

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5882328号
(P5882328)

(45) 発行日 平成28年3月9日(2016.3.9)

(24) 登録日 平成28年2月12日(2016.2.12)

(51) Int. Cl.		F I	
GO2F	1/365	(2006.01)	GO2F 1/365
GO2B	6/02	(2006.01)	GO2B 6/02 4 1 1
CO3B	37/027	(2006.01)	CO3B 37/027 A

請求項の数 16 (全 42 頁)

(21) 出願番号	特願2013-526315 (P2013-526315)	(73) 特許権者	506179491
(86) (22) 出願日	平成23年8月30日 (2011. 8. 30)		エヌケイティー フォトニクス アクティ ーゼルスカブ
(65) 公表番号	特表2013-541033 (P2013-541033A)		NKT PHOTONICS A/S
(43) 公表日	平成25年11月7日 (2013. 11. 7)		デンマーク国 DK-3460 ビルケロ ッド ブロッケン 84
(86) 国際出願番号	PCT/DK2011/050328	(74) 代理人	100068755
(87) 国際公開番号	W02012/028152		弁理士 恩田 博宣
(87) 国際公開日	平成24年3月8日 (2012. 3. 8)	(74) 代理人	100105957
審査請求日	平成26年8月29日 (2014. 8. 29)		弁理士 恩田 誠
(31) 優先権主張番号	61/426, 110	(74) 代理人	100142907
(32) 優先日	平成22年12月22日 (2010. 12. 22)		弁理士 本田 淳
(33) 優先権主張国	米国 (US)	(72) 発明者	ヤコブセン、クリスティアン
(31) 優先権主張番号	PA201000768		デンマーク国 DK-2830 ヴィルム ヴィルムゲーズ 37アー
(32) 優先日	平成22年8月30日 (2010. 8. 30)		最終頁に続く
(33) 優先権主張国	デンマーク (DK)		

(54) 【発明の名称】 スーパーコンティニューム発生用のテーパ形光ファイバ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

スーパーコンティニューム発生用のテーパ形光ファイバであって、前記テーパ形光ファイバは、第 1 要素直径 d_f を有しピッチ で配置されている複数の第 1 タイプの要素を含むテーパ形微細構造光ファイバであり、

前記光ファイバの前後軸に沿って光を第 1 波長で導くように構成されたコア領域と、
前記コア領域を取り巻くクラッド領域と、

第 1 長手方向位置と第 2 長手方向位置の間に配置されたテーパ部分とを備え、

前記テーパ部分は、前記光ファイバがテーパのウエストまで縮小テーパ化する第 1 長さ L_1 を有する第 1 テーパ部分と、前記光ファイバが拡大テーパ化する第 2 長さ L_2 を有する第 2 テーパ部分とを備え、

前記第 1 長さ L_1 は 1 m 超であり、

前記テーパ部分のウエストのコア領域は $20 \mu m^2$ 未満である、テーパ形光ファイバ。

【請求項 2】

$L_2 = y \cdot L_1$ であり、

y は 0.8 未満である、

請求項 1 に記載のテーパ形光ファイバ。

【請求項 3】

前記コア領域は、前記第 1 長手方向位置における第 1 コア領域 A_1 から前記テーパのウ

10

20

エストにおけるウエストのコア領域 A_w までの前記第 1 テーパ部分にわたって縮小テーパ化され、

前記コア領域は、前記テーパのウエストにおけるウエストのコア領域 A_w から前記第 2 長手方向位置における第 2 コア領域 A_2 までにわたって拡大テーパ化され、

前記ファイバはさらに、入力コア領域 A_{in} を有する入力端および出力コア領域 A_{out} を有する出力端を備え、

前記入力コア領域が前記第 1 コア領域と実質的に等しいことと、前記出力コア領域が前記第 2 コア領域と実質的に等しいこととの少なくとも一方である、

請求項 1 又は 2 に記載のテーパ形光ファイバ。

【請求項 4】

前記テーパのウエストは、前記テーパ形光ファイバの前後軸に沿ってウエスト長 L_w にわたって延在するウエスト部分に含まれ、

前記ウエスト部分は、前記第 1 テーパ部分と前記第 2 テーパ部分の間に配置されており、

前記ウエスト部分にわたるフィーチャのいかなる変化も、前記テーパのウエストにおける前記フィーチャの最小値の 25%未満である、

請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項に記載のテーパ形光ファイバ。

【請求項 5】

比 d_f / \dots は、前記第 1 テーパ部分と前記第 2 テーパ部分とウエスト部分とのうちの少なくとも 1 つに沿って実質的に一定であり、

前記光ファイバの少なくとも一部分に沿った前記比 d_f / \dots は 0.3 から 0.95 の範囲内にある、

請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載のテーパ形光ファイバ。

【請求項 6】

前記ウエスト部分のピッチと前記第 1 長手方向位置のピッチの間の比が 0.9 未満であるように、前記縮小テーパ化は、前記ピッチを縮小する、

請求項 1 乃至 5 のいずれか 1 項に記載のテーパ形光ファイバ。

【請求項 7】

前記ウエスト部分のウエスト長 L_w は、前記第 2 テーパ部分の長さ L_2 よりも長い、

請求項 1 乃至 6 のいずれか 1 項に記載のテーパ形光ファイバ。

【請求項 8】

前記第 2 長さ L_2 は 1.0 m 未満である、

請求項 1 乃至 7 のいずれか 1 項に記載のテーパ形光ファイバ。

【請求項 9】

前記ウエスト長 L_w は 0.001 m 超である、

請求項 1 乃至 8 のいずれか 1 項に記載のテーパ形光ファイバ。

【請求項 10】

前記テーパ形光ファイバは、シリカガラス、カルコゲナイド・ガラス、軟質ガラス、及び高分子材料からなる群から選択された材料を含んでなる、

請求項 1 乃至 9 のいずれか 1 項に記載のテーパ形光ファイバ。

【請求項 11】

スーパーコンティニューム光源を提供するべく、秒の範囲、ミリ秒範囲、マイクロ秒範囲、ナノ秒範囲、またはピコ秒範囲の cw 光または光パルスを放出するように構成されたポンプ源と組み合わせられた、

請求項 1 乃至 10 のいずれか 1 項に記載のテーパ形光ファイバ。

【請求項 12】

少なくとも第 1 材料を備えるファイバプリフォームから、請求項 1 に記載のテーパ形光ファイバを製造するための方法において、前記テーパ形光ファイバはテーパ形微細構造光ファイバであり、前記方法は、

前記ファイバプリフォームをプリフォーム保持具に固定することと、

10

20

30

40

50

キャプスタンと、前記ファイバプリフォームの少なくとも一部分を加熱するように構成された加熱装置とを備える線引タワーに、前記プリフォーム保持具を配置することと、前記加熱装置の中で前記ファイバプリフォームの少なくとも一部分を加熱することと、前記ファイバプリフォームを、前記加熱装置の中へ、或る送り速度で送ることと、キャプスタンによって第1終端に引張り力を印加することによって、加熱された前記ファイバプリフォームの前記第1終端から前記光ファイバを或るライン速度で線引することとを有し、

前記キャプスタンは、前記ライン速度が短い時間間隔中に第1ライン速度から第2ライン速度へと変化するように、加速または減速をもたらし、

前記第1ライン速度の前記第2ライン速度からの違いは、約10%超である、方法。

【請求項13】

より短い時間間隔中に線引される光ファイバの長さは、第1経路を辿るものから、前記第1経路と長さが異なる第2経路を辿るものへと置換される、

請求項12に記載の方法。

【請求項14】

前記ファイバプリフォームは、少なくとも第1気孔を備え、

前記ファイバプリフォームの第2終端は、少なくとも前記第1気孔と少なくとも第1圧力コントローラとに流体連絡する実質的に気密の第1内腔を含むプリフォーム保持具内に配置され、

前記第1気孔は、前記テーパ形光ファイバを線引する工程の少なくとも一部分を通じて第1圧力に加圧される、

請求項12又は13に記載の方法。

【請求項15】

前記ファイバプリフォームは、少なくとも気孔の第1群を備え、前記光ファイバは、前記気孔の第1群を加圧するための圧力制御システムを備える線引タワーシステムを用いて線引され、

前記圧力制御システムは、第1エンクロージャと、流路を介して前記第1エンクロージャを前記気孔の第1群に接続する流れシステムとを備え、

前記圧力制御システムは、前記第1エンクロージャに加圧するためのポンプを備え、

前記流れシステムは、第1期間 t_1 以内で開くことのできるオンオフ弁を備え、

前記方法は、弁が開かれたとき、前記第1エンクロージャを前記気孔の第1群に流体接触させる工程を備え、

t_1 は、約10秒未満である、

請求項12に記載の方法。

【請求項16】

前記置換はライン速度変更装置に備わっている置換装置によって実現され、該置換装置は、前記より短い時間間隔にわたって加速または減速をもたらす、請求項13に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、光ファイバと、例えば線引タワーを使用したこのようなテーパ形光ファイバの製造とに関する。光ファイバのテーパ化は、スーパーコンティニューム発生 (SCG: supercontinuum generation) 用のシステムなどいくつかのシステムにおいて有利であり、例えば本発明による非直線状ファイバのテーパ化は、従来技術のシステムに対して顕著な改善をもたらし得る。

【背景技術】

【0002】

従来技術では、光ファイバのテーパ化は、光ファイバが線引された後に、光ファイバの

10

20

30

40

50

後処理用のマシンであるいわゆるテーパ化ステーションで遂行されている。ファイバは、一般にコーティングを除去され、テーパ化され、再コーティングされる。一般に、このようなテーパの最大長は、約0.5メートルである。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】特開平9-227149号公報

【特許文献2】国際公開第2011/023201号パンフレット

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

10

【0004】

テーパは、ファイバの製造中に、すなわち線引タワーにおける引出し工程の一部として生成されてもよい。引出し速度を制御するキャプスタンが、元来非常に均一なファイバ直径をもたらすように構成されているので、これらのテーパは長く、短距離にわたって制御するのが困難である。

【課題を解決するための手段】

【0005】

以下に説明されるように、本発明は、線引タワーでテーパを形成する新規のやり方を提供するものである。本発明により、このようなテーパには、スーパーコンティニューム発生における特定の用途があることが判明しており、その理由は、本発明者が、好ましくは比較的短い（大抵の場合0.3m～1mの）拡大テーパ化と組み合わせた比較的長い（大抵の場合1～10mの）テーパを設ける可能性に加えたテーパの可制御性が、この用途に対して特に有利であると発見したためである。

20

【0006】

本発明の目的の1つは、スーパーコンティニューム発生用のテーパ形光ファイバを提供することであり、前記テーパ形光ファイバは、前記光ファイバの前後軸に沿って光を導くように構成されたコア領域と、前記コア領域を取り巻くクラッド領域とを備える。この光ファイバは、第1長手方向位置と第2長手方向位置の間に配置されたテーパ部分を備え、前記テーパ部分は、光ファイバがテーパのウエストまで縮小テーパ化する第1長さ L_1 を有する第1テーパ部分と、前記光ファイバが拡大テーパ化する第2長さ L_2 を有する第2

30

テーパ部分とを備える。前記光ファイバの、前記第2テーパ部分の主要部など少なくとも一部分に沿ったフィーチャの平均傾斜は、前記第1テーパ部分の主要部など少なくとも一部分に沿ったフィーチャの平均傾斜より大きい。

【0007】

本発明によるファイバは、1実施形態では中間産物である。このファイバは、例えば線引タワーで作製され、その後テーパ化ステーションで後処理されてよい。本発明は、1実施形態では、スーパーコンティニューム光源などの中間産物としての本発明によるファイバに基づくファイバを利用するシステムに関する。

【0008】

テーパ部分の第1長手方向位置が、第1テーパ部分が始まる位置、すなわち前記光ファイバのフィーチャの縮小が始まる場所として定義されてよい。テーパ部分の第2長手方向位置が、第2テーパ部分が終了する位置、すなわち、前記光ファイバのフィーチャの値が、ウエストにおける値から、前記光ファイバの第2テーパ部分から出力端までの長さなどの光ファイバの長さによって実質的に維持される値まで、増加する位置として定義されてよい。光ファイバのフィーチャの変化は、光ファイバの寸法およびフィーチャが実質的に変化する前テーパ部分または後テーパ部分など、テーパ部分の外部で生じてよい。

40

1実施形態では、前テーパまたは後テーパは、0.4m未満など、0.3m未満など、0.2mなど、0.5m未満であることによって識別可能である。1実施形態では、前テーパまたは後テーパは、例えば1m超など、1.5m超など、0.5m超の実質的にテーパ化されていないファイバによって第1または第2テーパ部分から分離されていることによ

50

って識別可能である。例えばテーパ化されていないファイバは、1メートル当たり1%未満など、1メートル当たり0.5%未満など、1メートル当たり2%未満の傾斜を有する。1実施形態では、前テーパは、第1テーパ部分の長さを効果的に拡張している、第1テーパ部分の一部と見なされてよい。1実施形態では、第2テーパ部分の終端は、ファイバのフィーチャが、(例えば効率的に結合するために)ウエストから十分に増加した位置と定義される(以下を参照されたい)。

【0009】

第1長手方向位置は、前記フィーチャの値が、入力端における値からテーパのウエストにおける値への縮小の割合が生じた位置と定義されてよい。この割合は、約1%から約9%の範囲内など、約2%から約8%の範囲内など、約3%から約6%の範囲内など、約0%から約10%の範囲内でありよい。1実施形態では、この割合は10%である。1実施形態では、この割合は8%である。1実施形態では、この割合は6%である。1実施形態では、この割合は4%である。1実施形態では、この割合は2%である。1実施形態では、この割合は1%である。1実施形態では、この割合は0.5%である。

10

【0010】

第2長手方向位置は、前記フィーチャの値が、テーパのウエストにおける値からファイバの出力における値への増大の割合が生じた位置と定義されてよい。この割合は、約91%から約99%の範囲内など、約92%から約98%の範囲内など、約93%から約96%の範囲内など、約90%から約100%の範囲内でありよい。1実施形態では、この割合は90%である。1実施形態では、この割合は92%である。1実施形態では、この割合は94%である。1実施形態では、この割合は96%である。1実施形態では、この割合は98%である。1実施形態では、この割合は99%である。1実施形態では、この割合は99.5%である。

20

【0011】

本発明によるファイバは、フィーチャにおける局所的な最小値であるウエストをそれぞれが有する複数のテーパを備えてよい。本発明に照らして、慣用句「テーパのウエスト」は、光ファイバのフィーチャが最小値になる、光ファイバに沿った位置を指してよい。このフィーチャが、例えば横断面積または光ファイバの直径であれば、ウエストは、テーパの最も細いポイントと定義されてよい。1実施形態では、ウエストは、テーパの最も細いポイントなど、光ファイバのフィーチャが最小値になる、光ファイバに沿った位置と定義される。

30

【0012】

慣用句「拡大テーパ化」および「縮小テーパ化」は、特許請求の範囲を、光が第1長手方向位置から第2長手方向位置に向かって伝搬する状況に限定するようには意図されていない。本発明によるテーパ形光ファイバ、この方法、および線引タワーは、光が第2長手方向位置から第1長手方向位置に向かって伝搬する状況で、光ファイバが、第2テーパ部分で縮小テーパ化され、第1テーパ部分で拡大テーパ化される実施形態にも関連し得る。しかし、1実施形態では、ファイバの用途は、光が第1部分から第2部分へ伝搬する用途に限定される。

【0013】

慣用句「~の始端」および「~の終端」は、テーパ形光ファイバの別々の部分の長手方向延長部を説明するためにのみ用いられ、必ずしも光が光ファイバを通して伝搬する方向の限定を示すものではない。本発明によるテーパ形光ファイバ、この方法、および線引タワーは、光が終端から始端へと伝搬する実施形態にも関連し得る。これは、例えば本発明による線引タワーが光ファイバを作製するのにも使用され得て、短い縮小テーパ化の後に長い拡大テーパ化が続く場合のことである。しかし、1実施形態では、ファイバの用途は、光が始端部分から終端部分に向かって伝搬する用途に限定される。

40

【0014】

これらの注釈は、慣用句「入力端」および「出力端」ならびに慣用句「入力部分」および「出力部分」の使用についても同様に当てはまる。しかし、1実施形態では、ファイバ

50

の用途は、光が第1部分から第2部分へ伝搬する用途に限定される。

【0015】

本発明に照らして、慣用句「スーパーコンティニューム」はスペクトル的に幅の広い信号を指してよい。スーパーコンティニュームは、スペクトルの下側の境界を定義する「青色端」およびスペクトルの上側の境界を定義する「赤色端」を有するとされる。石英光ファイバでは、青色端は、350nmから550nmの範囲内の波長など、300nmから600nmの範囲内の波長にあってよく、赤色端は、1600nmから2400nmの範囲内の波長など、1300nmから2400nmの範囲内にあってよい。1実施形態では、ブルース端は、500nm未満など、450nm未満など、430nm未満など、420nm未満など、400nm未満など、380nm未満など、360nm未満など、340nm未満など、320nm未満など、550nm未満の波長にある。スーパーコンティニュームのスペクトル幅は、赤色端の波長と青色端の波長の間の差として定義され得る。スペクトルの幅は、150nm超など、300nm超など、500nm超など、750nm超など、1000nm超など、1500nm超など、2000nm超など、2500nm超など、3000nm超など、100nm超であってよい。1実施形態では、「青色端」および「赤色端」は、光のコンティニュームが、0dBm/nm未満のスペクトル密度など、-5dBm/nm未満のスペクトル密度など、-10dBm/nm未満のスペクトル密度など、-15dBm/nm未満のスペクトル密度など、-20dBm/nm未満のスペクトル密度など、5dBm/nm未満のスペクトル密度に低下する波長と定義される。いくつかの実施形態では、スーパーコンティニュームはスペクトルのくぼみを含んでよく、スーパーコンティニュームがこのようなくぼみにわたって広がると考えられる。一方、出力は、一般に青色端未満に比較的低パワーの各スペクトル線を含み得る。これらのスペクトル線は、スペクトルの一部分とは見なされない。1実施形態では、スーパーコンティニュームは、青色端の波長より、50nm超など、100nm超など、200nm超など、500nm超など、1000nm超など、10nm超である波長において、青色端のスペクトル密度よりも高いスペクトル密度を有する。1実施形態では、このような各スペクトル線はマルチモードである。1実施形態では、実質的な単一モードの(横モードの)光だけがスーパーコンティニュームの一部分と見なされる。実質的な単一のモード光は、その波長において、その90%超が光ファイバの最低次数のモードに存在する光など、その95%超が光ファイバの最低次数のモードに存在する光など、その98%超が光ファイバの最低次数のモードに存在する光など、その99%超が光ファイバの最低次数のモードに存在する光など、その100%が光ファイバの最低次数のモードに存在する光など、その80%超が光ファイバの最低次数のモードに存在する光である。

【0016】

本発明に照らして、慣用句「傾斜」は、コア領域の断面積の1メートル当たりの変化など、前記光ファイバの所与のフィーチャの値の、前後軸に沿った長さ当たりの変化を指す。傾斜は、絶対値で、すなわち符号なしで表わされる。変化の割合が実質的に一定の部分については、傾斜は、実質的に一定の値を有し得る。テーパ部分は、変化の割合がテーパ部分に沿って変化するものもある。この場合、傾斜は依然として局所値を有する。テーパ部分の平均傾斜は、単位長さについての、測定されたテーパ部分にわたる平均的な変化でよい。1実施形態では、第1テーパ部分に関して、平均傾斜は、前記フィーチャの第1長手方向位置からウエストまでの差を、第1テーパ部分の長さで割ったものと定義される。同様に、第2テーパ部分に関して、平均傾斜は、前記フィーチャのウエストから第2長手方向位置までの差を、第2テーパ部分の長さで割ったものと定義される。

【0017】

本発明の目的の1つにはSCG用のテーパ形光ファイバを提供することがあり、前記テーパ形光ファイバは、前記光ファイバの前後軸に沿って光を導くように構成されたコア領域と、前記コア領域を取り巻くクラッド領域とを備える。SCG用の適切なファイバは、SCGを生成するのに十分な長さに関連して実質的な帯域幅にわたって低損失をもたらす。この光ファイバは、第1長手方向位置と第2長手方向位置の間に配置されたテーパ部分

10

20

30

40

50

を備え、前記テーパ部分は、光ファイバがテーパのウエストまで縮小テーパ化する第1長さ L_1 を有する第1テーパ部分と、前記光ファイバが拡大テーパ化する第2長さ L_2 を有する第2テーパ部分とを備え、 $L_2 = y \cdot L_1$ であり、 y は1未満である。

【0018】

1実施形態では、本発明の目的の1つは、光を、実質的な帯域幅にわたって前記光ファイバの前後軸に沿って低損失で導くように構成されたコア領域と、前記コア領域を取り巻くクラッド領域とを備えるテーパ形光ファイバを提供することである。この光ファイバは、第1長手方向位置と第2長手方向位置の間に配置されたテーパ部分を備え、前記テーパ部分は、光ファイバがテーパのウエストまで縮小テーパ化する第1長さ L_1 を有する第1テーパ部分と、前記光ファイバが拡大テーパ化する第2長さ L_2 を有する第2テーパ部分とを備え、前記第1長さと前記第2長さの和 $L_2 + L_1$ は、約0.5mより大きい。

10

【0019】

1実施形態では、本発明の目的は、本発明によるテーパ形光ファイバを備えるスーパーコンティニューム光源およびポンプ源を提供することである。前記光ファイバの前記コア領域は、前記光ファイバの入力端における入力コア領域 A_{in} および前記光ファイバの出力端における出力コア領域 A_{out} を有し、前記コア領域は、第1波長 λ_1 における光に関する少なくとも基本モードに対応する。ポンプ源は、前記光ファイバの前記入力端において前記コア領域にポンプ光を導入するように構成されており、前記ポンプ光は、光ピークパワー P 、中心波長 λ_{center} 、およびスペクトル幅 $\Delta\lambda$ を有する。

【0020】

20

1実施形態では、本発明の目的は、少なくとも第1材料を含むファイバプリフォームからテーパ形光ファイバを作製する方法を提供することであり、前記方法は、前記ファイバプリフォームをプリフォーム保持具に固定するステップと、キャプスタンと前記ファイバプリフォームの少なくとも一部分を加熱するように構成された加熱装置とを備える線引タワーに対して前記プリフォーム保持具を配置するステップとを含む。この方法は、前記ファイバプリフォームを、ある送り速度で前記加熱装置に送るステップと、前記加熱装置の中で前記ファイバプリフォームの少なくとも一部分を加熱するステップとをさらに含む。光ファイバは、キャプスタンによって与えられる引張り力を前記第1終端に加えることにより、前記加熱されたファイバプリフォームの第1終端から、あるライン速度で線引される。キャプスタンは、前記ライン速度が、より短い時間間隔で第1ライン速度から第2ライン速度まで変化するように加速および/または減速をもたらし、前記第1ライン速度と前記第2ライン速度の差は約10%を上回るものであり、前記より短い時間間隔は約10秒未満である。以下で論じられる製造および線引タワーに関する特徴は、この方法にも同様に当てはまる。

30

【0021】

1実施形態では、本発明の目的は、少なくとも第1材料を含むファイバプリフォームからテーパ形光ファイバを作製するための線引タワーシステムを提供することであり、前記線引タワーは、加熱装置、プリフォーム保持具、送り装置、およびキャプスタンを備える。プリフォーム保持具は、ファイバプリフォームの第2終端を固定することができ、送り装置は、前記プリフォーム保持具を前記加熱装置に対してある送り速度で移動させることができ、加熱装置は、前記ファイバプリフォームの少なくとも一部分を加熱することができる。キャプスタンは、前記ファイバプリフォームの第1終端に引張り力を加え、前記ファイバプリフォームの前記第1終端から光ファイバをあるライン速度で線引し、前記キャプスタンは、前記ライン速度が、より短い時間間隔で第1ライン速度から第2ライン速度まで変化するように加速または減速をもたらすことができ、前記第1ライン速度と前記第2ライン速度の差は約10%を上回るものであり、前記より短い時間間隔は約10秒未満である。

40

【0022】

1実施形態では、本発明の目的は、少なくとも第1材料および少なくとも気孔の第1グループを含むファイバプリフォームからテーパ形光ファイバを作製するための線引タワー

50

システムを提供することであり、前記線引タワーは、加熱装置、プリフォーム保持具、送り装置、キャプスタン、および前記気孔の第1グループに加圧するための圧力制御システムを備える。プリフォーム保持具は、ファイバプリフォームの第2終端を固定することができ、送り装置は、前記プリフォーム保持具を前記加熱装置に対してある送り速度で移動させることができ、加熱装置は、前記ファイバプリフォームの少なくとも一部分を加熱することができる。キャプスタンは、前記ファイバプリフォームの第1終端に引張り力を加え、前記ファイバプリフォームの前記第1終端から光ファイバをあるライン速度で線引する。圧力制御システムは、第1エンクロージャと、流路を介して前記第1エンクロージャと気孔の第1グループを接続する流れシステムとを備え、前記圧力制御システムは、前記第1エンクロージャに加圧するためのポンプを備え、前記流れシステムは、第1期間 t_1 以内で開くことのできるオンオフ弁を備え、前記弁が開かれたとき、前記第1エンクロージャが前記気孔の第1グループに流体接触し、 t_1 は約10秒未満である。第1エンクロージャは、オンオフ弁が開かれたときの流れシステムにおける高速の圧力調節を容易にする緩衝貯蔵器として働く。

10

【0023】

1実施形態では、本発明の目的は、少なくとも第1材料および少なくとも気孔の第1グループを含むファイバプリフォームからテーパ形光ファイバを作製するための線引タワーシステムを提供することであり、前記線引タワーは、加熱装置、プリフォーム保持具、送り装置、キャプスタン、および前記気孔の第1グループに加圧するための圧力制御システムを備える。プリフォーム保持具は、ファイバプリフォームの第2終端を固定することができ、送り装置は、前記プリフォーム保持具を前記加熱装置に対してある送り速度で移動させることができ、加熱装置は、前記ファイバプリフォームの少なくとも一部分を加熱することができる。キャプスタンは、前記ファイバプリフォームの第1終端に引張り力を加え、前記ファイバプリフォームの前記第1終端から光ファイバをあるライン速度で線引する。圧力制御システムは、前記気孔の第1グループに流体接触するように配置されたポリュームの圧力を、第1期間 t_1 において第1倍数だけ変化させることができ、 t_1 は約10秒未満である。

20

【0024】

1実施形態では、テーパ形フィーチャは、コア領域の最大の断面の寸法と、コア領域の断面積と、クラッド領域の直径などクラッド領域の最大の断面の寸法と、クラッド領域の断面積と、光ファイバの断面の外側の最大寸法と、光ファイバの断面積と、微細構造光ファイバの要素の最大の断面の寸法と、微細構造光ファイバの要素の格子のピッチとのグループから選択される。

30

【0025】

光ファイバのいくつかのフィーチャは、縮小テーパ部分および拡大テーパ部分において同時に変化してよい。例えば、光ファイバが縮小テーパ化されるとき、コア領域の直径とファイバの直径が同時に縮小されてよい。場合によっては、縮小テーパ部分においてコア径が縮小されているのにファイバの直径が実質的に一定であってよいなど、互いに無関係に変化するフィーチャが存在する。このような構成は、例えば、テーパ形光ファイバの製造中にファイバプリフォームのホールに圧力を加えることによって実現され得る。

40

【0026】

本出願の文脈では、コア領域など光ファイバの領域の慣用句「最大の断面の寸法」は、領域の円形断面の直径または領域の非円形断面を囲む円の直径を指す。円形のコア領域の最大の断面の寸法は、したがってコア径でよく、円形のクラッド領域の最大の断面の寸法は、したがってクラッド径でよい。例えば楕円形のコア領域を有する光ファイバでは、コア領域の最大の断面の寸法は、コア領域を描く楕円の長軸に沿ったコア領域の断面の延長部でよい。

【0027】

1実施形態では、前記第2テーパ部分の主要部（すなわち全長の少なくとも50%を上回る部分）にわたる前記フィーチャの平均傾斜は、前記第1テーパ部分の主要部にわたる

50

前記フィーチャの平均傾斜より大きい。前記第1テーパ部分の前記フィーチャの縮小テーパ化は、第1平均傾斜 G_1 を有してよく、前記第2テーパ部分の前記フィーチャの拡大テーパ化は、第2平均傾斜 G_2 を有してよく、ここで、 $G_1 = x \cdot G_2$ であり、 x は、約0.90未満など、約0.8未満など、約0.7未満など、約0.6未満など、約0.5未満など、約0.4未満など、約0.3未満など、約0.25未満など、約0.2未満など、約0.15未満など、約0.1未満など、約0.05未満など、約0.02未満など、約0.01未満など、約0.005未満など、約0.002未満など、約0.001未満など、約0.0005未満など、1未満である。

【0028】

1実施形態では、フィーチャに関する G_1 および/または G_2 は、1メートル当たり100%未満など、1メートル当たり75%未満など、1メートル当たり50%未満など、1メートル当たり25%未満など、1メートル当たり10%未満など、1メートル当たり5%未満など、1メートル当たり2%未満など、1メートル当たり1%未満など、1メートル当たり0.1%未満など、1メートル当たり約150%未満であってよい。1実施形態では、 G_1 および/または G_2 は、1メートル当たり1%超など、1メートル当たり2%超など、1メートル当たり5%超など、1メートル当たり10%超など、1メートル当たり25%超など、1メートル当たり50%超など、1メートル当たり75%超など、1メートル当たり100%超など、1メートル当たり150%超など、1メートル当たり0.1%超であってよい。

【0029】

フィーチャが、コアの最大の断面の寸法または微細構造光ファイバの要素の格子のピッチなど、長さとして測定される1実施形態では、 G_1 および/または G_2 は、約200 $\mu\text{m}/\text{m}$ 未満など、約150 $\mu\text{m}/\text{m}$ 未満など、約100 $\mu\text{m}/\text{m}$ 未満など、約50 $\mu\text{m}/\text{m}$ 未満など、約20 $\mu\text{m}/\text{m}$ 未満など、約15 $\mu\text{m}/\text{m}$ 未満など、約12 $\mu\text{m}/\text{m}$ 未満など、約10 $\mu\text{m}/\text{m}$ 未満など、約8 $\mu\text{m}/\text{m}$ 未満など、約6 $\mu\text{m}/\text{m}$ 未満など、約4 $\mu\text{m}/\text{m}$ 未満など、約2 $\mu\text{m}/\text{m}$ 未満など、約1 $\mu\text{m}/\text{m}$ 未満など、約0.5 $\mu\text{m}/\text{m}$ 未満など、約0.2 $\mu\text{m}/\text{m}$ 未満など、約0.1 $\mu\text{m}/\text{m}$ 未満など、約0.05 $\mu\text{m}/\text{m}$ 未満など、約0.01 $\mu\text{m}/\text{m}$ 未満など、約0.001 $\mu\text{m}/\text{m}$ 未満など、約300 $\mu\text{m}/\text{m}$ 未満であってよい。

【0030】

同時に、第1平均傾斜 G_1 および/または G_2 は、約0.01 $\mu\text{m}/\text{m}$ 超など、約0.1 $\mu\text{m}/\text{m}$ 超など、約0.2 $\mu\text{m}/\text{m}$ 超など、約0.5 $\mu\text{m}/\text{m}$ 超など、約1 $\mu\text{m}/\text{m}$ 超など、約1.5 $\mu\text{m}/\text{m}$ 超など、約2 $\mu\text{m}/\text{m}$ 超など、約5 $\mu\text{m}/\text{m}$ 超など、約8 $\mu\text{m}/\text{m}$ 超など、約10 $\mu\text{m}/\text{m}$ 超など、約12 $\mu\text{m}/\text{m}$ 超など、約15 $\mu\text{m}/\text{m}$ 超など、約20 $\mu\text{m}/\text{m}$ 超など、約30 $\mu\text{m}/\text{m}$ 超など、約50 $\mu\text{m}/\text{m}$ 超など、約100 $\mu\text{m}/\text{m}$ 超など、約150 $\mu\text{m}/\text{m}$ 超など、約200 $\mu\text{m}/\text{m}$ 超など、約0.001 $\mu\text{m}/\text{m}$ 超であってよい。ここで、前述の「~超」および「~未満」という値は、例えば1 $\mu\text{m}/\text{m} < G_1 < 10\mu\text{m}/\text{m}$ および0.1 $\mu\text{m}/\text{m} < G_2 < 5\mu\text{m}/\text{m}$ など、組み合わせられて間隔を形成してよい。本文の他の個所で説明されるように、 G_1 は、例えばソリトンとDWの間の効率的な結合を容易にするために、相対的な適度の傾斜を一般に有することになり、一方、 G_2 は、生成されたスーパーコンティニュームの時間的広がりを低減するために、短いテーパをもたらずように、一般に相対的に大きい傾斜を有する。

【0031】

一般に、より大きな寸法は、より小さなフィーチャと比較して、比較的より大きい傾斜を有する。1実施形態では、クラッドの微細構造は、約10 $\mu\text{m}/\text{m}$ 未満など、約5 $\mu\text{m}/\text{m}$ 未満など、約2 $\mu\text{m}/\text{m}$ 未満など、約1 $\mu\text{m}/\text{m}$ 未満など、約0.75 $\mu\text{m}/\text{m}$ 未満など、約0.5 $\mu\text{m}/\text{m}$ 未満など、約0.25 $\mu\text{m}/\text{m}$ 未満など、約0.1 $\mu\text{m}/\text{m}$ 未満など、約0.01 $\mu\text{m}/\text{m}$ 未満など、15 $\mu\text{m}/\text{m}$ 未満の傾斜 G_1 および/または G_2 を有する。1実施形態では、コア径は、約25 $\mu\text{m}/\text{m}$ 未満など、約10 $\mu\text{m}/\text{m}$ 未満など、約5 $\mu\text{m}/\text{m}$ 未満など、約2 $\mu\text{m}/\text{m}$ 未満など、約1 $\mu\text{m}/\text{m}$ 未満など、約0.75 μ

10

20

30

40

50

m/m未満など、約0.5 μm /m未満など、約0.25 μm /m未満など、約0.1 μm /m未満など、約0.01 μm /m未満など、50 μm /m未満の傾斜 G_1 および/または G_2 を有する。1実施形態では、クラッド径は、約200 μm /m未満など、約150 μm /m未満など、約100 μm /m未満など、約50 μm /m未満など、約25 μm /m未満など、約10 μm /m未満など、約5 μm /m未満など、約2 μm /m未満など、約1 μm /m未満など、300 μm /m未満の傾斜 G_1 および/または G_2 を有する。1実施形態では、ピッチすなわちクラッドの微細構造の間の距離は、約10 μm /m未満など、約5 μm /m未満など、約2 μm /m未満など、約1 μm /m未満など、約0.75 μm /m未満など、約0.5 μm /m未満など、約0.25 μm /m未満など、約0.1 μm /m未満など、約0.01 μm /m未満など、15 μm /m未満の傾斜 G_1 および/または G_2 を有する。上記に類似して、傾斜 G_1 および/または G_2 は、上記で引用された値より大きくてもよく、これらの値を組み合わせて間隔を形成してよい。

10

【0032】

フィーチャが、コアの面積または微細構造光ファイバの一部分を形成する要素の面積など、面積として測定される実施形態では、 G_1 および/または G_2 は、約50000 μm^2 /m未満など、約20000 μm^2 /m未満など、約10000 μm^2 /m未満など、約5000 μm^2 /m未満など、約1000 μm^2 /m未満など、約500 μm^2 /m未満など、約400 μm^2 /m未満など、約200 μm^2 /m未満など、約150 μm^2 /m未満など、約125 μm^2 /m未満など、約100 μm^2 /m未満など、約75 μm^2 /m未満など、約50 μm^2 /m未満など、約25 μm^2 /m未満など、約10 μm^2 /m未満など、約5 μm^2 /m未満など、約1 μm^2 /m未満など、約0.1 μm^2 /m未満など、約0.01 μm^2 /m未満など、約0.001 μm^2 /m未満など、約70000 μm^2 /m未満であってよい。上記に類似して、傾斜 G_1 および/または G_2 は、上記で引用された値より大きくてもよく、これらの値を組み合わせて間隔を形成してよい。

20

【0033】

一般に、より大きな寸法は、より小さなフィーチャと比較して、比較的より大きい傾斜を有する。1実施形態では、クラッドの微細構造は、約100 μm^2 /m未満など、約50 μm^2 /m未満など、約25 μm^2 /m未満など、約15 μm^2 /m未満など、約10 μm^2 /m未満など、約5 μm^2 /m未満など、約2.5 μm^2 /m未満など、約1 μm^2 /m未満など、約0.5 μm^2 /m未満など、約0.1 μm^2 /m未満など、約0.01 μm^2 /m未満など、150 μm^2 /m未満の傾斜 G_1 および/または G_2 を有する。1実施形態では、コア径は、約1500 μm^2 /m未満など、約1000 μm^2 /m未満など、約500 μm^2 /m未満など、約200 μm^2 /m未満など、約100 μm^2 /m未満など、約50 μm^2 /m未満など、約25 μm^2 /m未満など、約15 μm^2 /m未満など、約10 μm^2 /m未満など、約5 μm^2 /m未満など、約2.5 μm^2 /m未満など、約1 μm^2 /m未満など、約0.5 μm^2 /m未満など、約0.1 μm^2 /m未満など、約0.01 μm^2 /m未満など、2000 μm^2 /m未満の傾斜 G_1 および/または G_2 を有する。1実施形態では、クラッド径は、約50000 μm^2 /m未満など、約25000 μm^2 /m未満など、約10000 μm^2 /m未満など、約5000 μm^2 /m未満など、約2500 μm^2 /m未満など、約1500 μm^2 /m未満など、約1000 μm^2 /m未満など、約500 μm^2 /m未満など、約200 μm^2 /m未満など、約100 μm^2 /m未満など、約50 μm^2 /m未満など、約25 μm^2 /m未満など、約15 μm^2 /m未満など、約10 μm^2 /m未満など、約5 μm^2 /m未満など、約2.5 μm^2 /m未満など、約1 μm^2 /m未満など、約0.5 μm^2 /m未満など、約0.1 μm^2 /m未満など、約0.01 μm^2 /m未満など、70000 μm^2 /m未満の傾斜 G_1 および/または G_2 を有する。上記に類似して、傾斜 G_1 および/または G_2 は、上記で引用された値より大きくてもよく、これらの値を組み合わせて間隔を形成してよい。フィーチャは、前記ウエスト部分の少なくとも一部分に沿って変化してよい。ウエスト部分のフィーチャの変化の平均傾斜は、第1テーパ部分の傾斜の、少なくとも約1/1.5未満など、少なくとも約1/2未満など、少なくとも約1/3未満など、少なくとも約

30

40

50

1 / 5 未満など、少なくとも約 1 / 7 未満など、少なくとも約 1 / 10 未満など、少なくとも約 1 / 15 未満など、少なくとも約 1 / 20 未満など、少なくとも約 1 / 50 未満など、少なくとも約 1 / 100 未満など、第 1 テーパ部分のフィーチャの変化の平均傾斜未満であってよい。

【 0 0 3 4 】

1 実施形態では、第 1 テーパ部分および / または第 2 テーパ部分は、テーパ部分の、少なくとも約 50 % に沿ってなど、少なくとも約 60 % に沿ってなど、少なくとも約 70 % に沿ってなど、少なくとも約 80 % に沿ってなど、少なくとも約 90 % に沿ってなど、少なくとも約 95 % に沿ってなど、実質的にテーパ部分の全長に沿ってなど、テーパ部分の主要部に沿って実質的に一定の傾斜を有する。

10

【 0 0 3 5 】

1 実施形態では、フィーチャの傾斜は第 1 テーパ部分および / または第 2 テーパ部分に沿って変化する。例えば第 1 テーパ部分のコア領域における傾斜の変化は、第 1 長手方向位置の近くの傾斜が、ウエスト部分の近くの傾斜より大きくなっていてよい。テーパのウエストの近くの傾斜が、第 1 長手方向位置の近くの傾斜より大きくなるような反対の場合もあり得る。傾斜は、第 1 テーパ部分の中央部で最大になってもよい。例えば第 2 テーパ部分のコア領域における傾斜の変化は、第 2 長手方向位置の近くの傾斜が、ウエスト部分の近くの傾斜より大きくなっていくようなものであってよい。テーパのウエストの近くの傾斜が、第 2 長手方向位置の近くの傾斜より大きくなるような反対の場合もあり得る。傾斜は、第 2 テーパ部分の中央部で最大になってもよい。

20

【 0 0 3 6 】

前記光ファイバの所与のフィーチャの第 1 テーパ部分に沿った値は、関数 f によって説明され得て、この関数は、テーパの第 1 長手方向位置で第 1 値 f_1 を有し、テーパのウエストにおいてウエスト値 f_w を有し、 $f_a = (f_1 + f_w) / 2$ によって定義される平均値 f_a を有する。関数がこの平均値を有する位置は、平均位置と称されてよい。

【 0 0 3 7 】

前記第 1 テーパ部分のフィーチャの傾斜が、テーパのウエストの近くで、第 1 長手方向位置の近くより大きいとき、関数がその平均値 f_a を有する平均位置は、第 1 長手方向位置よりウエスト部分に、より近く配置されていてよい。平均位置は、平均位置からテーパのウエストへの距離と平均位置から第 1 長手方向位置への距離の間の比が、約 0.9 未満など、約 0.85 未満など、約 0.8 未満など、約 0.7 未満など、約 0.6 未満など、約 0.5 未満など、約 0.4 未満など、約 0.3 未満など、約 0.2 未満など、約 0.1 未満など、約 0.95 未満であるように配置されてよい。

30

【 0 0 3 8 】

前記第 1 テーパ部分のフィーチャの傾斜が、テーパのウエストの近くで、第 1 長手方向位置の近くより大きいとき、傾斜は、2 つの位置 a と b の間に配置された前記第 1 テーパ部分の少なくとも一部分に沿って徐々に増加してよく、第 1 テーパ部分のこの部分が凹形状になる。

【 0 0 3 9 】

前記第 1 テーパ部分の凹部のくぼみは、 $[0, 1]$ 内の任意の t に関して、また、位置 a と b の間に配置された第 1 テーパ部分の一部分における任意の 2 つのポイント x および y に関して、前記光ファイバのフィーチャに関する関数 f は、次式に従い得るようなものであってよい。

40

$$f(t x + (1 - t) y) = t f(x) + (1 - t) f(y)$$

フィーチャの傾斜が第 1 テーパ部分に沿って実質的に一定の直線状テーパと比較して、上記で与えられた式は、 x と y の間に配置された第 1 テーパ部分の一部分に沿ったすべての位置 z に関して、 f のグラフ上のポイント $(z, f(z))$ が、直線状テーパのポイント $(x, f(x))$ と $(y, f(y))$ をつなぐ直線上にあることを明示する。

【 0 0 4 0 】

図 6 には、曲線 f と一定の傾斜を有する直線状テーパに対応する直線間の関係が示さ

50

れている。

傾斜が増加している部分から傾斜が実質的にゼロである部分への、急激な変化のない滑らかな移行をもたらすために、ウエストに近づくとき傾斜の変化は均一になってよい。以下の理論によれば、特定の赤色端への群速度整合によって青色端波長を見いだすことができる。この赤色端は、1) 石英に関する2200~2400 nmなど、ファイバ材料の長波長の損失端と、2) ファイバの第2長波長のゼロ分散波長から約50 nmを減じたもの、との2つの波長のうち短い方である。図19には、これらの特性波長がピッチに対して示されている(図18をも参照されたい)。次に、青色端波長は、一般に、大抵の場合は比較的平坦である所与のピッチのあたりに最小値を有する。この平坦さは、最低の青色端波長を有する最適のピッチが例えば2.0マイクロメートルであったとしても、例えば2.4マイクロメートルのピッチがかなり最小値に近い青色端を示し得ることを意味する。これは、凹形のテーパが、テーパ入口において可能な限り小さい群加速度不整合(GAM: group acceleration mismatch)を有するという点で有利であり得ることを意味する。そのGAMは、次いで、テーパを下降すると増加することになり、これは、DWのパワーが減少することになることを意味する。しかし、DWの過大なパワー損失が始まるピッチが最適ピッチに十分に近い場合は、前述の平坦さが、たまたま達成可能な最小限の青色端に近いことを意味する。

【0041】

スペクトル端が、ファイバへの入力とテーパのウエストの間のいくつかのポイントにおける群速度(GV)整合により、分散波(DW: dispersive wave)の青色端に連結されたソリトンの赤色端によって主として求められる、ポンプ源とファイバの組合せに対して、テーパ形光ファイバのSCGの基礎をなす物理的特性を説明するための理論構造の1つが有効である。これは、一般に、ファイバが異常領域の波長で、すなわちゼロ分散波長(ZDW: zero dispersion wavelength)を上回る波長で、または異常領域未満であるがZDWに比較的近い波長で、ポンプ光のスペクトルの幅のいくらかがZDWを上回るように、または大量のポンプ光が、例えば自己位相変調により、ZDWを上回ってレッドシフトするように、光をポンピングされる場合である。この波長は、例えば、ZDWから100 nm未満を減じたものなど、ZDWから50 nm未満を減じたものなど、ZDWから25 nm未満を減じたものなど、ZDWから10 nm未満を減じたものなど、ZDWから1 nm未満を減じたものなど、ZDWから150 nm未満を減じたものであり得る。1実施形態では、ファイバは、通常様式においてZDW未満でポンピングされ、ZDWを、ポンプ波長の近くに持って来るように、または異常様式にさえ持ち込むように、ZDWが、より短い波長へとシフトされる。利点の1つには、長いZDWを有するファイバは、一般により大きなコアを有し、ファイバへのより簡単な結合を助長することがあり得る。1実施形態では、ZDWのこのシフトは、例えば第1テーパ部分の傾斜と異なる傾斜を有する、第1長手方向位置より以前のテーパによってもたらされる。1実施形態では、非常に短いテーパが利用され、その後では、ファイバには第1長手方向位置までテーパがない。1実施形態では、これは、より短い初期ZDWを有するファイバへの結合を改善するのに効果的に対応する。1実施形態では、ZDWのシフトは、第1長手方向位置の後で、例えば縮小テーパの初期部分にかなり小さな傾斜を与えることにより遂行される。出力光を生成するために本発明によるファイバを備えるスーパーコンティニューム光源の場合には、前記第1長手方向位置および/または前記ウエストおよび/または前記入力端における、ポンプ源の中心波長と基本のコア・モードのゼロ分散波長間の差は、約100 nm未満など、約50 nm未満など、約25 nm未満など、約15 nm未満など、約10 nm未満など、約5 nm未満など、約2 nm未満など、約1 nm未満など、約200 nm未満であり得る。1実施形態では、ゼロ分散波長は、2つのうち短い方である。1実施形態では、ゼロ分散波長は、2つのうち長い方である。この理論構造では、レッドシフト・ソリトンとDWが互いに追いつくとき端が形成され、それらが衝突して、相互位相変調(XPM: cross-phase modulation)により相互作用することが可能になる。DWは、群速度(GV: Group-Veloc

10

20

30

40

50

ity)のプロファイルがソリトン波長の近くよりも急峻な短波長に存在するので、衝突させるにはソリトンを減速する必要があり、このことは、衝突によって、DWがソリトンより低いGVへと押されるはずであることを意味する。この減速は、ソリトンをより低いGVへとレッドシフトさせるパルス内ラマン散乱に由来し得る。ファイバをテーパ化することにより、同様に減速を実現することができ、この場合、GVの変化がソリトンの減速をもたらし得る。減速するソリトンが最終的にDWと衝突し、それらがXPMによって相互作用する。それによって、DWの一部が青色にさらに押し下げられる。DWの特定の部分だけがブルーシフトされるという事実は、ソリトンとDWが衝突するときのソリトンとDWの間のGV不整合(GVM:GV mismatch)によるものである。DWの残りの部分はそのままだとされて、青色端より長い波長でスーパーコンティニュームに寄与する。

10

【0042】

本発明者は、光ファイバの第1テーパ部分におけるフィーチャの傾斜が、青色端で利用可能なパワーに対して大きな影響を及ぼすこと、また、定義された群加速度不整合(GAM)が、この影響を定量化するのに適切であることを理解した。

【0043】

テーパでは、ソリトンのGVとDWのGVは、別の割合で変化する。したがって、ソリトンとDWがテーパの前でGV整合していたとしても、次いでテーパによってGVMが強制されることになり、これは、やはりソリトンがDWの小部分だけを捕えてブルーシフトし得ることを意味する。テーパによってソリトンとDWに与えられるGVMが、当初はテーパの入口でGV整合されている様子が図7に示されている。図7の光ファイバは、要素として気孔を有する微細構造光ファイバに選択される。気孔は、テーパ部分の入口(長手方向の $z = z_0$)でピッチ $= 3.7 \mu\text{m}$ を有し、テーパの中への距離 z でピッチ $= 1.8 \mu\text{m}$ を有する三角形の格子に配置されている。図7では、テーパは、傾斜が一定の直線状であって、気孔径対ピッチの比が一定である。しかし、この考察は、光ファイバのテーパ部分のテーパ化にตอบสนองして変化するパラメータを描写する任意のフィーチャに対して有効である。ソリトンに関する群加速度(GA)は、光ファイバの前後軸に沿った位置(z)に対するソリトンGVの導関数として次式で定義され得て、

20

【0044】

【数1】

$$GA_{sol} = \frac{\partial GV_{sol}}{\partial z} \Big|_{\lambda=\lambda_{sol}}$$

30

【0045】

DWに関する群加速度も同様に定義され得る。この表現では、波長は一定であると想定されているが、これは短い距離にしかあてはまり得ない。DWとソリトンの群加速度不整合(GAM)は、次式で近似され得る。

【0046】

【数2】

$$GAM \approx \frac{GV_{DW}(z_0 + \Delta z) - GV_{sol}(z_0 + \Delta z)}{\Delta z}$$

40

【0047】

GAMパラメータは、図7に示されるように計算することができ、図7ではGAMが第1テーパ部分のソリトン波長および傾斜に依拠することが理解される。DW波長は、GVMによって決定される。図8は、傾斜および $z = 10 \text{ mm}$ のソリトン波長に伴ってGAMが増加する様子を示す(図7では、「傾斜」の代わりに慣用句「峻度」が用いられている)。

【0048】

長波長および非常に急峻なテーパについては、長波長のゼロ分散波長(Z_{DW})の近傍

50

ではGAMが減少する。

したがって、ソリトンとDWの間の相互作用は、テーパのプロファイルに依拠し得る。図9aに示されたテーパのプロファイルに関して、最もブルーシフトされた捕捉DWのエネルギーを求めるために、シミュレーションが遂行された。これらのテーパのプロファイルは、全長は同一であるが、第1テーパ部分の傾斜が一様ではない。図9bは、第1テーパ部分で最大の傾斜を有するテーパのウエストでのエネルギーに対して正規化された、計算されたエネルギーを示す。破線はテーパのウエストでの値を示し、実線はファイバ終端での値を示す。図9のグラフにより、最もブルーシフトされた捕捉DWのエネルギーが、第1テーパ部分の傾斜の増加に伴って減少することが確認される。このケースでは、傾斜が1/6に低減されると、ブルーシフトされたエネルギーは、ほぼ15倍に増加される。これら2つのグラフは、青色SC発生に関して、所与の長さのテーパに対する最適のプロファイルはGAMを最小化するものであり、すなわち第1テーパ部分の傾斜が、好ましくは最小化されるべきであることを示す。

【0049】

このモデルを用いて達した結論は、(1)ソリトンとDWは、テーパに入るときGV整合されている、および(2)ソリトンは、長波長のZDWまたはファイバ材料の損失端に近づかない、という2つの仮定に依存するものである。第2仮定が、第1テーパ部分の長さに対して効果的に上限を強制し得る。このモデルは、第1テーパ部分の傾斜が下降されるとき、ソリトンがDWからより大きなエネルギーを捕捉しておくことができ、より大きなエネルギーがスーパーコンティニューム・スペクトルの青色端で見いだされると予測する。このモデルは、ソリトンに対するGVMが壊れる、テーパのウエストの少し後で、捕捉されたDWがブルーシフトされることも示す。これは、ソリトンの後部が、GVMが完全に壊れる前に、拡大テーパ化がちょうど始まるところで、DWに小さなブルーシフトを与えることによるものであり得る。

【0050】

本発明の有効性にとって不可欠ではなく、また、どのような形でも本発明の範囲を限定するものではないが、上記で提供されたモデルは、結果を説明することができる理論構造をもたらすのに有用であると判明している。したがって、このモデルは本発明の実施形態を定義すると考えられる。

【0051】

上記で説明された理論的理解に基づいて、スーパーコンティニュームの用途に関するファイバの重要な実施形態が、長さ L_0 、 L_1 と、ファイバのパラメータに対するフィーチャの傾斜プロファイル(分散プロファイルなど)およびポンプ源のパルス特性とのバランスをとることにより見いだされる。この理論構造によれば、第1テーパ部分の長さ L_1 は、変化する群速度プロファイルと、テーパに沿って群速度整合されたソリトンによるDWの連続的なブルーシフトとを利用することにより、青色端をより短い波長の方へシフトするのに使用される。次いで、テーパ以前の部分が、ポンプ光を受け取るように設計される。テーパ以前の部分は、一般に変調不安定性によってポンプ・パルスからソリトン・パルスを生成し、ならびにソリトンのレッドシフトの一部をもたらし、それによってスーパーコンティニュームの一部分を生成するのにさらに使用されてもよい。1実施形態では、長さ L_0 は、テーパによって操作されることになるソリトンおよびDWのかなりの部分を生成するように十分に長く選択される。1実施形態では、長さ L_0 は短く、またはゼロでさえあり、それによって初期の発生が第1テーパ部分で遂行される。上記で説明されたように、ポンプ・パルスの持続時間は、多くの場合テーパの長さにとって重要であり、また、 L_0 の最適の長さは、 $L_0^2 = \frac{P_0 T_0^2}{|\beta_2|}$ で与えられるソリトン数Nによるポンプ・パルス長に依拠するものと予期され、この式で、 β_2 は非線形性パラメータであり、 P_0 はポンプのピークパワーであり、 T_0 はポンプ・パルス長であり、 β_2 は群速度分散である。ソリトン数がより大きければ、SCG工程がより効率的になり、 L_0 および/または L_1 の長さがより短くなくてはならない。大抵の場合、 L_0 の長さは、第1テーパ部分の長さを犠牲にする必要なく不完全なスプライシングを補正することができるように

、非ゼロにされることになる。テーパのウエストの長さは、1実施形態では、縮小テーパの傾斜 G_1 を最小化するように、利用可能な長さをすべて用いるために、また、あまりにも多くのソリトンが損失端にレッドシフトするのを防止するために、好ましくは短い。1実施形態では、 L_2 および L_3 は、損失および一時的なパルス分散を最小化するために、できるだけ短くすることになる。

【0052】

上記に基づいて、 L_0 の長さは、1実施形態では、100m未満など、50m未満など、30m未満など、20m未満など、10m未満など、5m未満など、2m未満など、1m未満など、0.75m未満など、0.5m未満など、0.3m未満など、0.1m未満など、150mより短い。 L_2 は、1実施形態では、30m未満など、20m未満など、10m未満など、5m未満など、2m未満など、1m未満など、0.75m未満など、0.5m未満など、0.3m未満など、0.1m未満など、50mより短い。 L_3 は、1実施形態では、30m未満など、20m未満など、10m未満など、5m未満など、2m未満など、1m未満など、0.75m未満など、0.5m未満など、0.3m未満など、0.1m未満など、50m未満である。

10

【0053】

1実施形態では、 L_1 は、100m未満など、50m未満など、30m未満など、20m未満など、10m未満など、5m未満など、2m未満など、1m未満など、0.75m未満など、0.5m未満など、0.3m未満など、150m未満である。しかし、上記で論じたように、比較的小さな傾斜は、ソリトンとDWの間の効率的な結合を得るのに好ましいものであり得る。したがって、 L_1 は、1実施形態では、0.75m超など、1m超など、1.5m超など、2m超など、3m超など、4m超など、5m超など、6m超など、7m超など、8m超など、9m超など、10m超など、13m超など、15m超など、17m超など、20m超など、0.3m超である。ここで、「~未満」および「~超」に関する上記の値は、1実施形態では、間隔を形成するために結合可能であるように意図されている。

20

【0054】

1実施形態では、 L_1 および L_2 に関して上記で引用された値は、上記で引用された傾斜を用いて結合可能である。

第1テーパ部分と第2テーパ部分の長さが異なる実施形態では、長さの差は式 $L_2 = y \cdot L_1$ によって表わされ得て、ここで、 y は、約0.9未満など、約0.8未満など、約0.7未満など、約0.6未満など、約0.5未満など、約0.4未満など、約0.3未満など、約0.25未満など、約0.2未満など、約0.15未満など、約0.1未満など、約0.05未満など、約0.04未満など、約0.03未満など、約0.02未満など、約0.01未満など、約0.005未満など、約0.002未満など、約0.001未満など、約0.0005未満など、1未満である。

30

【0055】

第2テーパ部分は、ファイバが、例えば他の光ファイバまたはファイバの構成要素に比較的容易に結合され得るような寸法への拡大テーパ化をもたらしてよい。

第1テーパ部分と第2テーパ部分が別々の長さを有することの利点の1つには、広帯域光を生成するように構成されたポンプ光信号が、例えばコア径が縮小するテーパ部分を通じて伝搬するとき、電磁スペクトルの青色部分の波長など、より短い波長における光の発生が、コア径が、数メートルなど、比較的長い縮小テーパ化にわたって縮小するとき、より効率的であり得ることがあってよい。しかし、本発明者は、第2テーパ部分における元のコア径への比較的長い拡大テーパ化が、例えば第1テーパ部分で生成されたスペクトル的に広範な信号の、例えば波長分散に関連した一時的広がりをもたらし得ることを理解した。本発明者は、かなり短い拡大テーパ部分が続く長い縮小テーパ部分を有する光ファイバを実現するための方法および装置をさらに発明した。

40

【0056】

この装置により、最初に光ファイバのコーティングを取り除き、次いでテーパ・ステー

50

ションでテーパ化してから再コーティングする従来技術のテーパと比較して、テーパ形ファイバを直接コーティングするという利点をもたらされ得る。本発明の装置および方法により、ファイバの製造中にテーパ化が直接遂行され、それによって、いわゆるテーパ・ステーションでファイバのテーパを製造するいくつかの従来技術の方法で必要とされる、コーティング除去および再コーティングなどの後処理ステップの必要性が解消される。

【0057】

コア領域は石英コアなど単一材料のコアでよく、これを、別々の有効屈折率を有するクラッド領域が取り巻く。

1実施形態では、コア領域は、前記第1長手方向位置における第1コア領域 A_1 から前記テーパのウエストにおけるウエストのコア領域 A_w へと、前記第1テーパ部分にわたって縮小テーパ化され、前記コア領域は、前記第2長手方向位置における第2コア領域 A_2 へと、前記第2テーパ部分にわたって拡大テーパ化される。ウエストのコア領域は、テーパ部分に沿って見いだされる最も小さな断面のコア領域でよい。

10

【0058】

微細構造光ファイバでは、コア領域は、直接コアを取り巻くように配置されたファイバの要素に内接する円の領域として定義されてよい。

1実施形態では、光ファイバは入力端および出力端を備える。コア領域は、入力端に入力コア領域 A_{in} を有し、出力端に出力コア領域 A_{out} を有する。

【0059】

1実施形態では、 A_{in} は A_{out} と実質的に同一である。

20

1実施形態では、 A_{in} は A_{out} より大きい。

1実施形態では、 A_{in} は A_{out} より小さい。

【0060】

前記入力端における光ファイバの外径は、前記出力端における前記光ファイバの外径と実質的に等しくてよい。

本発明に照らして、慣用句、光ファイバの「外径」は、そうでないことが明確な場合を除いて、いかなる保護コーティングも含まない最も外側のクラッドの最大断面の寸法を指す。場合によっては、この直径を指すとき、慣用句「クラッド径」も用いられてよい。

【0061】

この光ファイバは、前記入力端と前記テーパ部分の間に配置された入力部分および/または前記テーパ部分と前記出力端の間に配置された出力部分を備えてよい。

30

1実施形態では、光ファイバ部分は、入力端と第1長手方向位置の間に配置される。この部分の長さは、0.1mm超など、0.5mm超など、1mm超など、5mm超など、10mm超など、20mm超など、50mm超など、100mm超など、約0.01mm超であってよい。

【0062】

1実施形態では、光ファイバ部分は、第2長手方向位置と出力端の間に配置される。この部分の長さは、0.1mm超など、0.5mm超など、1mm超など、5mm超など、10mm超など、20mm超など、50mm超など、100mm超など、約0.01mm超であってよい。

40

【0063】

これらの入力部分および出力部分は、それぞれ前記フィーチャおよび/または部分の、実質的に一定の値を有する部分を備えてよく、光ファイバは、例えば第1テーパ部分の前に配置された前テーパ部分および/または前記第2テーパ部分の後に配置された後テーパ部分を有し、前テーパ部分および後テーパ部分では、前記フィーチャの値が変化してよい。

【0064】

光ファイバはテーパ部分からなっており、すなわち、テーパ部分が光ファイバの入力端から出力端に延在してよい。

1実施形態では、クラッド領域は、第1クラッド領域 A_{c1} から、ウエストのクラ

50

ッド領域 $A_{c1, w}$ へと、前記第 1 長さによって縮小テーパ化され、かつ/または第 2 クラッド領域 $A_{c1, 2}$ へと、前記第 2 長さによって拡大テーパ化される。

【0065】

縮小テーパ化と拡大テーパ化は、前記フィーチャの値がテーパ部分の両側で実質的に同一になるものでよい。1 実施形態では、第 1 コア領域は、前記第 2 コア領域と実質的に等しい。1 実施形態では、第 1 クラッド領域は、前記第 2 クラッド領域と実質的に等しい。1 実施形態では、実質的に等しいとは、20%未満の範囲内など、10%未満の範囲内など、5%未満の範囲内など、1%未満の範囲内など、30%未満の範囲内である。

【0066】

テーパのウエストは、光ファイバの長手方向に沿った単一のポイントで実質的に局地化されてよい。このような局所的なテーパのウエストは、第 1 テーパ部分と第 2 テーパ部分が実質的に互いに直接連続するように配置されたとき、得られてよい。

【0067】

テーパのウエストは、テーパ形光ファイバの前後軸に沿ってウエスト長 L_w にわたって延在するウエスト部分に含まれてよく、ウエスト部分は、第 1 テーパ部分と第 2 テーパ部分の間に配置されている。フィーチャは、前記ウエスト部分の主要部にわたって、最小値またはこの値と実質的に等しい値を有してよく、前記ウエスト部分の主要部にわたるフィーチャの値の変化が、前記テーパのウエストにおける前記フィーチャの最小値の、約 15%未満など、約 10%未満など、約 8%未満など、約 5%未満など、約 2%未満など、約 1%未満など、約 25%未満になり得るように、前記フィーチャが、ウエスト部分の長さの前記主要部に沿って一定であるなどでよい。主要部は、ウエスト部分の、少なくとも約 60%など、少なくとも約 70%など、少なくとも約 80%など、少なくとも約 90%など、少なくとも約 95%など、少なくとも約 100%など、少なくとも約 50%でよい。このようなウエスト部分は、均一のウエスト部分と称されてよい。

【0068】

1 実施形態では、ウエストは、テーパ長がウエストにおいて光ファイバの外径と同等になるなど、テーパ形構造体の実質的に単一のポイントである。ウエストの長さは、約 0.5 mm 未満など、約 0.2 mm 未満など、約 0.1 mm 未満など、約 1 mm 未満であってよい。

【0069】

1 実施形態では、ウエスト長 L_w は、0.01 m 超など、0.1 m 超など、約 0.2 m 超など、約 0.3 m 超など、約 0.5 m 超など、約 1 m 超など、約 2 m 超など、約 5 m 超など、約 10 m 超など、約 20 m 超など、約 35 m 超など、約 50 m 超など、約 100 m 超など、約 200 m 超など、約 0.001 m 超である。ウエスト長は、約 5 km 未満など、約 1 km 未満など、約 10 km 未満であってよい。

【0070】

本発明による光ファイバの多くの用途に関して、光ファイバは非線形ファイバである。このようなファイバは、例えば白色光源など広帯域光源の SCG において有益な、相対的に大きな非線形効果を示すことが知られている。

【0071】

1 実施形態では、前記入力端におけるコア領域の非線形係数は、1064 ナノメートルの波長の信号に関して、約 $1 W^{-1} km^{-1}$ 超など、約 $2 W^{-1} km^{-1}$ 超など、約 $5 W^{-1} km^{-1}$ 超など、約 $8 W^{-1} km^{-1}$ 超など、約 $10 W^{-1} km^{-1}$ 超など、約 $12 W^{-1} km^{-1}$ 超など、約 $15 W^{-1} km^{-1}$ 超など、約 $20 W^{-1} km^{-1}$ 超など、約 $25 W^{-1} km^{-1}$ 超など、約 $50 W^{-1} km^{-1}$ 超など、約 $75 W^{-1} km^{-1}$ 超など、約 $100 W^{-1} km^{-1}$ 超など、約 $150 W^{-1} km^{-1}$ 超など、約 $200 W^{-1} km^{-1}$ 超など、約 $250 W^{-1} km^{-1}$ 超など、約 $400 W^{-1} km^{-1}$ 超など、約 $0.5 W^{-1} km^{-1}$ 超である。1 実施形態では、前記入力端におけるコア領域の非線形係数は、1064 ナノメートルの波長の信号に関して、約 $250 W^{-1} km^{-1}$ 未満など、約 $150 W^{-1} km^{-1}$ 未満など、約 $100 W^{-1} km^{-1}$ 未満など、約 $50 W^{-1} km^{-1}$

10

20

30

40

50

未満など、約 $2.5 \text{ W}^{-1} \text{ km}^{-1}$ 未満など、約 $1.0 \text{ W}^{-1} \text{ km}^{-1}$ 未満など、約 $5 \text{ W}^{-1} \text{ km}^{-1}$ 未満など、約 $1 \text{ W}^{-1} \text{ km}^{-1}$ 未満など、約 $400 \text{ W}^{-1} \text{ km}^{-1}$ 未満である。上記で引用された「～未満」の値および「～超」の値は、間隔を形成するように結合可能である。

【0072】

1実施形態では、前記テーパのウエストにおけるコア領域の非線形係数は、1064ナノメートルの波長の信号に関して、約 $1 \text{ W}^{-1} \text{ km}^{-1}$ 超など、約 $2 \text{ W}^{-1} \text{ km}^{-1}$ 超など、約 $5 \text{ W}^{-1} \text{ km}^{-1}$ 超など、約 $8 \text{ W}^{-1} \text{ km}^{-1}$ 超など、約 $10 \text{ W}^{-1} \text{ km}^{-1}$ 超など、約 $12 \text{ W}^{-1} \text{ km}^{-1}$ 超など、約 $15 \text{ W}^{-1} \text{ km}^{-1}$ 超など、約 $20 \text{ W}^{-1} \text{ km}^{-1}$ 超など、約 $25 \text{ W}^{-1} \text{ km}^{-1}$ 超など、約 $50 \text{ W}^{-1} \text{ km}^{-1}$ 超など、約 $75 \text{ W}^{-1} \text{ km}^{-1}$ 超など、約 $100 \text{ W}^{-1} \text{ km}^{-1}$ 超など、約 $150 \text{ W}^{-1} \text{ km}^{-1}$ 超など、約 $200 \text{ W}^{-1} \text{ km}^{-1}$ 超など、約 $250 \text{ W}^{-1} \text{ km}^{-1}$ 超など、約 $400 \text{ W}^{-1} \text{ km}^{-1}$ 超など、約 $0.5 \text{ W}^{-1} \text{ km}^{-1}$ 超である。1実施形態では、前記テーパのウエストにおけるコア領域の非線形係数は、1064ナノメートルの波長の信号に関して、約 $250 \text{ W}^{-1} \text{ km}^{-1}$ 未満など、約 $150 \text{ W}^{-1} \text{ km}^{-1}$ 未満など、約 $100 \text{ W}^{-1} \text{ km}^{-1}$ 未満など、約 $50 \text{ W}^{-1} \text{ km}^{-1}$ 未満など、約 $25 \text{ W}^{-1} \text{ km}^{-1}$ 未満など、約 $10 \text{ W}^{-1} \text{ km}^{-1}$ 未満など、約 $5 \text{ W}^{-1} \text{ km}^{-1}$ 未満など、約 $1 \text{ W}^{-1} \text{ km}^{-1}$ 未満など、約 $400 \text{ W}^{-1} \text{ km}^{-1}$ 未満である。上記で引用された「～未満」の値および「～超」の値は、間隔を形成するように結合可能である。

【0073】

1実施形態では、ファイバへの簡単な結合を助長する大きなコアに一般に接続される入力において、比較的低い非線形性を有し、テーパのウエストにおいて、非線形の特性を増強するために大きな非線形性を有することが有利である。1実施形態では、光ファイバは、その長さの少なくとも一部分に沿って微細構造を備える微細構造光ファイバであり、前記微細構造は、複数の微細構造要素を備える。微細構造は、前記第1テーパ部分の少なくとも一部分および/または前記第2テーパ部分の少なくとも一部分および/または前記ウエスト部分の少なくとも一部分に沿って、少なくとも部分的に維持されてよい。

【0074】

それ自体が埋め込まれている背景材料の屈折率と異なる屈折率を有する材料を含む要素など、微細構造には様々なタイプの微細構造要素が備わっていてよい。微細構造要素は、気孔および/またはF、Ge、P、Bまたはそれらの組合せなど屈折率を変化させる材料でドーピングされた石英材料など、背景材料に対してアップドープおよび/またはダウンドープされた材料を含んでよい。

【0075】

光ファイバの屈折率のプロファイルは、コア領域が、前記微細構造により、少なくとも部分的に光を導くようにされてよい。微細構造は、コア領域とクラッドの微細構造部分の間に屈折率の差をもたらすように、クラッド領域内に配置されてよく、前記屈折率の差は、少なくとも約 $2 \cdot 10^{-3}$ など、少なくとも約 $5 \cdot 10^{-3}$ など、少なくとも約 $1 \cdot 10^{-2}$ など、少なくとも約 $2 \cdot 10^{-2}$ など、少なくとも約 $5 \cdot 10^{-2}$ など、少なくとも約 $1 \cdot 10^{-1}$ など、少なくとも約 $1 \cdot 10^{-3}$ である。

【0076】

微細構造要素は、第1要素直径 d_f など第1最大断面の寸法を有する複数の第1タイプの要素を備えてよく、前記第1タイプの要素は、2つの隣接する要素の中心間の距離がに等しいと定義された、ピッチを有する実質的に周期的な格子に配置されている。

【0077】

1実施形態では、第1テーパ部分および/または第2テーパ部分および/またはウエスト部分は、前記第1要素直径と前記ピッチの間の比 $d_f /$ が、第1テーパ部分および/または第2テーパ部分および/またはウエスト部分に沿って実質的に一定になるように配置される。

【0078】

10

20

30

40

50

強い制限が有利である用途については、気孔の相対的サイズは、比 d_f / λ が大きくなるように比較的大きくてよいが、場合によっては、例えば大きなモード領域を有する光ファイバの単一モードの動作をもたらすために、より小さな比が好まれることがある。用途に依拠して、比 d_f / λ は、少なくとも前記光ファイバの一部分に沿って、約 0.4 から約 0.9 の範囲内など、約 0.5 から約 0.8 の範囲内など、約 0.3 から約 0.95 の範囲内にある。1実施形態では、 d_f / λ が約 0.42 未満であるので、ファイバはすべての波長において単一のモードである。1実施形態では、ファイバは、好ましくはポンプ波長において単一のモードであり、このことは、一般的なポンプ波長の 1064 nm において、 d_f / λ が約 0.52 未満であることを意味する。1実施形態では、これらの値は、少なくとも入力端において、例えばポンプ光がより高次のモードに結合することができる否か制御するためのものであり、より高次のモードが望ましい/望ましくないということは、用途次第である。例えば、より高次のモードは、別の分散プロファイルおよび/または ZDW を経験する可能性があり、それによって、基本のモードの光とは別のやり方でスーパーコンティニューム発生に寄与する。一方、より高次のモードは、生成されるスーパーコンティニュームがマルチモードであることが、いくつかの用途では望ましくない可能性がある。1実施形態では、 d_f / λ に関して上記で引用された値は、少なくとも出力端において、例えば後続のファイバに整合させるため、および/または出力光のモード成分をフィルタリングするためのものである。

10

【0079】

さらに、気孔など、相対的に大きなサイズで屈折率の小さい要素は、群速度整合により、スーパーコンティニュームのスペクトルの青色端の波長を縮小し得る。

20

前記第1テーパ部分の縮小テーパ化は、前記ウエスト部分のピッチと前記第1長手方向位置のピッチの間の比が、約 0.8 未満など、約 0.7 未満など、約 0.6 未満など、約 0.5 未満など、約 0.4 未満など、約 0.3 未満など、約 0.2 未満など、約 0.1 未満など、約 0.9 未満であるように前記ピッチを縮小してよい。

【0080】

1実施形態では、ウエストのコア領域と第1コア領域の間の比は、約 0.1 から約 0.7 の範囲内など、約 0.15 から約 0.6 の範囲内など、約 0.2 から約 0.5 の範囲内など、約 0.25 から約 0.4 の範囲内など、約 0.05 から約 0.8 の範囲内にある。

【0081】

光ファイバの別々の部分の長さは、前記ウエスト部分のウエスト長 L_w が前記第1テーパ部分の長さ L_1 より短いものでよい。前記ウエスト部分のウエスト長 L_w は、前記第2テーパ部分の長さ L_2 より長い、 L_2 より短い、または実質的に L_2 と等しいものでよい。

30

【0082】

1実施形態では、ウエストのコア領域は、約 $15 \mu\text{m}^2$ 未満など、約 $12 \mu\text{m}^2$ 未満など、約 $10 \mu\text{m}^2$ 未満など、約 $8 \mu\text{m}^2$ 未満など、約 $6 \mu\text{m}^2$ 未満など、約 $5 \mu\text{m}^2$ 未満など、約 $4 \mu\text{m}^2$ 未満など、約 $3 \mu\text{m}^2$ 未満など、約 $2 \mu\text{m}^2$ 未満など、約 1 未満 μm^2 など、約 $20 \mu\text{m}^2$ 未満である。

【0083】

コア領域は、前記第1長手方向位置および/または前記ウエストおよび/または前記入力端において、約 300 nm から約 2600 nm の範囲内など、約 300 nm から約 2200 nm の範囲内など、約 450 nm から約 1800 nm の範囲内など、約 600 nm から約 1600 nm の範囲内など、約 300 nm から約 3000 nm の範囲内のゼロ分散波長 λ_{ZDW} を有し得る基本コア・モードに対応してよい。

40

【0084】

1実施形態では、ゼロ分散波長は、第1テーパ部分で縮小され、かつ/または前記第2テーパ部分で増大される。

第1波長 λ_1 で導かれた光に関して、基本のコア・モードは、前記第1長手方向位置においておよび/または前記ウエストにおいておよび/または前記入力端において、約 10

50

μm 未満など、約 $8\ \mu\text{m}$ 未満など、約 $6\ \mu\text{m}$ 未満など、約 $5\ \mu\text{m}$ 未満など、約 $4\ \mu\text{m}$ 未満など、約 $3\ \mu\text{m}$ 未満など、約 $2\ \mu\text{m}$ 未満など、約 $1\ \mu\text{m}$ 未満など、約 $20\ \mu\text{m}$ 未満のモード・フィールドの全幅半値の直径を有してよい。

【0085】

1実施形態では、第1長さは、約 $3\ \text{m}$ 超など、約 $5\ \text{m}$ 超など、約 $8\ \text{m}$ 超など、約 $10\ \text{m}$ 超など、約 $15\ \text{m}$ 超など、約 $20\ \text{m}$ 超など、約 $30\ \text{m}$ 超など、約 $50\ \text{m}$ 超など、約 $75\ \text{m}$ 超など、約 $100\ \text{m}$ 超など、約 $150\ \text{m}$ 超など、約 $200\ \text{m}$ 超など、約 $1\ \text{m}$ 超である。

【0086】

1実施形態では、第2長さは、約 $8\ \text{m}$ 未満など、約 $5\ \text{m}$ 未満など、約 $4\ \text{m}$ 未満など、約 $3\ \text{m}$ 未満など、約 $2\ \text{m}$ 未満など、約 $1.5\ \text{m}$ 未満など、約 $1\ \text{m}$ 未満など、約 $0.8\ \text{m}$ 未満など、約 $0.6\ \text{m}$ 未満など、約 $0.4\ \text{m}$ 未満など、約 $0.2\ \text{m}$ 未満など、約 $0.1\ \text{m}$ 未満など、約 $10\ \text{m}$ 未満である。

【0087】

1実施形態では、第1テーパ部分の長さ L_1 と第2テーパ部分の長さ L_2 の和 $L_1 + L_2$ は、約 $2\ \text{m}$ 超など、約 $3\ \text{m}$ 超など、約 $4\ \text{m}$ 超など、約 $5\ \text{m}$ 超など、約 $6\ \text{m}$ 超など、約 $7\ \text{m}$ 超など、約 $8\ \text{m}$ 超など、約 $9\ \text{m}$ 超など、約 $10\ \text{m}$ 超など、約 $15\ \text{m}$ 超など、約 $20\ \text{m}$ 超など、約 $30\ \text{m}$ 超など、約 $50\ \text{m}$ 超など、約 $75\ \text{m}$ 超など、約 $100\ \text{m}$ 超など、約 $150\ \text{m}$ 超など、約 $200\ \text{m}$ 超など、約 $1\ \text{m}$ 超である。1実施形態では前記第1長さと前記第2長さの和 $L_2 + L_1$ は、約 $150\ \text{m}$ 未満など、約 $100\ \text{m}$ 未満など、約 $50\ \text{m}$ 未満など、約 $30\ \text{m}$ 未満など、約 $15\ \text{m}$ 未満など、約 $10\ \text{m}$ 未満など、約 $9\ \text{m}$ 未満など、約 $8\ \text{m}$ 未満など、約 $7\ \text{m}$ 未満など、約 $6\ \text{m}$ 未満など、約 $5\ \text{m}$ 未満など、約 $4\ \text{m}$ 未満など、約 $3\ \text{m}$ 未満など、約 $2\ \text{m}$ 未満など、約 $1.5\ \text{m}$ 未満など、約 $1\ \text{m}$ 未満など、約 $200\ \text{m}$ 未満である。ここで、 $1.5\ \text{m}$ と $25\ \text{m}$ の間の長さなど、範囲の任意の組合せが基本的に可能である。この和は、前記ファイバプリフォームから線引するように構成された光ファイバの全長によって制限されてよい。また、コストを低減し、ならびにファイバで生成された光のファイバによる損失を制限するために、大抵の場合はファイバの長さを制限するのが望ましい。したがって、ファイバ長を、ファイバを通る光のスペクトルが、さらなる進行によって実質的に拡大することがないように、また、ファイバが、必要とされる何らかのテーパ化により、光ファイバなど後続の光学系に結合され得るような、長さに制限するのが大抵の場合最適である。本発明者は、より長いポンプ・パルスを用いるのに伴って、必要なファイバ長が増大すると予期する。したがって、和 $L_1 + L_2$ は、数ピコ秒の様式におけるポンプ・パルスについては、 $1\ \text{m}$ から $15\ \text{m}$ の間など、 $1\ \text{m}$ から $10\ \text{m}$ の範囲など、 $3\ \text{m}$ から $10\ \text{m}$ の範囲内など、 $5\ \text{m}$ から $10\ \text{m}$ の範囲内など、 $5\ \text{m}$ から $8\ \text{m}$ の範囲内など、 $1\ \text{m}$ から $20\ \text{m}$ の範囲内が最適であると予期される。1実施形態では、数ピコ秒の範囲は、 0.6 ピコ秒から 500 ピコ秒など、 0.7 ピコ秒から 300 ピコ秒など、 0.8 ピコ秒から 100 ピコ秒など、 0.9 ピコ秒から 50 ピコ秒など、 1 ピコ秒から 25 ピコ秒など、 0.5 ピコ秒から 750 ピコ秒であると理解される。しかし、このような長さは、1実施形態では、 0.5 ナノ秒から 1000 ナノ秒など、 0.5 ナノ秒から 750 ナノ秒など、 0.6 ピコ秒から 500 ピコ秒など、 0.7 ピコ秒から 300 ピコ秒など、 0.8 ピコ秒から 100 ピコ秒など、 0.9 ピコ秒から 50 ピコ秒など、 1 ピコ秒から 25 ピコ秒などといった、より長いパルスに対して十分であり得る。マイクロ秒のパルスおよびCWに関して、 $L_1 + L_2$ の最適の長さは、 $10\ \text{m}$ 以上など、 $30\ \text{m}$ 以上など、 $50\ \text{m}$ 以上など、 $75\ \text{m}$ 以上など、 $100\ \text{m}$ 以上など、 $200\ \text{m}$ 以上など、約 $1\ \text{m}$ 以上であると予期される。1実施形態では、第1テーパ部分の長さ L_1 と第2テーパ部分の長さ L_2 の和 $L_1 + L_2$ は、約 $5\ \text{km}$ 未満など、約 $1\ \text{km}$ 未満など、 $500\ \text{m}$ 未満など、 $300\ \text{m}$ 未満など、 $200\ \text{m}$ 未満など、 $100\ \text{m}$ 未満など、約 $10\ \text{km}$ 未満であってよい。

【0088】

本発明の斬新な概念は、いかなる特定のファイバ材料にも限定されない。したがって、このテーパ形光ファイバは、シリカガラス、カルコゲナイド・ガラス、軟質ガラス、高分子材料および光ファイバの製造用に適切なその他の材料の群から選択された材料を含んで

10

20

30

40

50

よい。

【0089】

第1波長は、約600nmから約1400nmの範囲内など、約800nmから約1200nmの範囲内など、約900nmから約1100nmの範囲内など、約400nmから約1600nmの範囲内でよい。

【0090】

1実施形態では、第1コア領域は、前記入力コア領域と実質的に同一である。1実施形態では、第2コア領域は、前記出力コア領域と実質的に同一である。

ポンプ源は、秒の範囲、ミリ秒範囲、マイクロ秒範囲、ナノ秒範囲、またはピコ秒範囲の、cwまたは疑似cwの光または光パルスを放出するように構成されている。この技法により、短いタワーのテーパが利用可能になれば、本発明によるファイバは、フェムト秒の範囲にも適切であり得る。それぞれのポンプ・パルスのエネルギーは、約100ミリ秒未満など、約50ミリ秒未満など、約10ミリ秒未満など、約1ミリ秒未満など、約100マイクロ秒未満など、約50マイクロ秒未満など、約10マイクロ秒未満など、約1マイクロ秒未満など、約100ナノ秒未満など、約10ナノ秒未満など、1ナノ秒未満など、750ピコ秒未満など、500ピコ秒未満など、250ピコ秒未満など、100ピコ秒未満など、50ピコ秒未満など、25ピコ秒未満など、10ピコ秒未満など、5ピコ秒未満など、3ピコ秒未満など、1ピコ秒未満など、約1秒より短い時間スケールでテーパ形光ファイバのコアに結合され得る。本発明に照らして、検討されるパルス持続時間は、全幅半値の持続時間である。それぞれのパルスを、相対的に長い持続時間で光ファイバの中に送り出すのに適切ないくつかのポンプ・システムが、特許文献2に説明されている。

【0091】

1実施形態では、前記第1波長および/または前記中心波長で伝搬する光については、コア領域は、光ファイバの全長に沿って実質的に単一のモードである。

線引タワーのライン速度が増加される、より短い時間間隔は、約3秒未満など、約2秒未満など、約1秒未満など、約0.5秒未満など、約0.2秒未満など、約0.1秒未満など、約5秒未満でよい。

【0092】

前記加速または前記減速に起因するライン速度の変化は、前記第1ライン速度と前記第2ライン速度の差が、約30%超など、約50%超など、約60%超など、約75%超など、約100%超など、約150%超など、約200%超など、約300%超など、約400%超など、約20%超になり得る。

【0093】

光ファイバの、ファイバ径、コアの面積、および例えば気孔または固体ロッドを備える微細構造クラッドのピッチなどのいくつかのフィーチャが、テーパ部分で変化されてよい。フィーチャの値は、大体において、キャプスタン装置がファイバプリフォームの第1終端に印加する引張り力によって制御され得る。この引張り力により、線引される光ファイバの断面の寸法が質量保存の法則によって決まるライン速度で、光ファイバが線引される。送り速度により、供給されるプリフォーム材料のボリューム、すなわち光ファイバの線引用に利用可能な材料のボリュームが、少なくとも部分的に決定され、一方、ライン速度により、供給されるプリフォーム材料のボリュームから線引される光ファイバの長さが、少なくとも部分的に決定される。したがって、送り速度およびライン速度が、ともに光ファイバのフィーチャの断面の寸法を決定し、これら2つが変化すると、断面の寸法が変化し得る。実質的に一定の送り速度については、ライン速度が増加すると、光ファイバの断面の寸法が減少し得て、一方、ライン速度を低下させることにより、光ファイバの断面の寸法が増加し得る。実質的に一定のライン速度では、光ファイバの断面の寸法は実質的に一定になり得る。ライン速度が増加するとき、すなわちライン速度が加速している間は、光ファイバの断面の寸法の減少が起こり得る。ライン速度が減少するとき、すなわちライン速度が減速している間は、光ファイバの断面の寸法の増加が起こり得る。

【0094】

光ファイバを製造するように設計された線引タワーは、長いファイバ長にわたって高度に均一な光ファイバ、すなわち、例えば数キロメートルのファイバ長にわたって一定の外側寸法を有する光ファイバを供給するために、大抵は非常に安定したライン速度をもたらすことに集中する。したがって、このようなシステムは、光ファイバの断面の寸法の数メートルまたは数十メートルにわたる顕著な減少または増加を必要とする、拡大テーパ化および/または縮小テーパ化を含むテーパ形光ファイバの生成には適していない可能性がある。

【0095】

本発明の発明者は、ライン速度の制御が改善される新規の方法および線引タワーの構成を実現した。

ライン速度 v は、長い時間間隔を通じて実質的に一定のライン速度 v_1 を与えるように構成された第1キャプスタン装置からの寄与と、前記より短い時間間隔中に前記加速および/または減速をもたらすように構成されたライン速度変更装置からの寄与の和であり得て、すなわち $v = v_1 + v_2$ であり、 v_2 はライン速度変更装置からの寄与である。

【0096】

本発明の1実施形態では、ライン速度変更装置は、前記第1キャプスタン装置が、いくつかの時間間隔中に実質的に一定のライン速度をもたらす、他の時間間隔中に前記加速および/または減速をもたらすように、前記第1キャプスタン装置に含まれる。

【0097】

本発明の1実施形態では、ライン速度変更装置および前記第1キャプスタン装置は個々の装置であり、前記第1キャプスタン装置は、前記より長い時間間隔にわたって前記ライン速度に対して実質的に一定の寄与をもたらす、一方、前記ライン速度変更装置は、前記より短い時間間隔にわたって加速または減速をもたらす。ライン速度変更装置は、ライン速度に対する実質的に一定の寄与ももたらしてよく、すなわち、 v_2 は光ファイバの全長にわたって実質的に一定かつ有限の値を有する。

【0098】

1実施形態では、ライン速度変更装置は、前記プリフォームの第1終端から前記第1キャプスタン装置へと、線引される光ファイバが辿るファイバ経路の長さを増減することにより、ライン速度への寄与を変化させる。

【0099】

本発明に照らして、慣用句「ファイバ経路」は、前記ファイバプリフォームの第1終端から前記第1キャプスタン装置へと続く経路を指してよい。

この経路は、実質的に直線状の部分と、例えばホイールなどの回転する支持体によってもたらされる曲がりおよび方向転換とを含む。

【0100】

1実施形態では、より短い時間間隔中に線引される光ファイバの長さは、第1経路を辿るものから、前記第1経路と長さが異なる第2経路を辿るものへと置換される。この置換は、前記ライン速度変更装置に備わっている置換装置によって実現されてよい。この置換装置は変位装置とも称される。1実施形態では、ライン速度は、線引される光ファイバの長さの置換中に、前記第1ライン速度から前記第2ライン速度へと変化する。

【0101】

第2経路は、第1経路より長くてよく、また、ファイバの経路の変化は加速を含んでよく、その間、この置換が、(線引されるファイバが第1経路を辿るときに対して)経路の変化を伴うライン速度の増加をもたらす。この置換に、前記ライン変更装置からのライン速度に対する一定の寄与を有する部分が含まれる場合には、ファイバは、第1キャプスタン装置からの寄与とライン速度変更装置からの寄与の和と等しい速度による断面の寸法を有して線引される。変位が、ある期間にわたって維持されるレベルに到達すると、ライン速度変更装置からの寄与がゼロになり、ライン速度は、光ファイバが第1経路を辿ったときのライン速度に戻される。

【0102】

10

20

30

40

50

以下では、光ファイバのテーパ化を説明するとき、ファイバ径および/またはコア面積の変化が、実例としてしばしば用いられるが、光ファイバの他のフィーチャも用いられ得て、これらの2つのフィーチャの一方または両方を用いるあらゆる説明は、これらのフィーチャに限定されるものではなく、クラッドの面積など他のフィーチャに対して同様に有効であり得る。

【0103】

1実施形態では、置換装置は、線引されたファイバを支持するように構成された少なくとも1つの支持体と、線引された光ファイバが、平行移動デバイスによる移動前に前記第1経路を辿り、前記平行移動デバイスによる移動後に前記第2経路を辿るように支持体を移動させる少なくとも1つの平行移動デバイスとを備える。

10

【0104】

支持体の移動が停止すると、ライン速度変更装置からの引張り力に対する寄与がなくなって、ライン速度が支持体の移動前の値に低下し、このことにより、ファイバ径は、移動中のファイバ経路の長さの変化に依拠して、移動前の値に縮小される、または増大される。

【0105】

平行移動デバイスにより、支持体が加速される間にファイバ経路の長さが増す場合には、ファイバプリフォームの第1終端に印加される引張り力が増大し得て、ファイバ径が縮小してよく、すなわちファイバが縮小テーパ化される。これを説明する別のやり方では、送り速度が実質的に一定でありながらライン速度が増加するので、供給されるプリフォーム材料から、ファイバのより長い部分が線引され、質量保存によって光ファイバの直径が低減される。

20

【0106】

平行移動デバイスにより、支持体が加速されているときファイバ経路の長さが縮小する場合には、ファイバプリフォームの第1終端に印加される引張り力が低下し得て、ファイバ径が増大し得る。

【0107】

ファイバ経路の長さが増大するように支持体が移動されると、ライン速度変更装置からの寄与はプラスであり、ファイバ径は、ライン速度装置が動いていないときと比較してより小さくなり得る。次いで、支持体が減速されると、ライン速度変更装置からのプラスの寄与が低減されて、ファイバ径および/またはコア面積が増加し得る。支持体が減速して停止すると、このプラスの寄与はゼロになる。

30

【0108】

ファイバ経路の長さが縮小するように支持体が移動されると、ライン速度変更装置からの寄与はマイナスであり、ファイバ径は、ライン速度装置が動いていないときと比較してより大きくなり得る。支持体が減速されると、ライン速度変更装置からのマイナスの寄与が低減されて、ファイバ径が減少し得る。支持体が減速して停止すると、このマイナスの寄与はゼロになる。

【0109】

ライン速度は、線引される光ファイバの長さの置換中に、前記第1ライン速度から前記第2ライン速度へと変化してよい。

40

1実施形態では、平行移動デバイスは、前記支持体を所定の速度プロファイルで移動させることができ、この所定の速度プロファイルが、ライン速度に対する前記ライン速度変更装置からの寄与を少なくとも部分的に決定する。この所定の速度プロファイルは、支持体が加速されたり、減速されたり、実質的に等速で移動したり、実質的に一定の位置を維持したりする、1または複数の部分を含んでよい。

【0110】

この所定の速度プロファイルは、ライン速度に対する前記ライン速度変更装置からの寄与がプラスになる部分など、前記支持体の加速を伴う部分を含んでよい。

前記所定の速度プロファイルは、ライン速度が、第1キャプスタン装置からの寄与と異

50

なる実質的に一定のレベルに保持されるように、実質的に一定の速度を伴う部分を含んでよい。これにより、テーパ部分においてウエスト部分が定義され得る。

【0111】

この所定の速度プロファイルは、ライン速度に対する前記ライン速度変更装置からの寄与が低減する部分など、前記支持体の減速を伴う部分を含んでよい。

1実施形態では、加熱装置が、前記第1ファイバ材料を、その融解温度に近い温度、またはそれより高い温度へと加熱する。

【0112】

プリフォーム保持具と加熱装置は、互いに対して移動するように構成され、すなわち、プリフォーム保持具が移動されてよく、および/または加熱装置が移動されてよい。

10

この所定の速度プロファイルは、ライン速度に対する前記ライン速度変更装置からの寄与が実質的にゼロである部分など、前記支持体を実質的に移動しない部分を含んでよい。

【0113】

この所定の速度プロファイルは、ライン速度に対する前記ライン速度変更装置からの寄与がマイナスである、前記支持体の移動を伴う部分を含んでよい。1実施形態では、線引された光ファイバは第1経路を辿り、所定の速度プロファイルには、ファイバが、より短い経路長さを有する第2経路へと変位され、この移動がライン速度の減速および光ファイバの拡大テーパ化をもたらすような動きが含まれる。

【0114】

この所定の速度プロファイルは、基本的に、例えば加速と減速の組合せを伴う1または複数の部分からなり、多種多様なテーパのプロファイルが、この方法および本発明による線引タワーを用いて実現され得る。

20

【0115】

1実施形態では、この所定の速度プロファイルは、経路の長さおよびライン速度が、前記支持体の前記加速中に増加し、前記支持体を実質的に移動しない部分を通じて実質的に一定に保たれるように、支持体を加速する部分と、それに続く、前記支持体を実質的に移動しない部分とを含む。

【0116】

1実施形態では、この所定の速度プロファイルは、経路長さおよびライン速度が、前記支持体の前記加速中には増加し、前記支持体を実質的に移動しない部分を通じて実質的に一定に保たれるように、支持体の前記加速部分と、それに続く、前記支持体を実質的に移動しない前記部分とを含む。このような所定の速度プロファイルは、加速の持続時間に依拠して、長い第1テーパ部分および短い第2テーパ部分をもたらす得る。

30

【0117】

ファイバプリフォームは、少なくとも第1気孔を含んでよく、前記ファイバプリフォームの第2終端は、少なくとも前記第1気孔と少なくとも第1圧力コントローラとに流体連絡する実質的に気密の第1内腔を含むプリフォーム保持具内に配置され、本発明によるこの方法は、テーパ形光ファイバを線引するステップの少なくとも一部分を通じて前記第1気孔を第1圧力に加圧するステップを含んでよい。本発明に照らして、実質的に気密の内腔とは、内腔の内側に周囲と異なる圧力を保つことができることを意味する。

40

【0118】

ファイバプリフォームは、少なくとも第2気孔をさらに備えてよく、プリフォーム保持具は、少なくとも前記第2気孔および少なくとも第2圧力コントローラに流体連絡した実質的に気密の第2内腔を備えてよく、本発明によるこの方法は、テーパ形光ファイバを線引するステップの少なくとも一部分の間に前記第2気孔を第2圧力へと加圧するステップを含んでよい。

【0119】

1実施形態では、第1圧力と第2圧力は、光ファイバを線引するステップの少なくとも一部分を通じて異なる。

1実施形態では、第1圧力および/または前記第2圧力は、光ファイバを線引するステ

50

ップにおいて実質的に一定である。

【0120】

1実施形態では、第1圧力および/または前記第2圧力は、光ファイバを線引するステップの間に変化する。

1実施形態では、所定の速度プロファイルは、前記支持体の加速を伴う部分を含む。支持体が加速される時、前記ライン速度変更装置からのライン速度への寄与は、速度プロファイルのこの部分の間の経路長さの変化に依拠してプラスまたはマイナスになり得る。加速が、経路長さを縮小する運動の一部分であるとき、前記加速からライン速度への寄与はマイナスであり得て、ファイバ径は、加速中に増大し得る。加速が、経路長さを増大する運動の一部分であるとき、前記加速からライン速度への寄与はプラスであり得て、ファイバ径は、加速中に縮小し得る。支持体が加速の始めて既に動いており、支持体の速度がさらに増加する場合、この加速により、ライン速度変更装置からのマイナスまたはプラスの寄与のサイズがさらに増大され得て、ファイバ径は、それぞれさらに増大または縮小し得る。

10

【0121】

1実施形態では、所定の速度プロファイルは、前記支持体の減速を伴う部分を含む。所定の速度プロファイルが加速を伴う部分を含む場合に類似して、前記ライン速度変更装置からのライン速度への寄与は、減速中の経路長さの変化に依拠してプラスまたはマイナスになり得る。減速が、経路長さを縮小する運動の一部分であるとき、この減速が、前記ライン速度変更装置からのライン速度に対するマイナスの寄与を低減し、ファイバ径は、減速中に縮小し得る。減速が、経路長さを増大する運動の一部分であるとき、この減速が、前記ライン速度変更装置からのライン速度に対するプラスの寄与を低減し、ファイバ径は、減速中に増大し得る。

20

【0122】

1実施形態では、所定の速度プロファイルは、実質的に一定の速度を有する部分を含む。第1キャプスタン装置が、この部分のライン速度に対して実質的に一定の寄与をもたらす場合、ライン速度は実質的に一定であり得て、ファイバ径は、それに応じて実質的に一定であり得る。実質的に一定の速度を有する移動により、ファイバ経路の長さが縮小する場合、ファイバ径は、ライン速度変更装置からの寄与がゼロであるときより大きくなり得る。実質的に一定の速度を有する移動により、ファイバ経路の長さが増大する場合、ファイバ径は、ライン速度変更装置からの寄与がゼロであるときより小さくなり得る。

30

【0123】

1実施形態では、所定の速度プロファイルは、前記ライン速度変更装置からのライン速度に対する寄与が実質的にゼロである部分など、前記支持体が実質的に移動しない部分を含む。

【0124】

ライン速度変更装置からの寄与の変化は、第1キャプスタン装置からの寄与が実質的に一定の時間スケール上に生じる可能性がある。

1実施形態では、支持体は、線引された光ファイバの支持体に対する変位を可能にしながら同光ファイバを支持するように構成された少なくとも1つのホイールを備える。

40

【0125】

1実施形態では、置換装置は、1または複数の平行移動デバイス上に配置されたホイールなど複数の支持体を備え、同平行移動デバイスは、前記複数の支持体の少なくとも一部分を互いに対して移動させることができる。平行移動デバイスは、線引されたファイバが2つの隣接する支持体によって第1経路に対して反対方向に変位するように、前記複数の支持体を移動させるように構成されてよい。変位装置は、例えば、線引されたファイバが支持体の加速前の変位を通じて実質的に直線の経路を辿り、一方、加速後は、変位装置によって経路が蛇行パターンに従うように構成されてよい。反対の状況も、支持体の加速および移動が、ファイバが変位装置によって蛇行経路から実質的に直線の経路を辿るように用いられてもよい。このような構成は、比較的コンパクトであり得て、支持体の移動に対

50

して経路長さの大きな変化をもたらす得る。

【0126】

本発明による方法および線引タワーは、光ファイバの長手方向に沿ってフィーチャの多種多様なプロファイルを有する光ファイバを製造するのに用いられてよい。例えば、光ファイバの第1終端および/または第2終端におけるコア領域に対して、光ファイバのコア領域が光ファイバの長さによって増大するプロファイルを実現することができる。このようなプロファイルは、線引される光ファイバを、線引タワーの最短のファイバ経路より長いファイバ経路を辿るように最初に配置することによって実現され得る。次いで、線引する間に、光ファイバの長さは最短の経路を辿るように変位され、この変位の加速中にコア領域が増大してよい。次に、線引される光ファイバは、より長いファイバ経路を再び辿るように変位され、この変位の加速中にコア領域が縮小してよい。

10

【0127】

1実施形態では、線引タワーは、少なくとも送り装置および/または加熱装置を制御するための制御システムを備える。

平行移動デバイスは制御装置によって制御されてよく、制御装置は、個別の装置または前記制御システムの一部である。

【0128】

圧力制御は、光ファイバのテーパ化と同期されてよい。

圧力制御と同期させることにより、コア領域がテーパ部分にわたってテーパ形でありながら外側のファイバ径が実質的に一定に保たれている光ファイバが実現され得る。

20

【0129】

圧力制御の同期により、気孔の少なくとも第1群における圧力が、光ファイバのテーパ化の前に、および/またはテーパ化中に、および/またはテーパ化の後に変化されてよい。

【0130】

気孔の第1群の圧力を、テーパ化の前に変化させる、すなわちライン速度が増加する前に変化させる実施形態では、光ファイバの、外側のファイバ径および/または気孔の第1群の気孔の断面積が、テーパ化に先立って増大されてよい。

【0131】

1実施形態では、線引タワーは、第1エンクロージャを備える圧力制御システムと、流路を介して前記第1エンクロージャおよび気孔の第1群に接続する流れシステムとを備え、前記圧力制御システムは、前記第1エンクロージャに加圧するためのポンプを備え、前記流れシステムは、第1期間 t_1 以内で開くことができるオンオフ弁を備え、前記弁が開かれたとき、前記第1エンクロージャが前記気孔の第1グループに流体接触し、 t_1 は、約5秒未満など、約2秒未満など、約1秒未満など、約0.5秒未満など、約0.2秒未満など、約0.1秒未満など、約0.05秒未満など、約0.01秒未満など、約0.001秒未満など、約10秒未満である。

30

【0132】

線引タワーは、前記テーパ形光ファイバに保護コーティングを与えるように構成されたコーティング装置を備えてよい。1実施形態では、コーティング装置は、前記ライン速度変更装置と前記第1キャプスタン装置の間の位置で前記コーティングを施すように構成される。1実施形態では、コーティング装置は、前記ライン速度変更装置と前記プリフォーム保持具の間の位置で前記コーティングを施すように構成される。

40

【0133】

1実施形態では、送り速度と、ライン速度に対する第1キャプスタン装置からの寄与とは、光ファイバの線引中に独立して変化させることができる。

気孔の第1群は、1または複数の気孔を含んでよい。

【0134】

1実施形態では、第1エンクロージャに接続されているポンプは、前記オンオフ弁が開かれたとき、前記流れシステムにおける圧力が、約1.5倍、例えば約2倍、例えば約2

50

、5倍、例えば約3倍、例えば約3.5倍、例えば約4倍、例えば約5倍、例えば約7倍、例えば約8倍、例えば約10倍、例えば約12倍、例えば約15倍、例えば約20倍だけ上昇するように、前記第1エンクロージャ内の空気圧を十分に高く確立することができる。

【0135】

1実施形態では、前記第1エンクロージャ内に確立される圧力は、20kPa超など、25kPa超など、30kPa超など、40kPa超など、50kPa超など、60kPa超など、70kPa超など、80kPa超など、100kPa超など、15kPa超である。

【0136】

1実施形態では、第1エンクロージャは、第1エンクロージャに接続する流れシステムの部分および気孔の第1群のボリューム V_{fs} と比較して大きなボリュームを有する。第1エンクロージャのボリュームと V_{fs} の間の比は、約2超など、約3超など、約4超など、約5超など、約7超など、約10超など、約20超など、約1.5超であってよい。この比の値が大きいと、オンオフ弁が開かれた後に気孔に印加される圧力は、オンオフ弁が開かれるとき第1エンクロージャ内に確立されている圧力と実質的に同一になる。

【0137】

1実施形態では、第1エンクロージャに接続されるポンプは、前記オンオフ弁が開かれたとき、前記流れシステムの圧力が、約1/1.5に、例えば約1/2、例えば約1/2.5、例えば約1/3、例えば約1/3.5、例えば約1/4、例えば約1/5、例えば約1/7、例えば約1/8、例えば約1/10、例えば約1/12、例えば約1/15、例えば約1/20に低下するように、前記第1エンクロージャ内の空気圧を十分に低いレベルへ低下させることができる。

【0138】

オンオフ弁は、基本的に、前記第1期間内に開くように構成された電磁弁など、任意のタイプの弁を備える。

圧力制御システムは、前記オンオフ弁と前記プリフォームの間の流路内に配置された圧力ヘッドを備えてよく、前記圧力ヘッドは、第1エンクロージャに接続するための第1入口と、第2圧力源に接続するための第2入口と、前記気孔の第1群に接続するための出口とを備える。

【0139】

1実施形態では、前記第2圧力源によって前記圧力ヘッド内に確立される圧力は、前記オンオフ弁が開かれる前および/または開かれた後に前記第1エンクロージャ内に確立される圧力を下回る。第2圧力源によって前記第1エンクロージャ内に確立される圧力と圧力ヘッド内に確立される圧力の間の比は、約1.5超など、約1.8超など、約2超など、約2.5超など、約3超など、約3.5超など、約4超など、約5超など、約6超など、約7超など、約10超など、約15超など、1.2超であってよい。

【0140】

1実施形態では、流れシステムは、前記オンオフ弁が開かれたとき、前記気孔の第1群から前記第2圧力源を切り離すことができる。第2オンオフ弁は、前記圧力ヘッドに対して、前記気孔の第1群から前記第2ボリュームを切り離すことができるように構成されてよい。

【0141】

1実施形態では、ライン速度および第1期間 t_1 は、長さ L_p を有するファイバ部分が、第1期間 t_1 中にプリフォームから線引されるように設定され、 L_p は、50m未満など、20m未満など、10m未満など、8m未満など、6m未満など、5m未満など、4m未満など、3m未満など、2m未満など、1m未満など、0.5m未満など、0.1m未満など、100m未満である。

【0142】

1実施形態では、圧力制御システムは、前記気孔の第1群に流体接触するように配置さ

10

20

30

40

50

れた前記ポリュームの圧力を前記第1期間内に変化させるように構成されたポンプを備える。ポンプは、前記ポリュームの圧力を、前記第1期間内に、約1.5倍に、例えば約2倍、例えば約2.5倍、例えば約3倍、例えば約3.5倍、例えば約4倍、例えば約5倍、例えば約7倍、例えば約8倍、例えば約10倍、例えば約12倍、例えば約15倍、例えば約20倍に変化させることができよう。

【0143】

微細構造光ファイバ用プリフォームの孔に流体連通する流れシステムに供給される空気圧を高速で変化させるように構成された圧力制御システムを用いると、線引される光ファイバの数メートル長さにわたって光ファイバのいくつかのフィーチャが変化され得る。例えば、気孔の断面の寸法が、数メートルにわたって増大されてよい。

10

【0144】

流れシステムは、前記プリフォーム保持具の第1内腔および/または第2内腔に流体連通であってよい。

1実施形態では、相対的孔サイズ(ピッチに対する孔径)を小さな値に調節するために、プリフォームの気孔の第1群には相対的に低い圧力が接続される。相対的に低い圧力は、前記第2圧力源によって供給されてよい。一方、内腔とも称され得る前記第1エンクロージャ内には、相対的に高い圧力が確立されてよい。オンオフ弁を開くと、流れシステムの圧力が、この相対的に高い圧力へと上昇し、相対的な孔サイズが大きな値に増大してよい。

【0145】

20

本発明による線引タワーを利用する、本発明による方法では、初期の相対的孔サイズは、例えば前記第2圧力源によって供給される相対的に低い圧力により、少なくとも部分的に制御される。所定の時間にオンオフ弁が開かれ、流れシステムの圧力が、線引される微細構造光ファイバの気孔およびピッチを全長にわたって増大させるように上昇する。このファイバは、一定のライン速度およびプリフォーム送り速度を用いて作製されてよく、すなわちガラスの断面積が一定である。相対的に小さい気孔から相対的に大きい気孔への変化が生じるこの長さは、ライン速度によって制御されてよい。ライン速度が比較的低いと、相対的に短い長さにわたって変化が生じ得る。1実施形態では、オンオフ弁が開かれた後に、前記第1エンクロージャ内には、流れシステムの圧力を、所望の相対的な孔サイズを得るのに必要な定常状態の圧力より高くするような圧力が確立される。これにより、より短い長さ L_p にわたって変化が生じ得る。

30

【0146】

1実施形態では、相対的な孔サイズは、最初に、流れシステムに対して相対的に低い圧力を供給することにより、相対的に小さい値を有するように調節される。第1エンクロージャ内に高圧が確立される。所定の時間にオンオフ弁が開かれ、流れシステムの圧力が上昇し、それによって、線引された光ファイバの気孔の断面寸法およびピッチが光ファイバの全長にわたって増大する。ファイバは、一定の長さの後に、外側のファイバ径または格子ピッチなど光ファイバのフィーチャのウエスト値へと縮小テーパ化されてよい。テーパは、本発明による線引を用いて実現されてよい。

【0147】

40

より短い長さにわたる変化を達成するために、線引速度は低くてよく、第1エンクロージャ内に確立される圧力は、相対的に大きい孔サイズ向けの定常状態より高いものでよい。第1テーパ部分には第2テーパ部分が続いてよい。1実施形態では、外径など光ファイバのフィーチャの値は、テーパ部分の前後で実質的に同一である。

【0148】

1実施形態では、ピッチは、プリフォームの気孔の空気圧が上昇している間にライン速度を変更することによって調節されてよい。例えば、相対的な孔サイズが増大している間、ピッチが維持されてよい。

【0149】

本発明を、好ましい実施形態に関連して、図面を参照ながら、以下でより十分に説明す

50

る。

【図面の簡単な説明】

【0150】

【図1】本発明による線引タワーのライン速度を変化させる装置の実施形態を示す図。

【図2】線引されたテーパ形光ファイバに沿ったクラッド径の測定値を示す図。

【図3】線引されたテーパ形光ファイバの入力端およびウエストの画像を示す図。

【図4】本発明による線引タワーを使用して実現され得るテーパのプロファイルを示す図

。【図5】本発明による線引タワーを使用して実現され得る、図4のものとは別のテーパのプロファイルを示す図。

10

【図6】凹曲面を示す図。

【図7】微細構造光ファイバのピッチの2つの値に関するGAM曲線を示す図。

【図8】別々の波長に関して、GAM対第1テーパ部分に沿ったピッチの傾斜を示す図。

【図9a】第1テーパ部分に沿ったピッチの別々の傾斜を示す図。

【図9b】第1テーパ部分に沿ったピッチの別々の傾斜に関して、青色端における別々のテーパのプロファイルおよびエネルギーを示す図。

【図10】本発明によるテーパ形ファイバに関するスーパーコンティニュームのスペクトルを示す図。

【図11】微細構造光ファイバのプリフォームの気孔にかかる圧力を急速に変化させるための圧力制御システムの概略の構成を示す図。

20

【図12】光ファイバに沿っていくつかのフィーチャが変化し得る様子の1例を示す図。

【図13】微細構造光ファイバのクラッド径の変化を示す図。

【図14】線引タワーを使用して線引された微細構造光ファイバの1例の入力端における断面を示す図。

【図15】線引タワーを使用して線引された微細構造光ファイバの1例のテーパウエストにおける断面を示す図。

【図16】本発明による微細構造ファイバの長手方向位置の関数としてピッチを示す図。

【図17a】ファイバに沿った長手方向位置の関数として直径を示す図。このファイバは、本発明によるテーパを用いてファイバから小部分が形成されるように、いくつかのテーパを備える。

30

【図17b】テーパ部分の再現性の1例を示すために重ね描きされた図17aの2つのテーパ部分を示す図。

【図18】3角形のパターンに配置された微細構造の気孔のクラッドを有する純粋な石英から作製された微細構造ファイバに関する可能な青色端のマッピングを示す図。

【図19】 $d_f / \lambda = 0.52$ で3角形のパターンに配置された微細構造の気孔のクラッドを有する純粋な石英から作製された微細構造ファイバに関する、青色端、ZDWおよび赤色端の、ピッチに対する変化の1例を示す図。

【図20a】本発明によるテーパの形状を示す図。

【図20b】本発明によるテーパが、刻み目をさらに備え得る様子を示す図。

【図21】本発明によるテーパ形ファイバからのスペクトルと、対応する実質的に等量のポンプ光を有するテーパ化されていないファイバからのスペクトルとの比較を示す図。

40

【発明を実施するための形態】

【0151】

これらの図は概略図であり、明確にするために簡易化されたものであり得る。全体にわたって、同一の参照数字は同一の部分または対応する部分に対して用いられる。

本発明のさらなる適用可能性の範囲が、以下に示される詳細な説明から明らかになるはずである。しかし、当業者には、この詳細な説明から、本発明の趣旨および範囲内で様々な変更および変更形態が明らかになるはずであるため、詳細な説明および特定の事例は、本発明の好ましい実施形態を示すものであるが、説明としてのみ示されることを理解されたい。

50

【 0 1 5 2 】

本発明は、1または複数の独立請求項の特徴によって定義される。好ましい実施形態は、従属請求項で定義される。特許請求の範囲におけるいかなる参照数字も、それらの範囲に対する限定ではないように意図されている。

【 0 1 5 3 】

いくつかの好ましい実施形態が上記で示されたが、本発明はこれらに限定されず、以下の特許請求の範囲で定義される内容の範囲内の他のやり方で実施され得ることが強調されるべきである。

【 0 1 5 4 】

図1を参照すると、キャプスタンの構成が説明されており、ライン速度変更装置10、11は、プリフォームの第1終端からファイバ経路に沿って第1キャプスタン装置まで配置された独立した装置である。ライン速度変更装置は、平行移動ステージを有する変位装置を備え、平行移動ステージには、共通のプレート13上に2つの支持体が配置されており、これらはレール12に沿って移動されてよい。プレート13が、図の上側の部分「a」に見られる位置から図の下側の部分「b」に見られる位置に移動するとき、ファイバは、第1経路14を辿ることから第2経路15に変位される。2つの支持体（ホイール）が共通のプレートに配置され、また、3つのホイールが第1経路に沿って固定して配置され、第1経路と第2経路の長さの差は、変位装置の移動プレート上に支持体が1つしかない構成と比較して増大する。第1経路と第2経路の長さの差は、移動プレートおよび固定部分にさらなる支持体を付加することによって増大し得る。さらに、示された構成において安定している支持体が、例えば第1共通のプレート13に対して反対方向に移動される第2共通のプレート上に実装された場合には、この差が増大し得る。

【 0 1 5 5 】

図2および図3は、本発明による線引された光ファイバの部分からの結果を示しており、この部分自体が、本発明によるファイバを形成する。図2には、光ファイバに沿ったクラッド径の変化がプロットされている。入力端は0にあり、約150 μm の直径を有する。テーパ以前の部分は約1.6mの長さ L_0 を有する。クラッド径は、1.6mから始まって約2.6mでウエストにて終了する、すなわち約1mの長さ L_1 の第1テーパ部分にわたって150 μm から118 μm へと縮小テーパ化される。2.6mから3.2mまでの第2テーパ部分では、クラッド径は再び150 μm に拡大テーパ化される、すなわち約0.6mの長さ L_2 にわたって拡大テーパ化される。この拡大テーパに続く、4mのところの出力端までの部分は、約0.8mの長さ L_3 を有する。図3は、入力端（左側の画像）およびウエスト（右側の画像）における光ファイバの断面の画像を示す。

【 0 1 5 6 】

大抵の場合、 L_3 の長さは、第2テーパ部分の長さを犠牲にすることなく不完全な接続を補正することができるように、非ゼロにすることになる。いくつかの可能なテーパ設計の概略図である図4および図5に示されたものなど、他のテーパ設計が実現され得る。これらの図は、クラッド径対光ファイバに沿った位置を示す。ファイバの、150 μm のクラッド径および4.4 μm のピッチを有する10mの長い部分が、テーパ部分の前に配置され、光ファイバは、テーパ部分で、70 μm のクラッド径および2.0 μm のピッチへと縮小テーパ化される。ファイバは実質的に純粋な石英から製造された微細構造ファイバ（微細構造要素）であり、クラッド（クラッド領域）は、約0.85の d_f / λ で三角形のパターンにレイアウトされた気孔によって形成され、相対的に大きなサイズは、短い波長において青色端をもたらすのに適切である（図18に関する以下の議論を参照されたい）。以下で論じられるファイバに類似して、比 d_f / λ は実質的に一定である。図18から、このような大きなコア（コア領域）については、約2 μm のピッチが、約350nmになるはずの短い波長で青色端を生成するのに最適であると理解することができる。第1テーパ部分では、変位装置は、光ファイバの縮小テーパ化をもたらす、より長いファイバ経路を与えるように加速される。場合によっては、変位装置は、一定の位置で即時停止され、それによって、ファイバが、150 μm のクラッド径へと短い長さにわたって拡大テ

10

20

30

40

50

ーパ化される。変位装置がこの一定の位置にある限り（さらにはライン速度に対する第1キャプスタン装置の寄与が一定である限り）、クラッド径は $150\ \mu\text{m}$ に保たれる。それぞれの曲線の右側には、第1長手方向位置におけるファイバ径と比較したファイバ径の増加が示されている。この増加は、置換装置が初期位置に戻され、それによって経路長さが縮小したとき生じることになる。線引中にいくつかのテーパ部分を作製するとき、増大されたクラッド径を有するこの部分は、光ファイバが、それぞれテーパ部分を含んでいるより小さな部片に切られてよいところを識別するのに用いられ得る。

【0157】

図10は、スペクトルの4つの別々の構成に関するスーパーコンティニュームのスペクトルを示し、挿入図は青色端に注目している。これらの測定に使用されたすべてのファイバは、実質的に 0.52 の相対的孔サイズ（孔径対ピッチの比）および $3.3\ \mu\text{m}$ のピッチを有する略六方格子に配置された気孔を有する、石英ベースの微細構造光ファイバであった。テーパ形ファイバでは、ピッチは、テーパのウエストで $2.5\ \mu\text{m}$ に縮小テーパ化される。基準測定101が、長さ $10\ \text{m}$ の均一のファイバ（ファイバ1と称される）に対して行なわれた。示された2つのスペクトル103、104は、第1テーパ部分の長さが $1.25\ \text{m}$ であり、ウエストの長さが $0.25\ \text{m}$ であり、第2テーパ部分の長さが $0.5\ \text{m}$ であるテーパを有する第2ファイバ（ファイバ2と称される）に対して測定されたものである。ファイバ2は、テーパの前後に長さ $5\ \text{m}$ の均一な部分を有するものであった。スペクトル103は、ファイバ2が出力端からポンピングされたときの、すなわち、ポンプ光が第1テーパ部分に到達する前に第2テーパ部分に到達するようにファイバ内で伝搬する、スーパーコンティニュームを示す。スペクトル104は、ファイバ2が入力端からポンピングされたときの、すなわち、ポンプ光が第2テーパ部分に到達する前に第1テーパ部分に到達するようにファイバ内で伝搬する、スーパーコンティニュームを示す。スペクトル102は、長さ $14\ \text{m}$ の第1テーパ部分および長さ $1\ \text{m}$ の第2テーパ部分を伴うより長いテーパ部分を有する第3のファイバ（ファイバ3と称される）に対する測定を示す。ファイバ3は、テーパ部分の前後に、長さが $2\ \text{m}$ と $1\ \text{m}$ のファイバの均一な部分がそれぞれ配置されているものであった。ファイバ3の入力端から光を発するとき、スペクトル102が測定される。

【0158】

一般に、図10のスペクトルは、スペクトル102、103および104を均一な光ファイバのスペクトル101と比較したとき、青色端と称される短い波長端が、テーパ部分により、より短い波長の方へ（すなわち約 $490\ \text{nm}$ から約 $430\ \text{nm}$ へ）シフトすることを実証するものである。端（ここでは約 $450\ \text{nm}$ 未満）よりも短い波長に関して約 $-20\ \text{dBm/nm}$ 未満の値で測定された急激に変動する光ノイズは、スーパーコンティニュームの一部分とは見なされない。この光は、マルチモードの影響および測定のアーチファクトに起因するものである。ファイバは、 $80\ \text{MHz}$ の繰返し率で $14\ \text{W}$ の平均出力を有する、 $1064\ \text{nm}$ で 10 ピコ秒のパルスを出すポンプ源によってポンピングされた。得られた結果は、適用されたポンプ源に限定されるものではない。例えば、約 $900\ \text{nm}$ から約 $1300\ \text{nm}$ で、約 1 ピコ秒から 50 ピコ秒のパルス長を有する光を発するポンプ源から、類似の結果が予期される。さらに、以前に論じられたように、他のポンプ・レーザも適切であり得る。

【0159】

挿入図において明白に見られるように、青色端では、ファイバ2が出力端からポンピングされたときの信号（スペクトル103）より、入力端からポンピングされたときの信号（スペクトル104）の方がかなり強い。この観測は、第1テーパ部分の傾斜がより小さいことで、スーパーコンティニュームの青色端において、より強い信号がもたらされ得るという証拠を与える。すなわち、青色端における有効な光パワーが重要なパラメータであるとき、ゆっくりとした縮小テーパが好ましいと言える。

【0160】

さらに、ファイバ3（最長の第1テーパ部分を有する）のスペクトル102は、他のフ

10

20

30

40

50

ファイバと比較して、青色端において最も強い信号を有することが明らかである。

図 1 1 は、圧力制御システムを備える線引タワーの 1 例を示す。第 1 エンクロージャ内に P 1 が確立されている間、流れシステムには圧力 P 2 が連続的に印加されてよい。電磁弁が開かれたとき、圧力 P 1 が流れシステムにおける圧力を支配し、PCFプリフォーム（慣用句の PCF と微細構造は、互換性があるように用いられる）に印加される圧力の高速の変化が得られてよい。

【 0 1 6 1 】

図 1 2 は、本発明による線引タワーの圧力制御およびテーパ化が適用されたとき、いくつかのフィーチャが光ファイバに沿って変化し得る様子の 1 例を示す。

図 1 3 は、本発明による圧力制御システムを備える線引タワーを用いて線引された微細構造光ファイバのクラッド径の変化を示す。炉の温度は摂氏 1 8 2 0 であり、プリフォームの送り速度は 1 . 6 5 mm / min であり、プリフォームからファイバを線引するライン速度は 7 . 8 m / min であった。第 1 エンクロージャの圧力は 4 0 k Pa であり、第 2 圧力源によって印加される圧力は 1 1 . 7 k Pa である。線引された光ファイバの外側クラッド径は、圧力 / テーパの工程より以前には 2 6 2 μ m である。クラッド径が次の 6 メートルにわたって増大するように、図の 3 m に対応する位置でオンオフ弁が開かれる。図の 9 m に対応する位置では、テーパが始まってクラッド径が縮小される。テーパの始端における相対的な孔サイズは 0 . 5 1 6 であり、終端では 0 . 8 1 0 へと増大される。内側のピッチは、テーパの始端で 3 . 2 6 μ m であり、終端では 2 . 2 0 μ m である。

【 0 1 6 2 】

図 1 4 および図 1 5 は、それぞれ図 1 3 で説明されたテーパ光ファイバの始端および終端の画像を示す。

図 1 6 は、本発明によるテーパ形ファイバを示す。このファイバは、実質的に純粋な石英から作製された微細構造ファイバであり、ファイバの全長に沿って走る気孔によってクラッドが形成されている。ファイバの断面では、孔は、図 1 4 のレイアウト・パターンに類似して、三角形のパターンにレイアウトされている。入力端における気孔の直径 d_f と気孔の間のピッチ p との比は 0 . 5 2 である。この特性は、テーパを通して実質的に一定であるが、ピッチは、入力端で 3 . 3 μ m であり、ウエストでは約 2 . 5 μ m である。マッピングされたフィーチャは、長さの関数としてのコーティング・ファイバの直径である。テーパ形ファイバの断面の検査により、コーティングされたファイバの直径は、ピッチの形状によく沿っているが、ピッチの大きさは、コーティングされたファイバの直径と直線的に比例するものではないことが明らかになった。例えば、ピッチは、ウエストで 2 5 % 縮小され得るが、コーティングされたファイバの直径は、1 0 % しか縮小されない。しかし、実験により、少なくともウエストにおけるピッチの大きさはクラッドの外径（すなわちコーティングされるガラスの直径）とよく比例するが、テーパ部分の傾斜はずれる傾向があることが示される。したがって、クラッドの外径の例えば 5 0 % の縮小は、実質的にピッチの 5 0 % の縮小に相当する。このグラフでは、入力端は 0 m のところにある（図示せず）。縮小テーパ化の長さ L_1 は約 1 . 8 m であり、拡大テーパ化の長さ L_2 は約 0 . 4 メートルである。縮小テーパ化は、上記で論じたように、青色端に対する結合を向上するためにはかなり小さい傾斜を最初に有する。最終的に、テーパ L_3 の後のファイバの長さは約 0 . 8 m である。このようなファイバの、スーパーコンティニューム発生への多くの実用的応用では、 L_3 は、一般にテーパのウエストの近くにその最大のスペクトル幅がある、スペクトル的に非常に広範なスーパーコンティニュームが一時的に広がるのを防止するために、大抵の場合より短い。類似のテーパが、ファイバの他の寸法を用いて達成され得る。

【 0 1 6 3 】

図 1 7 a は、複数のテーパ（部分 B）を有するファイバを示す。テーパは、比較的長い縮小テーパおよび短い拡大テーパを有して配向される。部分 A および C は実質的に一定の部分をもたらす、これらはファイバの入力端および出力端を得るのに適切である。このファイバは、図 1 によるライン速度変更装置を有する線引タワーで製造されたものである。

部分 A が、図 1 a による初期位置で休止している変位装置に対応する。変位装置は、部分 B の縮小テーパ化中に、図 1 b に示されるように新規の位置へ移動され、次いで停止され、これによって、ファイバを、実質的に同一のライン速度および寸法に再調整させる。大きな直径を有する部分 D は、ライン速度変更装置をその初期位置へと再初期化した結果である。通常、本発明によるファイバは、線引されたファイバから切断され、部分 A、部分 B および部分 C の一部分を含むが、部分 D は一般に廃棄される。1 実施形態では、部分 D がファイバ上に残され、これが拡大テーパ化の長さ L_2 の決定に影響を及ぼすことはない。1 実施形態では、D は、拡大テーパ化の計算に影響を及ぼさず、その理由は、部分 D が、実質的に一定の直径を有するファイバのかなりの長さ（すなわち、2メートル超など、5メートル超など、10メートル超など、20メートル超など、1メートル超の長さ）の後に存在するからである。1 実施形態では、D の寸法が初期寸法よりも大きいので、D は、拡大テーパ化の計算に影響を及ぼさない。テーパ長の決定におけるこれらの配慮は、他の実施形態にも適用されてよい。図 1 7 b は、テーパの再現性を観測することができるように、図 1 7 a のファイバからの 2 つのテーパを重ね描きしたものである。外側のクラッド径（すなわちコーティング前のガラス・ファイバの直径）は、製造中に測定された。x 軸上の位置は、一定のライン速度をもたらすキャプスタン上の位置を反映しており、経路長変更装置によって与えられる経路長の増加を考慮に入れていないので、x 軸はファイバ長の真の表現ではないことに留意されたい。外側のクラッド径がテーパのウエストで約 2.4% 縮小しているのが観測され、これはファイバのピッチにおける類似の縮小に対応する。ファイバの初期のピッチは $3.2 \mu\text{m}$ であり、これがテーパのウエストで約 $2.4 \mu\text{m}$ に縮小される。類似のテーパが、ファイバの他の寸法を用いて達成され得る。

10

20

【0164】

図 1 8 は、気孔の六角形の配列によって形成されたクラッドを有する純粋な石英の微細構造ファイバに関して、青色端の波長を、 $d_f /$ およびピッチ の関数として理論的に計算したマップを示す。本発明によるファイバは、テーパの端から端まで実質的に一定のピッチを保つことが多く、したがって、分散波の青色端（上記で説明されたもの）は、y 軸に沿って実質的に垂直に移動される。類似のマップが、他の基材、コア用材料、クラッド材、および / または、任意の微細構造の構造体など、光ファイバの他の構成に対して作成されてよい。このようにして、最適の設計パラメータが得られてよい。この場合、本実例の大部分で適用される 0.52 の $d_f /$ に対して、約 2.5 の最小ピッチが、短い青色端向けに最適であると思われることが注目される。上記で論じたように、特に縮小テーパの形状が、青色端に結合される光の量を制御するために重要である。

30

【0165】

図 1 9 は、ZDW、青色端および対応する赤色端を示し、これらの間で、 0.52 の一定の $d_f /$ に関するピッチの関数として群速度整合 (GVM) が確立される。青色端は、ピッチが縮小されるとき最小値に達し、その後再び増大する。図 1 8 に関連して述べたように、この実例の短い青色端については約 2.5 の最小ピッチが最適であると思われる。

【0166】

図 2 0 は、本発明によるテーパが採用してよい形状のいくつかの実例を示す。図 2 0 a で、縮小テーパは、長さ L_1 に沿って、例えば a に沿った一定の傾斜、a 2 に沿った凹形状、または a 1 に沿った凸形状を有してよい。同様に、拡大テーパは、長さ L_2 に沿って、例えば b に沿った一定の傾斜、b 2 に沿った凹形状、または b 1 に沿った凸形状を有してよい。図 2 0 b は、本発明のテーパが、テーパの長さの決定に影響を及ぼすことのない c_1 または c_2 などの「ランプ」を備えてよいことを示す。1 実施形態では、テーパ・ステーションにおける後処理によって生成されるフィーチャの変化（ここではピッチによって例示されている）は、テーパの長さの決定において無視される。1 実施形態では、40 cm 未満など、30 cm 未満など、20 cm 未満など、10 cm 未満など、50 cm 未満の存在範囲を有するフィーチャは、テーパの長さの決定において無視される。ここで、存在範囲は、例えば点線表示 c_1 の長さなど、全体の形状からの偏差として定義される。

40

50

【 0 1 6 7 】

図 2 1 は、本発明によるテーパを用いて生成されたスーパーコンティニュームを示す。長さは、 $L_0 = 1\text{ m}$ 、 $L_1 = 7\text{ m}$ 、 $L_2 = 1\text{ m}$ 、および $L_3 = 1\text{ m}$ である。テーパ化されていない部分については $d_f / \lambda = 0.52$ 、 $\lambda = 3.2$ であり、ウエストでは $d_f / \lambda = 0.52$ 、 $\lambda = 2.45$ である。比較のために、 $d_f / \lambda = 0.52$ 、 $\lambda = 3.25$ を有するテーパ化されていないファイバ（点線）が使用された。どちらのファイバも、 1064 nm で 10 ピコ秒のパルス（FWHM）を有するパルス化された光源を用いて、 80 MHz の繰返し割合でポンピングされた。テーパ形ファイバについては 14.7 W の平均パワー、テーパ化されていないファイバについては 13 W の平均パワーと、同等のパルス・パワーが用いられた。この図は、テーパ化が、示された可視範囲の光の再分配をもたらすことを示している。青色端ピークが、増強され、約 30 nm シフトされる。図 1 8 から予測されるように、テーパ形ファイバ（ $\lambda = 2.45$ のピッチに対応する）に関する青色端の位置は、約 450 nm に見いだされるが、テーパ化されていないファイバの青色端は約 480 nm に見られる。

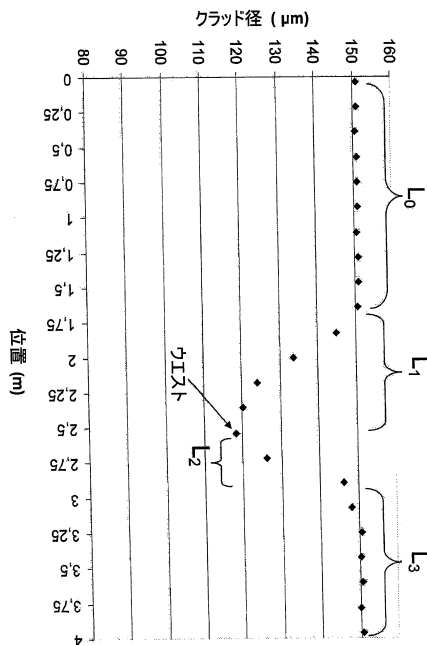
10

【 0 1 6 8 】

上記の本文に見られるように、いくつかの実施形態が本発明の範囲内にあり、いくつかの実施形態が、本発明によるファイバ、光源および線引タワーのそれぞれの機能向けに利用可能である。このような実施形態のすべては、これらの機能が互いに排他的であることが明確でなければ、併合可能であるように意図されていることに留意されたい。本発明およびその実施形態は、添付の特許請求の範囲の組によってさらに定義される。

20

【 図 2 】



【 図 3 】

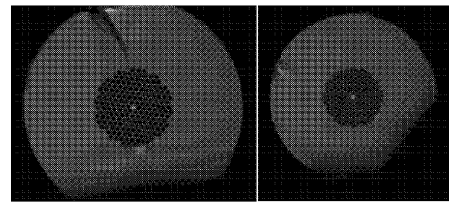
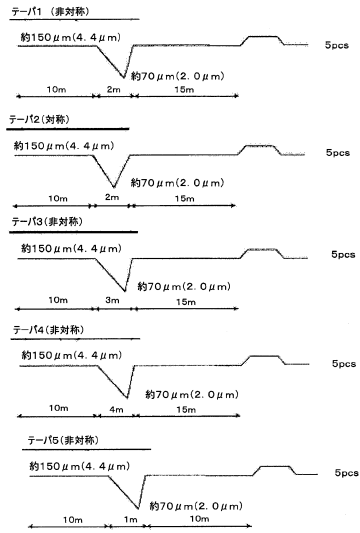
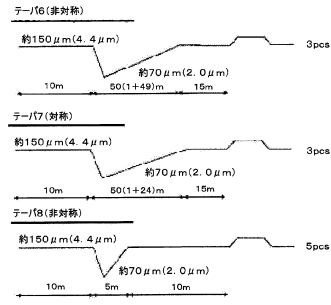


Fig. 3

【 図 4 】



【 図 5 】



【 図 6 】

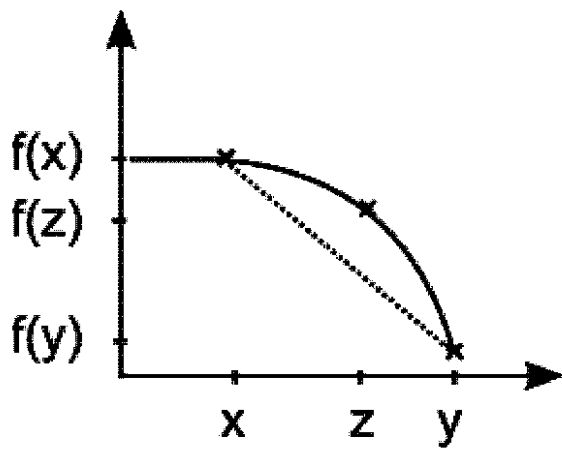
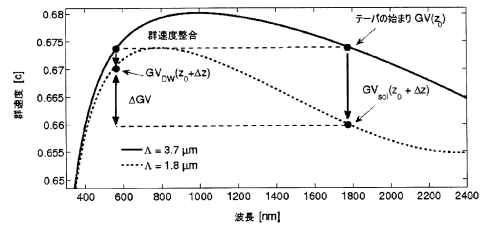
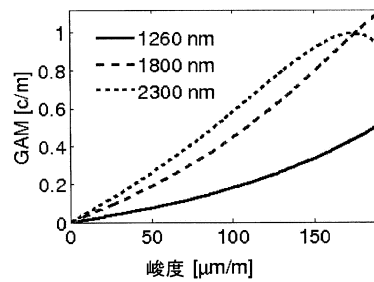


Fig. 6

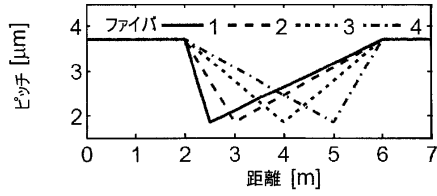
【 図 7 】



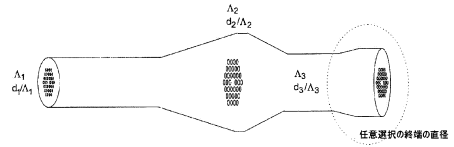
【 図 8 】



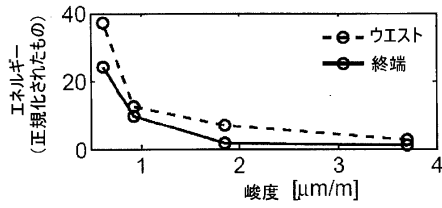
【図9a】



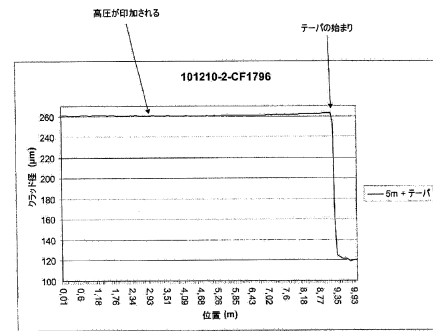
【図12】



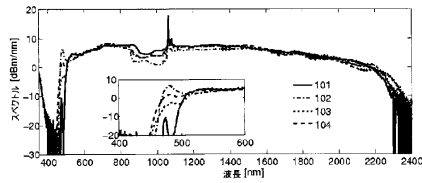
【図9b】



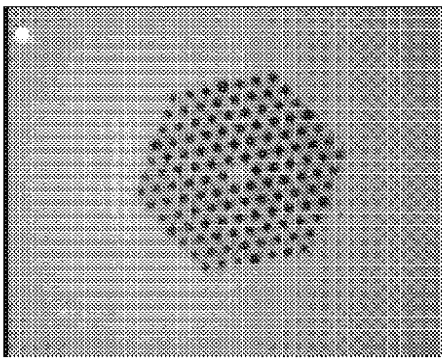
【図13】



【図10】



【図14】



【図15】

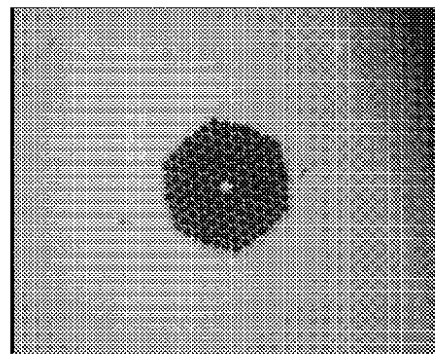
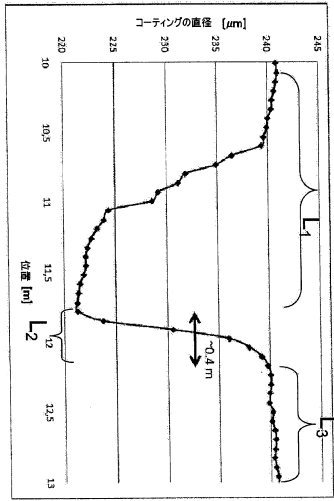


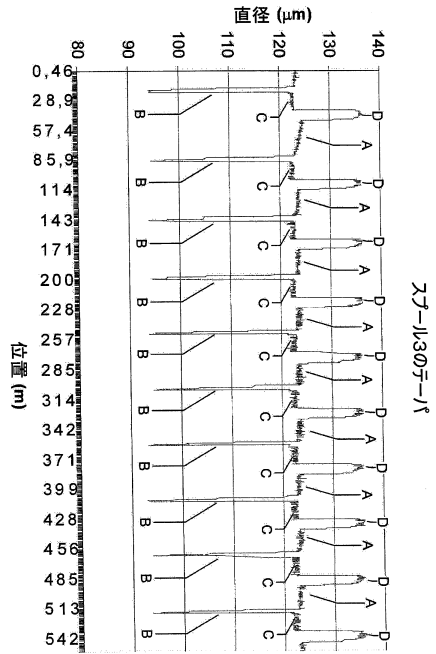
Fig. 14

Fig. 15

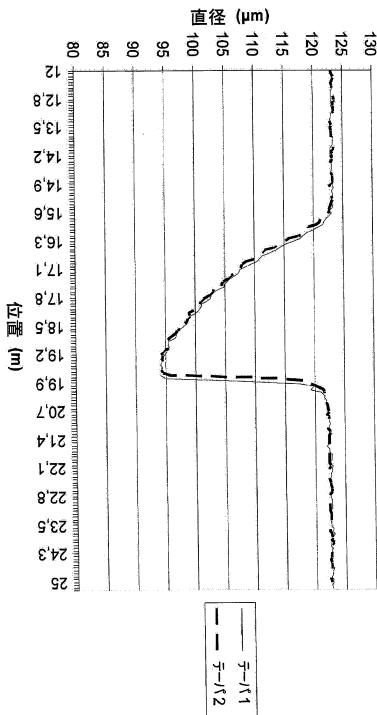
【図16】



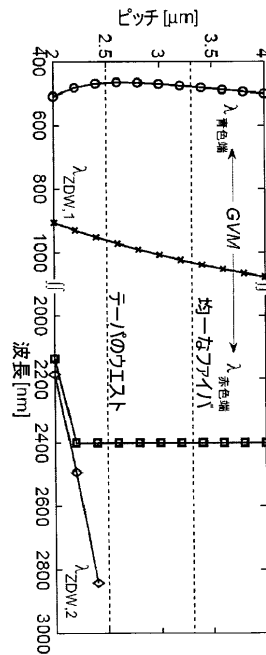
【図17a】



【図17b】

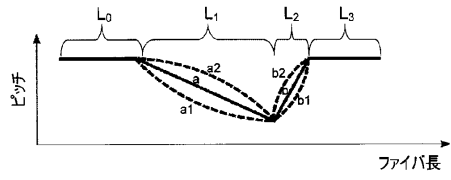


【図19】

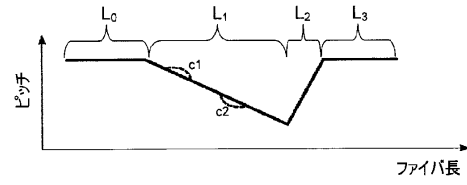


スチール3、ファイバ1およびファイバ2

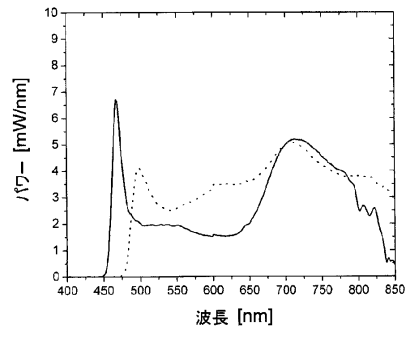
【図20a】



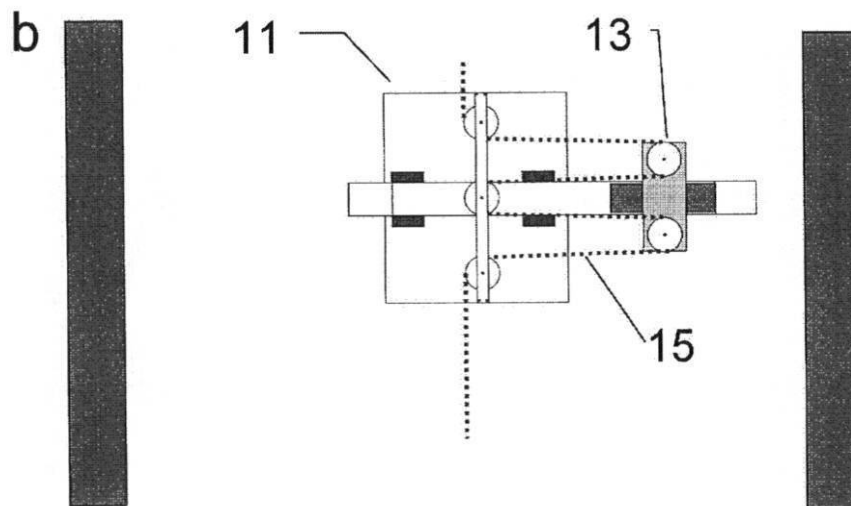
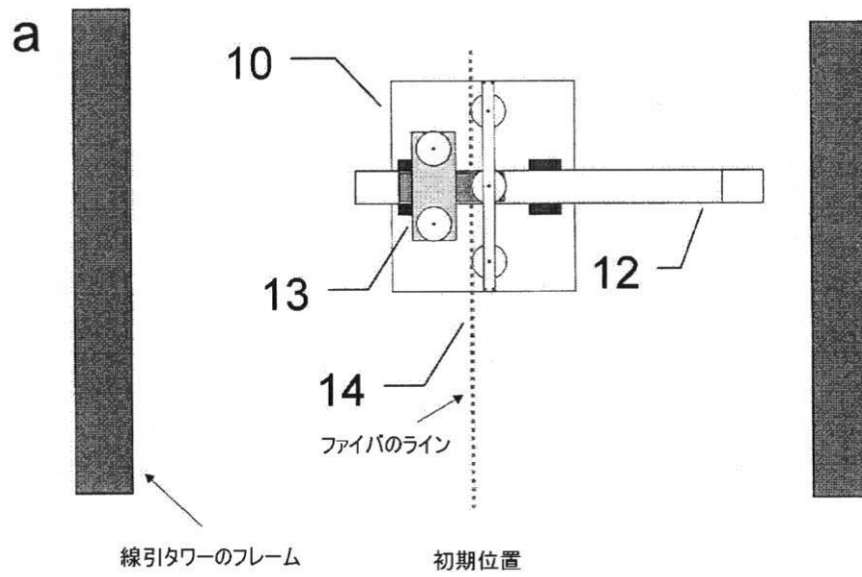
【図20b】



【図21】

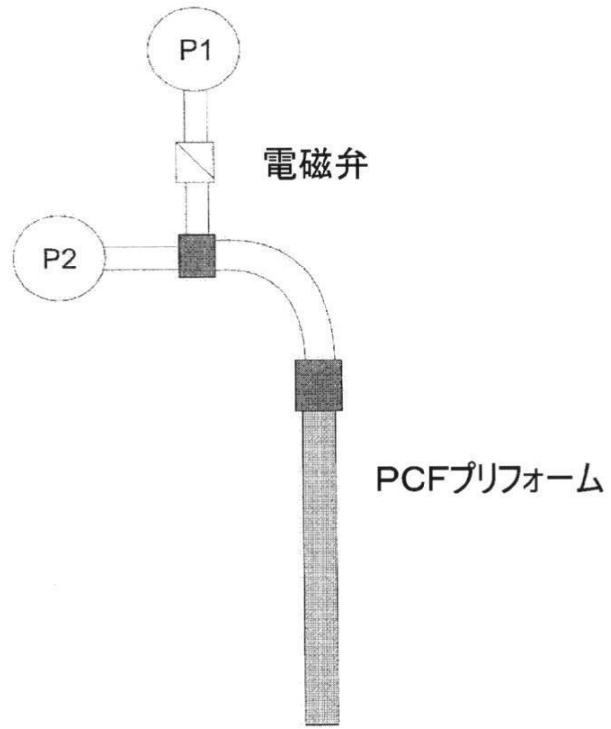


【図1】

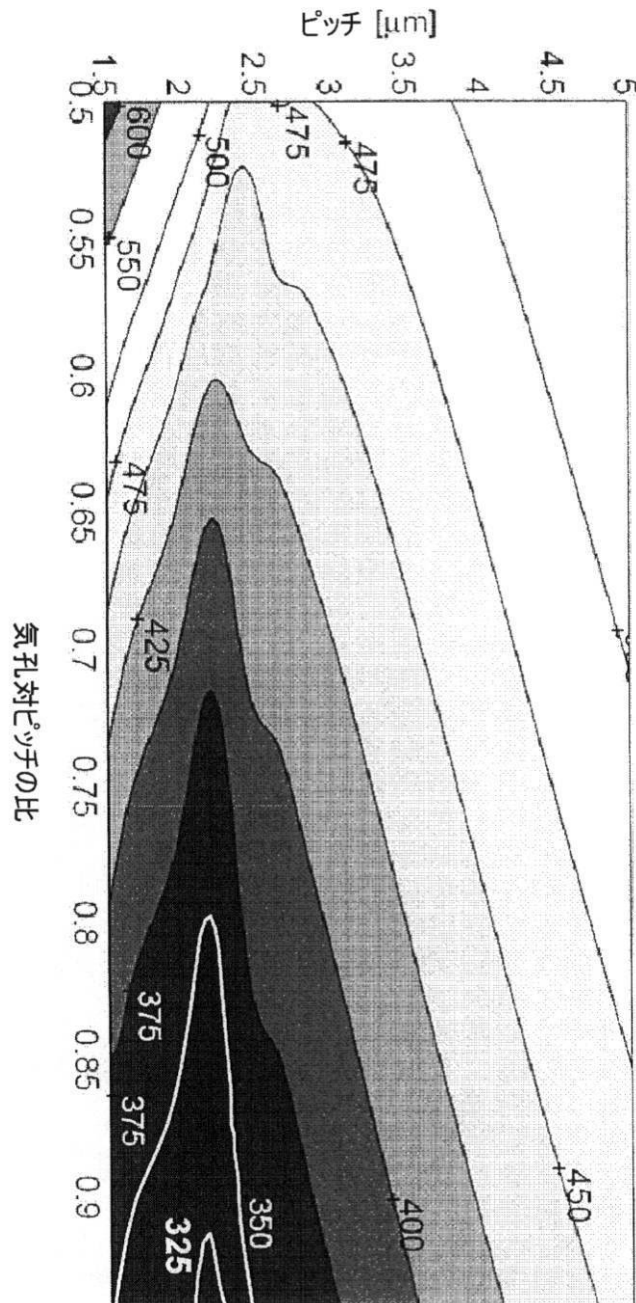


ステージの速度によってライン速度が上昇する

【図11】



【 図 18 】



フロントページの続き

- (72)発明者 バン、オーレ
デンマーク国 DK - 2 8 3 0 ヴィルム コンゲヴェーイエン 2 1 5
- (72)発明者 セーレンセン、シモン トフト
デンマーク国 DK - 2 4 0 0 コペンハーゲン エヌヴェ プロヴステベイ 2 1 3 .テホ .
- (72)発明者 モーゼルンド、ピーター モーテン
デンマーク国 DK - 2 2 0 0 コペンハーゲン エヌ ノルドレ ファサンベイ 2 6 7 エステ .テホ .
- (72)発明者 トムセン、カーステン エル .
デンマーク国 DK - 2 8 3 0 ヴィルム リグステーヴェング 4 9

審査官 佐藤 宙子

- (56)参考文献 米国特許第06654522 (US, B1)
国際公開第2006/106669 (WO, A1)
特開2004-163982 (JP, A)
特開2004-062028 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G 0 2 F 1 / 3 5 - 1 / 3 6 5
G 0 2 B 6 / 0 0 - 6 / 1 0
C 0 3 B 3 7 / 0 2 7