



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 600 33 765 T2** 2007.11.22

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 103 830 B1**

(51) Int Cl.⁸: **G02B 6/02** (2006.01)

(21) Deutsches Aktenzeichen: **600 33 765.0**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **00 403 301.5**

(96) Europäischer Anmeldetag: **24.11.2000**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **30.05.2001**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **07.03.2007**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **22.11.2007**

(30) Unionspriorität:

9914829 25.11.1999 FR

(84) Benannte Vertragsstaaten:

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

(73) Patentinhaber:

Draka Comteq B.V., Amsterdam, NL

(72) Erfinder:

Sillard, Pierre, 78150 Le Chesnay, FR; de Montmorillon, Louis-Anne, 75017 Paris, FR; Fleury, Ludovic, 78390 Bois d'Arcy, FR; Nouchi, Pascale, 78600 Maisons Laffitte, FR

(74) Vertreter:

Patent- und Rechtsanwälte Kraus & Weisert, 80539 München

(54) Bezeichnung: **Dispersionsverschobene optische Faser für ein faseroptisches Wellenlängenmultiplexübertragungssystem**

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

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft das Gebiet der Übertragungen durch ein optische Faser und insbesondere das Gebiet der Wellenlängen-Multiplexübertragungen über Leitungsfasern mit versetzter chromatischer Dispersion.

[0002] Für optische Fasern wird allgemein das Indexprofil in Abhängigkeit von dem Aussehen des Graphen der Funktion, welche den Brechungsindex dem Radius der Faser zuordnet, eingestuft. In klassischer Weise wird auf den Abszissen der Abstand r vom Mittelpunkt der Faser und auf den Ordinaten der Unterschied zwischen dem Brechungsindex und dem Brechungsindex der Hülle der Faser dargestellt. Es wird somit von einem „stufenförmigen“, „trapezförmigen“ oder „dreieckigen“ Indexprofil für Graphen, welche Stufen-, Trapez- bzw. Dreiecksform aufweisen, gesprochen. Diese Kurven sind allgemein repräsentativ für das theoretische Profil oder den Soll-Wert der Faser, wobei die Herstellungsbedingungen der Faser zu einem wesentlich unterschiedlichen Profil führen können.

[0003] Um eine Faser in einem Übertragungssystem und insbesondere in einem Wellenlängen-Multiplexübertragungssystem zu benutzen, ist es von Interesse, dass die Faser eine große effektive Oberfläche in dem Wellenlängenbereich des Multiplexens aufweist. Eine große effektive Oberfläche erlaubt es, die Leistungsdichte in der Faser bei gesamter konstanter Leistungsdichte zu begrenzen und ungewünschte nichtlineare Effekte zu begrenzen oder zu vermeiden.

[0004] Für die Systeme mit hohem Durchsatz ist es zudem nützlich, dass die Faser eine monomodige Fortpflanzung der Multiplexkanäle sicherstellt. Die ITU-T G 650 gibt eine Definition der Abschneidewellenlänge im Kabel bzw. verkabelt. Die theoretische Abschneidewellenlänge der Faser ist im Allgemeinen um einige hundert nm größer als die Abschneidewellenlänge im Kabel. Es scheint in der Tat, dass die Fortpflanzung in einer optischen Faser monomodig sein kann, auch wenn die theoretische Abschneidewellenlänge größer ist als die Wellenlänge der benutzten Signale: de facto verschwinden die sekundären Moden jenseits einer Distanz von einigen Metern oder einigen zehn Metern, welche klein verglichen mit den Fortpflanzungsdistanzen in den optischen Faserübertragungssystemen ist, aufgrund einer zu hohen Dämpfung. Die Fortpflanzung in dem Übertragungssystem ist demnach monomodig.

[0005] Es ist auch wichtig, dass die Faser eine möglichst geringe Empfindlichkeit gegenüber Krümmungen und Mikrokrümmungen aufweist. Die Empfindlichkeit gegenüber Krümmungen wird wie in der Empfehlung ITU-T G-650 bewertet, indem die Dämpfung gemessen wird, welche durch das Aufrollen von 100 Wicklungen einer Faser um eine Spule mit Radius 30 mm hervorgerufen wird. Die Empfindlichkeit gegenüber Mikrokrümmungen wird in an sich bekannter Weise gemessen; sie kann wie im Folgenden im Verhältnis zu einer Faser wie der durch die Anmelderin unter der Bezeichnung ASMF 200 kommerziell vertriebenen Faser gemessen werden.

[0006] In den neuen Übertragungsnetzen mit hohem Durchsatz, welche Wellenlängenmultiplexen benutzen, ist es vorteilhaft, die Steigung der chromatischen Dispersion in dem Wellenlängenbereich des Multiplexens zu begrenzen; das Ziel ist es, die Verzerrung zwischen den Multiplexkanälen im Verlauf der Übertragung zu minimieren.

[0007] Auf dem Markt sind Fasern mit versetzter Dispersion oder DSF (für „Dispersion Shifted Fiber“ auf Englisch) aufgetaucht. Diese Fasern sind derart, dass ihre chromatische Dispersion bei der Wellenlänge der Übertragung, bei welcher sie benutzt werden, im Wesentlichen Null ist, wobei letztere im Allgemeinen verschieden von der Wellenlänge von $1,3\ \mu\text{m}$ ist, für welche die Dispersion von Quarz bzw. Quarzglas im Wesentlichen Null ist. In anderen Worten wird die chromatische Dispersion von Quarz, ungleich Null, durch eine Vergrößerung des Indexunterschieds Δn zwischen dem Kern der Faser und der optischen Hülle kompensiert. Dieser Indexunterschied erlaubt es, die Wellenlänge zu versetzen, für welche die chromatische Dispersion Null ist, er wird durch das Einbringen von Dotierstoffen in die Vorform während deren Herstellung beispielsweise durch ein für sich genommen bekanntes MCVD-Verfahren, welches hier nicht detailliert beschrieben wird, erhalten. Man bezeichnet mit NZ-DSF (für „Non-Zero Dispersion Shifted Fiber“ auf Englisch) Fasern mit versetzter Dispersion, welche für die Wellenlängen, bei welchen sie benutzt werden, eine chromatische Dispersion ungleich Null aufweisen. Der Wert ungleich Null der chromatischen Dispersion erlaubt es, die nichtlinearen Effekte in der Faser zu begrenzen, und insbesondere das vier-Wellen-Mischen zwischen den Multiplexkanälen.

[0008] Der Artikel von P. Nouchi: „Maximum effective area for nonzero dispersion-shifted fiber“ OFC '98. Optical fiber communication conference and exhibit technical digest. Conference edition, San Jose, CA, Febr.

22-27, 1998, Seite 303/304 XP002105703 optical society of America ISBN: 0-7803-4415-4 betrifft die Modellierung der NZ-DSF Faser, welche große effektive Oberflächen aufweist, welche bis zu $90 \mu\text{m}^2$ gehen können. Eine Vielzahl von Profiltypen werden dort studiert: sockelförmig, Trapez und Ring, koaxial, koaxial und Ring. Die gesehenen Werte der chromatischen Dispersion und der Steigung der Dispersion waren dort gleich $4 \text{ ps/nm}\cdot\text{km}$ bzw. $0,08 \text{ ps/nm}^2\cdot\text{km}$ bei der Wellenlänge von 1550 nm .

[0009] Das Dokument EP 0 883 002 offenbart in Bezug auf seine **Fig. 3C** verkabelte monomodige DSF-Fasern mit einem Stufenprofil mit Ring und einer mittleren Steigung der chromatischen Dispersion von $0,043 \text{ ps/nm}^2\cdot\text{km}$. Diese Fasern weisen währenddessen eine negative chromatische Dispersion um 1550 nm auf.

[0010] Das Problem der DSF-Fasern wie in dem Dokument EP 0 859 247 erklärt ist es, dass im Allgemeinen die Steigung der chromatischen Dispersion wächst, wenn die effektive Oberfläche vergrößert wird.

[0011] Die EP 0 859 247 A beschreibt DSF-Fasern mit ringförmigem Profil und erklärt, dass für derartige Fasern ein Bereich existiert, in welchem die effektive Oberfläche und die Steigung der chromatischen Dispersion entgegengesetzte Variationsrichtungen aufweisen. Die als Beispiel gegebenen Fasern weisen eine negative chromatische Dispersion zwischen $-4,5$ und $-1,0 \text{ ps/nm}\cdot\text{km}$ auf. Sie weisen eine Abschneidewellenlänge größer als 1500 nm für eine Faserlänge von 2 m auf. Das Dokument stellt klar, dass dieser erhöhte Wert der Abschneidewellenlänge in dem Maße nicht störend ist, in dem die Abschneidewellenlänge mit der Fortpflanzungsentfernung abnimmt, und dass eine monomodige Fortpflanzung für Übertragungsentfernungen der Größenordnung 1000 km sichergestellt wird.

[0012] Die Erfindung schlägt eine optische Faser vor, welche geeignet ist, verkabelt zu werden, und welche einen vorteilhaften Kompromiss zwischen der effektiven Oberfläche und der Steigung der chromatischen Dispersion insbesondere aufgrund der Wahl der Abschneidewellenlänge aufweist und welche bequem herzustellen ist.

[0013] Genauer gesagt hat die Erfindung eine optische Monomodfaser als Kabel gemäß Anspruch 1 zum Gegenstand.

[0014] Die Faser gemäß der Erfindung weist zugleich eine große effektive Oberfläche, eine positive chromatische Dispersion um 1550 nm und eine Steigung der chromatischen Dispersion, welche gering bleibt, auf. Sie weist den Vorteil auf, die Forderungen hinsichtlich der Verluste durch Krümmungen und der Empfindlichkeit gegenüber Mikrokrümmungen zu befriedigen, wobei sie gleichzeitig von bequemer Herstellung ist.

[0015] Die erfindungsgemäße Faser weist bei 1550 nm eine chromatische Dispersion zwischen 5 und $11 \text{ ps/nm}\cdot\text{km}$ und/oder eine Steigung der Dispersion kleiner als $0,07 \text{ ps/nm}^2\cdot\text{km}$ auf.

[0016] Bevorzugt weist die erfindungsgemäße Faser ein Verhältnis zwischen der effektiven Oberfläche und der Steigung der chromatischen Dispersion größer oder gleich $1000 \mu\text{m}^2\cdot\text{nm}^2\cdot\text{km/ps}$ auf. Dieses Verhältnis bleibt bevorzugt kleiner als $5000 \mu\text{m}^2\cdot\text{nm}^2\cdot\text{km/ps}$, beispielsweise bei $2500 \mu\text{m}^2\cdot\text{nm}^2\cdot\text{km/ps}$.

[0017] Bevorzugt weist die erfindungsgemäße Faser eine Wellenlänge der Aufhebung der chromatischen Dispersion λ_0 kleiner oder gleich 1480 nm auf.

[0018] Bei einem Ausführungsbeispiel ist die effektive Oberfläche der Faser größer oder gleich $70 \mu\text{m}^2$.

[0019] Die Faser gemäß der Erfindung weist bei 1550 nm Verluste durch Krümmungen kleiner oder gleich $0,05 \text{ dB}$ für 100 Umläufe der Faser um einen Radius von 30 mm und bevorzugt kleiner oder gleich $0,005 \text{ dB}$ auf. Sie kann zudem eine Empfindlichkeit gegenüber Mikrokrümmungen kleiner als $1,2$ und bevorzugt kleiner als $0,8$ aufweisen.

[0020] Bevorzugt weist die Faser eine theoretische Abschneidewellenlänge größer als 1550 nm und eine verkabelte Abschneidewellenlänge kleiner als 1300 nm auf.

[0021] Bei einem Ausführungsbeispiel weist die Faser bei 1550 nm eine Dämpfung kleiner oder gleich $0,23 \text{ dB/km}$ und eine modale Polarisationsdispersion kleiner oder gleich $0,1 \text{ ps}\cdot\text{km}^{-0,5}$ auf.

[0022] Der Unterschied zwischen dem Index des zentralen Abschnitts der Faser und dem Index der optischen Hülle kann zwischen $5\cdot 10^{-3}$ und $9\cdot 10^{-3}$ enthalten sein. In diesem Fall ist das Verhältnis zwischen dem Radius

des zentralen Abschnitts und dem Außenradius des Rings zwischen 0,23 und 0,45 enthalten.

[0023] Weiterhin vorteilhafterweise kann der Unterschied zwischen dem Index der mittleren Zone und dem Index der optischen Hülle zwischen $-4 \cdot 10^{-3}$ und $1 \cdot 10^{-3}$ und bevorzugt zwischen $-3 \cdot 10^{-3}$ und $5 \cdot 10^{-4}$ enthalten sein. In diesem Fall kann das Verhältnis zwischen dem Außenradius der mittleren Zone und dem Außenradius des Rings zwischen 0,45 und 0,75 und bevorzugt zwischen 0,48 und 0,7 enthalten sein.

[0024] Gemäß einem vorteilhaften Ausführungsbeispiel kann der Unterschied zwischen dem Index des Rings und dem Index der optischen Hülle zwischen $5 \cdot 10^{-4}$ und $5 \cdot 10^{-3}$ enthalten sein. In diesem Fall ist es vorteilhaft, wenn der Außenradius des Rings zwischen 7 und 13 μm enthalten ist.

[0025] Erfindungsgemäß ist das Integral

$$S_{23} = 2 \times \int_{r_1}^{r_3} \Delta n(r) \times r \times dr$$

wobei r_3 der Außenradius der ringförmigen Zone ist), zwischen $30 \cdot 10^{-3}$ und $150 \cdot 10^{-3} \mu\text{m}^2$ und bevorzugt zwischen $55 \cdot 10^{-3}$ und $140 \cdot 10^{-3} \mu\text{m}^2$ enthalten.

[0026] Im Übrigen können vorteilhafterweise die Parameter der erfindungsgemäßen Faser vorteilhafterweise in einer Weise gewählt werden, eine oder mehrere der folgenden Gleichungen zu erfüllen, in welchen r der Radius und $\Delta n(r)$ der Indexunterschied zwischen dem Index am Punkt des Radius r und dem Index der optischen Hülle ist:

- $S_1 = 2 \times \int_0^{r_1} \Delta n(r) \times r \times dr$

wobei r_1 der Radius des zentralen Abschnitts ist) enthalten zwischen $45 \cdot 10^{-3}$ und $110 \cdot 10^{-3} \mu\text{m}^2$ und bevorzugt zwischen $50 \cdot 10^{-3}$ und $100 \cdot 10^{-3} \mu\text{m}^2$.

- $S_{12} = 2 \times \int_0^{r_2} \Delta n(r) \times r \times dr$

(wobei r_2 der Außenradius der mittleren Zone ist) größer als $25 \cdot 10^{-3} \mu\text{m}^2$ und bevorzugt enthalten zwischen $30 \cdot 10^{-3}$ und $100 \cdot 10^{-3} \mu\text{m}^2$.

- $S_{123} = 2 \times \int_0^{r_3} \Delta n(r) \times r \times dr$

kleiner als $220 \cdot 10^{-3} \mu\text{m}^2$ und bevorzugt enthalten zwischen $130 \cdot 10^{-3}$ und $205 \cdot 10^{-3} \mu\text{m}^2$.

[0027] Die Erfindung schlägt auch ein Übertragungssystem mit optischer Faser zum Wellenlängenmultiplexen vor, umfassend eine derartige Faser als Leitungsfaser. Es ist dann möglich, zudem eine Faser zur Dispersionskompensierung vorzusehen.

[0028] Andere Eigenschaften und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der Lektüre der folgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen der Erfindung, welche beispielhaft und unter Bezugnahme auf die einzige beigefügte Figur, welche eine schematische Darstellung des Indexprofils in Stufen mit Ring einer erfindungsgemäßen Faser zeigt, gegeben wird.

[0029] Bei allen Ausführungsbeispielen werden die Radien r in Mikrometer (μm) gegeben und in Bezug auf die Achse der Faser gemessen. Die Indizes Δn werden durch die Differenz zu dem Index der Hülle der Faser gemessen.

[0030] Die Faser umfasst einen von einer optischen Hülle **13** umgebenen optischen Kern. Das Indexprofil des Kerns besteht ausgehend von dem Zentrum der Faser aus:

- Einem gestuften zentralen Abschnitt **10** mit Radius r_1 mit einem Indexunterschied Δn_1 bezogen auf die optische Hülle **13**, welcher im Wesentlichen konstant und positiv ist
- Eine mittlere Zone **11**, welche sich bis zu einem Radius r_2 erstreckt und welche einen Indexunterschied

Δn_2 bezogen auf die optische Hülle **13** aufweist, welcher im Wesentlichen konstant, positiv oder negativ, und immer kleiner als Δn_1 ist

- Eine ringförmige Zone oder einen Ring **12**, welche sich bis zu einem Radius r_3 erstreckt und welche einen Indexunterschied Δn_3 aufweist, welcher im Wesentlichen konstant, positiv und kleiner als Δn_1 ist.

[0031] Die optische Hülle **13** der Faser erstreckt sich um den Ring **12** herum.

[0032] Die folgende Tabelle 1 gibt mögliche Werte der Radien und der Indizes für Fasern auf, welche diese Art von Stufenprofil mit Ring aufweisen.

Tabelle 1

Nr.	r_1	r_2	r_3	$10^{-3} \cdot \Delta n_1$	$10^{-3} \cdot \Delta n_2$	$10^{-3} \cdot \Delta n_3$
1	3,4	5,5	8,5	7,2	-2,2	3,2
2	2,9	6,5	10	7,5	0	2,2
3*	3,3	5,1	7,8	7,1	-2,1	3,2
4*	3,7	5,6	9	6,7	-3,3	2,1
5*	3,2	5,2	10,8	6,9	0	1,2
6*	3,3	6	11,6	6,8	0	1,3
7*	3	5,1	8,7	7	0,35	2,5
8	3,6	5,7	8,8	5,9	0	2,5

* = erfindungsgemäß

[0033] Die Eigenschaften der erfindungsgemäßen Fasern erlauben eine Herstellung durch klassische Verfahren; zum Vergleich entspricht der Wert des Indexunterschieds von 1%, welcher laufend im Stand der Technik erwähnt wird, einem Unterschied Δn_1 gleich $14,5 \cdot 10^{-3}$. Man stellt fest, dass die Erfindung weder große Indizes noch Schichten mit sehr geringem Radius impliziert und somit Herstellungsprobleme und ebenso eine exzessive Dämpfung der Faser vermeidet.

[0034] Die durch diese Werte der Radien und Indizes erhaltenen Fasern weisen die in den entsprechenden Zeilen der Tabelle 2 gegebenen Eigenschaften bei $1,55 \mu\text{m}$ außer für die theoretischen Abschneidewellenlängen und die Wellenlängen der Aufhebung der chromatischen Dispersion auf. Die Einheiten sind die folgenden:

- theoretische Abschneidewellenlänge λ_{cth} : nm
- Wellenlänge der Aufhebung der chromatischen Dispersion λ_0 : nm
- chromatische Dispersion C: ps/(nm·km)
- Steigung der chromatischen Dispersion C': ps/(nm²·km)
- effektive Oberfläche S_{eff} : μm^2
- Verluste durch Krümmungen PC: dB
- Verluste durch Mikrokrümmungen $S_{\mu\text{c}}$: keine

[0035] Die Verluste durch Krümmungen sind wie weiter oben angedeutet durch Aufrollen von 100 Umdrehungen der Faser um einen Radius von 30 mm und durch Messungen der verursachten Verluste gemessen. Die Verluste durch Mikrokrümmungen $S_{\mu\text{c}}$ werden bezogen auf die von der Anmelderin kommerziell vertriebene Faser ASMF 200 gemessen und sind dimensionslos. Das Verhältnis S_{eff}/C' weist die Einheit $\mu\text{m}^2 \cdot \text{nm}^2 \cdot \text{km}/\text{ps}$ auf.

Tabelle 2

Nr.	Λ_{cth}	Λ_0	C	C'	S_{eff}	S_{eff}/C'	PC	$S_{\mu c}$
1	1700	1475	4	0,054	62	1150	$<10^{-5}$	0,69
2	1780	1475	4	0,057	62	1090	$<10^{-5}$	0,71
3*	1630	1460	6	0,068	68	1010	$<10^{-5}$	0,73
4*	1550	1380	8	0,048	62	1290	$<10^{-5}$	0,64
5*	1630	1410	8	0,058	65	1130	$<10^{-5}$	0,67
6*	1780	1400	8	0,054	65	1200	$<10^{-5}$	0,65
7*	1780	1440	8	0,075	78	1040	$<10^{-5}$	0,82
8	1780	1370	12	0,067	88	1310	$<10^{-5}$	0,93

* = erfindungsgemäß

[0036] Bei allen Beispielen der Tabelle 1 erlauben es Variationen von $5 \cdot 10^{-4}$ der Indizes Δn_1 , Δn_2 und Δn_3 es, ähnliche Ergebnisse zu erhalten. Es ist dasselbe für die Radien, welche individuell um 10% verglichen mit den gegebenen Werten variieren können, wobei nach wie vor analoge Ergebnisse erhalten werden.

[0037] Die Erfindung kann durch den Fachmann mit Hilfe von bekannten Techniken hergestellt werden, wie MCVD oder anderen derzeit für die Herstellung von optischen Fasern benutzten Techniken.

[0038] Die Faser der Erfindung kann vorteilhafterweise als Leitungsfaser in Übertragungssystemen und insbesondere in Übertragungssystemen mit Wellenlängenmultiplexen für den Benutzungsbereich 1300 nm bis 1630 nm benutzt werden. Es kann in einem System, welches eine derartige Leitungsfaser benutzt, zudem eine Dispersionskompensationsfaser vorgesehen werden, welche in dem System in regelmäßigen Abständen angeordnet ist, um das kumulierte Anwachsen der chromatischen Dispersion entlang der Übertragungsleitung zu begrenzen.

[0039] Selbstverständlich ist die vorliegende Erfindung nicht auf die beschriebenen und dargestellten Beispiele und Ausführungsbeispiele beschränkt, sondern ist für zahlreiche Abwandlungen im Zugriffsbereich des Fachmanns empfänglich.

Patentansprüche

1. Optische Monomod-Faser als Kabel, umfassend einen von einer optischen Hülle mit einem konstanten Brechungsindex umgebenen optischen Kern, wobei der optische Kern ein Indexprofil aufweist, welches aus einem zentralen Abschnitt in Form einer Stufe umgeben von einer mittleren Zone mit einem Brechungsindex kleiner als demjenigen des zentralen Abschnitts umgeben ist, welche wiederum von einer ringförmigen Zone mit einem Brechungsindex kleiner als demjenigen des zentralen Abschnitts und größer als demjenigen der mittleren Zone und der Hülle umgeben ist, zusammengesetzt ist, wobei die Faser für eine Wellenlänge von 1550 nm eine Steigung der chromatischen Dispersion enthalten zwischen 0 und $0,1 \text{ ps/nm}^2 \times \text{km}$ aufweist, wobei die Faser ein Verhältnis zwischen der effektiven Oberfläche und der Steigung der chromatischen Dispersion größer als $900 \mu\text{m}^2 \times \text{nm}^2 \times \text{km/ps}$ und eine effektive Oberfläche größer oder gleich $60 \mu\text{m}^2$ aufweist, wobei die Faser **dadurch gekennzeichnet** ist, dass sie für eine Wellenlänge von 1550 nm unter anderem die folgenden Eigenschaften aufweist:

– eine chromatische Dispersion enthalten zwischen 5 und $11 \text{ ps/(nm} \times \text{km)}$, wobei der Indexunterschied Δn_1 zwischen dem Index des zentralen Abschnitts und dem Index der Hülle zwischen 5×10^{-3} und 9×10^{-3} enthalten ist, wobei das Verhältnis r_1/r_3 zwischen dem Radius r_1 des zentralen Abschnitts und dem Außenradius r_3 des Rings zwischen 0,23 und 0,45 enthalten ist, wobei die durch

$$S_{23} = 2 \times \int_{r_1}^{r_3} \Delta n(r) \times r \times dr$$

definierte Größe S_{23} , wobei r der Radius und $\Delta n(r)$ der Indexunterschied zwischen dem Index am Punkt des

Radius r und dem Index der optischen Hülle ist und wobei r_3 der Außenradius der ringförmigen Zone ist, zwischen 30×10^{-3} und $150 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ enthalten ist.

2. Faser nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass sie bei 1550 nm eine Steigung der Dispersion kleiner als $0,07 \text{ ps}/(\text{nm}^2 \times \text{km})$ aufweist.

3. Faser nach einem der Ansprüche 1-2, dadurch gekennzeichnet, dass sie ein Verhältnis zwischen der effektiven Oberfläche und der Steigung der chromatischen Dispersion größer oder gleich $1000 \mu\text{m}^2 \times \text{nm}^2 \times \text{km}/\text{ps}$ und bevorzugt kleiner oder gleich $5000 \mu\text{m}^2 \times \text{nm}^2 \times \text{km}/\text{ps}$ aufweist.

4. Faser nach einem der Ansprüche 1-3, dadurch gekennzeichnet, dass sie eine Wellenlänge der Aufhebung der chromatischen Dispersion kleiner oder gleich 1480 nm aufweist.

5. Faser nach einem der Ansprüche 1-4, dadurch gekennzeichnet, dass sie eine effektive Oberfläche größer oder gleich $70 \mu\text{m}^2$ aufweist.

6. Faser nach einem der Ansprüche 1-5, dadurch gekennzeichnet, dass sie bei 1550 nm Verluste durch Krümmungen kleiner oder gleich 0,05 dB für 100 Umläufe der Faser um einen Radius von 30 mm und bevorzugt kleiner oder gleich 0,005 dB aufweist.

7. Faser nach einem der Ansprüche 1-6, dadurch gekennzeichnet, dass sie eine Empfindlichkeit gegenüber Mikrokrümmungen kleiner als 1,2 und bevorzugt kleiner als 0,8 aufweist.

8. Faser nach einem der Ansprüche 1-7, dadurch gekennzeichnet, dass sie eine theoretische Abschneidewellenlänge größer als 1550 nm aufweist.

9. Faser nach einem der Ansprüche 1-8, dadurch gekennzeichnet, dass sie verkabelt eine Abschneidewellenlänge kleiner als 1300 nm aufweist.

10. Faser nach einem der Ansprüche 1-9, dadurch gekennzeichnet, dass sie bei 1550 nm eine Dämpfung kleiner oder gleich 0,23 dB/km aufweist.

11. Faser nach einem der Ansprüche 1-10, dadurch gekennzeichnet, dass sie eine modale Polarisationsdispersion kleiner oder gleich $0,1 \text{ ps} \times \text{km}^{-0,5}$ aufweist.

12. Faser nach einem der Ansprüche 1-11, dadurch gekennzeichnet, dass der Indexunterschied Δn_2 zwischen dem Index der mittleren Zone und dem Index der Hülle zwischen -4×10^{-3} und 1×10^{-3} und bevorzugt zwischen -3×10^{-3} und 5×10^{-4} enthalten ist.

13. Faser nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass das Verhältnis r_2/r_3 zwischen dem Außenradius r_2 der mittleren Zone und dem Außenradius r_3 der ringförmigen Zone zwischen 0,45 und 0,75 und bevorzugt zwischen 0,48 und 0,7 enthalten ist.

14. Faser nach einem der Ansprüche 1-13, dadurch gekennzeichnet, dass der Indexunterschied Δn_3 zwischen dem Index der ringförmigen Zone und dem Index der Hülle zwischen 5×10^{-4} und 5×10^{-3} enthalten ist.

15. Faser nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass der Außenradius r_3 der ringförmigen Zone zwischen 7 und 13 μm enthalten ist.

16. Faser nach einem der Ansprüche 1-15, dadurch gekennzeichnet, dass die durch

$$S_1 = 2 \times \int_0^{r_1} \Delta n(r) \times r \times dr$$

definierte Größe S_1 , wobei r der Radius und $\Delta n(r)$ der Indexunterschied zwischen dem Index am Punkt des Radius r und dem Index der optischen Hülle ist und wobei r_1 der Radius des zentralen Abschnitts ist, zwischen 45×10^{-3} und $110 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ und bevorzugt zwischen 50×10^{-3} und $100 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ enthalten ist.

17. Faser nach einem der Ansprüche 1-16, dadurch gekennzeichnet, dass die durch

$$S_{12}=2\times\int_0^{r_2}\Delta n(r)\times r\times dr$$

definierte Größe S_{12} , wobei r der Radius und $\Delta n(r)$ der Indexunterschied zwischen dem Index am Punkt des Radius r und dem Index der optischen Hülle ist und wobei r_2 der Außenradius der mittleren Zone ist, größer als $25 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ist und bevorzugt zwischen 30×10^{-3} und $100 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ enthalten ist.

18. Faser nach einem der Ansprüche 1-17, dadurch gekennzeichnet, dass die Größe S_{23} zwischen 55×10^{-3} und $140 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ enthalten ist.

19. Faser nach einem der Ansprüche 1-18, dadurch gekennzeichnet, dass die durch

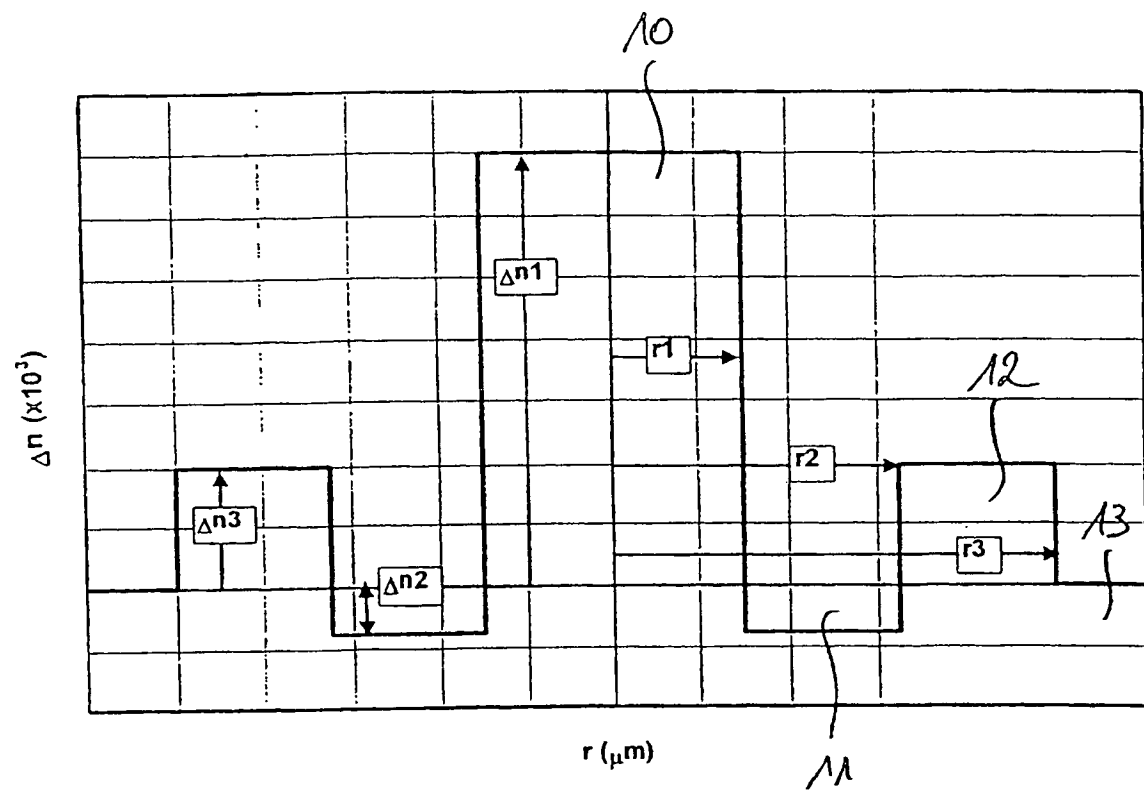
$$S_{123}=2\times\int_0^{r_3}\Delta n(r)\times r\times dr$$

definierte Größe S_{123} , wobei r der Radius und $\Delta n(r)$ der Indexunterschied zwischen dem Index am Punkt des Radius r und dem Index der optischen Hülle ist und wobei r_3 der Außenradius der ringförmigen Zone ist kleiner als $220 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ist und bevorzugt zwischen 130×10^{-3} und $205 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ enthalten ist.

20. Transmissionssystem mit optischer Faser zum Wellenlängenmultiplexen, umfassend die Faser nach einem der Ansprüche 1-19 als Leitungsfaser.

21. Transmissionssystem nach Anspruch 20, weiterhin umfassend eine Faser zur Dispersionskompensierung.

Es folgt ein Blatt Zeichnungen



Einzigste Figur