

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
24. Februar 2005 (24.02.2005)

PCT

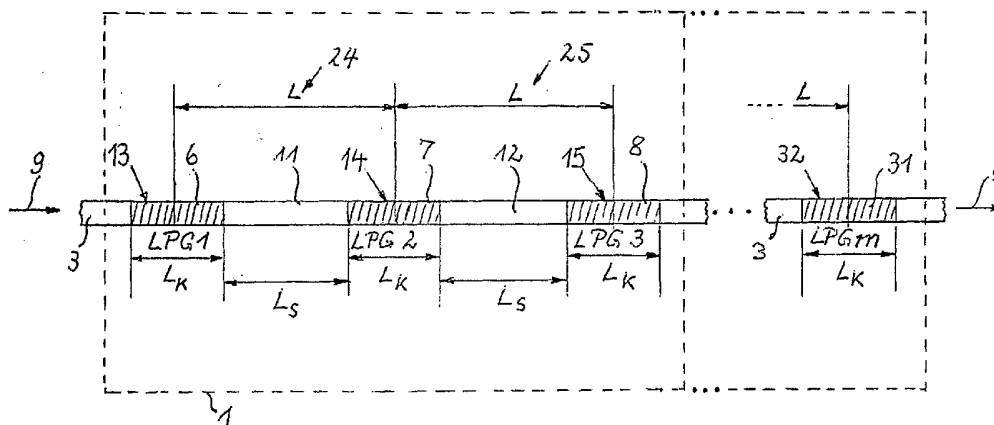
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2005/017587 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation⁷: **G02B 6/293** (72) Erfinder: **OTTO, Michael**; Plauenscher Ring 1, 01187 Dresden (DE).
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2004/001822 (72) Erfinder; und
- (22) Internationales Anmeldedatum: 12. August 2004 (12.08.2004) (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **SCHÄFFER, Christian** [DE/DE]; Westendstrasse 7, 01187 Dresden (DE).
- (25) Einreichungssprache: Deutsch (74) Anwalt: **HEMPEL, Hartmut**; Jagdweg 10, 01159 Dresden (DE).
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch (81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG,
- (30) Angaben zur Priorität:
103 37 994.0 14. August 2003 (14.08.2003) DE
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN** [DE/DE]; Mommenstrasse 11, 01069 Dresden (DE).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: FIBER OPTIC FILTER DEVICE

(54) Bezeichnung: FASEROPTISCHE FILTEREINRICHTUNG



(57) **Abstract:** The invention relates to a fiber optic filter device (5) for optical signal transmission systems comprising selectively tunable mode converters. The aim of the invention is to adjust the amplitude and the phase of the optical signals (10) in a simple manner while keeping losses low. Said aim is achieved by serially disposing m ($m=3, \dots, n$) mode converters (6, 7, 7', 7, 8, 26, 31) encompassing fiber pieces (11, 12; 23; 29, 30) that are located therebetween at a given distance so as to create a propagation time difference ($p\Delta T$; $p=1, \dots, k$) in an optical fiber (3) of the fiber optic filter device. Selected fiber pieces (11, 12; 23; 29, 30) are tunable while the propagation time difference ($p\Delta T$) can be obtained by means of the different effective refractive indices ($n_{\text{eff,LPVX}}$; $n_{\text{eff,LPWY}}$) of the different used modes (LP_{VX}, LP_{WY}; V, W, X, Y=0, 1, 2, ..., a).

(57) **Zusammenfassung:** Die Erfindung betrifft eine faseroptische Filtereinrichtung 5 für optische Signalübertragungssysteme mit ausgewählt abstimmbaren Modenkonvertern. Die Aufgabe besteht darin, mit der Filtereinrichtung in einfacher Weise die Amplitude und die Phase der optischen Signale 10 verlustarm einzustellen. Die Lösung besteht darin, dass in der faseroptischen Filtereinrichtung in einer optischen Faser (3) m ($m=3, \dots, n$) Modenkonverter (6, 7, 7', 7, 8, 26, 31) in Folge mit dazwischen befindlichen abstandsvorgegebenen und damit Laufzeitdifferenz ($p\Delta T$; $p=1, \dots, k$) erzeugenden Faserstücken (11, 12; 23; 29, 30) enthalten sind, wobei davon ausgewählte Faserstücke (11, 12; 23; 29, 30) abstimmbar sind und die Laufzeitdifferenz ($p\Delta T$) durch die unterschiedlichen effektiven Brechzahlen ($n_{\text{eff,LPVX}}$; $n_{\text{eff,LPWY}}$) 20 derverwendeten verschiedenen Moden (LP_{VX}, LP_{WY}; V, W, X, Y=0, 1, 2, ..., a) erreichbar ist.

WO 2005/017587 A1



PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

- (84) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Erklärung gemäß Regel 4.17:

— *Erfindererklärung (Regel 4.17 Ziffer iv) nur für US*

Veröffentlicht:

— *mit internationalem Recherchenbericht*
— *vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen*

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

Faseroptische Filtereinrichtung

Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine faseroptische Filtereinrichtung für optische Signalübertragungssysteme mit ausgewählt abstimmbaren Modenkonvertern.

Ein allgemeines Problem bekannter faseroptischer Filter besteht darin, dass die Dispersion bei der Übertragung optischer Signale ein limitierender Faktor ist. Insbesondere in einem optischen Signalübertragungssystem mit einer Kanalbitrate von 40 Gbit/s oder höher stellt die zeitliche Veränderung der Dispersion eine starke Einschränkung dar. Bei den hochbitratigen Signalübertragungssystemen ist die tolerierbare Abweichung der Dispersion deutlich geringer als die zeitliche Veränderung der Dispersion der Übertragungsstrecke. Zeitliche Schwankungen bedürfen aber einer dynamischen Kompensation der Dispersion.

Es sind Muster von komplexen faseroptischen Filtern zur Dispersionskompensation in der Druckschrift EP 0 897 124 A1 beschrieben, die langperiodische Gitter nutzen. Die übertragenden Filter schließen ein langperiodisches Gitter ein, das einen ersten Gitterabschnitt und einen zweiten Gitterabschnitt aufweist, das vom ersten Gitterabschnitt durch einen Abstand getrennt ist. Dabei können die Gitterabschnitte zumindest zwei langperiodische Gitter, insbesondere zwei gechirpte langperiodische Filter darstellen, wobei zumindest die beiden langperiodischen Gitter jeweils eine vorgegebene Länge und eine vorgegebene Chirpperiodizität aufweisen können, zwischen denen ein Faserstück der optischen Faser mit einem vorgegebenen Abstand im Bereich von etwa 1 cm bis ungefähr 80 cm liegt.

Der Einsatz von gechirpten langperiodischen Gittern in einer anderen Einrichtung und einem Verfahren zur Kompensation der chromatischen Dispersion in einem optischen Signal ist auch in der Druckschrift US 2002/0191909 A1 beschrieben.

Die Vorrichtung umfasst ein langperiodisches optisches Gitter, das entlang der Länge des optischen Wellenleiters platziert ist. Das Gitter ist entlang des optischen Wellenleiters derart

gechirpt, dass die unterschiedlichen Wellenlängen des optischen Signals bei unterschiedlichen Punkten entlang der Länge des Gitters vom Grundmode in den höheren Mode gekoppelt sind, dass die chromatische Dispersion am übertragenden Ende korrigiert wird.

Ein Problem der beiden vorgenannten faseroptischen Filtereinrichtungen besteht darin, dass der durch die festgelegte Periodizität der gechirpten Gitter vorgegebene feste Laufzeitunterschied nicht zur variablen Dispersionskompensation geeignet ist.

Ein anderes optisches Filter ist in der Druckschrift US 2003/0002794 A1 beschrieben, wobei im Filter langperiodische Gitter in einer neuen Konfiguration genutzt werden, um eine Bandpassfilterung der optischen Signale durchzuführen. In der Grundausrüstung sind zwei verschiedene langperiodische Gitter in verschiedenen Wellenleitern eingebracht. Das erste langperiodische Gitter wandelt Licht über einen breiten Wellenlängenbereich, in dem der LP_{01} -Grundmode der optischen Faserübertragungsstrecke in einen höher geordneten Mode der optischen Faser konvertiert wird. Das modenkonvertierte Signal mit dem LP_{mn} -Mode wird dann gekoppelt mit einem zweiten Wellenleiter, wobei der zweite Wellenleiter eine Übertragungscharakteristik hat, die verschieden von jener des ersten Wellenleiters ist. Das modenkonvertierte Signal wird dann durch das zweite langperiodische Gitter hindurch übertragen, wobei das Signal über ein ausgewähltes schmales Wellenlängenband, das durch das zweite langperiodische Gitter aufgenommen wird, zurück in den LP_{01} -Mode konvertiert wird.

Ein Problem besteht darin, dass das optische Filter mit den beiden Wellenleitern unterschiedlicher Übertragungscharakteristik nur eine nicht steuerbare Bandpassfilterung durchführt.

- 5 In der Druckschrift WO 02/095886 A2 ist eine Modenkopplungsvorrichtung mit komplexen Spektralprofilen beschrieben, die für die Kopplung von gemeinsam sich ausbreitenden Moden in einer optischen Faser vorgesehen ist, um ein Filter für den Ausgleich der nicht konstanten Verstärkung eines optischen Verstärkers, wie z.B. bei einem mit Erbium dotierten Faserverstärker, bereitzustellen. Die Modenkopplungsvorrichtung enthält mehrere langperiodische Gitter mit einer gleichen Anzahl von Perioden und gleicher Brechungsstärke, wobei jedes Gitter durch einen Abstand von kleiner als 10 Wellenlängenperioden
10 voneinander getrennt ist.
15

Ein Problem besteht darin, dass nur eine Amplitudenfilterung (engl. gain flattening) durch die Modenkopplungsvorrichtung durchgeführt wird, welche nur bei der Herstellung durch gezielte UV-Belichtung eingestellt wird. Eine Einstellung der Phase (Dispersionseigenschaften) ist nicht vorgesehen.
20

Ein weiteres faseroptisches Filter mit zwei langperiodischen Gittern ist in der Druckschrift US 2002/0067884 A1 beschrieben, wobei die Gitter innerhalb einer optischen Faser ausgebildet sind. Der Abstand der Resonanzwellenlängen gleicher Ordnung zwischen den Gittern soll nicht kleiner als 100 nm sein, um unerwünschte Rückkopplungen zu vermeiden, welche zu Störungen der gewünschten Amplitudenfilterung führen. Das optische Filter kann in kompakter Form aufgebaut werden.
25
30

Ein Problem besteht darin, dass mit dem optischen Filter, ähnlich der vorgenannten Modenkopplungsvorrichtung, nur eine breitbandige Amplitudenfilterung durchgeführt werden soll.

- 5 In der Druckschrift US 5,596,661 ist ein optischer Lichtwellenfilter mit einer planaren, monolithischen Struktur beschrieben. Der Filter enthält eine Kette optischer Koppler mit unterschiedlichen effektiven Längen, zwischen denen jeweils entsprechend ausgebildete Verzögerungsleitungen liegen. Die
10 vorgegebene Übertragungsfunktion wird durch eine entsprechende Auslegung der Längen der Koppler und der Verzögerungsleitungen erhalten.

- Ein planares Mach-Zehnder-Interferometer ist in der Druckschrift „Silica-based integrated optic Mach-Zehnder multi/demultiplexer family with channel spacing of 0.01-250nm“, IEEE J. On Selected Areas in Comm. Vol.8, No.6 (Aug 1990), pp.1120-1126, beschrieben, wobei das Mach-Zehnder-Interferometer wie ein Multi-/Demultiplexer für WDM/FDM-
20 Systeme betrieben wird. Es hat zwei Eingangstore, zwei Ausgangstore, zwei 3dB-Koppler und zwei physikalisch voneinander getrennt verlaufende Wellenleiter mit einer Längendifferenz ΔL . Eine Dünn-Film-Wärmeeinrichtung ist auf einer der beiden Wellenleiter angeordnet und funktioniert wie ein Phasenschieber,
25 weil sich die Pfadlänge des erwärmten Wellenleiters mit der Brechzahländerung durch den thermooptischen Effekt ändert. Der Phasenschieber wird für eine Frequenzeinstellung genutzt.

- Ein abstimmbarer Dispersionskompensator ist in der Druckschrift „Dispersion compensation using a variable group-delay dispersion equalizer“, Electronics Letters, Vol.31, No.25 (Dez 1995), pp.2192-2194, beschrieben, wobei der Kompensator aus
30

einstellbaren Kopplern und Verzögerungsleitungen, die wahlweise in Reihe kaskadiert sind, besteht. Das Kopplungsverhältnis in jedem eingestellten Koppler für die erforderliche Dispersion wird durch ein Filtersynthese-Verfahren bestimmt. Der
5 Grundaufbau setzt sich aus symmetrischen und asymmetrischen Interferometern, die kaskadiert auf einem planaren Lichtwellenschaltkreis (engl. planar lightwave circuit - PLC) angeordnet sind, zusammen. Auf dem Lichtwellenschaltkreis korrespondieren die symmetrischen Interferometer mit einstellbaren
10 Kopplern und die asymmetrischen Interferometer mit den Verzögerungsleitungen mit der einheitlichen Laufzeitdifferenz $\Delta T = n\Delta L/c_0$. Hier sind n , ΔL und c_0 der effektive Brechungsindex des Wellenleiters, die Längendifferenz zwischen den beiden Wellenleitern eines Interferometers und die Lichtgeschwindigkeit im
15 Vakuum.

Auch sind in der Druckschrift „Tunable Dispersion Compensators Realized in High-Refractive-Index-Contrast SiON Technology“ ECOC 2002, Vol.2, pp. 4.2.1, 2002 optische FIR- bzw. IIR-
20 Filter zur Dispersionskompensation in Gitter-Struktur beschrieben, die in planarer Technik ausgebildet sind. Dabei werden die beiden planaren Lichtwellenleiterstrukturen in FIR (engl. finite impulse response)-Strukturen und in IIR (engl. infinite impulse response)-Strukturen unterschieden und vorge-
25 stellt.

Ein wesentliches Problem in allen drei genannten planaren Lösungen besteht darin, dass die Laufzeitdifferenz durch zwei verschiedene räumlich voneinander getrennte Wellenleiter unterschiedlicher Länge realisiert wird. Außerdem ist die Filterstruktur aus mehreren diskreten Elementen, wie Koppler und
30

Wellenleiter, aufgebaut. Die Laufzeitdifferenz ist durch zwei verschieden lange Wellenleiter realisiert.

Weitere Probleme der genannten planaren Strukturen bestehen darin, dass bei den planaren IIR-Strukturen sich zwar große Werte der Dispersion ohne Verluste ergeben, doch nachteilig sind notwendige Rückkoppelschleifen, deren Radius limitiert ist. Da es nicht möglich ist, sehr kleine Laufzeitunterschiede, d.h. große freie Spektralbereiche (engl. FSR - free spectral range) zu realisieren, können die planaren IIR-Strukturen nicht bei sehr hohen Bitraten (z.B. bei 160 Gbit/s je Kanal) eingesetzt werden. Planare FIR-Lichtwellenleiterstrukturen hingegen lassen sich mit einem genügend großen freien Spektralbereich (FSR) herstellen, doch weisen sie die Nachteile einer insgesamt kleineren Dispersion und wellenlängenabhängiger Verluste auf.

Ein Problem besteht darin, dass neben den relativ hohen typischen Verlusten planarer Wellenleiter in der Größenordnung von 0,1 dB/cm die planaren Lichtwellenleiterstrukturen durch den notwendigen Übergang Faser - planare Struktur - Faser Koppelverluste auftreten. Weiterhin weisen aufgrund der nicht rotationssymmetrischen Ausführung des Wellenleiters planare Strukturen eine signifikante Polarisationsmodendispersion (PMD) und nicht zu vernachlässigende polarisationsabhängige Verluste (engl. polarization dependent loss - PDL) auf.

Es ist ein Faser-Transmissionsbauelement zur Erzeugung einer chromatischen Dispersion mit einem Glasfaser-Lichtwellenleiter in der Druckschrift WO00/54083 A1 beschrieben, wobei im Glasfaser-Lichtwellenleiter nicht nur der LP_{01} -Grundmodus, sondern auch zumindest ein LP_{mn} -Mode geführt wird. Die Struktur besteht

aus zwei nebeneinander angeordneten Paaren von Faser-Bragg-Gittern, von denen wenigstens ein Paar ein gechirptes Gitter aufweist. In jedem Paar reflektiert das eine Bragg-Gitter den auftreffenden Lichtstrahl in etwa entgegen der Einfallsrichtung zurück auf das andere Bragg-Gitter, aus dem der Lichtstrahl in oder zumindest parallel zur ursprünglichen Einfallsrichtung austritt. Die gechirpten Faser-Bragg-Gitter sorgen für die Weg- und damit Laufzeitdifferenz, während die ungechirpten Faser-Bragg-Gitter lediglich die Transformation zwischen den verschiedenen Moden bewirken. Eine einstellbare Dispersion und damit eine variable Einstellung der Laufzeitdifferenz der Komponente kann durch eine mechanische und/oder thermooptische Abstimmung des Faser-Bragg-Gitters erfolgen.

Ein Problem besteht darin, dass die Faser-Bragg-Gitter eine Änderung der Periode über der Länge (engl. Chirp) aufweisen, wobei die Laufzeitdifferenz nur durch den Chirp der Gitter erzeugt wird. Aus diesem Grund spielt der Abstand der Modenkonverter, die hier die Faser-Bragg-Gitter darstellen, untereinander keine Rolle, d.h. die dazwischenliegenden Faserstücke beeinflussen infolge ihrer Passivität in keiner Weise die Dispersion des Transmissionsbauelementes.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine faseroptische Filtereinrichtung anzugeben, die derart geeignet ausgebildet ist, dass in einfacher Weise die Amplitude und die Phase der optischen Signale in einer optischen Faser verlustarm eingestellt werden.

Die Aufgabe wird durch die Merkmale des ersten Patentanspruchs gelöst. In der faseroptischen Filtereinrichtung für optische Signalübertragungssysteme mit ausgewählt abstimmbaren Moden-

konvertieren sind gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1 in einer optischen Faser m ($m=3, \dots, n$) Modenkonverter in Folge mit dazwischen befindlichen abstandsvorgegebenen und damit Laufzeitdifferenz $p\Delta T$ ($p=1, \dots, k$) erzeugenden Faserstücken
5 enthalten, wobei davon ausgewählte Faserstücke abstimmbar sind und die Laufzeitdifferenz $p\Delta T$ durch die unterschiedlichen effektiven Brechzahlen $n_{\text{eff}, \text{LP}_{\text{VX}}}; n_{\text{eff}, \text{LP}_{\text{WY}}}$ der verwendeten verschiedenen Moden $\text{LP}_{\text{VX}}, \text{LP}_{\text{WY}}$ ($V, W, X, Y=0, 1, 2, \dots, a$) erreichbar ist.

10 Die Modenkonverter können langperiodische Gitter sein. Die Faserstücke sind gitterlos ausgebildet.

In der erfindungsgemäßen Filtereinrichtung sind mindestens zwei verschiedene Moden zur Signalverarbeitung vorgesehen.

15

Von Modenkonverter zu Modenkonverter ist jeweils konvertermit-
tenbezogen ein Faserteil mit einer Faserteillänge pL
($p=1, 2, \dots, k$) derart vorgegeben ausgebildet, dass zumindest
eine konstant vorgegebene Laufzeitdifferenz ΔT oder ein davon
20 stetig steigendes Vielfaches $2\Delta T, 3\Delta T, \dots, k\Delta T$ erzielt wird.

Die Faserstücke dienen wahlweise als Phasenelemente, mit denen
jeweils eine differentielle Laufzeit T_{Phase} zwischen den Moden
in der Größenordnung der Periodendauer des optischen Signals
25 einstellbar ist.

Die Modenkonverter können vorzugsweise einen gleich langen Faserabschnitt mit der vorgegebenen Faserabschnittslänge L_K in der optischen Faser belegen.

30 Die langperiodischen Gitter können uniform ausgebildet sein.

In Bereichen der Faserabschnitte mit den langperiodischen Gittern kann mindestens eine Gitter-Abstimmeinrichtung zur Einstellung der Amplitude der Modenkonzersion vorzugsweise in Form von gesteuerten Heiz- und/oder Kühlelementen vorgesehen sein, wobei die Gitter-Abstimmeinrichtungen in unmittelbarer Nähe und/oder an der Oberfläche des das Gitter enthaltenden Faserabschnitts angeordnet sind.

Den Bereichen der Faserstücke kann wahlweise mindestens eine Phasen-Abstimmeinrichtung vorzugsweise in Form von gesteuerten Heiz- und/oder Kühlelementen zur Einstellung der differentiellen Laufzeit T_{Phase} zugeordnet sein, wobei die Phasen-Abstimmeinrichtungen in unmittelbarer Nähe und/oder an der Oberfläche der Faserstücke angeordnet sind.

Mindestens ein Modenkonzerverter kann durch mindestens zwei separate Modenkonzverterteile und dazwischen ein im Vergleich zur vorgegebenen Faserstücklänge L_s wesentlich kürzeres Faserstück mit einer kurzen Faserstücklänge L_{SK} ausgebildet sein, wobei in dem kürzeren Faserstück eine differentielle Laufzeit T_{Phase} zwischen den Moden in der Größenordnung der Periodendauer des optischen Signals einstellbar ist.

Die Modenkonzverter können breitbandig ausgebildet sein und demzufolge ist die Restdispersion für mehr als einen Wellenlängenmultiplex-Kanal kompensierbar.

Die erfindungsgemäße Filtereinrichtung kann in hochbitratigen optischen Signalübertragungssystemen eingesetzt werden, wobei vorzugsweise als Ein- und Ausgangsmode der Grundmode LP_{01} verwendet wird.

Die erfindungsgemäße Filtereinrichtung weist eine hohe Eigenstabilität auf und kann leicht mit anderen optischen Fasern verbunden werden.

- 5 Durch die Einstellung der Filtereinrichtung kann eine veränderliche Dispersionkompensation mit niedrigem Einfügeverlust erreicht werden.

10 Die Erfindung eröffnet die Möglichkeit, dass die Filtereinrichtung bei Auftreten von zeitlichen Schwankungen der Streckendispersion adaptiv eingestellt werden kann. In diesem Fall wird die Restdispersion der Übertragungsstrecke kompensiert.

15 Die Erfindung wird anhand mehrerer Ausführungsbeispiele mittels mehrerer Zeichnungen näher erläutert.

Es zeigen:

20 Fig. 1 eine schematische Darstellung einer erfindungsgemäßen Filtereinrichtung mit drei Modenkonvertern in einer optischen Übertragungsstrecke,

Fig. 2 einen vergrößerten Ausschnitt aus der optischen Faser im Bereich der Filtereinrichtung nach Fig. 1,

25 Fig. 3 eine schematische Darstellung einer zweiten Filtereinrichtung mit einem zwei separate Modenkonverterteile aufweisenden Modenkonverter mit einem kürzeren Faserstück dazwischen,

30 Fig. 4 eine schematisch vereinfachte Darstellung einer dritten Filtereinrichtung mit längenvervielfachten, Modenkonverter enthaltenden Faserteilen,

- Fig. 5 eine schematische Darstellung einer erfindungsgemäßen Filtereinrichtung nach Fig. 2 mit thermischen Gitter-
Abstimmeeinrichtungen und thermischen Phasen-
5 Abstimmeeinrichtungen,
- Fig. 6a eine vereinfachte Darstellung der Filtereinrichtung mit abstimmbaren Modenkonvertern nach Fig. 2,
- 10 Fig. 6b eine schematische Darstellung des Signalverlaufs innerhalb der Filtereinrichtung bezogen auf die Figur 6a,
- Fig. 7 eine Darstellung eines typischen Spektrums (Transmission des LP_{01}) eines der wahlweise vorhandenen längpe-
15 riodischen Gitter, wobei die Verlustspitzen die Konversion in höhere Moden kennzeichnen,
- Fig. 8 eine Darstellung der Verstimmung der LP_{01} - LP_{02} -
20 Resonanzwellenlänge eines wahlweise vorhandenen langperiodischen Gitters mit einer Periode von $552\text{ }\mu\text{m}$ in Abhängigkeit von der Temperatur nach Fig. 3,
- Fig. 9 Verlust(dB)-Wellenlängen(nm)-Kurven einer weiteren
25 Filtereinrichtung mit vier Modenkonvertern ($m=4$) für fünf Dispersionswerte (=Anstieg der Gruppenlaufzeit),
- Fig. 10 Gruppenlaufzeit(ps)-Wellenlängen(nm)-Kurven einer
30 Filtereinrichtung nach Fig. 9,
- Fig. 11 Verlust(dB)-Wellenlängen(nm)-Kurven eines Modenkonverters aus zwei separaten Modenkonverterteilen mit

einem dazwischen befindlichen kürzeren Faserstück in Abhängigkeit von der Temperatur mit Beziehung zur Fig. 3,

5 Fig. 12 einen vergrößerten Ausschnitt aus den Verlust(dB)-Wellenlängen(nm)-Kurven nach Fig. 11,

Fig. 13 Transmission(dB)-Wellenlängen(nm)-Kurve einer Filtereinrichtung ($m=3$) nach Figur 3 für zwei Dispersionswerte (=Anstieg der Gruppenlaufzeit) und
10

Fig. 14 Gruppenlaufzeit(ps)-Wellenlängen(nm)-Kurven einer Filtereinrichtung nach Fig.13.

15 Im Folgenden werden die Fig. 1,2 gemeinsam erläutert. In der faseroptischen Filtereinrichtung 1 für optische Signalübertragungssysteme mit vorzugsweise drei ausgewählt abstimmbaren Modenkonvertern sind in einer optischen Übertragungsstrecke 2 erfindungsgemäß innerhalb der optischen Faser 3 die drei ($m=3$)
20 Modenkonverter 6,7,8 in Folge mit zwei dazwischen befindlichen abstandsvorgegebenen und damit Laufzeitdifferenz ΔT erzeugenden Faserstücken 11,12 enthalten, wobei wahlweise die ausgewählten Modenkonverter 6,7,8 und die Faserstücke 11,12 abstimmbare sind und die Laufzeitdifferenz ΔT durch die unterschiedlichen effektiven Brechzahlen $n_{\text{eff},LP01}, n_{\text{eff},LP02}$ der verwendeten verschiedenen Moden LP_{01}, LP_{02} erreichbar ist.
25

Zur optischen Übertragungsstrecke 2 gehören, wie in Fig. 1 gezeigt ist, neben der optischen Faser 3 zur Übertragung eines optischen Signals 9 des Weiteren ein Sender 4 und ein Empfänger 5, wobei innerhalb der optischen Faser 3 zur Filtereinrichtung 1 ein erster Modenkonverter 6 und ein dritter Moden-
30

konverter 8 vorhanden sind. Dazwischen können sich weitere Modenkonverter 7 befinden. In Fig. 2 ist bei Vorhandensein von m Modenkonvertern in der Filtereinrichtung 1 der letzte Modenkonverter mit dem Bezugszeichen 31 versehen und mit einem
5 letzten Faserabschnitt 32 dargestellt.

Die Modenkonverter 6,7,8 und 31 können als langperiodische Gitter (LPG) ausgebildet sein. Die Faserstücke 11,12 sind gitterlos.

10

Die Modenkonverter 6,7,8 und 31 selbst bilden in der optischen Faser 3, bedingt durch die Länge der langperiodischen Gitter, eigene Faserabschnitte 13,14,15 und 32 aus.

15 In der Filtereinrichtung 1 ist von Modenkonverter zu Modenkonverter 6-7,7-8 jeweils definitionsgemäß konvertermittenbezogen ein Faserteil 24,25 mit einer Faserteillänge pL ($p=1,2,\dots,k$) derart vorgegeben ausgebildet, dass zumindest eine konstant vorgegebene Laufzeitdifferenz ΔT , wie in Fig. 2 gezeigt ist,
20 oder ein davon stetig steigendes Vielfaches $2\Delta T, 3\Delta T, \dots, k\Delta T$, wie vorausschauend in Fig. 4 gezeigt ist, davon in Übertragungsrichtung 22 erreichbar sind. Ein Faserstück 11,12 ist dabei jeweils Teil eines Faserteils 24,25.

25 Teile der Faserstücke 11,12 oder deren gesamte Länge dienen wahlweise als Phasenelemente, mit denen jeweils eine differentielle Laufzeit T_{Phase} zwischen den Moden LP_{01}, LP_{02} in der Größenordnung der Periodendauer des optischen Signals einstellbar ist.

30 Die langperiodischen Gitter 6,7,8 und 31 können uniform ausgebildet sein, d.h., dass sie jeweils die gleichen Eigenschaften aufweisen und dass die Modenkonverter 6,7,8 und 31 vorzugswei-

se einen gleich langen Faserabschnitt 13,14,15 und 32 mit der Faserabschnittslänge L_K in der optischen Faser 3 belegen können.

5 Die Faserstücke 11,12 weisen z.B. in Fig. 2 vorzugsweise eine gleiche vorgegebene Faserstücklänge L_S auf. Die Faserstücke 11,29,30 können auch, wie z.B. in Fig. 4 gezeigt ist, eine von Faserstück zu Faserstück zunehmend größere Faserstücklänge haben.

10

Wie in Fig. 3 gezeigt ist, kann der Modenkonverter 7 aus der Filtereinrichtung 1 in einer zweiten erfindungsgemäßen Filtereinrichtung 33 wahlweise zwei separate Modenkonverterteile 7',7'' enthaltende Faserabschnitte 14',14'' und ein dazwischen
15 ein im Vergleich zur vorgegebenen Faserstücklänge L_S wesentlich kürzeres Faserstück 23 mit einer kurzen Faserstücklänge L_{SK} aufweisen, wobei in dem vorgegebenen kürzeren Faserstück 23 eine differentielle Laufzeit T_{Phase} zwischen den Moden in der Größenordnung der Periodendauer des optischen Signals ein-
20 stellbar ist.

Das dem ersten Faserteil 24 in Fig. 2 nachfolgende Faserteil 25 der ersten Filtereinrichtung 1 kann in einer weiteren erfindungsgemäßen dritten Filtereinrichtung 34 von der ersten
25 Faserteillänge L auf $2L$ und nachfolgend auf $3L$, wie in Fig. 4 gezeigt ist, verlängert sein. Der im $2L$ -Abstand eingebrachte dritte Modenkonverter 8 verlängert das zugehörige Faserteil 27 und damit die Laufzeitdifferenz auf $2\Delta T$. Das verlängerte Faserteil 28 in Fig. 4 mit dem Modenkonverter 26 verschiebt sich
30 auf eine Faserteillänge $3L$, die gleich eine Laufzeitdifferenz von $3\Delta T$ bedeutet. Bei weiterer steigender Faserteillänge $4L, \dots, kL$ kann ein Vielfaches der Länge L des ersten Faser-

teils 24 zur Laufzeitvergrößerung $4\Delta T, \dots, k\Delta T$ in Bezug auf die Laufzeit ΔT des ersten Faserteils 24 erreicht werden.

5 Stellvertretend für alle Filtereinrichtungen 1,33,34 wird anhand der Fig. 5 die Ausbildung der Abstimmbarkeit in der Filtereinrichtung 1 erläutert:

In den Bereichen der Faserabschnitte 13,14,15 mit den langperiodischen Gittern ist mindestens eine Gitter-Abstimmeinrichtung 16,17,18 zur Einstellung der Amplitude der Modenkon-
10 version vorzugsweise in Form von gesteuerten Heiz- und/oder Kühlelementen vorgesehen, wobei die Gitter-Abstimmeinrichtungen 16,17,18 in unmittelbarer Nähe und/oder an der Oberfläche des das Gitter enthaltenden Faserabschnitts 13,14,15 angeordnet sein können.

15

Den Bereichen der Faserstücke 11,12 kann, wie in Fig. 5 gezeigt ist, wahlweise mindestens eine Phasen-Abstimmeinrichtung 19,20 vorzugsweise in Form von gesteuerten Heiz- und/oder Kühlelementen zur Einstellung der differentiellen Laufzeit T_{Phase}
20 zugeordnet sein, wobei die Phasen-Abstimmeinrichtungen 19,20 in unmittelbarer Nähe und/oder an der Oberfläche der Faserstücke 11,12 angeordnet sein können.

Die z.B. als Metall aufgebracht bzw. aufgedampften Heiz-
25 und/oder Kühlelemente für die Gitter- und Phasen-Abstimmeinrichtungen 16,17,18;19,20 einschließlich der zugehörigen Temperatursensoren (nicht eingezeichnet) können mit einer Steuer- und Regelungseinrichtung 21 des optischen Signalübertragungssystems 2 in Verbindung stehen.

30 Bei Änderungen der Eigenschaften der Übertragungsstrecke 2 kommt es zur Verschlechterung der Signalqualität, welche durch Übermittlung von elektrischen Informationssignalen vom Empfän-

ger 5 aus über Signalleitungen 35 an die Steuer- und Regelungseinrichtung 21 mitgeteilt werden und danach adaptiv mit Hilfe der Filtereinrichtung 1 (wie in Figur 5 gezeigt) korrigiert werden. D.h., dass z.B. durch das Ändern der Temperatur in den Modenkonvertern 6,7,8 als auch in den Faserstücken 11,12 die Modenkonversion bzw. eine differentielle Laufzeit T_{Phase} eingestellt werden kann.

Außer der beschriebenen thermischen Beeinflussung kann die Phase zwischen den Signalteilen, dem LP_{01} -Grundmode und den LP_{0a} -Moden, z.B. auch durch mechanische und elektrische Beeinflussungsmöglichkeiten verändert werden.

Stellvertretend für alle erfindungsgemäßen Filtereinrichtungen 1,33,34 wird die Funktionsweise anhand der erfindungsgemäßen Filtereinrichtung 1 mit drei Modenkonvertern 6,7,8 bzw. 6,7,31 mittels der Fig. 2,6a,6b erläutert:

In der Fig. 6a ist eine vereinfachte und in der Fig. 6b ist die dazugehörige schematische Darstellung der optischen Faser 3 mit den drei Modenkonvertern 6,7,31 und der Faserteillänge L , bezogen jeweils auf den Gitterschwerpunkt bzw. konvertermittenbezogen, gezeigt.

In der Fig. 6b setzt sich die Laufzeit zwischen zwei aufeinanderfolgenden langperiodischen Gittern 6,7 für den höheren LP_{02} -Mode 10 aus der Grundlaufzeit T sowie der differentiellen Laufzeit T_{Phase} , wobei als notwendiger Wertebereich für ωT_{Phase} : 0 bis 2π gilt, zusammen. Im Gegensatz dazu setzt sich die Gruppenlaufzeit des LP_{01} -Grundmodes 9 aus der Grundlaufzeit T und der fest vorgegebenen Laufzeitdifferenz ΔT zwischen den

Moden zusammen. Die Zeitdifferenz ΔT bestimmt dabei den freien Spektralbereich (FSR) der Filtereinrichtung 1: $\text{FSR} = 1/\Delta T$.

Wird in Fig. 6b z.B. in der Filtereinrichtung 1 am ersten Modenkonverter 6 der LP_{01} -Grundmode 9 ($V=0, X=1$) in den höheren LP_{02} -Mode 10 ($W=0, Y=2$) konvertiert und am letzten Modenkonverter 31 zurückkonvertiert, durchläuft das optische Signal die optische Faser 3 mit der minimalen Zeitverzögerung. Auf der anderen Seite wird die maximale Zeitverzögerung im LP_{01} -Grundmode 9 erreicht, wenn es zu keiner Konversion in den höheren LP_{02} -Mode kommt. Dieser Effekt beruht auf der Feldverteilung des benutzten LP_{01} -Grundmodes 9 und des LP_{02} -Modes 10. Das Feld des LP_{01} -Grundmodes 9 ist hauptsächlich im Kern der optischen Faser 3 enthalten. Demzufolge wird die Gruppenlaufzeit $T+\Delta T$ des LP_{01} -Grundmodes 9 vornehmlich durch die höhere Kernbrechzahl bestimmt. Im Gegensatz dazu reicht das Feld des höheren LP_{02} -Modes 10 weit in den Mantel der optischen Faser 3 hinein. Für die Laufzeit $T+T_{\text{Phase}}$ des höheren LP_{02} -Modes 10 ist dann die niedrigere Mantelbrechzahl maßgeblich.

Die in den Filtereinrichtungen 1, 33, 34 vorhandenen langperiodischen Gitter 6, 7, 8, 31; 7', 7''; 26 können z.B. die in Fig. 7 und Fig. 8 aufgezeigten Eigenschaften aufweisen:

Die wesentlichen Eigenschaften der in der optischen Faser 3 vorhandenen langperiodischen Gitter werden dabei durch die Form ihrer typischen Transmissionsspektren dargestellt. In Fig. 7 ist als eine der Eigenschaften der als Modenkonverter ausgebildeten, vorhandenen langperiodischen Gitter z.B. die Form eines Spektrums des Grundmodes LP_{01} gezeigt, wobei die Konversion in verschiedene höhere Moden als Verlustspitzen, hier LP_{02} bis LP_{05} , sichtbar ist. Die Messung erfolgte mit einem optischen Spektralanalysator in Verbindung mit einer Halo-

genweißlichtquelle. Die Auflösung betrug bei dieser Messung 2nm. Dabei ist nur der LP₀₁-Grundmode 9 gemessen worden, wobei vor der Messung ohne Gitter auf 0dB normiert wurde.

5 Die Gleichung der für die optische Signalübertragung vorgesehenen Resonanzwellenlänge λ_{res} , bei der die Konversion des LP_{0X}-Modes in den LP_{0Y}-Mode in einem Gitter erfolgt, kann folgendermaßen angegeben werden:

10
$$\lambda_{\text{res}} = (n_{\text{eff,LP0X}} - n_{\text{eff,LP0Y}}) * \Lambda ,$$

wobei $n_{\text{eff,LP0X}}$ die effektive Brechzahl des LP_{0X}-Modes und
 $n_{\text{eff,LP0Y}}$ die effektive Brechzahl des LP_{0Y}-Modes sowie
 Λ die Gitterperiode der langperiodischen Gitter

15 bezeichnen, wobei $X < Y$ und $X=1,2,\dots,a$.

In Fig. 8 ist als eine weitere Eigenschaft der vorhandenen langperiodischen Gitter 6,7,8;7',7'';26,31 die Verstimmung der Resonanzwellenlänge (z.B. des LP₀₂-Modes) in Abhängigkeit von
20 der Temperatur dargestellt. Unter Temperatureinfluss verschiebt sich im angegebenen Temperaturbereich die Verlustspitze mit steigenden Temperaturen zu höheren Wellenlängen.

In den erfindungsgemäßen Filtereinrichtungen 1,33,34 treten
25 jeweils mindestens zwei verschiedene LP_{0X}- und LP_{0Y}-Moden unterschiedlicher Ordnung auf.

In den Fig. 9,10 ist die Möglichkeit der Restdispersionskompensation für eine Filtereinrichtung mit vier Modenkonvertern ($m=4$) dargestellt. Dafür sind verschiedene Werte der Dispersi-
30 on (=Anstieg der Gruppenlaufzeit) gezeigt. Die Dispersion kann kontinuierlich von -23 ps/nm bis +23 ps/nm in einer Bandbreite >50 GHz (0,4 nm) eingestellt werden.

In einem weiteren Ausführungsbeispiel mit Maßangaben wird die Funktionsweise einer erfindungsgemäßen Filtereinrichtung 33, analog zu Fig. 3, erläutert.

5 Um die Einstellung der differentiellen Laufzeitdifferenz T_{Phase} in Abhängigkeit von der Temperatur mittels der Phasen-Abstimmungseinrichtung aus angebrachten Heizelementen aufzuzeigen, sind in Fig. 11,12 die Verlust(dB)-Wellenlängen(nm)-Kurven in Abhängigkeit von der angelegten Temperatur als Para-
10 meter dargestellt.

Dabei werden zwei in eine Faser eingebrachte Modenkonverter-
teile z.B. 7',7'', analog zur Fig. 3, als uniforme langpe-
riodische Gitter ausgebildet, deren Periode 559 μm , Faserab-
schnittlänge 20 mm und Einschreibzeit 400 s betragen. Das Ein-
15 schreiben erfolgt programmtechnisch gesteuert mit einem 244
nm-Laser, einem UV-Laser, in eine optische Faser. Die Reso-
nanzwellenlänge beträgt dann rund 1565 nm.

Die Gitter 7',7'' weisen dazwischen ein Faserstück 23 von 4 cm
auf. Die mit dem Faserstück 23 in Verbindung stehenden Heize-
20 lemente haben eine Länge von 2,5 cm. Die Stärke der Modenkon-
version bei einer festgelegten Wellenlänge wird durch die Tem-
peratur über die differentielle Laufzeit T_{Phase} eingestellt. Die
Spektren zeigen, dass durch einen Temperaturhub von 100 K eine
differentielle Laufzeit T_{Phase} zwischen dem LP_{02} -Mode und dem
25 LP_{01} -Mode erreicht wird, die etwas mehr als π beträgt. Die Am-
plitude der Modenkonversion kann bei dieser Realisierung um
bis zu 14 dB variiert werden.

Um die Möglichkeit der Restdispersionskompensation aufzuzei-
30 gen, wurden verschiedene Werte der Dispersion, die dem Anstieg
der Gruppenlaufzeit entsprechen, in der erfindungsgemäßen Fil-
tereinrichtung 33, analog zu Fig. 3, eingestellt, wie in den

Fig. 13,14 gezeigt ist. Die Dispersion kann kontinuierlich von -6 ps/nm bis +7 ps/nm in einer Bandbreite >50 GHz (0,4 nm) eingestellt werden. Der Einfügeverlust beträgt weniger als 0,5 dB.

5

Die erfindungsgemäßen faseroptischen Filtereinrichtungen 1,33,34 können deshalb vorzugsweise in optischen Übertragungstrecken 2 von hochbitratigen optischen Signalübertragungssystemen (≥ 40 GBit/s) verwendet werden.

10

Bezugszeichenliste

- 1 Erste Filtereinrichtung
- 2 Optische Übertragungsstrecke
- 3 Optische Faser
- 15 4 Sender
- 5 Empfänger
- 6 Erster Modenkonverter
- 7 Zwischenmodenkonverter
- 7' Erster Modenkonverterteil
- 20 7'' Zweiter Modenkonverterteil
- 8 Dritter Modenkonverter
- 9 LP₀₁-Grundmode
- 10 LP_{0a}-Mode (a = 2,...,b) höherer Ordnung
- 11 Erstes Faserstück
- 25 12 Zweites Faserstück
- 13 Erster Faserabschnitt
- 14 Zweiter Faserabschnitt
- 14' Erster Faserabschnitt des Modenkonverterteils 7'
- 14'' Zweiter Faserabschnitt des Modenkonverterteils 7''
- 30 15 Dritter Faserabschnitt
- 16 Erste Gitter-Abstimmeinrichtung
- 17 Zweite Gitter-Abstimmeinrichtung

- 18 Dritte Gitter-Abstimmeinrichtung
 19 Erste Phasen-Abstimmeinrichtung
 20 Zweite Phasen-Abstimmeinrichtung
 21 Steuer- und Regelungseinrichtung
 5 22 Übertragungsrichtung (Pfeil)
 23 Kurzes Faserstück
 24 Erstes Faserteil
 25 Zweites Faserteil
 26 Vierter Modenkonverter
 10 27 Drittes Faserteil
 28 Viertes Faserteil
 29 Drittes Faserstück
 30 Viertes Faserstück
 31 Letzter Modenkonverter
 15 32 Letzter Faserabschnitt
 33 Zweite Filtereinrichtung
 34 Dritte Filtereinrichtung
 35 Signalleitung
 T Laufzeit
 20 ΔT Laufzeitdifferenz zwischen den Moden
 T_{Phase} variable differentielle Laufzeit zwischen den Moden in
 der Größenordnung der Periodendauer des optischen Si-
 gnals
 L Faserteillänge
 25 L_K Faserabschnittslänge
 L_S Faserstücklänge
 L_{SK} kurze Faserstücklänge
 LP_{01} Grundmode
 LP_{0a} Mode ($a = 2, \dots, b$) höherer Ordnung
 30 LP_{Vx} Mode
 LP_{Wy} Mode

5

10

15

Patentansprüche

1. Faseroptische Filtereinrichtung für optische Signalübertragungs-
systeme mit ausgewählt abstimmbaren Modenkonvertern,
dadurch gekennzeichnet,
dass in einer optischen Faser (3) m ($m=3, \dots, n$) Modenkonver-
ter (6,7,7',7'',8,26,31) in Folge mit dazwischen be-
findlichen abstandsvorgegebenen und damit Laufzeitdiffe-
renz ($p\Delta T$; $p=1, \dots, k$) erzeugenden Faserstücken (11,12;23;
29,30) enthalten sind, wobei davon ausgewählte Faserstük-
ke (11,12;23;29,30) abstimmbar sind und die Laufzeitdiffe-
renz ($p\Delta T$) durch die unterschiedlichen effektiven Brech-
zahlen ($n_{\text{eff},LP_{VX}}; n_{\text{eff},LP_{WY}}$) der verwendeten verschiedenen Mo-
den ($LP_{VX}, LP_{WY}; V, W, X, Y=0, 1, 2, \dots, a$) erreichbar ist.

2. Faseroptische Filtereinrichtung nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Modenkonverter (6,7,7',7'',8,26,31) als langpe-
riodische Gitter (LPG) und die Faserstücke
5 (11,12;23;29,30) gitterlos ausgebildet sind.
3. Faseroptische Filtereinrichtung nach Anspruch 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet,
dass in ihr mindestens zwei verschiedene Moden (LP_{VX} , LP_{WY})
10 zur Signalverarbeitung vorgesehen sind.
4. Faseroptische Filtereinrichtung nach mindestens einem der
vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
15 dass von Modenkonverter (6,7,8) zu Modenkonverter
(7,8,26) jeweils konvertermittenbezogen ein Faserteil
(24,27,28) mit einer Faserteillänge (pL , $p=1,2,\dots,k$) der-
art vorgegeben ausgebildet ist, dass zumindest eine kon-
stant vorgegebene einfache Laufzeitdifferenz (ΔT) oder
20 ein davon stetig steigendes Vielfaches ($2\Delta T, 3\Delta T, \dots, k\Delta T$)
erzielt wird.
5. Faseroptische Filtereinrichtung nach mindestens einem der
vorhergehenden Ansprüche,
25 dadurch gekennzeichnet,
dass die Faserstücke (11,12;23;29,30) wahlweise als Pha-
senelemente dienen, mit denen jeweils eine differentielle
Laufzeit (T_{Phase}) zwischen den Moden in der Größenordnung
der Periodendauer des optischen Signals einstellbar ist.
30
6. Faseroptische Filtereinrichtung nach mindestens einem der
vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet,
dass die Modenkoverter (6,7,8,31) vorzugsweise einen
gleich langen Faserabschnitt (13,14,15,32) mit der Faser-
abschnittslänge (L_K) in der optischen Faser (3) belegen.

5

7. Faseroptische Filtereinrichtung nach mindestens einem der
vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass die langperiodischen Gitter (6,7,8,26,31) uniform
ausgebildet sind.

10

8. Faseroptische Filtereinrichtung nach mindestens einem der
vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass mindestens ein Modenkoverter (7) durch mindestens
zwei separate Modenkoverterteile (7',7'') und dazwischen
ein im Vergleich zur vorgegebenen Faserstücklänge (L_S) we-
sentlich kürzeres Faserstück (23) mit einer kurzen Faser-
stücklänge (L_{SK}) ausgebildet ist, wobei in dem Faserstück
(23) eine differentielle Laufzeit (T_{Phase}) zwischen den Mo-
den in der Größenordnung der Periodendauer des optischen
Signals einstellbar ist.

15

20

9. Faseroptische Filtereinrichtung nach mindestens einem der
vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass in Bereichen der Faserabschnitte (13,14,15) mit den
langperiodischen Gittern mindestens eine Gitter-Abstimm-
einrichtung (16,17,18) zur Einstellung der Amplitude der
Modenkoverter vorzugsweise in Form von gesteuerten
Heiz- und/oder Kühlelementen vorgesehen ist, wobei die
Gitter-Abstimmeinrichtungen (16,17,18) in unmittelbarer

25

30

Nähe und/oder an der Oberfläche des das Gitter enthalten-
den Faserabschnitts (13,14,15) angeordnet sind.

10. Faseroptische Filtereinrichtung nach mindestens einem der
5 vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass den Bereichen der Faserstücke (11,12) wahlweise min-
destens eine Phasen-Abstimmeinrichtung (19,20) vorzugs-
weise in Form von gesteuerten Heiz- und/oder Kühlelemen-
10 ten zur Einstellung der differentiellen Laufzeit (T_{Phase})
zugeordnet ist, wobei die Phasen-Abstimmeinrichtungen
(19,20) in unmittelbarer Nähe und/oder an der Oberfläche
der Faserstücke (11,12) angeordnet sind.
- 15 11. Faseroptische Filtereinrichtung nach mindestens einem der
vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass die als Metall aufgebracht bzw. aufgedampften
Heiz- und/oder Kühlelemente für die Gitter- und Phasen-
20 Abstimmeinrichtungen (16,17,18;19,20) einschließlich der
zugehörigen Temperatursensoren mit einer Steuer- und Re-
gelungseinrichtung (21) der optischen Übertragungsstrecke
(2) in Verbindung stehen.
- 25 12. Faseroptische Filtereinrichtung nach mindestens einem der
vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Modenkonverter (6,7,7',7'',8,26,31) breitbandig
ausgebildet sind und demzufolge die Restdispersion für
30 mehr als einen Wellenlängenmultiplex-Kanal kompensierbar
ist.

Hierzu 9 Blatt Zeichnungen

Fig. 1

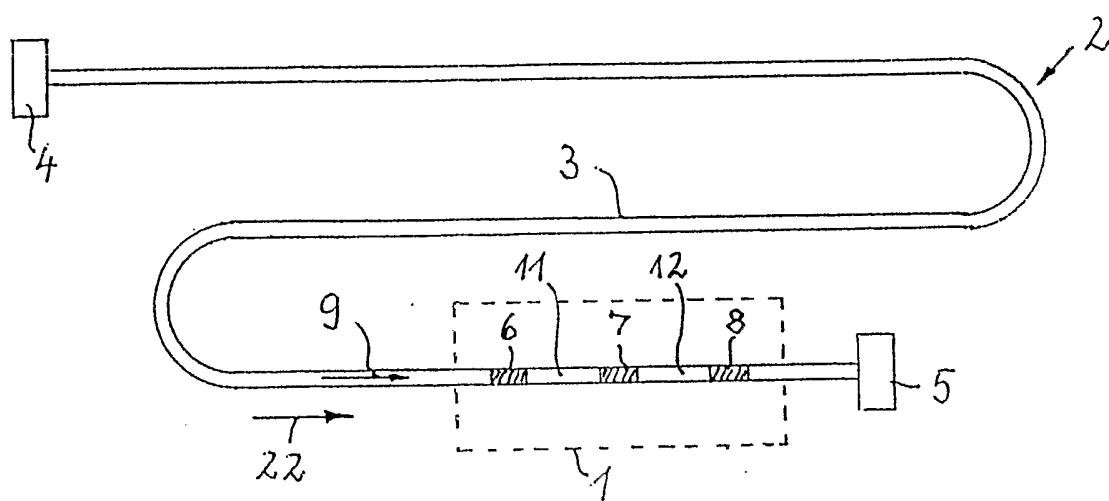


Fig. 2

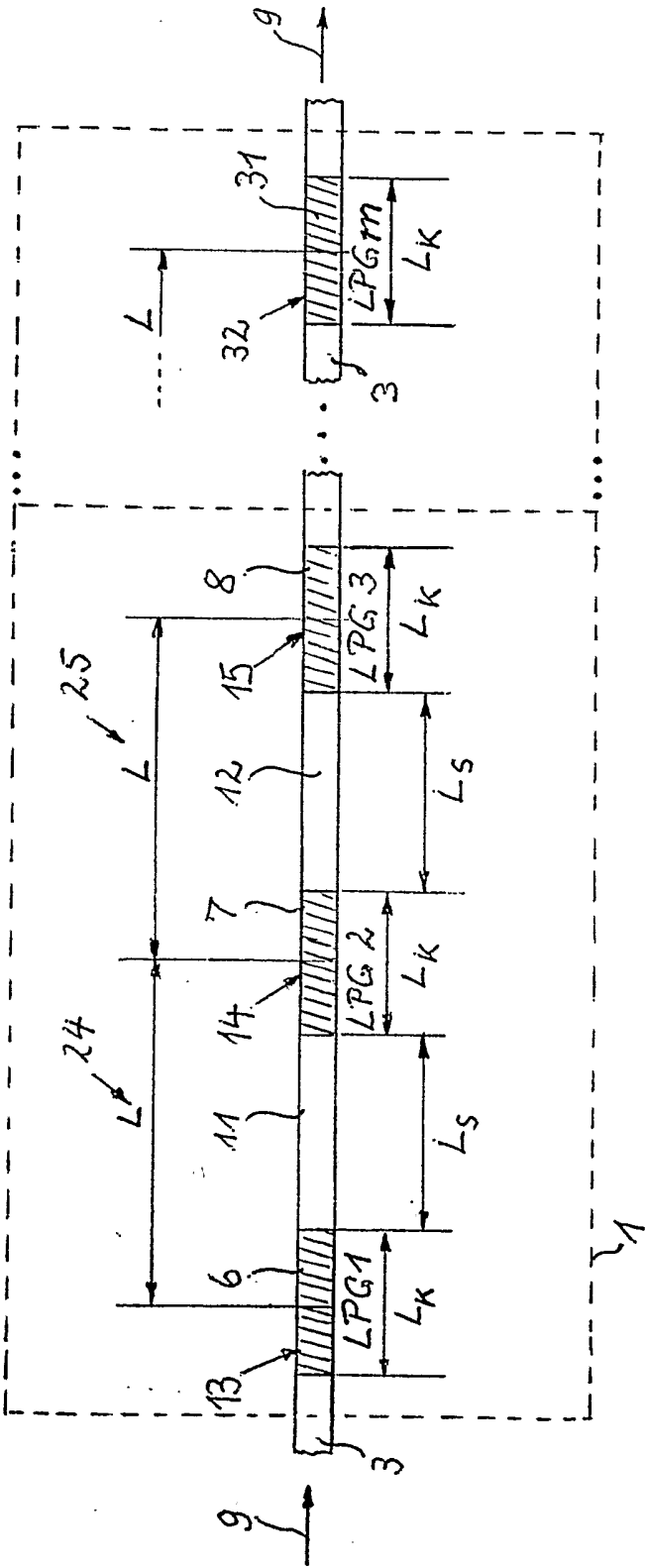


Fig. 3

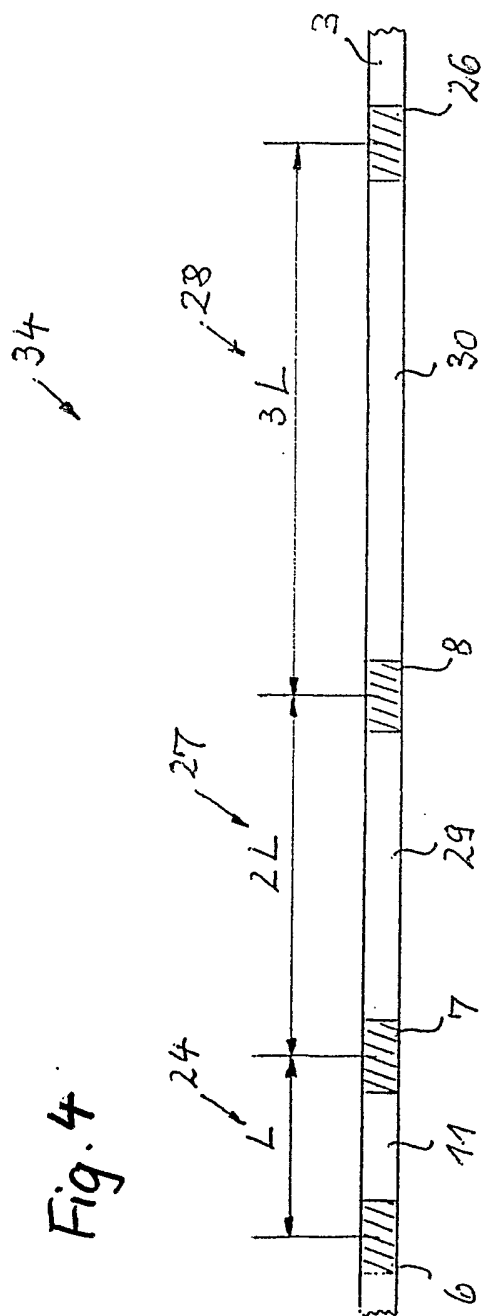
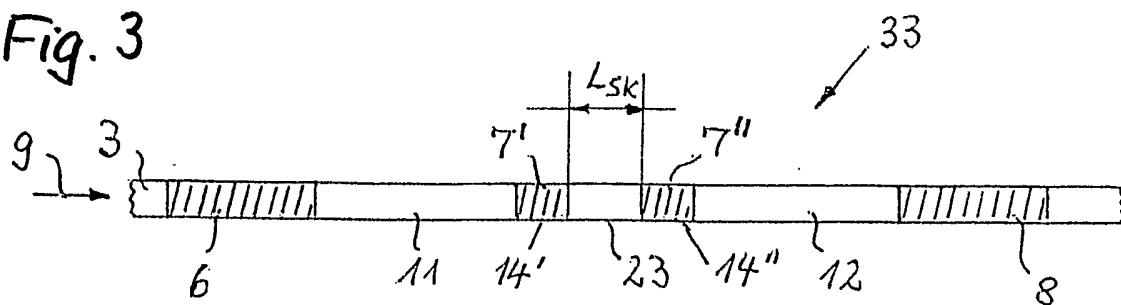


Fig. 4

Fig. 5

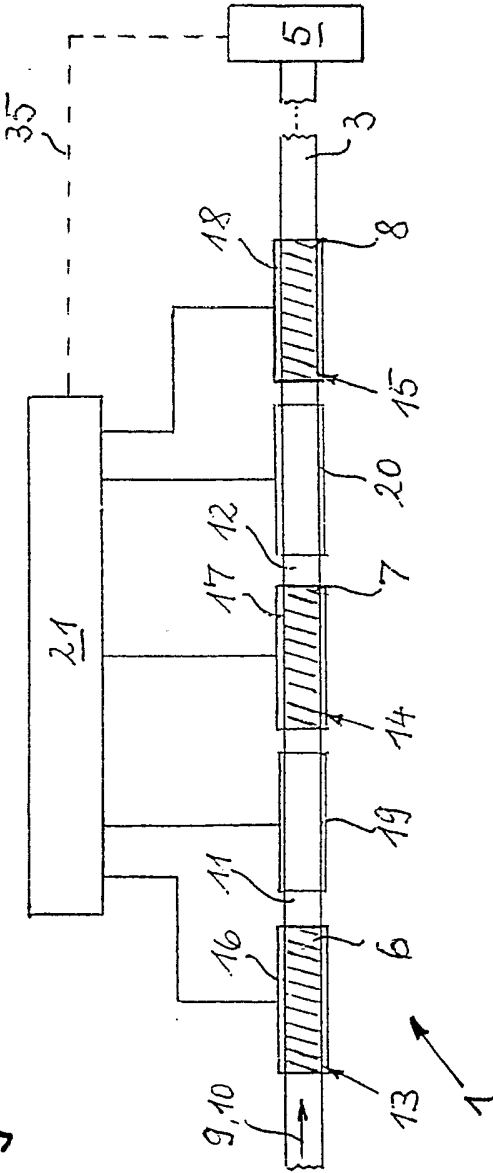


Fig. 6a

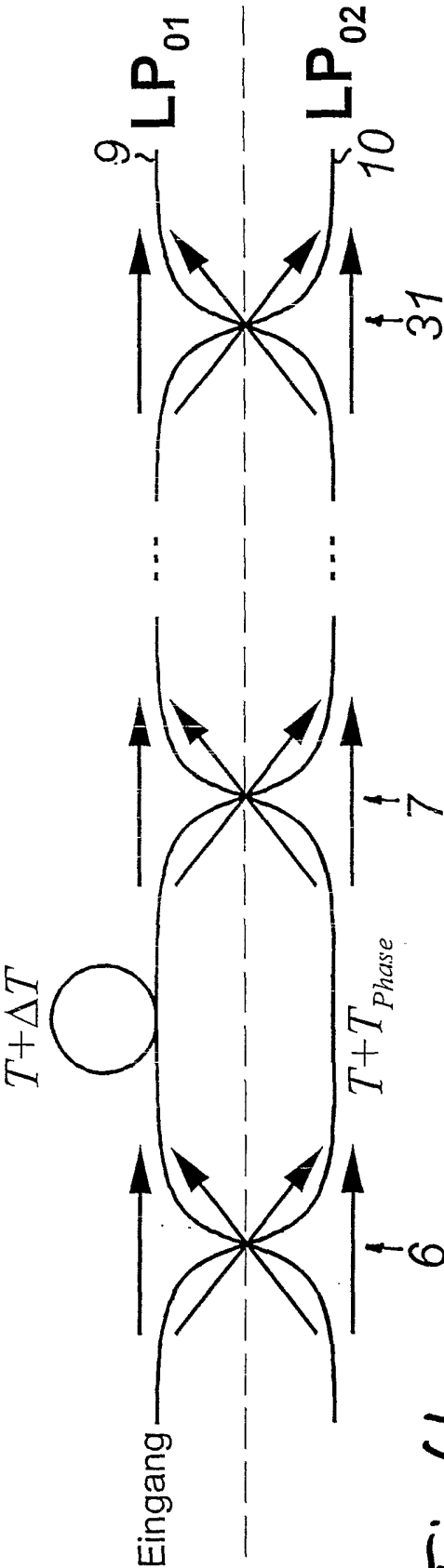
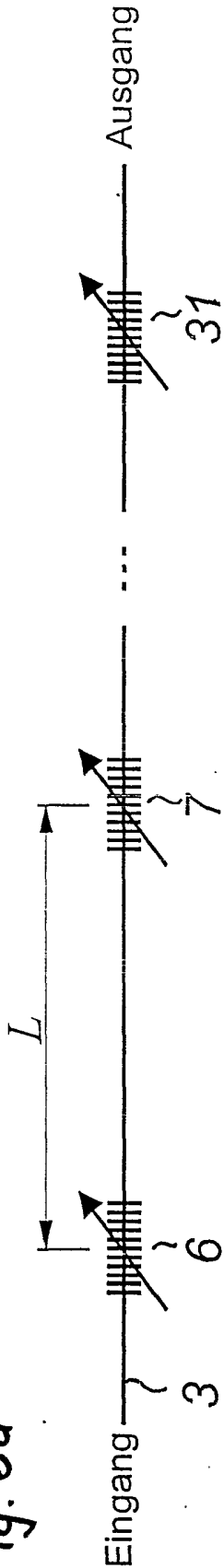


Fig. 6b

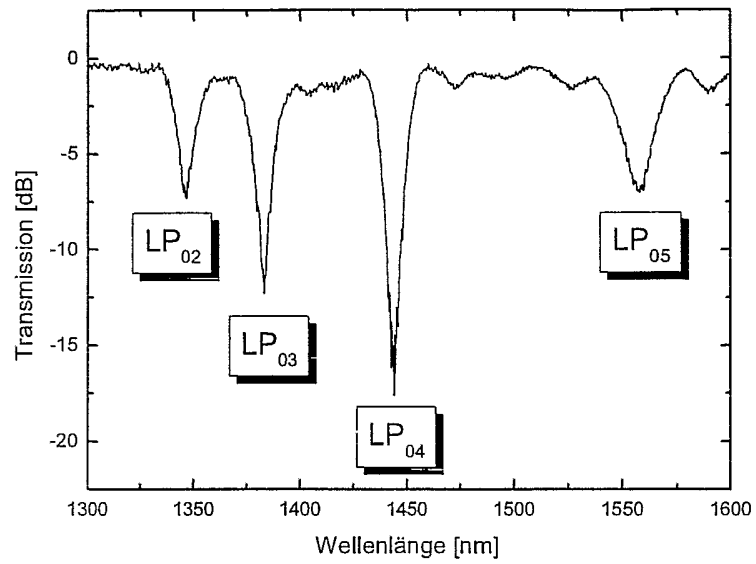


Fig. 7

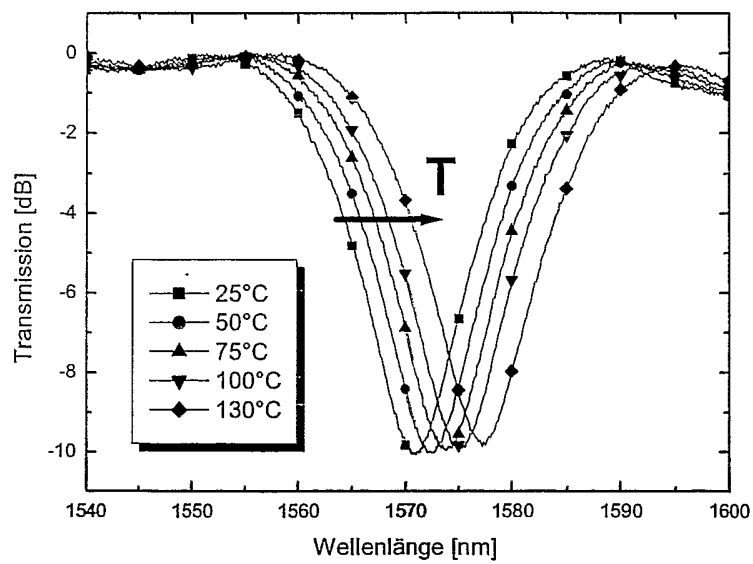


Fig. 8

Fig. 9

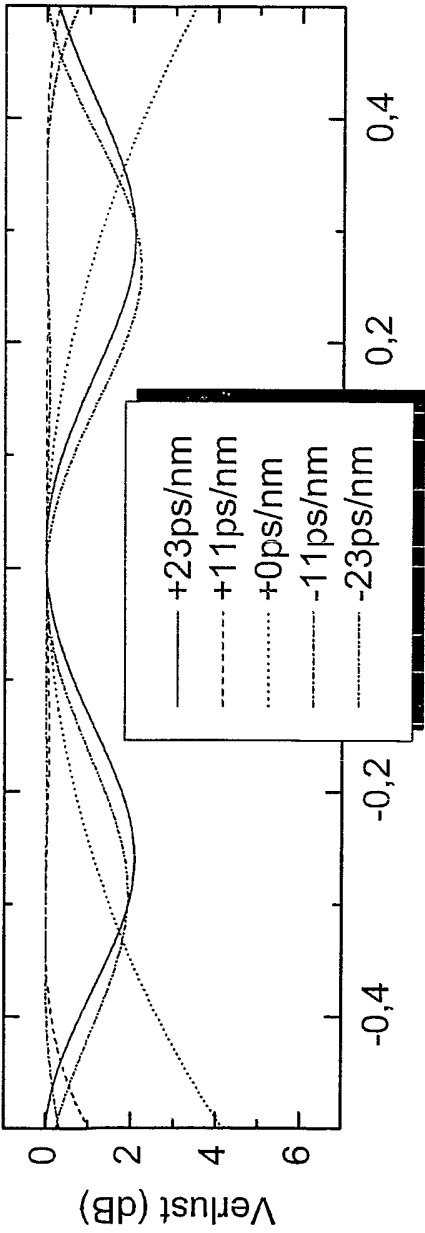


Fig. 10

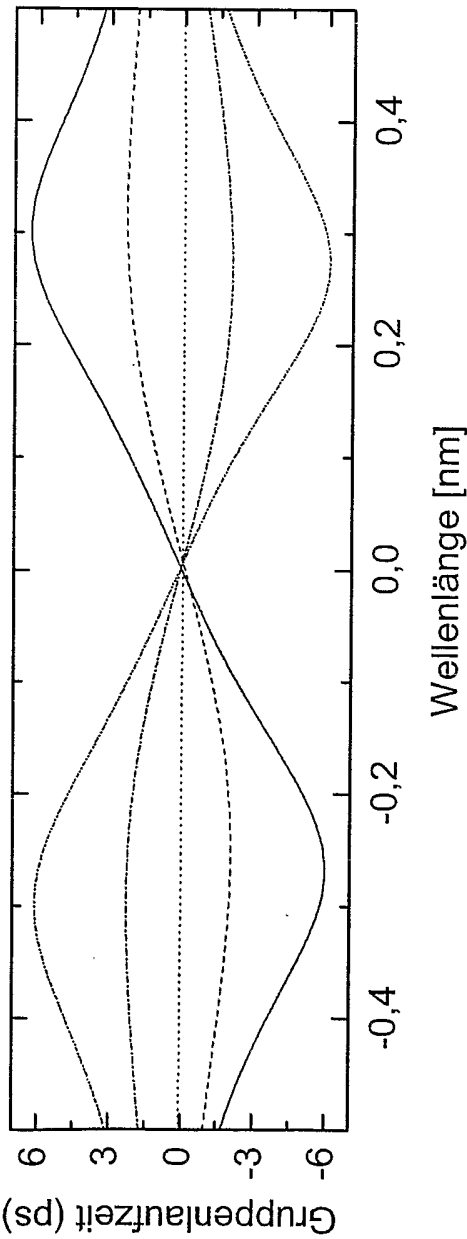


Fig. 11

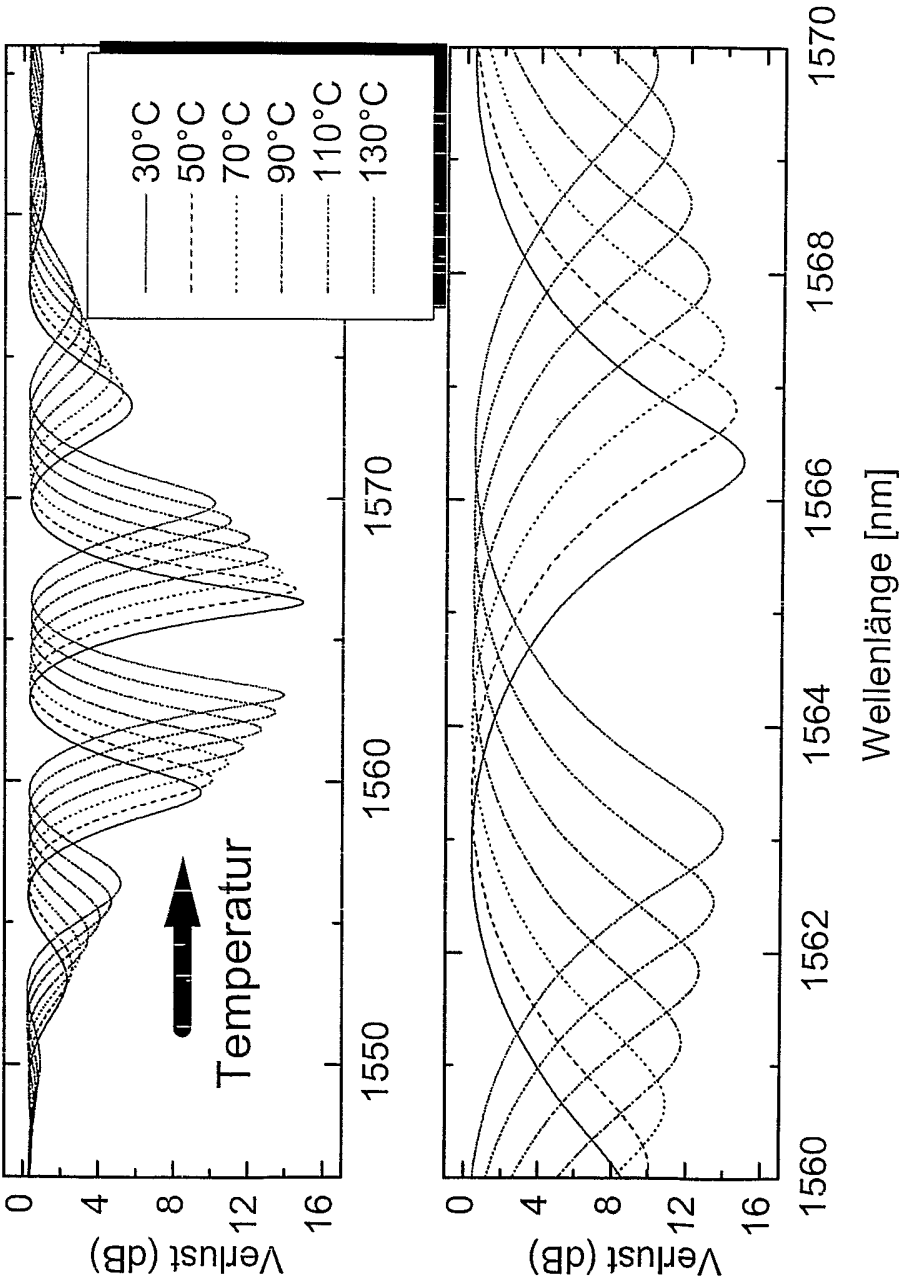


Fig. 12

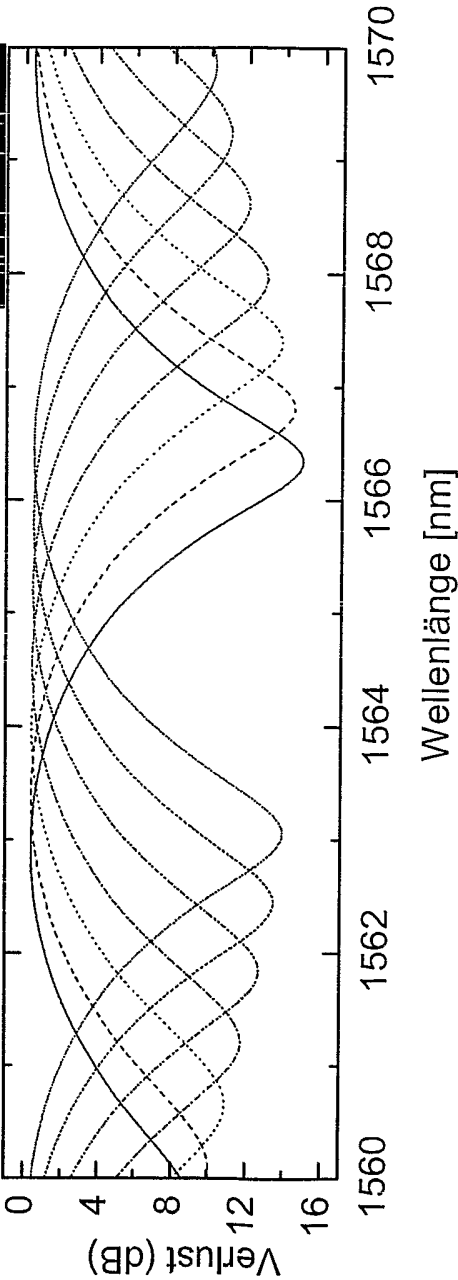
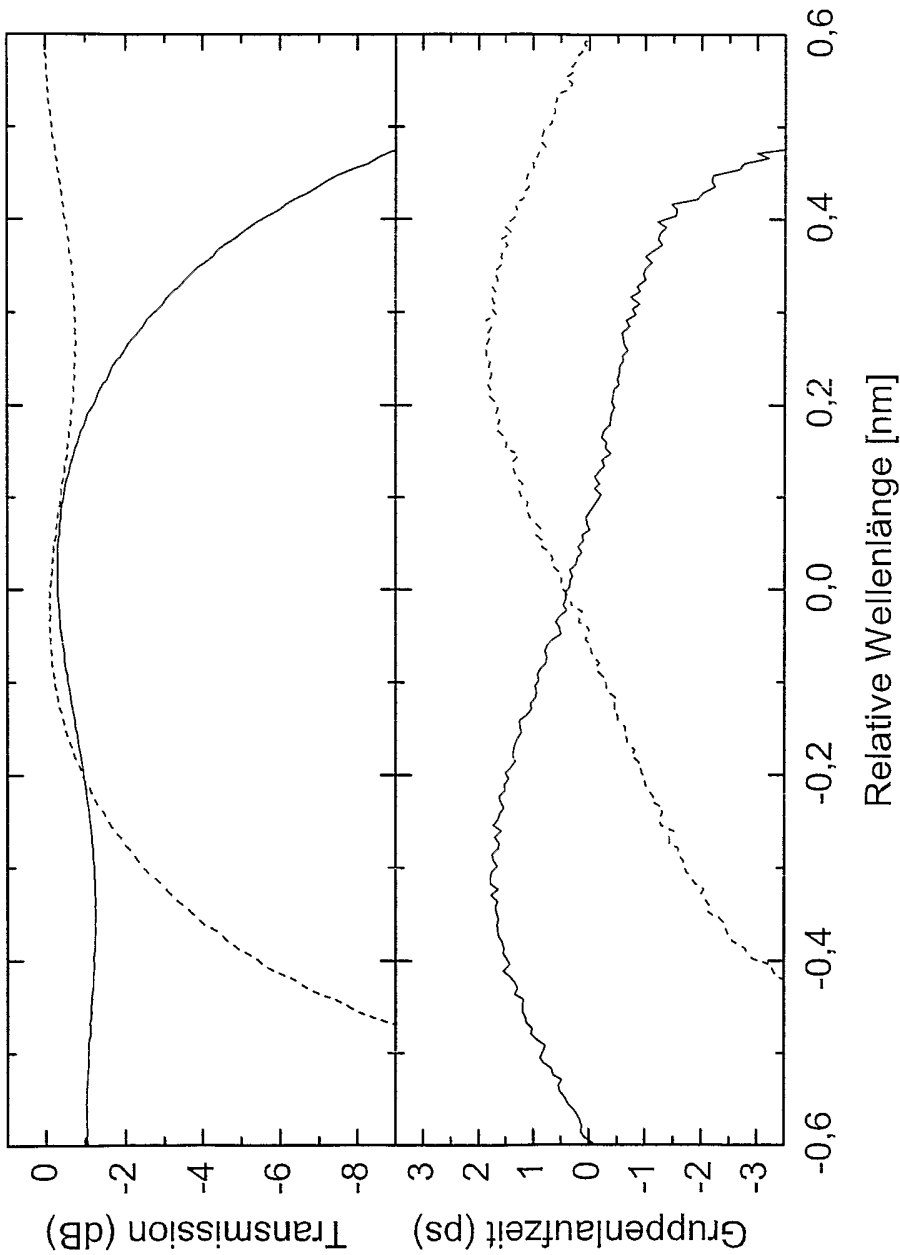


Fig. 13

Fig. 14



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
 /DE2004/001822

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
 IPC 7 G02B6/293

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
 IPC 7 G02B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ, INSPEC

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	TAKIGUCHI K ET AL: "Dispersion compensation using a variable group-delay dispersion equaliser" ELECTRONICS LETTERS, vol. 31, no. 25, 7 December 1995 (1995-12-07), pages 2192-2194, XP006003729 ISSN: 0013-5194 cited in the application the whole document	1-12
Y	US 6 058 226 A (STARODUBOV DMITRY) 2 May 2000 (2000-05-02) column 8, lines 33-67 figure 6 ----- -/--	1-12

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents:

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- * & * document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

17 December 2004

Date of mailing of the international search report

12/01/2005

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
 NL - 2280 HV Rijswijk
 Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
 Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Kloppenburger, M

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/DE2004/001822

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 5 903 683 A (LOWRY CURTIS WAYNE) 11 May 1999 (1999-05-11) column 7, line 21 - column 8, line 48 figures 3,4 -----	1-8
A	EP 1 293 814 A (TSUNAMI OPTICS INC) 19 March 2003 (2003-03-19) paragraph '0043! figure 7 -----	1,4
A	VENGSARKAR A M ET AL: "LONG-PERIOD FIBER GRATINGS AS BAND-REJECTION FILTERS" JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY, vol. 14, no. 1, January 1996 (1996-01), pages 58-65, XP002936384 ISSN: 0733-8724 the whole document -----	12

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

DE2004/001822

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 6058226	A	02-05-2000	NONE
US 5903683	A	11-05-1999	NONE
EP 1293814	A	19-03-2003	US 2003053167 A1 20-03-2003 EP 1293814 A2 19-03-2003

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

DE2004/001822

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 7 G02B6/293

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 G02B

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ, INSPEC

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	TAKIGUCHI K ET AL: "Dispersion compensation using a variable group-delay dispersion equaliser" ELECTRONICS LETTERS, Bd. 31, Nr. 25, 7. Dezember 1995 (1995-12-07), Seiten 2192-2194, XP006003729 ISSN: 0013-5194 in der Anmeldung erwähnt das ganze Dokument	1-12
Y	US 6 058 226 A (STARODUBOV DMITRY) 2. Mai 2000 (2000-05-02) Spalte 8, Zeilen 33-67 Abbildung 6	1-12



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

A Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

E älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

L Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

O Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

P Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

T Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

Y Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

& Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

17. Dezember 2004

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

12/01/2005

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Kloppenburger, M

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

DE2004/001822

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie°	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	US 5 903 683 A (LOWRY CURTIS WAYNE) 11. Mai 1999 (1999-05-11) Spalte 7, Zeile 21 - Spalte 8, Zeile 48 Abbildungen 3,4 -----	1-8
A	EP 1 293 814 A (TSUNAMI OPTICS INC) 19. März 2003 (2003-03-19) Absatz '0043! Abbildung 7 -----	1,4
A	VENGSARKAR A M ET AL: "LONG-PERIOD FIBER GRATINGS AS BAND-REJECTION FILTERS" JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY, Bd. 14, Nr. 1, Januar 1996 (1996-01), Seiten 58-65, XP002936384 ISSN: 0733-8724 das ganze Dokument -----	12

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE2004/001822

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 6058226	A	02-05-2000	KEINE	
US 5903683	A	11-05-1999	KEINE	
EP 1293814	A	19-03-2003	US 2003053167 A1	20-03-2003
			EP 1293814 A2	19-03-2003