

(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
2020年4月30日(30.04.2020)



(10) 国際公開番号

WO 2020/085083 A1

(51) 国際特許分類:
G02B 6/26 (2006.01) *G02B 6/138* (2006.01)
G02B 6/125 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2019/039627

(22) 国際出願日: 2019年10月8日(08.10.2019)

(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 2018-198954 2018年10月23日(23.10.2018) JP

(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: 鹿間 光太(SHIKAMA, Kota); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-11 NTT 知的財産センタ内 Tokyo (JP). 河尻 祐子(KAWAJIRI, Yuko); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-11 NTT 知的財産センタ内 Tokyo (JP). 荒武 淳(ARATAKE, Atsushi);

〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-11 NTT 知的財産センタ内 Tokyo (JP).

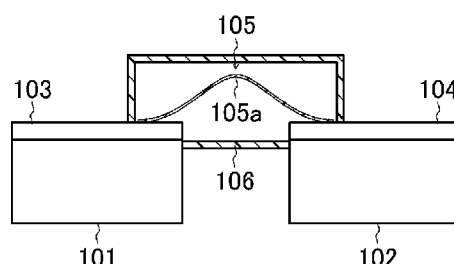
(74) 代理人: 山川 茂樹, 外(YAMAKAWA, Shigeki et al.); 〒1006104 東京都千代田区永田町2丁目11番1号 山王パークタワー4階 山川国際特許事務所内 Tokyo (JP).

(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, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, 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, 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, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM,

(54) Title: OPTICAL CONNECTION STRUCTURE AND METHOD FOR FORMING SAME

(54) 発明の名称: 光接続構造およびその形成方法



(57) Abstract: A first optical waveguide layer (103) and a second optical waveguide layer (104) are optically connected to each other by a resin optical waveguide (105) constituted by a resin core (105a) made from a resin that allows light to be transmitted therethrough with the air surrounding the resin core (105a) serving as the cladding. A hollow exterior wall structure (106) is further provided to house the resin optical waveguide (105). The exterior wall structure (106) is provided with a closed space therein. The exterior wall structure (106) provides a bridge between a first optical device (101) and a second optical device (102).

(57) 要約: 光が透過する樹脂からなる樹脂コア(105a)と、樹脂コア(105a)の周囲の空気からなるクラッドとから構成された樹脂光導波路(105)で、第1光導波路層(103)と第2光導波路層(104)とが、光接続されている。また、樹脂光導波路(105)を収容する中空の外壁構造体(106)を備える。外壁構造体(106)は、内部に密閉された空間を備える。外壁構造体(106)は、第1光デバイス(101)と第2光デバイス(102)との間に架設されている。

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, 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：

- 一 国際調査報告（条約第21条(3)）

明 細 書

発明の名称：光接続構造およびその形成方法

技術分野

[0001] 本発明は、光接続構造およびその形成方法に関し、特に、光通信ネットワークに用いられる光ファイバ間の光接続、光ファイバとレーザ、フォトダイオード、光導波路、光変調器などの光デバイスとの光接続、光デバイス間の光接続を実現する光接続構造およびその形成方法に関する。

背景技術

[0002] 光通信ネットワークの進展に伴い、光通信用デバイスの集積度を向上させ、光デバイスの小型化することが強く求められている。光通信用デバイスとして用いられる光回路では、従来、ガラスをコアとする石英ガラス系からなる平面光波回路（Planar Lightwave Circuit；P L C）が広く用いられている。これは、光ファイバとの結合に優れ、材料としての信頼性も高いため、光スプリッタ、波長合分波器、光スイッチ、偏波制御素子など光通信用の多種多様な光機能素子へ応用されている。

[0003] 近年では、前述の光回路の小型化に対応するために、コアの屈折率を大きくし、クラッドとの屈折率差を大きくすることで最小曲げ径を小さく設計する高屈折率差の光回路の研究が進んでいる。また、近年では、光の閉じ込めの強いシリコンをコアとしたシリコンフォトニクス技術が進展し、ガラス系よりもより小型な光回路が実現されている。シリコンフォトニクス技術には、電子部品などで一般に用いられているシリコンプロセスが適用できる。

[0004] また、透明な高分子重合体などの樹脂（合成樹脂）からなる樹脂光導波路などもよく知られている。また、光変調素子や波長変換素子、増幅素子としては、ニオブ酸リチウム（ LiNbO_3 ）などに代表される強誘電体材料をコアとする光回路なども広く利用されている。また、発光素子や受光素子、光変調素子としては、インジウムリン（ InP ）やガリウムヒ素（ GaAs ）などに代表されるⅢ－Ⅴ族半導体も実用化されており、これらに光導波

機構を有する光回路集積型の発光素子、受光素子、光変調素子なども広く応用がなされている。これら強誘電体系や半導体系の光導波路に関しても、ガラスよりも屈折率が高いことから、光の閉じ込めが強く、回路の小型化が期待できる。以上の光機能素子をまとめて、単に光デバイスと呼ぶこととする。

[0005] 上記のような、光デバイスの小型化に合わせて、光導波路の光入出力部の小型化の需要が増大している。従来、石英ガラス系 PLC の光入出力部での光学的な接続（光接続）の例では、光ファイバのクラッド径以下に接続ピッチを小さくできないことから、光回路上で接続ピッチを広げたのちに、光ファイバと光接続することが一般的である。したがって、PLC の光接続には、この接続ピッチが制限となり、光入出力部を含めると光デバイス全体が小型化できないという課題がある。このため、光ファイバのクラッド径で制限されるピッチ以下で光接続する技術が求められている。

[0006] 一般に、光ファイバ間、光ファイバと光デバイスとの間、および光デバイス同士の間での光接続においては、光デバイスの光軸に直交する接続端面同士を向かい合う状態に配置し、お互いのコア位置の軸ずれがないよう位置決めして光接続するバッドカップリング技術が知られている。他方、光デバイスの光軸に直交する接続端面から出射した光ビームをレンズなどの空間光学系を介して集光するなどして、再度光デバイスに接続する空間系接続なども広く用いられている。

[0007] 上記のバッドカップリング技術では、必ず光デバイスの光接続面同士を向かい合わせて配置しなければならない上に、熱膨張係数や導波光のモード径の整合性の観点などから実装上の制約が大きいという課題がある。また、空間光学系結合においても、ビーム径の広がりによる制約や、微小のレンズ、ミラーなどの製造上の制約があり、接続ピッチの小型化や量産性向上に技術限界がある。

[0008] 上述した限界を打破する技術として、光デバイス間を樹脂光導波路で接続する技術が提案されている。例えば、自己形成光導波路を用いた光接続や、

非特許文献 1 に記載のように 2 光子吸収を用いたナノレベルの光造形技術により、任意の光立体配線パターンを作製し、樹脂内に光を導波させて前記光ファイバ間、光ファイバと光デバイスとの間、および光デバイス同士の間を光学的に接続（光接続）する方法がある。

[0009] これは、基板上に樹脂の原材料となるレジスト液などを浸漬させ、レーザからの光ビームをレンズなどにより集光させ、前記光ビームの集光部に 2 光子吸収を誘起させることにより集光部の樹脂のみを硬化させ、更に、このレーザを走査することにより集光部を任意に動かし、結果として、光造形を行う技術であり、光造形型の 3 次元プリンタとしても知られている。

[0010] 特に、2 光子吸収を用いた光造形の技術は、よく知られているように、集光サイズが極微小であることから、微小駆動する走査部と組み合わせることにより、ナノレベルの光造形が可能である。この技術を用いて、非特許文献 1 のように造形した樹脂自体をコアとした微小樹脂光配線（光導波路）を用い、接続対象の光デバイスと光接続する方法が知られている。

先行技術文献

非特許文献

[0011] 非特許文献 1 : N. Lindenmann et al., "Photonic wire bonding: a novel concept for chip-scale interconnects", Optics Express, vol. 20, no. 16, pp. 17667-17677, 2012.

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0012] 上述したように、微小領域での光接続構造では、非常に小さな曲率半径で樹脂光導波路を曲げることになる。このように小さな曲率半径で曲げるためには、曲げによる光の放射損失を低減するために、樹脂光導波路により強く光を閉じ込めることが重要となる。このためには、樹脂光導波路を構成するコアとクラッドとの屈折率差を高くすることが求められる。コアとする樹脂の屈折率は、一般に 1.3 ~ 1.6 程度であるため、上記屈折率差をより高

くするためには、クラッドを屈折率が1の空気とすることになる。しかしながら、空気をクラッドとして外部に露出した状態で樹脂光導波路を構成すると、周囲のごみやガスなどがコアの部分に付着し、この付着部により理想的な導波構造が乱れ、光の放射損増大などを招くという問題がある。

[0013] 本発明は、以上のような問題点を解消するためになされたものであり、クラッドを空気とした樹脂光導波路における光の放射損の抑制を目的とする。

課題を解決するための手段

[0014] 本発明に係る光接続構造は、光導波路が形成された第1光導波路層を備える第1光デバイスと、光導波路が形成された第2光導波路層を備える第2光デバイスと、光が透過する樹脂からなる樹脂コアから構成され、第1光導波路層と第2光導波路層とを光接続する樹脂光導波路と、樹脂光導波路を収容する中空の外壁構造体とを備え、樹脂光導波路の一部は、樹脂コアと樹脂コアの周囲の空気からなるクラッドとから構成されている。

[0015] 上記光接続構造の一構成例において、外壁構造体は、樹脂から構成されている。

[0016] 上記光接続構造の一構成例において、外壁構造体の内壁に樹脂コアを支持固定する支持梁を備える。

[0017] 上記光接続構造の一構成例において、樹脂コアは、第1光導波路層および第2光導波路層の少なくとも一方の光導波路のコアの導波方向に沿って樹脂コアの一部の側面が接することで、第1光導波路層および第2光導波路層の少なくとも一方に、断熱的に光接続されている。

[0018] 上記光接続構造の一構成例において、樹脂コアの端面と、第1光導波路層および第2光導波路層の少なくとも一方の光導波路のコアの接続端面とは、ともに導波方向に垂直に形成され、バッドカップリングにより光接続されている。

[0019] また、本発明に係る光接続構造の形成方法は、光導波路が形成された第1光導波路層を備える第1光デバイス、および光導波路が形成された第2光導波路層を備える第2光デバイスを用意する第1工程と、露光のための露光光

を照射することにより光硬化樹脂を硬化して光硬化樹脂が光硬化した樹脂コアを形成し、樹脂コアと樹脂コアの周囲の空気からなるクラッドとから構成された樹脂光導波路で、第 1 光導波路層と第 2 光導波路層とを光接続する第 2 工程と、樹脂光導波路を収容する中空の外壁構造体を形成する第 3 工程とを備え、光硬化樹脂は、光硬化することにより光が透過する樹脂となる。

発明の効果

[0020] 以上説明したように、本発明によれば、第 1 光導波路層と第 2 光導波路層とを光接続する樹脂光導波路の樹脂コアを、中空の外壁構造体に収容するので、クラッドを空気とした樹脂光導波路における、異物付着などによる光の放射損が抑制できるという優れた効果が得られる。

図面の簡単な説明

[0021] [図1]図 1 は、本発明の実施の形態 1 に係る光接続構造の構成を示す断面図である。

[図2]図 2 は、本発明の実施の形態 1 に係る光接続構造の構成を示す斜視図である。

[図3]図 3 は、本発明の実施の形態 2 に係る光接続構造の構成を示す断面図である。

[図4A]図 4 A は、本発明の実施の形態 2 に係る光接続構造の構成を示す斜視図である。

[図4B]図 4 B は、本発明の実施の形態 2 に係る光接続構造の構成を示す斜視図である。

[図5]図 5 は、本発明の実施の形態 3 に係る光接続構造の構成を示す断面図である。

[図6]図 6 は、本発明の実施の形態 4 に係る光接続構造の構成を示す断面図である。

発明を実施するための形態

[0022] 以下、本発明の実施の形態に係る光接続構造について説明する。

[0023] [実施の形態 1]

はじめに、本発明の実施の形態１に係る光接続構造について図１、図２を参照して説明する。

[0024] この光接続構造は、第１光デバイス１０１、第２光デバイス１０２を備え、第１光デバイス１０１の第１光導波路層１０３と、第２光デバイス１０２の第２光導波路層１０４とが、樹脂光導波路１０５で光学的に接続（光接続）されている。樹脂光導波路１０５は、光が透過する樹脂からなる樹脂コア１０５ａと、樹脂コア１０５ａの周囲の空気からなるクラッドとから構成されている。実施の形態１では、例えば、樹脂コア１０５ａは、第１光導波路層１０３および第２光導波路層１０４の少なくとも一方の光導波路のコアの導波方向に沿って樹脂コアの一部の側面が接することで、第１光導波路層１０３および第２光導波路層１０４の少なくとも一方に、断熱的に光接続されている。

[0025] なお、樹脂光導波路１０５の伝搬距離は微小ではあるが、樹脂コア１０５ａを構成する樹脂は、光デバイスに入出力する光の波長における透過率が高いことが好ましい。また、樹脂コア１０５ａの断面寸法は、光を伝搬する範囲であれば任意であるが、導波方向を急峻に変更する微小曲げを行う領域においては、径が小さい方が好ましい。また、樹脂光導波路１０５は、全域においてクラッドを空気とする必要は無いが、微小曲げを行う領域においては、クラッドを空気とすることが好ましい。

[0026] また、光接続構造は、樹脂光導波路１０５を収容する中空の外壁構造体１０６を備える。外壁構造体１０６は、例えば、内部に密閉された空間を形成している。外壁構造体１０６は、例えば、第１光デバイス１０１と第２光デバイス１０２との間に架設されている。外壁構造体１０６は、例えば、樹脂から構成することができる。この場合、外壁構造体１０６は、樹脂コア１０５ａと同一の樹脂から構成することができる。また、外壁構造体１０６は、樹脂に限るものではなく、ガラス、半導体、金属などから構成することが可能である。

[0027] ところで、樹脂光導波路１０５は、樹脂コア１０５ａとこの周囲の空気に

よるクラッドとから構成されている。したがって、外壁構造体 106 の内壁と樹脂コア 105 a との間に、樹脂光導波路 105 のクラッドとなる領域が十分に確保されるように、樹脂コア 105 a から離間して外壁構造体 106 を形成する。

[0028] 例えば、第 1 光導波路層 103 は、複数の光導波路が形成され、第 2 光導波路層 104 も、複数の光導波路が形成されている。これらの各光導波路に対応して複数の樹脂光導波路 105 が設けられている構成とすることもできる。この場合、複数の樹脂光導波路 105 の各々は、第 1 光導波路層 103 の光導波路と、第 2 光導波路層 104 の光導波路との各々を光接続する。この場合においても、外壁構造体 106 に、複数の樹脂光導波路 105 を収容し、複数の樹脂光導波路 105 を外壁構造体 106 で覆う。

[0029] 前述したように、実施の形態 1 では、樹脂コア 105 a の端部の側面が、光の伝搬方向に沿って第 1 光導波路層 103 の光導波路コアの上面と接することで、この光導波路コアと樹脂コア 105 a とが互いに断熱結合している。第 2 光導波路層 104 の光導波路コアと樹脂コア 105 a についても同様である。これは、リブ型導波路などのように、空気が上側クラッドが構成してコアがむき出しになった光導波路に対し、そのコア光軸に沿って、むき出しのコアの上面に樹脂コア 105 a を側面を接して形成することで、例えば、第 1 光導波路層 103 の光導波路コアを導波する導波光のしみ出しによるエバネッセント結合により、両者を断熱的に光結合して低損失に光接続を実現する技術である。なお、必ずしもコアがむき出しでなくても、コアからのクラッドへの光のしみ出しが大きく、かつ、クラッドが薄ければ、断熱的な光結合が実現できる。

[0030] 樹脂光導波路 105 は、空気をクラッドとしており、樹脂などをクラッドとした場合に比較して、樹脂コア 105 a とクラッドとの間の屈折率差が大きい。また、樹脂コア 105 a の径は、 $5\ \mu\text{m}$ 程度と微小径に設定されている。上述したように、樹脂光導波路 105 は高い屈折率差により光の閉じ込め効果が高い。このため、樹脂光導波路 105 は、導波方向を微小な曲率

で曲げて、放射損なく光が導波できる。

[0031] 例えば、第1光デバイス101と第2光デバイス102との間で光接続しようとする光導波路同士の光軸がずれている場合、これらの間を直線的に接続することができず、樹脂光導波路105の一部を曲げることになる。加えて、第1光デバイス101と第2光デバイス102とが近接している場合、より小さい領域に樹脂光導波路105を納めるためには、樹脂光導波路105の曲げる箇所の曲率を小さくする必要がある。このように、第1光デバイス101と第2光デバイス102とが近設し、加えて、光接続しようとする光導波路同士の光軸がずれていても、光の閉じ込め効果が大きい樹脂光導波路105を用いれば、光接続しようとする光導波路同士が放射損なく光接続ができる。

[0032] 実施の形態1によれば、樹脂光導波路105が、外壁構造体106に覆われて収容されているので、周囲のごみやかすなどが樹脂コア105aに付着することが抑制できる。外壁構造体106を設けて樹脂コア105aへのごみなどの付着を抑制すれば、光の放射損が抑制できるようになり、低損失性を高信頼に維持することが可能となる。この効果は、外壁構造体106を気密構造とすることでより高くなる。また、樹脂コア105aに誤って触れて破壊することなどを予防することが可能となり、機械的な信頼性を高めることができる。

[0033] なお、上述では、2つの第1光デバイス101と第2光デバイス102との間を光接続する場合を例に説明したが、これに限るものではない。3つ以上の光デバイスの各々の間を光接続する場合にも同様である。例えば、光ファイバアレイと、光導波路デバイスと各々の間の光接続にも全く同様に適用できる。

[0034] なお、第1光導波路層103、第2光導波路層104が備える光導波路は、例えば、シリコン細線をコアとし、酸化シリコンをクラッドとすることができる。この光導波路は、例えば、よく知られたSOI (Silicon on Insulator) 基板などから形成できる。光導波路を形成するには、まず、公知のフォ

トリソグラフィ技術およびエッチング技術などによりＳＯＩ基板の表面シリコン層をパターニングし、光導波路（光回路）を構成するコア層を形成する。次に、例えば、プラズマＣＶＤ法などのよく知られた堆積法により、酸化シリコンを堆積してクラッドを形成することにより、光導波路が得られる。

[0035] また、第１光デバイス１０１、第２光デバイス１０２は、上述したシリコン細線による光導波路に限らず、例えばシリコン基板上に堆積して形成された石英ガラスからなるコアを有する平面光波回路とすることができる。また、他の光導波機構を有する光導波路デバイスから第１光デバイス１０１、第２光デバイス１０２を構成することもできる。例えば、基板や光導波路として、石英ガラスのほか、有機物からなるポリマーや、Ｓｉ、シリコンナイトライド（ＳｉＮ）、ガリウムヒ素、インジウムリン（ＩｎＰ）などの半導体あるいは化合物半導体導波路、ニオブ酸リチウム（ＬＮ）、周期的分極反転ニオブ酸リチウム（ＰＰＬＮ）等の誘電体を用いた光導波路デバイスから第１光デバイス１０１、第２光デバイス１０２を構成することができる。

[0036] また、光を伝搬、入出力する光デバイスであれば、この機能も第１光デバイス１０１、第２光デバイス１０２に適応可能である。例えば、光導波路の他に、レーザなどの発光素子、フォトダイオードなどの受光素子、光変調器などから第１光デバイス１０１、第２光デバイス１０２を構成してもよい。また、第１光デバイス１０１、第２光デバイス１０２は、光増幅器、アイソレータ、偏波回転、偏波分離素子、光減衰器、など任意の光機能素子を含むことも可能である。いずれにおいても、第１光デバイス１０１、第２光デバイス１０２は、光導波路を含んでいる。

[0037] 第１光デバイス１０１、第２光デバイス１０２は、例えば、信号を処理するための各種の光回路や、発光・受光・変調・制御等するための各種の光機能素子が集積されているが、本発明は、光導波路間の光接続構造にその特徴を有するのであり、回路構成や回路の機能によらない。

[0038] 次に、光接続構造の形成方法について説明する。樹脂コア１０５aおよび外壁構造体１０６は、光造形により形成することができる。

[0039] 例えば、光硬化樹脂の露光波長の紫外線を用いたフォトリソグラフィ技術により樹脂コア 105a および外壁構造体 106 が形成できる。具体的には、まず、光導波路が形成された第 1 光導波路層 103 を備える第 1 光デバイス 101、および光導波路が形成された第 2 光導波路層 104 を備える第 2 光デバイス 102 を用意する（第 1 工程）。次に、紫外線硬化型の樹脂や SU-8 などに代表されるネガ型のフォトレジストなどの光硬化樹脂を、第 1 光デバイス 101、第 2 光デバイス 102 の樹脂コア 105a を形成する箇所に塗布する。あるいは、光硬化樹脂を塗布する代わりに、光硬化樹脂を収容した容器に、第 1 光デバイス 101、第 2 光デバイス 102 を浸漬する。

[0040] この状態で、光学系や光源をモータあるいはピエゾステージなどを用いて、樹脂コア 105a の形成領域に露光光を順次照射して、照射箇所を選択的に光硬化させ、樹脂コア 105a となる部分（潜像）を形成する。

[0041] また、光硬化樹脂の露光波長よりも長い波長のフェムト秒レーザを用いる光造形によっても、樹脂コア 105a および外壁構造体 106 が形成できる。この光造形では、一定の光強度が集光された箇所のみに非線形効果による 2 光子吸収が発生し、この箇所の光硬化樹脂を光硬化させることができる。フェムト秒レーザを用いる光造形では、前述した露光波長の光源を用いるフォトリソグラフィ技術に比較して、より高精度に、かつ、ナノレベルで光造形を行うことができる。

[0042] これらの光造形技術を用いて樹脂コア 105a となる部分を光硬化させた後、未硬化の領域の光硬化樹脂を除去することにより、樹脂コア 105a を形成する（第 2 工程）。樹脂コア 105a を形成した後、外壁構造体 106 も、上述した光造形技術を用いて同様に形成する（第 3 工程）。外壁構造体 106 を形成するには、例えば、まず、直方体の外壁構造体 106 のうち 5 つの面となる部分を光硬化させた後、未硬化の光硬化樹脂を除去する。これにより、直方体の外壁構造体 106 の内、5 つの面が形成され、この内側は空間となる。この後、直方体の外壁構造体 106 の残りの 1 面を上述した光造形技術により形成することで、中空構造の外壁構造体 106 が形成できる。

。

[0043] [実施の形態 2]

次に、本発明の実施の形態 2 に係る光接続構造について図 3、図 4 A、図 4 B を参照して説明する。

[0044] この光接続構造は、第 1 光デバイス 101、第 2 光デバイス 102 を備え、第 1 光デバイス 101 の第 1 光導波路層 103 と、第 2 光デバイス 102 の第 2 光導波路層 104 とが、樹脂光導波路 105 で光接続されている。樹脂光導波路 105 は、光が透過する樹脂からなる樹脂コア 105 a と、樹脂コア 105 a の周囲の空気からなるクラッドとから構成されている。第 1 光導波路層 103 は、コア 103 a による複数の光導波路を備える。また、第 2 光導波路層 104 も、コア 104 a による複数の光導波路を備える。これらの構成は、前述した実施の形態 1 と同様である。

[0045] また、実施の形態 2 では、第 1 光デバイス 101 と第 2 光デバイス 102 とは、樹脂層 113 を介して積層され、これらが一体とされている。第 1 光デバイス 101 の第 1 光導波路層 103 が形成されている面と、第 2 光デバイス 102 の第 2 光導波路層 104 が形成されている面とが、向かい合い、これらの間に樹脂層 113 を挟んでいる。樹脂層 113 は、例えば、接着剤から構成され、この樹脂層 113 が、第 1 光デバイス 101 と第 2 光デバイス 102 とを互いに接着固定している。

[0046] また、実施の形態 2 では、第 1 光導波路層 103 の光入出射がなされる光導波路端面（接続端面）と、第 2 光導波路層 104 の光入出射がなされる光導波路端面（接続端面）とは、同一の方向を向いて配置されている。第 1 光導波路層 103 および第 2 光導波路層 104 の、同一の方向を向いている接続端面の間が、樹脂コア 105 a による樹脂光導波路 105 で光接続されている。

[0047] 実施の形態 2 では、樹脂コア 105 a の一方の端面と、第 1 光導波路層 103 の光導波路のコアの接続端面とが、ともに導波方向に垂直に形成され、これらが互いに当接することで、第 1 光導波路層 103 の光導波路と樹脂光

導波路 105 とがバッドカップリングにより光接続している。また、樹脂コア 105a の他方の端面と、第 2 光導波路層 104 の光導波路のコアの接続端面とが、ともに導波方向に垂直に形成され、これらが互いに当接することで、第 2 光導波路層 104 の光導波路と樹脂光導波路 105 とがバッドカップリングにより光接続している。また、実施の形態 2 では、樹脂コア 105a が、U 字状などの適切な曲率で折り返された構造を有している。

[0048] また、実施の形態 2 においても、樹脂光導波路 105 を収容する中空構造の外壁構造体 106a を備える。実施の形態 2 では、前述した接続端面側の樹脂層 113 の側面が、外壁構造体 106a の一部となる。

[0049] なお、図 3 に示すように、実施の形態 2 において、第 1 光導波路層 103 の他方の接続端には、光ファイバ 107 が光接続されている。光ファイバ 107 は、固定部品 109 により、接着剤による接着層 111 を介して、第 1 光デバイス 101 の 1 端面（側面）に固定されている。また、第 2 光導波路層 104 の他方の接続端には、光ファイバ 108 が光接続されている。光ファイバ 108 は、固定部品 110 により、接着剤による接着層 112 を介して、第 2 光デバイス 102 の 1 端面（側面）に固定されている。

[0050] ここで、実施の形態 2 において、第 1 光デバイス 101 と第 2 光デバイス 102 との、同じ方向を向いている各々の接続端面の間隔が、例えば 100 μm 程度とされているとすると、これらを光接続する樹脂光導波路 105 の樹脂コア 105a の折り返される構造の曲率半径が 100 μm 程度となる。この値は、非常に小さな値であり、通常の光ファイバなどでは、放射損が非常に大きい。

[0051] これに対し、樹脂光導波路 105 は、クラッドを空気とし、樹脂コア 105a の直径を 10 μm 以下とすることで、曲げの半径が 100 μm 程度と小さくても、放射損失がほぼない状態で、光を導波させることができる。

[0052] 実施の形態 2 の樹脂コア 105a および外壁構造体 106a も、前述した光造形技術により形成できる。また、外壁構造体 106a は、図 4A に示すように、微小な孔部 120 を有していてもよい。孔部 120 を備える外壁構

造体 106a は、外壁構造体 106a のの形状に光硬化樹脂を光硬化させた後、孔部 120 を介して内部の未硬化の光樹脂を除去することで、形成することができる。孔部 120 は、未硬化部分を除去するための流路として機能する。孔部 120 を開始、適切な溶剤で未硬化部分を溶解して流し出せば、中空構造を有する外壁構造体 106a が得られる。

[0053] また、上述したように中空構造とした後、孔部 120 を、樹脂などによる板状の蓋部材 121 で閉じることで、図 4B に示すように、外壁構造体 106a を気密構造とすることができる。

[0054] 実施の形態 2 においても、樹脂光導波路 105 が、外壁構造体 106a に覆われて収容されているので、周囲のごみやかすなどが樹脂コア 105a に付着することが抑制でき、前述した実施の形態 1 と同様に、光の放射損増大などが抑制できるようになり、低損失性を高信頼に維持することが可能となる。また、樹脂コア 105a に誤って触れて破壊するなどを予防することが可能となり、機械的な信頼性を高めることができる。

[0055] [実施の形態 3]

次に、本発明の実施の形態 3 に係る光接続構造について図 5 を参照して説明する。

[0056] この光接続構造は、第 1 光デバイス 101、第 2 光デバイス 102 を備え、第 1 光デバイス 101 の第 1 光導波路層 103 と、第 2 光デバイス 102 の第 2 光導波路層 104 とが、樹脂光導波路 105 で光接続されている。樹脂光導波路 105 は、光が透過する樹脂からなる樹脂コア 105a と、樹脂コア 105a の周囲の空気からなるクラッドとから構成されている。第 1 光導波路層 103 は、コア 103a による複数の光導波路を備える。また、第 2 光導波路層 104 も、コア 104a による複数の光導波路を備える。これらの構成は、前述した実施の形態 1、2 と同様である。

[0057] また、実施の形態 3 では、第 1 光デバイス 101 の第 1 光導波路層 103 が形成されている面と、第 2 光デバイス 102 の第 2 光導波路層 104 が形成されている面とが、向かい合って配置されている。これらの第 1 光デバイ

ス１０１および第２光デバイス１０２の配置は、前述した実施の形態２と同様であるが、実施の形態３では、第１光デバイス１０１と第２光デバイス１０２との間は、空間（空気層）であり、樹脂層は配置されていない。

[0058] また、実施の形態３も、実施の形態２と同様に、第１光導波路層１０３の接続端面と、第２光導波路層１０４の接続端面とは、同一の方向を向いて配置されて、これらの接続端面の間が、樹脂コア１０５aによる樹脂光導波路１０５で光接続されている。また、実施の形態３でも、前述した実施の形態２と同様に、樹脂コア１０５aの一方の端面と、第１光導波路層１０３の光導波路のコアの接続端面とが、導波方向に垂直に形成され、樹脂光導波路１０５と第１光導波路層１０３の光導波路とがバッドカップリングにより光接続している。また、樹脂コア１０５aの他方の端面と、第２光導波路層１０４の光導波路のコアの接続端面とが、導波方向に垂直に形成され、樹脂光導波路１０５と第２光導波路層１０４の光導波路とがバッドカップリングにより光接続している。また、実施の形態３でも、樹脂コア１０５aが、Ｕ字状などの適切な曲率で折り返された構造を有している。

[0059] なお、実施の形態３においても、第１光導波路層１０３の他方の接続端には、光ファイバ１０７が光接続されている。光ファイバ１０７は、固定部品１０９により、第１光デバイス１０１に固定されている。固定部品１０９は、接着剤による接着層１１１で、第１光デバイス１０１の１端面（側面）に接着されている。また、第２光導波路層１０４の他方の接続端には、光ファイバ１０８が光接続されている。光ファイバ１０８は、固定部品１１０により、第２光デバイス１０２に固定されている。固定部品１１０は、接着剤による接着層１１２で、第２光デバイス１０２の１端面（側面）に接着されている。

[0060] 上述した構成に加え、実施の形態３では、第１光導波路層１０３の接続端面および第２光導波路層１０４の接続端面から導波方向に延在する樹脂コア１０５aの直線部が、樹脂からなるクラッド部１１４内に埋め込まれている。このクラッド部１１４は、第１光導波路層１０３の接続端面を含む第１光

デバイス 101 の側面と、第 2 光導波路層 104 の接続端面を含む第 2 光デバイス 102 の側面との間に架設されている。

[0061] また、実施の形態 3 においても、樹脂光導波路 105 を収容する中空構造の外壁構造体 106b を備える。実施の形態 3 では、クラッド部 114 が、外壁構造体 106a の一部となる。

[0062] 実施の形態 3 において、樹脂光導波路 105 は、直線部分では、樹脂コア 105a とクラッド部 114 とから構成されている。一方、U 字形状とされた屈曲部における樹脂光導波路 105 は、樹脂コア 105a と空気によるクラッドとから構成されている。

[0063] 樹脂光導波路 105 の直線部分は、コアとクラッドとの屈折率差が比較的小さくても、光の放射損失がほとんど無い。このため、樹脂光導波路 105 の直線部分は、屈折率が 1 より大きくなる樹脂によるクラッド部 114 を設けても、ほぼロス無く光を導波させることができる。

[0064] 一方、屈曲部における樹脂光導波路 105 では、空気によるクラッドとすることで、コアとクラッドとの屈折率差を十分に高くしているので、小さな曲げ半径とされていても、放射損失が防止できる。

[0065] また、実施の形態 3 では、樹脂コア 105a の直線部分は、クラッド部 114 に埋め込まれ、樹脂コア 105a の屈曲部分は、中空構造の外壁構造体 106b により囲われているので、前述した実施の形態 1, 2 と同様に、周囲のごみやかすなどが樹脂コア 105a に付着することを抑制でき、低損失性を高信頼に維持することが可能となる。また、実施の形態 3 では、樹脂コア 105a の直線部分が、クラッド部 114 に埋め込まれて固定されているので、機械的な強度をより高くすることができ、機械的な信頼性をより高めることができる。なお、樹脂コアの直線部に樹脂からなるクラッド部を設ける構成は、前述した実施の形態 1 における断熱的な接続形態にも適用可能である。

[0066] [実施の形態 4]

次に、本発明の実施の形態 4 に係る光接続構造について図 6 を参照して説

明する。

[0067] この光接続構造は、第1光デバイス101、第2光デバイス102を備え、第1光デバイス101の第1光導波路層103と、第2光デバイス102の第2光導波路層104とが、樹脂光導波路105で光接続されている。樹脂光導波路105は、光が透過する樹脂からなる樹脂コア105aと、樹脂コア105aの周囲の空気からなるクラッドとから構成されている。第1光導波路層103は、コア103aによる複数の光導波路を備える。また、第2光導波路層104も、コア104aによる複数の光導波路を備える。

[0068] また、第1光デバイス101と第2光デバイス102とは、樹脂層113を介して積層され、これらが一体とされている。また、第1光導波路層103の接続端面と、第2光導波路層104の接続端面とは、同一の方向を向いて配置されている。樹脂コア105aの一方の端面と、第1光導波路層103の光導波路のコアの接続端面とが、導波方向に垂直に形成され、樹脂光導波路105と第1光導波路層103の光導波路とがバッドカップリングにより光接続している。また、樹脂コア105aの他方の端面と、第2光導波路層104の光導波路のコアの接続端面とが、導波方向に垂直に形成され、樹脂光導波路105と第2光導波路層104の光導波路とがバッドカップリングにより光接続している。また、実施の形態3でも、樹脂コア105aが、U字状などの適切な曲率で折り返された構造を有している。

[0069] また、樹脂光導波路105を収容する中空構造の外壁構造体106aを備える。実施の形態4では、前述した接続端面側の樹脂層113の側面が、外壁構造体106aの一部となる。

[0070] また、第1光導波路層103の他方の接続端には、光ファイバ107が光接続されている。光ファイバ107は、固定部品109により、接着剤による接着層111を介して、第1光デバイス101の1端面（側面）に固定されている。また、第2光導波路層104の他方の接続端には、光ファイバ108が光接続されている。光ファイバ108は、固定部品110により、接着剤による接着層112を介して、第2光デバイス102の1端面（側面）

に固定されている。

[0071] 上述した構成は、前述した実施の形態2と同様である。実施の形態4では、外壁構造体106aの内壁に樹脂コア105aを支持固定する支持梁115を備える。外壁構造体106aの内壁と支持梁115、および樹脂コア105aと支持梁115とは、互いに機械的に接続されている。

[0072] また、樹脂コア105aと支持梁115との接点の面積は、樹脂コア105aのコア直径以下に設定されている。また、支持梁115は、樹脂コア105aの延在方向に直交するように接続されている。支持梁115は、樹脂光導波路105の光導波損失の増加につながらないように、適切に樹脂コア105aに接続する。

[0073] 空気をクラッドとし、一部がU字の形状に屈曲している樹脂コア105aは、非常に撓みやすく、また、屈曲部の近傍において折れなどが発生しやすい。このような状態に対し、支持梁115を設け、樹脂コア105aを支持することで、樹脂コア105aの機械強度を高めることができ、上述した撓みや破損が防止できるようになる。

[0074] 上述した支持梁115と樹脂コア105aとの接続箇所においては、樹脂光導波路105の導波方向に対する支持梁115の樹脂コア105aとの接続角度が重要となる。支持梁115の接続角度が浅いと、よく知られる光スプリッタや方向性結合器のように、支持梁115の方に光が漏れていくこととなる。一方、支持梁115の接続角度を 90° により近づけることで、支持梁115への光の漏れを低減させることができる。特に、支持梁115の接続角度を 90° とすることで、支持梁115への光の漏れを最小とすることができる。

[0075] また、支持梁115と樹脂コア105aとの接続箇所が散乱点とならないよう、これらの接点の面積は、可能な限り小さいことが好ましい。この観点より、よりよくは、接点の面積を樹脂コア105aの直径の $1/2$ 以下程度にすることが好ましい。これにより、光の放射損の影響を増やすことなく、樹脂コア105aの機械的な強度を増すことができる。また、樹脂コア10

5 a、支持梁 115、外壁構造体 106 a は、同一の光造形の工程で形成できるので、製造上の優位性も大きいという特徴がある。

[0076] なお、支持梁 115 は、図 6 に例示したように、3 本に限るものではなく、4 本や 5 本とすることや、1 本とすることも可能である。また、支持梁 115 の形状は、棒状に限るものではなく、所望とする必要な機械強度、および前述した光学的な観点から、任意に設定することができる。また、支持梁は、前述した実施の形態 1 における光接続構造にも適用可能であることは、言うまでもない。

[0077] 以上に説明したように、本発明によれば、第 1 光導波路層と第 2 光導波路層とを光接続する樹脂光導波路の樹脂コアを、中空の外壁構造体に収容するので、クラッドを空気とした樹脂光導波路における、異物付着などによる光の放射損が抑制できるようになる。

[0078] なお、本発明は以上に説明した実施の形態に限定されるものではなく、本発明の技術的思想内で、当分野において通常の知識を有する者により、多くの変形および組み合わせが実施可能であることは明白である。

符号の説明

[0079] 101…第 1 光デバイス、102…第 2 光デバイス、103…第 1 光導波路層、104…第 2 光導波路層、105…樹脂光導波路、105 a…樹脂コア、106…外壁構造体。

請求の範囲

- [請求項1] 光導波路が形成された第1光導波路層を備える第1光デバイスと、
光導波路が形成された第2光導波路層を備える第2光デバイスと、
光が透過する樹脂からなる樹脂コアから構成され、前記第1光導波路層と前記第2光導波路層とを光接続する樹脂光導波路と、
前記樹脂光導波路を収容する中空の外壁構造体と
を備え、
前記樹脂光導波路の一部は、前記樹脂コアと前記樹脂コアの周囲の空気からなるクラッドとから構成されていることを特徴とする光接続構造。
- [請求項2] 請求項1記載の光接続構造において、
前記外壁構造体は、前記樹脂から構成されていることを特徴とする光接続構造。
- [請求項3] 請求項1または2記載の光接続構造において、
前記外壁構造体の内壁に前記樹脂コアを支持固定する支持梁を備えることを特徴とする光接続構造。
- [請求項4] 請求項1～3のいずれか1項に記載の光接続構造において、
前記樹脂コアは、前記第1光導波路層および前記第2光導波路層の少なくとも一方の光導波路のコアの導波方向に沿って前記樹脂コアの一部の側面が接することで、前記第1光導波路層および前記第2光導波路層の少なくとも一方に、断熱的に光接続されていることを特徴とする光接続構造。
- [請求項5] 請求項1～3のいずれか1項に記載の光接続構造において、
前記樹脂コアの端面と、前記第1光導波路層および前記第2光導波路層の少なくとも一方の光導波路のコアの接続端面とは、ともに導波方向に垂直に形成され、バッドカップリングにより光接続されていることを特徴とする光接続構造。
- [請求項6] 光導波路が形成された第1光導波路層を備える第1光デバイス、お

よび光導波路が形成された第2光導波路層を備える第2光デバイスを用意する第1工程と、

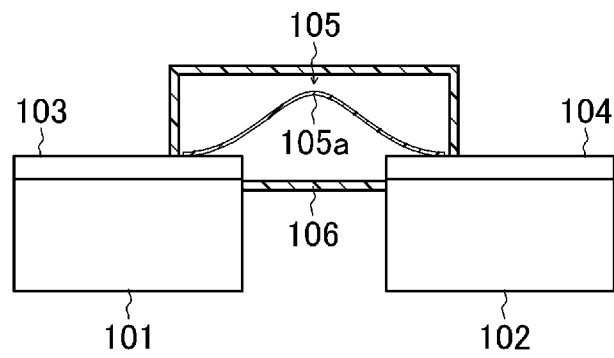
露光のための露光光を照射することにより光硬化樹脂を硬化して前記光硬化樹脂が光硬化した樹脂コアを形成し、前記樹脂コアと前記樹脂コアの周囲の空気からなるクラッドとから構成された樹脂光導波路で、前記第1光導波路層と前記第2光導波路層とを光接続する第2工程と、

前記樹脂光導波路を収容する中空の外壁構造体を形成する第3工程と

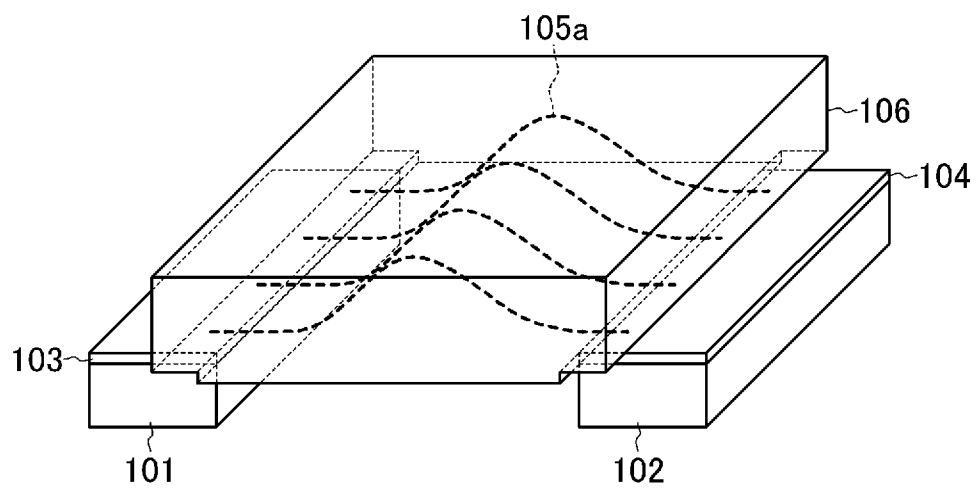
を備え、

前記光硬化樹脂は、光硬化することにより光が透過する樹脂となることを特徴する光接続構造の形成方法。

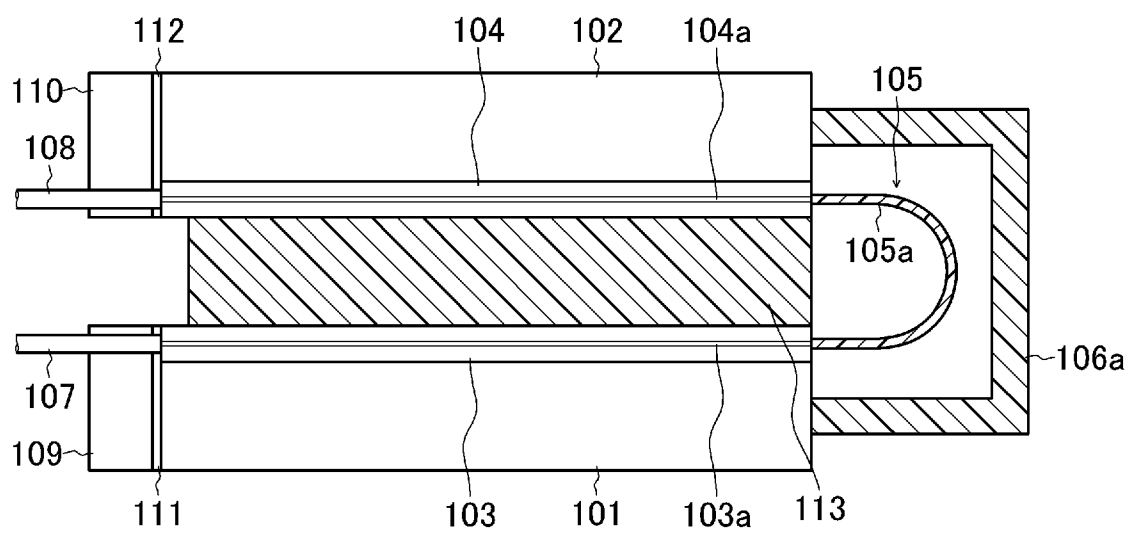
[図1]



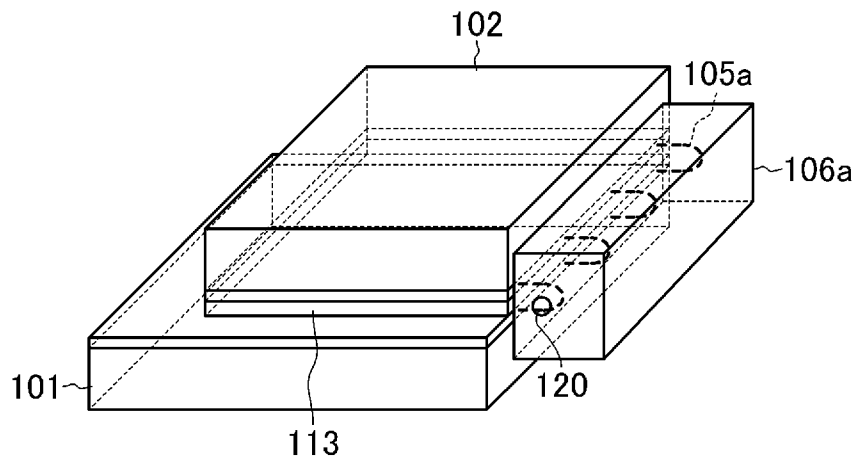
[図2]



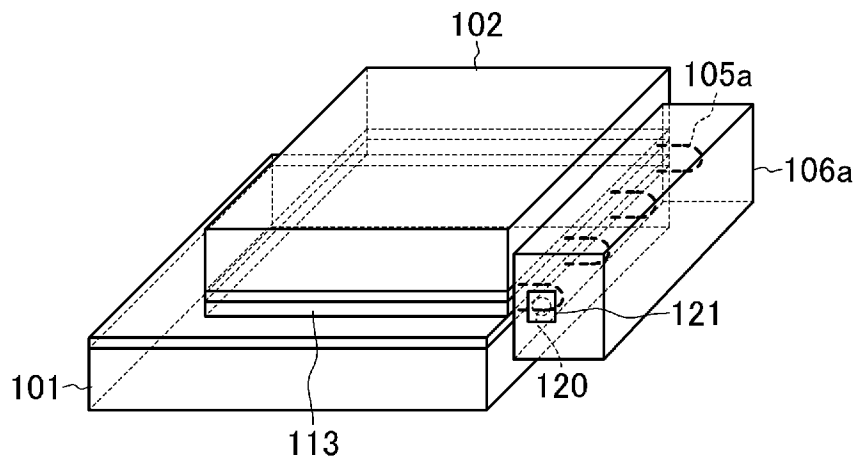
【図3】



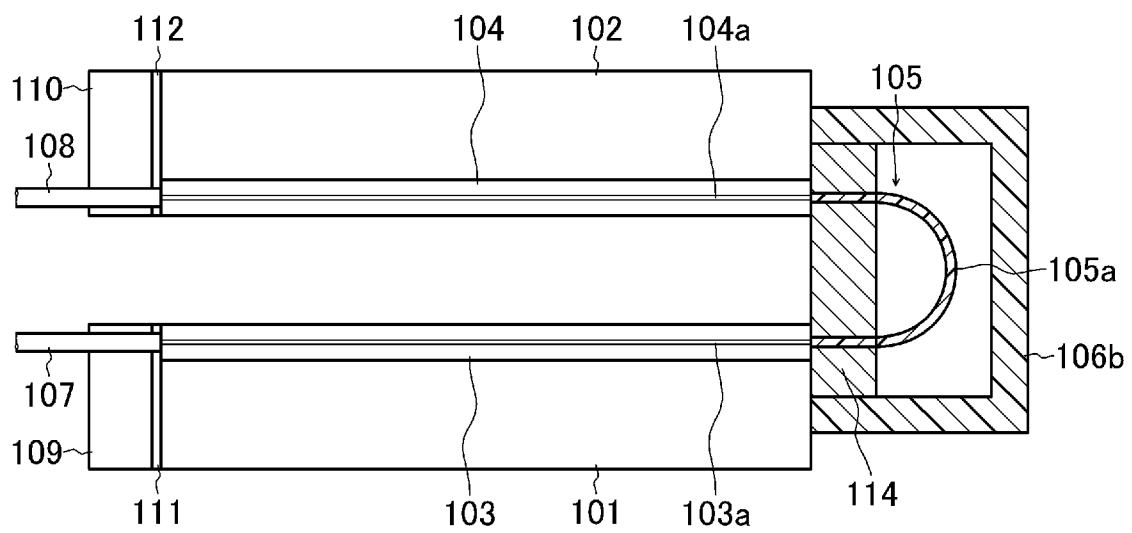
[図4A]



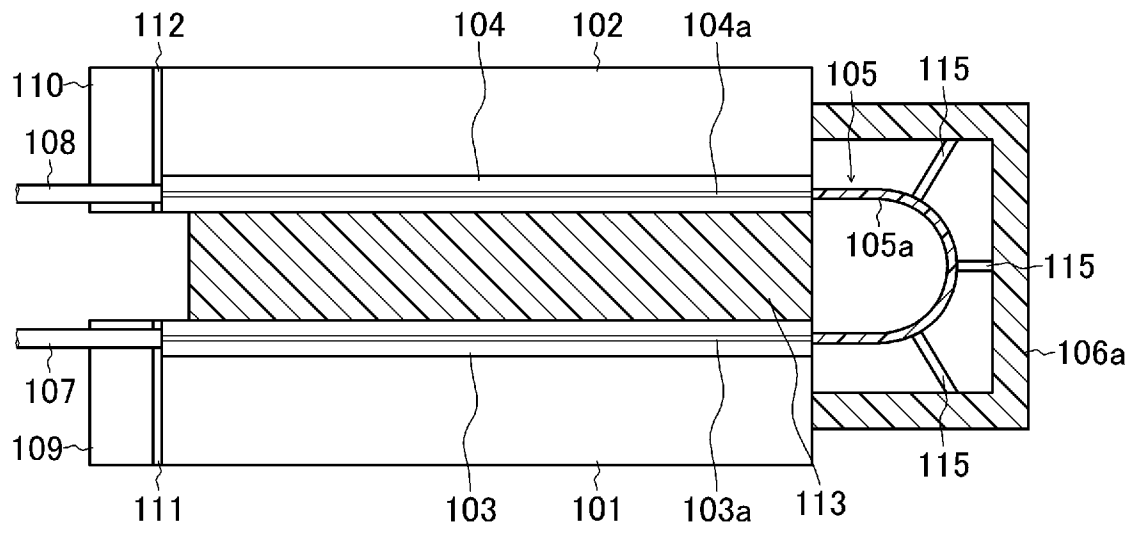
[図4B]



[図5]



[図6]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2019/039627

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int. Cl. G02B6/26(2006.01)i, G02B6/125(2006.01)i, G02B6/138(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)

Int. Cl. G02B6/12-6/14, G02B6/26-6/27, G02B6/30-6/34, G02B6/42-6/43

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 1971-2019

Registered utility model specifications of Japan 1996-2019

Published registered utility model applications of Japan 1994-2019

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

IEEE Xplore

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2015/0078712 A1 (BRUNNER et al.) 19 March 2015,	1-3, 5-6
Y	paragraphs [0016]-[0020], [0026]-[0028], fig. 1-6 & WO 2015/040546 A1 & US 9052481 B2	1-6
Y	BILLAH et al. Hybrid integration of silicon photonics circuits and InP lasers by photonic wire bonding, optica, 18 July 2018, vol. 5, no. 7, pp. 876-883	1-6
A	US 9034222 B2 (KOOS et al.) 19 May 2015, entire text, all drawings & US 2013/0221550 A1	1-6



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
27.11.2019

Date of mailing of the international search report
10.12.2019

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2019/039627

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	LINDENMANN et al., Photonic wire bonding: a novel concept for chip-scale interconnects, Optics Express, 30 July 2012, vol. 20, no. 16, pp. 17667-17677	1-6
P, A	JP 2018-189875 A (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORP.) 29 November 2018, entire text, all drawings (Family: none)	1-6
P, A	JP 2019-74708 A (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORP.) 16 May 2019, entire text, all drawings (Family: none)	1-6

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. G02B6/26(2006.01)i, G02B6/125(2006.01)i, G02B6/138(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. G02B6/12-6/14, G02B6/26-6/27, G02B6/30-6/34, G02B6/42-6/43

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	1971-2019年
日本国実用新案登録公報	1996-2019年
日本国登録実用新案公報	1994-2019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 Xplore

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 Y	US 2015/0078712 A1 (BRUNNER et al.) 2015.03.19, 段落 [0016]-[0020], [0026]-[0028], 図 1-6 & WO 2015/040546 A1 & US 9052481 B2	1-3, 5-6 1-6
Y	BILLAH et al., Hybrid integration of silicon photonics circuits and InP lasers by photonic wire bonding, optica, 2018.07.18, Vol.5, No.7, pp.876-883	1-6

☒ 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

27.11.2019

国際調査報告の発送日

10.12.2019

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）

野口 晃一

2 L

5708

電話番号 03-3581-1101 内線 3295

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	US 9034222 B2 (KOOS et al.) 2015.05.19, 全文, 全図 & US 2013/0221550 A1	1-6
A	LINDENMANN et al., Photonic wire bonding: a novel concept for chip-scale interconnects, Optics Express, 2012.07.30, Vol.20, No.16, pp.17667-17677	1-6
P, A	JP 2018-189875 A (日本電信電話株式会社) 2018.11.29, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-6
P, A	JP 2019-74708 A (日本電信電話株式会社) 2019.05.16, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-6