(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
2017年12月7日(07.12.2017)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2017/209137 A1

(51) 国際特許分類:
G02B 6/122 (2006.01) *G02B 6/12* (2006.01)

(21) 国際出願番号： PCT/JP2017/020131

(22) 国際出願日： 2017年5月30日(30.05.2017)

(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 2016-110903 2016年6月2日(02.06.2016) JP

(71) 出願人: 旭硝子株式会社 (**ASAHI GLASS COMPANY, LIMITED**) [JP/JP]; 〒1008405 東京都千代田区丸の内一丁目５番１号 Tokyo (JP).

(72) 発明者: 大原 盛輝(**OHARA Seiki**); 〒1008405 東京都千代田区丸の内一丁目５番１号 旭硝子株式会社内 Tokyo (JP). 小林 健太(**KOBAYASHI Kenta**); 〒1008405 東京都千代田区丸の内一丁目５番１号 旭硝子株式会社内 Tokyo (JP). 武信 省太郎(**TAKENOBU Shotaro**); 〒1008405 東京都千代田区丸の内一丁目５番１号 旭硝子株式会社内 Tokyo (JP).

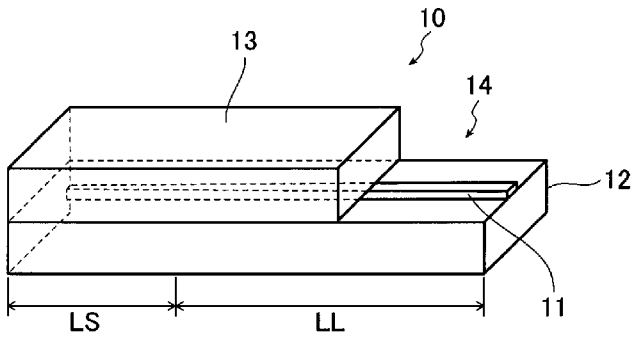
(74) 代理人: 特許業務法人栄光特許事務所(**EIKOH PATENT FIRM, P.C.**); 〒1050003 東京都港区西新橋一丁目７番１３号 虎ノ門イーストビルディング１０階 Tokyo (JP).

(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, JP, 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,

(54) **Title:** RESIN OPTICAL WAVEGUIDE

(54) 発明の名称： 樹脂光導波路

[図1]



(57) **Abstract:** Provided is a resin optical waveguide including a core and undercladding and overcladding having a refractive index lower than the refractive index of the core. The resin optical waveguide includes a region where the core width varies along a light propagation direction in the resin optical waveguide. In the resin optical waveguide, the maximum core width is 4-10 μm, and the minimum core width is at least 1 μm and less than 4 μm. When the length of a region where the core width is at least 1 μm and less than 4 μm is signified by LS (μm) and the length of a region where the core width is 4-10 μm is signified by LL (μm), the percentage of LS in the entire length (LS + LL) of the resin optical waveguide is 0.1%-40%. In the region where the core width is at least 1 μm and less than 4 μm, there is no bubble defect having a maximum diameter not less than 2 μm in the interior of the core or in the vicinity of the core-cladding interface, or there is no defect having an absolute value of difference in refractive index with the cladding material not less than 0.03 and having a maximum diameter not less than 8 μm.

WO 2017/209137 A1

[続葉有]

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).

添付公開書類:

一　国際調査報告（条約第21条(3)）

(57) 要約：コア、ならびに、該コアよりも屈折率が低いアンダークラッド、および、オーバークラッドを備える樹脂光導波路であって、樹脂光導波路における光の伝播方向に沿ってコア幅が異なる部位を有しており、樹脂光導波路における最大コア幅は４μｍ以上１０μｍ以下、最小コア幅は１μｍ以上４μｍ未満であり、コア幅が１μｍ以上４μｍ未満の部位の長さをＬＳ（μｍ）とし、コア幅が４μｍ以上１０μｍ以下の部位の長さをＬＬ（μｍ）とするとき、樹脂光導波路の全長（ＬＳ＋ＬＬ）に占めるＬＳの割合が０．１～４０％であり、コア幅が１μｍ以上４μｍ未満の部位には、コア内部、および、コアクラッド界面近傍に最大径が２μｍ以上の泡欠陥が存在しない、または、クラッド材料との屈折率差の絶対値が０．０３以上、かつ、最大径が８μｍ以上の欠陥が存在しない。

明　細　書

発明の名称 ： 樹脂光導波路

技術分野

[0001] 本発明は、樹脂光導波路に関する。

背景技術

[0002] プリント基板上に形成されたリジッドな、あるいはポリマー製ベースフィルム上に形成されたフレキシブルな、マルチモードおよびシングルモードの樹脂光導波路が普及している。樹脂光導波路の原理は、屈折率の異なる複数の樹脂の組合せであるコアとクラッドとの組合せによって、コアを光導波路とするものである。

一方で、シリコンチップ上に光導波路を形成したシリコン光導波路も普及している（特許文献１参照）。

樹脂光導波路、および、シリコン光導波路の何れについても、複数の導波路チャネルを得るために、一方向に沿って複数の導波路が平行に揃った形式で、アレイ状に形成される。

[0003] 樹脂光導波路と、シリコン光導波路と、の間で光を伝播させる試みがなされているが、ミクロのレベルで光を効率的に伝播させる結合を実現しようとすると、高精度な位置決めが必要となってくる。

マルチモードの光導波路であれば、光導波路同士、あるいは、光導波路とマルチモード光ファイバとの間の結合において、コア断面のサイズが大きく、また互いのコア断面サイズや開口数が同程度であるため、相互に接触することになる断面同士において、断面同士の突合せの位置決め精度さえ保証されれば、損失が許容可能なレベルでの実現が可能である。

実際、いわゆる正対結合（Ｂｕｔｔ　Ｃｏｕｐｌｉｎｇ）によって実現されている。

[0004] しかし、シングルモードの樹脂光導波路とシリコン光導波路との結合においては、各々のコア断面がかなり小さくなってしまい、また互いのコア断面

サイズや開口数が大きく異なるため、正対結合自体が困難となってくる。

この点、アレイの沿った光軸方向での染み出し光（以下、エバネッセント光ともいう。）を、光軸方向の所定距離にわたって捉えて連絡させるという、アディアバティック結合（Ａｄｉａｂａｔｉｃ　Ｃｏｕｐｌｉｎｇ）が代替手法として注目を集めている（特許文献１、２参照）。

[0005] 図４は、樹脂光導波路と、シリコン光導波路と、がアディアバティック結合された複合光導波路の一構成例を示した斜視図であり、図５は、図４の複合光導波路１００の側面図である。図６は、図４の複合光導波路１００のアディアバティック結合部位における横断面図であり、図７は、図６の部分拡大図である。図８は、図４の複合光導波路１００のアディアバティック結合部位の部分縦断面図である。

図示した複合光導波路１００では、樹脂光導波路２００と、シリコン光導波路３００と、がアディアバティック結合されている。複合光導波路１００の樹脂光導波路２００は、アディアバティック結合部位に対し他端側は、シングルモード光ファイバ等との接続用のコネクタ４００に収容されている。樹脂光導波路２００はコア２２０とクラッド２１０とからなり、シリコン光導波路３００はコア３１０とクラッド３１０とからなり、接着層５００で接着されている。樹脂光導波路２００、および、シリコン光導波路３００では、コア２２０、３２０を光が伝播する。

[0006] 上述したように、アディアバティック結合では、エバネッセント光を、光軸方向の所定距離にわたって捉えて連絡させる。そのため、アディアバティック結合部位では、樹脂光導波路２００のコア２２０と、シリコン光導波路３００のコア３２０と、が図６に示すように対向して配置されるが、樹脂光導波路２００は、シリコン光導波路３００のコア３２０と対向する側のクラッドが設けられておらず、コア２２０が露出している。

図７は、図６の部分拡大図であり、アディアバティック結合部位における、樹脂光導波路２００のコア２２０と、シリコン光導波路３００のコア３２０と、の一対一の位置関係が示されている。図７に示す樹脂光導波路２００

、シリコン光導波路３００において、コア２２０、３２０以外の部位がクラッド２１０，３１０である。

図７に示すように、アディアバティック結合部位では、樹脂光導波路２００のコア２２０と、シリコン光導波路３００のコア３２０と、が対向した状態で配置され、エポキシ樹脂等の接着層５００を用いて接合されている。

図８は、図４の複合光導波路１００のアディアバティック結合部位の部分縦断面図であり、アディアバティック結合部位７００におけるエバネッセント光の伝播（ｌｉｇｈｔ　ｐｒｏｐａｇａｔｉｏｎ）の様子が示されている。

先行技術文献

特許文献

[0007] 特許文献1：日本国特開２０１４－８１５８６号公報

特許文献2：米国特許第８７２４９３７号明細書

非特許文献

[0008] 非特許文献1：Ｅｆｆｉｃｉｅｎｔ　ｃｏｕｐｌｅｒ　ｂｅｔｗｅｅｎ　ｃｈｉｐ－ｌｅｖｅｌ　ａｎｄ　ｂｏａｒｄ－ｌｅｖｅｌ　ｏｐｔｉｃａｌ　ｗａｖｅｇｕｉｄｅｓ，Ｊｉｅ　Ｓｈｕ，　Ｃｉｙｕａｎ　Ｑｉｕ，　Ｘｕｅｚｈｉ　Ｚｈａｎｇ，　ａｎｄ　Ｑｉａｎｆａｎ　Ｘｕ，ＯＰＴＩＣＳ　ＬＥＴＴＥＲＳ／Ｖｏｌ．３６，　Ｎｏ．　１８／Ｓｅｐｔｅｍｂｅｒ　１５，　２０１１

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0009] シリコン光導波路とアディアバティック結合する樹脂光導波路は以下に述べる点を留意する必要がある。

シリコン光導波路と、樹脂光導波路との間をエバネッセント光が連絡するアディアバティック結合部位では、樹脂光導波路の当該部位側にはクラッドが存在せず、コアが露出している。すなわち、樹脂光導波路のうち、アディ

アバティック結合部位となる一端側には、コア露出部が設けられている。このコア露出部に形成されたコアは、コア高さをある程度低くしないと、伝播モードの広がりが大きくならず、シリコン光導波路に光を伝播させにくくなる。そのため、４μｍ程度がコア高さの上限となる。

一方、非特許文献１のＦｉｇ．３に示すように、シリコン光導波路と、樹脂光導波路との軸ずれ耐性という点では、コア露出部に形成されたコアは、コア幅が大きいことが好ましい。そのため、コア露出部が設けられた樹脂光導波路の一端側では、コアの断面形状が、コア高さよりもコア幅の長さが大きい矩形であることが好ましい。

[0010] 一方、コネクタ４００に収容された樹脂光導波路２００の他端側を、シングルモード光ファイバと接続する場合、コア２２０の断面形状は、コア高さとコア幅が実質同一の略正方形であることが好ましい。実質同一の略正方形であることにより、シングルモードファイバと低損失で正対結合できる。

[0011] したがって、樹脂光導波路は、シリコン光導波路とアディアバティック結合する一端側と、シングルモード光ファイバと接続する他端側とでコアの断面形状が異なることが好ましい。樹脂光導波路の一端側と他端側とで、コアの断面形状が異なる構成としては、以下の３通りが考えられる。

（１）一端側と、他端側とでコア高さが異なる。

（２）一端側と、他端側とでコア幅が異なる。

（３）一端側と、他端側とでコア高さとコア幅が異なる。

但し、樹脂光導波路の製造手順における好適態様との関係から、一端側と、他端側とでコア高さが異なるものを作製することは困難である。

[0012] 樹脂光導波路の製造手順における好適態様は以下に示す通りである。

スピンコート法を用いて、基材上に第一の硬化性樹脂組成物を塗布し、該第一の硬化性樹脂組成物を硬化させてアンダークラッドを形成する。次に、アンダークラッド上に第二の硬化性樹脂組成物をスピンコート法を用いて塗布した後、フォトリソグラフィプロセスを用いて、アンダークラッド上にコアを形成する。次に、アンダークラッドおよびコア上に第三の硬化物樹脂組

成物をスピンコート法を用いて塗布し、該第三の硬化性樹脂組成物を硬化させて、オーバークラッドを形成する。オーバークラッドを形成する際に、フォトリソグラフィプロセスを用いて、オーバークラッドを有する領域と、オーバークラッドが無くコアが露出した領域（すなわち、コア露出部）と、を形成することができる。

上記の手順では、アンダークラッド上に第二の硬化性樹脂組成物を一様な膜厚で塗布するため、フォトリソグラフィプロセスで形成されるコアを、一端側と、他端側とでコア高さが異なるものとすることは困難である。

そのため、上記の３通りの選択肢のうち、（２）を選択することとなり、シリコン光導波路とアディアバティック結合する一端側に比べて、シングルモード光ファイバと接続する他端側は、コア幅が小さくなる。

[0013] 一方、樹脂光導波路を伝播する光に伝達損失を生じさせる要因として、樹脂光導波路のコア内部や、コアとクラッドとの界面近傍における異物の存在がある。このような異物の代表例は、樹脂光導波路の製造時に混入した泡や、樹脂光導波路の製造に用いる硬化性樹脂組成物に起因する樹脂由来の異物が挙げられる。これらの泡や樹脂由来の異物（以下、本明細書において、単に「異物」と記載する場合がある。）は、樹脂光導波路の製造時に発生するため、これら異物の大きさや発生頻度は樹脂光導波路の部位によらない。また、樹脂光導波路を伝播する光の伝達損失と、これら異物との関係については、以下の関係になる。

（１）コア内部やコアとクラッドとの界面近傍に存在するこれら異物のサイズが大きいほど、樹脂光導波路を伝播する光の伝達損失が大きくなる。

（２）コア内部やコアとクラッドとの界面近傍に存在するこれら異物の数が多いほど、樹脂光導波路を伝播する光の伝達損失が大きくなる。

（３）樹脂由来の異物の屈折率と、樹脂光導波路のコアもしくはクラッドの屈折率との差が大きいほど、樹脂光導波路を伝搬する光の伝搬損失が大きくなる。

そのため、樹脂光導波路全体を対象として、これら異物のサイズを小さく

すること、および、これら異物の数を減らすことが試みられている。しかし、樹脂光導波路全体における異物のサイズをきわめて小さくすること、異物の数をきわめて少なくすることは、樹脂光導波路の製造コストが増加する、樹脂光導波路の歩留りが低下する等の理由から困難である。

そのため、樹脂光導波路の構造等により、異物による樹脂光導波路を伝播する光の伝達損失が影響を軽減できることが望ましい。

[0014] 本発明は、上記した従来技術の問題点を解決するため、異物による樹脂光導波路を伝播する光の伝達損失が、当該樹脂光導波路の構造により軽減された樹脂光導波路を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0015] 上記した目的を達成するため、本願発明者らは鋭意検討した結果、樹脂光導波路を伝播する光の伝達損失と、これら異物と、の関係については、上記（１）～（３）に加えて、当該異物が存在する部位のコアサイズが影響することを見出した。具体的には、同一サイズの異物が存在する場合でも、当該異物が存在する部位のコアサイズが小さいほど、樹脂光導波路を伝播する光の伝達損失が大きくなることを見出した。

本願発明は、上記の知見に基づいてなされたものであり、コア、ならびに、該コアよりも屈折率が低いアンダークラッド、および、オーバークラッドを備える樹脂光導波路であって、該樹脂光導波路における光の伝播方向に沿ってコア幅が異なる部位を有しており、該樹脂光導波路における最大コア幅は４μｍ以上１０μｍ以下、最小コア幅は１μｍ以上４μｍ未満であり、前記樹脂光導波路のうち、コア幅が１μｍ以上４μｍ未満の部位の長さをＬＳ（μｍ）とし、コア幅が４μｍ以上１０μｍ以下の部位の長さをＬＬ（μｍ）とするとき、前記樹脂光導波路の全長（ＬＳ＋ＬＬ）に占める前記ＬＳの割合が０．１～４０％であり、前記コア幅が１μｍ以上４μｍ未満の部位には、コア内部、および、コア中心からの距離が１５μｍ以内のコアクラッド界面近傍に最大径が２μｍ以上の泡欠陥が存在しない、樹脂光導波路（１）を提供する。

[0016] また、本願発明は、コア、ならびに、該コアよりも屈折率が低いアンダークラッド、および、オーバークラッドを備える樹脂光導波路であって、前記樹脂光導波路における光の伝播方向に沿ってコア幅が異なる部位を有しており、該樹脂光導波路における最大コア幅は４μｍ以上１０μｍ以下、最小コア幅は１μｍ以上４μｍ未満であり、前記樹脂光導波路のうち、コア幅が１μｍ以上４μｍ未満の部位の長さをＬＳ（μｍ）とし、コア幅が４μｍ以上１０μｍ以下の部位の長さをＬＬ（μｍ）とするとき、前記樹脂光導波路の全長（ＬＳ＋ＬＬ）に占める前記ＬＳの割合が０．１～４０％であり、前記コア幅が１μｍ以上４μｍ未満の部位には、コア内部および、コア中心からの距離が１５μｍ以内のコアクラッド界面近傍に、クラッド材料との屈折率差の絶対値が０．０３以上、かつ、最大径が８μｍ以上の欠陥が存在しない、樹脂光導波路（２）を提供する。

[0017] 本発明の樹脂光導波路（１），（２）において、樹脂光導波路の光の伝播方向における一端側と他端側とのコア幅が異なることが好ましい。

[0018] 本発明の樹脂光導波路（１），（２）において、前記樹脂光導波路の一端側に、オーバークラッドが存在せずコアおよび該コア周辺のアンダークラッドが露出したコア露出部が設けられており、樹脂光導波路の光伝搬方向における該コア露出部の長さが１００μｍ以上であることが好ましい。

[0019] 本発明の樹脂光導波路（１），（２）は、波長１３１０ｎｍおよび波長１５５０ｎｍの少なくとも一方において、シングルモード光導波路であることが好ましい。

[0020] 本発明の樹脂光導波路（１），（２）において、前記樹脂光導波路のコアはフッ素を含む樹脂からなることが好ましい。

発明の効果

[0021] 本発明の樹脂光導波路（１），（２）は、一端側と、他端側とでコア幅が異なる特定の構造であることにより、気泡や樹脂由来の異物による、樹脂光導波路を伝播する光の伝達損失が軽減されている。そのため、シリコン光導波路と、樹脂光導波路とを低損失、かつ、低コストで接続するシリコンフォ

トニクスインターフェースでの使用に好適である。

図面の簡単な説明

[0022] [図1]図１は、本発明の樹脂光導波路の一構成例を示した斜視図である。

[図2]図２は、図１に示す樹脂光導波路１０の、コア露出部１４側の端面図である。

[図3]図３は、図１に示す樹脂光導波路１０のコア露出部を有しない側の端面図である。

[図4]図４は、樹脂光導波路と、シリコン光導波路と、がアディアバティック結合された複合光導波路の一構成例を示した斜視図である。

[図5]図５は、図４の複合光導波路１００の側面図である。

[図6]図６は、図４の複合光導波路１００のアディアバティック結合部位における横断面図である。

[図7]図７は、図６の部分拡大図である。

[図8]図８は、図４の複合光導波路１００のアディアバティック結合部位の部分縦断面図である。

発明を実施するための形態

[0023] 以下、図面を参照して本発明を説明する。

図１は、本発明の樹脂光導波路の一構成例を示した斜視図である。図１に示す樹脂光導波路１０は、コア１１、ならびに、該コア１１よりも屈折率が低いアンダークラッド１２およびオーバークラッド１３を備えている。コア１１の下方にはアンダークラッド１２が配されており、コア１１の上方には、オーバークラッド１３が配されている。但し、樹脂光導波路１０の一端側には、オーバークラッド１３が存在せずコア１１が露出したコア露出部１４が設けられている。図１に示す樹脂光導波路１０をシリコン光導波路とアディアバティック結合する際には、コア露出部１４がアディアバティック結合部位となる。図１に示す樹脂光導波路１０の他端側、すなわち、コア露出部１４を有さない側は、シングルモード光ファイバ（等）と接続するのに使用される。

[0024] なお、本発明の樹脂光導波路では、コアの周囲に配されるアンダークラッド、および、オーバークラッドのうち、コア露出部には存在しない側をオーバークラッドとする。したがって、コアの上方にアンダークラッドが配され、コアの下方にオーバークラッドが配されていてもよい。アンダークラッドおよびオーバークラッドの厚みは１０～２００μｍの間にあることが好ましい。アンダークラッドおよびオーバークラッドの厚みが１０μｍ未満では、光のコアへの閉じ込めが不十分となるおそれがある。好ましくは１５μｍ以上、より好ましくは２０μｍ以上である。アンダークラッドおよびオーバークラッドの厚みが２００μｍを超えると、樹脂光導波路を作製するとき、樹脂光導波路が反る可能性が高くなる。好ましくは１５０μｍ以下、より好ましくは２００μｍ以下である。

コア露出部は、詳しくは後述するように、オーバークラッドを形成する際に、フォトリソグラフィプロセスを用いて形成するのが一般的である。この場合、コア露出部を形成する前は、樹脂光導波路の全長にわたってオーバークラッドが形成されている。このようなものも本発明の樹脂光導波路に含まれる。

また、アディアバティック接続部はコアが露出していることが好ましいか、エバネッセント光によるアディアバティック接続を妨げなければ、クラッドが存在していてもよい。その場合、アディアバティック接続部でのクラッドの厚みは３μｍ以下であり、２μｍ以下が好ましく、１μｍ以下がより好ましい。

[0025] 図１に示す樹脂光導波路１０は、該樹脂光導波路における光の伝播方向に沿ってコア幅が異なっている。具体的には、該樹脂光導波路における光の伝播方向の一端側と他端側とのコア幅が異なっている。

図２は、図１に示す樹脂光導波路１０のコア露出部１４側の端面図であり、図３は、図１に示す樹脂光導波路１０のコア露出部を有しない側の端面図である。

図２に示すように、樹脂光導波路１０のコア露出部１４側（一端側）は、

コア１１端面形状がコア１１高さよりもコア１１幅の長さが大きい矩形である。一方、図３に示すように、樹脂光導波路１０のコア露出部を有しない側（他端側）は、コア露出部１４側のコア１１幅の長さよりもコア１１幅が短く、該コア１１の端面形状が略正方形である。

[0026] 図示した樹脂光導波路１０は、コア露出部１４側の端面（一端側の端面）が最大コア幅となり、コア露出部を有しない側の端面（他端側の端面）が最小コア幅となる。但し、本発明の樹脂光導波路は、最大コア幅となる部位や最小コア幅となる部位が樹脂光導波路の端面以外の部位であってもよい。例えば、樹脂光導波路における光の伝播方向の中間部位に最大コア幅となる部位や最小コア幅となる部位が存在してもよい。前者の場合、光の伝播方向における両方の端面または一方の端面が最小コア幅となる。後者の場合、光の伝播方向における両方の端面または一方の端面が最大コア幅となる。

[0027] 本発明の樹脂光導波路１０は、樹脂光導波路における最大コア幅が４μｍ以上１０μｍ以下であり、樹脂光導波路における最小コア幅が１μｍ以上４μｍ未満である。

樹脂光導波路における最大コア幅、最小コア幅が上記範囲であることが好ましい理由は以下に記載する通りである。

最大コア幅を４μｍ以上１０μｍ以下とすることにより、異物による樹脂光導波路を伝搬する光の伝達損失を小さくすることができる。また、曲げによる伝達損失を小さくすることができる。最小コア幅を１μｍ以上４μｍ未満とすることにより、シングルモードファイバとの接続損失を抑えることができる。

本発明の樹脂光導波路１０は、樹脂光導波路における最大コア幅が４．５μｍ以上９．５μｍ以下であることが好ましく、５μｍ以上９μｍ以下であることがより好ましい。一方、樹脂光導波路における最小コア幅が１．５μｍ以上３．５μｍ以下であることが好ましく、１．８μｍ以上３μｍ以下であることがより好ましい。

[0028] 本発明の樹脂光導波路１０は、最大コア幅、最小コア幅が上記範囲である

ため、コア幅が１μｍ以上４μｍ未満の部位（部位Ｓ）と、コア幅が４μｍ以上１０μｍ以下の部位（部位Ｌ）とに分けられる。上述したように、同一サイズの異物が存在する場合でも、当該異物が存在する部位のコアサイズが小さいほど、樹脂光導波路を伝播する光の伝達損失が大きくなる。本発明の樹脂光導波路１０の場合、部位Ｓに異物が存在すると、樹脂光導波路を伝播する光の伝達損失が大きくなるため問題となる。

本発明の樹脂光導波路１０は、部位Ｓの長さをＬＳ（μｍ）とし、部位Ｌの長さをＬＬ（μｍ）とするとき、樹脂光導波路の全長（ＬＳ＋ＬＬ）に占める上記ＬＳの割合が０．１～４０％であることにより、異物による樹脂光導波路を伝播する光の伝達損失が軽減される。樹脂光導波路の全長（ＬＳ＋ＬＬ）に占める上記ＬＳの割合が４０％より大きいと、部位Ｓに存在する異物により、樹脂光導波路を伝播する光の伝達損失が大きくなる。一方、樹脂光導波路の全長（ＬＳ＋ＬＬ）に占める上記ＬＳの割合が０．１％より小さいと、部位Ｓが要求される機能（例えば、シングルモード光ファイバとの接続部としての機能）を発揮することができなくなる。

樹脂光導波路の全長（ＬＳ＋ＬＬ）に占める上記ＬＳの割合は、１～３５％であることが好ましく、５～３０％であることがより好ましい。

[0029] 異物の存在により樹脂光導波路を伝播する光の伝達損失が大きくなるのは、光が伝播する経路に当該異物が存在する場合である。具体的には、コア内部やコアクラッド界面近傍に異物が存在する場合である。以下、本明細書において、コアクラッド界面近傍と記載した場合、コア中心からの距離が１５μｍ以内のコアクラッド界面近傍を指し、この中には、コアとクラッドとの界面およびクラッド内部が含まれる。

本発明の樹脂光導波路のうち、部位Ｓには、光の伝達損失を大きくするおそれがあるサイズの異物が、コア内部やコアクラッド界面近傍に存在しないことが求められる。光の伝達損失を大きくするおそれがある異物のサイズは異物の種類により異なる。

異物が泡欠陥の場合、部位Ｓのコア内部やコアクラッド界面近傍に最大径

が２μｍ以上の泡欠陥が存在しないことが求められる。部位Ｓのコア内部やコアクラッド界面近傍には最大径が３μｍ以上の泡欠陥が存在しないことが好ましく、最大径が４μｍ以上の泡欠陥が存在しないことがより好ましい。

異物が樹脂由来の異物の場合、異物とクラッド材料との屈折率差も影響する。異物とクラッド材料との屈折率差の絶対値が十分小さい場合は、コアクラッド界面近傍に異物が存在する場合でも、樹脂光導波路を伝播する光の伝達損失が大きくなるおそれがない。一方、異物とクラッド材料との屈折率差の絶対値が０．０３以上の場合は、コアクラッド界面近傍に異物が存在すると、樹脂光導波路を伝播する光の伝達損失が大きくなるおそれがある。

異物が樹脂由来の異物の場合、部位Ｓのコアクラッド界面近傍に、クラッド材料との屈折率差の絶対値が０．０３以上、かつ、最大径が８μｍ以上の異物が存在しないことが求められる。なお、クラッド材料との屈折率差を判断指標とする理由は、樹脂由来の異物はクラッド領域に存在することが多いためである。

部位Ｓのコアクラッド界面近傍に、クラッド材料との屈折率差の絶対値が０．０３以上、かつ、最大径が９μｍ以上の異物が存在しないことが好ましく、クラッド材料との屈折率差の絶対値が０．０３以上、かつ、最大径が１０μｍ以上の異物が存在しないことがより好ましい。

[0030] 本発明の樹脂光導波路についてさらに記載する。

（コア１１）

図示した樹脂光導波路１０は、一端側（コア露出部１４側）のコア１１幅が大きく、他端側（コア露出部を有しない側）のコア１１幅が小さい。本発明の樹脂光導波路は、樹脂光導波路の光の伝播方向に沿ってコア幅が異なる部位を有していればよく、コアの端面形状は図示した矩形や略正方形に限定されない。コアの端面形状（樹脂光導波路１０の内部では、コア１１の断面形状）は、例えば、台形、円形、楕円形であってもよい。また、コアの端面形状が矩形、略正方形、台形等の多角形である場合は、その角が丸みを帯びていてもよい。

[0031] 上述したように、アディアバティック結合部位では、コア１１のコア高さをある程度小さくしないと、伝播モードの広がりが大きくならず、シリコン光導波路に光を伝播させることができない。そのため、４μｍ程度がコア高さの上限となる。コア高さは、１～３μｍであることが好ましく、１．５～２．５μｍであることがより好ましい。

[0032] 図１～３に示す樹脂光導波路１０は、コアの数が１つであるが、樹脂光導波路におけるコアの数はこれに限定されず、図４，６に示す樹脂光導波路２００のコア２２０のように、一方向に沿って複数のコアがアレイ状に設けられていてもよい。この場合、図４に示す樹脂光導波路２００のコア２２０のように、コア同士の間隔を広げるため、曲げ領域を有していてもよい。曲げ領域は、コア幅が４μｍ以上１０μｍ以下の部位（部位Ｌ）であることが好ましい。

[0033] 上述したように、図１～３に示す樹脂光導波路１０は、コア１１ならびに、コア１１よりも屈折率が低いアンダークラッド１２およびオーバークラッド１３を備えている。この条件を満たす限り特に限定されず、コア１１は、その内部に屈折率分布を有していてもよい。この場合、コアの中心から遠位側に向けて屈折率が低くなる屈折率分布を有していてもよい。また、オーバークラッド側の屈折率が高くてアンダークラッド側の屈折率が低くなる屈折率分布を有していてもよいし、オーバークラッド側の屈折率が低くてアンダークラッド側の屈折率が高くなる屈折率分布を有していてもよい。

[0034]（アンダークラッド１２、オーバークラッド１３）

アンダークラッド１２、オーバークラッド１３は、単一の屈折率を有するものであってもよい。または、コア１１に対し近位側と遠位側とで屈折率が異なる部位を有していてもよい。この場合、コア１１に対し遠位側に向けて屈折率が低くなる構成であってもよく、コア１１から遠位側に向けて屈折率が高くなる構成であってもよい。

アンダークラッド１２、オーバークラッド１３の厚さは特に限定されないが、本発明の樹脂光導波路１０がシングルモード光導波路の場合、コア１１

の中心から１０μｍ程度の範囲内にあるクラッド部分にも伝搬する光が漏れ出ることから、光の伝搬損失を少なくするという観点から、１０μｍ以上であることが好ましい。また、アンダークラッド１２およびオーバークラッド１３の合計厚さが２０～１００μｍであることが好ましく、３０～８０μｍであることがより好ましい。

[0035] 図１に示す樹脂光導波路１０におけるコア露出部１４は、樹脂光導波路１０をシリコンフォトニクスインターフェースとして用いる際に、シリコン光導波路との接続部位となる。そのため、コア露出部１４は、シリコン光導波路との接続部位として使用するのに十分な長さを有していることが求められる。具体的には、樹脂光導波路の光伝搬方向におけるコア露出部１４の長さは１００μｍ以上であることが好ましく、３００μｍ以上であることが好ましく、５００μｍ以上であることがより好ましく、１０００μｍ以上であることがさらに好ましい。

但し、樹脂光導波路の光伝搬方向におけるコア露出部１４の長さが長すぎると、シリコン光導波路と接着剤（例えば、エポキシ樹脂）を使って接続する際に、接着層の吸収により接続損失が大きくなるおそれがある。そのため、樹脂光導波路の光伝搬方向におけるコア露出部１４の長さは、１００００μｍ以下であることが好ましく、５０００μｍ以下であることがより好ましく、３０００μｍ以下であることがさらに好ましい。

[0036] 本発明の樹脂光導波路において、コア１１、アンダークラッド１２、および、オーバークラッド１３の構成材料は、樹脂光導波路としての要求特性を満たす限り特に限定されないが、コア１１の構成材料はフッ素を含む樹脂であることがコア１１を伝搬する光の損失抑制という点で好ましい。

また、コア１１、アンダークラッド１２およびオーバークラッド１３の構成材料、ならびに、樹脂光導波路の製造手順については、例えば、下記文献の記載を参考にすることができる。

国際公開第２０１０／１０７００５号

日本国特開２０１３－１２０３３８号公報

日本国特開２０１２－６３６２０号公報

[0037] 上記文献を参考にして、図１に示す本発明の樹脂光導波路１０を製造する場合、樹脂光導波路１０のコア露出部１４は以下の手順で形成することができる。

スピンコート法を用いて、基材上に第一の硬化性樹脂組成物を塗布し、該第一の硬化性樹脂組成物を硬化させてアンダークラッドを形成する。次に、アンダークラッド上に第二の硬化性樹脂組成物をスピンコート法を用いて塗布した後、フォトリソグラフィプロセスを用いて、アンダークラッド上にコアを形成する。次に、アンダークラッドおよびコア上に第三の硬化物樹脂組成物をスピンコート法を用いて塗布し、該第三の硬化性樹脂組成物を硬化させて、オーバークラッドを形成する。オーバークラッドを形成する際に、フォトリソグラフィプロセスを用いて、オーバークラッドを有する領域と、オーバークラッドが無くコアが露出した領域（すなわち、コア露出部）と、を形成することができる。

[0038] 上述したように、本発明の樹脂光導波路は、樹脂光導波路における光の伝播方向に沿ってコア幅が異なる部位を有している。上述した手順にしたがって、樹脂光導波路を製造する際、該樹脂光導波路の光の伝播方向に沿ってコア幅が異なる部位を形成するには以下の手順を実施すればよい。

コア幅が光の伝搬方向に沿って異なる形状のフォトマスクを介して露光を行った後、現像することによってコアを形成する。この後必要に応じてポストベークを行う。

[0039] また、本発明の樹脂光導波路は、コア幅が１μｍ以上４μｍ未満の部位Ｓには、光の伝達損失を大きくするおそれがあるサイズの異物が、コア内部やコアクラッド界面近傍に存在しないことが求められる。

異物が泡欠陥の場合、部位Ｓのコア内部やコアクラッド界面近傍に最大径が２μｍ以上の泡欠陥が存在しないことが求められる。異物が樹脂由来の異物の場合は、部位Ｓのコアクラッド界面近傍に、クラッド材料との屈折率差の絶対値が０．０３以上、かつ、最大径が８μｍ以上の異物が存在しないこ

とが求められる。

部位Ｓのコア内部やコアクラッド界面近傍に上記の泡欠陥が存在しない樹脂光導波路を製造するには塗布を行う前に硬化性樹脂組成物を十分に静置して脱泡することが望ましい。もしくは、脱泡装置を利用して脱泡を行うことが望ましい。

部位Ｓのコアクラッド界面近傍に上記の異物由来の異物が存在しない樹脂光導波路を製造するには以下の手順を実施すればよい。塗布前に、硬化性樹脂組成物のろ過を行うことで組成物内の異物を取り除き、基材の洗浄を行うことで基材表面の異物を取り除く。また、空気中の異物の付着を防ぐため、これらの作業をクリーンルーム内で行うことが望ましく、静電気による異物の付着を防ぐため、静電気除去器（イオナイザー）を使用することが更に望ましい。

[0040] 本発明の樹脂光導波路は、シリコン光導波路と、樹脂光導波路と、を低損失、かつ、低コストで接続するシリコンフォトニクスインターフェースに使用されるため、シングルモード光導波路であることが、シングルモード光導波路を伝播する光信号を高密度できるため好ましい。この場合、波長１３１０ｎｍおよび１５５０ｎｍの少なくとも一方において、シングルモード光導波路であることが、シリコン光導波路やシングルモード光ファイバに対しても低損失で光を伝搬できるという点から好ましい。

[0041] 本発明の樹脂光導波路をシリコンフォトニクスインターフェースに用いる場合、樹脂光導波路のコア露出部において、シリコン光導波路と接続される。

実施例

[0042] 以下に実施例を用いて本発明をさらに詳しく説明するが、本発明はこれら実施例に限定されるものではない。

[0043] 以下に示す実施例では、樹脂光導波路の構造（サイズと屈折率）をＲＳｏｆｔ Ｄｅｓｉｇｎ Ｇｒｏｕｐ株式会社製のＲＳｏｆｔ ＣＡＤで定義し、シミュレーション・エンジンであるＲＳｏｆｔ Ｄｅｓｉｇｎ Ｇｒｏｕ

ｐ株式会社製のＢｅａｍＰｒｏｐ（有限差分ビーム伝搬法）で光伝搬のシミュレーションを行った。

[0044]（泡欠陥による伝達損失のシミュレーション解析１）

コア高さが２．０μｍで、コア幅が２．０μｍ、３．０μｍ、４．０μｍ、６．０μｍ、８．０μｍの５通りの構造の樹脂光導波路（コア高さは一定）を定義し、該樹脂光導波路のコア／クラッド界面に最大径（側面視）が１．０～２．５μｍの球状の泡欠陥が存在する場合を想定して、波長１３１０ｎｍの光の伝達損失の関係をシミュレーション解析した。上記以外でシミュレーション解析に使用した条件は以下に示す通りである。

（樹脂光導波路）

伝播モード：シングルモード

コア高さ：２．０μｍ

コア幅：２．０μｍ、３．０μｍ、４．０μｍ、６．０μｍ、８．０μｍ

コア断面形状：矩形（コア幅２．０μｍは正方形）

コア屈折率：１．５２６

クラッド厚み：８０μｍ

クラッド屈折率：１．５１３

泡欠陥屈折率：１．００

泡欠陥形状：球

泡サイズ（最大径）：１．０μｍ、１．５μｍ、２．０μｍ、２．５μｍ

結果を下記表に示す。なお、下記表中、Ａ－１，Ａ－２，Ａ－５，Ａ－６，Ａ－９～Ａ－２０が実施例、Ａ－３，Ａ－４，Ａ－７，Ａ－８が比較例である。

[0045] [表1]

表１

	A-1	A-2	A-3	A-4	A-5	A-6	A-7	A-8
コア幅(μm)	2.0	2.0	2.0	2.0	3.0	3.0	3.0	3.0
泡サイズ(μm)	1.0	1.5	2.0	2.5	1.0	1.5	2.0	2.5
損失(dB)	0.11	0.36	0.62	0.73	0.09	0.28	0.46	0.53

[表2]

表２

	A-9	A-10	A-11	A-12	A-13	A-14	A-15	A-16
コア幅(μm)	4.0	4.0	4.0	4.0	6.0	6.0	6.0	6.0
泡サイズ(μm)	1.0	1.5	2.0	2.5	1.0	1.5	2.0	2.5
損失(dB)	0.06	0.19	0.31	0.34	0.03	0.09	0.14	0.16

[表3]

表３

	A-17	A-18	A-19	A-20
コア幅(μm)	8.0	8.0	8.0	8.0
泡サイズ(μm)	1.0	1.5	2.0	2.5
損失(dB)	0.02	0.05	0.07	0.08

[0046] 表から明らかなように、コア幅が１μｍ以上４μｍ未満の部位に最大径が２μｍ以上の泡欠陥が存在するＡ－３，Ａ－４，Ａ－７，Ａ－８では、伝達損失が０．４５ｄＢ以上と大きかった。これに対し、コア幅が１μｍ以上４μｍ未満の部位に存在する泡欠陥の最大径が２μｍ未満のＡ－１，Ａ－２，Ａ－５，Ａ－６では、伝達損失が０．４５ｄＢ未満と小さかった。また、泡欠陥が存在する部位のコア幅が４μｍ以上のＡ－９～Ａ－２０では、泡欠陥の最大径が２μｍ未満の場合、２μｍ以上の場合のいずれも、伝達損失が０．４５ｄＢ未満と小さかった。

[0047] （樹脂由来異物による伝達損失のシミュレーション解析１）

コア高さが２．０μｍで、コア幅が２．０μｍ、３．０μｍ、４．０μｍ、６．０μｍの４通りの構造の樹脂光導波路を定義し、該樹脂光導波路のコア／クラッド界面に最大径（側面視）が４．０μｍ、８．０μｍの２通りで、クラッド材料との屈折率差（樹脂由来異物の屈折率－クラッド材料の屈折率）Ｄｎが－０．０３，－０．０２，－０．０１，０，０．０１，０．０２，０．０３が７通りの立方体状の樹脂由来異物が存在する場合を想定して、波長１３１０ｎｍの光の伝達損失の関係をシミュレーション解析した。上記以外でシミュレーション解析に使用した条件は以下に示す通りである。

（樹脂光導波路）

伝播モード：シングルモード

コア高さ：２．０μｍ

コア幅：２．０μｍ、３．０μｍ、４．０μｍ、６．０μｍ

コア断面形状：矩形（コア幅２μｍは正方形）

コア屈折率：１．５２６

クラッド厚み：８０μｍ

クラッド屈折率：１．５１３

屈折率差（樹脂由来異物の屈折率－クラッド材料の屈折率）Ｄｎ：－０．０３、－０．０２、－０．０１、０、０．０１、０．０２、０．０３

樹脂由来異物形状：直方体

異物サイズ（側面視、最大径）：４．０μｍ、８．０μｍ

結果を下記表に示す。なお、下記表中、Ｂ－１～Ｂ－７，Ｂ－９～Ｂ－１３，Ｂ－１５～Ｂ－２１，Ｂ－２３～Ｂ－２７，Ｂ－２９～Ｂ－５６が実施例、Ｂ－８，Ｂ－１４，Ｂ－２２，Ｂ－２８が比較例である。

[0048] [表4]

表４

	B-1	B-2	B-3	B-4	B-5	B-6	B-7
コア幅(μm)	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
異物サイズ(μm)	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
屈折率差 Dn	-0.03	-0.02	-0.01	0	0.01	0.02	0.03
損失(dB)	0.16	0.07	0.02	0.00	0.02	0.08	0.17

[表5]

表５

	B-8	B-9	B-10	B-11	B-12	B-13	B-14
コア幅(μm)	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
異物サイズ(μm)	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0
屈折率差 Dn	-0.03	-0.02	-0.01	0	0.01	0.02	0.03
損失(dB)	0.84	0.39	0.10	0.00	0.10	0.42	0.96

[表6]

表６

	B-15	B-16	B-17	B-18	B-19	B-20	B-21
コア幅(μm)	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
異物サイズ(μm)	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
屈折率差 Dn	-0.03	-0.02	-0.01	0	0.01	0.02	0.03
損失(dB)	0.11	0.05	0.01	0.00	0.01	0.06	0.13

[表7]

表７

	B-22	B-23	B-24	B-25	B-26	B-27	B-28
コア幅(μm)	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
異物サイズ(μm)	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0
屈折率差 Dn	-0.03	-0.02	-0.01	0	0.01	0.02	0.03
損失(dB)	0.53	0.25	0.07	0.00	0.07	0.28	0.65

[表8]

表８

	B-29	B-30	B-31	B-32	B-33	B-34	B-35
コア幅(μm)	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
異物サイズ(μm)	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
屈折率差 Dn	-0.03	-0.02	-0.01	0	0.01	0.02	0.03
損失(dB)	0.08	0.03	0.01	0.00	0.01	0.04	0.08

[表9]

表９

	B-36	B-37	B-38	B-39	B-40	B-41	B-42
コア幅(μm)	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
異物サイズ(μm)	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0
屈折率差 Dn	-0.03	-0.02	-0.01	0	0.01	0.02	0.03
損失(dB)	0.33	0.16	0.04	0.00	0.05	0.18	0.42

[表10]

表１０

	B-43	B-44	B-45	B-46	B-47	B-48	B-49
コア幅(μm)	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
異物サイズ(μm)	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
屈折率差 Dn	-0.03	-0.02	-0.01	0	0.01	0.02	0.03
損失(dB)	0.04	0.02	0.00	0.00	0.00	0.02	0.04

[表11]

表１１

	B-50	B-51	B-52	B-53	B-54	B-55	B-56
コア幅(μm)	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
異物サイズ(μm)	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0
屈折率差 Dn	-0.03	-0.02	-0.01	0	0.01	0.02	0.03
損失(dB)	0.15	0.07	0.02	0.00	0.02	0.09	0.19

[0049] 表から明らかなように、コア幅が１μｍ以上４μｍ未満の部位に、最大径が８μｍ以上で、クラッド材料との屈折率差の絶対値が０．０３以上の樹脂由来異物が存在するＢ－８，Ｂ－１４，Ｂ－２２，Ｂ－２８では、伝達損失が０．４５ｄＢ以上と大きかった。これに対して、コア幅が１μｍ以上４μｍ未満の部位に存在する樹脂由来異物の最大径が８μｍ未満、若しくは、クラッド材料との屈折率差の絶対値が０．０３未満のＢ－１～Ｂ－７，Ｂ－９～Ｂ－１３，Ｂ－１５～Ｂ－２１，Ｂ－２３～Ｂ－２７では、伝達損失が０．４５ｄＢ未満と小さかった。また、樹脂由来異物が存在する部位のコア幅が４μｍ以上のＢ－２９～Ｂ－５６では、樹脂由来異物の最大径が８μｍ未満の場合、８μｍ以上の場合、クラッド材料との屈折率差の絶対値が０．０３以下の場合、０．０３以上のいずれも、伝達損失が０．４５ｄＢ未満と小さかった。

[0050] （泡欠陥による伝達損失のシミュレーション解析２）

コア高さが２．０μｍで、一端側と他端側とでコア幅が異なる構造（一端側のコア幅が１μｍ以上４μｍ未満、他端側のコア幅が４μｍ以上１０μｍ以下）の樹脂光導波路を定義し、該樹脂光導波路のコア／クラッド界面に最大径（側面視）が１．０～２．５μｍの球状の泡欠陥が存在する場合を想定して、波長１３１０ｎｍの光の伝達損失の関係をシミュレーション解析した。上記以外でシミュレーション解析に使用した条件は以下に示す通りである。

（樹脂光導波路）

伝播モード：シングルモード

コア高さ：２．０μｍ

コア幅（一端側）：２．０μｍ、３．０μｍ

コア断面形状：矩形（コア幅２．０μｍは正方形）

コア幅（他端側）：６．０μｍ、８．０μｍ

コア断面形状：矩形

部位Ｓの長さＬＳ：５０μｍ、２００μｍ、３００μｍ、６００μｍ

部位Ｌの長さＬＬ：４００μｍ、６００μｍ、１０００μｍ，１２００μｍ

コア屈折率：１．５２６

クラッド厚み：８０μｍ

クラッド屈折率：１．５１３

泡欠陥屈折率：１．００

泡欠陥形状：球

泡サイズ（最大径）：１．０μｍ、１．５μｍ、２．５μｍ

結果を下記表に示す。なお、下記表中、Ｃ－１，Ｃ－３，Ｃ－５，Ｃ－６が実施例、Ｃ－２，Ｃ－４，Ｃ－７が比較例である。

[0051] [表12]

表１２

	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-6	C-7
長さLS(μm)	50	50	200	200	300	300	600
欠点のある位置でのコア幅(μm)	欠陥なし(2.0)	2.0	欠陥なし(3.0)	3.0	2.0	3.0	3.0
泡サイズ(μm)	欠陥なし	2.5	欠陥なし	2.5	1.5	1.0	2.5
長さLL(μm)	1200	1200	1000	1200	600	600	400
欠点のある位置でのコア幅(μm)	6.0	欠陥なし(6.0)	8.0	欠陥なし(8.0)	欠陥なし(8.0)	8.0	8.0
泡サイズ(μm)	2.5	欠陥なし	2.0	欠陥なし	欠陥なし	1.5	1.5
長さLSの割合(%)	4.0	4.0	16.7	14.3	33.3	33.3	60.0
損失(dB)	0.16	0.73	0.07	0.53	0.36	0.14	0.57

[0052] 表から明らかなように、コア幅が１μｍ以上４μｍ未満の部位Ｓに最大径が２μｍ以上の泡欠陥が存在するＣ－２，Ｃ－４，Ｃ－７では、伝達損失が０．４５ｄＢ以上と大きかったのに対して、コア幅が１μｍ以上４μｍ未満の部位Ｓに泡欠陥が存在しない、若しくは、泡欠陥の最大径が２μｍ未満のＣ－１，Ｃ－３，Ｃ－５，Ｃ－６では、コア幅が４μｍ以上１０μｍ以下の部位Ｌに泡欠陥が存在しない場合、最大径が２μｍ未満の泡欠陥が存在する場合、最大径が２μｍ以上の泡欠陥が存在する場合のいずれも伝達損失が０

．４５ｄＢ未満と小さかった。

[0053]（樹脂由来異物による伝達損失のシミュレーション解析２）

コア高さが２．０μｍで、一端側と他端側とでコア幅が異なる構造（一端側のコア幅が１μｍ以上４μｍ未満、他端側のコア幅が４μｍ以上１０μｍ以下）の樹脂光導波路を定義し、該樹脂光導波路のコア／クラッド界面に最大径（側面視）が４．０μｍ、８．０μｍの２通りで、クラッド材料との屈折率差（樹脂由来異物の屈折率－クラッド材料の屈折率）Ｄｎが－０．０３，－０．０２，０．０１，０．０２，０．０３の立方体状の樹脂由来異物が存在する場合を想定して、波長１３１０ｎｍの光の伝達損失の関係をシミュレーション解析した。上記以外でシミュレーション解析に使用した条件は以下に示す通りである。

（樹脂光導波路）

伝播モード：シングルモード

コア高さ：２．０μｍ

コア幅（一端側）：２．０μｍ、３．０μｍ

コア断面形状：矩形（コア幅２．０μｍは正方形）

コア幅（他端側）：６．０μｍ

コア断面形状：矩形

部位Ｓの長さＬＳ：５０μｍ、２００μｍ、３００μｍ、６００μｍ

部位Ｌの長さＬＬ：４００μｍ、６００μｍ、１０００μｍ，１２００μｍ

コア屈折率：１．５２６

クラッド厚み：８０μｍ

クラッド屈折率：１．５１３

屈折率差（樹脂由来異物の屈折率－クラッド材料の屈折率）Ｄｎ：－０．０３、－０．０２、０．０１、０．０２、０．０３

樹脂由来異物形状：直方体

異物サイズ（側面視、最大径）：４．０μｍ、８．０μｍ

結果を下記表に示す。なお、下記表中、Ｄ－１，Ｄ－３，Ｄ－５，Ｄ－６

が実施例、Ｄ－２，Ｄ－４，Ｄ－７が比較例である。

[0054] [表13]

表１３

	D-1	D-2	D-3	D-4	D-5	D-6	D-7
長さLS(μm)	50	50	200	200	300	300	600
欠点のある位置でのコア幅(μm)	欠点なし(2.0)	2.0	欠点なし(3.0)	3.0	2.0	2.0	2.0
異物サイズ(μm)	欠点なし	8.0	欠点なし	8.0	4.0	8.0	8.0
屈折率差 Dn	欠点なし	0.03	欠点なし	0.03	0.01	0.01	-0.03
長さLL(μm)	1200	1200	1000	1200	600	600	400
欠点のある位置でのコア幅(μm)	6.0	欠点なし(6.0)	6.0	欠点なし(6.0)	欠点なし(6.0)	6.0	6.0
異物サイズ(μm)	8.0	欠点なし	8.0	欠点なし	欠点なし	8.0	8.0
屈折率差 Dn	0.02	欠点なし	-0.02	欠点なし	欠点なし	0.01	0.01
長さLSの割合(%)	4.0	4.0	16.7	14.3	33.3	33.3	60.0
損失(dB)	0.09	0.96	0.07	0.65	0.02	0.12	0.87

[0055] 表から明らかなように、コア幅が１μｍ以上４μｍ未満の部位Ｓに、最大径が８μｍ以上で、クラッド材料との屈折率差の絶対値が０．０３以上の樹脂由来異物が存在するＤ－２，Ｄ－４，Ｄ－７では、伝達損失が０．４５ｄＢ以上と大きかったのに対して、コア幅が１μｍ以上４μｍ未満の部位Ｓに樹脂由来異物が存在しない、若しくは、樹脂由来異物の最大径が８μｍ未満、若しくは、クラッド材料との屈折率差の絶対値が０．０３未満のＤ－１，Ｄ－３，Ｄ－５，Ｄ－６では、コア幅が４μｍ以上１０μｍ以下の部位Ｌに樹脂由来異物が存在しない場合、最大径が８μｍ以上の樹脂由来異物が存在する場合のいずれも伝達損失が０．４５ｄＢ未満と小さかった。

[0056] 本発明を詳細にまた特定の実施態様を参照して説明したが、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２０１６年６月２日出願の日本特許出願（特願２０１６－１１０９０３）に基づくものであり、その内容はここに参照として取り込まれる。

符号の説明

[0057] １０：樹脂光導波路

１１：コア

１２：アンダークラッド

１３：オーバークラッド

１４：コア露出部

１００：複合光導波路

２００：樹脂光導波路

２１０：クラッド

２２０：コア

３００：シリコン光導波路

３１０：クラッド

３２０：コア

４００：コネクタ

５００：接着層

７００：アディアバティック結合部位

請求の範囲

[請求項1] コア、ならびに、該コアよりも屈折率が低いアンダークラッド、および、オーバークラッドを備える樹脂光導波路であって、該樹脂光導波路における光の伝播方向に沿ってコア幅が異なる部位を有しており、該樹脂光導波路における最大コア幅は４μｍ以上１０μｍ以下、最小コア幅は１μｍ以上４μｍ未満であり、前記樹脂光導波路のうち、コア幅が１μｍ以上４μｍ未満の部位の長さをＬＳ（μｍ）とし、コア幅が４μｍ以上１０μｍ以下の部位の長さをＬＬ（μｍ）とするとき、

前記樹脂光導波路の全長（ＬＳ＋ＬＬ）に占める前記ＬＳの割合が０．１～４０％であり、

前記コア幅が１μｍ以上４μｍ未満の部位には、コア内部、および、コア中心からの距離が１５μｍ以内のコアクラッド界面近傍に最大径が２μｍ以上の泡欠陥が存在しない、樹脂光導波路。

[請求項2] コア、ならびに、該コアよりも屈折率が低いアンダークラッド、および、オーバークラッドを備える樹脂光導波路であって、前記樹脂光導波路における光の伝播方向に沿ってコア幅が異なる部位を有しており、該樹脂光導波路における最大コア幅は４μｍ以上１０μｍ以下、最小コア幅は１μｍ以上４μｍ未満であり、前記樹脂光導波路のうち、コア幅が１μｍ以上４μｍ未満の部位の長さをＬＳ（μｍ）とし、コア幅が４μｍ以上１０μｍ以下の部位の長さをＬＬ（μｍ）とするとき、

前記樹脂光導波路の全長（ＬＳ＋ＬＬ）に占める前記ＬＳの割合が０．１～４０％であり、

前記コア幅が１μｍ以上４μｍ未満の部位には、コア内部および、コア中心からの距離が１５μｍ以内のコアクラッド界面近傍に、クラッド材料との屈折率差の絶対値が０．０３以上、かつ、最大径が８μｍ以上の欠陥が存在しない、樹脂光導波路。

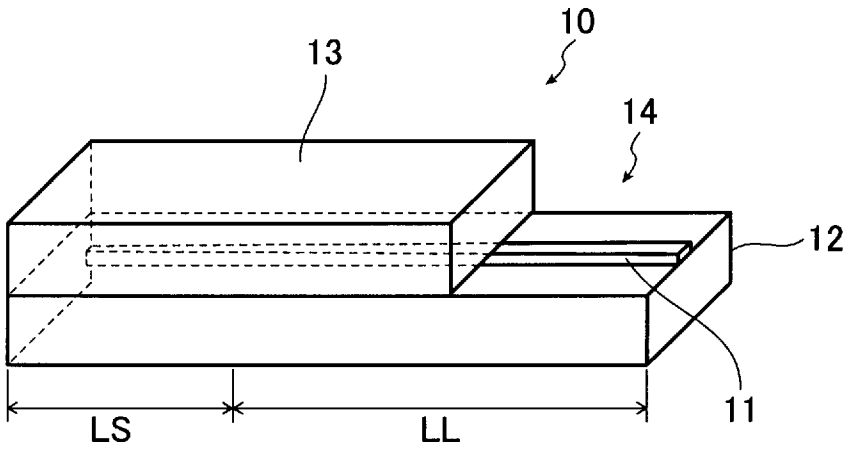
[請求項3] 樹脂光導波路における光の伝播方向の一端側と他端側とがコア幅が異なる、請求項１または２に記載の樹脂光導波路。

[請求項4] 前記樹脂光導波路の一端側に、オーバークラッドが存在せずコアおよび該コア周辺のアンダークラッドが露出したコア露出部が設けられており、樹脂光導波路の光伝搬方向における該コア露出部の長さが１００μｍ以上である、請求項１～３のいずれかに記載の樹脂光導波路。

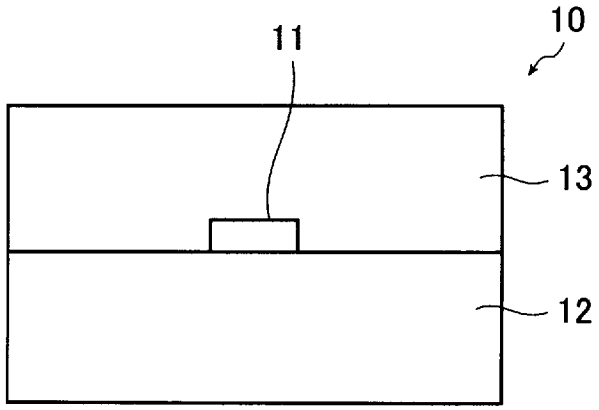
[請求項5] 波長１３１０ｎｍおよび波長１５５０ｎｍの少なくとも一方において、シングルモード光導波路である、請求項１～４のいずれかに記載の樹脂光導波路。

[請求項6] 前記樹脂光導波路のコアはフッ素を含む樹脂からなる、請求項１～５のいずれかに記載の樹脂光導波路。

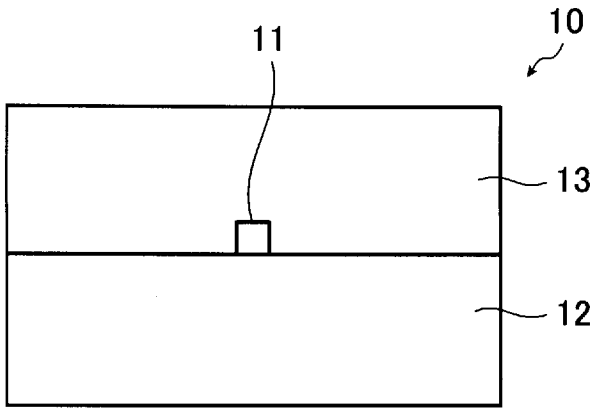
[図1]



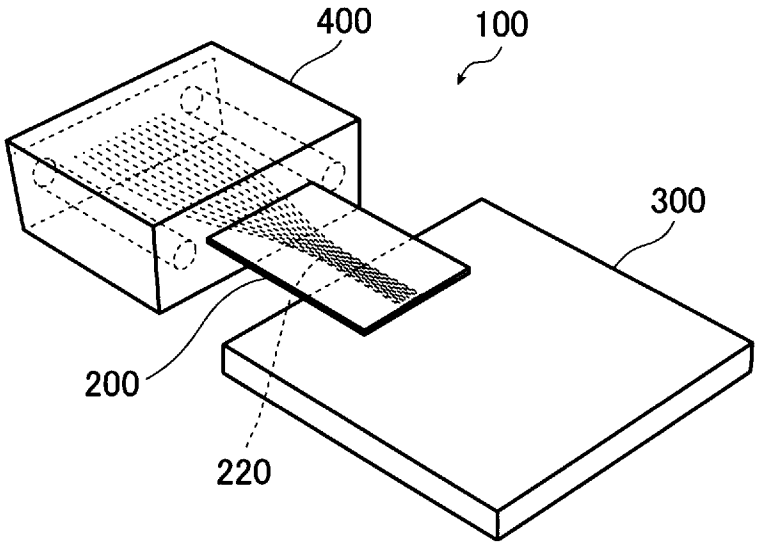
[図2]



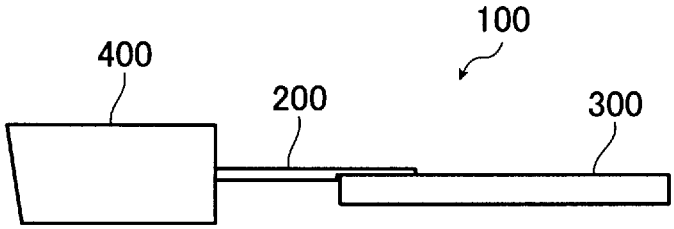
[図3]



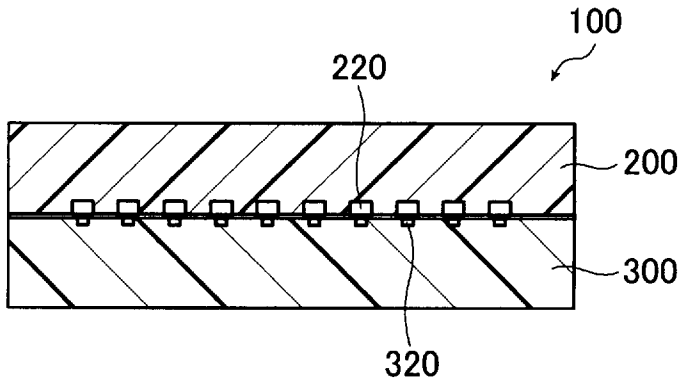
[図4]



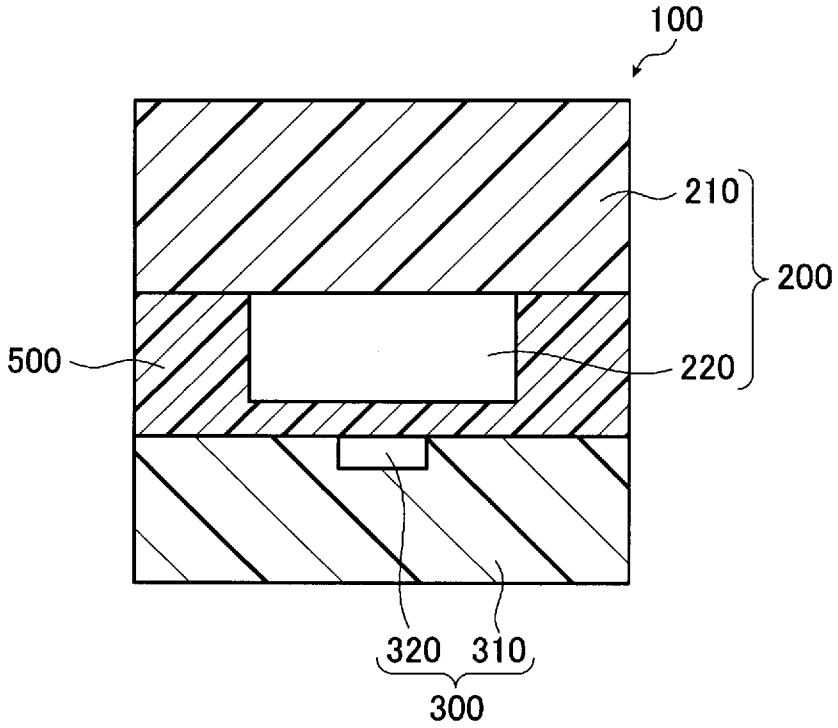
[図5]



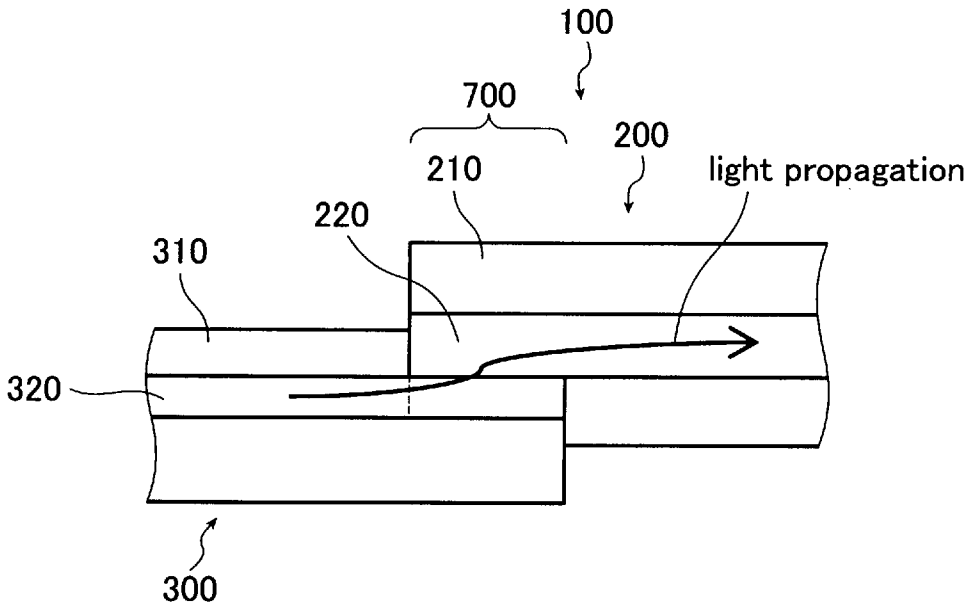
[図6]



[図7]


100
210
200
500
220
320
310
300

[図8]


100
700
200
210
light propagation
220
310
320
300

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2017/020131

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
G02B6/122(2006.01)i, *G02B6/12*(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)
G02B6/122, G02B6/12

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	1996-2017
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2017	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2017

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.
A	JP 5-323139 A (Nippon Telegraph and Telephone Corp.), 07 December 1993 (07.12.1993), paragraphs [0013] to [0024]; fig. 7 (Family: none)	1-6
A	JP 2012-225952 A (Sumitomo Bakelite Co., Ltd.), 15 November 2012 (15.11.2012), paragraphs [0040] to [0042], [0109] to [0113], [0234]; fig. 1, 5 (Family: none)	1-6
A	JP 2011-221195 A (Sumitomo Bakelite Co., Ltd.), 04 November 2011 (04.11.2011), paragraphs [0048] to [0098]; fig. 1 to 3 & WO 2011/125658 A1 & TW 201222034 A	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	Date of mailing of the international search report
15 August 2017 (15.08.17)	29 August 2017 (29.08.17)

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/JP2017/020131

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2006/0029348 A1 (OPTINETRICS, INC.), 09 February 2006 (09.02.2006), paragraphs [0067] to [0070]; fig. 5 (Family: none)	1-6

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１７／０２０１３１

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　G02B6/122(2006.01)i, G02B6/12(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.　G02B6/122, G02B6/12

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	１９７１－２０１７年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０１７年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０１７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
A	JP 5-323139 A（日本電信電話株式会社）1993.12.07, 段落［００１３］－［００２４］、図７（ファミリーなし）	1-6
A	JP 2012-225952 A（住友ベークライト株式会社）2012.11.15, 段落［００４０］－［００４２］、［０１０９］－［０１１３］、 ［０２３４］、図１，５（ファミリーなし）	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	国際調査報告の発送日
１５．０８．２０１７	２９．０８．２０１７

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）　２Ｌ　３４１３
佐藤　洋允
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	JP 2011-221195 A (住友ベークライト株式会社) 2011.11.04, 段落［００４８］－［００９８］、図１－３ & WO 2011/125658 A1 & TW 201222034 A	1-6
A	US 2006/0029348 A1 (OPTINETRICS, INC.) 2006.02.09, [0067]-[0070], FIG.5 (ファミリーなし)	1-6