(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
2004 年1 月15 日 (15.01.2004)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2004/005984 A1

(51) 国際特許分類[7]: G02B 6/10, H01S 3/067

(21) 国際出願番号: PCT/JP2003/008598

(22) 国際出願日: 2003 年7 月7 日 (07.07.2003)

(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2002-199959 2002 年7 月9 日 (09.07.2002) 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]; 〒135-8512 東京都 江東区 木場１丁目５番１号 Tokyo (JP).

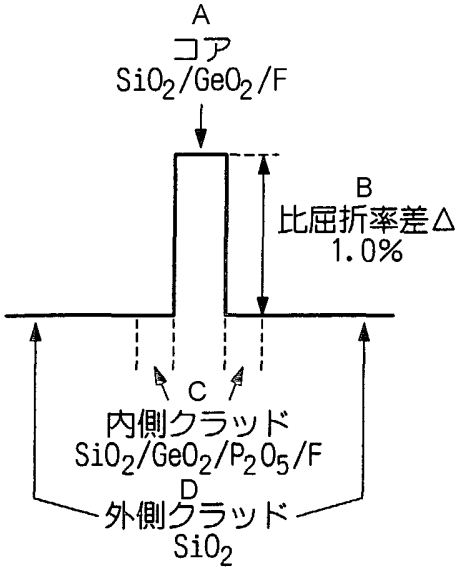
(72) 発明者; および
(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 池田 正司 (IKEDA,Masashi) [JP/JP]; 〒285-8550 千葉県 佐倉市 六崎１４４０番地 株式会社フジクラ 佐倉事業所内 Chiba (JP). 中山 真一 (NAKAYAMA,Masakazu) [JP/JP]; 〒285-8550 千葉県 佐倉市 六崎１４４０番地 株式会社フジクラ 佐倉事業所内 Chiba (JP). 姫野 邦治 (HIMENO,Kuniharu) [JP/JP]; 〒285-8550 千葉県 佐倉市 六崎１４４０番地 株式会社フジクラ 佐倉事業所内 Chiba (JP). 大塚 正明 (OHTSUKA,Masaaki) [JP/JP]; 〒285-8550 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). 大橋 正和 (OOHASHI,Masakazu) [JP/JP]; 〒285-8550 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). 田中 大一郎 (TANAKA,Daiichiro) [JP/JP]; 〒285-8550 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.); 〒169-8925 東京都 新宿区 高田馬場三丁目２３番３号 ＯＲビル Tokyo (JP).

[続葉有]

(54) Title: OPTICAL FIBER, OPTICAL FIBER COUPLER INCLUDING THE SAME, ERBIUM LOADED OPTICAL FIBER AMPLIFIER AND LIGHT GUIDE

(54) 発明の名称: 光ファイバおよびこれを用いた光ファイバカプラ、エルビウム添加光ファイバ増幅器、光導波路



A...CORE
B...SPECIFIC REFRACTIVE INDEX DIFFERENCE Δ
C...INSIDE CLADDING
D...OUTSIDE CLADDING

(57) Abstract: An optical fiber comprising a core of quartz glass containing at least germanium, provided at the center of optical fiber, an inside cladding of high diffusion coefficient provided coaxially with the core around the core and an outside cladding of low diffusion coefficient provided around the inside cladding, wherein the core contains germanium in a concentration of about 200% or more of that of the inside cladding to thereby enable connection to an optical fiber of different MFD, such as a single mode optical fiber or an erbium-loaded optical fiber, with low connection loss and with satisfactory connection strength.

(57) 要約: 中心に設けられ、少なくともゲルマニウムを含む石英系ガラスからなるコアと、コアの周囲にコアと同心円状に設けられた拡散係数が大きい内側クラッドと、内側クラッドの周囲に設けられた拡散係数が小さい外側クラッドとを有する光ファイバにおいて、コアに、内側クラッドの200%程度以上の濃度のゲルマニウムを含有させることにより、シングルモード光ファイバまたはエルビウム添加光ファイバのようなMFDの異なる光ファイバに対しても、低接続損失でかつ十分な接続強度で接続することができる。

WO 2004/005984 A1

(81) 指定国 (国内): AU, CA, CN, JP, US.

(84) 指定国 (広域): ヨーロッパ特許 (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR).

添付公開書類:
— 国際調査報告書

２文字コード及び他の略語については、定期発行される各*PCT*ガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

明細書

光ファイバおよびこれを用いた光ファイバカプラ、エルビウム添加光ファイバ増幅器、光導波路

技術分野

本発明は、光通信に用いられる光部品を形成する光ファイバおよびこれを用いた光ファイバカプラ、エルビウム添加光ファイバ増幅器、光導波路に関し、特にモードフィールド径の異なる光ファイバとの融着接続において、低い接続損失かつ十分な接続強度で接続することができる光ファイバおよびこれを用いた光ファイバカプラ、エルビウム添加光ファイバ増幅器、光導波路に関する。

本明細書は、日本国への特許出願（特願２００２－１９９９５９号）に基づくものであり、当該日本出願の記載内容は本明細書の一部として取り込まれるものとする。

技術背景

モードフィールド径（以下、「ＭＦＤ」と略す。）の大きさが異なる光ファイバ同士を融着接続すると、接続損失を生じる。この接続損失を低減するため、光ファイバを融着接続する際にあらかじめ光ファイバを加熱するか、融着接続後に追加放電などの加熱処理を施して、光ファイバのコアに含まれるドーパントをクラッドに拡散させて、ＭＦＤの小さい光ファイバのＭＦＤを拡大させ、光ファイバ同士のＭＦＤの差を小さくする方法が知られている。

光ファイバのコアに含まれるドーパントの拡散によるコア半径の変化は、下記式（１）で表される。

$$r_2 = (r_1^2 + 4Dt)^{1/2} \qquad (1)$$

上記式（１）において、r_1はドーパントの拡散前のコア半径、r_2はドーパントの拡散後のコア半径である。Ｄは拡散係数、ｔは光ファイバの加熱時間である。コアに含まれるドーパントが拡散しても、光ファイバの正規化周波数（∝コア半径×$\Delta^{1/2}$）は一定に保たれるため、ＭＦＤは上記式（１）のコア半径r_2に比

例する。よって、コアに含まれるドーパントを拡散させることにより、コア半径r_2が上記式（１）にしたがって拡大した場合、それに比例してＭＦＤも拡大する。

ＭＦＤの大きさが異なる光ファイバ同士の融着接続において、接続後に追加放電などの加熱処理を施し、接続損失を低減させるためにはいくつかの条件がある。その条件とは、加熱時間に対するＭＦＤの拡大速度が、接続させる各々の光ファイバで異なっていること、すなわちドーパントの拡散係数が異なっていること、かつ、ＭＦＤの小さい光ファイバでは、加熱時間に対するＭＦＤの拡大速度がより一層大きいこと、すなわち$D_{LM} < D_{SM}$（D_{LM}：ＭＦＤの大きい光ファイバの拡散係数、D_{SM}：ＭＦＤの小さい光ファイバの拡散係数）であることである。

この条件を満たせば、追加放電などによる加熱によって、コアに含まれるドーパントを拡散させる際、ＭＦＤの小さい光ファイバのＭＦＤ拡大速度が、ＭＦＤの大きい光ファイバのＭＦＤ拡大速度よりも大きいため、加熱時間とともに両者のＭＦＤの差が小さくなり、接続損失が低減される。

ＭＦＤの大きさが異なる光ファイバを接続する公知の方法の一例として、特許第２９１１９３２号公報に開示されている方法がある。この方法によれば、光通信用の光伝送路である１．３μｍ零分散シングルモード光ファイバ（以下、「シングルモード光ファイバ」と略す。）と、開口数０．２４～０．１５の光ファイバ（以下、「高開口数光ファイバ」と略す。）との融着接続、および融着接続後の加熱処理により、接続損失を低減する。シングルモード光ファイバのコア径は約８μｍ、ＭＦＤは約１０μｍ、コアとクラッドとの屈折率差△ｎは約０．００４となっている。

一方、高開口数光ファイバのコア径は約４μｍ、ＭＦＤは約４μｍであり、シングルモード光ファイバよりもコア径およびＭＦＤは小さく、コアとクラッドとの屈折率差△ｎは０．０２～０．００８と比較的大きな値となっている。ゆえに、高開口数光ファイバのコアに含まれるドーパントの濃度は、シングルモード光ファイバのコアに含まれるドーパントの濃度よりも高くなっている。高開口数光ファイバでは、コアに含まれるドーパントの濃度が高いので、コアの軟化温度が低く、それゆえに所定の温度におけるドーパントの拡散速度がシングルモード光

ファイバよりも著しく増加する。そのため、高開口数光ファイバの拡散係数は、シングルモード光ファイバの拡散係数よりも大きい値となる。高開口数光ファイバはＭＦＤが小さく拡散係数が大きい、一方、シングルモード光ファイバはＭＦＤが大きく拡散係数が小さいので、上述の接続損失が低減される条件を満たしている。

ＭＦＤが異なっていて、拡散係数が同程度の光ファイバを融着接続する場合、上述のような接続方法では低接続損失の実現は難しい。このような場合には、ＭＦＤの小さい光ファイバのクラッドにフッ素を添加し、光ファイバのコアに含まれるドーパントの拡散速度を、ＭＦＤの大きい光ファイバの拡散速度よりも大きくすることにより、接続損失を低減する方法が知られている。この方法の一例として、エルビウム添加光ファイバ増幅器におけるエルビウム添加光ファイバと分散シフト光ファイバとを融着接続する方法がある。

この方法では、例えば、信号波長１５５０ｎｍにおけるエルビウム添加光ファイバのＭＦＤは５μｍ、分散シフト光ファイバのＭＦＤは８μｍとする。また、エルビウム添加光ファイバのクラッドには、コアに含まれるドーパントがクラッドに拡散する際の拡散速度を増加させる目的で、クラッドにフッ素が添加されている。エルビウム添加光ファイバと分散シフト光ファイバの融着接続後の加熱により、コアに含まれるドーパントがクラッドに拡散してＭＦＤが拡大されるが、ＭＦＤの小さい工ルビウム添加光ファイバにおけるＭＦＤ拡大速度が、分散シフト光ファイバにおけるＭＦＤ拡大速度よりも大きいため、接続損失が０．０５ｄＢ以下に低減される。

このようなＭＦＤの異なる光ファイバ同士の融着接続としては、エルビウム添加光ファイバ増幅器内における融着延伸型の光ファイバカプラと、工ルビウム添加光ファイバあるいはシングルモード光ファイバとの接続なども挙げられる。

図８は、エルビウム添加光ファイバ増幅器の構成の一例を示す模式図である。

この例のエルビウム添加光ファイバ増幅器は、エルビウム添加光ファイバ１と、エルビウム添加光ファイバ１を励起する励起用光源の９８０ｎｍ半導体レーザー２と、励起光と信号光を合波するための光ファイバカプラ３と、これらを接続するシングルモード光ファイバ４と、９８０ｎｍカットオフシフト光ファイバ５

とから概略構成されている。

この例のエルビウム添加光ファイバ増幅器において、エルビウム添加光ファイバ１および光ファイバカプラ３は、光ファイバで構成される光部品である。

また、エルビウム添加光ファイバ１と光ファイバカプラ３、および、光ファイバカプラ３とシングルモード光ファイバ４とは融着接続されている。

シングルモード光ファイバ３では、波長１５５０ｎｍ帯の光に対するＭＦＤは約１０μｍとなっている。また、シングルモード光ファイバ３の実効遮断波長は１３００ｎｍ以下となっている。

エルビウム添加光ファイバ１と光ファイバカプラ３では、９８０ｎｍ半導体レーザー２から出力された光をシングルモードで導波させる必要があるため、実効遮断波長は９８０ｎｍよりも小さくなければならない。

光ファイバカプラ３は、波長９８０ｎｍにおいてシングルモード動作が可能で、かつ波長１５５０ｎｍの光も低損失で導波させる必要がある。しかしながら、光ファイバカプラ３の実効遮断波長は１５５０ｎｍよりもはるかに短波長側に位置しているため、波長１５５０ｎｍ帯の光を導波すると、曲げ損失が比較的大きくなりやすい。そのため光ファイバカプラ３に用いられる光ファイバとしては、コアとクラッドとの比屈折率差を大きくし、波長１５５０ｎｍ帯における光の曲げ損失が低いものを用いる必要がある。また、光ファイバのコアとクラッドとの比屈折率差を大きくしながら、光ファイバカプラ３の実効遮断波長を９８０ｎｍ以下にするためには、光ファイバカプラ３を形成する光ファイバのコア径を小さくする必要があり、必然的にＭＦＤも小さくなる。

一方、エルビウム添加光ファイバ１は、エルビウムが添加されたコアが、励起光源の９８０ｎｍ半導体レーザー２から出力された励起光により励起される必要がある。したがって、一般的に、エルビウム添加光ファイバ１は、励起効率を高めるために高開口数構造になっており、そのためにＭＦＤが小さくなっている。

ところで、高性能のエルビウム添加光ファイバ増幅器を得るには、エルビウム添加光ファイバと光ファイバカプラとの融着接続、および、光ファイバカプラとシングルモード光ファイバとの融着接続において、これらが低損失で接続され、かつ接続部分が使用に耐えるに十分な強度を有する必要がある。

波長１５５０ｎｍの光に対するＭＦＤの大きさは、シングルモード光ファイバでは約１０μｍ、光ファイバカプラでは約６．５μｍ、エルビウム添加光ファイバでは約５．５μｍである。

光ファイバカプラは、シングルモード光ファイバと、エルビウム添加光ファイバのどちらとも低損失で接続できる上に、使用に耐えるに十分な強度を有する必要がある。従来、光ファイバカプラのＭＦＤは小さいが、波長１５５０ｎｍ帯における光の曲げ損失を低減するために、光ファイバカプラを形成している光ファイバのコアとクラッドとの比屈折率差が大きくされており、ゆえに開口数も大きくなっている。そのため、光ファイバカプラとシングルモード光ファイバとの接続では、接続損失を低減することができる。

ここで、図９は、光ファイバカプラとシングルモード光ファイバの加熱時間に対するＭＦＤの変化を示す図である。

図９から、両者のＭＦＤが一致するところで、最低接続損失が達成される。ただし、上記式（１）によれば、ＭＦＤの２乗が加熱時間と比例関係にあるとされているが、拡散係数が加熱温度によって変化するために、必ずしもＭＦＤの２乗が加熱時間と比例しているわけではない。

しかしながら接続強度に関しては、特許第２９１１９３２号公報に開示されている接続方法が、必ずしも十分な強度を確保することができる接続方法とは限らない。光ファイバカプラとシングルモード光ファイバとの融着接続を、特許第２９１１９３２号公報に開示されている接続方法を用いて行うと、最低接続損失が達成されるまでに、およそ３０秒の加熱時間を必要とする。通常の融着接続方法により、同種の光ファイバ同士を融着接続する場合、接続時間は２～３秒で、低接続損失および十分な強度を有する融着接続をすることができる。光ファイバカプラとシングルモード光ファイバとの融着接続に要する時間がおよそ３０秒というのは、同種の光ファイバ同士の融着接続に要する時間に比べてかなり長時間であり、そのため同種の光ファイバ同士の接続強度と同等になるとは限らない。

さらに、エルビウム添加光ファイバと光ファイバカプラとの接続の場合、特許第２９１１９３２号公報に開示されている接続方法などによっても、低損失かつ接続部分が使用に耐えられるに十分な強度を有するようにするのが困難である。

なぜならば、エルビウム添加光ファイバのＭＦＤと光ファイバカプラのＭＦＤは比較的近い値である上に、エルビウム添加光ファイバと光ファイバカプラのどちらも高開口数を有しているからである。

エルビウム添加光ファイバおよび光ファイバカプラは高開口数を有するために、コアに含まれるドーパントの濃度が高く、拡散係数が大きい。そのためエルビウム添加光ファイバとファイバカプラのＭＦＤが一致して最低損失になるまでに、接続部分を加熱するのに要する時間が非常に短い。

図１０は、光ファイバカプラとエルビウム添加光ファイバの加熱時間に対するＭＦＤの変化を示す図である。

図１０から、融着接続が不完全なうちに、エルビウム添加光ファイバと光ファイバカプラのＭＦＤが一致して最低損失に達してしまい、この時点で融着接続作業を止めてしまうと、接続損失は低いものの、使用に耐えられるに十分な強度を有した接続にはならない。

さらに、エルビウム添加光ファイバの光の増幅特性を向上させるためには、コアにドーパントの１種であるアルミニウムを高濃度に添加する必要がある。アルミニウムを高濃度に添加すれば、ドーパントの拡散係数が増加する。したがって、エルビウム添加光ファイバの光の増幅特性が向上するにつれて、ますますエルビウム添加光ファイバと光ファイバカプラとの接続強度の向上を図ることが難しくなる。このようなことから、エルビウム添加光ファイバの増幅特性の向上と、エルビウム添加光ファイバと光ファイバカプラとの接続強度の向上とを達成するためには、光ファイバカプラの改良が求められている。

エルビウム添加光ファイバと光ファイバカプラとの接続において、低損失かつ接続部分が使用に耐えられるに十分な強度を有するように接続するには、光ファイバカプラを形成する光ファイバの拡散係数を大きくして、エルビウム添加光ファイバと光ファイバカプラのＭＦＤが一致するまでの加熱時間を十分に長くすればよい。光ファイバカプラを形成する光ファイバの拡散係数を大きくする手段としては、公知文献（Ａ．Ｗａｄａ、Ｔ．Ｓａｋａｉ、Ｄ．Ｔａｎａｋａ、Ｔ．Ｎｏｚａｗａ　ａｎｄ　Ｒ．Ｙａｍａｕｃｈｉ、ＯＡＡ１９９１、ＦＤ３、１９９１．Ｈｉｇｈ－Ｅｆｆｉｃｉｅｎｃｙ　Ｅｒｂｉｕｍ－Ｄｏｐｅｄ　Ｆｉｂｅｒ

Ａｍｐｌｉｆｉｅｒ ｕｓｉｎｇ Ｍｏｄｅ Ｆｉｅｌｄ Ｄｉａｍｅｔｅｒ Ａｄｊｕｓｔｉｎｇ Ｔｅｃｈｎｉｑｕｅ）に記載されているクラッドにフッ素を添加する手法を、光ファイバカプラを形成する光ファイバに適用すればよいが、フッ素の添加量が少ないと、拡散係数を増大する効果が不十分である。

フッ素の添加量が多くなると、コアとクラッドとの比屈折率差が大きく変わってしまうため、結果として伝送特性も変化してしまう。また、単に、光ファイバカプラを形成する光ファイバの拡散係数を、エルビウム添加光ファイバの拡散係数よりも大きくしただけでは、加熱時間を変えても、光ファイバカプラとエルビウム添加光ファイバのＭＦＤが一致せず、低接続損失の接続を行うことができないという問題があった。

発明の開示

本発明は、上記事情に鑑みてなされたもので、その目的は、モードフィールド径の異なる光ファイバとの融着接続において、低い接続損失かつ十分な接続強度で接続することができる光ファイバおよびこれを用いた光ファイバカプラ、エルビウム添加光ファイバ増幅器、光導波路を提供することにある。

上記課題を解決するために、本発明は以下の手段を講ずるものである。

本発明は、中心に設けられ、少なくともゲルマニウムを含む石英系ガラスからなるコアと、該コアの周囲に該コアと同心円状に設けられた拡散係数が大きい内側クラッドと、該内側クラッドの周囲に設けられた拡散係数が小さい外側クラッドとを有する光ファイバであって、前記コアには、前記内側クラッドの２００％程度以上の濃度のゲルマニウムが含まれていることを特徴とする光ファイバとしたものである。

本発明は、前記内側クラッドはゲルマニウム、リンおよびフッ素を含む石英系ガラスからなり、前記外側クラッドは石英ガラスからなることを特徴とする光ファイバとしたものである。

本発明は、前記内側クラッドの直径が１０μｍ～４０μｍであることを特徴とする光ファイバとしたものである。

本発明は、前記内側クラッドに含まれるゲルマニウムの濃度が０．２～１．５

質量%、リンの濃度が０．５～１．５質量%、フッ素の濃度が０．１～１．０質量%であることを特徴とする光ファイバとしたものである。

本発明は、前記光ファイバの外径が７０μｍ～９０μｍであることを特徴とする光ファイバとしたものである。

本発明は、前記コアを囲むクラッド内に、該コアに対して対称に配置された２つの応力付与部を有することを特徴とする光ファイバとしたものである。

本発明は、上記光ファイバを用いて製造したことを特徴とする光ファイバカプラとしたものである。

本発明は、上記光ファイバを用いて製造したことを特徴とするエルビウム添加光ファイバ増幅器としたものである。

本発明は、上記光ファイバをピグテイルとして用いて製造したことを特徴とする光導波路としたものである。

図面の簡単な説明

図１は、エルビウム添加光ファイバ増幅器の一部を示す模式図である。

図２は、光ファイバの屈折率プロファイルを示す図である。

図３は、エルビウム添加光ファイバと、本発明の光ファイバまたは従来の高開口数を有する光ファイバとの融着接続時の加熱時間に対するＭＦＤの変化の様子を示す図である。

図４は、光ファイバの加熱時間に対するＭＦＤの変化の様子を示す図である。

図５は、ＰＡＮＤＡ型偏波保持光ファイバを示す断面図である。

図６は、Ｔａｐカプラを示す模式図である。

図７は、エルビウム添加光ファイバ増幅器のパッケージの概略断面図である。

図８は、エルビウム添加光ファイバ増幅器の構成の一例を示す模式図である。

図９は、光ファイバカプラとシングルモード光ファイバの加熱時間に対するＭＦＤの変化を示す図である。

図１０は、光ファイバカプラとエルビウム添加光ファイバの加熱時間に対するＭＦＤの変化を示す図である。

発明を実施するための最良の形態

本発明の光ファイバは、中心に設けられ、少なくともゲルマニウムを含む石英系ガラスからなるコアと、コアの周囲にコアと同心円状に設けられた拡散係数が大きい内側クラッドと、内側クラッドの周囲に設けられた拡散係数が小さい外側クラッドとを有する光ファイバであって、コアには、内側クラッドの２００％程度を超える濃度のゲルマニウムが含まれている光ファイバである。

光ファイバをこのような構成とすることにより、光ファイバの融着接続後における接続部分の加熱において、加熱時間に対するＭＦＤの変化の仕方を変えることができる。具体的には、本発明の光ファイバでは、加熱の初期においてはＭＦＤが急激に大きくなり、加熱の中期から終了段階にかけてはＭＦＤの拡大の度合いが徐々に緩やかになる。このような現象は、コアに添加されているゲルマニウムが加熱開始とともにクラッドに拡散していくが、加熱の初期においては拡散係数の大きい内側クラッド中を拡散していくため、ゲルマニウムの移動速度は比較的速く、したがってＭＦＤが急激に大きくなる。加熱の中期から終了段階にかけては、拡散したゲルマニウムが拡散係数の小さい外側クラッドに到達すると、ゲルマニウムが外側クラッド内に拡散する速度が遅くなるため、ＭＦＤの拡大速度が抑制され、拡大の度合いが徐々に緩やかになる。

本発明の光ファイバとエルビウム添加光ファイバとを融着接続し、これらの接続部分を加熱すると、加熱の初期においては、本発明の光ファイバのＭＦＤの方が大きい。しかし、加熱の中期から終了段階にかけては、本発明の光ファイバのＭＦＤの拡大の度合いが徐々に緩やかになり、やがて本発明の光ファイバのＭＦＤとエルビウム添加光ファイバのＭＦＤとが一致して、両者の接続部分における接続損失が低下する。また、両者の接続部分は、接続損失を低くするまでに、十分に加熱されているので、十分な強度も有している。

さらに、本発明の光ファイバとシングルモード光ファイバとの融着接続では、加熱の初期において、本発明の光ファイバのＭＦＤが急速に拡大するから、比較的速く、本発明の光ファイバのＭＦＤとシングルモード光ファイバのＭＦＤとを一致させることができる。そのため、本発明の光ファイバのＭＦＤを拡大させるために、加熱に要する時間を短縮することができるから、長時間の加熱による光

ファイバの強度劣化を抑えることができる。したがって、十分な接続強度を有し、かつ低損失な融着接続を行うことができる。

本発明の光ファイバは、内側クラッドがゲルマニウム（Ｇｅ）、リン（Ｐ）およびフッ素（Ｆ）を含む石英系ガラスからなるものであり、外側クラッドが石英（SiO_2）からなるものであることが好ましい。ただし、外側クラッドを合成するために出発原料として四塩化ケイ素（$SiCl_4$）が用いられることもあり、外側クラッドに若干の塩素が不純物として含まれることがあるが、特に問題はない。このようにすれば、コアに添加されたゲルマニウムが、内側クラッド内に拡散する際の拡散速度は比較的速くなり、外側クラッド内に拡散する際の拡散速度は比較的遅くなる。内側クラッドに添加する元素をゲルマニウム、リンおよびフッ素の３種類とすることにより、フッ素のみを添加した場合よりもさらに大きな拡散速度を得ることができる。

本発明の光ファイバは、コアの直径が９μｍ以下であることが望ましい。

また、本発明の光ファイバは、内側クラッドの直径が１０μｍ～４０μｍであることが好ましく、１５μｍ～２５μｍであることがより好ましい。

内側クラッドの直径が１０μｍ未満では、ＭＦＤ拡大の抑制作用が加熱の初期において生じてしまい、本発明の光ファイバとエルビウム添加光ファイバとの融着接続において、十分な接続強度が得られないうちに最低接続損失に達してしまう。一方、内側クラッドの直径が４０μｍを超えると、本発明の光ファイバとシングルモード光ファイバとの融着接続において、本発明の光ファイバの加熱によるＭＦＤ拡大の抑制作用が生じる前に、本発明の光ファイバのＭＦＤとシングルモード光ファイバのＭＦＤとが一致してしまい、十分な接続強度が得られないうちに最低接続損失に達してしまう。

また、本発明の光ファイバは、内側クラッドの直径を上記の範囲とすることにより、シングルモード光ファイバまたはエルビウム添加光ファイバと低損失かつ十分な接続強度を有する接続をすることができる。

ところで、光ファイバカプラは、２本の光ファイバを平行に並べて、その一部を加熱して融着し、次いで融着した部分を加熱しながら延伸することにより作製されるが、加熱、延伸によって、２本の光ファイバのコアに含まれるドーパント

がクラッドに拡散するため、ＭＦＤが拡大する。加熱、延伸によりＭＦＤが拡大する速度は、光ファイバカプラの結合長（融着延伸部の長さ）と関係しており、ＭＦＤの拡大速度が速いと、比較的結合長を短くすることができる。結合長を短くすれば、光ファイバカプラを小型化することができる。ただし、ＭＦＤの拡大速度が速過ぎると、結合部分の端（光ファイバカプラの股に相当する部分）のＭＦＤが必要以上に拡大してしまうため、光ファイバカプラを形成する光ファイバにおいて、結合していない部分のＭＦＤと、結合部分の端のＭＦＤとに大きな差が生じてしまう。

このようにＭＦＤに大きな差のある部分が存在すると、その部分を光が導波する際に損失を生じてしまい、結果として光ファイバカプラの過剰損失の原因となる。小型でかつ過剰損失の少ない良好な光ファイバカプラを得るには、加熱、延伸中にＭＦＤの拡大速度を速くして、かつ加熱、延伸完了時にはＭＦＤが必要以上に大きくならないような光ファイバを用いる必要がある。

本発明の光ファイバによれば、内側クラッドの直径を上記の範囲とすることにより、小型でかつ過剰損失の少ない良好な光ファイバカプラを得ることができる上に、シングルモード光ファイバ、エルビウム添加光ファイバと低損失かつ十分な接続強度を有する接続が可能な光ファイバカプラとすることができる。

本発明の光ファイバは、コアに含まれるゲルマニウムの濃度が３．０～２１．０質量%、フッ素の濃度が０～１．０質量%である。

内側クラッドに含まれるゲルマニウムの濃度は０．２～１．５質量%、リンの濃度は０．５～１．５質量%、フッ素の濃度は０．１～１．０質量%であることが好ましく、内側クラッドに含まれるゲルマニウムの濃度は０．８～１．２質量%、リンの濃度は０．８～１．２質量%、フッ素の濃度は０．３～０．７質量%であることがより好ましい。

本発明の光ファイバの加熱によるＭＦＤ拡大の抑制作用は、内側クラッドにおけるドーパントの拡散速度とも関係しており、ゆえに内側クラッドに含まれるドーパントのゲルマニウム、リン、フッ素の濃度と関係している。内側クラッドに含まれるドーパントの濃度を上記範囲とすれば、本発明の光ファイバは、シングルモード光ファイバ、エルビウム添加光ファイバと低損失かつ十分な接続強度を

有する接続をすることができる。

また、内側クラッドに含まれるドーパントのゲルマニウム、リン、フッ素の濃度が、上記範囲の下限値未満では、内側クラッドにおけるドーパントの拡散速度があまり大きくならず、本発明の光ファイバとエルビウム添加光ファイバとの融着接続において、十分な接続強度が得られないうちに最低接続損失に達してしまう。一方、内側クラッドに含まれるドーパントのゲルマニウム、リン、フッ素の濃度が、上記範囲の上限値を超えると、本発明の光ファイバとシングルモード光ファイバとの融着接続において、本発明の光ファイバの加熱時によるＭＦＤ拡大の抑制作用が生じる前に、本発明の光ファイバのＭＦＤとシングルモード光ファイバのＭＦＤとが一致してしまい、十分な接続強度が得られないうちに最低接続損失に達してしまう。

また、本発明の光ファイバは、外径が７０μｍ～９０μｍであることが好ましく、７５μｍ～８５μｍであることがより好ましい。

エルビウム添加光ファイバ増幅器などの光ファイバ型の光部品では、装置の小型化が要求されている。光部品を小型化するためには、光ファイバの外径を従来の１２５μｍよりも小さくして、光ファイバに許容される曲げ径を小さくし、ファイバの収納をコンパクトにする必要がある。したがって、光ファイバの外径を上記の範囲とすることにより、小型でかつ曲げ損失の少ない良好な光部品を得ることができる上に、シングルモード光ファイバ、エルビウム添加光ファイバと低損失かつ十分な接続強度を有する接続が可能な光ファイバとすることができる。

さらに言えば、本発明の外径７０μｍ～９０μｍの光ファイバを用いれば、融着延伸型光ファイバカプラを小型化することは可能である。融着延伸型光ファイバカプラの小型化は、結合長（融着延伸部の長さ）を短くすることで達成される。本発明の光ファイバは、従来の光ファイバの外径１２５μｍに比べて、外径７０μｍ～９０μｍと小さいため、モードカップリングを生じさせるための結合長を従来の光ファイバよりも短くでき、ゆえに光ファイバカプラの小型化が可能である。

さらに、本発明の光ファイバは、コアを囲むクラッド内に、このコアに対して対称に配置された２つの応力付与部を有する偏波保持光ファイバであることが好

ましい。

近年の通信需要増大の対応するために、高密度波長多重伝送技術の一つとして偏波インターリーブ多重伝送技術がある。この偏波インターリーブ多重伝送技術では、偏波面を保持したまま信号光を増幅することのできる、偏波面保持型のエルビウム添加光ファイバ増幅器が必要不可欠となる。したがって、この偏波面保持型のエルビウム添加光ファイバ増幅器を構成する主要部品である、エルビウム添加光ファイバ、光ファイバカプラなどは偏波面保持型である必要がある。ファイバ型の光部品であれば、コアを囲むクラッド内に、このコアに対して対称に配置された２つの応力付与部を有するいわゆるＰＡＮＤＡ型光ファイバやＢｏｗ－Ｔｉｅ型光ファイバといわれる偏波保持光ファイバを用いて光部品を作製することで、偏波面保持型の光部品を得ることができることが知られている。また、偏波面保持型のエルビウム添加光ファイバ増幅器においても、各部品を接続する際に、低損失かつ十分な接続強度を有する接続をすることが要求されている。以上のことから、本発明の光ファイバが、偏波保持光ファイバであれば、偏波面保持型のエルビウム添加光ファイバ増幅器を構成する光ファイバとして、好適に用いられる。

また、本発明の光ファイバカプラは、本発明の光ファイバを用いて製造された融着延伸型の光ファイバカプラである。

本発明の光ファイバは、シングルモード光ファイバまたはエルビウム添加光ファイバと低損失かつ十分な接続強度を有する接続が可能であるから、本発明の光ファイバカプラも同様に、低損失かつ十分な接続強度を有する接続が可能な光ファイバカプラとなる。

本発明のエルビウム添加光ファイバ増幅器は、本発明の光ファイバを用いて製造されたものであり、ファイバ型の光部品と、ファイバ型ではない光部品とから概略構成されている。

通常、エルビウム添加光ファイバ増幅器を構成する光部品のＭＦＤは、それぞれ異なっている。そのため、エルビウム添加光ファイバ増幅器では、ＭＦＤの異なる部品同士を低損失かつ十分な接続強度を有する接続が不可欠である。本発明のエルビウム添加光ファイバ増幅器では、本発明の光ファイバを各部品間の接続

部に挿入して、各部品を接続させることで、部品同士を直接接続させるよりもより低損失かつ十分な接続強度を有する接続を実現でき、結果として、性能を向上することができる。

本発明の光導波路は、本発明の光ファイバをピグテイルとして用いて製造されたものであり、ＭＦＤの異なる少なくとも２種類以上の光ファイバもしくは光部品とが接続されてなるファイバ型の光部品である。

通常、光導波路は、光通信用として使用されるシングルモード光ファイバからの波長１５５０ｎｍ光を光導波路に導入する必要がある。しかし、シングルモード光ファイバと光導波路とはＭＦＤが異なっている。そこで、本発明の光ファイバをピグテイルとして用いて製造した光導波路を用いれば、この光導波路とシングルモード光ファイバとを低損失かつ十分な接続強度で接続することができる。

以下、実施例により本発明をさらに具体的に説明するが、本発明は以下の実施例に限定されるものではない。

（実施例１）

図１は、エルビウム添加光ファイバ増幅器の一部を示す模式図である。

この例のエルビウム添加光ファイバ増幅器は、エルビウム添加光ファイバ１１と、光ファイバ１４、１４が融着延伸されてなる光ファイバカプラ１２と、光ファイバカプラ１２を形成する本発明の光ファイバ１４に接続されるシングルモード光ファイバ１３とから概略構成されている。

図１に示したように、この例のエルビウム添加光ファイバ増幅器では、光ファイバカプラ１２と、エルビウム添加光ファイバ１１およびシングルモード光ファイバ１３とが、融着接続部１６で接続されている。光ファイバカプラ１２の接続損失および接続強度は、これを形成している光ファイバ１４、１４の接続損失および接続強度と同じである。そこで、光ファイバカプラ１２を形成する光ファイバ１４、１４として、本発明の光ファイバと、従来の高開口数を有する光ファイバとを用意し、２本の本発明の光ファイバからなる光ファイバカプラ１２、および、２本の従来の高開口数を有する光ファイバからなる光ファイバカプラ１２を作製した。

ここで、図２は、光ファイバの屈折率プロファイルを示す図であり、（ａ）は本

発明の光ファイバの屈折率プロファイルを示し、（ｂ）は従来の高開口数を有する光ファイバの屈折率プロファイルを示す。

図２（ａ）に示すように、本発明の光ファイバは、コアの外周がコアよりも屈折率の小さいクラッドで包囲されている光ファイバであり、クラッドが組成の異なる内側クラッド、外側クラッドの２層構造になっている。

コアは、ゲルマニウム（Ｇｅ）とフッ素（Ｆ）が添加された石英系ガラス（SiO_2／GeO_2／Ｆ）により形成されており、ドーパントの含有量を、ゲルマニウムが１２質量%、フッ素が０．２質量%とした。

内側クラッドは、ゲルマニウム、リン（Ｐ）およびフッ素が添加された石英系ガラス（SiO_2／GeO_2／P_2O_5／Ｆ）により形成されており、ドーパントの含有量を、ゲルマニウムが約１質量%、リンが約１質量%、フッ素が約０．５質量%とした。

外側クラッドは、石英ガラス（SiO_2）により形成されている。

また、内側クラッドと外側クラッドとの比屈折率差Δはほとんどなく、内側クラッドの直径は２０μｍであった。

図２（ｂ）に示すように、従来の高開口数を有する光ファイバは、コアの外周側がコアよりも屈折率の小さいクラッドで包囲されている光ファイバである。

コアは、ゲルマニウムとフッ素が添加された石英系ガラス（SiO_2／GeO_2／Ｆ）により形成されており、ドーパントの含有量は、ゲルマニウムが１２質量%、フッ素が０．２質量%であった。

クラッドは、純粋石英ガラス（SiO_2）により形成されている。

また、図１に示すエルビウム添加光ファイバ増幅器を構成する各光ファイバの特性を表１に示す。

表１

光ファイバの種類	比屈折率差Δ（%）	開口数	コア径（μm）	ＭＦＤ（@1550ｎｍ）（μm）	実効遮断波長（μm）
本発明の光ファイバ	1.0	0.21	3.5	6.5	0.92
従来の高開口数を有する光ファイバ	1.0	0.21	3.5	6.5	0.92
シングルモード光ファイバ	0.35	0.12	8.2	10	1.28
エルビウム添加光ファイバ	1.22	0.23	2.9	5.5	0.88

本発明の光ファイバと従来の高開口数を有する光ファイバのどちらとも、コアとクラッドの比屈折率差Δは１．０％、コア径は３．５μｍ、開口数は０．２１、実効遮断波長は０．９２μｍ、波長１５５０ｎｍ光におけるＭＦＤは６．５μｍとなっている。

この２種類の光ファイバのどちらか一方を用いて作製した光ファイバカプラ１２に、それぞれエルビウム添加光ファイバ１１とシングルモード光ファイバ１３を融着接続し、融着接続部１６における接続損失と接続強度の測定を行った。

融着接続部１６における接続損失と接続強度の測定手順について説明する。

接続される各々の光ファイバ端面を、ファイバクリーバーなどで処理して平面状にした後、通常のアーク放電型の融着接続装置に光ファイバを取り付け、アークの存在下で光ファイバ同士を融着接続させ、さらにＭＦＤを拡大させるための加熱処理を行うためにアークを維持し続けた。加熱処理中のアーク電流は、光ファイバの温度が１４００～１６００℃程度のガラス軟化点まで上昇するように選択した。融着接続中および接続後の加熱処理中に、融着接続部１６の伝搬損失の

変化を測定し、最も伝搬損失が低くなった時に融着接続部１６の最低接続損失とした。また、アークの維持時間に対する伝搬損失の変化も測定し、最低接続損失に至るまでのアークの維持時間を最低接続損失時間とした。次に、光ファイバの融着接続を、最低接続損失時間で接続を完了させたものを５０本ずつ用意し、これらの融着接続部１６に対して引張試験を行った。引張試験方法は、融着接続したサンプルを公知の引張試験機に固定して、１分間に伸びひずみ量が５％になる引張速度でサンプルを引張り、破断したときの張力を記録した。用意した５０本の光ファイバに対して試験を行い、累積破断確率が５０％となる破断張力を算出した。ここで、累積破断確率とは、ある破断張力以下で破断する確率のことである。本実施例では、引張試験によって得られた５０本分の破断張力データをワイブル解析の手順に従って累積破断確率と破断張力の関係を得ている。結果を表２に示す。

表２

接続される光ファイバ（１）	接続される光ファイバ（２）	最低接続損失（ｄＢ）	最低接続損失時間（秒）	累積破断確率が５０％となる破断張力（GPａ）
シングルモード光ファイバ	本発明のファイバ	0.1	10	2.4
シングルモード光ファイバ	従来の高開口数を有する光ファイバ	0.2	30	2.0
エルビウム添加光ファイバ	本発明のファイバ	0.1	2	2.5
エルビウム添加光ファイバ	従来の高開口数を有する光ファイバ	0.2	1	1.2

表２の結果から、シングルモード光ファイバとの接続においては、本発明の光ファイバの最低接続損失は０．１ｄＢ、従来の高開口数を有する光ファイバの最低接続損失は０．２ｄＢであった。最低接続損失時間は、本発明の光ファイバで

は１０秒、一方、従来の高開口数を有する光ファイバでは３０秒であった。これは、本発明の光ファイバの方がコアに含まれるドーパントの拡散速度が速いため、本発明の光ファイバのＭＦＤとシングルモード光ファイバのＭＦＤが比較的速く一致するためである。

引張試験において、累積破断確率が５０％となる破断張力は、本発明の光ファイバとシングルモード光ファイバとを融着接続した場合には２．４ＧＰａ、従来の高開口数を有する光ファイバとシングルモード光ファイバとを融着接続した場合には２．０ＧＰａとなり、最低接続損失時間が長い従来の高開口数を有する光ファイバの方が、強度が弱かった。また、比較的接続強度が強いとされる、シングルモード光ファイバ同士の接続部分の強度と比較してみると、シングルモード光ファイバ同士の接続部分における破断張力は２．５ＧＰａであり、本発明の光ファイバとシングルモード光ファイバの接続強度とほぼ同等であった。ゆえに、本発明の光ファイバは、シングルモード光ファイバとの接続において、低損失でかつ十分な強度を得ることができることが確認された。

一方、エルビウム添加光ファイバとの接続においては、本発明の光ファイバの最低接続損失は０．１ｄＢ、従来の高開口数を有する光ファイバの最低接続損失は０．２ｄＢであった。

図３は、エルビウム添加光ファイバと、本発明の光ファイバまたは従来の高開口数を有する光ファイバとの融着接続時の加熱時間に対するＭＦＤの変化の様子を示す図である。最低接続損失時間は、本発明の光ファイバでは２秒であり、一方、従来の高開口数を有する光ファイバでは１秒であった。エルビウム添加光ファイバのコアに含まれるドーパントの拡散速度は、従来の高開口数を有する光ファイバよりも十分速いため、短い時間でＭＦＤが一致してしまう。一方、本発明の光ファイバは、加熱初期のコアに含まれるドーパント拡散速度が、従来の高開口数を有する光ファイバの拡散速度よりも速くなっているので、エルビウム添加光ファイバのＭＦＤと一致する時間を、従来の高開口数を有する光ファイバよりも比較的長くすることができ、結果として、最低接続損失時間を比較的長くすることができる。

引張試験において、累積破断確率が５０％となる破断張力は、本発明の光ファ

イバとエルビウム添加光ファイバとを融着接続した場合には２．５ＧＰａであり、比較的接続強度が強いとされる、シングルモード光ファイバ同士の接続部分の強度２．５ＧＰａと同等の強度を有していた。一方、従来の高開口数を有する光ファイバとエルビウム添加光ファイバとを融着接続した場合には１．２ＧＰａであり強度が非常に低かった。これは、従来の高開口数を有する光ファイバとエルビウム添加光ファイバの最低接続損失時間が短いため十分な接続強度が得られていないことが原因である。そのため、従来の高開口数を有する光ファイバとエルビウム添加光ファイバとの接続は、低接続損失であっても接続強度が低いために使用に耐えられない。一方、本発明の光ファイバは、低接続損失でかつ十分な接続強度でエルビウム添加光ファイバと接続することができた。

（実施例２）

図２（ａ）のような構造の光ファイバで、内側クラッドの直径が異なる３種類の光ファイバを用意した。内側クラッドの直径を、それぞれ１０μｍ、２０μｍ、４０μｍとした。

図２（ａ）に示すように、本発明の光ファイバは、コアの外周がコアよりも屈折率の小さいクラッドで包囲されている光ファイバであり、クラッドが組成の異なる内側クラッド、外側クラッドの２層構造になっている。

コアは、ゲルマニウム（Ｇｅ）とフッ素（Ｆ）が添加された石英系ガラス（SiO_2／GeO_2／Ｆ）により形成されており、ドーパントの含有量を、ゲルマニウムが１２質量%、フッ素が０．２質量%とした。

内側クラッドは、ゲルマニウム、リン（Ｐ）およびフッ素が添加された石英系ガラス（SiO_2／GeO_2／P_2O_5／Ｆ）により形成されており、ドーパントの含有量を、ゲルマニウムが約１質量%、リンが約１質量%、フッ素が約０．５質量%とした。

外側クラッドは、石英ガラス（SiO_2）により形成されている。

また、内側クラッドと外側クラッドとの屈折率差Δは、ほとんどないようになっている。

全ての光ファイバのコアの構造を、実施例１の本発明の光ファイバと同様とした。コアの比屈折率差Δを１．０%、開口数を０．２１、コア径を３．５μｍ、

ＭＦＤ（@１５５０ｎｍ）を６．５μｍ、実効遮断波長を０．９２μｍとした。

実施例１と同様に、内側クラッドの直径が異なる光ファイバのそれぞれを、シングルモード光ファイバまたはエルビウム添加光ファイバと融着接続させて、そのときの接続損失と接続強度の測定を行った。測定手順は、実施例１と同様とした。結果を表３に示す。

表３

本発明の光ファイバ	接続される光ファイバ	最低接続損失（ｄＢ）	最低接続損失時間（秒）	累積破断確率が５０%となる破断張力（GPａ）
内側クラッド10μｍ	シングルモード光ファイバ	0.12	18	2.2
内側クラッド20μｍ	シングルモード光ファイバ	0.10	10	2.4
内側クラッド40μｍ	シングルモード光ファイバ	0.12	4.5	2.5
内側クラッド10μｍ	エルビウム添加光ファイバ	0.12	1.8	2.3
内側クラッド20μｍ	エルビウム添加光ファイバ	0.10	2.0	2.5
内側クラッド40μｍ	エルビウム添加光ファイバ	0.12	4.0	2.4

表３の結果から、内側クラッドの直径を２０μｍとした光ファイバが最も良好な接続損失であったが、内側クラッドの直径が１０μｍ、４０μｍとの差は０．０２ｄＢ程度であった。接続強度は３種類とも良好であった。ゆえに、内側クラッドの直径が１０μｍ～４０μｍである本発明の光ファイバは、シングルモード光ファイバまたはエルビウム添加光ファイバとの接続において、低損失かつ十分な強度を得ることが確認できた。

（比較例１）

実施例２のような構造の光ファイバで、内側クラッドの直径のみが実施例２と異なる２種類の光ファイバを用意した。内側クラッドの直径を、それぞれ５μｍ、４５μｍとした。

実施例１と同様に、内側クラッドの直径が異なる光ファイバのそれぞれを、シングルモード光ファイバまたはエルビウム添加光ファイバと融着接続させて、そのときの接続損失と接続強度の測定を行った。測定手順は、実施例１と同様とした。結果を表４に示す。

表４

接続される光ファイバ（１）	接続される光ファイバ（２）	最低接続損失（ｄＢ）	最低接続損失時間（秒）	累積破断確率が５０％となる破断張力（ＧＰａ）
内側クラッド５μｍ	シングルモード光ファイバ	0.18	25	2.1
内側クラッド４５μｍ	シングルモード光ファイバ	0.18	1.5	2.0
内側クラッド５μｍ	エルビウム添加光ファイバ	0.15	1.2	1.8
内側クラッド４５μｍ	エルビウム添加光ファイバ	0.15	5.0	2.4

表４の結果から、実施例２よりも接続損失が高く、接続強度が２．０ＧＰａよりも低いものもあった。

ゆえに、内側クラッドの直径が１０μｍ～４０μｍの範囲外の光ファイバは、シングルモード光ファイバまたはエルビウム添加光ファイバとの接続において、本発明の光ファイバに比べて接続特性が劣ることが確認できた。

（実施例３）

図２（ａ）のような構造の光ファイバで、内側クラッドのドーパントの含有量

が異なる３種類の光ファイバＡ、Ｂ、Ｃを用意した。

光ファイバＡは、内側クラッドが、ゲルマニウム、リン（Ｐ）およびフッ素が添加された石英系ガラス（SiO_2／GeO_2／P_2O_5／Ｆ）により形成されており、ドーパントの含有量を、ゲルマニウムが０．２質量％、リンが０．５質量％、フッ素が０．１質量％とした。

光ファイバＢは、内側クラッドが、ゲルマニウム、リン（Ｐ）およびフッ素が添加された石英系ガラス（SiO_2／GeO_2／P_2O_5／Ｆ）により形成されており、ドーパントの含有量を、ゲルマニウムが約１質量％、リンが約１質量％、フッ素が約０．５質量％とした。

光ファイバＣは、内側クラッドが、ゲルマニウム、リン（Ｐ）およびフッ素が添加された石英系ガラス（SiO_2／GeO_2／P_2O_5／Ｆ）により形成されており、ドーパントの含有量を、ゲルマニウムが１．５質量％、リンが１．５質量％、フッ素が１．０質量％とした。

内側クラッドのドーパント濃度以外は全て実施例１と同じとした。

すなわち、コアは、ゲルマニウム（Ｇｅ）とフッ素（Ｆ）が添加された石英系ガラス（SiO_2／GeO_2／Ｆ）により形成されており、ドーパントの含有量を、ゲルマニウムが１２質量％、フッ素が０．２質量％とした。

外側クラッドは、石英ガラス（SiO_2）により形成されている。

また、内側クラッドと外側クラッドとの屈折率差Δは、ほとんどないようになっている。

コアの構造を全て表１の本発明の光ファイバと同様とした。コアの比屈折率差Δを１．０％、開口数を０．２１、コア径を３．５μｍ、ＭＦＤ（@１５５０ｎｍ）を６．５μｍ、実効遮断波長を０．９２μｍとした。内側クラッドの直径を、２０μｍとした。

実施例１と同様に、内側クラッドのドーパントの含有量が異なる光ファイバのそれぞれを、シングルモード光ファイバまたはエルビウム添加光ファイバと融着接続させて、そのときの接続損失と接続強度の測定を行った。測定手順は、実施例１と同様とした。結果を表５に示す。

表５

本発明の光ファイバ	接続される光ファイバ	最低接続損失（ｄＢ）	最低接続損失時間（秒）	累積破断確率が５０％となる破断張力（GPａ）
光ファイバＡ（濃度小）	シングルモード光ファイバ	0.11	16	2.3
光ファイバＢ（濃度中）	シングルモード光ファイバ	0.10	10	2.4
光ファイバＣ（濃度大）	シングルモード光ファイバ	0.12	5.0	2.4
光ファイバＡ（濃度小）	エルビウム添加光ファイバ	0.12	1.7	2.1
光ファイバＢ（濃度中）	エルビウム添加光ファイバ	0.10	2.0	2.5
光ファイバＣ（濃度大）	エルビウム添加光ファイバ	0.12	2.5	2.5

表５の結果から、光ファイバＢが最も良好な接続損失を示したが、光ファイバＡまたは光ファイバＣとの差は０．０２ｄＢ程度であった。接続強度に関しては、３種とも良好であった。

ゆえに、コアに含まれるゲルマニウムの濃度を３．０～２１．０質量%、フッ素の濃度を０～１．０質量%、内側クラッドに含まれるドーパント濃度について、ゲルマニウムの濃度を０．２～１．５質量%、リンの濃度を０．５～１．５質量%、フッ素の濃度を０．１～１．０質量%とした本発明の光ファイバは、シングルモード光ファイバまたはエルビウム添加光ファイバとの接続において、低損失かつ十分な強度を得ることが確認できた。

（比較例２）

実施例３のような構造の光ファイバで、内側クラッドのドーパントの含有量の

みが実施例３と異なる２種類の光ファイバD、Eを用意した。

光ファイバDは、内側クラッドが、リン（P）およびフッ素が添加された石英系ガラス（SiO_2／P_2O_5／F）により形成されており、ドーパントの含有量を、リンが０．２質量%、フッ素が０．０５質量%とした。

光ファイバEは、内側クラッドが、ゲルマニウム、リン（P）およびフッ素が添加された石英系ガラス（SiO_2／GeO_2／P_2O_5／F）により形成されており、ドーパントの含有量を、ゲルマニウムが約２．０質量%、リンが約２．０質量%、フッ素が約１．２質量%とした。

実施例１と同様に、内側クラッドのドーパントの含有量が異なる光ファイバのそれぞれを、シングルモード光ファイバまたはエルビウム添加光ファイバと融着接続させて、そのときの接続損失と接続強度の測定を行った。測定手順は、実施例１と同様とした。結果を表６に示す。

表６

接続される光ファイバ（１）	接続される光ファイバ（２）	最低接続損失（ｄＢ）	最低接続損失時間（秒）	累積破断確率が５０%となる破断張力（GPａ）
光ファイバD（濃度極小）	シングルモード光ファイバ	0.14	20	2.2
光ファイバE（濃度極大）	シングルモード光ファイバ	0.22	1.5	1.9
光ファイバD（濃度極小）	エルビウム添加光ファイバ	0.14	1.5	1.9
光ファイバE（濃度極大）	エルビウム添加光ファイバ	0.15	3.5	2.4

表６の結果から、実施例３よりも接続損失が高く、接続強度が２．０ＧＰａよりも低いものもあった。

ゆえに、コアのドーパント濃度がゲルマニウムを１２質量%、フッ素を０．２質量%とし、内側クラッドのドーパント濃度がゲルマニウムを０．２～１．５質量%、リンを０．５～１．５質量%、フッ素を０．１～１．０質量%の範囲外とした光ファイバは、シングルモード光ファイバまたはエルビウム添加光ファイバとの接続において、本発明の光ファイバに比べて接続特性が劣ることが確認できた。

また、図４に、上記光ファイバA～Eについて、加熱時間に対するモードフィールド径（ＭＦＤ）の変化を示す。

図４から、本発明の光ファイバである光ファイバA、BおよびCは、シングルモード光ファイバまたはエルビウム添加光ファイバとの融着接続において、低損失かつ十分な強度を得ることが分かった。

（実施例４）

図５に示すような構造のＰＡＮＤＡ型偏波保持光ファイバで、内側クラッドの直径が異なる３種類のＰＡＮＤＡ型偏波保持光ファイバを用意した。

このＰＡＮＤＡ型偏波保持光ファイバは、直径３．５μｍのコア２１と、内側クラッド２２、直径１２５μｍの外側クラッド２３、および、コア２１に対して対称に配置された２つの応力付与部２４、２４からなる光ファイバである。

内側クラッド２２の直径を、それぞれ１０μｍ、２０μｍ、４０μｍとした。

コア２１は、ゲルマニウム（Ｇｅ）とフッ素（Ｆ）が添加された石英系ガラス（SiO_2／GeO_2／Ｆ）により形成されており、ドーパントの含有量を、ゲルマニウムが１２質量%、フッ素が０．２質量%とした。

内側クラッド２２は、ゲルマニウム、リン（Ｐ）およびフッ素が添加された石英系ガラス（SiO_2／GeO_2／P_2O_5／Ｆ）により形成されており、ドーパントの含有量を、ゲルマニウムが約１質量%、リンが約１質量%、フッ素が約０．５質量%とした。

外側クラッド２３は、石英ガラス（SiO_2）により形成されている。

２つの応力付与部２４、２４は、ホウ素が添加された石英系ガラス（SiO_2／B_2O_3）により形成されている。

また、内側クラッド２２と外側クラッド２３との屈折率差Δは、ほとんどない

ようになっている。

コアの比屈折率差Δを１．０％、ＭＦＤ（@１５５０ｎｍ）を６．５μｍ、実効遮断波長を０．９２μｍとした。

実施例１と同様に、内側クラッドの直径が異なるＰＡＮＤＡ型偏波保持光ファイバのそれぞれを、シングルモード光ファイバまたはエルビウム添加光ファイバと融着接続させて、そのときの接続損失と接続強度の測定を行った。測定手順は、実施例１と同様とした。結果を表７に示す。

表７

ＰＡＮＤＡ型偏波保持光ファイバ	接続される光ファイバ	最低接続損失（ｄＢ）	最低接続損失時間（秒）	累積破断確率が５０％となる破断張力（GPａ）
内側クラッド10μｍ	シングルモード光ファイバ	0.12	18	2.2
内側クラッド20μｍ	シングルモード光ファイバ	0.10	10	2.4
内側クラッド40μｍ	シングルモード光ファイバ	0.12	4.5	2.5
内側クラッド10μｍ	エルビウム添加光ファイバ	0.12	1.8	2.3
内側クラッド20μｍ	エルビウム添加光ファイバ	0.10	2.0	2.5
内側クラッド40μｍ	エルビウム添加光ファイバ	0.12	4.0	2.4

表７の結果から、内側クラッド２２の直径を２０μｍとした光ファイバが最も良好な接続損失であったが、内側クラッド２２の直径が１０μｍ、４０μｍとの差は０．０２ｄＢ程度であった。接続強度は３種とも良好であった。ゆえに、内

側クラッド２２の直径が１０μｍ～４０μｍであるＰＡＮＤＡ型偏波保持光ファイバは、シングルモード光ファイバまたはエルビウム添加光ファイバとの接続において、低損失かつ十分な強度を得ることが確認できた。

（比較例３）

実施例４のような構造の光ファイバで、内側クラッドの直径のみが実施例４と異なる２種類のＰＡＮＤＡ型偏波保持光ファイバを用意した。内側クラッドの直径を、それぞれ５μｍ、４５μｍとした。

実施例１と同様に、内側クラッドの直径が異なるＰＡＮＤＡ型偏波保持光ファイバのそれぞれを、シングルモード光ファイバまたはエルビウム添加光ファイバと融着接続させて、そのときの接続損失と接続強度の測定を行った。測定手順は、実施例１と同様とした。結果を表８に示す。

表８

ＰＡＮＤＡ型偏波保持光ファイバ	接続される光ファイバ	最低接続損失（ｄＢ）	最低接続損失時間（秒）	累積破断確率が５０％となる破断張力（ＧＰａ）
内側クラッド5μｍ	シングルモード光ファイバ	0.18	25	2.1
内側クラッド45μｍ	シングルモード光ファイバ	0.18	1.5	2.0
内側クラッド5μｍ	エルビウム添加光ファイバ	0.15	1.2	1.8
内側クラッド45μｍ	エルビウム添加光ファイバ	0.15	5.0	2.4

表８の結果から、実施例４よりも接続損失が高く、接続強度が２．０ＧＰａよりも低いものもあった。

ゆえに、内側クラッドの直径が１０μｍ～４０μｍの範囲外のＰＡＮＤＡ型偏

波保持光ファイバは、シングルモード光ファイバおよびエルビウム添加光ファイバとの接続において、本発明のＰＡＮＤＡ型偏波保持光ファイバに比べて接続特性が劣ることが確認できた。

（実施例５）

図５に示すような構造のＰＡＮＤＡ型偏波保持光ファイバで、内側クラッドのドーパントの含有量が異なる３種類の光ファイバＦ、Ｇ、Ｈを用意した。

光ファイバＦは、内側クラッド２２が、ゲルマニウム、リン（Ｐ）およびフッ素が添加された石英系ガラス（SiO_2／GeO_2／P_2O_5／Ｆ）により形成されており、ドーパントの含有量を、ゲルマニウムが０．２質量%、リンが０．５質量%、フッ素が０．１質量%とした。

光ファイバＧは、内側クラッド２２が、ゲルマニウム、リン（Ｐ）およびフッ素が添加された石英系ガラス（SiO_2／GeO_2／P_2O_5／Ｆ）により形成されており、ドーパントの含有量を、ゲルマニウムが約１質量%、リンが約１質量%、フッ素が約０．５質量%とした。

光ファイバＨは、内側クラッド２２が、ゲルマニウム、リン（Ｐ）およびフッ素が添加された石英系ガラス（SiO_2／GeO_2／P_2O_5／Ｆ）により形成されており、ドーパントの含有量を、ゲルマニウムが１．５質量%、リンが１．５質量%、フッ素が１．０質量%とした。

内側クラッド２２のドーパント濃度および応力付与部２４、２４を有すること以外は全て実施例１と同じとした。

すなわち、コアは、ゲルマニウム（Ｇｅ）とフッ素（Ｆ）が添加された石英系ガラス（SiO_2／GeO_2／Ｆ）により形成されており、ドーパントの含有量を、ゲルマニウムが１２質量%、フッ素が０．２質量%とした。

外側クラッド２３は、石英ガラス（SiO_2）により形成されている。

また、内側クラッド２２と外側クラッド２３との屈折率差Δは、ほとんどないようになっている。

コア２１の比屈折率差Δを１．０%、ＭＦＤ（@１５５０ｎｍ）を６．５μｍ、実効遮断波長を０．９２μｍとした。内側クラッド２２の直径を、２０μｍとした。

実施例１と同様に、内側クラッドのドーパントの含有量が異なるＰＡＮＤＡ型偏波保持光ファイバのそれぞれを、シングルモード光ファイバまたはエルビウム添加光ファイバと融着接続させて、そのときの接続損失と接続強度の測定を行った。測定手順は、実施例１と同様とした。結果を表９に示す。

表９

ＰＡＮＤＡ型偏波保持光ファイバ	接続される光ファイバ（２）	最低接続損失（ｄＢ）	最低接続損失時間（秒）	累積破断確率が５０％となる破断張力（ＧＰａ）
光ファイバＦ（濃度小）	シングルモード光ファイバ	0.11	16	2.3
光ファイバＧ（濃度中）	シングルモード光ファイバ	0.10	10	2.4
光ファイバＨ（濃度大）	シングルモード光ファイバ	0.12	5.0	2.4
光ファイバＦ（濃度小）	エルビウム添加光ファイバ	0.12	1.7	2.1
光ファイバＧ（濃度中）	エルビウム添加光ファイバ	0.10	2.0	2.5
光ファイバＨ（濃度大）	エルビウム添加光ファイバ	0.12	2.5	2.5

表９の結果から、光ファイバＧが最も良好な接続損失を示したが、光ファイバＦまたは光ファイバＨとの差は０．０２ｄＢ程度であった。接続強度に関しては、３種とも良好であった。

ゆえに、コア２１に含まれるゲルマニウムの濃度を３．０～２１．０質量%、フッ素の濃度を０～１．０質量%、内側クラッドに含まれるドーパント濃度について、ゲルマニウムの濃度を０．２～１．５質量%、リンの濃度を０．５～１．

５質量%、フッ素の濃度を０．１～１．０質量%とした本発明のＰＡＮＤＡ型偏波保持光ファイバは、シングルモード光ファイバまたはエルビウム添加光ファイバとの接続において、低損失かつ十分な強度を得ることが確認できた。

（比較例４）

実施例５のような構造のＰＡＮＤＡ型偏波保持光ファイバで、内側クラッド２２のドーパントの含有量のみが実施例３と異なる２種類のＰＡＮＤＡ型偏波保持光ファイバＩ、Ｊを用意した。

光ファイバＩは、内側クラッド２２が、リン（Ｐ）およびフッ素が添加された石英系ガラス（SiO_2／P_2O_5／Ｆ）により形成されており、ドーパントの含有量を、リンが０．２質量%、フッ素が０．０５質量%とした。

光ファイバＪは、内側クラッド２２が、ゲルマニウム、リン（Ｐ）およびフッ素が添加された石英系ガラス（SiO_2／GeO_2／P_2O_5／Ｆ）により形成されており、ドーパントの含有量を、ゲルマニウムが約２．０質量%、リンが約２．０質量%、フッ素が約１．２質量%とした。

実施例１と同様に、内側クラッド２２のドーパントの含有量が異なるＰＡＮＤＡ型偏波保持光ファイバのそれぞれを、シングルモード光ファイバまたはエルビウム添加光ファイバと融着接続させて、そのときの接続損失と接続強度の測定を行った。測定手順は、実施例１と同様とした。結果を表１０に示す。

表１０

ＰＡＮＤＡ型偏波保持光ファイバ	接続される光ファイバ（２）	最低接続損失（ｄＢ）	最低接続損失時間（秒）	累積破断確率が５０％となる破断張力（ＧＰａ）
光ファイバＩ（濃度極小）	シングルモード光ファイバ	0.14	20	2.2
光ファイバＪ（濃度極大）	シングルモード光ファイバ	0.22	1.5	1.9
光ファイバＩ（濃度極小）	エルビウム添加光ファイバ	0.14	1.5	1.9
光ファイバＪ（濃度極大）	エルビウム添加光ファイバ	0.15	3.5	2.4

表１０の結果から、実施例５よりも接続損失が高く、接続強度が２．０ＧＰａよりも低いものもあった。

ゆえに、コア２１のドーパント濃度がゲルマニウムを１２質量%、フッ素を０．２質量%とし、内側クラッド２２のドーパント濃度がゲルマニウムを０．２～１．５質量%、リンを０．５～１．５質量%、フッ素を０．１～１．０質量%の範囲外としたＰＡＮＤＡ型偏波保持光ファイバは、シングルモード光ファイバまたはエルビウム添加光ファイバとの接続において、本発明の光ファイバに比べて接続特性が劣ることが確認できた。

（実施例６）

図６に示すような構造の光パワー合分岐カプラを作製した。

この光パワー合分岐カプラは、Ｔａｐカプラと呼ばれるもので、線路モニタ用にごく僅かな光を取り出すための光ファイバカプラである。このＴａｐカプラは、信号光波長１５５０ｎｍのパワーのうち１％を取り出せるように作製したものである。

この光パワー合分岐カプラでは、第１のポート３１に波長１５５０ｎｍの信号

光を入射し、光ファイバカプラ３５で分岐された光パワーのうち１％を第３のポート３３から出射し、残りの光パワーを第２のポート３２から出射する。

このＴａｐカプラは、本発明の光ファイバを用いて作製した。この光ファイバは外径が８０μｍであり、従来の光ファイバの外径１２５μｍよりも小さい。この光ファイバは、直径約７．２μｍのコアと、直径２０μｍの内側クラッドと、直径８０μｍの外側クラッドからなる光ファイバである。

コアは、ゲルマニウム（Ｇｅ）とフッ素（Ｆ）が添加された石英系ガラス（SiO_2／GeO_2／Ｆ）により形成されており、ドーパントの含有量を、ゲルマニウムが６．３質量%、フッ素が０．２質量%とした。

内側クラッドは、ゲルマニウム、リン（Ｐ）およびフッ素が添加された石英系ガラス（SiO_2／GeO_2／P_2O_5／Ｆ）により形成されており、ドーパントの含有量を、ゲルマニウムが約１質量%、リンが約１質量%、フッ素が約０．５質量%とした。

外側クラッドは、石英ガラス（SiO_2）により形成されている。

コアの比屈折率差Δを０．５４%、ＭＦＤ（@１５５０ｎｍ）を８．３μｍ、実効遮断波長を１．３４μｍとした。

内側クラッドと外側クラッドはほぼ同じ屈折率とした。

この光ファイバを２本用意し、平行に並べて融着延伸して、信号光波長１５５０ｎｍの光パワーのうち１％を取り出すＴａｐカプラを作製した。

このＴａｐカプラの結合長は５ｍｍであった。本発明の光ファイバには内側クラッドが設けられており、かつ外径が８０μｍであるため、結合長を短くすることでき、結果としてＴａｐカプラを小型化することができた。

（比較例５）

実施例６と同様のＴａｐカプラを作製した。

このＴａｐカプラは、従来の光ファイバを用いて作製した。この比較例で用いた光ファイバは外径が１２５μｍであり、直径約７．２μｍのコアと、直径１２５μｍのクラッドとからなる光ファイバである。

コアは、ゲルマニウム（Ｇｅ）とフッ素（Ｆ）が添加された石英系ガラス（SiO_2／GeO_2／Ｆ）により形成されており、ドーパントの含有量を、ゲルマニ

ウムが６．３質量%、フッ素が０．２質量%とした。

クラッドは、純粋石英ガラス（SiO_2）により形成されている。

コアの比屈折率差Δを０．５４%、ＭＦＤ（@１５５０ｎｍ）を８．３μｍ、実効遮断波長を１．３４μｍとした。

この光ファイバを２本用意し、平行に並べて融着延伸して、信号光波長１５５０ｎｍの光パワーのうち１%を取り出すＴａｐカプラを作製した。

このＴａｐカプラの結合長は１４ｍｍであった。実施例６と比較すると、結合長が長く、Ｔａｐカプラを小型化するには、従来の光ファイバでは不十分であることが分かった。

（実施例７）

図７に示すような構造のエルビウム添加光ファイバ増幅器４０を作製した。

このエルビウム添加光ファイバ増幅器４０は、波長合波カプラ（Ｗａｖｅｌｅｎｇｔｈ Ｄｉｖｉｓｉｏｎ Ｍｕｌｔｉｐｌｅｘｉｎｇ Ｃｏｕｐｌｅｒ、以下「WDMカプラ」と略す。）４１と、その他の部品４２とが、筐体４３内に収容された構成となっている。また、エルビウム添加光ファイバ増幅器４０の寸法を、縦７０ｍｍ×横９０ｍｍ×幅１２ｍｍとした。

その他の部品４２としては、励起用９８０ｎｍレーザダイオード、光アイソレーター、Ｔａｐカプラなどを用いた。多くの部品を組み込むために、WDMカプラ４１の余長光ファイバ部分を、半径１０ｍｍの円柱部材４４に沿って巻き回して収納することでスペースを確保した。

WDMカプラ４１は、本発明の光ファイバを用いて作製した。この光ファイバ４５は外径が８０μｍであり、従来の光ファイバの外径１２５μｍよりも小さい。光ファイバ４５は、直径約３．１μｍのコアと、直径２０μｍの内側クラッドと、直径８０μｍの外側クラッドからなる光ファイバである。

コアは、ゲルマニウム（Ｇｅ）とフッ素（Ｆ）が添加された石英系ガラス（SiO_2／GeO_2／Ｆ）により形成されており、ドーパントの含有量を、ゲルマニウムが１４質量%、フッ素が０．２質量%とした。

内側クラッドは、ゲルマニウム、リン（Ｐ）およびフッ素が添加された石英系ガラス（SiO_2／GeO_2／P_2O_5／Ｆ）により形成されており、ドーパントの

含有量を、ゲルマニウムが約１質量%、リンが約１質量%、フッ素が約０．５質量%とした。

外側クラッドは、石英ガラス（SiO_2）により形成されている。

コアの比屈折率差Δを１．２５%、ＭＦＤ（@１５５０ｎｍ）を６．０μｍ、実効遮断波長を０．９２μｍとした。

内側クラッドと外側クラッドはほぼ同じ屈折率とした。

光ファイバ４５の曲げ半径１０ｍｍ×５ターンの曲げ損失は、波長１．６１０μｍにおいて０．０５ｄＢ、波長１．６１０μｍよりも短波長側においては０．０５ｄＢよりも小さく、ほぼ０ｄＢである。

光ファイバ４５を２本用意し、平行に並べて融着延伸して、励起光波長９８０ｎｍと信号光波長１５５０ｎｍを合分波するＷＤＭカプラ４１を作製した。

このようにして作製したＷＤＭカプラ４１は、光ファイバ４５の外径が８０μｍであるので、従来の外径１２５μｍの光ファイバで作製したＷＤＭカプラよりも曲げによる歪みが小さくなる。ゆえに、外径８０μｍの光ファイバ４５を用いた本発明のＷＤＭカプラは破断故障率が小さくなる。

光ファイバの破断故障率の算出は、満水他、“スクリーニング試験による光ファイバ強度保証法”、電気通信学会誌‘８３／７、Ｖｏｌ．Ｊ６６－Ｂ、Ｎｏ．７、ｐ８２９（１９８３）にて開示されている。光ファイバの破断故障率は、一般に２０年で破断故障率10^{-5}（１０万個に１個の割合）を保証する必要があるが、外径１２５μｍの光ファイバを用いた従来のＷＤＭカプラでは、曲げ半径１０ｍｍで使用した場合、２０年で破断故障率10^{-5}を大きく上回ってしまい、使用に耐えられない。一方、本発明のＷＤＭカプラでは、光ファイバを曲げ半径１０ｍｍで使用した場合、破断故障率10^{-5}を２０年にわたって保証し得ることを上記文献から確認した。

さらに、本発明の光ファイバを用いたＷＤＭカプラは結合長が５．４ｍｍであり、従来のＷＤＭカプラよりも非常に短い。

実施例６と同様に、本発明の光ファイバには内側クラッドが設けられており、かつ外径が８０μｍであるため、結合長を短くすることができる。実施例７のＷＤＭカプラ４１は、その結合長を５．４ｍｍと非常に短くすることができ、ＷＤ

Mカプラ４１全体を小型化することができた。

WDMカプラはエルビウム添加光ファイバ増幅器に使用されるので、ＭＦＤの異なる光ファイバとの接続は、当然、実施例のWDMカプラ４１に対しても行われる。このWDMカプラ４１では、実施例１と同様に内側クラッドのゲルマニウムを約１質量%、リンを約１質量%、フッ素を約０．５質量%とした光ファイバを用いているので、実施例１とほぼ同様の低損失かつ十分な強度を有する接続を行うことができた。

ゆえに、内側クラッドが設けられ、かつ外径８０μmの本発明の光ファイバを用いたWDMカプラは、従来のWDMカプラよりも小型で、許容曲げ半径も小さく、良好な接続特性を有していることが確認された。したがって、本発明のWDMカプラは、従来よりもサイズの小さいエルビウム添加光ファイバ増幅器に適用可能である。

なお、本発明は上記実施例に限定されることはなく、様々な実施の態様をなし得る。

産業上の利用可能性

以上説明したように、本発明の光ファイバは、中心に設けられ、少なくともゲルマニウムを含む石英系ガラスからなるコアと、コアの周囲に該コアと同心円状に設けられた拡散係数が大きい内側クラッドと、内側クラッドの周囲に設けられた拡散係数が小さい外側クラッドとを有する光ファイバであって、コアには、内側クラッドの２００%程度以上の濃度のゲルマニウムが含まれているから、シングルモード光ファイバまたはエルビウム添加光ファイバのようなＭＦＤの異なる光ファイバに対して、どちらの光ファイバとも低接続損失でかつ十分な接続強度で接続することができる。

請求の範囲

１．中心に設けられ、少なくともゲルマニウムを含む石英系ガラスからなるコアと、該コアの周囲に該コアと同心円状に設けられた拡散係数が大きい内側クラッドと、該内側クラッドの周囲に設けられた拡散係数が小さい外側クラッドとを有する光ファイバであって、前記コアには、前記内側クラッドの２００％程度以上の濃度のゲルマニウムが含まれていることを特徴とする光ファイバ。

２．前記内側クラッドはゲルマニウム、リンおよびフッ素を含む石英系ガラスからなり、前記外側クラッドは石英ガラスからなることを特徴とすることを特徴とする請求の範囲第１項記載の光ファイバ。

３．前記内側クラッドの直径が１０μｍ～４０μｍであることを特徴とする請求の範囲第２項記載の光ファイバ。

４．前記内側クラッドに含まれるゲルマニウムの濃度が０．２～１．５質量％、リンの濃度が０．５～１．５質量％、フッ素の濃度が０．１～１．０質量％であることを特徴とする請求の範囲２または３記載の光ファイバ。

５．前記光ファイバの外径が７０μｍ～９０μｍであることを特徴とする請求の範囲１ないし４のいずれか１項に記載の光ファイバ。

６．前記コアを囲むクラッド内に、該コアに対して対称に配置された２つの応力付与部を有することを特徴とする請求の範囲１ないし５のいずれか１項に記載の光ファイバ。

７．請求の範囲１ないし６のいずれか１項に記載の光ファイバを用いて製造したことを特徴とする光ファイバカプラ。

８．請求の範囲１ないし６のいずれか１項に記載の光ファイバを用いて製造したことを特徴とするエルビウム添加光ファイバ増幅器。

９．請求の範囲１ないし６のいずれか１項に記載の光ファイバをピグテイルとして用いて製造したことを特徴とする光導波路。

図 1

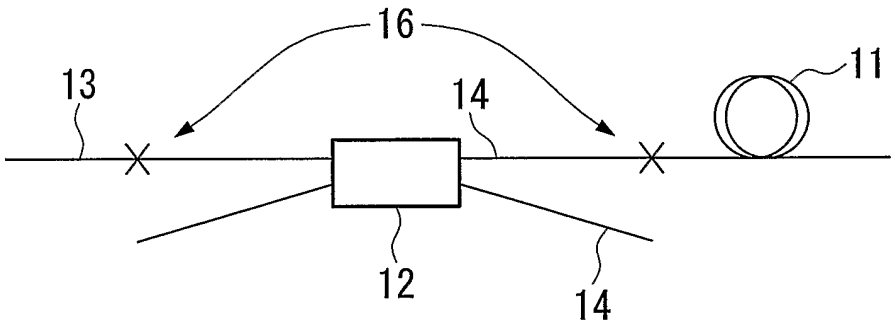

16
13
14
11
12
14

図２Ａ

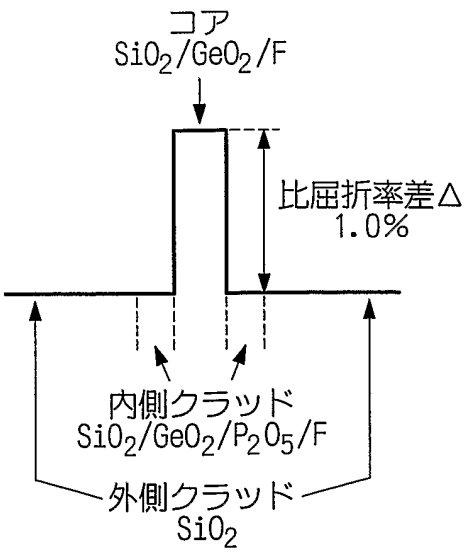

コア
$SiO_2/GeO_2/F$
比屈折率差Δ
1.0%
内側クラッド
$SiO_2/GeO_2/P_2O_5/F$
外側クラッド
SiO_2

図２Ｂ

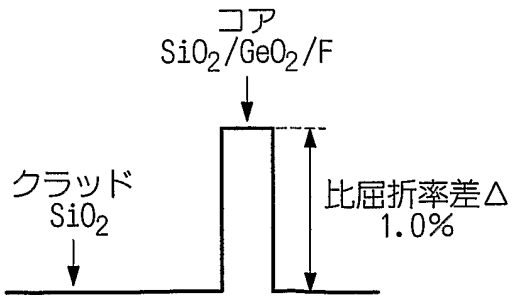

コア
$SiO_2/GeO_2/F$
クラッド
SiO_2
比屈折率差Δ
1.0%

図 3

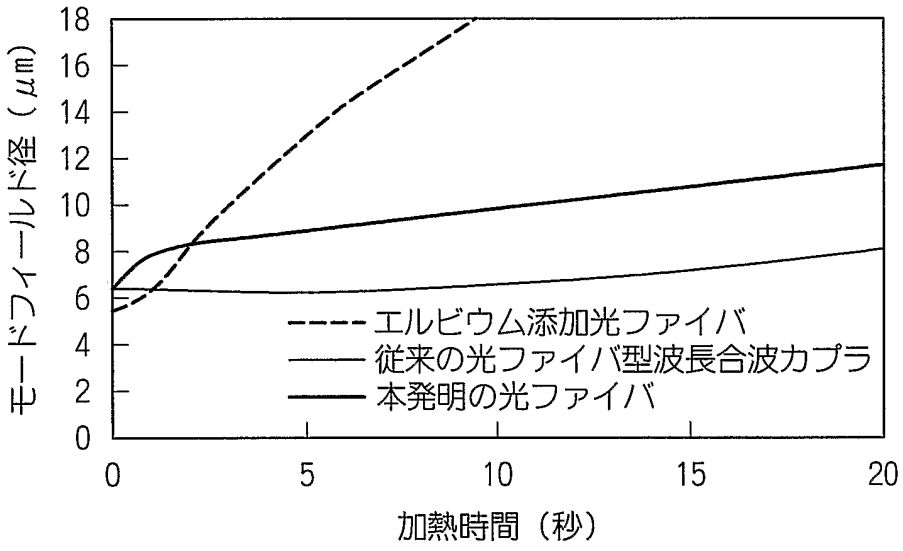

モードフィールド径（μm）
18
16
14
12
10
8
6
4
2
0
0
5
10
15
20
加熱時間（秒）
エルビウム添加光ファイバ
従来の光ファイバ型波長合波カプラ
本発明の光ファイバ

図 4

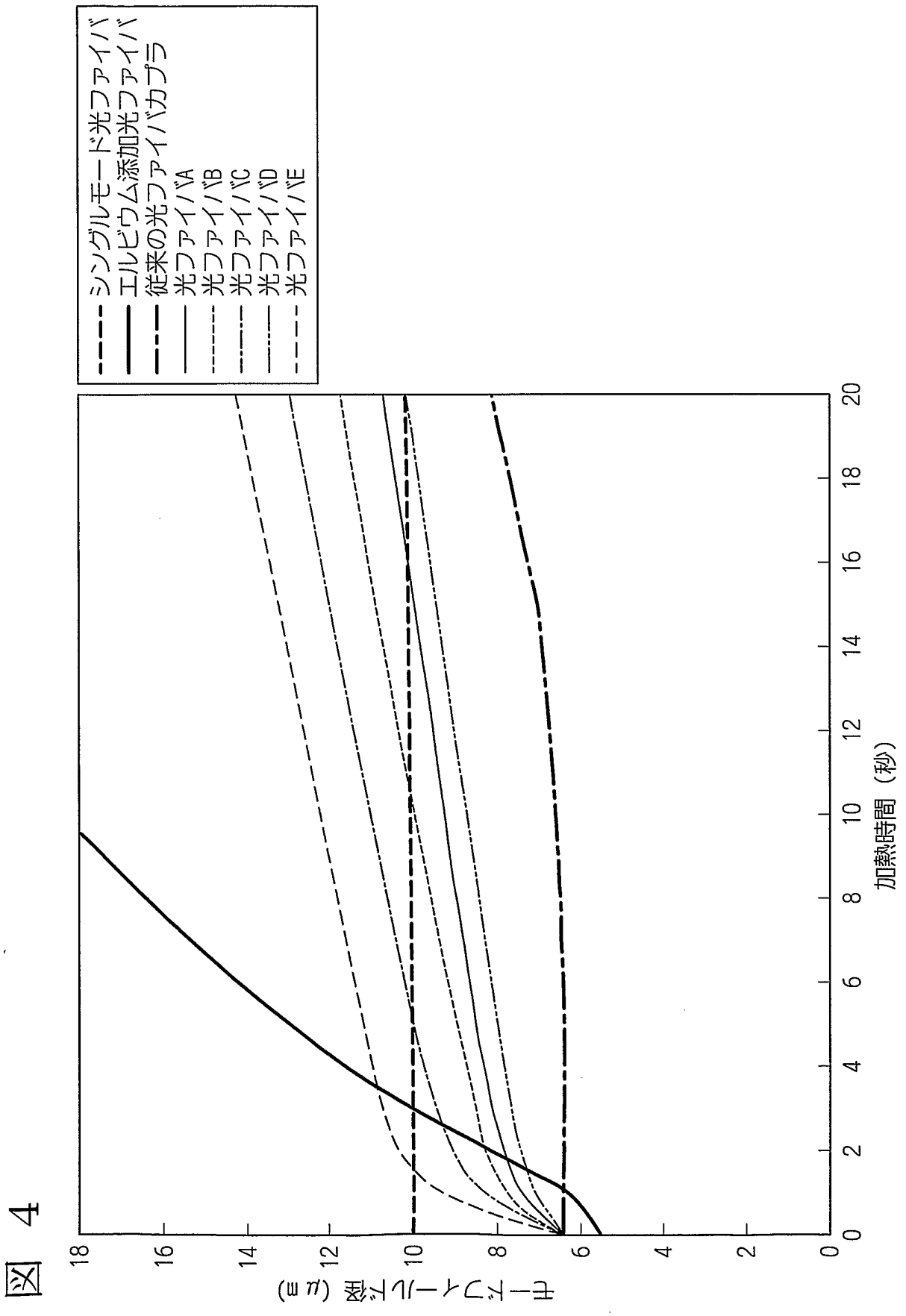

シングルモード光ファイバ
エルビウム添加光ファイバ
従来の光ファイバカプラ
光ファイバA
光ファイバB
光ファイバC
光ファイバD
光ファイバE
モードフィールド径（μm）
加熱時間（秒）
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20

図 5

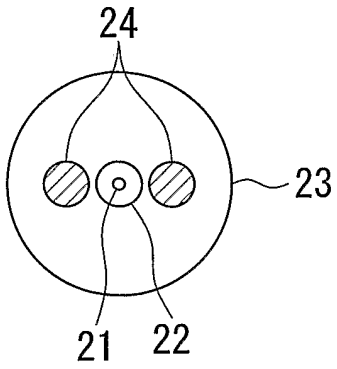

24
23
21
22

図 6

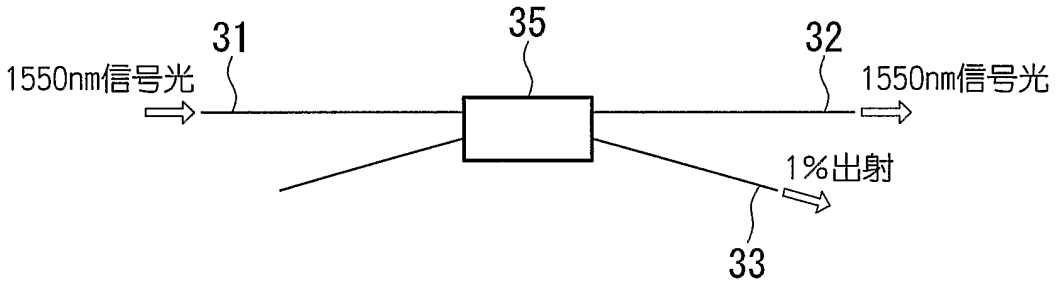

31
35
32
1550nm信号光
1550nm信号光
1%出射
33

図 7

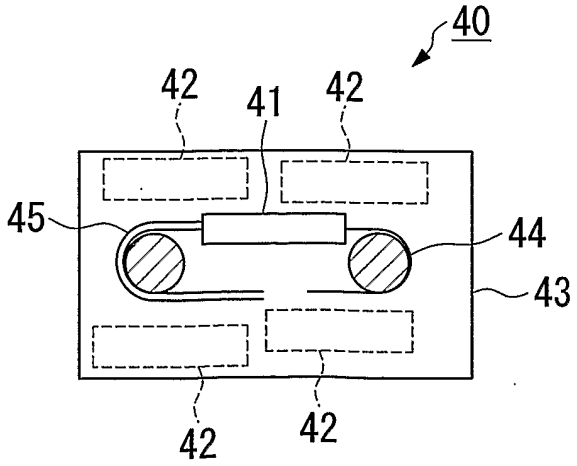

40
42
41
42
45
44
43
42
42

図 8

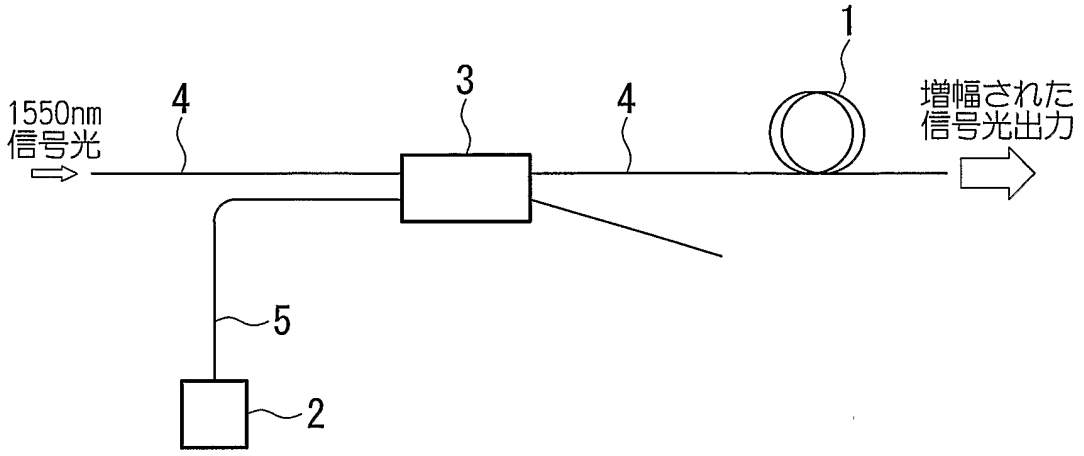

1
3
4
4
1550nm
信号光
増幅された
信号光出力
5
2

図 9

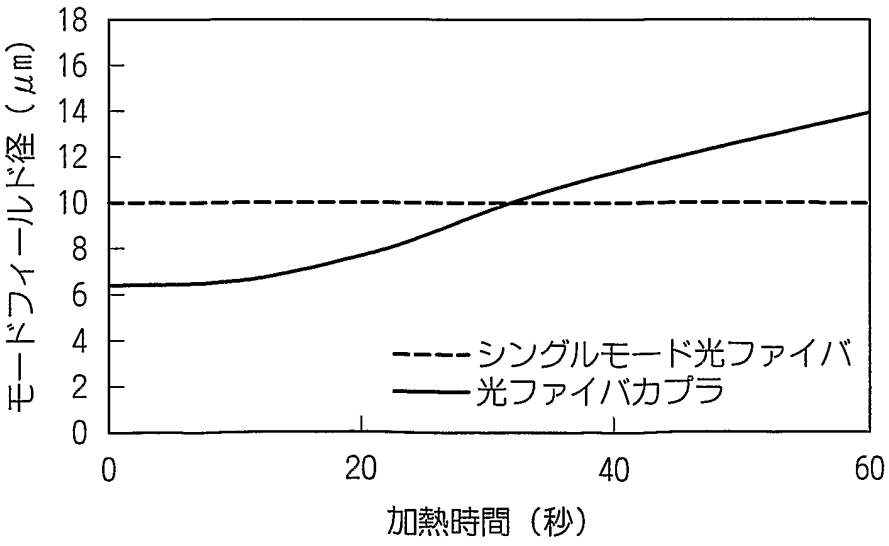
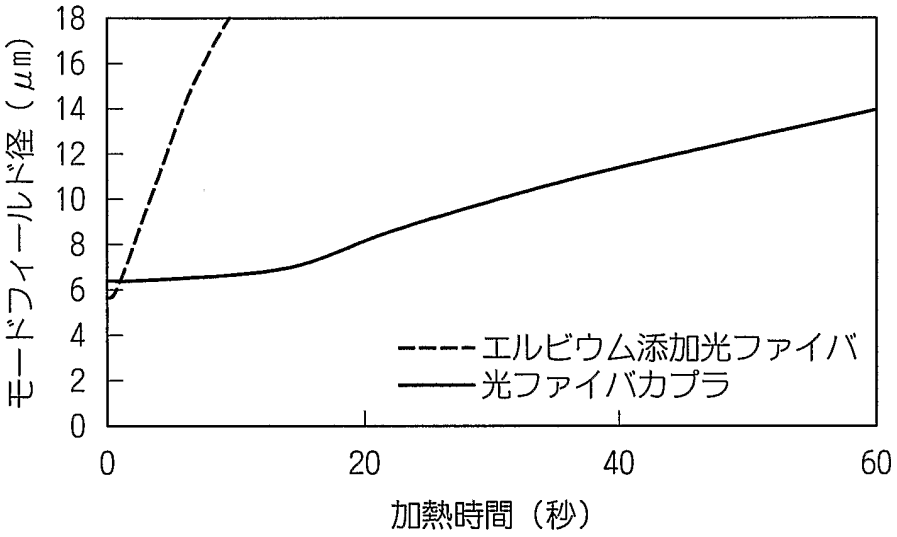

モードフィールド径（μm）
18
16
14
12
10
8
6
4
2
0
0
20
40
60
加熱時間（秒）
シングルモード光ファイバ
光ファイバカプラ

図１０


モードフィールド径（μm）
18
16
14
12
10
8
6
4
2
0
0
20
40
60
加熱時間（秒）
エルビウム添加光ファイバ
光ファイバカプラ

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP03/08598

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl[7] G02B6/10, H01S3/067

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)
Int.Cl[7] G02B6/10, H01S3/067

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2003
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2003 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2003

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 9-236721 A (Nippon Telegraph And Telephone Corp.), 09 September, 1997 (09.09.97), Full text; all drawings; particularly, Par. No. [0024]; Fig. 1	1
Y	Full text; all drawings; particularly, Par. No. [0024]; Fig. 1 (Family: none)	2-9
X	US 5381503 A (SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD., NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORP.), 10 January, 1995 (10.01.95), Full text; all drawings; particularly, Fig. 7	1
Y	Full text; all drawings; particularly, Fig. 7 & EP 585533 A1 & JP 5-224060 A	2,4-9

[X] 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 document 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
07 October, 2003 (07.10.03)	21 October, 2003 (21.10.03)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office	Authorized officer
Facsimile No.	Telephone No.

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 1998)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP03/08598

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 57-11848 A (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORP., Fujikura Densen Kabushiki Kaisha), 21 January, 1982 (21.01.82), Full text; all drawings; particularly, page 1, left column, line 16 to right column, line 4; examples; Fig. 1	1,2,4
Y	Full text; all drawings; particularly, page 1, left column, line 16 to right column, line 4; examples; Fig. 1 (Family: none)	5-9
Y	JP 2001-66439 A (Samsung Electronics Co., Ltd.), 16 March, 2001 (16.03.01), Full text; all drawings; particularly, table 1, 2 & KR 1010769 A & CN 1282879 A	2-4
Y	US 5933561 A (THE FURUKAWA ELECTRIC CO., LTD.), 03 August, 1999 (03.08.99), Full text; all drawings; particularly, table 1 to 3 & JP 10-206659 A	5
Y	US 2002/1444 A1 (SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD.), 03 January, 2002 (03.01.02), Full text; all drawings; particularly, Fig. 14 & JP 2002-82251 A & EP 1170604 A2 & CN 1330276 A	6
Y	US 2002/25131 A1 (SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD.), 28 February, 2002 (28.02.02), Full text; all drawings & JP 2002-71997 A & EP 1184692 A2 & CN 1340724 A & KR 2018090 A	7
Y	EP 1207597 A1 (THE FURUKAWA ELECTRIC CO., LTD.), 22 May, 2002 (22.05.02), Full text; all drawings & JP 2002-9376 A & CN 1381082 A & TW 492233 B	8
Y	US 5289558 A (KRONE AG.), 22 February, 1994 (22.02.94), Full text; all drawings & JP 5-219536 A & EP 536496 A2	9

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ０３／０８５９８

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Ｉｎｔ．Ｃｌ[7]　　Ｇ０２Ｂ６／１０，Ｈ０１Ｓ３／０６７

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[7]　　Ｇ０２Ｂ６／１０，Ｈ０１Ｓ３／０６７

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

日本国実用新案公案	１９２２－１９９６年
日本国公開実用新案公報	１９７１－２００３年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２００３年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２００３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）

JOIS(JSTPLUS)

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　９－２３６７２１　Ａ　（日本電信電話株式会社）１９９７．０９．０９　全文，全図（特に、段落番号【００２４】および図１）	１
Y	全文，全図（特に、段落番号【００２４】および図１）（ファミリーなし）	２－９

☒ Ｃ欄の続きにも文献が列挙されている。　　☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

＊　引用文献のカテゴリー

「Ａ」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「Ｅ」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「Ｌ」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）

「Ｏ」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「Ｐ」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献

「Ｔ」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「Ｘ」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Ｙ」特に関連のある文献であって、当該文献と他の１以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「＆」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日　０７．１０．０３	国際調査報告の発送日　21.10.03
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　３１０３ 吉田　英一　印 電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３２５３

様式ＰＣＴ／ＩＳＡ／２１０（第２ページ）（１９９８年７月）

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
	ＵＳ　５３８１５０３　Ａ(SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES,LTD., NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION) １９９５．０１．１０	
Ｘ	全文，全図（特に、Ｆｉｇ．７）	１
Ｙ	全文，全図（特に、Ｆｉｇ．７） ＆ EP 585533 A1　＆ JP 5-224060 A	２，４－９
	ＪＰ　５７－１１８４８　Ａ（日本電信電話公社、藤倉電線株式会社） １９８２．０１．２１	
Ｘ	全文，全図（特に、第１頁左欄第１６行－右欄第４行、実施例および第１図）	１，２，４
Ｙ	全文，全図（特に、第１頁左欄第１６行－右欄第４行、実施例および第１図） （ファミリーなし）	５－９
Ｙ	ＪＰ　２００１－６６４３９　Ａ（三星電子株式会社） ２００１．０３．１６ 全文，全図（特に、表１および２） ＆ KR 1010769 A　＆ CN 1282879 A	２－４
Ｙ	ＵＳ　５９３３５６１　Ａ(THE FURUKAWA ELECTRIC CO., LTD.) １９９９．０８．０３ 全文，全図（特に、ＴＡＢＬＥ　１－３） ＆ JP 10-206659 A	５
Ｙ	ＵＳ　２００２／１４４４　Ａ１(SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES,LTD.) ２００２．０１．０３ 全文，全図　（特に、ＦＩＧ．１４） ＆ JP 2002-82251 A　＆ EP 1170604 A2　＆ CN 1330276 A	６
Ｙ	ＵＳ　２００２／２５１３１　Ａ１(SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES,LTD.) ２００２．０２．２８ 全文，全図 ＆ JP 2002-71997 A　＆ EP 1184692 A2　＆ CN 1340724 A ＆ KR 2018090 A	７
Ｙ	ＥＰ　１２０７５９７　Ａ１(THE FURUKAWA ELECTRIC CO., LTD.) ２００２．０５．２２ 全文，全図 ＆ JP 2002-9376 A　＆ CN 1381082 A　＆ TW 492233 B	８
Ｙ	ＵＳ　５２８９５５８　Ａ(KRONE AKTIENGESELLSHAFT) １９９４．０２．２２ 全文，全図 ＆ JP 5-219536 A　＆ EP 536496 A2	９