(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
2023年8月3日(03.08.2023)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2023/145862 A1

(51) 国際特許分類:
G02B 6/024 (2006.01)

(21) 国際出願番号： PCT/JP2023/002603

(22) 国際出願日： 2023年1月27日(27.01.2023)

(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 2022-013537 2022年1月31日(31.01.2022) 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: 佐々木 義一 (**SASAKI, Yoshikazu**); 〒2858550 千葉県佐倉市六崎１４４０ 株式会社フジクラ佐倉事業所内 Chiba (JP). 林 和幸 (**HAYASHI, Kazuyuki**); 〒2858550 千葉県佐倉市六崎１４４０ 株式会社フジクラ佐倉事業所内 Chiba (JP). 松尾 昌一郎 (**MATSUO, Shoichiro**); 〒2858550 千葉県佐倉市六崎１４４０ 株式会社フジクラ佐倉事業所内 Chiba (JP).

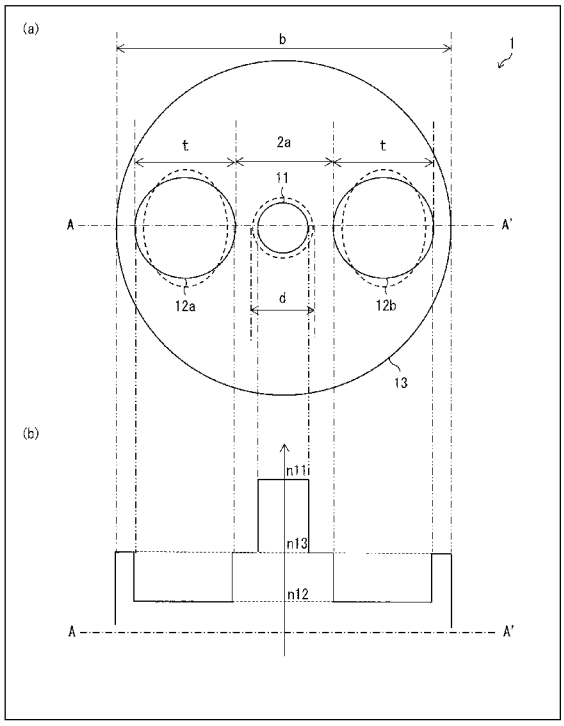
(74) 代理人: 弁理士法人 ＨＡＲＡＫＥＮＺＯ ＷＯＲＬＤ ＰＡＴＥＮＴ ＆ ＴＲＡＤＥＭＡＲＫ (**HARAKENZO WORLD PATENT & TRADEMARK**); 〒5300041 大阪府大阪市北区天神橋２丁目北２番６号 大和南森町ビル Osaka (JP).

(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, 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,

(54) **Title:** POLARIZATION-MAINTAINING FIBER

(54) 発明の名称： 偏波保持ファイバ

図１



(57) **Abstract:** A polarization-maintaining fiber (1) comprises a core (11), a pair of stress-applying parts (12a, 12b) that are positioned on both sides of the core (11), and cladding (13) that encloses the core (11) and the pair of stress-applying parts (12a, 12b). The polarization-maintaining fiber (1) exhibits a bending loss of at most 7 dB at a wavelength of 1.55 μm when bent to a bending radius of 5 mm and twisted on the order of one revolution per 31.4 mm of fiber length. It is thus possible to obtain a polarization-maintaining fiber in which bending loss can be suppressed to a level that can stand up to normal use, even if subjected to the degree of twisting that can occur during normal use.

(57) 要約：偏波保持ファイバ（１）は、コア（１１）と、コア（１１）の両側に配置された一対の応力付与部（１２ａ，１２ｂ）と、コア（１１）及び一対の応力付与部（１２ａ，１２ｂ）を内包するクラッド（１３）と、を備えている。偏波保持ファイバ（１）は、曲げ半径を５ｍｍとし、ファイバ長３１．４ｍｍあたりの捩れを１回転とした場合の波長１．５５μｍにおける曲げ損失が７ｄＢ以下である。これにより、通常の使用で生じ得る程度の捩れが生じても、曲げ損失を通常の使用に耐え得る程度に小さく抑えることが可能な偏波保持ファイバを実現する。

WO 2023/145862 A1

［続葉有］

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, 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, 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:

一　国際調査報告(条約第21条(3))

明　細　書

発明の名称 ： 偏波保持ファイバ

技術分野

[0001] 本発明は、一対の応力付与部を備えた偏波保持ファイバに関する。

背景技術

[0002] スマートフォンの普及、及び、データサービスの多様化に伴う光通信容量の増加に対応するために、光デジタルコヒーレント通信が広く用いられるようになった。また、最近では、光デジタルコヒーレント通信に用いる光トランシーバの個数を増やすことによって、光デジタルコヒーレント通信の更なる大容量化を図ることが検討されている。

[0003] 光デジタルコヒーレント通信を行うデバイスの接続には、偏波保持ファイバが用いられている。偏波保持ファイバを開示した文献としては、例えば、特許文献１が挙げられる。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：日本国特開２０１８－１５９９２６号

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] 光トランシーバの個数を増やすためには、光トランシーバを小型化することが好ましい。しかしながら、偏波保持ファイバを小型の光トランシーバに収容する場合、偏波保持ファイバを小さな曲げ半径で曲げる必要が生じ、曲げ損失の増加に伴う通信品質の劣化が伴う。また、偏波保持ファイバを小型の光トランシーバに収容する場合、偏波保持ファイバに曲げだけでなく、捩れが加わる場合がある。

[0006] そこで、発明者達は、捩れが加えられた偏波保持ファイバの曲げ損失について検討した。その結果、捩れが加えられた偏波保持ファイバは、捩れが加えられていない偏波保持ファイバと比べて極端に曲げ損失が大きくなること

を見出した。

[0007] 本発明の一態様は、上記の問題に鑑みてなされたものであり、その目的は、光トランシーバに収容する際、又は、センサに適用する際に生じ得る程度の捩れを与えても、曲げ損失を通常の使用に耐え得る程度に小さく抑えることが可能な偏波保持ファイバを実現することにある。

課題を解決するための手段

[0008] 本発明の態様１に係る偏波保持ファイバは、コアと、前記コアの両側に配置された一対の応力付与部と、前記コア及び前記一対の応力付与部を内包するクラッドと、を備え、ファイバ長を２ｍとし、曲げ半径を１４０ｍｍとした場合の遮断波長が１．４１μｍ以上１．５５μｍ未満であり、曲げ半径を５ｍｍとし、ファイバ長３１．４ｍｍあたりの捩れを１回転とした場合の波長１．５５μｍにおける曲げ損失が７ｄＢ以下である、ことを特徴とする。

発明の効果

[0009] 本発明の一態様によれば、光トランシーバに収容する際、又は、センサに適用する際に生じ得る程度の捩れを与えても、曲げ損失を通常の使用に耐え得る程度に小さく抑えることが可能な偏波保持ファイバを実現することができ得る。

図面の簡単な説明

[0010] [図1]（ａ）は、本発明の一実施形態に係る偏波保持ファイバの横断面を示す断面図である。（ｂ）は、その偏波保持ファイバの（ａ）に示す断面のＡＡ’直線における屈折率分布を示すグラフである。

発明を実施するための形態

[0011] （偏波保持ファイバの構造）

本発明の一実施形態に係る偏波保持ファイバ１の構造について、図１を参照して説明する。図１の（ａ）は、偏波保持ファイバ１の横断面を示す断面図である。図１の（ｂ）は、図１の（ａ）に示す断面のＡＡ’直線における偏波保持ファイバ１の屈折率分布を示すグラフである。ここで、横断面とは

、偏波保持ファイバ１の中心軸に直交する断面のことを指す。

[0012] 偏波保持ファイバ１は、図１の（ａ）に示すように、コア１１と、コア１１の両側に配置された一対の応力付与部１２ａ，１２ｂと、コア１１及び一対の応力付与部１２ａ，１２ｂを内包するクラッド１３と、を備えている。なお、偏波保持ファイバ１は、クラッド１３を覆う、被覆を備えていてもよい。偏波保持ファイバ１は、ＰＡＮＤＡ（Polarization-maintaining AND Absorption-reducing）ファイバと呼ばれることもある。

[0013] コア１１は、偏波保持ファイバ１の中心軸方向に延伸する柱状の領域である。コアの屈折率ｎ１１は、クラッド１３の屈折率ｎ１３よりも高い。コア１１は、例えば、アップドーパントが添加された石英ガラスにより構成される。コア１１に添加するアップドーパントとしては、例えば、ゲルマニウム（Ｇｅ）などが挙げられる。

[0014] 本実施形態において、コア１１の断面形状は、円形である。ただし、コア１１の断面形状は、これに限定されない。コア１１の断面形状は、例えば、楕円形、三日月形、又は非円形であってもよい。なお、コア１１の断面形状とは、コア１１の断面のうち、偏波保持ファイバ１の中心軸と直交する断面の形状のことを指す。

[0015] 応力付与部１２ａ，１２ｂは、偏波保持ファイバ１の中心軸方向に延伸する柱状の領域である。応力付与部１２ａ，１２ｂの屈折率ｎ１２は、クラッドの屈折率ｎ１３よりも低い。応力付与部１２ａ，１２ｂは、例えば、ダウンドーパントが添加された石英ガラスにより構成される。応力付与部１２ａ，１２ｂに添加するダウンドーパントしては、例えば、ホウ素（Ｂ）、フッ素（Ｆ）が挙げられる。

[0016] 本実施形態において、応力付与部１２ａ，１２ｂの断面形状は、円形（実線で図示）、又は、応力付与部１２ａ，１２ｂの並び方向を短軸方向とする楕円（点線で図示）である。ただし、応力付与部１２ａ，１２ｂの断面形状は、これらに限定されない。応力付与部１２ａ，１２ｂの断面形状は、例えば、三日月形、又は非円形であってもよい。なお、応力付与部１２ａ，１２

ｂの断面形状とは、応力付与部１２ａ，１２ｂの断面のうち、偏波保持ファイバ１の中心軸と直交する断面の形状のことを指す。

[0017] なお、本実施形態において、応力付与部１２ａ，１２ｂは、それぞれ、コア１１から離間している。これにより、後述する条件２又は条件３を満たす偏波保持ファイバ１を実現することができ得る。また、溶融延伸により偏波保持ファイバ１を製造する際に、応力付与部１２ａ，１２ｂからの応力によってコア１１が予期せぬ変形を被る可能性を低減することができ得る。また、コア１１が応力付与部１２ａ，１２ｂと接触している（例えば、食い込むように接触している）場合、材料不整合に起因して伝送損失が劣化する。これに対して、コア１１が応力付与部１２ａ，１２ｂから離間していると、構造不整合に起因する伝送損失の劣化を抑えることができ得る。

[0018] クラッド１３は、偏波保持ファイバ１の中心軸方向に延伸する柱状の領域である。クラッド１３の屈折率ｎ１３は、上述したように、コア１１の屈折率ｎ１１よりも低く、且つ、応力付与部１２ａ，１２ｂの屈折率ｎ１２よりも高い。クラッド１３は、例えば、石英ガラスにより構成される。

[0019] 本実施形態において、クラッド１３の断面形状は、円形である。ただし、クラッド１３の断面形状は、これに限定されない。クラッド１３の断面形状は、例えば、楕円形、三日月形、又は非円形であってもよい。なお、クラッド１３の断面形状とは、クラッド１３の断面のうち、偏波保持ファイバ１の中心軸と直交する断面の形状のことを指す。

[0020] なお、クラッド径は、８０μｍ以下であることが好ましい。この場合、例えば、光トランシーバに収容する際、又は、センサに適用する際の設置面積を小さく抑えることができるので、高密度実装が可能となり得る。剛性を小さく抑えることができるので、捩った際の偏波保持ファイバ１の機械的強度の低下を低減でき得る。

[0021] 本実施形態に係る偏波保持ファイバ１の特徴点は、下記の条件１を満たすことである。

[0022] 条件１：曲げ半径を５ｍｍとし、ファイバ長３１．４ｍｍあたり（１巻き

あたり、又は、概ね１巻きあたり）の捩れが１回転である場合の波長１．５５μｍにおける曲げ損失が７ｄＢ以下である。

[0023] これにより、偏波保持ファイバ１に通常の使用で生じ得る程度の捩れが生じても、偏波保持ファイバ１の曲げ損失を通常の使用に耐え得る程度に小さく抑えることができ得るという効果を奏する。ここで、通常の使用で生じ得る程度の捩れとは、例えば、偏波保持ファイバ１を光トランシーバの筐体に収容する際、或いは、偏波保持ファイバ１をセンサに適用する際に生じる捩れである。また、通常の使用に耐え得る程度の曲げ損失とは、例えば、偏波保持ファイバ１を用いた光通信において信号光に重畳された情報が損なわれない程度の曲げ損失である。

[0024] なお、上記の条件１に関して、上記の曲げ損失は、７ｄＢ以下の任意の値であり得る。したがって、例えば、条件１を満たす偏波保持ファイバ１から、上記の曲げ損失が特定の数値である偏波保持ファイバ１、又は、上記の曲げ損失が特定の数値範囲に含まれる偏波保持ファイバ１を除いたものも、上記の効果を奏する偏波保持ファイバ１として、本願明細書の開示範囲に含まれる。

[0025] 偏波保持ファイバ１に捩れを与えた場合の曲げ損失は、遮断波長において最小になる傾向がある。したがって、遮断波長を使用波長（本実施形態においては１．５５μｍ）に近づけることによって、捩れ及び曲げが生じた場合にコア１１からクラッド１３に漏出する光の量を抑えることができ得る。また、遮断波長を使用波長よりも小さくすることによって、使用波長におけるシングルモード伝送を実現することができ得る。本願発明者達は、これらの点に着目し、遮断波長が下記の条件１ａを満たす場合、捩れが生じた場合の曲げ損失が上記の条件１を満たすと共に、使用波長におけるシングルモード伝送が可能な偏波保持ファイバ１を実現し得ることを見出した。

[0026] 条件１ａ：ファイバ長が２ｍ、曲げ半径が１４０ｍｍである場合の遮断波長が１．４１μｍ以上１．５５μｍ未満である。

[0027] なお、上記の条件１ａに関して、上記遮断波長は、１．４１μｍ以上１．

５５μｍ未満の任意で値であり得る。したがって、例えば、条件１及び条件１ａを満たす偏波保持ファイバ１から、上記遮断波長が特定の値である偏波保持ファイバ１、又は、上記遮断波長が特定の数値範囲に含まれる偏波保持ファイバ１を除いたものも、上記の条件１を満たす偏波保持ファイバ１として、本明細書の開示範囲に含まれる。

[0028] なお、遮断波長は、偏波保持ファイバ１への側圧（例えば、偏波保持ファイバ１の側面を覆う樹脂被覆の劣化により生じる側圧）や外乱に起因して長波長側にシフトし得る。この点を考慮すると、遮断波長の上限値と使用波長との間に一定のマージンがあることが好ましい。なぜなら、側圧や外乱に起因して遮断波長が長波長側にシフトしても、遮断波長が使用波長を超える、すなわち、使用波長におけるシングルモード伝送が困難になる可能性を低減できるからである。ここで、例えば、上記遮断波長の下限値として１．４１μｍと設定した場合、上記側圧や外乱に起因して遮断波長が長波長側にシフトしても、遮断波長が使用波長を超える事を抑制でき得る為、使用波長におけるシングルモード伝送が困難になる可能性を一層低減でき得る。

[0029] また、クラッド１３に対するコア１１の比屈折率差が大きくなると、コア１１を伝搬する光のコア１１への閉じ込めが強くなる傾向がある。したがって、クラッド１３に対するコア１１の比屈折率差が大きい偏波保持ファイバ１ほど、捩れを与えた場合の曲げ損失を小さく抑えることができる。このため、クラッド１３に対するコア１１の比屈折率差が下記の条件１ｂを満たす場合、上記の条件１をより確実に満たすことが可能になる。

[0030] 条件１ｂ：クラッド１３に対するコア１１の比屈折率差が０．３６％以上である。

[0031] また、使用波長（本実施形態においては１．５５μｍ）におけるモードフィールド径が小さいことは、コア１１を伝搬する光のコア１１への閉じ込めが強いことを意味する。したがって、使用波長におけるモードフィールド径が小さい偏波保持ファイバ１ほど、捩れを与えた場合の曲げ損失を小さく抑えることができる。このため、使用波長におけるモードフィールド径が下記

の条件１ｃを満たす場合、上記の条件１をより確実に満たすことが可能になる。

[0032] 条件１ｃ：波長１．５５μｍにおけるモードフィールド径が９．２μｍ以下である。

[0033] なお、上記の条件１ｂに関して、上記比屈折率差は、０．３６％以上の任意の値であり得る。したがって、例えば、上記の条件１ａ，１ｂ，１ｃを満たす偏波保持ファイバ１から、上記比屈折率差が特定の値である偏波保持ファイバ１、又は、上記比屈折率差が特定の数値範囲に含まれる偏波保持ファイバ１を除いたものも、上記の条件１を満たす偏波保持ファイバ１として、本明細書の開示範囲に含まれる。

[0034] なお、上記の条件１ｃに関して、上記モードフィールド径は、９．２μｍ以下の任意の値であり得る。したがって、例えば、上記の条件１ａ，１ｂ，１ｃを満たす偏波保持ファイバ１から、上記モードフィール径が特定の数値である、又は、上記モードフィールド径が特定の数値範囲に含まれる偏波保持ファイバ１を除いたものも、上記の条件１を満たす偏波保持ファイバ１として、本明細書の開示範囲に含まれる。

[0035] （偏波保持ファイバの実施例）

表１は、７種類の偏波保持ファイバＡ～Ｇについて、（１）捩りを加えずに半径５ｍｍのマンドレルに１０回巻きにした場合の曲げ損失、及び、（２）ファイバ長３１．４ｍｍあたり１回転（３６０°）の捩れを加えて半径５ｍｍのマンドレルに１０回巻きした場合の曲げ損失を測定した結果である。

[表1]

項目	単位	A	B	C	D	E	F	G
使用波長	μm	1.55	1.55	1.55	1.55	1.55	1.55	1.55
遮断波長 (ファイバ長2m、R=140 mm)	μm	1.41	1.45	1.47	1.51	1.45	1.28	1.33
モードフィールド径	μm	9.2	9.1	8.8	8.4	8.0	9.4	9.4
クラッド径	μm	80	80	80	80	80	80	125
比屈折率差	%	0.36	0.41	0.45	0.5	0.55	0.33	0.35
曲げ損失 (R=5 mm10巻き、捩りなし)	dB	0.20	0.04	0.16	0.01	0.16	0.54	0.98
曲げ損失 (R=5 mm10巻き 1巻きあたり１回捩り)	dB	7.0	2.8	1.2	0.5	0.4	34.7	11.0

[0036] なお、表１には、曲げ損失に対して特に支配的な影響を与えるパラメータとして、使用波長、遮断波長、モードフィールド径、クラッド径、比屈折率差を併せて示している。ここで、遮断波長は、ファイバ長が２ｍ、曲げ半径が１４０ｍｍである場合の遮断波長である。また、モードフィールド径は、波長１．５５μｍ（使用波長）におけるモードフィールド径である。また、比屈折率差は、クラッドに対するコアの比屈折率差である。

[0037] 表１によれば、偏波保持ファイバＡ～Ｅは、上記の条件１及び条件１ａを満たすことが分かる。したがって、偏波保持ファイバＡ～Ｅは、実施例である。一方、表１によれば、偏波保持ファイバＦ～Ｇは、上述した条件１を満たさないことが分かる。したがって、偏波保持ファイバＦ～Ｇは、比較例である。

[0038] 実施例に係る偏波保持ファイバＡ～Ｅにおいて、比屈折率差は、０．３６％以上であった。一方、比較例に係る偏波保持ファイバＦ～Ｇにおいて、比屈折率差は、０．３６％未満であった。したがって、偏波保持ファイバが上記の条件１を満たすためには、比屈折率差が上記の条件１ｂを満たすことが好ましいことが確かめられた。なお、実施例に係る偏波保持ファイバＡ～Ｅにおいて、比屈折率差は、０．５５％以下であった。したがって、偏波保持ファイバがより確実に上記の条件１を満たすためには、比屈折率差は下記の条件１ｂ’を満たすことが好ましい。ただし、捩りを与えたときに曲げ損失を小さくするために有効な条件は、比屈折率差が０．３６％以上であることであり、比屈折率差が０．５５％以下であることは、条件１を満たすうえで必須ではない。

[0039] 条件１ｂ’：クラッド１３に対するコア１１の比屈折率差が０．３６％以上０．５５％以下である。

[0040] また、実施例に係る偏波保持ファイバＡ～Ｅにおいて、モードフィールド径は、９．２μｍ以下あった。一方、比較例に係る偏波保持ファイバＦ～Ｇにおいて、モードフィールド径は、９．２μｍよりも大きかった。したがって、偏波保持ファイバが上記の条件１を満たすためには、モードフィールド

径が上記の条件１ｃを満たすことが好ましいことが確かめられた。なお、実施例に係る偏波保持ファイバＡ～Ｅにおいて、モードフィールド径は、８．０μｍ以上であった。したがって、偏波保持ファイバがより確実に上記の条件１を満たすために、モードフィールド径は、下記の条件１ｃ’を満たすことが好ましい。ただし、捩りを与えたときに曲げ損失を小さくするために有効な条件は、モードフィールド径が９．２μｍ以下であることであり、モードフィールド径が８．０μｍ以上であることは、条件１を満たすうえで必須ではない。

[0041] 条件１ｃ’：波長１．５５μｍにおけるモードフィールド径が８．０μｍ以上９．２μｍ以下である。

[0042] なお、光トランシーバやセンサに用いることが可能なチューナブルレーザなどの光源は、例えば、１．５５μｍ帯での出射光径が８．０μｍ以上９．５μｍ以下であることが典型的である。偏波保持ファイバ１が条件１ｃ’を満たす場合、このような光源の出射光径と偏波保持ファイバ１のモードフィールド径との差を小さく抑えることができる。したがって、上記の条件１ｃ’を満たす偏波保持ファイバには、このような光源と接続する場合の接続損失が小さくなり得るという更なる利点がある。また、上記の条件１ｃ’のうち、８．０μｍ以上の値を満たす場合、モードフィールド径が大きくなる傾向にある。したがって、上記の条件１ｃ’を満たす偏波保持ファイバの場合、上述した光源のうち、１．５５μｍ帯での出射光径が比較的大きくなる場合に当該光源と偏波保持ファイバとの接続損失を抑制でき得る。また、上記の条件１ｂ’のうち、０．５５％以下の値を満たす場合、モードフィールド径が大きくなる傾向にある。したがって、上記の条件１ｂ’を満たす偏波保持ファイバの場合、上述した光源のうち、１．５５μｍ帯での出射光径が比較的大きくなる場合に当該光源と偏波保持ファイバとの接続損失を抑制でき得る。

[0043] 表２は、表１に示した偏波保持ファイバＡ～Ｆについて、（１）捩りも曲げも加えない場合の波長１．５５μｍにおける偏波クロストーク、（２）捩

りを加えずに半径５ｍｍのマンドレルに１０回巻きにした場合の波長１．５５μｍにおける偏波クロストーク、（３）ファイバ長３１．４ｍｍあたり１回転（３６０°）の捩れを加えて半径５ｍｍのマンドレルに１０回巻きした場合の波長１．５５μｍにおける偏波クロストーク、及び、（４）捩りを加えずに半径５ｍｍのマンドレルに１０回巻きにした場合の波長１．５５μｍにおける偏波クロストークとファイバ長３１．４ｍｍあたり１回転の捩れを加えて半径５ｍｍのマンドレルに１０回巻きした場合の波長１．５５μｍにおける偏波クロストークとの比を測定した結果を示す。

[表2]

項目	単位	A	B	C	D	E	F	G
使用波長	μm	1.55	1.55	1.55	1.55	1.55	1.55	1.55
クラッド径 b	μm	80	80	80	80	80	80	125
モードフィールド径 d	μm	9.2	9.1	8.8	8.4	8.0	9.4	9.4
応力付与部径 t	μm	25.5	25.4	24.3	25.1	22.5	25.3	35.5
応力付与部間隔 a	μm	5.02	5.02	5.23	5.15	4.44	4.85	7.86
正規化応力付与部間隔 2a/d	-	1.091	1.103	1.188	1.226	1.110	1.031	1.672
正規化応力付与部径 t/b	-	0.319	0.317	0.303	0.314	0.281	0.317	0.284
応力付与部非円率	%	4.5	4.3	4.2	4.2	4.2	6.2	3.4
偏波クロストーク （曲げ無し、捩りなし）	dB	-33	-32	-30	-30	-30	-42	-38
偏波クロストーク (R=5 mm10巻き)	dB	-31	-36	-32	-32	-38	-25	-29
偏波クロストーク (R=5 mm10巻き 1巻きあたり１回捩り)	dB	-25	-29	-30	-32	-33	-14	-20
偏波クロストーク比率 （(R=5 mm10巻き 捩りなし/あり）	-	1.24	1.26	1.08	1.00	1.18	1.81	1.44

[0044] なお、表２には、偏波クロストークに対して特に支配的な影響を与えるパラメータとして、使用波長、クラッド径ｂ、モードフィールド径ｄ、応力付与部径ｔ、応力付与部間隔ａ、正規化応力付与部間隔２ａ／ｄ、正規化応力付与部径ｔ／ｂ、応力付与部非円率を一覧した表である。ここで、応力付与部間隔ａは、２つの応力付与部１２ａ，１２ｂの最短距離の半分である。また、応力付与部径ｔは、応力付与部１２ａ，１２ｂが円である場合、その円の直径であり、応力付与部１２ａ，１２ｂが楕円である場合、その楕円の短軸の長さ（短軸半径の２倍）と長軸の長さ（長軸半径の２倍）との平均値である。ここでは、長軸の長さを、応力付与部径ｔとしてもよい。また、応力付与部１２ａ，１２ｂが円又は楕円以外の形状（例えば三日月型）である場

合、応力付与部径ｔは、その形状に外接する仮想楕円の短軸の長さ（短軸半径の２倍）である。また、応力部非円率は、応力付与部１２ａ，１２ｂが楕円である場合における、長軸の長さと短軸の長さとの差を応力付与部径ｔで除した商である。また、正規化応力付与部間隔２ａ／ｄは、応力付与部間隔ａの２倍をモードフィールド径ｄで正規化した値、すなわち、応力付与部間隔ａの２倍をモードフィールド径ｄで除した商である。なお、正規化応力付与部間隔は、応力付与部間隔ａの２倍をコア径で正規化した値として定義されることもあるが、本明細書では、モードフィールド径が偏波クロストークに特に影響を与えるパラメータであることを考慮し、応力付与部間隔ａの２倍をモードフィールド径ｄで正規化した値として定義している。モードフィールド径は、コア径に強く相関するので、本明細書の定義を採用しても差し支えない。また、正規化応力付与部径ｔ／ｂは、応力付与部径ｔをクラッド径ｂで正規化した値、すなわち、応力付与部径ｔをクラッド径ｂで除した商である。

[0045] 表２によれば、実施例に係る偏波保持ファイバＡ～Ｅについて、下記の条件２を満たすことが分かる。下記の条件２を満たせば、偏波保持ファイバ１に通常の使用で生じ得る程度の捩れが生じても、偏波保持ファイバ１の偏波クロストークを通常の使用に耐え得る程度に小さく抑えることができ得るという効果を奏する。

[0046] 条件２：曲げ半径を５ｍｍとし、ファイバ長３１．４ｍｍあたりの捩れを１回転とした場合の波長１．５５μｍにおける偏波クロストークが－２５ｄＢ以下であることが分かる。

[0047] また、表２によれば、実施例に係る偏波保持ファイバＡ～Ｅについて、下記の条件３を満たすことが分かる。下記の条件３を満たせば、偏波保持ファイバ１に通常の使用で生じ得る程度の捩れが生じても、偏波保持ファイバ１の偏波クロストークを通常の使用に耐え得る程度に小さく抑えることができ得るという効果を奏する。

[0048] 条件３：曲げ半径を５ｍｍとし、捩れをなくした場合の波長１．５５μｍ

における偏波クロストークと、曲げ半径を５ｍｍとし、ファイバ長３１．４ｍｍあたりの捩れを１回転とした場合の波長１．５５μｍにおける偏波クロストークとの比が１．２６以下であることが分かる。

[0049] また、表２に示すように、実施例に係る偏波保持ファイバＡ～Ｅにおいて、正規化応力付与部間隔２ａ／ｄは、１．０９１以上１．２２６以下であった。したがって、偏波保持ファイバが上記の条件２又は条件３を満たすために、正規化応力付与部間隔２ａ／ｄは、１．０９１以上１．２２６以下であることが好ましいことが分かった。

[0050] また、表２に示すように、実施例に係る偏波保持ファイバＡ～Ｅにおいて、正規化応力付与部径ｔ／ｂは、０．２８１以上０．３１９以下であった。したがって、偏波保持ファイバが上記の条件２又は条件３を満たすために、正規化応力付与部径ｔ／ｂは、０．２８１以上０．３１９以下であることが好ましいことが分かった。

[0051] また、表２に示すように、実施例に係る偏波保持ファイバＡ～Ｅにおいて、応力付与部１２ａ，１２ｂの非円率は、４．２％以上４．５％以下であった。したがって、偏波保持ファイバが上記の条件２又は条件３を満たすために、応力付与部１２ａ，１２ｂの非円率は、４．２％以上４．５％以下であることが好ましいことが分かった。

[0052] （付記事項１）

本発明は、上述した各実施形態に限定されるものでなく、請求項に示した範囲で種々の変更が可能である。上述した実施形態に含まれる各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。

[0053] （付記事項２）

本発明の態様１に係る偏波保持ファイバは、コアと、前記コアの両側に配置された一対の応力付与部と、前記コア及び前記一対の応力付与部を内包するクラッドと、を備え、ファイバ長を２ｍとし、曲げ半径を１４０ｍｍとした場合の遮断波長が１．４１μｍ以上１．５５μｍ未満であり、曲げ半径を

５ｍｍとし、ファイバ長３１．４ｍｍあたりの捩れを１回転とした場合の波長１．５５μｍにおける曲げ損失が７ｄＢ以下である、ことを特徴とする。

[0054] 本発明の態様２に係る偏波保持ファイバにおいては、態様１に構成に加えて、前記クラッドに対する前記コアの比屈折率差が０．３６％以上であり、波長１．５５μｍにおけるモードフィールド径が９．２μｍ以下である、という構成が採用されている。

[0055] 本発明の態様３に係る偏波保持ファイバにおいては、態様２に構成に加えて、前記クラッドに対する前記コアの比屈折率差が０．３６％以上０．５５％以下であり、波長１．５５μｍにおけるモードフィールド径が８．０μｍ以上９．２μｍ以下である、という構成が採用されている。

[0056] 本発明の態様４に係る偏波保持ファイバにおいては、態様１～３に構成に加えて、曲げ半径を５ｍｍとし、ファイバ長３１．４ｍｍあたりの捩れを１回転とした場合の波長１．５５μｍにおける偏波クロストークが－２５ｄＢ以下である、という構成が採用されている。

[0057] 本発明の態様５に係る偏波保持ファイバにおいては、態様１～４の何れかの構成に加えて、曲げ半径を５ｍｍとし、捩れをなくした場合の波長１．５５μｍにおける偏波クロストークと、曲げ半径を５ｍｍとし、ファイバ長３１．４ｍｍあたりの捩れを１回転とした場合の波長１．５５μｍにおける偏波クロストークとの比が１．２６以下である、という構成が採用されている。

[0058] 本発明の態様６に係る偏波保持ファイバにおいては、態様１～５の何れかの構成に加えて、前記一対の応力付与部の各々の断面のうち、前記偏波保持ファイバの中心軸に直交する断面は、前記一対の応力付与部の並び方向を短軸方向とする楕円であり、その非円率は、４．２％以上４．５％以下である、という構成が採用されている。

[0059] 本発明の態様７に係る偏波保持ファイバにおいては、態様１～６の何れかの構成に加えて、前記一対の応力付与部は、それぞれ、前記コアから離間している、という構成が採用されている。

[0060] 本発明の態様８に係る偏波保持ファイバにおいては、態様１～７の何れかの構成に加えて、応力付与部間隔ａの２倍を波長１．５５μｍにおけるモードフィールド径ｄで正規化した正規化応力付与部間隔２ａ／ｄが１．０９１以上１．２２６以下である、という構成が採用されている。

[0061] 本発明の態様９に係る偏波保持ファイバにおいては、態様１～８の何れかの構成に加えて、応力付与部径ｔをクラッド径ｂで正規化した正規化応力付与部径ｔ／ｂが０．２８１以上０．３１９以下である、という構成が採用されている。

[0062] 本発明の態様１０に係る偏波保持ファイバにおいては、態様１～９の何れかの構成に加えて、前記クラッドのクラッド径が８０μｍ以下である、という構成が採用されている。

符号の説明

[0063]

１	偏波保持ファイバ
１１	コア
１２ａ，１２ｂ	応力付与部
１３	クラッド

請求の範囲

[請求項1] コアと、

前記コアの両側に配置された一対の応力付与部と、

前記コア及び前記一対の応力付与部を内包するクラッドと、を備え、

ファイバ長を２ｍとし、曲げ半径を１４０ｍｍとした場合の遮断波長が１．４１μｍ以上１．５５μｍ未満であり、

曲げ半径を５ｍｍとし、ファイバ長３１．４ｍｍあたりの捩れを１回転とした場合の波長１．５５μｍにおける曲げ損失が７ｄＢ以下である、

ことを特徴とする偏波保持ファイバ。

[請求項2] 前記クラッドに対する前記コアの比屈折率差が０．３６％以上であり、

波長１．５５μｍにおけるモードフィールド径が９．２μｍ以下である、

ことを特徴とする請求項１に記載の偏波保持ファイバ。

[請求項3] 前記クラッドに対する前記コアの比屈折率差が０．３６％以上０．５５％以下であり、

波長１．５５μｍにおけるモードフィールド径が８．０μｍ以上９．２μｍ以下である、

ことを特徴とする請求項２に記載の偏波保持ファイバ。

[請求項4] 曲げ半径を５ｍｍとし、ファイバ長３１．４ｍｍあたりの捩れを１回転とした場合の波長１．５５μｍにおける偏波クロストークが－２５ｄＢ以下である、

ことを特徴とする請求項１～３の何れか一項に記載の偏波保持ファイバ。

[請求項5] 曲げ半径を５ｍｍとし、捩れをなくした場合の波長１．５５μｍにおける偏波クロストークと、曲げ半径を５ｍｍとし、ファイバ長３１

．４ｍｍあたりの捩れを１回転とした場合の波長１．５５μｍにおける偏波クロストークとの比が１．２６以下である、

ことを特徴とする請求項１～４の何れか一項に記載の偏波保持ファイバ。

[請求項6] 前記一対の応力付与部の各々の断面のうち、前記偏波保持ファイバの中心軸に直交する断面は、前記一対の応力付与部の並び方向を短軸方向とする楕円であり、その非円率は、４．２％以上４．５％以下である、

ことを特徴とする請求項１～５の何れか一項に記載の偏波保持ファイバ。

[請求項7] 前記一対の応力付与部は、それぞれ、前記コアから離間している、

ことを特徴とする請求項１～６の何れか一項に記載の偏波保持ファイバ。

[請求項8] 応力付与部間隔ａの２倍を波長１．５５μｍにおけるモードフィールド径ｄで正規化した正規化応力付与部間隔２ａ／ｄが１．０９１以上１．２２６以下である、

ことを特徴とする請求項１～７の何れか一項に記載の偏波保持ファイバ。

[請求項9] 応力付与部径ｔをクラッド径ｂで正規化した正規化応力付与部径ｔ／ｂが０．２８１以上０．３１９以下である、

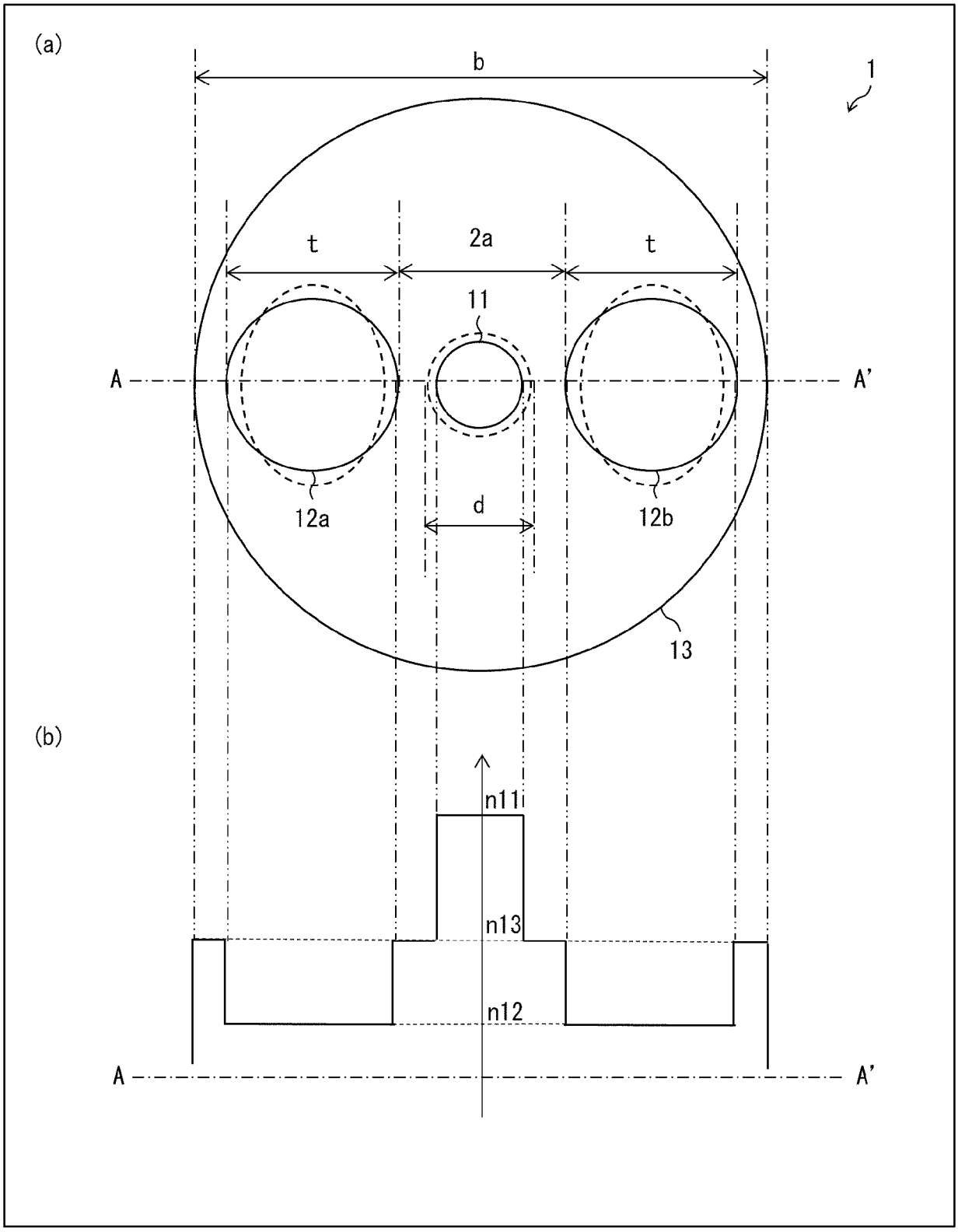
ことを特徴とする請求項１～８の何れか一項に記載の偏波保持ファイバ。

[請求項10] 前記クラッドのクラッド径が８０μｍ以下である、

ことを特徴とする請求項１～９の何れか一項に記載の偏波保持ファイバ。

[図1]

図 1



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2023/002603

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G02B 6/024(2006.01)i
FI: G02B6/024 301

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)

G02B6/02-6/10; G02B6/44

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 Y	JP 2003-337238 A (FUJIKURA LIMITED) 28 November 2003 (2003-11-28) paragraphs [0011]-[0066], fig. 1-7	1-5, 7, 9-10 6, 8
Y	JP 63-056614 A (NIPPON TELEGR. & TELEPH. CORPORATION) 11 March 1988 (1988-03-11) page 3, upper left column, lines 4-5	6, 8
A	JP 2015-184371 A (FUJIKURA LIMITED) 22 October 2015 (2015-10-22) entire text, all drawings	1-10
A	JP 2007-108261 A (CENTRAL GLASS COMPANY, LIMITED) 26 April 2007 (2007-04-26) entire text, all drawings	1-10
A	WO 2008/007743 A1 (THE FURUKAWA ELECTRIC COMPANY, LIMITED) 17 January 2008 (2008-01-17) entire text, all drawings	1-10
A	JP 2002-158384 A (SUMITOMO ELECTRIC IND., LIMITED) 31 May 2002 (2002-05-31) entire text, all drawings	1-10

☑ 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
31 March 2023	**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

International application No.
PCT/JP2023/002603

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2008/0095199 A1 (NUFERN) 24 April 2008 (2008-04-24) entire text, all drawings	1-10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/JP2023/002603

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP 2003-337238 A	28 November 2003	US 2005/0031280 A1 paragraphs [0027]-[0099], fig. 1-7 WO 2003/079075 A1 EP 1486804 A1 CN 1643418 A	
JP 63-056614 A	11 March 1988	(Family: none)	
JP 2015-184371 A	22 October 2015	US 2015/0268413 A1 entire text, all drawings EP 2921889 A1 CN 104932052 A	
JP 2007-108261 A	26 April 2007	(Family: none)	
WO 2008/007743 A1	17 January 2008	US 2008/0292251 A1 entire text, all drawings EP 2040102 A1	
JP 2002-158384 A	31 May 2002	US 2002/0033998 A1 entire text, all drawings	
US 2008/0095199 A1	24 April 2008	WO 2005/074573 A2	

国際調査報告

国際出願番号
PCT/JP2023/002603

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

G02B 6/024(2006.01)i
FI: G02B6/024 301

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））

G02B6/02-6/10; G02B6/44

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	１９７１－２０２３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	JP 2003-337238 A (株式会社フジクラ) 28.11.2003 (2003-11-28) 段落[0011]-[0066],図1-7	1-5,7,9-10
Y		6,8
Y	JP 63-056614 A (日本電信電話株式会社) 11.03.1988 (1988-03-11) 第3ページ左上欄第4行-第5行	6,8
A	JP 2015-184371 A (株式会社フジクラ) 22.10.2015 (2015-10-22) 全文,全図	1-10
A	JP 2007-108261 A (セントラル硝子株式会社) 26.04.2007 (2007-04-26) 全文,全図	1-10
A	WO 2008/007743 A1 (古河電気工業株式会社) 17.01.2008 (2008-01-17) 全文,全図	1-10
A	JP 2002-158384 A (住友電気工業株式会社) 31.05.2002 (2002-05-31) 全文,全図	1-10
A	US 2008/0095199 A1 (NUFERN) 24.04.2008 (2008-04-24) 全文,全図	1-10

☐ 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	国際調査報告の発送日
31.03.2023	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）

大西　孝宣 2L 6006

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/JP2023/002603

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP 2003-337238 A	28.11.2003	US 2005/0031280 A1 段落[0027]-[0099],図1-7 WO 2003/079075 A1 EP 1486804 A1 CN 1643418 A	
JP 63-056614 A	11.03.1988	（ファミリーなし）	
JP 2015-184371 A	22.10.2015	US 2015/0268413 A1 全文,全図 EP 2921889 A1 CN 104932052 A	
JP 2007-108261 A	26.04.2007	（ファミリーなし）	
WO 2008/007743 A1	17.01.2008	US 2008/0292251 A1 全文,全図 EP 2040102 A1	
JP 2002-158384 A	31.05.2002	US 2002/0033998 A1 全文,全図	
US 2008/0095199 A1	24.04.2008	WO 2005/074573 A2	