

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号
特許第4718017号
(P4718017)

(45) 発行日 平成23年7月6日 (2011.7.6)

(24) 登録日 平成23年4月8日 (2011.4.8)

(51) Int. Cl.

F I

CO3B 37/012 (2006.01)

CO3B 37/027 (2006.01)

GO2B 6/00 (2006.01)

CO3B 37/012 Z

CO3B 37/027 Z

GO2B 6/00 356A

請求項の数 8 (全 21 頁)

(21) 出願番号	特願2000-613780 (P2000-613780)	(73) 特許権者	397068274
(86) (22) 出願日	平成12年4月17日 (2000.4.17)		コーニング インコーポレイテッド
(65) 公表番号	特表2002-543025 (P2002-543025A)		アメリカ合衆国 ニューヨーク州 148
(43) 公表日	平成14年12月17日 (2002.12.17)		31 コーニング リヴァーフロント プ
(86) 国際出願番号	PCT/US2000/010303		ラザ 1
(87) 国際公開番号	W02000/064824	(74) 代理人	100073184
(87) 国際公開日	平成12年11月2日 (2000.11.2)		弁理士 柳田 征史
審査請求日	平成19年4月17日 (2007.4.17)	(74) 代理人	100090468
(31) 優先権主張番号	60/131,012		弁理士 佐久間 剛
(32) 優先日	平成11年4月26日 (1999.4.26)	(72) 発明者	アレン, マーティン ダブリュ
(33) 優先権主張国	米国 (US)		アメリカ合衆国 ノースカロライナ州 2
			8411 ウィルミントン グレイリン
			テラス 3214

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光ファイバ、ならびに低偏光モード分散および低減衰損失の光ファイバの製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

ガラスの層から構成され中心線を有するファイバコア、および該ファイバコアを囲むファイバクラッドを含む光ファイバの製造方法において、

前記中心線を囲むガラスの層が十分に対称的な円形をなし、0.2 psec/sqrt-km未満の偏波モード分散値を生じ、1550 nmにおいて0.24 dB/km以下の減衰損失を有し、前記方法が、

各端部が施栓されて気体が通過するのを防ぐ中心孔を内部に有するコアガラスブランクを形成し；

中央孔を維持しながら、だが狭くしながら前記コアガラスブランクをドロース、それにより中間ガラス物質を形成し；

前記中間ガラス物質上にクラッド物質を堆積し；

前記ガラス物質の外径を減少するのに十分な温度に前記中間ガラス物質を加熱し；

汚染から前記中心孔を保護しながら前記中間ガラス物質の少なくとも一端を開き；

8 Torr (約1067 Torr) 以上の圧力を空隙に加え；

前記中間ガラス物質の外径を減少させ前記孔または環状空隙を均一および対称的に閉塞させる、

各工程を含むことを特徴とする方法。

【請求項 2】

前記中間的ガラス物体を提供する工程が、該中間的ガラス物体を光ファイバプリフォー

ムとして線引き炉に提供することを含み、前記ガラス物体の外径を減縮させる工程が、前記光ファイバプリフォームから光ファイバを線引きする工程を含み、該光ファイバの線引き工程中に前記中心孔が完全に閉塞するように、前記光ファイバプリフォームの外径が、前記中心孔に対して十分大きいことを特徴とする請求項 1 記載の方法。

【請求項 3】

前記ガラス物体を用いて単一モード光ファイバを線引きする工程をさらに含み、前記ガラス物体を提供する工程が、該ガラス物体を、単一モード光ファイバを作成するのに適した中間的ガラス物体として提供することを含み、前記外径を減縮させる工程が、前記線引き工程中に、前記光ファイバの中心線の周囲が十分に対称的になるのに十分な圧力を前記中心孔に加えて、前記光ファイバに撚りが施されていない状態で、該光ファイバが 0 . 2 psec/sqrt-km未満の偏波モード分散値を有するようにすることを含むことを特徴とする請求項 1 記載の方法。

10

【請求項 4】

前記ガラス物体を提供する工程が、前記中間的ガラス物体を単一モード光ファイバの中間的ガラス物体として提供することを含み、前記外径を減縮させる工程が、前記光ファイバの中心線の周囲に十分に対称的な複数のガラス層を形成するのに十分な圧力を前記中心孔に加えて、前記光ファイバが長さ 1 m について 3 回未満の撚りが施されている状態で、該光ファイバが 0 . 1 psec/sqrt-km未満の偏波モード分散値を有するようにすることを含むことを特徴とする請求項 3 記載の方法。

20

【請求項 5】

単一モード光ファイバにおいて、

複数のガラス層からなり中心線を備えたファイバコアと、該ファイバコアを取り囲むファイバクラッドとを有し、前記中心線を取り囲む複数のガラス層が十分に対称的な円を描いて、0 . 2 psec/sqrt-km未満の偏波モード分散値が得られることを特徴とする光ファイバ。

【請求項 6】

前記光ファイバに、長さ 1 m について 3 回未満の撚りが施されていることを特徴とする請求項 5 記載の光ファイバ。

【請求項 7】

前記光ファイバが実質的に撚りが施されていない状態にあることを特徴とする請求項 5 記載の光ファイバ。

30

【請求項 8】

前記光ファイバが同心的な複数のガラス層からなり、前記中心線から約 0 . 08 μm と約 0 . 15 μm との間の距離だけ離れた部位のガラス層のいずれもが、全周に亘って 0 . 025 μm 未満の半径偏差を示すことを特徴とする請求項 5 記載の光ファイバ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

関連出願の相互参照

本願は、「実質的に円形の対称コアを有する光ファイバおよびその製造方法」と題して 1999 年 4 月 26 日付けで出願された米国仮特許出願第 60 / 131,012 号の優先権を主張する出願である。

40

【0002】

発明の背景

1 . 発明の分野

本発明は、一般的には光導波路ファイバの分野に関し、特に低偏光モード分散および低減衰損失の光導波路ファイバの製造方法に関するものである。

【0003】

2 . 技術的背景

遠隔通信産業の重要な目標は、より多量の情報を、より長い距離に亘って、より短時間で伝送することにある。一般的には、システムユーザの数およびシステム使用周波数の増大

50

につれて、システム供給源に対する要求も増大する。この要求を満たす一つの方法は、情報を伝送するのに用いられる媒体の帯域幅を広げることである。光通信システムにおいては、広い帯域幅を有する光ファイバに対する要求が特に高い。

【 0 0 0 4 】

近年、ファイバの使用可能な光の伝送能力を高めた光導波路ファイバの製造において著しい進歩があった。しかしながら、光導波路ファイバを通じて電磁波を伝送すると、いくつかのメカニズムによる減衰損失を蒙ることが良く知られている。これらメカニズムのうちの或るものは低減不能であったが、その他のものは排除されたか、または少なくとも実質的に低減された。

【 0 0 0 5 】

光ファイバの減衰損失で特に問題となる態様は、ファイバの光導波領域に存在する不純物による光導波路ファイバの吸収に基づく減衰損失である。特に障害となるのは水酸基（OH）に起因する減衰損失で、この水酸基は、ファイバ材料内に水素供給源が存在する場合、または、ファイバ製造工程においてガラス中に分散されるいくつかの供給源から水素が生じる場合に形成され得る。

【 0 0 0 6 】

水素は、ガラス組織内の SiO_2 および / または GeO_2 および / または酸素含有化合物中の酸素と結合して OH および / または OH_2 結合を形成する。ガラス中の OH または水分により 1380 nm 帯で通常最大となる減衰損失は、約 0.5 から 1.0 dB / km の高さにまで達する。ここで用いられている「1380 nm 帯」とは、約 1330 nm から約 1470 nm までの波長範囲と定義される。一般に「ウォーターピーク」と呼ばれる最大減衰損失は、1380 nm 帯を電磁波伝送に使用しないことによって阻止してきた。

【 0 0 0 7 】

現在まで、遠隔通信システムでは、1310 nm 帯および / または 1470 nm 帯で動作させることによって、1380 nm 帯に存在するウォーターピークを回避してきた。広い波長範囲に亘って遠隔通信システムを動作させることが可能な波長分割多重通信（WDM）の出現および増幅器技術の進歩によって、約 1300 nm と約 1650 nm との間のすべての波長が光遠隔通信におけるデータ伝送のために用いられるようになった。これらのシステムで用いられる光導波路ファイバからウォーターピークを除くことは、システムをこの波長帯域全体に亘って動作させる点から重要である。

【 0 0 0 8 】

光ファイバの製造においては、種々のスート層の堆積に種々の方法を用いることができる。外付け気相堆積（OVD）法においては、シリカとゲルマニウムを含む先駆成分を酸素の存在下でセラミック製ベイトロッド上に堆積させることによって、スートコアブランクが形成される。ベイトロッドを回転させながら、上記先駆成分を火炎バーナに供給してスートを形成し、次にこのスートがベイトロッド上に堆積される。十分な量のスートが堆積されると、ベイトロッドが取り除かれ、得られたスートコアブランクが固結されてガラスコアブランクになる。通常スートコアブランクは、このスートコアブランクを固結炉内に吊し、かつこのスートコアブランクがガラスに固結されるのに十分な温度と時間で加熱することによって固結される。固結工程に先立って、スートコアブランクは、これを例えば高温で塩素ガスにさらすことによって化学的に乾燥させることが好ましい。その結果、中心線に沿って孔を備えた円筒状ガラスコアブランクが得られる。

【 0 0 0 9 】

次にこのガラスコアブランクは、例えば炉内に配置し、約 2000 の温度で加熱して、より細いコアケインに延伸する。延伸工程中、コアブランクの中心孔を適当に真空（例えば 200 mTorr 未満の圧力）にすることによって中心孔がつぶれる。このような減圧は、中心孔に沿うガラスコアブランクの完全な閉塞を保証する。この延伸工程の後、得られたコアケインは通常、例えば OVD 法を用いたクラッドスートの堆積によってクラッドスートで覆われる。十分な量のクラッドスートで覆われると、スートで覆われたコアケインが化学的に乾燥されかつ固結されて光ファイバプリフォームを形成する。プリフォームの製

10

20

30

40

50

造に使用される素子を形成するには異なる方法（例えばMCVDその他）も使用可能であるが、それらの方法（例えばMCVD）の多くは、ファイバを線引きするのに先立って閉塞される孔を備えた円筒状チューブまたはその他の中間的ガラス物体で終了する。これらの製造方法は、製造工程中の或る時点で真空にすることによって、外径を大きく変えることなくガラス成分の間に存在する孔を閉塞するものである。

【0010】

真空により、ガラスコアブランクまたはその他の光ファイバプリフォーム内の中心孔またはその他の空隙を閉塞することには欠点もある。このような減圧は、例えば図1に示されているように、ケインの中心部に非対称的な輪郭を生じさせる。図1には、ガラス層14に取り囲まれた中心点12を含むコアケインの断面全体が符号10で示されている。図1において、これらガラス層14は、線引き工程中の真空引きによって不規則な非対称的な形状を有している。中心点12から離れた部位におけるガラス層16のみが、より対称的で同心的な円を中心点12の周りに形成し始めている。コアケイン内に存在するのと同様の非対称な層は、このケインが光ファイバに線引きされた後にも存在する。コアケイン（またはそれから得られる光ファイバ）の長さ方向に沿う他の部位における中心部の輪郭もコアの非対称性を示す筈である。さらに、コアケインおよびそれから得られる光ファイバの寸法的な特性も長さ方向に沿って変動する可能性がある。特に、光ファイバに沿った或る部位での特定の非対称な形状が、光ファイバに沿った別の部位での形状とは異なる場合もある。

【0011】

この非対称なコア形状は、光の一つの成分がこれと直交する他の成分よりも速く伝播するときに生じる分散を形成する偏光モード分散（PMD）の原因の鍵であると信じられている。PMDは、ファイバを用いた遠隔通信システムのデータ伝送速度を制限するので、単一モードファイバ内での存在の割合によっては甚大な損害を与える。これは、ともに外径が約125 μm の単一モードファイバおよび多モードファイバにおいて顕著である。しかしながら、単一モードファイバは例えば約8 μm の小径コアを備えている。この寸法関係は、ファイバ製造中に生じる孔の非対称的な閉塞によりもたらされる偏光モード分散に対して単一モードファイバを極めて敏感にする。したがって、特に単一モードファイバにおいては、PMDの低減がファイバ製造における重要な目標となる。単一モードファイバの小さいコアサイズと対照的に、多モードファイバのコア領域は62.5 μm または50 μm の直径を有する。多モードファイバにおいては、孔の非対称的な閉塞は、ファイバの中心線近傍の最も内方の部分の屈折率輪郭の調整を不能にする。その結果、このようなファイバに光を伝送するのにレーザーを用いる場合、多モードファイバの中心線からレーザーを若干距離偏位させて、非対称的な孔閉塞領域を避けている。

【0012】

PMDの低減に用いられる一つの方法は、ファイバ線引き作業中に光ファイバに撚りを施すことであり、この方法では、溶融したブランクの溶融した根元から線引きするときに、ファイバがその中心軸線に沿って機械的に捩られる。この捩りにより、光の直交成分を互いに結合することができ、分散が平均化されてPMDを低減する。しかしながら、撚りを施すことは、孔の非対称的な閉塞の作用を和らげるためのかなり複雑な工程であり、これにより、線引き速度が遅くなり、コーティング寸法を乱れさせ、光ファイバの強度を低下させることになる。したがって、このような撚りに頼ることなしに低いPMDを示すファイバを製造することが望ましい。

【0013】

さらに、非対称的なコア形状は、ファイバコアの長さ方向に沿ったコア径の変動を生じ、その結果、伝送された光が光ファイバの長さ方向に沿う別の地点においては、異なるコア断面領域に現れることになる。さらに、中心部の非対称的な輪郭は、多モードファイバに入射するレーザーの帯域幅を狭める可能性がある。

【0014】

中心孔の閉塞に真空を用いることの別の欠点は、このような工程が、光ファイバの伝送特

10

20

30

40

50

性をさらに損ねる空隙を中心線に沿って生じさせることである。

【 0 0 1 5 】

光導波路ファイバの製造には通常化学的乾燥および固結工程が付随するにも拘らず、このような光導波路ファイバは、約 1 3 8 0 n m で測定された比較的高レベルの減衰損失を示すことが判明している。現在用いられている遠隔通信システムは、1 3 8 0 n m またはそのごく近傍では動作させないようになっているから、この欠点は見落とされている。しかしながら、W D M、増幅器技術およびレーザー源における最近の進歩により、1 3 8 0 n m で測定されるウォーターピークの排除が優先課題になった。ウォーターピークは、ファイバ製造工程においてガラス内に捕捉される水分に大きく影響される。O V D 法の場合、水分の大部分が、中心孔の閉塞に先立って、または閉塞中に、コアの中心領域内に捕捉されると信じられている。ブランクが化学的に乾燥され、かつ固結時に焼成されるにも拘らず、中心孔を取り囲み中心孔を画成するガラス領域が乾燥後、再吸湿することが判明している。通常、このような再吸湿は、固結後の水 (H_2O) のような、またはこれに限定されない水素化合物を含む大気に中心孔をさらすことによる物理的吸湿、化学的吸湿または水分の拡散によって生じる。

10

【 0 0 1 6 】

発明の概要

本発明は、光ファイバの作成方法に関するもので、光ファイバの製造に用いるための、中心孔を内部に備えた中間的ガラス物体を提供し、このガラス物体を、その外径を減縮させるのに十分な温度に加熱し、上記中心孔を一樣かつ対称的に閉塞するのに十分なように、中心孔の内部の圧力を制御しながら、上記ガラス物体の外径を減縮する各工程を含む。

20

【 0 0 1 7 】

本発明の一つの実施の形態は、光ファイバの製造に用いるための、ガスの流通を阻止するために少なくとも一端に栓を施された孔または環状空隙を有する中間的ガラス物体を提供し、次いでこのガラス物体を、その外径を減縮させるのに十分な温度に加熱する各工程を含む光ファイバの製造方法である。この方法はさらに、上記孔に 5 0 0 Torr を超える圧力を加え、上記ガラス物体の外径を減縮させて、上記中心に一樣かつ対称的に閉塞を生じさせることを含む。

【 0 0 1 8 】

上記孔を閉塞する工程は、この閉塞工程に先立って、および / または閉塞工程中に、上記中間的ガラス物体を一樣かつ対称的に加熱するのに十分な条件下で行なわれることが好ましい。このような対称的な加熱は、例えば、中間的ガラス物体が円筒形光ファイバプリフォームまたはその他の円筒状の中間的ガラス物体である場合に円筒形の炉を用いることによって達成できる。

30

【 0 0 1 9 】

本発明の他の実施の形態は、複数のガラス層および中心線を備えたファイバコアを含む光ファイバである。この光ファイバはさらに、ファイバコアを取り巻くファイバクラッドを含み、中心線を取り巻く複数のガラス層は十分に対称的は円形をなし、その結果、0 . 2 psec/sqrt-km 未満の偏光モード分散値を有する。

【 0 0 2 0 】

本発明のさらに他の実施の形態は、送信機と、受信機と、送信機と受信機との間に光信号を伝送するための光ファイバとを備えた光ファイバ通信システムである。上記光ファイバは、複数のガラス層および中心線を備えたファイバコアと、このファイバコアを取り巻くファイバクラッドを含み、中心線を取り巻く複数のガラス層は十分に対称的は円形をなし、その結果、0 . 2 psec/sqrt-km 未満の偏光モード分散値を有する。

40

【 0 0 2 1 】

本発明のさらに他の実施の形態は、送信機と、受信機と、送信機と受信機との間に光信号を伝送するための光ファイバとを備えた光ファイバ通信システムである。上記光ファイバは、複数のガラス層および中心線を備えたファイバコアと、このファイバコアを取り巻くファイバクラッドを含み、中心線を取り巻く複数のガラス層は十分に対称的は円形をなし

50

、その結果、 $0.2 \text{ psec}/\sqrt{\text{km}}$ 未満の偏光モード分散値を有する。上記光ファイバはまた、ファイバの長さ1メートルに亘って、3回未満の撚りが施されている。

【0022】

本発明のさらに他の実施の形態は、長手方向に延びる中心孔を有する円筒状のガラスファイバプリフォームを提供し、ガスの流通を阻止するために中心孔の両端に栓を施すことを含む光導波路ファイバの製造方法に関するものである。この方法はさらに、嵌合端を備えた外側ハンドルをプリフォームの一端に取り付け、嵌合端と流体受入れ端とを備えてガス供給源に結合される内側ハンドルを提供し、外側ハンドルの嵌合端と内側ハンドルの嵌合端とを結合させることを含む。この方法はさらに、上記プリフォームの中心孔をガスにさらし、このプリフォームをそれが軟化するのに十分な温度に加熱し、このプリフォームを光導波路ファイバに線引きすることによって、上記プリフォームの中心孔を閉塞することを含む。

10

【0023】

さらに他の実施の形態において、本発明の光導波路ファイバの製造方法は、ガスの流通を阻止するために両端に栓を施された長手方向に延びる中心孔を有する円筒状ガラス製の光ファイバプリフォームを提供することを含み、このプリフォームの一方の端部には曲りタブが形成されている。この方法はさらに、嵌合端を備えた外側ハンドルをプリフォームの一方の端部に取り付け、嵌合端、半径方向に延びる破断用タブ、および流体受入れ端を備えてガス供給源に連通する内側ハンドルを提供し、上記外側ハンドルの嵌合端を上記内側ハンドルの嵌合端に結合させることを含む。この方法はさらに、上記プリフォームを十分に加熱して、このプリフォームの中心孔内のガス圧力を上昇させ、外側ハンドルと内側ハンドルとを、内側ハンドルの破断用タブがプリフォームの曲りタブに当接するまで相対的に回転させ、これにより曲りタブを破断し、上記プリフォームをこのプリフォームが十分に軟化する温度に加熱し、上記プリフォームを光導波路ファイバに線引きすることによってこのプリフォームの中心孔を閉塞することを含む。

20

【0024】

本発明のさらに他の実施の形態は、ガスの流通を阻止するために両端に栓を施された軸方向に延びる孔とこの孔の一端に設けられた破壊可能なタブとを備えた円筒状光ファイバプリフォームの軸方向の孔を開放するための装置である。このプリフォームは、プリフォームの一方の端部に取り付けられかつ嵌合端を備えた外側ハンドルと、嵌合端、半径方向に延びる破断用タブ、および流体受入れ端を備えてガス供給源に連通する内側ハンドルとを備え、この内側ハンドルの嵌合端が外側ハンドルの嵌合端に結合され、外側ハンドルと内側ハンドルとを、内側ハンドルの破断用タブがプリフォームの曲りタブに当接するまで相対的に回転させ、これにより曲りタブを破断することによって、プリフォームの軸方向の孔が露出される。

30

【0025】

本発明のさらに他の実施の形態は、光ファイバを製造するためのプリフォームであって、このプリフォームは、長手方向に延びる軸方向の孔を備えた円筒状ガラス物体と、このガラス物体の一端を密封して上記軸方向の孔の一端を密閉すべくガラス物体の一端に施された栓と、上記軸方向の孔の他端を密閉する曲りガラスタブとを備え、このタブが、半径方向に延びる部分と、軸方向の孔を露出させるために破断され得る長手方向に延びるチップとを含む。

40

【0026】

本発明による光ファイバおよびその他の導波路の製造により、偏光モード分散の低減に関し、従来技術よりも優れた数々の利点が生じる。本発明の中間的ガラス物体内の中心孔が、一様かつ対称的な孔閉塞を生じさせる条件下で閉塞されるために、このような中間的ガラス物体から線引きされたファイバは、従来のファイバに比較して極めて低い偏光モード分散を示す。本発明の方法において、上記中間的ガラス物体は光ファイバプリフォームであり、このプリフォームは、線引き時に閉塞される孔を備え、線引き中に加えられる所定の正圧または負圧は、実質的に円形の中心部輪郭を備えた、すなわち実質的に円形の対称

50

的コアを備えたファイバを形成し、中心線から外方へ離れるにつれて、近接するガラス層が正確に対称的な円を描く。これと同様の効果を、全く完全な光ファイバプリフォームでない中間的ガラス物体についても得ることができる。例えば、中間的ガラス物体が、内部に中心孔を備えたコアケインプリフォームであり、上記中心孔は延伸作業中に閉塞され、この延伸作業において、コアケインプリフォームの外径が十分に減縮されて中心孔が閉塞され、コアケインを形成する。このコアケイン形成・孔閉塞工程において、対称的孔閉塞を生じさせるのに十分な正圧または負圧が延伸中に加えられる。上記中間的ガラス物体内の孔は、ロッド・イン・チューブ製造法によらないで閉塞されるのが好ましい。本発明の方法を用いた結果、撚りまたはその他のPMD軽減法に頼ることなしに、低い偏光モード分散を示す単一モードファイバを作成することができた。

10

【0027】

本発明の方法はまた、本質的にレーザー光源とともに使用するのに適した多モード光ファイバの形成にも用いることができる。レーザー光放射法においては、レーザーのスポットサイズをコア全体のサイズよりも小さくすることができる。もしレーザーが非対称的なガラス領域に向けられた場合、これら非対称的なガラス領域は、さもないとレーザービームが通るに違いない通路の障害となる。したがって、ファイバのコア周りに一様かつ対称的な同心状のガラス層があることが望ましい。このような同心的な層は、本発明の方法を用いることによって得ることができる。

【0028】

ここに開示された種々の実施の形態を用いると、従来から知られている他の方法を上回る多くの追加の効果が得られる。例えば、コアブランクが光ファイバに線引きされる以前にコアブランクの中心領域内に捕捉される水分および遷移金属のような不純物の量を著しく減らすことができる。したがって、このようなコアブランクから作成された光導波路ファイバは、1380nmにおいて、そして1380nm帯全体において、より低いウォーターピークを示し、それ故に、OVD法によって製造されたプリフォームから標準的な方法によって製造された光導波路ファイバよりも1380nm帯において、より低い光減衰を示す。さらに、このようなコアブランクから作成された光導波路ファイバは、低い減衰損失を示す。

20

【0029】

本発明の方法のさらなる利点は、このような方法で製造された光導波路ファイバが、約1300nmから1680nmまでの間の波長範囲内のいかなる波長においても、さしたる光の減衰を伴うことなく動作可能なことである。さらに、本発明の方法はまた、装置を経済的に構成でき、かつ環境に対し有害な廃棄物を産することなく実施可能である。

30

【0030】

本発明の製造方法のさらなる利点は、この方法で生産された光ファイバが、その中心線に沿って生じる空隙が少ないことである。孔径の減縮時およびまた孔の閉塞時に真空に引かないことにより、ファイバ内の空隙が著しく減少し、これによって空隙に伴う光の反射を低減することができる。

【0031】

本発明のこれらおよびその他の利点は、当業者であれば、明細書の下記の記載、請求の範囲および添付の図面を参照することによってさらに理解かつ認識し得るであろう。

40

【0032】

上述の概要説明および下記の詳細説明は、単に本発明を例示するに過ぎないものであって、請求の範囲に記載された本発明の本質および特徴を理解するための全体像または骨格の提供を意図したものである。添付の図面は、本発明のさらなる理解のために提供されたもので、明細書に組み入れられ、かつ明細書の一部を構成するものである。図面は、本発明の種々の実施の形態の説明と、記述内容とともに本発明の主要構成および動作の説明に資するものである。

【0033】

好ましい実施の形態

50

添付の図面に示されているように、本発明の好ましい実施の形態には詳細に参照符号を付してある。全図面に亘って、類似の部品には可能な限り同一の符号を付してある。

【0034】

まず、図2を参照すると、本発明の方法により製造された光導波路ファイバ30が示されている。この光導波路ファイバは、中心軸33を備えた中心コア領域32と、外側ガラスコア領域34と、これらと同軸のクラッド領域36とを含む。光導波路ファイバ30は、円筒状ガラスプリフォーム70(図3)から形成され、このガラスプリフォーム70は、中心軸45を画成して内部を貫通して長手方向に延びる中心孔60を備えた中心コア領域42を有する。プリフォーム70はまた、双方とも中心コア領域42と同軸の、外側コア領域46とクラッド領域48とを含んでいる。例えば中心コア領域32, 42は、ゲルマニウムをドーパされた中心領域からなり、領域34, 46は、種々の量の弗素および/またはゲルマニアドーパントを含む、複合屈折率輪郭(例えば secor 輪郭)を備えた付加領域からなる。勿論、本発明はこれらドーパントを用いることに限定されるものでも、複合屈折率輪郭を備えたファイバに限定されるものでもない。また、これに代わり、領域34を省略した、単純なステップ型屈折率を備えたファイバであってもよい。また、領域34は、典型的には純粋シリカからなる近似クラッド領域を含んでいてもよい。

10

【0035】

本発明の一つの実施の形態によれば、円筒状ガラスプリフォーム70は、酸化媒体内でシリカを主成分とする反応生成物を形成する少なくとも一つのガラス形成用先駆化合物を含む流体混合液の少なくともいくつかの成分の化学反応によって形成されることが好ましい。この反応生成物の少なくとも一部は基体に導かれて多孔性体を形成し、その少なくとも一部は酸素に結合された水素を含む。

20

【0036】

上記多孔性体は、例えば、外付け気相堆積法(OVD法)を用いてスート層をベイトロッドに堆積させることによって形成される。このようなOVD法が図4に示されている。図4において、マンドレル50は筒状の一体ハンドルに挿入され、旋盤(図示せず)上に取り付けられる。この旋盤は、マンドレル50をスート発生バーナ54に近接させて回転と軸方向移動とをさせるように構成されている。マンドレル50が回転・移動させられるにつれて、一般にスートとして知られている、シリカを主成分とする反応生成物56がマンドレル50に向かって導かれる。シリカを主成分とする反応生成物56の少なくとも一部は、マンドレル50および一体ハンドル52の部分上に堆積されて、近端59と遠端61とを有する円筒状の多孔性スート体すなわちスートコアブランク58を形成する。本発明の実施の形態では、旋盤によって移動させると記載されているが、マンドレル50を移動させる代わりにスート生成用バーナ54を移動させてもよいことは当業者であれば理解されるであろう。さらに、本発明のこの態様では、スート堆積をOVD法に限定することを意図するものではない。それに限定されるものではないが、ガラス形成用先駆化合物の少なくとも一つが液相または気相で酸化媒体内に運ばれるというような、流動する流体混合物の成分の少なくともいくつかを化学反応させる別の方法によっても、本発明のシリカを主成分とする反応生成物の形成に用いることができる。さらに、内側気相法(IV法)および内付け化学気相堆積法(MCVD法)も本発明に適用可能である。本発明は、ロッド・イン・スート光導波路プリフォーム製造法とともに用いることを意図しないことが最も望ましいが、むしろ中心孔を閉じるために用いることがより好ましい。

30

40

【0037】

所望とする量のスートがマンドレル50上に堆積されると、スート堆積が終了してスートコアブランク58からマンドレル50が取り除かれる。マンドレル50が取り除かれると、スートコアブランク58には、軸方向に延びる中心孔60が画成される(図5)。スートコアブランク58は、一体ハンドル52に係合された吊下げハンドル62によって固結(consolidation)炉64A内に垂直に吊り下げられる。固結炉64Aはスートコアブランク58を同軸的に取り囲むことが好ましい。一体ハンドル52はシリカを主成分とするガラス材料で形成され、コアブランク58の近端59が周囲に形成されている第1端部63

50

と、内部表面 6 7 を画成する第 2 端部 6 5 とを備えている。これに代わり、一体ハンドル 5 2 の第 2 端部 6 5 は、スート堆積工程および固結工程の後に炎を用いて形成してもよい。一体ハンドル 5 2 は略コップの形をしており、内部空洞 6 9 を画成している。内部表面 6 7 は粗い手ざわりを有しているのが好ましく、この意味については後述する。スートコアブランク 5 8 の遠端 6 1 近傍に位置する中心孔 6 0 は、コアブランク 5 8 が固結炉 6 4 A 内に配置されるのに先立ってガラス製の底栓 6 6 が装着されるのが好ましい。ガラス栓 6 6 は、固結中にスートコアブランクのスートが固結されてガラスになるときに、このガラス栓 6 6 が中心孔の端を効果的に密封するように、比較的低融点の（例えばスートコアブランクの融点よりも低い）ガラスで形成されるのが好ましい。底栓 6 6 の挿入は、多孔性スートコアブランク 5 8 の遠端 6 1 を閉じる好ましい方法であるが、遠端 6 1 を閉じて空気の流通を阻止するのに十分な他の方法および装置、例えば、それらに限定はされないが、遠端 6 1 に炎を当てる、および／またはかしめるという方法を用いてもよい。

10

【 0 0 3 8 】

コアブランク 5 8 の近端 5 9 における中心孔 6 0 は、周囲の大気開放されていても、あるいは固結工程に先立って、底栓 6 6 と類似の頂栓 7 3 を挿入することによって閉鎖されていてもよい。一つの実施の形態においては、このような中心孔を栓で塞ぐことを容易にするために、一体ハンドル 5 2 内の孔はスートプリフォーム 5 8 内の孔よりも大径にされており、かつ栓 7 3 のサイズは、栓 7 3 を一体ハンドル 5 2 の部分に挿入できるが、スートプリフォーム 5 8 の中心孔には嵌合するように、上記二つの孔の内径の中間値が選択される。これに代わる別の実施の形態では、頂栓 7 3 が、スートプリフォーム 5 8 の中心孔 6 0 を塞ぐのに供せられる下端のより細い部分（スートプリフォーム 5 8 内の中心孔を塞ぐのに十分な太さを有する）と、スートプリフォーム 5 8 の中心孔 6 0 に栓 7 3 が落ち込むのを防止するための上端のより太い部分（一体ハンドル 5 2 内の中心孔よりも太い）と、これら二つの太い部分を連結する中間部分とからなる。

20

【 0 0 3 9 】

スートコアブランク 5 8 は、例えばこのスートコアブランク 5 8 を固結炉 6 4 A 内で塩素を含む高温の雰囲気中にさらすことによって化学的に乾燥させるのが好ましい。塩素を含む雰囲気は、このブランク 5 8 から作成された光導波路ファイバの特性に望ましくない影響を与える虞れのある水分および他の不純物をスートコアブランク 5 8 から効果的に取り除く。OVD 法で作成されたスートコアブランク 5 8 においては、塩素がスート間を十分に通り抜けて、中心孔 6 0 の周囲領域を含むブランク 5 8 全体を効果的に乾燥させる。化学的乾燥工程に続いて、炉の温度は、スートを焼結されたガラスコアブランク 5 5 に固結させるのに十分な温度に上昇せしめられる。

30

【 0 0 4 0 】

次にガラスコアブランク 5 5 は、必要に応じてコアケイン 5 7 のような中間ガラス物体を形成するのに用いられる。ここで用いられる中間ガラス物体とは、光導波路ファイバの製造に用いることができるガラス物体を意味し、光ファイバプリフォーム、コアケイン、ロッドとチューブの組合わせ体等を含む。しかしながら、上記孔は中心孔であり、したがって、本質的にロッド・イン・チューブ法によるものではない。ここで用いられるコアケイン（core cane）とは、当業者が従来から用いている用語で、光ファイバプリフォームのためのコア領域を少なくとも含む固結されたガラスロッドまたはチューブであって、これに付加的コアおよび／またはクラッド材料が付加されて完全な光ファイバプリフォームを形成する。ガラスコアブランクをコアケイン 5 7（図 6）に延伸するために、延伸炉 6 4 B の温度は、固結されたガラスコアプリフォームブランク 5 5 の径を縮小してコアケイン 5 7 を作成するのに十分な温度に上昇せしめられる。固結されたコアブランク 5 5 が、これよりも細いコアケイン 5 7 に延伸される延伸工程中、中心孔 6 0 もまたコアケイン 5 7 の外径とともに細くなる（この孔の細くなることは図示されていない）。しかしながら、通常、中心孔 6 0 の初期の内径に対するコアブランク 5 5 の初期の外径の縮径は、真空の補助なしで中心孔 6 0 を塞ぐほど十分ではないので、中心孔 6 0 が完全に塞がらないことが好ましい。ガラスが化学的に乾燥されかつ固結された後は、独立したコアケインに延伸

40

50

される間、中心孔 6 0 に水分が実質的に触れる機会がないように、中心孔 6 0 の両端は塞がれたままにしておくのが好ましい。

【 0 0 4 1 】

コアケインの延伸工程中、延伸されるコアケイン 5 7 の周囲に間隔をおいて対称的に配置された複数のトーチ 5 3 によってコアブランク 5 5 から切り離される際に、コアケイン 5 7 の両端 5 1 , 5 1 (図 7) が密封される。このような密封工程は、各コアケイン 5 7 が切り離される際に、コアケイン 5 7 の半分溶解された両端が例えば炎で閉じられ (図示) 、あるいはかしめて閉じられることによって達成することができる。コアケイン 5 7 の両端を、中心孔 6 0 が周囲の大気にさらされないように密封すると、水分および遷移金属のような不純物が中心孔内に閉じ込められることを著しく低減させる。光ファイバに線引きされる最終的なガラスコアブランク 5 5 (図 8) が形成されると、コアケイン 5 7 の一体ハンドル 5 2 に最も近い位置にある端部から曲りタブ 6 8 (図 9) が引き出される。これは、炎を当てる操作とコアケイン 5 7 端部の曲げ操作とによって行なうことができる。曲りタブ 6 8 は、ガラスプリフォーム 7 0 の中心から半径方向外方へ延びている。次に、図 8 に示されているような一体ハンドル 5 2 が、炎操作または孔 6 0 を大気にさらさせない他の適当な方法によって、各コアケイン 5 7 の端に取り付けられる。

10

【 0 0 4 2 】

好ましい実施の形態では、次にコアケイン 5 7 がクラディングステーションに移動され、そこで、追加のコア材料および / またはクラッド材料がコアケイン 5 7 上に施される。このオーバークラディング工程は、クラディングスートがマンドレル 5 0 上に堆積される代わりにコアケイン 5 7 上に施されることを除いては、コアスートブランク 5 8 (図 4) を形成するのに用いられた最初のスート堆積方法と同一である。このオーバークラディング工程は、クラディング材料を例えばスート堆積によりコアケイン 5 7 上に堆積させることによって、あるいはこれに代わり、コアケインをクラディングスリーブに挿入することによって達成される。もし追加のコアスート領域を形成すべきときには、得られたガラスコアブランク 5 5 (図 8) を炉 6 4 内に配置し、そこから新たなコアケイン 5 7 A を延伸し、次いでさらに追加のスート材料を施す工程が数回反復される。ガラスコアケイン上にスートクラディングが施されると、スートクラディングは化学的に乾燥され、次いでコアケイン 5 7 上でガラスに固結されて、完全なガラスファイバプリフォーム 7 0 を形成する (図 9) 。

20

30

【 0 0 4 3 】

過去においては、および本明細書の冒頭に記載したように、多数のスート層の乾燥と固結の後に、ガラスプリフォーム 7 0 は、コアブランク形成後でかつそれからの光ファイバの形成に先立ついくつかの工程の一つにおいて、周囲の大気のような水分を含む環境に定常的にさらされていた。現在では、水 (H_2O) のような、またそれに限定されるものではないが、水素化合物を含む大気にガラスがさらされると、中心孔 6 0 を取り巻くガラス内に物理的に吸着された水分および化学的に吸着された水分が発生することが認識されている。さらに、大気にさらされる時間が長い程、ガラスに吸収される水の量が増大する。したがって、周囲環境、または水素化合物を含む環境への露出がいかに短時間であっても、中心孔を取り巻くガラスプリフォーム部分が再び湿気をおびる可能性がある。このような再吸湿は、OVD 法によって形成されたブランクから標準的なファイバ製造工程を用いて製造される光導波路ファイバが示すウォーターピークの原因となる不純物をもたらす。

40

【 0 0 4 4 】

ガラスプリフォーム 7 0 の中心孔 6 0 を大気に露出させる別の不利益は、中心孔 6 0 が、他の汚染物および遷移金属のような不純物にさらされる可能性があることである。得られた光ファイバ内に遷移金属が含まれると、減衰損失を招く。図 7 に見られるように、中心孔 6 0 の各端部を完全に密封することにより、中心孔 6 0 が有害な不純物にさらされることが軽減されまたは無くなる。例えば、その明細書がここに引例として組み入れられる 1999 年 4 月 26 付けで出願された米国仮特許出願 第 60 / 131,003 号には、水分による汚染を回避する方法が記載されている。

50

【 0 0 4 5 】

図 1 5 に示されているように、本発明の方法のいくつかの変形が下記に記載されている。ここには、開示されている方法のいくつかの変形はすでに説明されているが、特定の実施の形態は限定を意図するものではなく、単に可能な順次の工程を例示したに過ぎない。

【 0 0 4 6 】

クラッドで覆われたコアケイン 5 7 (図 9) を含む焼成されたガラスプリフォーム 7 0 が一旦形成されると、このプリフォームは、ガラスプリフォーム 7 0 を光導波路ファイバに線引きするための、垂直方向を向いているのが好ましい線引き炉に移される (図 1 5 のステップ 1 0 0) 。このガラスプリフォーム 7 0 は、下降ハンドル 7 2 に取り付けられた一体ハンドル 5 2 によって吊される (ステップ 1 0 2) 。中間ガラス物体 (この中間ガラス物体が、コアケインであろうが、この場合のように光ファイバプリフォームであろうが関係なく) の孔を閉塞するためにここに用いられている炉は、中間ガラス物体の周囲に対称的に配置された熱源を備えていることが好ましい。例えば好ましい実施の形態においては、熱源が、温度勾配を有する発熱領域を備えた垂直方向を向いた円筒形の炉である。このような炉では、頂部から底部に向かって温度が上昇する発熱領域を採用している。したがって、中間ガラス物体が炉の頂部から挿入されて下降せしめられると、孔は底部から閉じる。塞がれるべき中心孔の内径に対する中間ガラス物体の外径の比率が非常に大きいので、外径の十分な減縮によって、孔が一様に閉塞されない原因となる負圧を必要とすることなく孔は閉じる。下降ハンドル 7 2 が線引き炉 (図示せず) 内に下降可能に配置され、ガラスプリフォーム 7 0 が内壁 8 1 を画成する線引き炉 7 4 内に図 9 に示すように下降せしめられる。ガラスプリフォーム 7 0 は、線引き炉 7 4 の内壁 8 1 によって周囲を取り囲まれていることが好ましい。半径方向内方に延びる破断用タブ 8 0 を備えた円筒状の内側ハンドル 7 6 (図 9 および図 1 0) は、この内側ハンドル 7 6 の下端のボウル状の粗い手触りの嵌合面 7 8 が、一体ハンドル 5 2 の嵌合面 6 7 と嵌合して気密性シールを形成する態様で、一体ハンドル 5 2 内で嵌合される (ステップ 1 0 4) 。内側ハンドル 7 6 は内部空洞を有し、ハンドル 7 6 の下端には破断用タブ 8 0 が設けられている。この破断用タブ 8 0 は、後述するように、一体ハンドル 5 2 と内側ハンドル 7 6 との相対的回転により内側ハンドル 7 6 の破断用タブ 8 0 がガラスプリフォーム 7 0 の曲りタブ 6 8 に係合するように半径方向内方に延びている。

【 0 0 4 7 】

一つの実施の形態においては、ガラスプリフォーム 7 0 が線引き炉 7 4 の高温ゾーン内に十分な時間降下せしめられて、ガラスプリフォーム 7 0 の中心孔 6 0 内のガス圧力を上昇させる (ステップ 1 0 6) 。次にガラスプリフォーム 7 0 は、高温ゾーン 7 4 から移動せしめられる (ステップ 1 0 8) 。内側ハンドル 7 6 の内部空洞 7 1 および一体ハンドル 5 2 の内部空洞 6 9 が減圧され (ステップ 1 1 0) これにより、その他の微粒子物質のみでなく H_2O のような汚染物質が除去される。次に、内側ハンドル 7 6 の内部空洞 7 1 および一体ハンドル 5 2 の内部空洞 6 9 にガス供給源 8 4 (図 9) からの乾燥した不活性ガスまたは乾燥させるガス (例えば塩素) を再充填する (ステップ 1 1 2) 。供給される乾燥したまたは乾燥させるガスは、もしガスがガラスプリフォーム 7 0 の中心孔 6 0 内に入ったとしても、得られる光導波路ファイバ内に減衰損失を与えない清浄な乾燥したガスであることが好ましい。

【 0 0 4 8 】

次に、ガラスプリフォーム 7 0 の曲りタブ 6 8 を折ることによって (ステップ 1 1 4) 、ガラスプリフォーム 7 0 の中心孔 6 0 が開放される。あるいは、曲りタブ 6 8 と内側ハンドル 5 2 とが連結されている部位よりも曲りタブ 6 8 の先端寄りの位置で曲りタブ 6 8 を割がいてから、曲りタブ 6 8 を破断するようにしてもよい。曲りタブ 6 8 を破断するために、図 1 1 , 図 1 2 に示されているように、内側ハンドル 7 6 が一体ハンドル 5 2 に対して相対的に回転せしめられ、その結果、内側ハンドル 7 6 が備えている破断用タブ 8 0 がガラスプリフォーム 7 0 の曲りタブ 6 8 に当接してタブ 6 8 を破断する。ガラスプリフォーム 7 0 の曲りタブ 6 8 が破断されると (図 1 3) 、ガラスプリフォーム 7 0 の中心孔 6

0 が一体ハンドル 5 2 の内部空洞 6 9 内に充填されているガスにさらされ、これにより、ガラスプリフォーム 7 0 から光導波路ファイバを線引きするのに先立って生じる可能性のある中心孔 6 0 の汚染が軽減または排除される。内側ハンドル 7 6 が一体ハンドル 5 2 に対して回転せしめられるのが好ましいが、一体ハンドル 5 2 を内側ハンドル 7 6 に対し回転させることもできる。さらに、内側ハンドル 7 6 と一体ハンドル 5 2 の双方を互いに他方に対して回転するようにしてもよい。

【 0 0 4 9 】

曲りタブ 6 8 がガラスプリフォーム 7 0 から破断された後（図 9，図 1 3）、乾燥したまたは乾燥させるガスが内部ハンドルを継続的に通過し（ステップ 1 1 6）、これにより、内側ハンドル 7 6 の内部空洞 7 1、一体ハンドル 5 2 の内部空洞 6 9、およびガラスプリフォーム 7 0 の中心孔 6 0 の汚染が排除され、再汚染の心配もなくなる。ガス供給源 8 4 からのガスの流量を調節し、かつガスを内側ハンドル 7 6 の内部空洞 7 1 に直接導くか、あるいは排気管 8 6 に導くかを制御するためにバルブ 8 2 が設けられている。排気管 8 6 には一方向弁 8 8 が接続され、排気管 8 6 への大気への侵入と、大気およびそれに伴う汚染物質によるガラスプリフォーム 7 0 の中心孔 6 0 の汚染を防止している（ステップ 1 1 8）。一方向弁 8 8 は、パブラまたはチェックバルブの形式で、あるいは、大気が排気管 8 6 に逆流するのを防止するための種々の一方向弁の形式で提供することができる。あるいは排気管 8 6 は、排気管 8 6 へ逆流した大気が、ガラスプリフォーム 7 0 の中心孔 6 0 に達するのを阻止し得る長さを有するものであってもよい。

【 0 0 5 0 】

ガラスプリフォーム 7 0 の中心孔 6 0（図 1 3）が開放されかつ不純物が取り除かれた後、ガラスプリフォーム 7 0 は炉 7 4 の高温ゾーンにさらに下降せしめられ、および/または、ガラスプリフォーム 7 0 からの光導波路ファイバ 7 9 の線引きを可能にするのに十分な温度に昇温される（ステップ 1 3 0）。

【 0 0 5 1 】

ファイバ線引きステップ 1 3 0 において、ガラスプリフォーム 7 0 は光ファイバ 3 0（図 2）に線引きされ、ガラスプリフォーム 7 0 の中心孔 6 0 はファイバ線引きステップ 1 3 0 中に閉塞される。ガラスプリフォーム 7 0 が光ファイバ 3 0 に線引きされるにつれて、ガラスプリフォーム 7 0 の外径が徐々に減縮される。閉塞されるべき孔の内径に比較して、プリフォームの外径が十分に大きいために、ガラスプリフォーム 7 0 の外径の縮小によって生じるガラスプリフォームの内部へ向かう力が中心孔 6 0 を首尾よく閉塞させる原因となる。ファイバ線引き工程中の表面張力および毛細管圧を含む孔閉塞力は、通常の光ファイバ製造法においてあるいは M C V D 法または I V プラズマ法においてチューブをつぶすのに典型的に用いられる真空による圧力とは異なる。外付け気相堆積法（O V D 法）で完全に製造される典型的なガラスプリフォーム 7 0 においては、太さが 7 ~ 1 5 c m と太く、中心軸孔 6 0 の内径は 1 ~ 1 0 m m である。したがって、例えば 7 ~ 1 5 c m の太さの範囲を有するファイバプリフォームの外径を、通常の光導波路ファイバの外径（例えば 1 2 5 μ m）に減縮すると、外径の減縮に含まれる表面張力および毛細管圧力による適当な力が発生し、その結果、線引き中に特別に真空で引かなくとも、中心孔 6 0 が完全に閉塞される。特に、ファイバ線引きステップ 1 3 0 中に、例えば 1 Torr を超える浅い真空、寄り好ましくは 8 Torr を超える、さらに好ましくは 1 0 0 Torr を超える、さらに好ましくは 5 0 0 Torr を超える負圧を孔閉鎖/縮径ステップ中に加えることによって、孔を完全に閉塞させることができる。最も好ましいのは、中心孔 6 0 に加えられる圧力が大気圧（すなわち約 7 5 0 ~ 7 6 0 Torr）に等しいかまたは、中心孔 6 0 に充填されているガスまたは乾燥させるガスの排出圧力に起因する僅かに正圧（すなわち、大気圧が 7 6 0 Torr と推定される場合に約 7 6 4 . 6 Torr）である。線引き作業中に約 7 6 1 . 8 ~ 7 6 9 Torr の正圧を維持することが好ましい。この方法により、ファイバ線引きステップ 1 3 0 中に中心孔 6 0 を、中心線 3 3（図 2）の周りにおける光ファイバ 3 0 の円形対称性を実現するのに十分な圧力状態に維持することができる。ここに開示された圧力は絶対圧力である。

【 0 0 5 2 】

図 1 6 には、中心点 2 2 が対称的な形状のガラス層 2 4 によって囲まれた光ファイバの中心部の断面が符号 2 0 で示されている。対称的な中心輪郭は、単一モードファイバにおける偏光モード分散を低減し、多モードファイバにおいては、中心領域における輪郭を所望の屈折率輪郭に一致させることを可能にすることによって、広い帯域幅が得られる適当な屈折率輪郭を構築する能力を著しく向上させる。

【 0 0 5 3 】

好ましい他の実施の形態においては、図 1 5 のステップ 1 2 0 に示されているように、内側ハンドル 7 6 および一体ハンドル 5 2 を浅い真空中に引くのに先立って、曲りタブ 6 8 が破断される。ステップ 1 2 0 において曲りタブ 6 8 が破断された後に、内側ハンドル 7 6 (図 9)、および一体ハンドル 5 2 の内部空洞 6 9、したがってガラスプリフォーム 7 0 の中心孔 6 0 が浅い真空中に引かれ、これによって、内側ハンドル 7 6 の内部空洞 7 1 および一体ハンドル 5 2 の内部空洞 6 9 内から、同様にガラスプリフォーム 7 0 の中心孔 6 0 内から、上述した汚染物質が除去される (ステップ 1 2 2)。この工程中に印加される真空は、ガラスプリフォーム 7 0 の中心孔 6 0 をつぶすのに通常必要とするものよりずっと浅く、その値は上述の通りである。次に、内側ハンドル 7 6 の内部空洞 7 1、一体ハンドル 5 2 の内部空洞 6 9、およびガラスプリフォーム 7 0 の中心孔 6 0 には、乾燥した、または乾燥させるガスが満たされる (ステップ 1 2 4)。また、ガラスプリフォーム 7 0 の中心孔 6 0 は、ガラスプリフォーム 7 0 の中心孔 6 0 に負圧を印加することなしに乾燥した、または乾燥させるガスにさらされる (ステップ 1 2 6)。もしガラスプリフォーム 7 0 の中心孔 6 0 に、ステップ 1 2 2 に示されているように減圧され、かつステップ 1 2 6 に示されているように、乾燥した、または乾燥させるガスにのみさらされるとしても、ガラスプリフォーム 7 0 の中心孔 6 0 は大気にさらされないことが好ましいことに注目されたい。

【 0 0 5 4 】

内部ハンドル 7 6 と一体ハンドル 5 2 との間の連結を解除することにより、一体ハンドル 5 2 の内部空洞 6 9 (図 1 4) が大気にさらされると、得られた光導波路ファイバの水素によって生じる減衰が増大するようである。したがって、一体ハンドル 5 2 を取り巻く空間 9 0 は、内側ハンドル 7 6 が一体ハンドル 5 2 と非係合状態になった後も、ガス供給源 8 4 (図 9) からの乾燥した、または乾燥させるガスにより継続的に清浄化されていることが好ましい。

【 0 0 5 5 】

この光導波路ファイバの作成方法は、ステップ 1 1 0 の内側ハンドル 7 6 の内部空洞 7 1 の減圧、および / または、ステップ 1 2 0 の曲りタブ 6 8 のガラスプリフォーム 7 0 からの破断に先立って、ガラスプリフォーム 7 0 が炉の高温ゾーン 7 4 に降下せしめられないことを除いては、上述の好ましい実施の形態のために記載されたのと同様の態様で完了される。

【 0 0 5 6 】

ガラスプリフォーム 7 0 が高温ゾーン 7 4 内で加熱される間、熔融ガラス玉 9 1 がガラスプリフォーム 7 0 の遠端 7 7 に集まり始める。ガラスプリフォームが高温ゾーン内で加熱されている間、ステップ 1 1 2 またはステップ 1 2 4 で、中心孔 6 0 が定常的にガスで清浄化されているならば、乾燥した、または乾燥させるガスの圧力を低下または排除して、ガラス玉 9 1 の肥大化を防止する必要がある。ガラス玉 9 1 が破裂点まで肥大化するのを許容すると、乾燥した、または乾燥させるガスがガラスプリフォーム 7 0 の遠端 7 7 および中心孔 6 0 の背後の閉塞部から抜けて、密実な中心コア 3 2 を備えた光導波路ファイバ 3 0 (図 2) の形成を許容することになる。さらに、ガラス玉 9 1 の破裂を許容すると、大気が中心孔 6 0 に入って中心孔 6 0 を、したがって得られた光導波路ファイバの汚染を許容することになるかも知れない。したがって、ガラスプリフォーム 7 0 から光導波路ファイバを線引きしている間における中心孔 6 0 内の乾燥した、または乾燥させるガスの圧力は、ガラス玉 9 1 が破裂せず、さらに、線引きステップ 1 3 0 中、中心孔 6 0 内に存在するガスが、一体ハンドル 5 2 を通じて逆流することによって脱出することが可能なよう

に、十分低く保たれていることが好ましく、これにより得られたファイバ内にガスの詰まった空隙が生成されることなしに中心孔 60 が閉塞されるのを可能にする。

【0057】

図 16 を参照すると、本発明の方法を用いて製造された単一モードファイバのための光ファイバプリフォームの断面の中心輪郭が符号 20 で示されている。この図は、単一モード光ファイバ線引き作業後のプリフォームの根本部分の太さ約 1 cm の領域における断面図である。図 16 に示されているように、中心部 20 は中心点 22 の周りにほぼ対称的な円を描いている。中心点 22 近傍の中心点 22 を取り巻くガラス層 24 は極めて対称的かつ円形である。この断面は、実際の光ファイバではなくプリフォームの根本部分ではあったが、このプリフォームから線引きされた光ファイバにも同様の様な対称性が存在する。さらに、多モードファイバコアケインおよびこれから線引きされた光ファイバにおいても同様の結果を得ることができる。中心点 22 近傍の層が対称性および同心性を有するように作成された単一モードコアケインは、 $0.02 \text{ psec/sqrt-km}$ 未満の偏光モード分散値を得ることが可能である。図 16 においては図の中心から外れている中心点 22 は、光ファイバの全長に亘って延びる中心線上に留まっている。同様に、対称的な円形が光ファイバの全長に亘っている。

10

【0058】

ここに開示された方法を用いると、中心線から約 $0.1 \mu\text{m}$ の距離において中心線を取り囲むガラス層が十分な対称性を保ちつつ、外径 $125 \mu\text{m}$ の光ファイバが得られ、堆積されたガラス層の直径偏差、は $0.025 \mu\text{m}$ 未満、すなわち、中心線から約 0.08 から $0.15 \mu\text{m}$ の間に位置するガラス層の最大直径から最小直径を減算した値が $0.025 \mu\text{m}$ 未満であり、さらには約 $0.015 \mu\text{m}$ 未満であることが好ましい。本発明者は、ここに開示された方法を用いることにより、このようなファイバを得ることができた。本発明の方法で生産された図 16 に示すようなファイバの中心部輪郭を、従来の方法で生産された図 1 に示すようなファイバの中心部輪郭と比較すると、従来の方法で生産されたファイバの中心部輪郭は、このような層の様な対称性および同心性は示していない。これと反対に、本発明の方法で生産されたファイバは、中心線の回りの同心的で対称的なガラス領域を示している。

20

【0059】

中心孔 60 を閉塞させる製造工程（図 9）中のどの時点においても真空を用いず、かつファイバ線引き工程 130（図 15）で撚りを施す技法に頼らない本発明の方法により、低レベルの偏光モード分散が達成された。さらに詳細に述べれば、請求の範囲に記載された発明の製造方法は、 0.2 psec/sqrt-km 未満の、より好ましくは 0.1 psec/sqrt-km 未満の、最も好ましくは $0.05 \text{ psec/sqrt-km}$ 未満の偏光モード分散値を有する単一モード光ファイバの形成を可能にする。ここに記載された方法を用いると、線引き工程中に光ファイバに撚りを施すことなしに、 $0.02 \text{ psec/sqrt-km}$ 未満の偏光モード分散値を有する単一モード光ファイバが得られた。PMD を低減するために、通常線引き作業中にファイバに撚りが施されが、そうすると構造中に撚りが生じたファイバが得られる。実際に、ここに開示された方法を用いると、PMD 測定器の測定限界である $0.007 \text{ psec/sqrt-km}$ というような低い PMD を有する、全く撚りが施されていない単一モードファイバ（特に、Corning 社製の LEAF non-zero dispersion shifted 光ファイバ）が得られた。本発明により作成された単一モード光ファイバには、撚りを施すための回転を与えない方が好ましいが、ファイバの長さ 1 メートルについて 3 回未満の回転を与えて撚りを施した場合でも、上述のような低い PMD 値を得ることができた。特に、同時に、乾燥した、または乾燥させるガスで中心孔 60 を清浄化して同時に水素を減らすことにより、 1550 nm において 0.19 dB/km の減衰損失を達成しながら、このような低レベルの偏光モード分散値が維持された。

30

40

【0060】

上述の単一モードファイバに関する製造方法と同様の工程を用いて、多モードファイバを製造することができる。しかしながら、多モードファイバにおいては減衰損失は重大では

50

ないから、延伸およびクラッド堆積工程中に、必ずしも多モードコアスートの両端を閉塞する必要はない。しかしながら、中心孔は、上述した単一モードファイバの場合のように閉塞することが好ましい。多モードファイバについては、中心孔の対称的な閉塞により、ファイバ屈折率輪郭を有する中心領域が望ましい精密な輪郭形状に調整することを可能にする。このことは、得られたファイバがレーザー源によって示される小さいスポットサイズとともに使用される場合に、中心帯域幅を改善することができる。

【 0 0 6 1 】

図 17 に示されているように、そして本発明によれば、本発明の方法により製造された光ファイバ 132 が光ファイバ通信システム 134 に用いられている。システム 134 は、受信機 138 と、送信機 136 と受信機 138 との間に光信号を伝送するための光導波路ファイバ 132 とを含む。システムの大多数において、ファイバ 132 の各端末は双方向通信が可能であり、送信機 136 および受信機 138 は単に説明のために示したに過ぎない。

【 0 0 6 2 】

ここに開示された方法は、線引き時に中心孔を閉じることのみでなく、例えばコアケインを作成する延伸工程のような独立した縮径工程にも使用することができる。もし、中間的ガラス物体内に存在する孔の内径に対する中間的ガラス物体の外径の比が十分に大きい場合には、中間的ガラス物体の外径を減縮させることによって、中心孔を閉じるのに十分な力が生じる。したがって、もし中間的ガラス物体の外径が十分に大きい場合には、このガラス物体内の孔は、真空の力を借りることなしに、縮径作業中に閉じる。この方法により、同様の孔の対称的な閉塞が達成できる。

【 0 0 6 3 】

ここに開示された発明は、主として中心孔を閉塞することに間するものであるが、この方法は中心孔の閉塞に限定されるものではなく、光ファイバの製造に用いるための光ファイバプリフォームまたはその他の中間的ガラス物体の長さ方向に沿って存在する空隙を実質的に閉塞するのにも用いることができる。これは、予め製造されたコアブランクすなわちコアケインにガラススリーブを組み付けることによって生じる空隙のみでなく、ロッド・イン・チューブ法の結果として形成された空隙をも含む。

【 0 0 6 4 】

本発明の製造方法は、低減衰損失と低偏光モード分散とを示す光導波路ファイバとなるプリフォームの孔の再現可能な、対称的な、一様な閉塞を提供する。当業者であれば、さらなる利点および改良点が直ちに心に浮かぶであろう。それ故に、本発明は、ここに開示され、記載された細目および代表的な装置に限定されない幅広い態様を含んでいる。したがって、添付の請求の範囲に定義された本発明の精神および概念から離れることなしに、ここに開示された方法およびプリフォームについての種々の改良が可能であろう。

【 0 0 6 5 】

具体例

下記の具体例の大部分は、本発明によって製造され、Corning 社から販売されている LEAF 光ファイバとして知られているファイバに関するものである。シリカにほぼ等しい屈折率を有する周囲領域に取り囲まれ、ゲルマニアを再び多量にドーブされた環状領域に取り囲まれ、次に SiO_2 からなる近似クラッド領域が設けられた、ゲルマニアを多量にドーブされた中心領域からなる、ゲルマニアをドーブされたコアを Al_2O_3 セラミック製マンドレル上に OVD 法を用いてスートとして堆積させた。クラッド領域の半径に対するコア領域の比は 0.4 であった。次にマンドレルを取り除き、コアスートプリフォームに頂栓と底栓とを挿入した、次にこのコアガラスコアプリフォームを、先ずヘリウムキャリアガス中の 1% の塩素に 1000 で 2 時間さらして清浄化し、次に 1460 で焼成することによって固結させた。この固結工程の結果、60 mm の外径と、約 6 mm の内径を備えた中心線に沿う孔とを有する清浄化され、かつ乾燥されたガラスプリフォームが得られた。頂栓と底栓とは、この固結されたガラスプリフォームの頂部と底部を密封する結果となった。次に固結されたガラスプリフォームを 1900 の炉内に挿入して中空のコ

10

20

30

40

50

アケインに延伸し、プリフォームの外径を約 10 mm に減縮した。その結果、中心孔の内径は 1 mm になった。プリフォームからコアケインを延伸するにつれて、中空のコアケインの長さは 1 メートルになり、次に、火炎を用いて焼切りと端部密封とを行ない、これにより、コアケインの中心孔を密封し、中心孔に沿う領域を密封状態に保った。

【0066】

コアケインの一端にハンドルを取り付け、コアケイン上に追加のスートを堆積させて、光ファイバに線引きするのに適した光ファイバプリフォームを形成した。次にこの得られたスート体を清浄化し、かつ上述のように固結させて、ガラス光ファイバプリフォームの中心線に沿って延びる内径 1 mm の孔を備えた外径約 5.6 mm のガラス光ファイバプリフォームを得た。中心孔は依然としてその両端において密封されていた。次にこのガラス光ファイバプリフォームに一体ハンドル 52 を取り付け、線引き炉の頂部に挿入した。次に内側ハンドル 76 を下降させて、光ファイバプリフォームの一体ハンドル 52 に嵌着した。100% のヘリウムガスからなる清浄かつ乾燥した雰囲気を提供した後、コアケインの頂部を破断して開放し、光ファイバプリフォームを炉内に下降させて、そこからファイバを線引きした。たとえ中心孔内の圧力が大気圧に保たれていたとしても、プリフォームの頂部の破断によって、中心孔内からのガスの脱出が許容された。プリフォームの外径が約 1 ないし 2 mm まで減縮されている間に、内部の中心孔は極めて対称的に完全に閉塞された。かくして、光ファイバプリフォームにおける 10% 未満の縮径によって中心孔を閉塞することができた。得られて光ファイバは、1550 nm において 1 キロメートル当り約 0.19 dB の減衰損失を示し、かつ長さ 1 km のファイバのサンプルの PMD を、ヒューレット・パッカード社製の測定ベンチで測定したところ、約 0.02 psec/sqrt であった。このファイバは撚りが全く施されない状態で線引きされた。このことは、線引き作業中にファイバまたはプリフォームに対して撚りが施されなかったことを意味する。

【図面の簡単な説明】

【図 1】コアケインの作成に用いられる延伸作業における真空引きによって形成された中空コア断面の中心輪郭の概略図

【図 2】光導波路ファイバの部分的斜視図

【図 3】ガラス光ファイバの部分的斜視図

【図 4】スートコアブランクを作成するための外付け気相堆積法を示す概略図

【図 5】固結炉内に配置されたスートコアブランクの縦断面図

【図 6】ガラスコアケインに延伸されたスートコアブランクの縦断面図

【図 7】ガラスコアブランクから切断されたコアケインの縦断面図

【図 8】固結・線引き炉内に配置された、追加スートで覆われたコアケインの縦断面図

【図 9】概略的に示された線引き機内に配置された、完全に固結されたガラス光ファイバプリフォームの縦断面図

【図 10】図 9 に示されたガラス光ファイバプリフォームの拡大部分断面図

【図 11】ガラスプリフォームの曲りタブに整列せしめられた破断用タブを備えた内側ハンドルが外側ハンドルの内部に配置された状態を示す、図 10 の XI - XI 線に沿った断面図

【図 12】内側ハンドルの破断用タブがガラスプリフォームの曲りタブに当接した状態を示す、図 11 と同一の平面に沿った断面図

【図 13】ガラスプリフォームの曲りタブが破断された状態で線引き炉内に配置されたガラスプリフォームの拡大部分断面図

【図 14】内側ハンドルが外側ハンドルから取り外された状態で線引き炉内に配置されたガラスプリフォームの拡大部分断面図

【図 15】本発明の方法の各工程を示すフローチャート

【図 16】本発明により作成された導波路ファイバの、実質的に対称的な円形輪郭を示す概略図

【図 17】本発明の光ファイバを用いた光ファイバ通信システムの概略図

【符号の説明】

10, 20 中心輪郭

10

20

30

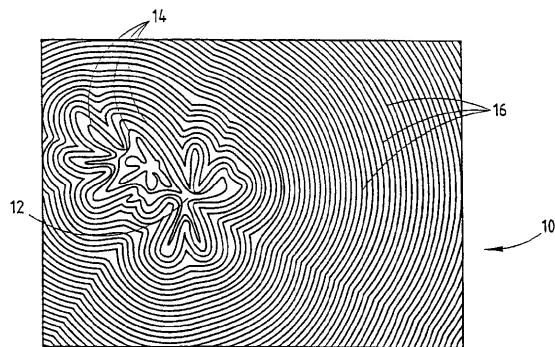
40

50

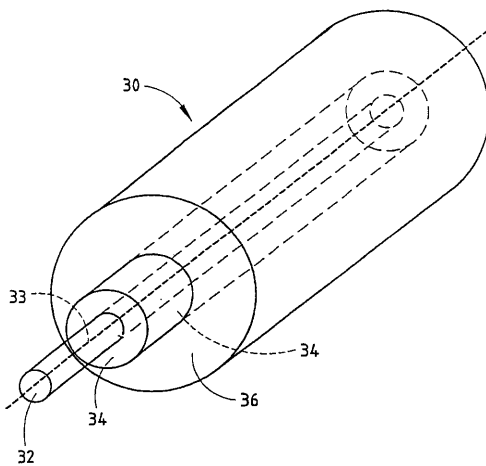
- 1 2 , 2 2 中心点
- 1 4 , 2 4 ガラス層
- 3 0 光導波路ファイバ
- 3 2 中心コア領域
- 5 2 一体ハンドル
- 5 5 ガラスコアブランク
- 5 7 コアケイン
- 5 8 スートコアブランク
- 6 0 中心孔
- 6 8 曲りタブ
- 7 0 ガラスプリフォーム
- 7 2 外側ハンドル
- 7 6 内側ハンドル
- 8 0 破断用タブ

10

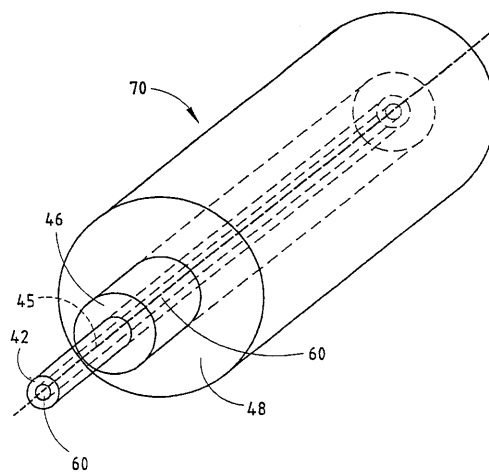
【図 1】



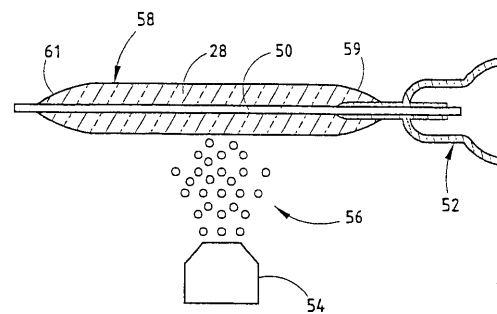
【図 2】



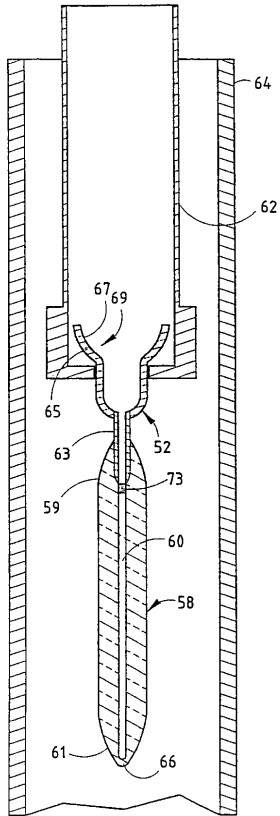
【図 3】



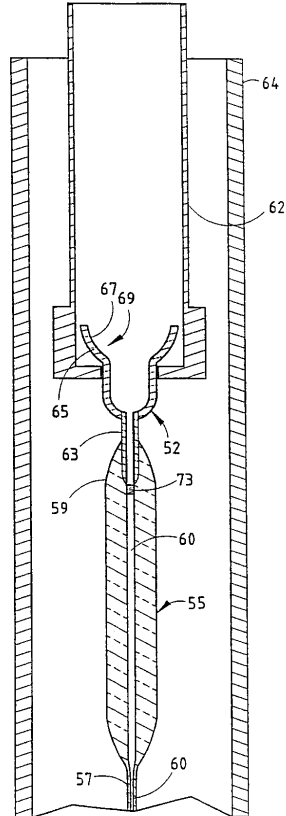
【図 4】



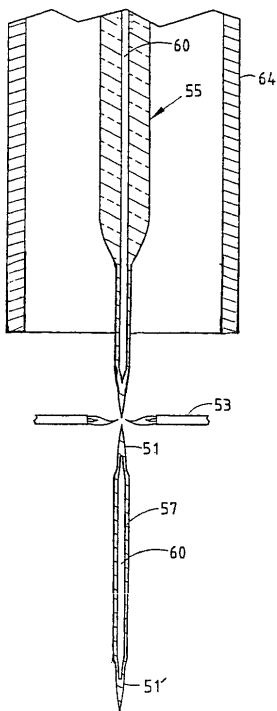
【図 5】



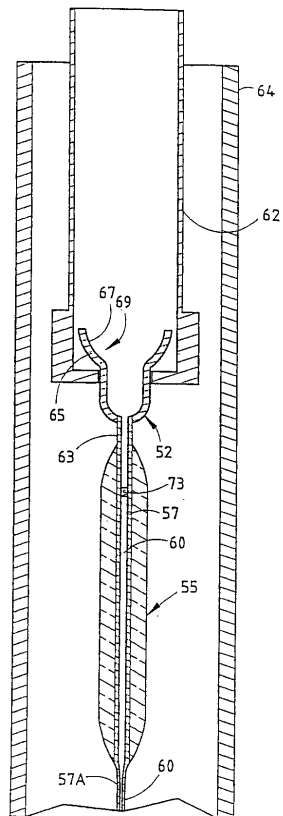
【図 6】



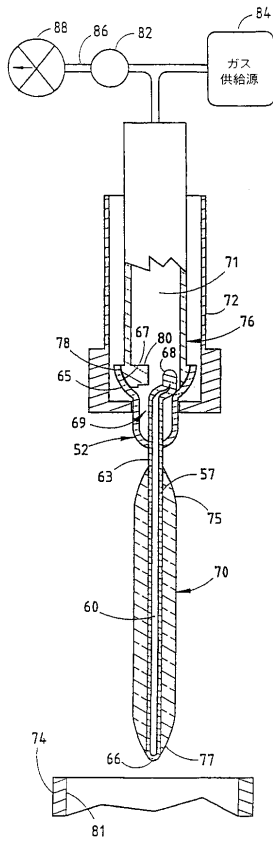
【図 7】



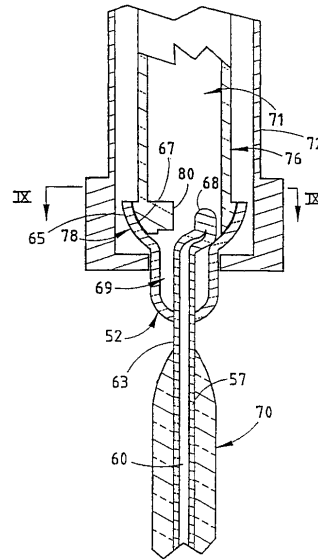
【図 8】



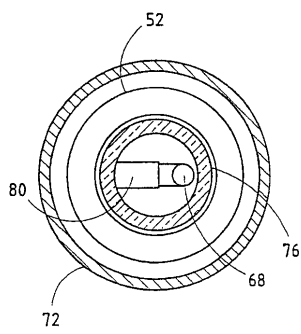
【図 9】



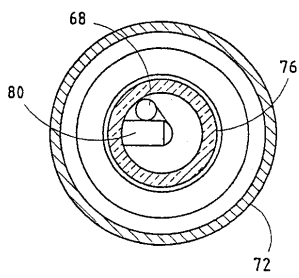
【図 10】



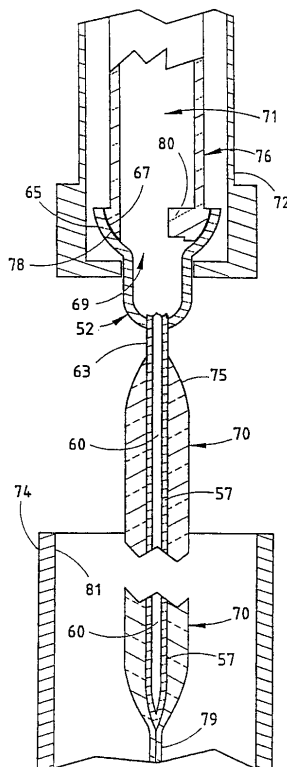
【図 11】



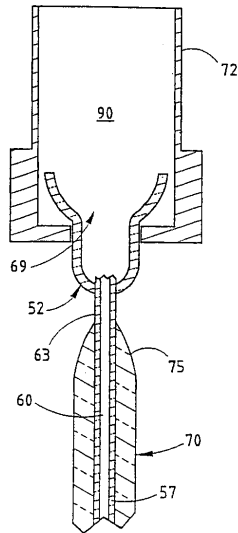
【図 12】



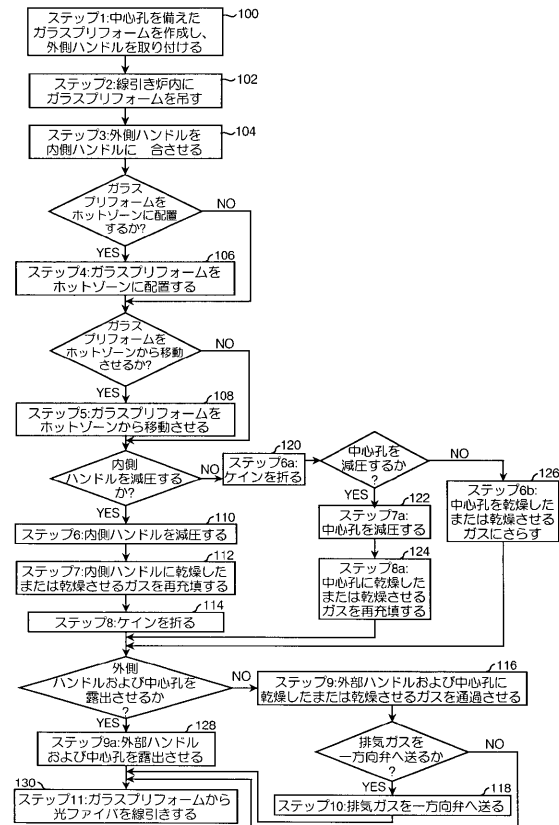
【図 13】



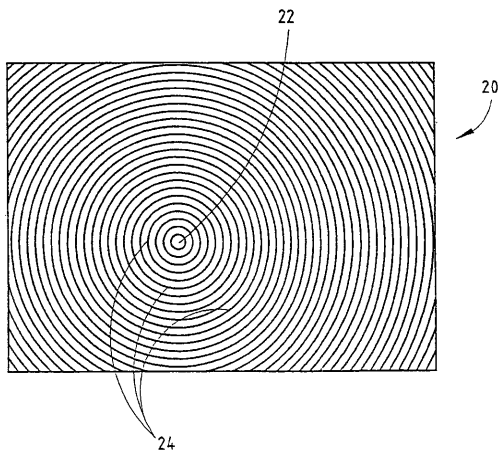
【図 14】



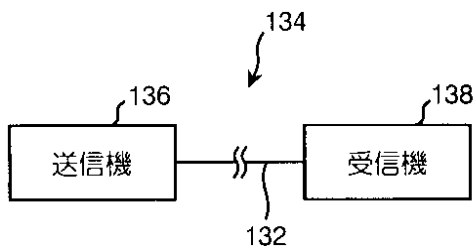
【図 15】



【図 16】



【図 17】



フロントページの続き

- (72)発明者 ブックバインダー, ダナ シー
アメリカ合衆国 ニューヨーク州 1 4 8 3 0 コーニング デイヴィス ロード 2 2 6 1
- (72)発明者 チャウデュリー, ディバクビン キュー
アメリカ合衆国 ニューヨーク州 1 4 8 3 0 コーニング エミリー ドライヴ 1 4
- (72)発明者 ホートフ, ダニエル ダブリュ
アメリカ合衆国 ニューヨーク州 1 4 8 7 0 ペインテッド ポスト ウッドセッジ ドライヴ
2 9 1 0 アpartment 1 2 8
- (72)発明者 パワーズ, デイル アール
アメリカ合衆国 ニューヨーク州 1 4 8 7 0 ペインテッド ポスト ウェストン レイン 1
1 2

審査官 増山 淳子

- (56)参考文献 特開平01-153549(JP, A)
特開平09-258054(JP, A)
特開昭54-134136(JP, A)
特開昭54-134135(JP, A)
特開昭62-003034(JP, A)
特開昭52-115238(JP, A)
特開昭60-255642(JP, A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
C03B 37/00 - 37/027