

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号

特許第7600406号

(P7600406)

(45)発行日 令和6年12月16日(2024.12.16)

(24)登録日 令和6年12月6日(2024.12.6)

(51)国際特許分類

F I

C 0 3 B 37/012 (2006.01)

C 0 3 B 37/012

Z

C 0 3 B 37/027 (2006.01)

C 0 3 B 37/027

Z

G 0 2 B 6/032 (2006.01)

G 0 2 B 6/032

Z

請求項の数 17 (全74頁)

(21)出願番号 特願2023-539083(P2023-539083)

(86)(22)出願日 令和4年1月19日(2022.1.19)

(65)公表番号 特表2024-502565(P2024-502565
A)

(43)公表日 令和6年1月22日(2024.1.22)

(86)国際出願番号 PCT/EP2022/051097

(87)国際公開番号 WO2022/157179

(87)国際公開日 令和4年7月28日(2022.7.28)

審査請求日 令和5年6月24日(2023.6.24)

(31)優先権主張番号 21152283.4

(32)優先日 令和3年1月19日(2021.1.19)

(33)優先権主張国・地域又は機関
欧州特許庁(EP)

(73)特許権者 507332918

ヘレーウス クヴァルツグラス ゲゼル

シャフト ミット ベシュレンクテル ハ

フツング ウント コンパニー コマンデ

イトゲゼルシャフト

Heraeus Quarzglas G

mbH & Co. KG

ドイツ連邦共和国 63450 ハーナウ

ヘレーウスシュトラッセ 12 - 14

Heraeusstr. 12 - 14,

63450 Hanau, Germany

(74)代理人 100114890

弁理士 アインゼル・フェリックス＝ラ

インハルト

(74)代理人 100116403

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 2つの接点を有する反共振プリフォーム

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

反共振中空コアファイバ(2400)を製造するための反共振要素プリフォーム(300a~n)であって、

第1の長手方向軸(311a~j、m、n)と、

円弧状に設計されたARE外側要素(310a~n)と、ARE内側要素(340a~n)と、を備え、

前記ARE外側要素(310a~n)及び前記ARE内側要素(340a~n)は、前記第1の長手方向軸(311a~j、m、n)に対して本質的に平行に配置された2本の接続線(370、370')に沿って互いに接続され、

前記ARE外側要素(310a~n)は、ARE外壁によって少なくとも部分的に制限され、円弧状に設計された前記ARE内側要素(340a~n)が少なくとも部分的に突出する内側空間(317)を有する

ことを特徴とし、

前記ARE外側要素は、第1の円半径R_{outer}を有し、

前記ARE内側要素は、第2の円半径R_{inner}を有し、

前記ARE外側要素は、第1の中心角 θ_{outer} を有し、

前記ARE内側要素は、第2の中心角 θ_{inner} を有し、

前記第1の円半径R_{outer}及び前記第2の円半径R_{inner}は、本質的に同一の長さであり(R_{outer}=R_{inner})、

10

20

前記反共振要素プリフォームは、以下の特徴：

R__outer及びR__innerは12mmより小さいこと、及び

R__outer及びR__innerは0.5mmより大きいこと、を有し、

__outerは350°より小さい、__innerは30°より大きい、反共振要素プリフォーム(300a~n)。

【請求項2】

前記ARE外側要素(310a~n)は、第1のセグメント高さH__outer(328)を有し、

前記ARE内側要素(340a~n)は、第2のセグメント高さH__inner(358)を有し、特に、

H__outer/H__innerは30より小さい、特に14より小さい、特に1~6である

ことを特徴とする、請求項1に記載の反共振要素プリフォーム(300a~n)。

【請求項3】

ARE弧要素(390、390')は前記ARE外側要素の前記内側空間に配置され、特に、前記ARE弧要素(390、390')は前記ARE内側要素(340a~n)に配置される

ことを特徴とする、請求項1又は2に記載の反共振要素プリフォーム(300a~n)。

【請求項4】

前記ARE弧要素(390、390')は、非晶質固体、特にガラス、特に石英ガラスを含み、特に非晶質固体、特にガラス、特に石英ガラスからなり、特に前記ARE弧要素(390、390')及び前記ARE外側要素は、同一の材料で作られている

ことを特徴とする、請求項3に記載の反共振要素プリフォーム(300a~n)。

【請求項5】

前記ARE弧要素(390、390')は、円弧状に設計され、第5の円半径R__arc(394)及び第5の中心角__arcを有し、

前記ARE弧要素(390、390')は、2本の接触線(393、393'、393")に沿って前記ARE外側要素及び/又は前記ARE内側要素(340a~n)に接続される、

ことを特徴とする、請求項3に記載の反共振要素プリフォーム(300a~n)。

【請求項6】

前記ARE弧要素(390、390')は円形に設計され、半径R__circle(392)を有し、

前記ARE弧要素(390、390')は、接触線(393、393'、393")に沿って前記ARE内側要素(340a~n)に接続されている

ことを特徴とする、請求項3に記載の反共振要素プリフォーム(300a~n)。

【請求項7】

反共振中空コアファイバ(2400)のプリフォーム(100、100')であって、被覆管(200)であって、被覆管内孔(220)と被覆管長手方向軸(230)とを有し、前記被覆管長手方向軸(230)に沿って、内面(215)及び外面(216)によって制限される被覆管壁(210)が延びている、被覆管と、

いくつかの反共振要素プリフォーム(300a~n)と、を備え、

前記反共振要素プリフォーム(300a~n)は、前記被覆管壁(210)の前記内面(215)上の目標位置に、互いに離間して非接触で配置され、

前記反共振要素プリフォーム(300a~n)のうちの少なくとも1つは、請求項1又は2に従って設計される

ことを特徴とする、反共振中空コアファイバ(2400)のプリフォーム(100、100')。

【請求項8】

反共振中空コアファイバ(2400)のプリフォーム(100、100')を製造する方

10

20

30

40

50

法であって、

a) 被覆管を提供するステップであって、前記被覆管は、被覆管内孔(220)と被覆管長手方向軸(230)とを有し、前記被覆管長手方向軸(230)に沿って、内面(215)及び外面(216)によって制限される被覆管壁(210)が延びている、ステップと、

b) 各々がARE外側要素(310a~n)とその中に挿入されたARE内側要素(340a~n)とを含むいくつかの反共振要素プリフォーム(310a~n)を準備するステップと、

c) 前記反共振要素プリフォーム(300a~n)を前記被覆管内孔(220)内の目標位置に配置するステップと、

d) 前記被覆管(200)と前記反共振要素プリフォーム(300 a~n)とを備える組立品(110, 110')を、伸長及び圧潰のうちの少なくとも1つから選択される熱間成形プロセスによって処理するステップと、を含み、

- 10 ~ - 300 mbar、特に - 50 ~ - 250 mbarの範囲の相対内圧は、ステップd)「処理」において前記被覆管内孔(220)内に設定され、

前記ARE外側要素(310a~n)及び前記ARE内側要素(340a~n)は、少なくとも1つの反共振要素プリフォーム(300a~n)において円弧状に設計されており、

2本の接続線(370, 370')に沿って互いに接続され、前記被覆管内孔(220)に接続され、

前記反共振要素プリフォーム(300a~n)のうちの少なくとも1つは、請求項1又は2に従って設計される

ことを特徴とする、方法。

【請求項9】

反共振中空コアファイバ(2400)であって、

被覆(2450)であって、被覆内孔(2451)及び被覆長手方向軸(2453)を有し、前記被覆長手方向軸(2453)に沿って、被覆内面(2454)及び被覆外面(2455)によって制限される被覆壁(2456)が延びている、被覆(2450)と、

各々がARE外側ユニット(2420)とARE内側ユニット(2430)とを備えるいくつかの反共振要素(2410)であって、円弧状に設計された前記ARE外側ユニット(2420)と、前記ARE内側ユニット(2430)とが2本のシーム線に沿って互いに接続されている、いくつかの反共振要素(2410)と、を備え、

前記反共振要素(2410)は、前記被覆壁(2456)の前記被覆内面(2454)上の目標位置に、互いに離間して非接触で配置され、

前記ARE外側ユニット(2420)は、ARE外壁によって少なくとも部分的に制限され、円弧状に設計された前記ARE内側ユニット(2430)が少なくとも部分的に突出する内側空間を有する

ことを特徴とし、

前記ARE外側ユニットは、第3の円半径FB__outerを有し、

前記ARE内側ユニットは、第4の円半径FB__innerを有し、

前記ARE外側ユニットは、第3の中心角__outerを有し、

前記ARE内側ユニットは、第4の中心角__innerを有し、

FB__outerは、30µmより小さい、5µmより大きい、

FB__innerは、30µmより小さい、5µmより大きい、

__outerは、350°より小さい、__innerは30°より大きい、

前記第3の円半径FB__outer及び前記第4の円半径FB__innerは、本質的に同一の長さである(FB__outer=FB__inner)、

反共振中空コアファイバ(2400)。

【請求項10】

前記第4の円半径からの前記第3の円半径FB__outerの偏差の量は、前記第3の

10

20

30

40

50

円半径 FB_outer の 5% より小さい、特に 3% より小さい、特に 2% より小さい、特に 1.5% より小さい、特に 1% より小さい

ことを特徴とする、請求項 9 に記載の反共振中空コアファイバ (2400)。

【請求項 11】

少なくとも 1 つの反共振要素は、以下の特徴：

FB_outer は、 $25\ \mu\text{m}$ より小さい、特に $15\ \mu\text{m}$ より小さいことと、

FB_outer は、 $10\ \mu\text{m}$ より大きい、特に $12\ \mu\text{m}$ より大きいことと、

FB_inner は、 $25\ \mu\text{m}$ より小さい、特に $15\ \mu\text{m}$ より小さいことと、

FB_inner は、 $10\ \mu\text{m}$ より大きい、特に $12\ \mu\text{m}$ より大きいことと、うちの

の少なくとも 1 つを有する

10

ことを特徴とする、請求項 9 又は 10 に記載の反共振中空コアファイバ (2400)。

【請求項 12】

少なくとも 1 つの反共振要素は、以下の特徴：

θ_outer は 345° より小さい、特に 340° より小さいことと、

θ_outer は 275° より大きい、特に 295° より大きい、特に 320° より

大きいことと、

θ_inner は 195° より小さい、特に 180° より小さい、特に 150° より小さいことと、

θ_inner は 40° より大きい、特に 50° より大きいことと、うちの少なくとも 1 つを有する

20

ことを特徴とする、請求項 9 又は 10 に記載の反共振中空コアファイバ (2400)。

【請求項 13】

少なくとも 1 つの反共振要素は、以下の特徴：

θ_outer は 275° より小さい、特に 260° より小さい、特に 250° より小さいことと、

θ_outer は 210° より大きい、特に 215° より大きい、特に 220° より大きいことと、うちの少なくとも 1 つを有し、

θ_outer と θ_inner の和は 360° の値を有することを特徴とする、請求項 9 又は 10 に記載の反共振中空コアファイバ (2400)。

【請求項 14】

30

前記 ARE 外側ユニット (2420) は第 3 のセグメント高さ HF_outer (2424) を有し、前記 ARE 内側ユニット (2430) は第 4 のセグメント高さ H_inner (2434) を有し、特に、

$HF_outer / HF_inner < 30$ である、ことを特徴とする、請求項 9 又は 10 に記載の反共振中空コアファイバ (2400)。

【請求項 15】

少なくとも 1 つの反共振要素は、以下の特徴：

HF_outer / HF_inner は 6.5 より小さい、特に 4 より小さい、特に 3.2 より小さいことと、

HF_outer / HF_inner は 1.7 より大きい、特に 1.75 より大きい、特に 1.85 より大きいことと、うちの少なくとも 1 つを有する

40

ことを特徴とする、請求項 14 に記載の反共振中空コアファイバ (2400)。

【請求項 16】

少なくとも 1 つの反共振要素は、以下の特徴：

バウ比が 1.5 よりも大きい、特に 1.55 よりも大きい、特に 1.6 よりも大きいことと、

バウ比が 3.2 より小さい、特に 2.8 より小さい、特に 2.5 より小さいことと、うちの少なくとも 1 つを有し、

特に、基底モードの閉じ込め損失が $10\ \text{E} - 2\ \text{db} / \text{m}$ 未満である

ことを特徴とする、請求項 9 又は 10 に記載の反共振中空コアファイバ (2400)。

50

【請求項 17】

比 z/R は、

0.6より大きい、特に0.7より大きい、特に0.8より大きいことと、
1.4より小さい、特に1.3より小さい、特に1.2より小さいことと、
を特徴とする、請求項9又は10に記載の反共振中空コアファイバ(2400)。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、反共振中空コアファイバを製造するための反共振要素プリフォームに関する。

10

【背景技術】

【0002】

中空コアファイバは真空空洞を有するコアを有し、真空空洞は気体又は液体で充填されている。中空コアファイバでは、光とガラスとの相互作用は中実コアファイバよりも小さい。コアの屈折率は被覆の屈折率よりも小さいので、全反射による光誘導は不可能である。光誘導の物理的メカニズムにより、中空コアファイバは、「フォトリックバンドギャップファイバ」と「反共振反射ファイバ」に分けられる。

【0003】

「フォトリックバンドギャップファイバ」の場合、中空コア領域は、小さな中空ダクトが周期的に配置された被覆によって囲われている。被覆内の周期構造は、半導体技術に関して、「フォトリックバンドギャップ」と呼ばれる効果を引き起こし、それによれば、被覆構造で散乱された特定の波長範囲の光は、中心空洞内のブラッグ反射に起因して建設的に干渉し、被覆内を横方向に伝搬することができない。

20

【0004】

「反共振中空コアファイバ」(ARHCF)と呼ばれる中空コアファイバの実施形態の場合、中空コア領域は、内部にいわゆる「反共振要素」(「反共振要素」、短縮して「ARE」とも)が配置されている内側被覆領域によって囲まれる。反共振要素の中空コア壁の周りに均一に分布するものは、反共振で動作し、ファイバコアを通してそれを誘導する入射光を反射するファブリ・ペロー空洞(Fabry-Perot cavity)として機能することができる。

30

【0005】

この技術は、低い光減衰、非常に広い伝送スペクトル(UV又はIR波長範囲においても)、及びデータ伝送中の短い待ち時間を有するファイバを約束する。

【0006】

国際公開第2020030894(A1)号(WO2020030894 A1)から、コアが非共振要素(「ARE」とも呼ばれる)を含む内側被覆によって囲われている反共振中空コアファイバが知られている。これらの非共振要素は、高次モードを減衰させる役割を果たし、その中に挿入されたARE外側要素及びARE内側要素を有する。図示されたARE内側要素は、板状に設計されている。この設計の場合、プリフォームの伸長中に、ARE内側要素が被覆管内孔の内壁上に載置されるようになり、したがって、ARE外側要素のみが高次モードの減衰を保証し、それが全体として減衰を増加させるというリスクがある。

40

【0007】

欧州特許出願公開第3152607(A1)号(EP3152607 A1)から、更なる反共振中空コアファイバが公知であり、この場合、ARE外側要素及びARE内側要素は管状に形成されている。入れ子式に組み込まれたARE外側要素及びARE内側要素は、いずれの場合も、接続線に沿って互いに接続され、被覆管に接続される。したがって、ARE要素が伸長中に回転運動を行い、したがって被覆管内壁におけるARE要素の均一に分布した配置が乱され、これが減衰の増加に反映されるリスクがある。

【0008】

50

更なる態様、例えば、AREの製造方法は、以下の文献、中国特許第105807363号(B)、国際公開第2015185761(A1)号、国際公開第2017108061(A1)号、国際公開第2018169487(A1)号、日本特許第2018150184(A)号、欧州特許第3136143(A1)号に記載されている。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

数百キロメートルのファイバを生成することを可能にするサイズのプリフォームが、反共振中空コアファイバの工業的使用のために必要とされる。これは、反共振中空コアファイバのコストをより妥当なものにする唯一の方法である。その点で、実験室規模で良好な結果をもたらすが、工業生産に使用することができないプリフォームがある。

10

【0010】

反共振中空コアファイバ、特に入れ子構造要素を含むものは、複雑な内部幾何形状を有するので、正確かつ再現可能な製造が更に難しくなる。これは、共振条件又は反共振条件にそれぞれ固執するために、導波される光の動作波長の大きさ未満の寸法偏差しか許容できないので、なおさら当てはまる。ファイバプリフォームの構成は、目標幾何形状からの偏差の原因となる場合があり、また、ファイバ線引きプロセス中に、縮尺通りではない不要な変形によって生じる場合もある。

【0011】

本発明の目的は、反共振中空コアファイバのプリフォーム内に、特に長さが1mを超え、外径が40mmを超え、特に90mmを超えるプリフォーム内に正確に配置することができる反共振要素プリフォームを提供することである。

20

【0012】

特に、本発明の目的は、特に長さが1mを超え、外径が40mmを超え、特に90mmを超える、体積が大きいかかわらず、正確かつ再現可能な方法で製造することができる反共振中空コアファイバのプリフォームを提供することである。

【0013】

特に、本発明の目的は、正確かつ再現可能な方法で製造することができ、更に低い減衰を有する、反共振中空コアファイバのプリフォームを提供することである。特に、本発明の目的は、コア内の高次モードを効率的に減衰させ、同時に基底モードの減衰が低い、反共振中空コアファイバのプリフォームを提供することである。

30

【0014】

本発明の目的は、正確かつ再現可能な方法で製造することができ、更に低い減衰を有する、反共振中空コアファイバのプリフォームを特定することである。

【0015】

特に、本発明の目的は、高次モードを効率的に減衰させる反共振中空コアファイバを提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0016】

独立請求項の特徴は、上述の目的のうちの少なくとも1つを少なくとも部分的に果たすことに寄与する。従属請求項は、目的の少なくとも1つを少なくとも部分的に達成することに貢献する好ましい実施形態を提供する。

40

【0017】

／1．／反共振中空コアファイバを製造するための反共振要素プリフォームであって、第1の長手方向軸と、

円弧状に形成されたARE外側要素と、ARE内側要素と、を備え、

ARE外側要素及びARE内側要素は、第1の長手方向軸に対して本質的に平行に配置された2本の接続線に沿って互いに接続され、

ARE外側要素は、ARE外壁によって少なくとも部分的に制限され、円弧状に設計されたARE内側要素が少なくとも部分的に突出する内側空間を有する

50

ことを特徴とする、反共振要素プリフォーム。

【0018】

/ 2 . /

ARE外側要素は第1の円半径 R_{outer} を有し、

ARE内側要素は、第2の円半径 R_{inner} を有することを特徴とする、実施形態1に記載の反共振要素プリフォーム。

【0019】

/ 3 . /

ARE外側要素は、第1の中心角 θ_{outer} を有し、

ARE内側要素は、第2の中心角 θ_{inner} を有することを特徴とする、実施形態1又は2に記載の反共振要素プリフォーム。

10

【0020】

/ 4 . /

第1の円半径 R_{outer} 及び第2の円半径 R_{inner} は、本質的に同一の長さであり($R_{outer} = R_{inner}$)、

反共振要素プリフォームは、以下の特徴：

R_{outer} 及び R_{inner} は12mmより小さい、特に8mmより小さい、特に5mmより小さい、

R_{outer} 及び R_{inner} は0.5mmより大きい、特に1mmより大きい、特に2mmより大きい、のうちの少なくとも1つを有し、

20

特に、第1の円半径 R_{outer} 及び第2の円半径 R_{inner} は、本質的に同一の長さであり($R_{outer} = R_{inner}$)、反共振要素プリフォームは、以下の特徴：

R_{outer} 及び R_{inner} は7mmより小さい、特に6mmより小さい、

R_{outer} 及び R_{inner} は3mmより大きい、特に4mmより大きい、のうちの少なくとも1つを有することを特徴とする、実施形態2又は3に記載の反共振要素プリフォーム。

【0021】

/ 5 . /

第1の円半径 R_{outer} 及び第2の円半径 R_{inner} は、本質的に同一の長さであり($R_{outer} = R_{inner}$)、

反共振要素プリフォームは、以下の特徴：

θ_{outer} は350°より小さい、特に345°より小さい、特に340°より小さい、

θ_{outer} は275°より大きい、特に295°より大きい、特に320°より大きい、

θ_{inner} は195°より小さい、特に180°より小さい、特に150°より小さい、

θ_{inner} は30°より大きい、特に40°より大きい、特に50°より大きい、のうちの少なくとも1つを有し、

40

特に、少なくとも1つの反共振要素は、以下の特徴：

θ_{outer} は275°より小さい、特に260°より小さい、特に250°より小さい、

θ_{outer} は210°より大きい、特に215°より大きい、特に220°より大きい、のうちの少なくとも1つを有し、

θ_{outer} と θ_{inner} の和は360°の値を有することを特徴とする、実施形態2から4のいずれか1つに記載の反共振要素プリフォーム。

【0022】

/ 6 . / 反共振要素プリフォームは、

1.1より大きい、特に1.5より大きい、特に1.6より大きい、特に1.7よ

50

り大きい、

5.5より小さい、特に5より小さい、特に4より小さい、特に3より小さい、特に2.8より小さい、特に2.5より小さいプリフォームパウ比を有することを特徴とする、実施形態3から5のいずれか1つに記載の反共振要素プリフォーム。

【0023】

/7./第2の円半径 R_{inner} からの第1の円半径 R_{outer} の偏差の量は、第1の円半径 R_{outer} の5%より小さい、特に3%より小さい、特に2%より小さい、特に1.5%より小さい、特に1%より小さいことを特徴とする、実施形態4から6のいずれか1つに記載の反共振要素プリフォーム。

【0024】

/8./第1の円半径 R_{outer} は第2の円半径 R_{inner} よりも大きい($R_{outer} > R_{inner}$)、

反共振要素プリフォームは、以下の特徴：

R_{outer} は12mmより小さい、特に8mmより小さい、特に5mmより小さい、

R_{outer} は0.5mmより大きい、特に1mmより大きい、特に2mmより大きい、

R_{inner} は8mmより小さい、特に5mmより小さい、特に3mmより小さい、

R_{inner} は0.5mmより大きい、特に0.75mmより大きい、特に1mmより大きい、のうちの少なくとも1つを有することを特徴とする、実施形態1から3のいずれか1つに記載の反共振要素プリフォーム。

【0025】

/9./第1の円半径 R_{outer} は第2の円半径 R_{inner} よりも大きい($R_{outer} > R_{inner}$)、

反共振要素プリフォームは、以下の特徴：

θ_{outer} は350°より小さい、特に345°より小さい、特に340°より小さい、

θ_{outer} は275°より大きい、特に295°より大きい、特に320°より大きい、

θ_{inner} は300°より小さい、特に285°より小さい、特に230°より小さい、

θ_{inner} は100°より大きい、特に120°より大きい、特に150°より大きい、のうちの少なくとも1つを有することを特徴とする、実施形態1から3又は8に記載の反共振要素プリフォーム。

【0026】

/10./第1の円半径 R_{outer} は第2の円半径 R_{inner} より小さい($R_{outer} < R_{inner}$)、

反共振要素プリフォームは、以下の特徴：

R_{outer} は12mmより小さい、特に8mmより小さい、特に5mmより小さい、

R_{outer} は0.5mmより大きい、特に1mmより大きい、特に2mmより大きい、

R_{inner} は20mmより小さい、特に10mmより小さい、特に8mmより小さい、

R_{inner} は1mmより大きい、特に2mmより大きい、特に3mmより大きい、のうちの少なくとも1つを有することを特徴とする、実施形態1から3のいずれか1

10

20

30

40

50

つに記載の反共振要素プリフォーム。

【0027】

/ 11 . /

第1の円半径 R_{outer} は第2の円半径 R_{inner} より小さい ($R_{outer} < R_{inner}$)、

反共振要素プリフォームは、以下の特徴：

θ_{outer} は 340° より小さい、特に 315° より小さい、特に 305° より小さい、

θ_{outer} は 200° より大きい、特に 220° より大きい、特に 250° より大きい、

θ_{inner} は 195° より小さい、特に 180° より小さい、特に 150° より小さい、

θ_{inner} は 30° より大きい、特に 40° より大きい、特に 50° より大きい、のうちの少なくとも1つを有することを特徴とする、実施形態1から3又は10のいずれか1つに記載の反共振要素プリフォーム。

【0028】

/ 12 . /

第1の中心角 θ_{outer} 及び/又は第2の中心角 θ_{inner} は、 340° よりも小さいことを特徴とする、実施形態3から11のいずれか1つに記載の反共振要素プリフォーム。

【0029】

/ 13 . /

ARE外側要素は、第1のセグメント高さ H_{outer} を有し、

ARE内側要素は、第2のセグメント高さ H_{inner} を有し、特に、

第1のセグメント高さ H_{outer} と第2のセグメント高さ H_{inner} との比 (H_{outer} / H_{inner}) は30より小さい、特に14より小さい、特に1と6との間にあり、

特に、

H_{outer} / H_{inner} は、15より小さい、特に14より小さい、特に10より小さい、特に6.5より小さい、特に4より小さい、特に3.2より小さい、

H_{outer} / H_{inner} は1.7より大きい、特に1.75より大きい、特に1.85より大きい、ことを特徴とする、実施形態1から12のいずれか1つに記載の反共振要素プリフォーム。

【0030】

/ 14 . / ARE弧要素はARE外側要素の内側空間に配置され、特に、ARE弧要素はARE内側要素に配置される、ことを特徴とする、実施形態1から13のいずれか1つに記載の反共振要素プリフォーム。

【0031】

/ 15 . / ARE弧要素は、非晶質固体、特にガラス、特に石英ガラスを含み、特に非晶質固体、特にガラス、特に石英ガラスからなり、特にARE弧要素及びARE外側要素は、同一の材料で作られていることを特徴とする、請求項14に記載の反共振要素プリフォーム。

【0032】

/ 16 . / ARE弧要素は、円弧状に設計され、第5の円半径 R_{arc} 及び第5の中心角 θ_{arc} を有し、

ARE弧要素は、2本の接触線に沿ってARE外側要素及び/又はARE内側要素に接続されることを特徴とする、実施形態14又は15に記載の反共振要素プリフォーム。

【0033】

/ 17 . / ARE弧要素は、円形に設計され、半径 R_{circle} を有し、

ARE弧要素は、接触線に沿ってARE内側要素に接続されていることを特徴とする

10

20

30

40

50

、実施形態 14 又は 15 に記載の反共振要素プリフォーム。

【0034】

／18．／反共振中空コアファイバのプリフォームであって、
被覆管であって、被覆管内孔と、被覆管長手方向軸とを有し、被覆管長手方向軸に沿って、内面及び外面によって制限される被覆管壁が延びる、被覆管と、
いくつかの反共振要素プリフォームと、を備え、
反共振要素プリフォームは、被覆管壁の内面上の目標位置に、互いに離間して非接触で配置され、
反共振要素プリフォームのうちの少なくとも1つは、実施形態 1 から 16 のいずれか1つに従って設計される
ことを特徴とする、プリフォーム。

10

【0035】

／19．／反共振要素プリフォームは、
1．1より大きい、特に1．5より大きい、特に1．6より大きい、特に1．7より大きい、
5．5より小さい、特に5より小さい、特に4より小さい、特に3より小さい、特に2．8より小さい、特に2．5より小さいプリフォームパウ比を有することを特徴とする、実施形態 18 に記載のプリフォーム。

【0036】

／20．／比率 $z/R_{preform}$ は、
0．1より大きい、特に0．2より大きい、特に0．25より大きい、
1より小さい、特に0．8より小さい、特に0．5より小さいことを特徴とする、
実施形態 18 又は 19 に記載のプリフォーム。

20

【0037】

／21．／各反共振要素プリフォームについて、第2の円半径 R_{inner} からの第1の円半径 R_{outer} の偏差の量は、第1の円半径 R_{outer} の5%より小さい、特に3%より小さい、特に2%より小さい、特に1．5%より小さい、特に1%より小さいことを特徴とする、実施形態 18 から 20 のいずれか1つに記載のプリフォーム。

【0038】

／22．／反共振中空コアファイバのプリフォームを製造するための方法であって、
a) 被覆管を提供するステップであって、被覆管内孔と、被覆管長手方向軸とを有し、被覆管長手方向軸に沿って、内面及び外面によって制限される被覆管壁が延びる、ステップと、
b) 各々が ARE 外側要素とその中に挿入される ARE 内側要素を含むいくつかの反共振要素プリフォームを準備するステップと、
c) 反共振要素プリフォームを被覆管内孔内の目標位置に配置するステップと、
d) 熱間成形プロセスによって、被覆管と、伸長及び圧潰のうちの少なくとも1つから選択された反共振要素プリフォームとを含む組立品を処理するステップと、を有し、
- 10 ~ - 300 mbar、特に - 50 ~ - 250 mbar の範囲の相対内圧は、
ステップ d) 「処理」において被覆管内孔内に設定され、

30

ARE 外側要素及び ARE 内側要素は、少なくとも1つの反共振要素プリフォームにおいて円弧状に設計されており、

ARE 外側要素及び ARE 内側要素は、2本の接続線に沿って、互いに接続され、被覆管内孔に接続される、方法。

40

【0039】

／23．／ARE 外側要素は、ARE 外壁によって制限され、円弧状に設計された ARE 内側要素が少なくとも部分的に突出する内側空間を有することを特徴とする、実施形態 22 に記載の方法。

【0040】

／24．／ARE 外側要素は第1の中心角 θ_{outer} を有し、ARE 内側要素は

50

第2の中心角 α_{inner} を有し、

第1の中心角 α_{outer} 及び/又は第2の中心角 α_{inner} は 340° より大きい、実施形態22又は23に記載の方法。

【0041】

/25./反共振要素プリフォームは、ステップf)「処理」において、被覆管壁に火炎のない状態で熱的に固定されることを特徴とする、実施形態22から24のいずれか1つに記載の方法。

【0042】

/26./被覆管は、65~300mm、特に90~250mmの範囲の外径を有し、特に少なくとも1mの長さを有することを特徴とする、実施形態22から25のいずれか1つに記載の方法。

10

【0043】

/27./先行する実施形態18から21のいずれか1つに従って製造されたプリフォームから、反共振中空コアファイバを線引きすることができる二次プリフォームを製造する方法であって、

プリフォームを二次プリフォームに更に処理するステップを有し、更に処理するステップは、以下の熱間成形プロセス：

- i.) 伸長する、
- ii.) 圧潰する、
- iii.) 圧潰し同時に伸長する、
- iv.) 追加の被覆材料を追加する、
- v.) 追加の被覆材料を追加し、その後伸長する、
- vi.) 追加の被覆材料を追加し、同時に伸長する、

のうちの1つ又はいくつかの1回又は繰り返しの実施を含む、方法。

20

【0044】

/28./反共振要素プリフォームのうちの少なくとも1つは、実施形態1から17のいずれか1つに従って設計されることを特徴とする、実施形態22から27のいずれか1つに記載の方法。

【0045】

/29./反共振中空コアファイバであって、
被覆であって、被覆内孔及び被覆長手方向軸を有し、被覆長手方向軸に沿って、被覆内面及び被覆外面によって制限される被覆壁が延びている、被覆と、
各々がARE外側ユニットとARE内側ユニットとを備えるいくつかの反共振要素であって、円弧状に設計されたARE外側ユニットと、ARE内側ユニットとが2本のシーム線に沿って互いに接続されている、いくつかの反共振要素と、を備え、

30

反共振要素は、被覆壁の被覆内面上の目標位置に、互いに離間して非接触で配置され、ARE外側ユニットは、ARE外壁によって少なくとも部分的に制限され、円弧状に設計されたARE内側ユニットが少なくとも部分的に突出する内側空間を有する

ことを特徴とする、反共振中空コアファイバ。

【0046】

/30./反共振中空コアファイバは3つ、4つ、5つ、6つ、7つ、又は8つの反共振要素を有し、特に、反共振中空コアファイバは奇数の反共振要素を有することを特徴とする、実施形態29に記載の反共振中空コアファイバ。

40

【0047】

/31./反共振中空コアファイバは、以下の特徴：

反共振要素は被覆壁の被覆内面に対称に配置されており、

ARE外側ユニット及び/又はARE内側ユニットのうちの少なくとも1つは、非晶質固体、特にガラス、特に石英ガラスから構成され、特に少なくとも1.4、特に1.4~3、特に1.4~2.8の屈折率を有するガラスから構成され、

ARE外側ユニット及びARE内側ユニットの壁厚は本質的に同一である、のうち

50

の少なくとも1つを有することを特徴とする、実施形態29又は30のいずれか1つに記載の反共振中空コアファイバ。

【0048】

/32./反共振中空コアファイバは、以下の特徴：

1.0~2.5 μm の伝送波長で0.15dB/km未満の基本減衰、

0.8 μm までの伝送波長で1dB/km未満の基本減衰、のうちの少なくとも1つを有することを特徴とする、実施形態29から31のいずれか1つに記載の反共振中空コアファイバ。

【0049】

/33./反共振要素は、コア半径を有するコアを形成し、コア半径は、50 μm よりも小さい、特に40 μm よりも小さい、特に30 μm よりも小さい、特に25 μm よりも小さい、特に20 μm よりも小さい、特に15 μm よりも小さい、特に13 μm よりも小さいことを特徴とする、実施形態29から32のいずれか1つに記載の反共振中空コアファイバ。

10

【0050】

/34./反共振中空コアファイバは、以下の特徴：

ARE外側ユニットは、第3の円半径FB_{outer}を含む、

ARE内側ユニットは、第4の円半径FB_{inner}を含む、

ARE外側ユニットは、第3の中心角 θ_{outer} を含む、

ARE内側ユニットは、第4の中心角 θ_{inner} を含む、のうちの少なくとも

20

1つを有することを特徴とする、実施形態29から33のいずれか1つに記載の反共振中空コアファイバ。

【0051】

/35./

第3の円半径FB_{outer}及び第4の円半径FB_{inner}は、本質的に同一の長さであり(FB_{outer}=FB_{inner})、

少なくとも1つの反共振要素は、以下の特徴：

FB_{outer}は30 μm より小さい、特に25 μm より小さい、特に15 μm より小さい、

FB_{outer}は、5 μm より大きい、特に10 μm より大きい、特に12 μm より大きい、

30

FB_{inner}は、30 μm より小さい、特に25 μm より小さい、特に15 μm より小さい、

FB_{inner}は、5 μm より大きい、特に10 μm より大きい、特に12 μm より大きい、のうちの少なくとも1つを有することを特徴とする、実施形態34に記載の反共振中空コアファイバ。

【0052】

/36./

第3の円半径FB_{outer}及び第4の円半径FB_{inner}は、本質的に同一の長さであり(FB_{outer}=FB_{inner})、

40

少なくとも1つの反共振要素は、以下の特徴：

FB_{outer}は、25 μm より小さい、特に22 μm より小さい、特に17 μm より小さい、特に16 μm より小さい、

FB_{outer}は5 μm より大きい、特に7 μm より大きい、特に10 μm より大きい、特に12 μm より大きい、

FB_{inner}は25 μm より小さい、特に22 μm より小さい、特に20 μm より小さい、特に17 μm より小さい、特に16 μm より小さい、

FB_{inner}は5 μm より大きい、特に7 μm より大きい、特に10 μm より大きい、特に12 μm より大きい、のうちの少なくとも1つを有することを特徴とする、実施形態34又は35に記載の反共振中空コアファイバ。

50

【0053】

/ 37 . /

第3の円半径 FB_outer 及び第4の円半径 FB_inner は、本質的に同一の長さであり ($FB_outer = FB_inner$)、

反共振要素は、以下の特徴：

FB_outer は $16.5 \mu m$ 以下、特に $15.75 \mu m$ 以下である、

FB_outer は $11.5 \mu m$ 以上、特に $12.25 \mu m$ 以上である、

FB_inner は $16.5 \mu m$ 以下、特に $15.75 \mu m$ 以下である、

FB_inner は $11.5 \mu m$ 以上、特に $12.25 \mu m$ 以上である、を有することを特徴とする、実施形態34から36のいずれか1つに記載の反共振中空コアファイバ。

10

【0054】

/ 38 . /

第3の円半径 FB_outer 及び第4の円半径 FB_inner は、本質的に同一の長さであり ($FB_outer = FB_inner$)、

少なくとも1つの反共振要素は、以下の特徴：

$_outer$ は 350° より小さい、特に 345° より小さい、特に 340° より小さい、

$_outer$ は 275° より大きい、特に 295° より大きい、特に 320° より大きい、

20

$_inner$ は 195° より小さい、特に 180° より小さい、特に 150° より小さい、

$_inner$ は 30° より大きい、特に 40° より大きい、特に 50° より大きい、のうちの少なくとも1つを有することを特徴とする、実施形態34から37のいずれか1つに記載の反共振中空コアファイバ。

【0055】

/ 39 . / 少なくとも1つの反共振要素は、以下の特徴：

$_outer$ は 275° より小さい、特に 260° より小さい、特に 250° より小さい、

$_outer$ は 210° より大きい、特に 215° より大きい、特に 220° より大きい、のうちの少なくとも1つを有し、

30

$_outer$ と $_inner$ の和は 360° の値を有することを特徴とする、実施形態34から38のいずれか1つに記載の反共振中空コアファイバ。

【0056】

/ 40 . / 少なくとも1つの反共振要素は、以下の特徴：

バウ比が 1.5 よりも大きい、特に 1.55 よりも大きい、特に 1.6 よりも大きい、

バウ比が 3.2 より小さい、特に 2.8 より小さい、特に 2.5 より小さい、のうちの少なくとも1つを有し、

特に、基底モードの閉じ込め損失が $10 E - 2 db / m$ 未満であることを特徴とする、実施形態29から39のいずれか1つに記載の反共振中空コアファイバ。

40

【0057】

/ 41 . / 比 z / R は、

0.6 より大きい、特に 0.7 より大きい、特に 0.8 より大きく、

1.4 より小さい、特に 1.3 より小さい、特に 1.2 より小さいことを特徴とする、実施形態29から40のいずれか1つに記載の反共振中空コアファイバ。

【0058】

/ 42 . / 第4の円半径からの第3の円半径 FB_outer の偏差の量は、第3の

円半径 FB_outer の 5% より小さい、特に 3% より小さい、特に 2% より小さい、

特に 1.5% より小さい、特に 1% より小さいことを特徴とする、実施形態35から41

50

のいずれか1つに記載の反共振中空コアファイバ。

【0059】

/ 43 . /

FB__outer > FB__innerであり、
少なくとも1つの反共振要素は、以下の特徴：

FB__outerは30 μmより小さい、特に25 μmより小さい、特に15 μmより小さい、

FB__outerは、5 μmより大きい、特に10 μmより大きい、特に12 μmより大きい、

FB__innerは、20 μmより小さい、特に15 μmより小さい、特に11 μmより小さい、

10

FB__innerは、2 μmより大きい、特に4 μmより大きい、特に6 μmより大きい、のうちの少なくとも1つを有することを特徴とする、実施形態29に記載の反共振中空コアファイバ。

【0060】

/ 44 . /

FB__outer > FB__innerであり、
少なくとも1つの反共振要素は、以下の特徴：

__outerは350°より小さい、特に345°より小さい、特に340°より小さい、

20

__outerは275°より大きい、特に295°より大きい、特に320°より大きい、

__innerは195°より小さい、特に180°より小さい、特に150°より小さい、

__innerは30°より大きい、特に40°より大きい、特に50°より大きい、のうちの少なくとも1つを有することを特徴とする、実施形態29又は43に記載の反共振中空コアファイバ。

【0061】

/ 45 . /

FB__outer < FB__innerであり、
少なくとも1つの反共振要素は、以下の特徴：

FB__outerは30 μmより小さい、特に25 μmより小さい、特に15 μmより小さい、

30

FB__outerは、5 μmより大きい、特に10 μmより大きい、特に12 μmより大きい、

FB__innerは、20 μmより小さい、特に15 μmより小さい、特に11 μmより小さい、

FB__innerは、2 μmより大きい、特に4 μmより大きい、特に6 μmより大きい、のうちの少なくとも1つを有することを特徴とする、実施形態29に記載の反共振中空コアファイバ。

40

【0062】

/ 46 . /

FB__outer < FB__innerであり、
少なくとも1つの反共振要素は、以下の特徴：

__outerは340°より小さい、特に315°より小さい、特に305°より小さい、

__outerは200°より大きい、特に220°より大きい、特に250°より大きい、

__innerは195°より小さい、特に180°より小さい、特に150°より小さい、

50

__innerは30°より大きい、特に40°より大きい、特に50°より大きい、のうちの少なくとも1つを有することを特徴とする、実施形態29又は45に記載の反共振中空コアファイバ。

【0063】

/47./第3の中心角__outer及び/又は第4の中心角__innerは、340°よりも大きいことを特徴とする、実施形態34から46のいずれか1つに記載の反共振中空コアファイバ。

【0064】

/48./

ARE外側ユニットは第3のセグメント高さHF__outerを有し、ARE内側ユニットは第4のセグメント高さH__innerを有し、特に、

HF__outer/HF__inner<30であることを特徴とする、実施形態29から47のいずれか1つに記載の反共振中空コアファイバ。

【0065】

/49./少なくとも1つの反共振要素は、以下の特徴：

HF__outer/HF__innerは6.5より小さい、特に4より小さい、特に3.2より小さい、

HF__outer/HF__innerは1.7より大きい、特に1.75より大きい、特に1.85より大きい、のうちの少なくとも1つを有することを特徴とする、実施形態48に記載の反共振中空コアファイバ。

【0066】

/50./ARE弧ユニットはARE外側ユニット内に配置されることを特徴とする、実施形態29から49のいずれか1つに記載の反共振中空コアファイバ。

【0067】

/51./直線の反共振中空コアファイバと直径10mmに巻かれた反共振中空コアファイバとの間の基本減衰差は、2桁小さい、特に1桁小さい、特に1桁の半分より小さいことを特徴とする、実施形態29から50のいずれか1つに記載の反共振中空コアファイバ。

【0068】

/52./ARE外側ユニット及び/又はARE内側ユニットの壁厚は、0.25µm~0.75µm、特に0.35µm~0.65µm、特に0.5µmであり、

特に、ARE外側ユニット及び/又はARE内側ユニットの壁厚は、第1の透過窓における1550nmの信号波長において、0.35µm~0.65µm、特に0.4µm~0.6µm、特に0.5µmであり、

特に、ARE外側ユニット及び/又はARE内側ユニットの壁厚は、第2の透過窓における1550nmの信号波長において、1.25µm~0.75µm、特に1.1µm~0.9µm、特に1µmであることを特徴とする、実施形態29から51のいずれか1つに記載の反共振中空コアファイバ。

【0069】

/53./反共振中空コアファイバは、実施形態18から21のいずれか1つに記載のプリフォームから製造されることを特徴とする、実施形態29から52のいずれか1つに記載の反共振中空コアファイバ。

【0070】

/54./反共振中空コアファイバは、実施形態22から28のいずれか1つに記載の方法に従って製造されることを特徴とする、実施形態29から53のいずれか1つに記載の反共振中空コアファイバ。

【0071】

/55./実施形態18から21のいずれか1つに記載のプリフォームから、特に22から28のいずれか1つに記載の方法に従って製造された反共振中空コアファイバを製造するための方法であって、

10

20

30

40

50

プリフォームを反共振中空コアファイバに更に処理するステップを有し、更に処理するステップは、以下の熱間成形プロセス：

- i .) 伸長する、
- i i .) 圧潰する、
- i i i .) 圧潰し同時に伸長する、
- i v .) 追加の被覆材料を追加する、
- v .) 追加の被覆材料を追加し、その後伸長する、
- v i .) 追加の被覆材料を追加し、同時に伸長する、

のうちの1つ又はいくつかの1回又は繰り返しの実施を含む。

【0072】

/ 56 . / 0 . 05 m b a r ~ 20 m b a r の範囲の相対内圧が、プリフォームを反共振中空コアファイバに伸長することの一部として、ステップ「更なる処理」においてコア領域に設定されることを特徴とする、実施形態56に記載の方法。

【発明を実施するための形態】

【0073】

記載された特徴のいくつかは、「本質的に」という用語と連結される。「本質的に」という用語は、実際の条件及び製造技法の下で、「重なり合う」、「垂直な」、「直径」、又は「平行度」などの用語の数学的に厳密な解釈は厳密には行われ得ず、特定の製造関連誤差許容範囲内でのみ行われるように理解されるべきである。例えば、「本質的に平行な軸」は、互いに - 5 度 ~ 5 度の角度を描き、また「本質的に同一の体積」は、最大5体積%の偏差を含む。例えば、「石英ガラスから本質的になるデバイス」は、95重量%超から100重量%未満の石英ガラス部分を含む。更に、「本質的に直角」は、85度 ~ 95度の角度を含む。いくつかの特徴について、「本質的に」という用語の更なる明確化を以下に行う。

【0074】

上記の目的は、第1の長手方向軸と、円弧状に設計されたARE外側要素と、ARE内側要素とを備え、ARE外側要素及びARE内側要素は、第1の長手方向軸に対して本質的に平行に配置された2本の接続線に沿って互いに接続されている、反共振中空コアファイバを製造するための反共振要素プリフォームによって解決される。本発明によれば、ARE外側要素は、ARE外壁によって少なくとも部分的に制限され、円弧状に設計されたARE内側要素が少なくとも部分的に突出する内側空間を有することが提供される。

【0075】

このように設計された反共振要素プリフォーム及び反共振中空コアファイバ用のプリフォームにおけるその使用は、既知の反共振要素プリフォームと比較して、ARE内側要素の円弧状設計によって更なる自由度が得られるという利点を有する。ARE内側要素の半径を選択するとき、もはや制限はなく、ARE内側要素の半径は、特に、ARE外側要素の半径よりも大きくすることができる。

【0076】

このように構築された反共振要素プリフォームは、反共振中空コアファイバを製造するための更なる構成要素とは別個に製造することができ、これは、製造関連の態様から有利である。したがって、例えば製造中に理想的な構造とは異なる、反共振要素プリフォームは、比較的安価に廃棄することができ、また、反共振中空コアファイバを製造するための更なる構成要素を廃棄する必要もない。反共振要素プリフォームの予備製造によって、製造バッチ全体にわたって均一性を更に達成することができ、これは、反共振要素プリフォームを用いて製造されたプリフォームの対称性、また最終的には反共振中空コアファイバの対称性に有利な影響を及ぼす。対称性を増加させることにより、中空コアファイバの光学特性にプラスの影響を及ぼす。

【0077】

従来技術の反共振要素プリフォームと比較して、本発明による反共振要素プリフォームは、

10

20

30

40

50

A R E 外側要素及び A R E 内側要素は負の曲率を有し、減衰にプラスの影響を及ぼし、

本発明に従って提供される選択肢のおかげで、A R E 内側要素及び A R E 外側要素の半径について実質的に任意の組み合わせが可能であることを特徴とする。

【0078】

この追加の自由度は、後の反共振中空コアファイバにおける改善されたモード適合を提供する。

【0079】

本発明の文脈において、「円弧」という用語は、円周の一部であると理解される。円上の2つの点は、円周を2つの円弧に分割する。当該2つの点の直接接続は、弦と呼ばれる線分を生成する。当該2つの点を各々線分によって円の中心に接続することにより、互いに分離された2つの円部分（セクタとも呼ばれる）が生じる。したがって、1つのセクタは、2つの半径によって円から擬似的に切り出される。セクタに属する円周の部分は円弧と呼ばれ、2つの半径の間の角度は中心角と呼ばれる。各円弧に対して正確に1つの中心角が存在する。円における全ての中心角の合計は、 360° になる。

【0080】

本発明の文脈において、円弧状に設計された A R E 外側要素及び/又は A R E 内側要素に関する用語は、それぞれの長手方向軸に沿って円弧に対応する断面を有する管状に設計された要素であると理解される。

【0081】

本発明の文脈において、円弧状に設計された A R E 外側要素の内側空間に関する用語は、円弧及び弦によって囲まれた空間を指す。

【0082】

本発明の文脈において、円弧状に設計された A R E 内側要素が A R E 外側要素の内側空間内に突出するという記述は、A R E 内側要素の円弧が本質的に A R E 外側要素の弦の上方を通ることと理解される。

【0083】

「本質的に平行」という用語は、実際の条件及び製造技術の下では、数学的に正確な平行度に達することはできないが、特定の製造関連の誤差許容範囲内でのみ提供することができるように理解されるべきである。したがって、「本質的に平行」という用語は、互いに対して $-5^\circ \sim 5^\circ$ の2つの軸間の角度であると理解される。

【0084】

一実施形態では、接続線第1の長手方向軸は、少なくとも1つの接続線及び第1の長手方向軸、特に接続線及び第1の長手方向軸の両方が、互いに $-1.5^\circ \sim 1.5^\circ$ 、好ましくは $-0.85^\circ \sim 0.85^\circ$ 、好ましくは $-0.42^\circ \sim 0.42^\circ$ の角度を有するように平行に設計される。この平行度は、反共振要素プリフォームが高次モードを効率的に減衰させることを確実にし、更に、後の中空コアファイバにおける共振又は反共振条件それぞれへの準拠を確実にする。

【0085】

一実施形態では、反共振要素プリフォームは、光ファイバの動作光に対して透明な材料、例えばガラス、特にドーブされた又はドーブされていない石英ガラス(SiO_2)を含むか、又はそれからなる。ドーピングは、例えば熱膨張係数などの物理特性の適合を提供する。フッ素、塩素及び/又はヒドロキシル基は、好ましくは、石英ガラスの粘度を低下させるドーピング剤として使用される。

【0086】

円弧状の設計に基づいて、A R E 外側要素及び A R E 内側要素は、第1の長手方向軸に対して本質的に平行に配置された2本の接続線に沿って互いに接続される。

【0087】

2次元の図では、各場合における接続線のための結合は、

A R E 外側要素の A R E 外壁の第1の端点と、

10

20

30

40

50

ARE内側要素の壁の第2の端点との間で行われる。

【0088】

被覆管内孔内の目標位置に反共振要素プリフォームを組み立てる間(ステップc)「配置」及び/又はステップd)「処理」参照)、被覆管壁の内面へのこれらの接続線の物質間結合が行われる。断面で見ると、反共振要素プリフォームは、2つの点で被覆管内孔に接続されている。一方では、断面で見て2つの点での接続により、被覆管内での反共振要素プリフォームの組み立て精度が向上する。他方では、伸長及び/又は圧潰中の反共振要素プリフォーム及び/又はARE外側要素及び/又はARE内側要素の回転運動のリスクが低減される。これは、プリフォームの精度、及びプリフォームによって生成され、したがってより低い減衰を有する反共振中空コアファイバの精度を増加させる。

10

【0089】

先行技術からのプリフォームの場合、ARE内側要素が板状に設計されるという事実のために、反共振中空コアファイバ内のARE内側ユニットへの伸長中に、ARE内側要素が被覆管内孔の内壁に対してそれ自体を配置し、したがって、ARE外側ユニットのみが、減衰を増加させる反共振挙動を保證するというリスクがある。ここで説明される実施形態の場合、ARE内側要素の設計は、ARE内側要素が圧潰及び/又は伸長中に変形するリスクを低減し、これは、特に、ARE内側要素及び/又はARE内側ユニットの壁厚の変動をもたらし、これは、後の反共振中空コアファイバにおける減衰の増加につながる。したがって、このように設計された反共振要素及び/又はARE内側ユニット及び/又は反共振中空コアファイバは、改善されたモード適合に達する。

20

【0090】

反共振要素プリフォームの一実施形態は、ARE外側要素が第1の円半径 R_{outer} を有し、ARE内側要素が第2の円半径 R_{inner} を有することを特徴とする。

【0091】

反共振要素プリフォームの一実施形態は、ARE外側要素が第1の中心角 θ_{outer} を有し、ARE内側要素が第2の中心角 θ_{inner} を有することを特徴とする。

【0092】

反共振要素プリフォームの一実施形態は、

第1の円半径 R_{outer} 及び第2の円半径 R_{inner} は、本質的に同一の長さであり($R_{outer} = R_{inner}$)、

30

反共振要素プリフォームは、以下の特徴:

R_{outer} 及び R_{inner} は12mmより小さい、特に8mmより小さい、特に5mmより小さい、

R_{outer} 及び R_{inner} は0.5mmより大きい、特に1mmより大きい、特に2mmより大きい、のうちの1つを有することを特徴とする。

【0093】

この代替実施形態では、本発明によって得られる自由度は、ARE外側要素の第1の円半径 R_{outer} 及びARE内側要素の第2の円半径 R_{inner} が本質的に同一の長さであるように使用される。

【0094】

反共振要素プリフォームの一実施形態は、

第1の円半径 R_{outer} 及び第2の円半径 R_{inner} は、本質的に同一の長さであり($R_{outer} = R_{inner}$)、

40

反共振要素プリフォームは、以下の特徴:

R_{outer} 及び R_{inner} は7mmより小さい、特に6mmより小さい、

R_{outer} 及び R_{inner} は3mmより大きい、特に4mmより大きい、のうちの少なくとも1つを有することを特徴とする。

【0095】

本発明の文脈において、例えば、第1の円半径 R_{outer} 及び第2の円半径 R_{inner} などの2つの長さが「本質的に」同一の長さであるという記述は、当該長さが

50

製造関連公差内で同一である、特に、当該長さが5%未満、特に3%未満、特に2%未満の長さだけ異なるものとして理解される。したがって、一実施形態は、第2の円半径 R_{inner} からの第1の円半径 R_{outer} の偏差の量は、第1の円半径 R_{outer} の5%より小さい、特に3%より小さい、特に2%より小さい、特に1.5%より小さい、特に1%より小さい、特に0.5%より小さいことを特徴とする。

【0096】

第1の円半径 R_{outer} 及び第2の円半径 R_{inner} の同一の長さにより、ARE外側要素及びARE内側要素は本質的に同一の負の曲率を有し、これは、反共振中空コアファイバ内の20kmより大きいファイバ長の減衰にプラスの影響を与える。特に、長さが1mを超え、外径が40mmを超え、特に90mmを超える、工業的に使用可能なプリフォームの特に正確で一貫した製造が可能である。

10

【0097】

反共振要素プリフォームの一実施形態は、

第1の円半径 R_{outer} 及び第2の円半径 R_{inner} は、本質的に同一の長さであり ($R_{outer} = R_{inner}$)、

反共振要素プリフォームは、以下の特徴：

θ_{outer} は 350° より小さい、特に 345° より小さい、特に 340° より小さい、

θ_{outer} は 275° より大きい、特に 295° より大きい、特に 320° より大きい、

20

θ_{inner} は 195° より小さい、特に 180° より小さい、特に 150° より小さい、

θ_{inner} は 30° より大きい、特に 40° より大きい、特に 50° より大きい、のうちの少なくとも1つを有することを特徴とする。

【0098】

反共振要素プリフォームの一実施形態は、

第1の円半径 R_{outer} 及び第2の円半径 R_{inner} は、本質的に同一の長さであり ($R_{outer} = R_{inner}$)、

反共振要素プリフォームに適用されるものは：

θ_{outer} は 275° より小さい、特に 260° より小さい、特に 250° より小さい、

30

θ_{outer} は 210° より大きい、特に 215° より大きい、特に 220° より大きい、のうちの少なくとも1つを有し、

θ_{outer} と θ_{inner} の和は 360° の値を有する。

【0099】

第1の中心角 θ_{outer} 及び第2の中心角 θ_{inner} の対応する選択によって、第1の円半径 R_{outer} 及び第2の円半径 R_{inner} が本質的に同一の長さであるという境界条件下で、反共振中空コアファイバの強い曲率の場合に、より低い減衰を達成することもできる。

【0100】

反共振要素プリフォームの一実施形態は、

第1の円半径 R_{outer} は第2の円半径 R_{inner} よりも大きい ($R_{outer} > R_{inner}$)、

反共振要素プリフォームは、以下の特徴：

R_{outer} は 12mmより小さい、特に 8mmより小さい、特に 5mmより小さい、

R_{outer} は 0.5mmより大きい、特に 1mmより大きい、特に 2mmより大きい、

R_{inner} は 8mmより小さい、特に 5mmより小さい、特に 3mmより小さい、

40

50

R_{inner} は0.5mmより大きい、特に0.75mmより大きい、特に1mmより大きい、のうちの少なくとも1つを有することを特徴とする。

【0101】

この代替実施形態では、本発明によって得られる自由度は、ARE外側要素の第1の円半径 R_{outer} がARE内側要素の第2の円半径 R_{inner} よりも大きくなるように使用される。この結果、プリフォームから生成される反共振中空コアファイバの減衰が低くなる。

【0102】

反共振要素プリフォームの一実施形態は、

第1の円半径 R_{outer} は第2の円半径 R_{inner} よりも大きい($R_{outer} > R_{inner}$)、

10

反共振要素プリフォームは、以下の特徴：

θ_{outer} は 350° より小さい、特に 345° より小さい、特に 340° より小さい、

θ_{outer} は 275° より大きい、特に 295° より大きい、特に 320° より大きい、

θ_{inner} は 195° より小さい、特に 180° より小さい、特に 150° より小さい、

θ_{inner} は 30° より大きい、特に 40° より大きい、特に 50° より大きい、のうちの少なくとも1つを有することを特徴とする。

20

【0103】

第1の中心角 θ_{outer} 及び第2の中心角 θ_{inner} の対応する選択によって、第1の円半径 R_{outer} が第2の円半径 R_{inner} よりも大きいという境界条件下で、反共振中空コアファイバの低い減衰を達成することができる。

【0104】

反共振要素プリフォームの一実施形態は、

第1の円半径 R_{outer} は第2の円半径 R_{inner} より小さい($R_{outer} < R_{inner}$)、

反共振要素プリフォームは、以下の特徴：

R_{outer} は12mmより小さい、特に8mmより小さい、特に5mmより小さい、

30

R_{outer} は0.5mmより大きい、特に1mmより大きい、特に2mmより大きい、

R_{inner} は20mmより小さい、特に10mmより小さい、特に8mmより小さい、

R_{inner} は1mmより大きい、特に2mmより大きい、特に3mmより大きい、のうちの少なくとも1つを有することを特徴とする。

【0105】

この代替実施形態では、本発明によって得られる自由度は、ARE外側要素の第1の円半径 R_{outer} がARE内側要素の第2の円半径 R_{inner} よりも小さくなるように使用される。このタイプの設計は、特に単純なタイプのモード適合を提供する。

40

【0106】

反共振要素プリフォームの一実施形態は、

第1の円半径 R_{outer} は第2の円半径 R_{inner} より小さい($R_{outer} < R_{inner}$)、

反共振要素プリフォームは、以下の特徴：

θ_{outer} は 340° より小さい、特に 315° より小さい、特に 305° より小さい、

θ_{outer} は 200° より大きい、特に 220° より大きい、特に 250° より大きい、

50

$_inner$ は 195° より小さい、特に 180° より小さい、特に 150° より小さい、

$_inner$ は 30° より大きい、特に 40° より大きい、特に 50° より大きい、のうちの少なくとも1つを有することを特徴とする。

【0107】

第1の中心角 $_outer$ 及び第2の中心角 $_inner$ の対応する選択によって、反共振中空コアファイバの低い減衰を達成することができる。

【0108】

反共振要素プリフォームの一実施形態は、第1の中心角 $_outer$ 及び/又は第2の中心角 $_inner$ が 350° よりも小さい、特に第1の中心角 $_outer$ 及び/又は第2の中心角 $_inner$ が $[110^\circ; 310^\circ]$ 、特に $[120^\circ; 290^\circ]$ 、特に $[150^\circ; 280^\circ]$ であることを特徴とする。

10

【0109】

反共振要素プリフォームの一実施形態は、

第1の中心角 $_outer$ は、 270° より大きく 350° より小さい、

第2の中心角 $_inner$ は、 160° より大きく、 300° より小さい、

特に、第1の中心角 $_outer$ は、 280° よりも大きく、 340° よりも小さい、

第2の中心角 $_inner$ は、 210° よりも大きく、 290° よりも小さいことを特徴とする。

20

【0110】

第1の中心角 $_outer$ 及び/又は第2の中心角 $_inner$ の対応する選択によって、反共振中空コアファイバの低い減衰を達成することができる。

【0111】

反共振プリフォームの一実施形態は、

第1の中心角 $_outer$ は 275° より小さい、特に 260° より小さい、特に 250° より小さい、

第1の中心角 $_outer$ は 210° より大きい、特に 215° より大きい、特に 220° より大きい、

第2の中心角 $_inner$ は、 $_outer$ と 360° との差に起因し、

$_outer$ と $_inner$ の和は 360° の値を有することを特徴とする。

30

【0112】

反共振要素プリフォームの一実施形態は、ARE外側要素が第1のセグメント高さ H_outer を有し、ARE内側要素が第2のセグメント高さ H_inner を有することを特徴とし、特に当てはまるのは、

H_outer/H_inner は3より小さい、特に1.4より小さい、特に1~6の間であることである。

【0113】

第1のセグメント高さ H_outer は、ARE外側要素の頂点から第1の弦までの距離を指す。第2のセグメント高さ H_inner は、ARE内側要素の頂点から第2の弦までの距離を指す。この実施形態では、ARE内側要素が圧潰及び/又は伸長中に変形するリスクが低減され、これにより、後の反共振中空コアファイバの減衰が増大する。

40

【0114】

反共振要素プリフォームの一実施形態は、ARE外側要素が第1のセグメント高さ H_outer を有し、ARE内側要素が第2のセグメント高さ H_inner を有することを特徴とし、当てはまるのは、

H_outer/H_inner は、1.5より小さい、特に1.4より小さい、特に1.0より小さい、6.5より小さい、特に4より小さい、特に3.2より小さい、

H_outer/H_inner は1.7より大きい、特に1.75より大きい、特に1.85より大きいことである。

50

【0115】

プリフォームバウ比は以下のように定義される：

【0116】

【数1】

$$\text{プリフォームバウ比} = \frac{\text{第1の中心角 } \alpha_{\text{outer}}}{\text{第2の中心角 } \alpha_{\text{inner}}}$$

【0117】

したがって、プリフォームバウ比は、ARE要素（したがってARE外側要素及びARE内側要素）の2つの中心角の互いに対する比を指定する。

10

【0118】

反共振要素プリフォームの一実施形態は、プリフォームバウ比が、

1.1より大きい、特に1.5より大きい、特に1.6より大きい、特に1.7より大きい、

5.5より小さい、特に5より小さい、特に4より小さい、特に3より小さい、特に2.8より小さい、特に2.5より小さいプリフォームバウ比を有することを特徴とする。

【0119】

反共振要素プリフォームの一実施形態は、

第1の円半径 R_{outer} 及び第2の円半径 R_{inner} は、本質的に同一の長さであり ($R_{\text{outer}} = R_{\text{inner}}$)、

反共振要素プリフォームは、

1.1より大きい、特に1.5より大きい、特に1.6より大きい、特に1.7より大きい、

5.5より小さい、特に5より小さい、特に4より小さい、特に3より小さい、特に2.8より小さい、特に2.5より小さいプリフォームバウ比を有することを特徴とする。

20

【0120】

この実施形態では、反共振要素プリフォームは、特に正確な方法でプリフォームに、特に長さが1mを超え、外径が40mmを超え、特に90mmを超えるプリフォームに一体化することができる。

30

【0121】

反共振要素プリフォームの一実施形態は、ARE弧要素がARE外側要素の内側空間に配置されること、特に、ARE弧要素がARE内側要素に配置されることを特徴とする。

【0122】

ARE弧要素は、望ましくないモードを減衰させる働きをする。反共振要素プリフォームへの対応する統合によって、プリフォーム及び/又は後の反共振中空コアファイバのモード適合を更に容易にすることができる。

【0123】

一実施形態では、ARE弧要素は、光ファイバの動作光に対して透明な材料、例えばガラス、特にドーピングされた又はドーピングされていない石英ガラス (SiO_2)、又は非晶質固体を含むか、又はそれからなる。ドーピングは、例えば熱膨張係数などの物理特性の適合を提供する。フッ素、塩素及び/又はヒドロキシル基は、好ましくは、石英ガラスの粘度を低下させるドーピング剤として使用される。ARE弧要素及びARE外側要素は、特に、同一の材料から作られ得る。

40

【0124】

反共振要素プリフォームの一実施形態は、ARE弧要素が円弧状に設計され、第5の円半径 R_{arc} 及び第5の中心角 θ_{arc} を有し、ARE弧要素が2本の接触線に沿ってARE外側要素及び/又はARE内側要素と接続されることを特徴とする。

50

【0125】

反共振要素プリフォームの一実施形態は、ARE弧要素が円形に設計され、半径R_{circle}を有し、ARE弧要素が接触線に沿ってARE内側要素と接続されることを特徴とする。

【0126】

上述の目的はまた、

被覆管であって、被覆管内孔と、被覆管長手方向軸とを有し、被覆管長手方向軸に沿って、内面及び外面によって制限される被覆管壁が延びる、被覆管と、

いくつかの反共振要素プリフォームと、を備え、

反共振要素プリフォームは、被覆管壁の内面上の目標位置に、互いに離間して非接触で配置される、反共振中空コアファイバのプリフォームによって解決される。

10

【0127】

本発明によれば、反共振要素プリフォームの少なくとも1つが、記載された実施形態のいずれか1つに従って設計されることが提供される。

【0128】

このように設計されたプリフォームは、従来技術と比較してより容易に作られるモード適合と、より正確な製造とを提供する。

【0129】

反共振要素プリフォームに関して説明した全ての特性及び特徴は、プリフォームにも適用され、いずれの場合も逆も又同様である。

20

【0130】

比 $z/R_{preform}$ は以下のように定義される：

【0131】

【数2】

$$\frac{z}{R_{preform}} = \frac{H_{outer} - H_{inner}}{R_{preform}}$$

【0132】

したがって、 $z/R_{preform}$ は、第1のセグメント高さ H_{outer} と第2のセグメント高さ H_{inner} との間の差をプリフォームコア半径 $R_{preform}$ で除算することによって得られる。それにより、プリフォームコア半径 $R_{preform}$ は、被覆管の長手方向軸と反共振要素プリフォームとの最短距離を特定する。

30

【0133】

プリフォームの一実施形態は、比 $z/R_{preform}$ が、

0.1より大きい、特に0.2より大きい、特に0.25より大きいことと、

1より小さい、特に0.8より小さい、特に0.5より小さいこととを特徴とする。

【0134】

$z/R_{preform}$ についてのこれらのパラメータ空間は、プリフォームから製造される中空コアファイバにおけるモード群の適合された位相伝搬速度に基づいて、高次モード群の良好な結合を提供する。これは、特に、上述の値 $z/R_{preform}$ に加えて、反共振要素プリフォームの第1の円半径 R_{outer} 及び第2の円半径 R_{inner} が、プリフォームにおいて本質的に同一の長さ($R_{outer} = R_{inner}$)である場合、特に、1mを超える長さ及び40mmを超える、特に90mmを超える外径を有するプリフォームにおいて当てはまる。

40

【0135】

被覆管に関連する「内孔」という用語は、内孔がドリル加工プロセスによって製造されたことを意味するものではない。

【0136】

上述の目的は、反共振中空コアファイバのプリフォームを製造する方法によっても解

50

決され、

a) 被覆管を提供するステップであって、被覆管は、被覆管内孔と、被覆管長手方向軸とを有し、被覆管長手方向軸に沿って、被覆管壁が延び、被覆管壁は、内面及び外面によって制限される、ステップと、

b) 各々が A R E 外側要素とその中に挿入される A R E 内側要素とを含むいくつかの反共振要素プリフォームを準備するステップと、

c) 反共振要素プリフォームを被覆管内孔内の目標位置に配置するステップと、

d) 被覆管と、反共振要素プリフォームとを含む組立品を、伸長及び圧潰のうちの少なくとも 1 つから選択された熱間成形プロセスによって処理するステップと、を有する。

【 0 1 3 7 】

これにより

- 1 0 ~ - 3 0 0 m b a r、特に - 5 0 ~ - 2 5 0 m b a r の範囲の相対内圧は、ステップ d) 「処理」において被覆管内孔内に設定され、

A R E 外側要素及び A R E 内側要素は、少なくとも 1 つの反共振要素プリフォームにおいて円弧状に設計されており、

A R E 外側要素及び A R E 内側要素は、2 本の接続線に沿って、互いに接続され、被覆管内孔に接続される、ことが提供される。

【 0 1 3 8 】

ステップ a)

被覆管は、ステップ a) 「提供」の一部として準備される。この被覆管は、被覆管長手方向軸に沿って延びる中空コアを有する。一実施形態において、被覆管は、65 ~ 300 mm、好ましくは 90 ~ 250 mm、好ましくは 120 ~ 200 mm の範囲の外径を有する。特に、被覆管は少なくとも 1 m の長さを有することができる。一実施形態では、被覆管は、光ファイバの動作光に対して透明な材料、例えばガラス、特にドーピングされた又はドーピングされていない石英ガラス (S i O 2) を含むか、又はそれからなる。ドーピングは、例えば熱膨張係数などの物理特性の適合を提供する。フッ素、塩素及び / 又はヒドロキシル基は、好ましくは、石英ガラスの粘度を低下させるドーピング剤として使用される。

【 0 1 3 9 】

ステップ b)

いくつかの反共振要素プリフォームが、ステップ b) 「準備」の一部として作製される。ファイバ線引きプロセス中の単純な延伸によって中空コアファイバ内で本質的に反共振要素になるプリフォームの構成要素又は構成要素部分は、反共振要素プリフォームと称される。個々の反共振要素プリフォームは、管状構造要素から構成され、その少なくとも一部は、0.1 mm ~ 2 mm、好ましくは 0.2 mm ~ 1.5 mm の範囲の壁厚を有することができる。反共振要素プリフォームは、単純な構成要素又は入れ子式の構成要素とすることができる。個別の反共振要素プリフォームは、A R E 外管と、その中に挿入された A R E 内管とを備える。反共振要素プリフォームは、中空コアの方向から見て負の曲率 (凸状) を有する少なくとも 2 つの壁を有する。プリフォームを更に処理することによって、特に熱間成形ステップによって、元の形状と比較して変化した形状で元の反共振要素プリフォームが存在する中間製品を作製することができる。

【 0 1 4 0 】

一実施形態では、反共振要素プリフォームは、光ファイバの動作光に対して透明な材料、例えばガラス、特にドーピングされた又はドーピングされていない石英ガラス (S i O 2) を含むか、又はそれからなる。ドーピングは、例えば熱膨張係数などの物理的特性の適合を可能にする。フッ素、塩素及び / 又はヒドロキシル基は、好ましくは、石英ガラスの粘度を低下させるドーピング剤として使用される。

【 0 1 4 1 】

一実施形態では、反共振要素プリフォーム及び被覆管は、同一の材料から作られる。更なる実施形態では、反共振要素プリフォーム及び被覆管は、同じ材料、特にドーピングされていない又はドーピングされた石英ガラス (S i O 2) からなり、ドーピングの量は 0.1 重

10

20

30

40

50

量%を超えない。

【0142】

「同一の材料から作られる」という用語は、2つの部品の物質特性を説明する。それにより、2つの部品は、本質的に同じ化学物質を有する。これにより、両方の部品における異なる化学元素の総質量は、1重量%未満、特に0.5重量%未満、特に0.1重量%未満であり得る。2つの部品の化学組成は、特に、500重量ppm未満、特に100重量ppm未満の汚染物質の含有量だけ、及び/又は、10000重量ppm未満、特に5000重量ppm未満のドーピング剤の含有量だけ異なる。

【0143】

ステップc)

ステップc)「配置」の一部として、被覆管内孔内の目標位置に、反共振要素プリフォームの位置決めが行われる。ステップd)「配置」の後、反共振要素プリフォームの長手方向軸は、被覆管長手方向軸の長手方向軸に本質的に平行に位置合わせされ得る。実施形態では、反共振要素プリフォームの長手方向軸及び被覆管長手方向軸は、反共振要素プリフォームの長手方向軸及び被覆管長手方向軸が互いに $-1.5^{\circ} \sim 1.5^{\circ}$ 、好ましくは $-0.85^{\circ} \sim 0.85^{\circ}$ 、好ましくは $-0.42^{\circ} \sim 0.42^{\circ}$ の角度を有するように、平行に設計される。この平行度は、反共振要素プリフォームが、被覆管内の目標位置に配置されることを保証し、したがって、共振条件又は反共振条件が、それぞれ、後の中空コアファイバ内で遵守されることを保証する。

【0144】

以下の条件のうちの少なくとも1つを満たすことは、それぞれ後の中空コアファイバにおける共振若しくは反共振条件をそれぞれ遵守するために、又は後の中空コアファイバにおける減衰を更に低減するために不可欠である。

- 反共振要素プリフォームは、被覆管内の予め計算された目標位置に配置されなければならない。

- 反共振要素プリフォームは、組立品内の予め計算された目標位置に配置されなければならない。

- 反共振要素プリフォームは、プリフォーム内の予め計算された目標位置に配置されなければならない。

【0145】

ステップd)

ステップd)「処理」の一部として、被覆管と、反共振要素プリフォームと、位置決めプレートとを備える組立品は、伸長及び圧潰する熱間プロセスのうちの少なくとも1つによって更に処理される。

【0146】

本発明の文脈において、伸長という用語は、本体の長手方向膨張の拡大であると理解される。長手方向膨張のこの拡大は、本体の横方向の膨張の減少と関連付けられ得る。伸長は、例えば、構成要素又は構成部品の形状及び配置並びにサイズ比(例えば、反共振プリフォームへの被覆管)が細長い最終製品に反映されるように、一定の縮尺で行うことができる。

【0147】

本発明の文脈において、圧潰という用語は、本体の横方向膨張の減少であると理解される。本体の横方向膨張のこうした減少は、本体の温度の上昇の一部として起こることがあり、特に、本体の長手方向膨張の拡大をもたらすことがある。

【0148】

「熱間プロセス」という用語は、要素の温度が熱入力によって上昇される方法ステップであると理解される。熱間プロセスの例は以下の通りである。

- 発熱反応ガスの酸化に基づく火炎ベースの熱間プロセス。一例は、燃焼ガスとしての水素(「 H_2 」とも呼ばれる)の使用である(火炎加水分解)。これは、空気中にあるか又は外部から供給される「 O_2 」とも呼ばれる酸素と反応する。

10

20

30

40

50

- 火炎のない高温プロセスは、加熱し、直火を必要としない他のシステムを使用する。一例は、電気エネルギーを熱エネルギー（熱）に変換する抵抗器の使用である。

【0149】

- 10 ~ - 300 mbar、特に - 50 ~ - 250 mbar の範囲の相対内圧は、ステップ d) 「処理」において被覆管内孔内に設定され、

ARE 外側要素及び ARE 内側要素は、少なくとも 1 つの反共振要素プリフォームにおいて円弧状に設計されており、

ARE 外側要素及び ARE 内側要素は、2本の接続線に沿って、互いに接続され、被覆管内孔に接続される、ことが提供される。

【0150】

伸長及び/又は圧潰の一部として被覆管の内孔内に設定される - 10 ~ - 300 mbar、特に - 50 ~ - 250 mbar の範囲内の相対内圧（周囲大気圧と比較した負圧）は、OD / ID 比（被覆管の内径に対する外径の比）が小さくなりすぎないことを確実にする。

【0151】

従来技術からの反共振中空コアファイバの場合、ARE 外側要素及び ARE 内側要素は管状に設計される。入れ子式に組み込まれた ARE 外側要素及び ARE 内側要素は、いずれの場合も、接続線に沿って互いに接続され、被覆管に接続される。したがって、ARE 要素が伸長中に回転運動を行い、したがって被覆管内壁における ARE 要素の均一に分布した配置が乱され、これが減衰の増加に反映されるリスクがある。この欠点は、本発明による方法において克服される。

【0152】

本方法の一実施形態は、ARE 外側要素は、ARE 外壁によって制限され、円弧状に設計された ARE 内側要素が少なくとも部分的に突出する内側空間を有することを特徴とする。この実施形態の場合、ARE 内側要素が圧潰及び/又は伸長中に変形するリスクが低減され、これは、特に、ARE 内側要素の壁厚の変動をもたらす、これは、後の反共振中空コアファイバにおける減衰の増加につながる。

【0153】

本方法の一実施形態は、ARE 外側要素が第 1 の中心角 θ_{outer} を有し、ARE 内側要素が第 2 の中心角 θ_{inner} を有し、特に、

第 1 の中心角 θ_{outer} 及び/又は第 2 の中心角 θ_{inner} は 310° より大きいことを特徴とする。

【0154】

方法の実施形態は、ステップ d) 「処理」において、反共振要素プリフォームが、被覆管壁に火炎のない状態で熱的に固定されることを特徴とする。被覆管内の反共振要素プリフォームの位置は、

反共振要素プリフォームが、ステップ c) 「配置」の後に被覆管内孔の内面に接触することができる、又は

特にステップ f) 「処理」中に閉じられる間隙が、ステップ c) 「配置」の後に、反共振要素プリフォームと被覆管内孔の内面との間に依然として存在し得ることであり得る。

【0155】

既知の方法の場合、反共振要素プリフォームは、火炎を使用することによってトーチを介して、特にそれぞれの端部で被覆管壁に熱的に固定される。伸長及び/又は圧潰は、その後のみ行われる。それによって、煤（SiO₂ 粒子の名称）及び燃焼物（burn-off）の形成が不利であることが判明した。これらの燃焼の副生成物は、異なる開始点を有し得る。トーチ内の燃料ガスの燃焼は、過剰な可燃性材料又は過剰な酸化体で火炎を形成することによって行うことができる。例えば、煤は、このタイプの燃焼の既知の副産物である。更に、トーチから被覆管への熱入力、石英ガラスの局所的な蒸発をもたらす可能性がある。このようにして生成された煤は、その後、プリフォームの個々の部分、特に反共

10

20

30

40

50

振要素プリフォーム上に堆積する場合がある。このことは、最終的に製造されるプリフォームの品質の低下につながり、これは、特に、減衰が大きくなる又はファイバが破損することによって明らかになる。

【0156】

燃焼物又は煤の堆積は、特に被覆管の前面、並びにその内面に形成される。更に、特に、反共振要素プリフォームの表面が影響を受ける。作製される幾何学的形状の複雑さのために、例えばフッ化水素酸による完全な洗浄はほとんど不可能である。ステップd)の「処理」の一部として火炎のないプロセスを使用することにより、組立品内に煤が堆積したり燃焼したりすることなく、物質間結合によって、反共振要素プリフォームを被覆管壁に接続することができる。

10

【0157】

本方法の一実施形態は、被覆管が、65～300mm、好ましくは90～250mm、好ましくは120～200mmの範囲の外径を有することを特徴とする。被覆管は、特に、少なくとも1mの長さを有することができる。

【0158】

被覆管内の反共振要素プリフォームの位置決め精度が改善されることにより、少なくとも一部が0.2～2mmの範囲の壁厚、好ましくは0.25～1mmの範囲の壁厚を有する反共振要素プリフォームが提供され、65～300mmの範囲の外径、好ましくは90～250mmの範囲の外径、好ましくは120～200mmの範囲の外径を有する被覆管が提供される。それにより、更に、これらの構成要素は各々少なくとも1mの長さを有することができる。

20

【0159】

一実施形態では、被覆管は、光ファイバの動作光に対して透明な材料、例えばガラス、特にドーピングされた又はドーピングされていない石英ガラス(SiO₂)を含むか、又はそれからなる。ドーピングは、例えば熱膨張係数などの物理的特性の適合を可能にする。フッ素、塩素及び/又はヒドロキシル基は、好ましくは、石英ガラスの粘度を低下させるドーピング剤として使用される。

【0160】

先行する実施形態のいずれか1つに従って製造されたプリフォームから、反共振中空コアファイバを線引きすることができる二次プリフォームを製造する方法の実施形態であって、

30

プリフォームを二次プリフォームに更に処理するステップを有し、更に処理するステップは、以下の熱間成形プロセス：

- i.) 伸長する、
- ii.) 圧潰する、
- iii.) 圧潰と同時に伸長する、

追加の被覆材料を追加する、

- v.) 追加の被覆材料を追加し、その後伸長する、
- vi.) 追加の被覆材料を追加し、同時に伸長する、

のうちの1つ又はいくつかの1回又は繰り返しの実施を含む。

40

【0161】

プリフォーム、特に記載された実施形態によるプリフォーム、特に記載された実施形態による少なくとも1つの反共振要素プリフォームを有するプリフォームは、反共振中空コアファイバの製造の出発点である。本発明による方法では、プリフォームは、1つ又はいくつかの熱間成形プロセスを実施することによって二次プリフォームに更に処理される。

【0162】

伸長の間、プリフォームは延伸される。延伸は、同時に圧潰せずに行うことができる。伸長は、例えば、プリフォームの構成要素又は構成部品の形状及び配置並びにサイズ比(例えば、反共振プリフォームへの被覆管)が二次プリフォームの細長い最終製品に反映されるように、一定の縮尺で行うことができる。しかし、伸長中に、一次プリフォームは

50

、縮尺通りに線引きされなくてもよく、その幾何学的形状は変更されてもよい。圧潰中に、内孔が狭められるか、又は管状構成要素間のリング間隙が閉鎖される若しくは狭められる。圧潰は、伸長と関連付けられることができる。このようにして製造された二次プリフォームは既に設計されており、中空コアファイバを線引きするために適していることができる。二次プリフォームは、任意選択で更に処理することができ、それによって、例えば、細長い、又は追加の被覆材料が追加される。

【0163】

本方法の一実施形態は、反共振要素プリフォームのうちの少なくとも1つは、先行する実施形態のいずれか1つに従って設計されることを特徴とする。

【0164】

反共振要素プリフォームに関して説明した全ての特性及び特徴は、本方法にも適用され、逆も又同様である。

【0165】

上述の目的はまた、反共振中空コアファイバによって解決され、

被覆であって、被覆内孔及び被覆長手方向軸を有し、被覆長手方向軸に沿って、被覆内面及び被覆外面によって制限される被覆壁が延びている、被覆と、

各々がARE外側ユニットとARE内側ユニットとを備えるいくつかの反共振要素であって、円弧状に設計されたARE外側ユニットと、ARE内側ユニットとが2本のシーム線に沿って互いに接続されている、いくつかの反共振要素と、を備え、

反共振要素は、被覆壁の被覆内面上の目標位置に、互いに離間して非接触で配置される。

【0166】

本発明によれば、ARE外側ユニットは、ARE外壁によって少なくとも部分的に制限され、円弧状に設計されたARE内側ユニットが少なくとも部分的に突出する内側空間を有することが提供される。

【0167】

反共振中空コアファイバのコアにおいて単モード波を提供するために、同様に結合される高次モードを減衰させる必要がある。可能であれば、これは、光反共振中空コアファイバの最初の数メートル以内で行われる。NANFファイバの場合、反共振要素は、これらの高次モードを減衰させる働きをする。それにより、1つの態様は、ARE内側ユニット及びARE外側ユニットの単独及び相互の両方の幾何学的設計である。高次モードの減衰を目的としたARE内側ユニットとARE外側ユニットとの相互の適合は、モード適合とも呼ばれる。従来技術からの反共振中空コアファイバと比較して、本発明による反共振中空コアファイバは、

ARE外側ユニット及びARE内側ユニットは負の曲率を有し、減衰にプラスの影響を及ぼし、

本発明による選択肢により、ARE内側ユニット及びARE外側ユニットの半径に対して実質的に任意の組合せを使用することができる。

【0168】

この自由度は、反共振中空コアファイバにおける改善されたモード適合を提供する。

【0169】

一実施形態では、少なくとも1つのシーム線及び被覆長手方向軸は平行に設計され、したがって、特に、シーム線及び被覆長手方向軸の両方は、互いに -1.5 度 ~ 1.5 度、好ましくは -0.85 度 ~ 0.85 度、好ましくは -0.42 度 ~ 0.42 度の角度を有する。この平行度は、反共振中空コアファイバにおける改善されたモード適合を保証する。

【0170】

反共振中空コアファイバの一実施形態は、反共振中空コアファイバが3つ、4つ、5つ、6つ、7つ、又は8つの反共振要素を有し、特に、反共振中空コアファイバが奇数の反共振要素を有することを特徴とする。この数は、反共振中空コアファイバにおける減衰

10

20

30

40

50

の低減において特に有利であることが証明されている。

【0171】

反共振中空コアファイバの一実施形態は、反共振中空コアファイバが以下の特徴：

反共振要素は被覆壁の被覆内面に対称に配置されており、

A R E 外側ユニット及び / 又は A R E 内側ユニットのうちの少なくとも1つは、非晶質固体、特にガラス、特に石英ガラスから構成され、特に少なくとも1.4、特に1.4 ~ 3、特に1.4 ~ 2.8の屈折率を有するガラスから構成され、

A R E 外側ユニット及び A R E 内側ユニットの壁厚は本質的に同一である、のうちの少なくとも1つを有することを特徴とする。

【0172】

「本質的に同一の壁厚」という用語は、実際の条件及び製造技術の下では、数学的に正確に同一の壁厚を達成することはできないが、特定の製造関連誤差許容範囲内でのみ提供することができるように理解されるべきである。したがって、「本質的に同一の壁厚」という用語は、5%未満、特に2.5%未満、特に1.5%未満のA R E 外側ユニットとA R E 内側ユニットの壁厚の差であると理解される。

【0173】

反共振中空コアファイバの一実施形態は、反共振中空コアファイバが以下の特徴：

1.0 ~ 2.5 μm の伝送波長で0.15 dB / km未満の基本減衰、

0.8 μm までの伝送波長で1 dB / km未満の基本減衰、のうちの少なくとも1つを有することを特徴とする。

【0174】

反共振中空コアファイバの一実施形態は、反共振要素が、コア半径を有するコアを形成し、コア半径は、50 μm よりも小さい、特に40 μm よりも小さい、特に30 μm よりも小さい、特に25 μm よりも小さい、特に20 μm よりも小さい、特に15 μm よりも小さい、特に13 μm よりも小さいことを特徴とする。したがって、コア半径は、反共振中空コアファイバの長手方向軸とA R E 外側ユニットとの間の最短距離である。

【0175】

反共振中空コアファイバは、コア半径と第3の円半径F B__o u t e rとの和から得られるボルト円半径を有する。反共振中空コアファイバの一実施形態は、ボルト円半径が40 μm より小さい、特に38 μm より小さい、特に33 μm より小さいことを特徴とする。反共振中空コアファイバの一実施形態は、ボルト円半径が20 μm より大きい、特に25 μm より大きい、特に29.5 μm より大きいことを特徴とする。

【0176】

反共振中空コアファイバの一実施形態は、反共振中空コアファイバが以下の特徴：

A R E 外側ユニットは、第3の円半径F B__o u t e rを有する、

A R E 内側ユニットは、第4の円半径F B__i n n e rを有する、

A R E 外側ユニットは、第3の中心角__o u t e rを有する、

A R E 内側ユニットは、第4の中心角__i n n e rを有する、のうちの少なくとも1つを有することを特徴とする。

【0177】

反共振中空コアファイバの一実施形態は、

第3の円半径F B__o u t e r及び第4の円半径F B__i n n e rは、本質的に同一の長さであり(F B__o u t e r = F B__i n n e r)、

少なくとも1つの反共振要素は、以下の特徴：

F B__o u t e rは30 μm より小さい、特に25 μm より小さい、特に15 μm より小さい、

F B__o u t e rは、5 μm より大きい、特に10 μm より大きい、特に12 μm より大きい、

F B__i n n e rは、30 μm より小さい、特に25 μm より小さい、特に15 μm より小さい、

10

20

30

40

50

FB__innerは、5 μmより大きい、特に10 μmより大きい、特に12 μmより大きい、のうちの少なくとも1つを有することを特徴とする。

【0178】

このタイプの反共振中空コアファイバの実施形態は、より低い減衰を有する。最適化されたモード適合は、本発明に従って得られる自由度によって実行することができる。

【0179】

「本質的に同一の長さ」という用語は、実際の条件及び製造技術の下では、数学的に正確に同一の長さを達成することはできないが、特定の製造関連誤差公差内でのみ可能であるように理解されるべきである。この点において、「本質的に同一の長さ」という用語は、第4の円半径からの第3の円半径FB__outerの偏差の量は、第3の円半径FB__outerの5%より小さい、特に3%より小さい、特に2%より小さい、特に1.5%より小さい、特に1%より小さいことを意味すると理解される。

10

【0180】

反共振中空コアファイバの一実施形態は、

第3の円半径FB__outer及び第4の円半径FB__innerは、本質的に同一の長さであり(FB__outer = FB__inner)、

少なくとも1つの反共振要素は、以下の特徴：

FB__outerは25 μmより小さい、特に22 μmより小さい、特に20 μmより小さい、特に17 μmより小さい、特に16 μmより小さい、

FB__outerは5 μmより大きい、特に7 μmより大きい、特に10 μmより大きい、特に12 μmより大きい、

20

FB__innerは25 μmより小さい、特に22 μmより小さい、特に20 μmより小さい、特に17 μmより小さい、特に16 μmより小さい、

FB__innerは5 μmより大きい、特に7 μmより大きい、特に10 μmより大きい、特に12 μmより大きい、のうちの少なくとも1つを有することを特徴とする。

【0181】

反共振中空コアファイバの一実施形態は、

第3の円半径FB__outer及び第4の円半径FB__innerは、本質的に同一の長さであり(FB__outer = FB__inner)、

反共振要素は、以下の特徴：

FB__outerは16.5 μm以下、特に15.75 μm以下である、

FB__outerは、11.5 μm以上、特に12.25 μm以上である、

FB__innerは16.5 μm以下、特に15.75以下である、

FB__innerは11.5 μm以上、特に12.25 μm以上である、を有する

ことを特徴とする。

30

【0182】

このタイプの反共振中空コアファイバの実施形態は、小さい減衰を有する。

【0183】

反共振中空コアファイバの一実施形態は、

第3の円半径FB__outer及び第4の円半径FB__innerは、本質的に同一の長さであり(FB__outer = FB__inner)、

少なくとも1つの反共振要素は、以下の特徴：

__outerは350°より小さい、特に345°より小さい、特に340°より小さい、

__outerは275°より大きい、特に295°より大きい、特に320°より大きい、

__innerは195°より小さい、特に180°より小さい、特に150°より小さい、

__innerは30°より大きい、特に40°より大きい、特に50°より大きい、のうちの少なくとも1つを有することを特徴とする。

40

50

【0184】

反共振中空コアファイバの一実施形態は、基底モードの閉じ込め損失が $10\text{E} - 2\text{db} / \text{m}$ より小さく、

第3の円半径 FB_outer と第4の円半径 FB_inner は本質的に同一の長さであり ($FB_outer = FB_inner$)、第4の円半径からの第3の円半径 FB_outer の偏差の量は、第3の円半径 FB_outer の2%より小さく、

反共振中空コアファイバは、5つ、6つ、又は7つの反共振要素を有し、

反共振要素は、以下の特徴：

バウ比は 1.6 より大きく、 3.0 より小さい、

FB_outer 及び FB_inner は $16.5\ \mu\text{m}$ 以下であり、特に $15.75\ \mu\text{m}$ 以下である、

FB_outer 及び FB_inner は $11.5\ \mu\text{m}$ 以上、特に $12.25\ \mu\text{m}$ 以上である、のうちの少なくとも1つを有することを特徴とする。

【0185】

反共振中空コアファイバのこの実施形態は、特に、 $10\text{E} - 2\text{db} / \text{m}$ (したがって $0.01\text{db} / \text{m}$) 未満の基底モードの閉じ込め損失 (導波路損失とも呼ばれる) を有し、これは非常に有利である。

【0186】

中空コアファイバは、一般にマルチモード導波路である。基底モードに加えて、コアは、より高次のモード (以下、「高次モード」又は「HOM」とも称する) も導く。HOMは、基底モードよりも高い導波路損失を有する。この点に関して、中空コアファイバは、より長い走行距離の後に基底モードで擬似的に挙動する。しかしながら、この走行距離が可能な限り短い場合が有利である。

【0187】

ファイバの基底モード挙動を改善するために、追加の損失メカニズムを使用することができ、この場合、HOMのエネルギーは、中空コアファイバの適合された設計によって、AREユニット (ARE外側ユニット及び/又はARE内側ユニット) 内の高損失モードに結合する。この結合は、2つのモード群：

中空コアファイバのコア内のHOM、及び

AREユニット (ARE外側ユニット及び/又はARE内側ユニット) におけるAREモードの適合された移送伝搬速度を必要とする。

【0188】

当該2つのモード群の位相伝搬速度の良好な結合は、両方のモード群の有効モード指数 n_{eff} が本質的に対応するときに存在する。

【0189】

位相伝搬速度の結合は、特に、中空コアファイバの個々の構成要素の幾何学的形状によって影響を受ける可能性がある。特に、パラメータ「 z/R 」が重要であることが判明し、これは以下のように定義される：

【0190】

【数3】

$$\frac{z}{R} = \frac{HF_{outer} - HF_{inner}}{R_{fiber}}$$

【0191】

この点において、 z/R は、第3のセグメント高さ HF_outer (図20の2424を参照) と第4のセグメント高さ HF_inner (図20の2434を参照) との間の差を、コア半径 R_fiber (図20の2405を参照) で除算したもから得られる。中空コアファイバの代替実施形態では、 z/R は、

0.6 より大きい、特に 0.7 より大きい、特に 0.8 より大きく、

10

20

30

40

50

1.4より小さい、特に1.3より小さい、特に1.2より小さい。

【0192】

特に、 z/R は区間 $[0.8; 1.2]$ 内にある。 z/R に対するこれらのパラメータ空間は、当該2つのモード群の位相伝搬速度の良好な結合を提供する。

【0193】

基底モードの小さい閉じ込め損失、特に $10E-2\text{ db/m}$ 未満の閉じ込め損失を達成するため、並びに短いファイバ距離で基底モード挙動を達成するために、反共振中空コアファイバの一実施形態は、比 z/R が、

0.75より大きい、特に0.8より大きく、

1.25より小さい、特に1.2より小さく、

第3の円半径 FB_outer 及び第4の円半径 FB_inner は、本質的に同一の長さであり($FB_outer = FB_inner$)、 FB_outer 及び FB_inner は、 $17\mu\text{m}$ より小さく、 $12\mu\text{m}$ より大きく、バウ比は、2.8より小さく、1.6より大きいことを特徴とすることができる。

【0194】

反共振中空コアファイバの一実施形態は、

第3の円半径 FB_outer 及び第4の円半径 FB_inner は、本質的に同一の長さであり($FB_outer = FB_inner$)、

ARE外側ユニット及び/又はARE内側ユニットの壁厚は、第1の透過窓における 1550 nm の信号波長において、 $0.35\mu\text{m} \sim 0.65\mu\text{m}$ 、特に $0.4\mu\text{m} \sim 0.6\mu\text{m}$ 、特に $0.5\mu\text{m}$ であることを特徴とする。

【0195】

反共振中空コアファイバの一実施形態は、

第3の円半径 FB_outer 及び第4の円半径 FB_inner は、本質的に同一の長さであり($FB_outer = FB_inner$)、

ARE外側ユニット及び/又はARE内側ユニットの壁厚は、第2の透過窓における 1550 nm の信号波長において、 $1.25\mu\text{m} \sim 0.75\mu\text{m}$ 、特に $1.1\mu\text{m} \sim 0.9\mu\text{m}$ 、特に $1\mu\text{m}$ であることを特徴とする。

【0196】

反共振中空コアファイバの一実施形態は、

第3の円半径 FB_outer が第4の円半径 FB_inner よりも長く($FB_outer > FB_inner$)、

少なくとも1つの反共振要素は、以下の特徴：

FB_outer は $30\mu\text{m}$ より小さい、特に $25\mu\text{m}$ より小さい、特に $15\mu\text{m}$ より小さい、

FB_outer は、 $5\mu\text{m}$ より大きい、特に $10\mu\text{m}$ より大きい、特に $12\mu\text{m}$ より大きい、

FB_inner は、 $20\mu\text{m}$ より小さい、特に $15\mu\text{m}$ より小さい、特に $11\mu\text{m}$ より小さい、

FB_inner は、 $2\mu\text{m}$ より大きい、特に $4\mu\text{m}$ より大きい、特に $6\mu\text{m}$ より大きい、のうちの少なくとも1つを有することを特徴とする。

【0197】

ARE内側ユニットの第4の円半径 FB_inner がARE外側ユニットの第3の円半径 FB_outer よりも大きいという選択肢により、改善されたモード適合を行うことができる。

【0198】

反共振中空コアファイバの一実施形態は、

第3の円半径 FB_outer が第4の円半径 FB_inner よりも長く($FB_outer > FB_inner$)、

少なくとも1つの反共振要素は、以下の特徴：

10

20

30

40

50

θ_{outer} は 350° より小さい、特に 345° より小さい、特に 340° より小さい、

θ_{outer} は 275° より大きい、特に 295° より大きい、特に 320° より大きい、

θ_{inner} は 300° より小さい、特に 285° より小さい、特に 230° より小さい、

θ_{inner} は 100° より大きい、特に 120° より大きい、特に 150° より大きい、のうちの少なくとも1つを有することを特徴とする。

【0199】

反共振中空コアファイバの一実施形態は、

第3の円半径 R_{outer} が第4の円半径 R_{inner} よりも短く ($R_{outer} < R_{inner}$)、

少なくとも1つの反共振要素は、以下の特徴：

R_{outer} は $30\mu\text{m}$ より小さい、特に $25\mu\text{m}$ より小さい、特に $15\mu\text{m}$ より小さい、

R_{outer} は、 $5\mu\text{m}$ より大きい、特に $10\mu\text{m}$ より大きい、特に $12\mu\text{m}$ より大きい、

R_{inner} は、 $20\mu\text{m}$ より小さい、特に $15\mu\text{m}$ より小さい、特に $11\mu\text{m}$ より小さい、

R_{inner} は、 $2\mu\text{m}$ より大きい、特に $4\mu\text{m}$ より大きい、特に $6\mu\text{m}$ より大きい、のうちの少なくとも1つを有することを特徴とする。

【0200】

このタイプの反共振中空コアファイバの設計は、低い減衰を有する。

【0201】

反共振中空コアファイバの一実施形態は、

第3の円半径 R_{outer} が第4の円半径 R_{inner} よりも短く ($R_{outer} < R_{inner}$)、

少なくとも1つの反共振要素は、以下の特徴：

θ_{outer} は 340° より小さい、特に 315° より小さい、特に 305° より小さい、

θ_{outer} は 200° より大きい、特に 220° より大きい、特に 250° より大きい、

θ_{inner} は 195° より小さい、特に 180° より小さい、特に 150° より小さい、

θ_{inner} は 30° より大きい、特に 40° より大きい、特に 50° より大きい、のうちの少なくとも1つを有することを特徴とする。

【0202】

反共振中空コアファイバの一実施形態は、第3の中心角 θ_{outer} 及び/又は第4の中心角 θ_{inner} が 350° よりも小さい、特に第3の中心角 θ_{outer} 及び/又は第4の中心角 θ_{inner} が $[200^\circ ; 340^\circ]$ 、特に $[250^\circ ; 330^\circ]$ 、特に $[300^\circ ; 320^\circ]$ であることを特徴とする。

【0203】

反共振中空コアファイバの一実施形態は、ARE外側ユニットが第3のセグメント高さ H_{outer} を有し、ARE内側要素が第4のセグメント高さ H_{inner} を有することを特徴とし、特に、

第3のセグメント高さ H_{outer} の第4のセグメント高さに対する比は 30 よりも小さい ($H_{outer} / H_{inner} < 30$)。

【0204】

第3のセグメント高さ H_{outer} は、ARE外側ユニットの頂点から弦までの距離を指す。第4のセグメント高さ H_{inner} は、ARE内側ユニットの頂点から

10

20

30

40

50

弦までの距離を指す。比を適切に選択することによって、反共振中空コアファイバの減衰を低くすることができる。

【0205】

この実施形態は更に、少なくとも1つの反共振要素が以下の特徴：

HF_outer / HF_inner は6.5より小さい、特に4より小さい、特に3.2より小さい、

HF_outer / HF_inner は1.7より大きい、特に1.75より大きい、特に1.85より大きい、のうちの少なくとも1つを有するという効果に更に変更することができる。

【0206】

この実施形態は、反共振中空コアファイバの場合に特に有利であり、この場合、第3の円半径 FB_outer 及び第4の円半径 FB_inner は、本質的に同一の長さである($FB_outer = FB_inner$)。

【0207】

反共振中空コアファイバの一実施形態は、ARE弧ユニットがARE外側ユニット内に配置されることを特徴とする。コア内に単モード波を提供するために、より高次のモードは、反共振中空コアファイバ内で減衰されなければならない。この目的を達成するために、ARE外側ユニットは、ARE弧ユニットによって補完され得る。

【0208】

反共振中空コアファイバの一実施形態は、ARE弧ユニットが円弧状に設計され、第6の円半径 FB_arc 及び第6の中心角 $_arc$ を有し、ARE弧ユニットが、2つの接触シームに沿ってARE外側ユニット及び/又はARE内側ユニットに接続されることを特徴とする。

【0209】

反共振中空コアファイバの一実施形態は、ARE弧ユニットが円形に設計され、半径 FB_circle を有し、ARE弧ユニットが接触シームに沿ってARE内側ユニットに接続されることを特徴とする。

【0210】

伸長及び/又は圧潰の一部として、ARE弧ユニットは、ARE弧要素から作成することができる。したがって、設計に関して、ARE弧要素に関してなされた説明は、ARE弧ユニットにも当てはまる。

【0211】

反共振中空コアファイバの一実施形態は、直線の反共振中空コアファイバと直径10mmに巻かれた反共振中空コアファイバとの間の基本減衰差は、2桁小さい、特に1桁小さい、特に1桁の半分より小さいことを特徴とする。

【0212】

反共振中空コアファイバの一実施形態は、先行する実施形態のいずれか1つに記載のプリフォームから製造されることを特徴とする。

【0213】

プリフォームについて説明した全ての特性及び特徴は、反共振中空コアファイバにも適用され、いずれの場合も逆も又同様である。

【0214】

反共振中空コアファイバの一実施形態は、先行する実施形態のいずれか1つに記載の方法を使用して製造されることを特徴とする。

【0215】

反共振中空コアファイバについて説明した特性及び特徴の全ては、プリフォーム及び/又は反共振中空コアファイバ及び/又は方法にも適用され、いずれの場合も逆も又同様である。

【0216】

上述の目的はまた、先行する実施形態のいずれか1つに従って製造されたプリフォー

10

20

30

40

50

ムから、特に先行する実施形態のいずれか1つに記載の方法を使用して製造された反共振中空コアファイバを製造するための方法であって、

プリフォームを反共振中空コアファイバに更に処理するステップを有し、更に処理するステップは、以下の熱間成形プロセス：

- i .) 伸長する、
- i i .) 圧潰する、
- i i i .) 圧潰し同時に伸長する、
- i v .) 追加の被覆材料を追加する、
- v .) 追加の被覆材料を追加し、その後伸長する、
- v i .) 追加の被覆材料を追加し、同時に伸長する、

のうちの1つ又はいくつかの1回又は繰り返しの実施を含む。

【0217】

プリフォームから反共振中空コアファイバを更に加工して作製するために、プリフォームは、炉を通して垂直に案内され得る。これにより、反共振中空コアファイバが円錐の形態で線引きされるプリフォームの下端は、線引き温度まで温められ、線引きされた反共振中空コアファイバは、その後、線引き方向と反対に向けられたガス流によって線引き温度から冷却される。

【0218】

一実施形態では、反共振中空コアファイバは保護層でコーティングされ、このステップは、ガラスファイバ製造の過程における線引きプロセス中に行われる。コーティングのために使用されるプラスチックは、以下の物質のうち1つ又はいくつかであり得る。すなわち、ポリウレタンアクリレート、アクリレート、ポリオレフィン、ポリアミド(ナイロン)、ポリエーテル、ポリウレタンモノアクリレート、フルオロアルキルメタクリル酸、又はポリイミドである。

【0219】

反共振中空コアファイバを製造するための方法の一実施形態は、0.05 mbar ~ 20 mbar の範囲の相対内圧が、プリフォームを反共振中空コアファイバに伸長することの一部として、「更なる処理」ステップ中にコア領域に設定されることを特徴とする。

【0220】

相対内圧が0.05 mbar 未満である場合、反共振中空コアファイバが過度に圧潰することが起こり得る。逆に、コア領域の相対内圧が20 mbar を超えると、反共振中空コアファイバが過度に強く広がることがある。

【0221】

熱間成形プロセス中の加熱ゾーンの温度は、可能な限り一定であるべきである。有利には、その目標温度が正確に $\pm 0.1^\circ$ に保持される温度制御された加熱要素が、熱間成形プロセス中に使用される。したがって、熱間成形プロセスにおける温度変動を ± 0.5 未満に制限することができる。

【0222】

特に、以下の移行の少なくとも1つは、先行する実施形態のいずれか1つに記載のプリフォームからの反共振中空コアファイバの製造中に、特に「更なる処理」ステップ：

- 反共振要素は、反共振要素プリフォームから生成される、
- 被覆の少なくとも一部は被覆管から生成される、
- ARE 外側ユニットはARE 外側要素から作成される、
- ARE 内側ユニットは、ARE 内側要素から作成される、
- 第3の円半径FB_{outer}は、第1の円半径R_{outer}から作成される、
- 第4の円半径FB_{inner}は第2の円半径R_{inner}から生成される、
- 第3の中心角_{outer}は、第1の中心角_{outer}から作成される、
- 第4の中心角_{inner}は、第2の中心角_{inner}から生成される、
- 第3のセグメント高さHF_{outer}は、第1のセグメント高さH_{outer}から生成される、

から生成される、

10

20

30

40

50

第4のセグメント高さ H_{F_inner} は、第2のセグメント高さ H_{inner} から生成される、

シーム線は接続線から生成される、

ARE弧ユニットは、ARE弧要素から生成される、

第6の円半径 FB_arc は第5の円半径 R_arc から生成される、

半径 FB_circle は半径 R_circle から生成される、

第6の中心角 $_arc$ は第5の中心角 $_arc$ から生成される、

接触シームは接触線から形成される、の一部として行うことができる。

【0223】

したがって、反共振要素プリフォームについて説明した特性及び特徴の全ては、プリフォーム及び/又は反共振中空コアファイバ及び/又は方法にも適用され、いずれの場合も逆もまた同様である。

10

【0224】

本明細書に開示された特性及び特徴は、特許請求の範囲に記載された本発明の様々な実施形態にとって、別々に、かつ互いに組み合わせて重要であり得る。反共振要素プリフォーム、又はプリフォーム、又は反共振中空コアファイバに関して開示される特性及び特徴は、方法に関する開示され、その逆も同様である。

【0225】

以下、図面により本発明を例示的に更に説明する。本発明は、図面に限定されない。

【図面の簡単な説明】

20

【0226】

【図1】図1は、円弧状に設計されたARE外側要素を示す。

【図2】図2は、円弧状に設計されたARE内側要素を示す。

【図3】図3は、接続線の断面拡大図と共に、反共振要素プリフォームを示す。

【図4】図4は、反共振要素プリフォームの更なる実施形態を示す。

【図5】図5は、反共振要素プリフォームの更なる実施形態を示す。

【図6】図6は、反共振要素プリフォームの更なる実施形態を示す。

【図7】図7は、反共振要素プリフォームの更なる実施形態を示す。

【図8】図8は、反共振要素プリフォームの更なる実施形態を示す。

【図9】図9は、反共振要素プリフォームの更なる実施形態を示す。

30

【図10】図10は、反共振要素プリフォームの更なる実施形態を示す。

【図11】図11は、反共振要素プリフォームの更なる実施形態を示す。

【図12】図12は、反共振要素プリフォームの更なる実施形態を示す。

【図13】図13は、反共振要素プリフォームの更なる実施形態を示す。

【図14】図14は、反共振要素プリフォームの更なる実施形態を示す。

【図15】図15は、反共振要素プリフォームの更なる実施形態を示す。

【図16】図16は、反共振中空コアファイバを製造するためのプリフォームの断面図を示す。

【図17】図17は、反共振要素プリフォームの更なる実施形態を示す。

【図18】図18は、反共振要素プリフォームの更なる実施形態を示す。

40

【図19】図19は、反共振中空コアファイバの長手方向部分断面図を示す。

【図20】図20は、図19による反共振中空コアファイバの断面図を示す。

【図21】図21は、被覆管の長手方向断面図を示す。

【図22】図22は、プリフォームの更なる実施形態の要素の長手方向断面図を示す。

【図23】図23は、図22の要素を有するプリフォームの長手方向断面図を示す。

【図24】図24は、プリフォームの更なる実施形態の要素の長手方向断面図を示す。

【図25】図25は、図24の要素を有するプリフォームの長手方向断面図を示す。

【図26】図26は、プリフォームへの組立品の伸長を示す。

【図27】図27は、プリフォームを製造するための方法ステップを示す。

【図28】図28は、反共振中空コアファイバを製造するための方法ステップを示す。

50

【図 29】図 29 は、バウ比にわたってプロットされた、基底モードの閉じ込め損失を有する図を示す。

【図 30】図 30 は、比 z/R に対してプロットされた有効モード指数を有する図を示す。
【0227】

図 1 は、ARE 外側要素 310 を通る断面を示す。ARE 外側要素 310 は、円弧状の断面を有する管状構造である。ARE 外側要素 310 は、第 1 の長手方向軸 311 に沿って延在する。したがって、図 1 において、ARE 外側要素 310 は、図平面内に延在する。

【0228】

ARE 外側要素 310 は、光ファイバの動作光、例えばガラス、特にドープされた又はドープされていない石英ガラス (SiO_2) に対して透明である材料又はそれからなる ARE 外壁 315 を有する。一実施形態では、ARE 外壁 315 は、 $0.1\text{ mm} \sim 2\text{ mm}$ 、好ましくは $0.2\text{ mm} \sim 1.5\text{ mm}$ の範囲の壁厚を有する。一実施形態では、ARE 外側要素 310 は、少なくとも 1 m の長さ、特に $0.2 \sim 10\text{ m}$ の長さ、特に $1 \sim 5\text{ m}$ の長さを有する。

10

【0229】

図 1 に示される断面は、ARE 外側要素 310 が円弧状の断面を有することを明確にする。本発明の文脈において、「円弧」という用語は、円周の一部であると理解される。円上の 2 つの点は、円周を 2 つの円弧に分割する。本発明の枠組みにおいて、要素は、その外形が当該 2 つの円弧のうちの 1 つの経路に従う場合、「円弧状」として説明される。

20

【0230】

明確にするために、第 1 の円 298 が図 1 に描かれている。この第 1 の円 298 は、2 つの切断線 Q - Q 及び R - R によって 2 つの円弧に分割される。ARE 外側要素 310 の断面は、2 つの円弧のうちの 1 つに従う。

【0231】

2 つの切断線 Q - Q 及び R - R と第 1 の円 298 との 2 つの交点を通る切断線 P - P が更に描かれる。切断線 P - P 上にあり、切断線 Q - Q 及び R - R によって制限される距離は、ARE 外側要素 310 の第 1 の弦と呼ばれる。第 1 の弦の長さを第 1 の弦長と称する。

【0232】

ARE 外側要素 310 は、第 1 の円半径 $R_{\text{outer } 320}$ を有する。この第 1 の円半径 $R_{\text{outer } 320}$ は、ARE 外壁 315 から第 1 の長手方向軸 311 までの距離を表す。

30

【0233】

ARE 外側要素 310 は、第 1 のセグメント高さ 328 を有する。この第 1 のセグメント高さ 328 は、第 1 の弦に対して垂直であり、ARE 外壁 315 の頂点まで延びる直線の長さを表す。

【0234】

ARE 外側要素 310 は、第 1 の中心角 $\theta_{\text{outer } 325}$ を有する。この第 1 の中心角 $\theta_{\text{outer } 325}$ は、その頂点が第 1 の円 298 の中心に位置し、そのアームが円弧の限界点（ここでは、第 1 の円 298 と切断線 Q - Q 及び R - R との交点）と交差する角度を表す。完全な円は、 360° の度数を有する。ARE 外側要素 310 が円弧状に形成されていることによって、第 1 の中心角 $\theta_{\text{outer } 325}$ は 360° よりも小さい。

40

【0235】

ARE 外側要素 310 は、ARE 外壁 315 及び第 1 の弦によって制限される内側空間 317 を有する。

【0236】

図 2 は、ARE 内側要素 340 の断面を示す。ARE 内側要素 340 は、円弧状の断面を有する管状構造である。ARE 内側要素 340 は、第 2 の長手方向軸 341 に沿って

50

延在する。したがって、図 2 では、ARE 内側要素 340 は図平面内に延在する。

【0237】

ARE 内側要素 340 は、光ファイバの動作光、例えばガラス、特にドープされた又はドープされていない石英ガラス (SiO_2) に対して透明な材料を含むか、又はそれからなる壁 345 を有する。一実施形態では、壁 345 は、 $0.1\text{ mm} \sim 2\text{ mm}$ 、好ましくは $0.2\text{ mm} \sim 1.5\text{ mm}$ の範囲の壁厚を有する。一実施形態では、ARE 外側要素 310 は、特に、少なくとも 1 m の長さ、特に $0.2 \sim 10\text{ m}$ の長さ、特に $1 \sim 5\text{ m}$ の長さを有する。

【0238】

ARE 内側要素 340 は、円弧状の断面を有する。明確にするために、第 2 の円 299 が図 2 に描かれている。この第 2 の円 299 は、2 つの切断線 H - H 及び I - I によって 2 つの円弧に分割される。ARE 内側要素 340 の断面は、2 つの円弧のうちの 1 つに従う。

10

【0239】

更に、2 つの切断線 H - H 及び I - I と第 2 の円 299 との 2 つの交点を通る切断線 G - G が描かれている。切断線 G - G 上にあり、切断線 H - H 及び I - I によって制限される距離は、ARE 内側要素 340 の第 2 の弦と呼ばれる。第 2 の弦の長さを第 2 の弦長と称する。

【0240】

ARE 内側要素 340 は、第 2 のセグメント高さ 358 を有する。この第 2 のセグメント高さ 358 は、第 2 の弦に垂直であり、壁 345 の頂点まで延びる直線の長さを表す。

20

【0241】

更に、ARE 内側要素 340 は、第 2 の円半径 $R_{\text{inner } 350}$ を有する。この第 2 の円半径 $R_{\text{inner } 350}$ は、壁 345 から第 2 の長手方向軸 341 までの距離を表す。

【0242】

ARE 内側要素 340 は、第 2 の中心角 $\theta_{\text{inner } 355}$ を有する。この第 2 の中心角 $\theta_{\text{inner } 355}$ は、その頂点が第 2 の円 299 の中心にあり、その辺が円弧の境界点（ここでは、第 2 の円 299 と切断線 H - H 及び I - I との交点）と交差する角度を表す。完全な円は、 360° の度数を有する。ARE 内側要素 340 が円弧状に形成されていることにより、第 2 の中心角 $\theta_{\text{inner } 355}$ は 360° よりも小さい。

30

【0243】

ARE 内側要素 340 は、壁 345 及び第 2 の弦によって制限される内側空間 347 を有する。

【0244】

図 1 及び図 2 は、断面、したがって ARE 外側要素 310 及び ARE 内側要素 340 上の軸方向上面図を示す。それぞれの長手方向軸 311 及び 341 に対する図示された 2 次元図において、ARE 外側要素 310 及び ARE 内側要素 340 は、3 次元図における管状構造要素に対応する円弧状の断面を有する。

40

【0245】

ARE 外側要素 310 及び / 又は ARE 内側要素 340 のそれぞれの円弧は、本質的に円形であるように設計され、特に、第 1 の点における第 1 の円半径 $R_{\text{outer } 320}$ 及び / 又は第 2 の円半径 $R_{\text{inner } 350}$ は、更なる点における第 1 の円半径 $R_{\text{outer } 320}$ 及び / 又は第 2 の円半径 $R_{\text{inner } 350}$ から 5 % を超えて、好ましくは 3 % を超えて、より好ましくは 1 % を超えて、最も好ましくは 0.5 % を超えて逸脱しない。

【0246】

本発明の文脈において、例えば、第 1 の円半径 $R_{\text{outer } 320}$ 及び第 2 の円半径 $R_{\text{inner } 350}$ などの 2 つの長さが同一の長さであるという記述は、当該長

50

さが製造関連公差内で同一である、特に、当該長さが1.5%未満、特に1.0%未満、特に0.5%未満の長さだけ異なるという意味で理解される。

【0247】

図3は、図1及び図2に示すように、円弧状に設計されたARE外側要素310と、円弧状に設計されたARE内側要素340とを備える、反共振要素プリフォーム300を示す。

【0248】

円弧状に設計されたARE外側要素310と円弧状に設計されたARE内側要素340とは、第1の長手方向軸311に対して本質的に平行に配置された2つの接続線370、370'に沿って互いに接続されている。この結合は、特に高温プロセスによって行うことができる。

10

【0249】

明確にするために、反共振要素プリフォーム300の一部が、接続線370の周りに拡大された形態で図3に示されている。結合は、

第1の円298と切断線Q-Q及びR-Rとの交点から続く、ARE外側要素310のARE外壁315の第1の端点と、

第2の円299と切断線H-H及びI-Iとの交点から続く、ARE内側要素340の壁345の第2の端点との間で発生する。

【0250】

断面が図3に示されているという事実により、3次元反共振要素プリフォーム300内の2つの接続線370、370'は、図平面内に延びる。

20

【0251】

図1によっても明らかにされるように、ARE外側要素310は、ARE外壁315によって少なくとも部分的に制限される内側空間317を有する。同様に、ARE内側要素340は、図2に示される壁345によって少なくとも部分的に制限される内側空間347を有する。円弧状に設計されたARE内側要素340は、少なくとも部分的に内側空間317内に突出している。本発明の文脈において、これは、断面において、ARE内側要素340が本質的にARE外側要素310の第1の弦の上方に延びるような方法で理解される。特に、ARE内側要素340のこの位置決めからの逸脱は、内側空間317から突出し得る2つの接続線370、370'の製造に関連する拡張によって制限される。断面において、ARE内側要素340の第2の中心角 $\angle inner$ 355の特に5%以下、特に2.5%以下、特に1%以下が、内側空間317から突出し得る。

30

【0252】

図3に示す反共振要素プリフォーム300は、反共振中空コアファイバを製造するための更なる構成要素とは別個に製造することができる。したがって、欠陥のない反共振要素プリフォーム300のみが使用されることを保証するために、プリフォームへの設置前に反共振要素プリフォーム300の精度を検査することができる。本発明によれば、図示された反共振要素プリフォーム300は：

反共振中空コアファイバのARE外側要素310及びARE内側要素340は、減衰にプラスの影響を及ぼす負の曲率を有し、

40

本発明による選択肢により、ARE内側要素340及びARE外側要素310の半径の実質的に任意の組合せを使用することができる、ことを特徴とする。

【0253】

図4～図15は、反共振要素プリフォームの様々な実施形態を示す。図4及び図15による実施形態は、上記で説明され、図1及び図3に示された実施形態に大部分が対応しており、したがって、繰り返しを避けるために上記の説明が参照される。図1～図3の説明から繰り返される構造は、同じ参照番号を有する。図1～図3に示した構造と比較した構造の変更は、追加の文字を伴う同じ参照番号を有する。

【0254】

図4～図8は、反共振要素プリフォームの更なる実施形態を示し、この場合、ARE

50

外側要素の第1の円半径 R_{outer} は、ARE内側要素の第2の円半径 R_{inner} よりも大きい。

【0255】

図4は、反共振要素プリフォーム300aの一実施形態を示し、この場合、ARE外側要素310aの第1の円半径 R_{outer} 320aは、ARE内側要素340aの第2の円半径 R_{inner} 350aよりも大きく、

第1の円半径 R_{outer} 320aは、2mmより大きく10mmより小さい、

第2の円半径 R_{inner} 350aは、1mmより大きく6mmより小さい、

第1の中心角 θ_{outer} は、295°より大きく350°より小さい、

第2の中心角 θ_{inner} は、210°より大きく260°より小さい。

10

【0256】

このように設計された反共振要素プリフォーム300aは、以下の特徴：

第2の長手方向軸341aは第1の弦の上方にある、

第1の長手方向軸311aは、ARE内側要素340aの外側を通っている、

ARE外壁315と壁345との間の角度は鈍角であり、特に[60°; 130°]以内、特に[70°; 120°]以内である、

第2のセグメント高さに対する第1のセグメント高さの比は3~6である、うちの少なくとも1つを有することができる。

【0257】

図5は、反共振要素プリフォーム300bの一実施形態を示し、この場合、ARE外側要素310bの第1の円半径 R_{outer} 320bは、ARE内側要素340bの第2の円半径 R_{inner} 350bよりも大きく、

第1の円半径 R_{outer} は、1mmより大きく11mmより小さい、

第2の円半径 R_{inner} は5mmより大きく9mmより小さい、

第1の中心角 θ_{outer} は、315°より大きく350°より小さい、

第2の中心角 θ_{inner} は、280°より大きく315°より小さい。

20

【0258】

このように設計された反共振要素プリフォーム300bは、以下の特徴：

第2の長手方向軸341bは第1の弦の上方にある、

第1の長手方向軸311bは、ARE内側要素340bの内側を通っている、

ARE外壁315と壁345との間の角度は、[5°; 40°]以内、特に[10°; 30°]以内である、

第2のセグメント高さに対する第1のセグメント高さの比は1~3である、うちの少なくとも1つを有することができる。

30

【0259】

図6は、反共振要素プリフォーム300cの一実施形態を示し、この場合、ARE外側要素310cの第1の円半径 R_{outer} 320cは、ARE内側要素340cの第2の円半径 R_{inner} 350cよりも大きい。幾何学的値のいくつかは、図5からの幾何学的値に類似しており：

第1の円半径 R_{outer} は、2mmより大きく10mmより小さい、

第2の円半径 R_{inner} は5mmより大きく9mmより小さい、

第1の中心角 θ_{outer} は、315°より大きく350°より小さい。

40

【0260】

しかしながら、ここでは、ARE内側要素340cの小さな部分のみが、ARE外側要素310cの内側に位置しているため、

第2の中心角 θ_{inner} は49°よりも大きく65°よりも小さい。

【0261】

このように設計された反共振要素プリフォーム300cは、以下の特徴：

第2の長手方向軸341cは第1の弦の上方にある、

第1の長手方向軸311cは、ARE内側要素340cの外側を通っている、

50

ARE外壁315と壁345との間の角度は、 $[120^\circ; 170^\circ]$ 以内、特に $[130^\circ; 150^\circ]$ 以内であり、

第2のセグメント高さに対する第1のセグメント高さの比は20~30である、のうちの少なくとも1つを有することができる。

【0262】

図7は、反共振要素プリフォーム300dの一実施形態を示し、この場合、ARE外側要素310dの第1の円半径 R_{outer} 320dは、ARE内側要素340dの第2の円半径 R_{inner} 350dよりも大きく、

第1の円半径 R_{outer} は、2mmより大きく10mmより小さい、

第2の円半径 R_{inner} は7mmより大きく12mmより小さい、

第1の中心角 θ_{outer} は、 270° より大きく 310° より小さい、

第2の中心角 θ_{inner} は、 200° より大きく 250° より小さい。

10

【0263】

このように設計された反共振要素プリフォーム300dは、以下の特徴：

第2の長手方向軸341dは第1の弦の上方にある、

第1の長手方向軸311dは、ARE内側要素340dの外側を通っている、

ARE外壁315と壁345との間の角度は、 $[35^\circ; 100^\circ]$ 以内、特に $[45^\circ; 90^\circ]$ 以内である、

第2のセグメント高さに対する第1のセグメント高さの比は1~3である、のうちの少なくとも1つを有することができる。

20

【0264】

図8は、反共振要素プリフォーム300eの一実施形態を示し、この場合、ARE外側要素310eの第1の円半径 R_{outer} 320eは、ARE内側要素340eの第2の円半径 R_{inner} 350eよりも大きい。したがって、幾何学的値のいくつかは、図7からの幾何学的値に類似しており、

第1の円半径 R_{outer} は10mmより小さく、2mmより大きい、

第2の円半径 R_{inner} は12mmより小さく7mmより大きい、

第1の中心角 θ_{outer} は、 310° より小さく、 270° より大きい。

【0265】

しかしながら、ここでは、ARE内側要素340eの小さな部分のみがARE外側要素310eの内側に位置しているため、

第2の中心角 θ_{inner} は、 120° より大きく 150° より小さい。

30

【0266】

このように設計された反共振要素プリフォーム300eは、以下の特徴：

第2の長手方向軸341eが第1の弦の下方にある、

第1の長手方向軸311eは、ARE内側要素340eの外側を通っている、

ARE外壁315と壁345との間の角度は、 $[35^\circ; 100^\circ]$ 以内、特に $[45^\circ; 90^\circ]$ 以内である、

第2のセグメント高さに対する第1のセグメント高さの比は1~6である、のうちの少なくとも1つを有することができる。

40

【0267】

図9~図13は、反共振要素プリフォームの様々な実施形態を示し、その場合、ARE外側要素の第1の円半径 R_{outer} は、ARE内側要素の第2の円半径 R_{inner} よりも小さい。

【0268】

図9は、反共振要素プリフォーム300fの一実施形態を示し、この場合、ARE外側要素310fの第1の円半径 R_{outer} 320fは、ARE内側要素340fの第2の円半径 R_{inner} 350fよりも小さく、

第1の円半径 R_{outer} は、2mmより大きく10mmより小さい、

第2の円半径 R_{inner} は、1mmより大きく9mmより小さい、

50

第1の中心角 $_outer$ は、 270° より大きく 330° より小さい、
 第2の中心角 $_inner$ は、 30° より大きく 70° より小さい。

【0269】

このように設計された反共振要素プリフォーム300fは、以下の特徴：

第2の長手方向軸341は第1の弦の下方にある、

第1の長手方向軸311fは、ARE内側要素340fの外側を通過している、

ARE外壁315と壁345との間の角度は、 $[35^\circ; 100^\circ]$ 以内、特に $[45^\circ; 90^\circ]$ 以内である、

第2のセグメント高さに対する第1のセグメント高さの比は13~19である、のうちの少なくとも1つを有することができる。

10

【0270】

第2の円半径の大きさ及び図面においてそこから生じる位置のために、第2の長手方向軸341は図9に描かれていない。

【0271】

図10は、反共振要素プリフォーム300gの一実施形態を示し、この場合、ARE外側要素310gの第1の円半径 R_outer 320gは、ARE内側要素340gの第2の円半径 R_inner 350gよりも小さく、

第1の円半径 R_outer は、2mmより大きく10mmより小さい、

第2の円半径 R_inner は、1mmより大きく9mmより小さい、

第1の中心角 $_outer$ は、 210° より大きく 250° より小さい、

第2の中心角 $_inner$ は、 90° より大きく 115° より小さい。

20

【0272】

このように設計された反共振要素プリフォーム300gは、以下の特徴：

第2の長手方向軸341は第1の弦の下方にある、

第1の長手方向軸311gは、ARE内側要素340gの外側を通過している、

ARE外壁315と壁345との間の角度は、 $[30^\circ; 90^\circ]$ 以内、特に $[45^\circ; 85^\circ]$ 以内である、

第2のセグメント高さに対する第1のセグメント高さの比は1~6である、のうちの少なくとも1つを有することができる。

【0273】

第2の円半径の大きさ及び図面においてそこから生じる位置のために、第2の長手方向軸341は図10に描かれていない。

30

【0274】

図11は、反共振要素プリフォーム300hの一実施形態を示し、この場合、ARE外側要素310hの第1の円半径 R_outer 320hは、ARE内側要素340hの第2の円半径 R_inner 350hよりも小さく、

第1の円半径 R_outer は、2mmより大きく10mmより小さい、

第2の円半径 R_inner は20mmよりも大きく30mmよりも小さい、

第1の中心角 $_outer$ は、 270° より大きく 330° より小さい、

第2の中心角 $_inner$ は、 15° より大きく 45° より小さい。

40

【0275】

このように設計された反共振要素プリフォーム300hは、以下の特徴：

第2の長手方向軸341は第1の弦の下方にある、

第1の長手方向軸311hは、ARE内側要素340hの外側を通過している、

ARE外壁315と壁345との間の角度は、 $[70^\circ; 110^\circ]$ 以内、特に $[80^\circ; 100^\circ]$ 以内である、

第2のセグメント高さに対する第1のセグメント高さの比は17~35である、のうちの少なくとも1つを有することができる。

【0276】

第2の円半径の大きさ及び図面においてそこから生じる位置のために、第2の長手方

50

向軸 3 4 1 は図 1 1 に描かれていない。

【 0 2 7 7 】

図 1 2 は、反共振要素プリフォーム 3 0 0 i の一実施形態を示し、この場合、ARE 外側要素 3 1 0 i の第 1 の円半径 R_{outer} 3 2 0 i は、ARE 内側要素 3 4 0 i の第 2 の円半径 R_{inner} 3 5 0 i よりも小さく、

- 第 1 の円半径 R_{outer} は、2 mm より大きく 1 0 mm より小さい、
- 第 2 の円半径 R_{inner} は 2 0 mm よりも大きく 3 0 mm よりも小さい、
- 第 1 の中心角 θ_{outer} は、2 1 0 ° より大きく 2 5 0 ° より小さい、
- 第 2 の中心角 θ_{inner} は 4 8 ° よりも大きく 7 0 ° よりも小さい。

【 0 2 7 8 】

このように設計された反共振要素プリフォーム 3 0 0 i は、以下の特徴：

- 第 2 の長手方向軸 3 4 1 は第 1 の弦の下方にある、
- 第 1 の長手方向軸 3 1 1 i は、ARE 内側要素 3 4 0 i の外側を通っている、
- ARE 外壁 3 1 5 と壁 3 4 5 との間の角度は、[7 0 ° ; 1 1 0 °] 以内、特に [8 0 ° ; 1 0 0 °] 以内である、
- 第 2 のセグメント高さに対する第 1 のセグメント高さの比は 3 ~ 1 0 である、うちの少なくとも 1 つを有することができる。

【 0 2 7 9 】

第 2 の円半径の大きさ及び図面においてそこから生じる位置のために、第 2 の長手方向軸 3 4 1 は図 1 2 に描かれていない。

【 0 2 8 0 】

図 1 3 は、反共振要素プリフォーム 3 0 0 j の一実施形態を示し、この場合、ARE 外側要素 3 1 0 j の第 1 の円半径 R_{outer} 3 2 0 j は、ARE 内側要素 3 4 0 j の第 2 の円半径 R_{inner} 3 5 0 j よりも小さく、

- 第 1 の円半径 R_{outer} は、2 mm より大きく 1 0 mm より小さい、
- 第 2 の円半径 R_{inner} は 2 0 mm よりも大きく 3 0 mm よりも小さい、
- 第 1 の中心角 θ_{outer} は、2 7 0 ° より大きく 3 3 0 ° より小さい、
- 第 2 の中心角 θ_{inner} は、1 5 ° より大きく 3 5 ° より小さい。

【 0 2 8 1 】

このように設計された反共振要素プリフォーム 3 0 0 j は、以下の特徴：

- 第 2 の長手方向軸 3 4 1 は第 1 の弦の下方にある、
- 第 1 の長手方向軸 3 1 1 j は、ARE 内側要素 3 4 0 j の外側を通っている、
- ARE 外壁 3 1 5 と壁 3 4 5 との間の角度は、[5 0 ° ; 1 3 0 °] 以内、特に [7 0 ° ; 1 1 0 °] 以内である、
- 第 2 のセグメント高さに対する第 1 のセグメント高さの比は 2 8 ~ 4 4 である、うちの少なくとも 1 つを有することができる。

【 0 2 8 2 】

第 2 の円半径の大きさ及び図面においてそこから生じる位置のために、第 2 の長手方向軸 3 4 1 は図 1 3 に描かれていない。

【 0 2 8 3 】

図 1 4 及び図 1 5 は、反共振要素プリフォームの様々な実施形態を示し、その場合、ARE 外側要素の第 1 の円半径 R_{outer} 及び ARE 内側要素の第 2 の円半径 R_{inner} は本質的に同一のサイズである。

【 0 2 8 4 】

図 1 4 は、反共振要素プリフォーム 3 0 0 k の一実施形態を示し、この場合、ARE 外側要素 3 1 0 k の第 1 の円半径 R_{outer} 3 2 0 k 及び ARE 内側要素 3 4 0 k の第 2 の円半径 R_{inner} 3 5 0 k は本質的に同一のサイズであり、

- R_{outer} 及び R_{inner} は 7 mm より小さい、特に 6 mm より小さい、
- R_{outer} 及び R_{inner} は 3 mm より大きい、特に 4 mm より大きい、
- 第 1 の中心角 θ_{outer} は 2 0 0 ° より大きく 2 6 0 ° より小さい、

10

20

30

40

50

第2の中心角 θ_{inner} は 100° より大きく 160° より小さい。

【0285】

このように設計された反共振要素プリフォーム300kは、以下の特徴：

第2の長手方向軸341は第1の弦の下方にある、

第1の長手方向軸311kは、ARE内側要素340kの内側を通っている、

ARE外壁315と壁345との間の角度は、 $[10^\circ; 30^\circ]$ 以内、特に $[70^\circ; 120^\circ]$ 以内であり、

第2のセグメント高さに対する第1のセグメント高さの比は1～6である、うちの少なくとも1つを有することができる。

【0286】

第2の円半径の大きさ及び図面においてそこから生じる位置のために、第2の長手方向軸341は図14に描かれていない。

【0287】

図15は、反共振要素プリフォーム300iの一実施形態を示し、この場合、ARE外側要素310iの第1の円半径 R_{outer} 320i及びARE内側要素340iの第2の円半径 R_{inner} 350iは本質的に同一であり、

R_{outer} 及び R_{inner} は7mmより小さい、特に6mmより小さい、

R_{outer} 及び R_{inner} は3mmより大きい、特に4mmより大きい、

第1の中心角 θ_{outer} は 270° より大きく 330° より小さく、

第2の中心角 θ_{inner} は 30° より大きく 90° より小さい。

【0288】

このように設計された反共振要素プリフォーム300iは、以下の特徴：

第2の長手方向軸341は第1の弦の下方にある、

第1の長手方向軸311iは、ARE内側要素340iの外側を通っている、

ARE外壁315と壁345との間の角度は、 $[60^\circ; 110^\circ]$ 以内、特に $[70^\circ; 95^\circ]$ 以内である、

第2のセグメント高さに対する第1のセグメント高さの比は5～16である、うちの少なくとも1つを有することができる。

【0289】

第2の円半径の大きさ及び図面においてそこから生じる位置のために、第2の長手方向軸341は図15に描かれていない。

【0290】

図16は、反共振中空コアファイバ2400を製造することができるプリフォーム100の断面を示す。プリフォーム100は、被覆管200であって、被覆管200は、被覆管内孔220と被覆管長手方向軸230とを有し、被覆管長手方向軸230に沿って、内面215及び外面216によって制限される被覆管壁210が延びている被覆管を含む。反共振要素プリフォーム300は、被覆管内に配置される。プリフォーム100は、被覆管長手方向軸230と反共振要素プリフォーム300との間の最短距離から生じるプリフォームコア半径 $R_{preform}$ 231を有する。完成したプリフォームでは、いくつかの反共振要素プリフォーム300が、被覆管壁210の内面215上の目標位置に、互いに離間して非接触で配置される。ここで、プリフォーム100は、ここに列挙された反共振要素プリフォーム300a～nの実施形態のうちの少なくともいずれか1つによる少なくとも1つの反共振要素プリフォーム300を有することが提供される。

【0291】

図16は、プリフォーム100の断面を示し、被覆管内面215上の反共振要素プリフォーム300の配置を明確にしている。反共振要素プリフォーム300は管状に構成されており、したがって図平面内に突出している。円弧状に設計されたARE外側要素310と円弧状に設計されたARE内側要素340とは、第1の長手方向軸311に対して本質的に平行に配置された2つの接続線370、370'に沿って互いに接続されている。これらの2つの接続線370、370'はまた、被覆管壁210に接続される。

10

20

30

40

50

【0292】

従来技術から知られているプリフォームの場合、ARE外側要素及びARE内側要素は管状に設計されている。この設計は、入れ子に構成されたARE外側要素及びARE内側要素が、いずれの場合も、1つの接続線のみに沿って互いに接続され、被覆管に接続されるという欠点を有する。したがって、伸長及び/又は圧潰中に、反共振要素プリフォームが回転運動を行い、したがって、被覆管内壁における反共振要素プリフォームの均一に分布した配置が乱され、これが減衰の増大に反映されるというリスクがある。これらのプリフォームと比較して、本発明によるプリフォームは、反共振要素プリフォーム300が2つの接続線370、370'に沿って被覆管壁210に接続されることを特徴とする。これは、伸長及び/又は圧潰中に被覆管内での反共振要素プリフォーム300の回転運動を防止する。

10

【0293】

図17は、ARE弧要素390がARE外側要素310mの内側空間317内及びARE内側要素340mに配置されることを特徴とする、反共振要素プリフォーム300mの一実施形態の断面を示す。ARE弧要素390は、高次モードを減衰させる非共振要素として機能する。この実施形態では、ARE弧要素390は円形に設計され、半径R_circle 392と第3の長手方向軸395とを有する。更に、ARE弧要素390は、特に物質間結合によって、接触線393に沿ってARE内側要素340mに接続される。一実施形態において、接触線393は、接触線393と第1の弦との間の距離が最大になるように、円弧状のARE内側要素340m上に配置される。

20

【0294】

反共振要素プリフォーム300mのこの実施形態の設計では、ARE外側要素340mの第1の円半径R_outer 320mは、ARE内側要素310fの第2の円半径R_inner 350mよりも小さくすることができ、

- 第1の円半径R_outerは、10mmより大きく、15mmより小さい、
- 第2の円半径R_innerは、12mmより大きく、18mmより小さい、
- 第1の中心角_outerは、270°より大きく、330°より小さい、
- 第2の中心角_innerは、30°より大きく、70°より小さい。

【0295】

これにより、ARE弧要素390の場合、半径R_circle 392は、10mmより大きく15mmより小さくすることができる。

30

【0296】

このように設計された反共振要素プリフォーム300mは、以下の特徴：
 第2の長手方向軸341は第1の弦の下方にある、
 第1の長手方向軸311mは、ARE内側要素340mの外側を通っている、
 第3の長手方向軸395は、ARE内側要素340mの外側を通っている、
 ARE外壁315と壁345との間の角度は、[35°; 100°]以内、特に[45°; 90°]以内である、
 第2のセグメント高さに対する第1のセグメント高さの比は13~19である、のうちの少なくとも1つを有することができる。

40

【0297】

第2の円半径の大きさ及び図面においてそこから生じる位置のために、第2の長手方向軸341は図17に描かれていない。

【0298】

図18は、ARE弧要素390'が円弧状に設計され、第5の円半径R_arc 394及び第5の中心角_arcを有することを特徴とする、反共振要素プリフォーム300nの実施形態の断面を示す。更に、ARE弧要素390'は、第3の長手方向軸395'を有することができる。ARE弧要素390'は、2本の接触線に沿ってARE外側要素310n及び/又はARE内側要素340nに接続される。特に、2つの接触線393'、3

50

93”の各々は、物質間結合によって2つの接続線370、370’のそれぞれ1つに接続することができる。

【0299】

反共振要素プリフォーム300nのこの実施形態の設計において、ARE外側要素310nの第1の円半径R_{outer}320nは、ARE内側要素340nの第2の円半径R_{inner}350nよりも小さくすることができ、

第1の円半径R_{outer}は、10mmより大きく、15mmより小さい、

第2の円半径R_{inner}は、12mmより大きく、18mmより小さい、

第1の中心角_{outer}は、210°より大きく250°より小さい、

第2の中心角_{inner}は、90°より大きく115°より小さい。

10

【0300】

これにより、ARE弧要素390’の場合、

第5の円半径R_{arc}394は、2.3mmより大きく4.5mmより小さくてもよく、

第5の中心角_{arc}は、160°より大きく、230°より小さくてもよい。

【0301】

このように設計された反共振要素プリフォーム300nは、以下の特徴：

第2の長手方向軸341は第1の弦の下方にある、

第1の長手方向軸311nは、ARE内側要素340nの外側を通っている、

第3の長手方向軸395は、第1の弦の下方を通っている、

ARE外壁315と壁345との間の角度は、[30°; 90°]以内、特に[45°; 85°]以内である、

第2のセグメント高さに対する第1のセグメント高さの比は1~6である、うちの少なくとも1つを有することができる。

20

【0302】

第2の円半径の大きさ及び図面においてそこから生じる位置のために、第2の長手方向軸341は図18に描かれていない。

【0303】

一実施形態では、ARE弧要素390、390’は、特に非晶質固体、特にガラス、特に石英ガラスからなる非晶質固体、特にガラス、特に石英ガラスを含むことができ、ARE弧要素390、390’及びARE外側要素310m、nは、特に同一の材料から作製することができる。

30

【0304】

図19は長手方向断面を示し、図20は反共振中空コアファイバ2400を通る断面を示す。2つの切断線A-AとB-Bとの間の反共振中空コアファイバ2400の断面が示されている。反共振中空コアファイバ2400は被覆2450を有する。反共振中空コアファイバ2400の図示された実施形態では、被覆2450は、細長い被覆管200及び細長い被覆材料2452から構成される。図示の実施形態では、被覆材料2452及び被覆管材料200は同一の材料で作られるように設計されているため、2つの材料間の移行はマークされていない。被覆2450は被覆内側半径2465を有し、これは、反共振中空コアファイバの長手方向軸2460から内面2480までの距離から生じる。

40

【0305】

反共振中空コアファイバ2400は中空コア2470を有する。電磁波は、中空コア2470を通して伝搬することができる。図19に示す実施形態では、2つの反共振要素2410が中空コア2470の内側に配置されている。それらは、被覆2450の被覆内面2480に物質間結合によって接続される。反共振要素2410は、ARE外側ユニット2420及びARE内側ユニット2430を有する。ARE外側ユニット2420の内部には、ARE内側ユニット2430が配置される。反共振要素2410は、反共振中空コアファイバ2400の長手方向軸2460に平行に配置される。中空コアファイバ2400はコア半径2405を有し、これは、反共振中空コアファイバ2400の長手方向軸

50

2460とARE外側ユニット2420との間の最短距離から生じる。

【0306】

図20は、中空コア2470を制限する内面2480上の反共振要素2410の配置を明確にしている。反共振要素2410は管状に構成されている。反共振中空コアファイバ2400は、被覆2450を備え、その被覆内面2480に、本発明による反共振要素2410が配置される。これにより、ARE外側ユニット2420及びARE内側ユニット2430は円弧状に形成されている。ARE外側ユニット2420及びARE内側ユニット2430は、2つのシーム線に沿って互いに接続されている。これらの2つのシーム線はまた、被覆内面2480に接続される。これにより、円弧状に設計されたARE内側ユニット2430は、ARE外壁によって少なくとも部分的に制限された内側空間内に突出する。

10

【0307】

反共振中空コアファイバ2400の幾何学的サイズを説明する：

- ARE外側ユニット2420は第3の円半径FB_{outer} 2422を有する、
- ARE内側ユニット2430は第4の円半径FB_{inner} 2432を有する、
- ARE外側ユニット2420は、第3の中心角 θ_{outer} 2423を有する、
- ARE内側ユニット2430は、第4の中心角 θ_{inner} 2433を有する。

【0308】

図示されたARE内側ユニット2430及び/又はARE外側ユニット2420は、0.2~2 μ mの範囲の壁厚を部分的に有することができる。一実施形態では、ARE内側ユニット2430及び/又はARE外側ユニット2420は、0.25 μ m~0.75 μ m、特に0.35 μ m~0.65 μ m、特に0.5 μ mの壁厚を有する。図示された被覆管2450は、少なくとも1000mの長さで190~270 μ mの範囲の外径を有することができる。中空コア2470の内径は、好ましくは50~100 μ mである。

20

【0309】

実施形態のうちの1つによる構造によって、反共振中空コアファイバ2400は、以下の特徴：

- 1.0~2.5 μ mの伝送波長で0.15dB/km未満の基本減衰、
- 0.8 μ mまでの伝送波長で1dB/km未満の基本減衰、のうちの少なくとも1つを有することを特徴とする。

30

【0310】

一実施形態において、反共振中空コアファイバ2400は、3つ、4つ、5つ、6つ、7つ、又は8つの反共振要素2410を有することができる。特に、反共振中空コアファイバ2400は、奇数個の反共振要素2410を有することができる。一実施形態は、反共振中空コアファイバ2400はコア半径を有し、コア半径は、50 μ mよりも小さい、特に40 μ mよりも小さい、特に30 μ mよりも小さい、特に25 μ mよりも小さい、特に20 μ mよりも小さい、特に15 μ mよりも小さい、特に13 μ mよりも小さい。

【0311】

ARE外側ユニット2420は、第3のセグメント高さ2424を有する。この第3のセグメント高さ2424は、弦に垂直であり、ARE外側ユニット2420の最大高さまで延びる直線の長さを記述する。

40

【0312】

ARE内側ユニット2430は、第4のセグメント高さ2434を有する。この第4のセグメント高さ2434は、弦に垂直であり、ARE内側ユニット2430の最大高さまで延びる直線の長さを記述する。

【0313】

図示された反共振中空コアファイバ2400は、コア半径2405と第3の円半径FB_{outer} 2422との和から生じるボルト円半径を有する。

【0314】

図示された反共振中空コアファイバ2400はプリフォーム100から製造される。

50

プリフォーム 100 からの反共振中空コアファイバ 2400 の製造は、特に、熱間成形プロセス、すなわち、伸長 2300、圧潰 2100、追加の被覆材料の追加 2200 のうちの 1 つ又は複数の 1 回又は繰り返しの実施によって行われる。

【0315】

反共振中空コアファイバ 2400 の一実施形態は、ARE 弧ユニットが ARE 外側ユニットの内側空間内に配置されること、特に、ARE 弧ユニットが ARE 内側ユニットに配置されることを特徴とする。特に、ARE 弧ユニットは、以下の熱間成形プロセス：伸長及び/又は圧潰のうちの 1 つ又はいくつかを 1 回又は繰り返し実施することによって、ARE 弧要素から製造される。

【0316】

図 21 及び図 22 は、プリフォーム 100 を製造するための方法の一部として使用することができる個々の部品を示す。それにより、本方法は以下のステップを有する（図 27 も参照）：

a) 被覆管 200 を提供するステップ 1000 であって、被覆管 200 は、被覆管内孔 220 と被覆管長手方向軸 230 とを有し、被覆管長手方向軸 230 に沿って、内面 215 及び外面 216 によって制限される被覆管壁 210 が延びている、ステップ 1000、

b) 各々が ARE 外側要素 310 とその中に挿入された ARE 内側要素 340 とを含むいくつかの反共振要素プリフォーム 300 a ~ n を準備するステップ 1100、

c) 反共振要素プリフォーム 300 a ~ n を被覆管内孔 220 内の目標位置に配置するステップ 1200、

d) 被覆管 200 と反共振要素プリフォーム 300 a ~ n とを備える組立品を、伸長及び圧潰のうちの少なくとも 1 つから選択される熱間成形プロセスによって処理するステップ 1300。

【0317】

この方法は、

- 10 ~ - 300 mbar、特に - 50 ~ - 250 mbar の範囲の相対内圧は、ステップ d) 「処理」 1300 において被覆管内孔 220 内に設定され、

ARE 外側要素 310 及び ARE 内側要素 340 は、少なくとも 1 つの反共振要素プリフォーム 300 a ~ n において円弧状に設計されており、

2 本の接続線 370、370' に沿って互いに接続され、被覆管内孔 220 に接続される

ことを特徴とする。

【0318】

このタイプの反共振要素プリフォームは、上述した利点を有する。

【0319】

既知の方法では、被覆管 200 の 2 つの前面において、反共振要素プリフォーム 300 a ~ n の固定が行われる。これは、手動トーチによる点状溶融によって行われる。それによって、ガラス表面に堆積する煤又は燃焼物が生じる。これは、一般的に、特に被覆管の前面だけでなくその内面及び反共振要素プリフォームの表面に影響を及ぼす。作製される幾何学的形状の複雑さのために、組立品の完全な洗浄はほとんど不可能である。

【0320】

これらの欠点を克服するために、ステップ c) 「配置」 1200 において反共振要素プリフォーム 300 a ~ n が目標位置に配置されるように、被覆管 200 の第 1 の端部 250 と自己芯出し方式に協働する少なくとも 1 つの芯出し面 420 を有する位置決めテンプレート 400 を使用することができる。

【0321】

図 21 は、本発明による反共振中空コアファイバ 2400 のプリフォーム 100 の組立品 110 の一実施形態の個々の部分を示す。アセンブリ 110 は、被覆管 200 を有する。被覆管 200 は管状に形成されている。少なくとも 1 つの反共振要素プリフォーム 300 a ~ n は、被覆管 200 の内面 215 に配置される。この目的のために、以下の、

10

20

30

40

50

位置決めテンプレート400を準備するステップであって、位置決めテンプレート400は、位置決めテンプレート400を貫通するいくつかの通路開口410を有し、通路開口410は各々が反共振要素プリフォーム300a～nを長手方向に案内するように適合され、位置決めテンプレート及びいくつかの被覆管200は同一の材料から作られている、ステップが行われる。

【0322】

「取り付け」ステップの一部として、被覆管200の第1の端部250への位置決めテンプレート400の接続が行われる。これにより、位置決めテンプレート400は、目標位置への反共振要素プリフォーム300a～nの配置を保證する。

【0323】

図22において、反共振要素プリフォーム300a～nの一部は、通路開口410を通過して案内され、被覆管内孔220内に突出する。位置決めテンプレート400は、「配置」ステップの一部として、被覆管200の方向に下げられる。被覆管200への位置決めテンプレート400の非積極的及び/又は積極的な取り付けの後、被覆管200と、反共振要素プリフォーム300と、及び位置決めテンプレート400とを含む組立品110は、伸長及び圧潰のうちの少なくとも1つから選択される熱間成形プロセスによってプリフォーム100に更に処理される。

【0324】

使用される位置決めテンプレート400は、反共振要素プリフォーム300のための通路開口410が常に互いに同じ角度距離に位置し、したがって対称性が自動的に得られるように設計される。更に、ガス流のためのガス流要素がディスクの中心に設けられる。例えば、ガスによるすすぎ又は洗浄、並びに負圧の印加は、後のプロセスにおける管セットアップ全体内で可能である。孔のサイズにより、コア領域及び反共振要素プリフォームを通るガス流に影響を与えることができる。

【0325】

上述の欠点を克服するために、図22に明示されている位置決めテンプレート400に加えて、第2の位置決めテンプレート500を貫通するいくつかの第2の通路開口510を有し、各々反共振要素プリフォーム300a～nを長手方向に案内するように構成された第2の位置決めテンプレート500を使用することもできる。

【0326】

以下のステップがそれによって提供される：

位置決めテンプレート400を被覆管200の第1の端部250に取り付けるステップ、

第2の位置決めテンプレート500を被覆管200の第2の端部260と組み合わせるステップ、

反共振要素プリフォーム300a～nの少なくとも一部を、通路開口410及び第2の通路開口510を通して挿入し、反共振要素プリフォームを被覆管内孔220に配置するステップ。

【0327】

これにより、

位置決めテンプレート400は、少なくとも1つの芯出し面420を有し、これは、反共振要素プリフォーム300a～nが「配置」ステップにおいて目標位置に配置されるように、自己芯出し方式で被覆管200の第1の端部250と協働し、

第2の位置決めテンプレート500は、少なくとも1つの第2の芯出し面520を有し、これは、反共振要素プリフォーム300a～nが「配置」ステップにおいて目標位置に配置されるように、自己芯出し方式で被覆管200の第2の端部260と協働し、

特にステップd)「処理」において目標位置に配置される。

【0328】

これにより、被覆管200は、第1の端部250に対向芯出し面251を有し、第2の端部260に第2の対向芯出し面261を有する。図示の実施形態では、位置決めテン

10

20

30

40

50

プレート400及び第2の位置決めテンプレート500は、少なくとも部分的に円錐台状に成形されている。これにより、芯出し面420及び第2の芯出し面520は、部分的に被覆面状に形成される。図21において、被覆管200は、第1の端部2450及び第2の端部260の領域において少なくとも部分的に円錐台状に切り取られている。

【0329】

特に、位置決めテンプレート400及び被覆管200、及び/又は第2の位置決めテンプレート500及び被覆管200は、同一の材料で作られる。

【0330】

図22は、第2の位置決めテンプレート500の第2の通路開口510への反共振要素プリフォーム300a~nの少なくとも一部のステップ「挿入」を示す。被覆管200と、反共振要素プリフォーム300a~nと、位置決めテンプレート400及び第2の位置決めテンプレート500とを含む組立品のステップf)「処理」1300は、その後、伸長及び圧潰のうちの少なくとも1つから選択される熱間成形プロセスによって行われる。

10

【0331】

方法の実施形態は、ステップd)「処理」における反共振要素プリフォーム300a~nが、被覆管壁210に火炎のない状態で熱的に固定されることを特徴とする。特に手動トーチによる、被覆管200、特に被覆管壁210上への反共振要素プリフォーム300a~nの事前の点状溶融が排除される。

【0332】

図23は、図22に示される組立品110から作成された反共振要素プリフォーム300a~nを含むプリフォーム100を示す。

20

【0333】

図24は、ステップf)「処理」の一部として伸長及び/又は圧潰することによってプリフォーム100'に再成形することができる組立品110'を示す。この目的に必要な方法は、以下のステップを含む：

A / 第3の位置決めテンプレート600を準備するステップであって、第3の位置決めテンプレート600は、第3の位置決めテンプレート600を貫通するいくつかの第3の通路開口610を有し、第3の通路開口610は各々が反共振要素プリフォーム300a~nを長手方向に案内するように適合され、第3の位置決めテンプレート600が少なくとも1つの第3の芯出し面620を有する、ステップ。

30

【0334】

図示されたプリフォーム100'を作製するために、

B / 管状閉鎖要素700を製造するステップであって、閉鎖要素700は、第3の芯出し面620と係合するために、特に積極的に係合するために、第1の端部領域730の領域に作用面710を有する、ステップ

が必要である。

【0335】

図示された組立品110'は、漏斗状の閉鎖要素700を有する。第1の端部領域730における閉鎖要素700の外径は、被覆管200の外径に本質的に対応する。反対側の第2の端部領域740において、閉鎖要素700の直径を、出口750を形成するために縮小する。この出口750は、特に、少なくとも1つの反共振要素プリフォーム300a~n内及び/又は被覆管内孔220内の圧力比を、被覆管内孔220内又はその内部でそれぞれ調整する役割を果たすことができる。

40

【0336】

更に、組立品110''は、第1の接続要素900及び第2の接続要素910を有する。これにより、第1の接続要素900は被覆管200の第1の端部250に配置されており、第2の接続要素910は被覆管の第2の端部260に配置されている。

【0337】

図25は、図24に基づいて、以下のステップを通過した後に作製される、組立品100''を示す。

50

C / 第3の位置決めテンプレート600を第1の端部領域730に連結するステップ、

D / 被覆管200の第2の端部260に閉鎖要素700を接続するステップ、特に、第2の接続要素910を使用することによって被覆管200の第2の端部260に閉鎖要素700を接続するステップ、

E / 反共振要素プリフォーム300a~nの少なくとも一部を第3の通路開口610に押し通して、反共振要素プリフォーム300a~nを被覆管内孔220内に配置するステップであって、第3の芯出し面620は、反共振要素プリフォーム300a~nが目標位置に配置されるように、自己芯出し法で作用面710と関係する、ステップ。

【0338】

図示の例示的な実施形態では、反共振要素プリフォーム300a~nは、端部側の2つの位置で保持される。一方では、反共振要素プリフォーム300a~nは、位置決めテンプレート400によって被覆管200の第1の端部250に保持される。更に、第3の位置決めテンプレート600は、反共振要素プリフォーム300a~nの更なる端部側の保持を保障する。位置決めテンプレート400及び第3の位置決めテンプレート600は共に、反共振要素プリフォーム300a~nが被覆管内孔220内の目標位置に保持されることを確実にする。

【0339】

ステップd)「処理」において、反共振要素プリフォーム300a~nは、被覆管内孔に火炎のない方法で熱的に固定され得る。特に、ステップd)「処理」の一部として電気炉800を通る組立品の通過を示す図26は、このステップを明確にしている。移動矢印810は、プリフォーム100'が作製されるように、組立品110'が電気炉800(火炎のない熱源)内に移動される方向を明確にする。

【0340】

電気炉800を用いることにより、反共振要素プリフォーム300a~nを固定するための手動タッチ工程を省略することができる。手動タッチ工程の場合、タッチの使用に関連する燃焼物及び煤形成に関する問題が存在する。凝縮は後で完全に除去することができないので、プリフォームは既に不純物がある状態で更に処理されている。したがって、延伸中に、とりわけ、膨れ、含有物、及び後のファイバ破損が生じる場合がある。炉を使用すると、上述した問題が解消され、清潔なプリフォームを製造することができる。

【0341】

ステップd)「処理」1500の一部として、反共振要素プリフォーム300a~nは、被覆管内孔220内に、

位置決めテンプレート400、400'、400''、又は

位置決めテンプレート400、400'、400''及び第2の位置決めテンプレート

500、又は

位置決めテンプレート400、400'、400''及び第3の位置決めテンプレート

600、600'によってのみ保持されることができ、

そうでなければ、物質間結合なしで保持される。

【0342】

本方法の一態様は、被覆管200及び反共振要素プリフォーム300a~nの正確な接合を、加工場(例えば、垂直ガラス旋盤など)内で直接行うことができ、したがって、プリフォーム全体の組み立て及び延伸のために1つのプロセスステップのみが必要であることである。

【0343】

図22~図26に概略的にのみ示されている反共振要素プリフォーム300a~nは、説明した実施形態の各々に従って設計することができる。この目的のために、対応する記述が参照される。

【0344】

図27は、反共振中空コアファイバ2400のプリフォーム100、100'を製造す

10

20

30

40

50

るための方法の一実施形態を示し、方法 2000 は以下の方法ステップを有する：

e) 被覆管 200 を提供するステップ 1000 であって、被覆管 200 は、被覆管内孔 220 と被覆管長手方向軸 230 とを有し、被覆管長手方向軸 230 に沿って、内面 215 及び外面 216 によって制限される被覆管壁 210 が延びている、ステップ 1000、

f) 各々が ARE 外側要素 310 とその中に挿入された ARE 内側要素 340 とを含むいくつかの反共振要素プリフォーム 300 a ~ n を準備するステップ 1100、

g) 反共振要素プリフォーム 300 a ~ n を、被覆管内孔 220 内の目標位置に配置するステップ 1200、

h) 被覆管 200 と反共振要素プリフォーム 300 a ~ n とを備える組立品 110, 100' を、伸長及び圧潰のうちの少なくとも 1 つから選択される熱間成形プロセスによって処理するステップ 1300。

10

【0345】

これにより、

- 10 ~ - 300 mbar、特に - 50 ~ - 250 mbar の範囲の相対内圧は、ステップ d) 「処理」 1300 において被覆管内孔内に設定され、

ARE 外側要素 310 及び ARE 内側要素 340 は、少なくとも 1 つの反共振要素プリフォーム 300 a ~ n において円弧状に設計され、

2 本の接続線 370、370' に沿って互いに接続され、被覆管内孔 220 に接続される。

【0346】

20

図 28 は、特に前述する方法ステップ 1000 ~ 1300 のいずれか 1 つに従って製造されたプリフォーム 100、100' から反共振中空コアファイバ 2400 を製造するための方法の一実施形態を示す。方法は、

プリフォーム 100、100' を反共振中空コアファイバ 2400 に更に処理するステップを有し、

更に処理するステップは、以下の熱間成形プロセス：

圧潰するステップ 2100、

追加の被覆材料を追加するステップ 2200、及び

伸長するステップ 2300、

のうちの 1 つ又はいくつかの 1 回又は繰り返しの実施を含む。

30

【0347】

特に、先行する実施形態のいずれかによるプリフォーム 100, 100' からの先行する実施形態のいずれかによる反共振中空コアファイバ 2400 の製造中に、特に「更なる処理」ステップの一部として、以下の移行の少なくとも一方が起こり得る：

反共振要素 2410 は、反共振要素プリフォーム 300 a - n から作成される、

被覆 2450 の少なくとも一部は被覆管 200 から生成される、

ARE 外側ユニット 2420 は、ARE 外側要素 310 a ~ n から作成される、

ARE 内側ユニット 2430 は、ARE 内側要素 340 a ~ n から作成される、

第 3 の円半径 FB_{outer} 2422 は、第 1 の円半径 R_{outer} 320 a - j、m、n から作成される、

40

第 4 の円半径 FB_{inner} 2432 は、第 2 の円半径 R_{inner} 350 a - j、m、n から作成される、

第 1 の中心角 θ_{outer} 325 から第 3 の中心角 θ_{outer} 2423 が生成される、

第 4 の中心角 θ_{inner} 2433 は第 2 の中心角 θ_{inner} 355 から生成される、

第 3 のセグメント高さ $H_{F_{outer}}$ 2424 は、第 1 のセグメント高さ H_{outer} 328 から生成される、

第 4 のセグメント高さ $H_{F_{inner}}$ 2434 は、第 2 のセグメント高さ H_{inner} 358 から生成される、

50

シーム線は接続線 370、370' から生成される、
 ARE 弧ユニットは、ARE 弧要素 390、390' から生成される、
 第 6 の円半径 FB_arc は第 5 の円半径 R_arc394 から生成される、
 半径 FB_circle は半径 $R_circle392$ から生成される、
 第 6 の中心角 $_arc$ は第 5 の中心角 $_arc$ から生成される、
 接触シームは接触線から形成される。

【0348】

位置決めテンプレートについて説明した特性及び特徴の全ては、第 2 の位置決めテンプレート及び / 又は第 3 の位置決めテンプレートにも適用され、逆もまた同様である。

【0349】

本方法に関して説明した特性及び特徴の全ては、プリフォーム及び / 又は反共振中空コアファイバにも適用され、逆もまた同様である。

【0350】

別段の指定がない限り、特許請求の範囲、明細書、実施例、及び図面において指定される物理的変数の全ては、DIN 1343 に従って通常の条件下で決定される。「通常の条件下」という記述は、DIN 1343 に従う条件下での測定を指す。特許請求の範囲、明細書、及び図面に開示された特徴は、特許請求された発明の様々な設計に対して、別々にも、互いに任意に組み合わせても重要であり得る。装置、特にプリフォーム、二次プリフォーム、又は反共振中空コアファイバに関して開示される特徴は、方法に関して開示され、逆もまた同様である。

【実施例】

【0351】

図 29 ~ 図 30 は、反共振中空コアファイバの 2 つの実施形態のシミュレーションの結果を示す。反共振中空コアファイバの示された実施形態において、第 3 の円半径 FB_outer 及び第 4 の円半径 FB_inner は、同一の長さであった ($FB_outer = FB_inner$)。中空コアファイバの反共振コアファイバの反共振要素の幾何形状に以下の値が使用された。

ファイバ 1 : 第 3 の円半径 FB_outer 、第 4 の円半径 FB_inner 各々 $12.25 \mu m$ 、

ファイバ 2 : 第 3 の円半径 FB_outer 、第 4 の円半径 FB_inner 各々 $15.75 \mu m$ 。

【0352】

両方のファイバは 6 つの ARE 外側ユニットを有し、各々はその中に配置された ARE 内側ユニットを有する。コア半径 F_fiber は、いずれも $17.25 \mu m$ である。コア半径 R_fiber は、長手方向軸と ARE 外側ユニットとの間の最短距離から得られる。ファイバ 1 のボルト円半径は $29.5 \mu m$ であり、ファイバ 2 のボルト円半径は $2.33 \mu m$ である。ARE 外側ユニット及び ARE 内側ユニットのそれぞれの壁厚は $0.5 \mu m$ である。

【0353】

両方のファイバについての $1550 nm$ の波長における基底モードの「閉じ込め損失」(導波路損失とも呼ばれる)が、「バウ比」にわたって図 29 の図にプロットされている。したがって、閉じ込め損失は、半径方向に放射されたエネルギーに基づいて、中空コアファイバに沿った導波路損失を表す。これに対して、バウ比は次のように定義される：

【0354】

【数 4】

$$\text{バウ比} = \frac{\text{第 3 の中心角 } \beta_outer}{\text{第 4 の中心角 } \beta_inner}$$

【0355】

10

20

30

40

50

したがって、バウ比は、AREユニット（したがってARE外側ユニット及びARE内側ユニット）の2つの中心角の互いに対する比を規定する。

【0356】

シミュレーションの一部として、基底モードの閉じ込め損失が、バウ比に対して決定され、この場合、 θ_{outer} は、 $205^\circ \sim 310^\circ$ の間隔内で移動した。第4の中心角 θ_{inner} の量は、 360° における第3の中心角 θ_{inner} の差から得られた。図29で明らかにされるように、2つのファイバ（ファイバ1及びファイバ2）は、閉じ込め損失が $10E - 2db/m$ より小さい、バウ比のための空間に及ぶ。この空間に対するバウ比は、

- 1.5より大きい、特に1.6より大きい、特に1.7より大きい、
3.2より小さい、特に2.8より小さい、特に2.5より小さい。

10

【0357】

このようにして設計されたファイバ及びスパンパラメータ空間内にあるファイバは、上述の技術的問題を解決する。

【0358】

列挙されたバウ比から、 θ_{outer} は 275° より小さく、 210° より大きくすることができ、 θ_{outer} と θ_{inner} の和は 360° の値を有する。第3のセグメント高さ HF_{outer} 及び第4のセグメント高さ HF_{inner} に対するパラメータ空間も、ファイバ1及びファイバ2に対する所与の変数に基づいて以下のようになる：

20

HF_{outer} / HF_{inner} は6.5より小さい、特に4より小さい、特に3.2より小さい、

HF_{outer} / HF_{inner} は1.7より大きい、特に1.75より大きい、特に1.85より大きい。

【0359】

上述したように、ここで説明する中空コアファイバにおいて基底モード挙動を達成するために、光の走行距離をできるだけ短く保つことが目標である。中空コアファイバの基底モード挙動を改善するために、この目的のために、追加の損失メカニズムを使用することができ、この場合、HOMのエネルギーは、中空コアファイバの適合された設計によって、AREユニット（ARE外側ユニット及び/又はARE内側ユニット）内の高損失モードに結合する。この結合は、2つのモード群：

30

中空コアファイバのコア内のHOM、及び

AREユニット（ARE外側ユニット及び/又はARE内側ユニット）におけるAREモードの適合された移送伝搬速度を必要とする。

【0360】

位相伝搬速度の結合は、特に、中空コアファイバの個々の構成要素の幾何学的形状によって影響を受ける可能性がある。特に、パラメータ「 z/R 」が重要であることが判明し、これは以下のように定義される：

【0361】

【数5】

40

$$\frac{z}{R} = \frac{HF_{outer} - HF_{inner}}{R_{fiber}}$$

【0362】

指定されるように、 z/R は、第3のセグメント高さ HF_{outer} （図20の2424を参照）と第4のセグメント高さ HF_{inner} （図20の2434を参照）との間の差を、コア半径 R_{fiber} （図20の2405を参照）で除算したのから得られる。

【0363】

50

有効モード指数 n_{eff} は、ファイバ1及びファイバ2について上で定義された比 z/R を介して図30の図にプロットされる。グラフは、ファイバ1及びファイバ2について、有効モード指数 n_{eff} の、

ARE外側ユニット(「AREモードファイバ1」及び「AREモードファイバ2」)内のモード、

コア内の第1の高次モード(HOM1)、及び

コア内の第2の高次モード(HOM2)を示す。

【0364】

特に効果的な結合は、特に、AREモードと高次モード(ここでは第1及び第2)のグラフの交点の近くで行われる。コア内の高次モードのエネルギーは、より損失の多いAREモードに結合する。したがって、高次モードはコア内で減衰され、中空コアファイバは、より短い走行距離にわたって基底モード挙動を有する。

10

【0365】

したがって、一実施形態では、反共振中空コアファイバが得られ、これは、比 z/R が、

0.6より大きい、特に0.7より大きい、特に0.8より大きく、

1.4より小さい、特に1.3より小さい、特に1.2より小さいことを特徴とする。

【0366】

特に、 z/R は区間 [0.8 ; 1.2] 内にある。 z/R に対するこれらのパラメータ空間は、当該2つのモード群の位相伝搬速度の良好な結合を提供する。

20

【0367】

基底モードの小さい閉じ込め損失、特に $10E-2\text{ db/m}$ 未満の閉じ込め損失を達成するため、並びに短いファイバ距離で基底モード挙動を達成するために、反共振中空コアファイバの一実施形態は、比 z/R が、

0.75より大きい、特に0.8より大きく、

1.25より小さい、特に1.2より小さく、

第3の円半径 FB_{outer} 及び第4の円半径 FB_{inner} は、本質的に同一の長さであり ($FB_{outer} = FB_{inner}$)、 FB_{outer} 及び FB_{inner} は、 $17\mu\text{m}$ より小さく、 $12\mu\text{m}$ より大きく、バウ比は、2.8より小さく、1.6より大きいことを特徴とすることができる。

30

【0368】

本発明による反共振要素プリフォーム及びプリフォームの更なる例は、以下の通りである。

【0369】

以下に、反共振要素プリフォーム及びプリフォームの寸法例を示す。本発明を、これらの実施例によって例示的な方法で更に説明する。本発明はこれらの実施例に限定されない。以下の略語が使用される。

【0370】

【表1】

40

	ARE外側要素	ARE内側要素
$r_V[\text{mm}]$	第1の円半径 R_{outer}	第2の円半径 R_{inner}
$b2_V[^\circ]$	第1の中心角 α_{outer}	第2の中心角 α_{inner}
$s_V[\text{mm}]$	第1の弦長	第2の弦長
$h_V[\text{mm}]$	第1のセグメント高さ	第2のセグメント高さ

50

【 0 3 7 1 】

指定された反共振要素プリフォームの「セグメント高さ比」は、第 2 のセグメント高さに対する第 1 のセグメント高さの比として計算される。

【 0 3 7 2 】

実施例 V 1

プリフォームのこの代替実施形態では、境界条件

$$R_{outer} > R_{inner} \text{ が}$$

満たされ、以下の幾何形状を使用した。

【 0 3 7 3 】

【表 2】

	ARE外側要素	ARE内側要素
r_V[mm]	3.5	1.08
b2_V[°]	330	245.98
s_V[mm]	1.81	1.81
h_V[mm]	6.88	1.67
セグメント高さ比	4.13	

10

【 0 3 7 4 】

その結果、正確かつ再現可能な方法で製造することができるプリフォームが得られた。

【 0 3 7 5 】

実施例 V 2

プリフォームのこの代替実施形態では、境界条件

$$R_{outer} > R_{inner} \text{ が}$$

満たされ、以下の幾何形状を使用した。

【 0 3 7 6 】

【表 3】

	ARE外側要素	ARE内側要素
r_V[mm]	3.5	1.88
b2_V[°]	330	302.39
s_V[mm]	1.81	1.81
h_V[mm]	6.88	3.53
セグメント高さ比	1.95	

20

30

【 0 3 7 7 】

その結果、正確かつ再現可能な方法で製造することができるプリフォームが得られた。

【 0 3 7 8 】

実施例 V 3

プリフォームのこの代替実施形態では、境界条件

$$R_{outer} > R_{inner} \text{ が}$$

満たされ、以下の幾何形状を使用した。

【 0 3 7 9 】

【表 4】

	ARE外側要素	ARE内側要素
r_V[mm]	3.5	1.88
b2_V[°]	330	57.61
s_V[mm]	1.81	1.81
h_V[mm]	6.88	0.23
セグメント高さ比	29.58	

40

【 0 3 8 0 】

50

その結果、正確かつ再現可能な方法で製造することができるプリフォームが得られた。

【0381】

実施例V4

プリフォームのこの代替実施形態では、境界条件

$R_{outer} > R_{inner}$ が

満たされ、以下の幾何形状を使用した。

【0382】

【表5】

	ARE外側要素	ARE内側要素	
r_V[mm]	3.5	2.42	10
b2_V[°]	280	223.24	
s_V[mm]	4.50	4.50	
h_V[mm]	6.18	3.31	
セグメント高さ比	1.87		

【0383】

その結果、正確かつ再現可能な方法で製造することができるプリフォームが得られた。

【0384】

実施例V5

プリフォームのこの代替実施形態では、境界条件

$R_{outer} > R_{inner}$ が

満たされ、以下の幾何形状を使用した。

【0385】

【表6】

	ARE外側要素	ARE内側要素	
r_V[mm]	3.5	2.42	
b2_V[°]	280	136.76	
s_V[mm]	4.50	4.50	
h_V[mm]	6.18	1.53	
セグメント高さ比	4.04		30

【0386】

その結果、正確かつ再現可能な方法で製造することができるプリフォームが得られた。

【0387】

実施例V6

プリフォームのこの代替実施形態では、境界条件

$R_{outer} < R_{inner}$ が

満たされ、以下の幾何形状を使用した。

【0388】

【表7】

	ARE外側要素	ARE内側要素	
r_V[mm]	3.5	4	
b2_V[°]	300	51.89	
s_V[mm]	3.50	3.50	
h_V[mm]	6.53	0.40	
セグメント高さ比	16.20		40

【0389】

その結果、正確かつ再現可能な方法で製造することができるプリフォームが得られた。

【0390】

50

実施例 V 7

プリフォームのこの代替実施形態では、境界条件

$$R_{outer} < R_{inner}$$

満たされ、以下の幾何形状を使用した。

【0391】

【表 8】

	ARE外側要素	ARE内側要素
r_V[mm]	3.5	4
b2_V[°]	230	104.94
s_V[mm]	6.34	6.34
h_V[mm]	4.98	1.56
セグメント高さ比	3.19	

10

【0392】

その結果、正確かつ再現可能な方法で製造することができるプリフォームが得られた。

【0393】

実施例 V 8

プリフォームのこの代替実施形態では、境界条件

$$R_{outer} < R_{inner}$$

満たされ、以下の幾何形状を使用した。

20

【0394】

【表 9】

	ARE外側要素	ARE内側要素
r_V[mm]	3.5	6.73
b2_V[°]	300	30.14
s_V[mm]	3.50	3.50
h_V[mm]	6.53	0.23
セグメント高さ比	28.21	

【0395】

その結果、正確かつ再現可能な方法で製造することができるプリフォームが得られた。

30

【0396】

実施例 V 9

プリフォームのこの代替実施形態では、境界条件

$$R_{outer} < R_{inner}$$

満たされ、以下の幾何形状を使用した。

【0397】

【表 10】

	ARE外側要素	ARE内側要素
r_V[mm]	3.5	6.73
b2_V[°]	230	56.24
s_V[mm]	6.34	6.34
h_V[mm]	4.98	0.79
セグメント高さ比	6.27	

40

【0398】

その結果、正確かつ再現可能な方法で製造することができるプリフォームが得られた。

【0399】

実施例 V 10

プリフォームのこの代替実施形態では、境界条件

50

$R_{outer} < R_{inner}$ が満たされ、以下の幾何形状を使用した。

【0400】

【表11】

	ARE外側要素	ARE内側要素
r_V[mm]	3.5	8.08
b2_V[°]	300	25.02
s_V[mm]	3.50	3.50
h_V[mm]	6.53	0.19
セグメント高さ比	34.05	

10

【0401】

その結果、正確かつ再現可能な方法で製造することができるプリフォームが得られた。

【0402】

実施例V11

プリフォームのこの代替実施形態では、境界条件

$R_{outer} = R_{inner}$ が

満たされ、以下の幾何形状を使用した。

【0403】

【表12】

	ARE外側要素	ARE内側要素
r_V[mm]	3.5	3.5
b2_V[°]	230	130.00
s_V[mm]	6.34	6.34
h_V[mm]	4.98	2.02
セグメント高さ比	2.46	

20

【0404】

その結果、正確かつ再現可能な方法で製造することができるプリフォームが得られた。実施例V11の文脈において、第1の円半径 R_{outer} 及び第2の円半径 R_{inner} が同一の長さであるという記述は、当該長さが1.0%未満だけ異なることと理解される。

30

【0405】

実施例V12

プリフォームのこの代替実施形態では、境界条件

$R_{outer} = R_{inner}$ が

満たされ、以下の幾何形状を使用した。

【0406】

【表13】

	ARE外側要素	ARE内側要素
r_V[mm]	3.5	3.5
b2_V[°]	300	60.00
s_V[mm]	3.50	3.50
h_V[mm]	6.53	0.47
セグメント高さ比	13.93	

40

【0407】

その結果、正確かつ再現可能な方法で製造することができるプリフォームが得られた。実施例V12の文脈において、第1の円半径 R_{outer} 及び第2の円半径 R_{inner} が同一の長さであるという記述は、当該長さが1.0%未満だけ異なることと理解

50

される。

【0408】

本発明による反共振中空コアファイバの実施例の寸法を以下に特定する。本発明を、これらの実施例によって例示的な方法で更に説明する。本発明はこれらの実施例に限定されない。以下の略語が使用される。

【0409】

【表14】

	ARE外側ユニット	ARE内側ユニット
$r[\mu\text{m}]$	第3の円半径 FB_outer	第4の円半径 FB_inner
$b2[^\circ]$	第3の中心角 β_outer	第4の中心角 β_inner
$s[\mu\text{m}]$	第3の弦長	第4の弦長
$h[\mu\text{m}]$	第3のセグメント高さ	第4のセグメント高さ

10

【0410】

反共振中空コアファイバの指定された「セグメント高さ比」は、第4のセグメント高さに対する第3のセグメント高さの比として計算される。

20

【0411】

実施例 F 1

反共振中空コアファイバのこの実施形態の代替では、境界条件

$$FB_outer > FB_inner$$

が満たされ、以下の幾何形状を使用した。

【0412】

【表15】

	ARE外側ユニット	ARE内側ユニット
$r[\mu\text{m}]$	13	4
$b2[^\circ]$	300	245.47
$s[\mu\text{m}]$	6.73	6.73
$h[\mu\text{m}]$	25.56	6.16
セグメント高さ比	4.15	

30

【0413】

その結果、低減衰の反共振中空コアファイバが得られた。

【0414】

実施例 F 2

反共振中空コアファイバのこの実施形態の代替では、境界条件

$$FB_outer > FB_inner$$

が満たされ、以下の幾何形状を使用した。

40

【0415】

【表 1 6】

	ARE外側ユニット	ARE内側ユニット
r[μm]	13	7
b2[$^{\circ}$]	330	302.54
s[μm]	6.73	6.73
h[μm]	25.56	13.14
セグメント高さ比	1.95	

【0 4 1 6】

その結果、低減衰の反共振中空コアファイバが得られた。

10

【0 4 1 7】

実施例 F 3

反共振中空コアファイバのこの実施形態の代替では、境界条件

$$FB_outer > FB_inner$$

が満たされ、以下の幾何形状を使用した。

【0 4 1 8】

【表 1 7】

	ARE外側ユニット	ARE内側ユニット
r[μm]	13	7
b2[$^{\circ}$]	330	57.46
s[μm]	6.73	6.73
h[μm]	25.56	0.86
セグメント高さ比	29.66	

20

【0 4 1 9】

その結果、低減衰の反共振中空コアファイバが得られた。

【0 4 2 0】

実施例 F 4

反共振中空コアファイバのこの実施形態の代替では、境界条件

$$FB_outer > FB_inner$$

が満たされ、以下の幾何形状を使用した。

30

【0 4 2 1】

【表 1 8】

	ARE外側ユニット	ARE内側ユニット
r[μm]	13	9
b2[$^{\circ}$]	280	223.60
s[μm]	16.71	16.71
h[μm]	22.96	12.34
セグメント高さ比	1.86	

40

【0 4 2 2】

その結果、低減衰の反共振中空コアファイバが得られた。

【0 4 2 3】

実施例 F 5

反共振中空コアファイバのこの実施形態の代替では、境界条件

$$FB_outer > FB_inner$$

が満たされ、以下の幾何形状を使用した。

【0 4 2 4】

50

【表 19】

	ARE外側ユニット	ARE内側ユニット
r[μm]	13	9
b2[$^{\circ}$]	280	136.40
s[μm]	16.71	16.71
h[μm]	22.96	5.66
セグメント高さ比	4.06	

【0425】

その結果、低減衰の反共振中空コアファイバが得られた。

10

【0426】

実施例 F 6

反共振中空コアファイバのこの実施形態の代替では、境界条件

$$FB_outer < FB_inner$$

が満たされ、以下の幾何形状を使用した。

【0427】

【表 20】

	ARE外側ユニット	ARE内側ユニット
r[μm]	13	15
b2[$^{\circ}$]	300	51.36
s[μm]	13.00	13.00
h[μm]	24.26	1.48
セグメント高さ比	16.37	

20

【0428】

その結果、低減衰の反共振中空コアファイバが得られた。

【0429】

実施例 F 7

反共振中空コアファイバのこの実施形態の代替では、境界条件

$$FB_outer < FB_inner$$

が満たされ、以下の幾何形状を使用した。

30

【0430】

【表 21】

	ARE外側ユニット	ARE内側ユニット
r[μm]	13	15
b2[$^{\circ}$]	230	103.53
s[μm]	23.56	23.56
h[μm]	18.49	5.72
セグメント高さ比	3.24	

40

【0431】

その結果、低減衰の反共振中空コアファイバが得られた。

【0432】

実施例 F 8

反共振中空コアファイバのこの実施形態の代替では、境界条件

$$FB_outer < FB_inner$$

が満たされ、以下の幾何形状を使用した。

【0433】

50

【表 2 2】

	ARE外側ユニット	ARE内側ユニット
r[μ m]	13	25
b2[$^{\circ}$]	300	30.14
s[μ m]	13.00	13.00
h[μ m]	24.26	0.86
セグメント高さ比	28.21	

【0 4 3 4】

その結果、低減衰の反共振中空コアファイバが得られた。

10

【0 4 3 5】

実施例 F 9

反共振中空コアファイバのこの実施形態の代替では、境界条件

$$FB_outer < FB_inner$$

が満たされ、以下の幾何形状を使用した。

【0 4 3 6】

【表 2 3】

	ARE外側ユニット	ARE内側ユニット
r[μ m]	13	25
b2[$^{\circ}$]	230	56.23
s[μ m]	23.56	23.56
h[μ m]	18.49	2.95
セグメント高さ比	6.27	

20

【0 4 3 7】

その結果、低減衰の反共振中空コアファイバが得られた。

【0 4 3 8】

実施例 F 1 0

反共振中空コアファイバのこの実施形態の代替では、境界条件

$$FB_outer < FB_inner$$

が満たされ、以下の幾何形状を使用した。

30

【0 4 3 9】

【表 2 4】

	ARE外側ユニット	ARE内側ユニット
r[μ m]	13	30
b2[$^{\circ}$]	300	25.03
s[μ m]	13.00	13.00
h[μ m]	24.26	0.71
セグメント高さ比	34.04	

40

【0 4 4 0】

その結果、低減衰の反共振中空コアファイバが得られた。

【0 4 4 1】

実施例 F 1 1

反共振中空コアファイバのこの実施形態の代替では、境界条件

第3の円半径 FB_outer 及び第4の円半径 FB_inner は、本質的に同一の長さである ($FB_outer = FB_inner$)、

が満たされ、以下の幾何形状を使用した。

【0 4 4 2】

50

【表 2 5】

	ARE外側ユニット	ARE内側ユニット
r[μ m]	13	13
b2[°]	230	130.00
s[μ m]	23.56	23.56
h[μ m]	18.49	7.51
セグメント高さ比	2.46	

【0443】

その結果、低減衰の反共振中空コアファイバが得られた。

10

【0444】

実施例 F 1 2

反共振中空コアファイバのこの実施形態の代替では、境界条件

第3の円半径 FB_outer 及び第4の円半径 FB_inner は、本質的に同一の長さである ($FB_outer = FB_inner$)、
が満たされ、以下の幾何形状を使用した。

【0445】

【表 2 6】

	ARE外側ユニット	ARE内側ユニット
r[μ m]	13	13
b2[°]	300	60.00
s[μ m]	13.00	13.00
h[μ m]	24.26	1.74
セグメント高さ比	13.93	

20

【0446】

その結果、低減衰の反共振中空コアファイバが得られた。

【0447】

別段の指定がない限り、特許請求の範囲、明細書、実施例、及び図面において指定される物理的変数の全ては、DIN 1343に従って通常の条件下で決定される。「通常の条件下」という記述は、DIN 1343に従う条件下での測定を指す。本特許請求の範囲、明細書、及び図面に開示された特徴は、特許請求の範囲に記載された発明の様々な実施形態に対して、別々にも、互いに任意に組み合わせても重要であり得る。装置、特にプリフォーム、二次プリフォーム、又は反共振中空コアファイバに関して開示される特徴は、方法に関する開示され、逆もまた同様である。

30

【符号の説明】

【0448】

100、100'	反共振中空コアファイバのプリフォーム
110、110'	組立品
200	被覆管
210	被覆管壁
211	被覆管壁の厚さ
215	被覆管壁の内面
216	被覆管壁の外表面
220	被覆管内孔
230	被覆管長手方向軸
231	プリフォームコア半径 $R_preform$
250	被覆管の第1の端部
251	対向芯出し面
260	被覆管の第2の端部

40

50

2 6 1	第 2 の対向芯出し面	
2 9 8	第 1 の円	
2 9 9	第 2 の円	
3 0 0 a ~ n	反共振要素プリフォーム	
3 1 0 a ~ n	A R E 外側要素	
3 1 1 a - j、m、n	第 1 の長手方向軸	
3 1 5	A R E 外壁	
3 1 7	A R E 外側要素の内側空間	
3 2 0 a - j、m、n	第 1 の円半径 R__o u t e r	
3 2 5	第 1 の中心角 __o u t e r	10
3 2 8	第 1 のセグメント高さ	
3 4 0 a ~ n	A R E 内側要素	
3 4 1 a ~ e	第 2 の長手方向軸	
3 4 5	A R E 内側要素の壁	
3 4 7	A R E 内側要素の第 2 の内側空間	
3 5 0 a - j、m、n	第 2 の円半径 R__i n n e r	
3 5 5	第 2 の中心角 __i n n e r	
3 5 8	第 2 のセグメント高さ	
3 7 0、3 7 0'	接続線	
3 9 0、3 9 0'	A R E 弧要素	20
3 9 2	A R E 弧要素の半径 R__c i r c l e	
3 9 3、3 9 3'、3 9 3"	接触線	
3 9 4	第 5 の円半径 R__a r c	
3 9 5、3 9 5'	第 3 の長手方向軸	
4 0 0	位置決めテンプレート	
4 1 0	通路開口	
4 2 0	芯出し面	
5 0 0	第 2 の位置決めテンプレート	
5 1 0	第 2 の通路開口	
5 2 0	第 2 の芯出し面	30
6 0 0	第 3 の位置決めテンプレート	
6 1 0	第 3 の通路開口	
6 2 0	第 3 の芯出し面	
7 0 0	閉鎖要素	
7 1 0	作用面	
7 3 0	第 1 の端部領域	
7 4 0	第 2 の端部領域	
7 5 0	出口	
8 0 0	加熱源	
8 1 0	移動矢印	40
9 0 0	第 1 の接続要素	
9 1 0	第 2 の接続要素	
1 0 0 0	被覆管を提供	
1 1 0 0	いくつかの反共振要素プリフォームを準備	
1 2 0 0	配置	
1 3 0 0	処理	
2 0 0 0	方法ステップ 1 0 0 0 ~ 1 3 0 0	
2 1 0 0	圧潰	
2 2 0 0	追加の被覆材料を追加	
2 3 0 0	伸長	50

- 2 4 0 0 反共振中空コアファイバ
- 2 4 0 5 コア半径 (R _ f i b e r)
- 2 4 1 0 反共振要素
- 2 4 2 0 反共振中空コアファイバの A R E 外側ユニット
- 2 4 2 2 第 3 の円半径 F B _ o u t e r
- 2 4 2 3 第 3 の中心角 _ o u t e r
- 2 4 2 4 第 3 のセグメント高さ F _ o u t e r
- 2 4 3 0 反共振中空コアファイバの A R E 内側ユニット
- 2 4 3 2 第 4 の円半径 F B _ i n n e r
- 2 4 3 3 第 4 の中心角 _ i n n e r
- 2 4 3 4 第 4 のセグメント高さ F _ i n n e r
- 2 4 5 0 反共振中空コアファイバの被覆
- 2 4 5 1 被覆内孔
- 2 4 5 2 反共振中空コアファイバの被覆における前被覆材料の部分
- 2 4 5 8 シーム線
- 2 4 6 0 反共振中空コアファイバの長手方向軸
- 2 4 6 5 被覆内側半径
- 2 4 7 0 反共振中空コアファイバのコア
- 2 4 8 0 内面

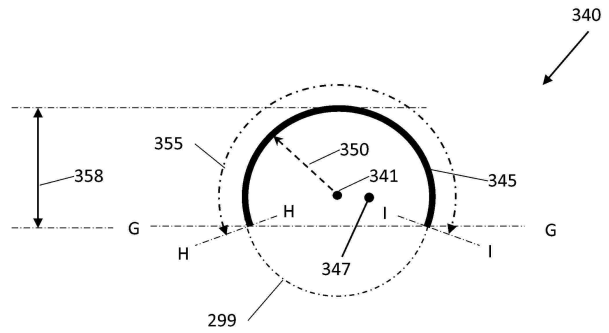
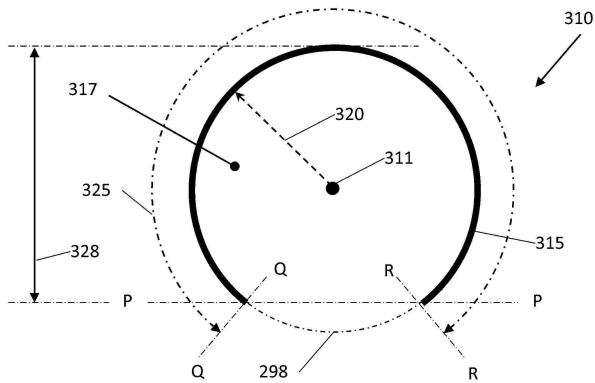
10

【 図 面 】

20

【 図 1 】

【 図 2 】

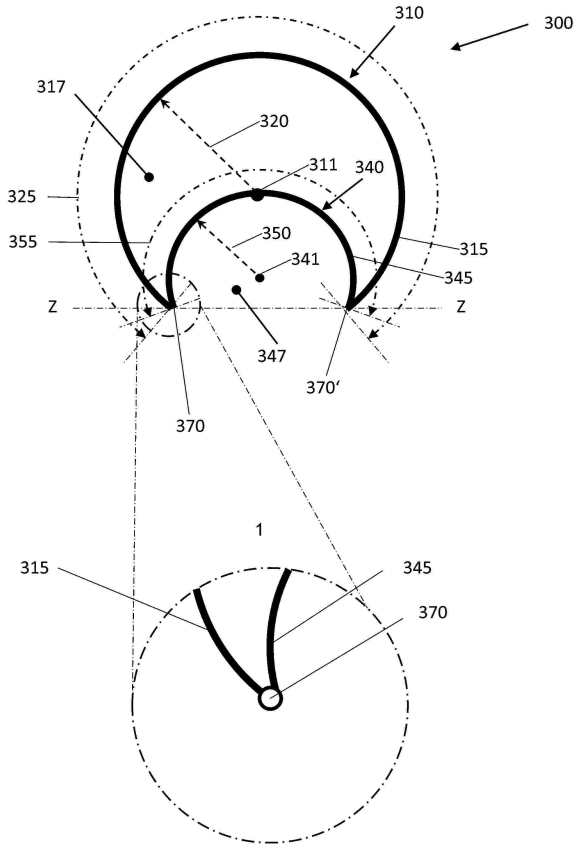


30

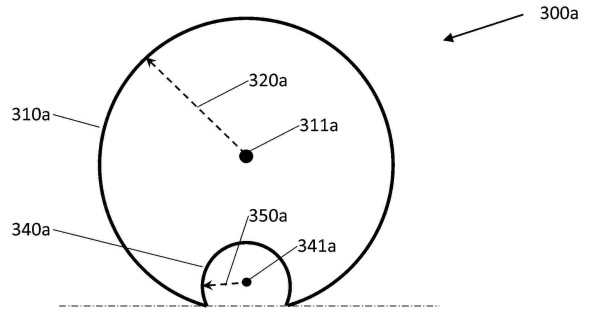
40

50

【 図 3 】



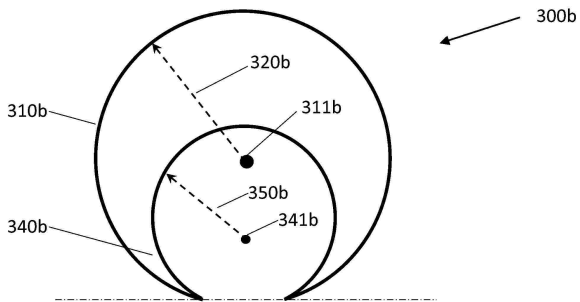
【 図 4 】



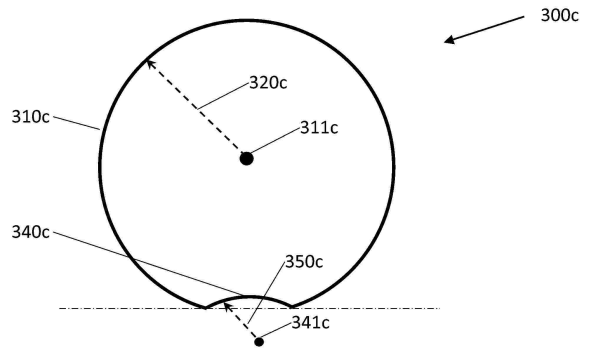
10

20

【 図 5 】



【 図 6 】

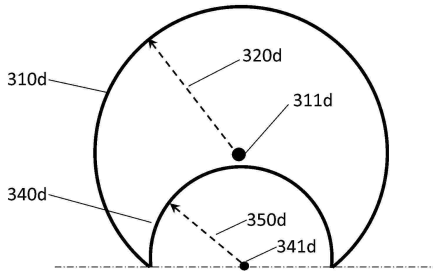


30

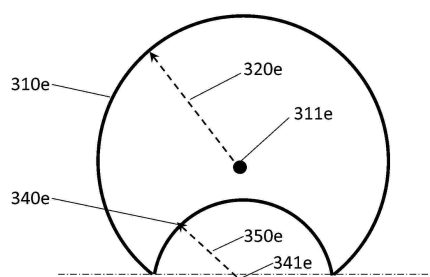
40

50

【 図 7 】



【 図 8 】

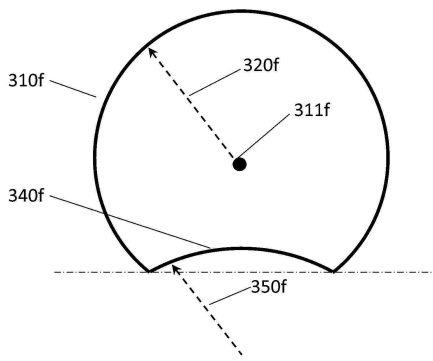


← 300d

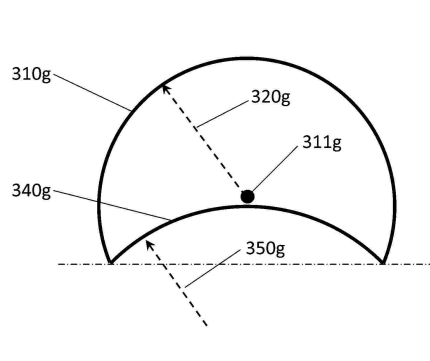
← 300e

10

【 図 9 】



【 図 10 】

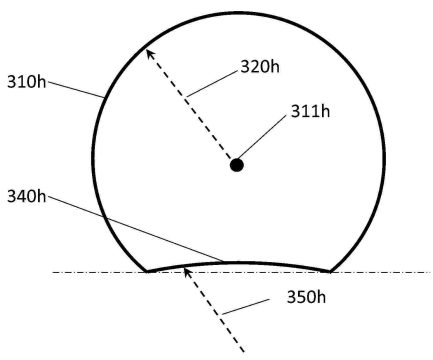


← 300f

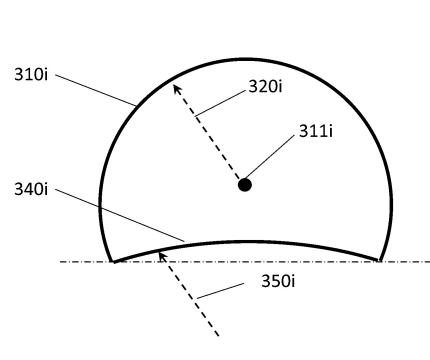
← 300g

20

【 図 11 】



【 図 12 】



← 300h

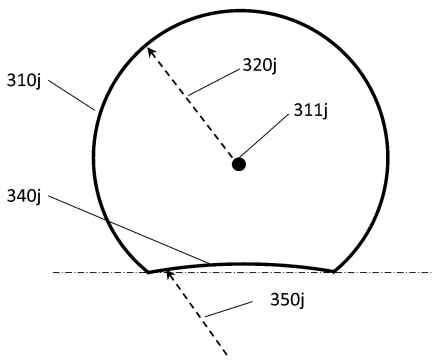
← 300i

30

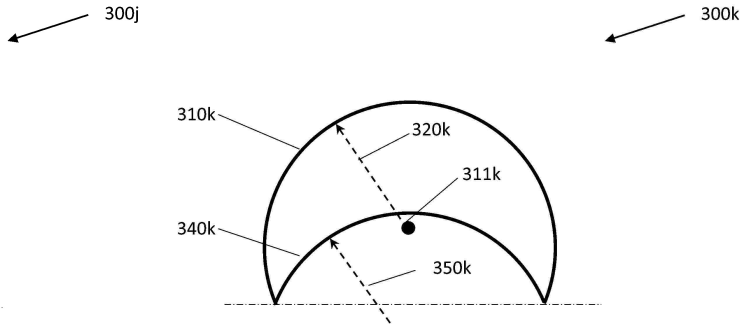
40

50

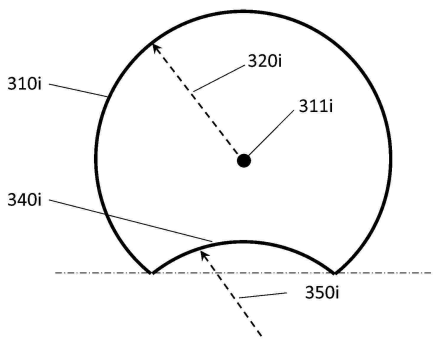
【図 1 3】



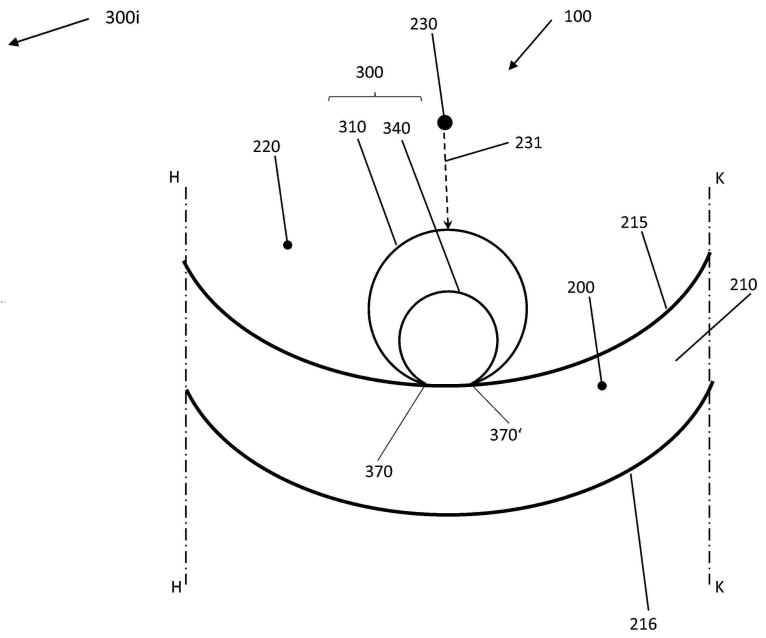
【図 1 4】



【図 1 5】



【図 1 6】



10

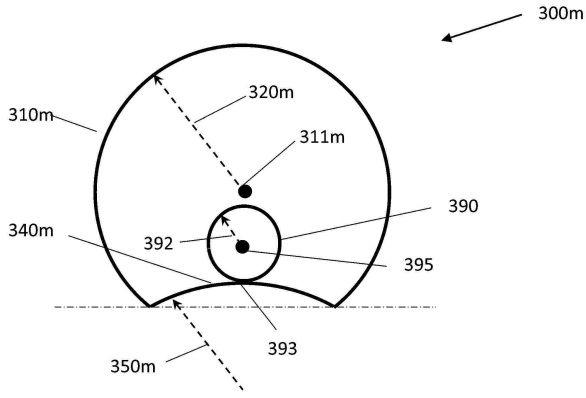
20

30

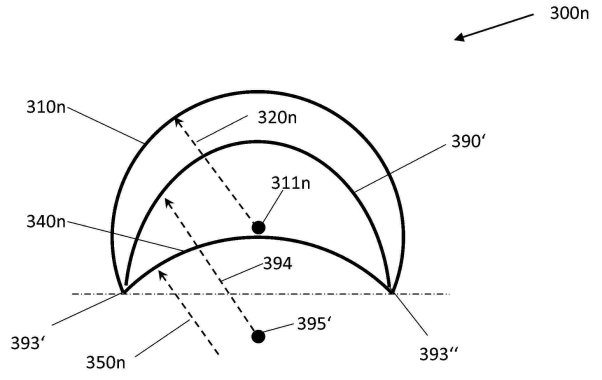
40

50

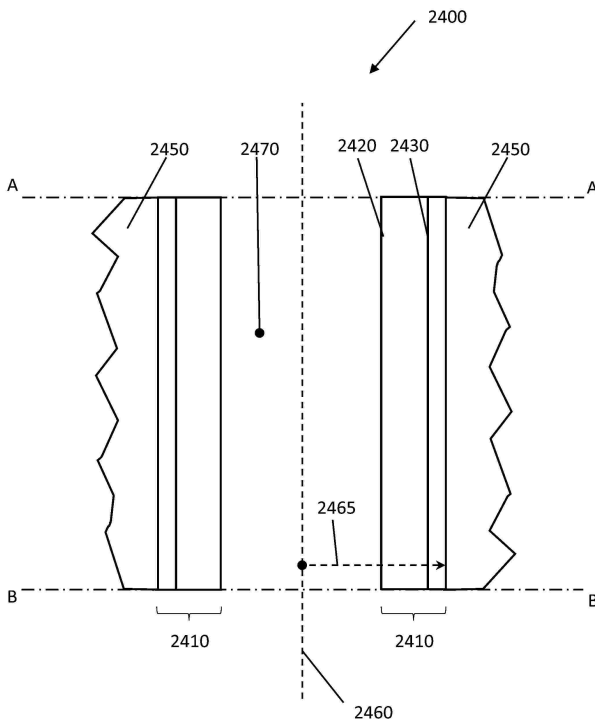
【 図 1 7 】



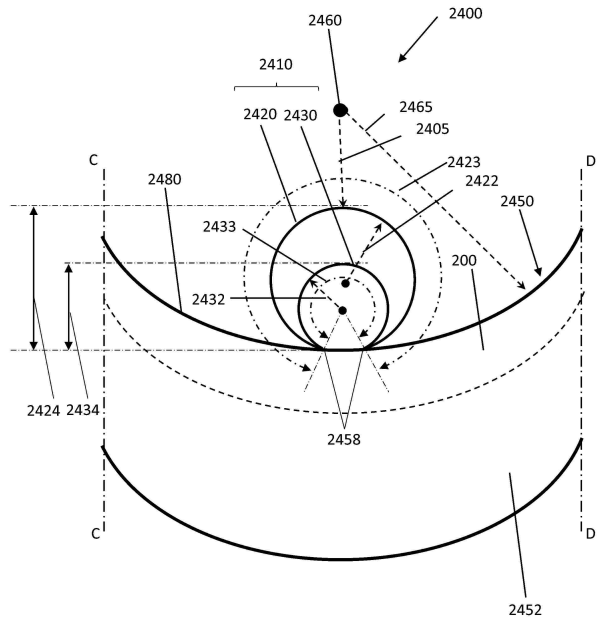
【 図 1 8 】



【 図 1 9 】



【 図 2 0 】



10

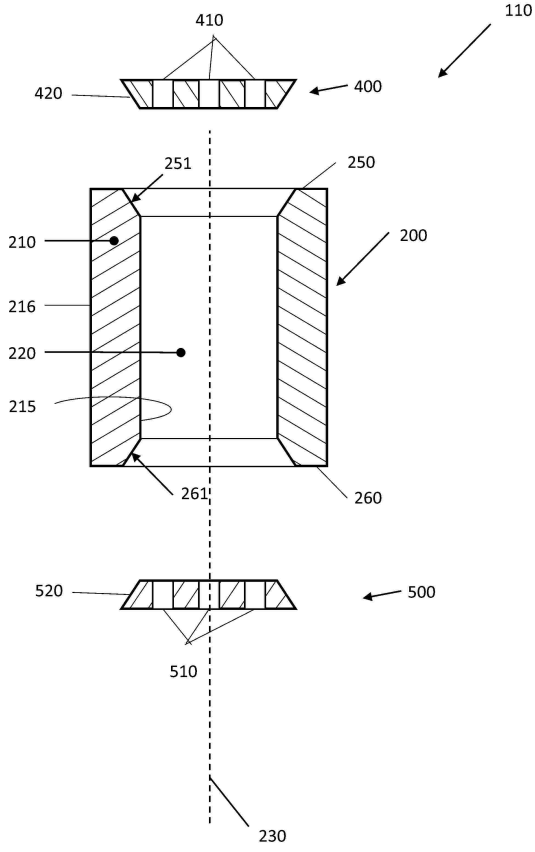
20

30

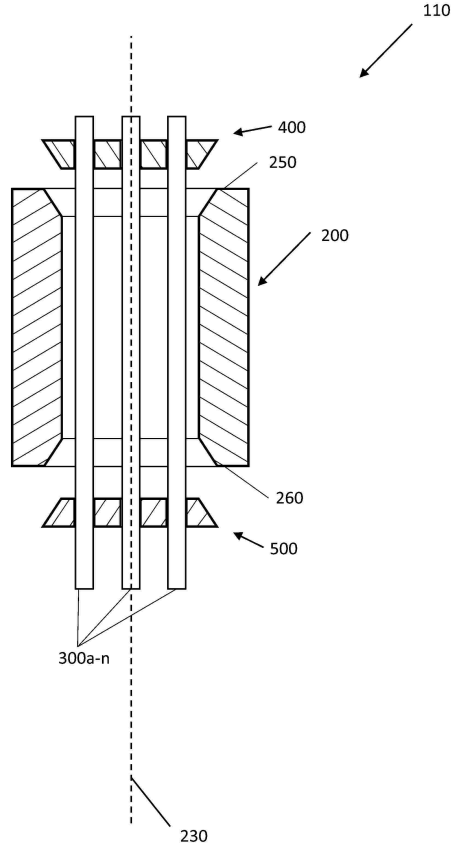
40

50

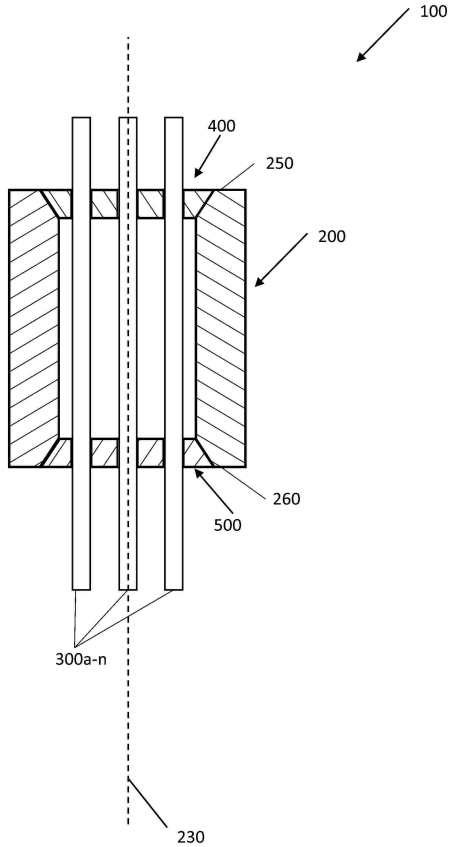
【図 2 1】



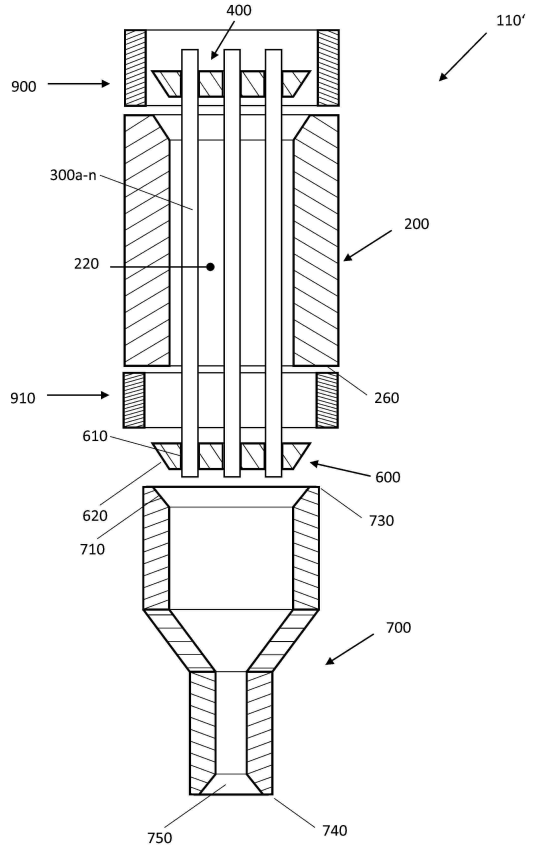
【図 2 2】



【図 2 3】



【図 2 4】



10

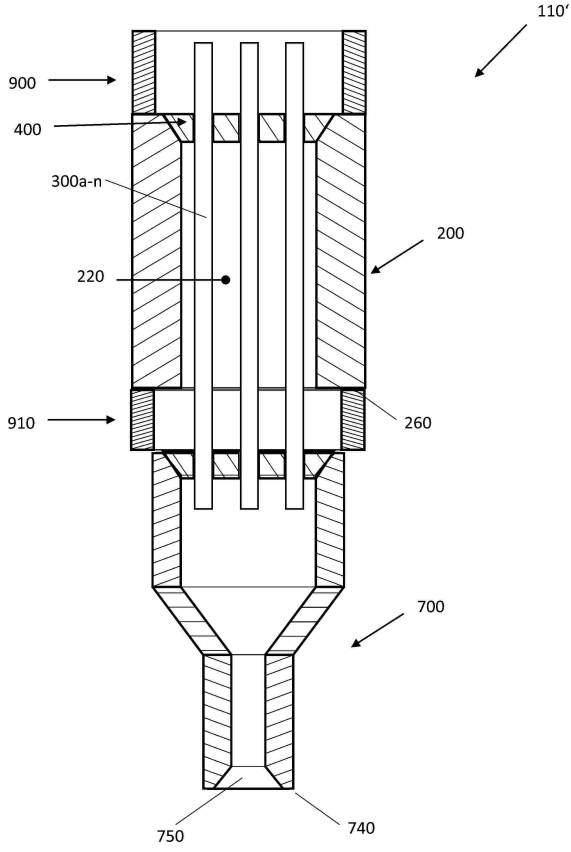
20

30

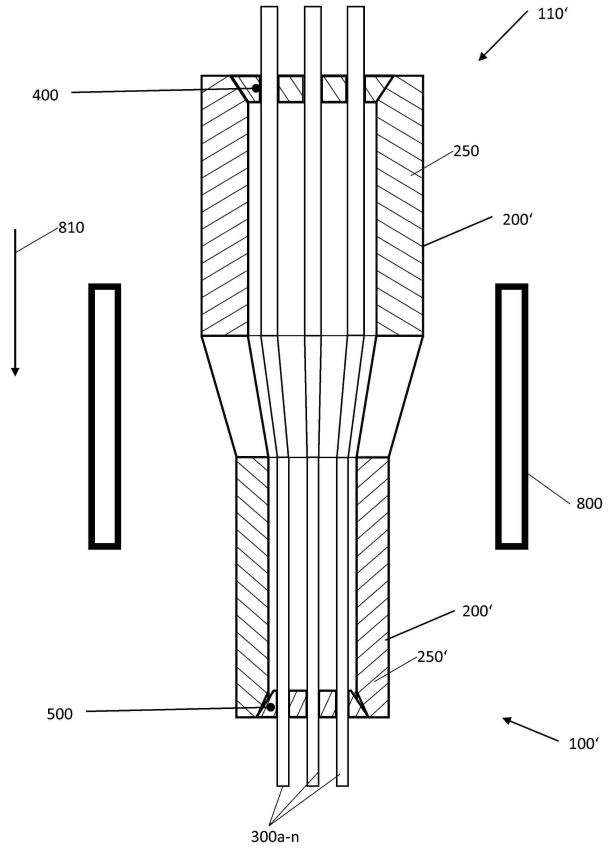
40

50

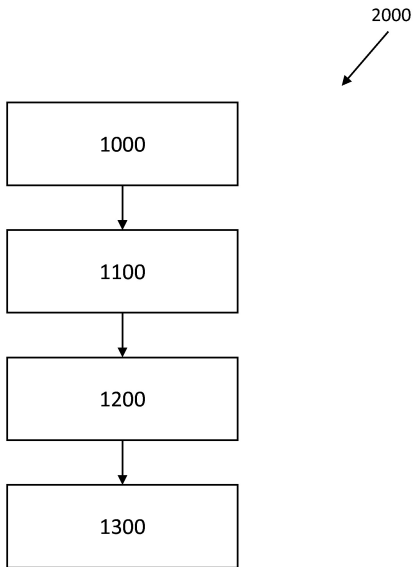
【 図 2 5 】



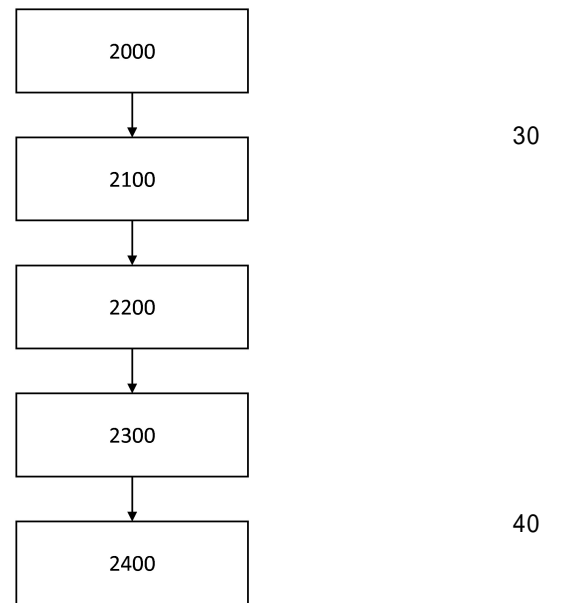
【 図 2 6 】



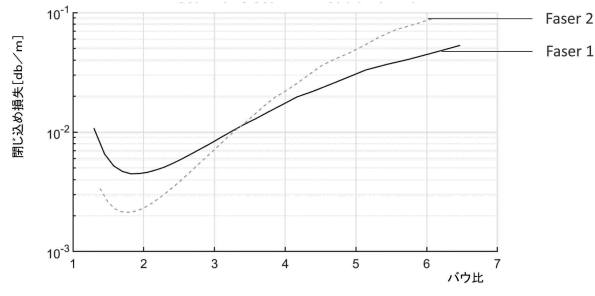
【 図 2 7 】



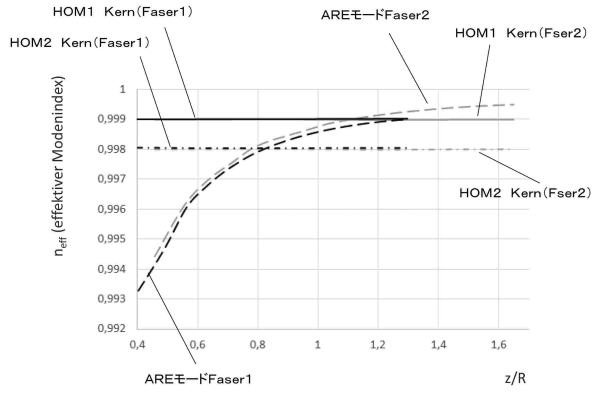
【 図 2 8 】



【 29 】



【 30 】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

- 弁理士 前川 純一
(74)代理人 100134315
弁理士 永島 秀郎
(74)代理人 100162880
弁理士 上島 類
(72)発明者 ローゼンベルガー、マヌエル
ドイツ連邦共和国 6 3 4 5 0 ハナウ, クワルツシュトラッセ 8
(72)発明者 プラス、ジャクリーヌ
ドイツ連邦共和国 6 3 4 5 0 ハナウ, クワルツシュトラッセ 8
(72)発明者 シュスター、カイ
ドイツ連邦共和国 0 6 8 0 3 ビッターフェルト - ヴォルフエン, ヘレウスシュトラッセ
(72)発明者 エーレントラウト、エンリコ
ドイツ連邦共和国 6 3 4 5 0 ハナウ, クワルツシュトラッセ 8
(72)発明者 ティース、トビアス
ドイツ連邦共和国 0 6 8 0 3 ビッターフェルト - ヴォルフエン, ヘレウスシュトラッセ, ヘレウス
クワルツグラス ビッターフェルト ゲーエムベーハー ウント コンパニー カーゲー宛
審査官 三村 潤一郎
(56)参考文献 国際公開第2020/217052(WO, A1)
国際公開第2020/030894(WO, A1)
特表2017-520804(JP, A)
(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
C03B 37/00 - 37/16
G02B 6/00 - 6/54
JSTPlus/JST7580/JSTChina(JDreamIII)