

(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
6. Mai 2010 (06.05.2010)

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2010/049057 A2

- (51) Internationale Patentklassifikation:
G02B 6/28 (2006.01) *H01S 3/067* (2006.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2009/007212
- (22) Internationales Anmeldedatum:
8. Oktober 2009 (08.10.2009)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
10 2008 053 728.4
29. Oktober 2008 (29.10.2008) DE
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **TRUMPF Laser GmbH + Co. KG** [DE/DE]; Aichhalder Strasse 39, 78713 Schramberg (DE).
- (72) Erfinder; und
- (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **STROHMAIER, Stephan, G. P.** [DE/DE]; Brunnenstr. 16, 78733 Aichhalden (DE). **KUMKAR, Malte** [DE/DE]; Belvederer Allee 60d, 99425 Weimar (DE).
- (74) Anwalt: **RUPP, Stephan**; Kohler Schmid Möbus, Ruppmannstrasse 27, 70565 Stuttgart (DE).
- (81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (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, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: OPTICAL FIBER ARRANGEMENT

(54) Bezeichnung : OPTISCHE FASERANORDNUNG

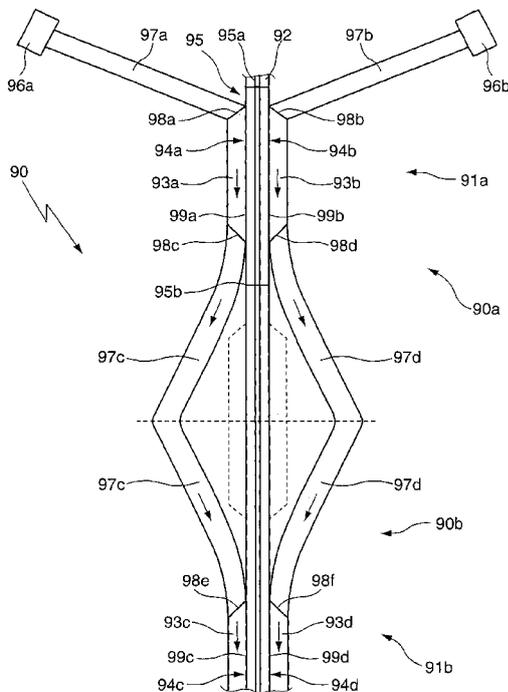


Fig. 9

(57) Abstract: The invention relates to an optical fiber arrangement (91a; 91b) comprising a signal fiber (92) and at least one pump fiber (91a, b; 93c, d) which run in parallel along at least one area of interaction (99a, b; 99c, d) in which pump radiation is coupled from the pump fiber (93a, b; 93c, d) into the signal fiber (92), and which are interconnected along the area of interaction (99a, b; 99c, d) in a direct manner, preferably integrally bonded by a fusion bond. The pump fiber (93a, b; 93c, d) has a coupling surface (98a-d; 98e, f) for feeding and/or discharging pump radiation to and/or from the pump fiber (93a, b; 93c, d) on at least one end of the area of interaction (99a, b; 99c, d).

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine optische Faseranordnung (91 a; 91 b) mit einer Signalfaser (92) und mit mindestens einer Pumpfaser (93a, b; 93c, d), die entlang mindestens eines Wechselwirkungsbereichs (99a, b; 99c, d), in dem Pumpstrahlung von der Pumpfaser (93a, b; 93c, d) in die Signalfaser (92) eingekoppelt wird, nebeneinander verlaufen und die entlang des Wechselwirkungsbereichs (99a, b; 99c, d) direkt, bevorzugt stoffschlüssig über eine Schmelzverbindung, miteinander verbunden sind. Die Pumpfaser (93a, b; 93c, d) weist an mindestens einem Ende des Wechselwirkungsbereichs (99a, b; 99c, d) eine Kopplungsfläche (98a-d; 98e, f) zum Zuführen und/oder Abführen von Pumpstrahlung in die und/oder aus der Pumpfaser (93a, b; 93c, d) auf.

WO 2010/049057 A2



Veröffentlicht:

- *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe g)*

5

10

15

20

Optische Faseranordnung

25

Die vorliegende Erfindung betrifft eine optische Faseranordnung mit einer Signalfaser und mit mindestens einer Pumpfaser, die entlang mindestens eines Wechselwirkungsbereichs, in dem Pumpstrahlung von der Pumpfaser in die Signalfaser eingekoppelt wird, nebeneinander verlaufen und die entlang des Wechselwirkungsbereichs mit der Signalfaser direkt, bevorzugt stoffschlüssig über eine Schmelzverbindung, miteinander verbunden sind, einen Faserverstärker und eine Faserlaseranordnung mit einer solchen optischen Faseranordnung, sowie ein Herstellungsverfahren für eine solche optische Faseranordnung.

30

In Faserverstärkern und Faserlasern werden häufig Doppelmantelfasern (engl. Double Clad Fiber, DCF), die auch als DC-Fasern bezeichnet werden, eingesetzt. Der Laserstrahl propagiert hierbei in einem aktiven Kern, der von einer inneren Hülle umgeben ist, in der die Pumpstrahlung geführt wird. Durch eine äußere Hülle mit
5 einem kleineren Brechungsindex im Vergleich zur inneren Hülle wird verhindert, dass die Pumpstrahlung die innere Hülle verlässt. Die Einkopplung der Pumpstrahlung in die innere Hülle erfolgt bei DC-Fasern über eine oder beide Endflächen (endgepumpte Pumpanordnung) oder über die äußere Hülle (radiale oder mantelgepumpte Pumpanordnung).

10 DC-Fasern haben bei hohen Laserleistungen jedoch einige Nachteile. Der Durchmesser des aktiven Kerns und der Brechungsindexunterschied zur inneren Hülle bestimmen die Strahlqualität des Laserstrahls. Insbesondere kann der Kerndurchmesser nicht beliebig vergrößert werden, wenn ein Laserstrahl im
15 Grundmode gewünscht wird. Um die erforderliche hohe Pumpleistung transportieren zu können, sind innere Hüllen mit großen Durchmessern erforderlich. Durch den kleinen Umfang des aktiven Kerns steht nur eine kleine Wechselwirkungsfläche zur Verfügung, über die die Pumpstrahlung aus der inneren Hülle in den aktiven Kern eingekoppelt werden kann. Um die Pumpleistung möglichst vollständig in den aktiven
20 Kern einzukoppeln, sind lange DC-Fasern erforderlich. Dies steht im Widerspruch zur Vermeidung nichtlinearer Effekte, wie z. B. stimulierte Raman-Streuung, wobei die Länge der DC-Fasern zu begrenzen ist. Ein weiterer Nachteil zunehmender Faserlänge ist eine geringere Effizienz durch Hintergrundverluste. Somit können die DC-Fasern nicht beliebig verlängert werden.

25 Aufgrund dieser Nachteile von DC-Fasern, bei denen die Pumpstrahlung über die Faserenden oder die äußere Hülle in die innere Hülle eingekoppelt wird, gibt es im Stand der Technik Ansätze, für die Anwendung als Faserverstärker oder Faserlaser Single-Clad Fasern mit einem aktiven Kern und einer Hülle als Signalfasern zu
30 verwenden und die Pumpstrahlung über eine oder mehrere Pumpfasern, die in Kontakt mit der Signalfaser gebracht werden, radial über die Mantelfläche in die Hülle der Signalfaser zu pumpen. Derartige mantelgepumpte Faseranordnungen sind bspw. in US 6,826,335 B1, US 7,221,822 B2, WO 2006/090001 und US 5,999,673 beschrieben.

Das US-Patent 6,826,335 B1 offenbart eine optische Faseranordnung sowie einen Verstärker und eine Verstärkeranordnung aus mehreren Verstärkern mit einer solchen optischen Faseranordnung. Ein Beispiel für eine dort beschriebene optische Faseranordnung **1a** ist in **Fig. 1a** im Querschnitt gezeigt und umfasst eine Signalfaser **2**, die als Single-Clad-Faser mit einem aktiven Kern **3** und einer Hülle **4** ausgebildet ist, sowie eine Pumpfaser **5** bestehend aus einer Hülle mit geringem Durchmesser als die Hülle **4** der Signalfaser **2**. Die Signalfaser **2** und die Pumpfaser **5** sind nebeneinander angeordnet und stehen entlang eines Wechselwirkungsbereichs **6** (Berührungsfläche) in optischem Kontakt zueinander. Dabei bedeutet optischer Kontakt, dass Strahlung, die in der Nähe der Oberfläche der Signalfaser **2** bzw. der Pumpfaser **5** propagiert, aus der Signalfaser **2** in die Pumpfaser **5** bzw. aus der Pumpfaser **5** in die Signalfaser **2** überkoppeln kann. Die Signalfaser **2** und die Pumpfaser **5** können hierbei zumindest teilweise von einem gemeinsamen (nicht gezeigten) Coating ummantelt sein. Die optische Faseranordnung von **Fig. 1a** ist so ausgestaltet, dass die Signalfaser **2** von der Pumpfaser **5** durch Auseinanderziehen getrennt werden kann. Alternativ können die Signalfaser **2** und die Pumpfaser **5** auch stoffschlüssig, z.B. durch eine Schmelzverbindung, entlang des eine Berührungsfläche bildenden Wechselwirkungsbereichs **6** miteinander verbunden sein, wie für eine optische Faseranordnung **1b** in **Fig. 1b** gezeigt ist, bei der die Signalfaser **2** und die Pumpfaser **5** einen identischen Durchmesser aufweisen. Die Schmelzverbindung wird bereits im Herstellungsprozess der Signalfaser **2** bzw. der Pumpfaser **5** oder im Anschluss daran in einem separaten Verfahren erzeugt.

Das US-Patent 7,221,822 B2 offenbart einen in **Fig. 1c** gezeigten Faserverstärker **10** mit der optischen Faseranordnung **1a** von **Fig. 1a** und mit einer Pumpquelle **11**. Die Signalfaser **2** und die Pumpfaser **5** bestehen aus unterschiedlichen Fasertypen und stehen mit ihren Oberflächen an einer Berührungsfläche, die als Wechselwirkungsbereich **6** dient, in optischem Kontakt. Die Pumpstrahlung der Pumpquelle **11** wird in die Pumpfaser **5** eingekoppelt und über einen gebogenen Abschnitt der Pumpfaser **5** zu einem ersten Ende **12a** des Wechselwirkungsbereichs **6** geführt. Von einem zweiten Ende **12b** des Wechselwirkungsbereichs **6** wird die Pumpstrahlung über einen weiteren gebogenen Abschnitt der Pumpfaser **5** weggeführt, um die Pumpstrahlung in einer Reflektoreinheit **13** aufzufangen. Die Signalfaser **2** und die

Pumpfaser 5 sind hierbei teilweise von einem gemeinsamen (nicht gezeigten) Coating ummantelt. Die Signalfaser 2 sowie die Pumpfaser 5 können auf unterschiedliche Weise realisiert werden, z.B. kann die Pumpfaser 5 einen im Wesentlichen über den Faserquerschnitt konstanten Brechungsindex aufweisen, wohingegen die Signalfaser 2 bspw. als Stufenindexfaser oder Gradientenfaser ausgebildet sein kann. Auch kann der Faserverstärker eine Pumpfaser und eine Mehrzahl von Signalfasern aufweisen, wobei einige Fasern in einem Coil angeordnet sind, das mindestens eine Signalfaser umfasst. Die Fasern des Coils weisen einen inneren Kern und eine äußere Hülle (Cladding) auf, wobei sich die äußeren Hüllen benachbarter Fasern im Coil berühren. Auch können die Signal- und Pumpfasern als "Single Composite"-Fasern aus Glas hergestellt sein, die während des Herstellungsprozesses mit einem Coating ummantelt wurden. An den Enden der Signal- und Pumpfasern ist in diesem Fall das Coating entfernt und die Signal- und Pumpfasern sind voneinander getrennt, d.h. sie stehen nicht in optischem Kontakt.

Aus der internationalen Patentanmeldung WO 2006/090001 sind weitere optische Faseranordnungen und zugehörige Herstellungsverfahren bekannt. Beispiele für in der WO 2006/090001 beschriebene optische Faseranordnungen **20a bis 20d** sind in **Fig. 2a-d** dargestellt. Diese Faseranordnungen 20a bis 20d bestehen aus einer Signalfaser 2, die als Single-Clad-Faser mit einem aktiven Kern 3 und einer Hülle 4 aufgebaut ist, sowie zwei oder mehr Pumpfasern **5a bis 5d**. Der aktive Kern 3 hat typischerweise einen Durchmesser von 20-50 μm , während der Durchmesser der Hülle 4 zwischen 100 und 200 μm variieren kann. Zwischen der Signalfaser 2 und mindestens einer der Pumpfasern 5a bis 5d ist ein separates Überbrückungselement **21a, 21b, 25a, 25b, 26** angeordnet, das dafür sorgt, dass die Pumpstrahlung aus den jeweiligen Pumpfasern 5a bis 5d in die Signalfaser 2 übertritt und den aktiven Kern 3 anregt. Die Pumpfasern 5a bis 5d bzw. die Signalfaser 2 sind mit dem/den Überbrückungselement(en) 21a, 21b, 25a, 25b, 26 über Schmelzverbindungen **22a bis 22i, 23a bis 23d** verbunden, die durch bekannte Fusionsverfahren erzeugt werden. Das Überbrückungselement 21a, 21b, 25a, 25b, 26 ist bearbeitbar und/oder entferntbar ausgebildet, um die Signalfaser 2 und die Pumpfasern 5a bis 5d bei Bedarf voneinander trennen zu können. Als Trennverfahren sind bspw. Lasermikrobearbeitung mit CO₂-, Excimer- oder Ultrakurzpuls-Laserstrahlung, Ionenätzen ("Ion Milling"), Nassätzen ("Wet Etching") und Trockenätzen ("Dry Etching") angegeben.

Das Überbrückungselement 21a, 21b, 25a, 25b, 26 erfüllt mehrere Aufgaben: Zum einen sorgt es für eine Verbindung der Signalfaser 2 mit den Pumpfasern 5a bis 5d, so dass Pumpstrahlung aus den Pumpfasern 5a bis 5d in die Signalfaser 2 übertreten und den aktiven Kern 3 der Signalfaser 2 anregen kann. Zum anderen kann das Überbrückungselement 21a, 21b, 25a, 25b, 26 als Trennelement ("separating element") agieren und eine zusätzliche Funktionalität erfüllen wie bspw. Modemixing oder Erhöhen der Doppelbrechung. Das Überbrückungselement 21a, 21b, 25a, 25b, 26 kann hierbei unterschiedlich ausgestaltet sein, wie im Folgenden anhand der Fig. 2a-d dargestellt wird.

Fig. 2a und 2b zeigen optische Faseranordnungen 20a, 20b, bei denen das Überbrückungselement 21a, 21b als Kapillarrohr ("capillary tube") mit einer inneren Öffnung ausgebildet ist. Der Durchmesser der Öffnung liegt bei ca. 100 µm.

In Fig. 2a ist eine optische Faseranordnung 20a mit einer Signalfaser 2, drei Pumpfasern 5a bis 5c und einem Überbrückungselement 21a in Form eines Kapillarrohrs gezeigt, um das die Signalfaser 2 und die Pumpfasern 5a bis 5c kleeblattförmig angeordnet sind. Die Pumpfasern 5a bis 5c sind über Schmelzverbindungen 22a bis 22c mit dem Überbrückungselement 21a verbunden, das seinerseits über eine Schmelzverbindung 23a mit der Signalfaser 2 verbunden ist. Pumpstrahlung, die in den drei Pumpfasern 5a bis 5c geführt wird, koppelt über die Schmelzverbindungen 22a bis 22c aus den Pumpfasern 5a bis 5c in das Überbrückungselement 21a über. Von dort muss die Pumpstrahlung über die Schmelzverbindung 23a in den Pumpkern 4 der Signalfaser 2 überkoppeln, um den aktiven Kern 3 anzuregen. Die Signalfaser 2, das Überbrückungselement 21a und die Pumpfasern 5a bis 5c der optischen Faseranordnung 20a sind von einem Polymercoating 24 umgeben.

Fig. 2b zeigt eine optische Faseranordnung 20b mit einer Signalfaser 2, zwei Pumpfasern 5a, 5b und zwei Kapillarrohren als Überbrückungselementen 21a, 21b in einer linearen Anordnung. Die optische Faseranordnung 20b besteht von links nach rechts aus der ersten Pumpfaser 5a, dem ersten Überbrückungselement 21a, der Signalfaser 2 mit dem aktiven Kern 3 und der Hülle 4, dem zweiten Überbrück-

ungselement 21b und der zweiten Pumpfaser 5b. Die Pumpfasern 5a, 5b sind über Schmelzverbindungen 22a, 22b mit den Überbrückungselementen 21a, 21b verbunden, die ihrerseits über Schmelzverbindungen 23a, 23b mit der Signalfaser 2 verbunden sind. Pumpstrahlung, die in der ersten Pumpfaser 5a geführt wird, wird
5 über das erste Überbrückungselement 21a in die Signalfaser 2 eingekoppelt und Pumpstrahlung, die in der zweiten Pumpfaser 5b geführt wird, wird über das zweite Überbrückungselement 21b ebenfalls in die Signalfaser 2 eingekoppelt. Die Signalfaser 2 sowie die Pumpfasern 5a, 5b und die Überbrückungselemente 21a, 21b der optischen Faseranordnung 20b sind ebenfalls von einem Polymercoating 24
10 umgeben.

Fig. 2c zeigt eine optische Faseranordnung 20c mit einer Signalfaser 2, zwei Pumpfasern 5a, 5b und zwei Überbrückungselementen 25a, 25b, die wie die optische Faseranordnung 20b in Fig. 2b als lineare Anordnung ausgebildet ist.
15 Allerdings sind die Überbrückungselemente 25a, 25b nicht als Kapillarrohre wie in Fig. 2b, sondern als Vollglaselemente ("solid glass bridging element") ausgebildet. Pumpstrahlung, die in der ersten Pumpfaser 5a geführt wird, wird über das erste Überbrückungselement 25a in die Signalfaser 2 eingekoppelt und Pumpstrahlung, die in der zweiten Pumpfaser 5b geführt wird, wird über das zweite Über-
20 brückungselement 25b in die Signalfaser 2 eingekoppelt. Die Pumpfasern 5a, 5b sind über Schmelzverbindungen 22d, 22e mit den Überbrückungselementen 25a, 25b verbunden, die ihrerseits über Schmelzverbindungen 23c, 23d mit der Signalfaser 2 verbunden sind. Die optische Faseranordnung 20c weist ebenfalls ein Polymercoating 24 auf.

25 Fig. 2d zeigt eine optische Faseranordnung 20d mit einer Signalfaser 2, vier Pumpfasern 5a bis 5d und einem Überbrückungselement 26 in einer kleeblattförmigen Anordnung. Das Überbrückungselement 26 ist in Form einer Mantelschicht ("sacrificial cladding layer") ausgebildet. Im Gegensatz zur optischen Faseranordnung 20a von Fig. 2a ist die Signalfaser 2 im Zentrum der optischen Faseranordnung 20d angeordnet und von dem mantelförmigen Überbrückungselement 26 umgeben. Pumpstrahlung, die in den vier Pumpfasern 5a bis 5d geführt wird, wird über das Überbrückungselement 26 in die Signalfaser 2 eingekoppelt. Wie
30

die optischen Faseranordnungen 20a bis 20c ist auch die optische Faseranordnung 20d von einem Polymercoating 24 umgeben.

Um die Signalfaser 2 und die Pumpfasern 5a bis 5d mit dem bzw. den
5 Überbrückungselement(en) 21a, 21b, 25a, 25b, 26 zu verbinden, können die Oberflächen der Signalfaser 2 und der Pumpfasern 5a bis 5d sowie die Oberflächen der Überbrückungselemente 21a, 21b, 25a, 25b, 26 im Kontaktbereich mit einer Verzahnung versehen sein, wie in der internationalen Patentanmeldung WO 2006/089999 A1 näher ausgeführt ist.

10

Ein Nachteil der optischen Faseranordnungen mit einem separaten Überbrückungselement, wie sie in der WO 2006/090001 beschrieben sind, besteht darin, dass Pumpstrahlung, die in den Pumpfasern geführt wird, zunächst aus der Pumpfaser in das Überbrückungselement und von dort in die Signalfaser übertreten muss. Bei den
15 in Fig. 1a-c gezeigten Anordnungen ist nachteilig, dass die Signalfaser entweder nicht fest mit den Pumpfasern gekoppelt ist oder aber diese nur schlecht voneinander trennbar sind, um Pumpfasern außerhalb des Wechselwirkungsbereichs getrennt fortführen zu können.

20 Aufgabe der Erfindung

Es ist die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine optische Faseranordnung, einen Faserverstärker, eine Faserlaseranordnung sowie ein Herstellungsverfahren für eine optische Faseranordnung anzugeben, bei denen Pumpstrahlung in einem Wechselwirkungsbereich von einer Pumpfaser direkt in die Signalfaser eingekoppelt werden
25 kann und die zugleich ermöglicht, diese Pumpstrahlung von einem der Signalfaser räumlich getrennten Ort der Faseranordnung zuzuführen.

Gegenstand der Erfindung

30

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass die Pumpfaser an mindestens einem Ende des Wechselwirkungsbereichs eine Kopplungsfläche zum Zuführen und/oder Abführen von Pumpstrahlung in die und/oder aus der Pumpfaser aufweist. Erfindungsgemäß wird vorgeschlagen, die Ein- bzw. Auskopplung von

Pumpstrahlung über eine Kopplungsfläche an einem Ende des Wechselwirkungsbereichs an der Pumpfaser vorzunehmen, d.h. direkt in dem Bereich, in dem die Signalfaser und die Pumpfaser stoffschlüssig miteinander verbunden sind. In der Regel ist die Länge des Wechselwirkungsbereichs hierbei kleiner als die Länge der
5 Signalfaser, die bevorzugt als Single-Clad Faser mit einem aktiven Kern und einer Hülle ausgebildet ist. Bevorzugt weist die Pumpfaser hierbei den gleichen oder einen geringeren Brechungsindex als die Hülle der Signalfaser auf.

Sind zwei Kopplungsflächen an den Enden des Wechselwirkungsbereichs vorgesehen, kann Pumpstrahlung an der einen Kopplungsfläche zugeführt und an der
10 anderen Kopplungsfläche abgeführt werden, so dass die Pumpstrahlung über eine durch den Abstand zwischen den Kopplungsflächen festgelegte Länge in die Signalfaser einkoppeln kann. Entlang der so definierten Länge des Wechselwirkungsbereichs, die als Wechselwirkungslänge bezeichnet wird, kann ein genau
15 definierter Anteil der Pumpstrahlung von der Pumpfaser in die Signalfaser eingekoppelt werden. Auch kann die an einer Kopplungsfläche ausgekoppelte Pumpstrahlung weiter verwendet werden und z.B. über eine Transportfaser zu einer Kopplungsfläche eines weiteren Wechselwirkungsbereichs transportiert und an diesem erneut in die Pumpfaser oder in eine andere Pumpfaser eingekoppelt
20 werden. Als Kopplungsfläche kann gegebenenfalls auch eine stirnseitig an der Pumpfaser gebildete Spiegelfläche dienen, welche die Pumpstrahlung in die Pumpfaser zurück reflektiert. Es versteht sich, dass die stoffschlüssige Verbindung zwischen der Signalfaser und der Pumpfaser nicht zwingend an den
25 Kopplungsflächen enden muss. In dem Bereich, in dem die Pumpfaser und die Signalfaser sich außerhalb des Wechselwirkungsbereichs berühren, findet dann jedoch keine bzw. nur eine vernachlässigbare Einkopplung von Pumpstrahlung von der Pumpfaser in die Signalfaser statt.

Bevorzugt ist eine flache Anordnung aus Signalfaser und Pumpfaser(n), d.h. die
30 Pumpfaser(n) und die Signalfaser liegen in einer Ebene. Dies ermöglicht einen besseren Zugang zur Signalfaser und führt zu einer Vorzugsrichtung hinsichtlich Biegung und Kühlung, die ggf. mit einer Vorzugsrichtung der Polarisierung verknüpft sein kann. Weiterhin erlaubt eine flache Anordnung ggf. ein einfacheres Schreiben von Gittern, z.B. von Fiber Bragg Gratings, mittels Laser Pattern Generatoren in den

aktiven Kern der Signalfaser.

Bei einer vorteilhaften Ausführungsform weist die optische Faseranordnung mindestens eine Transportfaser auf, die an der Kopplungsfläche mit der Pumpfaser in
5 optischem Kontakt steht, bevorzugt mittels einer Spleißverbindung befestigt ist. Die Kopplungsfläche an der Pumpfaser ist hierbei bevorzugt so ausgestaltet, dass die Geometrie der Transportfaser fortgeführt oder die Querschnittsfläche der Transportfaser eingeschlossen wird, wobei der Übergang weitgehend ohne Winkelversatz erfolgt, so dass eine gute Einkopplung der Pumpstrahlung von der
10 Transportfaser in die Pumpfaser ermöglicht wird. Über eine erste Transportfaser kann die Pumpstrahlung an einem Ende des Wechselwirkungsbereichs eingekoppelt und über eine zweite Transportfaser am anderen Ende des Wechselwirkungsbereichs ausgekoppelt werden. Es versteht sich, dass die Pumpfaser mit der Transportfaser statt über eine Spleißverbindung auch mittels anderer bekannter
15 Verbindungstechniken verbunden werden kann.

In einer vorteilhaften Weiterbildung verbindet mindestens eine Transportfaser eine Kopplungsfläche einer ersten Pumpfaser mit einer weiteren Kopplungsfläche der ersten oder einer weiteren Pumpfaser. Über die Transportfaser kann die an einem
20 Ende eines ersten Wechselwirkungsbereichs ausgekoppelte Pumpstrahlung an der Kopplungsfläche am Ende eines zweiten Wechselwirkungsbereichs eingekoppelt werden. Auf diese Weise steht die im ersten Wechselwirkungsbereich nicht in die Signalfaser eingekoppelte Pumpstrahlung für die Einkopplung in einem zweiten Wechselwirkungsbereich zur Verfügung, der von einem weiteren Abschnitt derselben
25 Pumpfaser oder an einer weiteren Pumpfaser gebildet wird.

Bei einer bevorzugten Ausführungsform ist die Kopplungsfläche mantelseitig oder stirnseitig an der Pumpfaser gebildet. Im ersten Fall wird die Pumpstrahlung bevorzugt über eine Transportfaser in die Pumpfaser eingekoppelt, im zweiten Fall
30 kann die Einkopplung ebenfalls über eine Transportfaser erfolgen, alternativ kann jedoch auch eine Pumpquelle zur Einkopplung der Pumpstrahlung unmittelbar an der stirnseitigen Kopplungsfläche angebracht sein, um die Pumpstrahlung ohne eine zusätzliche Einkoppeloptik in die Pumpfaser einzukoppeln. Zur Erzeugung der Kopplungsfläche kann die Pumpfaser in beiden Fällen mikrobearbeitet werden.

Bevorzugt ist die Summe der Querschnittsflächen aller Pumpfasern mindestens so groß wie die Querschnittsfläche der Signalfaser. Die hieraus resultierende, verhältnismäßig geringe Pumpleistung im Bereich des aktiven Kerns kann vorteilhaft für eingefügte Funktionselemente mit weitergeführter oder rückgeführter Pumpstrahlung genutzt werden.

In einer bevorzugten Ausführungsform weist die Pumpfaser einen rechteckigen Querschnitt auf. Rechteckige Pumpfasern haben den Vorteil besserer Kühlmöglichkeiten aufgrund der größeren Auflagefläche. Ferner kann bei rechteckigen Pumpfasern die Einkopplung von Pumpstrahlung, die von Diodenlasern mit in der Regel rechteckiger Strahlaustrittsfläche erzeugt wird, auf besonders einfache Weise erfolgen.

Die Erfindung ist auch realisiert in einem Faserverstärker mit einer optischen Faseranordnung wie oben beschrieben sowie mit mindestens einer Pumpquelle zum Zuführen von Pumpstrahlung an die Kopplungsfläche. Die Pumpquelle kann hierbei mit der Kopplungsfläche über eine oder mehrere Transportfasern in Verbindung stehen.

Die Erfindung ist auch verwirklicht in einer Faserlaseranordnung mit einer optischen Faseranordnung wie oben beschrieben, mindestens einer Pumpquelle zur Zuführung von Pumpstrahlung zu mindestens einer Kopplungsfläche, sowie einem an der Signalfaser vorgesehenen Resonatorabschnitt, an dem der Wechselwirkungsbereich gebildet ist. Wie üblich wird der Resonatorabschnitt durch zwei Spiegelflächen begrenzt, von denen die eine hoch reflektierend und die andere teiltransmissiv ausgebildet ist. Die Spiegelflächen können hierbei beispielsweise als Fiber Bragg Gratings ausgebildet sein. Die Pumpstrahlung koppelt entlang des Wechselwirkungsbereichs in den Resonatorabschnitt zwischen den Spiegelflächen in die Signalfaser ein.

In einer vorteilhaften Ausführungsform ist an der Signalfaser außerhalb des optischen Resonatorabschnitts zur Verstärkung des aus dem Resonatorabschnitt austretenden Laserstrahls eine weitere optische Faseranordnung gebildet, bei der

die Signalfaser mit mindestens einer Pumpfaser einen weiteren Wechselwirkungsbereich bildet, der an einem Ende eine weitere Kopplungsfläche aufweist, die bevorzugt über eine Transportfaser mit einer Kopplungsfläche des Wechselwirkungsbereichs des optischen Resonatorabschnitts gekoppelt ist. In dieser auch als MOPA-System (MOPA = Master Oscillator Power Amplifier) bezeichneten Faserlaseranordnung ist an der Signalfaser ein Oszillatorabschnitt zur Erzeugung von Signallicht sowie ein Verstärkerabschnitt zur Verstärkung des im ersten Abschnitt erzeugten Laserstrahls vorgesehen. Durch die Transportfaser kann Pumpstrahlung vom Oszillatorabschnitt in den Verstärkerabschnitt der Faserlaseranordnung übergeführt werden, so dass eine Pumpquelle zum Pumpen beider Abschnitte ausreicht.

Bei einer vorteilhaften Weiterbildung sind der Wechselwirkungsbereich und der weitere Wechselwirkungsbereich an derselben Pumpfaser gebildet. Auf diese Weise kann dieselbe Pumpfaser sowohl zum Pumpen des Oszillatorabschnitts als auch des Verstärkerabschnitts verwendet werden. Es versteht sich, dass das vollständige Entfernen der Pumpfaser zwischen den Wechselwirkungsbereichen auch bei zwei oder mehr optischen Faseranordnungen, die gemeinsam kein MOPA-System bilden, vorteilhaft angewendet werden kann.

In einer weiteren vorteilhaften Weiterbildung ist die Länge des Wechselwirkungsbereichs so auf die Länge des weiteren Wechselwirkungsbereichs abgestimmt, dass sich ein gewünschtes Verhältnis der in den beiden Wechselwirkungsbereichen in die Signalfaser eingekoppelten Pumpleistung einstellt. Durch geeignete Festlegung der Wechselwirkungslängen kann im Prinzip jedes beliebige Verhältnis der Pumpstrahlungsverteilung zwischen dem Oszillatorabschnitt und dem Verstärkerabschnitt eingestellt werden.

Bei dem oben beschriebenen Faserverstärker bzw. der oben beschriebenen Faserlaseranordnung besteht zwischen der Strahlaustrittsfläche der Pumpquelle, bevorzugt eines Diodenlasers, und der bevorzugt stirnseitig an der Pumpfaser angebrachten Kopplungsfläche ein Spalt, über den die Pumpstrahlung in die Pumpfaser eingekoppelt wird. Auf diese Weise kann auf die Verwendung von aufwändigen und teuren Koppeloptiken verzichtet werden.

In einer bevorzugten Ausführungsform ist die Querschnittsform der Pumpfaser an die Querschnittsform der Strahlaustrittsfläche der Pumpquelle angepasst. Hierdurch wird insbesondere bei stirnseitiger Einkopplung der Pumpstrahlung in die Pumpfaser eine effiziente Einkopplung ermöglicht. Insbesondere kann bei Verwendung eines Diodenlasers, bei dem die Strahlaustrittsfläche rechteckig ist, eine Pumpfaser mit ebenfalls rechteckigem Querschnitt gewählt werden. In der Regel sind auch die Querschnittsabmessungen der Strahlaustrittsfläche der Pumpquelle an die Querschnittsabmessungen der Pumpfaser angepasst.

Die Erfindung betrifft auch ein Verfahren zum Herstellen einer optischen Faseranordnung mit einer Signalfaser und mit mindestens einer Pumpfaser, die entlang mindestens eines Wechselwirkungsbereichs, in dem Pumpstrahlung von der Pumpfaser in die Signalfaser eingekoppelt wird, nebeneinander verlaufen, umfassend die Schritte: Direktes Verbinden der Signalfaser mit der mindestens einen Pumpfaser entlang des Wechselwirkungsbereichs, bevorzugt stoffschlüssig über eine Schmelzverbindung, sowie Erzeugen einer Kopplungsfläche an der Pumpfaser an mindestens einem Ende des Wechselwirkungsbereichs zum Zuführen und/oder Abführen von Pumpstrahlung in die und/oder aus der Pumpfaser. Vorzugsweise wird eine solche Nachbearbeitung bspw. zur Erzeugung von Kopplungsflächen nur an den Pumpfasern vorgenommen und es wird eine durchgängige und nicht nachbearbeitete Signalfaser verwendet. Bevorzugt werden bei der Herstellung der optischen Faseranordnung Pumpfasern mit weniger als 200 μm Durchmesser verwendet, um den Einsatz von Standard-Fügeverfahren zu ermöglichen. Auch die Signalfaser mit dem aktiven Kern sollte einen Durchmesser von 200 μm nicht überschreiten, um diese z.B. beim Anbringen von Spleißen, beim Schreiben von Fiber Bragg Gratings oder beim Anbringen von Tapern als Modenfilter mit Standardverfahren bearbeiten zu können.

In einer vorteilhaften Variante wird die Kopplungsfläche mantelseitig oder stirnseitig an der Pumpfaser, bevorzugt durch Mikrobearbeiten, gebildet. Die Mikrobearbeitung kann hierbei insbesondere durch Laserbearbeitung mit CO_2 -, Excimer- oder Ultrakurzpuls-Laserstrahlung, durch Ionenätzen, Nassätzen oder Trockenätzen erfolgen, wobei sichergestellt sein muss, dass die Signalfaser bei der Bearbeitung nicht

beschädigt wird.

In einer bevorzugten Variante wird die Kopplungsfläche mantelseitig an der Pumpfaser gebildet, indem ein Abschnitt aus der Pumpfaser herausgeschnitten wird.

5 Der herausgeschnittene Abschnitt erstreckt sich hierbei in der Regel nicht bis zur Schmelzverbindung mit der Signalfaser und dient zur Verbindung mit einer einzelnen Transportfaser.

10 In einer weiteren Variante wird die Kopplungsfläche mantelseitig an der Pumpfaser gebildet, indem die Schmelzverbindung über eine vorgebbare Länge L aufgehoben und ein Abschnitt der Pumpfaser mit der Länge L entfernt wird. An den gegenüberliegenden Enden des entfernten Abschnitts der Pumpfaser kann jeweils eine Transportfaser angespleißt werden, um einen jeweils benachbart zum entfernten Abschnitt der Pumpfaser verlaufenden Wechselwirkungsbereich zu bilden.

15

In einer besonders bevorzugten Variante erfolgt das Verbinden der Signalfaser mit der mindestens einen Pumpfaser während des Herstellungsprozesses der Signalfaser und der mindestens einen Pumpfaser. Wird eine strukturierte Preform erzeugt, können die Signalfaser und die Pumpfaser(n) bei der Herstellung als monolithisches
20 Element gezogen werden, um den Nachbearbeitungsaufwand zu reduzieren. Alternativ können auch einzelne Preforms in einem gemeinsamen Ofen oder mehreren Öfen erhitzt und die Signalfaser mit den Pumpfasern direkt während des Ziehprozesses, bevorzugt durch Kontakt im Abkühlbereich verbunden werden.

25 Weitere Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der Beschreibung und der Zeichnung. Ebenso können die vorstehend genannten und die noch weiter aufgeführten Merkmale je für sich oder zu mehreren in beliebigen Kombinationen Verwendung finden. Die gezeigten und beschriebenen Ausführungsformen sind nicht als abschließende Aufzählung zu verstehen, sondern haben vielmehr beispielhaften Charakter
30 für die Schilderung der Erfindung.

Es zeigen:

Fig. 1a-c bekannte optische Faseranordnungen mit Signal- und Pumpfasern, die

entlang einer Berührungsfläche in optischem Kontakt stehen (Fig. 1a) oder stoffschlüssig verbunden sind (Fig. 1b), sowie einen Faserverstärker mit einer solchen optischen Faseranordnung (Fig. 1c);

5 Fign. 2a-d bekannte optische Faseranordnungen mit einem Überbrückungselement als Kapillarrohr in einer kleeblattförmigen (Fig. 2a) und einer linearen Anordnung (Fig. 2b) sowie einem Überbrückungselement in Form eines Vollglaselements (Fig. 2c) und einer Mantelschicht (Fig. 2d);

10

Fign. 3a-f einen Querschnitt durch optische Faseranordnungen mit einer kreisförmigen Signalfaser und kreisförmigen Pumpfasern in einer linearen (Fign. 3a, 3c) und einer kleeblattförmigen Anordnung (Fig. 3b) sowie optische Faseranordnungen mit einer D-förmigen Signalfaser und einer rechteckigen Pumpfaser (Fig. 3d), einer Doppel-D-förmigen Signalfaser und zwei rechteckigen Pumpfasern (Fig. 3e) sowie einer sechseckigen Signalfaser und zwei rechteckigen Pumpfasern (Fig. 3f) jeweils in einer linearen Anordnung;

15

20 Fign. 4a-b ein erstes Verfahren zur Herstellung einer erfindungsgemäßen optischen Faseranordnung, bei dem in einem ersten Schritt ein Teil der Pumpfasern an der Außenseite herausgeschnitten wird (Fig. 4a) und in einem zweiten Schritt die Pumpfasern an der als Kopplungsfläche dienenden Schnittkante mit Transportfasern verbunden werden (Fig. 4b);

25

Fign. 5a-b ein zweites Verfahren zur Herstellung einer erfindungsgemäßen optischen Faseranordnung, bei dem in einem ersten Schritt die Pumpfasern über eine Länge vollständig von der Signalfaser getrennt und entfernt werden (Fig. 5a), so dass sich zwei Wechselwirkungsbereiche bilden, und in einem zweiten Schritt die Wechselwirkungsbereiche an ihren Enden mit Transportfasern verbunden werden (Fig. 5b);

30

Fig. 6 einen erfindungsgemäßen Faserlaser mit einer Signalfaser und zwei

rechteckigen Pumpfasern;

Fig. 7 einen erfindungsgemäßen Faserlaser mit einer Signalfaser und vier kreisförmigen Pumpfasern in einer linearen Anordnung;

5

Fig. 8 einen erfindungsgemäßen Faserverstärker mit einer Transportfaser, die Pumpstrahlung aus einem ersten Wechselwirkungsbereich abführt und einem zweiten Wechselwirkungsbereich zuführt;

10 Fig. 9 eine erfindungsgemäße Laserverstärkeranordnung mit einer ersten und einer zweiten optischen Faseranordnung; und

Fig. 10 einen erfindungsgemäßen Faserlaser mit zwei rechteckigen Pumpfasern und zwei Diodenlasern, deren Pumpstrahlung direkt in die Pumpfasern eingekoppelt wird.

15

Die **Fig. 3a-f** zeigen Beispiele von optischen Faseranordnungen **30a bis 30f** im Querschnitt, die jeweils eine Signalfaser **31a bis 31d**, die als Single-Clad-Faser mit einem aktiven Singlemode-Kern **32**, der von einer Multimode-Hülle als Pumpkern **33a bis 33d** umgeben ist, sowie eine oder mehrere Pumpfasern **34a bis 34d, 35a, 35b, 36a, 36b, 37a, 37b** aufweisen. Die Signalfaser **31a bis 31d** und die Pumpfaser(n) **34a bis 34d, 35a, 35b, 36a, 36b, 37a, 37b** können unterschiedliche Geometrien haben, von denen nachfolgend einige anhand der **Fig. 3a-f** dargestellt werden. Es versteht sich, dass auch andere Geometrien für die Signalfaser **31a bis 31d** und die Pumpfaser(n) **34a bis 34d, 35a, 35b, 36a, 36b, 37a, 37b** sowie andere als die gezeigten Kombinationen der Signalfaser **31a bis 31d** und der Pumpfaser(n) **34a bis 34d, 35a, 35b, 36a, 36b, 37a, 37b** möglich sind. Die Signalfasern **31a bis 31d** sind jeweils über Schmelzverbindungen **38a bis 38h** mit den Pumpfasern **34a bis 34d, 35a, 35b, 36a, 36b, 37a, 37b** stoffschlüssig verbunden, damit Pumpstrahlung aus den Pumpfasern **34a bis 34d, 35a, 35b, 36a, 36b, 37a, 37b** in den aktiven Kern **32** der Signalfaser **31a bis 31d** einkoppeln kann. Um das Einkoppeln der Pumpstrahlung aus der/den Pumpfaser(n) **34a bis 34d, 35a, 35b, 36a, 36b, 37a, 37b** in den aktiven Kern **32** zu erleichtern, weisen die Pumpfasern **34a bis 34d, 35a, 35b,**

20

25

30

36a, 36b, 37a, 37b einen gleichen oder geringeren Brechungsindex als der Pumpkern 33a bis 33d der Signalfaser 31a bis 31d auf.

Fig. 3a zeigt eine optische Faseranordnung 30a mit einer kreisförmigen Signalfaser 31a und zwei kreisförmigen Pumpfasern 34a, 34b, die in einer gemeinsamen Ebene in einer linearen Anordnung angeordnet sind. Die Pumpfasern 34a, 34b sind über Schmelzverbindungen 38a, 38b mit der Signalfaser 31a verbunden.

Fig. 3b zeigt eine optische Faseranordnung 30b mit der kreisförmigen Signalfaser 31a, die im Randbereich über die Schmelzverbindungen 38a, 38b mit den kreisförmigen Pumpfasern 34a, 34b verbunden ist und die einen kreisförmigen Pumpkern 33a aufweist. Die optische Faseranordnung 30b weist außerdem eine dritte und eine vierte kreisförmige Pumpfaser 34c, 34d auf, wobei die dritte Pumpfaser 34c im oberen Randbereich der Signalfaser 31a über eine Schmelzverbindung 38c und die vierte Pumpfaser 34d im unteren Randbereich der Signalfaser 31a über eine Schmelzverbindung 38d jeweils mit der Signalfaser 31a verbunden sind.

Fig. 3c zeigt eine optische Faseranordnung 30c mit der kreisförmigen Signalfaser 31a und den kreisförmigen Pumpfasern 34a, 34b von Fig. 3a sowie zwei weiteren kreisförmigen Pumpfasern 35a, 35b. Die Signalfaser 31a und die vier Pumpfasern 34a, 34b, 35a, 35b sind in einer Ebene nebeneinander angeordnet und bilden eine lineare Anordnung. Die Signalfaser 31a ist über die Schmelzverbindungen 38a, 38b mit der ersten und zweiten Pumpfaser 34a, 34b verbunden. Die erste Pumpfaser 34a ist über eine weitere Schmelzverbindung **39a** mit der weiteren Pumpfaser 35a verbunden und die zweite Pumpfaser 34b über eine weitere Schmelzverbindung **39b** mit der weiteren Pumpfaser 35b.

Die Fig. 3a und 3c zeigen im Gegensatz zu Fig. 3b eine flache Anordnung der optischen Faseranordnungen 30a, 30c. Die Signalfaser 31a und die Pumpfasern 34a, 34b, 35a, 35b sind in einer Ebene nebeneinander angeordnet. Diese flache optische Faseranordnung ermöglicht einen besseren Zugang zur Signalfaser 31a und führt zu einer Vorzugsrichtung hinsichtlich Biegung und Kühlung, die ggf. mit einer Vorzugsrichtung der Polarisation verknüpft sein kann. Weiterhin erlaubt die

flache Faseranordnung ein einfacheres Schreiben von Gittern, z.B. von Fiber Bragg Gratings, in den aktiven Kern 32 der Signalfaser 31a. Der Zugang zu der Signalfaser 31a ist vor allem dann erforderlich, wenn die optische Faseranordnung aus Signal- und Pumpfasern sowie die Schmelzverbindungen in einem gemeinsamen
5 Herstellungsprozess hergestellt werden.

Fig. 3d zeigt eine optische Faseranordnung 30d mit einer Signalfaser 31b, die über eine Schmelzverbindung 38e mit einer quadratischen Pumpfaser 36a stoffschlüssig verbunden ist. Die Signalfaser 31b weist eine so genannte D-Form auf, um die
10 Zylindersymmetrie des Pumpkerns 33b zu brechen und die Einkopplung von Pumpstrahlung aus dem Pumpkern 33b in den aktiven Kern 32 der Signalfaser 31b zu verbessern. Dies ist günstig, da sich bei Pumpkernen mit kreisförmigem Querschnitt Pumpstrahlung bevorzugt in Moden ausbreitet, die ein Intensitätsminimum in der Mitte der Signalfaser aufweisen, so dass nur wenig Pumpstrahlung
15 im aktiven Kern absorbiert wird. Bekannte Pumpkerngeometrien, die die Zylindersymmetrie des Pumpkerns brechen, sind bspw. ein kreisförmiger Pumpkern mit einem dezentrierten aktiven Kern, ein sternförmiger Pumpkern, ein D-förmiger oder Doppel-D-förmiger Pumpkern sowie Pumpkerne in Form eines Rechtecks, Sechsecks, Achtecks oder sonstigen Vielecks. Die Symmetriebrechung kann
20 ebenfalls durch das Ankoppeln von Fasern erreicht werden.

Fig. 3e zeigt eine optische Faseranordnung 30e mit einer Signalfaser 31c und zwei quadratischen Pumpfasern 36a, 36b, die stoffschlüssig über Schmelzverbindungen 38e, 38f verbunden sind. Die Signalfaser 31c weist einen kreisförmigen aktiven Kern
25 32 und einen Doppel-D-förmigen Pumpkern 33c auf. Die Schmelzverbindungen 38e, 38f befinden sich zwischen den Doppel-D-Seiten des Pumpkerns 33c und den Rechteckseiten der Pumpfasern 36a, 36b. Um die Polarisation des Laserstrahls zu beeinflussen, enthält die Signalfaser 31c so genannte Stress Rods (Spannungsstäbe) **39a, 39b**, welche eine polarisationserhaltende Wirkung auf die Strahlung im
30 aktiven Kern 32 ausüben.

Fig. 3f zeigt eine optische Faseranordnung 30f mit einer sechseckigen Signalfaser 31d und zwei rechteckigen Pumpfasern 37a, 37b, die stoffschlüssig über Schmelzverbindungen 38g, 38h mit der Signalfaser 31d verbunden sind. Die

Signalfaser 31d weist einen kreisförmigen aktiven Kern 32 und einen sechseckigen Pumpkern 33d auf. Die Schmelzverbindungen 38g, 38h befinden sich jeweils zwischen einer Seite des sechseckigen Pumpkerns 33d und einer Rechteckseite der jeweiligen Pumpfaser 37a, 37b.

5

Erfindungsgemäß werden an den Pumpfasern 34a bis 34d, 35a, 35b, 36a, 36b, 37a, 37b der Faseranordnungen 30a bis 30f der Fig. 3a bis 3f in dem dort gezeigten Bereich, in dem die Pumpfasern 34a bis 34d, 35a, 35b, 36a, 36b, 37a, 37b direkt über Schmelzverbindungen 38a bis 38h mit der Signalfaser 31a bis 31d verbunden sind, Kopplungsflächen angebracht, die eine Ein- bzw. Auskopplung von Pumpstrahlung in die bzw. aus den Pumpfasern 34a bis 34d, 35a, 35b, 36a, 36b, 37a, 37b ermöglichen. Im Folgenden werden anhand der Fig. 4a, b sowie 5a, b zwei Verfahren zur Herstellung einer erfindungsgemäßen optischen Faseranordnung beschrieben.

15

Fig. 4a, b zeigen ein erstes Verfahren zur Herstellung einer erfindungsgemäßen optischen Faseranordnung **40**, bei der an der Faseranordnung 30a von Fig. 3a mit der Signalfaser 31a und den Pumpfasern 34a, 34b in einem ersten Schritt Abschnitte **41a, 41b** der Pumpfasern 34a, 34b entfernt werden, wie in Fig. 4a gezeigt ist. Die Pumpfasern 34a, 34b werden hierzu bspw. mit CO₂-, Excimer- oder Ultrakurzpuls-Laserstrahlung mikrobearbeitet, um die Abschnitte 41a, 41b aus den Pumpfasern 34a, 34b herauszuschneiden, wodurch jeweils eine mantelseitige Schnittkante als Kopplungsfläche **42a, 42b** an den Pumpfasern 34a, 34b gebildet wird. Beim Herausschneiden der Abschnitte 41a, 41b muss sichergestellt sein, dass die Signalfaser 31a und die Schmelzverbindungen 38a, 38b zwischen der Signalfaser 31a und den Pumpfasern 34a, 34b nicht beschädigt werden. In einem zweiten Schritt werden die Kopplungsflächen 42a, 42b der Pumpfasern 34a, 34b wie in Fig. 4b gezeigt mit Transportfasern **43a, 43b** zum Zuführen bzw. Abführen von Pumpstrahlung mit Hilfe bekannter Spleißverfahren verbunden. Die Kopplungsflächen 42a, 42b der Pumpfasern 34a, 34b und die Transportfasern 43a, 43b sind hierbei so aufeinander abgestimmt, dass die Geometrien der Transportfasern 43a, 43b fortgeführt oder die Querschnittsfläche der Transportfasern 43a, 43b von der jeweiligen Pumpfaser 34a, 34b eingeschlossen wird. Die Kopplungsflächen 42a, 42b der Pumpfasern 34a, 34b bilden hierbei jeweils ein eintrittsseitiges oder

30

austrittsseitiges Ende eines Wechselwirkungsbereichs **44a**, **44b**, entlang dessen Pumpstrahlung von der jeweiligen Pumpfaser 34a, 34b in die Signalfaser 31a eingekoppelt wird. Der Übergang von den Transportfasern 43a, 43b zu den jeweiligen Pumpfasern 34a, 34b erfolgt mit möglichst geringem Winkelversatz.

5

Es versteht sich, dass bei der hier beschriebenen ersten Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Herstellungsverfahrens statt der optischen Faseranordnung 30a der Fig. 3a mit der Signalfaser 31a und den Pumpfasern 34a, 34b auch die Faseranordnungen 30b-30f der Fig. 3b-f mit den Signalfasern 31a-31d und den Pumpfasern 34a-34d, 35a, 35b, 36a, 36b, 37a verwendet werden können.

10

Fig. 5a, b zeigen ein zweites Verfahren zur Herstellung einer erfindungsgemäßen optischen Faseranordnung **50** aus der optischen Faseranordnung 30e von Fig. 3e. In einem ersten Schritt werden Abschnitte **51a**, **51b** der Pumpfasern 36a, 36b entfernt, in dem die stoffschlüssigen Schmelzverbindungen 38e, 38f zwischen der Signalfaser 31c und den Pumpfasern 36a, 36b über eine Länge **L** aufgehoben werden. Die Trennung der Abschnitte 51a, 51b der Pumpfasern 36a, 36b von der Signalfaser 31c erfolgt bspw. durch Lasermikrobearbeitung mit CO₂-, Excimer- oder Ultrakurzpuls-Laserstrahlung, durch Ionenätzen ("Ion Milling"), Nassätzen ("Wet Etching") oder Trockenätzen ("Dry Etching"). Dabei muss ebenfalls sichergestellt werden, dass die Signalfaser 31c durch die Bearbeitung beim Entfernen der Abschnitte 51a, 51b der Pumpfasern 36a, 36b nicht beschädigt wird. Durch das Entfernen der Abschnitte 51a, 51b von den Pumpfasern 36a, 36b bilden sich stirnseitig an diesen jeweils zwei Kopplungsflächen **52a**, **52b** bzw. **52c**, **52d** aus.

15

20

25

In einem zweiten Schritt werden die Kopplungsflächen 52a bis 52d der Pumpfasern 36a, 36b wie in Fig. 5b gezeigt mit Transportfasern **53a bis 53d** zum Zuführen bzw. Abführen von Pumpstrahlung mit Hilfe bekannter Spleißverfahren verbunden. Hierdurch bilden sich an jeder Pumpfaser 36a, 36b zwei Wechselwirkungsbereiche **54a**, **54b** bzw. **54c**, **54d** aus, entlang derer die Pumpstrahlung in die Signalfaser 31c eingekoppelt wird. Die Kopplungsflächen 52a bis 52d an den Faserenden der Pumpfasern 36a, 36b sind hierbei wieder derart ausgestaltet, dass die Geometrie der Transportfasern 53a bis 53d fortgeführt oder die Querschnittsfläche der Transportfasern 53a bis 53d von den jeweiligen Pumpfasern 36a, 36b

30

eingeschlossen wird. Der Übergang von den Transportfasern 53a bis 53d zur jeweiligen Pumpfaser 36a, 36b erfolgt auch in diesem Fall mit möglichst geringem Winkelversatz.

5 Es versteht sich, dass bei der hier beschriebenen zweiten Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Herstellungsverfahrens statt der optischen Faseranordnung 30e der Fig. 3e mit der Signalfaser 31c und den Pumpfasern 36a, 36b auch die Faseranordnungen 30a-30d, 30f der Fig. 3a-3d, 3f mit den Signalfasern 31a, 31b, 31d und den Pumpfasern 34a-34d, 35a, 35b, 36a, 37a, 37b verwendet werden
10 können.

Die in den Fig. 4 und 5 gezeigten erfindungsgemäßen optischen Faseranordnungen 40, 50 aus einer Signalfaser 31a, 31c und mehreren Pumpfasern 34a, 34b, 36a, 36b oder entsprechende Abwandlungen u.a. den in Zusammenhang mit Fig. 3a-f be-
15 schriebenen optischen Faseranordnungen, können in Faserverstärkern oder Faserlaseranordnungen verwendet werden, von denen in den Fig. 6 bis 10 einige Beispiele dargestellt sind. Es versteht sich, dass bei allen hier beschriebenen Anordnungen an der Signalfaser insbesondere in den Bereichen, in denen die Pumpfasern entfernt wurden, ein oder mehrere Funktionselemente angebracht sein
20 können, z.B. Gitter, Isolatoren, Taper, Rotatoren, Taps etc.

Fig. 6 zeigt eine erfindungsgemäße Faserlaseranordnung **60** mit einer optischen Faseranordnung **61**, die eine Signalfaser **62** und zwei Pumpfasern **63a**, **63b** aufweist, die über Schmelzverbindungen **64a**, **64b** stoffschlüssig mit der Signalfaser
25 **62** verbunden sind. Die Signalfaser **62** ist als Single-Clad-Faser ausgebildet, wobei der Pumpkern wie in Fig. 3a-f oder im Zusammenhang damit beschrieben ausgebildet sein kann. Ein optischer Resonatorabschnitt **65** ist von einem ersten und einem zweiten Fiber Bragg Grating (FBG) **65a**, **65b** begrenzt, die mit der Signalfaser **62** verbunden sind oder über bekannte Verfahren in die Signalfaser **62** geschrieben
30 sind.

Die Faserlaseranordnung **60** gemäß Fig. 6a weist sechs Pumpquellen **66a bis 66f** auf, deren Pumpstrahlung über sechs die Pumpstrahlung zuführende Transportfasern **67a bis 67f** den beiden Pumpfasern **63a**, **63b** zugeführt wird. Die

Transportfasern 67a, 67c, 67e sind hierbei mit einer Kopplungsfläche **68a** am Fasereingang der ersten Pumpfaser 63a und die Transportfasern 67b, 67d, 67f mit einer Kopplungsfläche **68b** am Fasereingang der zweiten Pumpfaser 63b über Spleißverbindungen mit der ersten bzw. zweiten Pumpfaser 63a, 63b verbunden. Die
5 in die Pumpfasern 63a, 63b eingekoppelte Pumpstrahlung wird entlang jeweils eines Wechselwirkungsbereichs **69a**, **69b**, welcher durch die Schmelzverbindung 64a, 64b zwischen der Signalfaser 62 und der jeweiligen Pumpfaser 63a, 63b gebildet ist, in die Signalfaser 62 eingekoppelt. Sechs weitere Transportfasern **67g bis 67l** dienen der Auskopplung der Pumpstrahlung aus den jeweiligen Pumpfasern 63a, 63b, wobei
10 die Transportfasern 67g, 67i, 67k an einer weiteren Kopplungsfläche **68c** am gegenüberliegenden Faserende (Faserausgang) der ersten Pumpfaser 63a und die Transportfasern 67h, 67j, 67l an einer weiteren Kopplungsfläche **68d** am gegenüberliegenden Faserende (Faserausgang) der zweiten Pumpfaser 63b befestigt sind.

15 Die Pumpfasern 63a, 63b weisen einen rechteckigen Querschnitt auf. Sie sind so ausgebildet, dass die Querschnittsfläche der Transportfasern 67a bis 67f bzw. 67g bis 67i von der jeweiligen Pumpfaser 63a, 63b eingeschlossen wird. Eine rechteckige Pumpfaser hat gegenüber mehreren kreisförmigen Pumpfasern den Vorteil der besseren Kühlmöglichkeiten aufgrund der größeren Auflagefläche.

20 **Fig. 7** zeigt eine weitere erfindungsgemäße Faserlaseranordnung **70** mit einer optischen Faseranordnung **71**, die eine Signalfaser **72** und vier kreisförmige Pumpfasern **73a bis 73d** in einer linearen Anordnung aufweist. Wie in Fig. 7 im Querschnitt durch die optische Faseranordnung 71 gezeigt, ist die Signalfaser 72
25 über Schmelzverbindungen **74a**, **74b** mit einer ersten und einer zweiten Pumpfaser 73a, 73b stoffschlüssig verbunden, die ihrerseits mit einer dritten und einer vierten Pumpfaser 73c, 73d über Schmelzverbindungen **74c**, **74d** verbunden sind. Der Vorteil mehrerer kreisförmiger Pumpfasern 73a bis 73d gegenüber einer rechteckigen Pumpfaser besteht darin, dass Standardfasern Verwendung finden und
30 keine Spezialfasern hergestellt werden müssen.

Bei der optischen Faseranordnung 71 ist ein optischer Resonatorabschnitt **75** in der Signalfaser 72 von einem ersten und einem zweiten Fiber Bragg Grating (FBG) **75a**, **75b**, die mit der Signalfaser 72 verbunden oder über bekannte Verfahren in die

Signalfaser 72 geschrieben sind, begrenzt. Der Faserlaser 70 weist vier Pumpquellen **76a bis 76d** auf, deren Pumpstrahlung über vier Transportfasern **77a bis 77d** jeweils einer der vier Pumpfasern 73a bis 73d zugeführt wird. Jede der Transportfasern 77a bis 77d ist hierbei an einer Kopplungsfläche **78a bis 78d** an einem jeweiligen Faserende (Fasereingang) einer Pumpfaser 73a bis 73d über eine Spleißverbindung befestigt. Über in Fig. 7 nicht dargestellte weitere Transportfasern an einem gegenüberliegenden Ende (Faserausgang) der Pumpfasern 73a bis 73d wird die Pumpstrahlung von den Pumpfasern 73a bis 73d weggeführt.

Bei der in Fig. 7 gezeigten optischen Faseranordnung 71 wird die Pumpstrahlung von der ersten und zweiten Pumpfaser 73a, 73b über einen jeweiligen Wechselwirkungsbereich **79a, 79b** an einer Schmelzverbindung 74a, 74b mit der Signalfaser 72 in diese eingekoppelt. Entsprechend wird Pumpstrahlung von der dritten und vierten Pumpfaser 73c, 73d an einem jeweiligen zusätzlichen Wechselwirkungsbereich **79c, 79d**, der durch die Schmelzverbindungen 74c, 74d der ersten Pumpfaser 73a mit der dritten Pumpfaser 73c bzw. der zweiten Pumpfaser 73b mit der vierten Pumpfaser 73d gebildet ist, in die erste und zweite Pumpfaser 73a, 73b eingekoppelt, von wo aus die Pumpstrahlung über die Wechselwirkungsbereiche 79a, 79b in die Signalfaser 72 eingekoppelt wird.

Fig. 8 zeigt einen erfindungsgemäßen Faserverstärker **80** mit einer optischen Faseranordnung **81**, welche eine Signalfaser **82** sowie zwei Pumpfasern 83a, 83b aufweist, die jeweils über eine Schmelzverbindung **84a, 84b** stoffschlüssig mit der Signalfaser 82 verbunden sind. Eine Pumpquelle **85**, bspw. ein Diodenlaser, erzeugt Pumpstrahlung, die der ersten Pumpfaser 83a über eine erste Transportfaser **86a** zugeführt wird, wobei die erste Transportfaser 86a über eine erste Kopplungsfläche **87a** an einem Faserende (Fasereingang) der ersten Pumpfaser 83a mit der ersten Pumpfaser 83a über eine Spleißverbindung verbunden ist. Die erste Pumpfaser 83a weist an der Schmelzverbindung 84a mit der Signalfaser 82 einen Wechselwirkungsbereich **88a** auf, über den Pumpstrahlung von der ersten Pumpfaser 83a in die Signalfaser 82 einkoppelt und die Laserstrahlung in deren Kern **82a** verstärkt wird. Am gegenüberliegenden Faserende (Faserausgang) der Pumpfaser 83a wird an einer zweiten Kopplungsfläche **87b** die nicht entlang des Wechselwirkungsbereichs 88a in die Signalfaser 82 eingekoppelte Pumpstrahlung über eine zweite, mit der

ersten Pumpfaser 83a über eine Spleißverbindung verbundene Transportfaser **86b** abgeführt. Die zweite Transportfaser 86b ist an ihrem gegenüberliegenden Faserende (Faserausgang) mit einer Kopplungsfläche **87c** der zweiten Pumpfaser 83b verbunden, so dass die Pumpstrahlung aus der zweiten Transportfaser 86b der
5 zweiten Pumpfaser 83b zugeführt wird. Da auch die zweite Pumpfaser 83b mit der Signalfaser 82 über eine Schmelzverbindung 84b stoffschlüssig verbunden ist und an der Schmelzverbindung 84b einen Wechselwirkungsbereich **88b** aufweist, koppelt weitere Pumpstrahlung in die Signalfaser 82 ein. Die zweite Pumpfaser 83b ist an ihrem Faserausgang über eine weitere Kopplungsfläche **87d** mit einer dritten
10 Transportfaser **86c** verbunden, die die Pumpstrahlung, die auch in der zweiten Pumpfaser 83b nicht in die Signalfaser 82 eingekoppelt wurde, aus der optischen Faseranordnung 81 abführt.

Fig. 9 zeigt eine erfindungsgemäße Faserlaseranordnung **90** in Form eines Master Oszillator Power Amplifier (MOPA)-Systems. Die Faserlaseranordnung 90 weist eine
15 erste optische Faseranordnung **91a**, die einen Oszillatorabschnitt **90a** bildet, sowie eine zweite optische Faseranordnung **91b**, die einen Verstärkerabschnitt **90b** bildet, auf. Die beiden Abschnitte 90a, 90b sind in der Darstellung von Fig. 9 durch eine gestrichelte Linie voneinander getrennt und sind über eine gemeinsame Signalfaser
20 **92** miteinander verbunden.

Die erste optische Faseranordnung 91a weist eine erste Pumpfaser **93a** und eine zweite Pumpfaser **93b** auf, die mit der Signalfaser 92 über Schmelzverbindungen
94a, **94b** stoffschlüssig verbunden sind. An der ersten optischen Faseranordnung
25 91a ist ein Resonatorabschnitt **95** gebildet, der von zwei Fiber Bragg Gratings **95a**, **95b** begrenzt wird und in dem ein Laserstrahl erzeugt wird, der entlang der Signalfaser 92 in die zweite optische Faseranordnung 91b propagiert.

Die erste Pumpfaser 93a ist über eine erste Kopplungsfläche **98a** am Fasereingang
30 mit einer ersten Transportfaser **97a** verbunden, die Pumpstrahlung einer ersten Pumpquelle **96a** zur ersten Pumpfaser 93a überträgt. Die erste Pumpfaser 93a weist an der Schmelzverbindung 94a mit der Signalfaser 92 einen Wechselwirkungsbereich **99a** auf, über den Pumpstrahlung von der ersten Pumpfaser 93a in die Signalfaser 92 eingekoppelt wird. An einer Kopplungsfläche

98c am Faserausgang ist die erste Pumpfaser **93a** mit einer dritten Transportfaser **97c** verbunden, die Pumpstrahlung, die in dem Wechselwirkungsbereich **99a** nicht in die Signalfaser **92** eingekoppelt wurde, aus der ersten Pumpfaser **93a** abführt. Analog zur ersten Pumpfaser **93a** ist die zweite Pumpfaser **93b** über eine
5 Kopplungsfläche **98b** am Fasereingang mit einer zweiten Transportfaser **97b** verbunden, die Pumpstrahlung einer zweiten Pumpquelle **96b** der zweiten Pumpfaser **93b** zuführt. An einer Kopplungsfläche **98d** am Faserausgang ist die zweite Pumpfaser **93b** mit einer vierten Transportfaser **97d** verbunden. Entlang eines zweiten Wechselwirkungsbereichs **99b** wird Pumpstrahlung von der zweiten
10 Pumpfaser **93b** in die Signalfaser **92** eingekoppelt.

Die zweite optische Faseranordnung **91b** weist eine dritte Pumpfaser **93c** und eine vierte Pumpfaser **93d** auf, die mit der Signalfaser **92** über Schmelzverbindungen **94c**, **94d** stoffschlüssig verbunden sind und an der jeweiligen Schmelzverbindung
15 **94c**, **94d** jeweils einen Wechselwirkungsbereich **99c**, **99d** aufweisen. Die dritte Pumpfaser **93c** ist an einer Kopplungsfläche **98e** am Fasereingang mit der dritten Transportfaser **97c** verbunden, welche die dritte Pumpfaser **93c** mit der ersten Pumpfaser **93a** der ersten Faseranordnung **91a** verbindet und Pumpstrahlung, die entlang des Wechselwirkungsbereichs **99a** der ersten Pumpfaser **93a** nicht in die
20 Signalfaser **92** eingekoppelt wurde, in die dritte Pumpfaser **93c** transportiert, um sie dort entlang eines dritten Wechselwirkungsbereichs **99c** in die Signalfaser **92** einzukoppeln. Analog ist auch die vierte Pumpfaser **93d** an einer Kopplungsfläche **98f** am Fasereingang mit der vierten Transportfaser **97d** verbunden, welche die vierte Pumpfaser **93d** mit der zweiten Pumpfaser **93b** der ersten optischen
25 Faseranordnung **91a** verbindet und Pumpstrahlung, die entlang des Wechselwirkungsbereichs **99b** der zweiten Pumpfaser **93b** nicht in die Signalfaser **92** eingekoppelt wurde, in die vierte Pumpfaser **93d** transportiert und die Pumpstrahlung entlang eines vierten Wechselwirkungsbereichs **99d** in die Signalfaser **92** einkoppelt. Über die Länge der Pumpfasern **93a** bis **93d** bzw. der zugehörigen
30 Wechselwirkungsbereiche **99a** bis **99d** kann die Pumpstrahlung der ersten und zweiten Pumpquelle **96a**, **96b** beliebig zwischen dem Oszillatorabschnitt **90a** mit der ersten optischen Faseranordnung **91a** und dem Verstärkerabschnitt **90b** mit der zweiten optischen Faseranordnung **91b** verteilt werden.

Die erste optische Faseranordnung 91a und die zweite optische Faseranordnung 91b können aus einer einzigen optischen Faseranordnung erzeugt werden. In diesem Fall stellen die erste und dritte Pumpfaser 93a, 93c bzw. die zweite und vierte Pumpfaser 93b, 93d jeweils einen Abschnitt derselben Pumpfaser dar, die im Bereich zwischen den optischen Faseranordnungen 91a, 91b vollständig entfernt wurde. Alternativ können die Pumpfasern nur in einem kleinen Bereich am Ende bzw. Anfang der ersten und zweiten optischen Faseranordnungen 91a, 91b entfernt werden. Im Bereich zwischen den ersten und zweiten optischen Faseranordnungen 91a, 91b bleiben hierbei die Schmelzverbindungen mit der Signalfaser 90 bestehen. Diese Ausführungsform hat den Vorteil, dass der Aufwand beim Trennen der Schmelzverbindungen und beim Entfernen der Pumpfasern reduziert ist. Da die Pumpstrahlung der ersten und zweiten Pumpquelle 96a, 96b über die dritte und vierte Transportfaser 97c, 97d abgeführt wird, enthalten die verbliebenen Pumpfaserabschnitte keine Pumpstrahlung und haben daher keinen Einfluss auf den Laserstrahl, der in der Signalfaser 92 geführt wird.

Fig. 10 zeigt schließlich eine erfindungsgemäße Faserlaseranordnung **100** mit einer optischen Faseranordnung **101**, die eine Signalfaser **102** bestehend aus einem aktiven Kern **102a** und einem Pumpkern **102b** sowie zwei rechteckige Pumpfasern **103a**, **103b** umfasst. Als Pumpquellen **105a**, **105b** sind ein erster Diodenlaser und ein zweiter Diodenlaser vorgesehen, die aus Einzelemittlern bestehen, welche nebeneinander und übereinander angeordnet sind und die eine rechteckige Strahlaustrittsfläche **104a**, **104b** aufweisen. Die Pumpstrahlung der Pumpquellen **105a**, **105b** wird nach Austritt aus den Strahlaustrittsflächen **104a**, **104b** ohne Transportfaser und ohne Einkoppeloptik an stirnseitigen Kopplungsflächen **107a**, **107b** in die beiden Pumpfasern **103a**, **103b** eingekoppelt, deren rechteckiger Querschnitt an die Geometrie der Strahlaustrittsflächen **104a**, **104b** der Pumpquellen **105a**, **105b** angepasst ist. Die Pumpstrahlung wird dann von den beiden Pumpfasern **103a**, **103b** in Wechselwirkungsbereichen **108a**, **108b** entlang eines Resonatorabschnitts **109**, der zwischen zwei Fiber Bragg Gratings **109a**, **109b** gebildet ist, in die Signalfaser **102** eingekoppelt. Zwischen den Strahlaustrittsflächen **104a**, **104b** der Pumpquellen **105a**, **105b** und den Kopplungsflächen **107a**, **107b** der Pumpfasern **103a**, **103b** befindet sich ein Spalt **110a**, **110b**, der möglichst klein gewählt ist. Wenn es technisch realisierbar ist, können die Strahlaustrittsflächen

104a, 104b auch in direkten optischen Kontakt, d.h. ohne Spalt 110a, 110b, mit den Kopplungsflächen 107a, 107b gebracht werden.

- 5 Mit den oben beschriebenen Anordnungen kann über die Geometrie der Pump- und Signalfasern, die Größenverhältnisse zwischen der Signalfaser und der Pumpfaser sowie über die Festlegung der Wechselwirkungslänge der Wechselwirkungsbereiche die Pumpstrahlung gezielt zu- bzw. abgeführt werden, wohingegen bei konventionellen endgepumpten Faseranordnungen ein exponentieller Abfall der Intensität der Pumpstrahlung entlang der gesamten Signalfaser auftritt.

Patentansprüche

1. Optische Faseranordnung (40; 50; 61; 71; 81; 91a,b; 101) mit einer Signalfaser (31a-d; 62; 72; 82; 92; 102) und mit mindestens einer Pumpfaser (34a-c; 35a,b; 36a,b; 37a,b; 63a,b; 73a-d; 83a,b; 93a-d; 103a,b), die entlang mindestens eines Wechselwirkungsbereichs (44a,b; 54a-d; 69a,b; 79b,c; 88a,b; 99a-d; 108a,b), in dem Pumpstrahlung von der Pumpfaser (34a-c; 35a,b; 36a,b; 37a,b; 63a,b; 73a-d; 83a,b; 93a-d; 103a,b) in die Signalfaser (31a-d; 62; 72; 82; 92; 102) eingekoppelt wird, nebeneinander verlaufen und die entlang des Wechselwirkungsbereichs (44a,b; 54a-d; 69a,b; 79a,b; 88a,b; 99a-d; 108a,b) direkt, bevorzugt stoffschlüssig über eine Schmelzverbindung (38a-38h, 64a,b; 74a,b; 84a,b), miteinander verbunden sind, dadurch gekennzeichnet, dass die Pumpfaser (34a-c; 35a,b; 36a,b; 37a,b; 63a,b; 73a-d; 83a,b; 93a-d; 103a,b) an mindestens einem Ende des Wechselwirkungsbereichs (44a,b; 54a-d; 69a,b; 79a,b; 88a,b; 99a-d; 108a,b) eine Kopplungsfläche (42a,b; 52a-d; 68a-d; 78a,b; 87a-d; 98a-f; 107a,b) zum Zuführen und/oder Abführen von Pumpstrahlung in die und/oder aus der Pumpfaser (34a-c; 35a,b; 36a,b; 37a,b; 63a,b; 73a-d; 83a,b; 93a-d; 103a,b) aufweist.
2. Optische Faseranordnung nach Anspruch 1, welche mindestens eine Transportfaser (43a,b; 53a-d; 67a-l; 77a-d; 86a-c; 97a-d) aufweist, die an der Kopplungsfläche (42a,b; 53a-d; 67a-d; 77a,b; 87a-d; 98a-f) mit der Pumpfaser (34a-c; 35a,b; 36a,b; 37a,b; 63a,b; 73a-d; 83a,b; 93a-d) in optischem Kontakt steht, bevorzugt mittels einer Spleißverbindung befestigt ist.
3. Optische Faseranordnung nach Anspruch 2, bei der mindestens eine Transportfaser (86b; 97c,d) eine Kopplungsfläche (87b; 98c,d) einer ersten

Pumpfaser (83a; 93a,b) mit einer weiteren Kopplungsfläche (87c, 98e,f) der ersten oder einer weiteren Pumpfaser (83b, 93c,d) verbindet.

4. Optische Faseranordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der die Kopplungsfläche (42a,b; 52a-d; 68a-d; 78a,b; 87a-d; 98a-f; 107a,b) mantelseitig oder stirnseitig an der Pumpfaser (34a-c; 35a,b; 36a,b; 37a,b; 63a,b; 73a-d; 83a,b; 93a-d; 103a,b) gebildet ist.
5. Optische Faseranordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der die Summe der Querschnittsflächen aller Pumpfasern (34a-c; 35a,b; 36a,b; 37a,b; 63a,b; 73a-d; 83a,b; 93a-d; 103a,b) mindestens so groß wie die Querschnittsfläche der Signalfaser (31a-d; 62; 72; 82; 92; 102) ist.
6. Optische Faseranordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der die Pumpfaser (36a,b; 37a,b; 63a,b; 103a,b) einen rechteckigen Querschnitt aufweist.
7. Faserverstärker (80) mit einer optischen Faseranordnung (81) nach einem der vorhergehenden Ansprüche sowie mit mindestens einer Pumpquelle (85) zum Zuführen von Pumpstrahlung an die Kopplungsfläche (87a).
8. Faserlaseranordnung (60; 70; 90; 100) mit:
einer optischen Faseranordnung (61; 71; 91a; 101) nach einem der Ansprüche 1 bis 6, mindestens einer Pumpquelle (66a-f; 76a-d; 96a,b; 105a,b) zur Zuführung von Pumpstrahlung zu mindestens einer Kopplungsfläche (68a, 68b; 78a-d; 98a,b; 107a, 107b),
sowie einem an der Signalfaser (62; 72; 92; 102) vorgesehenen Resonatorabschnitt (65, 75, 95, 109), an dem der Wechselwirkungsbereich (69a,b; 79a,b; 99a,b; 108a,b) gebildet ist.
9. Faserlaseranordnung nach Anspruch 8, bei der an der Signalfaser (92) außerhalb des optischen Resonatorabschnitts zur Verstärkung des aus dem Resonatorabschnitt (65, 75, 95, 109) austretenden Laserstrahls eine weitere optische Faseranordnung (91b) gebildet ist, bei der die Signalfaser

- (92) mit mindestens einer Pumpfaser (93c,d) einen weiteren Wechselwirkungsbereich (99c,d) bildet, der an einem Ende eine weitere Kopplungsfläche (98e,f) aufweist, die bevorzugt über eine Transportfaser (97c,d) mit einer Kopplungsfläche (98b,d) des Wechselwirkungsbereichs (99a, 99b) im optischen Resonatorabschnitt (65, 75, 95, 109) gekoppelt ist.
10. Faserlaseranordnung nach Anspruch 9, bei welcher der Wechselwirkungsbereich (99a,b) und der weitere Wechselwirkungsbereich (99c,d) an derselben Pumpfaser (94a,c; 94b,d) gebildet sind.
 11. Faserlaseranordnung nach Anspruch 9 oder 10, bei der die Länge des Wechselwirkungsbereichs (99a,b) so auf die Länge des weiteren Wechselwirkungsbereichs (99c,d) abgestimmt ist, dass sich ein gewünschtes Verhältnis der in den beiden Wechselwirkungsbereichen (99a,b; 99c,d) in die Signalfaser (92) eingekoppelten Pumpleistung einstellt.
 12. Faserverstärker nach Anspruch 7 oder Faserlaseranordnung (100) nach einem der Ansprüche 8 bis 11, bei dem bzw. bei der zwischen einer Strahlaustrittsfläche (104a,b) der Pumpquelle (105a,b), bevorzugt eines Diodenlasers, und der bevorzugt stirnseitig an der Pumpfaser (103a,b) angebrachten Kopplungsfläche (107a,b) ein Spalt (110a,b) besteht, über den die Pumpstrahlung in die Pumpfaser (103a,b) eingekoppelt wird.
 13. Faserverstärker oder Faserlaseranordnung (100) nach Anspruch 12, bei dem bzw. bei der die Querschnittsform der Pumpfaser (103a, b) an die Querschnittsform der Strahlaustrittsfläche (104a,b) der Pumpquelle (105a,b) angepasst ist.
 14. Verfahren zum Herstellen einer optischen Faseranordnung (40; 50; 61; 71; 81; 91a,b; 101) mit einer Signalfaser (31a-d; 62; 72; 82; 92; 102) und mit mindestens einer Pumpfaser (34a-c; 35a,b; 36a,b; 37a,b; 63a,b; 73a-d; 83a,b; 93a-d; 103a,b), die entlang mindestens eines Wechselwirkungsbereichs (44a,b; 54a-d; 69a,b; 79b,c; 88a,b; 99a-d; 108a,b), in dem Pumpstrahlung von der Pumpfaser (34a-c; 35a,b; 36a,b;

37a,b; 63a,b; 73a-d; 83a,b; 93a-d; 103a,b) in die Signalfaser (31a-d; 62; 72; 82; 92; 102) eingekoppelt wird, nebeneinander verlaufen, umfassend die Schritte:

Direktes Verbinden der Signalfaser (31a-d; 62; 72; 82; 92; 102) mit der mindestens einen Pumpfaser (34a-c; 35a,b; 36a,b; 63a,b; 73a-d; 83a,b; 93a-d; 103a,b) entlang des Wechselwirkungsbereichs (44a,b; 54a-d; 69a,b; 79b,c; 88a,b; 99a-d; 108a,b), bevorzugt stoffschlüssig über eine Schmelzverbindung (38a-38h; 64a,b; 74a,b; 84a,b),

gekennzeichnet durch

Erzeugen einer Kopplungsfläche (42a,b; 52a-d; 68a-d; 78a-d; 87a-d; 98a-f; 107a,b) an der Pumpfaser (34a-c; 35a,b; 36a,b; 37a,b; 63a,b; 73a-d; 83a,b; 93a-d; 103a,b) an mindestens einem Ende des Wechselwirkungsbereichs (44a,b; 54a-d; 69a,b; 79b,c; 88a,b; 99a-d; 108a,b) zum Zuführen und/oder Abführen von Pumpstrahlung in die und/oder aus der Pumpfaser (34a-c; 35a,b; 36a,b; 37a,b; 63a,b; 73a-d; 83a,b; 93a-d; 103a,b).

15. Verfahren nach Anspruch 14, bei dem die Kopplungsfläche (42a,b; 52a-d; 68a-d; 78a,b; 87a-d; 98a-f; 107a,b) mantelseitig oder stirnseitig an der Pumpfaser (34a-c; 35a,b; 36a,b; 37a,b; 63a,b; 73a-d; 83a,b; 93a-d; 103a,b), bevorzugt durch Mikrobearbeiten, gebildet wird.

16. Verfahren nach einem der Ansprüche 14 oder 15, bei dem die Kopplungsfläche (42a, 42b) mantelseitig an der Pumpfaser (34a, 34b) gebildet wird, indem ein Abschnitt (41a, 41b) aus der Pumpfaser (34a, 34b) herausgeschnitten wird.

17. Verfahren nach einem der Ansprüche 14 oder 15, bei dem die Kopplungsfläche (52a-52d) mantelseitig an der Pumpfaser (36a, 36b) gebildet wird, indem die Schmelzverbindung (38e, 38f) über eine vorgebbare Länge L aufgehoben und ein Abschnitt (51a, 51b) der Pumpfaser (36a, 36b) mit der Länge L entfernt wird.

18. Verfahren nach einem der Ansprüche 14 bis 17, bei dem das Verbinden der Signalfaser (31a-d; 62; 72; 82; 92; 102) mit der mindestens einen

Pumpfaser (34a-c; 35a,b; 36a,b; 37a,b; 63a,b; 73a-d; 83a,b; 93a-d; 103a,b) während des Herstellungsprozesses der Signalfaser (31a; 31c; 62; 72; 82; 92; 102) und der mindestens einen Pumpfaser (34a-c; 35a,b; 36a,b; 37a,b; 63a,b; 73a-d; 83a,b; 93a-d; 103a,b) erfolgt.

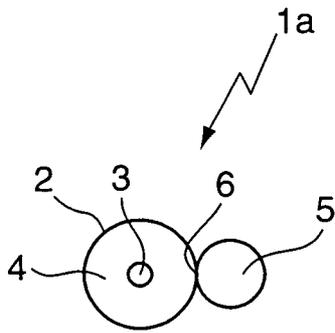


Fig. 1a

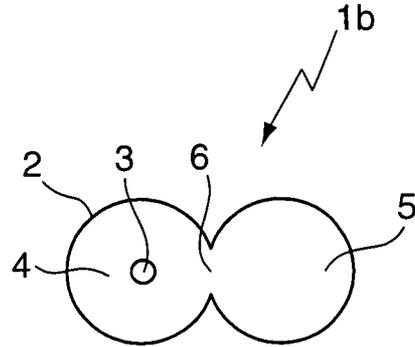


Fig. 1b

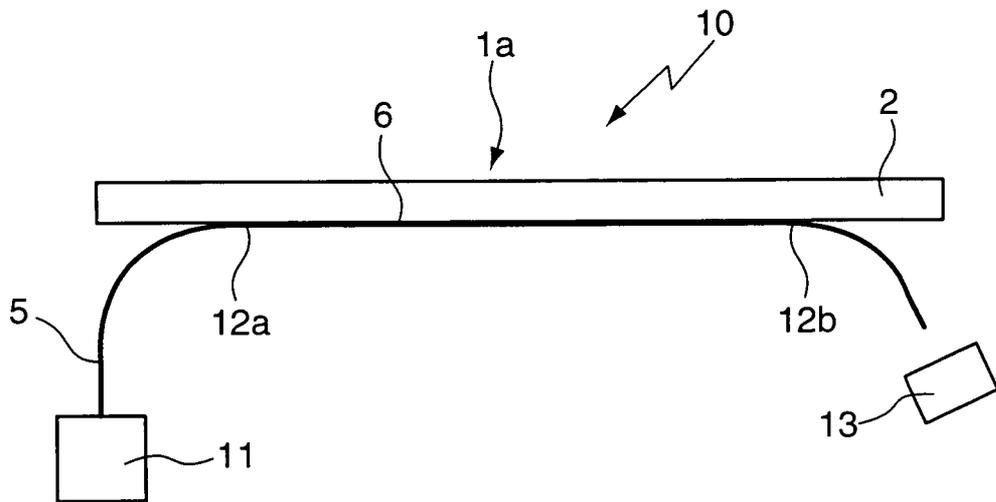


Fig. 1c

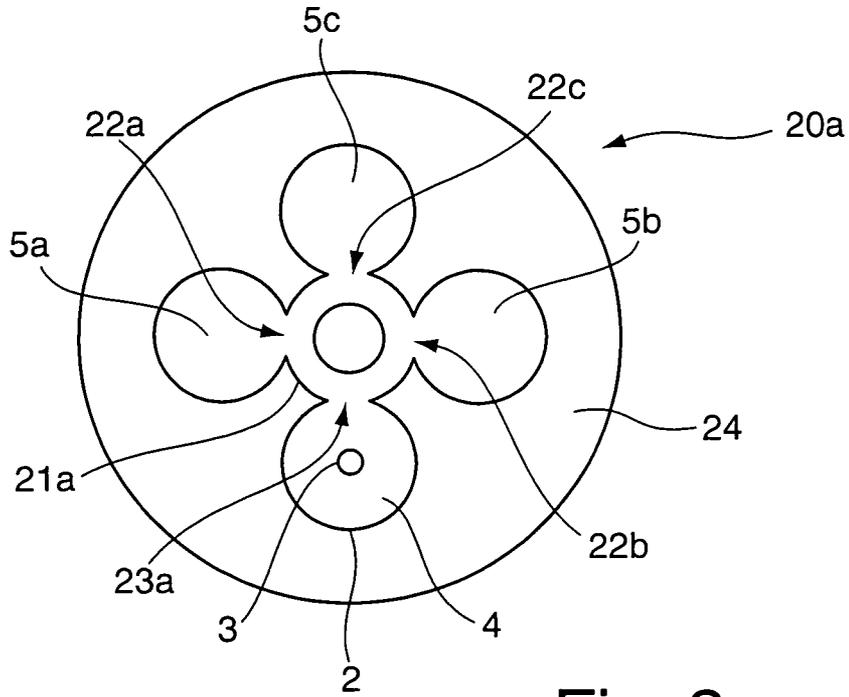


Fig. 2a

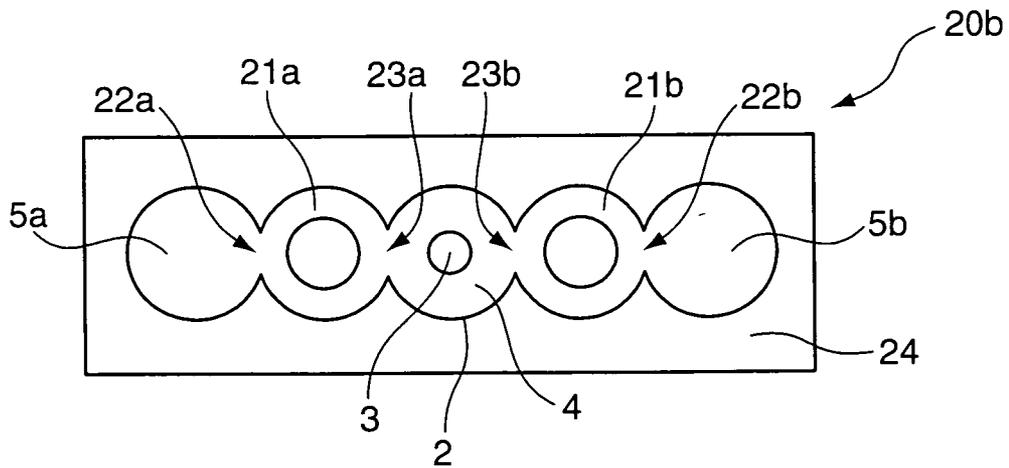


Fig. 2b

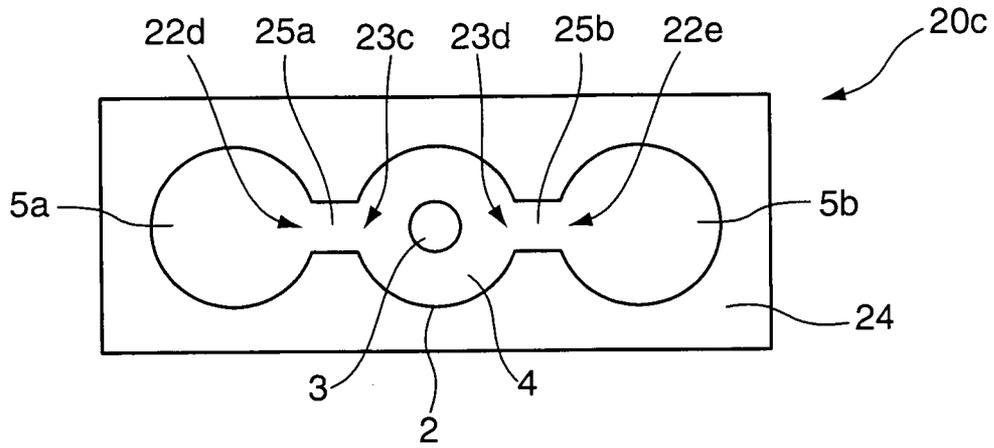


Fig. 2c

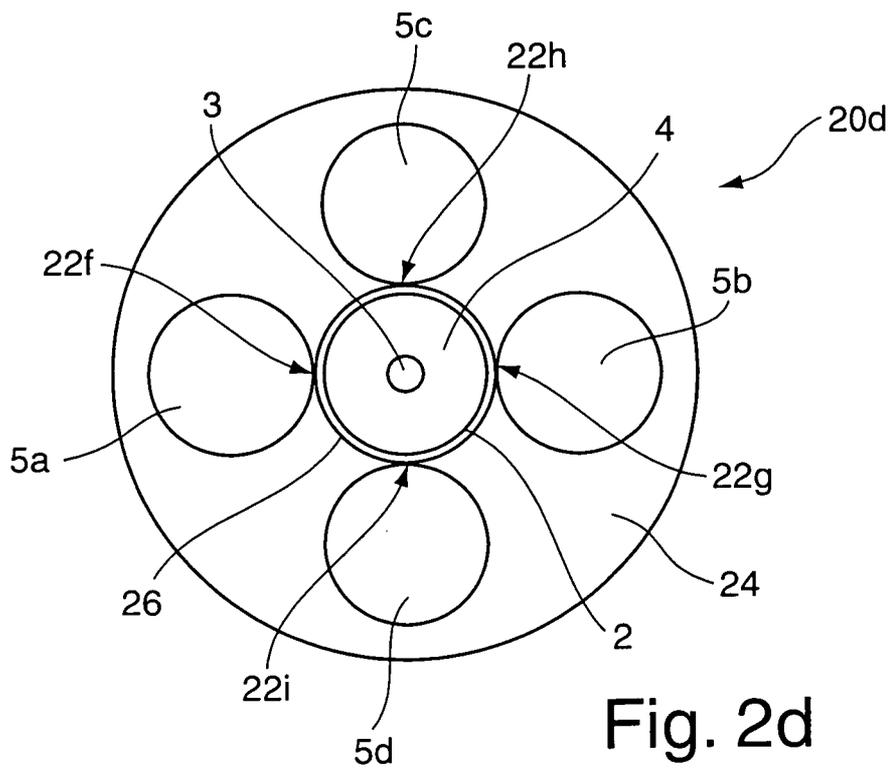


Fig. 2d

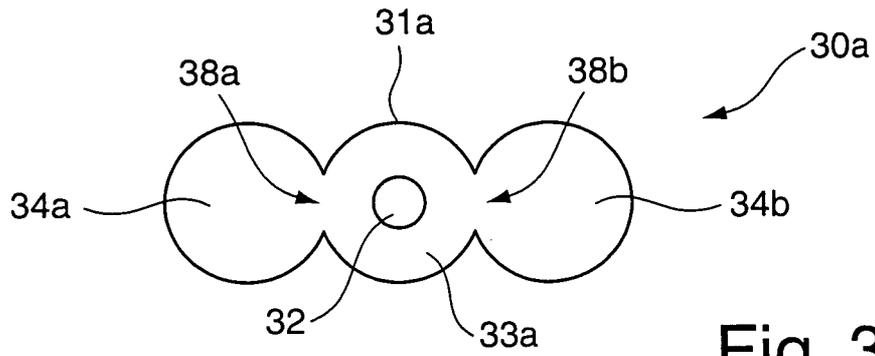


Fig. 3a

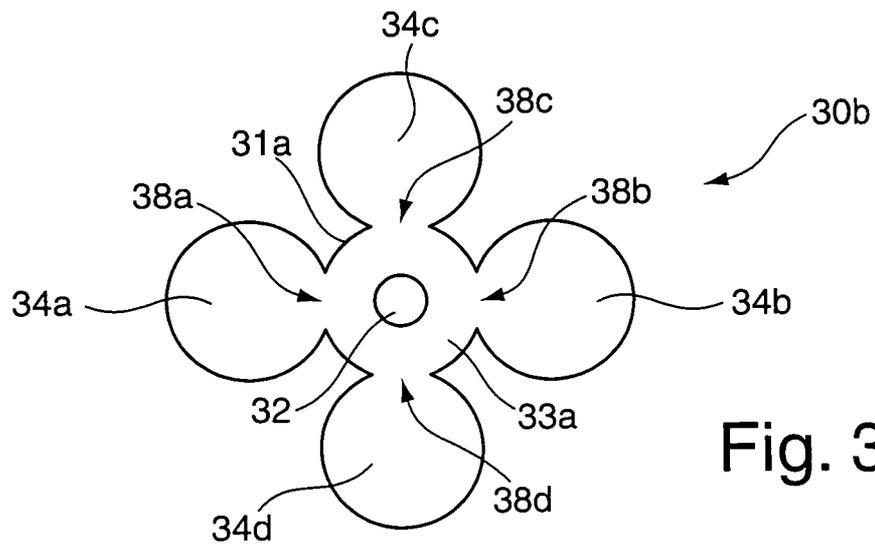


Fig. 3b

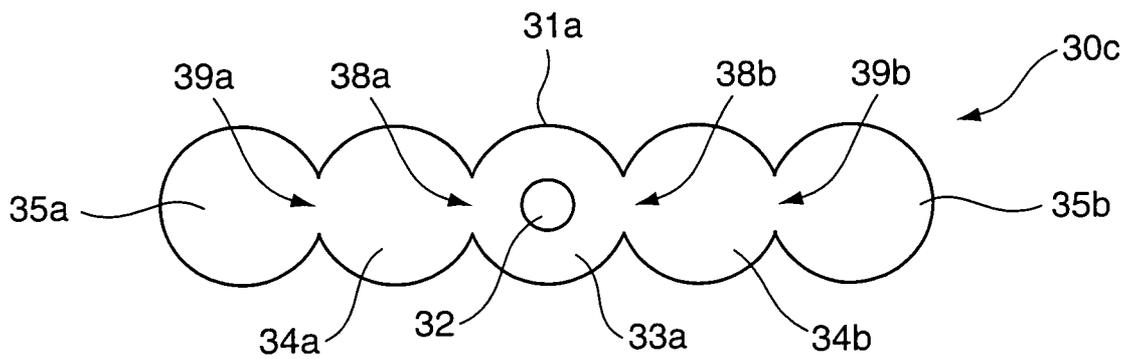


Fig. 3c

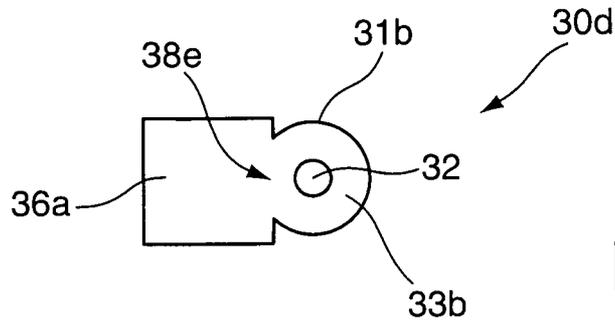


Fig. 3d

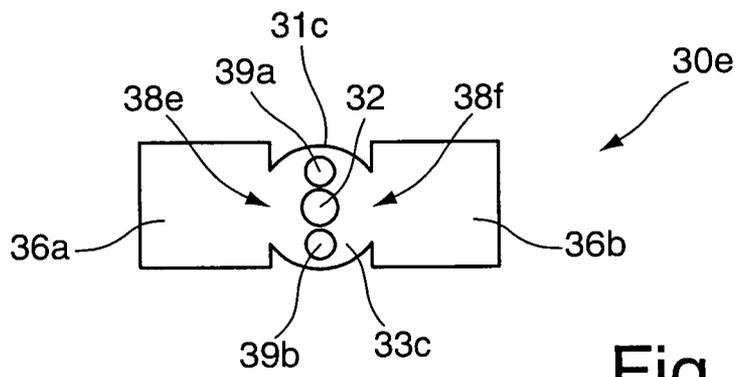


Fig. 3e

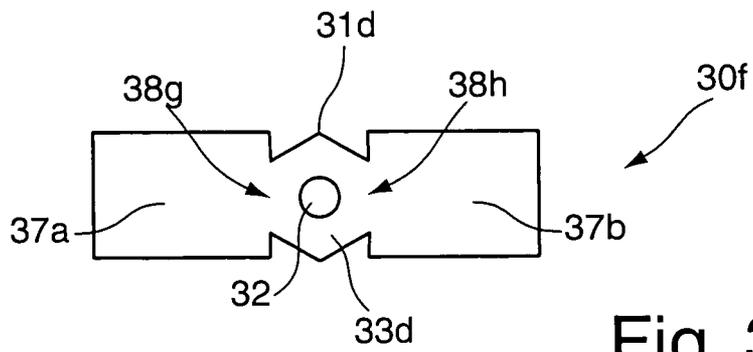


Fig. 3f

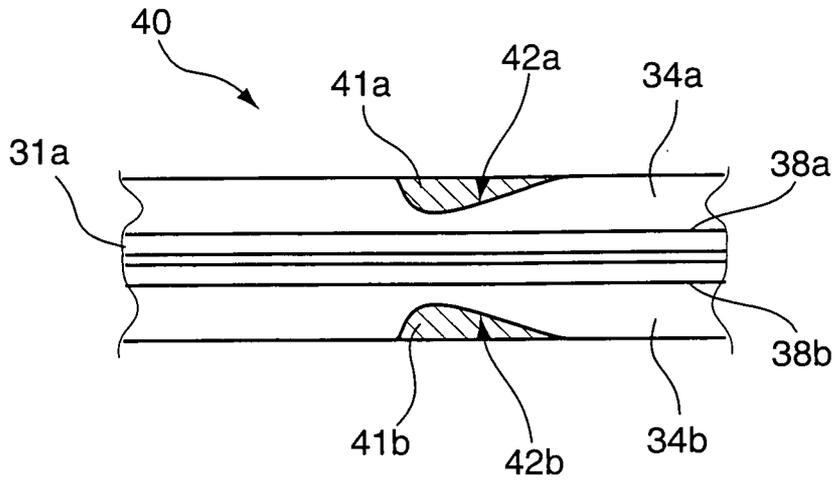


Fig. 4a

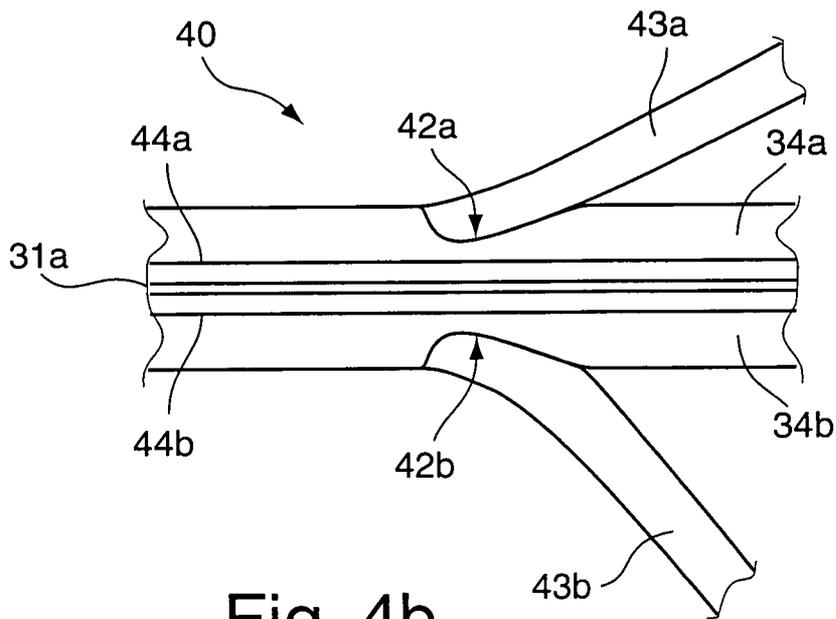


Fig. 4b

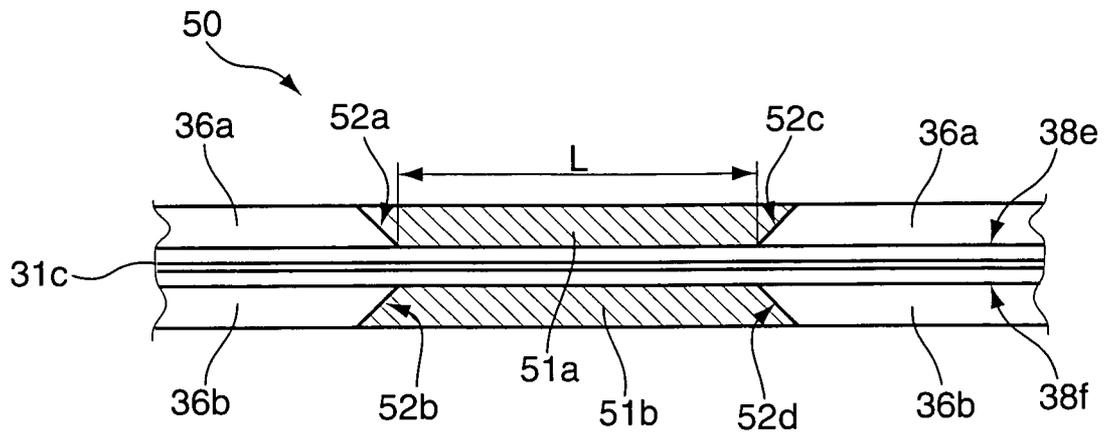


Fig. 5a

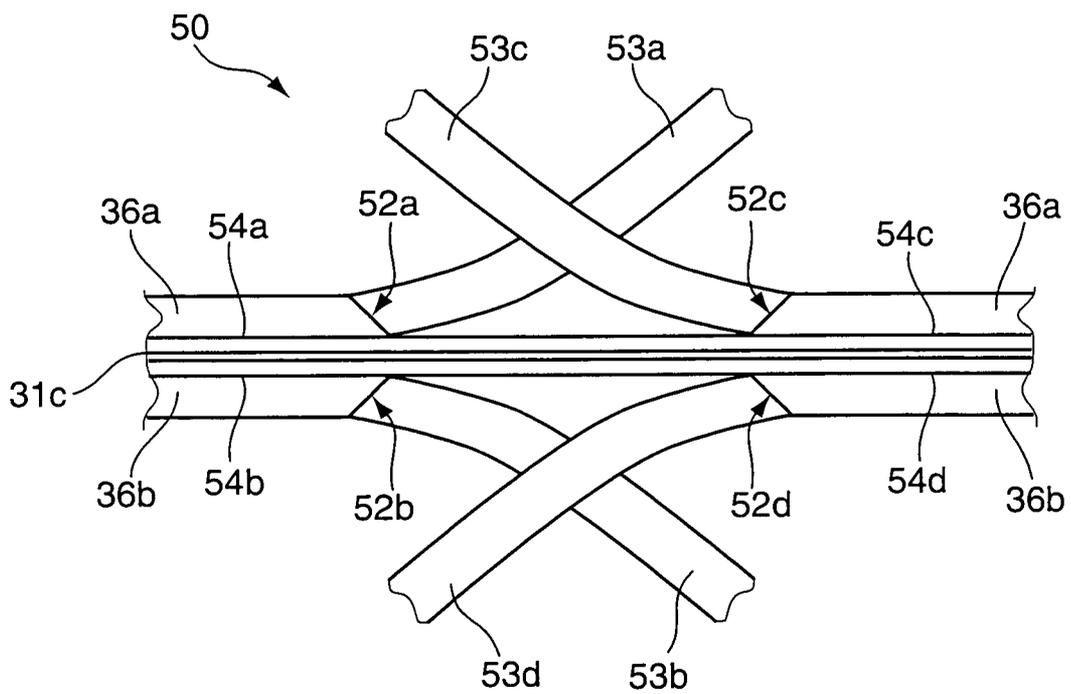


Fig. 5b

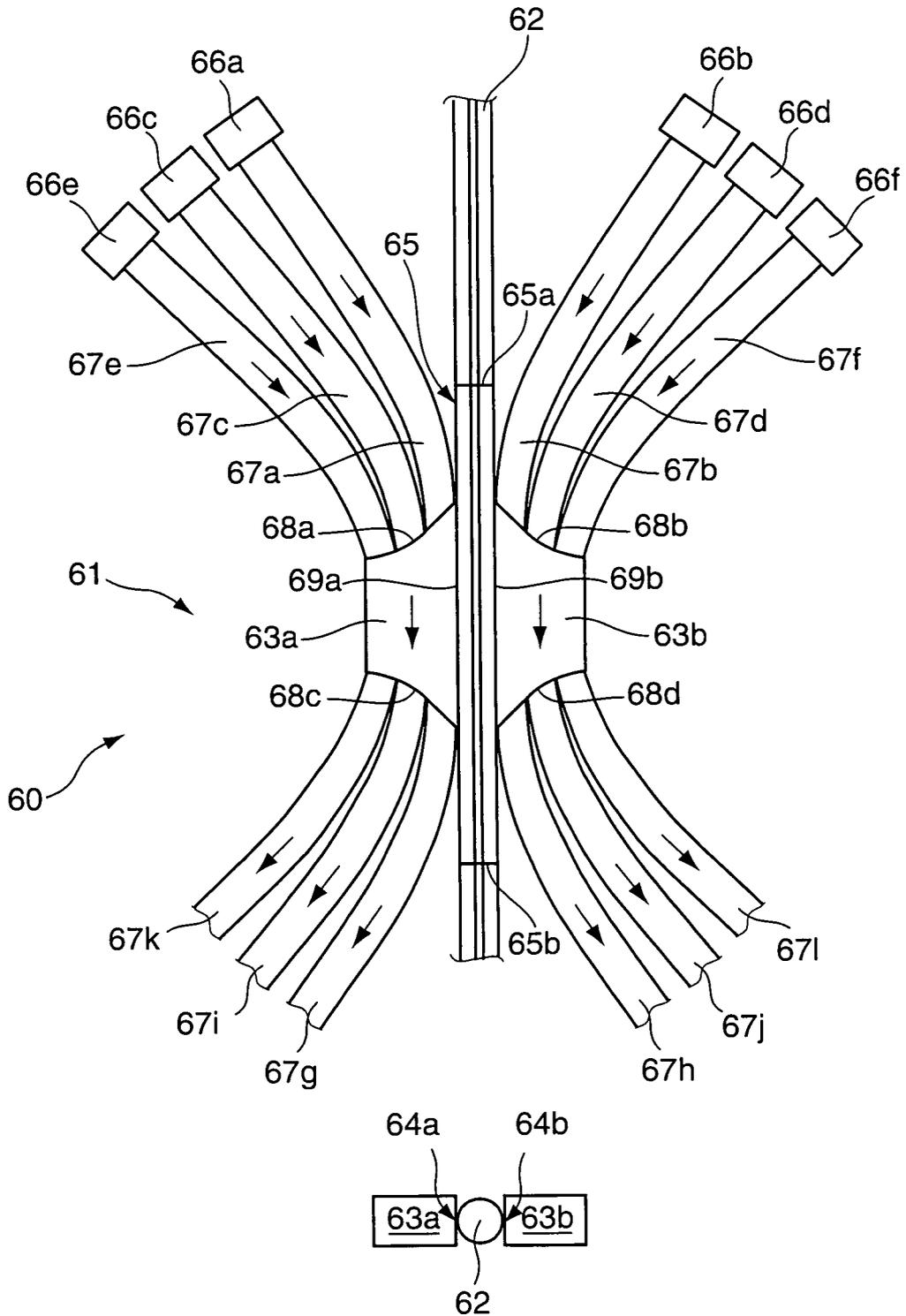


Fig. 6

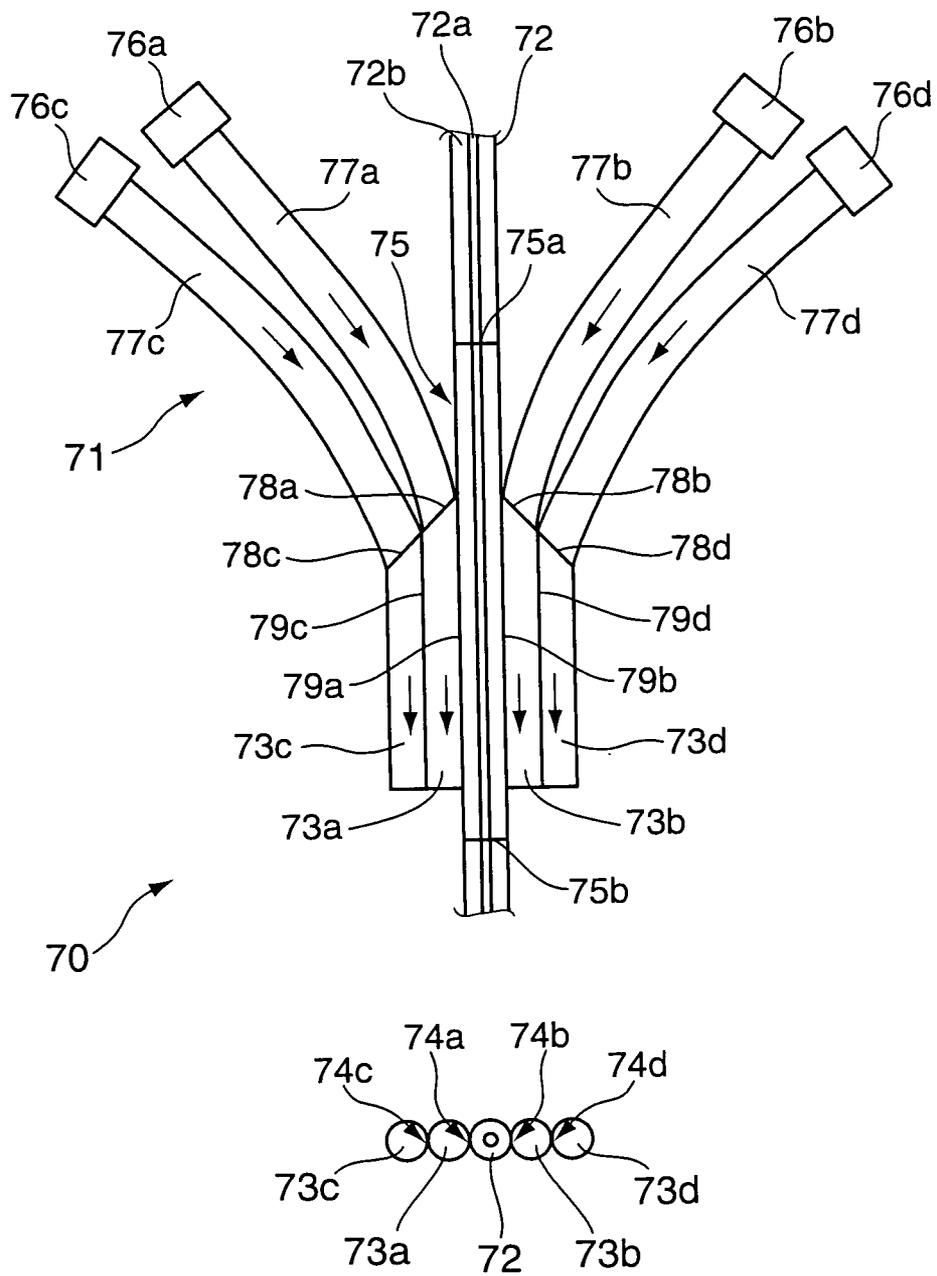
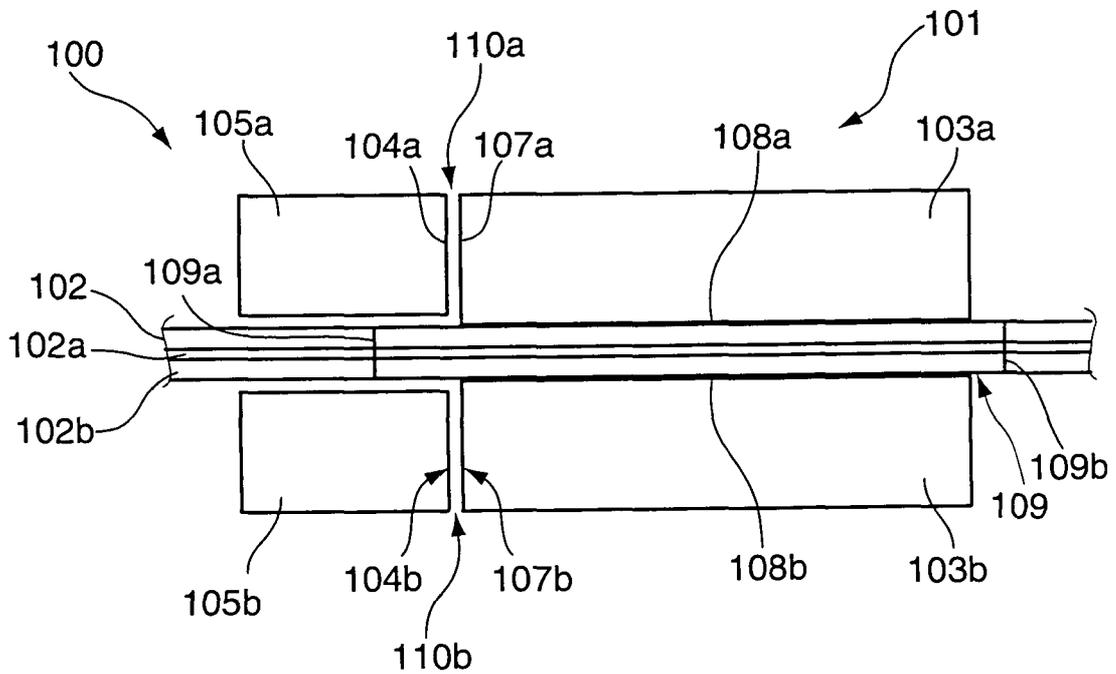
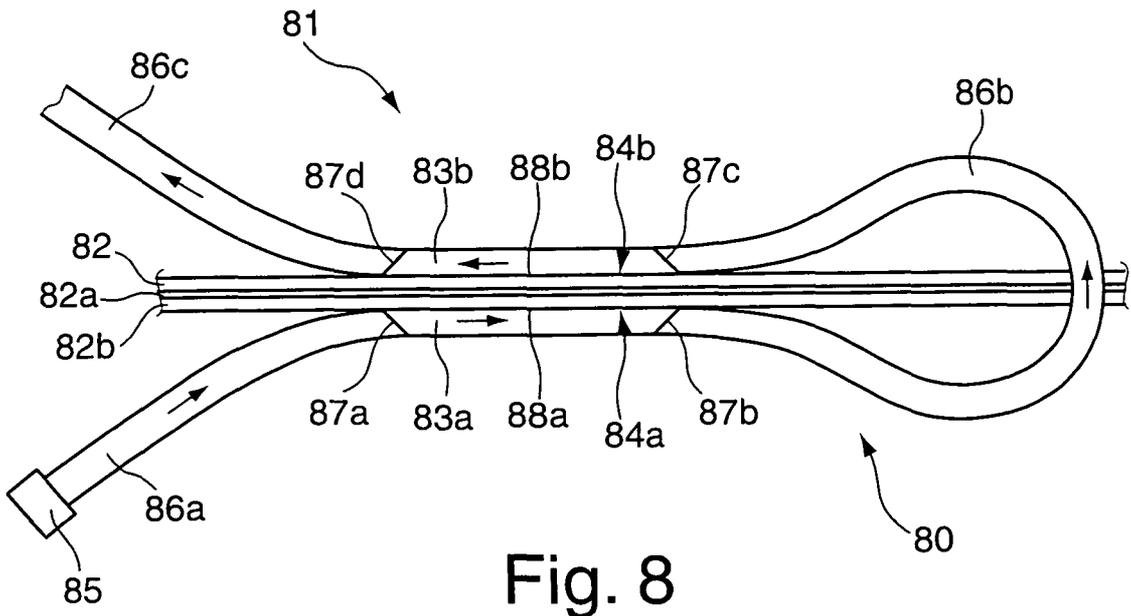


Fig. 7



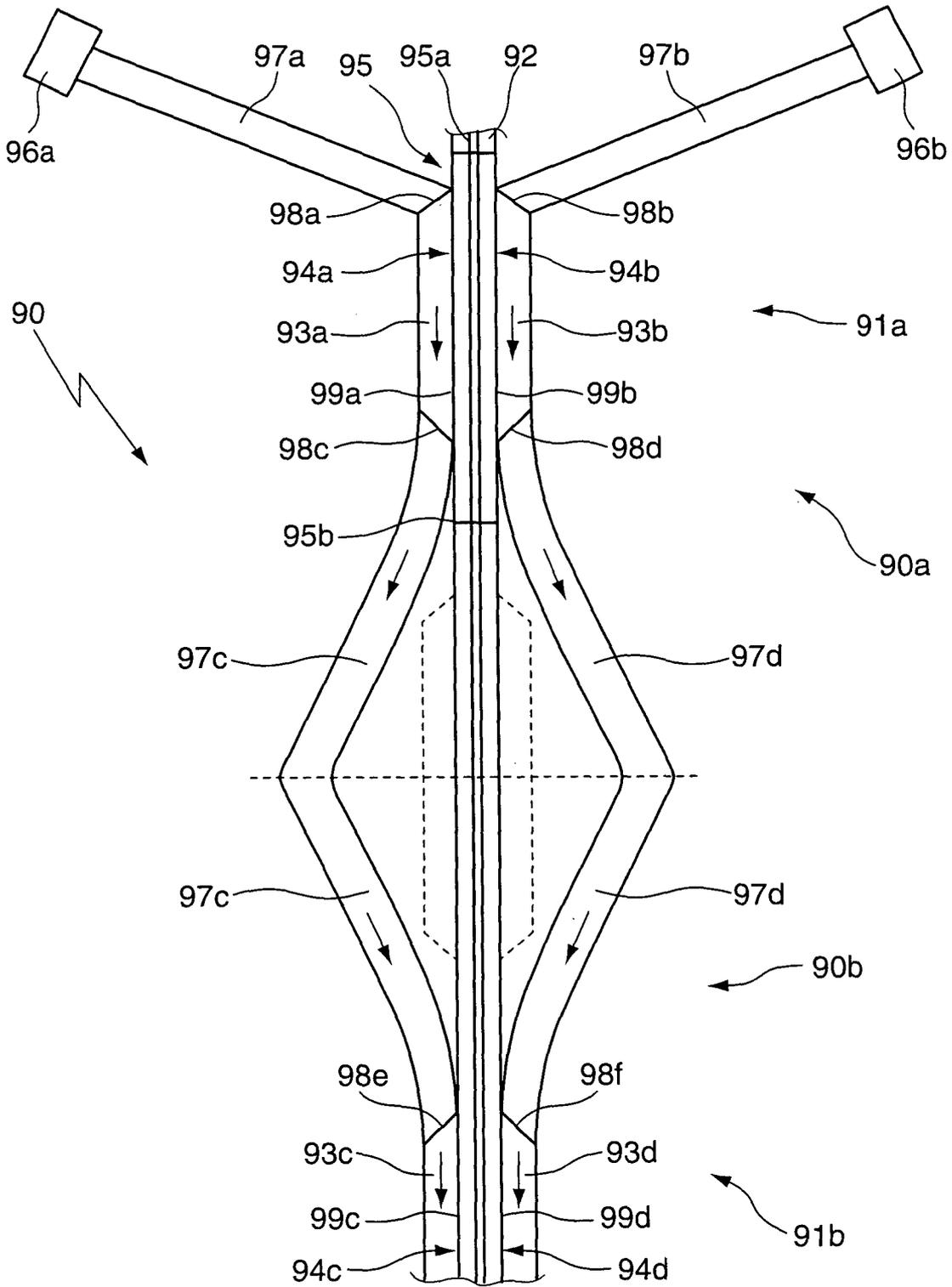


Fig. 9