

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2012年10月26日(26.10.2012)



(10) 国際公開番号
WO 2012/144005 A1

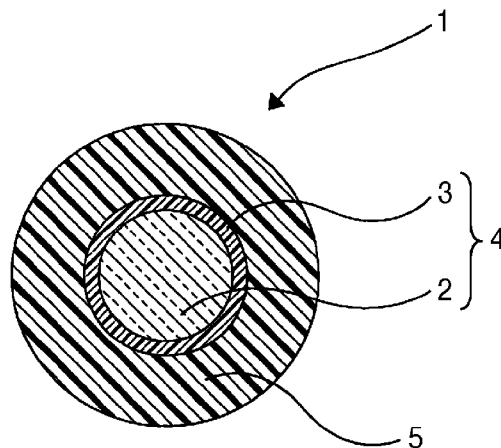
- (51) 国際特許分類:
G02B 6/00 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2011/059561
- (22) 国際出願日: 2011年4月18日(18.04.2011)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (71) 出願人(米国を除く全ての指定国について): 住友電気工業株式会社(SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD.) [JP/JP]; 〒5410041 大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号 Osaka (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人(米国についてのみ): 坂部 至(SAKABE Itaru) [JP/JP]; 〒2448588 神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電気工業株式会社横浜製作所内 Kanagawa (JP). 相馬 一之(SOHMA Kazuyuki) [JP/JP]; 〒2448588 神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電気工業株式会社横浜製作所内 Kanagawa (JP). 服部 知之(HATTORI Tomoyuki) [JP/JP]; 〒2448588 神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電気工業株式会社横浜製作所内 Kanagawa (JP). 高田 崇志(TAKADA Takashi) [JP/JP]; 〒2448588 神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電気工業株式会社横浜製作所内 Kanagawa (JP).
- (74) 代理人: 内藤 照雄(NAITO Teruo); 〒1050003 東京都港区西新橋一丁目7番13号 虎ノ門イーストビルディング8階 信栄特許事務所 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, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT,

[続葉有]

(54) Title: PLASTIC-CLAD OPTICAL FIBER CORE AND OPTICAL FIBER CABLE

(54) 発明の名称: プラスチッククラッド光ファイバ心線および光ファイバケーブル

[図1]



(57) Abstract: Provided are a plastic-clad optical fiber and an optical fiber cable which are used for a USB cable and an HDMI cable, are configured so that transfer loss due to bending is small even if the plastic-clad optical fiber and the optical fiber cable are bent at a small radius, and can be sufficiently used for high-speed transfer. A plastic-clad optical fiber core (1) has: a clad layer (3) which is provided on the outer periphery of core glass (2) consisting of quartz glass and which consists of a polymer resin having a lower refractive index than the core glass; and a resin covering layer (5) which is provided on the outer periphery of the clad layer and which consists of a thermoplastic resin. The core diameter of the core glass (2) is in the range of 50 to 100 μm, and the relative refractive index difference between the core glass (2) and the clad layer (3) is 3.7% or greater.

(57) 要約:

[続葉有]



WO 2012/144005 A1



NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI 添付公開書類:
(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, — 国際調査報告 (条約第 21 条(3))
NE, SN, TD, TG).

USBケーブルやHDMIケーブルとして、小径に曲げても曲げに伴う伝送損失が低く、高速伝送にも十分使用することができるプラスチッククラッド光ファイバおよび光ファイバケーブルを提供する。プラスチッククラッド光ファイバ心線1は、石英ガラスからなるコアガラス2の外周に、該コアガラスより屈折率の低いポリマー樹脂からなるクラッド層3と、該クラッド層の外周に熱可塑性樹脂からなる樹脂被覆層5とを有している。そして、コアガラス2のコア径が50~100 μmであり、コアガラス2とクラッド層3の比屈折率差が3.7%以上である。

明 細 書

発明の名称：

プラスチッククラッド光ファイバ心線および光ファイバケーブル

技術分野

[0001] 本発明は、プラスチッククラッド光ファイバ心線および光ファイバケーブルに関し、特に一般家庭やオフィスなどで使用されるUSBケーブルやHDMIケーブル（又はコード）、携帯電話内などに使用されるプラスチッククラッド光ファイバ心線および光ファイバケーブルに関する。

背景技術

[0002] 光ファイバ心線の一種に、ハードポリマークラッドファイバ心線（以下、HPCF心線と云う）と呼ばれるものがある（例えば、特許文献1）。このHPCF心線は、石英系ガラスからなるコア径195～205 μ mのコアガラスの外周に、該ガラスよりも屈折率の低いフッ素系樹脂を厚み15 μ m程度のクラッド層として被覆してHPCF素線を形成している。このHPCF素線の上に、フッ素系熱可塑性樹脂からなる樹脂被覆層を押し出被覆して、外径0.5mm又は0.9mmのHPCF心線を形成している。

[0003] HPCF心線は、伝送損失は大きい、コア径が大きく、パルス光源と受光器との結合効率が高く、接続が容易であるためにFA（Factory Automation）など短距離の分野で使用されている。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：日本国特開2001-264597号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] しかしながら、HPCF心線は、ポビンに巻き付けたときや周囲温度が変化しても伝送損失が増加しないことが要求されるが、コア径200 μ m以上のHPCF心線では、小径に曲げると伝送損失が増加する。また、HPCF心

線は、曲げた状態で長期間置くとガラスが破断するため、許容曲げ半径が一般的に15mm以上に制限される。このため、HPCF心線は、配線時に注意が必要であり、工場などで使用することはできても、一般の家庭内やオフィス等で安心して機器間配線のために使用することはできなかった。

[0006] 本発明の目的は、上記課題を解決するためになされたものであり、USBケーブルやHDMIケーブルなどの機器間配線用ケーブルとして、小径（曲げ半径2mm）に曲げても伝送損失の増加量が少ないプラスチッククラッド光ファイバ心線および光ファイバケーブルを提供することにある。

[0007] それに加えて、温度変化による伝送損失増加量が少なく、かつ接続損失の少ないプラスチッククラッド光ファイバ心線および光ファイバケーブルを提供することにある。

それらに加えてさらに、曲げた状態で長期間置いてもコア破断の心配がなく、一般家庭やオフィス等で安心して使用することができるプラスチッククラッド光ファイバ心線および光ファイバケーブルを提供することにある。

課題を解決するための手段

[0008] 本発明の構成は、以下の通りである。

(1) 石英ガラスからなるコアガラスの外周に、該コアガラスより屈折率の低い樹脂からなるクラッド層を形成したプラスチッククラッド光ファイバ素線に、熱可塑性樹脂からなる被覆層を形成したプラスチッククラッド光ファイバ心線であって、前記コアガラスのコア径が50~100 μ mであり、前記コアガラスの前記クラッド層に対する比屈折率差が3.7%以上であることを特徴とするプラスチッククラッド光ファイバ心線。

[0009] (2) 前記クラッド層の径が前記コア径の1.4~2.5倍であることが好ましい。

(3) 前記プラスチッククラッド光ファイバの静疲労係数が2.2以上であることが好ましい。

発明の効果

[0010] 本発明のプラスチッククラッド光ファイバ心線および光ファイバケーブル

によれば、曲げに伴う伝送損失が少ない。また、周囲温度が変化しても伝送損失の増加が少なく、かつ接続損失が少ない。さらに、USBケーブルやHDMIケーブルとして、曲げ半径2mm以下まで曲げてもコア破断の心配がなく、破断確率を 10^{-6} 以下とすることができ、一般家庭やオフィス等で安心して使用することができる。また、10Gbpsの高速伝送でも使用することができる。

図面の簡単な説明

[0011] [図1]本発明のプラスチッククラッド光ファイバ心線の一例を示す概略断面図である。

[図2]図1のプラスチッククラッド光ファイバ素線の屈折率分布を示す説明図である。

[図3]n値の求め方を示す図である。

[図4]プラスチッククラッド光ファイバの曲げ半径と破断確率との関係を示す図である。

[図5]クラッドの厚さと温度変化による伝送損失の増加量との関係、およびクラッドの厚さと接続損失との関係を示す図である。

発明を実施するための形態

[0012] 以下、本発明に係るプラスチッククラッド光ファイバ心線（以下、PCF心線と云う）および光ファイバケーブルの実施形態について、図面を参照して説明する。

[0013] 図1に示すように、PCF心線1は、石英系ガラスからなるコアガラス2と、このコアガラス2より屈折率の低い樹脂である紫外線硬化型フッ化アクリレート樹脂などの紫外線硬化型フッ素樹脂からなりコアガラス2の外周面を包囲するクラッド層3と、からなるプラスチッククラッド光ファイバ素線（以下、PCF素線と云う）4を備えている。PCF心線1は、このクラッド層3の外周に、エチレン-テトラフルオロエチレン共重合体（ETFE）などのフッ素系熱可塑性樹脂からなる樹脂被覆層5を形成している。

[0014] 図1及び図2に示すように、本実施形態に係るPCF心線1の寸法を以下

に示す。

コアガラス2のコア径 d_1 : 50 ~ 100 μm

クラッド層3のクラッド径 d_2 : 90 ~ 175 μm

クラッド層3の厚さ t : 20 ~ 37.5 μm

クラッド径 d_2 / コア径 d_1 : 1.4 ~ 2.5

樹脂被覆層5の外径 : 250 ~ 500 μm

[0015] PCF素線4のコアガラス2の屈折率は、ゲルマニウム (Ge) が添加されることにより高くなっている。コアガラス2の屈折率分布は、外周面から中心に向う程比屈折率差 Δ が大きくなり、コアガラス2の中心で比屈折率差 Δ が最大 (Aレベル) となるグレイデッドインデックス (GI) と、コアガラス2の屈折率がほぼ一定値であるステップインデックス (SI) とがある。例えば、コアガラスの外周の比屈折率差 Δ は、純シリカ対比でゼロ (Bレベル) である。クラッド層3の屈折率は、フッ素が添加されることにより屈折率が低くなっている。クラッド層に対するコアガラス比屈折率差は、3.7%以上である。本発明のPCF心線の開口数は、0.40以上であることが好ましい。

[0016] クラッド層3の樹脂としては、コアガラス2に対して屈折率が低く、紫外線等の活性エネルギー線で硬化することが必要である。さらに、硬化することによって機械的強度、可撓性、かつ透明性に優れた硬化物が得られる樹脂であることが必要である。

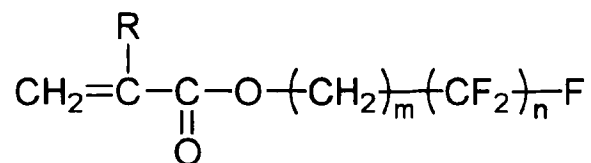
[0017] このような樹脂には、(a) 分子内にフッ素原子を含有する (メタ) アクリレート単量体または重合体、(b) (メタ) アクリレート単量体または重合体、(c) コア材と化学結合を形成するカップリング剤、(d) 光重合開始剤、から成る樹脂組成物を用いることが好ましい。

成分 (a) の分子中のフッ素原子数または成分を変えることや樹脂組成物中の成分 (a) の濃度を変えることにより、望ましい屈折率を得ることができる。分子内にフッ素原子を含有する (メタ) アクリレート単量体 (a1) としては、下記化学式 (A) の物質や、2個以上の不飽和結合を有するもの

として化学式 (B 1) 乃至 (B 3) の物質が挙げられる。

[0018] 化学式 (A)

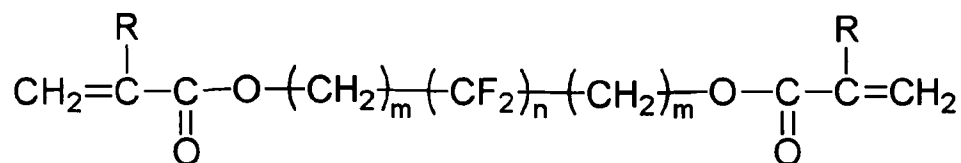
[化1]



R: HまたはCH₃、m=1~2、n=1~8

[0019] 化学式 (B 1)

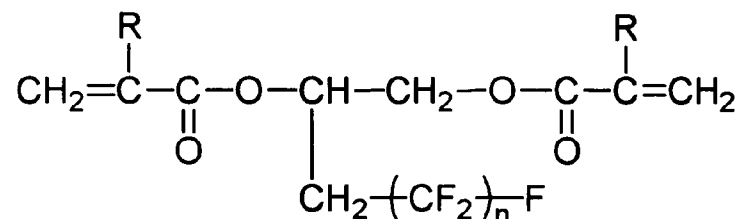
[化2]



R: HまたはCH₃、m=1~2、n=2~6

[0020] 化学式 (B 2)

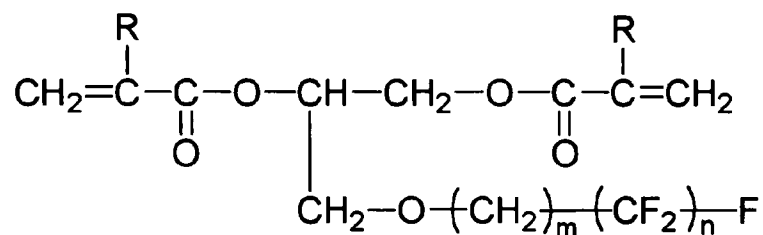
[化3]



R: HまたはCH₃、n=4~10

[0021] 化学式 (B 3)

[化4]

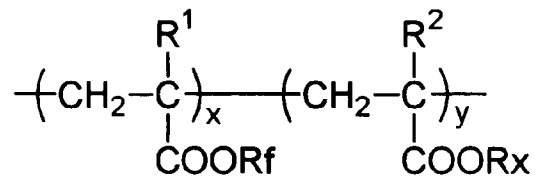


R: HまたはCH₃、m=1~2、n=4~10

[0022] フッ素原子を含有する（メタ）アクリレート重合体（a2）としては、例えば、数平均分子量が5万～500万（スチレン換算）の下記化学式（C）で示されるような、エステル側鎖不飽和結合を有する（メタ）アクリレート共重合体を挙げるることができる。

[0023] 化学式（C）

[化5]



[0024] [式中、R¹およびR²はそれぞれ水素またはメチル基、R^fはフルオロアルキル基、R^xは不飽和結合を有する炭化水素基を表す。]

R^x基としては、ビニル基、アリル基、アクリル基、メタクリル基、内部オレフィン等を挙げるることができる。

R^f基としては、 $-(\text{CH}_2)_a-(\text{CF}_2)_b-\text{CF}_3$

[式中、aは1または2、bは2～6である。]

を例示できる。

[0025] （メタ）アクリレート単量体（b）としては、架橋性、即ち2個以上の不飽和結合を有するものとして、例えば次の化合物が挙げられる：

1,4-ブタンジオールジ（メタ）アクリレート、エチレングリコールジ（メタ）アクリレート、グリセロールジメタクリレート、テトラエチレングリコールジ（メタ）アクリレート、ジエチレングリコールジ（メタ）アクリレート、1,3-ブチレングリコールジ（メタ）アクリレート、ネオペンチルグリコールジ（メタ）アクリレート、トリエチレングリコールジ（メタ）アクリレート、トリグリセロールジアクリレート、1,6-ヘキサンジオールジ（メタ）アクリレート、トリプロピレングリコールジアクリレート、トリメチロールプロパントリ（メタ）アクリレート、ペンタエリスリトールトリアクリレート、ペンタエリスリトールテトラ（メタ）アクリレート、ジトリメチロールプロパントテトラアクリレート、ジペンタエリスリトールヘキサアクリレート

。

[0026] カップリング剤（c）としては、例えば、次の化合物が挙げられる：

トリメトキシビニルシラン、メタクリロキシプロピルトリメトキシシラン、ジメチルエトキシビニルシラン等。

また、分子内に2個以上の不飽和結合を持つものとしては、例えば、次の化合物が挙げられる：

ジエトキシジビニルシラン、ジメトキシジビニルシラン、ジメタクリロキシプロピルトリメトキシシラン等。

[0027] 光重合開始剤（d）としては、紫外線照射により容易にラジカルを発生する化合物が望ましく、次の化合物が挙げられる：

ベンゾフェノン、アセトフェノン、ベンジル、ベンゾイン、ベンゾインメチルエーテル、ベンゾインイソブチルエーテル、ベンジルジメチルケタール、 α 、 α' -アゾビスイソブチロニトリル、ベンゾイルパーオキサイド、1-ヒドロキシシクロヘキシルフェニルケトン、2,2-ジメトキシ-2-フェニルアセトフェノン、2-ヒドロキシ-2-メチル-1-フェニルプロパン-1-オン。

[0028] 上述の構成の樹脂組成物は、樹脂液とし、この樹脂液をコアに塗布し、さらに紫外線を照射して、クラッド層3を製造する形態が好ましい。樹脂液の塗布方法は、ダイスコーティング方式とすることが好ましい。

[0029] 樹脂被覆層5は、耐熱性の高い熱可塑性樹脂からなる樹脂組成物により形成される。熱可塑性樹脂としては、例えば、エチレン-テトラフルオロエチレン共重合体（ETFE）等が挙げられる。または、ウレタンアクリレート樹脂、ウレタンアクリレート樹脂にエポキシアクリレート樹脂やポリエステルアクリレート樹脂等を配合した樹脂などの紫外線硬化型樹脂でも良い。

[0030] 前記PCF心線1は、コアガラス2のコア径 d_1 を50~100 μm 、かつクラッドに対するコアの比屈折率差を3.7%以上とすることで、半径2mmに曲げたときの波長850nmの光の伝送損失増加量を0.4dB/10ターン以下とすることができる。これにより、一般の家庭やオフィス等で、

このPCF心線を含むUSBケーブルやHDMIケーブルを使用することができる。

- [0031] さらに、PCF心線1は、クラッド層の厚さを $20\mu\text{m}$ 以上とすることで、 $-40^{\circ}\text{C}\sim 85^{\circ}\text{C}$ の温度変化による波長 850nm の光の伝送損失増加量を 0.3dB 以下とすることができる。

クラッド層が薄い場合は、マイクロベンドロスが大きくなり、周囲温度の変化による伝送損失増加が大きくなると考えられる。ここで、温度変化による伝送損失の増加は、試験品が置かれた雰囲気温度を、室温 $\rightarrow 80^{\circ}\text{C}\rightarrow -45^{\circ}\text{C}\rightarrow$ 室温と変化させるヒートサイクルを10回繰り返した後の伝送損失の増加である。 80°C と -45°C で2~4時間保持し、温度変化させるときの変化率は $1^{\circ}\text{C}/\text{分}$ とする。コア径が $100\mu\text{m}$ であるときにクラッド層の厚さを $20\mu\text{m}$ とすると、クラッド径/コア径の比が最小値1.4となる。

- [0032] クラッド層の厚さが厚い程、コアの中心がクラッドの中心からずれる量も大きくなる。PCF素線を他のPCF素線またはその他の光ファイバと接続するときには、クラッドの外周が一致するように接続する。このとき、クラッドの中心からコアの中心がずれていると、コアどうしがずれて接続される。これにより、コアを伝わる光が接続箇所でもれてしまい接続損失が大きくなる。クラッドの厚さが $37.5\mu\text{m}$ 以下であると、コア中心がクラッド中心からずれる量が小さく、波長 850nm の光の接続損失を実用的に問題ない範囲(0.5dB 以下)とすることができる。したがって、クラッド層の厚さは $37.5\mu\text{m}$ 以下とすることが好ましい。コア径が $50\mu\text{m}$ であるとき、クラッド層の厚さが $37.5\mu\text{m}$ であると、クラッド径/コア径の比が最大値2.5となる。

- [0033] 光ファイバは、長期間曲げた状態に置くと、静疲労により破断するおそれがある。USBケーブルやHDMIケーブルは、曲げた状態で置かれることも多い。したがって、それらのケーブルに使用されるPCF素線は、曲げた状態で長期間置かれても静疲労破断の確率が低いことが望まれる。本発明のPCF素線は、破断確率が 10^{-6} (1ppm) 以下であることが好ましい。

[0034] 破断確率 F は、静疲労係数（ n 値）から下記に示す計算式によって求めることができる。

$$F = 1 - \exp(-X)$$

$$X = N_p \cdot L \cdot m / (n - 2) \cdot (\sigma_s / \sigma_p)^n \cdot (t_s / t_p)$$

N_p : ファイバ製造時の破断頻度

L : 布設長

m : クラック数分布 N が Weibull 分布にしたがうとしたときの Weibull 分布係数

σ_s : 布設時のコアの歪み

σ_p : ファイバ製造時のスクリーニング時のコアの歪み

t_s : 保証期間

t_p : ファイバ製造時のスクリーニングの負荷時間

X が小さいときは、 $F = -X$ と近似できる。

$$F = N_p \cdot L \cdot m / (n - 2) \cdot (\sigma_s / \sigma_p)^n \cdot (t_s / t_p) \propto (\sigma_s / \sigma_p)^n \propto \sigma_s^n$$

[0035] n 値は、以下の方法から求められる。

(1) 半径の異なる数種類のマンドレルに PCF 素線を 1 m ずつ巻きつけて放置する。マンドレル径は、例えば、1.6 mm、1.8 mm、1.9 mm、2.0 mm とする。サンプル数は、各径のマンドレルで例えば 15 とする。各サンプルの PCF 素線が破断するまでに要した時間を測定する。

(2) 破断時間の中央値（50%のサンプルが破断する時間 t_f ）を求める。サンプル数を 15 とした場合は、8 番目に破断したサンプルの破断時間が t_f となる。

(3) 下記計算式を用いて、マンドレルの径 T 、PCF のガラス径（コア径 d_1 ）およびクラッド径 d_2 からガラス（コア層）にかかる歪みを算出する。

歪み = { (ガラス部外周の巻径 x) - (ガラス部中心の巻径 y) } / (マンドレル径 T + クラッド径 d 2) = (ガラス径 d 1) / (マンドレル径 T + クラッド径 d 2)

(4) 図3に示すように、log歪み対log t fをプロットしてグラフの傾きを求める。この傾きに-1を乗じたものがn値となる。

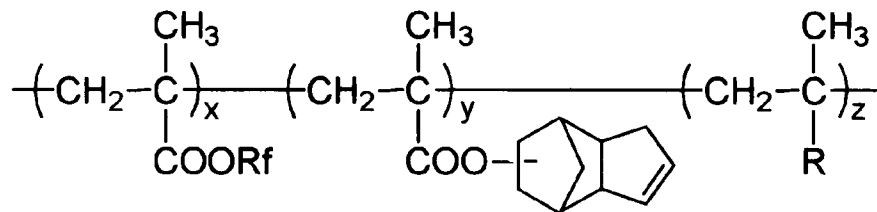
[0036] n値の調整は下記のように行える。

- (1) クラッド層から非硬化成分を除去する。
- (2) 線引き時に徐冷する。
- (3) コアをカーボンコートしてから、その外周にクラッド層を形成する。

クラッド層を形成する樹脂組成物には、耐熱性向上などのために下記化学式(1)で表される物質などの非硬化成分が含まれることがある。

[0037] 化学式(1)

[化6]



Rf: フルオロアルキル、R: アルキル

[0038] クラッド層に上記化学式などの非硬化成分が含まれると、静疲労係数向上の妨げとなることが分かった。したがって、クラッド層に上記化学式などの非硬化成分を含めないことが好ましい。

[0039] PCF素線を線引きする方法は下記の様に行う。

まず、ガラス母材を加熱して軟化させ、所定の径に線引きする。この部分がコアとなる。次に、コアに液状のクラッド材料を塗布する。詳しくは、クラッド材料を入れたダイスにコアであるガラスファイバを通すことでコア外周にクラッド材料を塗布できる。次に、塗布したクラッド材料に紫外線を照射することで、クラッド材料が硬化する。

[0040] 上記ガラス母材は、軟化させるために1千数百℃~2千℃近くまで加熱す

る。線引きされたガラスファイバは、空冷されて数十℃まで冷却される。このとき、線引きされたガラスファイバの冷却速度を遅くする。即ち、ガラスファイバは、徐冷することによってガラスファイバの表面の微小な傷をさらに縮小することができ、PCF素線の静疲労係数を30以上とすることができる。ガラスファイバを徐冷する一例として、筒状の容器内に冷却途中のガラスファイバを通過させることが挙げられる。この容器の温度を500℃～1500℃にして、ガラスファイバが急速に冷却されないようにしても良く、特に温度管理しなくても良い。

ガラスファイバがこの容器に入る時の温度（入線温度）と出る時の温度（出線温度）の差を、ガラスファイバが容器を通過するのに要した時間で除した値は、徐冷速度である。容器がない状態で、入線温度から出線温度までガラスファイバが冷却されるとき冷却速度よりも徐冷速度が小さい場合、ガラスファイバが徐冷されたと言える。

[0041] ガラスファイバをカーボンコートした後に、その外周にクラッド層を形成することで、静疲労係数を300程度まで大きくすることができる。ガラスファイバをカーボンコートする一例として、線引き直後のガラスファイバを、原料ガスを入れた反応炉に通すことが挙げられる。原料ガスがガラスファイバの熱により熱的気相析出法（熱CMD法）により反応し、ガラスファイバ表面に炭素層がコーティングされる。原料ガスは、エチレン、アセチレン、クロロホルム等の炭化水素、ハロゲンカーボン炭化水素を用いる。シラン系ガスとしては、 SiH_4 、 SiHCl_3 、 SiCl_4 等のケイ素、水素、ハロゲン等から成る化合物を混合させても良い。

[0042] 製造されたPCF素線は、ETFEなどの樹脂被覆層を押し出し被覆するか、または紫外線硬化型の樹脂を被覆するなどしてPCF心線となる。

本発明のPCF心線は、さらにPVCのチューブに入れることで光ケーブルとすることができる。光ケーブルは、PCF心線が1本または複数本チューブに入れられ、PCF心線とチューブとの間に介在物がないルース構造でも良い。また、光ケーブルは、PCF心線の周囲にケブラー（登録商標）な

どの抗張力繊維を添わせ、その周囲にチューブにより外被を形成しても良い。さらに、光ケーブルは、その周囲に電線を配置して一体化した光電気複合ケーブルに使用することもできる。

実施例

[0043] 本発明のPCF素線およびPCF心線の実施例は、コアガラス2のコア径 d_1 を $50\mu\text{m}$ 、 $80\mu\text{m}$ 、 $100\mu\text{m}$ 、クラッド径 d_2 を $120\mu\text{m}$ 、 $125\mu\text{m}$ 、 $150\mu\text{m}$ として、この組み合わせにより表1に示す実施例1～5とした。一方、比較例は、コア径 d_1 を $50\mu\text{m}$ 、 $80\mu\text{m}$ 、 $200\mu\text{m}$ 、クラッド径 d_2 を $80\mu\text{m}$ 、 $110\mu\text{m}$ 、 $150\mu\text{m}$ 、 $230\mu\text{m}$ として、その組み合わせにより比較例1～4とした。

[0044] 実施例1～5および比較例1～4のPCF心線は、PCF素線の外周の樹脂被覆層にETFEを押し出し被覆して $500\mu\text{m}$ の外径とした。比較例5は、コア、クラッドともガラス（シリカ）であり、クラッドの外周にウレタンアクリレート系の樹脂を被覆して、 $250\mu\text{m}$ の光ファイバ素線を形成した。さらに、この光ファイバ素線の外周にETFE層を被覆して、外径 $500\mu\text{m}$ の光ファイバ心線を形成した。

[0045] クラッドに対するコアの比屈折率差（%）を測定した。この比屈折率差から出射NAを算出した。

各実施例ともコアは、石英（純シリカ）にゲルマニウム（Ge）を添加したものを使用した。このコアの屈折率は、Geの添加により、純シリカだけよりも高くなる。クラッドは、フッ化アクリレート系樹脂を使用したもので、このクラッドの屈折率は、純シリカの屈折率よりも低い。実施例5は、実施例1～4よりもGeの添加量を少なくして、コアの屈折率を低くした。クラッドの材料は、実施例1～5とも同じである。

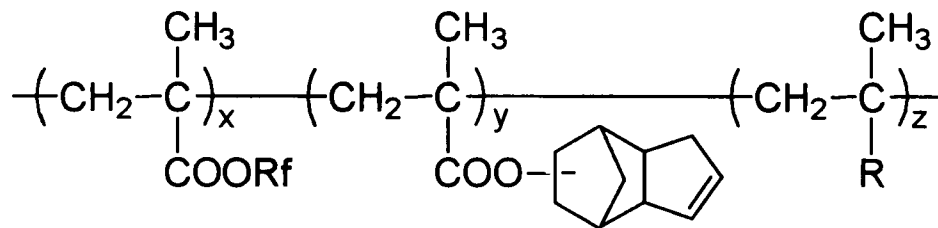
[0046] 比較例1～4のコアは、実施例1～4と同じである。これらの比較例は、クラッド材料のフッ素濃度を低くして、実施例よりも屈折率を高くした。この結果、各比較例は、各実施例よりもクラッドに対するコアの比屈折率差が小さい。比較例5のクラッドは、純シリカであり、屈折率が他の例のクラッド

ドよりも高く、クラッドに対するコアの比屈折率差が小さい。

実施例 2 および実施例 4 のクラッドの材料は、比較例 1～4 のクラッドの材料から化学式 (1) の物質を除去したものである。これにより、実施例 2 および実施例 4 の静疲労係数は 22 となり、比較例 1～4 の静疲労係数の 18 に比べて大きくなっている。

[0047] 化学式 (1)

[化7]



Rf: フルオロアルキル、R: アルキル

[0048] 実施例 3 および実施例 5 は、PCF 心線のコアを製造時に徐冷した。この徐冷は、光ファイバの温度が 2000℃ から 200℃ になる間の冷却速度を 900℃/秒とした。実施例 3 および実施例 5 は、このコアの徐冷とクラッド材料 (実施例 2 および実施例 4 と同様) との組み合わせにより、静疲労係数 (n 値) を 30 とすることができた。

実施例 1 の PCF 心線は、実施例 3、実施例 5 と同様なコア、クラッド構成とし、さらにコアをカーボンコーティング (厚さ 5 nm) した。これにより、実施例 1 は、静疲労係数 (n 値) を 100 とすることができた。

[0049] (静疲労係数および破断確率)

静疲労係数 (n 値) は、上述の方法により求めた。また、PCF 素線は、半径 2 mm (直径 4 mm) のマンドレルに 10 ターン巻き付けて 1 分間保持した後、一旦伸ばしてから、再度巻き付けて 1 分間保持した。この工程を 100 回繰り返した場合に、コアガラス 2 が 1 回破断する確率を n 値から求めた。破断確率が 10^{-6} 以下であれば合格、 10^{-6} より大きければ不合格と判断した。

[0050] 破断確率と曲げ半径との関係を図4に示す。

図4に示すように、コア径が $100\mu\text{m}$ 、 n 値が22である実施例4は、曲げ半径2mmのマンドレルに1分間保持して、それを100回繰り返したときの破断確率が約1ppmである。コア径が $80\mu\text{m}$ 、 n 値が30である実施例3は、さらに破断確率が小さい。コア径が $50\mu\text{m}$ 、 n 値が22である実施例2は、コア径が小さいことにより、実施例3よりも破断確率がさらに小さい。これから明らかなように、コア径が $50\sim 100\mu\text{m}$ であるPCF素線の破断確率を1ppm以下にするには、 n 値を22以上とすると良いことが分かる。

[0051] (曲げ損失増加量)

半径2mmのマンドレルにPCF素線を10ターン巻き付けて、巻き付ける以前との伝送損失の差をとって曲げ損失増加量とした。信号光の波長は 850nm とし、カットバック法で伝送損失を求めた。伝送システムの構成上、10ターンでの曲げ損失が1dB以下であることが要求される場合がある。したがって、曲げ損失は、 $1\text{dB}/10$ ターン以下を合格、それより大きい場合を不合格とした。

[0052] (許容曲げ半径)

曲げ半径2mmで、上述の破断確率および曲げ損失増加量とも合格のものは、許容曲げ半径2mmを合格とした。表1には○印で示す。破断確率または曲げ損失増加量の一方でも合格でないものは、許容曲げ半径2mmを不合格とした。表1には×印で示す。

[0053] (温度変化後伝送損失増加量)

PCF心線は、1140デニールのケブラー4本を添わしてPVCのチューブで被覆して、外径2mmの光ケーブルとした。この光ケーブルを、 $-40^{\circ}\text{C}\sim 85^{\circ}\text{C}$ のヒートサイクルにかけた。 -40°C と 85°C での保持時間は4時間であり、温度変化は $1^{\circ}\text{C}/\text{分}$ とした。ヒートサイクルにかける前と、10サイクルのヒートサイクルにかけた後の伝送損失の差が温度変化後伝送損失増加量となる。信号光の波長は 850nm とした。

[0054] (接続損失)

PCF心線は、コネクタを取り付け、同種のPCF心線を接続して、その接続箇所での光信号の損失を測定して接続損失とした。信号光の波長は850nmとした。PCF心線の接続部分は、樹脂被覆層を除去して、コアおよびクラッドを端面で接触させた。

[0055] 実施例1～5および比較例1～5のPCF心線の測定結果を表1に示す。

[0056] [表1]

	実施例1	実施例2	実施例3	実施例4	実施例5	比較例1	比較例2	比較例3	比較例4	比較例5
コア形状	GI型	GI型	GI型	GI型	SI型	GI型	GI型	GI型	GI型	GI型
コア径(μm)	50	50	80	100	80	200	50	80	50	50
クラッド径(μm)	125	125	125	150	120	230	80	110	150	125
クラッド厚(μm)	37.5	37.5	22.5	25	20	15	15	15	50	37.5
コア材料	Ge添加シリカ	Ge添加シリカ	Ge添加シリカ	Ge添加シリカ	Ge添加シリカ	Ge添加シリカ	Ge添加シリカ	Ge添加シリカ	Ge添加シリカ	Ge添加シリカ
クラッド材料	フッ化アリレート系樹脂	フッ化アリレート系樹脂	フッ化アリレート系樹脂	フッ化アリレート系樹脂	フッ化アリレート系樹脂	フッ化アリレート系樹脂	フッ化アリレート系樹脂	フッ化アリレート系樹脂	フッ化アリレート系樹脂	純シリカ
コアクラッド比屈折率差(%)	4.3	4.3	4.3	4.3	3.7	3.3	3.3	3.3	3.3	1
出射NA	0.42	0.42	0.42	0.42	0.40	0.31	0.31	0.31	0.31	0.20
静疲労係数	100	22	30	22	30	18	18	18	18	18
破断確率	<10 ⁻⁹	<10 ⁻⁹	10 ⁻⁸	10 ⁻⁶	10 ⁻⁸	0.4	<10 ⁻⁹	10 ⁻⁵	<10 ⁻⁹	10 ⁻⁴
曲げ損失増加量(dB/10ターン)	0.12	0.12	0.10	0.14	0.40	1.4	1.2	1.6	1.2	19.6
許容曲げ半径(2mm)	○	○	○	○	○	×	×	×	×	×
温度変化後伝送損失増加量(dB/100m)	0.08	0.07	0.08	0.05	0.02	0.02	5.1	3.2	0.03	0.02
接続損失(dB)	0.50	0.50	0.35	0.40	0.30	0.30	0.30	0.25	3.2	0.30

[0057] 表1に示すように、半径2mmに曲げたときの曲げ損失の増加量は、実施例1～5は、0.10～0.40dB/10ターンであり、目標値である1dB/10ターンより小さく実用的に問題のない範囲であった。それに対して、比較例では、半径2mmに曲げたときの曲げ損失の増加量が1dB/10ターン以上と大きく、システム上問題となる場合がある。極小さな曲げ半径2mmの場合、クラッドがガラス(比較例5)であると曲げ損失増加量が非常に大きく実用に耐えない。

クラッドがプラスチックであると、クラッドがガラスであるものよりも曲

げ損失増加量が小さい。しかし、クラッドに対するコアの比屈折率差が小さいと、比較例のように曲げ損失増加量が十分小さくならない。コア径が大きいと、曲げ損失増加量は大きくなるが、PCF素線における曲げ損失増加量の要因は、コアとクラッドとの比屈折率差が支配的であることが実施例および比較例から分かる。

[0058] 温度変化による伝送損失の増加量は、実施例1～5では0.02～0.08 dB/100mと実用上問題のない範囲であった。比較例2および比較例3は、温度変化後伝送損失増加量が大きく不良であるが、温度変化によりマイクロバンド損失が大きいものと考えられる。これは、クラッドの厚さが15 μ mと薄いことが原因と考えられる。比較例1は、コア径が200 μ mと大きく、クラッドが15 μ mと薄くても温度変化によるマイクロバンド損失増加量が大きくなると考えられる。本実施例のように、コア径が50～100 μ mである場合は、クラッドの厚さが厚い程温度変化による伝送損失の増加量が小さく好ましい。

[0059] 実施例1～5は、接続損失が0.5 dB以下と実用上問題のない範囲であった。比較例4は、接続損失が3.2 dBと大きい、クラッドが厚過ぎることが原因と考えられる。クラッドが厚いと、コアの中心がクラッドの中心からずれる量が大きくなる。PCF素線の接続時は、クラッド外周が一致するように接続するので、接続されるそれぞれのPCF素線でコアの中心がずれていると、接続箇所導波路に段差ができる。これにより、一方のPCFのコアを伝わってきた光の一部が他方のコアに入射されず接続損失が大きくなるものと考えられる。本実施例のように、コア径が50～100 μ mである場合は、クラッドの厚さが37.5 μ m以下であると接続損失は小さいが、37.5 μ mよりも厚くなると急激に接続損失が大きくなる。

[0060] 以上、本発明のPCF心線（コア径50～100 μ m）は、クラッドの厚さが20～37.5 μ mであるのが好ましい。クラッド径/コア径の比は、1.4～2.5であるのが好ましい。クラッドの厚さと温度変化による伝送損失の増加量との関係、およびクラッドの厚さと接続損失との関係を図5に

示す。上記範囲を外れると温度変化による伝送損失増加または接続損失が急激に増加する。

[0061] USBケーブルやHDMIケーブルなどの機器間配線用ケーブルとして使用する場合は、許容曲げ半径が2mmであることが長期信頼性の点で好ましい。実施例1～5は、許容曲げ半径を2mm以下とすることができる。比較例1～5は、許容曲げ半径が2mm以上となり長期信頼性の点で好ましくない。特にコア径が200 μ mと大きい比較例1やクラッドがガラスである比較例5は、曲げ半径2mmとすると比較的短時間で破断してしまうので好ましくない。

[0062] 実施例1～5および比較例1～5のPCF素線について、垂直共振器面発光レーザ（VCSEL）との結合効率を以下に述べる。

PCF素線の端面をVCSELの発光面に押し当て、VCSELからPCF素線に光を照射して3mの長さのPCF素線を伝搬した光の強度を測定した。比較例1のPCF素線の測定値を0dBとしたところ、実施例1～5のPCF素線では3.5dB以上であった。本発明のPCF心線は、VCSELに結合して使用する場合に、結合効率が良かった。比較例2～4は、結合効率が-0.2dB程度であり、比較例1に比べて結合効率が悪かった。これは、コア径が小さいことが原因と考えられる。比較例5は、-7dBと結合効率が悪かった。これは、コアークラッド間の比屈折率差が小さいことが原因と考えられる。VCSELとの結合効率の要因は、コアークラッド間の比屈折率差がコア径よりも支配的であることが分かる。

[0063] 実施例1～5のPCF心線の伝送帯域を調べた。コアがGI型の実施例1～4は、伝送帯域が18Gbps/100mと広帯域であった。コアがSI型の実施例5は、16Gbps/2.5mとケーブル長が短いと、実用上十分な伝送帯域であった。

[0064] 本発明を特定の形態を参照して詳細に説明したが、本発明の精神と範囲を逸脱することなく、様々な変更や修正を加えることができることは当業者にとって明らかである。

本出願は、2009年10月19日出願の日本特許出願（特願2009-240536）に基づくものであり、その全体が引用により援用される。また、ここに引用される全ての参照は全体として取り込まれる。

産業上の利用可能性

[0065] 本発明は、一般家庭やオフィスなどで使用されるUSBケーブルやHDMIケーブル（又はコード）、携帯電話内などに使用されるプラスチッククラッド光ファイバ心線および光ファイバケーブルに採用することが可能である。

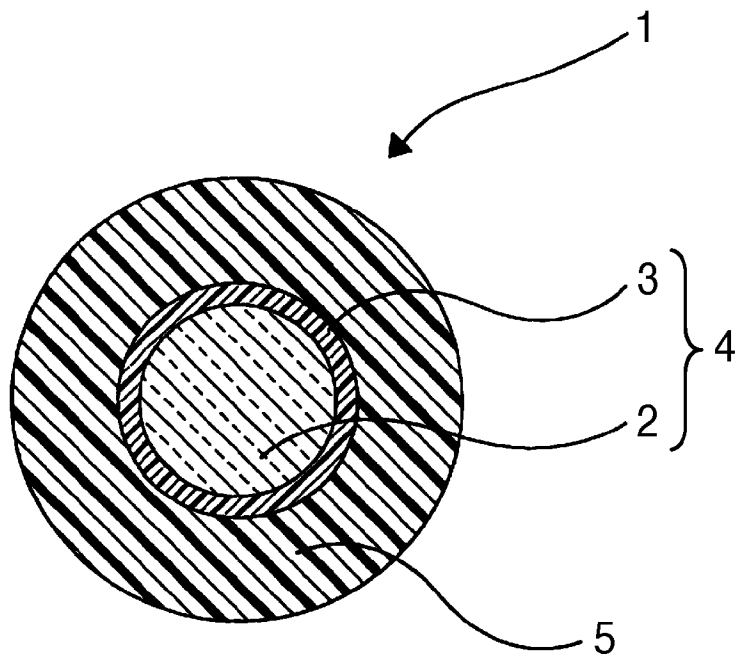
符号の説明

[0066] 1…PCF心線、2…コアガラス、3…クラッド層、4…PCF素線、5…樹脂被覆層

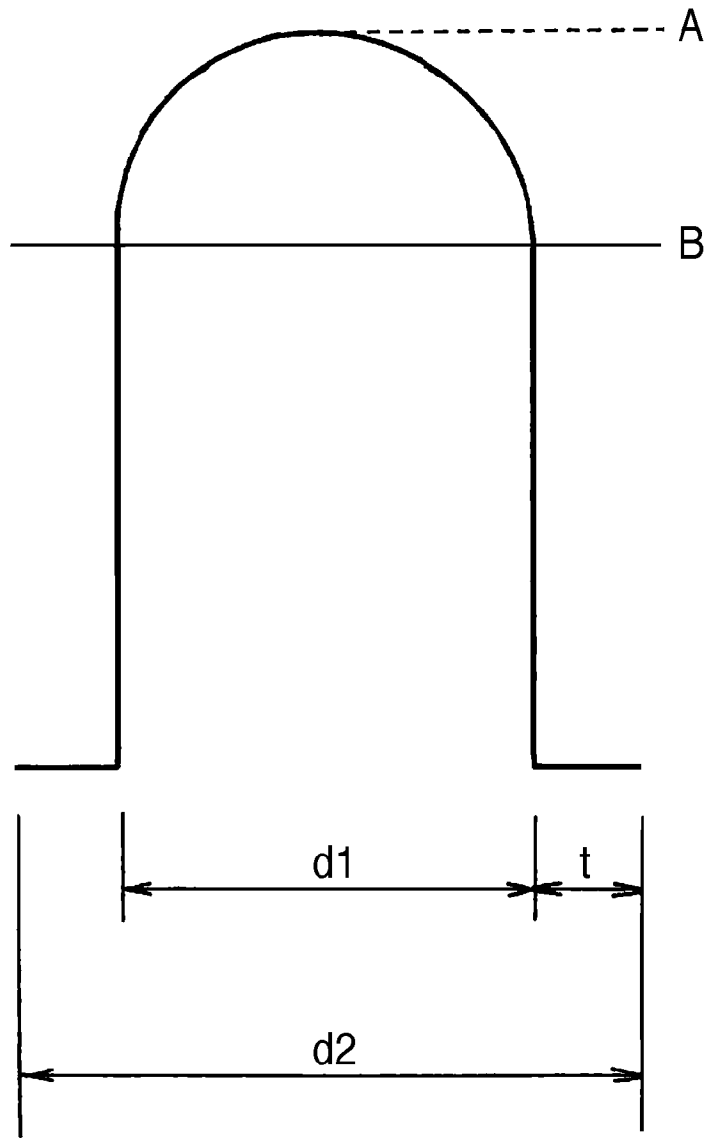
請求の範囲

- [請求項1] 石英ガラスからなるコアガラスの外周に、該コアガラスより屈折率の低い樹脂からなるクラッド層を形成したプラスチッククラッド光ファイバ素線に、熱可塑性樹脂からなる被覆層を形成したプラスチッククラッド光ファイバ心線であって、
- 前記コアガラスのコア径が $50 \sim 100 \mu\text{m}$ であり、
- 前記コアガラスと前記クラッド層の比屈折率差が 3.7% 以上であることを特徴とするプラスチッククラッド光ファイバ心線。
- [請求項2] 前記クラッド径が前記コア径の $1.4 \sim 2.5$ 倍であることを特徴とする請求項1に記載のプラスチッククラッド光ファイバ心線。
- [請求項3] 前記プラスチッククラッド光ファイバ素線の静疲労係数が 2.2 以上であることを特徴とする請求項1または2に記載のプラスチッククラッド光ファイバ心線。
- [請求項4] 請求項1～3のいずれかに記載のプラスチッククラッド光ファイバ心線を内蔵したことを特徴とする光ファイバケーブル。

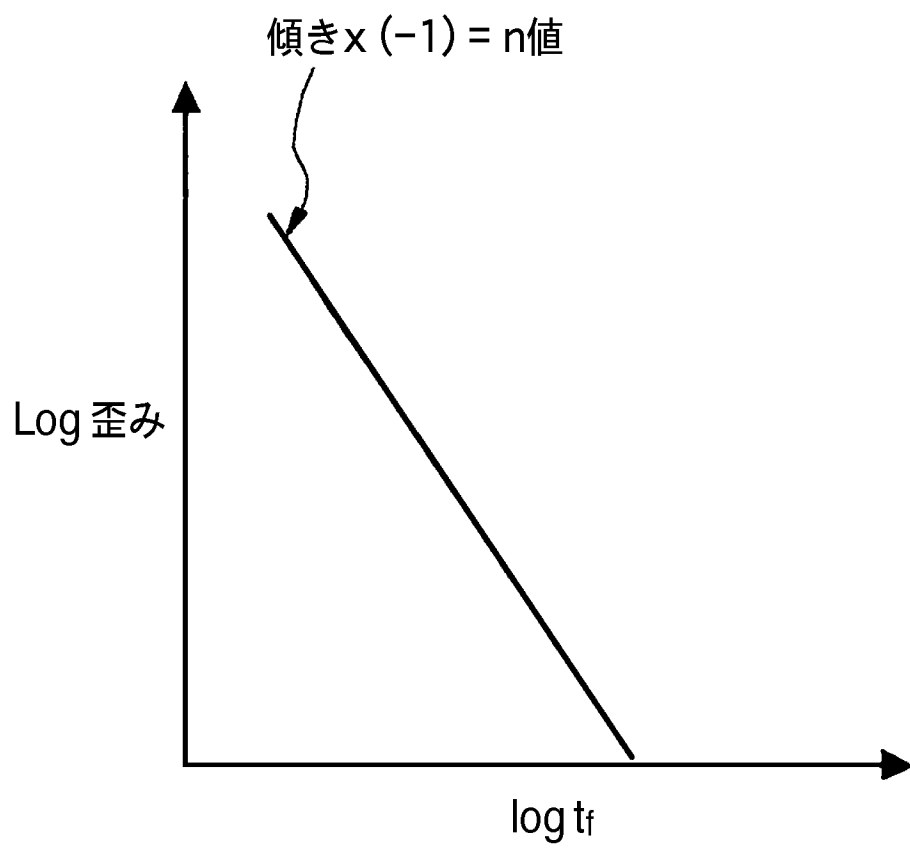
[図1]



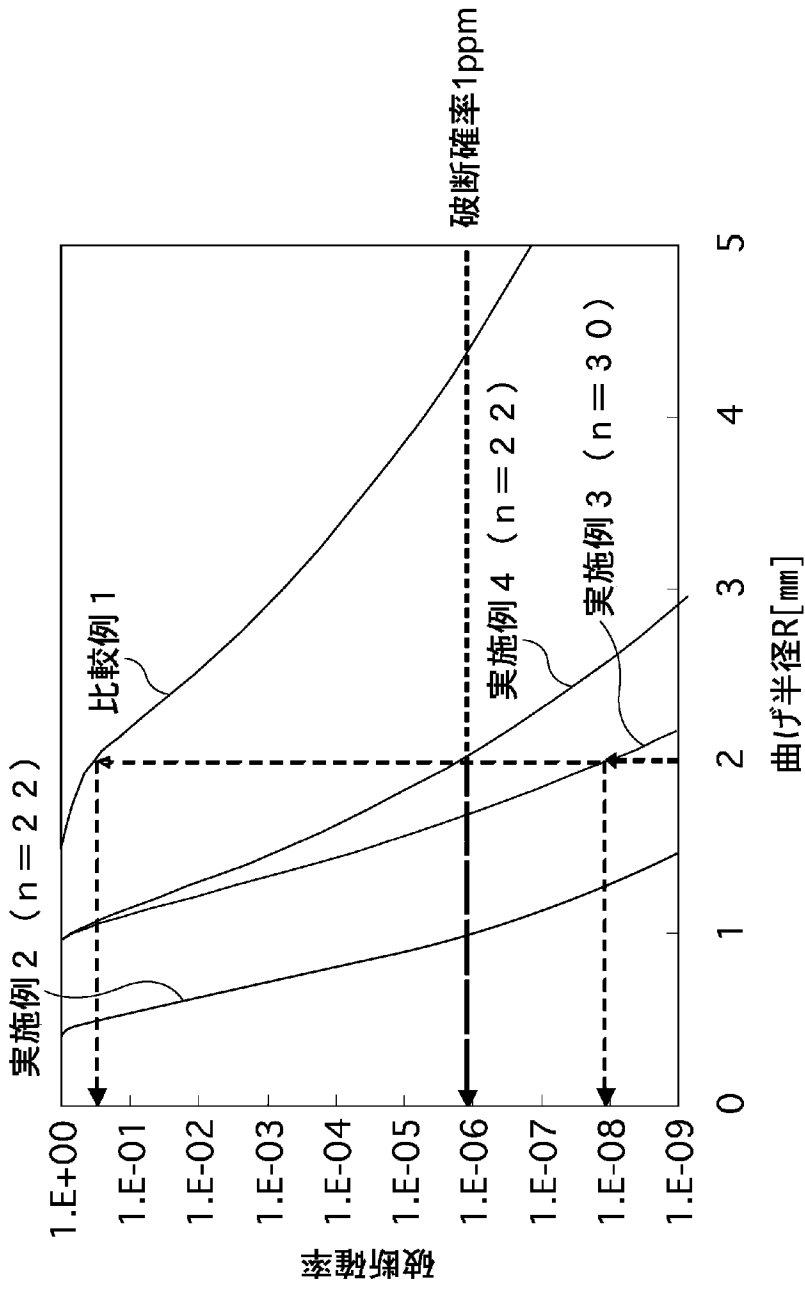
[図2]



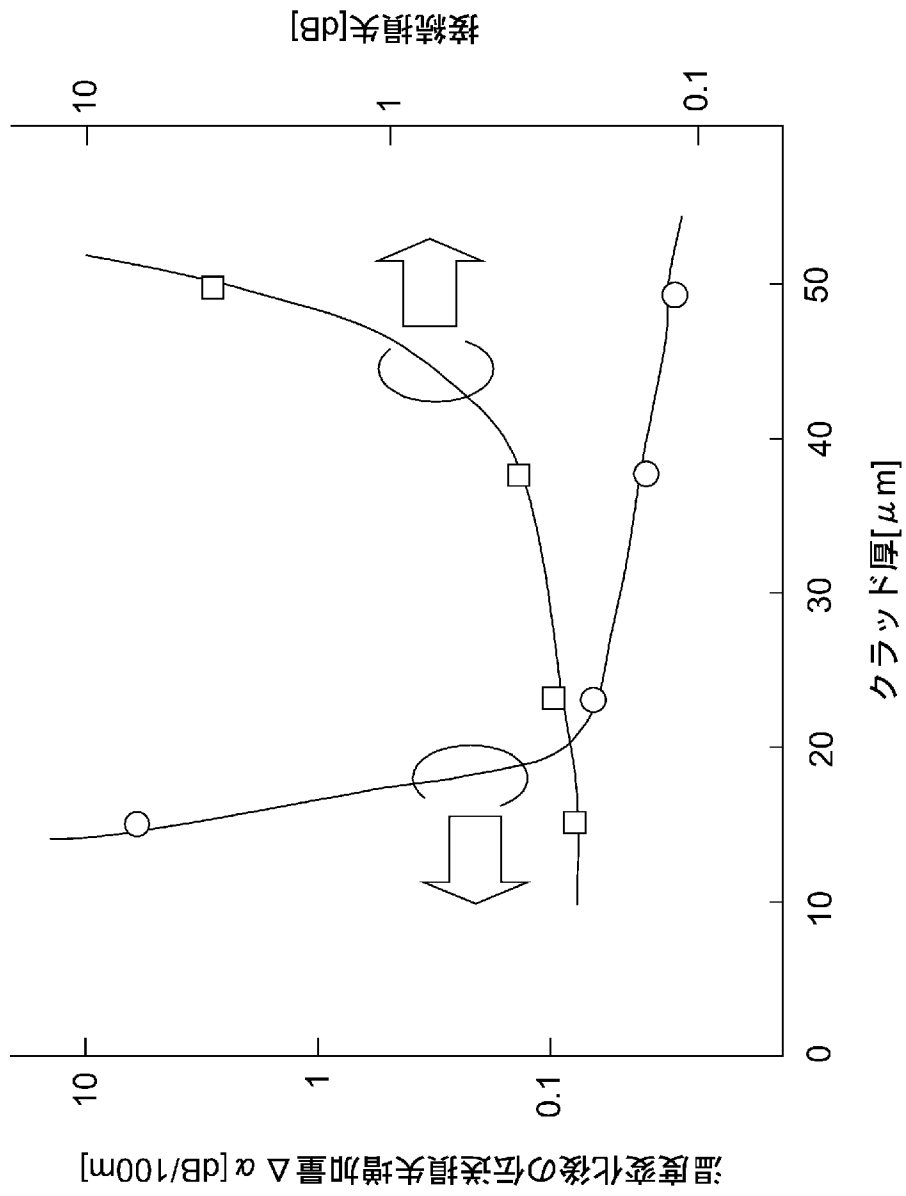
[図3]



[図4]



[図5]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/059561

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G02B6/00(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)

G02B6/00

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

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2011
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2011	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2011

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

WPI, JMEDPlus (JDreamII), JST7580 (JDreamII)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 57-106539 A (The Furukawa Electric Co., Ltd.), 02 July 1982 (02.07.1982), page 2, lower left column, line 1 to lower right column, line 13 (Family: none)	1-4
X	JP 2005-19540 A (Fujikura Ltd.), 20 January 2005 (20.01.2005), paragraph [0029] & US 2004/0240819 A1 & EP 1482605 A2 & DE 602004005625 T2 & CN 1574514 A	1

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
17 May, 2011 (17.05.11)

Date of mailing of the international search report
24 May, 2011 (24.05.11)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/059561

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 1-295207 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 28 November 1989 (28.11.1989), page 3, upper left column, lines 1 to 3 (Family: none)	1-4
A	JP 9-281346 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 31 October 1997 (31.10.1997), claim 1 (Family: none)	1-4
E,X	JP 2011-85854 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 28 April 2011 (28.04.2011), claims 1 to 4 (Family: none)	1-4

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. G02B6/00(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. G02B6/00

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	1971-2011年
日本国実用新案登録公報	1996-2011年
日本国登録実用新案公報	1994-2011年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

WPI, JMEDPlus(JDreamII), JST7580(JDreamII)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X	JP 57-106539 A (古河電気工業株式会社) 1982.07.02, 2頁左下欄 1行-同頁右下欄13行 (ファミリーなし)	1-4
X	JP 2005-19540 A (株式会社フジクラ) 2005.01.20, 段落【0029】 & US 2004/0240819 A1 & EP 1482605 A2 & DE 602004005625 T2 & CN 1574514 A	1
A	JP 1-295207 A (住友電気工業株式会社) 1989.11.28, 3頁左上欄1 -3行 (ファミリーなし)	1-4

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、一般的な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

17.05.2011

国際調査報告の発送日

24.05.2011

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)

吉田 英一

2X

9124

電話番号 03-3581-1101 内線 3294

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 9-281346 A (住友電気工業株式会社) 1997. 10. 31, 【請求項 1】 (ファミリーなし)	1-4
E, X	JP 2011-85854 A (住友電気工業株式会社) 2011. 04. 28, 【請求項 1】 - 【請求項 4】 (ファミリーなし)	1-4