

(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
2018年9月20日(20.09.2018)



(10) 国際公開番号

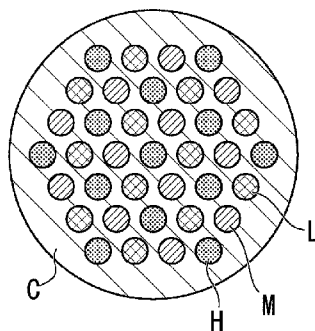
WO 2018/168170 A1

- (51) 国際特許分類:
G02B 6/02 (2006.01) *G02B 6/036* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2018/000167
- (22) 国際出願日: 2018年1月9日(09.01.2018)
- (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 2017-053675 2017年3月17日(17.03.2017) 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 雄佑 (SASAKI Yusuke);
〒2858550 千葉県佐倉市六崎 1 4 4 0 番地 株式会社フジクラ 佐倉事業所内 Chiba (JP).
- (74) 代理人: 棚井 澄雄, 外 (TANAI Sumio et al.);
〒1006620 東京都千代田区丸の内一丁目 9 番 2 号 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, 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,

(54) Title: MULTI-CORE FIBER

(54) 発明の名称: マルチコアファイバ

[図2C]



(57) **Abstract:** This multi-core fiber is provided with a plurality of core elements and an outer clad surrounding the plurality of core elements. The plurality of core elements each have: a core having a refractive index higher than that of the outer clad; and a low refractive index part surrounding the core and having a refractive index lower than that of the outer clad, wherein an inner radius r_2 of the low refractive index part is equal to or greater than an outer radius r_1 of the core, and the core elements include two or more core elements having different effective refractive indices. In the two or more core elements, r_2/r_1 of a first core element having the highest effective refractive index is greater than r_2/r_1 of a second core having the lowest effective refractive index.

(57) 要約: マルチコアファイバは、複数のコア要素と、前記複数のコア要素を囲む外クラッドと、を備え、前記複数のコア要素は、前記外クラッドより屈折率が高いコアと、前記コアを囲み、前記外クラッドより屈折率が低い低屈折率部とを有し、前記低屈折率部の内半径 r_2 が前記コアの外半径 r_1 以上であり、実効屈折率が互いに異なる 2 種類以上のコア要素を含み、前記 2 種類以上のコア要素のうち、実効屈折率が最も高い第 1 コア要素の r_2/r_1 が、実効屈折率が最も低い第 2 コア要素の r_2/r_1 より大きい。

[続葉有]

WO 2018/168170 A1

SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA,
UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

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

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： 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する。

本願は、2017年3月17日に日本に出願された特願2017-053675号に基づき優先権を主張し、その内容をここに援用する。

背景技術

[0002] 長距離大容量通信にマルチコアファイバを用いる場合、コア間クロストークを抑制することが必要とされている。そのため、特許文献1、2では、コアの外側にトレンチ状の低屈折率部を設けることが提案されている。また、伝搬定数が異なるコアを互い違いに配置する異種コア配置という手法も用いられている。異種コア配置を採用したマルチコアファイバは、ある曲げ半径より大きい領域で、同種のコアを配置したマルチコアファイバと比べて、1/1000程度までクロストークを抑制することができる。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：日本国特許第6050847号公報

特許文献2：日本国特開第2011-170336号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 異種コア配置のマルチコアファイバにおいて、クロストークがピークとなる曲げ半径 R_{pk} は、次の式(1)で表される。

$$R_{pk} = (n_{eff} / \Delta n_{eff}) \cdot \Lambda \quad (1)$$

[0005] 式(1)において、 n_{eff} は各コアを伝搬するモードの有効屈折率の平均を表し、 Δn_{eff} は各コアを伝搬するモードの有効屈折率の差分を表し、 Λ はコア間距離を表す。通常のシングルモードマルチコアファイバの場合、セルマイヤ近似した値で、波長1550nmの n_{eff} は1.4450～1.4500

程度である。有効屈折率 n_{eff} の値は、 R_{pk} の大小にほとんど影響しない。コア間距離 Δ は、マルチコアファイバに要求されるクロストーク値を満たすように決定される。

[0006] マルチコアファイバがトレンチ付コアを有する場合は、カットオフ波長も考慮する必要がある。 Δn_{eff} は、各コアの屈折率分布の設計により大きく変えることができる。コア間のクロストークを抑制するには、 R_{pk} を小さくするため、 Δn_{eff} をできるだけ高くすることが望ましい。すなわち、 n_{eff} が高いコアの n_{eff} がより高く、 n_{eff} が低いコアの n_{eff} がより低いことが求められる。

[0007] しかし、 n_{eff} が高いほど、コアの屈折率が高くなる傾向がある。すると、カットオフ波長が長くなり、通信用波長帯で所望のモードよりも多くのモードが伝搬する。また、 n_{eff} が低いほど、コアの屈折率が低くなる傾向がある。すると、カットオフ波長が短くなり、曲げ損失が悪化する。したがって、 Δn_{eff} をあまり大きくすることができず、 R_{pk} の低減には限度がある。

[0008] 本発明は、上記事情に鑑みてなされたものであり、コア間クロストークを抑制することが可能なマルチコアファイバを提供する。

課題を解決するための手段

[0009] 本発明の第1態様は、マルチコアファイバであって、複数のコア要素と、前記複数のコア要素を囲む外クラッドと、を備え、前記複数のコア要素は、前記外クラッドより屈折率が高いコアと、前記コアを囲み、前記外クラッドより屈折率が低い低屈折率部とを有し、前記低屈折率部の内半径 r_2 が前記コアの外半径 r_1 以上であり、実効屈折率が互いに異なる2種類以上のコア要素を含み、前記2種類以上のコア要素のうち、実効屈折率が最も高い第1コア要素の r_2/r_1 が、実効屈折率が最も低い第2コア要素の r_2/r_1 より大きい。

[0010] 本発明の第2態様は、上記第1態様のマルチコアファイバにおいて、前記2種類以上のコア要素は、 $\pm 3\%$ 以内の範囲で同一の実効断面積を有してもよい。

本発明の第3態様は、上記第1態様又は第2態様のマルチコアファイバにおいて、 r_2/r_1 が1.0であるコア要素を含んでもよい。

[0011] 本発明の第4態様は、上記第1態様～第3態様のいずれか一態様のマルチコアファイバにおいて、37個のコア要素が、六方最密構造の各格子点に空きを生じることなく、中心に1個、前記中心の外側を囲む第1層に6個、前記第1層の外側を囲む第2層に12個、前記第2層の外側を囲む第3層に18個の割り振りで配置され、前記第3層において前記中心から最も離れた格子点の6個に、実効屈折率が最も高い種類のコア要素が配置され、すべてのコア要素においてLP11モードのカットオフ波長が1530nm以下であってもよい。

[0012] 本発明の第5態様は、上記第1態様～第4態様のいずれか一態様のマルチコアファイバにおいて、前記外クラッドの外径が250 μ m以下、コア間距離が30 μ m以下であってもよい。

本発明の第6態様は、上記第1態様～第5態様のいずれか一態様のマルチコアファイバにおいて、隣接するコア要素間の実効屈折率の差が、いずれも0.0005以上であってもよい。

発明の効果

[0013] 上記本発明に係る態様によれば、コア間クロストークを抑制することが可能なマルチコアファイバを提供することができる。

図面の簡単な説明

[0014] [図1]コア要素の屈折率分布を例示する説明図である。

[図2A]六方最密構造の各格子点にコア要素が配置されたマルチコアファイバの模式図である。

[図2B]六方最密構造の各格子点にコア要素が配置されたマルチコアファイバの模式図である。

[図2C]六方最密構造の各格子点にコア要素が配置されたマルチコアファイバの模式図である。

[図3A]正方格子の各格子点にコア要素が配置されたマルチコアファイバの模

式図である。

[図3B] 正方格子の各格子点にコア要素が配置されたマルチコアファイバの模式図である。

[図3C] 正方格子の各格子点にコア要素が配置されたマルチコアファイバの模式図である。

[図4] r_2/r_1 を 1.7 とした場合における r_1 及び Δ に対する特性の依存性の一例を示すグラフである。

[図5] r_2/r_1 を 1.0 とした場合における r_1 及び Δ に対する特性の依存性の一例を示すグラフである。

[図6] T_c と吸収損失の関係の一例を示すグラフである。

[図7] コア間距離と、曲げ損失の関係の一例を示すグラフである。

[図8] 作製した光ファイバの一例を示す断面写真である。

[図9] 作製した光ファイバのコア配置図である。

[図10] 作製した光ファイバのクロストークの測定結果を示すグラフである。

発明を実施するための形態

[0015] 以下、好適な実施形態に基づき、図面を参照して本発明を説明する。

図1に、コア要素の屈折率分布を例示する説明図である。コア要素は、外クラッド14より屈折率が高いコア11と、コア11を囲み、外クラッド14より屈折率が低い低屈折率部13とを有する。低屈折率部13の内半径 r_2 は、コア11の外半径 r_1 以上である。コア11は、外クラッド14に対して Δ の比屈折率差を有する。低屈折率部13は、外クラッド14に対して $-\Delta_1$ の比屈折率差を有する。低屈折率部13は、外半径と内半径との差として、幅 W を有する。

[0016] コア要素は、コア11と低屈折率部13との間に、内クラッド12を有してもよい。内クラッド12の屈折率は、外クラッド14の屈折率と同等でもよい。コア11と低屈折率部13との間に内クラッド12を有するコア要素は、トレンチ付コアとして知られている。また、内クラッド12を省略して、 $r_2/r_1 = 1.0$ であるコア要素は、W型コアとして知られている。

[0017] コア 1 1、内クラッド 1 2、低屈折率部 1 3、外クラッド 1 4 は、例えば、純石英又はドーピングされた石英等の石英系ガラスから構成することができる。ドーピングの有無、種類（元素）、濃度等により、ガラスの屈折率を調整することができる。内クラッド 1 2 又は外クラッド 1 4 は、実質的にドーピングされていない石英ガラスから構成されてもよい。外クラッド 1 4 の外周上には、樹脂等からなる不図示の被覆を設けることができる。

[0018] 本実施形態のマルチコアファイバは、複数のコア要素と、複数のコア要素を囲む外クラッドとを備える。また、複数のコア要素は、実効屈折率 n_{eff} が互いに異なる 2 種類以上のコア要素を含む。2 種類以上のコア要素は、2 種類以上のトレンチ付コアであってもよく、1 種類以上のトレンチ付コアと 1 種類以上の W 型コアとの組み合わせでもよい。

[0019] 実効屈折率 n_{eff} が互いに異なる 2 種類以上のコア要素として、少なくとも、 n_{eff} が高い種類のコア要素（高 n_{eff} コア）と、 n_{eff} が低い種類のコア要素（低 n_{eff} コア）とが含まれる。更に、高 n_{eff} コアと低 n_{eff} コアとの中間の n_{eff} を有するコア要素（中 n_{eff} コア）を採用してもよい。

[0020] 従来、トレンチ付コアを備える異種コア配置のマルチコアファイバの設計においては、製造負荷を低減するため、 r_2/r_1 をすべてのトレンチ付コアを通じて一定としていた（特許文献 1，2 参照）。しかし、 r_2/r_1 が一定という条件があると、 Δn_{eff} を大きくし、 R_{pk} を低減するのに制約となる。

[0021] 今回、 r_2/r_1 が小さいコア要素では、コア 1 1 のカットオフ波長が同じでも n_{eff} が低くなり、 r_2/r_1 が大きいコア要素では、コア 1 1 のカットオフ波長が同じでも n_{eff} が高くなることを見出された。そこで、 r_2/r_1 が小さいコア要素を低 n_{eff} コアとし、 r_2/r_1 が大きいコア要素を高 n_{eff} コアとすることで、 Δn_{eff} が大きく、 R_{pk} が小さいマルチコアファイバの設計を容易にすることができる。

[0022] 2 種類以上のコア要素のうち、高 n_{eff} コアの r_2/r_1 は、低 n_{eff} コアの r_2/r_1 より大きい。中 n_{eff} コアを採用する場合、中 n_{eff} コアの r_2/r_1 は、高 n_{eff} コアの r_2/r_1 と同等でもよく、低 n_{eff} コアの r_2/r_1 と同等

でもよく、両者の間の r_2 / r_1 でもよい。

[0023] 図2A～図2Cに、六方最密構造の各格子点にコア要素が配置されたマルチコアファイバの断面図を模式的に示す。これらの断面構造では、六方最密構造の各格子点に空きを生じることなく、外クラッドCの中に複数のコア要素が配置されている。各コア要素は、高 n_{eff} コアH、中 n_{eff} コアM、低 n_{eff} コアLの3種類から選択されるいずれかである。互いに隣接するコア要素は、いずれの組においても、異なる種類から選択されている。

[0024] 図2Aに示す断面構造では、中心に1個、中心の外側を囲む第1層に6個の割り振りで、7個のコア要素が配置されている。

図2Bに示す断面構造では、中心に1個、第1層に6個、第1層の外側を囲む第2層に12個の割り振りで、19個のコア要素が配置されている。

図2Cに示す断面構造では、中心に1個、第1層に6個、第2層に12個、第2層の外側を囲む第3層に18個の割り振りで、37個のコア要素が配置されている。

[0025] 図2A～図2Cでは、中心が高 n_{eff} コアHとなり、隣接するコア要素の種類が異なるように各コア要素が配置されている。中心が低 n_{eff} コアLとなるように配置することも可能である。中心が中 n_{eff} コアMとなるように配置することも可能である。第1層は、中心とは異なる2種類のコア要素が配置される。第2層又は第3層には、3種類のコア要素が、略正六角形の外周に沿って順に配置されてもよい。

[0026] 図3A～図3Cに、正方格子の各格子点にコア要素が配置されたマルチコアファイバの断面図を模式的に示す。これらの断面構造では、正方格子の各格子点に空きを生じることなく、外クラッドCの中に複数のコア要素が配置されている。各コア要素は、高 n_{eff} コアH、低 n_{eff} コアLの2種類から選択されるいずれかである。高 n_{eff} コアと低 n_{eff} コアとが交互に配列され、互いに隣接するコア要素は、いずれの組においても種類が異なる。

[0027] 図4及び図5のグラフに、コア11の外半径 r_1 [μm] 及びコア11の比屈折率差 Δ [%] に対する特性の依存性の一例を示す。図4は r_2 / r_1 を1

． 7とした場合の計算結果であり、図5は r_2/r_1 を1.0とした場合の計算結果である。 n_{eff} が1.4480～1.4445のラベルを添えた一点鎖線は、コア要素の n_{eff} が各ラベルの値に等しい点(r_1, Δ)を結ぶ線である。

[0028] すべてのコア要素において、接続損失及び光S/N比(OSNR)を均一化する観点から、実効断面積 A_{eff} が同一であることが好ましい。2種類以上のコア要素の A_{eff} が同一となる範囲としては、例えば、±3%以内、±2%以内、±1%以内等が挙げられる。 A_{eff} の範囲の中心値としては、 A_{eff} の設計値又は平均値が挙げられる。

「 $A_{eff} \text{ at } 1550 \text{ nm} = 80 \mu\text{m}^2$ 」のラベルが添えられた太い実線は、標準的なシングルモードファイバと同程度に、波長1550nmにおける A_{eff} が $80 \mu\text{m}^2$ となる点(r_1, Δ)を結ぶ線である。

[0029] 「 λ_{sc-L} 」のラベルが添えられた長破線は、コア要素を単独で外クラッド内に配置した計算上のカットオフ波長の最長値(λ_{sc-L})を与える点(r_1, Δ)を結ぶ線である。ここでは、マルチコアファイバを構成した際にカットオフ波長が長くなることを考慮して、 $\lambda_{sc-L} = 1350 \text{ nm}$ とした。

[0030] 「 λ_{sc-S} 」のラベルが添えられた短破線は、コア要素を単独で外クラッド内に配置した計算上のカットオフ波長の最短値(λ_{sc-S})を与える点(r_1, Δ)を結ぶ線である。ここでは、曲げに対して耐性を持つITU-T G.657.A1を満たす光ファイバの標準的なカットオフ波長が1190nmであることを考慮して、 $\lambda_{sc-S} = 1190 \text{ nm}$ とした。

[0031] 図4の「core a」及び図5の「core c」は、波長1550nmにおける A_{eff} が $80 \mu\text{m}^2$ 、カットオフ波長が $\lambda_{sc-L} = 1350 \text{ nm}$ となる点を表す。

図4の「core b」及び図5の「core d」は、波長1550nmにおける A_{eff} が $80 \mu\text{m}^2$ 、カットオフ波長が $\lambda_{sc-S} = 1190 \text{ nm}$ となる点を表す。

図4の「core a」及び「core b」は、 $r_2/r_1 = 1.7$ 及び

A_{eff} at $1550\text{ nm} = 80\ \mu\text{m}^2$ の条件で、それぞれ n_{eff} が最も高い又は最も低い点 (r_1 , Δ) を示す。

図5の「core c」及び「core d」は、 $r_2/r_1 = 1.0$ 及び A_{eff} at $1550\text{ nm} = 80\ \mu\text{m}^2$ の条件で、それぞれ n_{eff} が最も高い又は最も低い点 (r_1 , Δ) を示す。

[0032] 表1に、core a～dのそれぞれのパラメータ及び n_{eff} を示す。ここで、Wは、図1に示すように、径方向における低屈折率部13の幅、すなわち、外半径と内半径との差である。また、 λ_{c22m} は、22 mカットオフ波長である。

[0033] [表1]

	core a	core b	core c	core d
Δ [%]	0.344	0.293	0.315	0.250
r_1 [μm]	4.78	4.56	6.01	6.01
r_2/r_1	1.7	1.7	1.0	1.0
W/r_1	0.70	0.82	0.91	0.92
n_{eff}	1.44669	1.44593	1.44652	1.44560
A_{eff} [μm^2]	80.0	80.0	80.0	80.0
λ_{c22m} [nm]	1350	1190	1350	1190

[0034] r_2/r_1 が一定の条件では、例えばcore aとcore bの n_{eff} の差は0.00076であり、core cとcore dの n_{eff} の差は0.00092である。これに対して、高 n_{eff} コアの r_2/r_1 が低 n_{eff} コアの r_2/r_1 より大きい条件では、core aとcore dの n_{eff} の差は0.00109である。このように、 r_2/r_1 が一定の条件よりも、高 n_{eff} コアの r_2/r_1 が低 n_{eff} コアの r_2/r_1 より大きい条件の方が、より大きな Δn_{eff} となる。

[0035] すなわち、 r_2/r_1 に差を持たせることにより、同じ光学特性の条件で、すべてのコア要素の A_{eff} を設計上同一にし、かつ、カットオフ波長の範囲を定めた際に、より大きな Δn_{eff} を実現することができる。なお、 r_2/r_1 の下限は、上述したように1.0 (W型コア) である。 r_2/r_1 が大きすぎると、クロストークが悪化する、あるいはコア径が大きくなることから、高 n_{eff} コアの r_2/r_1 は、1.0より大きく設定される。

$_{ff}$ コアの r_2/r_1 としては、例えば 1.7 ~ 2.1 の範囲が挙げられる。

[0036] 例えば、core a のように、 r_2/r_1 が大きいコア要素を高 n_{eff} コアとし、core d のように、 r_2/r_1 が小さいコア要素を低 n_{eff} コアとし、高 n_{eff} コアと低 n_{eff} コアとの中間のコア要素を中 n_{eff} コアとすることで、3 種類のコア要素を備える異種コア配置のマルチコアファイバを設計することができる。

[0037] 中 n_{eff} コアは、隣接するコア要素間で、できるだけ全ての R_{pk} を小さくするため、高 n_{eff} コアと低 n_{eff} コアの平均的な n_{eff} を有することが好ましい。すなわち、高 n_{eff} コアと中 n_{eff} コアとの間の Δn_{eff} が、中 n_{eff} コアと低 n_{eff} コアとの間の Δn_{eff} と等しいことが好ましい。

[0038] 隣接するコア要素間の Δn_{eff} の最小値としては、0.0005 程度が挙げられる。これにより、隣接するコア要素間の全ての組み合わせで、 Δn_{eff} を 0.0005 以上とすることができる。隣接するコア要素間の Δn_{eff} としては、0.0005 程度、0.0006 程度、0.0007 程度、0.0008 程度、0.0009 程度、0.0010 程度等が挙げられる。上述したように、カットオフ波長、曲げ損失等も考慮して、 Δn_{eff} を設定することができる。カットオフ波長を考慮して、全てのコア要素において伝送に使用するモードを基本モードのみとすることにより、シングルモード伝送が可能になる。

[0039] core a 及び core d と組み合わせられる中 n_{eff} コアの一例として、例えば、次に示す core e が挙げられる。core e のパラメータは、 $\Delta = 0.305\%$ 、 $r_1 = 4.61 \mu m$ 、 $r_2/r_1 = 1.7$ 、 $W/r_1 = 0.79$ 、 $n_{eff} = 1.44611$ である。

[0040] クラッド厚の設計に当たっては、一番外側に位置するコア要素から外クラッドの外側に設けられる被覆への吸収損失を抑制可能な厚さが求められる。六方最密構造の各格子点に空きを生じることなくコア要素を配置した場合、上述したように、図 2 A のような 7 コアファイバ、図 2 B のような 19 コアファイバ、図 2 C のような 37 コアファイバを実現することができる。マル

チコアファイバのクラッド径、すなわち外クラッド14の外径を $250\mu\text{m}$ 以下にした場合、37コアがコア数の限界と考えられる。

- [0041] 中心から最も外側に位置するコア要素は、略正六角形に配置される最外層のコア要素のうち、正六角形の略頂点に配置される6個である。図2A及び図2Bに示す7コアファイバ及び19コアファイバでは、中心から最も外側に位置するコア要素が2種類となる。図2Cに示す37コアファイバでは、中心から最も外側に1種類のコア要素のみが配置されている。
- [0042] 中心から最も外側には、被覆への吸収損失（曲げ損失）が最も小さくなるコア要素として、高 n_{eff} コアを配置することが好ましい。そこで、図2Cに示す37コアファイバでは、中心から最も離れた格子点の6個に、高 n_{eff} コアが配置されるように設計することができる。7コアファイバ、19コアファイバ、37コアファイバの中では、37コアファイバが最もクラッド厚を小さくすることができる。
- [0043] 図6に、 core_a を高 n_{eff} コア（ core_H ）とし、 core_e を中 n_{eff} コア（ core_M ）とし、 core_d を低 n_{eff} コア（ core_L ）とした場合に、 T_c [μm]と吸収損失 [dB/km]との関係の一例を示すグラフである。ここで、クラッド厚 T_c は、図9に示すように、中心から最も外側に配置されたコア要素の中心と、外クラッドの外周までの距離である。すなわち、クラッド厚 T_c は、コア要素の中心から外クラッドの外周までの距離の最小値である。
- [0044] 図6のグラフの計算の際には、波長を 1625nm 、曲げ半径を 140m とした。このグラフから分かるように、3種類の中で core_H が最も低損失である。図6の core_H が敷居値とされる $0.001\text{dB}/\text{km}$ （ 1×10^{-3} ）を満たすには、 T_c が約 $35\mu\text{m}$ あればよい。
- [0045] コア間距離は、あるコア要素を取り囲む複数のコア要素の低屈折率部によるカットオフ波長の長波長化を考慮して決めることができる。1つのコア要素が単独で外クラッド内に配置されたときのカットオフ波長が最も長い core_H について、コア間距離 Λ [μm]に対する曲げ損失 [dB/m]の

関係を計算した結果を図7に示す。図7のグラフの計算の際には、波長を1530nm、曲げ半径を140mmとした。曲げ損失が0.02dB/m以上であれば、カットオフ波長を1530nm以下とすることができる。図7からは、コア間距離が28 μ m以上あればよいことが分かる。すべてのコア要素においてLP11モードのカットオフ波長を1530nm以下にすることができる。高密度化のためのコア間距離としては、例えば30 μ m以下が挙げられる。

[0046] 以上の計算結果に基づいて、core aを高 n_{eff} コア(core H)とし、core eを中 n_{eff} コア(core M)とし、core dを低 n_{eff} コア(core L)とした3層構造の37コアファイバを試作した。図8に本実施例の断面写真を示し、図9に本実施例のコア配置図を示す。クラッド径 D_c は248.3 μ m、クラッド厚 T_c は36.8 μ m、コア間距離 Λ は29.1 μ mであった。3種類のコアの波長1550nmでの A_{eff} は、種類ごとに平均をとって、それぞれ81.4 μ m²、80.0 μ m²、80.4 μ m²であった。本実施例では、隣接するコア要素間の実効屈折率の差 Δn_{eff} が、いずれも0.0005以上である。

[0047] 図10に、コア間のクロストーク(XT) [dB]の測定結果を示す。core Hとcore Mとの間、core Mとcore Lとの間、core Hとcore Lとの間のいずれにおいても、1550nmで-50dB以下と、十分に小さいクロストークであった。また、3種類のコア要素の組み合わせの中で最も大きい R_{pk} は、71mm以下と十分に小さかった。

符号の説明

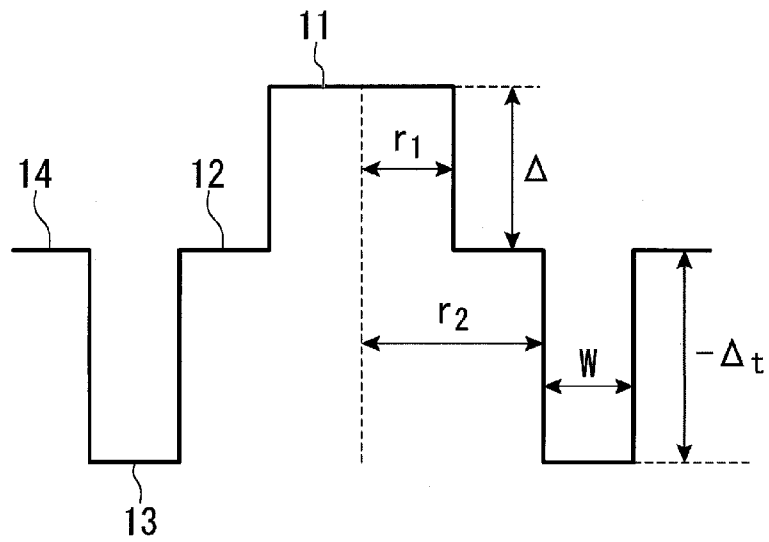
[0048] C…外クラッド、 D_c …クラッド径、H…高 n_{eff} コア、L…低 n_{eff} コア、M…中 n_{eff} コア、 r_1 …コアの外半径、 r_2 …低屈折率部の内半径、 T_c …クラッド厚、W…低屈折率部の幅、 Δ …コアの比屈折率差、 Δ_t …低屈折率部の比屈折率差、 Λ …コア間距離、11…コア、12…内クラッド、13…低屈折率部、14…外クラッド。

請求の範囲

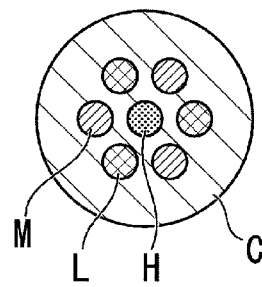
- [請求項1] 複数のコア要素と、前記複数のコア要素を囲む外クラッドと、を備え、
- 前記複数のコア要素は、前記外クラッドより屈折率が高いコアと、前記コアを囲み、前記外クラッドより屈折率が低い低屈折率部とを有し、前記低屈折率部の内半径 r_2 が前記コアの外半径 r_1 以上であり、実効屈折率が互いに異なる 2 種類以上のコア要素を含み、
- 前記 2 種類以上のコア要素のうち、実効屈折率が最も高い第 1 コア要素の r_2 / r_1 が、実効屈折率が最も低い第 2 コア要素の r_2 / r_1 より大きい、マルチコアファイバ。
- [請求項2] 前記 2 種類以上のコア要素は、 $\pm 3\%$ 以内の範囲で同一の実効断面積を有する、請求項 1 に記載のマルチコアファイバ。
- [請求項3] r_2 / r_1 が 1.0 である第 3 コア要素を含む、請求項 1 又は 2 に記載のマルチコアファイバ。
- [請求項4] 37 個のコア要素が、六方最密構造の各格子点に空きを生じることなく、中心に 1 個、前記中心の外側を囲む第 1 層に 6 個、前記第 1 層の外側を囲む第 2 層に 12 個、前記第 2 層の外側を囲む第 3 層に 18 個の割り振りで配置され、
- 前記第 3 層において前記中心から最も離れた格子点の 6 個に、前記実効屈折率が最も高い前記第 1 コア要素が配置され、
- すべてのコア要素において LP₁₁ モードのカットオフ波長が 1530 nm 以下である、請求項 1～3 のいずれか 1 項に記載のマルチコアファイバ。
- [請求項5] 前記外クラッドの外径が 250 μm 以下、コア間距離が 30 μm 以下である、請求項 1～4 のいずれか 1 項に記載のマルチコアファイバ。
- [請求項6] 隣接するコア要素間の実効屈折率の差が、いずれも 0.0005 以上である、請求項 1～5 のいずれか 1 項に記載のマルチコアファイバ。

o

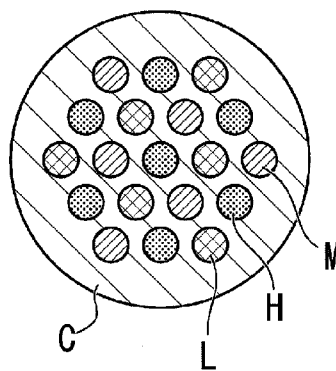
[図1]



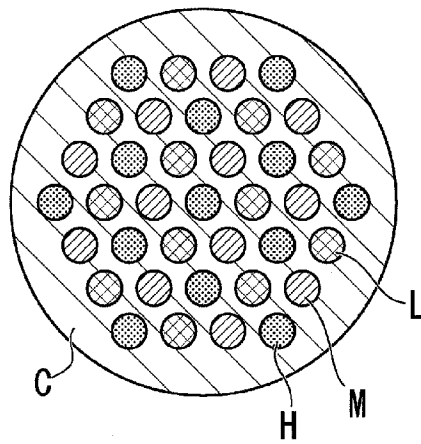
[図2A]



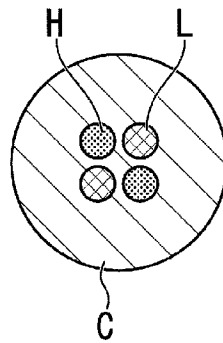
[図2B]



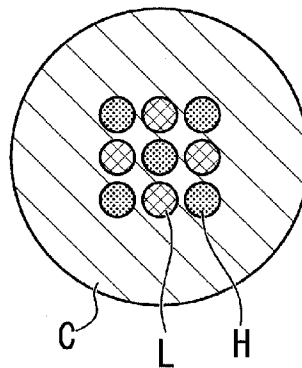
[図2C]



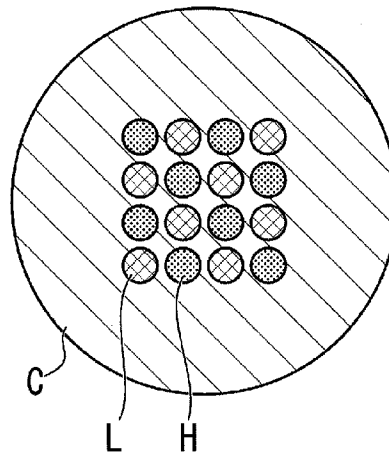
[図3A]



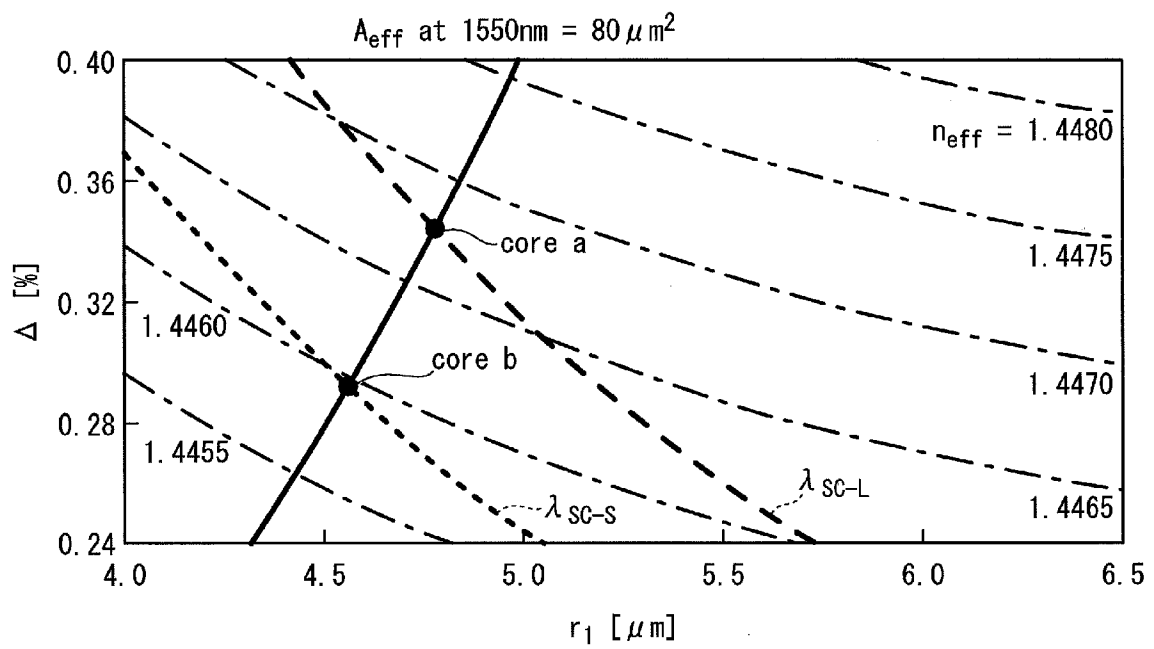
[図3B]



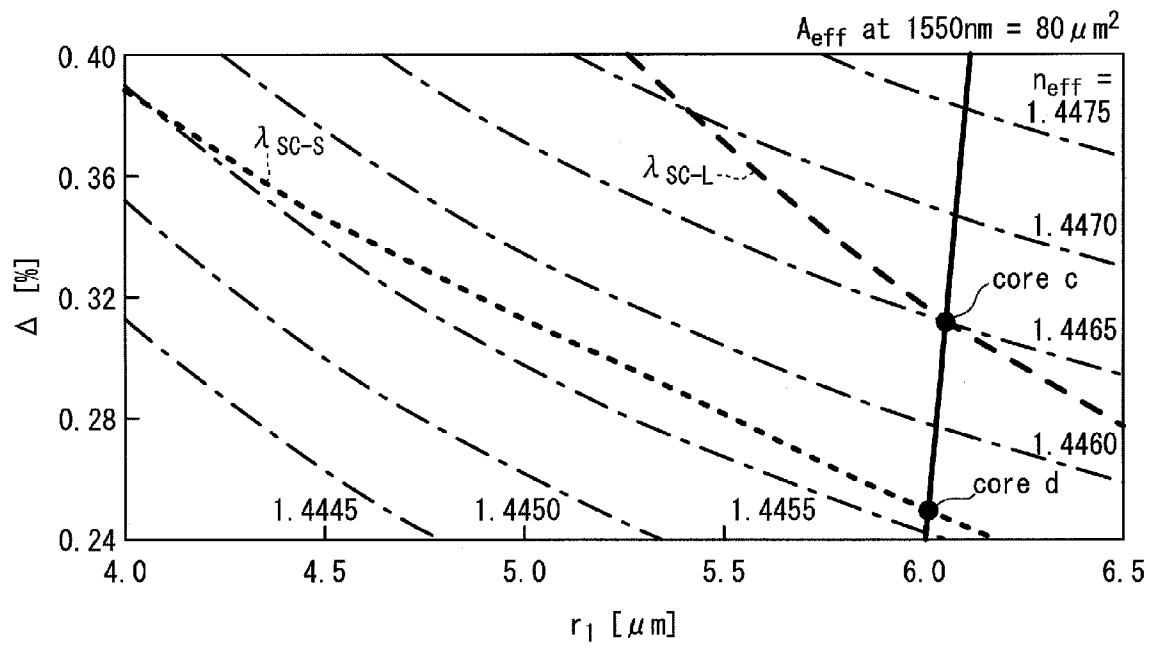
[図3C]



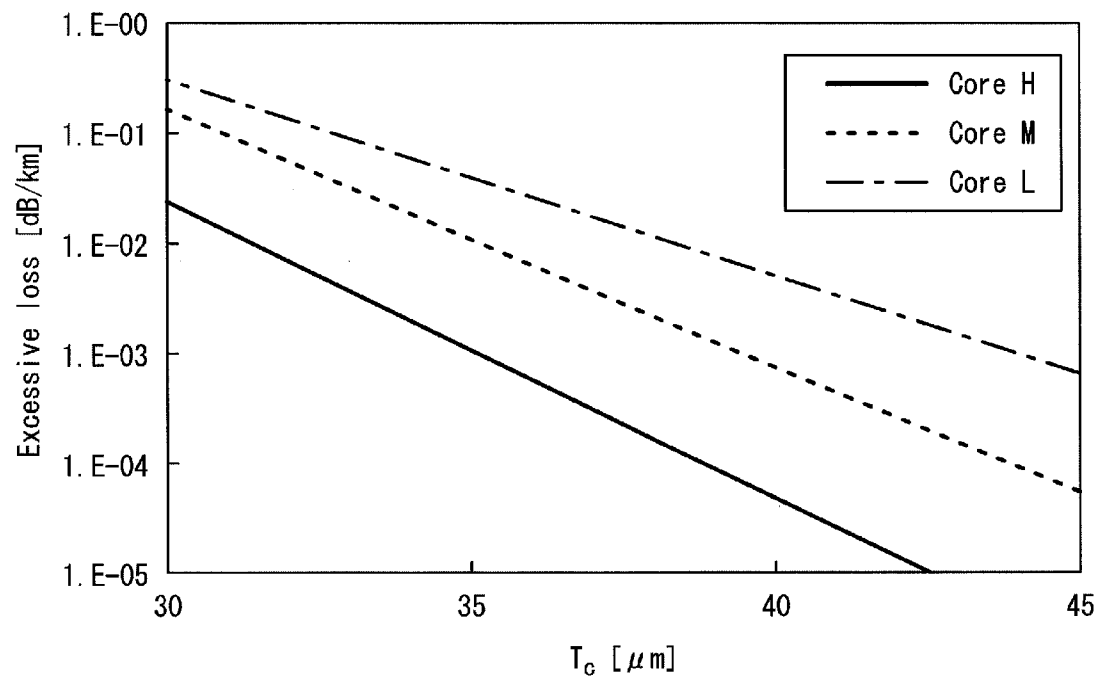
[図4]



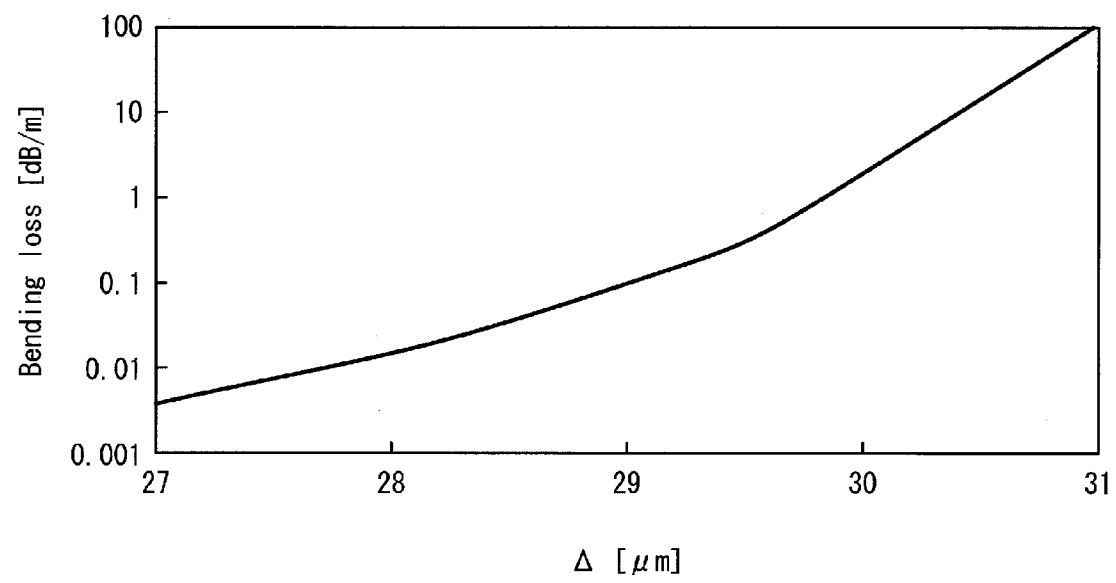
[図5]



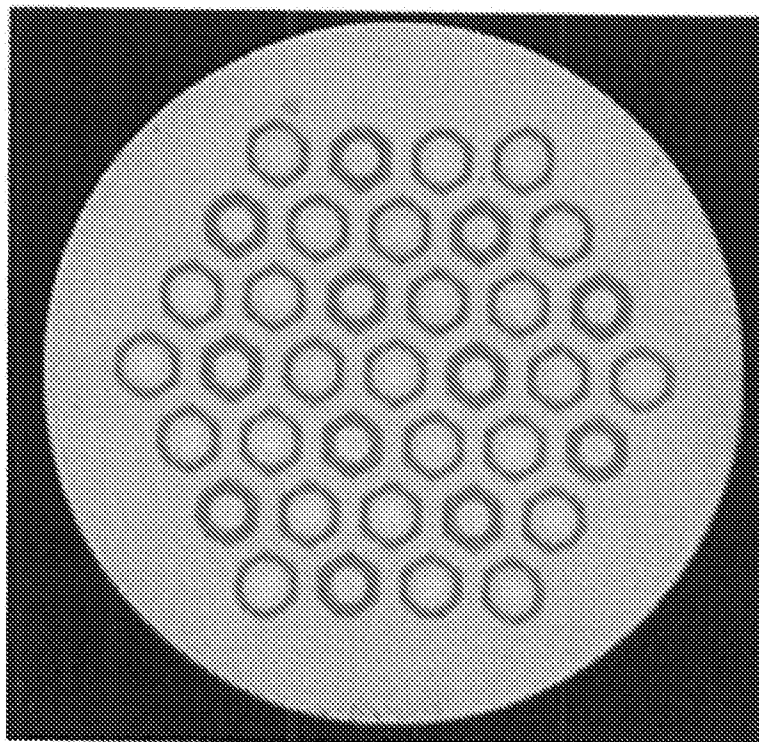
[図6]



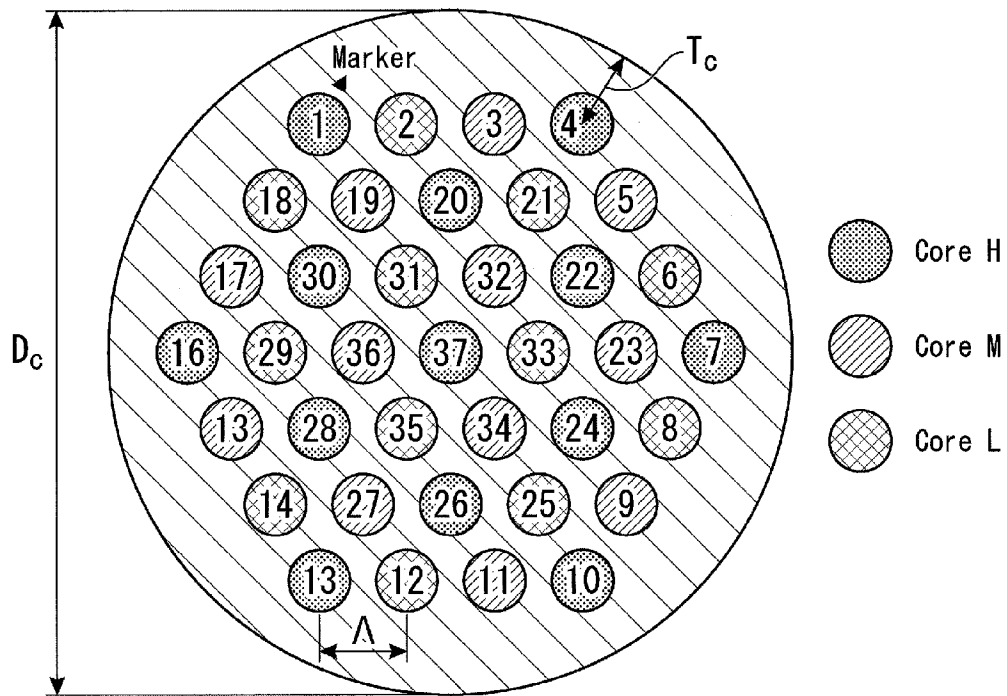
[図7]



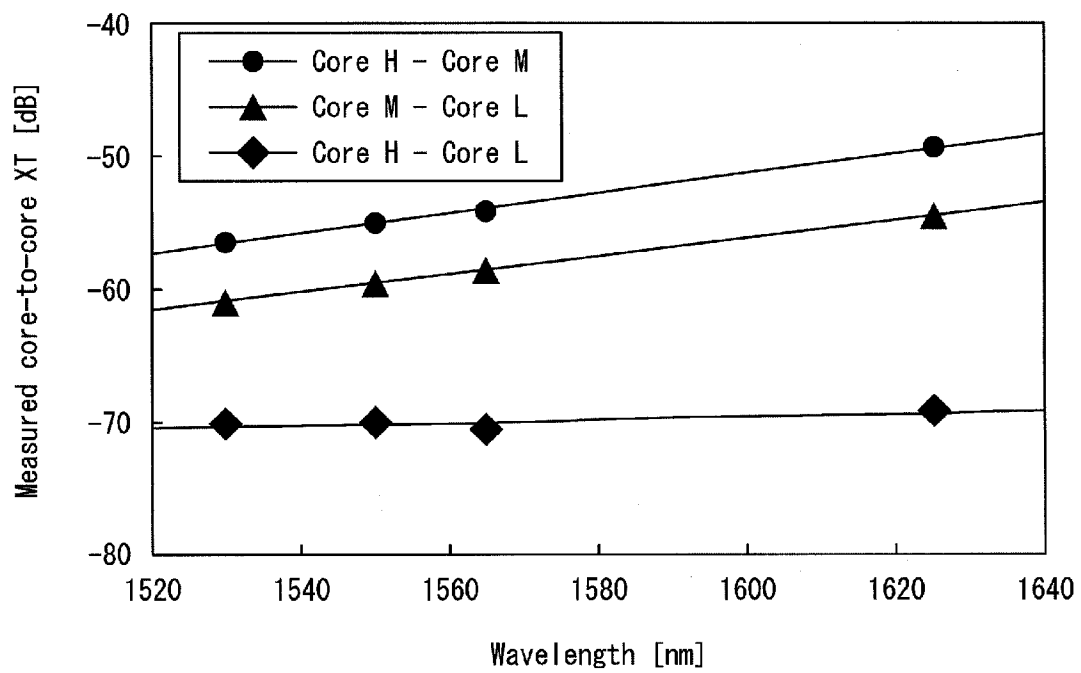
[図8]



[図9]



[図10]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2018/000167

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl. G02B6/02 (2006.01) i, G02B6/036 (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. G02B6/02-6/10

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	1971-2018
Registered utility model specifications of Japan	1996-2018
Published registered utility model applications of Japan	1994-2018

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

IEEE Xplore

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X A	GARCIA, Sergi and GASULLA, Ivana, "Crosstalk-optimised multi core fiber true time delay lines", Microwave Photonics, 2015 International Topical Meeting on, IEEE, 26 October 2015, pp. 1-4	1 2-3
A	CHANG et al., "Heterogeneous 12-Core 4-LP-Mode Fiber Based on Trench-Assisted Graded-Index Profile", IEEE Photonics Journal, 07 March 2017, vol. 9, Issue 2, 710910, pp. 1-11	1-6
A	TU et al., "Optimized Design Method for Bend-Insensitive Heterogeneous Trench-Assisted Multi-Core Fiber With Ultra-Low Crosstalk and High Core Density", Journal of Lightwave Technology, 01 August 2013, vol. 31, no. 15, pp. 2590-2598	1-6



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

20 March 2018 (20.03.2018)

Date of mailing of the international search report

03 April 2018 (03.04.2018)

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/JP2018/000167

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 2013-167861 A (FUJIKURA LTD.) 29 August 2013, entire text, all drawings & JP 5916525 B2 & US 2014/0334789 A1, entire text, all drawings & US 9081129 B2 & WO 2013/108523 A1 & EP 2806297 A1	1-6
A	WO 2016/129650 A1 (FUJIKURA LTD.) 18 August 2016, entire text, all drawings & JP 6050847 B2 & US 2017/0235043 A1, entire text, all drawings & US 9817183 B2 & EP 3171205 A1 & CN 106461858 A	1-6
A	JP 2011-170336 A (SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD.) 01 September 2011, entire text, all drawings & JP 5678679 B2 & US 2011/0182557 A1, entire text, all drawings & US 8406595 B2	1-6
A	WO 2015/133407 A1 (FUJIKURA LTD.) 11 September 2015, entire text, all drawings & JP 6177994 B2 & US 2016/0187576 A1, entire text, all drawings & US 9588284 B2 & EP 3029498 A1	1-6
A	US 2015/0160408 A1 (BICKHAM et al.) 11 June 2015, entire text, all drawings & US 9470841 B2	1-6

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, G02B6/036(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. G02B6/02-6/10

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	1971-2018年
日本国実用新案登録公報	1996-2018年
日本国登録実用新案公報	1994-2018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）

IEEE Xplore

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 A	GARCIA, Sergi and GASULLA, Ivana, Crosstalk-optimised multicore fiber true time delay lines, Microwave Photonics, 2015 International Topical Meeting on, IEEE, 2015.10.26, pp.1-4	1 2-6
A	CHANG et al., Heterogeneous 12-Core 4-LP-Mode Fiber Based on Trench-Assisted Graded-Index Profile, IEEE Photonics Journal, 2017.03.07, Vol.9, Issue 2, 710910, pp.1-11	1-6

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

20.03.2018

国際調査報告の発送日

03.04.2018

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）

野口 晃一

2 L

5708

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	TU et al., Optimized Design Method for Bend-Insensitive Heterogeneous Trench-Assisted Multi-Core Fiber With Ultra-Low Crosstalk and High Core Density, Journal of Lightwave Technology, 2013.08.01, Vol.31, No.15, pp.2590-2598	1-6
A	JP 2013-167861 A (株式会社フジクラ) 2013.08.29, 全文, 全図 & JP 5916525 B2 & US 2014/0334789 A1, 全文, 全図 & US 9081129 B2 & WO 2013/108523 A1 & EP 2806297 A1	1-6
A	WO 2016/129650 A1 (株式会社フジクラ) 2016.08.18, 全文, 全図 & JP 6050847 B2 & US 2017/0235043 A1, 全文, 全図 & US 9817183 B2 & EP 3171205 A1 & CN 106461858 A	1-6
A	JP 2011-170336 A (住友電気工業株式会社) 2011.09.01, 全文, 全図 & JP 5678679 B2 & US 2011/0182557 A1, 全文, 全図 & US 8406595 B2	1-6
A	WO 2015/133407 A1 (株式会社フジクラ) 2015.09.11, 全文, 全図 & JP 6177994 B2 & US 2016/0187576 A1, 全文, 全図 & US 9588284 B2 & EP 3029498 A1	1-6
A	US 2015/0160408 A1 (BICKHAM et al.) 2015.06.11, 全文, 全図 & US 9470841 B2	1-6