(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
2012 年 10 月 4 日(04.10.2012)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2012/132511 A1

(51) 国際特許分類:
H01S 3/06 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2012/051328

(22) 国際出願日: 2012 年 1 月 23 日(23.01.2012)

(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 2011-074070 2011 年 3 月 30 日(30.03.2011) JP

(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 株式会社フジクラ(**FUJIKURA LTD.**) [JP/JP]; 〒1358512 東京都江東区木場一丁目５番１号 Tokyo (JP).

(72) 発明者; および
(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 杉本 亮(**SUGIMOTO Ryo**) [JP/JP]; 〒2858550 千葉県佐倉市六崎１４４０番地 株式会社フジクラ佐倉事業所内 Chiba (JP).

(74) 代理人: 森村靖男, 外(**MORIMURA Yasuo** et al.); 〒1010031 東京都千代田区東神田一丁目５番６号 東神田ＭＫ第５ビル６Ｆ Tokyo (JP).

(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, 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, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, 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, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

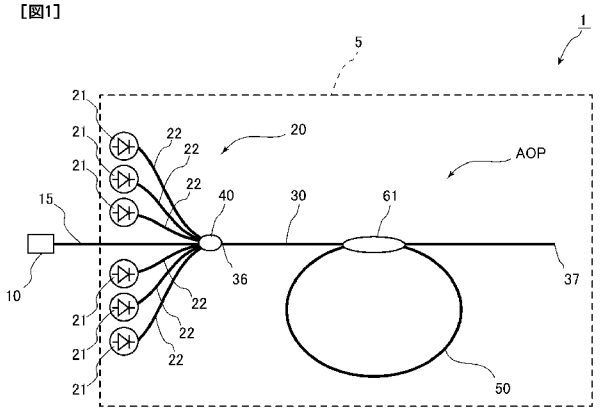
添付公開書類:
— 国際調査報告（条約第 21 条(3)）

WO 2012/132511 A1

(54) **Title**: OPTICAL COMPONENT FOR USE IN AMPLIFICATION, OPTICAL FIBER AMPLIFIER USING SAME, AND FIBER LASER DEVICE

(54) 発明の名称 : 増幅用光学部品、及び、これを用いた光ファイバ増幅器、並びに、ファイバレーザ装置

[図1]



(57) **Abstract**: The purpose is to provide an optical component for use in amplification, an optical fiber amplifier using the same, and a fiber laser device. This optical component (AOP) for use in amplification is provided with: an amplifying optical fiber (30) containing a core (31) to which an active element is added, and a cladding (32) subjected to incidence of excited light for exciting the active element; and a loop propagation optical fiber (50) that causes some of the excited light for propagating the cladding (32) to travel along the loop thereof, and is joined optically to a cladding section (61) between one end (36) and another end (37) of the amplifying optical fiber (30).

(57) 要約:

[続葉有]

増幅用光学部品、及び、これを用いた光ファイバ増幅器、並びに、ファイバレーザ装置を提供することを目的とする。　本発明の増幅用光学部品ＡＯＰは、活性元素が添加されるコア３１、及び、前記活性元素を励起するための励起光が入射されるクラッド３２を含む増幅用光ファイバ３０と、前記増幅用光ファイバ３０の一端３６と他端３７との間のクラッド部分６１に対して光学的に結合され、クラッド３２を伝播する励起光の一部を往来させる迂回伝播用光ファイバ５０とを備える。

明　細　書

発明の名称 ：

増幅用光学部品、及び、これを用いた光ファイバ増幅器、並びに、ファイバレーザ装置

技術分野

[0001] 本発明は、増幅用光ファイバを用いて、簡易な構成で励起光を効率的に吸収することができる増幅用光学部品、及び、これを用いた光ファイバ増幅器、並びに、ファイバレーザ装置に関する。

背景技術

[0002] 増幅用光ファイバを用いたファイバレーザ装置は、集光性に優れ、パワー密度が高い小さなビームスポットが得られ、更に、非接触加工が可能であることから、レーザ加工分野、医療分野などの様々な分野で用いられている。特に、加工分野や医療分野で用いられるファイバレーザ装置は、高出力化となっている。

[0003] ファイバレーザ装置に用いられる増幅用光ファイバは、活性元素が添加されたコアと、コアの外周面を覆うクラッドとを備えている。このクラッドを伝播する励起光が活性元素に吸収された場合、活性元素が励起状態となることで、増幅用光ファイバのコアを伝播する被増幅光が増幅される。従って、活性元素に無駄なく励起光を吸収させることが望ましい。しかし、増幅用光ファイバに入射される励起光には、コアに添加される活性元素に吸収されながら伝播するものと、コアを通過することなく伝播するものとがある。一般に、コアを通過することなく伝播する励起光は、スキュー光と呼ばれている。

[0004] このようなスキュー光を抑制する増幅用光ファイバとして、下記特許文献１又は特許文献２が提案されている。特許文献１の増幅用光ファイバでは、励起光が伝播するクラッド（第２コアと記載されている）の断面における外形が四角形にされている。また、特許文献２の増幅用光ファイバでは、増幅

ファイバの一部に設けられる圧迫素子によってその一部のクラッドに小さな曲げが形成されている。これら増幅用光ファイバでは、励起光の伝播モードが乱れることでスキュー光が抑制される。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：特許第３４７９２１９号公報

特許文献2：特開２００２－２３７６３７号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] しかし、特許文献１又は特許文献２に記載の増幅用光ファイバは、上記のようにクラッドを特別な形状に形成する必要があり、増幅用光ファイバを製造するための母材作製段階からスキュー光を抑制する特別な設計をする必要がある。また、特許文献２の増幅用光ファイバでは、圧迫素子の圧迫方向などに応じて、増幅用光ファイバの入力端に励起光が戻ることで励起光の損失が生じ、かえって、増幅用光ファイバでの励起光の増幅効率が低下してしまう。このため、増幅用光ファイバを用いて効率よく増幅可能な簡易な構成の増幅用光学部品が望まれている。

[0007] そこで、本発明は、増幅用光ファイバでの励起光の増幅効率を簡易な構成で向上し得る増幅用光学部品、及び、これを用いた光ファイバ増幅器、並びに、ファイバ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

[0008] 本発明の増幅用光学部品は、活性元素が添加されるコア、及び、前記活性元素を励起するための励起光が入射されるクラッドを含む増幅用光ファイバと、前記増幅用光ファイバの一端と他端との間のクラッド部分に対して光学的に結合され、前記クラッドを伝播する励起光の一部を往来させる迂回伝播用光ファイバとを備えることを特徴とするものである。

[0009] この増幅用光学部品では、増幅用光ファイバのクラッド部分と、迂回伝播

用光ファイバの光伝播路とが光学的に結合されているため、増幅用光ファイバのクラッドにおける光伝播条件は、光学的に結合されている部分と、それ以外の部分とで相違する。したがって、光結合部分では、クラッドを伝播するスキュー光の伝播モードに変化が生じ、この変化によって、クラッドを伝播するスキュー光が、コアを通過するものとして改善され低減することになる。また、光結合部分は、増幅用光ファイバの中間部位に形成されているため、増幅用光ファイバの端部に形成する場合に比べて、クラッドに対するスキュー光の伝播距離を短くしつつも、コアを通過するよう改善された励起光の伝播距離を長くすることができる。したがって、コアに対する励起光の通過効率が高められる。これに加えて、増幅用光ファイバを曲げることなく光結合部分が形成可能であるため、増幅用光ファイバでの励起光の強度分布の変移や、増幅用光ファイバの入力端に励起光が戻ることなどに起因する励起光の損失が大幅に抑制可能である。こうして、増幅用光ファイバでの励起光の増幅効率が向上される。一方、迂回伝播用光ファイバは、一般に用いられる光ファイバでも良いので、増幅用光ファイバに対する特別な設計をその母材作成段階から要することなく、増幅用光学部品が簡易に構成可能である。

[0010] なお、本明細書において、「光学的に結合」とは、光が伝播可能な状態にあることを意味する。

[0011] また、前記迂回伝播用光ファイバは、長手方向へ非端状態として連なるループ構造とされ、前記迂回伝播用光ファイバの一部は、前記クラッド部分の長手方向に沿う状態で、そのクラッド部分に対して光学的に結合されることが好ましい。

[0012] このようにすれば、迂回伝播用光ファイバを経由する励起光は、増幅用光ファイバから光結合部分を介して迂回伝播用光ファイバに入射するときと、迂回伝播用光ファイバから光結合部分を介して増幅用光ファイバに出射するときの少なくとも２回にわたって、光結合部分を通る。したがって、このような増幅用光学部品によれば、スキュー光の低減効率がより一段と向上される。

[0013] 或いは、前記迂回伝播用光ファイバの一端は、前記クラッドを伝播する励起光の伝播方向に対向する状態で、前記クラッド部分に対して光学的に結合され、前記迂回伝播用光ファイバの他端は、前記クラッドを伝播する励起光の伝播方向に沿う状態で、前記迂回伝播用光ファイバの一端が結合されるクラッド部分と、前記増幅用光ファイバの出力端との間のクラッド部分に対して光学的に結合されることが好ましい。

[0014] このようにすれば、迂回伝播用光ファイバの一端側の光結合部分においてスキュー光が低減され、他端側の光結合部分において、一端側の光結合部分において改善できなかったスキュー光や、新たに生じたスキュー光が低減される。したがって、このような増幅用光学部品によれば、低減効率がより一段と向上される。

[0015] 或いは、前記迂回伝播用光ファイバの一端は、前記クラッドを伝播する励起光の伝播方向に対向する状態で、前記クラッド部分に対して光学的に結合され、前記迂回伝播用光ファイバの他端は、前記迂回伝播用光ファイバの一端が結合されるクラッド部分と、前記増幅用光ファイバの入力端との間のクラッド部分に対して光学的に結合されることが好ましい。

[0016] このようにすれば、迂回伝播用光ファイバを伝播する励起光は、迂回伝播用光ファイバの一端側の光結合部分から、その光結合部分よりも増幅用光ファイバの入力端寄りとなる他端側の光結合部分に戻されることになる。このため、迂回伝播用光ファイバを伝播する励起光は、一端と他端との間を増幅用光ファイバを介して回帰的にループし、複数にわたって光結合部分を通る。したがって、このような増幅用光学部品によれば、スキュー光の低減効率がより一段と向上される。

[0017] また、前記ループ構造とされる迂回伝播用光ファイバを複数有し、各前記迂回伝播用光ファイバの一部は、前記増幅用光ファイバの一端と他端との間において互いに異なる複数のクラッド部分に対して、当該クラッド部分の長手方向に沿う状態で光学的に結合されることが好ましい。

[0018] このようにすれば、増幅用光ファイバのクラッドに対して迂回伝播用光フ

ァイバの光結合部分が複数存在することになるため、そのクラッドを伝播する励起光の伝播モードが変化する機会が、光結合部分を単一とする場合に比べて増加することになる。したがって、このような増幅用光学部品によれば、光結合部分を単一とする場合に比べて、より一段とスキュー光が低減される。

[0019] また、前記ループ構造とされる迂回伝播用光ファイバにおける複数の部分が、前記増幅用光ファイバの一端と他端との間において互いに異なる複数のクラッド部分に対して、当該クラッド部分の長手方向に沿う状態で光学的に結合されることが好ましい。

[0020] このようにすれば、増幅用光ファイバのクラッドに対して迂回伝播用光ファイバの光結合部分が複数存在することになる。これに加えて、迂回伝播用光ファイバがループ構造であるため、迂回伝播用光ファイバを伝播する励起光は、複数の光結合部分のいずれかを介して様々なループ経路で回帰的にループし、複数にわたって光結合部分を通ることになる。したがって、このような増幅用光学部品によれば、光結合部分を単一とする場合に比べて、より一段とスキュー光が低減される。

[0021] また、前記迂回伝播用光ファイバの一端と、前記迂回伝播用光ファイバの他端とには、前記迂回伝播用光ファイバの軸に対して斜めとなる傾斜面が形成され、前記傾斜面が前記クラッド部分の外周面に対向されることが好ましい。

[0022] このようにすれば、傾斜面が非形成である場合に比べて、増幅用光ファイバのクラッドに対する、光ファイバの一端及び他端の対向面積が増加する。このため、傾斜面が非形成である場合に比べて、光結合部分でのクラッドの光伝播条件と、結合部分以外でのクラッドの光伝播条件とが相違の程度が大きいことにより、光結合部分においてクラッドを伝播する励起光の進行方向がより大きく変化することになる。したがって、このような増幅用光学部品によれば、傾斜面が非形成である場合に比べて、より一段とスキュー光が低減される。

[0023] また、前記光学的に結合される部分は、融着により一体として形成されることが好ましい。

[0024] このようにすれば、単に当接する場合などに比べて、光結合部分の乱れが大きく生じることにより、光結合部分においてクラッドを伝播する励起光の伝播モードがより大きく変化することになる。したがって、このような増幅用光学部品によれば、単に当接する場合などに比べて、より一段とスキュー光が低減される。

[0025] 本発明の光ファイバ増幅器は、上記いずれかに記載の増幅用光学部品と、前記クラッドに対して前記励起光を出射する励起光源とを備えることを特徴とするものである。

[0026] このような光ファイバ増幅器によれば、増幅用光学部品において、上述のようにスキュー光が低減され、増幅用光ファイバが効率よく励起光を吸収することができるので、同じパワーの励起光源であっても、より高い増幅率とすることができる。

[0027] 本発明のファイバレーザ装置は、上記のいずれかに記載の増幅用光学部品と、前記クラッドに対して前記励起光を出射する励起光源と、前記コアに対して種光を出射する種光源とを備えることを特徴とするものである。

[0028] このようなファイバレーザ装置は、増幅用光学部品において、上述のようにスキュー光が低減され、増幅用光ファイバが効率よく励起光を吸収するとこができるため、種光の増幅効率が高いＭＯ－ＰＡ（Master Oscillator - Power Amplifier）型のファイバレーザ装置とすることができる。

[0029] 或いは、本発明のファイバレーザ装置は、上記のいずれかに記載の増幅用光学部品と、前記クラッドに対して前記励起光を出射する励起光源と、前記増幅用光ファイバの一端側に設けられ、前記活性元素が放出する光の少なくとも一部を反射するミラーと、前記増幅用光ファイバの他端側に設けられ、前記第１ミラーが反射する光を前記第１ミラーよりも低い反射率で反射する第２ミラーとを備えることを特徴とするものである。

[0030] このようなファイバレーザ装置は、増幅用光学部品において、上述のよう

にスキュー光が低減され、増幅用光ファイバが効率よく励起光を吸収するとこができるため、増幅効率が高い共振型のファイバレーザ装置とすることができる。

発明の効果

[0031] 以上説明したように、本発明によれば、増幅用光ファイバでの励起光の増幅効率を簡易な構成で向上し得る増幅用光学部品、及び、これを用いた光ファイバ増幅器、及び、ファイバレーザ装置が提供される。

図面の簡単な説明

[0032] [図1]本発明の第１実施形態に係るファイバレーザ装置を示す図である。

[図2]図１の増幅用光ファイバの長手方向に垂直となる断面図である。

[図3]図１の迂回伝播用光ファイバの長手方向に垂直となる断面図である。

[図4]図１の光結合部の拡大図である。

[図5]図４のＶ－Ｖ線を通る断面図である。

[図6]増幅用光ファイバの長さに応じた励起光吸収量を、光結合部がある場合とない場合とで実験した結果を示すグラフである。

[図7]本発明の第２実施形態に係る増幅用光学部品を示す図である。

[図8]図７の光結合部の拡大図である。

[図9]本発明の第３実施形態に係る増幅用光学部品を示す図である。

[図10]本発明の第４実施形態に係る増幅用光学部品を示す図である。

[図11]本発明の第５実施形態に係る増幅用光学部品を示す図である。

[図12]本発明の第６実施形態に係るファイバレーザ装置を示す図である。

[図13]増幅用光学部品の変形例を示す図である。

発明を実施するための形態

[0033] 以下、本発明の光学部品、及び、これを用いた光ファイバ増幅器、ファイバレーザ装置の好適な実施形態について図面を参照しながら詳細に説明する。

[0034] （第１実施形態）

図１は、本発明の第１実施形態に係るファイバレーザ装置を示す式である

。

[0035] 図１に示すように、ファイバレーザ装置１は、例えばＭＯ－ＰＡ型のファイバレーザ装置であり、種光を出射する種光源１０と、種光を増幅する光ファイバ増幅器５とを備えている。

[0036] 光ファイバ増幅器５は、励起光を出射する励起光源２０と、種光及び励起光が入射される増幅用光学部品ＡＯＰと、増幅用光学部品ＡＯＰに種光及び励起光を入射するためのコンバイナ４０と、を主な構成として備えている。増幅用光学部品ＡＯＰは、増幅用光ファイバ３０と、増幅用光ファイバ３０の中間部位に結合される迂回伝播用光ファイバ５０とからなる。

[0037] 種光源１０は、例えば、レーザダイオードから成るレーザ光源や、ファブリペロー型やファイバリング型のファイバレーザ装置から構成されている。この種光源１０から出射される種光は、特に制限されるものではないが、例えば、後述のように増幅用光ファイバ３０にイッテルビウム（Ｙｂ）が添加される場合、波長が１０７０ｎｍのレーザ光とされる。また、種光源１０は、コア、及び、コアを被覆するクラッドから構成される種光用ファイバ１５に接続されており、種光源１０から出射される種光は、種光用ファイバ１５のコアを伝播する。種光用ファイバ１５としては、例えば、シングルモードファイバが挙げられ、この場合、種光は種光用ファイバ１５をシングルモード光として伝播する。

[0038] 励起光源２０は、複数のレーザダイオード２１から構成される。それぞれのレーザダイオード２１から出射される励起光は、特に制限されるものではないが、例えば、後述のように増幅用光ファイバ３０にＹｂが添加される場合、波長が９１５ｎｍのレーザ光とされる。また、励起光源２０のそれぞれのレーザダイオード２１は、励起光用ファイバ２２に接続されており、レーザダイオード２１から出射される励起光は、励起光用ファイバ２２を伝播する。励起光用ファイバ２２としては、例えば、マルチモードファイバが挙げられ、この場合、励起光は励起光用ファイバ２２をマルチモード光として伝播する。

[0039] 図２は、図１の増幅用光ファイバ３０の長手方向に垂直となる断面図である。図２に示すように、増幅用光ファイバ３０は、コア３１と、コア３１を被覆するクラッド３２と、クラッド３２を被覆する外部クラッド３３と、外部クラッド３３を被覆する被覆層３４とから構成される。また、本実施形態では、コア３１、外部クラッド３３、及び、被覆層３４の断面における外形は円形とされ、クラッド３２の断面における外形は非円形とされている。なお、本実施の形態では、クラッド３２の断面における外形は略正多角形とされる。

[0040] クラッド３２の屈折率はコア３１の屈折率よりも低く、外部クラッド３３の屈折率はクラッド３２の屈折率よりもさらに低くされている。このような、コア３１を構成する材料としては、例えば、屈折率を上昇させるゲルマニウム（Ｇｅ）等の元素、及び、励起光源２０から出射される励起光により励起されるＹｂ等の活性元素が添加された石英が挙げられる。活性元素としては、希土類元素が挙げられ、希土類元素としては、上記Ｙｂの他にツリウム（Ｔｍ）、セリウム（Ｃｅ）、ネオジウム（Ｎｄ）、ユーロピウム（Ｅｕ）、エルビウム（Ｅｒ）等が挙げられる。さらに活性元素として、希土類元素の他に、ビスマス（Ｂｉ）等を挙げることができる。また、クラッド３２を構成する材料としては、例えば、何らドーパントが添加されていない純粋石英を挙げることができる。なお、コア３１の材料に屈折率を上昇させるＧｅ等の元素が添加されない場合、クラッド３２の材料には、屈折率を低下させるフッ素（Ｆ）等が添加される。一方、外部クラッド３３を構成する材料としては例えば樹脂が挙げられ、具体的には、紫外線硬化樹脂が挙げられる。他方、被覆層３４を構成する材料としては、例えば、外部クラッド３３を構成する樹脂とは異なる紫外線硬化樹脂が挙げられる。

[0041] コンバイナ４０は、増幅用光ファイバ３０の一端３６において、種光用ファイバ１５及びそれぞれの励起光用ファイバ２２と、増幅用光ファイバ３０とを接続している。具体的には、コンバイナ４０において、種光用ファイバ１５のコアが、増幅用光ファイバ３０のコア３１に端面接続され、さらに、

それぞれの励起光用ファイバ２２のコアが、クラッド３２に端面接続されている。従って、種光源１０から出射する種光、及び、励起光源２０から出射する励起光は、増幅用光ファイバ３０の一端３６を入射端として、それぞれ、コア３１及びクラッド３２に入射する。なお、増幅用光ファイバ３０の他端３７は、出射端とされている。

[0042] 図３は、図１の迂回伝播用光ファイバ５０の長手方向に垂直となる断面図である。図３に示すように、迂回伝播用光ファイバ５０は、コア５１と、コア５１を被覆するクラッド５２とから構成される。このクラッド５２の断面における外形は、増幅用光ファイバ３０のクラッド３２と異なり、円形とされる。

[0043] コア５１の屈折率は、増幅用光ファイバ３０のクラッド３２の屈折率と同等とされ、迂回伝播用光ファイバ５０のクラッド５２の屈折率よりも高くされている。このようなコア５１を構成する材料として、例えば、上述した増幅用光ファイバ３０のクラッド３２と同じものを挙げることができる。

[0044] また、迂回伝播用光ファイバ５０は、図１に示すように、長手方向へ非端状態として連なるループ構造とされており、その一部は、増幅用光ファイバ３０の中間部位と一体化された光結合部６１として形成されている。

[0045] 図４は、図１の光結合部６１の拡大図であり、図５は、図４のＶ－Ｖ線を通る断面図である。図４、図５に示すように、光結合部６１では、迂回伝播用光ファイバ５０のクラッド５２と、増幅用光ファイバ３０の外部クラッド３３及び被覆層３４とが剥離され、迂回伝播用光ファイバ５０のコア５１と、増幅用光ファイバ３０のクラッド３２とが露出している。

[0046] これらコア５１の露出部分とクラッド３２の露出部分とが沿った状態で、これら露出部分の少なくとも一部が融着され、露出部分同士が一体として結合されている。従って、光結合部６１では、コア５１とクラッド３２とを相互に光が伝播可能になっている。この露出部分の長さＬは、例えば数ｍｍ～数十ｍｍの範囲で選定される。ただし、この範囲外であっても良い。

[0047] また、コア５１及びクラッド３２双方の露出部分は、樹脂６９により被覆

されている。樹脂６９の屈折率は、クラッド３２の屈折率よりも低くされ、このような樹脂６９としては、例えば、外部クラッド３３と同様の樹脂を挙げることができる。

[0048] 次にファイバレーザ装置１の動作について説明する。

[0049] まず、種光源１０から被増幅光としての種光が出射されると共に、励起光源２０から励起光が出射される。上述のように、種光の波長は、例えば１０７０ｎｍとされ、励起光の波長は、例えば９１５ｎｍとされる。

[0050] 種光源１０から出射した種光は、種光用ファイバ１５を介してコンバイナ４０に入射し、コンバイナ４０によって増幅用光ファイバ３０の一端３６からコア３１に入射され、コア３１を伝播する。一方、各励起光源２０から出射した励起光は、励起光用ファイバ２２を介してコンバイナ４０に入射し、コンバイナ４０によって増幅用光ファイバ３０の一端３６からクラッド３２に入射され、クラッド３２を伝播する。

[0051] 上述したように、クラッド３２の中間部位では、迂回伝播用光ファイバ５０のコア５１の一部が光学的に結合する光結合部６１が形成されている。この結合に起因して、光結合部６１でのクラッド３２の光伝播条件は、光結合部６１以外のクラッド３２での光伝播条件と異なっている。特に、本実施形態の光結合部６１は、クラッド３２とコア５１とを融着により一体として結合したものであるため、その結合部分には乱れが大きく生じているものである。したがって、クラッド３２とコア５１とを単に当接する場合などに比べて、光結合部６１でのクラッド３２の光伝播条件と、光結合部６１以外のクラッド３２での光伝播条件とは、より一段と大きく異なっている。

[0052] このため、光結合部６１のクラッド３２を伝播する励起光はその伝播モードが変化し、この変化に起因して、クラッド３２の入力端から光結合部６１までの間に発生したスキュー光が、コア３１を通過する励起光として改善される。この結果、クラッド３２を伝播する励起光に含まれるスキュー光は低減することになる。

[0053] また、光結合部６１のクラッド３２を伝播する励起光の一部は迂回伝播用

光ファイバ５０のコア５１に入射する。この迂回伝播用光ファイバ５０はループ構造とされているため、コア５１に入射した励起光は少なくとも１回以上周回した後に光結合部６１からクラッド３２の出力端側へ出射する。したがって、迂回伝播用光ファイバ５０のコア５１を伝播する励起光は、少なくとも入射時と出射時の２回にわたって光結合部６１を通る。この結果、迂回伝播用光ファイバ５０を経由する励起光に含まれるスキュー光は、非経由の励起光に比べてより一段と低減することになる。

[0054] 一方、増幅用光ファイバ３０のコア３１を伝播する種光は、そのコア３１に添加されている活性元素の誘導放出により増幅され、出射光として増幅用光ファイバ３０の他端３７から出射される。なお、活性元素の誘導放出は、コア３１を通過する励起光により引き起こされる。

[0055] 以上説明したように、本実施形態の増幅用光学部品ＡＯＰによれば、増幅用光ファイバ３０のクラッド３２の一部に対して、迂回伝播用光ファイバ５０のコア５１が融着により一体に結合され、光結合部６１が形成されている。このため、光結合部６１でのクラッド３２の光伝播条件と、光結合部６１以外のクラッド３２での光伝播条件とが相違することになる。したがって、光結合部６１のクラッド３２を伝播する励起光の伝播モードが変化し、この変化によって、光結合部６１に到達するまでに発生したスキュー光が低減されることになる。これに加えて、増幅用光ファイバ３０を曲げることなく光結合部６１が形成可能であるため、増幅用光ファイバ３０での励起光の強度分布の変移や、増幅用光ファイバ３０入力端に励起光が戻ることなどに起因する増幅用光ファイバ３０での励起光の損失が未然に防止される。こうして、増幅用光ファイバ３０での増幅効率が向上される。

[0056] また、光結合部６１は、中間部位に形成されている。このため、増幅用光ファイバ３０の端部に光結合部６１を形成する場合に比べて、クラッド３２に対するスキュー光の伝播距離を短くしつつも、コア３１を通過するよう改善された励起光の伝播距離を長くすることができる。これに加えて、増幅用光ファイバ３０に形成すべき光結合部６１の位置に応じて、クラッド３２に

対する、スキュー光の伝播距離と、コア３１を通過するよう改善された励起光の伝播距離との調整が可能となる。

[0057] さらに、光結合部６１として、増幅用光ファイバ３０の中間部位に光結合される迂回伝播用光ファイバ５０は、ループ構造とされている。このため、迂回伝播用光ファイバ５０のコア５１を伝播する励起光は、少なくとも入射時と出射時の２回にわたって光結合部６１を通る。この結果、迂回伝播用光ファイバ５０を経由する励起光に含まれるスキュー光は、非経由の励起光に比べてより一段と低減される。なお、このことは、迂回伝播用光ファイバ５０のクラッド３２の外形を特別な形状にすることなく実現可能である。

[0058] なお、増幅用光ファイバ３０の長さに応じた励起光吸収量を、光結合部６１がある場合とない場合とで実験した結果を図６に示す。この実験では、増幅用光ファイバ３０における被覆層３４の外径が６５０μｍとされ、クラッド３２の径が４００μｍとされ、コア３１にはＹｂが添加された。一方、迂回伝播用光ファイバ５０のクラッド５２の径が２５０μｍとされ、コア５１の径が１０５μｍとされた。また、光結合部６１は、増幅用光ファイバ３０の全長の半分となる位置に形成され、その光結合部６１におけるコア５１の露出部分とクラッド３２の露出部分との長さＬは１０ｍｍとされ、励起光の波長は９１５ｎｍとされた。この図６からも明らかなように、光結合部６１を形成した場合には、非形成の場合に比べてスキュー光が低減され、その低減量については増幅用光ファイバ長が長いほど顕著に大きくなることが確認されている。

[0059] （第２実施形態）

次に、本発明の第２実施形態について図７及び図８を参照して詳細に説明する。なお、上記実施形態と同一又は同等の構成要素については、同一の参照符号を付して特に説明する場合を除き重複する説明は省略する。図７は、本発明の第２実施形態に係る増幅用光学部品を示す図であり、図８は、図７の光結合部６２Ａ，６２Ｂの拡大図である。

[0060] 本実施形態の増幅用光学部品ＡＯＰは、第１実施形態の増幅用光学部品Ａ

ＯＰに代えて備えられるものであり、第１実施形態と同様の増幅用光ファイバ３０と、迂回伝播用光ファイバ５５とを有している。この迂回伝播用光ファイバ５５は、図７に示すように、非ループ構造とされている点で、ループ構造とされた第１実施形態の迂回伝播用光ファイバ５０とは異なっている。

[0061] また、この迂回伝播用光ファイバ５５の一端は、増幅用光ファイバ３０の中間部位と一体化された光結合部６２Ａとして形成され、他端は、光結合部６２Ａよりも増幅用光ファイバ３０の出力端側となる他の中間部位と一体化された光結合部６２Ｂとして形成されている。

[0062] 図８に示すように、光結合部６２Ａ，６２Ｂにおける増幅用光ファイバ３０のクラッド３２は、第１実施形態と同様に、外部クラッド３３及び被覆層３４が剥離されて露出している。これに対し、光結合部６２Ａ，６２Ｂにおける迂回伝播用光ファイバ５５のコア５１は、第１実施形態と異なっている。

[0063] すなわち、光結合部６２Ａでは一方の端部のクラッド５２が剥離されてコア５１が露出し、光結合部６２Ｂでは他方の端部のクラッド５２が剥離されてコア５１が露出している。これら双方の露出部分にはコア５１の軸ＡＸに対して斜めとなる傾斜面ＩＦＡ，ＩＦＢが形成されている。

[0064] そして、光結合部６２Ａでは、コア５１の傾斜面ＩＦＡがクラッド３２の露出部分の外周面に対向し、かつ、コア５１の先端が増幅用光ファイバ３０のクラッド３２を伝播する励起光の伝播方向ＳＤに対向する状態で、コア５１及びクラッド３２の露出部分の少なくとも一部が融着される。従って、光結合部６２Ａでは、クラッド３２からコア５１へ光が伝播可能になっている。

[0065] 一方、光結合部６２Ｂでは、コア５１の傾斜面ＩＦＢがクラッド３２の露出部分の外周面に対向し、かつ、コア５１の先端がクラッド３２を伝播する励起光の伝播方向ＳＤに沿う状態で、コア５１及びクラッド３２の露出部分の少なくとも一部が融着される。従って、光結合部６２Ｂでは、コア５１からクラッド３２へ光が伝播可能になっている。

[0066] なお、傾斜面の傾斜角度θは特に限定されないが、クラッド３２からコア５１へ効率よく光を伝播する観点では、コア５１の軸ＡＸに対して浅い角度であるほうが好ましい。また、光結合部６２Ａ，６２Ｂにおける露出部分は、第１実施形態と同様に、クラッド３２よりも低い屈折率となる樹脂６９により被覆される。

[0067] 以上のように本実施形態の増幅用光学部品ＡＯＰによれば、増幅用光ファイバ３０のクラッド３２の中間部位に対して、迂回伝播用光ファイバ５５のコア５１の一端が融着により一体に結合され、光結合部６２Ａが形成される。また、光結合部６２Ａと、増幅用光ファイバ３０の出力端との中間部位に対して、迂回伝播用光ファイバ５５のコア５１の他端が融着により一体に結合され、光結合部６２Ｂが形成されている。

[0068] このため、光結合部６２Ａ，６２Ｂでのクラッド３２の光伝播条件と、光結合部６２Ａ，６２Ｂ以外のクラッド３２での光伝播条件とが相違し、これにより光結合部６２Ａ，６２Ｂのクラッド３２を伝播する励起光の伝播モードが変化する。したがって、光結合部６２Ａにおいてスキュー光が低減され、光結合部６２Ｂにおいて、光結合部６２Ａで改善できなかったスキュー光や、新たに生じたスキュー光が低減される。なお、迂回伝播用光ファイバ５５のコア５１を伝播する励起光は、入射時には光結合部６２Ａを通り出射時には光結合部６２Ｂを通るため、迂回伝播用光ファイバ５５を経由する励起光に含まれるスキュー光は、非経由の励起光に比べてより一段と低減される。

[0069] これに加えて、増幅用光ファイバ３０を曲げることなく光結合部６２Ａ，６２Ｂが形成可能であるため、増幅用光ファイバ３０での励起光の強度分布の変移や損失が未然に防止される。こうして、増幅用光ファイバ３０での増幅効率が向上される。

[0070] さらに、光結合部６２Ａとして、増幅用光ファイバ３０の中間部位に光結合される迂回伝播用光ファイバ５５の一端は、クラッド３２の伝播方向ＳＤに対向する状態で融着されている。また、光結合部６２Ｂとして、増幅用光

ファイバ３０の中間部位に光結合される迂回伝播用光ファイバ５５の他端は、クラッド３２の伝播方向ＳＤに沿う状態で、その一端は、クラッド３２の伝播方向ＳＤに沿う状態で融着されている。

[0071] このため、光結合部６２Ａ，６２Ｂでの励起光の逆伝播が低減され、この結果、増幅用光ファイバ３０の入力端に戻ることに起因する励起光の損失が低減される。

[0072] 増幅用光ファイバ３０に融着される迂回伝播用光ファイバ５５の一端及び他端には、コア５１の軸ＡＸに対して斜めとなる傾斜面ＩＦＡ，ＩＦＢが形成され、その傾斜面ＩＦＡ，ＩＦＢが迂回伝播用光ファイバ５５のクラッドの外周に対向されている。

[0073] このため、増幅用光ファイバ３０のクラッド３２に対する、迂回伝播用光ファイバ５５の一端及び他端の接合面積が増加することになる。したがって、傾斜面ＩＦＡ，ＩＦＢを非形成とする場合に比べて、光結合部６２Ａ，６２Ｂのクラッド３２を伝播する励起光に対する進行方向の変化の程度を大きくすることができ、この結果、より一段とスキュー光が低減される。これに加えて、傾斜面ＩＦＡ，ＩＦＢを非形成とする場合に比べて、増幅用光ファイバ３０の入力端に戻ることに起因する励起光の損失がより一段と低減される。なお、本実施形態の増幅用光学部品ＡＯＰの場合にも、第１実施形態と同程度にスキュー光が低減したことが確認されている。

[0074] （第３実施形態）

次に、本発明の第３実施形態について図９を参照して詳細に説明する。なお、上記実施形態と同一又は同等の構成要素については、同一の参照符号を付して特に説明する場合を除き重複する説明は省略する。図９は、本発明の第３実施形態に係る増幅用光学部品を示す図である。

[0075] 本実施形態の増幅用光学部品ＡＯＰは、第１実施形態の増幅用光学部品ＡＯＰに代えて備えられるものである。本実施形態の増幅用光学部品ＡＯＰでは、増幅用光ファイバ３０の中間位置に形成される光結合部６２Ａ，６２Ｂの形成位置が、第２実施形態の増幅用光学部品ＡＯＰと異なっている。

[0076] すなわち、第２実施形態の増幅用光学部品ＡＯＰでは、上述したように、増幅用光ファイバ３０の入力端寄りに光結合部６２Ａが形成され、増幅用光ファイバ３０の出力端寄りに光結合部６２Ｂが形成されていた。これに対し、本実施形態の増幅用光学部品ＡＯＰでは、図９に示すように、増幅用光ファイバ３０の出力端寄りに光結合部６２Ａが形成され、増幅用光ファイバ３０の入力端寄りに光結合部６２Ｂが形成されている。

[0077] 光結合部６２Ａでは、第２実施形態と同様に、コア５１の傾斜面ＩＦＡがクラッド３２の露出部分の外周面に対向し、かつ、コア５１の先端がクラッド３２を伝播する励起光の伝播方向ＳＤに対向する状態で、コア５１及びクラッド３２の露出部分の少なくとも一部が融着される。一方、光結合部６２Ｂでも、第２実施形態と同様に、コア５１の傾斜面ＩＦＢがクラッド３２の露出部分の外周面に対向し、かつ、コア５１の先端がクラッド３２を伝播する励起光の伝播方向ＳＤに沿う状態で、コア５１及びクラッド３２の露出部分の少なくとも一部が融着される。

[0078] 以上のように本実施形態の増幅用光学部品ＡＯＰによれば、増幅用光ファイバ３０のクラッド３２の中間部位に対して、迂回伝播用光ファイバ５５のコア５１の一端が融着により一体に結合され、光結合部６２Ａが形成される。また、光結合部６２Ａと、増幅用光ファイバ３０の入力端との中間部位に対して、迂回伝播用光ファイバ５５のコア５１の他端が融着により一体に結合され、光結合部６２Ｂが形成されている。

[0079] このため、光結合部６２Ａ，６２Ｂでのクラッド３２の光伝播条件と、光結合部６２Ａ，６２Ｂ以外のクラッド３２での光伝播条件とが相違し、これにより光結合部６２Ａ，６２Ｂのクラッド３２を伝播する励起光の伝播モードが変化する。したがって、光結合部６２Ａまでに発生したスキュー光が低減される。

[0080] なお、迂回伝播用光ファイバ５５のコア５１を伝播する励起光は、増幅用光ファイバ３０の光結合部６２Ａから、その光結合部６２Ａよりも入力端側に存在する光結合部６２Ｂを経るため、増幅用光ファイバ３０の出力端側か

ら入力端側に戻されることになる。したがって、迂回伝播用光ファイバ５５のコア５１を伝播する励起光は、光結合部６２Ａと６２Ｂとの間を増幅用光ファイバ３０を介して回帰的にループし、複数にわたって光結合部を通る。この結果、光結合部６２Ａまでに発生したスキュー光がより一段と低減されるのみならず、光結合部６２Ｂから６２Ａまでの間で新たに発生したスキュー光も低減される。このことは、迂回伝播用光ファイバ５５のクラッド３２の外形を特別な形状にすることなく実現可能である。なお、本実施形態の増幅用光学部品ＡＯＰの場合にも、第１実施形態と同程度にスキュー光が低減したことが確認されている。

[0081] （第４実施形態）

次に、本発明の第４実施形態について図１０を参照して詳細に説明する。なお、上記実施形態と同一又は同等の構成要素については、同一の参照符号を付して特に説明する場合を除き重複する説明は省略する。図１０は、本発明の第４実施形態に係る増幅用光学部品を示す図である。

[0082] 本実施形態の増幅用光学部品ＡＯＰは、第１実施形態の増幅用光学部品ＡＯＰに代えて備えられるものであり、第１実施形態における増幅用光学部品ＡＯＰの増幅用光ファイバ３０に形成される光結合部６１を複数有している。

[0083] すなわち、図１０に示すように、増幅用光ファイバ３０のクラッド３２の中間部位には、迂回伝播用光ファイバ５０のコア５１の一部と光学的に結合する光結合部６１Ａ～６１Ｃが、一定の間隔ごとに形成されている。ただし、光結合部６１を形成すべき間隔が任意の間隔とされていても良い。

[0084] このような増幅用光学部品ＡＯＰによれば、増幅用光ファイバ３０のクラッド３２を伝播する励起光の伝播モードが変化する機会が、増幅用光ファイバ３０の出力端に至るまでに複数存在することになる。したがって、第１実施形態の場合に比べて、より一段とスキュー光が低減される。

[0085] なお、本実施形態の増幅用光学部品ＡＯＰの場合、第１実施形態よりも顕著にスキュー光が低減したことが確認されている。具体的には、例えば、全

長１０ｍである増幅用光ファイバ３０の一端３６から３ｍの位置と６ｍの位置に光結合部６１を形成し、それ以外については、上記図７に示す場合と同一条件で測定された励起光の吸収量は２０ｄＢであった。これに対し、全長１０ｍである増幅用光ファイバ３０の中間部位に１つの光結合部６１を形成した場合の吸収量は、図７に示すように、１５ｄＢであった。

[0086] （第５実施形態）

次に、本発明の第５実施形態について図１１を参照して詳細に説明する。なお、上記実施形態と同一又は同等の構成要素については、同一の参照符号を付して特に説明する場合を除き重複する説明は省略する。図１１は、本発明の第５実施形態に係る増幅用光学部品を示す図である。

[0087] 本実施形態の増幅用光学部品ＡＯＰは、第１実施形態の増幅用光学部品ＡＯＰに代えて備えられるものであり、第４実施形態における複数の光結合部６１Ａ～６１Ｃそれぞれの迂回伝播用光ファイバ５０を連結して１本のループ構造としたものとなっている。

[0088] すなわち、図１１に示すように、この実施形態の迂回伝播用光ファイバ５６は、長手方向へ非端状態として連なるループ構造とされる。また、迂回伝播用光ファイバ５６におけるコア５１と、増幅用光ファイバ３０におけるクラッド３２の中間部位とは所定間隔ごとに露出される。そして、各露出部分同士の少なくとも一部が融着されて、それぞれの露出部分同士が一体に結合された光結合部６１Ａ～６１Ｃが形成されている。ただし、光結合部６１Ａ～６１Ｃを形成すべき間隔が任意の間隔とされていても良く、コア５１の露出間隔とクラッド３２の露出間隔の双方又は一方が任意の間隔とされても良い。

[0089] 以上のように本実施形態の増幅用光学部品ＡＯＰによれば、第４実施形態と同様に、増幅用光ファイバ３０のクラッド３２を伝播する励起光の伝播モードが変化する機会が、増幅用光ファイバ３０の出力端に至るまでに複数存在することになる。したがって、第１実施形態の場合に比べて、より一段とスキュー光が低減される。

[0090] また、各光結合部６１Ａ～６１Ｃとして、増幅用光ファイバ３０に光結合される迂回伝播用光ファイバ５６は１本のループ構造となっている。このため、各光結合部６１Ａ～６１Ｃを介して迂回伝播用光ファイバ５６のコア５１を伝播する励起光の伝播経路は多岐にわたる。

[0091] 例えば、迂回伝播用光ファイバ５６のコア５１を伝播する励起光は、増幅用光ファイバ３０の最も出力端側にある光結合部６１Ｃから、その光結合部６２Ｃよりも入力端側に存在する光結合部６１Ａ又は６１Ｂのいずれかを経て増幅用光ファイバ３０に戻される。したがって、迂回伝播用光ファイバ５６のコア５１を伝播する励起光は、光結合部６１Ａ～６１Ｃのいずれかを介して様々なループ経路で回帰的にループし、複数にわたって光結合部を通る。この結果、光結合部６２Ａまでに発生したスキュー光がより一段と低減されるのみならず、各光結合部間で新たに発生したスキュー光も低減される。なお、このことは、迂回伝播用光ファイバ５６のクラッド３２の外形を特別な形状にすることなく実現可能である。なお、本実施形態の増幅用光学部品ＡＯＰの場合にも、第４実施形態と同程度以上にスキュー光が低減したことが確認されている。

[0092] （第６実施形態）

次に、本発明の第６実施形態について図１２を参照して詳細に説明する。なお、第１実施形態と同一又は同等の構成要素については、同一の参照符号を付して特に説明する場合を除き重複する説明は省略する。図１２は、本発明の第６実施形態に係るファイバレーザ装置を示す図である。

[0093] 図１２に示すように、本実施形態のファイバレーザ装置２は、光ファイバ増幅器５と、増幅用光ファイバ３０の一端３６側に接続される第１共振用ファイバ１６と、第１共振用ファイバ１６に設けられる第１ミラーとしての第１ＦＢＧ（Fiber Bragg Grating）８１と、増幅用光ファイバ３０の他端３７側に接続される第２共振用ファイバ１７と、第２共振用ファイバ１７に設けられる第２ミラーとしての第２ＦＢＧ８２とを主な構成として備える。このように、本実施形態のファイバレーザ装置２は、共振型のファイバレーザ装

置とされる。

[0094] 第１共振用ファイバ１６は、例えば、第１実施形態における種光用ファイバ１５と同様の構成とされ、一端が種光用ファイバ１５と同様にして、コンバイナ４０で増幅用光ファイバ３０に接続されている。また、第１共振用ファイバ１６の他端には、無反射終端１９が設けられている。さらに、第１共振用ファイバ１６のコアには、第１ＦＢＧ８１が形成されている。こうして第１ＦＢＧ８１は、増幅用光ファイバ３０の一端３６側に設けられている。第１ＦＢＧ８１は、第１共振用ファイバ１６の長手方向に沿って一定の周期で屈折率が高くなる部分が繰り返されており、第１ＦＢＧ８１は、この周期が調整されることにより、励起状態とされた増幅用光ファイバ３０の活性元素が放出する光の少なくとも一部の波長を反射するように構成されている。第１ＦＢＧ８１は、上述のように活性元素がＹｂである場合、例えば１０７０ｎｍにおいて反射率が１００％とされる。

[0095] また、増幅用光ファイバ３０の他端３７には、第２共振用ファイバ１７が接続されている。第２共振用ファイバ１７は、例えば、第１共振用ファイバと同様の構成とされ、第２共振用ファイバ１７のコアが増幅用光ファイバ３０のコアと結合している。第２共振用ファイバ１７のコアには、第２ＦＢＧ８２が設けられている。こうして第２ＦＢＧ８２は、増幅用光ファイバ３０の他端３７側に設けられている。第２ＦＢＧ８２は、第２共振用ファイバ１７の長手方向に沿って一定の周期で屈折率が高くなる部分が繰り返されており、第１ＦＢＧ８１が反射する光と同じ波長の光を第１ＦＢＧ８１よりも低い反射率で反射するように構成され、例えば、第１ＦＢＧ８１が反射する光と同じ波長の光が５０％の反射率で反射されるように構成されている。

[0096] このようなファイバレーザ装置２においては、励起光源２０のそれぞれのレーザダイオード２１から励起光が出射されると、この励起光がコンバイナ４０において、増幅用光ファイバ３０のクラッド３２に入射する。そして、第１実施形態と同様にして、増幅用光ファイバ３０のコア３１に添加されている活性元素を励起状態とする。そして励起状態とされた活性元素は、特定

の波長の自然放出光を放出する。このときの自然放出光は、例えば、中心波長が１０７０ｎｍで一定の帯域を有する光である。この自然放出光は、増幅用光ファイバ３０のコア３１を伝播して、第１共振用ファイバ１６のコアに形成さているいる第１ＦＢＧ８１により反射され、反射された光が、増幅用光ファイバ３０のコア３１を介して、第２共振用ファイバ１７に形成されている第２ＦＢＧ８２まで伝播し、第２ＦＢＧ８２で反射されて、光の共振が生じる。そして、光が、増幅用光ファイバ３０のコア３１を伝播するときに増幅されて、一部の光が第２ＦＢＧ８２を透過して、第２共振用ファイバ１７から出射される。

[0097] 本実施形態のファイバレーザ装置２によれば、光ファイバ増幅器５の増幅用光学部品ＡＯＰにおいて上述のようにスキュー光が低減され、増幅用光ファイバ３０が効率よく励起光が吸収される。このため、増幅効率が高い共振型のファイバレーザ装置とすることができる。なお、本実施形態において、第１ミラー、第２ミラーとして、第１ＦＢＧ８１、第２ＦＢＧ８２を例に説明したが、第１ミラー、第２ミラーは、ＦＢＧに限定されない。また、本実施形態の増幅用光学部品ＡＯＰに代えて、第２～第５実施形態の増幅用光学部品ＡＯＰのいずれかが適用されても良い。

[0098] 以上、本発明について、第１～第６実施形態を例に説明したが、本発明はこれらに限定されるものではない。

[0099] 例えば、第１～第５実施形態において、それぞれ異なる増幅用光学部品ＡＯＰを示したが、本発明の増幅用光学部品は、第１～第５実施形態として示すものに限らない。例えば、図１３に示す増幅用光学部品ＡＯＰが、第１実施形態で説明したＭＯ－ＰＡ型のファイバレーザ装置１、及び、第６実施形態で説明した共振型のファイバレーザ装置２のどちらにも適用可能である。

[0100] 図１３は、増幅用光学部品の変形例を示す図である。図１３に示すように、本変形例の増幅用光学部品ＡＯＰでは、増幅用光ファイバ３０の中間部位に対して光結合部６３が形成されている。この光結合部６３では、ループ構造でなる３つの迂回伝播用光ファイバ５０Ａ～５０Ｃの一部のコア５１がそ

れぞれ剥離され、各コア５１の露出部分と、クラッド３２の露出部分とが互いに沿った状態で融着され、露出部分同士が一体として光学的に結合されている。本変形例の増幅用光学部品ＡＯＰによれば、各迂回伝播用光ファイバ５０Ａ～５０Ｃはループ構造とされているため、コア５１に入射した励起光は少なくとも１回以上周回した後に光結合部６３からクラッド３２の出力端側へ出射する。また、各迂回伝播用光ファイバ５０Ａ～５０Ｃがそれぞれループ構造となっているため、光結合部６３を介して迂回伝播用光ファイバ５０Ａ～５０Ｃへ伝播する励起光の伝播経路は多岐にわたる。したがって、光結合部６３に対する、迂回伝播用光ファイバ５０Ａ～５０Ｃを伝播する励起光の通過回数が多くなる。この結果、迂回伝播用光ファイバ５０を経由する励起光に含まれるスキュー光はより一段と低減される。なお、本変形例の増幅用光学部品ＡＯＰの場合にも、第４実施形態と同程度にスキュー光が低減したことが確認されている。

[0101] あくまで、上記変形例又は第１～第５実施形態として示した増幅用光学部品ＡＯＰは例示である。要するに、増幅用光ファイバ３０と、増幅用光ファイバ３０の長さ方向の中間となるクラッド３２の一部に対して光学的に結合される迂回伝播用光ファイバとを備えていれば、本発明の増幅用光学部品として適用できる。

[0102] また、上記実施形態、及び、上記変形例に示す増幅用光学部品ＡＯＰでは、迂回伝播用光ファイバのコア５１と、増幅用光ファイバ３０のクラッド３２とが、融着により光学的に結合された。しかし、コア５１とクラッド３２とが光学的に結合されてさえいれば、融着以外の結合手法が適用されていても良い。

[0103] また、上記実施形態、及び、上記変形例に示す増幅用光学部品ＡＯＰでは、光増幅用光ファイバのクラッド３２が非円形とされたが、円形であっても良い。

[0104] また、上記実施形態、及び、上記変形例に示す増幅用光学部品ＡＯＰでは、迂回伝播用光ファイバ５０，５５，５６のコア５１が円形とされたが、非

円形であっても良い。また、迂回伝播用光ファイバ５０，５５，５６が、光増幅用光ファイバに代替されていても良い。なお、このように代替する場合、増幅用光ファイバ３０のクラッド３２と光学的に結合される光伝播路は、代替される光増幅用光ファイバのコアではなくクラッドとなる。また、このように代替される光増幅用光ファイバのクラッドは、上記実施形態のように非円形に限らず、円形としても良い。

[0105] また、上記実施形態におけるファイバレーザ装置は、励起光を増幅用光ファイバ３０の一端３６から入射し他端３７から出射する前方励起型とされた。しかしながら、上記実施形態におけるファイバレーザ装置は、励起光を増幅用光ファイバ３０の他端３７から入射し一端３６から出射する後方励起型とされても良く、励起光を増幅用光ファイバ３０の一端３６及び他端３７の双方から入出射する双方励起型とされても良い。なお、このような前方励起型、後方励起型、又は、双方励起型のファイバレーザ装置の伝搬経路には光アイソレータが介在されていても良い。

[0106] また、上記実施形態、又は、上記変形例に示す増幅用光学部品ＡＯＰと、上記実施形態の励起光源２０及びコンバイナ４０とが、光通信用増幅装置の一部として用いられても良い。

産業上の利用可能性

[0107] 以上説明したように、本発明によれば、増幅用光ファイバでの励起光の増幅効率を簡易な構成で向上し得る増幅用光学部品、及び、これを用いた光ファイバ増幅器、並びに、ファイバレーザ装置が提供される。

符号の説明

[0108] １、２・・・ファイバレーザ装置

５・・・光ファイバ増幅器

１０・・・種光源

１５・・・種光用ファイバ

１６・・・第１共振用ファイバ

１７・・・第２共振用ファイバ

１９・・・無反射終端

２０・・・励起光源

２１・・・レーザダイオード

２２・・・励起光用ファイバ

３０・・・増幅用光ファイバ

３１・・・コア

３２・・・クラッド

３３・・・外部クラッド

３４・・・被覆層

４０・・・コンバイナ

５０、５０Ａ～５０Ｃ、５５、５６・・・迂回伝播用光ファイバ

６１、６１Ａ～６１Ｃ、６２Ａ、６２Ｂ、６３・・・光結合部

６９・・・樹脂

８１・・・第１ＦＢＧ

８２・・・第２ＦＢＧ

ＡＯＰ・・・増幅用光学部品

ＡＸ・・・軸

ＩＦＡ，ＩＦＢ・・・傾斜面

請求の範囲

[請求項1] 活性元素が添加されるコア、及び、前記活性元素を励起するための励起光が入射されるクラッドを含む増幅用光ファイバと、

前記増幅用光ファイバの一端と他端との間のクラッド部分に対して光学的に結合され、前記クラッドを伝播する励起光の一部を往来させる迂回伝播用光ファイバと

を備えることを特徴とする増幅用光学部品。

[請求項2] 前記迂回伝播用光ファイバは、長手方向へ非端状態として連なるループ構造とされ、

前記迂回伝播用光ファイバの一部は、前記クラッド部分の長手方向に沿う状態で、そのクラッド部分に対して光学的に結合される

ことを特徴とする請求項１に記載の増幅用光学部品。

[請求項3] 前記迂回伝播用光ファイバの一端は、前記クラッドを伝播する励起光の伝播方向に対向する状態で、前記クラッド部分に対して光学的に結合され、

前記迂回伝播用光ファイバの他端は、前記クラッドを伝播する励起光の伝播方向に沿う状態で、前記迂回伝播用光ファイバの一端が結合されるクラッド部分と、前記増幅用光ファイバの出力端との間のクラッド部分に対して光学的に結合される

ことを特徴とする請求項１に記載の増幅用光学部品。

[請求項4] 前記迂回伝播用光ファイバの一端は、前記クラッドを伝播する励起光の伝播方向に対向する状態で、前記クラッド部分に対して光学的に結合され、

前記迂回伝播用光ファイバの他端は、前記迂回伝播用光ファイバの一端が結合されるクラッド部分と、前記増幅用光ファイバの入力端との間のクラッド部分に対して光学的に結合される

ことを特徴とする請求項１に記載の増幅用光学部品。

[請求項5] 前記ループ構造とされる迂回伝播用光ファイバを複数有し、

各前記迂回伝播用光ファイバの一部は、前記増幅用光ファイバの一端と他端との間において互いに異なる複数のクラッド部分に対して、当該クラッド部分の長手方向に沿う状態で光学的に結合される
ことを特徴とする請求項２に記載の増幅用光学部品。

[請求項6] 前記ループ構造とされる迂回伝播用光ファイバにおける複数の部分が、前記増幅用光ファイバの一端と他端との間において互いに異なる複数のクラッド部分に対して、当該クラッド部分の長手方向に沿う状態で光学的に結合される
ことを特徴とする請求項２に記載の増幅用光学部品。

[請求項7] 前記迂回伝播用光ファイバの一端と、前記迂回伝播用光ファイバの他端とには、前記迂回伝播用光ファイバの軸に対して斜めとなる傾斜面が形成され、
前記傾斜面が前記クラッド部分の外周面に対向される
ことを特徴とする請求項３又は４に記載の増幅用光学部品。

[請求項8] 前記光学的に結合される部分は、融着により一体として形成される
ことを特徴とする請求項１～７いずれか１項に記載の増幅用光学部品。

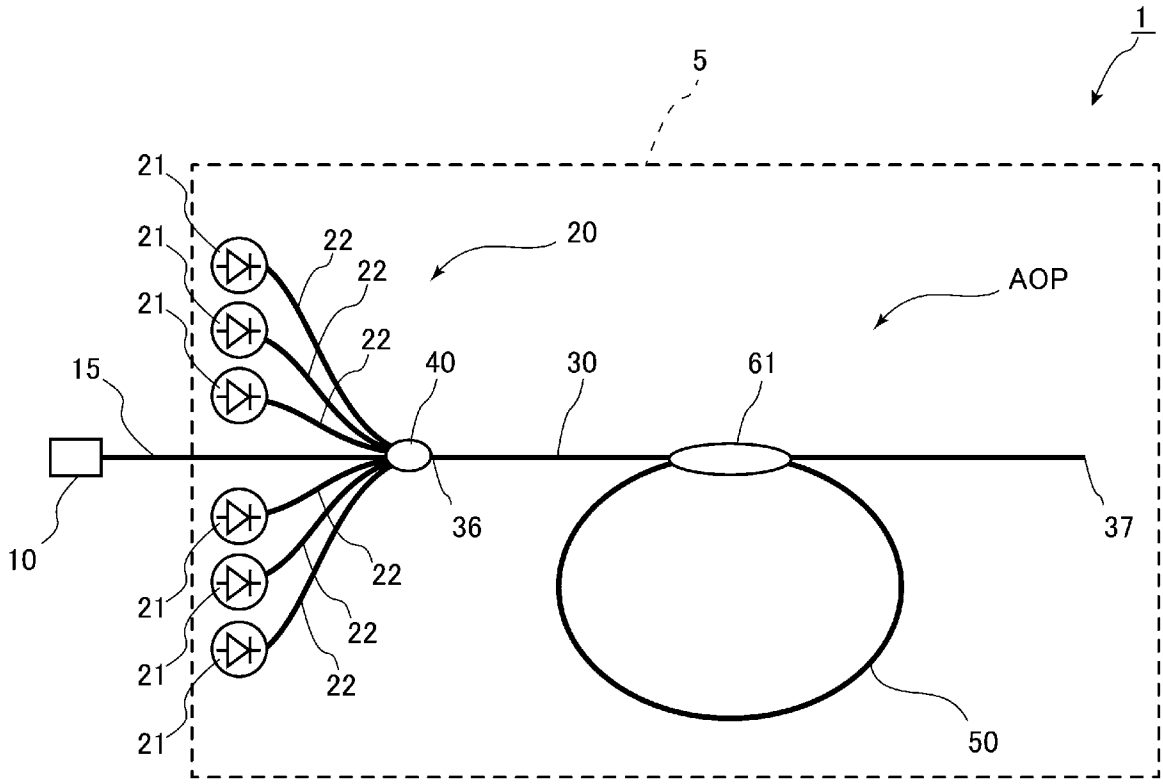
[請求項9] 請求項１～８のいずれか１項に記載の増幅用光学部品と、
前記クラッドに対して前記励起光を出射する励起光源と
を備えることを特徴とする光ファイバ増幅器。

[請求項10] 請求項１～８のいずれか１項に記載の増幅用光学部品と、
前記クラッドに対して前記励起光を出射する励起光源と、
前記コアに対して種光を出射する種光源と
を備えることを特徴とするファイバレーザ装置。

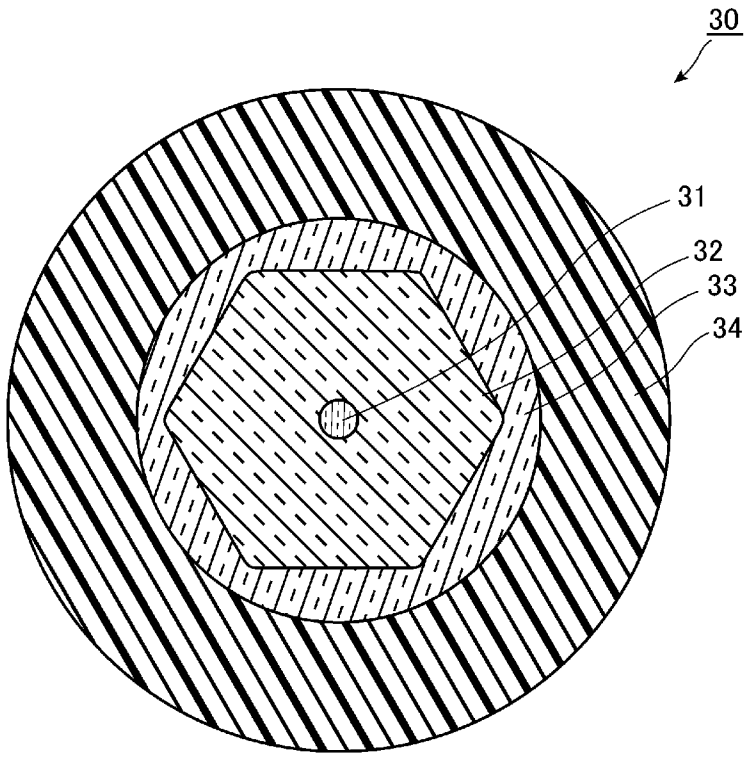
[請求項11] 請求項１～８のいずれか１項に記載の増幅用光学部品と、
前記クラッドに対して前記励起光を出射する励起光源と、
前記増幅用光ファイバの一端側に設けられ、前記活性元素が放出する光の少なくとも一部を反射するミラーと、

前記増幅用光ファイバの他端側に設けられ、前記第１ミラーが反射する光を前記第１ミラーよりも低い反射率で反射する第２ミラーとを備えることを特徴とするファイバレーザ装置。

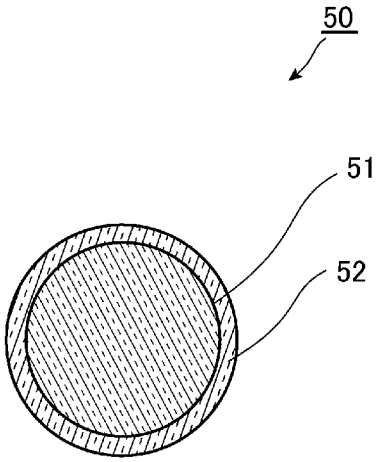
[図1]


1
5
21
21
21
22
22
22
20
AOP
15
40
30
61
10
36
37
22
22
22
21
21
21
50

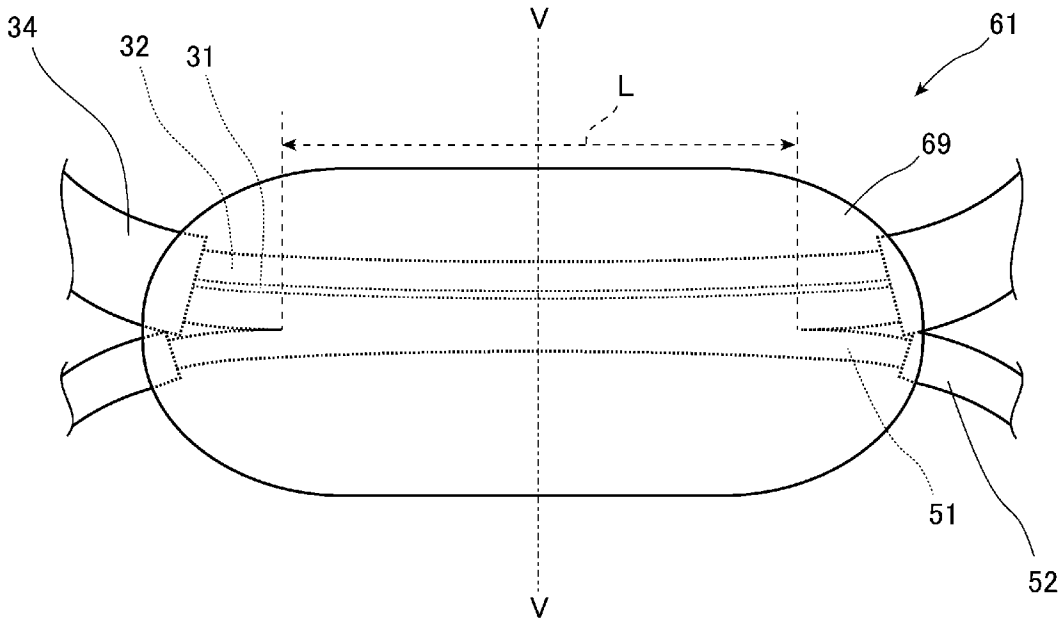
[図2]


30
31
32
33
34

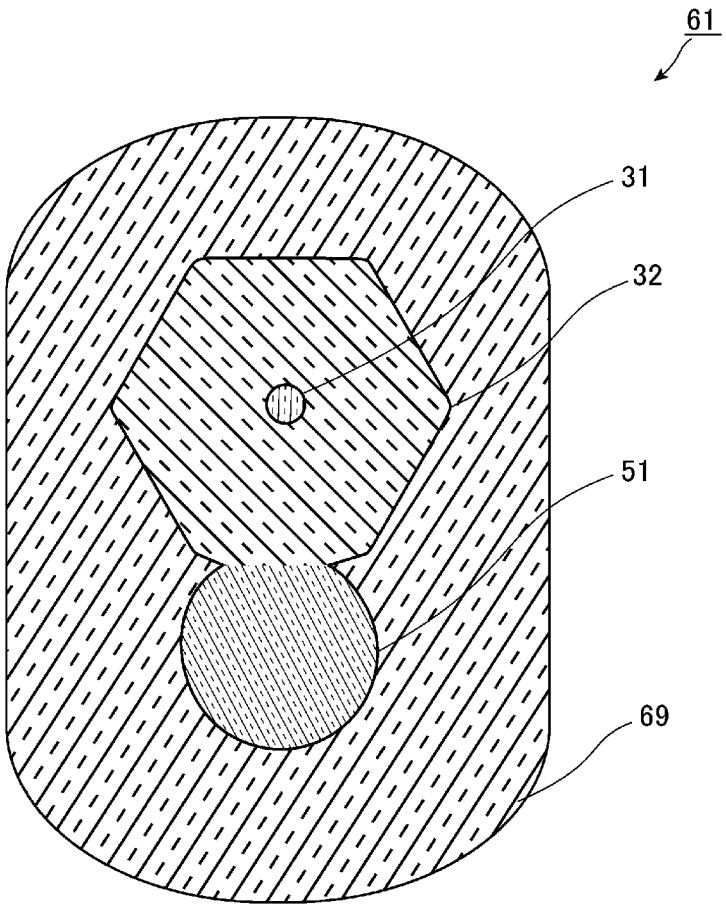
[図3]



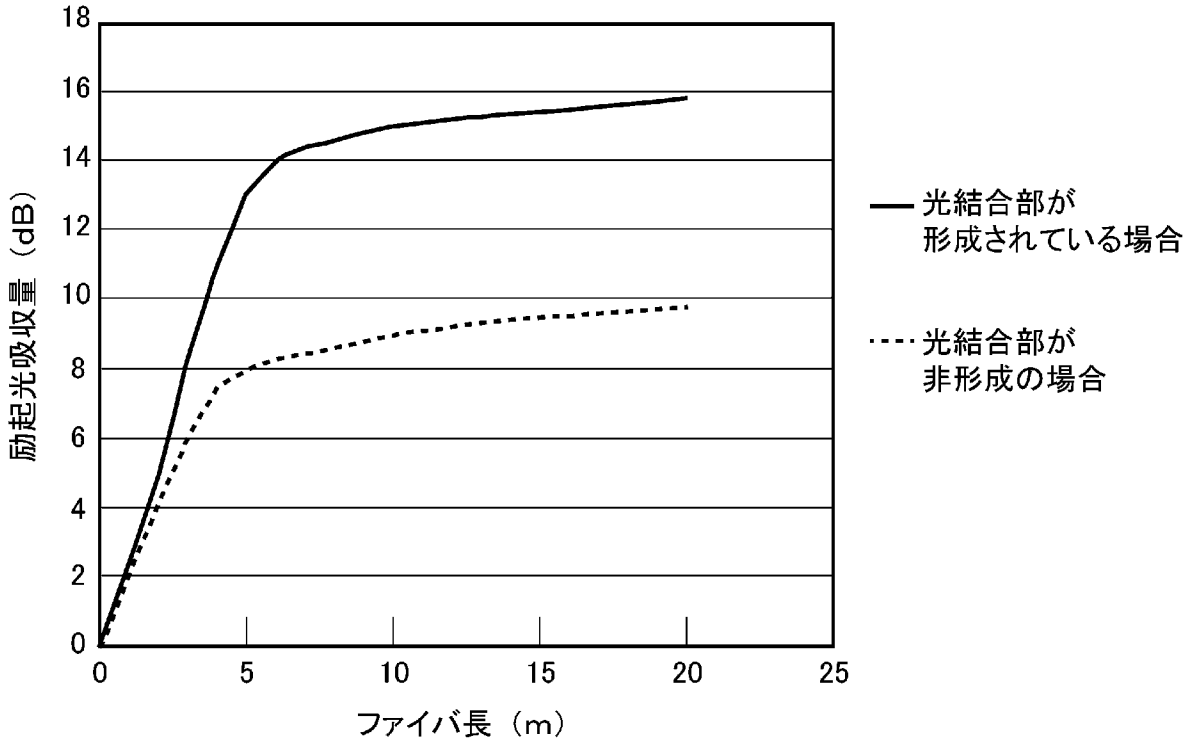
[図4]



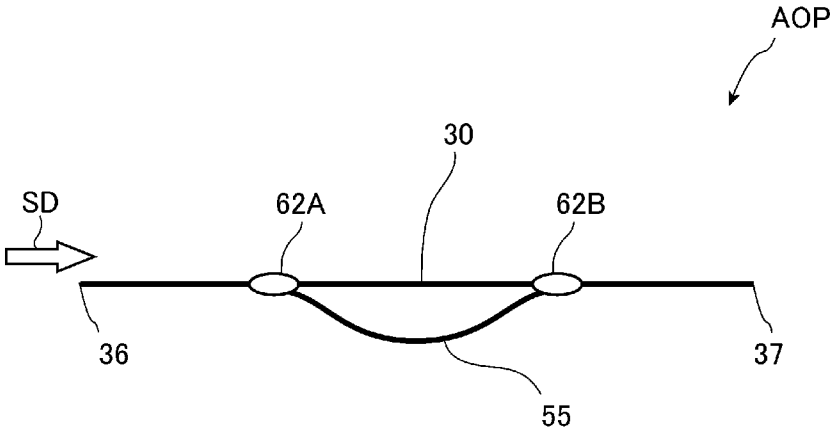
[図5]



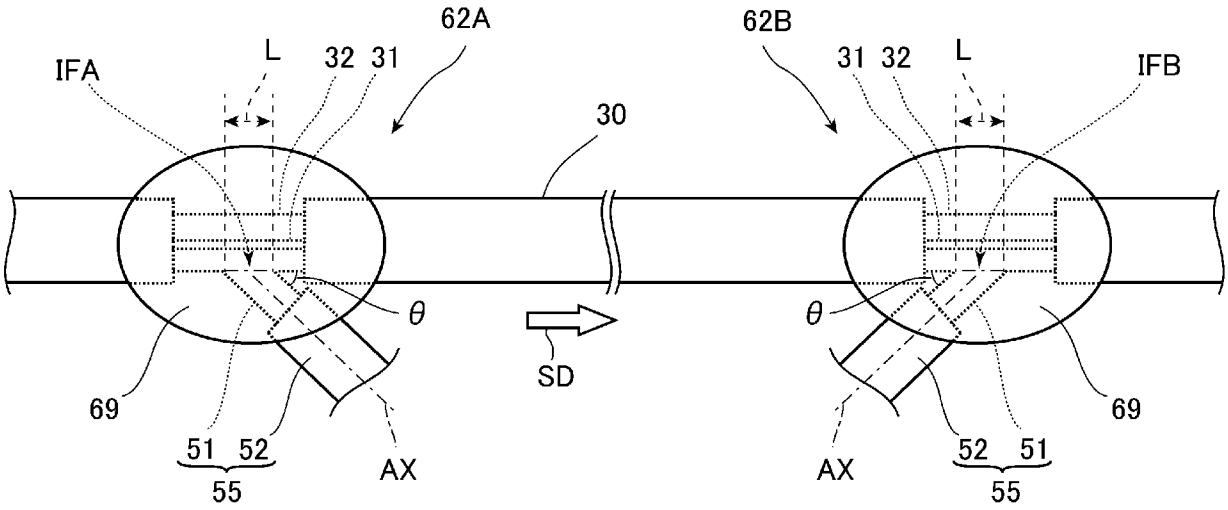
[図6]


18
16
14
12
10
8
6
4
2
0
0
5
10
15
20
25
励起光吸収量（dB）
ファイバ長（m）
光結合部が
形成されている場合
光結合部が
非形成の場合

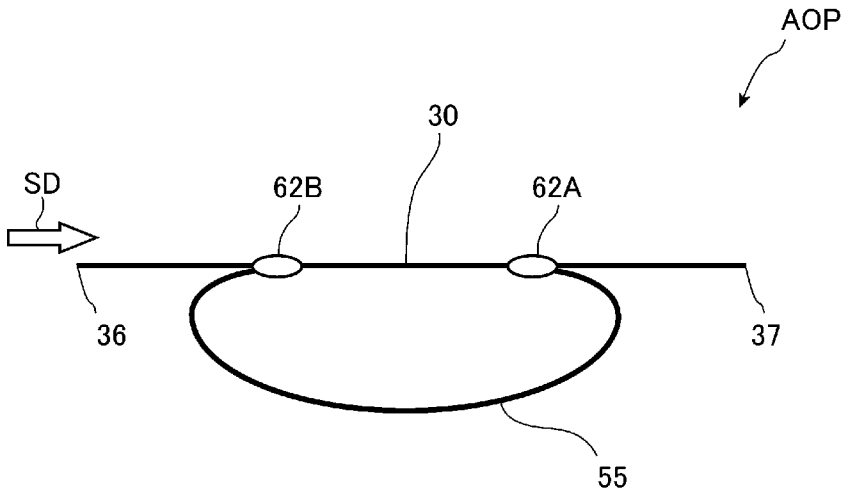
[図7]


AOP
30
SD
62A
62B
36
37
55

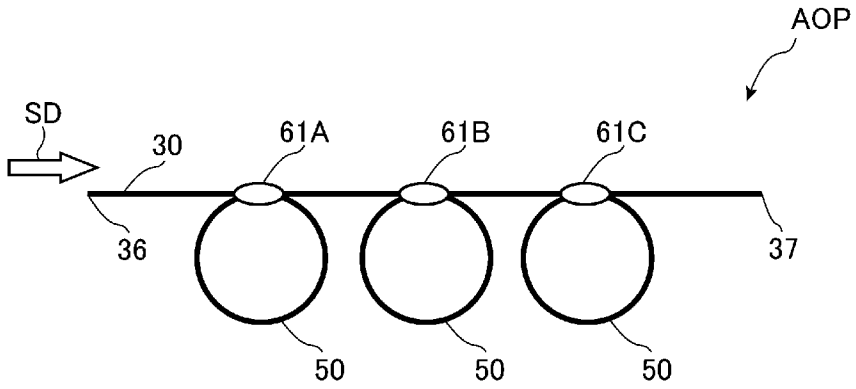
[図8]


IFA
L
32
31
62A
30
62B
31
32
L
IFB
θ
θ
SD
69
69
51
52
55
AX
AX
52
51
55

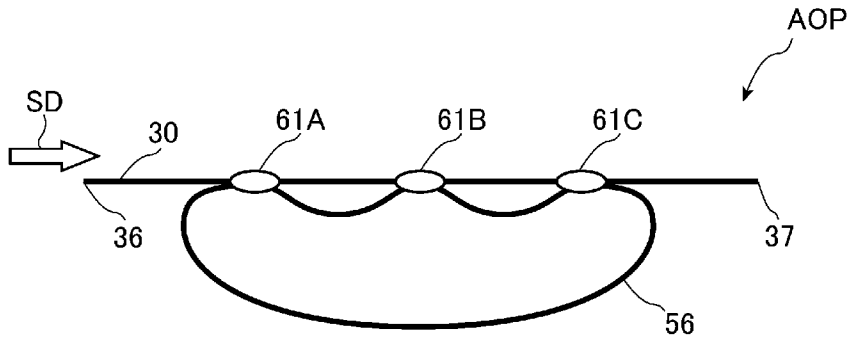
[図9]


AOP
30
SD
62B
62A
36
37
55

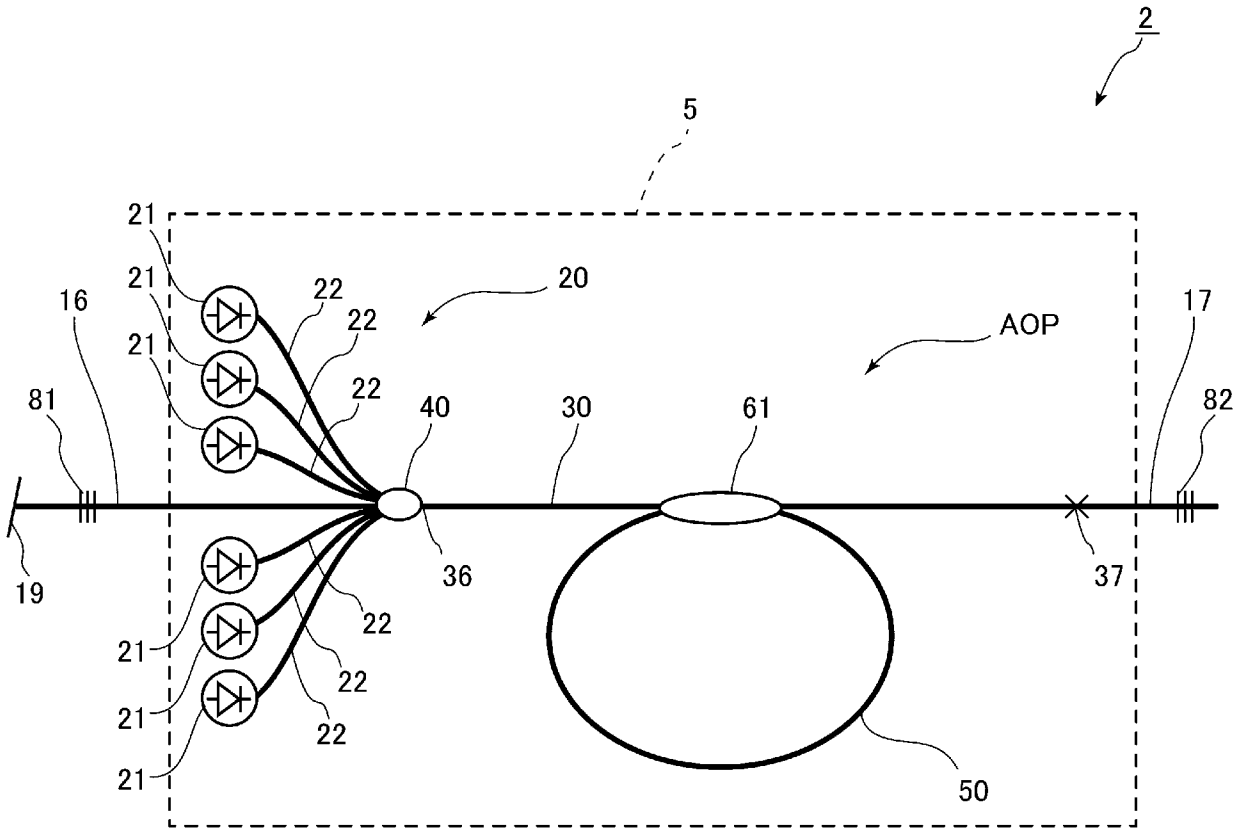
[図10]


AOP
SD
30
61A
61B
61C
36
37
50
50
50

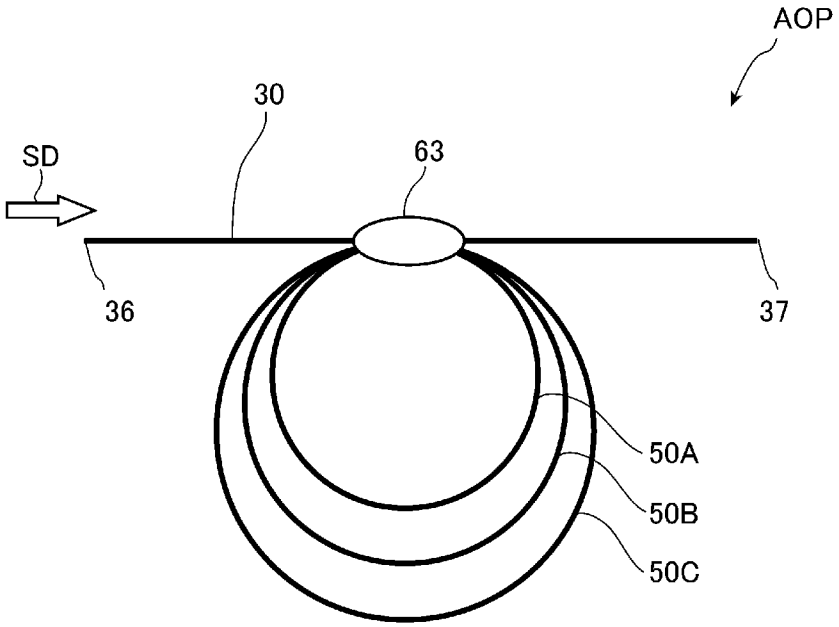
[図11]


AOP
SD
30
61A
61B
61C
36
37
56

[図12]


2
5
21
21
21
22
22
22
20
AOP
16
17
81
40
30
61
82
19
36
37
21
21
21
22
22
22
50

[図13]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2012/051328

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
H01S3/06(2006.01)i

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

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
H01S3/00-3/30

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	1996-2012
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2012	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2012

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X A	WO 2010/049057 A2 (TRUMPF Laser GmbH + Co. KG.), 06 May 2010 (06.05.2010), page 22, line 20 to page 25, line 15; fig. 8, 9 & DE 102008053728 A1 & CN 102265197 A	1,3,4,8-11 2,5-7
A	JP 2002-237637 A (Toshiba Corp.), 23 August 2002 (23.08.2002), entire text; all drawings (Family: none)	1-11
A	JP 2010-212479 A (Panasonic Corp.), 24 September 2010 (24.09.2010), entire text; all drawings (Family: none)	1-11

☒ 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	Date of mailing of the international search report
03 February, 2012 (03.02.12)	14 February, 2012 (14.02.12)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office Facsimile No.	Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2012/051328

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 2010-28053 A (Toshiba Corp.), 04 February 2010 (04.02.2010), entire text; all drawings (Family: none)	1-11
A	JP 11-136193 A (PIRELLI CAVI E SISTEMI S.p.A.), 21 May 1999 (21.05.1999), entire text; all drawings & US 6295161 B1 & EP 899834 A1	1-11
A	JP 3-25985 A (Fujitsu Ltd.), 04 February 1991 (04.02.1991), entire text; all drawings & US 5136420 A & EP 404152 A2	1-11
A	WO 00/67350 A1 (UNIVERSITY OF SOUTHAMPTON), 09 November 2000 (09.11.2000), entire text; all drawings & US 6826335 B1 & US 2005/0105866 A1 & US 2008/0174857 A1 & US 2010/0188734 A1 & EP 1175714 A1	1-11

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2012/051328

Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:

2. ☐ Claims Nos.:
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:

3. ☐ Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

The search revealed that the invention of claim 1 is not novel, since the invention is disclosed in WO 2010/049057 A2.

Consequently, the matter common to the inventions of claims 1-11 does not make a contribution over the prior art, and therefore is not a special technical feature within the meaning of PCT Rule 13.2, second sentence.

(continued to extra sheet)

1. ☐ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. ☒ As all searchable claims could be searched without effort justifying additional fees, this Authority did not invite payment of additional fees.
3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:

4. ☐ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

Remark on Protest

☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, the payment of a protest fee.

☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.

☐ No protest accompanied the payment of additional search fees.

Continuation of Box No.III of continuation of first sheet(2)

Since there is no other common matter which is considered to be a special technical feature within the meaning of PCT Rule 13.2, second sentence among the inventions of claims 1-11, any technical relationship within the meaning of PCT Rule 13 cannot be found among those different inventions.

In conclusion, it was revealed that the inventions of claims 1-11 do not comply with the requirement of unity of invention.

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１２／０５１３２８

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

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 - 3/30

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	１９７１－２０１２年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０１２年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０１２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）

WPI, JSTPlus(JDreamII)

Ｃ．　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
X	WO 2010/049057 A2 (TRUMPF Laser GmbH + Co. KG) 2010.05.06, 第22頁第20行 - 第25頁第15行, 図8,9 & DE 102008053728 A1 & CN 102265197 A	1,3,4,8-11
A		2,5-7
A	JP 2002-237637 A (株式会社東芝) 2002.08.23, 全文全図 (ファミリーなし)	1-11
A	JP 2010-212479 A (パナソニック株式会社) 2010.09.24, 全文全図 (ファミリーなし)	1-11

☑　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 ０３．０２．２０１２	国際調査報告の発送日 １４．０２．２０１２
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁（ＩＳＡ／ＪＰ） 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）　２Ｋ　３７１９ 傍島　正朗 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
A	JP 2010-28053 A (株式会社東芝) 2010.02.04, 全文全図 (ファミリーなし)	1-11
A	JP 11-136193 A (ピレリー・カビ・エ・システミ・ソチエタ・ペル・アツィオーニ) 1999.05.21, 全文全図 & US 6295161 B1 & EP 899834 A1	1-11
A	JP 3-25985 A (富士通株式会社) 1991.02.04, 全文全図 & US 5136420 A & EP 404152 A2	1-11
A	WO 00/67350 A1 (UNIVERSITY OF SOUTHAMPTON) 2000.11.09, 全文全図 & US 6826335 B1 & US 2005/0105866 A1 & US 2008/0174857 A1 & US 2010/0188734 A1 & EP 1175714 A1	1-11

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１２／０５１３２８

第Ⅱ欄　請求の範囲の一部の調査ができないときの意見（第１ページの２の続き）

法第8条第3項（ＰＣＴ17条(2)(a)）の規定により、この国際調査報告は次の理由により請求の範囲の一部について作成しなかった。

１．☐ 請求項 _____ は、この国際調査機関が調査をすることを要しない対象に係るものである。
つまり、

２．☐ 請求項 _____ は、有意義な国際調査をすることができる程度まで所定の要件を満たしていない国際出願の部分に係るものである。つまり、

３．☐ 請求項 _____ は、従属請求の範囲であってＰＣＴ規則6.4(a)の第２文及び第3文の規定に従って記載されていない。

第Ⅲ欄　発明の単一性が欠如しているときの意見（第１ページの３の続き）

次に述べるようにこの国際出願に二以上の発明があるとこの国際調査機関は認めた。

請求項１に係る発明は、調査の結果、WO 2010/049057 A2 に開示されているから、新規でないことが明らかとなった。

よって、請求項 1－11 に係る発明の共通の事項は、先行技術の域を出ないから、PCT 規則 13.2 の第 2 文の意味において、当該共通の事項は、特別な技術的特徴ではない。

請求項 1－11 に係る発明の間に、PCT 規則 13.2 の第 2 文の意味において特別な技術的特徴と考えられる他の共通事項は存在しないので、それらの相違する発明の間に PCT 規則 13 の意味における技術的な関連を見出すことはできない。

したがって、請求項 1－11 に係る発明は、発明の単一性の要件を満たしていないことが明らかとなった。

１．☐ 出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求項について作成した。

２．☑ 追加調査手数料を要求するまでもなく、すべての調査可能な請求項について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。

３．☐ 出願人が必要な追加調査手数料を一部のみしか期間内に納付しなかったので、この国際調査報告は、手数料の納付のあった次の請求項のみについて作成した。

４．☐ 出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったので、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されている発明に係る次の請求項について作成した。

追加調査手数料の異議の申立てに関する注意

☐ 追加調査手数料及び、該当する場合には、異議申立手数料の納付と共に、出願人から異議申立てがあった。

☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあったが、異議申立手数料が納付命令書に示した期間内に支払われなかった。

☐ 追加調査手数料の納付はあったが、異議申立てはなかった。