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

(10) **DE 601 26 531 T2** 2007.11.08

(12) # Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 1 161 008 B1**
(21) Deutsches Aktenzeichen: **601 26 531.9**
(96) Europäisches Aktenzeichen: **01 304 459.9**
(96) Europäischer Anmeldetag: **21.05.2001**
(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **05.12.2001**
(97) Veröffentlichungstag der Patenterteilung beim EPA: **14.02.2007**
(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **08.11.2007**

(51) Int Cl.[8]: ***H04B 10/17*** (2006.01)
H01S 3/067 (2006.01)

(30) Unionspriorität:
584901 **31.05.2000** **US**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE, FR, GB

(73) Patentinhaber:
Agere Systems Optoelectronics Guardian Corp., Orlando, Fla., US

(74) Vertreter:
derzeit kein Vertreter bestellt

(72) Erfinder:
Delavaux, Jean-Marc Pierre, Pittstown, New Jersey 08974, US; Yeniay, Aydin, Bethlehem, Pennsylvania 18017, US

(54) Bezeichnung: **Codotierter optischer Hochleistungsverstärker mit MEHREREN ABGRIFFEN**

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 einen dotierten Hochleistungsfaserverstärker einschließlich einer seltenerddotierten (rauscharmen) Faservorverstärkerstufe und einer mit Seltenerd-Ytterbium codotierten Hochleistungsausgangsstufe mit mehreren Abgriffen.

Allgemeiner Stand der Technik

[0002] In der letzten Dekade sind seltenerddotierte Faserverstärker im allgemeinen und erbium-dotierte Faserverstärker (EDFAs) insbesondere extensiv in optischen Kommunikationssystemen als ein Mittel zum Verstärken schwacher optischer Signale zwischen Telekommunikationsstrecken verwendet worden, insbesondere Signale bei oder in der Nähe der Wellenlänge 1550 nm. Verschiedene Designs dieser Verstärker sind vorgeschlagen worden, um eine effiziente Leistung bereitzustellen, wobei Effizienz als hoher optischer Verstärkungsfaktor, niedrige Rauschzahl, hohe Ausgangsleistung und Pumpeffizienz gemessen wird. Jüngst wurde mit der Verwendung von EDFAs in Anwendungen wie etwa Mehrfach-WDM-Systemen und Analog-CATV-Systemen eine hohe optische Leistung (zusammen mit geringem Rauschen) wesentlich, um die Splittingverluste zu überwinden und an den Empfängern eine relativ hohe optische Leistung zu haben. Hohe Leistungspegel können erzielt werden, indem die Pumpleistung in der Nähe der Wellenlängen 980 nm oder 1480 nm erhöht wird. Die Halbleiterlaser, die herkömmlicherweise zum Emittieren bei diesen Wellenlängen verwendet werden, sind jedoch hinsichtlich Leistungsskalierbarkeit und Gesamtlebensdauer problematisch.

[0003] Als eine Alternative zur Bereitstellung einer erhöhten Leistung für diese neueren Anwendungen wurde das Codotieren des Faserverstärkers vorgeschlagen, wobei in den meisten Fällen eine Codotierung von Er^{+3} und Yb^{+3} verwendet wird. Eine derartige Codotierung erhöht das Ausmaß der Pumpabsorption und bietet Flexibilität bei der Wahl der Pumpwellenlänge aufgrund des breiten Absorptionsbandes von Yb^{+3} (von 800 bis 1100 nm) in Glas. Bei Glasfasern, die Phosphor enthalten, kann Ytterbium Pumpleistung absorbieren, die von diodengepumpten Yb- oder Nd-dotierten Laserquellen nahe 1064 nm zur Verfügung stehen, und die Energie effizient zur Leistungsanwendung nahe 1550 nm auf Erbiumionen transferieren. Bisher sind mehrere Faserverstärker mit Er^{+3}-Yb^{+3}-Codotierung, die mit einem 1064 nm-Yb- oder Nd-ummantelten Pumplasern gepumpt werden, mit Gleich-, Gegen- oder Seitenpumpverfahren demonstriert worden. Wenn diese Verstärker in WDM- oder CATV-Systemen verwendet werden, wird die Ausgangsleistung mit Hilfe eines Kopplers (z.B. 1 × 8-, 1 × 16-Leistungssplitter) in viele Kanäle aufgeteilt. Probleme existieren jedoch mit diesen Anordnungen, die die Leistung des Verstärkers begrenzen. Insbesondere bewirkt das Zulassen der Ausbreitung eines Hochleistungssignals in einer einzelnen optischen Faser Nichtlinearitäten (wie etwa Vierwellenmischen), die die Leistung des Verstärkers reduzieren. Außerdem wird die Verstärkerausgangsleistung durch die mit dem folgenden Splitter assoziierten Aufteilungsverluste direkt reduziert. Zudem können in Situationen, bei den noch höhere Leistungspegel beteiligt sind (beispielsweise einige wenige Watt), speziell ausgelegte optische Komponenten (z.B. Hochleistungsverbinder, Koppler) erforderlich sein.

[0004] In EP-A-0989693 wird ein optisches Verstärkungssystem beschrieben, bei dem der optische Verstärker eine Faser umfaßt, die mit Erbium und Ytterbium codotiert ist, wobei eine separate optische Pumpquelle als ein Eingang zu der codotierten optischen Faser durch einen assoziierten optischen Koppler angelegt wird.

[0005] Somit besteht in dem Stand der Technik weiterhin ein Bedarf zum Bereitstellen eines Designs für einen optischen Verstärker, das sich in Hochleistungsanwendungen mit mehreren Ausgängen wie etwa CATV- und WDM-Systemen eignet.

Kurze Darstellung der Erfindung

[0006] Mit dem im Stand der Technik weiterhin bestehenden Bedarf beschäftigt sich die vorliegende Erfindung, die sich auf einen dotierten Hochleistungsverstärker einschließlich einer seltenerddotierten (rauscharmen) Faservorverstärkerstufe und einer mit Seltenerd-Ytterbium codotierten Hochleistungsausgangsstufe mit mehreren Abgriffen bezieht.

[0007] Die vorliegende Erfindung stellt einen optischen Verstärker nach Anspruch 1 bereit. Die Hochleistungsausgangsverstärkerstufe mit mehreren Abgriffen umfaßt mehrere verkettete Sektionen codotierter Faser, die jeweils separat verstärkt werden. Somit wird ein verstärktes Ausgangssignal von jedem Gebiet abgegriffen, wo zwei zusammenhängende dotierte Fasern verbunden sind. Bei einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung umfaßt das Verkettungsgebiet ein Paar Multiplexer und einen Isolator, verwendet zum Entfernen nur des verstärkten Informationssignals und gestatten, daß der Großleil des Pumpsignals innerhalb der dotierten Faser verbleibt, während es zu der nächsten Stufe gekoppelt wird.

[0008] Bei einer bevorzugten Ausführungsform werden sowohl ein sich gleich ausbreitendes Pumpsignal als auch ein sich entgegengesetzt ausbreitendes Pumpsignal als Eingangssignale an die Kette verketteter codotierter Fasersektionen angelegt.

[0009] Andere und weitere Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung ergeben sich im Verlauf des folgenden diskutiert und unter Bezugnahme auf die beiliegenden Zeichnungen.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0010] Nunmehr unter Bezugnahme auf die Zeichnungen zeigen:

[0011] Fig. 1 einen beispielhaften zweistufigen optischen Hybridverstärker nach dem Stand der Technik;

[0012] Fig. 2 eine graphische Darstellung, die "Ausgangsleistung" mit "Eingangsleistung" für einen Er-Yb-dotierten Faserverstärker und einen Er-dotierten Faserverstärker sowie einen kombinierten Stufen-Er/Er-Yb-Faserverstärker vergleicht;

[0013] Fig. 3 ist eine graphische Darstellung, die Rauschzahlwerte für die gleichen drei Verstärkeranordnungen vergleicht (d.h. einen Er-Yb-dotierten Faserverstärker, einen Er-dotierten Faserverstärker und einen kombinierten Stufen-Er/Er-Yb-Faserverstärker),

[0014] Fig. 4 einen beispielhaften zweistufigen dotierten Faserverstärker der vorliegenden Erfindung einschließlich einer Er-dotierten Faservorverstärkerstufe und einer Er-Yb-dotierten Faserausgangsstufe mit mehreren Abgriffen, und

[0015] Fig. 5 eine als ein Abgriff in der Anordnung von Fig. 4 geeignete beispielhafte Signalaufteilungsanordnung.

Ausführliche Beschreibung

[0016] Im Verlauf der folgenden Erörterung wird der Gegenstand der vorliegenden Erfindung im Kontext einer Er^{+3}-dotierten Vorverstärkerstufe und einer parallelen Er^{+3}-Yb^{+3}-codotierten Mehrfachausgangsstufe erörtert. Es versteht sich, daß verschiedene andere Zusammensetzungen in der Technik wohlbekannt sind, die als Dotierstoffe für beide Stufen verwendet werden können. Beispielsweise ist Praseodym ein weiterer Dotierstoff, der verwendet werden kann (entweder alleine oder in Assoziation mit Erbium oder anderen Seltenerd-Dotierstoffen). Verschiedene Kombinationen sind möglich, und alle können in der Anordnung der vorliegenden Erfindung verwendet werden, um sowohl eine „rauscharme" Vorverstärkerstufe als auch eine "Hochleistungs"-Ausgangsstufe mit mehreren Abgriffen bereitzustellen.

[0017] Um die Prinzipien der vorliegenden Erfindung am besten zu verstehen, ist es nützlich, die Arbeitsweise eines herkömmlichen wohlbekannten zweistufigen dotierten Faserverstärkers zu betrachten, wobei ein derartiger beispielhafter zweistufiger dotierter Faserverstärker **10** nach dem Stand der Technik in Fig. 1 dargestellt ist. Eine Vorverstärkerstufe **12** umfaßt eine Sektion erbiumdotierter Faser **14** und einen Eingangsisolator **16**. Ein Pumpsignal mit entsprechender Wellenlänge zur Bereitstellung von Verstärkung (wie etwa 980 nm) wird von einer Pumpquelle **18** geliefert, die in diesem Beispiel als ein sich gleich ausbreitendes Eingangssignal zur erbiumdotierten Faser **14** angelegt wird. Das optische Eingangssignal P_{in} (bei einer Wellenlänge von 1550 nm) wird als ein Eingangssignal an die Vorverstärkerstufe **12** angelegt, indem es zuerst durch den Isolator **16** geschickt wird und dann in die Er-dotierte Faser **14** eintritt. Durch Verwenden einer sich gleich ausbreitenden verstärkenden Anordnung in der Vorverstärkerstufe **12** erhält man eine rauscharme Verstärkung. Das in Fig. 1 mit P'_{in} bezeichnete vorverstärkte Ausgangssignal wird danach durch einen Zwischenisolator **20** geschickt und als ein Eingangssignal an eine Hochleistungsverstärkerstufe **22** angelegt. Die Hochleistungsstufe **22** enthält eine Sektion Er-Yb-codotierter Faser **24**, die bekannterweise (im Hinblick auf Ausgangsleistungsskalierbarkeit) eine höhere Leistung liefert, und zwar aufgrund der Tatsache, daß Ytterbium Pumpleistung absorbieren kann, die von Neodym-dotierten Quellen nahe 1064 nm zur Verfügung steht, und die Leistung effizient zu Erbiumionen transferieren kann zur Leistungsanwendung nahe 1550 nm. Eine Pumpquelle **26** ist so dargestellt, daß sie ein sich entgegengesetzt ausbreitendes Pumpsignal bei 1064 nm an eine codotierte Faser **24** anlegt. Das verstärkte Hochleistungsausgangssignal P_{out} wird dann als ein Eingangssignal an einen 1 × M-Splitter **28** angelegt, wodurch mehrere M Ausgangssignale erzeugt werden, die jeweils für einen separaten Empfänger im System bestimmt sind. Bei einer bevorzugten Ausführungsform liefert der 1 × M-Splitter **28** eine gleiche Leistungsaufteilung derart, daß jeder Ausgangskanal **30** ein Signal mit einer Leistung P_{out}/M führt. Da jeder Kanal eine bestimmte Leistungsmenge erhalten muß, um die Ausbreitungsverluste zu überwinden, und auch am Empfänger eine relativ hohe Leistung aufweisen muß, ist die mit einem derartigen Splitter assoziierte Anzahl von Kanälen M begrenzt.

[0018] Fig. 2 ist eine graphische Darstellung der Ausgangsleistung von einer Hochleistungsverstärkerstufe wie etwa der Verstärkerstufe **22** nach dem Stand der Technik von Fig. 1, insbesondere gekennzeichnet für eine 6,5 m-Länge Er-Yb-codotierten Faserverstärkers, mit einer eingekoppelten Signalleistung (P'_{in}) bei 1550 nm und einem Pumpsignal bei einer Wellenlänge von 1060 nm mit einer Eingangsleistung von 350 mW. Wie gezeigt erzeugt der Verstärker für 10 dBm Eingangsleistung bis zu 21 dBm Ausgangsleistung. Das Verstärkerausgangssignal erreicht einen Sättigungspunkt für Eingangsleistung bei über 5 dBm, wobei im Sättigungsbereich eine etwaige Änderung bei der Eingangsleistung zu einer ver-

nachlässigbaren Änderung bei der Ausgangsleistung führt.

[0019] Ein Vergleich der Rauschzahlen und Ausgangsleistungswerte für die Anordnung nach dem Stand der Technik von Fig. 1 sowohl für einen einstufigen Er-dotierten Faserverstärker als auch einen einstufigen Er-Yb-codotierten Faserverstärker ist in **Fig.** 3A und B gezeigt. Wie gezeigt erzeugt ein Er-Yb-codotierter Faserverstärker eine höhere Leistung (21 dBm), aber mit einer relativ hohen Rauschzahl (> 10 dB, extern). Der Er-dotierte Faserverstärker ist das Gegenteil: geringere Leistung (16 dBm), aber niedrigere Rauschzahl (> 5 dB, extern). Wenn jedoch diese beiden separaten Verstärker zu einer Anordnung wie etwa dem Verstärker **10** von Fig. 1 kombiniert werden, erhält man ein Design mit einer relativ hohen Leistung (21 dBm) und eine relativ niedrigen Rauschzahl (< 5 dB, extern).

[0020] Fig. 4 veranschaulicht einen beispielhaften zweistufigen dotierten Hochleistungsfaserverstärker **40**, ausgebildet gemäß der vorliegenden Erfindung. Der Verstärker **40** umfaßt wie gezeigt eine Vorverstärkerstufe **42** und eine Hochleistungsverstärkerstufe **44** mit mehreren Abgriffen, wie gezeigt in einer Reihe angeordnet, um dafür zu sorgen, daß die Ausgangsstufenverstärkung in einer Reihe entlang dem Ausgangssignalweg mehrfach abgegriffen wird. Insbesondere ist die Vorverstärkerstufe **42** im wesentlichen identisch mit der oben erörterten Vorverstärkerstufe **12** mit dem Verstärker **10** nach dem Stand der Technik. Das heißt, die Vorverstärkerstufe **42** enthält eine Sektion Er-dotierter Faser **46** und eine Pumpquelle **48** zum Liefern eines sich gleich ausbreitenden Pumpsignals bei 980 nm an die Faser **46**. Ein Eingangsisolator **50** ist ebenfalls in der Vorverstärkerstufe **42** enthalten. Das mit P'_{in} bezeichnete Ausgangssignal von der Vorverstärkerstufe **42** läuft danach durch einen Zwischenisolator **52** und wird als ein Eingangssignal an eine Ausgangsstufe **44** mit mehreren Abgriffen angelegt.

[0021] Wie gezeigt umfaßt die Ausgangsstufe **44** mit mehreren Abgriffen mehrere verkettete codotierte Fasersektionen $\mathbf{54}_1$, $\mathbf{54}_2$, ... $\mathbf{54}_N$, wobei in diesem Fall vier separate Sektionen codotierter Faser gezeigt sind. Eine erste Pumpquelle **56** wird verwendet, um ein sich gleich ausbreitendes Pumpsignal an die mehreren verketteten codotierten Fasersektionen **54** zu liefern, und wird insbesondere als ein Eingangssignal an die erste codotierte Fasersektion $\mathbf{54}_1$ gekoppelt. Eine zweite Pumpquelle **58** wird verwendet, um ein sich entgegengesetzt ausbreitendes Pumpsignal an die mehreren verketteten codotierten Fasersektionen **54** zu liefern, und wird insbesondere als ein Eingangssignal an die letzte codotierte Fasersektion $\mathbf{54}_4$ gekoppelt. Ein Satz von Leistungsextrahierern **60** ist in einem Leistungsausgangsverstärker mit mehreren Abgriffen derart angeordnet, daß ein separater Leistungsextrahierer $\mathbf{60}_i$ zwischen benachbarten Sektionen codotierter Faser angeordnet ist. Das heißt, ein erster Leistungsextrahierer $\mathbf{60}_1$ ist zwischen codotierten Fasersektionen $\mathbf{54}_1$ und $\mathbf{54}_2$ angeordnet, ein zweiter Leistungsextrahierer $\mathbf{60}_2$ ist zwischen codotierten Fasersektionen $\mathbf{54}_2$ und $\mathbf{54}_3$ angeordnet, und letztlich ist ein dritter Leistungsextrahierer $\mathbf{60}_3$ zwischen codotierten Fasersektionen $\mathbf{54}_3$ und $\mathbf{54}_4$ angeordnet. Jeder Leistungsextrahierer fungiert dahingehend, einen vorbestimmten Prozentsatz des verstärkten Ausgangssignals zu beseitigen (die Prozentsätze sind in Fig. 4 als K1%, K2%, K3% und K4% bezeichnet).

[0022] Fig. 5 veranschaulicht einen beispielhaften Leistungsextrahierer **60**, der als ein optischer Abgriff in der Ausgangsverstärkerstufe mit mehreren Abgriffen der vorliegenden Erfindung verwendet werden kann. Wie gezeigt werden sowohl ein Pumpsignal P als auch ein Nachrichtensignal S als Eingangssignale an den Extrahierer **60** angelegt, wobei der Eingangsweg eine der Sektionen dotierter Faser **54** ist, wie in Fig. 4 dargestellt. Mit einem Wellenlängendemultiplexer **62** werden diese Signale entlang getrennter Wege aufgeteilt, wobei ein Pumpsignal P entlang einem Pumpweg **64** aufrechterhalten wird und das Nachrichtensignal S auf einen separaten Signalweg **66** abgelenkt wird. Ein optischer Koppler **68** wird dann verwendet, um einen (in Fig. 5 mit K_n% bezeichneten) Prozentsatz des Nachrichtensignals zu extrahieren. Ein Isolator **70** kann zwischen Demultiplexer **62** und Koppler **68** angeordnet sein, um Reflektionen des Nachrichtensignals zurück in den Demultiplexer **62** zu verhindern. Nach dem Abgreifen eines vorbestimmten Teils des Nachrichtensignals S werden Pumpsignal P und das verbleibende Nachrichtensignal S in einem optischen Multiplexer **72** wieder kombiniert und in einen Ausgangssignalweg **74** gekoppelt. Der Ausgangssignalweg **74** wird dann entweder der Eingangssignalweg zu einer folgenden Verstärkerstufe oder, falls es die letzte Stufe ist, das letzte Ausgangssignal vom Leistungsverstärker **44**.

[0023] Wieder unter Bezugnahme auf Fig. 4 enthält das sich entlang einem Signalweg **74** wie etwa dem oben beschriebenen ausbreitende letzte Ausgangssignal immernoch sowohl ein Pumpsignal als auch ein Nachrichtensignal. Somit wird ein letzter Demultiplexer **76** verwendet, um ein etwaiges restliches Pumpsignal P im Ausgangssignal zu entfernen.

[0024] Die Anordnung der vorliegenden Erfindung kann mit mehreren Nachrichteneingangssignalen verwendet werden, die jeweils bei einer separaten Signalwellenlänge λ_1–λ_m arbeiten. In diesem Fall kann auf jeden Leistungsextrahierer $\mathbf{60}_i$ entlang seinem Ausgangssignalweg $\mathbf{74}_i$ ein Demultiplexer $\mathbf{80}_i$ folgen, wie in Fig. 4 gezeigt.

[0025] Bei einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung nimmt der Abgriffswert K je-

des Extrahierers mit zunehmendem Abstand vom Eingang zu. Das heißt, K1 < K2 < K3. Auf diese Weise bleibt am letzten Ausgang ausreichend Nachrichtensignalstärke übrig, so daß verschiedene Rauschquellen das Nachrichtensignal nicht überhäufen und Fehler in der Übertragung verursachen.

[0026] Die Ausführungsformen wie oben erörtert umfassen üblicherweise mehrere diskrete Komponenten. Es ist auch möglich, einen Verstärker der vorliegenden Erfindung in eine integrierte Verstärkeranordnung auszubilden. Im allgemeinen wird davon ausgegangen, daß der Schutzbereich der vorliegenden Erfindung nur durch die hier beigefügten Ansprüche begrenzt wird.

Patentansprüche

1. Optischer Verstärker (**40**), der folgendes umfaßt:
eine Vorverstärkerstufe (**42**), die ein seltenerddotiertes Verstärkungsmedium (**46**) und eine optische Pumpquelle (**48**) enthält, wobei die Vorverstärkerstufe (**42**) bestimmt ist zum Empfangen mindestens eines optischen Eingangssignals und Erzeugen eines vorbestimmten Ausmaßes an optischer Verstärkung für das mindestens eine optische Eingangssignal und Bereitstellen mindestens eines vorverstärkten optischen Ausgangssignals als Ausgabe; und
einen an den Vorverstärkerstufenausgang gekoppelten optischen Leistungsverstärker (**44**), wobei der optische Leistungsverstärker (**44**) mehrere N verkettete Ausgangsstufen (**54**, **60**) und einen N-ten Ausgang jenseits der N-ten Ausgangsstufe umfaßt, wobei der Leistungsverstärker (**44**) weiterhin mindestens eine Pumpquelle (**56**, **58**) umfaßt, die an einem des Leistungsverstärkereingangs und des N-ten Ausgangs gekoppelt ist, wobei jede Stufe folgendes umfaßt:
ein mit Seltenerd-Ytterbium codotiertes Verstärkungsmedium (**54**) zum Empfangen des mindestens einen optischen Eingangssignals und eines Pumpsignals als Eingaben von der mindestens einen Pumpquelle, wobei das cododierte Verstärkungsmedium (**54**) bestimmt ist zum Verstärken des mindestens einen optischen Eingangssignals bei Vorliegen des mindestens einen optischen Pumpsignals und Ausbilden eines verstärkten Ausgangssignals, **dadurch gekennzeichnet**, daß jede Stufe weiterhin folgendes umfaßt:
einen an das codotierte Verstärkungsmedium (**54**) gekoppelten optischen Leistungsextrahierer (**60**) zum Entfernen eines vorbestimmten Prozentsatzes K_n% des verstärkten Ausgangssignals davon und zum Anlegen des etwaigen verbleibenden verstärkten Ausgangssignals an eine folgende Stufe der mehreren N verketteten Ausgangsstufen (**54**, **60**), wobei jeder optische Leistungsextrahierer (**60**) einen Eingangsdemultiplexer (**62**) umfaßt zum Empfangen sowohl des mindestens einen Eingangssignals als auch des mindestens einen Pumpsignals auf einem einzelnen Eingangssignalweg und Trennen der Signale zum Bereitstellen des mindestens einen Pumpsignals als eine Ausgabe auf einem ersten Ausgabeweg und des mindestens einen Eingangssignals auf einem zweiten Ausgabeweg; einen entlang dem zweiten Ausgabeweg angeordneten optischen Abgriff (**68**) zum Koppeln des vorbestimmten Anteils K_n% des verstärkten Eingangssignals auf einem assoziierten Verstärkerausgabeweg; und einen Ausgabemultiplexer (**72**) zum Empfangen des Pumpsignals entlang des ersten Ausgabewegs und des verbleibenden verstärkten Eingangssignals als separate Eingaben und zum Koppeln beider Signale an einen Ausgangsverstärkersignalweg.

2. Optischer Verstärker nach Anspruch 1, wobei der optische Leistungsverstärker (**44**) eine an den Eingang dazu gekoppelte einzelne Pumpquelle (**56**) umfaßt.

3. Optischer Verstärker nach Anspruch 1, wobei der optische Leistungsverstärker (**44**) eine an den N-ten Ausgang der mehreren N verketteten Ausgangsstufen gekoppelte einzelne Pumpquelle (**58**) umfaßt.

4. Optischer Verstärker nach Anspruch 1, wobei der optische Leistungsverstärker (**44**) eine an den Eingang dazu gekoppelte einzelne Pumpquelle (**56**) und eine an den N-ten Ausgang der mehreren N verketteten Ausgangsstufen gekoppelte zweite Pumpquelle (**58**) umfaßt.

5. Optischer Verstärker nach Anspruch 1, wobei mindestens ein optischer Leistungsextrahierer (**60**) weiterhin einen zwischen dem Eingangsdemultiplexer (**62**) und dem optischen Abgriff (**68**) angeordneten optischen Isolator (**70**) umfaßt.

6. Optischer Verstärker nach Anspruch 1, wobei der vorbestimmte extrahierte Anteil K_n% für jede nachfolgende Verstärkerstufe der mehreren N Ausgangsstufen (**54**, **60**) zunimmt.

7. Optischer Verstärker nach Anspruch 1, wobei die seltenerddotierte Vorverstärkerstufe (**42**) einen erbiumdotierten Vorverstärker umfaßt.

8. Optischer Verstärker nach Anspruch 1, wobei die seltenerddotierte Vorverstärkerstufe (**42**) einen Faserverstärker umfaßt.

9. Optischer Verstärker nach Anspruch 1, wobei die seltenerddotierte Vorverstärkerstufe (**42**) einen integrierten Wellenleiterverstärker umfaßt.

10. Optischer Verstärker nach Anspruch 1, wobei jedes mit Seltenerd-Ytterbium cododierte Verstärkungsmedium (**54**) in jeder Stufe des optischen Leistungsverstärkers (**44**) ein mit Erbium-Ytterbium codo-

tiertes Verstärkungsmedium umfaßt.

11. Optischer Verstärker nach Anspruch 1, wobei jedes codotierte Verstärkungsmedium (**54**) eine optische Faser umfaßt.

12. Optischer Verstärker nach Anspruch 1, wobei jedes codotierte Verstärkungsmedium (**54**) eine integrierte Wellenleiterstruktur umfaßt.

13. Optischer Verstärker nach Anspruch 1, wobei das mindestens eine optische Eingangssignal mehrere m optische Signale umfaßt, die jeweils mit einer anderen Wellenlänge λ_1–λ_m assoziiert sind.

14. Optischer Verstärker nach Anspruch 13, wobei jeder Leistungsextrahierer (**60**) weiterhin einen Wellenlängendemultiplexer am Ausgang davon zum Trennen der mehreren m verstärkten optischen Signale umfaßt.

Es folgen 5 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG. 1
STAND DER TECHNIK

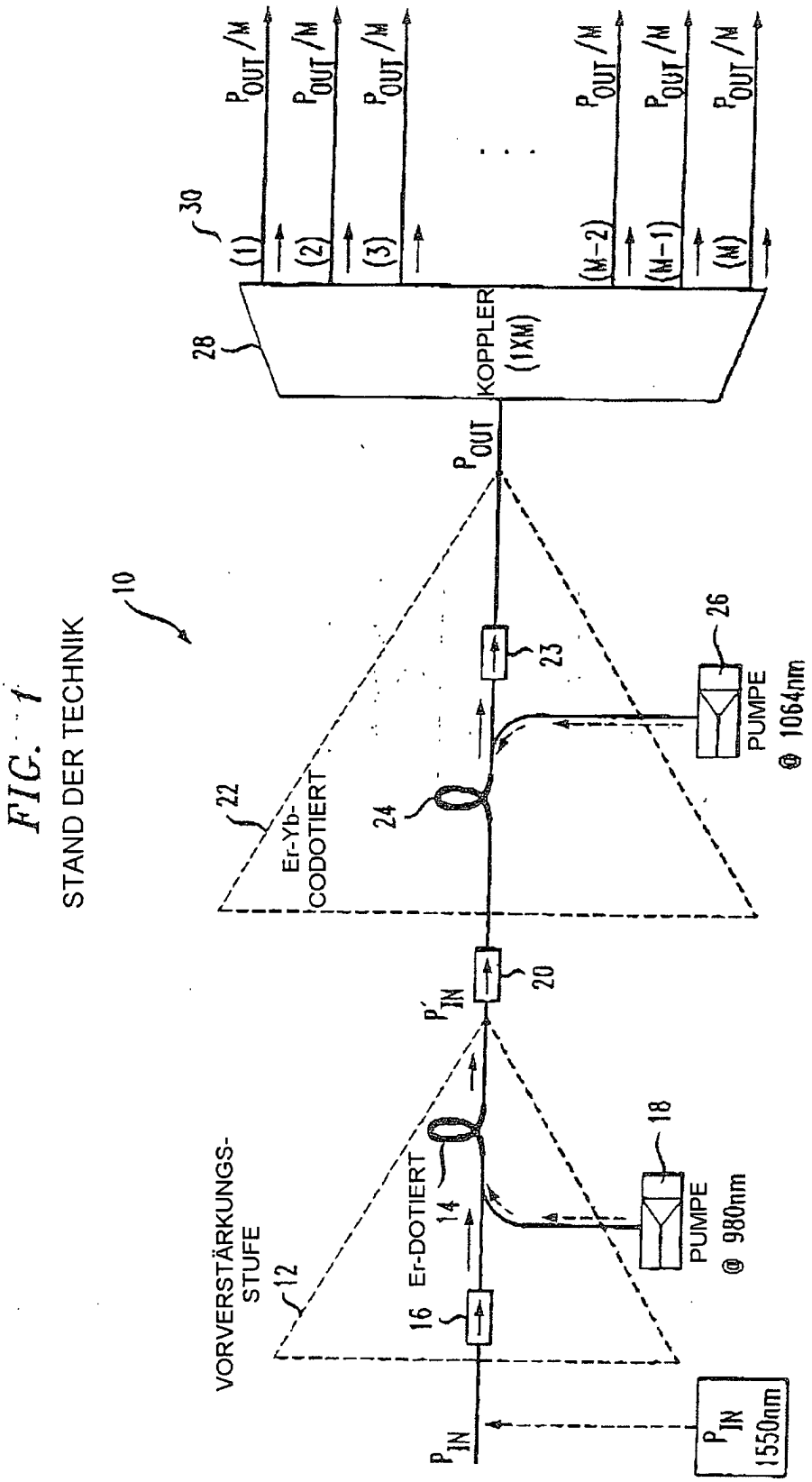


FIG. 2

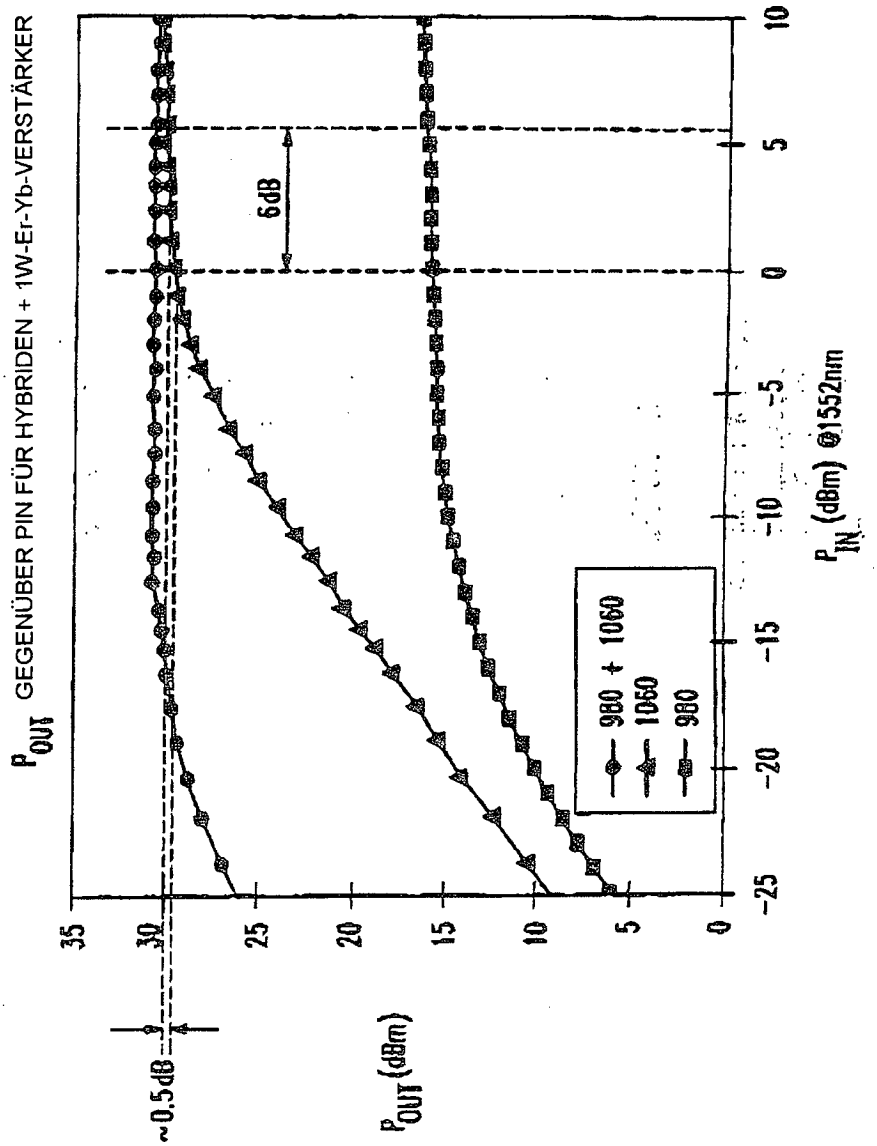

P_{OUT} GEGENÜBER PIN FÜR HYBRIDEN + 1W-Er-Yb-VERSTÄRKER
6dB
~0.5dB
980 + 1060
1060
980
P_{OUT} (dBm)
P_{IN} (dBm) @1552nm
35
30
25
20
15
10
5
0
-25
-20
-15
-10
-5
0
5
10

FIG. 3

RAUSCHZAHL GEGENÜBER PIN FÜR HYBRIDEN + W-Er-Yb-VERSTÄRKER

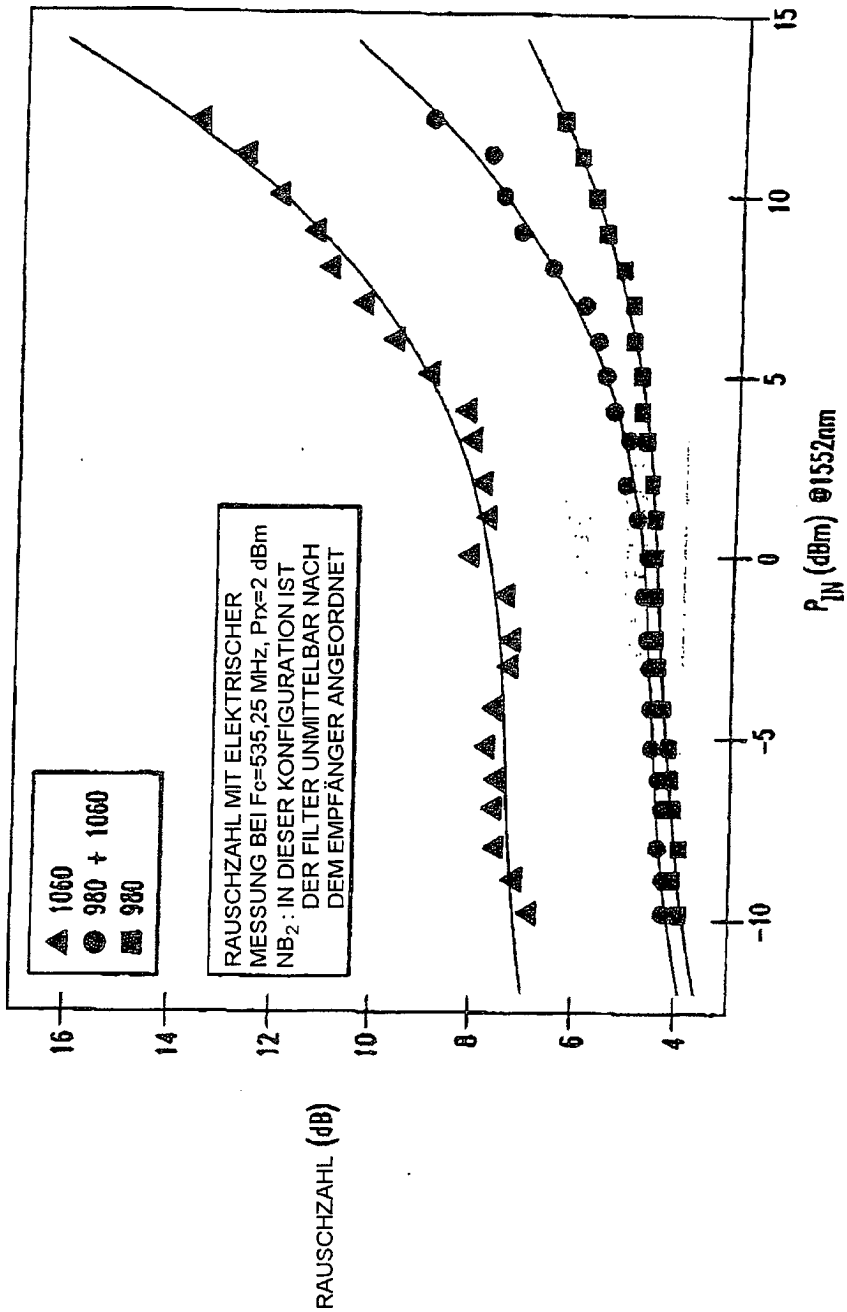


FIG. 4

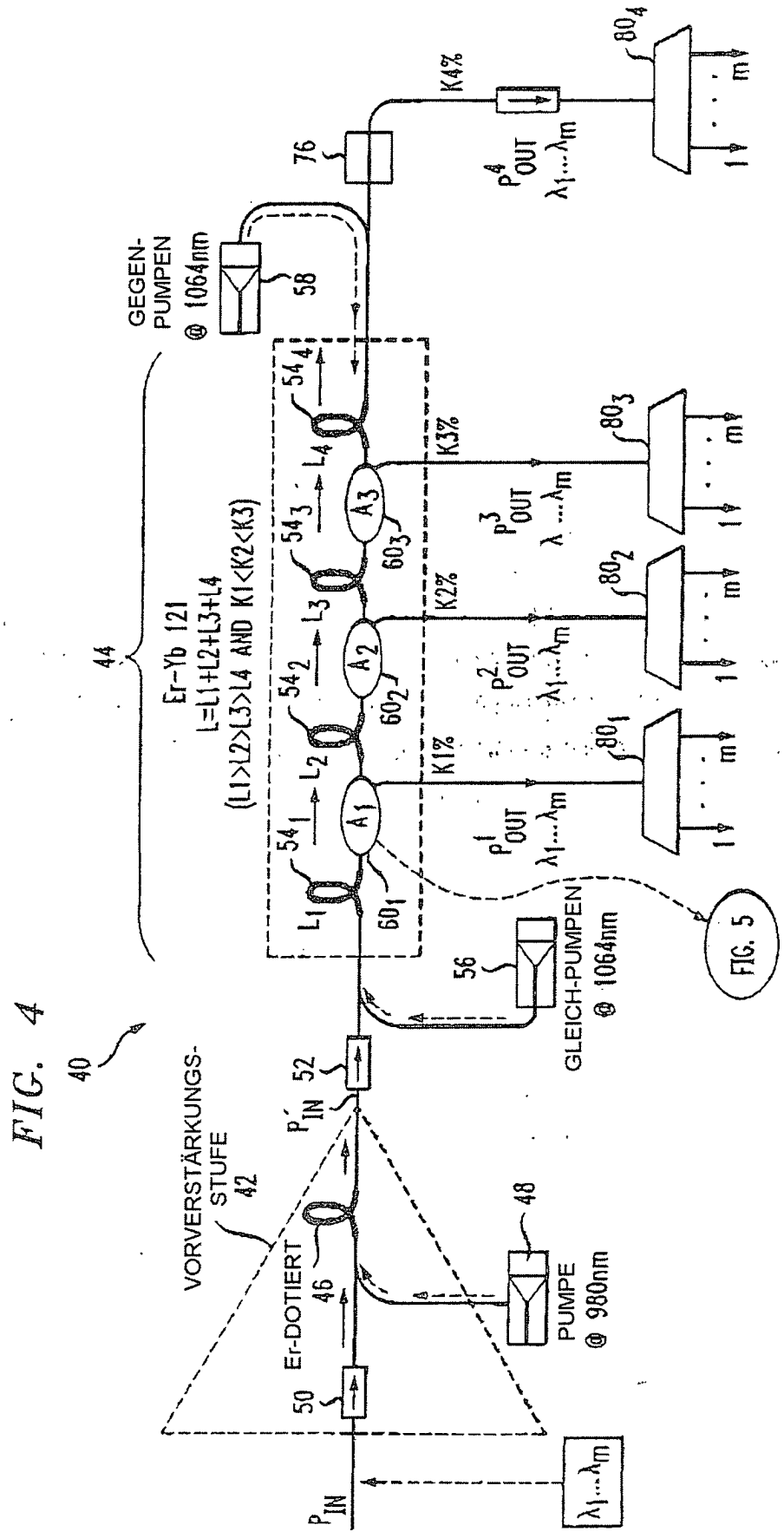
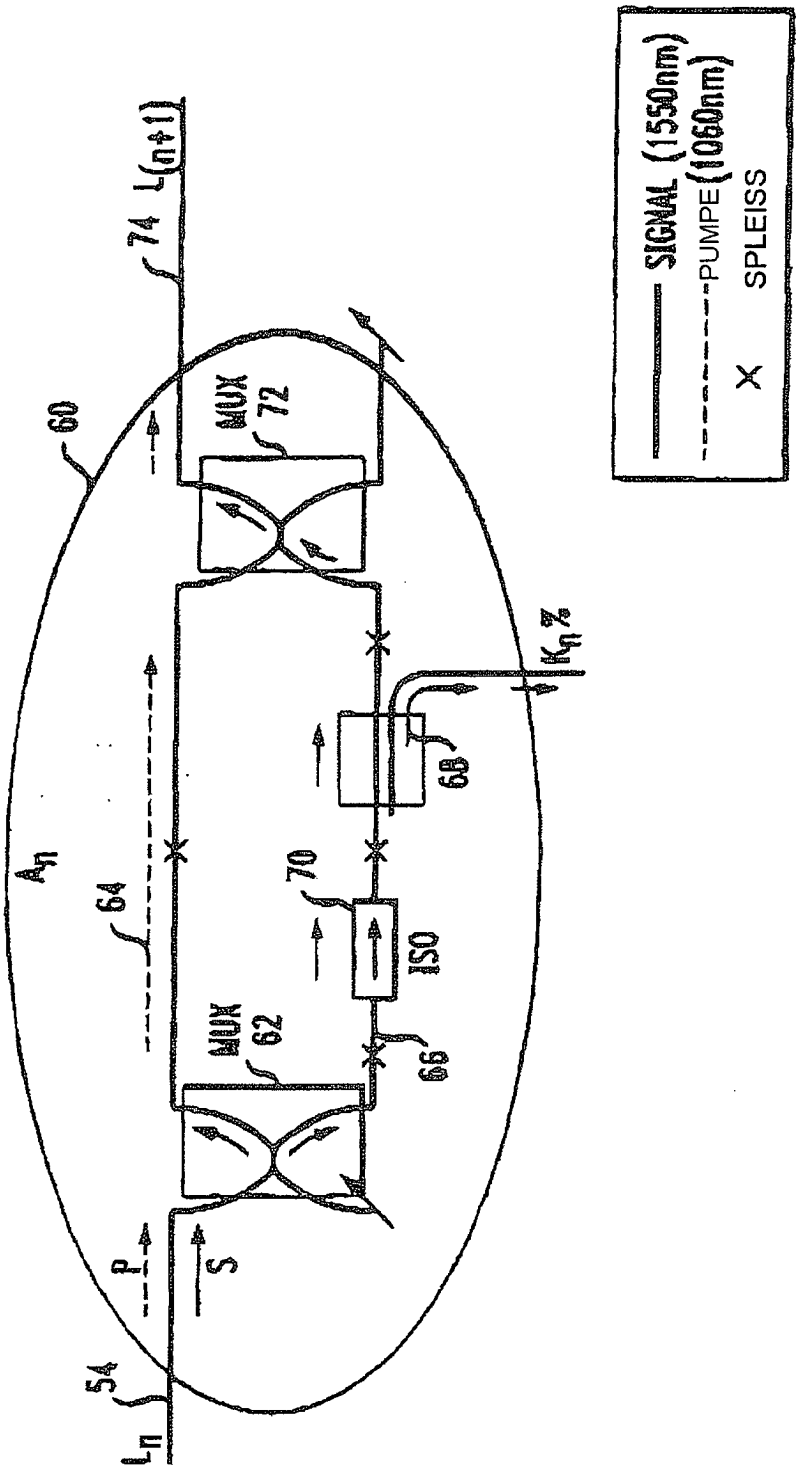

40
VORVERSTÄRKUNGS-STUFE
42
Er-DOTIERT
46
48
PUMPE @ 980nm
50
52
P_{IN}
P'_{IN}
$\lambda_1 \ldots \lambda_m$
56
GLEICH-PUMPEN @ 1064nm
58
GEGEN-PUMPEN @ 1064nm
76
44
Er-Yb 121
L=L1+L2+L3+L4
(L1>L2>L3>L4 AND K1<K2<K3)
L_1
L_2
L_3
L_4
54_1
54_2
54_3
54_4
A_1
A_2
A_3
60_1
60_2
60_3
K1%
K2%
K3%
K4%
P^1_{OUT}
P^2_{OUT}
P^3_{OUT}
P^4_{OUT}
80_1
80_2
80_3
80_4
1
m
FIG. 5

FIG. 5



60
74
$L_{(n+1)}$
MUX
72
A_n
64
70
ISO
68
K_n%
MUX
62
66
P
S
54
L_n
SIGNAL (1550nm)
PUMPE (1060nm)
SPLEISS