

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公表特許公報 (A)

(11) 特許出願公表番号

特表2010-526756

(P2010-526756A)

(43) 公表日 平成22年8月5日 (2010. 8. 5)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
C O 3 B 37/014 (2006. 01)	C O 3 B 37/014 Z	2 H 1 5 O
C O 3 B 37/012 (2006. 01)	C O 3 B 37/012 Z	4 G O 2 1
C O 3 B 37/018 (2006. 01)	C O 3 B 37/018 C	
C O 3 B 37/025 (2006. 01)	C O 3 B 37/025	
G O 2 B 6/00 (2006. 01)	G O 2 B 6/00 3 7 6 Z	
審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 24 頁) 最終頁に続く		

(21) 出願番号 特願2010-507469 (P2010-507469)
 (86) (22) 出願日 平成20年5月8日 (2008. 5. 8)
 (85) 翻訳文提出日 平成21年12月25日 (2009. 12. 25)
 (86) 国際出願番号 PCT/US2008/005973
 (87) 国際公開番号 W02008/140767
 (87) 国際公開日 平成20年11月20日 (2008. 11. 20)
 (31) 優先権主張番号 60/928, 165
 (32) 優先日 平成19年5月8日 (2007. 5. 8)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 397068274
 コーニング インコーポレイテッド
 アメリカ合衆国 ニューヨーク州 1 4 8
 3 1 コーニング リヴァーフロント プ
 ラザ 1
 (74) 代理人 100079119
 弁理士 藤村 元彦
 (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
 6 7 5
 (72) 発明者 デソルシエ ロバート ビー
 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
 ー ン 1 0 9

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 空洞を含む微細構造光ファイバの製造方法

(57) 【要約】

微細構造光ファイバを製造する方法を提供する。基板に対してスート堆積バーナーを 3 cm/sec よりも高速なバーナー移動速度で移動させることによって基板上にシリカガラスペースのスートを蒸着させて、光ファイバプレフォームの少なくとも一部分を形成し、複数のバーナー経路の各々に対して 20 ミクロン 未満の膜厚を有するスートの層を堆積させる。加熱炉内でスートプレフォームの少なくとも一部分を固化させて、スートプリフォーム内に閉じ込められた空気のうち 50 パーセント より大なる空気を除去し、断面で見られたときに少なくとも 50 個 の空洞を示す固化ガラスプリフォームを形成する。固化ステップは、固化ステップ中に、気体雰囲気の一部をプレフォームに閉じ込めるのに有効な条件下で、クリプトン、窒素、又はこれらの混合ガスを含む気体雰囲気において実行される。

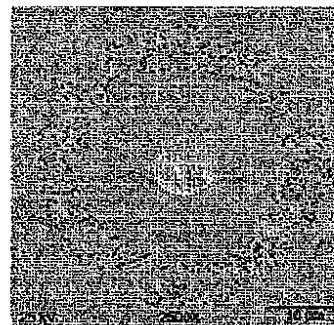


FIG. 6B

【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

基板に対してスート堆積バーナーを 3 cm / sec よりも高速なバーナー移動速度で移動させることによって前記基板上にシリカガラスベースのスートを蒸着させて、光ファイバプレフォームの少なくとも一部分を形成し、複数のバーナー経路の各々に対して 20 ミクロン 未満の膜厚を有するスートの層を堆積させるステップと、

加熱炉内で前記スートプレフォームの前記少なくとも一部分を固化させて、前記スートプリフォーム内に閉じ込められた空気のうち 50 パーセント より大なる空気を除去して、断面で見られたときに少なくとも 50 個の空洞を有する固化ガラスプリフォームを形成するステップと、を含む光ファイバを製造する方法であって、

前記固化ステップは、クリプトン、窒素、又はこれらの混合ガスを含む気体雰囲気において、前記固化ステップ中に前記気体雰囲気の一部を前記プレフォーム内に有効に閉じ込める条件下で行われることを特徴とする方法。

【請求項 2】

断面で見られたときの前記プリフォームは少なくとも 10000 個の空洞を示すことを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

前記固化ステップはヘリウムをさらに含む気体雰囲気において実行されることを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 4】

前記固化ステップはクリプトンをさらに含む気体雰囲気において実行されることを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 5】

前記堆積ステップで堆積された前記スートは、前記光ファイバプレフォームの前記クラッド領域の一部分を含むことを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 6】

前記堆積ステップにおける前記バーナーの前記移動速度は 7 cm / 秒 より大であることを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 7】

前記堆積ステップにおける前記バーナーの前記移動速度は 10 cm / 秒 より大であることを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 8】

前記堆積ステップは、複数のバーナー経路の各々に対して 15 ミクロン 未満の膜厚を有するスートの層を堆積させるステップを含むことを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 9】

前記堆積ステップは、複数のバーナー経路の各々に対して 10 ミクロン 未満の膜厚を有するスートの層を堆積させるステップを含むことを特徴とする請求項 6 に記載の方法。

【請求項 10】

前記堆積ステップは、複数のバーナー経路の各々に対して 15 ミクロン 未満の膜厚を有するスートの層を堆積させるステップを含むことを特徴とする請求項 6 に記載の方法。

【請求項 11】

前記固化ステップの後に及び前記プリフォームを光ファイバに線引きするステップに先立って、空洞を有する前記固化プリフォームをケインに線引きして、前記再線引きステップ中に空洞の直径が膨張するのに有効である条件化において、空洞を有する前記固化プリフォームの直径を 5 mm より大である外側プリフォームの直径まで低減するステップをさらに含む請求項 1 に記載の方法。

【請求項 12】

前記プリフォームをケインに線引きする前記ステップは、約 1650 から 1775 までの間の温度に前記プリフォームを暴露させつつ、 5 cm / 分 より大の速度で前記プリフォームを線引きするステップを含むことを特徴とする請求項 11 に記載の方法。

10

20

30

40

50

【請求項 13】

前記プリフォームをケインに線引きする前記ステップは、約 1650 から 1775 までの間の温度に前記プリフォームを暴露させつつ、7 cm / 分より大の速度で前記プリフォームを線引きするステップを含むことを特徴とする請求項 11 に記載の方法。

【請求項 14】

前記ファイバを 250 グラムより大の線引き張力で線引きするステップをさらに含む請求項 1 に記載の方法。

【請求項 15】

前記ファイバを 250 グラムと 300 グラムとの間の線引き張力で線引きするステップをさらに含む請求項 11 に記載の方法。

【請求項 16】

前記ファイバを 250 グラムと 300 グラムとの間の線引き張力で線引きするステップをさらに含む請求項 1 に記載の方法。

【発明の詳細な説明】**【関連出願のクロスリファレンス】****【0001】**

本出願は、2007 年 5 月 8 日出願の米国特許仮出願第 60 / 928, 165 号の利益及び優先権を主張する。その内容の全体は参照として本明細書に裏付けとして組み込まれている。

【技術分野】**【0002】**

本発明は、光ファイバに関し、特に、微細構造光ファイバ及び微細構造光ファイバの製造方法に関する。

【背景技術】**【0003】**

ガラス物質から形成された光ファイバは、20 年間以上、商業的に利用されている。かかる光ファイバは電気通信の分野において、大躍進してきたものの、代替の光ファイバに関する研究が継続している。1 つの有望な形態の代替光ファイバとして、微細構造光ファイバがある。その微細構造光ファイバは、ファイバ軸の長手方向に沿って拡散する空孔又は空洞を含む。空孔は、一般に空気又は不活性ガスを含むものの、他の物質をも含み得る。微細構造ファイバの大部分が、コアの周囲に分布する複数の空孔を有し、空孔はファイバの長手方向に沿って比較的長い距離（例えば、数 10 メートル又はそれ以上）に分布し、通常、空孔は光ファイバの全長にわたって拡がっている。多くの場合、これらクラッドの空孔は光ファイバのコアの周囲において、規則的且つ周期的に配置される。言い換えれば、光ファイバの断面を光ファイバの長軸に沿って切り取る場合、同一の空孔が、互いに同一の周期的な空孔構造において見出され得る。かかる微細構造ファイバの例が、米国特許第 6, 243, 522 号に記載されている。

【0004】

微細構造光ファイバは、種々の特性を有するよう設計され、種々の用途に使用され得る。例えば、固体ガラスのコアと、コアの周囲のクラッド領域に配置された複数の空孔と、を有する微細構造光ファイバが、すでに形成されている。負の大なる分散値から正の大なる分散値に至る分散を有する微細構造光ファイバを製造するべく、空孔の位置及びサイズが設計され得る。かかるファイバは、例えば、分散補償の観点において、有益であり得る。また、固体コア微細構造光ファイバは、広範囲の波長にわたって単一モード化されるように設計され得る。たいていの固体コア微細構造光ファイバは、全内面反射機構によって光を導波する。空孔の屈折率が低いので、空孔が分布するクラッド領域の有効屈折率が低下する。

【0005】

微細構造光ファイバはいわゆる「スタック・アンド・ドロー」方法によって通常製造される。かかる「スタック・アンド・ドロー」方法において、一連のシリカロッド及び / 又

10

20

30

40

50

はチューブが最密配置で束にされて、プレフォームが形成される。かかるプレフォームは、従来のタワー型設備を用いてファイバとして線引きされ得る。スタック・アンド・ドロ方法には様々の不利な点がある。(ロッド又はチューブによって画定された)何百もの極薄のケインを集合することが困難であり、そして、円筒型ケインを束にし、且つ線引きする際に間質性の空洞が存在する可能性があるので、可溶性の粒子状不純物、不必要な界面が導入され、初期の空孔を變形し若しくは形態を変えることによって、ファイバの減衰が劇的に影響され得る。その上、生産性が比較的 low 且つ高コストであるので、この方法は工業製品には全く適していない。

【発明の概要】

【0006】

本発明の一つの態様は、光ファイバを製造する方法に関する。かかる方法は、基板に対してスート堆積バーナーを 3 cm/sec よりも高速なバーナー移動速度で移動させることによって前記基板上にシリカガラスベースのスートを蒸着させて、光ファイバプレフォームの少なくとも一部分を形成し、複数のバーナー経路の各々に対して $20\text{ }\mu\text{m}$ 未満の膜厚を有するスートの層を堆積させるステップと、加熱炉内で前記スートプレフォームの前記少なくとも一部分を固化させて、前記スートプリフォーム内に閉じ込められた空気のうち $50\text{ }\%$ より大なる空気を除去し、断面で見られたときに少なくとも 50 個の空洞を示す固化ガラスプリフォームを形成するステップと、を含み、前記固化ステップは、前記固化ステップ中に、前記気体雰囲気の一部を前記プレフォームに閉じ込めるのに有効な条件下で、クリプトン、窒素、又はこれらの混合ガスを含む気体雰囲気において実行される。1実施例においては、窒素及び任意でヘリウムが気体雰囲気として利用される。別の実施例では、クリプトン及び任意でヘリウムが気体雰囲気として利用される。あるいは、気体雰囲気は、窒素と、クリプトンと、任意でヘリウムとの混合ガスを含み得る。

【0007】

スートプリフォームは、固化ステップ中に前記気体雰囲気の一部を前記プレフォームに閉じ込めるのに有効な条件下で、プリフォームを包囲する気体雰囲気にて固化されて、その結果、固化ガラスプレフォーム中に非周期的に分布する空孔又は空洞が形成される。各空孔は固化ガラスプリフォームの内において少なくとも一つの封止固化ガスの領域に対応する。望ましくは、前記堆積ステップ中の前記バーナーの前記移動速度は 7 cm/sec より大であり、より望ましくは 5 cm/sec より大であり、さらに望ましくは 7 cm/sec より大であり、さらに望ましくは 10 cm/sec より大である。堆積ステップは、複数のバーナーの経路の各々に対して、ゼロより大であり、より望ましくは $1\text{ }\mu\text{m}$ より大の膜厚であり、 $20\text{ }\mu\text{m}$ 未満であり、より望ましくは $15\text{ }\mu\text{m}$ 未満であり、最も望ましくは $15\text{ }\mu\text{m}$ 未満の膜厚を有するスート層を堆積させるステップを含む。望ましくは、固化成型ステップの次に及びプリフォームを光ファイバに線引きする前に、空洞を有する固化プリフォームをケインに線引きして、前記再線引きステップ中に前記空洞の直径が拡大するのに有効である条件化において、空洞を有する固化プリフォームの直径が外側プリフォーム直径まで低減される。かかる直径は、より望ましくは 0.75 mm 未満であり、より望ましくは 0.66 mm 未満であり、 5 mm より大である。

【0008】

空洞を有する固化プリフォームは、光ファイバを製造するのに使用される。固化成型ステップ中に光ファイバプレフォーム内に形成された空孔の少なくともいくつかは、線引きされた光ファイバ内に残存する。空孔含有領域が光ファイバのクラッドに対応するように設計することによって、これら得られた光ファイバは、第1屈折率を有するコア領域と、コアの屈折率よりも低い第2屈折率を有するクラッド領域と、を含むように製造され得る。かかる低屈折率は、クラッド内の空孔の存在に少なくとも部分的に帰属する。あるいは、又は、本明細書に開示されたさらなる方法は、クラッド内に空孔含有領域を与えるよう使用され、光ファイバの曲げ性能が向上される。例えば、本明細書に開示されファイバ設計及び方法を使用して、 10 mm マンドレルの周囲に曲げられたときに、 1550 nm にお

10

20

30

40

50

いて、20 dB / turn 未満であり、さらにより望ましくは15 dB / turn 未満であり、さらにより望ましくは10 dB / turn 未満である減衰の増加を示す光ファイバを製造することが可能である。同様に、本明細書に開示されファイバ設計及び方法を使用して、20 mmマンドレルの周囲に曲げられたときに、1550 nmにおいて、3 dB / turn 未満であり、望ましくは1 dB / turn 未満であり、さらにより望ましくは15 dB / turn 未満であり、より望ましくは0.5 dB / turn 未満であり、最も望ましくは0.25 dB / turn 未満である減衰の増加を示す光ファイバを製造することが可能である。本明細書に記載された方法及びファイバ設計は、1550 nmにおいてシングルモードのファイバとマルチモードのファイバの双方を製造するのに有益である。

【0009】

望ましくは、空洞はファイバのクラッド領域内に実質的に位置付けられ、より望ましくはクラッド領域内の全領域において位置付けられ、空洞は空洞含有領域内のコアを包囲し、且つ、空洞は望ましくはコア領域には実質的には存在しない。いくつかの好ましい実施例では、空洞は、光ファイバのコアから離間されている空洞含有領域内に位置する。例えば、（例えば、40ミクロン未満の半径幅、より望ましくは30ミクロン未満の半径幅を有する）空洞含有領域の比較的薄いリングは、光ファイバのコアから離間され得るものの、光ファイバの外側周辺部には完全に延在していない。空洞含有領域をコアと離間することによって、1550 nmにおける光ファイバの減衰が低減される。薄いリングを使用することによって、1550 nmでシングルモード化される光ファイバの製造が容易にされる。光ファイバは酸化ゲルマニウム又はフッ素を含み、光ファイバのコア及び／又はクラッドの屈折率が調整され得るものの、これらドーパントの使用は回避され得るし、代わりに、空洞のみにより、クラッドの屈折率に対してコアの屈折率がさらに調整され、光が光ファイバのコアで導波される。本明細書に開示された固化技術を使用して、断面が非周期的な空孔分布を示す光ファイバが形成され得る。非周期的分布とは、光ファイバの断面を光ファイバの長軸に沿って切り取る場合、空洞は、光ファイバの一部分においてランダムに若しくは非周期的に分布することを意味する。ファイバの長さに沿って異なるポイントで切り取られた断面は、異なる空孔断面パターンを示すだろう。すなわち、様々な断面が、わずかに異なるランダムに配置された空孔パターン、分布、及びサイズを有するであろう。これらの空孔は光ファイバの長さに沿って（すなわち、長手軸に平行に）伸び（延長し）るものの。光ファイバの全長に延在しない。理論によって縛られるのを望むのではないが、空孔はファイバの長さ方向に沿って数メートル未満の長さにおいて延在し、大抵の場合、1メートル未満の長さにおいて延在すると信じられている。

【0010】

本明細書に開示された空洞生成固化技術を使用して、クラッド領域を有する光ファイバを製造することが可能である。かかるクラッド領域は、0.01パーセントより大の全ファイバ空洞面積パーセント（すなわち、空洞の全断面積を光ファイバの全断面積で割ったものに100を掛けたもの）、より好ましくは0.025パーセントより大の全ファイバ空洞面積パーセント、さらに好ましくは0.05パーセントより大の全ファイバ空洞面積パーセント、さらに好ましくは0.1パーセントより大の全ファイバ空洞面積パーセント、さらに好ましくは0.5パーセントより大の全ファイバ空洞面積パーセントを示す。約1より大の全空洞面積パーセントを有するファイバが製造され、実際、約5より大の又は10パーセントより大の全空洞面積パーセントを有するファイバが製造されている。しかしながら、ファイバ設計に依存して、1未満であり、さらには0.7未満である全空洞面積パーセントによって、曲げ性能が大いに改善され得ることが信じられている。いくつかの好ましい実施例では、全空洞面積パーセントは20パーセント未満であり、より好ましくは15パーセント未満であり、さらに好ましくは10パーセント未満であり、最も望ましくは5パーセント未満である。他の好ましい実施形態において、光ファイバにおける全空洞面積パーセントは0.7パーセント未満であり且つ0.01パーセントより大である。かかる空洞含有クラッド領域はコアに対する屈折率を低減し、クラッドを形成するのに使用され得る。そのクラッド領域は光ファイバのコアに沿って光を導波する。以下で説明

10

20

30

40

50

するように、適切なスート固化条件を選択することによって、様々な有用光ファイバ設計が達成され得る。例えば、クラッド内の空洞の最大サイズを伝送され得る光の波長（例えば、いくつかの電気通信システムに対しては1550nm未満）よりも小さくなるように、好ましくはファイバに沿って伝送され得る光の波長の2分の1よりも小さくなるように選択することによって、高価なドーパントを使用することなく、低減衰ファイバが達成され得る。その結果、様々なアプリケーションに対して、望ましくは、空孔は、ファイバ内の空孔の少なくとも95%以上、好ましくはファイバ内の空孔のすべては光ファイバのクラッド内で最大の空孔サイズを示すように形成される。かかる最大の空孔サイズは、好ましくは20nmより大であり且つ1550nm未満であり、より望ましくは775nm未満であり、最も望ましくは約390nm未満である。同様に、ファイバ内の空孔の最大直径は10nmより大であり、より好ましくは20nmより大であり、そして、より好ましくは7000nm未満であり、より好ましくは2000nm未満であり、より好ましくは1550nm未満であり、最も望ましくは775nm未満である。それら平均直径が本明細書に開示された方法を使用することで達成可能である。本明細書に開示された方法を使用して製造されたファイバによって、1000nmの標準偏差内にある平均直径、より望ましくは750nmの標準偏差内にある平均直径、最も望ましくは500nmの標準偏差内にある平均直径が達成される。いくつかの実施形態では、本明細書に開示されたファイバは、5000個未満の空孔を有し、いくつかの実施形態では1000個未満の空孔を有し、他の実施形態では空孔の総数は所定の光ファイバ垂直断面において500個未満である。もちろん、最も好ましいファイバは、これらの特性が組合された特性を示すだろう。したがって、例えば、光ファイバの1つの特定の好ましい実施形態は、光ファイバ内に200個未満の空孔を示し、その空孔は、1550nm未満の最大直径及び775nm未満の平均直径を有するであろう。しかしながら、より大きく且つより多数の空孔を使用することによって有用で且つ曲げ抵抗光ファイバが達成され得る。穴部の空孔の数、平均直径、最大直径、及び全空洞面積パーセントについてすべて計算されることができる。かかる計算は、約800倍の走査電子顕微鏡、及び米国メリーランド州のシルバースプリングのMedia Cybernetics社より利用可能なImage Pro等の画像分析ソフトを用いて行われた。他の好ましい実施形態において、より高い平均数密度の達成を容易にするために、環状空孔含有領域は、ファイバが断面で見られたときに100より多数の空孔を含み、より望ましくはファイバが断面で見られたときに200より多数の空孔を含み、さらに望ましくはファイバが断面で見られたときに400より多数の空孔を含み、最も望ましくはファイバが断面で見られたときに600より多数の空孔を含む。実際、本明細書に開示された技術は、10ミクロン未満の幅を有する環状リングに対して、より好ましくは7ミクロン未満の幅を有する環状リングに対して、光ファイバの環状リングにおいて1000個より多数の空孔、さらには2000個より多数の空孔を生じせしめるのに十分である。他の好ましい実施形態において、本明細書に開示された微細構造光ファイバは、長手方向の中心線に関して配置されたコア領域と、コア領域を囲むクラッド領域と、を含む。クラッド領域は、非周期的に配置された空孔から成る環状の空孔含有領域を含む。環状の空孔含有領域は2ミクロン～12ミクロンの最大半径幅と2パーセント～12パーセントの局部的空洞面積パーセントを有する。非周期的に配置された空孔の平均直径は、500nm未満であり、好ましくは300nm未満であり、より好ましくは200nm未満であり、且つ5nmより大である。

【0011】

本発明の別の態様は、上述した処理を使用して製造され得る微細構造光ファイバに関する。かかる微細構造光ファイバは、第1屈折率を有するコア領域と、非周期分布空洞の存在に少なくとも部分的に帰属してコアの屈折率より低い第2屈折率を有するクラッド領域と、を含む。したがって、ファイバを介して伝送される光は概ねコア領域内に閉じ込められる。その空孔は、1550nmの最大直径若しくはそれ未満の最大直径を有し、得られた光ファイバは、600nmと1550nmとの間の少なくとも一つの波長において（最も好ましくは1550nmにおいて）、1550nmにおいて500dB/km未満の減

10

20

30

40

50

衰、より好ましくは200 dB/km未満の減衰を示す。「減衰」とは、本明細書に使用されているように、「マルチモード減衰」または「シングルモード減衰」として特に指定されない場合において、光ファイバが1550 nmにおいてマルチモード化されている場合には光ファイバのマルチモード減衰を意味し、光ファイバが1550 nmにおいてシングルモード化されている場合には光ファイバのマルチモード減衰を意味する。本明細書に開示された空洞生成固化技術を使用して、クラッド領域を有する光ファイバを製造することが可能である。クラッド領域は、0.5パーセントより大の局所的空洞面積パーセントを示し、より好ましくは1パーセントより大の局所的空洞面積パーセントを示し、さらに好ましくは5パーセントより大の局所的空洞面積パーセントを示し、最も望ましくは10パーセントより大の局所的空洞面積パーセントを示す。特に、かかる空洞含有クラッド領域を光ファイバのコアの10ミクロンの距離内に形成することが可能である。本明細書に開示された技術を使用して屈折率を調整するドーパントの使用が回避されるものの、ゲルマニウム若しくはフッ素又は屈折率調整する同様のドーパントのうち少なくとも1つが、光ファイバのクラッド領域内に位置する非周期的に分布する空洞と共に使用される。しかしながら、酸化ゲルマニウム及び/又はフッ素の使用は重要でなく、例えば、ファイバは、望まれる場合には、酸化ゲルマニウムとフッ素の両方が完全に存在しないか又は実質的に存在しないであろう。本明細書に使用されるように、非周期的に分布するとは、空洞又は空孔が非周期的であることを意味する、すなわち、空洞又は空孔がファイバ構造内で周期的に配置されていないことを意味する。本発明の方法は、他の個々の空洞に対して個々の空洞の各々を周期的に配置することはできないものの、他のいくつかのタイプの微細構造ファイバの場合のように、本明細書に開示された方法によって、相対的に多量の又は少量の空洞が光ファイバの径方向分布内の様々な位置において配置され得る。例えば、本明細書に開示された方法を使用することによって、空洞のより高い局所的空洞面積パーセントを有するある領域が、ファイバ内（例えば、ファイバのコア内又は光ファイバの外側のクラッド領域内）の他の領域と比べて、光ファイバのコアに隣接して、設けられえ。同様に、空洞含有領域内の平均空孔サイズと空孔サイズ分布は、ファイバの半径方向及び軸方向（すなわち、長さ方向）の両方向において制御され得る。その結果、空孔の均一な非周期的配列はファイバ内のある領域に位置付けられ得るし、この領域の相対的な空洞面積パーセントと平均空孔サイズはファイバの長さに沿って一定に維持される。ファイバは特定の直径には限定されないものの、ファイバの外側直径は、好ましくは775ミクロン未満であり、より好ましくは375ミクロン未満であり、最も好ましくは200ミクロン未満である。

【0012】

かかるファイバは、電気通信ネットワーク（通常、850 nmのウィンドウ、1310 nmのウィンドウ、及び1550 nmのウィンドウ）において使用され得る。かかる電気通信ネットワークは、長距離センター、地下鉄センター、アクセスセンター、構内センター、及びデータセンター、並びに、データ通信アプリケーション、構内制御エリアネットワーク、モバイル（自動車、バス、電車、飛行機）アプリケーション（通常、600 nmから1000 nmの範囲）を含む。係る電気通信ネットワークは、通常、光学的に光ファイバに接続された送信機と受信機を含む。その結果、種々のアプリケーションに対して、光ファイバのクラッド内の最大空孔サイズが1550 nm未満であり、より好ましくは775 nm未満であり、最も好ましくは390 nm未満となるように空孔が形成されることが好ましい。

【0013】

かかるファイバは、医学、照明、リソグラフィー及び工業的アプリケーションに対するUVからIRライトパイプ（light-pipe）として使用され得る。一つの好ましいファイバのクラッドは、クラッド内において非周期的に分布された複数の空洞領域を含み、かかる空洞領域は好ましくはコアから10ミクロンの半径距離内に設けられる。かかる空洞は、半径方向（長手ファイバ軸に垂直な断面）で測定された場合、1500 nmの若しくはそれ未満の最大直径を有し、より好ましくは775 nmの若しくはそれ未満の最

大直径を有する。別の好ましいファイバのクラッドは、クラッド内に非周期的に分布した複数の空洞領域を含み、かかる空洞領域は、コアから離間され且つコアから20ミクロンの半径距離内に存在する。かかる空洞は、半径方向で測定された場合、1500nmの若しくはそれ未満の最大直径を有し、より好ましくは775nmの若しくはそれ未満の最大直径を有し、最も好ましくは390nmの若しくはそれ未満の最大直径を有する。さらに別の好ましいファイバのクラッドは、クラッド内に非周期的に分布した複数の空洞領域を含み、かかる空洞領域は、コアの外側端部から40ミクロンの半径距離内に存在する。かかる空洞は、半径方向で測定された場合、1500nmの若しくはそれ未満の最大直径を有し、より好ましくは775nmの若しくはそれ未満の最大直径を有し、最も好ましくは390nmの若しくはそれ未満の最大直径を有する。本明細書に開示された光ファイバによって、様々な従来の光ファイバに比べて多くの利点を得られる。例えば、本明細書に開示されたファイバは、優れたモードフィールド直径を示しつつ、従来のファイバに比べて優れた曲げ抵抗を示し得る。優れたとは、本明細書に開示された方法を使用して、1550nmにて10ミクロンより大のモードフィールド直径を示し、より好ましくは11ミクロンのモードフィールド直径を示しつつ、1550nmにてシングルモード化され、1550nmにて20mm直径の曲げに対して0.5dB/turn未満の減衰増大を示し得るファイバを製造することができることを意味する。かかる優れた曲げ性能により、これらファイバは、ファイバ・ツウ・ザ・ホームアプリケーション、アクセスファイバアプリケーション、ファイバ・イン・ザ・ホームアプリケーション、およびファイバージャンプ（これらは、通常、各エンドが光システム若しくは光デバイスに接続されたコネクタを有する短いセクションのファイバ（1-20メートル）である。）に対して魅力的な候補となる。例えば、本明細書に開示されたファイバは、光ファイバに光学的に接続された送信機及び受信機を含む光ファイバ情報通信システムで使用され得る。好ましくは、かかるアプリケーションにおいて（すなわち、ファイバが伝送ファイバとして情報通信システム内で機能するとき）、ファイバにはエルビウム等の能動素子が全くない。

10

20

30

40

50

【0014】

本発明のさらなる特徴及び利点が、これに続く発明の詳細な説明に記載されているであろう。かかる特徴及び利点部分的には、その詳細な説明から当業者には部分的に容易に理解されるであろうし、詳細な説明、特許請求の範囲、及び添付された図面を含む本明細書に記載された発明を実施することによって認識されるであろう。

【0015】

上記の一般的な記載ならびに以下の詳細な説明は、本発明の実施例を示しており、特許請求の範囲に記載された本発明の本質及び特質を理解するための概観及び枠組みを提示することを意図としている。添付した図面は、本発明をさらに理解するために与えられており、本明細書に組み入れられ且つ本明細書の一部を構成している。図面は本発明の様々な実施例を例示しており、明細書とともに、本発明の原理と機能を説明するのに役立つであろう。

【図面の簡単な説明】

【0016】

【図1】図1は、スートプリフォームを形成するOVD方法を示す図である。

【図2】図2は、本発明に係る固化処理に関する断面図である。

【図3】図3は、コアケインを形成する再線引き処理を示す図である。

【図4】図4は、コアケイン上に堆積されたスートの固化を示す図である。

【図5】図5は、図4に示された固化ステップから得られた完全に固化されたプリフォームを示す図である。

【図6A】図6Aは、本発明の一実施例に係る製造されたファイバの顕微鏡写真を示す図である。

【図6B】図6Bは、本発明の一実施例に係る製造されたファイバの顕微鏡写真を示す図である。

【図7】図7は、本発明の様々な方法を用いて利用され得るロッドインチューブ製造処理

を示す図である。

【図 8】図 8 は、本発明の様々な方法を用いて利用され得るロッドインチューブ製造処理を示す図である。

【図 9】図 9 は、本発明の方法において使用され得る線引き処理及び装置を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0017】

本発明の方法は、プレフォーム固化条件を利用しており、かかる固化条件は、かなりの量のガスを固化ガラスの空所箇所に閉じ込めるのに有効であるので、固化ガラス光ファイバプレフォーム内に空胴が形成される。これらの空胴を除去するステップを処理するよりもむしろ、得られたプリフォームは空胴を有する光ファイバを形成するのに使用される。

【0018】

外部気相成長 (OVD: outside vapor deposition) 処理過程又は気相軸成長 (VAD: vapor axial deposition) 処理過程等の従来のスート蒸着処理過程によって伝送光ファイバを製造中に、シリカ及びドーパされたシリカ粒子は、火炎中において熱によって生じせしめられ、スートとして堆積される。OVD の場合では、シリカスートプリフォームは、スートを多く含む火炎を円筒形の対象物に沿って移動させて粒子を円筒形の対象ロッドの外側に堆積させることによって、層状に形成される。係る多孔性のスートプリフォームは、次に乾燥剤 (例えば、クロリン) を用いて処理されて、水分及び金属不純物が除去され、そして、1100 から 1500

までの範囲の温度において空洞のないガラスの空所箇所に対して、固化加熱炉内で固化され又は焼結される。表面エネルギーによる粘性流焼結は焼結に関して優位な機構であり、それによりスートの細孔が高密度化され且つ閉じ込められ、その結果、固化ガラスプリフォームが形成される。焼結ステップの最終段階の間において、開いた細孔が閉じられると、固化成型に使用されるガスが閉じ込められる。ガラス内に閉じ込められたガスの溶解度と透過度が焼結温度において高い場合、固結処理過程中、ガスはガラス中に入り込み且つガラスから出ることが可能となる。あるいは、ファイバ製造処理過程の固化成型段階後においても閉じ込められたガスは、ガスがガラスプリフォームから抜け出るまで、しばらくの間、ファイバプレフォームに留まり、除去されて、その結果、1つ以上の空胴がプレフォーム内において真空の状態にされる。光ファイバがプリフォームから線引きされる線引き操作中において、これらの空胴は閉じて、無空胴の光ファイバ又は本質的には無空胴の光ファイバが得られる。従来の伝送光ファイバを製造するのに使用される固化成型処理過程においては、光ファイバのコア領域とクラッド領域の両方の内部において空洞が全くない光ファイバを得ることが、目標である。ヘリウムは、従来の光ファイバプレフォームの固化成形中において雰囲気としてしばしば利用されたガスである。ヘリウムはガラス内では非常に浸透性が高く、固結処理過程の間においてスートプリフォーム及びガラスからきわめて容易に抜け出るので、ヘリウム中で固化した後、ガラスは細孔又は空胴がない。

【0019】

本発明は、プレフォーム固化条件を利用している。かかるプレフォーム固化条件は、かなりの量のガスを固化ガラスの空所箇所に閉じ込めるのに有効であるので、その結果、固化ガラス光ファイバプレフォーム中に非周期的に分布する空胴が形成される。これらの空胴を除去するステップを処理するよりもむしろ、得られたプリフォームは空胴を有する光ファイバを形成するのに意図的に使用されている。特に、比較的浸透度が低いガス及び/又は比較的速い焼結速度を利用することによって、固化成型処理中に、空孔が固化ガラスに閉じ込められ得る。本明細書にて使用される焼結ガラス又は固化ガラスという用語は、OVD 若しくは VAD 等の化学気相蒸着スート堆積処理過程後のスート固化成型ステップを経由したガラスを意味する。スート固化成型ステップ中に、スートは、高温に曝される高密度化処理過程を経由し、その結果、開いた気孔 (すなわち、高密度化ガラスによって包囲されていないスート間にある空洞又は気孔) が除去され、完全に高密度化されたガラスが残る。尚、本発明において、いくつかの閉じた気孔 (すなわち、高密度化ガラスによ

って包囲された空洞又は気孔)が明瞭に残存する。かかるスート固化成型ステップは、望ましくは、スート固化成型加熱炉内において行われる。焼結温度を増大させることによって及び/又は固化加熱炉の焼結域を介してスートプリフォームの供給速度を増大させることによって、焼結速度は増大され得る。特定の焼結条件下においては、閉じ込められたガスの領域部分によってプリフォームの総面積又は総体積のかなりの部分が占有されたガラスを得ることができる。

【0020】

図1は、本発明に従って使用され得るスート光ファイバプレフォーム20を製造する方法を示している。図1に示す実施形態では、スートプリフォーム2は、回転し且つ移動するマンドレル又はバイトロッド24の外部にシリカ含有スート22を堆積させることによって、形成される。この処理過程は、OVD、すなわち外部気相成長として知られている。望ましくは、マンドレル24は先細りしている。スート22は、ガス形態のガラス前駆体28をバーナー26の炎30に供給してそれを酸化させることによって形成される。メタン(CH₄)等の燃料32と酸素等の燃焼助燃ガス34が、バーナー26に供給されて、発火されて、火炎30が形成される。Vとラベルされた質量流量制御装置は、適切なドーパント化合物36, シリカガラス先駆28, 燃料32, 及び燃焼助燃ガス34の適切量を計量する。望ましくは、全てがガスの形態でバーナー26に供給される。ガラス形成化合物28, 36は、炎30の中で酸化され、実質的に円柱形状のスート領域23が形成される。特に、必要に応じて、ドーパント化合物36が含まれ得る。例えば、ゲルマニウム化合物が、屈折率増大ドーパントとして(例えば、ファイバのコア内に)含まれ得るし、または、ふっ素含有化合物が、(例えば、ファイバのクラッド領域及び/又は空洞含有領域内における)屈折率を下げるために含まれてもよい。

【0021】

いくつかの望ましい実施例では、堆積されるスートがファイバ内の空洞含有領域若しくは無空洞含有領域を形成することを目的としているのか否かに依存して、スート堆積処理過程は異なり得る。出願人は、空洞が、各レイダウン経路のインタフェースにおいて、すなわち、スート層の間において形成する傾向があると割り出している。その結果、得られた光ファイバ中の空洞のサイズは低減され得るし、各経路のスート層の膜厚が低減される場合、それらはより良好に封ぜられる(異なるペアのスート層の間に位置している空洞間の距離をより低減する)。その結果、スート堆積バーナーによって堆積されるスートの各経路に対して、スート層の膜厚は、好ましくは20ミクロン未満であり、より好ましくは15ミクロン未満であり、最も好ましくは10ミクロン未満の膜厚である。これは、高速移動バーナーを使用することによって、達成され得る。例えば、バーナーの移動速度は、2cm/秒より大である、より望ましくは3cm/秒より大である、最も望ましくは4cm/秒より大である。しかしながら、光ファイバの無空洞含有領域を形成するのに利用されるスート堆積ステップに対して、多くの場合、スート堆積処理過程は、より遅いバーナー移動速度、すなわち、5, 4, 若しくは3cm/秒を含み得る。その結果、空洞含有領域と無空洞含有領域の双方を有する光ファイバプレフォームに対してスートを堆積させるのに使用されるいくつかの実施形態において、プリフォームの一部分は、第1速度で堆積されたスートを使用して製造され、プリフォームの他部分は、第2速度で堆積されたスートを使用して製造される。ここで、第1速度は第2速度と異なる。いくつかの実施形態では、より薄いスート堆積層の堆積を容易にするために、互いに隣接する4つ未満のバーナー、より望ましくは3つ未満のバーナー、最も望ましくは2つ未満のバーナーを採用することが望ましい。かかるバーナーはスート堆積基板に対して前後に往復移動する。

【0022】

図2に示すように、円柱スート領域23を含むスートプリフォーム20は固化形成加熱炉29内で固化されて、(後の図3で示した)固化した空所箇所31が形成される。固化成型に先立って、図1に示すマンドレル24が外されて、空洞の円筒スートブランクプリフォームが形成される。固化成型処理過程において、スートプリフォーム20は、保持機構21によって加熱炉29の純粹クウォーツマッフルチューブ27等の加熱炉29内に

、吊るされる。望ましくは、固化成型ステップの前に、プリフォーム 20 は乾燥大気に暴露される。例えば、適切な乾燥大気は、950 と 1250 の間の温度及び約 0.5 時間から 4.0 時間の範囲の適切な乾燥時間温度において、約 95 パーセントから 99 パーセントのヘリウムと 1 パーセントから 5 パーセントの塩素ガスを含む。また、必要であれば、例えば、フッ素を有するドーパントガス又は他の光ファイバドーパントを使用して、スートプリフォームはドーブされ得る。例えば、フッ素によってドーブするには、SiF₄ 及び / 又は CF₄ ガスが採用され得る。係るドーパントガスが、0.25 時間 ~ 4 時間、従来のドーブ処理温度、例えば、約 950 ~ 1250 において、使用され得る。

【0023】

望ましくはスート乾燥ステップ後に行われる固化成型ステップ中に、加熱炉の温度は適切な温度に維持され、プリフォーム 20 は、例えば約 1390 と 1535 との間の適切な温度で固化されて、固化プリフォームが形成される。あるいは、勾配焼結が使用されて、スートプリフォーム 20 が加熱炉 29 の高温域を介して引き下げられる。その加熱炉 29 の高温域は、約 1225 から 1550 までの間の温度において、より望ましくは約 1390 から 1535 までの間の温度において維持される。例えば、プリフォームは等温度域内に維持される。かかる等温度域は、所望の乾燥温度 (950 - 1250) で維持されている。その後、スートプリフォームはあるゾーンを介して引き下げられる。かかるあるゾーンは、所定の固化成型温度 (例えば、1225 から 1550、より望ましくは 1390 と 1535) において、ある速度に維持されている。そのある速度は、1 / 分より大の速度でプリフォーム 20 の温度を増大させるのに十分である。加熱炉の上部域は、より低温で維持され得る。これにより、乾燥ステップ及び不純物除去ステップが容易となる。下部域は固化成型に必要である高い温度で維持され得る。1 つの好適実施例では、スート含有プリフォームは固化高温域を介して第 1 供給速度で供給され、それに続いて、そのプリフォームは、第 2 の高温域を介して第 2 供給速度で供給される。第 2 供給速度は第 1 供給速度より小である。係る固化成型技術によって、プリフォームの残りが焼結する前に焼結するスートプリフォームの外側部分が形成され、その結果、ガスの閉じ込めが容易となる。言い換えると、生成された固化ガラス内に空洞を形成し且つ維持することが容易となる。例えば、係るプリフォームは、第 1 速度にて適切な固化成型温度 (例えば、約 1390 より大) に暴露され得る。その第 1 速度は、15 / 分より大で、より望ましくは 17 / 分より大でプリフォームの温度を増大させるのに有効である。それに続いて、少なくとも第 2 供給速度 / 固化成型温度の組合せでプリフォームの温度が増大される。その少なくとも第 2 供給率 / 固化成型温度の組合せは、少なくとも約 12 / 分で、より望ましくは 14 / 分より大でプリフォームを加熱するのに十分である。望ましくは、第 1 固化成形速度は、第 2 固化成形速度の加熱速度よりも高く、2 / 分より大、より望ましくは 10 / 分より大、より望ましくは 20 / 分より大、最も望ましくは約 50 / 分より大の速度で、プリフォームの外側の温度を増大させる。必要であれば、より遅いレート (例えば、10 / 分未満) で加熱する第 3 固化成型ステップ又は 5 若しくはさらなる付加固化成型ステップが採用され得る。あるいは、スートプリフォームは、加熱炉高温域を介してスートプリフォームを引き下げることによって、より多くの空洞を作成するために、さらに速いレートで焼結され得る。その加熱炉高温域の温度は 1550 よりも大、より望ましくは 1700 よりも大、さらに望ましくは 1900 よりも大である。あるいは、スートプリフォームは、スートに接触するむき出しの炎若しくはプラズマトーチの使用によって、加熱炉の外部でさらに速い速度で焼結され得る。

【0024】

固化成型ステップに使用できる好ましい焼結ガス (すなわち、焼結ステップ中にプリフォームを包囲するガス) は、窒素、アルゴン、二酸化炭素、酸素、塩素、CF₄、一酸化炭素、SO₂、クリプトン、ネオン、及びこれらの混合ガスから成るグループから選択された少なくとも 1 つのガスを含む。これらのガスの各々は、本発明に係る空洞を形成するのに適切である固化成型温度において又は固化成型温度以下においてシリカガラス内で比較的低い浸透性を示す。望ましくは、これら空洞を生成するガスは、5 ~ 100 の容積バ

10

20

30

40

50

ーセントにおいて単独又は混合のいずれか一方で使用され、さらに、約20 - 100の間の容積パーセントがより望ましく、そして、約40 - 100の間の容積パーセントが最も望ましい。焼結ガス雰囲気中の残留ガスは、例えば、ヘリウム、水素、重水素、若しくは混合ガスなどの適切な希釈又はキャリアガスから成る。本明細書に開示された実施形態のうちいくつかの実施形態において、例えば、付加的スートがOVDを介して得られたガラスプレフォーム又はケインに対して蒸着されることになっているときには、空洞を形成する固化成型処理過程に続いて、焼結ガスを利用するのが好ましい。その焼結ガスは10パーセント未満の酸素、より望ましくは5パーセント未満の酸素、最も望ましくは酸素を全く含まない。そうでなければ、OVD処理過程で形成された水素に対する暴露が原因で、いくつかのシードが損失され得る。概して、焼結ガスに使用される空洞生成ガス（窒素、アルゴン、二酸化炭素、酸素、塩素、 CF_4 、一酸化炭素、 SO_2 、クリプトン、ネオン、又はこれらの混合ガス）の容積のパーセントが増大するにつれて、よりサイズが大であり且つより多量の空洞が生成された固化ガラス内に存在することとなる。より好ましくは、固化成型ステップ中に、空洞形成に使用される焼結ガスは窒素、アルゴン、二酸化炭素、酸素、及びクリプトン、及びこれらの混合ガスから成るグループから選択された少なくとも1つのガスを含む。これらガスは単独で使用され得るし、ヘリウム等のキャリアガスとともに係るガスの混合ガスにより使用され得る。1つの特に好ましい空洞生成ガスが、窒素である。出願人によって、以下のことが見出された。すなわち、空洞生成焼結ガスとして共に又は別々に窒素及び/又はアルゴンを使用する際には、窒素及び/又はアルゴンは、10の容量パーセントよりも大の焼結雰囲気中で使用されるのが好ましく、30より大の容積パーセントがより好ましく、約50より大の容積パーセントがさらにより望ましく、そして、約65より大の容積パーセントが最も望ましい。この場合、その焼結雰囲気における残留ガスは、ヘリウム等のキャリアガスである。これらガスは、85より大の容積パーセントの濃度において使用されて上手くいっている。実際、最大100パーセントの窒素ガス、最大100パーセントのアルゴンガス、及び最大100パーセントの酸素が上手く利用される。また、スートを、低浸透性ガス（例えば、窒素、アルゴン、二酸化炭素、酸素、塩素、 CF_4 、一酸化炭素、 SO_2 ）内で、（例えば、プリフォームが焼結雰囲気にある場合には、40 ~ 750 Torrの圧力）分圧下で、焼結させることによって空洞が生成され得る。本明細書に開示された空洞生成固化成型技術を使用して、クラッドが0.5パーセントより大の局部的空洞面積パーセントを有する空洞含有領域を含む光ファイバを製造することができる。その局部的空洞面積パーセントは、より望ましくは約1パーセントより大であり、さらに望ましくは約5パーセントより大であり、最も望ましくは約10パーセントより大である。

【0025】

本明細書において使用される局部的空洞領域パーセントとは、（光ファイバが光ファイバの軸に対して垂直な断面積で見られた場合の）空洞含有領域の全面積で割った空洞含有領域における空洞の全面積に100をかけたものを意味する。空洞含有領域は空洞含有領域の内側及び外側の境界によって画定されている。例えば、最も内側にある空洞の内側の端部は、ファイバの軸中心線から4ミクロンの半径位置を有し、且つファイバにおいて最も外側にある空洞の外側の端部は、中心線から60ミクロンの半径位置を有する場合、空洞含有領域の面積は約 $11309 - 50 = 11259$ 平方ミクロンである。この空洞含有領域に含まれる空洞の総断面積は1100平方ミクロンであるならば、空洞含有領域の空洞面積パーセントは約9.8パーセントである。

【0026】

上述した望ましい焼結ガスを利用して、固化成型処理過程を使用することが望ましい。固化成型処理過程は、ある速度と温度においてプリフォームを供給することを含む。かかるある速度と温度において、固化成型ガスのうち少なくともいくつかのガスを意図的に閉じ込めるのに十分な速度及び温度である。これは、例えば、約10 /分より大で、少なくともスートプリフォームの一部を加熱することによって生じ得る。そして、かかる加熱は、望ましくは約12 /分より大の速度で行われ、さらに望ましくは約14 /分よ

10

20

30

40

50

り大の速度で行われ得る。本発明で採用された焼結温度は、1100より大であり、より望ましくは1300より大であり、さらに望ましくは1400より大であり、最も望ましくは1450より大である。特に好ましい焼結温度の一つとしては、約1490である。

【0027】

基板に対するスートの堆積を含む製造工程の各ステップにおいて、スートは、ケインとしての知られるより小なる直径を有するガラスの物体に線引きされ得る。本明細書に使用されるように、ケインは、固化ガラスプリフォームをより小さい直径に線引きすることによって形成された中間ガラスプリフォームである。そして、ケインは、付加的スートをケインに堆積させる前駆体として使用され、その後、付加堆積されたスートは、固化成型されて、スートプリフォームから（例えば、50パーセントより大なる）ガラスの主要部分が除去される。複数のケイン線引きステップが、本明細書に説明されたファイバを製造するのに使用され得る。実際、いくつかの場合、コア、第1環状クラッド領域、及び第2環状空洞含有クラッド領域の各々が得られる各スート堆積ステップの後に中間ケインを線引きするのが好ましい。第2環状空洞含有クラッド領域は第1環状クラッド領域を包囲し且つ好ましくは第1環状領域クラッド領域によってコアから離間されている。最終的なケイン線引きステップは、例えば、最終スート堆積ステップに先立って、すなわち、外側環状クラッド領域が空洞含有領域上に堆積されることに先立って、行われる。したがって、かかる処理過程は最大で3つのケイン線引きステップを含み得る。その後、付加的クラッドが線引きされたケイン上に堆積されて、外側クラッドが形成される。この外側クラッドが固化された後に、得られた光ファイバは、すぐに光ファイバに線引きされる。図3は本発明において使用されるコア若しくはクラッドケインを線引きするのに使用され得る処理過程を示す。例えば、かかる一つの実施形態においては、スートプリフォームが、図1において先に説明したように形成され、その後、スートプリフォームは、（例えば、100パーセントのヘリウム雰囲気内で1300より高温の固化成型温度を利用する）従来の固化成型技術を使用して固化成型されて、無空洞のコアプリフォームが形成される。例えば、純粋シリカコアファイバを製造するのに使用され得るファイバプリフォームの場合では、コアプリフォームは、屈折率を大きく調整するドーパントなしで比較的純粋なシリカから成るであろう。あるいは、純粋ゲルマニウムによってドーパされたコアファイバに使用され得る光ファイバプリフォームの場合では、コアプリフォームは、ゲルマニウムドーパされたコア領域と、任意でクラッドの部分（例えば、無ドーパのシリカクラッド）と、から成るであろう。固化成型されたコアの得られた空所箇所31はコアケイン線引き加熱炉37内に載置され且つ低減された外径を有する少なくとも1つのロッド形状のコアケインセグメント33が、そこから線引きされる。プリフォームの空所箇所31は、例えば、約1700から2000の温度で加熱される。ケイン線引きステップに先行して直ちに堆積され且つ固化成型されたガラスが無秩序に分布する空洞を有することを目的とする場合、ケイン線引き処理過程は、望ましくは、1650 - 1900と同じくらい高い温度下で比較的速い線引き速度にて実行される（5cm/秒より大である、より望ましくは7cm/秒より大である、最も望ましくは9cm/秒より大である）。いくつかの実施形態では、光ファイバプリフォームの線引きは約1800 - 1900の間の温度下で行われる。いくつかの望ましい実施例では、光ファイバプリフォームの線引きは、約1650 - 1775の間の温度において実行される。より低温の再線引き温度及びより早い再線引き速度を利用すれば、空洞は、空洞内に含まれている窒素ガスの存在によって、高温で膨張しにくくなるであろう。一方、ケイン線引きステップに先行して直ちに堆積され且つ固化成型されたガラスが無秩序に分布する空洞を有することを目的とする場合、すなわち、その特定のケインの外側のガラス領域が無空洞ガラスであることを意図する場合、ケイン線引き処理過程は、望ましくは、1650 - 1900と同程度の温度下で、比較的遅い線引き速度にて実行される（2cm/秒未満あり、より望ましくは3cm/秒未満であり、最も望ましくは4cm/秒未満である）。いくつかの望ましい実施例では、（コア領域、内側クラッド領域、及び環状空洞含有リング領域を含む）光ファイバプリフ

10

20

30

40

50

フォームのコアケインへの線引きは約 1 6 5 0 - 1 7 7 5 の間の温度において実行される。

【 0 0 2 8 】

結果的に、空洞含有領域と無空洞含有領域の双方を有する光ファイバプリフォームを製造するのに使用される好適実施形態において、プリフォームの一部分は、第 1 線引き速度を含むケイン線引きステップを使用して製造され、且つ、プリフォームの他部分は、第 2 の線引き速度を含むケイン線引きステップを使用して製造され、第 1 速度は第 2 速度とは異なる。実際、より速いケイン線引き速度でケイン線引きステップのすべてを操作することが、望ましいが、空洞含有領域が得られる固化成型ステップ後に線引きされたケインが望ましくはより遅い線引き速度にて生ずることを除く。

10

【 0 0 2 9 】

制御装置 3 8 は、本明細書に 2 個のトラクタホイールとして図示された張力機構 4 0 に対する適切な制御信号によって、ケインに印加される張力を制御し、ケイン 3 3 を適切な速度で線引きする。このように、例えば、約 1 mm から 1 6 mm の外径を有するコアケイン 3 3 を引き出すことが可能である。そして、このコアケインは、付加スート堆積のためのターゲット又はマンドレル 2 4 として、又は、チューブプロセスによるロッドのロッドとして使用され得る。この事を以下にさらに説明する。

【 0 0 3 0 】

1 つの好適実施例では、コアケインの空所箇所を形成するのに図 3 に関して上述した処理過程が使用され得る。かかるコアケインの空所箇所は、追加スート堆積のためのターゲット又はマンドレルとして使用され得る。追加スート堆積のためのターゲット又はマンドレルは、本明細書に開示された空洞形成技術を使用することで固化されて、結局、光ファイバのクラッド部となる。一つの係る実施形態においては、例えば、完全に固化成型され且つ無空洞のガラスコアケインが、図 1 に示すスート堆積ステップにおけるバイトロッド 2 4 として使用され得る。ガラスコアケインは無ドーピングシリカであってもよく、結果として得られた光ファイバは、コアが実質的に純シリカから成るシリカコアファイバとなるであろう。あるいは、コアケインは 1 以上のドーピングされた領域から成り得る。その 1 以上のドーピングされた領域は、光ファイバの光伝送コア領域を共に形成している。スートがガラスコアケイン上に堆積された後に、図 4 に示すように、外側のスート領域 1 2 0 が固化形成加熱炉 1 2 9 内で完全に固化成型され得る。望ましくは、この固化成型ステップ中に、図 5 に示すように、上述した空洞形成固化成型処理過程が実行され、固化成型された光ファイバプリフォーム 1 5 0 が形成される。

20

30

【 0 0 3 1 】

本発明で採用された焼結温度は、望ましくは 1 1 0 0 から 1 5 5 0 までの範囲であり、より望ましくは 1 3 0 0 と 1 5 0 0 の間であり、最も望ましくは 1 3 5 0 から 1 5 0 0 までである。好ましい焼結温度の一つとしては、約 1 4 9 0 である。固化成型処理過程に使われたガス雰囲気、固化形成加熱炉内の温度、及びプリフォーム固化成型レートは、以下のように選択される。すなわち、スート固化成型ステップ中に、ガスは意図的にプリフォーム内に閉じ込められ、固化ガラス内に空孔が形成される。これらのガス含有空孔は、ファイバ線引き処理過程より先に及び / 又はファイバ線引き処理過程に、望ましくは完全には出ガスされていないので、空洞はファイバが線引きされた後のファイバ内に残存する。種々の処理パラメータが制御されて、空洞のサイズが変えられ且つ制御され得る。例えば、固化成形時間又は温度を増大させると、空洞のサイズが増大し得る。これは、増大された温度によって、空洞内に閉じ込められたガスが膨張するからである。同様に、空洞のサイズ及び空洞の面積率は線引き条件によって影響され得る。例えば、線引き加熱炉内の高温域がより長くなり且つ / 又は線引き速度が早くなると、空孔のサイズ及び面積率が増大する傾向がある。固化成型温度におけるガラス内でより透過度の高いガスを選択すれば、生成される空洞のサイズはより小となるであろう。また、焼結速度は空孔のサイズ及び空孔の量に多大な影響を及ぼす。焼結速度がより早くなると、形成される空洞はその数が増大し且つその大きさが大きくなるであろう。しかしながら、焼結速度

40

50

が遅すぎると、空洞は形成されないであろう。その理由としては、ガスがガラス中で脱離する時間があるからである。その結果、採用されたプリフォームの供給速度及び／又は固化成型温度は、望ましくは十分高いので、プリフォームの少なくとも一つの部分が約 10 / 分より大の速度で加熱され、望ましくは約 12 / 分より大の速度で行われ、さらに望ましくは約 14 / 分より大で行われ得る。概して、低スート濃度の光ファイバプレフォームにより、より多くの空洞が形成されるであろう。しかしながら、特定の光ファイバプレフォーム内の堆積スートの密度が変更されて、(より高い局部的空洞面積率の)より多くの空孔が所望の位置に設けられる。例えば、第 1 高密度スート領域が、固化ガラス(例えば、純シリカ)コアケイン上に直接堆積され、それに続いて、第 1 高密度スート領域の密度よりも低い密度を有する第 2 領域が堆積され得る。我々は、これにより、空孔がより高い空孔面積率で生ぜられて、コア(すなわち、高密度スート領域)の付近で形成されることを見出した。シリカ含有スートは、望ましくは、およそ 0.10 g/cc から 1.7 g/cc のバルク密度を有し、より望ましくはおよそ 0.30 g/cc と 1.0 g/cc の間のバルク密度を有する。また、この効果によって、固化成型された空洞含有プリフォームが形成され得る。その固化成型された空洞含有プリフォームは低空洞領域若しくは無空洞領域と高空洞含有領域とを交互に入れ替わる。かかる無空洞領域と高空洞含有領域において、初期のスート濃度の半径の変化が少なくとも 100 ミクロンの距離において 3 パーセントより大である。係るプリフォームが、例えば、クラッド領域を有する光ファイバを製造するのに使用され、クラッド領域は無空洞ガラスと空洞含有ガラスの領域とを交互に入れ替わる。かかる交互に入れ替わる空洞含有領域及び無空洞領域を有するファイバが、ブラッグ格子として機能する特性を有するであろう。

10

20

【0032】

図 5 を参照すると、上述した技術を使用して、クラッド 152 によって包囲される無空洞のコア領域 151 を含む光ファイバプレフォーム 150 が形成され得る。クラッド 152 は複数の空洞を含む。適切なサイズの十分な数の空洞を有するクラッド 152 内に空洞含有領域を形成することによって、クラッド 152 は光学クラッドとして機能するであろう。その光学クラッドは、光ファイバプレフォームが光ファイバに線引きされた後に、コア領域 151 に沿って光を導波する。あるいは、空洞含有領域は、光ファイバの曲げ性能を向上させるのに使用され得る。必要であれば、プリフォーム 150 を光ファイバに線引きする前に、さらなるスートが、クラッド領域 152 上に堆積され且つ固化成型され得る。所望に応じて、堆積されたさらなるクラッド材料が、空洞を含むように固化成型され得る。

30

【0033】

かかるプリフォームから線引きされたファイバの実施例を図 6 A 及び図 6 B に示す。図 6 A と図 6 B の両方のファイバは純粋なシリカコア領域(すなわち、ゲルマニウムドーパントを含まない)を含む。純粋なシリカコア領域は、クラッド領域によって包囲されている。クラッド領域は、フッ素ドーピングされたクラッド領域によってコアから離間された空洞含有領域を含む。あるいは、ゲルマニウムドーパされたコアが利用され得る。ゲルマニウムドーパされたコアの場合において、コアと空洞含有クラッド領域との間のクラッド領域は純シリカクラッドであり得る。図示されているように、本明細書に開示された技術を使用して、空孔のサイズ及び均等性に関する均等性及び空洞含有領域の周囲の空間分布の均等性は、本明細書に開示された手法を使用することで大いに改良され得る。例えば、ファイバの線引き速度を速めたり、ケインの線引き速度を遅くしたり、スート層を薄く堆積させることによって改良され得る。

40

【0034】

あるいは、既に形成されたコアケインにスートを堆積させることの代わりに、上述した空洞形成処理過程が使用されて、先に図 2 で説明したように、空洞含有領域を有する固化ガラスのチューブが形成され、そして、そのチューブはコアケインにスリーブを付けるのに使用され得る。例えば、上述の処理過程が使用されて、脱着可能なマンドレル 24 にスートプリフォームが形成され、その後、マンドレルが除去されて、スートプリフォーム

50

が上述したように固化成型され、空洞を有する固化ガラスチューブが形成される。空洞を含む得られたチューブ 65 は、コアケイン 35 にスリーブを付けるのに使用され得る。かかるスリーブリングは、図 7 及び図 8 に示すように、例えば、従来のロッドインチューブ (rod in tube) 製造技術を使用して、達成され得る。図 7 において、純粋な (すなわち、実質的にゲルマニウムなどの屈折率増大ドーパントを有していない) シリカコアケイン 35 は空洞含有クラッドスリーブ部分 65 に挿入されるものの、ゲルマニウム又はフッ素等の従来の屈折率調整ドーパントによって、コア領域又はクラッド部がドーブされる。図 8 において、コアケイン 35 とクラッドスリーブ部 65 は、(例えば、約 1300 から 1500 より高い) 適切な温度まで加熱され、そして、従来のロッドインチューブ (rod in tube) 製造処理ステップを用いてより小さい直径へと再線引きされる。その結果、光ファイバプレフォームが形成され、光ファイバに線引きされる。かかる光ファイバは、本発明による空洞含有クラッド領域によって包囲された純粋シリカコア領域を有する。

【0035】

本明細書に開示された実施形態のいずれにおいても、得られた最終的な固化光ファイバプレフォーム 50 は、光ファイバに線引きされる。これは、図 9 に示すように、かかるプレフォームを線引き加熱炉 52 内に位置付け、次に、従来の方法及び装置を使用して光ファイバ 54 を加熱し且つ線引きすることによって行われる。出願人は、より速い光ファイバ線引き速度 (15 m / 秒より大である、より望ましくは 20 m / 秒より大である、最も望ましくは 25 m / 秒より大である) を利用することによって、光ファイバの空洞含有領域における空間分布の均等性が、大幅に改善され得ることを見出している。またより速い線引き速度を利用すると、空洞含有領域における空洞の直径の均等性が改良され、大部分が、200 ~ 400 nm の直径を有する空洞が得られる。(例えば、200 グラムより大であり、最も望ましくは 250 グラムより大であり、300 グラム未満である) 高線引き張力を使用するのが好ましく、そのように設定することによって、光ファイバプレフォームのネックダウン領域における空洞の膨張が防止され、その結果、空洞を含むリングの均等性が改善される。ファイバ 54 は、次に、冷却チャンバ 55 内で冷却されて、最終的な直径が非接触センサ 56 によって測定される。従来の通り、1 つ以上の被膜が利用されてもよく、被膜装置 58 によって硬化されてもよい。線引き中に、ファイバ 54 は張力アセンブリ 60 を貫通して、張力が印加されて、プリフォーム 50 からファイバ 54 が線引きされる。テンションは制御機器 61 を介して制御されて、ファイバの直径が所定の設定値となるように維持される。最終的に、被覆されたファイバ 54 が、供給ヘッド 62 によってファイバーストレージスプール 64 に巻き上げられる。

【0036】

あるいは、空洞含有固化成型チューブを再び線引きする為に、図 3 に関して説明した同じ処理過程がコアケインを形成するのに使用され得る。チューブ内に含有される空洞のサイズを変更するのに係る再線引き処理過程が使用され得る。例えば、空洞含有プレフォームが再び線引きされるときに生ずる直径の低減がより大きくなると、プリフォーム中の空洞サイズはより小さいであろう。

【0037】

本明細書に開示された空洞生成固化成型技術を使用して、第 1 屈折率を有するコア領域と、コアの屈折率より低い第 2 屈折率を有するクラッド領域と、を含む光ファイバが得られ、ファイバを介して伝送された光が概ねコア領域内で維持され、前記空洞は光ファイバのクラッド領域内に位置し、その結果、光ファイバのクラッド領域を形成し、空洞の空洞面積パーセントは実質的にゼロでない。

【0038】

本明細書に記載された技術を使用して、以下のファイバが製造され得る。すべての空洞の最大サイズが、光の出力率が 80 パーセントより大である領域において、電気通信自動アプリケーションに関するアプリケーションに対して伝送される光の波長より小である。最大サイズとは、光ファイバがファイバの断面とは直角である軸方向に沿って眺められた

10

20

30

40

50

場合の空洞の最大の直径をいう。例えば、すべての空洞の最大サイズが、光の出力率が 80 パーセントより大である領域において、さらに望ましくは光の出力率が 90 パーセントより大である領域において、5 ミクロン未満であり、好ましくは 2 ミクロン未満であり、より好ましくは 1 ミクロン未満であり、最も好ましくは 0.5 ミクロン未満である光ファイバが製造されている。

【0039】

本明細書に記載された技術を使用して、空洞含有領域を有するファイバが製造され得る。かかる光ファイバは、1 パーセントより大の局部的空洞面積パーセントを示し、10 パーセントより大の局部的空洞面積パーセントを示し、最も望ましくは 30 パーセントより大の局部的空洞面積パーセントを示す。

10

【0040】

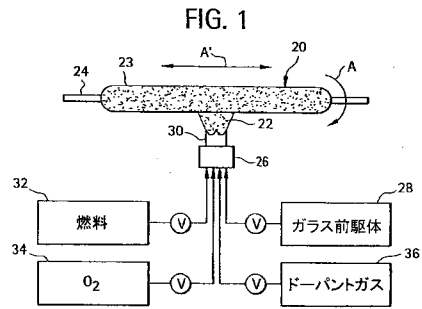
上述した処理過程はシリカコア光ファイバ、すなわち、空洞含有クラッド領域によって包囲された比較的純粋なシリカコア領域を有するファイバを製造するのに制限されている。あるいは、所望であれば、ゲルマニウムやフッ素などの屈折率調節ドーパントが個別又は一緒に使用されて、クラッドの屈折率に対してコアの屈折率がさらに調整され得る。例えば、一つの係る実施形態においては、ゲルマニウムコアケインが開始ロッドとして使用され、望ましくは、上述したように OVD 法を使用して、さらなるスート被覆物質が堆積される。そして、スートクラッド領域は上述したように固化成型されて、ゲルマニウムドープされたシリカコア領域の周囲に空洞含有クラッド領域が形成される。屈折率調節ドーパントにかかわる別の代替の実施形態では、シリカコアケインはスートクラッド領域のための開始ロッドとして使われる。しかしながら、空洞を生成する固化型成ステップ中に、空洞を生成するドーパントガスに加えて、フッ素ドーパント源（例えば、SiF₄ ガス）が与えられて、空洞含有領域にフッ素が同時にドープされる。このように、フッ素ドープされた空洞含有領域がシリカコア領域の周りにおいて形成され得る。

20

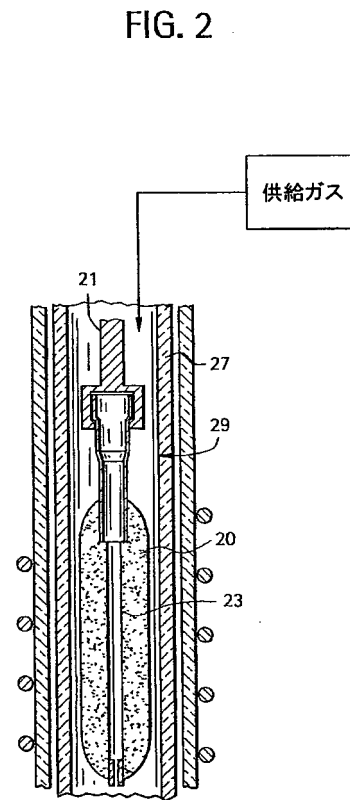
【0041】

本発明の精神および範囲から逸脱することなく、本発明に対して様々な修正や変更がなされ得ることは、当業者にとっては明らかであろう。したがって、本発明は特許請求の範囲およびこれの均等物内の修正および変更を網羅することが意図されている。

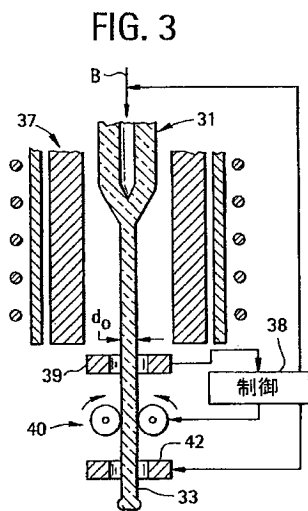
【図 1】



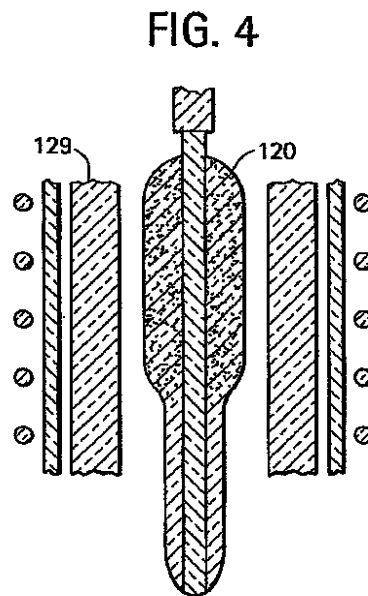
【図 2】



【図 3】

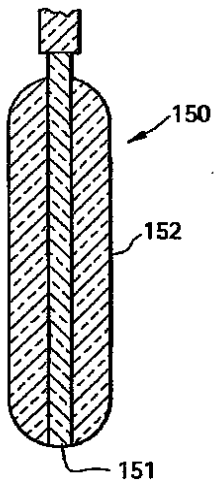


【図 4】



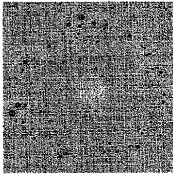
【図 5】

FIG. 5



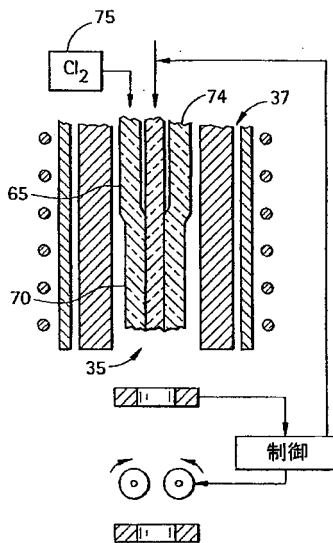
【図 6 A】

FIG. 6A



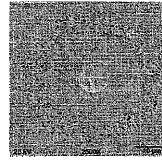
【図 8】

FIG. 8



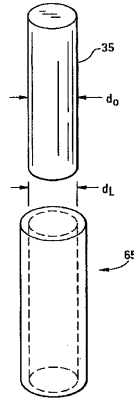
【図 6 B】

FIG. 6B



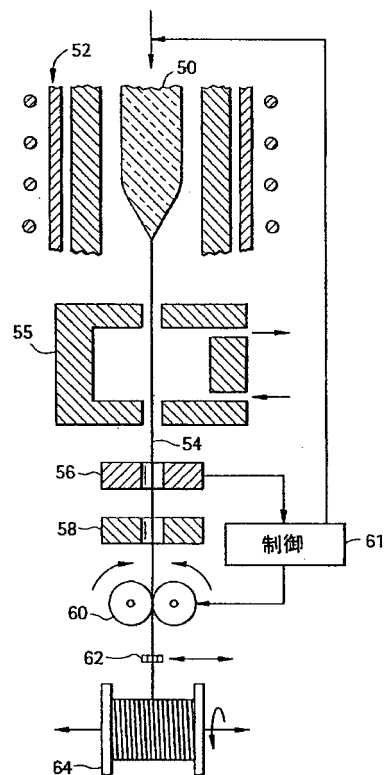
【図 7】

FIG. 7



【図 9】

FIG. 9



【手続補正書】**【提出日】**平成22年1月6日(2010.1.6)**【手続補正 1】****【補正対象書類名】**特許請求の範囲**【補正対象項目名】**全文**【補正方法】**変更**【補正の内容】****【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

基板に対してスート堆積バーナーを 3 cm / sec よりも高速なバーナー移動速度で移動させることによって前記基板上にシリカガラスベースのスートを蒸着させて、光ファイバプレフォームの少なくとも一部分を形成し、複数のバーナー経路の各々に対して $20\text{ }\mu\text{m}$ 未満の膜厚を有するスートの層を堆積させるステップと、

加熱炉内で前記スートプレフォームの前記少なくとも一部分を固化させて、前記スートプリフォーム内に閉じ込められた空気のうち $50\text{ }\%$ より大なる空気を除去して、断面で見られたときに少なくとも $50\text{ }\%$ の空洞を有する固化ガラスプリフォームを形成するステップと、を含む光ファイバを製造する方法であって、

前記固化ステップは、クリプトン、窒素、又はこれらの混合ガスを含む気体雰囲気において、前記固化ステップ中に前記気体雰囲気の一部分を前記プレフォーム内に有効に閉じ込める条件下で行われることを特徴とする方法。

【請求項 2】

前記固化ステップはヘリウムをさらに含む気体雰囲気において実行されることを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

前記堆積ステップで堆積された前記スートは、前記光ファイバプレフォームの前記クラッド領域の一部分を含むことを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 4】

前記堆積ステップにおける前記バーナーの前記移動速度は 10 cm / sec より大であることを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 5】

前記堆積ステップは、複数のバーナー経路の各々に対して $15\text{ }\mu\text{m}$ 未満の膜厚を有するスートの層を堆積させるステップを含むことを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 6】

前記固化ステップの後に及び前記プリフォームを光ファイバに線引きするステップに先立って、空洞を有する前記固化プリフォームをケインに線引きして、前記再線引きステップ中に空洞の直径が膨張するのに有効である条件化において、空洞を有する前記固化プリフォームの直径を 5 mm より大である外側プリフォームの直径まで低減するステップをさらに含む請求項 1 に記載の方法。

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/US2008/005973

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER INV. C03B37/014 C03B37/027		
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) C03B		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the International search (name of data base and, where practical, search terms used) EPO-Internal		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 02/075393 A (LIEKKI OY [FI]; RAJALA MARKKU [FI]; VALKONEN HARRI [FI]; TAMMELA SIMO) 26 September 2002 (2002-09-26) page 8, lines 18,19; claim 5	1-16
A	US 6 474 106 B1 (CROSSLAND CARL E [US] ET AL) 5 November 2002 (2002-11-05) page 3, lines 35-38	1
A	US 2005/011230 A1 (SHIRLEY ARTHUR I [US] ET AL) 20 January 2005 (2005-01-20) paragraphs [0003], [0004]; claims 2,3	1
A	US 2002/134530 A1 (GIACOBBE FREDERICK W [US]) 26 September 2002 (2002-09-26) paragraphs [0013], [0015], [0017]	1
-/-		
<input checked="" 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 "E" earlier document 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		Date of mailing of the international search report
27 August 2008		04/09/2008
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016		Authorized officer Marrec, Patrick

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/US2008/005973

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 02/074709 A (AIR LIQUIDE [FR]) 26 September 2002 (2002-09-26) page 7, line 25 - page 8, line 4	1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/US2008/005973

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 02075393	A	26-09-2002	FI 20010556 A	20-09-2002
US 6474106	B1	05-11-2002	NONE	
US 2005011230	A1	20-01-2005	BR 0402742 A	24-05-2005
			CN 1576250 A	09-02-2005
			EP 1498398 A2	19-01-2005
			JP 2005035883 A	10-02-2005
			KR 20050009230 A	24-01-2005
			US 2007193305 A1	23-08-2007
US 2002134530	A1	26-09-2002	US 2005218371 A1	06-10-2005
WO 02074709	A	26-09-2002	CN 1496340 A	12-05-2004
			EP 1373153 A1	02-01-2004

フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I テーマコード(参考)
G 0 2 B 6/032 (2006.01) G 0 2 B 6/20 Z

(81)指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), EP(AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW

(72)発明者 マクダーモット マーク エー
アメリカ合衆国 ニューヨーク州 1 4 8 4 5 ホースヘッズ ウェストブロードストリート 7
2 8

(72)発明者 タンドン プシュカル
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 ディアクレスト 3 4 0 5

Fターム(参考) 2H150 AB05 AB10 AF52
4G021 BA00 CA12 CA13 EA03 EB13