

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5436426号
(P5436426)

(45) 発行日 平成26年3月5日(2014.3.5)

(24) 登録日 平成25年12月20日(2013.12.20)

(51) Int.Cl.		F I			
HO 1 S	3/067	(2006.01)	HO 1 S	3/06	B
GO 2 B	6/00	(2006.01)	GO 2 B	6/00	3 7 6 A

請求項の数 11 (全 31 頁)

(21) 出願番号	特願2010-522121 (P2010-522121)	(73) 特許権者	000005186
(86) (22) 出願日	平成21年11月16日(2009.11.16)		株式会社フジクラ
(86) 国際出願番号	PCT/JP2009/006136		東京都江東区木場1丁目5番1号
(87) 国際公開番号	W02010/055696	(74) 代理人	100064908
(87) 国際公開日	平成22年5月20日(2010.5.20)		弁理士 志賀 正武
審査請求日	平成22年6月8日(2010.6.8)	(74) 代理人	100108578
(31) 優先権主張番号	PCT/JP2009/052756		弁理士 高橋 詔男
(32) 優先日	平成21年2月18日(2009.2.18)	(74) 代理人	100089037
(33) 優先権主張国	日本国(JP)		弁理士 渡邊 隆
(31) 優先権主張番号	特願2008-292013 (P2008-292013)	(72) 発明者	中熊 映乃
(32) 優先日	平成20年11月14日(2008.11.14)		千葉県佐倉市六崎1440番地 株式会社
(33) 優先権主張国	日本国(JP)	(72) 発明者	市井 健太郎
			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
			最終頁に続く

(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

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

イッテルビウム、アルミニウム及びリンを含有し、かつゲルマニウムを含有しないコアと、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、前記リンの五酸化ニリン換算濃度の前記酸化イッテルビウム換算濃度に対するモル比が5.79~30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の前記酸化イッテルビウム換算濃度に対するモル比が7.61~32であり、

前記酸化アルミニウム換算濃度の前記五酸化ニリン換算濃度に対するモル比が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。

【請求項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。

【請求項3】

前記酸化アルミニウム換算濃度及び五酸化ニリン換算濃度が、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。

10

20

【請求項 4】

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。

【請求項 5】

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 4 に記載のイッテルビウム添加光ファイバ。

【請求項 6】

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。

【請求項 7】

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

【請求項 8】

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。

【請求項 9】

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 n_{c1} と、最外側のクラッドの屈折率 n_{c3} 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 n_{c2} とが、 $n_{c1} > n_{c2} > n_{c3}$ 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。

20

【請求項 10】

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。

【請求項 11】

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。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

30

【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、この希土類元素に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。

40

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。

50

【 0 0 0 3 】

図 1 3 は、従来の Y b 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 Y b 添加光ファイバ 1 1 0 は、シングルクラッドファイバであり、コア 1 1 1 の外周上にクラッド 1 1 2 を設け、このクラッド 1 1 2 の外周上に保護被覆層 1 1 3 を設けたものである。Y b 添加光ファイバ 1 1 0 では、導波する光を閉じ込めるために、コア 1 1 1 の屈折率がクラッド 1 1 2 の屈折率よりも高くなっている。コア 1 1 1 の屈折率を高くするためには、通常、ゲルマニウム (G e)、アルミニウム (A l)、リン (P) 等の屈折率上昇ドーパントがコア 1 1 1 に添加される。さらに、コア 1 1 1 には光増幅作用を有するドーパントとして、Y b が添加される。Y b は、通常、コア 1 1 1 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 1 1 2 の一部に添加されても良い。

10

このような Y b 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。

【 0 0 0 4 】

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 Y b 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かつ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 Y b 添加光ファイバを使用することが多い。

20

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。非特許文献 1 には、シングルモード伝播させるための光導波路の条件についての詳細な開示がある。非特許文献 1 には、開口数 (N A) とコア直径とに関してシングルモード伝播を満足すべき関係が示されている。例えば、コア直径を 2 0 μ m とした場合、N A は約 0 . 0 4 以下である必要がある。N A とコアの屈折率とには、近似的に以下の式 (1) で表される関係が成立している。

$$NA = n_1 \sqrt{2\Delta} \quad \dots (1)$$

30

この式 (1) によると、コア直径を 2 0 μ m とした場合、比屈折率差としては、0 . 0 3 5 % 以下である必要がある。また、コア直径を 1 0 μ m とした場合でも、比屈折率差としては 0 . 1 5 % 以下である必要がある。

一方、光増幅媒体としての性能を考慮すると、増幅用光ファイバが、より高パワーの光を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を比較すると、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。

40

【 0 0 0 5 】

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 2 及び 3 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、

50

経時に伴い出力が低下して、寿命が短くなってしまふ。

【0006】

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2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3には、光ファイバ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4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。

特許文献2には、光ファイバのコア中に、希土類元素とゲルマニウムとアルミニウムとリンとを添加することで、コアとクラッドとの屈折率差が小さくなること、および希土類元素の再結晶化が抑制されることが開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0007】

【特許文献1】特開2007-114335号公報

【特許文献2】特開平11-112070号公報

【非特許文献】

【0008】

【非特許文献1】Ming-Jun Li, et. al., Effective Area Limit for Large Mode Area Laser Fibers, The Proceedings of OFC 2008, OTuJ2 (2008)

【非特許文献2】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3】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4】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)

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

しかし、非特許文献2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、製造方法が特殊であり、この方法では原理的に脱水が十分にできない。その結果、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、この製造方法で作製された光ファイバでは、このOH基に起因する損失が大きくなってしまふ。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ふので、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、多量のアルミニウムの添加が必要となる。その結果、光ファイバのコアの屈折率が高くなってしまふ。ファイバ型光増幅器やファイバレーザに使用される希土類添加光ファイバは、シングルモード伝搬または少数モード伝搬の条件下で使用されることが一般的である。したがって、コアの屈折率が高い場合、相対的にコア径を小さくしなければならない。コア径が小さいことは、光ファイバの有効コア断面積 (A_{eff}) が小さくなることから、伝搬する

10

20

30

40

50

光のパワー密度が高くなって非線形光学効果が発現しやすい。すなわち、非線形光学効果による波長変換が生じて、所望の出力光が得られないという問題があった。

非特許文献 4 に記載の方法では、フォトダークニングを十分に抑制するために、多量のリンの添加が必要となる。この場合も、非特許文献 3 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ふ。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、非線形光学効果が発現しやすくなり、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。

10

特許文献 2 ではフォトダークニングの抑制に関して記載がなく、上記元素らを特許文献 2 に記載の濃度範囲でコアに添加したのみでは、フォトダークニングを十分に抑制できない虞があるのみならず、コアの屈折率が高くなり光ファイバの有効コア断面積 (A_{eff}) が小さくなって、非線形光学効果による波長変換が生じて、所望の出力光が得られなくなる虞がある。

【0010】

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】

20

【0011】

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含有し、かつゲルマニウムを含有しないコアと、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 $0.09 \sim 0.68$ 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の前記酸化イッテルビウム換算濃度に対するモル比が $5.79 \sim 30$ 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の前記酸化イッテルビウム換算濃度に対するモル比が $7.61 \sim 32$ であり、前記酸化アルミニウム換算濃度の前記五酸化二リン換算濃度に対するモル比が $1 \sim 2.5$ である。

30

(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。

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

(5) 上記(4)の場合、前記コアと前記クラッドとの比屈折率差が $0.1 \sim 0.25\%$ であるのが好ましい。

(6) 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。

(7) 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のが好ましい。

40

(8) 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。

(9) 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 n_{c1} と、最外側のクラッドの屈折率 n_{c3} 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 n_{c2} とが、 $n_{c1} > n_{c2} > n_{c3}$ の関係を満たすのが好ましい。

(10) 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。

(11) 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】

50

【 0 0 1 2 】

上記(1)または(2)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 】

【 0 0 1 3 】

【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。

10

【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。

20

【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。

30

【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。

【図14】図14は、比較例9～11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。

【 発明を実施するための形態 】

【 0 0 1 4 】

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。

40

【 0 0 1 5 】

< 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とを備える。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。

50

(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。

【0016】

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。

10

【0017】

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 のみを含む光ファイバは、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。

20

【0018】

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ンプやファイバレーザへ適用した場合に、概ね 10 dB 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 () を 0.3 % 以下にできる。

30

【0019】

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 0.01 dB 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 () を 0.3 % 以下とすることができ、光損失を 50 dB / 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。

【0020】

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。

40

【0021】

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 () を 0.3 % 以下とすることが

50

でき、良好な特性を有する Y b 添加光ファイバが得られる。

【 0 0 2 2 】

コア中の $A l_2 O_3$ 換算濃度は、8 モル% 以下であることが好ましい。A l 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 5 0 d B / k m 以下にできる。

同様の理由により、コア中の $P_2 O_5$ 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、 $A l_2 O_3$ 換算濃度及び $P_2 O_5$ 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。

10

【 0 0 2 3 】

コアとクラッドとの比屈折率差 () は、0 . 0 5 ~ 0 . 3 % であることが好ましく、0 . 1 ~ 0 . 2 5 % 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 . 2 5 % 以下とすることで、一層高出力の光が得られる。一方、0 . 0 5 % 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。

20

「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。

【 0 0 2 4 】

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。

【 0 0 2 5 】

コアには、Y b、A l 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、Y b 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。

30

例えば、コアにゲルマニウム (以下、G e と略記することがある) を含有させることで、Y b 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。

40

【 0 0 2 6 】

前記希土類元素は、従来の Y b 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 (E r)、ツリウム (T m)、イットリウム (Y)、ホルミウム (H o)、サマリウム (S m)、プラセオジウム (P r) 及びネオジウム (N d) 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。

【 0 0 2 7 】

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。

50

【0028】

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、0.3~0.59モル%であることがより好ましい。0.1~1.1モル%の二酸化ゲルマニウム(GeO_2)換算濃度は、コア中のGe濃度0.035~0.37モル%に相当する。 GeO_2 の添加は、1モル%あたり比屈折率で約0.1%の屈折率の上昇を生じさせる。従って、導波光学的な設計から所望される、ある屈折率を得るためには、同様に屈折率上昇作用を持つ五酸化二リンや酸化アルミニウム、酸化イッテルビウム等のドーブ量を相対的に減らす必要がある。本発明では、五酸化二リンと酸化アルミニウムの共添加による屈折率の低下効果を用いているため、酸化アルミニウムを減らす、もしくは酸化イッテルビウムのドーブ量を相対的に減らすことで、コアの屈折率を下げる。例えば二酸化ゲルマニウムを2モル%添加すると、コアの比屈折率が約0.2%上昇するので、酸化アルミニウム、酸化イッテルビウムのいずれか1つまたは両方を、比屈折率が約0.2%分減少するように、これらのドーブ量を減らして作製する必要がある。酸化アルミニウムを減らすと、ガラスの結晶化により光ファイバの製品製造が不可能になる。また、酸化イッテルビウムを減らすと、光の増幅効果がその分少なくなる。従って、これらの添加量を減らすのは望ましくない。例えば、コアとクラッドとの比屈折率差0.25%の設計でイッテルビウム添加ファイバを作製した場合、上述のように二酸化ゲルマニウムを2モル%添加すると、比屈折率が0.2%減少するように酸化アルミニウムや酸化イッテルビウムのドーブ量を減らす必要がある。例えば、酸化アルミニウムの添加量の削減のみで比屈折率を0.2%分減らすとなると、酸化アルミニウム1.4モル%分の削減が必要となる。この場合だと、ガラスの結晶化が発生し、製品を製造できなくなる。また、酸化イッテルビウムの削減のみでは、もともと酸化イッテルビウムの濃度(添加量)が多くないので、比屈折率0.2%の削減はできない。以上から、多量の GeO_2 の添加は望ましくないことが多い。一方、 GeO_2 の添加量が少ないと、添加の目的を十分に発揮できない。例えば、本ファイバにグレーティングを付与することを考えると、最低限 GeO_2 が0.1モル%は必要であり、0.3モル%以上あるとより好適である。一方で、1.1モル%程度あれば、グレーティングを付与するのに十分であるが、上記多量の GeO_2 の弊害を勘案すると、0.59モル%以下であるとより好適である。

二酸化ゲルマニウムを0.6モル%添加すると、コアの比屈折率が約0.06%上昇する。したがって、比屈折率が約0.06%分減少するように、酸化アルミニウム、酸化イッテルビウムのいずれか1つまたは複数のドーブ量を減らして光ファイバを作製する必要がある。酸化アルミニウムを減らすと、上述したようにガラスの結晶化により製品製造が不可能になる。また、酸化イッテルビウムを減らすと、光の増幅効果がその分少なくなるので、望ましくない。例えば、コアとクラッドとの比屈折率差0.20%の設計でイッテルビウム添加ファイバを作製し、二酸化ゲルマニウムを0.6モル%添加した場合、酸化アルミニウム、酸化イッテルビウムのドーブ量を、比屈折率が0.06%分減少するように、これらの添加量を削減する必要がある。例えば、酸化アルミニウムのみで0.06%分減少することになると、0.4モル%分酸化アルミニウムの削減が必要となる。この場合も、上述したようにガラスの結晶化が発生し製品を製造できなくなる。また、酸化イッテルビウムの削減のみでは、もともと酸化イッテルビウムの濃度(添加量)が多くないので、比屈折率が0.06%減少するようにこの添加量を削減すると、光の増幅効率が低下してしまい、所望の出力が得られなくなる。

なお、二酸化ゲルマニウム、五酸化二リン、酸化アルミニウムを含む組成の光ファイバについては、上記特許文献2に開示があるものの、本発明の効果となるフォトダークニングに関しては開示されておらず、また、特許文献2の実施例には、比屈折率が0.29%以下の組成比に関しての開示がなされていない。従って、特許文献2に記載の内容では、コアの屈折率を十分に下げることができず、コアガラスの損傷や光学的非線形現象を避ける

10

20

30

40

50

ことと、シングルモード伝搬の両立とを実現するのが困難である。

以上のことから、グレーティングを付与する等、 GeO_2 を添加する特段の目的が無い場合には、 GeO_2 は極力添加しないことが望ましい。なぜなら、前述の通り、 GeO_2 を添加してもフォトダークニングに特段の影響を与えないにもかかわらず、 GeO_2 の添加により屈折率の上昇を伴ってしまうためである。その結果、実効断面積の拡大に反し、耐パワー性が低くなってしまふ。同様に、AlとP以外の、屈折率上昇剤(Ti等)もその元素を添加する効果が特段認められないときには、屈折率上昇元素は極力添加しないことが望ましい。

【0029】

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。

10

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。

20

【0030】

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。

30

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。

【0031】

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。

【0032】

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。

40

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。

50

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 n_{c1} と、最外側のクラッドの屈折率 n_{c3} 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 n_{c2} とが、 $n_{c1} > n_{c2} > n_{c3}$ 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。

【0033】

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、 $4 \sim 50 \mu\text{m}$ であることが好ましく、 $8 \sim 43 \mu\text{m}$ であることがより好ましい。

10

【0034】

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 $\text{B}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ 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。

20

【0035】

<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。

【0036】

30

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】

【0037】

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。

40

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 340 dB 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 976 nm の励起光を入射光量が 400 mW となるように 100 分間照射した。そして、波長 800 nm 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。

【0038】

[実施例1]

50

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。

【0039】

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。

【0040】

コアのYb₂O₃は0.46モル%、P₂O₅/Yb₂O₃は6.61、Al₂O₃/Yb₂O₃は15.92、Al₂O₃/P₂O₅は2.41であった。また、コアの比屈折率差()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。

【0041】

[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。

【0042】

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。

【0043】

コアのYb₂O₃は0.38モル%、P₂O₅/Yb₂O₃は29.71、Al₂O₃/Yb₂O₃は31.06、Al₂O₃/P₂O₅は1.05であった。また、コアの比屈折率差()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。

【0044】

[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

10

20

30

40

50

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。

【0045】

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。

コアのYb₂O₃は0.09モル%、P₂O₅/Yb₂O₃は22.33、Al₂O₃/Yb₂O₃は28.00、Al₂O₃/P₂O₅は1.25であった。また、コアの比屈折率差()は0.07%であった。

10

【0046】

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。

【0047】

20

[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。

【0048】

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。

30

【0049】

コアのYb₂O₃は0.52モル%、P₂O₅/Yb₂O₃は3.04、Al₂O₃/Yb₂O₃は3.10、Al₂O₃/P₂O₅は1.02であった。また、コアの比屈折率差()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。

40

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。

【0050】

[実施例5]

50

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。

【0051】

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 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。

【0052】

コアのYb₂O₃は0.33モル%、P₂O₅/Yb₂O₃は3.02、Al₂O₃/Yb₂O₃は5.34、Al₂O₃/P₂O₅は1.76であった。また、コアの比屈折率差()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。

【0053】

[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。

【0054】

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 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。

【0055】

コアのYb₂O₃は0.39モル%、P₂O₅/Yb₂O₃は11.98、Al₂O₃/Yb₂O₃は18.34、Al₂O₃/P₂O₅は1.53であった。また、コアの比屈折率差()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 Y b 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 1.22 W 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 Y b 添加光ファイバと、その評価結果を表 1 に示す。

【 0 0 5 6 】

[実施例 7]

図 8 に示す構造の Y b 添加光ファイバを作製した。図 8 は、Y b 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。Y b 添加光ファイバ 7 は、三層構造のクラッド 7 2 を有するトリプルクラッドファイバであり、コア 7 1 の外周上に最内側クラッド 7 2 a が設けられ、最内側クラッド 7 2 a の外周上に中間クラッド 7 2 b が設けられ、中間クラッド 7 2 b の外周上に最外側クラッド 7 2 c が設けられ、最外側クラッド 7 2 c の外周上に保護被覆層 7 3 が設けられたものである。また、中間クラッド 7 2 b の断面形状は正八角形状であり、コア 7 1、最内側クラッド 7 2 a、中間クラッド 7 2 b 及び最外側クラッド 7 2 c は同心状に配置されている。

【 0 0 5 7 】

ファイバプリフォームは、VAD法で作製した。また、Y b 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 μm 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。

【 0 0 5 8 】

コアの Y b₂O₃ は 0.68 モル%、P₂O₅ / Y b₂O₃ は 17.79、Al₂O₃ / Y b₂O₃ は 18.87、Al₂O₃ / P₂O₅ は 1.06 であった。また、コアの比屈折率差 () 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 Y b 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、0.01 dB 以下であった。

また、得られた Y b 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 2.2 W 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 Y b 添加光ファイバと、その評価結果を表 2 に示す。

【 0 0 5 9 】

[実施例 8]

図 9 に示す構造の Y b 添加光ファイバを作製した。図 9 は、Y b 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。Y b 添加光ファイバ 8 は、二層構造のコア 8 1 及び三層構造のクラッド 8 2 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 8 1 a の外周上にリンググルーブ 8 1 b が設けられ、リンググルーブ 8 1 b の外周上に最内側クラッド 8 2 a が設けられ、最内側クラッド 8 2 a の外周上に中間クラッド 8 2 b が設けられ、中間クラッド 8 2 b の外周上に最外側クラッド 8 2 c が設けられ、最外側クラッド 8 2 c の外周上に保護被覆層 8 3 が設けられたものである。また、中間クラッド 8 2 b の断面形状は正七角形状であり、センタコア 8 1 a、リンググルーブ 8 1 b、最内側クラッド 8 2 a、中間クラッド 8 2 b 及び最外側クラッド 8 2 c は同心状に配置されている。

【 0 0 6 0 】

10

20

30

40

50

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 μm 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。

【0061】

コアの Yb₂O₃ は 0.28 モル%、P₂O₅ / Yb₂O₃ は 5.79、Al₂O₃ / Yb₂O₃ は 7.61、Al₂O₃ / P₂O₅ は 1.31、GeO₂ は 0.83 モル%であった。また、コアの比屈折率差 () 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、0.01 dB 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 11.3 W 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 1064 nm 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。

【0062】

[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 9 2 を有するダブルクラッドファイバであり、コア 9 1 の外周上に内側クラッド 9 2 a が設けられ、内側クラッド 9 2 a の外周上に外側クラッド 9 2 b が設けられ、外側クラッド 9 2 b の外周上に保護被覆層 9 3 が設けられたものである。また、内側クラッド 9 2 a 中には、コア 9 1 に対して対称な位置に一对の応力付与部 9 4、9 4 が設けられている。さらに、内側クラッド 9 2 a の断面形状は正八角形状であり、コア 9 1、内側クラッド 9 2 a 及び外側クラッド 9 2 b は同心状に配置されている。

【0063】

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 μm 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。

【0064】

コアの Yb₂O₃ は 0.60 モル%、P₂O₅ / Yb₂O₃ は 19.17、Al₂O₃ / Yb₂O₃ は 20.17、Al₂O₃ / P₂O₅ 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 () 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。

【0065】

10

[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。

【0066】

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420μm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。

20

【0067】

コアのYb₂O₃は0.26モル%、P₂O₅/Yb₂O₃は6.62、Al₂O₃/Yb₂O₃は9.04、Al₂O₃/P₂O₅は1.37、GeO₂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()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。

30

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。

40

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125μm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。

50

コアの Yb_2O_3 は 0.31 モル%、 P_2O_5 / Yb_2O_3 は 22.29、 Al_2O_3 / Yb_2O_3 は 25.23、 Al_2O_3 / P_2O_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 () 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、0.01 dB 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 20.0 W 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。

【0069】

[実施例 12]

コアに Al、P、Yb 以外に Tm 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 μm 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%、 P_2O_5 / Yb_2O_3 は 25.80、 Al_2O_3 / Yb_2O_3 は 27.52、 Al_2O_3 / P_2O_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 () 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、0.01 dB 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 W 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。

【0070】

[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%、 P_2O_5 / Yb_2O_3 は 13.67、 Al_2O_3 / Yb_2O_3 は 16.53、 Al_2O_3 / P_2O_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 () 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、0.01 dB 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 15.8 W 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 Y b 添加光ファイバと、その評価結果を表 3 に示す。

【 0 0 7 1 】

[比較例 1]

コアに Al、Y b、Ge を添加し、P は添加しなかったこと、Al、Y b 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 μm 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 Y b₂O₃ は 0.51 モル%、Al₂O₃ / Y b₂O₃ は 0.39、Al₂O₃ は 0.2 モル%、GeO₂ は 0.23 モル% であった。すなわち、Al₂O₃ / Y b₂O₃ は本発明の範囲外であった。また、コアの比屈折率差 () は 0.27 % であった。

得られた Y b 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、3.8 dB であった。

そのため、得られた Y b 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 20 W 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 Y b 添加光ファイバと、その評価結果を表 3 に示す。

【 0 0 7 2 】

[比較例 2]

Al、P、Y b 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 μm 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 Y b₂O₃ は 0.27 モル%、P₂O₅ / Y b₂O₃ は 1.23、Al₂O₃ / Y b₂O₃ は 4.95、Al₂O₃ / P₂O₅ は 4.01 であった。すなわち、P₂O₅ / Y b₂O₃、Al₂O₃ / P₂O₅ は本発明の範囲外であった。また、コアの比屈折率差 () 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 Y b 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、10.6 dB 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 Y b 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 12 W 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 Y b 添加光ファイバと、その評価結果を表 3 に示す。

【 0 0 7 3 】

[比較例 3]

コアに Al、P、Y b を添加し、ファイバプリフォームを M C V D 法で作製した。Y b 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、Y b₂O₃ は 0.35 モル%、P₂O₅ / Y b₂O₃ は 6.31、Al₂O₃ / Y b₂O₃ は 4.57、Al₂O₃ / P₂O₅ は 0.72 であった。また、コアの比屈折率差 () は 0.17 % であった。

得られた Y b 添加光ファイバと、その評価結果を表 3 に示す。

【 0 0 7 4 】

[比較例 4]

Al、P、Y b 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 Y b₂O₃ は 0.45 モル%、P₂O₅ / Y b₂O₃ は 30.7、Al₂O₃ / Y b₂O₃ は 31.1、Al₂O₃ / P₂O₅ は 1.01 であった。すなわち、P₂O₅ / Y b₂O₃ は本発明の範囲外であった。また、コアの比屈折率差 () 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

10

20

30

40

50

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160 dB/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。

【0075】

[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Yb₂O₃は0.22モル%、P₂O₅/Yb₂O₃は2.14、Al₂O₃/Yb₂O₃は4.91、Al₂O₃/P₂O₅は2.30であった。すなわち、P₂O₅/Yb₂O₃は本発明の範囲外であった。また、コアの比屈折率差()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、1.7 dB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。

【0076】

[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Yb₂O₃は0.28モル%、P₂O₅/Yb₂O₃は20.29、Al₂O₃/Yb₂O₃は38.57、Al₂O₃/P₂O₅は1.90であった。すなわち、Al₂O₃/Yb₂O₃は本発明の範囲外であった。また、コアの比屈折率差()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0.01 dB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()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。

【0077】

[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、Yb₂O₃は0.26モル%、P₂O₅/Yb₂O₃は2.88、Al₂O₃/Yb₂O₃は2.88、Al₂O₃/P₂O₅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。

【0078】

[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Yb₂O₃は0.48モル%、P₂O₅/Yb₂O₃は9.02、Al₂O₃/

10

20

30

40

50

Yb_2O_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()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()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。

【0079】

【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_2O_3 濃度 (モル%)	0.46	0.38	0.09	0.52	0.33	0.39
P_2O_5 濃度 (モル%)	3.05	11.40	2.01	1.58	1.00	4.69
Al_2O_3 濃度 (モル%)	7.34	11.92	2.52	1.61	1.76	7.18
P_2O_5 濃度/ Yb_2O_3 濃度	6.61	29.71	22.33	3.04	3.02	11.98
Al_2O_3 濃度/ Yb_2O_3 濃度	15.92	31.06	28.00	3.10	5.34	18.34
Al_2O_3 濃度/ P_2O_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

【0080】

【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

10

20

30

【 0 0 8 1 】

【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	—

10

20

30

【 0 0 8 2 】

【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

【0083】

上記表1～表4からわかるように、コアが、Yb、Al及びPを含有する場合、コア中の、Yb₂O₃換算濃度、P₂O₅換算濃度、及びAl₂O₃換算濃度に関し：Yb₂O₃換算濃度が0.09～0.68モル%であり；P₂O₅換算濃度とYb₂O₃換算濃度とのモル比が3～30であり；Al₂O₃換算濃度とYb₂O₃換算濃度とのモル比が3～32であり；Al₂O₃換算濃度とP₂O₅換算濃度とのモル比が1～2.5である；場合に、フォトダークニングによる損失を十分に抑制できる。上述の特許文献2に記載の発明では、これらのモル比が開示されていないため、本願の比較例に相当するものも含まれている。従って、特許文献2に記載の発明では、本願のようにフォトダークニングを十分に抑制するのが困難である。

【0084】

【比較例9】

図14に示す構造のYb添加光ファイバを作製した。図14は、Yb添加光ファイバ120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120は、二層構造のクラッド122を有するダブルクラッドファイバであり、コア121の外周上に内側クラッド122aが設けられ、内側クラッド122aの外周上に外側クラッド122bが設けられ、外側クラッド122bの外周上に保護被覆層123が設けられたものである。

断面形状が円形状のファイバプリフォームを用いて内側クラッド122bの直径が約200μmとなるように紡糸したこと、及びAl、P、Ybの添加量が異なること以外は、

実施例 4 と同様にして比較例 9 のダブルクラッドファイバを作製した。

コアの Yb_2O_3 は 1.3 モル%、 GeO_2 は 1.2 モル%、 P_2O_5 / Yb_2O_3 は 3.77、 Al_2O_3 / Yb_2O_3 は 11.00、 Al_2O_3 / P_2O_5 は 2.92 であった。すなわち、 Yb_2O_3 濃度と Al_2O_3 / P_2O_5 は本発明の範囲外であった。また、コアの比屈折率差 () は 0.45% であった。得られた Yb 添加光ファイバを表 5 に示す。

得られた比較例 9 の Yb 添加光ファイバでは、ゲルマニウムとイッテルビウムの添加量が多いため、コアの比屈折率が高くなりすぎ、実効コア断面積を十分に大きくできなかった。

【0085】

[比較例 10]

Al、P、Ge の添加量が異なること以外は、比較例 9 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 1.3 モル%、 GeO_2 は 4.5 モル%、 P_2O_5 / Yb_2O_3 は 11.54、 Al_2O_3 / Yb_2O_3 は 8.31、 Al_2O_3 / P_2O_5 は 0.72 であった。すなわち、 Yb_2O_3 濃度と P_2O_5 / Yb_2O_3 は本発明の範囲外であった。また、コアの比屈折率差 () は 0.30% であった。得られた Yb 添加光ファイバを表 5 に示す。

得られた比較例 10 の Yb 添加光ファイバでは、コアにアルミニウムよりもリンが多く添加されているため、コアの結晶化が起こり、伝送損失が 100 dB / km 以上となり、

【0086】

[比較例 11]

Al、P の添加量が異なること以外は、比較例 10 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 1.3 モル%、 GeO_2 は 4.5 モル%、 P_2O_5 / Yb_2O_3 は 23.15、 Al_2O_3 / Yb_2O_3 は 11.00、 Al_2O_3 / P_2O_5 は 0.48 であった。すなわち、 Yb_2O_3 濃度と P_2O_5 / Yb_2O_3 は本発明の範囲外であった。また、コアの比屈折率差 () は 0.48% であった。得られた Yb 添加光ファイバを表 5 に示す。

得られた比較例 11 の Yb 添加光ファイバでは、アルミニウムよりもリンが多く添加されているため、コアの結晶化が起こり、伝送損失が測定不能なほど大きく (1000 dB / km 以上) なっており、実用できるファイバが得られなかった。また、コアの比屈折率が高くなりすぎ、実効コア断面積を十分に大きくできなかった。

【0087】

10

20

30

【表 5】

	比較例 9	比較例 10	比較例 11
Yb ₂ O ₃ 濃度 (モル%)	1.3	1.3	1.3
P ₂ O ₅ 濃度 (モル%)	4.9	15.0	30.1
Al ₂ O ₃ 濃度 (モル%)	14.3	10.8	14.3
P ₂ O ₅ 濃度/Yb ₂ O ₃ 濃度	3.77	11.54	23.15
Al ₂ O ₃ 濃度/Yb ₂ O ₃ 濃度	11.00	8.31	11.00
Al ₂ O ₃ 濃度/P ₂ O ₅ 濃度	2.92	0.72	0.48
その他の含有元素 (濃度, モル%)	GeO ₂ 1.2	GeO ₂ 4.5	GeO ₂ 4.5
コア比屈折率差(Δ) (%)	0.45	0.30	0.48
クラッド構造	ダブル	ダブル	ダブル
内側クラッド(外接円) 直径(μm)	200	200	200

10

20

【0088】

上記比較例 9 ~ 11 で示した伝送損失や表 5 からわかるように、これら比較例 9 ~ 11 では本発明で成し遂げられる、実効コア断面積が大きく、フォトダークニングが十分に抑制された、実用に耐えうる(伝送損失の低い)ファイバを実現し得なかった。

【産業上の利用可能性】

30

【0089】

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。

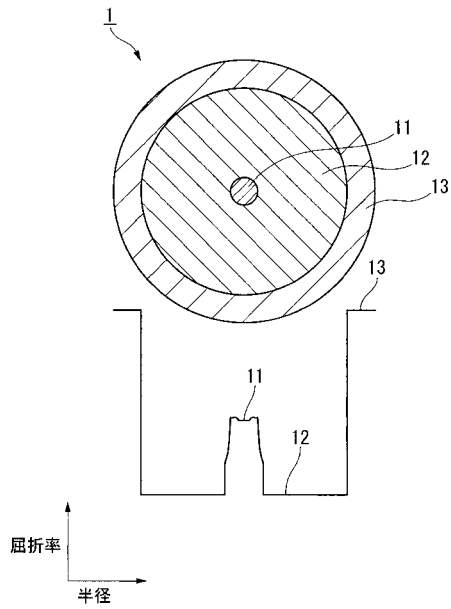
【符号の説明】

【0090】

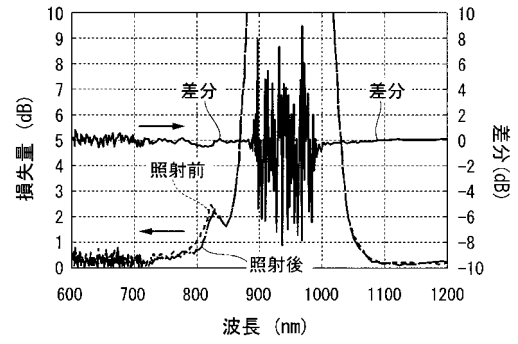
1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 イッテルビウム添加光ファイバ
 11, 21, 31, 41, 51, 61, 71, 81, 91, 101 コア
 12, 22, 32, 42, 52, 62, 72, 82, 92, 102 クラッド
 42a, 52a, 62a, 92a, 102a 内側クラッド
 42b, 52b, 62b, 92b, 102b 外側クラッド
 72a, 82a 最内側クラッド
 72b, 82b 中間クラッド
 72c, 82c 最外側クラッド

40

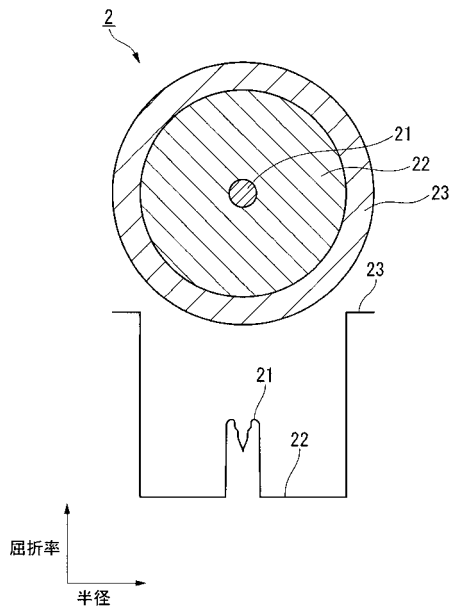
【図1】



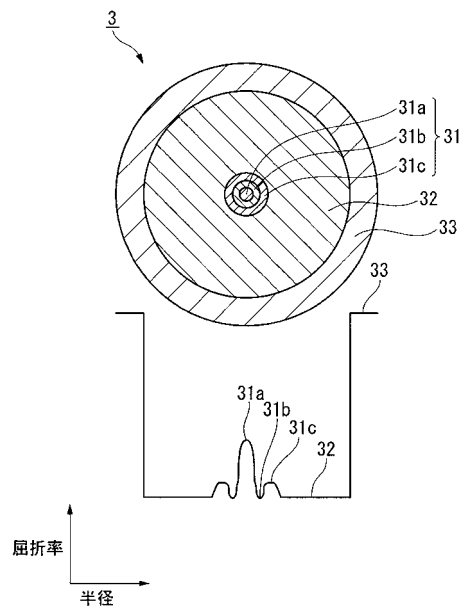
【図2】



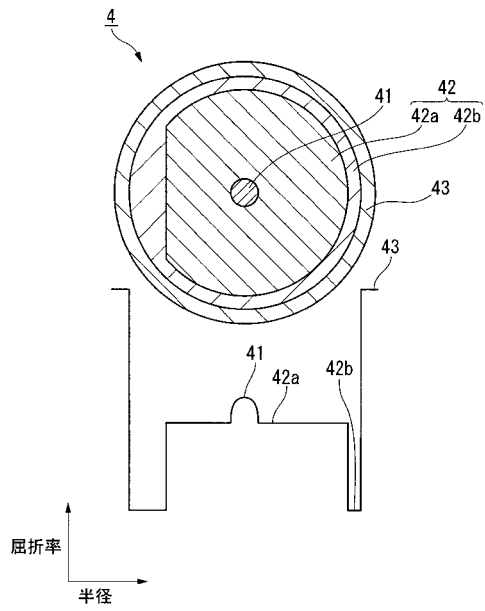
【図3】



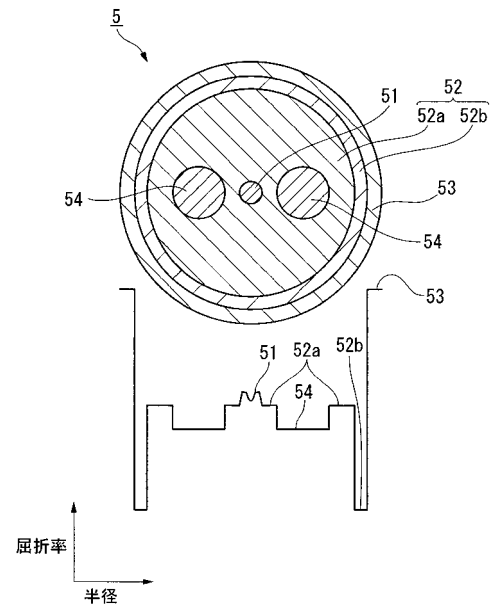
【図4】



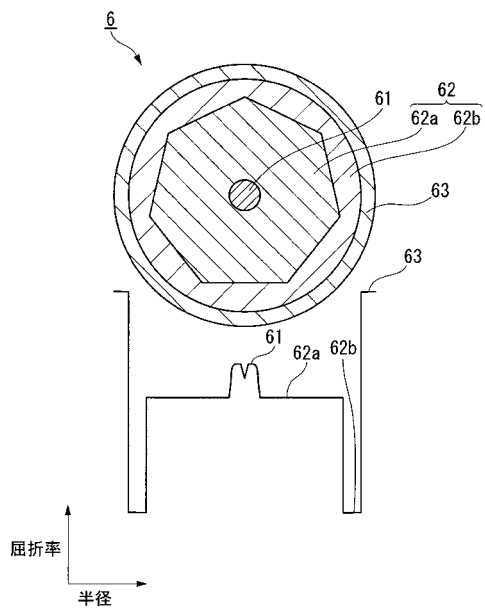
【 図 5 】



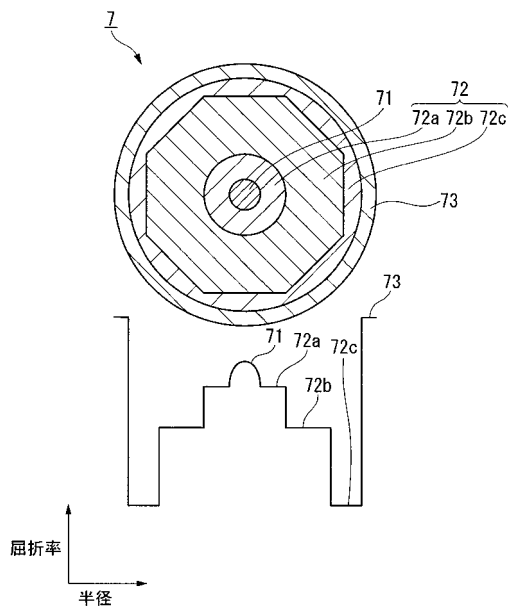
【 図 6 】



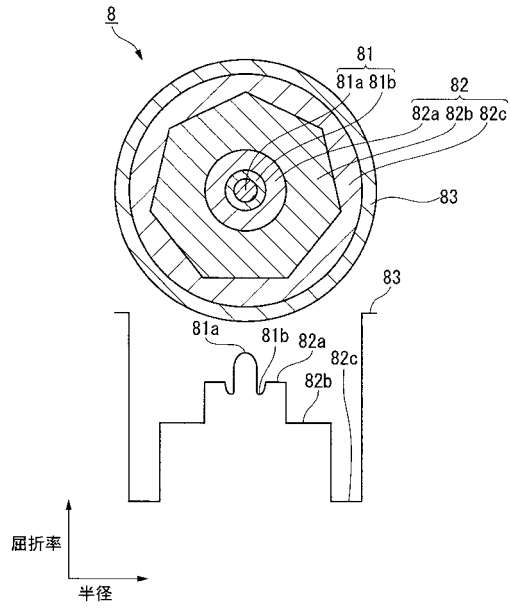
【 図 7 】



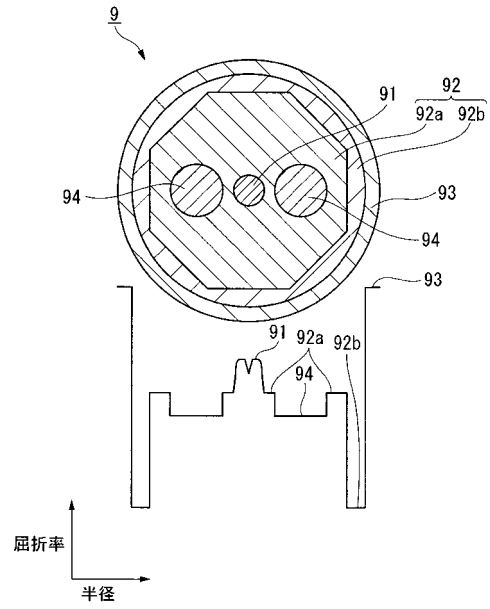
【 図 8 】



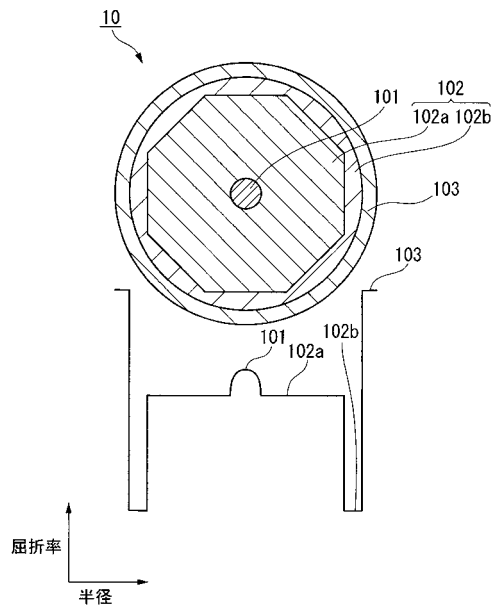
【 図 9 】



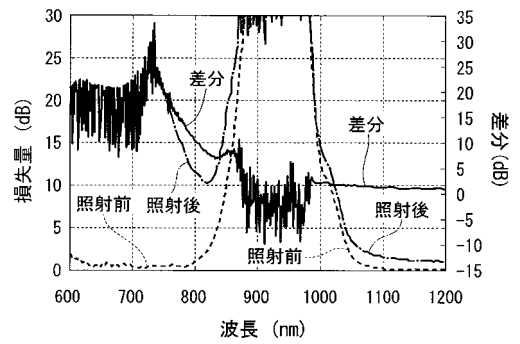
【 図 10 】



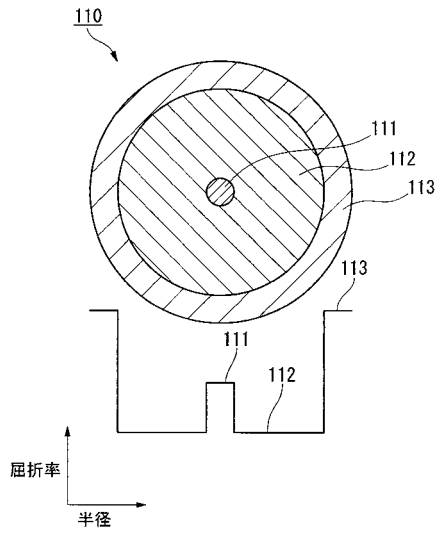
【 図 11 】



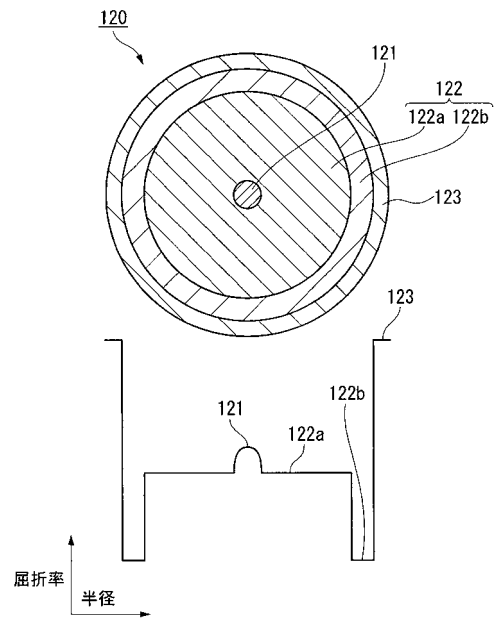
【 図 12 】



【図 13】



【図 14】



フロントページの続き

(72)発明者 谷川 庄二
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

審査官 岡田 吉美

(56)参考文献 国際公開第2008/061530(WO, A1)
特開平11-112070(JP, A)
特開平09-194225(JP, A)
特開平01-298043(JP, A)
特開2002-043660(JP, A)
特開2003-124547(JP, A)
特表2006-519495(JP, A)
米国特許出願公開第2003/0142395(US, A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H01S 3/00 - 3/30