

(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
2024年8月22日(22.08.2024)



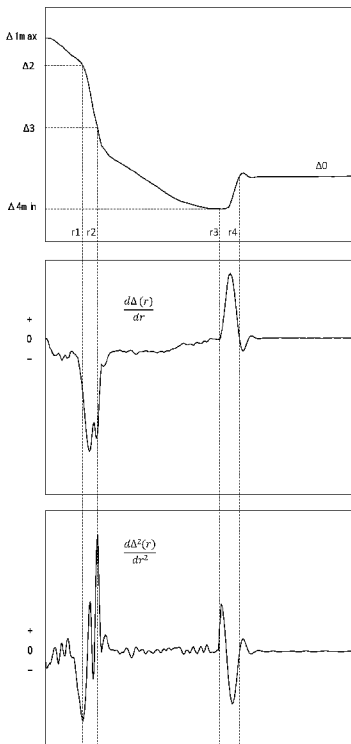
(10) 国際公開番号

WO 2024/172006 A1

- (51) 国際特許分類:
G02B 6/036 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2024/004733
- (22) 国際出願日: 2024年2月13日(13.02.2024)
- (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 2023-021432 2023年2月15日(15.02.2023) JP
- (71) 出願人: 信越化学工業株式会社 (SHIN-ETSU CHEMICAL CO., LTD.) [JP/JP]; 〒1000005 東京都千代田区丸の内一丁目4番1号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 小島 大輝 (KOJIMA Hiroki); 〒3140102 茨城県神栖市東和田1番地 信越化学工業株式会社内 Ibaraki (JP). 井上 大 (INOUE Dai); 〒3140102 茨城県神栖市東和田1番地 信越化学工業株式会社内 Ibaraki (JP).
- (74) 代理人: 弁理士法人 R Y U K A 国際特許事務所 (RYUKA & PARTNERS); 〒1631522 東京都新宿区西新宿1-6-1 新宿エルタワー2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, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, 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, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(54) Title: OPTICAL FIBER

(54) 発明の名称: 光ファイバ



(57) Abstract: Provided is an optical fiber comprising an inner core with a radius r_1 at a center part, an outer core with a radius r_2 , a first cladding layer with an outermost radius r_3 which is adjacent to the outer core at a radial position r_2 and covers the outer periphery of the outer core, a second cladding layer with an outermost radius r_4 which is adjacent to the first cladding layer at a radial position r_3 and covers the outer periphery of the first cladding layer, and a third cladding layer which is adjacent to the second cladding layer at a radial position r_4 and covers the outer periphery of the second cladding layer. The refractive index of the inner core, the outer core, and the first cladding layer takes on a maximum value at the center part and decreases continuously and smoothly from the center part to the outer side. The refractive index of the second cladding layer increases continuously and smoothly from the radial position r_3 to the radial position r_4 .

(57) 要約: 中心部に半径 r_1 の内コア、半径 r_2 の外コア、前記外コアに半径位置 r_2 で隣接してその外周を覆う最外半径 r_3 の第一クラッド層、前記第一クラッド層に半径位置 r_3 で隣接してその外周を覆う最外半径 r_4 の第二クラッド層、および、前記第二クラッド層に半径位置 r_4 で隣接してその外周を覆う第三クラッド層を備え、前記内コア、前記外コア、および、前記第一クラッド層の屈折率が、前記中心部で最大値をとり、前記中心部から外側に向かって連続的になだらかに低下しており、前記第二クラッド層の屈折率が、前記半径位置 r_3 から前記半径位置 r_4 に向かって連続的になだらかに上昇している光ファイバを提供する。

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

添付公開書類:

一 国際調査報告 (条約第21条(3))

明 細 書

発明の名称：光ファイバ

技術分野

[0001] 本発明は、光ファイバに関する。

背景技術

[0002] 特許文献1には、「a trench relatively far from the core may improve mode confinement, improve bending loss, permit the use of lossier "high loss" cladding material or permit reduction in the overall fiber diameter」(第11頁第36行～第40行)と記載されている。特許文献2には、「第1クラッド層と第2クラッド層の境界部に急激な組成変化領域がなく、その結果、その屈折率分布構造が第2クラッド層内で外径方向に対して、負の傾斜を持った構造になっている。」(段落0022)と記載されている。

[先行技術文献]

[特許文献]

[特許文献1] 米国特許第4852968号

[特許文献2] 特許第5799903号

一般的開示

[0003] 本発明の第1の態様においては、光ファイバを提供する。光ファイバは、中心部に半径 r_1 の内コア、半径 r_2 の外コア、前記外コアに半径位置 r_2 で隣接してその外周を覆う最外半径 r_3 の第一クラッド層、前記第一クラッド層に半径位置 r_3 で隣接してその外周を覆う最外半径 r_4 の第二クラッド層、および、前記第二クラッド層に半径位置 r_4 で隣接してその外周を覆う第三クラッド層を備え、前記内コア、前記外コア、および、前記第一クラッド層の屈折率が、前記中心部で最大値をとり、前記中心部から外側に向かって連続的になだらかに低下しており、前記第二クラッド層の屈折率が、前記半径位置 r_3 から前記半径位置 r_4 に向かって連続的になだらかに上昇して

いる。

- [0004] 上記の光ファイバにおいて、半径 r が $0 \sim r_1$ の領域では $|d\Delta(r)/dr| \leq 0.1\%/\mu\text{m}$ を満たし、半径 r が $r_1 \sim r_3$ の領域では $|d\Delta(r)/dr| \leq 0.15\%/\mu\text{m}$ を満たし、且つ、半径 r が $r_3 \sim r_4$ の領域では $|d\Delta(r)/dr| \leq 0.1\%/\mu\text{m}$ を満たしてもよい。
- [0005] 上記の何れかの光ファイバにおいて、前記内コアは前記中心部で最大比屈折率差 $\Delta_{1\text{max}}$ を有し、前記外コアは半径位置 r_1 において比屈折率差 Δ_2 を有し、前記第一クラッド層は前記半径位置 r_2 において比屈折率差 Δ_3 を有し且つ前記半径位置 r_3 において最小比屈折率差 $\Delta_{4\text{min}}$ を有し、前記第二クラッド層は前記半径位置 r_4 において比屈折率差 Δ_5 を有し、 $\Delta_{1\text{max}} > \Delta_2 > \Delta_3 > \Delta_5 > \Delta_{4\text{min}}$ であり、且つ Δ_2 が 0.3% 以下であってもよい。
- [0006] 上記の何れかの光ファイバにおいて、前記第一クラッド層と前記第二クラッド層とが接する前記半径位置 r_3 の付近において、屈折率分布形状曲線の傾きが負から正に変化していてもよい。
- [0007] 上記の何れかの光ファイバにおいて、前記半径 r_1 が $2 \sim 10 \mu\text{m}$ であってもよく、前記半径 r_2 が $3 \sim 14 \mu\text{m}$ であってもよく、前記最外半径 r_3 が $10 \sim 25 \mu\text{m}$ であってもよい。
- [0008] 上記の何れかの光ファイバにおいて、前記内コアに添加した正のドーパントは半径方向に濃度分布を持ち、前記濃度分布において前記正のドーパントの濃度が最大となる位置において、前記第三クラッド層の平均屈折率を基準とした前記内コアの比屈折率差は $0.20 \sim 0.50\%$ を満たしてもよい。
- [0009] 上記の何れかの光ファイバにおいて、前記正のドーパントがゲルマニウムおよび/または塩素であってもよい。
- [0010] 上記の何れかの光ファイバにおいて、前記第三クラッド層の平均屈折率を基準とした前記第一クラッド層および前記第二クラッド層の比屈折率差が $-0.40 \sim -0.05\%$ となるように、前記第一クラッド層および前記第二クラッド層に負のドーパントが添加されていてもよい。

- [0011] 上記の何れかの光ファイバにおいて、前記負のドーパントがフッ素であってもよい。
- [0012] 上記の何れかの光ファイバにおいて、1550nmの波長で、約0.1845dB/km未満の減衰を有してもよい。
- [0013] 上記の何れかの光ファイバにおいて、半径10mmの曲げを与えた際の波長1550nmにおける曲げ損失は0.1dB/turn以下であってもよい。
- [0014] 上記の何れかの光ファイバにおいて、零分散波長は1300~1324nmであってもよい。
- [0015] 上記の何れかの光ファイバにおいて、1310nmにおけるモードフィールド直径は8.8~9.6 μ mであってもよい。
- [0016] 上記の何れかの光ファイバにおいて、22mのファイバ長で測定したカットオフ波長は1260nm以下であってもよい。
- [0017] なお、上記の発明の概要は、本発明の特徴の全てを列挙したものではない。また、これらの特徴群のサブコンビネーションもまた、発明となりうる。

図面の簡単な説明

- [0018] [図1]一実施形態に係る光ファイバの概略断面構造を示す。
[図2]一実施形態に係る光ファイバの屈折率分布構造の一例を示す。

発明を実施するための形態

- [0019] 以下、発明の実施の形態を通じて本発明を説明するが、以下の実施形態は請求の範囲にかかる発明を限定するものではない。また、実施形態の中で説明されている特徴の組み合わせの全てが発明の解決手段に必須であるとは限らない。
- [0020] 図1は、一実施形態に係る光ファイバ1の断面構造の概略を示している。また、図2は、一実施形態に係る光ファイバ1の屈折率分布構造の一例を示しており、シングルモード光ファイバと同等以上の低損失な伝送特性および曲げ損失を備えている。
- [0021] 図1に示すように、本実施形態による光通信用の光ファイバ1は、三層クラッド構造を有するトレンチ型の屈折率分布構造を有している。すなわち、

光ファイバ1は、中心部に半径 r_1 の内コア2、該内コア2に半径位置 r_1 で隣接してその外周を覆い最外半径 r_2 を有する外コア3、該外コア3に半径位置 r_2 で隣接してその外周を覆い最外半径 r_3 を有する第一クラッド層4、該第一クラッド層4に半径位置 r_3 で隣接してその外周を覆い最外半径 r_4 を有する第二クラッド層5、及び該第二クラッド層5に半径位置 r_4 で隣接してその外周を覆う第三クラッド層6からなる。第三クラッド層6は、半径位置 r_f がその外周となり、第三クラッド層6の外周は光ファイバ1の最外表面となる。なお、光ファイバ1は追加的に、内コア2、外コア3、第一クラッド層4、第二クラッド層5および第三クラッド層6以外の層を備えてもよい。

[0022] 図2に示されるように、内コア2、外コア3、および第一クラッド層4の屈折率が、内コア2の中心部で最大値をとり、当該中心部から外側に向かって連続的になだらかに低下しており、第二クラッド層5の屈折率が、半径位置 r_3 から半径位置 r_4 に向かって連続的になだらかに上昇している。このように光ファイバ1の屈折率分布は、内コア2、外コア3、第一クラッド層4および第二クラッド層5で急激な屈折率変化領域がない。すなわち、光ファイバ1には、急激な組成変化領域がない。

[0023] 本明細書において、各層の半径は以下のように定義される。光ファイバ1中の任意の半径位置（光ファイバ1の中心部からの距離） r における屈折率を $n(r)$ とする。 r_1 は、 $r < 15 \mu\text{m}$ 以下の領域において屈折率分布の二次微分値が最小となる半径位置であり、 $2 \sim 10 \mu\text{m}$ としてもよく、 $3.5 \sim 5 \mu\text{m}$ としてもよい。 r_2 は、 $r < 15 \mu\text{m}$ 以下の領域において屈折率分布の二次微分値が最大となる半径位置であり、 $3 \sim 14 \mu\text{m}$ としてもよく、 $4 \sim 7 \mu\text{m}$ としてもよい。さらに、 r_3 は、屈折率分布において屈折率が最低となる半径位置であり、 $10 \sim 25 \mu\text{m}$ としてもよく、 $12 \sim 20 \mu\text{m}$ としてもよい。なお、屈折率分布において屈折率は r_3 から r_4 に向かってなだらかに上昇している。 r_4 は、屈折率分布において、半径位置 r_3 から外側に向かって屈折率が最初に $n(r) = n_0$ となる半径位置とする。なお

、ファイバの外径を r_f としたとき、 $r_f/2 \sim r_f$ の平均屈折率を n_0 とする。

[0024] 図2の最上段図に示されるように、内コア2から第一クラッド層4にかけての屈折率分布は、内コア2の中心位置で最大値をとり、内側から外側に向かって連続的になだらかに低下し、半径位置 r_3 で最小値をとる。第二クラッド層5の屈折率は、内側から外側に向かって連続的になだらかに上昇し、半径位置 r_3 で最小値をとり、半径位置 r_4 で最大値をとる。つまり、第一クラッド層4と第二クラッド層5とが接する半径位置 r_3 付近において、屈折率分布形状曲線の傾きが負から正に変化する。

[0025] また、各層の比屈折率差 Δ は、以下のように定義される。半径 r における比屈折率差 $\Delta(r)$ は、 $\Delta(r) = 100 \times (n(r) - n_0) / n(r)$ とする。内コア2は中心部で最大比屈折率差 Δ_{1max} を有し、外コア3は半径位置 r_1 において比屈折率差 Δ_2 を有し、第一クラッド層4は半径位置 r_2 において比屈折率差 Δ_3 を有し且つ半径位置 r_3 において最小比屈折率差 Δ_{4min} を有し、第二クラッド層5は半径位置 r_4 において比屈折率差 Δ_5 を有することとする。すなわち、 Δ_{1max} はプロファイル内の最大比屈折率差であり、 Δ_2 は半径位置 r_1 での比屈折率差 $\Delta(r_1)$ であり、 Δ_3 は半径位置 r_2 での比屈折率差 $\Delta(r_2)$ であり、 Δ_{4min} は半径位置 r_3 での最小比屈折率差 $\Delta(r_3)$ であり、 Δ_5 は半径位置 r_4 での比屈折率差 $\Delta(r_4)$ である。なお、 Δ_0 は $\Delta(r_f/2) \sim \Delta(r_f)$ の平均比屈折率差とする。

[0026] 内コア2に添加した正のドーパントは、内コア2の半径方向に濃度分布を持ってよい。当該正のドーパントは、ゲルマニウムおよび／または塩素であってもよい。当該濃度分布において正のドーパントの濃度が最大値となる位置においては、ITU-T G. 652. Dが規定するMFD値内となるようにコアの比屈折率差を調整すべく、第三クラッド層6の平均屈折率を基準とした内コア2の最大比屈折率差は0.20~0.50%を満たしてもよい。内コア2の当該最大比屈折率差が0.20%未満となると、クラッドとの

屈折率差が小さくなり、所定の曲げ損失、例えば、半径10mmの曲げを与えた際の波長1550nmにおける曲げ損失が0.1dB/turn以下が得られなくなる。また、内コア2の当該最大比屈折率差が0.50%より大きくなると、コア部におけるドーパント濃度が高くなり、レイリー散乱の増加による伝送損失の悪化が懸念される。

[0027] 第一クラッド層4および第二クラッド層5の比屈折率差が、第三クラッド層6の平均屈折率を基準として-0.40~-0.05%となるように、第一クラッド層4および第二クラッド層5に負のドーパントが添加されていてもよい。当該負のドーパントはフッ素であってもよい。第一クラッド層4および第二クラッド層5の当該比屈折率差が-0.05%より大きくなると、コアとの屈折率差が小さくなり、所定の曲げ損失、例えば、半径10mmの曲げを与えた際の波長1550nmにおける曲げ損失が0.1dB/turn以下が得られなくなる。また、第一クラッド層4および第二クラッド層5の当該比屈折率差が-0.40%未満となると、クラッドにおける負のドーパント濃度が高くなり、レイリー散乱の増加による伝送損失の悪化が懸念される。

[0028] ここで、光ファイバの中では、多くの光が中心を通過し、中心から外れるにしたがい、光の通過量は少なくなる。しかし、伝搬光の一部はクラッド領域にも漏れる。コア、クラッド領域での屈折率変化を小さくすることにより構造不整損失の低減が可能である。本実施形態による光ファイバ1では、屈折率変化を $|d\Delta(r)/dr|$ 、すなわち、比屈折率差 $\Delta(r)$ の半径方向の微分値の大きさを定義して規格化するとともに、各部位での $|d\Delta(r)/dr|$ の適切な値の範囲を明らかにした。

[0029] 図2は屈折率分布構造の一例を示し、横軸は光ファイバ1の半径 r であり、最上段図の縦軸は比屈折率差 Δ 、中段図の縦軸は屈折率分布構造から計算した一次微分値 $|d\Delta(r)/dr|$ であり、最下段図の縦軸は屈折率分布構造から計算した二次微分値 $|d\Delta^2(r)/dr^2|$ である。屈折率分布構造は、直径125 μm の光ファイバを用意し、0.15 μm ピッチで比屈折

率差 $\Delta(r)$ を算出してこれをプロットすることで得られる。そして、比屈折率差の径分布 $\Delta(r)$ を微分することで $d\Delta(r)/dr$ を算出することができる。さらに、変化の方向（増加か減少か）は無視して屈折率変化の急峻さのみに着目するために、 $d\Delta(r)/dr$ の絶対値である $|d\Delta(r)/dr|$ を得ている。

[0030] 以下、各部位における $|d\Delta(r)/dr|$ の適切な値の範囲と、それを実現するための製造方法上の留意点について説明する。まず、 $(0\sim r_1)$ 半径域での $|d\Delta(r)/dr|$ は、 $0.1\%/ \mu\text{m}$ 以下としてもよい。内コア部は多くの光が通過するため、このように急激な屈折率変化がないようにすることで、すなわちガラス組成の大きな変化を抑制することで、光ファイバ1における構造不整損失の低減が可能である。この領域での $|d\Delta(r)/dr|$ を低減するために、例えば、焼結時の母材の引き下げ速度を調整してもよい。具体的には、引き下げ速度を遅くすることで、中心のGeのクラッドへの拡散を促し、これによって当該半径域の $|d\Delta(r)/dr|$ を低減してもよい。また例えば、脱水時の雰囲気中の塩素濃度を上げることで、当該半径域の $|d\Delta(r)/dr|$ を低減してもよい。

[0031] 次に、 $(r_1\sim r_3)$ 半径域での $|d\Delta(r)/dr|$ は、 $0.15\%/ \mu\text{m}$ 以下としてもよい。これにより、光ファイバ1において、急激な屈折率変化は抑制され、構造不整損失は低減される。 $(r_1\sim r_3)$ 半径域での $|d\Delta(r)/dr|$ が $0.15\%/ \mu\text{m}$ より大きくなると、急激な屈折率変化のため構造不整損失が増加する。 $(r_1\sim r_3)$ 半径域での $|d\Delta(r)/dr|$ を低減するには、例えば、脱水工程でフッ素をドーピングしてもよい。多孔質母材の密度が低いときにフッ素をドーピングすることで、中心から外側まで急激なドーピング変化が抑止され、これによって当該半径域の $|d\Delta(r)/dr|$ を低減してもよい。

[0032] $(r_3\sim r_4)$ 半径域での $|d\Delta(r)/dr|$ は、 $0.1\%/ \mu\text{m}$ 以下としてもよい。光が第三クラッド近傍のこの半径域にも浸み出て通過するため、急激な屈折率変化がないようにすることで光ファイバ1における構造不

整損失の更なる低減が可能である。この半径域での $|d\Delta(r)/dr|$ を低減するために、例えば、脱水工程とガラス化工程との間に、多孔質ガラス母材表面のフッ素を抜く工程を挟んでもよい。

[0033] 本実施形態による光ファイバ1において、各層の比屈折率差 Δ は、 $\Delta 1_{max} > \Delta 2 > \Delta 3 > \Delta 5 > \Delta 4_{min}$ の関係を有している。なお、半径位置 r_1 での比屈折率差 $\Delta 2$ は0.3%以下にすることが好ましい。 $\Delta 2$ 付近は、光のパワー体積が最大となる位置であり、この部分のGe濃度が高いとレイリー散乱の増大につながるためである。

[0034] なお、OVD法などを用いて内コアを製造した場合、中心に屈折率の落ち込み（センターディップ）が存在するが、中心部とはセンターディップを除く領域を指すこととする。

[0035] [実施例1]

次に、本発明に係るシングルモード光ファイバの製造方法について説明する。まず、VAD法により、コアおよび中間層からなる多孔質ガラス母材を一体合成する。その際、コアには屈折率を上昇させるためのゲルマニウムをドーピングする。このとき、スート堆積温度を制御することにより、ガラス微粒子（スート）の嵩密度を調節することができる。嵩密度が高いほど後工程であるフッ素雰囲気中での焼結工程においてフッ素ドーピング量を抑制することができる。

[0036] 次に、以下の手順で当該スート母材を焼結する。まず、スート母材の脱OH処理として、炉内ガス $Ar = 20 L/min$ 、 $Cl_2 = 0.5 L/min$ のガス雰囲気中で、焼結温度 $1200^\circ C$ 、引き下げ速度 $10 mm/min$ で、スート母材全長を加熱処理する。次に、透明ガラス化処理およびフッ素ドーピング処理として、炉内ガス $He = 20 L/min$ 、 $SiF_4 = 0.3 L/min$ からなる混合ガス雰囲気中で、焼結温度 $1500^\circ C$ 、送り速度 $5 mm/min$ で、スート母材全長を加熱処理する。なお、四フッ化シランガスに代えて、四フッ化メタンや六フッ化エタンなどを使用してもよい。

[0037] このようにして得た透明ガラスコア母材を、ガラス旋盤にて所定径に延伸

して長手方向の外径を揃える。このとき、ガラス旋盤の酸水素火炎の影響で母材の表面にOH基が取り込まれるが、この透明ガラスコア母材をフッ化水素酸水溶液に浸漬して表面を溶かすことによって除去できる。なお、ガラス旋盤で延伸する際、その加熱源にプラズマ火炎を用いてもよい。その場合、コア母材の表面にOH基が混入しないため、フッ化水素酸による処理を省略することができる。

[0038] こうして作製した透明コア母材をターゲットとし、さらにクラッド層をOVD法で付加して多孔質母材を得る。次に、得られた多孔質母材を焼結し、透明ガラス化することにより光ファイバ母材を作製する。得られた光ファイバ母材を約2100℃に加熱し紡糸することにより、直径125μmの光ファイバを得ることができる。60kmの光ファイバを100本得た。なお、直径は125μm以下でもよい。直径を細くすることで、ケーブル内のファイバの密度を高めることができ、エネルギー密度を増加させることができる。

[0039] [実施例2]

まず、VAD法により、コアおよび中間層からなる多孔質ガラス母材を一体合成した。コアには屈折率を上昇させるためゲルマニウムをドーブした。この多孔質ガラス母材を、塩素ガスを毎分1.5リットル、四フッ化シランガスを毎分0.3リットル、及びArガスを毎分20リットルからなる混合ガス流雰囲気中にて約1200℃に加熱し、多孔質ガラス母材を10mm/minで引き下げ、脱水およびフッ素ドーブを行った。その後、Heを毎分20リットル流した。続いて、約1500℃に加熱し、中実な透明ガラスコア母材とした。なお、四フッ化シランガスに代えて、四フッ化メタンや六フッ化エタンなどを使用してもよい。さらに、OVD法で第三クラッド層を付加して得られた多孔質母材を焼結し、透明ガラス化することにより光ファイバ母材を作製した。該母材を紡糸して直径125μmの60kmの光ファイバを100本得た。

[0040] [実施例3]

まず、VAD法により、コアおよび中間層からなる多孔質ガラス母材を一体合成した。コアには屈折率を上昇させるためゲルマニウムをドーブした。この多孔質ガラス母材を、塩素ガスを毎分3リットル、四フッ化シランガスを毎分0.3リットル、及びArガスを毎分20リットルからなる混合ガス流霧囲気中にて約1200℃に加熱し、多孔質ガラス母材を10mm/minで引き下げ、脱水およびフッ素ドーブを行った。その後、表面のフッ素を抜く工程として、1300℃で1時間多孔質ガラス母材を加熱する工程を加えた。その際、Heを毎分20リットル流した。続いて、約1500℃に加熱し、中実な透明ガラスコア母材とした。なお、四フッ化シランガスに代えて、四フッ化メタンや六フッ化エタンなどを使用してもよい。さらに、OVD法で第三クラッド層を付加して得られた多孔質母材を焼結し、透明ガラス化することにより光ファイバ母材を作製した。該母材を紡糸して直径125 μ mの60kmの光ファイバを100本得た。

[0041] [比較例]

まず、VAD法により、コアおよび中間層からなる多孔質ガラス母材を一体合成した。コアには屈折率を上昇させるためのゲルマニウムをドーブした。この多孔質ガラス母材を、塩素ガスを毎分0.5リットル、四フッ化シランガスを毎分0.3リットル、及びArガスを毎分20リットルからなる混合ガス流霧囲気中にて約1200℃に加熱し、多孔質ガラス母材を10mm/minで引き下げ、脱水およびフッ素ドーブを行った。続いて、ヘリウムガス20リットルを流し、約1500℃に加熱し、中実な透明ガラスコア母材とした。さらに、OVD法で第三クラッド層を付加して得られた多孔質母材を焼結し、透明ガラス化することにより光ファイバ母材を作製した。該母材を紡糸して直径125 μ mの60kmの光ファイバを100本得た。表1に、実施例1、2、3、および、比較例のそれぞれによって得た光ファイバの各種パラメータを示す。得られたそれぞれ100本の60kmの光ファイバについて、表1に示す各種パラメータをそれぞれ測定した。 λ_{cc} 、 λ_0 、MFDは平均値を算出した。伝送損失、曲げ損失は、それぞれ0.184

5 dB/km未満、0.1 dB/Turn以下の割合を算出した。

[表1]

		単位	実施例1	実施例2	実施例3	比較例
dΔ(r)/dr の最大値	0~r1	% / μm	0.19	0.09	0.06	0.22
	r1~r3		0.55	0.29	0.14	0.74
	r3~r4		0.18	0.15	0.09	0.21
r	1	μm	4.41	3.30	3.75	3.5
	2		4.63	3.89	5.20	5.15
	3		17.24	14.45	17.22	18.3
Δ	1max	%	0.38	0.39	0.32	0.29
	2		0.31	0.35	0.24	0.38
	3		0.07	0.22	0.07	0.03
	4min		-0.21	-0.14	-0.11	-0.12
λ _{cc}		nm	1244	1239	1241	1245
λ ₀		nm	1300	1302	1310	1303
MFD	1310nm	μm	8.92	8.85	9.17	9.20
伝送損失	1550nm	%	54	78	99	1
曲げ損失	R10×1turn	%	99	99	99	5

[0042] 実施例1では、波長1550nmでの伝送損失が0.1845dB/km未満の割合が54%だった。これは、屈折率が中心部で最大値をとり、当該中心部から外側に向かって連続的になだらかに低下しており、第二クラッド層の屈折率が、半径位置r3から半径位置r4に向かって連続的になだらかに上昇しており、構造不正損失を十分低減できたためである。一方、半径10mmの曲げ損失(R10×1turn)が0.1dB/turn以下の割合が99%だった。ITU-T G.657.A2勧告に準拠したものである。

[0043] 上記の実施例1において、零分散波長λ₀の平均値は1300nmであり、1300~1324nmの範囲に入っている。また、1310nmにおけるモードフィールド直径の平均値は8.92μmであり、8.8~9.6μmの範囲に入っている。また、22mのファイバ長で測定したカットオフ波長λ_{cc}の平均値は1244nmであり、1260nm以下であった。これらの各特性は、ITU-T G.652.D勧告に準拠したものである。

[0044] 実施例2では、波長1550nmでの伝送損失が0.1845dB/km未満の割合が78%だった。これは、脱水時の塩素濃度を上げることで、Geの第一クラッドへの拡散が促進されたことにより、(0~r1)半径域での|dΔ(r)/dr|および(r1~r3)半径域での|dΔ(r)/d

r_1 が低減した。これにより構造不整損失がさらに低下し、波長1550nmでの伝送損失が低くなった。一方、半径10mmの曲げ損失(R10×1turn)が0.1dB/turn以下の割合が99%だった。ITU-T G.657. A2勧告に準拠したものである。

[0045] 上記の実施例2において、零分散波長 λ_0 の平均値は1302nmであり、1300~1324nmの範囲に入っている。また、1310nmにおけるモードフィールド直径の平均値は8.85 μ mであり、8.8~9.6 μ mの範囲に入っている。また、22mのファイバ長で測定したカットオフ波長 λ_{cc} の平均値は1239nmであり、1260nm以下であった。これらの各特性は、ITU-T G.652. D勧告に準拠したものである。

[0046] 実施例3では、波長1550nmでの伝送損失が0.1845dB/km未満の割合が99%だった。これは、脱水時の塩素濃度を実施例2からさらに上げることで、Geの第一クラッドへの拡散が促進されたことにより、(0~ r_1)半径域での $|d\Delta(r)/dr|$ および(r_1 ~ r_3)半径域での $|d\Delta(r)/dr|$ が低減した。また、フッ素ドーブ後にフッ素を抜く工程を設けることで第二クラッドへのFの拡散が促進されたことにより、(r_3 ~ r_4)半径域での $|d\Delta(r)/dr|$ が低減した。これにより構造不整損失がさらに低下し、波長1550nmでの伝送損失が低くなった。さらに、 Δ_2 を0.3%以下にすることでレイリー散乱を抑制でき、波長1550nmでの伝送損失が低くなった。一方、半径10mmの曲げ損失(R10×1turn)が0.1dB/turn以下の割合が99%だった。ITU-T G.657. A2勧告に準拠したものである。

[0047] 上記の実施例3において、零分散波長 λ_0 の平均値は1310nmであり、1300~1324nmの範囲に入っている。また、1310nmにおけるモードフィールド直径の平均値は9.17 μ mであり、8.8~9.6 μ mの範囲に入っている。また、22mのファイバ長で測定したカットオフ波長 λ_{cc} の平均値は1241nmであり、1260nm以下であった。これらの各特性は、ITU-T G.652. D勧告に準拠したものである。

- [0048] 比較例では、波長1550nmでの伝送損失が0.1845dB/km未満の割合が1%だった。一方、半径10mmの曲げ損失(R10×1turn)が0.1dB/turn以下の割合が5%だった。
- [0049] 以上で説明した実施形態による光ファイバ1に対する比較例の1つとして、シングルモード光ファイバは、信号光が光ファイバのコア部を伝搬し、光ファイバが多少曲がった状態でも信号を送ることが可能であるという特徴を有する。一般にシングルモード光ファイバでは、その曲げ半径が小さくなるにつれ、伝搬しきれずにコアから漏洩する光の割合が指数関数的に増大し、伝送損失増となって現れる。これは、上述した曲げ損失である。近年、光ファイバは曲率半径15mm以下～10mm程度で曲げた状態で用いられる可能性がある一方で、より低損失な光ファイバが求められる。
- [0050] 曲げ損失を低減するには、コアの屈折率を高めて光をよりコアに集束させるのが効果的である。これはモードフィールド直径(MFD)を小さくすることによって改善される。このため、約8.2～8.8μmのMFDの光ファイバが用いられることが多かった。こうすることによって、例えば、半径r10mmのマンドレル(円筒)に光ファイバを巻きつけた際の曲げ損失で、波長1550nmにおいて0.1dB/turn以下が実現されていた。
- [0051] ところが、長距離系の光通信で一般的に用いられているITU-TG.652.D規格の光ファイバのMFDは、8.8～9.6μm程度であるため、上述したような曲げ損失を低減した光ファイバと、上記の規格に則った光ファイバとを接続する場合に、MFDの違いによる接続損失が大きくなるという問題がある。
- [0052] 他の比較例では、この問題を解決すべく、トレンチ型光ファイバを用いることにより、MFDを大きく設計しつつ曲げ損失を低減していた。これは古くから知られた公知技術であるが、近年、その優秀な曲げ損失特性が注目されている。
- [0053] ところが、トレンチ型の屈折率分布を有する光ファイバの場合、ガラス組成が大きく変化する界面が存在するため、屈折率が大きく変化する領域にお

いて残留応力が発生し、伝送損失増加の要因となっている。この伝送損失は、波長依存性が小さいことから、特定の不純物に起因する吸収損失ではなく、上述した構造不整損失である。

[0054] 更に他の比較例では、構造不整損失を低減すべく、トレンチのクラッド部の一部分の傾きを規定していたが、構造不整損失を十分低減するものではなかった。

[0055] これに対して、本実施形態による光ファイバ1は、構造不整の少ない屈折率分布形状を有する光ファイバを提供すべく、少なくとも、内コア2、外コア3、および第一クラッド層4の屈折率が、内コア2の中心部で最大値をとり、当該中心部から外側に向かって連続的になだらかに低下しており、第二クラッド層5の屈折率が、半径位置 r_3 から半径位置 r_4 に向かって連続的になだらかに上昇している、という構成を備える。このような構成を備える光ファイバ1によれば、シングルモード光ファイバと同等のカットオフ波長、モードフィールド直径、零分散波長などの伝送特性を有しつつ、曲げによる伝送損失を小さくし、かつ各波長での伝送損失を低減することができる。光ファイバ1によれば、例えば上記で説明した通り、 $(0 \sim r_1)$ 半径域および $(r_1 \sim r_3)$ 半径域での $|d\Delta(r)/dr|$ を低減したことで急激な屈折率変化は抑制され、構造不整損失を低減したことで伝送損失が低く、MFD $8.8 \sim 9.6 \mu\text{m}$ を保ちつつ、曲げ損失を小さくすることができる。

[0056] 以上、本発明を実施の形態を用いて説明したが、本発明の技術的範囲は上記実施の形態に記載の範囲には限定されない。上記実施の形態に、多様な変更または改良を加えることが可能であることが当業者に明らかである。その様な変更または改良を加えた形態も本発明の技術的範囲に含まれ得ることが、請求の範囲の記載から明らかである。

[0057] 請求の範囲、明細書、および図面中において示した装置、システム、プログラム、および方法における動作、手順、ステップ、および段階等の各処理の実行順序は、特段「より前に」、「先立って」等と明示しておらず、また

、前の処理の出力を後の処理で用いるのでない限り、任意の順序で実現しうることに留意すべきである。請求の範囲、明細書、および図面中の動作フローに関して、便宜上「まず、」、「次に、」等を用いて説明したとしても、この順で実施することが必須であることを意味するものではない。

符号の説明

- [0058] 1 光ファイバ
2 内コア
3 外コア
4 第一クラッド層
5 第二クラッド層
6 第三クラッド層

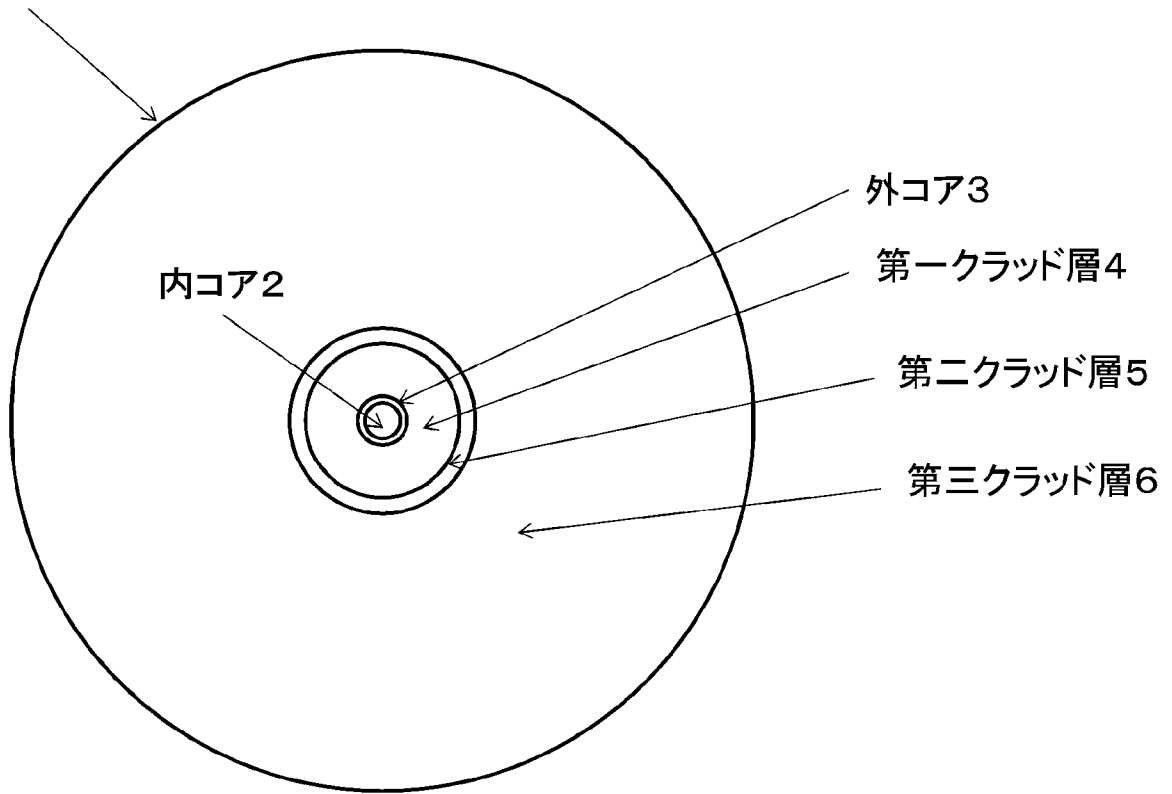
請求の範囲

- [請求項1] 中心部に半径 r_1 の内コア、半径 r_2 の外コア、前記外コアに半径位置 r_2 で隣接してその外周を覆う最外半径 r_3 の第一クラッド層、前記第一クラッド層に半径位置 r_3 で隣接してその外周を覆う最外半径 r_4 の第二クラッド層、および、前記第二クラッド層に半径位置 r_4 で隣接してその外周を覆う第三クラッド層を備え、前記内コア、前記外コア、および、前記第一クラッド層の屈折率が、前記中心部で最大値をとり、前記中心部から外側に向かって連続的になだらかに低下しており、前記第二クラッド層の屈折率が、前記半径位置 r_3 から前記半径位置 r_4 に向かって連続的になだらかに上昇している光ファイバ。
- [請求項2] 半径 r が $0 \sim r_1$ の領域では $|d\Delta(r)/dr| \leq 0.1\%/\mu\text{m}$ を満たし、半径 r が $r_1 \sim r_3$ の領域では $|d\Delta(r)/dr| \leq 0.15\%/\mu\text{m}$ を満たし、且つ、半径 r が $r_3 \sim r_4$ の領域では $|d\Delta(r)/dr| \leq 0.1\%/\mu\text{m}$ を満たす、請求項1に記載の光ファイバ。
- [請求項3] 前記内コアは前記中心部で最大比屈折率差 $\Delta_{1\text{max}}$ を有し、前記外コアは半径位置 r_1 において比屈折率差 Δ_2 を有し、前記第一クラッド層は前記半径位置 r_2 において比屈折率差 Δ_3 を有し且つ前記半径位置 r_3 において最小比屈折率差 $\Delta_{4\text{min}}$ を有し、前記第二クラッド層は前記半径位置 r_4 において比屈折率差 Δ_5 を有し、 $\Delta_{1\text{max}} > \Delta_2 > \Delta_3 > \Delta_5 > \Delta_{4\text{min}}$ であり、且つ Δ_2 が 0.3% 以下である請求項1又は2に記載の光ファイバ。
- [請求項4] 前記第一クラッド層と前記第二クラッド層とが接する前記半径位置 r_3 の付近において、屈折率分布形状曲線の傾きが負から正に変化している請求項1から3の何れか一項に記載の光ファイバ。
- [請求項5] 前記半径 r_1 が $2 \sim 10 \mu\text{m}$ であり、前記半径 r_2 が $3 \sim 14 \mu\text{m}$ であり、前記最外半径 r_3 が $10 \sim 25 \mu\text{m}$ である請求項1から4の

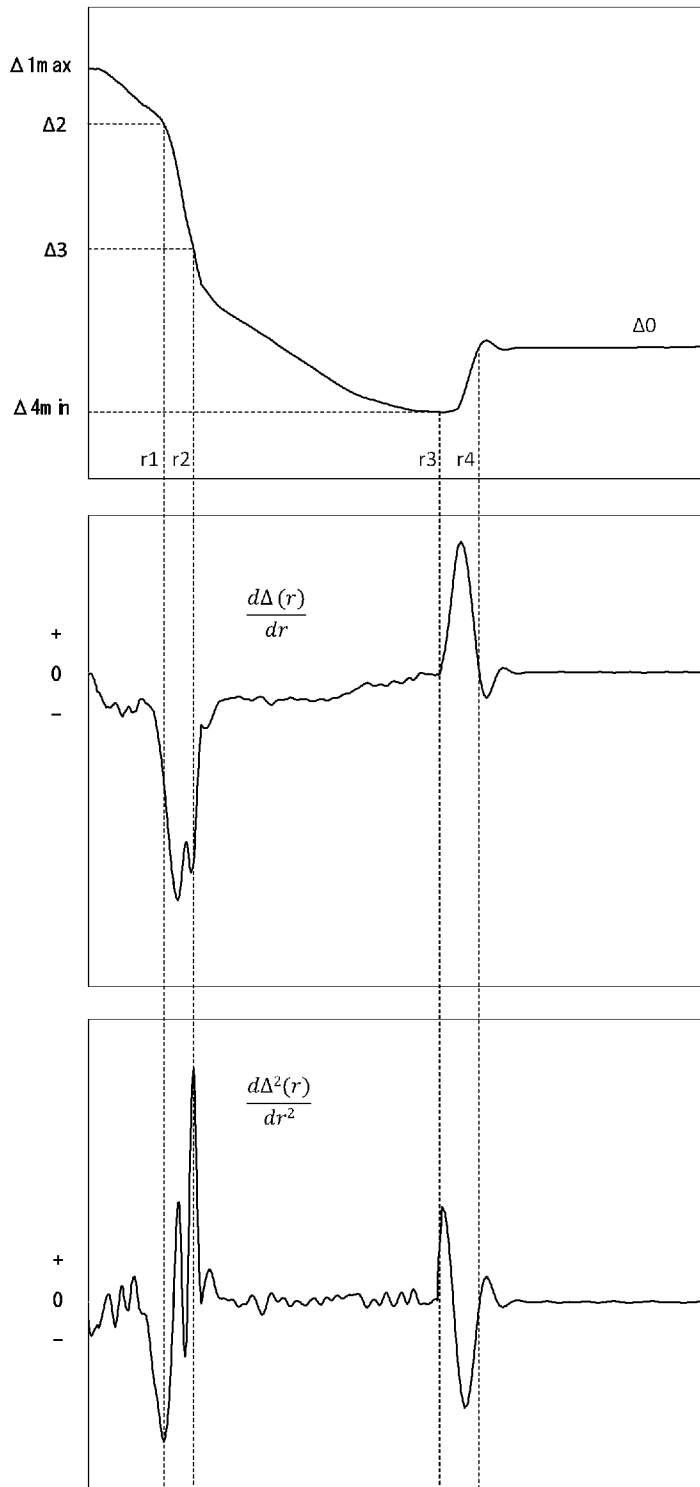
何れか一項に記載の光ファイバ。

- [請求項6] 前記内コアに添加した正のドーパントは半径方向に濃度分布を持ち、前記濃度分布において前記正のドーパントの濃度が最大となる位置において、前記第三クラッド層の平均屈折率を基準とした前記内コアの比屈折率差は0.20~0.50%を満たす請求項1から5の何れか一項に記載の光ファイバ。
- [請求項7] 前記正のドーパントがゲルマニウムおよび／または塩素である請求項6に記載の光ファイバ。
- [請求項8] 前記第三クラッド層の平均屈折率を基準とした前記第一クラッド層および前記第二クラッド層の比屈折率差が-0.40~-0.05%となるように、前記第一クラッド層および前記第二クラッド層に負のドーパントが添加されている請求項1から7の何れか一項に記載の光ファイバ。
- [請求項9] 前記負のドーパントがフッ素である請求項8に記載の光ファイバ。
- [請求項10] 1550nmの波長で約0.1845dB/km未満の減衰を有する請求項1から9の何れか一項に記載の光ファイバ。
- [請求項11] 半径10mmの曲げを与えた際の波長1550nmにおける曲げ損失が0.1dB/turn以下である請求項1から10の何れか一項に記載の光ファイバ。
- [請求項12] 零分散波長が1300~1324nmである請求項1から11の何れか一項に記載の光ファイバ。
- [請求項13] 1310nmにおけるモードフィールド直径が8.8~9.6μmである請求項1から12の何れか一項に記載の光ファイバ。
- [請求項14] 22mのファイバ長で測定したカットオフ波長が1260nm以下である請求項1から13の何れか一項に記載の光ファイバ。

[図1]
光ファイバ1



[図2]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2024/004733

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
G02B 6/036(2006.01)i FI: G02B6/036		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) G02B6/02-6/08; G02B6/44; C03B37/00-37/16		
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 1971-2024 Registered utility model specifications of Japan 1996-2024 Published registered utility model applications of Japan 1994-2024		
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	JP 2021-176008 A (SHIN-ETSU CHEMICAL CO., LTD.) 04 November 2021 (2021-11-04) paragraphs [0001]-[0054], fig. 1-3	1-4, 6-14
Y		5-14
Y	JP 2019-530005 A (CORNING INC.) 17 October 2019 (2019-10-17) paragraphs [0067]-[0068], [0073], fig. 3	5-14
Y	US 2019/0162896 A1 (CORNING INC.) 30 May 2019 (2019-05-30) paragraphs [0080]-[0083], fig. 1-2	5-14
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> 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 "D" document cited by the applicant in the international application "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 04 April 2024		Date of mailing of the international search report 23 April 2024
Name and mailing address of the ISA/JP Japan Patent Office (ISA/JP) 3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915 Japan		Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No. PCT/JP2024/004733

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP 2021-176008 A	04 November 2021	US 2021/0333471 A1 paragraphs [0002]-[0057], fig. 1-3 EP 3901675 A1 CN 113552666 A KR 10-2021-0131232 A	
JP 2019-530005 A	17 October 2019	US 2018/0079677 A1 paragraphs [0078], [0084], fig. 3 CN 109791250 A	
US 2019/0162896 A1	30 May 2019	(Family: none)	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） G02B 6/036(2006.01)i FI: G02B6/036		
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC）） G02B6/02-6/08; G02B6/44; G03B37/00-37/16 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 1971-2024年 日本国実用新案登録公報 1996-2024年 日本国登録実用新案公報 1994-2024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 2021-176008 A (信越化学工業株式会社) 04.11.2021 (2021-11-04) [0001]-[0054], 図1-3	1-4, 6-14
Y		5-14
Y	JP 2019-530005 A (コーニング インコーポレイテッド) 17.10.2019 (2019-10-17) [0067]-[0068], [0073], 図3	5-14
Y	US 2019/0162896 A1 (CORNING INCORPORATED) 30.05.2019 (2019-05-30) [0080]-[0083], 図1-2	5-14
<input type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input checked="" type="checkbox"/> 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、一般的技术水準を示すもの “D” 国際出願で出願人が先行技術文献として記載した文献 “E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの “L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す） “O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 “P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献 “T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの “X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの “Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの “&” 同一パテントファミリー文献		
国際調査を完了した日 04.04.2024	国際調査報告の発送日 23.04.2024	
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	権限のある職員（特許庁審査官） 奥村 政人 2L 4752 電話番号 03-3581-1101 内線 3295	

国際調査報告
 パテントファミリーに関する情報

国際出願番号
 PCT/JP2024/004733

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP 2021-176008 A	04.11.2021	US 2021/0333471 A1 [0002]-[0057], 図1-3 EP 3901675 A1 CN 11352666 A KR 10-2021-0131232 A	
JP 2019-530005 A	17.10.2019	US 2018/0079677 A1 [0078], [0084], 図3 CN 109791250 A	
US 2019/0162896 A1	30.05.2019	(ファミリーなし)	