



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 603 19 891 T2** 2009.03.05

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 720 271 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **603 19 891.0**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **06 017 397.8**

(96) Europäischer Anmeldetag: **24.01.2003**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **08.11.2006**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **19.03.2008**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **05.03.2009**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **H04B 10/17 (2006.01)**  
**H01S 3/067 (2006.01)**

(30) Unionspriorität:  
**2002182750 24.06.2002 JP**

(73) Patentinhaber:  
**Fujitsu Ltd., Kawasaki, Kanagawa, JP**

(74) Vertreter:  
**HOFFMANN & EITL, 81925 München**

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

(72) Erfinder:  
**Nishihara, Masato, Nakahara-ku Kawasaki-shi  
Kanagawa 211-8588, JP; Sugaya, Yasushi,  
Nakahara-ku Kawasaki-shi Kanagawa 211-8588,  
JP; Hayashi, Etsuko, Nakahara-ku Kawasaki-shi  
Kanagawa 211-8588, JP**

(54) Bezeichnung: **Optischer 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

### 1. Gebiet der Erfindung

**[0001]** Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf einen optischen Verstärker, der ein optisches Verstärkungsmedium verwendet, das mit einem Element seltener Erden dotiert ist, und besonders auf einen optischen Verstärker, um Effizienz optischer Verstärkung für ein Wellenlängenband zu verbessern, das sich von einem typischen Verstärkungsband unterscheidet.

### 2. Beschreibung des Standes der Technik

**[0002]** Ein optischer Verstärker ist eine Einrichtung, die eingegebenes Licht wie es ist ohne Wandlung in Elektrizität verstärkt. In einem derartigen optischen Verstärker ist allgemein eine Wellenlänge von Licht, das zu verstärken ist, abhängig von einem angewendeten optischen Verstärkungsmedium begrenzt. In den letzten Jahren wurde mit der Erhöhung der Kapazität eines optischen Übertragungssystems Übertragung mit optischem Wellenlängenmultiplex durchgeführt, die Signallicht unterschiedlicher Wellenlängen in der Wellenlänge multiplext. Da die Übertragungskapazität dieser Übertragung mit optischem Wellenlängenmultiplex von dem Wellenlängenband abhängt, in dem die optische Verstärkung einen Zuwachs enthält, ist es notwendig, das Wellenlängenband zu erweitern, das den Zuwachs des optischen Verstärkers enthält. Deshalb wird gefordert, einen optischen Verstärker entsprechend einem Wellenlängenband zu realisieren, das früher als schwierig zu verstärken betrachtet wurde. Als ein Kandidat für ein neues Übertragungswellenlängenband des optischen Übertragungssystems wird z. B. ein Wellenlängenband, das S-Band genannt wird, von 1480 bis 1530 nm betrachtet, und der optische Verstärker entsprechend dem S-Band wird aktiv untersucht.

**[0003]** Als der optische Verstärker für das S-Band sind z. B. ein Verstärker einer mit Thulium (Tm) dotierten optischen Faser mit Verstärkungsverschiebung (GS-TDFA), ein diskreter Raman-Verstärker und dergleichen bekannt. Der GS-TDFA hat aber nicht ausreichende Zuverlässigkeit in einer optischen Faser aus Fluorid, und andererseits hat der Raman-Verstärker ein Problem dadurch, dass ein nicht-linearer Effekt, wenn hohe Leistung ausgegeben wird, unterdrückt wird. Unter derartigen Umständen ist einer von viel versprechenden Kandidaten für eine Technologie, die ermöglicht, einen optischen Verstärker für das S-Band zur praktischen Verwendung zu bringen, die Verschiebung eines Verstärkungsbandes eines Verstärkers einer erbiumdotierten optischen Faser (EDFA) zu dem S-Band.

**[0004]** Der EDFA war bereits als ein optischer Verstärker für das C-Band (1530–1560 nm) und das L-Band (1570–1610 nm) kommerziell verfügbar. [Fig. 21](#) zeigt beispielhaft eine Besetzungsinversionsratenabhängigkeit eines relativen Verstärkungskoeffizienten einer typischen erbiumdotierten optischen Faser (EDF). Es wird vermerkt, dass der relative Verstärkungskoeffizient in der Ordinate durch Standardisieren einer Verstärkung pro Einheitslänge der EDF ausgedrückt wird. Die Besetzungsinversionsrate (population inversion rate) repräsentiert eine Pumpbedingung der EDF, die ein System mit drei Ebenen ist, und kann durch eine Beziehung ausgedrückt werden, die in der folgenden Gleichung (1) gezeigt wird.

$$\text{Besetzungsinversionsrate} = \frac{E_r - \text{Ionendichte oberer Ebene}}{\text{Gesamte } E_r - \text{Ionendichte}} \quad (1)$$

**[0005]** In [Fig. 21](#) wird in einem typischen EDFA die EDF in der Besetzungsinversionsrate gepumpt, in der eine Verstärkungswellenlängencharakteristik eines Verstärkungsbandes im wesentlichen flach ist. Genauer ist die Besetzungsinversionsrate in einem herkömmlichen C-Band-EDFA ungefähr 0,7, und andererseits ist die Besetzungsinversionsrate in einem L-Band-EDFA ungefähr 0,4. Bei Konzentration auf das S-Band entsprechend einem Bereich, der durch Schrägstrichlinien in [Fig. 21](#) eingeschlossen ist, kann gesehen werden, dass der relative Verstärkungskoeffizient positiv wird, wenn der Besetzungsverstärkungskoeffizient 0,7 oder mehr ist.

**[0006]** In dem Fall, wo der EDFA auf die Verstärkung von Licht im S-Band angewendet wird, wie oben beschrieben, werden jedoch im Unterschied von der herkömmlichen Operationsbedingung für das C-Band oder das L-Band Probleme dadurch verursacht, dass: (a) der Verstärkungskoeffizient in einer Wellenlänge außerhalb des Verstärkungsbandes (in der Nähe von 1530 nm) maximal wird, und (b) die Besetzungsinversionsrate nicht existiert, in der die Verstärkungswellenlängencharakteristik in dem Verstärkungsband im wesentlichen flach wird. Insbesondere wird hinsichtlich des Problems von (a) ein ASE-(verstärkte spontane Emission) Licht, das in der Nähe von 1530 nm in der EDF generiert wird, erhöht, was ein Faktor wäre, um Effizienz zu reduzieren. Wegen diesen oben beschriebenen Problemen war es praktisch schwierig, die Verstärkung des S-Bandes in dem EDFA zu erhöhen.

**[0007]** Als eine Maßnahme zum Lösen der Probleme des S-Band-EDFA wie oben beschrieben hat der Anmelder der vorliegenden Erfindung einen Aufbau vorgeschlagen, in dem das ASE-Licht in der Nähe von 1530 nm durch Einführen von optischen Fasern zwischen den EDFs, die in vielen Stufen verbunden waren, unterdrückt wird, wie in [Fig. 22](#) gezeigt, z. B. die japanische ungeprüfte Patentveröffentlichung Nr. 2001-313433 und die japanische Patentanmeldung 2001-252165.

**[0008]** In dem Aufbaubeispiel in [Fig. 22](#) wird Signallight, das von einem optischen Übertragungspfad eingegeben wird, über einen optischen Isolator, um reflektiertes Licht zu verhindern, und einen WDM-Koppler zu den EDFs und optischen Filtern, die in vielen Stufen verbunden sind, eingegeben. Zu dieser Zeit wird Pumplicht von einer Pumplichtquelle über den WDM-Koppler zu der EDF zugeführt, die als ein optisches Verstärkungsmedium dient. Das Signallight, das zu der EDF eingegeben wird, wird wegen Erscheinung stimulierter Emission durch ein Er-Ion verstärkt. Das ASE-Licht in der Nähe von 1530 nm, das in dieser Zeit generiert wird, wird durch das optische Filter mit einer wie in [Fig. 23](#) gezeigten Übertragungswellenlängencharakteristik unterdrückt. Ferner wird eine Verstärkungsabweichung, die zur Zeit der Verstärkung auftritt, durch das oben beschriebene optische Filter abgeflacht. Das Signallight, das die EDF und die optischen Filter jeder Stufe passiert hat, wird über einen WDM-Koppler und einen optischen Isolator auf einer Ausgangsseite zu dem optischen Übertragungspfad ausgegeben.

**[0009]** Obwohl die Verstärkung und das Wachstum des ASE-Lichts eines Bandes außer dem S-Band durch Einfügen der optischen Filter zwischen die vielstufigen EDFs unterdrückt werden kann, ist es jedoch in dem wie oben beschriebenen S-Band-EDFA schwierig, das Wachstum des ASE-Lichts perfekt zu unterdrücken. Deshalb wird ein Problem dadurch verursacht, dass Effizienz optischer Verstärkung im Vergleich mit anderen EDFAs entsprechend anderen Bändern gering ist.

**[0010]** Um Effizienz des S-Band-EDFA zu verbessern, während eine erforderliche Verstärkung sichergestellt wird, kann betrachtet werden, die ASE-Lichtleistung, die zu der EDF in jeder Stufe eingegeben wird, so gering wie möglich zu halten, z. B. durch Erhöhen der Zahl der optischen Filter, die zwischen die Stufen eingefügt werden, aber in diesem Fall wird auch ein Problem dadurch verursacht, dass der Aufbau komplizierter als in dem herkömmlichen EDFA wäre.

**[0011]** Ein weiteres Verstärkungssystem des Standes der Technik ist aus EP 1 128 504 bekannt.

#### ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

**[0012]** Die vorliegende Erfindung wurde angesichts der obigen Probleme bewerkstelligt, und es ist ein Ziel der vorliegenden Erfindung, einen optischen Verstärker vorzusehen, der ein optisches Verstärkungsmedium verwendet, das mit einem Element seltener Erden dotiert ist, zum Verbessern von Effizienz optischer Verstärkung für ein neues Wellenlängenband, wie etwa das S-Band, was ermöglicht, die Ausdehnung eines Signalbandes eines optischen Übertragungssystems zu realisieren, und auch zum Ermöglichen der Realisierung von Einfachheit des Aufbaus.

**[0013]** Das obige Ziel wird durch einen optischen Verstärker mit den Merkmalen nach Anspruch 1 erreicht.

**[0014]** Die vorliegende Erfindung stellt einen optischen Verstärker bereit, umfassend: eine Vielzahl von optischen Verstärkungsmedien, das jedes dotiert ist mit einem Element seltener Erden mit einem Verstärkungsspitzenwert für eine Wellenlänge; Verstärkungsentzerrer, die zwischen den optischen Verstärkungsmedien angeordnet sind, wobei jeder eine Verstärkung in einem Wellenlängenband ausgleicht, in dem die Verstärkung in einer Wellenlänge verschieden von der Wellenlänge mit dem Spitzenwert geneigt ist; und eine Temperatursteuersektion, die eine Temperatur von jedem der optischen Verstärkungsmedien steuert, eine vorbestimmte Temperatur zu sein, wobei der optische Verstärker eine mittlere Wellenlänge einer Verstärkungsspitze in einer Wellenlänge außerhalb eines Signalbandes hat. In einem derartigen Aufbau kann der Effizienzevaluierungswert durch die Temperatursteuerung des optischen Verstärkungsmediums erhöht werden.

**[0015]** Der optische Verstärker kann einen Verstärkungskoeffizienten haben, wenn eine Pumpbedingung des optischen Verstärkungsmediums maximal ist, der so gesetzt ist, dass ein Effizienzevaluierungswert, der durch Teilen eines Minimalwertes des Verstärkungskoeffizienten in dem Signalband durch einen Maximalwert des Verstärkungskoeffizienten außerhalb des Signalbandes erhalten wird, ein vorher eingestellter Wert oder mehr wird. In dem optischen Verstärker mit einem derartigen Aufbau kann Verstärkungseffizienz des Signallichts mit der mittleren Wellenlänge der Verstärkungsspitze außerhalb des Signalbandes verbessert werden.

**[0016]** Der oben beschriebene optische Verstärker ist vorzugsweise so gebildet, dass der Effizienzevaluierungswert 0,15 oder mehr ist. Ferner kann das Wellenlängenband des Signallichts so gebildet sein, dass sich die mittlere Wellenlänge der Verstärkungsspitze außerhalb des Signalbandes auf einer längeren Wellenlängenseite befindet, und genauer das Wellenlängenband des Signallichts das S-Band von 1480 nm bis 1530 nm sein kann.

**[0017]** Die Merkmale und Vorteile der vorliegenden Erfindung werden aus der folgenden Beschreibung der Ausführungsformen mit Verweis auf die begleitenden Zeichnungen offensichtlich sein.

#### KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

**[0018]** [Fig. 1](#) ist ein Diagramm zum Ausdrücken eines Basiskonzepts der vorliegenden Erfindung;

**[0019]** [Fig. 2](#) ist ein Diagramm, das eine Beziehung einer Gesamtausgangsleistung von S-Band-Signallicht zu ASE-Optikleistung im 1530 nm-Band gemäß einem Parameter  $\eta$  zeigt;

**[0020]** [Fig. 3](#) zeigt ein Beispiel einer Beziehung von Verstärkungseffizienz zu dem Parameter  $\eta$ ;

**[0021]** [Fig. 4](#) ist ein Blockdiagramm, das ein Aufbaubeispiel eines S-Band-EDFA gemäß einer ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zeigt;

**[0022]** [Fig. 5](#) ist ein Diagramm, das eine Änderung in einem Verstärkungskoeffizienten einer EDF mit Bezug auf eine Temperaturänderung in der ersten Ausführungsform zeigt;

**[0023]** [Fig. 6](#) ist ein vergrößertes Diagramm einer Charakteristik für das in [Fig. 5](#) gezeigte S-Band;

**[0024]** [Fig. 7](#) ist ein vergrößertes Diagramm der Charakteristik in der Nähe von 1530 nm, was in [Fig. 5](#) gezeigt wird;

**[0025]** [Fig. 8](#) ist ein Diagramm, das eine Beziehung zwischen einer Temperatur der EDF und dem Parameter  $\eta$  in der ersten Ausführungsform zeigt;

**[0026]** [Fig. 9](#) ist ein Diagramm, das Temperaturabhängigkeit der Verstärkungseffizienz in der ersten Ausführungsform zeigt;

**[0027]** [Fig. 10](#) ist ein Diagramm, das Temperaturabhängigkeit eines mittleren RF in der ersten Ausführungsform zeigt;

**[0028]** [Fig. 11](#) ist ein Diagramm, das Abhängigkeit der Verstärkungseffizienz von der Zahl von Stufen in der ersten Ausführungsform zeigt;

**[0029]** [Fig. 12](#) ist ein Diagramm, das Abhängigkeit des mittleren RF von der Zahl von Stufen in der ersten Ausführungsform zeigt;

**[0030]** [Fig. 13](#) ist ein Blockdiagramm, das ein Aufbaubeispiel eines S-Band-EDFA gemäß einer zweiten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zeigt;

**[0031]** [Fig. 14](#) ist ein Diagramm, das Abhängigkeit eines relativen Verstärkungskoeffizienten von einem Dotierungsbetrag von A1 in der zweiten Ausführungsform zeigt;

**[0032]** [Fig. 15](#) ist ein Blockdiagramm, das ein Aufbaubeispiel eines S-Band-EDFA gemäß einer dritten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zeigt;

**[0033]** [Fig. 16](#) ist ein Diagramm, das Abhängigkeit des relativen Verstärkungskoeffizienten der EDF von Host-Glas (host glass) zeigt;

**[0034]** [Fig. 17](#) ist ein Diagramm, das Abhängigkeit der Verstärkungseffizienz von der Zahl von Stufen erläutert, wenn die Verstärkung auf 15 dB in der dritten Ausführungsform eingestellt ist;

**[0035]** [Fig. 18](#) ist ein Diagramm, das Abhängigkeit des mittleren RF von der Zahl von Stufen erläutert, wenn

die Verstärkung auf 15 dB in der dritten Ausführungsform eingestellt ist;

[0036] [Fig. 19](#) ist ein Diagramm, das Abhängigkeit der Verstärkungseffizienz von der Zahl von Stufen erläutert, wenn die Verstärkung auf 25 dB in der dritten Ausführungsform eingestellt ist;

[0037] [Fig. 20](#) ist ein Diagramm, das Abhängigkeit des mittleren RF von der Zahl von Stufen erläutert, wenn die Verstärkung auf 25 dB in der dritten Ausführungsform eingestellt ist;

[0038] [Fig. 21](#) ist ein Diagramm, das Abhängigkeit einer Besetzungsinversionsrate von einem relativen Verstärkungskoeffizienten in einer typischen EDF zeigt;

[0039] [Fig. 22](#) ist ein Blockdiagramm, das ein Aufbaubeispiel eines herkömmlichen S-Band-EDFA zeigt; und

[0040] [Fig. 23](#) ist ein Diagramm, das eine Übertragungswellenlängencharakteristik eines optischen Filters zeigt, das in dem in [Fig. 22](#) gezeigten S-Band-EDFA verwendet wird.

#### DETAILLIERTE BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

[0041] Hierin nachstehend werden Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung mit Bezug auf die Zeichnungen beschrieben.

[0042] Mit Verweis auf einen optischen Verstärker, der eine mit einem Element seltener Erden dotierte optische Faser (z. B. eine EDF) als ein optisches Verstärkungsmedium zum Durchführen von Übertragung im optischen Wellenlängenmultiplex verwendet, wird ein Basiskonzept zum Realisieren einer Effizienzverbesserung optischer Verstärkung für ein Wellenlängenband (z. B. das S-Band), das sich von einem typischerweise bekannten Verstärkungsband unterscheidet, beschrieben.

[0043] [Fig. 1](#) ist ein Diagramm zum Erläutern eines Basiskonzepts der vorliegenden Erfindung, worin ein Beispiel einer Verstärkungswellenlängencharakteristik einer typischen EDF gezeigt wird.

[0044] Wie in [Fig. 1](#) gezeigt, hat die Verstärkungswellenlängencharakteristik eine Verstärkungsspitze außerhalb, auf der längeren Wellenlängenseite, eines S-Band-Signalbandes entsprechend einem Bereich, der durch Schrägstrichlinien eingeschlossen ist (genauer in der Nähe von 1530 nm). In dem durch die Schrägstrichlinien eingeschlossenen Bereich hat eine Verstärkung eine Charakteristik, die mit Bezug auf die Wellenlänge geneigt ist. Hinsichtlich einer derartigen Verstärkungscharakteristik kann, um Effizienz optischer Verstärkung für das S-Band zu erhöhen, z. B. (A) ein Verstärkungskoeffizient in dem S-Band erhöht werden oder (B) die Verstärkungsspitze außerhalb des Signalbandes kann reduziert werden, um Wachstum von ASE-Licht in der Nähe von 1530 nm zu unterdrücken. Da es wichtig wird, einen Ausgleich zwischen dem Verstärkungskoeffizienten innerhalb des Signalbandes und der Verstärkungsspitze außerhalb des Signalbandes beizubehalten, ist es in diesem Fall effektiv,  $\eta$  zu definieren, was in der folgenden Gleichung (2) gezeigt wird, als einen Parameterwert (einen Effizienzevaluierungswert), der diesen Ausgleich darstellt, um den optischen Verstärker zu gestalten, während dem Parameter  $\eta$  Aufmerksamkeit geschenkt wird:

$$\eta = g_{\min}/g_{\text{peak}} \quad (2)$$

wobei  $g_{\min}$  ein minimaler Verstärkungskoeffizient auf der Innenseite des Signalbandes ist, wenn ein Pumpzustand des optischen Verstärkungsmediums maximal ist, und  $g_{\text{peak}}$  ein Verstärkungsspitzenwert (ein Maximalwert des Verstärkungskoeffizienten) auf der Außenseite des Signalbandes ist. Wenn die Bedingungen (A) oder (B), die oben beschrieben werden, erfüllt sind, wird ein Wert des Parameters  $\eta$  erhöht. Durch Gestalten des optischen Verstärkers so, um den Parameter  $\eta$  mehr zu erhöhen, kann der optische Verstärker, der für die optische Verstärkung für das S-Band geeignet ist, realisiert werden.

[0045] [Fig. 2](#) zeigt ein Beispiel einer Beziehung einer Gesamtausgangsleistung des S-Band-Signallichts zu der ASE-Optikleistung in dem 1530 nm-Band gemäß jedem Wert eines Parameters  $\eta$  (0,18–0,21). Aus [Fig. 2](#) kann gesehen werden, dass die Gesamtausgangsleistung des S-Band-Signallichts drastisch reduziert wird, während das ASE-Licht auf der Außenseite des Signalbands wächst. Dies ist so, da Pumpleistung, die der EDF zuzuführen ist, durch das Wachstum des ASE-Lichts verbraucht wird. Während sich der Wert des Parameters  $\eta$  erhöht, wird jedoch das Wachstum des ASE-Lichts unterdrückt und die Pumpleistung wird hauptsächlich durch die Verstärkung des S-Band-Signallichts verbraucht.

[0046] **Fig. 3** zeigt ein Beispiel einer Beziehung von Verstärkungseffizienz zu dem Parameter  $\eta$ . Hier ist die Verstärkungseffizienz ein Wert, der durch die folgenden Gleichung (3) ausgedrückt wird:

$$\text{Verstärkungseffizienz (\%)} = \frac{(\text{Gesamtausgangslichtleistung}) - (\text{Gesamteingangslichtleistung})}{(\text{Gesamtpumplichtleistung})} \times 100 \quad (3)$$

[0047] Aus **Fig. 3** kann gesehen werden, dass sich die Verstärkungseffizienz auch erhöht, während sich der Parameter  $\eta$  erhöht. Genauer kann z. B., um die Verstärkungseffizienz von 6% oder mehr zu erhalten, der Parameter  $\eta$  auf 0,15 oder mehr gesetzt werden. Somit ist der Parameter  $\eta$ , der ein Verhältnis zwischen dem Verstärkungsspitzenwert  $g_{\text{peak}}$  auf der Außenseite des Signalbandes und dem Minimalwert  $g_{\text{min}}$  des Verstärkungskoeffizienten auf der Innenseite des Signalbandes ist, ein sehr nützlicher Index beim Gestalten des optischen Verstärkers, der die Verstärkungsspitze auf der Außenseite des Signalbandes hat.

[0048] In der obigen Beschreibung wird eine EDF als eine mit einem Element seltener Erden dotierte optische Faser angenommen, die als das Verstärkungsmedium dient, und das S-Band, das sich auf einer kürzeren Wellenlängenseite der Spitzenwellenlänge befindet, wird als das Wellenlängenband angenommen, das sich von der Spitzenwellenlänge unterscheidet. Die vorliegende Erfindung ist jedoch nicht darauf begrenzt, und es ist möglich, eine optische Faser zu verwenden, die mit einem beliebigen Element seltener Erden außer Erbium dotiert ist, die als das optische Verstärkungsmedium verwendet wird, und ein beliebiges Wellenlängenband außer dem S-Band anzunehmen, in dem sich die Spitzenwellenlänge auf der Außenseite des Signalbandes befindet.

[0049] In dem optischen Verstärker gemäß der vorliegenden Erfindung, der basierend auf der Gestaltung gebildet wird, die sich auf den Parameter  $\eta$  konzentriert, wie oben beschrieben, kann die Effizienz der optischen Verstärkung für ein neues Wellenlängenband, wie etwa das S-Band, verbessert werden und der Aufbau kann vereinfacht werden. Hierin nachstehend werden spezifische Ausführungsformen des optischen Verstärkers gemäß der vorliegenden Erfindung detailliert beschrieben.

[0050] **Fig. 4** ist ein Blockdiagramm, das ein Aufbaubeispiel eines S-Band-EDFA gemäß einer ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zeigt.

[0051] In **Fig. 4** umfasst der S-Band-EDFA z. B. eine Vielzahl von auf Quarz basierten erbiumdotierten optischen Fasern (EDF) **3**, die zwischen einem Eingangsport **1** und einem Ausgangsport **2** in Kaskade verbunden sind, Verstärkungsentzerrer (GEQ, gain equalizer) **4**, die jeweils in einem Ausgangsende jeder EDF **3** eingefügt sind, Pumplichtquellen **5** und WDM-Koppler **6** zum Zuführen von Pumplicht zu jeder EDF **3**, eine Temperaturabstimmungssektion **7**, die eine Temperatur jeder EDF **3** abstimmt, und optische Isolatoren **8**, die in einer letzteren Stufe des Eingangsports **1** bzw. in einer vorherigen Stufe des Ausgangsports **2** eingefügt sind.

[0052] Es kann eine typische auf Quarz basierte EDF, die für einen herkömmlichen EDFA entsprechend dem C-Band oder dem L-Band verwendet wird, als jede EDF **3** verwendet werden. Es wird angenommen, dass die Länge jeder EDF **3** angemessen abgestimmt ist, sodass eine erforderliche Verstärkung in dem vorliegenden optischen Verstärker erhalten werden kann.

[0053] Jeder GEQ **4** ist ein bekanntes optisches Filter mit einer Übertragungswellenlängencharakteristik, die ASE-Licht außerhalb des S-Bandes unterdrücken kann, das in jeder EDF **3** generiert wird, besonders ASE-Licht, das in der Nähe von 1530 nm generiert wird, und zur gleichen Zeit eine Neigung des Verstärkungskoeffizienten in dem S-Band kompensieren kann. Genauer kann z. B. ein Fabry-Perot-Étalonfilter, ein dielektrisches Multischichtfilmfilter oder ein Fasergitterfilter verwendet werden. Es wird vermerkt, dass angenommen wird, dass jeder GEQ **4** das Pumplicht übertragen kann.

[0054] Jede von Pumplichtquellen **5** ist eine typische Pumplichtquelle, die Pumplicht in einem Wellenlängenband generiert, das zum Pumpen jeder EDF **3** fähig ist (z. B. 980 nm-Band, 1480 nm-Band und dergleichen). Hier wird das Pumplicht, das von der Pumplichtquelle **5** ausgegeben wird, die auf der Eingangsseite positioniert ist, in dem WDM-Koppler **6**, der auf der Eingangsseite positioniert ist, in der gleichen Richtung wie eine Ausbreitungsrichtung des Signallichts multiplext, um jeder EDF **3** zugeführt zu werden. Andererseits wird das Pumplicht, das von den Pumplichtquellen **5** ausgegeben wird, die auf der Ausgangsseite positioniert sind, in den WDM-Kopplern **6**, die auf der Ausgangsseite positioniert sind, in einer entgegengesetzten Richtung zu der Ausbreitungsrichtung des Signallichts multiplext, um jeder EDF **3** zugeführt zu werden. Es wird angenommen,

dass eine Leistung des Pumplichts, das jeder EDF **3** von jeder Pumplichtquelle **5** zugeführt wird, so gesetzt ist, dass eine Besetzungsinversionsrate der EDF **3** 0,7 oder mehr wird. Es wird vermerkt, dass in dem Beispiel in [Fig. 4](#) der Aufbau eines bidirektionalen Pumptyps gezeigt wird. Die vorliegende Erfindung ist jedoch nicht darauf begrenzt, und es ist möglich, einen Vorwärtspumtyp oder einen Rückwärtspumtyp zu bilden.

**[0055]** Die Temperaturabstimmungssektion **7**, die die Temperatur jeder EDF **3** abstimmen kann, misst die Temperatur jeder EDF **3** und stimmt die Temperatur jeder EDF **3** auf eine vorbestimmte Temperatur durch ein Temperatursteuermittel ab, wie etwa ein Heizgerät, das in jeder EDF **3** vorgesehen ist, oder erfasst den Parameter  $\eta$  basierend auf der Ausgabe des optischen Verstärkers und stimmt die Temperatur jeder EDF ab, um so die Verbesserung von Effizienz der optischen Verstärkung für das S-Band zu realisieren.

**[0056]** Jeder optische Isolator **8** ist eine bekannte optische Einrichtung, die Licht in nur einer Richtung überträgt. Der optische Isolator **8**, der auf der Eingangsseite angeordnet ist, überträgt das S-Band-Signallicht, das zu dem Eingangsport **1** eingegeben wird, zu dem WDM-Koppler **6** auf der Eingangsseite, und blockiert zur gleichen Zeit Übertragung von Licht, das sich in einer Richtung entgegengesetzt zu der Ausbreitungsrichtung des Signallichts ausbreitet. Andererseits überträgt der optische Isolator **8**, der auf der Ausgangsseite angeordnet ist, das Licht, das den WDM-Koppler **6** auf der Ausgangsseite durchlaufen hat, zu dem Ausgangsport **2**, und blockiert zur gleichen Zeit Übertragung von Licht, das von außerhalb über den Ausgangsport **2** eingegeben wird.

**[0057]** In dem optischen Verstärker des S-Bandes des oben beschriebenen Aufbaus kann eine Erhöhung des Parameters  $\eta$  durch Nutzen von Temperaturabhängigkeit des Verstärkungskoeffizienten der EDF realisiert werden. Hierin nachstehend wird eine Temperaturcharakteristik des Verstärkungskoeffizienten der EDF speziell mit Verweis auf [Fig. 5–Fig. 8](#) beschrieben.

**[0058]** [Fig. 5](#) ist ein Diagramm, das eine Änderung in dem Verstärkungskoeffizienten der EDF mit Bezug auf eine Änderung in der Temperatur von z. B. 0°C, 20°C (Raumtemperatur), 40°C und 80°C zeigt. Ferner ist [Fig. 6](#) ein vergrößertes Diagramm der Charakteristik, das in [Fig. 5](#) für das S-Band gezeigt wird, und [Fig. 7](#) ist ein vergrößertes Diagramm der Charakteristik in der Nähe von 1530 nm, was in [Fig. 5](#) gezeigt wird. Weiter noch ist [Fig. 8](#) ein Diagramm, das eine Beziehung zwischen der Temperatur der EDF und dem Parameter  $\eta$  zeigt.

**[0059]** Aus [Fig. 5–Fig. 7](#) kann gesehen werden, dass der Verstärkungskoeffizient der EDFA eine Temperaturabhängigkeit derart hat, dass während die Temperatur der EDF ansteigt, sich der Verstärkungskoeffizient in dem S-Band erhöht ([Fig. 6](#)) und die Verstärkungskoeffizientenspitze in der Nähe von 1530 nm abgesenkt wird ([Fig. 7](#)). Wie in [Fig. 8](#) gezeigt, erhöht sich deshalb der Wert des Parameters  $\eta$ , während die Temperatur der EDF ansteigt. Durch Halten der EDF auf einer hohen Temperatur wird es entsprechend möglich, die Verstärkungseffizienz des S-Band-EDFA zu verbessern.

**[0060]** Hier wird eine Verstärkungscharakteristik des S-Band-EDFA in der ersten Ausführungsform detailliert beschrieben.

**[0061]** [Fig. 9](#) ist ein Diagramm, das eine Temperaturabhängigkeit der Verstärkungseffizienz dieses EDFA zeigt. Ferner ist [Fig. 10](#) ein Diagramm, das eine Temperaturabhängigkeit eines mittleren RF (Rauschfaktors) dieses EDFA zeigt. Es wird vermerkt, dass jede Temperaturabhängigkeit in [Fig. 9](#) und [Fig. 10](#) eine Charakteristik davon zeigt, wenn jede EDF **3** in fünf Stufen gebildet wird, worin die Länge einer EDF pro eine Stufe 4m ist und Vorwärts- und Rückwärtspumleistung je 240 mW ist, für das Aufbaubeispiel, das in [Fig. 4](#) gezeigt wird. In diesem Fall sind für das S-Band-Signallicht optische Signale von 40 Kanälen mit einem 100-GHz-Abstand in dem Wellenlängenband von 1489 nm bis 1519 nm angeordnet, und eine eingegebene Lichtleistung zu jedem Kanal ist –15 dBm/Ka.

**[0062]** Wie aus [Fig. 9](#) und [Fig. 10](#) gesehen werden kann, wird durch eine Erhöhung der Temperatur der EDF von 20°C auf 80°C die Verstärkungseffizienz um ungefähr 1,5% verbessert und der mittlere RF wird um ungefähr 0,34 dB verbessert.

**[0063]** Obwohl die Verstärkungscharakteristik des oben beschriebenen S-Band-EDFA ein Beispiel davon ist, wenn jede EDF in fünf Stufen gebildet wird, wurde ferner bestätigt, dass die Werte der Verstärkungseffizienz und des mittleren RF auch von der Zahl von Stufen der EDF abhängen.

**[0064]** [Fig. 11](#) zeigt ein Beispiel einer Abhängigkeit der Verstärkungseffizienz von der Zahl von Stufen, und [Fig. 12](#) zeigt ein Beispiel einer Abhängigkeit des mittleren RF von der Zahl von Stufen. Es wird vermerkt, dass

jede Abhängigkeit von der Zahl von Stufen in [Fig. 11](#) und [Fig. 12](#) eine Charakteristik davon zeigt, wenn die Zahl von Stufen geändert wird, vorausgesetzt, dass die gesamte Länge der EDF auf 20m fixiert ist und die ausgegebene Lichtleistung pro einem Kanal auf 0 dBm/Ka fixiert ist. Für das S-Band-Signallicht, wie in dem obigen Fall, wird angenommen, dass optische Signale von 40 Kanälen mit einem 100-GHz-Abstand in dem Wellenlängenband von 1489 nm bis 1519 nm angeordnet sind, und die eingegebene Lichtleistung zu jedem Kanal -15 dBm/Ka ist.

**[0065]** Wie in [Fig. 11](#) und [Fig. 12](#) gezeigt, werden, wenn die Temperatur der EDF 0°C ist, die beste Verstärkungseffizienz und der beste mittlere RF in dem Aufbau von fünf Stufen erhalten. Wenn andererseits die Temperatur der EDFA 20°C, 40°C und 80°C ist, wird die beste Verstärkungseffizienz in dem Aufbau von vier Stufen erhalten, während der beste mittlere RF in dem Aufbau von fünf Stufen erhalten wird. Aus derartigen Ergebnissen kann verstanden werden, dass sich der optimale Aufbau eines S-Band-EDFA abhängig von der Temperatur der EDF **3** ändert, d. h. dem Wert des Parameters  $\eta$ . Genauer kann durch Erhöhen der Temperatur der EDF **3**, um den Parameter  $\eta$  zu erhöhen, die Zahl von Stufen der EDF **3** reduziert werden, und folglich wird es möglich, den Aufbau des S-Band-EDFA zu vereinfachen.

**[0066]** In der oben beschriebenen ersten Ausführungsform wird in dem Fall, wo die EDF als das optische Verstärkungsmedium verwendet wird, das S-Band zu dem Signalband gemacht, der Parameter  $\eta$  wird durch Erhöhen der Temperatur der EDF erhöht. In der vorliegenden Erfindung ist jedoch die Richtung einer Temperaturänderung nicht auf die Anstiegsrichtung begrenzt, sie sollte aber gemäß der Verstärkungscharakteristik der mit einem Element seltener Erden dotierten optische Faser, die als die optische Verstärkungsfaser verwendet wird, und der Einstellung des Signalbandes bestimmt werden.

**[0067]** Als Nächstes wird eine zweite Ausführungsform der vorliegenden Erfindung beschrieben.

**[0068]** In der oben beschriebenen ersten Ausführungsform wird die Verstärkungseffizienz verbessert und der Aufbau wird vereinfacht, durch Erhöhen der Temperatur der EDF durch die Temperaturabstimmungssektion **7**, um den Parameter  $\eta$  zu erhöhen. In der zweiten Ausführungsform wird andererseits ein Beispiel beschrieben, in dem der Parameter  $\eta$  durch Verfeinern eines Zusatzstoffs in der EDF, die als das optische Verstärkungsmedium zu verwenden ist, an Stelle der Temperatursteuerung der EDF erhöht wird.

**[0069]** [Fig. 13](#) ist ein Blockdiagramm, das ein Aufbaubeispiel eines S-Band-EDFA gemäß der zweiten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zeigt. Es wird vermerkt, dass gleiche Komponenten wie in [Fig. 4](#) oben durch gleiche Bezugszeichen bezeichnet sind und eine Beschreibung davon weggelassen wird. Die gleiche Regel wird auf andere Ausführungsformen angewendet.

**[0070]** In [Fig. 13](#) unterscheidet sich die zweite Ausführungsform von der ersten Ausführungsform dadurch, dass eine auf Quarz basierte EDF **3'**, die mit Aluminium (Al) in hoher Dichte dotiert ist, als optisches Verstärkungsmedium in jeder Stufe an Stelle der Temperaturabstimmungssektion **7** verwendet wird. Komponenten außer der obigen sind die gleichen wie die in der ersten Ausführungsform.

**[0071]** Jede EDF **3'** ist die eine, in der ein Kern einer typischen auf Quarz basierten EDF mit  $\text{Al}_2\text{O}_3$  oder dergleichen dotiert ist. Es ist bekannt, dass die Verstärkungswellenlängencharakteristik einer derartigen EDF **3'** gemäß dem Typ oder dem Betrag eines Zuschlagstoffs geändert wird.

**[0072]** [Fig. 14](#) ist ein Diagramm, das eine Abhängigkeit eines relativen Verstärkungskoeffizienten von einem Dotierungsbetrag von Al zeigt. Wie aus [Fig. 14](#) offensichtlich ist, tendiert der relative Verstärkungskoeffizient für das S-Band zu einer Erhöhung, während der Dotierungsbetrag von Al erhöht wird.

**[0073]** Genauer werden Daten, in denen eine Beziehung von jedem des Wertes des Parameters  $\eta$ , des Wertes der Verstärkungseffizienz und des Wertes des mittleren RF zu dem Dotierungsbetrag von Al verglichen wird, in Tabelle 1 wie folgt gezeigt. Es wird vermerkt, dass Tabelle 1 die Daten zeigt, wenn jede EDF **3'** in fünf Stufen gebildet wird, wobei die Länge der EDF pro eine Stufe 4m ist und Vorwärts- und Rückwärtspumpleistung je 240 mW ist, für das Aufbaubeispiel, das in [Fig. 13](#) gezeigt wird. In diesem Fall sind für das S-Band-Signallicht optische Signale von 40 Kanälen mit einem 100-GHz-Abstand in dem Wellenlängenband von 1489 nm bis 1519 nm angeordnet, und eingegebene Lichtleistung zu jedem Kanal ist -15 dBm/Ka.

Tabelle 1

	$\eta$ ( $g_{\min}/g_{\text{peak}}$ )	Verstärkungseffizienz (%)	Mittlerer RF (dB)
Dotiert ohne Al	0,06	0,5	8,6
Dotiert mit wenig Al	0,15	6,7	6,9
Dotiert mit mittlerem Al	0,18	9,2	6,5
Dotiert mit hohem Al	0,20	10,3	6,4

**[0074]** Wie in den Daten von Tabelle 1 gezeigt, kann in dem Fall, wo die EDF **3'** verwendet wird, die mit Al in hoher Dichte dotiert ist, gesehen werden, dass der Wert des Parameters  $\eta$  um dreimal oder mehr erhöht wird, sodass jeder Wert der Verstärkungseffizienz und des mittleren RF auch verbessert wird, im Vergleich mit dem Fall, wo die EDF verwendet wird, die überhaupt nicht mit Al dotiert ist.

**[0075]** Wie oben beschrieben, ist es gemäß der zweiten Ausführungsform durch Bilden des S-Band-EDFA, der die EDF **3'** verwendet, die mit Al in höherer Dichte dotiert ist, möglich, den Parameter  $\eta$  zu erhöhen, um die Verstärkungseffizienz zu verbessern. Wie in der oben beschriebenen ersten Ausführungsform wird es ferner möglich, den Aufbau des S-Band-EDFA zu vereinfachen, da die Verstärkungseffizienz verbessert wird, um die Reduzierung der Zahl der EDF **3'** zu ermöglichen.

**[0076]** Es wird vermerkt, dass in der oben beschriebenen zweiten Ausführungsform in dem Fall, wo der Zuschlagstoff für die EDF Al ist und das S-Band zu dem Signalband gemacht wird, der Parameter  $\eta$  durch Erhöhen des Dotierungsbetrages von Al erhöht wird. Der Zuschlagstoff für die EDF ist jedoch nicht auf Al begrenzt, sondern es können beliebige verschiedener Substanzen, die zum Ändern der Verstärkungswellenlängencharakteristik der EDF fähig sind, um so den Parameter  $\eta$  zu erhöhen, als der Zuschlagstoff verwendet werden. Spezielle Beispiele der Zuschlagstoffe außer Al können Phosphor, Boron und dergleichen enthalten.

**[0077]** Als Nächstes wird eine dritte Ausführungsform des optischen Verstärkers gemäß der vorliegenden Erfindung beschrieben.

**[0078]** In der oben beschriebenen zweiten Ausführungsform wird der Parameter  $\eta$  durch Verwenden der auf Quarz basierten EDF, worin der Dotierungsbetrag von Al erhöht wird, als das optische Verstärkungsmedium erhöht. Andererseits wird in der dritten Ausführungsform ein Beispiel beschrieben, in dem der Parameter  $\eta$  durch Verfeinern einer Zusammensetzung eines Basismaterials (Host-Glas), das als das optische Verstärkungsmedium zu verwenden ist, erhöht wird.

**[0079]** [Fig. 15](#) ist ein Blockdiagramm, das ein Aufbaubeispiel eines S-Band-EDFA gemäß der dritten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zeigt.

**[0080]** In [Fig. 15](#) unterscheidet sich der Aufbau der dritten Ausführungsform von der zweiten Ausführungsform dadurch, dass an Stelle der auf Quarz basierten EDF **3'**, die mit Al in hoher Dichte dotiert ist, eine EDF **3''**, die z. B. entweder Fluoridglas oder Telluritglas als das Host-Glas verwendet, als das optische Verstärkungsmedium in jeder Stufe verwendet wird. Komponenten außer der obigen sind die gleichen wie jene der zweiten Ausführungsform.

**[0081]** Jede EDF **3''** ist die eine, in der eine optische Faser, die das Fluoridglas oder Telluritglas als das Host-Glas verwendet, mit Erbium und dergleichen dotiert ist. Es ist allgemein bekannt, dass sich die Verstärkungswellenlängencharakteristik der EDF **3** abhängig von der Zusammensetzung des Host-Glases ändert.

**[0082]** [Fig. 16](#) ist ein Diagramm, das eine Abhängigkeit des relativen Verstärkungskoeffizienten von dem Host-Glas zeigt. Hier wird der relative Verstärkungskoeffizient jeder EDF gezeigt, worin jedes von drei Glastypen, das Quarzglas (dotiert mit Al in hoher Dichte), das Fluoridglas und das Telluritglas, als das Host-Glas verwendet wird. Wie in [Fig. 16](#) gezeigt, kann gesehen werden, dass sich das Profil des relativen Verstärkungskoeffizienten abhängig von dem Typ des Host-Glases beträchtlich unterscheidet, oder mit anderen Worten der relative Verstärkungskoeffizient für das S-Band zu einer Erhöhung tendiert, wenn das Fluoridglas oder das Telluritglas als das Host-Glas verwendet wird. Speziell werden Daten, in denen die Parameter  $\eta$  für verschiedene Typen des Host-Glas verglichen werden, in Tabelle 2 gezeigt:

Tabelle 2

	$\eta$ ( $g_{\min}/g_{\text{peak}}$ )
Quarzglas (dotiert mit Al in hoher Dichte)	0,20
Fluoridglas	0,28
Telluritglas	0,36

**[0083]** Wie aus den Daten in Tabelle 2 gesehen werden kann, sind das Fluoridglas und das Telluritglas als das Host-Glas geeignet, um den Parameter  $\eta$  für den S-Band-EDFA zu erhöhen.

**[0084]** Hier wird speziell die Verstärkungscharakteristik des S-Band-EDFA gemäß dieser Ausführungsform beschrieben. Hierin nachstehend wird das Merkmal dieser Ausführungsform durch den Vergleich des Falls, wo z. B. das Telluritglas als das Host-Glas für jede EDF **3"** verwendet wird, und des Falls, wo das Quarzglas als das Host-Glas verwendet wird, für die Verstärkungscharakteristik des S-Band-EDFA betrachtet.

**[0085]** [Fig. 17](#) zeigt ein Beispiel einer Abhängigkeit der Verstärkungseffizienz von der Zahl von Stufen, und [Fig. 18](#) zeigt ein Beispiel einer Abhängigkeit des mittleren RF von der Zahl von Stufen, in jedem der S-Band-EDFAs, der das Telluritglas bzw. das Quarzglas verwendet. Jede Abhängigkeit von der Zahl von Stufen in [Fig. 17](#) und [Fig. 18](#) zeigt hier die Charakteristik davon, wenn sich die Zahl von Stufen der EDF ändert, vorausgesetzt, dass die Gesamtlänge der EDF auf 20m fixiert ist und die ausgegebene Lichtleistung pro einem Kanal auf 0 dBm/Ka fixiert ist. Für das S-Band-Signallicht sind optische Signale von 40 Kanälen mit einem 100-GHz-Abstand in dem Wellenlängenband von 1489 nm bis 1519 nm angeordnet, und die eingegebene Lichtleistung zu jedem Kanal ist -15 dBm/Ka. Deshalb ist die Verstärkung des S-Band-EDFA in diesem Fall 15 dB.

**[0086]** Wie aus [Fig. 17](#) gesehen werden kann, kann in dem S-Band-EDFA, der das Telluritglas als das Host-Glas verwendet, die Verstärkungseffizienz besser als die in dem S-Band-EDFA, der das Quarzglas verwendet, erreicht werden, insbesondere, wenn jede EDF in drei Stufen gebildet wird, wird die Verstärkungseffizienz um ungefähr 13% im Vergleich mit dem EDFA verbessert, der das Quarzglas verwendet. Wie aus [Fig. 18](#) gesehen werden kann, ist ferner in dem S-Band-EDFA, der das Telluritglas verwendet, der mittlere RF etwas schlechter als der in dem EDFA, der das Quarzglas verwendet, kann aber die Charakteristik erhalten, die im wesentlichen die gleiche wie die in dem EDFA ist, der das Quarzglas verwendet, durch Reduzieren der Zahl von Stufen der EDF, um z. B. drei Stufen zu bilden.

**[0087]** Ferner wird die Überlegenheit des Telluritglases als das Host-Glas durch Erhöhen der Verstärkung des S-Band-EDFA merklicher. [Fig. 19](#) und [Fig. 20](#) zeigen die Abhängigkeit der Verstärkungseffizienz von der Zahl von Stufen bzw. die Abhängigkeit des mittleren RF von der Zahl von Stufen in dem Fall, wo z. B. die eingegebene Lichtleistung jedes Kanals auf -25 dBm/Ka gesetzt ist, um die Verstärkung des S-Band-EDFA auf 25 dB zu setzen.

**[0088]** Wie aus [Fig. 19](#) gesehen werden kann, ist in dem Fall, wo die Verstärkung auf 25 dB gesetzt ist, die Verstärkungseffizienz in dem S-Band-EDFA, der das Quarzglas als das Host-Glas verwendet, beträchtlich schlechter als in dem Fall, wo die Verstärkung auf 15 dB gesetzt ist. Andererseits wird die Verstärkungseffizienz in dem S-Band-EDFA, der das Telluritglas verwendet, schlechter, wenn die EDF in drei Stufen gebildet ist, aber die bessere Verstärkungseffizienz kann in dem Aufbau von vier und fünf Stufen erreicht werden. Wie in [Fig. 20](#) gezeigt, kann in dem EDFA, der das Telluritglas in vier oder fünf Stufen verwendet, ein besserer mittlerer RF als der in dem EDFA, der das Quarzglas verwendet, erreicht werden.

**[0089]** Wie oben beschrieben, wird es gemäß der dritten Ausführungsform, durch Bilden des S-Band-EDFA, der das Telluritglas oder das Fluoridglas als das Host-Glas des EDF verwendet, möglich, den Parameter  $\eta$  zu erhöhen, um die Verstärkungseffizienz zu verbessern, und zur gleichen Zeit den Aufbau des S-Band-EDFA zu vereinfachen.

**[0090]** Wenn in der oben beschriebenen dritten Ausführungsform das S-Band zu dem Signalband gemacht wird, wird hier das Telluritglas oder das Fluoridglas als das Host-Glas der EDF verwendet, um den Parameter  $\eta$  zu erhöhen. Das Host-Glas der EDF ist jedoch nicht auf die obigen Beispiele begrenzt, sondern es ist möglich, als das Host-Glas beliebige verschiedener Materialien zu verwenden, die die Verstärkungswellenlängencharakteristik der EDF ändern, um so den Parameter  $\eta$  zu erhöhen. Spezielle Beispiele des Host-Glases kön-

nen Phosphat, Borat und dergleichen enthalten.

**[0091]** Ferner wurde in den obigen ersten bis dritten Ausführungsformen der EDFA entsprechend nur dem S-Band beschrieben. Es kann jedoch eine Vielzahl von Bändern von Signallicht in einem optischen Verstärker durch Kombinieren des existierenden C-Band-EDFA, des L-Band-EDFA und dergleichen gemeinsam verstärkt werden. Genauer ist es möglich, den existierenden EDFA für ein anderes Band parallel mit dem S-Band-EDFA gemäß der vorliegenden Erfindung zu verbinden, sodass eingegebenes Signallicht für jedes Band verzweigt wird, um die optische Verstärkung in jedem EDFA durchzuführen.

**[0092]** Gemäß einem anderen Beispiel kann ein optischer Verstärker umfassen: eine Vielzahl von optischen Verstärkungsmedien, wobei jedes dotiert ist mit einem Element seltener Erden mit einem Verstärkungsspitzenwert für eine Wellenlänge; und Verstärkungsentzerrer, die zwischen den optischen Verstärkungsmedien angeordnet sind, wobei jeder eine Verstärkung in einem Wellenlängenband ausgleicht, in dem die Verstärkung in einer Wellenlänge geneigt ist, die sich von der Wellenlänge unterscheidet, die den Spitzenwert hat, wobei jedes optische Verstärkungsmedium mit einem Zuschlagstoff dotiert ist, der einen Verstärkungskoeffizienten einer Wellenlänge in einem Band erhöht, das durch den Verstärkungsentzerrer ausgeglichen wird. In einem derartigen Aufbau kann der Effizienzevaluierungswert erhöht werden durch Verwenden des optischen Verstärkungsmediums, das mit dem Zuschlagstoff dotiert ist, der den Verstärkungskoeffizienten entsprechend dem Wellenlängenband erhöht, das durch den Verstärkungsentzerrer ausgeglichen wird.

**[0093]** Gemäß einem anderen Beispiel kann ein optischer Verstärker umfassen: eine Vielzahl von optischen Verstärkungsmedien, wobei jedes mit einem Element seltener Erden dotiert ist, das einen Verstärkungsspitzenwert für eine Wellenlänge hat; und Verstärkungsentzerrer, die zwischen den optischen Verstärkungsmedien angeordnet sind, wobei jeder eine Verstärkung in einem Wellenlängenband ausgleicht, in dem die Verstärkung in einer Wellenlänge geneigt ist, die sich von der Wellenlänge unterscheidet, die den Spitzenwert hat, wobei für das optische Verstärkungsmedium ein Basismaterial, das einen Verstärkungskoeffizienten einer Wellenlänge in einem Band erhöht, das durch den Verstärkungsentzerrer ausgeglichen wird, an Stelle eines Quarzbasismaterials verwendet wird. In einem derartigen Aufbau kann durch Verwenden des optischen Verstärkungsmediums, das aus einem Basismaterial (Host-Glas) hergestellt ist, das den Verstärkungskoeffizienten entsprechend dem Wellenlängenband erhöht, das durch den Verstärkungsentzerrer ausgeglichen wird, der Effizienzevaluierungswert im Vergleich mit dem optischen Verstärkungsmedium erhöht werden, das aus dem Quarzbasismaterial hergestellt ist.

**[0094]** Ein Medium kann mit einem vorbestimmten Zuschlagstoff zusätzlich zu dem Element seltener Erden dotiert sein, das für das optische Verstärkungsmedium verwendet wird, und der Effizienzevaluierungswert kann auf den vorher eingestellten Wert oder mehr gemäß einem Dotierungsbetrag des Zuschlagstoffs gesetzt werden.

**[0095]** Aluminium kann als der Zuschlagstoff verwendet werden, und der Dotierungsbetrag wird zu dem Effizienzevaluierungswert erhöht.

**[0096]** Es kann ein vorbestimmtes Glasmaterial als Host-Glas verwendet werden, und der Effizienzevaluierungswert kann auf den vorher voreingestellten Wert oder mehr gemäß einer Zusammensetzung des Glasmaterials gesetzt werden.

**[0097]** Wenn das optische Verstärkungsmedium eine erbiumdotierte optische Faser ist, kann entweder Fluoridglas oder Telluritglas als das Host-Glas verwendet werden.

### Patentansprüche

1. Ein optischer Verstärker, umfassend:  
eine Vielzahl von optischen Verstärkungsmedien (3), das jedes dotiert ist mit einem Element seltener Erden mit einem Verstärkungsspitzenwert für eine Wellenlänge;  
Verstärkungsentzerrer (4), die zwischen den optischen Verstärkungsmedien angeordnet sind, wobei jeder angepasst ist, eine Verstärkung in einem Wellenlängenband auszugleichen, in dem die Verstärkung in einer Wellenlänge verschieden von der Wellenlänge mit dem Spitzenwert geneigt ist; und  
eine Temperatursteuersektion (7), die angepasst ist, eine Temperatur von jedem der optischen Verstärkungsmedien zu steuern, eine vorbestimmte Temperatur zu sein  
wobei der optische Verstärker eine mittlere Wellenlänge einer Verstärkungsspitze in einer Wellenlänge außerhalb des Wellenlängenbandes hat.

2. Ein optischer Verstärker nach Anspruch 1, wobei ein Verstärkungskoeffizient davon, wenn eine Pumpbedingung des optischen Verstärkungsmediums maximal ist, so eingestellt ist, dass ein Effizienzevaluierungswert, der durch Teilen eines Minimalwertes des Verstärkungskoeffizienten in einem Signalband durch einen Maximalwert des Verstärkungskoeffizienten in der Außenseite des Signalbandes erhalten wird, ein vorher eingestellter Wert oder mehr wird.

3. Ein optischer Verstärker nach Anspruch 2, wobei der Effizienzevaluierungswert 0,15 oder mehr ist.

4. Ein optischer Verstärker nach Anspruch 2, wobei sich die mittlere Wellenlänge der Verstärkungsspitze in der Außenseite des Signalbandes auf einer längeren Wellenseite befindet.

5. Ein optischer Verstärker nach Anspruch 4, wobei das Signalband ein Wellenlängenband von 1480 nm bis 1530 nm ist.

6. Ein optischer Verstärker nach Anspruch 2, wobei der Effizienzevaluierungswert auf den vorher gesetzten Wert oder mehr eingestellt ist basierend auf der Temperaturabstimmung durch die Temperaturabstimmungssektion.

7. Ein optischer Verstärker nach Anspruch 6, wobei wenn das optische Verstärkungsmedium eine erbiumdotierte optische Faser ist, die Temperaturabstimmungssektion die Temperatur der erbiumdotierten optischen Faser erhöht, um den Effizienzevaluierungswert zu erhöhen.

8. Ein optischer Verstärker nach Anspruch 2, ferner umfassend:  
das optische Verstärkungsmedium, das in vielen Zuhlen so angeordnet ist, in einer Kaskade miteinander verbunden zu sein;  
eine Vielzahl optischer Filtersektionen, die jede mit einem Ende jedes der optischen Verstärkungsmedien verbunden ist, und mit einer Übertragungscharakteristik, die zum Unterdrücken mindestens der Verstärkungsspitze in der Außenseite des Signalbandes fähig ist, das in dem optischen Verstärkungsmedium generiert wird;  
und  
eine Pumplichtversorgungssektion, die Pumplicht jedem der optischen Verstärkungsmedien zuführt.

Es folgen 12 Blatt Zeichnungen

FIG. 1

DIAGRAMM ZUM ERLÄUTERN DES BASISKONZEPTS DER VORLIEGENDEN ERFINDUNG

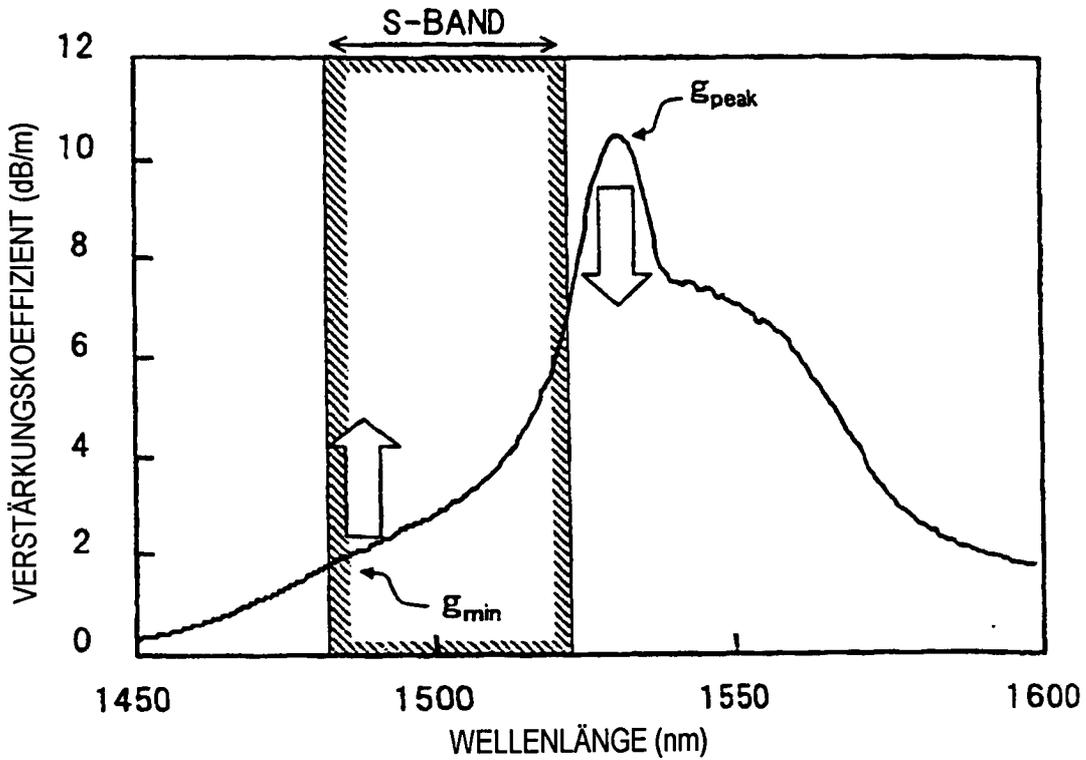


FIG. 2

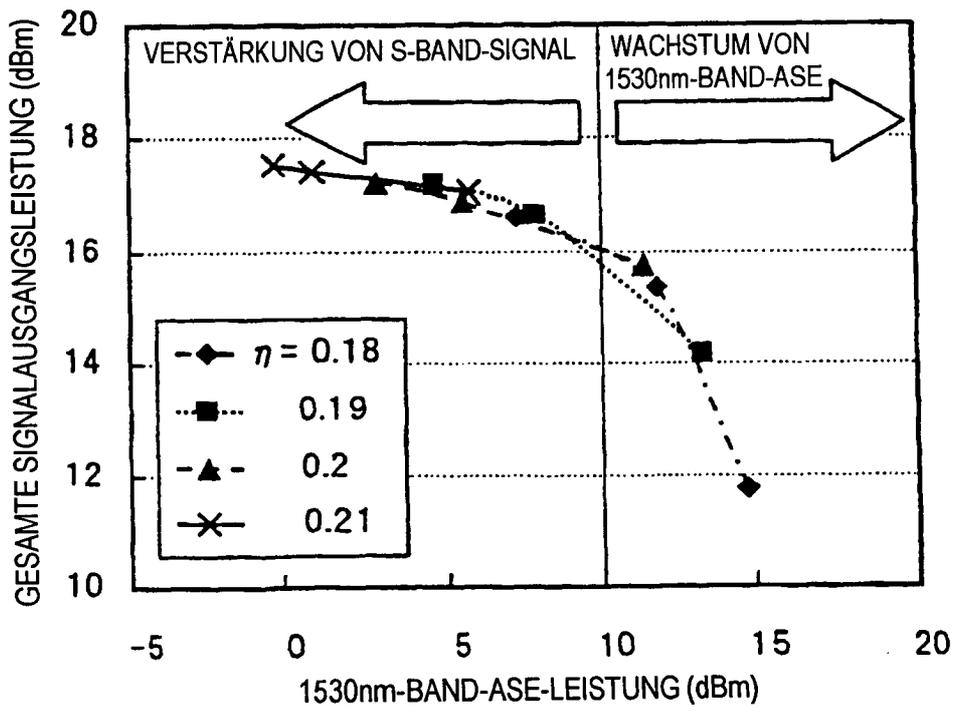


FIG. 3

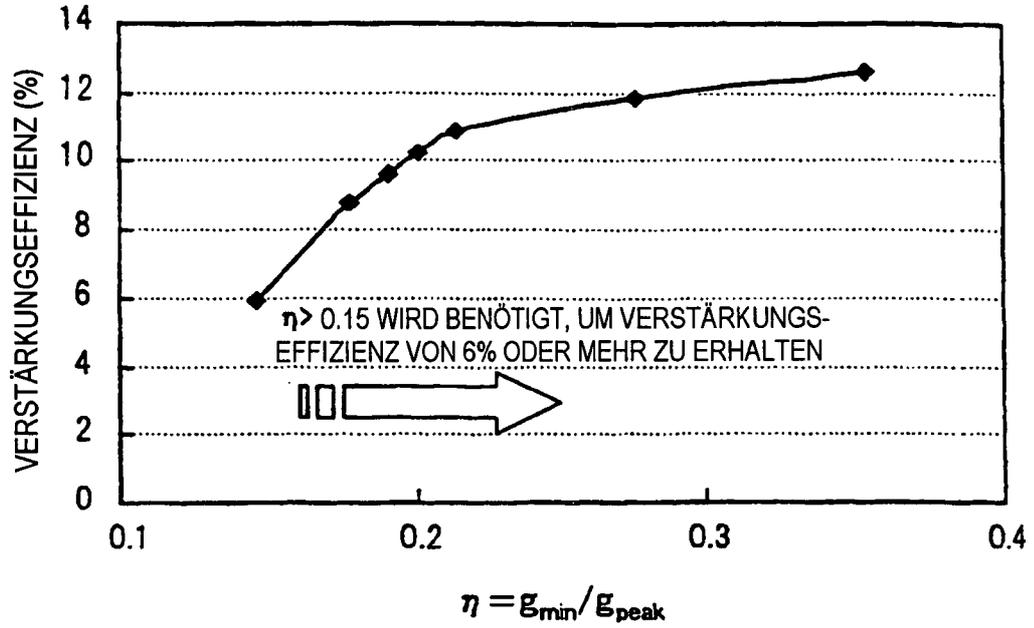


FIG. 4

ERSTE AUSFÜHRUNGSFORM  
DER VORLIEGENDEN ERFINDUNG

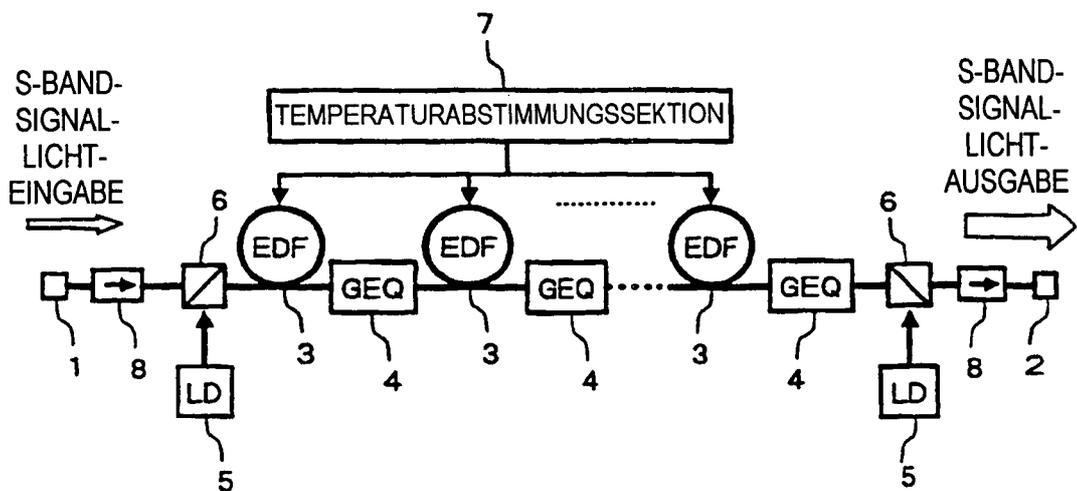


FIG. 5

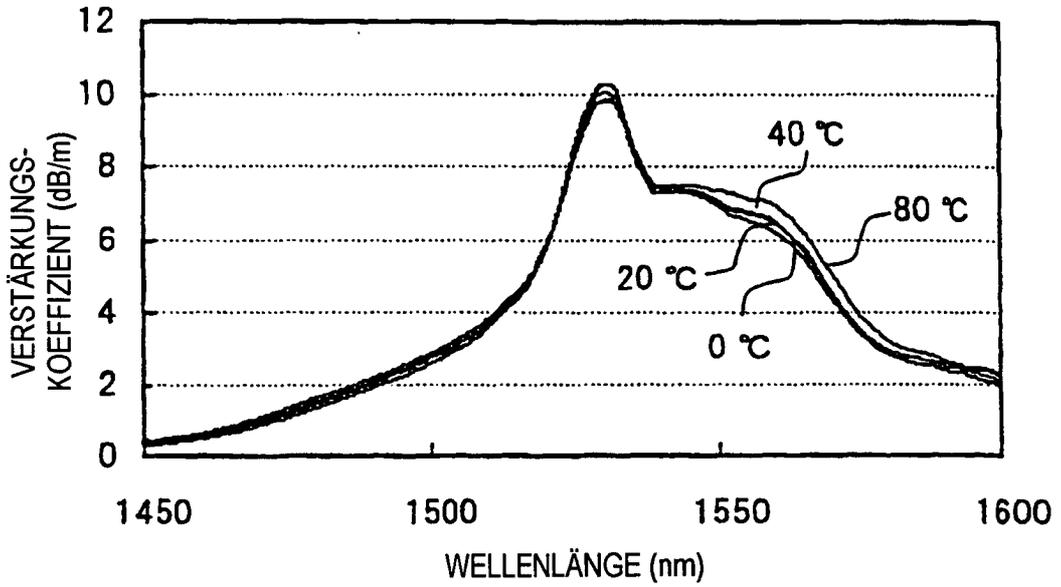


FIG. 6

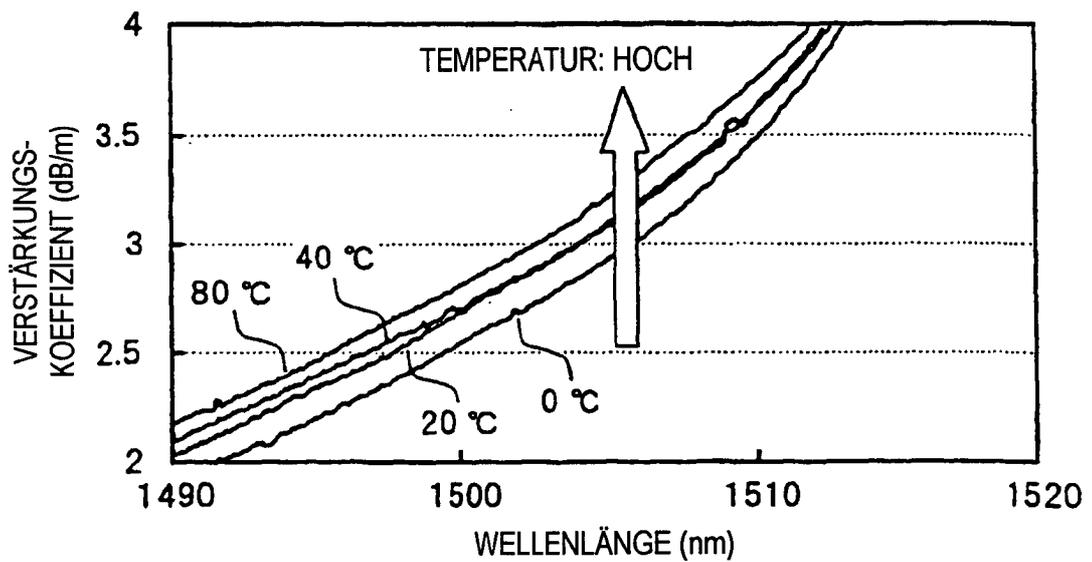


FIG. 7

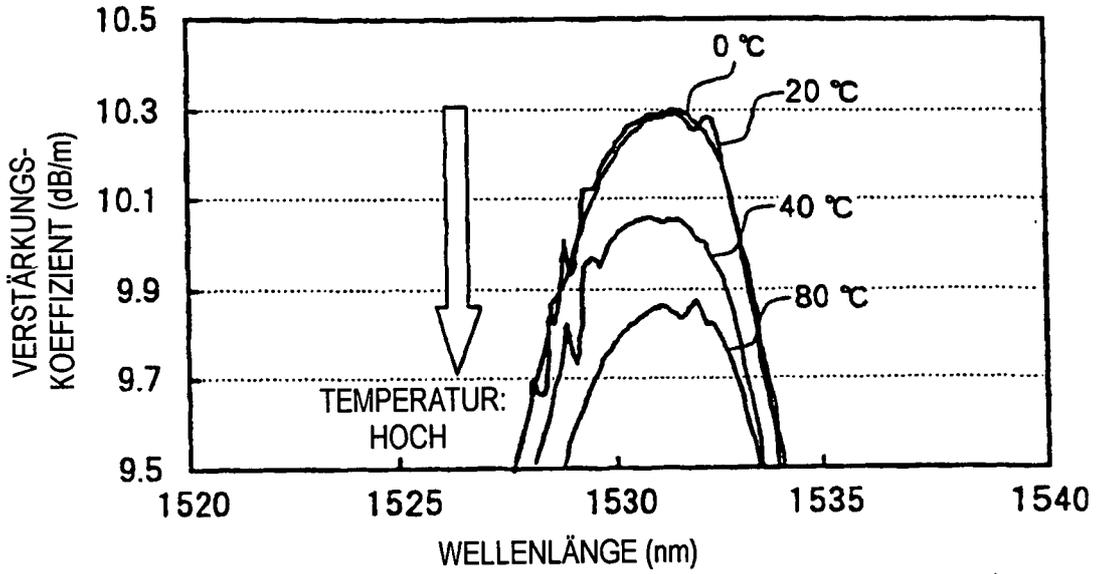


FIG. 8

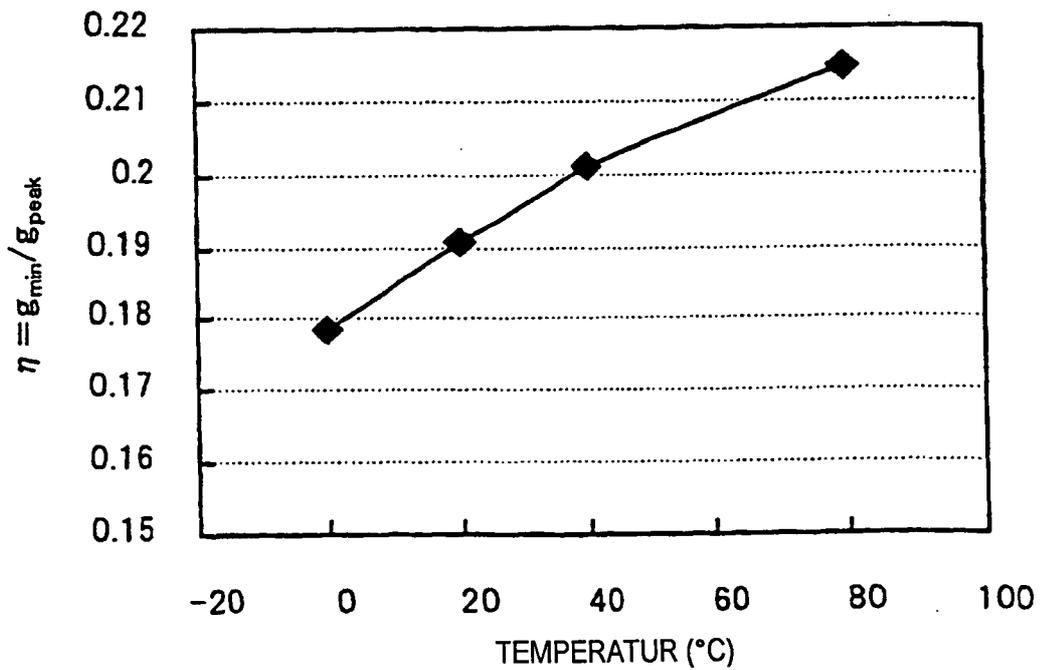


FIG. 9

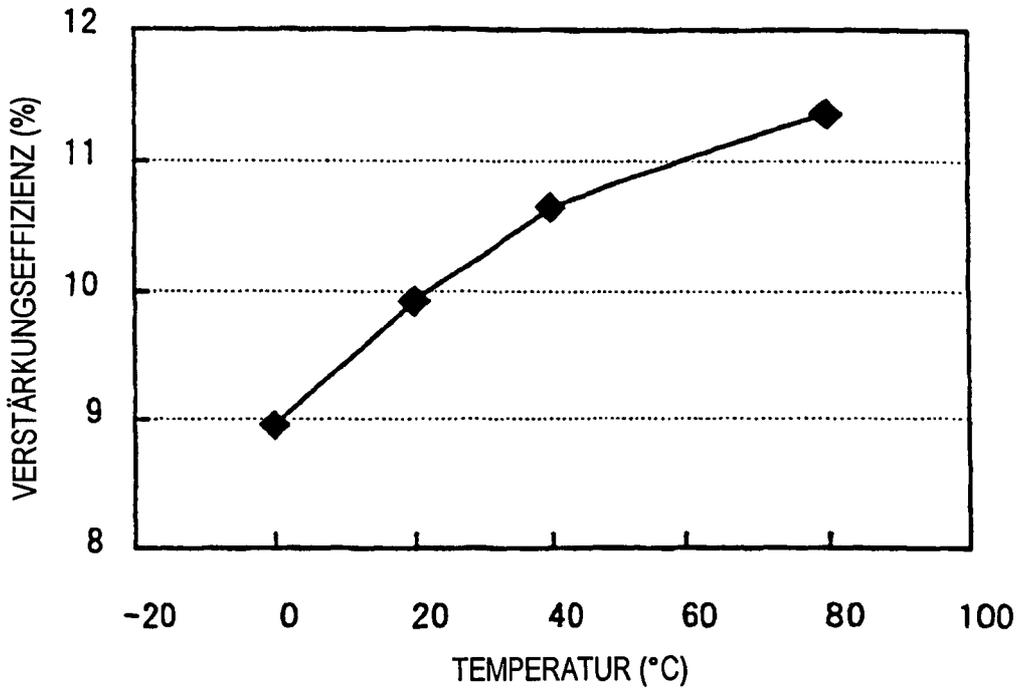


FIG. 10

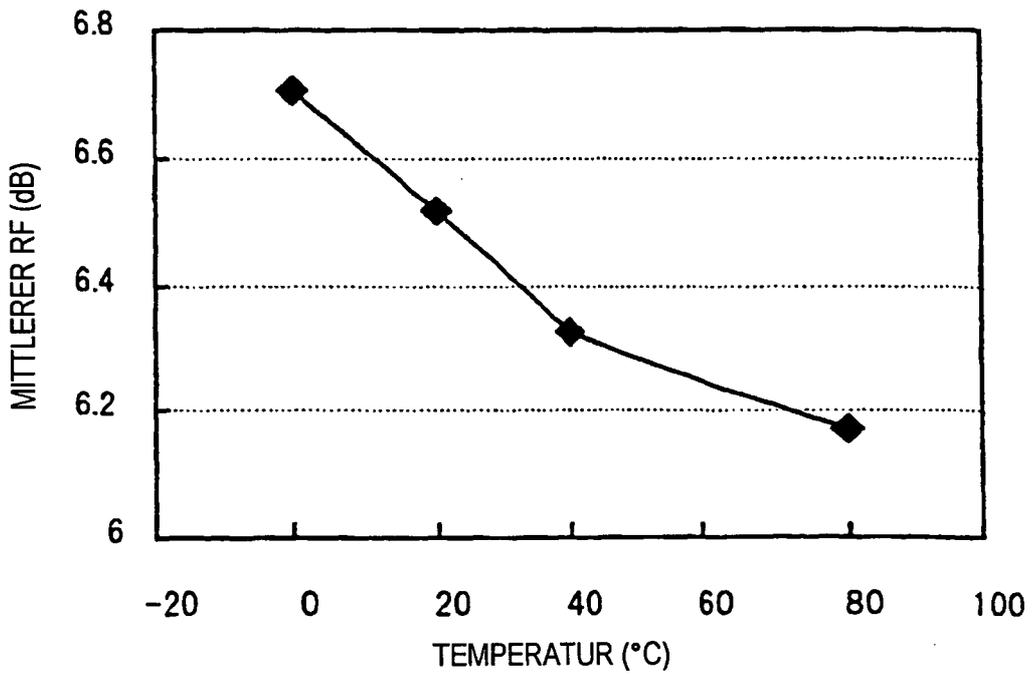


FIG. 11

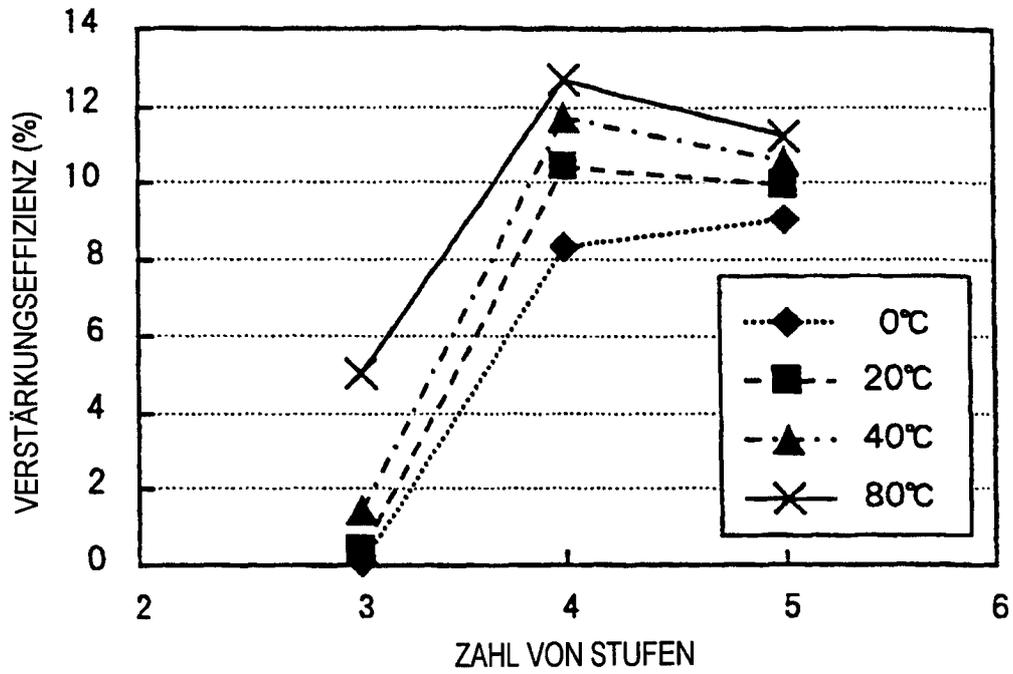


FIG. 12

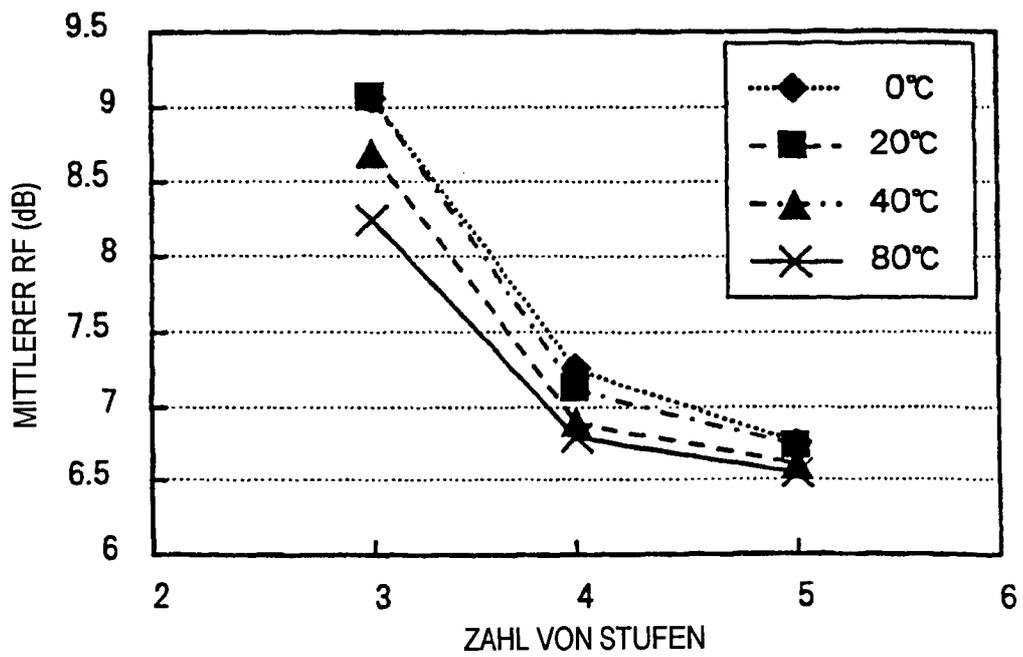


FIG. 13

ZWEITE AUSFÜHRUNGSFORM  
DER VORLIEGENDEN ERFINDUNG

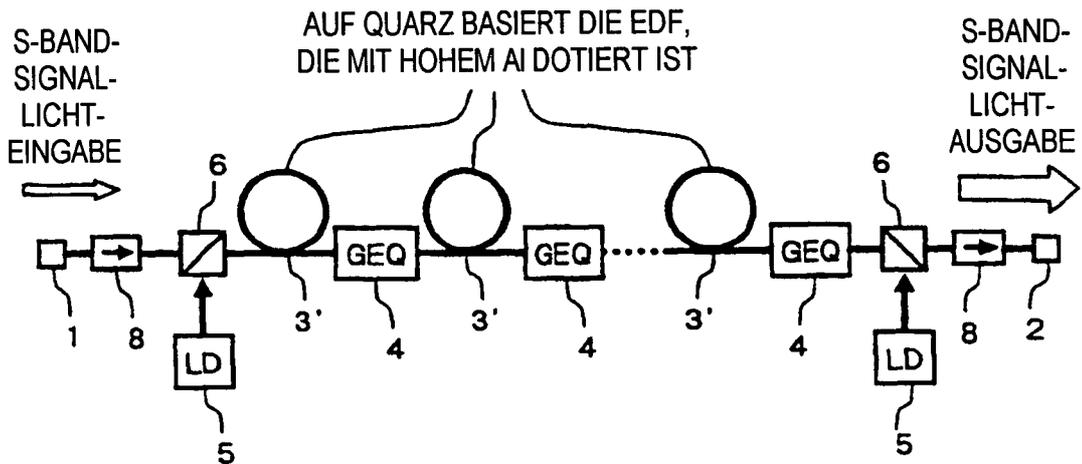


FIG. 14

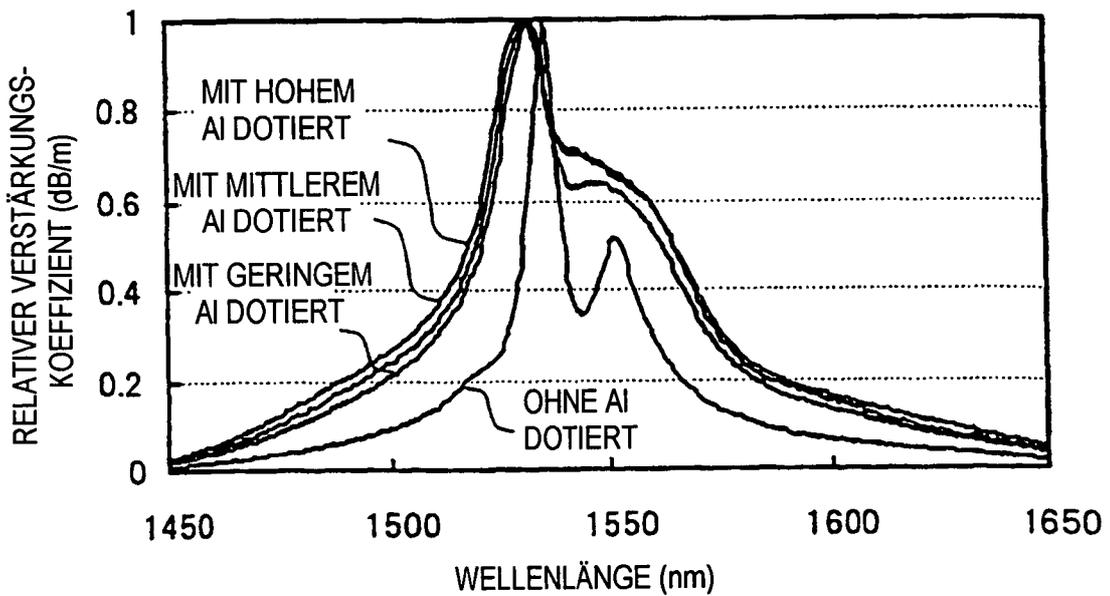


FIG. 15

DRITTE AUSFÜHRUNGSFORM  
DER VORLIEGENDEN ERFINDUNG

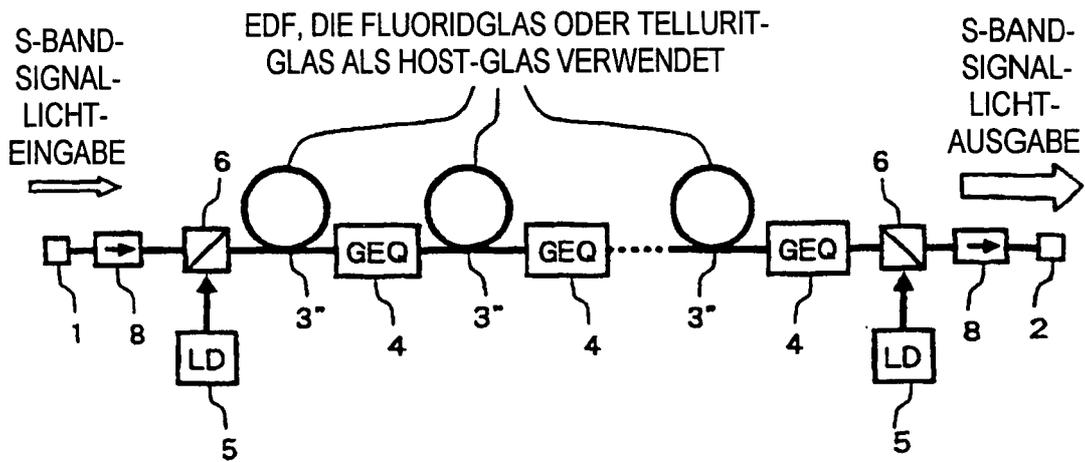


FIG. 16

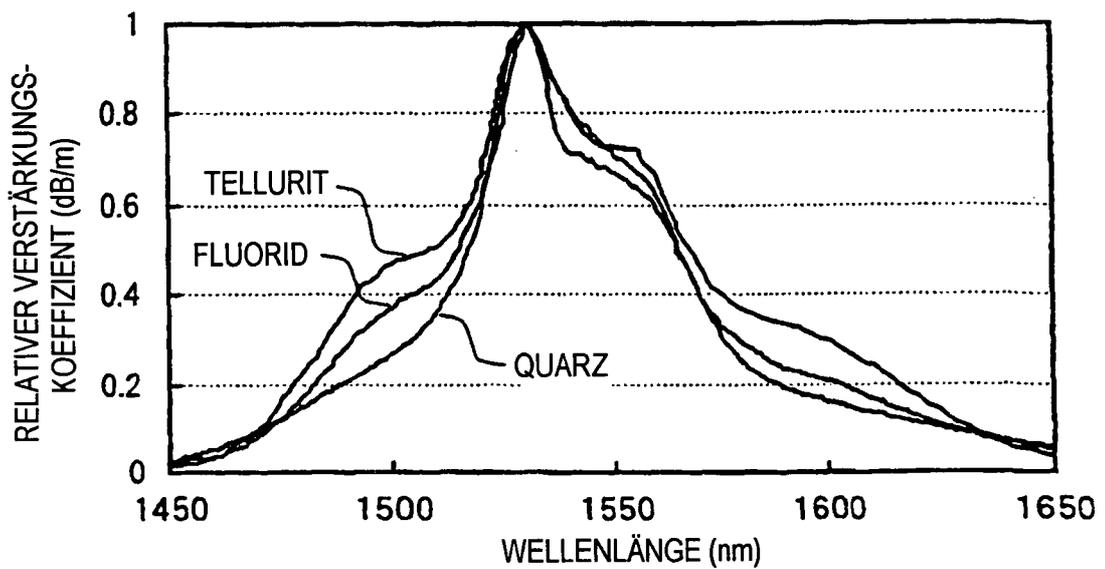


FIG. 17

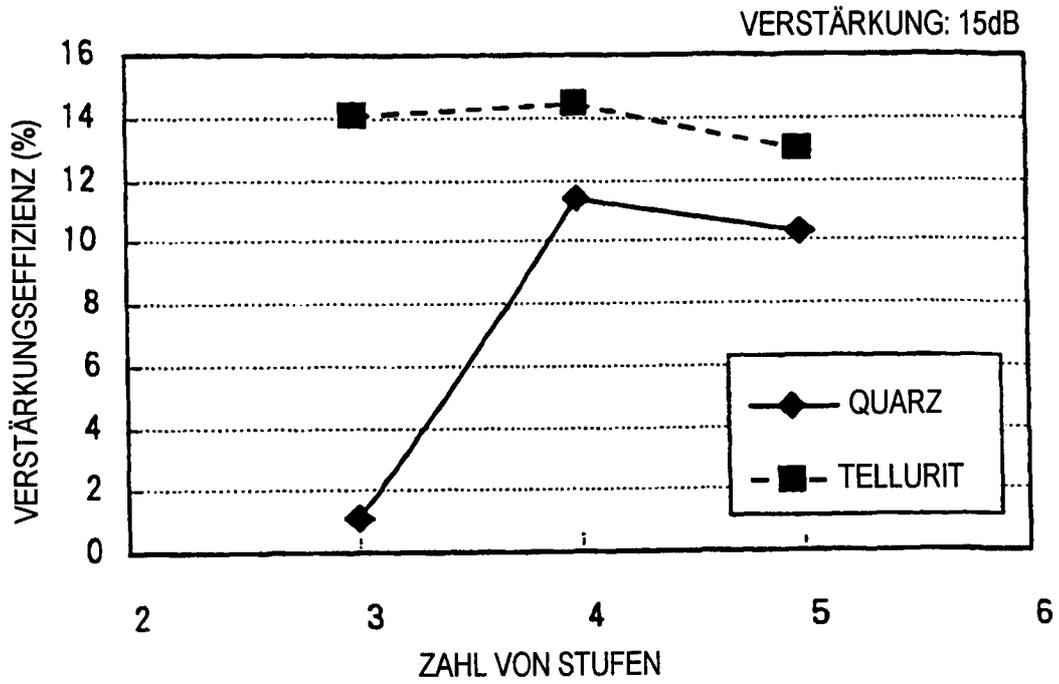


FIG. 18

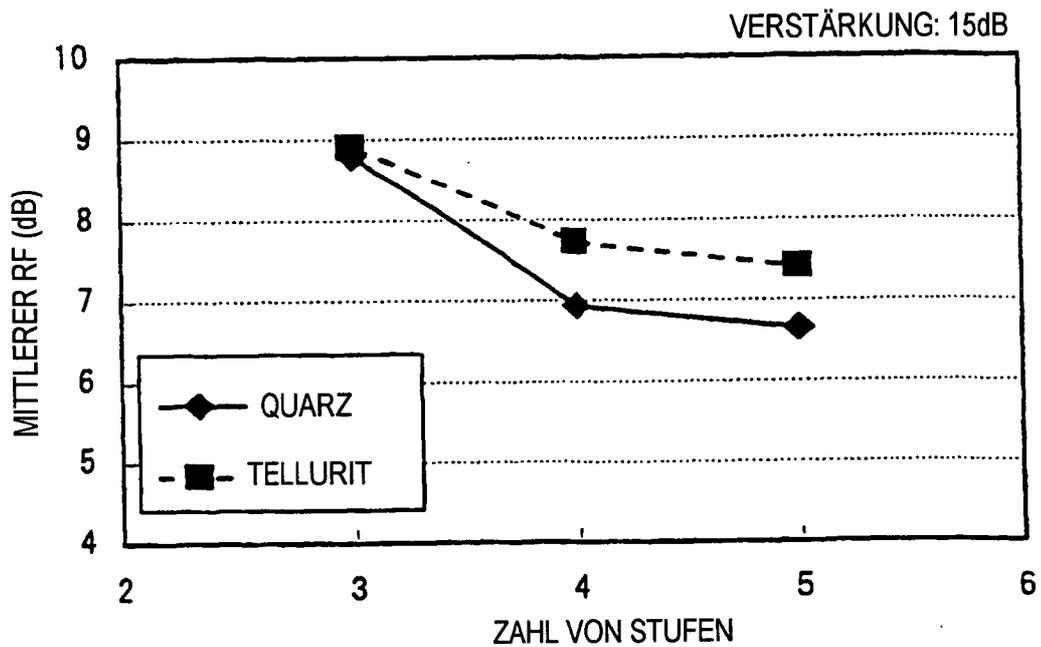


FIG. 19

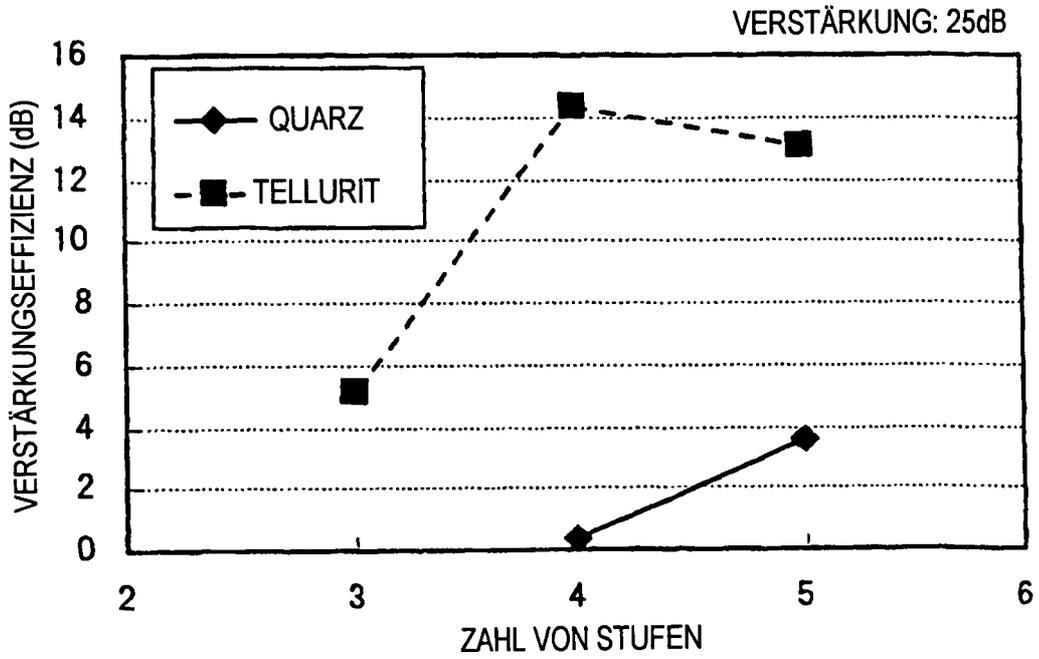


FIG. 20

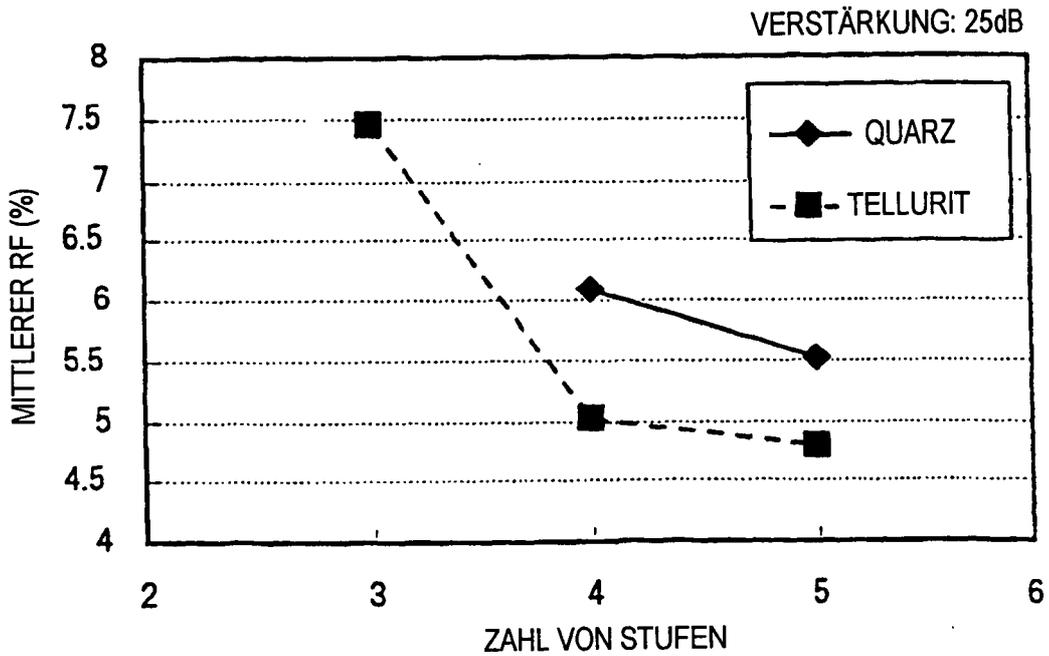


FIG. 21

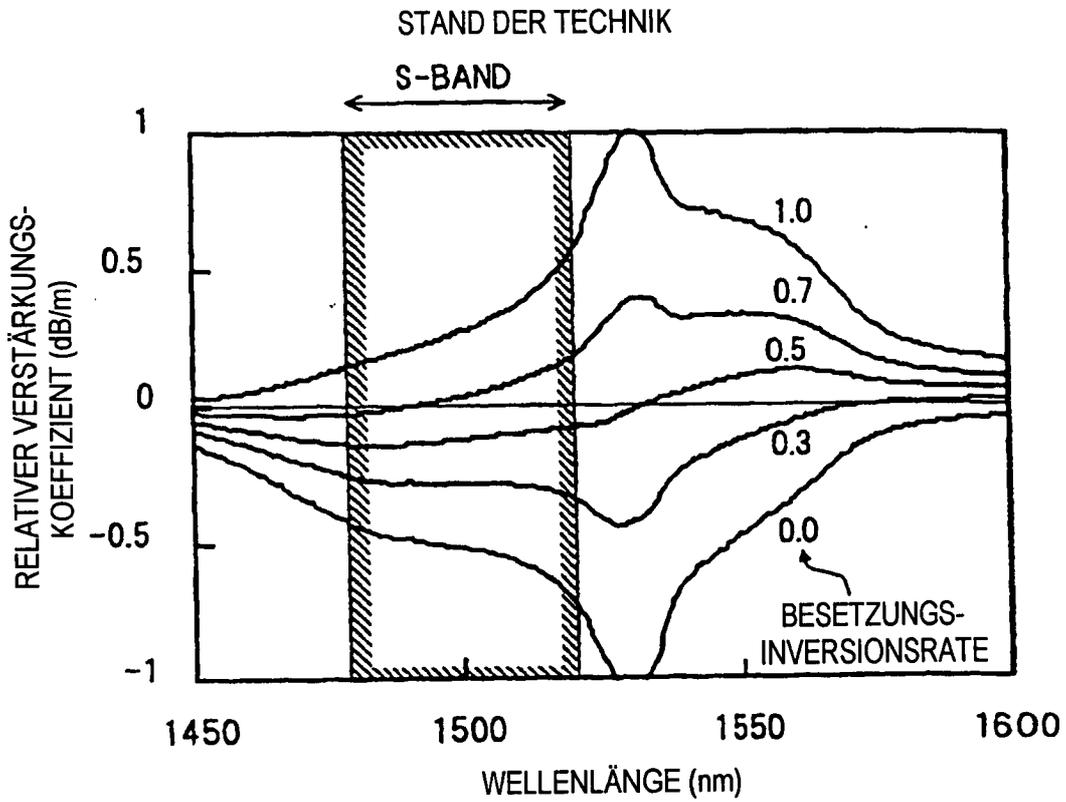
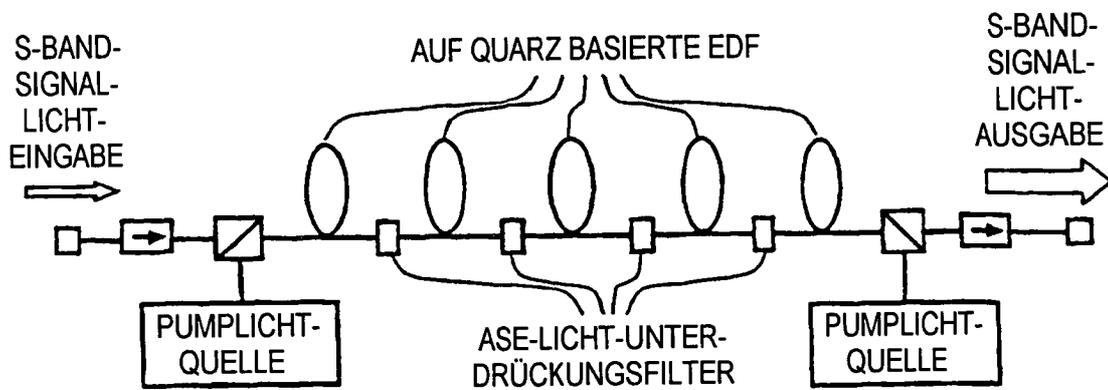


FIG. 22

STAND DER TECHNIK



# FIG. 23

STAND DER TECHNIK

