

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6764346号
(P6764346)

(45) 発行日 令和2年9月30日(2020.9.30)

(24) 登録日 令和2年9月15日(2020.9.15)

(51) Int. Cl. F I
CO3B 37/012 (2006.01) CO3B 37/012 A
CO3B 37/027 (2006.01) CO3B 37/027 Z

請求項の数 5 (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2016-563843 (P2016-563843)	(73) 特許権者	397068274
(86) (22) 出願日	平成27年4月24日 (2015.4.24)		コーニング インコーポレイテッド
(65) 公表番号	特表2017-513798 (P2017-513798A)		アメリカ合衆国 ニューヨーク州 148
(43) 公表日	平成29年6月1日 (2017.6.1)		31 コーニング リヴァーフロント プ
(86) 国際出願番号	PCT/US2015/027421		ラザ 1
(87) 国際公開番号	W02015/164684	(74) 代理人	100073184
(87) 国際公開日	平成27年10月29日 (2015.10.29)		弁理士 柳田 征史
審査請求日	平成30年4月23日 (2018.4.23)	(74) 代理人	100090468
(31) 優先権主張番号	14/261, 734		弁理士 佐久間 剛
(32) 優先日	平成26年4月25日 (2014.4.25)	(72) 発明者	ファーガン, ジェイムズ ジェラルド
(33) 優先権主張国・地域又は機関	米国 (US)		アメリカ合衆国 ニューヨーク州 148
			70 ペイનテッド ポスト フィールド
			ストーン レイン 3445

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光ファイバおよびプリフォーム形成方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

シリカ系スートブランクを、少なくとも1つのシリカ系スートコアケインが少なくとも部分的に前記スートブランク内に埋められた状態で形成する工程と、

前記少なくとも1つのスートコアケインが中に置かれた前記スートブランクを、プリフォームを形成するように固結させる工程と、

前記プリフォームを、光ファイバを形成するように線引きする工程とを含み、

前記スートコアケインの平均かさ密度値は、前記スートブランクのかさ密度値の10%以内であることを特徴とする光ファイバ形成方法。

【請求項 2】

複数のシリカ系スートコアケインが、マルチコア光ファイバを形成するように、少なくとも部分的に前記スートブランク内に埋められることを特徴とする請求項1記載の方法。

【請求項 3】

前記スートブランクを、複数のスートコアケインが少なくとも部分的に該スートブランク内に埋められた状態で形成する前記工程が、

前記複数のスートコアケインを、所定の向きに置く工程と、

シリカ系スート材を、前記スートブランクを形成するように、前記複数のスートコアケインの周囲に押圧成形する工程とを含むことを特徴とする請求項2記載の方法。

【請求項 4】

前記スートブランクを、複数のスートコアケインが少なくとも部分的に該スートブラン

ク内に埋められた状態で形成する前記工程が、

複数の成形ロッドを、所定の向きに置く工程と、

シリカ系スート材を、スートブランクを形成するように、前記複数の成形ロッドの周囲に押圧成形する工程と、

前記複数の成形ロッドを、前記スートブランクから取り除いて、該スートブランク内に複数の孔を残す工程と、

前記複数のスートコアケインを、前記スートブランク内の前記複数の孔に挿入する工程とを含むことを特徴とする請求項2または3記載の方法。

【請求項5】

前記スートブランクを、複数のスートコアケインが少なくとも部分的に該スートブランク内に埋められた状態で形成する前記工程が、

上面と、 0.5 g/cm^3 から 1.6 g/cm^3 の間のかさ密度とを有するシリカ系材料のスートブランクを形成する工程と、

前記スートブランクの前記上面に、複数の孔をあける工程と、

スートコアケイン部材を、前記複数の孔の各々の中に置く工程とを含むことを特徴とする請求項2から4のいずれか1項に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【関連出願との相互参照】

【0001】

本出願は、米国特許法第120条の下、2014年4月25日出願の米国特許出願第14/261,734号の優先権の利益を主張するものであり、その内容は依拠され、全体として参照により本明細書に組み込まれる。

【技術分野】

【0002】

本発明は、概して、スートブランクおよびコアケインを用いて光ファイバを製作するための方法に関し、特に、線引きして光ファイバにするための光ファイバプリフォームの製作方法に関する。

【背景技術】

【0003】

データ転送は、シングルモード光ファイバ送信システムについての最終的な容量限界に急速に近づいている。光ファイバの容量をさらに増加させる1つの解決策として、マルチコア光ファイバが使用されるようになった。マルチコア光ファイバは、空間分割多重化を用いた並列送信を可能にする。マルチコア光ファイバは、送信容量をN倍に増加させるものであり、但し、「N」は、マルチコア光ファイバ内のコアの数である。特に近距離ネットワークについて、マルチコア光ファイバによる空間分割多重化は、帯域幅密度を高めるのによく適した方法である。

【0004】

現在のマルチコア光ファイバの生産方法の1つは、ガラスコアケインをスートブランク内に置くことと、次に、スートブランクおよびガラスコアケインを、ガラスプリフォームを形成するように固結させることとを含む。プリフォームは、光ファイバを製作するように線引きされる。しかしながら、プリフォームがこのように製作された場合には、プリフォームの固結に続いて、ガラスコアケインの表面近くに欠陥が生じることが多く、このような方法を用いて生産されたマルチコアファイバの品質を制限することになる。

【発明の概要】

【0005】

一実施形態によれば、光ファイバ形成方法は、シリカ系スートブランクを、少なくとも1つのシリカ系スートコアケインが少なくとも部分的にスートブランク内に埋められた状態で形成する工程を有する。少なくとも1つのスートコアケインが中に置かれたスートブランクを、プリフォームを形成するように固結させる。次に、プリフォームを、光ファイバを形成するように線引きする。

10

20

30

40

50

【 0 0 0 6 】

他の実施形態によれば、光ファイバ形成方法は、シリカ系スートブランクを、少なくとも1つのコアケインが少なくとも部分的にスートブランク内に埋められた状態で形成する工程を有し、少なくとも1つのコアケインは、スートブランク内に置かれる前に完全には固結されていない外側部分を含む。少なくとも1つのコアケインの平均かさ密度は、スートブランクのかさ密度の10%以内である。次に、少なくとも1つのコアケインが中に置かれたスートブランクを、プリフォームを形成するように固結させる。プリフォームを、光ファイバを形成するように線引きする。

【 0 0 0 7 】

さらに他の実施形態は、光ファイバ用プリフォームの形成方法を有する。シリカ系スート体が、少なくとも1つのシリカ系スートコアケインの周囲に押圧成形されるものであり、スートコアケインは、押圧成形の前に焼結ガラスを形成するように固結されていない。スート体を、スートコアケインが中に置かれた状態で、プリフォームを形成するように固結させる。

10

【 0 0 0 8 】

さらに他の特徴および利点は、次の詳細な記載で示されると共に、当業者には、その記載から容易に明らかであるか、次の詳細な記載、請求項だけではなく、添付された図面を含む、本明細書に記載された実施形態を実施することにより理解されるだろう。

【 0 0 0 9 】

本開示の方法は、固結中に発生する応力によるマルチコア光ファイバ内の欠陥の発生を減少させるものであり、経済的で、規模拡大が可能な生産方法である。

20

【 0 0 1 0 】

前記概略的な記載および次の詳細な記載の両方が、単に例示的なものであり、請求項の本質および特徴を理解するための概観または枠組みを提供することを意図したものであると理解されるべきである。添付の図面は、さらなる理解のために含められたものであり、本明細書に組み込まれ、その部分を構成するものである。図面は、1つ以上の実施形態を示し、その記載と共に、様々な実施形態の原理および動作を説明する役割を果たす。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 1 1 】

【 図 1 A 】本開示による光ファイバ形成方法の一実施形態を示す処理フローチャートである。

30

【 図 1 B 】本開示による光ファイバ形成方法の他の実施形態を示す処理フローチャートである。

【 図 2 】本開示による光ファイバ形成方法の一実施形態で使用するためのスートブランクの上部斜視図である。

【 図 2 A 】スートブランク 10 が、成形ロッド 38 の周囲のスート材を押圧すること、および、次に複数の孔 36 を有するブランク 10 を形成するように成形ロッド 38 を取り除くことによって形成される一実施形態を示している。

【 図 3 】本開示によるコアケインの一実施形態の上部平面図である。

【 図 4 】本開示によるスートブランクの上部斜視図であり、その中にスートコアケインが置かれた状態である。

40

【 図 5 】図 4 に示されたスートブランクおよびスートコアケインを固結させて形成されたプリフォームの上部斜視図である。

【 図 6 】図 5 に示されたプリフォームから線引きされた光ファイバの上部斜視図である。

【 図 7 】本開示によるスートブランクの他の実施形態の上部平面図であり、その中にコアケインおよびマーカが置かれた状態である。

【 図 8 A 】本開示によるスートブランクの上部平面図であり、4つの孔が正方形構成に配置された状態である。

【 図 8 B 】本開示によるスートブランクの上部平面図であり、8つの孔が2×4構成に配置された状態である。

50

【図 8 C】本開示によるスートブランクの上部平面図であり、7つの孔が六方格子構成に配置された状態である。

【図 8 D】本開示によるスートブランクの上部平面図であり、12の孔がリング状構成に配置された状態である。

【図 8 E】本開示によるリボン状スートブランクの上部平面図であり、6つの孔が線状構成に配置された状態である。

【発明を実施するための形態】

【0012】

ここで、添付の図面に例が示された本発明の好適な実施形態を詳細に記載する。全図面を通して、同じ、または、類似した部分を参照するには、可能な限り同じ参照番号を用いる。

10

【0013】

図 1 A は、光ファイバ 16 の形成方法の第 1 の実施形態を示している。図 1 A に示された実施形態において、その方法は、(1) シリカ系スートブランク 10 を形成する工程と、(2) スートコアケイン 12 を形成する工程とを有する。(3) スートコアケイン 12 は、スートブランク 10 内に置かれて、(4) スートブランク 10 およびスートコアケイン 12 は、プリフォーム 14 を形成するように固結される。(5) 次に、プリフォーム 14 は、光ファイバ 16 を形成するように線引きされる。

【0014】

図 1 B は、光ファイバ 16 の形成方法の他の実施形態を示している。図 1 B に示された実施形態において、その方法は、(6) スートコアケイン 12 を形成する工程と、次に、(7) スートブランク 10 を形成するように、スートコアケイン 12 の周囲にスートを押圧成形する工程とを有する。(8) 次に、スートブランク 10 およびスートコアケイン 12 は、プリフォーム 14 を形成するように固結される。(9) 次に、プリフォーム 14 は、光ファイバ 16 を形成するように線引きされる。

20

【0015】

図 1 A および 1 B の両方の図に示された方法において、シリカ系スートブランク 10 は、少なくとも 1 つのシリカ系スートコアケイン 12 が少なくとも部分的にスートブランク 10 に埋められた状態で形成される。次に、スートブランク 10 は、スートコアケイン 12 が中に置かれた状態で、プリフォーム 14 を形成するように固結される。次に、プリフォーム 14 は、光ファイバ 16 を形成するように線引きされる。本明細書に記載された方法は、一実施形態によれば、シングルコア光ファイバ 16 を製作するように 1 つのコアケイン 12 を用いて、または、他の実施形態によれば、マルチコア光ファイバ 16 を製作するように複数のコアケイン 12 を用いて、使用しうるものである。

30

【0016】

図 2 および 2 A に実施形態が示されたスートブランク 10 は、固結されていない、または、不完全に固結されたシリカ系材料から形成されるものであり、その材料は、光ファイバ 16 のクラッドに適したものである。一実施形態において、スートブランク 10 は、 SiO_2 材料である。また他の実施形態においては、 SiO_2 材料に、F、B、Ge、Er、Ti、Al、Li、K、Rb、Cs、Cl、Br、Na、Nd、Bi、Sb、Yb、または、それらの組合せなどの成分、もしくは、光ファイバ 16 のクラッドでの使用が既知である他の成分がドーパされているものもよい。本明細書に記載されたスートブランク 10 は、スート押圧処理、外付け蒸着(「OVD」)処理、または、スートブランク 10 を用意するための任意の他の既知の方法により形成しうる。ここで使用されるスートブランク 10 は、好ましくは、直径が 150 mm から 300 mm までの上面 18 を有し、好ましくは、1 m より長い長さを有し、さらに好ましくは、1 m から 2 m の間の長さを有する。他の実施形態においては、スートブランク 10 は、概して矩形または他の多角形状の上面 18 を有していてもよい。

40

【0017】

概して、スート押圧処理において、微粒子スート材が、金型キャビティ内に堆積され、

50

次に、スートブランク10を形成するように金型内の微粒子スート材に対して圧力が印加される。スート押圧処理は、中まで詰まったスートブランク10を形成する工程、若しくは、コアケイン12の周囲または取り除き自在な成形ロッド38の周囲にスート材を押圧することによって、所定の位置に孔を有するスートブランク10を形成する工程を含んでもよい。スート押圧処理は、通常、25psig(約172.4kPaG)から250psig(約1724.1kPaG)の圧力で行われ、微粒子スート材は、スートブランク10を形成するように、放射状に圧縮されても、軸方向に圧縮されても、横方向に圧縮されても、または、任意の他の方法で圧縮されてもよい。好ましくは、150psig(約1034.5kPaG)の最大圧力で、1psig/分(毎分約6.9kPaG)から10psig/分(毎分約69.0kPaG)の加圧速度で、放射状に圧力が印加され、スート材は、その最大圧力で、30分間から2時間、保持される。この好ましい方法において、次に、スートブランク10は、1psig/分(毎分約6.9kPaG)から10psig/分(毎分約69.0kPaG)の減圧速度で、周囲の室圧に達するまで減圧される。押圧成形により形成された圧縮スート材は、任意で、更なる処理について望ましい密度を有するスートブランク10を形成するように不完全に固結される。若しくは、スートブランク10は、その形成に応じては、不完全に固結されることなく、更なる処理について十分な密度を有しうる。

10

【0018】

概して、OVD処理において、不活性のロッドは、その周縁に付着させられたシリカ系スート微粒子で積層される。スート微粒子は、塩化ケイ素などの超高純度蒸気を、バーナーに通すことによって形成されるものであり、その際、蒸気は、細かなシリカ系スート微粒子を形成するように炎中で反応し、次に、その微粒子が、不活性のロッド上に堆積される。堆積される間、不活性のロッドは回転され、その結果、不活性のロッドの周囲に均一なスートブランク10を形成する。堆積完了後に、不活性のロッドは、スートブランク10から取り除かれることが好ましく、結果として、スートブランク10の中心軸に沿った中心孔20を残す。OVD処理後のスート密度は、典型的には、約0.5g/cm³である。OVD処理により形成されたスートブランク10は、任意で、更なる処理について望ましい密度を有するスートブランクを形成するように不完全に固結される。若しくは、スートブランク10は、その形成に応じては、不完全にも固結されなくても、更なる処理について十分な密度を有しうる。

20

30

【0019】

図3に一実施形態が示されたコアケイン12も、シリカ系材料から形成される。コアケイン12は、スートブランク10のように、押圧成形方法、OVD処理方法、押圧成形方法とOVD処理方法の組合せ、または、他のスート材生産処理によって形成されうる。本開示において使用するためのコアケイン12は、マルチモードファイバ用、偏波保持ファイバ用、フォトニック結晶ファイバ用だけでなく、シングルモードマルチコアファイバ用およびシングルコアファイバ用に設計されうる。

【0020】

図3に示されたコアケイン12の実施形態は、内側部分30および外側部分32を含み、内側部分30は、第1のスート材で形成され、外側部分32は、第2のスート材で形成されている。少なくとも内側部分30は、最終的には光ファイバ16の透過性部分になるので、ドーパされたシリカ系材料で形成されるのが好ましい。透過率を上げるための任意の既知のドーパントが、内側部分30で使用されてもよく、それには、ゲルマニウムおよび他の既知のドーパントが含まれる。一実施形態において、コアケイン12の内側部分30は、完全に固結されたガラス材である。他の実施形態において、コアケイン12の内側部分30は、固結されていない、または、不完全にのみ固結されたスート材である。

40

【0021】

図3に図示された実施形態に示されているようなコアケイン12の外側部分32は、シリカ系スート材であり、コアケイン12の内側部分30とは異なる組成を有するものであり、異なるドーパントを含むか、または、ドーパントを全く含まないものである。ある実

50

施形態においては、外側部分 3 2 は、内側部分 3 0 とは異なる密度を有する。内側部分 3 0 は、また任意で外側部分 3 2 とは異なる程度に固結される。ある実施形態においては、内側部分 3 0 の組成と外側部分 3 2 の組成とは、同じである。コアケイン 1 2 の外側部分 3 2 の材料が、内側部分 3 0 と同じ場合には、両方の部分が、コアケイン 1 2 を通して信号を送信するのに使用される。

【 0 0 2 2 】

他の実施形態において、スートブランク 1 0 内に埋められたコアケイン 1 2 は、実質的に固結された少なくとも部分を有し、それは、好ましくは、内側部分 3 0 である。そのようなコアケイン 1 2 は、図 1 A で開示された方法でも、図 1 B で開示された方法でも使用されうる。

10

【 0 0 2 3 】

図 3 に示されたようなコアケイン 1 2 を形成するには、内側部分 3 0 は、押圧成形されるか、または、OVD 処理方法によって形成される。次に、内側部分 3 0 は、任意で、不完全に、または、完全に固結される。次に、外側部分 3 2 が、内側部分 3 0 の周縁部 3 4 の周囲に付着され、それは、内側部分 3 0 の周囲の第 2 のスート材を押圧することによって、または、OVD 処理方法中に、内側部分 3 0 を不活性のロッドとして用いて、第 2 のスート材を内側部分 3 0 の周囲に付着させることによって行われる。コアケイン 1 2 についてのスート押圧条件は、本明細書に記載されたスートブランク 1 0 についてのスート押圧条件と概して同様である。

【 0 0 2 4 】

20

本明細書で「コアケイン」という用語が使われる場合には、スートコアケイン 1 2、および、完全に固結された内側部分 3 0 を有するコアケイン 1 2 の両方を包含する。コアケイン 1 2 が、固結されていない、または、不完全に固結された内側部分 3 0、および、固結されていない、または、不完全に固結された外側部分 3 2 を有する場合には、本明細書において、コアケイン 1 2 を、「スートコアケイン」とも称す。

【 0 0 2 5 】

本明細書で使われているように、完全に固結されたとは、スート材がガラス材を形成するように実質的に完全に焼結されたことを意味し、それは、スート材をガラス材に変えるのに十分な時間、材料を焼結温度で保持することによって行われる。不完全に固結とは、焼結処理が不十分であり、スート材の密度は向上したが、スート材がガラス材に完全には変わらなかったことを意味する。不完全に固結とは、コアケイン 1 2 若しくはスートブランク 1 0 の全体または部分について、別々に、若しくは、コアケイン 1 2 がスートブランク 1 0 に埋められた後に用いられうる。概して、コアケイン 1 2 またはスートブランク 1 0 を不完全に固結するには、コアケイン 1 2 またはスートブランク 1 0 は、その材料の通常の焼結ピーク温度より低い温度まで加熱され、その温度で所定時間、保持され、それは任意でヘリウム雰囲気下で行われる。その暴露時間および温度は、スートブランク 1 0 またはコアケイン 1 2 のサイズに応じて、および、スートブランク 1 0 若しくはコアケイン 1 2 のシリカ系スート材の組成またはドーパントの有無に応じて変わるであろう。スート材が不完全に固結された結果、スート材の個々の微粒子間でのガラスネックの形成によって強化された多孔質スート材が得られる。いくつかの実施形態においては、スートブランク 1 0 またはコアケイン 1 2 を不完全固結温度で所定時間、保持した後に、スートブランク 1 0 またはコアケイン 1 2 がさらに固結されうると共に、スートブランク 1 0 またはコアケイン 1 2 が直ちに室温に戻された場合よりゆっくり冷却されうるように、スートブランク 1 0 またはコアケイン 1 2 を、室温よりは高められたが不完全固結温度より低い温度で、さらなる時間、保持してもよい。

30

40

【 0 0 2 6 】

図 1 A に示された光ファイバ形成方法の実施形態において、スートブランク 1 0 は、スートコアケイン 1 2 の挿入前に形成される。図 1 A に示された処理で使用されるようなスートブランク 1 0 は、スート押圧方法、OVD 処理方法、または、他の既知のスートブランク形成方法によって製造されうる。1 つのスート押圧方法において、スート材は、上面

50

18を有するスートブランク10を形成するように押圧される。スートブランク10は、任意で、望ましい密度に達するように不完全に固結される。次に、図2に図示された実施形態に示されているように、スートブランク10内にスートコアケイン12を置くための空間を提供するために、スートブランク10の上面18に複数の孔36があげられる。図2Aに図示された実施形態に示されたような他のスート押圧方法においては、成形ロッド38の周囲のスート材を押圧し、次に、スートコアケイン12を配置するために所定の位置で貫通する複数の孔36を有するスートブランク10を形成するように成形ロッド38を取り除くことによって、複数の孔36が形成される。

【0027】

OVD処理も、任意で望ましい密度に不完全に固結されたスートブランク10を形成するのに使用しうる。上記のように、OVDによるスートブランク10の形成後に、その上面18に複数の孔36があげられる。OVD処理方法で形成された場合には、不活性なロッドの取り除き後に、スートブランク10も、図4に示されるように中心孔20も有する。スートブランク10が、OVD処理により形成される場合には、周囲にスートブランク10が形成された不活性のロッドの取り除き後に残る中心孔20に、任意で、さらに他のガラスロッド40が挿入される。ガラスロッド40は、スートブランク10を形成するのに用いたスート材と同じ材料から形成されるのが好ましい。ガラスロッド40は、スートブランク10を構成するクラッド材の充填材として働き、コアケイン12とは概して同じ材料でも構造でもないが、必要に応じて、中心孔20は、さらに他のコアケイン12を挿入するのに使用しうる。

【0028】

図1Bに示された処理に示されているような光ファイバ形成方法の実施形態において、スートブランク10は、スートコアケイン10の周囲に形成される。図1Bで開示されたスートブランク10は、スート押圧方法で製造されるのが好ましい。任意で不完全に固結されたスートコアケイン12は、所定の配置に置かれ、次に、圧縮されたスートブランク10内にスートコアケイン12が埋められるように、スートコアケイン12の周囲のスート材が押圧される。スートブランク10およびスートコアケイン12は、密度を高めるように、任意で不完全に固結される。

【0029】

図4および7に図示された実施形態に示されているようなスートブランク10の他の実施形態は、コアケイン12の他に、応力ロッド、金属ロッド、マーカ、導電性または遮蔽ワイヤ若しくはパウダー、半導電ロッド若しくはパウダー、あるいは、インデックスモート(index moats)等のさらに他の構成要素42を収容しうる。概して、さらに他の構成要素42は、細長い形状を有すると共に、スートブランク10内の少なくとも1つの孔44の中に位置している。ここに記載されたようなスート孔あけ方法は、スートブランク10に、さらに他の構成要素42用にさらに他の孔44をあけるのに使用しうるものであるか、成形ロッドが、さらに他の構成要素42用の孔44を形成するのに使用しうるものであるか、または、スートブランク10が、さらに他の構成要素42の周囲に押圧成形されうるものである。

【0030】

本明細書に記載されたスートブランク10についての好ましいかさ密度は、 0.5 g/cm^3 と 1.6 g/cm^3 の間である。スートブランク10内に孔36、44があげられる場合には、好ましいかさ密度は、 0.5 g/cm^3 から 1.6 g/cm^3 までであるか、より好ましくは、 1.0 g/cm^3 から 1.6 g/cm^3 までであるか、さらに好ましくは、 1.2 g/cm^3 と 1.5 g/cm^3 の間のかさ密度である。スートブランク10が、成形ロッドの周囲に、または、コアケイン12の周囲に押圧成形されるなら、スートブランク10についての好ましいかさ密度は、 0.7 g/cm^3 と 1.0 g/cm^3 の間である。スートブランク10の形成処理を通して、または、スートブランク10が不完全に固結されることを通して、これらの好適な密度に達しうる。

【0031】

本明細書に記載された方法において、プリフォーム14および光ファイバ16を製作するために使用されるコアケイン12は、好ましくは、スートブランク10のかさ密度の10%以内の平均かさ密度を有し、より好ましくは、スートブランク10のかさ密度の5%以内の平均かさ密度を有する。コアケイン12の平均かさ密度を計算するには、以下の式が用いられる。

【0032】

$$D_c = (A \times D_{o_p}) + (B \times D_{i_p}),$$

但し、 D_c は、コアケイン12の平均かさ密度であり、 D_{o_p} は、コアケイン12の外側部分32のかさ密度であり、 D_{i_p} は、コアケイン12の内側部分30のかさ密度である。Aの値は、 $A = R_2 / (R_1 + R_2)^2$ の式で計算され、Bの値は、 $B = R_1 / (R_1 + R_2)^2$ の式で計算される。図3に図示された実施形態に示されているように、 R_1 は、内側部分30の半径であり、 R_2 は、外側部分32の半径である。コアケイン12、または、その任意の部分(例えば、内側部分30)は、コアケイン12についての望ましい密度に達するように、不完全に固結されるか、または、完全に固結されてもよい。

【0033】

コアケイン12が中に埋められた状態のスートブランク10の一実施形態が、図4に示されている。スートブランク10またはコアケイン12について個々に記載したように、コアケイン12が中に埋められた状態のスートブランク10は、最終的に固結される前に、任意で不完全に固結される。図4に示されたスートブランク10の実施形態は、正方形の4コア構成を有し、4つのコアケイン12が、スートブランク10に埋められている。

【0034】

図5に示されたプリフォーム14の実施形態は、図4に示されたスートブランク10から形成されたものである固結されたガラスプリフォーム14である。スートブランク10およびコアケイン12を固結させるには、スートブランク10およびコアケイン12を、最終焼結温度まで加熱し、スートブランク10およびコアケイン12をガラス焼結させるのに十分な時間、その温度で保持する。焼結温度は、好ましくは、1400 から1600 の範囲であり、スートブランク10およびコアケイン12は、好ましくは、これらの温度で、10分から120分の間、保持される。固結は、任意でヘリウムガス流下で行われ、ガス流は、毎分10標準立方リットル(「sc1m」)から50sc1mであることが好ましい。ある実施形態においては、スートブランク10を焼結温度まで加熱する前に、スートブランク10のヘリウムパーズおよび/または塩素乾燥などの予備工程が行われる。例えば、塩素乾燥は、1100 から1200 の間の温度で60分間から240分間、2sc1mの塩素ガス流で行われてもよい。ヘリウムガス流は、塩素ガス流と同時に発生されてもよく、毎分10標準立方フィート(「scfm」)(約0.3m³/分)から50scfm(約1.4m³/分)の流速であることが好ましい。さらに、ある実施形態においては、固結されたプリフォーム14は、焼結後に、高められた温度(室温より高いが、焼結温度より低い温度)で保持され、それにより、固結されたプリフォーム14の冷却が遅くなる。

【0035】

図6に示された実施形態は、リドロ炉内でのプリフォーム14の延伸などの既知のファイバ線引き方法を用いて、図5に示されたプリフォーム14から線引きされた光ファイバ16である。結果として得られた光ファイバ16は、4つの透過性コア50がオーバーラップ52内に埋められた状態のマルチコア光ファイバ16である。ファイバを長くするための線引き処理で、プリフォーム14の直径が小さくなり、透過性コア50を形成するための線引き処理を通して、プリフォーム14内のコアケイン12の直径が小さくなる。コアケイン12がOVD処理で形成される場合には、ファイバの線引き後でさえ、不活性なロッドの取り除き後に孔が残ることがある。他の実施形態において、コアケイン12内の中心線孔は、固結、および、それに続くファイバ線引きの間、閉じられていてもよい。中心線孔が、線引きの間、閉じられていることは、中央線孔が、真空状態でのリドロの間、閉じられていることに対し、いくつかの利点を有し、それは、真空状態ではなく中

10

20

30

40

50

央線孔が閉じられることは、コアケイン 1 2 の中心近くにおいて、より低い非軸対象性を有すると共に、より低い偏光モード分散を有するからである。

【 0 0 3 6 】

図 7 は、本開示によるプリフォーム 1 4 から線引きされた光ファイバ 1 6 の他の実施形態の断面図を示している。図 7 に示された実施形態は、さらに他の構成要素 4 2 を含んでおり、それは、多数の光ファイバ 1 6 の端同士を位置合わせするために使用しうるマーカである。

【 0 0 3 7 】

スートブランク 1 0 内のコアケイン 1 2 の配置について、多数の構成が可能であり、図 8 A ~ 8 E に、様々な構成が示されている。図 8 A は、4 つのコアケイン 1 2 を有する正方形構成を示している。図 8 B は、8 つのコアケイン 1 2 を有する 2 × 4 構成を示している。図 8 C は、7 つのコアケイン 1 2 を有する六方格子構成を示している。図 8 D は、1 2 のコアケイン 1 2 を有するリング状構成を示している。図 8 E は、6 つのコアケイン 1 2 を有するリボン状ファイバ構成を示している。望ましい光ファイバ 1 6 の働きに対して決められるような、他の構成も可能である。

【 0 0 3 8 】

本明細書に記載されたコアケイン 1 2 とスートブランク 1 0 とが同様の密度を有する場合には、固結中のスートブランク 1 0 とコアケイン 1 2 との収縮の差による歪みを減少させる。収縮の差が減少されることによって、ガラスプリフォーム 1 4 内の欠陥が減少される。本明細書に記載されたようなスートブランク 1 0 およびコアケイン 1 2 を使用することによって、マルチコア光ファイバ 1 6 の精密な製造を可能にするものである、コアケイン 1 2 の配置の柔軟性、および、規模拡大性を提供する。さらに、プリフォーム 1 4 の生産での精密さの向上は、マルチコア光ファイバ 1 6 についての最終的マルチコア形状への縮小率、および、マルチコア光ファイバ 1 6 内の透過性コア 5 0 の位置合わせの精密さにおいて、その効果が高められうるものである。

【 0 0 3 9 】

本明細書に記載された光ファイバ 1 6 および光ファイバプリフォーム 1 4 の例示的製作方法は、1 つのコア 5 0 を有する、若しくは、多数のコア 5 0 をする、若しくは、マーカ、インデックスムート、応力ロッド、または、本明細書にさらに記載されたか、当技術分野で周知である他の特徴物などの他の構成要素 6 2 を有する光ファイバ 1 6 を製作するために使用しうる。これらの方法を用いて製作されうる光ファイバ 1 6 は、シングル偏光ファイバ、偏光保持ファイバ、低曲げ損失ファイバ、マルチコアファイバ、マルチコアファイバリボン、および、フォトニック結晶ファイバを含む。

【 0 0 4 0 】

請求項の精神または範囲から逸脱することなく様々な変更および変形が可能であることは、当業者には明らかであろう。

【 0 0 4 1 】

以下、本発明の好ましい実施形態を項分け記載する。

【 0 0 4 2 】

実施形態 1

シリカ系スートブランクを、少なくとも 1 つのシリカ系スートコアケインが少なくとも部分的に前記スートブランク内に埋められた状態で形成する工程と、

前記少なくとも 1 つのスートコアケインが中に置かれた前記スートブランクを、プリフォームを形成するように固結させる工程と、

前記プリフォームを、光ファイバを形成するように線引きする工程とを有することを特徴とする光ファイバ形成方法。

【 0 0 4 3 】

実施形態 2

複数のシリカ系スートコアケインが、マルチコア光ファイバを形成するように、少なくとも部分的に前記スートブランク内に埋められることを特徴とする実施形態 1 記載の方法

10

20

30

40

50

。

【 0 0 4 4 】

実施形態 3

前記スートブランクを、複数のスートコアケインが少なくとも部分的に該スートブランク内に埋められた状態で形成する前記工程が、

前記複数のスートコアケインを、所定の向きに置く工程と、

シリカ系スート材を、前記スートブランクを形成するように、前記複数のスートコアケインの周囲に押圧成形する工程とを有することを特徴とする実施形態 2 記載の方法。

【 0 0 4 5 】

実施形態 4

前記スートブランクを、複数のスートコアケインが少なくとも部分的に該スートブランク内に埋められた状態で形成する前記工程が、

複数の成形ロッドを、所定の向きに置く工程と、

シリカ系スート材を、スートブランクを形成するように、前記複数の成形ロッドの周囲に押圧成形する工程と、

前記複数の成形ロッドを、前記スートブランクから取り除いて、該スートブランク内に複数の孔を残す工程と、

前記複数のスートコアケインを、前記スートブランク内の前記複数の孔に挿入する工程とを有することを特徴とする実施形態 2 または 3 記載の方法。

【 0 0 4 6 】

実施形態 5

前記スートブランクを、複数のスートコアケインが少なくとも部分的に該スートブランク内に埋められた状態で形成する前記工程が、

上面と、 0.5 g / cm^3 から 1.6 g / cm^3 の間のかさ密度とを有するシリカ系材料のスートブランクを形成する工程と、

前記スートブランクの前記上面に、複数の孔をあける工程と、

スートコアケイン部材を、各前記複数の孔の中に置く工程とを有することを特徴とする実施形態 2 から 4 のいずれか 1 つに記載の方法。

【 0 0 4 7 】

実施形態 6

前記少なくとも 1 つのスートコアケインの密度が、前記プリフォームを形成するように前記スートブランクおよび該スートコアケインを固結させる前の該スートブランクの密度の 10 % 以内であることを特徴とする実施形態 1 から 5 のいずれか 1 つに記載の方法。

【 0 0 4 8 】

実施形態 7

前記少なくとも 1 つのスートコアケインの密度が、前記プリフォームを形成するように前記スートブランクおよび該スートコアケインを固結させる前の該スートブランクの密度の 5 % 以内であることを特徴とする実施形態 1 から 6 のいずれか 1 つに記載の方法。

【 0 0 4 9 】

実施形態 8

前記スートブランクまたは前記少なくとも 1 つのスートコアケインのうちの、少なくとも 1 つが、該スートブランクと該少なくとも 1 つのスートコアケインとを組み立てる前に前記望ましい密度に達するように、予め固結されることを特徴とする実施形態 7 記載の方法。

【 0 0 5 0 】

実施形態 9

前記少なくとも 1 つのスートコアケインが、押圧成形処理により形成されることを特徴とする実施形態 1 から 8 のいずれか 1 つに記載の方法。

【 0 0 5 1 】

実施形態 10

10

20

30

40

50

前記少なくとも1つのスートコアケインが、外付け蒸着処理により形成されることを特徴とする実施形態1から9のいずれか1つに記載の方法。

【0052】

実施形態11

前記少なくとも1つのスートコアケインの内側部分が、該少なくとも1つのスートコアケインの外側部分とは異なる化学組成を有することを特徴とする実施形態1から10のいずれか1つに記載の方法。

【0053】

実施形態12

シリカ系スートブランクを、少なくとも1つのコアケインが少なくとも部分的に前記スートブランク内に埋められた状態で形成する工程であって、前記少なくとも1つのコアケインは、該スートブランク内に置かれる前に完全には固結されていない外側部分を含むと共に、該少なくとも1つのコアケインの平均かさ密度が、該スートブランクのかさ密度の10%以内であるものである工程と、

前記少なくとも1つのコアケインが中に置かれた前記スートブランクを、プリフォームを形成するように固結させる工程と、

前記プリフォームを、光ファイバを形成するように線引きする工程とを有することを特徴とする光ファイバ形成方法。

【0054】

実施形態13

前記少なくとも1つのコアケインの平均かさ密度が、前記スートブランクのかさ密度の5%以内であることを特徴とする実施形態12記載の方法。

【0055】

実施形態14

前記少なくとも1つのコアケインが、 0.5 g/cm^3 から 1.6 g/cm^3 の間の平均かさ密度を有することを特徴とする実施形態12または13記載の方法。

【0056】

実施形態15

前記少なくとも1つのコアケインの内側部分を、第1のシリカ系スート材を用いて形成する工程であって、各内側部分は外周壁を有するものである工程と、

第2のシリカ系スート材を、前記コアケインの外側部分を形成するように前記外周壁の周囲に付着させる工程とをさらに有することを特徴とする実施形態12から14のいずれか1つに記載の方法。

【0057】

実施形態16

前記第1のシリカ系スート材と、前記第2のシリカ系スート材とが、異なる化学組成を有することを特徴とする実施形態15に記載の方法。

【0058】

実施形態17

前記少なくとも1つのコアケインの前記内側部分を、前記第2のシリカ系スート材を付着される前に、少なくとも不完全に固結させる工程をさらに有することを特徴とする実施形態15または16記載の方法。

【0059】

実施形態18

前記シリカ系スートブランクを、前記少なくとも1つのコアケインが少なくとも部分的に中に埋められた状態で形成する前記工程が、

複数のコアケインを、所定の相対的向きに置く工程と、

シリカ系スート材を、前記シリカ系スートブランクを形成するように、前記複数の置かれたコアケインの周囲に押圧成形する工程とを有することを特徴とする実施形態12から17のいずれか1つに記載の方法。

10

20

30

40

50

【 0 0 6 0 】

実施形態 1 9

成形ロッドまたはインデックスムートの少なくとも1つを、前記シリカ系スート材を押圧成形する前に、前記複数のコアケインに対して所定の位置に置く工程をさらに有することを特徴とする実施形態 1 8 記載の方法。

【 0 0 6 1 】

実施形態 2 0

シリカ系スート体を、少なくとも1つのシリカ系スートコアケインの周囲に押圧成形する工程であって、前記スートコアケインは、前記押圧成形の前に焼結ガラスを形成するように固結されていないものである工程と、

10

前記スートコアケインが中に置かれた前記スート体を、プリフォームを形成するように固結させる工程とを有する光ファイバ用プリフォームの形成方法。

【符号の説明】

【 0 0 6 2 】

- 1 0 スートブランク
- 1 2 スートコアケイン
- 1 4 プリフォーム
- 1 6 光ファイバ
- 3 0 内側部分
- 3 2 外側部分
- 4 4 孔
- 5 0 コア

20

【 図 1 A 】

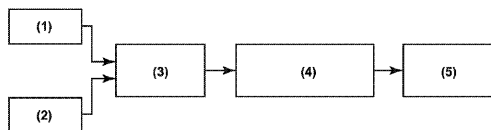


FIGURE 1A

【 図 1 B 】

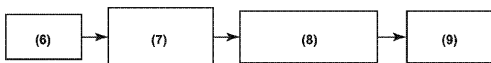


FIGURE 1B

【 図 2 】

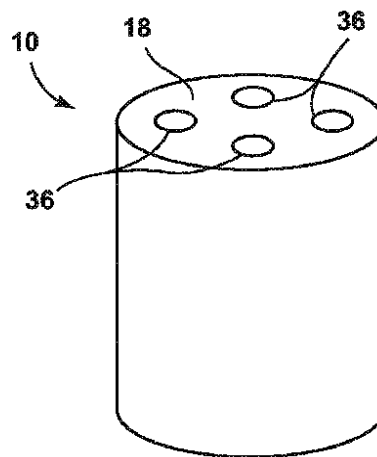


FIGURE 2

【 図 2 A 】

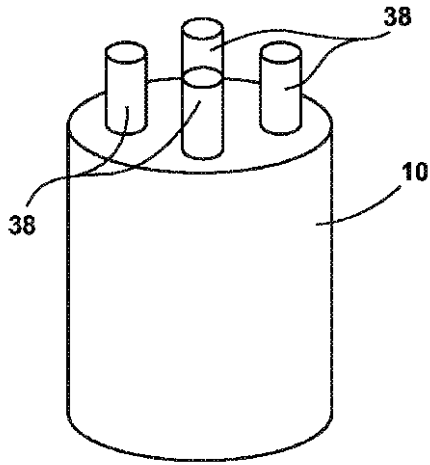


FIGURE 2A

【 図 3 】

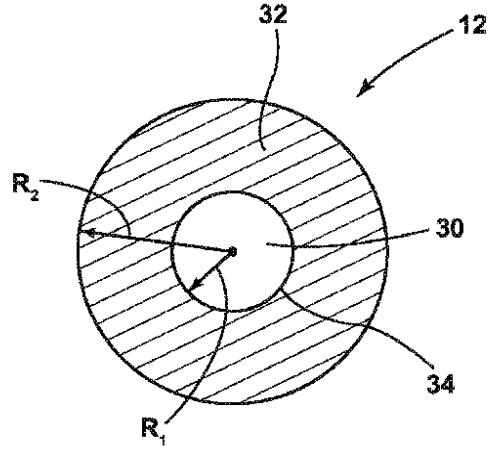


FIGURE 3

【 図 4 】

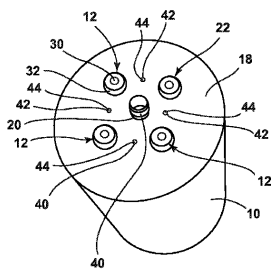


FIGURE 4

【 図 6 】

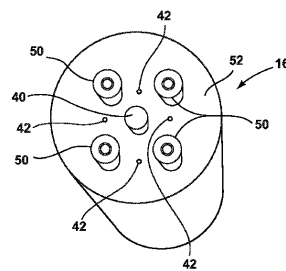


FIGURE 6

【 図 5 】

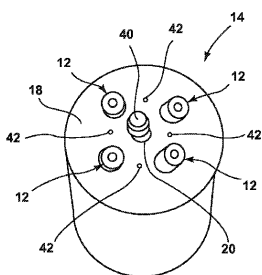


FIGURE 5

【 図 7 】

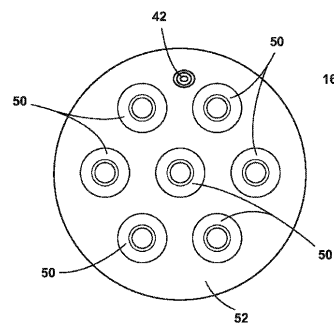


FIGURE 7

【 8 A 】

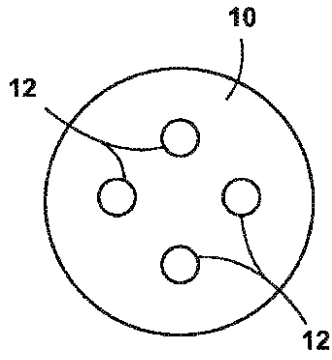


FIGURE 8A

【 8 B 】

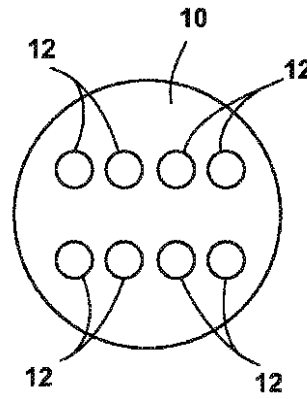


FIGURE 8B

【 8 C 】

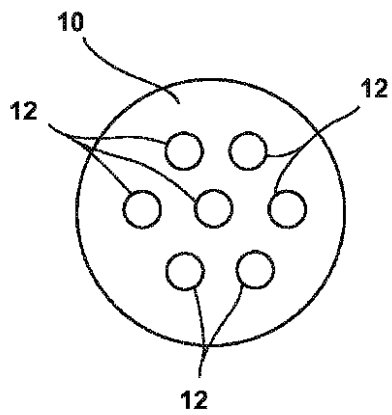


FIGURE 8C

【 8 D 】

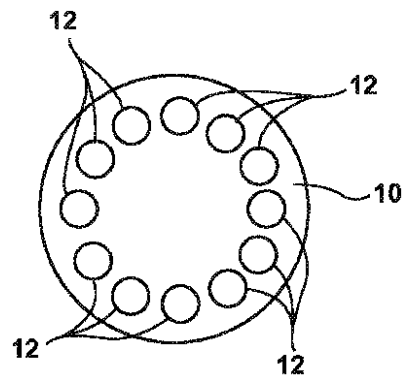


FIGURE 8D

【 8 E 】

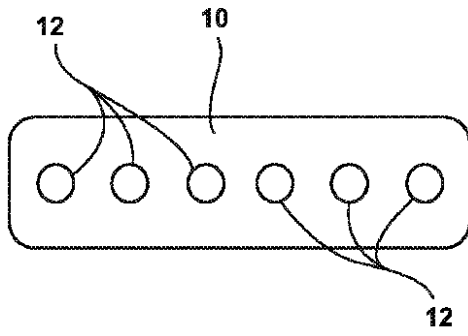


FIGURE 8E

フロントページの続き

(72)発明者 ワン, ジー

アメリカ合衆国 ニューヨーク州 14870 ペインテッド ポスト コンホクトン ロード
3412

審査官 若土 雅之

(56)参考文献 特表2013-512851(JP, A)

特開2013-177269(JP, A)

特開昭58-204836(JP, A)

特開平05-170470(JP, A)

特表2007-506632(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

C03B 37/00 - 37/16

C03C 27/00 - 29/00