

(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  
16. Dezember 2010 (16.12.2010)

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2010/142706 A1**

- (51) Internationale Patentklassifikation:  
H01S 3/067 (2006.01) G02B 6/036 (2006.01)  
C03B 37/018 (2006.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2010/058045
- (22) Internationales Anmeldedatum:  
9. Juni 2010 (09.06.2010)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:  
102009025168.5 12. Juni 2009 (12.06.2009) DE
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): J-FIBER GMBH [DE/DE]; Im Semnicht 1, 07751 Jena (DE).
- (72) Erfinder; und
- (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): HÄMMERLE, Wolfgang [DE/DE]; Max-Steenbeck-Straße 12, 07745 Jena (DE). BREHM, Lothar [DE/DE]; In der Salschge 29, 07751 Jena (DE). AUTH, Matthias [DE/DE]; Neugasse 9, 07743 Jena (DE). POPPITZ, Elke [DE/DE]; Fritz Reuter Str. 31, 07745 Jena (DE).
- (74) Anwalt: MEISSNER, BOLTE & PARTNER GBR; Widenmayerstr. 48, 80538 München (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, DE, 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, TH, 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, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: OPTICAL FIBER, IN PARTICULAR A LASER FIBER CONTAINING A DOPED GLASS FIBER CORE AND CLADDING AROUND THE FIBERGLASS CORE

(54) Bezeichnung : LICHTLEITFASER, INSBESONDERE LASERFASER, ENTHALTEND EINEN DOTIERTEN GLASFASERKERN UND EIN DEN GLASFASERKERN UMGEBENDES CLADDING

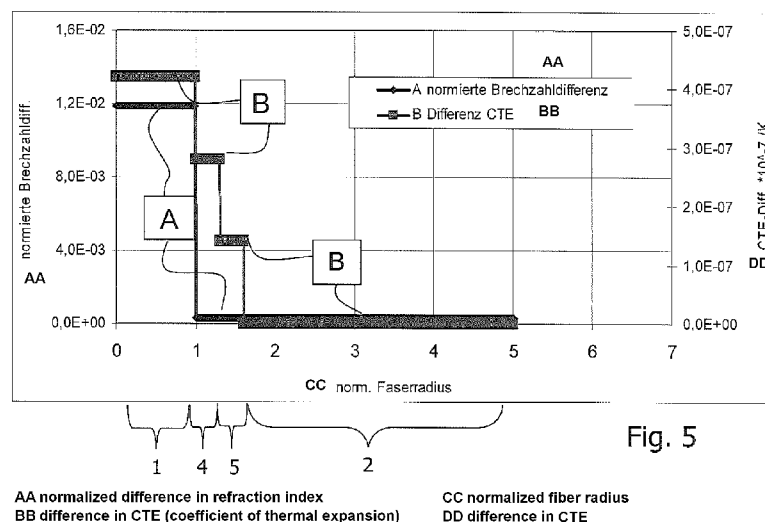


Fig. 5

AA normalized difference in refraction index  
BB difference in CTE (coefficient of thermal expansion)  
CC normalized fiber radius  
DD difference in CTE

(57) Abstract: The invention relates to an optical fiber, in particular a laser fiber, containing a doped glass fiber core (1) and cladding (2) around the latter with a refractive index profile which decreases outwards from the fiber core. The optical fiber is distinguished by at least one intermediate layer (3, 4, 5) being disposed between the glass fiber core and the cladding to reduce the mechanical tension therebetween. In one advantageous embodiment, the intermediate layer is doped in such a way as to ensure a stepped mechanical tension distribution between the glass fiber core and the cladding, and is co-doped in such a way as to reduce the refractive index and counteract the refractive index-increasing effect of the intermediate layer doping. The invention further relates to an application of at least one doped barrier layer to a core region during preparation of the preform to avoid diffusion of special core dopants from the core during the collapse process, and to allow the diffusion of special dopants between the barrier layer and the core layer.

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



WO 2010/142706 A1



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).

— vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden  
Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderun-  
gen eingehen (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe h)

**Veröffentlicht:**

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz  
3)

---

Die Erfindung betrifft eine Lichtleitfaser, insbesondere eine Laserfaser, enthaltend einen dotierten Glasfaserkern (1) und ein den Glasfaserkern umgebendes Cladding (2) mit einem vom Faserkern nach außen abnehmenden Brechzahlprofil. Die Lichtleitfaser zeichnet sich durch mindestens eine zwischen dem Glasfaserkern und dem Cladding angeordnete, mechanische Spannungen zwischen dem Glasfaserkern und dem Cladding reduzierende Zwischenschicht (3; 4, 5) aus. Bei einer zweckmäßigen Ausführungsform weist diese eine einen stufenförmigen mechanischen Spannungsverlauf zwischen dem Glasfaserkern und dem Cladding sichernde Zwischenschichtdotierung und eine einer brechzahlerhöhenden Wirkung der Zwischenschichtdotierung entgegenwirkende brechzahlreduzierende Zwischenschicht-Kodotierung auf. Die Erfindung betrifft weiterhin ein Aufbringen mindestens einer dotierten Barrierschicht auf einen Kernbereich bei der Preformfertigung mit dem Ziel, die Diffusion von speziellen Kerndotanden aus dem Kern während des Kollabierprozesses zu vermeiden und die Diffusion von speziellen Dotanden zwischen der Barrierschicht und der Kernschicht zu ermöglichen.

Lichtleitfaser, insbesondere Laserfaser, enthaltend einen dotierten Glasfaserkern und ein den Glasfaserkern umgebendes Cladding

### Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine Lichtleitfaser, insbesondere eine Laserfaser, enthaltend einen dotierten Glasfaserkern und ein den Glasfaserkern umgebendes Cladding nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1 und ein Verfahren zur Herstellung einer Lichtleitfaser, insbesondere einer Laserfaser, enthaltend einen dotierten Glasfaserkern und ein den Glasfaserkern umgebendes Cladding nach dem Oberbegriff des Anspruchs 11.

Lichtleitfasern, insbesondere Laserfasern, bestehen im allgemeinen aus einem Glasfaserkern und mindestens einem Cladding, das bei Laserfasern als Pumpkern dient. Dieser Aufbau wird im weiteren durch eine Polymerschicht vor Umgebungseinflüssen geschützt. Der Glasfaserkern und das Cladding bestehen chemisch im wesentlichen aus Siliziumoxid. Um die Wellenleitung des Pumpkernes zu gewährleisten, besteht die Polymerschicht aus einem Material, dessen Brechzahl kleiner als die Brechzahl von Siliziumoxid ist.

Bei aus dem Stand der Technik bekannten Laserfasern ist der Glasfaserkern mit mindestens einem Seltenen-Erd-Element und mindestens einem weiteren Dotanden dotiert. Der oder die zusätzlichen Dotanden dienen als Lösungsmittler für das Seltene-Erd-Element in der aus Siliziumoxid bestehenden Glasmatrix und sollen zusätzliche Eigenschaften der Faser, insbesondere einen so genannten Photodarkening Effekt, günstig beeinflussen.

Lichtleitfasern, insbesondere Laserfasern, weisen in ihrem Kern üblicherweise ein stufenförmiges Brechzahlprofil auf. Der Kern kann dabei aus mehreren

- 2 -

Kernschichten bestehen. Die Kernschichten werden beispielsweise mit einem Verfahren zur chemischen Gasphasenabscheidung in Kombination mit dem Tränkverfahren gefertigt. Die hohe Komplexität der Fertigung bringt es allerdings mit sich, dass nur wenige Kernschichten abgeschieden werden können. Daher ist die Realisierung von graduierten Kernbrechzahlprofilen aus fertigungstechnologischen Gründen nur mit einem extremen Aufwand und einer sehr geringen Ausbeute möglich und wird deshalb praktisch nicht angewendet.

Die Löslichkeit von Seltenen-Erd-Elementen in reinem Siliziumoxid ist üblicherweise auf wenige 100 mol-ppm beschränkt, kann jedoch durch den Einsatz von Lösungsvermittlern wie z.B. Aluminium oder Phosphor verbessert werden. Deshalb sind Lösungsvermittler als Kodotanden im Kernbereich von Seltenen-Erd-dotierten Laserfasern allgemein üblich und notwendig. Die als Lösungsvermittler verwendeten Dotanden verursachen zusammen mit dem dotierten Selten-Erd-Element allerdings in der Preformkern- bzw. in der Faserkern-Grenzfläche mechanische Spannungen. Diese führen bei höheren Lösungsvermittler- bzw. Selten-Erd-Elementkonzentrationen zu unerwünschten Glasdefekten bei der Herstellung und Verarbeitung der Lichtleitfaser. Vor allem treten mechanischen Spannungen in der Grenzfläche zwischen dem Kern und dem Cladding auf, die zur Zerstörung der Preform bzw. der Faser führen können.

Weiterhin müssen Lichtleitfasern, die als Laserfasern für den Hochleistungsbereich vorgesehen sind, so gestaltet sein, dass unerwünschte nichtlineare optische Effekte wie z.B. der so genannte Raman – oder der so genannte Brillouin-Effekt, unterdrückt werden. Das erfolgt im einfachsten Falle dadurch, indem die Laserfaser möglichst kurz gehalten wird, weil die Stärke vieler nichtlinearer Effekte mit der Laserfaserlänge skaliert.

Um bei einer Laserfaser für den Hochleistungsbereich kurze Faserlängen von typischerweise 10 m zu realisieren, muß die Absorption im Cladding möglichst hoch sein und beispielsweise 1,5 dB/m betragen. Die benötigte hohe Claddingabsorption kann prinzipiell über zwei Wege erreicht werden:

- 3 -

1. Es wird eine hohe Kernabsorption der Laserfaser angestrebt. Dies wird durch eine hohe Selten-Erd-Konzentration im Laserkern erreicht.
2. Es wird ein möglichst kleines Verhältnis zwischen der Claddingfläche zur Kernfläche realisiert.

Im Interesse einer großen Einkopplfläche von Pumpstrahlung in den Pumpkern bzw. das Cladding muss damit die Querschnittsfläche des Kerns entsprechend zunehmen. Der Vergrößerung der Kernfläche sind jedoch technologische Grenzen gesetzt. Zum einen muss bei der Vergrößerung des Kernquerschnittes beachtet werden, dass die so genannte Monomodigkeit des Kerns und damit eine dadurch gewährleistete gute Strahlqualität erhalten bleibt. Deshalb muss mit der Vergrößerung der Kernfläche gleichzeitig die numerische Apertur des Laserkerns entsprechend der Gleichung

$$2n \cdot a \cdot NA / \lambda = \text{const.}$$

abgesenkt werden. Dabei ist  $a$  der Radius des Kerns,  $NA$  dessen numerische Apertur und  $\lambda$  die Wellenlänge des in dem Kern zu leitenden Lichtes. Fasern mit einem rel. großen Kerndurchmesser und einer relativ kleinen numerischen Apertur des Kerns werden üblicherweise Large-Mode-Area-Fasern (LMA-Fasern) genannt. Einer Absenkung der numerischen Apertur auf Werte unterhalb von ca. 0,05 sind jedoch insbesondere bei Verwendung des chemischen Gasphasabscheide-Verfahrens in Kombination mit der Tränkdotierung technologische Grenzen gesetzt.

Bei einer Vergrößerung der Kernabsorption durch Steigerung der Seltenen-Erd-Konzentration wächst auch die Brechzahl des Kernes, weil Seltene-Erd-Elemente als brechzahlerhöhende Dotanden wirken. Hinzu kommt, dass Seltene-Erd-Verbindungen, insbesondere das in Hochleistungs-Laserfasern üblicherweise verwendete Ytterbium-III-oxid,  $\text{Yb}_2\text{O}_3$ , einen gegenüber den anderen üblicherweise verwendeten Kern-Dotanden besonders hohen thermi-

schen Ausdehnungskoeffizienten aufweisen (F. Just, H.-R. Müller, H-Bartelt; Mechanical stresses in rare-earth doped fiber preforms, DGaO-Proceedings 2008).

So liegt beispielsweise der thermische Ausdehnungskoeffizient von  $\text{Yb}_2\text{O}_3$  bei einem Wert von  $4,1 \cdot 10^{-7} \text{ (K} \cdot \text{mol}\%)^{-1}$  deutlich über den thermischen Ausdehnungskoeffizienten der üblicherweise eingesetzten Kodotanden  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{GeO}_2$ ,  $\text{B}_2\text{O}_3$ . Durch eine hohe Ytterbium-Dotierung im Kernbereich werden dadurch gegenüber dem undotierten Claddingbereich so hohe mechanische Spannungen erzeugt, dass der Preform- bzw. Faserkern während der Abkühlphase zerspringen kann.

Eine Darstellung der Änderung des thermischen Ausdehnungskoeffizienten bezogen auf die Dotandenkonzentration ist für verschiedene Dotanden in folgender Tabelle gezeigt:

Dotand	Änderung des thermischer Ausdehnungskoeffizient bezogen auf die Dotandenkonzentration
$\text{Yb}_2\text{O}_3$	$4,1 \cdot 10^{-7} \text{ 1/(K} \cdot \text{mol}\%)$
$\text{P}_2\text{O}_5$	$1,51 \cdot 10^{-7} \text{ 1/(K} \cdot \text{mol}\%)$
$\text{Al}_2\text{O}_3$	$0,53 \cdot 10^{-7} \text{ 1/(K} \cdot \text{mol}\%)$
$\text{SiF}_4$	$-0,5 \cdot 10^{-7} \text{ 1/(K} \cdot \text{mol}\%)$

Eine beispielhafte Übersicht einer Abhängigkeit der Brechzahl und des thermischen Ausdehnungskoeffizienten eines dotierten Silizium-Glases ist in Fig. 1 für verschiedene Kodotanden dargestellt (Chin-Lin Chen, Foundations for guided-wave optics, Wiley Interscience 2007, p. 283). Fig. 2 zeigt beispielhafte thermische Ausdehnungskoeffizienten für dotiertes Quarzglas in Abhängigkeit von einigen Kodotanden.

- 5 -

Weiterhin müssen Laserfasern, die für einen Einsatz im Hochleistungsbereich vorgesehen sind, sich durch geringe Photodarkening-Verluste auszeichnen, um langzeit-stabil arbeiten zu können. Damit eine Laserfaser ein geringes Photodarkening zeigt, wird der Laserkern neben den Seltenen-Erd-Elementen im allgemeinen mit mindestens einem weiteren Kodotanden dotiert. In besonderer Weise haben sich in diesem Zusammenhang hohe  $\text{Al}_2\text{O}_3$  und/oder  $\text{P}_2\text{O}_5$ -Konzentrationen (3 bis 10 mol%) bewährt (S.Jetschke, Photodarkening in Yb-dotierten Lichtleitfasern, IPHT Vortrag, 13.06.2008). Um eine hinreichend hohe Löslichkeit der Selten-Erd-Elemente in der Glasmatrix sicherzustellen sind ebenfalls hinreichend große Mengen von Kodotanden z.B.  $\text{Al}_2\text{O}_3$  oder  $\text{P}_2\text{O}_5$  erforderlich.

Laserfasern erreichen im Laserbetrieb bei hohen Laserausgangsleistungen (1800 W) im Kernbereich Temperaturen von bis zu ca. 634 °C und darüber (D.C.Brown, H.J.Hoffmann, Thermal, Stress, and Thermo-Optic Effects in High Average Power Double-Clad Silica Fiber Lasers, IEEE Journal of Quantum Electronics, Vol. 37, 2. February 2001, pp. 207-217). Die dabei im Faserkern erzeugte Wärme muss abgeführt werden. Hochleistungsfasern werden daher meist von außen aktiv oder passiv gekühlt, um die im Kernbereich generierte Wärme abzuleiten und die thermische Zerstörung der äußeren Polymerbedeckung zu vermeiden. Durch die äußere Kühlung und die hohe thermische Belastung im Faserkern treten allerdings wiederum starke thermische und durch die Dotanden im allgemeinen verstärkte Spannungen auf, die zu einer mechanischen Zerstörung des Faserkernes führen können.

Das Zerspringen des Faserkernes wird bei Fasern, die als Kernglas  $\text{Al}_2\text{O}_3$ - $\text{P}_2\text{O}_5$ - $\text{Yb}_2\text{O}_3$ - $\text{SiO}_2$  durch die hohe Kristallisationsneigung von Spezies des Typs  $\text{AlPO}_4$  bzw.  $\text{Al}(\text{OP})_4$  oder  $\text{P}(\text{OAl})_4$  des Kernglases insbesondere bei langsamer Abkühlung begünstigt. Daher kann es bereits bei der Preformfertigung oder dem anschließenden Faserziehprozess zu Kristallisationen und zu einer spannungsbedingter Zerstörung des Faserkernes kommen (C.C.de Araujo, L.Zhang, H-Eckert, Sol-gel preparation of  $\text{AlPO}_4$ - $\text{SiO}_2$  glasses with high surface mesoporous structure, J.Mater.Chem. 2006, No. 16, p. 1323-1331). Durch die mechani-

- 6 -

schen Spannungen in der Kern/Cladding-Grenzfläche können Kristallisationskeime entstehen, die die Voraussetzung für die Glaskristallisation bilden und sich insbesondere in Hinblick auf den negativen Effekt des Photodarkenings bemerkbar machen.

Aus dem Vorgenannten ergibt sich die der Erfindung zugrunde liegende Aufgabe, eine Lichtleitfaser, insbesondere eine Laserfaser mit einem dotierten Glasfaserkern und einem den Glasfaserkern umgebenden Cladding anzugeben, bei denen die erwähnten Brüche und Zerstörungsprozesse vermieden werden und eine hohe Betriebsstabilität der Faser auch über lange Betriebsdauern erreicht werden kann.

Die Aufgabe wird erfindungsgemäß mit einer Lichtleitfaser, insbesondere einer Laserfaser, enthaltend einen dotierten Glasfaserkern und ein den Glasfaserkern umgebendes Cladding mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Die Aufgabe wird hinsichtlich ihres Verfahrensaspektes mit einem Verfahren zur Herstellung einer Lichtleitfaser, insbesondere einer Laserfaser, enthaltend einen dotierten Glasfaserkern und ein den Glasfaserkern umgebendes Cladding mit den Merkmalen des Anspruchs 11 gelöst. Die Unteransprüche enthalten jeweils zweckmäßige und/oder vorteilhafte Ausführungsformen der Lichtleitfaser und/oder des Herstellungsverfahrens.

Es ist eine Lichtleitfaser, insbesondere Laserfaser, enthaltend einen dotierten Glasfaserkern und ein den Glasfaserkern umgebendes Cladding mit einem vom Faserkern nach außen abnehmenden Brechzahlprofil vorgesehen. Erfindungsgemäß zeichnet sich dieser Aufbau durch mindestens eine zwischen dem Glasfaserkern und dem Cladding und/oder eine zwischen dem Glasfaserkern und einem Rohrinneleinen eines Vorproduktes angeordnete, mechanische Spannungen zwischen dem Glasfaserkern und dem Cladding reduzierende Zwischenschicht aus.

Der erfindungsgemäßen Lichtleitfaser liegt der Gedanke zugrunde, die mechanischen Spannungen zwischen dem notwendigerweise dotierten Glasfaserkern

- 7 -

und dem undotierten Cladding und/oder zwischen der Glasfaserkernschicht und der Rohrinnschicht des Vorproduktes dadurch abzufangen, indem zwischen diese beiden in ihren Eigenschaften grundsätzlich vorgegebenen Schichten mindestens eine Zwischenschicht eingefügt wird, die an den Glasfaserkern und/oder an das Cladding anbindet, dabei die mechanischen Spannungen zwischen diesen beiden Schichten bzw. an den Grenzflächen aufnimmt und ausgleicht und somit insgesamt den gesamten Faseraufbau stabilisiert.

Hierzu weist die mindestens eine Zwischenschicht zweckmäßigerweise eine Zwischenschichtdotierung auf, die einen stufenförmigen mechanischen Spannungsverlauf zwischen dem Glasfaserkern und dem Cladding sichert. Zugleich weist die mindestens eine Zwischenschicht eine Zwischenschicht-Kodotierung auf, die einer brechzahlerhöhenden Wirkung der Zwischenschichtdotierung entgegenwirkt.

Durch diese Ausführungsform werden somit die mechanischen Spannungen an der Grenzfläche zwischen dem Glasfaserkern und dem Cladding bzw. der Rohrinnschicht in eine erste, nicht zerstörende Teilspannung zwischen dem Glasfaserkern und der mindestens einen Zwischenschicht einerseits und in eine zweite nicht zerstörende Teilspannung zwischen der mindestens einen Zwischenschicht und dem Cladding oder der Rohrinnschicht andererseits aufgeteilt. Anders als bei dem herkömmlichen Faseraufbau wird im hier vorliegenden Fall somit die gesamte Grenzflächenspannung zwischen Faserkern und Cladding über den Raum der Zwischenschicht verteilt.

Zu diesem Zweck weist die mindestens eine Zwischenschicht die Zwischenschichtdotierung auf, die der Zwischenschicht die für diese Funktion notwendige mechanische Beschaffenheit verleiht. Um die dadurch bewirkte Zunahme der Brechzahl in der Zwischenschicht auszugleichen und somit eine unbeeinträchtigte Lichtleitung im Glasfaserkern zu gewährleisten, ist in der Zwischenschicht die Zwischenschicht-Kodotierung vorgesehen. Diese beeinflusst nicht die mechanischen Eigenschaften der Zwischenschicht, sondern korrigiert ledig-

- 8 -

lich die Brechzahl der Zwischenschicht auf einen für die Lichtleitung in der Faser notwendigen Wert.

Insbesondere weist die mindestens eine Zwischenschicht einen thermischen Ausdehnungskoeffizienten auf, dessen Wert zwischen einem Wert eines Ausdehnungskoeffizienten des Glasfaserkerns und einem Wert eines Ausdehnungskoeffizienten des Claddings liegt. Das dadurch entstehende Wärmeausdehnungsprofil zwischen dem Glasfaserkern über die Zwischenschicht in das Cladding bedingt eine Zunahme der Wärmefestigkeit der Lichtleitfaser insgesamt und führt zu einer höheren mechanischen Widerstandsfähigkeit der Faser bei einer anliegenden äußeren Kühlung.

Bei einer zweckmäßigen Ausführungsform weist der Glasfaserkern eine Kerndotierung mit einem Kerndotanden, enthaltend wenigstens ein aktives Lasermedium, vorzugsweise ein Selten-Erd-Element, und/oder ein d-Gruppen-Element und einem Lösungsvermittler auf. Der Kerndotand ist bei einer Ausführungsform Ytterbiumoxid und/oder der Lösungsvermittler ist ein Oxid eines Elementes der dritten und/oder fünften Hauptgruppe.

Die Zwischenschichtdotierung enthält bei einer Ausführungsform einen Zwischenschichtdotanten in Form eines Oxids eines Elementes vorzugsweise der dritten und/oder fünften Hauptgruppe, die Zwischenschicht-Kodotierung einen Zwischenschicht-Kodotanten in Form eines Halogenids, vorzugsweise eine Fluorids.

Bei einer zweckmäßigen Ausführungsform sind zwei Zwischenschichten vorgesehen. Dabei weisen die Werte der thermischen Ausdehnungskoeffizienten der ersten Zwischenschicht und der zweiten Zwischenschicht ein stufenförmiges Profil auf, wobei ein unterschiedliches Mengenverhältnis zwischen dem Zwischenschichtdotanten und dem Zwischenschicht-Kodotanden in der ersten und der zweiten Zwischenschicht vorgesehen ist.

In einem derartigen Fall ist somit innerhalb des Bereichs der Zwischenschichten eine weitere Grenzschicht vorgesehen, an der die mechanischen Spannungen weiter aufgeteilt sind. Beide Zwischenschichten weisen dazu verschiedene thermische Ausdehnungskoeffizienten auf, deren Werte durch die Zwischenschichtdotanten eingestellt sind. Da in diesem Fall in beiden Zwischenschichten die durch die Zwischenschicht-Dotanten beeinflussten Brechzahlen durch die Zwischenschicht-Kodotanten auszugleichen sind, weisen beide Zwischenschichten jeweils verschiedene Mengenverhältnisse zwischen den beiden Dotierkomponenten auf.

Bei einer weiteren Ausführungsform ist zwischen der mindestens einen Zwischenschicht und der vorgesehenen Kernschicht wenigstens eine Diffusionszone ausgebildet, in welcher wenigstens ein Inhaltsstoff in oder aus der Kernschicht ein- oder ausdiffundiert ist. Bei diesem Ausführungsbeispiel dient die mindestens eine Zwischenschicht somit neben ihrer stabilisierenden und spannungsausgleichenden Wirkung auch dazu, mindestens einen Teil der Kernschicht gezielt chemisch zu beeinflussen und dort Inhaltsstoffe per Diffusion entweder einzutragen oder die Kernschicht gezielt um diese Inhaltsstoffe zu verarmen. Dadurch können weitere optische Vorteile, insbesondere in Hinblick auf die Numerische Apertur sowie die Brechzahlprofilform des Kernes der Lichtleitfaser, erreicht werden.

Dabei weist die Konzentration des Inhaltsstoffes bei einer Ausführungsform einen radialen Gradienten auf. Es ist aber auch möglich, dass bei einer weiteren Ausführungsform der Kern gleichmäßig von dem Inhaltsstoff durchsetzt ist. In einem derartigen Fall füllt die Diffusionsschicht die Kernschicht praktisch vollständig aus.

Die Zwischenschicht kann auch als eine nur vorübergehende Barrierschicht während des Herstellungsprozesses der Lichtleitfaser ausgebildet sein. Bei einem erfindungsgemäßen Verfahren zur Herstellung einer Lichtleitfaser, insbesondere einer Laserfaser mit einem dotierten Glasfaserkern und einem den Glasfaserkern umgebendes Cladding mit einem vom Faserkern nach außen

- 10 -

abnehmenden Brechzahlprofil ist erfindungsgemäß eine Fertigung einer Preform mit einer vorübergehenden Zwischenschicht in Form einer Barrierschicht vorgesehen, wobei folgende Verfahrensschritte ausgeführt werden:

In einer ersten Schrittfolge erfolgt ein Abscheiden mindestens einer dotierten Sootschicht mit einer gegebenen Soot-Dotandenkonzentration. Die Sootschicht wird zur Einstellung eines definierten Sintergrades einem Heißtemperaturschritt unterworfen. Danach erfolgt die Dotierung mit zusätzlichen Dotanden während der sogenannten Tränkdotierung. Bevor der zweite Fertigungsabschnitt beginnt wird die dotierte poröse Schicht oxidiert und konsolidiert. In einer zweiten Schrittfolge wird eine dotierte Barrierschicht mit einer Barriere-Dotandenkonzentration abgeschieden, die gleich der Soot-Dotandenkonzentration ist. Optional schließt sich daran eine Wärmebehandlung an. Es erfolgt in einem weiteren Schritt ein Ausführen eines Kollabierschrittes und ein daran anschließendes Entfernen der Barrierschicht. Abschließend wird ein Schließschritt ausgeführt.

Das Verfahren zielt darauf ab, die in der abgeschiedenen Sootschicht vorhandenen Dotanden bei den nachfolgenden wärmeintensiven Kollabierprozessen der Preform vor einem Ausdiffundieren aus der konsolidierten Schicht bzw. dem sich herausbildenden Kern zu bewahren und eine damit verbundene Abnahme der Dotanden-Konzentration dadurch zu verhindern, indem deren Oberfläche von der erwähnten Barrierschicht bedeckt wird. Durch das fehlende Konzentrationsgefälle der Dotanden in der Kern- und der Barrierschicht erfolgt netto im wesentlichen keine Dotandendiffusion aus der Kernschicht an die Grenzfläche zur Barrierschicht und damit keine Abnahme der Dotanden-Konzentration in der Kernschicht.

Bei einer zweckmäßigen Ausgestaltung des Verfahrens erfolgt nach dem Abscheiden der dotierten Sootschicht eine Lösungsdotierung mit einem Halogenid eines Elementes der dritten und/oder fünften Hauptgruppe und/oder einem Halogenid eines Elementes der Seltenen Erden.

Vorteilhaft ist es, wenn der Soot-Dotand und der Barriere-Dotand gleich sind. Dadurch kommt es an der Grenzfläche zwischen der konsolidierten Soot und der Barrierschicht zu einem Diffusionsprozess, bei dem der Nettofluss der Dotanden zwischen beiden Schichten gleich Null ist und somit die Konzentration der Dotanden sowohl in der abgeschiedenen und konsolidierten Soot- als auch in der Barrierschicht nahezu unverändert bleibt.

Bei einer zweckmäßigen Ausgestaltung des Verfahrens erfolgt eine Diffusion wenigstens eines Bestandteils, vorzugsweise Fluor, aus der wenigstens einen Zwischen- und/oder Barrierschicht in den Kern, wobei die chemische Zusammensetzung des Kernglases mindestens abschnittsweise radial beeinflusst wird. Dadurch ergeben sich vorteilhafte optische Effekte, insbesondere in Hinblick auf eine reduzierte Numerische Apertur des Kernes oder eine erhöhte Kern- bzw. Claddingabsorption durch höhere Yb- Konzentrationen in der späteren Lichtleitfaser.

Das Entfernen der Barrierschicht erfolgt zweckmäßigerweise vor dem Schließen des kollabierten und innenbeschichteten Rohres durch eine Gasphasenätzung.

Die erfindungsgemäße Glasfaser und das Herstellungsverfahren sollen nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen näher erläutert werden. Zur Verdeutlichung dienen die beigefügten Figuren 3 bis 6. Es werden für gleiche bzw. gleichwirkende Teile die selben Bezugszeichen verwendet.

Es zeigen:

Fig. 3 einen Querschnitt eines beispielhaften als Laserleiter ausgebildeten erfindungsgemäßen Lichtleiters,

Fig. 4 einen Querschnitt eines beispielhaften als Laserleiter ausgebildeten Lichtleiters mit zwei Zwischenschichten,

Fig. 5 einen schematischen Verlauf einer normierten Brechzahldifferenz des Glasfaserkernes, der sich anschließenden Zwischenschichten, sowie die Differenz des thermischen Ausdehnungskoeffizienten des Glasfaserkerns und der Zwischenschichten im Vergleich zu dem Cladding,

Fig. 6 einen schematischen Verlauf eines Brechzahlprofils an einem mit einer vorübergehenden Barrierschicht bedeckten Faserkern vor und nach dem Entfernen der Barrierschicht.

Figur 3 zeigt einen Querschnitt eines als Laserleiter ausgebildeten Lichtleiters mit einem Glasfaserkern 1, einem den Glasfaserkern umgebenden Cladding 2 und einer zwischen dem Glasfaserkern und dem Cladding angeordneten Zwischenschicht 3. Die Dicke des Claddings ist in diesem Beispiel aus Gründen einer übersichtlichen Darstellung stark reduziert. Bei realen Lichtleitfasern oder Laserfasern weist das Cladding eine Dicke auf, deren Wert mindestens in etwa der Größe des Radius des Glasfaserkerns entspricht. Die optische Dichte und damit die Brechzahl nimmt von dem Glasfaserkern in Richtung des Claddings ab.

Die Zwischenschicht ist zweckmäßigerweise so dotiert, dass in dem durch diese gebildeten Übergangsbereich zwischen dem relativ hochdotierten Kern auf den undotierten Claddingbereich die zwischen dem Kern und dem Cladding auftretenden mechanischen Spannungen nicht sprungartig sondern stufenförmig übertragen und dabei reduziert werden. Allerdings darf die Dotierung der Zwischenschicht nicht die Lichtleitung im Laserkern stören. Dieser Forderung wird dadurch genügt, indem die Brechzahlerhöhung der eingesetzten Zwischenschichtdotierung durch weitere Kodotierung mit einem brechzahlreduzierenden Dotanden, mit  $\text{SiO}_{1.5}\text{F}$  oder  $\text{B}_2\text{O}_3$ , kompensiert wird, wobei aber der beschriebene Abbau der mechanischen Spannungen weitestgehend beibehalten wird.

Zum Abbau der Spannungen in der Kern/Claddinggrenzfläche können auch mehrere Zwischenschichten zwischen dem Kern und dem Cladding eingefügt sein. Ein derartiges Beispiel zeigt Fig. 4. Bei dem hier gezeigten Faserquerschnitt ist eine erste Zwischenschicht 4 und eine zweite Zwischenschicht 5 vorgesehen. Die Dicke des Claddings ist in dieser Darstellung aus Gründen der Übersichtlichkeit ebenfalls stark reduziert.

Die Zwischenschichten sind so dotiert, dass die Werte für deren thermische Ausdehnungskoeffizienten zwischen einem höheren Ausdehnungskoeffizient des Glasfaserkerns 1 und einem im Vergleich dazu niedrigeren Ausdehnungskoeffizienten des undotierten Pumpkernes oder äußeren Claddings 2 liegen. Um die Wellenleitung des Laserkernes nicht zu stören, müssen die Zwischenschichten weiterhin so kodotiert sein, dass die aus dem Verhältnis zwischen der Dotierung und der Kodotierung resultierende Brechzahl jeder Zwischenschicht gleich der Brechzahl des Materials des Claddings 2 ist. In einem derartigen Fall bilden die Zwischenschichten optisch einen Teil des Claddings, während die optisch wirksame Querschnittsfläche des Kerns unbeeinflusst bleibt.

Fig. 5 zeigt einen schematischen Verlauf der normierten Brechzahl in Abhängigkeit eines auf den Kernradius  $a$  normierten Radius  $r/a$  bei einer entsprechenden Laserfaser mit zwei Zwischenschichten im Bereich des Faserkerns ( $r/a \leq 1$ ) und der sich anschließenden Zwischenschichten 4 und 5 ( $1 \leq r/a \leq 1,6$ ) sowie die Differenz des thermischen Ausdehnungskoeffizienten des Glasfaserkerns und der Zwischenschichten gegenüber dem Cladding 2 aus undotiertem  $\text{SiO}_2$ . Anhand der Kurve A ist ersichtlich, dass beide Zwischenschichten 4 und 5 die Brechzahl des Claddings 2 aufweisen, während deren thermische Ausdehnungskoeffizienten stufenförmig zum Cladding hin abfallen, wobei deren Werte zwischen denen des Glasfaserkerns 1 und des Claddings 2 liegen, wie Kurve B zeigt.

Der Glasfaserkern der Laserfaser besteht beispielsweise aus folgenden Dotanden:

1. einem Seltenen-Erd-Element in Form von Ytterbium-III-oxid (Yb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) in einer Konzentration von 0,5 mol%,

2. Aluminium-III-oxid (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) als Lösungsvermittler und zur Verbesserung des Photodarkeningverhaltens der Laserfaser in einer Konzentration von 4 mol% und

Der Beitrag der Kerndotanden und ihrer Konzentrationen für den Glasfaserkern zur normierten Brechzahldifferenz gegenüber dem undotierten Cladding ist aus der folgenden Tabelle beispielhaft zu entnehmen:

Kerndotand	Brechzahldifferenz pro mol%	Dotanden-Konzentration in mol%	Beitrag zur Kernbrechzahldifferenz
Yb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	67*10 <sup>-4</sup>	0,5	33,5*10 <sup>-4</sup>
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21,3*10 <sup>-4</sup>	4,0	85,2*10 <sup>-4</sup>
		Summe	118,7 *10 <sup>-4</sup>

Für die resultierende Differenz des thermischen Ausdehnungskoeffizienten (CTE) des Glasfaserkernes CTE(Kern) bezüglich des Ausdehnungskoeffizienten CTE(SiO<sub>2</sub>) des Claddings berechnet man mit den Variablen x und y für die jeweiligen Dotandenkonzentrationen im Glasfaserkern gegenüber dem undotierten Cladding mit der folgenden Beziehung beispielsweise einen folgenden Wert:

$$CTE(Kern)-CTE(SiO_2)=x*CTE(Yb_2O_3)/mol\%+y*CTE(Al_2O_3)/mol\% =0,5 mol\%*4,1*10^{-7} / (K*mol\%)+4,0*0,53*10^{-7} / (K*mol\%) = 4,2 *10^{-7} / K$$

Diese resultierende CTE-Differenz zwischen dem Glasfaserkern und dem undotierten Cladding wird nun auf die zwei Zwischenschichten 4 und 5 zweckmäßig aufgeteilt. Für die innerste, erste Zwischenschicht 4 wird beispielsweise ein Wert von 2,8 \*10<sup>-7</sup> / K, für die zweite Zwischenschicht ein Wert von 1,4 \*10<sup>-7</sup> / K gewählt.

Im nächsten Schritt müssen sowohl die Zwischenschichtdotanden, die Konzentration der Zwischenschichtdotanden, die Zwischenschicht-Kodotanden und die Konzentrationen Zwischenschicht-Kodotanden für jede der Zwischenschichten 4 und 5 so ermittelt werden, dass zum einen die resultierende Brechzahldifferenz jeder Zwischenschicht bezüglich der Brechzahl des Cladding verschwindet und zum anderen die jeweils geforderte CTE-Differenz in jeder Zwischenschicht erreicht wird. Dabei ist zu beachten, dass die im Glasfaserkern enthaltene  $\text{Yb}_2\text{O}_3$ -Dotierung in keiner der Zwischenschichten enthalten sein darf.

Für das Glassystem der Zwischenschichten 4 und 5 wird beispielsweise eine Dotierung aus  $\text{P}_2\text{O}_5$  als Zwischenschichtdotand und  $\text{SiF}_4$  als brechzahlkorrigierendem Zwischenschicht-Kodotanden gewählt. Dies erfolgt deswegen, weil  $\text{P}_2\text{O}_5$  einen hinreichend hohen Anteil am CTE der Zwischenschicht bei relativ geringen Konzentrationen liefert und  $\text{SiF}_4$  als brechzahlreduzierender Dotand zur Kompensation der Brechzahlerhöhung durch die  $\text{P}_2\text{O}_5$ -Komponente vorteilhaft verwendbar ist.

Die Zwischenschichtdotanden-Konzentration  $x_1$  und -kodotandenkonzentration  $y_1$  für die Zwischenschicht 4 bzw. die Zwischenschichtdotanden-Konzentration  $x_2$  und -Kodotandenkonzentration  $y_2$  für die Zwischenschicht 5 ergeben sich nun für jede Zwischenschicht aus folgenden Gleichungssystemen:

Für die innere, erste Zwischenschicht 4:

$$x_1 \cdot dn(\text{P}_2\text{O}_5)/\text{mol}\% + y_1 \cdot dn(\text{SiF}_4)/\text{mol}\% = 0$$

$$x_1 = - (y_1 \cdot dn(\text{SiF}_4)/dn(\text{P}_2\text{O}_5))$$

$$x_1 \cdot \text{CTE}(\text{P}_2\text{O}_5)/\text{mol}\% + y_1 \cdot \text{CTE}(\text{SiF}_4)/\text{mol}\% = 2,8 \cdot 10^{-7} / \text{K}$$

zu  $x_1 = 1,97 \text{ mol}\%$  und  $y_1 = 0,35 \text{ mol}\%$ ,

- 16 -

und für die zweite Zwischenschicht 5:

$$x_2 \cdot dn(P_2O_5)/mol\% + y_2 \cdot dn(SiF_4)/mol\% = 0$$

$$x_2 \cdot CTE(P_2O_5)/mol\% + y_2 \cdot CTE(SiF_4)/mol\% = 1,4 \cdot 10^{-7} /K$$

zu  $x_2 = 0,99$  mol% und  $y_2 = 0,17$  mol%.

Die für jede Zwischenschicht geltenden Gleichungssysteme berücksichtigen dabei, dass zum einen die Beiträge der brechzahlerniedrigenden Kodotanden für jede Zwischenschicht so gewählt werden müssen, dass diese die brechzahl-erhöhende Wirkung der jeweiligen Dotanden in der jeweiligen Zwischenschicht so aufheben, dass die Brechzahldifferenz in jeder Zwischenschicht bezüglich des Claddings verschwindet. Zum anderen gehen in die Gleichungssysteme jeweils die zu erreichenden Teildifferenzen des thermischen Ausdehnungskoeffizienten für jede Zwischenschicht als Parameter ein.

Eine derart gestaltete Laserfaser mit speziell dotieren Zwischenschichten für die Anwendung im Hochleistungsbereich zeichnet sich durch eine Reihe von Vorteilen aus.

Zum einen werden die mechanischen Spannungen, die durch die hohen Temperaturgradienten in der Kern/Cladding-Grenzfläche bei hohen Laserleistungen im kW-Bereich auftreten und damit zur Zerstörung der Laserfaser führen können, durch die speziell dotierten Zwischenschichten soweit vermindert, dass die Laserfaser nicht beschädigt wird. Die Wellenleitung der Laserstrahlung im Faserlaserkern wird durch die Brechzahlanpassung der Zwischenschichten an den undotierten Claddingbereich nicht gestört.

Zum anderen werden hohe mechanische Spannungen im Kern/Claddingbereich bereits bei den Höchsttemperaturschritten der Preform- und Faserherstellung soweit reduziert, dass der Kern bei der Abkühlung keine mikroskopischen oder makroskopischen Risse aufweist. Risse im Faserkern würden anderenfalls die Laserstrahlung durch Streuung im Kern vermindern und die erreichbare Laser-

leistung signifikant reduzieren. Darüber hinaus würde die aus dem Kern gestreute Laserstrahlung im Polymercoating absorbiert. Dabei erwärmt sich das Coatingmaterial, es degradiert und führt letztendlich zur Zerstörung der Coatingschicht und damit zur Zerstörung der Laserfaser. Durch den Abbau der mechanischen Spannungen während der Preform- und Faserherstellung wird auch die Kristallisationsneigung der im allgemeinen hoch dotierten Preform-/bzw. Faserkernes vermindert.

Die erwähnte Zwischenschicht kann auch im Rahmen eines Fertigungsverfahrens der Lichtleitfaser nur vorübergehend auf dem Glasfaserkern aufgebracht sein. In einem derartigen Fall wirkt die Zwischenschicht als eine Barrierschicht, die ein Herausdiffundieren, ein Ausgasen bzw. ein Verdampfen von im Glasfaserkern enthaltenen Dotanden und Kodotanden, insbesondere Phosphor P bzw. Diphosphorpentoxid  $P_2O_5$  verhindert. Dies ist besonders in Hinblick auf das Photodarkening-Verhalten der Glasfaser von Bedeutung, da ein homogener und im Verlauf der Glasfaserfertigung gleichbleibender Dotandengehalt vor allem in mit einem Seltenen-Erd-Element dotierten Glasfaserkern dem Photodarkening entgegen wirkt.

Die Zwischenschichten besitzen aber noch eine weitere sehr vorteilhafte Funktion. Durch das Aufbringen von Zwischenschichten rund um die Selten-Erd-dotierte Schicht, kann deren chemische Zusammensetzung durch Diffusionsprozesse gezielt verändert werden.

Für Hochleistungsfaserlaser ist eine hohe Konzentration des laseraktiven Mediums, in der vorliegenden vorteilhaften Ausgestaltung Yb, im Kern notwendig. Eine Dotierung mit Yb erhöht jedoch die Brechzahl des Kerns. In sogenannten Large Mode Area-Fasern (LMA-Fasern), bei denen sich die Lichtleistung auf einen größeren Kern verteilen kann, lassen sich besonders hohe Lichtleistungsdichten transportieren. Für die effiziente Lichtleitung in solchen LMA Fasern ist jedoch ein möglichst geringer Unterschied zwischen dem Kern und der Claddingbrechzahl erforderlich. So steht das Bedürfnis einer hohen Yb-Konzentration im Kern und der möglichst geringe Brechzahlunterschied sich konträr gegenüber.

Es hat sich jedoch gezeigt, dass fluordotierte Zwischenschichten dieses Problem auf elegante Weise lösen. Fluor in den aktiven Kern einzubringen, um die durch das laseraktive Element erhöhte Brechzahl zu kompensieren, wird allgemein angewendet. Eine direkte Dotierung des Lasermediums mit Fluor ist jedoch problematisch, da sich leicht flüchtige Verbindungen wie  $\text{YbF}_3$ ,  $\text{AlF}_3$  und/oder  $\text{PF}_3$  bilden, die beim Verschmelzen der Schichten den Kern verlassen. Der Fluoreinbau auf diese Weise ist somit stark limitiert.

Überraschenderweise hat sich gezeigt, dass eine wesentlich höhere Konzentration von Fluor im Kern möglich ist, wenn sowohl an der äußeren als auch an der inneren Grenzfläche des aktiven Kerns wenigstens eine, vorteilhafterweise zwei fluorhaltige Zwischenschichten abgeschieden werden. Die das Lasermedium enthaltende Schicht, aus der nach Konsolidierung der aktive Kern entsteht, ist somit auf beiden Seiten von diesen Zwischenschichten umgeben. In Folge weiterer Temperaturbehandlungen – und/oder -bearbeitungsschritte, vorteilhafterweise des Kollabierprozesses, erfolgt eine Diffusion von Fluor in die das Lasermedium enthaltende Kernschicht. Die flüchtigen Verbindungen, wie beispielsweise  $\text{YbF}_3$ ,  $\text{AlF}_3$  oder ähnliche, können nicht gebildet werden und/oder können diese Schicht nicht mehr verlassen. Die innere Zwischenschicht wird im Zuge des letzten Kollabierschrittes, vor dem Schließen des beschichteten Rohres, entfernt.

Dadurch ist es möglich, die Fluorkonzentration im aktiven Kern in beträchtlichem Maß zu steigern und somit die Yb-Konzentration ohne eine Steigerung der Brechzahl zu erhöhen. Dieses Verfahren ist nicht auf das Beispiel von Yb und Fluor begrenzt, sondern kann vom Fachmann mit anderen Elementkombinationen analog angewendet werden.

Nachfolgend werden hierzu beispielhafte Fertigungsschritte zur Herstellung einer Preform für die herzustellende Lichtleitfaser beschrieben. Es wird dabei von einem herzustellenden Glasfaserkern ausgegangen, der aus einer Siliziumoxid-Matrix mit einer Dotierung aus Ytterbium-III-oxid und einer Kodotierung aus Aluminium-III-oxid und Diphosphorpentoxid besteht.

In einem ersten Fertigungsschritt wird zunächst eine poröse Sootschicht aus einer Siliziumoxid-Schicht abgeschieden, die mit Diphosphorpentoxid dotiert ist. Nach Abscheidung der Sootschicht und der Einstellung eines definierten Sintergrades der Schicht wird eine Lösungsdotierung mit Aluminiumchlorid sowie Ytterbiumchlorid an der Schicht ausgeführt. Hierzu wird beispielsweise ein Tauchverfahren angewendet, bei der die Schicht entweder nacheinander in eine erste Lösung mit Aluminiumchlorid und anschließend in eine zweite Lösung mit Ytterbiumchlorid getaucht wird oder einer Mischlösung aus beiden Substanzen ausgesetzt wird.

Die so dotierte abgeschiedene Sootschicht wird daraufhin oxidiert. Dabei geht das in der Sootschicht enthaltene Aluminiumchlorid sowie das Ytterbiumchlorid in Aluminium-III-oxid bzw. Ytterbium-III-oxid über. Die dabei entstehenden, mit den Oxiden dotierten Schichten innerhalb der abgeschiedenen Sootschicht werden im Anschluss daran konsolidiert. Die speziell dotierte Schicht wandelt sich dabei in eine Kernschicht um.

Unmittelbar nach Abschluss der Konsolidierung wird die temporäre Barrierschicht auf der Kernschicht abgeschieden. Dies erfolgt beispielsweise durch einen Prozess einer modifizierten chemischen Gasphasenabscheidung (MCVD), bei dem eine weitere transparente mit Diphosphorpentoxid dotierte Siliziumoxid-Schicht aufgebracht wird. Prinzipiell kann dieser Vorgang in der bereits vorher verwendeten MCVD-Abscheideanlage ausgeführt werden. Wichtig ist dabei, dass die Konzentration des Diphosphorpentoxids in der nun abzuschneidenden Schicht der Konzentration des Diphosphorpentoxids in der Kernschicht entspricht, um ein Konzentrationsgefälle an der Grenzschicht zwischen der Kernschicht und der neu aufgetragenen Barrierschicht zu vermeiden. Die Barrierschicht wirkt dann als eine Barrierschicht, die bei den nachfolgend ausgeführten Heißtemperaturschritten eine Diffusion des Diphosphorpentoxids bzw. des Phosphors aus der Kernschicht in die Zwischenschicht verhindert.

Die weiteren zur Herstellung der Preform erforderlichen Fertigungsschritte werden nun an der mit der Barrierschicht überdeckten Kernschicht ausge-

führt. Dies betrifft insbesondere einen Kollabierschritt. Während des Kollabierens tritt das in der Zwischenschicht enthaltene Diphosphorpentoxid bzw. das Phosphor, von der freiliegenden Oberfläche der Barrierschicht in die Umgebung über, während die Konzentration dieses Dotiermittels an der Grenzfläche zwischen dem Kern und der Zwischenschicht konstant bleibt.

Die Barrierschicht kann jedoch an sich jederzeit entfernt werden. Im hier vorliegenden Beispiel erfolgt ein Entfernen der Zwischenschicht unmittelbar vor dem Schließen der Preform durch eine Gasphasenätzung. Dabei wird der von den Diffusions- und Verdampfungseffekten unbeeinflusste Kern wieder freigelegt.

Während des Schließens ist die innere Oberfläche des Kerns hinreichend klein, sodass nur noch unbedeutende Restmengen des Diphosphorpentoxids bzw. des Phosphors aus der Kernschicht ausdiffundieren und verdampfen können, wobei sich die Konzentration des Dotanden im Kern nur noch unwesentlich ändert.

Durch die Verwendung mindestens einer Barrierschicht und dem Entfernen der Barrierschicht vor dem Schließschritt der Preform gelingt es, den für den Photodarkening-Effekt bestimmenden Gehalt an Diphosphorpentoxid im Kern der Preform bei einer über den Kernradius konstanten Konzentration zu halten. Damit verbessert sich das Photodarkening-Verhalten der Lichtleiterfaser insbesondere bei einer Verwendung als Laserfaser erheblich. Darüber hinaus verbessert sich das Brechzahlprofil des Kernes vor allem in Hinblick auf ein stufenförmiges Profil der Brechzahl zwischen dem Glasfaserkern und dem umgebenden Cladding bzw. zwischen dem Glasfaserkern und einer möglicherweise später aufgebracht und vorhergehend beschriebenen permanenten und spannungsausgleichenden Zwischenschicht. Zugleich wird dadurch eine verbesserte Längsgleichheit der Brechzahl des Kerns erreicht.

In Fig. 6 ist dies anhand von zwei schematisch dargestellten Brechzahlprofilen näher erläutert. Das links dargestellte Diagramm zeigt ein Brechzahlprofil eines Kerns mit dem Radius  $R$  und einer darauf aufgelagerten Barrierschicht

der Dicke  $D$  nach einem Kollabieren und Schließen der Preform. Das rechts daneben abgebildete Diagramm zeigt ein Brechzahlprofil nach der Entfernung der Barrierschicht.

Bei dem links dargestellten Diagramm fällt die Brechzahl zum Rand der Barrierschicht hin kontinuierlich infolge der dort erfolgten Verdampfung des Dotanden über die Dicke der Barrierschicht hin ab.

Nach der Entfernung der Barrierschicht wird der in dieser Schicht vorliegende Bereich des kontinuierlichen Abfalls der Brechzahl abgeschnitten. Der dadurch freigelegte Kern weist demzufolge an dessen innerer Grenzfläche einen scharfen Abfall der Brechzahl auf. Das Brechzahlprofil des Kerns nähert sich somit einem für die Lichtleitung idealen Rechteckprofil an.

Die erfindungsgemäße Lichtleitfaser und das erfindungsgemäße Herstellungsverfahren einer Lichtleitfaser wurden anhand von Beispielen näher erläutert. Im Rahmen fachmännischen Handelns sind weitere Ausgestaltungen möglich. Diese ergeben sich insbesondere aus den Unteransprüchen.

Bezugszeichenliste

- 1 Glasfaserkern
- 2 Cladding
- 3 Zwischenschicht
- 4 erste Zwischenschicht
- 5 zweite Zwischenschicht

## Patentansprüche

1. Lichtleitfaser, insbesondere Laserfaser, enthaltend einen dotierten Glasfaserkern (1) und ein den Glasfaserkern umgebendes Cladding (2) mit einem vom Faserkern nach außen abnehmenden Brechzahlprofil, g e k e n n z e i c h n e t d u r c h mindestens eine zwischen dem Glasfaserkern und dem Cladding und/oder eine zwischen dem Glasfaserkern und einem Rohrinneeren eines Vorproduktes angeordnete, mechanische Spannungen zwischen dem Glasfaserkern und dem Cladding reduzierende Zwischenschicht (3).
2. Lichtleitfaser nach Anspruch 1, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass die mindestens eine Zwischenschicht (3) eine einen stufenförmigen mechanischen Spannungsverlauf zwischen dem Glasfaserkern (1) und dem Cladding (2) sichernde Zwischenschichtdotierung und eine einer brechzahlerhöhenden Wirkung der Zwischenschichtdotierung entgegenwirkende brechzahlreduzierende Zwischenschicht-Kodotierung aufweist.
3. Lichtleitfaser nach Anspruch 1 oder 2, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass die mindestens eine Zwischenschicht (3) einen thermischen Ausdehnungskoeffizienten aufweist, dessen Wert zwischen einem Wert eines Ausdehnungskoeffizienten des Glasfaserkerns (1) und einem Wert eines Ausdehnungskoeffizienten des Claddings (2) liegt.
4. Lichtleitfaser nach einem der vorhergehenden Ansprüche, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass der Glasfaserkern (1) eine Kerndotierung mit einem Kerndotanden, enthaltend wenigstens ein aktives Lasermedium, vorzugsweise ein Selten-Erd-Element und/oder ein d-Gruppenelement, und einem Lösungsvermittler aufweist.
5. Lichtleitfaser nach Anspruch 4, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass

- 24 -

der Kerndotant Ytterbiumoxid ist und/oder der Lösungsvermittler ein Oxid eines Elementes, vorzugsweise der dritten und/oder fünften Hauptgruppe ist.

6. Lichtleitfaser nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Zwischenschichtdotierung einen Zwischenschichtdotanten in Form eines Oxids eines Elementes vorzugsweise der dritten und/oder fünften Hauptgruppe enthält und/oder die Zwischenschicht-Kodotierung einen Zwischenschicht-Kodotanten in Form eines Halogenids, vorzugsweise eines Fluorids, enthält.
7. Lichtleitfaser nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zwei Zwischenschichten (4, 5) vorgesehen sind, wobei die Werte der thermischen Ausdehnungskoeffizienten der ersten Zwischenschicht (4) und der zweiten Zwischenschicht (5) ein stufenförmiges Profil aufweisen und ein unterschiedliches Mengenverhältnis zwischen dem Zwischenschichtdotanten und dem Zwischenschicht-Kodotanden in der ersten und der zweiten Zwischenschicht vorgesehen ist.
8. Lichtleitfaser nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen der mindestens einen Zwischenschicht und der vorgesehenen Kernschicht wenigstens eine Diffusionszone ausgebildet ist, in welcher wenigstens ein Inhaltsstoff in oder aus der Kernschicht ein- oder ausdiffundiert ist.
9. Lichtleitfaser nach Anspruch 8 sind dadurch gekennzeichnet, dass die Konzentration des Inhaltsstoffes einen radialen Gradienten aufweist.
10. Lichtleitfaser nach Anspruch 8 sind dadurch gekennzeichnet, dass die Konzentration des Inhaltsstoffes den Kern gleichmäßig durchsetzt.

- 25 -

11. Verfahren zur Herstellung einer Lichtleitfaser, insbesondere einer Laserfaser, enthaltend einen dotierten Glasfaserkern (1) und ein den Glasfaserkern umgebendes Cladding (2) mit einem vom Faserkern nach außen abnehmenden Brechzahlprofil,  
g e k e n n z e i c h n e t  
durch eine Fertigung einer Preform mit wenigstens einer vorübergehenden Zwischenschicht in Form einer Barrierschicht mit den Verfahrensschritten

- Abscheiden mindestens einer dotierten Sootschicht mit einer gegebenen Soot-Dotandenkonzentration,
- Abscheiden mindestens einer dotierten Barrierschicht mit einer Barriere-Dotandenkonzentration, die gleich der Soot-Dotandenkonzentration ist,
- Optionale Wärmebehandlung,
- Ausführen eines Kollabierschrittes und daran anschließendes Entfernen der Barrierschicht,
- Ausführen eines Schließschrittes.

12. Verfahren nach Anspruch 11,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass  
nach dem Abscheiden der dotierten Sootschicht eine Lösungsdotierung mit einem Halogenid eines Elementes der dritten und/oder fünften Hauptgruppe und/oder einem Halogenid eines Elementes der Seltenen Erden erfolgt.

13. Verfahren nach Anspruch 11 oder 12,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass  
der Soot-Dotand und der Barriere-Dotand gleich sind.

- 26 -

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 13,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
eine Diffusion wenigstens eines Bestandteils, vorzugsweise Fluor, aus  
der wenigstens einen Zwischen- und/oder Barrierschicht in den Kern  
erfolgt, wobei die chemische Zusammensetzung des Kernglases  
mindestens abschnittsweise radial beeinflusst wird.
15. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 14,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
das Entfernen der Barrierschicht durch eine Gasphasenätzung erfolgt.

Stand der Technik

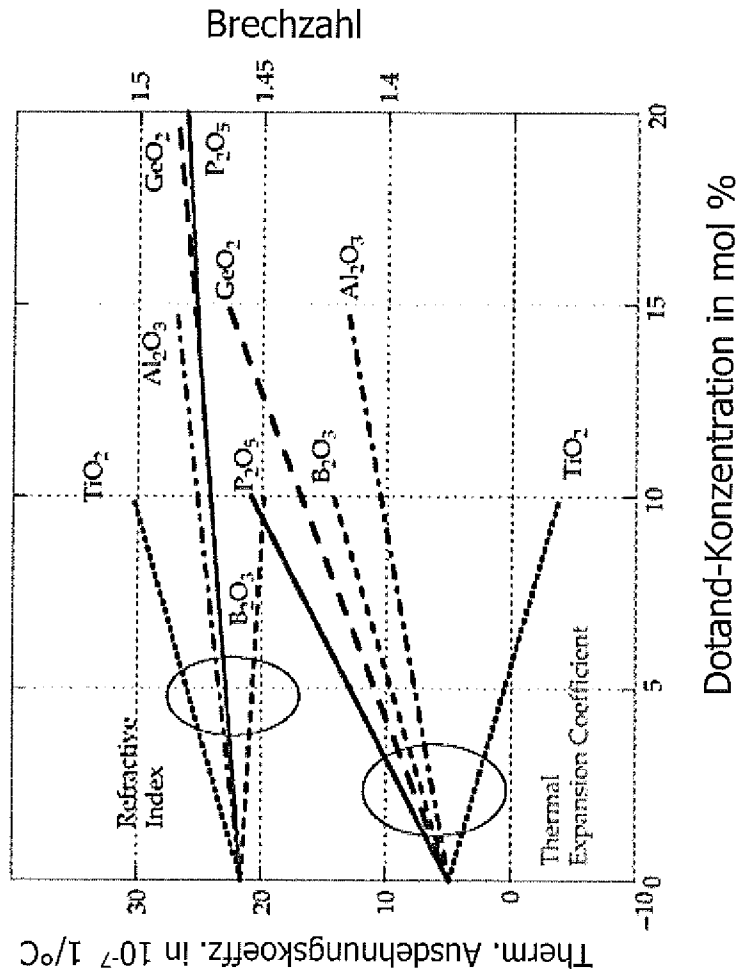


Fig. 1

Stand der Technik

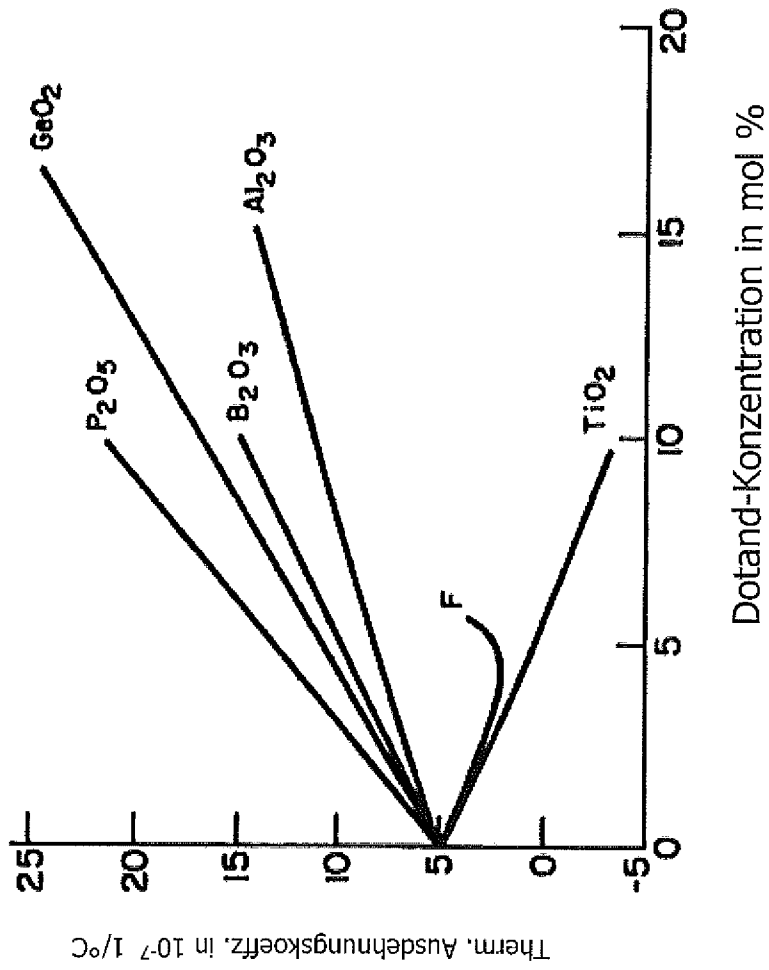


Fig. 2

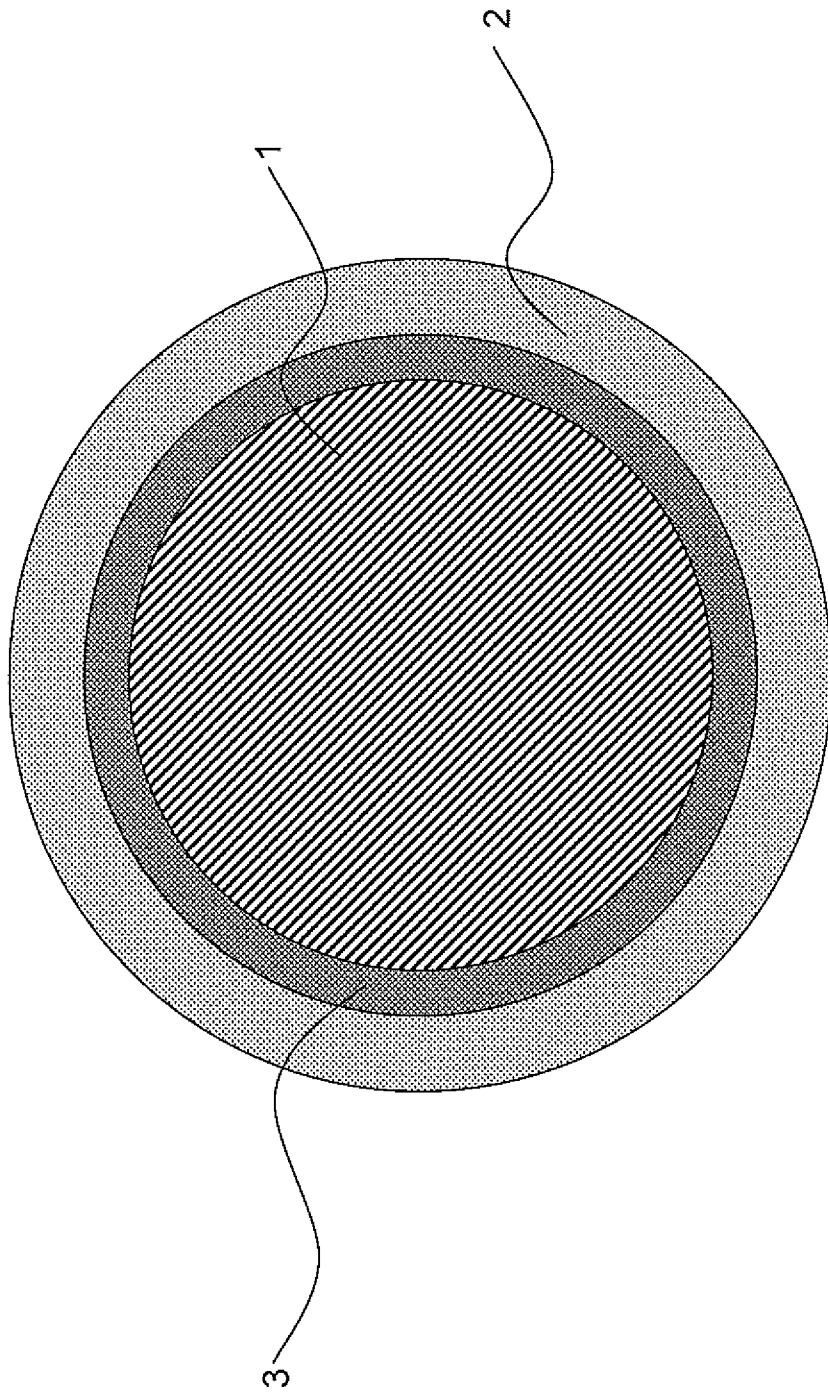


Fig. 3

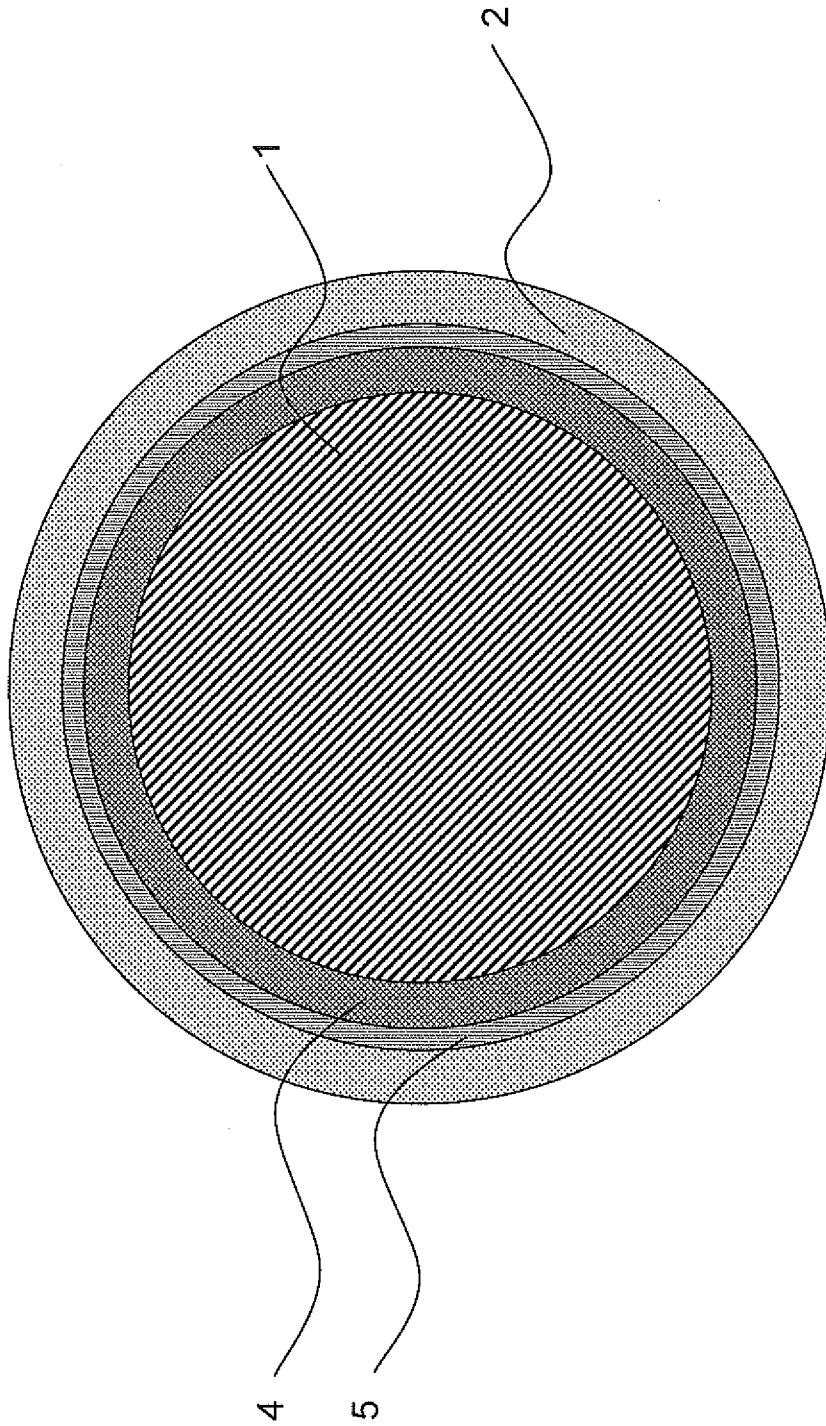


Fig. 4

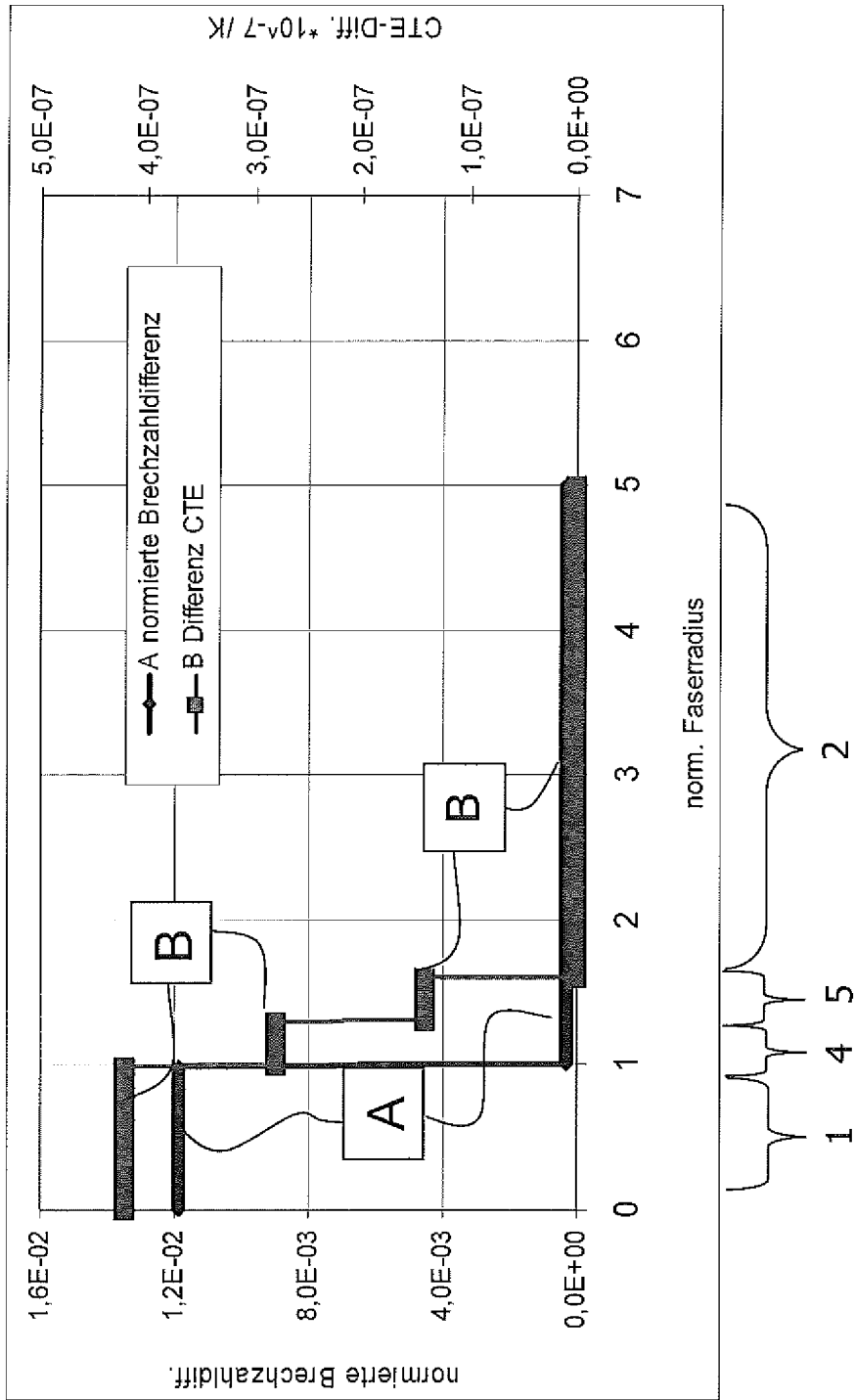


Fig. 5

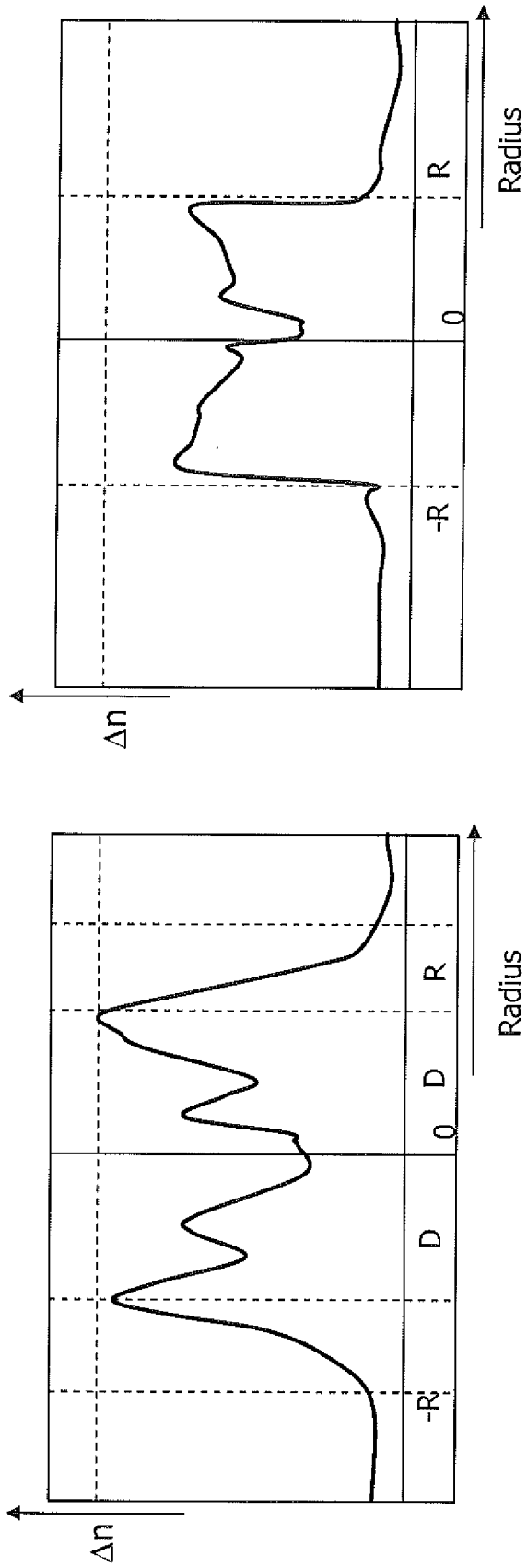


Fig. 6

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No  
PCT/EP2010/058045

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**

INV. H01S3/067 C03B37/018 G02B6/036  
ADD.

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

**B. FIELDS SEARCHED**

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
H01S C03B G02B

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

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

EPO-Internal, WPI Data, INSPEC, COMPENDEX

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	GB 2 273 389 A (PIRELLI CAVI SPA [IT]) 15 June 1994 (1994-06-15) page 15, line 2 - page 18, line 2; figures 3-4 page 11 - page 31; figures 1-2,5-7	1-8,10
X	WO 03/062881 A1 (NOVERA OPTICS INC [US]) 31 July 2003 (2003-07-31) paragraph [0075] - paragraph [0077]; figures 16-19	1-3

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

\* Special categories of cited documents :

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- \*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- \*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- \*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- \* & \* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

20 October 2010

Date of mailing of the international search report

27/10/2010

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2260 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

A. Jacobs

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No  
PCT/EP2010/058045

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	KIRCHHOF J ET AL: "Materials for high-power fiber lasers" JOURNAL OF NON-CRYSTALLINE SOLIDS, NORTH-HOLLAND PHYSICS PUBLISHING. AMSTERDAM, NL LNKD- DOI:10.1016/J.JNONCRYSOL.2006.02.061, vol. 352, no. 23-25, 15 July 2006 (2006-07-15), pages 2399-2403, XP025186777 ISSN: 0022-3093 [retrieved on 2006-07-15] * abstract page 2399 - page 2400	11-15
Y	EP 1 035 083 A1 (SPECTRAN CORP [US]) 13 September 2000 (2000-09-13) * abstract paragraphs [0014], [0018], [0022]	11-15

**Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)**

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1.  Claims Nos.:  
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:
  
2.  Claims Nos.:  
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:
  
3.  Claims Nos.:  
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

**Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)**

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

**see supplemental sheet**

1.  As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2.  As all searchable claims could be searched without effort justifying additional fees, this Authority did not invite payment of additional fees.
3.  As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:
  
4.  No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

**Remark on Protest**

- The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, the payment of a protest fee.
- The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.
- No protest accompanied the payment of additional search fees.

The International Searching Authority has found that the international application contains multiple (groups of) inventions, as follows:

**1. Claims 1-10**

Optical fiber comprising an intermediate layer arranged between a doped glass fiber core and cladding for reducing mechanical stresses, the concentration of a component of the core layer comprising a radial gradient.

---

**2. Claims 11-15**

Method for producing an optical fiber, characterized by the production of a preform with at least one temporary intermediate layer in the form of a barrier layer, comprising the method steps:

- depositing at least one doped soot layer with a defined soot dopant concentration,
- depositing at least one doped barrier layer with a barrier dopant concentration which is equal to the soot dopant concentration,
- carrying out a collapsing step and subsequently removing the barrier layer,
- carrying out a closure step.

---

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No <b>PCT/EP2010/058045</b>
--

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date			
GB 2273389	A	15-06-1994	AU 666983 B2 29-02-1996			
			AU 5209193 A 23-06-1994			
			BR 9305307 A 21-06-1994			
			CA 2110930 A1 15-06-1994			
			DE 69318523 D1 18-06-1998			
			DE 69318523 T2 17-12-1998			
			DK 602467 T3 01-03-1999			
			EP 0602467 A1 22-06-1994			
			ES 2119853 T3 16-10-1998			
			JP 6250243 A 09-09-1994			
			NZ 250346 A 29-01-1997			
			US 5491581 A 13-02-1996			
			WO 03062881	A1	31-07-2003	NONE
EP 1035083	A1	13-09-2000	CN 1295039 A 16-05-2001			
			US 2002157426 A1 31-10-2002			

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen  
PCT/EP2010/058045

<b>A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES</b> INV. H01S3/067 C03B37/018 G02B6/036 ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
<b>B. RECHERCHIERTE GEBIETE</b> Recherchiertes Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole ) H01S C03B G02B		
Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen		
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe) EPO-Internal, WPI Data, INSPEC, COMPENDEX		
<b>C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN</b>		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	GB 2 273 389 A (PIRELLI CAVI SPA [IT]) 15. Juni 1994 (1994-06-15) Seite 15, Zeile 2 - Seite 18, Zeile 2; Abbildungen 3-4 Seite 11 - Seite 31; Abbildungen 1-2,5-7 -----	1-8, 10
X	WO 03/062881 A1 (NOVERA OPTICS INC [US]) 31. Juli 2003 (2003-07-31) Absatz [0075] - Absatz [0077]; Abbildungen 16-19 ----- -/--	1-3
<input checked="" type="checkbox"/> Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen <input checked="" type="checkbox"/> Siehe Anhang Patentfamilie		
* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen : *A* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist *E* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist *L* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt) *O* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht *P* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist *T* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist *X* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden *Y* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist *&* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist		
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche		Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
20. Oktober 2010		27/10/2010
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Bevollmächtigter Bediensteter  A. Jacobs

## C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	KIRCHHOF J ET AL: "Materials for high-power fiber lasers" JOURNAL OF NON-CRYSTALLINE SOLIDS, NORTH-HOLLAND PHYSICS PUBLISHING. AMSTERDAM, NL LNKD- DOI:10.1016/J.JNONCRYSOL.2006.02.061, Bd. 352, Nr. 23-25, 15. Juli 2006 (2006-07-15), Seiten 2399-2403, XP025186777 ISSN: 0022-3093 [gefunden am 2006-07-15] * Zusammenfassung Seite 2399 - Seite 2400	11-15
Y	EP 1 035 083 A1 (SPECTRAN CORP [US]) 13. September 2000 (2000-09-13) * Zusammenfassung Absätze [0014], [0018], [0022]	11-15

**Feld Nr. II Bemerkungen zu den Ansprüchen, die sich als nicht recherchierbar erwiesen haben (Fortsetzung von Punkt 2 auf Blatt 1)**

Gemäß Artikel 17(2)a) wurde aus folgenden Gründen für bestimmte Ansprüche kein internationaler Recherchenbericht erstellt:

1.  Ansprüche Nr.  
weil sie sich auf Gegenstände beziehen, zu deren Recherche diese Behörde nicht verpflichtet ist, nämlich
  
2.  Ansprüche Nr.  
weil sie sich auf Teile der internationalen Anmeldung beziehen, die den vorgeschriebenen Anforderungen so wenig entsprechen, dass eine sinnvolle internationale Recherche nicht durchgeführt werden kann, nämlich
  
3.  Ansprüche Nr.  
weil es sich dabei um abhängige Ansprüche handelt, die nicht entsprechend Satz 2 und 3 der Regel 6.4 a) abgefasst sind.

**Feld Nr. III Bemerkungen bei mangelnder Einheitlichkeit der Erfindung (Fortsetzung von Punkt 3 auf Blatt 1)**

Diese Internationale Recherchenbehörde hat festgestellt, dass diese internationale Anmeldung mehrere Erfindungen enthält:

siehe Zusatzblatt

1.  Da der Anmelder alle erforderlichen zusätzlichen Recherchegebühren rechtzeitig entrichtet hat, erstreckt sich dieser internationale Recherchenbericht auf alle recherchierbaren Ansprüche.
  
2.  Da für alle recherchierbaren Ansprüche die Recherche ohne einen Arbeitsaufwand durchgeführt werden konnte, der zusätzliche Recherchegebühr gerechtfertigt hätte, hat die Behörde nicht zur Zahlung solcher Gebühren aufgefordert.
  
3.  Da der Anmelder nur einige der erforderlichen zusätzlichen Recherchegebühren rechtzeitig entrichtet hat, erstreckt sich dieser internationale Recherchenbericht nur auf die Ansprüche, für die Gebühren entrichtet worden sind, nämlich auf die Ansprüche Nr.
  
4.  Der Anmelder hat die erforderlichen zusätzlichen Recherchegebühren nicht rechtzeitig entrichtet. Dieser internationale Recherchenbericht beschränkt sich daher auf die in den Ansprüchen zuerst erwähnte Erfindung; diese ist in folgenden Ansprüchen erfasst:

**Bemerkungen hinsichtlich eines Widerspruchs**

- Der Anmelder hat die zusätzlichen Recherchegebühren unter Widerspruch entrichtet und die gegebenenfalls erforderliche Widerspruchsgebühr gezahlt.
- Die zusätzlichen Recherchegebühren wurden vom Anmelder unter Widerspruch gezahlt, jedoch wurde die entsprechende Widerspruchsgebühr nicht innerhalb der in der Aufforderung angegebenen Frist entrichtet.
- Die Zahlung der zusätzlichen Recherchegebühren erfolgte ohne Widerspruch.

WEITERE ANGABEN

PCT/ISA/ 210

Die internationale Recherchenbehörde hat festgestellt, dass diese internationale Anmeldung mehrere (Gruppen von) Erfindungen enthält, nämlich:

1. Ansprüche: 1-10

Lichtleitfaser mit einer zwischen dotiertem Glasfaserkern und Cladding angeordneten Zwischenschicht zur Reduzierung der mechanischen Spannungen, wobei die Konzentration eines Inhaltsstoffs der Kernschicht einen radialen Gradienten aufweist.

---

2. Ansprüche: 11-15

Verfahren zur Herstellung einer Lichtleitfaser, gekennzeichnet durch eine Fertigung einer Preform mit wenigstens einer vorübergehenden Zwischenschicht in Form einer Barrierschicht mit den Verfahrensschritten

- Abscheiden mindestens einer dotierten Sootschicht mit einer gegebenen Soot-Dotandenkonzentration,
- Abscheiden mindestens einer dotierten Barrierschicht mit einer Barriere-Dotandenkonzentration, die gleich der Soot-Dotandenkonzentration ist,
- Ausführen eines Kollabierschrittes und daran anschließendes Entfernen der Barrierschicht,
- Ausführen eines Schließschrittes.

---

**INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT**

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen  
PCT/EP2010/058045

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
GB 2273389	A	15-06-1994	AU 666983 B2 29-02-1996 AU 5209193 A 23-06-1994 BR 9305307 A 21-06-1994 CA 2110930 A1 15-06-1994 DE 69318523 D1 18-06-1998 DE 69318523 T2 17-12-1998 DK 602467 T3 01-03-1999 EP 0602467 A1 22-06-1994 ES 2119853 T3 16-10-1998 JP 6250243 A 09-09-1994 NZ 250346 A 29-01-1997 US 5491581 A 13-02-1996
WO 03062881	A1	31-07-2003	KEINE
EP 1035083	A1	13-09-2000	CN 1295039 A 16-05-2001 US 2002157426 A1 31-10-2002