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

(10) **DE 699 38 444 T2** 2009.07.09

(12) # Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 0 989 426 B1**
(21) Deutsches Aktenzeichen: **699 38 444.3**
(96) Europäisches Aktenzeichen: **99 307 277.6**
(96) Europäischer Anmeldetag: **14.09.1999**
(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **29.03.2000**
(97) Veröffentlichungstag der Patenterteilung beim EPA: **02.04.2008**
(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **09.07.2009**

(51) Int Cl.[8]: ***G02B 6/293*** (2006.01)
***G02F 1/01*** (2006.01)
***H01S 3/067*** (2006.01)

(30) Unionspriorität:
**152893** **24.09.1998** **US**

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

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

(74) Vertreter:
**Patentanwälte U. Knecht und Kollegen, 70435 Stuttgart**

(72) Erfinder:
**Espindola, Rolando Patricio, Chatham, New Jersey 07928, US; Stentz, Andrew John, Clinton, New Jersey 08809, US; Wagener, Jefferson Lynn, Aberdeen, Washington 98520, US**

(54) Bezeichnung: **Konische faseroptische Gitterbauelemente mit veränderlichen Brechungsindexummantelungen zum Modifizieren von Wellenleitereigenschaften der Fundamentalmode**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

## Beschreibung

### Technisches Umfeld der Erfindung

**[0001]** Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf faseroptische Gitterbauelemente und auf Systeme, in denen diese Elemente genutzt werden. Insbesondere bezieht sich die Erfindung auf konische faseroptische Gitterbauelemente mit veränderlichen Brechungsindexummantelungen, die die Spektralformungseigenschaften des Gitters verändern, indem sie den effektiven Brechungsindex der Fundamentalmode modifizieren.

### Hintergrund der Erfindung

**[0002]** Faseroptische Gitter werden in modernen Telekommunikationssystemen und Messsystemen genutzt. Ein typisches faseroptisches Gitter umfasst ein periodisches oder quasiperiodisches Muster an Schwankungen des Brechungsindex oder an Störungen in der Lichtleitfaser. Bragg-basierte faseroptische Gitter gewährleisten eine Spektralformung, indem sie das Licht in einem Wellenlängen-Schmalband reflektieren und Lichtwellen außerhalb dieses Bands übertragen. Langperiodische faseroptische Gitter gewährleisten eine Spektralformung, indem sie ausgewählte Lichtwellen aus der Fundamentalmode in schnell gedämpfte Cladding-Moden einkoppeln. Aufgrund dieser Spektralformungseigenschaften können faseroptische Gitter zur Verstärkungs-Entzerrung, als Schmalbandfilter, zum Ausgleich von Dispersionseffekten und als Shift-Melder genutzt werden.

**[0003]** Auch konische Lichtleitfasern können eine Spektralformung durchführen. Im US-Patent Nr. 5,473,714 mit der Bezeichnung „Lichtleitfasersystem, in dem konische Faserbauelemente genutzt werden", das am 05. Dezember 1995 Vengsarkar erteilt wurde, wird zum Beispiel ein konisches Faserbauelement beschrieben, das als Lichtfilter genutzt werden kann. Der Konus der Faser ist so dimensioniert, dass Signale auf einer ersten Wellenlänge mit nur geringfügigem Verlust übertragen werden, während Signale auf einer zweiten Wellenlänge blockiert werden.

**[0004]** Im Patent US 5 420 948 wird ein Fasergitter in einem konischen Faserbereich beschrieben, das dazu dient, eine zeitproportionale Gitterreaktion zu erzeugen.

**[0005]** Im Patent US 5 007 705 wird die Verwendung eines ummantelten Fasergitters mit variablem Brechungsindex beschrieben, das zur Abstimmung des Spektralverhaltens dient.

**[0006]** Telekommunikations- und Messsysteme werden unter vielen verschiedenen Bedingungen eingesetzt, unter denen Veränderungen der Spektraleigenschaften entstehen. Leider besitzen konventionelle Fasergitter und konische Lichtleitfasern statische Spektralformungseigenschaften, die nicht abgestimmt oder eingestellt werden können, um diese Veränderungen zu kompensieren. Deshalb besteht Bedarf an einem faseroptischen Bauelement, das darauf eingestellt oder abgestimmt werden kann, verschiedene Spektralformungseigenschaften zu bieten.

### Zusammenfassung der Erfindung

**[0007]** Eine Vorrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung wird in den Patentsansprüchen beschrieben, auf deren Lektüre der Leser an dieser Stelle verwiesen wird. Bevorzugte Eigenschaften sind in den Folgeansprüchen beschrieben.

**[0008]** Ein verbessertes faseroptisches Gitterbauelement umfasst eine Lichtleitfaserstrecke mit einem vorgegebenen effektiven Wellenleiter-Brechungsindex der Fundamentalmode sowie einen längs verlaufenden, konischen Bereich zum Zugriff auf eine Fundamentalmode der Lichtwellen. Der konische Bereich umfasst ein Gitter mit einer vorgegebenen Spektralformungseigenschaft, die das Lichtspektrum der Fundamentalmode formt. Der konische Bereich der Lichtleitfaser wird von einer Ummantelung umgeben, die dazu dient, den effektiven Wellenleiter-Brechungsindex der Faser der Fundamentalmode zu modifizieren, um dadurch die Spektralformungseigenschaft des Gitters zu ändern.

### Kurze Beschreibung der Zeichnungen

**[0009]** Die Vorteile, Eigenschaften und verschiedenen zusätzlichen Merkmale der Erfindung sind der nachfolgenden detaillierten Beschreibung der speziellen Ausführungsvarianten zu entnehmen, die in Bezug auf die Zeichnungen im Anhang erfolgt, die Folgendes beinhalten:

**[0010]** Abb. 1 stellt einen seitlichen Querschnitt eines konischen faseroptischen Bauelements dar, gemäß einer Ausführungsvariante der vorliegenden Erfindung;

**[0011]** Abb. 2A stellt einen abstimmbaren Add-/Drop-Multiplexer dar, der ein konisches faseroptisches Bauelement mit einem Bragg-Gitter nutzt, dessen Wellenlängen mithilfe einer veränderlichen Brechungsindexummantelung abgestimmt werden können;

**[0012]** Abb. 2B stellt ein faseroptisches Telekommunikationssystem mit dem abstimmbaren Add-/Drop-Multiplexer gemäß Abb. 2A dar;

**[0013]** Abb. 3A stellt einen dynamischen faseroptischen Verstärker mit abgeflachtem Verstärkungsfaktor dar, der zumindest ein konisches faseroptisches Bauelement mit einem langperiodischen Gitter nutzt, dessen Spektralformungseigenschaften mithilfe einer veränderlichen Brechungsindexummantelung abgestimmt werden können; und

**[0014]** Abb. 3B stellt ein faseroptisches Telekommunikationssystem mit dem faseroptischen Verstärker mit abgeflachtem Verstärkungsfaktor gemäß Abb. 3A dar.

**[0015]** Es wird darauf hingewiesen, dass die vorliegenden Zeichnungen dazu dienen, den Aufbau der Erfindung zu illustrieren, sie sind abgesehen von grafischen Darstellungen nicht maßstabsgerecht.

## Detaillierte Beschreibung der Erfindung

**[0016]** Abb. 1 stellt ein konisches faseroptisches Bauelement **10** gemäß einer Ausführungsvariante der vorliegenden Erfindung dar. Das Bauelement **10** umfasst eine ummantelte Monomode-Stufenindex- oder -Gradientenindex-Lichtleitfaser **12**, die einen kreisförmigen Innenkern **14** umfasst, der von mindestens einer Mantelschicht **16** umgeben wird. Der Kern **14** besitzt einen relativ hohen Brechungsindex (Stufenindex oder Gradientenindex) und die Ummantelung **16** weist im Vergleich zum Kern **14** einen geringfügig niedrigeren Brechungsindex auf. In der Regel besteht der Kern **14** aus Siliziumdioxid mit Germaniumdotierung, während die Mantelschicht **16** in der Regel aus Siliziumdioxid oder aus Siliziumdioxid mit Fluordotierung besteht. Die Lichtleitfaser **12** umfasst einen konischen Bereich **18**, der wiederum einen Mindest-Außendurchmesserabschnitt **20** und zwei adiabatisch konische Abschnitte **22** umfasst. In den Mindest-Außendurchmesserabschnitt **20** des konischen Bereichs **18** ist ein Gitter **24** integriert, das der Spektralformung der Lichtwellen dient und das periodische oder quasiperiodische Schwankungen des Brechungsindex (Indexstörungen) aufweist. Der konische Bereich **18**, der innerhalb der Gitterfläche **24** gelegen ist, wird mit einer Ummantelung **26** aus veränderlichem Indexmaterial beschichtet. Derartige Materialien besitzen Brechungsindizes, die durch Einsatz eines elektrischen oder magnetischen Felds oder durch Temperaturänderung selektiv variiert werden können. Materialien, die auf elektrische oder magnetische Felder reagieren, umfassen in der Regel elektro-optische oder magneto-optische Materialien, wie z. B. Flüssigkeitskristalle. Als wärmeempfindliche, veränderliche Brechungsindexummantelungen können bekannte, temperaturempfindliche Polymere genutzt werden.

**[0017]** Der konische Bereich **18** bietet einen verlustfreien Betrieb und bewirkt, dass sich ein nicht geringfügiger Anteil der Fundamentalmode M neben oder über den Mantel **16** hinaus bis in die Ummantelung **26** ausbreitet, wenn Licht durch den konischen Bereich **18** strömt. Dieser Effekt entsteht aufgrund des abnehmenden Kerndurchmessers $OD_{core}$, was zu einer schwächeren Begrenzung der Fundamentalmode führt und damit zu einer Ausdehnung des Felddurchmessers der Fundamentalmode. Wenn sich die Fundamentalmode M außerhalb des Mantels **16** ausbreitet, kann die Ummantelung **26** dazu genutzt werden, den effektiven Wellenleiterindex der Fundamentalmode zu modifizieren, und damit die Möglichkeit zu bieten, die Spektralformungseigenschaften des Gitters **24** abzustimmen oder einzustellen.

**[0018]** Das Gitter **24**, das in dem faseroptischen Gitterbauelement **10** gemäß der vorliegenden Erfindung genutzt wird, kann als Bragg-Gitter oder als kurzperiodisches Gitter angelegt sein. Ein solches Gitter **24** dient als spektralselektiver Reflektor, der ein ausgewähltes Wellenschmalband reflektiert, das vom Kern des Gitterbauelements gelenkt wird, und/oder es dient als spektralselektiver Filter, der nur die Wellen außerhalb des Bands überträgt. Die Betriebsbandbreite eines Bragg-basierten Gitters **24** kann durch Chirping vergrößert werden. Bei diesem Verfahren wird der Abstand zwischen aufeinander folgenden Störsignalen von einem konstanten Abstand in einen linear oder nicht linear steigenden (oder sinkenden) Abstand zwischen aufeinander folgenden Störsignalen umgewandelt. Die Bandbreite des reflektierten Signals nimmt zu, da das so genannte Chirped-Gitter einen größeren Umfang an Abständen aufweist. Ein Chirped-Gitter ist bei der Dispersionskompensation von Nutzen, da die verschiedenen Wellenlängen auf verschiedenen Wegen übertragen werden, bevor

sie auf den Abstand treffen, der zu ihrer Reflexion erforderlich ist. Auf diese Weise entsteht ein reflektiertes Band, das eine wellenlängenabhängige Zeitverzögerung bietet.

**[0019]** Die Spektralformungseigenschaften des Gitters **24** können abgestimmt oder eingestellt werden, indem für die Ummantelung **26** ein entsprechend geeignetes Material gewählt wird. Beispielsweise können bei Anwendungen, in denen eine Erwärmung unerwünschte Verlagerungen der Resonanzwellenlängen verursacht, die Spektralformungseigenschaften des Gitters **24** temperaturunempfindlich gestaltet werden, indem für die Ummantelung **26** ein Material verwendet wird, das einen temperaturempfindlichen Brechungsindex aufweist, der einen effektiven Index $n_{eff}$ der Fundamentalmode bildet, der sich durch Temperatureinwirkung nicht ändert.

**[0020]** Die Spektralformungseigenschaften des Gitters **24** können ebenso abgestimmt werden, indem für die Ummantelung **26** ein Material verwendet wird, dessen Brechungsindex den effektiven Index $n_{eff}$ der Fundamentalmode stark verändert. Es kann auch ein Material gewählt werden, das sich dazu eignet, die Amplitude des Gitters **24** abzustimmen (die Stärke des Gitters **24** ist modulierbar), indem die Überlagerung der Fundamentalmode mit dem Kernbereich **14** (im Feld des Gitters **24**) geändert wird.

**[0021]** In weiteren Ausführungsvarianten kann das Gitter **24** als langperiodisches Gitter angelegt werden, damit das Gitterbauelement optische Moden-Koppelfunktionen bieten kann. Langperiodische Gitter umfassen Indexstörungen, deren Abstände selektiv festgelegt werden, um übertragene Lichtwellen in den Bereich einer gewünschten Wellenlänge von der Fundamental- oder Kernmode in die Cladding-Mode zu verschieben, und damit die Intensität eines Lichtwellenbands zu mindern, das sich im Zentrum der gewünschten Wellenlänge befindet. Die Verwendung eines langperiodischen Gitters **24** ermöglicht es, sowohl die Kern- als auch die Cladding-Mode gleichzeitig zu modifizieren, speziell deshalb, weil die Überlagerungen der Kern- und Cladding-Mode im konischen Bereich **18** stark verändert werden. Ein solches Gitter kann die Kopplung an bevorzugte Moden erhöhen und/oder die Kopplung an unerwünschte Moden senken, indem es den Brechungsindex der Ummantelung **26** selektiv verändert und damit die gewünschte Moden-Überlagerung bietet.

**[0022]** Eine Veränderung des Brechungsindex der Ummantelung **26** kann auch zum Abstimmen der Amplitude eines langperiodischen Gitters **24** genutzt werden. Ferner kann die Amplitudeneinstellung von der Wellenlängenverschiebung entkoppelt werden, da sowohl der effektive Index $n_{eff}$ der Fundamentalmode als auch der effektive Index $n_{eff}$ der höheren Order-Mode, an die das Gitter koppelt, veränderlich auf Änderungen des Brechungsindex der Ummantelung **26** reagieren.

**[0023]** Die Eigenschaften und das Verfahren zur Herstellung solcher Bauelemente sollen anhand des nachfolgenden Beispiels verdeutlicht werden.

Beispiel

**[0024]** Ein konisches faseroptisches Bauelement, das der Darstellung in **Abb. 1** entspricht und das ein temperaturunempfindliches Bragg-basiertes Gitter umfasst, kann erzeugt werden, indem man mit einer Stufenindex-Lichtleitfaser mit 1% Delta-Kernindex, einem Kern-Außendurchmesser $OD_{core}$ von ca. 5 Mikrometer und einem Mantel-Außendurchmesser von ca. 125 Mikrometer beginnt. Die Faser wird unter Zugspannung gesetzt und mit einem Gasschweißbrenner so lange erhitzt, bis sie sich dehnt. Der konische Bereich kann entstehen, weil die Faser-Enden mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten übertragen werden, so dass die Faser durch die Flamme des Schweißbrenners bewegt wird. Der Ziehvorgang wird in der Regel mit einer Geschwindigkeit von ca. 1 Zentimeter/Minute für das eine Faser-Ende und eine Anfangs-Übertragungsgeschwindigkeit von ca. 1 Zentimeter/Minute für das zweite Faser-Ende durchgeführt. In der Regel wird die Übertragungsgeschwindigkeit des zweiten Faser-Endes in ca. 6 Sekunden linear auf ca. 39 Zentimeter/Minute erhöht. Diese Geschwindigkeit wird während ca. 3 Sekunden beibehalten und dann während ca. 6 Sekunden auf ca. 1 Zentimeter/Minute gesenkt. Ein solcher Ziehvorgang bildet in der Faser einen konischen Bereich, der einen Mindest-Außendurchmesserabschnitt von ca. 2 Zentimetern Länge und einem Außendurchmesser $OD_{taper}$ von ca. 20 Mikrometern umfasst. Die adiabatisch konischen Abschnitte, die im konischen Bereich erzeugt wurden, weisen jeweils eine Länge von ca. 1 Zentimeter auf.

**[0025]** Nach Erzeugung des konischen Bereichs wird unter Nutzung bekannter Phasenmaskenverfahren und mit ca. 242 nm UV-Einstrahlung in den Mindest-Außendurchmesserabschnitt des konischen Bereichs ein Bragg-Gitter mit ca. 1550 nm eingeschrieben. Das Gitter wird in der gewünschten Stärke eingeschrieben, indem ein Teil des Siliziumdioxid-Mantels der Faser mit Fluor oder Germanium dotiert wird, um die Querschnittsfläche der UV-induzierten Störungen zu erhöhen. Auf das fertig gestellte Bragg-Gitter bzw. den fertig gestellten konischen Bereich wird eine Ummantelung aus Polymer mit veränderlichem Index aufgebracht. Das Polymer

sollte einen Brechungsindex von ca. 1,44 aufweisen, der damit geringfügig unter dem Brechungsindex von Siliziumdioxid (1,45) liegt, sowie einen Index-Temperaturkoeffizienten (dn/dt) von $-2{,}1 \times 10^{-9}$/°C. Solche Polymere sind bekannt und handelsüblich.

**[0026]** Die Temperaturempfindlichkeit ($\Delta\lambda/\lambda$) des Bragg-Gitters hängt im Wesentlichen von der Temperaturempfindlichkeit des effektiven Index der Fundamentalmode ($\Delta n/n$) und der Temperaturempfindlichkeit der Längenveränderung der Siliziumdioxidfaser ($\Delta L/L$) ab, die die Abstände der Gitterstörungen verändert. Diese Verknüpfung kann wie folgt dargestellt werden:

$$\Delta\lambda/\lambda \cong \Delta n/n + \Delta L/L$$

**[0027]** Der effektive Index der Fundamentalmode ist von der Polymerummantelung abhängig und sinkt bei $dn_{eff}/d\Delta n_{polymer} = 0{,}04$, und der effektive Mode-Index hängt von einer Indexänderung des Siliziumdioxids $dn_{eff}/d\Delta n_{silicia} \sim 1$ ab. Da der Index-Temperaturkoeffizient dn/dt von Siliziumdioxid $\cong 7{,}8 \times 10^{-6}$/°C beträgt, wird die Gesamt-Temperaturempfindlichkeit von $n_{eff}$ durch die Polymerummantelung wie folgt verändert:
von ca.
$8 \times 10^{-6}$/°C auf $-6 \times 10^{-7}$/°C.

**[0028]** Da Siliziumdioxid einen Längen-Temperaturkoeffizient dL/Ldt von $\sim 4 \times 10^{-7}$/°C und einen Brechungsindex von 1,45 aufweist, beträgt die Temperaturempfindlichkeit des Bragg-Gitters des Faserbauelements:

$$\Delta\lambda/\lambda \cong [-6 \times 10^{-7}/°C\ (\Delta n)/1{,}45(n)] + [4 \times 10^{-1}/°C\ (\Delta L/L)]$$
$$\cong -1 \times 10^{-8}/°C$$

**[0029]** Dieser Wert ist wesentlich niedriger als der Wert der Temperaturempfindlichkeit des Bragg-Gitters eines konventionellen Faserbauelements, der wie folgt lautet:

$$\Delta\lambda/\lambda \cong [8 \times 10^{-6}/°C\ (\Delta n)/1{,}45(n)] + [4 \times 10^{-7}/°C\ (\Delta L/L)]$$
$$\cong 5{,}8 \times 10^{-6}/°C$$

**[0030]** Abb. 2A stellt einen abstimmbaren Add-Drop-Multiplexer **30** dar, der ein konisches faseroptisches Gitterbauelement mit einem Bragg-Gitter nutzt, dessen Wellenlängen mithilfe einer veränderlichen Brechungsindexummantelung abgestimmt werden können. Das konische faseroptische Gitterbauelement **10** ist zwischen einem ersten und einem zweiten optischen Zirkulator **32**, **34** angeordnet. Die veränderliche Indexummantelung des faseroptischen Gitterbauelements **10** wird dazu genutzt, die Wellenlänge des Bragg-Gitters abzustimmen, und dadurch kann ein ausgewählter optischer Kanal abgezweigt oder hinzugefügt werden. In der Drop-Funktion führen die Kanäle 1 bis n mit Wellenlängen $\lambda_1$ bis $\lambda_n$ in einen Port 1 eines ersten Zirkulators **32**. Der Kanal k (soll abgezweigt werden) mit Wellenlänge $\lambda_k$ wird vom faseroptischen Gitterbauelement **10** reflektiert und verlässt den ersten Zirkulator **32** über dessen Port 2, während die anderen Kanäle über Port 3 aus dem ersten Zirkulator **32** geleitet werden. In der Add-Funktion wird ein Kanal mit Wellenlänge $\lambda_{k'}$ (wobei $\lambda_{k'}$ sehr nahe bei $\lambda_k$ liegt oder ihr entspricht) in Port **2** des zweiten Zirkulators **34** geleitet, verlässt ihn über Port 1, um vom faseroptischen Gitterbauelement **10** reflektiert zu werden und den Zirkulator über Port 3 zu verlassen. Es können verschiedene Kanäle abgezweigt oder hinzugefügt werden, indem mithilfe der veränderlichen Brechungsindexummantelung des faseroptischen Gitterbauelements **10** die Wellenlänge des Bragg-Gitters abgestimmt wird

**[0031]** Durch Erweiterung der Reflexionsbandbreite können mehrere Kanäle gleichzeitig abgezweigt oder hinzugefügt werden, da auf diese Weise mehr als ein Kanal bzw. mehr als eine Wellenlänge $\lambda$ erfasst werden. Die Erweiterung kann durch ein konisches faseroptisches Gitterbauelement **10** erzeugt werden, das ein Chirped-Bragg-Gitter umfasst, dessen Wellenlängen mittels einer veränderlichen Indexummantelung abgestimmt werden können.

**[0032]** Abb. 2B stellt ein faseroptisches Telekommunikationssystem **40** mit dem abstimmbaren Add-/Drop-Multiplexer **30** gemäß Abb. 2A dar. Das System **40** umfasst einen Multiwellenlängen-Sender **42**, eine optische Faserstrecke **44**, den abstimmbaren Add-/Drop-Multiplexer **30** mit dem konischen faseroptischen Gitterbauelement **10** gemäß vorliegender Erfindung und einen optischen Multiwellenlängen-Empfänger **46**.

**[0033]** Abb. 3A stellt einen dynamischen faseroptischen Verstärker mit abgeflachtem Verstärkungsfaktor **50** dar, der zumindest ein konisches faseroptisches Gitterbauelement **10** mit einem langperiodischen Gitter nutzt, dessen Spektral formungseigenschaften mithilfe einer veränderlichen Brechungsindexummantelung abgestimmt werden können. Der faseroptische Verstärker **50** umfasst einen Eingang-Isolator **52**, eine erste Faser-

strecke mit Seltenerde-Dotierung **54** (z. B. mit Erbium dotierte Faser), eine optische Pumpe **56**, die zum optischen Pumpen der ersten Faserstrecke mit Seltenerde-Dotierung **54** dient, eine zweite Faserstrecke mit Seltenerde-Dotierung **58**, eine zweite optische Pumpe **60**, die zum optischen Pumpen der zweiten Faserstrecke mit Seltenerde-Dotierung dient, einen Ausgang-Isolator **62** und das konische faseroptische Gitterbauelement **10**.

**[0034]** Abb. 3B stellt ein faseroptisches Telekommunikationssystem **70** mit dem faseroptischen Verstärker mit abgeflachtem Verstärkungsfaktor **50** gemäß Abb. 3A dar. Das System umfasst einen Multiwellenlängen-Sender **72**, eine optische Faserstrecke **74**, den faseroptischen Verstärker mit abgeflachtem Verstärkungsfaktor **50** mit dem konischen faseroptischen Gitterbauelement **10** gemäß der Erfindung und einen optischen Multiwellenlängen-Empfänger **76**.

**[0035]** Es ist sehr wichtig, eine Filterform dynamisch einstellen zu können, besonders in dichten faseroptischen Wellenlängen-Multiplex-Systemen, da sich die Spektralverstärkung des optischen Verstärkers (entsprechend der Verstärkung durch den Verstärker mit Erbium-Dotierung) aufgrund der Anzahl an vorhandenen Kanälen oder aufgrund der Leistungsstufe der Kanäle verändern kann. Das Einstellen der Filterform des konischen faseroptischen Gitterbauelements **10** führt dazu, den flachen Verstärkungsfaktor des optischen Verstärkers **50** während unterschiedlicher Betriebsbedingungen beibehalten zu können.

**[0036]** Die vorliegende Erfindung wurde in Bezug auf die vorhergehend genannten Ausführungsvarianten beschrieben, es können jedoch Modifizierungen und Änderungen vorgenommen werden. Dementsprechend werden die oben genannten, jedoch nicht abschließenden Modifizierungen und Änderungen als Bestandteil des Geltungsbereichs der Ansprüche betrachtet.

Legende zu den Abbildungen

| Bezugsziffer/englische Bezeichnung | Übersetzung |
|---|---|
| **10** | faseroptisches Gitterbauelement |
| DROP | abzweigen |
| ADD | zuführen |
| PUMP | Pumpe |

**Patentansprüche**

1. Faseroptisches Gitterbauelement (**10**), das eine Strecke einer Lichtleitfaser (**12**) umfasst, die einen vorgegebenen effektiven Wellenleiterindex der Fundamentalmode aufweist;
einen Außendurchmesserabschnitt (**20**) mit einer Mindestlänge, der zwischen konischen Abschnitten (**22**) verläuft, die in der Faser gebildet wurden, und der dem Zugriff auf eine Fundamentalmode der Lichtwellen dient, die in der Faser geleitet werden,
ein Gitter (**24**), das in dem Mindest-Außendurchmesserabschnitt (**20**) zwischen den konischen Abschnitten (**22**) der Lichtleitfaser (**12**) erzeugt wird, wobei das Gitter eine vorgegebene Spektralformungseigenschaft aufweist, das der Formung des Lichtspektrums der Fundamentalmode dient;
wobei das faseroptische Gitterbauelement (**10**) folgendermaßen gekennzeichnet ist:
durch eine Ummantelung (**26**), die den Mindest-Außendurchmesserabschnitt (**20**) zwischen den konischen Abschnitten (**22**) der Faser (**12**) umgibt, die dazu dient, den effektiven Wellenleiter-Brechungsindex der Faser (**12**) der Fundamentalmode zu modifizieren, um dadurch die Spektralformungseigenschaft des Gitters (**24**) zu ändern; wobei die Ummantelung (**26**) ein veränderliches Indexmaterial aufweist, dessen Brechungsindex selektiv verändert werden kann, wobei der Index der Ummantelung so gewählt wird, dass sich ein effektiver Brechungsindex der Lichtleitfaser (**12**) der Fundamentalmode durch Temperatureinwirkung nicht verändert.

2. Bauelement (**10**) gemäß Anspruch 1, dessen Gitter (**24**) entweder aus einem Bragg-Gitter, einem Chirped-Gitter oder einem langperiodischen Gitter besteht.

3. Bauelement (**10**) gemäß Anspruch 1, in dem die Faser (**12**) einen Kernbereich (**14**) umfasst, der von zumindest einem Mantelbereich (**16**) umgeben wird.

4. Bauelement (**10**) gemäß Anspruch 3, in dem der Kern (**14**) entweder einen Stufenindex oder einen Gradientenindex aufweist.

5. Bauelement (**10**) gemäß Anspruch 1, in dem der Mindest-Außendurchmesserabschnitt (**20**) zwischen den konischen Abschnitten (**22**) der Faser (**12**) zumindest einen adiabatischen konischen Abschnitt (**22**) umfasst.

6. Faseroptisches Gitterbauelement (**10**) gemäß Anspruch 1, in dem das veränderliche Indexmaterial aus dem Bereich elektro-optischer, magneto-optischer und temperaturempfindlicher Materialien gewählt wird.

7. Faseroptisches Gitterbauelement (**10**) gemäß Anspruch 1, in dem der Brechungsindex der Ummantelung (**26**) außerdem so gewählt wird, dass ein grundlegend veränderter effektiver Index der Fundamentalmode geboten wird, oder dass die Leistung des Gitters (**24**) gesteigert wird, oder dass das Gitter die Kopplung an bevorzugte Moden erhöhen und die Kopplung an unerwünschte Moden senken kann.

8. Abstimmbarer optischer Multiplexer (**30**), der einen ersten (**32**) und einen zweiten optischen Zirkulator (**34**) umfasst, sowie ein konisches faseroptisches Bauelement (**10**) gemäß Anspruch 1, das zwischen den Zirkulatoren optisch gekoppelt ist.

9. Faseroptisches Telekommunikationssystem (**40**), das einen Multiwellenlängen-Sender (**42**), eine Lichtleitfaserstrecke (**44**), einen optischen Multiwellenlängen-Empfänger (**46**) und den abstimmbaren Multiplexer (**30**) gemäß Anspruch 8 umfasst, der zwischen dem Sender (**42**) und dem Empfänger (**46**) optisch gekoppelt ist.

10. Faseroptischer Verstärker (**50**), eine Faserstrecke mit Seltenerde-Dotierung (**54**) und das konische faseroptische Bauelement (**10**) gemäß Anspruch 1.

11. Faseroptisches Telekommunikationssystem (**70**), das einen Sender (**72**), eine Lichtleitfaserstrecke (**74**), einen optischen Empfänger (**76**) und den faseroptischen Verstärker (**50**) gemäß Anspruch 10 umfasst, der zwischen dem Sender (**72**) und dem Empfänger (**76**) optisch gekoppelt ist.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

**Anhängende Zeichnungen**

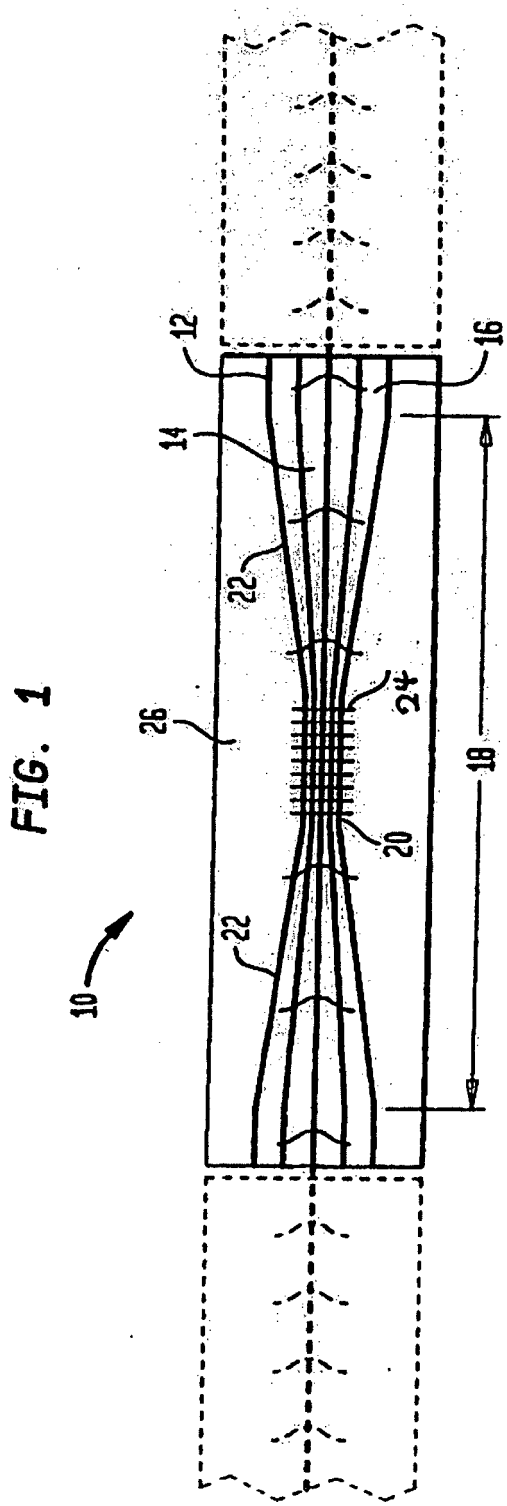



FIG. 1

FIG. 2A

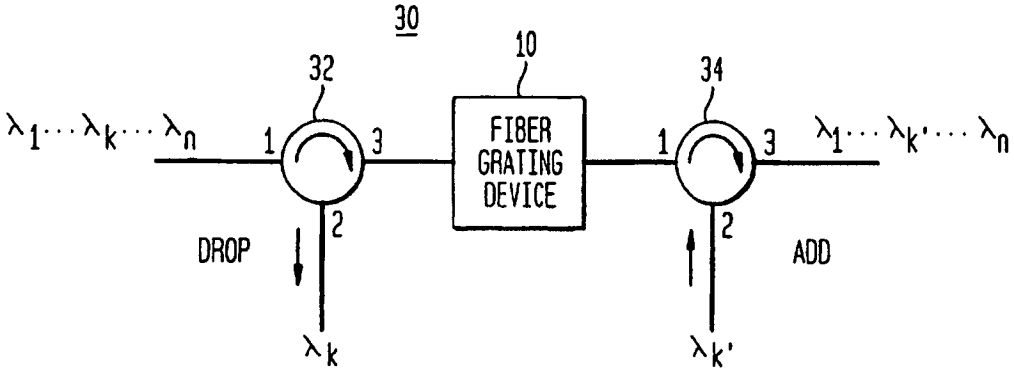

30
10
32
34
$\lambda_1 \cdots \lambda_k \cdots \lambda_n$
1
3
FIBER GRATING DEVICE
$\lambda_1 \cdots \lambda_{k'} \cdots \lambda_n$
2
DROP
ADD
$\lambda_k$
$\lambda_{k'}$

FIG. 2B

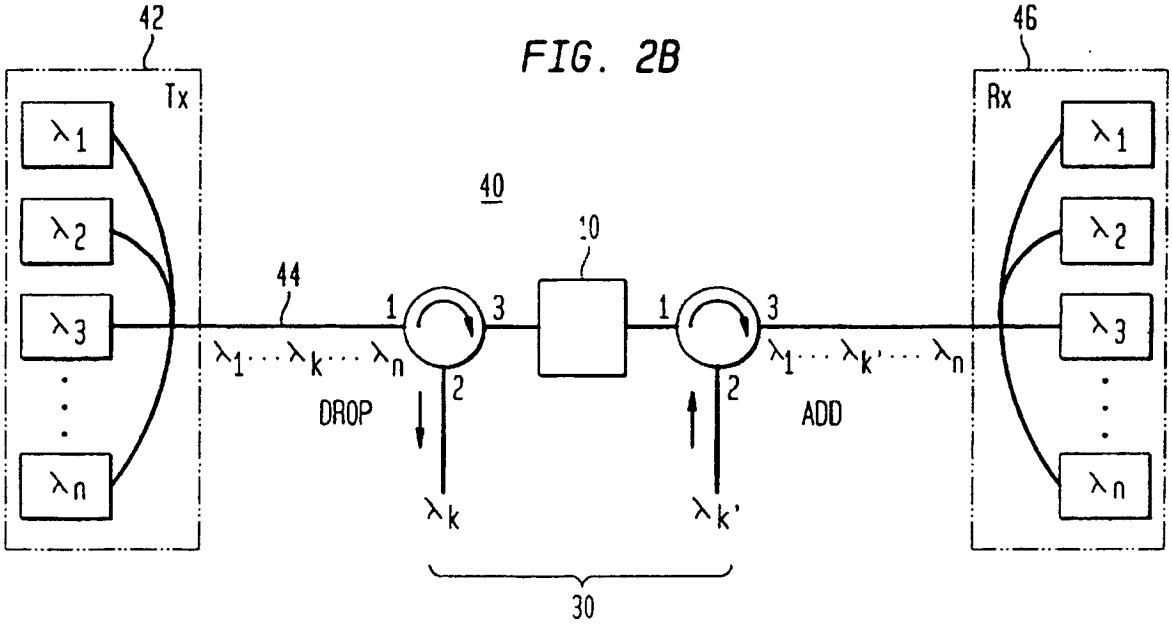

42
Tx
46
Rx
40
10
44
$\lambda_1$
$\lambda_2$
$\lambda_3$
$\lambda_n$
1
3
$\lambda_1 \cdots \lambda_k \cdots \lambda_n$
$\lambda_1 \cdots \lambda_{k'} \cdots \lambda_n$
2
DROP
ADD
$\lambda_k$
$\lambda_{k'}$
30

FIG. 3A

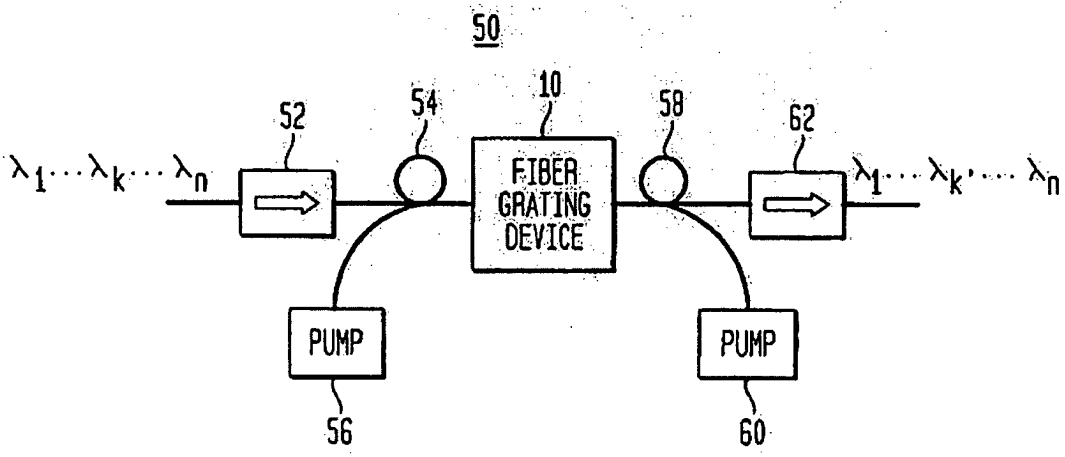
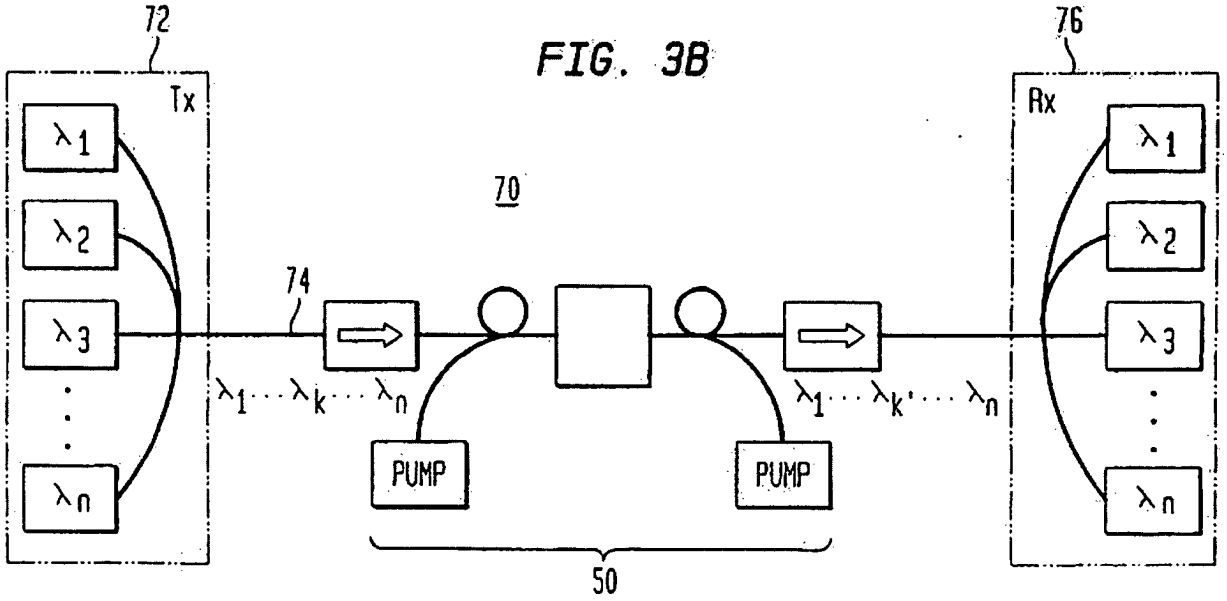

50
10
52
54
58
62
$\lambda_1 \cdots \lambda_k \cdots \lambda_n$
FIBER GRATING DEVICE
$\lambda_1 \cdots \lambda_{k'} \cdots \lambda_n$
PUMP
PUMP
56
60

FIG. 3B


72
Tx
76
Rx
70
74
$\lambda_1$
$\lambda_2$
$\lambda_3$
$\lambda_n$
$\lambda_1 \cdots \lambda_k \cdots \lambda_n$
$\lambda_1 \cdots \lambda_{k'} \cdots \lambda_n$
PUMP
PUMP
50