

(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
2010年5月20日(20.05.2010)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2010/055700 A1

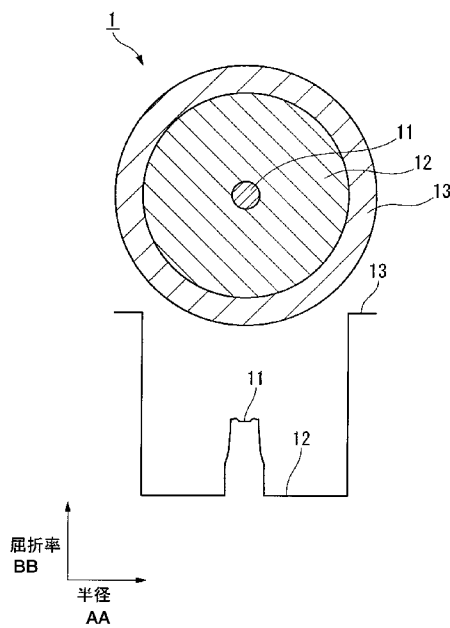
- (51) 国際特許分類:
H01S 3/06 (2006.01) G02B 6/024 (2006.01)
G02B 6/02 (2006.01) G02B 6/036 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2009/052756
- (22) 国際出願日: 2009年2月18日(18.02.2009)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2008-292013 2008年11月14日(14.11.2008) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 株式会社フジクラ (Fujikura Ltd.) [JP/JP]; 〒1358512 東京都江東区木場1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): 中熊 映乃 (NAKAGUMA, Teruno) [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). 市井 健太郎 (ICHI, Kentaro) [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). 谷川 庄二 (TANIGAWA, Shoji) [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: 志賀 正武, 外 (SHIGA, Masatake et al.); 〒1006620 東京都千代田区丸の内一丁目9番2号 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, 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, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (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,

[続葉有]

(54) Title: YTTERBIUM-DOPED OPTICAL FIBER, FIBER LASER AND FIBER AMPLIFIER

(54) 発明の名称: イッテルビウム添加光ファイバ、ファイバレーザ及びファイバアンプ

[図1]



AA - RADIUS
BB - REFRACTIVE INDEX

(57) Abstract: Disclosed is a ytterbium-doped optical fiber comprising a core containing at least ytterbium, aluminum and phosphorus, and a cladding surrounding the core. The ytterbium concentration in the core in terms of ytterbium oxide is 0.09-0.68% by mole; the molar ratio between the phosphorus concentration in the core in terms of diphosphorus pentoxide and the above-described ytterbium concentration in terms of ytterbium oxide is 3-30; the molar ratio between the aluminum concentration in terms of aluminum oxide and the above-described ytterbium concentration in terms of ytterbium oxide is 3-32; and the molar ratio between the above-described aluminum concentration in terms of aluminum oxide and the above-described phosphorus concentration in terms of diphosphorus pentoxide is 1-2.5.

(57) 要約: 本発明のイッテルビウム添加光ファイバは、イッテルビウム、アルミニウム及びリンを少なくとも含有するコアと、このコアを囲むクラッドと、を備え、前記コア中の、前記イッテルビウムの酸化イッテルビウム換算濃度が0.09~0.68モル%であり、前記コア中の、前記リンの五酸化リン換算濃度と前記酸化イッテルビウム換算濃度とのモル比が3~30であり、前記コア中の、前記アルミニウムの酸化アルミニウム換算濃度と前記酸化イッテルビウム換算濃度とのモル比が3~32であり、前記酸化アルミニウム換算濃度と前記五酸化リン換算濃度とのモル比が1~2.5である。

WO 2010/055700 A1

NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, 添付公開書類:
CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, — 國際調查報告 (條約第 21 條(3))
TG).

明 細 書

イッテルビウム添加光ファイバ、ファイバレーザ及びファイバアンプ 技術分野

[0001] 本発明は、フォトダークニングが抑制されたイッテルビウム添加光ファイバ、並びに該光ファイバを有するファイバレーザ及びファイバアンプに関する。

本願は、2008年11月14日に、日本国に出願された特願2008-292013号に基づき優先権を主張し、その内容をここに援用する。

背景技術

[0002] 希土類元素が添加された光ファイバ内では、この希土類元素の励起光が供給されると、反転分布が形成される。そのため、この励起光の波長に対応した波長を有する誘導放出光が生じる。そこで、このような希土類添加光ファイバは、誘導放出光の波長と同じ波長を有する信号光を増幅するファイバアンプや、誘導放出光の波長と同じ波長を有するレーザ発振光を出力するファイバレーザに広く利用されている。そして、ファイバアンプやファイバレーザには、より広い波長帯域において、高く且つ平坦な利得特性や発振特性を有することが望まれている。このような観点から、希土類添加光ファイバの研究開発が展開されている。

希土類添加光ファイバとしては、例えば、イッテルビウム(Yb)添加光ファイバが知られている。このYb添加光ファイバは、ビーム品質の良い高パワー出力光が得られる。この出力光の発振波長は、既存の高出力レーザの一つであるNd-YAGとほぼ同じ1 μ m付近である。そのため、溶接、マーキング、切断等の材料加工用途の高出力光源用レーザ媒体としての実用化が期待されている。

[0003] 図13は、従来のYb添加光ファイバの径方向の断面及び屈折率分布を例示する図である。

ここに示すYb添加光ファイバ110は、シングルクラッドファイバであり、コア111の外周上にクラッド112を設け、このクラッド112の外周上に保護被覆層113を設けたものである。Yb添加光ファイバ110では、導波する光を閉じ込めるために、コア111の屈折率がクラッド112の屈折率よりも高くなっている。コア111の屈折率を高くするため

には、通常、ゲルマニウム(Ge)、アルミニウム(Al)、リン(P)等の屈折率上昇ドーパントがコア111に添加される。さらに、コア111には光増幅作用を有するドーパントとして、Ybが添加される。Ybは、通常、コア111中にほぼ均一な濃度分布となるように添加されるが、濃度分布があっても良く、さらにクラッド112の一部に添加されても良い。

このようなYb添加光ファイバに励起光を入射させ、信号光を入射させるか又はファイバブラッググレーティング等を使用してキャビティを組むことで、高パワーの信号光が得られる。

[0004] 通常、ファイバレーザやファイバアンプの光増幅媒体としてYb添加光ファイバを使用する場合には、限定モード励振が可能で冷却効率が高いファイバ型光増幅媒体の利点を生かすために、実質的なシングルモード条件でYb添加光ファイバを使用することが多い。

実質的にシングルモード伝播させるための光導波路の条件は、コアの屈折率とコア径(換言すれば、コアの径方向における屈折率分布)、巻き径等の条件によって決定される。この際、コアの屈折率が低いか、又はコア径が小さいことが必要となる。

一方、光増幅媒体としての性能を考慮すると、より高パワーの光が出力できることが望まれる。すなわち、高パワーの光を光ファイバ中に伝播可能なことが、より良い増幅用光ファイバの条件である。しかし、光量が同等な光を、コア径が小さい光ファイバに入射させた場合と、コア径が大きい光ファイバに入射させた場合とで比較すると、前者の方が後者よりも光の伝送断面積(モードフィールド径)が小さいので、コアを伝播する光のパワー密度が高くなる。その結果、光によるコアガラスの損傷や光学的非線形現象を誘発し易い。あるいは、光伝送時の増幅パワーが制限されてしまう。したがって、このような観点からは、コア径が大きい方が望ましい。以上より、コア径を大きくし、かつシングルモード伝播させるためには、コアの屈折率を低くすることが必要となる。

[0005] ファイバアンプやファイバレーザの特性を悪化させる要因の一つに、ファイバ中を伝播する励起光や信号光によって生じる光ファイバの損失増加(フォトダークニング)がある(非特許文献1及び2参照)。この損失増加によって、光増幅媒体である希土類

添加光ファイバの光増幅効率が徐々に低下する。その結果、ファイバアンプやファイバレーザは、経時に伴い出力が低下して、寿命が短くなってしまふ。

[0006] そこで、これまでにフォトダークニングを抑制するための手法が種々開示されている。

例えば、非特許文献1には、DND(Direct Nanoparticle Deposition)と呼ばれる特殊な製造方法を適用することで、フォトダークニングを抑制することが開示されている。

また、非特許文献2には、光ファイバの製造時にアルミニウムを高濃度に添加することによって、フォトダークニングを抑制することが開示されている。

また、非特許文献3には、光ファイバの製造時にリンを高濃度に添加することによって、フォトダークニングを抑制することが開示されている。

また、特許文献1には、光ファイバに水素を添加することで、フォトダークニングを抑制することが開示されている。

非特許文献1:S.Tammela et al., The Potential of Direct Nanoparticle Deposition for the Next Generation of Optical Fibers, The Proceeding of SPIE Photonics West 2006, Vol.6116-16 (2006)

非特許文献2:T. Kitabayashi et. al., Population Inversion Factor Dependence of Photodarkening of Yb-doped Fibers and Its Suppression by Highly Aluminum Doping, The Proceedings of OFC 2006, OThC5(2006)

非特許文献3:M. Engholm et. al., Preventing photodarkening in ytterbium-doped high power fiber laser; correlation to the UV-transparency of the core glass, The Proceeding of Optics Express Vol.16, 1260-1268 (2008)

特許文献1:特開2007-114335号公報

発明の開示

発明が解決しようとする課題

[0007] しかし、非特許文献1に記載の方法によれば、従来法で製造した場合よりも確かにフォトダークニングは抑制できるが、その抑制効果はまだ不十分である。また、製造方法が特殊なため、従来法であるMCVD法やVAD法と比較して、光ファイバにはOH

基の混入が多くなる。そのため、このOH基に起因する損失が大きくなってしまう。さらに、製造に使用するファイバプリフォームのサイズが制限されてしまうので、製造コストが上昇する。そのため、フォトダークニングが抑制された光増幅用光ファイバを安価に製造できない。

非特許文献2に記載の方法では、フォトダークニングを十分抑制するために、多量のアルミニウムが必要となる。その結果、光ファイバのコアの屈折率が高くなってしまう。非特許文献3に記載の方法では、フォトダークニングを十分抑制するために、多量のリンが必要となる。この場合も、非特許文献2に記載の方法と同様に、光ファイバのコアの屈折率が高くなってしまう。このようにコアの屈折率が高い場合、光ファイバをシングルモード動作させるために、コア径を小さくする必要があるが、上記のように、所望の出力光が得られなくなってしまうという問題点があった。

特許文献1に記載の方法によれば、フォトダークニングを抑制できるが、水素含浸工程と光照射工程が必要となる。そのため、製造工程が煩雑となり、大量の光ファイバを製造することが困難である。

[0008] 本発明は、上記事情に鑑みてなされたものであり、従来法で製造可能な、フォトダークニングが抑制された光ファイバの提供を課題とする。

課題を解決するための手段

[0009] 本発明は、上記課題を解決して係る目的を達成するために以下の手段を採用した。

(1)本発明のイッテルビウム添加光ファイバは、イッテルビウム、アルミニウム及びリンを少なくとも含有するコアと、このコアを囲むクラッドと、を備え、前記コア中の、前記イッテルビウムの酸化イッテルビウム換算濃度が0.09～0.68モル%であり、前記コア中の、前記リンの五酸化二リン換算濃度と前記酸化イッテルビウム換算濃度とのモル比が3～30であり、前記コア中の、前記アルミニウムの酸化アルミニウム換算濃度と前記酸化イッテルビウム換算濃度とのモル比が3～32であり、前記酸化アルミニウム換算濃度と前記五酸化二リン換算濃度とのモル比が1～2.5である。

(2)前記コア及び前記クラッドがシリカガラスで構成されているのが好ましい。

(3)前記五酸化二リン換算濃度と前記酸化イッテルビウム換算濃度とのモル比が5

～30であり、前記酸化アルミニウム換算濃度と前記酸化イッテルビウム換算濃度とのモル比が5～32であるのが好ましい。

(4)前記酸化アルミニウム換算濃度及び前記五酸化二リン換算濃度が、いずれも8モル%以下であるのが好ましい。

(5)前記コアと前記クラッドとの比屈折率差が0.05～0.3%であるのが好ましい。

(6)前記コアと前記クラッドとの比屈折率差が0.1～0.25%であるのが好ましい。

(7)前記コアが、さらにゲルマニウムを含有するのが好ましい。

(8)前記コアが、さらにフッ素及び／又はホウ素を含有するのが好ましい。

(9)前記コアが、さらに前記イッテルビウム以外の希土類元素及び遷移金属元素からなる群から選択される少なくとも一種を含有するのが好ましい。

(10)前記クラッドを少なくとも二層備え、径方向内側のクラッドの屈折率が外側のクラッドの屈折率よりも高いのが好ましい。

(11)前記クラッドを少なくとも三層備え、径方向最内側のクラッドの屈折率 $nc1$ と、最外側のクラッドの屈折率 $nc3$ と、前記最内側及び前記最外側のクラッド間の中間クラッドの屈折率 $nc2$ とが、 $nc1 > nc2 > nc3$ の関係を満たすのが好ましい。

(12)本発明のファイバレーザは、上記(1)に記載のイッテルビウム添加光ファイバを光増幅媒体として有する。

(13)本発明のファイバアンプは、上記(1)に記載のイッテルビウム添加光ファイバを光増幅媒体として有する。

発明の効果

[0010] 上記(1)に記載のイッテルビウム添加光ファイバによれば、フォトダークニングが抑制され、優れた光増幅効果が得られる光ファイバを、安価かつ大量に提供できる。また、このような光ファイバを光増幅媒体として使用することで、経時に伴う出力低下が抑制され、光学特性が良好なファイバレーザ及びファイバアンプを安価に提供できる。

図面の簡単な説明

[0011] [図1]図1は、実施例1で作製したYb添加光ファイバの径方向の断面及び屈折率分布を示す図である。

[図2]図2は、実施例1における、励起光照射前後での損失量とその差分の波長との関係を示すグラフである。

[図3]図3は、実施例2で作製したYb添加光ファイバの径方向の断面及び屈折率分布を示す図である。

[図4]図4は、実施例3で作製したYb添加光ファイバの径方向の断面及び屈折率分布を示す図である。

[図5]図5は、実施例4で作製したYb添加光ファイバの径方向の断面及び屈折率分布を示す図である。

[図6]図6は、実施例5で作製したYb添加光ファイバの径方向の断面及び屈折率分布を示す図である。

[図7]図7は、実施例6で作製したYb添加光ファイバの径方向の断面及び屈折率分布を示す図である。

[図8]図8は、実施例7で作製したYb添加光ファイバの径方向の断面及び屈折率分布を示す図である。

[図9]図9は、実施例8で作製したYb添加光ファイバの径方向の断面及び屈折率分布を示す図である。

[図10]図10は、実施例9で作製したYb添加光ファイバの径方向の断面及び屈折率分布を示す図である。

[図11]図11は、実施例10で作製したYb添加光ファイバの径方向の断面及び屈折率分布を示す図である。

[図12]図12は、比較例2における、励起光照射前後での損失量とその差分の波長との関係を示すグラフである。

[図13]図13は、従来のYb添加光ファイバの径方向の断面及び屈折率分布を示す図である。

符号の説明

- [0012] 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 イッテルビウム添加光ファイバ
11, 21, 31, 41, 51, 61, 71, 81, 91, 101 コア
12, 22, 32, 42, 52, 62, 72, 82, 92, 102 クラッド

42a, 52a, 62a, 92a, 102a 内側クラッド

42b, 52b, 62b, 92b, 102b 外側クラッド

72a, 82a 最内側クラッド

72b, 82b 中間クラッド

72c, 82c 最外側クラッド

発明を実施するための最良の形態

[0013] 以下、本発明について詳しく説明する。

以下で「モル%」の単位で示す添加成分の濃度は、屈折率分布を有する光ファイバにおいては、特に断りのない限り平均値である。

[0014] <Yb添加光ファイバ>

本発明のYb添加光ファイバは、コアと、このコアを囲むクラッドを備える。前記コアは、少なくともYb、Al及びPを含有する。前記コア中の、Ybの酸化イットテルビウム(Yb_2O_3)換算濃度(以下、単に「 Yb_2O_3 換算濃度」と略記することがある)、Pの五酸化二リン(P_2O_5)換算濃度(以下、単に「 P_2O_5 換算濃度」と略記することがある)及びAlの酸化アルミニウム(Al_2O_3)換算濃度(以下、単に「 Al_2O_3 換算濃度」と略記することがある)が下記条件を満たす。

(A) Yb_2O_3 換算濃度が0.09～0.68モル%である。

(B) P_2O_5 換算濃度と Yb_2O_3 換算濃度とのモル比(P_2O_5 換算濃度(モル%) / Yb_2O_3 換算濃度(モル%))が3～30である。

(C) Al_2O_3 換算濃度と Yb_2O_3 換算濃度とのモル比(Al_2O_3 換算濃度(モル%) / Yb_2O_3 換算濃度(モル%))が3～32である。

(D) Al_2O_3 換算濃度と P_2O_5 換算濃度とのモル比(Al_2O_3 換算濃度(モル%) / P_2O_5 換算濃度(モル%))が1～2.5である。

[0015] Ybは光増幅作用を有するドーパントである。Alは屈折率上昇作用及びガラスの結晶化抑制作用を有するドーパントである。Pはフォトダークニング抑制作用及び屈折率上昇作用を有するドーパントである。

[0016] コア中のPは、フォトダークニングの抑制作用を有する。しかしながら、コアがYb及びPのみを含有する光ファイバは、コアの屈折率を所望の低い値とした場合、ガラス

が結晶化してしまう。そのため、この光ファイバは、増幅用光ファイバとして使用できない。しかし、さらにAlをコアに含有させることにより、フォトダークニングを抑制しつつ、コアの屈折率を所望の低い値にしても、ガラスの結晶化を抑制できる。Alがガラスの結晶化抑制作用を有するのは、Yb及びPをガラス中に分散させるからであると推測される。しかも、特筆すべきは、AlとPを共に含有させることで、屈折率を低下させる効果がある。

本発明は、コア中の Yb_2O_3 換算濃度、 P_2O_5 換算濃度及び Al_2O_3 換算濃度を、上記(A)～(D)の条件を満たすようにそれぞれ所定の範囲に設定することで、フォトダークニングの抑制とガラスの結晶化抑制とを高いレベルで両立でき、しかもより優れた光増幅効果が得られる。

[0017] 上記のような観点から、本発明においては、コア中の Yb_2O_3 換算濃度を0.09～0.68モル%とする。0.09モル%以上とすることで、十分な光増幅効果が得られる。具体的には、Yb添加光ファイバをファイバアンプやファイバレーザへ適用した場合に、概ね10dB以上の良好な増幅効果が得られる。また、0.68モル%以下とすることで、コアの屈折率の上昇を許容範囲内に抑制でき、コアとクラッドとの比屈折率差(Δ)を0.3%以下にできる。

[0018] P_2O_5 換算濃度と Yb_2O_3 換算濃度とのモル比は3～30であり、5～30であることが好ましい。下限値以上とすることで、フォトダークニングを抑制する一層高い効果が得られ、例えば、フォトダークニングによる損失増加を0.01dB以下に抑制できる。また、上限値以下とすることで、コアの比屈折率差(Δ)を0.3%以下とすることができ、光損失を50dB/km以下にできるなど、良好な特性を有するYb添加光ファイバが得られる。特に前記モル比を5～30とすることで、ガラスの結晶化を抑制する一層高い効果が得られ、ファイバが作製し易くなる。

[0019] Al_2O_3 換算濃度と Yb_2O_3 換算濃度とのモル比は3～32であり、5～32であることが好ましい。下限値以上とすることで、コアの屈折率を低くしても、ガラスの結晶化を抑制する一層高い効果が得られる。また、上限値以下とすることで、 P_2O_5 換算濃度と Yb_2O_3 換算濃度とのモル比を上限値以下とした場合と同様の効果が得られる。特に前記モル比を5～32とすることで、ガラスの結晶化を抑制する一層高い効果が得られ、

ファイバが作製し易くなる。

[0020] Al_2O_3 換算濃度と P_2O_5 換算濃度とのモル比は1~2.5であり、1~1.8であることが好ましい。下限値以上とすることで、ファイバの歪みに起因する割れやガラスの結晶化を抑制する一層高い効果が得られ、Yb添加光ファイバを安定して製造できる。

また、上限値以下とすることで、コアの比屈折率差(Δ)を0.3%以下とすることができ、良好な特性を有するYb添加光ファイバが得られる。

[0021] コア中の Al_2O_3 換算濃度は、8モル%以下であることが好ましい。Alの含有量が必要以上に多くなると、光ファイバの伝送損失が高くなってしまいが、このような範囲とすることで、伝送損失が抑制され、一層高い光の増幅効果が得られる。具体的には、例えば、光損失を50dB/km以下にできる。

同様の理由により、コア中の P_2O_5 換算濃度も、8モル%以下であることが好ましい。

そして、本発明においては、 Al_2O_3 換算濃度及び P_2O_5 換算濃度が、いずれも8モル%以下であることが特に好ましい。

[0022] コアとクラッドとの比屈折率差(Δ)は、0.05~0.3%であることが好ましく、0.1~0.25%であることがより好ましい。0.3%以下とすることで、光ファイバを実質的にシングルモード条件で使用する場合に、コア径が小さくなり過ぎず、光のパワー密度が高くなり過ぎない。ゆえに、光によるコアガラスの損傷や光学的非線形現象を抑制する高い効果が得られる。これにより、高出力光が容易に得られる。また、0.25%以下とすることで、一層高出力の光が得られる。一方、0.05%以上とすることで、光を十分に閉じ込めることができ、曲がりや側圧により導波が不安定になることなどによって生じる曲げ損失の増大を抑制できる。その結果、光を一層安定して導波できる。

本発明において、「コアとクラッドとの比屈折率差」とは、コアの屈折率を n_1 、クラッドの屈折率を n_0 とした場合に、式: $(n_1 - n_0) / n_1 \times 100$ で算出される値である。

「実質的にシングルモード」であるとは、導波路構造としてはマルチモードであるが、曲げ等によって高次モードを除去するように、実効的にシングルモードであることを指す。

[0023] コア及びクラッドは、シリカガラスで構成されていることが好ましい。シリカガラスは、一般的な伝送用光ファイバで汎用されているのに加え、伝送損失の低減が可能であ

り、光を高効率で増幅するのに有利である。

[0024] コアには、Yb、Al及びP以外に、さらにその他の元素を含有させても良い。その他の元素を含有させることで、Yb添加光ファイバの機能を高めたり、異なる機能を付与できる。

例えば、コアにゲルマニウム(以下、Geと略記することがある)を含有させることで、Yb添加光ファイバにファイバブラッググレーティングを容易に形成できる。

また、フッ素(以下、Fと略記することがある)及びホウ素(以下、Bと略記することがある)のいずれか一方又は双方を含有させることで、コアの屈折率分布の制御が容易になり、所望の光学特性を有する光ファイバが容易に得られる。

また、コアに、イッテルビウム以外の希土類元素及び遷移金属元素からなる群から選択される少なくとも一種を含有させることで、共添加増感作用を発現させたり、励起波長を変化させたり、特定波長で発振させたりすることが可能となる。

[0025] 前記希土類元素は、従来のYb添加光ファイバで使用されている公知のもので良く、具体的には、エルビウム(Er)、ツリウム(Tm)、イットリウム(Y)、ホルミウム(Ho)、サマリウム(Sm)、プラセオジム(Pr)及びネオジム(Nd)等が例示できる。

前記遷移元素も、公知のものから目的に応じて適宜選択すれば良い。

[0026] コアに含有させるその他の元素は一種類でも良いし、二種類以上でも良い。そして、これら元素は、液浸法等、公知の方法でコアに添加すれば良い。

[0027] コアに含有させるその他の元素は、目的に応じて適宜その種類を選択すれば良い。そして、元素の種類に応じてその濃度を適宜設定すれば良い。

例えば、Geを含有させる場合には、二酸化ゲルマニウム(GeO_2)換算濃度が0.1～1.1モル%であることが好ましく、0.5～1モル%であることがより好ましい。

上記範囲の上限値以下とすることで、コアとクラッドとの比屈折率差が大きくなり過ぎることがない。

また、Bを含有させる場合には、三酸化二ホウ素(B_2O_3)換算濃度が0.01～5モル%であることが好ましく、0.05～1モル%であることがより好ましい。上記範囲の上限値以下とすることで、残留応力の増大が抑制され、十分な強度の光ファイバが得られる。

また、Fを含有させる場合には、0.05～3モル%であることが好ましく、0.1～1モル%であることがより好ましい。上記範囲の上限値以下とすることで、コストが低減できる。

また、希土類元素又は遷移金属元素としてツリウム(Tm)を含有させる場合には、酸化ツリウム(Tm_2O_3)換算濃度が0.01～1モル%であることが好ましく、0.05～0.5モル%であることがより好ましい。上記範囲の上限値以下とすることで、濃度消光等の問題を抑制できる。

[0028] クラッドは、一層構造でも良いし、二層構造又は三層構造等、複数層構造でも良い。

例えば、ダブルクラッドファイバ又はトリプルクラッドファイバ等、マルチクラッドファイバとすることで、シングルクラッドファイバよりも高出力の光が得られる。マルチクラッドファイバでは、励起光をクラッドに導波させることで、励起光のコアへの集中を抑制できる。そのため、コアガラスの損傷や光学的非線形現象を抑制して、一層高出力のファイバレーザやファイバアンプを作製できる。このような観点からは、ダブルクラッドファイバよりも、励起光の利用効率が高いトリプルクラッドファイバが好ましい。

また、クラッドの形状は特に限定されず、目的に応じて適宜選択すれば良い。例えば、スキューモードを抑制するためには、例えば図5や図7～11に示すように、径方向断面形状を多角形状、D形状等の非円形状にすることが好ましい。

また、コアの近傍に応力付与部を設けても良い。応力付与部は、例えば、石英ガラスに B_2O_3 等を添加した材料から形成できる。

[0029] コアの屈折率分布は、目的に応じて適宜調整すれば良い。例えば、図13で例示したような単峰ステップ型でも良いし、例えば図1や図3～11に示すように釣鐘型、凹型、デュアルシェイプ、セグメントコア、二重凹型、W型等、公知の如何なる屈折率分布でも良い。

[0030] コア及びクラッドの屈折率は、Yb添加光ファイバの構造や、所望の比屈折率差等を考慮して、調整することが好ましい。

例えば、導波する光を閉じ込めるためには、コアの屈折率がクラッドの屈折率よりも高いことが好ましい。

また、クラッドを少なくとも二層備えるマルチクラッドファイバの場合には、径方向内側のクラッドの屈折率が、径方向外側のクラッドの屈折率よりも高いことが好ましい。このようにすることで、より高出力の光が得られる。なお、ここで「径方向内側」及び「径方向外側」とは、二層のクラッドの径方向における相対的な位置関係を示すものである。

したがって、「径方向内側のクラッド」及び「径方向外側のクラッド」とは、必ずしもダブルクラッドファイバの二層のクラッドのみを示すものではなく、三層以上のクラッドを備えるマルチクラッドファイバにおける、いずれか二層のクラッドも示すものである。

また、クラッドを少なくとも三層備えるマルチクラッドファイバの場合には、径方向最内側のクラッドの屈折率 $nc1$ と、最外側のクラッドの屈折率 $nc3$ と、前記最内側及び最外側のクラッド間の中間クラッドの屈折率 $nc2$ とが、 $nc1 > nc2 > nc3$ の関係を満たすことが好ましい。このようにすることで、より高出力な光を効率的に得られる。

ここで「中間クラッド」とは、最内側及び最外側のクラッド間に配置されたものであればいずれでも良く、例えば、トリプルクラッドファイバにおける、最内側及び最外側のクラッド間の中間クラッドのみを示すものではない。

[0031] コア径は、コアの屈折率に応じて適宜設定することが好ましいが、通常は、4～50 μm であることが好ましく、8～43 μm であることがより好ましい。

[0032] 本発明のYb添加光ファイバは、コアにYb、Al及びPを所定量添加すること以外は、公知の手法で製造できる。

例えば、MCVD法、VAD法等でファイバプリフォームを作製し、これを所望の外径となるように紡糸して、その外周上にUV硬化樹脂等で保護被覆層を形成することで製造できる。Ybは、ファイバプリフォーム作製過程において、スートに液浸法で添加する手法や、液滴を噴霧する手法で添加できる。

また、例えば、クラッドの形状を非円形状とする場合には、Yb添加後のファイバプリフォームを所望の形状に外削し、これを紡糸すれば良い。

また、例えば、クラッド中に応力付与部を設ける場合には、Yb添加後のファイバプリフォームにおいて、その中心軸方向(ファイバプリフォームの長手方向)に孔を設け、好ましくはその内表面を研削及び研磨して鏡面化した後、ここにMCVD法等で作製

した $B_2O_3-SiO_2$ ガラス製の応力付与部材を挿入し、次いで紡糸すれば良い。

[0033] <ファイバレーザ、ファイバアンプ>

本発明のファイバレーザ又はファイバアンプは、上記本発明のYb添加光ファイバを光増幅媒体として有することを特徴とする。

そして、増幅媒体として上記本発明のYb添加光ファイバを使用すること以外は、公知のファイバレーザ又はファイバアンプと同様の方法で製造できる。

[0034] 本発明によれば、フォトダークニングの抑制効果に優れ、所望の高出力光が得られるYb添加光ファイバを、MCVD法やVAD法等の公知の手法を適用して製造できる。また、製造時に使用するファイバプリフォームのサイズも制限されることがない。したがって、上記のような優れた特性を有するYb添加光ファイバを、安価かつ大量に提供できる。

また、このような光ファイバを光増幅媒体として使用することで、経時に伴う出力低下が抑制され、光学特性が良好なファイバレーザ及びファイバアンプを安価に提供できる。

実施例

[0035] 以下、具体的実施例により、本発明についてさらに詳細に説明する。ただし、本発明は、以下の実施例に何ら限定されるものではない。

以下の実施例において、Yb添加光ファイバのフォトダークニングによる損失増加量は、以下の方法で評価した。これにより用途や構造が異なる光ファイバでも、相対的に損失増加量を比較できる。

(フォトダークニングによる損失増加量の評価方法)

コアのYb吸収量が340dBとなるような長さのYb添加光ファイバを使用し、そのコアに、波長976nmの励起光を入射光量が400mWとなるように100分間照射した。そして、波長800nmにおける照射前後の損失の差分を「フォトダークニングによる損失増加量」とした。

[0036] [実施例1]

図1に示す構造のYb添加光ファイバを作製した。図1は、Yb添加光ファイバ1の径方向の断面及び屈折率分布を示す図である。Yb添加光ファイバ1はシングルクラッド

ファイバであり、コア11の外周上にクラッド12が設けられ、クラッド12の外周上に保護被覆層13が設けられたものである。

[0037] ファイバプリフォームは、MCVD法で作製した。また、Ybは液浸法で添加した。そして、ファイバプリフォームをガラス外径が約125 μ mになるまで紡糸し、外周上に保護被覆層を設けた。

[0038] コアの Yb_2O_3 は0.46モル%、 $\text{P}_2\text{O}_5/\text{Yb}_2\text{O}_3$ は6.61、 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Yb}_2\text{O}_3$ は15.92、 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{P}_2\text{O}_5$ は2.41であった。また、コアの比屈折率差(Δ)は0.29%であった。得られたYb添加光ファイバのフォトダークニングによる損失増加はほとんど見られず、前記評価方法による損失増加量は、0.01dB以下であった。この時の励起光照射前後での損失量とその差分の波長との関係を図2にグラフとして示す。図2中、波長1000nm付近で損失量のデータにノイズが見られるのは、この波長帯にYbの光吸収帯が存在するためである。

また、得られたYb添加光ファイバを使用して、ファイバアンプを作製し、光出力の経時変化を評価した。その結果、初期出力1.5Wのファイバアンプで100時間経過後の出力低下量は3%以下であった。この出力低下量は、光ファイバの損失増加以外に、温度変化や測定ばらつきに起因するものも含んでいる。そのため、フォトダークニングによる損失増加起因の出力低下は1%以下であると考えられた。

得られたYb添加光ファイバと、その評価結果を表1に示す。

[0039] [実施例2]

図3に示す構造のYb添加光ファイバを作製した。図3は、Yb添加光ファイバ2の径方向の断面及び屈折率分布を示す図である。Yb添加光ファイバ2はシングルクラッドファイバであり、コア21の外周上にクラッド22が設けられ、クラッド22の外周上に保護被覆層23が設けられたものである。

[0040] ファイバプリフォームは、VAD法で作製した。また、Ybは液浸法で添加した。そして、ファイバプリフォームをガラス外径が約125 μ mになるまで紡糸し、外周上に保護被覆層を設けた。

[0041] コアの Yb_2O_3 は0.38モル%、 $\text{P}_2\text{O}_5/\text{Yb}_2\text{O}_3$ は29.71、 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Yb}_2\text{O}_3$ は31.06、 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{P}_2\text{O}_5$ は1.05であった。また、コアの比屈折率差(Δ)は0.14%であった

。得られたYb添加光ファイバのフォトダークニングによる損失増加はほとんど見られず、前記評価方法による損失増加量は、0.01dB以下であった。

また、得られたYb添加光ファイバを使用して、ファイバレーザを作製し、光出力の経時変化を評価した。その結果、初期出力3Wのファイバレーザで100時間経過後の出力低下量は3%以下であった。この出力低下量は、光ファイバの損失増加以外に、温度変化や測定ばらつきに起因するものも含んでいる。そのため、フォトダークニングによる損失増加起因の出力低下は1%以下であると考えられた。

得られたYb添加光ファイバと、その評価結果を表1に示す。

[0042] [実施例3]

図4に示す構造のYb添加光ファイバを作製した。図4は、Yb添加光ファイバ3の径方向の断面及び屈折率分布を示す図である。Yb添加光ファイバ3は、三層構造のコア31を有するシングルクラッドファイバであり、コア31の外周上にクラッド32が設けられ、クラッド32の外周上に保護被覆層33が設けられたものである。そして、コア31は、センタコア31aと、センタコア31aの外周上に設けられたリンググルーブ31bと、リンググルーブ31bの外周上に設けられたリングコア31cとからなる。

[0043] ファイバプリフォームは、MCVD法で作製した。また、Ybは液浸法で添加した。そして、ファイバプリフォームをガラス外径が約125 μmになるまで紡糸し、外周上に保護被覆層を設けた。

コアの Yb_2O_3 は0.09モル%、 P_2O_5/Yb_2O_3 は22.33、 Al_2O_3/Yb_2O_3 は28.00、 Al_2O_3/P_2O_5 は1.25であった。また、コアの比屈折率差(Δ)は0.07%であった。

[0044] 得られたYb添加光ファイバのフォトダークニングによる損失増加はほとんど見られず、前記評価方法による損失増加量は、0.01dB以下であった。

また、得られたYb添加光ファイバを使用して、ファイバレーザを作製し、光出力の経時変化を評価した。その結果、初期出力4.5Wのファイバレーザで100時間経過後の出力低下量は4%以下であった。この出力低下量は、光ファイバの損失増加以外に、温度変化や測定ばらつきに起因するものも含んでいる。そのため、フォトダーク

ニングによる損失増加起因の出力低下は2%以下であると考えられた。

得られたYb添加光ファイバと、その評価結果を表1に示す。

[0045] [実施例4]

図5に示す構造のYb添加光ファイバを作製した。図5は、Yb添加光ファイバ4の径方向の断面及び屈折率分布を示す図である。Yb添加光ファイバ4は、二層構造のクラッド42を有するダブルクラッドファイバであり、コア41の外周上に内側クラッド42aが設けられ、内側クラッド42aの外周上に外側クラッド42bが設けられ、外側クラッド42bの外周上に保護被覆層43が設けられたものである。また、内側クラッド42aの断面形状はD形状である。

[0046] ファイバプリフォームは、MCVD法で作製した。また、Ybは、スート作製中に液滴を噴霧する手法で添加した。この時点で円柱形状のファイバプリフォームを、断面形状が図5に示すようなD形状となるように外削した。そして、得られたファイバプリフォームをガラスの断面外接円の直径が約400 μ mになるまで紡糸した。この時、ガラスの外周上にガラスよりも屈折率が低いポリマークラッド材を塗布及び硬化させ、ガラスクラッドに励起光が閉じ込められる構造とした。さらに、その外周上を保護UV硬化樹脂で被覆した。

[0047] コアの Yb_2O_3 は0.52モル%、 P_2O_5/Yb_2O_3 は3.04、 Al_2O_3/Yb_2O_3 は3.10、 Al_2O_3/P_2O_5 は1.02であった。また、コアの比屈折率差(Δ)は0.24%であった。また、励起光を導波するガラスクラッドと光を閉じ込めるポリマークラッドとの屈折率差から得られるクラッドNAは、約0.46であった。

得られたYb添加光ファイバのフォトダークニングによる損失増加はほとんど見られず、前記評価方法による損失増加量は、0.01dB以下であった。

また、得られたYb添加光ファイバを使用して、ファイバレーザを作製し、光出力の経時変化を評価した。その結果、初期出力14.8Wのパルス出力ファイバレーザで100時間経過後の出力低下量は1%以下であった。この出力低下量は、光ファイバの損失増加以外に、温度変化や測定ばらつきに起因するものも含んでいる。そのため、フォトダークニングによる損失増加起因の出力低下はほとんどないと考えられた。

得られたYb添加光ファイバと、その評価結果を表1に示す。

[0048] [実施例5]

図6に示す構造のYb添加光ファイバを作製した。図6は、Yb添加光ファイバ5の径方向の断面及び屈折率分布を示す図である。Yb添加光ファイバ5は、二層構造のクラッド52を有するダブルクラッドファイバであり、コア51の外周上に内側クラッド52aが設けられ、内側クラッド52aの外周上に外側クラッド52bが設けられ、外側クラッド52bの外周上に保護被覆層53が設けられたものである。また、内側クラッド52a中には、コア51に対して対称な位置に一对の応力付与部54、54が設けられている。

[0049] ファイバプリフォームは、VAD法で作製した。また、Ybは、スート作製中に液滴を噴霧する手法で添加した。このファイバプリフォームの中心軸方向に、コアに対して対称な配置となるように一对の孔を設け、そこにボロン等を添加して作製した応力付与ガラスを挿入し、ガラス外径が約 $125\mu\text{m}$ になるまで紡糸した。この時、ガラスの外周上にガラスよりも屈折率が低いポリマークラッド材を塗布及び硬化させ、ガラスクラッドに励起光が閉じ込められる構造とした。さらに、その外周上を保護UV硬化樹脂で被覆した。

[0050] コアの Yb_2O_3 は0.33モル%、 $\text{P}_2\text{O}_5/\text{Yb}_2\text{O}_3$ は3.02、 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Yb}_2\text{O}_3$ は5.34、 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{P}_2\text{O}_5$ は1.76であった。また、コアの比屈折率差(Δ)は0.29%であった。また、励起光を導波するガラスクラッドと光を閉じ込めるポリマークラッドとの屈折率差から得られるクラッドNAは、約0.41であった。

得られたYb添加光ファイバのフォトダークニングによる損失増加はほとんど見られず、前記評価方法による損失増加量は、0.01dB以下であった。

また、得られたYb添加光ファイバを使用して、ファイバレーザを作製し、光出力の経時変化を評価した。その結果、初期出力10.8Wのファイバレーザで100時間経過後の出力低下量は4%以下であった。この出力低下量は、光ファイバの損失増加以外に、温度変化や測定ばらつきに起因するものも含んでいる。そのため、フォトダークニングによる損失増加起因の出力低下は2%以下であると考えられた。

得られたYb添加光ファイバと、その評価結果を表1に示す。

[0051] [実施例6]

図7に示す構造のYb添加光ファイバを作製した。図7は、Yb添加光ファイバ6の径

方向の断面及び屈折率分布を示す図である。Yb添加光ファイバ6は、二層構造のクラッド62を有するダブルクラッドファイバであり、コア61の外周上に内側クラッド62aが設けられ、内側クラッド62aの外周上に外側クラッド62bが設けられ、外側クラッド62bの外周上に保護被覆層63が設けられたものである。また、内側クラッド62aの断面形状は正七角形状であり、コア61、内側クラッド62a及び外側クラッド62bは同心状に配置されている。

[0052] ファイバプリフォームは、MCVD法で作製した。また、Ybは液浸法で添加した。この時点で円柱形状のファイバプリフォームを、断面形状が図7に示すような正七角形状となるように外削した。そして、得られたファイバプリフォームをガラスの断面外接円の直径が約 $420\mu\text{m}$ になるまで紡糸した。この時、ガラスの外周上にガラスよりも屈折率が低いポリマークラッド材を塗布及び硬化させ、ガラスクラッドに励起光が閉じ込められる構造とした。さらに、その外周上を保護UV硬化樹脂で被覆した。

[0053] コアの Yb_2O_3 は0.39モル%、 $\text{P}_2\text{O}_5/\text{Yb}_2\text{O}_3$ は11.98、 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Yb}_2\text{O}_3$ は18.34、 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{P}_2\text{O}_5$ は1.53であった。また、コアの比屈折率差(Δ)は0.13%であった。また、励起光を導波するガラスクラッドと光を閉じ込めるポリマークラッドとの屈折率差から得られるクラッドNAは、約0.46であった。

得られたYb添加光ファイバのフォトダークニングによる損失増加はほとんど見られず、前記評価方法による損失増加量は、0.01dB以下であった。

また、得られたYb添加光ファイバを使用して、ファイバレーザを作製し、光出力の経時変化を評価した。その結果、初期出力122Wのファイバレーザで100時間経過後の出力低下量は6%以下であった。この出力低下量は、光ファイバの損失増加以外に、温度変化や測定ばらつきに起因するものも含んでいる。そのため、フォトダークニングによる損失増加起因の出力低下は3%以下であると考えられた。

得られたYb添加光ファイバと、その評価結果を表1に示す。

[0054] [実施例7]

図8に示す構造のYb添加光ファイバを作製した。図8は、Yb添加光ファイバ7の径方向の断面及び屈折率分布を示す図である。Yb添加光ファイバ7は、三層構造のクラッド72を有するトリプルクラッドファイバであり、コア71の外周上に最内側クラッド72

aが設けられ、最内側クラッド72aの外周上に中間クラッド72bが設けられ、中間クラッド72bの外周上に最外側クラッド72cが設けられ、最外側クラッド72cの外周上に保護被覆層73が設けられたものである。また、中間クラッド72bの断面形状は正八角形状であり、コア71、最内側クラッド72a、中間クラッド72b及び最外側クラッド72cは同心状に配置されている。

[0055] ファイバプリフォームは、VAD法で作製した。また、Ybは液浸法で添加した。この時点で円柱形状のファイバプリフォームを、断面形状が図8に示すような正八角形状となるように外削した。そして、得られたファイバプリフォームをガラスの断面外接円の直径が約 $380\mu\text{m}$ になるまで紡糸した。この時、ガラスの外周上にガラスよりも屈折率が低いポリマークラッド材を塗布及び硬化させ、ガラスクラッドに励起光が閉じ込められる構造とした。さらに、その外周上を保護UV硬化樹脂で被覆した。

[0056] コアの Yb_2O_3 は0.68モル%、 $\text{P}_2\text{O}_5/\text{Yb}_2\text{O}_3$ は17.79、 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Yb}_2\text{O}_3$ は18.87、 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{P}_2\text{O}_5$ は1.06であった。また、コアの比屈折率差(Δ)は0.28%であった。また、励起光を導波するガラスクラッドと光を閉じ込めるポリマークラッドとの屈折率差から得られるクラッドNAは、約0.47であった。

得られたYb添加光ファイバのフォトダークニングによる損失増加はほとんど見られず、前記評価方法による損失増加量は、0.01dB以下であった。

また、得られたYb添加光ファイバを使用して、ファイバレーザを作製し、光出力の経時変化を評価した。その結果、初期出力22Wのパルスファイバレーザで100時間経過後の出力低下量は3%以下であった。この出力低下量は、光ファイバの損失増加以外に、温度変化や測定ばらつきに起因するものも含んでいる。そのため、フォトダークニングによる損失増加起因の出力低下は1%以下であると考えられた。

得られたYb添加光ファイバと、その評価結果を表2に示す。

[0057] [実施例8]

図9に示す構造のYb添加光ファイバを作製した。図9は、Yb添加光ファイバ8の径方向の断面及び屈折率分布を示す図である。Yb添加光ファイバ8は、二層構造のコア81及び三層構造のクラッド82を有するトリプルクラッドファイバである。すなわち、センタコア81aの外周上にリンググルーブ81bが設けられ、リンググルーブ81bの外

周上に最内側クラッド82aが設けられ、最内側クラッド82aの外周上に中間クラッド82bが設けられ、中間クラッド82bの外周上に最外側クラッド82cが設けられ、最外側クラッド82cの外周上に保護被覆層83が設けられたものである。また、中間クラッド82bの断面形状は正七角形状であり、センタコア81a、リンググルーブ81b、最内側クラッド82a、中間クラッド82b及び最外側クラッド82cは同心状に配置されている。

[0058] コアにはAl、P、Yb以外にGeを添加した。ファイバプリフォームは、MCVD法で作製した。また、Ybは液浸法で添加した。この時点で円柱形状のファイバプリフォームを、断面形状が図9に示すような正七角形状となるように外削した。そして、得られたファイバプリフォームをガラスの断面外接円の直径が約400 μ mになるまで紡糸した。この時、ガラスの外周上にガラスよりも屈折率が低いポリマークラッド材を塗布及び硬化させ、ガラスクラッドに励起光が閉じ込められる構造とした。さらに、その外周上に保護UV硬化樹脂で被覆した。

[0059] コアの Yb_2O_3 は0.28モル%、 P_2O_5/Yb_2O_3 は5.79、 Al_2O_3/Yb_2O_3 は7.61、 Al_2O_3/P_2O_5 は1.31、 GeO_2 は0.83モル%であった。また、コアの比屈折率差(Δ)は0.27%であった。また、励起光を導波するガラスクラッドと光を閉じ込めるポリマークラッドとの屈折率差から得られるクラッドNAは、約0.46であった。

得られたYb添加光ファイバのフォトダークニングによる損失増加はほとんど見られず、前記評価方法による損失増加量は、0.01dB以下であった。

また、得られたYb添加光ファイバを使用して、ファイバレーザを作製し、光出力の経時変化を評価した。その結果、初期出力11.3Wのパルスファイバレーザで100時間経過後の出力低下量は1%以下であった。この出力低下量は、光ファイバの損失増加以外に、温度変化や測定ばらつきに起因するものも含んでいる。そのため、フォトダークニングによる損失増加起因の出力低下はほとんどないと考えられた。

エキシマ露光により、本Yb添加光ファイバのコア中にグレーティング構造を作製したところ、波長1064nmの光で、反射率が100%、10%、4%である三種のファイバグレーティングが作製できた。ゆえに、任意の反射率を有するファイバグレーティングを作製できることが確認できた。

得られたYb添加光ファイバと、その評価結果を表2に示す。

[0060] [実施例9]

図10に示す構造のYb添加光ファイバを作製した。図10は、Yb添加光ファイバ9の径方向の断面及び屈折率分布を示す図である。Yb添加光ファイバ9は、二層構造のクラッド92を有するダブルクラッドファイバであり、コア91の外周上に内側クラッド92aが設けられ、内側クラッド92aの外周上に外側クラッド92bが設けられ、外側クラッド92bの外周上に保護被覆層93が設けられたものである。また、内側クラッド92a中には、コア91に対して対称な位置に一对の応力付与部94、94が設けられている。さらに、内側クラッド92aの断面形状は正八角形状であり、コア91、内側クラッド92a及び外側クラッド92bは同心状に配置されている。

[0061] コアにはAl、P、Yb以外にFを添加した。ファイバプリフォームは、MCVD法で作製した。また、Ybは液浸法で添加した。この時点で円柱形状のファイバプリフォームを、断面形状が図10に示すような正八角形状となるように外削した。さらに、このファイバプリフォームの中心軸方向に、コアに対して対称な配置となるように一对の孔を設け、そこにボロン等を添加して作製した応力付与ガラスを挿入した。次いで、得られたファイバプリフォームをガラスの断面外接円の直径が約250 μ mになるまで紡糸した。この時、ガラスの外周上にガラスよりも屈折率が低いポリマークラッド材を塗布及び硬化させ、ガラスクラッドに励起光が閉じ込められる構造とした。さらに、その外周上を保護UV硬化樹脂で被覆した。

[0062] コアの Yb_2O_3 は0.60モル%、 $\text{P}_2\text{O}_5/\text{Yb}_2\text{O}_3$ は19.17、 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Yb}_2\text{O}_3$ は20.17、 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{P}_2\text{O}_5$ は1.05、Fは0.40モル%の偏波保持型光ファイバが得られた。また、コアの比屈折率差(Δ)は0.18%であった。

また、励起光を導波するガラスクラッドと光を閉じ込めるポリマークラッドとの屈折率差から得られるクラッドNAは、約0.43であった。

得られたYb添加光ファイバのフォトダークニングによる損失増加はほとんど見られず、前記評価方法による損失増加量は、0.01dB以下であった。

また、得られたYb添加光ファイバを使用して、ファイバレーザを作製し、光出力の経時変化を評価した。その結果、初期出力11.3Wのパルスファイバレーザで100時間経過後の出力低下量は1%以下であった。この出力低下量は、光ファイバの損失

増加以外に、温度変化や測定ばらつきに起因するものも含んでいる。そのため、フォトダークニングによる損失増加起因の出力低下はほとんどないと考えられた。

得られたYb添加光ファイバと、その評価結果を表2に示す。

[0063] [実施例10]

図11に示す構造のYb添加光ファイバを作製した。図11は、Yb添加光ファイバ10の径方向の断面及び屈折率分布を示す図である。Yb添加光ファイバ10は、二層構造のクラッド102を有するダブルクラッドファイバであり、コア101の外周上に内側クラッド102aが設けられ、内側クラッド102aの外周上に外側クラッド102bが設けられ、外側クラッド102bの外周上に保護被覆層103が設けられたものである。また、内側クラッド102aの断面形状は正八角形状であり、コア101、内側クラッド102a及び外側クラッド102bは同心状に配置されている。

[0064] コアにはAl、P、Yb以外にGe、Fを添加した。ファイバプリフォームは、VAD法で作製した。また、Ybは液浸法で添加した。この時点で円柱形状のファイバプリフォームを、断面形状が図11に示すような正八角形状となるように外削した。そして、得られたファイバプリフォームをガラスの断面外接円の直径が約420 μ mになるまで紡糸した。この時、ガラスの外周上にガラスよりも屈折率が低いポリマクラッド材を塗布及び硬化させ、ガラスクラッドに励起光が閉じ込められる構造とした。さらに、その外周上を保護UV硬化樹脂で被覆した。

[0065] コアの Yb_2O_3 は0.26モル%、 P_2O_5/Yb_2O_3 は6.62、 Al_2O_3/Yb_2O_3 は9.04、 Al_2O_3/P_2O_5 は1.37、 GeO_2 は0.92モル%、Fは0.35モル%であった。また、コアの比屈折率差(Δ)は0.21%であった。また、励起光を導波するガラスクラッドと光を閉じ込めるポリマクラッドとの屈折率差から得られるクラッドNAは、約0.46であった。

得られたYb添加光ファイバのフォトダークニングによる損失増加はほとんど見られず、前記評価方法による損失増加量は、0.01dB以下であった。

また、得られたYb添加光ファイバを使用して、ファイバレーザを作製し、光出力の経時変化を評価した。その結果、初期出力11.3Wのファイバレーザで100時間経過後の出力低下量は1%以下であった。この出力低下量は、光ファイバの損失増加

以外に、温度変化や測定ばらつきに起因するものも含んでいる。そのため、フォトダークニングによる損失増加起因の出力低下はほとんどないと考えられた。

エキシマ露光により、本Yb添加光ファイバのコア中にグレーティング構造を作製したところ、波長1064nmの光で、反射率が100%、10%、4%である三種のファイバグレーティングが作製できた。ゆえに、任意の反射率を有するファイバグレーティングを作製できることが確認できた。

得られたYb添加光ファイバと、その評価結果を表2に示す。

[0066] [実施例11]

コアにAl、P、Yb以外にBを添加したこと、Al、P、Ybの添加量が異なること、断面形状がD形状となるように外削したファイバプリフォームをガラスの断面外接円の直径が約125 μ mになるまで紡糸したこと以外は、実施例4と同様に、ダブルクラッドファイバを作製した。

コアの Yb_2O_3 は0.31モル%、 $\text{P}_2\text{O}_5/\text{Yb}_2\text{O}_3$ は22.29、 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Yb}_2\text{O}_3$ は25.23、 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{P}_2\text{O}_5$ は1.13、 B_2O_5 は0.3モルであった。また、コアの比屈折率差(Δ)は0.22%であった。また、励起光を導波するガラスクラッドと光を閉じ込めるポリマークラッドとの屈折率差から得られるクラッドNAは、約0.46であった。

得られたYb添加光ファイバのフォトダークニングによる損失増加はほとんど見られず、前記評価方法による損失増加量は、0.01dB以下であった。

また、得られたYb添加光ファイバを使用して、ファイバレーザを作製し、光出力の経時変化を評価した。その結果、初期出力20.0Wのパルスファイバレーザで100時間経過後の出力低下量は1%以下であった。この出力低下量は、光ファイバの損失増加以外に、温度変化や測定ばらつきに起因するものも含んでいる。そのため、フォトダークニングによる損失増加起因の出力低下はほとんどないと考えられた。

得られたYb添加光ファイバと、その評価結果を表2に示す。

[0067] [実施例12]

コアにAl、P、Yb以外にTmを添加したこと、Al、P、Ybの添加量が異なること、断面形状が正八角形状となるように外削したファイバプリフォームをガラスの断面外接円の直径が約250 μ mになるまで紡糸したこと以外は、実施例7と同様に、トリプルクラ

ッドファイバを作製した。Tmは液浸法で添加した。

コアの Yb_2O_3 は0.25モル%、 $\text{P}_2\text{O}_5/\text{Yb}_2\text{O}_3$ は25.80、 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Yb}_2\text{O}_3$ は27.52、 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{P}_2\text{O}_5$ は1.07、 Tm_2O_3 は0.12モルであった。また、コアの比屈折率差(Δ)は0.25%であった。また、励起光を導波するガラスクラッドと光を閉じ込めるポリマークラッドとの屈折率差から得られるクラッドNAは、約0.46であった。

得られたYb添加光ファイバのフォトダークニングによる損失増加はほとんど見られず、前記評価方法による損失増加量は、0.01dB以下であった。

また、得られたYb添加光ファイバを使用して、ファイバレーザを作製し、光出力の経時変化を評価した。その結果、初期出力15Wのパルスファイバレーザで100時間経過後の出力低下量は3%以下であった。この出力低下量は、光ファイバの損失増加以外に、温度変化や測定ばらつきに起因するものも含んでいる。そのため、フォトダークニングによる損失増加起因の出力低下は1%以下であると考えられた。

得られたYb添加光ファイバと、その評価結果を表2に示す。

[0068] [実施例13]

コアにAl、P、Yb以外にNdを添加しこと、Al、P、Ybの添加量が異なること、断面形状が正七角形状となるように外削したファイバプリフォームをガラスの断面外接円の直径が約250 μm になるまで紡糸したこと以外は、実施例8と同様に、トリプルクラッドファイバを作製した。Ndは液浸法で添加した。

コアの Yb_2O_3 は0.30モル%、 $\text{P}_2\text{O}_5/\text{Yb}_2\text{O}_3$ は13.67、 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Yb}_2\text{O}_3$ は16.53、 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{P}_2\text{O}_5$ は1.21、 Nd_2O_3 は0.15モルであった。また、コアの比屈折率差(Δ)は0.18%であった。また、励起光を導波するガラスクラッドと光を閉じ込めるポリマークラッドとの屈折率差から得られるクラッドNAは、約0.43であった。

得られたYb添加光ファイバのフォトダークニングによる損失増加はほとんど見られず、前記評価方法による損失増加量は、0.01dB以下であった。

また、得られたYb添加光ファイバを使用して、ファイバレーザを作製し、光出力の経時変化を評価した。その結果、初期出力15.8Wのパルスファイバレーザで100時間経過後の出力低下量は2%以下であった。この出力低下量は、光ファイバの損失増加以外に、温度変化や測定ばらつきに起因するものも含んでいる。そのため、フォ

トダークニングによる損失増加起因の出力低下は1%以下であると考えられた。

得られたYb添加光ファイバと、その評価結果を表3に示す。

[0069] [比較例1]

コアにAl、Yb、Geを添加し、Pは添加しなかったこと、Al、Ybの添加量が異なること、ファイバプリフォームをガラス外径が約200 μ mになるまで紡糸したこと以外は、実施例1と同様に、シングルクラッドファイバを作製した。

コアの Yb_2O_3 は0.51モル%、 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Yb}_2\text{O}_3$ は0.39、 Al_2O_3 は0.2モル%、 GeO_2 は0.23モル%であった。すなわち、 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Yb}_2\text{O}_3$ は本発明の範囲外であった。また、コアの比屈折率差(Δ)は0.27%であった。

得られたYb添加光ファイバは、フォトダークニングによる損失増加が大きく、前記評価方法による損失増加量は、3.8dBであった。

そのため、得られたYb添加光ファイバを使用して、ファイバレーザを作製し、光出力の経時変化を評価した結果、初期出力20Wのパルスファイバレーザで100時間経過後の出力低下量は30%以上であった。

得られたYb添加光ファイバと、その評価結果を表3に示す。

[0070] [比較例2]

Al、P、Ybの添加量が異なること、断面形状が正七角形状となるように外削したファイバプリフォームをガラスの断面外接円の直径が約300 μ mになるまで紡糸したこと以外は、実施例6と同様に、ダブルクラッドファイバを作製した。

コアの Yb_2O_3 は0.27モル%、 $\text{P}_2\text{O}_5/\text{Yb}_2\text{O}_3$ は1.23、 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Yb}_2\text{O}_3$ は4.95、 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{P}_2\text{O}_5$ は4.01であった。すなわち、 $\text{P}_2\text{O}_5/\text{Yb}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{P}_2\text{O}_5$ は本発明の範囲外であった。また、コアの比屈折率差(Δ)は0.20%であった。また、励起光を導波するガラスクラッドと光を閉じ込めるポリマークラッドとの屈折率差から得られるクラッドNAは、約0.43であった。

得られたYb添加光ファイバは、フォトダークニングによる損失増加が大きく、前記評価方法による損失増加量は、10.6dBであった。この時の励起光照射前後での損失量とその差分の波長との関係を図12にグラフとして示す。

そのため、得られたYb添加光ファイバを使用して、ファイバレーザを作製し、光出

力の経時変化を評価した結果、初期出力12Wのパルスファイバレーザで100時間経過後の出力低下量は50%以上であった。

得られたYb添加光ファイバと、その評価結果を表3に示す。

[0071] [比較例3]

コアにAl、P、Ybを添加し、ファイバプリフォームをMCVD法で作製した。Ybは液浸法で添加した。その結果、得られたファイバプリフォームは、コアが白くなっており、結晶化が生じていた。このファイバプリフォームを延伸して、コア中の添加成分の濃度を測定した結果、 Yb_2O_3 は0.35モル%、 $\text{P}_2\text{O}_5/\text{Yb}_2\text{O}_3$ は6.31、 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Yb}_2\text{O}_3$ は4.57、 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{P}_2\text{O}_5$ は0.72であった。また、コアの比屈折率差(Δ)は0.17%であった。

得られたYb添加光ファイバと、その評価結果を表3に示す。

[0072] [比較例4]

Al、P、Ybの添加量が異なること、さらにポリマークラッド材を塗布硬化させてダブルクラッド構造としたこと以外は、実施例2と同様に、ダブルクラッドファイバを作製した。

コアの Yb_2O_3 は0.45モル%、 $\text{P}_2\text{O}_5/\text{Yb}_2\text{O}_3$ は30.7、 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Yb}_2\text{O}_3$ は31.1、 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{P}_2\text{O}_5$ は1.01であった。すなわち、 $\text{P}_2\text{O}_5/\text{Yb}_2\text{O}_3$ は本発明の範囲外であった。また、コアの比屈折率差(Δ)は0.27%であった。また、励起光を導波するガラスクラッドと光を閉じ込めるポリマークラッドとの屈折率差から得られるクラッドNAは、約0.46であった。

得られたYb添加光ファイバは、伝送損失が大きく、約160dB/kmにも及んだ。

そのため、得られたYb添加光ファイバを使用して、ファイバレーザを作製し、光出力を評価したところ、初期出力が6Wまでしか実現できなかった。

得られたYb添加光ファイバと、その評価結果を表4に示す。

[0073] [比較例5]

Al、P、Ybの添加量が異なること以外は、実施例5と同様に、ダブルクラッドファイバを作製した。

コアの Yb_2O_3 は0.22モル%、 $\text{P}_2\text{O}_5/\text{Yb}_2\text{O}_3$ は2.14、 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Yb}_2\text{O}_3$ は4.91、

$\text{Al}_2\text{O}_3/\text{P}_2\text{O}_5$ は2.30であった。すなわち、 $\text{P}_2\text{O}_5/\text{Yb}_2\text{O}_3$ は本発明の範囲外であった。また、コアの比屈折率差(Δ)は0.30%であった。また、励起光を導波するガラスクラッドと光を閉じ込めるポリマークラッドとの屈折率差から得られるクラッドNAは、約0.44であった。

得られたYb添加光ファイバは、フォトダークニングによる損失増加が大きく、前記評価方法による損失増加量は、1.7dBであった。

そのため、得られたYb添加光ファイバを使用して、ファイバレーザを作製し、光出力の経時変化を評価した結果、初期出力12Wのパルスファイバレーザで100時間経過後の出力低下量は25%以上であった。

得られたYb添加光ファイバと、その評価結果を表4に示す。

[0074] [比較例6]

Al、P、Ybの添加量が異なること以外は、実施例2と同様に、シングルクラッドファイバを作製した。

コアの Yb_2O_3 は0.28モル%、 $\text{P}_2\text{O}_5/\text{Yb}_2\text{O}_3$ は20.29、 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Yb}_2\text{O}_3$ は38.57、 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{P}_2\text{O}_5$ は1.90であった。すなわち、 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Yb}_2\text{O}_3$ は本発明の範囲外であった。また、コアの比屈折率差(Δ)は0.55%であった。

得られたYb添加光ファイバの前記評価方法による損失増加量は、約0.01dB以下であった。

得られたYb添加光ファイバを使用して、ファイバレーザを作製し、光出力を評価したところ、比屈折率差(Δ)が大きいことから光ファイバのモードフィールド径が小さくなっている。そのため、誘導ラマン散乱が発生してしまい、初期出力5Wのファイバレーザしか実現できなかった。また、得られたYb添加光ファイバを使用して、ファイバレーザを作製し、光出力の経時変化を評価した結果、初期出力5Wのパルスファイバレーザで100時間経過後の出力低下量は8%以上であった。

得られたYb添加光ファイバと、その評価結果を表4に示す。

[0075] [比較例7]

コアにAl、P、Ybを添加し、ファイバプリフォームをMCVD法で作製した。Ybは液浸法で添加した。その結果、得られたファイバプリフォームは、コアが白くなっており、

結晶化が生じていた。このファイバプリフォームを延伸して、コア中の添加成分の濃度を測定した結果、 Yb_2O_3 は0.26モル%、 $\text{P}_2\text{O}_5/\text{Yb}_2\text{O}_3$ は2.88、 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Yb}_2\text{O}_3$ は2.88、 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{P}_2\text{O}_5$ は1.00であった。

得られたYb添加光ファイバと、その評価結果を表4に示す。

[0076] [比較例8]

Al、P、Ybの添加量が異なること以外は、実施例6と同様に、ダブルクラッドファイバを作製した。

コアの Yb_2O_3 は0.48モル%、 $\text{P}_2\text{O}_5/\text{Yb}_2\text{O}_3$ は9.02、 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Yb}_2\text{O}_3$ は24.38、 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{P}_2\text{O}_5$ は2.70であった。すなわち、 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{P}_2\text{O}_5$ は本発明の範囲外であった。また、コアの比屈折率差(Δ)は0.85%であった。また、励起光を導波するガラスクラッドと光を閉じ込めるポリマークラッドとの屈折率差から得られるクラッドNAは、約0.46であった。

得られたYb添加光ファイバを使用して、ファイバレーザを作製し、光出力を評価したところ、比屈折率差(Δ)が大きいことから光ファイバのモードフィールド径が小さくなっていた。そのため、誘導ラマン散乱が発生してしまい、初期出力7Wのファイバレーザしか実現できなかった。

得られたYb添加光ファイバと、その評価結果を表4に示す。

[0077] [表1]

	実施例 1	実施例 2	実施例 3	実施例 4	実施例 5	実施例 6
Yb ₂ O ₃ 濃度 (モル%)	0.46	0.38	0.09	0.52	0.33	0.39
P ₂ O ₅ 濃度 (モル%)	3.05	11.40	2.01	1.58	1.00	4.69
Al ₂ O ₃ 濃度 (モル%)	7.34	11.92	2.52	1.61	1.76	7.18
P ₂ O ₅ 濃度/Yb ₂ O ₃ 濃度	6.61	29.71	22.33	3.04	3.02	11.98
Al ₂ O ₃ 濃度/Yb ₂ O ₃ 濃度	15.92	31.06	28.00	3.10	5.34	18.34
Al ₂ O ₃ 濃度/P ₂ O ₅ 濃度	2.41	1.05	1.25	1.02	1.76	1.53
その他の含有元素 (濃度, モル%)	—	—	—	—	—	—
コア比屈折率差(Δ) (%)	0.29	0.14	0.07	0.24	0.29	0.13
クラッド構造	シングル	シングル	シングル	ダブル	ダブル	ダブル
ガラスクラッド(外接円) 直径(μm)	125	125	125	400	125	420
フォトダークニング損失 増加量(dB)	≤0.01	≤0.01	≤0.01	≤0.01	≤0.01	≤0.01

[0078] [表2]

	実施例 7	実施例 8	実施例 9	実施例 10	実施例 11	実施例 12
Yb ₂ O ₃ 濃度 (モル%)	0.68	0.28	0.60	0.26	0.31	0.25
P ₂ O ₅ 濃度 (モル%)	12.10	1.62	11.5	1.72	6.91	6.45
Al ₂ O ₃ 濃度 (モル%)	12.83	2.13	12.1	2.35	7.82	6.88
P ₂ O ₅ 濃度/Yb ₂ O ₃ 濃度	17.79	5.79	19.17	6.62	22.29	25.80
Al ₂ O ₃ 濃度/Yb ₂ O ₃ 濃度	18.87	7.61	20.17	9.04	25.23	27.52
Al ₂ O ₃ 濃度/P ₂ O ₅ 濃度	1.06	1.31	1.05	1.37	1.13	1.07
その他の含有元素 (濃度, モル%)	—	GeO ₂ 0.83	F 0.40	GeO ₂ 0.92 F 0.35	B ₂ O ₅ 0.3	Tm ₂ O ₃ 0.12
コア比屈折率差(Δ) (%)	0.28	0.27	0.18	0.21	0.22	0.25
クラッド構造	トリプル	トリプル	ダブル	ダブル	ダブル	トリプル
ガラスクラッド(外接円) 直径(μm)	380	400	250	420	125	250
フォトダークニング損失 増加量(dB)	≤0.01	≤0.01	≤0.01	≤0.01	≤0.01	≤0.01

[0079] [表3]

	実施例 13	比較例 1	比較例 2	比較例 3
Yb ₂ O ₃ 濃度 (モル%)	0.30	0.51	0.27	0.35
P ₂ O ₅ 濃度 (モル%)	4.1	—	0.33	2.21
Al ₂ O ₃ 濃度 (モル%)	4.96	0.2	1.34	1.6
P ₂ O ₅ 濃度/Yb ₂ O ₃ 濃度	13.67	—	1.23	6.31
Al ₂ O ₃ 濃度/Yb ₂ O ₃ 濃度	16.53	0.39	4.95	4.57
Al ₂ O ₃ 濃度/P ₂ O ₅ 濃度	1.21	—	4.01	0.72
その他の含有元素 (濃度, モル%)	Nd ₂ O ₃ 0.15	GeO ₂ 0.23	—	—
コア比屈折率差(Δ) (%)	0.18	0.27	0.20	0.17
クラッド構造	トリプル	シングル	ダブル	—
ガラスクラッド(外接円) 直径(μm)	250	200	300	—
フォトダークニング損失 増加量(dB)	≤0.01	3.8	10.6	—

[0080] [表4]

	比較例 4	比較例 5	比較例 6	比較例 7	比較例 8
Yb ₂ O ₃ 濃度 (モル%)	0.45	0.22	0.28	0.26	0.48
P ₂ O ₅ 濃度 (モル%)	13.8	0.47	5.68	0.75	4.33
Al ₂ O ₃ 濃度 (モル%)	14.0	1.08	10.8	0.75	11.7
P ₂ O ₅ 濃度/Yb ₂ O ₃ 濃度	30.7	2.14	20.29	2.88	9.02
Al ₂ O ₃ 濃度/Yb ₂ O ₃ 濃度	31.1	4.91	38.57	2.88	24.38
Al ₂ O ₃ 濃度/P ₂ O ₅ 濃度	1.01	2.30	1.90	1.00	2.70
その他の含有元素 (濃度, モル%)	—	—	—	—	—
コア比屈折率差(Δ) (%)	0.27	0.30	0.55	—	0.85
クラッド構造	ダブル	ダブル	シングル	—	ダブル
ガラスクラッド(外接円) 直径(μm)	125	125	125	—	420
フォトダークニング損失 増加量(dB)	≤0.01	1.7	≤0.01	—	≤0.01

産業上の利用可能性

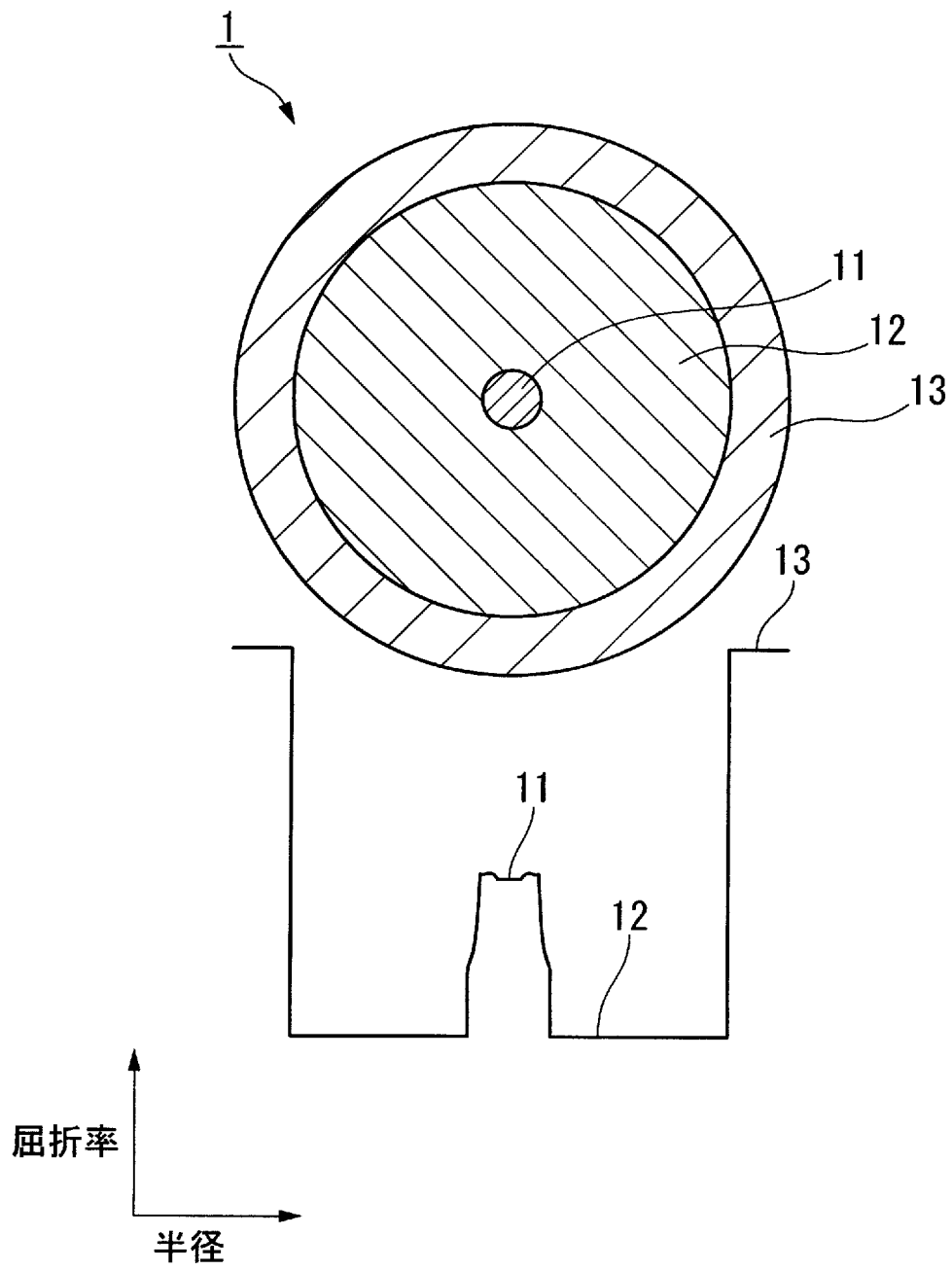
[0081] 本発明は、溶接、マーキング、切断等の材料加工用途の高出力光源用レーザ媒体として利用可能である。

請求の範囲

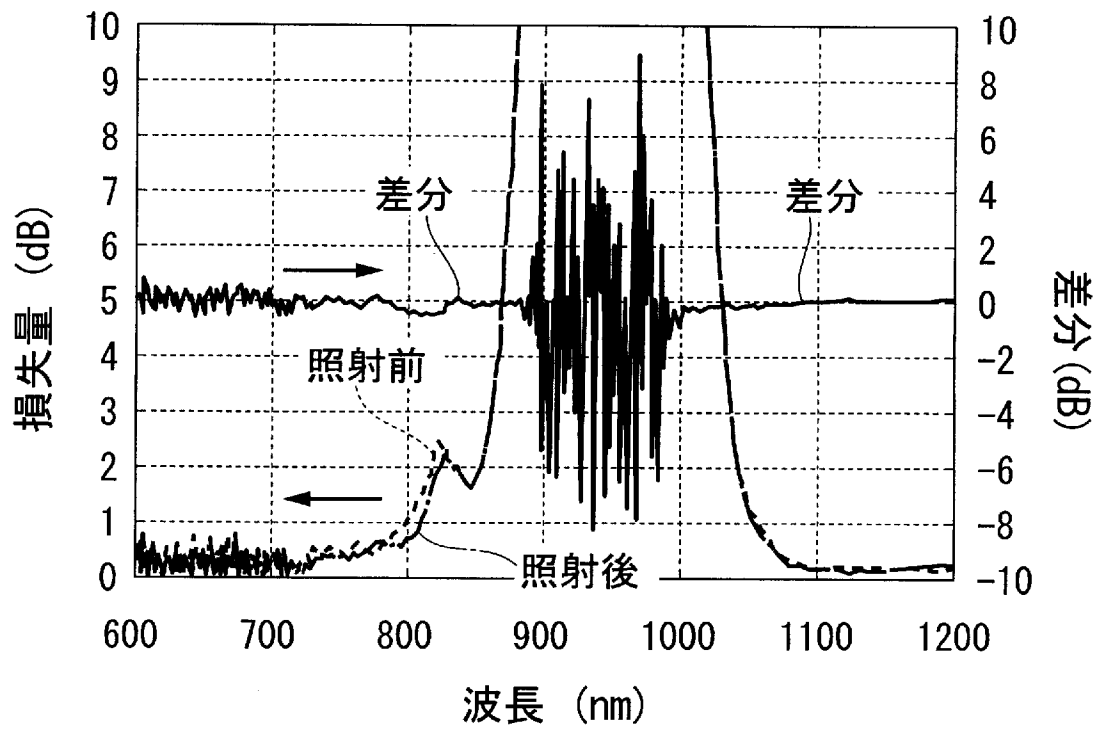
- [1] イッテルビウム、アルミニウム及びリンを少なくとも含有するコアと、このコアを囲むクラッドと、を備え、
前記コア中の、前記イッテルビウムの酸化イッテルビウム換算濃度が0.09～0.68モル%であり、
前記コア中の、前記リンの五酸化二リン換算濃度と前記酸化イッテルビウム換算濃度とのモル比が3～30であり、
前記コア中の、前記アルミニウムの酸化アルミニウム換算濃度と前記酸化イッテルビウム換算濃度とのモル比が3～32であり、
前記酸化アルミニウム換算濃度と前記五酸化二リン換算濃度とのモル比が1～2.5である
ことを特徴とするイッテルビウム添加光ファイバ。
- [2] 前記コア及び前記クラッドがシリカガラスで構成されている
ことを特徴とする請求項1に記載のイッテルビウム添加光ファイバ。
- [3] 前記五酸化二リン換算濃度と前記酸化イッテルビウム換算濃度とのモル比が5～30であり、前記酸化アルミニウム換算濃度と前記酸化イッテルビウム換算濃度とのモル比が5～32である
ことを特徴とする請求項1に記載のイッテルビウム添加光ファイバ。
- [4] 前記酸化アルミニウム換算濃度及び五酸化二リン換算濃度が、いずれも8モル%以下である
ことを特徴とする請求項1に記載のイッテルビウム添加光ファイバ。
- [5] 前記コアと前記クラッドとの比屈折率差が0.05～0.3%である
ことを特徴とする請求項1に記載のイッテルビウム添加光ファイバ。
- [6] 前記コアと前記クラッドとの比屈折率差が0.1～0.25%である
ことを特徴とする請求項5に記載のイッテルビウム添加光ファイバ。
- [7] 前記コアが、さらにゲルマニウムを含有する
ことを特徴とする請求項1に記載のイッテルビウム添加光ファイバ。
- [8] 前記コアが、さらにフッ素及び／又はホウ素を含有する

- ことを特徴とする請求項1に記載のイッテルビウム添加光ファイバ。
- [9] 前記コアが、さらにイッテルビウム以外の希土類元素及び遷移金属元素からなる群から選択される少なくとも一種を含有する
- ことを特徴とする請求項1に記載のイッテルビウム添加光ファイバ。
- [10] 前記クラッドを少なくとも二層備え、径方向内側のクラッドの屈折率が外側のクラッドの屈折率よりも高い
- ことを特徴とする請求項1に記載のイッテルビウム添加光ファイバ。
- [11] 前記クラッドを少なくとも三層備え、径方向最内側のクラッドの屈折率 $nc1$ と、最外側のクラッドの屈折率 $nc3$ と、前記最内側及び前記最外側のクラッド間の中間クラッドの屈折率 $nc2$ とが、 $nc1 > nc2 > nc3$ の関係を満たす
- ことを特徴とする請求項1に記載のイッテルビウム添加光ファイバ。
- [12] 請求項1に記載のイッテルビウム添加光ファイバを光増幅媒体として有することを特徴とするファイバレーザ。
- [13] 請求項1に記載のイッテルビウム添加光ファイバを光増幅媒体として有することを特徴とするファイバアンプ。

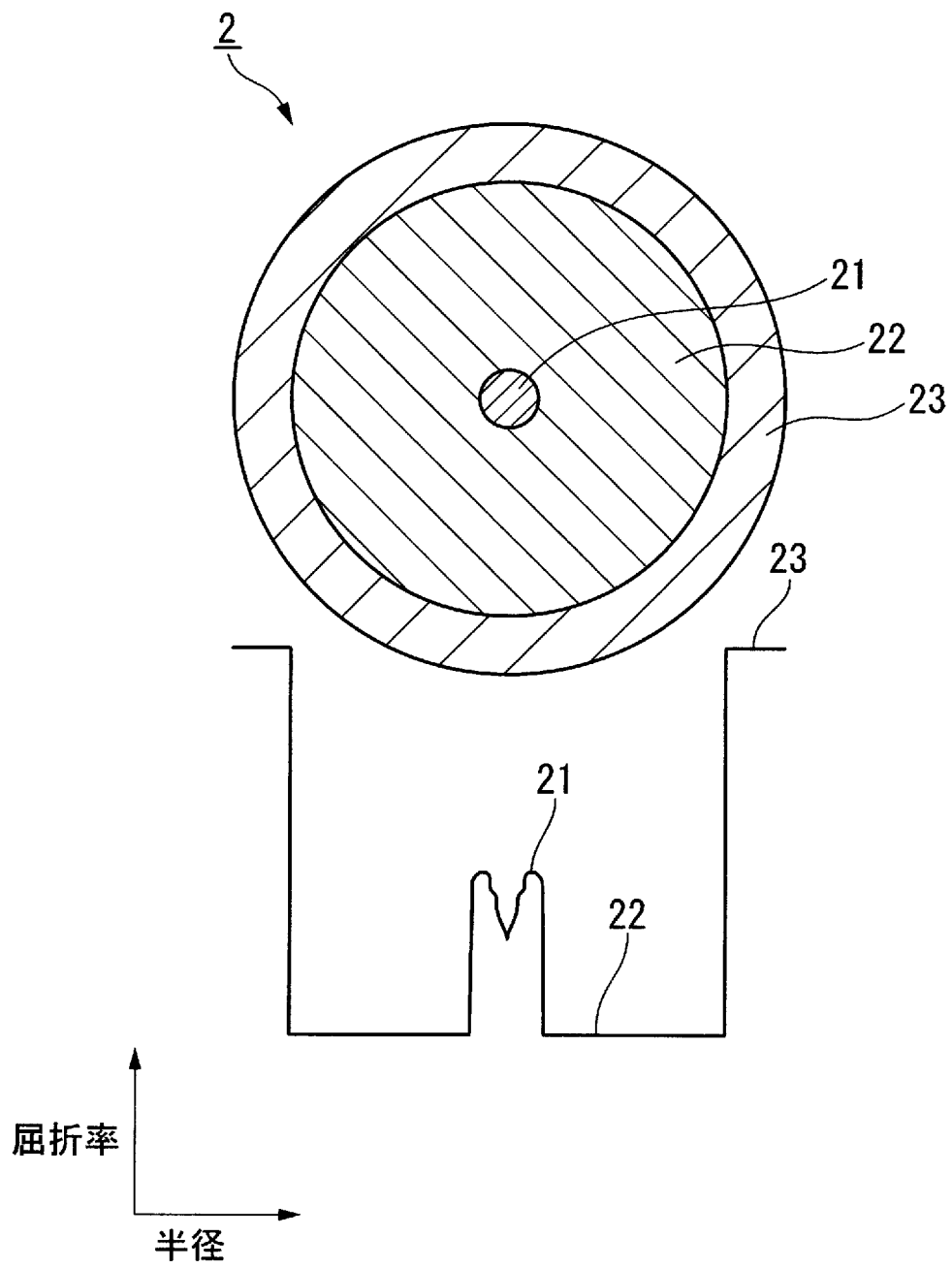
[図1]



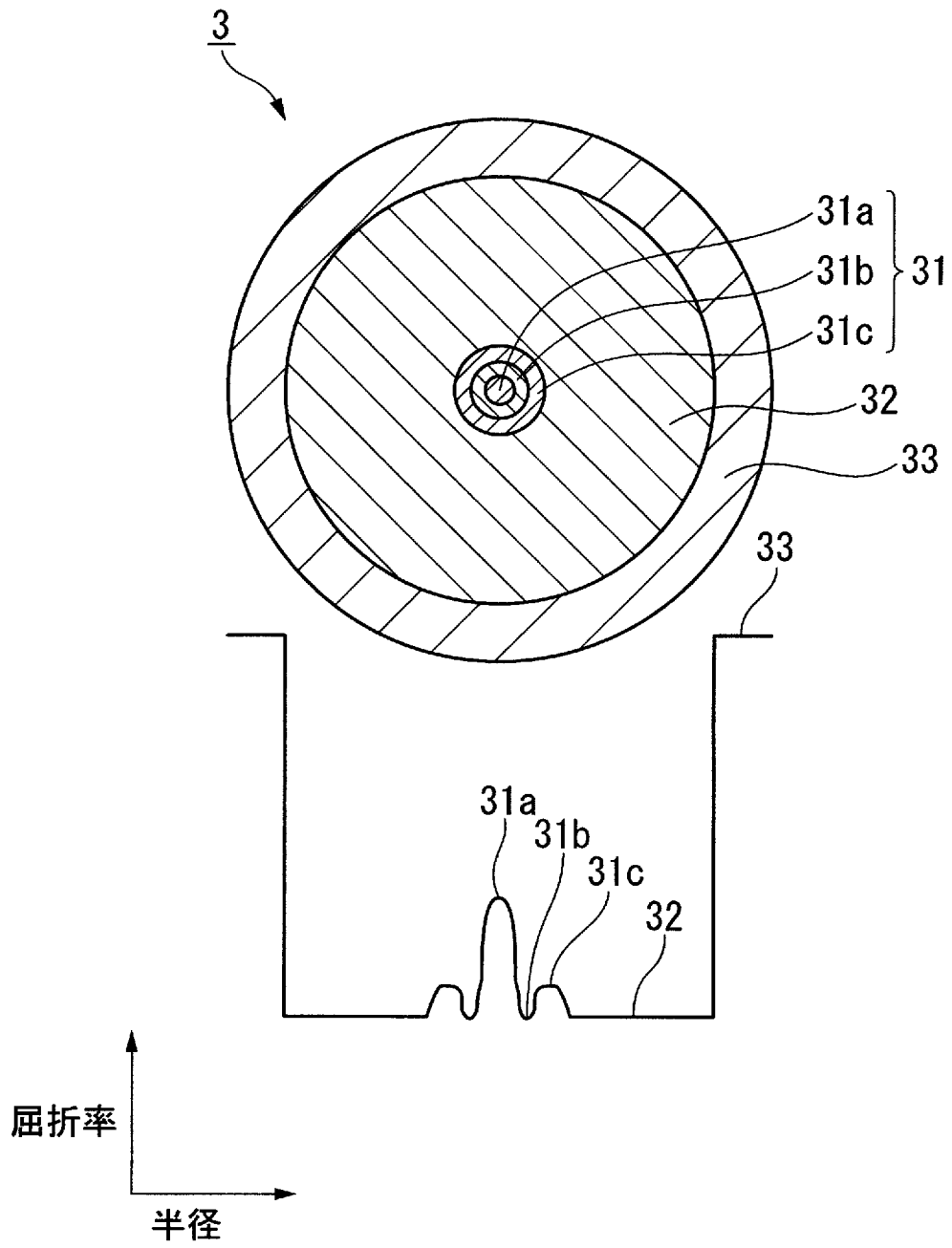
[図2]



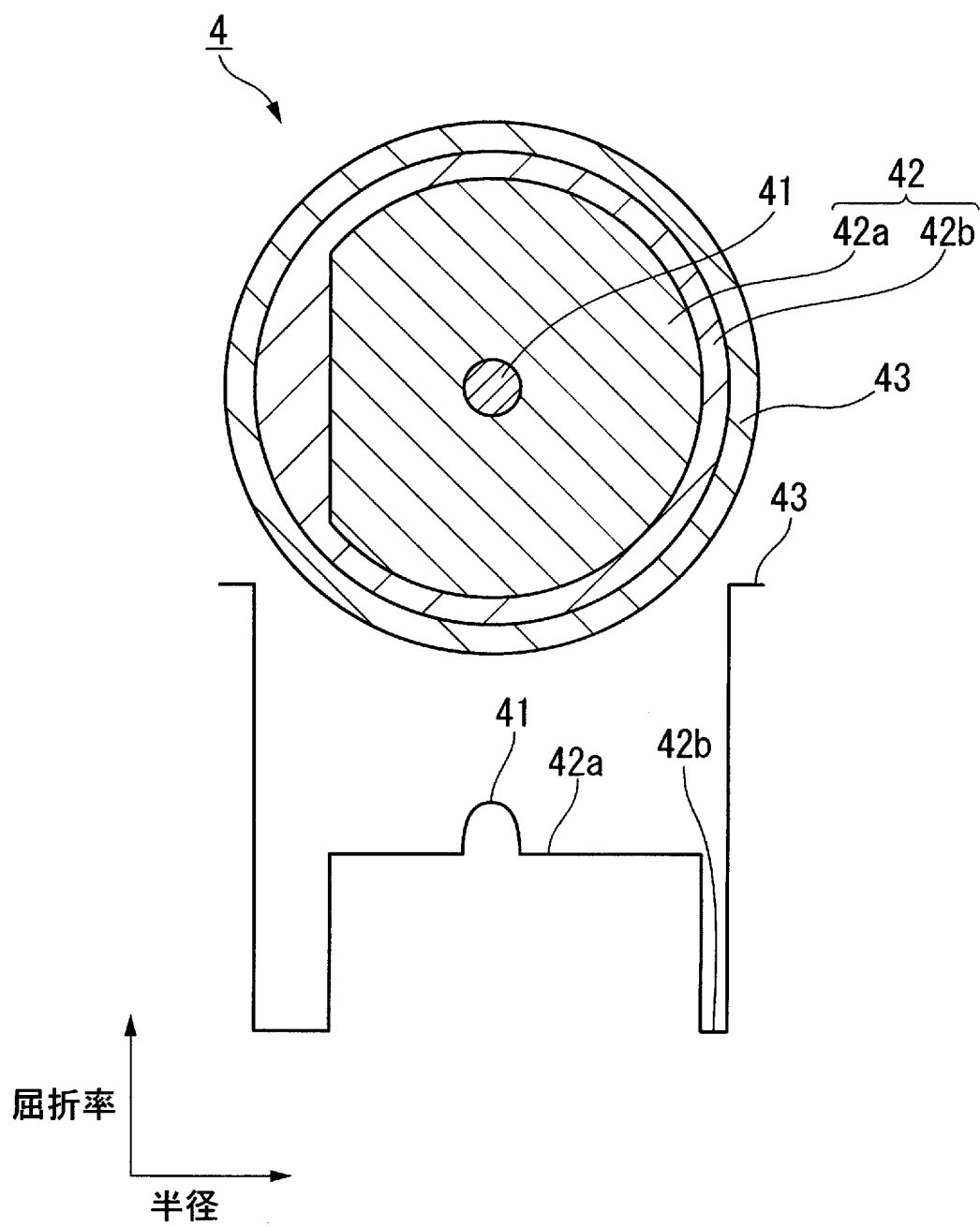
[図3]



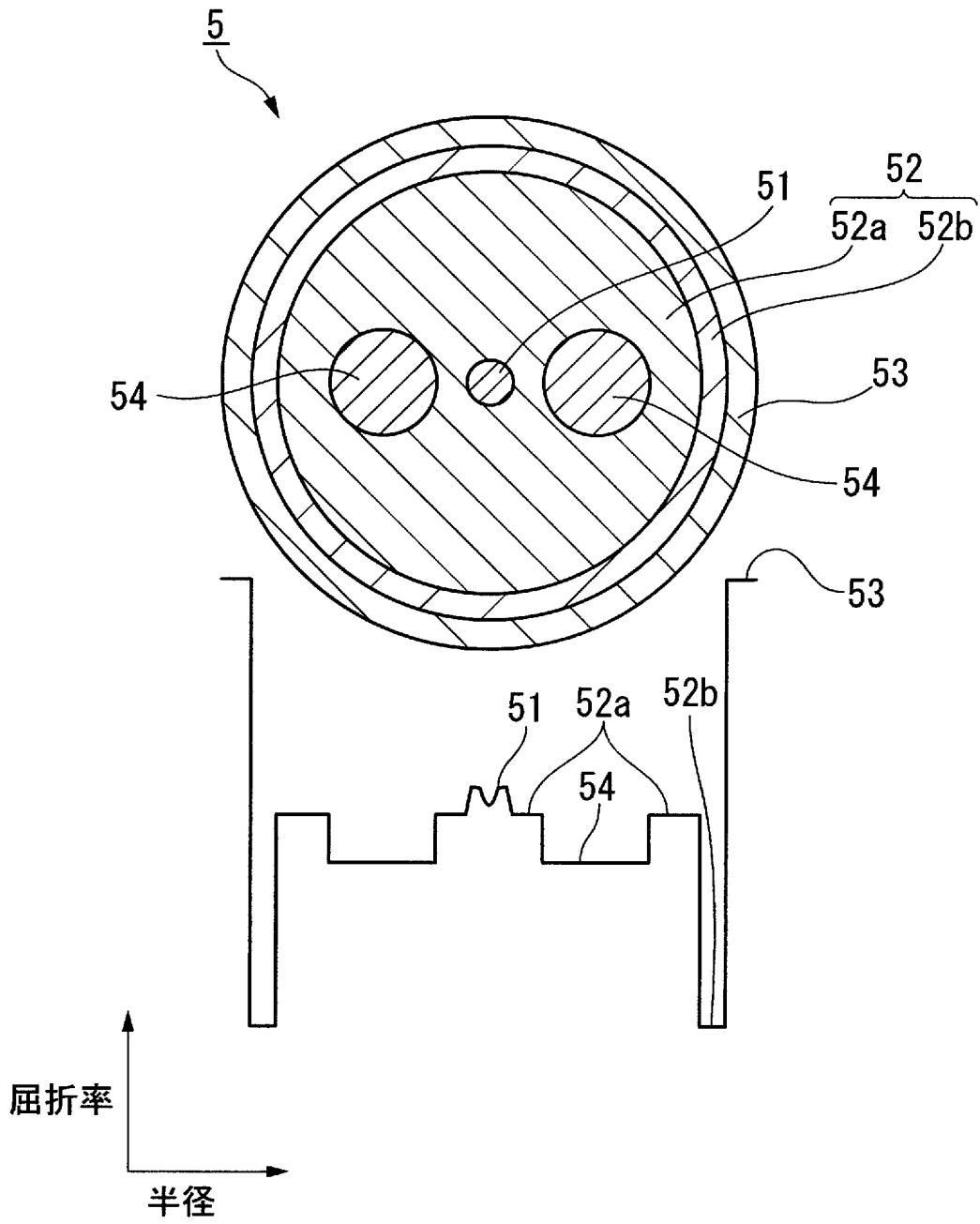
[図4]



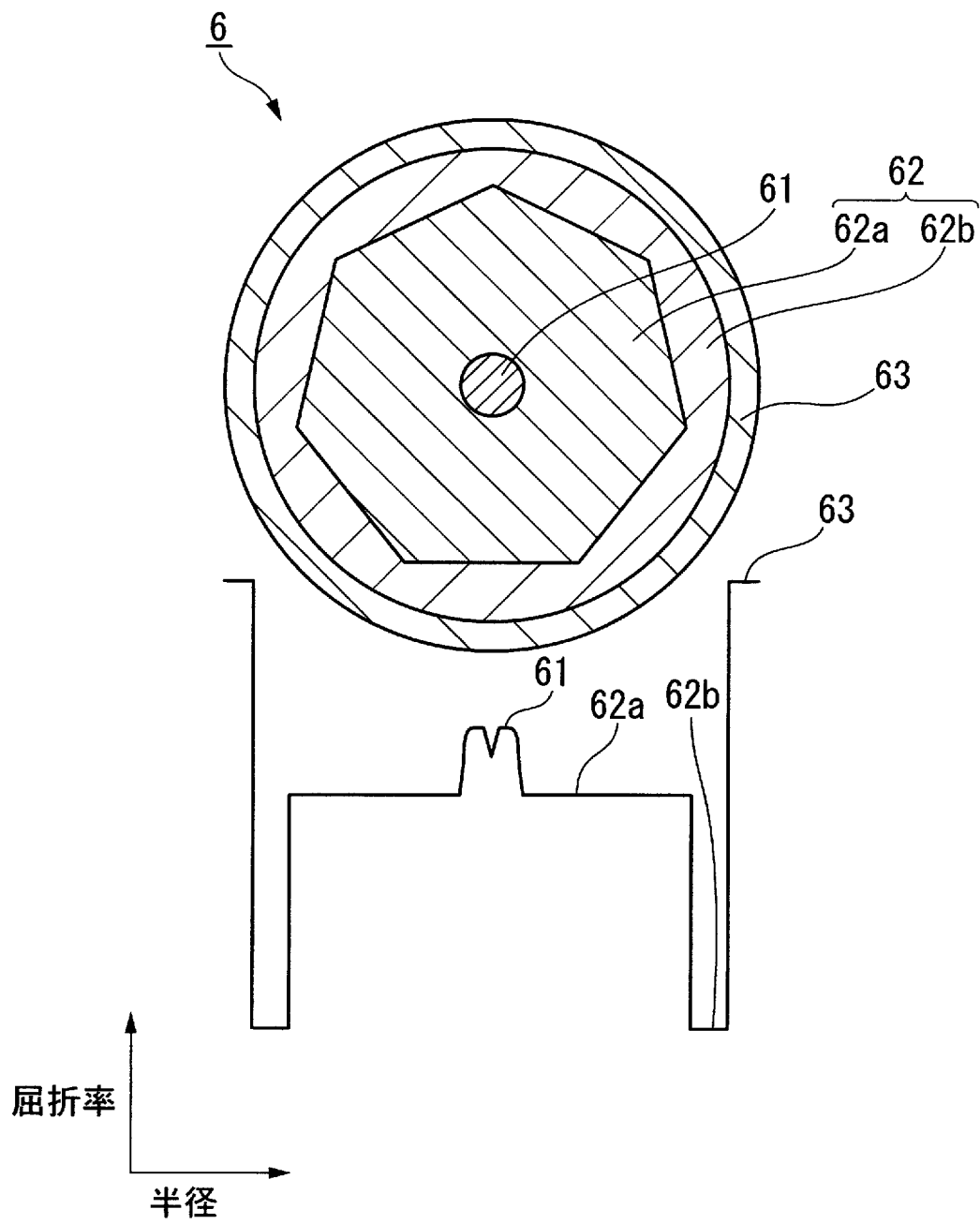
[図5]



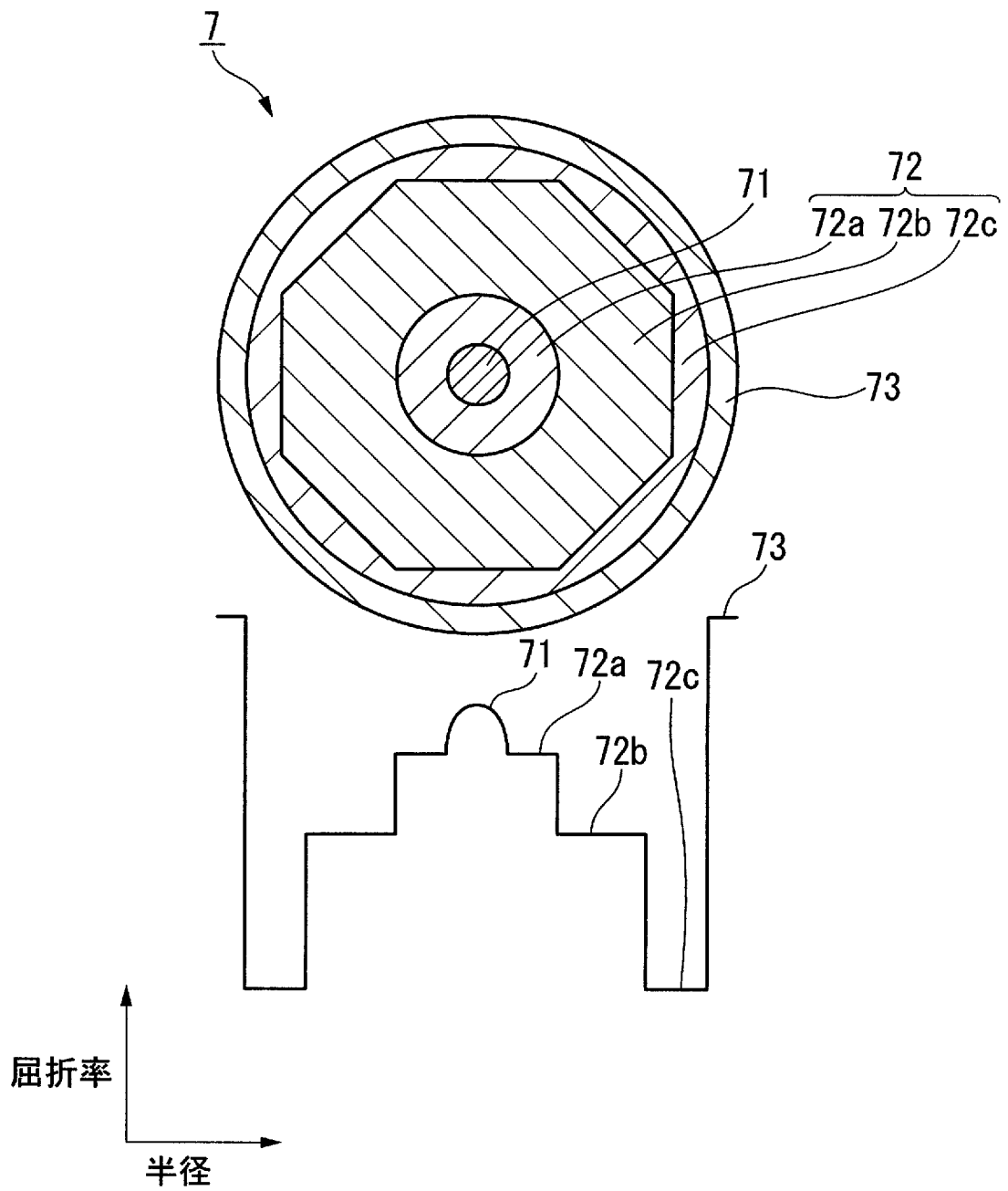
[図6]



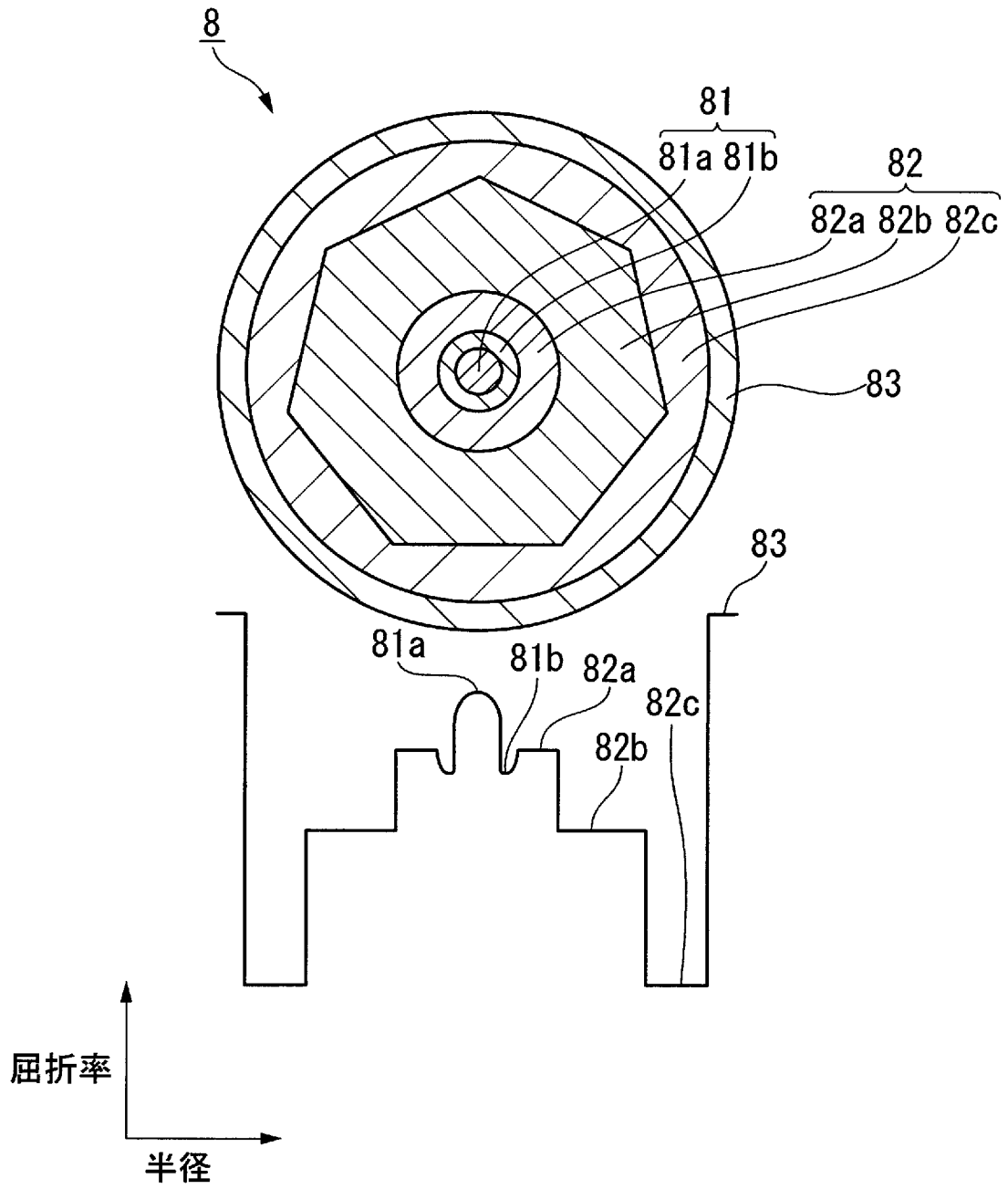
[図7]



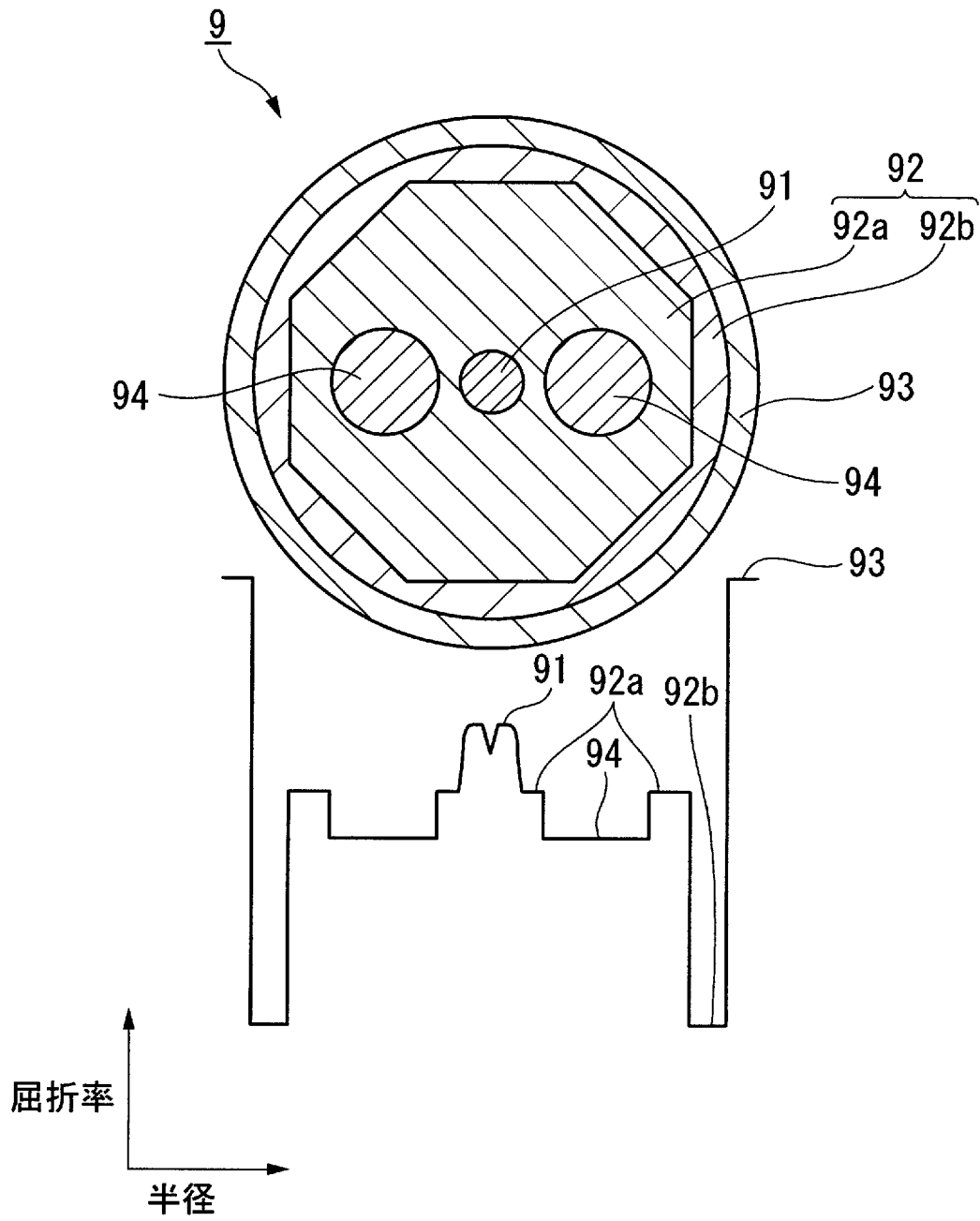
[図8]



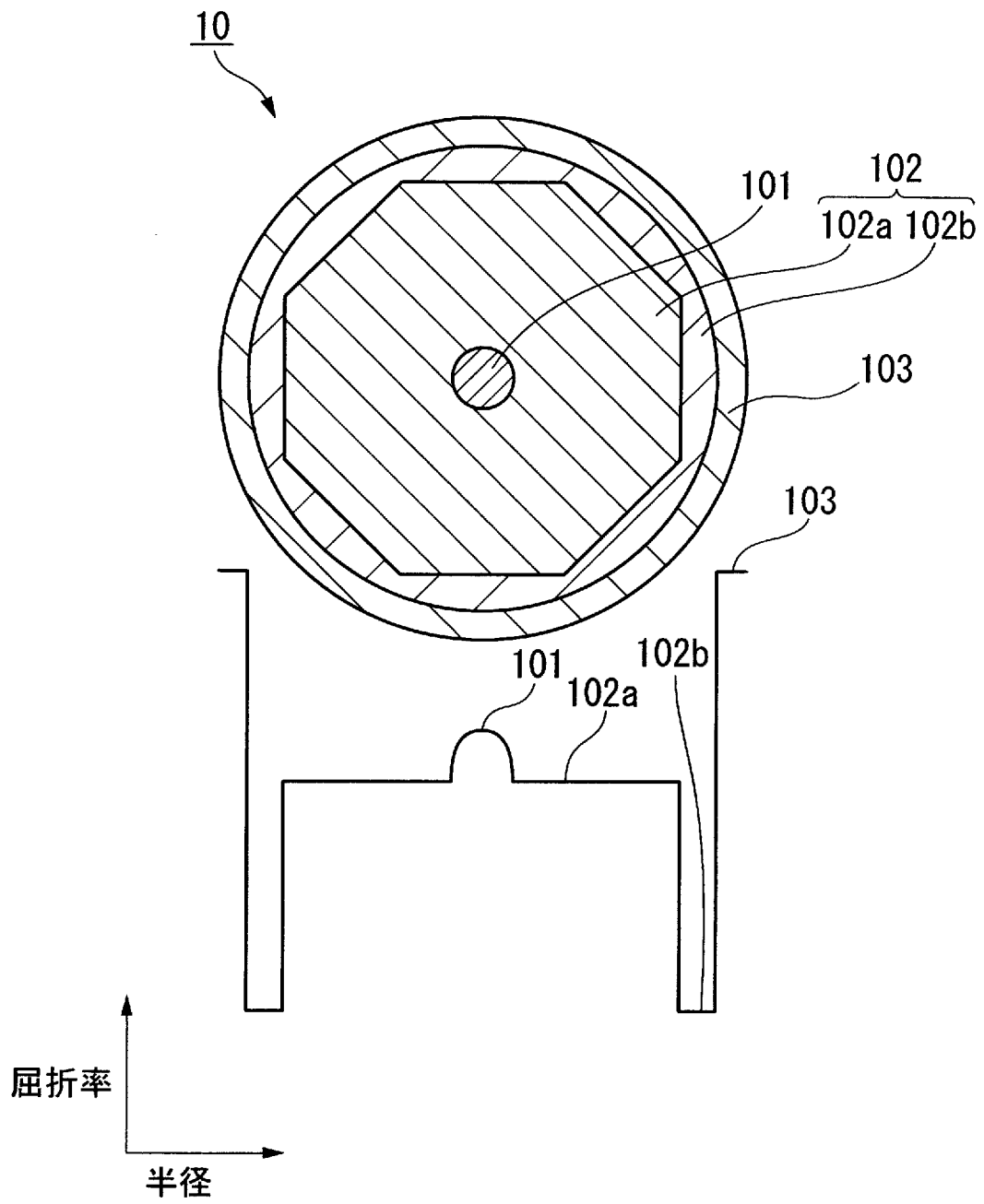
[図9]



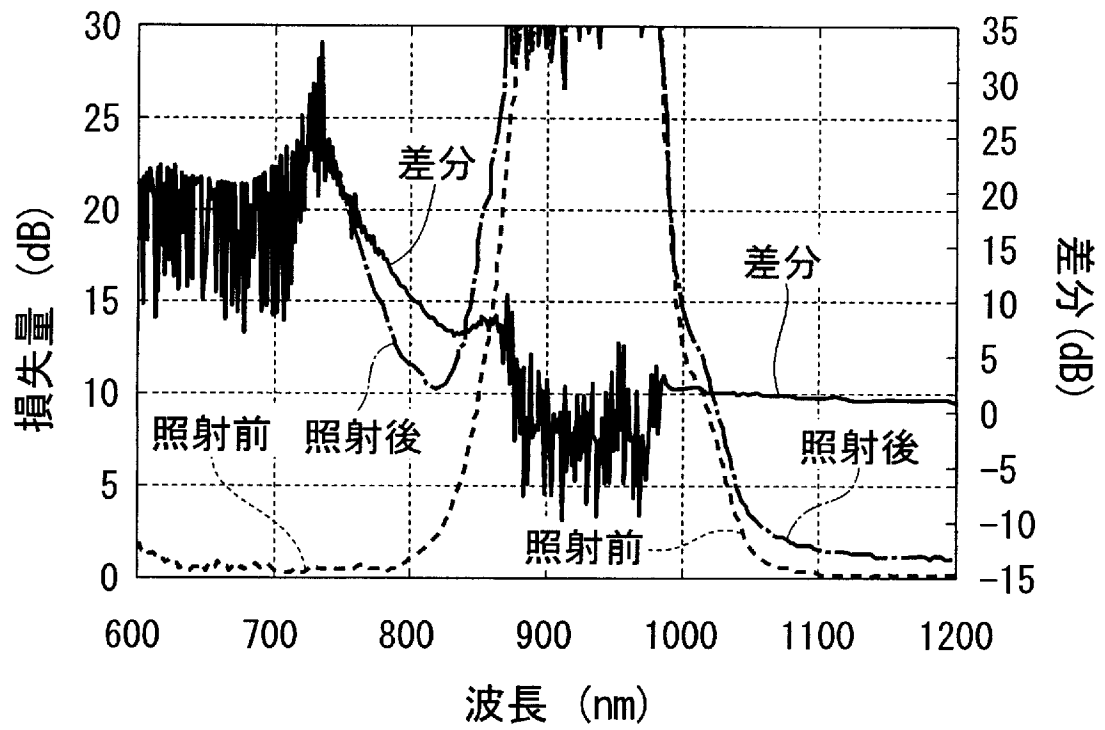
[図10]



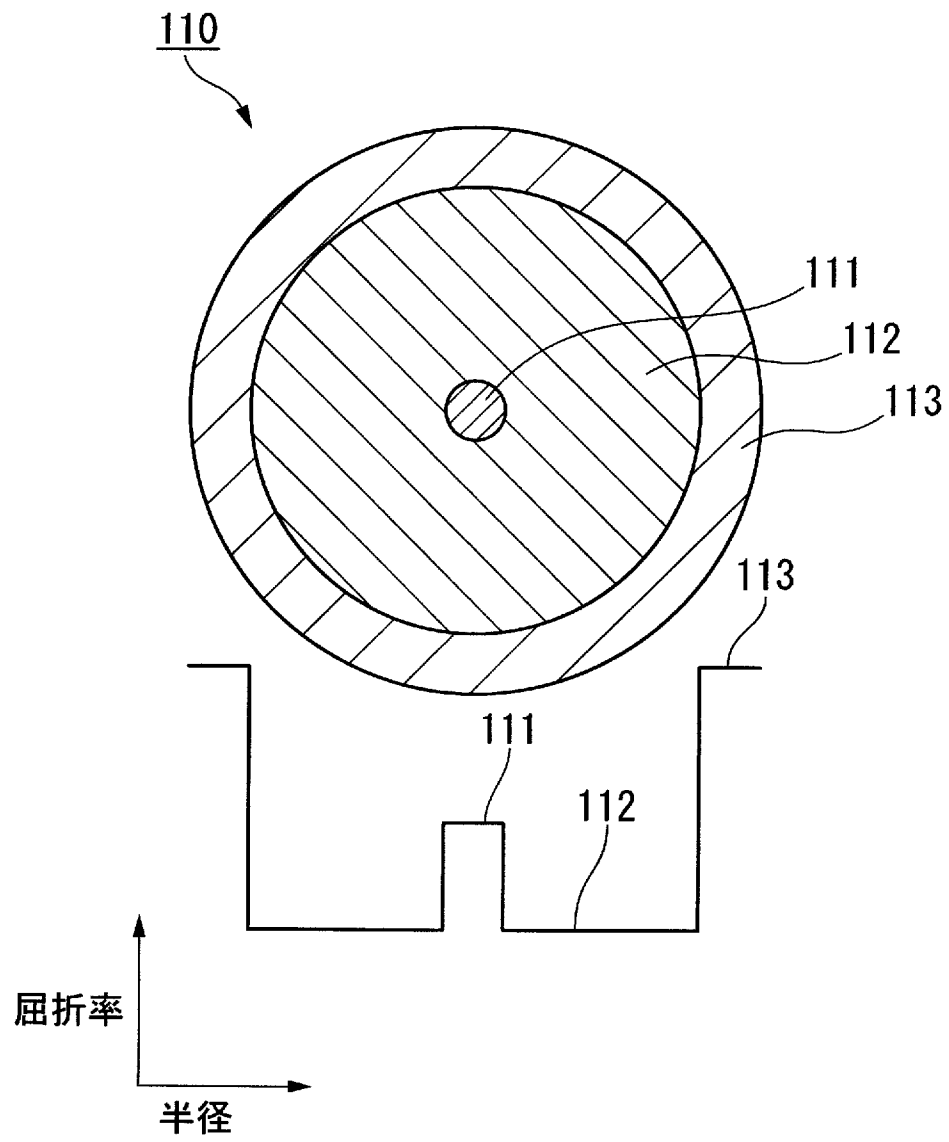
[図11]



[図12]



[図13]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2009/052756

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
H01S3/06(2006.01) i, G02B6/02(2006.01) i, G02B6/024(2006.01) i, G02B6/036(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)
H01S3/06, G02B6/02, G02B6/024, G02B6/036

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2009
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2009	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2009

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	JP 11-112070 A (Lucent Technologies Inc.), 23 April, 1999 (23.04.99), Par. Nos. [0018] to [0020], [0023], [0024] & US 5937134 A & EP 896404 A1	1-7, 9, 12, 13 8, 10, 11
Y	JP 2002-43660 A (The Furukawa Electric Co., Ltd.), 08 February, 2002 (08.02.02), Par. Nos. [0034], [0064]; Fig. 4 (Family: none)	8, 10
Y	JP 2006-519495 A (CeramOptec GmbH.), 24 August, 2006 (24.08.06), Claims & US 2004/0156401 A1 & EP 1599746 A & WO 2004/070431 A2	8, 10, 11

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 05 March, 2009 (05.03.09)	Date of mailing of the international search report 17 March, 2009 (17.03.09)
----------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------

Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office	Authorized officer
Facsimile No.	Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2009/052756

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 9-194225 A (Lucent Technologies Inc.), 29 July, 1997 (29.07.97), Par. No. [0010] & US 5966491 A & EP 776074 A2	10, 11
A	JP 1-298043 A (American Telephone and Telegraph Co.), 01 December, 1989 (01.12.89), Full text; all drawings & US 4830463 A & EP 328315 A1	1-13
A	D.J. DiGiovannia, J.B. MacChesneya and T.Y. Kometani, Structure and properties of silica containing aluminum and phosphorus near the AlPO ₄ join, Journal of Non-Crystalline Solids, 1989.11.02, Volume 113, Issue 1, pp.58-64	1-13
A	JP 2003-124547 A (Lucent Technologies Inc.), 25 April, 2003 (25.04.03), Full text; all drawings & US 6560009 B1 & US 2003/0076580 A1 & EP 1286433 A1	1-13

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, G02B6/02(2006.01)i, G02B6/024(2006.01)i, G02B6/036(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. H01S3/06, G02B6/02, G02B6/024, G02B6/036

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 1971-2009年
 日本国実用新案登録公報 1996-2009年
 日本国登録実用新案公報 1994-2009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 請求の範囲の番号
X	JP 11-112070 A (ルーセント テクノロジーズ インコーポレイテッド) 1999.04.23, 【0018】 - 【0020】, 【0023】, 【0024】 & US	1-7, 9, 12, 13
Y	5937134 A & EP 896404 A1	8, 10, 11
Y	JP 2002-43660 A (古河電気工業株式会社) 2002.02.08, 【0034】, 【0064】, 図4 (ファミリーなし)	8, 10

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 05.03.2009
 国際調査報告の発送日 17.03.2009

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) 傍島 正朗 電話番号 03-3581-1101 内線 3255	2K	3719
-------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------	----	------

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	JP 2006-519495 A (セラムオプテック ゲーエムベーハー) 2006.08.24, 特許請求の範囲 & US 2004/0156401 A1 & EP 1599746 A & WO 2004/070431 A2	8, 10, 11
Y	JP 9-194225 A (ルーセント テクノロジーズ インコーポレイテッ ド) 1997.07.29, 【0010】 & US 5966491 A & EP 776074 A2	10, 11
A	JP 1-298043 A (アメリカン テレフォン アンド テレグラフ カ ムパニー) 1989.12.01, 全文全図 & US 4830463 A & EP 328315 A1	1-13
A	D. J. DiGiovannia, J. B. MacChesneya and T. Y. Kometani, Structure and properties of silica containing aluminum and phosphorus near the AlPO4 join, Journal of Non-Crystalline Solids, 1989.11.02, Volume 113, Issue 1, pp.58-64	1-13
A	JP 2003-124547 A (ルーセント テクノロジーズ インコーポレイ テッド) 2003.04.25, 全文全図 & US 6560009 B1 & US 2003/0076580 A1 & EP 1286433 A1	1-13