

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7642811号
(P7642811)

(45)発行日 令和7年3月10日(2025.3.10)

(24)登録日 令和7年2月28日(2025.2.28)

(51)国際特許分類 F I
C 0 3 B 37/012(2006.01) C 0 3 B 37/012 Z
G 0 2 B 6/032(2006.01) G 0 2 B 6/032 Z

請求項の数 12 (全23頁)

(21)出願番号	特願2023-529010(P2023-529010)	(73)特許権者	507332918
(86)(22)出願日	令和3年11月12日(2021.11.12)		ヘレーウス クヴァルツグラス ゲゼル
(65)公表番号	特表2024-500623(P2024-500623 A)		シャフト ミット ベシュレンクテル ハ
(43)公表日	令和6年1月10日(2024.1.10)		フツング ウント コンパニー コマンデ
(86)国際出願番号	PCT/EP2021/081455		イトゲゼルシャフト
(87)国際公開番号	WO2022/128272		Heraeus Quarzglas G
(87)国際公開日	令和4年6月23日(2022.6.23)		mbH & Co. KG
審査請求日	令和5年9月12日(2023.9.12)		ドイツ連邦共和国 63450 ハーナウ
(31)優先権主張番号	20214427.5		ヘレーウスシュトラッセ 12 - 14
(32)優先日	令和2年12月16日(2020.12.16)	(74)代理人	Heraeusstr. 12 - 14 ,
(33)優先権主張国・地域又は機関	欧州特許庁(EP)		63450 Hanau, Germany
		(74)代理人	100114890
			弁理士 アインゼル・フェリックス=ラ
		(74)代理人	インハルト
			100116403

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 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

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

反共振中空コアファイバ(600)を製造するための反共振要素プリフォーム(100、100a、100b、100c、100d、100e、100f、100g、100h)であって、軸方向上面図において、第1の円半径(250)を有する円形の第1の円要素(200)と、第1の円弧半径(350、350a、350g)を有する円弧状の第1の円弧要素(300、300a、300g)とを備え、

前記第1の円要素(200)と前記第1の円弧要素(300、300a、300g)とが、2つの接点(400、400a、400g)で互いに接続されており、且つ前記反共振要素プリフォーム(100、100a、100b、100c、100d、100e、100f、100g、100h)が、第2の円半径(260)を有する円形の第2の円要素(210)を備えることを特徴とする、

反共振要素プリフォーム(100、100a、100b、100c、100d、100e、100f、100g、100h)。

【請求項2】

前記第1の円要素(200)及び前記第1の円弧要素(300、300a、300g)は、ガラス、特に石英ガラス、又はポリマーを含み、特に、ガラス、特に石英ガラス、又はポリマーからな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(100、100a、100b、100c、100d、100e、100f、100g、100h)。

【請求項 3】

前記反共振要素プリフォーム(100、100a、100b、100c、100d、100e、100f、100g、100h)が、第2の円弧半径(360)を有する円弧状の第2の円弧要素(310)を備え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(100、100a、100b、100c、100d、100e、100f、100g、100h)。

【請求項 4】

前記第1の円半径(250)が、前記第1の円弧半径(350、350a、350g)よりも小さい値を有す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(100、100a、100b、100c、100d、100e、100f、100g、100h)。

10

【請求項 5】

前記第1の円弧要素(300、300a)が、前記第1の円要素(200)の内側に配置されてい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(100、100a、100b、100c、100d、100e、100f、100g、100h)。

【請求項 6】

前記第1の円弧要素(300g)が、前記第1の円要素(200)の外側に配置されてい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(100、100a、100b、100c、100d、100e、100f、100g、100h)。

20

【請求項 7】

請求項1又は2に記載の反共振要素プリフォーム(100、100a、100b、100c、100d、100e、100f、100g、100h)を製造する方法(700)であって、

(a) 軸方向上面図において円形である第1の円要素(200)を提供する方法ステップ(710)と、

(b) 軸方向上面図において円弧状である第1の円弧要素(300、300a、300g)を提供する方法ステップ(720)と、

(c1) 第1の円弧端及び第2の円弧端が前記第1の円要素(200)の内側に配置されるように、前記第1の円弧要素(300、300a)を前記第1の円要素(200)の内側に配置する方法ステップ(730)、又は

30

(c2) 第1の円弧端及び第2の円弧端が前記第1の円要素(200)の外側に配置されるように、前記第1の円弧要素(300g)を前記第1の円要素(200)の外側に配置する方法ステップ(740)と、

(d) 第2の接点(400、400a、400g)を形成することによって、前記第1の円弧端及び前記第2の円弧端を前記第1の円要素(200)に接続する方法ステップ(750)と、

を含む、方法。

【請求項 8】

前記方法ステップ(d)における前記接続(750)は、熱入力によって行われることを特徴とする、請求項7に記載の方法(700)。

40

【請求項 9】

被覆管(550)を備える反共振中空コアファイバ(600)を製造するためのプリフォーム(500)であって請求項1又は2に記載の少なくとも1つの反共振要素プリフォーム(100、100a、100b、100c、100d、100e、100f、100g、100h)が、前記被覆管(550)内に配置されていることを特徴とする、プリフォーム(500)。

【請求項 10】

前記少なくとも1つの反共振要素プリフォーム(100、100a、100b、100c、100d、100e、100f、100g、100h)が、前記被覆管(550)の

50

内面に接続されていることを特徴とする、請求項 9 に記載の反共振中空コアファイバ（600）を製造するためのプリフォーム（500）。

【請求項 11】

3～10個の反共振要素プリフォーム（100、100a、100b、100c、100d、100e、100f、100g、100h）が、前記被覆管（550）内に配置されていることを特徴とする、請求項 9 に記載の反共振中空コアファイバを製造するためのプリフォーム（500）。

【請求項 12】

請求項 9 に記載のプリフォーム（500）を延伸することによって製造される、反共振中空コアファイバ（600）であって、軸方向上面図において、被覆領域（550'）と、第1の円構造半径を有する円形の第1の円構造（200'）及び第1の円弧構造半径を有する円弧状の第1の円弧構造（300'）を備える、前記被覆領域（550'）内に配置された少なくとも1つの反共振要素（100'）と、を備える反共振中空コアファイバ（600）であり、

前記第1の円構造（200'）と前記第1の円弧構造（300'）とが、2つの接点（400'）で互いに接続されている

ことを特徴とする、反共振中空コアファイバ（600）。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、軸方向上面図において、第1の円半径を有する円形の第1の円要素と、第1の円弧半径を有する円弧状の第1の円弧要素とを備える、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関する。

【0002】

更に、本発明は、反共振要素プリフォームを製造する方法、少なくとも1つの反共振要素プリフォームを備える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、及び反共振中空コアファイバに関する。

【背景技術】

【0003】

固体材料の従来のシングルモード光ファイバは、ガラスのコア領域を有し、コア領域は、より低い屈折率を有するガラスの被覆領域によって囲まれる。それにより、光誘導は、コア領域と被覆領域との間の全反射に基づいている。しかしながら、誘導された光と固体材料との相互作用は、データ伝送中の増加した待ち時間、及び高エネルギー放射と比較して比較的低い損傷閾値と関連付けられる。

【0004】

コアが気体又は液体で充填される真空空洞を備える「中空コアファイバ」は、これらの欠点を回避又は低減する。中空コアファイバでは、光とガラスとの相互作用は中空コアファイバにおけるよりも小さい。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り、光は通常コアから被覆へと逃げる。光誘導の物理的メカニズムに依存して、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「反共振中空コアファイバ」とに分けられる。

【0005】

「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まれている。被覆内の中空ダクトの周期構造は、半導体技術では「フォトリックバンドギャップ」と称さ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播することができない。

【0006】

「反共振中空コアファイバ」（anti-resonant hollow-core fiber、ARHCF）と称さ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

10

20

30

40

50

振要素 (anti - resonant elements)) (又は「反共振要素 (anti - resonant element)」 ; 短縮して「ARE」) が配置されている、内側被覆領域によって囲まれる。中空コアの周りに均一に分布している反共振要素の壁は、ファブリ・ペロー空洞 (Fabry - Perot cavity)) として作用することができ、これは、反共振で動作し、入射光を反射し、それをファイバコアを通して誘導する。

【0007】

このファイバ技術は、低い光減衰、非常に広い伝送スペクトル (UV 波長範囲又は 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約束する。

【0008】

中空コアファイバの潜在的な用途は、データ伝送、例えば材料加工のための高性能ビーム誘導、モードフィルタリング、特に紫外線から赤外線波長範囲のスーパーコンティニウム生成のための非線形光学の分野である。

先行技術

【0009】

反共振中空コアファイバの1つの欠点は、高次のモードが必ずしも抑制されず、したがって、それらが多くの場合、長い伝送長さにわたって純粋にシングルモードではなく、出力ビームの品質が劣化することである。

【0010】

Francesco Poletti による論文「Nested antiresonant nodeless hollow core fiber」; Optics Express, Vol. 22, No. 20 (2014); DOI: 10.1364/OE.22.023807 では、反共振要素が、単純な単一構造要素として形成されるのではなく、入れ子式のいくつかの構造要素からなる場合のファイバ設計が提案されている。入れ子式反共振要素は、高次のコアモードが、被覆モードに位相整合されて抑制されるが、基本コアモードは抑制されないように設計されている。これにより、基本コアモードの伝播が常に保証され、中空コアファイバは、限定された波長範囲で効果的にシングルモード化することができる。

【0011】

効果的なモード抑制は、透過光の中心波長と、中空コアの半径及び反共振要素内の入れ子式リング構造の直径差など、ファイバ設計の構造パラメータとに依存する。

【0012】

欧州特許出願公開第 3 1 3 6 1 4 3 (A1) 号から、コアが基本モードに加えて更なるモードも誘導することができる場合の反共振中空コアファイバが知られている (同文献では「バンドギャップのない中空コアファイバ」と称される)。この目的のために、このコアは、より高いモードとの反共振モードの位相適合を提供する「非共振要素」を備える内側被覆によって囲まれている。中空コアファイバの製造は、いわゆる「スタックアンドドロウ (stack - and - draw)」技法に従って行われ、出力要素は、軸方向に平行な集合体を形成するように配置されており、プリフォームを形成するように固定され、続いて、プリフォームが伸長される。それによって、六角形の内側断面を備える被覆管が使用され、6つのいわゆる「AREプリフォーム」(反共振要素プリフォーム) が被覆管の内縁に固定される。このプリフォームを2段階で延伸して中空コアファイバを形成する。

【0013】

国際公開第 2 0 1 5 / 1 8 5 7 6 1 (A1) 号から、更なる管状の、いわゆる「入れ子式要素」が第1の管状「非共振要素」の内側に配置されており、それらが一体に反共振要素を形成する場合の反共振中空コアファイバが知られている。

【0014】

この組立体の製造における1つの欠点は、相対的に大きな接点であり、これは、第1の非共振要素の内側の「入れ子式」管の接続によって生じ、理想的な構造からのわずかな偏差でファイバの光誘導の効率に悪影響をすでにもたらす。更なる欠点は、管状要素のみを使用する場合、反共振要素の設計の変動範囲が小さくなる。

10

20

30

40

50

【 0 0 1 5 】

反共振中空コアファイバは、反共振要素が軸方向上面図において円要素及び円弧要素から成形されている中国特許公開第 1 1 1 4 7 4 6 2 7 (A) 号から知られている。円要素と円弧要素とは互いに接続されておらず、いずれの場合もファイバの被覆に直接接続されている。製造に関する観点から、これは、最終的に延伸されたファイバにおいて反共振要素を形成する反共振要素プリフォームの予備製造が不可能であり、全ての構造要素を被覆管に直接接続しなければならないという欠点を有する。これにより、確実に、構造要素が互いに理想的な配置から非常に偏差しやすくなるので、光誘導中の効率が損なわれる。

【 0 0 1 6 】

米国特許出願公開第 2 0 2 0 / 0 2 4 1 2 0 0 (A 1) 号から、円要素と、軸方向上面図において湾曲のない直線状に成形された構造要素とを反共振要素が備える、反共振中空コアファイバが知られている。直線状に成形されている構造要素の欠点は、反共振要素の場合、湾曲した構造要素と比較して光誘導が劣ることであり、これは、例えばファイバの光減衰などの光学特性に悪影響を及ぼす。

10

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 1 7 】

本発明の目的は、先行技術から生じる欠点のうちの 1 つ又はいくつかを少なくとも部分的に克服することである。

【 0 0 1 8 】

具体的には、本発明は、良好な光学特性、例えば低い光減衰を有する反共振中空コアファイバを容易かつ再現可能に製造することができる反共振要素プリフォームを提供するという目的に基づくものである。

20

【 0 0 1 9 】

本発明の更なる目的は、高い精度と、例えば低い光減衰などの良好な光学特性とを有する反共振要素プリフォームを再現可能に製造できる方法を提供することである。

【 0 0 2 0 】

本発明の更なる目的は、従来の製造方法の制限を回避する、反共振中空コアファイバ用のプリフォームの費用効率の良い製造方法を特定することである。

【 0 0 2 1 】

本発明の更なる目的は、従来のプリフォームの制限を回避する、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を提供することである。

30

【 0 0 2 2 】

本発明の更なる目的は、従来の中空コアファイバの制限を回避する、反共振中空コアを提供することである。

【 0 0 2 3 】

発明の好ましい実施形態

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好ましい実施形態を提供する。

40

【 0 0 2 4 】

/ 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予備形成品であって、軸方向上面図において、

第 1 の円半径を有する円形の第 1 の円要素と、第 1 の円弧半径を有する円弧状の第 1 の円弧要素とを備え、

第 1 の円要素と第 1 の円弧要素とが、2 つの接点で互いに接続されていることを特徴とする、

反共振要素プリフォーム。

【 0 0 2 5 】

/ 2 / 実施形態 1 による、第 1 の円要素及び第 1 の円弧要素が、ガラス、特に石英

50

ガラス、特に少なくとも 1.4、特に 1.4 ~ 3、特に 1.4 ~ 2.8 の屈折率を有する石英ガラス、又は、特にガラス、特に石英ガラス、特に少なくとも 1.4、特に 1.4 ~ 3、特に 1.4 ~ 2.8 の屈折率を有する石英ガラス、若しくはポリマーからなる、ポリマーを含むことを特徴とする、反共振要素プリフォーム。

【0026】

/ 3 / 実施形態 1 又は 2 による、反共振要素プリフォームが、第 2 の円半径を有する円形の第 2 の円要素を備えることを特徴とする反共振要素プリフォーム。

【0027】

/ 4 / 前述の実施形態のいずれか 1 つによる、反共振要素プリフォームが、第 2 の円弧半径を有する円弧形状の第 2 の円弧要素を備えることを特徴とする、反共振要素プリフォーム。

10

【0028】

/ 5 / 前述の実施形態のいずれか 1 つによる、第 1 の円半径の大きさが第 1 の円弧半径よりも小さいことを特徴とする、反共振要素プリフォーム。

【0029】

/ 6 / 前述の実施形態のいずれか 1 つによる、第 1 の円弧要素が、第 1 の円要素の内側に配置されていることを特徴とする、反共振要素プリフォーム。

【0030】

/ 7 / 実施形態 1 から 5 のいずれか 1 つによる、第 1 の円弧要素が第 1 の円要素の外側に配置されている、ことを特徴とする反共振要素プリフォーム。

20

【0031】

/ 8 / 実施形態 1 から 7 のいずれか 1 つに記載の反共振要素プリフォームを製造する方法であって、

(a) 軸方向上面図において円形であり、第 1 の円半径を有する第 1 の円要素を提供する方法ステップと、

(b) 軸方向上面図において円弧形状であり、第 1 の円弧半径を有する第 1 の円弧要素を提供する方法ステップと、

(c 1) 第 1 の円要素の内側に第 1 の円弧要素を配置して、第 1 の円弧端及び第 2 の円弧端が第 1 の円要素の内側に配置されるようにする方法ステップ、又は

(c 2) 第 1 の円弧要素を第 1 の円要素の外側に配置して、第 1 の円弧端及び第 2 の円弧端が第 1 の円要素の外側に配置されるようにするステップと、

30

(d) 第 2 の接点を形成することによって第 1 の円弧端及び第 2 の円弧端を第 1 の円要素に接続する方法ステップと、

を含む、方法。

【0032】

/ 9 / 方法ステップ (d) における接続は、熱入力によって行われることを特徴とする、実施形態 8 に記載の方法。

【0033】

/ 10 / 被覆管を備える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であって、実施形態 1 から 7 のいずれか 1 つに記載の少なくとも 1 つの反共振要素プリフォームが被覆管内に配置されていることを特徴とする、プリフォーム。

40

【0034】

/ 11 / 少なくとも 1 つの反共振要素プリフォームは、被覆管の内面に接続されていることを特徴とする、実施形態 10 に記載の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。

【0035】

/ 12 / 3 ~ 10 個の反共振要素プリフォームが被覆管内に配置されていることを特徴とする、実施形態 10 又は 11 に記載の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。

【0036】

50

/ 1 3 / 軸方向上面図において、被覆領域、被覆領域に配置された少なくとも1つの反共振要素、並びに、第1の円構造半径を有する円形の第1の円構造、及び第1の円弧構造半径を有する円弧状の第1の円弧構造を備える反共振中空コアファイバであって、第1の円構造と第1の円弧構造とが、2つの接点で互いに接続されていることを特徴とする、反共振中空コアファイバ。

【0037】

/ 1 4 / 実施形態10から12のいずれか1つに記載のプリフォームを延伸することによって製造される、請求項13に記載の反共振中空コアファイバ。

【0038】

一般事項

本明細書において、範囲の指定は、限界として言及される値も含む。したがって、変数Aに関する「XからYの範囲内」というタイプの指定は、Aが値X、Y、及びXとYとの間の値を取り得ることを意味する。したがって、変数Aに関する「Yまで」というタイプの片側に限定された範囲は、値としてY及びY未満を意味する。

【0039】

記載された特徴のうちのいくつかは、「本質的に」という用語に関連付けられる。「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「平行性」などの用語の数学的に正確な解釈を正確に行うことはできず、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、「本質的に垂直な軸」は、互いに85度~95度の角度を描き、「本質的に同一の体積」は、5体積%までの偏差を含む。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。例えば、「体積Bの本質的に完全な充填」は、Bの総体積の95体積%超から100体積%未満の充填を含む。

【発明を実施するための形態】

【0040】

本発明は、軸方向上面図において、第1の円半径を有する円形の第1の円要素と、第1の円弧半径を有する円弧状の第1の円弧要素とを備える、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関する。

【0041】

従来技術における上述の欠点を克服するために、本発明によれば、第1の円要素と第1の円弧要素とは、2つの接点で互いに接続されており、円弧要素は、特に、第1の円弧端と、第1の円弧端に対向する第2の円弧端とを有する円要素に接続されている。第1の円弧端及び第2の円弧端は、第1の円弧要素の角点 (corner point) として理解されるべきであり、これらの角点は、反共振要素プリフォームの軸方向上面図において視認することができ、これらの角点の間で第1の円弧要素が円弧状に延在する。

【0042】

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他の構成要素とは別個に製造することができ、これは、製造関連の観点から有利である。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、比較的安価な方法で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を通じて、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。

【0043】

更に、このタイプの反共振要素プリフォームから製造された反共振要素は、最終的な中空コアファイバにおいて光学特性が改善された構成要素であることが証明されており、これにより、光伝播損失 (すなわち、光の散乱、回折、吸収、及び包含を含む) が小さくなるので、最終的な中空コアファイバのデータ伝送容量が高くなる。

10

20

30

40

50

【 0 0 4 4 】

2つの接点で円要素に接続される円弧要素は、反共振要素プリフォームの構造パラメータの高度な制御を可能にし、したがって、光学特性が改善された反共振中空コアファイバの提供を可能にすることが明らかになっている。

【 0 0 4 5 】

例えば、このタイプの反共振中空コアファイバの改善された光学特性は、 $1.0\ \mu\text{m}$ と $2.5\ \mu\text{m}$ との間の波長で $0.15\ \text{dB/km}$ 未満、又は $0.8\ \mu\text{m}$ までの波長で $1\ \text{dB/km}$ 未満の光減衰が明らかになる。伝播信号の強度の低下を引き起こし、それによってその形状に影響を与えることのないあらゆるタイプの現象は、光減衰と称される。

【 0 0 4 6 】

ファイバ線引きプロセス中に単純な長尺成形（伸長とも呼ばれる）によって中空コアファイバ内で反共振要素に本質的になる構成要素又は構成部品は、反共振要素プリフォームと称される。

【 0 0 4 7 】

軸方向上面図において、すなわち長手方向軸に対する2次元図において、反共振要素プリフォームは、3次元図において管状構造要素に対応する第1の円要素を備える。第1の円要素は、本質的に均一な第1の円半径を有するので、本質的に円形に設計され、第1の点における半径は、更なる点における半径から、5%以下、好ましくは3%以下、より好ましくは1%以下、最も好ましくは0.5%以下偏差している。したがって、第1の円要素は本質的に均一な直径を有し、第1の点における直径は、反共振要素プリフォームの更なる点における直径から、5%以下、好ましくは3%以下、より好ましくは1%以下、最も好ましくは0.5%以下偏差している。これにより、例えば、第1の円半径は、 $2\sim 18\ \text{mm}$ の範囲内、好ましくは $3\sim 16\ \text{mm}$ の範囲内、より好ましくは $4\sim 12\ \text{mm}$ の範囲内にあり得る。第1の円要素の壁厚は、 $0.1\ \text{mm}\sim 3\ \text{mm}$ 、好ましくは $0.1\ \text{mm}\sim 2\ \text{mm}$ 、より好ましくは $0.2\sim 1.5\ \text{mm}$ の範囲内である。

【 0 0 4 8 】

軸方向上面図において、すなわち長手方向軸上の2次元図において、反共振要素プリフォームは、第1の円弧要素を備え、この第1の円弧要素は、3次元図において、長手方向軸に平行に切り取られた、管状の、本質的に円形の構造要素のセグメントに対応し、又は、言い換えれば、湾曲したディスクに対応する。第1の円弧要素は、本質的に均一な第1の円弧を有する。したがって、3次元図において、第1の円弧要素は、円弧半径に対応する半径を有する本質的に円形の管状構造要素の、長手方向軸に平行に切り取られたセグメントを表し、第1の点における半径は、更なる点における半径から、5%以下、好ましくは3%以下、より好ましくは1%以下、最も好ましくは0.5%以下偏差している。これにより、第1の円弧半径は、例えば、 $1\sim 30\ \text{mm}$ の範囲内、好ましくは $2\sim 25\ \text{mm}$ の範囲内、より好ましくは $3\sim 20\ \text{mm}$ の範囲内にあり得る。第1の円弧要素の壁厚は、 $0.1\ \text{mm}\sim 3\ \text{mm}$ 、好ましくは $0.1\ \text{mm}\sim 2\ \text{mm}$ 、より好ましくは $0.2\ \text{mm}\sim 1.5\ \text{mm}$ の範囲内である。

【 0 0 4 9 】

円半径及び円弧半径はいずれの場合も、対応する要素の外径として理解されるべきである。対応する内径は、個別の外径から個別の壁厚を引くことによって求められる。同じことが対応する直径にも当てはまる。

【 0 0 5 0 】

接点は、第1の円要素と第1の円弧要素とが、特に物質間結合によって互いに接続される位置である。一実施形態では、第1の円弧要素は、第1の円弧端と、第1の円弧端に対向する第2の円弧端とを有する第1の円要素に接続されている。第1の円要素と第1の円弧要素とは、正確に2つの接点で互いに接続されている。

【 0 0 5 1 】

接点は異なるように設計することができる。一実施形態では、第1の円要素と第1の円弧要素とは、例えば、接着剤、リベット、ねじ、又は釘などの締結手段を介して、最低

10

20

30

40

50

1つの接点で互いに接続されている。好ましい設計では、第1の円要素と第1の円弧要素とは、少なくとも1つの接点で、好ましくは両方の接点で、物質間結合によって互いに接続されている。

【0052】

構造精度が高く光学特性が改善された反共振要素プリフォームを提供するために、第1の円弧要素は、第1の円弧半径に対応する、完全な円要素の円周の10%~85%、好ましくは20%~80%、より好ましくは20%~75%、更により好ましくは20%~70%に対応する円弧要素円周を含む。これによる利点は、接点が互いに合体することなく、接点が、第1の円弧要素と第1の円弧とが互いに接続されるような互いからの距離に空間的に配置され、2つの分離した接点ではなく、1つの大きな接点が存在することである。大きな接点は、例えば、大きな接点における、例えばガラスの材料部分の局所的な増加によって、最終的なガラスファイバの光導波路特性(optical light guide property)に悪影響を及ぼすことになり、これは、反共振要素の楕円化をもたらし得る。

10

【0053】

接点において、第1の円要素及び第1の円弧要素は、いずれの場合も、10°よりも大きい、好ましくは15°よりも大きい、より好ましくは20°よりも大きい、最も好ましくは25°よりも大きい外角を描く。外角は、160°以下、好ましくは150°以下、より好ましくは130°以下である。外角は、軸方向上面図において、第1の円要素と第1の円弧要素の凸側との間の接点で描かれる角度と理解されるべきである。これにより、構造精度が高く、光学特性が改善された反共振要素プリフォームを提供することが可能になる。

20

【0054】

ある実施形態では、反共振要素プリフォーム全体は、光ファイバの動作光(work light)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)を含む又はからなる。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。フッ素基、塩素及び/又はヒドロキシ基は、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。

【0055】

反共振要素プリフォームの実施形態は、第1の円要素及び第1の円弧要素が、少なくともガラス、特にドーピングされた若しくはドーピングされていない石英ガラス、特に少なくとも1.4、特に1.4~3の屈折率を有する石英ガラス、又はポリマー、例えばポリメチルメタクリレート、環状オレフィンコポリマー、ポリカーボネート、又はフルオロポリマーを含むことを特徴とする。更なる設計では、第1の円要素及び第1の円弧要素は、ガラス、特にドーピングされた若しくはドーピングされていない石英ガラス、特に少なくとも1.4、特に1.4~3の屈折率を有する石英ガラス、又は、例えばポリメチルメタクリレート、環状オレフィンコポリマー、ポリカーボネート、又はフルオロポリマーなどのポリマーからなる。

30

【0056】

ある実施形態では、第1の円要素及び円弧要素は、同一の材料から作製される。更なる設計では、第1の円要素及び第1の円弧要素は、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、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なり、ドーピングの量は0.1重量%を超えない。

40

【0057】

同一の材料という用語は、2つの構成要素の物質特性を表す。それにより、2つの構成要素は、本質的に同じ化学物質を有する。したがって、両方の部分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つの部分の化学組成は、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によって、かつ/又は10,000重量ppm未満、特に5,000重量ppm未満のドーピング剤含有量によって異なる。

【0058】

50

ある実施形態では、反共振要素プリフォームは、第1の円要素と第1の円弧要素からなる。

【0059】

反共振要素プリフォームの実施形態は、反共振要素プリフォームが、第2の円半径を有する円形の第2の円要素を備えることを特徴とする。

【0060】

第2の円要素は、上記の第1の円要素と同じ特徴及び特性を有することができ、第2の円半径は、第1の円半径よりも大きく、小さく、又は同一に設計することができる。

【0061】

ある実施形態では、第2の円要素は第1の円要素の内側に配置されている。ある実施形態では、第1の円要素と第2の円要素とは、接点において、特に物質間結合によって互いに接続されている。更なる設計では、第1の円弧要素と第2の円要素とは、特に物質間結合によって互いに接続されている。更なる設計では、第2の円要素は、特に物質間結合によって、第1の円要素に、並びに第1の円弧要素に接続されている。

10

【0062】

更なる実施形態では、第1の円要素は第2の円要素の内側に配置されており、第1の円要素と第2の円要素とは、好ましくは、接点で、特に物質間結合によって互いに接続されている。

【0063】

更なる実施形態では、第2の円要素は、第1の円要素及び第1の円弧要素によって囲まれた空間内に配置されており、第2の円要素は、特に物質間結合によって、第1の円要素、第1の円弧要素、又は第1の円要素及び第1の円弧要素のいずれかに接続されている。

20

【0064】

反共振要素プリフォームの実施形態は、反共振要素プリフォームが、第2の円弧半径を有する円弧状の第2の円弧要素を備えることを特徴とする。

【0065】

第2の円弧要素は、上記の第1の円弧要素と同じ特徴及び特性を有することができ、第2の円弧半径は、第1の円弧半径よりも大きくても、小さくても、又は同一であってもよい。

【0066】

ある実施形態では、第2の円弧要素は第1の円要素の内側に配置されており、第1の円要素と第2の円弧要素とは、好ましくは、2つの接点で、特に物質間結合によって互いに接続されている。

30

【0067】

更なる実施形態では、第2の円弧要素は、第1の円要素及び第1の円弧要素によって囲まれた空間内に配置されており、第2の円弧要素は、特に物質間結合によって、2つの接点で第1の円要素に、2つの接点で第1の円弧要素に、又は1つの接点で第1の円要素に、かつ、1つの接点で第1の円弧要素に接続されている。

【0068】

また、反共振要素プリフォームが第1の円要素及び第1の円弧要素を構造要素として有することにより、第1の円半径及び第1の円弧半径の選択の自由度は、円要素のみを構造要素として用いて反共振要素プリフォームを形成する場合よりも大きい。

40

【0069】

ある実施形態では、第1の円半径及び第1の円弧半径は、本質的に同じ値を有する。円要素のみを使用して反共振要素プリフォームを形成する場合、対応する構造部にアクセスすることができない。

【0070】

更なる設計では、第1の円半径は、第1の円弧半径であるより大きい値を有する。

【0071】

反共振要素プリフォームの実施形態が、第1の円半径が第1の円弧半径よりも小さい

50

値を有することを特徴とする。円要素のみを使用して反共振要素プリフォームを形成する場合、対応する構造部にアクセスすることができない。

【0072】

第1の円要素と第1の円弧要素とは、両者が最低2つ、好ましくはちょうど2つの接点で、特に物質間結合によって互いに接続される限り、互いに異なるように配置され得る。

【0073】

反共振要素プリフォームの実施形態は、第1の円弧要素が第1の円要素の内側に配置されていることを特徴とする。これは、第1の円弧要素が、2つの接点において第1の円要素の内側に、特に物質間結合によって接続されていることを意味する。したがって、第1の円弧要素は、第1の円要素の内側に配置されている。これにより、光学特性が改善された円形の、又は3次元図では管状の反共振要素プリフォームを提供することが可能になり、したがって、反共振要素プリフォームを容易に取り扱うことができる。このような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に、プリフォームの更なる構成要素に容易かつ高い構造精度で接続され得る。

10

【0074】

反共振要素プリフォームの実施形態は、第1の円弧要素が第1の円要素の外側に配置されていることを特徴とする。これは、第1の円弧要素が、2つの接点で第1の円要素の外側に、特に物質間結合によって接続されていることを意味する。したがって、第1の円弧要素は、第1の円要素の外側に配置されている。これにより、軸方向上面図において8の輪郭を有する反共振要素プリフォーム、又は第1の円要素及び第1の円弧要素の個別の半径に応じて、不規則な8の輪郭を有する反共振要素プリフォームの製造が可能になる。

20

【0075】

更に、本発明は、上記した反共振要素プリフォームを製造する方法に関する。

【0076】

反共振要素プリフォームの所望の設計に応じて、本方法は、異なるやり方で行うことができる。

【0077】

上記の設計のいずれか1つによる反共振要素プリフォームを製造する方法の第1の実施形態は、少なくとも、

(a) 軸方向上面図において円形であり、第1の円半径を有する第1の円要素を提供する方法ステップと、

30

(b) 第1の円弧半径を有する、軸方向上面図において円弧状である第1の円弧要素を提供する方法ステップと、

(c1) 第1の円弧要素(300)を第1の円要素(200)の内側に配置して、第1の円弧端(305)及び第2の円弧端(306)を第1の円要素(200)の内側(205)に配置するようにする方法ステップと、

(d) 第2の接点を形成することによって、第1の円弧端と第2の円弧端とを接続する、特に物質間結合によって接続するステップと、

を含む。

【0078】

40

反共振要素プリフォームの製造方法の第1の実施形態は、上記の反共振要素プリフォームを製造するのに役立つものであり、この場合、第1の円弧要素が第1の円要素の内側に配置されている。本方法の第1の実施形態は、本質的に円形の反共振要素プリフォームを製造するのに役立つことができる。

【0079】

上記の設計のいずれか1つによる反共振要素プリフォームを製造する方法の第2の実施形態は、少なくとも、

(a) 軸方向上面図において円形であり、第1の円半径を有する第1の円要素を提供する方法ステップと、

(b) 第1の円弧半径を有する、軸方向上面図において円弧状である第1の円弧要素

50

を提供する方法ステップと、

(c2) 第1の円弧要素を第1の円要素の外側に配置して、第1の円弧端及び第2の円弧端が第1の円要素の外側に配置されるようにする方法ステップと、

(d) 第2の接点を形成することによって、前記第1の円弧端と前記第2の円弧端を、特に物質間結合によって、接続する方法ステップと、
を含む。

【0080】

反共振要素プリフォームの製造方法の第2の実施形態は、上記の反共振要素プリフォームを製造するのに役立つものであり、この場合、第1の円弧要素が第1の円要素の外側に配置されている。本方法の第2の実施形態は、軸方向上面図において、8の形状の輪郭を有する反共振要素、又は第1の円要素及び第1の円弧要素の対応する半径に応じて、不規則な8の形状の輪郭を有する反共振要素を製造するのに役立つことができる。

10

【0081】

方法ステップ(d)における接続は、本方法の全ての実施形態において異なるやり方で、例えば、接着、ねじ留め、リベット留め、溶接、釘留め、又はジャミングによって行うことができる。

【0082】

上記した反共振要素プリフォームを製造する方法の実施形態は、方法ステップ(d)における接続が熱入力によって行われることを特徴とする。

【0083】

熱入力は、特に、接点における第1の円要素と第1の円弧要素との物質間結合に役立つ。熱入力は、2つの要素の材料間の物質間結合が可能であるように行われなければならない。これは、要素の表面が少なくとも接点において、少なくとも部分的に固体状態から液体、特に粘性状態に変化するような方法で達成することができる。

20

【0084】

熱入力は、例えば以下の異なるやり方で実現することができる。

- 火炎ベースのプロセス：発熱反応ガスの酸化に基づく。一例は、発熱反応燃焼ガスとしての水素(「H₂」とも称される)の使用である(火炎加水分解)。それは空気中の酸素(「O₂」とも称される)と反応する、又は

- 火炎のないプロセス：加熱し、直火を必要としない他のシステムを使用する。

30

一例は、電気エネルギーを熱エネルギー(熱)に変換することができる抵抗器の使用である。

【0085】

更に、本発明は、被覆管を備える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であって、少なくとも1つの上記の反共振要素プリフォームが被覆管内に配置されていることを特徴とする、プリフォームに関する。

【0086】

プリフォームは、反共振中空コアファイバを線引きすることができる構成要素である。代替では、プリフォームを二次プリフォームに更に加工することができ、そこから反共振中空コアファイバが線引きされる。この更なる加工は、例えば、伸長、圧潰、又は付加的被覆材料の追加などの熱間成形プロセスの1回の実施又は繰り返し実施を含むことができる。

40

【0087】

被覆管は、石英ガラスで本質的に作製された管状要素であり、その中に上記の反共振要素プリフォームの少なくとも1つが配置される。最終的なプリフォームを延伸して最終的なファイバにすると、被覆管は反共振中空コアファイバの中空コアを取り囲む。ある実施形態では、被覆管の内径は、10~60mmの範囲内である。実施形態では、被覆管の外径は、25~250mm、好ましくは30~200mmの範囲内である。実施形態では、被覆管の長さは、500~1200mmの範囲内である。

【0088】

50

少なくとも1つの反共振要素プリフォームは、被覆管の内側に異なるやり方で配置され得る。

【0089】

プリフォームの実施形態は、少なくとも1つの反共振要素プリフォームが、特に物質間接合によって、被覆管の内面に接続されていることを特徴とする。ある実施形態では、反共振要素プリフォームは、第1の円要素を介して被覆管に接続されている。更なる設計では、反共振要素プリフォームは、第1の円弧要素を介して被覆管に接続されており、これらの反共振要素の場合、これにより、第1の円弧要素は、第1の円要素の外側に配置されている。

【0090】

プリフォームを構築するために、異なる数の反共振要素を被覆管の内側に配置することができる。

【0091】

プリフォームの実施形態は、3～10個、好ましくは3～8個、より好ましくは4～6個の反共振要素プリフォームが被覆管内に配置されていることを特徴とする。

【0092】

ある実施形態では、上記の反共振要素プリフォームの特性及び特徴を有する反共振要素プリフォームのみが、被覆管の内側に配置されている。更なる設計では、被覆管の内側に配置されている少なくとも1つの反共振要素プリフォームは、上記の反共振要素プリフォーム以外の特徴及び特性を有している。

【0093】

更に、本発明は、軸方向上面図において、被覆領域と、第1の円構造半径を有する円形の第1の円構造及び第1の円弧構造半径を有する円弧状の第1の円弧構造を備える、被覆領域に配置された少なくとも1つの反共振要素と、を備える反共振中空コアファイバであって、第1の円構造と第1の円弧構造とが、2つの接点で互いに接続されていることを特徴とする、反共振中空コアファイバに関する。

【0094】

反共振中空コアファイバは、上記のプリフォームから、特に伸長によって製造することができ、反共振中空コアファイバの被覆領域の少なくとも一部は、プリフォームの被覆管から形成され、反共振中空コアファイバの少なくとも1つの反共振要素は、プリフォームの少なくとも1つの反共振要素プリフォームから形成される。したがって、第1の円構造は第1の円要素から構築され、第1の円弧構造は第1の円弧要素から構築される。それぞれの接点は維持される。

【0095】

プリフォームは、伸長中に延伸される。伸長は、例えば、プリフォームの構成要素又は構成部品、特に第1の円要素及び第1の円弧要素の形状及び配置が、伸長された最終製品に反映されるように、縮尺通りに行われることが好ましい。

【0096】

ある反共振中空コアファイバの実施形態では、被覆領域は伸長された被覆管に対応する。更なる設計では、被覆領域は、被覆管及びオーバーレイ管に対応し、オーバーレイ管は、伸長前又は伸長中に被覆管に追加される。「追加」とは、被覆管とオーバーレイ管とを、特に物質間結合によって接続することと理解されるべきであり、これは、特に熱入力によって、好ましくは被覆管とオーバーレイ管との間に加えられる負圧を使用することによって行われる。

【0097】

プリフォームから反共振中空コアファイバを伸長して生成するために、プリフォームは、炉を通して垂直に誘導され得る。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それによって、線引き温度まで温められ、線引きされたファイバは、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。

【0098】

10

20

30

40

50

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、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、方法に関しても開示され、その逆も同様である。

【図面の簡単な説明】

【0099】

以下、図面を参照して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。

【0100】

【図1】第1の円要素及び第1の円弧要素を備える反共振要素プリフォームの軸方向上面図である。 10

【図2】反共振要素プリフォームの更なる実施形態を示す。

【図3】反共振要素プリフォームの更なる実施形態を示す。

【図4】反共振要素プリフォームの更なる実施形態を示す。

【図5】反共振要素プリフォームの更なる実施形態を示す。

【図6】反共振要素プリフォームの更なる実施形態を示す。

【図7】反共振要素プリフォームの更なる実施形態を示す。

【図8】反共振要素プリフォームの更なる実施形態を示す。

【図9】反共振要素プリフォームの更なる実施形態を示す。

【図10】反共振中空コアファイバのプリフォームの軸方向上面図である。 20

【図11】反共振中空コアファイバの軸方向上面図を示す。

【図12】反共振要素プリフォームを製造する方法を示す。

【0101】

図面の説明

図1は、軸方向上面図における反共振要素プリフォーム100を示す。反共振要素プリフォーム100は、第1の円半径250を有する円形の第1の円要素200を備える。第1の円弧半径350を有する第1の円弧要素300が、第1の円要素200の内側に配置されている。反共振要素プリフォーム100の図示された実施形態では、第1の円半径250及び第1の円弧半径350は同じ値を有する。第1の円要素200と第1の円弧要素300とは、2つの接点400で、特に物質間結合によって互いに接続されている。接点400において、第1の円弧要素300の凸側及び第1の円弧の内側はいずれの場合も、外角150を描き、これらは、図示された実施形態では反共振要素プリフォーム100が対称な設定であることに起因して同じ値を有する。図示されていない更なる実施形態では、2つの外角150は同一ではない。図示された実施形態では、第1の円要素200及び第1の円弧要素300は、同一の材料、特にドーブされた又はドーブされていない石英ガラスから形成される。 30

【0102】

図2は、反共振要素プリフォーム100aの更なる実施形態を示す。図2による実施形態は、上記で説明している、図1に示した実施形態に大部分は対応しており、したがって、繰り返しを避けるために上記の説明を参照されたい。図1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に示した構造と比較した構造の変更は、追加の文字aを伴う同じ参照番号を有する。 40

【0103】

図示された実施形態では、第1の円半径250は、第1の円弧半径350aよりも大きい値を有し、それによって、外角150aは、図1による外角150よりも大きい。図1と比較するとより小さい第1の円弧半径350aのため、接点400aはまた、図1の接点400と比較して互いに近くに位置する。

【0104】

図3は、反共振要素プリフォーム100bの更なる実施形態を示す。図3による実施形態は、上記で説明され、上記の図に示した実施形態に大部分は対応しており、したがっ 50

て、繰り返しを避けるために上記の説明を参照されたい。上記の図の説明から繰り返される構造は、同じ参照番号を有する。上記の図面に示した構造と比較した構造の変更は、追加の文字 b を伴う同じ参照番号を有する。図 2 の実施形態 100 a と比較して、反共振要素プリフォーム 100 b の更なる実施形態は、第 2 の円弧半径 360 を有する円弧状の第 2 の円弧要素 310 を有する。第 1 の円弧要素 300 a と同様に、第 2 の円弧要素 310 は、第 1 の円要素 200 の内側に配置されており、2 つの接点 330 で第 1 の円要素 200 に接続されている。図示された実施形態では、第 1 の円弧半径 350 a 及び第 2 の円弧半径 360 は同じ値を有する。図示されていない更なる実施形態では、第 1 の円弧半径 350 a 及び第 2 の円弧半径 360 は、異なる値を有し得る。図示された実施形態では、第 1 の円弧要素 300 a 及び第 2 の円弧要素 360 は、第 1 の円要素 200 の対向する内側に配置されており、その結果、第 1 の円弧要素 300 a と第 2 の円弧要素 310 の対応する凸側とが互いに面している。図示されていない更なる実施形態では、第 1 の円弧要素 300 a 及び第 2 の円弧要素 310 は、第 1 の円要素 200 の内側に互いに空間的により近接して配置される。

10

【0105】

図 4 は、反共振要素プリフォーム 100 c の更なる実施形態を示す。図 4 による実施形態は、上記に説明し、上記の図に示した実施形態に大部分は対応しており、したがって、繰り返しを避けるために上記の説明を参照されたい。上記の図の説明から繰り返される構造は、同じ参照番号を有する。上記の図に示した構造と比較した構造の変更は、追加の文字 c を伴う同じ参照番号を有する。

20

【0106】

図示された実施形態では、第 2 の円弧要素 310 c は、第 1 の円弧要素 200 の内側で第 1 の円弧要素 300 と同じ側に配置されており、第 1 の円弧半径 350 及び第 2 の円弧要素 360 c は同じ値を有する。第 1 の円弧要素 350 及び第 2 の円弧要素 310 c は、第 2 の円弧要素 310 c の凸側が第 1 の円弧要素 300 の凹側に面するように互いに配置される。図示されていない更なる実施形態では、第 1 の円弧要素 350 及び第 2 の円弧要素 310 c は、第 2 の円弧要素 310 c の凹面側が第 1 の円弧要素 350 の凹面側に面するように互いに配置される。

【0107】

図 5 は、反共振要素プリフォーム 100 d の更なる実施形態を示す。図 5 による実施形態は、上記で説明し、上記の図に示した実施形態に大部分は対応しており、したがって、繰り返しを避けるために上記の説明を参照されたい。上記の図の説明から繰り返される構造は、同じ参照番号を有する。上記の図に示した構造と比較した構造の変更は、追加の文字 d を伴う同じ参照番号を有する。

30

【0108】

反共振要素プリフォーム 100 d の図示された実施形態では、第 2 の円弧要素 310 d は、図 4 に示すように、第 1 の円弧要素 200 の内側で第 1 の円弧要素 300 と同じ側に配置されており、第 1 の円弧半径 350 は、第 2 の円弧半径 360 d よりも小さい値を有する。第 1 の円弧要素 300 及び第 2 の円弧要素 360 は、第 1 の円弧要素 400 の同じ点に配置されており、第 1 の円弧要素 400 の接点 400 と第 2 の円弧要素 330 の接点 330 d とが第 1 の円弧 200 と一致する。第 1 の円弧要素 350 及び第 2 の円弧要素 310 d は、第 2 の円弧要素 310 d の凸側が第 1 の円弧要素 300 の凹側に面するように互いに配置される。図示されていない更なる実施形態では、第 1 の円弧要素 350 及び第 2 の円弧要素 310 d は、第 2 の円弧要素 310 d の凹側が第 1 の円弧要素 350 の凹側に面するように互いに配置される。

40

【0109】

図 6 は、反共振要素プリフォーム 100 e の更なる実施形態を示す。図 6 による実施形態は、上記で説明し、上記の図に示した実施形態に大部分は対応しており、したがって、繰り返しを避けるために上記の説明を参照されたい。上記の図の説明から繰り返される構造は、同じ参照番号を有する。上記の図に示した構造と比較した構造の変更は、追加の

50

文字 e を伴う同じ参照番号を有する。

【 0 1 1 0 】

反共振要素プリフォーム 1 0 0 e の図示された実施形態は、第 2 の円半径 2 6 0 を有する第 2 の円要素 2 1 0 を有する。第 2 の円要素 2 1 0 は、第 1 の円要素 2 0 0 の内側と第 1 の円弧要素 3 0 0 の凹側とにより形成される空間内に配置されている。これにより、第 2 の円要素 2 1 0 が、第 1 の円要素 2 0 0 に接続される。図示されていない更なる実施形態では、第 2 の円要素 2 1 0 は、第 1 の円弧要素 3 0 0 に、又は第 1 の円要素 2 0 0 及び第 1 の円弧要素 3 0 0 に接続されている。図示されていない更なる実施形態では、第 2 の円要素 2 1 0 は、第 1 の円要素 2 0 0 の内側と第 1 の円弧要素 3 0 0 の凸側とによって形成される空間内に配置されており、第 2 の円要素 2 1 0 は、第 1 の円弧要素 3 0 0 及び / 又は第 1 の円要素 2 0 0 に接続されている。

10

【 0 1 1 1 】

図 7 は、反共振要素プリフォーム 1 0 0 f の更なる実施形態を示す。図 7 による実施形態は、上記で説明し、上記の図に示した実施形態に大部分は対応しており、したがって、繰り返しを避けるために上記の説明を参照されたい。上記の図の説明から繰り返される構造は、同じ参照番号を有する。上記の図に示した構造と比較した構造の変更は、追加の文字 f を伴う同じ参照番号を有する。

【 0 1 1 2 】

図示された実施形態では、第 2 の円要素 2 1 0 は、第 2 の円弧要素 2 1 0 d の凹側と第 1 の円要素 2 0 0 の内側とによって形成される空間内に配置されている。これにより、第 2 の円要素 2 1 0 が、第 1 の円要素 2 0 0 に接続される。図示されていない更なる実施形態では、第 2 の円要素 2 1 0 は、第 2 の円弧要素 2 1 0 に、又は第 1 の円要素 2 0 0 及び第 2 の円弧要素 3 1 0 d に接続されている。図示されていない更なる実施形態では、第 2 の円要素 2 1 0 は、第 1 の円弧要素 3 0 0 の凸側と第 1 の円要素 2 0 0 の内側とによって形成される空間内に配置されている。更なる実施形態では、第 2 の円要素 2 1 0 は、第 1 の円弧要素 3 0 0 及び第 2 の円弧要素 3 1 0 d によって形成される空間内に配置されており、第 2 の円要素 2 1 0 は、第 1 の円弧要素 3 0 0 、第 2 の円弧要素 3 1 0 d 、又は第 1 の円弧要素 3 0 0 及び第 2 の円弧要素 3 1 0 d のいずれかに接続されている。

20

【 0 1 1 3 】

図 8 は、反共振要素プリフォーム 1 0 0 g の更なる実施形態を示す。図 8 による実施形態は、上記で説明し、上記の図に示した実施形態に大部分は対応しており、したがって、繰り返しを避けるために上記の説明を参照されたい。上記の図の説明から繰り返される構造は、同じ参照番号を有する。上記の図に示した構造と比較した構造の変更は、追加の文字 g を伴う同じ参照番号を有する。

30

【 0 1 1 4 】

第 1 の円弧要素 3 0 0 g は、第 1 の円要素 2 0 0 の外側に配置されており、2 つの接点 4 0 0 g で第 1 の円要素に接続されており、第 1 の円要素 2 0 0 及び第 1 の円弧要素 3 0 0 g は各々、2 つの接点 4 0 0 に外角 1 5 0 g を有している。反共振要素プリフォーム 1 0 0 g は、8 の輪郭に本質的に対応する輪郭を有する。図示された実施形態では、第 1 の円弧半径 3 5 0 g は、第 1 の円半径 2 5 0 よりも大きい値を有する。図示されていない更なる実施形態では、第 1 の円弧半径 3 5 0 g は、第 1 の円半径 2 5 0 と同じ又はそれより小さい値を有する。

40

【 0 1 1 5 】

図 9 は、反共振要素プリフォーム 1 0 0 h の更なる実施形態を示す。図 9 による実施形態は、上記で説明され、上記の図に示した実施形態に大部分は対応しており、したがって、繰り返しを避けるために上記の説明を参照されたい。上記の図の説明から繰り返される構造は、同じ参照番号を有する。上記の図に示した構造と比較した構造の変更は、追加の文字 h を伴う同じ参照番号を有する。

【 0 1 1 6 】

図示された実施形態は、第 1 の円要素 2 0 0 の外側に配置された第 1 の円弧要素 3 0

50

0 g と、第 1 の円要素 2 0 0 の内側に配置されており、第 2 の円要素半径 2 6 0 h を有する第 2 の円要素 2 1 0 h とを有し、第 2 の円要素 2 1 0 h と第 1 の円弧要素 3 0 0 g とは、第 1 の円要素 2 0 0 の対向する側に配置されている。図示されていない更なる実施形態では、第 1 の円弧要素 3 0 0 g 及び第 2 の円要素 2 1 0 h は、第 1 の円要素 2 0 0 の同じ側に配置される。図示されていない更なる実施形態では、第 2 の円要素 2 1 0 h は、第 1 の円弧要素 3 0 0 g の凹側及び第 1 の円要素 2 0 0 によって形成される空間内に配置されており、第 2 の円要素 2 1 0 g は、第 1 の円要素 2 0 0 及び / 又は第 1 の円弧要素 3 0 0 g に接続され得る。

【 0 1 1 7 】

図 1 0 は、被覆管 5 5 0 と、被覆管 5 5 0 の内側に配置された図 1 による 4 つの反共振要素プリフォーム 1 0 0 とを備えるプリフォーム 5 0 0 を示す。図示されていない更なる実施形態では、プリフォーム 5 0 0 は、異なる数、例えば 2 ~ 1 0 個の反共振要素プリフォーム 1 0 0、及び / 又は本発明による、例えば図 2 ~ 図 9 の 1 つによる異なる形状の反共振要素プリフォーム、反共振要素プリフォームを備え、あるいはプリフォーム 5 0 0 は、例えば図 1 ~ 図 9 による反共振要素プリフォームの本発明による 2 つ以上の異なる実施形態を含む。

【 0 1 1 8 】

図示された例では、4 個の反共振要素プリフォーム 1 0 0 が被覆管 5 5 0 の内側に接続されている。被覆チューブ 5 0 0 の内側の反共振要素 1 0 0 の分布は対称であり、その結果、プリフォーム 5 0 0 を伸長することによって、プリフォーム 5 0 0 から対称な反共振中空コアファイバを製造することができ、これにより光学特性が改善される。4 個の反共振要素プリフォーム 1 0 0 は、それぞれの第 1 の円弧要素 3 0 0 の凸側がプリフォーム 5 0 0 の中心 5 1 0 の方向に整列するように被覆管 5 5 0 に配置されている。図示されていない更なる実施形態では、第 1 の円弧要素 3 0 0 の凹側を中心 5 1 0 の方向に整列させることができ、又はいくつかの円弧要素 3 0 0 を中心 5 1 0 の方向にそれぞれの凸側と整列させ、いくつかの第 1 の円弧要素 3 0 0 をそれぞれの凹側と整列させることができる。円弧要素 3 0 0 の配置は、中心 5 1 0 に対して対称に設計されることが好ましい。

【 0 1 1 9 】

図 1 1 は、例えば、被覆領域 5 5 0 ' と被覆領域 5 5 0 ' 内に配置された 4 つの反共振要素 1 0 0 ' とを備える、図 1 0 によるプリフォーム 5 0 0 を伸長することによって製造することができる反共振中空コアファイバ 6 0 0 を示す。図示されていない更なる実施形態では、反共振中空コアファイバ 6 0 0 は、異なる数、例えば 2 ~ 1 0 個の反共振要素 1 0 0 ' を備える。反共振要素 1 0 0 ' は、円形の第 1 の円構造 2 0 0 ' と、円弧状の第 1 の円弧構造 3 0 0 ' とを有する。第 1 の円弧構造 3 0 0 ' は、各々 2 つの接点 4 0 0 ' でそれぞれの第 1 の円構造 2 0 0 ' と互いに接続されている。図示された実施形態では、反共振中空コアファイバ 6 0 0 は、図 1 0 によるプリフォーム 5 0 0 を伸長することによって得ることができる構造を有する。図示されていない更なる実施形態では、反共振中空コアファイバは、異なる形状の反共振要素 1 0 0 ' を有し、これは、本発明による、例えば図 2 ~ 図 9 による異なる反共振要素プリフォームを用いて伸長することによって得ることができる。4 個の反共振要素 1 0 0 ' は、それぞれの第 1 の円弧構造 3 0 0 ' の凸側が反共振中空コアファイバ 6 0 0 の中空コアファイバ中心 6 1 0 の方向に整列するように、被覆領域 5 5 0 ' に配置されている。図示されていない更なる実施形態では、第 1 の円弧構造 3 0 0 ' の凹側は、中空コアファイバ中心 6 1 0 の方向に整列させることができ、又はいくつかの円弧構造 3 0 0 ' を、それぞれの凸側と中空コアファイバ中心 6 1 0 の方向に整列させ、いくつかの第 1 の円弧構造 3 0 0 ' をそれぞれの凹側と整列させることができる。円弧構造 3 0 0 ' の配置は、中空コアファイバ中心 6 1 0 に対して対称に設計されることが好ましい。

【 0 1 2 0 】

図 1 2 は、反共振要素プリフォーム 1 0 0 を製造する方法 7 0 0 を示す。第 1 の実施形態では、方法 7 0 0 は、方法ステップ 7 1 0、7 2 0、7 3 0、及び 7 4 0 を含む。第 2 の実施形態では、方法 7 0 0 は、方法ステップ 7 1 0、7 2 0、7 4 0、及び 7 5 0 を

10

20

30

40

50

含む。

【0121】

方法ステップ710は、軸方向上面図において円形である第1の円要素200の提供を含み、方法ステップ720は、軸方向上面図において円弧状である第1の円弧要素300、300a、300gの提供を含む。

【0122】

第1の円要素200及び第1の円弧要素300、300a、300gは、互いに異なるように配置され得る。

【0123】

方法700の第1の実施形態では、第1の円弧要素300、300a及び第1の円要素200は、方法ステップ730において、第1の円弧要素300、300aが、第1の円弧端と、第1の円弧端に対向する第2の円弧端とを有する第1の円要素200の内側に配置されるように、互いに配置される。したがって、第1の円弧要素300、300aは、第1の円要素200の内側に配置される。

10

【0124】

方法700の第2の実施形態では、第1の円弧要素300g及び第1の円要素200は、方法ステップ740において、第1の円弧要素が第1の円弧端及び第2の円弧端を有する第1の円要素200の外側に配置されるように、互いに配置される。このように、第1の円弧要素300gは、第1の円要素200の外側に配置されている。

【0125】

方法ステップ750において、第1の円弧端及び第2の円弧端、したがって第1の円弧要素300、300a、300gは、第1の円要素200に接続される。方法ステップ750における接続は、異なるやり方で、例えば接着、クランプ、又は例えばねじ、リベット、若しくは釘などの締結手段によって実現することができる。好ましい実施形態では、方法ステップ750における接続は、熱入力によって行われる。

20

【0126】

熱入力は、特に、第1の円要素200と第1の円弧要素300、300a、300gとを、これら2つの要素の接点400、400a、400gにおける物質間結合を介して接続するのに役立つ。熱入力は、2つの要素の材料間の物質間結合が可能であるように行われる。これは、要素の表面が、少なくとも接点400、400a、400gにおいて、少なくとも部分的に固体状態から液体、特に粘性状態に変化するように達成することができる。

30

【0127】

熱入力は、例えば以下の異なるやり方で実現することができる。

- 火炎ベースのプロセス：発熱反応ガスの酸化に基づく。一例は、燃焼ガスとしての水素（「H₂」とも称される）の使用である（火炎加水分解）。それにより、水素は、空気中の酸素（「O₂」とも称される）と反応する、又は

- 火炎のないプロセス：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）に変換することができる抵抗器の使用である。

40

【符号の説明】

【0128】

100、100a、100b、100c、100d 反共振要素プリフォーム

100e、100f、100g、100h

100' 反共振要素

150、150a、150g 外角

200 第1の円要素

200' 第1の円構造

210、210h 第2の円要素

250 第1の円半径

50

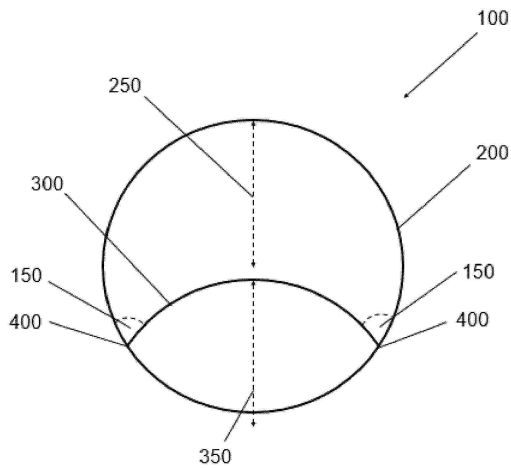
- 260、260h 第2の円要素半径
- 300、300a、300g 第1の円弧要素
- 300' 第1の円弧構造
- 310、310c、310d 第2の円弧要素
- 330、330c、330d 第1の円要素と第2の円弧要素との接点
- 350、350a、350g 第1の円弧半径
- 360、360c、360d 第2の円弧半径
- 400、400a、400g 第1の円要素と第1の円弧要素との接点
- 400' 第1の円構造と第1の円弧構造との接点
- 500 プリフォーム
- 510 プリフォームの中心
- 550 被覆管
- 550' 被覆領域
- 600 反共振中空コアファイバ
- 610 反共振中空コアファイバの中心
- 700 方法
- 710 第1の円要素を提供する
- 720 第1の円弧要素を提供する
- 730 第1の円弧要素を第1の円要素の内側に配置する
- 740 第1の円弧要素を第1の円要素の内側に配置する
- 750 接続する

10

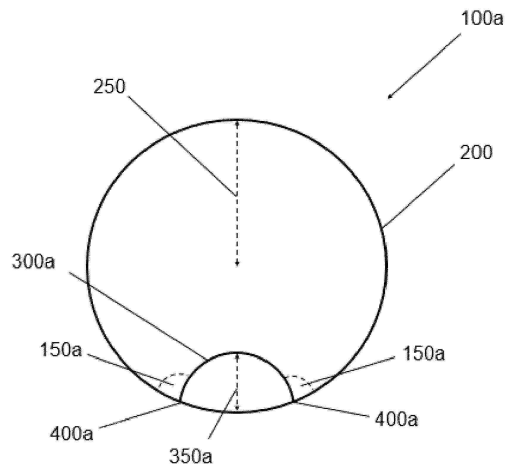
20

【図面】

【図1】



【図2】

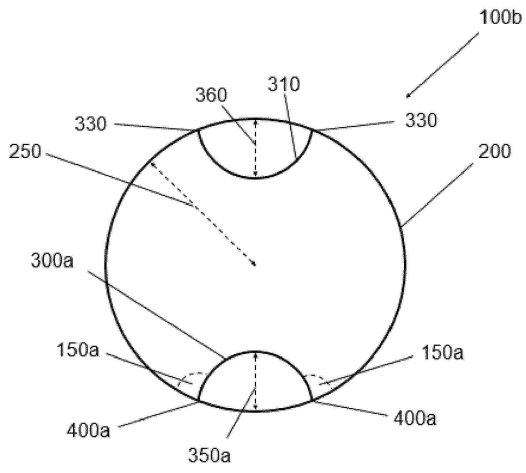


30

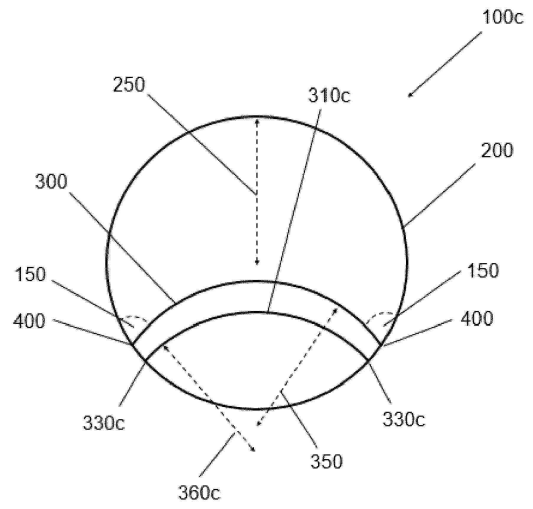
40

50

【 図 3 】

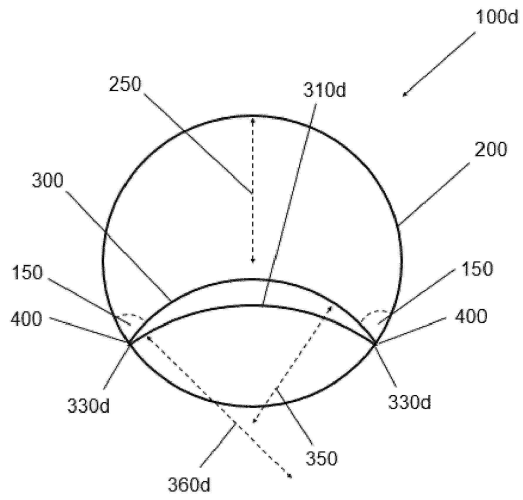


【 図 4 】

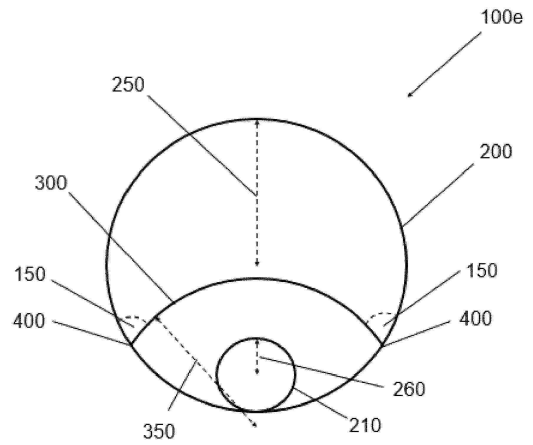


10

【 図 5 】



【 図 6 】



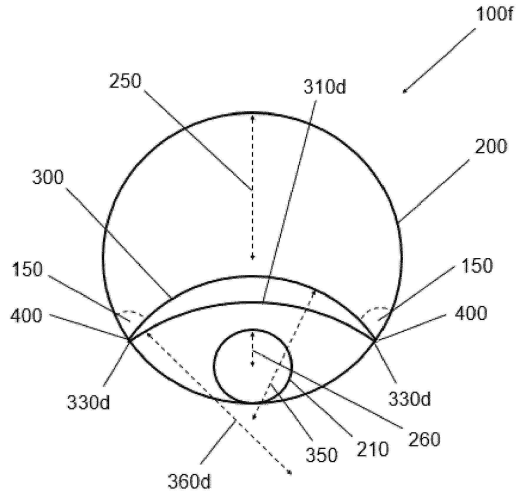
20

30

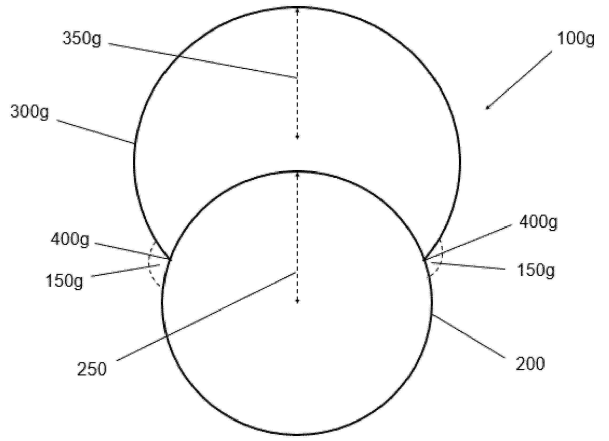
40

50

【 図 7 】

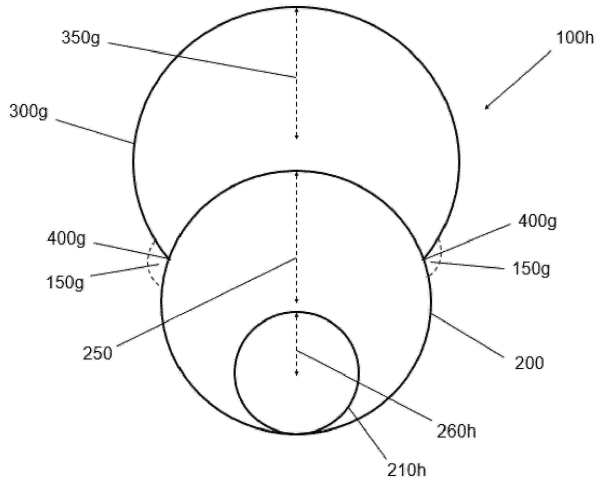


【 図 8 】

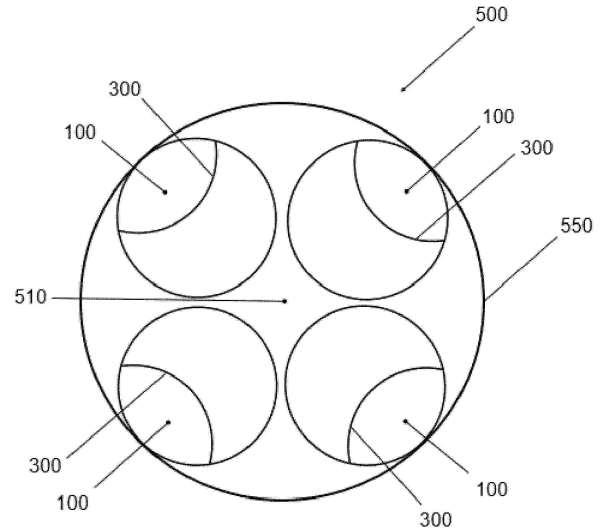


10

【 図 9 】



【 図 10 】



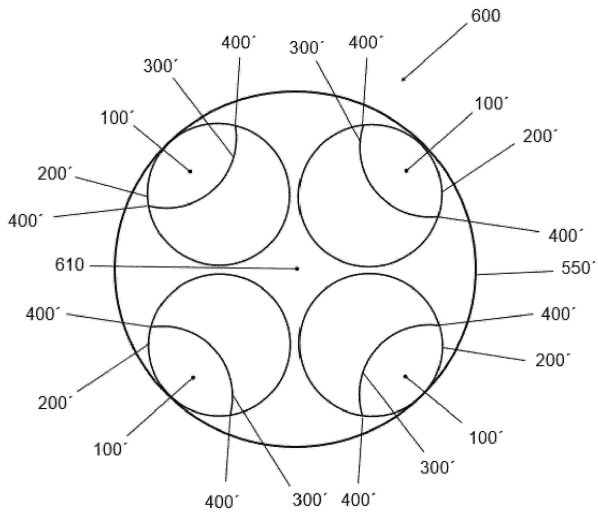
20

30

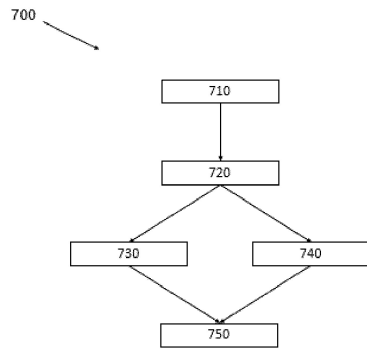
40

50

【 1 1 】



【 1 2 】



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, ヘレウスシュトラッセ 1 2 - 1 4, ヘレウス クワルツ
 グラス ゲーエムベーハー ウント コンパニー カーゲー宛
 (72)発明者 ブラス、ジャクリヌ
 ドイツ連邦共和国 6 3 4 5 0 ハナウ, ヘレウスシュトラッセ 1 2 - 1 4, ヘレウス クワルツ
 グラス ゲーエムベーハー ウント コンパニー カーゲー宛
 (72)発明者 シュスター、カイ
 ドイツ連邦共和国 0 6 8 0 3 ビッターフェルド - 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 ビッターフェルド ゲーエムベーハー ウント コンパニー カーゲー宛
 審査官 山本 佳
 (56)参考文献 特表 2 0 1 8 - 5 3 3 0 4 2 (J P , A)
 国際公開第 2 0 2 0 / 2 1 7 0 5 2 (W O , A 1)
 特表 2 0 2 0 - 5 2 5 3 9 1 (J P , A)
 中国特許出願公開第 1 1 1 4 7 4 6 2 7 (C N , A)
 特表 2 0 1 7 - 5 2 0 8 0 4 (J P , A)
 Low-loss Hollow-core Anti-Resonant Fibers with Semi-Circular Nested Tubes , IEEE Journal
 of Selected Topics in Quantum Electronics , 2016年
 (58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)
 C 0 3 B 3 7 / 0 0 - 3 7 / 1 6
 G 0 2 B 6 / 0 0
 G 0 2 B 6 / 0 2
 G 0 2 B 6 / 0 3 2