(19) **Bundesrepublik Deutschland**
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 600 09 974 T2** 2005.05.04

(12) # Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 1 030 473 B1**
(21) Deutsches Aktenzeichen: **600 09 974.1**
(96) Europäisches Aktenzeichen: **00 301 043.6**
(96) Europäischer Anmeldetag: **09.02.2000**
(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **23.08.2000**
(97) Veröffentlichungstag der Patenterteilung beim EPA: **21.04.2004**
(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **04.05.2005**

(51) Int Cl.[7]: **H04B 10/18**
H04J 14/02

(30) Unionspriorität:
255454 **19.02.1999** **US**

(73) Patentinhaber:
Lucent Technologies Inc., Murray Hill, N.J., US

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

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE, FR, GB, IT

(72) Erfinder:
Chraplyvy, Andrew Roman, Matawan, New Jersey 07747, US; Eichenbaum, Bernard Raymond, Basking Ridge, New Jersey 07920, US; Emery, Gary Patrick, Monmouth Beach, New Jersey 07750, US; Haber, Janice Bilecky, Roswell, Georgia 30075, US; Kalish, David, Roswell, Georgia 30076, US; Kummer, Raymond Bradfield, Lilburn, Georgia 30247, US

(54) Bezeichnung: **Lichtwellenleiternetzwerk mit hoher Kapazität in dem 1.4 um Betriebsgebiet**

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

Technisches Gebiet

[0001] Diese Erfindung bezieht sich auf Einmodenoptikfasersysteme und insbesondere auf ein Wellenlängenmultiplexieren (WDM) an derartigen Systemen.

Stand der Technik

[0002] Die Dispersion ist ein Phänomen, bei dem sich unterschiedliche optische Wellenlängen bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten durch ein Dispersionsmedium, z.B. Glas, bewegen. Und da ein moduliertes Trägersignal viele Wellenlängen umfaßt, ist das optische Signal, das aus dem entfernten Ende einer Glasfaser austritt, eine unscharfe Version des Signals, das in das nahe Ende eingekoppelt wurde. Im Fall einer linearen Dispersion wird dies gelöst, indem in regelmäßigen Abständen eine Kompensation entlang einer Route einer optischen Faser bereitgestellt wird, und weniger Kompensationsstufen sind besser.

[0003] Herkömmliche Einmodenfasersysteme arbeiten vorwiegend in der Wellenlängenregion zwischen 1285 und 1335 Nanometern (nm) und weisen eine Nulldispersions-Wellenlänge bei etwa 1310 nm auf. Jedoch eignet sich die bei derartigen Systemen verwendete optische Faser aufgrund von nichtlinearen Interaktionen und aufgrund eines Mischens zwischen den Kanälen nicht gut zum Übertragen mehrerer eng beabstandeter Trägerwellenlängen. Die einschränkende Form derartiger nichtlinearer Phänomene – 4-Photonen-Mischen (4PM) – ist in der Literatur beschrieben (siehe z.B. Artikel von D. Marcuse, A. Chraplyvy und R. Tkach mit dem Titel „Effect of Fiber Nonlinearity on Long-Distance Transmission", Journal of Lightwave Technology, Band 9, Nr. 1, Januar 1991, Seiten 121–128). Kurz gesagt erscheint 4PM aufgrund einer konstruktiven und destruktiven Störung zwischen unterschiedlichen Signalkanälen als schwankender Gewinn oder Verlust. Die Größe von 4PM ist leistungsabhängig und kann verringert werden, indem die Einkopplungsleistung verringert wird.

[0004] Optische Mehrkanalsysteme bieten die effizienteste Nutzung einer optischen Faser und umfassen Wellenlängenmultiplexer, die wirksam sind, um eine Anzahl von eng beabstandeten Kanälen (Wellenlängenregionen) in einer Übertragungsrichtung auf einen einzelnen optischen Weg zu kombinieren und um sie in der anderen Übertragungsrichtung von dem optischen Weg zu trennen. Und obwohl herkömmliche Einmodenfasersysteme einen WDM-Betrieb in der 1,55 µm-Wellenlängenregion liefern, liegt zu viel lineare Dispersion (z.B. etwa 17 ps/nm-km) vor, die kompensiert werden muß. Beispielsweise ist alle 50 bis 100 Kilometer eine Kompensation erforderlich, was eine unpraktische kurze Entfernung ist.

[0005] In Erwägung gezogene Verwendungen von optischen Fasern umfassen die Übertragung aller Arten von digitalen und analogen Informationen, sowohl separat als auch zusammen. Bestimmte Verwendungen umfassen Daten (z.B. Internet-Verkehr) sowie Rundsendefernsehsignale (TV-Signale), die üblicherweise eine amplitudenmodulierte Restseitenbandsignal-Modulation (AM-VSB) verwenden. Analoge Signale sind inhärent rauschempfindlich, und bei TV-Bildern kann ein Rauschen ohne weiteres beobachtet werden. Insbesondere wenn mehrere Wellenlängen wie z.B. WDM-Signale auf einer einzelnen Faser übertragen werden, bewirkt eine stimulierte Raman-Streuung (SRS), daß Energie von den WDM-Signalen in eine andere Wellenlängenregion übertragen wird, die ganze 120 nm länger ist. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt gibt es keine Systeme, die WDM- und analoge TV-Signale über dieselbe optische Faser bereitstellen.

[0006] In dem Artikel mit dem Titel Fabrication Of Completely OH-Free V.A.D. Fiber in Electronics Letters, 28. August 1980, Band 16, Nr. 19, wurde beobachtet, daß seit einer gewissen Zeit eine vollständig OH-freie optische Faser gewünscht wird, die keine Verlustspitzen aufgrund von OH-Ionen bei jeglichen Wellenlängen in dem Verlustspektrum von Ultraviolett zu Infrarot aufweist; und daß eine derartige Faser eine wichtige Rolle als Übertragungsmedium für WDM-Systeme spielen wird. Dieser Artikel liefert jedoch keine Informationen bezüglich der Dispersionscharakteristika einer solchen Faser, und er liefert keine Informationen bezüglich der Zuweisung von optischen Kanälen innerhalb des nutzbaren Verlustspektrums einer optischen Faser.

[0007] Aus diesen und anderen Gründen wäre ein optisches Übertragungssystem von großem Interesse, das mit einer Vorrichtung kompatibel ist, die für herkömmliche Einmodenfasersysteme entworfen wurde, und das einen WDM-Betrieb ohne eine 4PM-Störung zwischen WDM-Signalen ermöglicht und das eine SRS-Störung zwischen WDM- und analogen TV-Signalen vermeidet. Diese Anmeldung offenbart ein derartiges System.

TERMINOLOGIE

[0008] Herkömmliche Faser – Einmodenglasfaser, die durch eine Dispersionsnull bei etwa 1310 nm, einen Minimalverlust bei etwa 1550 nm und eine Region eines hohen Verlustes bei etwa 1385 nm charakterisiert ist, der auf die Absorption optischer Energie durch Hydroxylionen (OH-Ionen) zurückzuführen ist.

[0009] Dispersion – Wenn er alleine verwendet wird, bezieht sich dieser Begriff auf eine chromatische Dispersion – einen linearen Effekt aufgrund einer wellenlängenabhängigen Geschwindigkeit in dem Trägerspektrum.

[0010] Spanne – Hier wird auf eine Länge einer optischen Faser Bezug genommen, die keine Regeneratoren aufweist. Diese Länge, die wahrscheinlich optische Verstärker umfaßt, ist die Entfernung zwischen Stationen, an denen das Signal in eine/aus einer elektronischen Form umgewandelt wurde (üblicherweise die Entfernung zwischen nächstgelegenen Signalregeneratoren). Diese Spanne kann ein gesamtes System definieren oder kann mit einer oder mehreren zusätzlichen Spannen kombiniert werden.

[0011] Durchschnittliche Systemwellenlänge – eine spezifische Wellenlänge, die durch den arithmetischen Mittelwert der Trägerfrequenzen einer Gruppe von WDM-Kanälen bestimmt wird.

[0012] Wellenlängenregion – Ein Kurzausdruck für eine bestimmte Bandbreite von Wellenlängen. Die 1,3-Mikrometer-Wellenlängenregion (1,3 μm-Wellenlängenregion) soll hierin definitionsgemäß alle Wellenlängen zwischen 1285 und 1335 nm umfassen; die 1,4 μm-Wellenlängenregion soll hierin definitionsgemäß alle Wellenlängen zwischen 1335 und 1435 nm umfassen; und die 1,55 μm-Wellenlängenregion soll hierin definitionsgemäß alle Wellenlängen zwischen 1500 und 1600 nm umfassen.

[0013] WDM – Wellenlängenmultiplexen. Situation, durch die mehrere Kommunikationskanäle, die jeweils eine andere Mittenwellenlänge aufweisen, auf einen einzigen Übertragungsweg wie z.B. eine optische Faser kombiniert werden.

Zusammenfassung der Erfindung

[0014] Wir haben entdeckt, daß die oben beschriebenen Unzulänglichkeiten von bekannten Systemen bei einem optischen Übertragungssystem, das angeordnet ist, um mehrere WDM-Kanäle in der 1,4 μm-Wellenlängenregion zu übertragen, überwunden werden können. Ein derartiges System umfaßt eine optische Faser, die einen geeignet geringen Verlust bei 1385 nm, eine Nulldispersions-Wellenlänge (λ_0) bei etwa 1310 nm und eine lineare Dispersion zwischen etwa 1,5 und 8,0 ps/nm-km innerhalb der 1,4 μm-Wellenlängenregion aufweist. Dieser geringe, jedoch kritische Dispersionsumfang verringert den Effekt des Vier-Photonen-Mischens beträchtlich. Im breitesten Sinne spiegelt die vorliegende Erfindung eine Anzahl von Beobachtungen wider, die folgende umfassen: (i) Vier-Photonen-Mischen ist ein relevanter Mechanismus, der bei dem Entwurf von WDM-Systemen in Erwägung gezogen werden muß; (ii) eine stimulierte Raman-Streuung von WDM-Kanälen weist eine negative Wirkung auf eine Analogsignalübertragung bei 1550 nm auf, und (iii) wünschenswerterweise sollten neue WDM-Systeme mit Vorrichtungen, die bei herkömmlichen Einmodenfasersystemen verwendet werden, umgekehrt kompatibel sein.

[0015] Ein Vorteil der vorliegenden Erfindung besteht darin, daß durch ein Positionieren von WDM-Kanälen in der 1,4 μm-Wellenlängenregion die Wellenlängenregionen um 1310 nm und 1550 nm herum zur Verwendung durch Geräte zur Verfügung stehen, die traditionell in diesen Regionen arbeiten.

[0016] Ein weiterer Vorteil der vorliegenden Erfindung besteht darin, daß durch das Positionieren von WDM-Kanälen in der 1,4 μm-Wellenlängenregion, in der die Dispersion weniger als etwa 8 ps/nm-km beträgt, in den meisten städtischen optischen Übertragungssystemen, bei denen die Entfernungen geringer sind als etwa 200 km, eine Dispersionskompensation vermieden werden kann.

[0017] Ein weiterer Vorteil der vorliegenden Erfindung besteht darin, daß aufgrund des Positionierens von WDM-Kanälen in der 1,4 μm-Wellenlängenregion ein beträchtlicher Puffer (etwa 120 nm) vorliegt, um analoge Signale, z.B. Rundsendefernsehen, die bei 1550 nm arbeiten, vor einem SRS-Rauschen zu schützen.

[0018] Bei veranschaulichenden Ausführungsbeispielen der Erfindung werden für die Verstärkung der WDM-Kanäle in der 1,4 μm-Region Raman-Verstärker verwendet, wohingegen für eine Verstärkung von Kanälen, die in der Region von 1,55 μm arbeiten, Erbium-Verstärker verwendet werden.

Kurze Beschreibung der Zeichnung

[0019] Die Erfindung und ihre Funktionsweise werden aus der folgenden ausführlichen Beschreibung, wenn sie in Verbindung mit der beigefügten Zeichnung gelesen wird, näher verständlich. Es zeigen:

[0020] Fig. 1 ein erstes Ausführungsbeispiel eines Optikfasernetzwerks einer hohen Kapazität, das WDM-Kanäle in der 1,4 μm-Wellenlängenregion, die bei Geschwindigkeiten von jeweils bis zu 10 Gb/s arbeiten, und das WDM-Kanäle in der 1,55 μm-Wellenlängenregion, die bei Geschwindigkeiten von jeweils bis zu 2,5 Gb/s arbeiten, umfaßt;

[0021] Fig. 2 ein zweites Ausführungsbeispiel eines Optikfasernetzwerks einer hohen Kapazität, das WDM-Kanäle in der 1,4 μm-Wellenlängenregion, die bei Geschwindigkeiten von jeweils bis zu 10 Gb/s arbeiten, und einen analogen CATV-Kanal in der 1,55 μm-Wellenlängenregion umfaßt;

[0022] Fig. 3 einen Graphen, der die Chromatische-Dispersion-(Lineare-Dispersion-) und Übertragungsverlustcharakteristika einer optischen Faser, die bei der vorliegenden Erfindung verwendet wird, zeigt;

[0023] Fig. 4 ein Flußdiagramm einer kommerziell rentablen Technik zum Herstellen der bei der vorliegenden Erfindung verwendeten optischen Faser;

[0024] Fig. 5 allgemein die Herstellung eines Kernstabs anhand des Axialabscheideverfahrens;

[0025] Fig. 6 einen Querschnitt einer Optikfaservorform, die zum Ziehen einer bei der vorliegenden Erfindung verwendeten Glasfaser verwendet wird; und

[0026] Fig. 7 einen Graphen, der den Raman-Gewinnkoeffizienten gegenüber einer Frequenzverschiebung für geschmolzenes Silikatglas bei einer Pumpenwellenlänge von 1500 nm zeigt.

Ausführliche Beschreibung

[0027] Fig. 1 offenbart ein Optikfasernetzwerk **100** einer hohen Kapazität gemäß der vorliegenden Erfindung. Von Bedeutung ist die Tatsache, daß eine Mehrzahl von wellenlängengemultiplexten (WDM-)Kanälen in der 1,4 μm-Wellenlängenregion (d.h. 1335 bis 1435 nm) arbeiten. Ferner verwenden die WDM-Kanäle dieselbe optische Faser wie analoge CATV-Signale, die in der 1,3 μm-Wellenlängenregion (d.h. 1285 bis 1335 nm) arbeiten, und andere WDM-Kanäle, die in der 1,55 μm-Wellenlängenregion (d.h. 1500 bis 1600 nm) arbeiten. Zur Veranschaulichung sind vier Hochgeschwindigkeitsdatenkanäle, die Trägerwellenlängen (λ_{11}, λ_{12}, λ_{13}, λ_{14}) aufweisen, gezeigt, wobei jeder Träger in Sendern **111** bei einer Datenrate von 10 Gigabits pro Sekunde (Gb/s) moduliert ist. Derartige Kanäle sind bezüglich eines Sendens einer beträchtlichen Menge an digitalen Informationen, einschließlich Telefonie, Daten und Video, effektiv. Diese Kanäle sind in der Veranschaulichung um 1400 nm herum gruppiert und weisen eine Mitte-Zu-Mitte-Kanalbeabstandung von 100 Gigahertz (GHz) auf. Und obwohl vier Kanäle gezeigt sind, kann auch eine größere oder kleinere Anzahl verwendet werden. Zusätzlich kann die Kanalbeabstandung größer oder geringer sein als 100 GHz, wie durch den Netzwerkentwerfer auf der Grundlage von Überlegungen wie z.B. bezüglich der Verstärkerbandbreite sowie bezüglich der Verfügbarkeit und/oder der Kosten von zugehörigen Vorrichtungen, z.B. von Multiplexern und Demultiplexern, bestimmt wird. Der Sender **111-1** empfängt Eingangsdaten bei der Rate von 10 Gb/s und moduliert eine kohärente Lichtquelle, deren nominale Wellenlänge, λ_{11}, etwa 1400 nm beträgt. Anschließend werden die optischen Signale in einen optischen Multiplexer **112** eingespeist, dessen Aufgabe darin besteht, eine Mehrzahl von Eingaben, die jeweils eine unterschiedliche Wellenlänge aufweisen, auf ein einziges Ausgangstor **110** zu kombinieren.

[0028] Ferner sind sechzehn digitale Kanäle in der 1,55 μm-Wellenlängenregion gezeigt, wobei jeder Kanal einen Träger aufweist, der in dem Sender **121** bei einer Rate von 2,5 Gb/s moduliert ist. Derartige Kanäle sind bezüglich eines Sendens von digitalen Informationen, einschließlich Telefonie, Daten und Video, effektiv. Diese Kanäle sind um 1550 nm herum gruppiert und weisen eine Trägerbeabstandung von 100 GHz auf, die 0,8 nm bei 1550 nm entspricht. Und obwohl sechzehn Kanäle gezeigt sind, kann auch eine größere oder geringere Anzahl verwendet werden. Ferner kann die Kanalbeabstandung größer oder geringer sein als 100 GHz, wie durch den Netzwerkentwerfer auf der Grundlage von Überlegungen wie z.B. bezüglich der Verstärkerbandbreite sowie bezüglich der Verfügbarkeit und/oder der Kosten von zugehörigen Vorrichtungen, z.B. von Multiplexern und Demultiplexern, bestimmt wird. Die optischen Signale von den Sendern **121** werden in einen optischen Multiplexer **122** eingespeist, dessen Aufgabe darin besteht, eine Mehrzahl von Eingaben, die jeweils

eine unterschiedliche Wellenlänge aufweisen, auf ein einziges Ausgangstor **210** zu kombinieren.

[0029] Optisches Multiplexieren und Demultiplexieren wird häufig über ein Paar von Sternkopplern bewerkstelligt, die durch ein optisches Gitter (d.h. eine Anzahl von parallelen Wellenleitern – deren Längen sich in bezug auf ihren nächsten Nachbarn jeweils um einen vorbestimmten feststehenden Betrag unterscheiden) miteinander verbunden sind. Beispiele derartiger Bauelemente sind in den US-Patentschriften Nrn. 5,002,350 und 5,136,671 und 5,412,744 gezeigt. Bei einer Richtung der optischen Übertragung kann der Multiplexer als ein Multiplexer verwendet werden, bei dem eine Mehrzahl von separaten und gesonderten Wellenlängen (λ_{11}, λ_{12}, ... λ_{1n}) in verschiedene Eingangstore eines Sternkopplers eingekoppelt werden und an einem einzelnen Ausgangstor des anderen Sternkopplers austreten. In der anderen Richtung der optischen Übertragung fungiert der Multiplexer als Demultiplexer, bei dem eine Mehrzahl von unterschiedlichen Wellenlängen in ein einzelnes Tor eines Sternkopplers eingekoppelt wird und an mehreren Toren des anderen Sternkopplers austritt, je nach ihren jeweiligen Wellenlängen.

[0030] In Abhängigkeit von der Entfernung zwischen den Sendern (**101**, **111**, **121**) und den Empfängern (**105**, **115**, **125**) in dem Netzwerk **100** kann es notwendig sein, die optischen Signale zu verstärken. Optische Verstärker sind Regeneratoren vorzuziehen, da sie optische Signale direkt verstärken, ohne sie zum Zweck einer elektronischen Verstärkung in elektrische Signale und dann zurück in optische Signale umwandeln müssen. Vorzugsweise werden in den Wellenlängenregionen von 1,3 und 1,4 μm Raman-Verstärker **103**, **113** verwendet, und in der 1,55 μm-Region werden Erbium-Verstärker **123** verwendet. Trotzdem können in allen relevanten Wellenlängen innerhalb des Netzwerks **100** Raman-Verstärker verwendet werden. Raman-Verstärker weisen eine nutzbare Bandbreite von 25 bis 30 nm auf (siehe US-Patentschrift Nr. 5,623,508, die am 22. April 1997 erteilt wurde), die sich zur Verwendung bei der vorliegenden Erfindung eignet. Überdies können Raman-Verstärker zum Zwecke einer erhöhten Bandbreite in einer parallelen Konfiguration angeordnet werden. In der Tat wurde beträchtliche Mühe auf den Entwurf von mehrstufigen, sehr breitbandigen optischen Verstärkern gerichtet. Eine Schrift von M. Yamada et al., in dem Band 33, Nr. 8, Electronics Letters, am 10. April 1997 auf Seiten 710–711, ist repräsentativ. Es versteht sich, daß bei der vorliegenden Erfindung bei allen relevanten Wellenlängen zu geringeren Kosten, aber auch bei einer geringeren Leistungsfähigkeit optische Halbleiterverstärker verwendet werden können.

[0031] Ein Kombinieren optischer Signale in drei verschiedenen Wellenlängenregionen wird durch ein Grob-WDM (CWDM – coarse wavelength-devision-multiplexing) **131** bewerkstelligt, das ordnungsgemäß als „grob" betrachtet wird, um es von Routern zu unterscheiden, die eng beabstandete Kanäle eines WDM-Kanalsatzes umfassen. CWDM **131** kombiniert optische Signale in den Regionen von 1,3 μm, 1,4 μm und 1,55 μm auf eine einzige optische Faser **130**. Mach-Zehnder-Interferometer sind hinreichend bekannt und eignen sich zur Verwendung beim Aufbauen von CWDM **131**. Die optische Faser **130** umfaßt eine optische Einmodenfaser, deren Verlust- und Dispersionscharakteristika in Fig. 3 gezeigt sind. Später wird näher auf den Aufbau und die Charakteristika der optischen Faser **130** eingegangen, die sich ohne Regeneration oder Dispersionskompensation über eine Länge L erstreckt.

[0032] Da die meisten optischen Bauelemente bilateral sind und da das in Fig. 1 gezeigte Netzwerk **100** im wesentlichen symmetrisch ist, kann man die Operation des Abschnitts der rechten Hälfte ohne weiteres ableiten. Beispielsweise ist das CWDM **132** ein Grob-WDM, das Wellenlängen in der Region von 1,3 μm zu dem Empfänger **105** lenkt, das Wellenlängen in der Region von 1,4 μm zu dem Demultiplexer **114** lenkt und das Wellenlängen in der Region von 1,55 μm zu dem Demultiplexer **124** lenkt. Desgleichen lenkt der Demultiplexer **114** optische Signale, die an seinem Eingangstor **140** vorliegen, je nach der Wellenlänge zu einem bestimmten Ausgangstor. Das heißt, daß der 10-Gb/s-Kanal, der die Trägerwellenlänge λ_{11} aufweist, zu einem Ausgangstor geroutet wird, während ein anderer 10-Gb/s-Kanal, der die Trägerwelle λ_{12} aufweist, zu einem anderen Ausgangstor geroutet wird. Dagegen wird jeder der 10-Gb/s-Kanäle zum Zweck einer Demodulierung und Umwandlung von einer optischen zu einer elektrischen Signalgebung an die Empfänger **115** geliefert. Der untere Abschnitt der Fig. 1 befaßt sich mit der Übertragung in der Region von 1,55 μm, in der 16 Informationskanäle von den Sendern **121** an die Empfänger **125** gesendet werden. In dieser Wellenlängenregion ist ein Erbium-Verstärker **123** vorzuziehen. Der Multiplexer **122** und der Demultiplexer **124** sind von ihrer Funktion her ähnlich dem oben beschriebenen Multiplexer **112** und Demultiplexer **114**. In der Veranschaulichung kommunizieren die Sender **121** und die Empfänger **125** digitale Informationen bei einer Rate von 2,5 Gb/s. Der Entwurf der Sender (**101**, **111**, **121**), der Empfänger (**105**, **115**, **125**), der Multiplexer (**112**, **122**) und der Demultiplexer (**114**, **124**) ist Fachleuten bekannt und in zahlreichen Veröffentlichungen offenbart.

[0033] Ein beträchtlicher Vorteil besteht darin, daß die Spanne der optischen Faser **130** in dem Netzwerk **100** ganze 200 Kilometer lang sein kann, ohne das Erfordernis einer Dispersionskompensation bei Bitraten von 10

Gb/s. Dies ist möglich, da die Dispersion der optischen Faser **130** in der 1,4 µm-Wellenlängenregion geringer ist als etwa 8,0 ps/nm-km und da die Datenrate der WDM-Kanäle in der 1,55 µm-Region etwa 2,5 Gb/s oder weniger beträgt. Derartige Entfernungen sind groß genug, um nahezu alle städtischen Netzwerke abzudecken.

[0034] Fig. 2 offenbart ein zweites Ausführungsbeispiel eines Optikfasernetzwerks **200** mit hoher Kapazität, das WDM-Kanäle in der 1,4 µm-Wellenlängenregion, die jeweils bei Geschwindigkeiten von bis zu 10 Gb/s arbeiten, und einen analogen CATV-Kanal in der 1,55 µm-Wellenlängenregion umfaßt. Die in dem Netzwerk **200** verwendeten Komponenten sind im wesentlichen dieselben wie diejenigen, die in dem Netzwerk **100** (siehe Fig. 1) verwendet werden, mit Ausnahme des Senders **141** und des Empfängers **145**, die angepaßt sind, um unter Verwendung einer amplitudenmodulierten Restseitenbandsignal-Modulation (AM-VSB) Rundsende-TV-Signale in der Region von 1,55 µm zu senden und zu empfangen. Eine analoge AM-VSB-Modulation ist insofern rauschempfindlich, als das Fernsehbild eine Verschlechterung erfährt, wenn Störsignale hinzugefügt werden. Fig. 2 offenbart eine Technik zum Führen vieler optischer Kanäle einer digitalen Übertragung zusammen mit Rundsende-Fernsehen, wobei der optische Fernsehkanal bei der bevorzugten Wellenlänge (d.h. 1550 nm) zum Zweck einer breiten Verteilung von einer Super Head End vorliegt.

[0035] Wenn man mehrere Wellenlängen auf einer einzigen optischen Faser überträgt, gibt es mehrere nicht-lineare Mechanismen, die eine Signalenergie von einer Wellenlänge zu einer anderen transferieren können. Einer dieser Mechanismen ist die stimulierte Raman-Streuung, die besonders problematisch ist, wenn viele Wellenlängen vorliegen, die auf einer Faser geführt werden, da SRS die Mittel zum Transferieren von Energie zu höheren Wellenlängen liefert. Die folgende Erörterung ist den Seiten 239 bis 248 des von Kaminow und Koch herausgegebenen Textes Optical Fiber Telecommunications IIIA entnommen.

[0036] Die stimulierte Raman-Streuung (SRS) ist eine nicht-lineare parametrische Interaktion zwischen Licht und molekularen Schwingungen. Licht, das in eine optische Faser eingekoppelt ist, wird teilweise gestreut, und seine Frequenz wird verringert. Die Änderung der optischen Frequenz entspricht der Molekülschwingungsfrequenz. SRS ist ähnlich der stimulierten Brillouin-Streuung (SBS), kann jedoch entweder in der Vorwärts- oder der Rückwärtsrichtung erfolgen. Der Raman-Gewinnkoeffizient ist etwa drei Größenordnungen kleiner als der Brillouin-Gewinnkoeffizient, so daß die SRS-Schwelle bei einem Einkanalsystem etwa drei Größenordnungen größer ist als die SBS-Schwelle. Die Verstärkungsbandbreite für SRS ist in der Größenordnung von 12 THz oder 120 nm jedoch viel größer als die für SBS. Das heißt, daß SRS verschiedene Kanäle in einem WDM-System koppeln und zu einem Übersprechen führen kann.

[0037] Es wird kurz auf Fig. 7 Bezug genommen, die den Raman-Gewinn in einer Faser aus geschmolzenem Silikatglas zeigt.

[0038] Aufgrund der SRS werden bei einem WDM-System Signale bei längeren Wellenlängen durch Signale einer kürzeren Wellenlänge verstärkt, was zu der Verschlechterung der Signale der kürzeren Wellenlänge und zu einem Rauschen bei den längeren Wellenlängen führt. SRS koppelt Kanäle, die in bezug auf die Wellenlänge um bis zu 140 nm getrennt sind, obwohl über 120 nm hinaus eine beträchtliche Verringerung vorliegt. Falls viele Wellenlängen vorliegen, die Signale führen, wie es die effizienteste und bevorzugte Art und Weise ist, WDM-Übertragungssysteme zu verdichten, können sie alle auf kumulative Weise Energie zu jeglichem Signal beitragen, das auf einer Wellenlänge getragen wird, die bis zu 120 nm länger ist. Für ein AM-VSB-Signal, das sich in der 1,55 µm-Region ausbreitet, wie bei Fig. 2 angegeben ist, bedeutet dies, daß jegliches Signal auf einer Wellenlänge zwischen 1430 nm und 1550 nm Energie in das AM-VSB-Signal transferieren und es verschlechtern kann. Somit sollten Rundsende-Fernsehsignale einerseits so stark wie möglich isoliert sein, während man andererseits die Faser für so viele aktive Wellenlängen wie möglich nutzen möchte.

[0039] Fig. 3 ist ein Graph, der die Lineare-Dispersions-(**303**) und Übertragungsverlust-(**301**)Charakteristika einer optischen Faser zeigt, die sich zur Verwendung bei der vorliegenden Erfindung eignet. Ein Verlust in der gezeigten Wellenlängenregion ist hauptsächlich auf eine Rayleigh-Streuung und eine Absorption durch Hydroxylionen (OH) zurückzuführen. Rayleigh-Streuung ist ein grundlegendes Phänomen, das sich aus Dichte- und Zusammensetzungsschwankungen in dem Fasermaterial ergibt. Rayleigh-Streuung ist proportional zu $1/\lambda^4$, wobei λ die Wellenlänge des Lichtes ist. Sie ist elementar, kann nicht beseitigt werden und legt die Untergrenze eines Faserverlustes fest. Der Verlust in der 1,4 µm-Region beispielsweise wird auch durch die Anzahl von OH-Ionen, die in dem Glas vorliegen, bestimmt. Ein derartiger Verlust ergibt sich daraus, daß Wellenlängenenergie bei Wellenlängen, die auf ihre unterschiedlichen Schwingungsmodi bezogen sind, durch die OH-Ionen absorbiert wird. Bisher wurde ein Betrieb in der 1,4 µm-Region bezüglich einer optischen Übertragung über eine große Entfernung (d.h. mehr als 10 Kilometer) hinweg aufgrund von Verlusten, die auf eine Energieabsorption durch OH-Ionen zurückzuführen ist, effektiv verhindert. Ein derartiger Verlust ist in Fig. 3 als Wasser-

höchststand **302** gezeigt, der einer herkömmlichen Glasfaser zugeordnet ist. Ein derartiger Verlust liegt bei Glasfasern, die bei der vorliegenden Erfindung verwendet werden, nicht vor. Tatsächlich wurde für eine optische Faser, die sich zur Verwendung bei der vorliegenden Erfindung eignet, eine Spezifikationstabelle erstellt. Die Tabelle soll jedoch nicht die gesamte Bandbreite von akzeptablen Fasern definieren und wird lediglich zu Veranschaulichungszwecken präsentiert.

VERANSCHAULICHENDE FASERSPEZIFIKATIONSTABELLE

Maximale Dämpfung:	
1310 nm	0,35–0,40 dB/km
1385 nm	0,31 dB/km
1550 nm	0,21–0,25 dB/km
Modenfelddurchmesser:	
1310 nm	9,3 ± 0,5 µm
1550 nm	10,5±1,0 µm
Kern-/Mantelexzentrität	< 0,6 µm
Manteldurchmesser	125 ± 1,0 µm
Grenzwellenlänge	< 1260 nm
Nulldispersions-Wellenlänge	1300–1322 nm
Dispersion	> 0,8 ps/nm-km (1335–1435 nm)
Dispersionsneigung	< 0,092 ps/nm^2-km (Maximum)
Makrokrümmung	< 0,5 dB bei 1550 nm (1 Windung, 32 mm)
Makrokrümmung	< 0,05 dB bei 1550 nm (100 Windungen, 75 mm)
Beschichtungsdurchmesser	245±10 µm
Festigkeitsprüfung	100 kpsi

[0040] Die vorliegende Erfindung verwendet eine optische Faser, die in der 1,4 µm-Wellenlängenregion einen geringen Verlust aufweist. Mit „geringem Verlust" ist gemeint, daß die durch optische Signale erfahrene Dämpfung im Vergleich zu einer herkömmlichen optischen Einmodenfaser beträchtlich verringert ist.

[0041] Eine kommerziell rentable Herstellungstechnik zum Herstellen einer derartigen Faser ist in der EP-A-0887670 mit dem Titel Optical Fiber having Low Loss At 1385 nm And Method For Making Same dargelegt. Diese Technik wird nachstehend kurz erläutert.

[0042] Fig. 4 liefert eine allgemeine Übersicht einer Technik zum Herstellen einer optischen Faser, die bei 1385 nm einen geringen Verlust aufweist. Diese Schritte weisen einzelne Bezugszeichen auf (**41**–**48**). Die ersten drei Schritte (Bezugszeichen **41**–**43**) beziehen sich auf die Herstellung eines Kernstabs, der einen geeignetermaßen geringen OH-Gehalt (d.h. weniger als 0,8 Teile pro Milliarde) aufweist und der außen mit einer Glasröhre umhüllt sein kann. Dementsprechend können die ersten drei Schritte durch den einzigen Schritt des Bildens eines Kernstabs ersetzt werden, dessen Verhältnis zwischen aufgebrachter Umhüllung und Kern geringer als 7,5 ist und der einen OH-Gehalt aufweist, der geringer ist als 0,8 Teile pro Milliarde, bezogen auf das Gewicht. Vorzugsweise wird der Kernstab durch einen Schritt mit dem Bezugszeichen **41** wie nachstehend erörtert durch ein Axialabscheideverfahren (VAD) hergestellt:

Herstellung eines Kernstabs

[0043] Bezüglich einer Erläuterung des VAD-Prozesses, bei dem Glaspartikel oder „Ruß" auf einen Silika-Ausgangsstab aufgebracht werden, wird auf Fig. 5 Bezug genommen. Der Kernstab **50** umfaßt einen Kern **51**, dessen Brechungsindex höher ist als der Brechungsindex des aufgebrachten Mantels **52**. Es ist zu beachten, daß sich Licht zu der Region, deren Brechungsindex höher ist, hin beugt, und man greift auf dieses Gesetz der Physik zurück, um Licht an dem Zentrum einer optischen Faser entlangzuführen. Um eine Region zu erzeugen, die einen relativ hohen Brechungsindex aufweist, wird ein Brenner **501** mit Brennmaterial (z.B. Sauerstoff und Wasserstoff) und Rohmaterial (z.B. $GeCl_4$ und $SiCl_4$) so beschickt, daß der Brenner verdampftes Rohmaterial in einer Flamme auf die Mitte des Glasstabs projiziert. Die Flamme bewirkt, daß das Rohmaterial so reagiert, daß es Glaspartikel (Ruß) auf dem Kernstab **50** abscheidet. Üblicherweise erstreckt sich der Kernstab vertikal, wobei die anfängliche Abscheidung an seinem oberen Ende stattfindet. Anschließend wird er ver-

tikal nach oben bewegt und gedreht, so daß Glasruß entlang seiner gesamten Länge und entlang seines gesamten Umfangs abgeschieden wird. Ein weiterer Brenner **502** wird verwendet, um eine Glasschicht **52**, die als der abgeschiedene Mantel bezeichnet wird, auf dem Kern **51** abzuscheiden. Das bei dem Brenner **52** zum Herstellen des Mantels **52** verwendete Rohmaterial ist beispielsweise $SiCl_4$. Somit sei erwähnt, daß ein Dotieren des Kerns **51** mit Germanium eine Möglichkeit ist, einen Kern zu erzeugen, der einen höheren Brechungsindex aufweist als der Mantel. Alternativ dazu kann $SiCl_4$ das beim Herstellen des Kerns **51** verwendete Rohmaterial sein, während ein Fluordotieren des abgeschiedenen Mantels einen Mantel erzeugt, der einen niedrigeren Brechungsindex aufweist als der Kern. In dieser Situation werden Fluoride wie z.B. SF_6, CCl_2F_2, CF_4 mit $SiCl_4$ in dem Mantelbrenner **502** gemischt. Spezifische Einzelheiten bezüglich unterschiedlicher Faserherstellungsprozesse sind im Kapitel 4 des Lehrbuchs Optical Fiber Telecommunications II, Academic Press, Inc., © 1988 AT&T and Bell Communications Research, Inc., enthalten. Insbesondere beschäftigt sich Abschnitt 4.4.4 (Seiten 169–180) mit dem VAD-Prozeß.

[0044] Bei dem oben beschriebenen VAD-Prozeß ist der Durchmesser des aufgebrachten Mantels (D) geringer als das 7,5-Fache des Durchmessers des Kerns (d). Und da die Herstellung des Kernstabs ein teurer Vorgang ist, führt jegliche Zeitersparnis bei der Herstellung des Kernstabs direkt zu niedrigeren Faserkosten. In der Tat ist die für den Kernstab erforderliche Menge an VAD-Abscheidung proportional zu $(D/d)^2$. Wenn jedoch D/d für den Kernstab geringer wird, wächst das Erfordernis der Reinheit in der Außenumhüllungsröhre. Durch ein Verringern von D/d wandert mehr optische Leistung in der Faser in der Außenumhüllungsröhre, und Unreinheiten wie z.B. OH-Ionen bewirken einen zusätzlichen Absorptionsverlust. Das ist darauf zurückzuführen, daß OH-Ionen beweglich sind und zum Kern hin wandern, insbesondere während des Vorgangs der Faserziehung. Außerdem, was noch schlimmer ist, können sich OH-Ionen zu Wasserstoff zersetzen, der noch viel beweglicher ist als OH selbst, und sie können auch während eines Faserziehens in den Faserkern diffundieren. Eine anschließende Reaktion zwischen dem Wasserstoff und atomaren Defekten in dem Faserkern bewirkt, daß sich dort OH-Ionen bilden. Kernstäbe, deren Verhältnisse zwischen abgeschiedenem Mantel/Kern geringer als 2,0 sind, erfordern Außenumhüllungsröhren, die einen ungewöhnlich niedrigen OH-Gehalt aufweisen, was zum derzeitigen Zeitpunkt nicht kosteneffektiv ist. Dementsprechend wird derzeit eine kommerziell praktikable Bandbreite für Verhältnisse zwischen abgeschiedenem Mantel/Kern von $2,0 < D/d < 7,5$ festgelegt.

[0045] Das Schrittbezugszeichen **42** in Fig. 4 gibt an, daß der Kernstab dehydriert wird, indem er bei einer Temperatur von etwa 1.200°C in eine Chlor oder Fluor enthaltende Atmosphäre plaziert wird. In dieser Phase ist der Kernstab ein poröser Rußkörper, und beispielsweise Chlorgas durchdringt ohne weiteres die Zwischenräume des Rußkörpers und ersetzt OH-Ionen durch Chlorionen, was zu einem Rußkörper führt, der im wesentlichen frei von Wasser ist. Die Rate der Ersetzung der OH-Ionen steht mit der Chlorgasflußrate und der Dehydrierungstemperatur in Beziehung.

[0046] Das Schrittbezugszeichen **43** in Fig. 4 gibt an, daß der Kernstab verfestigt wird, indem er bei einer Temperatur von etwa 1.500°C in eine Heliumatmosphäre plaziert wird. Die Verfestigung ist der Schritt, bei dem der poröse Rußstab in ein dichtes Glas umgewandelt wird, das frei von Partikelgrenzen ist. Spezifische Einzelheiten bezüglich der Dehydrierungs- und Verfestigungsschritte sind in der US-Patentschrift 3,933,454, die am 20. Januar 1976 erteilt wurde, angegeben.

[0047] Das Schrittbezugszeichen **44** bei Fig. 4 gibt an, daß der Kernstab unter Verwendung eines Sauerstoff/Wasserstoff-Brenners vorzugsweise verlängert wird. Dies ist die effektivste Weise, wie eine große Wärmemenge, die für diesen Schritt benötigt wird, geliefert werden kann. Alternativ dazu wird dieser Schritt unter Verwendung eines wasserstofffreien Plasmabrenners, wie nachfolgend erläutert wird, durchgeführt, und vorteilhafterweise beseitigt er das Erfordernis eines Ätzens (Schrittbezugszeichen **45**). Üblicherweise sind Kernstäbe, die durch den VAD-Prozeß gewachsen werden, zu groß, um in Außenumhüllungsröhren einer vernünftigen Größe zu passen, und sie werden üblicherweise vor einer Einführung gestreckt, um ihren Durchmesser zu verringern. Streckungen werden auf einer Glasdruehbank, deren Aufbau in der Technik hinreichend bekannt ist, bewerkstelligt. Der Kernstab wird zwischen dem Spindelstock und dem Reitstock der Drehbank zum Zweck einer gemeinsamen Drehung mit derselben angebracht. Während sich der Kernstab dreht, bewegt sich ein Brenner entlang seiner Mittelachse bei einer konstanten Geschwindigkeit auf den Spindelstock zu. Gleichzeitig mit der Bewegung des Brenners bewegt sich der Reitstock weg von dem Spindelstock, wodurch der Kernstab gestreckt wird, um seinen Durchmesser zu verringern. Brennbare Gase, z.B. Wasserstoff und Sauerstoff, werden bei einer beispielhaften Geschwindigkeit von 30 Litern pro Minute (lpm) bzw. 15 lpm durch den Brenner geschleust. Und obwohl die Verwendung von Wasserstoff kommerziell praktisch ist, erzeugt sie eine OH-Schicht auf der Oberfläche des Kernstabes. Kernstabstreckung ist in der Technik bekannt, und spezifische Einzelheiten sind beispielsweise in der US-Patentschrift Nr. 4,578,101, die am 25. März 1986 erteilt wurde, offenbart.

Ätzen des Kernstabes

[0048] Das Schrittbezugszeichen **45** gibt an, daß der verlängerte Kernstab geätzt wird, vorzugsweise mit einem wasserstofffreien Plasmabrenner. Eine kurze Erläuterung des Plasmaätzvorgangs wird nachstehend gegeben, obwohl es sich versteht, daß auch andere Ätztechniken verwendet werden können, um OH-Ionen effektiv von der Oberfläche des Stabes zu beseitigen. Diese anderen Ätztechniken umfassen mechanisches Schleifen und chemisches Ätzen, sind aber nicht auf diese beschränkt.

[0049] Ein isothermes Plasma kann verwendet werden, um Silika und Silikatglas schnell von der Außenoberfläche eines Glasstabes zu entfernen (wegzuätzen) (siehe z.B. US-Patentschrift Nr. 5,000,771). Bei einem isothermen Plasmabrenner ist der vorwiegende Mechanismus für eine Entfernung von Material eine Verdampfung aufgrund der hohen Plasmatemperatur, die im Plasmazentrum üblicherweise Pegel von mehr als 9.000°C erreichen kann. Ein Kontakt des elektrisch leitfähigen Feuerballs mit der feuerfesten dielektrischen Oberfläche transferiert Energie auf effiziente Weise zu der Oberfläche und erhöht die Oberflächentemperatur über den Verdampfungspunkt der dielektrischen Materialien auf derselben.

[0050] Die Fasergesamtkosten werden durch die Verwendung von größeren Außenumhüllungsröhren verringert. Vorzugsweise umfaßt die Röhre synthetisches Silika, das für seine hohe Reinheit, seine geringe Dämpfung und seine hohe Zugfestigkeit bekannt ist. Die Reinheit der Außenumhüllungsröhre bestimmt, wie nahe sie an dem Kern plaziert werden kann. Das Schrittbezugszeichen **46** gibt an, daß der Kernstab von einer Glasröhre umhüllt ist, die einen geeignet niedrigen OH-Pegel aufweist, was bedeutet, daß, während der Wert von D/d geringer wird, die Reinheit der Röhre höher sein muß (d.h. daß ihr OH-Gehalt niedriger sein muß). Beispielsweise veranschaulicht die folgende Tabelle verschiedene OH-Konzentrationspegel in der Außenumhüllungsröhre, die zur Verwendung bei der vorliegenden Erfindung geeignet niedrig sind:

D/d	OH-Konzentration
7,5	< 200 ppm
5,2	< 1,0 ppm
4,4	< 0,5 ppm

[0051] Das Schrittbezugszeichen **47** in Fig. 4 gibt an, daß die Glasröhre nun auf den Kernstab zusammenfällt, um eine Vorform **60** zu erzeugen, deren Querschnitt in Fig. 6 gezeigt ist. Das Zusammenfallen wird veranschaulichenderweise durch Verwendung eines Brenners vom Ringtyp erreicht, um die Außenumhüllungsröhre **62**, die vertikal orientiert ist und den Stab **50** umgibt, zu erhitzen. Einzelheiten bezüglich dieses Prozesses sind in der US-Patentschrift Nr. 4,820,322 enthalten. Schließlich gibt das Schrittbezugszeichen **48** in Fig. 4 den hinreichend bekannten Prozeß des Ziehens einer optischen Faser aus einem erhitzten (etwa 2.000°C) Endabschnitt der Vorform an.

[0052] Obwohl verschiedene bestimmte Ausführungsbeispiele gezeigt und beschrieben wurden, versteht es sich, daß innerhalb des Schutzumfangs der Erfindung Modifikationen möglich sind. Diese Modifikationen umfassen folgende, sind aber nicht auf diese beschränkt: eine andere Anzahl von gemultiplexten Signalen als bei den Ausführungsbeispielen der Fig. 1 und Fig. 2 gezeigt ist; die Verwendung von optischen Halbleiterverstärkern statt Erbium-Verstärkern oder Raman-Verstärkern; eine nicht gleichmäßige Beabstandung von WDM-Kanälen; und einen Betrieb bei anderen Datenraten als den offenbarten.

Patentansprüche

1. Ein Wellenlängenmultiplexsystem (**100**, **200**), das folgende Merkmale umfaßt:
einen ersten Multiplexer (**112**), der eine Mehrzahl von digitalen Informationskanälen wirksam mit einem Übertragungsweg verbindet;
einen Übertragungsweg, der eine Spanne einer optischen Faser (**130**) aufweist, deren Länge (L) 10 Kilometer überschreitet, deren Nulldispersions-Wellenlänge (λ_0) etwa 1310 nm beträgt und deren Verlust bei 1385 nm niedriger ist als ihr Verlust bei 1310 nm,
dadurch gekennzeichnet, daß
die optische Faser in der Wellenlängenregion zwischen 1335 und 1435 nm eine chromatische Dispersion zwischen 1,5 und 8,0 ps/nm-km aufweist; und
wobei der erste Multiplexer zumindest drei Kanäle von wellenlängengemultiplexten Signalen in der Wellenlängenregion zwischen 1335 und 1435 nm auf den Übertragungsweg liefert.

2. Das WDM-System (**100**, **200**) gemäß Anspruch 1, das ferner eine Mehrzahl von Sendern (**111-1**, ...,

111-4) umfaßt, die wirksam mit dem ersten Multiplexer (**112**) verbunden sind, wobei jeder der Sender bei vorbestimmten Wellenlängen, die sich voneinander unterscheiden, modulierte optische Signale liefert.

3. Das WDM-System (**100**, **200**) gemäß Anspruch 1, das ferner einen ersten Demultiplexer (**114**) umfaßt, der den Übertragungsweg wirksam mit einer Mehrzahl von Empfängern (**115-1**, ..., **115-4**) verbindet.

4. Das WDM-System (**100**, **200**) gemäß Anspruch 1, bei dem jeder der multiplexierten Kanäle digitale Informationen aufweist, die eine Datenrate von zumindest 5 Gb/s aufweisen.

5. Das WDM-System (**100**, **200**) gemäß Anspruch 1, bei dem benachbarte Kanäle um 200 GHz oder weniger voneinander beabstandet sind.

6. Das WDM-System (**100**) gemäß Anspruch 1, das ferner einen Sender (**101**) umfaßt, der in der Wellenlängenregion zwischen 1285 und 1325 nm einen Kanal von modulierten optischen Signalen wirksam mit dem Übertragungsweg verbindet.

7. Das WDM-System (**100**) gemäß Anspruch 6, bei dem das Modulationsschema des Kanals in der Wellenlängenregion 1285 und 1325 nm eine amplitudenmodulierte Restseitenbandsignal-Modulation (AM-VSB) umfaßt.

8. Das WDM-System (**100**, **200**) gemäß Anspruch 1, das ferner in der Wellenlängenregion zwischen 1500 und 1600 nm zumindest einen Kanal von modulierten optischen Signalen umfaßt.

9. Das WDM-System (**100**, **200**) gemäß Anspruch 8, bei dem das Modulationsschema des Kanals in der Wellenlängenregion zwischen 1500 und 1600 nm eine amplitudenmodulierte Restseitenbandsignal-Modulation (AM-VSB) umfaßt.

10. Das WDM-System (**100**) gemäß Anspruch 8, das ferner einen zweiten Multiplexer (**122**) umfaßt, der eine Mehrzahl von digitalen Informationskanälen wirksam mit dem Übertragungsweg in der Wellenlängenregion zwischen 1500 und 1600 nm verbindet.

11. Das WDM-System (**100**, **200**) gemäß Anspruch 10, bei dem jeder der digitalen Informationskanäle in der Wellenlängenregion zwischen 1500 und 1600 nm eine Datenrate von zumindest 2,5 Gb/s aufweist.

Es folgen 5 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

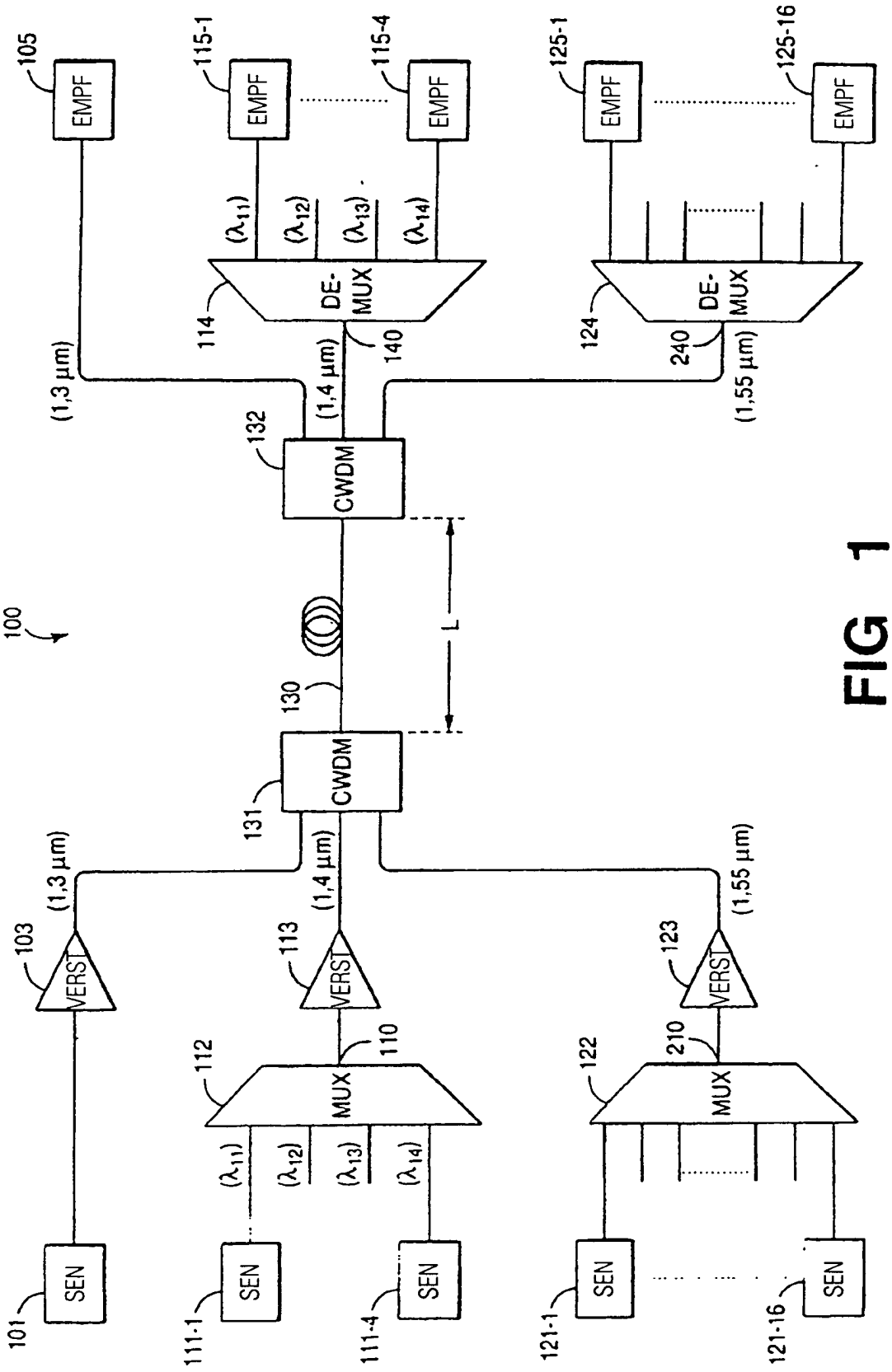


FIG 1

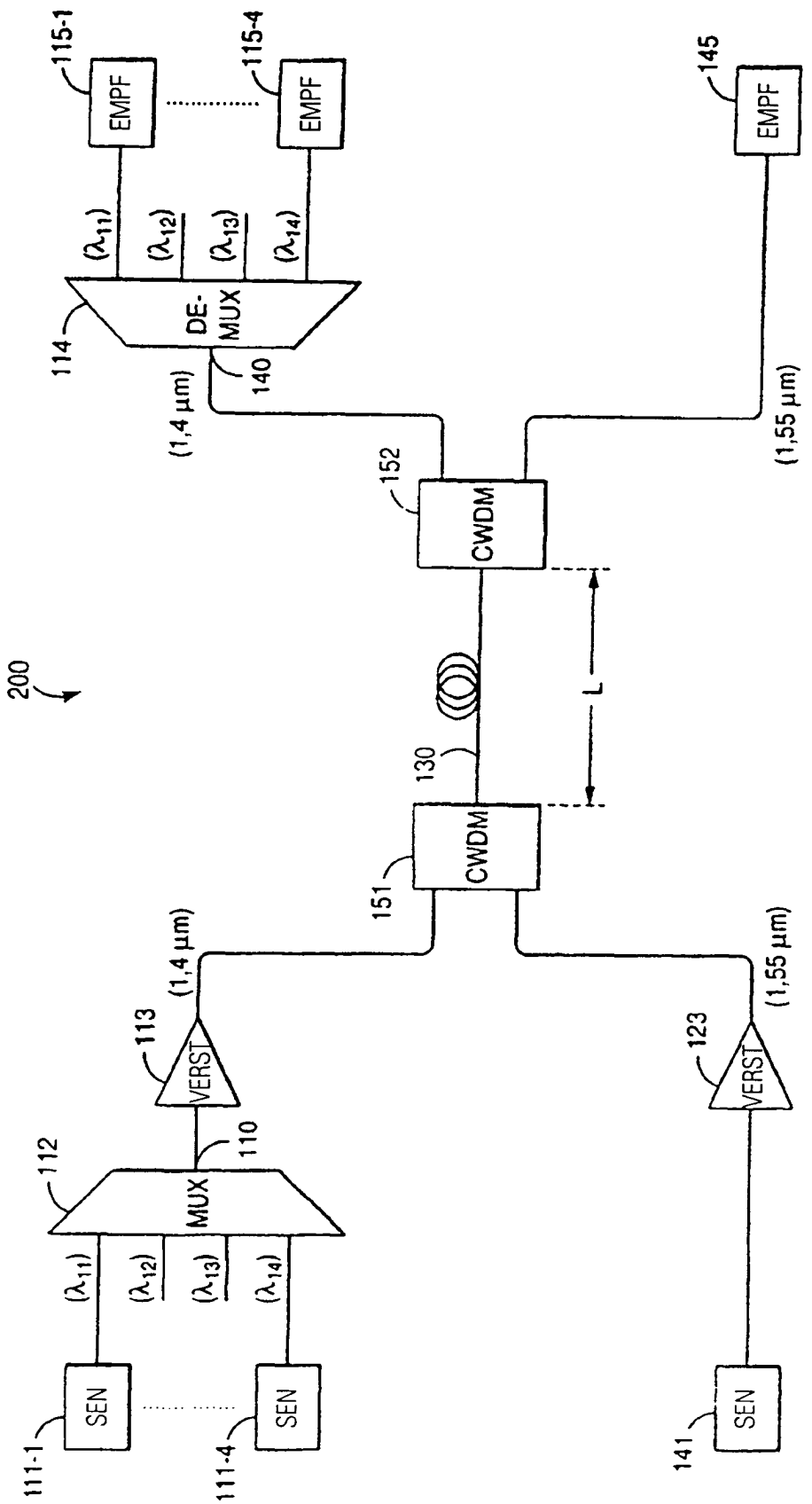

200
115-1
EMPF
115-4
EMPF
145
EMPF
(λ11)
(λ12)
(λ13)
(λ14)
DE-MUX
114
140
(1,4 µm)
(1,55 µm)
152
CWDM
L
130
151
CWDM
(1,4 µm)
(1,55 µm)
113
VERST
123
VERST
110
112
MUX
(λ11)
(λ12)
(λ13)
(λ14)
SEN
SEN
SEN
111-1
111-4
141

FIG 2

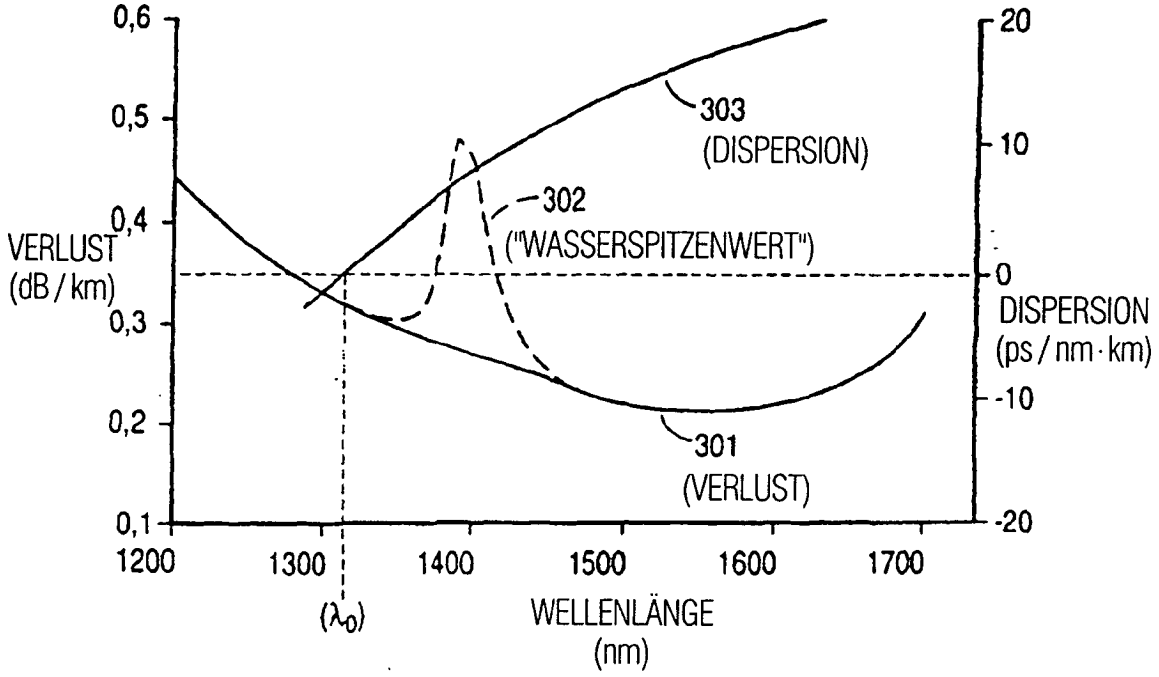

0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
VERLUST
(dB / km)
20
10
0
-10
-20
DISPERSION
(ps / nm · km)
303
(DISPERSION)
302
("WASSERSPITZENWERT")
301
(VERLUST)
1200
1300
1400
1500
1600
1700
(λ0)
WELLENLÄNGE
(nm)

FIG 3

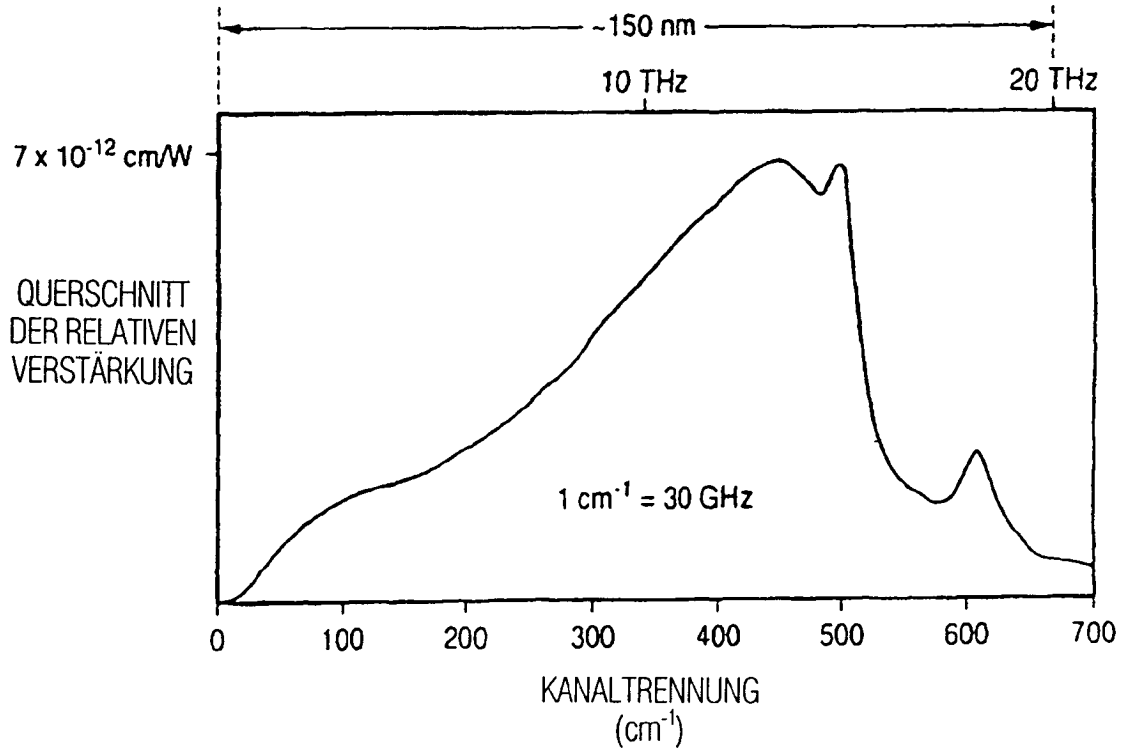

~150 nm
10 THz
20 THz
7 x 10-12 cm/W
QUERSCHNITT
DER RELATIVEN
VERSTÄRKUNG
1 cm-1 = 30 GHz
0
100
200
300
400
500
600
700
KANALTRENNUNG
(cm-1)

FIG 7

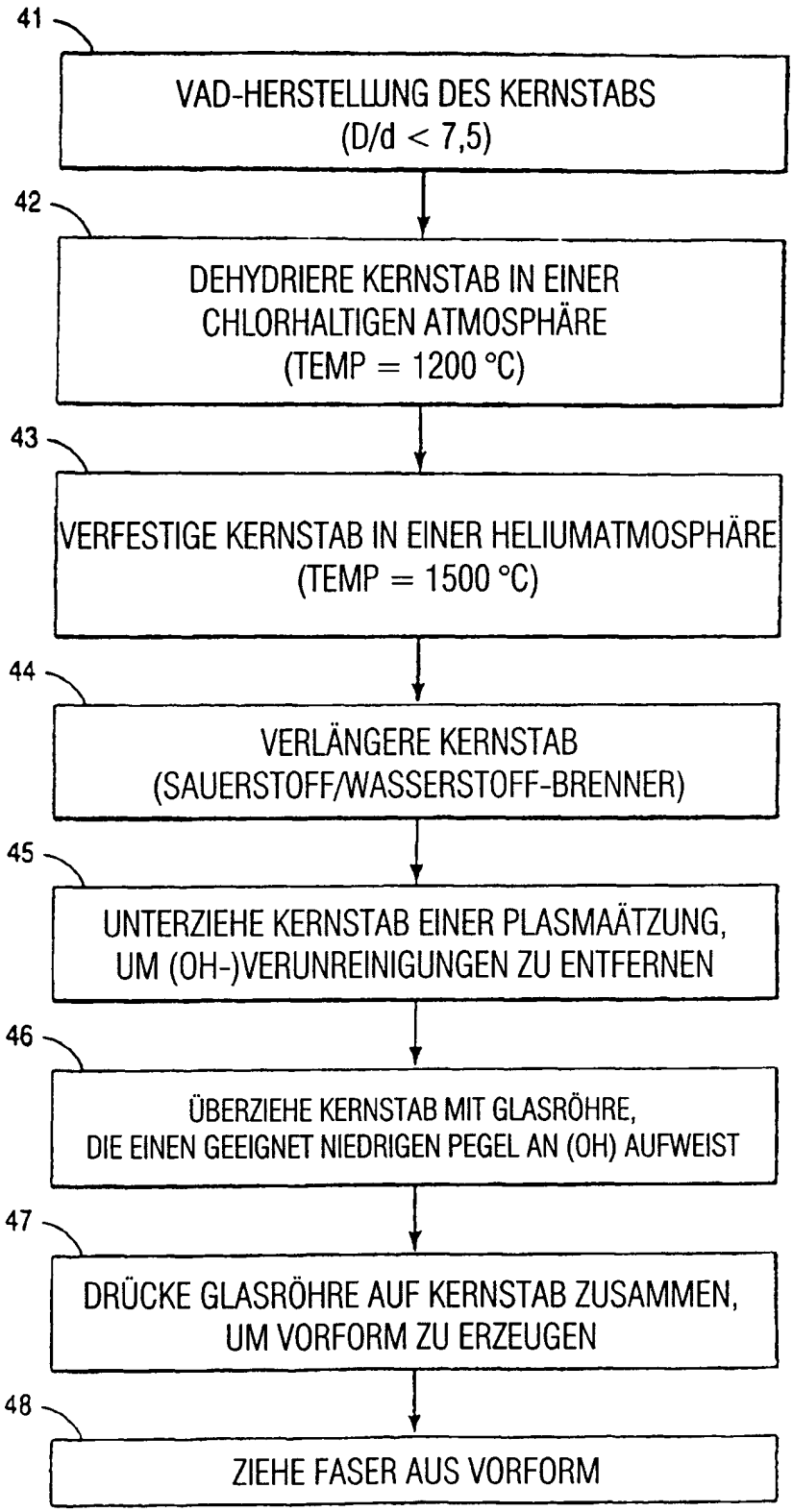

41
VAD-HERSTELLUNG DES KERNSTABS
(D/d < 7,5)
42
DEHYDRIERE KERNSTAB IN EINER
CHLORHALTIGEN ATMOSPHÄRE
(TEMP = 1200 °C)
43
VERFESTIGE KERNSTAB IN EINER HELIUMATMOSPHÄRE
(TEMP = 1500 °C)
44
VERLÄNGERE KERNSTAB
(SAUERSTOFF/WASSERSTOFF-BRENNER)
45
UNTERZIEHE KERNSTAB EINER PLASMAÄTZUNG,
UM (OH-)VERUNREINIGUNGEN ZU ENTFERNEN
46
ÜBERZIEHE KERNSTAB MIT GLASRÖHRE,
DIE EINEN GEEIGNET NIEDRIGEN PEGEL AN (OH) AUFWEIST
47
DRÜCKE GLASRÖHRE AUF KERNSTAB ZUSAMMEN,
UM VORFORM ZU ERZEUGEN
48
ZIEHE FASER AUS VORFORM

FIG 4

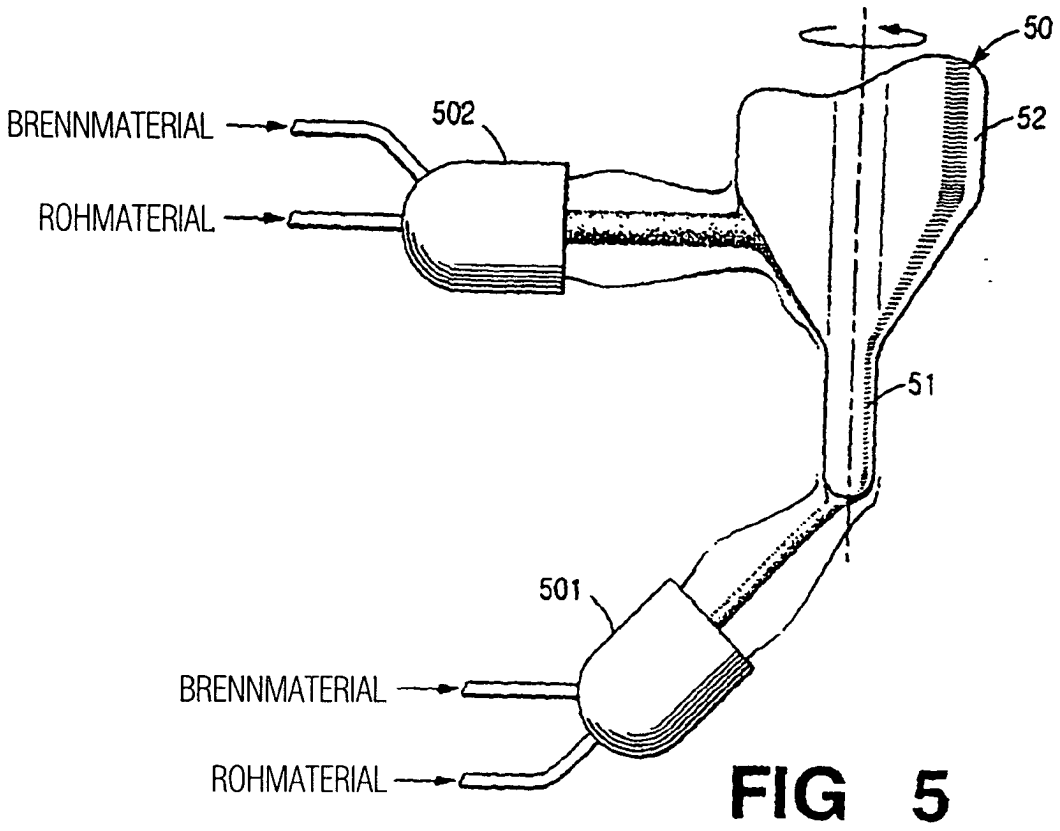

50
52
BRENNMATERIAL
502
ROHMATERIAL
51
501
BRENNMATERIAL
ROHMATERIAL

FIG 5

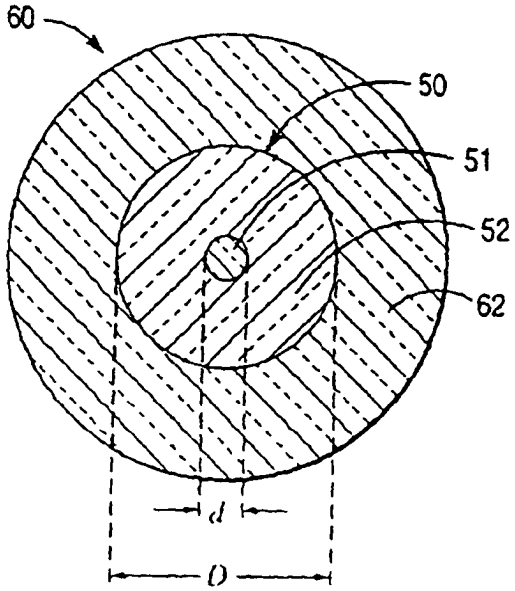

60
50
51
52
62
d
D

FIG 6