

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局(43) 国際公開日
2006年7月6日 (06.07.2006)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2006/070548 A1(51) 国際特許分類:
H01S 3/042 (2006.01)[JP/JP]; 〒4358558 静岡県浜松市市野町 1 1 2 6 番地
の 1 Shizuoka (JP).

(21) 国際出願番号: PCT/JP2005/021572

(72) 発明者; および

(22) 国際出願日: 2005年11月24日 (24.11.2005)

(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 井澤 靖和
(IZAWA, Yasukazu) [JP/JP]; 〒5670805 大阪府茨
木市橋の内 2-8-4 17 Osaka (JP). 藤田 雅之
(FUJITA, Masayuki) [JP/JP]; 〒2630029 大阪府池田
市五月丘 3 丁目 3 番地の 8-1 0 4 Osaka (JP). 時
田 茂樹 (TOKITA, Shigeki) [JP/JP]; 〒5670048 大阪
府茨木市北春日丘 4 丁目 5 番地の 1 8-A 1 0 2
Osaka (JP). 池川 恭史 (IKEGAWA, Tadashi) [JP/JP]; 〒
4358558 静岡県浜松市市野町 1 1 2 6 番地の 1 浜
松ホトニクス株式会社内 Shizuoka (JP). 川嶋 利幸
(KAWASHIMA, Toshiyuki) [JP/JP]; 〒4358558 静岡県
浜松市市野町 1 1 2 6 番地の 1 浜松ホトニクス株式
会社内 Shizuoka (JP). 菅 博文 (KAN, Hirofumi) [JP/JP];
〒4358558 静岡県浜松市市野町 1 1 2 6 番地の 1 浜
松ホトニクス株式会社内 Shizuoka (JP).

(25) 国際出願の言語: 日本語

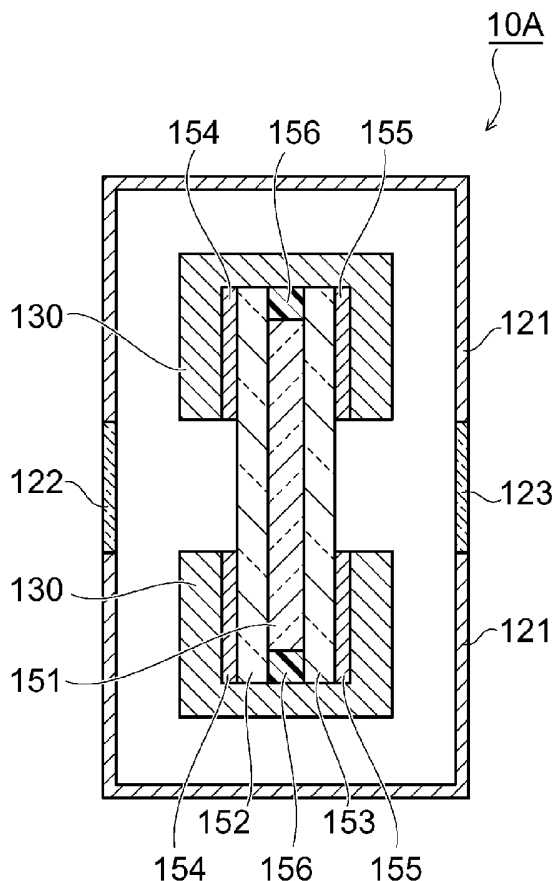
(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:
特願 2004-380393
2004年12月28日 (28.12.2004) JP(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 国立大
学法人大阪大学 (Osaka University) [JP/JP]; 〒5650871
大阪府吹田市山田丘 1 番 1 号 Osaka (JP). 浜松ホト
ニクス株式会社 (HAMAMATSU PHOTONICS K.K.)

/ 続葉有 /

(54) Title: SOLID LASER MODULE, OPTICAL AMPLIFIER, AND LASER OSCILLATOR

(54) 発明の名称: 固体レーザモジュール、光増幅器及びレーザ発振器



(57) Abstract: A solid laser module etc. having a structure that enables to obtain a high-quality light output. The solid laser module has a vacuum container with a window, and a heat sink, a solid laser medium, and a pair of transparent members are received in an integrally assembled state in the container. The solid laser medium and the pair of transparent members are each formed in a disc shape, and the solid laser medium is sandwiched between the pair of transparent members. The thermal conductivity of each of the pair of transparent members is higher than the thermal conductivity of the solid laser medium. The heat sink is shaped to simultaneously hold portions of the pair of transparent members that hold the solid laser medium in between. A heat insulation region having a lower thermal conductivity than the solid laser medium is provided between the heat sink and the solid laser medium.

(57) 要約: この発明は、高品質の光出力を得ることを可能にするための構造を備えた固体レーザモジュール等に関する。当該固体レーザモジュールは、ウィンドウを有する真空容器を備え、この真空容器内に、ヒートシンク、固体レーザ媒質、一対の透明部材が一体的に組み立てられた状態で収納されている。固体レーザ媒質及び一対の透明部材は、それぞれディスク形状を有し、固体レーザ媒質を一対の透明部材が挟んでいる。一対の透明部材それぞれの熱伝導率は、固体レーザ媒質の熱伝導率より高い。ヒートシンクは、固体レーザ媒質を間に挟んだ一対の透明部材の一部を同時に把持する形状を有し、このヒートシンクと固体レーザ媒質との間に、固体レーザ媒質の熱伝導率より低い熱伝導率を有する断熱領域が設けられている。



(74) 代理人: 長谷川 芳樹, 外(HASEGAWA, Yoshiki et al.);
〒1040061 東京都中央区銀座一丁目 10 番 6 号銀座
ファーストビル 創英国際特許法律事務所 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, BR,
BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM,
DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU,
ID, IL, IN, IS, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LC, LK, LR,
LS, LT, LU, LV, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX,
MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU,
SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT,
TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, 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 (AT, BE, BG,
CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE,
IS, IT, LT, LU, LV, MC, 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).

添付公開書類:

— 国際調査報告書

2 文字コード及び他の略語については、定期発行される
各 PCT ガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語
のガイダンスノート」を参照。

明 細 書

固体レーザーモジュール、光増幅器及びレーザー発振器

技術分野

- [0001] この発明は、励起光の照射により内部で放出光を発生させる固体レーザー媒質を含む固体レーザーモジュール、該固体レーザーモジュールを含む光増幅器、及び該固体レーザーモジュールを含むレーザー発振器に関するものである。

背景技術

- [0002] 固体レーザー媒質を含む光増幅器は、励起光源から出力された励起光を固体レーザー媒質に照射することにより、固体レーザー媒質に含まれる活性元素（例えば希土類元素又は遷移金属元素）を励起する。このとき、固体レーザー媒質内では誘導放出現象により所定波長の放出光が発生する。また、レーザー発振器は、このような光増幅器及び共振器により構成される。例えば、固体レーザー媒質がYb添加YAGである場合、励起光源はレーザーダイオードであり、増幅し得る光の波長は1030nmである。
- [0003] このような構造を有する光増幅器又はレーザー発振器では、動作時に固体レーザー媒質が発熱する。そのため、安定した動作を得るとともに高品質の光出力を得るには、固体レーザー媒質を放熱又は冷却する必要がある。例えば、特許文献1に開示されたレーザー発振器は、活性元素を含まない多結晶質透明セラミックと、該多結晶質透明セラミックに接した固体レーザー媒質（活性元素が添加された多結晶質透明セラミック）と、これらを同時に把持するよう設けられたヒートシンクとで構成された固体レーザーモジュールを備える。このような構成を有する固体レーザーモジュールによれば、固体レーザー媒質で発生した熱は活性元素を含まない多結晶質透明セラミックやヒートシンクを伝搬し、該固体レーザー媒質の温度上昇が抑制される。

特許文献1:特開2002-57388号公報

発明の開示

発明が解決しようとする課題

- [0004] 発明者らは、上述の従来技術について検討した結果、以下のような課題を発見した。すなわち、特許文献1に開示されたレーザー発振器であっても、固体レーザー媒質の放

熱又は冷却は不十分であり、高品質の光出力が得られない場合があった。

- [0005] この発明は上述のような課題を解決するためになされたものであり、高品質の光出力を得るための構造を備えた固体レーザーモジュール、該固体レーザーモジュールを含む光増幅器、及び該固体レーザーモジュールを含むレーザー発振器を提供することを目的としている。

課題を解決するための手段

- [0006] この発明に係る固体レーザーモジュールは、固体レーザー媒質と、該固体レーザー媒質を直接挟むよう配置された第1及び第2部材と、ヒートシンクと、固体レーザー媒体とヒートシンクとの間に設けられた断熱領域とを備える。
- [0007] 上記固体レーザー媒質は、第1波長の励起光により励起される活性元素が添加され、照射された該励起光に応答して内部で第2波長の放出光を発生させる。上記第1部材は、固体レーザー媒質の第1主面に直接接した状態で設けられる。また、第1部材は、励起光及び放出光の双方に対して透明な材料からなるとともに固体レーザー媒質よりも高い熱伝導率を有する。上記第2部材は、固体レーザー媒質の第1主面と対向する第2主面に直接接した状態で設けられる。また、第2部材は、励起光及び放出光の双方に対して透明な材料からなるとともに固体レーザー媒質よりも高い熱伝導率を有する。上記ヒートシンクは、固体レーザー媒質を間に挟んだ第1及び第2部材それぞれの少なくとも一部を、該固体レーザー媒質から所定距離離間した状態で把持するよう配置される。上記断熱領域は、第1主面と第2主面とを連絡している固体レーザー媒質の側面と、ヒートシンクとの間に設けられており、該固体レーザー媒質よりも低い熱伝導率を有する。なお、固体レーザー媒質とヒートシンクとの間に設けられた断熱領域は、固体又は液体であってもよいし、空気その他の気体であってもよいし、真空であってもよい。
- [0008] さらに、固体レーザー媒質の第1主面に少なくとも一部が接する第1部材の面は、該第1主面よりも広い面積を有するのが好ましい。同様に、固体レーザー媒質の第2主面に少なくとも一部が接する第2部材の面も、該第2主面よりも広い面積を有するのが好ましい。この構成により、第1及び第2部材は、固体レーザー媒質の側面とヒートシンクとの間隔を規定するためのスペーサとして機能する。
- [0009] この発明に係る固体レーザーモジュールは、ヒートシンクを冷却するための冷却装置

をさらに備えるのが好ましい。また、ヒートシンクを加熱するための加熱装置がさらに設けられてもよい。また、この発明に係る固体レーザーモジュールは、内部が所定の真空度まで減圧された密閉容器を備えてもよい。この密閉容器は、少なくとも、固体レーザー媒質、第1部材及び第2部材を収納する空間を有するとともに、励起光及び放出光を透過させるためのウィンドウを有するのが好ましい。

[0010] この発明に係る固体レーザーモジュールにおいて、固体レーザー媒質の第1及び第2主面にそれぞれ直接接触した状態で配置された第1及び第2部材は、いずれも固体レーザー媒質よりも高い熱伝導率を有する。また、固体レーザー媒質の側面とヒートシンクとの間に設けられた断熱領域は、固体レーザー媒質よりも低い熱伝導率を有する。このことから、励起光照射により固体レーザー媒質内で発生した熱は、固体レーザー媒質の両主面に接している部材へ伝えられ、さらにヒートシンクへ伝導していく。一方、固体レーザー媒質の側面からヒートシンク側へ伝導していく熱量は僅かである。したがって、固体レーザー媒質への励起光照射に起因した熱レンズ効果が低減され、固体レーザー媒質から出力される誘導放出光の波面の乱れが効果的に抑制される。その結果、高品質の光出力が得られる。また、ヒートシンクを冷却するための冷却装置や、ヒートシンクを加熱するための加熱装置が設けられた場合、固体レーザー媒質の温度が適切に設定されるため、好適な条件の下で固体レーザー媒質における光増幅が可能になる。また、固体レーザー媒質等を内部に収納する真空容器が設けられた場合、固体レーザー媒質等の結露が防止される。

[0011] この発明に係る光増幅器は、上述のような構造を有する固体レーザーモジュール(この発明に係る固体レーザーモジュール)と、該固体レーザーモジュールに含まれる固体レーザー媒質に励起光を照射するための励起光源とを備える。当該光増幅器では、励起光源から照射された励起光により固体レーザー媒質内の活性元素が励起される。このように活性元素が励起されている間に固体レーザー媒質に入射した所定波長の光は固体レーザー媒質において増幅される。当該光増幅器では、固体レーザー媒質を含む固体レーザーモジュールが上述のような構造を有するため、高品質かつ高出力の増幅光が得られる。

[0012] この発明に係るレーザー発振器は、上述のような構造を有する固体レーザーモジュール

(この発明に係る固体レーザーモジュール)と、該固体レーザーモジュールに含まれる固体レーザー媒質に励起光を照射する励起光源と、該固体レーザーモジュールに含まれる固体レーザー媒質が共振光路上に配置された共振器とを備える。当該レーザー発振器では、励起光源から照射された励起光が固体レーザー媒質内の活性元素を励起することで、該固体レーザー媒質内で誘導放出現象が生じる。このとき発生した誘導放出光が共振器の共振光路上を往復することにより、該共振器からレーザー光が得られる。また、当該レーザー発振器では、固体レーザー媒質を含む固体レーザーモジュールが上述のような構造を有するため、高品質かつ高出力のレーザー光が得られる。

[0013] なお、この発明に係る各実施例は、以下の詳細な説明及び添付図面によりさらに十分に理解可能となる。これら実施例は単に例示のために示されるものであって、この発明を限定するものと考えるべきではない。

[0014] また、この発明のさらなる応用範囲は、以下の詳細な説明から明らかになる。しかしながら、詳細な説明及び特定の事例はこの発明の好適な実施例を示すものではあるが、例示のためにのみ示されているものであって、この発明の思想及び範囲における様々な変形及び改良はこの詳細な説明から当業者には自明であることは明らかである。

発明の効果

[0015] この発明に係る固体レーザーモジュールによれば、固体レーザー媒質の適切な温度調整を可能にするための構造を備えるため、当該固体レーザーモジュールが適用される光増幅器、レーザー発振器等では、高品質かつ高パワーの光出力が得られる。

図面の簡単な説明

[0016] [図1]は、この発明に係る固体レーザーモジュールの一実施例の全体構成を示す図である。

[図2]は、この発明に係る固体レーザーモジュールの一実施例に含まれるヒートシンクの構成を示す図である。

[図3]は、この発明に係る固体レーザーモジュールの一実施例における主要部の構成を示す断面図である。

[図4]は、この発明に係る固体レーザーモジュールの一実施例における主要部の構成

を説明するための組立工程図である。

[図5]は、この発明に係る固体レーザモジュールの一実施例に含まれる固体レーザ媒質の動作時温度分布である。

[図6]は、この発明に係る固体レーザモジュールの一実施例に含まれる固体レーザ媒質の、励起光吸収パワーと熱レンズの度との関係を示す図である。

[図7]は、この発明に係る光増幅器の一実施例の構成を示す図である。

[図8]は、この発明に係るレーザ発振器の第1実施例の構成を示す図である。

[図9]は、この発明に係るレーザ発振器の第2実施例の構成を示す図である。

符号の説明

[0017] 1…光増幅器、2、3…レーザ発振器、10…固体レーザモジュール、10A…固体レーザモジュール要部、11a、11b…レーザダイオード、12a、12b…光ファイバ、13a、13b…出射端、14a、14b…レンズ系、15a、15b…ミラー、21…リアミラー、22…出力ミラー、31…1/2波長板、32…偏光板、33…ポッケルスセル、34…ミラー、101…基盤、102、103…支持部、104…真空ポンプ、105…排気管、111…第1液体窒素保存タンク、112…第2液体窒素保存タンク、113…冷却装置外壁、114、115…液体窒素注入口、116…ニードル弁、117…排気口、121…真空容器、122、123…ウィンドウ、130…ヒートシンク、131…ヒートシンク本体、132…押え板、133、134、135…ねじ穴、136、137…貫通孔、138…内部空間、141…温度コントローラ、142…ヒータ、143…熱電対、151…固体レーザ媒質、152、153…透明部材、154、155…インジウム箔、156…断熱部材。

発明を実施するための最良の形態

[0018] 以下、この発明に係る固体レーザモジュール、光増幅器及びレーザ共振器の各実施例を、図1～図11を用いて詳細に説明する。なお、図面の説明において、同一部位、同一要素には同一符号を付して重複する説明を省略する。また、図面の寸法比率は説明のものと必ずしも一致しておらず、各要素の寸法や材質等は一例にすぎない。

[0019] まず、この発明に係る固体レーザモジュールの一実施例について説明する。図1は、この発明に係る固体レーザモジュールの一実施例の構成を示す図である。この図1

に示された固体レーザモジュール10は、基盤101及び支持部102、103により支持されており、真空ポンプ104、第1液体窒素保存タンク111、第2液体窒素保存タンク112、冷却装置外壁113、真空容器121、ヒートシンク130及び温度コントローラ141等を備える。なお、真空容器121は、所定の真空度にまで内部が減圧された密閉容器を意味する。また、真空容器121内に収納された固体レーザモジュール10の主要部については後述する。

[0020] 冷却装置外壁113は、基盤101に対して固定された支持部102、103により支持されている。また、この冷却装置外壁113は、例えばステンレスからなり、その内部に第1液体窒素保存タンク111及び第2液体窒素保存タンク112が設けられている。第1液体窒素保存タンク111は、冷却装置外壁113の上蓋に固定されており、この上蓋を貫通する液体窒素注入口114、115が設けられている。これら液体窒素注入口114、115を介して液体窒素が内部に注入され、あるいは、気化した窒素が外部へ排出される。

[0021] 第2液体窒素保存タンク112は、第1液体窒素保存タンク111の下方に配置され、ニードル弁116の先端が挿入される微小孔を介して第1液体窒素保存タンク111と連絡している。なお、ニードル弁116の先端が微小孔に挿入されて微小孔が塞がっている間、第2液体窒素保存タンク112は第1液体窒素保存タンク111と分離されている。一方、ニードル弁116の先端が微小孔に挿入されていない間、第2液体窒素保存タンク112は第1液体窒素保存タンク111と連絡し、第1液体窒素保存タンク111の内部にある液体窒素が第2液体窒素保存タンク112の内部に注入される。そのときの注入量は、ニードル弁116の位置により調整可能である。また、第2液体窒素保存タンク112は、排気口117が設けられており、この排気口117を介して気化した窒素が外部へ排出される。

[0022] 真空容器121及びヒートシンク130は、第2液体窒素保存タンク112の下方に設けられている。ヒートシンク130を含む固体レーザモジュール10の主要部は、真空容器121の内部に配置されている。ヒートシンク130には内部空間が設けられ、この内部空間が第2液体窒素保存タンク112の内部空間と連絡している。このヒートシンク130の内部空間に液体窒素が流入することで、ヒートシンク130が冷却される。ヒートシン

ク130にはヒータ142及び熱電対が設けられており、これらヒータ142及び熱電対は温度コントローラ141に接続されている。温度コントローラ141は、熱電対により測定されたヒートシンク130の温度をモニタし、また、ヒータ142に通電することでヒートシンク130の温度を上昇させる。

[0023] 第1液体窒素保存タンク111及び第2液体窒素保存タンク112と冷却装置外壁113との間の空間は、真空容器121の内部空間と連絡しており、また、排気管105を介して真空ポンプ104に連結されている。これらの空間が真空ポンプ104により真空(所定の真空度)に保持されることにより、液体窒素による冷却時の結露が防止される。また、第1液体窒素保存タンク111又は第2液体窒素保存タンク112は断熱される。

[0024] 図2は、この発明に係る固体レーザモジュールの一実施例に含まれるヒートシンクの構成を示す図である。この図2において、領域(a)はヒートシンク130の正面図、領域(b)はヒートシンク130の側面図、領域(c)はヒートシンク130の平面図をそれぞれ示す。ヒートシンク130は、ヒートシンク本体131と押え板132とから構成されている。ヒートシンク本体131は、略矩形状の部分と円柱状の上部とを備え、円柱状の上部には8個のネジ穴133が設けられている。この構成によりヒートシンク本体131は第2液体窒素保存タンク112の底面にネジ止めされる。なお、このとき、ヒートシンク本体131の円柱状の上部と第2液体窒素保存タンク112の底面との間の密着度を高めるため(熱伝導をよくするため)、両者間に例えば厚さ100 μ mのインジウム箔が挟み込まれるのが好ましい。この場合、このインジウム箔はヒートシンク130の一構成要素である。

[0025] ヒートシンク本体131の略矩形状の部分における下側には4個のネジ穴134及び貫通孔136が設けられている。一方、押え板132にも4個のネジ穴135及び貫通孔137が設けられている。これらヒートシンク本体131及び押え板132は、ネジ穴134、135により互いにネジ止めされる。このネジ止めは、貫通孔136、137が互いに同じ位置に重なるよう行われ、このとき、固体レーザ媒質等がヒートシンク本体131及び押え板132によって挟まれる。

[0026] ヒートシンク本体131の周囲には、ヒータ142が巻き付けられ、また、熱電対143が設けられている。これらヒータ142及び熱電対143は、温度コントローラ141に接続さ

れている。また、ヒートシンク本体131には、上部が開放されている内部空間138が設けられている。ヒートシンク本体131が第2液体窒素保存タンク112の底面にネジ止めされているとき、ヒートシンク本体131の内部空間138は、第2液体窒素保存タンク112の内部空間と連絡しており、第2液体窒素保存タンク112から液体窒素が流入し得る。

[0027] ヒートシンク本体131及び押え板132は、熱伝導率が高い媒質、例えば銅などの金属からなるのが好ましい。ヒートシンク本体131の円柱状の上部は、例えば、40mmの直径と、5mmの厚みを有する。一方、ヒートシンク本体131における矩形状の部分の下側は、例えば、縦50mm、幅15mm、厚み7mmである。押え板132の形状は例えば15mm×15mm×厚み2mmである。貫通孔136、137の形状は例えば直径2mmの円形である。内部空間138の上部開放部の形状は例えば10mm×3mmの矩形である。ヒータ142は、例えば、電気抵抗合金マンガン製であり、最大供給電力が40Wである。液体窒素による冷却及びヒータ142による加熱により、ヒートシンク130の温度は例えば77K～300Kの範囲で設定可能である。

[0028] 図3は、この発明に係る固体レーザモジュールの主要部の構造を示す断面図であり、この図3には、図2に示された貫通孔136、137の中心軸を含む断面が示されている。また、図4は、この発明に係る固体レーザモジュールの主要部の構成を示す組立工程図である。固体レーザモジュールの主要部は、ウィンドウ122、123を有する真空容器121の内部に、ヒートシンク130、固体レーザ媒質151、第1部材152、第2部材153、インジウム箔154、インジウム箔155及び断熱部材156を収納したものである。インジウム箔154、第1部材152、固体レーザ媒質151、第2部材153及びインジウム箔155は、それぞれディスク形状を有し、この順に積層されている。インジウム箔154、155は、中央に開口が設けられている。

[0029] 固体レーザ媒質151は、第1主面と該第1主面に対向する第2主面を有し、所定は長の励起光により励起される活性元素が添加されている。この固体レーザ媒質151は、励起光の照射により内部に誘導放出光を発生させる。固体レーザ媒質151の第1主面には直接接触した状態で第1部材152が設けられ、固体レーザ媒質151の第2主面には直接接触した状態で第2部材153が設けられている。固体レーザ媒質151、

第1部材152、第2部材153それぞれの主面のうち相互に接する主面は、互いの密着度がよくなるように、光学研磨されているのが好ましい。第1及び第2部材152、153は、活性元素が添加されておらず、上記励起光及び上記誘導放出光の双方に対して透明な材料からなる。以下、これら第1及び第2部材152、153を透明部材という。ウィンドウ122、123も、上記励起光及び上記誘導放出光の双方を透過させることができる。透明部材152、153及びウィンドウ122、123それぞれの主面には、上記励起光及び上記誘導放出光それぞれの波長における反射を低減するための誘電体多層膜フィルタが形成されるのが好ましい。

[0030] 固体レーザ媒質151の4つの側面には、これら側面とヒートシンク130との間に設けられた断熱領域として、4つの側面に直接接するよう断熱部材156が設けられている。ヒートシンク130は、固体レーザ媒質151に接することなく、透明部材152及び透明部材153それぞれの主面及び側面に接する形状を有している。なお、透明部材152、153とヒートシンク130との間の密着度を高めるため(熱伝導をよくするため)、透明部材152とヒートシンク130との間に例えば厚さ100 μ mのインジウム箔154が設けられる一方、透明部材153とヒートシンク130との間に例えば厚さ100 μ mのインジウム箔155が設けられるのが好ましい。この場合、これらインジウム箔152、153はヒートシンク130の一部を構成する。

[0031] 透明部材152、153それぞれの熱伝導率は、固体レーザ媒質151の熱伝導率より高い。また、固体レーザ媒質151の側面とヒートシンク130との間に設けられた断熱部材156の熱伝導率は、固体レーザ媒質151の熱伝導率より低い。

[0032] 固体レーザ媒質151は、例えば、25at%のYb元素が添加されたYAGからなり、3 mm $\times$ 3 mm $\times$ 0.8 mmの寸法を有する。透明部材152、153それぞれは、例えばサファイアガラスからなり、6 mm $\times$ 6 mm $\times$ 1.5 mmの寸法を有する。インジウム箔154、155それぞれの開口は、例えば直径2 mmの円形である。断熱部材156は、例えば、テフロン(登録商標)等の樹脂からなり、幅1 mm、厚さ0.8 mmを有する。また、断熱部材156は、シリコンポッティングにより固体レーザ媒質151の側面に接着される。

[0033] なお、透明部材152、153の主面寸法(上述の例では6 mm $\times$ 6 mm)と比べて、固体レーザ媒質151及び断熱部材156の全体の主面寸法(上述の例では5 mm $\times$ 5 mm)

m)が小さすぎると、熱歪みによって両者間に隙間ができる可能性がある。この場合、固体レーザー媒質151から透明部材152、153への熱伝導の効率が低下してしまう。したがって、透明部材152、153の主面寸法は、固体レーザー媒質151及び断熱部材156の全体の主面寸法と同程度であるのが好ましい。

[0034] 以上のような構造を有する固体レーザーモジュール10では、液体窒素注入口114、115から液体窒素が第1液体窒素保存タンク111に注入され、ニードル弁116の調整により、第1液体窒素保存タンク111から液体窒素が第2液体窒素保存タンク112に注入される。さらに、第2液体窒素保存タンク112に注入された液体窒素は、ヒートシンク130の内部空間138に流入し、これにより、ヒートシンク130が冷却される。なお、ヒータ142によりヒートシンク130は加熱される。

[0035] 固体レーザー媒質151に含まれる活性元素を励起するための励起光は、固体レーザー媒質151の主面に対して垂直に入射される。固体レーザー媒質151において増幅されるべき光も、固体レーザー媒質151の主面に対して垂直に入射される。また、固体レーザー媒質151内部で発生した誘導放出光は、固体レーザー媒質151の主面に対して垂直に出射される。これら励起光、増幅光及び誘導放出光は、ヒートシンク130の貫通孔136、137、及び、インジウム箔154、155の開口を通過し、また、透明部材152、153を透過する。

[0036] 固体レーザー媒質151に励起光が照射されると、その励起光のエネルギーの一部は活性元素を励起するのに消費されるが、残部は固体レーザー媒質151に温度上昇を引き起こす。このとき固体レーザー媒質151で発生した熱は、固体レーザー媒質151の両主面に接している透明部材152、153へ伝導し、さらに、インジウム箔154、155を経てヒートシンク130へ伝導していく。一方、熱伝導率が低い断熱部材156が固体レーザー媒質151の側面に設けられているので、固体レーザー媒質151の側面から断熱部材156の方へ伝導していく熱の量は僅かである。

[0037] 常温(300K)において、透明部材152、153の一例であるサファイアガラスの熱伝導率($20\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$)は、固体レーザー媒質151の一例であるYb:YAGの熱伝導率($12\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$)と同程度である。しかしながら、透明部材152、153の一例であるサファイアガラスの低温(77K)における熱伝導率($1000\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$)は、常温(300K)にお

ける熱伝導率と比較して2桁ほど高い。このような透明部材152、153の特性を活用すべく、ヒートシンク130は液体窒素により冷却され、さらに、固体レーザー媒質151及び透明部材152、153は伝導冷却される。したがって、透明部材152、153を設けること無く固体レーザー媒質151を直接冷却する場合と比較して、熱伝導率が高い透明部材152、153を介して固体レーザー媒質151を冷却する場合の方が、固体レーザー媒質151で発生した熱がより効果的に排出される。

[0038] 図5は、この発明に係る固体レーザーモジュール10に含まれる固体レーザー媒質151の使用時温度分布である。この図5において、領域(a)は固体レーザーモジュール10の主要部の構造を示す断面図、領域(b)は固体レーザー媒質151における光軸に沿った温度分布、また、領域(c)は固体レーザー媒質151における光軸に垂直な方向に沿った温度分布をそれぞれ示している。なお、図5中の領域(b)において、グラフG510a(実線)は当該実施例に係る固体レーザーモジュール10の使用時温度分布、グラフG520(破線)は第1比較例に係る固体レーザーモジュールの使用時温度分布をそれぞれ示されている。また、領域(c)において、グラフG510b(実線)は当該実施例に係る固体レーザーモジュール10の使用時温度分布、グラフG530(破線)は第2比較例に係る固体レーザーモジュールの使用時温度分布をそれぞれ示されている。この領域(b)に示されたグラフG520に相当する第1比較例では、透明部材152、153が設けられておらず、固体レーザー媒質151の主面がヒートシンク130に直接接している。また、領域(c)に示されたグラフG530に相当する第2比較例では、断熱部材156が設けられておらず、固体レーザー媒質151の側面がヒートシンク130に直接接している。

[0039] 図5中の領域(b)に示されたように、固体レーザー媒質151の主面がヒートシンク130に接している第1比較例と比較すると、熱伝導率が高い透明部材152、153が固体レーザー媒質151の主面とヒートシンク130との間に設けられている当該実施例では、固体レーザー媒質151における光軸に沿った温度分布におけるピーク値が低く、かつ、変化が小さい。一方、図5中の領域(c)に示されたように、固体レーザー媒質151の側面がヒートシンク130に接している第2比較例と比較すると、熱伝導率が高い断熱部材156が固体レーザー媒質151の側面とヒートシンク130との間に設けられている当該実施例では、固体レーザー媒質151における光軸に垂直な方向に沿った温度分布が

均一化される。

[0040] 図6は、この発明に係る固体レーザーモジュールに含まれる固体レーザー媒質151における励起光吸収パワーと熱レンズの度(焦点距離の逆数)との関係を、比較例の場合とともに示す図である。この図6において、グラフG610は当該実施例に係る固体レーザー媒質151の低温(80K)における関係を示し、熱レンズの度数($1/m$)をy軸とし励起光吸収パワー(W)をx軸とするととき直線 $y=0.0061x$ により近似される。グラフG620aは第1比較例に係る固体レーザー媒質の低温(80K)における関係を示し、直線 $y=0.017x$ により近似される。また、グラフG620bは第1比較例に係る固体レーザー媒質の常温(300K)における関係を示し、直線 $y=0.078x$ により近似される。この図6に示されたように、第1比較例における常温及び低温時それぞれの関係と比較して、当該実施例に係る固体レーザーモジュール10では、固体レーザー媒質151への励起光照射に起因した熱レンズ効果が低減され、固体レーザー媒質151の光軸に垂直な方向に沿った熱勾配が $1/3$ 程度に抑えられる。したがって、当該実施例に係る固体レーザーモジュール10が適用された光増幅器やレーザー発振器では、高品質の光出力が得られる。

[0041] また、当該実施例では、固体レーザー媒質151を透明部材152、153で挟んだ状態で該固体レーザー媒質151を冷却しているので、熱破壊限界に起因した固体レーザー媒質151の厚さの上限は、一方の主面のみから冷却する場合と比較すると4倍程度になる。その結果、寄生発振に起因した制限が無ければ、固体レーザー媒質151の体積を4倍にすることができ、固体レーザー媒質151に多くのエネルギーを蓄積することができ、高利得・高出力の光増幅器やレーザー発振器が実現可能になる。また、光増幅器やレーザー発振器の構成の簡略化にもつながり、これらの装置の小型化にも寄与することができる。

[0042] 次に、この発明に係る光増幅器の一実施例について説明する。図7は、この発明に係る光増幅器の一実施例の構成を示す図である。この図7に示された光増幅器1は、上述のような構造を有する固体レーザーモジュール10を備える。ただし、この図7には、固体レーザーモジュール10のうちの主要部10Aのみが示されている。また、この光増幅器1は、レーザーダイオード11a、11b、光ファイバ12a、12b、レンズ系14a、14b、

及びミラー15a、15bをも備える。

[0043] レーザダイオード11a、11bそれぞれは、固体レーザモジュール10の主要部10Aの固体レーザ媒質151に含まれる活性元素を励起し得る波長の励起光を出力する。光ファイバ12aは、レーザダイオード11aから出力された励起光を伝送し、その励起光を出射端13aから外部へ出射する。レンズ系14aは、出射端13aから出射された励起光を固体レーザ媒質151に集光させる。光ファイバ12bは、レーザダイオード11bから出力された励起光を伝送し、その励起光を出射端13bから外部へ出射する。レンズ系14bは、出射端13bから出射された励起光を固体レーザ媒質151に集光させる。レンズ系14aから固体レーザ媒質151へ入射する励起光と、レンズ系14bから固体レーザ媒質151へ入射する励起光とは、それぞれの入射方向が逆方向である。レンズ系14a、14bは、励起光波長における透過率が高い材料からなり、また、励起光波長における反射率を低減するための誘電体多層膜フィルタがレンズ面に形成されているのが好ましい。

[0044] ミラー15aは、固体レーザモジュール10の主要部10Aとレンズ系14aとの間の励起光の光路上に設けられている。ミラー15bは、固体レーザモジュール10の主要部10Aとレンズ系14bとの間の励起光の光路上に設けられている。ミラー15a、15bは、固体レーザモジュール10の主要部10Aに向いた面が凹面となっており、固体レーザ媒質151内で発生する誘導放出光を該凹面で反射する一方、励起光を透過率させる。このような透過及び反射の特性を有すべく、ミラー15a、15bそれぞれの凹面にはダイクロイックコーティングが施されている。

[0045] 例えば、固体レーザ媒質151がYb:YAGであって、励起光波長が940nmであり、誘導放出光波長が1030nmである場合、各構成要素の具体例は以下のとおりである。すなわち、レーザダイオード11a、11bは、出力光波長が940nmであり、最大出力パワーが140Wである。レンズ系14a、14bそれぞれは、例えば、波長940nmにおける透過率が99.6%となるような誘電体多層膜フィルタが形成され、2つの平凸レンズが組み合わされた構造を有する。また、一方の平凸レンズにおける凸状反射面の曲率半径は150nmであり、他方の平凸レンズにおける凸状反射面の曲率半径は300nmである。このレンズ構成により、固体レーザ媒質151における励起光のビーム

径を $180\mu\text{m}$ まで絞ることができる。ミラー15a、15bそれぞれにおいて、凹状反射面の曲率半径は100mmであり、励起光波長に対する透過率は97.6%であり、凹状反射面における誘導放出光波長に対する反射率は99.6%である。

[0046] 以上のように構成された当該実施例に係る光増幅器1は以下のように動作する。レーザダイオード11aから出力された励起光は、光ファイバ12aを伝搬して出射端13aから出射される。出射された励起光は、レンズ系14aにより収斂され、該ミラー15a、ウィンドウ122を順次透過して真空容器121内に導入される。真空容器121内に導入された励起光は、透明部材152を透過した後、固体レーザ媒質151の一方の主面に垂直に照射される。また、レーザダイオード11bから出力された励起光は、光ファイバ12bを伝搬した後に、出射端13bから出射される。出射された励起光は、レンズ系14bにより収斂され、該ミラー15b、ウィンドウ123を順次透過した後に真空容器121内に導入され。この場合も真空容器121内に導入された励起光は、透明部材153を透過した後に固体レーザ媒質151の他方の主面に垂直に照射される。このように、固体レーザ媒質151の双方の主面それぞれに励起光が垂直に照射されることにより、固体レーザ媒質151に含まれる活性元素が励起される。

[0047] 増幅されるべき光 L_0 は、ミラー15aの凹面に対して所定角度で入射され、ミラー15aの凹面により反射される。この反射された光 L_0 は、ウィンドウ122を透過し真空容器121内に導入される。真空容器121内において、光 L_0 は透明部材152を透過し、固体レーザ媒質151の一方の主面に垂直に入射される。このとき、入射された光 L_0 は、固体レーザ媒質151内で誘導放出現象により増幅される。固体レーザ媒質151において増幅された光 L_1 は、固体レーザ媒質151の他方の主面から垂直に出射され、透明部材153及びウィンドウ123を透過する。そして、透過した増幅光 L_1 は、ミラー15bの凹面により反射される。ミラー15bの凹面により反射された光(増幅光 L_1)が、光増幅器1の出力光となる。

[0048] 以上のように、当該実施例に係る光増幅器1では、固体レーザモジュール10に含まれる固体レーザ媒質151の双方の主面それぞれに励起光が垂直に入射されるとともに、固体レーザ媒質151の一方の主面に被増幅光 L_0 が垂直に入射される。透明部材152、153が設けられていないと仮定すると、励起光照射による固体レーザ媒質

151における熱レンズ効果により、被増幅光 L_0 が固体レーザ媒質151で増幅された後に出力光 L_1 として出射される際に、該出力光 L_1 の波面が乱れる。しかしながら、当該実施例では、固体レーザ媒質151の主面に直接接した状態で熱伝導率が高い透明部材152、153が設けられ、さらに、固体レーザ媒質151の側面に直接接した状態で熱伝導率が低い断熱部材156が設けられている。そのため、図5及び図6で説明されたように、固体レーザ媒質151への励起光照射に起因した熱レンズ効果が低減される。すなわち、被増幅光 L_0 が固体レーザ媒質151で増幅された後に出力光 L_1 として出射される際の該出力光 L_1 の波面乱れが効果的に抑制されて、高品質の光出力が得られる。

[0049] 次に、この発明に係るレーザ発振器の第1実施例について説明する。図8は、この発明に係るレーザ発振器の第1実施例の構成を示す図である。この図8に示されたレーザ発振器2は、上述のような構造を有する固体レーザモジュール10(この発明に係る固体レーザモジュールの一実施例)を備える。ただし、この図8には、固体レーザモジュール10のうちの主要部10Aのみが示されている。また、このレーザ発振器2は、レーザダイオード11a、11b、光ファイバ12a、12b、レンズ系14a、14b、ミラー15a、15b、リアミラー21及び出力ミラー22をも備える。図7に示された光増幅器1の構成と比較すると、この図8に示されたレーザ発振器2は、リアミラー21及び出力ミラー22をさらに備えた点で相違する。

[0050] リアミラー21は、凹面の反射面を有し、固体レーザ媒質151内で発生する誘導放出光を該凹面で反射することができる。出力ミラー22は、平面ミラーであり、固体レーザ媒質151内で発生する誘導放出光が入射されると、該誘導放出光の一部を透過させ、残部を反射する。例えば、誘導放出光の波長は1030nmであり、該誘導放出光波長におけるリアミラー21の反射率は99.6%であり、該誘導放出光波長における出力ミラー22の反射率は85%である。また、例えば、リアミラー21における凹面の反射面の曲率半径は1000mmである。

[0051] リアミラー21及び出力ミラー22は、ファブリペロー型の共振器の一部を構成している。この共振器の共振光路上には、固体レーザ媒質151、透明部材152、153、及び、ミラー15a、15bが設けられている。ミラー15a、15b、リアミラー21及び出力ミラ

一22それぞれにおける反射面の曲率半径は、レーザ発振器2が安定共振器として動作するように、かつ、固体レーザ媒質151における共振光のビーム径が最も小さくなるように、設定されている。共振器の共振光路は、固体レーザ媒質151の主面に垂直である。また、共振光路上にミラー15a、15bが設けられることにより、X字型の共振器が構成されている。

[0052] 以上のように構成された第1実施例に係るレーザ発振器2は以下のように動作する。すなわち、レーザダイオード11aから出力された励起光は、光ファイバ12a内を伝搬し、出射端13aから出射される。出射端13aから出射された励起光は、レンズ系14aにより収斂された後、ミラー15a、ウィンドウ122を順次透過し真空容器121内に導入される。真空容器121内に導入された励起光は、透明部材152を透過して、固体レーザ媒質151の一方の主面に垂直に照射される。一方、レーザダイオード11bから出力された励起光は、光ファイバ12b内を伝搬し、出射端13bから出射される。出射端13bから出射された励起光は、レンズ系14bにより収斂された後、ミラー15b、ウィンドウ123を順次透過し真空容器121内に導入される。真空容器121内に導入された励起光は、透明部材153を透過して、固体レーザ媒質151の他方の主面に垂直に照射される。このように、固体レーザ媒質151の双方の主面それぞれに励起光が垂直に照射され、固体レーザ媒質151に含まれる活性元素が励起される。

[0053] 固体レーザ媒質151に含まれる活性元素がレーザ上準位から下準位へ遷移する際に自然放出光が発生し、その放出光がリアミラー21と出力ミラー22との間で共振して、固体レーザ媒質151において誘導放出が生じる。そして、この誘導放出された光の一部は、出力ミラー22を透過して、レーザ発振器2の出力光となる。

[0054] 例えば、固体レーザ媒質151は、25at%のYb元素が添加されたYAGである。励起光の波長は940nmであり、励起光パワーは580mWであり、固体レーザ媒質151への励起光照射のビーム径は $180\mu\text{m}$ であり、固体レーザ媒質151への励起光照射のエネルギー密度は $2.3\text{kW}/\text{cm}^2$ である。このとき、固体レーザ媒質151に入射された励起光の98%以上のエネルギーが固体レーザ媒質151により吸収される。共振器がX字型となっていることから、レーザダイオード11a、11bから固体レーザ媒質151までに存在する光学素子をミラー15a、15bのみとすることができ、励起光の損

失を最低限に抑えることができる。励起された固体レーザ媒質151で発生した波長1030nmのレーザ光(出力ミラー22を透過して出力されるレーザ光)のパワーは、430mWであった。スロープ効率として理論限界値(91%)に極めて近い90%という高い値が得られ、光-光変換効率は74%であった。

[0055] なお、このレーザ発振器2において、リアミラー21に替えて可飽和吸収型ミラーが用いられてもよく、可飽和吸収型ミラーの使用により、モード同期したパルスレーザ発振が可能になる。なお、上述の条件と同じ条件では、パルス周期が6.8ピコ秒である安定したパルス発振が得られた。

[0056] 以上のように、第1実施例に係るレーザ発振器2では、固体レーザモジュール10に含まれる固体レーザ媒質151の双方の主面それぞれに励起光が垂直に入射される。また、固体レーザ媒質151の双方の主面それぞれが共振器の共振光路に垂直である。当該実施例では、固体レーザ媒質151の主面に直接接した状態で熱伝導率が高い透明部材152、153が設けられる。さらに、当該実施例では、固体レーザ媒質151の側面に直接接した状態で熱伝導率が低い断熱部材156が設けられている。これらの構造的特徴により、図5及び図6で説明されたように、固体レーザ媒質151への励起光照射に起因した熱レンズ効果が低減される。固体レーザ媒質151から出射する光の波面乱れが抑制されて、高品質のレーザ光出力が得られる。

[0057] 次に、この発明に係るレーザ発振器の第2実施例について説明する。図9は、この発明に係るレーザ発振器の第2実施例の構成を示す図である。この図9に示されたレーザ発振器3は、上述の固体レーザモジュール10(この発明に係る固体レーザモジュールの一実施例)を備える。ただし、この図9には、固体レーザモジュール10のうち主要部10Aのみが示されている。また、このレーザ発振器3は、レーザダイオード11a、11b、光ファイバ12a、12b、レンズ系14、14b、ミラー15a、15b、リアミラー21、1/2波長板31、偏光板32、ポッケルスセル33及びミラー34をも備える。図8に示された第1実施例に係るレーザ発振器2の構成と比較すると、この図9に示された第2実施例に係るレーザ発振器3は、出力ミラー22に替えて、1/2波長板31、偏光板32、ポッケルスセル33及びミラー34を備える点で相違する。

[0058] 1/2波長板31は、ミラー15aと偏光板32との間の光路上に設けられ、直線偏光の

光が入射すると、その入射光の偏光方位を90度だけ回転させる。偏光板32は、P偏光の光を透過する一方、1/2波長板31から到達したS偏光の光をポッケルスセル33へ反射する。また、偏光板32は、ポッケルスセル33から到達したS偏光の光を1/2波長板31へ反射する。ポッケルスセル33は、偏光板32とミラー34との間の光路上に設けられ、直線偏光の光が入射すると、その光の偏光方位を回転させる。ポッケルスセル33は、KDP結晶からなり、このKDP結晶に印加される電圧値を調整することで、その偏光方位回転角を変更することができる。ミラー34は、ポッケルスセル33から到達した光をポッケルスセル33へ反射させる光学素子であり、その反射面は凹面になっている。例えば、ミラー34は、凹面の反射面の曲率半径が2000mmであり、放出光波長に対する反射率が99.6%である。

[0059] リアミラー21及びミラー34それぞれは、ファブリペロー型の共振器の一部を構成している。この共振器の共振光路上には、固体レーザ媒質151、透明部材152、153、ミラー15a、15b、1/2波長板31、偏光板32及びポッケルスセル33が配置されている。ミラー15a、15b、リアミラー21及びミラー34それぞれの反射面の曲率半径は、レーザ発振器3が安定共振器として動作するように、かつ、固体レーザ媒質151において共振光のビーム径が最も小さくなるように、設定されている。共振器の共振光路は、固体レーザ媒質151の主面に垂直である。また、共振光路上にミラー15a、15bが設けられることにより、X字型の共振器が構成されている。

[0060] 以上のように構成された第2実施例に係るレーザ発振器3は以下のように動作する。すなわち、レーザダイオード11aから出力された励起光は、光ファイバ12a内を伝搬して出射端13aから出射される。出射端13aから出射された励起光は、レンズ系14aにより収斂された後、ミラー15a、ウィンドウ122を順次透過し真空容器121内に導入される。真空容器121内に導入された励起光は、透明部材152を透過した後に固体レーザ媒質151の一方の主面に垂直に照射される。また、レーザダイオード11bから出力された励起光は、光ファイバ12b内を伝搬して出射端13bから出射される。出射端13bから出射された励起光は、レンズ系14bにより収斂された後に、ミラー15b、ウィンドウ123を順次透過し真空容器121内に導入される。真空容器121内に導入された励起光は、透明部材153を透過した後に固体レーザ媒質151の他方の主面に

垂直に照射される。このように、固体レーザー媒質151の双方の主面それぞれに励起光が垂直に照射され、固体レーザー媒質151に含まれる活性元素が励起される。

[0061] 外部からP偏光のパルスレーザー種光 L_0 が偏光板32に入射すると、そのレーザー種光 L_0 は、偏光板32を透過した後にポッケルスセル33に到達する。ポッケルスセル33は所定電圧が印加されることで1/4波長板として作用するため、到達したレーザー種光 L_0 は、ポッケルスセル33により偏光方位が45度だけ回転された後、ミラー34により反射される。ミラー34で反射されたレーザー種光 L_0 は、再びポッケルスセル33により偏光方位が45度だけ回転された後、偏光板32に入射される。このとき、偏光板32に到達したレーザー種光 L_0 は、S偏光となっているので、偏光板32により反射され、1/2波長板31により偏光方位が90度だけ回転される。そして、ミラー15aにより反射されたレーザー種光 L_0 は、透明部材152を透過した後に固体レーザー媒質151の主面に垂直に入射される。固体レーザー媒質151では、入射されたレーザー種光 L_0 が誘導放出現象により光増幅される。

[0062] この固体レーザー媒質151において増幅された光は、固体レーザー媒質151の他方の主面から垂直に出射される。さらに、透明部材153を透過した出射光(増幅光)は、ミラー15bにより反射された後、リアミラー21により反射される。このリアミラー21により反射された光は、ミラー15b、固体レーザー媒質151及びミラー15aを経て、1/2波長板31により偏光方位が90度だけ回転される。このため、該反射光は偏光板32により反射されて、ポッケルスセル33に到達する。

[0063] しかしながら、この時点ではポッケルスセル33に印加される電圧値が変更されており、電圧値が変更された時点以降、ポッケルスセル33は1/2波長板として作用している。このとき、ポッケルスセル33を通過する光の偏光方位は90度だけ回転される。したがって、レーザー種光 L_0 は、リアミラー21とミラー34との間を往復し、その間に、固体レーザー媒質151において増幅される。その後、一定時間経過すると、ポッケルスセル33に印加される電圧値が再び変更され、この変更時点以降、ポッケルスセル33は1/4波長板として作用する。このとき、ポッケルスセル33を通過する光の偏光方位は45度だけ回転される。したがって、それまでに共振器において増幅された光は、偏光板32を透過して、レーザー出力光 L_1 として出力される。

[0064] 例えば、固体レーザー媒質151は25at%のYb元素が添加されたYAGであって、励起光の波長は940nmであり、励起光パワーは140mWであり、固体レーザー媒質151への励起光照射のビーム径は2mmであり、固体レーザー媒質151への励起光照射のエネルギー密度は $2.3\text{kW}/\text{cm}^2$ である。外部から偏光板32に入射されるP偏光のパルスレーザー種光 L_0 は、波長が1030nmであり、パルス幅が6.8ピコ秒であり、パルス周波数が50Hzである。偏光板32は、波長1030nmにおいて、P偏光の透過率が98.7%であり、S偏光の反射率が99.7%である。ミラー34は、波長1030nmにおける反射率が99.7%である。リアミラー21とミラー34との間の共振光路に沿った光路長は2100mmである。このとき、ポッケルスセル33が $1/2$ 波長板として作用する期間を140ナノ秒間とすると、この期間にレーザー種光 L_0 は共振器内を10往復することで増幅される。そして、ポッケルスセル33が $1/4$ 波長板として作用するようになると、それまでに共振器において増幅された光は、偏光板32を透過して、レーザー出力光 L_1 として出力される。

[0065] 以上のように、第2実施例に係るレーザー発振器3でも、固体レーザーモジュール10に含まれる固体レーザー媒質151の双方の主面それぞれに励起光が垂直に入射され、また、固体レーザー媒質151の双方の主面それぞれが共振器の共振光路に垂直である。当該実施例では、固体レーザー媒質151の主面に直接接した状態で熱伝導率が高い透明部材152、153が設けられ、さらに、固体レーザー媒質151の側面に直接接した状態で熱伝導率が低い断熱部材156が設けられている。これにより、図5及び図6で説明されたように、固体レーザー媒質151への励起光照射に起因した熱レンズ効果が低減される。その結果、固体レーザー媒質151から出射された誘導放出光の波面乱れが抑制され、高品質のレーザー光出力が得られる。

[0066] この発明は、上述の実施例に限定されるものではなく、種々の変形が可能である。固体レーザー媒質151はYb:YAGに限られるものではない。例えば、固体レーザー媒質151に添加される活性元素はNd、Tm、Ho、Cr等の希土類元素や遷移金属元素であってもよい。また、固体レーザー媒質151のホスト材料は、ルビー、YLF、サファイア、ガラス、S-FAP、YVO₄等であってもよい。透明部材152、153は、サファイアガラスに限られるものではない。透明部材152、153は、固体レーザー媒質151より熱伝導率

が高い他の材料であってもよく、例えば、ダイヤモンド、酸化イットリウム、無添加のYAG等であってもよい。ダイヤモンドは、室温で $1000\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$ という高い熱伝導率を有するので、冷却機構を小型化・簡易化することができ、或いは、液体窒素冷却を行わなくても固体レーザー媒質を十分に冷却できる場合がある。断熱部材156は、テフロン等の樹脂に限られるものではない。断熱領域を構成する断熱部材156は、固体レーザー媒質151より熱伝導率が低い他の材料であってもよく、例えば、発泡ガラス、空気その他の気体などであってもよいし、また、真空であってもよい。

[0067] 以上の本発明の説明から、本発明を様々に変形しうることは明らかである。そのような変形は、本発明の思想及び範囲から逸脱するものとは認めることはできず、すべての当業者にとって自明である改良は、以下の請求の範囲に含まれるものである。

産業上の利用可能性

[0068] この発明に係る固体レーザーモジュールは、高品質の光出力が可能な光増幅器、レーザー発振器等に適用可能である。

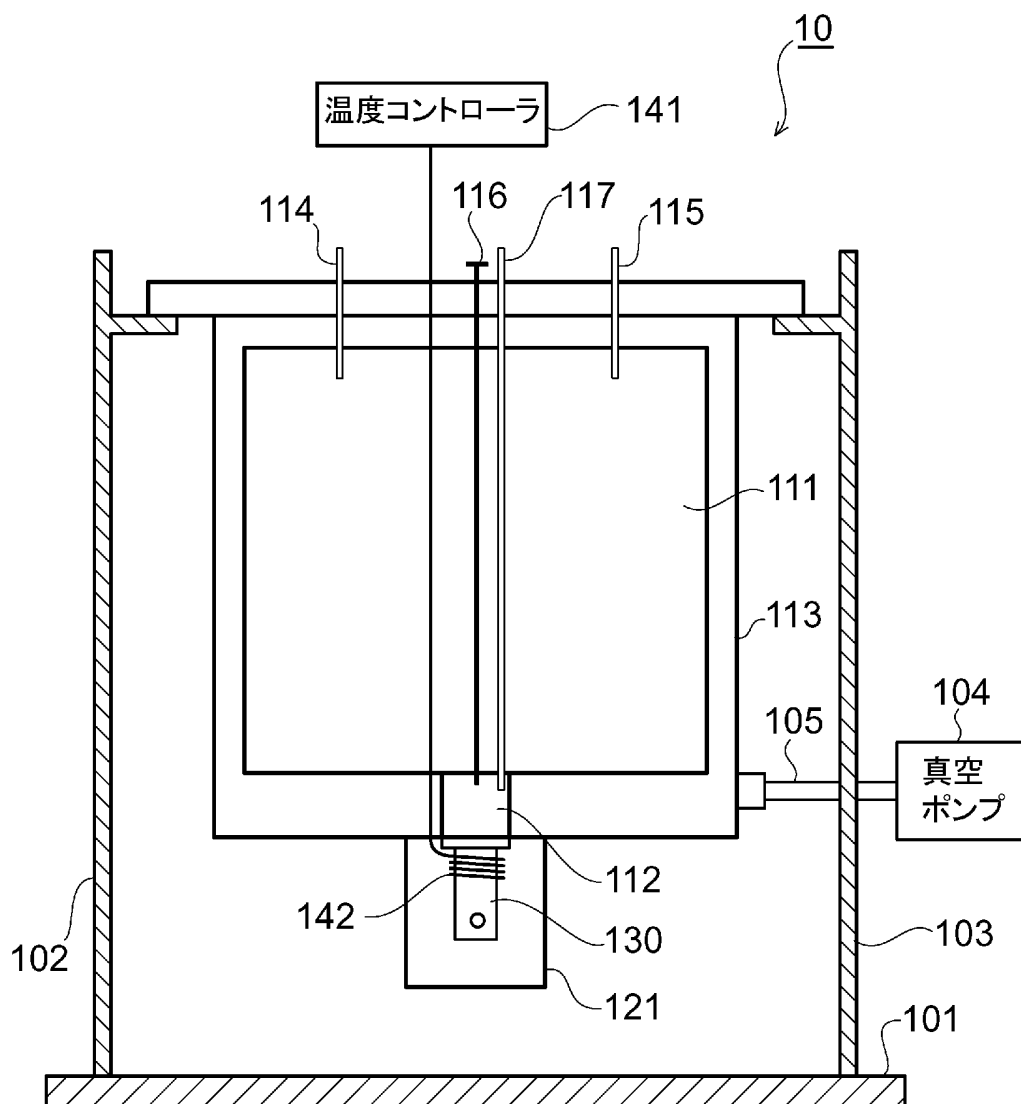
請求の範囲

- [1] 第1波長の励起光により励起される活性元素が添加され、照射された該励起光に応答して内部で第2波長の放出光を発生させる固体レーザ媒質と、
- 前記固定レーザ媒質の第1主面に直接接した状態で設けられた第1部材であって、前記励起光及び前記放出光の双方に対して透明な材料からなるとともに前記固体レーザ媒質よりも高い熱伝導率を有する第1部材と、
- 前記固定レーザ媒質の第1主面と対向する第2主面に直接接した状態で設けられた第2部材であって、前記励起光及び前記放出光の双方に対して透明な材料からなるとともに前記固体レーザ媒質よりも高い熱伝導率を有する第2部材と、
- 前記固体レーザ媒質を間に挟んだ前記第1及び第2部材それぞれの少なくとも一部を、該固体レーザ媒質から所定距離離間した状態で把持するよう配置されたヒートシンクと、そして、
- 前記第1主面と前記第2主面とを連絡している前記固体レーザ媒質の側面と、前記ヒートシンクとの間に設けられ、該固体レーザ媒質よりも低い熱伝導率を有する断熱領域とを備えた固体レーザモジュール。
- [2] 請求項1記載の固体レーザモジュールにおいて、
- 前記固体レーザ媒質の第1主面に少なくとも一部が接する前記第1部材の面は、該第1主面よりも広い面積を有し、前記固体レーザ媒質の第2主面に少なくとも一部が接する前記第2部材の面は、該第2主面よりも広い面積を有する。
- [3] 請求項2記載の固体レーザモジュールにおいて、
- 前記第1及び第2部材は、前記固体レーザ媒質の側面と前記ヒートシンクとの間隔を規定するためのスペーサとして機能している。
- [4] 請求項1～3のいずれか一項記載の固体レーザモジュールは、さらに、
- 前記ヒートシンクを冷却するための冷却装置を備える。
- [5] 請求項4記載の固体レーザモジュールは、さらに、
- 前記ヒートシンクを加熱するための加熱装置を備える。
- [6] 請求項4記載の固体レーザモジュールは、さらに、
- 内部が所定の真空度まで減圧された密閉容器を備え、この密閉容器は、少なくとも

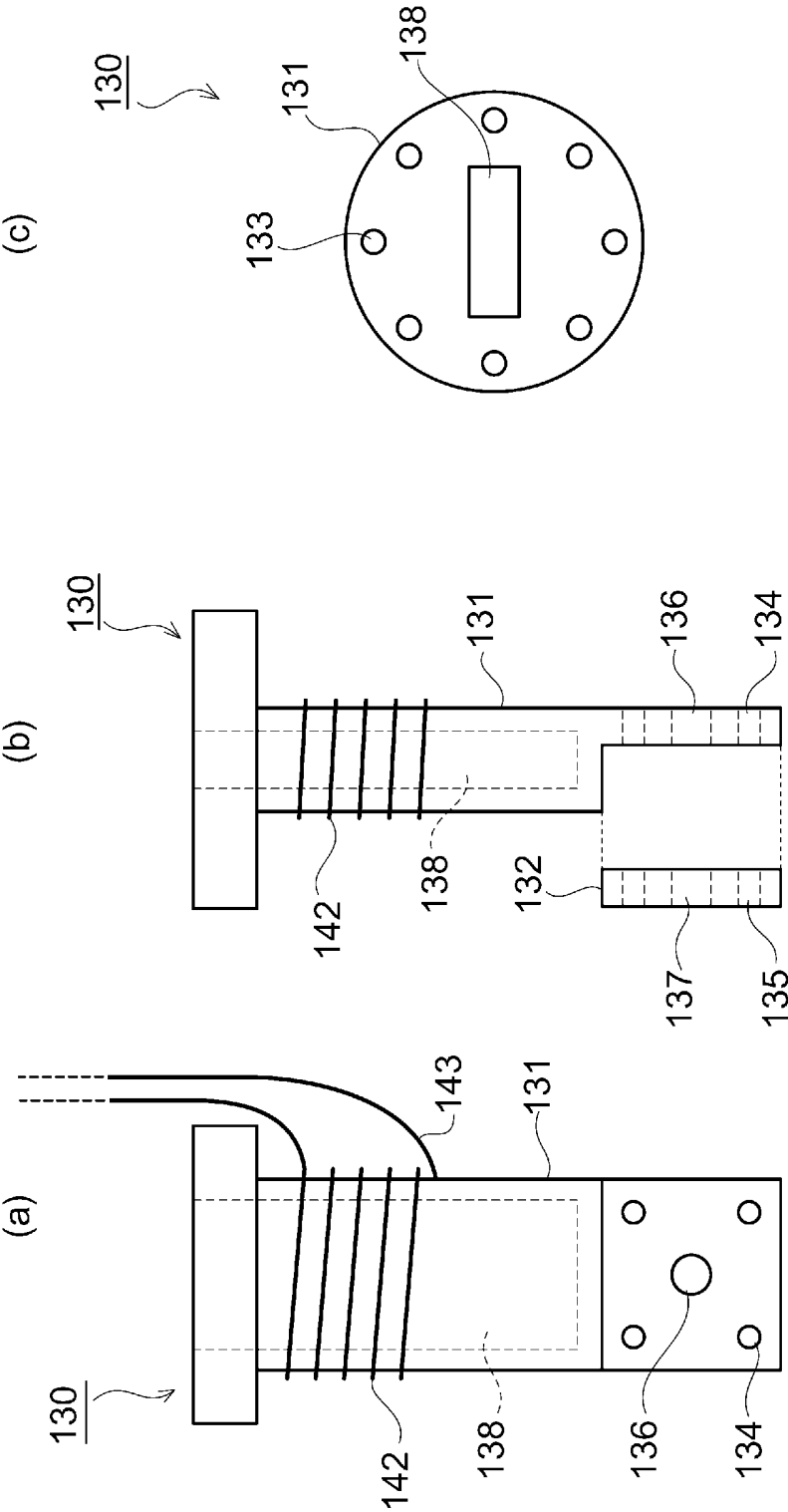
、前記固体レーザ媒質、前記第1部材及び前記第2部材を収納する空間を有するとともに、前記励起光及び前記放出光を透過させるためのウィンドウを有する。

- [7] 請求項1～6のいずれか一項記載の固体レーザモジュールと、そして、
前記固体レーザモジュールに含まれる前記固体レーザ媒質に励起光を照射する励起光源とを備えた光増幅器。
- [8] 請求項1～6のいずれか一項記載の固体レーザモジュールと、
前記固体レーザモジュールに含まれる前記固体レーザ媒質に励起光を照射する励起光源と、そして、
前記固体レーザモジュールに含まれる前記固体レーザ媒質が共振光路上に配置された共振器とを備えたレーザ発振器。

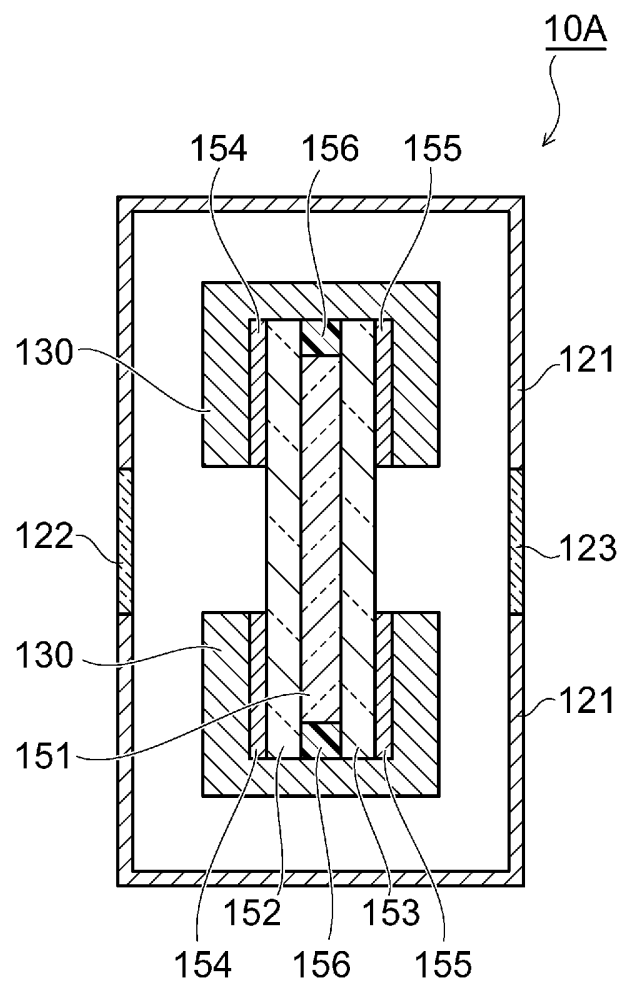
[図1]



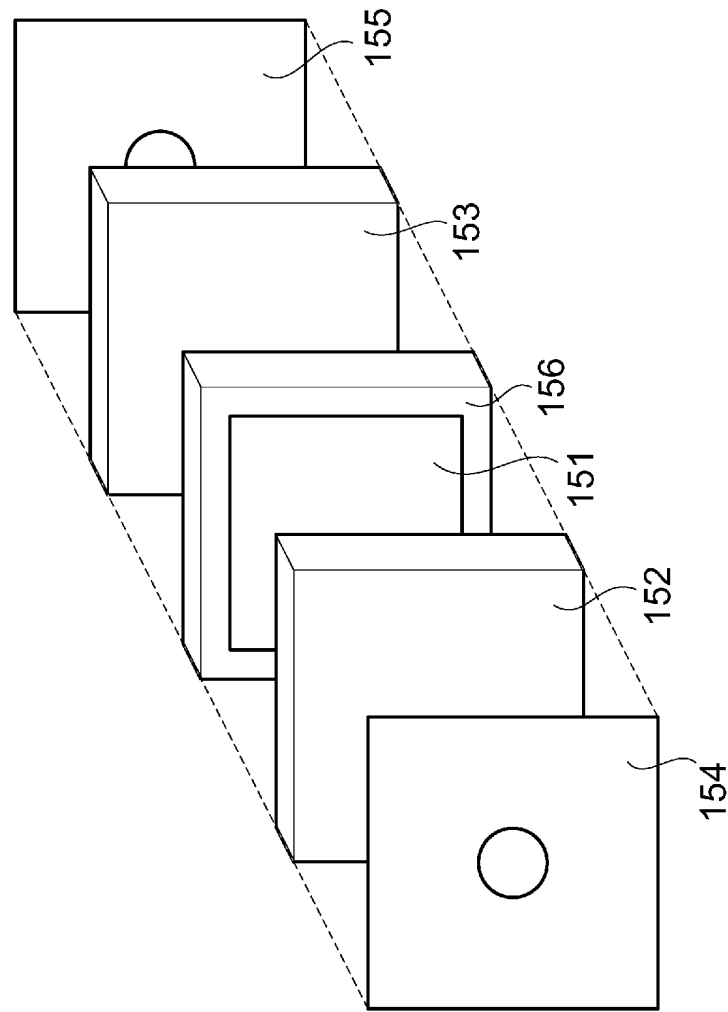
[図2]



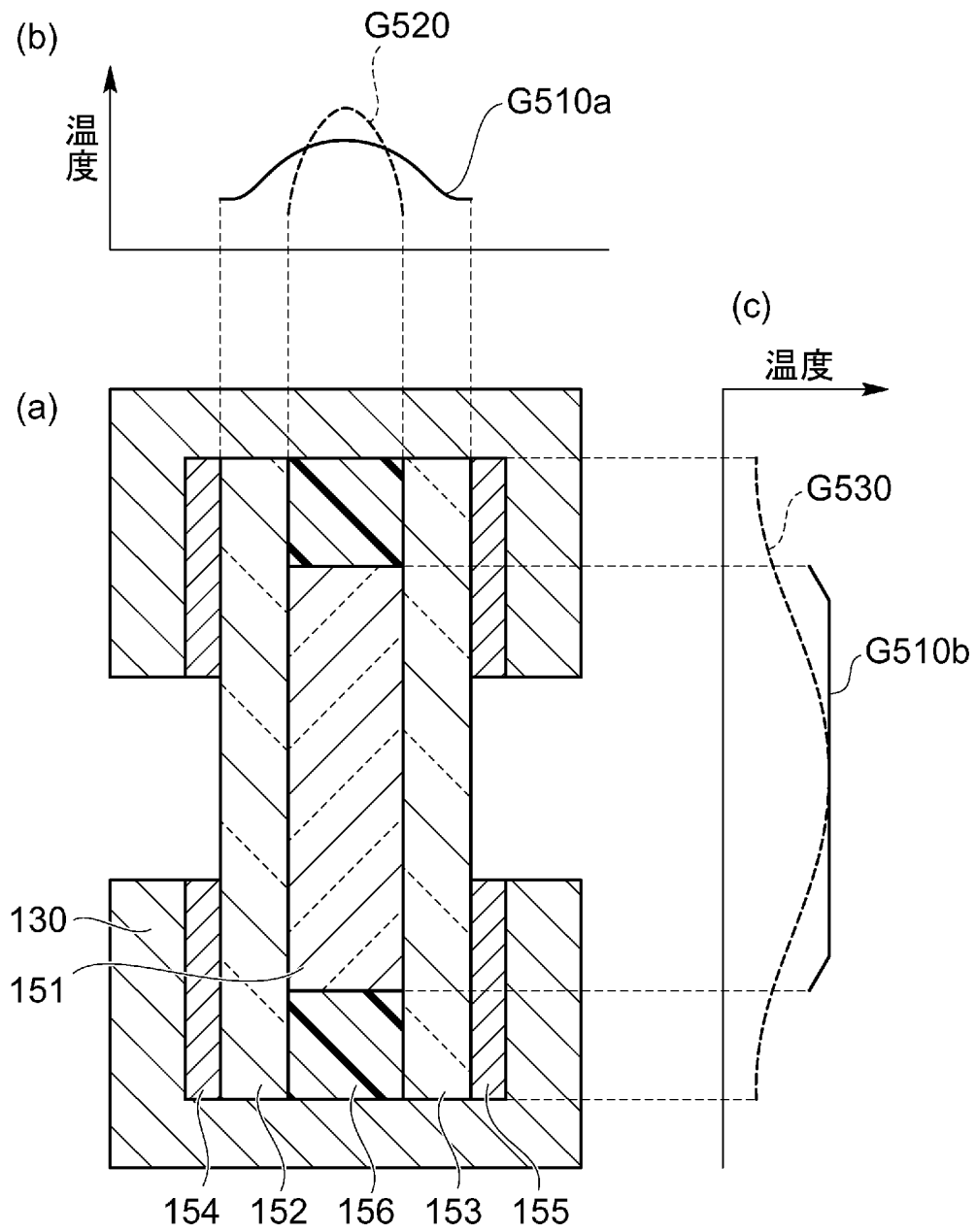
[図3]



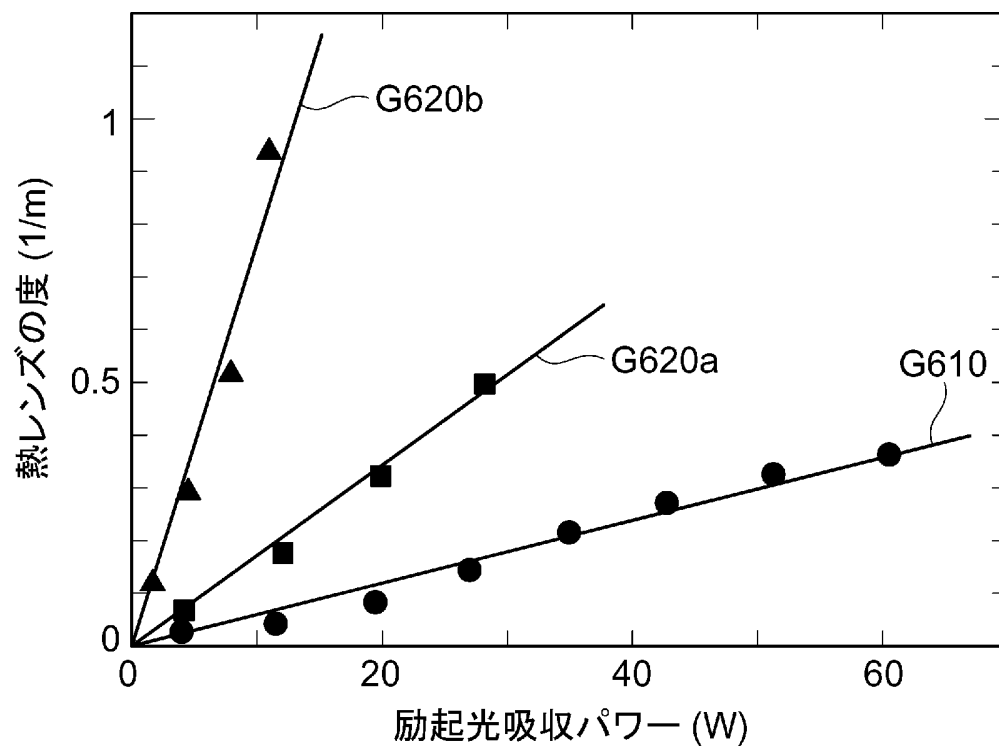
[図4]



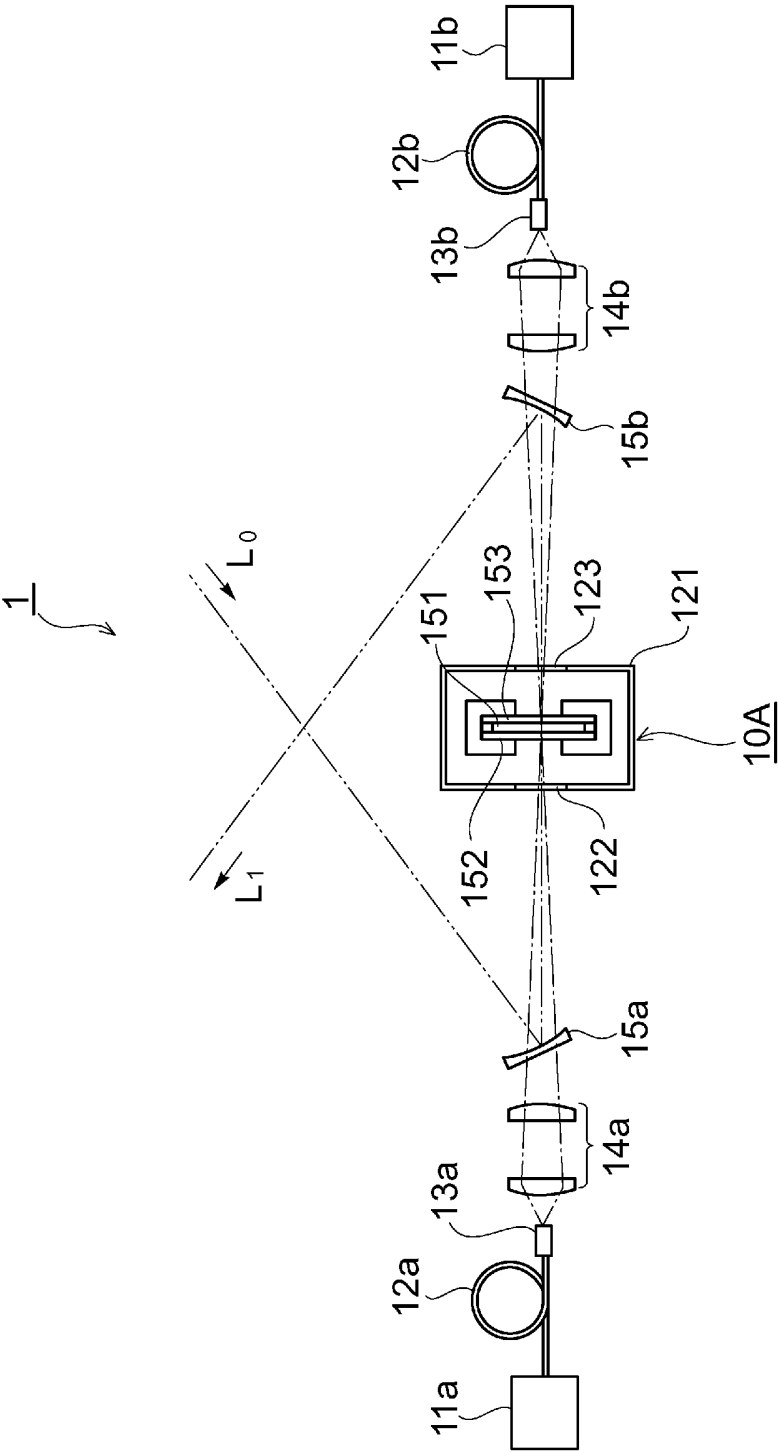
[図5]



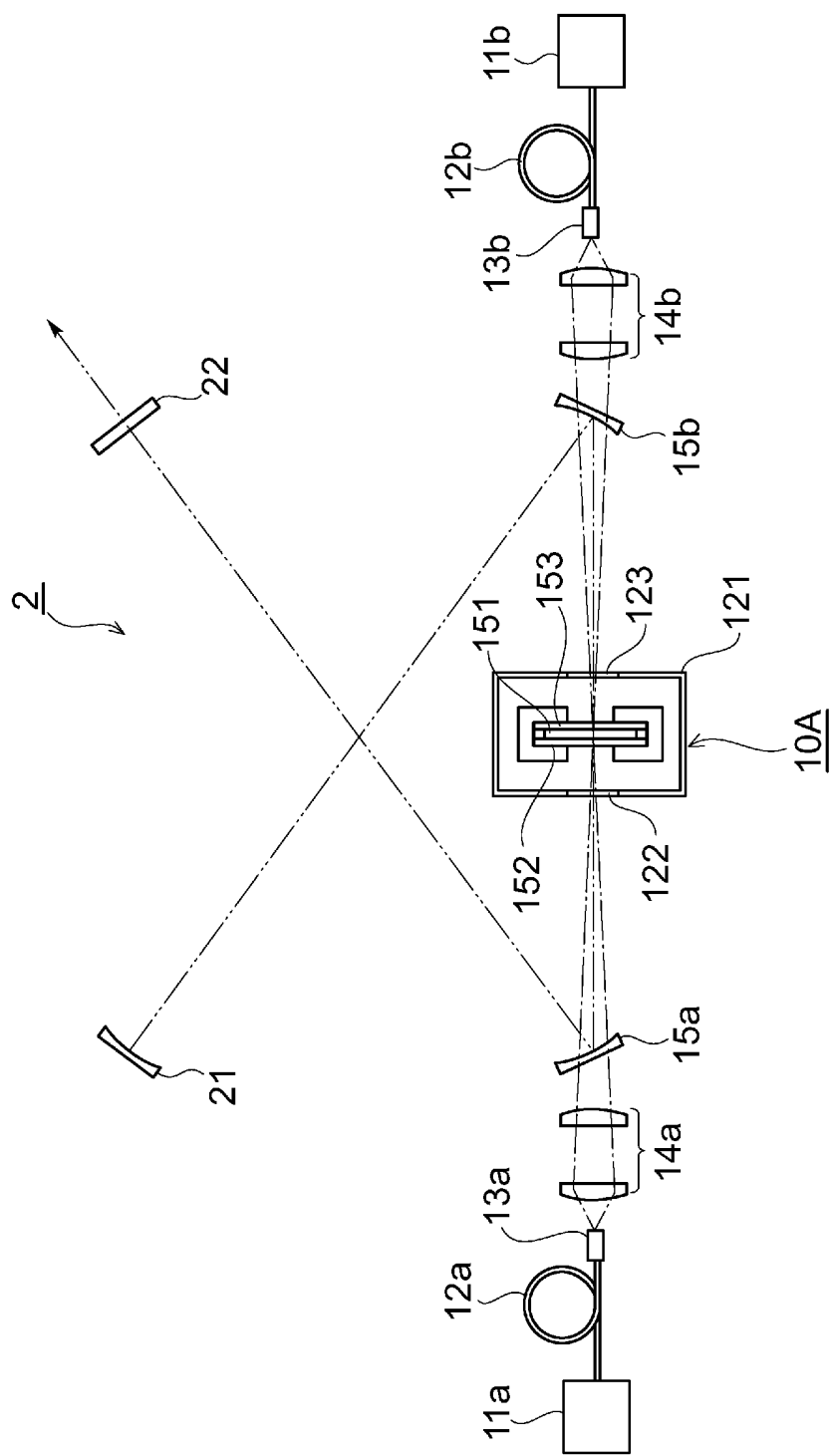
[図6]



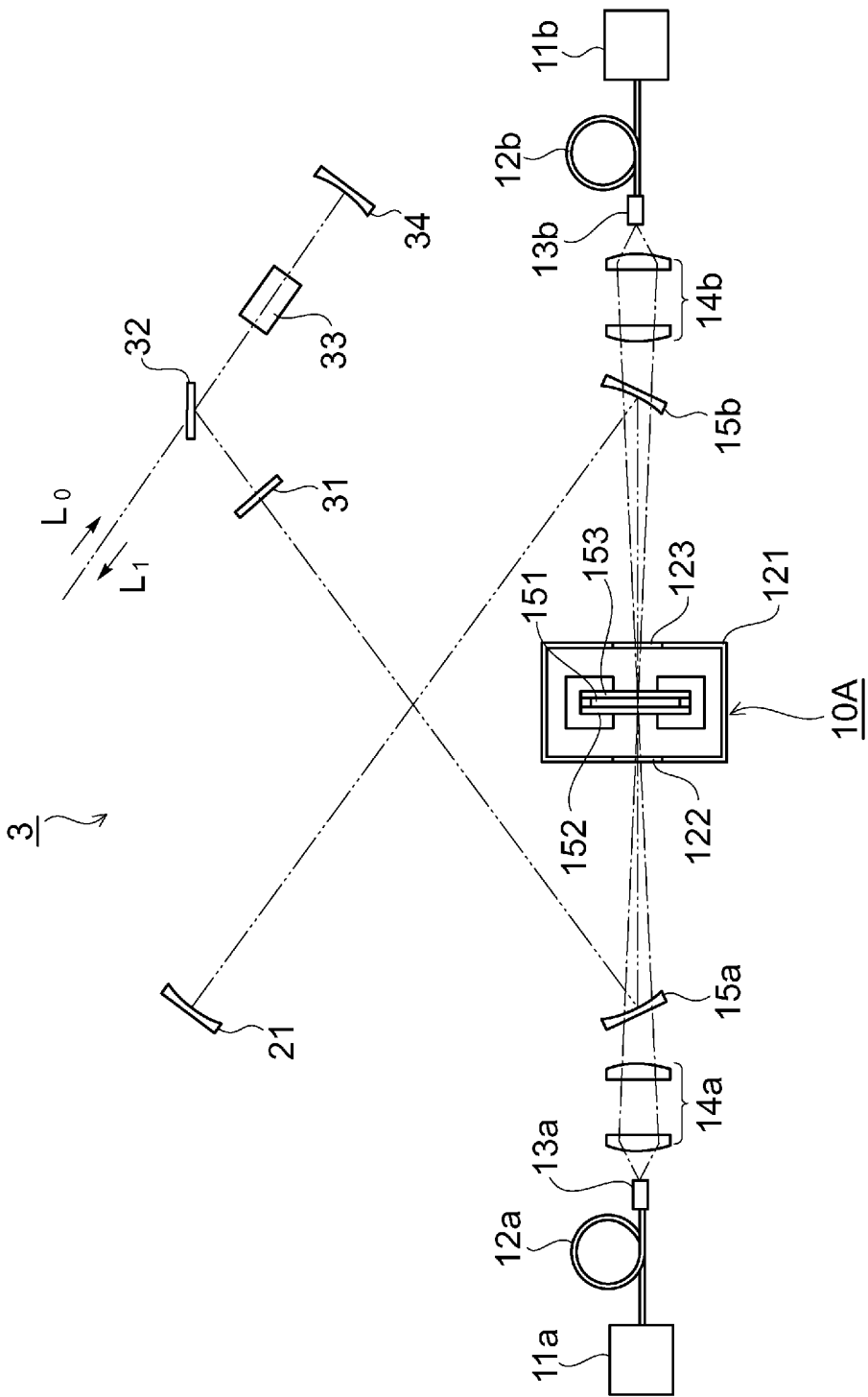
[図7]



[図8]



[図9]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/021572

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01S3/042 (2006.01)

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)

G02F1/29-G02F7/00, H01S3/00-H01S4/00

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	1996-2006
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2006	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2006

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

JSTPlus (JOIS)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 1-289180 A (Mitsubishi Electric Corp.), 21 November, 1989 (21.11.89), Full text; all drawings (Family: none)	1-8
A	JP 2002-57388 A (Nippon Avionics Co., Ltd. et al.), 22 February, 2002 (22.02.02), Full text; all drawings (Family: none)	1-8
A	JP 8-32153 A (ShinMaywa Industries, Ltd.), 02 February, 1996 (02.02.96), Full text; all drawings (Family: none)	1-8

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"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
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"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
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"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
"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)	"&" document member of the same patent family
"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	

Date of the actual completion of the international search
28 February, 2006 (28.02.06)

Date of mailing of the international search report
07 March, 2006 (07.03.06)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/021572

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2002-198596 A (Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.), 12 July, 2002 (12.07.02), Full text; all drawings (Family: none)	1-8
A	JP 2003-507899 A (Rofin-Sinar Laser GmbH.), 25 February, 2003 (25.02.03), Full text; all drawings & WO 2001/015290 A1 & EP 1205013 B1 & US 6600763 B2	1-8
A	JP 9-507725 A (Spectra-Physics Lasers, Inc.), 05 August, 1997 (05.08.97), Full text; all drawings & WO 1995/021479 A1 & EP 0742965 B1	1-8

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. H01S3/042 (2006.01)

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 (IPC))

Int.Cl. G02F 1/29 - G02F 7/00, H01S 3/00 - H01S 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	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2006年
日本国実用新案登録公報	1996-2006年
日本国登録実用新案公報	1994-2006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 (JOIS)

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
X	JP 1-289180 A (三菱電機株式会社) 1989. 11. 21, (全文、全図) (ファミリー無し)	1-8
A	JP 2002-57388 A (日本アビオニクス株式会社 他) 2002. 02. 22, (全文、全図) (ファミリー無し)	1-8

☒ 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

28. 02. 2006

国際調査報告の発送日

07. 03. 2006

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)
郵便番号 100-8915
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)

岡田 吉美

2K

9315

電話番号 03-3581-1101 内線 3255

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 8-32153 A (新明和工業株式会社) 1996. 02. 02, (全文、全図) (ファミリー無し)	1-8
A	JP 2002-198596 A (三菱重工業株式会社) 2002. 07. 12, (全文、全図) (ファミリー無し)	1-8
A	JP 2003-507899 A (ロフィーン・ジナール レーザー ゲゼルシャフト ミット ベシュレンクテル ハフツング) 2003. 02. 25, (全文、全図) & WO 2001/015290 A1 & EP 1205013 B1 & US 6600763 B2	1-8
A	JP 9-507725 A (スペクトラ・フィジックス レーザーズ インコーポレイテッド) 1997. 08. 05, (全文、全図) & WO 1995/021479 A1 & EP 0742965 B1	1-8