

(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
2024年8月15日(15.08.2024)



(10) 国際公開番号

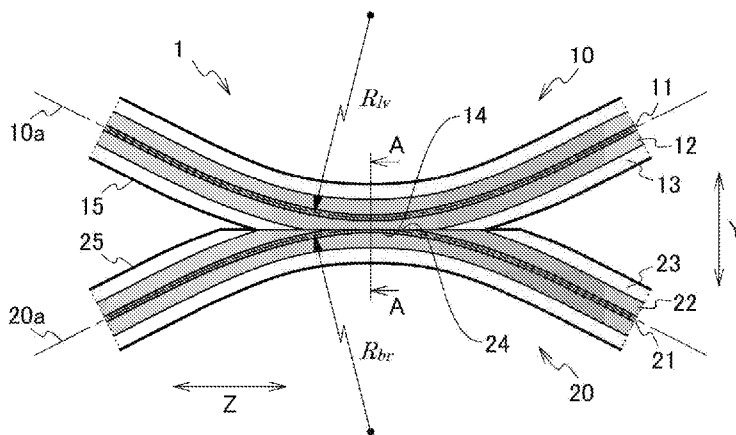
WO 2024/166205 A1

- (51) 国際特許分類:
G02B 6/28 (2006.01) *G02B 6/26* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2023/003982
- (22) 国際出願日: 2023年2月7日(07.02.2023)
- (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: 日本電信電話株式会社 (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008116 東京都千代田区大手町一丁目5番1号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 植松 卓威 (UEMATSU Takui); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-1 NTT知的財産センタ内 Tokyo (JP). 納戸 一貴 (NOTO Kazutaka); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-1 NTT知的財産センタ内 Tokyo (JP). 大串 幾太郎 (OGUSHI Ikutaro); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-1 NTT知的財産センタ内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 三好 秀和, 外 (MIYOSHI Hidekazu et al.); 〒1050001 東京都港区虎ノ門1丁目2番8号 虎ノ門琴平タワー 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, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK,

(54) Title: OPTICAL FIBER COUPLER, OPTICAL FIBER COUPLER PRODUCTION METHOD, AND OPTICAL MULTIPLEXING/DEMULTIPLEXING METHOD

(54) 発明の名称: 光ファイバカプラ、光ファイバカプラの製造方法、及び光合分波方法

【図1】



(57) Abstract: An optical fiber coupler (1) comprises: an optical fiber (10) including a polished surface (14) formed on a side surface (15) thereof; and an optical fiber (20) including a polished surface (24) which is formed on a side surface (24) thereof and which is in contact with the polished surface (15), wherein the distance between the polished surface (24) and the central axis (20a) of the optical fiber (20) varies continuously along the lengthwise direction of the optical fiber (20) such that the propagation constant of the optical fiber (20) varies continuously.

(57) 要約: 光ファイバカプラ (1) は、側面 (15) に形成された研磨面 (14) を含む光ファイバ (10) と、側面 (24) に形成され且つ研磨面 (15) に接触する研磨面 (24) を含む光ファイバ (20) とを備え、研磨面 (24) と光ファイバ (20) の中心軸 (20a) との間の距離は、光ファイバ (20) の伝搬定数を連続的に変化させるように、光ファイバ (20) の長手方向に沿って連続的に変化している。

[続葉有]

SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA,
UG, US, UZ, VC, VN, WS, 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, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, 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, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第21条(3))

明 細 書

発明の名称：

光ファイバカプラ、光ファイバカプラの製造方法、及び光合分波方法

技術分野

[0001] 本開示は、光ファイバカプラ、光ファイバカプラの製造方法、及び光合分波方法に関する。

背景技術

[0002] 道路の拡幅工事などの種々の工事に伴う光ファイバのルート変更などにより、屋外に敷設されている光ファイバを一時的に切断することがある。しかしながら、光ファイバを切断すると通信サービスが一時的に停止してしまう。そのため、光ファイバを切断することなく当該光ファイバの経路を分岐させる或いは他の経路と合流させる技術が求められている。非特許文献1は、この技術の関連文献であり、光ファイバの側面研磨法について検討している。

先行技術文献

非特許文献

[0003] 非特許文献1：T. Uematsu, K. Noto, H. Iida, H. Hirota, and K. Katayama, “Optical Coupling Technique Based on Fiber Side-polishing Without Service Interruption”, IEEE Photon. Technol. Lett. vol. 34, no. 19, pp.1042-1045, Oct. 2022.

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 光ファイバの仕様は、国際標準規格などの規格で規定されている。しかしながら、光ファイバがこの規定を満たしていても、その内部の屈折率分布は製造誤差や製造メーカーによって違いがある。即ち、光ファイバの間で伝搬光の伝搬定数には規格の範囲内でバラツキがある。この伝搬定数のバラツキは当該光ファイバを用いた光ファイバカプラの結合効率を変動させ、場合によ

っては低下することもある。

- [0005] 本開示は上述の事情を鑑みて成されたものであり、多様な伝搬定数を有する光ファイバに対して所望の結合効率で分岐・合流できる光ファイバカプラ、光ファイバカプラの製造方法、及び光合分波方法の提供を目的とする。

課題を解決するための手段

- [0006] 本開示の一態様に係る光ファイバカプラは、側面に形成された第1研磨面を含む第1光ファイバと、側面に形成され且つ前記第1研磨面に接触する第2研磨面を含む第2光ファイバとを備え、前記第2研磨面と前記第2光ファイバの中心軸との距離は、前記第2光ファイバの伝搬定数を連続的に変化させるように、前記第2光ファイバの長手方向に沿って連続的に変化している。

- [0007] 本開示の一態様に係る光ファイバカプラの製造方法は、第1光ファイバの側面に形成された第1研磨面と、第2光ファイバの側面に形成された第2研磨面とを互いに摺動可能に接触させ、所定の結合効率を得られるまで、前記第1研磨面と前記第2研磨面のうちの一方を、その他方に対して相対的に移動させて、前記第1研磨面と前記第2研磨面の相対位置を保持し、前記第2研磨面と前記第2光ファイバの中心軸との間の距離は、前記第2光ファイバの伝搬定数を連続的に変化させるように、前記第2光ファイバの長手方向に沿って連続的に変化している。

- [0008] 本開示の一態様に係る光合分波方法は、第1光ファイバの側面に形成された第1研磨面と、第2光ファイバの側面に形成された第2研磨面とを互いに摺動可能に接触させ、所定の結合効率を得られるまで、前記第1研磨面と前記第2研磨面のうちの一方を、その他方に対して相対的に移動させて、前記第1研磨面と前記第2研磨面の相対位置を保持し、前記第2研磨面と前記第2光ファイバの中心軸との間の距離は、前記第2光ファイバの伝搬定数が連続的に変化するように、前記第2光ファイバの長手方向に沿って連続的に変化している。

発明の効果

[0009] 本開示によれば、多様な伝搬定数を有する光ファイバに対して所望の結合効率で分岐・合流できる光ファイバカプラ、光ファイバカプラの製造方法、及び光合分波方法を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0010] [図1]図1は、本開示の実施形態に係る光ファイバカプラの一例を示す断面図である。

[図2]図2は、図1中のA－A線に沿った断面図である。

[図3A]図3Aは、本実施形態に係る光ファイバに形成された研磨面を示す拡大断面図である。

[図3B]図3Bは、本実施形態に係る光ファイバに形成された研磨面を示す拡大断面図である。

[図4]図4は、本実施形態に係る光ファイバの伝搬定数 β と伝搬損失の研磨量 t に対する依存性を示すグラフである。

[図5]図5は、本実施形態に係るコアの研磨量 t の最大値を $6\mu\text{m}$ とした場合の、伝搬定数 β と研磨量 t のZ方向に沿った変化を示すグラフである。

[図6]図6は、2本の光ファイバ間の結合効率の伝搬定数差 $\Delta\beta$ に対する依存性を示すグラフである。

[図7]図7は、光ファイバの研磨損失の残存クラッド厚 d_{cl} に対する依存性を示すグラフである。

[図8A]図8Aは、研磨面の形成に用いる研磨装置の一例を示す斜視図である。

[図8B]図8Bは、図8Aに示す保持部の断面図である。

[図9]図9は、位置調整装置40の構成の一例を示す斜視図である。

発明を実施するための形態

[0011] 以下、本開示の実施形態に係る光ファイバカプラ、光ファイバカプラの製造方法、及び光合分波方法について説明する。なお、各図において共通する部分には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。

[0012] 説明の便宜上、ネットワークに既に敷設された光ファイバを現用光ファイ

バと称する。現用光ファイバは、共同溝や架空線などのネットワークを構築する設備に敷設されている。敷設場所は屋内、屋外の何れでもよい。現用光ファイバは、ネットワークの光通信に既に使用されていてもよく、敷設された状態で使用されていなくてもよい。また、現用光ファイバに新たに接続される光ファイバを分岐ファイバと称する。分岐ファイバは現用光ファイバが構築した方路（伝送路）から分岐する又は当該方路に合流する方路を構築する光ファイバである。

[0013] 説明の便宜上、互いに直交するX方向、Y方向、Z方向を定義する。X方向及びZ方向は、本実施形態に係る2つの保持部41、42（図8A参照）のうちの一方に対する他方の移動方向である。Y方向は、2つの保持部41、42の配列方向である。また、Z方向は、2本の光ファイバ10、20の長手方向（延伸方向）、各保持部41（42）に形成されるV溝34の延伸方向でもある。また、径方向Rは各光ファイバ10、20の径方向である。

[0014] まず、本実施形態に係る光ファイバカプラ1について説明する。図1は、2本の光ファイバ10、20の中心軸10a、20aを含む、光ファイバカプラ1の断面図である。図2は、図1中のA-A線に沿った断面図である。なお、図2は、保持部41によって保持された光ファイバ10、及び保持部42によって保持された光ファイバ20を示している。

[0015] 図1に示すように、光ファイバカプラ1は、光ファイバ（第1光ファイバ）10と、光ファイバ（第2光ファイバ）20とを備えている。図1に示す断面図は、YZ平面に平行であり、光ファイバ10の中心軸10aと光ファイバ20の中心軸20aを含む。

[0016] 光ファイバ10は、例えば上述の現用光ファイバであり、ネットワーク（図示せず）に既に敷設されている。光ファイバ10は、コア（第1コア）11と、クラッド（第1クラッド）12と、被覆（第1被覆）13とを備えている。光ファイバ10は、シングルモード光ファイバ又はマルチモード光ファイバである。

[0017] 光ファイバ20は、例えば上述の分岐ファイバであり、ネットワーク（図

示せず)の追加経路として光ファイバ10に新たに接続する。光ファイバ20は、コア(第2コア)21と、クラッド(第2クラッド)22と、被覆(第2被覆)23とを備えている。光ファイバ20も、シングルモード光ファイバ又はマルチモード光ファイバである。

[0018] 光ファイバ10は、研磨面(第1研磨面)14を側面15に有する。研磨面14は、側面15の研磨によって形成される。この研磨加工は、例えば後述の研磨装置30(図8A及び図8B参照)によって遂行することができる。この研磨加工により、被覆13が除去され、クラッド12の一部が残存し、研磨面14が形成される。ここで、研磨面14からコア11までのクラッド12の厚さを、残存クラッド厚 d_{lv} と定義する(図3A参照)。

[0019] 光ファイバ10と同様に、光ファイバ20は、研磨面(第2研磨面)24を側面25に有する。研磨面24は、側面25の研磨によって形成される。この研磨加工も、後述の研磨装置30によって遂行することができる。

[0020] 光ファイバ10は、少なくとも研磨面14を含む部分において曲率半径(第1曲率半径) R_{lv} で曲げられつつ、Z方向に延伸している。研磨面14は、曲率半径 R_{lv} で曲げられた状態に置かれた光ファイバ10の側面15への研磨によって形成される。従って、光ファイバ10が曲率半径 R_{lv} で曲げられた状態で、研磨面14は光ファイバ10の長手方向に延びる楕円状の平面を形成する。

[0021] 光ファイバ20は、少なくとも研磨面24を含む部分において曲率半径(第2曲率半径) R_{br} で曲げられつつ、Z方向に延伸している。研磨面24は、曲率半径 R_{br} で曲げられた状態に置かれた光ファイバ20の側面25への研磨によって形成される。従って、光ファイバ20が曲率半径 R_{br} で曲げられた状態で、研磨面24は、光ファイバ20の長手方向に延びる楕円状の平面を形成する。

[0022] なお、研磨面14と研磨面24の間には、屈折率整合剤(図示せず)が存在している。屈折率整合剤は粘性を持つ液状でもよく、変形可能な固形状でもよい。屈折率整合剤の屈折率は、クラッド12及びクラッド22の各屈折

率よりも小さい。これにより挿入損失の増加が抑制される。

[0023] 研磨面 1 4 と研磨面 2 4 は屈折率整合剤（図示せず）を介して互いに接触する。従って、コア 1 1 とコア 2 1 は、コア間隔 d （図 1 B 参照）を置いて互いに位置することになる。コア間隔 d は、コア 1 1 とコア 2 1 の間の最小間隔である。

[0024] コア間隔 d を十分に小さくすることにより、コア 1 1 とコア 2 1 の間のエバネッセント結合が得られる。即ち、コア 1 1 とコア 2 1 は光学的に結合し、光ファイバカプラ 1 の機能である光の合波又は分波が可能となる。ただし、一般的な傾向として、エバネッセント結合は、2 本の光ファイバの伝搬定数の差が大きくなるほど弱くなる。つまり、伝搬定数の差が大きくなると、光ファイバカプラの結合効率は低下する。

[0025] 図 3 A は、光ファイバ 1 0 に形成された研磨面 1 4 を示す拡大断面図である。図 3 B は、光ファイバ 2 0 に形成された研磨面 2 4 を示す拡大断面図である。図 3 A は、曲率半径 R_{1v} の曲げから解放され、直進した状態の光ファイバ 1 0 を示している。同様に、図 3 B は、曲率半径 R_{br} の曲げから解放され、直進した状態の光ファイバ 2 0 を示している。なお、説明の便宜上、図 3 A において研磨面 1 4 の一部の図示を省略している。同様に、図 3 B において研磨面 2 4 の一部の図示を省略している。

[0026] 研磨面 1 4 は、光ファイバ 1 0 が曲率半径 R_{1v} で曲げられた状態で形成される。従って図 3 A に示すように、光ファイバ 1 0 が直進した状態での研磨面 1 4 は、研磨面 1 4 と中心軸 1 0 a との間の距離が Z 方向に沿って連続的に変化する曲面となる。この曲面において研磨面 2 4 に最も近い部分（即ち、残存クラッド厚 d_{1v} が最小となる部分、或いは、研磨面 1 4 の最深部）は、光ファイバ 1 0 を曲げたときの頂点に相当する。

[0027] 研磨面 2 4 は、光ファイバ 2 0 が曲率半径 R_{br} で曲げられた状態で形成される。従って図 3 B に示すように、光ファイバ 2 0 が直進した状態での研磨面 2 4 は、研磨面 2 4 と中心軸 2 0 a との間の距離が Z 方向に沿って連続的に変化する曲面となる。この曲面において研磨面 1 4 に最も近い部分（即ち

、研磨面 24 の最深部) は、光ファイバ 20 を曲げたときの頂点に相当する。

[0028] 径方向 R に沿った研磨面 24 と光ファイバ 20 の中心軸 20 a との間の距離 D は、光ファイバ 20 の伝搬定数を連続的に変化させるように、Z 方向（即ち、第 2 光ファイバの長手方向）に沿って連続的に変化する。一般的な傾向として、伝搬定数は Z 方向に直交するコアの断面形状（断面積）の変化に応じて変化する。つまり、本実施形態に係る研磨面 24 はコア 21 まで達しており、研磨面 24 が達している領域 S でのコア 21 の断面形状（外形）は、Z 方向に沿って連続的に変化する。

[0029] ここで、径方向 R に沿った、研磨面 24 と、光ファイバ 20 のコア 21 とクラッド 22 との間の境界面 26 との間の距離（間隔）の最大値を、便宜上、研磨量 t と称する。上述の通り、研磨面 24 は光ファイバ 20 が曲げられた部分の研磨によって形成される。従って、コア 21 に対して研磨量 t を定義した場合、図 3 B に示す状態において研磨面 24 と境界面 26 との間の距離が 0 から研磨量 t まで連続的に変化する研磨面 24 としてのテーパ面が形成されていることを意味する。

[0030] 図 4 は、光ファイバ 20 の伝搬定数 β と伝搬損失の研磨量 t に対する依存性を示すグラフである。実線は伝搬定数 β を、破線は伝搬損失をそれぞれ示す。また、この数値解析では、コア 21 の半径 a を $4.5 \mu\text{m}$ 、コア 21 中を進行する光の波長を $1.31 \mu\text{m}$ 、コア 21 とクラッド 22 の比屈折率差（コア Δ ）を 0.42% と想定している。

[0031] 図 4 中の実線で示すように、伝搬定数 β はコアを研磨するほど小さくなり、コア 21 の厚さが約 $2 \mu\text{m}$ 未満となると研磨量 t の値に関わりなく略一定となる。また、破線で示すように、研磨量 t が $6 \mu\text{m}$ を超えると伝搬損失が急に上昇する。

[0032] 図 5 は、コア 21 の研磨量 t の最大値を $6 \mu\text{m}$ とした場合の、伝搬定数 β と研磨量 t の Z 方向に沿った変化を示すグラフである。実線は伝搬定数 β を、破線は研磨量 t をそれぞれ示す。図中の $Z = 0$ は、光ファイバ 20 を曲げ

たときの頂点の位置（即ち、コア21がコア11に最も近い位置）に相当する。また、図4の数値解析と同じく、この数値解析でも、コア21の半径 a を $4.5\text{ }\mu\text{m}$ 、コア21中を進行する光の波長を $1.31\text{ }\mu\text{m}$ 、コア21とクラッド22の比屈折率差 Δ を 0.42% と想定している。

[0033] 図5中の破線で示すように、曲げの頂点（ $z=0$ ）付近で最もコア21が研磨されている。この場合、実線で示すように、伝搬定数 β は曲げの頂点付近で最小となり、頂点から離れるほど元の値に近づく。

[0034] 図4及び図5の数値解析から理解される通り、研磨量 t を Z 方向に沿って連続的に変化させることにより、光ファイバ20の伝搬定数 β に、 Z 方向に沿った一定範囲内の幅（即ち、変化量）を意図的に与えることができる。つまり、このような光ファイバを用いて光ファイバカプラを作製する際、2本の光ファイバの相対位置を Z 方向に沿って変化させることによって、2本の光ファイバの伝搬定数の差が過剰に大きい場合でもこの差を縮め、エバネッセント結合を強めることができる。即ち、2本の光ファイバの伝搬定数の差が過剰に大きい場合でも、光ファイバカプラの結合効率を向上させることができる。例えば、図4及び図5の例では、光ファイバ20は、伝搬定数が $6.941\sim 6.957$ の光ファイバ10との光結合に対応できる。

[0035] 光ファイバ20は分岐光ファイバであり、且つ、光ファイバ10はネットワークに既に敷設された複数の光ファイバのうちの1つである場合、光ファイバ20は、光ファイバ10を含む複数の光ファイバが有する伝搬定数のうちの最大値以上の伝搬定数を有してもよい。例えば、光ファイバ10、20として、国際標準規格であるITU-T G.652（例えばG.652.BまたはG.652.D）及びG.657.A1に準拠したシングルモード光ファイバを適用することを想定した場合、光ファイバ20は3以上の V 値（ V パラメータ）を有することが望ましい。この場合の一例として、光ファイバ20はステップインデックス型の屈折率分布を有し、コア21の半径は $4.5\text{ }\mu\text{m}$ であり、比屈折率差は 0.42% である。

[0036] 上記の特性を有する光ファイバ20において、研磨量 t を $6\text{ }\mu\text{m}$ に設定す

ると、V値の下限値として1.5付近の値が得られる。この場合、ITU-T G.652及びG.657.A1に準拠の現用光ファイバ（即ち光ファイバ10）の全てに対して、光ファイバ20が対応できる。即ち、一般的に使用されているシングルモード光ファイバの全てに対して、高い結合効率の光結合が得られる。

[0037] 図6は、光ファイバ10、20間の結合効率（分岐効率）の伝搬定数差 $\Delta\beta$ に対する依存性を示すグラフである。実線はコア21の研磨量 t を $6\mu\text{m}$ とした場合の結合効率の変化を、破線はコア21を研磨していない場合（即ち研磨量 t が0）の結合効率の変化をそれぞれ示す。なお、白丸と黒丸は、伝搬定数が互いに異なる光ファイバ10のサンプルのそれぞれに対して、光ファイバ20を光結合したときの結合係数を示している。但し、白丸はコア21の研磨量 t を $6\mu\text{m}$ とした場合の結合係数、黒丸はコア21を研磨していない場合の結合係数をそれぞれ示している。

[0038] 図6中の破線で示すように、コア21を研磨していない場合には、伝搬定数差 $\Delta\beta$ が0.001以上になると結合効率が0.5以下になることが判る。一方、コア21の研磨量 t を $6\mu\text{m}$ とした場合（実線）では伝搬定数差 $\Delta\beta$ が0.015でも結合効率0.5以上が得られることが判る。つまり、伝搬定数のバラツキが大きい場合でも、その伝搬定数を有する光ファイバ10と光ファイバ20との間で0.5以上の結合効率を得ることができる。

[0039] 光ファイバ10が現用光ファイバである場合、通信光が絶えず光ファイバ10内を伝播している。従って、光ファイバ10の側面研磨は、光ファイバ10による光通信への影響を与えずに行う必要がある。

[0040] 図7は、光ファイバ10の研磨損失の残存クラッド厚 d_{cl} に対する依存性を示すグラフである。なお、このグラフに示す数値解析では、図6の数値解析に用いた光ファイバ10のサンプルを想定している。つまり、伝搬定数の異なる複数の光ファイバ10を想定している。

[0041] 図6の各サンプルで最大の結合効率を得るために必要な残存クラッド厚 d_{cl} は全て約 $1\mu\text{m}$ であった。従って、光ファイバ10における研磨損失の目標値は0.2dB程度とすることが望ましい。また、研磨損失による現用光通

信への影響を考慮すると、研磨損失は0.5 dB以下がよい。この値は光コネクタによる接続損失程度の値である。結合効率への要求が緩い場合、残存クラッド厚 d_{lv} は更に大きくてよく、たとえば研磨損失は0.1 dB以上が望ましい。

[0042] 上述の通り、本実施形態によれば、光ファイバカプラを構成する複数の光ファイバのうちの少なくとも1つの伝搬定数が、Z方向に沿って一定の範囲内で連続的に変化する。従って、光結合の相手先である光ファイバの伝搬定数にバラツキがあっても、その伝搬定数に等しい或いは近い値の伝搬定数に合わせた光結合を達成させることができる。つまり、多様な伝搬定数を有する光ファイバに対して所望の結合効率で他の光ファイバを分岐・合流できる。例えば、光結合の相手先である現用光ファイバの伝搬定数に合わせた様々な伝搬定数の分岐光ファイバを予め用意する必要がなくなり、分岐光ファイバの製造コストが削減できる。なお、伝搬定数を連続的に変化する上述の研磨面は、光ファイバ10及び光ファイバ20のうちの少なくとも一方に形成される。

[0043] 次に、研磨面14（24）の形成方法について説明する。図8Aは、研磨面14（24）の形成に用いる研磨装置30の一例を示す斜視図である。図8Bは、図8Aに示す保持部32の断面図である。図8Aに示すように、研磨装置30は、研磨台31と、保持部32とを備える。以下、研磨面14の形成を例に挙げて説明する。

[0044] 研磨台31は平坦な上面31aを有し、この上面31aには研磨シート33が載置される。保持部32は、研磨台31の上面31aに対向する平面32aを有し、この平面32aには、半径Rで湾曲したV溝34が形成されている。半径Rは、曲率半径 R_{lv} よりも僅かに小さい。なお、研磨台31及び保持部32の材質は、例えばガラスである。

[0045] 図8Aに示すように、V溝34は、平面32aからの深さが平面32aの中央付近で最も浅くなるように形成されている。また、図8Bに示すように、このV溝34の最小深さは、クラッド12が残存クラッド厚 d_{lv} を有する

ことができる値に設定される。

- [0046] 研磨装置30を用いた光ファイバ10の研磨加工は、光ファイバ10に光ファイバ20を接続する現場で行われる。まず、研磨前の準備工程として、光ファイバ10からの漏洩光を測定する状態を準備する。具体的には、光ファイバ10にレーザ光（便宜上、伝播光と称する）が伝播している状態で光ファイバ10に曲げを付与し、曲げられた部分から漏洩するレーザ光（便宜上、漏洩光と称する）の強度を光強度計（図示せず）によって測定する。
- [0047] 上述の通り、光ファイバ10は現用光ファイバである。従って、光ファイバ10を伝播する光は、そのネットワークを伝播する通信光又は所定の光源を用いて導入された疑似的な通信光である。何れの場合も、通信に影響を与えない程度の損失が生じる曲げを光ファイバ10に付与し、曲げられた部分からの漏洩光の強度測定を、研磨が終了するまで行う。
- [0048] 次に、保持部32のV溝34内に接着剤35（図2参照）を充填し、V溝34内に光ファイバ10を固定する。接着剤35が硬化し、光ファイバ10がV溝34に固定されると、光ファイバ10の側面15の一部が保持部32の平面32aから露出する（図8B参照）。
- [0049] 次に、側面15の一部が保持部32の平面32aから露出した状態で、保持部32の平面32aを、研磨台31に載置した研磨シート33に対向させる。その後、保持部32の平面32aから露出した光ファイバ10の側面15を研磨シート33に押し当てて研磨する。
- [0050] 側面15の研磨は、漏洩する通信光の強度を監視しながら行われる。研磨が進むと、研磨面がコア11に近づき（即ち残存クラッド厚 d_{lv} が減少し）、測定中の漏洩光の強度が徐々に減少する。そして、漏洩光の強度が所定の値に達したときに、研磨を終了し、曲げを解放する。これら一連の工程により研磨面14の形成が完了する。
- [0051] 光ファイバ20の研磨面24も、上述した工程と同様の工程を経て形成される。但し、研磨面24は、工場等の遠隔地で予め形成されてもよい。この場合、現場での加工よりも精密な加工が可能となる。

[0052] 次に、光ファイバカプラ 1 の製造方法、及び光合分波方法について説明する。

本実施形態に係る製造方法では、位置調整装置 40 を用いて、光ファイバ 10 と光ファイバ 20（即ち、研磨面 14 と研磨面 24）の相対的な位置調整を行う。図 9 は、位置調整装置 40 の構成の一例を示す斜視図である。図 9 に示すように、位置調整装置 40 は、保持部 41 と、保持部 42 と、光源 43 と、光強度計 44 と、ステージ 45 とを備える。

[0053] 保持部 41 は、光ファイバ 10 を保持した上述の保持部 32（図 8 A 参照）がそのまま流用される。同様に、保持部 42 は、光ファイバ 20 を保持した上述の保持部 32 がそのまま流用される。即ち、保持部 41 は、曲率半径 R_{lv} よりも僅かに小さい半径 R を持つ V 溝 34 が形成された保持部 32 であり、保持部 42 は、曲率半径 R_{br} よりも僅かに小さい半径 R を持つ V 溝 34 が形成された保持部 32 である。保持部 41 と保持部 42 は、研磨面 14 と研磨面 24 が互いに摺動可能に接触した状態で、対応する光ファイバを保持している。

[0054] 保持部 41 は、上述の研磨加工が終了した光ファイバ 10 を保持する。即ち、保持部 41 は、研磨面 14 が平面 41 a 上に露出した光ファイバ 10 を保持する。平面 41 a は XZ 平面に平行である。同様に、保持部 42 は、研磨面 24 が平面 42 a 上に露出した光ファイバ 10 を保持する。平面 42 a も XZ 平面に平行である。

[0055] 保持部 41 と保持部 42 は、研磨面 14 と研磨面 24 が互いに摺動可能に接触した状態で、対応する光ファイバを保持している。換言すれば、保持部 41 と保持部 42 は、それぞれの平面 41 a、42 a が互いに摺動可能に接触した状態で Y 方向に並んでいる。例えば、Y 方向が重力の方向に平行な場合、保持部 42 はステージ 45 の上面 45 a に載置され、保持部 41 は保持部 42 に積み重ねられる。

[0056] 光源 43 は周知の構成を有するレーザ光源であり、光ファイバ 20 に入射する試験光 80 を生成する。試験光 80 は、光ファイバ 20 の両端のうちの

何れに入射してもよい。例えば、光ファイバ10が現用光ファイバである場合、光源43は、光ファイバカップラ1を挟んで、光ファイバ10に接続する通信事業者側の光回線終端装置(ONU: Optical Network Unit)と反対側に位置する光ファイバ20（即ち、分岐ファイバ）の端部に接続する。

[0057] 光強度計44は、光ファイバ20を通過した試験光80を受け、試験光80の強度を計測し、その計測値をモニタ（図示せず）等に出力する。

[0058] ステージ45はXZ平面に平行な上面45aを有し、Z方向にスライド自在に設けられている。リニアアクチュエータ46はステージ45に連結し、Z方向にステージ45を移動させる。なお、ステージ45は、Z方向に加え、X方向にもスライド自在に設けられてもよい。

[0059] 光ファイバカップラ1による所望の結合効率は、位置調整装置40を用いて次の手順を経て得ることができる。即ち、まず、ステージ45の上面45aには保持部42が載置される。更に、保持部42には保持部41が載置される。但し、保持部41は、治具（図示せず）によって移動が規制される。

[0060] 研磨面14と研磨面24のうちの一方には、液状の屈折率整合剤（図示せず）が塗布される。なお、屈折率整合剤（図示せず）は固形のものでも用いてもよい。この場合、屈折率整合剤（図示せず）は研磨面14と研磨面24の間に挿入され、両研磨面によって挟まれる。

[0061] 次に、屈折率整合剤（図示せず）を介して、研磨面14と研磨面24を互いに摺動可能に接触させる。研磨面14と研磨面24が互いに接触すると、光ファイバ10は、少なくとも研磨面14を含む部分において、曲率半径 R_{1v} で曲げられた状態を維持する。同様に、光ファイバ20も、少なくとも研磨面24を含む部分において、光ファイバ20が曲率半径 R_{2r} で曲げられた状態を維持する。

[0062] 光ファイバ20には、予め設定された強度 P_{in} をもつ試験光80が入射される。試験光80は、光ファイバ20を伝播し、光強度計44に入射する。光強度計44は、入射した試験光80の強度 P_{th} を計測する。結合効率は、 $1 - (P_{th} / P_{in})$ で表される数式を用いて推定することができる。なお、

光ファイバ10には通信光81（図3C参照）が伝播していてもよく、伝播していなくてもよい。

[0063] 計測された強度 P_{th} が所望の結合効率に相当する基準値 P_{rf} と異なる場合、ステージ45をZ方向に移動させる。この移動に伴って保持部41もZ方向に移動する。一方、保持部42の移動は治具（図示せず）によって規制されている。従って、保持部41は保持部42に対してZ方向に相対的に移動する。保持部42に対する保持部41の相対移動によって、研磨面14に対して研磨面24が相対的にZ方向に移動する。従って、光ファイバ10、20間の伝搬定数差 $\Delta\beta$ が変化し、結合効率（分岐効率）が増加又は減少する。

[0064] このように試験光80の強度 P_{th} の変化を監視しつつ、ステージ45をZ方向に移動させる。強度 P_{th} が所望の結合効率に相当する基準値 P_{rf} が得られたときは、ステージ45の移動を停止し、そのときの保持部41と保持部42の相対位置を保持する。即ち、研磨面14と研磨面24の相対位置を保持する。この相対位置の保持は、例えば、接着剤を用いた保持部41と保持部42の接合によって可能である。これにより、所望の結合効率を有する光ファイバカプラ1（即ち光合分波方法）が得られる。

[0065] なお、本開示は上述の実施形態に限定されず、特許請求の範囲の記載によって示され、さらに特許請求の範囲の記載と均等の意味および範囲内でのすべての変更を含む。

符号の説明

- [0066] 1 光ファイバカプラ
- 10 光ファイバ（第1光ファイバ）
 - 11 コア（第1コア）
 - 12 クラッド（第1クラッド）
 - 13 被覆（第1被覆）
 - 14 研磨面（第1研磨面）
 - 15 側面

- 2 0 光ファイバ（第2光ファイバ）
- 2 1 コア（第2コア）
- 2 2 クラッド（第2クラッド）
- 2 3 被覆（第2被覆）
- 2 4 研磨面（第2研磨面）
- 2 5 側面
- 3 0 研磨装置
- 3 2 保持部
- 3 4 V溝
- 3 5 接着剤
- 4 0 位置調整装置
- 4 1 保持部（第1保持部）
- 4 2 保持部（第2保持部）
- 4 3 光源
- 4 4 光強度計
- 4 5 ステージ
- 4 6 リニアアクチュエータ

請求の範囲

- [請求項1] 側面に形成された第1研磨面を含む第1光ファイバと、
 側面に形成され且つ前記第1研磨面に接触する第2研磨面を含む第2光ファイバと
 を備え、
 前記第2研磨面と前記第2光ファイバの中心軸との間の距離は、前記第2光ファイバの伝搬定数を連続的に変化させるように、前記第2光ファイバの長手方向に沿って連続的に変化している
 光ファイバカプラ。
- [請求項2] 前記第1光ファイバはネットワークに既に敷設された複数の光ファイバのうちの1つであり、
 前記第2光ファイバは前記第1光ファイバに新たに接合する光ファイバである
 請求項1に記載の光ファイバカプラ。
- [請求項3] 前記第1光ファイバ及び前記第2光ファイバは、ITU-T G.652及びG.657.A1に準拠したシングルモード光ファイバであり、
 前記第2光ファイバは3以上の v 値を有する
 請求項1又は2に記載の光ファイバカプラ。
- [請求項4] 第1光ファイバの側面に形成された第1研磨面と、第2光ファイバの側面に形成された第2研磨面とを互いに摺動可能に接触させ、
 所定の結合効率が得られるまで、前記第1研磨面と前記第2研磨面のうち的一方を、その他方に対して相対的に移動させて、前記第1研磨面と前記第2研磨面の相対位置を保持し、
 前記第2研磨面と前記第2光ファイバの中心軸との間の距離は、前記第2光ファイバの伝搬定数を連続的に変化させるように、前記第2光ファイバの長手方向に沿って連続的に変化している
 光ファイバカプラの製造方法。
- [請求項5] 第1光ファイバの側面に形成された第1研磨面と、第2光ファイバ

の側面に形成された第2研磨面とを互いに摺動可能に接触させ、

所定の結合効率を得られるまで、前記第1研磨面と前記第2研磨面のうちの一方を、その他方に対して相対的に移動させて、前記第1研磨面と前記第2研磨面の相対位置を保持し、

前記第2研磨面と前記第2光ファイバの中心軸との間の距離は、前記第2光ファイバの伝搬定数を連続的に変化させるように、前記第2光ファイバの長手方向に沿って連続的に変化している
光合分波方法。

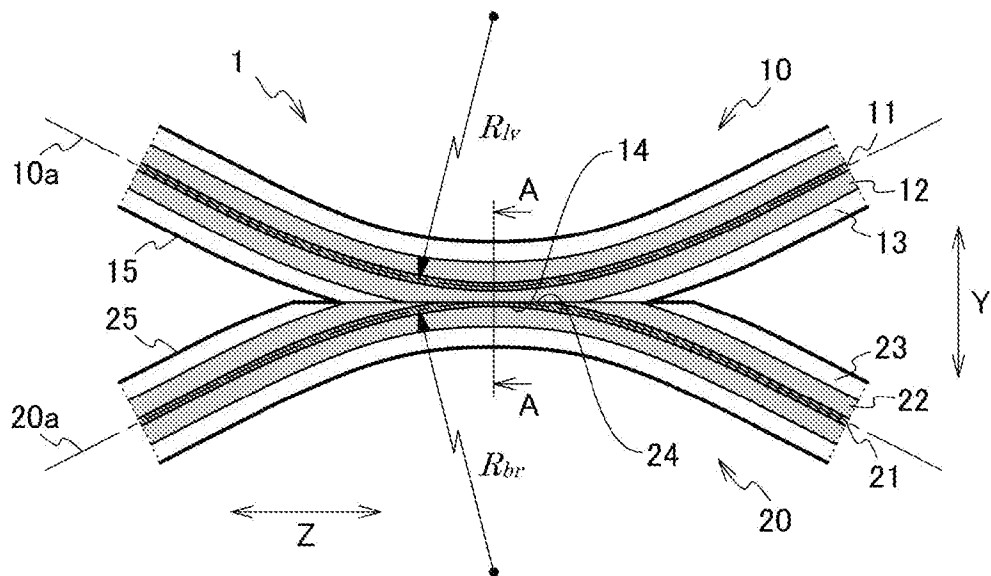
[請求項6] 前記第1光ファイバはネットワークに既に敷設された複数の光ファイバのうちの1つであり、

前記第2光ファイバは前記第1光ファイバに新たに接合する光ファイバである

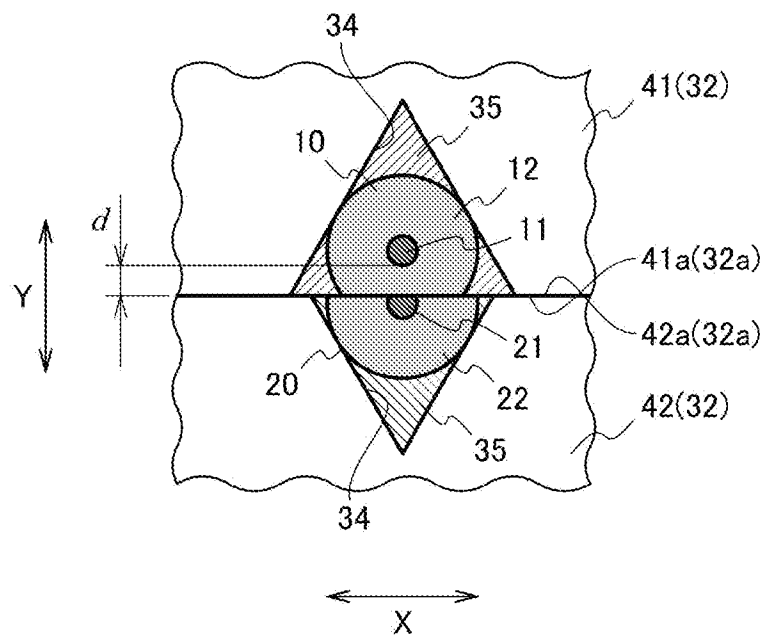
請求項5に記載の光合分波方法。

[請求項7] 前記第2光ファイバは、前記複数の光ファイバが有する伝搬定数のうちの最大値以上の伝搬定数を有する、
請求項6に記載の光合分波方法。

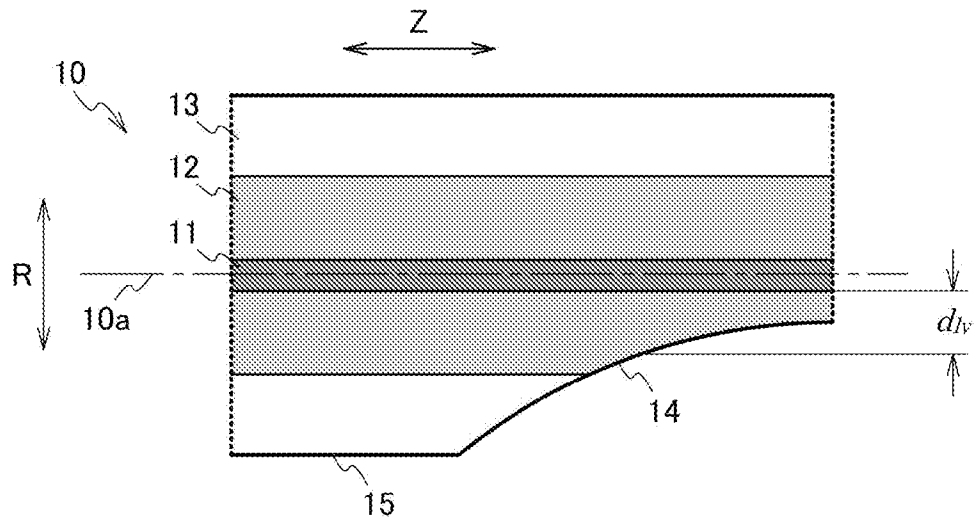
[図1]



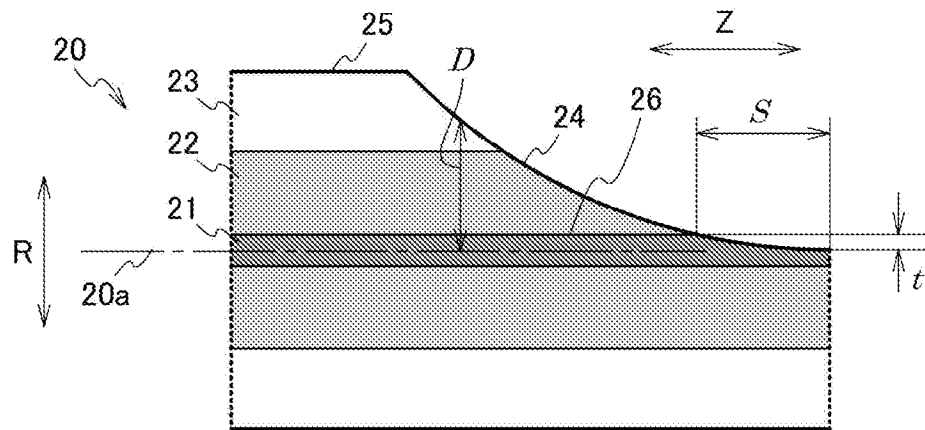
[図2]



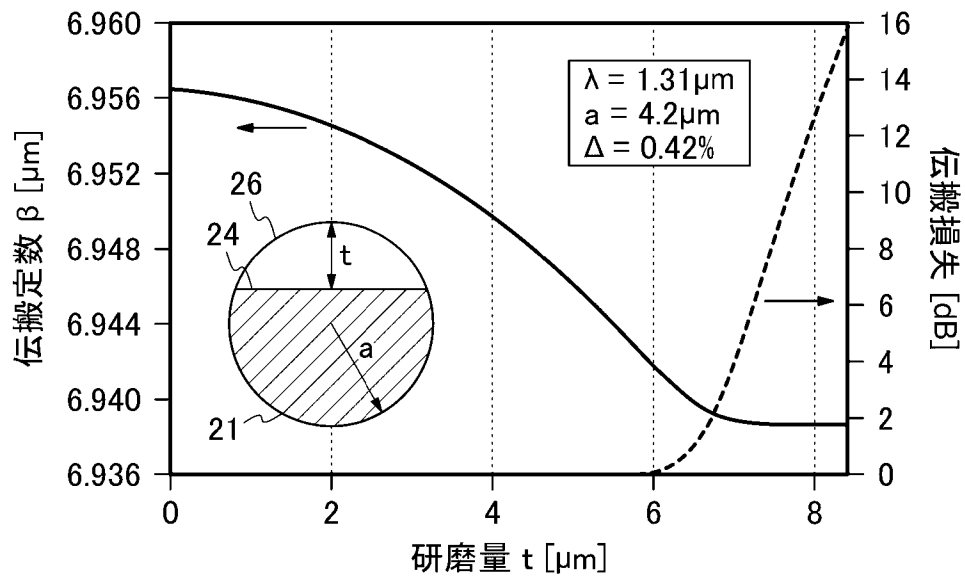
[図3A]



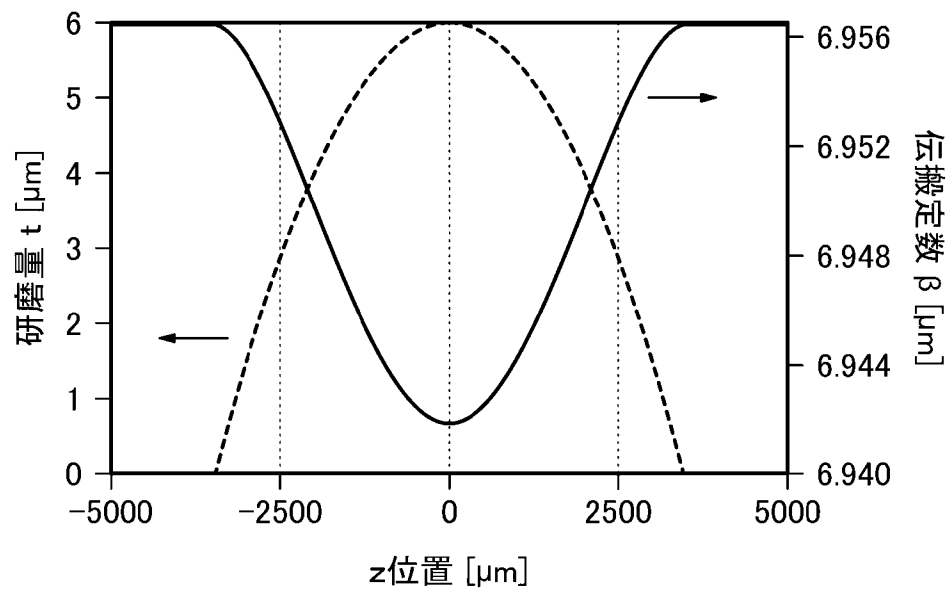
[図3B]



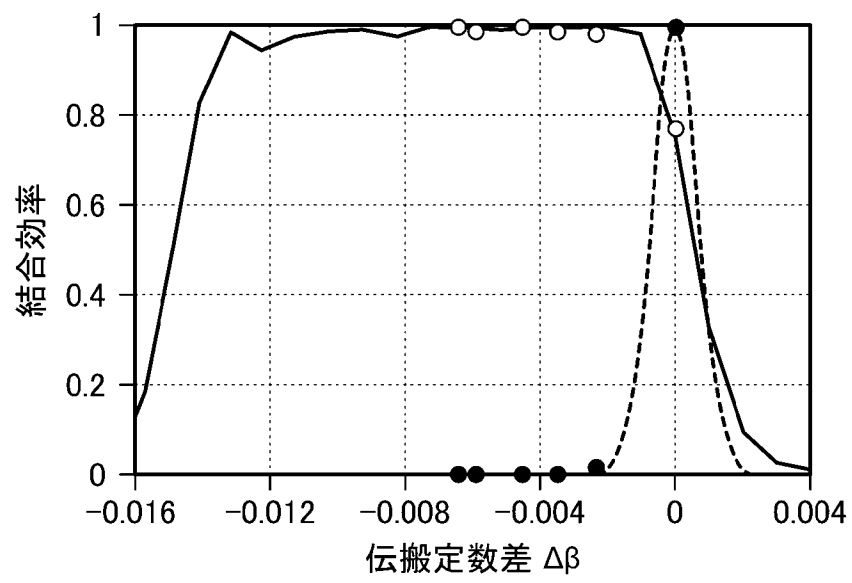
[図4]



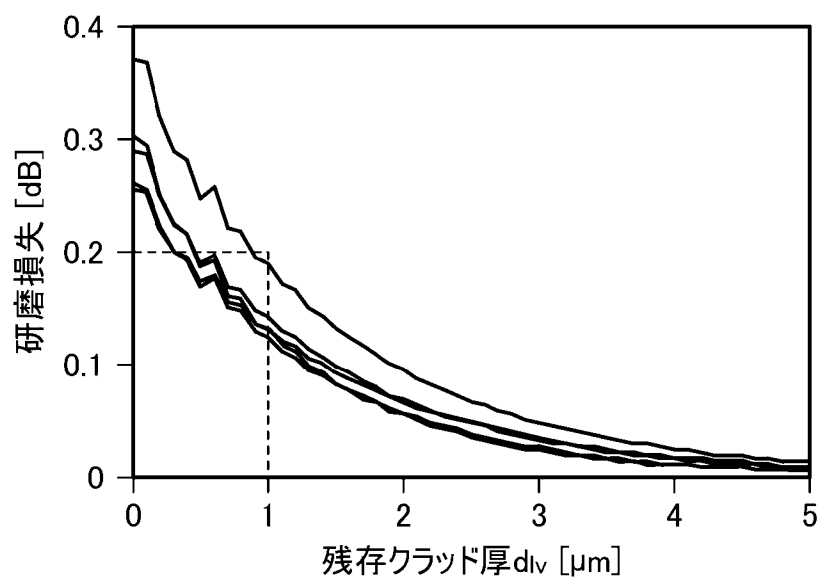
[図5]



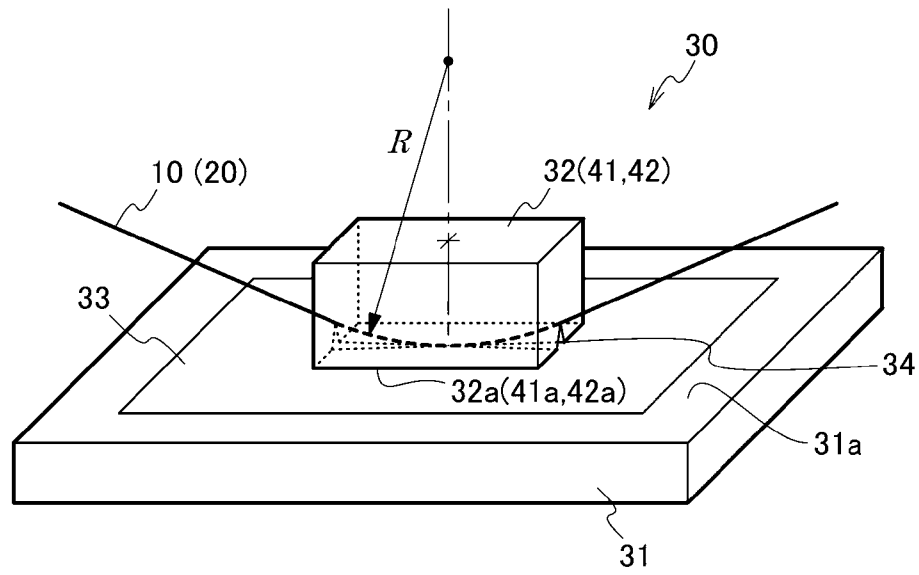
[図6]



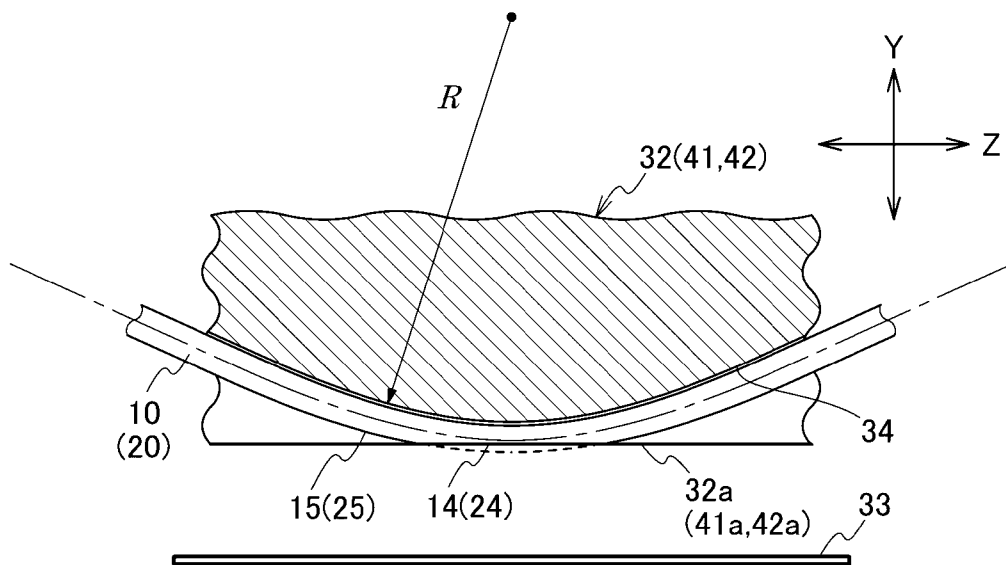
[図7]



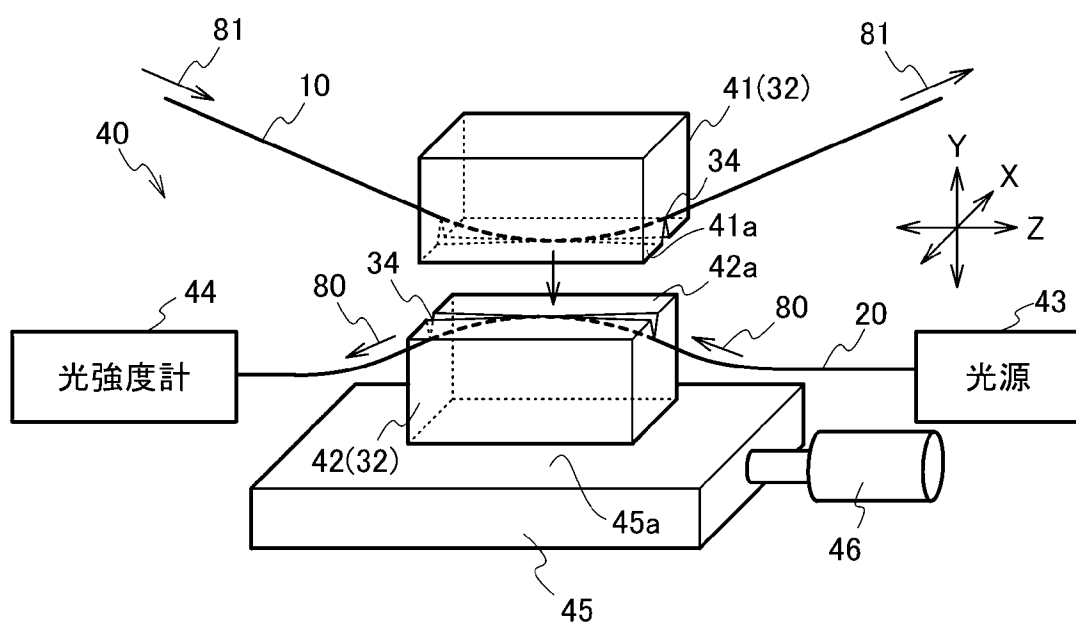
[図8A]



[図8B]



[図9]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2023/003982

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**G02B 6/28**(2006.01)i; **G02B 6/26**(2006.01)i

FI: G02B6/28 W; G02B6/26

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)

G02B6/26-6/34

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

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996
 Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2023
 Registered utility model specifications of Japan 1996-2023
 Published registered utility model applications of Japan 1994-2023

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 2021/166262 A1 (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION) 26 August 2021 (2021-08-26) paragraphs [0016], [0017], [0026]-[0030], fig. 1, 7, 8	1-7
A	WO 2021/064916 A1 (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION) 08 April 2021 (2021-04-08) entire text, all drawings	1-7
A	JP 60-500030 A (THE BOARD OF TRUSTEES OF THE LELAND STANFORD JUNIOR UNIVERSITY) 10 January 1985 (1985-01-10) entire text, all drawings	1-7
A	US 4302071 A (SIEMENS AKTIENGESSELLSCHAFT) 24 November 1981 (1981-11-24) entire text, all drawings	1-7
A	US 6968103 B1 (GENERAL DYNAMICS ADVANCED INFORMATION SYSTEMS, INC.) 22 November 2005 (2005-11-22) entire text, all drawings	1-7



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

27 March 2023

Date of mailing of the international search report

11 April 2023

Name and mailing address of the ISA/JP

Japan Patent Office (ISA/JP)
 3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915
 Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2023/003982

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
WO	2021/166262	A1	26 August 2021	(Family: none)	
WO	2021/064916	A1	08 April 2021	US	2022/0342153 A1
JP	60-500030	A	10 January 1985	US	4723827 A
				WO	1984/002005 A1
				EP	124523 A1
				BR	8208104 A
				KR	10-1984-0006704 A
US	4302071	A	24 November 1981	DE	2853800 A1
US	6968103	B1	22 November 2005	(Family: none)	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） G02B 6/28(2006.01)i; G02B 6/26(2006.01)i FI: G02B6/28 W; G02B6/26										
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）） G02B6/26-6/34										
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 <table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922-1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971-2023年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996-2023年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994-2023年</td> </tr> </table>			日本国実用新案公報	1922-1996年	日本国公開実用新案公報	1971-2023年	日本国実用新案登録公報	1996-2023年	日本国登録実用新案公報	1994-2023年
日本国実用新案公報	1922-1996年									
日本国公開実用新案公報	1971-2023年									
日本国実用新案登録公報	1996-2023年									
日本国登録実用新案公報	1994-2023年									
国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）										
C. 関連すると認められる文献										
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号								
X	WO 2021/166262 A1（日本電信電話株式会社）26.08.2021（2021-08-26） 段落[0016]-[0017], 段落[0026]-[0030], 図1, 7-8	1-7								
A	WO 2021/064916 A1（日本電信電話株式会社）08.04.2021（2021-04-08） 全文, 全図	1-7								
A	JP 60-500030 A（ザ・ボード・オブ・トラスティーズ・オブ・ザ・レランド・スタン フォード・ジュニア・ユニバーシティ）10.01.1985（1985-01-10） 全文, 全図	1-7								
A	US 4302071 A（SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT）24.11.1981（1981-11-24） 全文, 全図	1-7								
A	US 6968103 B1（GENERAL DYNAMICS ADVANCED INFORMATION SYSTEMS, INC.） 22.11.2005（2005-11-22） 全文, 全図	1-7								
☐ 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。										
<table border="0"> <tr> <td> * 引用文献のカテゴリー “A” 特に関連のある文献ではなく、一般的技术水準を示すもの “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 </td> <td> “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抵触するものではなく、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 </td> </tr> </table>			* 引用文献のカテゴリー “A” 特に関連のある文献ではなく、一般的技术水準を示すもの “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抵触するものではなく、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						
* 引用文献のカテゴリー “A” 特に関連のある文献ではなく、一般的技术水準を示すもの “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抵触するものではなく、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 27.03.2023		国際調査報告の発送日 11.04.2023								
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号		権限のある職員（特許庁審査官） 野口 晃一 2L 5708 電話番号 03-3581-1101 内線 3295								

国際調査報告
 パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2023/003982

引用文献			公表日	パテントファミリー文献			公表日
WO	2021/166262	A1	26.08.2021	(ファミリーなし)			
WO	2021/064916	A1	08.04.2021	US	2022/0342153	A1	
JP	60-500030	A	10.01.1985	US	4723827	A	
				WO	1984/002005	A1	
				EP	124523	A1	
				BR	8208104	A	
				KR	10-1984-0006704	A	
US	4302071	A	24.11.1981	DE	2853800	A1	
US	6968103	B1	22.11.2005	(ファミリーなし)			