

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2008年3月6日 (06.03.2008)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2008/026735 A1

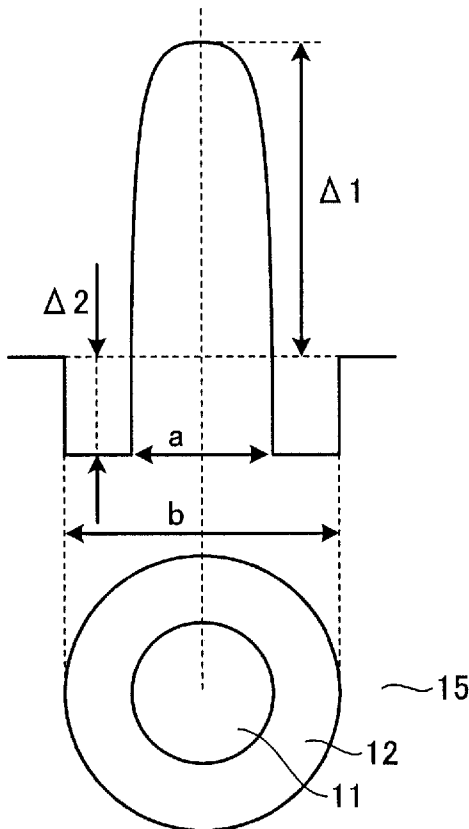
- (51) 国際特許分類:
G02B 6/036 (2006.01) G02B 6/44 (2006.01)
G02B 6/42 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2007/067055
- (22) 国際出願日: 2007年8月31日 (31.08.2007)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願2006-236204 2006年8月31日 (31.08.2006) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 古河電気工業株式会社 (THE FURUKAWA ELECTRIC CO., LTD.) [JP/JP]; 〒1008322 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 杉崎 隆一 (SUGIZAKI, Ryuichi) [JP/JP]; 〒1008322 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 Tokyo (JP).

- の内二丁目2番3号 古河電気工業株式会社内 Tokyo (JP). 下高原 巖 (SHIMOTAKAHARA, Iwao) [JP/JP]; 〒1008322 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 古河電気工業株式会社内 Tokyo (JP). 稲葉 治己 (INABA, Harumi) [JP/JP]; 〒1008322 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 古河電気工業株式会社内 Tokyo (JP). 八木 健 (YAGI, Takeshi) [JP/JP]; 〒1008322 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 古河電気工業株式会社内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 酒井 宏明 (SAKAI, Hiroaki); 〒1006019 東京都千代田区霞が関三丁目2番5号 霞が関ビルディング 酒井国際特許事務所 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, 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,

[続葉有]

(54) Title: OPTICAL FIBER, OPTICAL FIBER TAPE AND OPTICAL INTERCONNECTION SYSTEM

(54) 発明の名称: 光ファイバおよび光ファイバテープならびに光インターコネクションシステム



(57) Abstract: An optical fiber is provided with a core and a clad and is composed of a quartz glass. The optical fiber has a mode field diameter of $6.5 \mu\text{m}$ or more at a wavelength of $1,300\text{nm}$ and a bending loss of 1dB/turn or less at a wavelength of $1,300\text{nm}$ when propagating light having a wavelength of $1,250\text{nm}$ in single mode and bent at a curvature radius of 1.5mm . Thus, an optical fiber and an optical fiber tape which can perform high-speed optical transmission are provided by reducing both bending loss and connection loss, and thus, an optical interconnection system is easily configured.

(57) 要約: コアとクラッドとを有し石英系ガラスからなる光ファイバであって、波長 1300nm におけるモードフィールド径が $6.5 \mu\text{m}$ 以上であり、波長 1250nm の光をシングルモード伝搬し、曲率半径 1.5mm で曲げたときの波長 1300nm における曲げ損失が 1dB/ターン 以下である。これによって、曲げ損失及び接続損失の両損失の低減を実現し、高速光伝送を行える光ファイバおよび光ファイバテープを得て、これにより容易に光インターコネクションシステムを構築する。

WO 2008/026735 A1



SL, SM, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US,
UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE,
IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK,
TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW,
ML, MR, NE, SN, TD, TG).

(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,

添付公開書類:
— 国際調査報告書

明 細 書

光ファイバおよび光ファイバテープならびに光インターコネクションシステム

技術分野

[0001] 本発明は、機器内光配線用の光ファイバに関し、特に小さな曲率半径にて曲げることができる光ファイバと、この光ファイバを用いた光ファイバテープおよび光インターコネクションシステムに関するものである。

背景技術

[0002] 機器内の信号伝送に用いられる方式としては、電気伝送方式と光インターコネクション方式の二種類がある。近年のCPUクロック周波数の高速化に伴い、電気伝送方式においては、高密度配線によるクロストークの発生が問題となり、波形成形技術等の適用が必要となってきた。この結果、機器内での信号伝送方式として電気伝送方式を適用した場合には、伝送距離1m及び伝送速度10Gbps程度が伝送限界となることが分かってきている。

[0003] 一方、光インターコネクション方式は、電気伝送方式と比較して遥かに広帯域な伝送を行うことが可能であるとともに、小型かつ低消費電力の光部品を使用した信号伝送システムを構築できる。このため、光インターコネクション方式は、電気伝送方式に代わる機器内信号伝送技術として注目されている。

[0004] また、光インターコネクション方式の光伝送手段のひとつとして光ファイバを用いた方式が注目されている。機器内で使用される全ての光部品はできるだけ省スペース収納可能であることが望ましいことから、光インターコネクション方式に用いる光ファイバとしては、フレキシブルな配線が可能であり、光ファイバと光ファイバ、或いは光ファイバと光源等の光部品間接続における接続損失の小さい光ファイバが望まれている。

[0005] 一方、光源としては、アクセス系、イーサネット(登録商標)及びファイバーチャネル用アンクールド(uncooled)光源として、直接変調2.5Gbpsから10Gbpsで動作する面発光レーザー(Vertical-Cavity Surface-Emitting Laser、以後、VCSELと記述)が

注目されている。VCSELは分布帰還型(DFB)レーザなどの端面出射型のレーザと比べ以下の特徴を持つ。

- [0006] (a) レーザ光が、基板表面から垂直に出射する。
(b) 多チャンネルアレイ化が容易である。
(c) 低しきい値、低消費電力にて動作可能である。
(d) 出射面の反射率が高く、戻り光に強い(アイソレータフリー)。
(e) ビーム出射形状が円形であり、ファイバとの結合率が高い(レンズフリー)。
- [0007] 以上のようにアイソレータ、レンズなどの部品点数を減らすことができることから、VCSELはモジュールとしてコスト削減を図ることが可能なデバイスである。既にGaAs/AIGaAs量子などを活性層として用いた波長850nm帯VCSELは、短距離通信用レーザ素子のデファクトスタンダードとして広く普及しつつある。この場合に用いられる代表的な光ファイバとしては、マルチモードファイバ(以後、MMFと記述)の一種である石英系のグレーデッドインデックス光ファイバが挙げられる。
- [0008] MMFはシングルモードファイバ(以降、SMFと記述)の10倍程度のコア径を有し、開口数が大きい特徴を持つ。したがって、光ファイバと光ファイバ、或いは光ファイバと光源等の光部品間接続の際に高い精度を必要とせず、容易な接続が可能である。
- [0009] 近年、さらなる高速伝送を行うことを目的として、MMFと比較してより低損失かつ広帯域なSMFの適用が検討されはじめている。この場合に用いられる光源として、石英系光ファイバの低損失帯である $1.3\mu\text{m}$ 帯($1300\pm 50\text{nm}$)に発振波長を有するVCSELが注目されており、盛んに研究開発が行われている。
- [0010] しかし、ITU-T(International Telecommunication Union Telecommunication Standard Sector)G.652で規定される標準SMFでは、機器内に収納する際に大きな曲げ損失が発生するので対応することができない。
- [0011] また、曲げ損失を改善したSMFとしては、FTTH(Fiber To The Home)に好適に用いられる光ファイバとして、標準SMFのクラッド部分にクラッドよりも低屈折率部分を有するトレンチ型屈折率プロファイルを有する光ファイバが報告されている(例えば、非特許文献1)が、光インターコネクションシステムに用いるには不十分である。
- [0012] 非特許文献1:池田真拳、松尾昌一郎、姫野邦治「接続損失低減型低曲げ損失光フ

ファイバ」電子情報通信学会 信学技報 OCS2003-43,OFT2003-25(2003-8)

発明の開示

発明が解決しようとする課題

[0013] ところで、前述したように、光インターコネクションシステムに用いる光ファイバとしては、曲げ損失及び接続損失がともに低減され、高速光伝送を可能とし、光インターコネクションシステムを容易に構築するのに適した光ファイバの実現に対する要求がある。

[0014] また、標準SMFでは膨大な曲げ損失が生じてしまい、対応不可能となる。そこで、光ファイバの曲げ損失を低減することが必要となるが、前述した非特許文献1に記載の光ファイバをはじめとするFTTHに好適に用いられる曲げ損失を改善したSMFであっても、光インターコネクションシステムに用いるには不十分である。

[0015] 本発明は、上記に鑑みてなされたものであって、曲げ損失及び接続損失の両損失の低減を実現し、高速光伝送を行える光ファイバおよび光ファイバテープを得て、これにより容易に光インターコネクションシステムを構築することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0016] 上述の課題を解決し、目的を達成するために、本発明に係る光ファイバは、コアとクラッドとを有し石英系ガラスからなる光ファイバであって、波長1300nmにおけるモードフィールド径が $6.5\mu\text{m}$ 以上であり、波長1250nmの光をシングルモード伝搬し、曲率半径1.5mmで曲げたときの波長1300nmにおける曲げ損失が1dB/ターン以下であることを特徴とする。

[0017] また、本発明に係る光ファイバは、上記の発明において、クラッドの直径が $65\mu\text{m}$ から $90\mu\text{m}$ であることを特徴とする。

[0018] さらに、本発明に係る光ファイバは、上記の発明において、中心部に位置する第1コアのクラッドに対する比屈折率差($\Delta 1$)が0.6%以上0.8%以下、 α 値が1.5以上であり、第1コアを取り囲む第2コアのクラッドに対する比屈折率差($\Delta 2$)が-0.05%以下であることを特徴とする。

[0019] さらに、本発明に係る光ファイバは、上記の発明において、光ファイバは紫外線硬化樹脂および熱可塑性樹脂ならびに熱硬化樹脂の少なくともいずれか一つでなる被

覆を有し、該被覆が難燃性を有するものであることを特徴とする。

[0020] さらにまた、本発明に係る光ファイバテープは、上記のいずれか1つの発明に係る光ファイバが平行に並べられて平帯状に一体化されていることを特徴とする。

[0021] また、本発明に係る光ファイバテープは、上記の発明において、平帯状に一体化された複数の光ファイバは、難燃紫外線硬化樹脂および難燃熱可塑性樹脂ならびに難燃熱硬化樹脂の少なくともいずれか一つでなるテープ被覆を有することを特徴とする。

[0022] さらに、本発明に係る光インターコネクションシステムは、通信波長 $1.3\mu\text{m}$ 帯の光インターコネクションシステムであって、コアとクラッドとを有し石英系ガラスからなる光ファイバであって、波長 1300nm におけるモードフィールド径が $6.5\mu\text{m}$ 以上であり、波長 1250nm の光をシングルモード伝搬し、曲率半径 1.5mm で曲げたときの波長 1300nm における曲げ損失が $1\text{dB}/\text{ターン}$ 以下となる特性を有し、光信号を伝送する光ファイバと、光ファイバに波長 $1.3\mu\text{m}$ 帯の光信号を入射する面発光レーザと、を備えたことを特徴とする。

[0023] また、本発明に係る光インターコネクションシステムは、上記の発明において、光ファイバが平行に並べられて平帯状に一体化されていることを特徴とする。

発明の効果

[0024] 本発明によれば、曲げ損失及び接続損失の両損失の低減を実現し、高速光伝送を行える光ファイバおよび光ファイバテープを得て、これにより光インターコネクションシステムを容易に構築することができる。

図面の簡単な説明

[0025] [図1]図1は、単峰型屈折率プロファイルにおける曲げ損失とMFDの関係(曲げ半径は 1.5mm 、カットオフ波長 1300nm に設定)を示すグラフである。

[図2]図2は、各MFDにおける同種光ファイバ接続時の軸ずれ量と接続損失の関係を示すグラフである。

[図3]図3は、曲げ半径 5mm 、1ターン、寿命5年とした場合の破断確率とクラッド径の関係を示すグラフである。

[図4]図4は、シミュレーションに用いるW型屈折率プロファイルを示す図である。

[図5]図5は、図4、図6、図7に示す屈折率プロファイルを有する光ファイバにおける各パラメータの設定時の特性一覧を示す図表である(MFD、曲げ損失、分散値は、波長1300nmにおける値である)。

[図6]図6は、シミュレーションに用いるWセグメント型屈折率プロファイルを示す図である。

[図7]図7は、シミュレーションに用いる疑似W型屈折率プロファイルを示す図である。

[図8]図8は、本発明の実施の形態に係る通信波長1.3 μ m帯の光インターコネクションシステムの構築例を示す斜視図である。

[図9]図9は、図8の光インターコネクションシステムの構築例において用いた細径光ファイバの横断面図である。

[図10]図10は、図8の光インターコネクションシステムの構築例において用いた12心細径光ファイバテープの横断面図である。

符号の説明

- [0026]
- 10 光ファイバ
 - 11 第1コア
 - 12 第2コア
 - 15 クラッド
 - 21 第1コア
 - 22 第2コア
 - 23 第3コア
 - 31 第1コア
 - 32 第2コア
 - 33 第3コア
 - 40 光ファイバテープ
 - 41 LSI
 - 42 電気配線
 - 43 ドライバIC
 - 44 VCSEL(面発光レーザ)

46a, 46b コネクタ接続部

47 バックプレーン

48a, 48b プリント基板

49 PD

52 1次被覆樹脂

53 2次被覆樹脂

54 テープ用被覆樹脂

発明を実施するための最良の形態

[0027] 以下に、本発明に係る光ファイバの実施の形態を詳細に説明する。尚、この実施の形態によりこの発明が限定されるものではない。

[0028] 本発明に係る光ファイバは、波長1250nmの光をシングルモード伝搬することによって、 $1.3\mu\text{m}$ 帯にわたって低損失の高速光伝送が可能となるものであり、波長1300nmにおけるモードフィールド径が $6.5\mu\text{m}$ 以上であることによって、光ファイバ同士の接続損失が低減でき光インターコネクションシステムの構築が容易となるとともに、曲率半径1.5mmで曲げたときの波長1300nmにおける曲げ損失が1dB/ターン以下であることによって、光ファイバのフレキシブルな配線とコンパクトな収納が可能となるものである。以下、具体的に説明する。

[0029] まず、機器内光配線に石英系光ファイバを用いた場合、該光ファイバには、フレキシブルな配線が可能であって且つコンパクトに収納できることが求められる。一方、高速光インターコネクションシステムの構築を想定した場合、光ファイバの伝送損失は限りなく零であることが望ましい。つまり、光インターコネクション用光ファイバには、配線時に曲率半径の非常に小さい曲げが光ファイバに加わったとしても、曲げ損失が生じないことが要求される。実際の機器内光配線形態においては、配線後の光ファイバには最終的に曲率半径1.5mm程度の曲げが数箇所加わることが想定される場合がある。この場合、配線取りまわし時の局所的な曲げが加わった場合や最悪値設計の観点から必要な曲げ損失許容値を考えた場合、曲率半径1.5mmの曲げが1ターン(本明細書では、曲げが形成されている部分(屈曲部)の数え方に「ターン」を用い、光ファイバが360度屈曲した場合に1ターンと数える。例えば、90度の屈曲部が

4箇所ある場合を1ターン、90度の屈曲部が2箇所ある場合を1/2ターンというように用いる)加わった場合に曲げ損失が1dB以下であれば、十分に良好な曲げ損失特性であり、フレキシブル光配線が可能であるといえる。

[0030] 通常、標準SMFにおいて、曲げ損失を低減するためには基本モードの実効屈折率を高くする必要がある。一般的に、基本モードの実効屈折率を高くする場合、光ファイバの屈折率プロファイルにおいて、コアクラッド間の比屈折率差 Δ を大きくする方法が用いられる。比屈折率差 Δ は次式(1)で定義される。 n_{core} 、 n_{clad} はそれぞれコア領域及びクラッド領域の屈折率である。

$$[0031] \quad \Delta = \left\{ \frac{(n_{\text{core}} - n_{\text{clad}})}{n_{\text{core}}} \right\} \times 100 \quad [\%] \quad (1)$$

[0032] 図1は単峰型屈折率プロファイルの光ファイバにおいて、コアの比屈折率差 Δ 、コア径、及びコアの屈折率分布形状を表すパラメータである α 値を種々に変化させた場合の、波長1300nmにおけるモードフィールド径(以下、MFDと記述)[μm]と波長1300nmにおける曲げ半径1.5mmの1ターンあたりの曲げ損失[dB/ターン]の関係をシミュレーションにより求めた結果を示している。カットオフ波長は1300nmに固定している。なお、コアの屈折率分布形状を表す α 値を α とすると、 α は式(2)のように定義される。

$$[0033] \quad n^2(r) = n_{\text{core}}^2 \times \{1 - 2 \times (\Delta / 100) \times (2r/a)^\alpha\} \\ \text{(但し、} 0 < r < a/2 \text{)} \quad (2)$$

[0034] ここで、 r は光ファイバの中心からの半径方向の位置を示し、 $n(r)$ は位置 r における屈折率、 a はコアの直径を表している。また、記号「 \wedge 」はべき乗を表す記号である。一般的に単峰型屈折率プロファイルの光ファイバにおいては比屈折率差 Δ を高くするとMFDは小さくなるが、図1より、比屈折率差 Δ を高くすることによってMFDを小さくすると、曲げ損失を低減することができることがわかる。また、 α 値を変化させても、曲げ損失とMFDの関係は変化しないことがわかる。つまり、単峰型屈折率プロファイルにおいて曲げ損失とMFDの関係は、第1コアの屈折率分布形状に依存せず一定である。また、同図より曲げ損失1.0dB/ターン以下を実現するためには約6.2 μm 以下のMFDが必要であることがわかるが、このMFDの値を実現するには約0.9%以上の比屈折率差 Δ が必要である。

[0035] また、曲げ損失が小さくなるほど、MFDは小さくなる。例えば、 $\Delta = 0.9\%$ 、 $\alpha = 2.0$ の単峰型屈折率プロファイルの場合、曲げ損失は $0.8\text{dB}/\text{ターン}$ となるが、MFDは $6.1\ \mu\text{m}$ 程度まで減少する。

[0036] ここで、光インターコネクションによる機器内通信システムを構築する場合、光ファイバやVCSELなどの光部品間の接続は空間結合によって接続されることが想定される。通常、光導波路を空間結合によって接続する場合、接続損失が生じる。この接続損失 T は結合効率 η によって決まり、次式(3)から(5)を用いて理論的に計算することができる。

$$[0037] \quad T = -10 \times \log \eta \quad (3)$$

$$\eta = \kappa \times \exp\{-\kappa \times [(1/w_1^2 + 1/w_2^2) \times x_0^2 / 2]\} \quad (4)$$

$$\kappa = 4 / \{(w_1/w_2 + w_2/w_1)^2 + ((\lambda \times z / (\pi \times w_1 \times w_2))^2)\} \quad (5)$$

[0038] w_1 、 w_2 は接続する各光ファイバのMFD、 x_0 は接続ファイバ間の光軸ずれ量(以下、軸ずれ量と記載)、 λ は使用波長、 z は光ファイバ端面間距離を表している。上式の場合、両ファイバの光軸は平行であると仮定している。

[0039] 式(3)から(5)によって求めた同種光ファイバ同士の空間接続において、軸ずれ量と波長 1300nm における接続損失の関係を図2に示す。図2は凡例に示す $3.0 \sim 7.0\ \mu\text{m}$ の各MFDにおける同種光ファイバ接続時の軸ずれ量と接続損失の関係を示すグラフである。横軸は同種光ファイバ接続時の軸ずれ量 $[\mu\text{m}]$ を示し、縦軸は同種光ファイバ接続時の接続損失 $[\text{dB}]$ を示している。

[0040] 図2に示す関係は接続光ファイバ端面間距離 z を零として計算したものである。図2より、軸ずれ量が大きくなるのにしたがって、接続損失が増大することが分かる。また、接続する光ファイバのMFDが小さいほど軸ずれ量に対する接続損失増加傾向が大きくなることが分かる。軸ずれ量及びMFDは光ファイバとVCSEL等の光源、光ファイバとPD等の受光部、または光ファイバ同士の接続時に重要なパラメータとなる。現状での製造誤差による軸ずれの最大値は、ある場合には $1.5\ \mu\text{m}$ 程度になり得るため、最悪値設計の観点から $1.5\ \mu\text{m}$ の軸ずれを許容できるよう考慮した損失設計が必要である。

[0041] 例えば、VCSEL-PD間を光ファイバで接続した高速光インターコネクションシス

テムの構築を想定する。VCSELの光出力値としては、高温動作時において出力が低下する傾向があることを考慮に入れ、 -10dBm 程度とし、PDの最低受光感度は -16dBm とする。この場合、光リンクロスバジェットとしては 6dB 程度しか確保されない。ここで、具体的な光配線形態を考える。光ファイバ-VCSEL間接続が1箇所、光ファイバ同士の接続が5箇所、光ファイバ-PD間接続が1箇所存在し、各接続点において最悪値設計の観点から $1.5\mu\text{m}$ の軸ずれが存在していると仮定する。前記接続箇所の中で、VCSEL-光ファイバ間及び、光ファイバ-PD間において、両部品のMFDを5から $7\mu\text{m}$ 、角度ずれ量が 3° 存在するとした場合、合計 1.5dB 程度の接続損失が生じる。そのため、光ファイバ-光ファイバ間の許容総接続損失としては 4.5dB 以下、即ち一接続箇所あたりの接続損失を 0.9dB 以下にすることが必要となる。この条件を満足させるためには、図2に示すように、MFDは最低 $6.5\mu\text{m}$ 必要である。上記の曲げ損失を低減した $\Delta = 0.9\%$ 、 $\alpha = 2.0$ の単峰型屈折率プロファイルの場合、MFDは $6.1\mu\text{m}$ 程度であるため、1接続箇所あたり最大 1.1dB もの接続損失が生じる。したがって、この場合の総接続損失は 5.5dB 程度となり、高速光インターコネクションシステムの構築が難しいということになる。

[0042] 以上のように光ファイバ屈折率プロファイルの設計において、曲げ損失を低減させるため比屈折率差 Δ を高くした場合、MFDが低下し、接続損失が増加してしまう。すなわち、曲げ損失と接続損失の間にはトレードオフの関係が存在している。また、図1に示すように単峰型屈折率プロファイルにおいては、第1コアの屈折率分布形状を変化させても、前記トレードオフの関係は全く改善されない。

[0043] 本実施の形態の光ファイバは、コアの屈折率プロファイルを、2層構造のW型屈折率プロファイル或いは3層構造のWセグメント型屈折率プロファイル、擬似W型屈折率プロファイルとし、さらにこれらの構造パラメータを最適化することで、曲げ損失-接続損失のトレードオフの関係を改善する。

[0044] すなわち、単峰型プロファイルを有するSMFでは、コア径を変化させてカットオフ波長を決定すると、コア形状に殆ど依存することなく、MFDが同程度の光ファイバは同程度の曲げ損失を示す。しかし、第1コアの外周に第2コアとしてクラッドよりも屈折率の低いディプレスト層を設けたW型プロファイルなどにおいては、単峰型プロファイル

と同等の曲げ損失、カットオフ波長を維持しつつMFDを変化させることができる。これは、ディプレスト層を設けることで、中央コアの比屈折率差(Δ)を大きくしてもカットオフ波長が長波長にシフトしないため、カットオフ波長の調整のためにコア径を小さくする必要が無いからである。また、第2コアとしてディプレスト層を設けた場合、第1コアの形状がMFDに大きく影響する。第1コアの屈折率分布の形状を表す α 値が小さい程光の閉じ込め効果が小さくなり、MFDが大きくなる。一方、MFDは、ディプレスト層の比屈折率差 Δ の大きさ、層幅には敏感には影響されない。

[0045] 一方、機器内光配線形態を想定した場合、コンパクトに収納されることが要求され、機器内の様々な箇所、前述した曲げ半径1.5mm程度の曲げ以外に、配線のたわみ等による曲げ半径5mm程度の曲率半径の小さい曲げが加わることが考えられる。曲げ半径1.5mm程度の曲げが加えられる箇所に関しては、熱処理等が施され、歪を開放させる処置がとられるが、機器内の様々な箇所で発生する曲げ半径5mm程度の曲げに対しては、そのような処置がとられない。したがって、光ファイバに曲げ半径5mm程度の曲げが加えられる箇所において曲率半径の小さい曲げを加えた場合、曲げ部位に生じる応力歪みによって光ファイバが破断してしまうことが懸念される。したがって、曲げによる破断確率を低減する必要がある。

[0046] なお、曲げ損失は曲げ半径により異なり、曲げ半径が1.5mmから5mmまで拡大すると曲げ損失は2ケタ程度低減され、曲げ半径1.5mmで10dB/ターンの光ファイバでも曲げ半径5mmでは0.1dB/ターン程度まで改善される。したがって曲げ半径1mmで1dB/ターンを満たしていれば、光ファイバの配線時に半径5mm程度の曲げが加わってもロス変化は誤差の範囲である。

[0047] 一般的にクラッド径が大きいほど、光ファイバを曲げた時の歪が大きくなり、破断確率が大きくなる。例えば、光ファイバを用いた光インターコネクションシステムを構築した場合、光ファイバには曲げ半径 $r=5\text{mm}$ 程度1ターン相当の曲げが存在することを想定する。この場合の光ファイバのクラッド径とファイバ破断確率のシミュレーションによって求めた関係を図3に示す。

[0048] 図3は曲げ半径5mm、1ターン、寿命5年とした場合の破断確率とクラッド径の関係を示すグラフである。縦軸は破断確率[%]を示し、横軸はクラッド径[μm]を示して

いる。このシミュレーションにおいては、スクリーニングレベルを1.5%、被覆材との間の疲労係数を18、製品寿命を5年とした。光ファイバのクラッド径125 μm の場合の光ファイバの破断確率は5年以内に100%に達してしまい、システム構築が不可能となる。しかしクラッド径を90 μm に縮小した場合のファイバ破断確率は0.9%となり、125 μm の場合の0.3%程度にまで低減できる。システム設計上、破断確率は1.0%以下になることが好ましい。通常の光ファイバは曲げロスの発生という観点において曲げによる破断率を向上させる要求はそれほど強くないが、光インターコネクションのように小径に曲げられる場合、上記のような小径巻きつけによる破断率を低減させることによる効果は大きい。

[0049] 一方、SMFでは、MFDに対して約10倍程度までのクラッド領域が伝送損失に影響を与えられている。このため6.5 μm 以上のMFDを有する本用途のファイバでは、65 μm 以上のクラッド径であれば、クラッド径の縮小による伝送損失の増大は起こらない。

[0050] すなわち、本実施の形態の光ファイバは、クラッド径を縮小させて65 μm から90 μm とすることにより、曲げ応力が加わった際の破断確率が低減され、かつ配線のフレキシビリティが向上している。

[0051] 以下、本実施の形態の光ファイバについてシミュレーション結果を用いてさらに詳細に説明する。図4に示すようなW型屈折率プロファイルを有する石英系ガラスからなるクラッド径80 μm の光ファイバの特性をシミュレーションにより求めた。図4に示すW型屈折率プロファイルを有する光ファイバにおいては、中心部に位置し、ゲルマニウムをドーブした第1コア11(直径a)が設けられ、この第1コア11を取り囲むフッ素をドーブした第2コア12(直径b)が設けられている。そして、第2コア12を取り囲む純粋な石英からなるクラッド15が設けられている。図4に示すW型屈折率プロファイルを有する光ファイバにおいて各パラメータ値を変化させた番号A1からA7の光ファイバの特性のシミュレーション結果を図5に示す。なお、上述した純粋な石英とは、屈折率調整用ドーパントを含まない石英を意味し、屈折率に影響を及ぼさないCl元素などは含まれていてもよい。

[0052] 比屈折率差 $\Delta 1$ 及び比屈折率差 $\Delta 2$ は、それぞれ、クラッド15に対する第1コア11

の比屈折率差、及びクラッド15に対する第2コア12の比屈折率差であり、下記式(6)及び(7)で示される。

$$[0053] \quad \Delta 1 = \{(n_{c1} - n_c) / n_c\} \times 100 \quad [\%] \quad (6)$$

$$\Delta 2 = \{(n_{c2} - n_c) / n_c\} \times 100 \quad [\%] \quad (7)$$

[0054] ここで、 n_{c1} は第1コア11の最大屈折率、 n_{c2} は第2コア12の最小屈折率、 n_c はクラッド15の屈折率である。また、第1コア11の α 値を $\alpha 1$ とする。

[0055] また、W型屈折率プロファイルにおいて、第1コア11の直径 a は、第1コア11と第2コア12の境界においてクラッド15と同じ屈折率を有する位置での径とし、第2コア12の直径 b は、第2コア12とクラッド15の境界において後述する比屈折率差 $\Delta 2$ の1/2の比屈折率差を有する位置での径とする。

[0056] 番号A1とA7の光ファイバについては第1コア11の α 値は十分に大きく第1コア11の形状がステップ型とみなせるため、図5において $\alpha 1$ をstepと記載した。図5の番号A1からA7の光ファイバにおいて、波長1300nmにおけるMFDが $6.5 \mu\text{m}$ 以上となり、波長1250nmの光をシングルモード伝搬し、かつ半径1.5mmで曲げたときの曲げ損失が1dB/ターン以下であるのは、番号A1からA4のものである。従って、これらのシミュレーション結果から、図4に示すようなW型プロファイルを有する光ファイバに関しては、第1コア11の比屈折率差($\Delta 1$)を0.6%以上0.8%以下、 α 値を1.5以上とし、第2コア12の比屈折率差($\Delta 2$)を-0.05%以下とすることにより、所望の特性を持つ本発明の光ファイバが得られることが分かった。特に、第2コア12の比屈折率差($\Delta 2$)は-0.05%以下とすればよい、すなわち、第2コア12の屈折率はクラッド15の屈折率に対してわずかに低下させるだけでよいので、屈折率プロファイルの設計の自由度が高くなり、製造性も高いものとなる。

[0057] なお、本明細書におけるカットオフ波長とはITU-T G. 650. 1に規定されたファイバカットオフ波長 λ_c とする。その他、本明細書で特に定義しない用語についてはITU-T G. 650. 1における定義、測定方法に従うものとする。

[0058] つぎに、図6に示すようなWセグメント型プロファイルを有するクラッド径 $80 \mu\text{m}$ の石英系ガラスからなる光ファイバの特性をシミュレーションにより求めた。図6に示すWセグメント型プロファイルを有する光ファイバにおいては、中心部に位置し、ゲルマニウ

ムをドープした第1コア21(直径a)が設けられている。この第1コア21を取り囲み、フッ素をドープした第2コア22(直径b)が設けられている。そしてさらに、この第2コア22を囲み、ゲルマニウムをドープした第3コア23(直径c)が設けられている。そして、第3コア23を取り囲み、純粋な石英からなるクラッド15が設けられている。比屈折率差 $\Delta 3$ はクラッド15に対する第3コア23の比屈折率差であり、下記式(8)で示される。

$$[0059] \quad \Delta 3 = \left\{ \frac{(n_{c3} - n_c)}{n_c} \right\} \times 100 \quad [\%] \quad (8)$$

[0060] ここで、 n_{c3} はWセグメント型プロファイルにおける第3コア23の最大屈折率である。なお、Wセグメント型屈折率プロファイルにおいて、第1コア21の直径aは、第1コア21と第2コア22の境界においてクラッド15と同じ屈折率を有する位置での径とする。第2コア22の直径bは、第2コア22と第3コア23の境界において比屈折率差 $\Delta 2$ の1/2の比屈折率差を有する位置での径とする。第3コア23の直径cは第3コア23とクラッド15の境界において比屈折率差 $\Delta 3$ の1/10の比屈折率差を有する位置での径とする。

[0061] 図6に示すWセグメント型プロファイルを有する光ファイバにおいて各パラメータ値を適宜設定した場合の光ファイバの特性のシミュレーション結果を図5の番号Bに示す。この結果、Wセグメント型プロファイルを有する光ファイバにおいても、各パラメータの設定によって所望の特性を持つ光ファイバが得られることが分かった。

[0062] つぎに、図7に示すようなクラッド径 $80 \mu\text{m}$ の擬似W型プロファイルを有する石英系ガラスからなる光ファイバの特性をシミュレーションにより求めた。図7に示す擬似W型プロファイルを有する光ファイバにおいては、中心部に位置し、ゲルマニウムをドープした第1コア31(直径a)が設けられている。この第1コア31を取り囲み、純粋なシリカガラスからなる第2コア32(直径b)が設けられている。そしてさらに、この第2コア32を取り囲み、ゲルマニウムをドープした第3コア33(直径c)が設けられている。そして、第3コア33を取り囲み、クラッド15が設けられている。比屈折率差 $\Delta 3$ はクラッド15に対する第3コア33の比屈折率差であり、下記式(9)で示される。

$$[0063] \quad \Delta 3 = \left\{ \frac{(n_{c3} - n_c)}{n_c} \right\} \times 100 \quad [\%] \quad (9)$$

[0064] ここで、 n_{c3} は擬似W型プロファイルにおける第3コア33の最小屈折率である。なお、擬似W型屈折率プロファイルにおいて、第1コア31の直径aは、第1コア31と第2コ

ア32の境界において比屈折率差 $\Delta 1$ の $1/10$ の比屈折率差を有する位置での径とする。第2コア32の直径 b は、第2コア32と第3コア33の境界において比屈折率差 $\Delta 3$ の $1/2$ の比屈折率差を有する位置での径とする。第3コア33の直径 c は第3コア33とクラッド15の境界において比屈折率差 $\Delta 3$ の $1/2$ の比屈折率差を有する位置での径とする。

- [0065] 図7に示す擬似W型屈折率プロファイルを有する光ファイバにおいて各パラメータ値を適宜設定した場合の光ファイバの特性のシミュレーション結果を図5の番号Cに示す。この結果、擬似W型屈折率プロファイルを有する光ファイバにおいても、各パラメータの設定によって所望の特性を持つ光ファイバが得られることが分かった。
- [0066] つぎに、本発明の実施の形態に係る光インターコネクションシステムについて説明する。光インターコネクションに光ファイバを用いる場合、光ファイバをテープ化することで光伝送体をマルチチャンネル化し、高速光通信を行うことが想定される。通常石英系光ファイバの仕様はクラッド径 $125\mu\text{m}$ に対し、被覆後外径 $250\mu\text{m}$ であり、光ファイバを複数本平行に並べて相互に接合した光ファイバテープのピッチとしては、 $250\mu\text{m}$ であるのが一般的である。光ファイバの外径を細くした細径光ファイバにおいては、被覆後外径も細径化するので、従来の光ファイバテープよりも狭いピッチの光ファイバテープ作製が可能となる。したがって、前述したクラッド径 $65\sim 90\mu\text{m}$ の細径光ファイバを用いることが好ましい。細径光ファイバを用いた狭いピッチの光ファイバテープは、配線のフレキシビリティが高く、かつ省スペース収納が可能であり、光インターコネクションに適した光部品となる。
- [0067] 上述したシミュレーション結果に示されるように、本発明の光ファイバは $1.3\mu\text{m}$ 帯におけるシングルモード光伝搬を可能とし、かつ、 $1.3\mu\text{m}$ 帯における曲げ損失特性及び接続損失特性に優れている。このような本発明の光ファイバを伝送媒体として適用し、光源として発振波長 $1.3\mu\text{m}$ 帯のVCSELを使用した光インターコネクションシステムの構成例を図8に示す。
- [0068] 図8において、バックプレーン47の一面に、2枚のプリント基板48a, 48bが一辺を支持されて立設している。2枚のプリント基板48a, 48bは、所定の間隔を空けて対向している。一方のプリント基板48aの対向面に、ドライバIC43上に実装されたVCSE

L44とLSI41とが設けられている。LSI41とVCSEL44とは電気配線42で電氣的に接続されている。また、他方のプリント基板48bの対向面にPD49が設けられている。そして、VCSEL44とPD49とが、本発明に係る複数の光ファイバが平带状に一体化されてなる光ファイバテープ40にて光学的に接続されている。光ファイバテープ40は、まず、一方のプリント基板48aの主面に沿って延び、第1のコネクタ46aによって略直角に折れ曲がり、バックプレーン47上を這った後、第2のコネクタ46bを介して略直角に折れ曲がり、他方のプリント基板48bの主面に沿って延びPD49に至っている。

[0069] このような光ファイバの引き回しにより、光ファイバテープ40には、曲率半径1.5mm程度の屈曲部Aが1/4ターンずつ4箇所加えられている。また、図示しない光ファイバのたわみ等で、曲げ半径5mm程度の曲げ1ターン程度が存在するが、問題なく動作可能である。なお、光ファイバテープ40に用いる光ファイバ10として、図9に示すように、図4に示すW型屈折率プロファイルを有し、クラッド15の径が $80\mu\text{m}$ 、1次被覆樹脂52の外径が $105\mu\text{m}$ 、2次被覆樹脂53の外径が $125\mu\text{m}$ であり、図5の番号A3のパラメータ値を有する光ファイバ10を用いた。さらに、光ファイバテープ40は、図10に示すように、光ファイバ10をピッチ $P125\mu\text{m}$ にて12本平行に並べてこれをテープ用被覆樹脂54にて覆うことによりこれら光ファイバ10を接合して形成されている。

[0070] 光ファイバテープ40においては、被覆樹脂52、53が薄肉化されることによる損失増加量と、省スペース化の両要素を考慮に入れ被覆径H(厚さH)を $170\mu\text{m}$ とした。ピッチPが $125\mu\text{m}$ とされた光ファイバテープ40は従来の半分のサイズであり、非常にフレキシビリティが高く、また機器内において省スペース収納が可能である。被覆樹脂52、53の材料としては紫外線硬化樹脂を用いている。

[0071] なお、光ファイバ10として、クラッド15の径が $65\mu\text{m}$ 、被覆外径とクラッド外径との差が $20\mu\text{m}$ の細径光ファイバを用いれば、ピッチPは $85\mu\text{m}$ まで小さくすることができる。

[0072] 光ファイバテープ40の仕上がり寸法は、幅Wが1.55mm、厚さHが0.17mmとなった。接続相手となる光源のVCSELをピッチ $125\mu\text{m}$ 、12チャンネルにアレイ

化することで、作製した光ファイバテープ40による一括光接続が可能となる。この構成においては、VCSELを直接変調することで、100Gbpsを超える超高速光通信が実現される。

[0073] また、クラッド径を80 μ mとしているため、曲げによる破断確率を低減でき、製品寿命である5年を経過してもほとんど破断することがない。

[0074] つぎに、光ファイバテープ40において被覆樹脂52, 53の材料となる紫外線硬化樹脂として難燃性紫外線硬化型ウレタンアクリレート樹脂を用いて、難燃テープ心線を作製した。なお、ここで用いた難燃性紫外線硬化型ウレタンアクリレート樹脂の製造の際に、樹脂中に臭素、塩素などのハロゲン系添加剤、さらに三酸化アンチモン、トリフェニルアンチモンなどのアンチモン化合物、水酸化アルミニウムや水酸化マグネシウムといった金属水和物、またリン酸エステルなどのリン化合物を加えることや、紫外線硬化樹脂を構成するプレポリマや、アクリルモノマー自体を臭素や塩素でハロゲン化し、さらにリンを含ませるなどして紫外線硬化樹脂の難燃化を検討した。これらの方法のなかで、臭素系難燃剤を加える方法が特に難燃化に有効であった。

[0075] このようにして組成変更することにより難燃化が実現する理由としては、分解反応による生成物が樹脂の表面を覆うとか、燃える際に発生する分解ガスが空気との間に遮断層を形成するためと考えられる。また、ハロゲン含有化合物からのラジカルが燃焼の継続を阻止することや、さらに、架橋により樹脂が3次元化することなどが考えられる。

[0076] そして、テープ用被覆樹脂として水酸化アルミニウムを難燃剤として含む紫外線硬化型ウレタンアクリレート樹脂をもちいて得られた光ファイバテープを、JIS C3005規格60度傾斜燃焼試験により評価した。その結果、ファイバに着火した炎は平均3.2秒程度で自然に消火し、規格を満足することができた。ここでは難燃紫外線硬化樹脂を用いたが、難燃紫外線硬化樹脂の代わりに難燃熱可塑性樹脂または難燃熱硬化樹脂を用いることもできる。

[0077] つぎに、光ファイバテープ40の被覆樹脂52, 53のすべてまたは一部、及びテープ用被覆樹脂54を難燃紫外線硬化樹脂にすることで高い難燃性を得ることを検討した。その結果、少なくとも光ファイバの2次被覆樹脂53とテープ用樹脂に難燃剤を含む

紫外線硬化型ウレタンアクリレート樹脂を用いて得られた光ファイバテープにより、JIS C3005規格60度傾斜燃焼試験において、着火した炎は平均2.6秒程度で自然に消火し、規格を満足することができた。

- [0078] また、上記光ファイバテープにUL1581規格垂直燃焼試験を行った結果、炎は平均5.7秒で自然に消火した。また、燃焼している滴下物もなく、前記UL規格を満足することができた。また、2次被覆までを施した素線の状態の光ファイバに同様の垂直燃焼試験を行った結果、炎は平均7.6秒で自然に消火し、素線、テープ心線の両方の状態で十分な難燃性を有していた。なお、ここでは難燃紫外線硬化樹脂を用いたが、難燃紫外線硬化樹脂の代わりに難燃熱可塑性樹脂または難燃熱硬化樹脂を用いることもできる。

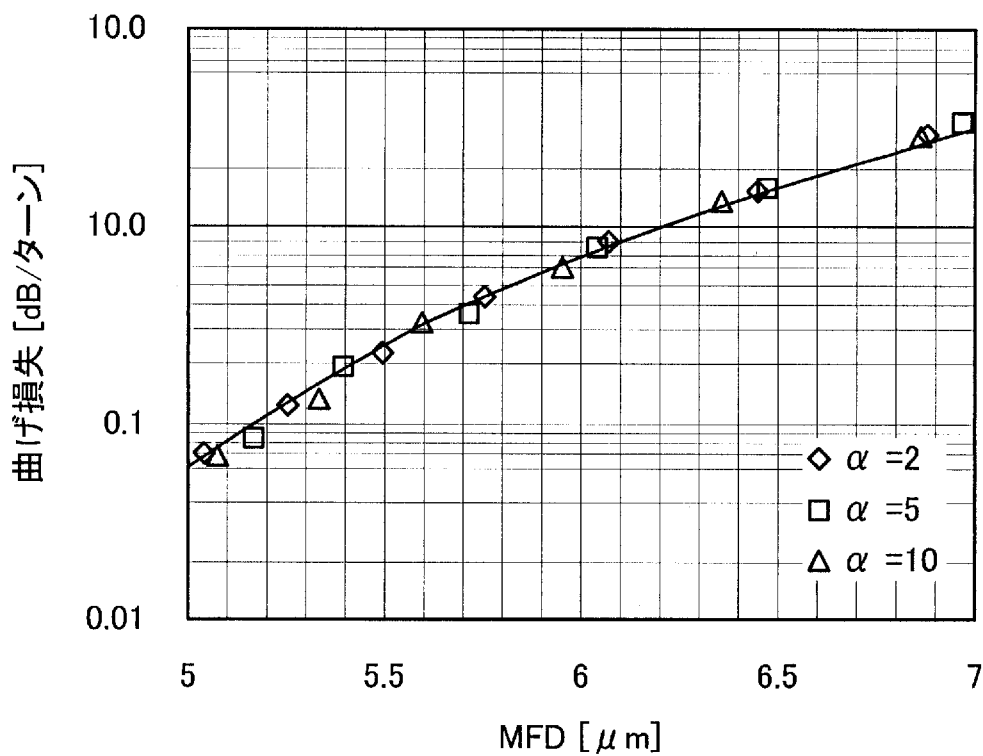
産業上の利用可能性

- [0079] 本発明に係る光ファイバおよび光ファイバテープならびに光インターコネクションシステムは、機器内の信号伝送に好適に利用できる。

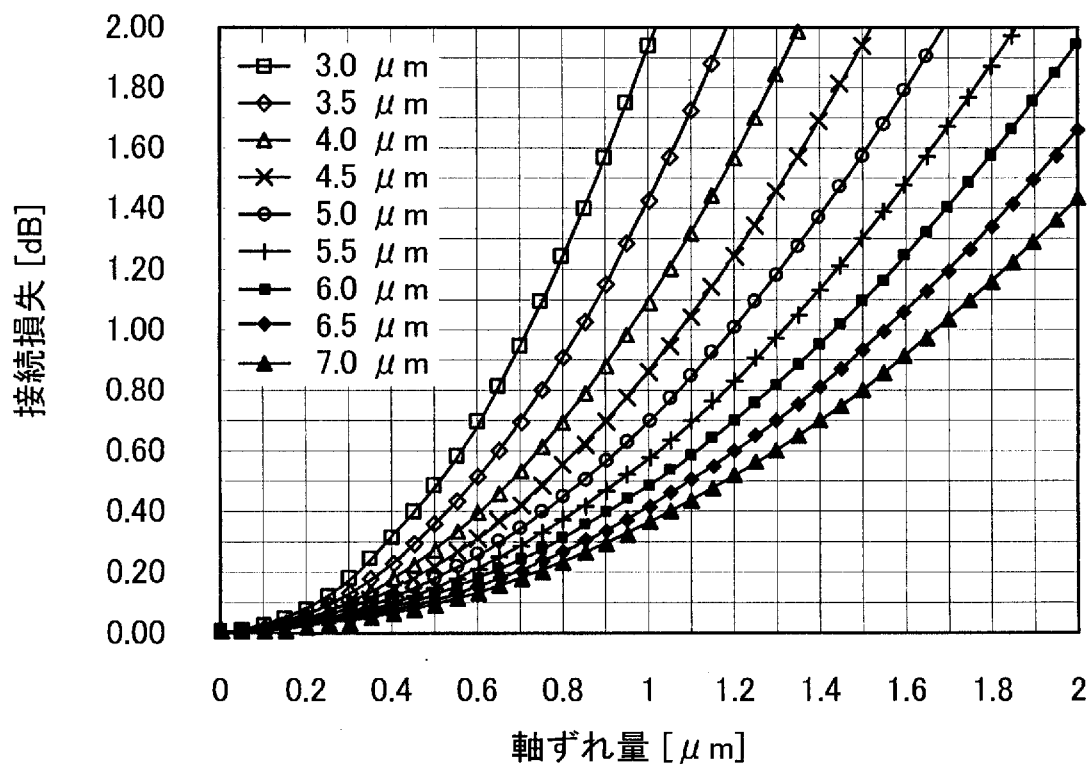
請求の範囲

- [1] コアとクラッドとを有し石英系ガラスからなる光ファイバであって、波長1300nmにおけるモードフィールド径が $6.5\mu\text{m}$ 以上であり、波長1250nmの光をシングルモード伝搬し、曲率半径1.5mmで曲げたときの波長1300nmにおける曲げ損失が1dB/ターン以下であることを特徴とする光ファイバ。
- [2] 前記クラッドの直径が $65\mu\text{m}$ から $90\mu\text{m}$ であることを特徴とする請求項1に記載の光ファイバ。
- [3] 中心部に位置する第1コアの前記クラッドに対する比屈折率差($\Delta 1$)が0.6%以上0.8%以下、 α 値が1.5以上であり、前記第1コアを取り囲む第2コアの前記クラッドに対する比屈折率差($\Delta 2$)が-0.05%以下であることを特徴とする請求項1または2に記載の光ファイバ。
- [4] 前記光ファイバは紫外線硬化樹脂および熱可塑性樹脂ならびに熱硬化樹脂の少なくともいずれか一つでなる被覆を有し、該被覆が難燃性を有するものであることを特徴とする請求項1から3のいずれか1項に記載の光ファイバ。
- [5] 請求項1から4のいずれか1項に記載の光ファイバが平行に並べられて平帯状に一体化されていることを特徴とする光ファイバテープ。
- [6] 前記平帯状に一体化された複数の光ファイバは、難燃紫外線硬化樹脂および難燃熱可塑性樹脂ならびに難燃熱硬化樹脂の少なくともいずれか一つでなるテープ被覆を有することを特徴とする請求項5に記載の光ファイバテープ。
- [7] 通信波長 $1.3\mu\text{m}$ 帯の光インターコネクションシステムであって、
コアとクラッドとを有し石英系ガラスからなる光ファイバであって、波長1300nmにおけるモードフィールド径が $6.5\mu\text{m}$ 以上であり、波長1250nmの光をシングルモード伝搬し、曲率半径1.5mmで曲げたときの波長1300nmにおける曲げ損失が1dB/ターン以下となる特性を有し、光信号を伝送する光ファイバと、
前記光ファイバに波長 $1.3\mu\text{m}$ 帯の光信号を入射する面発光レーザと、
を備えたことを特徴とする光インターコネクションシステム。
- [8] 前記光ファイバが平行に並べられて平帯状に一体化されていることを特徴とする請求項7に記載の光インターコネクションシステム。

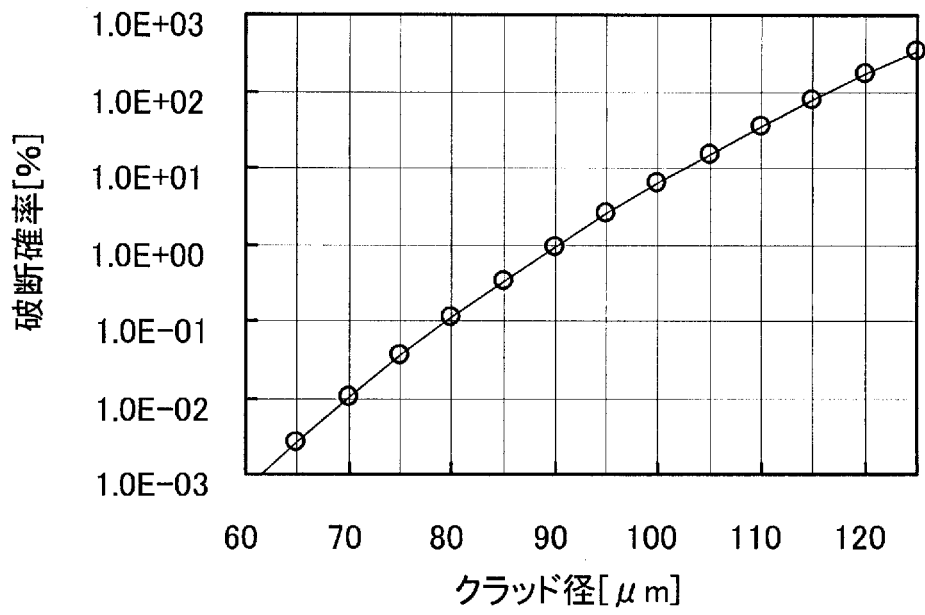
[図1]



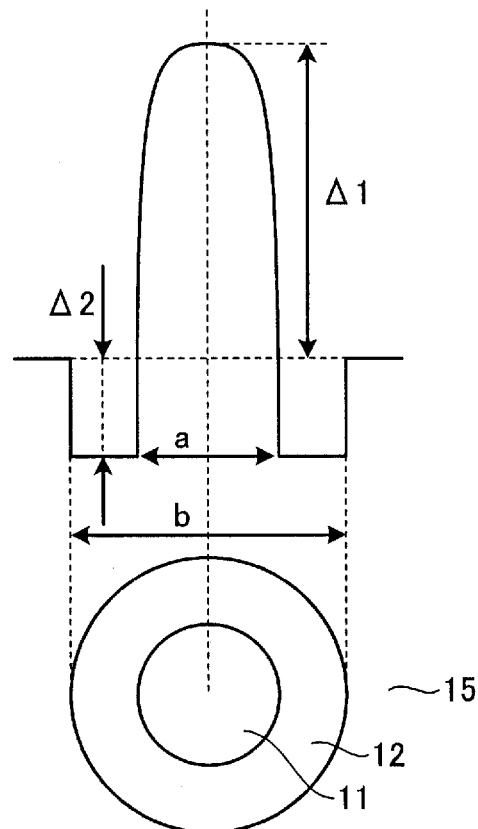
[図2]



[図3]



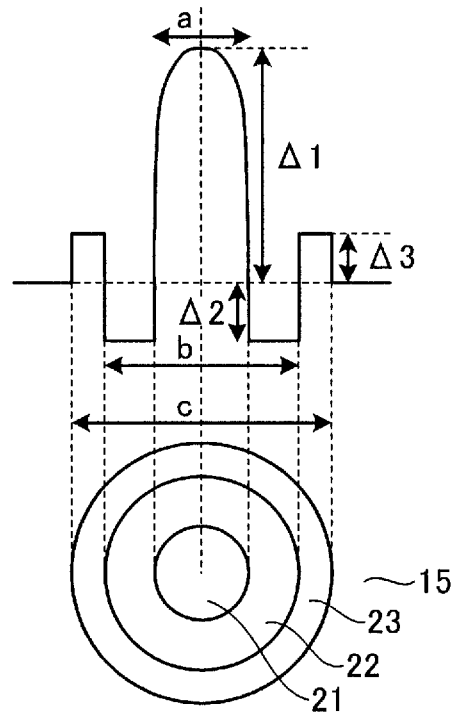
[図4]



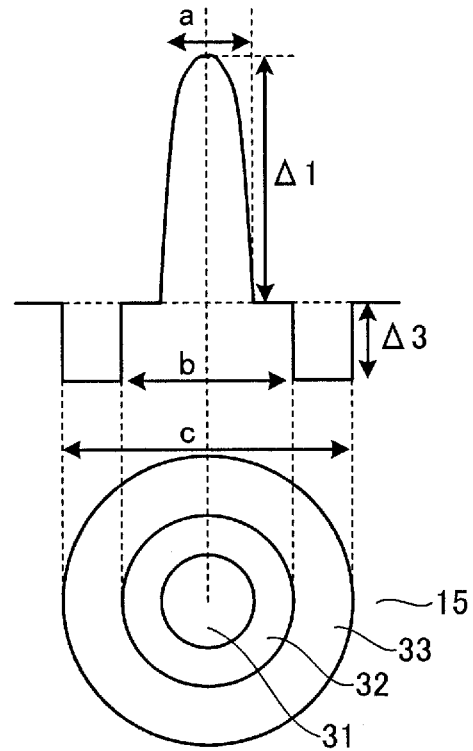
[図5]

番号	$\Delta 1$ [%]	$\alpha 1$	$\Delta 2$ [%]	$\Delta 3$ [%]	a [μm]	b [μm]	c [μm]	MFD [μm]	曲げ損失 [dB/ターン]	分散 [ps/nm/km]	カットオフ波長 [nm]
A1	0.6	step	-0.40	-	7.70	38.5	-	6.7	1.0	2.3	1245
A2	0.7	4.0	-0.05	-	7.80	46.8	-	6.6	1.0	-3.4	1246
A3	0.7	4.0	-0.15	-	8.10	48.6	-	6.5	0.9	-1.6	1237
A4	0.8	1.5	-0.40	-	9.90	50.0	-	6.5	1.0	-4.2	1245
A5	0.8	1.0	-0.40	-	9.30	46.5	-	7.0	1.7	1.6	1231
A6	0.9	1.5	-0.40	-	10.00	50.0	-	6.2	0.8	-3.5	1240
A7	0.5	step	-0.40	-	8.00	40.0	-	6.9	1.9	3.4	1240
B	0.7	3.0	-0.40	0.2	5.00	7.0	7.7	6.5	0.9	-7.2	1243
C	0.8	2.0	0.00	-0.4	8.80	11.0	44.0	6.5	0.8	-2.8	1245

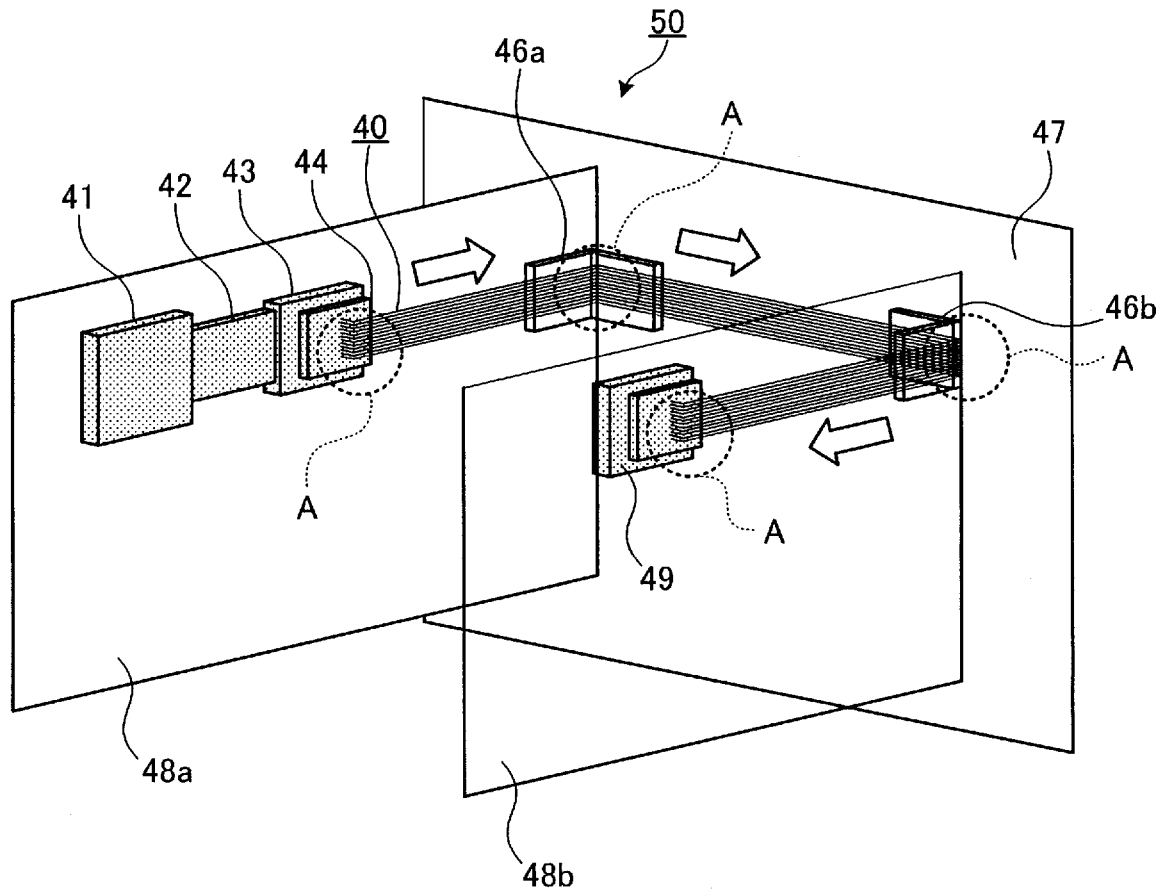
[図6]



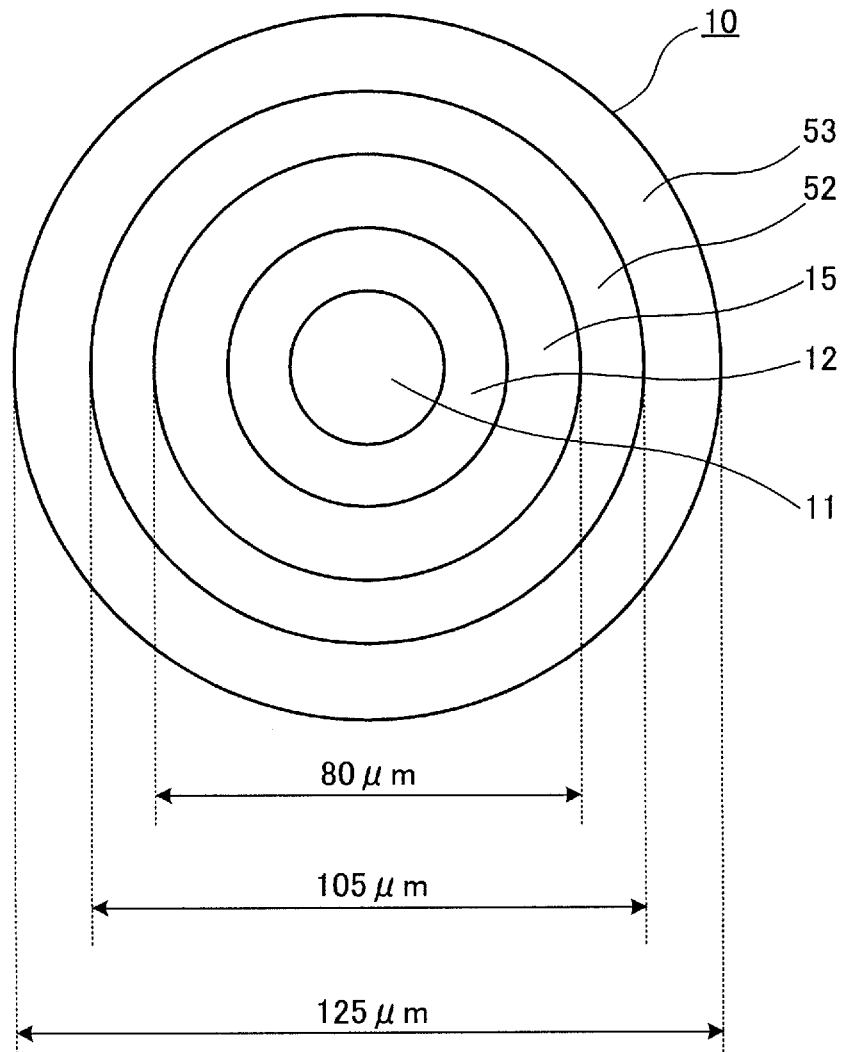
[図7]



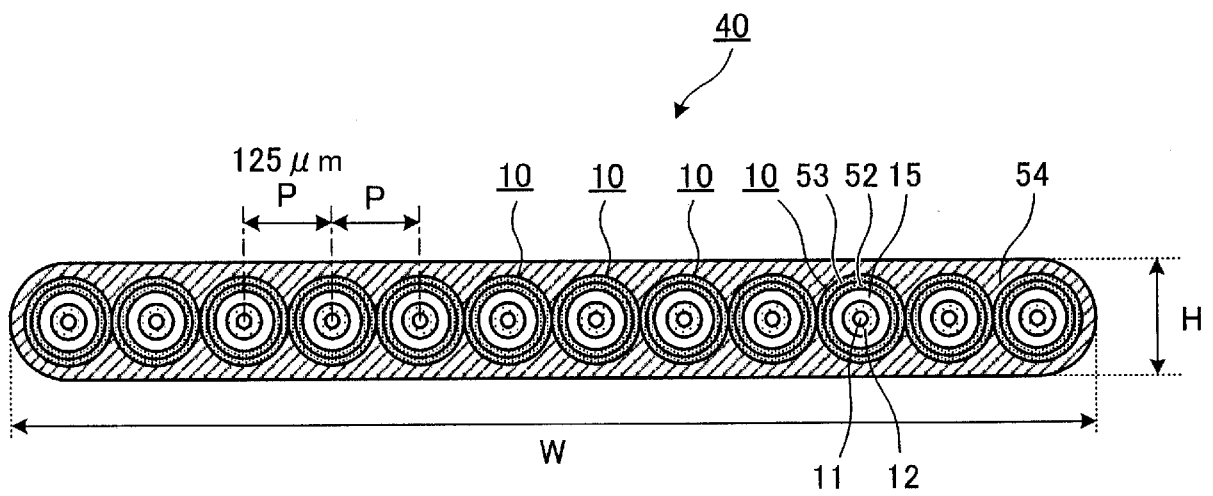
[図8]



[図9]



[図10]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2007/067055

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER G02B6/036(2006.01) i, G02B6/42(2006.01) i, G02B6/44(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) G02B6/036, G02B6/42, G02B6/44														
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched														
<table border="0"> <tr> <td>Jitsuyo Shinan Koho</td> <td>1922-1996</td> <td>Jitsuyo Shinan Toroku Koho</td> <td>1996-2007</td> </tr> <tr> <td>Kokai Jitsuyo Shinan Koho</td> <td>1971-2007</td> <td>Toroku Jitsuyo Shinan Koho</td> <td>1994-2007</td> </tr> </table>			Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2007	Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2007	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2007				
Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2007											
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2007	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2007											
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) IEEE, JST7580 (JDream2), JSTPlus (JDream2)														
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 2006-126414 A (The Furukawa Electric Co., Ltd.), 18 May, 2006 (18.05.06), Full text; all drawings & US 2006/0093297 A1	1, 3, 5 2, 4, 6-8												
X Y	WO 2006/025231 A1 (Fujikura Ltd.), 09 March, 2006 (09.03.06), Full text; all drawings & US 2007/0041618 A1 & EP 1788411 A1	1, 2, 5 4, 6-8												
Y	JP 01-295207 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 28 November, 1989 (28.11.89), Page 3, upper left column, line 6 to upper right column, line 17; Fig. 5 (Family: none)	2												
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex.														
<table border="0"> <tr> <td>* Special categories of cited documents:</td> <td>"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</td> </tr> <tr> <td>"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</td> <td>"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</td> </tr> <tr> <td>"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date</td> <td>"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</td> </tr> <tr> <td>"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)</td> <td>"&" document member of the same patent family</td> </tr> <tr> <td>"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</td> <td></td> </tr> <tr> <td>"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</td> <td></td> </tr> </table>			* 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	
* 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 25 September, 2007 (25.09.07)	Date of mailing of the international search report 02 October, 2007 (02.10.07)													
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office	Authorized officer													
Facsimile No.	Telephone No.													

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2007/067055

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 2001-278641 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 10 October, 2001 (10.10.01), Par. No. [0014] (Family: none)	4, 6
Y	JP 01-300207 A (Hitachi, Ltd.), 04 December, 1989 (04.12.89), Page 2, lower right column, lines 15 to 16; page 6, lower left column, line 4 to page 7, upper left column, line 14; Fig. 10 (Family: none)	7, 8

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. G02B6/036(2006.01)i, G02B6/42(2006.01)i, G02B6/44(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. G02B6/036, G02B6/42, G02B6/44			
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 1971-2007年 日本国実用新案登録公報 1996-2007年 日本国登録実用新案公報 1994-2007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) IEEE, JST7580(JDream2), JSTPlus(JDream2)			
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 Y	JP 2006-126414 A (古河電気工業株式会社) 2006.05.18, 全文、全 図 & US 2006/0093297 A1	1, 3, 5 2, 4, 6-8	
X Y	WO 2006/025231 A1 (株式会社フジクラ) 2006.03.09, 全文、全図 & US 2007/0041618 A1 & EP 1788411 A1	1, 2, 5 4, 6-8	
Y	JP 01-295207 A (住友電気工業株式会社) 1989.11.28, 第3頁左上 欄第6行-同頁右上欄第17行及び第5図 (ファミリーなし)	2	
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。		<input type="checkbox"/> 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 25.09.2007		国際調査報告の発送日 02.10.2007	
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) 和田 将彦 電話番号 03-3581-1101 内線 3294	2X 3313

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリ*	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 2001-278641 A (住友電気工業株式会社) 2001. 10. 10, 【0014】 等 (ファミリーなし)	4, 6
Y	JP 01-300207 A (株式会社日立製作所) 1989. 12. 04, 第 2 頁右下欄 第 15-16 行、第 6 頁左下欄第 4 行-第 7 頁左上欄第 14 行、第 10 図等 (ファミリーなし)	7, 8