



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 60 2004 000 041 T2 2006.04.20

(12)

Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) EP 1 441 246 B1

(21) Deutsches Aktenzeichen: 60 2004 000 041.8

(96) Europäisches Aktenzeichen: 04 000 015.0

(96) Europäischer Anmeldetag: 02.01.2004

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: 28.07.2004

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: 03.08.2005

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: 20.04.2006

(51) Int Cl.⁸: G02F 1/365 (2006.01)

G02F 1/13 (2006.01)

(30) Unionspriorität:
342793 15.01.2003 US

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE, FR, GB

(73) Patentinhaber:
Fitel USA Corp. (a Delaware Corp.), Norcross, Ga., US

(72) Erfinder:
Abeeluck, Akheelesh, Somerset, US; Eggleton, Benjamin, Summit, US; Headley, Clifford, Flemington, US; Malik, Abds-Sami, Somerset, US; Wielandy, Stephan, Hillsborough, US

(74) Vertreter:
Schoppe, Zimmermann, Stöckeler & Zinkler, 82049 Pullach

(54) Bezeichnung: Optische Faser mit gefülltem Kern und Herstellungsverfahren

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelebt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung**Technisches Gebiet**

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf eine Optische-Faser-Struktur mit gefülltem Kern und insbesondere auf eine Faser mit hohlem Kern, die mit einem optisch aktiven Material gefüllt ist, und ein Verfahren zum Herstellen einer solchen Faser, so dass dieselbe ohne weiteres mit einer standardmäßigen Optikübertragungsfaser gekoppelt werden kann.

Hintergrund der Erfindung

[0002] Optische Fasern mit hohlem Kern wurden in den letzten Jahren immer häufiger, da verschiedene Verwendungen für dieselben entwickelt wurden. Zum Beispiel kann eine optische Faser mit hohlem Kern mit einem Flüssigkristallmaterial gefüllt werden und dann als ein elektrisch steuerbares Langzeit-Faser-Netz verwendet werden. Siehe z. B. Electrically Controllable Long-Period Liquid Crystal Fiber Gratings, von Y. Jeong u. a., erschienen in IEEE Photonics Technology Letter, Bd. 12, Nr. 5, Mai 2000, Seiten 519 und folgende. Eine solche Faser weist im Wesentlichen dieselbe Struktur auf wie eine übliche Übertragungsfaser, mit der Ausnahme der Kernregion, die gefüllt ist, um das gewünschte aktive Material zu enthalten. Bei der Anordnung, beschrieben von Jeong u. a., wurde eine Faser mit Flüssigkristallkern gebildet, durch Füllen einer Faser mit hohlem Kern mit einem nematischen Flüssigkristallmaterial unter Verwendung einer Kapillarwirkung. Eine Indexanpassung zwischen einer Übertragungsfaser mit Silika-Kern und der flüssigkristallgefüllten Faser wurde erreicht durch Verwenden eines nematischen Flüssigkristallmaterials mit niedrigem Index zwischen den beiden.

[0003] Bei einer anderen Verwendung einer Faser mit hohlem Kern wurde ein Zweiphotonen-Pumplaser gebildet, durch Verwenden einer Faser mit hohlem Kern, die mit einem bestimmten Farbstoffmaterial gefüllt ist, das ein Laser- oder Superstrahlungs-Verhalten verursacht. Siehe z. B. Two-photon-pumped cavity lasing in a dye-solution-filled hollow-fiber System" von G.S. He u. a., erschienen in Optical Letters, Bd. 20, Nr. 23, 1. Dezember 1995, Seiten 2.393 und folgende. Bei der bestimmten Laserstruktur, erörtert von He u. a., war der Innendurchmesser der hohlen Faser 100 µm und die zwei Leerlaufenden der Faser waren in zwei identische Flüssigkeits-Kopplungszellen eingetaucht, jede gefüllt mit der selben Farbstofflösung, wie sie in dem Kern der Faser verwendet wurde. Jede der Kopplungszellen umfasste ferner ein optisches Fenster, um eine Kopplung aus der flüssigkeitsgefüllten Faser und in den Rest des Systems bereitzustellen.

[0004] Optische Fasern mit Flüssigkeitskern wur-

den ebenfalls verwendet, um Temperatur zu messen, wie offenbar ist in dem U.S.-Patent Nr. 4,201,446, erteilt an Geddes u. a. am 6. Mai 1980. Bei der Anordnung von Geddes u. a. wird eine Faser mit Flüssigkeitskern offenbart, bei der der Brechungsindex des Flüssigkeitskerns mit der Temperatur variiert. Daher kann die Temperatur der Substanz, durch die die optische Faser mit Flüssigkeitskern verläuft, gemessen werden, von dem maximalen Winkel des übertragenen Lichts, ausgegeben aus dem Ende der Faser. Die Flüssigkeitskern-Faser von Geddes u. a. weist eine transparente Kapillarröhre auf, die dann mit der temperaturempfindlichen Flüssigkeit gefüllt wurde. Die Röhre wird dann in Reihe mit herkömmlichen Mehrmodenfasern verbunden. Es besteht keine Erörterung in Geddes u. a. im Hinblick auf den Grad der optischen Kopplung, der bei diesem Lösungsansatz erreicht werden könnte, wobei die Verwendung von Kapillarröhren bekannterweise Reflexionen an der Schnittstelle zwischen der Röhre und der Mehrmodenfaser verursacht.

[0005] Die Fähigkeit, optisch aktive Materialien einzulagern (d. h. die optischen Eigenschaften der Materialien können durch verschiedene Mittel geändert werden, einschließlich dem Durchlauf eines intensiven Lichtstrahls und der Anwendung eines externen elektrischen Feldes), in Fasern mit hohlem Kern, ist von bedeutendem potentiellen Vorteil. Zum Beispiel können Materialien mit hohen optischen Nichtlinearitäten verwendet werden, um kompaktere optische Vorrichtungen mit niedrigerer Leistung zu ermöglichen. Es wird behauptet, dass die verschiedenen Lösungsansätze gemäß dem Stand der Technik zum Füllen und Abdichten von kerngefüllten Fasern für die meisten Anwendungen optischer Systeme nicht praktikabel sind. Genauer gesagt wird das Aktiver-Kern-Material nicht innerhalb der Faser abgedichtet, was eine praktische Notwendigkeit für Anwendungen einer handelsüblichen Vorrichtung ist. Ferner besteht kein bekanntes Niedrigverlustverfahren zum Koppeln von Licht in eine und aus einer optischen Faser mit gefülltem Kern.

Zusammenfassung der Erfindung

[0006] Diese und andere Probleme, die bei dem Stand der Technik verbleiben, werden durch die vorliegende Erfindung adressiert, die sich auf eine Optische-Faser-Struktur mit gefülltem Kern bezieht, und insbesondere ein Verfahren zum Herstellen einer solchen Struktur, die ohne weiteres mit einer standardmäßigen optischen Übertragungsfaser gekoppelt werden kann.

[0007] Gemäß der vorliegenden Erfindung wird das aktive Kernmaterial zuerst in einen Abschnitt einer Faser mit hohlem Kern eingebracht, wo die Faser gebildet wird, um einen Ummantelungsring mit hohem Index aufzuweisen, der den hohlen Kern umgibt. Das

aktive Kernmaterial kann eine Flüssigkeit sein, ist jedoch nicht darauf beschränkt, die funktioniert, um die optischen Eigenschaften eines Signals zu ändern, das durch dieselbe verläuft. Sobald der Kern mit einer gewünschten Menge aus aktivem Material gefüllt ist, werden die Endabschnitte des Faser (die das aktive Material nicht enthalten) zusammenfallen gelassen, derart, dass der Ummantelungsring mit hohem Index komprimiert wird, um einen Hoch-Index-Kern auf jeder Seite des kerngefüllten Faserabschnitts zu bilden, wodurch das aktive Material innerhalb des gewünschten Abschnitts der Faser im Wesentlichen „abgeschnürt“ und hermetisch abgedichtet wird.

[0008] Bei einem bevorzugten Ausführungsbeispiel wird der Zusammenfall-Prozess so ausgeführt, dass die abschließende Faserstruktur gegenüberliegende Enden umfasst, wo das Hoch-Index-Ringmaterial Hoch-Index-Kernregionen bildet, gefolgt von Übergangsregionen, wo die Hoch-Index-Ringe adiabatisch nach außen zu dem mittleren, kerngefüllten Faserabschnitt verjüngt sind. Der adiabatische Übergang ermöglicht eine Niedrigverlust-Modenentwicklung von der Hoch-Index-Kernregion zu dem Hoch-Index-Ring.

[0009] Es ist ein Aspekt der vorliegenden Erfindung, dass die zusammengefallenen Faserabschnitte, einschließlich der Hoch-Index-Kernregionen, ohne weiteres mit standardmäßigen Übertragungsfasern gekoppelt werden können (üblicherweise herkömmliche Techniken, wie z. B. Schmelzspleißen), wodurch eine Niedrigverlustanordnung zum Koppeln in die und aus den kerngefüllten Fasern gebildet wird. Ferner liefern die zusammengefallenen Endpunkte eine hermetische Abdichtung und stellen sicher, dass das Kernmaterial (in den meisten Fällen eine Flüssigkeit) vor Ort innerhalb des kerngefüllten Faserabschnitts verbleibt.

[0010] Andere und weitere Aspekte und Vorteile der vorliegenden Erfindung werden während des Verlaufs der nachfolgenden Beschreibung und durch Bezugnahme auf die beiliegenden Zeichnungen offensichtlich.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0011] Bezug nehmend nun auf die Zeichnungen, wo gleiche Bezugszeichen gleiche Teile darstellen, in verschiedenen Ansichten:

[0012] [Fig. 1](#) enthält eine isometrische Ansicht eines exemplarischen Abschnitts einer optischen Faser mit hohlem Kern, der mit einem aktiven Material gefüllt und gemäß der vorliegenden Erfindung abgedichtet werden kann;

[0013] [Fig. 2](#) stellt in einer Ausschnitts-Seitenansicht den Faserabschnitt mit hohlem Kern aus [Fig. 1](#)

dar, gefüllt mit einem aktiven Kernmaterial, wie z. B. Flüssigkeit oder Feststoff;

[0014] [Fig. 3](#) stellt den aktiven kerngefüllten Faserabschnitt aus [Fig. 2](#) dar, nachdem derselbe zusammengefallen ist, um das aktive Kernmaterial abzudichten und Hoch-Index-End-Kernregionen zu bilden; und

[0015] [Fig. 4](#) stellt den zusammengefallenen Faserabschnitt aus [Fig. 3](#) dar, angebracht an exemplarische Abschnitte einer herkömmlichen optischen Übertragungsfaser.

Detaillierte Beschreibung

[0016] [Fig. 1](#) stellt einen exemplarischen Abschnitt der Faser 10 mit hohlem Kern dar, die verarbeitet werden kann, um mit einem aktiven Material gefüllt und dann gemäß der vorliegenden Erfindung abgedichtet zu werden. Wie gezeigt ist, weist die Faser 10 mit hohlem Kern einen Hoch-Index-Ummantelungsring 12 auf, der einen hohlen Kern 14 umgibt, wobei eine äußere Ummantelungsschicht 16 gebildet ist, um den Hoch-Index-Ummantelungsring 12 einzuschließen. Die äußere Ummantelungsschicht 16 weist einen niedrigeren Index auf als den des Ummantelungsrings 12. Zum Beispiel ist ein üblicher Durchmesser des hohlen Kerns 14 5 µm, eine typische Breite des Hoch-Index-Ummantelungsrings 12 ist 4 µm und eine typische Index-Differenz zwischen dem Hoch-Index-Ummantelungsring 12 und der äußeren Ummantelungsschicht 14 ist ungefähr 0,005. Verschiedene herkömmliche Materialien, wie z. B. germanium-dotiertes Silika und Silika können verwendet werden, um den Hoch-Index-Ummantelungsring 12 bzw. die äußere Ummantelungsschicht 16 zu bilden. Es wird darauf hingewiesen, dass eine exemplarische Faser mit hohlem Kern andere, ähnliche Geometrien umfassen kann, und insbesondere eine zusätzliche Ummantelung und äußere Schutzschichten umfassen kann. Zum Zweck der vorliegenden Erfindung werden die Integration des hohlen Kerns 14 und des Hoch-Index-Ummantelungsrings 12 als wesentlich betrachtet.

[0017] [Fig. 2](#) enthält eine Ausschnitts-Seitenansicht der Faser 10 aus [Fig. 1](#), wie sie in dem Kern 14 mit einem aktiven Material 20 gefüllt ist, z. B. einer Flüssigkeit, die verwendet wird, um die optischen Parameter der Faser zu modifizieren. Das Material 20 kann in die Faser 10 eingebracht werden, unter Verwendung eines geeigneten Prozesses, wie z. B. durch Verwenden von Ansaugdruck oder Kapillarkaktion oder durch Drängen des Materials in den hohlen Kern unter Verwendung von komprimierter Luft oder einem inerten Gas. Andere geeignete Prozesse würden verwendet werden, um den hohlen Kern 14 mit einem festen Material zu füllen. Die bestimmte Zusammensetzung des Materials 20 ist nicht von Be-

deutung für den Herstellungsprozess der vorliegenden Erfindung. Sobald das Material **20** eingebracht wurde, wird die Faser **10** zusammenfallen gelassen, gemäß der vorliegenden Erfindung, um das Material **20** in der Faser **10** einzufangen und die äußereren Abschnitte des Hoch-Index-Ummantelungsrings **12** zu reduzieren, um Festkörper-Kern-Abschnitte zu bilden.

[0018] [Fig. 3](#) stellt die Faser **10** dar, nachdem die Zusammenfalloperation ausgeführt wurde. Ein erwärmungsprozess kann verwendet werden, angewendet an Endabschnitte **22** und **24** der Faser **10**, um diese Funktion auszuführen. Bei einem exemplarischen Prozess wird eine Wärmequelle, wie z. B. ein Wolframfaden, entlang der Endabschnitte **22** und **24** mit einer variablen Leistung so bewegt, dass die Faser **10** an jeder Seite verjüngt wird und zusammenfällt. Als ein Beispiel wird die Wärmequelle über eine Distanz von 7 mm bewegt, mit einer Maximalleistung von 20,5 W. Wie gezeigt ist, führt der Zusammenfallprozess zum Bilden eines Erstes-Ende-Kopplungsabschnitts **26**, wo der Hoch-Index-Ummantelungsring **12** zusammengefallen ist, um eine erste Hoch-Index-Kernregion **28** zu bilden. Auf eine ähnliche Weise wird ein Zweites-Ende-Kopplungsabschnitt **30** gebildet, wo der Hoch-Index-Ummantelungsring **12** zusammengefallen ist, um eine zweite Hoch-Index-Kernregion **32** zu bilden. Bei einem bevorzugten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung wird der Zusammenfallprozess ausgeführt, um einen adiabatisch verjüngten Abschnitt **34** zwischen dem ersten Kopplungsabschnitt **26** und der Mittelregion **36** der Faser **10**, und einen ähnlichen adiabatisch verjüngten Abschnitt **38** zwischen dem zweiten Kopplungsabschnitt **30** und der Mittelregion **36** zu erzeugen. Diese adiabatisch verjüngten Übergangsregionen **34** und **38** können teilweise mit aktivem Material **20** gefüllt sein und können daher ebenfalls eine Blase aus einem beliebigen Gas enthalten, das in der Faser während des Zusammenfallprozesses vorhanden war. Durch Steuern des Zusammenfallprozesses jedoch, um einen adiabatischen Übergang zu erzeugen, entwickelt sich das Modenfeld des Lichts, das sich in dem ersten Hoch-Index-Kern **28** ausbreitet, mit niedrigem Verlust, wenn sich das Signal durch die Regionen **26** und **34** in die Mittelregion **36** ausbreitet. Auf ähnliche Weise führt das Vorhandensein einer adiabatischen Verjüngung in der Region **38** zwischen der Mittelregion **36** und dem zweiten Hoch-Index-Kern **32** effektiv zu einer Niedrigverlust-Modenentwicklung, wenn das optische Signal aus dem aktiven Material **20** austritt.

[0019] [Fig. 4](#) stellt den zusammengefallenen Faserabschnitt **10** aus [Fig. 3](#) dar, wie er üblicherweise mit separaten Abschnitten **40** und **42** der Übertragungsfaser gekoppelt ist. Schmelzspleißen ist ein exemplarischer Prozess, der in der Technik bekannt ist, der verwendet werden kann, um die Faser **10** mit den Faserabschnitten **40** und **42** zu verbinden, nach dem Spalten der Faser **10**, um flache Oberflächen an jedem Ende bereitzustellen. Bei einem bevorzugten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung ist die Breite des Hoch-Index-Rings **12** so ausgewählt, dass, wenn die Faser **10** zusammenfällt, der Durchmesser der Hoch-Index-Kernregionen **28** und **32** im Wesentlichen mit den Kernregionen **44** und **46** der Fasern **40** bzw. **42** übereinstimmt. Diese Übereinstimmung liefert somit eine relativ effiziente Niedrigverlustkopplung des optischen Signals in die und aus der Faservorrichtung **10**. Ferner stellt die resultierende Symmetrie, die in dem zusammengefallenen Faserabschnitt **10** vorliegt, sicher, dass eine niedrige Polarisationsabhängigkeit in das Signal eingebracht wurde, wenn es sich von der ersten Kopplungsregion **26** durch die Mittelregion **36** ausbreitet und durch die zweite Kopplungsregion **30** austritt.

[0020] Zwei spezifische Beispiele der Anwendung der Faser mit hohlem Kern, die oben beschrieben wurden, werden nun erörtert. Bei dem ersten Beispiel kann eine Faser mit hohlem Kern mit einem hoch-nichtlinearen Material, das innen abgedichtet ist, als ein kompakter optischer Schalter dienen, wobei zusätzlich dazu ein relativ niedriger optischer Leistungspegel für die Schaltoperation verwendet werden kann. Solche hoch-nichtlinearen Materialien umfassen Chalcogenide, die einen nichtlinearen Koefizienten n_2 aufweisen, der üblicherweise zwei bis drei Größenordnungen größer ist als der von Silika. Eine Optische-Phasen-Verschiebung wird eingebracht als Ergebnis einer Selbstphasenmodulation, wenn sich Licht durch das nichtlineare Material ausbreitet. Diese Phasenverschiebung wird definiert durch $\Delta\Phi = (2\pi L/\lambda)n_2 I$, wobei L die Länge die Faser ist, die das nichtlineare Material enthält, I die optische Intensität des sich ausbreitenden Lichts ist und λ die Wellenlänge ist. Da n_2 für Chalcogenide viel größer ist, als für Silika, kann eine π -Phasenverschiebung induziert werden, unter Verwendung einer Kombination einer kürzeren Länge der Faser und eines niedrigeren Leistungspegels, wie aus der obigen Gleichung ersichtlich ist. Ein optischer Schalter kann in einer Anzahl von Konfigurationen mit der Faser mit hohlem Kern entworfen sein, die das nichtlineare Material enthält, einschließlich einem Mach-Zehnder-Interferometer und einem Sagnac-Interferometer.

[0021] Ein zweites Beispiel umfasst eine Faser mit hohlem Kern, die ein elektrisch schaltbares Material enthält, wie z. B. ein Flüssigkristall. Eine solche Vorrichtung kann z. B. als ein Modulator verwendet werden. Ein elektrisches Feld, das über den Faserkern angelegt wird, erzeugt eine Änderung bei dem Brechungsindex des Materials. Durch Auswählen eines Materials mit einem Index, der sich von einem Wert über dem des Ummantelungsrings **12** zu einem niedrigeren Wert ändert, wenn sich das angelegte elektrische Feld in seiner Größe ändert, ändert sich die Ver-

teilung des optischen Feldes, das sich in der Faser ausbreitet, davon, vorherrschend in dem gefülltem Kern zu dem Ummantelungsring **12** zu sein. Wenn die Absorptionskoeffizienten des Füllmaterial und des Ummantelungsring **12** unterschiedlich sind, wird das optische Feld somit zu unterschiedlichen Ausmaßen gedämpft, abhängig von dem angelegten elektrischen Feld.

[0022] Es wird darauf hingewiesen, dass, obwohl die Charakteristika und Vorteile der vorliegenden Erfindung in der vorangehenden Beschreibung ausgeführt wurden, die Offenbarung ausschließlich darstellend ist, und Änderungen sowohl an der Vorrichtung als auch dem Verfahren zum Herstellen der Vorrichtung durchgeführt werden können, während dieselben innerhalb des Schutzbereichs der angehängten Ansprüche verbleiben.

Patentansprüche

1. Eine optische Faser mit gefülltem Kern, die folgende Merkmale aufweist:
 einen Mittelabschnitt **(36)**, der eine Kernregion, die mit einem optisch aktiven Material **(20)** gefüllt ist, und einen Ummantelungsring mit hohem Brechungsindex **(12)**, der die Kernregion umgibt, umfasst, wobei der Mittelabschnitt **(36)** derart definiert ist, dass er einen ersten Endabschluss und einen zweiten gegenüberliegenden Endabschluss aufweist; gekennzeichnet durch
 eine erste Kopplungsregion **(22, 26)**, die mit dem ersten Endabschluss des Mittelabschnitts gekoppelt ist, wobei die erste Kopplungsregion eine Kernregion **(28)** mit hohem Brechungsindex umfasst, gebildet durch einen zusammengefallenen Abschnitt des Ummantelungsring mit hohem Brechungsindex; und
 eine zweite Kopplungsregion **(24, 30)**, die mit dem zweiten gegenüberliegenden Endabschluss des Mittelabschnitts gekoppelt ist, wobei die zweite Kopplungsregion eine Kernregion **(32)** mit hohem Brechungsindex umfasst, gebildet durch einen weiteren zusammengefallenen Abschnitt des Ummantelungsring mit hohem Brechungsindex.

2. Eine optische Faser mit gefülltem Kern gemäß Anspruch 1, bei der das optisch aktive Material **(20)** ein flüssiges Material aufweist.

3. Eine optische Faser mit gefülltem Kern gemäß Anspruch 1, bei der das optisch aktive Material **(20)** ein festes Material aufweist.

4. Eine optische Faser mit gefülltem Kern gemäß Anspruch 1, wobei die Faser ferner folgende Merkmale aufweist:
 eine erste Übergangsregion **(34)**, die zwischen der ersten Kopplungsregion **(26)** und der Mittelregion **(36)** angeordnet ist; wobei die erste Übergangsregion eine Auswärtsverjüngung umfasst, die die Kernregi-

on **(28)** mit hohem Brechungsindex der ersten Kopplungsregion mit dem Ummantelungsring **(12)** mit hohem Brechungsindex koppelt; und
 eine zweite Übergangsregion **(38)**, die zwischen der Mittelregion **(36)** und der zweiten Kopplungsregion **(30)** angeordnet ist, wobei die zweite Übergangsregion eine Einwärtsverjüngung umfasst, die den Ummantelungsring **(12)** mit hohem Brechungsindex mit der Kernregion **(32)** mit hohem Brechungsindex der zweiten Kopplungsregion koppelt.

5. Eine optische Faser mit gefülltem Kern gemäß Anspruch 4, bei der die Einwärts- und Auswärts-Verjüngung eine adiabatische Verjüngung aufweisen, um eine Evolution mit im Wesentlichen verlustlosem Modus über jede Übergangsregion **(34, 38)** beizubehalten.

6. Ein Verfahren zum Herstellen einer optischen Faser mit gefülltem Kern, wobei das Verfahren folgende Schritte aufweist:

Bereitstellen eines Abschnitts einer Faser mit hohlem Kern, wobei die Faser mit hohlem Kern derart definiert ist, dass sie einen ersten Endabschluss und einen zweiten gegenüberliegenden Endabschluss aufweist und einen Ummantelungsring **(12)** mit hohem Brechungsindex umfasst, der eine Region mit hohlem Kern umgibt;
 Füllen eines Abschnitts der Region mit hohlem Kern mit einem optisch aktiven Material **(20)**; und
 Zusammenfallen des ersten und zweiten Endabschlusses der Faser mit hohlem Kern, um das optisch aktive Material **(20)** einzukapseln und den Ummantelungsring **(12)** an jedem Endabschluss in eine feste Kernregion **(28, 32)** mit hohem Brechungsindex zusammenfallen zu lassen.

7. Das Verfahren gemäß Anspruch 6, bei dem beim Durchführen des Zusammenfallschritts eine optische Faser mit gefülltem Kern zusammenfällt, um eine erste Übergangsregion **(34)** zwischen der festen Kernregion **(28)** an dem ersten Endabschluss und dem Ummantelungsring **(12)** und eine zweite Übergangsregion **(38)** zwischen dem Ummantelungsring **(12)** und der festen Kernregion **(32)** an dem zweiten Endabschluss zu bilden.

8. Das Verfahren gemäß Anspruch 6, bei dem die erste und die zweite Übergangsregion **(34, 38)** adiabatische Übergangsregionen aufweisen.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG. 1

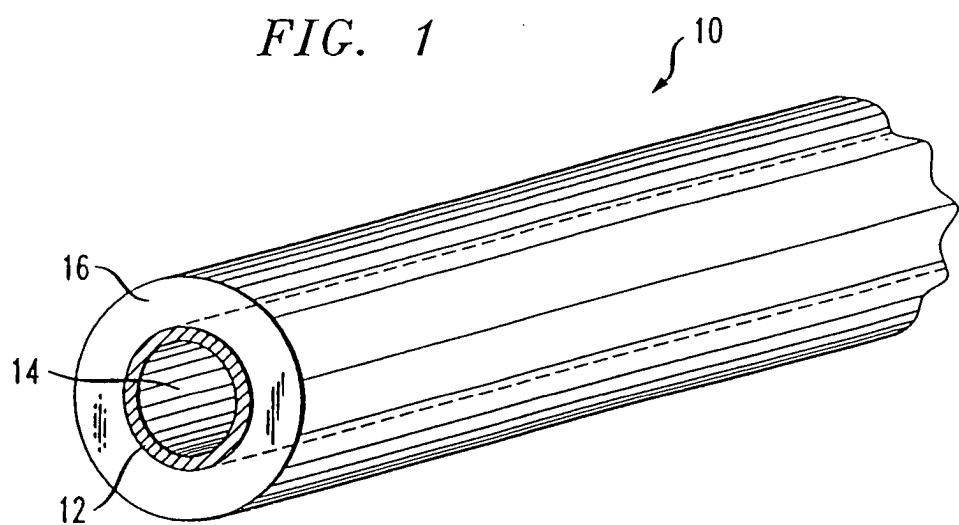


FIG. 2

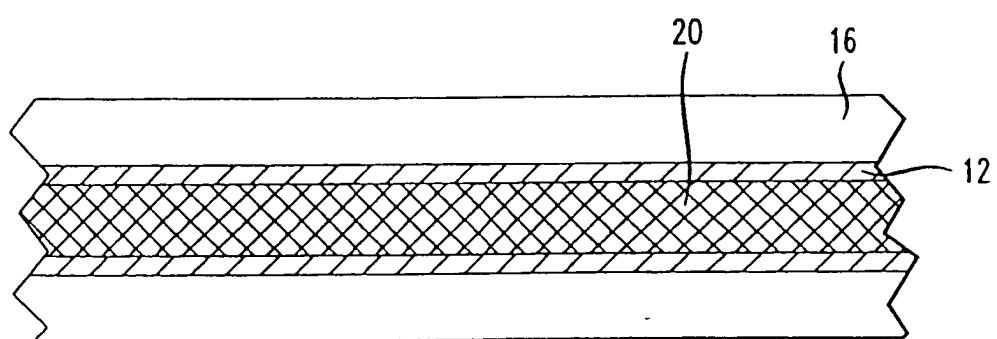


FIG. 3

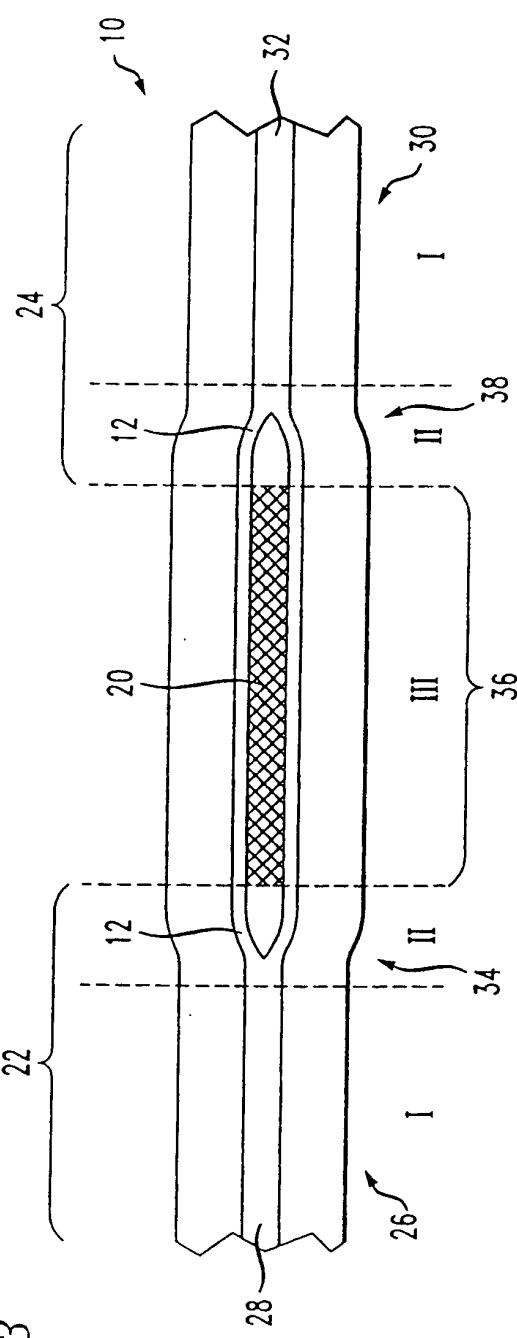


FIG. 4

