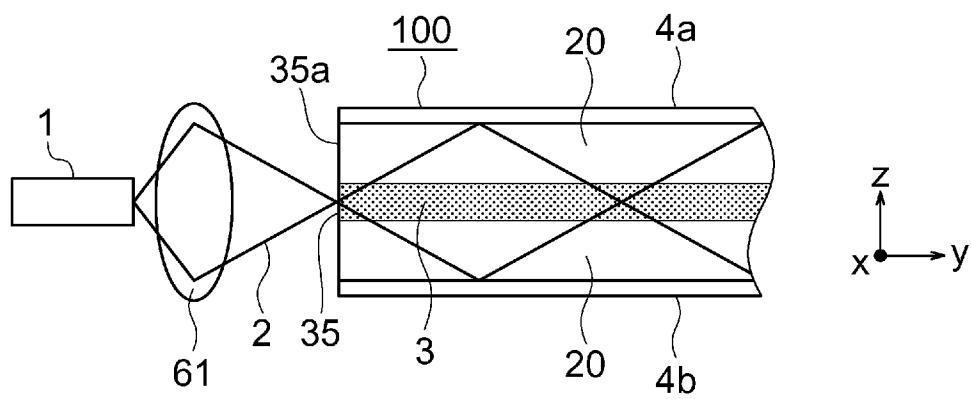
[図17]



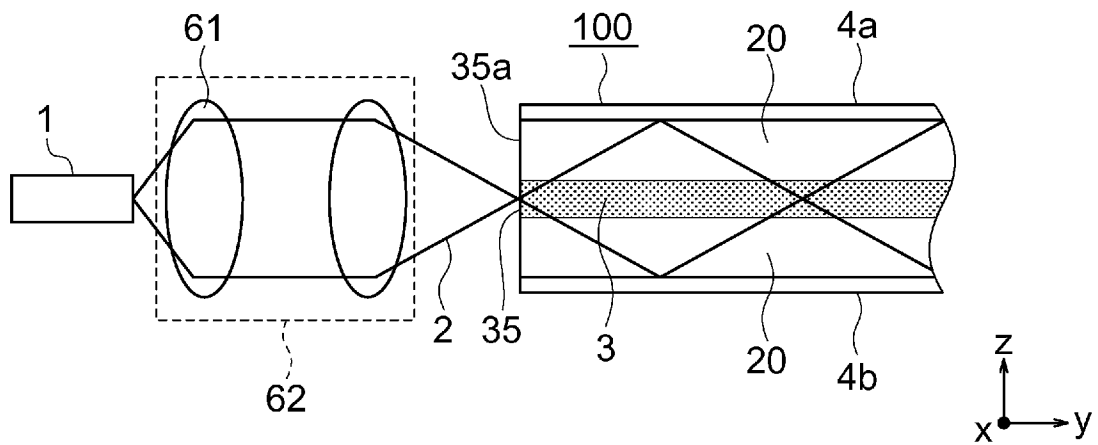
[図18]



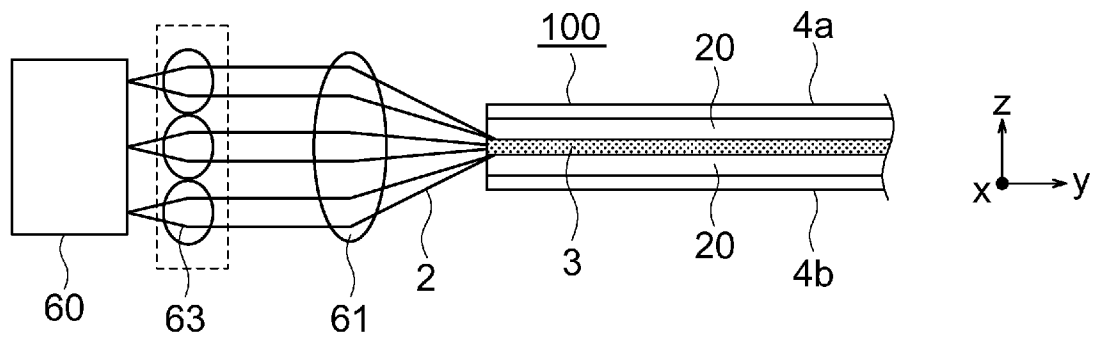
[図19]



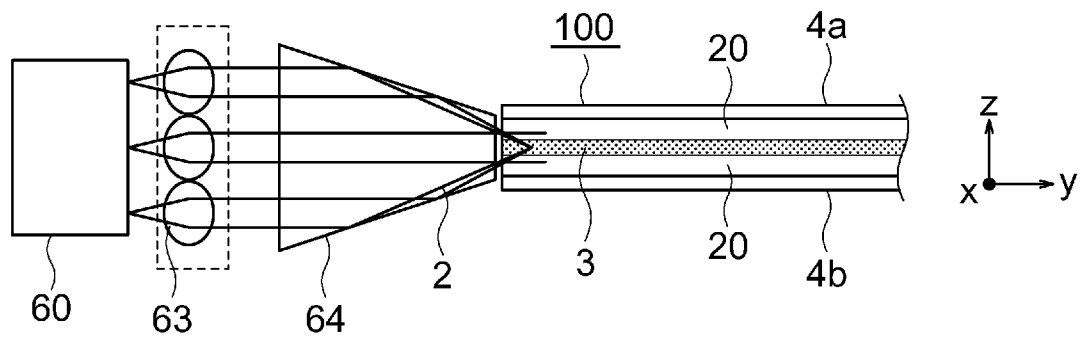
[図20]



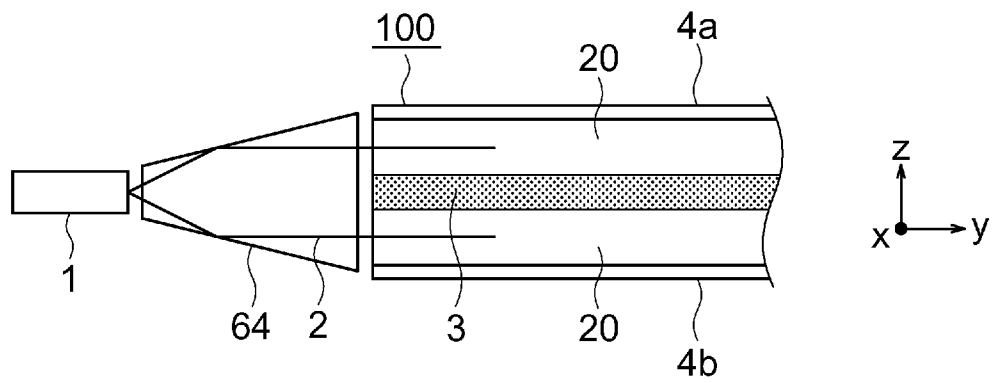
[図21]



[図22]



[図23]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2009/065577

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01S3/094(2006.01) i, 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)

H01S3/00-4/00

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	1996-2009
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2009	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2009

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

JSTPlus (JDreamII)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2003/0063884 A1 (Duane D. Smith), 03 April, 2003 (03.04.03), Par. Nos. [0139] to [0142]; Fig. 17 & US 2004/0008405 A1 & US 7193771 B1 & EP 1495519 A & EP 1391014 A & WO 2003/087876 A2 & WO 2002/033792 A2 & DE 60108174 D & DE 60108174 T & AU 3237802 A & AT 286315 T	1-12
X	JP 2002-528900 A (Commissariat A L'energie Atomique), 03 September, 2002 (03.09.02), Par. Nos. [0040] to [0075]; Fig. 2 & EP 1121732 A & WO 2000/024093 A1 & FR 2784809 A & FR 2784809 A1	1-12

☒ 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
25 September, 2009 (25.09.09)

Date of mailing of the international search report
06 October, 2009 (06.10.09)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2009/065577

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 2004/114476 A1 (Mitsubishi Electric Corp.), 29 December, 2004 (29.12.04), Page 22, lines 4, 21 to 24; Fig. 9 & US 2006/0050756 A1 & EP 1638178 A1	1-12
X	WO 2006/001063 A1 (Mitsubishi Electric Corp.), 05 January, 2006 (05.01.06), Par. No. [0042]; Fig. 6 & US 2008/0025362 A1 & EP 1770833 A1	1-12
X	JP 2008-522409 A (Manni, Jeffrey G.), 26 June, 2008 (26.06.08), Par. No. [0071]; Fig. 28 & US 2006/0114961 A1 & EP 1825576 A & WO 2006/086036 A1	1-12
X	US 3665335 A (Kiyo TOMIYASU), 23 March, 1972 (23.03.72), Column 2, line 34 to column 3, line 22; Fig. 2 (Family: none)	1-12
X	JP 2006-516817 A (High Q Laser Production GmbH), 06 July, 2006 (06.07.06), Par. Nos. [0050] to [0054]; Figs. 9 to 13 & US 2006/0193362 A1 & EP 1588461 A & WO 2004/068656 A2 & WO 2004/068656 B & DE 502004003396 D	1-12

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. H01S3/094(2006.01)i, 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. H01S3/00-4/00

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 9 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 0 9 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 0 9 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 (JDreamII)

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 請求項の番号
X	US 2003/0063884 A1 (Duane D. Smith) 2003.04.03, [0139]-[0142], FIG. 17 & US 2004/0008405 A1 & US 7193771 B1 & EP 1495519 A & EP 1391014 A & WO 2003/087876 A2 & WO 2002/033792 A2 & DE 60108174 D & DE 60108174 T & AU 3237802 A & AT 286315 T	1-12
X	JP 2002-528900 A (コミツサリア タ レネルジー アトミック) 2002.09.03, 【0040】～【0075】、FIG. 2 & EP 1121732 A & WO 2000/024093 A1 & FR 2784809 A & FR 2784809 A1	1-12

☒ 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

2 5 . 0 9 . 2 0 0 9

国際調査報告の発送日

0 6 . 1 0 . 2 0 0 9

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)

瀬川 勝久

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 請求項の番号
X	WO 2004/114476 A1 (三菱電機株式会社) 2004.12.29, 第22頁第21行～第24行第4行、図9 & US 2006/0050756 A1 & EP 1638178 A1	1-12
X	WO 2006/001063 A1 (三菱電機株式会社) 2006.01.05, [0042]、図6 & US 2008/0025362 A1 & EP 1770833 A1	1-12
X	JP 2008-522409 A (マンニ、ジェフリー、ジー) 2008.06.26, 【0071】、図28 & US 2006/0114961 A1 & EP 1825576 A & WO 2006/086036 A1	1-12
X	US 3665335 A (Kiyo Tomiyasu) 1972.03.23, 第2欄第34行～第3欄第22行、Fig.2 (ファミリーなし)	1-12
X	JP 2006-516817 A (ハイ キュー レーザー プロダクション デゼルシャフト ミット ベシュレンクテル ハフツング) 2006.07.06, 【0050】～【0054】、図9～13 & US 2006/0193362 A1 & EP 1588461 A & WO 2004/068656 A2 & WO 2004/068656 B & DE 502004003396 D	1-12