



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 699 33 971 T2** 2007.10.04

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 0 984 305 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **699 33 971.5**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **99 306 112.6**

(96) Europäischer Anmeldetag: **02.08.1999**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **08.03.2000**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **15.11.2006**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **04.10.2007**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **G02B 6/02** (2006.01)  
**G02B 6/036** (2006.01)

(30) Unionspriorität:

**106332 P      30.08.1998      US**

(73) Patentinhaber:

**Corning Inc., Corning, N.Y., US**

(74) Vertreter:

**PAe Reinhard, Skuhra, Weise & Partner GbR,  
80801 München**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT,  
LI, LU, MC, NL, PT, SE**

(72) Erfinder:

**Li, Ming-Jun, Horseheads, NY 14845, US; Stone,  
Jeffery Scott, Addison, NY 14801, US**

(54) Bezeichnung: **Monomode-Lichtleitfaser für Fernübertragung**

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 eingelegt, 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**

## Hintergrund der Erfindung

**[0001]** Die Erfindung ist auf eine optische Monomode-Wellenleiterfaser gerichtet, die für Telekommunikationssysteme mit einer großen Verstärkerbeabstandung und einer hohen Datenrate ausgelegt ist. Insbesondere kombiniert der Monomode-Wellenleiter eine ausgezeichnete Biegebeständigkeit, eine niedrige Dämpfung und eine große effektive Fläche  $A_{\text{eff}}$ , Merkmale, die für Unterwasseranwendungen erwünscht sind.

**[0002]** Ein Wellenleiter, der eine große effektive Fläche aufweist, verringert nichtlineare optische Effekte einschließlich einer Selbstphasenmodulation, eines Vierwellenmischens, einer Kreuzphasenmodulation und nichtlinearer Streuprozesse, wovon sämtliche eine Verschlechterung von Signalen in Hochenergiesystemen herbeiführen können. Im Allgemeinen schließt eine mathematische Beschreibung dieser nichtlinearen Effekte das Verhältnis  $P/A_{\text{eff}}$  ein, wobei  $P$  eine optische Leistung ist. Beispielsweise kann der nichtlineare optische Effekt durch eine Gleichung beschrieben werden, die einen Ausdruck  $\exp[P \times L_{\text{eff}}/A_{\text{eff}}]$  enthält, wobei  $L_{\text{eff}}$  eine effektive Länge ist. Somit erzeugt eine Zunahme in  $A_{\text{eff}}$  eine Abnahme in dem nichtlinearen Beitrag zu der Verschlechterung eines Lichtsignals.

**[0003]** Der Bedarf in der Telekommunikationsindustrie nach einer größeren Informationskapazität über große Entfernungen ohne eine elektronische Signalregenerierung hat zu einer Neuevaluierung einer Auslegung für ein Monomode-Faserindexprofil geführt. Die Gattungen dieser Profilauslegungen, die als segmentierte Kernauslegungen in dieser Anmeldung bezeichnet werden, sind im Detail in dem US-Patent Nr. 4,715,679, Bhagavatula offenbart.

**[0004]** Der Schwerpunkt dieser Neuevaluierung ist es gewesen, optische Wellenleiter bereitzustellen, welche:

- nichtlineare Effekte wie etwa jene oben erwähnten zu verringern;
- für einen Betriebswellenlängenbereich um 1550 nm einer niedrigen Dämpfung optimiert sind;
- kompatibel zur optischen Verstärkern sind; und
- wünschenswerte Eigenschaften optischer Wellenleiter wie eine etwa eine hohe Festigkeit, eine Ermüdungsbeständigkeit und eine Biegebeständigkeit aufrecht erhalten.

**[0005]** Die Definition von hoher Leistung und großer Entfernung ist nur in dem Kontext eines bestimmten Telekommunikationssystems sinnvoll, wo eine Bitrate, eine Bitfehlerrate, ein Multiplexierungsschema und vielleicht optische Verstärker spezifiziert sind. Es sind zusätzliche, Fachleuten bekannte Faktoren vorhanden, die einen Einfluss auf die Bedeutung von hoher Leistung und großem Abstand aufweisen. Jedoch ist für die meisten Zwecke eine hohe Leistung, eine optische Leistung größer als ungefähr 10 mW. Bei bestimmten Anwendungen sind Signalenergiepegel von 1 mW oder weniger noch sensitiv auf nichtlineare Effekte, so dass  $A_{\text{eff}}$  noch immer eine wichtige Erwägung bei derartigen Systemen niedrigerer Leistung ist.

**[0006]** Eine große Distanz ist eine, bei welcher der Abstand zwischen elektronischen Regeneratoren über 100 km sein kann. Die Regeneratoren sind von Verstärkern zu unterscheiden, die optische Verstärkungsrichtungen verwenden. Eine Verstärkerbeabstandung, insbesondere in Systemen mit einer hohen Datendichte, kann weniger als die Hälfte der Regeneratorbeabstandung sein.

**[0007]** Um eine geeignete Wellenlänge für eine multiplexierte Übertragung bereitzustellen, sollte die Gesamtdispersion niedrig, aber nicht Null sein, und eine geringe Neigung über dem Fenster der Betriebswellenlänge aufweisen. In Systemen, in welchen die Unterdrückung einer potenziellen Solitonbildung wichtig ist, sollte die Gesamtdispersion der Wellenlängenfaser negativ sein, so dass die lineare Dispersion der nichtlinearen Selbstphasenmodulation, die für Hochleistungssignale auftritt, nicht entgegenwirken kann.

**[0008]** Eine typische Anwendung für eine derartige Wellenleiterfaser sind Unterwassersysteme, die, um ökonomisch machbar zu sein, hohe Informationsraten über große Entfernungen ohne Regeneratoren und über ein erweitertes Fenster von Wellenlängen befördern müssen. Die vorliegende Erfindung beschreibt ein neues Profil, das singular zur Verwendung unter diesen stringenten Bedingungen geeignet ist. Die gewünschten Eigenschaften der Wellenleiterfaser für ein derartiges System sind im Detail untenstehend offenbart.

**[0009]** Im Stand der Technik wird Bezug genommen auf die EP-A-0724171, die unter Bezugnahme auf **Fig. 3a** davon eine optische Monomode-Wellenleiterfaser beschreibt, umfassend einen segmentierten Kern, der zwei Segmente und einen Mantel aufweist, der den Kern umgibt und in Kontakt mit diesem ist. Die Radien, Brechungsindexdifferenzen und Brechungsindexprofile der Kernsegmente sind ausgewählt, eine Nulldispersi-

onswellenlänge von ungefähr 1562 nm, eine Dispersionsneigung von ungefähr 0,12 ps/nm<sup>2</sup>-km, eine effektive Fläche von ungefähr 86 µm und eine Grenzwellenlängen von ungefähr 1600 nm aufzuweisen, gemessen vor einem Verlegen.

**[0010]** Die Aufmerksamkeit wird auch auf die EP-A-0789255 gerichtet.

#### Definitionen

**[0011]** Die folgenden Definitionen sind in Übereinstimmung mit einer üblichen Verwendung im Stand der Technik.

- Die Radien der Segmente des Kerns sind hinsichtlich des Brechungsindex definiert. Ein bestimmtes Segment weist einen ersten und einen letzten Brechungsindexpunkt auf. Der Radius von der Wellenleiter-Mittenlinie zu dem Ort dieses ersten Brechungsindexpunktes ist der Innenradius des Kernbereichs oder – segments. In gleicher Weise ist der Radius von der Wellenleiter-Mittenlinie zu dem Ort des letzten Brechungsindexpunktes der Außenradius des Kernsegments.

**[0012]** Der Segmentradius kann in zweckmäßiger Weise auf eine Anzahl von Arten definiert werden, wie in der Beschreibung der **Fig. 1** & **Fig. 2** untenstehend zu ersehen ist. In dem Fall der **Fig. 2**, von welcher die Tabelle 1 abgeleitet ist, sind die Radien der Indexprofilsegmente wie folgt definiert, wobei Bezug genommen wird auf ein Diagramm von  $\Delta\%$  über Wellenleiterradius:

- der Radius des zentralen Kernsegments  $r_1$  wird von der axialen Mittenlinie des Wellenleiters zu dem Schnittpunkt des extrapolierten zentralen Indexprofils mit der x-Achse gemessen, d. h. dem  $\Delta\% = 0$ -Punkt;
- der Außenradius  $r_2$  des ersten kreisförmigen Segments wird von der axialen Mittenlinie des Wellenleiters zu dem Schnittpunkt des ersten ringförmigen Segmentprofils mit einer vertikalen Linie, die durch den  $\Delta\%$ -Punkt gezogen ist, der die Hälfte der  $\Delta\%$ -Differenz zwischen dem ersten und dem zweiten ringförmigen Segmentprofil ist;
- der Außenradius  $r_3$  des zweiten ringförmigen Segments wird gemessen von der axialen Mittenlinie des Wellenleiters zu dem Schnittpunkt des zweiten ringförmigen Segmentprofils mit einer vertikalen Linie, die durch den  $\Delta\%$ -Punkt gezogen ist, der die Hälfte der  $\Delta\%$ -Differenz zwischen dem zweiten und dritten ringförmigen Segmentprofil;
- der Außenradius jeder zusätzlicher ringförmiger Segmente wird analog zu dem Außenradius der ersten und zweiten ringförmigen Segmente gemessen; und
- der Radius des letzten ringförmigen Segments wird von der Wellenleitmittenlinie zu dem Mittelpunkt des Segments gemessen.

**[0013]** Die Breite  $w$  eines Segments wird als der Abstand zwischen dem Innenradius und dem Außenradius des Segments genommen. Es ist zu verstehen, dass der Außenradius eines Segments dem Innenradius des nächsten Segments entspricht.

**[0014]** Keine besondere Bedeutung wird einer bestimmten Definition einer Brechungsindexprofil-Geometrie beigemessen. Natürlich müssen, indem eine Modellberechnung ausgeführt wird, die Definitionen konsistent wie hierin ausgeführt werden.

- Die effektive Fläche ist

$$A_{\text{eff}} = 2\pi \left( \int E^2 r \, dr \right)^2 / \left( \int E^4 r \, dr \right), \text{ wobei}$$

die Integrationsgrenzen Null bis  $\infty$  sind, und  $E$  das elektrische Feld ist, das dem sich ausbreitenden Licht zugeordnet ist. Die effektive Fläche ist wellenlängen-abhängig. Die Wellenlänge, bei welcher die effektive Fläche berechnet wird, ist die Wellenlänge bei oder nahe bei der Mitte des Betriebsfensters, für welches die Wellenleiterfaser ausgelegt ist. Mehr als eine  $A_{\text{eff}}$  kann einer Wellenleiterfaser zugeordnet sein, die über einen Bereich in der Größenordnung von hunderten von Nanometern arbeitet.

- Ein effektiver Durchmesser  $D_{\text{eff}}$  kann definiert werden als

$$A_{\text{eff}} = \pi (D_{\text{eff}}/2)^2.$$

- Der relative Brechungsindex  $\Delta\%$  ist durch die Gleichung

$$\Delta\% = 100 \times (n_1^2 - n_2^2) / 2n_1^2, \text{ wobei } n_1 \text{ der maximale}$$

Brechungsindex des Indexprofilsegments 1 ist, und  $n_2$  ein Referenzbrechungsindex ist, der in dieser Anwendung als der Brechungsindex der Mantelschicht angenommen wird.

– Der Ausdruck Brechungsindexprofil oder einfach Indexprofil ist die Beziehung zwischen  $\Delta\%$  oder dem Brechungsindex und dem Radius über einen ausgewählten Abschnitt des Kerns.

– Der Ausdruck  $\alpha$ -Profil bezieht sich auf ein Brechungsindexprofil, das hinsichtlich  $\Delta(b)\%$  ausgedrückt wird, wobei  $b$  ein Radius ist, der der Gleichung

$\Delta(b)\% = \Delta(b_0)(1 - [(b - b_0)/(b_1 - b_0)]^\alpha)$  folgt, wobei  $b_0$  der radiale Punkt ist, an welchen der Index ein Maximum ist, und  $b_1$  der Punkt ist, an welchem  $\Delta(b)\%$  Null ist, und  $b$  in dem Bereich von  $b_i \leq b \leq b_f$  ist, wobei Delta obenstehend definiert ist,  $b_i$  der Anfangspunkt des  $\alpha$ -Profils ist,  $b_f$  der Endpunkt des  $\alpha$ -Profils ist, und  $\alpha$  ein Exponent ist, der eine reelle Zahl ist.

**[0015]** Andere Indexprofile weisen einen Stufenindex, einen trapezförmigen Index und einen gerundeten Stufenindex auf, in welchem das Runden typischerweise aufgrund einer Dotiermitteldiffusion in Bereichen einer schnellen Brechungsindexänderung auftritt.

– Die Gesamtdispersion ist definiert als die algebraische Summe einer Wellenleiterdispersion und einer Materialdispersion. Die Gesamtdispersion wird im Stand der Technik manchmal als eine chromatische Dispersion bezeichnet. Die Einheiten der Gesamtdispersion sind ps/nm-km.

– Die Biegebeständigkeit einer Wellenleiterfaser wird als eine induzierte Dämpfung unter vorgegebenen Testbedingungen ausgedrückt. Standardtestbedingungen schließen 100 Wicklungen einer Wellenleiterfaser um einen Dorn von 75 mm Durchmesser und eine Wicklung einer Wellenleiterfaser um einen Dorn von 32 mm Durchmesser ein. Bei jeder Testbedingung wird die biegeinduzierte Dämpfung üblicherweise in Einheiten von dB/(Einheitslänge) gemessen. In der vorliegenden Anmeldung ist der verwendete Biegetest fünf Umdrehungen der Wellenleiterfaser um einen Dorn von 20 mm Durchmesser, eine fordernder Test, der für eine rauere Betriebsumgebung der vorliegenden Wellenleiterfaser erforderlich ist.

#### Zusammenfassung der Erfindung

**[0016]** Die neuartige Monomode-Wellenleiterfaser dieser Anmeldung erfüllt die Anforderungen an ein Telekommunikationssystem mit einem guten Betriebsverhalten, das hierin offenbart ist.

**[0017]** Die Erfindung stellt eine optische Monomode-Wellenleiterfaser bereit, umfassend:

einen segmentierten Kern, der ein erstes Segment, das bei ungefähr der Mittenlinie des Kerns beginnt, und ein  $\alpha$ -Profil mit einem  $\alpha$ -wert von ungefähr 1 aufweist, ein zweites Segment, das an das erste Segment angrenzt und ein steiles Indexprofil aufweist, und ein drittes Segment umfasst, das an das zweite Segment angrenzt und ein gerundetes Stufenindexprofil aufweist, wobei jedes Segment einen Radius  $r_i$ , ein Brechungsindexprofil und eine relativen Brechungsindexprozentatz  $\Delta_i\%$  aufweist, wobei  $i$  gleich der Anzahl von Segmenten ist, wobei das erste Segment einen  $\Delta_1\%$  in dem Bereich von ungefähr 0,75 bis 1,25, einen Radius  $r_1$  in dem Bereich von ungefähr 1,5 bis 4,0  $\mu\text{m}$  aufweist, das zweite Segment einen  $\Delta_2\%$  in dem Bereich von 0,00 bis 0,15% und das dritte Segment eine  $\Delta_3\%$  in dem Bereich von ungefähr 0,2 bis 0,7, einen Mittelpunktradius  $r_3$  in dem Bereich von ungefähr 4 bis 8  $\mu\text{m}$  und eine Breite in dem Bereich von ungefähr 0,5 bis 3  $\mu\text{m}$  aufweist; und eine Mantelschicht, die den Kern umgibt und in Kontakt mit diesem ist, wobei die Mantelschicht einen Brechungsindex  $n_c$  aufweist;

wobei die  $r_i$ -,  $\Delta_i\%$ - und die Brechungsindexprofile gewählt sind, bereitzustellen:

eine Dämpfung bei 1550 nm von nicht größer als 0,25 dB/km, vorzugsweise weniger als 0,22 dB/km;

eine Nulldispersionswellenlänge in dem Bereich von ungefähr 1565 nm bis 1600 nm;

eine Gesamtdispersion bei 1560 nm in dem Bereich von ungefähr –3,5 bis –0,5 ps/nm-km, vorzugsweise ungefähr –2 ps/nm-km;

eine effektive Fläche  $> 60 \mu\text{m}^2$  bei 1550 nm; und

eine Grenzwellenlänge der Faser in einer verkabelten Form in dem Bereich von ungefähr 1285 nm bis 1500 nm.

**[0018]** Außer wenn spezielle Schritte in den Prozess eingefügt werden, werden die Brechungsindexprofile der Segmente an Punkten abgerundet sein, so sich der Brechungsindex scharf ändert. Die Abrundungen sind aufgrund einer Diffusion der Dotiermaterialien, die verwendet werden, um den Basisglas-Brechungsindex zu ändern. Somit kann jedwedes dieser Brechungsindexprofile an bestimmten Punkten abgerundet werden. Beispielsweise wird ein steiles Indexprofil, das einen positiven  $\Delta\%$  aufweist, in typischer Weise abgerundete obere und untere Ecken aufweisen.

**[0019]** In einer Ausführungsform der Erfindung weisen die Kernsegmente sämtlich ein positives  $\Delta\%$  auf.

**[0020]** In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung ist die Mitte des Kernbereichs hinsichtlich einer Dotiermitteldiffusion kompensiert worden, so dass der Brechungsindex auf oder in der Nähe der Wellenleiterfaser-Mittenlinie nicht relativ zu dem Rest des Mittenprofils geändert ist. Ein Beispiel einer derartigen Mittenlinien-Kompensation ist in [Fig. 3](#) gezeigt, wo das Dotiermittel Germanium ist. Die diffusions-kompensierte Ausführungsform zeigt eine mittlere Verbesserung in der Polarisationsmoden-Dispersion von ungefähr einem Faktor 5 relativ zu einem vergleichbaren unkompensierten Wellenleiterfaser-Profil. Die Polarisationsmoden-Dispersion der neuartigen Wellenleiterfaser beträgt weniger als  $0,08 \text{ ps}/(\text{km})^{1/2}$ , und in typischer Weise weniger als ungefähr  $0,04 \text{ ps}/(\text{km})^{1/2}$ .

**[0021]** Ein bevorzugter Bereich für die Werte von  $\Delta$  und  $r$  ist:

- $\Delta_1\%$  in dem Bereich von ungefähr 0,85 bis 1,20;
- $r_1$  in dem Bereich von ungefähr 2,0 bis 3,5  $\mu\text{m}$ ;
- $\Delta_2\%$  in dem Bereich von ungefähr 0,00 bis 0,08%;
- $\Delta_3\%$  in dem Bereich von ungefähr 0,3 bis 0,7;
- Mittelpunktradius  $r_3$  in dem Bereich von ungefähr 5 bis 7,5  $\mu\text{m}$ ; und

**[0022]** Breite des dritten Segments in dem Bereich von ungefähr 0,8 bis 2,0  $\mu\text{m}$ .

**[0023]** Eine bevorzugte Ausführungsform ist:

- $\Delta_1\%$  in dem Bereich von ungefähr 0,95 bis 1,15;
- $r_1$  in dem Bereich von ungefähr 2,5 bis 3,0  $\mu\text{m}$ ;
- $\Delta_2\%$  in dem Bereich von ungefähr 0,00 bis 0,04%;
- $\Delta_3\%$  in dem Bereich von ungefähr 0,3 bis 0,7;
- Mittelpunktradius  $r_3$  in dem Bereich von ungefähr 5 bis 7,5  $\mu\text{m}$ ; und
- Breite des dritten Segments in dem Bereich von ungefähr 0,8 bis 1,5  $\mu\text{m}$ .

**[0024]** In noch einer weiteren Ausführungsform ist die Mittenliniendiffusion entweder unkompensiert oder teilweise kompensiert, so dass eine Einsenkung des Brechungsindex in der Mittenlinie vorhanden ist, die ein Minimum  $\Delta\%$  von nicht mehr als ungefähr 0,20 von  $\Delta_1\%$  aufweist.

**[0025]** Die Einsenkung ist typischerweise von der Form eines invertierten Konus, d. h. der Scheitel des Konus zeigt nach unten, und der Radius an dem breitesten Teil des Konus ist nicht größer als ungefähr 0,4  $\mu\text{m}$ .

#### Kurze Beschreibung der Zeichnungen

**[0026]** In den Zeichnungen zeigen:

**[0027]** [Fig. 1a](#) & b Diagramme von  $\Delta\%$  über dem Radius, wobei jeweils ein modelliertes Indexprofil ähnlich jenem der Erfindung veranschaulicht ist;

**[0028]** [Fig. 2](#) ein  $\Delta\%$  über Radius-Diagramm, das die Definitionen des Radius in der Breite zeigt, die in dieser Anmeldung verwendet werden; und

**[0029]** [Fig. 3](#) ein Diagramm von  $\Delta\%$  über Radius, das eine Ausführungsform der Erfindung zeigt.

#### Detaillierte Beschreibung der Erfindung

**[0030]** Der neuartige optische Monomode-Wellenleiter ist durch eine segmentierte Kernausslegung bereitgestellt, welche die unübliche Kombination von Eigenschaften bereitstellt, die obenstehend offenbart sind. Diese Eigenschaften werden durch ein Auswählen einer geeigneten Brechungsindexprofilform jedes der Segmente und ein Auswählen des geeigneten relativen Brechungsindexdeltas  $\Delta_i\%$  und des radialen Ausmaßes  $r_i$  der Segmente erreicht. Es ist bekannt, dass die Profilparameter wechselwirken. Beispielsweise wird ein Mittenbereichs- $\alpha$ -Profil, das ein  $\alpha$  von ungefähr 1 aufweist, einen Radius unterschiedlich von einem Mittenbereich haben, der einen trapezförmigen Index aufweist, um Fasern bereitzustellen, die im Wesentlichen identische Eigenschaften aufweisen.

**[0031]** Die Definitionen des Radius, die hierin verwendet werden, sind in [Fig. 2](#) gezeigt. Der Radius des zentralen Segments ist durch eine Linie  $r_1$  gezeigt, die von der Kernmittenlinie zu dem Schnittpunkt einer extrapolierten Linie **14** mit der horizontalen Achse gezogen ist. Der Außenradius des Segments ist eine Linie  $r_2$ , die von der Mittenlinie zu der vertikalen Linie gezogen ist, die von dem Punkt **18** nach unten geht, der den Punkt

markiert, wo der relative Brechungsindex die Hälfte der Differenz zwischen  $\Delta_2\%$ , dem relativen Index des Segments **16** und  $\Delta_3\%$ , dem relativen Index des Segments **20** ist. Der Radius  $r_3$  des letzten Ringsegments **20** ist zu dem Mittelpunkt **26** des Segments gezogen. Die Geometrie ist vollständig spezifiziert, wenn die Breite  $w$  des letzten Segments ausgewählt ist. Diese Breite ist als eine Linie  $w$  gezeigt, die zwischen den Punkten **18** und **22**, den jeweiligen Punkten von halben Indexdifferenzen zwischen den Segmenten **16** und **20** und dem Segment **20** und dem Mantel **24** liegt. Der Radius der Mittenlinien-Einsenkung ist als eine Linie **30** gezeigt, die horizontal von der Mittenlinie an dem breitesten Punkt der Einsenkung eines invertierten Konus gezogen ist.

**[0032]** Drei computererzeugte Profile **2**, **4** und **6** sind in [Fig. 1a](#) gezeigt. Die Mittensegmente und die zugehörigen äußeren Ringsegmente weisen entsprechende Nummern zur Klarstellung auf. Jedes Profil weist eine Einsenkung eines invertierten Konus auf der Mittenlinie auf. Indem die Gesamtform des segmentierten Kernindexprofils gegeben ist, können die Eigenschaften einer Wellenleiterfaser, die diese segmentierte Kernform aufweist, berechnet werden. In dem Fall der [Fig. 1a](#) stellt ein Profil **4** die gewünschten Fasereigenschaften bereit. [Fig. 1b](#) zeigt drei zusätzliche segmentierte Kernprofile **8**, **10** und **12**. In dieser Veranschaulichung ergibt das Profil **10** die gewünschten Fasereigenschaften.

**[0033]** Das Profil, das in [Fig. 3](#) gezeigt ist, ist ein gemessenes Profil einer Wellenleiterfaser, die ein Brechungsindexprofil in Übereinstimmung mit der Erfindung aufweist. Die Tabelle 1 gibt die Kernindex-Profilparameter für diese Ausführungsform. Die Mittenliniendiffusion ist in dieser Auslegung kompensiert.

Tabelle 1

	Tatsächliches Profil
$\Delta_1\%$	1,15
$\Delta\%$ auf Mittenlinie	0
$\Delta_2\%$	0,05
$\Delta_3\%$	0,5
$r_1 \mu\text{m}$	2,5
$r_2 \mu\text{m}$	5,5
$w \mu\text{m}$ (äußerstes ringförmiges Segment)	1

**[0034]** Die durchschnittlichen Eigenschaftswerte einer großen Anzahl von Wellenleiterfasern, die unter Verwendung der Parameter der Tabelle 1 als Ziel hergestellt wurden, betrugen:

- Dämpfung bei 1550 nm – 0,204 dB/km;
- Modelfelddurchmesser – 9,29  $\mu\text{m}$ ;
- effektive Fläche bei 1550 nm – 70,9  $\mu\text{m}^2$ ;
- Nulldispersionswellenlänge – 1576 nm;
- Gesamtdispersion bei 1530 nm – (–5,565 ps/nm-km);
- Gesamtdispersion bei 1560 nm – (–1,892 ps/nm/km);
- Grenzwellenlänge – 1429,6 nm in verkabelter Form; und
- Polarisationsmodendispersion – 0,037 ps/(km)<sup>1/2</sup>.

**[0035]** Die somit hergestellten Ergebnisse stellen eine Wellenleiterfaser bereit, die in jeder Hinsicht zur Verwendung in rauen Umgebungen wie etwa Unterwasser-Telekommunikationskabeln geeignet ist. Die Herstellungsergebnisse dienen auch dazu, das ComputermodeLL zu validieren.

**[0036]** Obwohl bestimmte Ausführungsformen der Erfindung hierin offenbart und beschrieben worden sind, ist die Erfindung nichtsdestoweniger nur durch die folgenden Ansprüche beschränkt.

# **Patentansprüche**

## **1. Optische Monomode-Wellenleiterfaser, umfassend:**

einen segmentierten Kern, der ein erstes Segment, das bei ungefähr der Mittenlinie des Kerns beginnt und ein  $\alpha$ -Profil mit einem  $\alpha$ -Wert von ungefähr 1 aufweist, ein zweites Segment, das an das erste Segment angrenzt und ein Stufenindexprofil aufweist, und ein drittes Segment umfasst, das an das zweite Segment angrenzt und ein gerundetes Stufenindexprofil aufweist, wobei jedes der Segmente einen Radius  $r_i$ , ein Brechungsindexprofil und einen relativen Brechungsindexprozentatz  $\Delta_i\%$  aufweist, wobei  $i$  gleich der Anzahl von Segmenten ist, wobei das erste Segment einen  $\Delta_1\%$  in dem Bereich von ungefähr 0,75 bis 1,25, einen Radius  $r_1$  in dem Bereich von ungefähr 1,5 bis 4,0  $\mu\text{m}$  aufweist, das zweite Segment einen  $\Delta_2\%$  in dem Bereich von 0,00 bis 0,15% und das dritte Segment einen  $\Delta_3\%$  in dem Bereich von ungefähr 0,2 bis 0,7 einen Mittelpunktradius  $r_3$  in dem Bereich von ungefähr 4 bis 8  $\mu\text{m}$  und eine Breite in dem Bereich von ungefähr 0,5 bis 3  $\mu\text{m}$  aufweist; und eine Mantelschicht, die den Kern umgibt und in Kontakt mit diesem ist, wobei die Mantelschicht einen Brechungsindex  $n_c$  aufweist;

wobei die  $r_i$ -,  $\Delta_i\%$ - und die Brechungsindexprofile gewählt sind, bereitzustellen:

eine Dämpfung bei 1550 nm von nicht größer als 0,25 dB/km;

eine Nulldispersionswellenlänge in dem Bereich von ungefähr 1565 nm bis 1600 nm;

eine Gesamtdispersion bei 1560 nm in dem Bereich von -3,5 bis -0,5 ps/nm-km;

eine effektive Fläche  $> 60 \mu\text{m}^2$  bei 1550 nm; und

eine Grenzwellenlänge der Faser in verkabelter Form in dem Bereich von ungefähr 1285 nm bis 1500 nm.

## **2. Optische Monomode-Wellenleiterfaser nach Anspruch 1, wobei sämtliche der $\Delta_i\%$ positiv sind.**

3. Optische Monomode-Wellenleiterfaser nach Anspruch 1, in welcher die Gesamtdispersion bei 1560 nm ungefähr -2 ps/nm-km ist.

4. Optische Monomode-Wellenleiterfaser nach Anspruch 1, bei welcher die Polarisationsmodendispersion nicht größer als ungefähr  $0,08 \text{ ps}/(\text{km})^{1/2}$  ist.

5. Optische Monomode-Wellenleiterfaser nach einem voranstehenden Anspruch, wobei das erste Segment einen  $\Delta_1\%$  in dem Bereich von 0,85 bis 1,20, einen Radius  $r_1$  in dem Bereich von ungefähr 2,0 bis 3,5  $\mu\text{m}$  aufweist, das zweite Segment einen  $\Delta_2\%$  in dem Bereich von ungefähr 0,00 bis 0,08% aufweist und das dritte Segment einen  $\Delta_3\%$  in dem Bereich von 0,3 bis 0,7, einen Mittelpunktradius  $r_3$  in dem Bereich von 5 bis 7,5  $\mu\text{m}$  und eine Breite in dem Bereich von 0,8 bis 2,0  $\mu\text{m}$  aufweist.

6. Optische Monomode-Wellenleiterfaser nach Anspruch 5, wobei das erste Segment einen  $\Delta_1\%$  in dem Bereich von 0,95 bis 1,15, einen Radius  $r_1$  in dem Bereich von 2,5 bis 3,0  $\mu\text{m}$  aufweist, das zweite Segment einen  $\Delta_2\%$  in dem Bereich von ungefähr 0,00 bis 0,04 aufweist und das dritte Segment einen  $\Delta_3\%$  in dem Bereich von 0,3 bis 0,7, einen Mittelpunktradius  $r_3$  in dem Bereich von ungefähr 5 bis 7,5  $\mu\text{m}$  und eine Breite in dem Bereich von ungefähr 0,8 bis 1,5  $\mu\text{m}$  aufweist.

7. Optische Monomode-Wellenleiterfaser nach einem der Ansprüche 1 bis 6, weiter einschließend eine relative Indexabsenkung in der Mittenlinie, wobei die Absenkung die Form eines invertierten Konus aufweist, die nicht mehr als 0,20  $\Delta\%$  weniger als  $\Delta_1\%$  beträgt, und der Radius der Basis des invertierten Konus nicht größer als ungefähr 0,4  $\mu\text{m}$  ist.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

FIG. 1A

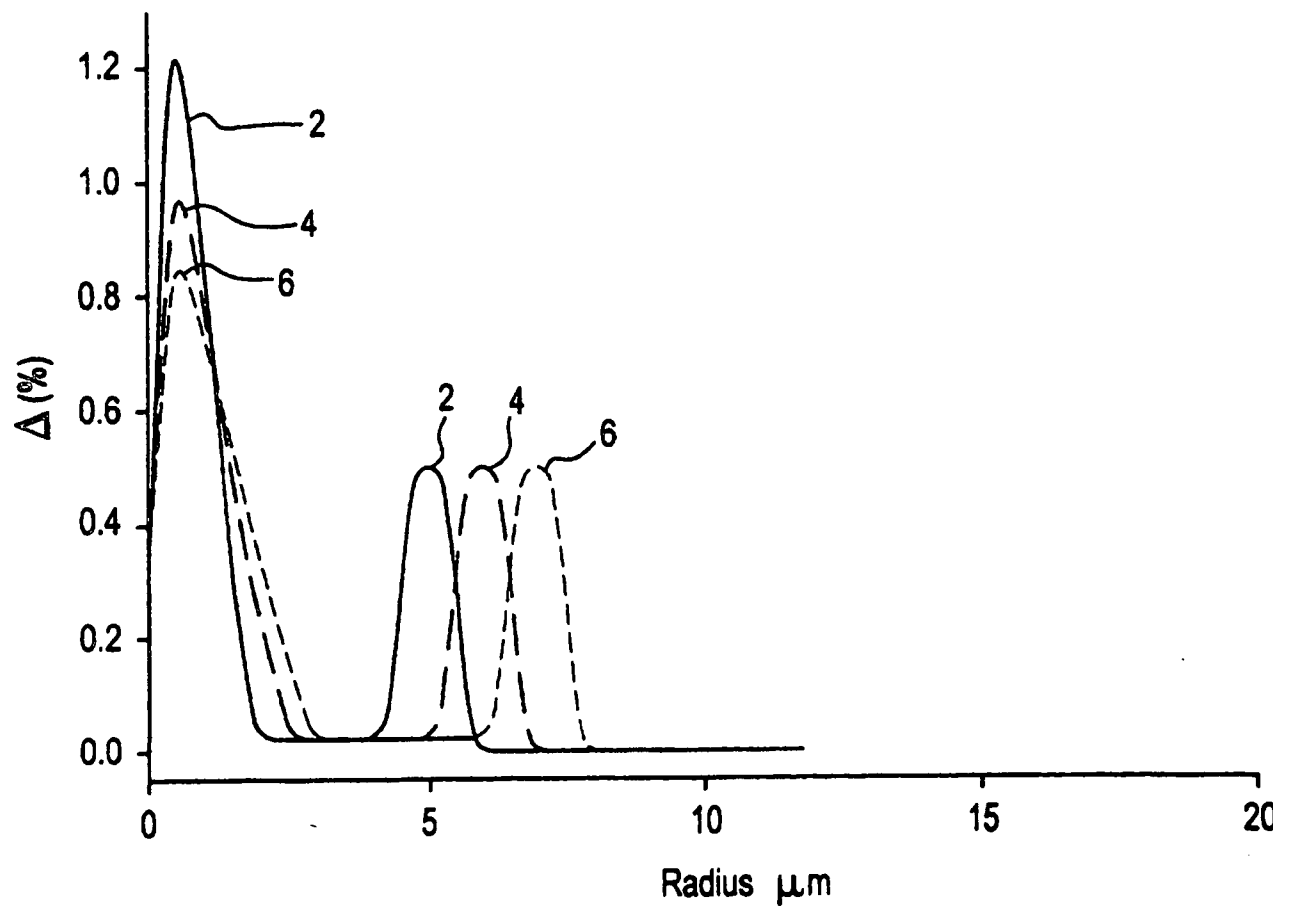




FIG. 1B

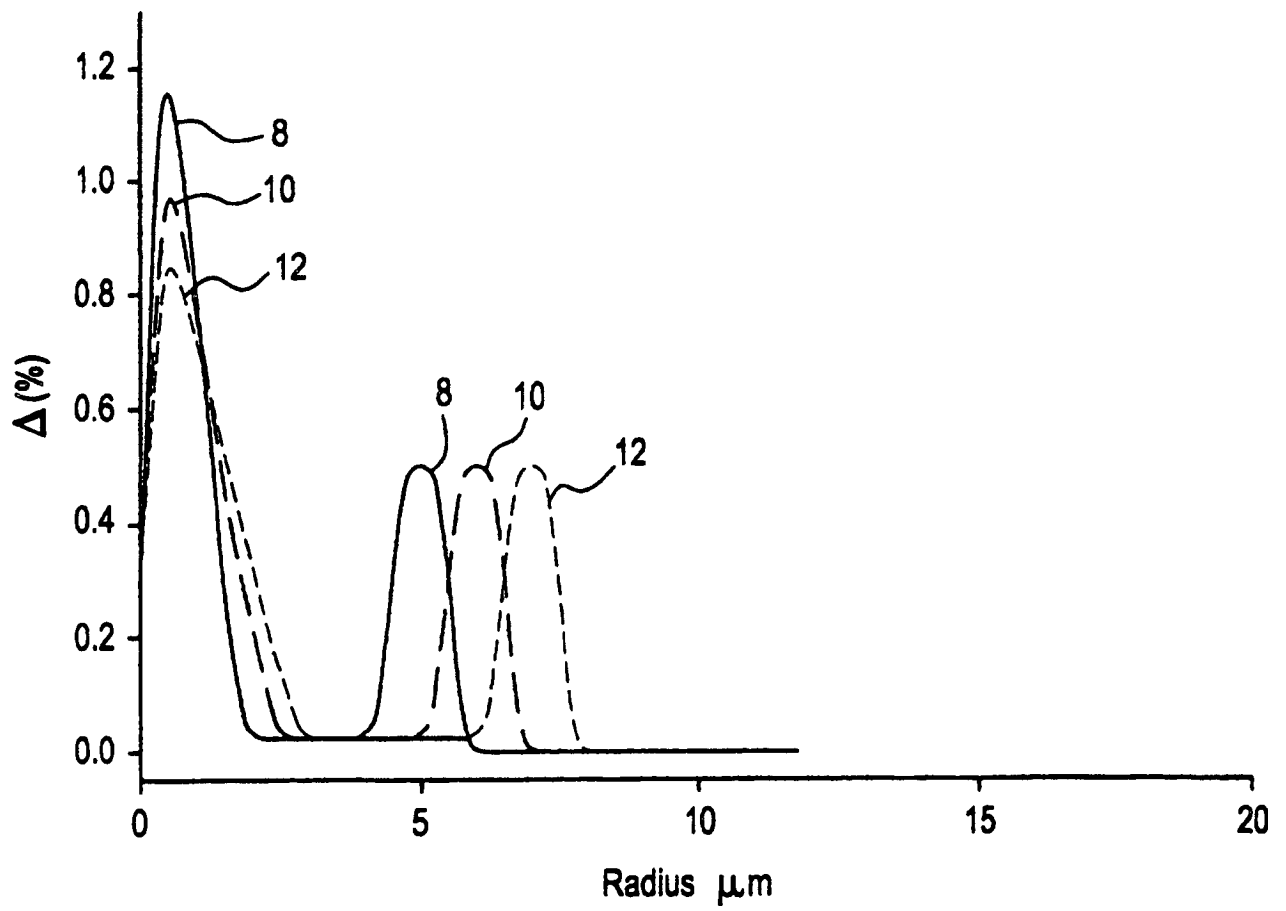


FIG. 2

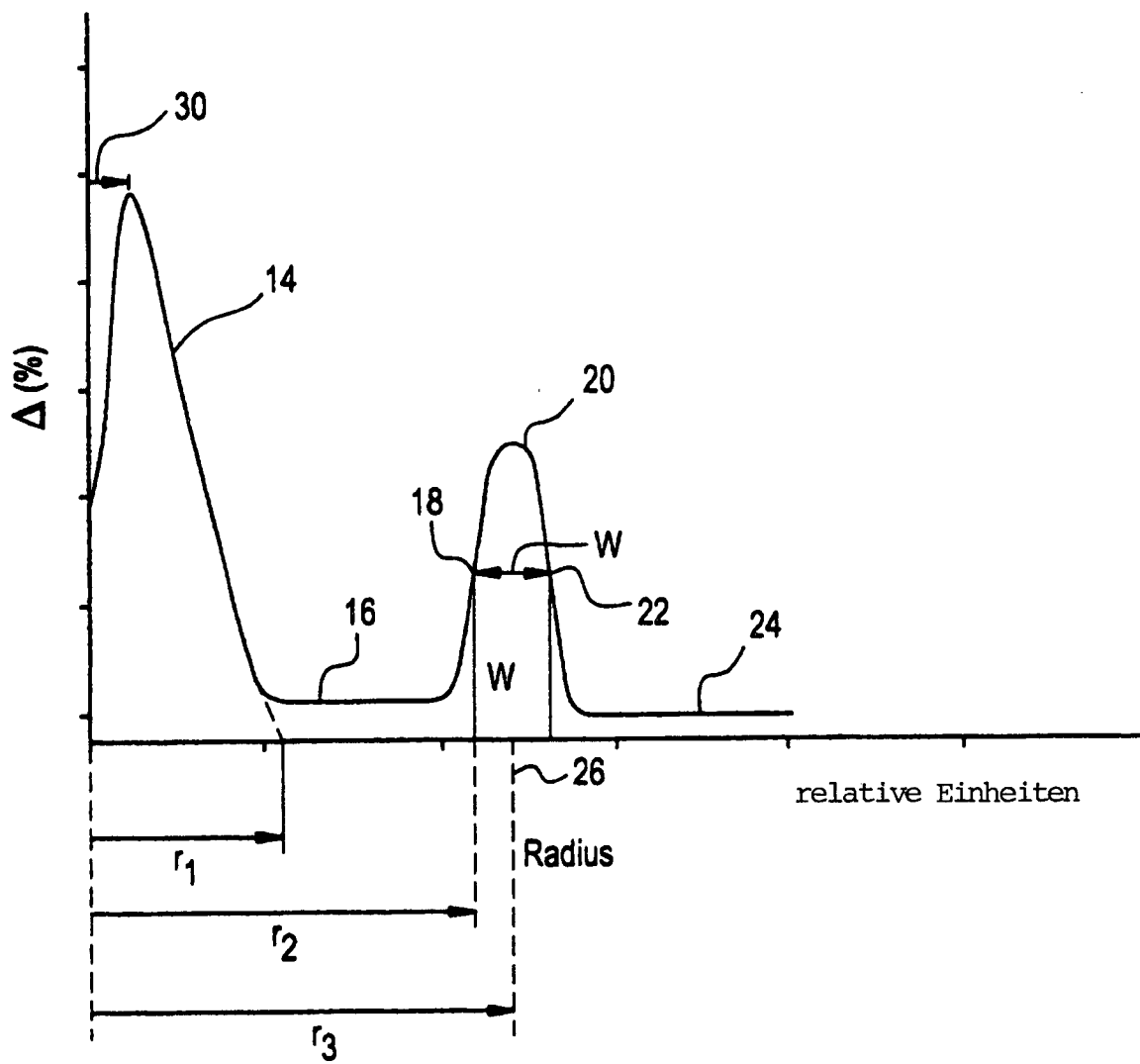


FIG. 3

