

(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
2017年11月30日(30.11.2017)

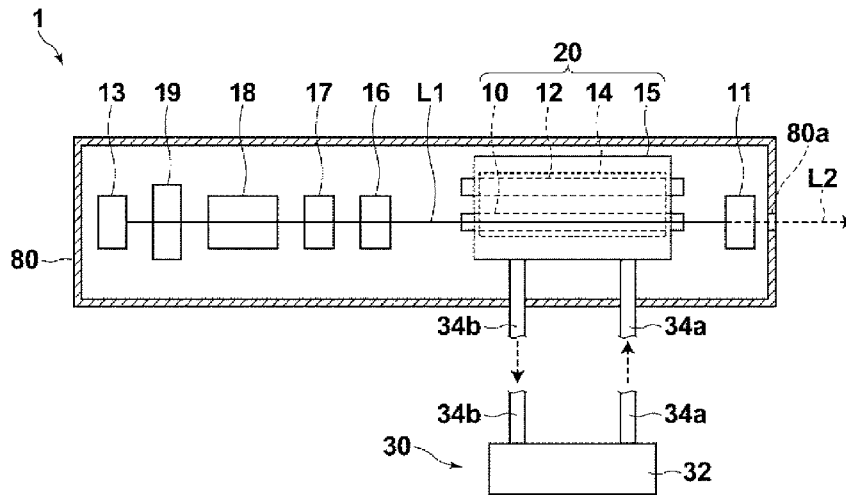


(10) 国際公開番号
WO 2017/204358 A1

- (51) 国際特許分類:
H01S 3/06 (2006.01) *H01S 3/042* (2006.01)
H01S 3/02 (2006.01) *H01S 3/11* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2017/019806
- (22) 国際出願日: 2017年5月26日(26.05.2017)
- (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 2016-105869 2016年5月27日(27.05.2016) JP
 特願 2016-131364 2016年7月1日(01.07.2016) JP
- (71) 出願人: 富士フイルム株式会社 (FUJIFILM CORPORATION) [JP/JP]; 〒1068620 東京都港区西麻布2丁目2番30号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 和田 隆 亜 (WADA, Takatsugu); 〒2580023 神奈川県足柄上郡開成町宮台798番地 富士フイルム株式会社内 Kanagawa (JP). 石井 裕康 (ISHII, Hiroyasu); 〒2580023 神奈川県足柄上郡開成町宮台798番地 富士フイルム株式会社内 Kanagawa (JP). 井上 知己 (INOUE, Tomoki); 〒2580023 神奈川県足柄上郡開成町宮台798番地 富士フイルム株式会社内 Kanagawa (JP). 坪田 圭司 (TSUBOTA, Keiji); 〒2580023 神奈川県足柄上郡開成町宮台798番地 富士フイルム株式会社内 Kanagawa (JP).
- (74) 代理人: 特許業務法人太陽国際特許事務所 (TAIYO, NAKAJIMA & KATO); 〒1600022 東京都新宿区新宿4丁目3番17号 Tokyo (JP).

(54) Title: SOLID-STATE LASER DEVICE

(54) 発明の名称: 固体レーザー装置



(57) **Abstract:** Achieved is a solid-state laser device which is capable of generating stable laser oscillation for a long period of time. A solid-state laser device (1) which is provided with: a laser rod (10) that is formed from an alexandrite crystal; a flash lamp (12) which outputs excitation light for exciting the laser rod (10), and wherein a glass tube (12a) for the lamp is formed from quartz glass that blocks at least deep ultraviolet light having a wavelength of 200-300 nm, while transmitting visible light having a wavelength of 400 nm or more; and a laser chamber (15) which internally contains a tubular reflector (14) that is formed from a porous body of a polytetrafluoroethylene and is provided with a pore (40) that internally contains at least a part of the laser rod (10) and a part of the flash lamp (12), and wherein an inner wall surface (42) of the pore (40) functions as a reflection surface that reflects the excitation light.



WO 2017/204358 A1

(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, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, 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, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, 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, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

一 国際調査報告(条約第21条(3))

(57) 要約: 長時間の安定したレーザ発振が可能な固体レーザ装置を得る。アレキサンドライト結晶からなるレーザロッド(10)と、レーザロッド(10)を励起するための励起光を出力するフラッシュランプであって、ランプ用ガラス管(12a)が、少なくとも波長200nm~300nmの深紫外線を遮断し、かつ、波長400nm以上の可視光を透過する石英ガラスからなるフラッシュランプ(12)と、レーザロッド(10)およびフラッシュランプ(12)の少なくとも一部を内包する孔部(40)を備え、孔部(40)の内壁面(42)が励起光を反射する反射面である筒型形状のリフレクターであって、ポリテトラフルオロエチレンの多孔質体からなるリフレクター(14)を内包するレーザチャンバ(15)とを備えた固体レーザ装置(1)とする。

明 細 書

発明の名称： 固体レーザー装置

技術分野

[0001] 本発明は、固体レーザー媒質としてアレキサンドライトからなるレーザーロッドを用いた固体レーザー装置に関するものである。

背景技術

[0002] 従来、Nd-YAG (Nd doped Yttrium Aluminum Garnet) 等の固体レーザー媒質を用いた固体レーザー装置においては、励起ランプから励起光を発生させ、レーザー媒質に励起光を照射することにより光励起させ、レーザー光を発生するよう構成されている。そして、励起ランプからの励起光を効率よくレーザー媒質に集光させるために、内孔の断面が楕円形や双楕円形をした反射筒が、励起ランプ及びレーザー媒質の周囲に包み込む形で具備されている。

[0003] このような反射筒は励起光を高反射率で反射し得るものでなければならない。

反射筒の材料として、特許文献1には、マイカセラミックス、若しくは硫酸バリウムを例えば10～20重量%含有するフッ素樹脂などを用いることが提案されている。また、特許文献2には反射筒の材質としてポリテトラフルオロエチレンの多孔質体を使用することが提案されている。なお、反射筒をリフレクターとも呼び、反射筒を内包しレーザーロッドと励起ランプを固定配置してレーザーを励起する冶具全体をレーザーチャンバとも呼ぶ。

[0004] 他方、特許文献3には、固体レーザー装置に用いられる励起ランプに関し、そのランプにマイクロクラックを伴わない微細な凹凸が設けられた石英ガラス管を用いることにより、照射ムラを抑制して、かつ励起ランプとしての耐久性を向上させることができる旨記載されている。

[0005] 特許文献4および5には、液晶ディスプレイのバックライトに用いられる蛍光ランプに適したガラスとして、紫外線の透過率を抑制したホウケイ酸ガラスについて開示されている。

[0006] 他方、固体レーザー装置において、光学部材表面、例えばレーザーロッドの端面や共振器ミラーの反射面に塵やほこりが付着すると、その部分にレーザー光のエネルギーが集中して、ロッド端面やミラー反射面が損傷を受ける可能性がある。レーザーロッドの共振器ミラーを塵やほこりから守るために、これらを筐体内に密閉した構造が各種提案されている。

[0007] 一方、レーザーロッドを励起するフラッシュランプ等の励起光源は消耗品であり、定期的に交換する必要がある。そのため、フラッシュランプの交換作業を容易にするために、レーザーチャンバからフラッシュランプ部分を筐体から露出させて、筐体の蓋部を開けることなくレーザーチャンバからフラッシュランプを引き抜き可能とした固体レーザー装置が特許文献6、7等に提案されている。

先行技術文献

特許文献

- [0008] 特許文献1：特開平7-115237号公報
特許文献2：特開平7-235714号公報
特許文献3：特開2005-1923号公報
特許文献4：特表2004-531445号公報
特許文献5：特開2008-19134号公報
特許文献6：特開2015-192044号公報
特許文献7：特開2015-084401号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0009] 固体レーザー装置においては、励起ランプとしてフラッシュランプがよく知られている。そのフラッシュランプより出力される光のエネルギーは非常に大きく、また、フラッシュランプには数100V～数kVの電圧をかけるため、液晶ディスプレイのバックライトに用いられるランプに対し、はるかに高い耐熱性および耐久性が求められる。そのため、特許文献4および特許文

献5に記載のホウケイ酸ガラスでは耐熱性が十分はなく、またホウケイ酸ガラスの熱膨張係数は $5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 程度あり、石英ガラスの熱膨張係数 $0.5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ に比べて一桁大きいために、フラッシュランプの急激な温度変化に対して体積変化が大きすぎて割れてしまう。従って、耐熱性がより高い石英ガラスを用いることが好ましい。

[0010] 他方、特許文献2に記載のように、反射筒の材質として、ポリテトラフルオロエチレン (polytetrafluoroethylene, PTFE) の多孔質体を用いることにより、非常に高い反射率で励起光を反射することができ、励起効率を向上させることができる。

[0011] PTFEは樹脂の一種であるが、非常に結合エネルギーの高いC-F結合から構成されており、C-C結合、Si-C結合、C-O結合などの分子結合を有する樹脂と比較して、耐久性が格段に高いことで知られている。

[0012] しかしながら、本発明者らは、レーザ媒質としてアレキサンドライトからなるレーザロッドを用い、PTFE多孔質体からなるリフレクターを内包するレーザチャンバを用いた固体レーザ装置において、レーザの出力が時間経過に従い低下するという問題があることを見出した。図8は、本発明者らが行った、アレキサンドライトからなるレーザロッドおよびPTFE多孔質体からなるリフレクターを内包するレーザチャンバを備えた固体レーザ装置についての耐久試験結果であり、レーザ出力の経時変化を示すグラフである。図8のグラフにおいて、レーザパワー初期値とその10%減のラインに破線を示している。グラフにおいて1500時間経過時（破線で囲む領域B）辺りで大きく出力が低下することが明らかになった。なお、従来のYAGをレーザ媒質として用いる場合、YAGの吸収ピークが波長800nmと比較的高く、一方で、400nm波長以下ではYAGレーザロッド自体がダメージを受けるため、波長400nm以下をカットする石英ガラスからなるランプ用ガラス管を備えたフラッシュランプが用いられている。しかしながら、アレキサンドライトの吸収波長は420nmを中心とする380nm~460nm程度の波長帯域と、600nmを中心とする540nm~640nm程

度の波長帯域の2つの吸収帯域を持ち、特に420nmを中心とする380nm～460nm程度の波長帯域がレーザ励起に重要である為、効率よく励起するためにYAGレーザの場合には使用しない400nm波長を透過する石英ガラスを用いた。

[0013] 本発明は、上記事情に鑑みてなされたものであり、小型レーザにおいてよく用いられるアレキサンドライトからなるレーザロッドを用い、PTFE多孔質体からなるリフレクターを内包するレーザチャンバを備えた固体レーザ装置であって、長期間の安定したレーザ発振が可能な固体レーザ装置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

[0014] 本発明の固体レーザ装置は、アレキサンドライト結晶からなるレーザロッドと、

レーザロッドを励起するための励起光を出力するフラッシュランプであって、ランプ用ガラス管が、少なくとも波長200nm～300nmの深紫外線を遮断し、かつ、波長400nm以上の可視光を透過する石英ガラスからなるフラッシュランプと、

レーザロッドおよびフラッシュランプの少なくとも一部を内包する孔部を備え、孔部の内壁面が励起光を反射する反射面である筒型形状のリフレクターであって、ポリテトラフルオロエチレンの多孔質体からなるリフレクターを内包するレーザチャンバとを備えた固体レーザ装置である。

[0015] 本発明の固体レーザ装置において、ランプ用ガラス管は、フラッシュランプを駆動させた際の400万ショットから1400万ショットの間の、波長400nmの光に対する透過率の変化が5%以内のガラス管であることが好ましい。

ここで、400万ショット、および1400万ショットとは、フラッシュランプの初期状態（未ショット）からのショット数である。以下において、「…ショット」という場合には同様とする。

[0016] 本発明の固体レーザ装置において、そのフラッシュランプは、100万シ

ヨット以上のエージング処理済みであることが好ましい。

[0017] 本発明の固体レーザー装置においては、フラッシュランプおよびレーザーロッドを冷却する冷却水の導入出機構を備えていることが好ましい。

[0018] 本発明の固体レーザー装置は、リフレクターの孔部に、フラッシュランプが挿入される第1の流体流動部と、レーザーロッドが挿入される第2の流体流動部とを有するフローチューブを備え、フローチューブが、波長200~300nmの深紫外線を遮断し、かつ、波長400nm以上の可視光を透過する石英ガラスからなることが好ましい。

[0019] 本発明の固体レーザー装置は、リフレクターの孔部に、フラッシュランプが挿入される流体流動部を有するフローチューブを備え、フローチューブが、波長200nm~300nmの深紫外線を遮断し、かつ、波長400nm以上の可視光を透過する石英ガラスからなるものであってもよい。

[0020] 本発明の固体レーザー装置において、フラッシュランプは円柱状であり、フラッシュランプとレーザーロッドとは、孔部において、平行に配置されており、その孔部の内壁面は、フラッシュランプのランプ用ガラス管の表面からの最短距離と、レーザーロッドの表面からの最短距離との差が±1mm以内であることが好ましい。

[0021] 本発明の固体レーザー装置は、孔部において、フラッシュランプは、フラッシュランプのランプ用ガラス管の表面から孔部の内壁面までの最短距離が5mm以下1mm以上である位置に配置されていることが好ましい。

[0022] 本発明の固体レーザー装置は、フラッシュランプが円柱状であり、レーザーロッドとフラッシュランプとが、レーザーロッドの直径を ϕ_L 、フラッシュランプの直径を ϕ_F としたとき、

$$1.5\phi_L \leq \phi_F$$

を満たすことが好ましい。

[0023] 本発明の固体レーザー装置においては、前記レーザーロッドが光路上に配置される、出力ミラーとリアミラーとが一直線上に配置された直線型の共振器と、少なくともQスイッチを含む光学部材とを備え、共振器、レーザーロッドお

よび光学部材が共通の基台上に備えられ、基台を一部とする筐体に内包されてなる固体レーザ装置であって、フラッシュランプを、レーザロッドの基台と反対の側にレーザロッドと平行に保持する保持部を備えQスイッチを含む光学部材が、レーザロッドとリアミラーとの間に配置されており基台を基準として、出力ミラーの上端位置が、保持部に保持されたフラッシュランプの下端位置よりも低い位置にあり、

保持部は、フラッシュランプを、フラッシュランプの長手方向に沿って出力ミラー側に抜き差し可能に保持する固体レーザ装置である。

[0024] 本発明の固体レーザ装置においては、出力ミラーは、出力ミラーの共振器面の反射コーティング膜が、上端位置まで設けられてなるものであることが好ましい。

[0025] 本発明の固体レーザ装置においては、基台を基準として、Qスイッチおよびリアミラーの上端位置が、保持部に保持されたフラッシュランプの下端位置よりも高いことが好ましい。

[0026] 本発明の固体レーザ装置においては、光学部材として更にシャッタを備え、シャッタはレーザロッドとQスイッチとの間に設けられており、筐体の内部の、レーザロッドとシャッタとの間に、光路に開口を有する仕切り板が設けられていることが好ましい。

[0027] 本発明の固体レーザ装置においては、筐体は、出力ミラーおよびレーザロッドを収容する第1の収容部と、リアミラーおよび光学部材を収容する第2の収容部とを有し、第1の収容部が、第1の収容部を開放する第1の蓋体を、第2の収容部が、第2の収容部を開放する第2の蓋体をそれぞれ備えて、第1の収容部および第2の収容部が互いに独立に開放可能であることが好ましい。

[0028] 本発明の固体レーザ装置においては、第1の収容部の、第1の蓋体と第1の蓋体以外の部分とは、同じ桁数の線熱膨張係数を有する材質で構成されていることが好ましい。

[0029] 本発明の固体レーザ装置においては、保持部は、フラッシュランプを収容

する孔部を備え、孔部のリアミラー側の端に電源端子を備えたフラッシュランプの突き当て構造を有することが好ましい。

[0030] 本発明の固体レーザ装置においては、フラッシュランプを冷却する冷却媒体を保持部に供給する配管を備え、配管は、基台に設けられた孔から筐体の側面に沿って基台に垂直な方向に延びて配設され、保持部に接続されていることが好ましい。

[0031] 本発明の固体レーザ装置においては、レーザチャンバの孔部がレーザロッドの長軸長よりも短い柱状であり、レーザロッドは、レーザチャンバの孔部に挿通され、レーザロッドの両端部が孔部から露出した状態でレーザチャンバに支持されており、レーザロッドの両端部のうちの少なくとも一方の端部の、レーザチャンバの孔部からの露出根元にリングが設けられており、レーザロッドの側面であってリングよりも端面側の側面に、筐体内で生じた迷光のリングへの入射を妨げるカバー部材をさらに備えることが好ましい。

[0032] 本発明の固体レーザ装置において、リングを備えた構成の場合には、カバー部材とリングとの間に更にリング押さえ板を備え、リング押さえ板が、セラミック、ガラスもしくはフッ素樹脂の少なくとも1つからなることが好ましい。

[0033] 本発明の固体レーザ装置においては、レーザチャンバの孔部がレーザロッドの長軸長よりも短い柱状であり、レーザロッドは、レーザチャンバの孔部に挿通され、レーザロッドの両端部が孔部から露出した状態でレーザチャンバに支持されており、レーザロッドの両端部のうちの少なくとも一方の端部の、レーザチャンバの孔部からの露出根元にリングが設けられており、リングが、フッ素樹脂からなることが好ましい。

[0034] 本発明の固体レーザ装置においては、レーザロッドは、端面に反射防止膜を備え、かつ、該端面の周縁に面取り部を有し、レーザロッドの少なくとも一方の端面に対向する位置に、端面の外周の直径よりも小さい直径の開口を構成する開口規定部を有し、レーザロッドの端面におけるレーザ光路領域を

端面の外周よりも内側の領域に制限する端面保護部材を備えることが好ましい。

- [0035] 本発明の固体レーザ装置においては、光学部材のうち最もレーザロッド側に配置された光学部材からリアミラーまでの距離がフラッシュランプの長さよりも短いことが好ましい。

発明の効果

- [0036] 本発明の固体レーザ装置は、アレキサンドライト結晶からなるレーザロッドと、レーザロッドを励起するための励起光を出力するフラッシュランプであって、ランプ用ガラス管が、波長200～300nmの深紫外線を遮断し、かつ、波長400nm以上の可視光を透過する石英ガラスからなるフラッシュランプと、レーザロッドおよびフラッシュランプの少なくとも一部を内包する孔部を備え、孔部の内壁面が励起光を反射する反射面である筒型形状のリフレクターであって、ポリテトラフルオロエチレンの多孔質体からなるリフレクターを内包するレーザチャンバとを備えているので、波長200～300nmの深紫外線によるリフレクターの損傷が抑制され、結果としてレーザ出力の経時劣化を抑制することができる。

図面の簡単な説明

- [0037] [図1]第1の実施形態の固体レーザ装置内部の構成を模式的に示す平面図である。
- [図2]第1の実施形態のレーザロッド、励起ランプおよびリフレクターを模式的に示す斜視図である。
- [図3]図2のA-A線断面図である。
- [図4]リフレクターの他の例を模式的に示す断面図である。
- [図5]リフレクターの他の例を模式的に示す断面図である。
- [図6]リフレクターの他の例を概模式略的に示す断面図である。
- [図7]実施例および比較例のレーザパワーの経時変化を示す図である。
- [図8]比較例のレーザパワーの経時変化を示す図である。
- [図9]初期時のリフレクター内壁面のSEM画像である。

[図10] 2000時間使用後のリフレクター内壁面のSEM画像である。

[図11] 初期時および2000時間使用後のリフレクター内壁面の炭素C1s分析結果を示す図である。

[図12] 第2の実施形態に係る固体レーザー装置の概略斜視図である。

[図13] 第2の実施形態に係る固体レーザー装置の側面視における概略構成を示す側面模式図である。

[図14] 第2の実施形態に係る固体レーザー装置の平面視における概略構成を示す平面模式図である。

[図15] レーザチャンバの斜視図である。

[図16] 出力ミラーの正面図および側面図である。

[図17] レーザチャンバから露出したレーザーロッド端部近傍を示す拡大断面図である。

[図18] 設計変更例のカバー部材を備えたレーザーロッド端部近傍を示す拡大図である。

[図19] レーザロッドの端面正面図および端部側面図である。

[図20] レーザチャンバから露出したレーザーロッド端部近傍を示す拡大断面図である。

[図21] 端面保護部材の斜視図である。

[図22] 開口規定部とロッド端面との距離dを説明するための図である。

[図23] 設計変更例の端面保護部材を備えたレーザーロッド端部近傍を示す拡大断面図である。

[図24] 第3の実施形態に係る固体レーザー装置のレーザーロッド端部近傍を示す拡大断面図である。

[図25] 設計変更例のカバー部材を備えたレーザーロッド端部近傍を示す側面図である。

[図26] 第3の実施形態に係る固体レーザー装置の概略斜視図である。

[図27] 第3の実施形態に係る固体レーザー装置の側面視における概略構成を示す側面模式図である。

[図28]第3の実施形態に係る固体レーザー装置の平面視における概略構成を示す平面模式図である。

発明を実施するための形態

[0038] 本発明者らは、上記の固体レーザー装置のレーザー出力が経時で低下する原因について、鋭意検討を行った。まず、リフレクターの内壁面について、使用前と2000時間経過後の状態を観察した。図9は使用前、図10は2000時間使用後の内壁面の走査型電子顕微鏡画像である。使用前には比較的滑らかであった表面が、使用後には非常に細かい凹凸が多数形成され、表面が荒れた状態となっていることが分かった。そして、リフレクターの内壁面（反射面）の劣化によるレーザー励起エネルギーの低下が要因であると推測した。さらに、使用前、および2000時間経過後の内壁面についてX線光電子分光法により炭素（C 1 s）の分析を行った。その結果を図11に示す。図11において実線が使用前であり、破線が2000時間経過後（使用後）を示す。図11では、 CF_2 のピークが使用後小さくなり、かつ、右側の低エネルギー側にシフトしている。この結果、フッ素（F）の脱離が生じている、すなわち、PTFEを構成するC-F結合が破壊されていると推察された。C-F結合の結合エネルギーは 116 kcal/mol であり、その解離エネルギーに相当するエネルギーを有する波長は 250 nm 程度である。他方、本発明者らが検討した上記固体レーザー装置において用いたフラッシュランプのランプ用ガラス管は、波長 400 nm を透過し、かつ上記の結合エネルギーに相当する波長 250 nm 近傍の光に対して25%程度の透過率を有する石英ガラスであった。以上から、フラッシュランプから出力された波長 250 nm 近傍の深紫外線（deep ultraviolet）がリフレクターの反射面に入射することにより、PTFEのC-F結合が破壊され、反射面が荒らされ、反射率が低下したとの知見を得た。この知見に基づいて、以下の発明に至った。

[0039] 以下、図面を参照し、本発明の実施の形態を詳細に説明する。図1は、実施形態の固体レーザー装置1内部の構成を模式的に示す平面図である。図2は

、実施形態のレーザロッド10、フラッシュランプ12およびリフレクター14を模式的に示す斜視図である。図3は、図2のレーザロッド10の長さ方向に垂直なA-A断面における断面図である。なお、視認しやすくするため、図面中の各構成要素の縮尺等は実際のものとは適宜異ならせてある。

[0040] 実施形態の固体レーザ装置1は、アレキサンドライトからなるレーザロッド10と、レーザロッド10を励起するための励起光を出力するフラッシュランプであって、ランプ用ガラス管12aが、波長200nm~300nm(200nm以上300nm以下)の深紫外線を遮断し、かつ、波長400nm以上の可視光を透過する石英ガラスからなるフラッシュランプ12と、レーザロッド10およびフラッシュランプ12の少なくとも一部を内包する孔部40を備え、孔部40の内壁面42が励起光を反射する反射面である筒型形状のリフレクターであって、ポリテトラフルオロエチレンの多孔質体からなるリフレクター14を内包するレーザチャンバ15とからなる光源部20を備えている。ここで、可視光は波長400nm~780nm以下の光である。

[0041] 固体レーザ装置1は、さらに、共振器を構成する1対のミラー11および13、ポラライザ(偏光子)16、シャッタ17、Qスイッチ18およびウェッジプリズムペア19および、これらを収容する筐体28並びに筐体外部からレーザチャンバ15へ接続された冷却機器30を備えるものである。

[0042] 本実施形態において、1対のミラー11、13は、レーザロッド10を挟んで一直線上に対向して配置されて、直線型の共振器を構成している。ミラー116は部分透過ミラーであり、レーザ光を出力するいわゆる出力ミラーとして作用する。ミラー13は高反射ミラーであり、いわゆるリアミラーとして作用する。以下において、ミラー11、13を、それぞれ出力ミラー11、リアミラー13と称する場合がある。

[0043] ポラライザ16は、発振したレーザ光から所定方向に直線偏光した成分のみを取り出すものである。シャッタ17はレーザ光の出射を制御するものであり、開閉制御されてレーザ光の出射を機械的に遮断するものである。Qス

スイッチ18は高出力のパルス状のレーザ光を発生させるように、いわゆるQスイッチ動作するものである。

[0044] 筐体28は、例えば直方体形状に形成されており、出力ミラー11に対向する部分の側壁にレーザL2を取り出すための開口28aを有する。

[0045] 本固体レーザ装置1においては、上記Qスイッチ18を光遮断状態にしてフラッシュランプ12を点灯させると、そこから発せられた励起光によりレーザロッド10が励起され、強い反転分布状態が形成される。この状態になってからQスイッチ18が光通過状態にされると、レーザロッド10から誘導放出された光が、ミラー11、13間で共振し、高出力のジャイアントパルスとなって出力ミラー11を透過し、共振器外に出射される。なお、発熱するフラッシュランプ12およびレーザロッド10は、リフレクター14内を流通する冷却媒体によって冷却される。なお、本発明の固体レーザ装置は、パルス状のレーザ光を発生させるものに限らず、CW (Continuous Wave: 連続波) 動作するものとして構成されてもよい。

[0046] 以下、光源部20の詳細について説明する。

[0047] レーザロッド10は、アレキサンドライト ($\text{Cr}:\text{BeAl}_2\text{O}_3$) の結晶がロッド状に加工されてなるものである。なお、ここで、ロッド状とは、端面となる2つの円板間の距離が円板の直径よりも長い円柱状である。レーザロッド10は、フラッシュランプ12からの光エネルギーを受け取って、特定の波長の光を増幅するレーザ媒質として機能する。このレーザロッド10から誘導放出された光L1は、ミラー11および13から構成される共振器内で共振しながら増幅され、その後レーザL2として出力される(図1)。

[0048] 装置全体の小型化を図るためにはレーザロッド10が細径かつ短尺であることが好ましい。細径にすることで面内のエネルギー密度を高めることができることからパルス幅を短くすることが可能であり、短尺にすることで共振器長を短くすることができることからパルス幅を短くすることが可能である。アレキサンドライト結晶は高価であるため、レーザロッドを細径かつ短尺にすることはコストの面でも大きな効果がある。レーザロッド10の長さ方

向に垂直な断面（円形断面）の直径（以下において、「ロッド直径」という。） ϕ_L は4 mm以下であることが好ましい。ロッド直径 ϕ_L は3 mm以下であることがより好ましく、2.5 mm以下であることがさらに好ましい。また、レーザロッドのロッド長さは75 mm以下であることが好ましく、60 mm以下であることがより好ましい。

[0049] フラッシュランプ12は、レーザロッド10に誘導放出するためのエネルギーを供給する励起光源である。フラッシュランプ12は、例えば、棒状（円柱状）のランプ用ガラス管12a中に対向する電極が配置され、Xeガスが封入されてなるものを採用することができる。フラッシュランプ12は、例えば、棒状のランプ用ガラス管12aの両端に図示しない端子をそれぞれ備え、その端子が筐体28の外部に配置された図示しない電源に接続されている。

[0050] フラッシュランプ12は、そのランプ用ガラス管12aが、波長200 nm～300 nmの深紫外線を遮断し、かつ、波長400 nm以上の可視光を透過する石英ガラスからなる。なお、ここで用いられる石英ガラスは少なくとも波長400 nm～780 nmの光を透過するものである。ランプ用ガラス管12aは、波長380 nm～780 nmを透過し、波長300 nm以下を遮断するものであることが好ましい。本明細書において、ある波長 λ を「透過する」とは、その波長 λ の光に対する透過率が80%以上であることをいい、ある波長 λ を「遮断する」とは、その波長 λ の光に対する透過率が5%以下であることをいうこととする。なお、ランプ用ガラス管12aとしては、波長400 nm～780 nmの光に対する透過率が85%以上であることが好ましく、90%以上であることがさらに好ましい。また、波長200 nm～300 nmの深紫外線に対する透過率は3%以下であることが好ましく、1%以下であることがさらに好ましい。

[0051] 上記条件を満たす石英ガラスとしては、例えば、Heraeus社製の石英ガラスM382S Plusが挙げられる。

[0052] ランプ用ガラス管12aは、エージング処理がなされていることが好まし

い。エージング処理は、少なくとも100万ショット（28時間）以上、400万ショット（110時間程度）以下とすることが好ましい。石英ガラスからなるランプ用ガラス管12aは、光に対する透過率が、初期状態から100万ショットまでに急激に低下することが本発明者らの検討により明らかになった（後記実施例）。このエージング処理により、ランプ用ガラス管12aを、フラッシュランプ12を駆動させた際の400万ショットから1400万ショットさせる間の、波長400nmの光に対する透過率の変化を5%以内のガラス管とすることができる。ここで、1ショットとは、フラッシュランプを1回発光させる1フラッシュを指す。また、ここでショット数と駆動時間との関係はフラッシュランプを10Hzで駆動させた場合で換算している。

[0053] フラッシュランプ12の長さはレーザロッド10の長さに従い適宜決めてよい。フラッシュランプ12の電極間距離をレーザロッド10に対して長く構成しても励起光がレーザロッド10に吸収されず、ロスとなるため、電極間距離はレーザロッド10の受光長と同程度に形成されることが好ましい。従って、レーザロッド10の長さを75mmとした場合にはフラッシュランプ12の全長は120mm程度となり、レーザロッド10の長さを60mm以下とした場合、フラッシュランプ12の全長は100mm程度となる。なお、フラッシュランプ12の長さは、端子を含む長尺方向の長さで定義する。フラッシュランプ12の直径（以下において「ランプ直径」という。） ϕ_F もまたロッド直径 ϕ_L に従い適宜決めてよい。ランプ直径 ϕ_F がロッド直径 ϕ_L に対して大きい場合、フラッシュランプ12からレーザロッド10に直接到達する最も効率のよい励起光の割合が減る。従って、一般にはランプ直径とロッド直径とは同程度に構成される。しかし、ロッド直径が3mm以下と細かい場合にランプ直径を同程度とすると、フラッシュランプ12の電流密度が高くなり、フラッシュランプ12の寿命が著しく短くなる。このような場合、ランプ直径 ϕ_F は、例えば、5mm程度など、ロッド直径 ϕ_L の1.5倍以上とすることが好ましい。すなわち、ランプ直径とロッド直径とが、1.5

$\phi_L \leq \phi_F$ を満たすことが好ましい。

- [0054] リフレクター14は、全体がPTFEの多孔質体から構成されている、すなわち、PTFEの多孔質体のみから構成されている。リフレクターとしては、従来、アルミナセラミックに光沢コーティングを施した反射面を有するものや、あるいは、反射面に硫酸バリウムをパッキングしたものが主流であるが、本体と反射面とが別の材質から構成されると、熱膨張率の差による歪みにより反射面が劣化するなどの問題があった。本発明では、反射面（孔部40の内壁面42）を構成するリフレクター14がPTFEのみからなるため、そのような問題は生じない。
- [0055] リフレクター14の内部（孔部40）において、フラッシュランプ12から出射した光は、直接にレーザロッド10に照射されるか、または反射面である内壁面42で反射してレーザロッド10に照射される。
- [0056] リフレクター14の孔部40は、レーザロッド10の長軸長よりも短い円柱状であり、レーザロッド10およびフラッシュランプ12は孔部40に挿通され、孔部40内において互いに平行に、それぞれ両端部が孔部40から露出する状態で支持される。孔部40の形状はレーザロッド10およびフラッシュランプ12の少なくとも一部を受容できればよいが、フラッシュランプ12の励起光出力領域全域が収容されていることが、励起光をレーザロッド10に効率よく照射することができ好ましい。
- [0057] リフレクター14において、レーザロッド10にフラッシュランプ12からの励起光を効率よく照射させるためには、両者の中心間の距離Dは近いほど好ましい。中心間距離Dを、7mm以下とすることにより、励起効率を非常に高くすることができる。
- [0058] リフレクター14を内在するレーザチャンバ15には、レーザロッド10およびフラッシュランプ12を冷却するための冷却水を孔部40に導入出させるための冷却水の導入出機構である冷却機器30が接続されている。冷却機器30は、例えば、純水等の冷却水を収容し、冷却水の循環を制御する冷却制御部32、配管34aおよび配管34bを備え、冷却水の往路となる配

管34 aおよび冷却水の復路となる配管34 bを介してレーザチャンバ15に接続されている。

[0059] 例えば、配管34 aを通してレーザチャンバ15に供給された冷却媒体は、リフレクター14の内部を通りながらレーザロッド10およびフラッシュランプ12の熱を奪い、その後配管34 bを通して冷却制御部32に戻ってくる。そして、冷却制御部32で冷却された冷却媒体は、再度レーザチャンバ15および冷却制御部32の相互間で循環することになる。

[0060] なお、冷却媒体としては、純水のほか、アルコールや油などもあるが、本構成において、リフレクター14はP T F Eの多孔質体から構成されているため、アルコールや油はP T F E内に染み込む恐れがあり、本構成においては水、特に純水を冷却媒体として用いる。なお、水には深紫外線を吸収する効果があるため、フラッシュランプ12からわずかに出力される波長200 nm~300 nmの深紫外線がリフレクター14の内壁面42に入射するのをさらに抑制する効果を得ることができる。

[0061] 図3に孔部40の長手方向に垂直な断面形状を示すように、孔部40の形状は、内壁面42がフラッシュランプ12のランプ用ガラス管12 aの表面からの最短距離 t_F と、前記レーザロッド10の表面からの最短距離 t_L との差が±1 mm以内となるように構成されていることが好ましい。図3に示すように、ランプ直径 ϕ_F がロッド直径 ϕ_L よりも大きい場合、距離 t_F と距離 t_L とを同等にするためには、孔部40のランプ挿入側とロッド挿入側とで非対称な断面形状となる。フラッシュランプ12のランプ用ガラス管12 aの内壁面42に対向する表面（断面図においてランプ用ガラス管の上部半円を形成する面）の内壁面42との距離は全域において t_F で一定であることが励起光の反射効率および冷却水による冷却効率の観点から好ましい。同様にレーザロッド10の内壁面42に対向する表面（断面図においてレーザロッドの下部半円を形成する面）の内壁面42との距離は全域において t_L で一定であることが冷却効率の観点から好ましい。

[0062] また、特に、フラッシュランプ12のランプ用ガラス管12 aと内壁面4

2との距離 t_F は5 mm以下1 mm以上であることが好ましく、2 mm以下であることがより好ましく、例えば、1.5 mmとすることができる。

なお、距離 t_F が小さいほど、励起光の反射効率を高め、レーザロッドへの励起光の照射効率を向上させることができる。一方、距離 t_F を1 mm以上とすることにより、フラッシュランプの冷却を十分に実施することができる冷却水の流量を維持することができる。

[0063] 本発明の固体レーザ装置は、上記実施の態様に限定されない。

[0064] 図4～図6は、リフレクター14の内部構成が異なる他の態様を模式的に示す断面図である。

図4に示す態様では、リフレクター14の孔部40に、フローチューブ50がはめ込まれている点で上記図2に示した構成と異なる。フローチューブ50は、フラッシュランプ12が挿入される第1の流体流動部52と、レーザロッド10が挿入される第2の流体流動部54とを有する。第1の流体流動部52はフラッシュランプ12の直径 ϕ_F よりも大きい直径を有する中空部であり、フラッシュランプ12を冷却する冷却媒体が流される。第2の流体流動部54はレーザロッド10の直径 ϕ_L よりも大きい直径を有する中空部であり、レーザロッド10を冷却する冷却媒体が流される。第1の流体流動部52の中空部の直径はランプ直径 ϕ_F よりも2 mm～10 mm、好ましくは2 mm～6 mm程度大きいものとするのが好ましい。同様に第2の流体流動部54の中空部の直径はロッド直径 ϕ_L よりも2 mm～10 mm、好ましくは2 mm～6 mm程度大きいものとするのが好ましい。このようなフローチューブ50を備えることにより、十分な冷却効果を有し、かつ水量を抑制することができる。

[0065] また、さらに、フローチューブ50を、波長200 nm～300 nmの深紫外線を遮断し、かつ、波長400 nm以上の可視光を透過する、フラッシュランプ12のランプ用ガラス管12aと同等の石英ガラスから構成することが好ましい。フラッシュランプ12のランプ用ガラス管12aとフローチューブ50とが共に、波長200 nm～300 nmの深紫外線を遮断する効

果を有することにより、二重の遮断効果を得ることができ、フラッシュランプ12において生じる光のうちの深紫外線のリフレクター14の内壁面42への入射をより効果的に抑制することができる。

[0066] 図4に示すフローチューブ50は、リフレクター14とは別に作製して嵌め込んでもよいし、一体形成してもよい。

[0067] また、図5に示すリフレクター14の内部構成のように、フラッシュランプ12が挿入される1つの流体流動部62のみを有するフローチューブ60を備えてもよい。この流体流動部62はフラッシュランプ12の直径 ϕ_F よりも大きい直径を有する中空部であり、フラッシュランプ12を冷却する冷却媒体が流される。流体流動部62の中空部の直径はランプ直径 ϕ_F よりも2mm~10mm、好ましくは2mm~6mm程度大きいものとするのが好ましい。動作時には、流体流動部62に冷却水を流すとともこのフローチューブ60が装填されているリフレクター14の孔部40にもレーザロッド10を冷却するための冷却水を流す。

[0068] この場合にも、フローチューブ60を、波長200nm~300nmの深紫外線を遮断し、かつ、波長400nm以上の可視光を透過する、フラッシュランプ12のランプ用ガラス管12aと同等の石英ガラスから構成することが好ましい。フラッシュランプ12のランプ用ガラス管12aとフローチューブ60とが共に、波長200nm~300nmの深紫外線を遮断する効果を有することにより、二重の遮断効果を得ることができ、フラッシュランプ12において生じる光のうちの深紫外線のリフレクター14の内壁面42への入射をより効果的に抑制することができる。

[0069] 図5の態様では、フローチューブ60は中空円柱状であったが、図6に示すように、1つの流体流動部72を備えたフローチューブ70が、リフレクター14の孔部40のフラッシュランプ配置領域（孔部40の上部）を埋め込むように配置されるものであってもよい。この場合、動作時には、流体流動部72および孔部40の下部に冷却水を流すとともこのフローチューブ60が装填されているリフレクター14の孔部40にもレーザロッド10を

冷却するための冷却水を流すこととなる。図6に示す構成においても図5の構成と同様の効果を得ることができる。

[0070] 次に、本発明の第2の実施の形態を詳細に説明する。以下においては、上述のリフレクター14を内包するチャンバー130と固体レーザ装置の筐体150について詳細に説明する。図12は、本発明の第2の実施形態に係る固体レーザ装置の外観形状を模式的に示す斜視図である。また、図13および図14は本実施形態に係る固体レーザ装置の概略側面図および概略平面図であり、いずれも筐体の一部を省き内部の構成要素の配置を模式的に示している。以下では、第1の実施形態の固体レーザ装置1と異なる点のみを説明する。第1の実施形態の固体レーザ装置1と同一の構成要素については同一符号を付し詳細な説明を省略する。

[0071] 固体レーザ装置101は、共振器を構成する1対のミラー11、13、共振器中に配置されたレーザロッド10、このレーザロッド10の少なくとも一部を収容するレーザチャンバ130を備えている。本固体レーザ装置1は、一方のミラー12とレーザロッド13との間に、光学部材として、ポラライザ（偏光子）16、シャッタ17、Qスイッチ18およびウェッジプリズムペア19に加え、アパーチャ部材115を備えている。そして、ミラー11、13、レーザロッド10および光学部材16～19および115が筐体150中に配置されている。ここで、レーザチャンバ130の一部は筐体150から外部に露出し、レーザチャンバ130の筐体150から露出した部分にフラッシュランプ112が収容されている。

[0072] 筐体150は、平板状の基台151、側壁部153および蓋部155から構成されており、側壁部153の一部にレーザ光を出力するための出射開口156を備えている。本実施形態においては、筐体150は、出力ミラー11およびレーザロッド10すなわちレーザチャンバ130のレーザロッド10が収容されている第2の部分132を収容する第1の収容部150aと、リアミラー13および光学部材16～19を収容する第2の収容部150bとを有する。なお、Qスイッチやシャッタなどの主たる光学部材は第2の収

容部 150b に收容されるが、アパーチャ部材 115 は第 1 の收容部 150a に收容されている。

[0073] 第 1 の收容部 150a と第 2 の收容部 150b とは、筐体 150 内部において、光路に開口 158a を有する仕切り板 158 により分離されている。シャッタ 17 とレーザロッド 10 との間に仕切り板 158 を備えることにより、レーザロッド 10 およびレーザロッド 10 近傍の光路上にシャッタ摺動部の摺動により生じるゴミが付着するのを抑制することができる。

仕切り板 158 に設けられている開口 158a は、光軸調整が不要な程度にレーザロッド 10 の直径よりも大きいことが好ましい。

なお、上述の通り、筐体 150 内部には仕切り板 158 が備えられていることが好ましいが、仕切り板 158 は備えられていなくてもよい。

[0074] 図 12 および図 13 に示すように、第 1 の收容部 150a と第 2 の收容部 150b の高さが異なり、第 1 の收容部 150a は、第 1 の收容部 150a を開放する第 1 の蓋体 155a を備え、第 2 の收容部 150b は、第 2 の收容部 150b を開放する第 2 の蓋体 155b を備えている。すなわち、筐体 150 の蓋部 155 は、第 1 の蓋体 155a と第 2 の蓋体 155b とからなり、第 1 の收容部 150a および第 2 の收容部 150b が互いに独立に開放可能に構成されている。本構成により、第 2 の收容部 150b 内の光学部材の交換やポラライザによる光軸調整時には、第 1 の收容部 150a を閉じたまま、第 2 の收容部 150b のみを開放して作業を行うことができ、第 1 の收容部 150a 中への塵埃の侵入を防止することができる。

[0075] 本実施形態では、筐体 150 の基台 151 および側壁部 153 は、アルミニウム等基本的に強固な金属で構成される。筐体の第 1 の收容部 150a にはレーザチャンバ 130 が設置される。レーザチャンバ 130 に挿通されるフラッシュランプ 12 はガスが封入されたガラス管に正負の電極が備わった構造をしており、電極間で放電を開始させるためには電極周囲の導体に数千 V から数万 V の高電圧をかける必要がある。本構成においてはレーザチャンバ 130 に高電圧を加える事で放電を開始させる。そこで、レーザチャンバ

130に近接する第1の蓋体155aとしては、電気安全性の観点から導電率の低い樹脂材料が好ましい。一方で、フラッシュランプ12の駆動時には数百ワット程度の発熱があり、主要部150aは温度上昇が著しい。そこで、第1の収容部150aの第1の蓋体155a以外の部分、すなわち、本構成においては、筐体150の側壁部153と線熱膨張係数の桁数（オーダー）が同じ材質により構成することが好ましい。

[0076] 例えば、筐体150の側壁部153がアルミニウムであるとき、その線熱膨張係数は 23.5×10^{-6} ($^{\circ}\text{C}$)である。蓋の材質としては、線熱膨張係数が 22.0×10^{-6} ($^{\circ}\text{C}$)である変性PPO（ポリフェニレンオキシド）、線熱膨張係数が 52.0×10^{-6} ($^{\circ}\text{C}$)である変性PPE（ポリフェニレンエーテル）、および線熱膨張係数が 70.0×10^{-6} ($^{\circ}\text{C}$)であるポリカーボネートなどの樹脂材料が好適である。

[0077] なお、本実施形態においては、筐体150の基台151に対向する上面に蓋体155aおよび155bを備えるものであるが、筐体150の側壁部153の一面を蓋体として、各収容部150a、150bが開放可能となるように構成されていてもよい。

[0078] 本実施形態において出力ミラー11は平面ミラー、ミラー13は凹面ミラーである。本実施形態においては、出力ミラー11およびリアミラー13は互いに対向して、筐体150の一部を成す側壁部153のうち短手方向の各側面に取り付けられている。そのうち出力ミラー11は、筐体150の側壁部153の一部に設けられている出射開口156からレーザー光を出力可能に取り付けられている。

[0079] レーザチャンバ130は、例えば、金属からなり、レーザーロッド10およびフラッシュランプ12をリフレクター14ごと収容するように構成されている。レーザーチャンバ130は、内部にレーザーロッド10およびフラッシュランプ12を収容するための空間を有しており、内部でフラッシュランプ12から出射された光をレーザーロッド10に伝達する。例えば、レーザーチャンバ130の内側には反射面が形成されており、フラッシュランプ12から出

射した光は、直接にレーザロッド10に照射されるか、または反射面で反射してレーザロッド10に照射される。

[0080] 図15は、レーザチャンバ130の外観を示す斜視図である。図15では、配管34a、34b（図12参照）を接続するための穴などは図示を省略している。レーザチャンバ130は、フラッシュランプ12を収容する第1の部分131と、レーザロッド10を収容する第2の部分132とを有する。第1の部分131には、フラッシュランプ12を収容する空間として、長手方向に垂直な一方の壁面から他方の壁面に貫通する孔部133を備え、第2の部分132には、レーザロッド10を収容する空間として、長手方向に垂直な一方の壁面から他方の壁面に貫通する孔部34を備えている。すなわち、2つの孔部133、134は、レーザチャンバ130の長手方向に沿って、互いに平行に設けられている。このレーザチャンバ130の第1の部分131が本実施形態の固体レーザ装置におけるフラッシュランプ12を、レーザロッド10の基台151と反対の側にレーザロッド10と平行に保持する保持部を構成する。

[0081] レーザチャンバ130の孔部134は、レーザロッド10の長軸長よりも短い円柱状であり、レーザロッド10は、孔部134に挿通され両端部が孔部134から露出する状態で支持され、フラッシュランプ12は、孔部133に挿通されて支持される（図13参照）。孔部134の形状はレーザロッド10を受容できればよく、円柱状に限らず、角柱状あるいは楕円柱状等であってもよい。フラッシュランプ12は、レーザチャンバ130に対して長手方向、図中において右側に抜き差し可能である。本実施形態においては、レーザチャンバ130の第1の部分131の長手方向の長さは、第2の部分132の長手方向の長さよりも長い。なお、第1の部分131と第2の部分132の長手方向の長さは同じでも構わない。

[0082] 図13に示すように、レーザチャンバ130はフラッシュランプ12を収容する第1の部分131が筐体150の蓋部155から外部に突出し、レーザロッド10を収容する第2の部分132が筐体150内に配置されるよう

に支持台23により支持されており、蓋部155が閉じた状態でフラッシュランプ12の交換が可能とされている。フラッシュランプ12、レーザチャンバの第1の部分131から出力ミラー11側に引き出すことができる。

[0083] 基台151の表面から出力ミラー11の上端11eの位置までの高さ h_1 が、レーザチャンバ130の第1の部分131に收容されたフラッシュランプ12の下端までの高さ h_2 よりも低くなる位置に出力ミラー11が取り付けられている。そして、レーザロッド10と出力ミラー11の間には、他の光学部材を備えていない。したがって、フラッシュランプ12をその長尺な方向に孔部134から出力ミラー11側に容易に引き出すことができる。

[0084] 図16に出力ミラー11の正面図（左図）および側面図（右図）を示す。図16に示すように、出力ミラー11は平面ミラーであり、共振器面として、平板状の基材11aの表面に多層膜からなる反射コーティング膜11bを備えてなる。一般に、平面ミラーにおいては、基材の表面の周縁に反射コーティング膜が形成されていない部分を有しているが、本実施形態における出力ミラー11は、下端の一部および両端の一部を除き、上端11eまで均一に形成された反射コーティング膜11bを備えている。ここで、上端、下端は、図8に示す固体レーザ装置に設置された場合において、基台151を基準として、基台151により近い側の端を下端、基台から離れた側の端を上端として定義する。このような出力ミラー11は、例えば、周縁に反射コーティング膜が形成されていない市販の平面ミラーの一端部を切断して作製することができる。

[0085] レーザチャンバ130において、レーザロッド10にフラッシュランプ12からの励起光を効率よく照射させるためには、両者の中心間の距離が近いほど好ましい。本出力ミラー11は、上端11eまで反射面として利用できるため、出力ミラー11側へのフラッシュランプ12の引き抜きが可能であり、かつフラッシュランプ12の下端位置を光路に重ならない範囲で、なるべく共振器軸（レーザ光軸）に近い位置に配置することができ、小型化も可能となる。特に、フラッシュランプ12と、レーザロッド10の中心間距離

を、7mm以下とすることにより、励起効率を非常に高くすることができる。

[0086] 本固体レーザ装置101においては、既述の通り、レーザロッド10のリアミラー13側に、光学部材として、アパーチャ部材115、ポラライザ16、シャッタ17、Qスイッチ18およびウェッジプリズムペア19を備えている。

[0087] アパーチャ部材115は、光路に開口115aを有し、光学部材16～19側から比較的大きい角度でレーザロッド側に向かう、光路から大きくはずれた迷光を遮断する。

[0088] また、ウェッジプリズムペア19は、それらの位置、角度を調整することにより、光軸の補正等の光学系調整を行うために備えられている。このウェッジプリズムペア19を備えることにより、非常に精度のよい光軸調整を行うことが可能となる。ここで、アパーチャ部材115が、最もレーザロッド10側に配置されていることにより、アパーチャ部材115は、ポラライザ16、シャッタ17、Qスイッチ18、ウェッジプリズムペア19およびリアミラー13などにおいて生じた迷光のレーザロッド10側への進行を抑制することができる。

[0089] アパーチャ部材115は、塵およびアウトガスの発生が少なく、レーザ光の吸収が小さく、耐熱性を有することが求められる。また、レーザ光に対して拡散性がある材質が望ましい。したがって、アパーチャ部材115の材質としては、セラミック、すりガラス、あるいはポリテトラフルオロエチレン (polytetrafluoroethylene; PTFE) 等のフッ素樹脂が適している。

[0090] アパーチャ部材115は、迷光がレーザチャンバ130に当たることを防止するため、本実施形態のように、レーザチャンバ130と他の光学部材16～19との間に配置することが望ましい。

[0091] 光学部材115および16～19は、それぞれホルダ125および26～29に取り付けられており、ホルダ125および26～29は筐体150の一部を成す基台151の上に設置されている。なお、これらの光学部材11

5および16～19は必要に応じて設けられればよく、本発明の固体レーザ装置においては、これらの光学部材のうち、例えば、Qスイッチのみを備えた構成であってもよい。

[0092] 図13に示すように、リアミラー13およびレーザロッド10のリアミラー13側に配置された光学部材115および16～19のうち、アパーチャ部材115を除く光学部材16～19の基台151からの高さは、いずれもフラッシュランプ12の下端の高さ h_2 よりも高い。ここで、リアミラー13および光学部材115および16～19の高さとは、これらを支持するホルダ125および26～29を含み、共振器光軸に平行な基台151の表面から垂直な方向に最も離れた位置で定義する。例えば、リアミラー13の高さ h_3 は、基台151表面からリアミラーホルダの上端までの距離であり、Qスイッチ18の高さ h_4 は、基台151表面からホルダ28の上端までの距離である(図2参照)。リアミラー13やQスイッチ18など光路上に配置すべき光学部材のホルダは、それらの光学部材を光軸上に精度よく支持するために必要な高さを有し、また、市販のものを利用しようとした場合には、これらの高さを低くするのは難しい。これらの高さの高い光学部材をレーザロッド10の出力ミラー11側に配置すると、フラッシュランプ12の引き出せない場合が生じる。本固体レーザ装置101においては、出力ミラー11側には、フラッシュランプ12を引き出す際の軌道を遮る高さの光学部材を配置せず、フラッシュランプ12の下端の高さ h_2 よりも高い光学部材を全てレーザロッド10のリアミラー13側に配置しているので、フラッシュランプ12の出力ミラー11側への容易な引き抜きが可能となる。

[0093] また、本固体レーザ装置101のように、出力ミラー11とリアミラー13とにより直線型共振器を構成し、出力ミラー11以外の光学部材を全て、レーザロッド10とリアミラー13側に配置する構成とすることにより、固体レーザ装置の共振器部分を非常に小さくでき、装置全体としても小型化を実現することが可能となる。

[0094] 出力ミラー11とリアミラー13との間に光学部材を複数配置する場合、

特には、光学部材のうち最もレーザロッド10側に配置された光学部材（本例においては、アパーチャ部材115）からリアミラー13までの距離がフラッシュランプ12の長さよりも短いことが好ましい。これにより、収容部150bをさらに小さくすることができ、筐体のさらなる小型化が可能となる。

[0095] 本固体レーザ装置101の具体的な構成として、例えば、レーザロッド10が、直径4mm以下、長さ75mm以下である場合、共振器の長さ280mm以下、共振器幅70mm以下、高さ60mm以下の共振器部分を構成することができる。このとき、共振器部分の体積は 1176000mm^3 （ $=1176\text{cm}^3$ ）である。ここで共振器長は、出力ミラー11からリアミラー13の反射面間の距離であり、共振器の幅、高さは共振器内に配置される光学部材のホルダの最も大きい部分で規定される。

[0096] そして、この共振器を内包する筐体の外形としては、長さ350mm以下、幅160mm以下、高さ70mm以下とすることができる。この時、固体レーザ装置の基台の面積は 56000mm^2 （ 560cm^2 ）以下とすることができる。

[0097] 上記構成のアレキサンドライトレーザにおいては、投入電力22J以下で駆動したとき、パルス幅40nsec（n秒）以下のパルスレーザを発振させることができる。なお、投入電極18J以下で、パルス幅30nsec以下のパルスレーザを発振することが可能である。

[0098] 特に、直径3mm以下のレーザロッドを用いることにより、パルス幅40nsec以下を実現でき、さらには、直径2.5mm以下とすることにより、パルス幅30nsec以下を実現できる。

[0099] ここで、本実施形態の固体レーザ装置101における、レーザ光を長期安定して出力可能とするための構成を説明する。

[0100] 図17にレーザチャンバ130から露出したレーザロッド10の一方の端部近傍（図13において、破線で囲まれた領域A）の拡大断面図を示す。なお、図17中には、アパーチャ部材115の断面を併せて示している。

[0101] 図17に示すように、レーザロッド10の端部10a（以下において「ロッド端部10a」という。）のレーザチャンバ130の孔部134からの露出根元にはリング136が配され、さらに、リング136に隣接して、レーザロッド10の端面10b（以下において「ロッド端面10b」という。）側に、レーザロッド10を通過させる貫通孔を有するリング押さえ板137が配されている。レーザチャンバ130内は冷却媒体の流路となっており、封止のためにレーザロッド10およびフラッシュランプ12の挿通部はリング等で適宜封止される。なお、ロッド端部10aのレーザチャンバ130からの露出根元とは、レーザチャンバ130の孔部134から露出されたロッド端部10aのうち、最もレーザチャンバ130側（すなわち孔部134側）の部分を用いる。なお、以下において、レーザチャンバ130の孔部134からの露出根元を、レーザチャンバからの露出根元という場合がある。リング136はレーザロッド10に嵌め込まれ、レーザチャンバ130の孔部134の端部に設けられているリング受け部に配置される。リング押さえ板137が、レーザチャンバ130にネジ止めされることにより、リング136はレーザチャンバ130側に付勢され、レーザロッド10は固定されている。そして、ロッド端部10aに嵌め込まれたリング136よりもロッド端面10b側のレーザロッドの側面10c（以下において、「ロッド側面10c」という。）に、筐体150内で生じた迷光のリング136への入射を妨げるカバー部材138を備えている。

[0102] リング136、リング押さえ板137およびカバー部材138は、レーザチャンバ130から露出されている両端部に設けられていることが好ましいが、少なくとも一方の端部に設けられていればよい。また、カバー部材138が、リング押さえ板137と同等の機能を有する場合には、リング押さえ板137を備えていなくても構わない。

[0103] 固体レーザ装置においては、固体レーザ媒質であるレーザロッドが光路そのものであり、レーザロッドに触れる部材は光路とほぼ接していると言える。図17に示すように、ロッド端面10bのごく近傍にはリング136が

存在し、リング136で塵やガスが発生するとロッド端面10bに付着しやすい。そして、ロッド端面10bに付着したこれらの塵やガスにレーザー光が照射されると、焼き付きを生じてレーザーロッド10損傷する場合がある。本実施形態の固体レーザー装置101においては、上記カバー部材138を備えることにより、リング136への迷光の入射を防止することができるので、塵やアウトガスの発生を効果的に抑制することができる。

[0104] カバー部材138は、塵およびアウトガスの発生が少なく、レーザー光の吸収が小さく耐熱性を有するものであることが求められる。また、レーザー光に対して拡散性を有することが望ましい。したがって、カバー部材138はセラミック、すりガラス、あるいはPTFEなどのフッ素樹脂の少なくとも1つからなることが好ましい。カバー部材138は迷光がリング136へ突入することを防ぐため、レーザーロッド10との密着性が高い軟性材料が望ましい。したがって、繊維状のセラミックやガラス、あるいは未焼成のフッ素樹脂等が特に適している。

[0105] 図17に示すように、本固体レーザー装置101においては、アパーチャ部材115の開口直径はロッド直径 ϕ_0 と同等以上とすることが好ましく、ロッド直径 ϕ_0 よりも大きいことがさらに好ましい。特に、装置の小型化およびレーザー光の短パルス化のためにレーザーロッド10として、ロッド直径 ϕ_0 が4mm以下のような細径のレーザーロッドを採用する場合、アパーチャ部材115による開口制限はレーザー出力に大きく影響する。すなわち、細径のレーザーロッドに対してはアパーチャ部材115の配置精度がレーザー出力に対して高い感度を持つため、アパーチャ部材115の配置精度が低いと安定性の低下が生じ、一方で配置精度を高めることは製造上のコストアップに繋がる。したがって、細径のレーザーロッドを採用する場合、アパーチャ部材の開口直径はロッド直径より大きいことがより望ましい。但し、アパーチャ部材の開口直径が大きすぎると、迷光の遮断効果が十分得られない場合があるためロッド直径の120%以下とすることが好ましい。なお、アパーチャ部材115の開口形状はレーザーロッド10の端面形状と相似形であることが好ましい。

- [0106] 本実施形態においては、アパーチャ部材115は、レーザロッド10のリアミラー13側にのみ配置されているが、アパーチャ部材115はレーザロッド10の両端面側に配置することが迷光の遮断による保護の観点からは好ましい。しかしながら、レーザロッド10の両端面側にアパーチャ部材115を配置する場合、配置精度の要求が上がり、製造上のコストアップに繋がる。特にロッドが細径の場合には顕著である。本実施の形態においては、レーザロッド10のリアミラー13側に各種光学部材16～19を集中配置させて主要な迷光の発生点を片側に寄せているため、アパーチャ部材115を片側だけに配置しても十分に高い保護効果が得られる。
- [0107] 図18は、設計変更例のカバー部材139を備えたレーザロッド端部近傍の拡大図を示す。図18に示すカバー部材139は、PTFEからなるテープ139aをロッド側面10cに複数回巻き付けてなる。テープ139aを複数回巻き付けて構成されたカバー部材139は、レーザロッド10との密着性が高く、巻回数により大きさを自由に变化させることができ、好ましい。ロッド端面10b側から視認した際に、リング136が視認できない程度にテープ139aを巻きつけることにより、迷光のリング136への入射を効果的に抑制することができる。
- [0108] また、図18において、カバー部材139で十分にリング136を付勢して、レーザロッド10を固定可能である場合には、リング押さえ板を備えなくともよい。
- [0109] なお、リング136としては一般的な、フッ素樹脂系でないゴム製のものをを用いることができる。一方で、リング136自体を塵やアウトガス発生が少ない材質、例えばフッ素樹脂系ゴム製にするとさらに好ましい。
- [0110] また、図17、18のようにリング押さえ板137を備える場合には、リング押さえ板137に迷光が入射して、塵やアウトガスが発生する場合があるため、リング押さえ板137としても塵およびアウトガス発生が少ない材質、例えばセラミックあるいはフッ素樹脂等からなるものをを用いることが好ましい。または、カバー部材を大きくして、リング押さえ板への迷

光の入射を抑制するように構成することも好ましい。

[0111] 上記のように、レーザロッド10のレーザチャンバ130からの露出根元のリング136への迷光を抑制するカバー部材138、139を備えれば、レーザロッド10の損傷を抑制し、長期に安定したレーザ出力を得ることができる。また、アパーチャ部材115を備えていれば、レーザチャンバ130への迷光の入射も抑制することができ、さらに効果的にレーザロッド10の損傷を抑制することが可能である。

[0112] アパーチャ部材115とカバー部材138もしくは139とは、レーザロッド10の同一端面側に同時に設けられていることが特に好ましい。しかしながら、本発明の固体レーザ装置としては、アパーチャ部材とカバー部材とが、同一端面側に同時に設けられている構成に限らず、少なくともカバー部材がリア側および出力側のいずれか一方に備えられていれば好ましい。本実施の形態においては、レーザロッド10のリアミラー13側に各種光学部材16～19を集中配置させて主要な迷光の発生点を片側に寄せているため、アパーチャ部材とカバー部材の配置の組合せパターンとしては、下記の表1の様なパターンが最小の構成として挙げられる。表1において、リア側、出力側とは、レーザロッド10のリアミラー13側、出力ミラー11側をそれぞれ意味する。表1において「有」はアパーチャ部材もしくはカバー部材が備えられていることを意味し、「－」は備えていないことを意味する。表1に示す最小構成に対して、「－」を「有」に変更する組み合わせもまた好ましい。

[表1]

No.	リア側		出力側	
	アパーチャ	カバー部材	アパーチャ	カバー部材
1	有	有	－	－
2	有	－	－	有

[0113] レーザロッドおよびレーザチャンバへの迷光の入射を抑制する観点では、レーザロッドの両端面にアパーチャ部材とカバー部材を備える構成が最も好

ましい。一方で、既述の通り、両端面にアパーチャ部材を設けると芯合せに手間がかかり、製造コストアップにつながる。上述の実施形態として説明した構成は表1におけるパターンNo.1に相当し、本実施形態のようにQスイッチ、シャッタ等の光学部材がより多く配置された側（本実施形態においてはリア側）にアパーチャ部材およびカバー部材を同時に備えていることが最も効率よく迷光の入射を抑制し、製造コストも抑制でき、好ましい。

- [0114] さて、レーザロッド10の端面の構成についてより詳細に説明する。図19は、レーザロッド10の一方の端部10aの側面図（右図）および端面正面図（左図）を示す。図19に示すように、レーザロッド10は、そのロッド端面10bと、ロッド側面10cとの間に面取り部10dを備えている。すなわち、レーザロッド10は端面10bの周縁、端面10bの外周の半径方向外側に面取り部10dを有する。この面取り部10dは砂面である。そして、ロッド端面10bには反射防止膜114を備えている。図19においては、レーザロッドの一方の端面のみを示しているが、両端面同様の構成である。反射防止膜114はロッド端面10bの全面に備えられていることが好ましい。
- [0115] レーザロッド10の半径と端面外周の半径との差に相当する面取り部10dの幅 δ はロッド直径 ϕ_0 の1~5%程度、好ましくは2%程度である。例えば、ロッド直径 ϕ_0 が2.5mmのとき、面取り部10dの幅 δ は0.05mmとする、などである。
- [0116] 本実施形態の固体レーザ装置101における、レーザ光を長期安定して出力可能とするためのさらに別の付加的な構成を説明する。図20に、別の付加的な構成を有する場合の、レーザチャンバ130から露出したレーザロッド10の一方の端部近傍（図13において、破線で囲まれた領域A）の拡大断面図を示す。
- [0117] レーザロッド10のレーザチャンバ130からの露出根元にはリング136およびリング136に隣接してロッド端面10b側にレーザロッド10を通過させる貫通孔を有するリング押さえ板137が配されている構成

は図12と同様である。

[0118] 図20に示す例においては、さらに、ロッド端面10bに対向する位置に、ロッド端面10bの外周の直径 ϕ_1 よりも小さい直径 ϕ_2 の開口161を構成する開口規定部162を有する端面保護部材160を備えている。この端面保護部材160は、ロッド端面10bにおけるレーザ光路領域をロッド端面10bの外周よりも内側の領域に制限するものである。端面保護部材160を備えない場合、レーザロッド10全域が光路であり、光路断面は直径 ϕ_0 の円形断面に等しいが、端面保護部材160を備えることにより、図20において2点鎖線で示す直径 ϕ_2 の円形断面領域に光路が制限されている。

[0119] このように、端面保護部材160を備えることにより、レーザ光路領域がロッド端面10bの外周よりも内側の領域に制限される、すなわち、面取り部10dの内周よりも内側の領域にレーザ光路が制限されている。したがって、レーザ発振時において、ロッド端面10bと面取り部10dとの境界にレーザ光が照射されない。既述の通り、ロッド端面10bと面取り部10dとの境界は、光学膜のコーティングが良好とは言えず、コーティング破壊の起点となりやすい領域である。しかし、高エネルギーのレーザ光が照射されなければ、コーティング破壊の発生を抑制することができる。すなわち、端面保護部材160を備えることにより、ロッド端面10bにおけるコーティング破壊の発生を抑制することができる。

[0120] 図21に端面保護部材160の斜視図を示すように、本実施形態における端面保護部材160は、開口規定部162を支持する筒状部164を有し、筒状部164がロッド端部10aに嵌合して装着されるキャップ形状をなしている。端面保護部材160は開口規定部162をロッド端面10bの近傍に安定して支持配置できるものであれば特に形状に制限はない。しかしながら、本実施形態のような、嵌め込んで装着可能なキャップ形状であれば、配置精度を容易に担保することができ好ましい。

[0121] 開口規定部162は、ロッド端面10bと面取り部10dとの境界を覆うようにロッド端面10bのごく近傍に備えられていることが肝要である。ご

く近傍とは、ロッド端面10bと開口規定部162との距離d（図15参照）が、両者が接触した状態（すなわち $d=0$ ）に対して、効果に有意な差が出ない程度の距離を意味する。具体的には、距離dは0.5mm以下とすることが好ましく、0.1mm以下がより好ましく、ロッド端面10bと開口規定部162とが接触していることが特に好ましい。なお、ロッド端面10bの表面には反射防止膜14が設けられているため、本明細書において、開口規定部162のロッド端面10bとの距離とは、開口規定部162とロッド端面10bに設けられた反射防止膜114の表面との距離を意味する。同様に、ロッド端面10bと開口規定部162とが接触しているとは、ロッド端面10bに設けられた反射防止膜14の表面と開口規定部162とが接触していることを意味する。

[0122] また、図20に示すように、端面保護部材160の開口規定部162がロッド端面10bに近くなるほど開口直径が小さくなるテーパ部162aを備えていることが好ましい。テーパ部162aを備えることにより開口規定部162による光路のケラレを抑制できる。

[0123] なお、開口規定部162とロッド端面10bとの距離は、開口規定部162の、直径 ϕ_2 を構成する部分のうち最もロッド端面10b側に位置する部分とロッド端面10bとの距離で定義する。例えば、図17のように、開口規定部162の直径 ϕ_2 を構成する部分の一部162bがロッド端面10b側に突出した形状の場合には、突出した一部162bのロッド端面10b側の面からロッド端面10bまでの距離が、開口規定部162とロッド端面10bとの距離dである。

[0124] 端面保護部材160は、レーザロッド10の両端面に備えられていてもよいが、いずれか一方の端面に備えられていればよい。一方のみであっても、レーザ発振領域を制限する効果を奏する。装置の小型化および短パルス化などの要請に応じて細径のレーザロッドを採用する場合、開口制限はレーザ出力に大きく影響する。すなわち、細径のレーザロッドの両端部に端面保護部材を備える場合、端面保護部材の作製精度、配置精度がレーザ出力に対して

高い感度を持つこととなり、安定性の低下や製造上のコストアップにつながる場合がある。したがって、保護部材は、一方の端面にのみ備えることが望ましい。

[0125] 端面保護部材 160 の開口規定部 162 はレーザ光路と接するため、材質としてはレーザ光による損傷、変形がなく、塵およびアウトガスの発生が少ないものであることが求められる。したがって、開口規定部 162 の材質としては、セラミックあるいはフッ素樹脂が適している。開口規定部 162 を含む端面保護部材 160 全体がセラミックあるいはフッ素樹脂の少なくとも 1 つからなることが好ましい。

[0126] 図 23 は、端面保護部材の設計変更例を示す断面図である。

図 23 示す端面保護部材 160 A は、開口規定部 162 がロッド端面 10 b（ここでは、ロッド端面 10 b に形成されている反射防止膜 114）に接触し、かつ筒状部 164 A がレーザチャンバ 130 のレーザロッド 10 の露出根元に備えられたリング押さえ板 137 に突き当たる長さを有している。このようにレーザチャンバ 130 から露出するレーザロッド 10 の端部 10 a のロッド側面 10 c の露出部分を全て覆うカバー状とされていることにより、開口規定部 162 のロッド端面 10 b に対する配置精度を高めることができ好ましい。また、レーザロッド 10 の露出根元までを覆う形状の端面保護部材 160 A を備えることにより、レーザロッド 10 のレーザチャンバ 130 からの露出根元に備えられたリング 136 に、筐体 150 内で発生した迷光が入射するのを抑制することができる。迷光が入射するとリング 136 から塵やアウトガスが生じ、これらの塵やアウトガスがロッド端面に付着し、焼き付きを生じてロッド端面が損傷する場合があるが、端面保護部材 160 A によりリング 136 への迷光の入射を抑制できるので、レーザロッドの損傷をさらに効果的に防止することができる。

[0127] 上記カバー部材 138 と端面保護部材 160 とを組み合わせて用いることもできる。図 24 は、カバー部材 138 と端面保護部材 160 とを組み合わせて備えた場合のレーザロッド 10 のレーザチャンバ 130 からの露出部の

拡大断面図を示す。

[0128] 上記カバー部材138と端面保護部材160とを備えることにより、図23に示した端面保護部材160Aを備えた場合と同様に、ロッド端部10aの側面10cの全域が覆われており、端面保護部材160による反射防止膜114の損傷予防に加え、カバー部材138によりリング136への迷光の入射を防止することができるので、塵やガスの発生を効果的に抑制することができ、レーザロッド10の損傷を効果的に抑制することができ、さらなる長期安定性を実現することが可能となる。

[0129] また、図25に示すように、図18に示したカバー部材139と、端面保護部材160とを組みあわせて備えても、同様の効果を得ることができる。

[0130] なお、アパーチャ部材115、カバー部材138もしくは139、端面保護部材160もしくは160Aは、レーザロッド10の同一端面側に同時に設けられていることが好ましい。しかし、必ずしも同時に全てを備える必要はなく、本発明の固体レーザ装置としては、いずれも付加的に備えられる構成である。なお、好ましい最小の構成の配置パターンとしては、以下の表2に示す配置パターンが挙げられる。表2において、リア側、出力側とは、レーザロッド10のリアミラー13側、出力ミラー11側をそれぞれ意味する。表2において「有」はアパーチャ部材、カバー部材もしくは端面保護部材が備えられていることを意味し、「-」は備えていないことを意味する。表2に示す最小構成に対して、「-」を「有」に変更する組み合わせもまた好ましい。

[表2]

No.	リア側			出力側		
	アパーチャ	カバー部材	端面保護部材	アパーチャ	カバー部材	端面保護部材
1	有	有	-	-	-	有
2	有	-	有	-	有	-
3	有	-	有	-	-	有
4	有	-	有	-	-	-
5	有	-	-	-	-	有

[0131] 上記構成のように、光学部材が多く配置されているリア側にアパーチャ部材を備えていることが好ましい。また、ここで端面保護部材としては、光軸あわせが不要なキャップ形状の嵌め込み型を想定しており、端面保護部材が少なくとも一方の端面に備えられていることが好ましく、両端に備えられていることがより好ましい。

[0132] 次に、第3の実施形態の固体レーザー装置102について説明する。図26は、本発明の第3の実施形態に係る固体レーザー装置の外観形状を模式的に示す斜視図である。また、図27および図28は本実施形態に係る固体レーザー装置の概略側面図および概略平面図であり、いずれも筐体の一部を省き内部の構成要素の配置を模式的に示している。

[0133] ここでは、第2の実施形態の固体レーザー装置101と異なる点のみを説明する。第1の実施形態の固体レーザー装置1、第2の実施形態の固体レーザー装置101と同一の構成要素については同一符号を付し詳細な説明を省略する。

[0134] 本実施形態の固体レーザー装置102は、レーザーチャンバ130のフラッシュランプ12を収容する孔部133の一端（ここでは、リアミラー13側の一端）に、電極を有するソケットもしくはプラグを有する封止端子135が備えられている。すなわち孔部133の一端が、電極の端子が埋め込まれた突き当て構造となっている。フラッシュランプ12は図27中右側から孔部133に挿入されて、封止端子135に突き当てて電源端子に接続される。

本構成のように、フラッシュランプ12を収容する孔部133を突き当て構造とすることにより、交換時におけるフラッシュランプ12の位置決めが容易になり、交換時にフラッシュランプ12の位置ずれによる励起効率の低下などを防止することができる。

[0135] また、第2の実施形態の固体レーザー装置101においては、レーザーチャンバ130に接続されている冷却媒体用の配管34a、34bが水平方向に延びる構成であったのに対し、本実施形態の固体レーザー装置2においては配管35a、35bはL字に屈曲し、筐体150の側壁部153の壁面に沿って

基台 1 5 1 に向かって基台に垂直な方向に延びて配設されている。基台 1 5 1 の側壁部 1 5 3 の外部に孔が設けられており、配管 3 5 a、3 5 b は、この孔から基台 1 5 1 の下に配置される冷却機器 3 2 に接続されている。なお、配管 3 5 a および 3 5 b は、レーザチャンバ 1 3 0 との接続部が金属等の剛性のある部材で接続され、その剛性部材から冷却機器 3 2 までは取り外し可能なホース等の軟性部材で構成されていることが好ましい。

[0136] 第 2 の実施形態の固体レーザ装置 1 0 1 において、配管 3 4 a、3 4 b にホースをつないだ場合、そのホースを曲げて、冷却機器に接続させるためのスペースを考慮する必要がある。一方、本実施形態の固体レーザ装置 1 0 2 を用い、基台 1 5 1 の下に空間を有するフレームに基台 1 5 1 を固定して筐体 1 5 0 を支持する構成とし、基台 1 5 1 の下に冷却機器を設置すれば、設置スペースとして、基台の幅以上のスペースを考慮する必要がなくなる。

[0137] 上記第 2 および第 3 の実施形態の固体レーザ装置は、出力ミラーとリアミラーとが一直線上に配置された直線型の共振器と、共振器の光路上に配置されたレーザロッドと、少なくとも Q スイッチを含む光学部材と、レーザロッドと平行に延びる棒状の励起光源であってレーザロッドを励起する励起光を発するフラッシュランプからなる励起光源とを備え、共振器、レーザロッドおよび光学部材が共通の基台上に備えられ、基台を一部とする筐体に内包されてなる固体レーザ装置であって、励起光源を、レーザロッドの基台と反対の側にレーザロッドと平行に保持する保持部を備え、Q スイッチを含む光学部材が、レーザロッドとリアミラーとの間に配置されており、基台を基準として、出力ミラーの上端位置が、保持部に保持された励起光源の下端位置よりも低い位置にあり、保持部は、励起光源を、励起光源の長手方向に沿って出力ミラー側に抜き差し可能に保持する構成であることにより、励起光源の容易な交換が可能であり、かつ、従来以上に小型化を実現できる。

実施例

[0138] 実施例および比較例の固体レーザ装置についてのレーザ出力の経時変化を調べた。図 7 はその結果を示すものである。

[0139] 実施例の固体レーザ装置は、図1および図2に示した構成の固体レーザ装置1において、ランプ用ガラス管12aとして、波長400nm～少なくとも2000nmにわたる広帯域の光を透過し、波長200nm～300nmの光を遮断する石英ガラス（Heraeus社のM382 Plus）を用いたフラッシュランプを備えたものである。

[0140] 比較例の固体レーザ装置は、実施例において、ランプ用ガラス管12aとして波長400nm～2000nmにわたる広帯域の光を透過し、波長250nmの光に対し25%の透過率を示す石英ガラス（Heraeus社のM382 Plus）を用いたフラッシュランプを備えたものである。

[0141] 図7においては、各例の装置において、10Hzで450～500時間ショットした場合のレーザ出力の経時変化をそれぞれ初期値で規格化して示している。比較例のレーザ出力は時間がたつにつれて徐々に出力が低下しているのに対し、実施例のレーザ出力は、初期の25時間（90万ショット）程度で急減な低下を示した後400時間以上にわたって5%程度以内の変動率で安定な出力が得られた。実施例のレーザ出力の初期における急激な変化は、フラッシュランプのランプ用ガラス管12aに用いた石英ガラスの紫外光による劣化によるものであり、25時間経過後は、石英ガラスに変化が生じないため出力が安定していると推定される。すなわち、レーザ出力の経時変化は、石英ガラスの透過率の経時変化とほぼ一致した振る舞いをすると考えられ、石英ガラスの特性は一定時間以上のエージング処理を行えば、その後400時間以上にわたって各波長（例えば、400nm）に対する透過率の変動が5%程度以内であると考えられる。なお、ここで、25時間は90万ショットに相当するため、安定化を確実なものとするためエージング処理としては100万ショット以上とすることが望ましい。また、その後400時間に亘る安定な出力を得るためには、エージング処理時間は110時間以下、400万ショット以下とすることが望ましいと言える。

産業上の利用可能性

[0142] 本発明の固体レーザ装置は、特に用途を限定されず、各種用途に使用する

ことができる。例えば、特開2012-196430号公報、特開2014-207971号公報などに記載の光音響計測装置において、光音響波検出のために被検体に照射するレーザ光（特にはパルスレーザ光）を発生する測定用の光源として好ましく用いることができる。

また、本発明の固体レーザ装置は、レーザ光を利用して材料の加工を行う加工装置、レーザ光を利用して試料の分析を行う分析装置等、その他の装置に適用することも可能である。

符号の説明

[0143] 1、101、102 固体レーザ装置

- 10 レーザロッド
 - 10a ロッド端部
 - 10b ロッド端面
 - 10c ロッド側面
 - 10d 面取り部
- 11 出力ミラー
 - 11a 基材
 - 11b 反射コーティング膜
 - 11e 上端
- 12 フラッシュランプ
 - 12a ランプ用ガラス管
- 13 リアミラー
- 14 リフレクター
- 15 レーザチャンバ
- 16 ポラライザ
- 17 シャッタ
- 18 Qスイッチ
- 19 ウェッジプリズムペア
- 20 光源部

- 2 1 端子
- 2 3 支持台
- 2 5 ~ 2 9 ホルダ
- 3 0 冷却機器
- 3 2 冷却制御部
- 3 4 a、3 4 b、3 5 a、3 5 b 配管
- 4 0 リフレクターの孔部
- 4 2 孔部の内壁面（反射面）
- 5 0、6 0、7 0 フローチューブ
- 5 2 第 1 の流体流動部
- 5 4 第 2 の流体流動部
- 6 2、7 2 流体流動部
- 8 0 筐体
- 8 0 a 開口
- 1 1 4 反射防止膜
- 1 1 5 アパーチャ部材
- 1 1 5 a アパーチャ部材の開口
- 1 3 0 レーザチャンバ
- 1 3 1 第 1 の部分（保持部）
- 1 3 2 第 2 の部分
- 1 3 3、1 3 4 孔部
- 1 3 5 封止端子
- 1 3 6 Oリング
- 1 3 7 Oリング押さえ板
- 1 3 8、1 3 9 カバー部材
- 1 3 9 a テープ
- 1 5 0 筐体
- 1 5 0 a 第 1 の収容部

- 150b 第2の收容部
- 151 基台
- 153 側壁部
- 155 蓋部
- 155a 第1の蓋体
- 155b 第2の蓋体
- 156 出射開口
- 158 仕切り板
- 158a 開口
- 160、160A 端面保護部材
- 161 開口
- 162 開口規定部
- 162a テーパ部
- 162b 開口規定部の突出した一部
- 164、164A 筒状部
- L1 誘導放出された光
- L2 レーザ

請求の範囲

- [請求項1] アレキサンドライト結晶からなるレーザロッドと、
該レーザロッドを励起するための励起光を出力するフラッシュランプであって、ランプ用ガラス管が、少なくとも波長200nm～300nmの深紫外線を遮断し、かつ、波長400nm以上の可視光を透過する石英ガラスからなるフラッシュランプと、
前記レーザロッドおよび前記フラッシュランプの少なくとも一部を内包する孔部を備え、該孔部の内壁面が前記励起光を反射する反射面である筒型形状のリフレクターであって、ポリテトラフルオロエチレンの多孔質体からなるリフレクターを内包するレーザチャンバとを備えた固体レーザ装置。
- [請求項2] 前記ランプ用ガラス管は、前記フラッシュランプを駆動させた際の400万ショットから1400万ショットの間の、波長400nmの光に対する透過率の変化が5%以内のガラス管である請求項1記載の固体レーザ装置。
- [請求項3] 前記フラッシュランプは、100万ショット以上のエージング処理済みである請求項1または2記載の固体レーザ装置。
- [請求項4] 前記フラッシュランプおよび前記レーザロッドを冷却する冷却水の導入出機構を備えた請求項1から3いずれか1項記載の固体レーザ装置。
- [請求項5] 前記リフレクターの前記孔部に、前記フラッシュランプが挿入される第1の流体流動部と、前記レーザロッドが挿入される第2の流体流動部とを有するフローチューブを備え、
該フローチューブが、波長200nm～300nmの深紫外線を遮断し、かつ、波長400nm以上の可視光を透過する石英ガラスからなる請求項1から4いずれか1項記載の固体レーザ装置。
- [請求項6] 前記リフレクターの前記孔部に、前記フラッシュランプが挿入される流体流動部を有するフローチューブを備え、

該フローチューブが、波長200nm～300nmの深紫外線を遮断し、かつ、波長400nm以上の可視光を透過する石英ガラスからなる請求項1から4いずれか1項記載の固体レーザ装置。

[請求項7]

前記フラッシュランプは円柱状であり、

該フラッシュランプと前記レーザロッドとは、前記孔部において、平行に配置されており、

前記孔部の内壁面は、前記フラッシュランプの前記ランプ用ガラス管の表面からの最短距離と、前記レーザロッドの表面からの最短距離との差が±1mm以内である請求項1から6いずれか1項記載の固体レーザ装置。

[請求項8]

前記孔部において、前記フラッシュランプは、該フラッシュランプの前記ランプ用ガラス管の表面から前記孔部の前記内壁面までの最短距離が5mm以下1mm以上である位置に配置されている請求項1から7いずれか1項記載の固体レーザ装置。

[請求項9]

前記フラッシュランプが円柱状であり、前記レーザロッドと前記フラッシュランプとが、前記レーザロッドの直径を ϕ_L 、前記フラッシュランプの直径を ϕ_F としたとき、

$$1. \quad 5\phi_L \leq \phi_F$$

を満たす請求項1から8いずれか1項記載の固体レーザ装置。

[請求項10]

前記レーザロッドが光路上に配置される、出力ミラーとリアミラーとが一直線上に配置された直線型の共振器と、少なくともQスイッチを含む光学部材とを備え、前記共振器、前記レーザロッドおよび前記光学部材が共通の基台上に備えられ、該基台を一部とする筐体に内包されてなり、

前記フラッシュランプを、前記レーザロッドの前記基台と反対の側に該レーザロッドと平行に保持する保持部を備え、

前記Qスイッチを含む光学部材が、前記レーザロッドと前記リアミラーとの間に配置されており、

前記基台を基準として、前記出力ミラーの上端位置が、前記保持部に保持された前記フラッシュランプの下端位置よりも低い位置にあり、

前記保持部は、前記フラッシュランプを、該フラッシュランプの長手方向に沿って前記出力ミラー側に抜き差し可能に保持する請求項 1 から 9 いずれか 1 項記載の固体レーザ装置。

[請求項11] 前記出力ミラーは、該出力ミラーの共振器面の反射コーティング膜が、前記上端位置まで設けられてなるものである請求項 10 記載の固体レーザ装置。

[請求項12] 前記基台を基準として、前記 Q スイッチおよび前記リアミラーの上端位置が、前記保持部に保持された前記フラッシュランプの下端位置よりも高い請求項 10 または 11 記載の固体レーザ装置。

[請求項13] 前記光学部材として更にシャッタを備え、該シャッタは前記レーザロッドと前記 Q スイッチとの間に設けられており、
前記筐体の内部の、前記レーザロッドと前記シャッタとの間に、前記光路に開口を有する仕切り板が設けられている請求項 10 から 12 いずれか 1 項記載の固体レーザ装置。

[請求項14] 前記筐体は、前記出力ミラーおよび前記レーザロッドを収容する第 1 の収容部と、前記リアミラーおよび前記光学部材を収容する第 2 の収容部とを有し、

前記第 1 の収容部が、該第 1 の収容部を開放する第 1 の蓋体を、前記第 2 の収容部が、該第 2 の収容部を開放する第 2 の蓋体をそれぞれ備えて、前記第 1 の収容部および第 2 の収容部が互いに独立に開放可能である請求項 10 から 13 いずれか 1 項記載の固体レーザ装置。

[請求項15] 前記第 1 の収容部の、前記第 1 の蓋体と該第 1 の蓋体以外の部分とは、同じ桁数の線熱膨張係数を有する材質で構成されている請求項 14 記載の固体レーザ装置。

[請求項16] 前記保持部は、前記フラッシュランプを収容する孔部を備え、該孔

部の前記リアミラー側の端に電源端子を備えた前記フラッシュランプの突き当て構造を有する請求項10から15いずれか1項記載の固体レーザ装置。

[請求項17] 前記フラッシュランプを冷却する冷却媒体を前記保持部に供給する配管を備え、

該配管は、前記基台に設けられた孔から前記筐体の側面に沿って該基台に垂直な方向に延びて配設され、前記保持部に接続されている請求項10から16いずれか1項記載の固体レーザ装置。

[請求項18] 前記レーザチャンバの前記孔部が前記レーザロッドの長軸長よりも短い柱状であり、

前記レーザロッドは、前記レーザチャンバの前記孔部に挿通され、該レーザロッドの両端部が前記孔部から露出した状態で該レーザチャンバに支持されており、

前記レーザロッドの前記両端部のうちの少なくとも一方の端部の、前記孔部からの露出根元にOリングが設けられており、

前記レーザロッドの側面であって前記Oリングよりも端面側の側面に、前記筐体内で生じた迷光の前記Oリングへの入射を妨げるカバー部材をさらに備えた請求項10から17いずれか1項記載の固体レーザ装置。

[請求項19] 前記カバー部材と前記Oリングとの間に更にOリング押さえ板を備え、該Oリング押さえ板が、セラミック、ガラスもしくはフッ素樹脂の少なくとも1つからなる請求項18記載の固体レーザ装置。

[請求項20] 前記レーザチャンバの前記孔部が前記レーザロッドの長軸長よりも短い柱状であり、

前記レーザロッドは、前記レーザチャンバの前記孔部に挿通され、該レーザロッドの両端部が前記孔部から露出した状態で該レーザチャンバに支持されており、

前記レーザロッドの前記両端部のうちの少なくとも一方の端部の、

前記孔部からの露出根元にＯリングが設けられており、

該Ｏリングが、フッ素樹脂からなる請求項１０から１７いずれか１項記載の固体レーザー装置。

[請求項21]

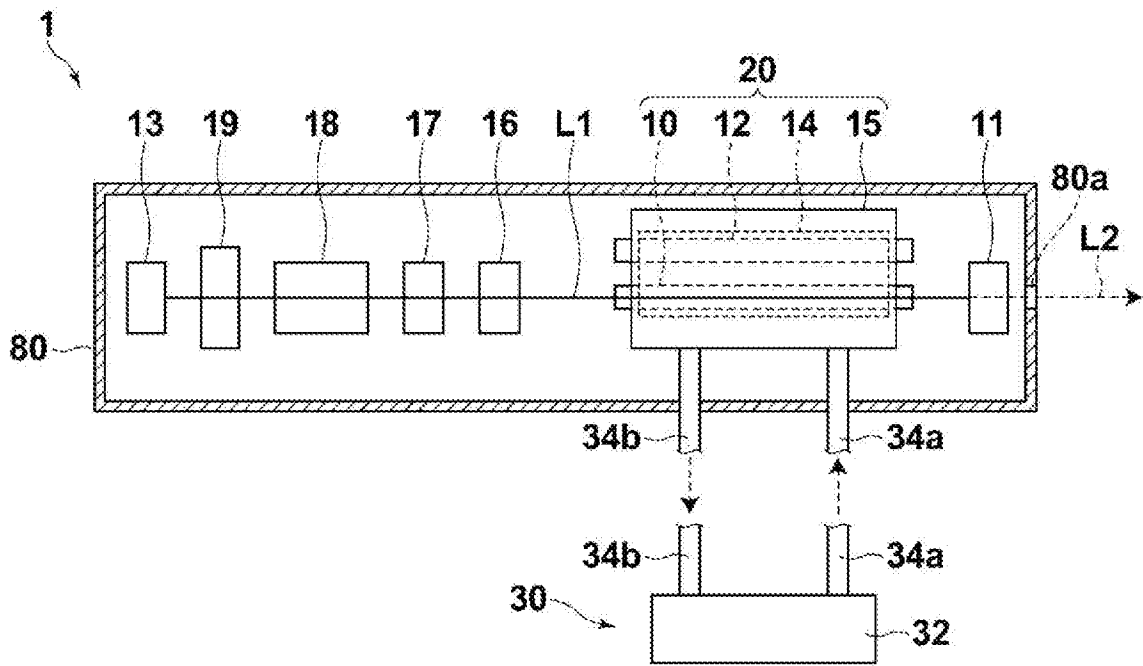
前記レーザーロッドは、端面に反射防止膜を備え、かつ、該端面の周縁に面取り部を有し、

前記レーザーロッドの少なくとも一方の端面に対向する位置に、該端面の外周の直径よりも小さい直径の開口を構成する開口規定部を有し、前記レーザーロッドの前記端面におけるレーザー光路領域を前記端面の外周よりも内側の領域に制限する端面保護部材を備えた請求項１０から２０いずれか１項記載の固体レーザー装置。

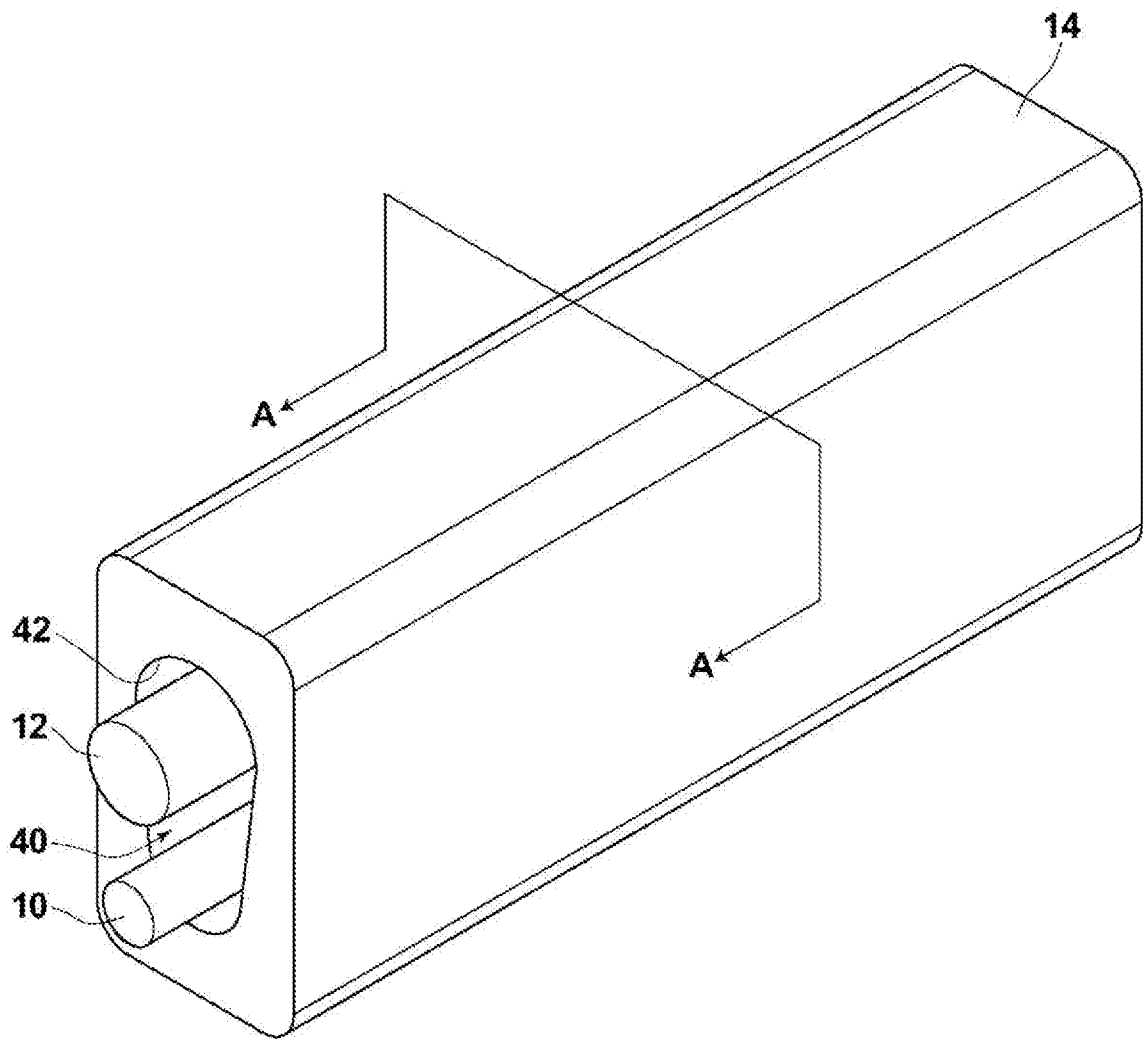
[請求項22]

前記光学部材のうち最も前記レーザーロッド側に配置された光学部材から前記リアミラーまでの距離が前記フラッシュランプの長さよりも短い請求項１０から２１いずれか１項記載の固体レーザー装置。

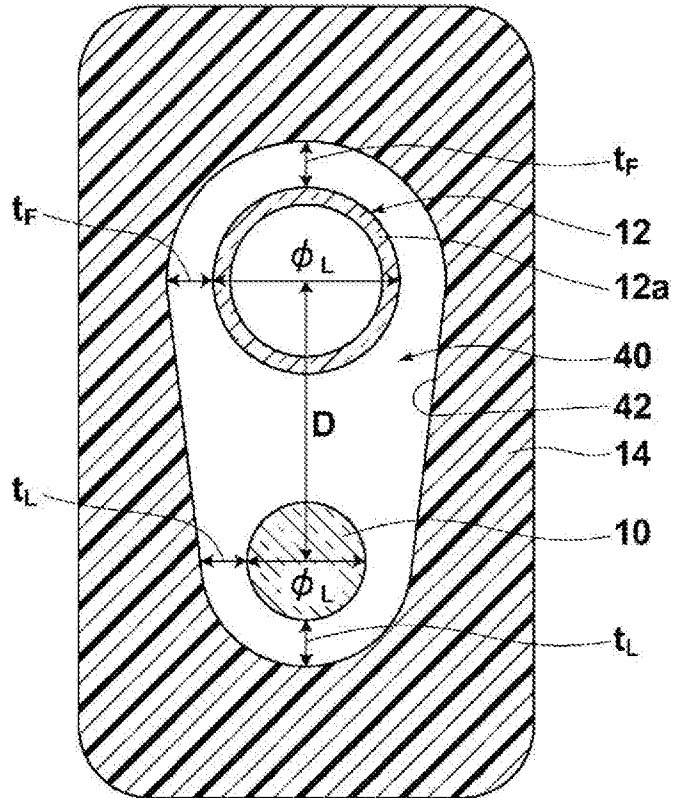
[図1]



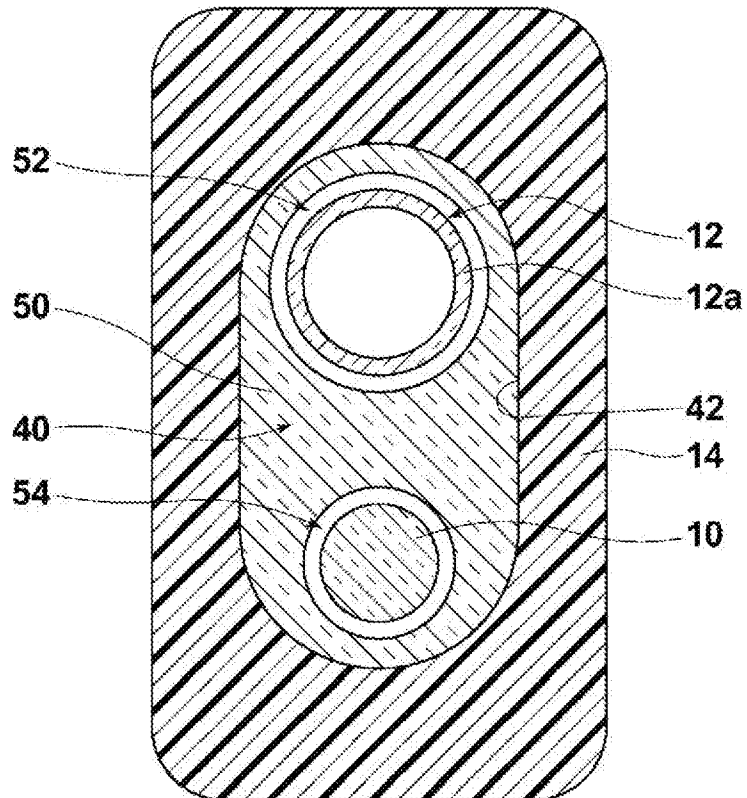
[図2]



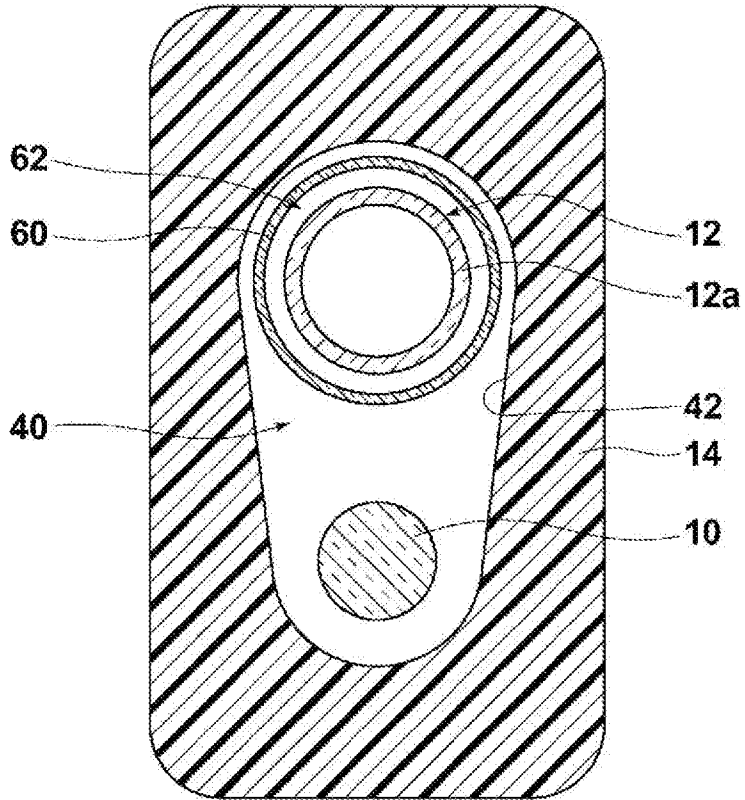
[図3]



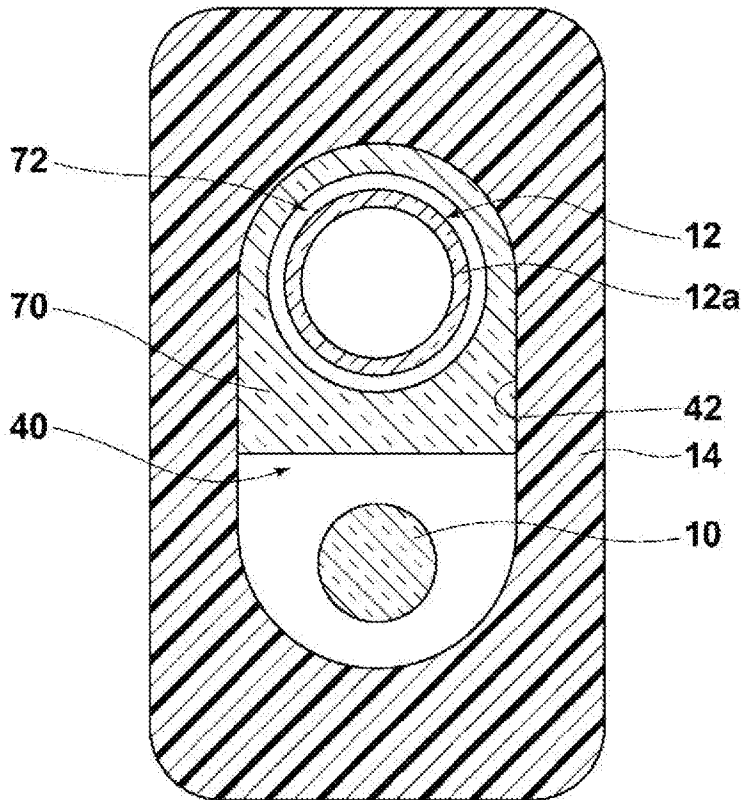
[図4]



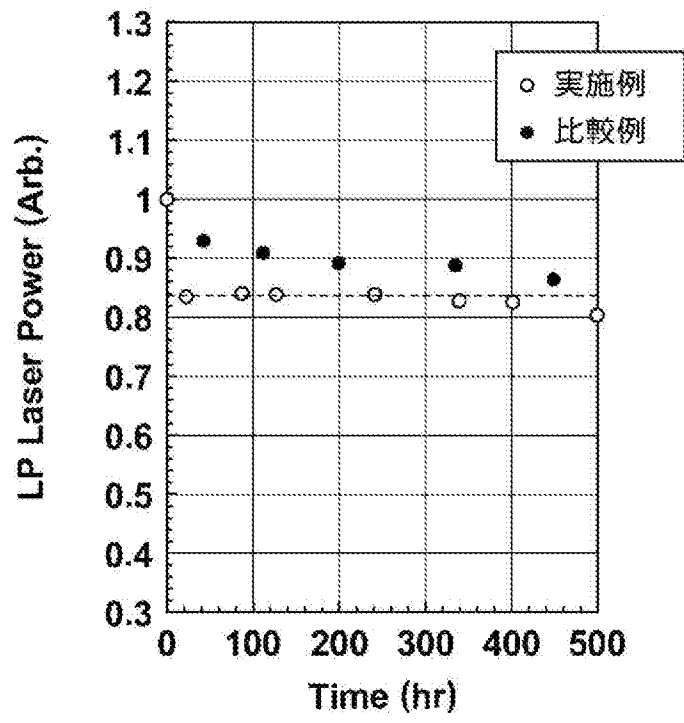
[図5]



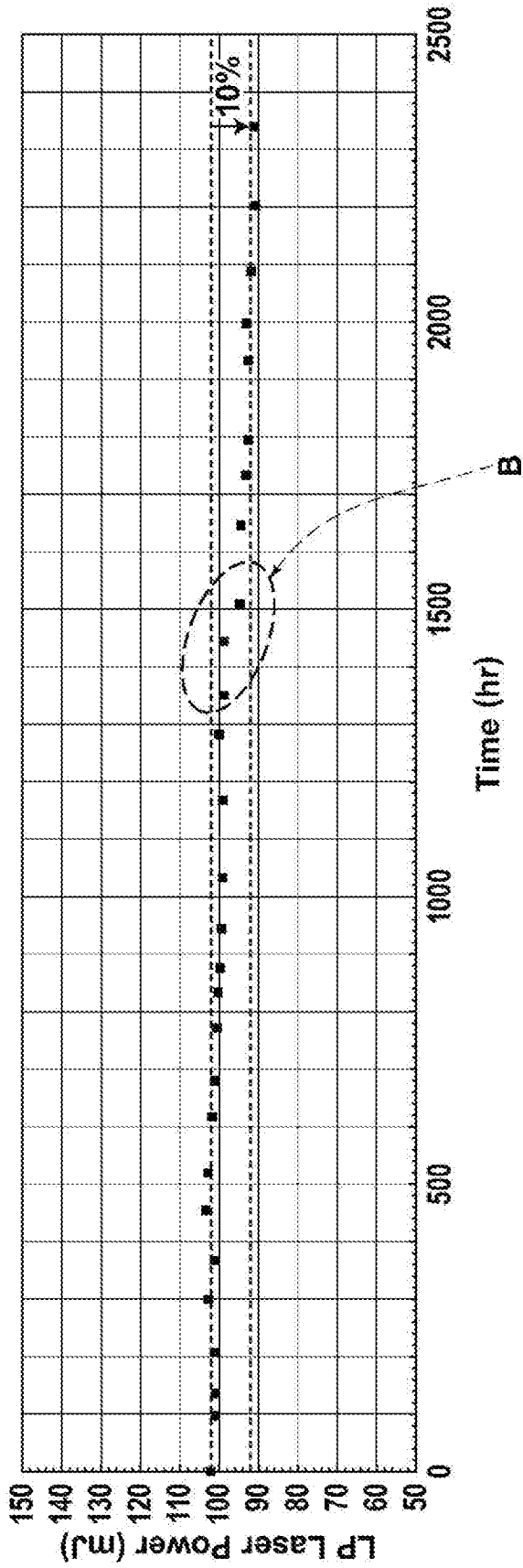
[図6]



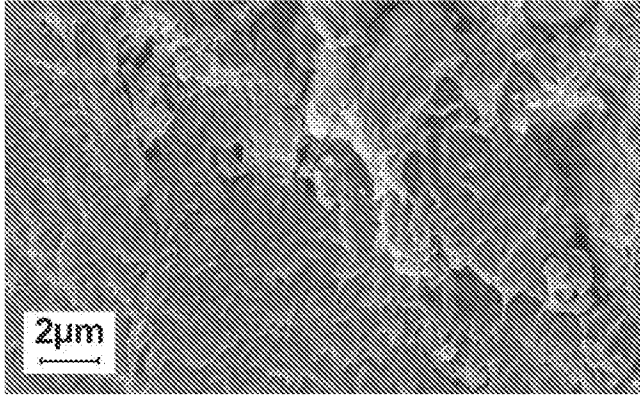
[図7]



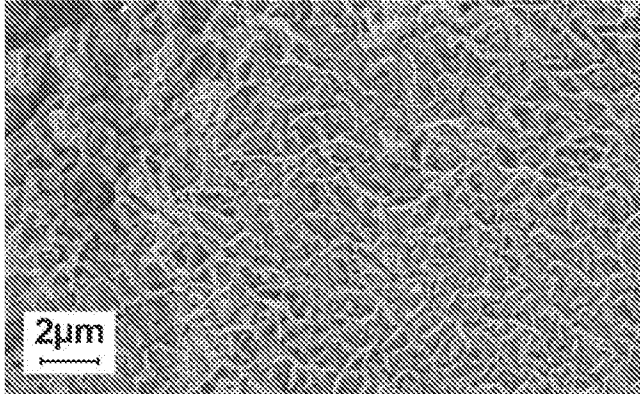
[図8]



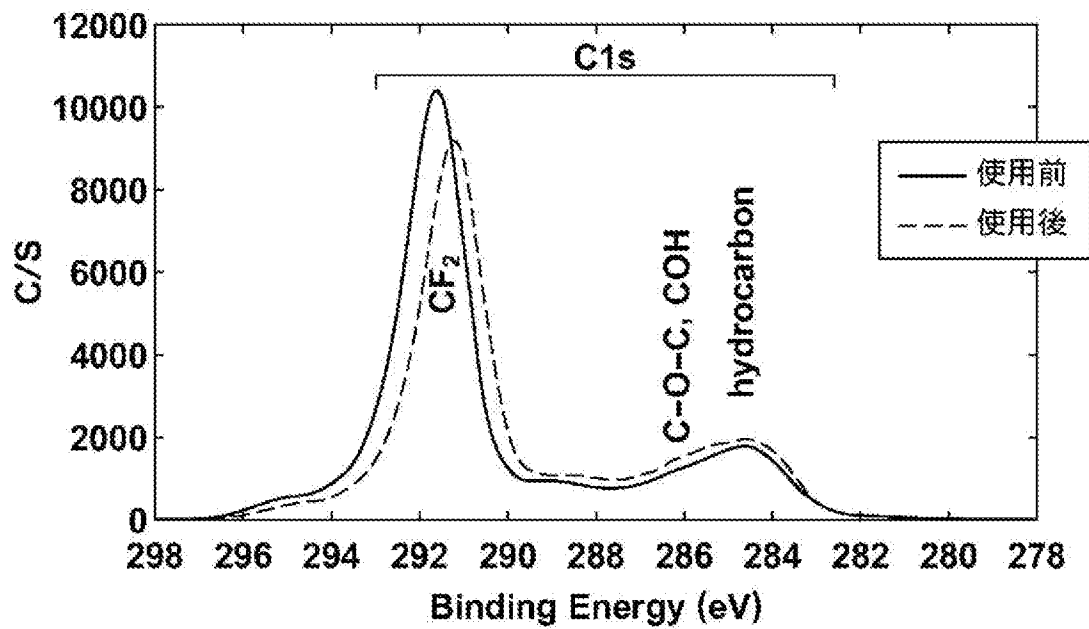
[図9]



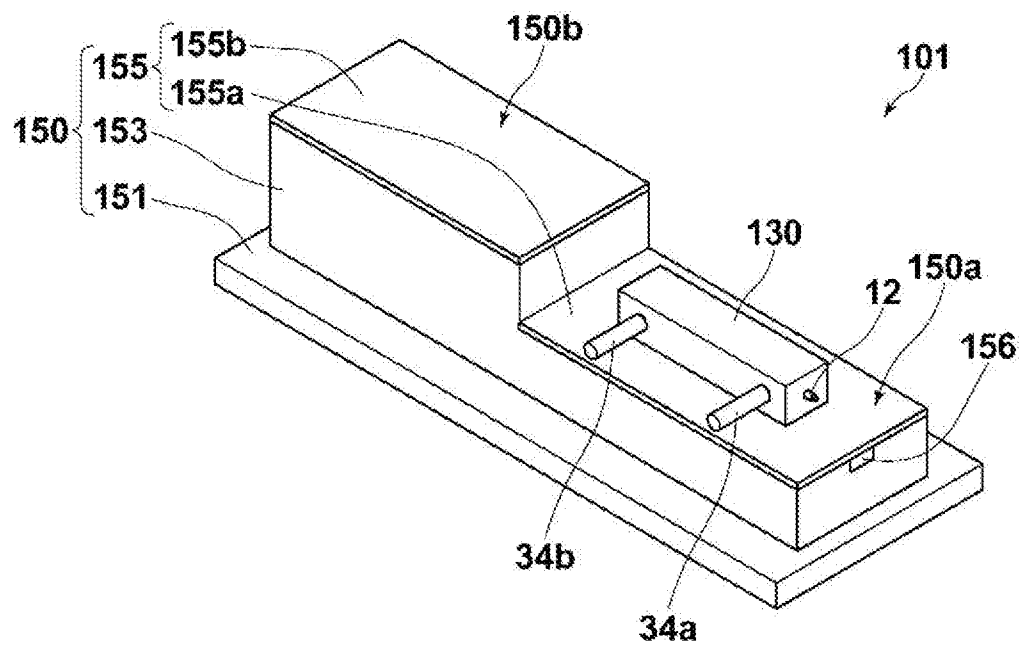
[図10]



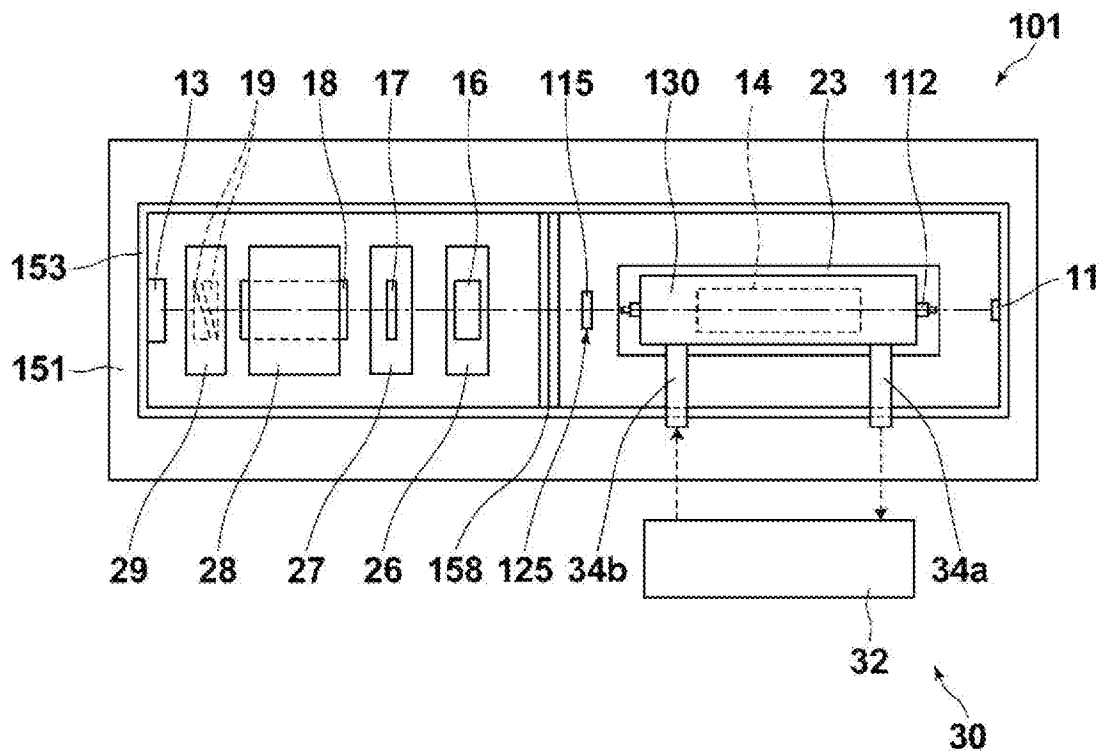
[図11]



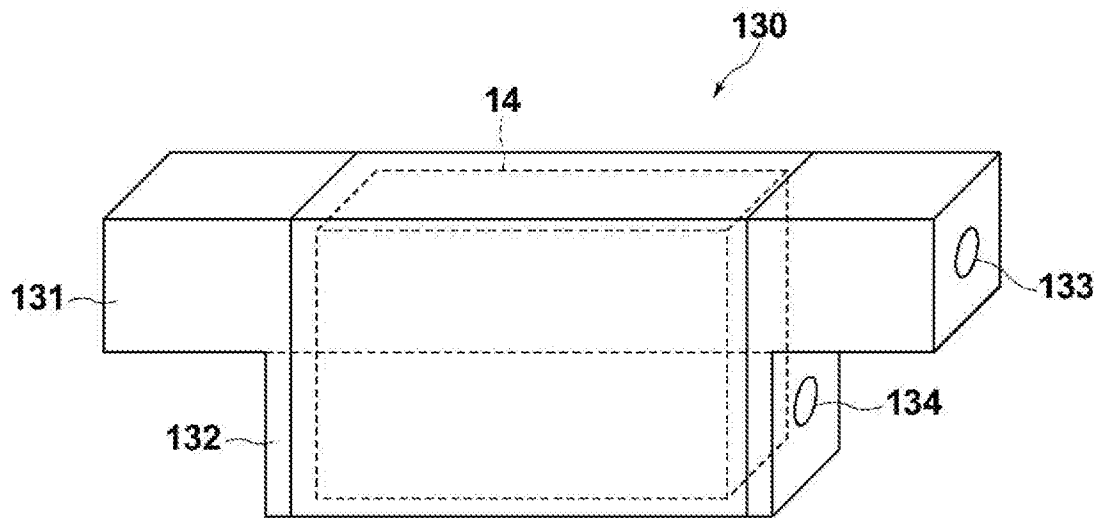
[図12]



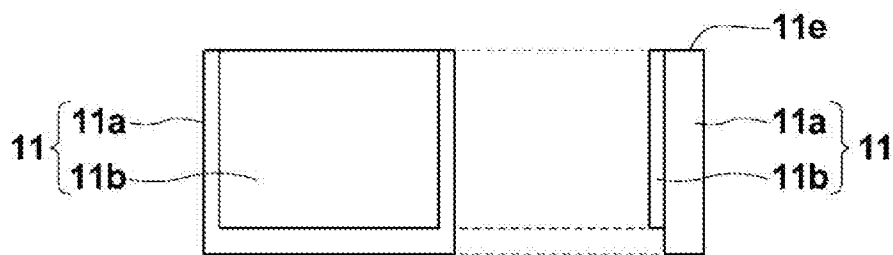
[図14]



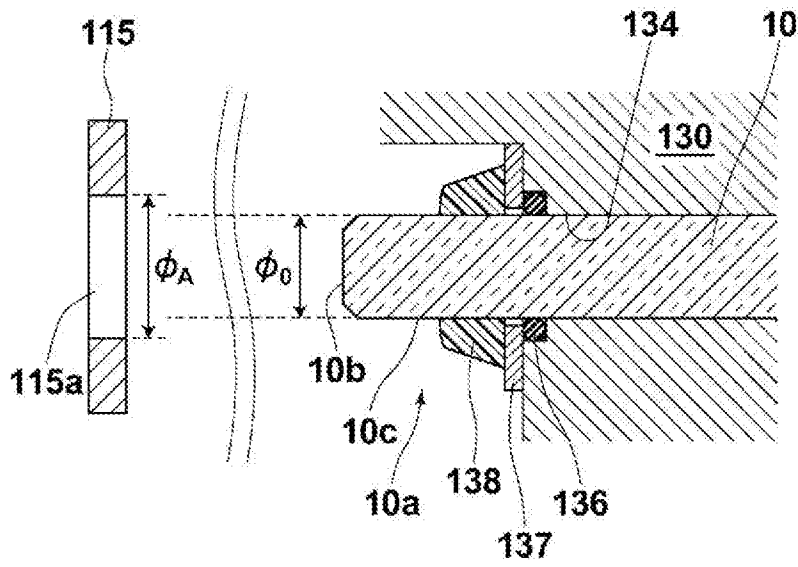
[図15]



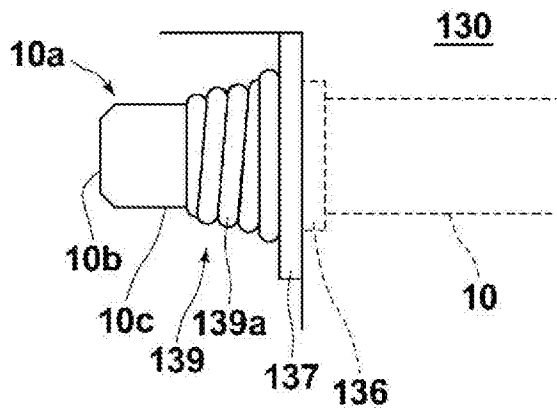
[図16]



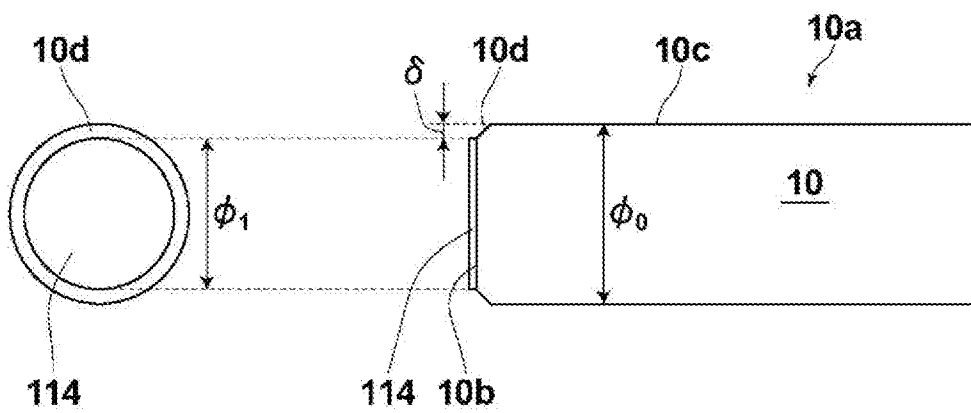
[図17]



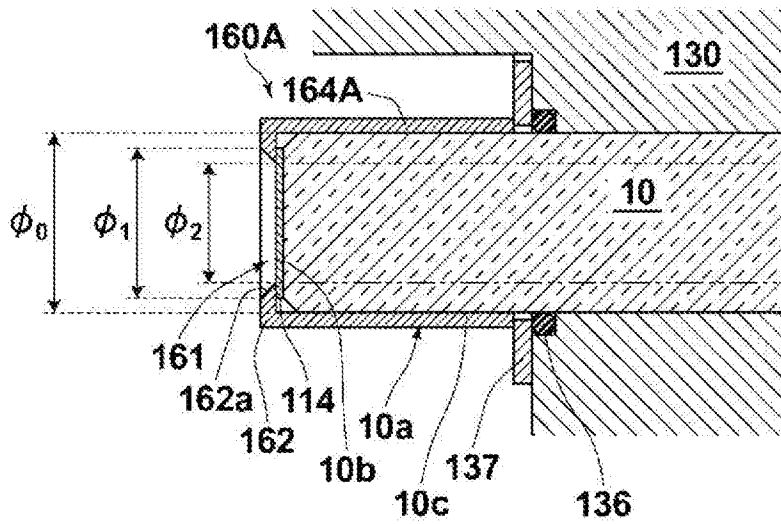
[図18]



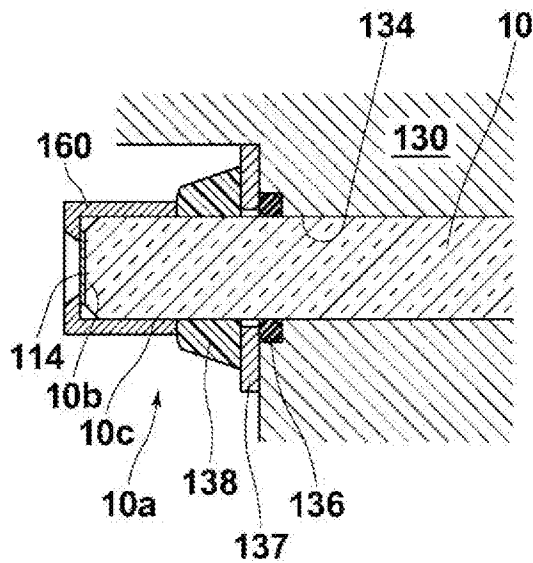
[図19]



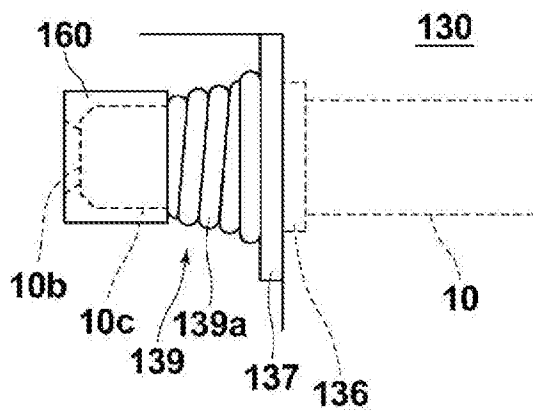
[図23]



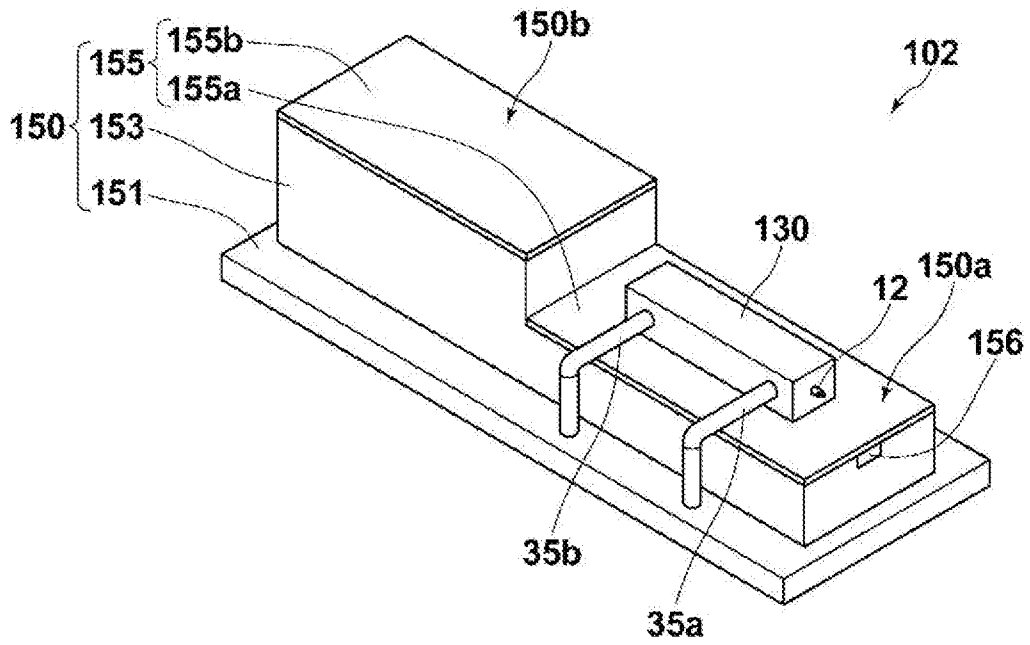
[図24]



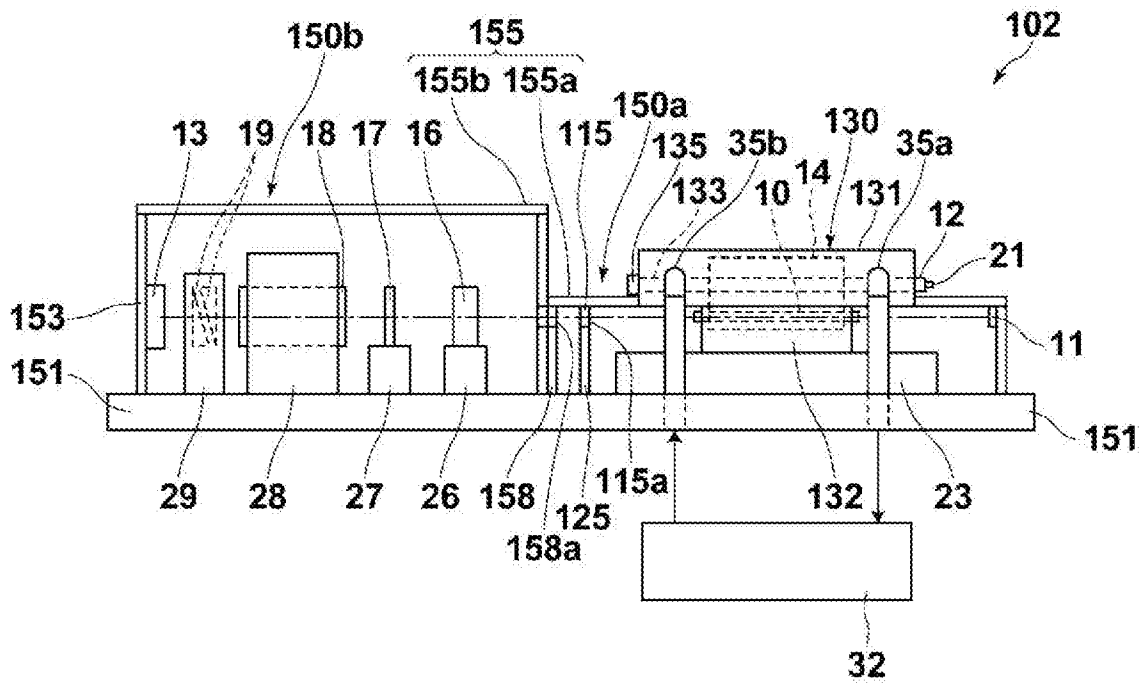
[図25]



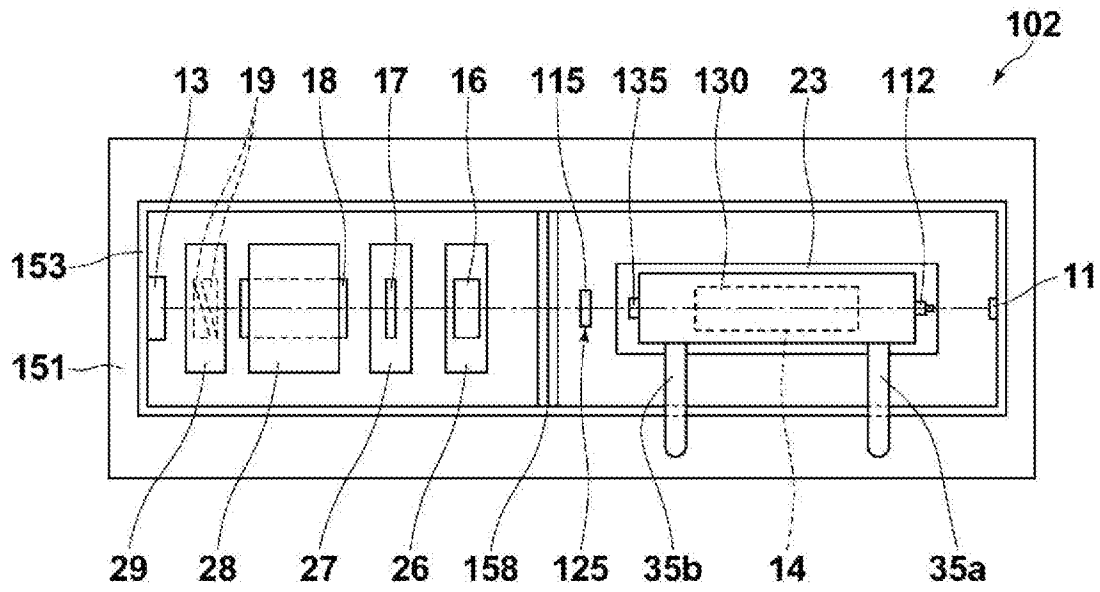
[図26]



[図27]



[図28]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2017/019806

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
H01S3/06(2006.01)i, H01S3/02(2006.01)i, H01S3/042(2006.01)i, H01S3/11(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)
 H01S3/00-3/02, 3/04-3/0959, 3/098-3/102, 3/105-3/131, 3/136-3/213, 3/23-4/00

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 1996-2017
 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2017 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2017

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	WO 2016/051664 A1 (Fujifilm Corp.), 07 April 2016 (07.04.2016), paragraphs [0025] to [0030], [0034], [0038], [0059]; fig. 1 to 2, 16 (Family: none)	1-9 10-22
Y	JP 4-53282 A (Seiko Epson Corp.), 20 February 1992 (20.02.1992), page 2, upper right column, line 15 to lower left column, line 13; fig. 1 (Family: none)	1-9
Y	JP 7-235714 A (Mitsubishi Electric Corp.), 05 September 1995 (05.09.1995), paragraphs [0021], [0045], [0053]; fig. 1 to 3, 5, 12 (Family: none)	1-9

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 14 July 2017 (14.07.17)	Date of mailing of the international search report 25 July 2017 (25.07.17)
--	---

Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan	Authorized officer Telephone No.
--	---

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/019806

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2015-192044 A (Fujifilm Corp.), 02 November 2015 (02.11.2015), paragraphs [0028], [0036] to [0037], [0051]; fig. 3 & EP 3125377 A1 paragraphs [0027], [0035] to [0036], [0050]; fig. 3 & CN 106134017 A	5-6, 9
Y	JP 4-23479 A (Seiko Epson Corp.), 27 January 1992 (27.01.1992), page 2, upper right column, line 10 to lower left column, line 3; lower right column, lines 10 to 20; fig. 2 (Family: none)	5-6, 9
A	JP 2011-18815 A (Toshiba Corp.), 27 January 2011 (27.01.2011), entire text; all drawings (Family: none)	1-22
A	JP 3-231481 A (Toshiba Corp.), 15 October 1991 (15.10.1991), entire text; all drawings (Family: none)	1-22
A	JP 60-31284 A (Toshiba Corp.), 18 February 1985 (18.02.1985), entire text; all drawings (Family: none)	1-22
A	JP 11-150316 A (Amada Engineering Center Co., Ltd.), 02 June 1999 (02.06.1999), entire text; all drawings (Family: none)	1-22
A	JP 1-304790 A (Osaka Fuji Corp.), 08 December 1989 (08.12.1989), entire text; all drawings (Family: none)	1-22
A	JP 5-218530 A (Hoya Corp.), 27 August 1993 (27.08.1993), entire text; all drawings (Family: none)	1-22
A	WO 2003/069738 A1 (Mitsubishi Electric Corp.), 21 August 2003 (21.08.2003), entire text; all drawings & US 2004/0240496 A1 entire text; all drawings	1-22

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/019806

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 2003-198011 A (GSI Lumonics Ltd.), 11 July 2003 (11.07.2003), entire text; all drawings & US 2003/0095581 A1 entire text; all drawings & EP 1313181 A1	1-22
A	JP 2003-8118 A (NEC Corp.), 10 January 2003 (10.01.2003), entire text; all drawings (Family: none)	1-22
A	JP 2007-96063 A (Mitsubishi Electric Corp.), 12 April 2007 (12.04.2007), entire text; all drawings (Family: none)	1-22
A	JP 2005-158995 A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 16 June 2005 (16.06.2005), entire text; all drawings (Family: none)	1-22
A	US 5805625 A (LANGNER; WALTER), 08 September 1998 (08.09.1998), entire text; all drawings (Family: none)	1-22

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. H01S3/06(2006.01)i, H01S3/02(2006.01)i, H01S3/042(2006.01)i, H01S3/11(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（IPC））

Int.Cl. H01S3/00-3/02, 3/04-3/0959, 3/098-3/102, 3/105-3/131, 3/136-3/213, 3/23-4/00

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	1971-2017年
日本国実用新案登録公報	1996-2017年
日本国登録実用新案公報	1994-2017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）

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
Y A	WO 2016/051664 A1（富士フイルム株式会社）2016.04.07, 段落 0025-0030, 0034, 0038, 0059, 図 1-2, 16（ファミリーなし）	1-9 10-22
Y	JP 4-53282 A（セイコーエプソン株式会社）1992.02.20, 第2頁右上欄第15行-同頁左下欄第13行, 第1図（ファミリーなし）	1-9
Y	JP 7-235714 A（三菱電機株式会社）1995.09.05, 段落 0021, 0045, 0053, 図 1-3, 5, 12（ファミリーなし）	1-9

☑ 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

14.07.2017

国際調査報告の発送日

25.07.2017

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）

高椋 健司

2K

3715

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 請求項の番号
Y	JP 2015-192044 A (富士フイルム株式会社) 2015. 11. 02, 段落 0028, 0036-0037, 0051, 図 3 & EP 3125377 A1, 段落 0027, 0035-0036, 0050, 図 3 & CN 106134017 A	5-6, 9
Y	JP 4-23479 A (セイコーエプソン株式会社) 1992. 01. 27, 第 2 頁右上欄第 10 行-同頁左下欄第 3 行, 同頁右下欄第 10-20 行, 第 2 図 (ファミリーなし)	5-6, 9
A	JP 2011-18815 A (株式会社東芝) 2011. 01. 27, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-22
A	JP 3-231481 A (株式会社東芝) 1991. 10. 15, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-22
A	JP 60-31284 A (株式会社東芝) 1985. 02. 18, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-22
A	JP 11-150316 A (株式会社アマダエンジニアリングセンター) 1999. 06. 02, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-22
A	JP 1-304790 A (大阪富士工業株式会社) 1989. 12. 08, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-22
A	JP 5-218530 A (ホーヤ株式会社) 1993. 08. 27, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-22
A	WO 2003/069738 A1 (三菱電機株式会社) 2003. 08. 21, 全文, 全図 & US 2004/0240496 A1, 全文, 全図	1-22
A	JP 2003-198011 A (ジーエスアイ ルモニクス リミテッド) 2003. 07. 11, 全文, 全図 & US 2003/0095581 A1, 全文, 全図 & EP 1313181 A1	1-22
A	JP 2003-8118 A (日本電気株式会社) 2003. 01. 10, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-22
A	JP 2007-96063 A (三菱電機株式会社) 2007. 04. 12, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-22

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
A	JP 2005-158995 A (松下電器産業株式会社) 2005.06.16, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-22
A	US 5805625 A (LANGNER; WALTER) 1998.09.08, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-22