

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2016年8月18日(18.08.2016)



(10) 国際公開番号
WO 2016/129650 A1

- (51) 国際特許分類:
G02B 6/02 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2016/054015
- (22) 国際出願日: 2016年2月10日(10.02.2016)
- (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 2015-025211 2015年2月12日(12.02.2015) 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). 国立大学法人北海道大学(NATIONAL
UNIVERSITY CORPORATION
HOKKAIDO UNIVERSITY) [JP/JP]; 〒0600808 北海道
札幌市北区北8条西5丁目 Hokkaido (JP).
- (72) 発明者: 安間 淑通(AMMA Yoshimichi); 〒2858550
千葉県佐倉市六崎1440番地 株式会社フジ
クラ佐倉事業所内 Chiba (JP). 竹永 勝宏
(TAKENAGA Katsuhiko); 〒2858550 千葉県佐倉市
六崎1440番地 株式会社フジクラ佐倉事業
所内 Chiba (JP). 佐々木 雄佑(SASAKI Yusuke); 〒
2858550 千葉県佐倉市六崎1440番地 株式
会社フジクラ佐倉事業所内 Chiba (JP). 齊藤 晋

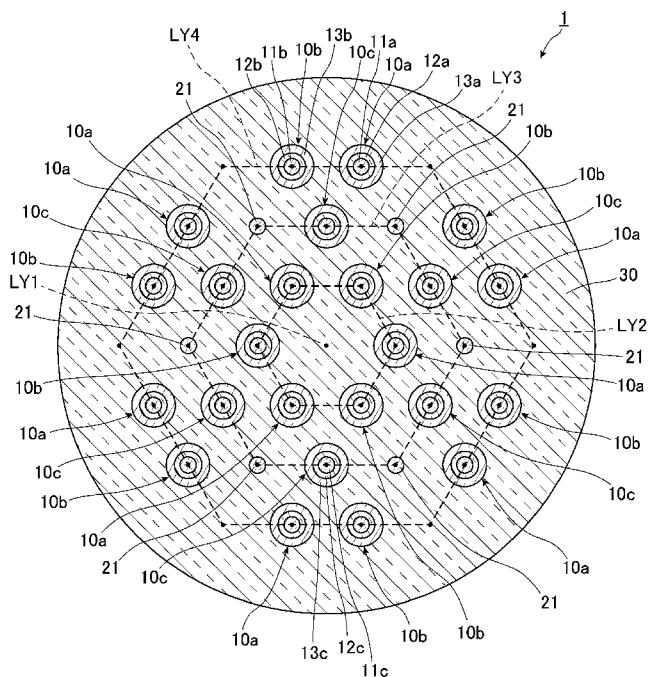
聖(SAITOH Kunimasa); 〒0600808 北海道札幌市北
区北8条西5丁目 国立大学法人北海道大学内
Hokkaido (JP).

- (74) 代理人: 森村靖男, 外(MORIMURA Yasuo et al.);
〒1010032 東京都千代田区岩本町三丁目10番
9号 秋葉原花岡ビル6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, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES,
FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN,
IR, IS, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS,
LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY,
MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT,
QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM,
ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US,
UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保
護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW,
MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユー
ロパ (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ユー
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),

[続葉有]

(54) Title: MULTICORE FIBER

(54) 発明の名称: マルチコアファイバ



(57) Abstract: The effective refractive indexes of core elements 10a-10c are mutually different, and each of the effective refractive indexes of the core elements 10a-10c and the effective refractive index of a second core 21 are mutually different. Cores are not arranged on the lattice point in a first layer LY1 of a triangular lattice. First cores 11a, 11b of the core elements 10a, 10b are arranged on each lattice point in the second layer LY2. A first core 11c of the core element 10c and the second core 21 are alternately arranged on each lattice point in the third layer LY3. In the fourth layer LY4, cores are not arranged on six of the lattice points, and the first cores 11a, 11b of the core elements 10a, 10b are arranged on the other lattice points. Each second core 21 is adjacent to the lattice point where cores in the fourth layer LY4 are not arranged, and the effective refractive indexes of core elements adjacent to each other are mutually different.

(57) 要約: コア要素10a~10cの実効屈折率は互いに異なり、それぞれのコア要素10a~10cの実効屈折率と第2コア21の実効屈折率とは互いに異なる。三角格子の第1層LY1の格子点上にはコアが非配置とされ、第2層LY2の各格子点上にはコア要素10a、10bの第1コア11a、11bが配置され、第3層LY3の各格子点上にはコア要素10cの第1コア11cと第2コア21とが交互に配置され、第4層LY4では6個の格子点上にはコアが非配置とされ他の

格子点上にはコア要素10a、10bの第1コア11a、11bが配置される。それぞれの第2コア21は第4層LY4のコアが非配置とされる格子点と隣り合い、互いに隣り合うコア要素の実効屈折率は互いに異なる。

WO 2016/129650 A1

OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG). 添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称： マルチコアファイバ

技術分野

[0001] 本発明は、マルチコアファイバに関し、クロストークを抑制しつつ、カットオフ波長が長波長化することを抑制する場合に好適なものである。

背景技術

[0002] 現在、一般に普及している光ファイバ通信システムに用いられる光ファイバは、1本のコアの外周がクラッドにより囲まれた構造をしており、このコア内を光信号が伝搬することで情報が伝送される。そして、近年、光ファイバ通信システムの普及に伴い、伝送される情報量が飛躍的に増大している。このような伝送される情報量の増大に伴い、光ファイバ通信システムにおいては、数十本から数百本といった多数の光ファイバが用いられることで、大容量の長距離光通信が行われている。

[0003] こうした光ファイバ通信システムにおいて、複数のコアの外周が1個のクラッドにより囲まれたマルチコアファイバを用いて、それぞれのコアを伝搬する光により、複数の信号を伝送させることが知られている。

[0004] 下記特許文献1にはマルチコアファイバの一例が記載されている。このマルチコアファイバでは、クラッドの中心に1個のコアが配置され、この中心に配置されたコアの周りに6個のコアが配置されている。このような配置は、コアを細密充填できる構造であるため、特定のクラッドの外径に対して、多くのコアを配置することができる。また、この特許文献1に記載のマルチコアファイバでは、それぞれのコアを伝播する光のクロストークを抑制するために互いに隣り合うコアの実効屈折率が互いに異なるものとされている。

[0005] しかし、特許文献1に記載のマルチコアファイバのように互いに隣り合うコアの実効屈折率を変化させる場合よりもクロストークを更に抑制したいという要請がある。そこで、それぞれのコアの外周面を囲むようにクラッドよりも屈折率の低い低屈折率層が配置され、クロストークがより防止されたマ

ルチコアファイバが知られている。このマルチコアファイバを屈折率の観点から見ると上記低屈折率層がトレンチ状となるため、当該マルチコアファイバはトレンチ型と称され、コアから低屈折率層までの構成をコア要素と称する。

[0006] しかし、このマルチコアファイバでは、コア要素が特定のコアやコア要素を囲むように配置されると、当該特定のコアやコア要素を伝搬する光における高次モードの光が逃げづらく、カットオフ波長が長波長化する傾向がある。そこで、下記特許文献2に記載のマルチコアファイバのように、特定のコアやコア要素を囲む複数のコア要素のうち、一部のコア要素についてはトレンチ層を除去して単にコアとする構成とすることが知られている。このようなマルチコアファイバによれば、クロストークを抑制しつつ、カットオフ波長が長波長化することを抑制することができる。

[0007] 特許文献1：特開2011-170336号

特許文献2：国際公開第WO12/118132号

発明の概要

[0008] しかし、上記特許文献1及び上記特許文献2に記載のマルチコアファイバにおいて、30個以上のコアを配置しようとする、クロストークが増加したり、カットオフ波長が長波長化する傾向がある。

[0009] そこで、本発明は、クロストーク及びカットオフ波長の長波長化を抑制しつつも、配置されるコアの数を多くできるマルチコアファイバを提供することを目的とする。

[0010] 上記目的を達成するため、本発明のマルチコアファイバは、第1コアと、前記第1コアの外周面を囲む内側クラッドと、前記内側クラッドよりも低い屈折率とされると共に前記内側クラッドを囲む低屈折率層とを有する複数のコア要素と、複数の第2コアと、前記第1コア及び前記第2コアよりも低い屈折率とされると共に前記低屈折率層よりも高い屈折率とされ、それぞれの前記コア要素及びそれぞれの第2コアとを囲む外側クラッドと、を備えるもので、以下の特徴を有する。

- [0011] すなわち、前記コア要素の実効屈折率と前記第2コアの実効屈折率とは互いに異なり、前記複数のコア要素は、前記コア要素の実効屈折率が互いに異なる少なくとも3種類のコア要素に分類できる。
- [0012] さらに、前記外側クラッドの中心を囲む正六角形の各頂点を基準とした三角格子において、前記各頂点で囲まれる格子点を第1層とし、前記各頂点上に位置する格子点から成る層を第2層とし、前記第2層の各格子点と外側に隣り合う各格子点から成る層を第3層とし、前記第3層の各格子点と外側に隣り合う各格子点から成る層を第4層とする場合に、前記第1層の格子点上にはコアが非配置とされ、前記第2層の各格子点上には前記コア要素の前記第1コアが配置され、前記第3層の各格子点上には前記コア要素の前記第1コアと前記第2コアとが交互に配置され、前記第4層では6個の格子点上にはコアが非配置とされ他の格子点上には前記コア要素の前記第1コアが配置される。そして、それぞれの前記第2コアは前記第4層のコアが非配置とされる格子点と隣り合い、互いに隣り合う前記コア要素同士の実効屈折率は互いに異なる。
- [0013] 上記を特徴とする本発明のマルチコアファイバによれば、第2層から第4層において、コアが30個配置される。従って、本発明のマルチコアファイバでは30個以上のコアを配置することができる。
- [0014] また、第2層に配置されるそれぞれのコア要素は、第1層のコアが非配置の格子点と隣り合うと共に、第3層に配置される第2コアの1個または2個と隣り合う。従って、第2層に配置される何れのコア要素からも高次モードの光を逃げ易くすることができる。また、第3層に配置されるそれぞれの第2コアは、第4層のコアが非配置とされる格子点と隣り合うため、これら第2コアから高次モードの光を逃げ易くすることができる。また、第3層に配置されるそれぞれのコア要素は、第3層に配置される第2コアのうち2個と隣り合うため、第3層に配置されるそれぞれのコア要素から高次モードの光を逃げ易くすることができる。また、第4層に配置されるそれぞれのコア要素は、第4層のコアが非配置とされる格子点と隣り合う。従って、第4層に

配置されるそれぞれのコア要素から高次モードの光を逃げ易くすることができる。こうして、それぞれのコアのカットオフ波長が長波長化することを抑制することができる。

[0015] また、全ての第1コア及び第2コアにおいて、互いに隣合うコア間には低屈折率層が配置される。さらに、互いに隣り合うコア要素同士の実効屈折率或いは互いに隣り合うコア要素と第2コアとの実効屈折率が異なる。従って、互いに隣り合うコアとコア要素とのクロストークや互いに隣り合うコア要素同士のクロストークを抑制することができる。

[0016] 以上のようなコア要素や第2コアの配置とすることで、クロストーク及びカットオフ波長の長波長化を抑制しつつ配置されるコアの数を多くできる。

[0017] また、前記第2コアは、前記第3層の互いに隣り合う格子点を結ぶことで形成される六角形の各頂点上に配置されることが好ましい。

[0018] このように第2コアが第3層の六角形の頂点上に位置する場合、それぞれの第2コア間に必ずコア要素が位置する。従って、低屈折率層を有さない第2コア間のクロストークをより適切に低減することができる。

[0019] また、全てのコア要素は、コアが非配置とされる少なくとも1個の格子点及び少なくとも1個の第2コアと隣り合う。つまり、全てのコア要素は、高次モードが逃げ易い少なくとも2カ所の格子点と隣り合う。一方、全ての第2コアは、コアが非配置とされる1個の格子点と隣り合うと共に5つのコア要素により囲まれる。つまり、全ての第2コアは、高次モードが逃げ易い格子点の1つのみと隣り合う。ところで、隣接するコア要素やコアの影響を無視すると、低屈折率層で囲まれない第2コアの方が、低屈折率層を有するコア要素よりも高次モードが逃げ易い。従って、本構成によれば、コア要素と第2コアとの間で、高次モードの逃げ易さのバランスをとることができる。

[0020] 上記のように前記第2コアが第3層の六角形の各頂点上に配置される場合、前記第4層のコアが非配置とされる格子点は、前記第4層の互いに隣り合う格子点を結ぶことで形成される六角形の各頂点上に位置することとしても良い。

- [0021] 第4層の六角形の頂点にコアが非配置とされることで、この頂点にコアが配置される場合よりも、クラッドの中心から第4層のコアまでの距離を小さくすることができる。従って、第4層までのコアの配置を考慮する場合にクラッドの外径を小さくすることができる。
- [0022] また、上記のように前記第2コアが第3層の六角形の各頂点上に配置される場合、前記第4層のコアが非配置とされる格子点は、前記第4層の互いに隣り合う格子点を結ぶことで形成される六角形の各辺上に位置することとしても良い。
- [0023] このようなコアの配置とすることで、第4層のコアが非配置とされる格子点の位置やコア要素の配置位置が、マルチコアファイバの両端で異なる。従って、コアを識別するマーカが無い場合であっても、コアの種類を特定することができる。
- [0024] また或いは、前記第2コアは、前記第3層の互いに隣り合う格子点を結ぶことで形成される六角形の各辺上に配置されることが好ましい。
- [0025] このようなコアの配置とすることで、第4層のコアが非配置とされる格子点の位置やコア要素の配置位置が、マルチコアファイバの両端で異なる。従って、コアを識別するマーカが無い場合であっても、コアの種類を特定することができる。
- [0026] 前記外側クラッドの外径が $230\mu\text{m}$ 以下とされ、前記格子点の間隔が $30\mu\text{m}$ 以下とされることが好ましい。
- [0027] 当該格子点の間隔は互いに隣り合うコア間距離に他ならない。このようなコア間距離とされ、上記クラッドの外径とされることで、マルチコアファイバの機械的強度を維持しつつ、クラッドの外周面が樹脂層で被覆される場合であっても当該被覆による過剰な損失が生じることを抑えることができる。
- [0028] また、互いに隣り合う前記コア要素間及び互いに隣り合う前記コア要素と前記第2コア間のクロストークの大きさが、半径 100mm より小さい曲げ半径でピークとなることが好ましい。
- [0029] 一般的に光ファイバは、曲げ半径が 100mm 以上で使用される。そのた

め、上記の構成とされることで、通常の仕様においてはクロストークがピークとなることが無い。このため、クロストークを抑制することができる。

[0030] また、波長が1550nmの光が前記コア要素及び第2コアを伝搬する場合に、互いに隣り合う前記コア要素及び互いに隣り合う前記コア要素と前記第2コア間のクロストークが100km当たり-37dB以下とされることが好ましい。

[0031] クロストークがこのような値とされることで、通信用の光ファイバとして十分に使用することができる。

[0032] また、前記コア要素及び前記第2コアは波長が1530nm以上の光をシングルモードで伝搬することとしても良い。

[0033] また、互いに隣り合う前記コア要素間及び互いに隣り合う前記コア要素と前記第2コア間の実効屈折率の差が0.0005以上であることが好ましい。

[0034] 互いに隣り合うコア要素間や互いに隣り合うコア要素と第2コア間が上記のような実効屈折率の差を有することで、クロストークをより適切に抑制することができる。

[0035] また、それぞれの前記コア要素及びそれぞれの第2コアの実効断面積が等しいことが好ましい。

[0036] それぞれのコア要素や第2コアの実効断面積が等しいことにより、各コア間の光信号対雑音比や接続損失のばらつきを小さくすることができる。

[0037] 以上のように、本発明によれば、クロストーク及びカットオフ波長の長波長化を抑制しつつも、配置されるコアの数を多くできるマルチコアファイバが提供される。

図面の簡単な説明

[0038] [図1]本発明の第1実施形態に係るマルチコアファイバの長手方向に垂直な断面図である。

[図2]図1に示すマルチコアファイバのそれぞれのコアの屈折率、実効屈折率を示す図である。

[図3]本発明の第2実施形態に係るマルチコアファイバの長手方向に垂直な断面図である。

[図4]本発明の第3実施形態に係るマルチコアファイバの長手方向に垂直な断面図である。

[図5]実施例におけるクロストークの測定結果を示す図である。

発明を実施するための形態

[0039] 以下、本発明に係るマルチコアファイバの好適な実施形態について図面を参照しながら詳細に説明する。なお、理解の容易のため、それぞれの図に記載のスケールと、以下の説明に記載のスケールとが異なる場合がある。

[0040] (第1実施形態)

図1は、本実施形態に係るマルチコアファイバの長手方向に垂直な断面における構造を示す図である。図1に示すように、本実施形態のマルチコアファイバ1は、複数のコア要素10a、10b、10c及び複数の第2コア21と、それぞれのコア要素10a、10b、10cを囲む外側クラッド30を備える。

[0041] コア要素10aは、第1コア11aと、第1コア11aの外周面を隙間なく囲む内側クラッド12aと、内側クラッド12aの外周面を隙間なく囲み、外側クラッド30に外周面が隙間なく囲まれる低屈折率層13aとを有している。また、コア要素10bは、第1コア11bと、第1コア11bの外周面を隙間なく囲む内側クラッド12bと、内側クラッド12bの外周面を隙間なく囲み、外側クラッド30に外周面が隙間なく囲まれる低屈折率層13bとを有している。また、コア要素10cは、第1コア11cと、第1コア11cの外周面を隙間なく囲む内側クラッド12cと、内側クラッド12cの外周面を隙間なく囲み、外側クラッド30に外周面が隙間なく囲まれる低屈折率層13cとを有している。また、それぞれの第2コア21は外側クラッド30で隙間なく囲まれている。なお、以下の説明で単にコアという場合、第1コア11a～11c及び第2コア21の両方を意味する場合がある。

[0042] 図1に示すように、外側クラッド30の中心軸を囲むように3つのコア要素10aと3つのコア要素10bとが配置されている。具体的には、それぞれのコア要素10aとそれぞれのコア要素10bとが互い違い配置され、3つのコア要素10aの第1コア11a及び3つのコア要素10bの第1コア11bがそれぞれ正六角形の頂点に位置するように配置されている。

[0043] ここで、この正六角形を基準として三角格子を描く、すなわち当該正六角形のそれぞれの頂点を格子点とする三角格子を描く。この場合、三角格子を形成する三角形はそれぞれ正三角形となり、上記正六角形の辺が三角形の辺となる。なお、図1では、各三角格子の格子点が点で示されている。このように三角格子を描くと、図1に示すように、それぞれのコア要素10a～10cの第1コア11a～11c及び第2コア21は、格子点上に配置されることとなる。

[0044] また、この正六角形で囲まれる格子点を第1層LY1とすると、第1層LY1上に位置する格子点は1個となる。本実施形態では、この格子点が外側クラッド30の中心軸上に位置しているが、格子点が外側クラッド30の中心軸から多少ずれても良い。図1に示すように第1層LY1上に位置する格子点上には外側クラッド30が位置しておりコアが非配置とされる。

[0045] 上記のように第1層LY1を定義すると、上記の正六角形の各頂点から成る層が第2層LY2となり、第2層LY2のそれぞれの格子点上には、コア要素10aの第1コア11a及びコア要素10bの第1コア11bが交互に配置されることとなる。

[0046] また、第2層LY2の各格子点と外側に隣り合う各格子点から成る層を第3層LY3とすると、第3層LY3の各格子点上にはコア要素10cの第1コア11cと第2コア21とが交互に配置される。本実施形態では、第2コア21が第3層LY3の互いに隣り合う格子点を結ぶことで形成される六角形の各頂点上に配置されており、第1コア11cが第3層LY3における六角形の辺上の格子点上に配置されている。

[0047] また、第3層LY3の各格子点と外側に隣り合う各格子点から成る層を第

4層LY4とすると、第4層LY4の6個の格子点上にコアが非配置とされ、第4層LY4の他の12個の格子点上に6個のコア要素10aの第1コア11a及び6個のコア要素10bの第1コア11bがそれぞれ配置され、かつ、第3層LY3上に配置されているそれぞれの第2コア21が第4層LY4のコアが非配置とされる格子点と隣り合っている。本実施形態では、第4層LY4のコアが非配置とされる格子点は、第4層LY4の互いに隣り合う格子点を結ぶことで形成される六角形の各頂点上に位置する格子点とされる。また、第4層LY4のそれぞれの辺上には格子点が2個ずつ位置し、それぞれの辺上に位置する格子点には、コア要素10aの第1コア11aとコア要素10bの第1コア11bとが1個ずつ配置される。

[0048] また、本実施形態のマルチコアファイバ1では、第4層LY4の各格子点と外側で隣り合う格子点にはコアが配置されていない。こうして、コア要素10a同士、及び、コア要素10b同士、及び、コア要素10c同士、及び、第2コア21同士は、互いに隣り合わず、それぞれのコア要素10a、10b、10c及び第2コア21は配置される。また、上記のようにコア要素10a、10b、10c、第2コア21が配置されることで、本実施形態のマルチコアファイバ1では30個のコアが配置されている。

[0049] 図2は、図1に示すマルチコアファイバ1のそれぞれのコア要素10a～10c及び第2コアの屈折率、実効屈折率を示す図である。図2では、コア要素10a、コア要素10b、コア要素10c、第2コア21を並べて、それぞれのコア要素10a～10c及び第2コア21の間を外側クラッド30で埋めた場合について、屈折率を実線で示している。また図2では、コア要素10a～10c及び第2コア21の実効屈折率を破線で示している。

[0050] 本実施形態では、各コア要素10a、10b、10cの各第1コア11a、11b、11c及び第2コア21の直径が異なるようにされている。例えば、第1コア11aの半径が4.76 μ mとされ、第1コア11bの半径が4.62 μ mとされ、第1コア11cの半径が4.47 μ mとされ、第2コア21の半径が4.68 μ mとされる。また、本実施形態では、それぞれの

コア要素10a~10cの内側クラッド12a~12cの外径が異なっている。例えば、内側クラッド12aの半径（外周面の半径）が $8.09\mu\text{m}$ とされ、内側クラッド12bの半径が $7.85\mu\text{m}$ とされ、内側クラッド12cの半径 $7.60\mu\text{m}$ とされる。内側クラッド12a~12cの半径がそれぞれ上記例示の大きさであり、第1コア11a~11cの半径が上記例示の大きさである場合、第1コア11aの半径と内側クラッド12aの半径との比と、第1コア11bの半径と内側クラッド12bの半径との比と、第1コア11cの半径と内側クラッド12cの半径の比は、互いに概ね同じ値とされる。また、本実施形態では、それぞれのコア要素10a~10cの低屈折率層13a~13cの厚みは互いに異なっている。例えば、低屈折率層13aの厚みが $4.76\mu\text{m}$ とされ、低屈折率層13bの厚みが $4.62\mu\text{m}$ とされ、低屈折率層13cの厚みが $5.36\mu\text{m}$ とされる。この場合、第1コア11a~11cの半径が上記例示の大きさであれば、低屈折率層13aと第1コア11aの半径との比は1.0となり、低屈折率層13bと第1コア11bの半径との比は1.0となり、低屈折率層13cと第1コア11cの半径との比は1.2となる。

[0051] また、外側クラッド30の外径Rは、例えば $156\mu\text{m}$ 以上 $230\mu\text{m}$ 以下とされ、それぞれの格子点の間隔、すなわち、互いに隣り合うコアの中心間距離 Λ は、例えば $20\mu\text{m}$ 以上 $34\mu\text{m}$ 以下とされ、第4層LY4上に配置される第1コア11a, 11bから外側クラッド30の外周面までの距離は、例えば $25\mu\text{m}$ 以上 $45\mu\text{m}$ 以下とされる。

[0052] また、コア要素10aの第1コア11aの屈折率 n_{11a} は、内側クラッド12aの屈折率 n_{12a} よりも高く、低屈折率層13aの屈折率 n_{13a} は、内側クラッド12aの屈折率 n_{12a} 及び外側クラッド30の屈折率 n_{30} よりも低くされている。同様に、コア要素10bの第1コア11bの屈折率 n_{11b} は、内側クラッド12bの屈折率 n_{12b} よりも高く、低屈折率層13bの屈折率 n_{13b} は、内側クラッド12bの屈折率 n_{12b} 及び外側クラッド30の屈折率 n_{30} よりも低くされており、コア要素10cの第1コア11cの屈折率 n_{11c} は、内

側クラッド12cの屈折率 n_{12c} よりも高く、低屈折率層13cの屈折率 n_{13c} は、内側クラッド12cの屈折率 n_{12c} 及び外側クラッド30の屈折率 n_{30} よりも低くされている。なお、本実施形態では、内側クラッド12a, 12b, 12cの屈折率 $n_{12a} \sim n_{12c}$ は互いに等しく、外側クラッド30の屈折率 n_{30} と同じ屈折率とされている。また、第2コア21の屈折率 n_{21} は外側クラッド30の屈折率 n_{30} より高くされている。

[0053] このようにそれぞれのコア要素10a～10cを屈折率の観点から見る場合に、低屈折率層13a～13cはそれぞれ溝状となり、それぞれのコア要素10a～10cはトレンチ構造を有している。このような、トレンチ構造にすることにより、マルチコアファイバ1のそれぞれの第1コア11a～11cを伝搬する光の損失を抑制することができる。

[0054] マルチコアファイバ1は、このような屈折率を有するため、例えば、外側クラッド30及びそれぞれの内側クラッド12a～12cはドーパントが何ら添加されていない石英から成り、それぞれの第1コア11a～11c及び第2コア21は、ゲルマニウム等の屈折率を上げるドーパントが添加された石英から成り、低屈折率層13a～13cは、フッ素等の屈折率を下げるドーパントが添加された石英等から成る。また、上記のように第1コア11a～11c、第2コア21の屈折率が異なる場合には、第1コア11a～11c、第2コア21に添加されるドーパントの量が適宜変えられる。

[0055] なお、上記と異なり、内側クラッド12a～12cの屈折率が外側クラッド30の屈折率と異なるようにされても良く、この場合、コア要素10a～10cの実効屈折率が互いに異なる限りにおいて、内側クラッド12a～12cの屈折率が互いに同じでも良く互いに異なっても良い。内側クラッド12a～12cの屈折率が外側クラッド30と異なる場合、内側クラッド12a～12cに必要なドーパントが添加される。或いは、外側クラッド30にドーパントが適宜添加されても良い。

[0056] また、本実施形態では、それぞれの第1コア11a, 11b, 11c及び第2コア21の屈折率 n_{11a} , n_{11b} , n_{11c} , n_{21} は互いに異なっており、

例えば、外側クラッド30に対する第1コア11aの比屈折率差 Δ_{11a} は0.338%とされ、外側クラッド30に対する第1コア11bの比屈折率差 Δ_{11b} は0.305%とされ、外側クラッド30に対する第1コア11cの比屈折率差 Δ_{11c} は0.273%とされ、外側クラッド30に対する第2コア21の比屈折率差 Δ_{21} は0.388%とされる。

[0057] また、本実施形態では、それぞれの低屈折率層13a, 13b, 13cの屈折率が互いに等しくされ、例えば、外側クラッド30に対するそれぞれの低屈折率層13a, 13b, 13cの比屈折率差は、-0.7%とされる。

[0058] 上記のようにマルチコアファイバ1を構成するそれぞれの部材の径や屈折率が定められることで、それぞれのコア要素10a~10c及び第2コア21の実効屈折率は互いに異なっている。例えば、マルチコアファイバ1を構成するそれぞれの部材の径や屈折率が上記の例示のように定められる場合、波長1550nmの基本モードの光において、コア要素10aの実効屈折率は1.45241450とされ、コア要素10bの実効屈折率は1.45190751とされ、コア要素10cの実効屈折率は1.45141253とされる。なお、図2では、それぞれのコア要素10a~10c及び第2コア21の実効屈折率が上記例示の状態について破線で示している。このようにコア要素10a~10cの実効屈折率の観点からそれぞれのコア要素10a~10cは3種類に分類できる。また、第2コア21の実効屈折率は1.45304244とされる。上記のように、コア要素10a同士、及び、コア要素10b同士、及び、コア要素10c同士、及び、第2コア21同士は、互いに隣り合わないため、マルチコアファイバ1において、互いに隣り合うコア要素同士、及び、互いに隣り合うコア要素と第2コアの実効屈折率は互いに異なる。

[0059] また、マルチコアファイバ1を構成するそれぞれの部材の径や屈折率が上記の例示のように定められる場合、波長1550nmの基本モードの光において、コア要素10aの実効断面積は80.2 μm^2 となり、コア要素10bの実効断面積は80.3 μm^2 となり、コア要素10cの実効断面積は80.

$2 \mu\text{m}^2$ となり、第2コア21の実効断面積は $80.0 \mu\text{m}^2$ となり、それぞれのコア要素10a～10c及び第2コア21の実効断面積は概ね等しくなる。

[0060] また、マルチコアファイバ1を構成するそれぞれの部材の径や屈折率が上記の例示のように定められる場合、LP11モードの光に対して、コア要素10aのカットオフ波長は $1.53 \mu\text{m}$ となり、コア要素10bのカットオフ波長は $1.35 \mu\text{m}$ となり、コア要素10cのカットオフ波長は $1.39 \mu\text{m}$ となり、第2コア21のカットオフ波長は $1.53 \mu\text{m}$ となる。

[0061] ここで、上記の第1コア11a～11c及び第2コア21の半径 r_1 及び外側クラッド30に対する比屈折率差 Δ_1 、及び、低屈折率層13a～13cの外側クラッド30に対する比屈折率差 Δ_t 、及び、第1コア11a～11cの半径 r_1 と内側クラッド12a～12cの半径 r_2 の比 r_2/r_1 、及び、第1コア11a～11cの半径 r_1 と低屈折率層13a～13cの厚み W との比 W/r_1 、コア要素10a～10c及び第2コア21の波長 1550nm の基本モードの光における実効コア断面積 A_{eff} 及びLP11モードの光に対するカットオフ波長 λ_{cc} をコア要素10a～10c、第2コアで分類して下記表1に示す。

表1

	r_1 [μm]	Δ_1 [%]	Δ_t [%]	r_2/r_1	W/r_1	n_{eff} of LP01	A_{eff} of LP01 [μm^2]	λ_{cc} of LP11 [μm]
コア要素 10a	4.76	0.338	-0.7	1.7	1.0	1.45241450	80.2	1.53
コア要素 10b	4.62	0.305	-0.7	1.7	1.0	1.45190751	80.3	1.35
コア要素 10c	4.47	0.273	-0.7	1.7	1.2	1.45141253	80.2	1.39
第2コア 21	4.68	0.388	-	-	-	1.45304244	80.0	1.53

[0062] このようにマルチコアファイバ1の各パラメータが定められる場合、外側クラッド30の外径は、例えば $228 \mu\text{m}$ とされる。また、例えば、このようなパラメータとされることで、それぞれのコア要素10a～10c及び第2コア21は、波長が 1530nm 以上の波長帯域の光をシングルモードで

伝搬することができる。

[0063] 次に互いに隣り合うコア、すなわち互いに隣り合うコア要素同士或いは互いに隣り合うコア要素と第2コア21の実効屈折率差と、互いに隣り合うコア要素同士或いは互いに隣り合うコア要素と第2コア21のクロストークがピークとなるマルチコアファイバ1の曲げ半径との関係について説明する。

[0064] 一般的にマルチコアファイバにおいて、互いに隣り合うコア間のクロストークがピークとなる曲げ半径 R_{pk} は、次の式(1)で与えられる。ただし、下記式(1)において、 n_{eff1} は互いに隣り合うコアにおける一方のコアの実効屈折率であり、 n_{eff2} は互いに隣り合うコアにおける他方のコアの実効屈折率であり、 Δn_{eff} は互いに隣り合うコアの実効屈折率差とされる。また、 Λ は互いに隣り合うコアの中心間距離(コア間距離)であり、本実施形態のマルチコアファイバ1であれば三角格子の格子間距離に一致する。

$$R_{pk} = \frac{n_{eff1}}{|n_{eff1} - n_{eff2}|} \Lambda = \frac{n_{eff1}}{\Delta n_{eff}} \Lambda \quad \dots \quad (1)$$

[0065] ところで、通常光ファイバはケーブル化して使用されるが、ケーブル内で光ファイバに加わる最小の曲げ半径は数百mmであることが知られている。従って、クロストークがピークとなる光ファイバの曲げ半径 R_{pk} が、この最小の曲げ半径より小さければ、光ファイバの通常の使用環境下において、クロストークを十分に抑制できると考えられる。従って、コア間距離 Λ が $20\mu m \sim 34\mu m$ の範囲において、本実施形態のマルチコアファイバ1のクロストークが最大となる曲げ半径 R_{pk} が $100mm$ より小さくなるように、互いに隣り合うコアの実効屈折率差 Δn_{eff} が設定できれば良い。さらに、曲げ半径 R_{pk} が、光ファイバの最小の曲げ半径 $100mm$ よりもさらに30%以上の余裕をもった $70mm$ 以下であれば、光ファイバの通常の使用環境下において、クロストークをさらに抑制できると考えられる。

[0066] 例えば、マルチコアファイバ1において、上記表1のようにそれぞれのパラメータが定められ、コア間距離 Λ が $30\mu m$ とされる場合、互いに隣り合

うコア要素間やコア要素と第2コア21の実効屈折率差 Δn_{eff} 、及び、クロストークが最大となる曲げ半径 R_{PK} は、以下の表2の通りとなる。

表2

	Δn_{eff}	R_{PK} [mm]
コア要素 10a - コア要素 10b	0.0005	86
コア要素 10a - コア要素 10c	0.0010	43
コア要素 10a - 第2コア 21	0.0006	69
コア要素 10b - コア要素 10c	0.0005	88
コア要素 10a - 第2コア 21	0.0011	38
コア要素 10c - 第2コア 21	0.0016	27

[0067] 表2に示す通り、上記パラメータとされることで、互いに隣り合うコア要素間やコア要素と第2コア21の実効屈折率差 Δn_{eff} は、0.0005以上とされ、クロストークが最大となる曲げ半径 R_{PK} は100mmより小さくなる。

[0068] 以上説明したように本実施形態のマルチコアファイバ1によれば、少なくとも30個のコアを配置することができる。

[0069] また、第2層LY2に配置されるそれぞれのコア要素10a, 10bは、第1層LY1のコアが非配置の格子点と隣り合うと共に、第3層LY3に配置される第2コア21の1個と隣り合う。従って、第2層LY2に配置される何れのコア要素10a, 10bからも高次モードの光を逃げ易くすることができる。また、第3層LY3に配置されるそれぞれの第2コア21は、第4層LY4のコアが非配置とされる格子点と隣り合うため、これら第2コア21からも高次モードの光を逃げ易くすることができる。また、第3層に配置されるそれぞれのコア要素10cは、第3層LY3に配置される第2コア21の2つと隣り合うため、第3層LY3に配置されるそれぞれのコア要素10cから高次モードの光を逃げ易くすることができる。また、第4層LY4に配置されるそれぞれのコア要素10a, 10bは、第4層LY4のコア

が非配置とされる格子点と隣り合う。従って、第4層LY4に配置されるそれぞれのコア要素10a, 10bから高次モードの光を逃げ易くすることができる。こうして、それぞれのコアのカットオフ波長が長波長化することを抑制することができる。

[0070] また、全ての第1コア11a~11c及び第2コア21において、互いに隣合うコア間には低屈折率層が配置される。さらに、互いに隣り合うコア要素同士や互いに隣り合うコア要素と第2コア21の実効屈折率差が異なる。従って、互いに隣り合うコア要素同士や互いに隣り合うコア要素と第2コア21のクロストークを抑制することができる。

[0071] 以上のように本実施形態のマルチコアファイバ1によれば、クロストーク及びカットオフ波長の長波長化を抑制しつつ配置されるコアの数を多くできる。

[0072] また、本実施形態のマルチコアファイバ1では、第2コア21が第3層LY3の互いに隣り合う格子点を結ぶことで形成される六角形の各頂点上に配置される。このため、それぞれの第2コア21間に必ずコア要素10a~10cのいずれかが位置し、低屈折率層を有しない第2コア21間のクロストークをより適切に低減することができる。また、全てのコア要素10a~10cは、コアが非配置とされる少なくとも1個の格子点及び少なくとも1個の第2コア21と隣り合う。つまり、全てのコア要素10a~10cは、高次モードが逃げ易い少なくとも2カ所の格子点と隣り合う。一方、全ての第2コア21は、コアが非配置とされる1個の格子点と隣り合うと共に5つのコア要素により囲まれる。つまり、全ての第2コア21は、高次モードが逃げ易い格子点の1つのみと隣り合う。ところで、隣接するコア要素やコアの影響を無視すると、低屈折率層で囲まれない第2コア21の方が、低屈折率層13a~13cを有するコア要素10a~10cよりも高次モードが逃げ易い。従って、本実施形態のマルチコアファイバ1によれば、コア要素10a~10cと第2コア21との間で、高次モードの逃げ易さのバランスをとることができる。

[0073] また、本実施形態のマルチコアファイバ1では、第4層LY4のコアが非配置とされる格子点は、第4層LY4の互いに隣り合う格子点を結ぶことで形成される六角形の各頂点上に位置する。このように第4層LY4の六角形の頂点にコアが非配置とされることで、この頂点にコアが配置される場合よりも外側クラッド30の外径を小さくすることができる。

[0074] (第2実施形態)

次に、本発明の第2実施形態について図3を参照して詳細に説明する。なお、第1実施形態と同一又は同等の構成要素については、同一の参照符号を付して特に説明する場合を除き重複する説明は省略する。

[0075] 図3は、本実施形態に係るマルチコアファイバの長手方向に垂直な断面図である。図3に示すように、本実施形態のマルチコアファイバ2は、第4層LY4のコアが非配置とされる格子点が第4層LY4の互いに隣り合う格子点を結ぶことで形成される六角形の各辺上に位置する点において、第1実施形態のマルチコアファイバ1と異なる。具体的には、本実施形態では、第4層LY4の六角形の各頂点上にコア要素10aの第1コア11aが位置する。

[0076] このようなマルチコアファイバ2の構成によれば、第3層LY3における六角形の辺上の格子点上に配置されるコア要素10cが第4層LY4におけるコアが非配置とされる格子点と隣り合う。従って、コア要素10cからより高次モードの光を逃げ易くすることができる。

[0077] また、本実施形態のように第4層LY4にコア要素10a, 10bの配置とすることで、第4層LY4のコアが非配置とされる格子点の位置やコア要素10a, 10bの配置位置が、マルチコアファイバ2の両端で異なる。従って、コアを識別するマーカが無い場合でも、コアの種類を特定することができる。

[0078] (第3実施形態)

次に、本発明の第3実施形態について図4を参照して詳細に説明する。なお、第2実施形態と同一又は同等の構成要素については、同一の参照符号を

付して特に説明する場合を除き重複する説明は省略する。

[0079] 図4は、本実施形態に係るマルチコアファイバの長手方向に垂直な断面図である。図4に示すように、本実施形態のマルチコアファイバ3は、第2コア21が第3層LY3の互いに隣り合う格子点を結ぶことで形成される六角形の各辺上に配置される点において、第2実施形態のマルチコアファイバ2と異なる。

[0080] このように第2コア21が配置されることで、第3層LY3上に配置されるコア要素10cは、第3層LY3の六角形の各頂点上に配置される。

[0081] また、本実施形態のマルチコアファイバ3であっても、第2実施形態のマルチコアファイバ2と同様にして、コアを識別するマーカが無い場合でも、コアの種類を特定することができる。

[0082] 以上、本発明について、実施形態を例に説明したが、本発明はこれらに限定されるものではない。

[0083] 例えば、上記実施形態において、コア要素10a～10cは屈折率の観点から3種類としたが、4種類以上のコア要素を用いても良い。例えば、コア要素10aを実効屈折率が互いに異なる2種類のコア要素に更に分類しても良い。ただしこの場合においても2種類に分けられたそれぞれのコア要素10aは、他のコア要素10b、10cや第2コア21と異なる実効屈折率とされる。同様に第2コア21が互いに異なる実効屈折率の2種類以上のコアとされても良い。この場合であっても、それぞれの第2コア21は、それぞれのコア要素10a～10cの実効屈折率と異なる実効屈折率とされる。

[0084] また、上記実施形態において、第5層目を想定し、第5層目にコアを配置しても良い。仮に第5層目の格子状の全てにコア要素が配置されたとしても、第4層目のコア要素10a、10bは、コアが非配置とされる格子点と隣り合うため高次モードの光を逃げ易くすることができる。

実施例

[0085] 以下、実施例及び比較例を挙げて本発明の内容をより具体的に説明するが、本発明はこれに限定されるものではない。

- [0086] 表1に記載のパラメータを用いて第1実施形態のマルチコアファイバ1を作製した。なお、外側クラッド30の外径を $228\mu\text{m}$ とし、コア間距離を $30\mu\text{m}$ とした。従って、作製したマルチコアファイバ1は、上記表2より、クロストークがピークとなる曲げ半径 R_{pk} が 100mm 以下となる。
- [0087] 次に作製したマルチコアファイバ1のクロストークを波長 1550nm の光、波長 1590nm の光、波長 1625nm の光について測定した。条長が 9.6km におけるクロストークを24回測定し、それぞれの測定値を電力結合理論により 100km におけるクロストークに換算した値とした。なお、この測定においてマルチコアファイバ1の曲げ半径を 155mm とした。
- [0088] この結果を表3及び図5に示す。なお、実線は、それぞれの波長のクロストークの平均値を最小二乗法を用いて計算した近似直線である

表3

		クロストーク [dB]		
		1550nm	1590nm	1625nm
コア要素 10a – コア要素 10c ($\Delta n_{\text{eff}} = 0.0010$)	平均	-63.7	-64.2	-63.1
	最大	-59.6	-60.0	-57.7
	最小	-67.7	-69.9	-68.8
コア要素 10a – コア要素 10b ($\Delta n_{\text{eff}} = 0.0005$)	平均	-45.3	-41.6	-38.8
	最大	-42.4	-38.2	-35.7
	最小	-49.6	-46.8	-43.9
コア要素 10b – コア要素 10c ($\Delta n_{\text{eff}} = 0.0005$)	平均	-54.4	-51.5	-48.8
	最大	-52.4	-49.5	-46.7
	最小	-58.2	-56.0	-53.8
コア要素 10a – 第2コア 21 ($\Delta n_{\text{eff}} = 0.0006$)	平均	-53.4	-50.4	-48.6
	最大	-52.9	-50.3	-48.3
	最小	-54.0	-50.6	-48.8
コア要素 10b – 第2コア 21 ($\Delta n_{\text{eff}} = 0.0011$)	平均	-62.9	-66.2	-64.1
	最大	-61.6	-64.3	-62.2
	最小	-63.8	-68.8	-65.4
コア要素 10c – 第2コア 21 ($\Delta n_{\text{eff}} = 0.0016$)	平均	-65.2	-66.2	-62.1
	最大	-60.5	-64.3	-61.4
	最小	-68.8	-68.1	-63.3

[0089] 表3及び図6より、条長が100kmにおいて、波長1530nmから1625nmの光（Cバンド帯からLバンド帯）において、クロストークが-37dBより小さい結果となった。実用上支障のない小さなクロストークとなった。

[0090] 以上の実施例の結果より、本発明のマルチコアファイバによれば、クロストークが抑制できることが示された。

[0091] 以上説明したように、本発明によれば、クロストーク及びカットオフ波長

の長波長化を抑制しつつも、配置されるコアの数を多くできるマルチコアファイバが提供される。

符号の説明

- [0092] 1, 2, 3 . . . マルチコアファイバ
10a, 10b, 10c . . . コア要素
11a, 11b, 11c . . . 第1コア
12a, 12b, 12c . . . 内側クラッド
13a, 13b, 13c . . . 低屈折率層
21 . . . 第2コア
30 . . . 外側クラッド
LY1 . . . 第1層
LY2 . . . 第2層
LY3 . . . 第3層
LY4 . . . 第4層

請求の範囲

[請求項1]

第1コアと、前記第1コアの外周面を囲む内側クラッドと、前記内側クラッドよりも低い屈折率とされると共に前記内側クラッドを囲む低屈折率層とを有する複数のコア要素と、

複数の第2コアと、

前記第1コア及び前記第2コアよりも低い屈折率とされると共に前記低屈折率層よりも高い屈折率とされ、それぞれの前記コア要素及びそれぞれの第2コアとを囲む外側クラッドと、
を備え、

前記コア要素の実効屈折率と前記第2コアの実効屈折率とは互いに異なり、

前記複数のコア要素は、実効屈折率が互いに異なる少なくとも3種類のコア要素に分類でき、

前記外側クラッドの中心を囲む正六角形の各頂点を基準とした三角格子において、前記各頂点で囲まれる格子点を第1層とし、前記各頂点上に位置する格子点から成る層を第2層とし、前記第2層の各格子点と外側に隣り合う各格子点から成る層を第3層とし、前記第3層の各格子点と外側に隣り合う各格子点から成る層を第4層とする場合に、

前記第1層の格子点上にはコアが非配置とされ、

前記第2層の各格子点上には前記コア要素の前記第1コアが配置され、

前記第3層の各格子点上には前記コア要素の前記第1コアと前記第2コアとが交互に配置され、

前記第4層では6個の格子点上にはコアが非配置とされ他の格子点上には前記コア要素の前記第1コアが配置され、

それぞれの前記第2コアは前記第4層のコアが非配置とされる格子点と隣り合い

互いに隣り合う前記コア要素同士の実効屈折率は互いに異なることを特徴とするマルチコアファイバ。

[請求項2] 前記第2コアは、前記第3層の互いに隣り合う格子点を結ぶことで形成される六角形の各頂点上に配置されることを特徴とする請求項1に記載のマルチコアファイバ。

[請求項3] 前記第4層のコアが非配置とされる格子点は、前記第4層の互いに隣り合う格子点を結ぶことで形成される六角形の各頂上に位置することを特徴とする請求項2に記載のマルチコアファイバ。

[請求項4] 前記第4層のコアが非配置とされる格子点は、前記第4層の互いに隣り合う格子点を結ぶことで形成される六角形の各辺上に位置することを特徴とする請求項2に記載のマルチコアファイバ。

[請求項5] 前記第2コアは、前記第3層の互いに隣り合う格子点を結ぶことで形成される六角形の各辺上に配置されることを特徴とする請求項1に記載のマルチコアファイバ。

[請求項6] 前記外側クラッドの外径が $230\mu\text{m}$ 以下とされ、
前記格子点の間隔が $30\mu\text{m}$ 以下とされることを特徴とする請求項1から5のいずれか1項に記載のマルチコアファイバ。

[請求項7] 互いに隣り合う前記コア要素間及び互いに隣り合う前記コア要素と前記第2コア間のクロストークの大きさが、半径 100mm より小さい曲げ半径でピークとなることを特徴とする請求項1から6のいずれか1項に記載のマルチコアファイバ。

[請求項8] 波長が 1550nm の光が前記コア要素及び第2コアを伝搬する場合に、互いに隣り合う前記コア要素間及び互いに隣り合う前記コア要素と前記第2コア間のクロストークが 100km 当たり -37dB 以下とされることを特徴とする請求項1から7のいずれか1項に記載のマルチコア

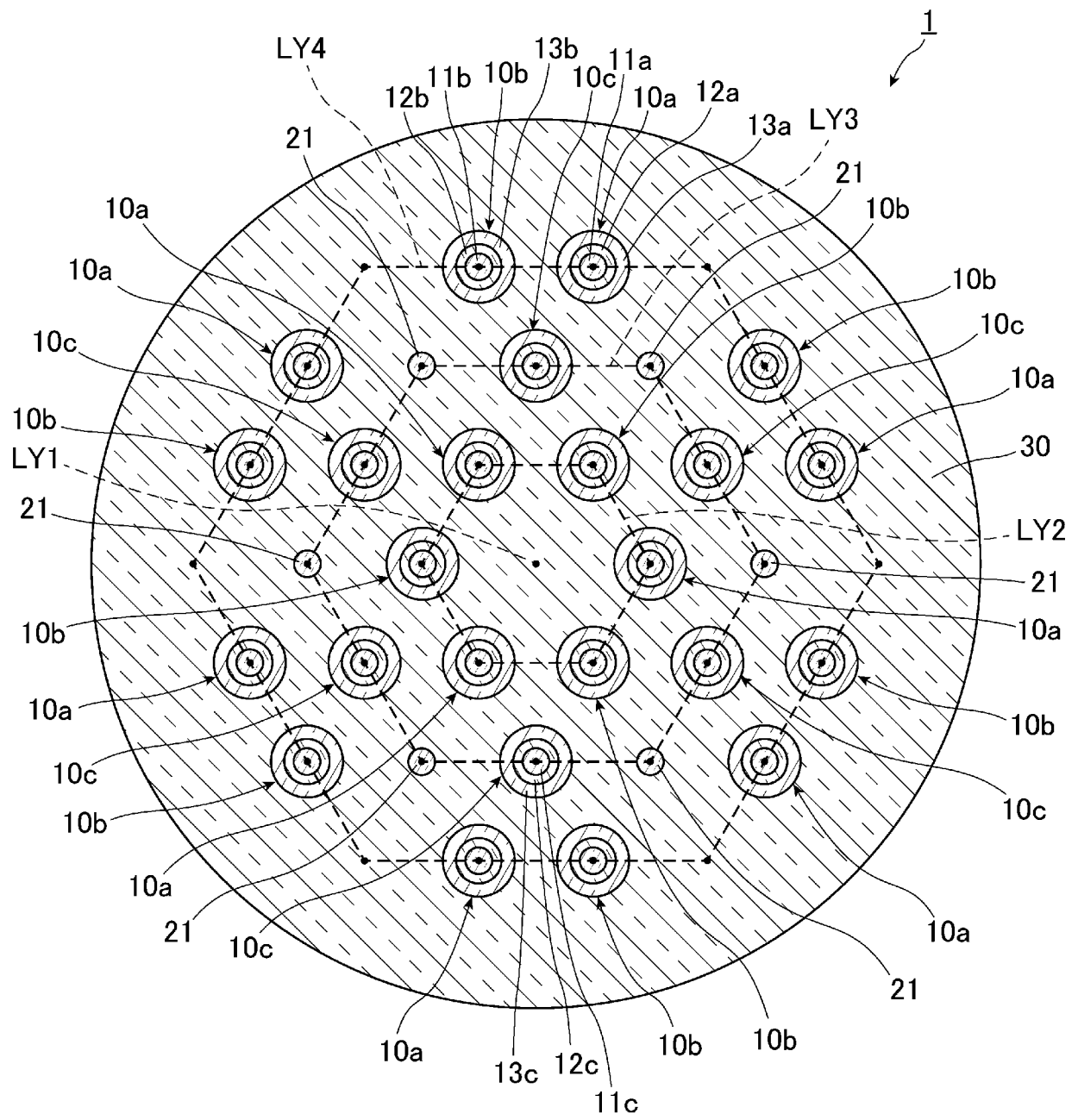
ファイバ。

[請求項9] 前記コア要素及び前記第2コアは波長が1530nm以上の光をシングルモードで伝搬することを特徴とする請求項1から8のいずれか1項に記載のマルチコアファイバ。

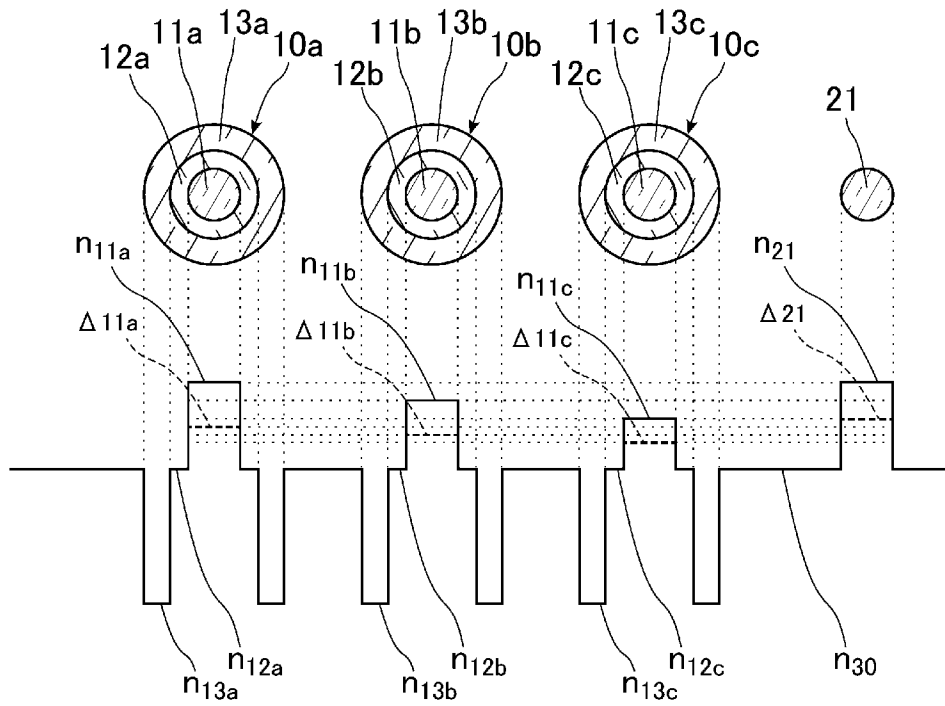
[請求項10] 互いに隣り合う前記コア要素間及び互いに隣り合う前記コア要素と前記第2コア間の実効屈折率の差が0.0005以上であることを特徴とする請求項1から9のいずれか1項に記載のマルチコアファイバ。

[請求項11] それぞれの前記コア要素及びそれぞれの第2コアの実効断面積が等しいことを特徴とすることを特徴とする請求項1から10のいずれか1項に記載のマルチコアファイバ。

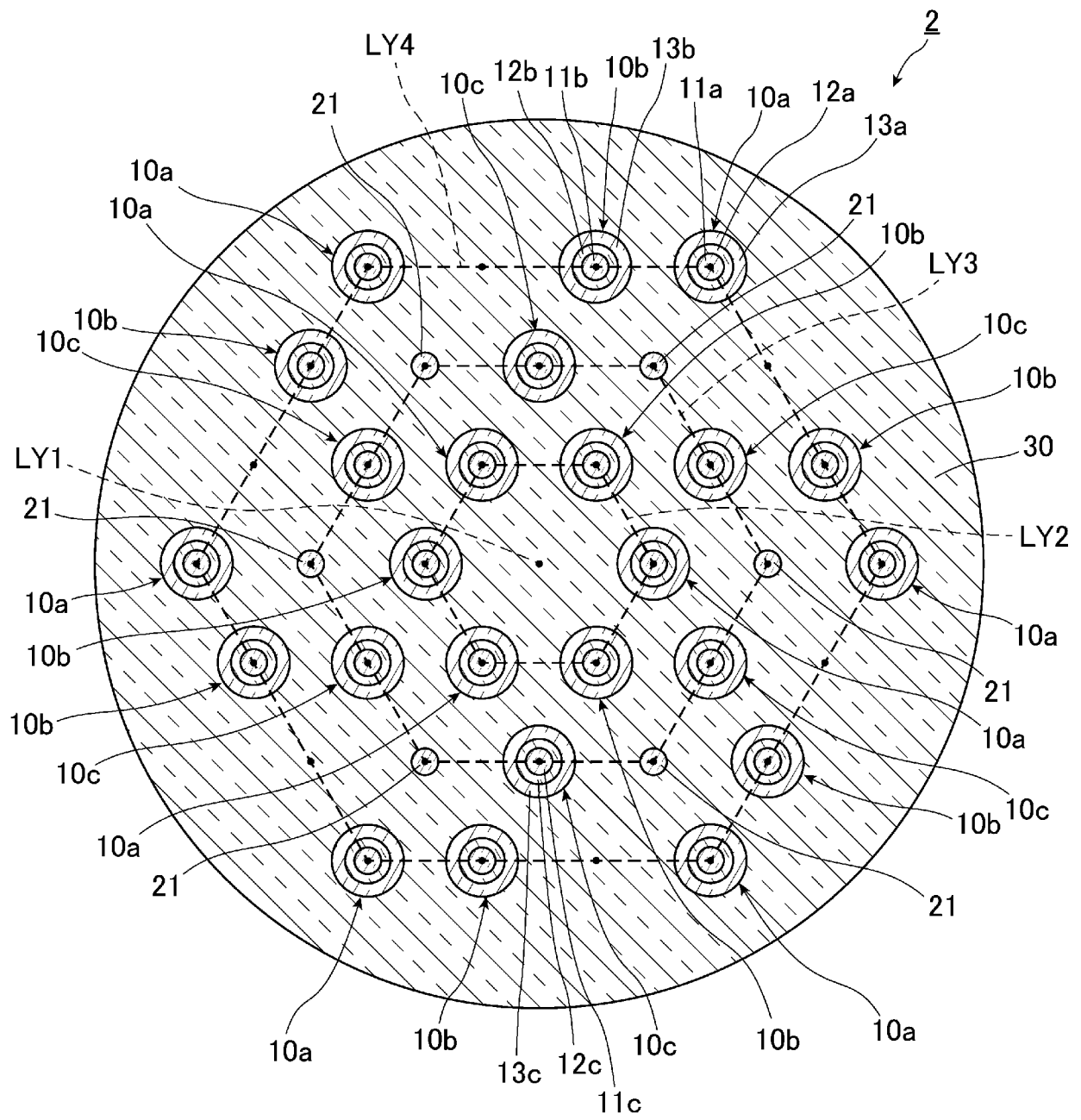
[図1]



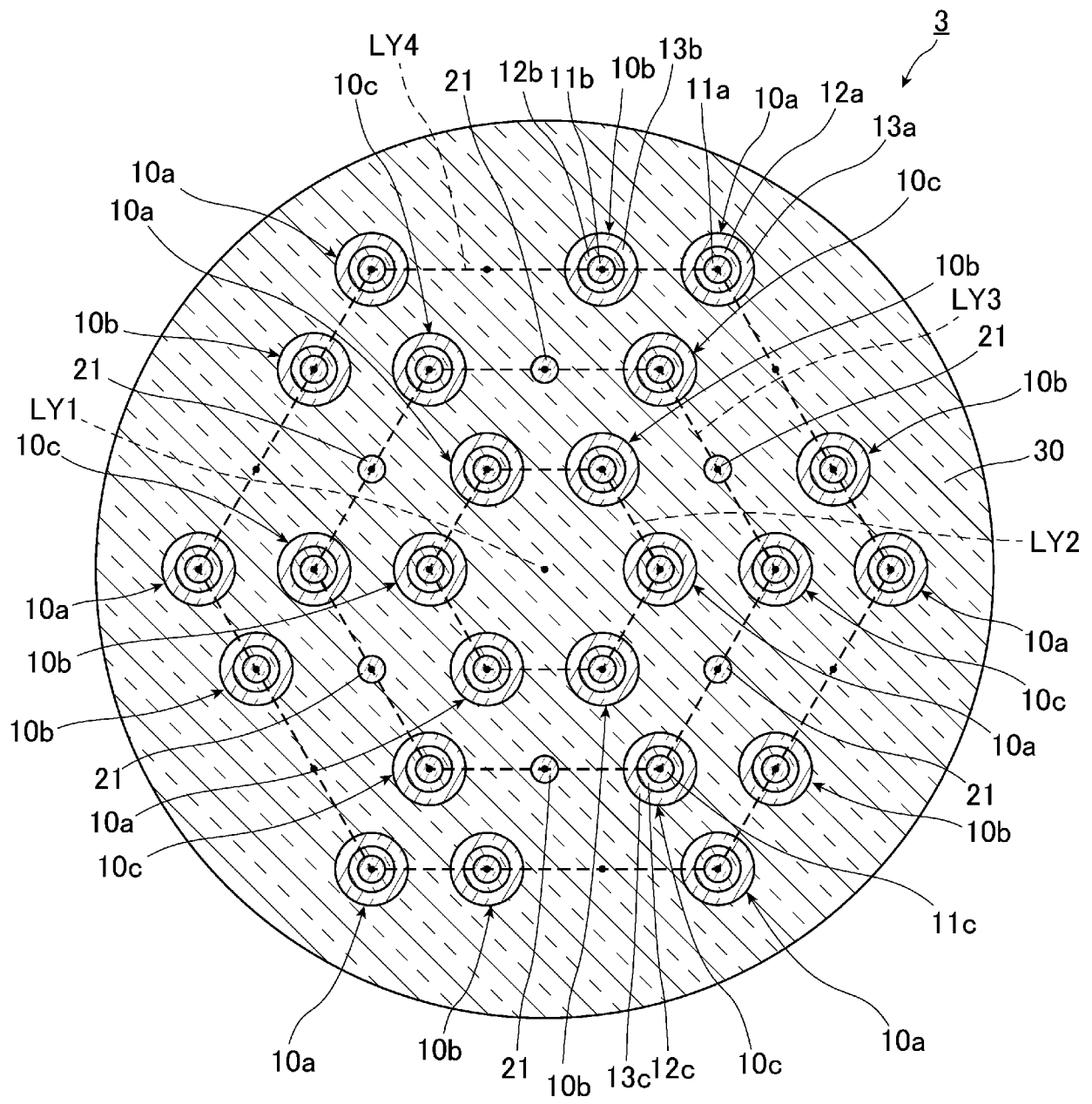
[図2]



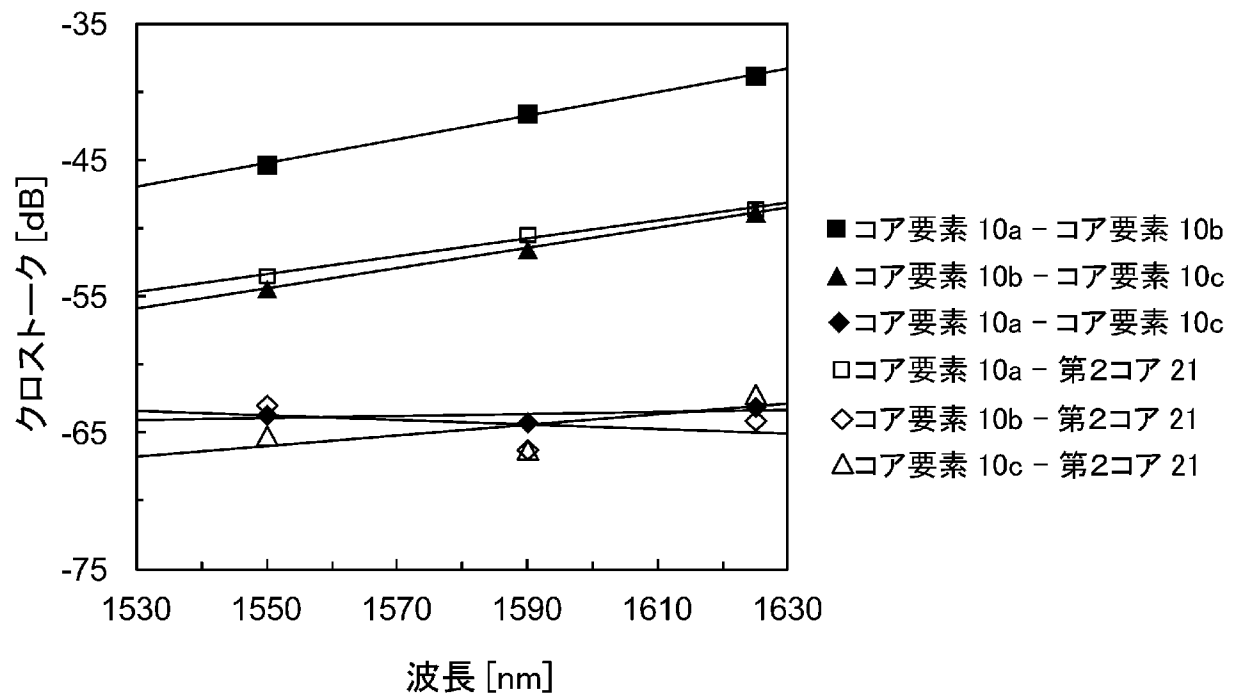
[図3]



[図4]



[図5]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/054015

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G02B6/02(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)

G02B6/02-3/036, 6/44

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	1996-2016
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2016	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2016

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

JSTPlus(JDreamIII), JST7580(JDreamIII)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 5168702 B1 (Yokohama National University), 27 March 2013 (27.03.2013), paragraphs [0047] to [0050], [0074]; fig. 5, 15(a) & US 2011/0243517 A1 paragraphs [0074] to [0076], [0102]; fig. 5, 15(a) & US 2011/0188855 A1 & WO 2010/038863 A1 & WO 2010/038861 A1 & EP 2345915 A1 & EP 2336813 A1 & CN 102171596 A & CN 102203648 A	1-11
A	Masanori Koshiba, Kunimasa Saitoh, and Yasuo Kokubun, Heterogeneous multi-core fibers: proposal and design principle, IEICE Electronics Express, 2009.01.25, Vol. 6, No. 2, pp. 98 - 103	1-11

☒ 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
12 April 2016 (12.04.16)

Date of mailing of the international search report
26 April 2016 (26.04.16)

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/JP2016/054015

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2014-164269 A (Fujikura Ltd.), 08 September 2014 (08.09.2014), paragraphs [0014] to [0032]; fig. 1 & WO 2014/132793 A1	1-11
A	JP 2012-181282 A (Fujikura Ltd.), 20 September 2012 (20.09.2012), paragraphs [0069] to [0077]; fig. 7 (Family: none)	1-11

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. G02B6/02 (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. G02B6/02-3/036, 6/44

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	1971-2016年
日本国実用新案登録公報	1996-2016年
日本国登録実用新案公報	1994-2016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)

JSTPlus (JDreamIII), JST7580 (JDreamIII)

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 5168702 B1 (国立大学法人横浜国立大学) 2013.03.27, 段落 0047 ~ 0050, 0074, 図5, 15(a) & US 2011/0243517 A1 ([0074]-[0076], [0102], FIG. 5, 15(a)) & US 2011/0188855 A1 & WO 2010/038863 A1 & WO 2010/038861 A1 & EP 2345915 A1 & EP 2336813 A1 & CN 102171596 A & CN 102203648 A	1-11
A	Masanori Koshiba, Kunimasa Saitoh, and Yasuo Kokubun, Heterogeneous multi-core fibers: proposal and design principle, IEICE Electronics Express, 2009.01.25, Vol. 6, No. 2, pp. 98 - 103	1-11

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

12.04.2016

国際調査報告の発送日

26.04.2016

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)

郵便番号 100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

金高 敏康

2 L

9712

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 2014-164269 A (株式会社フジクラ) 2014. 09. 08, 段落 0 0 1 4 ～ 0 0 3 2, 図 1 & WO 2014/132793 A1	1-11
A	JP 2012-181282 A (株式会社フジクラ) 2012. 09. 20, 段落 0 0 6 9 ～ 0 0 7 7, 図 7 (ファミリーなし)	1-11