



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 695 31 511 T2** 2004.06.17

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 0 978 960 B1**

(51) Int Cl.<sup>7</sup>: **H04B 10/18**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **695 31 511.0**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **99 113 699.5**

(96) Europäischer Anmeldetag: **23.11.1995**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **09.02.2000**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **13.08.2003**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **17.06.2004**

(30) Unionspriorität:

**MI942556 16.12.1994 IT**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**CH, DE, ES, FR, GB, IE, IT, LI, NL, PT, SE**

(73) Patentinhaber:

**Cisco Photonics Italy S.r.l., Mailand/Milano, IT**

(72) Erfinder:

**Meli, Fausto, Piacenza, IT; Grasso, Giorgio, Monza (MI), IT**

(74) Vertreter:

**HOFFMANN · EITLE, 81925 München**

(54) Bezeichnung: **System und Verfahren zur Übertragung von optischen Solitonimpulsesignalen durch eine optische Faserstrecke**

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****FACHGEBIET DER ERFINDUNG**

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Übertragungssystem für optische Solitonen und ein Verfahren zum Übertragen von Impulssignalen optischer Solitonen mit einer vorbestimmten Übertragungsgeschwindigkeit durch eine optische Faserleitung, die eine optische Faser enthält. In solch einem System werden Impulse eine spezifischen Leistung und Breite in die Faser eingespeist und als sogenannte Solitonen durch die Faser mit einer vorbestimmten Formgebung propagiert bzw. verbreitet. Typischerweise wird in solch einen nicht-linearen Übertragungssystem der Brechungsindex nicht linear abhängig von der Leistung des eingespeisten Impulses geändert, und die vorbestimmte Formgebung des Solitonen wird während der Propagierung bzw. Verbreitung beibehalten, wenn die Aufweitung des Impulses aufgrund des Phänomens der chromatischen Dispersion durch die nicht-lineare Änderung des Brechungsindex ausgeglichen wird. Die vorliegende Anmeldung wurde von der Patentanmeldung EP-A-0 717 515 abgeteilt.

**HINTERGRUND DER ERFINDUNG**

[0002] Im Allgemeinen ist es bei linearen und nicht-linearen Übertragungssystemen in den neuesten Telekommunikationswissenschaften bekannt, optische Fasern zu verwenden, um optische Signale einer bestimmten Frequenz zu versenden, die die Information tragen, welche fernübertragen werden muss. Es ist ebenso bekannt, dass das durch eine optische Faser gesendete Lichtsignal, während es sich fortpflanzt, eine Dämpfung erfährt, was es notwendig macht, Verstärkungen durch entsprechende Verstärker einzuführen, die bei vorbestimmten Intervallen entlang der Leitung angeordnet sind.

[0003] Aus dem obigen Grund werden üblicherweise optische Verstärker verwendet, mittels welcher das Signal verstärkt wird, während es in einer optischen Form bleibt, d. h. ohne eine Erfassung und Regeneration von demselben.

[0004] Die optischen Verstärker basieren auf den Eigenschaften einer Fluoreszenz-Dotiersubstanz, wie etwa zum Beispiel von Erbium, welches, wenn es durch Verabreichung einer Pump-Lichtenergie geeignet angeregt wird, eine hohe Emission in dem Wellenlängenband aufweist, das dem Band der minimalen Dämpfung des Lichtes in den Silizium-basierenden, optischen Fasern entspricht.

[0005] Die für die Übertragung verwendeten optischen Fasern weisen eine chromatische Dispersion aufgrund der Kombination der Eigenschaften des Materials, welches diese ausbilden, und der Eigenschaften der Strahlbrechungsindexprofile auf, welche sich mit der Wellenlänge des übertragenen Signals ändern und welche bei einem vorgegebenen Wert für die Wellenlänge selbst auf Null heruntergehen.

[0006] Dieses Phänomen der chromatischen Dispersion besteht im Wesentlichen aus einer Aufweitung der Laufzeit der Impulse, die das Signal ausbilden, während diese durch die Faser hindurchlaufen, wobei die Aufweitung auf die Tatsache zurückzuführen ist, dass sich in der Faser die verschiedenen chromatischen Komponenten eines jeden, jeweils durch seine eigene Wellenlänge gekennzeichneten Impulses mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten bewegen.

[0007] In Anlehnung an die Aufweitung können sich zeitlich aufeinanderfolgende Impulse, die bei der Emission deutlich verschieden voneinander sind, beim Empfang teilweise überlappen, nachdem sie durch die Faser hindurchgelaufen sind, und sie können sogar nicht mehr als separate Werte auflösbar sein, was zu einem Fehler beim Empfang führt.

[0008] Fasern von dem sogenannten "Step-Index"-Typ (oder SI-Typ) verfügen über derartige optische Eigenschaften, dass bei einem Wellenlängenwert von etwa 1300 nm die chromatische Dispersion auf Null heruntergeht.

[0009] Von daher weisen SI-Fasern bei Wellenlängen in der Nähe von 1500 nm, die für die Telekommunikation verwendet werden, einen bedeutenden Wert hinsichtlich der chromatischen Dispersion auf, der im Stande ist, bezüglich der Übertragungsgeschwindigkeit eine Grenze einzurichten, d. h. hinsichtlich der Möglichkeit, in einer vorbestimmten Zeiteinheit eine große Anzahl von aufeinanderfolgenden Impulsen zu versenden, ohne dass beim Empfang Fehler auftreten.

[0010] Ebenfalls sind sogenannte Dispersions-verschobene Fasern oder DS-Fasern bekannt (das sind Fasern, bei welchen der Nullpunkt der chromatischen Dispersion verschoben wird), die im Wesentlichen Fasern sind, deren optische Eigenschaften in geeigneter Weise ausgeformt sind, um den Nullpunkt der chromatischen Dispersion auf einen Wellenlängenwert in dem Bereich von 1500 bis 1600 nm zu bringen, der gewöhnlich für Telekommunikationen verwendet wird.

[0011] Fasern dieses Typs werden in der ITU-T G.653 Empfehlung vom März 1993 definiert, wonach für die chromatische Dispersion der Fasern vorgesehen ist, dass sie bei einem  $\lambda_0$ -Wellenlängenwert von 1550 nm nominell auf Null mit einer Toleranz von 50 nm hinsichtlich dieses Wertes heruntergeht.

[0012] Diese Fasern können beispielsweise von Corning N.Y. (USA) unter dem Handelsnamen SMF/DS (re-

- gistrierte Marke) und von Fibre Ottiche Sud S. p. A., Battipaglia (IT) unter dem Handelsnamen SM DS bezogen werden.
- [0013] Fasern des obigen Typs sind ebenso zum Beispiel in den Patenten US-4,715,679, US-4,822,399, US-4,755,022 beschrieben.
- [0014] Es ist ebenso bekannt, dass die Anforderungen des Versendens von zunehmend höheren Informationsmengen über die gleiche Übertragungsleitung zu der Notwendigkeit geführt hat, mittels eines sogenannten "Wellenlängen-Divisions-Multiplexing"-(oder WDM)-Prozesses mehrere Übertragungskanäle über die gleiche Leitung zu senden, gemäß welchem mehrere Kanäle, die sich aus analogen oder digitalen Signalen zusammensetzen, über die Leitung gesendet werden, die sich aus einer einzelnen optischen Faser zusammensetzt, und wobei die Kanäle voneinander dadurch getrennt werden, dass jeder von ihnen in dem verwendeten Übertragungsband in Zusammenhang mit seiner eigenen Wellenlänge steht.
- [0015] Diese Technik ermöglicht es, die Anzahl der übertragenen Informationsteile pro Zeiteinheit zu erhöhen, wobei die Informationsteile über verschiedene Kanäle verteilt werden und wobei die Übertragungsgeschwindigkeit auf jedem Kanal die gleiche bleibt.
- [0016] Jedoch wurde herausgefunden, dass eine WDM-Übertragung durch die Dispersion-verschobenen, optischen Single-Mode-Fasern zu einem Intermodulations-Phänomen zwischen den Kanälen führt, was als "Four Wave Mixing" oder FWM bekannt ist.
- [0017] Dieses Phänomen geht im Allgemeinen daraus hervor, dass das Vorhandensein von drei optischen Signalen in der Faser zu einem vierten Signal führt, welches die anderen überlappen kann, wodurch das Leistungsvermögen des Systems herabgesetzt wird.
- [0018] Dieses Phänomen wird beispielsweise in JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY, Vol. 8, Nr. 9, September 1990, Seiten 1402, 108 beschrieben; der Effekt ist auf nicht-lineare Phänomene dritter Ordnung zurückzuführen, die aufgrund der hohen Feldintensität in dem Faserkern und bei der großen Interaktionslänge zwischen den Signalen sehr bedeutend werden können.
- [0019] Die gleiche Veröffentlichung weist im weiteren Detail darauf hin, dass für eine bestimmte optische Faser die Effizienz der maximalen Erzeugung der vierten Welle (das ist der Rauscheffekt in dem System) durch Steigerung der Differenzen zwischen den Signalfrequenzen, der chromatischen Dispersion oder der Übertragungslänge aufgrund der erhöhten Phasenverschiebung zwischen den Signalen reduziert wird.
- [0020] In dem Fall, in welchem die optische Faser eine Faser mit geringer chromatischer Dispersion ist (beispielsweise die obig beschriebene DS-Faser) und einen geringen effizienten Bereich der Interaktion zwischen den optischen Frequenzen (Single-Mode-Faser) aufweist, kann die Nicht-Linearität, die von der Erzeugung der vierten Welle resultiert, eine Grenze hinsichtlich der Übertragung werden, in welche die Erzeugnisse der Intermodulation innerhalb des Empfangsbandes fallen können, was zu einer Rauschquelle führt.
- [0021] Die in der obig erwähnten Veröffentlichung zur Auslegung von WDM-Systemen vorgeschlagene Lösung besteht darin, dass die Entfernung zwischen den Wellenlängen der verschiedenen Kanäle und der Signalleistungen betrachtet wird.
- [0022] Die EP 0 626 768 A1 offenbart ein optisches Fasernetzwerk hoher Kapazität, das mit Wellenlängen-Divisions-Multiplexing betrieben wird. Die Erfindung dort drin spiegelt die Beobachtung wieder, dass die Vier-Photonen-Mischung ein wichtiger Mechanismus ist, der bei der Auslegung von betrachteten WDM-Systemen berücksichtigt werden muss. Die gesteigerte Signalkapazität ist auf die Auslegung des Faserweges zurückzuführen, welche die Vier-Photonen-Mischung als die Kapazitätsbeschränkung vermeidet. Das Dokument lehrt, dass sich die Spannweite von optischen WDM-Faser-Kommunikationssystemen aus Fasern zusammensetzen kann, die eine chromatische Dispersion mit einem absoluten Wert in dem Bereich von 1,5 bis 4 ps/nm-km aufweisen.
- [0023] Von der US 5,327,516 ist eine optische Faser für WDM-Telekommunikationssysteme bekannt, die einen absoluten Wert der mittleren chromatischen Dispersion bei 1550 nm aufweist, der in einem Bereich zwischen 1,5 und 4 ps/(nm-km) enthalten ist, und die eine Steigung der niedrigeren Dispersionskurve bei 0,15 ps/(nm<sup>2</sup>-km) in einem Faserbereich aufweisen, der nicht kürzer als 2,2 km ist; es wurde in dem Text klar gemacht (Spalte 4, Zeilen 1, 5), dass diese Eigenschaften der optischen Faser im Wesentlichen einen schmalen Grad von linearer Dispersion einführen, der eine Phasenverschiebung zwischen den optischen Signalen erzeugt, was wesentlich ist, um die obig beschriebenen nicht-linearen Effekte zu vermeiden. In der US 5,327,516 wird weder ein Hinweis auf irgendwelche "lokalen" Nullwerte der chromatischen Dispersion gegeben (die verschieden von dem mittleren Nullwert der Faser sind, der für eine Faserlänge von zumindest 2,2 km ermittelt wird), noch wird ein Hinweis auf die Möglichkeit gegeben, dass ein solcher "lokaler" Nullwert innerhalb des Übertragungs-Wellenlängenbandes fallen kann, wodurch ein Vier-Wave-Mixing-Phänomen hervorgerufen wird.
- [0024] Eine Veröffentlichung von Miyata et al., Denshi Joho Tsushin Gakkai Gijutsu Kenkyo Hokoku (Technischer Bericht der IEICE, The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers), 1994-03, Vol. 93, Nr. 502 (OCS93-73), Seiten 13– 18, offenbart eine Studie, in welcher der Effekt von FWM (FWM: Four Wave Mixing) während einer Four-Wave-WDM-Übertragung mittels einer numerischen Analyse auf der Annah-

me berechnet wurde, dass die Dispersionsverteilung einer DS-Faser (Dispersion-verschobenen Faser) in der longitudinalen Richtung eine Gauss'sche Verteilung ist. Als ein Ergebnis wurde herausgefunden, dass der FWM-Effekt zu einem großen Maße von dem Wert der Null-Dispersionswellenlänge nahe der Übertragungsseite abhängt und dass der Mittelwert der Verteilung ferner getrennt von der Signalbandbreite festgelegt werden muss, wenn die Standardabweichung der Verteilung ansteigt und die Beabstandung der Kanäle abnimmt. Auslegungsrichtlinien wurden für die Dispersionsverteilung der DS-Faser in einem WDM-Übertragungssystem erzielt. Auf der Basis dieser Richtlinien wird empfohlen, dass eine Beabstandung eines Kanals von 1 nm schwierig ist, um gleichmäßige Intervalle für die in der Berechnung verwendeten Parameter aufrecht zu erhalten.

[0025] JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY, Vol. 10, Nr. 11, November 1992, Seiten 1553, 1561, berichten von dem Auftreten einer anderen Bedingung, bei welcher die Effizienz der Erzeugung der vierten Welle maximal wird, und es wird betont, dass sie auftreten wird, wenn zwei der drei optischen Träger hinsichtlich einer Wellenlänge der Nulldispersion zueinander symmetrische Wellenlängen aufweisen, oder wenn ein optischer Träger die gleiche Wellenlänge wie die Wellenlänge aufweist, welche die Dispersionen auf Null bringt.

[0026] Die gleiche Veröffentlichung erwähnt die Tatsache, dass für Störgrößen in der während des Herstellungsprozesses der Faser erzeugten Leitung der Wellenlängenwert, der die Dispersion auf Null bringt, über die Faserlänge schwankt; anhand von Experimenten, die durch Veränderung der Pump-Lichtfrequenz über die Nulldispersions-Wellenlänge zusammen mit einem Testsignal bei einer festen Wellenlänge von 1557,7 nm ausgeführt wurden, hat der Autor verschiedene Spitzenwerte für 2,5 km lange, von einem einzigen Pressling gezogene Faserabschnitte ausfindig gemacht.

[0027] Der Unterschied zwischen den erfassten Nulldispersions-Frequenzen liegt in der Größenordnung von 100 GHz (, was 0,8 nm in der Wellenlänge entspricht); bei 10 km langen Fasern wird eine schnelle Abnahme der FWM-Effizienz mit dem Ansteigen der Entfernung zwischen den Kanalfrequenzen aufgezeigt.

[0028] Als eine Folge der obigen Ergebnisse kommt die Veröffentlichung zum Schluss, dass die Herstellung einer gleichförmigen Faser notwendig ist, damit diese in der Lage ist, in einem breiteren Wellenlängenbereich zu operieren.

[0029] JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY, Vol. 1, Nr. 10, Oktober 1993, Seiten 1615, 1621, offenbart ein Verfahren und eine Faseranordnung, die ausgelegt ist, Rauschen, welches von der Nicht-Linearität des Übertragungssystems resultiert, zu unterdrücken, indem Speed-Dispersion-Fasern der "normalen" Gruppe ( $D < 0$ ) als Übertragungsfaser verwendet werden und indem ein kurzer Faserbereich von "anormaler" Dispersion ( $D > 0$ ) eingeführt wird, um die Dispersion erneut über die gesamte Länge, die zwischen zwei Verstärkern enthalten ist, auf Null zu bringen; diese Veröffentlichung berücksichtigt den Fall der FWM-Phänomene zwischen einem optischen Kanal und verstärkter spontaner Emission in Einzelkanal-Systemen und Systemen für sehr lange Entfernungen.

[0030] Der Anmelder hat herausgefunden, dass zum Reduzieren des Rauscheffektes infolge von FWM in einem Mehrfach-Wellenlängen-Übertragungssystem es nicht hinreichend ist, Fasern zu haben, bei denen der nominelle (oder durchschnittliche) chromatische Dispersionswert von diesen in dem Übertragungs-Signalband nicht Null ist, sondern dass es ebenso notwendig ist, dass die nominelle (oder durchschnittliche) chromatische Dispersion der Faser bei einem Wellenlängenwert Null wird, der niedriger und hinreichend weit von dem Minimum-Wellenlängenwert entfernt liegt, der für die Übertragung vorgesehen ist. Zusätzlich hat der Anmelder herausgefunden, dass es zum Erhöhen der Maximum-Übertragungsentfernung, ohne dass Nachteile von FWM auftreten, notwendig ist, entsprechend die Entfernung zwischen dem Wellenlängenwert, der die chromatische Dispersion auf Null bringt, und der Minimum-Wellenlänge der Übertragungskanäle zu erhöhen. Ferner hat der Anmelder herausgefunden, dass die zur Übertragung verwendeten, optischen Fasern derart ausgewählt werden können, dass der (durchschnittliche) Nullwert der chromatischen Dispersion in den Fasern hinreichend weit entfernt von dem für die WDM-Übertragung verwendeten Band ist, um zu verhindern, dass Bereiche von wichtiger Länge der Fasern einen lokalen Nullwert der chromatischen Dispersion aufweisen, der innerhalb des Übertragungsbandes fällt. Beim Einsatz von mit 980 nm gepumpten Verstärkern hat der Anmelder beobachtet, dass das Übertragungsband bis etwa 1530 nm ausgeweitet werden kann, und es wurde herausgefunden, dass das Problem nicht nur mit dem Maximumwert, sondern auch mit dem lokalen Nullwert der Dispersion in Verbindung steht.

## ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

[0031] Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung liegt darin, ein Übertragungssystem für optische Solitonen und ein Verfahren zum Übertragen von Impulssignalen optischer Solitonen mit einer vorbestimmten Übertragungsgeschwindigkeit durch solch ein System bei nicht-linearer Ausbreitung bzw. Übertragung anzugeben, so dass eine Störung der Ausbreitung der Solitonenimpulse während der Übertragung, im Einzelnen eine Vergrößerung der spektralen Breite des Solitons aufgrund von chromatischen Dispersionseffekten, minimalisiert wird.

[0032] Gemäß einem Aspekt der vorliegenden Erfindung wird ein Übertragungssystem für optische Solitonen

angegeben, welches folgendes aufweist: zumindest eine Quelle für Impulssignale optischer Solitonen mit einer Wellenlänge in einem vorbestimmten Übertragungs-Wellenlängenband; eine Lichtleiterleitung, in welche die Signale eingegeben werden; und eine Empfangsvorrichtung zum Empfangen der Impulssignale der optischen Solitonen von der Lichtleiterleitung, wobei das Übertragungssystem dadurch gekennzeichnet ist, dass die Lichtleiterleitung einen Lichtleiter mit Werten der chromatischen Dispersion zwischen 0,7 und 3 ps/nm·km über einen Übertragungs-Wellenlängenbereich zwischen 1530 und 1560 nm aufweist, die Steigung der Kurve der chromatischen Dispersion zwischen 0,06 und 0,08 oder 0,11 ps/nm<sup>2</sup>·km bei einem mittleren Wert des Bereiches liegt, der eine Wellenlänge von 1550 nm enthält, wobei eine Wellenlänge von 1520 nm den lokalen Nullwert der nominellen chromatischen Dispersion angibt, dass die Breite der Wellenlängenverteilung um den lokalen Nullwert 20 nm ist, die wirksame Fläche gleich 50 bis 60 μm<sup>2</sup> ist, und die übertragenen Signale in Bezug auf die Wellenlänge um im Wesentlichen 0,4 nm getrennt sind.

[0033] In bevorzugter Weise ist zumindest ein optischer Verstärker in den Lichtleiter geschaltet, um die Impulssignale der optischen Solitonen zu verstärken, und die Wellenlänge der Impulssignale der optischen Solitonen liegt in einem Übertragungsband, das in einem Verstärkungsband des optischen Verstärkers enthalten ist.

[0034] In bevorzugter Weise ist der optische Verstärker ein Erbium-dotierter Lichtleiterverstärker.

[0035] In bevorzugter Weise sind zumindest vier optische Verstärker in die Lichtleiterleitung eingefügt.

[0036] In bevorzugter Weise weist der Lichtleiter eine Länge von zumindest 5 km auf.

[0037] Gemäß einem anderen Aspekt der vorliegenden Erfindung wird ein Verfahren zur Übertragung von Impulssignalen optischer Solitonen mit einer vorbestimmten Übertragungsgeschwindigkeit angegeben, wobei das Verfahren die folgenden Verfahrensschritte aufweist: Erzeugen von Pumpsignalen optischer Solitonen mit einer Wellenlänge in einem vorbestimmten Übertragungs-Wellenlängenband; Zuführen der Impulssignale der Solitonen zu einer Lichtleiterleitung; und Empfangen der übertragenen Impulssignale optischer Solitonen über einen Empfänger, wobei das Verfahren dadurch gekennzeichnet ist, dass die Lichtleiterleitung einen Lichtleiter mit Werten der chromatischen Dispersion zwischen 0,7 und 3 ps/nm·km über einen Übertragungs-Wellenlängenbereich zwischen 1530 und 1560 nm aufweist, die Steigung der Kurve der chromatischen Dispersion zwischen 0,06 und 0,08 oder 0,11 ps/nm<sup>2</sup>·km bei einem mittleren Wert des Bereiches liegt, der eine Wellenlänge von 1550 nm enthält, wobei eine Wellenlänge von 1520 nm den lokalen Nullwert der nominellen chromatischen Dispersion angibt, die Breite der Wellenlängenverteilung um den lokalen Nullwert 20 nm beträgt, die wirksame Fläche gleich 50 bis 60 μm<sup>2</sup> ist, und die übertragenen optischen Signale um eine Wellenlänge von im Wesentlichen 0,4 nm getrennt sind.

[0038] In bevorzugter Weise werden die Impulssignale der optischen Solitonen durch zumindest einen optischen Verstärker verstärkt.

[0039] In bevorzugter Weise ist die vorbestimmte Übertragungsgeschwindigkeit größer oder gleich 10 Gbit/s.

[0040] In bevorzugter Weise werden die Signale der optischen Solitonen durch vier optische Verstärker verstärkt.

[0041] In bevorzugter Weise ist der optische Verstärker ein Erbium-dotierter optischer Verstärker.

[0042] In bevorzugter Weise werden die Impulssignale der optischen Solitonen über eine Entfernung von zumindest 5 km übertragen.

## KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0043] Anhand der nachfolgenden Beschreibung werden unter Hinzunahme der beigefügten Zeichnungen weitere Details ersichtlich, wobei in den Zeichnungen:

[0044] **Fig. 1** ein Diagramm ist, welches ein experimentelles Übertragungsgerät zeigt;

[0045] **Fig. 2** ein Diagramm ist, welches die BER-(Bit-Fehler-Rate)-Kurven zeigt, welche für verschiedene S/N-Werte abhängig von der Empfangsleistung in einem Übertragungstest mit dem Gerät von **Fig. 1** gemessen werden;

[0046] **Fig. 3** das in einem Vier-Kanal-Übertragungstest mit dem Gerät von **Fig. 1** und einer herkömmlichen DS-Faser aufgenommene Spektrum zeigt;

[0047] **Fig. 4** das Diagramm eines Testgerätes zum Erfassen der FWM-Effekte in einer einzelnen Faser zeigt;

[0048] **Fig. 6** ein Diagramm ist, welches die erfasste FWM-Effizienz bei einer kommerziellen 5 km langen DS-Faser zeigt;

[0049] **Fig. 7** ein Diagramm ist, das die erfasste FWM-Effizienz bei einer herkömmlichen 60 km langen DS-Faser zeigt;

[0050] **Fig. 8** ein Diagramm ist, welches die erfasste FWM-Effizienz bei einer anderen kommerziellen, 60 km langen DS-Faser zeigt;

[0051] **Fig. 9** ein Diagramm ist, das die simulierte FWM-Effizienz von der in **Fig. 8** gezeigten Faser zeigt;

[0052] **Fig. 10** ein berechnetes Diagramm der maximal zulässigen Leistungen pro Kanal in einem 8-Kanal-verstärkten Übertragungssystem mit 100 km langen Bereichen ist, wobei Fasern des DS-Typs verwendet

wurden, die lokale  $\lambda_0$ -Werte aufweisen, welche über verschiedene Bereiche des Spektrums verteilt sind;

[0053] **Fig. 11** das unter Verwendung des Gerätes von **Fig. 1** und einer speziellen Faser der Anmeldung EP-A-0 717 515 erfasste Spektrum zeigt;

[0054] **Fig. 12** das Profil des Brechungsindex des Spektrums der in **Fig. 11** gezeigten Faser zeigt;

[0055] **Fig. 13** die Faser-Dispersionskurve des Spektrums in **Fig. 11** zeigt;

[0056] **Fig. 14** ein Beispiel eines optischen Übertragungssystems darstellt;

[0057] **Fig. 15** ein Beispiel einer Schnittstelleneinheit darstellt, die an das System von **Fig. 15** angepasst ist; und

[0058] **Fig. 16** ein Diagramm eines Leistungsverstärkers ist.

[0059] Während die vorliegende Anwendung von der Übertragung optischer Solitonen handelt und von der Anmeldung EP-A-0 717 515 abgeteilt wurde, welche eher in Beziehung mit dem Four-Wave-Mixing steht und eine bestimmte Faser verwendet, ist es zum Verständnis der vorliegenden Erfindung angebracht, die gleichen Experimente, wie die in der EP-A-0 717 515, zu betrachten.

## EXPERIMENT 1

[0060] In **Fig. 1** wird ein experimentelles Gerät zum Erfassen des Four-Wave-Mixing-(FWM)-Phänomens in einem verstärkten Übertragungssystem und zum Auswerten des resultierenden Rauscheffektes während der Übertragung gezeigt.

[0061] Dieses Gerät weist einen extern modulierten Laser **1**, der eine feste Wellenlänge von 1557 nm hat; zwei Laser **2, 3** einer Wellenlänge, die innerhalb des Bereiches von 1530 bis 1560 nm variiert und einen extern modulierten Laser **4** einer festen Wellenlänge von 1550 nm auf; im Experiment **1** war der Laser **4** nicht aktiv.

[0062] Die Laser **1, 4**, die sich aus Anschluss- bzw. Schnittstellen-Vorrichtungen zusammensetzen, sind von dem Anmelder unter dem Handelsnamen TXT-EM, System T31 erhältlich.

[0063] Die Laser **2, 3** setzen sich aus External-Cavity-Lasern (ECL), jeweils das Modell TSL-80™, hergestellt von SANTEC, Micom Vallex Thkadai, Kamisue, Komaki, Aichi 485 (JP), und das Modell HP81678A™, hergestellt von HEWLETT PACKARD COMPANY, Rockwell, MD (USA), zusammen.

[0064] Die durch die Laser **2, 3** erzeugten Signale mit variabler Wellenlänge werden zu Polarisationssteuerungen **5** und Dämpfungsgliedern **6** zum Abgleichen des Kanals gesendet.

[0065] Die Polarisationssteuerungen **5** setzen sich jeweils aus zwei Elementen zusammen, die aus optischen Faserspulen vom Typ SM mit einem Durchmesser von etwa 20 bis 40 mm ausgebildet sind, die um eine Achse schwingen, um die Polarisationsausrichtung der verschiedenen Kanäle zu maximieren.

[0066] Die drei erzeugten Träger werden zu den Eingängen eines passiven optischen Kombinierers-1x4 **7** gesendet, wodurch die Signale in einer einzelnen optischen Ausgabefaser kombiniert werden.

[0067] Der angenommene Kombiniierer war ein aus geschmolzenen Fasern aufgebauter Kombiniierer vom Modell 1x4 SMT-0104-1550-A-H™, der von E-TEK DYNAMICS INC., 1885 Lundy Ave, San Jose, CA (USA) vertrieben wird.

[0068] Signale werden zu einem Booster **8** und von dem Booster zu einer optischen Leitung geführt, welche vier optische Faserteile **9** aufweist, wobei jedes von ihnen 60 km lang ist und wobei drei optische Leistungsverstärker **10** zwischen ihnen angeordnet sind.

[0069] Ein Vorverstärker **11** wurde mit dem Ende von dem letzten optischen Faserteil verbunden.

[0070] Die Ausgabe des Vorverstärkers **11** war durch ein Fabry-Perot-Filter **12** mit einem Abschlusswiderstand **13** verbunden (Philips SDH bei 2,5 Gb/s), der mit einem Fehlermess-(BER)-Gerät **14** und alternativ mit einem optischen Spektralanalysierer **15** des monochromatischen Typs, Modell MS9030A/MS9701B™, das von ANRITSU CORPORATION, 5-10-27, Minato-ku, Tokyo (JA) hergestellt wird, versehen ist.

[0071] Die von den Leistungsverstärkern an die einzelnen optischen Faserabschnitte gesendete Gesamtleistung lag bei etwa 13 dBm; die äquivalenten Faserlängen lagen bei etwa 23 dB (ein Teil der Dämpfung wurde durch die Dämpfungsglieder **16** eingebracht).

[0072] Der Booster **8** war ein TPA/E-MW-Modell, das von dem Anmelder hergestellt wird.

[0073] Die Leistungsverstärker **10** waren ein OLA/E-MW-Modell, das von dem Anmelder hergestellt wird; eine detailliertere Beschreibung der Leistungsverstärker wird im Nachfolgenden gegeben.

[0074] Der Vorverstärker **11** war ein RPA/E-MW-Modell, das von dem Anmelder erhältlich ist.

[0075] Die in dem Experiment 1 verwendeten optischen Fasern **9** waren Dispersions-verschobene Fasern SM-DS, die durch FOS hergestellt werden, welche die folgenden nominellen Eigenschaften aufweisen:

Wellenlänge, um die chromatische Dispersion auf Null zu bringen:	$\lambda_0 = 1540 \text{ nm}$ ;
Chromatische Dispersion bei 1550 nm:	$D_c = \text{ps}/(\text{nm} \cdot \text{km})$
Steigung der chromatischen Dispersionskurve:	$D_c' = 0,11 \text{ ps}/(\text{nm}^2 \cdot \text{km})$
Modendurchmesser:	$\text{MFD} = 8,1 \text{ } \mu\text{m}$
Grenz- bzw. Sperrwellenlänge (LP11 cut-off):	$\lambda_c = 1230 \text{ nm}$

[0076] Die einheitliche chromatische Dispersion der Faser wurde der Phasen-Verschiebungstechnik gemäß der Empfehlung ITU-T G.640 vom März 1993 folgend gemessen (die angenommene Faserlänge für die Messung betrug 1 bis 2 km).

[0077] Durch das erste Betreiben der Laser **2**, **3** mit variabler Wellenlänge und durch das Erfassen des Empfangsspektrums wurde ein Erzeugnis der wesentlichen FWM gefunden, wenn einer der External-Cavity-Laser (**2**) bei 1554 nm positioniert war, wohingegen der andere (**3**) bei 1548 nm gehalten wurde.

[0078] Dann wurde der External-Cavity-Laser **2** bei der oberen Wellenlänge gehalten, und der andere External-Cavity-Laser wurde auf 1550,37 nm verschoben, so dass das Erzeugnis der FWM-Intermodulation bei einer bei 1557 nm festgelegten Wellenlänge des extern modulierten Lasers **1** festgelegt werden konnte; das derart erzielte Spektrum wird in **Fig. 5** gezeigt.

[0079] Bei den obigen Bedingungen wurde dann der Laser **1** eingeschaltet und mit dem Leitungsabschlusswiderstand **13** bei 2,5 Gb/s verbunden, wodurch ein Fall der vollständigen Überlappung zwischen dem Signal und dem Erzeugnis der FWM-Intermodulation erzeugt wird, um den durch das gleiche erzeugte Betrag des Rauschens zu messen.

[0080] Durch den Filter **12** wurde der BER-Level derart gemessen, um den auf das relative Dämpfungsglied **6** wirkende Nachteil aufgrund der Kreuzkopplung mit verschiedenen Werten des Signal-Rausch-(N/S)-Verhältnisses zu prüfen, was durch Verändern der Leistungswerte des Eingabesignals erzielt wird; das erzielte Ergebnis ist in **Fig. 2** gezeigt, welche die BER-Kurvenverläufe **17**, **18**, **19** reproduziert, die unter Bedingungen erfasst wurden, in welchen S/N = 14,7 dB, 13,3 dB und 11 dB gilt, wohingegen der Kurvenverlauf **20** bei Abwesenheit von FWM erfasst wurde, wie es in dem nachfolgenden Experiment 8 beschrieben wird.

[0081] Wie anhand von **Fig. 2** gesehen wird, liefert mit einem S/N-Verhältnis gleich 14,7 dB bei einem BER von  $10^{-9}$  die Anwesenheit der FWM-Spitze, die Herkunft eines Abzuges von etwa 0,8 dB hinsichtlich dem Fall, wenn FWM abwesend ist.

[0082] Kreuzkopplungen zwischen Kurvenverläufen mit S/N = 14,7 und S/N = 13,3 dB werden als Ursache von FWM-Schwingungen aufgrund einer Variation in dem Polarisationszustand der Signale während der Messung betrachtet.

[0083] Sollten die beiden Träger, die das FWM erzeugen, ebenfalls einen SDH-Rahmen bei 2,5 Gb/s tragen, kann sogar ein größerer Abzug erwartet werden.

## EXPERIMENT 2

[0084] Unter Verwendung des obig beschriebenen und in **Fig. 1** gezeigten experimentellen Aufbaus wurde ebenso ein Übertragungstest ausgeführt, wenn zusätzlich zu den obigen drei Trägern ein vierter Träger vorhanden ist, der durch den Laser **4** bei 1550 nm erzeugt wird, und das in **Fig. 3** gezeigte Empfangsspektrum wurde erfasst.

[0085] In diesem Fall kann gesehen werden, dass zusätzlich zu den Signalen das Spektrum verschiedene Spitzen aufgrund der FWM-Effekte aufweist, die mittels der Kombination von diesen Fällen gegeben werden, in welchen ein Träger bei  $\lambda_0$  liegt, zwei Träger symmetrisch zu  $\lambda_0$  sind und zwei Träger naheliegende Frequenzen aufweisen.

## EXPERIMENT 3

[0086] Um die durch die für die Übertragung verwendeten Fasern gegebenen Effekte an dem FWM-Phänomen zu untersuchen, wurde, wie es in **Fig. 4** gezeigt wird, ein vereinfachter experimenteller Aufbau vorbereitet, der sich aus einem External-Cavity-Laser **1** zum Erzeugen eines optischen Trägers mit fester Wellenlänge und aus einem External-Cavity-Laser **2** zum Erzeugen eines optischen Trägers mit variabler Wellenlänge zusammensetzt; die Ausgangsfasern von beiden Lasern werden einem optischen Koppler **21** zugeführt; bei der Ausgabe des Lasers **2** wurde die Polarisationssteuerung **5** und das Dämpfungsglied **6** vorgesehen, um die optischen Leistungen zwischen den beiden Kanälen auszugleichen.

[0087] Bei dem Ausgang des optischen Kopplers **21** war ein Booster **22** vorgesehen, der mit einem Ende einer optischen Übertragungsfaser **23** verbunden war, die bei dem Eingang in den Spektralanalysierer **15** aufhört.

[0088] Der optische Koppler **21** war ein Kopplermodell mit eingeschmolzener Faser 1x2, das durch das obige

E-TEK hergestellt wird.

[0089] Der Booster **22** war ein AMPLIPHOS-(eingetragene Handelsmarke)-Modell, das von dem Anmelder hergestellt und vertrieben wird, welches eine Sättigungsleistung von 15 dBm aufweist.

[0090] Die Laser **1** und **2** waren die gleichen ECL-Laser vom Experiment **1**, die bereits beschrieben und jeweils von SANTEC und HEWLETT-PACKARD hergestellt werden; die Wellenlänge des Lasers **1** war auf  $\lambda = 1556,4$  nm festgelegt.

[0091] Der Spektralanalysierer **15** war der bereits beschriebene Monochromator ANRITSU.

[0092] Die in dem Test verwendete optische Faser war eine SM-DS FOS-Faser, und sie war 5 km lang.

[0093] Die durch den Laser **2** erzeugte Wellenlänge wurde verursacht, dass sie mit Schritten von jeweils 0,1 nm variiert. Die in **Fig. 6** gezeigte grafische Darstellung wurde mit dem Spektralanalysierer **15** erzielt; sie zeigt die standardisierte Effizienz  $E = P_{\text{FWM}}/P_{\text{FWM}}^{\text{max}}$  zum Erzeugen der Spitze f221 des FWM mit einem festen Wellenlängenkanal bei Änderung der Wellenlänge des zweiten Kanals.

[0094] Im Einzelnen wurden beispielsweise in dem Bereich, der zwischen 1544 und 1547 nm eingeschlossen ist, zwei Effizienzmaxima erfasst, und sie werden erachtet, dass sie aufgrund der Anwesenheit von zwei verschiedenen  $\lambda_0$ -Werten in der Faser bei jeweils 1544,85 und 1545,55 nm vorhanden sind.

#### EXPERIMENT 4

[0095] Die gleichen Modalitäten wie im Experiment 3 folgend, jedoch eine 60 km lange Faser verwendend, wurde ein anderes Experiment durchgeführt.

[0096] In **Fig. 7** ist das Messergebnis der Leistung P der f221-FWM-Spitze an der Faser gezeigt, die eine Länge L = 60 km aufweist, was mit einem bei einer Wellenlänge von 1545,2 nm festgelegten Laser und mit einem variablen Laser, der mit Schritten von jeweils 0,1 nm in einem zwischen 1550 und 1557 nm enthaltenen Bereich variiert wird, erzielt wird.

[0097] Die Leistungsmessung wird bei optischen Trägern von 1 mW Eingabeleistung gemäß der folgenden Gleichung standardisiert:

$$P_{\text{FWM}} (\text{Standard}) = \frac{P_{\text{FWM}}}{P_{\text{in}_1} \cdot P_{\text{in}_2}^2}$$

wobei  $P_{\text{in}_1}$ ,  $P_{\text{in}_2}$  Leistungswerte der optischen Eingangsträger sind.

[0098] Von der grafischen Darstellung kann das Auftreten von verschiedenen FWM-Effizienzspitzen erkannt werden, die zu verschiedenen  $\lambda_0$ -Werten, die lokal entlang der Faser vorhanden sind, gegeben wurden.

#### EXPERIMENT 5

[0099] Die gleichen Modalitäten wie im Experiment **4** wurden angewandt, um ein anderes Experiment unter Verwendung eines ECL-Lasers mit einer bei 1552 nm festgelegten Wellenlänge und unter Verwendung eines ECL-Lasers mit variabler Wellenlänge auszuführen, welcher mit einer kommerziellen DS-Faser verbunden ist, die von FOS hergestellt wird und die folgenden Eigenschaften aufweist:

Wellenlänge, welche die (nominelle) chromatische Dispersion auf Null bringt:	$\lambda_0 = 1525$ nm;
Chromatische Dispersion bei 1550 nm:	$D_c = 3$ ps/(nm·km)
Steigung der chromatischen Dispersionskurve:	$D_c' = 0,12$ ps/(nm <sup>2</sup> ·km)
Länge:	L = 60 km

[0100] **Fig. 8** zeigt die Leistung der FWM-Spitzen  $P_{\text{FWM}}$ , die bei  $P_{\text{in}} = 1$  mW standardisiert sind, in dem zwischen 1527 und 1539 nm enthaltenen Band.

[0101] Dieses Experiment zeigt, dass die Faser FWM-Effizienzspitzen aufweist, die zurückführbar auf das Vorhandensein von verschiedenen  $\lambda_0$ -Werten sind, welche in dem 1527 bis 1539 nm Band verteilt sind, obwohl sein nominelles  $\lambda_0$  bei einer verschiedenen (1525 nm) Wellenlänge liegt.

#### EXPERIMENT 6

[0102] Ein Simulationstest, basierend auf einem numerischen Wert, der im JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY, VOL. 10, Nr. 11, November 1992, Seiten 1553–1561, beschrieben wird, wurde durchgeführt, indem eine optische Übertragungsfaser, ähnlich der einen Faser, die in dem vorhergehenden Experiment vermessen wurde, und die aus 30 Segmenten ausgebildet ist, wobei jedes von ihnen einen  $\lambda_0$ -Wert aufweist, der zufällig verteilt zwischen 1527 und 1539 nm liegt (das gleiche Band, wie das, in welchem FWM-Spitzen auf ein



lokales  $\lambda_0$  zurückzuführen sind, wurde experimentell untersucht), simuliert wurde.

[0103] Die Berechnungsdaten der Faser lauteten:

Dämpfung:	$\alpha = 0,28 \text{ dB/km}$
Brechungsindex von Glas:	$n = 1,45$
Modendurchmesser:	$MFD = 8 \text{ mm}$
Nicht-lineare Suszeptibilität der dritten Ordnung :	$\lambda_{1111} = 4,26 \cdot 10^{-14} \text{ m}^3/\text{J}$
Steigung der chromatischen Dispersionskurve:	$Dc' = 0,12 \text{ ps}/(\text{nm}^2 \cdot \text{km})$
Länge:	$L = 60 \text{ km}$

[0104] Die berechnete standardisierte Leistung der FWM-Spitzen  $P_{\text{FWM}}$  bei den verschiedenen Wellenlängen **1** wird in **Fig. 9** gezeigt.

[0105] Anhand eines Vergleiches zwischen den **Fig. 8** und **9** wird ein Profil von FWM-Spitzen erfasst, welches nahezu ähnlich hinsichtlich der Qualität der experimentell mit einer einzelnen optischen Faser des kommerziellen Typs erfassten Spitze ist.

[0106] Solch ein Ergebnis führt zu dem Gedanken, dass eine Distribution bzw. verallgemeinerte Funktion des für die Simulation angenommenen Typs Ergebnisse liefert, die nahezu ähnlich denen sind, die mittels Experimenten mit der realen Faser (in dem untersuchten Wellenlängenband) erfassbar sind.

## EXPERIMENT 7

[0107] Unter Verwendung des gleichen Algorithmus, wie er oben angegeben wird, wurde eine Simulation einer verstärkten optischen Leitung durchgeführt. Sie setzt sich aus  $N$  Abschnitten einer optischen DS-Faser zusammen, wobei jeder eine Länge von 100 km aufweist, und in einem System, das acht Kanäle aufweist, die zwischen 1530 und 1543 nm mit der gleichen Entfernung voneinander beabstandet sind, wurde simuliert, dass, wie im Experiment 6 gezeigt, verwandte bzw. ähnliche Verstärker zwischengeschaltet sind, um die Dämpfung zu kompensieren.

[0108] Die in **Fig. 10** dargestellten Kurvenverläufe stellen die maximal übertragbare Leistung  $P$  für jeden Kanal mit einem S/N-Verhältnis  $\geq 20 \text{ dB}$  dar, die von der Anzahl  $N$  der optischen Faserabschnitte und von den ähnlichen Verstärkern abhängig ist.

[0109] Die Kurvenverläufe **24**, **25**, **26** und **27** entsprechen jeweils Fasersimulationen mit  $\lambda_0$ -Werten, die zwischen 1527 und 1537 nm, 1520 und 1530 nm, 1516 und 1526 nm, und 1512 und 1522 nm enthalten sind.

[0110] Wie in den Figuren gezeigt, ist es mit einer Faser, die  $\lambda_0$ -Werte aufweist, welche zwischen 1527 und 1537 nm enthalten sind, nicht möglich, unmittelbar nach einem oder zwei Faserabschnitten den erforderlichen S/N-Pegel wahrzunehmen, ohne dass die Maximalleistung unter 2 bis 3 mW pro Kanal fällt; ebenso erscheint es mit einer Faser, die  $\lambda_0$ -Werte aufweist, welche zwischen 1520 und 1530 nm enthalten sind, nicht möglich, dass mehr als vier DS-Faserabschnitte eingefügt werden, wobei jeder von ihnen 100 km lang ist und die ähnlichen Verstärker aufweist, ohne dass die maximal übertragbare Leistung unter 5 mW/Kanal fällt.

[0111] Es sollte darauf hingewiesen werden, dass sich einerseits das Vorhandensein von Rauschen aufgrund von spontaner Emission (ASE) in den verstärkten optischen Leitungen durchsetzt, und andererseits, dass der übertragene Leistungspegel hinreichend hoch gehalten wird, um nicht das S/N-Verhältnis herabzusetzen, und diese Anforderungen steigen mit dem Ansteigen der Anzahl der vorhandenen Verstärker an; nur als Hinweis, für ein System, welches sechs Verstärker und 100 km lange Faserabschnitte aufweist, werden zumindest 3 bis 6 mW pro Kanal benötigt, damit keine bedeutenden Nachteile aufgrund von ASE 8 (bei 2,5 Gb/s) auftreten.

## EXPERIMENT 8

[0112] Ein neuer Test wurde unter Verwendung des in **Fig. 1** gezeigten Aufbaus durchgeführt, in welchem die kommerzielle DS-Faser vom Experiment 1 durch eine DS-Faser ersetzt wurde, welche die folgenden Eigenschaften aufweist:

Wellenlänge, welche die (nominelle) chromatische Dispersion auf Null bringt:	$\lambda_0 = 1520 \text{ nm}$ ;
Verteilung bei $3\sigma$	$= \pm 10 \text{ nm}$
Chromatische Dispersion zwischen 1530 und 1560 nm:	$D_c = 0,7 \text{ bis } 3 \text{ ps}/(\text{nm} \cdot \text{km})$
Steigung der chromatischen Dispersionskurve (bei 1550 nm):	$D_c' = 0,11 \text{ ps}/(\text{nm}^2 \cdot \text{km})$
Effiziente Fläche:	$A_{\text{eff}} = 50\text{--}60 \text{ } \mu\text{m}^2$

[0113] Das Spektrum beim Empfang unter den obigen Bedingungen ist in **Fig. 11** gezeigt, wohingegen der BER-Kurvenverlauf, der unter den obigen Bedingungen gemessen wird, der Kurvenverlauf **20** in **Fig. 2** ist.

[0114] Wie in **Fig. 11** gezeigt, treten keine deutlichen FWM-Spitzen auf, und der Kurvenverlauf von **Fig. 2** zeigt, dass mit BER von  $10^{-9}$  eine Leistung beim Empfang bis etwa  $-33,3 \text{ dBm}$  hingenommen werden kann, welche Leistung wesentlich geringer als die Leistung ist, die für den gleichen BER-Pegel mit bekannten Fasern erfordert wird.

[0115] Basierend auf den ausgeführten Experimenten und Simulationen werden die Rauschphänomene in den optischen Fasern von dem aus dem Stand der Technik bekannten DS-Typ aufgrund des Vermischens zwischen den Kanälen betrachtet, als dass sie von der Tatsache resultieren, dass die Fasern einen Wellenlängenwert aufweisen, der die chromatische Dispersion auf Null bringt, welcher in der optischen Faserlänge nicht konstant gehalten werden kann, selbst wenn die Faser von der gleichen Vor-Form gesponnen wird, ist der Wert statt dessen lokalen Variationen von einem wesentlich größeren Betrag unterworfen, als es in der Literatur angegeben wird, und diese Variationen können einen solchen Wert annehmen, dass in einigen Faserabschnitten der lokale  $\lambda_0$ -Wert innerhalb des Arbeitsbandes der Erbium-dotierten Verstärker fällt, so dass die übertragenen Kanäle dazu führen, dass sie miteinander interagieren und dass sie die Herkunft des beobachteten Mischungsphänomens liefern.

[0116] Es ist von daher möglich, in Verbindung mit Signalen von hoher Leistung und hoher Geschwindigkeit eine optische Faser mit einem verschobenen Nullpunkt der chromatischen Dispersion herzustellen, welche ausgelegt ist, das Nicht-Linearitäts-Phänomen aufgrund der FWM, und im Einzelnen aufgrund der Nicht-Linearität des durchschnittlichen Brechungsindex der Faser, zu beseitigen.

[0117] Im Einzelnen kann eine Faser hergestellt werden, die die folgenden Eigenschaften aufweist:

(nominell)	$\lambda_0 = 1520 \text{ nm}$
Verteilung bei $3\sigma$	$= \pm 10 \text{ nm}$
Steigung der Dispersionskurve bei 1550 nm:	$D_c' = 0,06\text{--}0,08 \text{ ps}/(\text{nm}^2 \cdot \text{km})$
Chromatische Dispersion zwischen 1530 und 1560 nm:	$D_c = 0,7\text{--}3 \text{ ps}/(\text{nm} \cdot \text{km})$
Effiziente Fläche	$= 50\text{--}60 \text{ } \mu\text{m}^2$

[0118] In den **Fig. 12** und **13** wird jeweils das Diagramm des Brechungsindexprofils und der chromatischen Dispersionskurve der optischen Faser vom Experiment 8 gezeigt.

[0119] Die Dispersionskurve ist im Wesentlichen linear in dem Intervall zwischen 1200 und 1700 nm.

[0120] Das Profil des Brechungsindex ist von dem "segmentierten Kern"-Typ.

[0121] Es wird erachtet, dass die gleichen Ergebnisse ebenso mit Fasern von verschiedenen Profilen erzielt werden, die im Anschluss an verschiedene, aus dem Stand der Technik bekannten Techniken, wie etwa OVD, MCVD, VAD, erlangt werden, vorausgesetzt, dass die Wellenlänge, die die chromatische Dispersion auf Null bringt, von den festgelegten Bereichen ausgewählt wird.

[0122] Der Anmelder hat von daher herausgefunden, dass es möglich ist, eine optische Faser-Übertragungsleitung für eine WDM-Übertragung von Daten bei hoher Leistung und Geschwindigkeit herzustellen, in welcher die Erzeugung von FWM-Phänomene aufgrund der Nicht-Linearität des Brechungsindex der verwendeten optischen Faser und über lange Entfernungen auftritt, wobei die betreffenden Verstärker enthalten sind, selbst wenn optische Fasern des DS-Typs verwendet werden, d. h. Fasern, die eine chromatische Dispersion aufweisen, welche geringer als  $3 \text{ ps}/(\text{nm} \cdot \text{km})$  ist und welche von daher in der Lage sind, das temporäre Aufweitungsphänomen der übertragenen Impulse zu beseitigen oder zu reduzieren.

[0123] Ein Beispiel eines Multikanal-WDM-Telekommunikationssystems ist in den beigefügten **Fig. 14** bis **16** gezeigt, und es sieht verschiedene Quellen von optischen Ursprungssignalen vor, vier Stück in dem gezeigten Beispiel **28a**, **28b**, **28c**, **28d**, wobei jedes der Signale, die "externe Signale" genannt werden, seine eigenen Übertragungseigenschaften besitzt, wie etwa Wellenlänge, Art der Modulation, Leistung. Die von diesen Quellen erzeugten Signale werden einer Übertragungsstation **29** zugeführt, wobei jedes von ihnen zu einer jeweiligen Schnittstelleneinheit **30a**, **30b**, **30c**, **30d** gesendet wird, die ausgelegt sind, die externen optischen Ursprungssignale zu empfangen, sie zu erfassen und sie zu regenerieren, indem ihnen neue Eigenschaften ge-

geben werden, die für das Übertragungssystem ausgelegt sind.

[0124] Im Einzelnen erzeugen die Schnittstelleneinheiten entsprechende optische Arbeitssignale der Wellenlängen  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ ,  $\lambda_3$ ,  $\lambda_4$ , die in dem nutzbaren Arbeitsband der nachfolgend in dem System angeordneten Verstärker enthalten sind.

[0125] In dem US-Patent Nr. 5,267,073 des gleichen Anmelders werden Schnittstelleneinheiten beschrieben, welche im Einzelnen einen Übertragungsadapter, der ausgelegt ist, ein optisches Eingangssignal in eine für die optische Übertragungsleitung geeignete Form umzuwandeln, und einen Empfangsadapter aufweist, der ausgelegt ist, das übertragende Signal in eine für die Empfangseinheit geeignete Form rückumzuwandeln.

[0126] Bei der Verwendung in dem Beispielssystem, weist der Übertragungsadapter in bevorzugter Weise als den Laser, der ein Ausgangssignal erzeugt, einen Laser vom externen Modulationstyp auf.

[0127] Ein Diagramm einer Schnittstellen-Übertragungseinheit von dem Typ, der für die Verwendung in dem Beispielssystem ausgelegt ist, wird in **Fig. 15** gezeigt, in welcher zu Zwecken der Klarheit optische Verbindungen mittels durchgezogener Linien und elektrische Verbindungen mittels punktierter Linien dargestellt werden.

[0128] Das optische Signal von einer der Quellen **28a**, **28b**, **28c**, **28d**, wie von beispielsweise der gezeigten Quelle **28a**, wird mittels eines Fotodetektors (Photodiode) **31** empfangen, der ein elektrisches Signal ausgibt, welches einem elektronischen Verstärker **32** zugeführt wird.

[0129] Das von dem Verstärker **32** ausgehende elektrische Signal wird einem Steuerstromkreis **33** eines modulierten Laser-Emitters zugeführt, der allgemein mittels **34** angezeigt ist, welcher ausgelegt ist, ein optisches Signal bei der ausgewählten Wellenlänge zu erzeugen, das die Information des eintreffenden Signals enthält.

[0130] Ferner ist in passender Weise eine Schaltung **35** zum Zuführen eines Dienstkanals mit dem Steuerstromkreis **33** verbunden. Der modulierte Laser-Emitter **35** weist einen Laser **36** und einen externen Modulator **37**, beispielsweise einen vom Mach-Zender-Typ, auf, der von dem Signal, das aus der Schaltung **33** herauskommt, gesteuert wird. Eine Schaltung **38** steuert die Länge der Emissionswelle des Lasers **36**, indem sie auf den zuvor ausgewählten Wert konstant gehalten wird, und indem sie hinsichtlich möglich externer Störgrößen, wie etwa der Temperatur und dergleichen, kompensiert wird.

[0131] Schnittstelleneinheiten des angezeigten Typs zum Empfang werden in dem obigen Patent beschrieben und wurden von dem Anmelder unter dem Handelsnamen TXT/E-EM auf den Markt gebracht.

[0132] Von daher werden die optischen Arbeitssignale einem Signalkombinierer **39** zugeführt, der ausgelegt ist, die Arbeitssignale bei den Wellenlängen  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ ,  $\lambda_3$ ,  $\lambda_4$  über eine einzelne optische Ausgangsfaser **40** simultan zu senden.

[0133] Im Allgemeinen ist der Signalkombinierer **39** eine passive, optische Vorrichtung, mittels welcher die auf entsprechenden optischen Fasern übertragenen, optischen Signale in eine einzelne Faser eingekoppelt werden; Vorrichtungen von diesem Typ setzen sich beispielsweise aus geschmolzenen Faserkopplern in planaren optischen Komponenten, mikrooptischen Komponenten und dergleichen zusammen.

[0134] Als Beispiel für einen geeigneten Kombinierer ist ein Kombinierer 1x4 SMTTC-0104-1550-A-H™, der von E-TEX DYNAMICS INC., 1885 Lundy Ave, San Jose, CA (USA) auf den Markt gebracht wird.

[0135] Die Arbeitssignale, die im Folgenden als S1, S2, S3, S4 bezeichnet werden, werden durch die Faser **40** zu einem Booster **41** gesendet, der den Pegel der Signale bis zu einem Wert erhöht, der hinreichend ist, die Signale in die Lage zu versetzen, über den nachfolgenden optischen Faserabschnitt zu laufen, bevor eine neue Verstärkungseinrichtung erreicht wird, wobei am Ende ein hinreichender Leistungspegel beibehalten wird, um die erforderliche Übertragungsqualität sicherzustellen.

[0136] Von daher ist ein erster Abschnitt **42a** der optischen Faser mit dem Verstärker **41** verbunden, und der Abschnitt setzt sich in gewöhnlicher Weise aus einer optischen Single-Mode-Faser vom Stufenindex-Typ zusammen, die in ein geeignetes optisches Kabel eingeführt ist, welches einige zehn (oder hundert) km lang ist, beispielsweise 100 km lang.

[0137] An dem Ende des ersten Abschnittes **42a** der optischen Leitung liegt ein erster Leistungsverstärker **43a** vor, der ausgelegt ist, die in dem Faserweg gedämpften Signale zu empfangen, und sie bis zu einem Pegel zu verstärken, der hinreichend ist, um die Signale in die Lage zu versetzen, zu einem zweiten optischen Faserabschnitt **42b** der gleichen Eigenschaften wie der vorhergehende Abschnitt zuzuführen.

[0138] Nachfolgende Leistungsverstärker **43b**, **43c**, **43d** und entsprechende optische Faserabschnitte **42c**, **42d**, **42e** decken die erforderliche gesamte Übertragungsentfernung ab, bis sie eine Empfangsstation **44** erreichen, die einen Vorverstärker **45** aufweist, welcher ausgelegt ist, die Signale zu empfangen und sie zu verstärken, wobei der Verlust aufgrund des nachfolgenden Demultiplexing-Gerätes kompensiert wird, bis ein Leistungspegel erreicht wird, der hinsichtlich der Sensitivität der Empfangsvorrichtungen ausgelegt ist.

[0139] Von dem Vorverstärker **45** werden die Signale zu einem Demultiplexer **46** gesendet, durch welchen sie abhängig von den relativen Wellenlängen getrennt werden, und dann werden sie zu den Schnittstelleneinheiten **47a**, **47b**, **47c**, **47d** gesendet, die ausgelegt sind, die optischen Signale mit den für das Übertragungssystem geeigneten Eigenschaften zu empfangen und sie zu den optischen Ursprungseigenschaften oder anderen Eigenschaften zu regenerieren, die auf alle Fälle hinsichtlich der jeweiligen Empfangsgeräte **48a**, **48b**, **48c**, **48d** ausgelegt sind.

[0140] Der Demultiplexer **46** ist eine Vorrichtung, die ausgelegt ist, unter verschiedenen Ausgabefasern die einer Eingangsfasern zugeführten, optischen Signale abzuführen, wobei sie abhängig von den jeweiligen Wellenlängen separiert bzw. getrennt werden; dieser Demultiplexer kann aus einem Schmelzfaser-Teiler bestehen, der das Eingangssignal in Signale an verschiedenen Ausgangsfasern teilt, im Einzelnen vier, wobei jedes der Signale zu einem jeweiligen Bandpassfilter zugeführt wird, der an jeder der betreffenden Wellenlängen zentriert ist.

[0141] Beispielsweise kann eine hinsichtlich des bereits beschriebenen Signalkombinierers **39** identische Komponente verwendet werden, wobei die gleiche in einer entgegengesetzten Anordnung eingesetzt und mit jeweiligen Bandpassfiltern kombiniert wird. Bandpassfilter des angegebenen Typs sind beispielsweise von MICRON-OPTICS, INC., 2801 Buford Hwy, Suite 140, Atlanta, Georgia, USA, erhältlich, ein geeignetes Modell ist FFP-100™.

[0142] Die beschriebene Konfiguration liefert im Einzelnen mit der Verwendung von vier Leitungsverstärkern, einem Booster und einem Vorverstärker zufriedenstellende Ergebnisse bei Übertragungen über Entfernungen in der Größenordnung von 500 km mit einer hohen Übertragungsgeschwindigkeit, beispielsweise bei 2,5 Gbit/s (wodurch mit vier multiplexten Wellenlängen eine Übertragungskapazität erzielt wird, die 10 Gbit/s auf einer einzelnen Wellenlänge entspricht).

[0143] Zum Schluss der vorliegenden Beschreibung und für die obige Verwendung ist der Booster **41** beispielsweise ein optischer Faserverstärker eines kommerziellen Typs, der die folgenden Eigenschaften aufweist:

Eingangsleistung	-5 bis +2 dBm
Ausgangsleistung	13 dBm
Arbeitswellenlänge	1530–1560 nm

[0144] Der Booster ist ohne einem Kantenfilter.

[0145] Ein geeignetes Modell ist TPA/E-12, welches von dem Anmelder vermarktet wird.

[0146] Der Verstärker verwendet eine Erbium-dotierte, aktive optische Faser vom Al/Ge/Er-Typ.

[0147] Unter dem Begriff "Booster" wird ein Verstärker verstanden, der unter Sättigungsbedingungen arbeitet, wobei die Ausgabeleistung von diesem von der Pumpleistung abhängt, wie es detailliert in dem europäischen Patent Nr. EP 439 867 beschrieben wird, was hierin als Referenz enthalten ist.

[0148] Bei der Verwendung in dem vorliegenden System wird mit dem Ausdruck "Vorverstärker" ein an dem äußersten Ende der Leitung angeordneter Verstärker verstanden, der ausgelegt ist, das zu dem Empfänger zuzuführende Signal auf einen Wert zu erhöhen, der in passender Weise höher als die Sensitivitätsschwellengrenze des Empfängers selbst ist (beispielsweise von -26 bis -11 dBm beim Eingang des Empfängers), während zur gleichen Zeit so wenig wie möglich Rauschen eingeführt und die Entzerrung des Signals beibehalten wird.

[0149] Beispielsweise kann zum Herstellen eines Vorverstärkers **45** ein Leitungsverstärker verwendet werden, der die gleiche aktive Faser wie die in dem nachfolgenden beschriebenen Verstärker **43a** bis **43c** verwendet, oder es kann ein Verstärker ausschließlich für diesen Zweck, basierend auf speziellen Anforderungen, ausgelegt werden.

[0150] Ein geeignetes Modell ist RPA/E-MW, das von dem Anmelder vermarktet wird.

[0151] Die Konfiguration des obig beschriebenen Übertragungssystems ist im Einzelnen ausgelegt, um die gewünschten Leistungsvermögen, im Einzelnen für eine Multikanal-WDM-Übertragung, bei Vorhandensein einer bestimmten Auswahl der Eigenschaften der Leitungsverstärker zu liefern, die ein Teil des Systems ausbilden, im Einzelnen, was die Leistungsfähigkeit der Übertragung der ausgewählten Wellenlängen betrifft, ohne dass einige von ihnen hinsichtlich der anderen benachteiligt werden.

[0152] Im Einzelnen kann ein gleichmäßiges Verhalten von sämtlichen Kanälen in dem zwischen 1530 und 1560 nm enthaltene Wellenlängenband bei der Anwesenheit von Verstärkern sichergestellt werden, die ausgelegt sind, in Kaskaden bzw. in Reihe zu operieren, indem Leitungsverstärker verwendet werden, die ausgeführt sind, in einem Kaskadenbetrieb eine im Wesentlichen gleichförmige (oder "flache") Antwort bzw. Erwidern auf die verschiedenen Wellenlängen aufzuweisen.

#### b) Leitungsverstärker

[0153] Für den obigen Zweck ist ein Verstärker, der zur Verwendung als Leitungsverstärker beabsichtigt ist, gemäß dem in **Fig. 16** gezeigten Diagramm hergestellt, und er weist eine Erbium-dotierte aktive Faser **49** und den entsprechenden Pumplaser **50**, der über einen dichroischen Koppler **51** hiermit verbunden ist, auf; ein Opto-Isolator **52** ist in der Laufrichtung des zu verstärkenden Signals aufwärts der Faser **49** angeordnet, wohingegen ein zweiter Opto-Isolator **53** abwärts der aktiven Faser selbst angeordnet ist.

[0154] Der Verstärker umfasst ferner eine zweite Erbium-dotierte aktive Faser **54**, die dem entsprechenden

Pumplaser **55** durch einen dichroischen Koppler **56** zugeordnet ist; von daher ist in Laufrichtung des Signals abwärts der Faser **54** ein anderer Opto-Isolator **57** vorgesehen.

[0155] Alternativ hierzu kann der Leistungsverstärker in einer (nicht dargestellten) Einzelzustands-Konfiguration basierend auf den speziellen Verwendungsanforderungen ausgeführt sein.

[0156] Die bevorzugte Zusammensetzung und optischen Eigenschaften der aktiven Fasern in dem Leistungsverstärker sind in der nachfolgenden Tabelle zusammengefasst:

Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		GeO <sub>2</sub>		La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		Er <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		NA	λ <sub>c</sub>
%wt	(%mol)	%wt	(%mol)	%wt	(%mol)	%wt	(%mol)		nm
4	(2, 6)	18	(11, 4)	1	(0, 2)	0,2	(0, 03)	0,219	911

wobei gilt:

%wt prozentualer Gewichtsanteil von Oxid in dem Kern (Durchschnitt)

%mol prozentualer Mol-Gehalt von Oxid in dem Kern (Durchschnitt)

NA numerische Apertur  $(n_1^2 - n_2^2)^{1/2}$

λ<sub>c</sub> Grenz- bzw. Sperrwellenlänge (LP11 Cut-off)

[0157] Analysen der Zusammensetzungen wurden an einer Vorform (vor dem Ziehen der Faser) mittels einer Mikroprobe kombiniert und mit einem elektronischen Abtastmikroskop (SEM™ Hitachi) ausgeführt.

[0158] Die Analysen wurden bei einer Verstärkung von Faktor 1300 an bestimmten Punkten, die entlang eines Durchmessers angeordnet und voneinander um 200 µm beabstandet sind, ausgeführt. Die genannten Fasern wurden mittels einer Vakuum-Auftragungstechnik innerhalb einer Röhre aus Quarzglas hergestellt.

[0159] In den Fasern wurde der Einschluss von Germanium als Dotiersubstanz in der SiO<sub>2</sub>-Matrix in dem Faserkern während des Syntheseschrittes erzielt.

[0160] Der Einschluss von Erbium, Aluminium und Lanthanum in den Faserkern wurde, bevor die Vorform aushärtet, durch die sogenannte "Doping-in-Solution"-Technik erzielt, bei welcher eine wässrige Lösung der des Chlorids der Dotiersubstanzen in Kontakt mit dem Synthesematerial des Faserkerns gebracht wird, während sich dieses Material in dem bestimmten Zustand befindet.

[0161] Weitere Details hinsichtlich der Doping-in-Solution-Technik kann z. B. in der US 5,282,079 gefunden werden, welche hierin als Referenz enthalten ist.

[0162] Die Pumplaser **50**, **55** sind in bevorzugter Weise Laser des Quantum-Well-Typs, die die folgenden Eigenschaften aufweisen:

Emissionswellenlänge

λ<sub>p</sub> = 980 nm

maximale optische Ausgabeleistung

P<sub>u</sub> = 80 mW

[0163] Laser des angegebenen Typs werden beispielsweise von LASERTRON INC., 37 North Avenue, Burlington, MA (USA), hergestellt.

[0164] Dichroische Koppler des genannten Typs sind bekannt und kommerziell erhältlich, und sie werden beispielsweise von GOULD Inc., Fibre Optic Division, Baymeadow Drive, Gelm Burnie, M.D. (USA) und von SIF-AM Ltd., Fibre Optic Division, Woodland Road Torquay Devon (GB) hergestellt.

[0165] Optische Isolatoren **52**, **53**, **57** sind optische Isolatoren, in welchen die Polarisationssteuerung unabhängig von der Polarisation des Übertragungssignals ist, und welche eine Isolation höher als 35 dB und eine Reflektivität geringer als -50 dB aufweisen.

[0166] Die hierin verwendeten Isolatoren sind ein MDL I-15 PIPT-A S/N 1016™ Modell, welches von ISO-WAVE, 64 Harding Avenue, Dover, New Jersey, USA, erhältlich ist.

[0167] In dem beschriebenen System sind die Leistungsverstärker zur Operation mit einer optischen Gesamtausgangsleistung von etwa 14 dBm mit einer Verstärkungsleistung von etwa 30 dB vorgesehen.

[0168] Ein geeignetes Modell ist OLA/E-MW, das von dem Anmelder kommerzialisiert ist.

[0169] In der vorliegenden Beschreibung war, wenn es nicht anders spezifiziert ist, durch das Bringen der Wellenlänge der chromatischen Dispersion auf Null in der Faser (λ<sub>0</sub>) der nominelle (oder durchschnittliche) Wert gemeint, der durch die Phasen-Verschiebungstechnik, über die als Referenzverfahren in der bereits erwähnten ITU-T G-650 Empfehlung berichtet wird, gemessen werden kann, die durch Versuchen an Fasern, die länger als 1 km sind, erzielt wurde, auf welcher basierend die gesamte chromatische Dispersion des untersuchten Faserabschnitts berechnet werden kann.

[0170] Zusätzlich war mit dem Begriff "lokale" Wellenlänge, welche die chromatische Dispersion in der Faser auf Null bringt (lokales λ<sub>0</sub>), der Wert gemeint, den λ<sub>0</sub> über Faserabschnitte begrenzter Länge im Anschluss an Fluktuationen in der Faserstruktur lokal annehmen kann, die ausreichend sind, in dem Fall für die Erzeugung

von FWM-Spitzen zu sorgen, in welchem die Spitzen in Übereinstimmung mit oder in funktionaler Beziehung mit den Übertragungskanälen stehen; neben anderen Dingen hängt diese Länge in der Praxis von der optischen Leistung ab, die in der Faser für die verschiedenen Kanäle vorhanden ist, und von der Tatsache ab, dass die FWM-Spitzen Verstärkungen unterworfen sein können; nur als Hinweis, Längen von mehreren hundert Metern können wichtige Effekte liefern.

[0171] Von daher wurde herausgefunden, dass es zum Reduzieren der Rauscheffekte aufgrund von FWM in einem Multiwellenlängen-Übertragungssystem nicht hinreichend ist, dass die Fasern den nominelle (oder durchschnittliche) chromatischen Dispersionswert aufweisen, der nicht in dem Übertragungssignalband Null ist, sondern es ist ebenso notwendig, dass die nominelle (oder durchschnittliche) chromatische Dispersion der Fasern bei einem Wellenlängenwert Null wird, der niedriger als und hinreichend entfernt von dem minimalen Wellenlängenwert liegt, der für die Übertragung vorgesehen ist. Zusätzlich wurde herausgefunden, dass es zum Erhöhen der maximalen Verbindungsstanz, ohne dass Abzüge von FWM auftreten, notwendig ist, entsprechend die Entfernung zwischen den Wellenlängenwerten, die die chromatische Dispersion auf Null bringen, und der minimalen Wellenlänge der Übertragungskanäle zu erhöhen. Es ist ebenso möglich, eine optische Signalübertragung in einer verstärkten Multikanal-WDM-Übertragungsleitung unter Verwendung von optischen Fasern des DS-Typs mittels eines Prozesses, der den Verfahrensschritt des Einrichtens des (durchschnittlichen) Wellenlängenwertes zum Bringen der chromatischen Dispersion auf Null in den Fasern und des Einrichtens der lokalen Null-Werte der chromatischen Dispersion in der gleichen Faser aufweist, auszuführen; basierend auf diesen Werten wird dann das Übertragungsband ausgewählt, so dass es von dem durchschnittlichen Wert der chromatischen Dispersion der Faser durch solch einen Betrag getrennt ist, dass keines der lokalen Nullwerte in dem Übertragungsband selber enthalten ist. Alternativ hierzu sind die für die Übertragung verwendeten optischen Fasern derart ausgewählt, dass der (durchschnittliche) Nullwert der chromatischen Dispersion in den Fasern hinreichend weit von dem für die WDM-Übertragung verwendeten Band liegt, um zu verhindern, dass Abschnitte von wichtiger Länge der Fasern einen lokalen Nullwert der chromatischen Dispersion aufweisen, welcher in das Übertragungsband fällt. Bei dem Betrieb mit Verstärkern, die mit 980 nm gepumpt werden, wurde beobachtet, dass sich das Übertragungsband bis etwa 1530 nm ausweiten kann, und es wurde herausgefunden, dass das Problem nicht nur mit dem Maximumwert, sondern auch mit dem lokalen Nullwert der Dispersion verknüpft war.

[0172] Soweit wurde detailliert die Wellenlängen-Multiplexing-Technik und das hiermit zusammenhängende Four-Wave-Mixing-Phänomen beschrieben; jedoch muss darauf hingewiesen werden, dass ebenso andere, nicht-lineare, mit der Fortpflanzung in optischen Fasern zusammenhängende Phänomene auf ähnliche Weise durch den Dispersionswert der Fasern und durch die Unveränderlichkeit von ihren Nullwerten entlang der Faserlängen beeinflusst werden, und dass sie demgemäß Vorteile von der beschriebenen, speziellen Faser ziehen werden.

[0173] Ein Beispiel von dem obigen ist die optische Hochgeschwindigkeitsübertragung in nicht-linearen Fortpflanzungsbedingungen; im Einzelnen in dem Fall der Ausbreitung von Solitonen in Dispersion-verschobenen Fasern wurde beobachtet, dass, wenn die Faserleitung, entlang welcher die Ausbreitung der Solitonen stattfindet, Abschnitte einer vorgegebenen Länge aufweist (in der Größenordnung von einigen Kilometern, beispielsweise 5 km oder mehr), welche negative chromatische Dispersionswerte (normale Dispersion) aufweisen, die Solitonimpuls-Ausbreitung in großem Maße mit einem deutlichen Ansteigen der spektralen Breite der Solitonen (ein deutliches Ansteigen der spektralen Breite bzw. Weite der Solitonen ist beispielsweise größer als 10%) gestört wird.

[0174] Dieses liegt an der Tatsache, dass in diesen Faserabschnitten die Kompensation zwischen dem Dispersions-Chirping und dem Phasenmodulations-Chirping fehlt (das Wort "Chirping" bedeutet eine Variation in der instantanen bzw. augenblicklichen Frequenz des optischen Trägers).

[0175] Der Güteabfall der Impulse, der stattfindet, wenn sich die Solitonen aufgrund ihrer nicht-linearen Natur in den sogenannten "normalen" Dispersionsfasern ausbreiten (d. h., in Fasern, die eine negative Dispersion aufweisen), wird nur teilweise in einer nachfolgenden Ausbreitung in einer Länge von "anormalen" Dispersionsfasern wiedergewonnen (d. h. in Fasern, die eine positive Dispersion aufweisen): demgemäß ist es auch in dieser Art von Übertragung sehr wichtig, dass die in der Leitung verwendeten Fasern in der Praxis keine  $\lambda_0$ -Werte in dem für die Soliton-Übertragung verwendeten Wellenlängenbereich aufweisen, wie es in der vorliegenden Erfindung vorgesehen ist.

[0176] Die kritische minimale Faserlänge, die eine normale Dispersion aufweist, oberhalb welcher dieses Phänomen bedeutend wird, wird mit dem Anwachsen der Signalbitrate reduziert; demgemäß wird die Verwendung der speziellen Faser von insbesondere Bedeutung für optische Verbindungen sein, die bei mehr als 10 Gbit/s operieren, mehr im Einzelnen bei 40 Gbit/s oder höherer Geschwindigkeit, und die Toleranzen, die hiermit in Verbindung stehen, werden stärker zugeschnürt sein.

[0177] Mit einer speziellen Faser, die einen nominellen  $\lambda_0$ -Wert in dem 1500 bis 1520 nm Bereich aufweist, kann darüber hinaus eine Solitonen-Übertragung unter Verwendung eines breiten Wellenlängenbandes, das im Einzelnen sich bis zu dem gesamten verfügbaren Bereich der optischen Verstärker erstreckt, ausgeführt

werden.

### Patentansprüche

1. Übertragungssystem für optische Solitonen, welches aufweist:

- a) zumindest eine Quelle (**1, 2, 3, 4; 28a–28d; 29**) für Impulssignale optischer Solitonen mit einer Wellenlänge in einem vorbestimmten Übertragungswellenlängenband;
- b) eine Lichtleiterleitung (**9, 42a–e**), in welche die Signale eingegeben werden; und
- c) eine Empfangsvorrichtung (**44**) zum Empfangen der Impulssignale der optischen Solitonen von der Lichtleiterleitung (**9, 42a–e**),

**dadurch gekennzeichnet**, dass die Lichtleiterleitung (**9, 42a–e**) einen Lichtleiter (**9, 42a–e**) mit Werten der chromatischen Dispersion zwischen 0,7 und 3 ps/nm·km über einen Übertragungswellenlängenbereich zwischen 1530 und 1560 nm aufweist, die Steigung der Kurve der chromatischen Dispersion zwischen 0,06 und 0,08 oder 0,11 ps/nm<sup>2</sup>·km bei einem mittleren Wert des Bereiches liegt, der eine Wellenlänge von 1550 nm enthält, wobei eine Wellenlänge ( $\lambda_0$ ) von 1520 nm den lokalen Nullwert der nominellen chromatischen Dispersion angibt, dass die Breite ( $\pm 3\sigma$ ) der Wellenlängenverteilung um den lokalen Nullwert 20 nm ist, die wirksame Fläche ( $A_{\text{eff}}$ ) gleich 50–60  $\mu\text{m}^2$  ist, und die übertragenen Signale in Bezug auf die Wellenlänge um im Wesentlichen 0,4 nm getrennt sind.

2. System nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest ein optischer Verstärker (**10; 43a–43d; 49, 54**) in den Lichtleiter geschaltet ist, um die Impulssignale der optischen Solitonen zu verstärken, und die Wellenlänge der Impulssignale der optischen Solitonen in einem Übertragungsband liegt, das in einem Verstärkungsband des optischen Verstärkers enthalten ist.

3. System nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass der optische Verstärker ein Erbium-dotierter Lichtleiterverstärker (**49, 54**) ist.

4. System nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest vier optische Verstärker in die Lichtleiterleitung eingefügt sind.

5. System nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Lichtleiter eine Länge von zumindest 5 km aufweist.

6. Verfahren zur Übertragung von Impulssignalen optischer Solitonen mit einer vorbestimmten Übertragungsgeschwindigkeit, mit folgenden Schritten:

- a) Erzeugen (**1, 2, 3, 4; 28a–28d; 29**) von Impulssignalen optischer Solitonen mit einer Wellenlänge in einem vorbestimmten Übertragungswellenlängenband;
  - b) Zuführen der Impulssignale der Solitonen zu einer Lichtleiterleitung (**9, 42a–e**); und
  - c) Empfangen der übertragenen Impulssignale optischer Solitonen über einen Empfänger,
- dadurch gekennzeichnet**, dass die Lichtleiterleitung (**9, 42a–e**) einen Lichtleiter (**9, 42a–e**) mit Werten der chromatischen Dispersion zwischen 0,7 und 3 ps/nm·km über einen Übertragungswellenlängenbereich zwischen 1530 und 1560 nm aufweist, die Steigung der Kurve der chromatischen Dispersion zwischen 0,06 und 0,08 oder 0,11 ps/nm<sup>2</sup>·km bei einem mittleren Wert des Bereiches liegt, der eine Wellenlänge von 1550 nm enthält, wobei eine Wellenlänge ( $\lambda_0$ ) von 1520 nm den lokalen Nullwert der nominellen chromatischen Dispersion angibt, die Breite ( $\pm 3\sigma$ ) der Wellenlängenverteilung um den lokalen Nullwert 20 nm beträgt, die wirksame Fläche ( $A_{\text{eff}}$ ) gleich 50–60  $\mu\text{m}^2$  ist, und die übertragenen optischen Signale um eine Wellenlänge von im Wesentlichen 0,4 nm getrennt sind.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Impulssignale der optischen Solitonen durch zumindest einen optischen Verstärker (**10; 43a–43d; 49, 54**) verstärkt werden.

8. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die vorbestimmte Übertragungsgeschwindigkeit größer oder gleich 10 Gbit/s ist.

9. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Signale der optischen Solitonen durch vier optische Verstärker verstärkt werden.

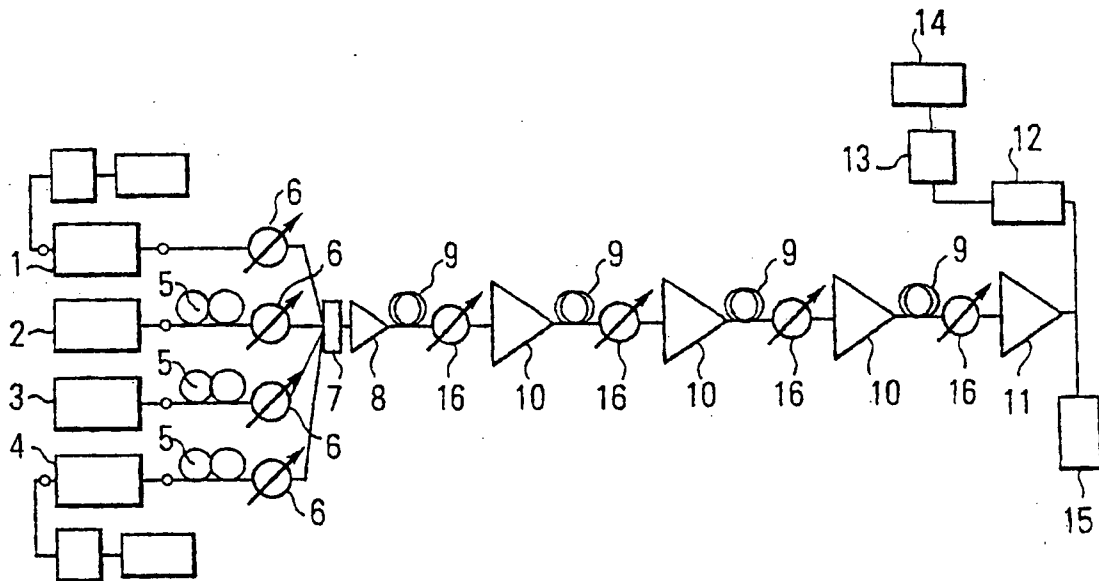
10. Verfahren nach Anspruch 7 oder 9, dadurch gekennzeichnet, dass der optische Verstärker ein Erbium-dotierter optischer Verstärker **49, 54**) ist.

11. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Impulssignale der optischen Solitonen über eine Entfernung von zumindest 5 km übertragen werden.

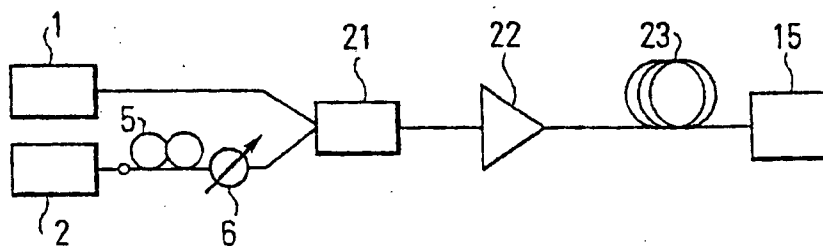
Es folgen 9 Blatt Zeichnungen

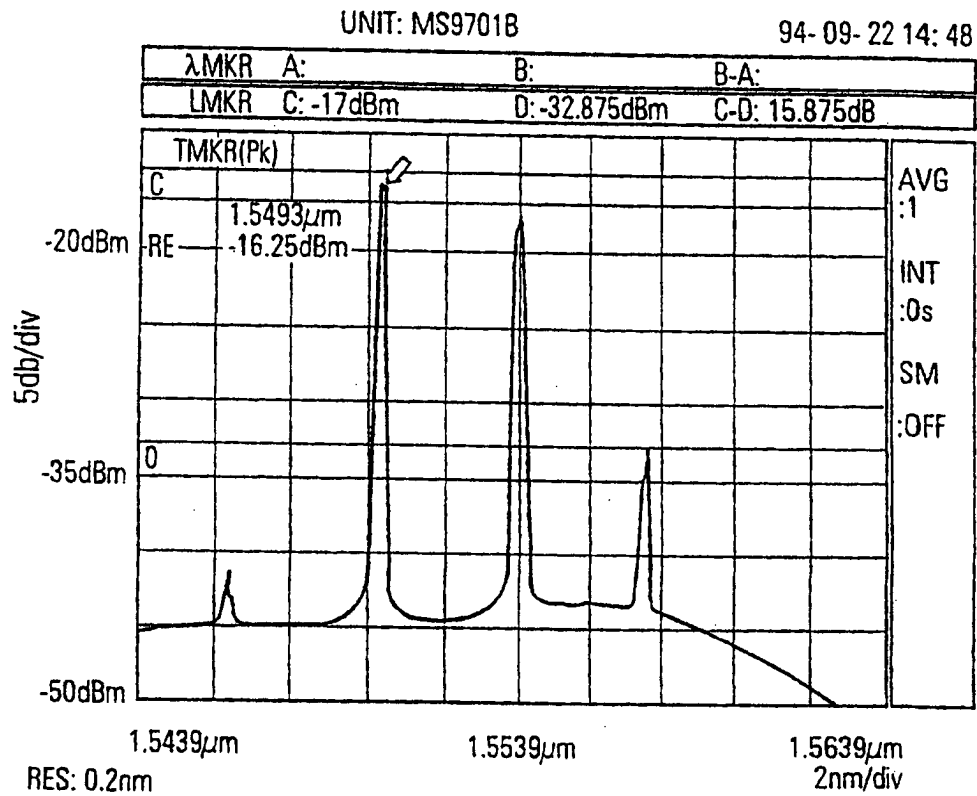
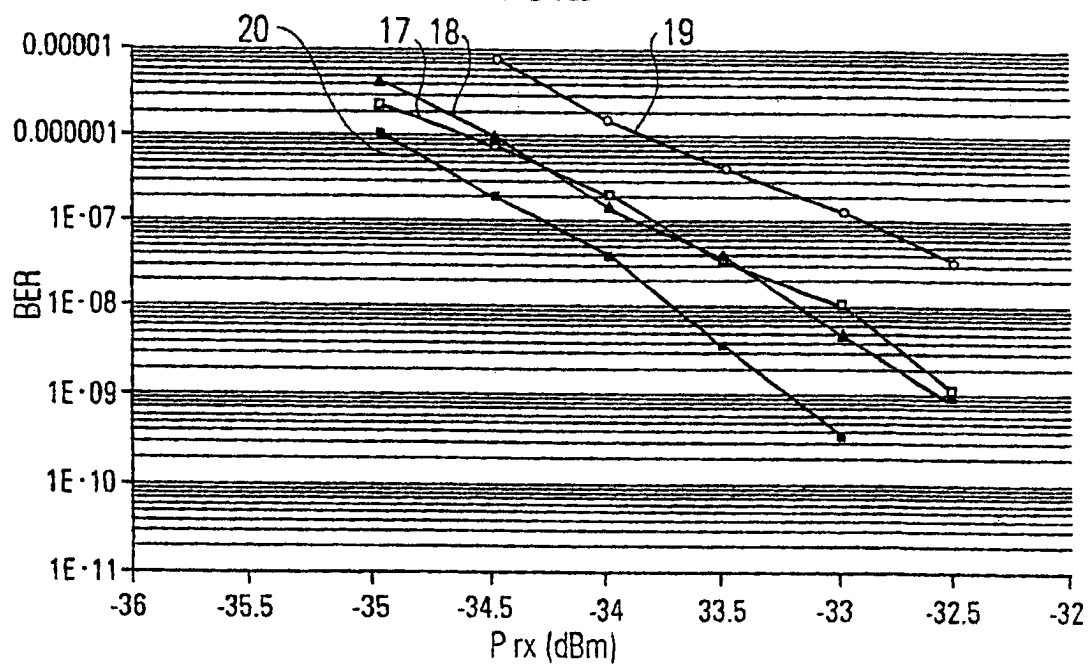


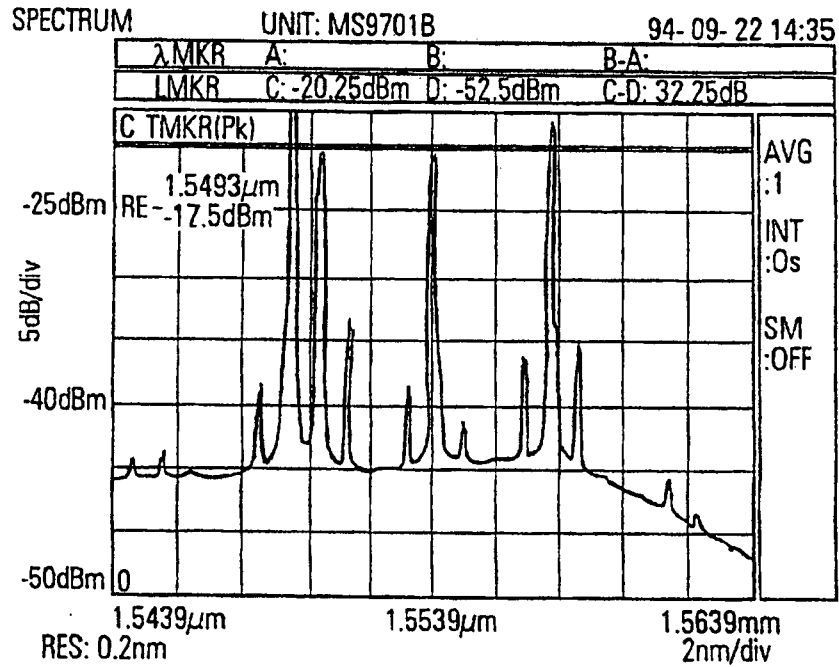
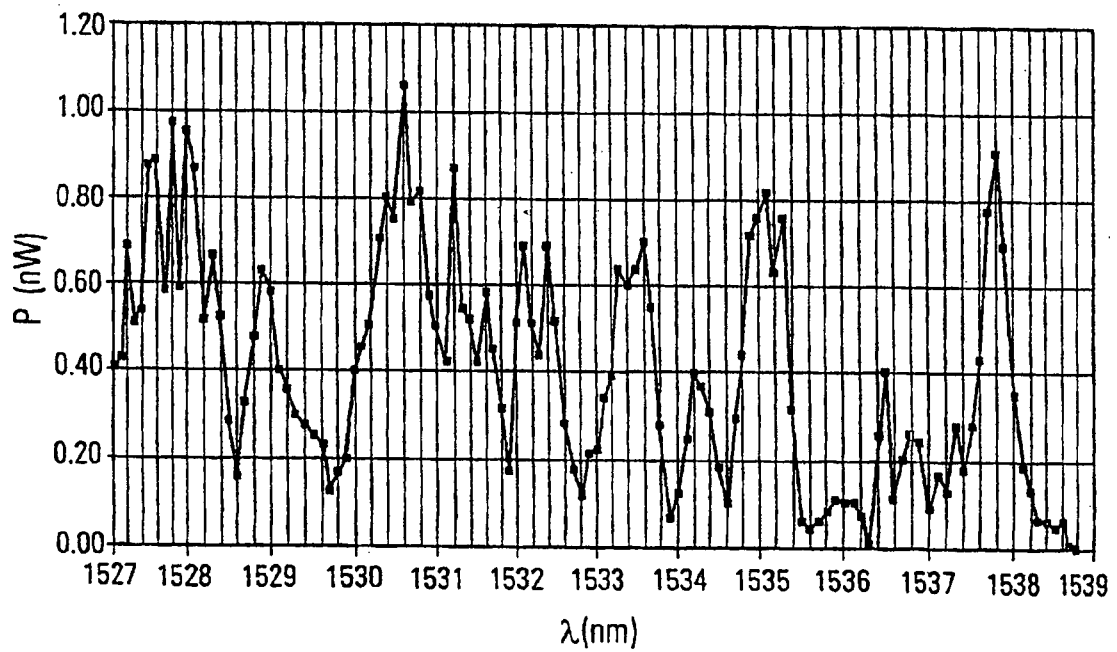
**FIG.1**



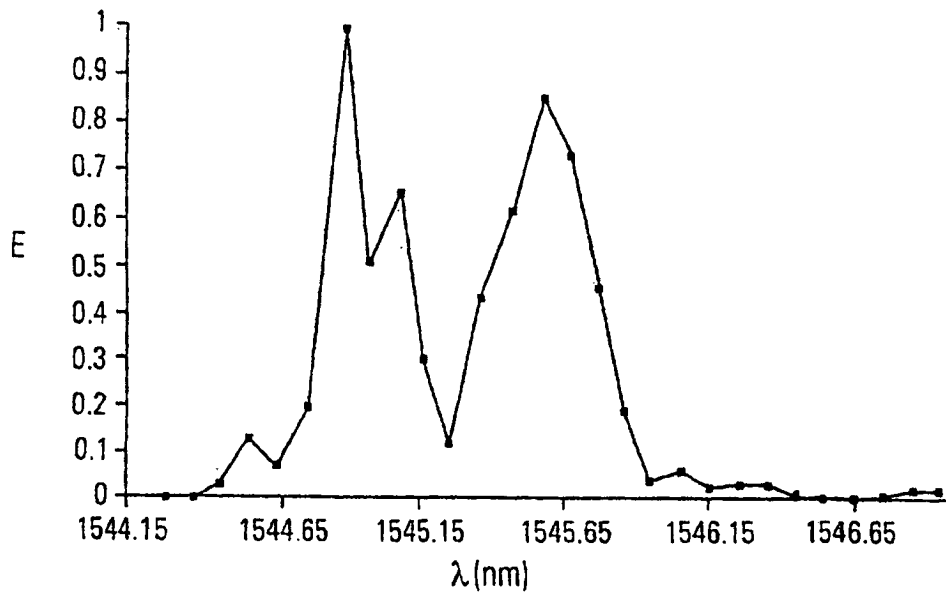
**FIG.4**



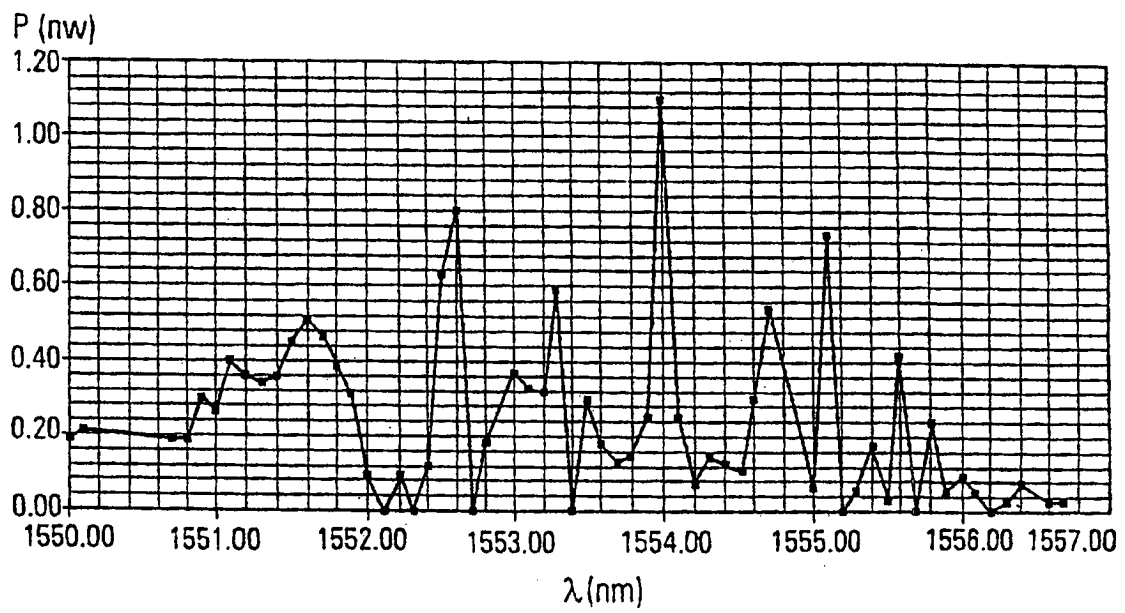
**FIG.5****FIG.2**

**FIG.3****FIG.8**

**FIG.6**



**FIG.7**



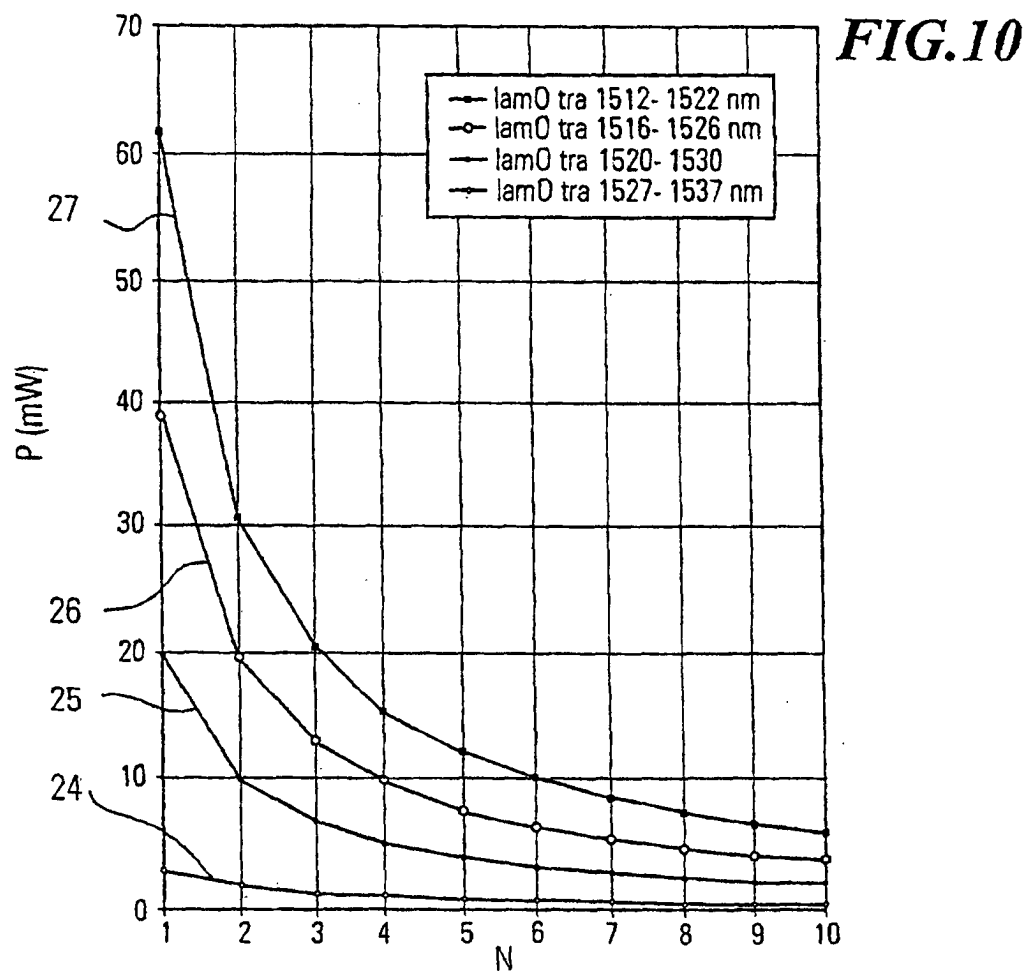
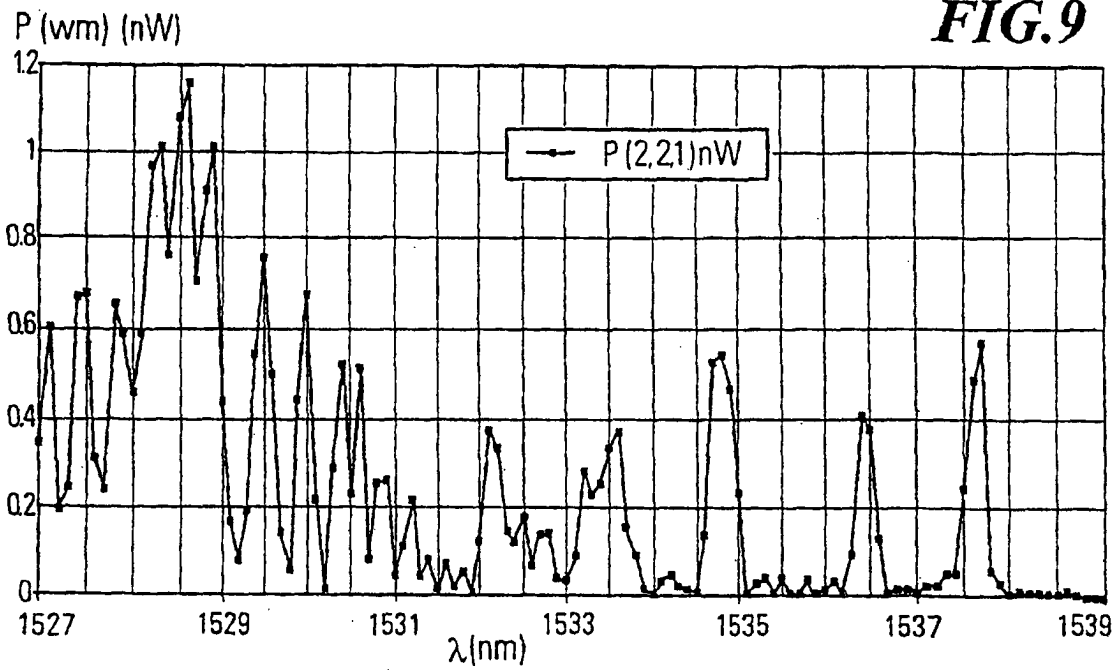
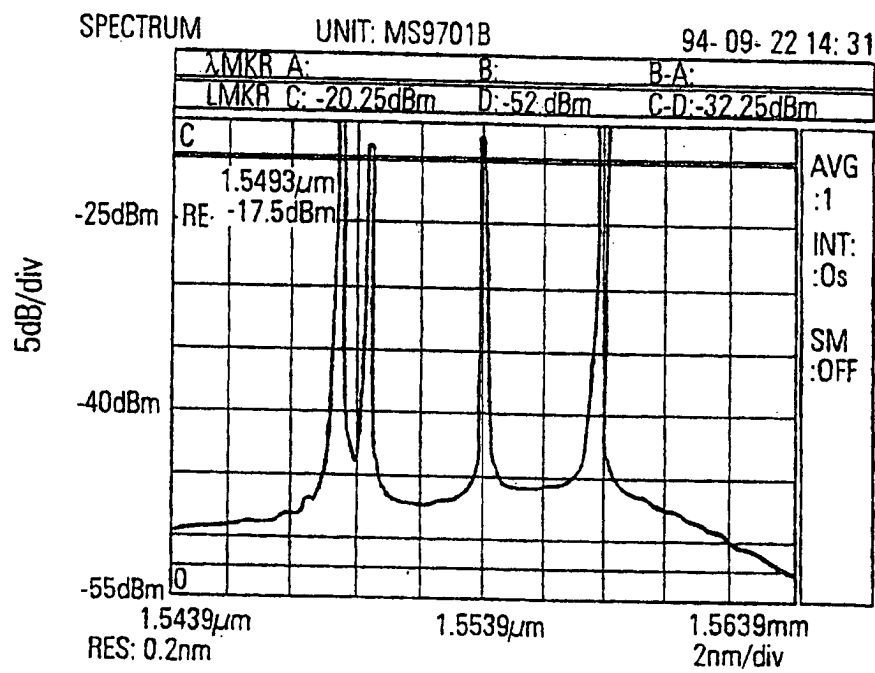
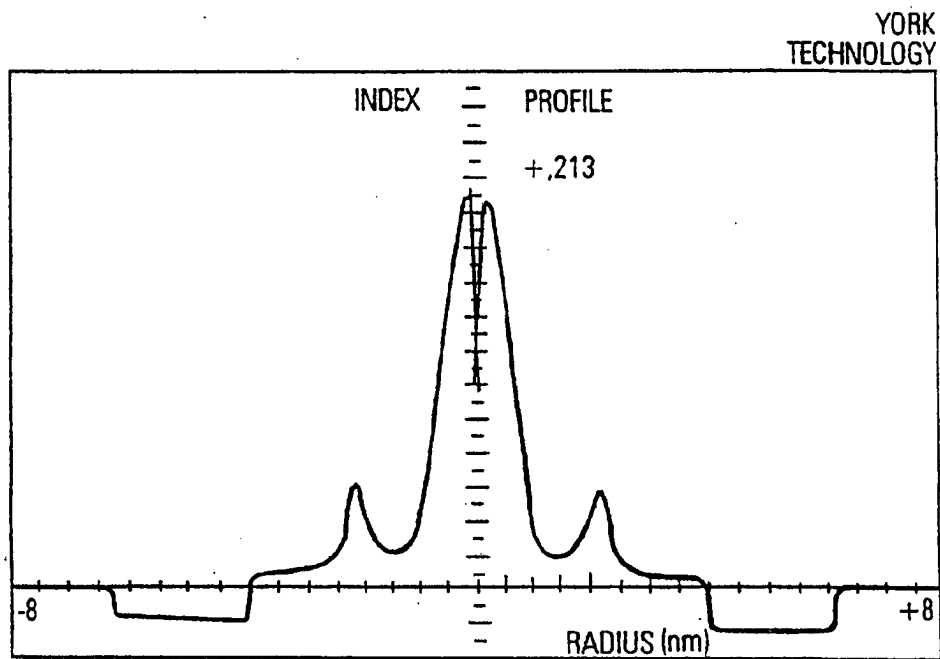


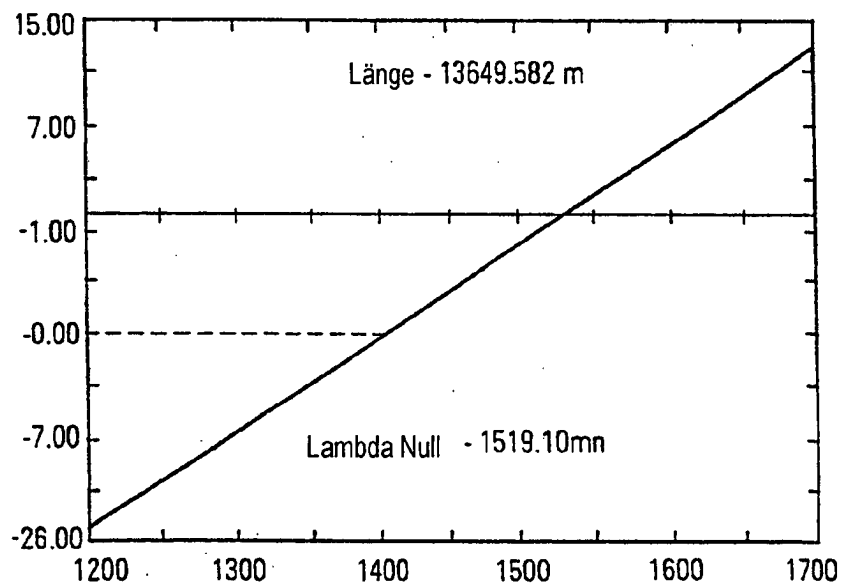
FIG.11



**FIG.12**



**FIG.13**



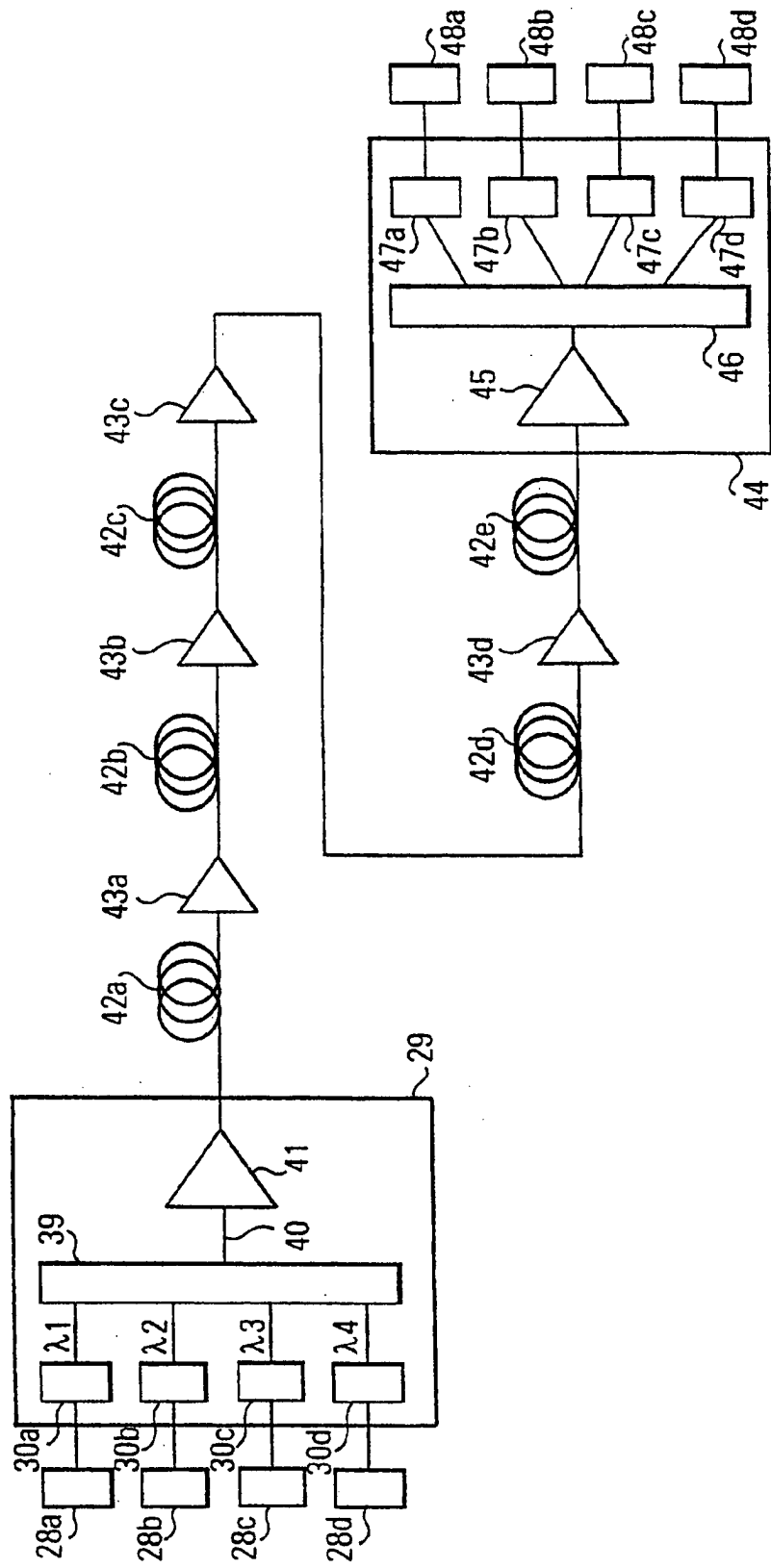
**FIG.14**



FIG.15

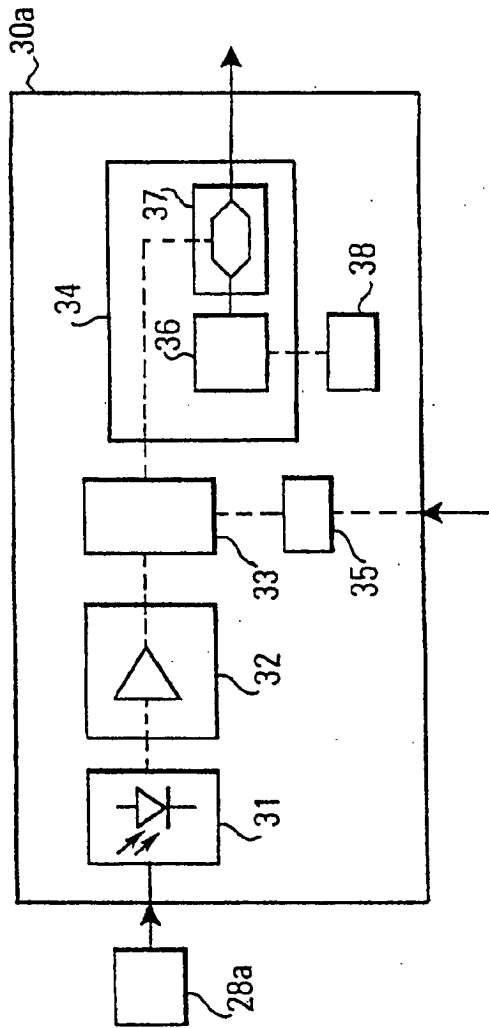


FIG.16

