(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1月2日(02.01.2020)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2020/004238 A1

(51) 国際特許分類:
G02B 6/036 (2006.01) *G02B 6/02* (2006.01)
C03B 37/012 (2006.01) *H01S 3/067* (2006.01)

(21) 国際出願番号： PCT/JP2019/024594

(22) 国際出願日： 2019年6月20日(20.06.2019)

(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 2018-119568 2018年6月25日(25.06.2018) JP
特願 2018-119844 2018年6月25日(25.06.2018) JP

(71) 出願人: 株式会社フジクラ (**FUJIKURA LTD.**) [JP/JP]; 〒1358512 東京都江東区木場一丁目５番１号 Tokyo (JP).

(72) 発明者: 鎌田 弘之 (**KAMATA Hiroyuki**); 〒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).

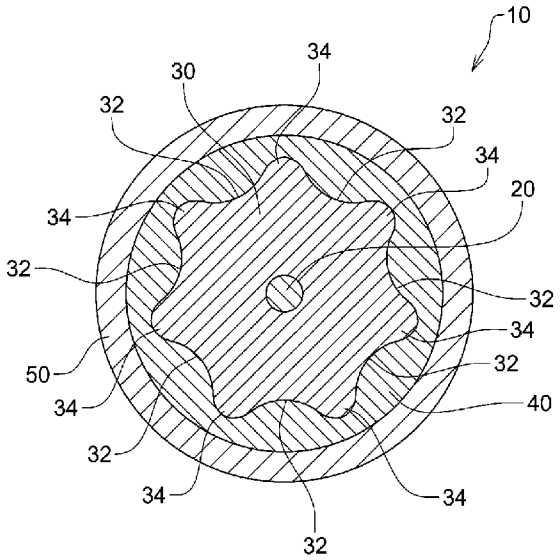
市井 健太郎 (**ICHII Kentaro**); 〒2858550 千葉県佐倉市六崎１４４０ 株式会社フジクラ佐倉事業所内 Chiba (JP).

(74) 代理人: 森 友宏 (**MORI Tomohiro**); 〒1010047 東京都千代田区内神田１－１７－１ ＭＩＩＩビル６階 アペリオ国際特許事務所 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, 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, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(54) **Title:** MULTI-CLAD OPTICAL FIBER AND METHOD FOR MANUFACTURING SAME

(54) 発明の名称： マルチクラッド光ファイバ及びその製造方法



(57) **Abstract:** The present invention provides a multi-clad optical fiber having the effect of suppressing the skew mode light in a clad layer and having little optical transmission loss in a core. A double-clad optical fiber 10 comprises a core 20, an inner clad layer 30 disposed outside the core 20, and an outer clad layer 40 that covers the outer periphery of the inner clad layer 30. The outer clad layer 40 has a refractive index smaller than that of the inner clad layer 30. At the outer periphery of the inner clad layer 30, multiple recesses 32 are formed in the circumferential direction so as to be separated from each other, the recesses being recessed radially inward.

WO 2020/004238 A1

[続葉有]

(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: 本発明は、クラッド層におけるスキューモード光の抑制効果を有し、コアにおける光の伝送損失の少ないマルチクラッド光ファイバを提供する。ダブルクラッド光ファイバ１０は、コア２０と、コア２０の外側に位置する内側クラッド層３０と、内側クラッド層３０の外周を被覆する外側クラッド層４０とを備えている。外側クラッド層４０は、内側クラッド層３０の屈折率よりも低い屈折率を有している。内側クラッド層３０の外周には、半径方向内側に凹んだ凹部３２が周方向に互いに離間されて複数個形成されている。

明　細　書

発明の名称 ： マルチクラッド光ファイバ及びその製造方法

技術分野

[0001] 本発明は、マルチクラッド光ファイバ、光ファイバ用母材、光ファイバ用母材の製造方法、及びマルチクラッド光ファイバの製造方法に係り、特に複数のクラッド層を有するマルチクラッド光ファイバの製造方法に関するものである。

背景技術

[0002] 複数のクラッド層を有するマルチクラッド光ファイバとしては、例えば、光増幅器やファイバレーザなどで用いられるダブルクラッド光ファイバが知られている。このダブルクラッド光ファイバにおいては、外側クラッドに覆われた内側クラッドを導波路として伝搬する励起光がコアを横切る際にコア中の希土類イオンを励起して信号光を増幅する。しかしながら、内側クラッドの断面形状が円形である場合には、励起光の入射角度によって一部の励起光が、コアを通らずに内側クラッド内を螺旋状に旋回（スキュー）し、励起に寄与しないスキューモード光となってしまう。このようなスキューモード光が増えると励起効率が悪くなるため、内側クラッドの断面形状を非円形にしてスキューモード光を散乱させることもなされている（例えば、特許文献１参照）。

[0003] 一方、近年のレーザ光の高出力化に伴い、このようなダブルクラッド光ファイバにおける増幅量を増やすために、コアに添加する希土類元素の量を増やす傾向にある。このように希土類元素の添加量が増えると、光ファイバを製造する際に、光ファイバ用母材を線引きするときの熱処理において、希土類酸化物を主体とする成分がコア内に結晶化したり、相分離したりする現象が生じやすくなる。これらの現象が起こると、コアの組織が不均質になるため、光の伝搬損失が大きくなってしまう。このような希土類酸化物の結晶化や相分離を抑制するためには、線引きの際に均質になるまでコアを十分に加

熱することが必要とされる。

[0004] しかしながら、内側クラッドの断面形状が非円形のダブルクラッド光ファイバを製造する際に、断面形状が非円形の光ファイバ用母材を高温で線引きすると、熱によって非円形の断面形状の角部が丸くなって、内側クラッドの断面形状が円形に近づいてしまい、スキューモード光を抑制する効果が低減してしまう。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：特表平１０－５１０１０４号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] 本発明は、このような従来技術の問題点に鑑みてなされたもので、クラッド層におけるスキューモード光の抑制効果を有し、コアにおける光の伝送損失の少ないマルチクラッド光ファイバを提供することを第１の目的とする。

[0007] また、本発明は、クラッド層におけるスキューモード光の抑制効果を有し、コアにおける光の伝送損失の少ない光ファイバを実現することができる光ファイバ用母材を提供することを第２の目的とする。

[0008] さらに、本発明は、クラッド層におけるスキューモード光の抑制効果を有し、コアにおける光の伝送損失の少ない光ファイバを実現することができる光ファイバ用母材を製造することができる方法を提供することを第３の目的とする。

[0009] また、本発明は、クラッド層におけるスキューモード光の抑制効果を有し、コアにおける光の伝送損失の少ないマルチクラッド光ファイバを得ることができるマルチクラッド光ファイバの製造方法を提供することを第４の目的とする。

課題を解決するための手段

[0010] 本発明の第１の態様によれば、クラッド層におけるスキューモード光の抑

制効果を有し、コアにおける光の伝送損失の少ないマルチクラッド光ファイバが提供される。このマルチクラッド光ファイバは、コアと、上記コアの外側に位置する第１のクラッド層と、上記第１のクラッド層の外周を被覆する第２のクラッド層とを備えている。上記第２のクラッド層は、上記第１のクラッド層の屈折率よりも低い屈折率を有している。上記第１のクラッド層の上記外周には、半径方向内側に凹んだ凹部が周方向に互いに離間されて複数個形成されている。

[0011] 本発明の第２の態様によれば、クラッド層におけるスキューモード光の抑制効果を有し、コアにおける光の伝送損失の少ないマルチクラッド光ファイバが提供される。このマルチクラッド光ファイバは、コアと、上記コアの外側に位置する第１のクラッド層と、上記第１のクラッド層の外周を被覆する第２のクラッド層とを備えている。上記第２のクラッド層は、上記第１のクラッド層の屈折率よりも低い屈折率を有する。上記第１のクラッド層の上記外周には、半径方向外側に突出する凸部が周方向に互いに離間されて複数個形成されている。

[0012] 本発明の第３の態様によれば、クラッド層におけるスキューモード光の抑制効果を有し、コアにおける光の伝送損失の少ない光ファイバを実現することができる光ファイバ用母材が提供される。この光ファイバ用母材は、コア部と、上記コア部の外側に位置するクラッド部とを備える。上記クラッド部の外周には、半径方向内側に凹んだ溝が周方向に互いに離間されて複数本形成されている。

[0013] 本発明の第４の態様によれば、クラッド層におけるスキューモード光の抑制効果を有し、コアにおける光の伝送損失の少ない光ファイバを実現することができる光ファイバ用母材が提供される。この光ファイバ用母材は、コア部と、上記コア部の外側に位置するクラッド部とを備えている。上記クラッド部の外周には、半径方向外側に突出する突出部が周方向に互いに離間されて複数個形成されている。

[0014] 本発明の第５の態様によれば、クラッド層におけるスキューモード光の抑

制効果を有し、コアにおける光の伝送損失の少ないマルチクラッド光ファイバを実現することができる光ファイバ用母材を製造する方法が提供される。この方法では、コア部と該コア部の外側に位置するクラッド部とを有するガラス材を用意し、上記ガラス材の外周に、半径方向内側に凹んだ溝を周方向に互いに離間して複数本形成して光ファイバ用母材を形成する。

[0015] 本発明の第６の態様によれば、クラッド層におけるスキューモード光の抑制効果を有し、コアにおける光の伝送損失の少ないマルチクラッド光ファイバを実現することができる光ファイバ用母材を製造する方法が提供される。この方法では、コア部と該コア部の外側に位置するクラッド部とを有するガラス材を用意し、上記ガラス材の外周を加工して多角柱状にし、上記ガラス材の上記多角柱のそれぞれの側面の一部を残しつつ、該側面に溝を形成する。

[0016] 本発明の第７の態様によれば、クラッド層におけるスキューモード光の抑制効果を有し、コアにおける光の伝送損失の少ないマルチクラッド光ファイバを得ることができるマルチクラッド光ファイバの製造方法が提供される。この方法によれば、上述した方法により光ファイバ用母材を製造し、この製造された光ファイバ用母材を加熱して延伸し、上記延伸された光ファイバ用母材の上記クラッド部の周囲に該クラッド部よりも屈折率の低い樹脂を塗布して硬化させることにより、マルチクラッド光ファイバが製造される。

図面の簡単な説明

[0017] [図1]図１は、本発明の第１の実施形態におけるダブルクラッド光ファイバを模式的に示す断面図である。

[図2]図２は、図１に示すダブルクラッド光ファイバの一変形例を模式的に示す断面図である。

[図3]図３は、図１に示すダブルクラッド光ファイバの他の変形例を模式的に示す断面図である。

[図4]図４は、図１のダブルクラッド光ファイバの内側クラッド層の中心軸に垂直な断面の形状を示す模式図である。

[図5]図５は、図１のダブルクラッド光ファイバを製造するために用いられるガラス材を示す斜視図である。

[図6]図６は、図５のガラス材に溝を形成する工程を示す模式図である。

[図7]図７は、図６の工程後にガラス材を回転させた状態を示す模式図である。

[図8]図８は、図５のガラス材を加工して得られる光ファイバ用母材を示す斜視図である。

[図9]図９は、本発明の第１の実施形態において用いられる線引き装置を示す模式図である。

[図10]図１０は、本発明の第２の実施形態におけるダブルクラッド光ファイバを製造するために用いられるガラス材を示す斜視図である。

[図11]図１１は、図１０のガラス材に溝を形成する工程を示す模式図である。

[図12]図１２は、図１１の工程後にガラス材を回転させた状態を示す模式図である。

[図13]図１３は、本発明の第２の実施形態における光ファイバ用母材を模式的に示す斜視図である。

[図14]図１４は、図１３の光ファイバ用母材を示す模式的正面図である。

[図15]図１５は、図１０に示すガラス材に形成し得る最も深い溝を説明するための概念図である。

[図16A]図１６Ａは、本発明の実施例のダブルクラッド光ファイバの断面を示す顕微鏡写真である。

[図16B]図１６Ｂは、比較例１のダブルクラッド光ファイバの断面を示す顕微鏡写真である。

[図16C]図１６Ｃは、比較例２のダブルクラッド光ファイバの断面を示す顕微鏡写真である。

発明を実施するための形態

[0018] 以下、本発明に係るマルチクラッド光ファイバ及びその製造方法の実施形

態について図１から図１６Ｃを参照して詳細に説明する。なお、以下の説明では、本発明に係るマルチクラッド光ファイバとしてダブルクラッド光ファイバを例として説明するが、本発明は３つ以上のクラッド層を有するマルチクラッド光ファイバにも適用できることは言うまでもない。図１から図１６Ｃにおいて、同一又は相当する構成要素には、同一の符号を付して重複した説明を省略する。また、図１から図１６Ｃにおいては、各構成要素の縮尺や寸法が誇張されて示されている場合や一部の構成要素が省略されている場合がある。

[0019] 図１は、本発明の第１の実施形態におけるダブルクラッド光ファイバ１０を模式的に示す断面図である。図１に示すように、本実施形態におけるダブルクラッド光ファイバ１０は、希土類元素が添加されたコア２０と、コア２０の外周を被覆する内側クラッド層３０（第１のクラッド層）と、内側クラッド層３０の外周を被覆する外側クラッド層４０（第２のクラッド層）と、外側クラッド層４０の外周を被覆する被覆層５０とを有している。内側クラッド層３０の屈折率はコア２０の屈折率よりも低くなっており、コア２０の内部を信号光が伝搬するようになっている。外側クラッド層４０の屈折率は内側クラッド層３０の屈折率よりも低くなっており、内側クラッド層３０の内部を励起光が伝搬するようになっている。

[0020] 図１に示すように、内側クラッド層３０の外周には、半径方向内側に凹んだ７つの凹部３２が形成されている。これらの凹部３２は、周方向に互いに離間されて形成されている。本実施形態では、これらの凹部３２が周方向に等間隔で、すなわち２π／７の角度間隔で形成されているが、必ずしも周方向に一定の角度間隔で形成されている必要はない。本実施形態では、それぞれの凹部３２は曲面により構成されているが、複数の平面により（例えば、図２に示すようにＶ字状に）構成されていてもよい。

[0021] また、内側クラッド層３０の外周には、半径方向外側に突出する７つの凸部３４が形成されている。これらの凸部３４は、周方向に互いに離間されて形成されている。本実施形態では、これらの凸部３４が周方向に等間隔で、

すなわち２π／７の角度間隔で形成されているが、必ずしも周方向に一定の角度間隔で形成されている必要はない。本実施形態では、それぞれの凸部３４は曲面により構成されているが、複数の平面により（例えば逆Ｖ字状に）構成されていてもよい。

[0022] このように、隣り合う凹部３２の間には、半径方向外側に突出する凸部３４が形成されており、隣り合う凸部３４の間には、半径方向内側に凹んだ凹部３２が形成されている。なお、図３に示すように、凹部３２が形成されずに、隣り合う凸部３４の間が平面３３により構成されていてもよい。また、凸部３４が形成されずに、隣り合う凹部３２の間が平面により構成されていてもよい。

[0023] 本実施形態のダブルクラッド光ファイバ１０においては、内側クラッド層３０の外周に凹部３２が形成されており、また、これらの凹部３２の間には凸部３４が形成されている。換言すれば、内側クラッド層３０の外周に凸部３４が形成されており、また、これらの凸部３４の間には凹部３２が形成されている。このため、内側クラッド層３０の断面形状が非円形となる。したがって、内側クラッド層３０を伝搬する励起光が螺旋状に旋回しにくくなり、内側クラッド層３０をスキューモード光が伝搬することが抑制される。

[0024] また、このようなダブルクラッド光ファイバ１０は、製造する際に光ファイバ用母材を高温で加熱した後においても、内側クラッド層の外周に上述した凹部３２及び凸部３４が維持される。したがって、光ファイバ用母材のコア部に添加する希土類元素の量を増加させた場合においても、完成したダブルクラッド光ファイバ１０のコア２０における希土類酸化物の結晶化や相分離を抑制することができるので、光の伝送損失が低減される。さらに、本実施形態では、凸部３４が曲面により構成されているので、内側クラッド層３０において平面により構成される部分が減り、かかる平面において生じ得る応力集中による内側クラッド層３０の割れや欠けを抑制することができる。

[0025] 本実施形態では、隣り合う凹部３２の間に、凸部３４が凹部３２に連続して形成されている。このように、半径方向外側に突出する凸部３４を隣り合

う凹部３２に連続して形成することで、凸部３４同士が滑らかに接続されるため、内側クラッド層３０において平面により構成される部分が減り、かかる平面において生じ得る応力集中による内側クラッド層３０の割れや欠けを抑制することができる。なお、このような凸部３４は必ずしも凹部３２に連続して形成されていなくてもよい。

[0026] また、本実施形態では、隣り合う凸部３４の間に、凹部３２が凸部３４に連続して形成されている。このように、半径方向内側に凹む凹部３２を隣り合う凸部３４に連続して形成することで、凸部３４同士が滑らかに接続されるため、内側クラッド層３０において平面により構成される部分が減り、かかる平面において生じ得る応力集中による内側クラッド層３０の割れや欠けを抑制することができる。なお、このような凹部３２は必ずしも凸部３４に連続して形成されていなくてもよい。

[0027] 図４は、内側クラッド層３０の中心軸Ｏに垂直な断面の形状を示す模式図である。図４に示すように、内側クラッド層３０の断面の外形に内接する円Ｃ１は、中心軸Ｏから内側クラッド層３０の凹部３２の最も半径方向内側に位置する部分までを半径（半径Ｒ１）とする円となる。また、内側クラッド層３０の断面の外形に外接する円Ｃ２は、中心軸Ｏから内側クラッド層３０の凸部３４の最も半径方向外側に位置する部分までを半径（半径Ｒ２）とする円となる。この外接円Ｃ２の半径Ｒ２に対する内接円Ｃ１の半径Ｒ１の比Ｒ１／Ｒ２が大きいことは、内側クラッド層３０の断面形状が円形に近づくことを意味しており、後述するように内側クラッド層３０を伝搬するスキューモード光を抑制するためには、この半径比Ｒ１／Ｒ２が小さい方がよい。特に、この半径比Ｒ１／Ｒ２は０．９６以下であることが好ましい。

[0028] 次に、このような構成のダブルクラッド光ファイバ１０を製造する方法の一例について説明する。まず、中空の石英管を用意し、この石英管の内側に例えばＭＣＶＤ法によりコア成分を必要な量だけ堆積させてコア部を形成する。これにより、図５に示すように、コア部１２０とコア部１２０の外側に位置するクラッド部１３０とを有する円筒状のガラス材１００が得られる。

[0029] 次に、図６に示すように、ガラス材１００をマシニングセンタの定盤９１０にホットワックスなどを用いて固定し、先端が曲面のダイヤモンドツール９００をマシニングセンタにセットし、このダイヤモンドツール９００をガラス材１００の円筒面１３０Ａに接触させつつ、軸方向に移動させることで所定の深さの溝１３２Ａを長手方向に沿って形成する。

[0030] １本目の溝１３２Ａを形成した後、図７に示すように、この溝１３２Ａがマシニングセンタの定盤９１０に対向するようにガラス材１００を中心軸Ｏ周りに回転させた上で、再度ガラス材１００を定盤９１０に固定する。そして、ダイヤモンドツール９００をガラス材１００の円筒面１３０Ａに接触させつつ、軸方向に移動させることで２本目の溝１３２Ｂを形成する。

[0031] これらの溝を形成する工程を合計で７回行い、図８に示すように、外周に半径方向内側に凹んだ７本の溝１３２が形成された光ファイバ用母材１１０を作製する。これらの溝１３２は、周方向に等間隔で、すなわち２π／７の角度間隔で形成されている。

[0032] 次に、この光ファイバ用母材１１０を図９に示すような線引き装置８００に導入して線引きし、ダブルクラッド光ファイバ１０を製造する。すなわち、光ファイバ用母材１１０を垂直にした状態で加熱炉８１０内に配置し、加熱炉８１０により光ファイバ用母材１１０を加熱溶融する。加熱溶融された光ファイバ用母材１１０は、自重により鉛直方向に延伸されて糸状になる。

[0033] 糸状になった光ファイバ材料１１１は、その外径が外径モニタ８２０で測定された後、冷却管８３０に導入されて冷却される。冷却された光ファイバ材料１１２は、第１の樹脂塗布部８４０に導入され、ここで外周に低屈折率樹脂が塗布される。低屈折率樹脂が塗布された光ファイバ材料１１３は、第１の樹脂硬化部８５０に導入され、ここで例えば紫外線の照射などにより低屈折率樹脂が硬化し、外側クラッド層４０（図１参照）が形成される。

[0034] 外側クラッド層４０が形成された光ファイバ材料１１４は、第２の樹脂塗布部８６０に導入され、ここで外周に被覆樹脂が塗布される。被覆樹脂が塗布された光ファイバ材料１１５は、第２の樹脂硬化部８７０に導入され、こ

こで例えば紫外線の照射などにより被覆樹脂が硬化し、外側クラッド層４０の外周に被覆層５０（図１参照）が形成される。

[0035] 被覆層５０が形成された光ファイバ材料１１６は、キャプスタン８８０により所定の速度で巻取ボビン８９０に巻き取られ、ダブルクラッド光ファイバ１０が完成する。

[0036] 上述した方法により作製された光ファイバ用母材１１０の外周には、半径方向内側に凹んだ複数本の溝１３２が形成されているため、この光ファイバ用母材１１０を加熱炉８１０において高温で加熱しても、完成したダブルクラッド光ファイバ１０において内側クラッド層３０に凹部３２が形成され、内側クラッド層３０の断面形状を非円形に維持することができる。換言すれば、光ファイバ用母材１１０の溝１３２が加熱によりダブルクラッド光ファイバ１０の凹部３２に変化する。したがって、内側クラッド層３０におけるスキューモード光を効果的に抑制することができる。また、このように光ファイバ用母材１１０を高温で加熱することができるため、光ファイバ用母材１１０のコア部１２０に添加する希土類元素の量を増加させた場合においても、完成したダブルクラッド光ファイバ１０のコア２０における希土類酸化物の結晶化や相分離を抑制することができ、光の伝送損失を低減することができる。

[0037] 次に、本発明の第２の実施形態におけるダブルクラッド光ファイバの製造方法について説明する。まず、第１の実施形態と同様に、中空の石英管の内側に例えばＭＣＶＤ法によりコア成分を必要な量だけ堆積させて、図５に示すような内部にコア部１２０が形成されたガラス材１００を得た後、ガラス材１００の円筒面１３０Ａを加工して、図１０に示すように、７つの側面２３０Ａを有する正七角柱状のガラス材２００を得る。ガラス材１００の円筒面１３０Ａを加工する方法の例としては、機械的加工、レーザ加工、エッチング、電解研磨などが挙げられる。

[0038] 図１１に示すように、このガラス材２００の１つの側面２３０Ａをマシニングセンタの定盤９１０に当接させた状態でガラス材２００をホットワック

スなどを用いて定盤９１０に固定し、ダイヤモンドツール９００をガラス材２００の１つの側面２３０Ａに接触させつつ、軸方向に移動させることで所定の深さの溝２３２Ａを長手方向に沿って形成する。このとき、ガラス材２００の側面２３０Ａの一部を残しつつ、側面２３０Ａに溝２３２Ａを形成してもよい。この場合には、形成された溝２３２Ａの両側に、残存した側面２３０Ａが位置する。

[0039] １本目の溝２３２Ａを形成した後、図１２に示すように、この溝２３２Ａがマシニングセンタの定盤９１０に対向するようにガラス材２００を中心軸Ｏ周りに回転させた上で、再度ガラス材２００を定盤９１０に固定する。そして、ダイヤモンドツール９００をガラス材２００の別の側面２３０Ａに接触させつつ、軸方向に移動させることで２本目の溝２３２Ｂを形成する。このときも上記と同様に、ガラス材２００の側面２３０Ａの一部を残しつつ、側面２３０Ａに溝２３２Ｂを形成してもよい。

[0040] これらの溝を形成する工程を合計で７回行い、図１３及び図１４に示すように、外周に半径方向内側に凹んだ７本の溝２３２が形成された光ファイバ用母材２１０を作製する。これらの溝２３２は、周方向に等間隔で、すなわち２π／７の角度間隔で形成されている。

[0041] 図１４に示すように、光ファイバ用母材２１０のクラッド部１３０に形成されたそれぞれの溝２３２の両側には、正七角柱のガラス材２００の側面２３０Ａの一部が残っており、隣り合う側面２３０Ａによって半径方向外側に突出する突出部２３４が形成されている。

[0042] 次に、この光ファイバ用母材２１０を第１の実施形態と同様に図９に示す線引き装置８００に導入して線引きし、ダブルクラッド光ファイバを製造する。

[0043] 上述した方法により作製された光ファイバ用母材２１０の外周には、半径方向内側に凹んだ複数本の溝２３２が形成されているため、この光ファイバ用母材２１０を加熱炉８１０において高温で加熱しても、完成したダブルクラッド光ファイバの内側クラッド層に凹部を形成することができ、内側クラ

ッド層の断面形状を非円形に維持することができる。換言すれば、光ファイバ用母材２１０の溝２３２が加熱によりダブルクラッド光ファイバの凹部に変化する。したがって、内側クラッドにおけるスキューモード光を効果的に抑制することができる。また、このように光ファイバ用母材２１０を高温で加熱することができるため、光ファイバ用母材２１０のコア部２２０に添加する希土類元素の量を増加させた場合においても、完成したダブルクラッド光ファイバのコアにおける希土類酸化物の結晶化や相分離を抑制することができ、光の伝送損失を低減することができる。

[0044] また、上述した方法により作製された光ファイバ用母材２１０の外周には、半径方向外側に突出する複数の突出部２３４が形成されている。したがって、この光ファイバ用母材２１０を加熱炉８１０において高温で加熱しても、完成したダブルクラッド光ファイバにおいて内側クラッド層に凸部が形成され、内側クラッド層の断面形状を非円形に維持することができる。換言すれば、光ファイバ用母材２１０の突出部２３４が加熱によりダブルクラッド光ファイバの凸部に変化する。したがって、内側クラッド層におけるスキューモード光を効果的に抑制することができる。また、このように光ファイバ用母材を高温で加熱することができるため、光ファイバ用母材２１０のコア部１２０に添加する希土類元素の量を増加させた場合においても、完成したダブルクラッド光ファイバのコアにおける希土類酸化物の結晶化や相分離を抑制することができ、光の伝送損失を低減することができる。

[0045] ここで、上述した第１の実施形態では、溝１３２を形成する際に、図７に示すように、ガラス材１００と定盤９１０との間の接触は、溝１３２の縁部１３３（図７）における線接触であるため、ダイヤモンドツール９００をガラス材１００に押し当てて研削を行うと、溝１３２の縁部１３３に応力が集中し、ガラス材１００が破損したり、完成したダブルクラッド光ファイバ１０の強度が低下したりすることが考えられる。

[0046] これに対して、本実施形態では、円筒状のガラス材１００を図１０に示すような正七角柱のガラス材２００とした後に、この正七角柱のガラス材２０

０の側面２３０Ａの一部を残しつつ、この側面２３０Ａに溝２３２を形成しているため、図１１及び図１２に示すように、ガラス材２００と定盤９１０との間の接触は、側面２３０Ａ全体又は溝２３２の形成後に残存した側面２３０Ａにおける面接触となる。したがって、ダイヤモンドツール９００をガラス材１００に押し当てて研削を行った際の応力集中が緩和され、ガラス材２００の破損や作製されるダブルクラッド光ファイバの強度の低下を防ぐことができる。

[0047] このように、ガラス材２００の側面２３０Ａに溝２３２を形成した後に側面２３０Ａが残っていることがより好ましいが、理論上、ガラス材２００に形成し得る最も深い溝２３２は、図１５に示すように、ガラス材２００の断面において溝２３２を形成する円Ｃ３が七角形の頂点を通過し、かつ円Ｃ３の七角形の頂点における接線が中心軸Ｏを通過するときに形成される。このとき、クラッド部１３０の断面の外形に内接する円Ｃ１の半径をＲ１、クラッド部１３０の断面の外形に外接する円Ｃ２の半径をＲ２、円Ｃ３の半径をｒとすると、以下の式（１）及び（２）が成立する。

$$(R1+r)\sin\alpha = r \quad \cdots (1)$$

$$(R1+r)\cos\alpha = R2 \quad \cdots (2)$$

ここで$\alpha = \pi/7$である。

[0048] これらの式から以下の式（３）を得ることができる。

$$R1/R2 = (1-\sin\alpha)/\cos\alpha \quad \cdots (3)$$

ここで、$\alpha = \pi/7$であるから、Ｒ１／Ｒ２＝０．６３となる。したがって、光ファイバ用母材２１０におけるＲ１／Ｒ２の最小値は０．６３である。

[0049] 上記式（３）はｎ角柱の光ファイバ用母材に一般化することができ、その一般化式は以下の式（４）のようになる。

$$R1/R2 = (1-\sin(\pi/n))/\cos(\pi/n) \quad \cdots (4)$$

実施例

[0050] 上述した第２の実施形態に係る方法によりダブルクラッド光ファイバを製

造した。コア２０に添加する希土類元素としてはＹｂを用い、Ｙｂの濃度が３重量％となるように添加量を制御した。正七角柱状のガラス材２００の各側面２３０Ａにダイヤモンドツール９００を押し当てて溝２３２を形成した後は表面が変質し、粗面化されているため、薬液による洗浄及び火炎を用いた加工処理により表面を透明化して、光ファイバ用母材２１０を作製した。

[0051] ここで、溝２３２を形成する際にガラス材１００の側面２３０Ａを残す割合（側面残存率）を２％として溝２３２を形成したが、ガラス材２００を問題なく定盤９１０上に固定することができた。また、作製した光ファイバ用母材２１０にも割れや欠けが認められなかった。なお、ここでいう側面残存率とは、溝２３２を形成する前においてガラス材２００の側面２３０Ａが存在していた領域Ｄ１（図１４参照）に対する、溝２３２を形成した後においてガラス材２００の側面２３０Ａが残存している領域（Ｄ１－Ｄ２）の面積比をいう。なお、ここで、Ｄ２は、溝２３２を形成した後においてガラス材２００の側面２３０Ａが存在していない領域を指す。

[0052] この光ファイバ用母材２１０を線引き装置８００に導入して線引きし、ダブルクラッド光ファイバを製造した。具体的には、光ファイバ用母材２１０を垂直にした状態で加熱炉８１０内に配置し、アルゴンガスでパージして加熱炉８１０内の酸素分圧を下げた。そして、加熱炉８１０に２０ｋＷの電力を与え、光ファイバ用母材２１０の先端部を加熱溶融した。この溶融した光ファイバ材料を所定の張力及び速度で線引きして、ダブルクラッド光ファイバを得た。

[0053] 第１の樹脂塗布部８４０では、内側クラッド層３０よりも屈折率の低い紫外線硬化樹脂を塗布し、第１の樹脂硬化部８５０でこの紫外線硬化樹脂に紫外線を照射して硬化させ外側クラッド層を形成した。また、第２の樹脂塗布部８６０では、外側クラッド層の外側に紫外線硬化樹脂を塗布し、第２の樹脂硬化部８７０でこの紫外線硬化樹脂に紫外線を照射して硬化させ被覆層を形成した。

[0054] また、線引きの際は、光ファイバ材料を中心軸周りに回転させて光ファイ

バ材料に恒久的なねじれを与えた。この光ファイバ材料の回転速度は、光ファイバ材料の長さ１ｍ当たり４回転となるように制御した。

[0055] 比較例１として、図１０に示す七角柱状のガラス材２００を光ファイバ用母材として上述した実施例と同様に線引きを行い、ダブルクラッド光ファイバを製造した。比較例１では、加熱炉８１０に供給する電力を上記実施例と同様に２０ｋＷとし、比較例２では１８．５ｋＷとした。

[0056] 実施例、比較例１、及び比較例２のそれぞれについて、ＯＴＤＲ（Optical Time Domain Reflectometer）を用いて波長１１８０ｎｍでの光伝送損失を測定するとともに、波長９１５ｎｍの励起光の吸収量を測定することによってスキューモード光の抑制効果を評価した。このスキューモード光の抑制効果の評価では、特許第６２５５５３２号に記載されている方法によって算出されるスキュー抑制指数γを用いた。スキュー抑制指数γが大きければ大きいほど、スキューモードの発生が抑制されていることを示しており、その最大値は１である。

[0057] 図１６Ａ、図１６Ｂ、及び図１６Ｃは、それぞれ実施例、比較例１、及び比較例２のダブルクラッド光ファイバの断面を示す写真である。これらの写真から、内側クラッド層における中心軸に垂直な断面の外形に内接する円の半径Ｒ１と外接する円の半径Ｒ２を求め、外接円の半径Ｒ２に対する内接円の半径Ｒ１の比Ｒ１／Ｒ２を算出した。また、線引き前の光ファイバ用母材についても同様にしてＲ１／Ｒ２を算出した。

[0058] これらの結果を以下の表１に示す。

[表1]

	加熱炉供給電力（ｋＷ）	光伝送損失（ｄＢ／ｋｍ）	Ｒ１／Ｒ２		スキュー抑制指数γ
			母材	光ファイバ	
実施例	２０	８	０．８５３	０．９２９	１．００
比較例１	２０	７	０．９０１	０．９７２	０．９２
比較例２	１８．５	２５	０．９０１	０．９５９	１．００

[0059] 表１に示す結果から、加熱炉８１０に供給する電力を上げると、加熱炉８１０の温度が上昇し、希土類酸化物の結晶化や相分離が抑制されて光伝送損失が減少することがわかる。加熱炉８１０に２０ｋＷの電力を供給した実施例と比較例１では、光伝送損失が１０ｄＢ／ｋｍ以下と実用的なレベルになっている。

[0060] しかしながら、比較例１については、光ファイバ用母材における半径比Ｒ１／Ｒ２が０．９０１であったものが、完成した光ファイバにおいては０．９７２に大きく増加しており、スキュー抑制指数γが０．９２と低下している。これは、加熱炉８１０による高温加熱により光ファイバ用母材の七角柱の角部が丸まり、これに伴い外接円の半径Ｒ２が小さくなってＲ１／Ｒ２が１に近づいたものと考えられる。比較例１に比べて低温で処理した比較例２においては、完成した光ファイバにおける半径比Ｒ１／Ｒ２が０．９５９となっており、比較例１ほど増加していない。

[0061] このように、比較例１及び比較例２は、いずれも光伝送損失の低減とスキュー抑制効果とを両立するものとはなっていない。これに対して、実施例は、光伝送損失の低減とスキュー抑制効果の双方を実現するものとなっている。すなわち、実施例では、加熱炉８１０の温度を上げることによって光伝送損失が８ｄＢ／ｋｍに低減されており、スキュー抑制指数γも１．００が維持されている。これは、実施例における光ファイバ用母材２１０には、半径方向内側に凹んだ溝２３２が形成されているため、光ファイバ用母材２１０における半径比Ｒ１／Ｒ２を０．８５３と小さくすることができ、高温加熱処理を行っても、完成した光ファイバにおいて内側クラッド層に凹部が形成されるため、半径比Ｒ１／Ｒ２を０．９２９と小さく維持できることによるものである。

[0062] 表１の結果から、スキュー抑制指数γを１．００に維持するためには、作製された光ファイバにおける半径比Ｒ１／Ｒ２が０．９６以下であることが必要である。したがって、内側クラッド層を伝搬するスキューモード光を効果的に抑制するためには、作製された光ファイバにおける半径比Ｒ１／Ｒ２

が０．９６以下であることが好ましい。

[0063] また、比較例３として、ガラス材２００に溝２３２を形成する際に側面残存率を０％として、すなわち正七角柱の側面２３０Ａを残さずに光ファイバ用母材を作製した。作製された光ファイバ用母材の稜線を確認したところ、所々に目視で確認できる大きさの割れや欠けが認められたが、光ファイバ用母材の内部に進展する割れは認められなかった。この光ファイバ用母材から実施例と同様にしてダブルクラッド光ファイバを作製した。

[0064] 実施例と比較例３の長さ３ｋｍのダブルクラッド光ファイバに対して１％の曲げプルーフ試験を実施した。実施例のダブルクラッド光ファイバは２回破断したが、その破断面のモルフォロジはハックルパターンとなっていた。このように、実施例では、強度が保証された十分な長さのダブルクラッド光ファイバが得られた。

[0065] 一方、比較例３のダブルクラッド光ファイバでは破断が頻発し、破断面には低強度光ファイバに特有のミラー面が観察された。また、七角柱の稜線に対応する部分に破断の起点があることが確認された。光ファイバ用母材を作製する際に、側面残存率を０％として七角柱の稜線に対応する部分を鋭く尖らせたことによって、信頼性の低い低強度のダブルクラッド光ファイバとなってしまったと考えられる。

[0066] また、側面残存率を変化させたときのスキューモード光の抑制効果を検証した。この検証に当たっては、側面残存率をそれぞれ２％（上記実施例）、３０％、４０％、１００％（上記比較例１）とした光ファイバ用母材を線引きしてダブルクラッド光ファイバを製造し、上述と同様の方法により、外接円の半径Ｒ２に対する内接円の半径Ｒ１の比Ｒ１／Ｒ２と、スキュー抑制指数γを算出した。なお、加熱炉８１０には２０ｋＷの電力を供給した。

[0067] これらの結果を以下の表２に示す。

[表2]

側面残存率（%）	Ｒ１／Ｒ２	スキュー抑制指数γ
２	０．９２９	１．００
３０	０．９５７	１．００
４０	０．９６２	０．９８
１００	０．９７２	０．９２

[0068] 表２に示す結果から、側面残存率を２％から３０％にすれば、上述したスキューモード光の抑制効果が十分に得られることがわかった。

[0069] 上述した実施形態及び実施例においては、ダイヤモンドツール９００を用いてガラス材１００，２００の外周面に機械的加工を施して溝１３２，２３２を形成しているが、溝１３２，２３２を形成する方法としては、機械的加工以外にも、レーザ加工、エッチング、電解研磨などが考えられる。

[0070] 上述した実施形態及び実施例においては、内側クラッド層３０に形成された凹部３２、凸部３４、及びガラス材１００，２００に形成された溝１３２，２３２の数がいずれも７つであったが、これらの数は、５、６、７、８、又は９であってもよい。例えば五角柱のガラス材のそれぞれの側面に溝を形成して、作製される光ファイバの内側クラッド層に５つの凹部を形成してもよい。

[0071] また、本発明を３層以上のクラッド層を有するマルチクラッド光ファイバに適用する場合には、相対的に屈折率の低いクラッド層の内側に配置される任意のクラッド層に上述した凹部３２及び凸部３４を形成することができる。

[0072] これまで本発明の好ましい実施形態について説明したが、本発明は上述の実施形態に限定されず、その技術的思想の範囲内において種々異なる形態にて実施されてよいことは言うまでもない。

[0073] 以上述べたように、本発明の第１の態様によれば、クラッド層におけるスキューモード光の抑制効果を有し、コアにおける光の伝送損失の少ないマルチクラッド光ファイバが提供される。このマルチクラッド光ファイバは、コ

アと、上記コアの外側に位置する第１のクラッド層と、上記第１のクラッド層の外周を被覆する第２のクラッド層とを備えている。上記第２のクラッド層は、上記第１のクラッド層の屈折率よりも低い屈折率を有している。上記第１のクラッド層の上記外周には、半径方向内側に凹んだ凹部が周方向に互いに離間されて複数個形成されている。上記複数の凹部の数は、５、６、７、８、又は９であってもよい。上記凹部は曲面を有していてもよい。

[0074] このような構成によれば、第１のクラッド層の外周に半径方向内側に凹んだ凹部が形成されているので、第１のクラッド層の断面形状が非円形となる。したがって、第１のクラッド層を伝搬する光が螺旋状に旋回しにくくなり、第１のクラッド層をスキューモード光が伝搬することが抑制される。また、光ファイバ用母材を高温で加熱して製造した際にも、マルチクラッド光ファイバの第１のクラッド層の外周には上述した凹部が維持されてスキューモード光が抑制されるため、光ファイバ用母材のコア部に添加する希土類元素の量を増加させた場合においても、高温加熱によりマルチクラッド光ファイバのコアにおける希土類酸化物の結晶化や相分離を抑制することができる。したがって、マルチクラッド光ファイバにおける光の伝送損失が低減される。

[0075] また、隣り合う上記凹部の間には、曲面を有し、半径方向外側に突出する凸部が形成されていることが好ましい。このような凸部により、第１のクラッド層の断面形状がより非円形となるため、第１のクラッド層をスキューモードの光が伝搬することがより効果的に抑制される。また、凸部が曲面を有するため、第１のクラッド層において平面により構成される部分が減り、かかる平面において生じ得る応力集中による第１のクラッド層の割れや欠けを抑制することができる。

[0076] 隣り合う上記凹部の間には、該隣り合う上記凹部に連続して半径方向外側に突出する凸部が形成されていてもよい。このように、半径方向外側に突出する凸部を隣り合う凹部に連続して形成することで、凸部同士が滑らかに接続されるため、第１のクラッド層において平面により構成される部分が減り

、かかる平面において生じ得る応力集中による第１のクラッド層の割れや欠けを抑制することができる。

[0077] 本発明の第２の態様によれば、クラッド層におけるスキューモード光の抑制効果を有し、コアにおける光の伝送損失の少ないマルチクラッド光ファイバが提供される。このマルチクラッド光ファイバは、コアと、上記コアの外側に位置する第１のクラッド層と、上記第１のクラッド層の外周を被覆する第２のクラッド層とを備えている。上記第２のクラッド層は、上記第１のクラッド層の屈折率よりも低い屈折率を有する。上記第１のクラッド層の上記外周には、半径方向外側に突出する凸部が周方向に互いに離間されて複数個形成されている。上記複数の凸部の数は、５、６、７、８、又は９であってもよい。

[0078] このような構成によれば、第１のクラッド層の外周に半径方向外側に突出する凸部が形成されているので、第１のクラッド層の断面形状が非円形となる。したがって、第１のクラッド層を伝搬する光が螺旋状に旋回しにくくなり、第１のクラッド層をスキューモード光が伝搬することが抑制される。また、光ファイバ用母材を高温で加熱して製造した際にも、マルチクラッド光ファイバの第１のクラッド層の外周には上述した凸部が維持されてスキューモード光が抑制されるため、光ファイバ用母材のコア部に添加する希土類元素の量を増加させた場合においても、高温加熱によりマルチクラッド光ファイバのコアにおける希土類酸化物の結晶化や相分離を抑制することができる。したがって、マルチクラッド光ファイバにおける光の伝送損失が低減される。

[0079] また、隣り合う上記凹部の間には、曲面を有し、半径方向内側に凹んだ凹部が形成されていることが好ましい。このような凹部により、第１のクラッド層の断面形状がより非円形となるため、第１のクラッド層をスキューモードの光が伝搬することがより効果的に抑制される。

[0080] 隣り合う前記凸部の間には、該隣り合う前記凸部に連続して半径方向内側に凹んだ凹部が形成されていてもよい。このように、半径方向内側に凹んだ

凹部を隣り合う凸部に連続して形成することで、凸部同士が滑らかに接続されるため、第１のクラッド層において平面により構成される部分が減り、かかる平面において生じ得る応力集中による第１のクラッド層の割れや欠けを抑制することができる。

[0081] 上記凸部は曲面を有していてもよい。このように凸部が曲面を有する場合には、第１のクラッド層において平面により構成される部分が減り、かかる平面において生じ得る応力集中による第１のクラッド層の割れや欠けを抑制することができる。

[0082] 上述した本発明の第１の態様及び第２の態様において、第１のクラッド層を伝搬するスキューモード光を効果的に抑制するためには、上記第１のクラッド層の中心軸に垂直な断面の外形に外接する円の半径に対する上記外形に内接する円の半径の比が０．９６以下であることが好ましい。

[0083] 本発明の第３の態様によれば、クラッド層におけるスキューモード光の抑制効果を有し、コアにおける光の伝送損失の少ない光ファイバを実現することができる光ファイバ用母材が提供される。この光ファイバ用母材は、コア部と、上記コア部の外側に位置するクラッド部とを備える。上記クラッド部の外周には、半径方向内側に凹んだ溝が周方向に互いに離間されて複数本形成されている。

[0084] このような構成によれば、光ファイバ用母材の外周に、半径方向内側に凹んだ複数本の溝が形成されているため、線引きの際に、光ファイバ用母材を高温で加熱しても、完成した光ファイバがクラッド層に半径方向内側に凹んだ凹部を保持することができ、クラッド層の断面形状を非円形とすることができる。したがって、このクラッド層を伝搬する光が螺旋状に旋回しにくくなり、このクラッド層をスキューモード光が伝搬することが抑制される。また、このように光ファイバ用母材を高温で加熱することができるため、光ファイバ用母材のコア部に添加する希土類元素の量を増加させた場合においても、完成した光ファイバのコアにおける希土類酸化物の結晶化や相分離を抑制することができ、光の伝送損失を低減することができる。

[0085] 上記複数の溝はｎ本の溝からなっていてもよく、ｎは５、６、７、８、又は９であってもよい。この場合において、上記クラッド部の中心軸に垂直な断面の外形に外接する円の半径に対する上記外形に内接する円の半径の比は、（１－ｓｉｎ（π／ｎ））／ｃｏｓ（π／ｎ）以上であることが好ましい。

[0086] 本発明の第４の態様によれば、クラッド層におけるスキューモード光の抑制効果を有し、コアにおける光の伝送損失の少ない光ファイバを実現することができる光ファイバ用母材が提供される。この光ファイバ用母材は、コア部と、上記コア部の外側に位置するクラッド部とを備えている。上記クラッド部の外周には、半径方向外側に突出する突出部が周方向に互いに離間されて複数個形成されている。

[0087] このような構成によれば、光ファイバ用母材の外周に、半径方向外側に突出する複数の突出部が形成されているため、線引きの際に、光ファイバ用母材を高温で加熱しても、完成した光ファイバがクラッド層に半径方向外側に突出する凸部を保持することができ、クラッド層の断面形状を非円形にすることができる。したがって、このクラッド層を伝搬する光が螺旋状に旋回しにくくなり、このクラッド層をスキューモード光が伝搬することが抑制される。また、このように光ファイバ用母材を高温で加熱することができるため、光ファイバ用母材のコア部に添加する希土類元素の量を増加させた場合においても、完成した光ファイバのコアにおける希土類酸化物の結晶化や相分離を抑制することができ、光の伝送損失を低減することができる。

[0088] 上記突出部は、多角柱の側面の一部を構成する面によって形成されていることが好ましい。この場合には、突出部を形成する際に、突出部の形成に用いられる定盤と光ファイバ用母材との間の接触を面接触とすることができ、突出部の形成時の応力集中を緩和することができる。したがって、光ファイバ用母材の破損や作製されるマルチクラッド光ファイバの強度の低下を防ぐことができる。

[0089] また、上述したスキューモード光の抑制と伝送損失の低減の観点からは、上記多角柱の上記側面の全体の２％から３０％が上記突出部として残存する

ことが好ましい。

[0090] 本発明の第５の態様によれば、クラッド層におけるスキューモード光の抑制効果を有し、コアにおける光の伝送損失の少ないマルチクラッド光ファイバを実現することができる光ファイバ用母材を製造する方法が提供される。この方法では、コア部と該コア部の外側に位置するクラッド部とを有するガラス材を用意し、上記ガラス材の外周に、半径方向内側に凹んだ溝を周方向に互いに離間して複数本形成して光ファイバ用母材を形成する。

[0091] このような方法により製造された光ファイバ用母材の外周には、半径方向内側に凹んだ複数本の溝が形成されているため、この光ファイバ用母材を高温で加熱しても、作製されるマルチクラッド光ファイバの内側クラッド層に凹部を形成することができ、内側クラッド層の断面形状を非円形に維持することができる。したがって、スキューモード光を効果的に抑制できる内側クラッド層を有するマルチクラッド光ファイバを得ることができる。また、このように光ファイバ用母材を高温で加熱することができるため、光ファイバ用母材のコア部に添加する希土類元素の量を増加させた場合においても、作製されるマルチクラッド光ファイバのコアにおける希土類酸化物の結晶化や相分離が抑制され、光の伝送損失の少ないマルチクラッド光ファイバを得ることができる。

[0092] 上記ガラス材の外周に上記溝を形成する前に、上記ガラス材の外周を加工して多角柱状にしてもよい。この場合において、上記ガラス材の外周に上記溝を形成する際に、上記多角柱のそれぞれの側面の一部を残しつつ、該側面に上記溝を形成してもよい。このようにすることで、ガラス材の外周に溝を形成する際に、溝の形成に用いられる定盤とガラス材との間の接触が面接触となるため、溝を形成する際の応力集中が緩和され、光ファイバ用母材の破損や作製されるダブルクラッド光ファイバの強度の低下を防ぐことができる。

[0093] 上記ガラス材の外周に上記溝を形成する際に、上記ガラス材の円筒面に上記溝を形成してもよい。

[0094] 本発明の第６の態様によれば、クラッド層におけるスキューモード光の抑制効果を有し、コアにおける光の伝送損失の少ないマルチクラッド光ファイバを実現することができる光ファイバ用母材を製造する方法が提供される。この方法では、コア部と該コア部の外側に位置するクラッド部とを有するガラス材を用意し、上記ガラス材の外周を加工して多角柱状にし、上記ガラス材の上記多角柱のそれぞれの側面の一部を残しつつ、該側面に溝を形成する。

[0095] このような方法により製造された光ファイバ用母材の外周には、半径方向外側に突出した複数の突出部が形成されているため、この光ファイバ用母材を高温で加熱しても、作製されるマルチクラッド光ファイバの内側クラッド層に凸部を形成することができ、内側クラッド層の断面形状を非円形に維持することができる。したがって、スキューモード光を効果的に抑制できる内側クラッド層を有するマルチクラッド光ファイバを得ることができる。また、このように光ファイバ用母材を高温で加熱することができるため、光ファイバ用母材のコア部に添加する希土類元素の量を増加させた場合においても、作製されるマルチクラッド光ファイバのコアにおける希土類酸化物の結晶化や相分離が抑制され、光の伝送損失の少ないマルチクラッド光ファイバを得ることができる。

[0096] また、ガラス材に溝を形成する際に、多角柱の側面の一部を残しつつ、この側面に溝を形成しているため、溝の形成に用いられる定盤とガラス材との間の接触を面接触とすることができ、溝の形成時の応力集中を緩和することができる。したがって、光ファイバ用母材の破損や作製されるマルチクラッド光ファイバの強度の低下を防ぐことができる。

[0097] この場合において、上述したスキューモード光の抑制と伝送損失の低減の観点から、上記溝を形成する際に上記多角柱の上記側面を残す割合を２％から３０％の範囲とすることが好ましい。

[0098] 本発明の第７の態様によれば、クラッド層におけるスキューモード光の抑制効果を有し、コアにおける光の伝送損失の少ないマルチクラッド光ファイ

バを得ることができるマルチクラッド光ファイバの製造方法が提供される。この方法によれば、上述した方法により光ファイバ用母材を製造し、この製造された光ファイバ用母材を加熱して延伸し、上記延伸された光ファイバ用母材の上記クラッド部の周囲に該クラッド部よりも屈折率の低い樹脂を塗布して硬化させることにより、マルチクラッド光ファイバが製造される。

[0099] 本発明によれば、クラッド層におけるスキューモード光を効果的に抑制し、コアにおける光の伝送損失を低減することができる。

[0100] 本出願は、２０１８年６月２５日に提出された日本国特許出願特願２０１８－１１９８４４号及び２０１８年６月２５日に提出された日本国特許出願特願２０１８－１１９５６８号に基づくものであり、当該出願の優先権を主張するものである。当該出願の開示は参照によりその全体が本明細書に組み込まれる。

産業上の利用可能性

[0101] 本発明は、複数のクラッド層を有するマルチクラッド光ファイバに好適に用いられる。

符号の説明

[0102]

１０	ダブルクラッド光ファイバ（マルチクラッド光ファイバ）
２０	コア
３０	内側クラッド層
３２	凹部
３４	凸部
４０	外側クラッド層
５０	被覆層
１００	ガラス材
１１０	光ファイバ用母材
１２０	コア部
１３０	クラッド部
１３０Ａ	円筒面

１３２　溝
２００　ガラス材
２１０　光ファイバ用母材
２２０　コア部
２３０Ａ　側面
２３２　溝
８００　線引き装置
８１０　加熱炉
８２０　外径モニタ
８３０　冷却管
８４０　第１の樹脂塗布部
８５０　第１の樹脂硬化部
８６０　第２の樹脂塗布部
８７０　第２の樹脂硬化部
８８０　キャプスタン
８９０　巻取ボビン
９００　ダイヤモンドツール
９１０　定盤
Ｏ　中心軸

請求の範囲

[請求項1] コアと、

前記コアの外側に位置する第１のクラッド層と、

前記第１のクラッド層の外周を被覆する第２のクラッド層であって、前記第１のクラッド層の屈折率よりも低い屈折率を有する第２のクラッド層と

を備え、

前記第１のクラッド層の前記外周には、半径方向内側に凹んだ凹部または半径方向外側に突出する凸部が周方向に互いに離間されて複数個形成されている、

マルチクラッド光ファイバ。

[請求項2] 隣り合う前記凹部の間には、曲面を有し、半径方向外側に突出する凸部が形成されている、請求項１に記載のマルチクラッド光ファイバ。

[請求項3] 隣り合う前記凹部の間には、該隣り合う前記凹部に連続して半径方向外側に突出する凸部が形成されている、請求項１又は２に記載のマルチクラッド光ファイバ。

[請求項4] 前記複数の凹部の数は、５、６、７、８、又は９である、請求項１から３のいずれか一項に記載のマルチクラッド光ファイバ。

[請求項5] 前記凹部は曲面を有する、請求項１から４のいずれか一項に記載のマルチクラッド光ファイバ。

[請求項6] コアと、

前記コアの外側に位置する第１のクラッド層と、

前記第１のクラッド層の外周を被覆する第２のクラッド層であって、前記第１のクラッド層の屈折率よりも低い屈折率を有する第２のクラッド層と

を備え、

前記第１のクラッド層の前記外周には、半径方向外側に突出する凸

部が周方向に互いに離間されて複数個形成されている、
マルチクラッド光ファイバ。

[請求項7] 隣り合う前記凸部の間には、曲面を有し、半径方向内側に凹んだ凹部が形成されている、請求項６に記載のマルチクラッド光ファイバ。

[請求項8] 隣り合う前記凸部の間には、該隣り合う前記凸部に連続して半径方向内側に凹んだ凹部が形成されている、請求項６又は７に記載のマルチクラッド光ファイバ。

[請求項9] 前記複数の凸部の数は、５、６、７、８、又は９である、請求項６から８のいずれか一項に記載のマルチクラッド光ファイバ。

[請求項10] 前記凸部は曲面を有する、請求項６から９のいずれか一項に記載のマルチクラッド光ファイバ。

[請求項11] 前記第１のクラッド層の中心軸に垂直な断面の外形に外接する円の半径に対する前記外形に内接する円の半径の比は０．９６以下である、請求項１から１０のいずれか一項に記載のマルチクラッド光ファイバ。

[請求項12] コア部と、
前記コア部の外側に位置するクラッド部と
を備え、
前記クラッド部の外周には、半径方向内側に凹んだ溝が周方向に互いに離間されて複数本形成されている、
光ファイバ用母材。

[請求項13] 前記複数の溝はｎ本の溝からなり、
前記クラッド部の中心軸に垂直な断面の外形に外接する円の半径に対する前記外形に内接する円の半径の比は、（１－sin（π／ｎ））／cos（π／ｎ）以上である、
請求項１２に記載の光ファイバ用母材。

[請求項14] コア部と、
前記コア部の外側に位置するクラッド部と

を備え、

前記クラッド部の外周には、半径方向外側に突出する突出部が周方向に互いに離間されて複数個形成されている、

光ファイバ用母材。

[請求項15] 前記突出部は、多角柱の側面の一部を構成する面によって形成される、請求項１４に記載の光ファイバ用母材。

[請求項16] 前記多角柱の前記側面の全体の２％から３０％が前記突出部として残存する、請求項１４又は１５に記載の光ファイバ用母材。

[請求項17] コア部と該コア部の外側に位置するクラッド部とを有するガラス材を用意し、

前記ガラス材の外周に、半径方向内側に凹んだ溝を周方向に互いに離間して複数本形成する、

光ファイバ用母材の製造方法。

[請求項18] 前記ガラス材の外周に前記溝を形成する前に、前記ガラス材の外周を加工して多角柱状にし、

前記ガラス材の外周に前記溝を形成する際に、前記多角柱のそれぞれの側面の一部を残しつつ、該側面に前記溝を形成する、

請求項１７に記載の光ファイバ用母材の製造方法。

[請求項19] 前記ガラス材の外周に前記溝を形成する際に、前記ガラス材の円筒面に前記溝を形成する、請求項１７に記載の光ファイバ用母材の製造方法。

[請求項20] コア部と該コア部の外側に位置するクラッド部とを有するガラス材を用意し、

前記ガラス材の外周を加工して多角柱状にし、

前記ガラス材の前記多角柱のそれぞれの側面の一部を残しつつ、該側面に溝を形成する、

光ファイバ用母材の製造方法。

[請求項21] 前記溝を形成する際に前記多角柱の前記側面を残す割合を２％から

３０％の範囲とする、請求項２０に記載の光ファイバ用母材の製造方法。

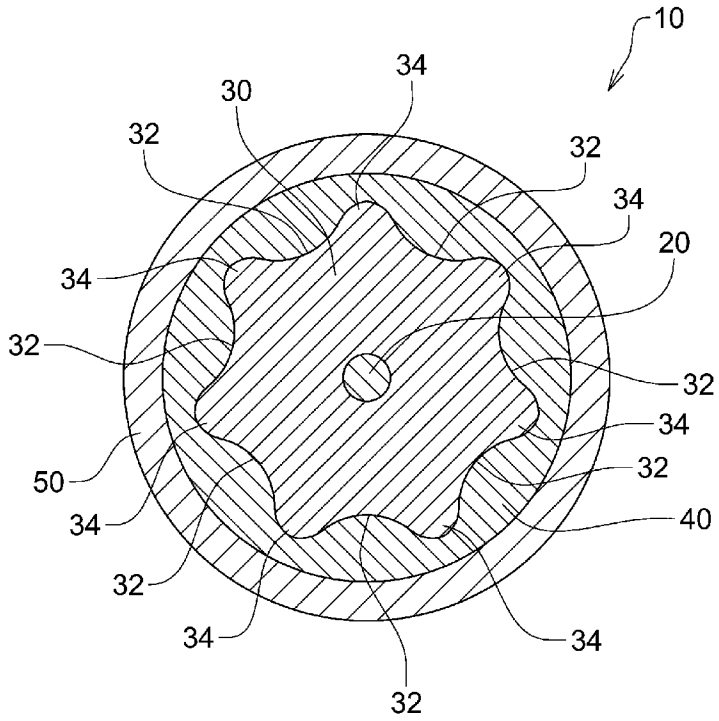
[請求項22] 請求項１７から２１のいずれか一項に記載の製造方法により光ファイバ用母材を製造し、

前記製造された光ファイバ用母材を加熱して延伸し、

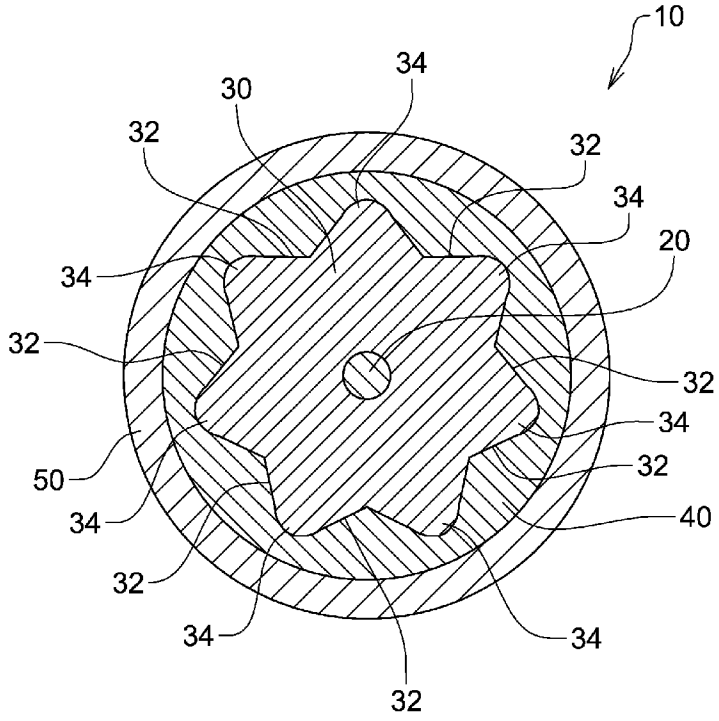
前記延伸された光ファイバ用母材の前記クラッド部の周囲に該クラッド部よりも屈折率の低い樹脂を塗布して硬化させる、

マルチクラッド光ファイバの製造方法。

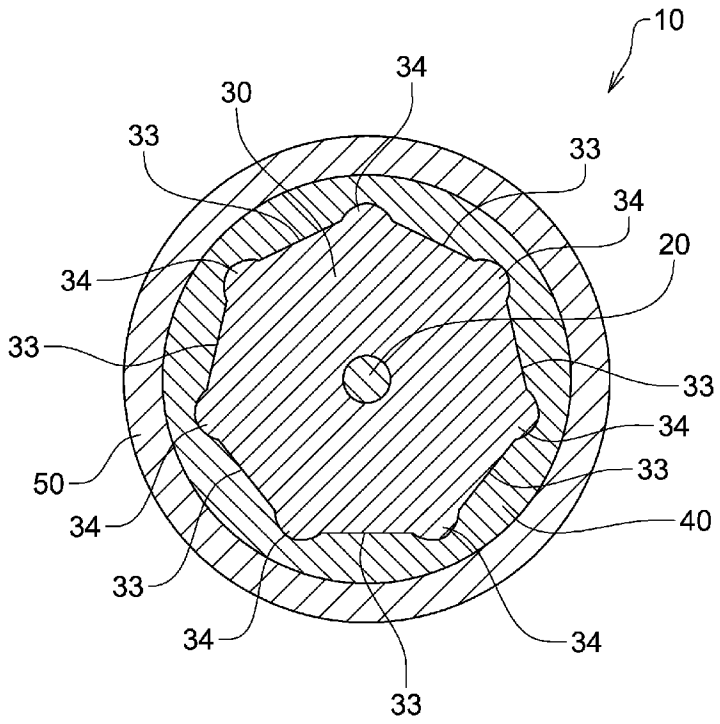
[図1]


10
34
30
32
32
34
20
34
32
32
34
50
32
34
40
32
34
34
32

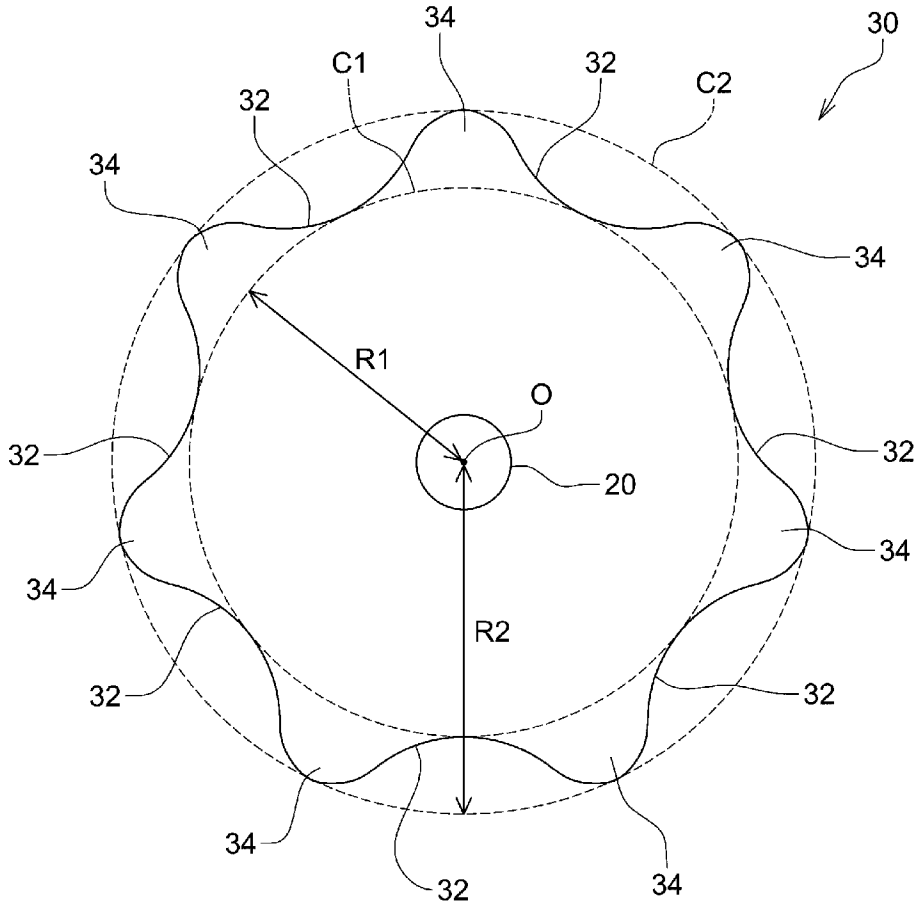
[図2]


10
34
30
32
32
34
20
34
32
32
34
50
32
34
40
32
34
34
32

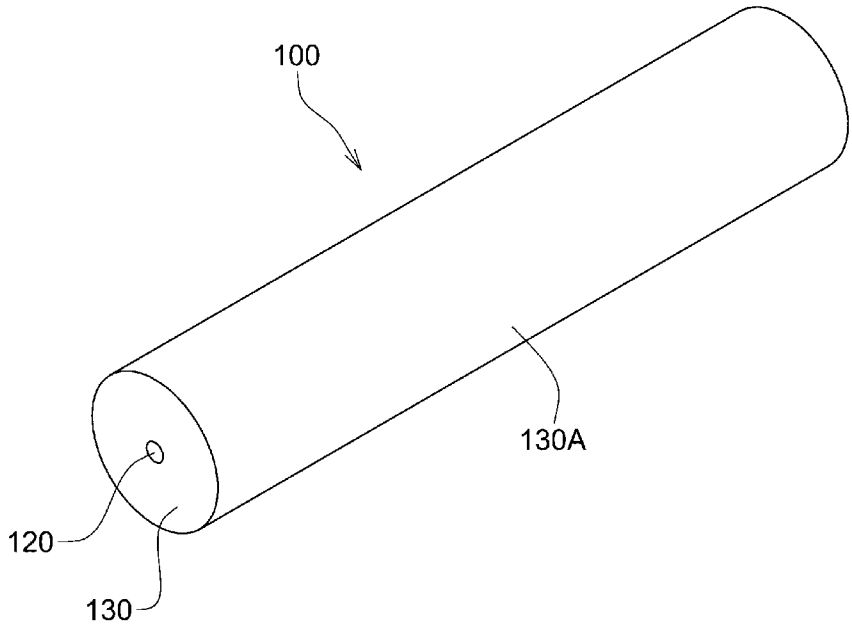
[図3]


10
34
30
33
33
34
20
34
33
33
34
50
33
34
40
34
33
34
33

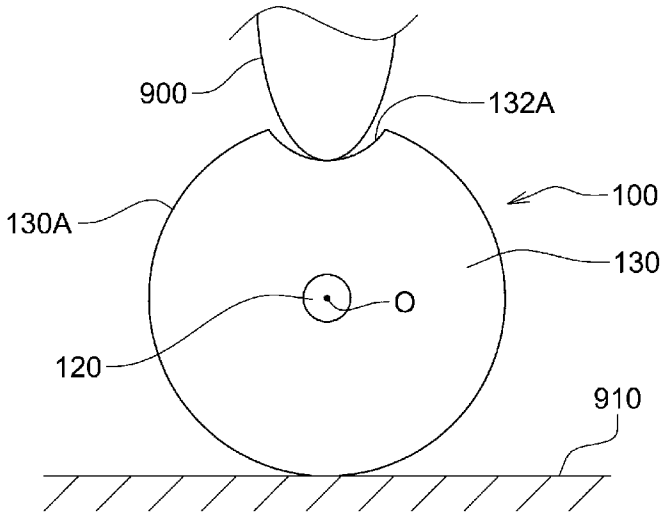
[図4]


34
30
C1
32
32
C2
34
34
R1
O
32
32
20
34
34
R2
32
32
34
32
34

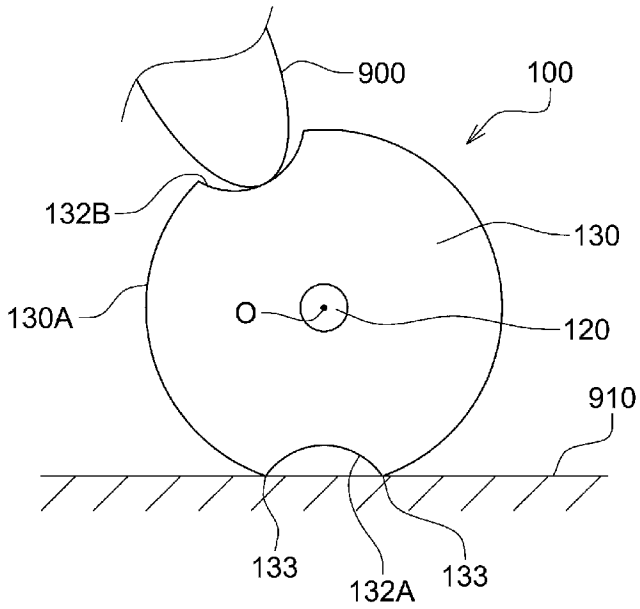
[図5]



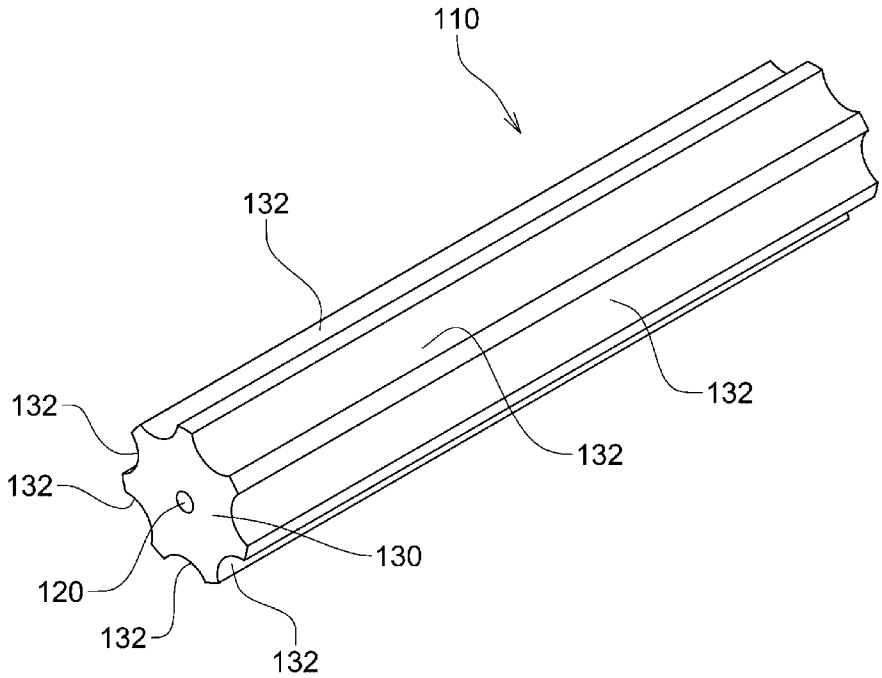
[図6]



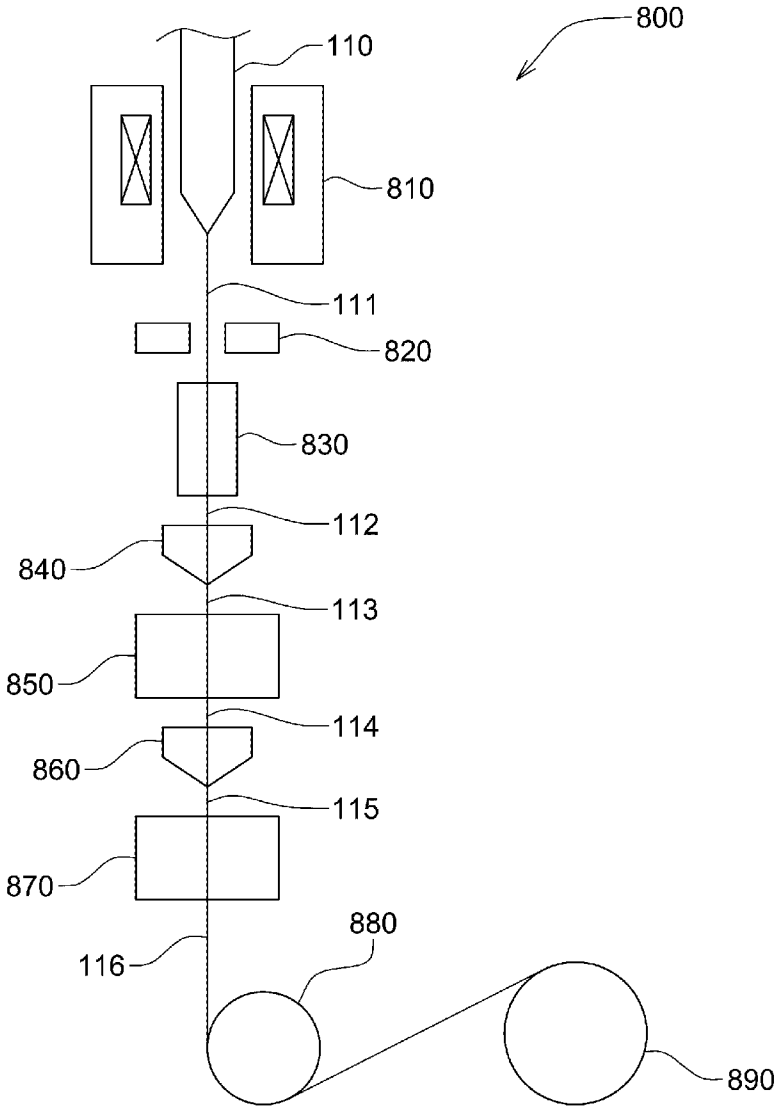
[図7]


900
100
132B
130
130A
O
120
910
133
132A
133

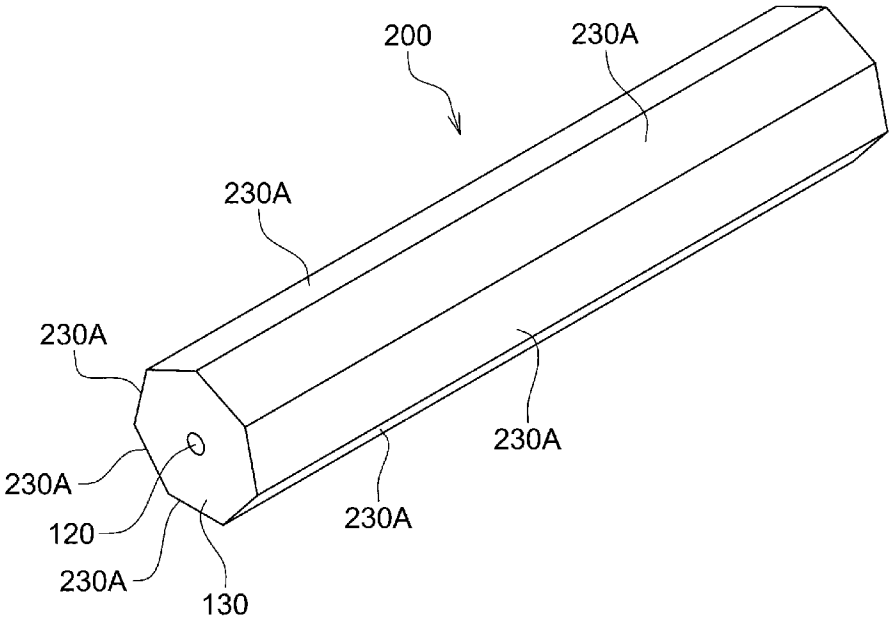
[図8]


110
132
132
132
132
132
132
130
120
132
132

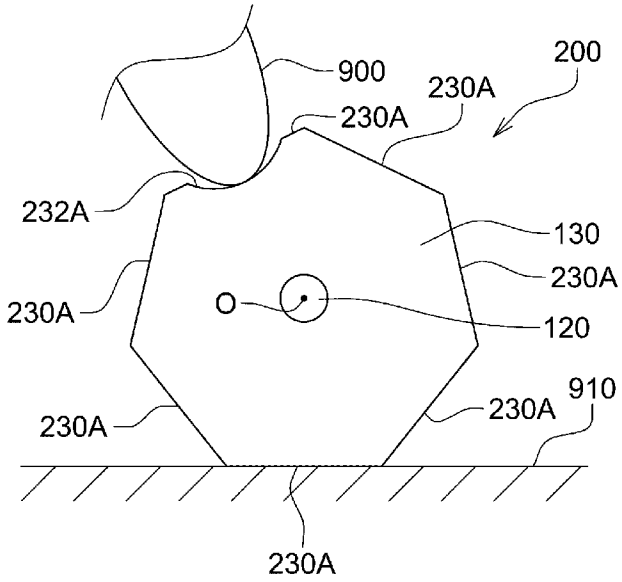
[図9]


800
110
810
111
820
830
112
840
113
850
114
860
115
870
880
116
890

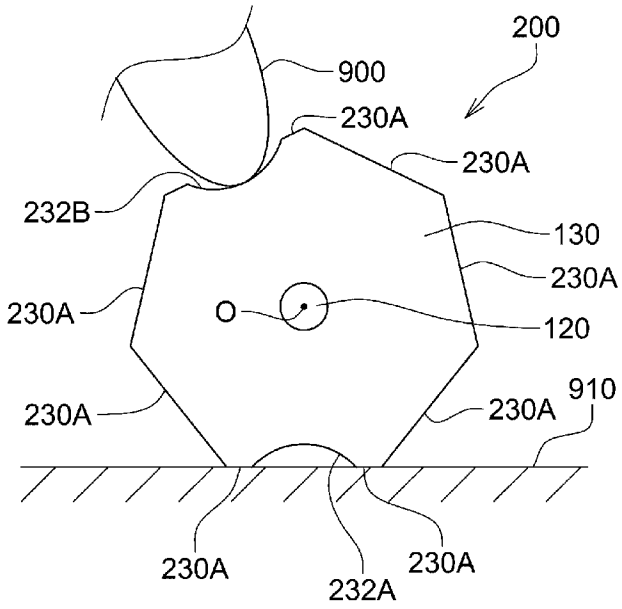
[図10]


200
230A
230A
230A
230A
230A
120
230A
130
230A
230A

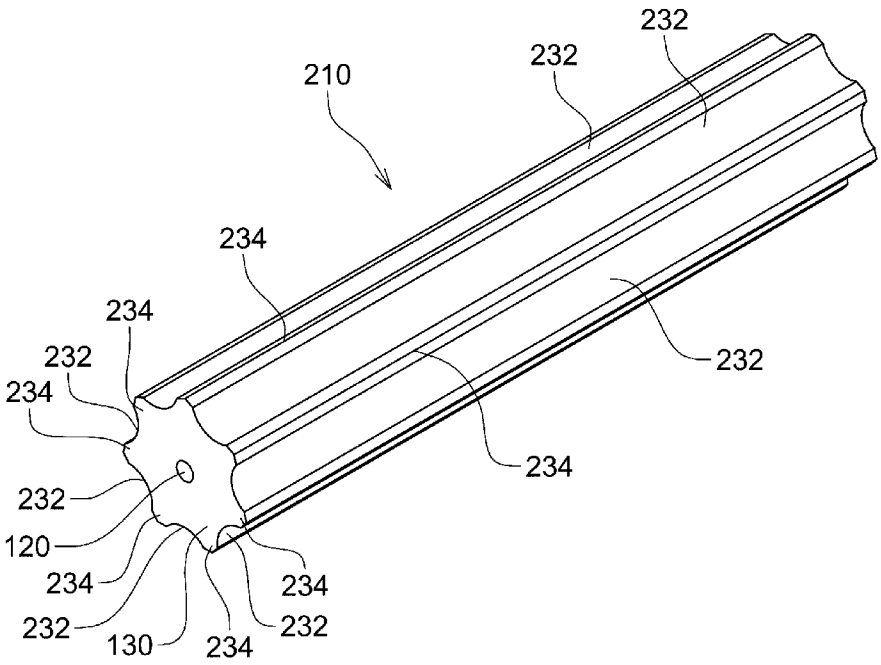
[図11]


900
230A
200
230A
232A
130
230A
230A
O
120
230A
910
230A

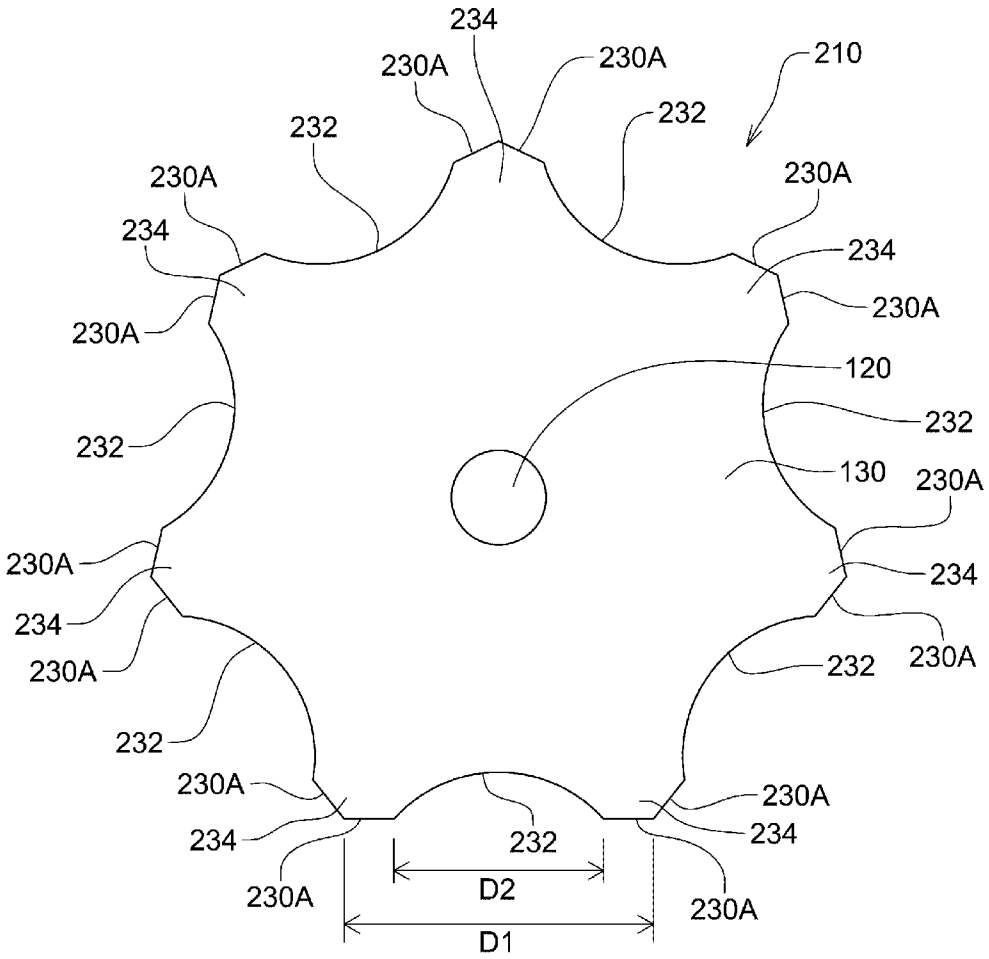
[図12]


200
900
230A
230A
232B
130
230A
230A
O
120
230A
230A
910
230A
232A
230A

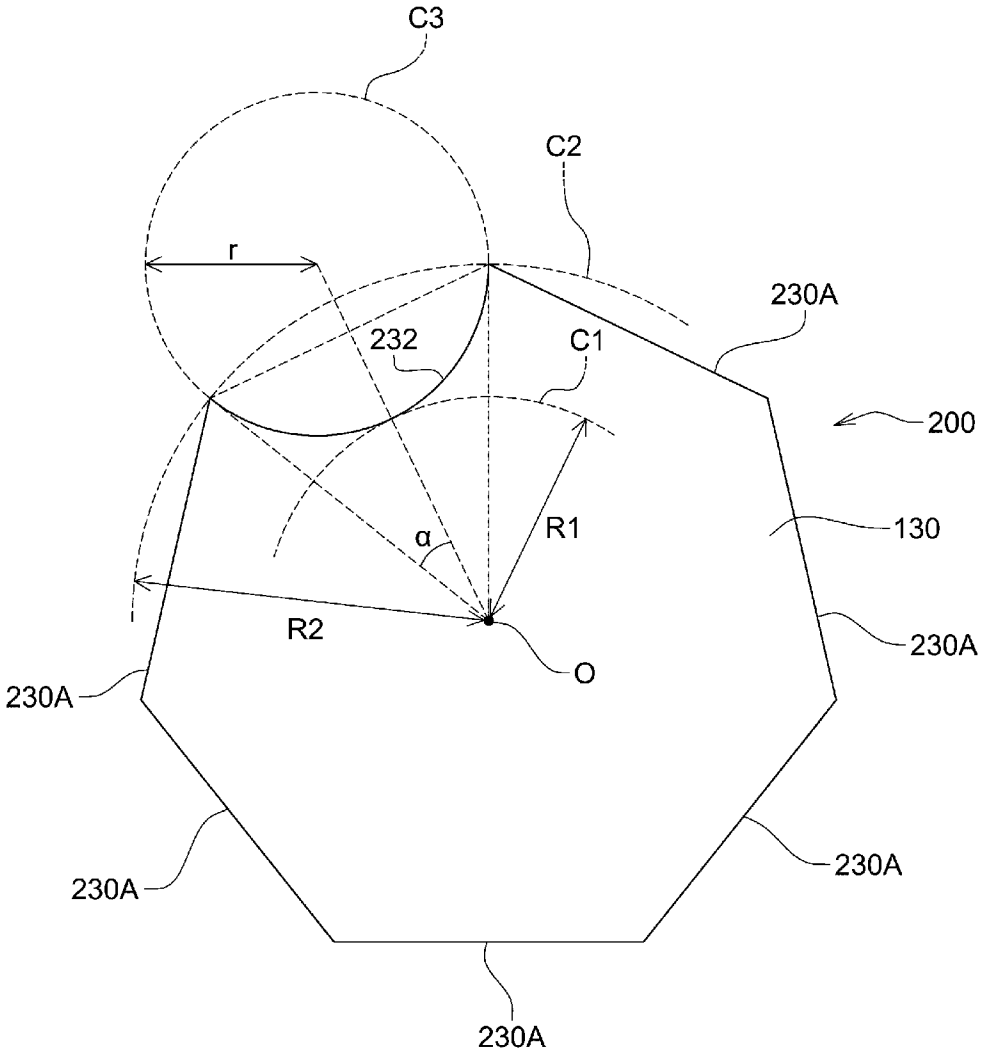
[図13]


232
232
210
234
234
232
234
232
232
234
120
234
234
232
130
234
232

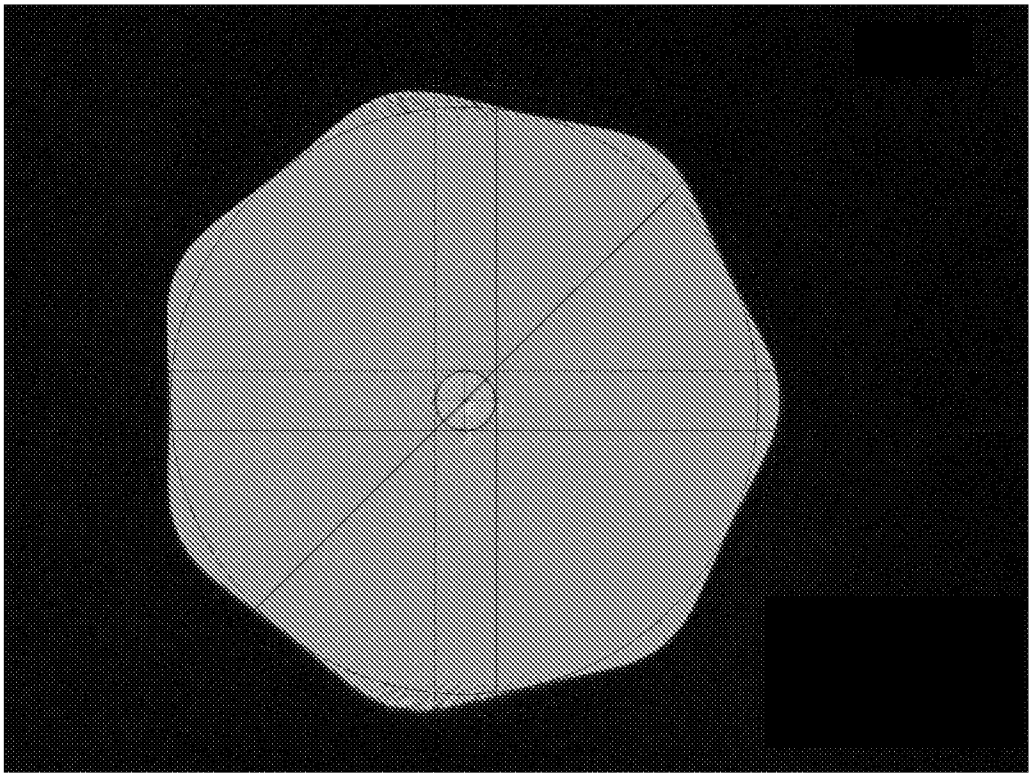
[図14]


234
230A
230A
210
232
232
230A
230A
234
234
230A
230A
120
232
232
130
230A
230A
234
234
230A
232
230A
232
230A
230A
234
232
234
230A
D2
230A
D1

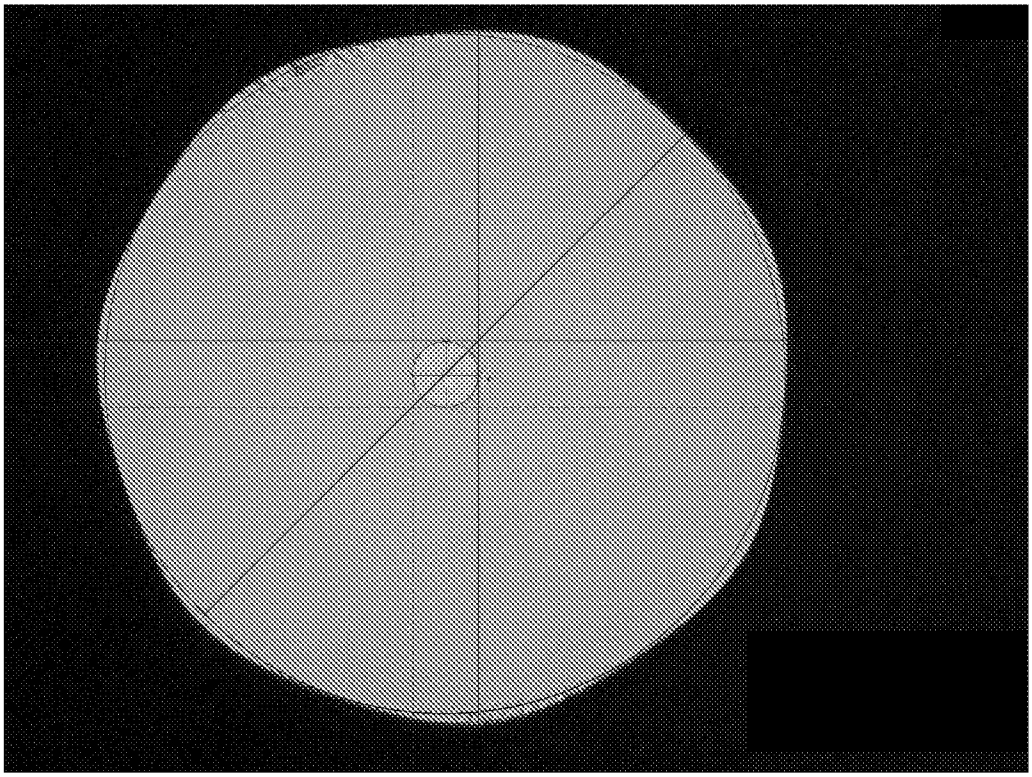
[図15]



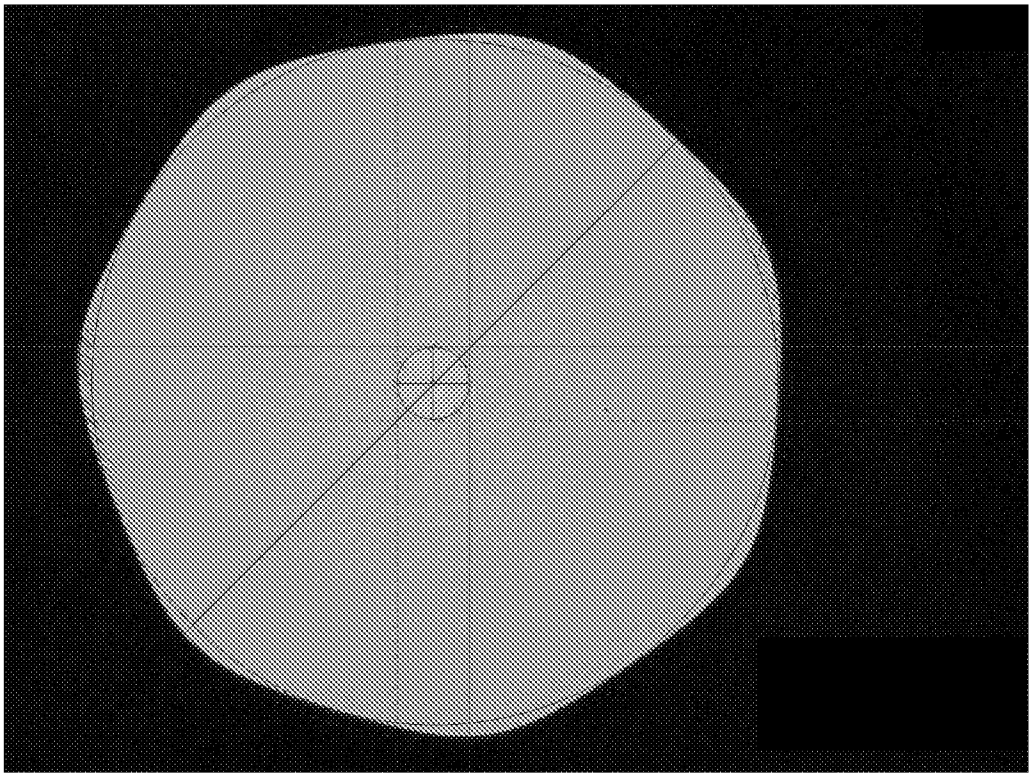
[図16A]



[図16B]



[図16C]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2019/024594

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl. G02B6/036(2006.01)i, C03B37/012(2006.01)i, G02B6/02(2006.01)i, H01S3/067(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. G02B6/02-6/036, G02B6/44, C03B37/00-37/16, H01S3/00-4/00

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)

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 2003-226540 A (MITSUBISHI CABLE INDUSTRIES, LTD.) 12 August 2003, paragraphs [0001]-[0005], [0031]-[0070], fig. 1-7 (Family: none)	1-14, 17, 19, 22 2-5, 7-13, 15-22
X Y	JP 2002-055244 A (LUCENT TECHNOLOGIES INC.) 20 February 2002, paragraphs [0020]-[0025], [0037]-[0046], fig. 3-4 (Family: none)	1-15, 17, 19 2-5, 7-13, 16-22

☒ 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 15 August 2019 (15.08.2019)	Date of mailing of the international search report 03 September 2019 (03.09.2019)
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/JP2019/024594

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	JP 09-194225 A (LUCENT TECHNOLOGIES INC.) 29 July 1997, paragraphs [0015]-[0029], fig. 2-3 & US 5966491 A, column 3, line 15 to column 5, line 35, fig. 2-3 & EP 776074 A2	1-14, 17, 19 2-5, 7-13, 15-22
X Y	WO 2018/003574 A1 (FUJIKURA LTD.) 04 January 2018, paragraphs [0020]-[0067], fig. 2 & EP 3480905 A1, paragraphs [0019]-[0065], fig. 2 & CN 109478755 A	1, 6, 9-11, 14 2-5, 7-13, 15-22
X Y	JP 2003-229617 A (MITSUBISHI CABLE INDUSTRIES, LTD.) 15 August 2003, paragraphs [0022]-[0058], fig. 4 (Family: none)	1, 3-9, 11-18, 20-22 2-5, 7-13, 15-22
X Y	JP 2013-214699 A (MITSUBISHI CABLE INDUSTRIES, LTD.) 17 October 2013, paragraphs [0013]-[0021], fig. 1-2 (Family: none)	1, 3-9, 11-18, 20-22 2-5, 7-13, 15-22
A	JP 2002-277647 A (MITSUBISHI CABLE INDUSTRIES, LTD.) 25 September 2002, paragraph [0030], fig. 1 (Family: none)	1-22
A	JP 02-273728 A (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORP.) 08 January 1990, page 3, lower right column, line 5 to page 5, upper right column, line 9, fig. 1, 5 (Family: none)	1-22
A	CN 102183813 A (BEIJING JIAOTONG UNIVERSITY) 14 September 2011, fig. 1-4 (Family: none)	1-22

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１９／０２４５９４

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　G02B6/036(2006.01)i, C03B37/012(2006.01)i, G02B6/02(2006.01)i, H01S3/067(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.　G02B6/02-6/036, G02B6/44, C03B37/00-37/16, H01S3/00-4/00

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）

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 2003-226540 A（三菱電線工業株式会社）2003.08.12, [0001]-[0005], [0031]-[0070], 図 1-7（ファミリーなし）	1-14, 17, 19, 22
Y		2-5, 7-13, 15-22
X	JP 2002-055244 A（ルーセント　テクノロジーズ　インコーポレイテッド）2002.02.20, [0020]-[0025], [0037]-[0046], 図 3-4（ファミリーなし）	1-15, 17, 19
Y		2-5, 7-13, 16-22

☑　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
１５．０８．２０１９	０３．０９．２０１９

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　４７５２
奥村　政人
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
X Y	JP 09-194225 A（ルーセント　テクノロジーズ　インコーポレイテッド）1997.07.29, [0015]-[0029],図 2-3 & US 5966491 A,第 3 欄第 15 行-第 5 欄第 35 行,図 2-3 & EP 776074 A2	1-14,17,19 2-5,7-13,15-22
X Y	WO 2018/003574 A1（株式会社フジクラ）2018.01.04, [0020]-[0067],図 2 & EP 3480905 A1,[0019]-[0065],図 2 & CN 109478755 A	1,6,9-11,14 2-5,7-13,15-22
X Y	JP 2003-229617 A（三菱電線工業株式会社）2003.08.15, [0022]-[0058],図 4（ファミリーなし）	1,3-9,11-18,20-22 2-5,7-13,15-22
X Y	JP 2013-214699 A（三菱電線工業株式会社）2013.10.17, [0013]-[0021],図 1-2（ファミリーなし）	1,3-9,11-18,20-22 2-5,7-13,15-22
A	JP 2002-277647 A（三菱電線工業株式会社）2002.09.25, [0030],図 1（ファミリーなし）	1-22
A	JP 02-273728 A（日本電信電話株式会社）1990.11.08, 第 3 頁右下欄第 5 行-第 5 頁右上欄第 9 行,第 1,5 図（ファミリーなし）	1-22
A	CN 102183813 A (BEIJING JIAOTONG UNIVERSITY) 2011.09.14, 図 1-4（ファミリーなし）	1-22