

(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
2015 年 4 月 2 日(02.04.2015)



(10) 国際公開番号

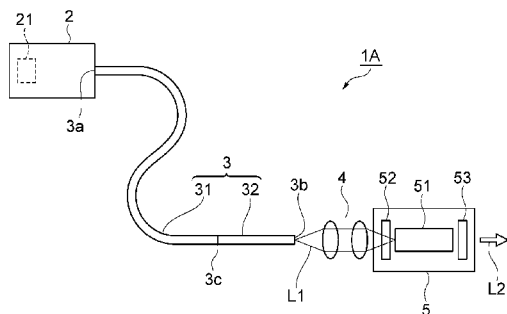
WO 2015/046160 A1

- (51) 国際特許分類:
H01S 3/0941 (2006.01) H01S 5/02 (2006.01)
G02B 6/42 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2014/075120
- (22) 国際出願日: 2014 年 9 月 22 日(22.09.2014)
- (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 2013-203675 2013 年 9 月 30 日(30.09.2013) JP
- (71) 出願人: 浜松ホトニクス株式会社(HAMAMATSU PHOTONICS K.K.) [JP/JP]; 〒4358558 静岡県浜松市東区市野町 1 1 2 6 番地の 1 Shizuoka (JP).
- (72) 発明者: 酒井 博(SAKAI Hiroshi); 〒4358558 静岡県浜松市東区市野町 1 1 2 6 番地の 1 浜松ホトニクス株式会社内 Shizuoka (JP). 福岡 大岳(FUKUOKA Hirotake); 〒4358558 静岡県浜松市東区市野町 1 1 2 6 番地の 1 浜松ホトニクス株式会社内 Shizuoka (JP). 鈴木 規泰(SUZUKI Nor-iyasu); 〒4358558 静岡県浜松市東区市野町 1 1 2 6 番地の 1 浜松ホトニクス株式会社内 Shizuoka (JP).
- (74) 代理人: 長谷川 芳樹, 外(HASEGAWA Yoshiki et al.); 〒1000005 東京都千代田区丸の内二丁目 1 番 1 号丸の内 MY PLAZA (明治安田生命ビル) 9 階 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, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, 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, IR, IS, KE, KG, KN, KP, KR, 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,

[続葉有]

(54) Title: LASER APPARATUS

(54) 発明の名称: レーザ装置



(57) Abstract: A laser apparatus (1A) is provided with: a semiconductor laser (21), which is a light source that outputs light (L1); an optical fiber (3), which has the light (L1) inputted thereto, said light having been outputted from the semiconductor laser (21), and which guides waves of the light (L1) and outputs the light; and an optical resonator (5), which has a laser medium (51) that has the light (L1) inputted thereto, said light having been outputted from the optical fiber (3), and which outputs laser light (L2). The optical fiber (3) has: a GI fiber (31), which constitutes a portion on the light input side; and an SI fiber (32), which is coupled to the GI fiber (31), and which constitutes a portion on the light output side. Consequently, the laser apparatus whereby laser light having stable and sufficient power can be obtained is provided.

(57) 要約: レーザ装置 1A は、光 L1 を出射する光源である半導体レーザ 21 と、半導体レーザ 21 から出射された光 L1 が入射せられ、光 L1 を導波して出射する光ファイバ 3 と、光ファイバ 3 から出射された光 L1 が入射するレーザ媒質 51 を有し、レーザ光 L2 を出射する光共振器 5 とを備える。光ファイバ 3 は、光入射側の部分をなす GI ファイバ 31 と、GI ファイバ 31 に接合され、光出射側の部分をなす SI ファイバ 32 とを有する。これにより、安定且つ十分な出力のレーザ光を得ることができるレーザ装置が実現される。

WO 2015/046160 A1



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:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称： レーザ装置

技術分野

[0001] 本発明は、レーザ装置に関する。

背景技術

[0002] 従来のレーザ装置として、光を出射する光源と、光源から出射された光を導波して出射する光ファイバと、光ファイバから出射された光をレーザ媒質に入射させて、レーザ光を出射するレーザ発振器と、を備えるものが知られている（例えば、特許文献 1、2、及び非特許文献 1、2 参照）。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開平 7－1 0 6 6 6 5 号公報

特許文献2：特開 2 0 1 1－1 2 7 5 2 9 号公報

非特許文献

[0004] 非特許文献1：A. Agnesi, E. Piccinini, G. C. Reali, and C. Solcia, "Efficient all-solid-state tunable source based on a passively Q-switched high-power Nd:YAG laser", Appl. Phys. B 65, pp.303-305 (1997)

非特許文献2：H. Sakai, H. Kan, and T. Taira, ">1 MW peak power single-mode high-brightness passively Q-switched Nd³⁺:YAG microchip laser", Opt.Express Vol.16 No.24, pp.19891-19899 (2008)

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] しかしながら、上述したようなレーザ装置においては、レーザ光の出力が不安定となったり、レーザ光の出力が低下したりする場合があった。

[0006] そこで、本発明は、安定且つ十分な出力のレーザ光を得ることができる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

- [0007] 本発明者らは、上記目的を達成するために鋭意検討を重ねた結果、従来のレーザ装置において、レーザ光の出力が不安定となったり、レーザ光の出力が低下したりする現象は、光源からレーザ媒質に光を導波する光ファイバの特性に起因するものであることを突き止めた。
- [0008] 光源からレーザ媒質に光を導波する光ファイバとしては、S I (Step Index) ファイバ、又はG I (Graded Index) ファイバが用いられるのが一般的である。S I ファイバは、コアの屈折率が一定であり、導波される光のビームプロファイルがトップハット形状となり易い。レーザ媒質に入射させられる光のビームプロファイルがトップハット形状であると、レーザ発振器から出射されるレーザ光の出力が十分なものとなり易い。
- [0009] しかしながら、S I ファイバは、コアの屈折率が一定であり、コアの中心と周辺とで光の伝搬速度が異なるため、導波される光の出力がファイバの形状変化の影響を受け易く不安定となり易い。レーザ媒質に入射させられる光の出力が不安定であると、レーザ発振器から出射されるレーザ光の出力も不安定となり易い。したがって、光源からレーザ媒質に光を導波する光ファイバとしてS I ファイバを用いる場合、レーザ発振器から出射されるレーザ光の出力が十分なものとなり易い反面、当該出力が不安定となり易いのである。
- [0010] 一方、G I ファイバは、コアの屈折率が一定ではなく、コアの中心と周辺とで光の伝搬速度が同じであるため、導波される光の出力がファイバの形状変化の影響を受け難く安定し易い。レーザ媒質に入射させられる光の出力が安定すると、レーザ発振器から出射されるレーザ光の出力も安定し易い。
- [0011] しかしながら、G I ファイバは、コアの屈折率が一定ではなく、導波される光のビームプロファイルがガウス波形となる。レーザ媒質に入射させられる光のビームプロファイルがガウス波形であると、レーザ発振器から出射されるレーザ光の出力が低下し易い。したがって、光源からレーザ媒質に光を

導波する光ファイバとしてGⅠファイバを用いる場合、レーザ発振器から出射されるレーザ光の出力が安定し易い反面、当該出力が低下し易いのである。

[0012] このように、光源からレーザ媒質に光を導波する光ファイバとして、SⅠファイバ、及びGⅠファイバのいずれを用いる場合でも、安定且つ十分な出力のレーザ光を得ることが困難となる。本発明者らは、この知見に基づいて更に検討を重ね、本発明を完成させるに至った。

[0013] すなわち、本発明のレーザ装置は、光を出射する光源と、光源から出射された光が入射させられ、当該光を導波して出射する光ファイバと、光ファイバから出射された光が入射させられるレーザ媒質を有し、レーザ光を出射するレーザ発振器と、を備え、光ファイバは、光入射側の部分をなすGⅠファイバと、GⅠファイバに接合され、光出射側の部分をなすSⅠファイバと、を有する。

[0014] このレーザ装置は、光源から出射された光が入射させられる光入射側の部分の光ファイバがGⅠファイバからなるので、この部分で導波される光の出力がファイバの形状変化の影響を受け難く安定し易い。また、導波された光を出射する光出射側の部分の光ファイバがSⅠファイバからなるので、光ファイバから出射される光のビームプロファイルがトップハット形状となり易い。このため、レーザ媒質に入射させられる光は、出力が安定し易く且つビームプロファイルがトップハット形状となり易い。よって、このレーザ装置によれば、安定且つ十分な出力のレーザ光を得ることができる。

発明の効果

[0015] 本発明によれば、安定して十分な出力のレーザ光を得ることができるレーザ装置を提供することが可能となる。

図面の簡単な説明

[0016] [図1]図1は、第1実施形態のレーザ装置の構成図である。

[図2]図2は、図1のレーザ装置のSⅠファイバの固定具の構成図である。

[図3]図3は、図1のレーザ装置のSⅠファイバの固定具の他の例の構成図で

ある。

[図4]図4は、図1のレーザ装置のS Iファイバの固定具の他の例の構成図である。

[図5]図5は、光ファイバの形状変化の影響を評価する評価方法の概略図である。

[図6]図6は、光ファイバの形状変化の影響の評価結果を示すグラフである。

[図7]図7は、第2実施形態のレーザ装置の構成図である。

発明を実施するための形態

[0017] 以下、本発明によるレーザ装置の実施形態について、図面を参照して詳細に説明する。なお、各図において、同一又は相当部分には同一符号を付し、重複する説明を省略する。

[0018] [第1実施形態]

[0019] 図1は、第1実施形態のレーザ装置の構成図である。図1に示されるように、レーザ装置1Aは、半導体レーザ装置2と、光ファイバ3と、光学系4と、光共振器（レーザ発振器）5と、を備えている。半導体レーザ装置2は、半導体レーザ21と、半導体レーザ21から出射された励起光L1を光ファイバ3の入射端面3aに集光する光学系と、を有している。光ファイバ3の入射端面3aには、光源である半導体レーザ21から出射された励起光L1が入射させられる。光ファイバ3は、入射端面3aから入射させられた励起光L1を導波して出射端面3bから出射する。

[0020] 光ファイバ3は、光入射側の部分（入射端面3aから光ファイバ3の所定部位3cまでの部分）をなすG Iファイバ31と、光出射側の部分（出射端面3bから所定部位3cまでの部分）をなすS Iファイバ32と、を有している。G Iファイバ31とS Iファイバ32とは、所定部位3cにおいて溶融接合等によって接合されている。G Iファイバ31の長さは、好ましくは、S Iファイバ32の長さよりも長くなっている。各ファイバ31、32の長さの一例では、G Iファイバ31の長さは、例えば15cm以上となっており、S Iファイバ32の長さは、例えば15cm以下となっている。

[0021] G1ファイバ31及びS1ファイバ32は、接合界面における光の伝搬ロスを抑えるために、それぞれのコア径、及び開口数が以下のように設定されていることが好ましい。すなわち、G1ファイバ31のコア径を Φ_{G1} とし、G1ファイバ31の開口数を NA_{G1} とし、S1ファイバ32のコア径を Φ_{S1} とし、S1ファイバ32の開口数を NA_{S1} とすると、ファイバ31、32は、 $NA_{G1} > NA_{S1}$ の場合には下記の式(1)を満たし、 $NA_{G1} < NA_{S1}$ の場合には下記の式(2)を満たすようになっていることが好ましい。

$$2\Phi_{G1}(NA_{S1}/NA_{G1}) \geq \Phi_{S1} \geq \Phi_{G1}(NA_{S1}/NA_{G1}) \cdots (1)$$

$$2\Phi_{G1} \geq \Phi_{S1} \geq \Phi_{G1} \cdots (2)$$

[0022] 光学系4は、集光レンズ系であり、光ファイバ3の出射端面3bから出射された励起光L1を光共振器5に集光する。光共振器5は、レーザ媒質51と、レーザ媒質51を挟んで対向する全反射ミラー52及び部分反射ミラー53と、を有している。レーザ媒質51としては、例えば、YAG($Y_3Al_5O_{12}$)やYVO₄等のレーザ媒質に、レーザ活性種としてネオジウム(Nd)がドーパされた固体レーザ媒質を用いることができる。レーザ媒質51では、光学系4によって集光された励起光L1が入射することによって、レーザ活性種が励起されて、所定波長の光が放出される。

[0023] 全反射ミラー52は、励起光L1を透過させる一方で、レーザ媒質51で自然放出される光を全反射する。部分反射ミラー53は、全反射ミラー52よりも、レーザ媒質51で自然放出される光の波長に対して低い反射率を有している。全反射ミラー52及び部分反射ミラー53は、レーザ媒質51で放出された光をそれぞれで反射し、それぞれの間を往復させ、レーザ媒質51において誘導放射を生じさせる。これにより、光共振器5は、部分反射ミラー53からレーザ光L2を出射する。なお、光共振器5は、全反射ミラー52から部分反射ミラー53までが一体となったコンポジット結晶でもよい。

[0024] 図1のレーザ装置1Aにおいて、S1ファイバ32は、好ましくは、湾曲

された状態で固定される。図2は、図1のレーザ装置のS1ファイバの固定具の構成図である。本構成例では、図2に示されるように、S1ファイバ32は、固定具33によって湾曲された状態で固定されている。固定具33は、板部材34、35を備えている。板部材34、35は、互いに対向する対向面34a、35aをそれぞれ有している。対向面34aには、凹状の湾曲面が形成されている。対向面35aには、対向面34aに形成された湾曲面と相補的な凸状の湾曲面が形成されている。これにより、板部材34、35は、S1ファイバ32を対向面34a、35aの間に挟み込み、湾曲した状態で固定することができる。

[0025] S1ファイバ32は、コアの屈折率が一定であるため、S1ファイバ32を直線配線すると、直進してきた励起光L1がコアの中央部から出射されて、コアの中央部で出力が高くなってしまう。これに対して、固定具33を用いることによって、直進する励起光L1もコアの壁で反射を繰り返すため、出力が面内方向で均一になり、導波される励起光L1のビームプロファイルがトップハット形状になる。また、固定具33の具体的な構成としては、上記構成以外にも様々な構成を用いることができる。

[0026] 図3は、レーザ装置のS1ファイバの固定具の他の例の構成図である。図2の構成と異なる点は、固定具33は、板部材34、35の対向面34a、35aに複数の湾曲面が形成されている点である。これにより、S1ファイバ32を、湾曲面に沿って複数回湾曲させて固定することができる。

[0027] 図4は、レーザ装置のS1ファイバの固定具の更に他の例の構成図である。本構成例では、図4に示されるように、固定具33は、箱体36と、ボルト37と、を備えている。箱体36は、矩形状の底面36a及び矩形状の側面36b～36eを有している。箱体36の向かい合う側面36b、36cには、底面36a側に貫通孔36f、36gがそれぞれ設けられている。S1ファイバ32は、貫通孔36f、36gを通り、箱体36を貫通するように配線されている。箱体36の側面36b、36cと直交する側面36dには、ボルト37が螺合されるねじ穴36hが設けられている。ボルト37は

、箱体 3 6 内において先端部 3 7 a で S 1 ファイバ 3 2 を押圧するようにして設けられている。これにより、S 1 ファイバ 3 2 を、湾曲させて固定することができる。湾曲量はボルト 3 7 の送り量によって調整することができる。

[0028] なお、S 1 ファイバ 3 2 は、貫通孔 3 6 f, 3 6 g において、底面 3 6 a と貫通孔 3 6 f, 3 6 g とによって、ファイバの径方向に移動しないように固定されるとともに、貫通孔 3 6 f, 3 6 g 間において底面 3 6 a に接しているので、振動等の外部応力を受け難い。また、複数のボルト 3 7 を側面 3 6 d 及び側面 3 6 d に対向する側面 3 6 e に設け、これらによって S 1 ファイバ 3 2 を複数箇所を押圧して、複数回湾曲させる構成であってもよい。

[0029] 以上のように構成されたレーザ装置 1 A においては、半導体レーザ 2 1 から出射された励起光 L 1 は、光ファイバ 3 によって導波され、光学系 4 で集光され、光共振器 5 に入射する。光共振器 5 のレーザ媒質 5 1 に入射した励起光 L 1 は、レーザ媒質 5 1 のレーザ活性種を励起し、所定波長の光を放出させる。レーザ媒質 5 1 において放出された光は、反射ミラー 5 2, 5 3 それぞれで反射し、反射ミラー 5 2, 5 3 間を往復することで、レーザ媒質 5 1 において誘導放出を生じさせる。これにより、レーザ光 L 2 が光共振器 5 から出射される。

[0030] 励起光 L 1 は、光ファイバ 3 によって導波される際、入射側の部分をなす G 1 ファイバ 3 1 において、出力がファイバの形状変化の影響を受け難く安定し易い。また、励起光 L 1 は、S 1 ファイバ 3 2 において、ビームプロファイルがトップハット形状となり易い。また、上記した構成例では、S 1 ファイバ 3 2 は、固定具 3 3 によって、湾曲された状態で固定されているので、励起光 L 1 のビームプロファイルは、より確実にトップハット形状となり易い。

[0031] したがって、励起光 L 1 は、出力が安定すると共に、ビームプロファイルがトップハット形状となった状態で、光ファイバ 3 から出射される。このような励起光 L 1 がレーザ媒質 5 1 に入射するので、光共振器 5 から出射され

るレーザ光L 2の出力が安定且つ十分なものとなる。励起光L 1がトップハット形状であると、レーザ媒質5 1に複雑な熱レンズが発生し難いという点でも、レーザ光L 2の出力を十分なものとする上で有利である。熱レンズが発生すると、例えば、レーザ光L 2の光軸がずれたり（指向性の低下）、レーザ光L 2が発散または収束したりして（集光性の低下）、レーザ光L 2の品質が低下し易くなる。

[0032] ここで、G Iファイバ3 1、及びS Iファイバ3 2の特性について説明する。図5は、光ファイバの形状変化の影響を評価する評価方法の概略図である。図5に示されるように、リール6及び支点7、8を用いて、光ファイバ3を湾曲させた状態で支持した。リール6として、直径が300 mmの円筒形リールを用いて、リール6の外周面に光ファイバ3を接触させた。更に、支点7と支点8との間の距離dを68 mmとして、支点7、8に光ファイバ3を点接触させた。そして、支点7、8間で支持されて自重によってたわんだ光ファイバ3に対し、支点7、8の逆側から自重によるたわみと同じ方向に、加圧部9を用いて力を作用させた。加圧部9による応力を段階的に変えてパルスエネルギー（PE）及びディレイを評価した。なお、自重によるたわみは、直線配線された場合を基準として、18 mm（曲率半径322 mm）であった。

[0033] 評価は、光ファイバ3をG Iファイバ3 1のみで構成したとき、及び、S Iファイバ3 2のみで構成したときとそれぞれ行った。G Iファイバ3 1、S Iファイバ3 2ともに、長さが同じで、且つ許容曲率半径が150 mm以上のものを用いた。固定具3 3は使用しなかった。

[0034] 以上の方法で評価した、光ファイバの形状変化の影響の評価結果を表1及び図6に示す。図6は、表1をグラフ化したものである。表1中のPE相対値とは、許容曲率半径付近である曲率半径154 mm時のPEを100としたときの相対値である。曲率半径は、支点7、8間の距離dと、加圧時における加圧部9の位置と、から概算した。

[表1]

たわみ [mm]	曲率半径 [mm]	S I ファイバ			G I ファイバ		
		P E [μ J]	P E 相対値 [%]	ディレイ [μ s]	P E [μ J]	P E 相対値 [%]	ディレイ [μ s]
1.8	322	361	92.8	368	249	98.0	416
2.8	208	368	94.6	380	255	100.4	420
3.8	154	389	100.0	428	254	100.0	416
4.3	137	401	103.1	468	-	-	-
4.8	123	発振停止	発振停止	-	254	100.0	420
5.8	103	発振停止	発振停止	-	250	98.4	420
6.8	88	発振停止	発振停止	-	250	98.4	440

[0035] また、光ファイバ3が自重でたわんだ状態で、半導体レーザ21の温度調整、光共振器5の温度調整を最適化し、パルスエネルギーを評価した評価結果を表2に示す。

[表2]

	P E [μ J]	ディレイ [μ s]	共振器温度 [%]	半導体レーザ駆動条件
S I ファイバ	370	380	22	QCW40A(100Hz,500us...Duty5%)@29°C
G I ファイバ	249	416	20	同上

[0036] 表1によれば、ファイバの形状変化が曲率半径137mm以上の範囲では、S I ファイバ32を用いた場合は、G I ファイバ31を用いた場合より、高いパルスエネルギーのレーザ光L2が得られている。しかし、ファイバの形状変化が曲率半径123mm以下の範囲では、G I ファイバ31を用いた場合は、安定したパルスエネルギーのレーザ光L2が得られているのに対し、S I ファイバ32を用いた場合は、発振が停止している。また、ディレイについては、G I ファイバ31を用いた場合は、S I ファイバ32を用いた場合よりも、変化が少なく安定である。

[0037] すなわち、外的応力に対する出力変化特性に関しては、G I ファイバ31の方が、S I ファイバ32よりも優れていることが明らかになった。また、表2によれば、G I ファイバ31のパルスエネルギーは、半導体レーザ21

の温度調整、光共振器 5 の温度調整を最適化した状態で、S 1 ファイバ 3 2 の 60%程度であった。

[0038] 以上説明したように、本実施形態のレーザ装置 1 A では、半導体レーザ 2 1 から出射された励起光 L 1 が入射させられる光入射側の部分（入射端面 3 a から光ファイバ 3 の所定部位 3 c までの部分）の光ファイバ 3 が G 1 ファイバ 3 1 からなっている。また、導波された励起光 L 1 を出射する光出射側の部分（出射端面 3 b から所定部位 3 c までの部分）の光ファイバ 3 が S 1 ファイバ 3 2 からなっている。

[0039] G 1 ファイバ 3 1 の長さは、好ましくは S 1 ファイバ 3 2 の長さよりも長く、例えば 15 cm 以上である。G 1 ファイバ 3 1 によれば、導波される励起光 L 1 の出力がファイバの形状変化の影響を受け難く安定し易い。このため、上記した構成例では、光ファイバ 3 は、全体として形状変化の影響を受け難い部分の長さが長く、導波される励起光 L 1 の出力が安定し易いものとなる。一方、上記の場合、S 1 ファイバ 3 2 の長さは短く、例えば 15 cm 以下である。S 1 ファイバ 3 2 によれば、導波される励起光 L 1 の出力がファイバの形状変化の影響を受け易く安定し難いが、S 1 ファイバ 3 2 の長さが短いため、その影響を小さく抑えることができる。

[0040] また、S 1 ファイバ 3 2 によれば、光ファイバ 3 から出射される励起光 L 1 のビームプロファイルがトップハット形状となり易い。このため、光ファイバ 3 によれば、レーザ媒質 5 1 に入射させられる励起光 L 1 は、出力が安定し易く且つビームプロファイルがトップハット形状となり易い。したがって、光共振器 5 から出射されるレーザ光 L 2 の出力も安定する。

[0041] 更に、レーザ装置 1 A では、S 1 ファイバ 3 2 は、固定具 3 3 によって湾曲された状態で固定されている。これにより、S 1 ファイバ 3 2 の部分の長さが短い場合でも、光ファイバ 3 から出射される励起光 L 1 のビームプロファイルがトップハット形状となり易い。また、S 1 ファイバ 3 2 が固定されることによって、導波される光の出力がファイバの形状変化の影響を受け易く不安定となり易いという S 1 ファイバ 3 2 のデメリットが生じ難い。した

がって、このレーザ装置 1 A によれば、安定且つ十分な出力のレーザ光 L 2 を得ることができる。

[0042] また、レーザ装置 1 A は、半導体レーザ装置 2 と光共振器 5 とを離して設置することができるので、半導体レーザ 2 1 を駆動する際の熱の影響がレーザ媒質 5 1 に及ぶのを抑えることができる。更に、半導体レーザ 2 1 と光共振器 5 とを同じ場所に配置することができないようなスペースにも設置し易い。加えて、励起光 L 1 を光ファイバ 3 で伝搬させるので、レーザ光 L 2 の波長が光ファイバ 3 での伝搬に適さない場合であっても、光ファイバ 3 を用いてレーザ装置 1 A を構成することができる。

[0043] また、レーザ装置 1 A では、G 1 ファイバ 3 1 の長さが長く、G 1 ファイバ 3 1 の部分で導波される励起光 L 1 の出力は、ファイバの形状変化の影響を受け難く安定し易いので、半導体レーザ装置 2 と光共振器 5 との配置設計の自由度をより高めることができる。例えば、光ファイバ 3 の大部分を曲げなければ配置できないようなより狭い空間又は複雑な空間であっても、S 1 ファイバ 3 2 が用いられる光ファイバ 3 の光出射側の部分だけを曲げないようにすればよいので、容易に配置することができる。

[0044] また、レーザ装置 1 A は、G 1 ファイバ 3 1 のコア径を Φ_{G1} とし、G 1 ファイバ 3 1 の開口数を NA_{G1} とし、S 1 ファイバ 3 2 のコア径を Φ_{S1} とし、S 1 ファイバ 3 2 の開口数を NA_{S1} とすると、 $NA_{G1} > NA_{S1}$ の場合には下記の式 (1) を満たし、 $NA_{G1} < NA_{S1}$ の場合には下記の式 (2) を満たしていることが好ましい。これによれば、G 1 ファイバ 3 1 から出射された励起光 L 1 を S 1 ファイバ 3 2 に原理的には全て入射させることができる。このため、G 1 ファイバ 3 1 と S 1 ファイバ 3 2 との接合界面における励起光 L 1 の伝搬ロスを抑えることができる。

$$2 \Phi_{G1} (NA_{S1} / NA_{G1}) \geq \Phi_{S1} \geq \Phi_{G1} (NA_{S1} / NA_{G1}) \cdots (1)$$

$$2 \Phi_{G1} \geq \Phi_{S1} \geq \Phi_{G1} \cdots (2)$$

[0045] また、レーザ装置 1 A では、光を出射する光源として半導体レーザ 2 1 を

用いているので、光量の調整が容易で、好適な励起光 L_1 が得られる。

[0046] [第2実施形態]

[0047] 図7は、第2実施形態のレーザ装置の構成図である。図7に示されるように、レーザ装置1Bは、光共振器5のかわりに光増幅器（レーザ発振器）11を備える点で、レーザ装置1Aと主に異なっている。光増幅器11は、レーザ媒質51を有している。レーザ媒質51としては、例えば、 $YAG(Y_3Al_5O_{12})$ や YVO_4 等のレーザ媒質に、レーザ活性種としてネオジウム(Nd)がドーパされた固体レーザ媒質を用いることができる。レーザ媒質51では、光学系4によって集光された励起光 L_1 と、別の光源（図7中に模式的に示す光源25）から出射された種光 L_3 とがそれぞれ入射する。レーザ媒質51は、励起光 L_1 によってレーザ活性種が励起されるとともに、種光 L_3 によって誘導放出を生じ、種光 L_3 が増幅される。これにより、光増幅器11は、レーザ光 L_2 を出射する。

[0048] 以上のように構成されたレーザ装置1Bにおいては、半導体レーザ21から出射された励起光 L_1 は、光ファイバ3によって導波され、光学系4で集光され、光増幅器11に入射する。光増幅器11のレーザ媒質51に入射した励起光 L_1 は、レーザ媒質51のレーザ活性種を励起する。レーザ媒質51に入射した種光 L_3 は、レーザ媒質51に誘導放出を生じさせ、増幅される。これにより、レーザ光 L_2 が光増幅器11から出射される。

[0049] 励起光 L_1 は、レーザ装置1Aの場合と同様に、出力が安定すると共に、ビームプロファイルがトップハット形状となった状態で、光ファイバ3から出射される。このような励起光 L_1 がレーザ媒質51に入射するので、光増幅器11から出射されるレーザ光 L_2 の出力が安定且つ十分なものとなる。励起光 L_1 がトップハット形状であると、レーザ媒質51に複雑な熱レンズが発生し難いという点でも、レーザ光 L_2 の出力を十分なものとする上で有利である。

[0050] 以上説明したように、このレーザ装置1Bは、レーザ装置1Aと同様に、光入射側の部分（入射端面3aから光ファイバ3の所定部位3cまでの部分

）の光ファイバ3がG1ファイバ31からなり、導波された励起光L1を出射する光出射側の部分（出射端面3bから所定部位3cまでの部分）の光ファイバ3がS1ファイバ32からなる光ファイバ3を備えている。光ファイバ3によれば、レーザ媒質51に入射させられる励起光L1は、出力が安定し易く且つビームプロファイルがトップハット形状となり易い。このため、光増幅器11から出射されるレーザ光L2の出力も安定且つ十分なものとなる。したがって、このレーザ装置1Bによれば、安定且つ十分な出力のレーザ光L2を得ることができる。

[0051] 以上、本発明の実施形態について説明したが、本発明は、上記各実施形態に限定されるものではない。例えば、光ファイバ3から出射された光が、種光L3として光増幅器11のレーザ媒質51に入射させられる構成としてもよい。光ファイバ3から出射された光を種光L3として用いた場合、種光L3の出力が安定し易いため、レーザ装置1Bから出射されるレーザ光L2の出力も安定し易い。更に、トップハット形状のレーザ光L2が得られ易いため、例えば、レーザ光L2をミラーに入射させるような場合に、トップハット形状によれば、ミラーの一部にレーザ光L2のエネルギーが集中せず、ミラーが破損し難い。したがって、レーザ光L2の高出力化を図り易く、レーザ加工等のレーザ光の高出力化が求められる分野に用いることができる。

[0052] また、光増幅器11のレーザ媒質51に入射させられる励起光L1、及び種光L3の両方に対して、光ファイバ3から出射された光を用いるようにしてもよい。これにより、レーザ装置1Bから出射されるレーザ光L2の出力がより安定且つ十分なものとなり易い。

[0053] また、光増幅器11のレーザ媒質51の複数箇所に励起光L1を入射させるようにしてもよい。これにより、レーザ媒質51に熱レンズが発生し難くなる。図7では簡単のため1箇所に励起光L1を入射させる構成を説明したが、熱分布の発生を防ぐために複数箇所に励起光L1を入射させる構成が一般的である。

[0054] また、図7では光増幅器11のレーザ媒質51の側面に励起光L1を入射

させる側面励起型について説明したが、レーザ媒質 51 の端面に励起光 L1 を入射させる端面励起型としてもよい。レーザ媒質 51 の両端面に励起光 L1 を入射させるようにしてもよい。

[0055] 上記実施形態によるレーザ装置では、光を出射する光源と、光源から出射された光が入射させられ、当該光を導波して出射する光ファイバと、光ファイバから出射された光が入射させられるレーザ媒質を有し、レーザ光を出射するレーザ発振器と、を備え、光ファイバは、光入射側の部分をなす G1 ファイバと、G1 ファイバに接合され、光出射側の部分をなす S1 ファイバと、を有する構成としている。

[0056] 上記構成のレーザ装置では、G1 ファイバの長さは、S1 ファイバの長さよりも長い構成としてもよい。この場合、G1 ファイバの部分が長く、この部分で導波される光の出力がファイバの形状変化の影響を受け難く安定し易いので、光源とレーザ発振器との配置設計の自由度を高めることができる。

[0057] 上記構成のレーザ装置では、S1 ファイバは、湾曲された状態で固定されている構成としてもよい。この場合、S1 ファイバの部分の長さが短い場合でも、光ファイバから出射される光のビームプロファイルがトップハット形状となり易い。

[0058] 上記構成のレーザ装置は、G1 ファイバのコア径を Φ_{G1} とし、G1 ファイバの開口数を NA_{G1} とし、S1 ファイバのコア径を Φ_{S1} とし、S1 ファイバの開口数を NA_{S1} とすると、 $NA_{G1} > NA_{S1}$ の場合には下記の式 (1) を満たし、 $NA_{G1} < NA_{S1}$ の場合には下記の式 (2) を満たす構成としてもよい。

$$2 \Phi_{G1} (NA_{S1} / NA_{G1}) \geq \Phi_{S1} \geq \Phi_{G1} (NA_{S1} / NA_{G1}) \cdots (1)$$

$$2 \Phi_{G1} \geq \Phi_{S1} \geq \Phi_{G1} \cdots (2)$$

これによれば、G1 ファイバから出射された光を S1 ファイバに効率よく入射させることができる。このため、G1 ファイバと S1 ファイバとの接合界面における光の伝搬ロスを抑えることができる。

[0059] 上記構成のレーザ装置では、光源は、半導体レーザである構成としてもよい。このような光源は、レーザ発振器の励起光や種光の光源として好適である。

[0060] 上記構成のレーザ装置では、レーザ発振器は、光ファイバから出射された光が励起光としてレーザ媒質に入射させられる光共振器である構成としてもよい。この場合、レーザ媒質に入射させられる励起光は、出力が安定し易く且つビームプロファイルがトップハット形状となり易い。このような励起光を用いるので、光共振器から出射されるレーザ光の出力が安定し易く且つ十分なものとなり易い。

[0061] 上記構成のレーザ装置では、レーザ発振器は、光ファイバから出射された光が励起光としてレーザ媒質に入射させられる光増幅器である構成としてもよい。この場合、レーザ媒質に入射させられる励起光は、出力が安定し易く且つビームプロファイルがトップハット形状となり易い。このような励起光を用いるので、光増幅器から出射されるレーザ光の出力が安定し易く且つ十分なものとなり易い。

[0062] 上記構成のレーザ装置では、レーザ発振器は、光ファイバから出射された光が種光としてレーザ媒質に入射させられる光増幅器である構成としてもよい。この場合、レーザ媒質に入射させられる種光は、出力が安定し易く且つビームプロファイルがトップハット形状となり易い。このような種光を用いるので、光増幅器から出射されるレーザ光の出力が安定し易く且つ十分なものとなり易い。

産業上の利用可能性

[0063] 本発明は、安定且つ十分な出力のレーザ光を得ることができるレーザ装置として利用可能である。

符号の説明

[0064] 1 A、1 B…レーザ装置、2…半導体レーザ装置、2 1…半導体レーザ、3…光ファイバ、3 a…入射端面、3 b…出射端面、3 c…所定部位、3 1…G I ファイバ、3 2…S I ファイバ、3 3…固定具、4…光学系、5…光

共振器、11…光増幅器、51…レーザ媒質、52…全反射ミラー、53…部分反射ミラー、L1…励起光、L2…レーザ光、L3…種光。

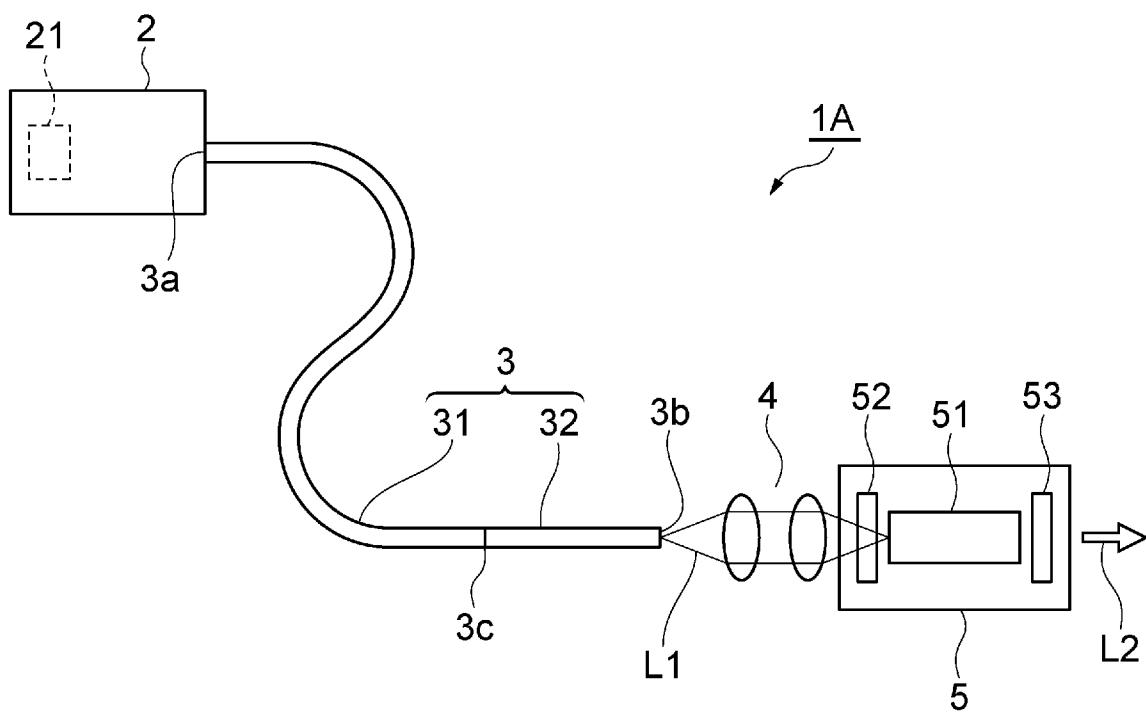
請求の範囲

- [請求項1] 光を出射する光源と、
前記光源から出射された前記光が入射させられ、当該光を導波して出射する光ファイバと、
前記光ファイバから出射された前記光が入射させられるレーザ媒質を有し、レーザ光を出射するレーザ発振器と、を備え、
前記光ファイバは、
光入射側の部分をなすGⅠファイバと、
前記GⅠファイバに接合され、光出射側の部分をなすSⅠファイバと、を有する、レーザ装置。
- [請求項2] 前記GⅠファイバの長さは、前記SⅠファイバの長さよりも長い、請求項1記載のレーザ装置。
- [請求項3] 前記SⅠファイバは、湾曲された状態で固定されている、請求項1又は2記載のレーザ装置。
- [請求項4] 前記GⅠファイバのコア径を $\Phi_{GⅠ}$ とし、前記GⅠファイバの開口数を $NA_{GⅠ}$ とし、前記SⅠファイバのコア径を $\Phi_{SⅠ}$ とし、前記SⅠファイバの開口数を $NA_{SⅠ}$ とすると、 $NA_{GⅠ} > NA_{SⅠ}$ の場合には下記の式(1)を満たし、 $NA_{GⅠ} < NA_{SⅠ}$ の場合には下記の式(2)を満たす、請求項1～3のいずれか一項記載のレーザ装置。
- $$2\Phi_{GⅠ}(NA_{SⅠ}/NA_{GⅠ}) \geq \Phi_{SⅠ} \geq \Phi_{GⅠ}(NA_{SⅠ}/NA_{GⅠ}) \dots (1)$$
- $$2\Phi_{GⅠ} \geq \Phi_{SⅠ} \geq \Phi_{GⅠ} \dots (2)$$
- [請求項5] 前記光源は、半導体レーザである、請求項1～4のいずれか一項記載のレーザ装置。
- [請求項6] 前記レーザ発振器は、前記光ファイバから出射された前記光が励起光として前記レーザ媒質に入射させられる光共振器である、請求項1～5のいずれか一項記載のレーザ装置。
- [請求項7] 前記レーザ発振器は、前記光ファイバから出射された前記光が励起

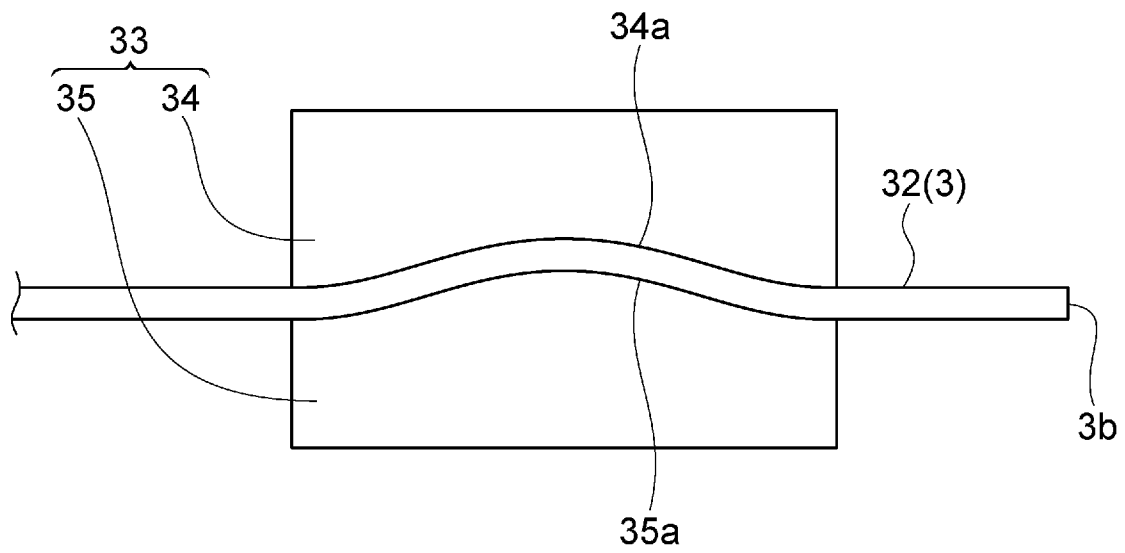
光として前記レーザ媒質に入射させられる光増幅器である、請求項 1 ～ 5 のいずれか一項記載のレーザ装置。

[請求項8] 前記レーザ発振器は、前記光ファイバから出射された前記光が種光として前記レーザ媒質に入射させられる光増幅器である、請求項 1 ～ 5 のいずれか一項記載のレーザ装置。

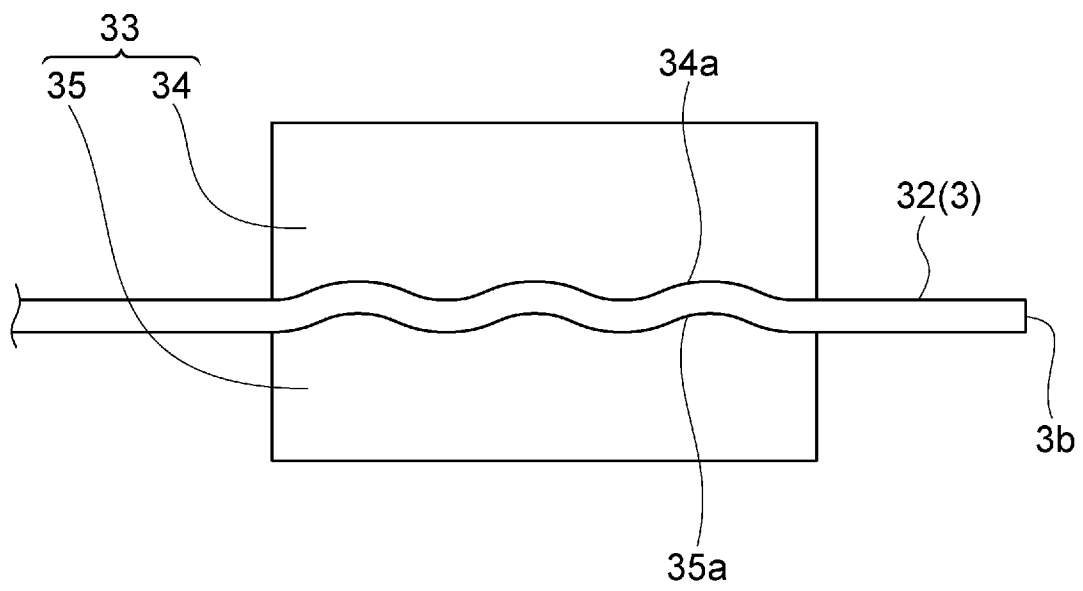
[図1]



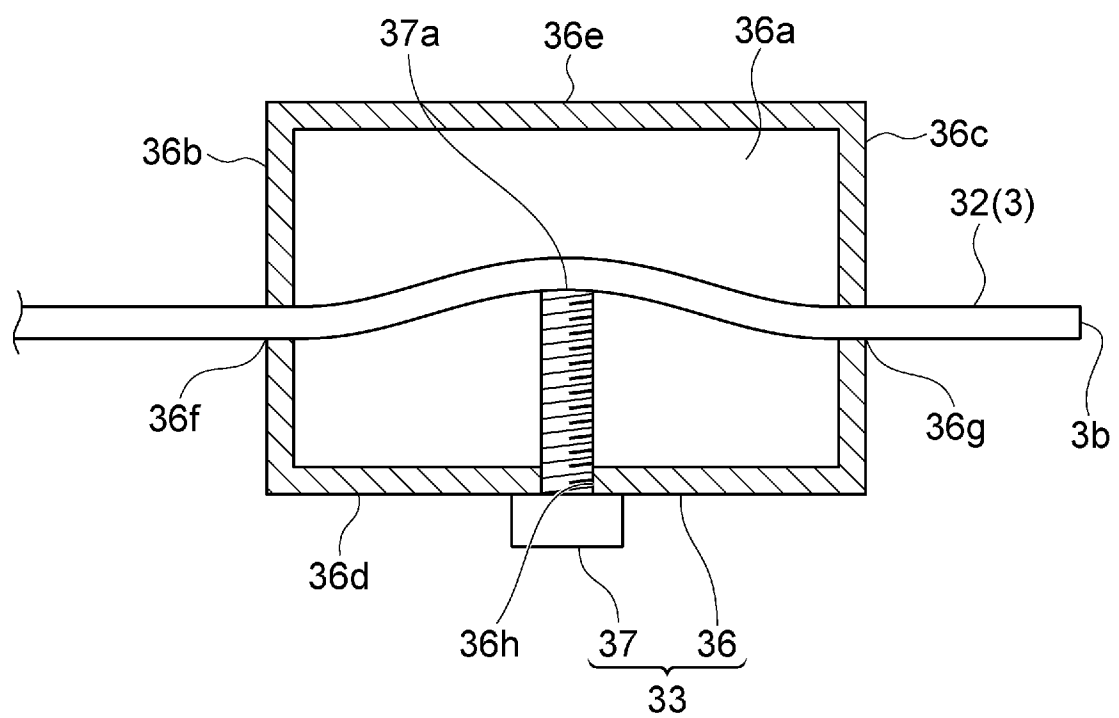
[図2]



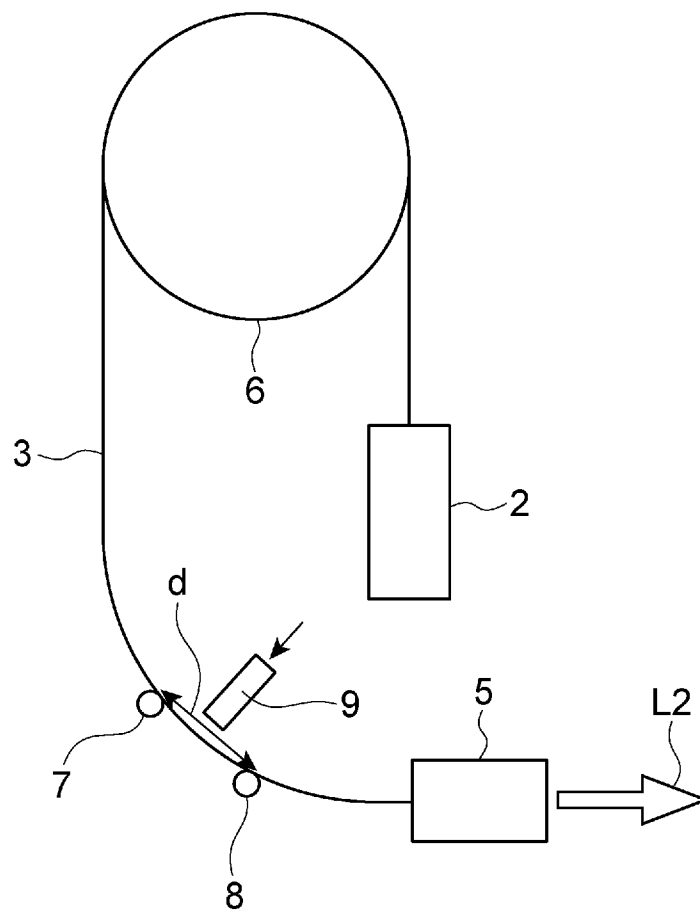
[図3]



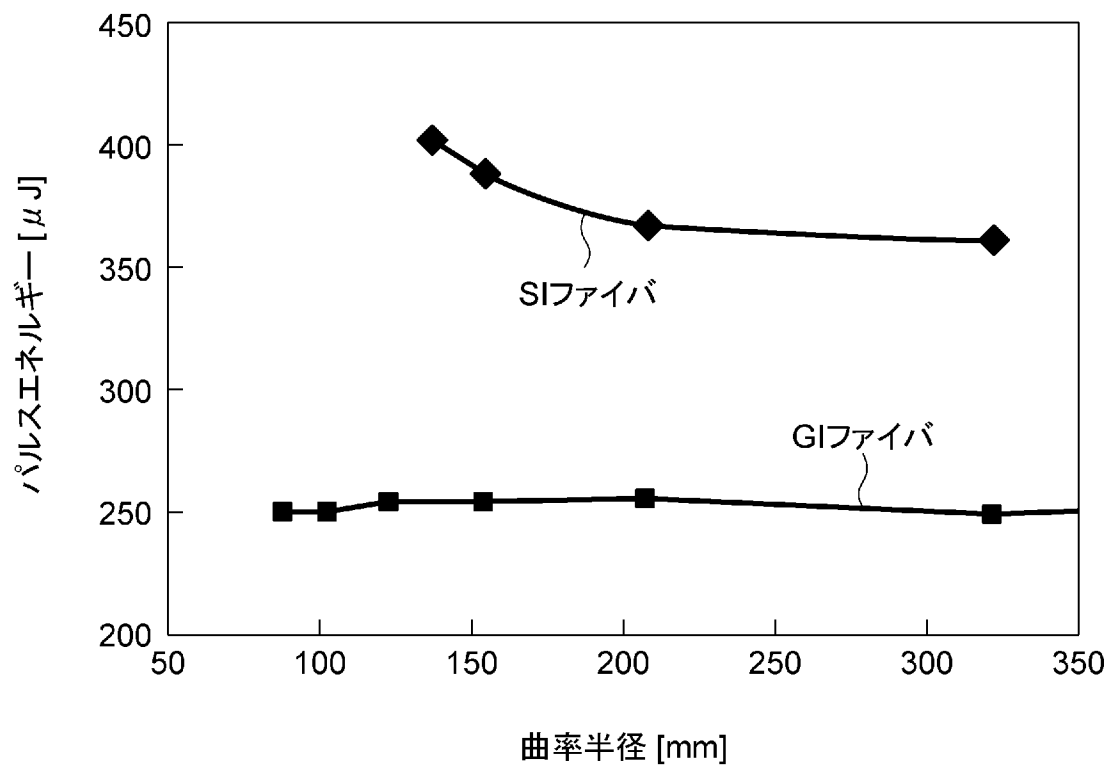
[図4]



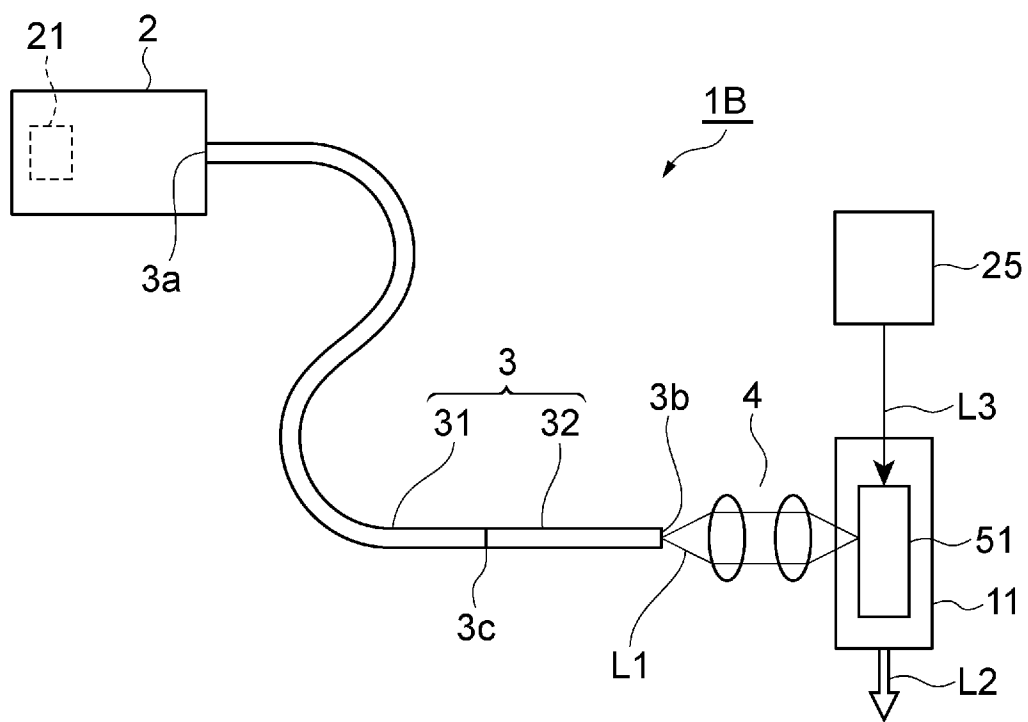
[図5]



[図6]



[図7]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2014/075120

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01S3/0941(2006.01)i, G02B6/42(2006.01)i, H01S5/02(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)

H01S3/00-3/30, G02B6/42, H01S5/02

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	1996-2014
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2014	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2014

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.
A	JP 2010-36189 A (Miyachi Technos Corp.), 18 February 2010 (18.02.2010), abstract; claims; paragraphs [0004], [0058]; all drawings (Family: none)	1-8
A	JP 2007-163940 A (Mitsubishi Electric Corp.), 28 June 2007 (28.06.2007), abstract; claims; all drawings (Family: none)	1-8
A	JP 2004-134660 A (The Furukawa Electric Co., Ltd.), 30 April 2004 (30.04.2004), abstract; claims; 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:

"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
05 December 2014 (05.12.14)

Date of mailing of the international search report
06 January 2015 (06.01.15)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2014/075120

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 2003-112281 A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 15 April 2003 (15.04.2003), abstract; claims; all drawings (Family: none)	1-8
A	JP 4-75794 A (Hitachi Construction Machinery Co., Ltd.), 10 March 1992 (10.03.1992), claims; all drawings (Family: none)	3
A	JP 4-27178 A (Nippon Steel Corp.), 30 January 1992 (30.01.1992), claims; all drawings (Family: none)	1-8

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H01S3/0941 (2006.01)i, G02B6/42 (2006.01)i, H01S5/02 (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. H01S3/00-3/30, G02B6/42, H01S5/02

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 1 4 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 4 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 4 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
A	JP 2010-36189 A（ミヤチテクノス株式会社）2010.02.18, 要約, 特許請求の範囲, 段落4, 58, 全図（ファミリーなし）	1-8
A	JP 2007-163940 A（三菱電機株式会社）2007.06.28, 要約, 特許請求の範囲, 全図（ファミリーなし）	1-8
A	JP 2004-134660 A（古河電気工業株式会社）2004.04.30, 要約, 特許請求の範囲, 全図（ファミリーなし）	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

0 5 . 1 2 . 2 0 1 4

国際調査報告の発送日

0 6 . 0 1 . 2 0 1 5

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）

古田 敦浩

2 X

3 0 1 3

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 2 9 4

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 2003-112281 A (松下電器産業株式会社) 2003. 04. 15, 要約, 特許請求の範囲, 全図 (ファミリーなし)	1-8
A	JP 4-75794 A (日立建機株式会社) 1992. 03. 10, 特許請求の範囲, 全図 (ファミリーなし)	3
A	JP 4-27178 A (新日本製鐵株式会社) 1992. 01. 30, 特許請求の範囲, 全図 (ファミリーなし)	1-8