



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 600 08 045 T2 2004.12.09**

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 076 250 B1**

(51) Int Cl.7: **G02B 6/22**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **600 08 045.5**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **00 402 264.6**

(96) Europäischer Anmeldetag: **10.08.2000**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **14.02.2001**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **04.02.2004**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **09.12.2004**

(30) Unionspriorität:

22890499 12.08.1999 JP

2000012259 20.01.2000 JP

(84) Benannte Vertragsstaaten:

DE, FR, GB, IT

(73) Patentinhaber:

Fujikura Ltd., Tokio/Tokyo, JP

(72) Erfinder:

Aikawa, Kazuhiko, Sakura-shi, Chiba-ken, JP; Suzuki, Takashi, Sakura-shi, Chiba-ken, JP; Wada, Akira, Sakura-shi, Chiba-ken, JP; Yamauchi, Ryozo, Sakura-shi, Chiba-ken, JP; Suzuki, Takaaki, Sakura-shi, Chiba-ken, JP; Matsuo, Shoichiro, Sakura-shi, Chiba-ken, JP; Saitou, Manabu, Sakura-shi, Chiba-ken, JP

(74) Vertreter:

PRÜFER & PARTNER GbR, 81545 München

(54) Bezeichnung: **Glasfaser mit grosser effektiver Fläche und dispersionskompensiertes optisches Übertragungssystem**

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

Gebiet der Erfindung

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf eine optische Faser oder Glasfaser sowie auf ein optisches Übertragungssystem, das diese optische Faser bzw. Glasfaser anwendet. Speziell bezieht sich die vorliegende Erfindung auf eine optische Faser mit einer relativ einfachen Struktur, die eine erhöhte effektive Kernfläche aufweist und die Nichtlinearität in einem angewandten Wellenlängenband, das aus dem Bereich von 1,53~1,63 μm ausgewählt ist, zu reduzieren vermag, sowie auf ein diese optische Faser anwendendes, optisches Übertragungssystem.

Hintergrundtechnik

[0002] Indem Verstärker mit Erbium-dotierter, optischer Faser in die praktische Anwendung Einzug genommen haben, sind Systeme wie sehr weitreichende, nicht-wiederholende Relais für Wellenlängen von 1,53~1,63 μm kommerziell verfügbar geworden. Ferner ist mit der Erhöhung der Übertragungskapazität die Entwicklung der WDM-(Wellenlängentrennungsmultiplex-)Übertragung schnell vorangeschritten, wobei die Wellenlängenmultiplexübertragung bereits für eine Reihe von Übertragungswegen kommerziell verfügbar war. Für die Zukunft wird ein rasches Wachstum bei der Anzahl von Wellenlängenmultiplexen vorausgesagt.

[0003] Bei der WDM-Übertragung ist die optische Leistung, die durch die optische Faser voranschreitet, sehr stark erhöht, um eine Anzahl von optischen Signalen unterschiedlicher Wellenlängen in einer einzigen optischen Faser zu übertragen. Zu diesem Zweck ist es wesentlich, eine Technik zum Vermindern der Nichtlinearität zu besitzen, so daß eine Verschlechterung in den Übertragungseigenschaften vermieden werden kann.

[0004] Die Stärke der Nichtlinearität wird als n_2/A_{eff} ausgedrückt, wobei n_2 , der nichtlineare Brechungsindex für die optische Faser ist, und A_{eff} die effektive Kernfläche der optischen Faser ist. Um die Nichtlinearität zu verringern, muß n_2 verringert werden, oder A_{eff} muß erhöht werden.

[0005] Da n_2 für das Material ein konstanter Wert ist, ist es sehr schwierig, n_2 in einer von Quarz stammenden optischen Faser deutlich zu verringern. Folglich muß A_{eff} erhöht werden. Eine Reihe von Ausgestaltungen mit komplizierten Brechungsindexprofilen, sind entwickelt worden, jedoch waren all diese ziemlich teuer.

[0006] Andererseits sind 1,3- μm -Einzelmodus-Optikfasern bei herkömmlichen Übertragungssystemen bereits angewandt worden.

[0007] Wenn das angewandte Wellenlängenband im Fall einer 1,3- μm -Einzelmodus-Optikfaser auf den Bereich 1,53~1,63 μm eingestellt wird, dann nimmt der Biegungsverlust (Makrobiegungsverlust) zu, und es tritt eine Verschlechterung hinsichtlich des Übertragungsverlusts auf, der aufgrund des leichten Biegens ansteigt, welches während des Legens der optischen Faser auftritt.

[0008] Deshalb ist eine Grenzverschiebungs- (Cut-off Shift) Optikfaser (CSF) vorgeschlagen worden, bei der der Biegungsverlust verringert ist, indem im Hinblick auf die 1,3- μm -Einzelmodus-Optikfaser Verbesserungen gemacht wurden.

[0009] Die CSF besitzt einen niedrigen Biegungsverlust im 1,5- μm -Wellenlängenband durch Verschieben der herkömmlichen Grenzwellenlänge (1,2 μm) der 1,3- μm -Einzelmodus-Optikfaser auf 1,4~1,5 μm .

[0010] Da diese Grenzverschiebungsoptik jedoch nicht zur Steuerung der Nichtlinearität bezweckt wird, liefert sie kein A_{eff} , das für diesen Zweck groß genug ist.

[0011] Das Dokument EP-A-0 789 255 offenbart eine optische Faser mit einem Brechungsindexprofil, die einen zentralen Kern, ein mittleres Teil, das um die äußere Peripherie des Kerns herum bereitgestellt ist und einen niedrigeren Brechungsindex als dem Kern besitzt, sowie eine Hülle, die um die Peripherie des mittleren Teils herum vorgesehen ist und einen höheren Brechungsindex als dem des mittleren Teils und einen niedrigeren Brechungsindex als dem Kern besitzt, aufweist, wobei die Faser eine wirksame Kernfläche von 257 μm^2 in einem Wellenlängenband im Bereich von 1,535 μm –1,575 μm sowie eine Grenz-Wellenlänge von 1,809 μm aufweist, dabei einen Einzelmodusbetrieb im besagten Wellenband bereitstellend.

ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

[0012] Die vorliegende Erfindung richtet sich deshalb auf die Bereitstellung einer optischen Faser, bei der das Aeff verbessert ist in einem verwendeten Wellenlängenband, das aus dem Bereich von 1,53~1,63 μm ausgewählt ist.

[0013] Es ist ferner die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine optische Faser bereitzustellen, die ein relativ einfaches Brechungsindexprofil aufweist, das bei niedrigen Kosten hergestellt werden kann.

[0014] Um die oben beschriebenen Probleme zu lösen, ist die optische Faser der vorliegenden Erfindung mit einem Brechungsindexprofil versehen, das einen zentralen Kern, einen mittleren Teil, der um die äußere Peripherie des zentralen Kerns herum breitgestellt ist und einen niedrigeren Brechungsindex als der zentrale Kern aufweist, sowie eine Hülle besitzt, die einen Brechungsindex aufweist, der höher ist als der mittlere Teil, jedoch niedriger als der zentrale Kern. Die optische Faser der vorliegenden Erfindung besitzt eine effektive Kernfläche, die 120 μm^2 oder größer ist in einem angewandten Wellenlängenband, das aus dem Bereich von 1,53~1,63 μm ausgewählt ist, und eine Grenz-Wellenlänge aufweist, die im wesentlichen eine Einzelmodusausbreitung in diesem angewandten Wellenlängenband gestattet. Zusätzlich kann ein optisches Übertragungssystem aufgebaut werden, in dem eine dispersionskompensierende optische Faser an der Seite der optischen Faser angebracht wird, wo das optische Signal emittiert wird, um die Wellenlängendispersion und/oder die Dispersionsneigung der optischen Faser zu kompensieren.

[0015] Durch Einstellen der Strukturparameter einer optischen Faser mit einem Brechungsindexprofil einer relativ einfachen Struktur ist es bei der vorliegenden Erfindung möglich, bei niedrigen Kosten eine optische Faser bereitzustellen, die ein erhöhtes Aeff und eine Grenz-Wellenlänge aufweist, die eine Einzelmodusausbreitung in einem angewandten Wellenlängenband, das im Bereich von 1,53~1,63 μm ausgewählt ist, ermöglicht. Darüber hinaus kann der Biegungsverlust auf einen Wert vermindert werden, der für die Anwendung akzeptabel ist.

[0016] Als ein Ergebnis ermöglicht die vorliegende Erfindung die Bereitstellung einer optischen Faser, bei der ein Übertragungsverlust vermieden wird, indem die Nichtlinearität in einem angewandten Wellenlängenband, das aus dem Bereich von 1,53~1,63 μm ausgewählt wird, vermindert wird. Gleichzeitig tritt bei der optischen Faser der vorliegenden Erfindung nicht ohne weiteres eine Verschlechterung des Übertragungsverlusts aufgrund einer Mikroverbiegung, die während eines Einbaus auftreten kann, auf, und es wird eine Einzelmodusausbreitung sichergestellt.

[0017] Durch Kombinieren der optischen Faser der vorliegenden Erfindung mit einer dispersionskompensierenden optischen Faser ist es ferner möglich, die Verschlechterung des optischen Signals, die durch Nichtlinearität und Dispersionseigenschaften verursacht wird, zu vermindern, und ein optisches Übertragungssystem aufzubauen, welches ausgezeichnete Übertragungseigenschaften aufweist.

[0018] Gemäß einem ersten Gegenstand der vorliegenden Erfindung wird eine optische Faser gemäß Anspruch 1 bereitgestellt.

[0019] Gemäß einem zweiten Gegenstand der Erfindung wird eine optische Faser gemäß Anspruch 9 zur Verfügung gestellt.

[0020] Gemäß einem dritten Gegenstand der Erfindung wird ein optisches Übertragungssystem gemäß Anspruch 10 bereitgestellt.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0021] Fig. 1 ist eine Schnittansicht eines Beispiels einer harzbeschichteten optischen Faser.

[0022] Fig. 2 ist eine Grafik, die ein Beispiel der Beziehung zwischen Aeff und der Erhöhung im Sandpapier-Spannwicklungsverlust zeigt.

[0023] Fig. 3 ist eine Grafik, die ein erstes Beispiel des Brechungsindexprofils für die optische Faser der vorliegenden Erfindung zeigt.

[0024] Fig. 4 ist eine Grafik, die die Beziehung zwischen der Grenz-Wellenlänge gemäß der 2-m-Methode so-

wie A_{eff} und dem Biegungsverlust bei einer angewandten Wellenlänge von $1,55 \mu\text{m}$ zeigt, wenn die in **Fig. 3** gezeigten Strukturparameter variiert werden.

[0025] **Fig. 5** ist eine Grafik, die ein zweites Beispiel eines Brechungsindexprofils der optischen Faser der vorliegenden Erfindung zeigt.

BESCHREIBUNG DER BEVORZUGTEN AUSFÜHRUNGSFORMEN

[0026] Das angewandte Wellenlängenband für die optische Faser der vorliegenden Erfindung wird aus dem Bereich von $1,53\sim 1,63 \mu\text{m}$ ausgewählt. Zum Beispiel ist ein Bereich von $1,53\sim 1,57 \mu\text{m}$ oder $1,57\sim 1,63 \mu\text{m}$ geeigneterweise ausgewählt, basierend auf dem verstärkten Wellenlängenband eines das Übertragungssystem aufbauenden, Erbium-dotierten optischen Faser-Verstärkers.

[0027] A_{eff} kann aus der nachfolgenden Gleichung bestimmt werden.

$$A_{eff} = \frac{2\pi \left\{ \int_0^a a |E(a)|^2 da \right\}^2}{\int_0^a a |E(a)|^4 da}$$

worin a der Kernradius ist und $E(a)$ die elektrische Feldstärke beim Radius a ist.

[0028] Es ist erwünscht, daß A_{eff} so groß wie möglich ist.

[0029] Basierend auf Untersuchungen, die durch die vorliegenden Erfinder durchgeführt wurden, ist die Verminderung der Nichtlinearität, wenn A_{eff} geringer als $120 \mu\text{m}^2$ ist, unzureichend. Deshalb wird angezeigt, daß A_{eff} $120 \mu\text{m}^2$ oder größer ist, und vorzugsweise $140 \mu\text{m}^2$ oder größer.

[0030] Wenn A_{eff} zu groß wird, kann aus den unten diskutierten Gründen der Übertragungsverlust ansteigen. Somit wird A_{eff} im wesentlichen so festgelegt, daß es $250 \mu\text{m}^2$ oder weniger ist.

[0031] Mit anderen Worten entstehen, wenn A_{eff} zu groß wird, solche Nachteile wie eine Verschlechterung des Übertragungsverlusts aufgrund Mikroverbiegung, sowie die Schwierigkeit einer Begutachtung während des Herstellungsprozesses. Je nach Struktur des Kabels wird darüber hinaus das Ausmaß der Schädigung variieren. Eine Verschlechterung des Übertragungsverlusts tritt jedoch ohne weiteres sogar unter solchen typischen Verwendungsbedingungen auf wie dem Einbau einer übermäßigen Länge oder der Bündelung von Fasern zu einem Kabel. Wenn der Übertragungsverlust unter solchen Verbindungsbedingungen ansteigt, ist es nötig, den Leistungsinput zu erhöhen. Als ein Ergebnis tritt die Nichtlinearität ergänzend zur Erhöhung der Inputleistung leichter auf. Somit wird die Wirkung der Begrenzung der Nichtlinearität durch Erhöhung von A_{eff} ausgelöscht.

[0032] Der Biegungsverlust ist ein Wert, der durch die angewandte Wellenlänge in einer Faser gemessen wurde, die bei einem Biegungsradius ($2R$) von 20 mm gebogen ist.

[0033] Die Biegungsverlusteigenschaften sollten bestimmt werden, je nachdem, ob die optischen Fasern in ein Kabel gebündelt wurden, und je nach Umgebung, in der das optische Faserkabel zu verwenden ist. Wenn zum Beispiel eine bandgeformte optische Faser in einem dichten bzw. engen Strukturelement eingebettet ist, dann wird vorzugsweise ein Bereich von 20 dB/m oder weniger ausgewählt. Im Fall eines sogenannten "loosen Rohr"-Optikkabels kann der Bereich 100 dB/m oder weniger sein, da keine so große Kraft auferlegt wird.

[0034] Um den Biegungsverlust zu verringern, ist es erwünscht, die Grenz-Wellenlänge so stark wie möglich zu längeren Wellenlängen zu verschieben.

[0035] Da die optische Faser der vorliegenden Erfindung eine Einzelmodusfaser ist, muß sie eine Grenz-Wellenlänge aufweisen, die im angewandten Wellenlängenband eine Einzelmodusausbreitung sicherstellt.

[0036] Die gewöhnliche Grenz-Wellenlänge wird wie durch CCITT-G.652 vorgeschlagen mit einer 2 m langen Probe durch das Biegeverfahren gemessen (nachfolgend einfach als "2-m-Methode" bezeichnet). Unter den Bedingungen der Verwendung der Länge der optischen Faser ist jedoch die Einzelmodusausbreitung möglich, selbst wenn dieser Wert stärker Richtung längeren Wellenlängen liegt als der untere Grenzwert des verwendeten Wellenlängenbandes.

[0037] Folglich wird bei der optischen Faser der vorliegenden Erfindung die durch die 2-m-Methode definierte Grenz-Wellenlänge auf die längeren Wellenlängen festgesetzt, um gemäß der angewandten Länge der optischen Faser und dem angewandten Wellenlängenband eine Einzelmodusausbreitung zu ermöglichen, und um eine möglichst starke Verminderung im Biegungsverlust zu ermöglichen. Angenommen, daß die auf der 2-m-Methode basierende Grenz-Wellenlänge 1,7 μm oder weniger beträgt, dann kann speziell die Einzelmodusausbreitung in einem angewandten Wellenlängenband von 1,53~1,63 μm für eine optische Faserlänge von 5000 m oder mehr verwirklicht werden.

[0038] Bei der optischen Faser der vorliegenden Erfindung ist es bevorzugt, daß die Erhöhung beim Sandpapierspannwicklungsverlust, wenn eine optische Faser als harzbeschichtete optische Faser verwendet wird, 10 dB/km oder weniger beträgt.

[0039] Die Erhöhung des Sandpapierspannwicklungsverlusts ist ein Wert, der durch die folgende Methode gemessen wird.

[0040] Sandpapier {SiC mit einem durchschnittlichen Teilchendurchmesser von 50 μm (zum Beispiel #360)} wird um den Blockteil einer Spule herumgewickelt, die einen Blockdurchmesser von 380 mm aufweist, und der Übertragungsverlust wird mit einer harzbeschichteten optischen Faser der unten beschriebenen Struktur, die einmal um die äußere Peripherie der sandpapierbedeckten Spule bei 0,98 N (100 gf) herumgewunden wurde, gemessen.

[0041] Die harzbeschichtete optische Faser wird dann von der Spule abgewickelt, und der Übertragungsverlust wird gemessen, während nahezu keine Spannung (Tension) angelegt wird (dieser Zustand wird als "spannungsfreies Bündel" bezeichnet).

[0042] Der Unterschied im Übertragungsverlust zwischen diesen beiden Zuständen wird bestimmt und ist als die Erhöhung des Sandpapierspannwicklungsverlusts ($\Delta\alpha$) definiert.

[0043] Fig. 1 ist eine Querschnittsansicht, die ein Beispiel einer harzbeschichteten optischen Faser zeigt. Eine erste Beschichtungsschicht **13**, die aus einem relativ weichen Kunststoff besteht, und eine zweite Beschichtungsschicht **14**, die aus einem härteren Kunststoff als die erste Beschichtungsschicht **13** besteht, sind um eine blanke optische Faser **12** herum vorgesehen, die aus einem Kern **12a** und einer Hülle **12b**, die um diesen Kern **12a** herum gebildet ist, besteht.

[0044] Die blanke optische Faser **12** besteht aus dem typischen Quarzglas-stammenden Material. Für die erste Beschichtungsschicht **13** wird ein gewöhnliches Ultraviolettlicht-härtbares Harz mit einem Young-Modulus von 1 MPa oder weniger verwendet, wohingegen für die zweite Beschichtungsschicht **14** ein UV-härtbares Harz mit einem Young-Modulus von 500 MPa oder mehr verwendet wird. Die UV-härtbaren Harze, die bei der ersten Beschichtungsschicht **13** und der zweiten Beschichtungsschicht **14** angewandt werden, können aus Urethanacrylat-, Polybutadienacrylat-, Epoxyacrylat-, Silikonacrylat- oder Polyesteracrylat-stammenden Harzen ausgewählt werden.

[0045] Der äußere Durchmesser A einer typischen blanken optischen Faser **12** liegt im Bereich von 100~125 μm , der äußere Durchmesser B der ersten Beschichtungsschicht **13** liegt im Bereich von 130~250 μm , und der äußere Durchmesser C der zweiten Beschichtungsschicht **14** liegt im Bereich von 160~400 μm . Speziell beträgt bei der gewöhnlichen 250- μm -harzbeschichteten optischen Faser der äußere Durchmesser A 125 μm , der äußere Durchmesser B beträgt mehr oder weniger 200 μm , und der äußere Durchmesser C beträgt mehr oder weniger 250 μm . Darüber hinaus beträgt bei der gewöhnlichen 400- μm -harzbeschichteten optischen Faser der äußere Durchmesser A 125 μm , der äußere Durchmesser B beträgt mehr oder weniger 240 μm , und der äußere Durchmesser C beträgt mehr oder weniger 400 μm .

[0046] Wenn die Kabelstruktur eine sogenannte dichte Struktur darstellt, ist es bevorzugt, daß die Erhöhung des Sandpapierspannwicklungsverlusts so ausgewählt wird, daß er im Bereich von 1 dB/km oder weniger liegt. Im Fall eines sogenannten optischen Kabels vom losen Rohrtyp ist jedoch ein Wert von 10 dB/km oder weniger akzeptabel, da der Lateraldruck gering ist. Wenn die Erhöhung des Sandpapierspannwicklungsverlusts groß wird, treten solche Nachteile auf wie eine Erhöhung des Übertragungsverlusts, wenn die Fasern zu einem Kabel geformt werden.

[0047] Die Erhöhung des Sandpapierspannwicklungsverlusts hängt vom Wert A_{eff} ab. Er wird jedoch ebenso variieren in Abhängigkeit vom äußeren Durchmesser der Beschichtung der harzbeschichteten optischen Faser

und dem verwendeten Beschichtungsharz. Speziell ist es bevorzugt, daß Aeff $120 \mu\text{m}^2$ oder mehr ist, und die Erhöhung des Sandpapierspannwicklungsverlusts 10 dB/km oder weniger ist. In diesen Fall ist die Anwendung eines optischen Kabels vom losen Rohrtyp mit einem äußeren Durchmesser der Beschichtung von $250 \mu\text{m}$ möglich.

[0048] Es ist bevorzugt, daß Aeff $120 \mu\text{m}^2$ oder mehr ist, und die Erhöhung beim Sandpapierspannwicklungsverlust 1 dB/km oder weniger ist. In diesen Fall kann für eine Beschichtung mit äußerem Durchmesser von $250 \mu\text{m}$ eine Faser, bei der Aeff $120\sim 130 \mu\text{m}^2$ beträgt, als ein optisches Kabel vom losen Rohrtyp oder mit dichter Struktur verwendet werden. Für eine Beschichtung mit einem äußeren Durchmesser von $400 \mu\text{m}$ kann alternativ eine Faser, bei der Aeff $120\sim 160 \mu\text{m}^2$ beträgt, als ein optisches Kabel vom losen Rohrtyp oder mit dichter Struktur verwendet werden.

[0049] Es ist ferner bevorzugt, daß Aeff im Bereich von $120\sim 150 \mu\text{m}^2$ liegt und die Erhöhung des Sandpapierspannwicklungsverlusts $0,3 \text{ dB/km}$ oder weniger beträgt. In diesen Fall kann für eine Beschichtung mit äußerem Durchmesser von $400 \mu\text{m}$ eine Faser, bei der Aeff $120\sim 150 \mu\text{m}^2$ beträgt, als ein optisches Kabel mit dichter Struktur verwendet werden.

[0050] Fig. 2 ist eine Grafik, die ein Beispiel der Beziehung zwischen Aeff und der Erhöhung im Sandpapierspannwicklungsverlust zeigt. Die gemessene Wellenlänge ist hier 1550 nm . Die harzbeschichteten optischen Fasern in diesem Beispiel sind $250\text{-}\mu\text{m}$ - und $400\text{-}\mu\text{m}$ -harzbeschichtete optische Fasern.

[0051] Wie aus dieser Grafik verständlich wird, wächst im Zuge der Erhöhung beim Aeff die Erhöhung des Sandpapierspannwicklungsverlusts an. Wenn Aeff $150 \mu\text{m}^2$ oder weniger beträgt, kann eine optische Faser mit einer zufriedenstellend geringen Erhöhung beim Sandpapierspannwicklungsverlust bereitgestellt werden. Das heißt, die Erhöhung beim Sandpapierspannwicklungsverlust der $250\text{-}\mu\text{m}$ -harzbeschichteten optischen Faser beträgt 10 dB/km oder weniger, und die Erhöhung beim Sandpapierspannwicklungsverlust der $400\text{-}\mu\text{m}$ -harzbeschichteten optischen Faser beträgt 1 dB/km oder weniger.

[0052] Um diese Eigenschaftsarten zu bekommen, ist es nötig, ein Brechungsindexprofil wie in Fig. 3 oder in Fig. 5 gezeigt zu besitzen.

[0053] Das erste Beispiel eines in Fig. 3 gezeigten Brechungsindexprofils ist aus einem zentralen Kern 1, einem mittleren Teil 2, der um die äußere Peripherie des zentralen Kerns 1 herum ausgestaltet ist, und einer Hülle 4, die um die äußere Peripherie des mittleren Teils 2 herum ausgestaltet ist, gebildet. Die Beziehung zwischen dem Brechungsindex dieser Schichten ist derart, daß der Brechungsindex des mittleren Teils 2 geringer ist als derjenige des zentralen Kerns 1, und der Brechungsindex der Hülle 4 größer ist als der des mittleren Teils 2, jedoch geringer als des zentralen Kerns 1.

[0054] Der zentrale Kern 1 dieser optischen Faser ist aus reinem Quarzglas oder aus Quarzglas gebildet, welches mit Germanium dotiert ist, das die Wirkung einer Erhöhung des Brechungsindex besitzt; der mittlere Teil 2 ist aus reinem Quarzglas oder Quarzglas gebildet, welches mit Fluor dotiert ist, das die Wirkung einer Erniedrigung des Brechungsindex besitzt; und die Hülle 4 ist aus Quarzglas, Fluor-dotiertem Glas oder Quarzglas, das mit Chlor dotiert ist, welches die Wirkung des Erhöhens des Brechungsindex besitzt, gebildet.

[0055] Diese optische Faser kann zum Beispiel unter Verwendung eines VAD-Verfahrens hergestellt werden.

[0056] Wenn der Radius des zentralen Kerns 1 als r_1 und der Radius des mittleren Teils 2 (Kernradius) als r_2 bezeichnet wird, dann ist bevorzugt, daß $3,0 \leq r_2/r_1 \leq 5,0$ ist. Wenn r_2/r_1 geringer ist als $3,0$, dann tritt das elektrische Feld des Lichts durch den mittleren Teil 2 hindurch und erreicht leicht die Hülle 4, so daß der Biegungsverlust zur Erhöhung neigt. Wenn r_2/r_1 $5,0$ übersteigt, dann wird darüber hinaus die Wirkung der Bereitstellung eines mittleren Teils 2 abgeschwächt, und das elektrische Feld des Lichts wird zu stark im Kern eingeschlossen. Als einem Ergebnis wird leicht die Wirkung, die durch die Erhöhung von Aeff bereitgestellt wird, verringert.

[0057] Die Grenz-Wellenlänge kann durch Erhöhung des Werts von r_1 zu längeren Wellenlängen verschoben werden. Die Grenz-Wellenlänge wird auf der Basis der verwendeten Länge der optischen Faser und dem angewandten Wellenlängenband festgelegt. Aus diesem Grund können im allgemeinen zahlenmäßige Grenzen für r_1 nicht explizit angegeben werden, jedoch wird r_1 typischerweise aus dem Bereich von $520 \mu\text{m}$ ausgewählt.

[0058] Der äußere Durchmesser der Hülle 4 beträgt typischerweise $125 \mu\text{m}$.

[0059] Die relativen Brechungsindexunterschiede für den mittleren Teil **2** und den zentralen Kern **1**, wenn der Brechungsindex der Hülle **4** als Standard herangezogen wird, werden jeweils als Δ_1 und Δ_2 bezeichnet. In diesen Fall ist es bevorzugt, daß Δ_1 0,30% oder weniger und vorzugsweise 0,26% oder weniger, und Δ_2 $-0,05 \sim -0,15\%$ ist.

[0060] Wenn Δ_1 0,30% übersteigt, wird es schwierig, Aeff zu erhöhen. Wenn ferner Δ_2 größer als $-0,05$ wird (d.h. der Absolutwert von Δ_2 wird geringer), dann erhöht sich der Biegungsverlust. Wenn Δ_2 kleiner als $-0,15\%$ wird (d.h. wenn der Absolutwert von Δ_2 größer wird), dann neigt Aeff dazu, abzunehmen.

[0061] Fig. 4 ist eine Grafik, die die Veränderung des Aeff und des Biegungsverlusts bei einer angewandten Wellenlänge von $1,55 \mu\text{m}$ zeigt, wenn Δ_2 auf $-0,05\%$ und r_2/r_1 auf $4,0$ eingestellt wurden und die Grenz-Wellenlängen gemäß der 2-m-Methode im Bereich von $1,3 \sim 1,7 \mu\text{m}$ um $0,1\text{-}\mu\text{m}$ -Schritte variiert wurden.

[0062] Aeff neigt zur Erniedrigung, und der Biegungsverlust neigt zur Erhöhung im Zuge der Erniedrigung des Werts von r_1 und der Verschiebung der Grenz-Wellenlänge zu kürzeren Wellenlängen. Andererseits neigt Aeff zur Erhöhung, und der Biegungsverlust neigt zur Erniedrigung im Zuge der Erhöhung des Werts von r_1 und der Verschiebung der Grenz-Wellenlänge zu längeren Wellenlängen.

[0063] Die in der Grafik gezeigten geraden Linien sind für jeden Δ_1 -Wert festgelegt. Δ_1 ist im Bereich von $0,18 \sim 0,30\%$ auf Intervalle von $0,02\%$ festgelegt.

[0064] Aeff neigt zur Erhöhung, indem Δ_1 zunimmt.

[0065] Der Biegungsverlust neigt zur Erniedrigung, indem Δ_1 ansteigt.

[0066] Δ_2 , r_2/r_1 und der verwendete Wellenlängenwert werden auf diese Weise festgelegt. Durch Auswählen der unterschiedlichen Strukturparameter, die die Bedingungen für die vorliegende Erfindung bezüglich Aeff, Biegungsverlust und Grenz-Wellenlänge erfüllen, basierend auf der Grafik, bei der der Wert von r_1 variiert wird, kann eine optische Faser ausgestaltet werden, die das in Fig. 3 gezeigte Brechungsindexprofil aufweist und welche den Bedingungen für die vorliegende Erfindung genügt. Ferner ist es bevorzugt, diese optische Faser zu gestalten, während die Bedingungen für die Erhöhung des Sandpapierspannwicklungsverlusts in Betracht gezogen werden.

[0067] Selbst wenn eine optische Faser das in Fig. 3 gezeigte Brechungsindexprofil aufweist und die erwünschten Zahlengrenzen bezüglich r_2/r_1 , Δ_1 und Δ_2 wie oben beschrieben erfüllt, bedeutet dies folglich nicht, daß sie absolut die oben beschriebenen Eigenschaften von Aeff, Biegungsverlust, Grenz-Wellenlänge und Erhöhung des Sandpapierspannwicklungsverlusts erfüllt. Vielmehr wird die einzigartige Eigenschaft der optischen Faser der vorliegenden Erfindung durch geeignete Kombination dieser Strukturparameter verwirklicht.

[0068] Aus diesem Grund ist es schwierig, die vorliegende Erfindung aus den Zahlengrenzen für diese Strukturparameter zu spezifizieren. Vielmehr ist die vorliegende Erfindung auf der Basis des Brechungsindexprofils und der charakteristischen Werte der optischen Faser spezifiziert. Dies war natürlich gemäß der herkömmlichen Technik nicht möglich.

[0069] Fig. 5 zeigt ein zweites Beispiel des Brechungsindexprofils für die optische Faser der vorliegenden Erfindung.

[0070] Dieses Brechungsindexprofil unterscheidet sich von dem des in Fig. 3 gezeigten ersten Beispiels darin, daß zwischen dem mittleren Teil **2** und der Hülle **4** ein Ringkern **3** bereitgestellt worden ist. Im allgemeinen wird diese Art von Brechungsindexprofil als ein "Ringprofil" bezeichnet.

[0071] Der Brechungsindex des Ringkerns **3** ist höher als der des mittleren Teils **2** und der Hülle **4**, jedoch geringer als der des zentralen Kerns **1**.

[0072] Bei dieser optischen Faser umfassen zum Beispiel der zentrale Kern **1** und der Ringkern **3** Germanium-dotiertes Quarzglas, der mittlere Teil **2** umfaßt Fluor-dotiertes Quarzglas oder reines Quarzglas, und die Hülle **4** umfaßt reines Quarzglas oder Chlor-dotiertes Quarzglas.

[0073] Wie im Fall des ersten Beispiels kann diese optische Faser ebenfalls zum Beispiel unter Verwendung eines VAD-Verfahrens hergestellt werden.

[0074] Der Radius des Ringkerns **3** (d.h. der Kernradius) wird in diesem Beispiel als r_3 bezeichnet. In diesen Fall ist es bevorzugt, daß $3,0 \leq r_2/r_1 \leq 4,0$ und $4,0 \leq r_3/r_1 \leq 5,0$ ist. Wenn r_2/r_1 weniger als 3,0 ist, dann neigt die Verteilung des elektrischen Feldes des Lichts dazu, durch den mittleren Teil **2** hindurchzutreten und den Ringkern **3** leicht zu erreichen. Als ein Ergebnis neigt der Biegungsverlust zur Erhöhung. Wenn ferner r_2/r_1 4,0 übersteigt, dann ist das Licht zu stark im Inneren des Kerns enthalten, so daß die Wirkung der Bereitstellung eines mittleren Teils **2** reduziert ist. Als ein Ergebnis wird die Wirkung, die aus der Erhöhung von Aeff erhalten wurde, verringert. Wenn zusätzlich r_3/r_1 weniger als 4,0 beträgt, dann wird die Wirkung der Bereitstellung eines Ringkerns **3** vermindert. Als ein Ergebnis wird die Wirkung, die aus einer Erhöhung von Aeff erhalten wurde, verringert. Schließlich neigt, wenn r_3/r_1 5,0 übersteigt, der Biegungsverlust dazu, anzusteigen.

[0075] Wie oben diskutiert, ist es möglich, die Grenz-Wellenlänge zu längeren Wellenlängen zu verschieben, indem der Wert von r_1 ansteigt. In diesem Beispiel wird r_1 typischerweise aus dem Bereich von 520 μm ausgewählt.

[0076] Der äußere Durchmesser der Hülle **4** ist typischerweise um 125 μm herum.

[0077] In diesem Beispiel wird der relative Brechungsindex des Ringkerns **3**, wenn der Brechungsindex der Hülle **4** als Standard herangezogen wird, als Δ_3 bezeichnet. In diesen Fall ist es bevorzugt, daß Δ_1 0,35% oder weniger beträgt, Δ_2 $0 \sim -0,2\%$ ist und Δ_3 $+0,05 \sim +0,2\%$ ist.

[0078] Wenn Δ_1 0,35% übersteigt, wird es schwierig, Aeff zu erhöhen. Wenn Δ_2 kleiner als $-0,2\%$ wird (d.h. der Absolutwert von Δ_2 ansteigt), dann neigt Aeff dazu, abzufallen. Wenn ferner Δ_3 geringer als $+0,05$ ist, dann wird die Wirkung der Bereitstellung eines Ringkerns **3** verringert, und die Wirkung der Erhöhung von Aeff neigt ebenfalls dazu, verringert zu werden. Wenn Δ_3 $+0,2\%$ übersteigt, dann neigt der Biegungsverlust dazu, anzusteigen.

[0079] Selbst bei einer optischen Faser, die das in **Fig. 5** gezeigte Brechungsindexprofil aufweist und die erwünschten Zahlengrenzen für r_2/r_1 , r_3/r_1 , Δ_1 , Δ_2 und Δ_3 wie oben beschrieben erfüllt, bedeutet dies jedoch wie im Fall des ersten Beispiels nicht, daß sie die Eigenschaften von Aeff, des Biegungsverlusts, der Grenz-Wellenlänge und der Erhöhung beim Sandpapierspannwicklungsverlust wie oben beschrieben erfüllt. Die einzigartigen Eigenschaften der vorliegenden Erfindung werden durch geeignetes Kombinieren dieser Strukturparameter verwirklicht.

[0080] Durch geeignetes Einstellen der Strukturparameter bei einer optischen Faser mit einem in den **Fig. 3** und **5** gezeigten Brechungsindexprofil einer relativ einfachen Struktur ist es bei der vorliegenden Erfindung möglich, eine optische Faser bei geringen Kosten bereitzustellen, mit der Aeff erhöht ist und der Biegungsverlust verringert ist, und die eine Grenz-Wellenlänge aufweist, die eine Einzelmodusausbreitung in einem verwendeten Wellenlängenband gestattet, welches aus dem Bereich von 1,53~1,63 μm ausgewählt ist. Darüber hinaus ist es möglich, die Erhöhung des Sandpapierspannwicklungsverlusts zu verringern.

[0081] Als ein Ergebnis ist es möglich, eine optische Faser bereitzustellen, bei der eine Verschlechterung des Übertragungsverlusts durch Verringern der Nichtlinearität in einem verwendeten Wellenlängenband, welches aus dem Bereich von 1,53~1,63 μm ausgewählt ist, vermieden ist. Gleichzeitig wird eine Verschlechterung des Übertragungsverlusts aufgrund einer Mikroverbiegung, die während der Installation in der optischen Faser auftreten kann, weniger wahrscheinlich, und eine Einzelmodusausbreitung kann sichergestellt werden.

[0082] Es ist möglich, ein optisches Übertragungssystem aufzubauen durch Kombinieren der optischen Faser der vorliegenden Erfindung mit einer sogenannten dispersionskompensierenden optischen Faser. Das verwendete Wellenlängenband in diesem optischen Übertragungssystem ist das gleiche wie das für die optische Faser der vorliegenden Erfindung.

[0083] Die dispersionskompensierende optischen Faser besitzt einen Wellenlängendispersionswert, der ein anderes Signal darstellt und einen großen Absolutwert aufweist im Vergleich zum Wellenlängendispersionswert der optischen Faser, die den Großteil des Übertragungswegs darstellt. Ähnlich dazu ist die Dispersionsneigung ein Wert, welcher ein anderes Signal darstellt und einen großen Absolutwert aufweist im Vergleich zur Dispersionsneigung der optischen Faser, die das meiste des Übertragungswegs bildet.

[0084] Die Dispersionsneigung ist die Neigung der Kurve, welche erhalten wird, indem der Wellenlängendispersionswert aufgetragen wird, wobei die Wellenlänge auf der horizontalen Achse aufgetragen wird und der Wellenlängendispersionswert auf der vertikalen Achse aufgetragen wird. Die Dispersionsneigung ist ein Index,

der die Abhängigkeit des Wellenlängendispersionswerts von der Wellenlänge ausdrückt. Wenn optische Signale mit mehrfachen unterschiedlichen Wellenlängen gesendet werden, wie im Fall der Multiplex-Wellenlängenübertragung, verändert sich der Übertragungszustand zwischen den Wellenlängenintervallen und verursacht einen Abbau des optischen Signals, wenn die Dispersionsneigung groß ist. Aus diesem Grund ist es bevorzugt, wenn eine optische Faser bei der WDM-(Wellenlängendivisionsmultiplex)-Transmission verwendet wird, eine dispersionskompensierende optische Faser zu verwenden, die die Wellenlängendispersion und die Dispersionsneigung gleichzeitig kompensiert. In der Anwendung ist es darüber hinaus möglich, eine dispersionskompensierende optische Faser zu verwenden, die nur die Dispersionsneigung kompensiert.

[0085] Die optische Faser der vorliegenden Erfindung kann an der Seite, bei der das optische Signal eintritt, angeordnet werden, und eine dispersionskompensierende optische Faser kann an der anderen Seite, wo das optische Signal emittiert wird, angeordnet werden. Als einem Ergebnis wird die Dispersionsneigung oder der Wellenlängendispersionswert, die aufgrund der Übertragung durch die optische Faser auf der einfallenden Seite akkumulieren, durch die relativ kurze dispersionskompensierende optische Faser auf der emittierenden Seite ausgelöscht. Als einem Ergebnis werden die Dispersionsneigung und/oder der durchschnittliche Wellenlängendispersionswert geringer, wenn diese optischen Fasern kombiniert werden (d.h. wenn die optische Faser und die dispersionskompensierende optische Faser kombiniert werden). Somit ist es möglich, den Übertragungsverlust zu steuern, der durch die Wellenlängendispersion verursacht wird.

[0086] Die optische Faser der vorliegenden Erfindung besitzt darüber hinaus ein großes Aeff, was es möglich macht, den durch Nichtlinearität verursachten Übertragungsverlust zu begrenzen. Als einem Ergebnis ist es möglich, ein optisches Übertragungssystem aufzubauen, welches extrem gute Übertragungseigenschaften aufweist.

[0087] In diesem optischen Übertragungssystem ist S1 der Wert, der erhalten wird, wenn die verwendete Länge der optischen Faser multipliziert wird mit der Dispersionsneigung pro Einheitslänge der optischen Faser, was den Gegenstand der Kompensation darstellt. S2 ist der Wert, der erhalten wird, wenn die verwendete Länge der dispersionskompensierenden optischen Faser multipliziert wird mit der Dispersionsneigung pro Einheitslänge der dispersionskompensierenden optischen Faser.

[0088] Darüber hinaus wird das Verhältnis des Absolutwerts von S2 zum Absolutwert von S1 als das "Dispersionsneigungskompensationsverhältnis" bezeichnet.

[0089] In diesem optischen Übertragungssystem ist es bevorzugt, die verwendete Länge der optischen Faser, die Eigenschaften der dispersionskompensierenden optischen Faser und die verwendete Länge der dispersionskompensierenden optischen Faser so festzulegen, daß das Kompensationsverhältnis der Dispersionsneigung 80% oder mehr ist.

[0090] Mit der Maßgabe, daß sie den Wellenlängendispersionswert und/oder die Dispersionsneigung für die optische Faser der vorliegenden Erfindung kompensieren kann, so ist die verwendete dispersionskompensierende optische Faser im optischen Übertragungssystem der vorliegenden Erfindung nicht speziell beschränkt.

[0091] Zum Beispiel kann eine dispersionskompensierende optische Faser, die dasselbe Brechungsindexprofil wie das in Fig. 3 gezeigte aufweist und die mit den Eigenschaften einer dispersionskompensierenden optischen Faser versehen ist, durch Einstellen dieser Strukturparameter, als ein Beispiel einer geeigneterweise in der vorliegenden Erfindung verwendeten dispersionskompensierenden optischen Faser erwähnt werden. Diese Strukturparameter werden geeigneterweise eingestellt auf der Basis der Dispersionsneigung oder des Wellenlängendispersionswerts der optischen Faser, die Gegenstand der Kompensation ist.

[0092] Speziell ist es bevorzugt, daß die dispersionskompensierende optische Faser in dem verwendeten Wellenlängenband eine Wellenlängendispersion von $-15 \sim -140$ ps/nm/km aufweist. Ferner ist es bevorzugt, daß die dispersionskompensierende optische Faser ein Dispersionsneigungskompensationsverhältnis von 80% oder mehr aufweist, wenn die zuvor bezeichnete optische Faser mit einer Länge der kompensierenden optischen Faser so kompensiert wird, daß die kompensierende optische Faser die Wellenlängendispersion der optischen Faser kompensieren kann, um auf Null kompensiert zu sein, wobei die dispersionskompensierende optische Faser einen Biegungsverlust von 100 dB/m oder weniger, vorzugsweise 40 dB/m oder weniger aufweist. Wenn der Biegungsverlust auf diese Weise gering ist, dann ist der Übertragungsverlust klein, selbst wenn die dispersionskompensierende optische Faser zu einem Kabel gebildet und in ein optisches Übertragungssystem eingebracht wird.

[0093] Die obige Bezugnahme auf eine "Länge derart, daß sie die Wellenlängendispersion der optischen Faser kompensieren kann, um auf Null kompensiert zu sein" bezieht sich auf die Länge, die erhalten werden kann, indem der durch Multiplizieren der verwendeten Länge der optischen Faser mit dem Absolutwert der Wellenlängendispersion pro Einheitslänge der optischen Faser erhaltene Wert durch den Absolutwert der Wellenlängendispersion pro Einheitslänge der dispersionskompensierenden optischen Faser dividiert wird. Durch Verwenden der optischen Faser und der dispersionskompensierenden optischen Faser bei diesen angewandten Längen sollte theoretisch die Wellenlängendispersion im optischen Übertragungssystem Null werden.

[0094] Speziell ist eine dispersionskompensierende optische Faser mit demselben Brechungsindexprofil wie in Fig. 5 gezeigt, die die folgenden Bedingungen erfüllt, erwünscht.

[0095] Das heißt, diese dispersionskompensierende optische Faser besitzt einen Kern und eine Hülle 4, die um die äußere Peripherie dieses Kerns herum ausgestaltet ist. Der Kern besteht aus einem zentralen Kern 1, der einen höheren Brechungsindex aufweist als dem der Hülle 4; einem mittleren Teil 2, der um die äußere Peripherie des zentralen Kerns 1 herum ausgestaltet ist und einen niedrigeren Brechungsindex als dem der Hülle 4 aufweist; sowie einem Ringkern 3, der um die äußere Peripherie des mittleren Teils 2 herum ausgestaltet ist und einen höheren Brechungsindex aufweist als dem der Hülle 4.

[0096] r_1 liegt im Bereich von 2~3 μm , Δ_1 liegt im Bereich von 0,9~1,5%, Δ_2 liegt im Bereich von -0,35 ~ -0,45%, Δ_3 liegt im Bereich von 0,2~1,2%, r_2/r_1 liegt im Bereich von 2,0~3,5, und r_3/r_1 liegt im Bereich von 3,0~5,0. Im angewandten Wellenlängenband ist die effektive Kernfläche 20 μm^2 oder mehr, vorzugsweise 25 μm^2 oder mehr, der Biegeverlust ist 40 dB/m oder weniger, und die Wellenlängendispersion liegt im Bereich von -65 ~ -45 ps/nm/km. Diese dispersionskompensierende optische Faser besitzt eine Grenz-Wellenlänge, die im wesentlichen zu einer Einzelmodusausbreitung in der Lage ist. Diese dispersionskompensierende optische Faser besitzt darüber hinaus ein Dispersionsneigungskompensationsverhältnis von 80~120%, wenn die zuvor erwähnte Einzelmodus-Optikfaser kompensiert wird mit einer Länge der kompensierenden optischen Faser, die die Wellenlängendispersion der optischen Faser zu Null kompensieren kann.

[0097] Wie im Fall der optischen Faser der vorliegenden Erfindung ist es möglich, erwünschte Eigenschaften zu verwirklichen, indem geeignete Werte aus den zahlenmäßigen Grenzen für die vorangehenden Strukturparameter dieser dispersionskompensierende optische Faser ausgewählt und kombiniert werden.

[0098] Diese dispersionskompensierende optische Faser besitzt einen geringen Verlust und läßt nicht ohne weiteres eine Nichtlinearität entstehen. Somit ist sie vorteilhaft insofern, daß – selbst wenn es während der Herstellung eine geringe Variation hinsichtlich der Strukturparameter gibt – die Wellenlängendispersion und die Dispersionsneigung sich nicht ohne weiteres verändern, so daß die Produktausbeute hoch bleibt.

[0099] Es ist zu beachten, daß, wenn die Hülle 4 aus Quarzglas gebildet ist, zu dem eine geringe Menge an Fluor hinzudotiert wurde, eine dispersionskompensierende optische Faser erhalten werden kann, die einen besonders niedrigen Übertragungsverlust aufweist.

[0100] Wie im Fall der optischen Faser der vorliegenden Erfindung können diese dispersionskompensierenden optischen Fasern ebenso unter Verwendung von VAD-, MCVD-, PCVD- oder ähnlichen Verfahren hergestellt werden. Ferner können dieselben Materialien verwendet werden für jede der Schichten bei der dispersionskompensierenden optischen Faser, wie sie bei der optischen Faser der vorliegenden Erfindung verwendet wurden.

[0101] Es ist bevorzugt, daß der durchschnittliche Wellenlängendispersionswert im optischen Übertragungssystem, der auf diese Weise für die Wellenlängendispersion unter Verwendung einer dispersionskompensierenden optischen Faser kompensiert, so klein wie möglich ist. Durch Einbringen einer geeigneten dispersionskompensierenden optischen Faser und durch Auswählen der verwendeten Länge dafür in einem System, welches die optische Faser der vorliegenden Erfindung anwendet, ist es möglich, einen Wellenlängendispersionsbereich von -6 ~ +6 ps/km/nm zu erhalten.

Ausführungsform

[0102] Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung werden nun im einzelnen erläutert.

(Beispiel 1)

[0103] Eine optische Faser, die das in **Fig. 3** gezeigte Brechungsindexprofil aufwies, wurde unter Verwendung des VAD-Verfahrens hergestellt. Der zentrale Kern umfaßte Germanium-dotiertes Quarzglas, der mittlere Teil umfaßte Fluor-dotiertes Quarzglas, und die Hülle umfaßte reines Quarzglas.

[0104] Δ_1 und Δ_2 bei dieser optischen Faser waren jeweils 0,24% bzw. -0,05%. r_1 und r_2 waren jeweils 6,6 μm bzw. 26,5 μm . Der äußere Durchmesser der Hülle betrug 125 μm . Die Eigenschaften dieser optischen Faser sind in Tabelle 1 gezeigt. Jeder der Eigenschaftswerte wurde bei 1,55 μm gemessen. Die Grenz-Wellenlänge wurde unter Verwendung der 2-m-Methode gemessen.

Tabelle 1

Δ_1	Δ_2	$r_1:r_2$	Wellenlänge (μm)	Grenz-Wellenlänge (μm)	A_{eff} (μm^2)	MFD (μm)
0,24	-0,05	1:4,0	1,550	1,55	132	12,7
Biegeungsverlust (dB/m) 2R=20mm	Übertragungsverlust (dB/km)	Wellenlängen- dispersion (ps/nm/km)	Dispersions-neigung (ps/nm ² /km)	Erhöhung des Sandpa- pierspann- wicklungsverlusts (dB/km)	äußerer Durchmesser der Beschichtung (μm)	
10,2	0,188	+20,7	+0,062	0,15	400	

(Beispiel 2)

[0105] Eine optische Faser wurde auf die gleiche Weise wie im Beispiel 1 hergestellt, außer daß der zentrale Kern reines Quarzglas umfaßte und die Hülle Fluor-dotiertes Quarzglas umfaßte.

[0106] Die optischen Eigenschaften dieser optischen Faser waren die gleichen wie jene, die in Tabelle 1 für die optische Faser in Beispiel 1 gezeigt sind, mit Ausnahme, daß der Übertragungsverlust 0,178 dB/km betrug, 0,01 dB/km weniger als die optische Faser in Beispiel 1.

(Beispiel 3)

[0107] Eine optische Faser, die das in **Fig. 5** gezeigte Brechungsindexprofil aufwies, wurde unter Verwendung des VAD-Verfahrens hergestellt. Der zentrale Kern und der Ringkern umfaßten Germanium-dotierte Quarzglas, der mittlere Teil umfaßte Fluor-dotiertes Quarzglas, und die Hülle umfaßte reines Quarzglas.

[0108] Δ_1 , Δ_2 und Δ_3 dieser optischen Faser waren jeweils 0,28%, -0,05% bzw. 0,13%. r_1 , r_2 und r_3 waren jeweils 7,75 μm , 26,35 μm bzw. 31 μm . Der äußere Durchmesser der Hülle betrug ungefähr 125 μm .

[0109] Die Eigenschaften dieser optischen Faser sind in Tabelle 2 gezeigt. Jeder der Eigenschaftswerte wurde bei 1,55 μm gemessen. Die Grenz-Wellenlänge wurde unter Verwendung der 2-m-Methode gemessen.

Tabelle 2

Δ_1	Δ_2	Δ_3	$\Gamma_1:\Gamma_2:\Gamma_3$	Wellenlänge	Kernradius (μm)	Grenz-Wellenlänge (μm)	A_{eff} (μm^2)	MFD (μm)
0,28	-0,05	0,13	1:3, 4:4,0	1,550	31	1,59	156	13,5
Biegeungsverlust (dB/m) 2R=20mm		Übertragungsverlust (dB/km)		Wellenlängen- dispersion (ps/nm/km)	Dispersions-neigung (ps/nm ² /km)	Erhöhung des Sandpapierverlusts (dB/km)	äußerer Durchmesser der Beschichtung (μm)	
4,0		0,188		+21,2	+0,064	0,72	400	

(Vergleichsbeispiel 1)

[0110] Eine optische Faser wurde hergestellt, die ein "Treppenaufgangs"-Brechungsindexprofil aufwies, bei dem die Hülle mit einem niedrigen Brechungsindex um einen Kern herum bereitgestellt wurde, der einen hohen Brechungsindex aufwies. Der Kern umfaßte Germanium-dotiertes Quarzglas, und die Hülle umfaßte reines Quarzglas.

[0111] Der Unterschied im relativen Brechungsindex bei dieser optischen Faser betrug 0,34%, wenn der Brechungsindex der Hülle als Standard herangezogen wurde. Der Kernradius betrug 4,8 μm , und der äußere Durchmesser der Hülle betrug ungefähr 125 μm .

[0112] Der gemessene Wert für A_{eff} bei 1,55 μm bei dieser optischen Faser betrug ungefähr 88 μm^2 , der Biegungsverlust betrug 5 dB/m, und die Grenz-Wellenlänge unter Verwendung der 2-m-Methode betrug 1,37 μm .

[0113] Aus dem obigen Ergebnis war klar, daß bei den optischen Fasern der Beispiele 1~3 gemäß der vorliegenden Erfindung A_{eff} ausreichend erhöht war. Ferner war klar, daß diese optischen Fasern geringe Biegungsverluste sowie geringe Erhöhungen im Sandpapierspannwicklungsverlust aufwiesen, und zur Einzelmodusausbreitung bei 1,55 μm in der Lage waren.

[0114] Darüber hinaus war klar, daß A_{eff} stärker erhöht werden konnte bei diesen optischen Fasern im Vergleich zur optischen Faser des Vergleichsbeispiels 1, was eine Erniedrigung der Nichtlinearität ermöglichte.

(Beispiel 4)

[0115] Die optische Faser von Beispiel 2 und eine dispersionskompensierende optische Faser zum Kompensieren der Dispersionsneigung und der Wellenlängendispersion der optischen Faser von Beispiel 2 wurden hergestellt. Die dispersionskompensierende optische Faser wurde mit der optischen Faser auf der Seite verbunden, wo das optische Signal emittiert wird, um das optische Übertragungssystem zu bilden. Die optische Faser von Beispiel 2 war 30,9 km lang, und die dispersionskompensierende optische Faser war 5,0 km lang, so daß der gesamte Übertragungsweg 35,9 km betrug.

[0116] Eine dispersionskompensierende optische Faser wurde verwendet, die dasselbe Brechungsindexprofil wie in **Fig. 3** gezeigt aufwies, und die eine Dispersionsneigung sowie einen Wellenlängendispersionswert für ein Signal aufwies, die sich von denen der optischen Faser des Beispiels 2 unterschied, indem diese Strukturparameter eingestellt wurden. Das Material und das Herstellungsverfahren waren dieselben wie jene, die im Beispiel 2 angewandt wurden.

[0117] Die Strukturparameter, Eigenschaften und das Dispersionsneigungs kompensationsverhältnis dieser dispersionskompensierenden optischen Faser sind in Tabelle 3 gezeigt.

Tabelle 3

Δ_1 (%)	Δ_2 (%)	r_2 (μm)	r_2/r_1	Verwendete Wellenlänge (μm)	Übertragungsverlust (dB/km)
2,3	-0,45	3,7	3,5	1,55	0,48
Wellenlängen- dispersion (ps/nm/km)	Dispersions-neigung (ps/nm ² /km)		Dispersionsneigungs- kompensationsverhältnis (%)	Biegungsverlust (dB/m) 2R=20mm	äußerer Durchmesser der Beschichtung (μm)
-131	-0,36		92,5	5	250

[0118] Der durchschnittliche Wellenlängendispersionswert für den Übertragungsweg betrug bei 1,55 μm nahezu Null, wenn die dispersionskompensierende optische Faser und die optische Faser von Beispiel 2 kombiniert wurden. Die verbleibende Dispersionsneigung betrug über die gesamte Länge des Übertragungswegs +0,147 ps/nm². Bei Berechnung pro Einheitslänge wurde eine extrem kleine Dispersionsneigung von +0,004 ps/km/nm² erhalten.

[0119] Somit wird die optische Faser des Beispiels 2 gemäß der vorliegenden Erfindung auf der Seite angewandt, bei der das optische Signal einfällt. Der Aeff dieser optischen Faser ist groß, so daß es nahezu keinen Abbau des optischen Signals aufgrund einer Nichtlinearität gibt, und die Dispersionsneigung und der Wellenlängendispersionswert können auf der Seite kompensiert werden, wo das optische Signal emittiert wurde. Aus diesem Grund gibt es keinen Abbau der optischen Signaleigenschaften, die durch Dispersionseigenschaften verursacht würden, so daß ein optisches Übertragungssystem mit äußerst guten Übertragungseigenschaften

erhalten werden kann.

(Beispiel 5)

[0120] Eine optische Faser wurde auf die gleiche Weise wie im Beispiel 1 hergestellt, außer daß Δ_1 und Δ_2 jeweils 0,25% und $-0,05\%$ waren, und r_1 und r_2 $6,7 \mu\text{m}$ bzw. $26,8 \mu\text{m}$ waren.

[0121] Die Eigenschaften dieser optischen Faser sind in Tabelle 4 gezeigt. Jeder der Eigenschaftswerte wurde bei $1,55 \mu\text{m}$ gemessen. Die Grenz-Wellenlänge wurde unter Verwendung der 2-m-Methode gemessen.

Tabelle 4

Δ_1	Δ_2	Γ_1, Γ_2	Wellenlänge	Grenz-Wellenlänge (μm)	A_{eff} (μm^2)	MFD (μm)
0,25	-0,05	1:4,0	1,550	1,59	132	12,7
Biegungsverlust (dB/m) 2R=20mm	Übertragungs-verlust (dB/km)	Wellenlängen- dispersion (ps/nm/km)	Dispersions-neigung (ps/nm ² /km)	Erhöhung des Sandpa- pierspann- wicklungsverlusts (dB/km)	äußerer Durchmesser der Beschichtung (μm)	
7,4	0,188	+20,7	+0,062	3,7	250	

(Beispiel 6)

[0122] Eine optische Faser wurde auf die gleiche Weise wie im Beispiel 1 hergestellt, außer daß r_1 und r_2 jeweils $6,9 \mu\text{m}$ bzw. $27,5 \mu\text{m}$ waren.

[0123] Die Eigenschaften dieser optischen Faser sind in Tabelle 5 gezeigt. Jeder der Eigenschaftswerte wurde bei $1,55 \mu\text{m}$ gemessen. Die Grenz-Wellenlänge wurde unter Verwendung der 2-m-Methode gemessen.

Tabelle 5

Δ_1	Δ_2	$r_1:r_2$	Wellenlänge	Grenz-Wellenlänge (μm)	A_{eff} (μm^2)	MFD (μm)
0,24	-0,05	1:4,0	1,550	1,60	140	13,0
Biegungsverlust (dB/m) 2R=20mm	Übertragungs-verlust (dB/km)	Wellenlängen- dispersion (ps/nm/km)	Dispersions-neigung (ps/nm ² /km)	Erhöhung des Sandpa- pierspann- wicklungsverlusts (dB/km)	äußerer Durchmesser der Beschichtung (μm)	
9,2	0,188	+20,8	+0,063	5,0	250	

(Beispiel 7)

[0124] Die optische Faser des Beispiels 5 und eine dispersionskompensierende optische Faser zum Kompensieren der Dispersionsneigung und des Wellenlängendispersionswerts der optischen Faser von Beispiel 5 wurden hergestellt. Die dispersionskompensierende optische Faser wurde auf der Seite mit der optischen Faser verbunden, wo das optische Signal emittiert wird, um das optische Übertragungssystem zu bilden. Die optische Faser von Beispiel 5 war 32,63 km lang, und die dispersionskompensierende optische Faser war 12,37 km lang, so daß der gesamte Übertragungsweg 45,00 km betrug.

[0125] Eine dispersionskompensierende optische Faser wurde verwendet, die das gleiche Brechungsindexprofil wie in **Fig. 5** gezeigt aufwies, und die eine Dispersionsneigung und einen Wellenlängendispersionswert für ein Signal aufwies, die sich von der optischen Faser des Beispiels 5 unterschied, indem diese Strukturparameter eingestellt wurden. Der zentrale Kern und der Ringkern umfaßten Germanium-dotiertes Quarzglas, der mittlere Teil umfaßte Fluor-dotiertes Quarzglas, und für das Herstellungsverfahren wurde ein MCVD-Verfahren angewandt.

[0126] Die Strukturparameter, Eigenschaften und das Dispersionsneigungskompensationsverhältnis dieser dispersionskompensierenden optischen Faser sind in Tabelle 6 gezeigt.

Tabelle 6

Δ_1 (%)	Δ_2 (%)	Δ_3 (%)	r_3 (μm)	R_2/r_1	r_3/r_1	Verwendete Wellenlänge (μm)	Übertragungsverlust (dB/km)	A_{eff} (μm^2)
1,0	-0,40	6,8	6,8	3,0	3,5	1,55	0,29	26,6
Wellenlängen- dispersion (ps/nm/km)	Dispersionsnei- gung (ps/nm ² /km)		Dispersionsneigungs- kompensationsverhältnis (%)		Biegungsverlust (dB/m) 2R=20mm		äußerer Durchmesser der Beschichtung (μm)	
-54,6	-0,16		98		16,5		250	

[0127] Der durchschnittliche Wellenlängendispersionswert für den Übertragungsweg wurde bei 1,55 μm nahezu zu Null, als die dispersionskompensierende optische Faser und die optische Faser von Beispiel 5 kombiniert wurden. Die verbleibende Dispersionsneigung betrug über die gesamte Länge des Übertragungswegs +0,044 ps/nm². Bei Berechnung pro Einheitslänge wurde eine extrem kleine Dispersionsneigung von +0,001 ps/km/nm² erhalten.

[0128] Somit wird die optische Faser von Beispiel 5 gemäß der vorliegenden Erfindung auf der Seite verwendet, bei der das optische Signal einfällt. Der Aeff dieser optischen Faser ist groß, so daß es nahezu Abbau des optischen Signals aufgrund der Nichtlinearität gibt, und die Dispersionsneigung und der Wellenlängendispersionswert können auf der Seite kompensiert werden, wo das optische Signal emittiert wurde. Aus diesem Grund gab es keinen Abbau der optischen Signaleigenschaften, die durch Dispersionseigenschaften verursacht würden, so daß ein optisches Übertragungssystem mit extrem guten Übertragungseigenschaften erhalten werden kann.

Patentansprüche

1. Optische Faser mit einem Brechungsindexprofil, die aus einem zentralen Kern (1); einem mittleren Teil (2), der um die äußere Peripherie des zentralen Kerns herum ausgestaltet ist und einen niedrigeren Brechungsindex als dem des zentralen Kerns aufweist; und einer Hülle (4, 12b), die um die Peripherie des mittleren Teils herum ausgestaltet ist und einen höheren Brechungsindex als das mittlere Teil und einen niedrigeren Brechungsindex als der zentrale Kern aufweist; besteht;

wobei, wenn der Radius des zentralen Kerns als r_1 bezeichnet wird und der Radius des mittleren Teils als r_2 bezeichnet wird, r_2/r_1 so ausgewählt ist, daß $3,0 \leq r_2/r_1 \leq 5,0$ erfüllt ist, und wenn die spezifischen Brechungsindexunterschiede für den zentralen Kern und das mittlere Teil jeweils als Δ_1 bzw. Δ_2 bezeichnet werden, wobei der Brechungsindex der Hülle als Standard herangezogen wird, daß Δ_1 0,30% oder weniger ist und Δ_2 aus dem Bereich von $-0,05\%$ bis $-0,15\%$ ausgewählt ist; und

wobei die optische Faser eine effektive Kernfläche von $120 \mu\text{m}^2$ oder mehr aufweist in einem angewandten Wellenlängenband, das aus dem Bereich von $1,53 \mu\text{m}$ bis $1,63 \mu\text{m}$ ausgewählt ist, und eine Grenz-Wellenlänge aufweist, die im wesentlichen eine Einzelmodusausbreitung im angewandten Wellenlängenband gestattet.

2. Optische Faser gemäß Anspruch 1, wobei r_2/r_1 , Δ_1 und Δ_2 so ausgewählt sind, daß die optische Faser eine effektive Kernfläche von $140 \mu\text{m}^2$ oder mehr aufweist.

3. Optische Faser gemäß Anspruch 1, wobei r_2/r_1 , Δ_2 und Δ_1 so ausgewählt sind, daß die optische Faser einen Biegungsverlust von 100 dB/m oder weniger besitzt.

4. Optische Faser gemäß Anspruch 1, wobei r_2/r_1 , Δ_1 und Δ_2 so ausgewählt sind, daß die optische Faser einen Biegungsverlust von 20 dB/m oder weniger besitzt.

5. Optische Faser gemäß Anspruch 1, wobei r_2/r_1 , Δ_1 und Δ_2 so ausgewählt sind, daß die optische Faser beim Sandpapierspannwicklungsverlust eine Erhöhung von 10 dB/km oder weniger besitzt.

6. Optische Faser gemäß Anspruch 1, wobei r_2/r_1 , Δ_1 und Δ_2 so ausgewählt sind, daß die optische Faser beim Sandpapierspannwicklungsverlust eine Erhöhung von 1 dB/km oder weniger besitzt.

7. Optische Faser gemäß Anspruch 1, wobei r_2/r_1 , Δ_1 und Δ_2 so ausgewählt sind, daß die optische Faser eine effektive Kernfläche von $120 \mu\text{m}^2$ bis $150 \mu\text{m}^2$ aufweist und beim Sandpapierspannwicklungsverlust eine Erhöhung von $0,3 \text{ dB/km}$ oder weniger besitzt.

8. Optische Faser gemäß Anspruch 1, wobei Δ_1 $0,26\%$ oder weniger beträgt.

9. Optische Faser mit einem Brechungsindexprofil, die aus einem zentralen Kern (1); einem mittleren Teil (2), der um die äußere Peripherie des zentralen Kerns herum ausgestaltet ist und einen niedrigeren Brechungsindex als dem des zentralen Kerns aufweist; einer Hülle (4), die um die Peripherie des mittleren Teils herum ausgestaltet ist und einen höheren Brechungsindex als das mittlere Teil und einen niedrigeren Brechungsindex als der zentrale Kern aufweist; und einem Ringkern (3) besteht, der zwischen dem mittleren Teil (2) und der Hülle (4) ausgestaltet ist und einen höheren Brechungsindex als dem des mittleren Teils und der Hülle und einen niedrigeren Brechungsindex als dem des zentralen Kerns aufweist;

wobei, wenn der Radius des zentralen Kerns als r_1 bezeichnet wird, der Radius des mittleren Teils als r_2 bezeichnet wird und der Radius des Ringkerns als r_3 bezeichnet wird, dann r_2/r_1 so ausgewählt ist, daß $3,0 \leq r_2/r_1 \leq 4,0$ erfüllt ist, und r_3/r_1 so ausgewählt ist, daß $4,0 \leq r_3/r_1 \leq 5,0$ erfüllt ist, und, wenn die spezifischen Brechungsindexunterschiede für den zentralen Kern, den mittleren Teil und den Ringkern jeweils als Δ_1 , Δ_2 und Δ_3 bezeichnet werden, wobei der Brechungsindex der Hülle als Standard herangezogen wird, dann Δ_1 $0,35\%$ oder weniger ist, Δ_2 aus dem Bereich von 0 bis $-0,2\%$ ausgewählt ist und Δ_3 aus dem Bereich von $+0,05\%$ bis $+0,2\%$ ausgewählt ist; und

wobei die optische Faser eine effektive Kernfläche von $120 \mu\text{m}^2$ oder mehr aufweist in einem angewandten

Wellenlängenband, das aus dem Bereich von 1,53 μm bis 1,63 μm ausgewählt ist, und eine Grenz-Wellenlänge aufweist, die im wesentlichen eine Einzelmodusausbreitung im angewandten Wellenlängenband gestattet.

10. Optisches Übertragungssystem, dadurch gekennzeichnet, daß es eine dispersionskompensierende optische Faser umfaßt, die an der Seite einer optischen Faser gemäß Anspruch 1 angeordnet ist, bei der das optische Signal emittiert wird, wobei die dispersionskompensierende optische Faser den Wellenlängendispersionswert und/oder die Dispersionsneigung der optischen Faser kompensiert.

11. Optisches Übertragungssystem gemäß Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die dispersionskompensierende optische Faser mit einem Kern und einer Hülle, die um die äußere Peripherie des Kerns herum ausgestaltet ist, versehen ist, wobei der Kern aus einem zentralen Kern mit einem höheren Brechungsindex als der Hülle, einem mittleren Teil, das um die äußere Peripherie des zentralen Kerns herum ausgestaltet ist und einen niedrigeren Brechungsindex als die Hülle aufweist, und einem Ringkern besteht, der um die äußere Peripherie des mittleren Kernteils herum ausgestaltet ist und einen höheren Brechungsindex als die Hülle aufweist;

daß, wenn der Radius und der Brechungsindexunterschied, unter Heranziehung der Hülle als Standard, für den zentralen Kern, das mittlere Teil und den Ringkern jeweils als (r_1, Δ_1) , (r_2, Δ_2) bzw. (r_3, Δ_3) bezeichnet werden, r_1 aus dem Bereich von 2 bis 3 μm ausgewählt ist, Δ_1 aus dem Bereich von 0,9% bis 1,5% ausgewählt ist, Δ_2 aus dem Bereich von -0,35% bis -0,45% ausgewählt ist, Δ_3 aus dem Bereich von 0,2% bis 1,2% ausgewählt ist, r_2/r_1 aus dem Bereich von 2,0 bis 3,5 ausgewählt ist und r_3/r_4 aus dem Bereich von 3,0 bis 5,0 ausgewählt ist; daß die Grenz-Wellenlänge so bereitgestellt ist, daß eine im wesentlichen Einzelmodusausbreitung gestattet ist, wobei die effektive Kernfläche 20 μm^2 oder mehr beträgt, der Bieungsverlust 40 dB/m oder weniger beträgt und die Wellenlängendispersion im Bereich von -65 ps/nm/km bis -45 ps/nm/km liegt bei einem angewandten Wellenlängenband, das aus dem Bereich von 1,53 μm bis 1,63 μm ausgewählt ist; und daß das Dispersionsneigungs-Kompensationsverhältnis im Bereich von 80% bis 120% liegt, wenn die optische Faser mit einer Länge der dispersionskompensierenden optischen Faser kompensiert wird, die eine Kompensation der Wellenlängendispersion der zu kompensierenden optischen Faser auf Null gestattet.

12. Optisches Übertragungssystem gemäß Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Dispersionskompensierende optische Faser eine effektive Kernfläche von 25 μm^2 oder mehr aufweist.

13. Optisches Übertragungssystem gemäß Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß der durchschnittliche Wellenlängendispersionswert im Bereich von -6 ps/nm/km bis +6 ps/nm/km liegt, wenn eine optische Faser und eine dispersionskompensierende optische Faser kombiniert sind.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

FIG. 1

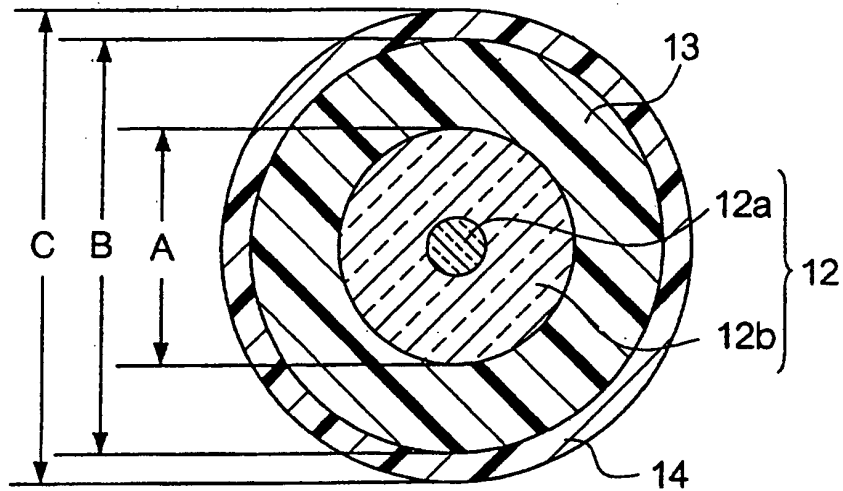
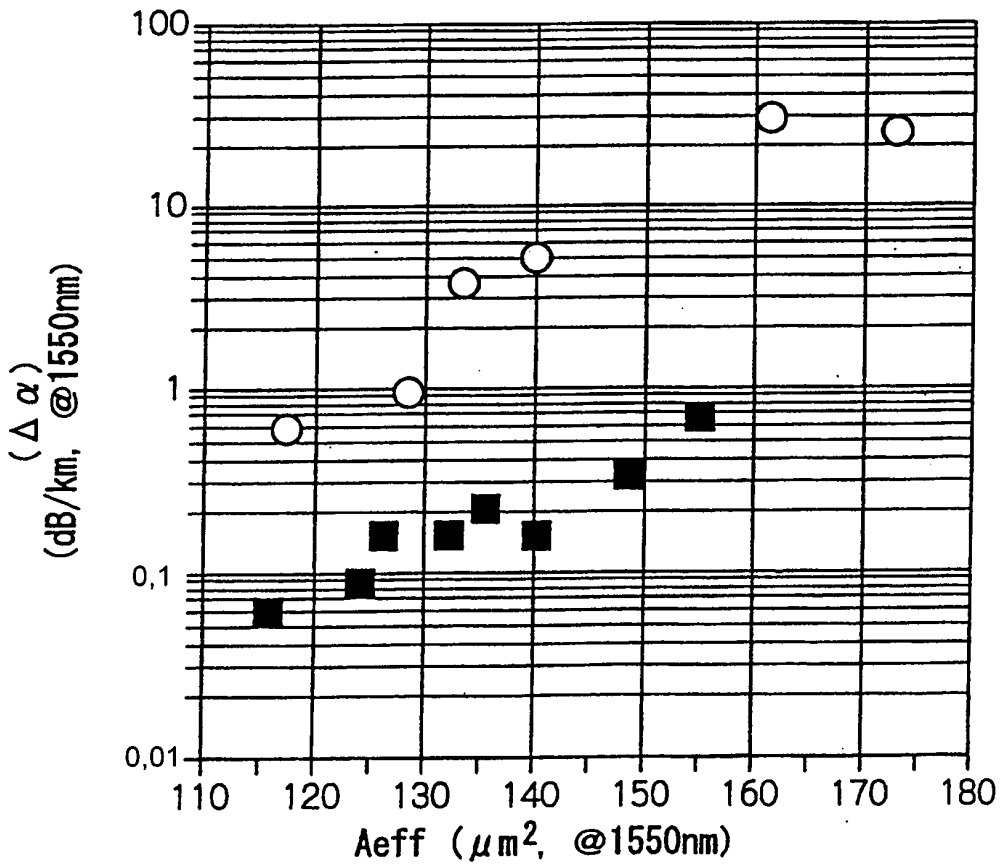


FIG. 2

ERHÖHUNG DES SANDPAPIERSPANNWICKLUNGSVERLUSTS



○ 250 μm HARZ-BESCHICHTETE OPTISCHE FASER
 ■ 400 μm HARZ-BESCHICHTETE OPTISCHE FASER

FIG. 3

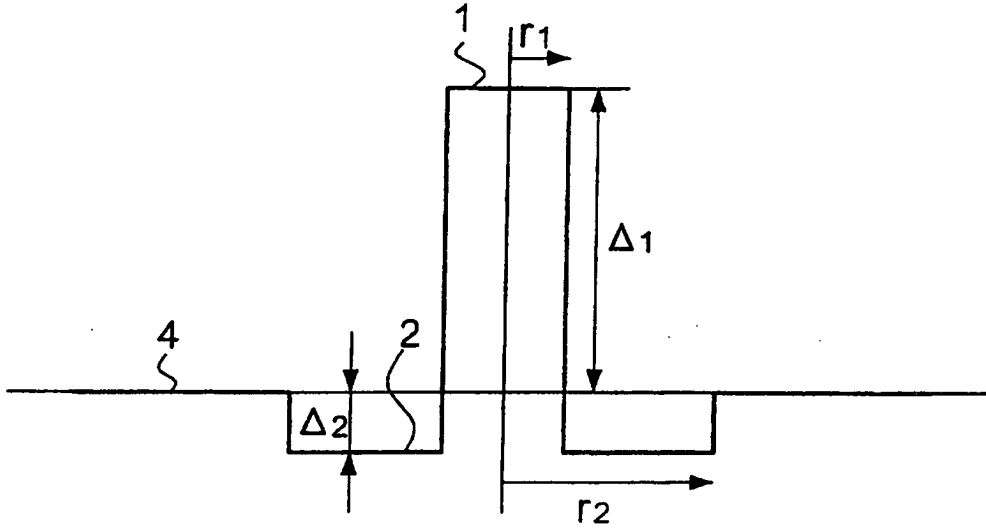


FIG. 4

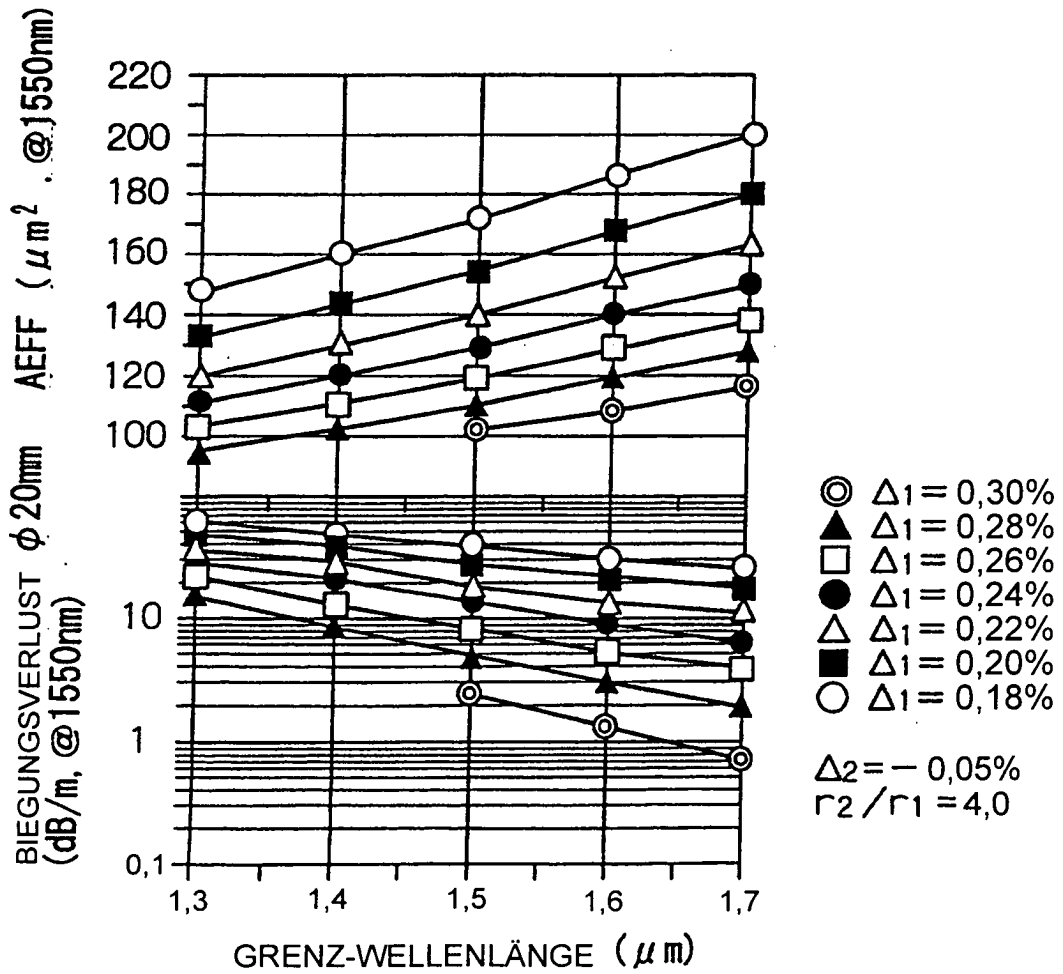


FIG. 5

