

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
21. Januar 2021 (21.01.2021)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2021/009208 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
C03B 37/012 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2020/069973

(22) Internationales Anmeldedatum:
15. Juli 2020 (15.07.2020)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
19186735.7 17. Juli 2019 (17.07.2019) EP

(71) Anmelder: HERAEUS QUARZGLAS GMBH & CO.
KG [DE/DE]; Quarzstrasse 8, 63450 Hanau (DE).

(72) Erfinder: ROSENBERGER, Manuel; c/o Heraeus Quarz-
glas GmbH & Co. KG, Quarzstraße 8, 63450 Hanau (DE).

SATTMANN, Ralph; c/o Heraeus Quarzglas GmbH & Co.
KG, Quarzstraße 8, 63450 Hanau (DE).

(74) Anwalt: STAUDT, Armin; Sandeldamm 24a, 63450 Ha-
nau (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY,
BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM,
DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG, KH,
KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA,
MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI,
NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU,
RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM,
TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM,
ZW.

(54) Title: METHODS FOR PRODUCING A HOLLOW-CORE FIBER AND FOR PRODUCING A PREFORM FOR A HOL-
LOW-CORE FIBER

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG EINER HOHLKERNFASER UND ZUR HERSTELLUNG EINER
VORFORM FÜR EINE HOHLKERNFASER

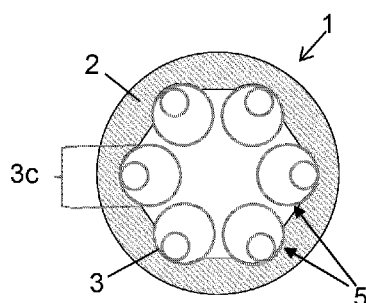


Fig. 5

(57) Abstract: Methods are known for producing an anti-resonant hollow-core fiber which has a hollow core extending along a fiber longitudinal axis and an inner jacket region that surrounds the hollow core, said jacket region comprising multiple anti-resonant elements. The known methods have the steps of: providing a cladding tube that has a cladding tube inner bore and a cladding tube longitudinal axis along which a cladding tube wall extends that is delimited by an interior and an exterior; providing a number of tubular anti-resonant element preforms; arranging the anti-resonant element preforms at target positions of the interior of the cladding tube wall, thereby forming a primary preform which has a hollow core region and an inner jacket region; and elongating the primary preform in order to form the hollow-core fiber or further processing the primary preform in order to form a secondary preform. The aim of the invention is to achieve a high degree of precision and an exact positioning of the anti-resonant elements in a sufficiently stable and reproducible manner on the basis of the aforementioned methods. This is achieved in that the step of providing the cladding tube includes a processing measure, in which the cladding tube wall is machined with a longitudinal structure extending in the direction of the cladding tube longitudinal axis in the region of the target positions.

(57) Zusammenfassung: Es sind Verfahren zur Herstellung einer Antiresonanten Hohlkernfaser bekannt, die einen sich entlang einer Faser-Längsachse erstreckenden Hohlkern und einen den Hohlkern umgebenden inneren Mantelbereich aufweist, der mehrere Antiresonanzelemente umfasst. Die bekannten Verfahren umfassen die Verfahrensschritte: des Bereitstellens eines Hüllrohres, das eine Hüllrohr-Innenbohrung und eine Hüllrohr-Längsachse aufweist, entlang der sich eine von einer Innenseite und einer Außenseite begrenzte Hüllrohr-Wandung erstreckt; des Bereitstellens einer Anzahl von rohrförmigen Antiresonanzelement-Vorformlingen; des Anordnens der Antiresonanzelement-Vorformlinge an Soll-Positionen der Innenseite der Hüllrohr-Wandung unter Bildung einer primären



WO 2021/009208 A1

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

Vorform, die einen hohlen Kernbereich und einen inneren Mantelbereich aufweist; des Elongieren der primären Vorform zu der Hohlkernfaser oder der Weiterverarbeitung der primären Vorform zu einer sekundären Vorform. Um hiervon ausgehend eine hohe Präzision und eine exakte Positionierung der Antiresonanzelemente in einer ausreichend stabilen und reproduzierbaren Weise zu erreichen, wird vorgeschlagen, dass das Bereitstellen des Hüllrohres gemäß eine Bearbeitungs-Maßnahme umfasst, bei der die Hüllrohr-Wandung durch spanende Bearbeitung im Bereich der Soll-Positionen mit einer sich in Richtung der Hüllrohr-Längsachse erstreckenden Längsstruktur versehen wird.

**Verfahren zur Herstellung einer Hohlkernfaser und
zur Herstellung einer Vorform für eine Hohlkernfaser**

BESCHREIBUNG

5

Technischer Hintergrund

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung einer Antiresonanten Hohlkernfaser, die einen sich entlang einer Faser-Längsachse erstreckenden Hohlkern und einen den Hohlkern umgebenden Mantelbereich aufweist, der mehrere Antiresonanzelemente umfasst, mit den Verfahrensschritten:

- 10 (a) Bereitstellen eines Hüllrohres, das eine Hüllrohr-Innenbohrung und eine Hüllrohr-Längsachse aufweist, entlang der sich eine von einer Innenseite und einer Außenseite begrenzte Hüllrohr-Wandung erstreckt,
- (b) Bereitstellen einer Anzahl von Antiresonanzelement-Vorformlingen,
- (c) Anordnen der Antiresonanzelement-Vorformlinge an Soll-Positionen der
15 Innenseite der Hüllrohr-Wandung unter Bildung einer primären Vorform für die Hohlkernfaser, die einen hohlen Kernbereich und einen Mantelbereich aufweist, und
- (d) Elongieren der primären Vorform zu der Hohlkernfaser oder Weiterverarbeitung der primären Vorform zu einer sekundären Vorform, aus der die
20 Hohlkernfaser gezogen wird, wobei die Weiterverarbeitung eine einmalige oder wiederholte Durchführung von einem oder mehreren der folgenden Heißformprozesse umfasst:
- (i) Elongieren,
- (ii) Kollabieren,
- 25 (iii) Kollabieren und gleichzeitiges Elongieren,
- (iv) Aufkollabieren von zusätzlichem Mantelmaterial,
- (v) Aufkollabieren von zusätzlichem Mantelmaterial und anschließendes Elongieren,

- (vi) Aufkollabieren von zusätzlichem Mantelmaterial und gleichzeitiges Elongieren.

Außerdem betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Herstellung einer Vorform für eine Antiresonante Hohlkernfaser, die einen sich entlang einer Faser-Längsachse erstreckenden Hohlkern und den Hohlkern umgebenden Mantelbereich aufweist, der mehrere Antiresonanzelemente umfasst, mit den Verfahrensschritten:

- (a) Bereitstellen eines Hüllrohres, das eine Hüllrohr-Innenbohrung und eine Hüllrohr-Längsachse aufweist, entlang der sich eine von einer Innenseite und einer Außenseite begrenzte Hüllrohr-Wandung erstreckt,
- 10 (b) Bereitstellen einer Anzahl von Antiresonanzelement-Vorformlingen,
- (c) Anordnen der Antiresonanzelement-Vorformlinge an Soll-Positionen der Innenseite der Hüllrohr-Wandung unter Bildung einer primären Vorform für die Hohlkernfaser, die einen hohlen Kernbereich und einen Mantelbereich aufweist, und
- 15 (d) optionale Weiterverarbeitung der primären Vorform zu einer sekundären Vorform für die Hohlkernfaser, wobei die Weiterverarbeitung eine einmalige oder wiederholte Durchführung von einem oder mehreren der folgenden Heißformprozesse umfasst:
 - (i) Elongieren,
 - 20 (ii) Kollabieren,
 - (iii) Kollabieren und gleichzeitiges Elongieren,
 - (iv) Aufkollabieren von zusätzlichem Mantelmaterial,
 - (v) Aufkollabieren von zusätzlichem Mantelmaterial und anschließendes Elongieren,
 - 25 (vi) Aufkollabieren von zusätzlichem Mantelmaterial und gleichzeitiges Elongieren

Herkömmliche Monomode-Lichtleitfasern aus Vollmaterial haben einen Kernbereich aus Glas, der von einem Mantelbereich aus Glas mit niedrigerem Brechungsindex umgeben ist. Die Lichtleitung beruht dabei auf Totalreflexion

zwischen Kern- und Mantelbereich. Die Wechselwirkungen des geführten Lichtes mit dem Vollmaterial sind jedoch mit einer erhöhten Latenz bei der Datenübertragung und relativ niedrigen Schädigungsschwellen gegenüber energiereicher Strahlung verbunden.

- 5 Diese Nachteile vermeiden oder verringern „Hohlkernfasern“, bei denen der Kern einen evakuierten, mit Gas oder Flüssigkeit gefüllten Hohlraum umfasst. In Hohlkernfasern ist die Wechselwirkung des Lichtes mit dem Glas geringer als in Vollkernfasern. Der Brechungsindex des Kerns ist kleiner als der des Mantels, so dass eine Lichtleitung durch Totalreflexion nicht möglich ist und das Licht normalerweise aus dem Kern in den Mantel entweichen würde. In Abhängigkeit vom physikalischen Mechanismus der Lichtleitung werden Hohlkernfasern unterteilt in „photonische Bandlückenfasern“ und „Antiresonanz-Reflexionsfaser“.

Bei „photonischen Bandlückenfasern“ ist der hohle Kernbereich von einem Mantel umgeben, in dem kleine Hohlkanäle periodisch angeordnet sind. Die periodische Struktur der Hohlkanäle im Mantel bewirkt den in Anlehnung an die Halbleitertechnologie als „photonische Bandlücke“ bezeichneten Effekt, wonach an den Mantelstrukturen gestreutes Licht bestimmter Wellenlängenbereiche aufgrund von Braggreflexion im zentralen Hohlraum konstruktiv interferiert und sich nicht transversal im Mantel ausbreiten kann.

- 20 Bei der als „Antiresonante Hohlkernfaser“ („antiresonant hollow-core fibers“; AR-HCF) bezeichneten Ausführungsform der Hohlkernfaser ist der hohle Kernbereich von einem inneren Mantelbereich umgeben, in dem sogenannte „antiresonante Elemente“ (oder „Antiresonanzelemente“; kurz: „AREs“) angeordnet sind. Die um den Hohlkern gleichmäßig verteilten Wandungen der Antiresonanzelemente können als in Antiresonanz betriebene Fabry-Perot-Kavitäten wirken, die das auftretende Licht reflektieren und durch den Faserkern leiten.

Diese Fasertechnologie verspricht eine niedrige optische Dämpfung, ein sehr breites Transmissionsspektrum (auch im UV- oder IR-Wellenlängenbereich) und eine geringe Latenz bei der Datenübertragung.

- 30 Potentielle Anwendungen der Hohlkernfasern liegen auf dem Gebiet der Datenübertragung, der Hochleistungsstrahlführung, beispielsweise zur

Materialbearbeitung, der Modalfilterung, der nichtlinearen Optik, insbesondere zur Superkontinuumserzeugung, vom ultravioletten bis infraroten Wellenlängenbereich.

5

Stand der Technik

Ein Nachteil Antiresonanter Hohlkernfasern liegt darin, dass Moden höherer Ordnung nicht zwangsläufig unterdrückt werden, so dass sie über große Übertragungslängen häufig nicht rein einmodig sind und sich die Qualität des Ausgangsstrahls verschlechtert.

- 10 Im Paper von Francesco Poletti "Nested antiresonant nodeless hollow core fiber"; Optics Express, Vol. 22, No. 20 (2014); DOI: 10.1364/OE 22.023807, wird ein Faserdesign vorgeschlagen, bei dem Antiresonanzelemente nicht als einfaches singuläres Strukturelement ausgebildet sind, sondern sich aus mehreren, miteinander verschachtelten (englisch: nested) Strukturelementen zusammensetzen. Die verschachtelten Antiresonanzelemente sind so ausgelegt, dass Kernmoden höherer Ordnung phasenangepasst an die Mantelmoden sind und unterdrückt werden, aber nicht die fundamentale Kernmode. Dadurch ist die Ausbreitung der fundamentalen Kernmode stets gewährleistet und die Hohlkernfaser kann über einen begrenzten Wellenlängenbereich effektiv einmodig gemacht werden.
- 15
- 20 Die effektive Modenunterdrückung hängt von der Mittenwellenlänge des übertragenen Lichts und von Strukturparametern des Faserdesigns ab, wie dem Radius des Hohlkerns und der Durchmesserdiffferenz von verschachtelten Ringstrukturen in den Antiresonanzelementen.

- Aus der EP 3 136 143 A1 ist eine Antiresonante Hohlkernfaser bekannt (dort bezeichnet als „Hohlkernfaser ohne Bandlücke“), bei der der Kern neben der Fundamentalmode noch weitere Moden leiten kann. Zu diesem Zweck ist er von einem inneren Mantel mit „nicht-resonanten Elementen“ umgeben, die eine Phasen Anpassung von antiresonanten Moden mit den höheren Moden liefern. Die Herstellung der Hohlkernfaser erfolgt nach einer sogenannten „stack-and-draw-Technik“,
- 25
- 30 indem die Ausgangselemente zu einem achsenparallelen Ensemble angeordnet und zu einer Vorform fixiert werden und die Vorform anschließend elongiert wird.

Hierbei wird ein Hüllrohr mit hexagonalem Innenquerschnitt verwendet und in den Innenkanten des Hüllrohres werden sechs sogenannte „ARE-Vorformen“ (Anti-Resonanz-Element-Vorformen) fixiert. Diese Vorform wird in zwei Stufen zu einer Hohlkernfaser ausgezogen.

- 5 Aus der WO 2018/169487 A1 ist ein Verfahren zur Herstellung einer Vorform für antiresonante Hohlkernfasern bekannt, bei dem ein erster Mantelbereich eine Vielzahl an Stäben und ein zweiter Mantelbereich eine Vielzahl von Rohren umfasst, die von einem äußeren Hüllrohr umgeben sind. Stäbe, Rohre und Hüllrohr werden mittels „Stack and draw“-Technik zur Bildung einer Vorform zusammengefügt. Vor
- 10 dem Elongieren der Vorform wird das Vorformende versiegelt, was durch Aufbringen einer Siegelmasse geschieht. Als Siegelmasse wird beispielsweise ein UV-Kleber eingesetzt.

Technische Aufgabenstellung

- 15 Antiresonante Hohlkernfasern und insbesondere solche mit verschachtelten Strukturelementen haben komplexe Innengeometrien, was ihre exakte und reproduzierbare Herstellung erschwert. Dies gilt umso mehr, da zur Einhaltung der Resonanzbeziehungsweise Antiresonanzbedingungen bereits geringe Maßabweichungen in der Größenordnung der Arbeitswellenlänge des zu führenden Lichts nicht tolerierbar sind. Abweichungen von der Soll-Geometrie können ihre Ursache bei der Kon-
- 20 figuration der Faser-Vorform haben, und sie können auch durch ungewollte nicht-maßstäbliche Verformungen beim Faserziehprozess auftreten.

- Bei der bekannten „Stack-and-Draw“-Technik sind viele Elemente positionsgenau zusammenzufügen. Beispielsweise müssen zur Herstellung der aus dem eingangs
- 25 genannten Paper bekannten Hohlkernfaser im „NANF“-Design sechs Antiresonanzelement-Vorformlinge, jeweils bestehend aus einem Antiresonanzelement-Außenrohr (kurz: ARE-Außenrohr) und einseitig an der Innenmantelfläche des ARE-Außenrohres eingeschweißtem Antiresonanzelement-Innenrohr (kurz: ARE-Innenrohr), an der Innenseite eines Hüllrohres angebracht werden.
- 30 Zur Realisierung geringer Dämpfungswerte und breiter Transmissionsbereiche ist neben einer gleichmäßigen Wandstärke der Wandungen der

Antiresonanzelemente auch die azimutale Position der Antiresonanzelemente innerhalb des Hüllrohres wichtig. Dies ist mit der „Stack-and-Draw“-Technik nicht ohne Weiteres zu realisieren. Ziel der Erfindung ist, ein Verfahren zur kostengünstigen Herstellung einer Antiresonanten Hohlkernfaser anzugeben, das Beschränkungen herkömmlicher Herstellungsverfahren vermeidet.

Insbesondere ist es Ziel der Erfindung, ein Verfahren zur Herstellung einer Antiresonanten Hohlkernfaser und einer Vorform für Antiresonante Hohlkernfasern bereitzustellen, mit dem reproduzierbar eine hohe Präzision der Strukturelemente und eine exakte Positionierung der Antiresonanzelemente in der Faser in einer ausreichend stabilen und reproduzierbaren Weise erreicht werden kann.

Außerdem sollen Nachteile der klassischen „Stack and Draw“-Technik, mit der die erforderlichen Strukturgenauigkeiten, insbesondere eine gleichmäßige Wandstärke der Antiresonanzelemente und eine exakte Positionierung an vorgegebenen azimutalen Positionen nicht einfach zu erreichen ist, möglichst vermieden werden.

Zusammenfassung der Erfindung

Hinsichtlich des Verfahrens zur Herstellung der Antiresonanten Hohlkernfaser wird diese Aufgabe ausgehend von einem Verfahren der eingangs genannten Gattung erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass das Bereitstellen des Hüllrohres gemäß Verfahrensschritt (a) eine Bearbeitungs-Maßnahme umfasst, bei der die Hüllrohr-Wandung durch spanende Bearbeitung im Bereich der Soll-Positionen mit einer sich in Richtung der Hüllrohr-Längsachse erstreckenden Längsstruktur versehen wird.

Ausgangspunkt für die Herstellung der Antiresonanten Hohlkernfaser ist eine Vorform, die hier als „primäre Vorform“ bezeichnet wird. Sie umfasst ein Hüllrohr, in dem oder an dem Vorstufen oder Vorformlinge für die Ausformung Antiresonanter Elemente in den Hohlkernfasern (hier kurz als „Antiresonanzelemente“ bezeichnet) enthalten sind. Die primäre Vorform kann zu der Hohlkernfaser elongiert werden; in der Regel wird die primäre Vorform aber weiterverarbeitet, um daraus eine hier als „sekundäre Vorform“ bezeichnete Vorform zu erzeugen.

Gegebenenfalls wird die Hohlkernfaser durch Elongieren der sekundären Vorform erzeugt. Alternativ werden die primäre Vorform oder die sekundäre Vorform unter Ausbildung eines coaxialen Ensembles von Bauteilen mit einem Überfangzylinder oder mit mehreren Überfangzylindern umgeben und das coaxiale Ensemble direkt zu der Hohlkernfaser elongiert. Der allgemeine Begriff „Vorform“ wird hier zur Bezeichnung desjenigen Bauteils oder desjenigen coaxialen Ensembles von Bauteilen verstanden, aus der die Hohlkernfaser letztlich gezogen wird.

Die Genauigkeit der Positionierung der Vorformlinge wird verbessert, indem das Hüllrohr vorab durch spanende mechanische Bearbeitung strukturiert wird.

- 10 Unter spanender Bearbeitung werden abtragende mechanische Bearbeitungstechniken wie etwa Drehen, Scheiden, Bohren, Sägen, Fräsen oder Schleifen verstanden. Diese Bearbeitungstechniken liefern im Vergleich zu anderen bekannten Umformtechniken unter Einsatz von Hitze und Druck genauere und filigranere Strukturen und sie vermeiden Verunreinigungen der Oberflächen durch Formwerkzeuge, wie beispielsweise Düsen, Pressen oder Schmelzformen. Vorzugsweise wird die Längsstruktur der Hüllrohr-Innenwandung durch Bohren, Sägen, Fräsen, Schneiden oder Schleifen erzeugt.

- 20 Durch diese Bearbeitung wird eine sich in Richtung der Hüllrohr-Längsachse erstreckende Längsstruktur geschaffen, die als Positionierungshilfe für die Antiresonanzelement-Vorformlinge dient. Sie erleichtert, dass die Antiresonanzelement-Vorformlinge vorgegebene definierte Positionen an der Innenseite des Hüllrohres einnehmen. Dazu ist die Längsstruktur mindestens von der Hüllrohr-Innenseite her zugänglich; sie kann sich auch bis zur Außenseite durch die gesamte Hüllrohr-Wandung erstrecken.

- 25 Mit der Erfindung können Antiresonante Hohlkernfasern sowie Vorformen dafür präzise und reproduzierbar hergestellt werden.

Vorzugsweise wird ein Hüllrohr mit kreisrundem Innenquerschnitt bereitgestellt, wobei die Längsstruktur als Längsrille an der Innenseite der Hüllrohr-Wandung oder als Längsschlitz ausgeführt wird.

- 30 Dadurch, dass zum Zweck der Strukturierung der Hüllrohr-Innenseite ein Hüllrohr mit rundem Innenquerschnitt bereitgestellt wird, ergibt sich ein geringer

Fertigungsaufwand für das Hüllrohr selbst, beispielsweise im Vergleich zu einem Hüllrohr mit einer Innenbohrung in Form eines Innensechskants.

Die Positionierungsstellen können unterschiedliche Formen aufweisen. Längsstrukturen, die als Längsrille an der Innenseite der Hüllrohr-Wandung oder als in radialer Richtung durchgehende Längsschlitze ausgeführt sind, lassen sich einfach und genau fertigen; beispielsweise durch Fräsen, Bohren oder Einschneiden. Die Innengeometrie von Rille und Schlitz ist beispielsweise halbrund, halboval, v-förmig, u-förmig oder polygonal. Sie kann auch eine Vertiefung oder Ausnehmung bilden, die sich von innen nach außen verengt.

- 10 Insbesondere im Fall durchgehender Längsschlitze ist es vorteilhaft, wenn das Hüllrohr stirnseitige Enden aufweist, wobei die Längsstruktur vor den stirnseitigen Enden endet.

- Je nach Geometrie der Längsstruktur und Form und Größe der Antiresonanzelement-Vorformlinge ergeben sich bei der Fixierung zwischen Antiresonanzelement-Vorformling und Längsstruktur ein Kontaktpunkt, mehrere Kontaktpunkte oder größere Kontaktflächen. Besonders bewährt hat sich eine Verfahrensweise, bei der die Antiresonanzelement-Vorformlinge bei Anordnung an der Soll-Position gemäß Verfahrensschritt (c) die Längsstruktur jeweils an zwei Kanten berühren

- 20 Dies ergibt eine stabilere Lage als bei nur einer Berührungslinie und ein „Wegrollen“ des Antiresonanzelement-Vorformlings während des Elongierens lässt sich sicher unterbinden. Die Außenabmessung (beispielsweise der Außendurchmesser) des Vorformlings kann dabei größer sein als die maximale Breite S_B der Längsstruktur, so dass der Vorformling auf der Längsrille beziehungsweise dem Längsschlitz aufliegt und nicht darin vollständig eintaucht. Unterhalb der Auflagekanten ergibt sich gegebenenfalls in der Längsrille beziehungsweise im Längsschlitz ein Hohlraum, in den ein Gas eingeleitet oder aus dem ein Gas abgesaugt werden kann.

- Bei einer anderen bevorzugten Verfahrensweise weisen die Antiresonanzelement-Vorformlinge einen Außendurchmesser auf, der kleiner ist als die maximale Breite S_B der Längsstruktur. Hierbei können beispielsweise die Rillen so flach sein, dass sie lediglich eine Vorzugsposition für die Antiresonanzelement-Vorformlinge vorgeben.

Bei einer weiteren bevorzugten Verfahrensweise haben die Antiresonanzelement-Vorformlinge ebenfalls einen Außendurchmesser, der kleiner ist als die maximale Breite S_B der Längsstruktur, jedoch sind die Antiresonanzelement-Vorformlinge dabei mindestens teilweise von der Längsstruktur umschlossen und dadurch in der Innenwandung des Hüllrohres vollständig fixiert.

Bei einer besonders vorteilhaften Ausgestaltung dieser Verfahrensweise wird in die Hüllrohr-Innenbohrung zusätzlich ein Einsatzrohr eingesetzt, wobei die Antiresonanzelement-Vorformlinge jeweils in einem Druckraum zwischen der Längsstruktur und dem Einsatzrohr eingeschlossen sind.

- 10 Auf diese Weise wird an den Längsstrukturen der Vorform jeweils ein Hohlkanal gebildet, in dem ein Antiresonanzelement-Vorformling einliegt, und der begrenzt wird von Wandungen der Längsstruktur und des Einsatzrohres.

Bei Durchführung eines Prozesses gemäß Verfahrensschritt (d), wie etwa beim Elongieren oder beim Kollabieren, wird in den Hohlkanal Gas eingeleitet und dadurch das Einsatzrohr durch Anlegen eines Innendrucks in dem Druckraum verformt. Dabei verformen sich die an den Längsstruktur (genauer: am Druckraum) anliegenden Wandungsabschnitte des Einsatzrohres und bilden nach innen – in Richtung auf den Hohlkern – ragende, langgestreckte Ausbeulungen an der Einsatzrohr-Innenseite, die als Antiresonanzelemente dienen.

- 20 Es hat sich eine Verfahrensvariante bewährt, bei der die Antiresonanzelement-Vorformlinge jeweils mindestens ein Antiresonanzelement und mindestens eine mit dem Antiresonanzelement verbundene Kapillare aufweisen, wobei die Kapillare in einer Ausnehmung der Längsstruktur aufgenommen wird, und beim Elongieren der Vorform und/oder des Halbzeugs durch Anlegen eines Innendrucks in der Kapillar-Innenbohrung verformt wird.

Die Kapillare dient hierbei einerseits zur Fixierung des Antiresonanzelement-Vorformlings an der Längsstruktur, die zu diesem Zweck über eine Ausnehmung mit Abmessungen verfügt, die zur Aufnahme der Kapillare ausreichen, und andererseits wird die Kapillare beim Elongierprozess zusätzlich mit Druck beaufschlagt, so dass sie infolge ihrer Umformung und Ausdehnung das eigentliche Antiresonanzelement des Vorformlings positioniert. Die Wandung der umgeformten Kapillare kann dabei ein zusätzliches Antiresonanzelement des Vorformlings bilden.

Bei einer bevorzugten Verfahrensvariante weist die Längsstruktur um den Umfang der Hüllrohr-Wandung verteilte Längsschlitzte auf, wobei die Antiresonanzelement-Vorformlinge an einem Längsschlitz angeordnet sind.

5 Die Längsschlitzte durchdringen die Hüllrohrwandung von innen nach außen, mit Ausnahme der beiden stirnseitigen Endbereiche des Hüllrohres. Sie haben parallele Längskanten und sie weisen eine maximale Schlitzbreite S_B auf, wobei die Antiresonanzelement-Vorformlinge vorzugsweise mit den Längskanten verbunden werden.

10 Die Antiresonanzelement-Vorformlinge haben dabei eine Breitenabmessung, die größer ist als die maximale Breite S_B , so dass sie nicht vollständig in die Längsschlitzte eintauchen.

Zur Gewährleistung einer präziseren geometrischen Struktur geht die Herstellung des Verbundes zwischen Antiresonanzelement-Vorformling mit den jeweiligen Längskanten durch Erweichen und gleichzeitig mit einer Längung des Verbundes
15 einher. Dafür wird das Ensemble aus Hüllrohr und Antiresonanzelement-Vorformlingen, elongiert. Dabei werden die Antiresonanzelement-Vorformlinge über ihre gesamte Länge mit den Schnittkanten im Inneren des Hüllrohres verbunden.

Der Bereich unterhalb der Längskanten bildet einen Hohlraum, in den ein Gas eingeleitet oder aus dem ein Gas abgesaugt werden kann.

20 Insbesondere im Hinblick auf eine geringe optische Dämpfung und eine große optische Übertragungs-Bandbreite der Hohlkernfaser hat es sich als besonders vorteilhaft erwiesen, wenn die Antiresonanzelement-Vorformlinge um den Hohlkern mit einer ungeradzahligen Symmetrie angeordnet sind.

Bei einer bevorzugten Verfahrensvariante umfasst das Anordnen der Antiresonanzelement-Vorformlinge und/oder das Elongieren der primären Vorform, und/oder
25 das Ziehen der Hohlkernfaser eine Fixierungs-Maßnahme und/oder eine Versiegelungsmaßnahme unter Einsatz einer amorphe SiO_2 -Partikel enthaltenden Versiegelungs- oder Verbindungsmasse.

Die zum Versiegeln oder Fixieren eingesetzte Versiegelungs- oder Verbindungsmasse enthält amorphe SiO_2 -Partikel, die beispielsweise in einer Dispersionsflüssigkeit aufgenommen sind. Diese Masse wird zwischen den zu verbindenden
30

beziehungsweise zu versiegelnden Flächen aufgetragen und ist beim Einsatz in der Regel pastös. Beim Trocknen bei niedriger Temperatur wird die Dispersionsflüssigkeit teilweise oder vollständig entfernt und die Masse verfestigt. Die Versiegelungs- oder Verbindungsmasse und insbesondere die nach dem Trocknen erhaltene, verfestigte SiO₂-haltige Versiegelungs- oder Verbindungsmasse genügt den Anforderungen zur Fixierung und Verdichtung. Die zum Trocknen erforderliche Temperatur liegt unterhalb von 300 °C, was die Einhaltung der Maßhaltigkeit der Vorform begünstigt und thermische Beeinträchtigungen vermeidet. Ein Erhitzen auf höhere Temperaturen um 800 °C, beispielsweise beim Elongieren der Vorform zur Hohlkernfaser, führt zu einer weiteren thermischen Verfestigung der Versiegelungs- oder Verbindungsmasse, die auch geeignet ist, opakes oder transparentes Glas zu bilden. Dies geschieht durch Sintern oder Verglasen, wobei das Sintern zu opakem Glas vergleichsweise niedrigere Temperaturen und/oder kurze Erhitzungsdauern erfordert als ein Verglasen bis zur vollständigen Transparenz. Die Versiegelungs- oder Verbindungsmasse kann somit durch Erwärmen vollständig verdichtet und durch Erhitzen beim Heißformprozess verglast werden.

Beim Heißformprozess zersetzt sich die Versiegelungs- oder Verbindungsmasse nicht und sie setzt wenig an Verunreinigungen frei. Sie zeichnet sich somit durch thermische Stabilität und Reinheit beim Heißformprozess aus und sie vermeidet Verformungen infolge unterschiedlicher thermischer Ausdehnungskoeffizienten.

Die Versiegelungs- und Verbindungsmasse ist auch vorteilhaft einsetzbar, um beim Elongieren der primären Vorform und/oder beim Ziehen der Hohlkernfaser offene Enden der Antiresonanzelement-Vorformlinge und/oder einzelne Strukturelemente der Antiresonanzelement-Vorformlinge und/oder ein etwaigen Ringspalt zwischen Rohrelementen zu verschleifen.

Auf diese Weise können die einzelnen Bestandteile der primären Vorform und/oder sekundären Vorform beim Elongieren beziehungsweise beim Faserziehprozess unterschiedlichen Innendrücken ausgesetzt werden.

Bei einer bevorzugten Verfahrensweise wird die Genauigkeit der Positionierung der Vorformlinge im Hüllrohr weiter dadurch verbessert, dass rohrförmige Strukturelemente bereitgestellt werden, von denen mindestens ein Teil eine Wandstärke im Bereich von 0,2 und 2 mm, vorzugsweise eine Wandstärke im Bereich von 0,25

und 1 mm, hat, und wobei ein Hüllrohr mit einem Außendurchmesser im Bereich von 90 und 250 mm und vorzugsweise mit einem Außendurchmesser im Bereich von 120 bis 200 mm bereitgestellt wird. Diese Bauteile haben dabei jeweils eine Länge von mindestens 1 m. Hierbei handelt es sich um relativ großvolumige Strukturelemente zur Bildung von Antiresonanzelementen. Dies vereinfacht die Handhabung. Zudem unterstützt bei vertikaler Anordnung von Hüllrohr und Strukturelementen die Gravitationskraft die Parallelität und die vertikale Ausrichtung der Strukturelement-Längsachsen, wenn die Strukturelemente jeweils an ihrem oberen stirnseitigen Ende an der Soll-Position positioniert und fixiert sind, beispielsweise und bevorzugt unter Einsatz der oben näher erläuterten Versiegelungs- oder Verbindungsmasse.

Hinsichtlich der Herstellung der Vorform für die Hohlkernfaser wird die oben angegebene technische Aufgabe ausgehend von einem Verfahren der eingangs genannten Gattung erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass das Bereitstellen des Hüllrohres gemäß Verfahrensschritt (a) eine Bearbeitungs-Maßnahme umfasst, bei der die Hüllrohr-Wandung durch spanende Bearbeitung im Bereich der Soll-Position mit einer sich in Richtung der Hüllrohr-Längsachse erstreckenden Längsstruktur versehen wird.

Die Vorform ist Ausgangspunkt für die Herstellung der Antiresonanten Hohlkernfaser. Durch Elongieren der primären Vorform wird entweder direkt die Antiresonante Hohlkernfaser gezogen oder es wird zunächst durch Weiterverarbeitung der primären Vorform ein anderes Halbzeug erzeugt, das hier auch als „sekundäre Vorform“ bezeichnet wird, und aus der die Antiresonante Hohlkernfaser gezogen werden kann.

In jedem Fall umfasst die Herstellung der Vorform den Einbau und das Verbinden von Antiresonanzelement-Vorformlingen mit einem Hüllrohr. Die Genauigkeit der Positionierung der Vorformlinge wird verbessert, indem das Hüllrohr vorab strukturiert wird. Maßnahmen zur Herstellung der Vorform sind weiter oben im Zusammenhang der Herstellung der Hohlkernfaser erläutert und diese Erläuterungen werden hiermit einbezogen.

Definitionen

Einzelne Verfahrensschritte und Begriffe der obigen Beschreibung werden im Folgenden ergänzend definiert. Die Definitionen sind Bestandteil der Beschreibung der Erfindung. Bei einem sachlichen Widerspruch zwischen einer der folgenden Definitionen und der übrigen Beschreibung ist das in der Beschreibung Gesagte maßgeblich.

Antiresonanzelemente

Die Antiresonanzelemente können einfache oder verschachtelte Strukturelemente der Hohlkernfaser sein. Sie haben mindestens zwei Wandungen, die aus Richtung des Hohlkerns gesehen eine negative Krümmung haben (konvex) oder keine Krümmung haben (plan, gerade). Sie bestehen in der Regel aus einem Material, das für das Arbeitslicht transparent ist, beispielsweise aus Glas, insbesondere aus dotiertem oder nicht dotiertem SiO₂, einem Kunststoff, insbesondere aus einem Polymer, aus einem Verbundwerkstoff oder aus kristallinem Material.

Antiresonanzelement-Vorformling / Antiresonanzelement-Vorstufe

Als Antiresonanzelement-Vorformlinge werden Bauteile oder Bestandteile der Vorform bezeichnet, die im Wesentlichen durch einfaches Langziehen beim Faserziehprozess zu Antiresonanzelementen in der Hohlkernfaser werden. Als Antiresonanzelement-Vorstufen werden Bauteile oder Bestandteile der Vorform bezeichnet, die erst durch Umformung zu Antiresonanzelement-Vorformlingen oder direkt zu Antiresonanzelementen werden. Die Antiresonanzelement-Vorformlinge können einfache oder verschachtelte Bauteile sein, an denen zusätzlich Positionierhilfen fixiert sein können. Sie liegen ursprünglich in der primären Vorform vor.

Verschachtelte Antiresonanzelement-Vorformlinge bilden in der Hohlkernfaser verschachtelte Antiresonanzelemente. Sie setzen sich zusammen aus einem Außenrohr und mindestens einem weiteren Strukturelement, das in der Innenbohrung des Außenrohres angeordnet ist. Bei dem weiteren Strukturelement kann es sich

um ein weiteres Rohr handeln, das an der Innenmantelfläche des Außenrohres anliegt. Das Außenrohr wird als „Antiresonanzelement-Außenrohr“ oder kurz als „ARE-Außenrohr“ bezeichnet und das weitere Rohr als „Antiresonanzelement-Innenrohr“ oder kurz als „ARE-Innenrohr“ oder auch als „verschachteltes ARE-Innenrohr“.

In der Innenbohrung des verschachtelten ARE-Innenrohres kann bei mehrfach verschachtelten Antiresonanzelement-Vorformlingen mindestens ein weiteres Strukturelement angeordnet sein, beispielsweise ein an der Innenmantelfläche des verschachtelten ARE-Innenrohres anliegendes, drittes Rohr. Um bei mehrfach verschachtelten Antiresonanzelement-Vorformlingen zwischen den mehreren Rohren zu unterscheiden, die innerhalb des ARE-Außenrohres angeordnet sind, wird gegebenenfalls zwischen „äußerem verschachteltem ARE-Innenrohr“ und „innerem verschachtelten ARE-Innenrohr“ unterschieden.

Der Begriff „Querschnitt“ in Verbindung mit zylinderförmigen Antiresonanzelement-Vorformlingen und deren zylinderförmigen Strukturelementen bezeichnet stets den Querschnitt senkrecht zur jeweiligen Zylinderlängsachse, und zwar - sofern nichts anderes angegeben - bei rohrförmigen Bauteilen den Querschnitt der Außenkontur (nicht: den Querschnitt der Innenkontur).

Durch Weiterverarbeitung der primären Vorform, insbesondere durch Heißumformschritte, können Zwischenprodukte entstehen, in denen die ursprünglichen Antiresonanzelement-Vorformlinge in einer gegenüber der ursprünglichen Form veränderten Form vorliegen. Die veränderte Form wird hier ebenfalls als Antiresonanzelement-Vorformling oder auch als Antiresonanzelement-Vorstufe bezeichnet.

Vorform / primäre Vorform / sekundäre Vorform / Kernvorform (Cane)

Die Vorform ist dasjenige Bauteil, aus dem die Antiresonante Hohlkernfaser gezogen wird. Es ist eine primäre Vorform oder eine durch Weiterverarbeitung der primären Vorform erzeugte sekundäre Vorform. Die primäre Vorform kann als Ensemble aus mindestens einem Hüllrohr und darin lose aufgenommenen oder fest fixierten Vorformlingen oder Vorstufen für Antiresonanzelemente vorliegen. Die Weiterverarbeitung der primären Vorform zu einer sekundären Vorform, aus der

die Hohlkernfaser gezogen wird, kann eine einmalige oder wiederholte Durchführung von einem oder mehreren der folgenden Heißformprozesse umfassen:

- (i) Elongieren,
 - (ii) Kollabieren,
 - 5 (iii) Kollabieren und gleichzeitiges Elongieren,
 - (iv) Aufkollabieren von zusätzlichem Mantelmaterial,
 - (v) Aufkollabieren von zusätzlichem Mantelmaterial und anschließendes Elongieren,
 - (vi) Aufkollabieren von zusätzlichem Mantelmaterial und gleichzeitiges Elongieren.
- 10

Als Kernvorform (engl. Cane) wird in der Literatur eine Vorform bezeichnet, die durch Kollabieren und/oder Elongieren einer primären Vorform erhalten wird. Typischerweise wird sie vor oder beim Ziehen der Hohlkernfaser mit zusätzlichem Mantelmaterial überfangen.

15

Elongieren / Kollabieren

Beim Elongieren wird die primäre Vorform gelängt. Die Längung kann ohne gleichzeitiges Kollabieren erfolgen. Das Elongieren kann maßstäblich erfolgen, so dass sich beispielsweise die Form und Anordnung von Bauteilen oder Bestandteilen der primären Vorform im elongierten Endprodukt widerspiegeln. Beim Elongieren kann

20 die primäre Vorform aber auch nicht-maßstäblich gezogen und ihre Geometrie verändert werden.

Beim Kollabieren wird eine Innenbohrung verengt oder Ringspalte zwischen rohrförmigen Bauteil werden geschlossen oder verengt. Das Kollabieren geht in der

25 Regel mit einem Elongieren einher.

Hohlkern / Innerer Mantelbereich / Äußerer Mantelbereich

Das Ensemble aus mindestens einem Hüllrohr und darin lose aufgenommenen oder fest fixierten Vorformlingen oder Vorstufen für Antiresonanzelemente wird hier

auch als „primäre Vorform“ bezeichnet. Die primäre Vorform umfasst den Hohlkern und einen Mantelbereich. Dieser Mantelbereich wird auch als „innerer Mantelbereich“ bezeichnet, wenn es auch einen „äußeren Mantelbereich“ gibt, der beispielsweise durch Aufkollabieren auf das Ensemble erzeugt worden ist, und wenn zwischen diesen Mantelbereichen unterschieden werden soll. Die Bezeichnungen „innerer Mantelbereich“ und „äußerer Mantelbereich“ werden auch für die entsprechenden Bereiche in der Hohlkernfaser oder in Zwischenprodukten genutzt, die durch Weiterverarbeitung der primären Vorform erhalten werden.

Die Bezeichnung „Rohrinnenseite“ wird auch als Synonym für „Rohr-Innenmantelfläche“ und die Bezeichnung „Rohraußenseite“ wird auch als Synonym für „Rohr-Außenmantelfläche“ verwendet. Der Begriff „Innenbohrung“ in Verbindung mit einem Rohr besagt nicht, dass die Innenbohrung durch einen Bohrvorgang erzeugt worden ist.

15 Spanende Bearbeitung

Darunter werden trennende mechanische Fertigungsverfahren zur trennenden Bearbeitung eines Werkstücks verstanden, insbesondere Drehen, Schneiden, Bohren, Sägen, Fräsen und Schleifen. Durch diese Bearbeitung wird eine sich in Richtung der Hüllrohr-Längsachse erstreckende Längsstruktur geschaffen, die als Positionierungshilfe für die Antiresonanzelement-Vorformlinge dient. Die Längsstruktur ist von der Hüllrohr-Innenseite zugänglich; sie kann sich auch bis zur Außenseite durch die gesamte Hüllrohr-Wandung erstrecken.

Teilchengröße und Teilchengrößenverteilung

Teilchengröße und Teilchengrößenverteilung der SiO_2 -Partikel werden anhand der D_{50} -Werte charakterisiert. Diese Werte werden aus Partikelgrößen-Verteilungskurven entnommen, die das kumulative Volumen der SiO_2 -Partikel in Abhängigkeit von der Partikelgröße zeigen. Die Teilchengrößenverteilungen werden häufig anhand der jeweiligen D_{10} -, D_{50} - und D_{90} -Werte charakterisiert. Dabei kennzeichnet der D_{10} -Wert diejenige Teilchengröße, die von 10% des kumulativen Volumens der SiO_2 -Teilchen nicht erreicht wird, und dementsprechend der D_{50} -Wert und der D_{90} -

Wert diejenige Partikelgrößen, die von 50% beziehungsweise von 90% des kumulativen Volumens der SiO₂-Partikel nicht erreicht wird. Die Partikelgrößenverteilung wird durch Streulicht- und Laserbeugungsspektroskopie nach ISO 13320 ermittelt.

5

Ausführungsbeispiel

Nachfolgend wird die Erfindung anhand eines Ausführungsbeispiels und einer Zeichnung näher erläutert. Im Einzelnen zeigt in schematischer Darstellung

- Figuren 1 bis 3** Hüllrohre zum Einsatz in einem Verfahren zur Herstellung einer Vorform für eine Hohlkernfaser mit Längsstrukturen zur Positionierung von Antiresonanzelement-Vorformlingen in mehreren Ausführungsformen,
- Figuren 4 und 5** Hüllrohre mit Längsstrukturen und darin positionierten Antiresonanzelement-Vorformlingen anhand von Kontaktpunkten und Kontaktflächen,
- Figuren 6 und 7** weitere Ausführungsformen von Hüllrohren mit Längsstrukturen und darin positionierten Antiresonanzelement-Vorformlingen,
- Figuren 8 und 9** eine Ausführungsform eines Hüllrohrs mit Längsstrukturen und darin positionierten Antiresonanzelement-Vorformlingen, die mit einer Kapillare zum Zweck einer einstellbaren Positionierung ausgestattet sind,
- Figur 10** Verfahrensschritte zur Herstellung einer Vorform für eine Hohlkernfaser unter Einsatz eines geschlitzten Hüllrohres,
- Figur 11** einen Ausschnitt von Längsstruktur und Antiresonanzelement aus Figur 10c in vergrößerter Darstellung, und
- Figur 12** einen Figur 11 entsprechenden Ausschnitt mit einer anderen Ausführungsform des Antiresonanzelements.

Bei der Herstellung der Hohlkernfaser beziehungsweise der Vorform für die Hohlkernfaser sind eine Vielzahl von Bauteilen miteinander zu verbinden. Darüber hinaus kann es bei der Durchführung von Heißformprozessen hilfreich sein, vorhandene Spalte oder Kanäle der Vorform zu versiegeln. Zum Verbinden

beziehungsweise zur Versiegelung wird eine auf SiO₂ basierende Versiegelungs- oder Verbindungsmasse eingesetzt, wie sie aus der DE 10 2004 054 392 A1 bekannt ist. Dabei wird durch Nassvermahlen von Quarzglaskörnung ein wässriger Schlicker erzeugt, der amorphe SiO₂-Partikel mit einer Partikelgrößenverteilung

5 enthält, die durch einen D₅₀-Wert von etwa 5 µm und durch einen D₉₀-Wert von etwa 23 µm gekennzeichnet ist. Dem Basisschlicker wird weitere amorphe SiO₂-Körnung mit einer mittleren Korngröße von etwa 5 µm zugemischt. Der als Verbindungsmasse eingesetzte Schlicker hat einen Feststoffgehalt von 90%, der zu mindestens 99,9 Gew.-% aus SiO₂ besteht.

- 10 Die Figuren 1 bis 8 zeigen jeweils schematisch eine Draufsicht auf die Hüllrohr-Stirnseite. Die Hüllrohre 1 haben an der Innenseite der Hüllrohr-Wandung 2 jeweils Längsrillen 3. Die Längsrillen 3 sind in sechszähliger Symmetrie gleichmäßig um den Innenumfang des jeweiligen Hüllrohres 1 verteilt.

Die Hüllrohre 1 bestehen aus Quarzglas. Sie haben eine Länge von 500 mm, einen Außendurchmesser von 73 mm und einen Innendurchmesser von 24 mm.

15

Figur 1 zeigt tiefe, enge und im Querschnitt nahezu geschlossen kreisförmige Längsrillen 3, die durch Bohren erzeugt sind. Die maximale Tiefe beträgt 3 mm und der Innendurchmesser beträgt 4 mm.

Figur 2 zeigt flache, enge und im Querschnitt halbkreisförmige Längsrillen 3, die durch Fräsen erzeugt sind.

20

Figur 3 zeigt flache, breite im Querschnitt schalenförmige Längsrillen 3, die ebenfalls durch Fräsen erzeugt sind.

Die Längsrillen 3 dienen als Positionierhilfen für Antiresonanzelement-Vorformlinge 5. Diese können als Ensemble miteinander verschachtelter Elemente aus einem ARE-Außenrohr 5a und einer ARE-Innenrohr 5b vorliegen, wie in den Figuren

25 4 und 5 dargestellt.

Figur 4 zeigt tiefe, enge und im Querschnitt nahezu geschlossene, kreisförmige Längsrillen 3, die durch Bohren erzeugt sind und an denen die Antiresonanzelement-Vorformlinge 5 jeweils an zwei Kanten 3a, 3b anliegen. Das ARE-Außenrohr hat jeweils einen Außendurchmesser von 73 mm. Die Wandstärke von ARE-Innenrohr und ARE-Außenrohr sind etwa gleich und liegen bei 0,35 mm.

30

Figur 5 zeigt flache, breite und im Querschnitt schalenförmige Längsrillen 3, die durch Fräsen erzeugt sind und an denen die Antiresonanzelement-Vorformlinge 5 jeweils an größeren Kontaktflächen 3c anliegen. Das ARE-Außenrohr hat jeweils einen Außendurchmesser von 73 mm. Die Wandstärke von ARE-Innenrohr und ARE-Außenrohr sind etwa gleich und liegen bei 0,35 mm.

Figur 6 zeigt tiefe, enge und im Querschnitt nahezu geschlossene, kreisförmige Längsrillen 3, die durch Bohren erzeugt sind und in denen die Antiresonanzelement-Vorformlinge 5 aufgenommen sind. Die Antiresonanzelement-Vorformlinge 5 sind in dem Fall als einfache Kapillarrohre ausgebildet.

Figur 7 zeigt tiefe, enge und im Querschnitt nahezu geschlossen kreisförmige Längsrillen 3, die durch Bohren erzeugt sind und in denen die Antiresonanzelement-Vorformlinge 5 aufgenommen sind. Die Antiresonanzelement-Vorformlinge 5 sind in dem Fall als einfache Kapillarrohre ausgebildet. In die Hüllrohr-Innenbohrung 7 ist coaxial zur Hüllrohr-Längsachse ein Einsatzrohr 8 eingesetzt.

Der Außendurchmesser des Einsatzrohres 8 ist ähnlich dem Innendurchmesser des Hüllrohres 1 (wie Fig. 1) und dessen Wanddicke ist ähnlich der der Antiresonanzelement-Vorformlinge. Vor dem Faserziehprozess wird das Hüllrohr 1 auf das Einsatzrohr 8 aufkollabiert, so dass die Längsrillen 3 geschlossen werden. Die geschlossenen Längsrillen bilden Hohlkanäle, die anschließend (beispielsweise beim Elongieren der Vorform) aufgeblasen werden. Dadurch bilden sich am Einsatzrohr 8 nach innen in Richtung auf die Innenbohrung 7 gerichtete Ausstülpungen mit konvexen Oberflächen, die als zusätzliche antiresonante Grenzschicht wirken.

Bei einer (in den Figuren nicht gezeigten Verfahrensvariante) werden im Querschnitt nahezu geschlossen kreisförmige Längsrillen durch Bohren erzeugt. In die Hüllrohr-Innenbohrung ist coaxial zur Hüllrohr-Längsachse ein Einsatzrohr eingesetzt. Der Außendurchmesser des Einsatzrohres 8 ist ähnlich dem Innendurchmesser des Hüllrohres (wie Fig. 1) und dessen Wanddicke ist ähnlich der der Antiresonanzelement-Vorformlinge. Vor dem Faserziehprozess wird das Hüllrohr auf das Einsatzrohr aufkollabiert, so dass die Längsrillen abgeschlossen werden. Die abgeschlossenen Längsrillen bilden Hohlkanäle, die anschließend (beispielsweise beim Elongieren der Vorform) aufgeblasen werden. Dadurch bilden sich am

Einsatzrohr nach innen in Richtung auf die Innenbohrung gerichtete Ausstülpungen mit konvexen Oberflächen, die als Antiresonanzelemente wirken.

Bei der in **Figur 8** gezeigten Verfahrensvariante sind die Antiresonanzelement-Vorformlinge 5 mit Antiresonanzelementen und zusätzlich mit einer Positionierkapillare 9 ausgestattet. Die Positionierkapillaren 9 sind jeweils in die im Querschnitt nahezu geschlossen kreisförmigen, durch Bohren erzeugten Längsrillen 3 eingesetzt. Die Positionierkapillaren 9 bilden Hohlkanäle, die beim Erweichen des Ensembles, beispielsweise beim Elongieren der Vorform aufgeblasen werden können, so dass die daran fixierten Antiresonanzelemente näher an die Mitte (den Kernbereich) herangeschoben werden können. Das Maß der Verschiebung kann dabei einfach über den Innendruck in den Hohlkanälen (Positionierkapillaren 9) eingestellt und geregelt werden. Dadurch lässt sich neben einer genauen Einstellung der azimuthalen Position auch die radiale Position der Antiresonanzelemente und somit der Kerndurchmesser der Antiresonanten Hohlkernfasern einstellen.

Figur 9 zeigt zwei verschiedene Ausführungsformen von Antiresonanzelement-Vorformlingen 5, die jeweils mit einer Positionierkapillare 9 ausgestattet sind.

Die Figuren 10 bis 12 zeigen schematisch Verfahrensschritte zur Herstellung von Hohlkernfasern, wobei zur präzisen Positionierung der Antiresonanzelement-Vorformlinge ein Quarzglas-Hüllrohr 1 mit Längsschlitz 3 eingesetzt wird. Wie in **Figur 10(a)** gezeigt, wird die Wandung des Hüllrohrs 1 an zuvor definierten azimuthalen Positionen im gleichmäßigen Abstand längsseitig eingeschnitten, beispielsweise mittels mechanischer Säge, Wasserstrahlschneiden, Laser oder dergleichen. Die Anzahl der Längsschnitte 3 entspricht der Anzahl der zu positionierenden Antiresonanzelement-Vorformlinge 5, im Ausführungsbeispiel sind es sechs Vorformlinge 5. Die Längsschnitte 3 enden vor den Hüllrohrenden, so dass die stirnseitigen Endbereiche 12 weiterhin umlaufend geschlossen bleiben und die verbleibenden Stege 14 verbinden. Anschließend werden die Schnittkanten verglast.

Die Schnittbreite der Längsschlitz 3 ist einheitlich und beträgt 2 mm. Die Antiresonanzelement-Vorformlinge 5 haben einen im Wesentlichen runden Außenquerschnitt mit einem Durchmesser von 7,4 mm.

Aus der Draufsicht auf den Querschnitt des Zwischenrohres 10 entlang der Schnittlinie A-A in **Figur 10(b)** ist erkennbar, dass die sechs Längsschlitzte 3 um die Rohrwandung 2 gleichmäßig verteilt sind, und sie zeigt die Antiresonanzelement-Vorformlinge 5, die an den Längsschlitzten 3 an jeweils zwei Kontaktlinien, den Schnittkanten 3a; 3b anliegen und in die Hüllrohr-Innenbohrung 16 hineinragen. Zur Fixierung werden die beiden Enden der Antiresonanzelement-Vorformlinge 5 beispielsweise an der Innenseite des Hüllrohres 1 angeklebt oder mit diesem verschmolzen. Alternativ und bevorzugt werden die Antiresonanzelement-Vorformlinge mittels der oben beschriebenen SiO₂-haltigen Versiegelungs- und Verbindungsmasse mit der Hüllrohr-Innenmantelfläche verbunden. Dafür genügt eine lokale Fixierung, insbesondere in den beiden stirnseitigen Endbereichen.

Durch eine anschließende Längung dieses Ensembles werden die Antiresonanzelement-Vorformlinge 5 über ihre gesamte Länge mit den Schnittkanten 3a; 3b im Inneren des Hüllrohres 1 verbunden. Durch das Anlegen von Überdruck in der Innenbohrung des Hüllrohres 1 kann überprüft werden, ob die Schnittfugen 3 vollständig von den Antiresonanzelement-Vorformlingen 5 verschlossen sind. Die Längsschlitzte 3 dienen somit als exakte Positionierungshilfe, an der jeder Antiresonanzelement-Vorformling 5 genau positioniert und fixiert werden kann.

In **Figur 10(c)** ist dargestellt, dass das Ensemble 17 aus Hüllrohr 1 und darin positionierten Antiresonanzelement-Vorformlingen anschließend mit einem Überfangrohr 15 überfangen wird, um zusätzliches Mantelmaterial hinzuzufügen und um das für die Hohlkernfaser vorgegebene Kern-Mantel-Durchmesserverhältnis in der sekundären Vorform 18 einzustellen. In der so erhaltenen, sekundären Vorform 18 verbleibt zwischen dem Überfangrohr 15 und dem Ensemble 17 ein Ringspalt 19.

Beim Elongieren der Vorform 18 zur Hohlkernfaser kann über den Ringspalt 19 in die Hohlkanäle, die sich in den Schnittfugen 3 zwischen dem Überfangrohr 15 und den angeschmolzenen Antiresonanzelement-Vorformlingen 5 gebildet haben, Gas eingeleitet oder daraus abgezogen werden, um in den Hohlkanälen Überdruck oder Unterdruck zu erzeugen.

Sofern erforderlich oder gewünscht, kann damit die radiale Position der Antiresonanzelemente 5 in der Hüllrohr-Innenbohrung 16 verändert und korrigiert

- werden, wie in **Figur 11** skizziert. Dabei zeigt Skizze (a) einen Antiresonanzelement-Vorformling 5 mit ARE-Außenrohr 5a und verschachteltem Innenelement (ARE-Innenrohr 5b) in der Ausgangsposition. Skizze (b) zeigt die durch Druck und Hitze verformte und bereichsweise nach innen eingestülpte ARE-Außenrohrwandung mit dem auf der Einstülpung fixierten ARE-Innenrohr 5b in einer gegenüber der Ausgangsposition veränderten radialen Position. So können auch Faserdesigns realisiert werden, die abweichend vom klassischen „Stack-and-Draw-Technik“ auch nicht-hexagonale Symmetrie und insbesondere nicht ganzzahlige Symmetrie haben.
- 10 Durch Anlegen von Druck in den Hohlkanälen ist es auch möglich, einen Wandungsabschnitt eines Antiresonanzelement-Vorformlings 5 zum Inneren des Antiresonanzelement-Vorformlings „umzuklappen“. **Figur 12(a)** zeigt einen Antiresonanzelement-Vorformling 5 mit einfachem ARE-Außenrohr 5a (ohne zusätzliches verschachteltes ARE-Innenrohr) in Ausgangsposition. Unter Einwirkung von Hitze und Druck wird der Wandungsabschnitt zwischen den beiden Kontaktlinien nach
15 Innen aufgeblasen. Wie in **Figur 12b** gezeigt, entsteht so innerhalb des ARE-Außenrohrs 5a eine weitere Glasmembran 5c mit negativ (konvex) gekrümmter Oberfläche, die ein verschachteltes Innenelement wie das ARE-Innenrohr 5b (in der Fachliteratur auch bezeichnet als „nested element“) ersetzen kann.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung einer Antiresonanten Hohlkernfaser, die einen sich entlang einer Faser-Längsachse erstreckenden Hohlkern und einen den Hohlkern umgebenden Mantelbereich aufweist, der mehrere Antiresonanzelemente umfasst, mit den Verfahrensschritten:
 - (a) Bereitstellen eines Hüllrohres (1), das eine Hüllrohr-Innenbohrung (16) und eine Hüllrohr-Längsachse aufweist, entlang der sich eine von einer Innenseite und einer Außenseite begrenzte Hüllrohr-Wandung (2) erstreckt,
 - (b) Bereitstellen einer Anzahl von Antiresonanzelement-Vorformlingen (5),
 - (c) Anordnen der Antiresonanzelement-Vorformlinge (5) an Soll-Positionen der Innenseite der Hüllrohr-Wandung (2) unter Bildung einer primären Vorform für (17) die Hohlkernfaser, die einen hohlen Kernbereich und einen Mantelbereich aufweist, und
 - (d) Elongieren der primären Vorform (17) zu der Hohlkernfaser oder Weiterverarbeitung der primären Vorform (17) zu einer sekundären Vorform (18), aus der die Hohlkernfaser gezogen wird, wobei die Weiterverarbeitung eine einmalige oder wiederholte Durchführung von einem oder mehreren der folgenden Heißformprozesse umfasst:
 - (i) Elongieren,
 - (ii) Kollabieren,
 - (iii) Kollabieren und gleichzeitiges Elongieren,
 - (iv) Aufkollabieren von zusätzlichem Mantelmaterial,
 - (v) Aufkollabieren von zusätzlichem Mantelmaterial und anschließendes Elongieren,
 - (vi) Aufkollabieren von zusätzlichem Mantelmaterial und gleichzeitiges Elongieren,

- dadurch gekennzeichnet, dass das Bereitstellen des Hüllrohres (1) gemäß Verfahrensschritt (a) eine Bearbeitungs-Maßnahme umfasst, bei der die Hüllrohr-Wandung (2) durch spanende Bearbeitung im Bereich der Soll-Positionen mit einer sich in Richtung der Hüllrohr-Längsachse erstreckenden Längsstruktur (3) versehen wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Längsstruktur (3) der Hüllrohr-Innenwandung (2) durch Bohren, Sägen, Fräsen, Schneiden oder Schleifen erzeugt wird.
 3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass ein Hüllrohr (1) mit kreisrundem Innenquerschnitt bereitgestellt wird, und dass die Längsstruktur (3) als Längsrille an der Innenseite der Hüllrohr-Wandung oder als Längsschlitz ausgeführt wird.
 4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Hüllrohr (1) stirnseitige Enden (12) aufweist, und dass die Längsstruktur (3) vor den stirnseitigen Enden endet.
 5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Antiresonanzelement-Vorformlinge (5) bei Anordnung an der Soll-Position gemäß Verfahrensschritt (c) die Längsstruktur (3) jeweils an zwei Kanten (3a; 3b) berühren.
 6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Längsstruktur (3) in Umfangsrichtung der Hüllrohr-Innen-seite eine maximale Breite SB aufweist und dass die Antiresonanzelement-Vorformlinge (5) einen Durchmesser aufweisen, der kleiner ist als die maximale Breite SB der Längsstruktur (3).
 7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Antiresonanzelement-Vorformlinge (5) mindestens teilweise von der Längsstruktur (3) umschlossen sind.
 8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass in der Hüllrohr-Innenbohrung ein Einsatzrohr (8) eingesetzt wird, und dass die Antiresonanzelement-Vorformlinge (5) jeweils in einem Druckraum zwischen der Längsstruktur (3) und dem Einsatzrohr (8) eingeschlossen sind.

9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass bei Durchführung eines Prozesses gemäß Verfahrensschritt (d) Wandungsabschnitte des Einsatzrohres (8) im Bereich der Längsstruktur (3) durch Anlegen eines Innendrucks in dem Druckraum verformt werden.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Längsstruktur (3) um den Umfang der Hüllrohr-Wandung (2) verteilte Längsschlitze aufweist und dass die Antiresonanzelement-Vorformlinge (5) an jeweils einem Längsschlitz angeordnet sind.
11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Längsschlitze parallele Längskanten (3a; 3b) und eine maximale Schlitzbreite S_B aufweisen und die Antiresonanzelement-Vorformlinge (5) mit den Längskanten (3a; 3b) verbunden werden.
12. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Antiresonanzelement-Vorformlinge (5) mit den Längskanten (3a; 3b) durch Erweichen, vorzugsweise begleitet von einer gleichzeitigen Längung, verbunden werden.
13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Antiresonanzelement-Vorformlinge (5) jeweils mindestens ein Antiresonanzelement (5a; 5b) und mindestens eine mit dem Antiresonanzelement (5a; 5b) verbundene Kapillare (9) aufweisen, wobei die Kapillare (9) in einer Ausnehmung der Längsstruktur (3) aufgenommen wird, und bei Durchführung eines Prozesses gemäß Verfahrensschritt (d) die Kapillare (9) durch Anlegen eines Innendrucks in der Kapillar-Innenbohrung verformt wird.
14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Antiresonanzelemente (5) um den Hohlkern mit einer ungeradzahligen Symmetrie angeordnet sind.
15. Verfahren zur Herstellung einer Vorform für eine Antiresonante Hohlkernfaser, die einen sich entlang einer Faser-Längsachse erstreckenden Hohlkern und den Hohlkern umgebenden Mantelbereich aufweist, der mehrere Antiresonanzelemente umfasst, mit den Verfahrensschritten:

- (a) Bereitstellen eines Hüllrohres (1), das eine Hüllrohr-Innenbohrung und eine Hüllrohr-Längsachse aufweist, entlang der sich eine von einer Innenseite und einer Außenseite begrenzte Hüllrohr-Wandung (2) erstreckt,
- (b) Bereitstellen einer Anzahl von Antiresonanzelement-Vorformlingen (5),
- (c) Anordnen der Antiresonanzelement-Vorformlinge (5) an Soll-Positionen der Innenseite der Hüllrohr-Wandung (2) unter Bildung einer primären Vorform (17) für die Hohlkernfaser, die einen hohlen Kernbereich und einen Mantelbereich aufweist, und
- (d) optionale Weiterverarbeitung der primären Vorform (17) zu einer sekundären Vorform (18) für die Hohlkernfaser, wobei die Weiterverarbeitung eine einmalige oder wiederholte Durchführung von einem oder mehreren der folgenden Heißformprozesse umfasst:
 - (i) Elongieren,
 - (ii) Kollabieren,
 - (iii) Kollabieren und gleichzeitiges Elongieren,
 - (iv) Aufkollabieren von zusätzlichem Mantelmaterial,
 - (v) Aufkollabieren von zusätzlichem Mantelmaterial und anschließendes Elongieren,
 - (vi) Aufkollabieren von zusätzlichem Mantelmaterial und gleichzeitiges Elongieren,

dadurch gekennzeichnet, dass das Bereitstellen des Hüllrohres (1) gemäß Verfahrensschritt (a) eine Bearbeitungs-Maßnahme umfasst, bei der die Hüllrohr-Wandung (2) durch spanende Bearbeitung im Bereich der Soll-Positionen mit einer sich in Richtung der Hüllrohr-Längsachse erstreckenden Längsstruktur (3) versehen wird.

1/2

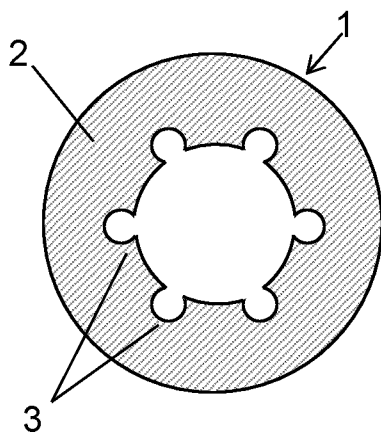


Fig. 1

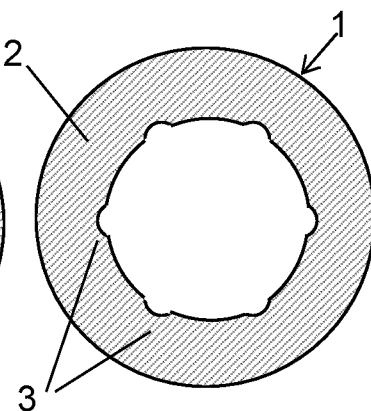


Fig. 2

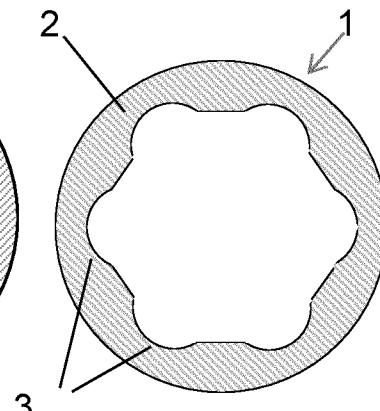


Fig. 3

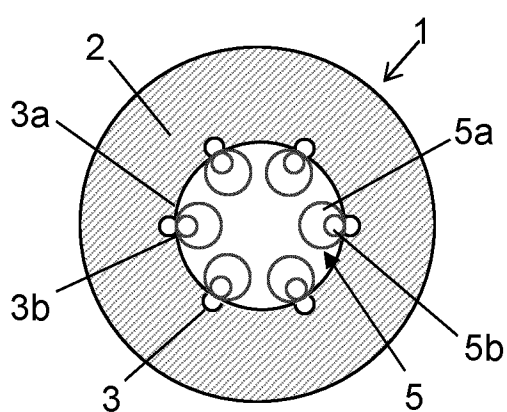


Fig. 4

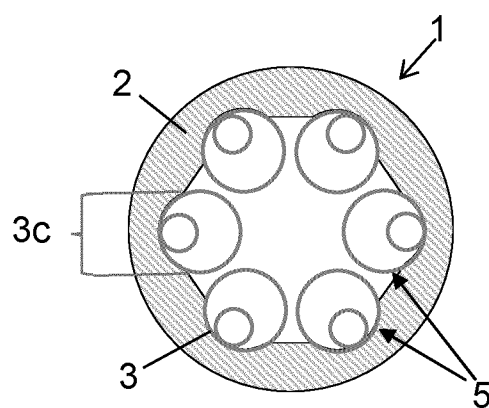


Fig. 5

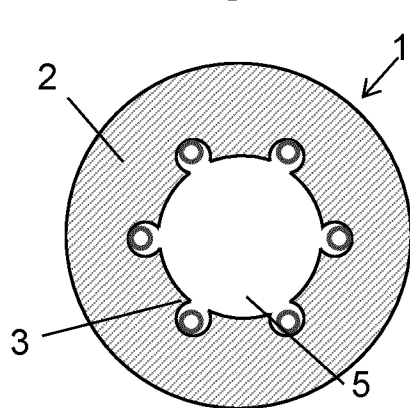


Fig. 6

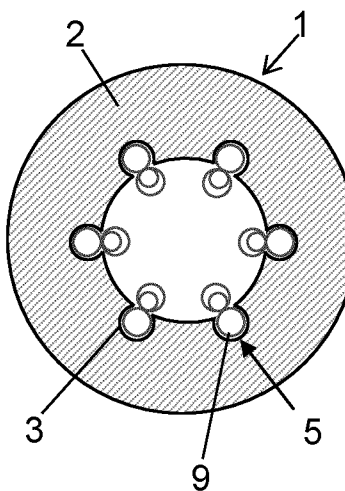


Fig. 8

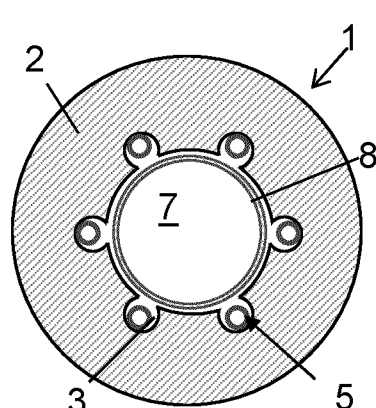


Fig. 7

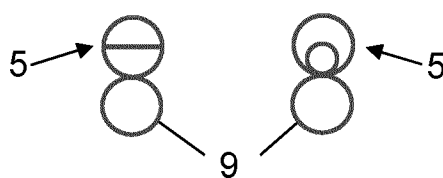


Fig. 9

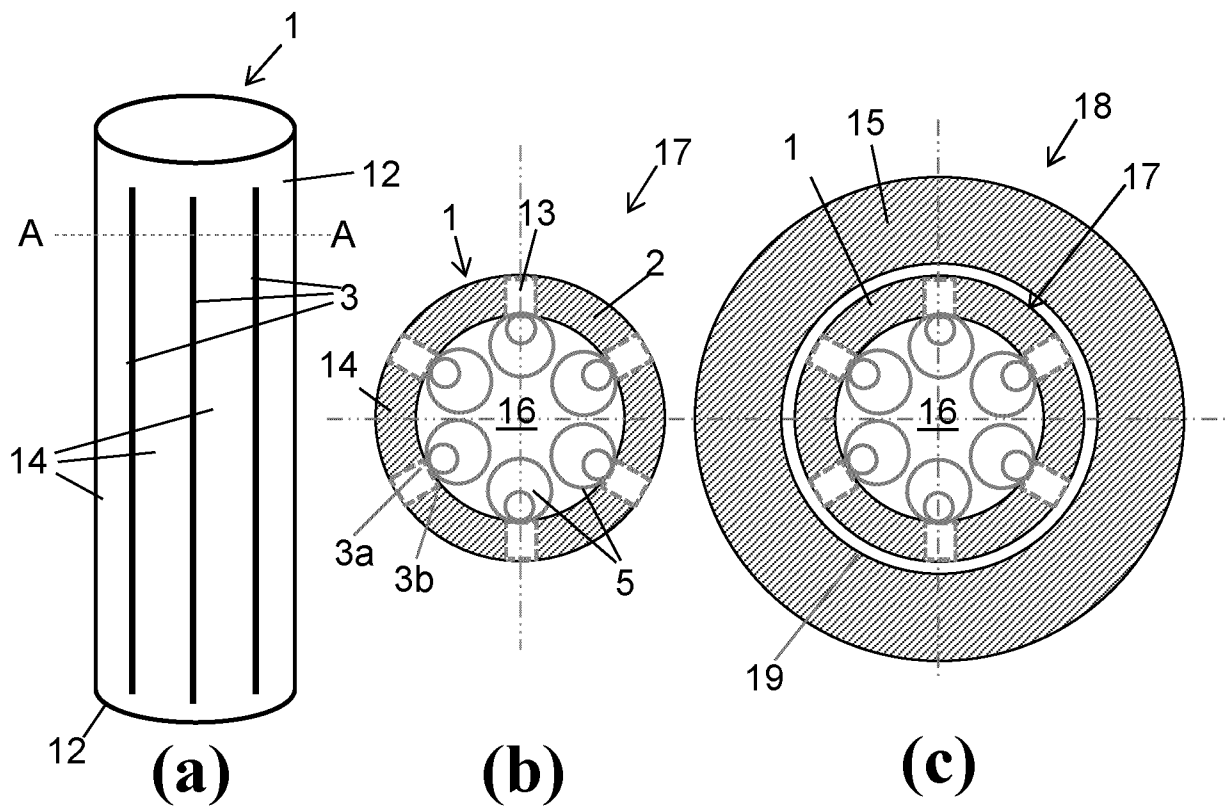


Fig. 10

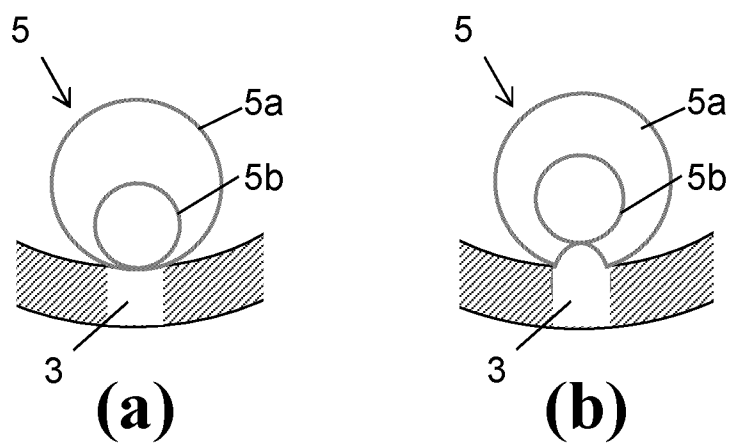


Fig. 11

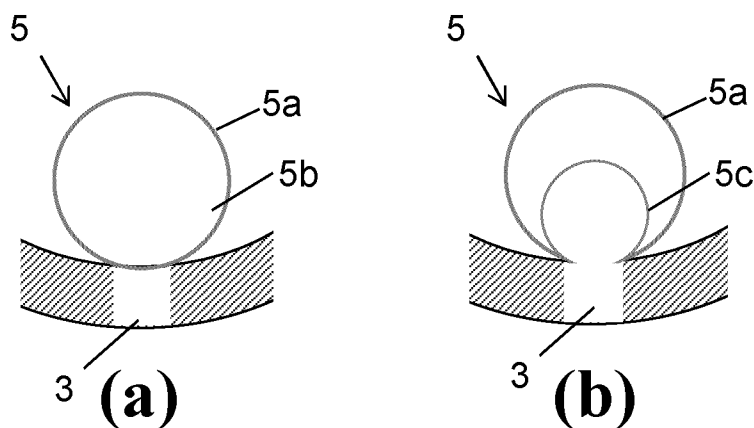


Fig. 12

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2020/069973

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**C03B 37/012**(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

C03B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	GB 2566466 A (UNIV SOUTHAMPTON [GB]) 20 March 2019 (2019-03-20)	1-7,10-12,14,15
Y	page 14, lines 4-26; claims 22-30; figure 10	8
A		9,13
X	EP 3136143 A1 (MAX-PLANCK-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER WSS E V [DE]) 01 March 2017 (2017-03-01)	1-7,10-12,14,15
Y	cited in the application	8
A	paragraphs [0064] - [0066]; figure 6	9,13
A	WO 02072489 A2 (CRYSTAL FIBRE AS [DK]; JAKOBSEN CHRISTIAN [DK] ET AL.) 19 September 2002 (2002-09-19)	1,4
	page 9, lines 19-20	
	page 29, lines 30-31; figure 5	
	page 33, lines 11-14	
A	US 2004096173 A1 (FEKETY CURTIS R [US] ET AL) 20 May 2004 (2004-05-20)	1
	paragraph [0052]	

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

04 September 2020

Date of mailing of the international search report

14 September 2020

Name and mailing address of the ISA/EP

European Patent Office
p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk
Netherlands

Telephone No. (+31-70)340-2040

Facsimile No. (+31-70)340-3016

Authorized officer

Creux, Sophie

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2020/069973**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	Fei Yu. "Hollow core negative curvature fibres" In: University of Bath PhD., pages 59-74, 31 December 2013 (2013-12-31), XP055656461 page 61 - page 62; figure 4.1	8

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2020/069973

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
GB	2566466	A	20 March 2019	CN	111095059	A	01 May 2020
				EP	3682273	A1	22 July 2020
				GB	2566466	A	20 March 2019
				US	2020278491	A1	03 September 2020
				WO	2019053412	A1	21 March 2019
EP	3136143	A1	01 March 2017	CA	2995736	A1	02 March 2017
				CN	108351465	A	31 July 2018
				DK	3136143	T3	18 May 2020
				EP	3136143	A1	01 March 2017
				EP	3341771	A1	04 July 2018
				JP	2018533042	A	08 November 2018
				TW	201712381	A	01 April 2017
				US	2018267235	A1	20 September 2018
				US	2019377131	A1	12 December 2019
				WO	2017032454	A1	02 March 2017
WO	02072489	A2	19 September 2002	GB	2394712	A	05 May 2004
				US	2004179796	A1	16 September 2004
				WO	02072489	A2	19 September 2002
US	2004096173	A1	20 May 2004	AU	2003285026	A1	15 June 2004
				US	2004096173	A1	20 May 2004
				WO	2004046054	A2	03 June 2004

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. C03B37/012
ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
C03B

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	GB 2 566 466 A (UNIV SOUTHAMPTON [GB]) 20. März 2019 (2019-03-20)	1-7, 10-12, 14,15
Y	Seite 14, Zeilen 4-26; Ansprüche 22-30;	8
A	Abbildung 10	9,13

X	EP 3 136 143 A1 (MAX-PLANCK-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER WSS E V [DE]) 1. März 2017 (2017-03-01) in der Anmeldung erwähnt	1-7, 10-12, 14,15
Y	Absätze [0064] - [0066]; Abbildung 6	8
A		9,13

	-/-	

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen ☒ Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

4. September 2020

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

14/09/2020

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Creux, Sophie

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	WO 02/072489 A2 (CRYSTAL FIBRE AS [DK]; JAKOBSEN CHRISTIAN [DK] ET AL.) 19. September 2002 (2002-09-19) Seite 9, Zeilen 19-20 Seite 29, Zeilen 30-31; Abbildung 5 Seite 33, Zeilen 11-14 -----	1,4
A	US 2004/096173 A1 (FEKETY CURTIS R [US] ET AL) 20. Mai 2004 (2004-05-20) Absatz [0052] -----	1
Y	Fei Yu: "Hollow core negative curvature fibres" In: "University of Bath PhD.", 31. Dezember 2013 (2013-12-31), XP055656461, Seiten 59-74, Seite 61 - Seite 62; Abbildung 4.1 -----	8

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2020/069973

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument			Datum der Veröffentlichung		Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung	
GB 2566466	A	20-03-2019	CN	111095059	A		01-05-2020	
			EP	3682273	A1		22-07-2020	
			GB	2566466	A		20-03-2019	
			US	2020278491	A1		03-09-2020	
			WO	2019053412	A1		21-03-2019	

EP 3136143	A1	01-03-2017	CA	2995736	A1		02-03-2017	
			CN	108351465	A		31-07-2018	
			DK	3136143	T3		18-05-2020	
			EP	3136143	A1		01-03-2017	
			EP	3341771	A1		04-07-2018	
			JP	2018533042	A		08-11-2018	
			TW	201712381	A		01-04-2017	
			US	2018267235	A1		20-09-2018	
			US	2019377131	A1		12-12-2019	
			WO	2017032454	A1		02-03-2017	

WO 02072489	A2	19-09-2002	GB	2394712	A		05-05-2004	
			US	2004179796	A1		16-09-2004	
			WO	02072489	A2		19-09-2002	

US 2004096173	A1	20-05-2004	AU	2003285026	A1		15-06-2004	
			US	2004096173	A1		20-05-2004	
			WO	2004046054	A2		03-06-2004	
