(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
2016 年 4 月 28 日(28.04.2016)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2016/063786 A1

(51) 国際特許分類:
G02B 6/30 (2006.01) *G02B 6/122* (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2015/079144

(22) 国際出願日: 2015 年 10 月 15 日(15.10.2015)

(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 2014-215537 2014 年 10 月 22 日(22.10.2014) JP

(71) 出願人: 株式会社フジクラ (FUJIKURA LTD.) [JP/JP]; 〒1358512 東京都江東区木場１丁目５番１号 Tokyo (JP).

(72) 発明者: 石原　啓樹 (ISHIHARA, Hiroki); 〒2858550 千葉県佐倉市六崎１４４０番地　株式会社フジクラ佐倉事業所内 Chiba (JP). 松本　亮吉 (MATSUMOTO, Ryokichi); 〒2858550 千葉県佐倉市六崎１４４０番地　株式会社フジクラ佐倉事業所内 Chiba (JP).

(74) 代理人: 特許業務法人ＨＡＲＡＫＥＮＺＯ ＷＯＲＬＤ ＰＡＴＥＮＴ ＆ ＴＲＡＤＥＭＡＲＫ (HARAKENZO WORLD PATENT & TRADEMARK); 〒5300041 大阪府大阪市北区天神橋２丁目北２番６号　大和南森町ビル Osaka (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, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, 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.

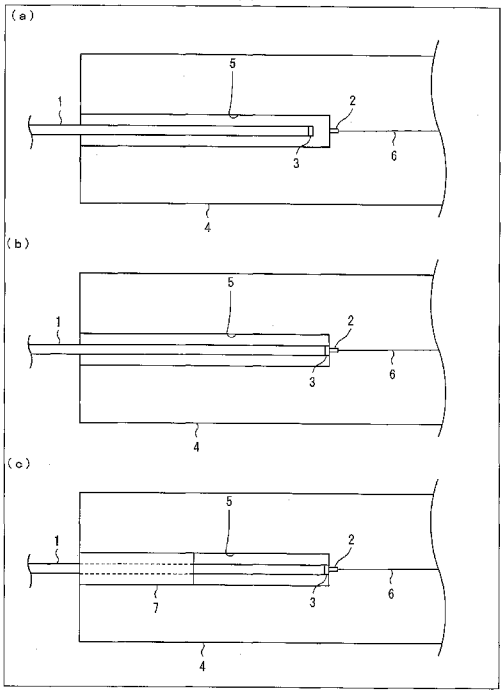
(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[続葉有]

(54) **Title**: METHOD FOR CONNECTING OPTICAL WAVEGUIDE AND OPTICAL FIBER, SEMICONDUCTOR OPTICAL DEVICE, AND PRODUCTION METHOD FOR SEMICONDUCTOR OPTICAL DEVICE HAVING OPTICAL FIBER CONNECTED THERETO

(54) 発明の名称 : 光導波路と光ファイバとの接続方法、半導体光デバイス、および光ファイバが接続された半導体光デバイスの製造方法

図 5



(57) **Abstract**: The present invention suppresses optical loss related to mode field diameter conversion and enables suppression of deformation in mode field converters. The present invention includes: a temporary fixing step in which the end surface of an optical fiber (1) is temporarily fixed to the end surface of a core section (8), via a highly adhesive resin (3); and a step in which, after the temporary fixing step, the end surface of the optical fiber (1) is caused to protrude and abut the end surface of the core section (8) across the highly adhesive resin (3) and the optical fiber (1) is fixed to the semiconductor optical device (100) at a position distanced from the end surface of the optical fiber (1).

(57) 要約: モードフィールド径の変換に係る光損失を抑制し、かつ、モードフィールド変換器の変形を抑制することを可能とする。高粘着性樹脂（３）を介して、コア部（８）の端面に光ファイバ（１）の端面を仮固定する仮固定工程と、仮固定工程の後、コア部（８）の端面に高粘着性樹脂（３）越しに光ファイバ（１）の端面を突き当てつつ、光ファイバ（１）の端面から離れた位置で光ファイバ（１）を半導体光デバイス（１００）に固定する工程とを含んでいる。

WO 2016/063786 A1

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 ：

光導波路と光ファイバとの接続方法、半導体光デバイス、および光ファイバが接続された半導体光デバイスの製造方法

技術分野

[0001] 本発明は、半導体光デバイスに形成されたテーパ型の光導波路に光ファイバを接続する接続方法、半導体光デバイス、および光ファイバが接続された半導体光デバイスの製造方法に関する。

背景技術

[0002] 今後、ルータ等の伝送機器に収容されるトランスポンダを、面積比で１／１０程度に小型化することが見込まれている。これに伴い、このトランスポンダに収容されるデバイス（光源、光変調器、受信機等）を大幅に小型化することが求められている。

[0003] こうした背景から、半導体光デバイスが注目されている。半導体光デバイスとは、半導体材料により作成された光デバイスの総称である。この半導体材料の代表的なものとして、インジウムリン、シリコン、およびガリウムヒ素等が挙げられる。

[0004] 半導体光デバイスは、従来の光デバイスよりも小型化が容易である。光変調器を例に見ると、５インチ×７インチの筐体を有するトランスポンダに収容されているニオブ酸リチウム変調器の大きさが５ｃｍ程度である。一方、インジウムリンまたはシリコンにより構成された半導体光変調器の大きさは数ｍｍ以下である。このように、半導体光変調器の大きさは、ニオブ酸リチウム変調器の大きさの１／１０以下とすることができる。

[0005] 一方、半導体光デバイスの課題として、伝送網で用いられる光ファイバとのモードの不整合が挙げられる。すなわち、半導体光デバイス内の光導波路（シングルモード）の幅は数百ｎｍ～数μｍ程度である。一方、光ファイバのコア径は１０μｍ程度である。このため、これらの光学結合を試みると、

モードの不整合が生じ、その結果、大きな結合損失が生じる。

[0006] 上記モードの不整合による結合損失を抑制するために、半導体光デバイス内の光導波路と光ファイバとの間でモードフィールド径を変換する、いわゆるモードフィールド変換構造を用いる技術が知られている。

[0007] モードフィールド変換構造の一例としては、光ファイバの端面に設けられたレンズが挙げられる。しかしながら、該レンズを用いる場合、部品点数が増大し、また、光学結合において許容される誤差が半導体光デバイス内の光導波路のモードフィールド径に応じて決まることから極めて高精度の変換が求められる。従って、該レンズをモードフィールド変換構造として用いた場合、安定的かつ低結合損失のモードフィールド径の変換は難しい。

[0008] そこで、半導体光デバイスにテーパ型の光導波路を形成し、このテーパ型の光導波路をモードフィールド変換器として用いる技術が注目されている。この技術の一例が、特許文献１および２に開示されている。特許文献１および２に開示されている技術においては、シリカ（比屈折率：約１．４５）からなるテーパ型の光導波路をコアとし、これを空気（比屈折率：１）からなるクラッドで囲むことで、該光導波路への光の閉じ込めを実現している。

先行技術文献

特許文献

[0009] 特許文献1：米国特許第８，３２６，１００号明細書（２０１２年１２月４日登録）

特許文献2：国際公開２０１１／０７８７８９号公報（２０１１年６月３０日公開）

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0010] 光ファイバと半導体光デバイスに形成されたテーパ型の光導波路とを接続する場合、該光導波路の端面と光ファイバの端面とを突き合わせて直接接合し、かつ、該光ファイバの端面近傍を例えば紫外線硬化性樹脂により固定す

る必要があった。しかしながら、この手法で光ファイバと該光導波路とを接続した場合、下記（Ａ）の問題が発生する。

[0011] （Ａ）上記紫外線硬化性樹脂等の硬化収縮により、光ファイバの軸ズレが生じて光損失が大きくなり、かつ、収縮応力に起因してモードフィールド変換器の変形（歪み等）が発生する虞がある。なお付言すると、シリカからなるテーパ型の光導波路を空気からなるクラッドで囲む場合、上記紫外線硬化性樹脂等の比屈折率が１～１．４５である必要があるが、比屈折率が１～１．４５である樹脂のほとんどは、硬化により１０％程度収縮する。

[0012] 本発明は、上記の課題に鑑みて為されたものであり、その目的は、モードフィールド径の変換に係る光損失を抑制し、かつ、モードフィールド変換器の変形を抑制することを可能とする、光導波路と光ファイバとの接続方法、半導体光デバイス、および光ファイバが接続された半導体光デバイスの製造方法を提供することにある。

課題を解決するための手段

[0013] 上記の課題を解決するために、本発明に係る接続方法は、半導体光デバイスに形成された光導波路に光ファイバを接続する接続方法において、仮固定部材を介して、上記光導波路の端面に上記光ファイバの端面を仮固定する仮固定工程と、上記仮固定工程の後、上記光導波路の端面に上記仮固定部材越しに上記光ファイバの端面を突き当てつつ、該光ファイバの端面から離れた位置で該光ファイバを上記半導体光デバイスに固定する工程とを含んでいることを特徴としている。

[0014] 上記の構成によれば、光導波路の端面に対して光ファイバの端面を仮固定する。これにより、紫外線硬化性樹脂等の硬化収縮による、光ファイバの軸ズレを抑制して光損失を抑制することができ、かつ、モードフィールド変換器の変形を抑制することができる。

[0015] また、上記の課題を解決するために、本発明に係る半導体光デバイスは、光導波路が形成されている半導体光デバイスにおいて、上記光導波路の端面に、固定部材を介して、光ファイバの端面が接続されていることを特徴とし

ている。

[0016] 上記の構成によれば、光導波路の端面に光ファイバの端面を接続する際に、光ファイバの端面および／またはその近傍を紫外線硬化性樹脂等によって固定することなく、光ファイバを光導波路に固定することが可能となる。これにより、紫外線硬化性樹脂等の硬化収縮による、光ファイバの軸ズレが抑制されることで光損失が抑制されており、かつ、モードフィールド変換器の変形が抑制された、高品質の半導体光デバイスを実現することができる。

[0017] また、上記の課題を解決するために、本発明に係る光ファイバが接続された半導体光デバイスの製造方法は、光ファイバが接続された半導体光デバイスの製造方法において、固定部材を介して、上記半導体光デバイスが有する光導波路の端面に上記光ファイバの端面を固定する固定工程と、上記固定工程の後、上記光導波路の端面に上記固定部材越しに上記光ファイバの端面を突き当てつつ、該光ファイバの端面から離れた位置で該光ファイバを上記半導体光デバイスに固定する工程とを含んでいることを特徴としている。

[0018] 上記の構成によれば、本発明に係る半導体光デバイスを製造することができる。

[0019] なお、仮固定部材、固定部材は例えば、光ファイバの端面に設けること、または、光導波路の端面に設けることが考えられる。

発明の効果

[0020] 本発明によれば、モードフィールド径の変換に係る光損失を抑制し、かつ、モードフィールド変換器の変形を抑制することが可能となる。

図面の簡単な説明

[0021] [図1]本発明の実施の形態に係る半導体光デバイスの上面図である。

[図2]図１に示す領域Ａの拡大図である。

[図3]図１に示すＢＢ断面の断面図である。

[図4]図２に示すＣＣ断面の断面図である。

[図5]本発明の実施の形態に係る接続方法を示す図である。（ａ）は仮固定前の半導体光デバイスの上面図であり、（ｂ）は仮固定後かつ紫外線硬化性樹

脂による固定前の半導体光デバイスの上面図であり、（ｃ）は紫外線硬化性樹脂による固定後の半導体光デバイスの上面図である。

[図6]図５の（ｃ）に相当する上面写真である。

[図7]本発明の実施の形態に係る接続方法におけるプロセス毎の、経過時間と規格化光強度との関係を示すグラフである。

[図8]（ａ）は仮固定部材を設けない場合の、経過時間と規格化光強度との関係を示すグラフであり、（ｂ）は光ファイバの端面近傍に紫外線硬化性樹脂を塗布した場合の同関係を示すグラフである。

[図9]（ａ）は仮固定部材の比屈折率と、仮固定部材と光ファイバの端面との境界で反射する光の量との関係を示すグラフであり、（ｂ）は仮固定部材の比屈折率と、仮固定部材と光導波路の端面との境界で反射する光の量との関係を示すグラフである。

[図10]仮固定部材を基板部にまで延伸させて設ける例を示す断面図である。

発明を実施するための形態

[0022] 本発明を実施するための形態について、以下に説明する。

[0023] 図１は、本実施の形態に係る半導体光デバイス１００の上面図である。半導体光デバイス１００は、モードフィールド変換器２、高粘着性樹脂３、半導体光デバイスの基板部４、溝５、細線光導波路６、および紫外線硬化性樹脂７を備えており、光ファイバ１と接続されている。

[0024] 光ファイバ１は、光源（図示しない）側から延伸している、いわゆる偏波保持ファイバであり、モードフィールド変換器２に向けて延伸している。光ファイバ１の径（直径、他の記載部分も同様）はおよそ１２５μｍであり、光ファイバ１のコアの径はおよそ１０μｍである。

[0025] モードフィールド変換器２は、細線光導波路６と光ファイバ１との間でモードフィールド径を変換するものである。モードフィールド変換器２の構成例については後述する。

[0026] 高粘着性樹脂（仮固定部材、固定部材）３は、光ファイバ１の端面に設けられており、モードフィールド変換器２に突き当てられている。換言すれば

、光ファイバ１は、高粘着性樹脂３を介して、モードフィールド変換器２に接続されている。高粘着性樹脂３は、透明の樹脂であり、比屈折率が１．４４である。また、高粘着性樹脂３は、文字通り高い粘着性を有しており、その粘度は、３０Ｐａ・Ｓ以上、かつ、１０００Ｐａ・Ｓ以下であるのが好ましい。なお、「Ｐａ・ｓ」は、ＳＩ単位系における、粘度を示す単位である「パスカル秒」である。

[0027] 半導体光デバイスの基板部４は、シリコンによって構成された基板である。基板部４には、溝５が設けられている。溝５の幅はおよそ３００μｍである。図１に示すとおり、光ファイバ１は溝５に沿って設けられている。シリコンによって構成された基板部４を用いることで、安価かつ微細構造の半導体光デバイスを実現することができる。なお、基板部４は、インジウムリンによって構成されてもよい。インジウムリンによって構成された基板部４を用いることで、光学特性に優れた半導体光デバイスを実現することができる。

[0028] 細線光導波路６は例えば、シリコンをコアとし、該シリコンの表面に積層されたシリカをクラッドとする光導波路であり、モードフィールド変換器２に接続されている。また、図示はしていないが、細線光導波路６におけるモードフィールド変換器２と反対側の端部は、光変調器等に接続されている。細線光導波路６の幅はおよそ６００ｎｍであり、細線光導波路６の比屈折率は３．４８である。

[0029] 紫外線硬化性樹脂７は、光ファイバ１の固定を目的として設けられている。紫外線硬化性樹脂７は、モードフィールド変換器２から数百μｍ～１ｍｍ程度離れた位置で溝５に塗布される。そして、紫外線硬化性樹脂７の硬化により、光ファイバ１が基板部４に固定されている。紫外線硬化性樹脂７をモードフィールド変換器２からある程度離すことによって、後述するエアクラッド部１１に紫外線硬化性樹脂７が侵入することを防止している。

[0030] 図２は、図１に示す領域Ａの拡大図である。

[0031] モードフィールド変換器２は、コア部８、エアクラッド部１１、および複

数のブリッジ１２を有している。

[0032] コア部（光導波路）８は、シリカからなる。コア部８の材料としてシリカを選択した理由は、シリカの比屈折率（約１．４４）が、光ファイバ１の比屈折率（コア：１．４６３、クラッド：１．４５８）と近いためである。すなわち、光ファイバ１の比屈折率とコア部８の比屈折率とが近ければ、モードフィールド径の整合が容易となり、コア部８と光ファイバ１との接続部分での光反射を抑制することができる。コア部８は、光ファイバ１との接続部分となり、高粘着性樹脂３が突き当てられている。コア部８は、光ファイバ１との接続部分である第１部８ａ、光ファイバ１側から細線光導波路６側に向かうにつれてその径が徐々に小さくなるテーパ型の形状を有している第２部８ｂ、および、細線光導波路６との接続部分である第３部８ｃから構成されている。第１部８ａの径Wは、およそ１０μｍであり、光ファイバ１のコアの径とほぼ等しい。細線光導波路６は、フォトリソグラフィおよびエッチングプロセス等により、第３部８ｃの内部に形成されている。

[0033] エアクラッド部１１は、空気（比屈折率：１）からなる。エアクラッド部１１は、コア部８を囲むように設けられた空間である。コア部８およびエアクラッド部１１を含むモードフィールド変換器２の幅は、コア部８の径に拘らずおおよそ均一であり、およそ２０μｍとなっている。

[0034] 細線光導波路６側から述べると、モードフィールド変換器２は、コア部８の延伸方向に対して垂直な面方向に放射モードを生じさせることにより、モードフィールド径を２μｍ～３μｍに変換した後、同方向に、モードフィールド径を、１０μｍ程度に変換する。１０μｍは、光ファイバ１のコアの径に近い。

[0035] コア部８は、いわゆる片持ち梁構造を有している。具体的に、細線光導波路６側の端面は基板部４に固定されているが、光ファイバ１側の端面は基板部４に固定されていない。そこで、複数のブリッジ１２は、コア部８の側面から、コア部８を支持している。複数のブリッジ１２によって、コア部８が補強されている。

[0036] コア部８への突き当て後の高粘着性樹脂３の厚みは、およそ１０μｍである。また、基板部４の上面はシリカからなる。

[0037] 図３は、図１に示すＢＢ断面の断面図である。

[0038] 基板部４は、厚さおよそ７００μｍのシリコン基板４ｂに、シリカ層４ａが積層されてなる。光ファイバ１側におけるシリカ層４ａの厚さはおよそ２μｍである。また、溝５の最深部の深さはおよそ１００μｍである。光ファイバ１は、基板部４の上面の高さと、光ファイバ１の中心の高さとが一致するように配置されている。

[0039] 図４は、図２に示すＣＣ断面の断面図である。

[0040] モードフィールド変換器２側におけるシリカ層４ａの厚さはおよそ４μｍであり、光ファイバ１側におけるシリカ層４ａの厚さより大きい。コア部８の第１部８ａ両側のエアクラッド部１１の厚さはおよそ５μｍであり、第１部８ａの下方には、シリコン基板４ｂとの間に、およそ３０μｍに亘る空間が形成されている。ＣＣ断面では、第１部８ａの高さはおよそ７μｍであり、うち上方３μｍの部分が、基板部４の上面以上の高さに位置している。また、図４には、対比のため、コア部８の第３部８ｃを、便宜上点線で図示している。

[0041] 図５は、本実施の形態に係る接続方法を示す上面図であり、（ａ）は仮固定前、（ｂ）は仮固定後かつ紫外線硬化性樹脂７による固定前、（ｃ）は紫外線硬化性樹脂７による固定後を示している。

[0042] まず、図５の（ａ）に示すとおり、光ファイバ１の端面に、高粘着性樹脂３を設ける。高粘着性樹脂３として、２液の樹脂を通電により固めたものを用いてもよいし、シート状のものを用いてもよい。コア部８への突き当て後の高粘着性樹脂３の厚みはおよそ１０μｍであると上述したが、これを実現するためには、図５の（ａ）に示す該突き当て前の高粘着性樹脂３の厚みをおよそ２５μｍとしておく。

[0043] なお、光ファイバ１の端面に高粘着性樹脂３を設けたものを予め用意しておくことが可能である。さらに、光ファイバ１の端面に高粘着性樹脂３を設

けた状態で長期間保存しておくことも可能である。

[0044] また、半導体光デバイス１００においては、光変調器等の光デバイスを予め作製しておいても問題ない。半導体光デバイス１００に所望の光デバイスを作り込んでおき、そこに光ファイバ１を設ける手順とするのが好ましい。

[0045] 続いて、図５の（ｂ）に示すとおり、高粘着性樹脂３を介して、モードフィールド変換器２（具体的には、コア部８）の端面に光ファイバ１の端面を仮固定する（仮固定工程、固定工程）。このとき、光ファイバ１の下半分を溝５の内部に挿入し、高粘着性樹脂３をコア部８の端面に突き当てる。

[0046] なお、細線光導波路６の後段に設けられた光デバイスが光変調器である場合、この光変調器のフォトダイオードを用いて、モードフィールド変換器２に対する光ファイバ１の調心を好適に行うことができる。すなわち、該フォトダイオードに流れる電流をモニタできるようにしておく。そして、光ファイバ１側にある光源から、光ファイバ１に光を通し、該フォトダイオードに流れる電流が、十分大きく、かつ十分安定するように、モードフィールド変換器２に対する光ファイバ１の位置を決める。

[0047] なお、調心は、図５の（ｂ）に示す仮固定の状態のみならず、仮固定前の状態にも行うことができる。

[0048] 続いて、図５の（ｃ）に示すとおり、光ファイバ１を高粘着性樹脂３越しにモードフィールド変換器２のコア部８に押し当てつつ、溝５に紫外線硬化性樹脂７を塗布して光ファイバ１を基板部４に固定する。こうして、コア部８の端面に高粘着性樹脂３越しに光ファイバ１の端面を突き当てつつ、光ファイバ１を半導体光デバイス１００に固定することが可能である。

[0049] なお、上述したとおり、紫外線硬化性樹脂７は、モードフィールド変換器２からある程度（数百μｍ～１ｍｍ程度）離れた位置に塗布する。換言すれば、光ファイバ１の端面および／またはその近傍を紫外線硬化性樹脂７によって固定する必要はなく、実際図５の（ｃ）においても、光ファイバ１の端面またはその近傍は紫外線硬化性樹脂７によって固定していない。これにより、屈折率を気にすることなく、紫外線硬化性樹脂７を選択することができ

る。例えば、不透明であるが、硬化収縮の小さい樹脂を紫外線硬化性樹脂７として用いることができ、これにより、紫外線硬化性樹脂７の硬化収縮による悪影響（光ファイバ１の軸ズレによる光損失、モードフィールド変換器２の変形等）を抑制することができる。

[0050] 一方、光ファイバ１の端面またはその近傍を紫外線硬化性樹脂７によって固定しない場合を考える。この場合、光ファイバ１の端面がコア部８の端面に対して自由であると、光ファイバ１の端面またはその近傍以外への紫外線硬化性樹脂７の塗布および硬化の際に光ファイバ１の軸ズレが発生してしまう。この軸ズレを解消するために、高粘着性樹脂３を用いた仮固定を行うことが有効である。これにより、光ファイバ１の端面またはその近傍を紫外線硬化性樹脂７によって固定しなくても、光ファイバ１の軸ズレが発生することを抑制し、光ファイバ１とモードフィールド変換器２との結合効率を高めることができる。さらに、光ファイバ１とコア部８とを接続することによるマッチング効果によって、光の反射を抑制することも可能である。

[0051] 図６に、図５の（ｃ）に相当する上面写真を示した。

[0052] さらに、半導体光デバイス１００は、テーパ型のコア部８を備えており、コア部８の端面に、粘着性を有する高粘着性樹脂３を介して、光ファイバ１の端面が接続されている構成であると言える。

[0053] 図５の（ａ）～（ｃ）に示す接続方法によれば、光ファイバ１の端面および／またはその近傍を紫外線硬化性樹脂７によって固定することなく、光ファイバ１をコア部８に固定することが可能となる。このため、エアクラッド部１１に紫外線硬化性樹脂７が流れ込むことを抑制し、モードフィールド径の変換性能の低下を抑制することができる。そして、モードフィールド径の変換性能の低下が抑制された半導体光デバイス１００を実現することができる。

[0054] また、図５の（ａ）～（ｃ）に示す接続方法によれば、下記のことが言える。すなわち、コア部８の端面に対して光ファイバ１の端面を仮固定することにより、紫外線硬化性樹脂７の硬化収縮による、光ファイバ１の軸ズレを

抑制して光損失を抑制することができ、かつ、モードフィールド変換器２の変形を抑制することができる。そして、光損失が抑制されており、かつ、モードフィールド変換器２の変形が抑制された、高品質の半導体光デバイス１００を実現することができる。

[0055] エアクラッド１１を設けた場合、モードフィールド変換器２の変形に係る問題がより顕著となる。また、コア部８をエアクラッド部１１で囲む構成とした場合、従来、エアクラッド部１１への紫外線硬化性樹脂７の流れ込みが発生しやすかったが、図５の（ａ）～（ｃ）に示す接続方法によれば、この流れ込みを解消することができる。換言すれば、コア部８を囲むエアクラッド部１１を設けることで、この接続方法による利点をより効果的に得ることができる。

[0056] また、図１０に示すとおり、高粘着性樹脂３を、溝５を構成する基板部４の部分にまで延伸させて設けるのが好ましい。図１０に示す例において、高粘着性樹脂３は、縦２００μｍ×横１００μｍのシート状であり、その端部が溝５を構成する基板部４の部分にまで延びている。これにより、溝５が部分的に堰き止められている。エッチングプロセスにより溝５を形成すると、光ファイバ１と溝５との間に、最大で幅およそ６０μｍ以上の空孔が形成されるが、シート状の高粘着性樹脂３は、この空孔を塞ぐ機能を有していると言える。

[0057] これにより、高粘着性樹脂３の面積を大きくすることができる。このため、特に、コア部８における光ファイバ１側の端面が基板部４に固定されていない（すなわち、コア部８が片持ち梁構造である）場合、コア部８を補強し、その結果、コア部８の破損を防止することができる。また、紫外線硬化性樹脂７を高粘着性樹脂３によって堰き止めることができるため、モードフィールド径の変換性能の低下をさらに抑制することができる。図１０に示すように、シート状の高粘着性樹脂３を用いることで、高粘着性樹脂３を、基板部４にまで延伸させて設けるのが比較的容易となる。

[0058] 図７は、本実施の形態に係る接続方法におけるプロセス毎の、経過時間と

規格化光強度との関係を示すグラフである。具体的に、図７には、光ファイバ１から細線光導波路６後段の光変調器まで光を透過させ、該光変調器のフォトダイオードによって出力光の強度（規格化光強度）をモニタした結果を示している。図７に示すグラフの横軸は経過時間（単位：秒）である。また、図７に示すグラフの縦軸は規格化光強度（単位：ｄＢ）である。

[0059] 図５の（ｂ）に示す工程の前半（図７の０ｓ～８０ｓ）、光ファイバ１はコア部８に仮固定されていない。この間の規格化光強度は、強度が低く、経過時間に依存して大きく乱れている。この乱れは、調心装置の機械振動、空調等による気流が主たる原因であると考えられる。

[0060] 図５の（ｂ）に示す工程の後半（図７の８０ｓ～１７５ｓ）、光ファイバ１は高粘着性樹脂３によってコア部８に仮固定されている。この間の規格化光強度は、高粘着性樹脂３を用いて仮固定を行うメリットにより、およそ０ｄＢで安定している。図７の１５０ｓ～１６０ｓ付近で規格化光強度が下がっているが、これは、調心の過程で光ファイバ１がコア部８から離れた瞬間に過ぎない。規格化光強度が最大となるように調心を行い、図５の（ｃ）に示す工程に移行する。

[0061] 図５の（ｃ）に示す工程の前半（図７の１７５ｓ～２４０ｓ）、紫外線硬化性樹脂７が溝５に塗布されているが、光ファイバ１は半導体光デバイス１００にまだ十分に固定されていない。この間の規格化光強度も、高粘着性樹脂３を用いて仮固定を行うメリットにより、およそ０ｄＢで安定している。ここでは、紫外線硬化性樹脂７として、不透明かつ硬化収縮１％以下の樹脂を用いている。

[0062] 図５の（ｃ）に示す工程の後半（図７の２４０ｓ～）、紫外線硬化性樹脂７が硬化し、光ファイバ１は半導体光デバイス１００に十分に固定される。この間の規格化光強度は、高粘着性樹脂３を用いて仮固定を行うメリットによりおよそ０ｄＢで安定しているが、同工程の前半に比べると若干高い値であり、経過時間に依存してわずかに乱れている。この乱れは、紫外線硬化性樹脂７の硬化時に紫外線硬化性樹脂７に照射する紫外線を、光変調器のフォ

トダイオードが受光することが原因であると考えられ、光ファイバ１の軸ズレに起因する現象ではないことが確認されている。

[0063] 図８の（ａ）は高粘着性樹脂３を設けない場合の、経過時間と規格化光強度との関係を示すグラフであり、図８の（ｂ）は光ファイバ１の端面近傍に紫外線硬化性樹脂７を塗布した場合の同関係を示すグラフである。図８の（ａ）および（ｂ）における、横軸および縦軸の定義は、図７と同じである。

[0064] 高粘着性樹脂３を設けない場合であり紫外線硬化性樹脂７の塗布前（図８の（ａ）の０ｓ～１８０ｓ）、光ファイバ１がコア部８に対して自由である。このため、調心を行った結果、規格化光強度は０ｄＢ付近となるが、図５の（ｂ）に示す工程の前半と同様の理由により、経過時間に依存した乱れは大きい。

[0065] 高粘着性樹脂３を設けない場合であり紫外線硬化性樹脂７の塗布後（図８の（ａ）の１８０ｓ～）、光ファイバ１が軸ズレを起こしてしまい、所望の規格化光強度が得られなくなってしまった。

[0066] 続いて、光ファイバ１の端面近傍に紫外線硬化性樹脂７を塗布した。ここで使用する紫外線硬化性樹脂７は、比屈折率１．３５、硬化収縮率９．８％とした。

[0067] 紫外線硬化性樹脂７の塗布後かつ硬化前（図８の（ｂ）の０ｓ～１２０ｓ）、規格化光強度は、高粘着性樹脂３を用いて仮固定を行うメリットにより、およそ０ｄＢで安定している。

[0068] 紫外線硬化性樹脂７の硬化後（図８の（ｂ）の１６０ｓ～）、エアクラッド部１１に紫外線硬化性樹脂７が流れることにより、規格化光強度に１０ｄＢ程度の損失が発生してしまい、所望の規格化光強度が得られなくなってしまった。所望の規格化光強度が得られなくなった要因として他にも、光ファイバ１の軸ズレ、紫外線硬化性樹脂７の収縮応力に起因するモードフィールド変換器２の変形が挙げられる。半導体光デバイス１００、特にモードフィールド変換器２が紫外線硬化性樹脂７の収縮応力による影響を受けやすい構造は、モードフィールド変換器２の保護の観点から好ましくない。

[0069] 図７と図８の（ａ）および（ｂ）との対比により、図５の（ａ）～（ｃ）に示す接続方法が有効であることが証明できた。

[0070] 高粘着性樹脂３の好ましい屈折率について考察する。図９の（ａ）は高粘着性樹脂３の比屈折率と、高粘着性樹脂３と光ファイバ１の端面との境界で反射する光の量との関係を示すグラフである。図９の（ｂ）は高粘着性樹脂３の比屈折率と、高粘着性樹脂３とコア部８の端面との境界で反射する光の量との関係を示すグラフである。

[0071] 一般に、光導波路から空間への出力光線はガウスビームとして知られている。ガウスビームにおいて、放射角は、単に発光点のスポット径と、波長および伝搬物質の屈折率によって決まる。

[0072] ビームの直径を$2\omega_0$、広がり半角を$\Delta\theta$、光の波長をλ、伝搬物質の屈折率をｎとすると、下記数式（１）が成り立つ。

[0073] $$\Delta\theta = \lambda / n\pi\omega_0 \quad \cdots (1)$$

ここで、高粘着性樹脂３の屈折率と放射角との関係を調べた結果、高粘着性樹脂３の屈折率が高い程、放射角が小さくなることが分かった。

[0074] 図９の（ａ）および（ｂ）において、横軸は高粘着性樹脂３の比屈折率を示しており、縦軸は反射する光の量（単位：ｄＢ）を示している。半導体光デバイス１００と光ファイバ１とを接続した場合を考える。この場合、高粘着性樹脂３と光ファイバ１の端面との境界で反射する光の量、高粘着性樹脂３とコア部８の端面との境界で反射する光の量共に、－２７ｄＢ（図９の（ａ）および（ｂ）に一点鎖線で示した）未満となるように、高粘着性樹脂３の屈折率を設定すればよい。

[0075] 図９の（ａ）によれば、高粘着性樹脂３と光ファイバ１の端面との境界で反射する光の量が－２７ｄＢ未満となる高粘着性樹脂３の比屈折率は、１．３４以上かつ１．５９以下であることが分かる。また、図９の（ｂ）によれば、高粘着性樹脂３とコア部８の端面との境界で反射する光の量が－２７ｄＢ未満となる高粘着性樹脂３の比屈折率は、１．３２以上かつ１．５７以下であることが分かる。以上の結果から、図９の（ａ）および（ｂ）に示す例

の場合、高粘着性樹脂３の比屈折率は、１．３４以上かつ１．５７以下であるのが好ましいことが分かる。

[0076] また、高粘着性樹脂３の比屈折率を、コア部８の比屈折率の８０％以上かつ１２０％以下としてもよい。

[0077] 以上のように高粘着性樹脂３の好ましい比屈折率を設定することで、光ファイバ１と、高粘着性樹脂３と、コア部８との間での光の損失を抑制することができる。

[0078] 高粘着性樹脂３の圧力について考察する。

[0079] 高粘着性樹脂３の密度および量に基づいて、高粘着性樹脂３の重さを０．９２５ｍｇと推測した。

[0080] この場合、高粘着性樹脂３に作用する重力は下記数式（２）で表される。

[0081] Ｆ（単位：Ｎ）＝ｍｇ＝およそ９０×１０$^{-4}$ ・・・（２）

また、高粘着性樹脂３の塗布面積を下記数式（３）で求めた。

[0082] πｒ^{2}（単位：ｍ^{2}）＝およそ１．４×１０$^{-8}$ ・・・（３）

数式（２）を数式（３）で除すると、およそ６２Ｎ／ｃｍ^{2}という圧力の解が得られる。但し、以上の各値のうち、高粘着性樹脂３の量は半導体光デバイス１００個々で異なり得るため、３０～３００Ｎ／ｃｍ^{2}の圧力になると考えられる。このことを考慮すると、高粘着性樹脂３の粘度を、３０Ｐａ・Ｓ以上とするのが好ましい。また、高粘着性樹脂３の粘度が極端に高いのも好ましくないので、高粘着性樹脂３の粘度を、１０００Ｐａ・Ｓ以下とするのが好ましい。

[0083] また、モードフィールド径の一例としては、光ファイバ１を通る光のモードフィールド径を７μｍ以上かつ１３μｍ以下とし、コア部８（モードフィールド変換器２）を通る光のモードフィールド径を４００ｎｍ以上かつ５μｍ以下とすることが挙げられる。

[0084] 紫外線硬化性樹脂７のかわりに光硬化性樹脂が用いられてもよい。

[0085] さらに、以上で説明した接続方法を含む、光ファイバ１が接続された半導体光デバイス１００の製造方法についても、本発明の範疇に含まれる。

[0086] また、図１および図５に係る変形例として、光ファイバ１の端面に、高粘着性樹脂３の替わりに弾性を有する仮固定部材を設けてもよい。そして、光ファイバ１の端面をチップ（サスペンデッドカプラ）に固定する場合、仮固定部材をチップに押し付け、仮固定部材を弾性変形させ、その反力によって生じる仮固定部材とチップとの間の摩擦力によって、光ファイバ１の端面が固定される構成であってもよい。弾性を有する仮固定部材の一例としては、光ファイバ１およびコア部８と屈折率が整合している仮固定部材であって、厚みが５μｍ以上５０μｍ以下であり、石英（シリカ）との静止摩擦係数が０．１以上１．０以下であり、弾性率が石英の１／１００以下であるものが挙げられる。この仮固定部材と光ファイバ１およびコア部８とで屈折率が整合していることによって、光の反射を抑制することができる。この仮固定部材の厚みが５μｍ以上５０μｍ以下であることによって、コア部８や光ファイバ１に負荷なく応力をかけられると共に、光の反射を十分に減衰させることができる（接触公差分）。この仮固定部材の静止摩擦係数が０．１以上１．０以下であることによって、光ファイバ１がコア部８を滑ることを抑制することができる。この仮固定部材の弾性率が石英の１／１００以下であることによって、この仮固定部材のみに応力を与えることが容易となる。

[0087] 〔まとめ〕

本実施の形態に係る接続方法は、半導体光デバイスに形成された光導波路に光ファイバを接続する接続方法において、仮固定部材を介して、上記光導波路の端面に上記光ファイバの端面を仮固定する仮固定工程と、上記仮固定工程の後、上記光導波路の端面に上記仮固定部材越しに上記光ファイバの端面を突き当てつつ、該光ファイバの端面から離れた位置で該光ファイバを上記半導体光デバイスに固定する工程とを含んでいることを特徴としている。

[0088] 上記の構成によれば、光導波路の端面に対して光ファイバの端面を仮固定する。これにより、紫外線硬化性樹脂等の硬化収縮による、光ファイバの軸ズレを抑制して光損失を抑制することができ、かつ、モードフィールド変換器の変形を抑制することができる。

[0089] また、本実施の形態に係る接続方法は、上記仮固定部材が粘着性を有することが好ましい。

[0090] また、本実施の形態に係る接続方法は、上記光導波路を囲む空間を設けるのが好ましい。

[0091] 空気からなるクラッドに代表される、光導波路を囲む空間を設けた場合、上記（Ａ）の問題がより顕著になる。換言すれば、光導波路を囲む空間を設けることで、本実施の形態による利点をより効果的に得ることができる。

[0092] また、光導波路を囲む空間を設けた場合、新たに下記（Ｂ）の問題が発生する。

[0093] （Ｂ）固定用の紫外線硬化性樹脂等がクラッド（すなわち、テーパ型の光導波路を囲む空間）に流れ込むことで、該クラッドの屈折率が変動し、モードフィールド変換器によるモードフィールド径の変換性能が低下する虞がある。

[0094] 上記の構成によれば、この流れ込みを解消することができるため、モードフィールド径の変換性能の低下を抑制することができる。

[0095] また、本実施の形態に係る接続方法は、上記仮固定部材の粘度を、３０Ｐａ・Ｓ以上、かつ、１０００Ｐａ・Ｓ以下とするのが好ましい。

[0096] 上記の構成によれば、光導波路の端面に対して光ファイバの端面を仮固定および固定するのに好適な、仮固定部材の粘度を実現することができる。

[0097] また、本実施の形態に係る接続方法は、上記仮固定部材と上記光ファイバの端面との境界で反射する光の量、および、上記仮固定部材と上記光導波路の端面との境界で反射する光の量が、いずれも－２７ｄＢ未満となるように、上記仮固定部材の比屈折率を設定するのが好ましい。

[0098] また、本実施の形態に係る接続方法は、上記仮固定部材の比屈折率を、上記光導波路の比屈折率の８０％以上かつ１２０％以下とするのが好ましい。

[0099] 上記の構成によれば、光ファイバと、仮固定部材と、光導波路との間での光の損失を抑制することができる。

[0100] また、本実施の形態に係る接続方法は、上記光ファイバの少なくとも一部

を、上記半導体光デバイスの基板部に形成された溝に挿入し、上記仮固定部材を、上記溝を構成する上記基板部の部分にまで延伸させて設けるのが好ましい。

[0101] 上記の構成によれば、仮固定部材の面積を大きくすることができる。このため、特に、光導波路における光ファイバ側の端面が基板部に固定されていない（すなわち、光導波路が片持ち梁構造である）場合、該光導波路を補強し、その結果、該光導波路の破損を防止することができる。また、上記の構成によれば、紫外線硬化性樹脂等を仮固定部材によって堰き止めることができるため、モードフィールド径の変換性能の低下をさらに抑制することができる。

[0102] また、本実施の形態に係る接続方法は、上記光ファイバを通る光のモードフィールド径を７μｍ以上かつ１３μｍ以下とし、上記光導波路を通る光のモードフィールド径を４００ｎｍ以上かつ５μｍ以下とするのが好ましい。

[0103] また、本実施の形態に係る接続方法は、上記仮固定部材が弾性を有していてもよい。

[0104] また、本実施の形態に係る半導体光デバイスは、光導波路が形成されている半導体光デバイスにおいて、上記光導波路の端面に、固定部材を介して、光ファイバの端面が接続されていることを特徴としている。

[0105] 上記の構成によれば、光導波路の端面に光ファイバの端面を接続する際に、光ファイバの端面および／またはその近傍を紫外線硬化性樹脂等によって固定することなく、光ファイバを光導波路に固定することが可能となる。これにより、紫外線硬化性樹脂等の硬化収縮による、光ファイバの軸ズレが抑制されることで光損失が抑制されており、かつ、モードフィールド変換器の変形が抑制された、高品質の半導体光デバイスを実現することができる。

[0106] また、本実施の形態に係る半導体光デバイスは、上記光導波路は、空間によって囲まれており、かつ、上記光導波路の端面が上記半導体光デバイスの基板部に固定されていない片持ち梁構造となっているのが好ましい。

[0107] 上記の構成によれば、光導波路（コア）を囲む空間（クラッド）に紫外線

硬化性樹脂等が流れ込むことが抑制され、その結果、モードフィールド径の変換性能の低下が抑制された半導体光デバイスを実現することができる。

[0108] また、本実施の形態に係る光ファイバが接続された半導体光デバイスの製造方法は、光ファイバが接続された半導体光デバイスの製造方法において、固定部材を介して、上記半導体光デバイスが有する光導波路の端面に上記光ファイバの端面を固定する固定工程と、上記固定工程の後、上記光導波路の端面に上記固定部材越しに上記光ファイバの端面を突き当てつつ、該光ファイバの端面から離れた位置で該光ファイバを上記半導体光デバイスに固定する工程とを含んでいることを特徴としている。

[0109] 上記の構成によれば、本実施の形態に係る半導体光デバイスを製造することができる。

[0110] なお、仮固定部材、固定部材は例えば、光ファイバの端面に設けること、または、光導波路の端面に設けることが考えられる。

[0111] 本発明は上述した各実施形態に限定されるものではなく、請求項に示した範囲で種々の変更が可能であり、異なる実施形態にそれぞれ開示された技術的手段を適宜組み合わせて得られる実施形態についても本発明の技術的範囲に含まれる。

産業上の利用可能性

[0112] 本発明は、半導体光デバイスに形成されたテーパ型の光導波路に光ファイバを接続する接続方法、半導体光デバイス、および光ファイバが接続された半導体光デバイスの製造方法に利用することができる。

符号の説明

[0113] １ 光ファイバ

２ モードフィールド変換器

３ 高粘着性樹脂（仮固定部材、固定部材）

４ 基板部

４ａ シリカ層

４ｂ シリコン基板

５　溝

６　細線光導波路

７　紫外線硬化性樹脂

８　コア部（光導波路）

１１　エアクラッド部（空間）

１２　ブリッジ

１００　半導体光デバイス

請求の範囲

[請求項1] 半導体光デバイスに形成された光導波路に光ファイバを接続する接続方法において、

仮固定部材を介して、上記光導波路の端面に上記光ファイバの端面を仮固定する仮固定工程と、

上記仮固定工程の後、上記光導波路の端面に上記仮固定部材越しに上記光ファイバの端面を突き当てつつ、該光ファイバの端面から離れた位置で該光ファイバを上記半導体光デバイスに固定する工程とを含んでいることを特徴とする接続方法。

[請求項2] 上記仮固定部材が粘着性を有することを特徴とする請求項１に記載の接続方法。

[請求項3] 上記光導波路を囲む空間を設けることを特徴とする請求項１または２に記載の接続方法。

[請求項4] 上記仮固定部材の粘度を、３０Ｐａ・Ｓ以上、かつ、１０００Ｐａ・Ｓ以下とすることを特徴とする請求項２に記載の接続方法。

[請求項5] 上記仮固定部材と上記光ファイバの端面との境界で反射する光の量、および、上記仮固定部材と上記光導波路の端面との境界で反射する光の量が、いずれも－２７ｄＢ未満となるように、上記仮固定部材の比屈折率を設定することを特徴とする請求項１から４のいずれか１項に記載の接続方法。

[請求項6] 上記仮固定部材の比屈折率を、上記光導波路の比屈折率の８０％以上かつ１２０％以下とすることを特徴とする請求項１から５のいずれか１項に記載の接続方法。

[請求項7] 上記光ファイバの少なくとも一部を、上記半導体光デバイスの基板部に形成された溝に挿入し、

上記仮固定部材を、上記溝を構成する上記基板部の部分にまで延伸させて設けることを特徴とする請求項１から６のいずれか１項に記載の接続方法。

[請求項8] 上記光ファイバを通る光のモードフィールド径を７μｍ以上かつ１３μｍ以下とし、

上記光導波路を通る光のモードフィールド径を４００ｎｍ以上かつ５μｍ以下とすることを特徴とする請求項１から７のいずれか１項に記載の接続方法。

[請求項9] 上記仮固定部材が弾性を有していることを特徴とする請求項１に記載の接続方法。

[請求項10] 光導波路が形成されている半導体光デバイスにおいて、

上記光導波路の端面に、固定部材を介して、光ファイバの端面が接続されていることを特徴とする半導体光デバイス。

[請求項11] 上記光導波路は、空間によって囲まれており、かつ、上記光導波路の端面が上記半導体光デバイスの基板部に固定されていない片持ち梁構造となっていることを特徴とする請求項１０に記載の半導体光デバイス。

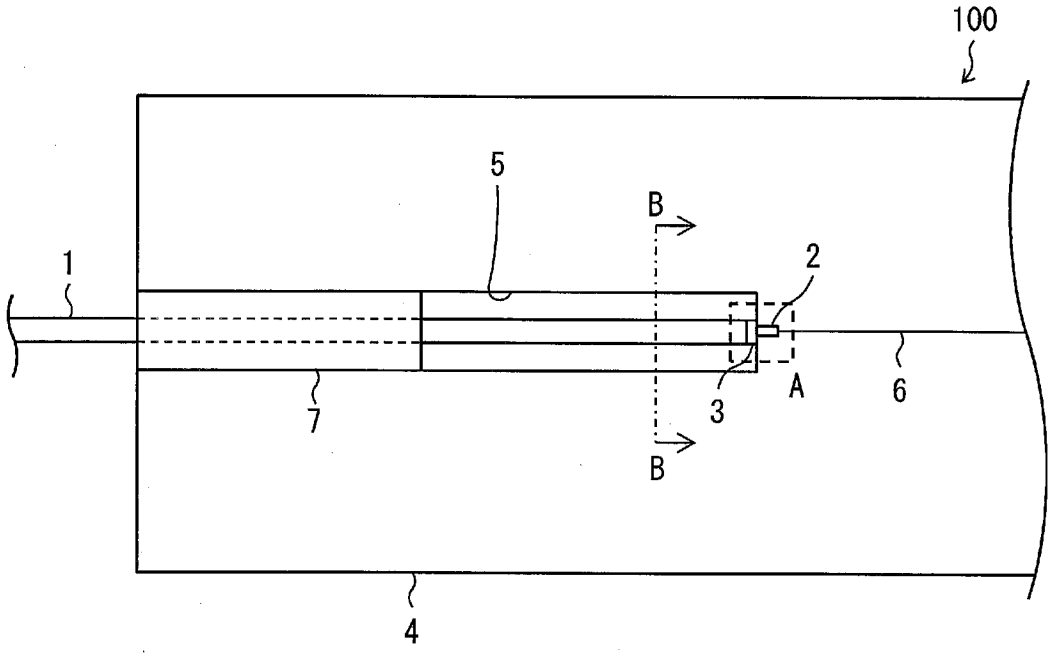
[請求項12] 光ファイバが接続された半導体光デバイスの製造方法において、

固定部材を介して、上記半導体光デバイスが有する光導波路の端面に上記光ファイバの端面を固定する固定工程と、

上記固定工程の後、上記光導波路の端面に上記固定部材越しに上記光ファイバの端面を突き当てつつ、該光ファイバの端面から離れた位置で該光ファイバを上記半導体光デバイスに固定する工程とを含んでいることを特徴とする製造方法。

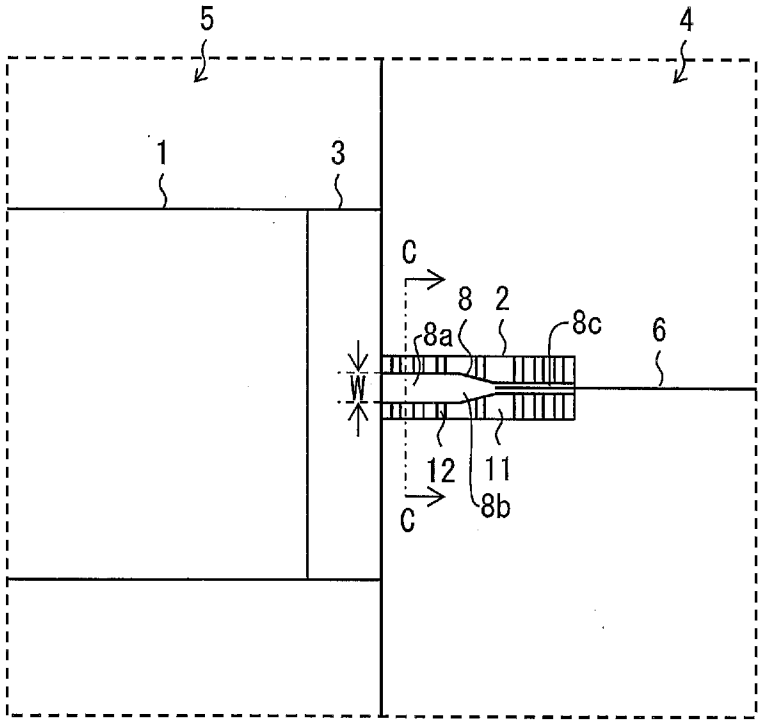
[図1]

図 1



[図2]

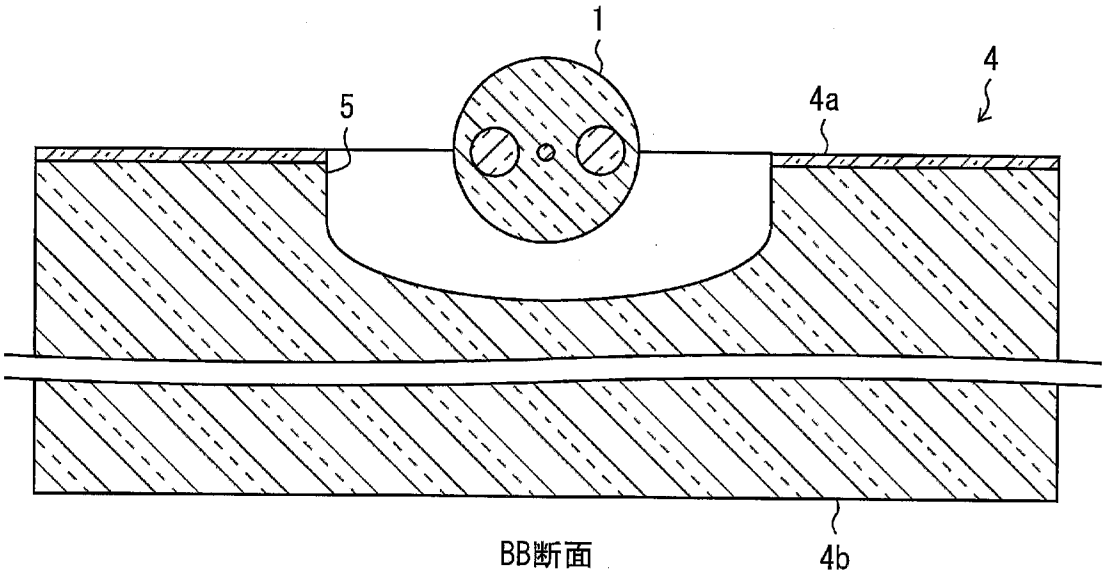
図 2



領域A

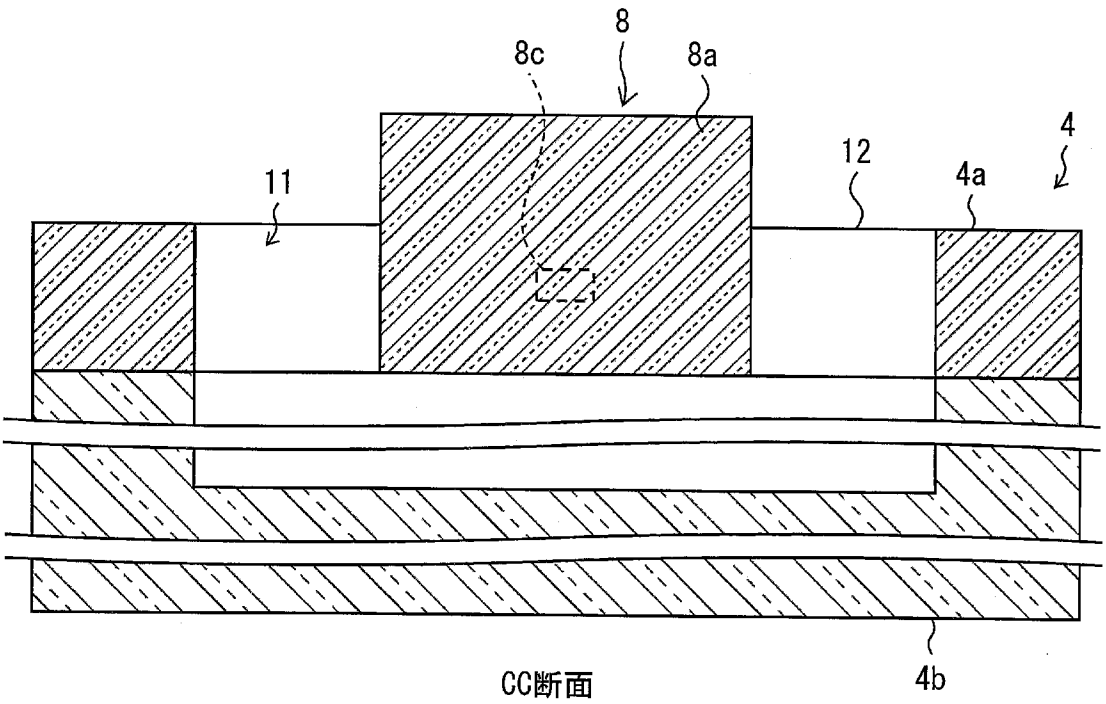
[図3]

図 3



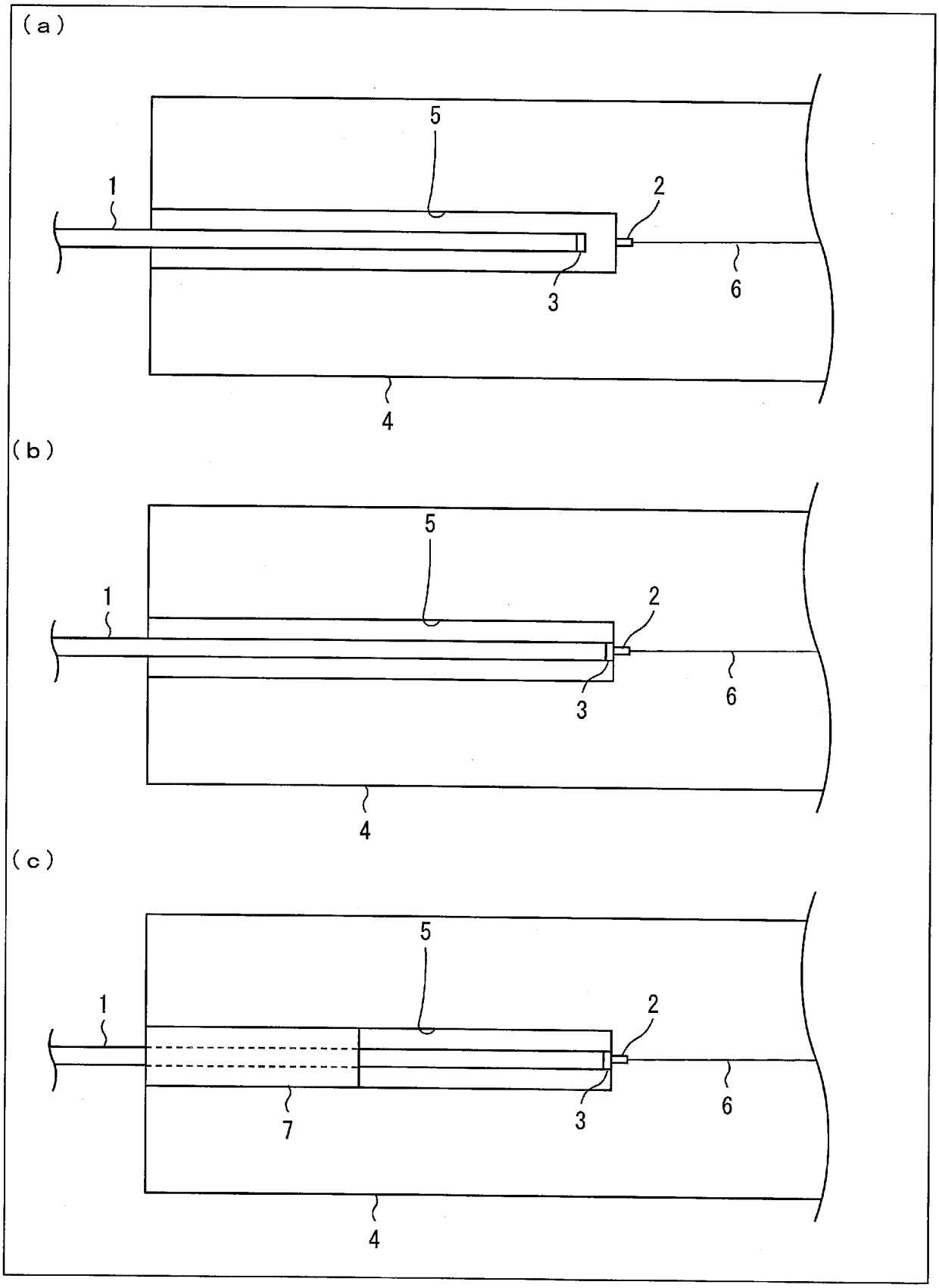
[図4]

図 4



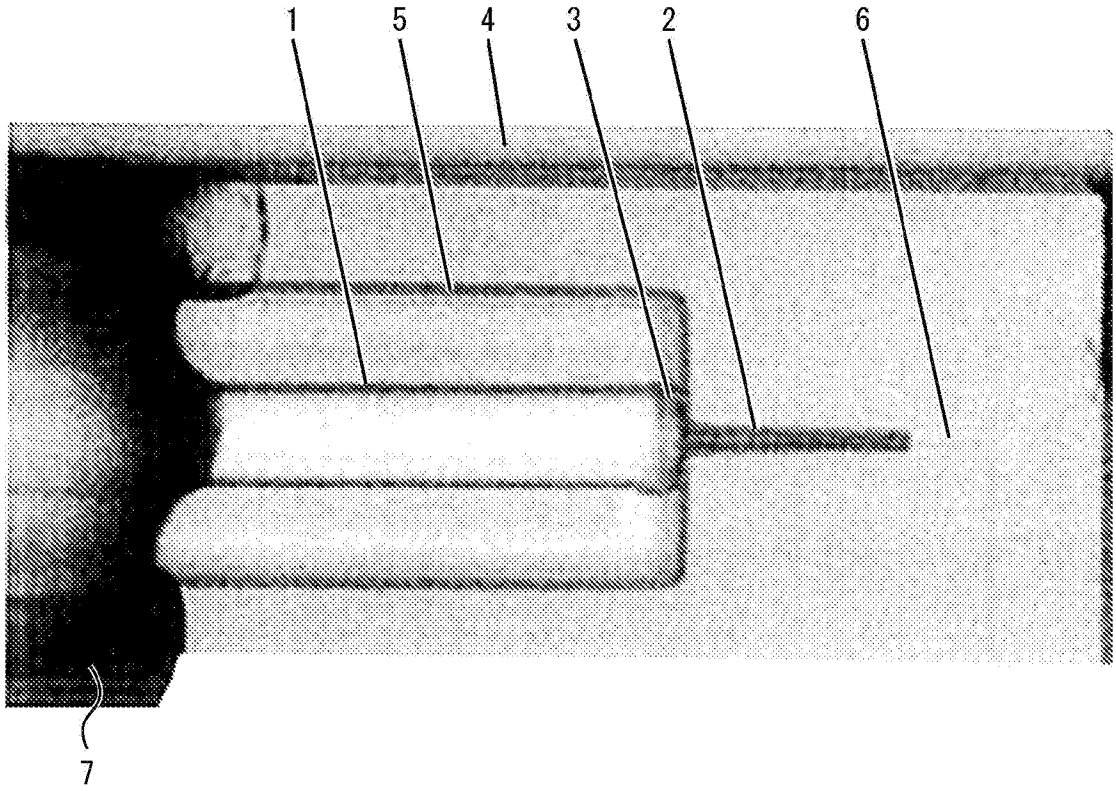
[図5]

図 5



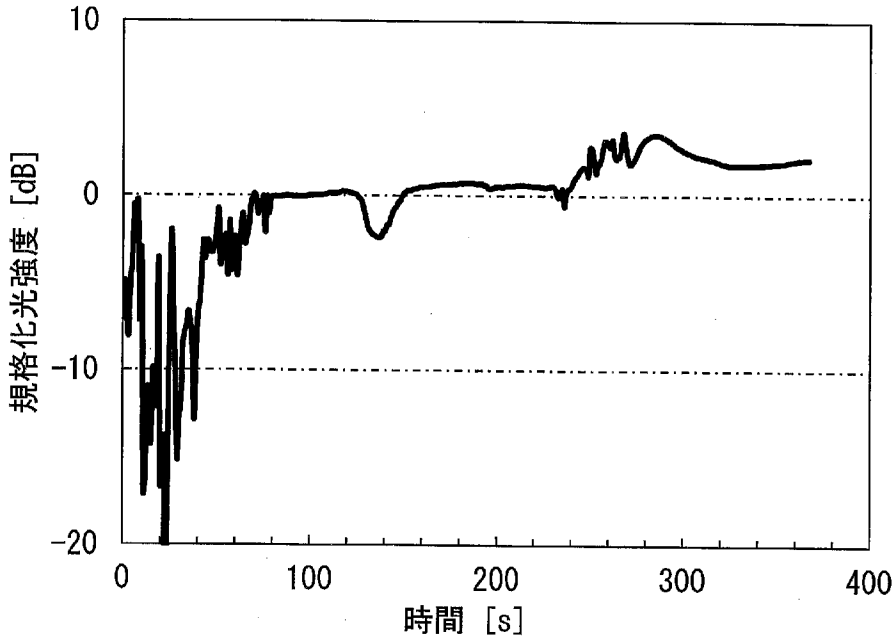
[図6]

図 6



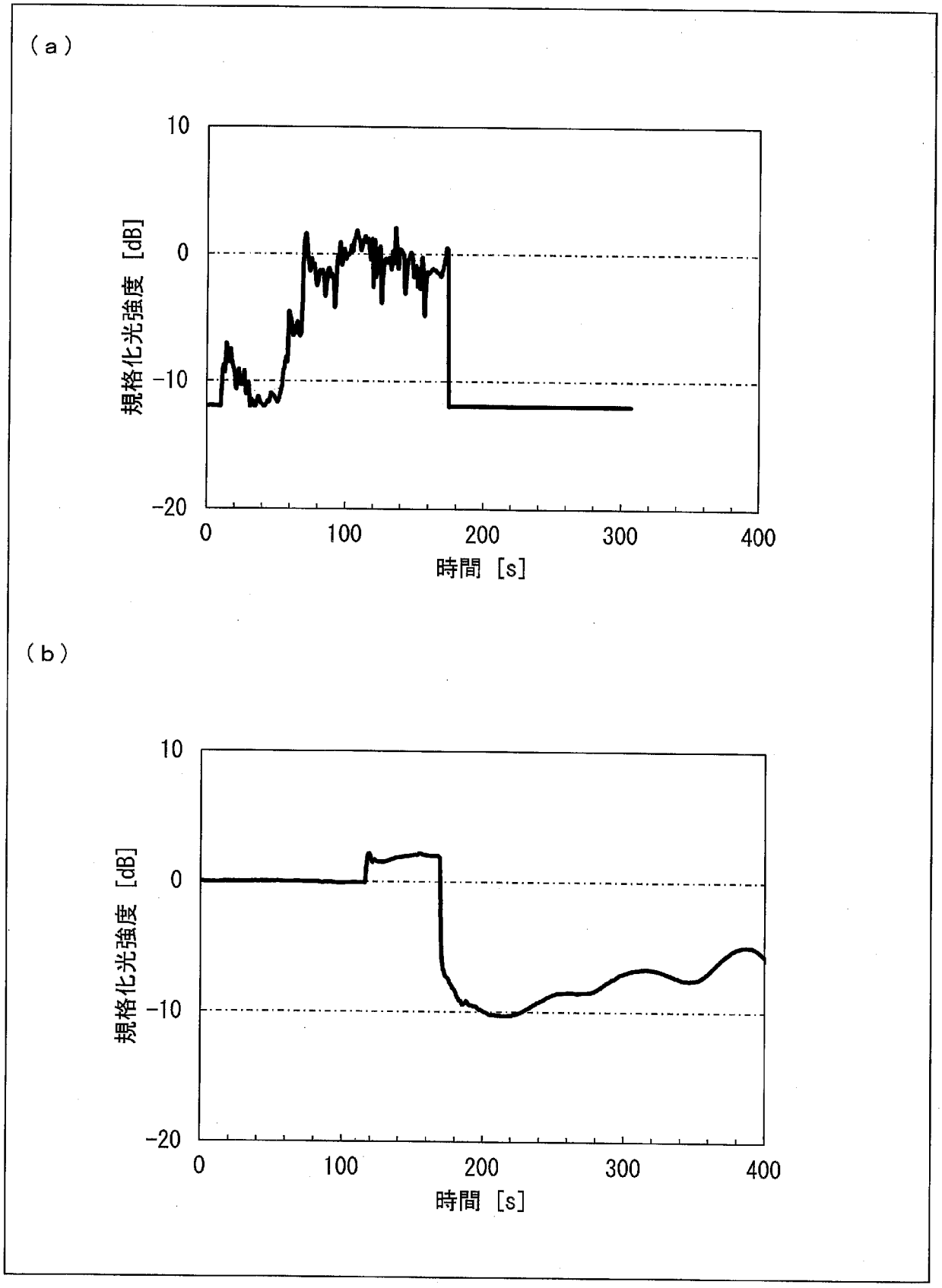
[図7]

図 7



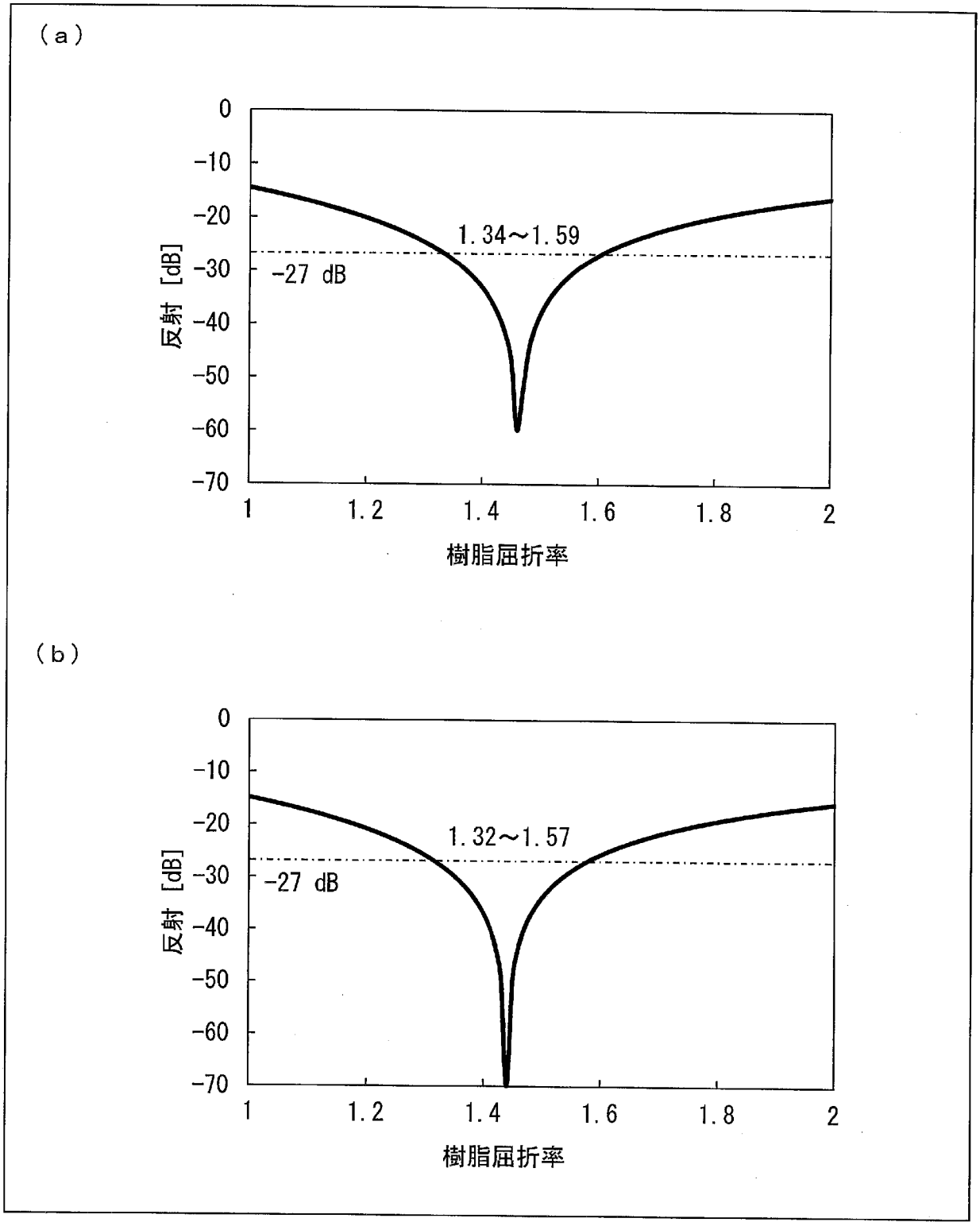
[図8]

図 8


(a)
10
0
-10
-20
規格化光強度 [dB]
0
100
200
300
400
時間 [s]
(b)
10
0
-10
-20
規格化光強度 [dB]
0
100
200
300
400
時間 [s]

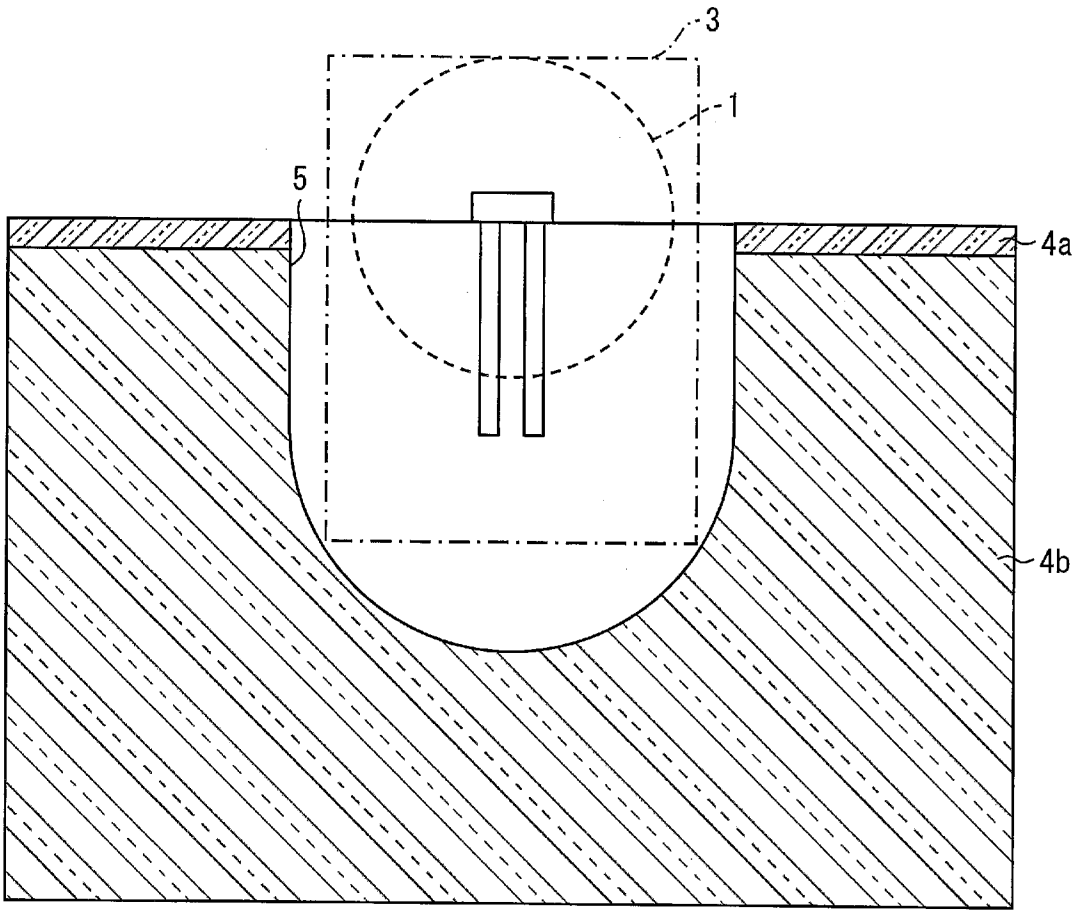
[図9]

図 9


(a)
0
-10
-20
-30
-40
-50
-60
-70
反射 [dB]
1.34～1.59
-27 dB
1
1.2
1.4
1.6
1.8
2
樹脂屈折率
(b)
0
-10
-20
-30
-40
-50
-60
-70
反射 [dB]
1.32～1.57
-27 dB
1
1.2
1.4
1.6
1.8
2
樹脂屈折率

[図10]

図 10



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2015/079144

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
G02B6/30(2006.01)i, *G02B6/122*(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)
G02B6/30, G02B6/122

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	1996-2015
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2015	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2015

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.
Y	JP 2000-105324 A (Kyocera Corp.), 11 April 2000 (11.04.2000), claim 2; paragraphs [0025] to [0032], [0037] to [0038]; fig. 1 (Family: none)	1-12
Y	JP 2010-139629 A (Oki Electric Industry Co., Ltd.), 24 June 2010 (24.06.2010), paragraphs [0002] to [0004], [0096] to [0099]; fig. 9 (Family: none)	1-12

☒ 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	Date of mailing of the international search report
04 December 2015 (04.12.15)	15 December 2015 (15.12.15)

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
Japan Patent Office 3-4-3,Kasumigaseki,Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915,Japan	Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2015/079144

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	WO 2011/078789 A1 (AGENCY FOR SCIENCE, TECHNOLOGY AND RESEARCH), 30 June 2011 (30.06.2011), paragraphs [0002], [0043]; fig. 9a to 9b & US 2012/0328243 A1 & SG 181770 A1	1-12
Y	JP 2005-173575 A (Tomoegawa Paper Co., Ltd.), 30 June 2005 (30.06.2005), abstract; paragraphs [0018], [0020] & US 2007/0086707 A1 abstract; paragraphs [0029], [0031] & WO 2005/050273 A1 & EP 1686402 A1 & KR 10-2006-0105786 A & CN 1882861 A & HK 1128332 A1	2,4,9

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１５／０７９１４４

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　G02B6/30(2006.01)i, G02B6/122(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.　G02B6/30, G02B6/122

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	１９７１－２０１５年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０１５年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０１５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
Y	JP 2000-105324 A（京セラ株式会社）2000.04.11,【請求項２】,段落【００２５】－【００３２】,【００３７】－【００３８】,【図１】（ファミリーなし）	1-12
Y	JP 2010-139629 A（沖電気工業株式会社）2010.06.24,段落【０００２】－【０００４】,【００９６】－【００９９】,【図９】（ファミリーなし）	1-12
Y	WO 2011/078789 A1 (AGENCY FOR SCIENCE, TECHNOLOGY AND RESEARCH)	1-12

☑　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	国際調査報告の発送日
０４．１２．２０１５	１５．１２．２０１５

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）　２Ｘ　９１２４
吉田　英一
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
	2011.06.30, 段落［０００２］, ［００４３］, Ｆｉｇｕｒｅ９ａ－９ｂ & US 2012/0328243 A1 & SG 181770 A1	
Y	JP 2005-173575 A (株式会社巴川製紙所) 2005.06.30, 【要約】, 段落【００１８】, 【００２０】 & US 2007/0086707 A1, ＡＢＳＴＲＡＣＴ, 段落［００２９］, ［００３１］ & WO 2005/050273 A1 & EP 1686402 A1 & KR 10-2006-0105786 A & CN 1882861 A & HK 1128332 A1	2, 4, 9