

(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 2021/009213 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

C03B 23/07 (2006.01) C03B 37/027 (2006.01)
C03B 37/012 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2020/069980

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

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:

62/875,303 17. Juli 2019 (17.07.2019) US
19189575.4 01. August 2019 (01.08.2019) EP

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

HERAEUS QUARTZ NORTH AMERICA LLC

[US/US]; 100 Heraeus Blvd., Buford, Georgia 30518 (US).

(72) Erfinder: **ROSENBERGER, Manuel**; c/o Heraeus Quarzglas GmbH & Co. KG, Quarzstraße 8, 63450 Hanau (DE). **VYDRA, Jan**; c/o Heraeus Quarzglas GmbH & Co. KG, Quarzstraße 8, 63450 Hanau (DE). **CHANG, Kai Hui**; c/o Heraeus Quartz North America LLC, 100 Heraeus Blvd., Buford, Georgia 30518 (US). **MA, Qiulin**; c/o Heraeus Quartz North America LLC, 100 Heraeus Blvd., Buford, Georgia 30518 (US).

(74) Anwalt: **STAUDT, Armin**; Sandeldamm 24a, 63450 Hanau (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,

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

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

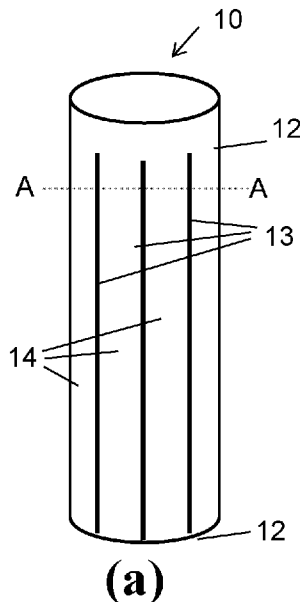


Fig. 1

(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; forming a number of precursors for anti-resonant elements at target positions of the cladding tube wall; 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 from which the hollow-core fiber is drawn. 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 formation of the anti-resonant element precursors includes the formation of elongated pressure chambers, each of which adjoins a wall that can be deformed under pressure and heat in the region of the target positions of the anti-resonant elements and which cause a section of the deformable wall to protrude in the direction of the cladding tube inner bore under the effect of pressure and heat, thereby forming an anti-resonant element or a precursor for same, while carrying out a process according to step (c).

(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

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.

(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)

Hüllrohr-Innenbohrung und eine Hüllrohr-Längsachse aufweist, entlang der sich eine von einer Innenseite und einer Außenseite begrenzte Hüllrohr-Wandung erstreckt; der Bildung einer Anzahl von Vorstufen für Antiresonanzelemente an Soll-Positionen der Hüllrohr-Wandung, und des Elongieren der primären Vorform zu der Hohlkernfaser oder ihrer Weiterverarbeitung zu einer sekundären Vorform, aus der die Hohlkernfaser gezogen wird. Um hiervon ausgehend eine hohe Präzision und eine exakte Positionierung der Antiresonanzelemente in einer ausreichend stabilen und reproduzierbaren Weise zu erreichen, wird erfindungsgemäß vorgeschlagen, dass die Bildung der Antiresonanzelement-Vorstufen die Ausbildung langgestreckter Druckkammern umfasst, die jeweils im Bereich der Soll-Positionen der Antiresonanzelemente an eine unter Druck und Hitze verformbare Wandung angrenzen, und die bei Durchführung eines Prozesses gemäß Verfahrensschritt (c) infolge von Druck und Hitze eine Ausstülpung eines Abschnitts der verformbaren Wandung in Richtung der Hüllrohr-Innenbohrung unter Bildung eines Antiresonanzelements oder eines Vorläufers dafür bewirken.

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, der eine Anzahl von Antiresonanzelementen umfasst, mit den Verfahrensschritten:

- 10 (a) Bereitstellen einer primären Vorform für die Hohlkernfaser, die mindestens ein Hüllrohr, das eine Hüllrohr-Innenbohrung und eine Hüllrohr-Längsachse aufweist, entlang der sich eine von einer Innenseite und einer Außenseite begrenzte Hüllrohr-Wandung erstreckt,
- (b) Bildung einer Anzahl von Vorstufen für Antiresonanzelemente an Soll-
15 Positionen der Hüllrohr-Wandung, und
- (c) Elongieren der primären Vorform zu der Hohlkernfaser oder Weiterverarbeitung der primären Vorform zu einer sekundären Vorform, aus der die Hohlkernfaser gezogen wird, wobei die Weiterverarbeitung eine einmalige oder wiederholte Durchführung von einem oder mehreren der folgenden
20 Heißformprozesse umfasst:
- (i) Elongieren,
- (ii) Kollabieren,
- (iii) Kollabieren und gleichzeitiges Elongieren,
- (iv) Aufkollabieren von zusätzlichem Mantelmaterial,
- 25 (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:

- 5 (a) Bereitstellen einer primären Vorform für die Hohlkernfaser, die mindestens ein Hüllrohr, das eine Hüllrohr-Innenbohrung und eine Hüllrohr-Längsachse aufweist, entlang der sich eine von einer Innenseite und einer Außenseite begrenzte Hüllrohr-Wandung erstreckt,
- (b) Bildung einer Anzahl von Vorstufen für Antiresonanzelemente an Soll-
10 Positionen der Hüllrohr-Wandung,
- (c) 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:
 - 15 (i) Elongieren,
 - (ii) Kollabieren,
 - (iii) Kollabieren und gleichzeitiges Elongieren,
 - (iv) Aufkollabieren von zusätzlichem Mantelmaterial,
 - (v) Aufkollabieren von zusätzlichem Mantelmaterial und
20 anschließendes Elongieren,
 - (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.

25

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.

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.

Potentielle Anwendungen der Hohlkernfasern liegen auf dem Gebiet der Datenübertragung, der Hochleistungsstrahlführung, beispielsweise zur Materialbearbeitung, der Modalfilterung, der nichtlinearen Optik, insbesondere zur Superkontinuums-erzeugung, vom ultravioletten bis infraroten Wellenlängenbereich.

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.

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.

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“, 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.

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 dem Elongieren der Vorform wird das Vorformende versiegelt, was durch Aufbringen einer Siegelmasse geschieht. Als Siegelmasse wird beispielsweise ein UV-Kleber eingesetzt.

Technische Aufgabenstellung

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 Konfiguration 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 genannten Paper bekannten Hohlkernfaser im „NANF“-Design sechs Antiresonanzelement-Vorformlinge, jeweils bestehend aus einem Antiresonanzvorformling-Außenrohr (kurz: ARE-Außenrohr) und einseitig an der Innenmantelfläche des ARE-Außenrohres-ingeschweißtem Antiresonanzvorformling-Innenrohr (kurz: ARE-Innenrohr), an der Innenseite eines Hüllrohres angebracht werden.

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 der Herstellung der Antiresonanten Hohlkernfaser wird diese Aufgabe ausgehend von einem Verfahren der eingangs genannten Gattung erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass die Bildung der Antiresonanzelement-Vorstufen die Ausbildung langgestreckter Druckkammern umfasst, die jeweils im Bereich der Soll-Positionen der Antiresonanzelemente an eine unter Druck und Hitze verformbare Wandung angrenzen, und die bei Durchführung eines Prozesses gemäß Verfahrensschritt (c) infolge von Druck und Hitze eine Ausstülpung eines Abschnitts der verformbaren Wandung in Richtung der Hüllrohr-Innenbohrung unter Bildung eines Antiresonanzelements oder eines Vorläufers dafür bewirken.

Ausgangspunkt für die Herstellung der Antiresonanten Hohlkernfaser ist eine Vorform, die hier auch 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 der primären Vorform aber zusätzliches Mantelmaterial hinzugefügt, 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 se-

kundäre Vorform unter Ausbildung eines coaxialen Ensembles von Bauteilen mit einem Überfangzylinder oder mit mehrere Überfangzylindern umgeben und das koaxiale Ensemble direkt zu der Hohlkernfaser elongiert. Der allgemeine Begriff „Vorform“ wird hier zur Bezeichnung desjenigen Bauteils oder desjenigen koaxialen Ensembles von Bauteilen verstanden, aus der die Hohlkernfaser letztlich gezogen wird.

Die Genauigkeit der Positionierung der Antiresonanzelemente wird verbessert, indem die Vorstufen für Antiresonanzelemente in Form von langgestreckten Druckkammern ausgeführt werden, die im Bereich der Soll-Positionen der Antiresonanzelemente ausgebildet werden. Die Druckkammern sind dazu ausgelegt, die daran angrenzenden Wandungsabschnitte des inneren Hüllrohres in Richtung der Hüllrohr-Längsachse umzustülpen, wenn diese Wandungsabschnitte erweicht sind und in den Druckkammern ein Gasdruck angelegt wird.

Die langgestreckten Druckkammern bewirken bei Durchführung eines Prozesses gemäß Verfahrensschritt (c) infolge von Druck und Hitze eine langgestreckte Ausstülpung eines langgestreckten Abschnitts der verformbaren Wandung in Richtung der Hüllrohr-Innenbohrung unter Bildung eines langgestreckten Antiresonanzelements oder eines Vorläufers dafür.

Die betreffenden, umzustülpenden Wandungsabschnitte der verformbaren Wandung sind langgestreckt und verlaufen entlang der Druckkammern und der Soll-Positionen der Antiresonanzelement-Vorstufen in der Vorform. Im einfachsten und Folgenden näher betrachteten Fall gehören die umzustülpenden Wandungsabschnitte der verformbaren Wandung zu einem Glasrohr.

- Die Druckkammern sind bei einer ersten bevorzugten Verfahrensvariante innerhalb der Wandung des Glasrohres ausgebildet; sie bilden in dem Fall Hohlkanäle, die parallel zur Glasrohr-Längsachse von einem Ende zum anderen Ende der Glasrohr-Wandung verlaufen und die vollständig vom Glas des Glasrohres begrenzt sind.
- Die Druckkammern werden bei einer anderen bevorzugten Verfahrensvariante durch ein separates Bauteil bereitgestellt, das an die Außenmantelfläche der deformierbaren GlasrohrWandung angrenzt. Sie bilden in dem Fall Hohlkanäle,

die parallel zur Glasrohr-Längsachse von einem Ende zum anderen Ende entlang der Glasrohr-Wandung verlaufen und die an einer Seite vom Glas des Glasrohres begrenzt sind.

- Die Druckkammern sind bei einer weiteren bevorzugten Verfahrensvariante in Ausnehmungen der Außenmantelfläche der Glasrohr-Wandung ausgebildet; sie bilden in dem Fall ebenfalls Hohlkanäle, die parallel zur Glasrohr-Längsachse von einem Ende zum anderen Ende entlang der Glasrohr-Wandung verlaufen und vom Glas des Glasrohres im Bereich der Ausnehmung begrenzt sind.
- 10 Diese Verfahrensvarianten sind auch untereinander kombinierbar. Damit in die Hohlkanäle ein Druckgas eingeleitet werden kann, sind sie an einem Ende offen, vorteilhafterweise – auch aus Fertigungsaspekten - sind sie an beiden Enden offen.

15 Die Antiresonanzelement-Vorstufen werden an diesen Positionen in einem Fertigungsschritt erzeugt, indem die betreffenden Wandungsabschnitte in Richtung der Glasrohr-Innenbohrung durch Anlegen eines von der Glasrohr-Außenseite wirkenden Drucks umgestülpt werden. Dies kann beispielsweise beim Elongieren der Vorform zur Hohlkernfaser oder zu einem Halbzeug erfolgen.

20 Eine Positionierung und Fixierung vorgefertigter Antiresonanzelement-Vorformlingen an den betreffenden Positionen der Hüllrohr-Innenwandung – wie bei der Stack-and-Draw-Technik bekannt - kann so vollständig entfallen oder die Anzahl der so zu positionierenden Antiresonanzelement-Vorformlinge kann zumindest verringert werden.

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

Die Druckkammern sind vorteilhafterweise als Hohlkanäle ausgelegt, an die die zu verformenden Wandungsabschnitte eines Glasrohres angrenzen.

30 Die Hohlkanäle bilden Druckkammern, in die in einem Fertigungsschritt ein Druckgas eingeleitet werden kann, so dass die dem Druckgas zugänglichen Wandungsabschnitte des Glasrohres infolge des Gasdrucks verformt werden.

Hohlkanäle, erzeugt durch Bohrungen innerhalb der Rohrwandung eines deformierbaren Glasrohres

Bei einigen der oben bereits erwähnten bevorzugten Verfahrensweisen sind innerhalb der Glasrohr-Wandung Hohlkanäle ausgebildet, die parallel zur Glasrohr-Längsachse verlaufen.

Der Querschnitt der Hohlkanäle kann rund oder polygonal sein, insbesondere dreieckig oder rechteckig. Bei Hohlkanälen mit Rechteckform verläuft die lange Rechteckseite tangential zum umzuformenden (auszustülpenden) Wandungsabschnitt. Bei Hohlkanälen mit Dreieckform verläuft eine der Dreieckseiten tangential zum umzuformenden (auszustülpenden) Wandungsabschnitt. Dadurch wirkt der Gasdruck stärker auf diesen Wandungsabschnitt als in anderen Richtungen.

Insbesondere zur Herstellung komplex geformter Antiresonanzelement-Vorformlinge mit verschachtelten Strukturelementen hat sich dabei eine Verfahrensvariante als günstig erwiesen, bei der eine koaxiale Glasrohr-Anordnung gebildet wird, umfassend eine innere periphere Reihe von Hohlkanälen in der Rohrwandung eines inneren Glasrohres und eine äußere periphere Reihe von Hohlkanälen in der Rohrwandung eines äußeren Glasrohres, wobei die Hohlkanäle der inneren und der äußeren peripheren Reihe in radialer Richtung auf einer gemeinsamen Verbindungslinie liegen und durch mindestens eine peripher umlaufende und nach innen verformbare Glaswandung räumlich voneinander getrennt sind.

Die peripher umlaufende Glaswandung trennt die Druckräume der inneren und äußeren peripheren Hohlkanal-Reihen voneinander und sie wird beim Heißverformungsprozess durch die Hohlkanäle der äußeren peripheren Reihe nach innen umgestülpt. Gehört die peripher umlaufende Glaswandung zum inneren Glasrohr, so kann die Verformung des äußeren Glasrohres in eine Ausstülpung des inneren Glasrohres hinein erfolgen, wodurch ein Antiresonanzelement-Vorformling für eine verschachteltes Antiresonanzelement erzeugt wird.

Hohlkanäle, erzeugt durch Längsschlitzte in einer an ein deformierbares Glasrohr angrenzenden Zwischenrohrwandung

Eine andere besonders elegante Verfahrensweise zur Ausbildung der Hohlkanäle umfasst eine Maßnahme, bei der zwischen dem Glasrohr und einem Außenrohr
5 ein Zwischenrohr angeordnet wird, das eine Zwischenrohr-Längsachse aufweist, entlang der sich eine von einer Innenseite und einer Außenseite begrenzte Zwischenrohr-Wandung erstreckt, wobei in der Zwischenrohr-Wandung Längsschlitzte eingebracht sind, wobei aus den Längsschlitzten bei Durchführung eines Prozesses gemäß Verfahrensschritt (c) Hohlkanäle gebildet werden.

- 10 Die Längsschlitzte durchdringen die Wandung des Zwischenrohres (vorzugsweise mit Ausnahme der beiden stirnseitigen Endbereiche). Sie haben parallele Längskanten.

Das Zwischenrohr kann an der Außenwandung des Glasrohres anliegen und mit diesem verschmolzen sein, und es kann an der Innenwandung des Außenrohres
15 anliegen und mit diesem verschmolzen sein. Die Längsschlitzte befinden sich zwischen dem Glasrohr und dem Außenrohr an den Positionen der umzustülpenden Glasrohr-Wandungsabschnitte. Sie bilden dort Hohlkanäle oder Vorstufen von Hohlkanälen, über die in einem späteren Fertigungsschritt Druck auf die Außenseite des Glasrohres aufgebracht werden kann, um so das erweichte Material des
20 Glasrohres in Richtung auf dessen Innenbohrung umzustülpen. Dabei werden die Hohlkanäle infolge von Druck und Hitze in die langgestreckten Ausstülpungen verformt.

Ein Vorteil dieser Ausführungsform liegt darin, dass der Abstand der Hohlkanäle zur Innenbohrung über ihre Länge und untereinander besonders gleichmäßig wird.

- 25 Vorteilhafterweise wird bei Durchführung eines Heißformprozesses gemäß Verfahrensschritt (c) in den Hohlkanälen durch Einleiten eines Druckgases ein Innendruck erzeugt, und dadurch werden die Wandungsabschnitte des Glasrohres, die durch die Längsschlitzte dem Druckgas zugänglich sind, verformt. Dabei bilden sich nach innen – in Richtung auf die Glasrohr-Innenbohrung und in Richtung auf
30 den Hohlkern – weisende, längliche Ausbuchtungen am Glasrohr, die als Antiresonanzelement-Vorformlinge oder als Antiresonanzelemente dienen.

Die Längsschlitze enden vorzugsweise vor den stirnseitigen Enden des Zwischenrohres, um den Zusammenhalt der verbleibenden Längsstege zu gewährleisten.

Insbesondere zur Herstellung komplex geformter Antiresonanzelement-Vorformlinge mit verschachtelten Strukturelementen hat sich dabei eine Verfahrensvariante als günstig erwiesen, bei der eine koaxiale Rohr-Anordnung gebildet wird, umfassend ein inneres Glasrohr, ein inneres Zwischenrohr, ein inneres Außenrohr, das gleichzeitig ein äußeres Glasrohr bildet, ein äußeres Zwischenrohr und ein äußeres Außenrohr, wobei die Längsschlitze des inneren und des äußeren Zwischenrohres in radialer Richtung auf einer gemeinsamen Verbindungslinie liegen und durch mindestens eine peripher umlaufende und nach innen verformbare Glaswandung räumlich voneinander getrennt sind.

Derartige koaxiale Rohr-Anordnungen dienen dazu mindestens zwei Hohlkanäle beziehungsweise Druckkammern zu erzeugen, die in radialer Richtung gesehen paarweise hintereinander angeordnet sind. Die peripher umlaufende Glaswandung trennt die Druckräume der inneren und äußeren periphereren Hohlkanal-Reihen voneinander und sie wird beim Heißverformungsprozess durch die Hohlkanäle der äußeren periphereren Reihe nach innen umgestülpt. Gehört die peripher umlaufende Glaswandung zum inneren Glasrohr, so kann die Verformung des äußeren Glasrohres in eine Ausstülpung des inneren Glasrohres hinein erfolgen, wodurch ein Antiresonanzelement-Vorformling für eine verschachteltes Antiresonanzelement erzeugt wird.

Vorzugsweise wird ein Zwischenrohr mit kreisrundem Innenquerschnitt bereitgestellt und spanend bearbeitet. Die Längsschlitze sind in radialer Richtung durchgehend ausgeführt und lassen sich dabei einfach und genau fertigen; beispielsweise durch Fräsen, Bohren oder Einschneiden. Die Innengeometrie der Längsschlitze oder -rillen ist beispielsweise rechteckig oder v-förmig.

Die Längsschlitze werden bevorzugt durch spanende Bearbeitung der Zwischenrohr-Wandung, insbesondere durch Schneiden, Bohren, Sägen, Fräsen oder Schleifen, erzeugt.

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.

Es hat sich bewährt, wenn die Längsschlitze Längskanten aufweisen und das
5 Glasrohr und das Außenrohr mit den Längskanten durch Erweichen verbunden wird.

Dafür wird das koaxiale Rohrensemble aus Außenrohr, längsgeschlitztem Zwischenrohr und Glasrohr erhitzt und dabei werden die Schnittkanten der Längsschlitze über ihre gesamte Länge mit der Außenwandung des Glasrohres und mit
10 der Innenwandung des Außenrohres verbunden. Durch eine gleichzeitige Längung werden unerwünschte Verformungen in radialer Richtung unterdrückt. Alternativ werden die Rohre in zwei Prozessschritten nacheinander paarweise miteinander verbunden.

Auf diese Weise wird eine Vorform erhalten, in der die ursprünglichen Längsschlitze als Hohlkanäle eingeschlossen sind. Sie können einseitig oder beidseitig durch
15 Entfernen der geschlossenen stirnseitigen Endbereiche der Vorform freigelegt werden.

Hohlkanäle, erzeugt durch Längsrillen an einem deformierbaren Glasrohr und/oder
20 an einem an das Glasrohr angrenzenden Zwischenrohr

Anstelle oder ergänzend zu den oben erläuterten Verfahrensweisen zur Ausbildung der Hohlkanäle hat es sich auch bewährt, wenn die Ausbildung der Hohlkanäle eine Maßnahme umfasst, bei der ein Glasrohr und ein Zwischenrohr eingesetzt werden, welches das Glasrohr coaxial umgibt, wobei das Glasrohr eine Glasrohr-Außenmantelfläche aufweist, in die Längsrillen eingebracht sind, die parallel
25 zur Glasrohr-Längsachse verlaufen, und/oder das Zwischenrohr ein Zwischenrohr-Innenmantelfläche aufweist, in die Längsrillen eingebracht sind, die parallel zu Zwischenrohr-Längsachse verlaufen, wobei aus den Längsrillen bei Durchführung eines Prozesses gemäß Verfahrensschritt (c) Hohlkanäle gebildet werden,
30 und wobei die Hohlkanäle infolge von Druck und Hitze in die langgestreckten Ausstülpungen verformt werden.

Die Längsrillen in der Außenmantelfläche des Glasrohres bilden im Zusammenspiel mit einer das Glasrohr umgebenden Rohrwandung ebenfalls Kanäle und damit Druckkammern zur Verformung der Wandungsabschnitte, in denen die Längsrillen verlaufen. Die Längsrillen an der Innenmantelfläche des Zwischenrohres dienen zur Ausbildung der Hohlkanäle in ähnlicher Weise wie die Längsschlitz-
5 des Zwischenrohres, wie oben eingehend erläutert.

Zur Druckbeaufschlagung ist es hilfreich, wenn die Längsrillen durchgängig sind, das heißt: sie erstrecken sich vorzugsweise von einem Ende des jeweiligen Rohres bis zum gegenüberliegenden Ende.

10 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 die Bildung der Antiresonanzelement-Vorstufen die Ausbildung langgestreckter Druckkammern umfasst, die jeweils im Bereich der Soll-Positionen der Antiresonanzelemente an eine unter
15 Druck und Hitze verformbare Wandung angrenzen, und die bei Durchführung eines Prozesses gemäß Verfahrensschritt (c) infolge von Druck und Hitze eine Ausstülpung eines Abschnitts der verformbaren Wandung in Richtung der Hüllrohr-Innenbohrung unter Bildung eines Antiresonanzelements oder eines Vorläufers dafür bewirken.

20 Die Vorform ist Ausgangspunkt für die Herstellung der Antiresonanten Hohlkernfaser. Durch Elongieren der Vorform wird entweder direkt die Antiresonante Hohlkernfaser gezogen oder es wird zunächst ein Halbzeug erzeugt, aus dem anschließend die Antiresonante Hohlkernfaser gezogen wird. Die Herstellung der Vorform umfasst das Einstülpen von Wandungsabschnitten des Glasrohres im
25 Bereich der Soll-Positionen der Antiresonanzelemente durch Anlegen von Druck in den Druckkammern.

Die umzustülpenden Wandungsabschnitte des Glasrohres sind langgestreckt und verlaufen entlang der Soll-Positionen der Antiresonanzelement-Vorstufen in der Vorform. Die Antiresonanzelement-Vorstufen werden an diesen Positionen in ei-
30 nem Fertigungsschritt erzeugt, indem die betreffenden Wandungsabschnitte in Richtung der Hüllrohr-Innenbohrung durch Anlegen eines von der gegenüberliegenden Wandungsseite wirkenden Drucks umgestülpt werden. Eine Positionie-

rung und Fixierung vorgefertigter Antiresonanzelement-Vorformlingen an den betreffenden Positionen der Hüllrohr-Innenwandung – wie bei der Stack-and-Draw-Technik bekannt – kann so vollständig entfallen oder die Anzahl der so zu positionierenden Antiresonanzelement-Vorformlinge kann zumindest verringert werden.

- 5 Maßnahmen zur Herstellung der Vorform sind weiter oben im Zusammenhang der Herstellung der Hohlkernfaser erläutert und diese Erläuterungen werden hiermit einbezogen.

Definitionen

- 10 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.

15

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

- 20 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 be-

- 30 zeichnet, 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
5 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
10 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
15 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.
20

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
25 (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.
30

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:

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

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.

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 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 Regel mit einem Elongieren einher.

5 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
10 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 ge-
15 nutzt, 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 Bohr-
20 vorgang erzeugt worden ist.

Spanende Bearbeitung

Darunter werden trennende mechanische Fertigungsverfahren zur trennenden Bearbeitung eines Werkstücks verstanden, insbesondere Drehen, Schneiden,
25 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 SiO₂-Partikel werden anhand der D₅₀-Werte charakterisiert. Diese Werte werden aus Partikelgrößen-Verteilungskurven entnommen, die das kumulative Volumen der SiO₂-Partikel in
- 5 Abhängigkeit von der Partikelgröße zeigen. Die Teilchengrößenverteilungen werden häufig anhand der jeweiligen D₁₀-, D₅₀- und D₉₀-Werte charakterisiert. Dabei kennzeichnet der D₁₀-Wert diejenige Teilchengröße, die von 10% des kumulativen Volumens der SiO₂-Teilchen nicht erreicht wird, und dementsprechend der D₅₀-Wert und der D₉₀-Wert diejenige Partikelgrößen, die von 50% beziehungsweise
- 10 von 90% des kumulativen Volumens der SiO₂-Partikel nicht erreicht wird. Die Partikelgrößenverteilung wird durch Streulicht- und Laserbeugungsspektroskopie nach ISO 13320 ermittelt.

Ausführungsbeispiel

- 15 Nachfolgend wird die Erfindung anhand eines Ausführungsbeispiels und einer Zeichnung näher erläutert. Im Einzelnen zeigt in schematischer Darstellung
- Figur 1** eine erste Ausführungsform eines mit Längsschlitz versehenen Zwischenrohres zum Einsatz im erfindungsgemäßen Verfahren in einer Seitenansicht (a) und in einer Draufsicht (b) auf einen Querschnitt,
- 20 **Figur 2** Verfahrensschritte zur Herstellung einer Vorform (b) für eine Hohlkernfasern unter Einsatz eines Rohr-Ensembles (a) mit mehreren geschlitzten Zwischenrohren anhand eines ersten Beispiels,
- Figur 3** das Faserziehen der Vorform von Figur 3 zu einer Hohlkernfaser unter Bildung von Antiresonanzelementen bei einem Ausschnitt der Vorform
- 25 von Figur 2(b) in vergrößerter Darstellung,
- Figur 4** eine zweite Ausführungsform eines mit Längsschlitz versehenen Zwischenrohres in einer Seitenansicht (a) und in einer Draufsicht (b) auf einen Querschnitt,

Figur 5 Verfahrensschritte zur Herstellung einer Vorform (b) für eine Hohlkernfasern unter Einsatz eines Rohr-Ensembles (a) mit einem geschlitzten Zwischenrohr anhand eines zweiten Beispiels,

Figur 6 das Faserziehen der Vorform von Figur 5 zu einer Hohlkernfaser unter Bildung von Antiresonanzelementen bei einem Ausschnitt der Vorform von Figur 5(b) in vergrößerter Darstellung, und

Figur 7 eine koaxiale Anordnung eines Glasrohres mit thermisch verformbarer Wandung, die Hohlkanäle enthält und einem Überfangzylinder in einer Draufsicht.

Figur 1(a) zeigt ein Zwischenrohr 10, in dessen Wandung an zuvor definierten azimuthalen Positionen im gleichmäßigen Abstand langgestreckte Längsschlitze 13 eingeschnitten sind, beispielsweise mittels mechanischer Säge, Wasserstrahlschneiden, Laser oder dergleichen. Die Längsschlitze 13 dienen zur Ausbildung von Antiresonanzelementen in der fertigen Hohlkernfaser beziehungsweise zur Ausbildung von Antiresonanzelement-Vorformlingen in einer Faser-Vorform,, und die Anzahl der Längsschlitze 13 entspricht der Anzahl der mit dem betreffenden Zwischenrohr 10 erzeugbaren Antiresonanzelement-Vorformlinge beziehungsweise Antiresonanzelemente. Im Ausführungsbeispiel sind es sechs Antiresonanzelement-Vorformlinge beziehungsweise Antiresonanzelemente. Die Längsschlitze 13 enden vor den Rohrenden, so dass die stirnseitigen Endbereiche 12 weiterhin umlaufend geschlossen bleiben und die verbleibenden Stege 14 miteinander verbinden. Anschließend werden die Schnittkanten verglast. Die Schnittbreite der Längsschlitze 13 ist einheitlich und beträgt 2 mm.

Aus der Draufsicht auf den Querschnitt des Zwischenrohres 10 entlang der Schnittlinie A-A in **Figur 1(b)** ist erkennbar, dass die sechs Längsschlitze 13 um die Rohrwandung gleichmäßig verteilt sind, und dass sie sich durchgängig von der Zwischenrohr-Außenwand zur -Innenwand bis zur Innenbohrung 16 erstrecken.

Figur 2(a) zeigt schematisch eine Draufsicht auf eine koaxiale Anordnung 19 von insgesamt fünf Quarzglas-Rohren, darunter zwei Zwischenrohre 10; 20 jeweils mit Längsschlitz 13. Die koaxiale Rohranordnung 19 setzt sich aus zwei koaxialen Stapeln zusammen, die sich jeweils zusammensetzen aus einem zu verformenden Glasrohr (21; 22), einem Zwischenrohr (10; 20) und einem Mantelrohr (22; 23).

Das Rohr mit der Bezugsziffer 22 hat eine Doppelfunktion: im inneren Stapel bildet es ein „Mantelrohr“ und seine Wandung wird Bestandteil der Wandung von Hohlkanälen, und im äußeren Stapel bildet es ein „Glasrohr“ mit einer zu verformenden Wandung.

- 5 Details zu Abmessungen und Werkstoffen der Rohre sind in nachfolgender Tabelle 1 zusammengefasst:

Tabelle 1

BZ	Bezeichnung / Funktion	Innendurchmesser	Außendurchmesser	Werkstoff
21	zu verformendes Glasrohr	21	24	F-dotiert; F320
10	Zwischenrohr	25	31,5	undotiert;
22	zu verformendes Glasrohr beziehungsweise Mantelrohr	32,5	34	F-dotiert; F320
20	Zwischenrohr	35	39	undotiert
23	Mantelrohr	40	60	undotiert

BZ: Bezugsziffer in Figur 2a

F-dotiert; F320: mit Fluor dotiertes Quarzglas / niedrige Viskosität

- 10 Undotiert: undotiertes Quarzglas / hohe Viskosität

Die eingesetzten Werkstoffe unterscheiden sich hierbei hinsichtlich ihrer Viskosität. Die unbearbeiteten Rohre 21 und 22 bestehen aus einem handelsüblichen, mit Fluor dotierten Quarzglas (Handelsname: F320) und haben eine niedrigere Viskosität als die geschlitzten Zwischenrohr 10, 20 und als das äußerste Mantelrohr 23 (Überfangrohr).

15

Figur 2(b) zeigt, dass das koaxiale Rohrensemble 19 anschließend zu einer primären Vorform 26 kollabiert und dabei gleichzeitig gelängt wird. Dabei verschwinden die Ringspalte zwischen den Rohren und diese werden fest miteinander verbunden und bilden Hüllrohr mit einer gemeinsamen Hüllrohr-Wandung 24. Aus den Längsschlitz 13 der geschlitzten Zwischenrohre 10; 20 entstehen dabei Hohlkanäle, die als vordere und hintere Druckkammern 25a; 25b beim anschließenden Faserziehprozess verwendet werden können. Dabei liegen jeweils zwei Druckkammern 25a, 25b in radialer Richtung gesehen paarweise hintereinander.

20

Vor dem Faserziehprozess wird mindestens einer der geschlossenen, Längsschlitz-freien Endbereiche der primären Vorform 26 entfernt, so dass stirnseitig offene Druckkammern 25a, 25b erhalten werden, in die ein Druckgas eingeleitet werden kann. Die primäre Vorform 26 hat einen hohlen Kernbereich 27, der von einem Mantel (Hüllrohr-Wandung 24) umgeben ist. Die Druckkammern 25a; 25b bilden Vorstufen für Antiresonanzelemente der zu ziehenden Hohlkernfaser in der Hüllrohr-Wandung 24.

Der Ausschnitt von **Figur 3(a)** zeigt die aus den ursprünglichen Längsschlitzten in der Hüllrohr-Wandung 24 erzeugten Druckkammern 25a; 25b in einer Vergrößerung. Beim Faserziehen der so erhaltenen Vorform wird ein Differenzdruck zwischen den Druckkammern 25a, 25b und der dem hohlen Kernbereich 27 angelegt, so dass die an die Druckkammern 25a; 25b angrenzenden und deformierbaren Wandungsbereiche der ursprünglichen Glasrohre 21; 22 entlang der Druckkammern 25a, 25b nach innen aufgeblasen werden.

Figur 3(b) zeigt, dass dabei bei der Hohlkernfaser 29 an der Innenseite 27 des ehemaligen innersten Glasrohres eine erste Ausbeulung 28a entsteht, die eine zweite Ausbeulung 28b umschließt. Die erste und zweite Ausbeulung 28a; 28b bilden ein verschachteltes Antiresonanzelement mit zwei Glasmembranen mit negativ gekrümmter Oberfläche.

Sofern in der nachfolgenden Beschreibung der Figuren 4 bis 7 die gleichen Bezugsziffern verwendet werden wie bei den Figuren 1 bis 3, so sind damit gleiche oder äquivalente Bauteile oder Bestandteile bezeichnet, wie sie oben anhand dieser Figuren näher erläutert sind.

Figur 4(a) zeigt ein anderes Zwischenrohr 110, in dessen Wandung an zuvor definierten azimuthalen Positionen im gleichmäßigen Abstand langgestreckte Längsschlitz 13 eingeschnitten sind, beispielsweise mittels mechanischer Säge, Wasserstrahlschneiden, Laser oder dergleichen. Die Längsschlitz 13 dienen zur Ausbildung von Antiresonanzelementen in der fertigen Hohlkernfaser beziehungsweise zur Ausbildung von Antiresonanzelement-Vorformlingen in einer Faser-Vorform und die Anzahl der Längsschlitz 13 entspricht der Anzahl der mit dem betreffenden Zwischenrohr 10 erzeugbaren Antiresonanzelement-Vorformlinge beziehungsweise Antiresonanzelemente. Im Ausführungsbeispiel sind es fünf Antireso-

nanzelement-Vorformlinge beziehungsweise Antiresonanzelemente. Die Längsschlitz 13 enden vor den Rohrenden, so dass die stirnseitigen Endbereiche 12 weiterhin umlaufend geschlossen bleiben und die verbleibenden Stege 14 miteinander verbinden. Anschließend werden die Schnittkanten verglast. Die Schnittbreite der Längsschlitz 13 ist einheitlich und beträgt 2 mm.

Aus der Draufsicht auf den Querschnitt des Zwischenrohres 110 entlang der Schnittlinie A-A in **Figur 4(b)** ist erkennbar, dass die fünf Längsschlitz 13 um die Rohrwandung gleichmäßig mit einem Umfangswinkel von 72 Grad verteilt sind, und dass sie sich durchgängig von der Zwischenrohr-Außenwand zur -Innenwand bis zur Innenbohrung 16 erstrecken.

Figur 5(a) zeigt schematisch eine Draufsicht auf ein koaxiales Ensemble von insgesamt drei Quarzglas-Rohren, darunter dem geschlitzten Zwischenrohr 110. Das koaxiale Rohr-Ensemble setzt sich zusammen aus einem zu verformenden Glasrohr 21 dem Zwischenrohr 110 mit den Längsschlitz 13 und einem Mantelrohr 22.

Details zu Abmessungen und Werkstoffen der Rohre sind in nachfolgender Tabelle 2 zusammengefasst:

Tabelle 2

BZ	Bezeichnung / Funktion	Innendurchmesser [mm]	Außendurchmesser [mm]	Werkstoff
21	zu verformen- des Glasrohr	21	24	F-dotiert; F320
110	Zwischenrohr	25	31,5	undotiert;
22	Mantelrohr	32,5	60	Undotiert

BZ: Bezugsziffer in Figur 5a

F-dotiert; F320: mit Fluor dotiertes Quarzglas / niedrige Viskosität

Undotiert: undotiertes Quarzglas / hohe Viskosität

Die eingesetzten Werkstoffe unterscheiden sich hierbei hinsichtlich ihrer Viskosität. Das mechanisch unbearbeitete Glasrohr 21 besteht aus einem handelsüblichen, mit Fluor dotierten Quarzglas (Handelsname: F320) und hat eine niedrigere Viskosität als das geschlitzte Zwischenrohr 110 und das Mantelrohr 22 (Überfangrohr).

Figur 5(b) zeigt, dass das koaxiale Rohrensemble anschließend zu einer primären Vorform 126 kollabiert. Dabei wird es gleichzeitig gelängt und die Ringspalte zwischen den Rohren 21, 22, 110 verschwinden, so dass diese fest miteinander verbunden werden, so dass sie eine gemeinsame Hüllrohr-Wandung 124 bilden. Aus den Längsschlitz 13 des geschlitzten Zwischenrohres 110 sind dabei Hohlkanäle in der Hüllrohr-Wandung 124 entstanden, die als Druckkammern 125 beim anschließenden Faserziehprozess verwendet werden können. Die primäre Vorform 126 hat einen hohlen Kernbereich 127, der von einem Mantel (Hüllrohr-Wandung 124) umgeben ist. Die Druckkammern 125 bilden Vorstufen für Antiresonanzelemente im Mantelbereich der zu ziehenden Hohlkernfaser.

Vor dem Faserziehprozess wird mindestens einer der geschlossenen, Längsschlitz-freien Endbereiche der Vorform 126 entfernt, so dass die Druckkammern 125 stirnseitig geöffnet werden und ein Druckgas eingeleitet werden kann.

Der Ausschnitt von **Figur 6(a)** zeigt eine aus einem ursprünglichen Längsschlitz 13 erzeugte Druckkammer 125 in einer Vergrößerung. Beim Faserziehen der so erhaltenen Vorform 126 wird ein Differenzdruck zwischen den Druckkammern 125 und der Innenbohrung 16 angelegt, so dass der an die Druckkammern 125 angrenzende Wandungsbereich entlang der Druckkammer 125 nach innen aufgeblasen wird.

Figur 6(b) zeigt, dass dabei bei der Hohlkernfaser 129 an der Innenseite 17 des ehemaligen Glasrohres eine Ausbeulung 128a entsteht, die ein Antiresonanzelement mit einer Glasmembran mit negativ gekrümmter Oberfläche bildet.

Anstelle der Längsschlitz 13 können die Zwischenrohre 10, 20 110 auch mit Längsrillen an ihrer Innenmantelfläche versehen sein. Die Längsrillen werden gegebenenfalls durch mechanisches Fräsen in der Innenmantelfläche des Zwischenrohres erzeugt.

Anstelle der mit Längsschlitz 13 oder Längsrillen versehenen Zwischenrohre oder ergänzend dazu können auch die Glasrohre 21, 22 mit thermisch verformbarer Wandung mit Längsrillen an ihrer Außenmantelfläche versehen sein. Die Längsrillen werden gegebenenfalls durch mechanisches Fräsen in der Außenmantelfläche des Glasrohres erzeugt.

Anstelle der oben genannten Ausführungsformen von Glasrohren und/oder Zwischenrohren mit Längsschlitzten oder Längsrillen oder ergänzend dazu können auch die Glasrohre 21; 22 mit thermisch verformbarer Wandung mit Hohlkanälen versehen sein. Dafür zeigt **Figur 7** schematisch ein Ausführungsbeispiel. Die ko-

5 axiale Anordnung umfasst ein Glasrohr 221 mit thermisch verformbarer Wandung und einen Überfangzylinder 22 (Mantelrohr). Innerhalb der Wandung des Glasrohres 221 und nahe an der Innenmantelfläche 221a verlaufen vier um den Umfang gleichmäßig verteilte Hohlkanäle 213 parallel zur Glasrohr-Längsachse (erstreckt sich senkrecht zur Papierebene). Die Hohlkanäle 213 sind durch Laserschneiden

10 erzeugt und durchgängig (sie erstrecken sich von einem Ende der Wandung bis zum anderen Ende). Im gezeigten Querschnitt haben sie Rechteckform, wobei die lange Rechteckseite tangential zum benachbarten Wandungsabschnitt der Innenmantelfläche 221a verläuft.

Auf ein Zwischenrohr kann bei dieser Ausführungsform verzichtet werden. Details

15 zu Abmessungen und Werkstoffen der Rohre sind in nachfolgender Tabelle 3 zusammengefasst:

Tabelle 3

BZ	Bezeichnung / Funktion	Innendurchmesser [mm]	Außendurchmesser [mm]	Werkstoff
221	zu verformen- des Glasrohr	21	24	F-dotiert; F320
22	Mantelrohr	25	60	undotiert

BZ: Bezugsziffer in Figur 7

F-dotiert; F320: mit Fluor dotiertes Quarzglas / niedrige Viskosität

20 Undotiert: undotiertes Quarzglas / hohe Viskosität

Bei der Durchführung eines Heißformprozesses kann in den Hohlkanälen 213 durch Einleiten eines Druckgases ein Innendruck erzeugt, und dadurch die Wandungsabschnitte des Glasrohres 221, die die Hohlkanäle 213 nach innen begrenzen, verformt werden. Dabei bilden sich nach innen – in Richtung auf die Glasrohr-

25 Innenbohrung 16 weisende, längliche Ausbuchtungen am Glasrohr 221, die als Antiresonanzelement-Vorformlinge dienen.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung einer Antiresonanten Hohlkernfaser (29; 129), die einen sich entlang einer Faser-Längsachse erstreckenden Hohlkern und einen den Hohlkern umgebenden Mantelbereich, der eine Anzahl von Antiresonanzelementen umfasst, mit den Verfahrensschritten:
 - (a) Bereitstellen einer primären Vorform (26; 126) für die Hohlkernfaser, die mindestens ein Hüllrohr, das eine Hüllrohr-Innenbohrung und eine Hüllrohr-Längsachse aufweist, entlang der sich eine von einer Innenseite und einer Außenseite begrenzte Hüllrohr-Wandung (24; 124) erstreckt,
 - (b) Bildung einer Anzahl von Vorstufen (25a; 25b; 125; 213) für Antiresonanzelemente (28a; 28b; 128) an Soll-Positionen der Hüllrohr-Wandung (24; 124), und
 - (c) Elongieren der primären Vorform (26; 126) zu der Hohlkernfaser (29; 129) oder Weiterverarbeitung der primären Vorform (26; 126) zu einer sekundären Vorform, 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 die Bildung der Antiresonanzelement-Vorstufen (25a; 25b; 125; 213) die Ausbildung langgestreckter Druckkammern (25a; 25b; 125; 213) umfasst, die jeweils im Bereich der Soll-

Positionen der Antiresonanzelemente (28a; 28b; 128) an eine unter Druck und Hitze verformbare Wandung (21; 22) angrenzen, und die bei Durchführung eines Prozesses gemäß Verfahrensschritt (c) infolge von Druck und Hitze eine Ausstülpung eines Abschnitts der verformbaren Wandung (21; 22) in Richtung der Hüllrohr-Innenbohrung (16) unter Bildung eines Antiresonanzelements (29; 129) oder eines Vorläufers dafür bewirken.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Druckkammern als Hohlkanäle (13; 25a; 25b; 125; 213) ausgelegt sind, an die die Wandungsabschnitte eines Glasrohres (21; 221) angrenzen.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Hohlkanäle (213) innerhalb der Rohrwandung des Glasrohres (221) gebildet werden, und parallel zur Glasrohr-Längsachse verlaufen.
4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass eine koaxiale Rohr-Anordnung gebildet wird, umfassend eine innere periphere Reihe von Hohlkanälen in der Rohrwandung eines inneren Glasrohres und eine äußere periphere Reihe von Hohlkanälen in der Rohrwandung eines äußeren Glasrohres, wobei die Hohlkanäle der inneren und der äußeren peripheren Reihe in radialer Richtung gesehen auf einer gemeinsamen Verbindungslinie liegen und durch mindestens eine peripher umlaufende und nach innen verformbare Glaswandung räumlich voneinander getrennt sind.
5. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Ausbildung der Hohlkanäle (13; 25a; 25b; 125) eine Maßnahme umfasst, bei der zwischen dem Glasrohr (21) und einem Außenrohr (22; 23) ein Zwischenrohr (10; 20) angeordnet wird, das eine Zwischenrohr-Längsachse aufweist, entlang der sich eine von einer Innenseite und einer Außenseite begrenzte Zwischenrohr-Wandung erstreckt, und dass in der Zwischenrohr-Wandung Längsschlitze (13) eingebracht sind, wobei aus den Längsschlitzen (13) bei Durchführung eines Prozesses gemäß Verfahrensschritt (c) Hohlkanäle (25a; 25b; 125) gebildet werden.
6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass ein Zwischenrohr (10; 20) mit kreisrundem Innenquerschnitt bereitgestellt und spanend bearbeitet wird.

7. Verfahren nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, dass das Zwischenrohr (10; 20) stirnseitige Enden aufweist, und dass die Längsschlitze (13) vor den stirnseitigen Enden enden.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass eine koaxiale Rohr-Anordnung (19) gebildet wird, umfassend ein inneres Glasrohr (21), ein inneres Zwischenrohr (10), ein inneres Außenrohr (22), das gleichzeitig ein äußeres Glasrohr (22) bildet, ein äußeres Zwischenrohr (20) und ein äußeres Außenrohr (23), wobei die Längsschlitze (13) des inneren und des äußeren Zwischenrohres (10; 20) in radialer Richtung auf einer gemeinsamen Verbindungslinie liegen und durch mindestens eine peripher umlaufende und nach innen verformbare Glaswandung (22) räumlich voneinander getrennt sind.
9. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Ausbildung der Hohlkanäle eine Maßnahme umfasst, bei der ein Glasrohr und ein Zwischenrohr eingesetzt werden, welches das Glasrohr koaxial umgibt, wobei das Glasrohr eine Glasrohr-Außenmantelfläche aufweist, in die Längsrillen eingebracht sind, die parallel zur Glasrohr-Längsachse verlaufen, und/oder das Zwischenrohr ein Zwischenrohr-Innenmantelfläche aufweist, in die Längsrillen eingebracht sind, die parallel zu Zwischenrohr-Längsachse verlaufen, wobei aus den Längsrillen bei Durchführung eines Prozesses gemäß Verfahrensschritt (c) Hohlkanäle gebildet werden, und wobei die Hohlkanäle infolge von Druck und Hitze in die langgestreckten Ausstülpungen verformt werden.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Längsschlitze (13) beziehungsweise die Längsrillen durch spanende Bearbeitung, insbesondere durch Schneiden, Bohren, Sägen, Fräsen oder Schleifen, erzeugt werden.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Längsschlitze (13) und/oder Längsrillen Längskanten aufweisen und dass die Längskanten durch Erweichen, vorzugsweise bei gleichzeitiger Längung, mit umgebendem Glasmaterial verschmolzen werden.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass das Glasrohr (21; 22) aus einem Glas besteht, das einen die Viskosität absenkenden Dotierstoff enthält.
13. 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 einer primären Vorform (26; 126) für die Hohlkernfaser, die mindestens ein Hüllrohr, das eine Hüllrohr-Innenbohrung und eine Hüllrohr-Längsachse aufweist, entlang der sich eine von einer Innenseite und einer Außenseite begrenzte Hüllrohr-Wandung (24; 124) erstreckt,
 - (b) Bildung einer Anzahl von Vorstufen (25a; 25b; 125; 213) für Antiresonanzelemente (28a; 28b; 128) an Soll-Positionen der Hüllrohr-Wandung (24; 124),
 - (c) Optionale Weiterverarbeitung der primären Vorform (26; 126) 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,
 - (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 die Bildung der Antiresonanzelement-Vorstufen (25a; 25b; 125; 213) die Ausbildung langgestreckter Druckkammern (25a; 25b; 125; 213) umfasst, die jeweils im Bereich der Soll-

Positionen der Antiresonanzelemente (28a; 28b; 128) an eine unter Druck und Hitze verformbare Wandung (21; 22) angrenzen, und die bei Durchführung eines Prozesses gemäß Verfahrensschritt (c) infolge von Druck und Hitze eine Ausstülpung eines Abschnitts der verformbaren Wandung (21; 22) in Richtung der Hüllrohr-Innenbohrung (16) unter Bildung eines Antiresonanzelements (29; 129) oder eines Vorläufers dafür bewirken.

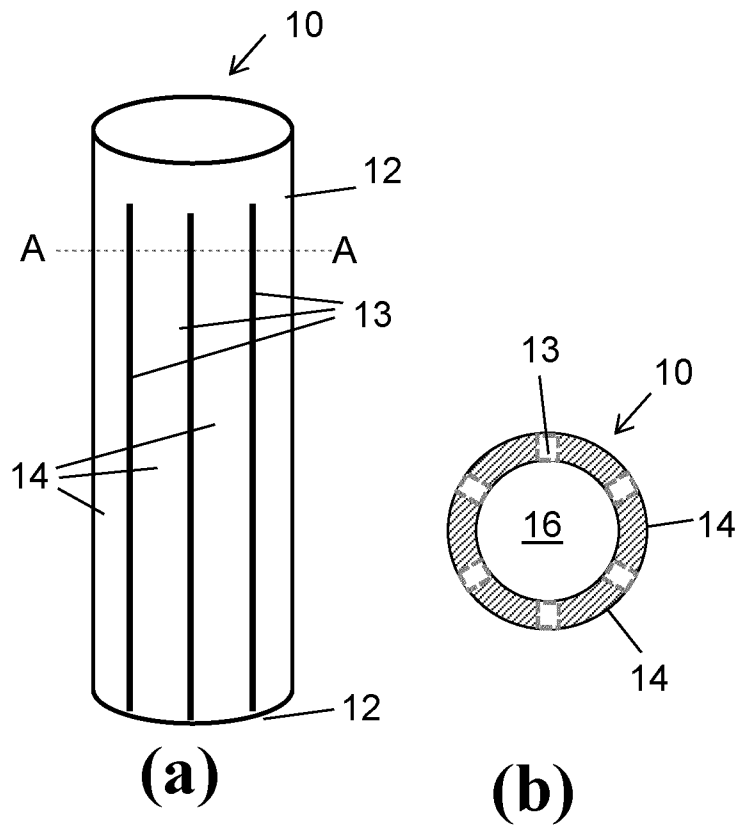


Fig. 1

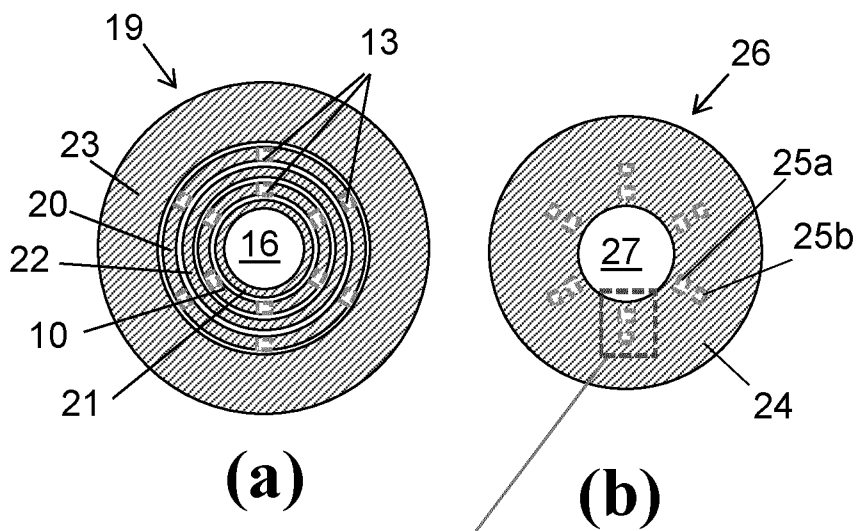


Fig. 2

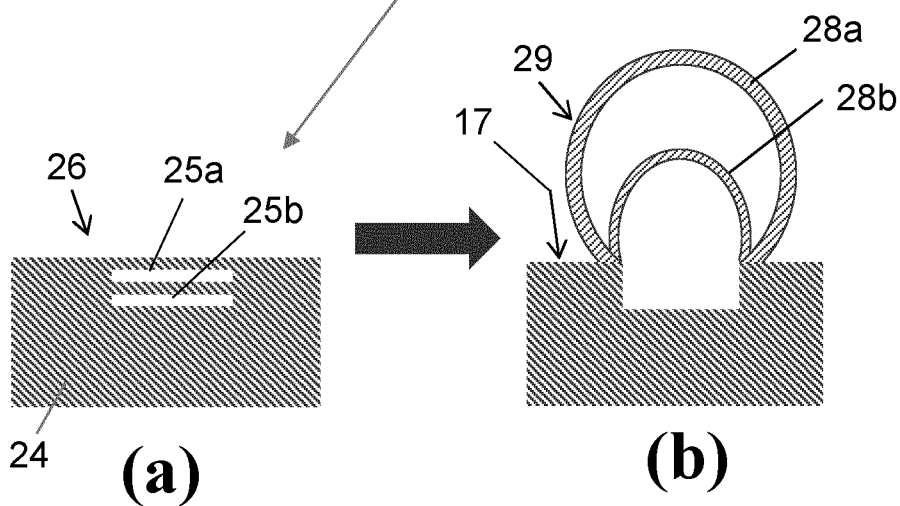


Fig. 3

2/3

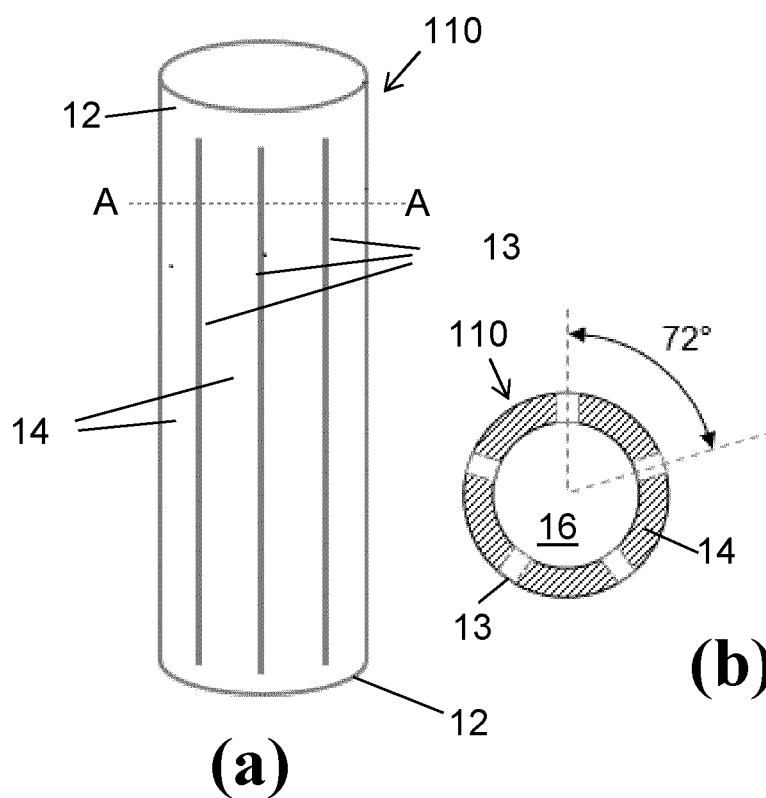


Fig. 4

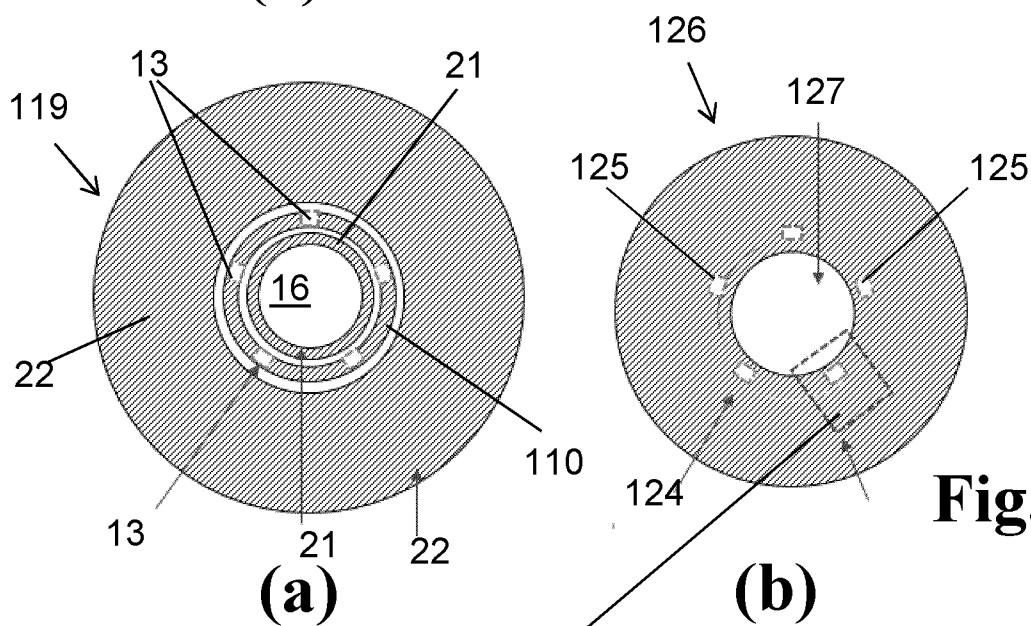


Fig. 5

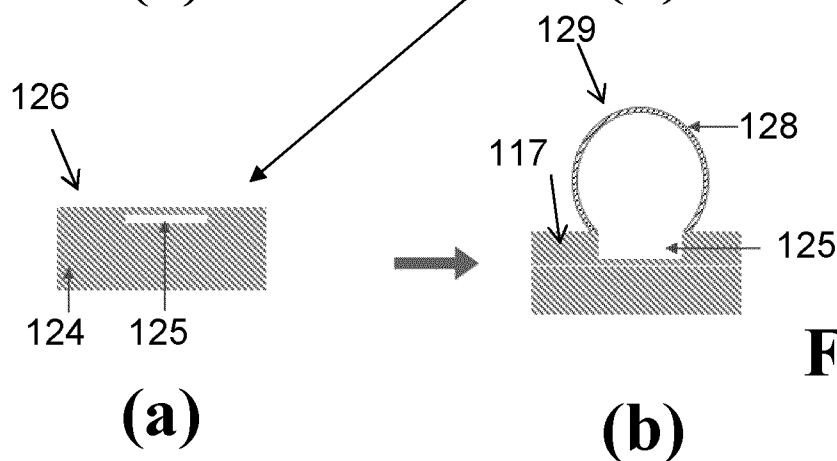
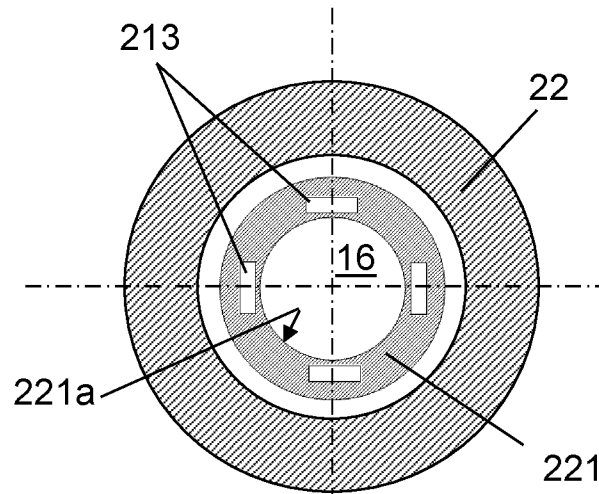


Fig. 6

3/3

**Fig. 7**

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2020/069980

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER*C03B 23/07*(2006.01)i; *C03B 37/012*(2006.01)i; *C03B 37/027*(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.
A	A F Kosolapov ET AL. "Hollow-core revolver fibre with a double-capillary reflective cladding" <i>QUANTUM ELECTRONICS</i> , GB, Vol. 46, No. 3, 29 March 2016 (2016-03-29), pages 267-270 DOI: 10.1070/QEL15972 ISSN: 1063-7818, XP055502520 page 268; figure 2	1-13
A	WO 02072489 A2 (CRYSTAL FIBRE AS [DK]; JAKOBSEN CHRISTIAN [DK] ET AL.) 19 September 2002 (2002-09-19) figure 4	1-13
A	US 2006130528 A1 (NELSON BRIAN K [US] ET AL) 22 June 2006 (2006-06-22) figures 1,3	1-13



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

08 September 2020

Date of mailing of the international search report

05 October 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
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2020/069980

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
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	2006130528	A1	22 June 2006	NONE			

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 INV. C03B23/07 C03B37/012 C03B37/027
 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.
A	A F Kosolapov ET AL: "Hollow-core revolver fibre with a double-capillary reflective cladding", QUANTUM ELECTRONICS., Bd. 46, Nr. 3, 29. März 2016 (2016-03-29), Seiten 267-270, XP055502520, GB ISSN: 1063-7818, DOI: 10.1070/QEL15972 Seite 268; Abbildung 2 -----	1-13
A	WO 02/072489 A2 (CRYSTAL FIBRE AS [DK]; JAKOBSEN CHRISTIAN [DK] ET AL.) 19. September 2002 (2002-09-19) Abbildung 4 -----	1-13
A	US 2006/130528 A1 (NELSON BRIAN K [US] ET AL) 22. Juni 2006 (2006-06-22) Abbildungen 1,3 -----	1-13



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 er-
scheinen 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

8. September 2020

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

05/10/2020

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

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2020/069980

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung	
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 2006130528	A1	22-06-2006	KEINE	
