



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 602 00 944 T2 2005.09.29**

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 368 701 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **602 00 944.8**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/GB02/01199**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **02 720 094.8**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 02/075446**

(86) PCT-Anmeldetag: **15.03.2002**

(87) Veröffentlichungstag
der PCT-Anmeldung: **26.09.2002**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **10.12.2003**

(97) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung beim EPA: **11.08.2004**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **29.09.2005**

(51) Int Cl.7: **G02F 1/35**

H04B 10/18, H04J 14/02

(30) Unionspriorität:

0106553 16.03.2001 GB

(73) Patentinhaber:

**The University of Southampton, Highfield,
Southampton, GB**

(74) Vertreter:

Boeters & Lieck, 80538 München

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT,
LI, LU, MC, NL, PT, SE, TR**

(72) Erfinder:

**RICHARDSON, David John, Southampton S018
4HY, GB; LEE, Ju Han, Suwon, Kyonggi-Do, KR;
IBSEN, Morten, Southampton SO18 1LG, GB;
PETROPOULOS, Periklis, GR-262 24 Patras, GR;
THE, Peh Choing, 34600 Kamunting, Perak, MY**

(54) Bezeichnung: **GERÄT ZUR ERZEUGUNG EINER TAKTFLUKTUATIONSTOLERANTEN OPTISCHEN MODULATION EINES ERSTEN SIGNALS DURCH EIN ZWEITES SIGNAL**

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

Gebiet der Erfindung

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf optische Modulatoren, die Impulsformungs-Faser-Bragg-Gitter umfassen und taktfluktuationstolerant sind.

Hintergrund der Erfindung

[0002] Zur "Synthetisierung" einer bestimmten optischen Impulsform ist es notwendig, in der Lage zu sein, zuverlässig das Amplitude- und Phasenprofil eines optischen Feldes zu definieren. Der allgemeine Ansatz ist das Erzeugen von Impulsen mit einer genau definierten Impulsform und anschließend den Impuls durch irgendein Impulsformungs-Element mit einer entsprechend entwickelten Transferfunktion zu leiten, um das inzidente Spektrum in der Weise in bezug auf die Phase zu verändern und umzuformen, dass das gewünschte optische Ausgabefeld erhalten wird. Das Impulsformungs-Element kann eine rein lineare Antwort haben, wie z. B. ein Filter mit einer entsprechend komplexen Antwort, oder kann zusätzlich ein nichtlineares Element, beispielsweise eine optische Faser oder eine aperiodische Quasiphasenanpassungs-Struktur, umfassen, um die kontrollierte Erzeugung von Frequenzkomponenten außerhalb des Frequenzspektrums der Eingangs-Impulsform zu erlauben.

[0003] Die am häufigsten verwendete Technik ist eine einfache lineare Filterungstechnik, bei der die Frequenzkomponenten eines kurzen Impulses im Raum unter Verwendung von Volumen-Gittern dispergiert werden und anschließend durch Amplituden und Phasenmasken gefiltert werden, die innerhalb eines optischen Fourier-4f-Aufbaus positioniert sind. Mikrolithographisch hergestellte Spatialmasken, segmentierte Flüssigkristallmodulatoren oder Akusto-Optikmodulatoren wurden als Spatialfilter genutzt, wobei die letzten beiden Ansätze die Programmierbarkeit und die dynamische Rekonfigurierbarkeit der Impulsform-Antwort erlauben. Während beeindruckende Ergebnisse mit diesem Ansatz erzielt wurden, ist die Hardware selbst ein wenig sperrig, verlustbehaftet und teuer und eignet sich nicht für eine bequeme Integration mit Wellenleiter-Vorrichtungen. Diese Fragen lösten die Suche nach anderen technischen Ansätzen zu dem Problem aus, wie z. B. die Verwendung von strukturierten Wellenleitungs-Gittern oder Strukturen von Faserverzögerungsleitungen.

[0004] Einkanalraten, die sich dem Tbit/s-Niveau annähern, wurden nun für optische Zeitbereichsmultiplex(OTDM)-Systeme berichtet. Diese Einkanalraten bedingen erhöhte Anforderungen und verbesserte Toleranzen bei den für zu multiplexende und demultiplexende optische Datenbits verwendeten Techniken. Es sei beispielsweise der Fall des optischen Demultiplexen betrachtet. In dem Maße, wie die OTDM-Datenraten zunehmen und die Impulse entsprechend kürzer werden, können die Synchronisationsanforderungen hinsichtlich der für die Steuerung des Schaltvorgangs verwendeten lokal generierten Impulse eine einschränkende praktische Frage werden. Der Schlüssel für die Minderung der Taktfluktuationstoleranz bei solchen Vorrichtungen liegt darin, ein rechteckiges temporales Schalt-Fenster zu erstellen. Dies reduziert die absolute Genauigkeit für das temporale Bit-Alignment und stellt eine optimale Ausrichtung für durch Taktfluktuation erzeugte Fehler dar. Schemata für faserbasierte, nichtlineare, optische Schleifenspiegel(NOLM)-Demultiplexverfahren, die sowohl gute ultraschnelle Leistung als auch Toleranz zu Taktfluktuation entweder von den Steuer- oder den Datensignalen oder von beiden bereitstellen, wurden bereits früher nachgewiesen. Diese Schemata verwenden die Differenz in der Gruppengeschwindigkeit und das resultierende "walk-off" zwischen den Steuer- und den Datensignalen innerhalb der nichtlinearen optischen Einrichtung zur Definition des rechteckigen Schalt-Fensters. Dies erfordert entsprechend eine enge Spezifikation und Steuerung sowohl der Daten- als auch der Signalwellenlängen und der Dispersionseigenschaften der Faser. Dieser Ansatz ist zwar auf faserbasierte Schalter anwendbar, er ist aber komplex und kann nicht auf Schalter Anwendung finden, die auf hoch nichtlinearen Halbleitern basieren und bei denen es über die relevanten Längenskalen keine bemerkenswerten dispersiven Propagationseffekte gibt. Einfache robuste Techniken, die dazu beitragen können, Taktfluktuationstoleranzen zu mindern, und die auf eine Reihe von Schaltmechanismen anwendbar sind, sind demzufolge von großem Interesse.

[0005] Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, die oben erwähnten Probleme zu vermeiden oder zu mindern. Optische Einrichtungen, die sämtliche Merkmale des Oberbegriffs des Anspruchs 1 in Kombination aufweisen, werden in WO9955038, WO9921037 und WO9850824 offenbart.

Zusammenfassung der Erfindung

[0006] Erfindungsgemäß wird eine optische Vorrichtung zur taktfluktuationstoleranten optischen Modulation

eines ersten optischen Signals durch ein zweites optisches Signal bereitgestellt, wobei das erste optische Signal eine erste Wellenlänge besitzt, das zweite optische Signal mehrere zweite optische Signalimpulse umfasst, die eine zweite Impulsform und eine zweite Wellenlänge besitzen und die Vorrichtung einen ersten Signal-Eingangskanal, einen zweiten Signal-Eingangskanal, einen Koppler, ein Gitter und eine nichtlineare optische Einrichtung umfasst, wobei die Vorrichtung so ausgelegt ist, dass das zweite optische Signal am zweiten Signal-Eingangskanal über den Koppler und das Gitter zur nichtlinearen optischen Einrichtung gelangt, und das erste optische Signal am ersten Signal-Eingangskanal zur nichtlinearen optischen Einrichtung gelangt, wobei das Gitter ein Überberstruktur-Faser-Bragg-Gitter in einer Anordnung ist, um die zweiten optischen Signalimpulse in optische Zwischen-Impulse umzusetzen, die jeweils eine Zwischen-Impulsform besitzen, und die Zwischen-Impulsform so ausgestaltet ist, dass diese innerhalb der nichtlinearen optischen Einrichtung ein Schalt-Fenster bereitstellt.

[0007] Das erste Signal kann mehrere erste Signalimpulse umfassen. Das erste Signal kann ein kontinuierliches Wellensignal, wie z. B. ein nichtmodulierter Laserstrahl, sein. Das Schalt-Fenster kann gaußisch, rechteckig sein oder eine beliebige vom Benutzer definierte Form aufweisen.

[0008] Bei einer Ausführungsform der Erfindung umfasst das erste Signal mehrere erste Signalimpulse, das Gitter wird durch eine Gitterimpulsantwort definiert, die Zwischen-Impulsform wird durch die Faltung der zweiten Impulsform und die Gitterimpulsantwort definiert, und das Schalt-Fenster ist ein im Wesentlichen rechteckiges Schalt-Fenster, das hinsichtlich einer Schwankung der Ankunftszeit des ersten Signalimpulses beim ersten Signal-Eingangskanal und des zweiten Signalimpulses beim zweiten Signal-Eingangskanal eine Toleranz im Wesentlichen gleich der Breite des rechteckigen Schalt-Fensters bereitstellt.

[0009] Bei einer weiteren Ausführungsform der Erfindung weist das erste Signal mehrere erste Signalimpulse auf, die jeweils eine Breite aufweisen, das Gitter wird durch die Gitterimpulsantwort definiert, die Zwischen-Impulsform wird durch die Faltung der zweiten Impulsform und die Gitterimpulsantwort definiert, wobei das Gitter so gestaltet ist, dass die Zwischen-Impulsform ein im Wesentlichen rechteckiger Impuls ist, bei dem die Vorrichtung hinsichtlich einer Schwankung bei der Ankunftszeit des ersten Impulses beim ersten Eingangskanal und des zweiten Impulses beim zweiten Eingangskanal eine Toleranz im Wesentlichen gleich der Breite des im Wesentlichen rechteckigen Impulses abzüglich der Breite des ersten Signalimpulses aufweist.

[0010] Die erfindungsgemäße Vorrichtung kann eine solche sein, bei der der Koppler ein Zirkulator ist. Der Koppler kann ein optischer Faserkoppler sein.

[0011] Die Vorrichtung kann einen optischen Schalter umfassen, wobei der optische Schalter so gestaltet ist, dass er die nichtlineare optische Einrichtung umfasst.

[0012] Die nichtlineare optische Einrichtung kann eine löchrige Faser sein. Die löchrige Faser kann Glas umfassen. Das Glas kann Silica, Silikatglas oder ein Verbundglas sein. Alternativ kann die löchrige Faser ein Polymer umfassen.

[0013] Die löchrige Faser kann einen Kern und einen Mantel aufweisen, wobei der Mantel mehrere um den Kern herum angeordnete Löcher aufweist und wobei der Kern einen Durchmesser von weniger als 10 μm hat. Der Kern kann einen Durchmesser von weniger als 5 μm haben. Der Kern kann einen Durchmesser von weniger als 2 μm haben.

[0014] Die löchrige Faser kann eine Dotierungssubstanz umfassen, wobei die Dotierungssubstanz aus der Gruppe ausgewählt wird, die Ytterbium, Erbium, Neodymium, Praseodymium, Thulium, Samarium, Holmium, Dysprosium, Zinn, Germanium, Phosphor, Aluminium, Bor, Antimon, Uran, Gold, Silber, Wismut, Blei, ein Übergangselement und einen Halbleiter umfasst. Die obige Aufzählung von Elementen umfasst verbundene chemische Zusammensetzungen des Elements und insbesondere alle Oxid umfassenden Formen.

[0015] Die nichtlineare optische Einrichtung kann ein optischer Verstärker auf Halbleiterbasis sein oder einen solchen umfassen.

[0016] Die nichtlineare optische Einrichtung kann einen Lithiumniobat-Kanal-Wellenleiter oder einen Lithiumniobat-Planar-Wellenleiter umfassen.

[0017] Die nichtlineare optische Einrichtung kann einen periodisch gepolten Lithiumniobat-Kanal-Wellenleiter oder einen periodisch gepolten Lithiumniobat-Planar-Wellenleiter umfassen.

[0018] Die nichtlineare optische Einrichtung kann ein optischer Schalter, eine löchrige Faser, eine gepolte Faser, ein Kaliumtitanylphosphat (KTP) oder ein sonstiger kristalliner Wellenleiter, ein periodisch gepolter KTP oder sonstiger kristalliner Wellenleiter, ein nichtlinearer optischer Schleifenspiegel, ein Kerr-Gitter, eine optische Faser oder ein nichtlinearer optischer Schleifenspiegel sein.

[0019] Die in der nichtlinearen optischen Einrichtung verwendete optische Nichtlinearität kann auf nichtlinearen Wirkungen der zweiten Ordnung ($\chi(2)$) oder der dritten Ordnung ($\chi(3)$) beruhen. Die spezifische Manifestation/Nutzung der Nichtlinearität kann erfolgen durch Selbstphasenmodulation (SPM), Kreuzphasenmodulation (CPM), Vierwellenmischtechniken (FWM), parametrische Frequenzumwandlung, Erzeugung der zweiten Harmonischen, Erzeugung der dritten Harmonischen, Summenfrequenzerzeugung, Differenzfrequenzerzeugung, Erzeugung von Supercontinua, kaskadierte Effekte der zweiten Ordnung oder irgendeine Kombination derselben. Sonstige optische Nichtlinearitäten, die verwendet werden können, umfassen Raman- und Brillouin-Effekte, Kreuzverstärkungs-Modulation und Zweiphotonenabsorption.

[0020] Die Vorrichtung kann so konfiguriert sein, dass sie das erste Signal moduliert.

[0021] Die Vorrichtung kann so konfiguriert sein, dass sie das erste Signal demultiplext.

[0022] Die Vorrichtung kann einen aktiv modusverriegelten Faser-Laser umfassen.

[0023] Die Vorrichtung kann ein Interferometer umfassen, das einen ersten Arm und einen zweiten Arm umfasst und bei dem der erste Arm die nichtlineare optische Einrichtung aufweist.

[0024] Die Vorrichtung kann einen Filter umfassen, bei dem der Filter ein wellenlängenselektiver Filter ist.

[0025] Die Vorrichtung kann ein Polarisationsselement umfassen, bei dem das Polarisationsselement ein Polarisator oder ein Polarisations-Strahlenteiler ist.

[0026] Die Vorrichtung kann einen Taktgenerator umfassen. Der Taktgenerator kann ein Kurzimpulsgenerator sein, der aus der Gruppe ausgewählt wird, die einen modusverriegelten Faser-Laser, einen aktiv modusverriegelten Faser-Laser, einen Generator mit einem Elektroabsorptionsmodulator und einem Laser, einen Generator mit einem elektrooptischen Modulator und einem Laser, und eine verstärkungsgestützte Laserdiode umfasst.

[0027] Der Taktgenerator kann Mittel zur Pulskomprimierung, wie z. B. eine Dispersions-Kompensator-Faser, ein Chirp-(Verlaufs-)Faser-Bragg-Gitter, eine Dispersions-Minderungs-Faser, einen optischen Verstärker, einen Raman-Verstärker, einen optischen Schalter, einen optischen Impuls-Komprimierer oder irgendeine Kombination der genannten Einrichtungen umfassen.

[0028] Die Vorrichtung kann aus mehreren nichtlinearen optischen Einrichtungen bestehen und so konfiguriert sein, dass das zweite Signal am ersten Signal-Eingangskanal zu jeder der nichtlinearen optischen Einrichtungen geführt wird. Die Vorrichtung kann als ein optischer Multiplexer ausgelegt sein. Die Vorrichtung kann als ein optischer Demultiplexer ausgelegt sein. Die Vorrichtung kann als ein inverser Multiplexer ausgelegt sein. Die Vorrichtung kann einen Schalter und einen Steuereingang zur Steuerung des Schalters umfassen.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0029] Ausführungsformen der Erfindung werden nun lediglich beispielhaft und anhand der beigefügten Zeichnungen beschrieben; darin zeigen:

[0030] [Fig. 1](#) eine Vorrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung zur Bereitstellung einer taktfluktuationstoleranten Modulation eines ersten Signals durch ein zweites Signal;

[0031] [Fig. 2](#) eine Ausführungsform gemäß der Erfindung, bei der die Zwischen-Impulsform durch die Faltung der zweiten Impulsform und die Gitterimpulsantwort definiert wird;

[0032] [Fig. 3](#) eine Gitterimpulsantwort;

[0033] [Fig. 4](#) eine Zwischen-Impulsform;

- [0034] [Fig. 5](#) ein im Wesentlichen quadratisches Schalt-Fenster;
- [0035] [Fig. 6](#) einen vor einem zweiten Signalimpuls eintreffenden ersten Signalimpuls;
- [0036] [Fig. 7](#) einen nach einem zweiten Signalimpuls eintreffenden ersten Signalimpuls;
- [0037] [Fig. 8](#) die Impulsantwort eines optischen Schalters;
- [0038] [Fig. 9](#) eine Ausführungsform gemäß der Erfindung, die so ausgelegt ist, dass sie einen im Wesentlichen rechteckigen Impuls bereitstellt;
- [0039] [Fig. 10](#) eine Gitterimpulsantwort;
- [0040] [Fig. 11](#) eine einen optischen Schalter umfassende Ausführungsform;
- [0041] [Fig. 12](#) die Endfläche einer löchrigen Faser;
- [0042] [Fig. 13](#) eine Vorrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung, die eine löchrige Faser aufweist;
- [0043] [Fig. 14](#) eine Vorrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung, die ein Interferometer aufweist;
- [0044] [Fig. 15](#) eine Vorrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung, die als optischer Demultiplexer ausgelegt ist;
- [0045] [Fig. 16](#) eine Vorrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung, die als optischer Multiplexer ausgelegt ist;
- [0046] [Fig. 17](#) eine Vorrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung, die als inverser Multiplexer ausgelegt ist;
- [0047] [Fig. 18](#) eine Vorrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung, die ferner einen Schalter umfasst;
- [0048] [Fig. 19](#) einen Multiplexer gemäß der vorliegenden Erfindung mit regenerativen Eigenschaften;
- [0049] [Fig. 20](#) einen DWDM-Multiplexer gemäß der vorliegenden Erfindung;
- [0050] [Fig. 21](#) eine Vorrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung, die eine kontinuierliche Wellenschaltung verwendet;
- [0051] [Fig. 22](#) bis [Fig. 30](#) die Ergebnisse einer Berechnung an Filtern für die Impulsformung gemäß der vorliegenden Erfindung;
- [0052] [Fig. 31](#) eine Vorrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung, die einen modusverriegelten Ringlaser umfasst;
- [0053] [Fig. 32](#) bis [Fig. 39](#) experimentelle und theoretische Ergebnisse der Leistung eines Filters für die Formung eines Rechteckimpulses gemäß der vorliegenden Erfindung;
- [0054] [Fig. 40](#) eine Testanordnung für die Kennzeichnung einer Vorrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung;
- [0055] [Fig. 41](#) bis [Fig. 44](#) die theoretische und experimentelle Leistung von Vorrichtungen gemäß der vorliegenden Erfindung;
- [0056] [Fig. 45](#) eine Testanordnung für die Kennzeichnung einer Vorrichtung, die einen optischen Verstärker auf Halbleiterbasis gemäß der vorliegenden Erfindung aufweist;
- [0057] [Fig. 46](#) und [Fig. 47](#) experimentelle Ergebnisse des optischen Verstärkers auf Halbleiterbasis;
- [0058] [Fig. 48](#) eine Definition eines Schalt-Fensters; und
- [0059] [Fig. 49](#) eine typische Übertragungsantwort einer faserbasierten nichtlinearen optischen Einrichtung.

Ausführliche Beschreibung bevorzugter Ausführungsformen der Erfindung

[0060] **Fig. 1** zeigt eine Vorrichtung zur taktfluktuationstoleranten optischen Modulation eines ersten Signals **1** durch ein zweites Signal **2**. Das erste Signal **1** besitzt eine erste Wellenlänge **3**. Das zweite Signal **2** umfasst mehrere zweite Signalimpulse **4**, die eine zweite Impulsform **5** und eine zweite Wellenlänge **6** besitzen. Die Vorrichtung umfasst ferner einen ersten Signal-Eingangskanal **8**, einen zweiten Signal-Eingangskanal **9**, einen Koppler **10**, ein Gitter **11** und eine nichtlineare optische Einrichtung **12**. Die Vorrichtung ist so ausgelegt, dass das zweite optische Signal **2** am zweiten Signal-Eingangskanal **9** über den Koppler **10** und das Gitter **11** zur nichtlinearen optischen Einrichtung **12** gelangt, und das erste Signal **1** am ersten Signal-Eingangskanal **8** zur nichtlinearen optischen Einrichtung **12** gelangt. Das Gitter **11** ist ein Überstruktur-Faser-Bragg-Gitter, das die zweiten Signalimpulse **4** in Zwischen-Impulse **13** umsetzt, die jeweils eine Zwischen-Impulsform **14** besitzen. Die Zwischen-Impulsform **14** ist so ausgelegt, dass sie innerhalb der nichtlinearen optischen Einrichtung **12** ein Schalt-Fenster **19** bereitstellt.

[0061] Das Schalt-Fenster **19** kann ein im Wesentlichen rechteckiges Schalt-Fenster **50** sein, das anhand von **Fig. 5** gezeigt wird. Das Schalt-Fenster **19** kann alternativ vom Gauß'schen Typ sein oder jede andere benutzerdefinierte Form haben.

[0062] Die Vorrichtung kann so ausgelegt sein, dass die Vorrichtung einen einzelnen optischen Eingangskanal aufweist, so dass das erste und das zweite Signal **1** und **2** durch den gleichen Eingangskanal in die Vorrichtung eintreten.

[0063] Die Vorrichtung kann ferner, wie in **Fig. 1** gezeigt, einen Filter **21** aufweisen.

[0064] Der Koppler **10** kann ein Zirkulator, ein optischer Faserkoppler oder ein Strahlenteiler sein.

[0065] Das erste Signal **1** wird so dargestellt, dass es mehrere erste Signalimpulse **15** aufweist. Diese ersten Signalimpulse **15** interagieren innerhalb der nichtlinearen optischen Einrichtung **12** mit den Zwischenimpulsen **13** und stellen ein Signal **18** bereit, das am Ausgangskanal **17** mehrere Ausgangsimpulse **16** aufweist. Das erste Signal **1** wird so dargestellt, dass es Impulse in Zeitfenstern t_1 , t_3 und t_5 aufweist, das zweite Signal **2** wird so dargestellt, dass es Impulse in Zeitfenstern t_1 , t_3 und t_5 aufweist, und das Ausgangssignal **18** wird so dargestellt, dass es Impulse in Zeitfenstern t_1 , t_3 und t_5 aufweist, d. h. entsprechend der Zeitüberlappung der ersten Signalimpulse **15** und des Zwischenimpulses **13** innerhalb der nichtlinearen optischen Einrichtung **12**. Das im Wesentlichen rechteckige Schalt-Fenster **50**, das durch die Zwischen-Impulsform **14** bereitgestellt wird, trägt dazu bei, die Verzerrung der ersten Signalimpulse **15** innerhalb der nichtlinearen optischen Einrichtung **12** zu mindern, und stellt Taktfluktuationstoleranz bei den Ankunftszeiten der ersten Signalimpulse **15** bereit.

[0066] Obwohl **Fig. 1** das erste Signal **1** so dargestellt, dass es mehrere erste Signalimpulse **15** umfasst, kann das erste Signal **1** alternativ ein kontinuierliches Wellensignal, wie z. B. ein nichtmodulierter Laserstrahl, sein.

[0067] Die erste Wellenlänge **3** kann zur zweiten Wellenlänge **6** unterschiedlich sein. In diesem Fall ist die nichtlineare optische Einrichtung **12** vorzugsweise ein aktives Halbleiterelement oder eine optische Faser, wie z. B. die löchrige Faser **120**, und der Filter **21** ist vorzugsweise ein wellenlängen-selektiver Filter, wie z. B. ein Faser-Bragg-Gitter oder ein Dünnschichtfilter.

[0068] Die erste Wellenlänge **3** kann die gleiche sein wie die zweite Wellenlänge **6**. In diesem Fall ist die nichtlineare optische Einrichtung **12** vorzugsweise so ausgelegt, dass ihr Ausgangszustand der Polarisierung sich als Antwort auf die Zwischenimpulse **13** verändert, und der Ausgangsfilter **21** ist vorzugsweise ein Polarisator oder Polarisations-Strahlenteiler.

[0069] Das erste Signal **1** kann ein Datensignal sein, und das zweite Signal **2** kann ein Taktsignal sein. In diesem Fall stellt die Vorrichtung eine Demultiplex-Funktion bereit. Alternativ kann das erste Signal **1** ein Taktsignal sein, und das zweite Signal **2** kann ein Datensignal sein, worauf die Vorrichtung eine Multiplexer-Funktion bereitstellt.

[0070] **Fig. 2** zeigt eine Ausführungsform nach der Erfindung, bei der das erste Signal **1** mehrere erste Signalimpulse **15** aufweist. Das Gitter **11** wird, wie in **Fig. 3** gezeigt, durch eine Gitterimpulsantwort **30** definiert. Wie in **Fig. 4** gezeigt, wird die Zwischen-Impulsform **14** durch die Faltung der zweiten Impulsform **5** und die Gitterimpulsantwort **30** definiert. Die Gitterimpulsantwort **30** wird so gewählt, dass das in **Fig. 5** gezeigte

Schalt-Fenster **50** in der nichtlinearen Einrichtung **12** bereitgestellt wird, welche in [Fig. 2](#) so dargestellt wird, dass sie einen optischen Verstärker auf Halbleiterbasis **20** umfasst.

[0071] Die Vorrichtung kann ferner den Filter **21** umfassen.

[0072] Der optische Verstärker auf Halbleiterbasis **20** kann Teil eines optischen asymmetrischen Terahertz-Demultiplexers (TOAD), eines optischen Verstärkers auf Halbleiterbasis in einem Schleifenspiegel (SLALOM), eines ultraschnellen nichtlinearen Interferometers (UNI), eines transparenten ultraschnellen nichtlinearen Verstärkungs-Interferometers (GT-UNI) sein.

[0073] Das rechteckige Schalt-Fenster **50** stellt hinsichtlich einer Schwankung der Ankunftszeit des ersten Signalimpulses **15** am ersten Eingangskanal **8** und des zweiten Signalimpulses **4** beim zweiten Signal-Eingangskanal **9** eine Toleranz im Wesentlichen gleich der Breite **51** des rechteckigen Schalt-Fensters **50** abzüglich der Breite des ersten Signalimpulses **15** bereit.

[0074] [Fig. 6](#) zeigt ein Beispiel, bei dem der erste Signalimpuls **15** zu einem Zeitpunkt **61** eintrifft, der zweite Signalimpuls **4** zu einem Zeitpunkt **62** eintrifft und bei dem das rechteckige Schalt-Fenster die Breite **51** ist. [Fig. 7](#) zeigt ein weiteres Beispiel, bei dem der erste Signalimpuls **15** zu einem Zeitpunkt **71** eintrifft, der zweite Signalimpuls **4** zu einem Zeitpunkt **72** eintrifft und bei dem das rechteckige Schalt-Fenster die Breite **51** ist. Die [Fig. 6](#) und [Fig. 7](#) zeigen die maximal mögliche Schwankung bei den Ankunftszeiten **61** und **62** in der Weise, dass die nichtlineare optische Einrichtung **12** den ersten Signalimpuls **15** aufgrund von Taktfluktuation nicht verzerrt.

[0075] Der Ausdruck Schalt-Fenster kann auf verschiedene Weise definiert werden. Eine erste in [Fig. 21](#) gezeigte Definition ist die, dass das "kontinuierliche Wellen-Schalt-Fenster" **210** durch die Impulsform **210** definiert wird, wenn sie durch den Zwischenimpuls **13** als Antwort auf die zweiten Signalimpulse **4** getrieben wird, und bei dem das erste Signal **1** bei der Wellenlänge **3** ein kontinuierlicher Wellenstrahl ist. Bei Einsatz einer Vorrichtung mit einem ersten Signal **1**, das die ersten Signalimpulse **15** umfasst, ergibt sich das Schalt-Fenster durch die Breite des "kontinuierlichen Wellen-Schalt-Fensters" **210** abzüglich der Breite des ersten Signalimpulses **15**. Eine zweite Definition kann hinsichtlich der Bedingungen der Systemleistung selbst direkter formuliert werden, wie dies in [Fig. 48](#) gezeigt wird, die eine Graphik der Bitfehlerrate (BER) **480** gegenüber der relativen Zeitverzögerung **481** der mit den ersten und zweiten Signalimpulsen **15**, **4** verbundenen Impulse zeigt. Bitfehlerratenmessungen liefern eine Maßgröße der Qualität der durch die Vorrichtung gelieferten Impulsschaltung, je höher die Bitfehlerrate ist, desto schlechter ist die Schallleistung. Eine Fehlerrate von 1 in 10^{-9} wird häufig als fehlerfrei bezeichnet und herangezogen, um die untere Grenze hinsichtlich akzeptabler Leistungen von Telekommunikationsvorrichtungen darzustellen. Damit ist eine alternative Systembeschreibung des Zeitfensters für den Schalter die Gesamtlänge der relativen Zeitverzögerung **482**, über die eine fehlerfreie Leistung erreicht werden kann. Die BER nimmt schnell an den ansteigenden und abfallenden Kanten des Zeitfensters ab. In der Praxis ergeben die beiden Definitionen von Zeitwerten ungefähr äquivalente Werte nach den beiden Definitionen, insbesondere für rechteckige Schalt-Fenster, und es werden bei der Erfindung beide Definitionen verwendet. Spezifisch wird dahin tendiert, die erste Definition heranzuziehen, wenn die Zwischen-Impulsform als solche im Wesentlichen in der Form rechteckig ist, und die zweite Definition für den eher allgemeinen Fall.

[0076] Die in [Fig. 2](#) gezeigte Ausführungsform ist für Schaltansätze charakteristisch, bei denen die erforderliche Zwischen-Impulsform, die notwendig ist, um ein im Wesentlichen rechteckiges Schalt-Fenster bereitzustellen, kein Rechteckimpuls ist, sondern irgendeine andere Impulsform, die nicht augenblickliche nichtlineare Antworten (wie z. B. Kreuzverstärkungsmodulation) und Streuungseffekte innerhalb der nichtlinearen optischen Einrichtung **20** kompensiert.

[0077] Um die Zwischen-Impulsform **14** festzusetzen, ist es zunächst erforderlich, die in [Fig. 8](#) gezeigte Impulsantwort **80** der nichtlinearen optischen Einrichtung **12** als Funktion inzidenter Puls/Energieleistung zu charakterisieren und anschließend diese Information heranzuziehen, um die erforderliche Form der Zwischen-Impulsform **14** zu ermitteln, welche erforderlich ist, um das rechteckige Schalt-Fenster **50** zu definieren. Die Impulsantwort **30** des Gitters **11**, die erforderlich ist, um die zweiten Signalimpulse **4** umzuwandeln, kann anschließend evaluiert werden, und die erforderliche Überstruktur-Gitter-Konstruktion selbst kann unter Verwendung eines geeigneten inversen Gitter-Konstruktions-Algorithmus, wie z. B. nach R. Feced, M. N. Zervas und M. A. Muriel, "An efficient inverse scattering algorithm for the design of non-uniform fibre Bragg gratings", IEEE J. Quantum Electron., Band 35, Seiten 1105–1111, 1999, abgeleitet werden.

[0078] Um die Impulsantwort **80** der nichtlinearen optischen Einrichtung **12** (als Funktion inzidenter Impuls-

leistung) zu ermitteln, kann es notwendig sein, eine experimentelle Impuls-Charakterisierungstechnik heranzuziehen, die in der Lage ist, sowohl Phasen- als auch Amplitudeninformationen zu liefern. Entsprechende Techniken werden in B. C. Thomson, P. Petropoulos, H. L. Offerhaus, D. J. Richardson und J. D. Harvey, "Characterization of a 10 GHz harmonically mode-locked erbium fibre ring laser using second harmonic generation frequency resolved optical gating", Technical Digest CLEO '99, Baltimore, 23.–28. Mai 1999, Papier CtuJS, beschrieben. Weitere Mittel zur Bereitstellung einer solchen Charakterisierung wurden beschrieben in "Measuring ultrashort laser pulses in the time domain using frequency resolved optical gating" von R. Trebino, K. W. DeLong, D. N. Fittinghoff, J. N. Sweetser, M. A. Krumbugel, B. A. Richman, D. J. Kane in Review of Scientific Instruments, Band 68, 3277–3295 (1997).

[0079] Weiter wird in [Fig. 2](#) ein Filter **21** beschrieben, der notwendig sein kann, um den Ausgang der nichtlinearen optischen Einrichtung **12** zu filtern. Der Filter **21** kann ein Polarisationsselement sein, wie z. B. ein Polarisator oder ein Polarisations-Strahlenteiler, ein wellenlängen-selektiver Filter, wie z. B. bei optisches Faser-Bragg-Gitter oder ein Dünnschichtfilter. Soweit in Verbindung mit einem optischen Verstärker auf Halbleiterbasis, wie in [Fig. 2](#) gezeigt, verwendet, ist der Filter **21** vorzugsweise ein wellenlängen-selektiver Filter.

[0080] [Fig. 9](#) zeigt eine weitere Ausführungsform der Erfindung, bei der das erste Signal **1** mehrere erste Signalimpulse **15** aufweist. Das Gitter **11** wird durch die Gitterimpulsantwort **100** definiert. Wie in [Fig. 10](#) gezeigt, wird die Zwischen-Impulsform **14** durch die Faltung der zweiten Impulsform **5** und die Gitterimpulsantwort **100** definiert. Das Gitter **11** ist so ausgelegt, dass die Zwischen-Impulsform **14** ein im Wesentlichen Rechteckimpuls **95** ist, und bei dem die Vorrichtung hinsichtlich einer Schwankung der Ankunftszeit des ersten Impulses **15** beim ersten Eingangskanal **8** und des zweiten Impulses **4** beim zweiten Eingangskanal **9** eine Toleranz im Wesentlichen gleich der Breite **101** des im Wesentlichen rechteckigen Impulses **95** abzüglich der Breite des ersten Signalimpulses **15** aufweist. Die in [Fig. 9](#) gezeigte nichtlineare optische Einrichtung **12** ist ein nichtlinearer Schleifenspiegel (NOLM) **90**, der eine dispersionsverschobene optische Faser (DSF) **91** und zwei Koppler **92** umfasst. Die Koppler sind vorzugsweise optische 3 dB-Faser-Koppler. Die DSF **91** ist so ausgelegt, dass sie bei der ersten Wellenlänge **3** eine normale Dispersion aufweist, und sie kann abhängig von dem Umfang der vorhandenen Nichtlinearität eine Länge im Bereich von 1 m bis 10.000 m haben. Der NOLM **90** kann ferner einen Polarisationscontroller **93** aufweisen. Die erste Wellenlänge **3** ist zur zweiten Wellenlänge **6** unterschiedlich. Die erste Wellenlänge **3** liegt bei faserbasierten Einrichtungen üblicherweise bei einer kürzeren Wellenlänge als die zweite Signalwellenlänge **6**, da (a) es häufig wichtig ist, den durch die Gruppengeschwindigkeit hervorgerufenen "Walk-off" zwischen den ersten und Zwischen-Signalimpulsen **15**, **13** in dem Maße zu minimieren, wie sie sich durch die nichtlineare Faser ausbreiten, und dies wird am besten dadurch erreicht, dass die beiden Signalwellenlängen so angeordnet werden, dass sie um die Nulldispersionswellenlänge der Faser herum ungefähr symmetrisch liegen, und (b) das geschaltete oder modulierte Signal **1** muss in dem normalen Dispersionsbereich liegen, um die Auswirkungen induzierter Rauschzahl aufgrund von Solitonen-Effekten zu vermeiden. Der Filter **21** ist vorzugsweise ein wellenlängen-selektiver Filter, der ein Faser-Bragg-Gitter oder ein Dünnschichtfilter sein kann.

[0081] Die Toleranz hinsichtlich der Ankunftszeiten und demzufolge die Taktfluktuation der ersten und zweiten optischen Signale **1** und **2** wird durch die Breiten **50** und **101** des im Wesentlichen rechteckigen Schalt-Fensters **50** bzw. des im Wesentlichen rechteckigen Impulses **95** bestimmt. Es wird in Aussicht genommen, dass durch Einsatz entsprechend hergestellter Gitter **11** diese Toleranz bis zu 200 ps groß sein könnte. Diese Toleranz ist für optische Bearbeitung mit hoher optischer Taktfluktuationstoleranz mit Raten geeignet, die niedrig, d. h. bei bis zu 5 Gbit/s, liegen können. Beim anderen Extrem nehmen die Erfinder in Aussicht, dass die Technologie auch die Erzeugung der Zwischenimpulse **13** mit Breiten erlauben sollte, die so klein wie 100 fs sind, was sie für optische Verarbeitung mit Datenraten zwischen 1 Tbit/s bis mindestens 10 Tbit/s geeignet macht. Die Technologie sollte auch das Verarbeiten bei dazwischen liegenden Datenraten ermöglichen.

[0082] [Fig. 11](#) zeigt eine Ausführungsform, bei der die Vorrichtung einen optischen Schalter **110** aufweist, wobei der optische Schalter **110** so ausgelegt ist, dass er die nichtlineare optische Einrichtung **12** umfasst. Der optische Schalter **110** kann in jeder der in den [Fig. 1](#), [Fig. 2](#) und [Fig. 9](#) gezeigten Ausführungsformen verwendet werden. Die nichtlineare optische Einrichtung **12** kann einen Lithiumniobat-Kanal-Wellenleiter oder einen Lithiumniobat-Planar-Wellenleiter umfassen. Die nichtlineare optische Einrichtung **12** kann einen periodisch gepolten Lithiumniobat-Kanal-Wellenleiter oder einen periodisch gepolten Lithiumniobat-Planar-Wellenleiter umfassen. Die nichtlineare optische Einrichtung kann eine löchrige Faser, eine gepolte Faser, ein Kaliumtitanylphosphat (KTP) oder einen sonstigen kristallinen Wellenleiter, ein periodisch gepoltes KTP oder einen sonstigen kristallinen Wellenleiter, einen nichtlinearen optischen Schleifenspiegel, ein Kerr-Gitter, eine optische Faser, einen nichtlinearen verstärkenden Schleifenspiegel oder einen nichtlinearen optischen Modulator umfassen.

[0083] [Fig. 12](#) zeigt den Querschnitt einer löchrigen Faser **120**, die nach den Ausführungsformen nach den [Fig. 1](#), [Fig. 2](#) und [Fig. 9](#) als die nichtlineare optische Einrichtung **12** ausgelegt werden kann. Die löchrige Faser **120** umfasst einen Kern **121** und einen Mantel **122**, wobei der Mantel **122** mehrere um den Kern **121** herum angeordnete Löcher **125** aufweist. Die löchrige Faser **120** hat einen Kerndurchmesser **123** von 2 µm. Der Kern **121** und der Mantel **122** werden in dem Einsatz als vergrößert gezeigt. Der Kern **121** kann einen Durchmesser **123** zwischen 2 µm und 10 µm haben. Vorzugsweise hat der Kern **121** einen Durchmesser **123** unter 2 µm. Mit löchriger Faser meinen die Erfinder eine Faser, die sich in Längsrichtung erstreckende Löcher aufweist, die entlang der Länge der Faser verdreht werden können, und ähnliche oder alternativ bezeichnete Fasern, wie z. B. mikrostrukturierte Fasern und photonische Kristallfasern sind hierin eingeschlossen.

[0084] Die löchrige Faser **120** wird aus einem einzigen transparenten Material **124** (unter Vernachlässigung von Luft als konstituierendes Material) hergestellt. Das transparente Material **124** ist Silica. Löchrige Fasern können auch aus anderen Formen von Silikatglas (beispielsweise Bleigläser, wie z. B. Schott Gläser SF57, SF58, SF59, oder Gläser auf Wismutoxidbasis), oder letztlich jeder anderen Form von Glas, einschließlich beliebiger Verbundgläser (z. B. Multi-Komponenten-Gläser, wie z. B. Chalcogenid-Gläser). Vorzugsweise würde das Glas einen großen nichtlinearen Koeffizienten der dritten Ordnung (Kerr) ($> 2 \cdot 10^{-20} \text{ m}^2/\text{W}$) haben und einen geringeren Verlust bei der Betriebswellenlänge für die nichtlineare optische Einrichtung ($< 10 \text{ dB/m}$). Das Material kann auch ein Polymer sein, wie z. B. Polymethyl-Methacrylat (PMMA), wiewohl ein beliebiges Polymer mit einem signifikanten nichtlinearen Koeffizienten der zweiten Ordnung ($> 0,01 \text{ pm/V}$) oder einem nichtlinearen Koeffizienten der dritten Ordnung ($> 2 \cdot 10^{-20} \text{ m}^2/\text{W}$) in Aussicht genommen werden könnte. Die löchrige Faser **120** kann auch eine Dotierungssubstanz entweder im Kern **121** oder im Mantel **122** oder in beiden umfassen. Die Dotierungssubstanz kann Ytterbium, Erbium, Neodymium, Praseodymium, Thulium, Samarium, Holmium, Dysprosium, Zinn, Germanium, Phosphor, Aluminium, Bor, Antimon, Uran, Gold, Silber, Wismut, Blei, ein Übergangsmetall und einen Halbleiter umfassen.

[0085] [Fig. 13](#) zeigt eine Vorrichtung, die die löchrige Faser **120** und Kopplungsmittel **131** für die Kopplung der optischen Energie in die löchrige Faser **120** hinein und aus dieser heraus umfasst. Die Länge der löchrigen Faser **120** kann zwischen 0,1 m und 10 km liegen. Die Dispersion kann bei der ersten Signalwellenlänge **3** normal oder anormal sein. Unter bestimmten Umständen ist es zu vorzuziehen, dass die Dispersion bei der ersten Signalwellenlänge **3** normal und bei der zweiten Signalwellenlänge **6** anormal ist, um den Impuls-Walk-off zu minimieren. Eine normale Dispersion der ersten Signalwellenlänge ist vorteilhaft, um von Solitonen induzierte Rauscheffekte zu vermeiden. In anderen Fällen kann es wünschenswert sein, sowohl die erste als auch die zweite Signalwellenlänge **3**, **6** in dem normalen Dispersionsbereich zu haben, um von Solitonen induzierte Intensitätsrauscheffekte zu vermeiden.

[0086] [Fig. 14](#) zeigt eine Vorrichtung, die ein Interferometer **140** aufweist, das einen ersten Arm **141** und einen zweiten Arm **142** aufweist. Der erste Arm **141** umfasst die nichtlineare optische Einrichtung **12**. Das Interferometer **140** ist ein Mach Zehnder-Interferometer. Die Vorrichtung kann auch unter Verwendung eines Michelson-Interferometers, eines Sagnac-Interferometers oder einer anderen Auslegung eines optischen Interferometers konstruiert werden.

[0087] [Fig. 15](#) zeigt eine als optischer Demultiplexer **1500** ausgelegte Vorrichtung. Die Vorrichtung demultiplext das erste Signal **1** in mehrere Datensignale **157** mit geringerer Rate. Die Vorrichtung umfasst einen Taktgenerator **151**, die Koppler **152**, mehrere nichtlinearen optischen Einrichtungen (NOD) **12** und die Filter **21**, die durch erste optische Fasern **153** und zweite optische Fasern **154** vernetzt sind. Die ersten und zweiten optischen Fasern **153**, **154** haben Längen, die so ausgelegt sind, dass die nichtlineare optische Einrichtung **12** das erste optische Signal **1** in verschiedene der Datensignale **157** mit geringerer Rate demultiplext. Es ist vorzuziehen, dass der Taktgenerator **151** mit dem ersten optischen Signal **1** unter Verwendung einer Verbindung **150** synchronisiert wird, welche ein Optokoppler sein kann. Bei dem gezeigten Beispiel wird der Taktgenerator **151** ein zweites optisches Signal **2** abgeben, das eine Frequenz hat, die viertel geringer ist als die Frequenz des ersten optischen Signals **1**. Die Filter **21** weisen Filterausgangskanäle **155** auf, die mit optischen Kommunikationsleitungen **156** verbunden dargestellt sind, die mindestens einen optischen Verstärker **158** aufweisen können.

[0088] Der Taktgenerator **151** kann einen Kurzimpulsgenerator umfassen. Der Kurzimpulsgenerator kann ein modusverriegelter Faser-Laser, ein aktiv modusverriegelter Faser-Laser, ein einen Elektroabsorptionsmodulator und einen Laser umfassender Generator, ein einen elektrooptischen Modulator und einen Laser umfassenden Generator und eine verstärkungsgetastete Laserdiode sein. Der Kurzimpulsgenerator kann auch Mittel zur Impulskomprimierung, wie z. B. eine Dispersionskompensator-Faser, ein Verlaufs-Faser-Bragg-Gitter, eine Faser mit über die Länge abnehmender Dispersion, ein optischer Verstärker, ein Raman-Verstärker, ein optischer

Schalter, ein optischer Impulskompressor oder irgendeine Kombination dieser Einrichtungen umfassen.

[0089] [Fig. 16](#) zeigt eine als optischer Multiplexer **1600** ausgelegte Vorrichtung. Die Vorrichtung multiplext mehrere erste optische Signale **1** in ein Datensignal **161** mit höherer Rate. Die Vorrichtung umfasst einen Multiplexer **160**, einen Ausgangskanal **162** und mehrere optische Fasern **161**. Die optischen Fasern **161** haben Längen, die so ausgelegt sind, dass die nichtlinearen optischen Einrichtungen **12** die ersten optischen Signale **1** in Datensignale **161** mit höherer Rate ohne Übersprechen multiplexen. Es ist vorzuziehen, dass der Taktgenerator **151** mit zumindest einem der ersten optischen Signale **1** unter Verwendung einer Verbindung **150**, die ein Optokoppler sein kann, synchronisiert wird. Bei dem gezeigten Beispiel gibt der Taktgenerator **151** ein zweites optisches Signal **2** ab, das eine viermal größere Frequenz als die Frequenz des ersten optischen Signals **1** hat. Die Vorrichtung kann ferner einen Wellenlängen-Konverter für die Umwandlung der Wellenlänge eines oder mehrerer der ersten optischen Signale **1** umfassen.

[0090] [Fig. 17](#) zeigt eine als inverser Multiplexer **1700** ausgelegte Vorrichtung. Der inverse Multiplexer demultiplext ein erstes optisches Signal **1** in mehrere Datensignale **179** mit geringerer Rate, welche verschiedene Wellenlängen zur Übertragung über eine optische Wellenlängenmultiplex(WDM)-Übertragungsleitung **172** aufweist. Diese Anwendung hat Vorteile für das Demultiplexen eines 40 Gb/s-Signals in vier 10 Gb/s-Signale, die auf vier Wellenlängen-Kanälen in einem WDM-System arbeiten. Die optische Übertragungsleitung **172** kann zwischen 100 m und tausend Kilometern lang sein und kann mindestens einen optischen Verstärker **158** aufweisen. Die Demultiplexing-Stufe **1701** ist zu der in [Fig. 15](#) gezeigten Vorrichtung ähnlich, mit der Ausnahme, dass die Datensignale **179** mit geringerer Rate unterschiedliche Wellenlängen haben. Die Vorrichtung enthält demzufolge Wellenlängen-Konverter **170**, die so ausgelegt sind, dass die Datensignale **179** mit geringeren Raten zueinander unterschiedliche Wellenlängen haben. Die Wellenlängen-Konverter werden als mit den zweiten optischen Fasern **154** verbunden dargestellt. Sie können auch mit den ersten optischen Fasern **153** oder den Filtern **21** verbunden werden. Alternativ können sie ein integraler Bestandteil der nichtlinearen optischen Einrichtung **12** sein. Die Wellenlängen-Konverter **170** können einen Verstärker auf Halbleiterbasis, einen NOLM, eine dispersionsverschobene Faser, eine optische Faser, eine löchrige Faser oder eine Lithiumniobatvorrichtung umfassen.

[0091] Die Datensignale **179** mit geringeren Raten werden mit einem Multiplexer **171** in ein Wellenlängenmultiplex-Signal **178** gemultiplext, welches über eine optische Wellenlängenmultiplex-Übertragungsleitung **172** weitergeleitet wird.

[0092] Die auf die optische Übertragungsleitung **172** folgende Multiplexstufe **1702** ist ähnlich zu der Vorrichtung nach [Fig. 16](#), mit der Ausnahme, dass sie einen Wellenlängendemultiplexer **173** aufweist, der die Datensignale **179** mit geringerer Rate demultiplext. Die Multiplexstufe **1702** kann gegen einen elektronischen Multiplexer ausgetauscht werden.

[0093] Der inverse Multiplexer **1700** kann Dispersionskompensatoren erforderlich machen, um die Gesamtgruppenverzögerungen zwischen den verschiedenen Wellenlängen-Kanälen auszugleichen, die sich über die optische Übertragungsleitung **172** verbreiten. Differentialverzögerungen können auch zwischen den verschiedenen Wellenlängen-Kanälen erforderlich sein, um das erste Signal **1** ordnungsgemäß an den Ausgang **162** neu aufzubauen. Die Differentialverzögerungen können eingeführt werden, indem große Sorgfalt bei den optischen Weglängen in den Demultiplexstufen **1701** und Multiplexstufen **1702** aufgewendet wird. Differentialverzögerungen können auch beim Empfänger elektronisch hinzugefügt werden, indem bei den erhaltenen Daten irgendeine Form von Mustererkennung verwendet wird.

[0094] [Fig. 18](#) zeigt eine Vorrichtung, die eine Steuerleitung **180** und einen Schalter **181** aufweist. Die Steuerleitung **180** kann eine optische Steuerleitung **180** sein, und der Schalter **181** kann ein optischer Schalter sein. Der Schalter **181** kann auch am ersten optischen Eingang **8** angeordnet oder mit dem Filter **21** verbunden sein. Die Vorrichtung ist für das Ein- und Ausschalten der nichtlinearen optischen Einrichtung **12** sinnvoll und kann verwendet werden, um ein intelligentes Routing von optischen Signalen durch optische Telekommunikationsnetze zu ermöglichen. Die in [Fig. 18](#) gezeigte Vorrichtung kann in einer beliebigen der oben beschriebenen Ausführungsformen der Erfindung eingebaut werden, beispielsweise um zu einem optischen Netz Intelligenz hinzuzufügen.

[0095] [Fig. 19](#) zeigt eine als optischer Multiplexer **1900** mit Signalregenerationsfähigkeit ausgelegte Vorrichtung. Die Vorrichtung multiplext mehrere erste optische Signale **1** in ein Datensignal **193** mit höherer Rate und kann dazu dienen, sowohl Zeit- als auch Amplitudenfluktuationen bei den ersten optischen Signalen **1** zu mindern. Die Vorrichtung umfasst einen Multiplexer **190**, der dazu dient, die eingehenden ersten optischen Signale

1 in ein Datensignal **191** mit höherer Rate ohne die Einführung substantiellen Übersprechens umzusetzen. Dies zuverlässig zu bewirken bedeutet, dass die einzelnen ersten optischen Signale **1** gegenseitig synchronisiert werden müssen und dass in einigen Fällen irgendeine Form dynamischer Steuerung möglicherweise erforderlich ist, um dies sicherzustellen. Der Multiplexer **190** kann eine Anordnung von optischen Faserkopplern oder ein planarer Lichtwellenkreis mit entsprechenden Verzögerungen für die verschiedenen optischen Weglängen durch das System sein. Es ist vorzuziehen, dass der Taktgenerator **151** mit mindestens einem der ersten optischen Signale unter Verwendung einer Verbindung **150**, die ein Optokoppler sein kann, synchronisiert wird. Bei dem gezeigten Beispiel gibt der Taktgenerator **151** ein zweites optisches Signal **2** ab, das eine viermal größere Frequenz hat als die Frequenz des ersten optischen Signals **1**. Das optische Signal **191** wird anschließend in ein hochfrequentes optisches Datensignal **192** umgewandelt, in dem die einzelnen Impulse die Zwischen-Impulsform **194** haben, die erforderlich ist, eine quadratische Schaltantwort aus der nichtlinearen optischen Einrichtung **12** zu erhalten. Das optische Signal **192** wird anschließend in die nichtlineare optische Einrichtung **12** eingegeben. Das quadratische Zeitschaltfenster **159** der nichtlinearen optischen Einrichtung **12** und die nichtlineare intensitätsabhängige Übertragungsantwort **490** der nichtlinearen optischen Einrichtung (siehe [Fig. 49](#)) dienen dann dazu, etwaige Zeit- oder Amplitudenstörungen in Verbindung mit eingehenden Datensignalen **1** mit vergleichsweise niedrigerer Rate zu mindern, was ein weniger störungsbelastetes überlappendes Signal **193** bereitstellt.

[0096] [Fig. 20](#) zeigt eine als optischer Signalmultiplexer **2000** mit Signalregenerierungsfähigkeiten ausgelegte Vorrichtung. Die Vorrichtung multiplext mehrere erste optische Fasern **1** jeweils mit unterschiedlicher Wellenlänge (beispielsweise getrennte WDM-Kanäle) in ein Datensignal **193** mit höherer Rate und kann dazu dienen, bei den ersten optischen Signalen **1** sowohl Zeit- als auch Amplitudenfluktuationen zu mindern. Wellenlängen-Konverter **170** werden dazu verwendet, jedes der eingehenden Signale hinsichtlich der Wellenlänge umzuwandeln, um an dem Eingang zum Multiplexer **190**, der dazu dient, die eingehenden ersten optischen Signale mit einem Datensignal **191** mit höherer Rate ohne Einführung wesentlichen Übersprechens zu verbinden, die gleiche Wellenlänge zu haben. Dies zuverlässig zu bewirken bedeutet, dass die einzelnen ersten optischen Signale **1** gegenseitig synchronisiert werden müssen und dass in einigen Fällen irgendeine Form dynamischer Steuerung möglicherweise erforderlich ist, um dies sicherzustellen. Der Multiplexer **190** kann eine Anordnung von optischen Faserkopplern sein oder ein planarer Lichtwellenkreis mit entsprechenden Verzögerungen für die verschiedenen optischen Weglängen durch das System. Es ist vorzuziehen, dass der Taktgenerator **151** mit mindestens einem der ersten optischen Signale **1** unter Verwendung einer Verbindung **150**, die ein Optokoppler sein kann, synchronisiert wird. Bei dem gezeigten Beispiel gibt der Taktgenerator **151** ein zweites optisches Signal **2** ab, das eine viermal größere Frequenz hat als die Frequenz des ersten optischen Signals **1**. Das optische Signal **191** wird anschließend in ein hochfrequentes optisches Datensignal **192** umgewandelt, in dem die einzelnen Impulse die Zwischen-Impulsform **179** haben, die erforderlich ist, eine quadratische Schaltantwort aus dem Schalter zu erhalten. Das optische Signal **192** wird anschließend in die nichtlineare optische Einrichtung **12** eingegeben. Das quadratische Zeitschaltfenster **195** der nichtlinearen Einrichtung **12** und die periodische nichtlineare intensitätsabhängige Übertragungsantwort **490** des Schalters (siehe [Fig. 49](#)) dienen dann dazu, etwaige Zeit- oder Amplitudenfluktuationen in Verbindung mit eingehenden Datensignalen **1** mit vergleichsweise niedrigerer Rate zu mindern, was ein weniger störungsbelastetes überlapptes Signal **193** bereitstellt.

[0097] Die folgenden Beispiele beschreiben den Einsatz von Überstruktur-Faser-Bragg-Gittern (SSFBGs) zur Umwandlung eines aktiv modusverriegelten 2,5 ps-Faser-Lasers, einer zuverlässigen Quelle von kurzen Impulsen einer genau definierten Solitonen-Form in rechteckige 20 ps-Impulse. Diese Impulse werden anschließend dazu verwendet, den Betrieb von zwei Arten von nichtlinearen Schaltern zu steuern. Rechteckige Schalt-Fenster hoher Qualität von ungefähr 15 bis 20 ps werden erhalten und stellen eine Zeitfluktuationstoleranz von ± 7 ps, 15 ps in Schaltern, die sowohl auf dem Kerr-Effekt bei dispersionsverschobenen Fasern (DSF) als auch bei Vierwellenmischtechniken in einem Verstärker auf Halbleiterbasis (SOA) bereit.

[0098] Überstruktur-Faser-Bragg-Gitter (SSFBGs) können in Aussicht genommen und als Spektralfilter für steuerbare Phase und Amplitude verwendet werden. Der Ausdruck SSFBG bezieht sich auf ein Faser-Bragg-Gitter (FBG), dessen Brenungsindexprofil in der Amplitude oder in der Phase über seine Länge nicht gleichmäßig ist. Zur erleichterten Erörterung wird die folgende Diskussion auf die schwache Gittergrenze beschränkt, bei der die relativen Veränderungen ihres Brechungsindex gering genug sind, um es dem einfallenden Licht zu erlauben, über die volle Länge in die Vorrichtung einzudringen, so dass das gesamte Gitter in gleichem Maße zum reflektierten Signal beiträgt. Es sollte jedoch klar sein, dass aufgrund der neuesten Fortschritte bei Gitterkonstruktions-Algorithmen die allgemeinen nachstehend beschriebenen Grundsätze nunmehr ohne weiteres auf die hohe Reflektivität, non-Fourier-Konstruktionsgrenze, angewandt werden können – siehe beispielsweise R. Feded, M. N. Zervas und M. A. Muriel, "An efficient inverse scatterin algorithm for the design

of nonuniform fibre Bragg gratings", IEEE J. Quantum Electron., Band 35, Seiten 1105–1111, 1999. Bei einem schwachen SSFBG ergibt sich die Wellenvektorantwort $F(k)$ durch die Fourier-Umwandlung des Spatial-Brechungsindex-Modulationsprofils $A(x)$, das verwendet wird, um das Gitter zu schreiben, wobei K der Wellenvektor ist, der proportional zur Frequenz ω ist, d. h.

$$F(k) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} A(x) e^{j k x} dx. \quad (\text{Gleichung 1})$$

[0099] Die Impulsantwort $h(t)$ eines Fasergitters ergibt sich durch die umgekehrte Fourier-Umwandlung seiner Frequenzantwort $H(\omega)$

$$h(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} H(\omega) e^{-j \omega t} d\omega \quad (\text{Gleichung 2})$$

[0100] Diese Gleichung gilt für jedes Fasergitter, d. h. sowohl für schwache als auch für starke SSFBGs.

[0101] Daraus folgt, dass die Impulsantwort $h(t)$ eines schwachen FBG ein Impuls mit dem gleichen temporalen Profil ist wie das spatiale Modulationsprofil $A(x)$ des Gitters (mit einer entsprechenden Umwandlung vom Raum auf den Zeitrahmen über $t = 2x \cdot n/c$, wobei n der Brechungsindex des Faserkerns ist). Die (reflektierte) optische Antwort $y(t)$ des Gitters auf einen Impuls von finiter Zeitdauer $x(t)$ ergibt sich durch die Faltung des Eingangssignals mit der Gitterimpulsantwort, d. h.

$$y(t) = x(t) * h(t). \quad (\text{Gleichung 3})$$

[0102] Alternativ, wie in der Frequenzdomäne zum Ausdruck gebracht, ist das reflektierte Signal $Y(\omega)$ das Produkt des inzidenten Signals $X(\omega)$ mit $H(\omega)$

$$Y(\omega) = X(\omega)H(\omega) \quad (\text{Gleichung 4})$$

worin $Y(\omega)$ und $X(\omega)$ die Fourier-Umwandlungen von $y(t)$ bzw. $x(t)$ implizieren. So kann festgestellt werden, dass bei genau spezifizierten Eingangs- und Soll-Ausgangs-Impulsformen die Möglichkeit besteht (vorbehaltlich der üblichen Kausalitätsgesetze und der Einschränkungen der Faser-Bragg-Gitter-FBG-Technologie), ein FBG so zu konstruieren und herzustellen, dass der erforderliche Vorgang des Formens geleistet wird. SSFBGs sind für viele Impulsform-Anwendungen deshalb attraktiv, weil sie sämtliche Vorteile in Verbindung mit Faserkomponenten, wie z. B. mühelose Integration in Fasersysteme und geringe Kopplungsverluste, bieten. Darüber hinaus sind sie potentiell preiswerte Vorrichtungen.

[0103] Fortschritte bei der Herstellung von FBGs erlauben es nunmehr, Gitter mit wirklich komplizierten Amplituden- und Phasencharakteristika herzustellen, die das Potential und den Anwendungsbereich dieses Ansatzes wesentlich erweitern.

[0104] Die folgenden Experimente zeigen die Herstellung und Nutzung einer wirklich komplizierten Überstruktur-Gitteranordnung, die dazu bestimmt ist, kurze optische Impulse (2,5 ps bei 10 GHz) in einen entsprechenden Zug von 20 ps-Rechteckimpulsen umzuwandeln. Die erzielten Ergebnisse unterstreichen die Qualität der "kontinuierlichen Gitterschreibtechnik" und etablieren die Überstrukturtechnik als ein einsetzbares Mittel zur Erreichung eines breiteren Fächers von Impulsformungsfunktionen, als dies im Allgemeinen vorher als technologisch machbar betrachtet wurde.

[0105] Es wird auf die [Fig. 22](#) und [Fig. 23](#) Bezug genommen. Da die Impulsformung, die durch das Gitter **11** bereitgestellt wird, ein rein passiver Filterprozess ist, ist es notwendig, eine gut definierte Eingangs-Impulsform **230** bereitzustellen, um zu filtern und entsprechend zuverlässig umzuformen. Bei der folgenden Erörterung bezieht sich "Eingangsimpulse" auf die zweiten Signalimpulse **4**, und "Ausgangsimpulse, Sollimpulse und Ausgangswellenformen" bezieht sich auf die Zwischen-Impulse **13**. Eingangsimpulse wurden unter Verwendung eines aktiv modusverriegelten erbiumdotierten Faserringlasers erzeugt, der eine anormal dispersive Faser enthielt, die aufgrund ihres Funktionsprinzips auf natürliche Weise optische Solitonen hoher Qualität erzeugt. Die Soll-Ausgangswellenform **231** war ein Rechteckimpuls mit 20 ps Dauer. Diese bestimmte Impulsdauer wurde gewählt, um sicherzustellen, dass eine adäquate Anzahl von spektralen Features im Bereich der durch die Eingabe-Impulsform **230** und die SSFBG-Reflektivitäts-Bandbreite definierten verfügbaren finiten Spektralbandbreite vorgesehen werden konnte. (Die Eingangs-Impulsdauer betrug 2,5 ps (volle Breite bei halber Höhe –

FWHM) und die SSFBG-Bandbreite wurde auf 6 nm eingeschränkt, was die –40 dB-Spektral-Bandbreite für solche Impulse darstellt).

[0106] [Fig. 22](#) zeigt das Eingabe-Impulsspektrum **220** und das Ausgabe-Impulsspektrum **221** in Verbindung mit der Wahl von Eingangs- und Ausgangs-Impulsformen **230**, **231**. Das Spektrum eines idealisierten Rechteckimpulses ist eine Sinc-Funktion, welche "lobed Features" alternierender optischer Phasen aufweist. Für die besondere Wahl der relativen Impulsdauern können **13** Spektral-Lobes innerhalb der verfügbaren spektralen Bandbreite von 6 nm untergebracht werden. Durch Sicherung einer signifikanten Anzahl von Features (und damit verbundener Breitband-Spektral-Komponenten) können schnelle Anstiegszeiten **232** und Abfallzeiten **233** an dem Ausgangsimpuls **231** erhalten werden. Das spektrale Abschneiden führt zur Entwicklung einer "Ringing-Struktur" **234** in der Nähe der rechteckigen Impulskanten in der Zeitdomäne (Gibbsches Phänomen). Die Konstruktion des Gitters **11** versucht, diese Effekte zu minimieren, indem unter Verwendung eines Gauß'schen Profils das Ausgangsspektrum **221** apodisiert wird, so dass das angestrebte Signalspektrum **221** der folgenden mathematischen Spezifikation folgt:

$$Y(\omega) = \frac{\sin(p\omega)}{p\omega} \cdot e^{-(a\omega)^2} \quad (\text{Gleichung 5})$$

[0107] Der Faktor p in dieser Gleichung bestimmt die Spektralbreite, und diese wurde in diesem Fall auf $9,87 \text{ THz}^{-1}$ eingestellt. Der Preis der Einführung der Apodisierung ist eine leichte Zunahme bei den Anstiegs- und Abfallzeiten der Impulse **232**, **233**. Der Apodisierungsfaktor a wurde ziemlich klein gehalten, nämlich bei $0,55 \text{ THz}^{-1}$, um einen zufriedenstellenden Ausgleich zwischen den beiden unerwünschten Effekten zu erzielen. Die 10–90% Anstiegs-/Abfallzeiten des Soll-Impulses **231** waren 1,6 ps, und die relative Tiefe der Welligkeit **235**, wie in [Fig. 23](#) gezeigt, betrug 0,03. Die entsprechenden Zahlen für nicht-apodisierte Impulse sind Anstiegs-/Abfallzeiten von 1,0 ps und eine relative Tiefe der Welligkeit von 0,24. Anzumerken ist, dass wir die relative Tiefe der Welligkeit als das Verhältnis der Differenz zwischen den höchsten und niedrigsten Intensitätspunkten der Welligkeit an der Spitze der Rechteckimpulse **231** zur maximalen Intensität der Impulse definieren.

[0108] Wenn das Eingangssignal ein Impuls wäre, dann wären das Modulationsprofil des SSFBG und das temporale Profil des Ausgangssignals identisch. Wegen der finiten Dauer der Eingangsimpulse **230** müssen jedoch sowohl die Formen des Sollsignals **231** $y(t)$ (oder $Y(\omega)$) und des Eingangssignals **230** $x(t)$ (oder $X(\omega)$) während des Prozesses der Konstruktion des SSFBG Berücksichtigung finden. Die erforderliche Antwort des Gitters **11** in der Frequenzdomäne $H(\omega)$ kann aus Gleichung 4 als Quotient des (gewünschten) Ausgangsfrequenzspektrums **221** $Y(\omega)$ zum Eingangsfrequenzspektrums **220** der idealen Solitonen-Impulse **230** $X(\omega)$ berechnet werden. Ein Diagramm der gewünschten Reflektivitätsantwort **240** wird in [Fig. 24](#) durch die gestrichelte Linie gezeigt. Die entsprechende Brechungsindex-Überstruktur **250** des Gitters **11**, die erforderlich ist, um die Antwort **240** zu erreichen, wird durch Umkehrung der Gleichung 1 erhalten und in [Fig. 25](#) gezeigt. Die detaillierte Struktur der gewünschten Reflektivitätsantwort **240** unterstreicht die erforderliche Präzision des Prozesses des Schreibens des Gitters. Anzumerken ist, dass die Bereiche des negativ induzierten Index **251** dadurch erreicht werden, dass zusätzliche diskrete positive und negative Phasenverschiebungen **241**, **242** in die Struktur **250** eingesetzt werden, so dass eine positive Indexveränderung ausgehend vom Basislinienlevel über die gesamte Länge des Gitters **11** genutzt werden kann – siehe beispielsweise M. Ibsen, M. K. Durkin, M. J. Cole und R. I. Laming, "Optimised rectangular passband fibre Bragg grating filter with in-band flat group delay response", *Electron. Lett.*, Band 34, Seiten 800–802, 1998. Die Länge des Gitters in der Zeitdomäne war $t = 100 \text{ ps}$ entsprechend einer Gitterlänge von $0,5 \cdot t \cdot c/n = 10,3 \text{ mm}$.

[0109] Die Sensibilität des Formungsprozesses gegenüber einer Reihe von nicht idealen optischen Erregungszuständen und Mängeln bei der Gitterherstellung wurde anschließend numerisch getestet. Unter nicht ideal versteht man bestimmte Abweichungen von der konstruierten Eingangs-Impulsform **230**.

[0110] Zunächst wurde die Wirkung der Verwendung von Impulsen mit einer Solitonen-Impulsform, jedoch mit einer von der für die SSFBG-Konstruktion **250** verwendeten Dauer abweichenden Dauer ermittelt. [Fig. 27](#) zeigt die Intensität **271**, **272**, **273** für Solitonen-Impulse mit Breiten von 2,0 ps, 2,3 ps bzw. 3,0 ps. Die gestrichelte Linie ist die Intensität **231**, die für die Intensität des anhand von [Fig. 23](#) beschriebenen 2,5 ps-Solitonen-Impulseingangs charakteristisch ist. Die Analyse zeigte, dass kleine (+/– 20%) Abweichungen der Impulsbreite von den idealen 2,5 ps die Abwägung zwischen der Intensität der Welligkeit und den Anstiegs-/Abfallzeiten beeinflusste.

[0111] Insbesondere wird die Ringing-Struktur auf den gefilterten Impulse bei kürzeren Impulsen dominanter wird, während bei breiteren Impulsen die ansteigenden und abfallenden Kanten der Ausgangsimpulse weniger

scharf werden, und sie beginnen ihre "Flat-top"-Eigenschaft zu verlieren. Dieses Verhalten kann dadurch verstanden werden, dass die Signale in der Frequenzdomäne visualisiert werden. Das Ergebnis der Verwendung kürzerer Impulse, die eine größere Bandbreite aufweisen, ist eine teilweise Aufhebung der Aposidierung. Analog erzwingt die Verwendung breiterer Impulse, die eine geringere Bandbreite aufweisen, eine zusätzliche Aposidierung der Ausgangsimpulse.

[0112] Zweitens wurde die Verwendung von Impulsen mit der gewünschten Breite, jedoch mit Impulsformen, die signifikant von der gewünschten "Transform limited"-Solitonen-Form **230** abweichen, ermittelt. Die zur Erzeugung der in [Fig. 28](#) gezeigten Antworten verwendeten Impulse entsprechen linear gec chirpten 2,5 ps-Solitonen-Impulsen mit einem unterschiedlichen Chirp-Parameter C entsprechend der nachstehenden Definition:

$$x(t) = \operatorname{sech}\left(\frac{1,763t}{\Delta T}\right) \cdot e^{-\frac{j-1,554Ct^2}{\Delta T^2}} \quad (\text{Gleichung 6})$$

worin ΔT die volle Breite bei halber Höhe FWHM der Impulse ist. [Fig. 28](#) zeigt die Ausgangsimpulse **281**, **282**, **283** entsprechend den gec chirpten 2,5 ps-Solitonen-Impulsen mit $C = 0,1$, $TBP = 0,342$, $C = 0,2$, $TBP = 0,420$ und $C = 0,45$ bzw. $TBP = 0,518$. Die gestrichelte Linie ist die Intensität **231**, die für die anhand von [Fig. 23](#) beschriebene Intensität des 2,5 ps-Solitonen-Impulseingangs charakteristisch ist. Die Leistung des Filters wurde als angemessen gut bei relativ geringen Chirp-Werten ($C \leq 0,1$) festgestellt, bei extremeren Chirps wird jedoch die Impulsdeformation stärker, und es beginnen sich an den ansteigenden und abfallenden Kanten Spitzen zu entwickeln.

[0113] [Fig. 29](#) zeigt die Ausgangsimpulse **291**, **292**, die "Transformlimited" Gauß'schen Eingangsimpulsen mit Breiten von 2,5 ps bzw. 3,55 ps entsprechen. Die gestrichelte Linie ist die Intensität **231**, die für die anhand von [Fig. 23](#) beschriebene Intensität des 2,5 ps-Solitonen-Impulseingangs charakteristisch ist. Gauß'sche Impulse sind durch ein im Vergleich zu den Solitonen-Impulsen der gleichen FWHM breiteres Spektrum gekennzeichnet. Bei 2,5 ps-Gauß'schen Eingangsimpulsen ist die Deformation des gefilterten Ausgangs recht signifikant und ist gekennzeichnet durch die Ausbildung scharfer Spitzen an den Impulskanten. Dagegen ähnelt die Antwort **292** sehr weitgehend dem idealisierten Fall **231**, wo Gauß'sche Impulse mit der gleichen 3 dB-Spektralbreite wie bei einem 2,5 ps-Solitonen verwendet werden: Die Impulsdauer ist in diesem Fall 3,55 ps. Dies ist bei den Anstiegs- und Abfallzeiten jedoch ein leichter Kompromiss, und die Impulse zeigen in der Nähe der Kanten leichte Spitzen.

[0114] Das bei der Analyse verwendete SSFBG hatte eine zentrale reflektierende Wellenlänge von 1550 nm. [Fig. 30](#) zeigt die Auswirkung einer Fehlanpassung zwischen der zentralen Wellenlänge des SSFBG im Vergleich zu derjenigen der eintreffenden 2,5 ps-Solitonen-Impulse. Der Impuls **301** entspricht einer Fehlanpassung von 0,4 nm, Impuls **302** entspricht einer Fehlanpassung von 0,7 nm, und Impuls **303** entspricht einer Fehlanpassung von 1,4 nm. Die gestrichelte Linie ist die Intensität **231**, die für die anhand von [Fig. 23](#) beschriebene Intensität des 2,5 ps-Solitonen-Impulseingangs, d. h. ohne Wellenlängenfehlanpassung, charakteristisch ist. Eine signifikante Verzerrung der Impulse wird nur evident für Wellenlängenfehlanpassungen größer als $\sim 0,3$ nm und manifestiert sich wiederum als Ausbildung dominanter Spitzen an den Impulskanten. Darüber hinaus geht die Intensität des mittleren Teils des Impulses zurück. Bei Fällen extremerer Fehlanpassungen (beispielsweise 1,5 nm) ist die Spitzenbildung so stark ausgeprägt, dass die reflektierte Wellenform sich effektiv in zwei getrennte Impulse aufteilt. Es ist demzufolge vorzuziehen, dass die Fehlanpassung bei einem SSFBG mit einer zentralen reflektierenden Wellenlänge im Bereich von ca. 1500 nm bis ca. 1650 nm weniger als 0,3 nm beträgt.

[0115] Schließlich wurde die Wirkung, die potentielle Mängel in der SSFBG-Struktur auf die Formungswirkung haben könnte, numerisch geprüft. Gittermängel können entweder aufgrund von Fehlern in Verbindung mit der UV-Exposition selbst (beispielsweise Laserleistungsschwankungen, Phasenmaskenfehler) oder aus kleinen Schwankungen des Faserkerndurchmessers entstehen. Solche Mängel zeigen sich in der komplexen SSFBG-Überstrukturfunktion sowohl als Phasen- als auch als Amplitudenfehler. Es ist schwierig, den Beitrag dieser Mängel zuverlässig zu schätzen. Um jedoch einen Einblick zu gewinnen, wurde ihre Wirkung dadurch simuliert, dass Störungen (sowohl bei der Phase als auch bei der Amplitude) beim SSFBG-Brechungsindex-Profil **250** eingeführt wurden. Für die Zwecke der Berechnungen wurde angenommen, dass die Phasen- und Amplitudenstörung voneinander unabhängig war und dass sie vorbehaltlich einer normalen Verteilung mit genau definiertem Mittelwert und Varianz zufallsbedingt über die Gitterlänge verteilt war. Die lokalen Werte der idealen Gitter-Überstrukturfunktion **250** wurden mathematisch modifiziert durch:

$$A_n(x) = \left| A_0(x) \right| \cdot n_1(x) \cdot e^{-j(\arg(A_0(x)) + 2\pi m_2(x))} \quad (\text{Gleichung 7})$$

worin $A_0(x)$ die ideale Überstrukturfunktion ist und $n_1(x)$ und $n_2(x)$ jeweils die zufallsbedingten Amplituden- und Phasenstörparameter sind. Die temporalen Formen von zwei Fällen verzerrter Impulse **321**, **322** werden in [Fig. 32](#) gezeigt, bei der die Störung aus einer computergenerierten Störfunktion hinzugefügt wurde. Der Wert des Phasenstörparameters $n_2(x)$, der für die beiden Impulse **321**, **322** verwendet wurde, hatte einen Mittelwert von 0 und eine Standardabweichung von 0,04, wogegen der Amplitudenstörung $n_1(x)$ für beide Impulse **321**, **322** ein Mittelwert von 1 und eine Standardabweichung von 0,02 zugeordnet wurde. Anzumerken ist, dass diese Werte der Standardabweichung als für ein so kurzes FBG und die verwendete "kontinuierliche Gitterschreibtechnik" als extrem groß betrachtet werden sollten. Aber selbst mit einer so großen Störungshinzufügung kann jedoch gesehen werden, dass deren Wirkungen nach wie vor irgendwo minimal sind, was weiter die Robustheit der Formungswirkung bestätigt.

[0116] Bei der Prüfung der verschiedenen in den [Fig. 27](#) bis [Fig. 30](#) und [Fig. 32](#) dargestellten Graphiken wird klar, dass der Formungsmechanismus angemessen robust und gegenüber den präzisen Impulserregungsparametern oder kleinen Abweichungen bei dem Design der Gitter nicht besonders empfindlich ist. In der Tat liegen alle geschätzten Toleranzen durchaus innerhalb mühelos erreichbarer experimenteller Grenzen, wie nachstehend bewiesen wird.

[0117] Die verwendete Versuchsanordnung wird in [Fig. 31](#) gezeigt. Ein sämtliche Polarisierungen haltender harmonisch modusverriegelter Erbium-Faser-Ringlaser EFRL **310**, der mit einer Wiederholungsrate von 10 GHz arbeitet, wurde verwendet, um 2,5 ps-Solitonen-Impulse **317** zu erzeugen, die durch einen Spektrumanalysator **311** über einen Koppler **316** überwacht werden konnten. Das Gitter **11** war ein hinsichtlich der Verzerrung abstimmbares SSFBG **315**, das über einen Zirkulator **312** reflektierte Impulse **318** ausgab. Diese wurden durch einen erbiumdotierten Faserverstärker (EDFA) **313** verstärkt, um einen geformten Ausgang **314** herzustellen. Hinsichtlich weiterer Details der Konstruktion des EFRL siehe B. C. Thomsen, P. Petropoulos, H. L. Offerhaus, D. J. Richardson und J. D. Harvey, "Characterization of a 10 GHz harmonically mode-locked erbium fibre ring laser using second harmonic generation frequency resolved optical gating", Technical Digest CLEO '99, Baltimore, 23.–28. Mai 1999, Papier CtuJS. Die zentrale Wellenlänge des Lasers **310** konnte durch die Verwendung eines (nicht gezeigten) Intracavity-Bandpassfilters eingestellt werden. Der Einsatz der [Fig. 33](#) zeigt das optische Spektrum **330** der Impulse – diese weisen eine 3 dB-Bandbreite von 1,0 nm auf. Das Eingangsspektrum besteht aus diskreten, im Wesentlichen unendlich engen Spektrallinien **331**, welche durch ca. 0,08 nm entsprechend der Signalwiederholungsrate getrennt werden – diese Linien werden in diesem hochauflösenden Scan (Auflösung: ungefähr 25 pm) klar aufgelöst. Die entsprechende Autokorrelationsspur der Eingangsimpulse wird in [Fig. 34](#) gezeigt, welche die gemessene Autokorrelationsspur **341** der 2,5 ps-Solitonen-Impulse **317**, die gemessene Autokorrelationsspur **342** der reflektierten Impulse **318** mit der berechneten Autokorrelationsfunktion **343** (gestrichelte Linie) der Rechteckimpulse **231** vergleicht. Es ist zu sehen, dass die Solitonen-Impulse eine FWHM von 2,5 ps haben. Dies ergibt ein geschätztes Zeitbandbreitenprodukt (TBP) von ungefähr 0,32, was das Vertrauen ergibt, dass die Impulse in der Tat in der Nähe von in der "transform limited" Solitonen liegen. Die Impulse wurden durch eine kurze Länge von Fasern über einen optischen 3-Kanal-Zirkulator **312** auf den SSFBG **315** geworfen. Die daraus resultierenden Impulsformungs-Effekte wurden nach Reflexion aus dem SSFBG **315** in dem Zirkulator-Ausgangskanal auf den Zeit- und Frequenzdomänen geprüft. Das SSFBG **315** wurde auf einem Gestell montiert, um ein feines Abstimmen der Verzerrung seiner zentralen Wellenlänge relativ zu derjenigen des Lasers **310** zu erlauben. Das SSFBG **315** wurde in einer 0,12 NA-Germansilikatfaser mit einer 100 mW-, 244 nm-CW-UV-Quelle unter Verwendung der "kontinuierlichen Gitterherstellungstechnik", wie im US-Patent 6.072.926 beschrieben, geschrieben. Die Herstellungstechnik schreibt in der Tat Gitterebene für Gitterebene, und die Apodisierung wird dadurch erhalten, dass eine Gitterperiode hinsichtlich der jeweils nächsten versetzt wird oder in anderen Worten durch Auffüllung der Lücken zwischen den Gitterebenen, um in der Tat die Indextiefe n zu mindern und gleichzeitig den durchschnittlichen Brechungsindex n_{ave} konstant zu halten. Um eine vollständige Kontrolle der Apodisierung zu erhalten, wurden die Gitter in der Weise hergestellt, bei der der Index sich mit der Dosis in linearer Weise ändert. Ein Interferometer wird verwendet, um die Position der Faser während des Schreibens zu überwachen und damit sicherzustellen, dass die einzelnen Gitterebenen mit einer Positionsgenauigkeit von ungefähr 1,0 nm geschrieben werden. Die Spitzenreflektivität der Gitter wurde relativ niedrig gehalten (ungefähr 10%), um sicherzustellen, dass der Betrieb innerhalb der Fourier-Grenze stattfindet. Auf der Grundlage dieser Zahl wurde die Energieeffizienz des gesamten Impulsformungs-Systems mit ungefähr 3,5% berechnet. Eine Graphik der Amplituden- und Zeitverzögerungsreaktion **243**, **260** des resultierenden SSFBG **315** wird in den [Fig. 24](#) bzw. [Fig. 26](#) wie mit einem optischen Netzwerk-Analysator gemessen gezeigt. In [Fig. 24](#) zeigt die gestrichelte Linie die berechnete Spektralantwort **240** der konstruierten Struktur. Die Übereinstimmung mit der experimentell gemessenen Amplitudenantwort **243** wird als exzellent festgestellt. Direkte Evidenz der diskreten Phasensprünge zwischen den einzelnen Reflektivitäts-Lobes des Gitters ergibt sich aus der Beobachtung scharfer Features in der Zeitverzögerungsantwort **260** an den Lobe-Kanten, wie in [Fig. 26](#) zu sehen ist. Die Flachheit der Zeitverzögerungsantwort

rungsantwort **260** innerhalb des Lobe-Passbandes wurde zwar begrenzt durch Systemmessung Störungen/Auflösung, liefert jedoch gleichwohl einen guten Hinweis auf eine einheitliche Phasenantwort über den Hauptkörper der einzelnen Lobes, wie dies gewünscht wird.

[0118] Das gemessene Leistungsspektrum **332** der reflektierten Impulse **318** wird in [Fig. 33](#) gezeigt. Dies wird mit dem aufgrund des Konstruktionsverfahrens erwarteten einzelnen Rechteckimpulses **231** verglichen. Es besteht eine sehr gute Übereinstimmung zwischen den Grenzbereichen der beiden Spektren sogar bei Werten von ca. 25 dB unterhalb der Hauptspektralspitze. (Die getrennten Spektrallinien der experimentellen Spur ergeben sich aus der hohen Wiederholungsrate des Signals, die bei der berechneten Filterantwort nicht berücksichtigt wurden und ohne weiteres von dem Spektrumanalysator aufgelöst werden). Die temporale Form der reflektierten Impulse **18** wurde ursprünglich unter Verwendung eines Autokorrelators evaluiert. Die Intensitäts-Autokorrelations-Funktion eines Rechteckimpulses der Dauer T ist ein Dreieckimpuls mit der Gesamtdauer $2T$. [Fig. 34](#) zeigt die gemessene Autokorrelationsspur **342** der reflektierten Impulse **318**, die berechnete Autokorrelationsfunktion **343** der Soll-Wellenform **318** und eine Autokorrelationsspur **341** der Eingangsimpulse **317**. Die Formungswirkung des SSFBG ist leicht zu sehen. Die volle Breite der dreieckigen Autokorrelationsfunktion **342** beträgt wie bei einer 20 ps-Impulsform erwartet ca. 40 ps.

[0119] Um die Qualität der Formung unmittelbarer festzustellen, wurden Messungen unter Verwendung eines optischen Abtastoszillografen durchgeführt. Das System verwendete einen Elektroabsorptionsmodulator und eine elektronisch angetriebene Verzögerungsschaltung, um das optische Signal zu verzögerten Zeitpunkten relativ zu dem festgesetzten RF-Antrieb an den Laser abzutasten – hinsichtlich einer umfassenderen Erklärung dieser Technik siehe A. D. Ellis, J. K. Lucek, D. Pitcher, D. G. Moodie und D. Cotter, "Full 10 × 10 Gbit/s OTDM data generation and demultiplexing using electroabsorption modulators", Electron. Lett., Band 34, Seiten 1766–1767, 1998.

[0120] [Fig. 35](#) zeigt gemessene Spuren **350** des optischen Abtastoszillografen der Eingangsimpulse **317**, und [Fig. 36](#) zeigt gemessene Spuren des optischen Abtastoszillografen **360** der reflektierten Impulse **318**. Die Auflösung des Oszillografen betrug ca. 7 ps, wie durch Messungen der in [Fig. 35](#) gezeigten inzidenten 2,5 ps-Impulsformen bestimmt wurde. Die Messungen zeigen, dass der reflektierte Impuls **318** eine im Wesentlichen rechteckige Impulsform hat. Eine genaue Schätzung der Anstiegs- und Abfallzeiten des Impulses wird durch die temporale 7 ps-Auflösung des Messgerätes begrenzt. Es scheint eine leichte Amplitudenschwankung (ca. 5–10%) über die Spitze der Impulse **360** zu geben. In diesem Stadium ist noch nicht klar, ob diese Schwankung auf Gitterungenauigkeiten beruht oder ein Werkzeug der optischen Abtasteinstellung ist. Jedoch wird die Erreichung der Hauptziele des Formungsvorgangs, d. h. die Erzeugung einer fast flachen Oberfläche und scharfer Kanten eindeutig nachgewiesen.

[0121] Bei zusätzlichen Versuchen wurde die zentrale Wellenlänge des Lasers **310** im Vergleich zu der des SSFBG **315** verdrosselt, und das gefilterte Signal **318** wurde unter Verwendung des optischen Abtastoszillografen und eines optischen Spektrumanalysators diagnostiziert. Die Ergebnisse dieser Messungen sind in [Fig. 37](#), welche die gemessenen Leistungsspektren **370**, **371** für Wellenlängenfehlanspassungen von 0,4 nm bzw. 1,4 nm zeigt, und in [Fig. 38](#), die die Spuren **380**, **381** des optischen Abtastoszillografen für die Wellenlängenfehlanspassungen von 0,4 nm bzw. 1,4 nm zeigt, zusammengefasst. Die in den [Fig. 37](#) und [Fig. 38](#) gezeigten Ergebnisse sollten mit den in [Fig. 30](#) vorgestellten numerischen Berechnungen verglichen werden (natürlich unter Berücksichtigung der eingeschränkten Auflösung des optischen Oszillografen). Die beiden in den [Fig. 37](#) und [Fig. 38](#) gezeigten Fälle gelten für ein Eingangssignal mit einer zentralen Wellenlänge von 0,4 bzw. in 1,4 nm Entfernung von der zentralen Wellenlänge des SSFBG **315**. In beiden Fällen waren die Eingangsimpulse **317** "transform limited" Solitonen von 2,5 ps Dauer. Das allgemeine in [Fig. 30](#) vorhergesagte Verhalten wird hier bestätigt, wobei der zentrale Teil des Impulses so lange abnimmt, bis sich der Impuls in zwei Teile aufteilt.

[0122] Es wird auf [Fig. 31](#) Bezug genommen. Bit-Fehlerraten(BER)-Messungen wurden bei 10 Gbit/s unter Verwendung der Rechteckimpulse **318** durchgeführt. Bei diesen Messungen wurde der Laser **310** bei der zentralen Wellenlänge des SSFBG **315** betrieben und ergab "transform limited" 2,5 ps-Solitonen-Impulse **317**.

[0123] Das 10 GHz-Lasersignal **317** wurde unter Verwendung einer $2^{31}-1$ -Pseudorandom-Bit-Sequenz moduliert, bevor es an das SSFBG **315** angekoppelt wurde. Das reflektierte Signal **318** wurde unter Verwendung eines handelsüblichen 10 Gbit/s-RZ-Fotoempfängers detektiert und in den BER-Tester eingespeist. Die BER-Messungen werden in [Fig. 39](#) zusammengefasst. Die Kurve **391** zeigt die BER-Messungen unter Verwendung der Rechteckimpulse **318**, und die Kurve **392** zeigt die BER-Messungen, die mit den Solitonen-Impulsen **317** durchgeführt wurden, ohne die Solitonen-Impulse **317** durch das SSFBG **315** zu leiten (sogenannte

Back-to-Back-Messungen). Die Ergebnisse zeigen an, dass im Wesentlichen fehlerfreier Betrieb ohne weiteres bis hinunter zum Bereich 10^{-11} mit lediglich einem geringen ($< 0,5$ dB) Leistungsnachteil relativ zu den Back-to-Back-Messungen erzielt wurde.

[0124] Die Nützlichkeit der Produktion der Impulsumwandlung von Solitonen in Rechteckimpulse mit hoher Qualität unter Verwendung der Reflexion aus einer komplexen Gitter-Überstruktur mit entsprechend ausgelegter Amplituden- und Phasenantwort wurde klar nachgewiesen, und die erreichte Leistung stimmt gut mit der Theorie überein. Darüber hinaus ist die Toleranz der vorgeschlagenen Anordnung hinsichtlich verschiedener nicht-idealer Erregungsbedingungen und hinsichtlich zufälliger Fehler beim Schreiben der Gitter bezüglich der beiden Kriterien als angemessen robust nachgewiesen. Die Ergebnisse unterstreichen die Fähigkeit fortschrittlicher Gitterschreibtechnologie zum Einsatz in Impulsformungs-Anwendungen auf dem Gebiet der Kommunikationssysteme.

[0125] Die in [Fig. 40](#) gezeigte Versuchsanordnung wurde zur Demonstration des Einsatzes des oben beschriebenen SSFBG **315** bei nichtlinearen Schaltanwendungen verwendet. Die Anordnung umfasst den regenerativen modusverriegelten 2,5 ps-10 GHz-Erbium-Faser-Ringlaser (EFRL) **310**, 50:50-Koppler **401**, erbium-dotierte Faserverstärker (EDFA) **405**, einen durch einen Mustergenerator **404** angetriebenen Modulator **403**, einen Zirkulator **406**, ein Gitter **305**, Polarisierungscontroller **407**, 1 km dispersionsverschobene Faser **408** mit einer Nulldispersions-Wellenlänge von 1550 nm, 1 km dispersionsverschobene Faser **409** mit einer Nulldispersions-Wellenlänge von 1554 nm, einen Ausgangskanal **410**, Diagnosen **411**, eine abstimmbare Verzögerungsleitung **412** und einen kontinuierlichen Wellenlaser **413**.

[0126] Die 2,5 ps-10 GHz-Solitonen **317** aus dem EFRL **310** hatten eine Wellenlänge von 1557 nm. Die Solitonen **317** wurden in einen ersten und einen zweiten Kanal **415** und **416** aufgetrennt. Der erste Kanal wurde durch den von dem 1 bis 10 GHz-Mustergenerator angetriebenen Modulator **403** moduliert, um eine Pseudorandom-Datensequenz **417** der 2,5 ps-Impulse bei 2,5 Gbit/s bereitzustellen. Diese Impulse wurden anschließend in das Impulsformungs-SSFBG **315** eingespeist, welches mit dem korrekten Phasen- und Amplituden-Reflektivitätsprofil hergestellt wurde, um die 2,5 ps-Solitonen in 20 ps-Rechteckimpulse **418** umzuwandeln.

[0127] Der zweite Kanal **416** wurde zunächst verstärkt und anschließend in den Steuereingang eines Doppel-Wellenlängen-NOLM **419**, der als ein Wellenlängen-Konverter verwendet wurde, eingespeist. Der NOLM **419** umfasste eine 1 km lange dispersionsverschobene Faser DSF **408** mit einer Nulldispersions-Wellenlänge von $\lambda_0 = 1550$ nm. Der NOLM **419** wirkte als nichtlinearer Schalter, der den Ausgang des bei 1544 nm arbeitenden Lasers **413** mit kontinuierlichen Wellen DFB ermöglichte, um unter Verwendung der 1557 nm-Steuerimpulse **317** moduliert zu werden. Durch entsprechendes Einstellen des Verlustes und der Polarisierung von Licht innerhalb des NOLM **419** und Herausfiltern der 1557 nm-Steuerimpulse am Ausgang des NOLM **419** wurde eine 10 GHz-Serie hochqualitativer, 3,5 ps-Impulse **420** bei 1544 nm erhalten. Wichtig ist, dass bei dieser Demonstration die genannte wellenlängenverschobene 10 GHz-Impulsreihe **420** mit dem innerhalb des ersten Kanals **415** generierten 2,5 Gbit/s-Datenstrom **418** synchronisiert wurde.

[0128] [Fig. 41](#) zeigt die gemessenen dreieckigen Autokorrelationsprofile **4100**, **4111**, **4112** der Impulse **418**, **417** bzw. **420**. [Fig. 42](#) zeigt die optischen Spektren **4200**, **4210** der Impulse **418** bzw. **420**. Nach dem Generieren dieser beiden synchronisierten Impulsströme **418** und **420** bei zwei verschiedenen Wellenlängen und zwei verschiedenen Impuls-Wiederholungsfrequenzen wurden die Eigenschaften des NOLM **421** gemessen, wenn diese durch die 2,5 Gbit/s-20 ps-1557 nm-Rechteckimpulse **418** bzw. die 2,5 ps-1557 nm-Solitonen-Impulse **317** gesteuert wurden (d. h. mit dem SSFBG **315** bzw. ohne dem SSFBG **315**).

[0129] Bei bestimmten Implementierungen des fluktuationstoleranten Schalters ist es erforderlich, den Polarisierungszustand der auf den SSFBG **315** inzidenten Impulse zu steuern, da es möglich ist, eine andere Impulsantwort bei rechtwinkligen Polarisierungskomponenten zu erhalten, wenn die für die Herstellung des SSFBG verwendete Faser doppelbrechend ist (entweder inhärent oder aufgrund des Gitterschreibprozesses), und dies kann die Leistung des Schalters verschlechtern. Üblicherweise wird dies dadurch erreicht, dass ein Polarisierungscontroller irgendwo in der optischen Weglänge des SSFBG **315** platziert wird. Weiter ist anzumerken, dass häufig die Reaktion des nichtlinearen Schalters selbst polarisierungsabhängig ist. In bestimmten Fällen ist es wünschenswert, dass die Signale **1** und **2** (hier durch die Signale **418** und **420** dargestellt) kopolarisiert werden, wenn sie auf den Schalter auftreffen, in anderen Fällen ist es vorzuziehen, dass sie kreuzpolarisiert werden. Ferner können zusätzliche Polarisierungscontroller im Schaltkreis erforderlich sein, um sicherzustellen, dass eine geeignete Polarisierungsanpassung erreicht werden kann.

[0130] [Fig. 49](#) zeigt die Übertragungseigenschaften **490** einer typischen faserbasierten nichtlinearen optischen Vorrichtung als Funktion der Spitzenintensität des Steuersignals, das das Schalten steuert. Die Eigenschaft **490** hat eine nichtlineare Intensitäts-Übertragungs-Antwort mit einem ersten Betriebsbereich **491**, über den sich die Übertragung bei Spitzenintensität wenig ändert, und einen Betriebsbereich **492**, bei dem die Übertragung bei einem substantiellen Spitzenintensitätsbereich niedrig bleibt. Eine solche Eigenschaft kann Amplituden-Störungs-Unterdrückung und optische Schwellenwertbildung bieten, wenn sie als nichtlineare optische Einrichtung **12** genutzt wird, dies insbesondere dann, wenn ein Rechteck-Steuerimpuls benutzt wird, der die nichtlineare optische Einrichtung **12** zwischen den ersten und zweiten Betriebsbereichen **491** und **492** betreibt.

[0131] Der erste geprüfte Schalter war der Doppel-Wellenlängen-NOLM **421**. In diesem Fall war jedoch nun das Steuersignal ein datenmoduliertes Signal **417**, und das zu schaltende Signal war eine 10 GHz-Serie von optischen 3,5 ps-1544 nm-Impulsen **420**. Das System arbeitete also in diesem Fall als ein rein optischer Modulator in dieser Konfiguration und der bequemlichkeitshalber manchmal als M-NOLM bezeichnet wird. Anzumerken ist, dass durch Umkehrung der Eingangs- und Steuersignale **417** und **420** das System so neu ausgelegt werden kann, dass es als ein rein optischer Demultiplexer arbeitet. Die 1544 nm-Impulsserie **420**, die auf den Schalter auftrifft, wurde zunächst durch eine abstimmbare Verzögerungsleitung **412** geleitet, um die relative Ankunftszeit der 1544 nm-Impulse **420** relativ zu den Rechteck-Steuerimpulsen **418** anpassen zu können. Durch Anpassen und Messen dieser relativen Ankunftszeitverzögerung und Überwachung des Schleifenausgangs **410** bei 1544 nm (wegen einer geeigneten Steuerimpulsleistung) war es möglich, das Schalt-Fenster der Vorrichtung zu ermitteln und seine Empfindlichkeit gegenüber Zeitfluktuationen festzustellen.

[0132] [Fig. 43](#) zeigt das theoretisch vorausgesagte Schalt-Fenster **430** und das experimentell beobachtete Schalt-Fenster **432** des durch die 20 ps-Rechteckimpulse **418** getriebenen NOLM **421**. Diese werden mit dem theoretisch vorhergesagten Schalt-Fenster **431** und dem experimentell beobachteten Schalt-Fensters **433** des durch den 2,5 ps-Steuerimpuls **417** getriebenen NOLM **421** verglichen (d. h. also ohne vorhandenes SSFBG **315**). Eine gute rechteckige Schalteigenschaft **430** mit einer 3 dB-Breite von 20 ps wird unter Verwendung der Rechteck-Steuerimpulse im Gegensatz zu einem Wert von 4 ps erhalten, wenn der Schalter ohne das SSFBG **315** angetrieben wird. Anzumerken ist die leichte Asymmetrie beim Schalt-Fenster, die sowohl theoretisch vorausgesagt als auch experimentell beobachtet wird. Dies ergibt sich aus den Impuls-Walk-off-Effekten zwischen den Pump- und Probenstrahlen innerhalb des NOLM **421**. Der Effekt ist jedoch gering, da die in dem NOLM **421** verwendete dispersionsverschobene Faser **409** eine Länge von nur 1 km, eine Nulldispersions-Wellenlänge von 1554 nm und eine Dispersionskurve von 0,07 ps/nm²-km hatte. Diese Ergebnisse zeigen, dass erwartet werden kann, dass eine ca. 5 mal größere Toleranz gegenüber Zeitfluktuation dadurch erreicht wird, dass in diesem Fall die Steuerimpulse in Rechteckimpulse umgewandelt werden.

[0133] Um die Systemauswirkung des Einsatzes von Rechteck-Steuerimpulsen zu bestätigen, wurden Bitfehler-raten(BER)-Messungen an der NOLM **421**-Schaltleistung durchgeführt. Diese Ergebnisse werden in [Fig. 44](#) zusammengefasst, die die BER **440**, **441** gegenüber Zeitverzögerung **442** zeigt, wenn der NOLM **421** durch die Rechteckimpulse **418** und durch die Solitonen-Impulse **417** angetrieben wurde. Die Zeitverzögerung **442** wurde mit der abstimmbaren Verzögerungslinie **412** variiert. Fehlerfreie beeinträchtigungslose Leistung wurde mühelos erreicht über einen +/- 7 ps-Verzögerungsbereich bei dem von dem Rechteckimpuls **418** angetriebenen NOLM **421** gegenüber einem +/- 1 ps-Bereich bei dem direkt durch die 2,5 ps-Laserimpulse **417** angetriebenen NOLM **421**. Weder bei dem NOLM **419** noch bei dem NOLM **421** wurden signifikante Leistungsbeeinträchtigungen hinsichtlich der BER beobachtet.

[0134] [Fig. 45](#) zeigt die Vorrichtung nach [Fig. 40](#), wobei der NOLM **421** durch einen Verstärker auf Halbleiterbasis SOA **451** ersetzt wird, bei dem Vierwellenmischtechniken als optische Schaltmechanismen verwendet werden. Die Versuchsanordnung war im Wesentlichen die gleiche wie die bei dem NOLM **421** verwendete. Es muss jedoch festgehalten werden, dass die für die auf dem SOA **451** basierende Anordnung erforderlichen optimalen Schaltleistungen (ca. 7 dBm Durchschnittsleistung bei 10 Gbit/s) substantiell geringer waren als die für den NOLM **421** erforderlichen (ca. 15 dBm bei 2,5 Gbit/s). Weiter ist anzumerken, dass die Wellenlänge der 10 GHz-Schaltimpulse von 1544 nm auf 1550 nm geändert werden mussten, um eine adäquate Phasenanpassungs-Bedingung und ausreichende geschaltete Leistung zu erreichen. Ein demultiplexiertes Vierwellenmischsignal **460** wird bei einer Wellenlänge von 1543 nm beobachtet, wie dies in dem SOA-Ausgangsspektrum **461** der [Fig. 46](#) gezeigt wird. [Fig. 47](#) zeigt das experimentell gemessene Schalt-Fenster **470**. Ebenso wie bei dem NOLM **421** wird ein ausgezeichnetes rechteckiges Schalt-Fenster erhalten, was eine Zeitfluktuationstoleranz von +/- 7 ps ermöglicht.

[0135] Die obigen Versuche zeigen, dass die SSFBGs eingesetzt werden können, um zuverlässig ultrakurze optische Impulse mit dem Ziel umzustrukturieren, eher optimalen und fluktuationstoleranten Betrieb nichtline-

arer optischer Schalter zu erhalten, und zwar sowohl wenn diese auf Faser basieren als auch wenn sie auf nichtlinearen Halbleiterkomponenten basieren. Dieser Ansatz ist insbesondere interessant bei SOA-basierten Schaltvorrichtungen, bei denen es keine mühelose Möglichkeit gibt, das Schalt-Fenster zu formen, außer durch direkte Steuerung der Impulsform.

[0136] Der SSFBG-Ansatz stellt einen extrem leistungsfähigen und flexiblen Ansatz zur Manipulation der temporalen Eigenschaften von Impulsen dar und könnte bei zukünftigen optischen Kommunikationssystemen und Netzen mit hoher Geschwindigkeit und Kapazität eine wesentliche Rolle spielen.

[0137] Es ist festzuhalten, dass die oben unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen beschriebenen Ausführungsbeispiele lediglich Beispielcharakter haben und dass Änderungen und zusätzliche Komponenten bereitgestellt werden können, um die Leistung der Vorrichtung zu verbessern. Insbesondere können bei vielen der Ausführungsformen und insbesondere insoweit, als auf die [Fig. 15](#), [Fig. 16](#), [Fig. 17](#), [Fig. 19](#) und [Fig. 20](#) Bezug genommen wird, planare Wellenleiterkomponenten faserbasierte Komponenten vorteilhafterweise ersetzen.

[0138] Die vorliegende Erfindung erstreckt sich auf die oben erwähnten einzelnen Merkmale und beliebige Kombinationen derselben.

[Fig. 1](#)

Bezugszeichenliste

12 nichtlineare optische Einrichtung

[Fig. 2](#)

Bezugszeichenliste

20 optischer Verstärker auf Halbleiterbasis

[Fig. 5](#)

transmission = Übertragung

[Fig. 15](#)

Bezugszeichenliste

151 Taktgenerator

[Fig. 16](#)

Bezugszeichenliste

151 Taktgenerator

[Fig. 17](#)

Bezugszeichenliste

151 Taktgenerator

[Fig. 18](#)

Bezugszeichenliste

181 Schalter

[Fig. 21](#)

Intensity = Intensität

[Fig. 19](#)

Bezugszeichenliste

151 Taktgenerator

[Fig. 20](#)

Bezugszeichenliste

151 Taktgenerator

[Fig. 22](#)

Electric field = elektrisches Feld
Frequency = Frequenz

[Fig. 23](#)

Electric field = elektrisches Feld
Time = Zeit

[Fig. 24](#)

Reflectivity = Reflektivität

[Fig. 25](#)

Length = Länge

[Fig. 26](#)

Time Delay = Zeitverzögerung
Wavelength = Wellenlänge

[Fig. 27](#), [Fig. 28](#), [Fig. 29](#), [Fig. 30](#)

Intensity = Intensität
Time = Zeit

[Fig. 31](#)

Bezugszeichenliste

311 Spektrumanalysator
312 Zirkulator
314 geformter Ausgang
315 hinsichtlich der Verzerrung abstimmbares SSFBG

[Fig. 32](#)

Intensity = Intensität
Time = Zeit

[Fig. 33](#)

Power = Leistung
Wavelength = Wellenlänge

[Fig. 34](#)

Time = Zeit

[Fig. 35, Fig. 36](#)

Intensity = Intensität
Time = Zeit

[Fig. 37](#)

Reflected Power = reflektierte Leistung
Wavelength = Wellenlänge

[Fig. 38](#)

Intensity = Intensität
Time = Zeit

[Fig. 39](#)

Back-to-back = Back-to-Back
Square pulses = quadratische Impulse
Received optical power = erhaltene optische Leistung

[Fig. 40](#)

Bezugszeichenliste

50:50 coupler	50:50-Koppler
Square Pulse Generator	Generator für quadratische Impulse
403	Modulator
404	Mustergenerator
315	Quadratimpulsgitter
406	Zirkulator
411	Diagnosen
Wavelength Converter	Wellenlängen-Konverter
CW Laser	CW-Laser
Tuneable Delay line	abstimbare Verzögerungsleitung

[Fig. 41](#)

SGH Intensity = SGH-Intensität
(arb. unit) = beliebige Einheit
Time Delay = Zeitverzögerung

[Fig. 42](#)

Arb. Amplitude = beliebige Amplitude
Wavelength = Wellenlänge

[Fig. 43](#)

(arb. unit) = (beliebige Einheit)
Time Delay = Zeitverzögerung

[Fig. 44](#)

BER = BER (Bitfehlerrate)
Time Delay = Zeitverzögerung

[Fig. 45](#)

Bezugszeichenliste

50:50 coupler	50:50-Koppler
Square Pulse Generator	Generator für quadratische Impulse
403	Modulator
404	Mustergenerator
315	Quadratimpulsgitter
411	Diagnosen
Wavelength Converter	Wellenlängen-Konverter
CW Laser	CW-Laser
Tuneable Delay line	abstimbare Verzögerungsleitung
Circulator	Zirkulator
451	optischer Verstärker auf Halbleiterbasis

[Fig. 46](#)

Arb. Amplitude = beliebige Amplitude
Wavelength = Wellenlänge

[Fig. 47](#)

(arb. unit) = (beliebige Einheit)
Time Delay = Zeitverzögerung

[Fig. 48](#)

Relative Time Delay = relative Zeitverzögerung

[Fig. 49](#)

Transmission = Übertragung
Peak Intensity of Control Signal = Spitzenintensität des Steuersignals

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur taktfluktuationstoleranten optischen Modulation eines ersten optischen Signales (1), das eine erste Wellenlänge (3) besitzt, mit einem zweiten optischen Signal (2), das mehrere zweite optische Signalimpulse (4) umfaßt, die eine zweite Impulsform (5) und eine zweite Wellenlänge (6) besitzen, welche Vorrichtung einen ersten Signal-Eingangskanal (8), einen zweiten Signal-Eingangskanal (9), und eine nichtlineare optische Einrichtung (12) umfaßt und so ausgelegt ist, daß das erste optische Signal (1) am ersten Signal-Eingangskanal (8) zur nichtlinearen optischen Einrichtung (12) gelangt, **dadurch gekennzeichnet,**

daß die Vorrichtung weiter einen Koppler (10) und ein Gitter (11) umfaßt und so ausgelegt ist, daß das zweite optische Signal (2) am zweiten Signal-Eingangskanal (9) über den Koppler (10) und das Gitter (11) zur nichtlinearen optischen Einrichtung (12) gelangt, wobei das Gitter (11) ein Überstruktur-Faser-Bragg-Gitter in einer Anordnung ist, um die zweiten optischen Signalimpulse (4) in optische Zwischen-Impulse (15) umzusetzen, die jeweils eine Zwischen-Impulsform (14) besitzen dergestalt, daß diese innerhalb der nichtlinearen optischen Einrichtung (12) ein Schalt-Fenster (19) liefert.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, bei welcher das erste optische Signal (1) mehrere erste optische Signalimpulse (15) umfaßt, das Gitter (11) durch eine Gitterimpulsantwort (14) definiert ist, die Zwischen-Impulsform (14) durch die Faltung der zweiten Impulsform (5) und die Gitterimpulsantwort definiert ist, und das Schaltfenster (19) ein im wesentlichen rechteckiges Schaltfenster und so angeordnet ist, daß sich Toleranz ergibt gegen-

über einer Schwankung der Ankunftszeit der ersten optischen Signalimpulse (15) am ersten Signal-Eingangskanal (8) und der zweiten optischen Signalimpulse (4) am zweiten Signal-Eingangskanal (9), die im wesentlichen gleich ist der Breite des im wesentlichen rechteckigen Schaltfensters minus der Breite der ersten optischen Signalimpulse (15), wobei die Zwischen-Impulsform (14) sich unterscheidet von der Form der Schaltfensters (19).

3. Vorrichtung nach Anspruch 1, bei welcher das erste optische Signal (1) mehrere erste optische Signalimpulse (15) umfaßt, das Gitter (11) durch eine Gitterimpulsantwort definiert ist, die Zwischen-Impulsform (14) durch die Faltung der zweiten Impulsform (5) und die Gitterimpulsantwort definiert ist, und das Gitter (11) so ausgelegt ist, daß die Zwischen-Impulsform (14) ein im wesentlichen rechteckiger Impuls ist, wobei die Vorrichtung eine Toleranz gegenüber Schwankungen der Ankunftszeit der ersten optischen Signalimpulse am ersten Eingangskanal (8) und der zweiten Signalimpulse (4) am zweiten Eingangskanal (9) hat, die im wesentlichen gleich ist der Breite des im wesentlichen rechteckigen Impulses minus der Breite der ersten Signalimpulse (15).

4. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welcher der Koppler (10) ein Zirkulator oder ein optischer Faserkoppler ist.

5. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, die einen optischen Schalter umfaßt, der derart ausgelegt ist, daß er die nichtlineare optische Einrichtung (12) umfaßt.

6. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welcher die nichtlineare optische Einrichtung (12) eine löchrige Faser ist.

7. Vorrichtung nach Anspruch 6, bei welcher die löchrige Faser Glas umfaßt und bei welcher das Glas Silica, ein Silikatglas oder ein zusammengesetztes Glas ist.

8. Vorrichtung nach Anspruch 6, bei welcher die löchrige Faser einen Polymer umfaßt.

9. Vorrichtung nach Anspruch 6 oder 7, bei welcher die löchrige Faser einen Kern und einen Mantel umfaßt, und bei welcher der Mantel eine Vielzahl von Löchern aufweist, die um den Kern herum angeordnet sind, und bei welcher der Kern einen Durchmesser von weniger als 10 µm hat.

10. Vorrichtung nach Anspruch 9, bei welcher der Kern einen Durchmesser von weniger als 5 µm hat.

11. Vorrichtung nach Anspruch 9, bei welcher der Kern einen Durchmesser von weniger als 2 µm hat.

12. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 6 bis 11, bei welcher die löchrige Faser eine Dotierungssubstanz umfaßt, und bei welcher die Dotierungssubstanz aus der Gruppe ausgewählt ist, die Ytterbium, Erbium, Neodym, Praseodym, Thulium, Samarium, Holmium, Dysprosium, Zinn, Germanium, Phosphor, Aluminium, Bor, Antimon, Uran, Gold, Silber, Wismuth, Blei, ein Übergangselement und einen Halbleiter umfaßt.

13. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welcher die nichtlineare optische Einrichtung (12) einen optischen Verstärker auf Halbleiterbasis umfaßt.

14. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welcher die nichtlineare optische Einrichtung (12) einen Lithiumniobat-Kanal-Wellenleiter oder einen Lithiumniobat-Planar-Wellenleiter umfaßt.

15. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 13, bei welcher die nichtlineare optische Einrichtung (12) einen periodisch gepolten Lithiumniobat-Kanal-Wellenleiter oder einen periodisch gepolten Lithiumniobat-Planar-Wellenleiter umfaßt.

16. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, bei welcher die nichtlineare optische Einrichtung (12) aus der Gruppe ausgewählt ist, die einen optischen Schalter, eine löchrige Faser, eine gepolte Faser, ein Kaliumtitanylphosphat (KTP) oder anderen kristallinen Wellenleiter, ein periodisch gepoltes KTP oder anderen kristallinen Wellenleiter, einen nichtlinearen optischen Schleifenspiegel, ein Kerr-Gitter, eine optische Faser, einen nichtlinear verstärkenden Schleifenspiegel oder einen nichtlinearen optischen Modulator umfaßt.

17. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 16, welche so ausgelegt ist, daß das erste optische Signal (1) demultiplexiert wird.

18. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, welche einen aktiv modusverriegelten Faser-Laser umfaßt.
19. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, welche ein Interferometer umfaßt, das einen ersten Arm und einen zweiten Arm umfaßt, und bei welchem der erste Arm die nichtlineare optische Einrichtung (12) umfaßt.
20. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, welche einen Filter umfaßt, bei dem es sich um einen Wellenlängen-selektiven Filter handelt.
21. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 19, welche ein Polarisationselement umfaßt, bei welcher das Polarisationselement ein Polarisator oder ein Polarisations-Strahlenteiler ist.
22. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, welche einen Taktgenerator umfaßt.
23. Vorrichtung nach Anspruch 22, bei welcher der Taktgenerator ein Kurzimpulsgenerator ist, der aus der Gruppe ausgewählt ist, welche einen modusverriegelten Faser-Laser, einen aktiv modusverriegelten Faser-Laser, einen Generator mit einem Elektroabsorptionsmodulator und einem Laser, einen Generator mit einem elektrooptischen Modulator und einem Laser, und eine verstärkungsgetastete Laserdiode umfaßt.
24. Vorrichtung nach Anspruch 22 oder 23, bei welcher der Taktgenerator Mittel zur Pulskomprimierung umfaßt.
25. Vorrichtung nach Anspruch 24, bei welcher die Mittel zur Pulskomprimierung eine Dispersions-Kompensator-Faser, ein Chirp-(Verlaufs-)Faser-Bragg-Gitter, eine Dispersions-Minderungs-Faser, einen optischen Verstärker, einen Raman-Verstärker, einen optischen Schalter oder einen optischen Impuls-Komprimierer umfassen.
26. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, welche eine Vielzahl nichtlinearer optischer Einrichtungen (12) umfaßt und so ausgelegt ist, daß das zweite optische Signal (2) am zweiten Signal-Eingangskanal (9) jeder der nichtlinearen optischen Einrichtungen (12) zugeführt wird.
27. Vorrichtung nach Anspruch 26, welche als optischer Multiplexer ausgelegt ist.
28. Vorrichtung nach Anspruch 26, welche als optischer Demultiplexer ausgelegt ist.
29. Vorrichtung nach Anspruch 26, welche als inverser Multiplexer ausgelegt ist.
30. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, welche einen Schalter und einen Steuereingang zur Steuerung des Schalters umfaßt.

Es folgen 26 Blatt Zeichnungen

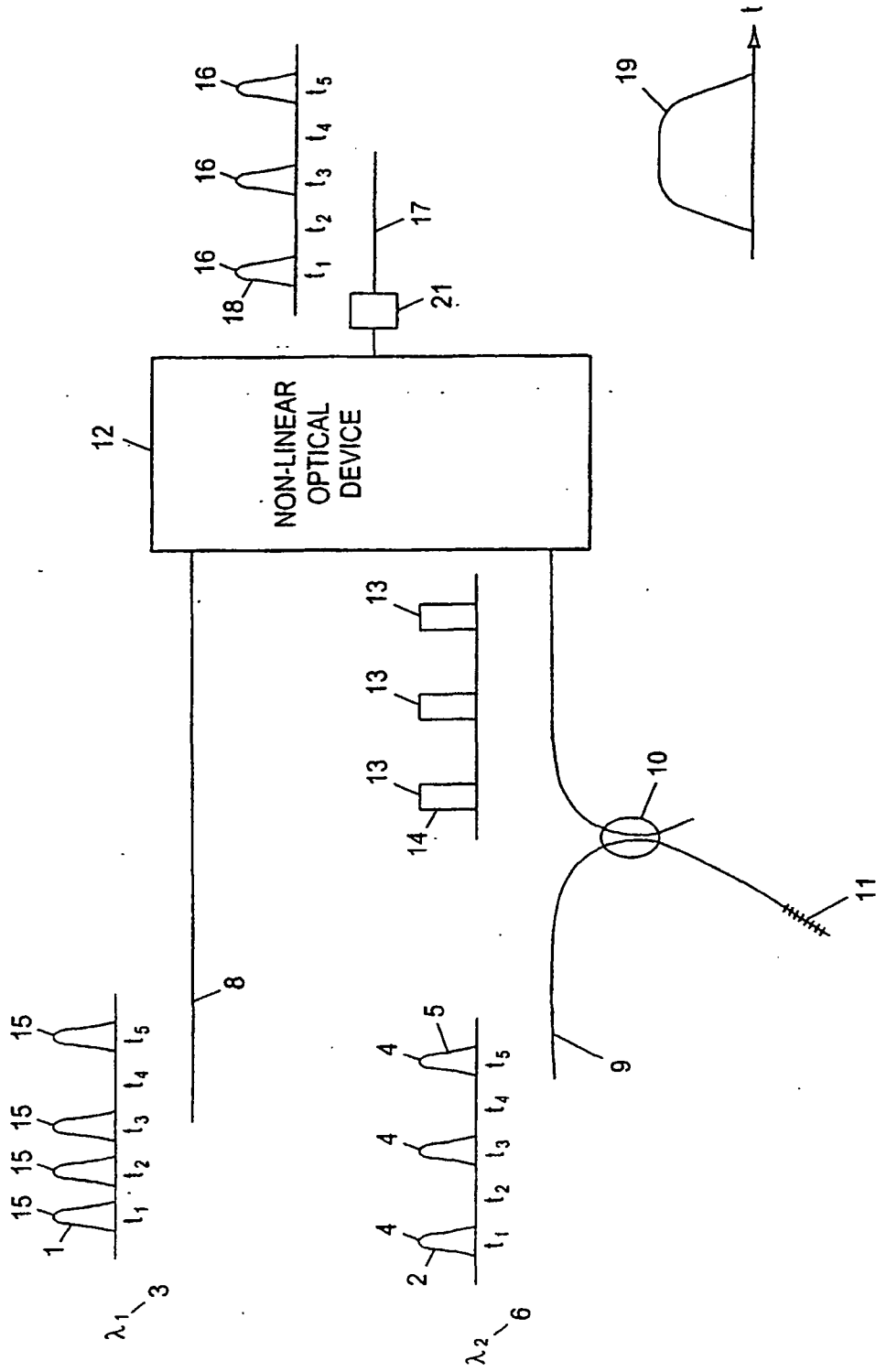


FIG. 1

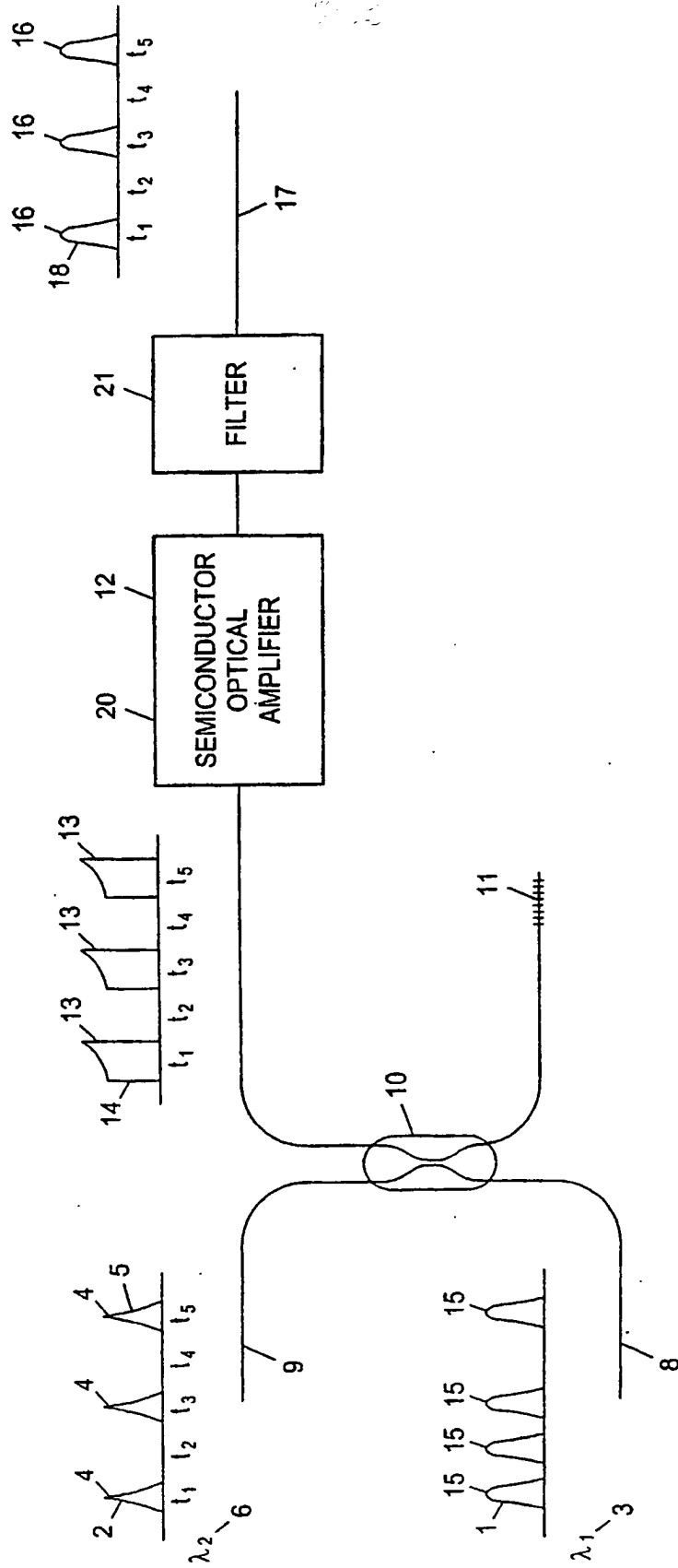


FIG. 2

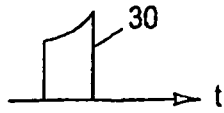


FIG. 3

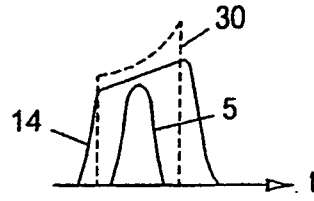


FIG. 4

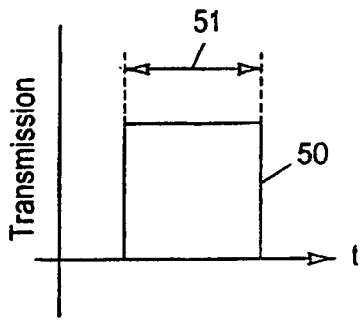


FIG. 5

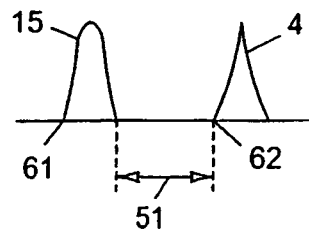


FIG. 6

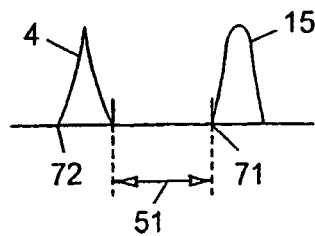


FIG. 7



FIG. 8

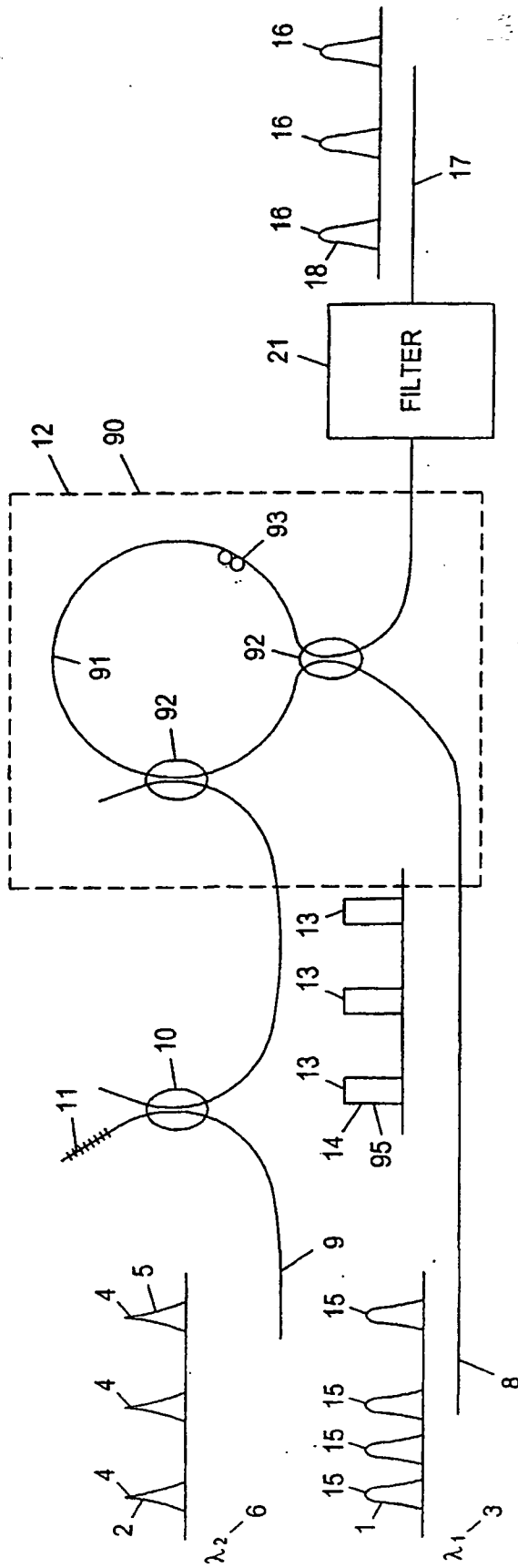


FIG. 9

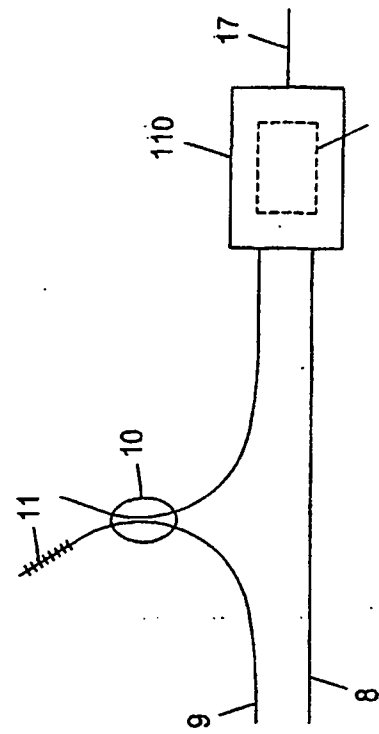


FIG. 10

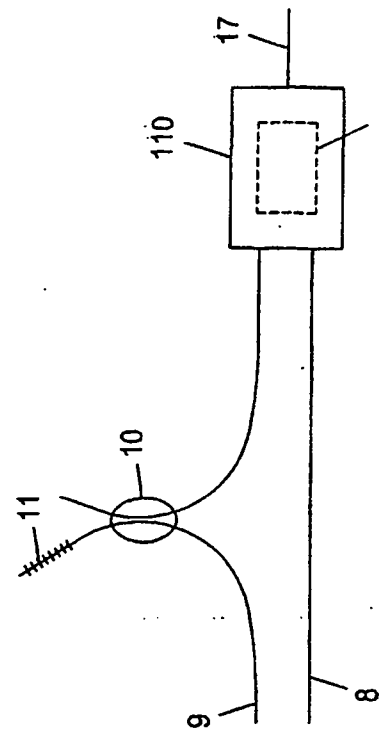


FIG. 11

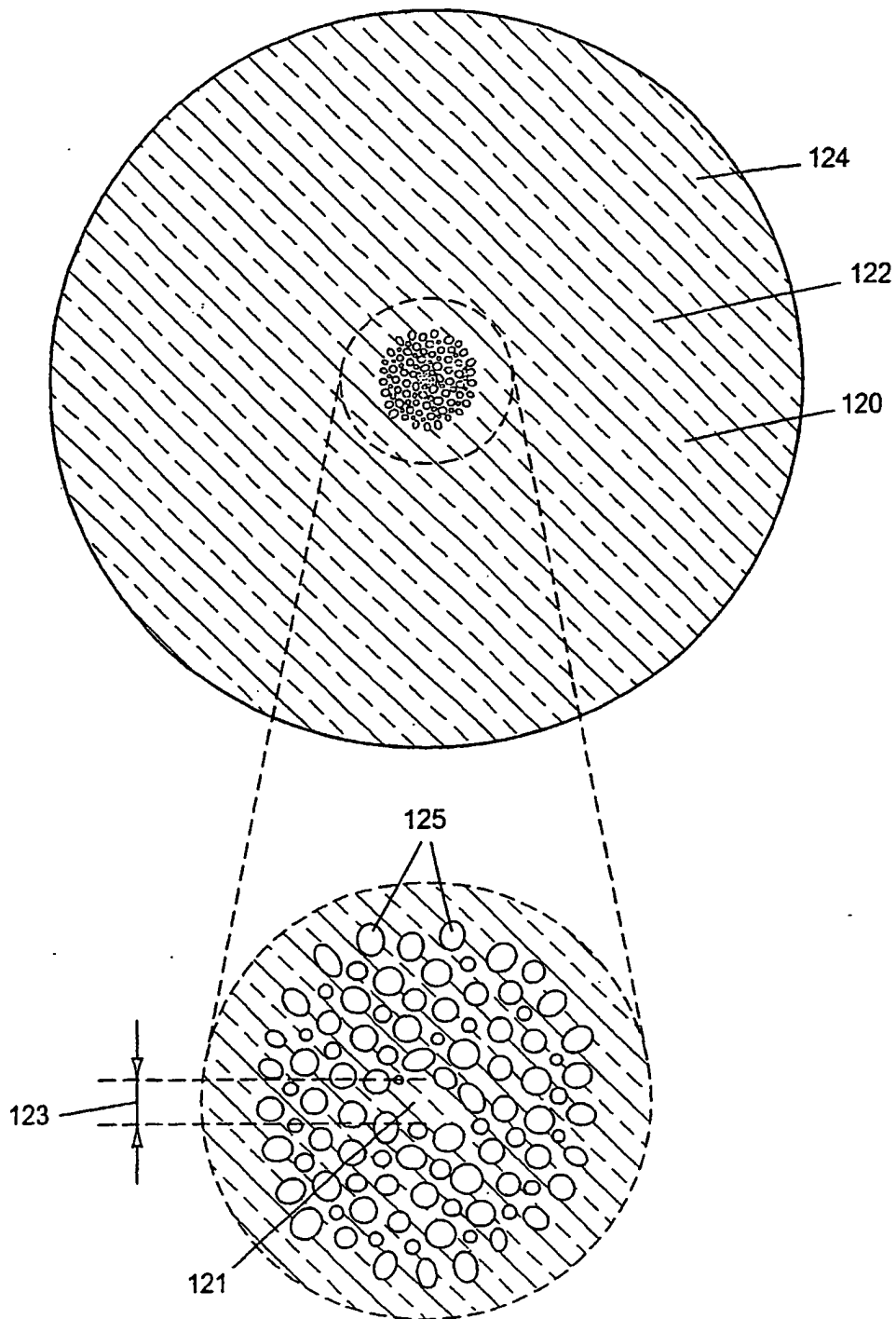


FIG. 12

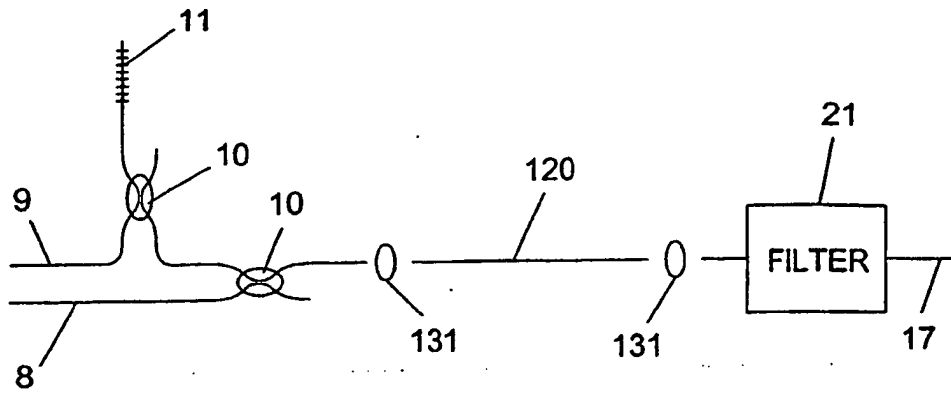


FIG. 13

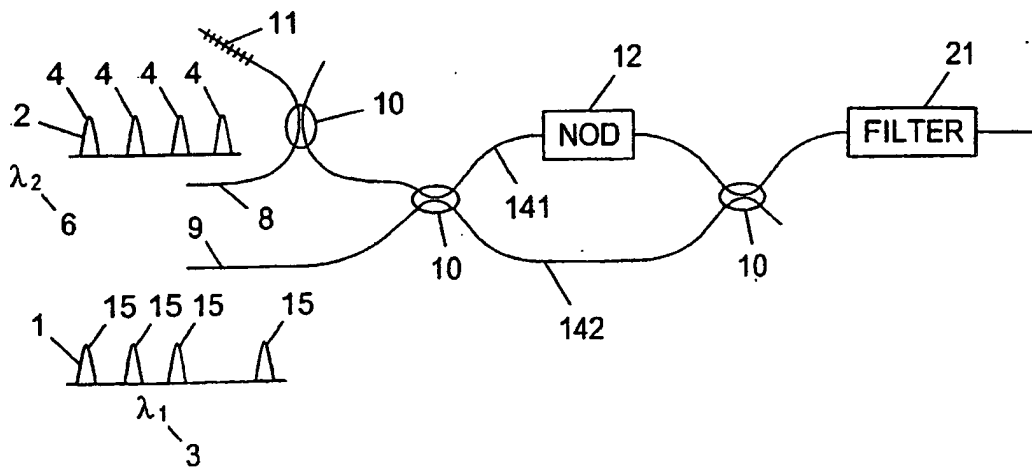


FIG. 14

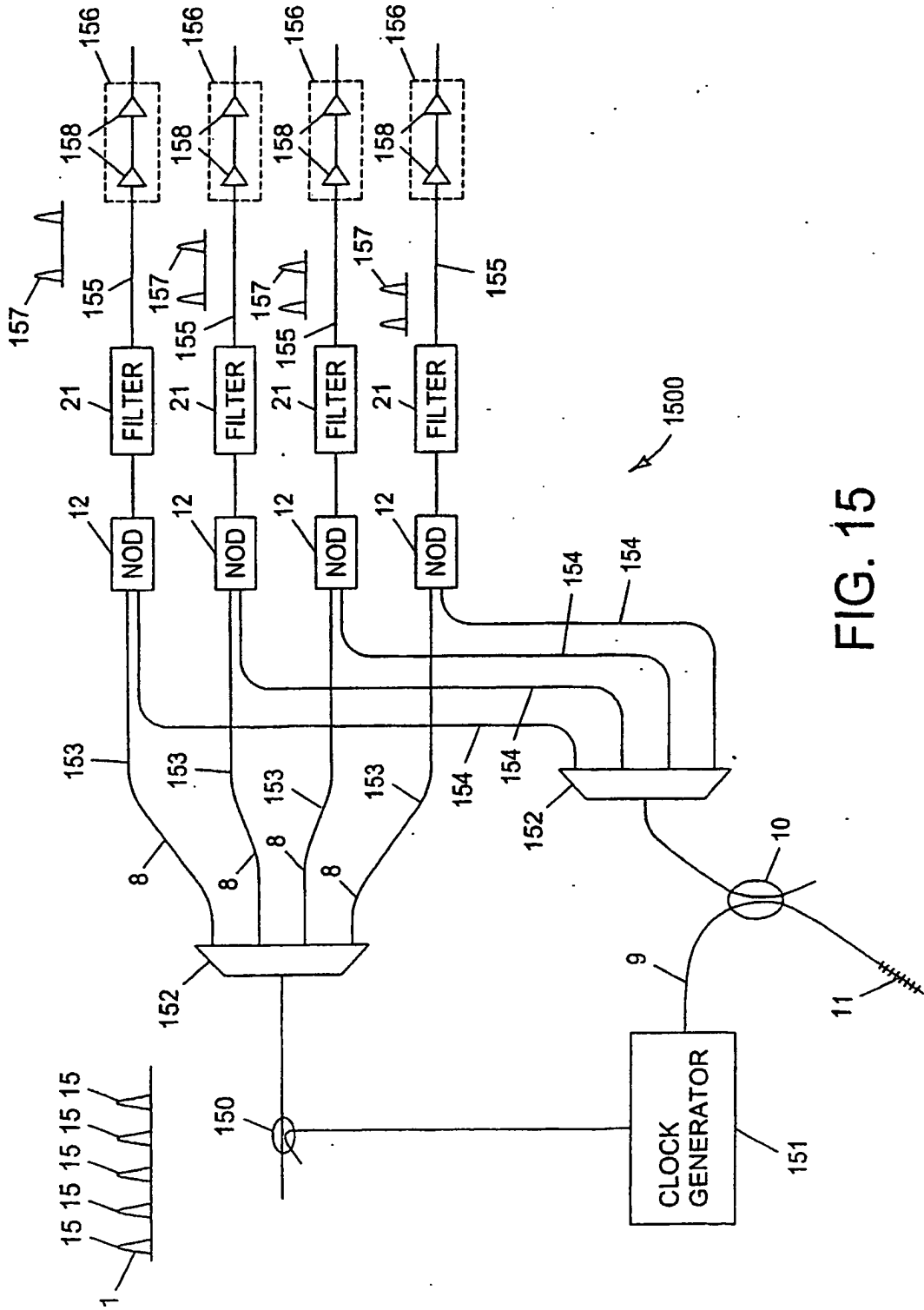


FIG. 15

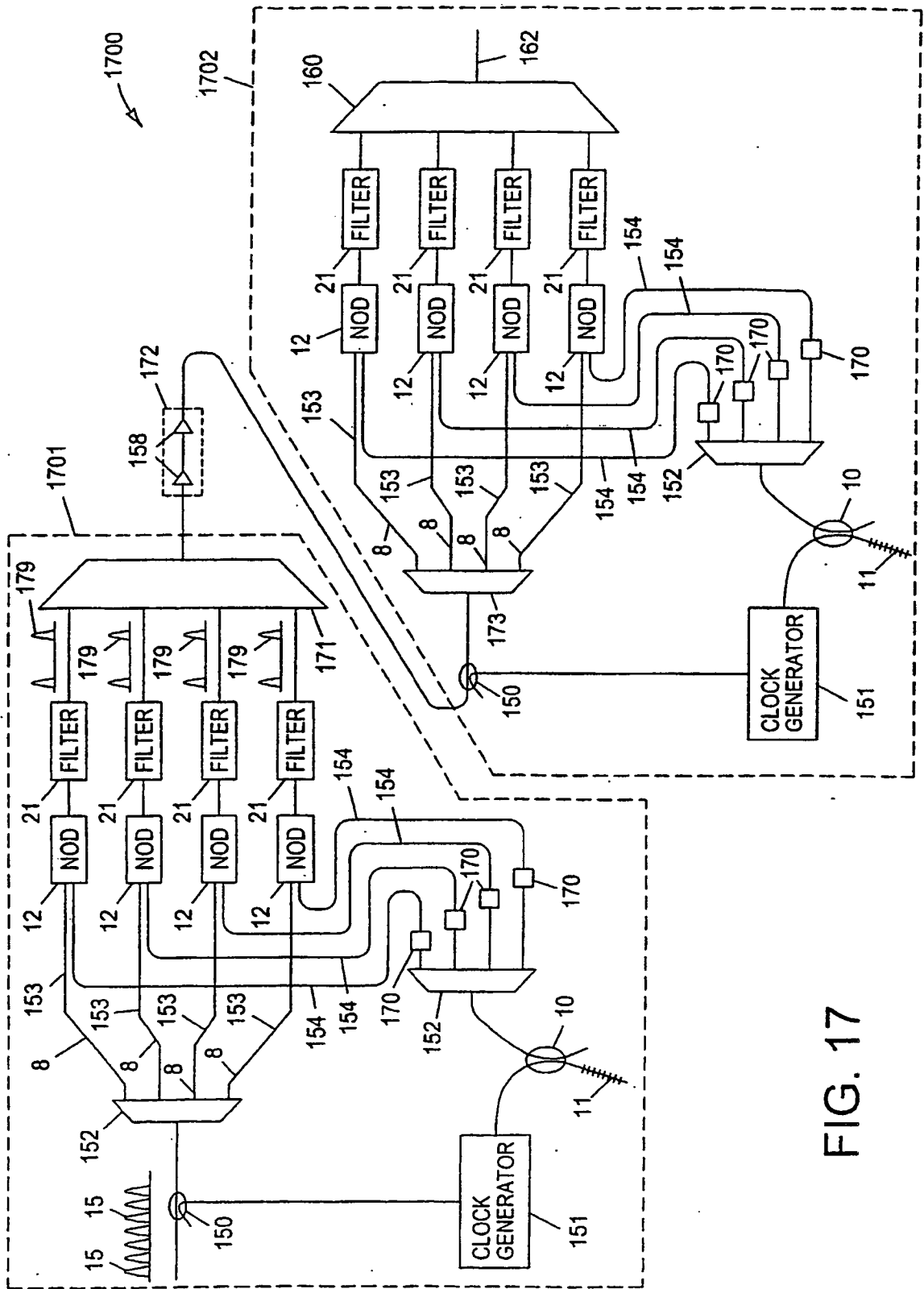


FIG. 17

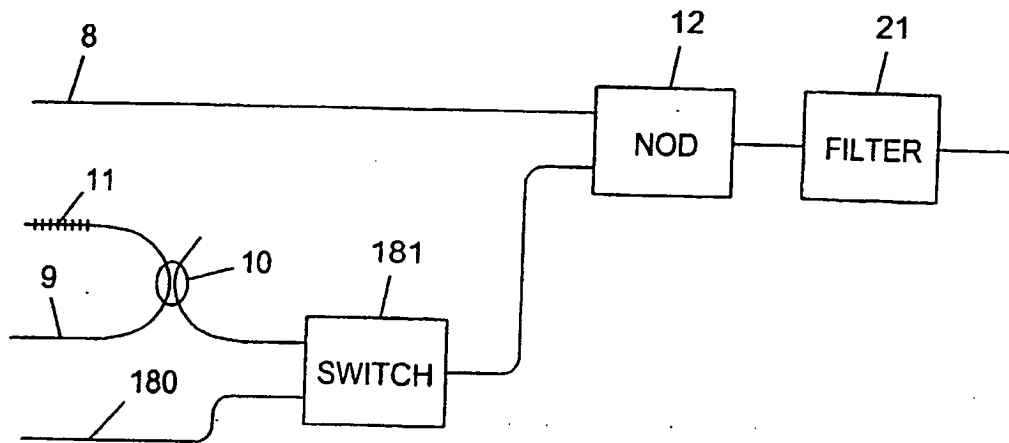


FIG. 18

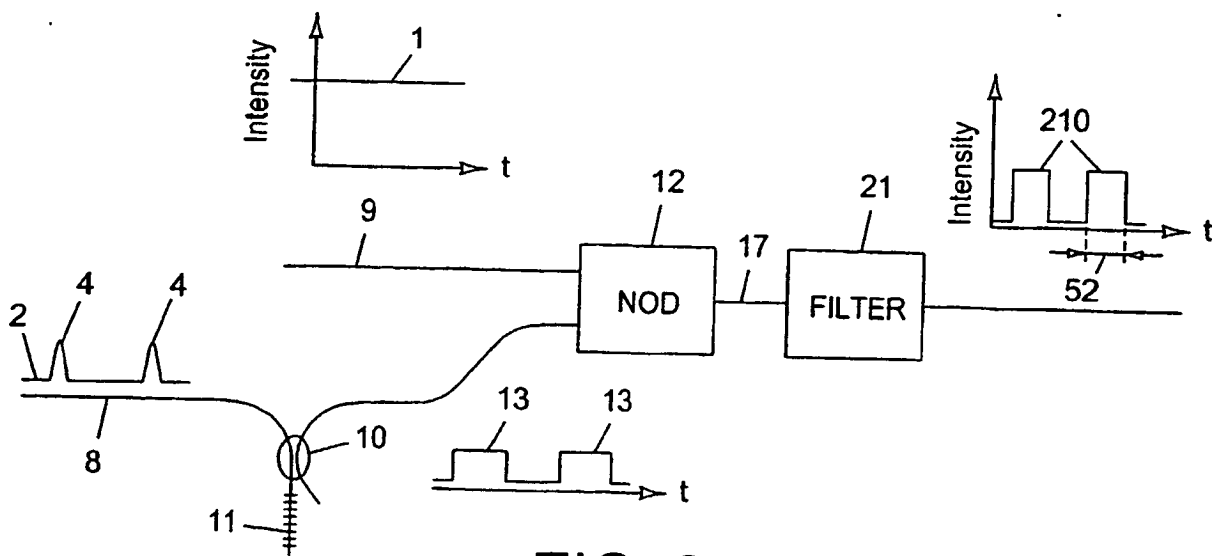


FIG. 21

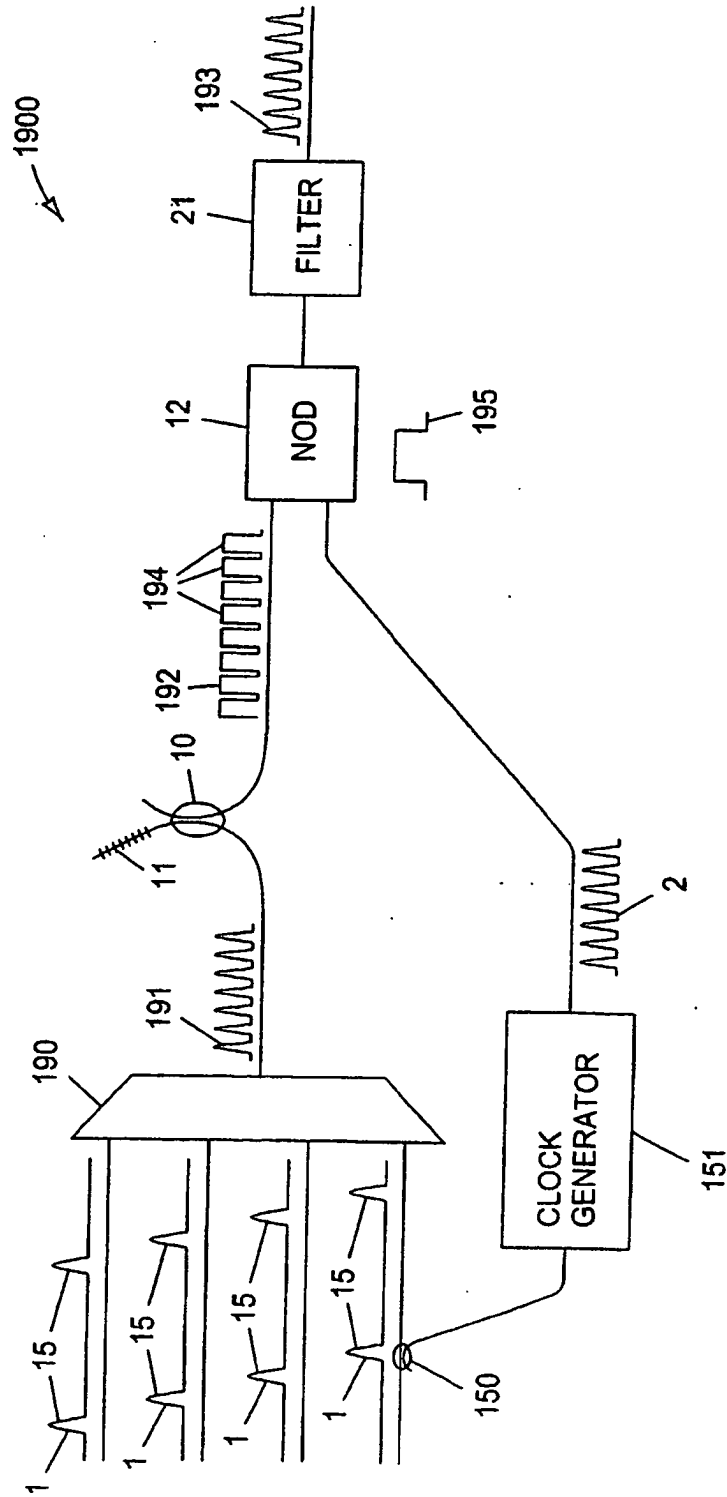


FIG. 19

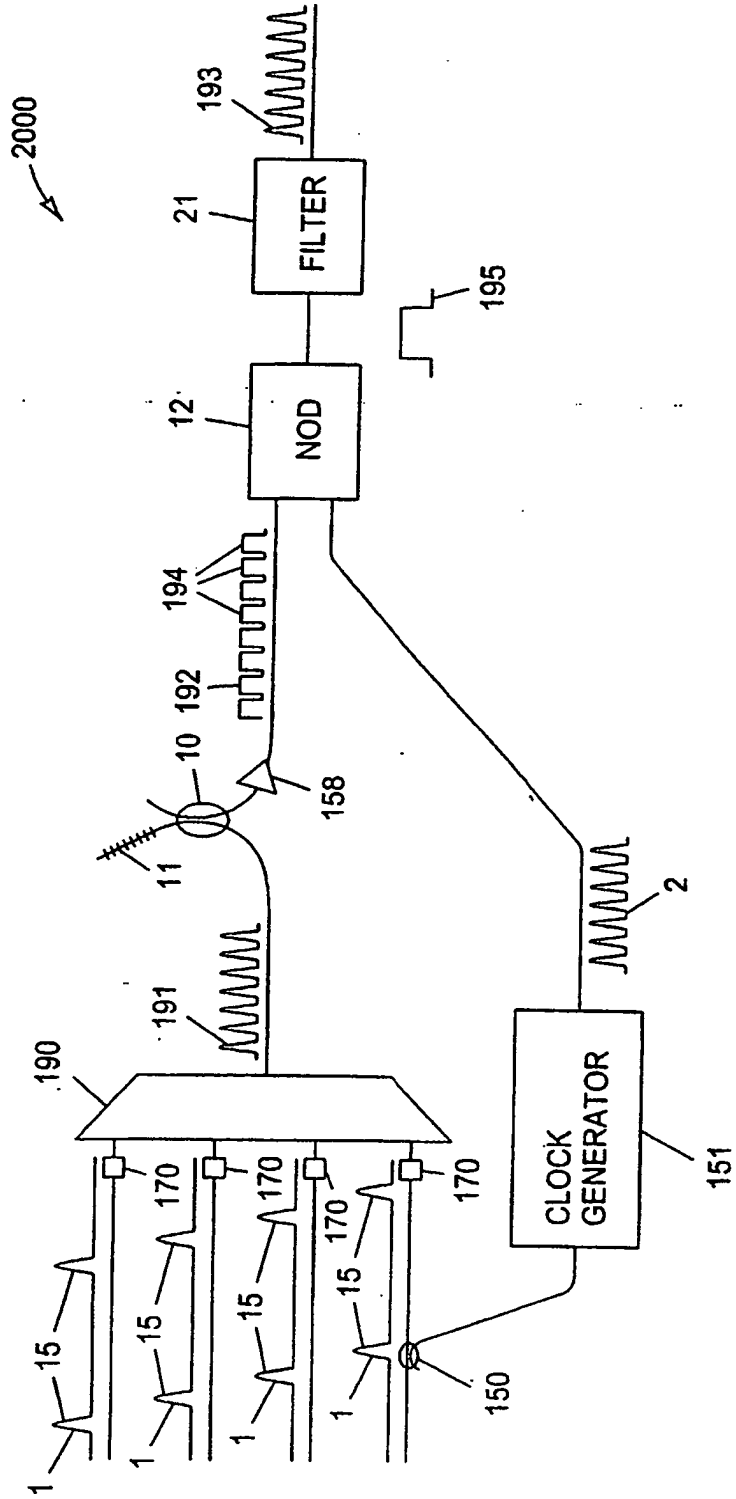


FIG. 20

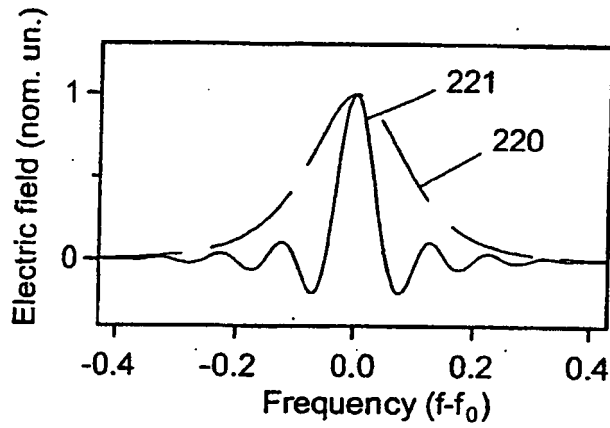


FIG. 22

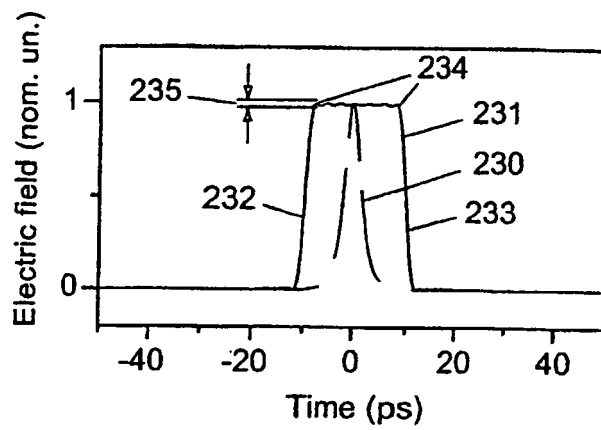


FIG. 23

FIG. 24

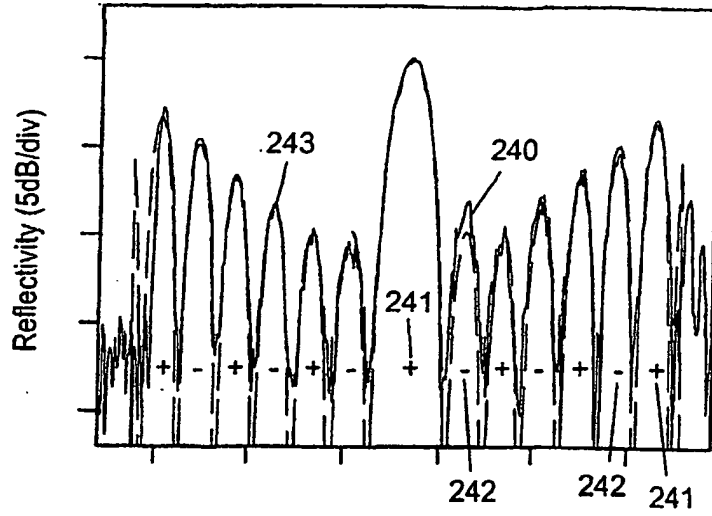


FIG. 25

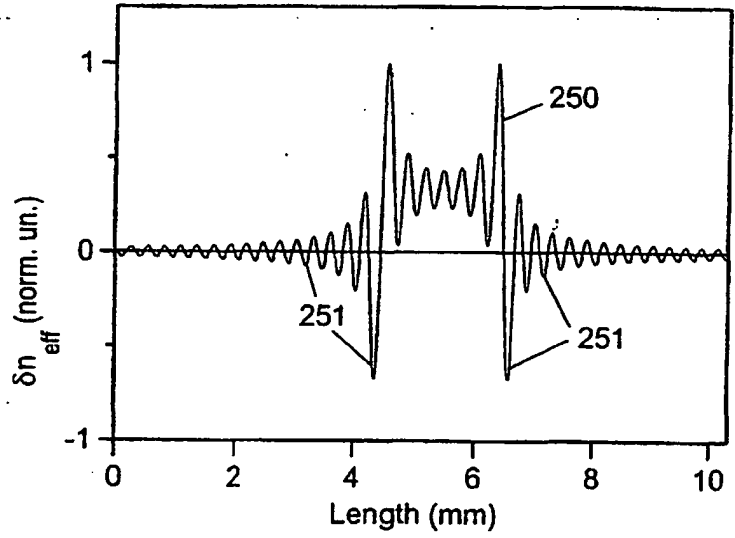
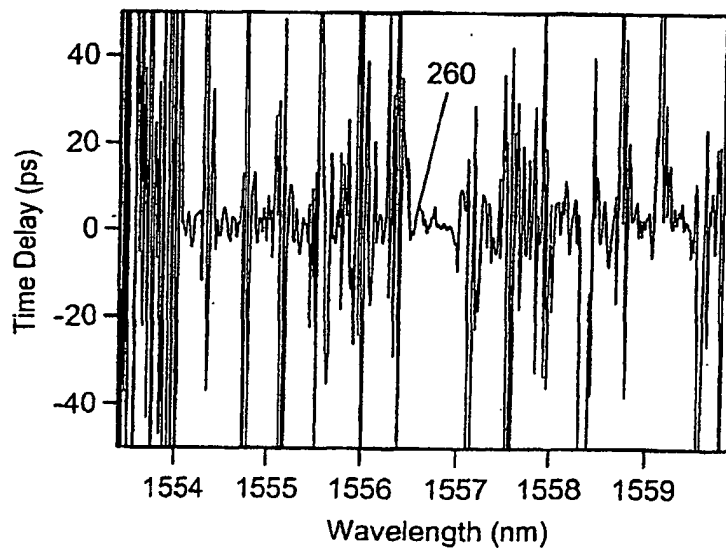


FIG. 26



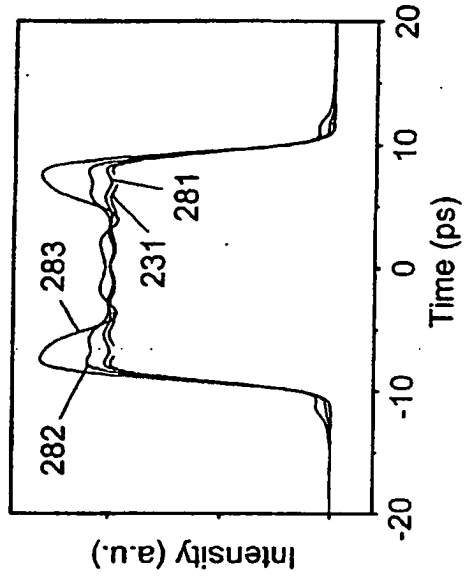


FIG. 28

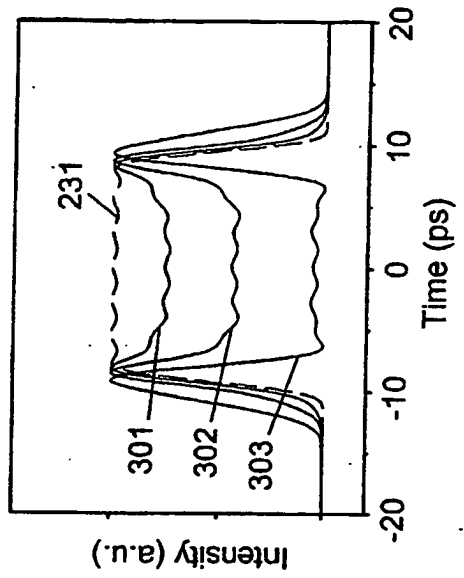


FIG. 30

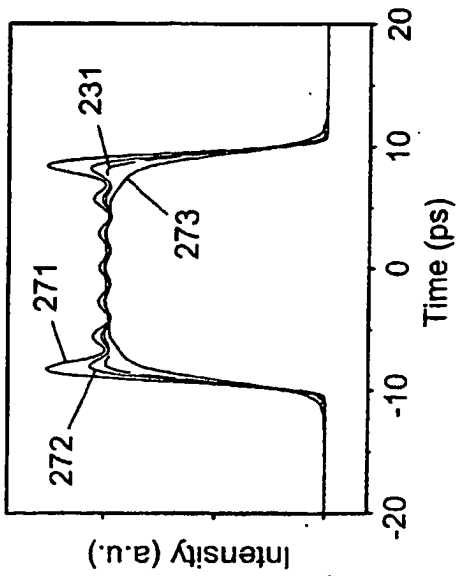


FIG. 27

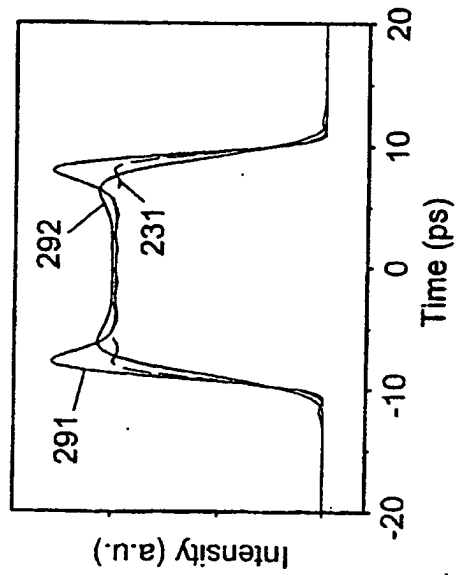


FIG. 29

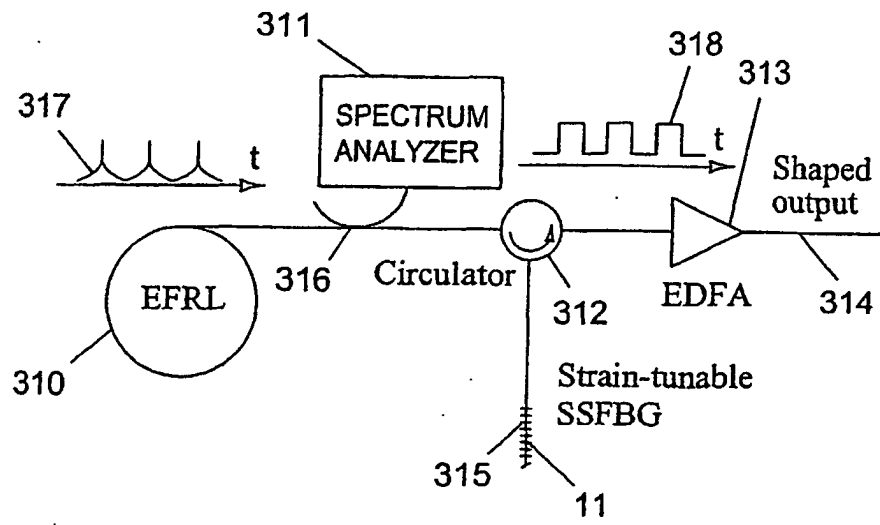


FIG. 31

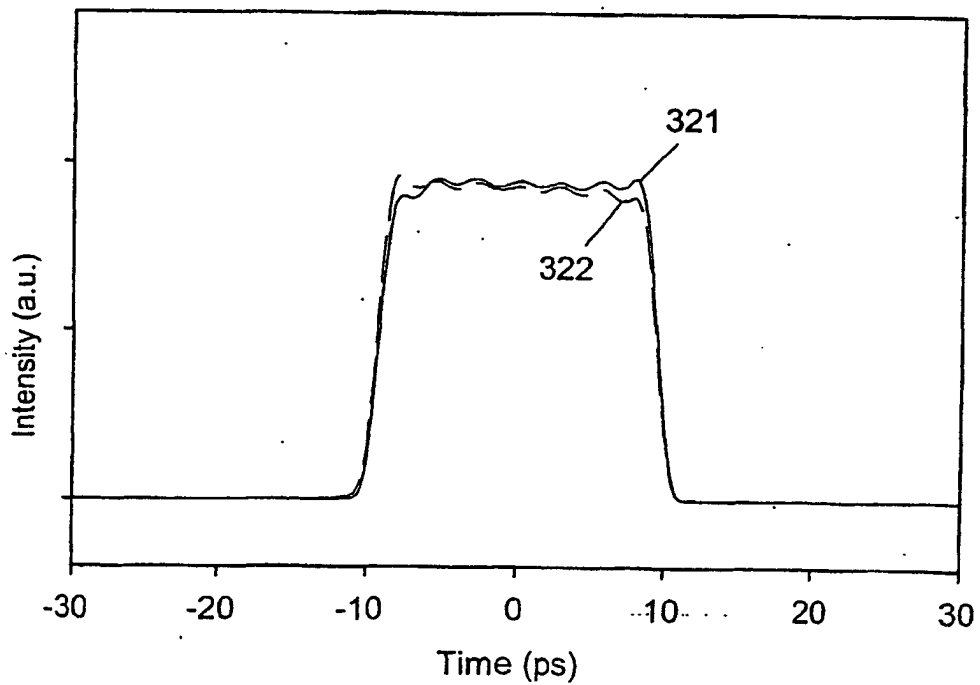


FIG. 32

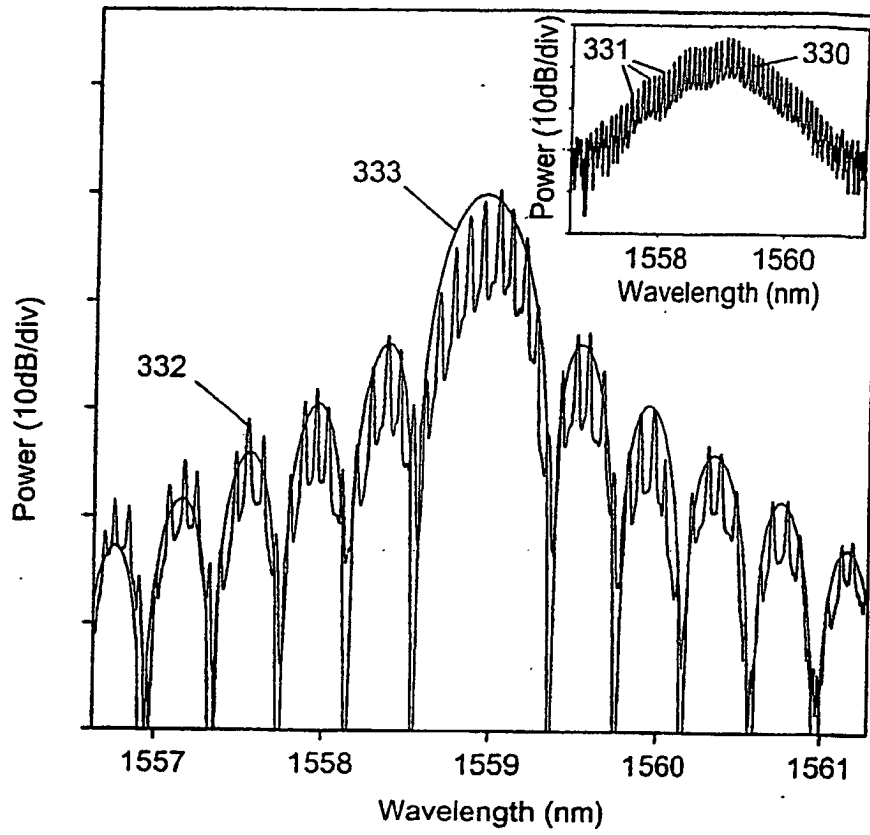


FIG. 33

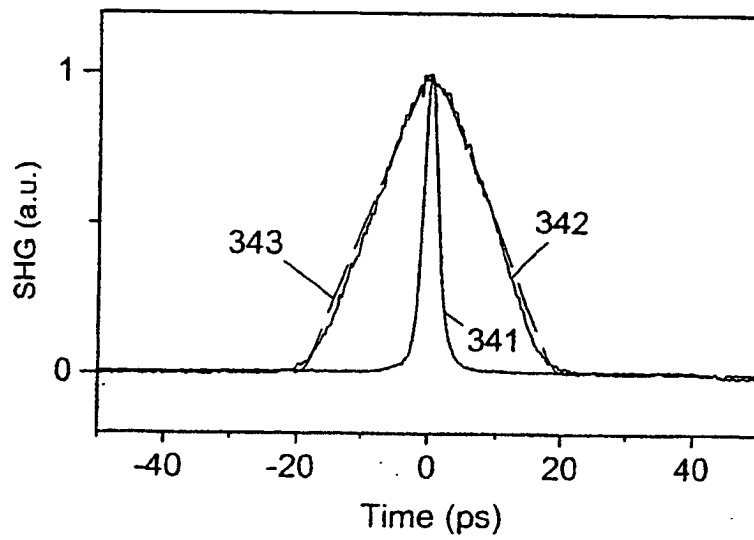


FIG. 34

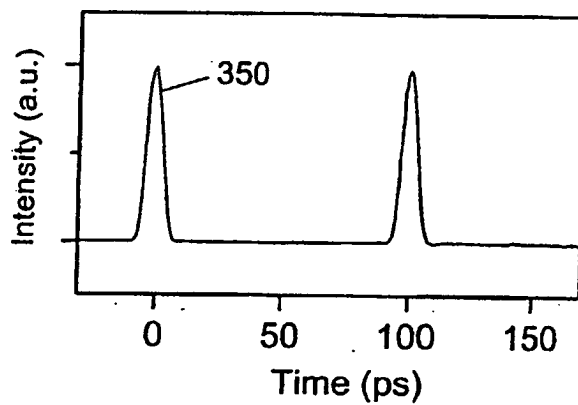


FIG. 35

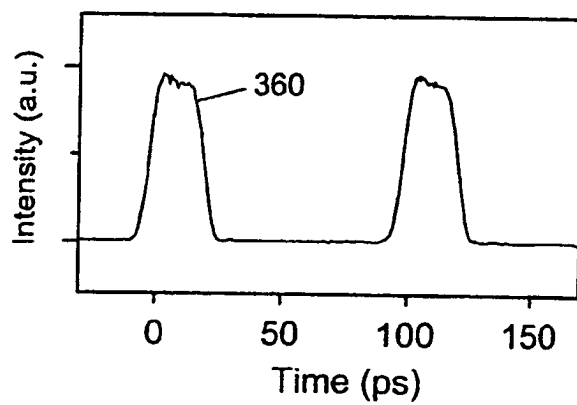


FIG. 36

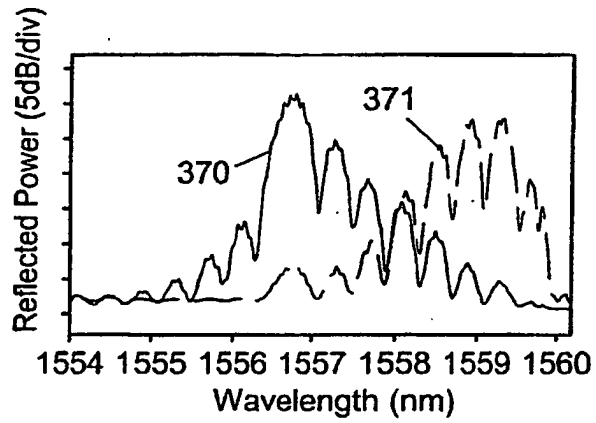


FIG. 37

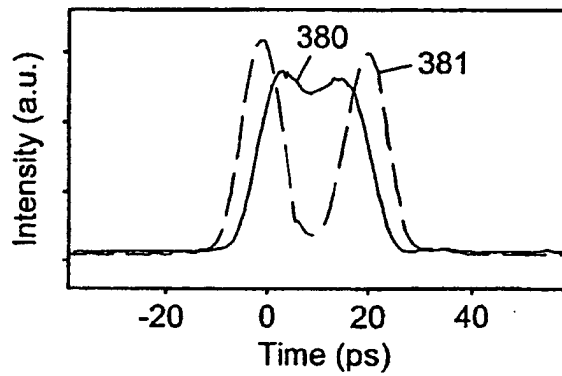


FIG. 38

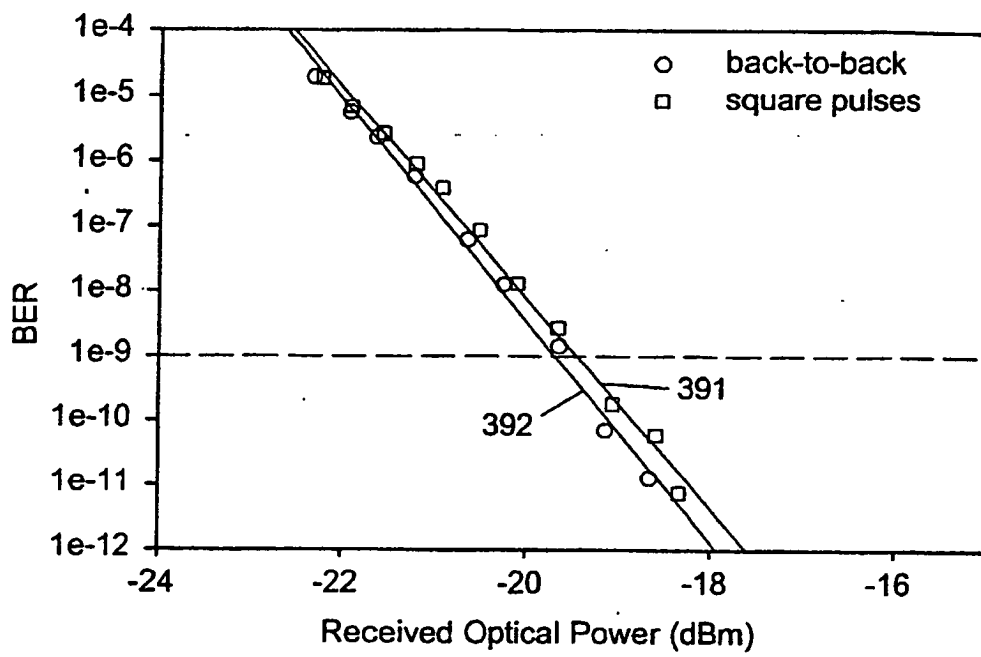


FIG. 39

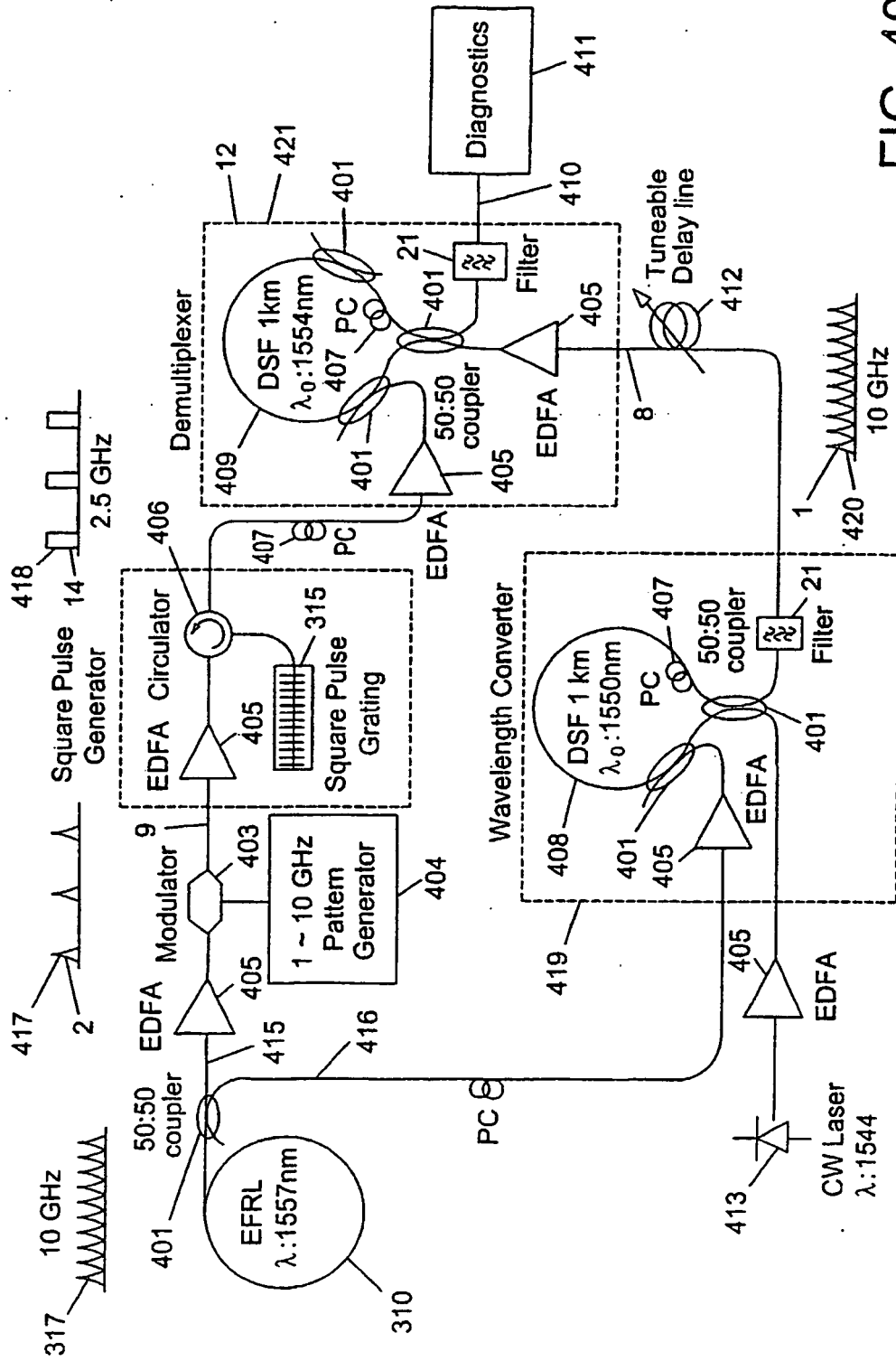


FIG. 40

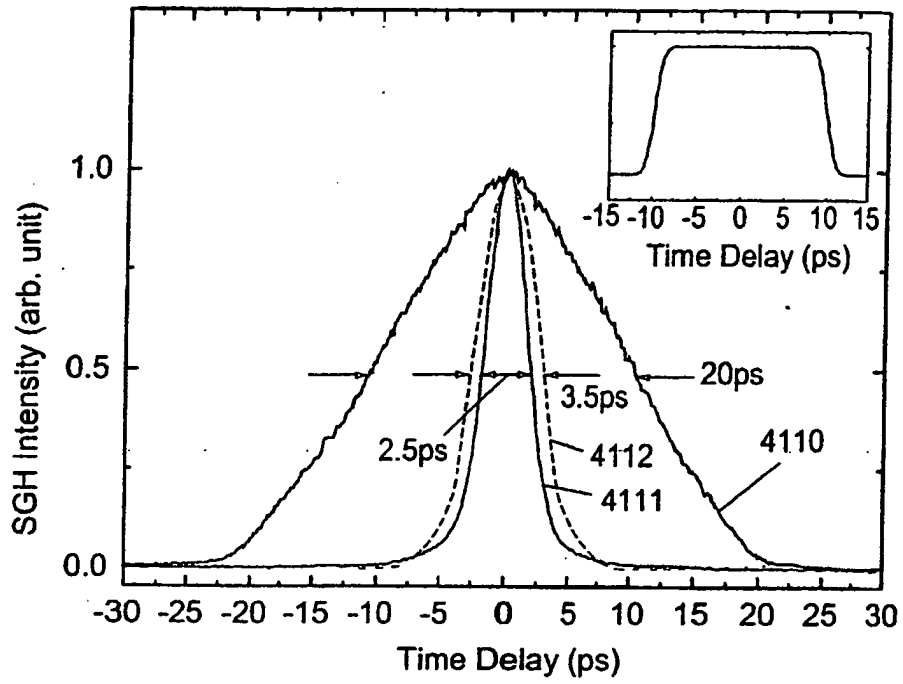


FIG. 41

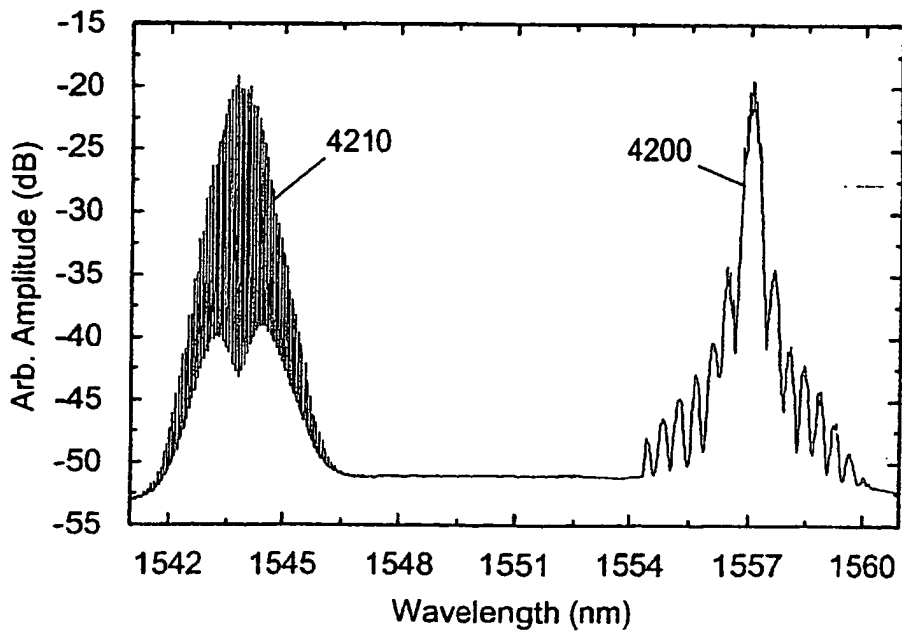


FIG. 42

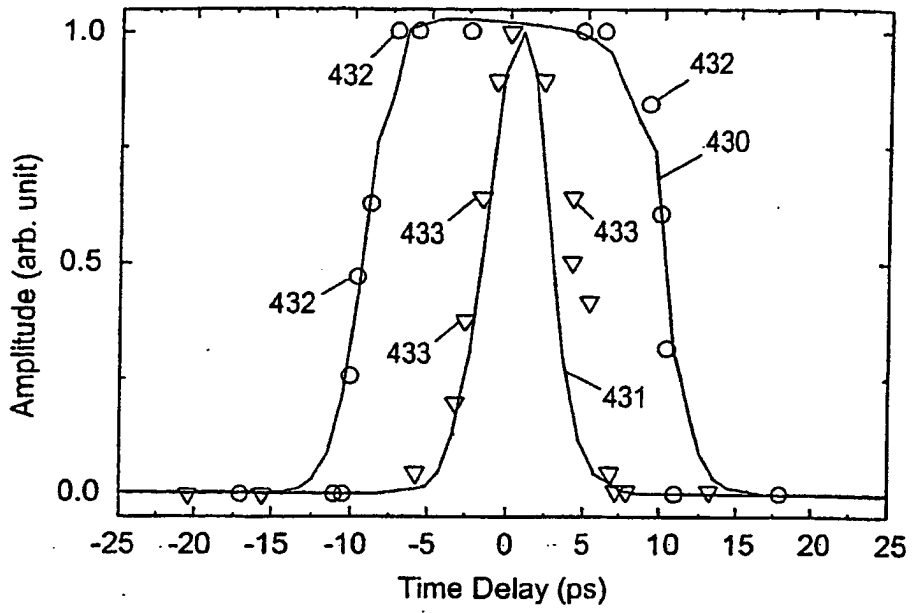


FIG. 43

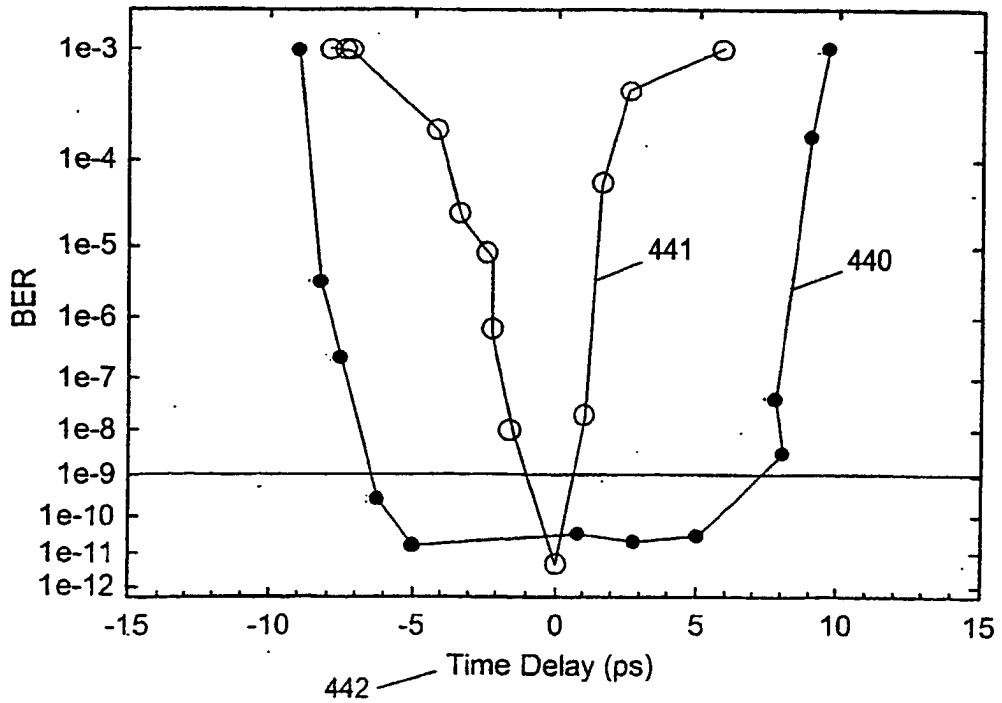


FIG. 44

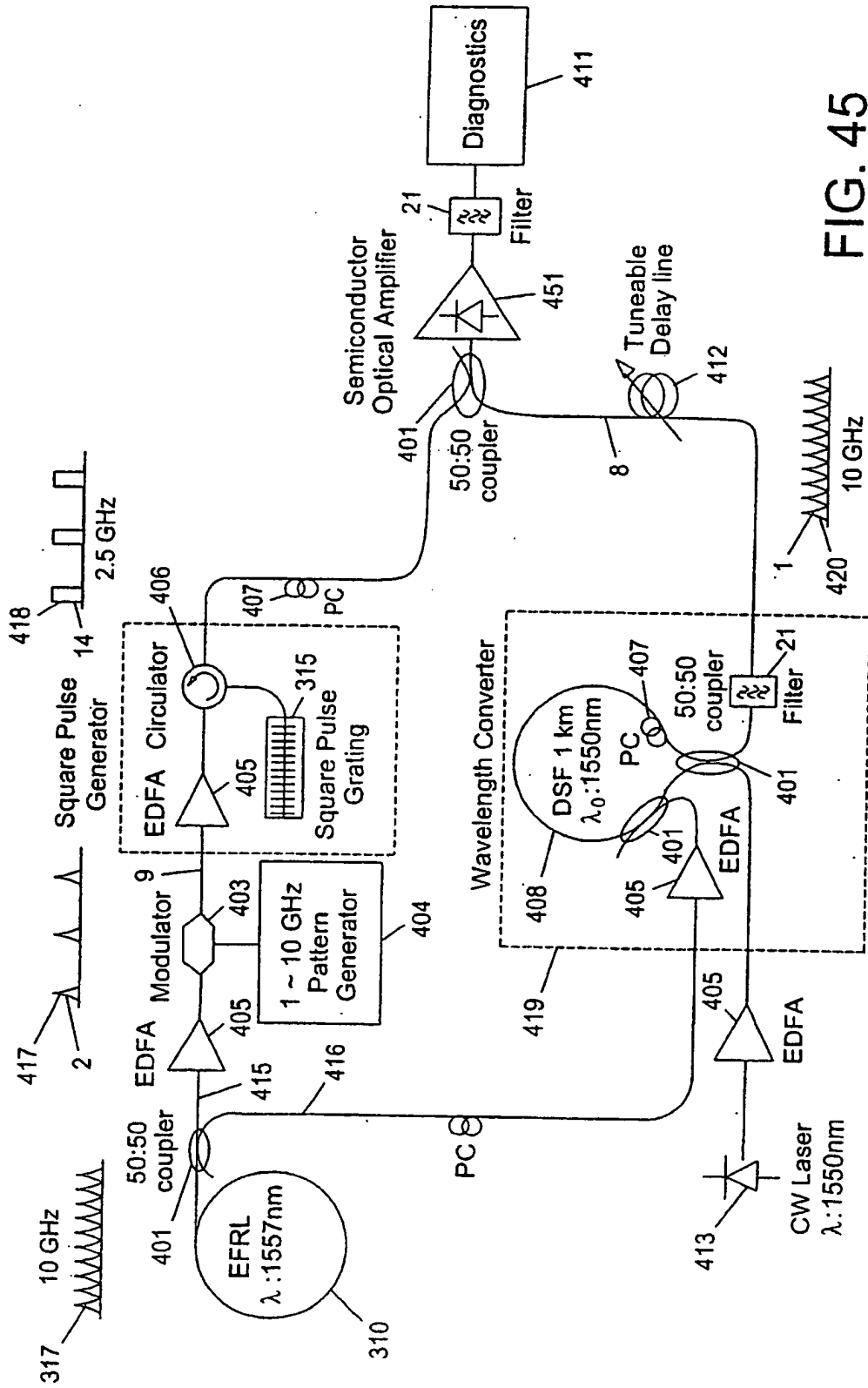


FIG. 45

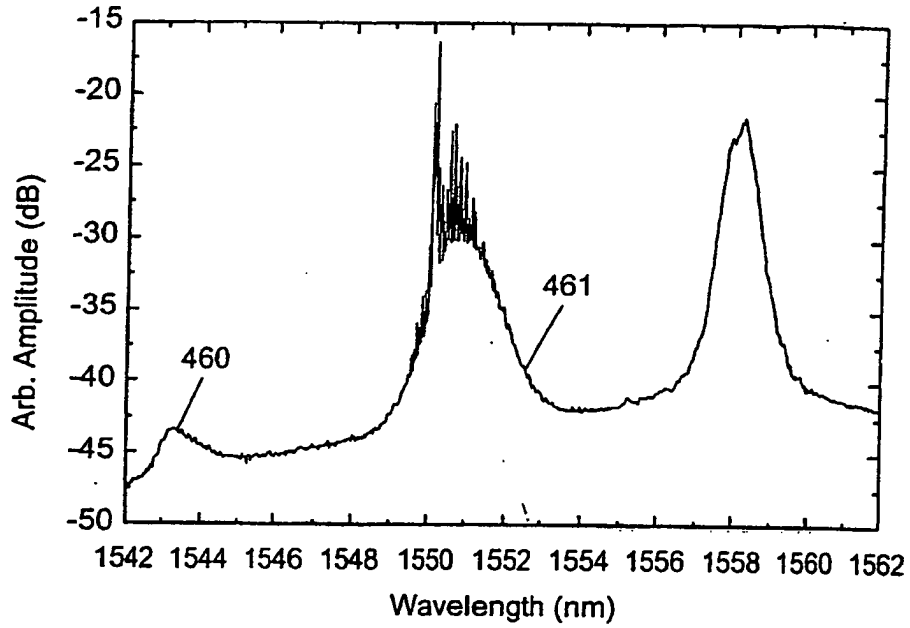


FIG. 46

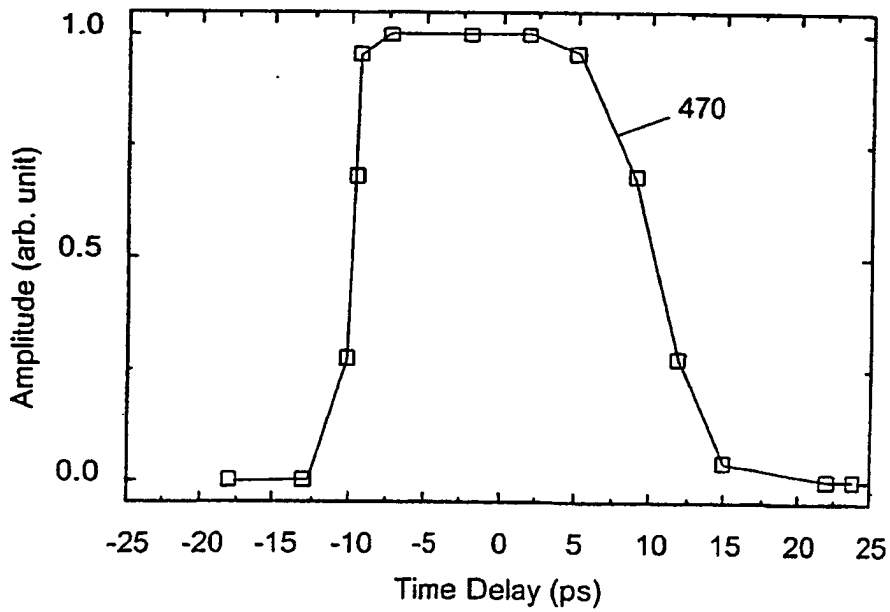


FIG. 47

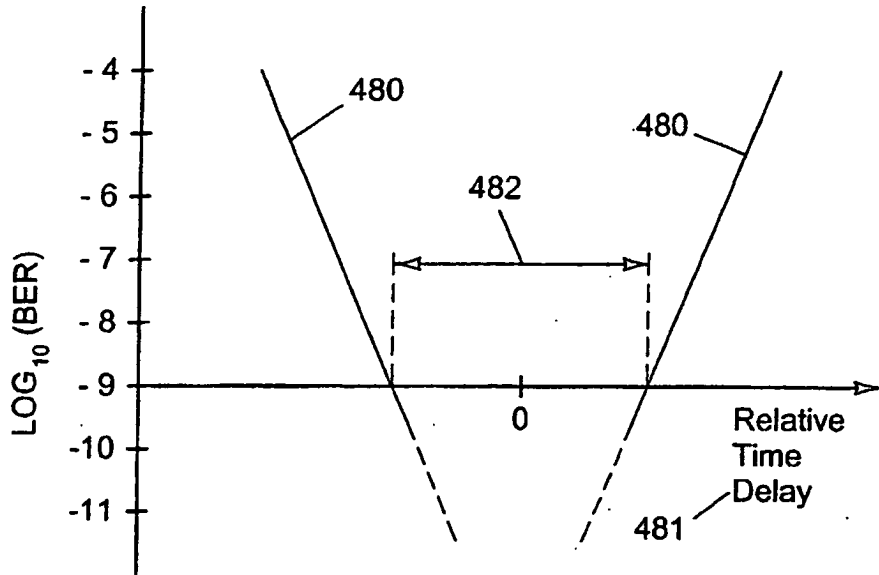


FIG. 48

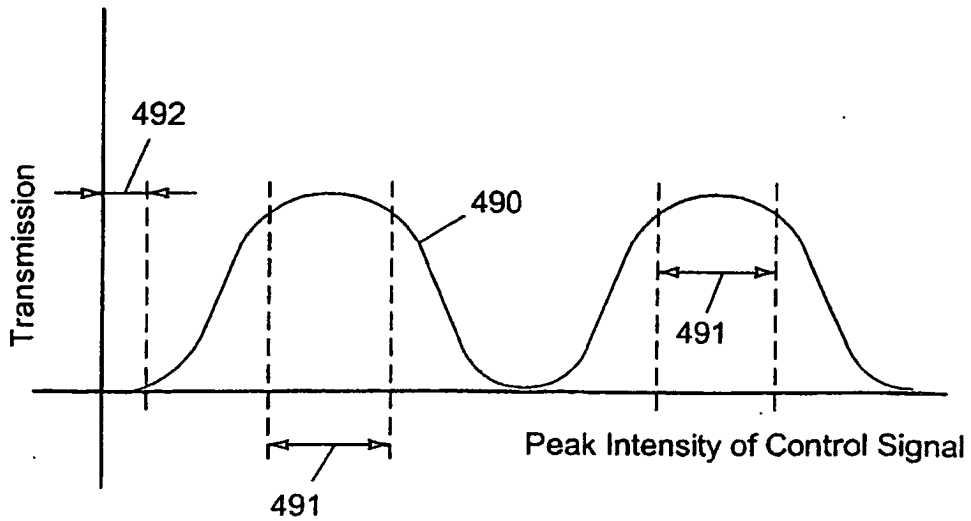


FIG. 49