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

(10) **DE 603 08 668 T2** 2007.08.23

(12) # Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 1 493 211 B1**
(21) Deutsches Aktenzeichen: **603 08 668.3**
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/GB03/01530**
(96) Europäisches Aktenzeichen: **03 746 367.6**
(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2003/088433**
(86) PCT-Anmeldetag: **07.04.2003**
(87) Veröffentlichungstag der PCT-Anmeldung: **23.10.2003**
(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **05.01.2005**
(97) Veröffentlichungstag der Patenterteilung beim EPA: **27.09.2006**
(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **23.08.2007**

(51) Int Cl.[8]: ***H01S 3/067*** (2006.01)

(30) Unionspriorität:
0208082 **08.04.2002** **GB**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LI, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR

(73) Patentinhaber:
Ericsson AB, Stockholm, SE

(74) Vertreter:
Mohsler, G., Dipl.-Ing., Pat.-Ass., 52134 Herzogenrath

(72) Erfinder:
PEGG, Ian, Steven, Northampton NN4 8GF, GB

(54) Bezeichnung: **OPTISCHE VERSTÄRKER**

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

[0001] Die Erfindung betrifft optische Verstärker, und insbesondere EDFAs (Erbium Doped Fibre Amplifiers – erbiumdotierte Faserverstärker). Insbesondere, jedoch nicht ausschließlich, betrifft sie L-Bereich-Verstärker.

[0002] EDFAs sind in optischen Übertragungssystemen bekannt, wie beispielsweise WDM (Wave Division Multiplex – Wellenlängenmultiplex) und DWDM (Dense Wave Division Multiplex – Wellenlängenmultiplex mit Kanaldichte), und werden zum Ausgleich optischer Dämpfung verwendet, die über die Übertragungslänge auftritt. Optische Dämpfung zwischen Verstärkungspunkten variiert aufgrund der Bereichsstrecke oder Fasereigenschaften sowie aufgrund weiterer Faktoren. Im Ergebnis ist die Eingangsleistung in unterschiedliche Verstärker entlang einer Übertragungsleitung nicht konstant. Deshalb gilt es, Verstärker mit variierenden optischen Verstärkungen zu konzipieren, um konstante Leistungseinkopplungseigenschaften sicherzustellen. Jeder Festverstärker besitzt einen höchst abhängigen ebenen Verstärkungsgang, der von der Eingangsleistung abhängt. Existierende System werden derart konzipiert, dass sie eine diskrete Gruppe von Verstärkern verwenden, die jeweils über einen begrenzten Eingangsleistungsbereich funktionieren. Dies ist nicht wünschenswert und kostspielig und führt zu Schwierigkeiten bei der Bestandsführung, insbesondere zu der Notwendigkeit der Herstellung und Lagerung einer Vielfalt unterschiedlicher Verstärker.

[0003] Das Dokument US-A-6,222,670 zeigt einen mehrstufigen optischen Verstärker, in welchem die Länge einer Faser eines zweiten EDFA im Rahmen des Analysevorgangs der Verstärkerleistung geändert wurde.

[0004] Eine alternative Lösung besteht in der Konstruktion von Regelverstärkern, die über ein einstellbares optisches Dämpfungsglied (variable optical attenuator – VOA) verfügen, um die entlang der Länge des Verstärkers erforderliche Inversion zu steuern. Derartige Verstärker ermöglichen einen dynamischen Eingangsleistungsbereich von ca. 8–10 dB, ohne dass dabei das optische Signal-Rausch-Verhältnis (optical signal to noise ratio – OSNR) signifikant verschlechtert wird. Jedoch müssen die Verstärker für die höchste erreichbare Verstärkung konzipiert werden, was sie kostspielig macht. Die VOA-Steuerung ist komplex und bedeutet eine Kostenerhöhung in der Größenordnung von 20% im Vergleich zu den bereits teuren Festverstärkern.

[0005] Somit besteht ein Problem in der Bereitstellung relativ kostengünstiger Verstärkung in Umgebungen, wo eine Anzahl unterschiedlicher Verstärker mit unterschiedlichen Eingangsleistungen erforderlich sind. Die vorliegende Erfindung stellt auf dieses Problem ab.

[0006] Die Erfindung sieht einen Verstärker vor, der über eine Einsteckstufe verfügt, die eine Länge einer erbiumdotierten Faser umfasst, deren Länge von der Eingangssignalleistung und der gewünschten Ausgangssignalleistung abhängt. Um die Verwendung einer Einsteckstufe zu ermöglichen, wird eine erste Verstärkerstufe bewusst angeordnet, um ein ASE-Rauschen (Amplified Spontaneous Emission – verstärkte Spontanemission) in einem Wellenlängenbereich zu erzeugen, der kürzer als der Wellenlängenbereich der zu verstärkenden Signale ist. Diese ASE-Leistung wird anstelle eines Standardpumplasers dazu verwendet, die Faser der zweiten Einsteckstufe zu pumpen.

[0007] Insbesondere ist ein erbiumdotierter Faserverstärker (EDFA) vorgesehen, umfassend erste und zweite Verstärkerstufen, wobei die erste Verstärkerstufe einen Hochleistungspumplaser und eine erbiumdotierte Faser zum Erzeugen einer verstärkten Spontanemission (amplified spontaneous emission – ASE) in einem ersten Wellenlängenbereich umfasst, und die zweite Verstärkerstufe eine erbiumdotierte Faser umfasst, die zum Pumpen durch die ASE der ersten Verstärkerstufe angeordnet ist, um eine Verstärkung in Signalisierungskanälen bei einem Wellenlängenbereich zu erzeugen, der länger ist, als der erste Wellenlängenbereich, wobei die zweite Verstärkerstufe eine entfernbare Länge einer erbiumdotierten Faser umfasst, die ausgewählt ist für die Erzeugung einer erforderlichen Ausgangsleistung für eine gegebene Eingangsleistung.

[0008] Die Erfindung sieht auch einen erbiumdotierten Faserverstärker (EDFA) vor, umfassend erste, zweite und dritte Verstärkerstufen, wobei die ersten und dritten Stufen feste Verstärkungsstufen umfassen, die einen Pumplaser und eine Länge einer erbiumdotierten Faser aufweisen, wobei der Pumplaser der ersten Stufe ein Hochleistungspumplaser zum Erzeugen eines verstärkten Spontanemissions-(ASE)-Rauschens in einem kürzeren Wellenlängenbereich ist, als dem Wellenlängenbereich der durch den EDFA zu verstärkenden Signale, und wobei die zweite Verstärkerstufe eine aus einer Vielzahl von Einsteckstufen umfasst, die jeweils eine unterschiedliche Länge einer erbiumdotierten Faser aufweisen, welche bei Verwendung von dem durch die erste Verstärkerstufe erzeugten ASE-Rauschen gepumpt wird, wobei die Einsteckstufe ausgewählt ist, eine vorbestimmte Ausgangssignalleistung aus der dritten Verstärkerstufe für eine gegebene Signaleingangsleistung in die erste Verstärkerstufe zu erzeugen.

[0009] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist der Verstärker ein L-Bereich-Ver-

stärker und das durch die erste Verstärkerstufe erzeugte ASE-Rauschen ist ein C-Bereich-ASE-Rauschen. Bei einem derartigen L-Bereich-Verstärker ist es bevorzugt, dass der erste Verstärkerstufenpumplaser eine nahezu Gesamtinversion von Erbiumionen in der ersten Stufe der erbiumdotierten Faser erzielt, um das C-Bereich-ASE-Rauschen zu erzeugen. Es ist deshalb bevorzugt, dass der Pumplaser der ersten Stufe ein 980-nm-Laser ist. Der Laser kann eine Leistung bis zu mehreren hundert MWs aufweisen.

[0010] Der EDFA weist vorzugsweise eine dritte Stufe auf, umfassend eine Mittelstufendämpfung, die zwischen der zweiten Einsteckstufe und der dritten Stufe angeordnet ist. Diese Stufe kann Teil der Einsteckstufe bilden. Die dritte Stufe kann eine herkömmliche erbiumdotierte Faser und ein Pumplaser sein, z.B. ein 1480-nm-Pumplaser.

[0011] Ausführungsformen der Erfindung haben den Vorteil, dass ein einziger Verstärker mit einer Auswahl an Einsteckmodulen verwendet werden kann, um unabhängig von den unterschiedlichen Verstärkungsanforderungen sämtliche der linearen Verstärker in einer Übertragungsleitung vorzusehen. Dies hat den Vorteil, dass Hersteller lediglich ein einziges Konzept entwerfen müssen und nur eine einfache Komponente unterhalten müssen, wodurch Kosten eingespart werden. Das Einsteckmodul ist einfach aufgebaut und umfasst, da es im wesentlichen eine Länge einer erbiumdotierten Faser aufweist, und die Kosten für den Unterhalt mehrerer Einsteckeinheiten mit unterschiedlichen Faserlängen sind im Vergleich mit den Gesamtkosten für die Verstärker gering.

[0012] Da die zweite Stufe des Verstärkers keinen Pumplaser und zugehörige Steuerschaltungen verwendet, werden die Kosten für einen erfindungsgemäßen Verstärker im Vergleich zum Stand der Technik erheblich gesenkt, insbesondere da die Pumplaseranordnung einer der teuersten Bestandteile der Anordnung bildet. Ein L-Bereich-Verstärker gemäß der erfindungsgemäßen Anordnung kann im Vergleich zu herkömmlichen L-Bereich-Verstärkern um bis zu 30% kostengünstiger sein.

[0013] Eine bevorzugte Ausführungsform der Erfindung, gemäß welcher ein 980-nm-Pumplaser in der ersten Stufe zur Erzeugung eines C-Bereich-ASE-Rauschens verwendet wird, besitzt den Vorteil, dass eine nahezu Gesamtinversion von Erbiumionen erzielt werden kann, wodurch sich ein gleichbleibend niedriger Rauschverstärker ergibt.

[0014] Ausführungsformen nach der Erfindung sollen nunmehr lediglich anhand von Beispielen sowie mit Bezugnahme auf die beiliegenden Zeichnungen beschrieben werden. Es zeigen:

[0015] Fig. 1 eine schematische Ansicht einer typischen optischen DWDM-Übertragungsleitung mit einer Reihe von Verstärkungsstufen;

[0016] Fig. 2 eine schematische Ansicht eines EDFA-Verstärkers;

[0017] Fig. 3 eine ausführlichere Ansicht des Verstärkers nach Fig. 2;

[0018] Fig. 4 eine schematische Ansicht eines erfindungsgemäßen EDFA; und

[0019] Fig. 5 eine graphische Darstellung einer Ausgangsleistung gegenüber der Wellenlänge für die Ausgänge aus den ersten und zweiten Stufen des Verstärkers nach Fig. 4.

[0020] Gemäß Fig. 1 werden eine Anzahl von Wellenlängenkanälen L_1 bis L_n auf einer einzelnen Faser **10** durch einen optischen Multiplexer **12** gemultiplext. Das resultierende Multiplexsignal wird bei einer Anzahl von Punkten entlang der Übertragungsleitung verstärkt. In diesem Beispiel sind drei Verstärkungsstellen **14**, **16** und **18** gezeigt. Nach der letzten Verstärkung wird das Signalmultiplex durch einen Demultiplexer **20** in seine es bildenden Kanäle L_1 bis L_n getrennt. Die individuellen Kanäle werden dann mittels Photodioden **22** in optische Signale umgewandelt.

[0021] Jeder der Verstärker ist ein EDFA, und die für jeden benötigte Eingangsleistung hängt von einer Reihe von Faktoren ab, einschließlich der Signaldämpfung am Verstärkereingang. Eine typische Signaldämpfung liegt im Bereich von 0,2 dB/km. Die Bereichsstrecken zwischen den Verstärkerstufen sind je nach physikalischem Layout des Netzes variabel. Im Beispiel nach Fig. 1 können typische Bereichsstrecken 100 km zwischen den ersten und zweiten EDFA-Verstärkern **14**, **16** mit einer Dämpfung von ca. 25 dB betragen, und 20 km zwischen den zweiten und dritten Verstärkern **16**, **18** mit einer Dämpfung im Bereich von 10 dB.

[0022] Die Standards der internationalen Fernmeldeunion geben einen Kanalabstand von 100 GHz in typischen WDM-Systemen vor, was bedeutet, dass ein System, das 40 Kanäle umfasst, eine Bandbreite von 4000 GHz benötigt.

[0023] Es ist bekannt, dass 1550 nm in den C-Bereich fallen und sich in der Mitte eines Bereiches befinden, wo das EDFA-Verhalten mit sich variierender Wellenlänge relativ eben ist, während dennoch ein hoher Verstärkungskoeffizient gegeben ist.

[0024] Der L-(Lang-)-Bereich bezieht sich auf Wellenlängen zwischen ca. 1570 nm und 1605 nm. Eine Verstärkung wird, im Vergleich zum C-Bereich, in die-

sem Bereich durch eine Reduktion der in die erbiumdotierte Faser eingegebenen Pumpleistung erzielt. Es wird eine angemessene ebene Verstärkungskurve über den Bereich erzielt, jedoch ist der relative Verstärkungskoeffizient bedeutend niedriger, als der, der im C-Bereich erzielt wird. Diese verhältnismäßig geringe Verstärkung kann ausgeglichen werden, indem längere Längen einer erbiumdotierten Faser in den Verstärkern sowie höhere Dotierkonzentrationen verwendet werden.

[0025] Bei der Konstruktion von Verstärkern ist es die Dämpfung zwischen jedem Bereich, die die Eingangsleistung in den Verstärker bestimmt. Der Konstrukteur befasst sich mit der Signaldämpfung an der nächsten Verstärkungsstufe. Herkömmlich wird eine konstante Ausgangsleistung in jeden Bereich eingekoppelt, da hierdurch der Systemaufbau vereinfacht wird. Bei der Konstruktion von Systemen wird aus mehreren Gründen ein hoher Grad an Spielraum eingebracht, z.B. um die Dämpfung der Verstärkung zu berücksichtigen, die mit der Alterung der Faser auftritt, sowie auch um erhebliche Dämpfungsänderungen zu ermöglichen, die auftreten, wenn die Faser gespleißt wird, z.B. nach einer versehentlichen Abtrennung.

[0026] Dieser Bedarf an Spielraum muss mit der Notwendigkeit der Steuerung eines Übersprechens zwischen Kanälen sowie weiteren nichtlinearen Effekten ausgeglichen werden. Diese Effekte erhöhen sich mit der eingekoppelten Signalleistung. Mit der Entwicklung der DWDM-Systeme tendieren Kanalabstände dazu, sich von 100 GHz bis 50 GHz und sogar bis zu 25 GHz zu bewegen. Somit ist es wünschenswert, die minimal notwendige Leistung anzuwenden, jedoch sicherzustellen, dass jede Verstärkerstufe dieselbe Ausgangsleistung aufweist. Im Ergebnis ist es erforderlich, dass die Verstärker über einen breiten Verstärkungsbereich funktionieren. Idealerweise würde die Verstärkung jedes Verstärkers an die Dämpfung des vorhergehenden Abschnitts angepasst werden. Dies gab Anlass zur existierenden Praxis, mehrere unterschiedliche lineare Verstärker zu verwenden, da der Bereich der Bereichsdämpfungen, der um bis zu 20 dB variieren kann, zu groß ist, um durch das Variieren der Verstärkung eines einzigen Verstärkers gehandhabt zu werden. Typischerweise wird eine Anzahl unterschiedlicher Verstärker festgesetzt, wobei jeder einen Bereich von Eingangsleistung handhabt. Der geeignete Verstärker wird gemäß den Bereichsdämpfungen ausgewählt, allerdings muss der Hersteller einen großen Bestand unterschiedlicher Verstärker führen.

[0027] Die vorliegende Erfindung basiert auf der Verwendung des C-Bereiches zum Pumpen des L-Bereiches. Sie ist nicht auf den C- und L-Bereich beschränkt, aber verwendet weitgehend eine Emission kürzerer Wellenlänge zum Pumpen einer längeren Wellenlänge. Der L-Bereich könnte beispielsweise verwendet werden, um den XL-Bereich zu pumpen. Die Theorie der Verwendung des C-Bereiches zum Pumpen des L-Bereiches ist bekannt und wird in Aufsätzen mit den Titeln „Gain Enhancement in Gain-Shifted Erbium-Doped Fibre Amplifiers for WDM Amplifiers" von M. Karasek, IEEE Photonics Technology Letters, Vol II, Nr. 9, Seiten 1111–1113 sowie „Enhancement of Power Conversion Efficiency for an L-Band EDFA with a Secondary Pumping Effect in the Unpumped EDF Section" von Lee et al., IEEE Photonics Technology Letters, Vol II, Nr. 1, Seite 42–44 erörtert.

[0028] Der Verstärker besteht aus einer Länge einer erbiumdotierten Faser **30**, die einen Ausgang von einem WDM-Koppler **32** aufnimmt. Die Eingänge zum WDM-Koppler umfassen einen Pumplaser **34**, der mit 990 nm oder 1480 nm arbeitet, sowie die Signalleistung auf der Hauptübertragungsfaser **10**. Die Übertragungsfaser wird durch einen Isolator **36** isoliert, bevor der WDM-Koppler und ein weiterer Isolator **38** am Ausgang des Verstärkers angeordnet werden.

[0029] Die Laserstrahlung erregt Er^{3+}-Ionen in der Faser und kann drei Arten von Übergängen erzeugen: Absorption, stimulierte Emission sowie spontane Emission. Die stimuliere Emission tritt auf, wenn ankommende Photonen aus dem Pumplaser erregte Ionen dazu veranlassen, in den Normalzustand zurückzukehren. Die emittierten Photonen sind kohärent und bewirken eine Verstärkung des eingehenden Signals. Für einen effizienten Betrieb ist es wünschenswert, diese Emissionen zu maximieren. Üblicherweise ist es wünschenswert, die Spontanemissionen zu minimieren, die auftreten, wenn erregte Ionen sich mit einer unkontrollierten Emission von Photonen in den Normalzustand entspannen. Hierdurch entsteht ein Rauschen. Der Zweck des Pumplasers besteht in der Erregung der Erbiumionen. Die zugeführte Energie verringert sich mit einer zunehmenden Laserwellenlänge. Somit führt ein 980-nm-Laser mehr Energie zu als ein 1480-nm-Laser. Die 1480-nm-Pumpe erregt Erbium-$^{3+}$-Ionen bis zur Spitze des 4I-13/2-Bereiches, während das Pumpen mit einem 980-nm-Laser die Er-$^{3+}$-Ionen bis zum 4I-15/2-Bereich erregt. Die Laserpumpwellenlänge muss niedriger sein als die von den Erbiumionen emittierte Wellenlänge, wenn sich diese entspannen. 980-nm-Laserpumpen bieten ein besseres Rauschverhalten, während 1480-nm-Pumpen effizienter sind (indem sie eine höhere Ausgangssignalleistung liefern).

[0030] Die Fig. 3 zeigt schematisch den Aufbau eines typischen L-Bereich-EDFA, der beispielsweise als ein linearer WDM-Verstärker verwendet werden kann. Der Verstärker besitzt drei Verstärkungsstufen, da die Verstärkung zum Ausgleich der spektralen

Ebenheit und des Rauschverhaltens schonend erhöht werden muss.

[0031] Das als P_{in} auf der Übertragungsfaser **10** gezeigte Eingangssignal geht an einem Block ein, der einen Abgriff **40**, einen Isolator **42** sowie einen WDM-Koppler **44** umfasst. Ein Pumplaser **46** stellt den anderen Eingang zu dem WDM-Koppler bereit, um die erste Stufe der erbiumdotierten Faser (EDF) **48** vorwärts zu pumpen. Die Ausgangsseite der EDF ist durch einen Isolator **50** isoliert und wird dann zu einem weiteren WDM-Koppler **52** geführt, welcher Energie von einem weiteren Pumplaser **54** mit der Faser koppelt. Im Anschluss an eine zweite Stufe der EDF **56** kann ein Mittelstufenzugriff (mit Ruheverlust) **58** enthalten sein. Diese Stufe könnte eine Dispersionsausgleicheinheit für die oben beschriebenen gemultiplexten Signale umfassen. An den Mittelstufenzugriffspunkt schließt sich ein weiterer Isolator **60** sowie ein weiterer Pumplaser **64** an, der durch einen weiteren WDM-Koppler **62** mit dem System gekoppelt ist und der einen dritten Abschnitt der EDF **66** pumpt. Das endgültige verstärkte Signal wird durch einen weiteren Isolator **68** geleitet, der die Endstufe des Verstärkers bildet. Die Ausgangsleistung sollte an diesem Punkt für sämtliche EDFAs auf der Übertragungsleitung dieselbe sein.

[0032] Bei L-Bereich-Verstärkern kann die Gesamtlänge der EDF bis zu 100 m betragen. Dies entspricht der mehrfachen Länge der Faser, die in einem C-Bereich-Verstärker notwendig ist. Zusätzlich ist die Faser mit einer höheren Konzentration an Erbiumionen dotiert, als für eine C-Bereich-Verstärkung verwendet wird.

[0033] Zurückkommend auf die Dispersionsausgleichsstufe **58** ist es allgemeine Praxis, den Dispersionsausgleich vor der letzten Verstärkungsstufe einzubringen. Der Kern der Dispersionsausgleichsfaser ist schmaler als der der standardmäßigen Übertragungsfaser, wie beispielsweise einer SMF-, DMF- oder NZ-DSF-Faser. Dies bedeutet, dass die Leistungsdichte in dem Kern der DCF größer ist als im Rest der Übertragungsstrecke. Es ist deshalb gängige Praxis, das Signal durch die DCF zu leiten, bevor die Signalleistung von der letzten Verstärkungsstufe verstärkt wird.

[0034] Da die oben beschriebene Eingangsleistung in die EDFA variiert, kippt der Verstärkungsfaktor. Mit zunehmender Invertierung des Verstärkers kippt sie zum C-Bereich. Dies ist in einem L-Bereich-Verstärker eindeutig nicht erwünscht. Im Stand der Technik führte dies zur Verwendung mehrerer unterschiedlicher linearer Verstärker, von welchen jeder innerhalb eines Eingangsleistungsbereiches betrieben werden kann, der eine nominal ebene Verstärkung über sämtliche Kanäle bereitstellt. In der Praxis ist eine Ebenheit von ca. 1 dB akzeptabel. Zur Änderung der Verstärkung muss mehr Erbium in der Faser verwendet werden. Dies kann beispielsweise durch eine zweite Verstärkerstufe variabler Länge mit einer variablen Laserpumpleistung erreicht werden. Allerdings entstehen Probleme bei den Beschränkungen, die von der hohen Leistungsdichte in der oben erwähnten Dispersionsausgleichfaser verursacht werden.

[0035] Die Fig. 4 zeigt einen erfindungemäßen Verstärker. Wie aus den Aufsätzen mit den Titeln „Gain Enhancement in Gain-Shifted Erbium-Doped Fibre Amplifiers for WDM Amplifiers" von M. Karasek sowie „Enhancement of Power Conversion Efficiency for an L-Band EDFA with a Secondary Pumping Effect in the Unpumped EDF Section" von Lee et al., auf die oben Bezug genommen wurde, bekannt, kann C-Bereich-ASE-Leistung zum Pumpen der EDF sowie zur Bereitstellung von Verstärkung an die L-Bereich-Kanäle im Verstärker verwendet werden. Eine hoch invertierte erste Stufe erzeugt eine große Menge einer sich vorwärts ausbreitenden C-Bereich-ASE.

[0036] Es wurde gewürdigt, dass Hochleistungs-980-nm-Pumplaser für die erste Stufe verwendet werden können. Dieser Laser kann eine Leistung in der Größenordnung von 300 mW aufweisen. Wie aus Fig. 4 ersichtlich, wird die zweite Verstärkerstufe nicht von einem Laser gepumpt, sondern verlässt sich ausschließlich auf die C-Bereich-ASE für die Pumpleistung. Es wurde ferner gewürdigt, dass, mittels Verwendung der C-Bereich ASE für die Pumpleistung, ein einziger Verstärker mit einem modularen zweiten Abschnitt hergestellt werden kann, der gemäß dem erforderlichen ebenen Verstärkungswert ausgewählt wird. Dieser modulare Abschnitt kann ein Einsetzabschnitt sein. Hierdurch wird das oben erörterte Problem gemäß dem Stand der Technik überwunden, wonach eine Verstärkerfamilie herzustellen und zu lagern war. In der Ausführungsform nach Fig. 4 wird ein einziger Verstärker mit einer Familie von zweiten Drop-in- bzw. Einsetzstufen hergestellt. Im Gegensatz zu den ersten und dritten Stufen weisen die Einsetzstufen keine kostspieligen externen Komponenten wie Laser oder Koppler auf, sondern bestehen im wesentlich aus EDF-Längen.

[0037] Deshalb sind in der Fig. 4 die ersten und dritten Stufen des Verstärkers ähnlich denen, die in der Fig. 3 gezeigt sind. Allerdings ist der Pumplaser **70** der ersten Stufe ein Hochleistungs-980-nm-Laser. Obgleich 300 mW als ein Beispiel für die Nennleistung angegeben wurde, variiert die Leistung in Abhängigkeit der Anwendung. Es ist wichtig, dass die Laserleistung ausreicht, um eine Gesamtinversion oder eine nahezu Gesamtinversion der Er^{3+}-Ionen zu erhalten. Dies bietet den zusätzlichen Vorteil, dass gute Rauscheigenschaften bereitgestellt werden.

[0038] Gemäß Fig. 4 verläuft der Ausgang der ersten EDF-Stufe **48** durch einen Isolator **50**. Der zweite

ungepumpte Abschnitt der EDF **72** wird als ein Einsetzabschnitt eingefügt, wie durch die Linie **74** angegeben. Die Enden des Einsetzabschnitts der Faser werden an den Rest des Verstärkers durch Verbinder **78**, **80** gekoppelt. Eine Hälfte des Verbinderpaares ist auf dem Einsetzmodul vorgesehen, und die andere auf dem Verstärker.

[0039] Es ist bevorzugt, dass sich der Einsetzabschnitt vor der Dispersionsausgleichsfaser **58** befindet, obgleich die DCF **58** auf dem Einsetzabschnitt angeordnet werden könnte. Die Faser der zweiten Stufe absorbiert die Verstärkung der C-Bereich-ASE zur Erzeugung der gewünschten Leistung. Der Eingang der DCF-Faser kann so ausgeführt sein, dass er konstant ist, was unter Berücksichtigung der hohen Leistungsdichte der oben erörterten DCF wünschenswert ist. Deshalb wird die Länge der Faser im zweiten Abschnitt gemäß der Eingangsleistung in den Verstärker P_{in} sowie dem gewünschten Ausgangsleistungspunkt ausgewählt. Die für jeden gegebenen P_{in} und P_{out} erforderliche Länge hängt von den Fasereigenschaften ab, z.B. der Erbiumdotierungskonzentration.

[0040] Die dritte Stufe des Verstärkers ist ähnlich der gemäß Fig. 3, wobei die dritte Stufe der EDF von einem Pumplaser gepumpt wird. Diese Stufe kann ein herkömmlicher 1480-nm-Laser sein, der aufgrund seiner besseren Leistungsumwandlungseffizienz bevorzugt ist.

[0041] Deshalb umfasst der Verstärker nach Fig. 4 zwei feste Stufen und eine zweite Stufe für variable Verstärkung, wobei die zweite Stufe eine EDF variabler Länge ist, die durch von der ersten Stufe erzeugte ASE-Leistung gepumpt wird. Die ASE-Leistung liegt bei einer kürzeren Wellenlänge als der Ausgang der zweiten und dritten Stufen. Deshalb könnte z.B. der Laser der ersten Stufe zur Erzeugung der L-Bereich-ASE gewählt werden, die dann zum Pumpen der zweiten Stufe verwendet werden könnte, um ebenen Verstärkungsgang im XL-Bereich zu erzeugen.

[0042] Die Fig. 5 zeigt einen Verlauf der Ausgangsleistung gegenüber der Wellenlänge für die ersten und zweiten Verstärkerstufen. Der Verlauf **80** stellt die Ausgangsleistung für die erste Verstärkerstufe dar. Es ist ersichtlich, dass ein hoher Spitzenwert bei ca. 1560 nm vorliegt. Der allgemein mit der Ziffer **90** angegebene Bereich stellt das ASE-Rauschen im C-Bereich dar. Der C-Bereich erstreckt sich von ca. 1530 nm bis 1560 nm. Aus dem Verlauf **85** ist ersichtlich, dass das C-Band-Rauschen absorbiert worden ist und dass Leistungsspitzen entsprechend den L-Bereich-Kanälen vorliegen. Es versteht sich, dass auch einige Absorption in der Übergangszone zwischen den C- und L-Bereichen (1560–1570 nm) vorliegt.

[0043] Die Form der Ausgangskurve aus der dritten Verstärkerstufe ist ähnlich dem Verlauf **85**. Allerdings wird die Leistung über den Bereich der Wellenlängen größer.

[0044] Die erfindungsgemäßen Ausführungsformen weisen eine Reihe von Vorteilen auf. Wie oben erörtert, kann ein einziger Basisverstärker für lineare oder andere Verstärkungsstufen hergestellt werden, wobei eine kostengünstige, einfach einzusetzende zweite Stufe ausgewählt wird, um die korrekte Ausgangsleistung für eine gegebene Eingangsleistung bereitzustellen. In der Praxis kann dies auf eine Anzahl passiver EDF-Einschübe beschränkt werden, wobei jeder einen Teil des gewünschten Eingangsleistungsbereiches abdeckt. Dies ist für Hersteller vorteilhaft, die keine Auswahl von Verstärkervarianten herstellen müssen. Durch Entfernen eines Pumplasers aus einer der Stufen, kann, zusammen mit einer verbundenen Steuerelektronik, ferner eine weiteren Kosteneinsparung erreicht werden. Es wird darauf hingewiesen, dass die Ausführungsform nach Fig. 4 lediglich ca. 70% der Kosten der Ausführungsform nach Fig. 3 ausmachen kann.

[0045] Erfindungsgemäße Ausführungsformen haben den weiteren Vorteil, dass die Installation des variablen Längeneinschubs einfach ist, die Zeit und die Fertigkeiten, die für den Einbau benötig werden, reduziert. Beide dieser Faktoren senken die Kosten.

[0046] Erfindungsgemäße Ausführungsformen haben den weiteren Vorteil, dass durch die Verwendung eines 980-nm-Hochleistungspumplasers in der ersten Stufe eine nahezu Gesamtinversion von Er^{3+}-Ionen erreicht werden kann, was zu einem beständig niedrigen Rauschen im Verstärker führt. Dies beschränkt wiederum den weiteren erforderlichen Verarbeitungsaufwand und, da jede Weiterverarbeitung einen Grad an Signaldämpfung involviert, die Menge der notwendigen Verstärkung.

[0047] Es sind verschiedenen Modifikationen der beschriebenen Ausführungsformen möglich und dem Fachmann bekannt. Beispielsweise ist die Erfindung nicht auf L-Bereich-Verstärker beschränkt und kann theoretisch bei jeder Verstärkung Anwendung finden, bei der ein ASE-Rauschen bei einer Wellenlänge erzeugt wird, die kürzer als die Sollwellenlänge ist. Die Erfindung ist nicht auf einen Dreistufenverstärker, wie beschrieben, beschränkt. Obgleich ein Dreistufenverstärker hier bevorzugt wird, sind andere Konfigurationen möglich und können in einigen Beispielen beschrieben sein. Es ist notwendig, ein ASE-Rauschen bei einer kürzeren Wellenlänge in einer Verstärkungsstufe zu erzeugen und dieses Rauschen dazu zu benutzen, eine weitere Stufe zu pumpen, um einen Ausgang bei längerer Wellenlänge zu erzeugen.

Patentansprüche

1. Erbiumdotierter Faserverstärker (erbium-doped fibre amplifier – EDFA), umfassend erste (**48**) und zweite (**74**) Verstärkerstufen, wobei die erste Verstärkerstufe einen Hochleistungspumplaser (**70**) und eine erbiumdotierte Faser (**48**) zum Erzeugen einer verstärkten Spontanemission (amplified spontaneous emission – ASE) in einem ersten Wellenlängenbereich umfasst, und die zweite Verstärkerstufe eine erbiumdotierte Faser (**72**) umfasst, die zum Pumpen durch die ASE der ersten Verstärkerstufe (**48**) angeordnet ist, um eine Verstärkung in Signalisierungskanälen bei einem Wellenlängenbereich zu erzeugen, der länger ist, als der erste Wellenlängenbereich, **dadurch gekennzeichnet**, dass die zweite Verstärkerstufe eine entfernbare Länge einer, als eine Steckeinheit (**74**) angeordneten erbiumdotierten Faser umfasst, die ausgewählt ist für die Erzeugung einer erforderlichen Ausgangsleistung für eine gegebenen Eingangsleistung, und welche Verbinder (**78**, **80**) an den Enden der Faser (**72**) zur Verbindung mit dem Verstärker umfasst.

2. EDFA nach Anspruch 1, umfassend eine dritte Verstärkerstufe zum Verstärken des Ausgangs der zweiten Verstärkerstufe sowie umfassend eine Laserpumpe und eine erbiumdotierte Faser.

3. EDFA nach Anspruch 2, umfassend eine Mittelstufendämpfung (mid-stage loss MSL), die zwischen den zweiten und dritten Verstärkerstufen angeordnet ist.

4. EDFA nach Anspruch 3, wobei die Mittelstufendämpfung (mid-stage loss MSL) in der Steckeinheit angeordnet ist.

5. EDFA nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die von der ersten Verstärkerstufe erzeugte ASE im C-Bereich liegt.

6. EDFA nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die von der zweiten Verstärkerstufe erzeugte Verstärkung im L-Bereich liegt.

7. EDFA nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei der Hochleistungspumplaser der ersten Verstärkerstufe ein 980-nm-Laser ist.

8. EDFA nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei der Hochleistungspumplaser der ersten Verstärkerstufe genügend Leistung aufweist, um im wesentlichen sämtliche Erbiumionen in der erbiumdotierten Faser der ersten Verstärkerstufe zu invertieren.

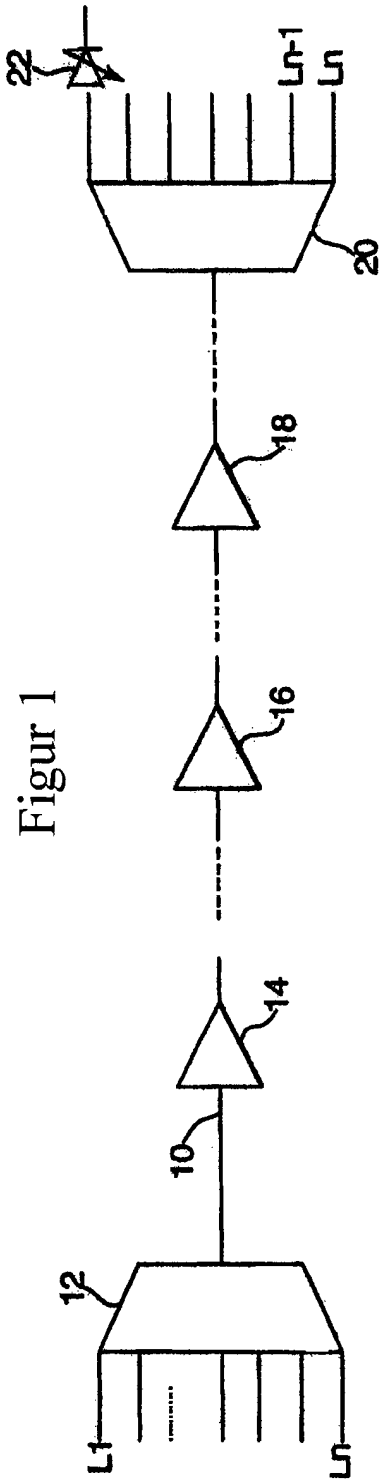
9. EDFA nach Anspruch 8, wobei der Hochleistungslaser der ersten Verstärkerstufe eine Leistung von 300 mw aufweist.

10. EDFA nach Anspruch 2, wobei der Pumplaser der dritten Verstärkerstufe ein 1480-nm-Laser ist.

11. EDFA nach Anspruch 2 oder jedem direkt oder indirekt von Anspruch 2 abhängigen Anspruch, wobei die ersten und dritten Stufen feste Verstärkerstufen umfassen und die zweite Verstärkerstufe eine aus einer Vielzahl von Einsteckstufen umfasst, die jeweils eine unterschiedliche Länge einer erbiumdotierten Faser aufweisen, welche bei Verwendung von der durch die erste Verstärkerstufe erzeugten ASE gepumpt wird.

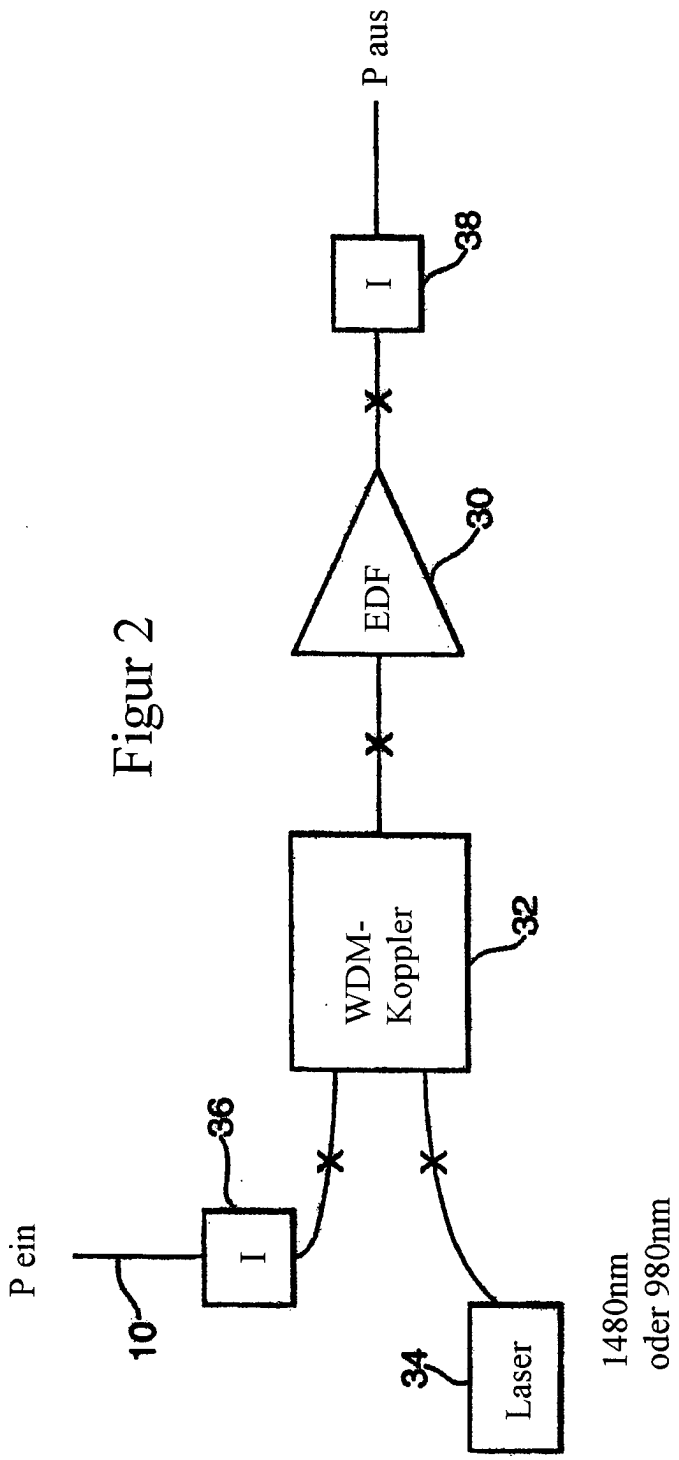
Es folgen 5 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

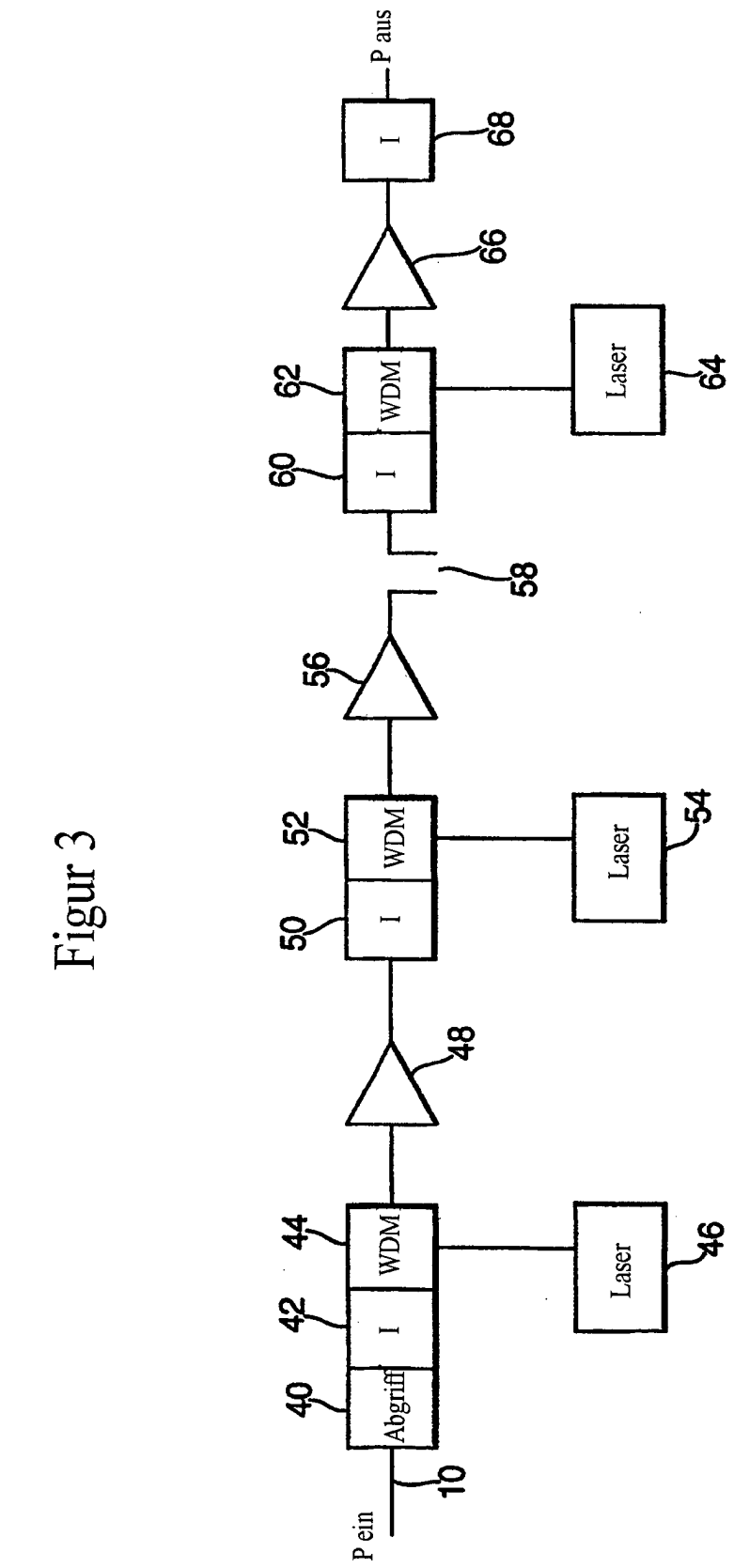


Figur 1

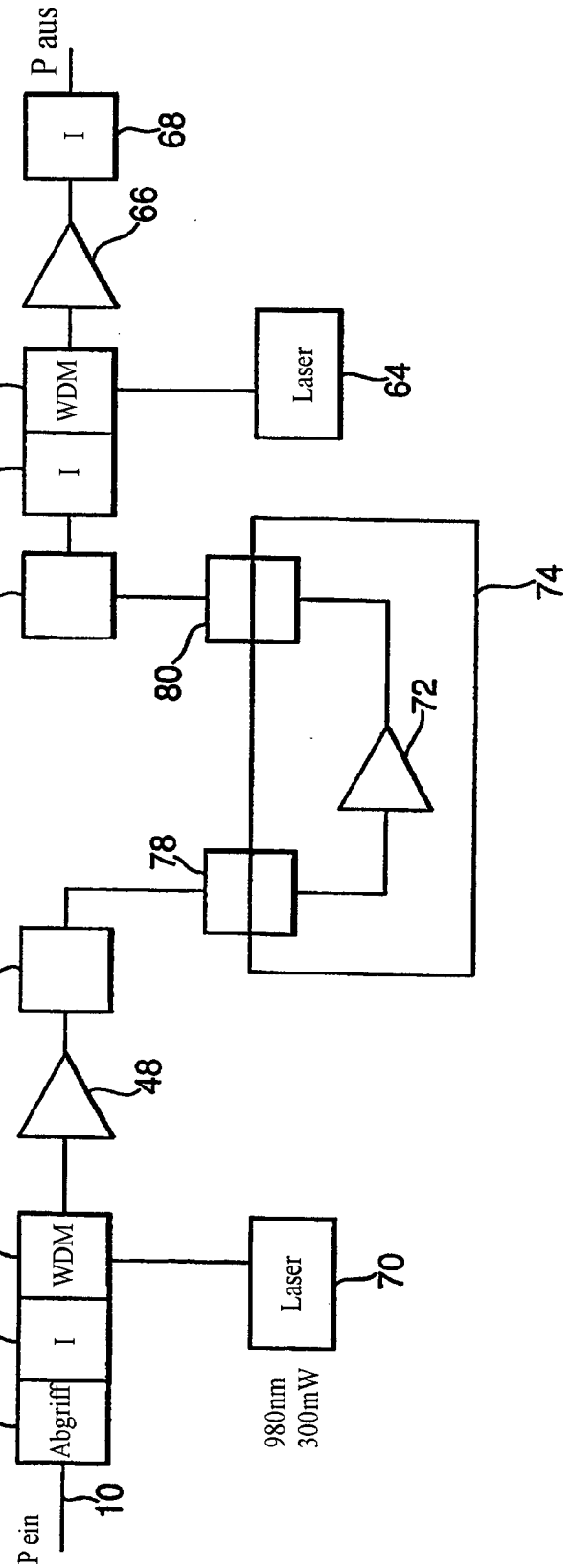
Figur 2


P aus
38
I
30
EDF
WDM-
Koppler
32
36
I
P ein
10
34
Laser
1480nm
oder 980nm

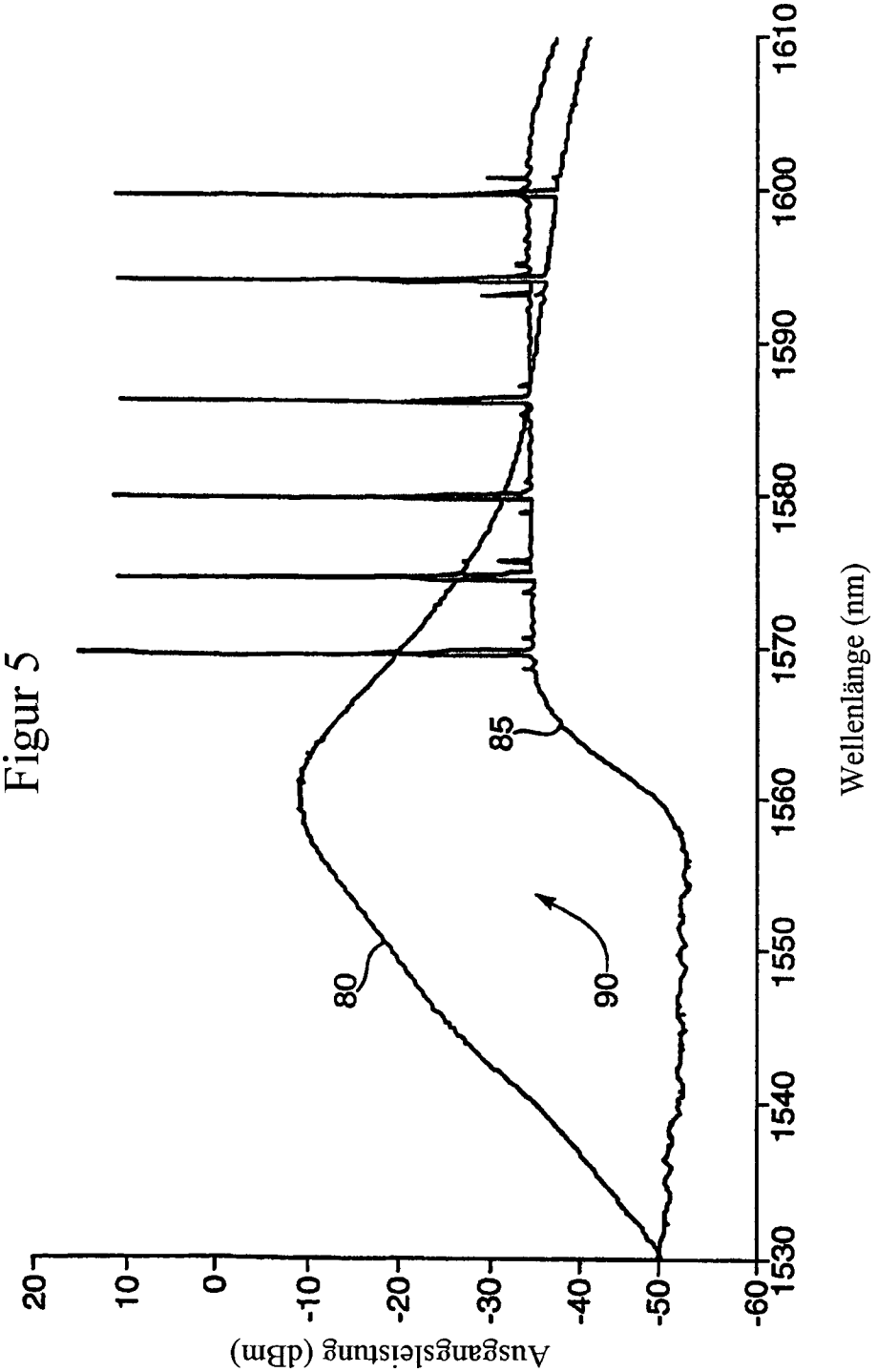
Figur 3


P ein
10
Abgriff
40
I
42
WDM
44
Laser
46
48
I
50
WDM
52
Laser
54
56
58
I
60
WDM
62
Laser
64
66
I
68
P aus

Figur 4


P aus
I
68
66
62
WDM
Laser
64
60
I
58
80
74
72
78
50
48
44
WDM
42
I
40
Abgriff
Laser
70
980nm
300mW
P ein
10

Figur 5


Ausgangsleistung (dBm)
20
10
0
-10
-20
-30
-40
-50
-60
1530
1540
1550
1560
1570
1580
1590
1600
1610
Wellenlänge (nm)
80
85
90