



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 600 04 757 T2** 2004.07.08

(12)

Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 1 093 244 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **600 04 757.1**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **00 308 878.8**

(96) Europäischer Anmeldetag: **09.10.2000**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **18.04.2001**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **27.08.2003**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **08.07.2004**

(51) Int Cl.⁷: **H04B 10/155**

H04B 10/145, H01S 5/026

(30) Unionspriorität:

416323 12.10.1999 US

(73) Patentinhaber:

**Agere Systems Optoelectronics Guardian Corp.,
Orlando, Fla., US**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

DE, FR, GB

(72) Erfinder:

**Johnson, John Evan, New Providence, New
Jersey 07974, US**

(74) Vertreter:

derzeit kein Vertreter bestellt

(54) Bezeichnung: **Optischer Sender für WDM Übertragungssysteme**

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

Erfindungsgebiet

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft allgemein optische Sender und insbesondere laserbasierte Sender zur Verwendung in Wellenlängenmultiplex-Systemen (WDM).

Allgemeiner Stand der Technik

[0002] Bei optischen Sendern, die als die optische Quelle Halbleiterlaser verwenden, kann der Laser entweder direkt oder extern moduliert werden. Im Fall der direkten Modulation wird der Ansteuerstrom für den Laser gemäß einem Informationssignal moduliert, um eine entsprechende Modulation eines Parameters (z.B. Intensität) des Ausgangsstrahls des Lasers zu erzeugen. Im Fall der externen Modulation wird der Laser im Dauerstrichmodus (CW-Modus) betrieben, und der Ausgangsstrahl des Lasers wird an einen optischen Modulator außerhalb des Lasers angekoppelt. Ein Informationssignal wird an den Modulator angelegt und moduliert einen Parameter des Ausgangsstrahls. Ein ähnlicher Stand der Technik ist bekannt aus CLESCA, B. et al.: "3.2 nm wavelength tuning via temperature control for integrated electroabsorption modulator/DFB laser with high tolerance to chromatic dispersion", ELECTRONICS LETTERS, Mai 1996.

[0003] Bei einem typischen, extern modulierten optischen Sender ist der Modulator ein Halbleiterelektroabsorptionsmodulator (EA-Modulator). Der EA-Modulator basiert, um die Absorption des Laserstrahls zu ändern, auf dem Quantum-Confined Stark-Effect (in MQW-Halbleitern) oder dem Franz-Keldysh-Effect (in Volumenhalbleitern). Das heißt, eine an den EA-Modulator angelegte Vorspannung bewirkt, daß sich die Bandlücke des Modulators relativ zur Wellenlänge des Strahls verschiebt, was wiederum die Absorption des Strahls ändert.

[0004] Die Differenz zwischen der Wellenlänge des Laserstrahls und der der Bandlücke des EA-Modulators entsprechenden Wellenlänge wird als das Verstimmen bezeichnet. Das Verstimmen steuert viele wichtige Übertragungsparameter wie etwa Ausgangsleistung, Extinktionsverhältnis und dynamisches Chirp des Modulators.

[0005] Bei einem Einwellenlängensender wie etwa einem monolithisch integrierten DFB-Laser/EA-Modulator wird das Verstimmen durch das Design der Bauelemente fest gesteuert; z.B. durch Variieren der Bandlücke des EA-Modulators bei epitaxialem Aufwachsen, um der gewünschten DFB-Wellenlänge auf einem bestimmten Wafer zu entsprechen. Ein oder zwei Nanometer an Variabilität können durch Justieren der Vorspannung an den Modulator kompensiert werden. Der Justierbereich wird jedoch durch die Spannung begrenzt, bei der sich die Kennlinie des EA-Modulators verschlechtert.

[0006] Bei WDM-Systemen ist der Sender so modifiziert, daß er bei einer beliebigen von vielen Wellenlängen einen Ausgangsstrahl erzeugen kann. Eine derartige Modifikation besteht darin, den Einkanal-DFB-Laser entweder durch einen breitbandigen wellenlängenselektierbaren Laser (WSL), wie etwa einen abstimmbaren DBR-Laser oder durch ein an ein passives Combiner-Netz angekoppeltes Array von DFB-Lasern zu ersetzen. In diesem Fall jedoch würde das Verstimmen jeder Kanalwellenlänge von der Bandlücke des EA-Modulators von Kanal zu Kanal unterschiedlich sein, mit der unerwünschten Folge, daß die Übertragungsleistung jedes Kanals unterschiedlich wäre.

Kurze Darstellung der Erfindung

[0007] Ein optischer Sender zum Erzeugen eines beliebigen von N Trägersignalen zur Verwendung in einem M-kanaligen WDM-System ($M \geq N$), wobei jeder Kanal bei einer anderen Trägerwellenlänge λ_s ($s = 1, 2 \dots M$) arbeitet, enthält eine optische Quelle zum Erzeugen der Trägersignale bei einer beliebigen einer Vielzahl von N Wellenlängen λ_i ($i = 1, 2 \dots N$), wobei ($1 \leq N \leq M$). Eine erste Steuerung wählt eine bestimmte der Wellenlängen λ_i aus, bei der die Quelle arbeitet. Ein optischer Modulator empfängt das Trägersignal entsprechend der ausgewählten Wellenlänge λ_i und prägt Informationen auf das empfangene Signal auf. Der Modulator weist eine charakteristische elektronische Bandlücke und eine dieser entsprechende Wellenlänge λ_g auf. Bei einer gegebenen Temperatur ist λ_g um einen Betrag $\Delta\lambda_i$ von jedem λ_i versetzt. Für jede Wellenlänge λ_i gibt es einen vorbestimmten Wert von $\Delta\lambda_i$, der eine bevorzugte (z.B. optimale) Übertragungsleistung liefert. Der tatsächliche Wert $\Delta\lambda_i$ ist jedoch allgemein möglicherweise nicht für alle Werte von i gleich dem vorbestimmten Wert $\Delta\lambda_i$. Die Differenz zwischen dem tatsächlichen Wert $\Delta\lambda_i$ und dem vorbestimmten Wert $\Delta\lambda_i$ wird als der Verstimmfehler bezeichnet. Gemäß einem Aspekt der vorliegenden Erfindung enthält der Sender eine zweite Steuerung zum Minimieren des Verstimmfehlers. Bei einer bevorzugten Ausführungsform ändert die zweite Steuerung die Temperatur des Modulators, wenn die Wellenlänge der Quelle geändert wird (z.B. wenn verschiedene Werte λ_i ausgewählt werden), so daß $\Delta\lambda_i$ entsprechend dem obigen Kriterium gesteuert wird. Bei einer Ausführungsform, bei der die Wellenlänge der Quelle unabhängig von der Temperatur des Modulators abgestimmt werden kann, hält die zweite Steuerung den Verstimmfehler für alle ausgewählten Werte von i im wesentlichen auf Null.

Bei einer weiteren Ausführungsformen, bei der die Wellenlänge der Quelle nicht unabhängig von der Temperatur des Modulators abgestimmt wird, wird λ_i um einen vorbestimmten Betrag, der bezüglich der Temperatur zu der Änderungsgeschwindigkeit von λ_i und λ_g in Beziehung steht, von λ_s verstimmt.

Kurze Beschreibung der Zeichnung

[0008] Die vorliegende Erfindung läßt sich zusammen mit ihren verschiedenen Merkmalen und Vorteilen anhand der folgenden ausführlicheren Beschreibung in Verbindung mit der beiliegenden Zeichnung ohne weiteres verstehen. Es zeigen:

[0009] **Fig. 1** ein Blockschaltbild eines optischen Senders gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, bei der die Quelle und der Modulator über einen gemeinsamen thermoelektrischen Kühler (TEC) thermisch miteinander gekoppelt sind;

[0010] **Fig. 2** ein Blockschaltbild eines optischen Senders gemäß einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, bei der die Quelle und der Modulator thermisch mit getrennten TECs gekoppelt sind;

[0011] **Fig. 3** ein schematisches Diagramm der Absorption in Abhängigkeit von der Wellenlänge als Funktion der an einen EA-Modulator angelegten Vorspannung;

[0012] **Fig. 4** ein schematisches Diagramm der Absorption in Abhängigkeit von der Wellenlänge als Funktion der Temperatur eines EA-Modulators;

[0013] **Fig. 5** ein Diagramm des Extinktionsverhältnisses in Abhängigkeit von der an einen EA-Modulator angelegten Vorspannung für einen Eingangswellenlängenabstand von 5 nm und eine Differenz zwischen der Modulatortemperatur von 10°C bei benachbarten Wellenlängen von 1550 nm (bei 15°C), 1555 nm (bei 25°C) und 1560 nm (bei 35°C);

[0014] **Fig. 6** ein Diagramm ähnlich **Fig. 5** des Extinktionsverhältnisses in Abhängigkeit von der an einen EA-Modulator angelegten Vorspannung, aber bei der gleichen Temperatur (25°C) für alle drei Wellenlängen; d.h. der Modulator ist, wie im Stand der Technik, nicht hinsichtlich der Temperatur abgestimmt; und

[0015] **Fig. 7** ein schematisches Diagramm, das die Kanalwellenlängen bei verschiedenen Temperaturen gemäß einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zeigt.

[0016] Im Interesse der Klarheit und Einfachheit wurden die **Fig. 1-4 & 7** nicht maßstabsgetreu gezeichnet. Außerdem steht bei der Beschreibung physikalischer oder optischer Abmessungen das Symbol A für Angström, wohingegen es bei der Beschreibung eines elektrischen Stroms für Ampere steht.

Ausführliche Beschreibung der Erfindung

[0017] Allgemeine Überlegungen beim Design Bei einem M-Kanal-WDM-System werden in der Regel M optische Sender verwendet, um getrennte der erforderlichen M optischen Trägersignale mit jeweils einer anderen Wellenlänge λ_s ($s = 1, 2 \dots M$) zu erzeugen, und zwar einer pro Kanal. Falls M relativ groß ist, kann jeder Sender in der Lage sein, einen beliebigen von lediglich einer kleinen Teilmenge N der gewünschten Wellenlängen zu erzeugen (jeweils eine Wellenlänge). Um das ganze Kanalspektrum abzudecken, kann in diesem Fall eine Vielzahl derartiger Sender verwendet werden, die jeweils eine andere Teilmenge von Wellenlängen erzeugen (jeweils eine Wellenlänge pro Sender). Praktisch gesehen stellen WSLs einen bevorzugten Weg dar, diese Mehrwellenlängenfunktion bereitzustellen, da sie die Anzahl der Ersatzteile reduzieren, die zum Ersatz ausgefallener Sender bereitgehalten werden müssen.

[0018] Gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird in **Fig. 1** ein optischer Sender zur Verwendung in einem derartigen WDM-System gezeigt. Als Beispiel enthält der Sender **10** eine optische Quelle **12**, die über einen optischen Wellenleiter **16** an einen optischen Modulator **14** angekoppelt ist. Die Quelle **12** erzeugt einen optischen Strahl, in der Regel einen Laserstrahl, der durch den Wellenleiter **16** zum Modulator **14** geführt wird. Bei einem typischen optischen System würde der Ausgang des Modulators an eine nicht gezeigte Nutzungseinrichtung angekoppelt sein. Bei letzterer kann es sich beispielsweise um eines oder mehrere der folgenden handeln: ein Übertragungsmedium wie etwa eine optische Faser, ein optischer Isolator, ein optischer Verstärker, ein optischer Empfänger, ein Teil einer Anschlußausrüstung, einen optischen Multiplexer, einen optischen Zirkulator usw.

[0019] Die Quelle, der Wellenleiter und der Modulator können aber auch als eine optische integrierte Schaltung ausgebildet sein; beispielsweise als ein über Elektroabsorption modulierter Laser (EML). Ein EML ist in der Regel eine optische integrierte InP/InGaAsP-Halbleiterschaltung, die einen DFB-Laser, einen optischen Wellenleiter und einen EA-Modulator, die hintereinander angeordnet sind, enthält.

[0020] Eine Informationsquelle **54** (die beispielsweise eine Ansteuerschaltung und eine Vorspannungsquelle – nicht gezeigt – enthält) ist an den Modulator angekoppelt und moduliert den Ausgangsstrahl der Quelle **12** gemäß zu übertragenden Informationen (z.B. Sprache, Daten, Video und/oder Signalisierungsinformationen).

[0021] Die Quelle **12** kann in einer Vielzahl von Formen vorliegen, doch ist sie bei WDM-Anwendungen in der Regel ein wohlbekannter abstimmbarer Laser (z.B. ein DBR-Laser) oder ein wohlbekanntes Array von Einfre-

quenzlasern (z.B. DFB-Lasern), die über ein wohlbekanntes passives Netz an den Wellenleiter/Modulator angekoppelt sind. Ein beispielhafter breitbandiger abstimmbarer Laser wird in EP-A-0911927 beschrieben, das durch Bezugnahme hier aufgenommen ist. Bei einem M-Kanal-WDM-System kann die Quelle **12** ein Trägersignal (z.B. einen Laserstrahl) bei einer beliebigen einer Vielzahl von N Wellenlängen λ_i ($i = 1, 2 \dots N$) erzeugen, wobei ($1 \leq N \leq M$). Eine Hauptsteuerung **52** wählt eine bestimmte der Wellenlängen λ_i aus, bei der die Quelle arbeitet. Diese Quelle kann auch eine wohlbekannte Rückkopplungsanordnung zum Synchronisieren der Quellenwellenlänge mit der Systemwellenlänge nach Auswahl durch die Hauptsteuerung **52** enthalten. Die Hauptsteuerung steuert außerdem eine Reihe weiterer Steuerungen **36**, **46** und **50**, von denen eine oder mehrere in verschiedenen Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung verwendet werden können.

[0022] Gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung sind die Quelle und der Modulator über einen Träger **18** mit hoher Wärmeleitfähigkeit thermisch an einen TEC **20** angekoppelt. Somit sind die Temperatur der Quelle und des Modulators voneinander nicht vollständig unabhängig. Insbesondere wird die Mindesttemperatur der Quelle und des Modulators durch den TEC **20** und die Steuerung **50** gesteuert. Im Gegensatz dazu wird die inkrementale örtliche Temperatur der Quelle durch eine Heizvorrichtung **32** und eine Steuerung **36** gesteuert, wohingegen die inkrementale örtliche Temperatur des Modulators durch eine Heizvorrichtung **42** und eine Steuerung **46** gesteuert wird. Wenn andererseits zwischen der Quelle und dem Modulator ein ausreichender Wärmewiderstand vorliegt, kann der übliche TEC **20** in Verbindung mit nur einer der Steuerungen **36** oder **46** verwendet werden, um die lokalen Temperaturen der Quelle und des Modulators getrennt zu steuern. Falls beispielsweise die Steuerung **36** und die Heizvorrichtung **32** nicht vorliegen, wird die Temperatur der Quelle nur durch den TEC **20** und die Steuerung **50** gesteuert, wohingegen die Modulatormindesttemperatur durch den TEC **20** und die Steuerung **50** und ihre inkrementale örtliche Temperatur durch die Heizvorrichtung **42** und die Steuerung **46** gesteuert wird.

[0023] Diese Steuerungen **36** und **46** liefern einen elektrischen Strom zu Heizelementen **32** bzw. **42**, die jeweils in unmittelbarer Nähe zu der Quelle **12** und dem Modulator **14** angeordnet sind. Temperatursensoren **34** und **44** liefern Rückkopplungssignale an die Steuerungen **36** und **46** entsprechend den Temperaturen der Quelle **12** bzw. des Modulators **14**.

[0024] Man beachte jedoch, daß die Quelle und der Modulator nicht auf dem gleichen Träger montiert sein müssen; es kann sich bei ihnen um diskrete Bauelemente handeln, die nicht thermisch an den gleichen TEC/die gleiche Steuerung gekoppelt sind, so daß die Temperatur der Quelle und des Modulators unabhängig voneinander gesteuert werden können. **Fig. 2** veranschaulicht eine derartige Anordnung, bei der die Quelle **12** über einen Träger **18s** thermisch an den TEC **20s** angekoppelt ist, wohingegen der Modulator **14** über einen Träger **18m** thermisch an den TEC **20m** angekoppelt ist. Getrennte Temperatursteuerungen **50s** und **50m** steuern die Temperatur der Quelle bzw. des Modulators und reagieren auf die Hauptsteuerung **52**. Bei diesem Design ist das Übertragungsmedium in der Regel eine optische Faser **16f**, und die Komponenten Quelle und Modulator sind getrennt verkapselt. Das heißt, ein Baustein enthält die Quellenteilbaugruppe (Quelle **12**, Träger **18s** und TEC **20s**), wohingegen der andere Baustein die Modulorteilbaugruppe (Modulator **14**, Träger **18m** und TEC **20m**) enthält.

Überlegungen beim Verstimmen

[0025] Bei einer gegebenen Temperatur ist λ_g um einen Betrag $\Delta\lambda_i$ von jedem λ_i versetzt. Bei jeder Wellenlänge λ_i gibt es einen vorbestimmten Wert von $\Delta\lambda_i$, der eine bevorzugte (z.B. optimale) Übertragungsleistung liefert. Der tatsächliche Wert $\Delta\lambda_i$ ist jedoch allgemein möglicherweise nicht gleich dem vorbestimmten $\Delta\lambda_i$. Wie weiter oben angemerkt, wird die Differenz zwischen dem tatsächlichen $\Delta\lambda_i$ und dem vorbestimmten $\Delta\lambda_i$ für jeden Kanal als der Verstimmfehler für diesen Kanal bezeichnet. Gemäß einem Aspekt der vorliegenden Erfindung enthält der Sender eine oder mehrere Steuerungen zum Minimieren des Verstimmfehlers für jeden Kanal.

[0026] Bei einer Ausführungsform (z.B. wie in **Fig. 2** gezeigt), bei der die Wellenlänge der Quelle unabhängig von der Temperatur des Modulators temperaturabgestimmt werden kann, hält die Steuerung den Verstimmfehler für alle ausgewählten Werte von i im wesentlichen auf Null. Wenn in diesem Fall die Wellenlänge der Quelle von einem Kanal zu einem benachbarten geändert wird (d.h., die Wellenlänge der Quelle ändert sich um $\Delta\lambda_s$, wird die Bandlücke des Modulators verschoben, indem seine Temperatur um einen von Gleichung (1) angegebenen Betrag geändert wird:

$$\Delta T = (dT/d\lambda_g) (\Delta\lambda_s + \Delta\lambda_i - \Delta\lambda_{i+1}) \quad (1)$$

[0027] Bei einer weiteren Ausführungsform (wie in **Fig. 1** gezeigt), bei der die Wellenlänge der Quelle temperaturabgestimmt wird, aber nicht unabhängig von der Temperatur des Modulators, wird die Wellenlänge λ_i der Quelle von der Systemwellenlänge λ_s um einen vorbestimmten Betrag, der zu der Änderungsgeschwindigkeit von λ_i und λ_s bezüglich der Temperatur in Beziehung steht, so verstimmt, daß der Bereich von Verstimmfehlern minimiert wird; d.h.

$$\Delta\lambda_{i+1}(T_i) - \Delta\lambda_i(T_i) = \Delta\lambda_s [1 - (\partial\lambda_i/\partial T) (\partial T/\partial\lambda_g)] + (d\lambda_i/dT) (dT/d\lambda_g) (\Delta\lambda_{i+1} - \Delta\lambda_i) \quad (2)$$

[0028] In einem Fall ist das vorbestimmte Verstimmen für alle Kanäle im wesentlichen das gleiche; d.h.

$$\Delta\lambda_1 \approx \Delta\lambda_2 \approx \Delta\lambda_3 \dots \approx \Delta\lambda_N \quad (3)$$

[0029] In diesem Fall werden die Gleichungen (1) und (2) zu den Gleichungen (4) bzw. (5) vereinfacht:

$$\Delta T = \Delta\lambda_s (\partial\lambda_g/\partial T) \quad (4)$$

$$\Delta\lambda_i = \Delta\lambda_s [1 - (\partial\lambda_i/\partial T) (\partial T/\partial\lambda_g)] \quad (5)$$

Ausführungsform des EA-Modulators

[0030] In der sich anschließenden Erörterung wird davon ausgegangen, daß der Modulator nur zu Veranschaulichungszwecken ein EA-Modulator ist. Andere Formen des Modulators, insbesondere Halbleitermodulatoren, können sich jedoch zur Verwendung mit der vorliegenden Erfindung eignen. Nunmehr unter Bezugnahme auf **Fig. 3** wird schematisch die Absorption (a) eines EA-Modulators als Funktion der optischen Wellenlänge eines sich durch den Modulator ausbreitenden Strahls gezeigt. Wenn das am Modulator anliegende elektrische Feld relativ schwach ist (Kurve I, als E_{on} bezeichnet), ist die Absorption des Strahls bei der Wellenlänge λ_L relativ gering (als α_{on} bezeichnet). Wenn umgekehrt das am Modulator anliegende elektrische Feld relativ stark ist (Kurve II, als E_{off} bezeichnet), verschiebt sich die Absorptionskennlinie zu höheren Wellenlängen und die Absorption des Strahls bei der Wellenlänge λ_L ist relativ groß (als α_{off} bezeichnet). Der Bruch α_{off}/α_{on} ist als das Extinktionsverhältnis bekannt und wird in der Regel in dB gemessen. Bei einem Feld von E_{on} wird die Wellenlängendifferenz $\Delta\lambda$ zwischen λ_L und der elektronischen Bandlücke des Modulators entsprechenden Wellenlänge λ_g wie weiter oben angemerkt als das Offset oder Verstimmen bezeichnet. $\Delta\lambda$ wird allgemein für einen geringen Einschaltzustandsverlust bei E_{on} und ein hohes Extinktionsverhältnis bei E_{off} optimiert.

[0031] Unter Bezugnahme auf **Fig. 4** kann man den Effekt der Temperatur auf die Absorptionskennlinie eines EA-Modulators verstehen. Wenn die Temperatur eines EA-Modulators erhöht wird, beispielsweise von T_1 auf T_2 auf T_3 , wobei $T_1 > T_2 > T_3$, verschiebt sich die Absorptionskennlinie nach rechts zu höheren Wellenlängen. Diese Verschiebung impliziert wiederum, daß die Bandlücke des Modulators mit steigender Temperatur abnimmt, da die der Bandlücke entsprechende Wellenlänge λ_g zunimmt; d.h. $\lambda_{g3} > \lambda_{g2} > \lambda_{g1}$. Aus **Fig. 4** geht hervor, daß sich mit der Temperatur auch die Absorption bei einer bestimmten Quellenwellenlänge ändert. Bei einer Quellenwellenlänge $\lambda_L = \lambda_1$ nimmt somit die Absorption von α_{11} auf α_{12} auf α_{13} zu, wenn die Temperatur von T_1 auf T_2 auf T_3 ansteigt. Gleichmaßen liefert der Modulator bei einer festen Modulatortemperatur, wenn die Quelle auf kürzere Wellenlängen abgestimmt ist, eine niedrigere Ausgangsleistung, höhere Extinktionsverhältnisse und ein größeres negatives Chirp.

[0032] Um diese Änderungen zu kompensieren und um sicherzustellen, daß diese Parameter bei den vorbestimmten (z.B. optimalen) Werten für jede Quellenwellenlänge bleiben, wird die Temperatur des EA-Modulators so geändert, daß der Verstimmfehler auf ein Minimum reduziert ist. Bei der folgenden Erörterung wird davon ausgegangen, daß das vorbestimmte Verstimmen für alle Kanäle für alle Werte von i gleich ist. Die gleichen Konzepte gelten in dem allgemeineren Fall, wenn anstelle der Gleichungen (4) und (5) die Gleichungen (1) und (2) verwendet werden. Bei einer Ausführungsform, bei der die Quellenwellenlänge unabhängig von der Temperatur des Modulators temperaturabgestimmt werden kann, ist das Verstimmen bei jedem der Kanalwellenlängen im wesentlichen das gleiche; sie genügen beispielsweise Gleichung (3) oder, wie in **Fig. 4** gezeigt, $\Delta\lambda_1 \approx \Delta\lambda_2 \approx \Delta\lambda_3$. Eine strikte Gleichheit ist nicht erforderlich; die Erfindung kann beim Abstimmen der Quelle ein gewisses Chirp tolerieren. Bei einigen Anwendungen ist beispielsweise bei den verschiedenen Offsets eine Schwankung von ± 1 nm akzeptabel. Diese Ausführungsform eignet sich insbesondere bei denjenigen Senderdesigns, die einen WSL als Quelle verwenden.

[0033] Wenn diese Bedingung erfüllt ist, überlappt sich die Schar der Extinktionsverhältnis-Modulatorspannung-Kurven im wesentlichen, wie in **Fig. 5** gezeigt (Versuchsergebnisse für einen diskreten EA-Modulator). Diese graphische Darstellung zeigt das Extinktionsverhältnis in Abhängigkeit von der an den Modulator angelegten Spannung als Funktion der Quellenwellenlänge und der Modulatortemperatur; d.h. 1550 nm, 1555 nm und 1560 nm bei 15°C, 25°C bzw. 35°C. Es ist offensichtlich, daß die drei Kurven im wesentlichen identisch sind. Das Justieren der Bandlücke des Modulators (über seine Temperatur), wenn die Quellenwellenlänge geändert wird, gestattet das Beibehalten des gewünschten Verstimmens wie oben definiert. Falls hingegen der Modulator bei einer konstanten Temperatur gehalten wird, überlappen sich die Kurven nicht, wie in **Fig. 6** gezeigt. Bei einer konstanten Modulatortemperatur von 25°C ändert sich hierbei das Extinktionsverhältnis mit der Quellenwellenlänge. Bei vielen Anwendungen ist beispielsweise die Änderung von etwa 5 dB bei -2 V unerwünscht.

[0034] Bei vielen praktischen Anwendungen der vorliegenden Erfindung jedoch ist der EA-Modulator entweder als die Quelle monolithisch auf dem gleichen Chip integriert (z.B. ein WSL), oder er ist als Hybrid mit einer hohen Wärmeleitfähigkeit zwischen der Quelle und dem Modulator auf einer gemeinsamen Montagebasis integriert, wie in **Fig. 1** gezeigt (jedoch ohne die Heizvorrichtungen **32** und **42**). In beiden Fällen weisen der Modulator und die Quelle im wesentlichen die gleiche Temperatur auf, und sie sind nicht unabhängig voneinander temperaturabgestimmt. Folglich verschiebt sich die Quellenwellenlänge, die in der Regel entsprechend Systemspezifikationen fest gesteuert wird, wenn sich die Temperatur des Modulators ändert. Beispielsweise ändert sich die Wellenlänge eines typischen InP/InGaAsP-Lasers, der bei einer nominellen Mittenwellenlänge von 1550 nm arbeitet, mit der Rate von 0,1 nm/°C, wohingegen die entsprechende Rate für einen aus ähnlichen Materialien hergestellten EA-Modulator größer (z.B. 0,5 nm/°C), kleiner oder gleich der des Lasers sein kann.

[0035] Um einen breitbandigen EA-modulierten Sender aufzubauen, ohne Modulatorleistung einzubüßen, sollte also der Quellenkanalabstand $\Delta\lambda_i$ zwischen zwei beliebigen benachbarten Kanälen bei einer festen Temperatur von dem Systemkanalabstand $\Delta\lambda_s$ zwischen den entsprechenden beiden benachbarten Kanälen abweichen. Bei diesen Ausführungsformen, bei denen die Quelle beispielsweise ein WSL-Laser ist, wird der Laserkanalabstand so justiert, daß die Kombination aus der Höhe des zum Auswählen einer bestimmten Laserwellenlänge verwendeten Stroms und der Temperaturänderung zusammen den gewünschten Systemkanalabstand ergeben. Die Beziehung zwischen dem Laserkanalabstand und dem Systemkanalabstand sollte bevorzugt Gleichung (5) genügen. Dieser Kanalabstand stellt sicher, daß bei Änderung der Temperatur, um das EA-Verstimmen konstant zu halten, die Laserwellenlängen vorbestimmten Systemwellenlängen entsprechen; d.h., die Laserwellenlängen richten sich nach dem Systemgitter (z.B. ITU) aus.

[0036] Bei dem Fall, bei dem die Quelle ein abstimmbarer Laser ist und die Temperatur keines der individuellen Kanäle abgestimmt wird, erfolgt die Umsetzung wie oben angegeben, und das relative EA-Verstimmen ist für alle Kanäle fast Null. Die unten stehende Tabelle I zeigt dieses Konzept für einen Sender, dessen Quelle einen abstimmbaren Laser umfaßt, der N = 7 Kanäle abdeckt, die mit 0,8 nm beabstandet sind (etwa 100 GHz), wobei EA-Modulator und Lasertemperaturkoeffizienten von 0,5 nm/°C bzw. 0,1 nm/°C angenommen werden. Der Kanalabstand des justierten Lasers beträgt 0,64 nm und die Temperaturdifferenz beträgt 1,6°C pro Kanal.

TABELLE I

Kanal Nr.	Rel. Systemgitter λ (nm)	Rel. Laser λ (nm) bei 25°C	Arbeits- temperatur T_{op} (°C)	Rel. Verstimmen bei T_{op}
1	-2,4	-1,92	20,2	0
2	-1,6	-1,28	21,8	0
3	-0,8	-0,64	23,4	0
4	$\pm 0,0$	$\pm 0,00$	25,0	0
5	+0,8	+0,64	26,6	0
6	+1,6	+1,28	28,2	0
7	+2,4	+1,92	29,8	0

[0037] Wenn die Quelle hingegen ein Array von Lasern (z.B. DFB-Laser) umfaßt, bei dem jeder Laser durch Temperaturabstimmung $n < N$ Kanäle (einzeln) bedienen kann, ähnelt der Ansatz dem oben beschriebenen, doch kann das EA-Verstimmen nicht für alle Kanäle konstant gehalten werden, da jeder Laser temperaturabgestimmt werden muß (z.B. über die Steuerung **36** von **Fig. 1**). Der Verstimmbereich ist jedoch erheblich kleiner als der ohne Verwendung der vorliegenden Erfindung.

[0038] Das Konzept besteht darin, bei der gleichen Temperatur die beste Wellenlänge für jeden Laser zu finden, so daß die Gleichung (3), wobei $n\Delta\lambda_s$ für $\Delta\lambda_s$ substituiert wird, erfüllt ist. Die unten stehende Tabelle II und **Fig. 7** veranschaulichen das Konzept für einen Sender, dessen Quelle ein Array aus drei DFB-Lasern umfaßt. Jeder Laser deckt $n = 3$ Kanäle bei insgesamt $N = 9$ Kanälen pro Sender ab. Die Kanäle sind um etwa 0,4 nm (etwa 50 GHz) beabstandet. Tabelle II (sowie Tabelle III unten) sollten wie folgt ausgelegt werden. Damit der Sender ein Ausgangssignal liefern kann, das dem Träger beispielsweise für Systemkanal Nr. 4 entspricht, würde der Laser Nr. 2 bestromt (eingeschaltet) werden und seine Arbeitstemperatur würde auf 21°C gesetzt werden. Damit er andererseits ein Ausgangssignal liefert, das dem Träger für Kanal Nr. 5 entspricht, würde Laser Nr. 2 wieder bestromt werden, doch würde seine Temperatur auf 25°C gesetzt werden. Jeder Laser in dem

Array aus drei Lasern kann somit durch Ändern seiner Arbeitstemperatur jeweils auf einen von drei verschiedenen Systemkanälen eingestellt werden. Man beachte, daß jeweils nur ein Laser im Array bestromt (eingeschaltet) ist.

[0039] Wenn diese Ausführungsform der vorliegenden Erfindung verwendet wird, beträgt der gewünschte Wellenlängenabstand zwischen Lasern etwa 0,96 nm, und der Temperaturschritt zwischen Lasern beträgt 2,4°C, was durch die oben identifizierte Substitution erhalten wird. Bei den dazwischenliegenden Kanälen wird der Temperaturschritt im Laser durch die normale Lasertemperaturabstimmung von 0,1 nm/°C oder 4°C pro Kanal gesteuert. Das Ergebnis davon ist, daß diese Ausführungsform der vorliegenden Erfindung einen maximalen Verstimmungsbereich von $\pm 1,6$ (3,2) nm aufweist. Die gleiche Methodik kann auf eine Quelle angewendet werden, die einen abstimmbaren Laser umfaßt, bei dem der Systemkanalabstand kleiner ist als der Lasermodenabstand und bei dem zum Zugriff auf den/die dazwischenliegenden Kanäle eine Temperaturabstimmung verwendet wird.

TABELLE II

Kanal Nr.	Laser Nr.	Rel. System- gitter λ (nm)	Rel. Laser λ (nm) bei 25°C	Arbeits- temperatur T_{op} (°C)	Rel. Verstimmen bei T_{op}
1	1	-1,6	-0,96	18,6	+1,6
2	1	-1,2	-0,96	22,6	$\pm 0,0$
3	1	-0,8	-0,96	26,6	-1,6
4	2	-0,4	$\pm 0,00$	21,0	+1,6
5	2	-0,0	$\pm 0,00$	25,0	$\pm 0,0$
6	2	+0,4	$\pm 0,00$	29,0	-1,6
7	3	+0,8	+0,96	23,4	+1,6
8	3	+1,2	+0,96	27,4	$\pm 0,0$
9	3	+1,6	+0,96	31,4	-1,6

[0040] Ohne den Einsatz der vorliegenden Erfindung würde hingegen jeder Laser temperaturabgestimmt werden, um wie oben $n = 3$ Kanäle abzudecken, würde aber, wie in Tabelle III gezeigt, zwischen den Lasern einen Abstand von 1,2 nm und einen maximalen Verstimmungsbereich von $\pm 2,8$ (5,6) nm aufweisen, im Vergleich zu einem Abstand von nur 0,96 nm und einem maximalen Verstimmungsbereich von nur 3,2 nm bei der vorliegenden Erfindung. Wenn die Anzahl der Kanäle im WDM-System ansteigt, ist außerdem der durch die Verwendung der vorliegenden Erfindung bei diesen Parametern realisierte Vorteil noch größer. Genauer gesagt nimmt bei dieser Ausführungsform der vorliegenden Erfindung der Verstimmungsbereich mit n zu, aber nicht mit N ; somit wird eine Quelle, die ein Array aus 3 Lasern umfaßt, den gleichen Verstimmungsbereich wie eine Quelle aufweisen, die beispielsweise ein Array aus 8 Lasern umfaßt. Ohne den Einsatz der vorliegenden Erfindung nimmt jedoch der Verstimmungsbereich mit entweder n oder N oder beiden zu.

TABELLE III

Kanal Nr.	Laser Nr.	Rel. System- gitter λ (nm)	Rel. Laser λ (nm) bei 25°C	Arbeits- temperatur T_{op} (°C)	Rel. Verstimmen bei T_{op}
1	1	-1,6	-1,2	21	+0,4
2	1	-1,2	-1,2	25	-1,2
3	1	-0,8	-1,2	29	-2,8
4	2	-0,4	$\pm 0,0$	21	+1,6
5	2	$\pm 0,0$	$\pm 0,0$	25	$\pm 0,0$
6	2	+0,4	$\pm 0,0$	29	-1,6
7	3	+0,8	+1,2	21	+2,8
8	3	+1,2	+1,2	25	+1,2
9	3	+1,6	+1,2	29	-0,4

[0041] Es versteht sich, daß die oben beschriebenen Anordnungen für die vielen möglichen spezifischen Ausführungsformen, die man sich ausdenken kann, um die Anwendung der Grundlagen der Erfindung darzustellen, lediglich beispielhaft sind. Gemäß diesen Grundlagen kann sich der Fachmann zahlreiche und verschiedene weitere Anordnungen ausdenken, ohne vom Schutzbereich der Erfindung, wie er durch die beigefügten Ansprüche definiert ist, abzuweichen. Der Sender kann insbesondere auch eine Leistungsüberwachungseinrichtung (z.B. eine Rückseitenüberwachungsphotodiode) enthalten, die an die Ansteuerschaltung der Quelle angekoppelt ist, um die Leistung des Ausgangsstrahls zu steuern (um z.B. die Ausgangsleistung konstant zu halten). Der Sender kann aber auch noch andere Elemente enthalten, die zwischen der Quelle und dem Modulator angeordnet sind; beispielsweise einen optischen Isolator oder einen optischen Koppler. Letzterer kann in Verbindung mit einem Photodetektor dazu verwendet werden, die Ausgangsleistung und Wellenlänge der Quelle zu überwachen.

Patentansprüche

1. Optischer Sender (**10**) zum Erzeugen eines beliebigen von N optischen Trägersignalen zur Verwendung in einem System mit $M \geq N$ optischen Kanälen, die jeweils bei einer anderen Wellenlänge λ_s arbeiten ($s = 1, 2 \dots M$), der folgendes umfaßt mindestens eine optische Quelle (**12**) zum Erzeugen der Trägersignale bei einer beliebigen einer Vielzahl von N Wellenlängen λ_i ($i = 1, 2 \dots N$), wobei ($1 \leq N \leq M$), eine Hauptsteuerung (**52**) zum Auswählen einer bestimmten der Wellenlängen λ_i , bei der die Quelle arbeitet, und einen optischen Modulator (**14**) zum Empfangen des Trägersignals entsprechend der ausgewählten Wellenlänge λ_i und zum Aufprägen von Informationen auf das empfangene Signal, wobei der Modulator eine charakteristische elektronische Bandlücke entsprechend einer Wellenlänge λ_g aufweist, wobei ($\lambda_i - \lambda_g = \Delta\lambda_i$, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Sender eine zweite Steuerung zum Minimieren der Differenz zwischen dem tatsächlichen $\Delta\lambda_i$ und einem vorbestimmten Wert von $\Delta\lambda_i$ für alle Werte von i enthält.

2. Optischer Sender nach Anspruch 1, wobei das Abstimmen der Quelle und des Modulators im wesentlichen unabhängig voneinander erfolgt und wobei die zweite Steuerung die Differenz zwischen dem tatsächlichen $\Delta\lambda_i$ und dem vorbestimmten $\Delta\lambda_i$ für alle Werte von i im wesentlichen auf Null hält.

3. Optischer Sender nach Anspruch 2, wobei die vorbestimmten Werte von $\Delta\lambda_i$ für alle Werte von i im wesentlichen gleich sind.

4. Optischer Sender nach Anspruch 1, wobei das Abstimmen der Quelle und des Modulators nicht unabhängig voneinander erfolgt und wobei die Wellenlänge der Quelle gemäß der Gleichung

$$\Delta\lambda_{i+1}(T_i) - \Delta\lambda_i(T_i) = \Delta\lambda_s [1 - (\partial\lambda_i/\partial T) (\partial T/\partial\lambda_g)] + (d\lambda_i/dT) (dT/d\lambda_g) (\Delta\lambda_{i+1} - \Delta\lambda_i)$$

von den Kanalwellenlängen verstimmt wird.

5. Optischer Sender nach Anspruch 4, wobei die vorbestimmten Werte von $\Delta\lambda_i$ für alle Werte von i gleich sind und wobei die Wellenlänge der Quelle gemäß Gleichung

$$\Delta\lambda_i = \Delta\lambda_s [1 - (\partial\lambda_i/\partial T) (\partial T/\partial\lambda_g)]$$

von der Kanalwellenlänge verstimmt wird.

6. Optischer Sender nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Quelle einen abstimmbaren Laser umfaßt, wobei der Laser auf jede der Wellenlängen λ_i abgestimmt werden kann.

7. Optischer Sender nach Anspruch 6, wobei der abstimmbare Laser einen abstimmbaren DBR-Laser umfaßt.

8. Optischer Sender nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei die Quelle ein Array aus abstimmbaren Lasern umfaßt.

9. Optischer Sender nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei die Quelle ein Array aus Einfrequenzlasern umfaßt, wobei jeder der Laser eine andere der Wellenlängen λ_i erzeugen kann.

10. Optischer Sender nach Anspruch 9, wobei das Array aus Lasern ein Array aus DFB-Lasern umfaßt.

11. Optischer Sender nach einem der vorhergehenden Ansprüche, weiterhin mit einer zweiten Steuerung zum Steuern der Temperatur des Modulators und/oder der Quelle.

12. Optischer Sender nach Anspruch 11, wobei die Temperaturänderung ΔT des Modulators gemäß der Gleichung

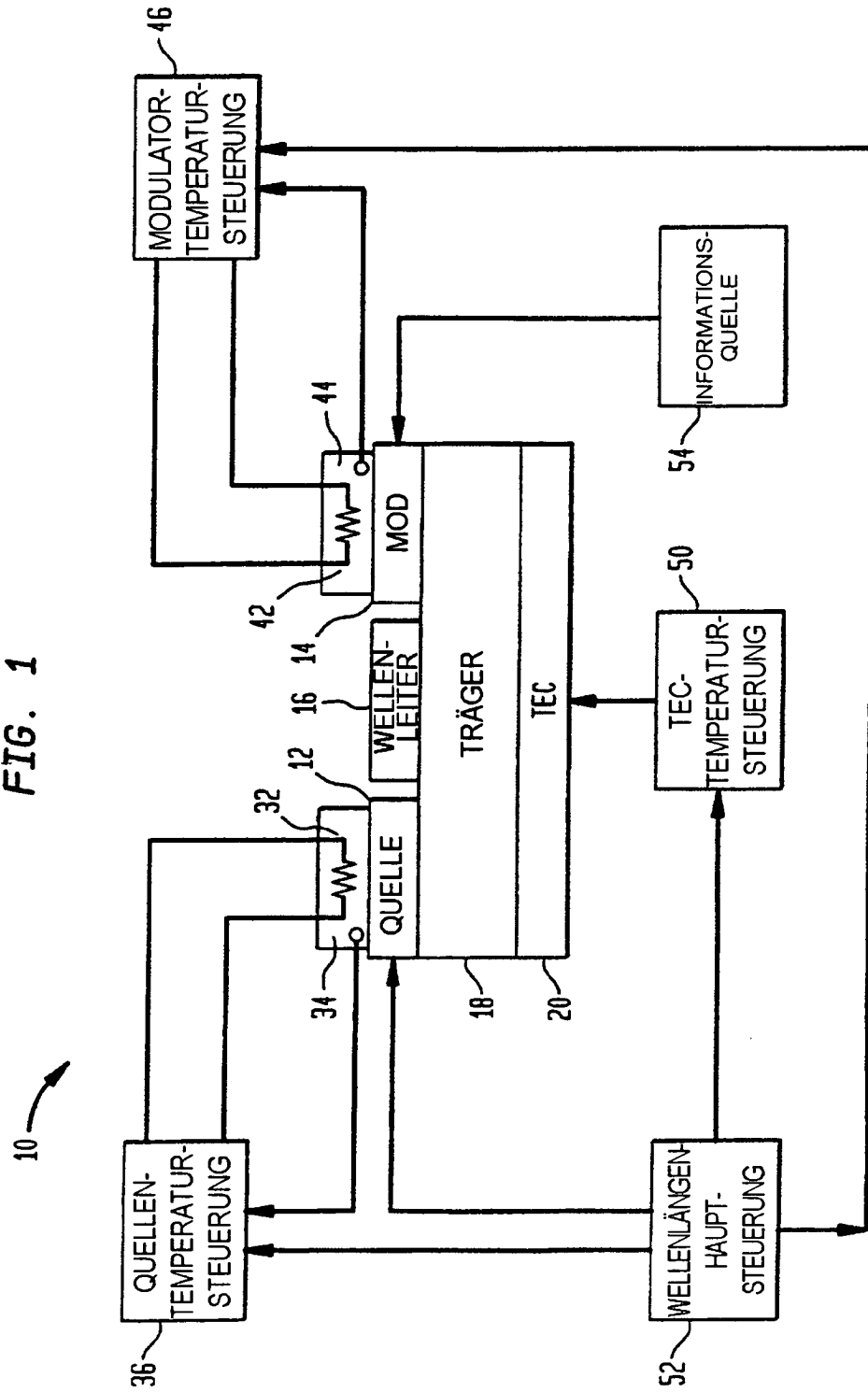
$$\Delta T = (dT/d\lambda_g) (\Delta\lambda_s + \Delta\lambda_i - \Delta\lambda_{i+1})$$

beibehalten wird.

13. Optischer Sender nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Modulator einen Elektroabsorptionsmodulator umfaßt.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

FIG. 1



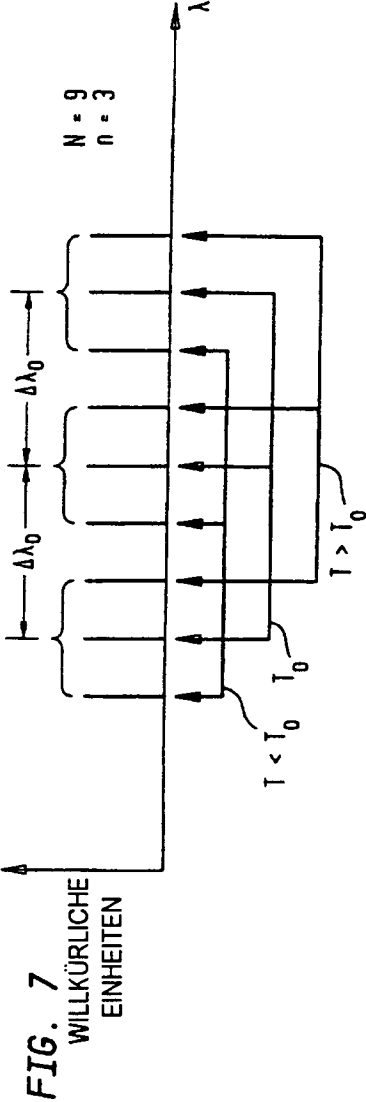
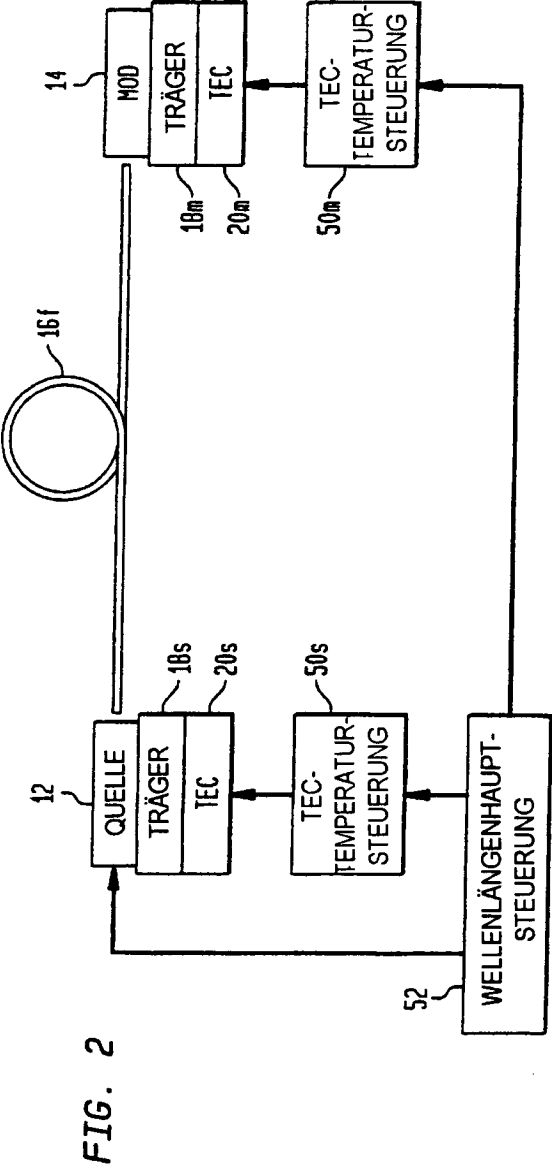


FIG. 3

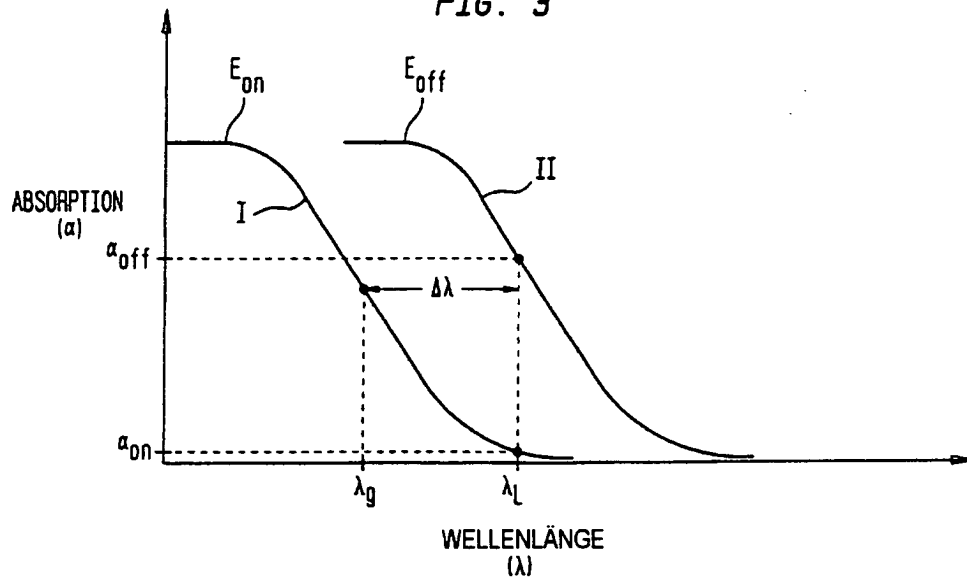


FIG. 4

