

(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  
2017年8月31日(31.08.2017)



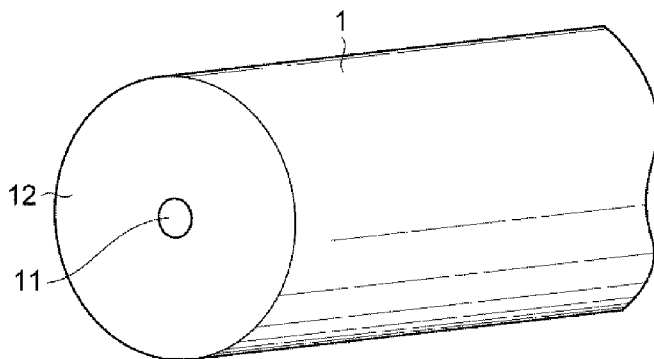
(10) 国際公開番号  
WO 2017/145834 A1

- (51) 国際特許分類:  
C03C 3/06 (2006.01) C03B 37/027 (2006.01)  
C03B 20/00 (2006.01) G02B 6/02 (2006.01)  
C03B 37/018 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2017/005077
- (22) 国際出願日: 2017年2月13日(13.02.2017)
- (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 2016-035202 2016年2月26日(26.02.2016) JP
- (71) 出願人: 住友電気工業株式会社 (SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD.) [JP/JP]; 〒5410041 大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号 Osaka (JP).
- (72) 発明者: 佐久間 洋宇 (SAKUMA Hirotaka); 〒2448588 神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電気工業株式会社横浜製作所内 Kanagawa (JP). 田村 欣章 (TAMURA Yoshiaki); 〒2448588 神奈川
- (74) 代理人: 中田 元己, 外 (NAKATA Motomi et al.); 〒5540024 大阪府大阪市此花区島屋一丁目1番3号 住友電気工業株式会社内 Osaka (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, 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, 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.
- (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,

[続葉有]

(54) Title: OPTICAL FIBER  
(54) 発明の名称: 光ファイバ

[図1]



(57) Abstract: Provided is an optical fiber containing an alkali metal element or the like, capable of lowering Rayleigh scattering loss. The optical fiber is provided with: a core comprising a silica glass; and a clad surrounding the core, having a refractive index lower than that of the core and comprising a silica glass containing fluorine. The core includes a first dopant group, and also includes a second dopant group having a smaller diffusion coefficient than the diffusion coefficient of the first dopant group. The difference between the maximum value and the minimum value of residual stress in the optical fiber is less than or equal to 150 MPa.

(57) 要約: アルカリ金属元素等を含みレーリー散乱損失を低くすることができる光ファイバを提供する。光ファイバは、シリカガラスからなるコアと、コアを取り囲み、コアの屈折率より低い屈折率を有し、フッ素を含むシリカガラスからなるクラッドと、を備える。コアは、第1ドーパント群を含むとともに、第1ドーパント群の拡散係数より小さい拡散係数を有する第2ドーパント群を含む。光ファイバにおける残留応力の最大値と最小値の差は150MPa以下である。

WO 2017/145834 A1

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:

— 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ものである。

### 背景技術

[0002] レーリー散乱損失が低く伝送損失が低い光ファイバとして、コアがアルカリ金属元素又はアルカリ土類金属元素を含むシリカガラス系の光ファイバが知られている（例えばUS 2005/0129376 A1、US 7,088,900 B1を参照）。このような光ファイバは、コア部にアルカリ金属元素又はアルカリ土類金属元素が含まれる光ファイバ母材を線引することで製造される。光ファイバ母材のコア部にアルカリ金属元素又はアルカリ土類金属元素が含まれていると、この光ファイバ母材を線引するときにコア部の粘性を下げることができ、シリカガラスのネットワーク構造が均一化するので、構造の不均一に由来するレーリー散乱損失を低くすることができる。本明細書中では以降特に断りの無い限り、アルカリ金属元素又はアルカリ土類金属元素を総称してアルカリ金属元素等と呼ぶ。

[0003] アルカリ金属元素等をシリカガラス中に添加する方法としては拡散法が知られている。拡散法は、原料となるアルカリ金属元素等又はアルカリ金属等の塩などの原料蒸気をシリカガラス系のガラスパイプ内に導入しながら、ガラスパイプを外部熱源により加熱したり、ガラスパイプ内にプラズマを発生させたりすることで、アルカリ金属元素等をガラスパイプの内表面に拡散添加するものである。

[0004] このようにしてアルカリ金属元素等をガラスパイプの内表面近傍に添加した後、このガラスパイプを加熱して縮径させる。縮径後、アルカリ金属元素等の添加の際に不純物として同時に添加されてしまうNiやFeなどの遷移金属元素を除去する目的で、ガラスパイプの内表面を或る厚みでエッチングする。アルカリ金属元素等は遷移金属元素より拡散が速いので、ガラス表面

を或る厚みでエッチングして遷移金属元素を除去しても、アルカリ金属元素等を残留させることが可能である。エッチング後、ガラスパイプを加熱して中実化することで、アルカリ金属元素等を中心部に含むコアロッドを製造する。このアルカリ金属元素等を含むコアロッドはその外側にコア外周部となるガラスを付加し、全体を光ファイバ母材のコア部としても良い。

[0005] アルカリ金属元素等を含有するコアロッドを含むコア部より屈折率の低いクラッド部をコア部の外側に合成することで、光ファイバ母材を製造する。そして、この光ファイバ母材を公知の方法で高温の炉で熔融して線引することで光ファイバを製造することができる。

## 発明の概要

### 発明が解決しようとする課題

[0006] 本発明は、アルカリ金属元素等を含みレーリー散乱損失を低くすることができる光ファイバを提供することを目的とする。

### 課題を解決するための手段

[0007] 本発明の光ファイバは、温度2000℃～2300℃でのシリカガス中での拡散係数が $1 \times 10^{-12} \text{ cm}^2 / \text{ s}$ 以上であって、アルカリ金属元素又はアルカリ土類金属元素からなる第1ドーパント群を含むとともに、第1ドーパント群のシリカガラス内における拡散係数より小さい拡散係数を有するアルカリ金属元素又はアルカリ土類金属元素である第2ドーパント群を含むシリカガラスからなるコアと、コアを取り囲み、コアの屈折率より低い屈折率を有し、フッ素を含むシリカガラスからなるクラッドと、を備え、光ファイバにおける残留応力の最大値と最小値の差が150MPa以下である。残留応力は、光ファイバを透過した光の位相変化を通して測定でき、例えばP. L. Chu and T. Whitbread, "Measurement of stresses in optical fiber and preform", Appl. Opt. 21, 4241 (1982)に記載されている。この文献は本明細書に組み込まれる。

[0008] 本発明の光ファイバは、コアにおける第1ドーパント群の平均濃度をC1とし、コアにおける第2ドーパント群の平均濃度をC2としたとき、比C2

／C 1 が5以上であるのが好適であり、また、比C 2／C 1 が30以下であるのが好適である。

[0009] 本発明の光ファイバは、平均濃度C 1 が1～20 w t p p mであり、平均濃度C 2 が20～300 w t p p mであるのが好適である。ここで「1 w t p p m」とは、1000 gのS i O<sub>2</sub>中に0.001 gの原子が含まれることを表す。また、コアが、第1ドーパント群としてN a、Kのうちの何れかを含み、第2ドーパント群としてR b、C s、M g、C a、S rのうちの何れかを含むのが好適である。

### 発明の効果

[0010] 本発明の光ファイバは、レーリー散乱損失を低くすることができる。

### 図面の簡単な説明

[0011] [図1]図1は、本発明の実施形態の光ファイバを示す斜視図である。

[0012] [図2]図2は、光ファイバ母材及び光ファイバそれぞれにおけるK濃度の径方向分布を示す概念図である。

[0013] [図3]図3は、光ファイバ母材及び光ファイバそれぞれにおけるC s濃度の径方向分布を示す概念図である。

[0014] [図4]図4は、比C 2／C 1と残留応力の最大値と最小値の差との関係を示すグラフである。

[0015] [図5]図5は、比C 2／C 1と伝送損失との関係を示すグラフである。

[0016] [図6]図6は、N a、K、C s、C aそれぞれの拡散係数を纏めた表である。

[0017] [図7]図7は、実施形態の光ファイバを製造するための各工程を説明するフローチャートである。

### 発明を実施するための形態

[0018] 以下、添付図面を参照して、本発明を実施するための形態を詳細に説明する。なお、図面の説明において同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。本発明は、これらの例示に限定されるものではなく、特許請求の範囲によって示され、特許請求の範囲と均等の意味及び範囲内でのすべての変更が含まれることが意図される。

[0019] 本発明者は、アルカリ金属元素等を含み伝送損失が低い光ファイバを製造するに当たり以下のような知見を得た。アルカリ金属元素等としてNaやKなど拡散速度が比較的速い元素を光ファイバ母材のコア部中心近傍に添加した場合、これらのアルカリ金属元素等が線引工程においてコア部の外まで拡散してしまい、コア部のガラス粘性を十分に下げることができず、レーリー散乱損失を十分に下げることができなかつた。一方で、アルカリ金属元素等としてCsやCaなど拡散速度が比較的遅い元素を光ファイバ母材のコア部中心近傍に添加した場合、これらのアルカリ金属元素等が線引工程においてコア部中心近傍だけにとどまり、コア部の外へは拡散しない。その結果、コア外周やクラッド部の粘性が下がらず、線引時の線引張力と冷却過程での熱収縮による大きな歪がガラス内に発生し、レーリー散乱損失を十分に低減することができなかつた。

[0020] 上記の問題を解決するための手段としては、線引工程の際の温度や炉内の滞在時間などの条件を最適化することが考えられるが、線引工程の際の温度や炉内の滞在時間などの条件は、光ファイバ母材のサイズや線引速度により支配されるので、これらの条件を使って元素拡散状態をコントロールすることは母材のサイズや線引速度を制約することで、製造コストや生産性を制約することになるので好ましくない。

[0021] 図1は、本発明の実施形態の光ファイバ1を示す斜視図である。光ファイバ1は、シリカガラスからなるコア11及びクラッド12を備える。クラッド12は、コア11を取り囲み、コア11の屈折率より低い屈折率を有し、純粋なシリカガラス又は塩素又はフッ素を含むシリカガラスからなる。光ファイバ1の物性はその長手方向には一様である。コア11は、温度2000℃～2300℃でのシリカガラス中における拡散係数が $4 \times 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{s}$ 以上の第1ドーパントとしてK、 $4 \times 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{s}$ 以下の第2ドーパントとしてCsを含む。なお第1ドーパントとしてはKに限らずNa、第2ドーパントとしてCsに限らずRb、Mg、Ca及びSrであってもよい。

[0022] 図2は、光ファイバ母材及び光ファイバそれぞれにおけるK濃度の径方向

分布を示す概念図である。図3は、光ファイバ母材及び光ファイバそれぞれにおける $C_s$ 濃度の径方向分布を示す概念図である。これらの図は、横軸はファイバにおけるコア中心からの距離を示す。母材状態の濃度分布は、本来は母材におけるコア部中心からの距離の関数であるが、母材を光ファイバに線引した際のファイバにおけるコア中心からの距離に換算して示す。

[0023] 光ファイバ母材のコア部中心に第1ドーパント群（NaまたはK）を添加した場合、第1ドーパント群は拡散係数が大きいので、図2に示されるように、線引の際の温度 $2000^{\circ}\text{C}\sim 2300^{\circ}\text{C}$ での加熱により光ファイバのコア全体に（更にクラッドまで）拡散して広がる。光ファイバのコア中の第1ドーパント群のコア平均濃度は光ファイバ母材状態での $1/10$ 程度まで低下し、コアのレーリー散乱損失を十分に下げることができない。しかし、第1ドーパント群がクラッドまで拡散することにより、クラッドの粘性を下げ、コアとクラッドとの間の粘性差によって線引時に発生する歪を低減し、コア外周及びクラッドのレーリー散乱損失を低減する効果が期待される。第1ドーパント群を含み、第2ドーパント群を含まないファイバでは、クラッドを含めてレーリー散乱損失が低減することで、例えばKを含んだ場合の波長 $1550\text{nm}$ での伝送損失は $0.154\text{dB/km}$ 以下となる。このとき第1ドーパントが拡散して圧縮応力となる領域は半径で $15\mu\text{m}$ 以上の領域である。また、ファイバ内の残留応力の最大と最小の差は $50\text{MPa}$ 以上 $150\text{MPa}$ 以下となる。

[0024] 光ファイバ母材のコア部が第1ドーパント群を含まず第2ドーパント群を光ファイバ母材のコア部中心に添加した場合、第2ドーパント群の拡散係数は第1ドーパント群の拡散係数の $1/2$ 程度であるので、図3に示されるように、光ファイバにおいても第2ドーパント群の殆どはコア中にとどまる。第1ドーパント群の濃度と同じ濃度の第2ドーパント群をコア部が含む場合、光ファイバのコアのレーリー散乱損失をより小さくすることができる。一方で、第2ドーパント群はクラッドまでは広がらないことから、クラッドの粘性が下がらず、コアとクラッドとの界面に粘性差が発生することで歪が発

生し、この部分のレーリー散乱が高くなる。

[0025] それ故、第1ドーパント群を含まず第2ドーパント群を含む場合、光ファイバの損失は全体として $0.156 \text{ dB/km}$ となる。このとき第2ドーパントが拡散して圧縮応力となる領域は半径で $10 \mu\text{m}$ 以下の領域である。また、ファイバ内の残留応力の最大と最小の差は $150 \text{ MPa}$ 以上となる。前述の第1ドーパントのみをファイバに含む場合と比較すると、ファイバ内の残留応力の最大と最小の差は $150 \text{ MPa}$ 以下であれば波長 $1550 \text{ nm}$ のときの伝送損失が $0.154 \text{ dB/km}$ 以下となる。

[0026] 本実施形態の光ファイバは、拡散係数が大きい第1ドーパント群を含むとともに、拡散係数が小さい第2ドーパント群をも特定の割合以上で含むことにより、レーリー散乱損失を十分に低くすることができる。すなわち、コアにおける第1ドーパント群の平均濃度を $C_1$ とし、コアにおける第2ドーパント群の平均濃度を $C_2$ としたとき、コアにおける比 $C_2/C_1$ を特定範囲内として、コアとクラッドとの間の粘性差を低減し、光ファイバにおける残留応力の最大値と最小値の差を $150 \text{ MPa}$ 以下とすることで、レーリー散乱損失を十分に低くすることができる。

[0027] クラッドは、屈折率を下げるためのドーパントとしてFを含んでいるので、Fによる粘性低減効果もある。それ故、第1ドーパント群は線引時に拡散するが、ファイバでのコア平均濃度が $0.2 \text{ wt ppm}$ 以上であればクラッドの粘性が十分に低減しレーリー散乱損失低減がみられる。

[0028] 一方、クラッドでの第1ドーパント群の濃度を $10 \text{ wt ppm}$ より高くするには、母材状態でピーク濃度 $10000 \text{ wt ppm}$ 以上に高濃度にする必要があったが、このようにピーク濃度が高い場合、ガラス欠陥によると推測される損失増加が新たに発生するので、損失を低減することができない。

[0029] Kを $0.2 \text{ wt ppm}$ 含むクラッドに対してコアの粘性を同程度に下げるためには、コアにおける第2ドーパント群の平均濃度 $C_2$ とコアにおけるKの平均濃度 $C_1$ との比 $C_2/C_1$ が5以上であることが良い。この場合、コアへの引っ張り歪が解消され、損失が低減する。一方、比 $C_2/C_1$ が30

より大きいと、光ファイバにおける残留応力の最大値と最小値の差が増大するだけでなく、結晶が発生し易くなってロス増が生じるので、比 $C_2/C_1$ は30以下であるのが好ましい。

[0030] 図4は、比 $C_2/C_1$ と残留応力の最大値と最小値の差との関係を示すグラフである。図5は、比 $C_2/C_1$ と伝送損失との関係を示すグラフである。これらの図に示されるように、コアとクラッドとの間の残留応力の最大値と最小値の差を150MPa以下とするには、比 $C_2/C_1$ が5以上であればよい。加えて、波長1550nmにおける伝送損失を0.154dB/km以下とするには、比 $C_2/C_1$ が30以下であればよい。

[0031] 第2ドーパント群として好適に用いられ得るRb、Cs、Mg、Ca、Srは、線引温度(2000℃~2300℃)での拡散係数がKの拡散係数に対して1/2から1/10であり、線引工程での拡散による広がりが半径で約6μmのコア径より小さいので、コアの粘性を低減し、レーリー散乱損失を低減するのに有利である。

[0032] コアにおける第1ドーパント群の平均濃度 $C_1$ が1~20wtppmであるのが好適であり、コアにおける第2ドーパント群の平均濃度 $C_2$ が20~300wtppmであるのが好適である。この程度のドーパント濃度とすることで、低ロスの光ファイバを製造する上で好適である。

[0033] 分子動力学計算により線引温度(2300℃)における濃度100wtppmでの各元素の拡散係数を計算したところ、Na、K、Cs、Caそれぞれの拡散係数は図6のようになった。この結果により、Cs、Caの拡散係数はKの拡散係数の1/2以下であり、線引後のK濃度分布はコア径の倍まで広がることから推測すると、これらCs、Caはコアの径の内におさまると予想される。

[0034] 一方で、FeやNiといった光ファイバの伝送損失に影響を与える不純物の拡散係数は $1 \times 10^{-12} \text{ cm}^2/\text{s}$ 程度であることから、これと比較してCs、Caの拡散係数は十分大きい。拡散添加後に不純物を除去する目的で行うエッチング工程において、第2ドーパント群と不純物との間で拡散距離に

十分な差をつけることができ、エッチングにより不純物を含む層を削り取ったとしても、第2ドーパント群をガラス中に残すことができると考えられる。

[0035] 図7は、本実施形態の光ファイバを製造するための各工程を説明するフローチャートである。以下の説明では、具体的な条件の一例についても記載している。

[0036] 準備工程（ステップS1）では、アルカリ金属元素等（ドーパント）を拡散させるべきシリカガラス系のガラスパイプを準備する。このシリカガラス系のガラスパイプは、100wtppmから1000wtppmの塩素（Cl）及び1000wtppmから6,000wtppmのフッ素を含み、その他のドーパント及び不純物の濃度が10wtppm以下である。このシリカガラス系のガラスパイプの外径は直径30mmから40mmであり、内径は直径10mmから20mm程度である。

[0037] 添加工程（ステップS2）では、ドーパントとしてK及びCsをシリカガラス系のガラスパイプの内表面に添加する。原料として臭化カリウム（KBr）10g及び臭化セシウム（CsBr）15gを用いる。外部熱源で原料を温度750℃から850℃に加熱して原料蒸気を発生させる。2SLM（標準状態に換算して1リットル/min）の流量の酸素からなるキャリアガスと共に原料蒸気をシリカガラス系のガラスパイプに導入しながら、外部から酸水素バーナによってシリカガラス系のガラスパイプの外表面が温度2150℃となるようにシリカガラス系のガラスパイプを加熱する。このとき、30mm/minから40mm/minの速さでバーナをトラバースさせて合計15ターン加熱し、K元素とCs元素とをシリカガラス系のガラスパイプの内表面に拡散添加させる。

[0038] 縮径工程（ステップS3）では、Kが添加されたシリカガラス系のガラスパイプを縮径する。このとき、シリカガラス系のガラスパイプの内部に酸素を0.5SLM流しながら、外部熱源によってシリカガラス系のガラスパイプの外表面が2250℃となるようにシリカガラス系のガラスパイプを加熱

する。外部熱源をトラバースさせて合計6ターン加熱し、シリカガラスパイプを内径が5mm以下になるまで縮径する。

[0039] エッチング工程（ステップS4）では、シリカガラス系のガラスパイプの内面をエッチングする。このとき、SF<sub>6</sub>（0.2SLM）及び塩素（0.5SLM）の混合ガスをシリカガラスパイプの内部に導入しながら、外部熱源でシリカガラスパイプを加熱して気相エッチングを行う。このようにすることで、目的のドーパントと共に添加された不純物を高濃度に含むパイプ内面を削ることができ、この不純物を除去することができる。

[0040] 中実化工程（ステップS5）では、シリカガラス系のガラスパイプを中実化する。中実化工程では、酸素（0.1SLM）及びHe（1SLM）の混合ガスをシリカガラスパイプ30の内部に導入しながら、シリカガラスパイプ内の絶対圧を97kPa以下に減圧しながら表面温度を2150℃としてシリカガラスパイプ中実化する。この中実化により、コア部（外径20mmから25mm程度）を得る。このロッドの外側にOVD法やコラプス法といった公知の方法でアルカリ金属元素等を含まないコア層を付与しても良い。

[0041] 延伸研削工程（ステップS6）では、コア部を延伸して直径20mmとし、更に外周部を研削して直径17mmとする。

[0042] ロッドインコラプス工程（ステップS7）では、コア部の外側に第1クラッド部を設ける。この第1クラッド部は7,000~10,000wtppmのフッ素を含む。このとき、フッ素が添加されたシリカガラス系のガラスパイプの内部にコア部を挿入して、外部熱源によって両者を加熱し一体化するロッドインコラプス法を用いる。コア部と第1クラッド部との相対屈折率差は最大で0.34%程度である。このロッドインコラプス法による合成の結果、コア部及びその近傍の第1クラッド部の水分量は十分に低く抑制することが可能である。

[0043] ジャケット合成工程（ステップS8）では、コア部及び第1クラッド部が一体化されてなるロッドを延伸して所定径とした後、そのロッドの外側にフッ素を含む第2クラッド部をOVD法により合成して、光ファイバ母材を製

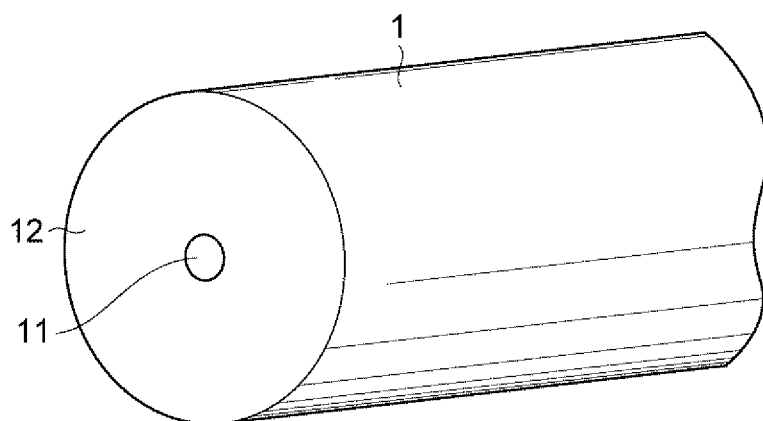
造する。

[0044] 線引工程（ステップS9）では、以上の光ファイバ母材製造方法により製造された光ファイバ母材を線引することで光ファイバを得ることができる。線引速度は1,800m/minから2,300m/minであり、線引張力は0.5Nである。線引後のファイバ中のドーパント濃度を測定したところ、K濃度はコアの平均で10wtppmであった。またCsはコアの平均で80wtppmであった。得られた光ファイバの伝送損失は先行技術では波長1550nmで0.150dB/kmにとどまるが、本発明ではそれ以下まで下げられる。

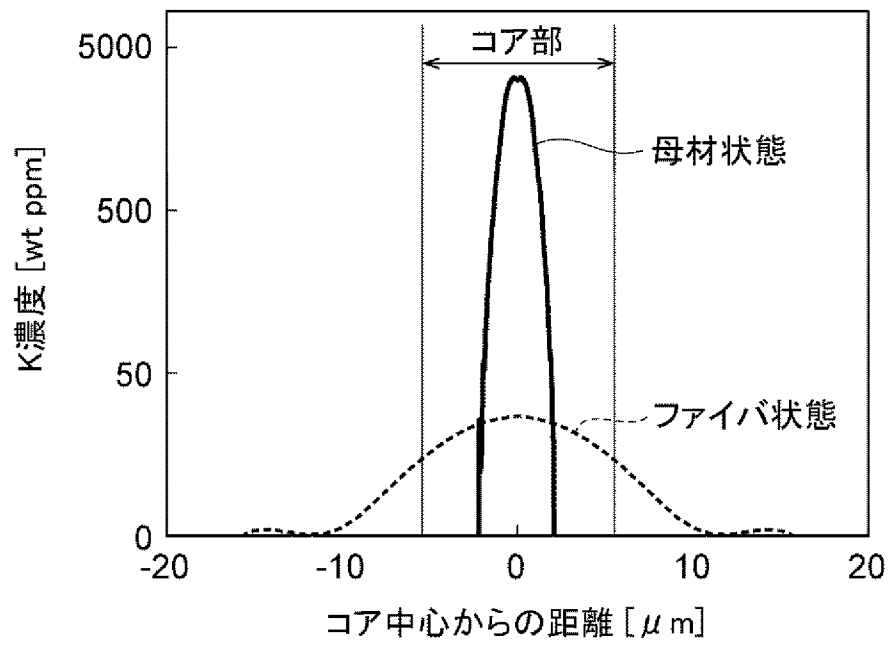
## 請求の範囲

- [請求項1] 温度2000℃～2300℃でのシリカガス中での拡散係数が $1 \times 10^{-12} \text{ cm}^2 / \text{ s}$ 以上であって、アルカリ金属元素又はアルカリ土類金属元素からなる第1ドーパント群を含むとともに、該第1ドーパント群のシリカガラス内における拡散係数より小さい拡散係数を有するアルカリ金属元素又はアルカリ土類金属元素である第2ドーパント群を含むシリカガラスからなるコアと、
- 前記コアを取り囲み、前記コアの屈折率より低い屈折率を有し、フッ素を含むシリカガラスからなるクラッドと、
- を備え、
- 光ファイバにおける残留応力の最大値と最小値の差が150MPa以下である、
- 光ファイバ。
- [請求項2] 前記コアにおける前記第1ドーパント群の平均濃度をC1とし、前記コアにおける前記第2ドーパント群の平均濃度をC2としたとき、比C2/C1が5以上である、
- 請求項1に記載の光ファイバ。
- [請求項3] 前記比C2/C1が30以下である、
- 請求項2に記載の光ファイバ。
- [請求項4] 前記C1が1～20wtppmであり、
- 前記C2が20～300wtppmである、
- 請求項1～3の何れか1項に記載の光ファイバ。
- [請求項5] 前記コアが、前記第1ドーパント群としてNa、Kのうちの何れかを含み、前記第2ドーパント群としてRb、Cs、Mg、Ca、Srのうちの何れかを含む、
- 請求項1～4の何れか1項に記載の光ファイバ。

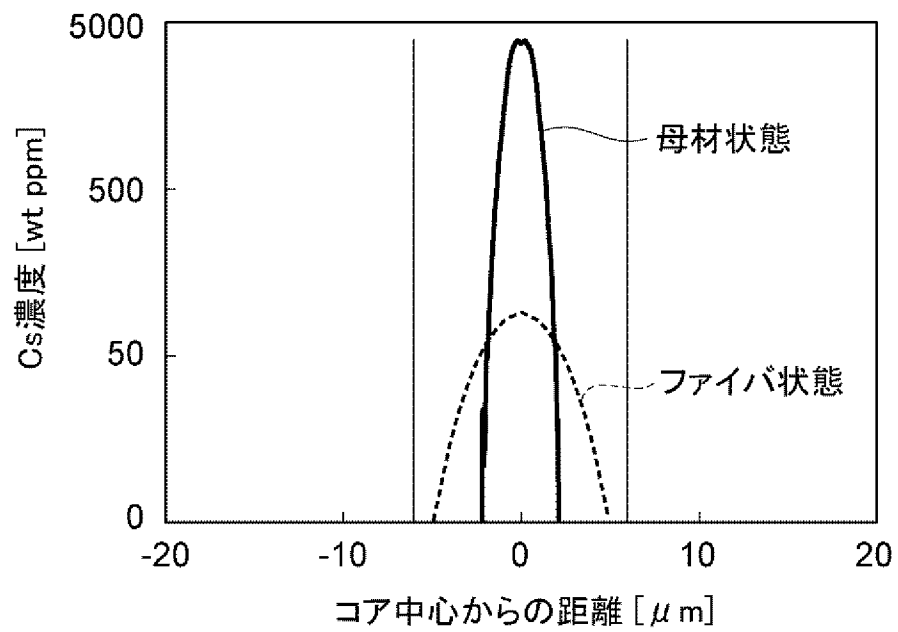
[図1]



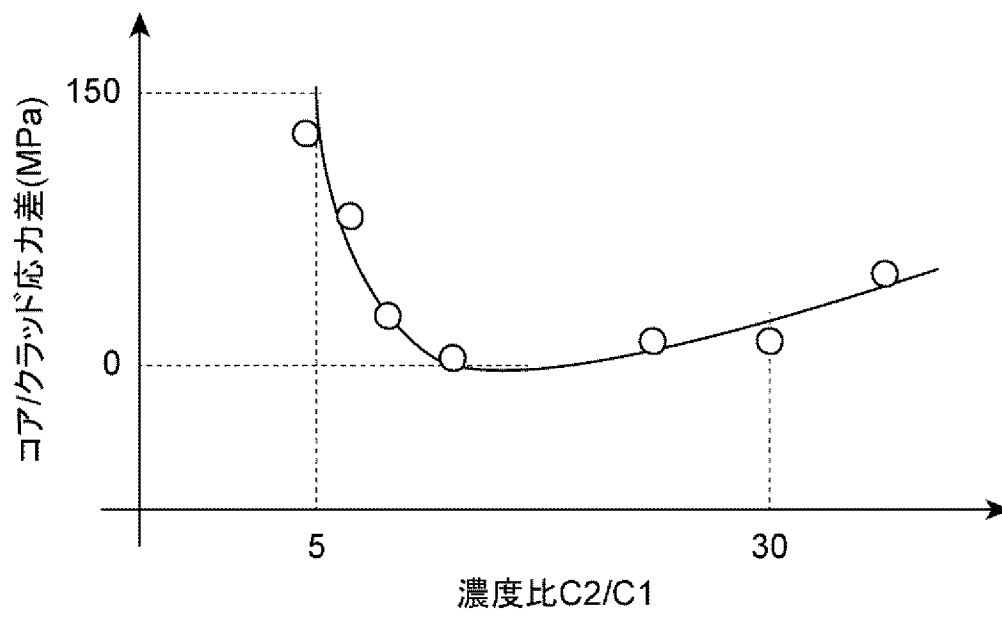
[図2]



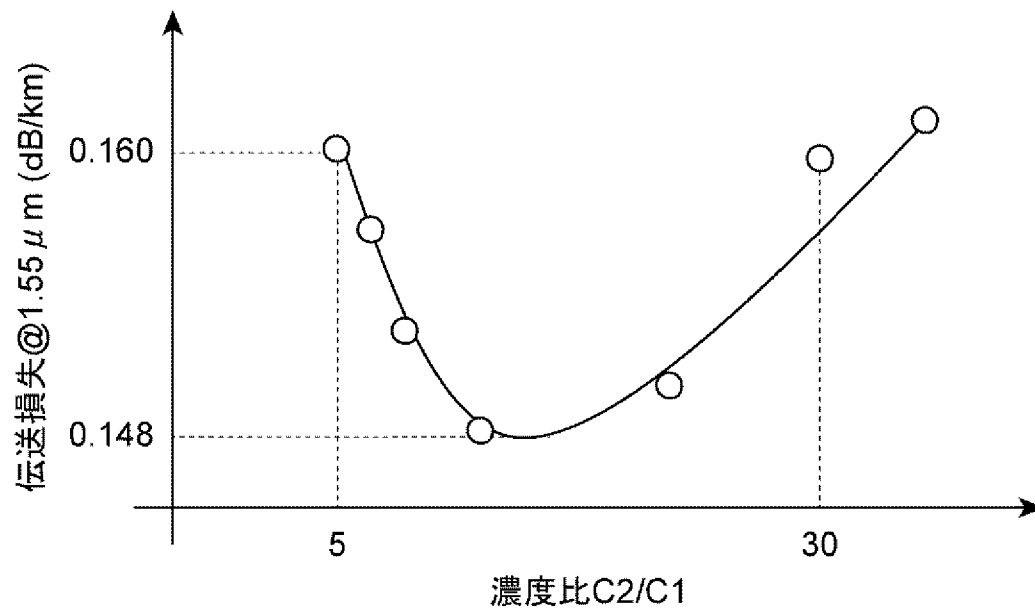
[図3]



[図4]



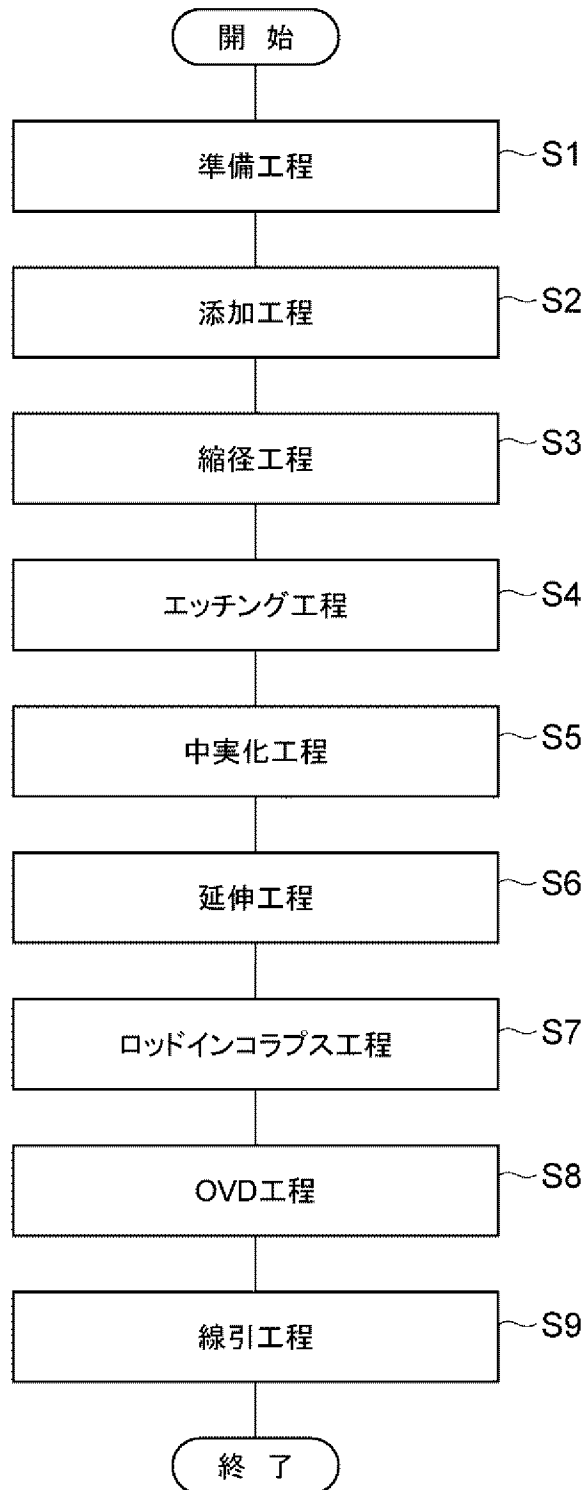
[図5]



[図6]

原子	Na	K	Cs	Ca
拡散係数 $\text{cm}^2/\text{s}$	$6 \times 10^{-5}$	$4 \times 10^{-6}$	$2 \times 10^{-6}$	$6 \times 10^{-7}$

[図7]



**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.  
PCT/JP2017/005077

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
C03C3/06(2006.01)i, C03B20/00(2006.01)i, C03B37/018(2006.01)i, C03B37/027(2006.01)i, 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)  
C03C1/00-14/00, G02B6/02-6/036, 6/10, 6/44, C03B37/00-37/16, C03B20/00

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	1996-2017
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2017	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2017

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.
A	JP 2015-105199 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 08 June 2015 (08.06.2015), entire text & WO 2015/079987 A1	1-5
A	WO 1998/002389 A1 (Toyota Motor Corp.), 22 January 1998 (22.01.1998), entire text & JP 3526580 B2 & US 6153546 A entire text & EP 0915065 A1 & CA 2260988 A & KR 10-2000-0023743 A	1-5

Further documents are listed in the continuation of Box C.       See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"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
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"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
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"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
"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)	"&" document member of the same patent family
"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	

Date of the actual completion of the international search 13 April 2017 (13.04.17)	Date of mailing of the international search report 25 April 2017 (25.04.17)
---	--

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/JP2017/005077

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 6-279057 A (Showa Electric Wire & Cable Co., Ltd.), 04 October 1994 (04.10.1994), entire text (Family: none)	1-5
P,X	JP 2016-105154 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 09 June 2016 (09.06.2016), claims 1 to 5; paragraphs [0012] to [0045]; fig. 1 to 7 & US 2016/0147010 A1 & EP 3040749 A1 claims 1 to 18; paragraphs [0020] to [0049]; fig. 1 to 7	1,4-5
P,X	JP 2016-210632 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 15 December 2016 (15.12.2016), claims 1 to 3; paragraphs [0013] to [0042]; fig. 1 to 15 & US 2016/0318793 A1 claims 1 to 6; paragraphs [0027] to [0056]; fig. 1 to 16	1,5

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. C03C3/06(2006.01)i, C03B20/00(2006.01)i, C03B37/018(2006.01)i, C03B37/027(2006.01)i, 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. C03C1/00-14/00, G02B6/02-6/036, 6/10, 6/44, C03B37/00-37/16, C03B20/00

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	1971-2017年
日本国実用新案登録公報	1996-2017年
日本国登録実用新案公報	1994-2017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
A	JP 2015-105199 A (住友電気工業株式会社) 2015.06.08, 全文 & WO 2015/079987 A1	1-5
A	WO 1998/002389 A1 (トヨタ自動車株式会社) 1998.01.22, 全文 & JP 3526580 B2 & US 6153546 A, 全文 & EP 0915065 A1 & CA 2260988 A & KR 10-2000-0023743 A	1-5
A	JP 6-279057 A (昭和電線電纜株式会社) 1994.10.04, 全文 (ファミリーなし)	1-5

☑ 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

13.04.2017

国際調査報告の発送日

25.04.2017

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)

長谷川 真一

電話番号 03-3581-1101 内線 3465

4T

4038

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
P, X	JP 2016-105154 A (住友電気工業株式会社) 2016. 06. 09, 請求項 1-5, [0012]-[0045], 図 1-7 & US 2016/0147010 A1 & EP 3040749 A1, 請求項 1-18, [0020]-[0049], 図 1-7	1, 4-5
P, X	JP 2016-210632 A (住友電気工業株式会社) 2016. 12. 15, 請求項 1-3, [0013]-[0042], 図 1-15 & US 2016/0318793 A1, 請求項 1-6, [0027]-[0056], 図 1-16	1, 5