



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 698 33 283 T2** 2006.08.10

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 285 891 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **698 33 283.0**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **02 079 425.1**

(96) Europäischer Anmeldetag: **13.02.1998**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **26.02.2003**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **25.01.2006**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **10.08.2006**

(51) Int Cl.⁸: **C03C 3/12** (2006.01)

C03C 4/00 (2006.01)

G02B 6/38 (2006.01)

H01S 3/06 (2006.01)

(30) Unionspriorität:

3043097 14.02.1997 JP

3012297 14.02.1997 JP

22689097 22.08.1997 JP

25980697 25.09.1997 JP

35153897 19.12.1997 JP

35153997 19.12.1997 JP

(73) Patentinhaber:

**Nippon Telegraph and Telephone Corp.,
Tokio/Tokyo, JP**

(74) Vertreter:

TBK-Patent, 80336 München

(84) Benannte Vertragsstaaten:

DE, GB, IT

(72) Erfinder:

Ohishi, Yasutake NTT Intellectual Property, Tokyo

180-8585, JP; Yamada, Makoto NTT Intellectual

Property Ce, Tokyo 180-8585, JP;

Kanamori, Terutoshi NTT Intellectual, Tokyo

180-8585, JP; Mori, Atsushi NTT Intellectual

Property C, Tokyo 180-8585, JP; Ono, Hirofuka

NTT Intellectual Property, Tokyo 180-8585, JP;

Shimada, Toshiyuki NTT Intellectual P, Tokyo

180-8585, JP

(54) Bezeichnung: **Tellurit-Glas, optischer Verstärker und Lichtquelle**

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 vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein Tellurit-Glas als Glasmaterial für eine Lichtleitfaser und auf einen optischen Wellenleiter, und insbesondere auf ein Medium zur optischen Breitband-Verstärkung unter Verwendung des Tellurit-Glases, welches funktionsfähig ist sogar bei Wellenlängen von 1,5 μm bis 1,7 μm . Die vorliegende Erfindung bezieht sich auch auf einen optischen Breitband-Verstärker und eine Laser-Vorrichtung unter Verwendung des Mediums zur optischen Breitband-Verstärkung.

[0002] Die Technik der Wellenlängen-Multiplexierung (WDM) wurde untersucht und entwickelt zur Ausdehnung des Transmissions-Volumens optischer Kommunikationssysteme und für das funktionsgemäße Verbessern derartiger Systeme. Die WDM ist verantwortlich für das Kombinieren mehrerer optischer Signale und für das Aussenden eines kombinierten Signals durch eine einzelne Lichtleitfaser. Zusätzlich ist die WDM in umkehrbarer Weise verantwortlich für das Aufteilen eines kombinierten Signals, welches durch eine einzelne Lichtleitfaser hindurchgeht, in mehrere optische Signale für jede Wellenlänge. Diese Art von Sendetechnik erfordert eine Transit-Verstärkung, wie sie bei der konventionellen Sendetechnik der Fall ist, gemäß der Entfernung des Übermittels mehrerer optischer Signale verschiedener Wellenlänge durch eine einzelne Lichtleitfaser. Folglich ergibt sich der Bedarf nach einem optischen Verstärker mit einem breiten Verstärkungs-Wellenbereich aus den Anforderungen, Wellenlänge und Transmissionsvolumen des optischen Signals zu erhöhen. Die Wellenlängen von 1,61 μm bis 1,66 μm wurden als angemessen betrachtet, um ein optisches System zu erhalten und zu überwachen, so dass es wünschenswert ist, eine optische Quelle und einen optischen Verstärker für ein solches System zu entwickeln.

[0003] In den letzten Jahren wurde beträchtliche Arbeit aufgewendet für die Forschung und Entwicklung eines Lichtleitfaser-Verstärkers mit Lichtleitfasern als Materialien zur optischen Verstärkung, wie mit Erbium (Er) dotierte Lichtleitfaser-Verstärker (EDFAs), mit steigenden Anwendungen im Feld der optischen Kommunikationssysteme. Der EDFA arbeitet bei einer Wellenlänge von 1,5 μm , wo sich ein Verlust der Lichtleitfaser auf Silika-Basis auf ein Minimum reduziert, und er ist ebenfalls bekannt für seine exzellenten Eigenschaften von hoher Verstärkung von 30 dB oder mehr, niedrigem Rauschen, breiter Verstärkungs-Bandbreite, keiner Abhängigkeit von polarisierten Wellen, und hoher Sättigungsleistung.

[0004] Wie obenstehend beschrieben, ist eine der bemerkenswerten Tatsachen, die für das Anwenden des obigen EDFA für die WDM-Transmission erforderlich sind, dass der Verstärkungs-Wellenbereich

breit ist. Bisher wurde ein Fluorid-EDFA unter Verwendung eines Fluorid-Glases als Wirt eines Erbium-dotierten Lichtleitfaser-Verstärkers entwickelt als Breitverstärkungsband-EDFA.

[0005] In US-Patent Nr. 3,836,868, 3,836,871, und 3,883,357 offenbaren Cooley et al. die Möglichkeit, dass Laser-Oszillation erzeugt wird durch Tellurit-Glas, welches ein Seltenerd-Element enthält. Allerdings haben Cooley et al. in diesem Fall nicht die Idee, Tellurit-Glas in einer Lichtleitfaser zu bilden, weil es keine Beschreibung gibt, die befasst ist mit der Abstimmung des Brechungsindex und der thermischen Stabilität von Tellurit-Glas, die erforderlich sind für eine solche Bildung.

[0006] In US-Patent Nr. 5,251,062 beharren Snitzer et al. darauf, dass Tellurit-Glas eine wichtige Rolle spielt bei der Ausweitung des Verstärkungsbandes des EDFA, und gebildet werden sollte in einer Faser, was absolut notwendig ist für die Induktion einer optischen Verstärkung. Somit offenbaren sie die zu erlaubenden Prozentbereiche der Bestandteile in einer Tellurit-Glas-Zusammensetzung auf konkrete Weise. Die Tellurit-Glas-Zusammensetzung beinhaltet ein Seltenerd-Element als ein optisch aktives Element und kann in einer Faser gebildet werden. Insbesondere ist die Tellurit-Glas-Zusammensetzung von Snitzer et al. eine ternäre Zusammensetzung mit TeO_2 , R_2O und QO , wobei R ein einbindiges Metall außer Li bezeichnet, und Q ein zweibindiges Metall bezeichnet. Der Grund, warum Li ausgeschlossen ist als das einbindige Metall, ist der, dass Li die thermische Stabilität der Tellurit-Glas-Zusammensetzung herabsetzt.

[0007] In US-Patent Nr. 5,251,062 führen Snitzer et al. des Weiteren eine Vergleichsstudie durch über Fluoreszenz-Erbium-Spektren von Silika- und Tellurit-Glas, und entdecken, dass das Tellurit-Glas ein breiteres Erbium-Spektrum zeigt, verglichen mit dem des Silika-Glases. Sie schließen daraus, dass die ternäre Tellurit-Glas-Zusammensetzung eine Breitband-Verstärkung des EDFA zulassen könnte und ein optisch aktives Material wie Praseodym oder Neodym zu dieser Zusammensetzung hinzugefügt werden kann für das Induzieren einer optischen Verstärkung. In dieser Patentschrift gibt es allerdings keine konkrete Beschreibung der Eigenschaften von Verstärkung, Pump-Wellenlänge, Signal-Wellenlänge und dergleichen, was ein wichtiger Beweis dafür ist, dass die optische Verstärkung tatsächlich unten war.

[0008] Mit anderen Worten, U.S. Patent Nr. 5,251,062 gibt nur die Prozentbereiche von Bestandteilen der ternären Tellurit-Glas-Zusammensetzung an, die verwendet werden kann in einer Lichtleitfaser.

[0009] Des Weiteren beschreiben Snitzer et al. thermische und optische Merkmale verschiedener Arten

von Tellurit-Glas, mit Ausnahme derjenigen, beschrieben in U.S. Patent Nr. 5,251,062 in einer technischen Veröffentlichung (Wang et al., Optical Materials, Vol. 3, Seiten 187–203, 1994; nachstehend einfach bezeichnet als "Optical Materials"). In dieser Veröffentlichung existiert allerdings auch keine konkrete Beschreibung der optischen Verstärkung und der Laser-Oszillation.

[0010] In einer weiteren technischen Veröffentlichung (J. S. Wang et al., Optics Letters, Vol. 19, Seiten 1448–1449, 1994; nachstehend einfach bezeichnet als "Optics Letters"), veröffentlicht kurz nach der oben erwähnten Veröffentlichung, beschreiben Snitzer et al., dass Laser-Oszillation zum ersten Mal verursacht wurde unter Verwendung einer Single-Mode-Lichtleitfaser aus Neodymdotierten Tellurit-Glas. Die Single-Mode-Faser hat einen Kern mit der Zusammensetzung 76,9% TeO_2 -6,0% Na_2O -15,5% ZnO -1,5% Bi_2O_3 -0,1% Nd_2O_3 und einen Mantel mit der Zusammensetzung 75% TeO_2 -5,0% Na_2O -20,0% ZnO und ermöglicht 1061 nm Laser-Oszillation durch 81 nm Pumpen. In dieser Veröffentlichung ist keine Beschreibung eines Faserverlusts vorhanden. In Optical Materials ist andererseits eine Beschreibung vorhanden über den Verlust für eine Lichtleitfaser mit einer Mantel-Zusammensetzung von Nd_2O_3 -0,77% TeO_2 -6,0% Na_2O -15,5% ZnO -1,5% Bi_2O_3 und einer Keramik-Zusammensetzung von 75% TeO_2 -5,0% Na_2O -20,0% ZnO (sie wird erachtet als etwa die gleiche Zusammensetzung wie die von Optics Letters) von 1500 dB/km bei einer Wellenlänge von 1,55 μm (siehe [Fig. 1](#), welche einen Vergleich zwischen $^4\text{I}_{13/2}$ bis $^4\text{I}_{15/2}$ Er^{3+} -Emission in Tellurit-Glas und $^4\text{I}_{13/2}$ bis $^4\text{I}_{15/2}$ Er^{3+} -Emission in Fluorid-Glas veranschaulicht). Die Kern-Zusammensetzung dieser Lichtleitfaser ist verschieden von der einer ternären Zusammensetzung, veröffentlicht in U.S. Patent Nr. 5,251,062, weil erstere Bi_2O_3 beinhaltet. Festzustellen ist, dass keine Beschreibung oder Lehre über die thermische Stabilität einer Bi_2O_3 -enthaltenden Glas-Zusammensetzung in den oben erwähnten Beschreibungen von Optics Letters, Optical Materials und U.S. Patent Nr. 5,251,062 vorliegt.

[0011] Allerdings hat der Fluorid-basierende EDFA ein Verstärkungsband von etwa 30 nm, was nicht ausreicht, um ein Verstärkungsband des Lichtleitfaser-Verstärkers auszudehnen in der Absicht der Ausdehnung des Bandes der WDM.

[0012] Französische Patentanmeldung Nr. 2479180 offenbart eine Infrarotfaser-optische Vorrichtung, aufgebaut aus einem Glas mit TeO_2 , WO_3 und Bi_2O_3 (oder Ta_2O_5) als essentielle Bestandteile.

[0013] Europäische Patentanmeldung Nr. 0430206 offenbart ein Verschluss-Glas mit TeO_2 , B_2O_3 , PbO und CdO als essentielle Bestandteile. Wahlweise kann das Glas auch Bi_2O_3 enthalten, unter anderem.

[0014] U.S. Patent Nr. 3,661,600 offenbart ein Glas mit hohem Brechungsindex und hoher dispergierenden Fähigkeit, mit TeO_2 , WO_3 , Li_2O und CdO als essentielle Bestandteile. Wahlweise kann das Glas auch Bi_2O_3 enthalten, unter anderem.

[0015] Patent Abstracts of Japan, Vol. 096, Nr. 008, 30. August, 1996, offenbart die Verwendung eines Tellurit-Glases der Zusammensetzung TeO_2 (77 Mol-%)- Na_2O (6 Mol-%)- ZnO (15,5 Mol-%)- Bi_2O_3 (1,5 Mol-%) als Kernmaterial in einer verstärkenden Lichtleitfaser.

[0016] Wie obenstehend beschrieben, zeigt Tellurit-Glas eine vergleichsweise breite Fluoreszenz-spektrale Bandbreite, so dass es eine Möglichkeit gibt, das Verstärkungsband zu erweitern, wenn der EDFA das Tellurit-Glas als seinen Wirt verwendet. Zusätzlich wurde die Möglichkeit der Herstellung einer Lichtleitfaser eines ternären Systems unter Verwendung der Zusammensetzung TeO_2 , R_2O und QO (wobei R ein einbindiges Metall außer Li ist, und Q ein zweibindiges Atom ist) realisiert, so dass Laser-Oszillation bei einer Wellenlänge von 1061 nm durch eine Neodym-dotierte Single-Mode-Lichtleitfaser, im Wesentlichen mit der obigen Zusammensetzung, erreicht wurde. Dagegen wurde ein EDFA unter Verwendung von Tellurit-Glas noch nicht realisiert.

[0017] Daher wird nachfolgend das Problem beschrieben, einen EDFA auf Tellurit-Basis zu realisieren.

[0018] Zunächst sollte der Unterschied zwischen dem objektiven EDFA und dem Neodym-dotierten Faser-Laser (d.h. der Unterschied zwischen 1,5 μm Band-Emission von Erbium und 1,06 μm Band-Emission von Neodym in Glas) ausführlich beschrieben werden.

[0019] Ein optischer Übergang des objektiven EDFA ist in [Fig. 2](#) gezeigt, worin drei verschiedene Energieniveaus durch Niveau 1, Niveau 2 und Niveau 3 angezeigt sind. Für das Erreichen einer objektiv-induzierten Emission von Niveau 2 nach Niveau 1 wird eine Populations-Inversion zwischen Niveau 1 und Niveau 2 erreicht durch Pumpen von Niveau 1 nach Niveau 3 und darauffolgende Relaxation von Niveau 3 nach Niveau 2. Diese Art von induzierter Emission kann bezeichnet werden als Drei-Niveau-System.

[0020] Im Falle von Neodym, wie in [Fig. 3](#) gezeigt, kann ein Vier-Niveau-System definiert werden, so dass ein finales Niveau der induzierten Emission nicht ein Basis-Niveau, sondern ein erstes Niveau (Niveau 1) ist, welches höher ist als das Basis-Niveau. Wenn man das Drei-Niveau-System mit dem Vier-Niveau-System vergleicht, so ist es bei dem ersteren schwer, eine Populations-Inversion zu erreichen, so dass ein endendes Niveau der induzierten

Emission in einem Grundzustand ist.

[0021] Demgemäß erfordert der Drei-Niveau-System-EDFA verstärkte optisch pumpende Lichtintensität, und auch die Faser selbst sollte Eigenschaften von niedrigem Verlust und hohem Δn aufweisen. In diesem Fall steht das hohe Δn für effektives optisches Pumpen.

[0022] Zweitens werden wir kurz beschreiben, dass ein Verstärkungsband nicht ausgedehnt werden kann, auch wenn es möglich ist, eine optische Verstärkung durchzuführen, wenn ein Transmissionsverlust der Faser groß ist.

[0023] Wellenlängen-Abhängigkeiten des EDFA auf Silika-Basis und des EDFA auf Tellurit-Basis sind in [Fig. 4](#) veranschaulicht. Wie in der Figur gezeigt, ist zu erwarten, dass der EDFA auf Tellurit-Basis eine optische Breitband-Verstärkung erreichen wird, die breiter ist als die des EDFA auf Silika-Basis. Verglichen mit dem Glas auf Silika-Basis und dem Glas auf Nicht-Silika-Basis ist der Transmissionsverlust bei einer Kommunikations-Wellenlänge des letzteren beträchtlich größer als der des ersteren. In dem Lichtleitfaser-Verstärker führt daher der Verlust zu einer beträchtlichen Abnahme der Verstärkung.

[0024] Wie in [Fig. 5](#) schematisch gezeigt, ist, wenn der Verlust vergleichsweise gering ist, das Verstärkungsband des Tellurit-Glases nahe an dem in [Fig. 4](#) gezeigten. Wenn der Verlust vergleichsweise groß ist, wird dagegen das Verstärkungsband des Tellurit-Glases verengt.

[0025] Nebenbei wurde in neuesten technischen Untersuchungen über WDM-Transmission der Versuch unternommen, Transmission über einen Kanal für das Erhöhen der Transmissions-Kapazität zu beschleunigen. Im Hinblick auf die Lösung dieses Problems ist es notwendig, die Farbdispersions-Eigenschaften der Er-dotierten Lichtleitfaser zu optimieren. Bisher wurde diesen Eigenschaften allerdings keine Aufmerksamkeit geschenkt.

[0026] Für das Tellurit-Glas ist eine Wellenlänge, bei welcher ein Farbdispersions-Wert den Wert 0 annimmt in den Wellenlängen länger als 2 μm . Im Falle, dass eine Faser von hoher NA (numerische Apertur) in dem EDFA verwendet wird, ist ein Farbdispersions-Wert im allgemeinen -100 ps/km/nm oder weniger bei 1,55 μm Band. Somit nimmt eine Farbdispersion einer kurzen Lichtleitfaser von etwa 10 m Länge ebenfalls den großen Wert von -1 ps/nm oder weniger an.

[0027] Für die Verwendung von Tellurit-EDFA in Langstrecken- und Hochgeschwindigkeits-WDM-Transmission ist es daher erforderlich, die Farbdispersion so weit wie möglich an null anzu-

nähern. Wie oben beschrieben, nimmt allerdings der Material-Dispersionswert von Tellurit-Glas den Wert Null an bei Wellenlängen von 2 μm und mehr. Daher kann die Tellurit-basierende Lichtleitfaser nicht die Technik verwenden, die angepasst ist an die Silika-basierende Lichtleitfaser, die den Farbdispersions-Wert bei 1,55 μm Band an Null annähert durch Optimieren der Konstruktionsparameter der Faser.

[0028] Des Weiteren kann die Tellurit-basierende Lichtleitfaser verwendet werden als Wirt von Praseodym (Pr) für 1,3 μm Band-Verstärkung. Wie obenstehend beschrieben, hat die Tellurit-basierende Lichtleitfaser allerdings einen großen Farbdispersions-Wert als absoluten Wert. Im Falle des Verstärkens eines optischen Hochgeschwindigkeits-Signals unter Verwendung der Tellurit-basierenden Lichtleitfaser kann eine Verzerrung der Puls-Wellenlänge induziert werden und somit sollte der Farbdispersions-Wert korrigiert werden. Falls nicht, gerät die Verwendung von Tellurit-Glas in einem optischen Kommunikationssystem in Schwierigkeiten.

[0029] Eine erste Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, eine Tellurit-Glasfaser mit hohem Δn und niedrigem Faser-Verlust bereitzustellen.

[0030] Eine zweite Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, eine Tellurit-Glasfaser bereitzustellen, welche dazu fähig ist, einen Breitband-EDFA zu realisieren, dotiert mit einem optisch aktiven Seltenerd-Element, der nicht realisiert werden kann durch konventionelle Glas-Zusammensetzungen.

[0031] Eine dritte Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein Medium zur optischen Breitband-Verstärkung bereitzustellen, welches dazu fähig ist, bei Wellenlängen, besonders von 1,5 μm bis 1,7 μm , zu funktionieren, und ebenfalls bereitzustellen einen optischen Verstärker und eine Laser-Vorrichtung, welche ein derartiges Medium verwenden und bei Wellenlängen in einem breiten Bereich arbeiten, und niedrige Rauschfaktoren aufweisen.

[0032] In einem ersten Aspekt der vorliegenden Erfindung wird bereitgestellt ein Tellurit-Glas als Glas-Material für eine Lichtleitfaser oder einen optischen Wellenleiter, gekennzeichnet durch:

$4 < \text{Bi}_2\text{O}_3 \leq 20 \text{ (Mol-%)}$;
 $0 < \text{M}_2\text{O} \leq 35 \text{ (Mol-%)}$;
 $0 < \text{ZnO} \leq 35 \text{ (Mol-%)}$; und
 $55 \leq \text{TeO}_2 \leq 90 \text{ (Mol-%)}$, wobei

[0033] M mindestens zwei einwertige Metalle, gewählt aus der Gruppe bestehend aus Li, K, Rb und Cs, sind.

[0034] In einem zweiten Aspekt der vorliegenden Erfindung wird bereitgestellt ein Tellurit-Glas als Glas-Material für eine Lichtleitfaser oder einen opti-

schen Wellenleiter, gekennzeichnet durch:

$4 < \text{Bi}_2\text{O}_3 \leq 20$ (Mol-%);
 $0 < \text{Li}_2\text{O} \leq 25$ (Mol-%);
 $0 < \text{ZnO} \leq 25$ (Mol-%); und
 $55 \leq \text{TeO}_2 \leq 90$ (Mol-%).

[0035] Die Konzentration des Bi_2O_3 kann betragen:
 $4 < \text{Bi}_2\text{O}_3 < 7$.

[0036] In einem dritten Aspekt der vorliegenden Erfindung wird bereitgestellt ein Medium zur optischen Verstärkung mit einem optischen Verstärker oder einem optischen Wellenleiter mit einem Kern-Glas und einem Mantel-Glas, wobei mindestens eines des Kern-Glases und des Mantel-Glases aus dem oben beschriebenen Tellurit-Glas hergestellt ist.

[0037] Hierbei können mindestens eines des Kern-Glases und des Mantel-Glases Erbium oder Erbium und Ytterbium enthalten.

[0038] Mindestens eines des Kern-Glases und des Mantel-Glases können enthalten mindestens eines, gewählt aus einer Gruppe bestehend aus Bor (B), Phosphor (P) und Hydroxylgruppe.

[0039] Mindestens eines des Kern-Glases und des Mantel-Glases können enthalten ein Element, gewählt aus einer Gruppe bestehend aus Ce, Pr, Nd, Sm, Tb, Gd, Eu, Dy, Ho, Tm und Yb.

[0040] In einem vierten Aspekt der vorliegenden Erfindung wird bereitgestellt eine Laser-Vorrichtung mit einem optischen Hohlraum und einer Erreger-Lichtquelle, wobei mindestens eines der Medien zur optischen Verstärkung im optischen Hohlraum eines der oben beschriebenen neuen Medien zur optischen Verstärkung ist.

[0041] In einem fünften Aspekt der vorliegenden Erfindung wird bereitgestellt eine Laser-Vorrichtung mit einem Medium zur Verstärkung und einer Erreger-Lichtquelle, wobei das Medium zur Verstärkung eines der oben beschriebenen neuen Medien zur optischen Verstärkung ist.

[0042] In einem sechsten Aspekt der vorliegenden Erfindung wird bereitgestellt ein optischer Verstärker mit einem Medium zur optischen Verstärkung, einer Eingabe-Vorrichtung, welche ein Erreger-Licht und ein Signal-Licht für das Pumpen des Mediums zur optischen Verstärkung eingibt, wobei das Medium zur optischen Verstärkung eines der oben beschriebenen neuen Medien zur optischen Verstärkung ist. In einem siebten Aspekt der vorliegenden Erfindung wird bereitgestellt ein optischer Verstärker mit mehreren Medien zur optischen Ver-

stärkung, umfassend optische Fasern, die Erbium in ihren Kernen enthalten, und reihenweise angeordnet sind, wobei jedes der optischen Verstärkungsmedien eines der oben beschriebenen neuen Medien zur optischen Verstärkung ist.

[0043] Die obenstehenden und andere Aufgaben, Wirkungen, Merkmale und Vorteile der vorliegenden Erfindung werden ersichtlich aus der folgenden Beschreibung der Ausführungsformen, in Verbindung mit den begleitenden Zeichnungen.

[0044] [Fig. 1](#) ist ein spektrales Diagramm, welches die $^4\text{I}_{13/2}$ - $^4\text{I}_{15/2}$ -Emission von Erbium im Tellurit-Glas veranschaulicht;

[0045] [Fig. 2](#) ist ein Energieniveau-Diagramm des 3-Niveau-Systems für Er^{3+} bei um $1,54 \mu\text{m}$ ($N_1 \neq 0$);

[0046] [Fig. 3](#) ist ein Energieniveau-Diagramm des 4-Niveau-Systems für Nd^{3+} bei um $1,06 \mu\text{m}$ ($N_1 = 0$);

[0047] [Fig. 4](#) ist eine graphische Darstellung der Wellenlängenabhängigkeiten des Siliciumdioxid-basierenden EDFA (eine unterbrochene Linie) und des Tellurit-basierenden EDFA (eine feste Linie);

[0048] [Fig. 5](#) ist eine graphische Darstellung des Unterschiedes der Verstärkungsbanden des Tellurit-EDFA in Bezug auf große und kleine Faser-Verluste;

[0049] [Fig. 6](#) ist eine schematische Darstellung des stabilen Glas-Bildungsbereiches für TeO_2 - Li_2O - ZnO -Glas, wenn $\text{Bi}_2\text{O}_3 = 5$ Mol-%;

[0050] [Fig. 7](#) ist eine graphische Darstellung der Ergebnisse der DSC-Messung, wobei die obere Linie steht für 83TeO_2 - 5ZnO - $12\text{Li}_2\text{O}$ -Glas und die untere Linie steht für 78TeO_2 - 5ZnO - $12\text{Li}_2\text{O}$ - $5\text{Bi}_2\text{O}_3$ -Glas;

[0051] [Fig. 8](#) ist ein Energieniveau-Diagramm von Er^{3+} ;

[0052] [Fig. 9](#) ist eine schematische Darstellung des stabilen Glas-Bildungsbereiches für TeO_2 - Li_2O - ZnO -Glas, wenn $\text{Bi}_2\text{O}_3 = 5$ Mol-% (Bereich A: $T_x - T_g > 120^\circ\text{C}$, Bereich B: kein Kristallisationspeak);

[0053] [Fig. 10](#) ist eine graphische Darstellung des $1,5 \mu\text{m}$ -Bandemission-Spektrums von jedem von TeO_2 - ZnO - Na_2O - Bi_2O_3 -Glas, TeO_2 - ZnO - Na_2O - Bi_2O_3 - Al_2O_3 -Glas und TeO_2 - ZnO - Li_2O - Bi_2O_3 - Al_2O_3 -Glas;

[0054] [Fig. 11](#) ist eine schematische Darstellung des stabilen Glas-Bildungsbereiches für Glas mit fünf Bestandteilen als eine Zusammensetzung von

$\text{TeO}_2\text{-ZnO-Li}_2\text{O-Na}_2\text{O-Bi}_2\text{O}_3\text{-Glas}$, wenn $\text{TeO}_2 = 75$ Mol-% und $\text{Bi}_2\text{O}_3 = 5$ Mol-%;

[0055] [Fig. 12](#) ist eine schematische Darstellung des stabilen Glas-Bildungsbereiches für Glas mit fünf Bestandteilen als eine Zusammensetzung von $\text{TeO}_2\text{-ZnO-Li}_2\text{O-Na}_2\text{O-Bi}_2\text{O}_3\text{-Glas}$, wenn $\text{TeO}_2 = 80$ Mol-% und $\text{Bi}_2\text{O}_3 = 5$ Mol-%;

[0056] [Fig. 13](#) ist eine schematische Darstellung des stabilen Glas-Bildungsbereiches für Glas mit fünf Bestandteilen als eine Zusammensetzung von $\text{TeO}_2\text{-ZnO-Li}_2\text{O-Al}_2\text{O}_3\text{-Bi}_2\text{O}_3\text{-Glas}$, wenn $\text{Al}_2\text{O}_3 = 2$ Mol-% und $\text{Li}_2\text{O} = 12$ Mol-%.

[0057] Zunächst werden Tellurit-Glas-Zusammensetzungen aus $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-Li}_2\text{O-ZnO-TeO}_2$ beschrieben.

[0058] [Fig. 6](#) veranschaulicht einen Zusammensetzungsbereich, der die Zwischenbeziehung zwischen den Bestandteilen der Glas-Zusammensetzung zeigt. Eine stabile Zone bezeichnet einen zu erlaubenden Bereich jedes Bestandteils in der Zusammensetzung, in welcher $\text{Bi}_2\text{O}_3 = 5$ Mol-% ist. Das heißt, die Stabilisierung des Glases kann erreicht werden, wenn ein Anteil jedes Bestandteils in diesem Bereich liegt.

[0059] Eine thermische Stabilität der Glas-Zusammensetzung für die Herstellung einer Faser kann geschätzt werden durch eine Technik der Differenzial-Abtast-Kalorimetrie (DSC), welche im Allgemeinen verwendet wird um Phasenumwandlungen anzuzeigen, so dass eine Glas-Zusammensetzung, welche einen größeren Wert $T_x - T_g$ (T_x : Kristallisationstemperatur, und T_g : Glasübergangstemperatur) hat, eine stabilere Glas-Zusammensetzung ist. Das Verfahren zur Herstellung einer Single-Mode-Lichtleitfaser beinhaltet die Schritte des Verlängerns und Zeichnens einer Glas-Vorform durch Zuführung von Hitze, so dass die Glas-Vorform zweimal erhöhten Temperaturen unterzogen wird. Wenn eine Kristallisationstemperatur (T_x) der Glas-Vorform etwa dieselbe Größenordnung einer Glasübergangstemperatur (T_g) hat, wächst ein Kristallisationskern nach dem anderen, resultierend in einer Erhöhung des Streu-Verlustes der Lichtleitfaser. Wenn ein Wert $T_x - T_g$ groß ist, kann andererseits eine Lichtleitfaser mit niedrigem Verlust gebildet werden. Unter den Bestandteilen der Zusammensetzung hat das Hinzufügen von Bi_2O_3 die grosse Wirkung der Stabilisierung des Glases.

[0060] [Fig. 7](#) zeigt die Resultate von DSC-Messungen von zwei verschiedenen Zusammensetzungen, welche beinhalten Li: $\text{Bi}_2\text{O}_3 = 0$ Mol-% und $\text{Bi}_2\text{O}_3 = 5$ Mol-%. Wie in der Figur gezeigt, hat ein Wert $T_x - T_g$ für $\text{Bi}_2\text{O}_3 = 0$ Mol-% den Wert $54,6^\circ\text{C}$. Andererseits existiert kein Erwärmungs-Peak der Kristallisation für die Zusammensetzung $\text{Bi}_2\text{O}_3 = 5$ Mol-%, so dass ein Wert $T_x - T_g$ für $\text{Bi}_2\text{O}_3 = 5$ Mol-% unendlich ist, und

somit die Wärmestabilität des Glases drastisch erhöht werden kann. Diese Art von Effekt kann auch beobachtet werden, wenn ein dreibindiges Metalloxid (Al_2O_3 , La_2O_3 , Er_2O_3 , Nd_2O_3 oder dergleichen) anstelle von Bi_2O_3 hinzugefügt wird.

[0061] Das Hinzufügen von Bi_2O_3 übt auch einen entscheidenden Effekt aus auf eine Anpassung der Brechungsindizes.

[0062] Deswegen können durch Verwendung einer derartigen Eigenschaft Lichtleitfasern mit großen und kleinen Werten (von etwa 0,2% bis etwa 6%) für den Unterschied des relativen Brechungsindex leicht gebildet werden, durch Verändern der hinzugefügten Menge von Bi_2O_3 .

[0063] Eine Laser-Vorrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung hat ein Medium zur optischen Verstärkung und eine Erregerlichtquelle, und ist hauptsächlich gekennzeichnet durch die effiziente Verwendung von induziertem Emissions-Übergang von Er vom $^4\text{I}_{13/2}$ -Niveau auf das $^4\text{I}_{15/2}$ -Niveau.

[0064] [Fig. 8](#) ist ein Energieniveau-Diagramm von Er^{3+} , welches veranschaulicht eine induzierte Emission von dem oberen Niveau $^4\text{I}_{13/2}$ auf das Grund-Niveau $^4\text{I}_{15/2}$ (nachstehend bezeichnet als $^4\text{I}_{13/2} \rightarrow ^4\text{I}_{15/2}$ Emission).

[0065] Zusätzlich, wie in [Fig. 1](#) gezeigt, ist bekannt, dass eine Bandbreite, welche $^4\text{I}_{13/2} \rightarrow ^4\text{I}_{15/2}$ Emission von Er^{3+} in dem Fluorid-Glas erlaubt, breiter ist als jene von Er^{3+} in anderem Glas wie einem Siliciumdioxid-Glas. Bei einer Wellenlänge von über $1,6 \mu\text{m}$ wird allerdings eine Emissions-Intensität niedrig und auch das Auftreten von optischer Verstärkung und Laser-Oszillation wird schwierig.

[0066] Im Falle, dass ein vorher festgelegter Betrag von Er zu dem Tellurit-Glas hinzugefügt wird, empfängt das Er ein stärkeres elektrisches Feld als das herkömmliche. Als Folge kann ein akzeptabler Grad von Fluoreszenz-Intensität bei einer Wellenlänge von über $1,6 \mu\text{m}$ beobachtet werden wegen der zunehmenden Breite der Niveaus, verursacht durch Stokes-Effekte auf Niveaus wie $^4\text{I}_{13/2}$ und $^4\text{I}_{15/2}$.

[0067] Folglich kann ein bei Wellenlängen von $1,5 \mu\text{m}$ bis $1,7 \mu\text{m}$ funktionierender optischer Verstärker oder eine Laser-Vorrichtung realisiert werden, wenn dessen Medium zur optischen Verstärkung eine Tellurit-Glasfaser ist, bei der Erbium hinzugefügt wird in mindestens dem Kern-Abschnitt.

[0068] Wenn das Tellurit-Glas mindestens eines von Bor, Phosphor und Hydroxylgruppe enthält, können Verbesserungen der Eigenschaften des Verstärkungs-Koeffizienten und Rauschfaktors ebenfalls erreicht werden zur Zeit des Pumpens des $^4\text{I}_{11/2}$ -Ni-

veaus durch Licht von 0,98 μm . Das heißt, Schwingungs-Energien von B-O, P-O und O-H, welche jeweils ungefähr 1400 cm^{-1} , 1200 cm^{-1} und 3700 cm^{-1} sind, während Phonon-Energie des Tellurit-Glases frei von obigem Additiv 600 bis 700 cm^{-1} ist, so dass das Tellurit-Glas, welches mindestens eines von Bor, Phosphor und Hydroxylgruppe enthält, mehr als die doppelte Energie des Tellurit-Glases, das frei von dem Additiv ist, erzeugt. Wenn eine optische Verstärkung bei 1,5 μm Band verursacht wird durch einen Übergang $^4\text{I}_{13/2} \rightarrow ^4\text{I}_{15/2}$ durch Pumpen $^4\text{I}_{11/2}$ -Niveau von Er durch Licht bei einer Wellenlänge nahe 0,98 μm , tritt folglich eine Relaxation vom $^4\text{I}_{11/2}$ -Niveau auf das $^4\text{I}_{13/2}$ -Niveau leichter auf, und eine Verringerung des Quantenwirkungsgrads ist relativ gering. Damit tritt eine Verringerung des Pump-Wirkungsgrads des $^4\text{I}_{13/2}$ -Niveaus kaum auf (Fig. 8). Wenn eine Relaxation vom $^4\text{I}_{11/2}$ -Niveau auf das $^4\text{I}_{13/2}$ -Niveau leichter auftritt, wird bevorzugt, das $^4\text{I}_{13/2}$ -Niveau nach Pumpen des $^4\text{I}_{11/2}$ -Niveaus zu pumpen, besser als direktes Pumpen des $^4\text{I}_{13/2}$ -Niveaus durch Licht bei einer Wellenlänge nahe 1,48 μm , weil das erstere günstig ist, um eine Populationsinversion zwischen dem $^4\text{I}_{13/2}$ -Niveau und dem $^4\text{I}_{15/2}$ -Niveau zu erreichen. Deswegen besteht ein Vorteil, ausgezeichnete Rausch-Eigenschaften aufzuweisen.

[0069] Nachstehend werden bevorzugte Ausführungsformen eines Mediums zur optischen Verstärkung, eines optischen Breitband-Verstärkers unter Verwendung eines derartigen Mediums, und eine Laser-Vorrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung beschrieben.

Hintergrundbeispiel 1:

[0070] Rohmaterialien von TeO_2 , ZnO , Na_2NO_3 und Bi_2O_3 wurden so formuliert, um hergestellt zu werden als Zusammensetzungen von TeO_2 (75 Mol-%)- ZnO (20 Mol-%)- Na_2O (5 Mol-%), TeO_2 (77 Mol-%)- ZnO (15,5 Mol-%)- Na_2O (6 Mol-%)- Bi_2O_3 (1,5 Mol-%), und TeO_2 (73,5 Mol-%)- ZnO (15,5 Mol-%)- Na_2O (6 Mol-%)- Bi_2O_3 (5 Mol-%) nach Schmelzen. Dann wurden 20 g eines Gemisches der formulierten Rohmaterialien in einen Schmelztiegel gegeben und 2 Stunden lang in einem elektrischen Ofen bei 800°C in einer Sauerstoff-Atmosphäre geschmolzen. Danach wurde ein geschmolzenes Gemisch auf eine vorgewärmte Platte gegossen (200°C), um Glas zu erhalten. Das Glas wurde 4 Stunden lang bei 250°C gegläht, und dann wurde ein Teil des gehärteten Glases zerbrochen. Zwei Proben, ein 30 mg Schütt-Glas und 30 mg Glas-Feinpulver, zerkleinert in einer Achatreischale, wurden in einen geschlossenen Behälter aus Silber mit Gold-Überzug gegeben, und einer Differenzial-Abtast-Kalorimetrie (DSC) unterzogen bei einer Erwärmungs-Geschwindigkeit von $10^\circ\text{C}/\text{min}$ in einer Argongas-Atmosphäre. Im Falle der Schütt-Glasprobe betrugen die erhaltenen Werte $T_x - T_g$ $119,2^\circ\text{C}$ bei $\text{Bi}_2\text{O}_3 = 0$, $121,6^\circ\text{C}$ bei $\text{Bi}_2\text{O}_3 = 1,5\text{ Mol-\%}$, und

$167,5^\circ\text{C}$ bei $\text{Bi}_2\text{O}_3 = 5\text{ Mol-\%}$. Besonders die Wärme-stabilität der Zusammensetzung innerhalb der Grenzen: $1,5 < \text{Bi}_2\text{O}_3 \leq 15\text{ (Mol-\%)}$; $0 \leq \text{Na}_2\text{O} \leq 35\text{ (Mol-\%)}$; und $55 \leq \text{TeO}_2 \leq 90\text{ (Mol-\%)}$ verbesserte sich über 40°C . Im Falle der pulverisierten Glas-Probe waren die erhaltenen Werte $T_x - T_g$ $80,2^\circ\text{C}$ bei $\text{Bi}_2\text{O}_3 = 0$, $76,3^\circ\text{C}$ bei $\text{Bi}_2\text{O}_3 = 1,5\text{ Mol-\%}$, und $110,2^\circ\text{C}$ bei $\text{Bi}_2\text{O}_3 = 5\text{ Mol-\%}$, welche geringer sind als diejenigen der Schütt-Glasprobe, allerdings konnte die Wärme-Stabilität des Glases genauer abgeschätzt werden. Dennoch haben wir in beiden Fällen gefunden, dass deren Wärmestabilitäten extrem verbessert wurden durch die Addition von 5 Mol-% Bi_2O_3 .

[0071] In der vorliegenden Beschreibung basiert der auf die Wärme-Stabilität des Glases bezogene Wert $T_x - T_g$ auf der Messung, die mit der Schütt-Glasprobe durchgeführt wurde, wenn nicht anders angegeben.

[0072] Wie obenstehend erwähnt, ist es möglich, eine Lichtleitfaser mit niedrigem Verlust unter Verwendung des Glases herzustellen, welches einen Wert $T_x - T_g \geq 120^\circ\text{C}$ zeigt, mit Bezug auf die DSC-Messung des Schütt-Glases. Ein Faser-Verlust dieser Art von Glas beträgt etwa 1 dB/km oder weniger. Zur Ausführung einer optischen Verstärkung hoher Effizienz unter Verwendung eines optischen Überganges des Drei-Niveau-Systems wird ein stabileres Glas erforderlich sein für die Herstellung einer optischen Faser mit einem Faser-Verlust, der um eine Größenordnung niedriger ist als der des obigen Glases. In diesem Fall ist der DSC-Messungswert des pulverisierten Glases wirksam als Auswertungs-Standard. Somit kann eine Lichtleitfaser mit einem Faser-Verlust von 0,1 dB/km oder weniger erhalten werden, wenn Glas, für das $T_x - T_g \geq 100^\circ\text{C}$ gemessen wird, verwendet wird.

Beispiel 1:

[0073] 50 Glas-Proben werden hergestellt unter Verwendung verschiedener Formulierungen einer Glas-Zusammensetzung eines quadratischen Systems: TeO_2 - ZnO - Li_2O - Bi_2O_3 wird formuliert, so dass alle davon Bi_2O_3 enthalten mit einer festen Konzentration (5 Mol-%), und andere Bestandteile mit unterschiedlichen Konzentrationen.

[0074] Jede der Glas-Proben wird unterzogen einer Technik der Differenzial-Abtast-Kalorimetrie (DSC), auf dieselbe Weise wie bei Hintergrundbeispiel 1, um deren thermische Stabilität abzuschätzen. Die Ergebnisse sind in Fig. 9 gezeigt. Wie in der Figur gezeigt, werden thermisch stabile Gläser erhalten, wenn die jeweiligen Glas-Zusammensetzung in der Zone A in der Figur enthalten sind. In jedem der thermisch stabilen Gläser beträgt der Unterschied zwischen der Kristallisationstemperatur (T_x) und der Glasübergangstemperatur (T_g), d.h. $T_x - T_g$, 120°C

oder mehr. Im Falle der Glas-Zusammensetzungen entsprechend der Zone B in der Figur erhält man extrem stabile Gläser ohne Verursachen eines erwärmenden Peaks der Kristallisation. Daher lassen die thermisch stabilen optischen Gläser Lichtleitfasern zu mit Eigenschaften von niedrigem Faser-Verlust, und lassen auch die Massenherstellung der Lichtleitfaser mit erhöhten Ausbeuten zu. Daher gelangen Lichtleitfasern mit niedrigem Preis in erreichbare Nähe.

[0075] Unter den zu erlaubenden Zusammensetzungen in Zone B wird eine Glas-Zusammensetzung von TeO_2 (80 Mol-%)- ZnO (5 Mol-%)- Li_2O (10 Mol-%)- Bi_2O_3 (5 Mol-%) ausgewählt und als Kern-Material verwendet. Das Kern-Material ist dotiert mit 2000 ppm Erbium. Ebenfalls wird eine Glas-Zusammensetzung von TeO_2 (75 Mol-%)- ZnO (5 Mol-%)- Li_2O (15 Mol-%)- Bi_2O_3 (5 Mol-%) ausgewählt und als Mantel-Material verwendet. Dann wird eine Lichtleitfaser mit einer Cut-Off-Wellenlänge von $1,1\ \mu\text{m}$ und einem Kern/Mantel relativen Brechungsindex-Unterschied von 2,5% gebildet unter Verwendung dieser Materialien. In diesem Beispiel wird die resultierende Lichtleitfaser verwendet als ein Medium zur Verstärkung mit einem Faser-Verlust bei $1,2\ \mu\text{m}$ von 20 dB/km.

[0076] Ein optischer Verstärker wird konstruiert unter Verwendung des Mediums zur Verstärkung von 3 m Länge und wird unterzogen einem Test der Verstärkung unter der Bedingung, dass ein bidirektionales Pumpen mit einer Vorwärts-Pump-Wellenlänge von $0,98\ \mu\text{m}$ und einer Rückwärts-Pump-Wellenlänge von $1,48\ \mu\text{m}$ verwendet wird, und ein Wellenlängen-abstimmbarer Laser, der bei $1,5\ \mu\text{m}$ bis $1,7\ \mu\text{m}$ Bändern arbeitet, verwendet wird als Signallichtquelle. Als Folge wird eine kleine Signal-Verstärkung von 20 dB oder mehr beobachtet bei 80 nm Bandbreite von 1530 nm bis 1610 nm. Zu diesem Zeitpunkt wird zusätzlich ein Rauschfaktor von 5 dB oder weniger beobachtet.

[0077] Unter den zu erlaubenden Zusammensetzungen in der Zone A wird eine Glas-Zusammensetzung von TeO_2 (70 Mol-%)- ZnO (10 Mol-%)- Li_2O (15 Mol-%)- Bi_2O_3 (5 Mol-%) ausgewählt und verwendet als Kern-Material. Das Kern-Material ist dotiert mit 2000 ppm Erbium. Ebenfalls wird eine Glas-Zusammensetzung von TeO_2 (70 Mol-%)- ZnO (7 Mol-%)- Li_2O (18 Mol-%)- Bi_2O_3 (5 Mol-%) ausgewählt und verwendet als Mantel-Material. Dann wird eine Lichtleitfaser mit einer Cut-Off-Wellenlänge von $1,1\ \mu\text{m}$ und einem Kern/Mantel relativen Brechungsindex-Unterschied von 1,5% gebildet unter Verwendung dieser Materialien. In diesem Beispiel wird die resultierende Lichtleitfaser verwendet als ein Medium zur Verstärkung mit einem Faser-Verlust bei $1,2\ \mu\text{m}$ von 60 dB/km.

[0078] Ein optischer Verstärker wird konstruiert unter Verwendung des Mediums zur Verstärkung von 3 m Länge und wird unterzogen einem Test der Verstärkung, auf dieselbe Weise wie die des vorstehend erwähnten optischen Verstärkers mit der Zusammensetzung von Zone B. Als Folge wird eine kleine Signal-Verstärkung von 20 dB oder mehr beobachtet bei 80 nm Bandbreite von 1530 nm bis 1610 nm. Zu diesem Zeitpunkt wird zusätzlich ein Rauschfaktor von 5 dB oder weniger beobachtet. Dementsprechend zeigt das Ergebnis an, dass die Glas-Zusammensetzung in Zone A ebenfalls verwendet werden kann im Verfahren des Herstellens eines praktischen Breitband-EDFA.

Beispiel 2:

[0079] In diesem Beispiel werden 50 Glas-Proben hergestellt aus einer Glas-Zusammensetzung von TeO_2 - ZnO - Li_2O - Al_2O_3 - Bi_2O_3 . Die Proben haben 2 mol Al_2O_3 und 12 Mol-% Li_2O , mit der Ausnahme, dass jede Probe ihre eigenen Verhältnisse von anderen Bestandteilen hat. Dann wird jede der Glas-Proben in Stücke zerbrochen und in einer Achatreibschale pulverisiert. 30 mg des erhaltenen Pulvers wird in einen geschlossenen Behälter gegeben, der aus Silber gemacht ist, und dann einer DSC-Messung in einer Argon-Atmosphäre bei einer Erwärmungs-Geschwindigkeit von $10^\circ\text{C}/\text{min}$ unterzogen, resultierend in einem wärmestabilen Glas mit 120°C oder mehr $T_x - T_g$, in einer Zone, die in [Fig. 13](#) als A definiert ist. Das wärmestabile Glas erlaubt eine Faser mit einem niedrigeren Verlust von 0,1 dB/m oder weniger. Zusätzlich erlauben die Wirkungen des Hinzufügens von Al_2O_3 in die Glas-Zusammensetzung eine breitere Fläche des Querschnittes der induzierten Emission, so dass eine Verstärkungs-Bandbreite des EDFA verbreitert werden kann.

[0080] Als nächstes wird ein Medium zur optischen Verstärkung hergestellt als Faser mit einer Cut-Off-Wellenlänge von $1,1\ \mu\text{m}$ und einem Kern/Mantel relativen Brechungsindex-Unterschied von 1,6%. Ein Kern der Faser wird gebildet aus einer Glas-Zusammensetzung der Glas-Zusammensetzung, gewählt aus der Zone in [Fig. 13](#), d.h. TeO_2 (82 Mol-%)- ZnO (1 Mol-%)- Li_2O (12 Mol-%)- Al_2O_3 (2 Mol-%)- Bi_2O_3 (3 Mol-%), dotiert mit 2000 ppm Erbium. Ebenfalls wird ein Mantel der Faser gebildet aus einer Glas-Zusammensetzung von TeO_2 (75 Mol-%)- ZnO (3 Mol-%)- Li_2O (18 Mol-%)- Bi_2O_3 (4 Mol-%). Ein Faser-Verlust bei $1,2\ \mu\text{m}$ beträgt 0,07 dB/m.

[0081] Das erhaltene Medium wird geschnitten zu einer Faser von 3 m Länge, um einen optischen Verstärker zu konstruieren. Der optische Verstärker wird unterzogen einem Verstärkungs-Test.

[0082] In dem Verstärkungs-Test wird eine bidirekti-

onale Pump-Prozedur mit einer Vorwärts-Pump-Wellenlänge von 0,98 μm und einer Rückwärts-Pump-Wellenlänge von 1,48 μm verwendet. Zusätzlich wird ein Wellenlängen-abstimmbarer Laser, der 1,5 μm bis 1,7 μm Band abdeckt, verwendet als eine optische Signal-Quelle. Als Folge wird eine kleine Signal-Verstärkung von 20 dB oder mehr erhalten bei einer Bandbreite von 80 nm, die von 1530 bis 1610 μm reicht. Zu diesem Zeitpunkt ist ein Rauschfaktor (NF) 5 dB oder weniger.

Beispiel 3:

[0083] Ein Wellenlängen-abstimmbarer Ring-Laser wird konstruiert unter Verwendung der gleichen Faser (4 m Länge) wie in Beispiel 2, und auch ein Wellen-abstimmbarer Filter für Wellenlängen von 1,5 μm bis 1,7 μm wird verwendet als ein Filter. Zusätzlich wird eine bidirektionale Pump-Prozedur, bei welcher die Vorwärts- und die Rückwärts-Wellenlängen identisch sind, verwendet. Bei einer einfallenden Pump-Stärke von 300 mW zeigte der Laser seine Breitband-Laser-Eigenschaften von 5 mW oder mehr bei einer Bandbreite von 135 nm, die von 1500 bis 1635 nm reicht, was nicht erreicht werden konnte mit der Siliciumdioxid-basierenden und Fluorid-basierenden Lichtleitfaser.

Patentansprüche

1. Tellurit-Glas als Glasmaterial für eine optische Faser oder einen optischen Wellenleiter, gekennzeichnet durch Umfassen von:

$4 < \text{Bi}_2\text{O}_3 \leq 20$ (Mol-%);

$0 < \text{M}_2\text{O} \leq 35$ (Mol-%);

$0 < \text{ZnO} \leq 35$ (Mol-%); und

$55 \leq \text{TeO}_2 \leq 90$ (Mol-%),

wobei M mindestens zwei einwertige Metalle, gewählt aus der Gruppe bestehend aus Li, K, Rb und Cs, sind.

2. Tellurit-Glas als Glasmaterial für eine optische Faser oder einen optischen Wellenleiter, gekennzeichnet durch Umfassen von:

$4 < \text{Bi}_2\text{O}_3 \leq 20$ (Mol-%);

$0 < \text{Li}_2\text{O} \leq 25$ (Mol-%);

$0 < \text{ZnO} \leq 25$ (Mol-%); und

$55 \leq \text{TeO}_2 \leq 90$ (Mol-%).

3. Tellurit-Glas nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Bi_2O_3 -Anteil gegeben ist durch:

$4 < \text{Bi}_2\text{O}_3 < 7$ (Mol-%).

4. Optisches Verstärkungsmedium, das einen optischen Verstärker oder einen optischen Wellenleiter mit einem Kernglas und einem Mantelglas hat, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens eines von dem Kernglas und dem Mantelglas aus dem Tellurit-Glas nach einem der Ansprüche 1 bis 3 hergestellt

ist.

5. Optisches Verstärkungsmedium nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens eines von dem Kernglas und dem Mantelglas Erbium oder Erbium und Ytterbium enthält.

6. Optisches Verstärkungsmedium nach einem der Ansprüche 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens eines von dem Kernglas und dem Mantelglas mindestens eines, gewählt aus einer Gruppe bestehend aus Bor (B), Phosphor (P) und Hydroxygruppe enthält.

7. Optisches Verstärkungsmedium nach einem der Ansprüche 4 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens eines von dem Kernglas und dem Mantelglas ein Element, gewählt aus der Gruppe bestehend aus Ce, Pr, Nd, Sm, Tb, Gd, Eu, Dy, Ho, Tm und Yb, enthält.

8. Optisches Verstärkungsmedium nach einem der Ansprüche 4 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass eine Cut-off-Wellenlänge im Bereich vom 0,4 μm bis 2,5 μm ist.

9. Laser-Vorrichtung mit einem optischen Resonator und einer Erregerlichtquelle, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens eines der optischen Verstärkungsmedien im optischen Resonator das optische Verstärkungsmedium nach einem der Ansprüche 4 bis 8 ist.

10. Laser-Vorrichtung mit einem Verstärkungsmedium und einer Erregerlichtquelle, dadurch gekennzeichnet, dass das Verstärkungsmedium das optische Verstärkungsmedium nach einem der Ansprüche 4 bis 8 ist.

11. Optischer Verstärker mit einem optischen Verstärkungsmedium, einer Zuführungsvorrichtung, die ein Erregerlicht und ein Signallicht zum Pumpen des optischen Verstärkungsmediums zuführt, dadurch gekennzeichnet, dass das optische Verstärkungsmedium das optische Verstärkungsmedium nach einem der Ansprüche 4 bis 8 ist.

12. Optischer Verstärker mit einer Vielzahl von optischen Verstärkungsmedien mit optischen Fasern, die Erbium in ihren Kernen enthalten und reihenweise angeordnet sind, dadurch gekennzeichnet, dass jedes der optischen Verstärkungsmedien das optische Verstärkungsmedium nach einem der Ansprüche 4 bis 8 ist.

Es folgen 11 Blatt Zeichnungen

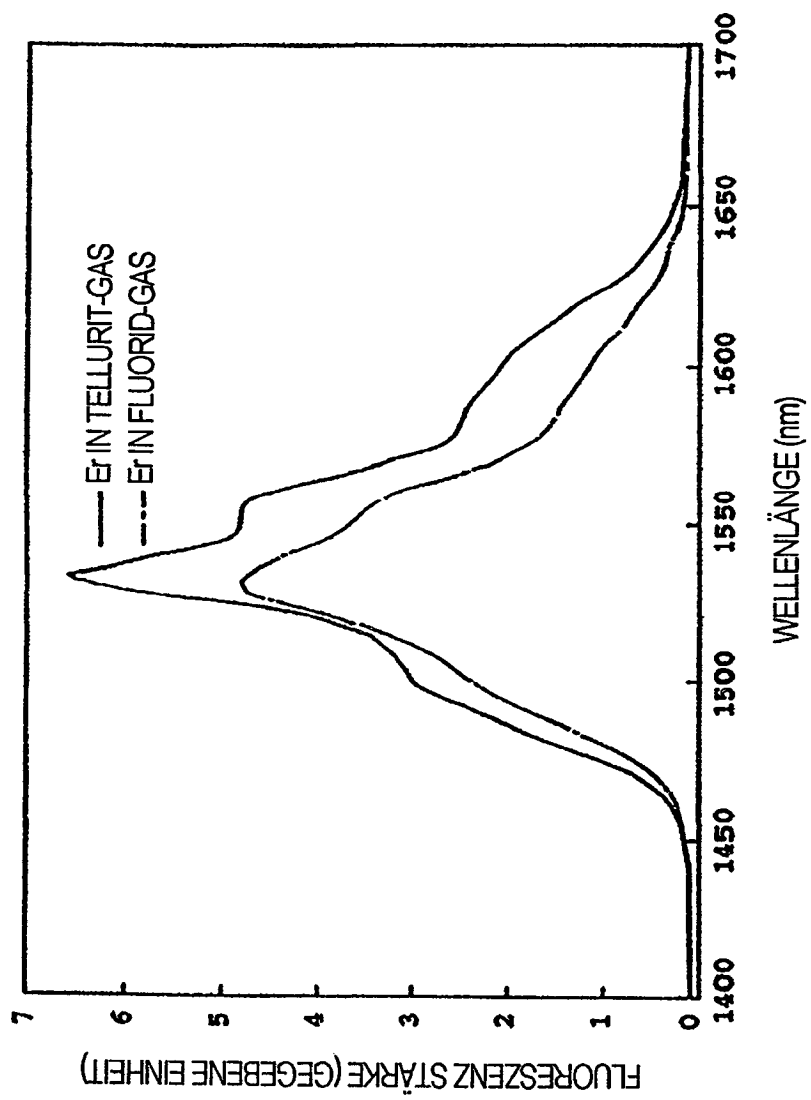


FIG.1

FIG.2

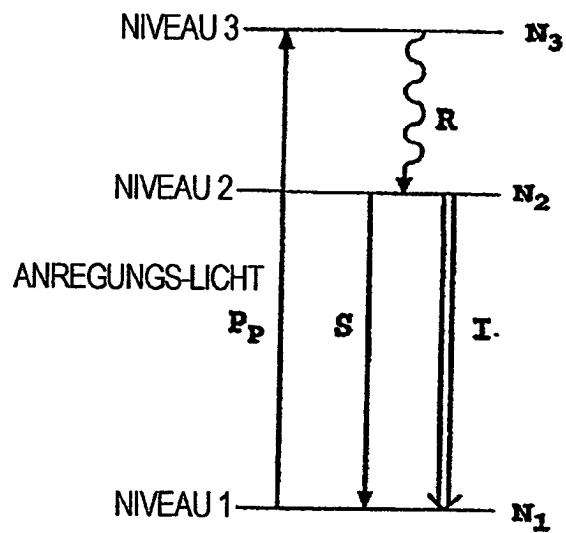


FIG.3

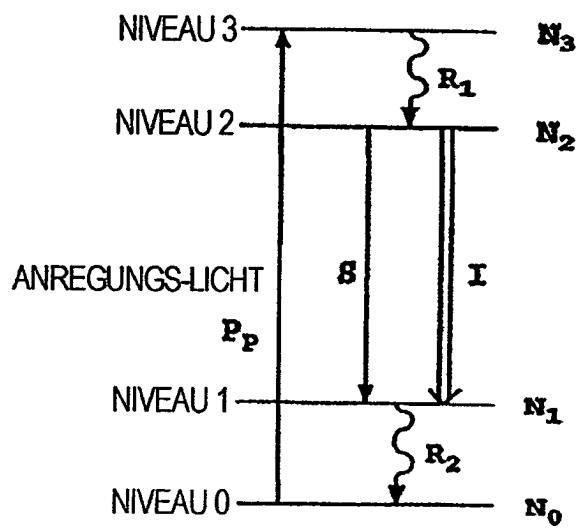


FIG.4

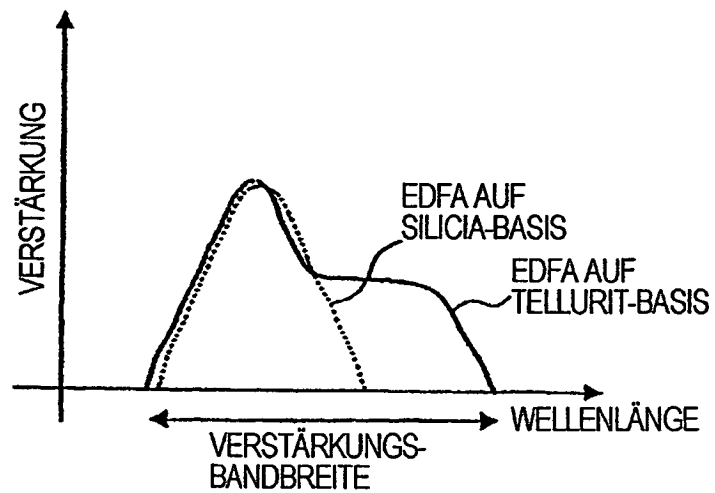
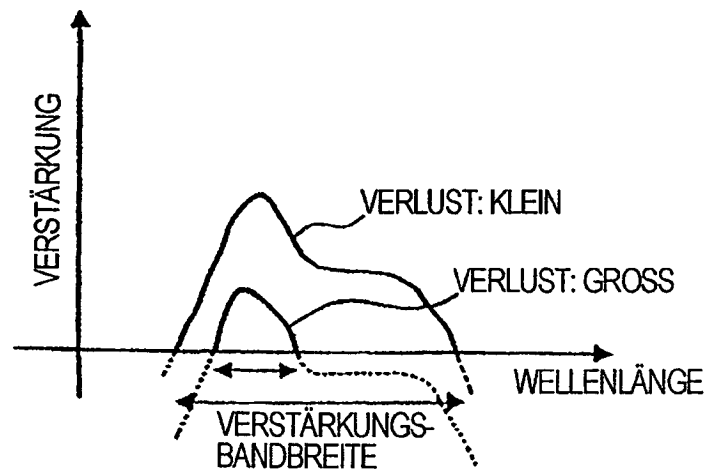


FIG.5



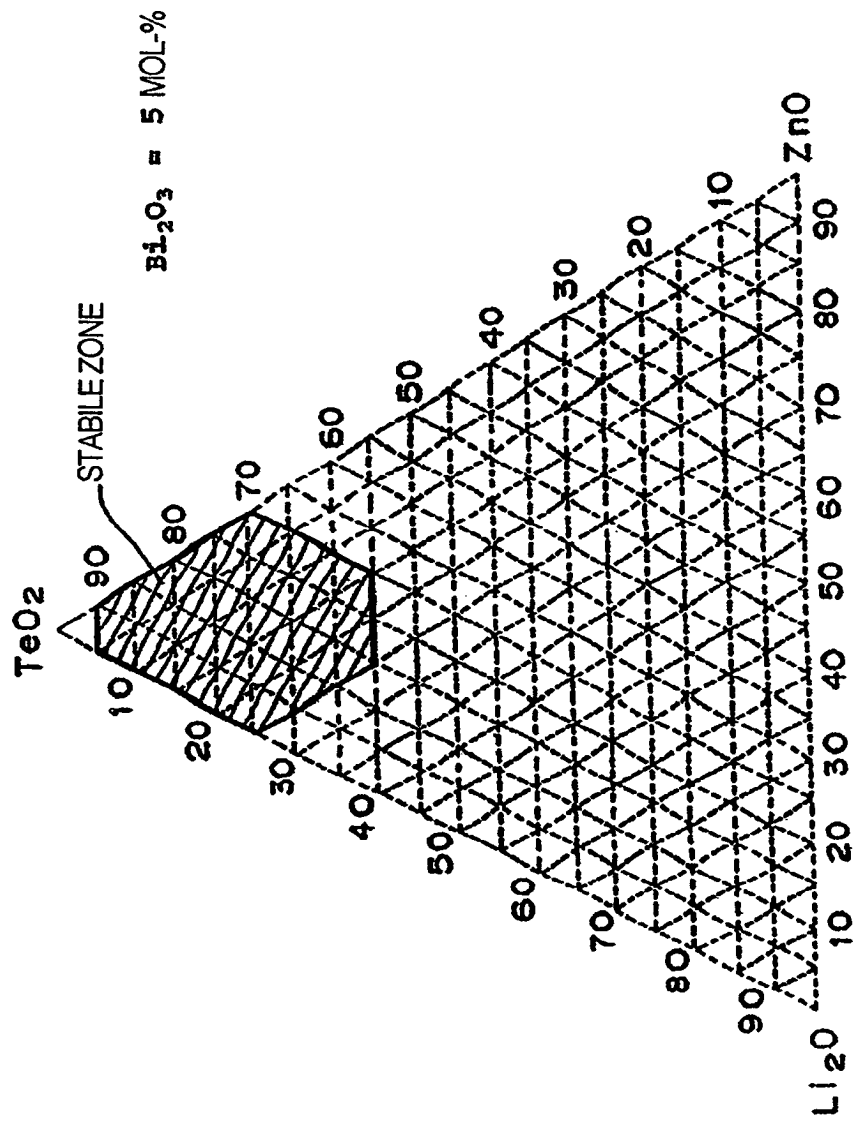
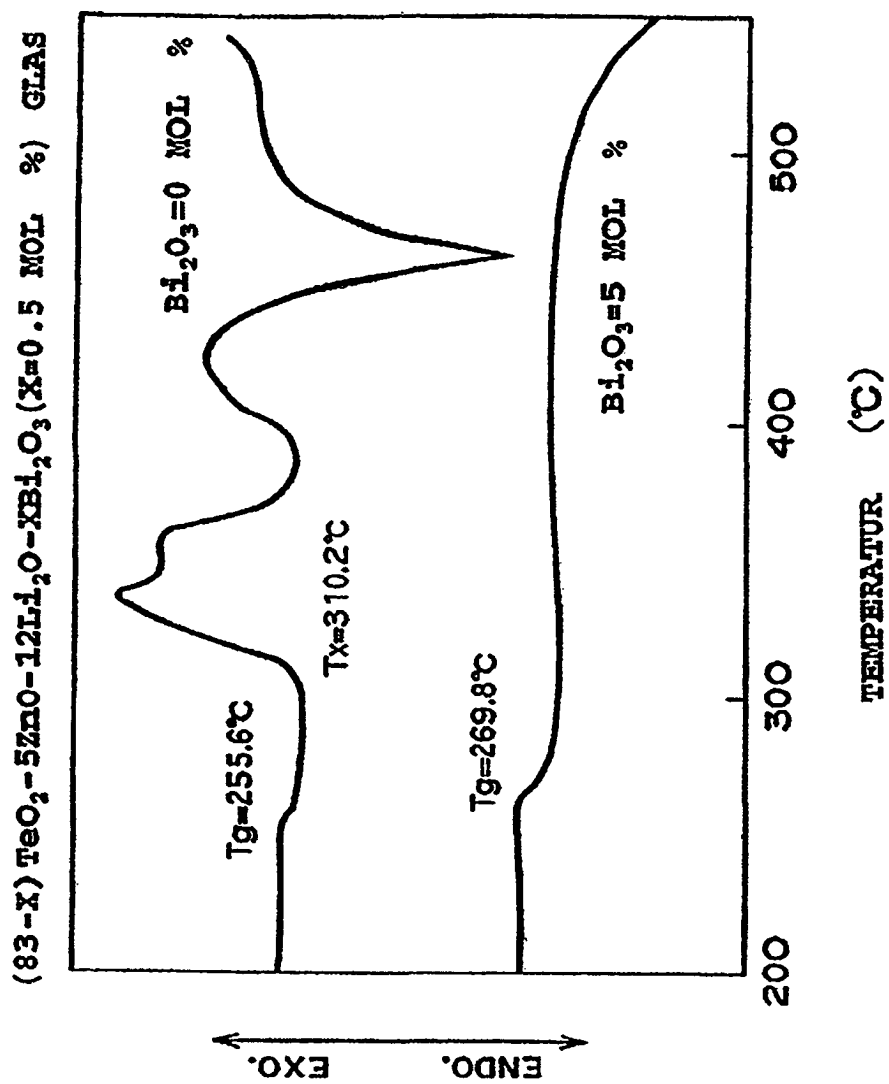


FIG.6

**FIG.7**

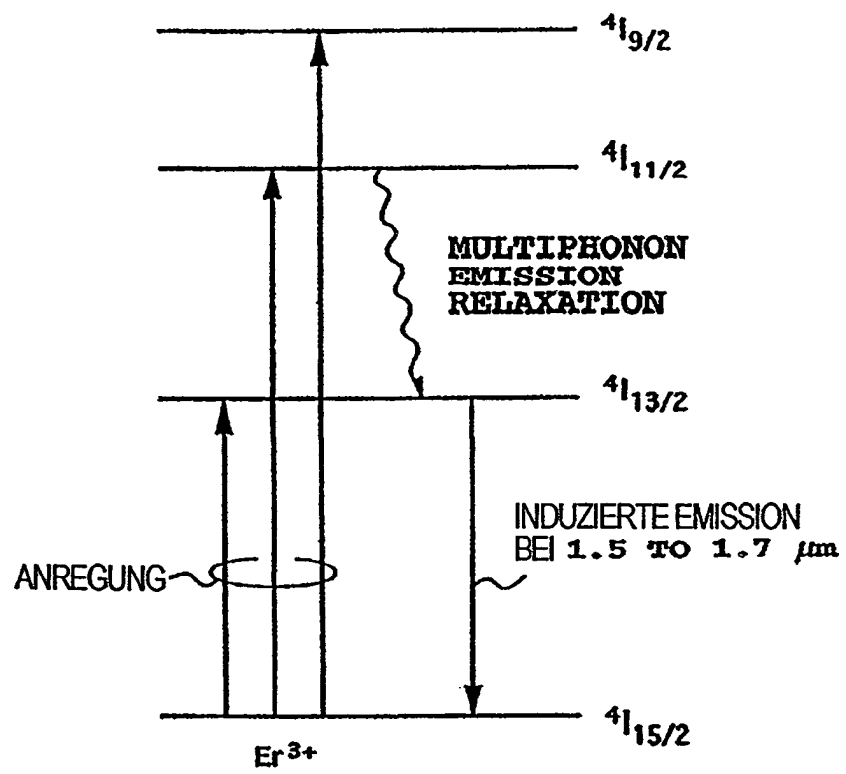


FIG. 8

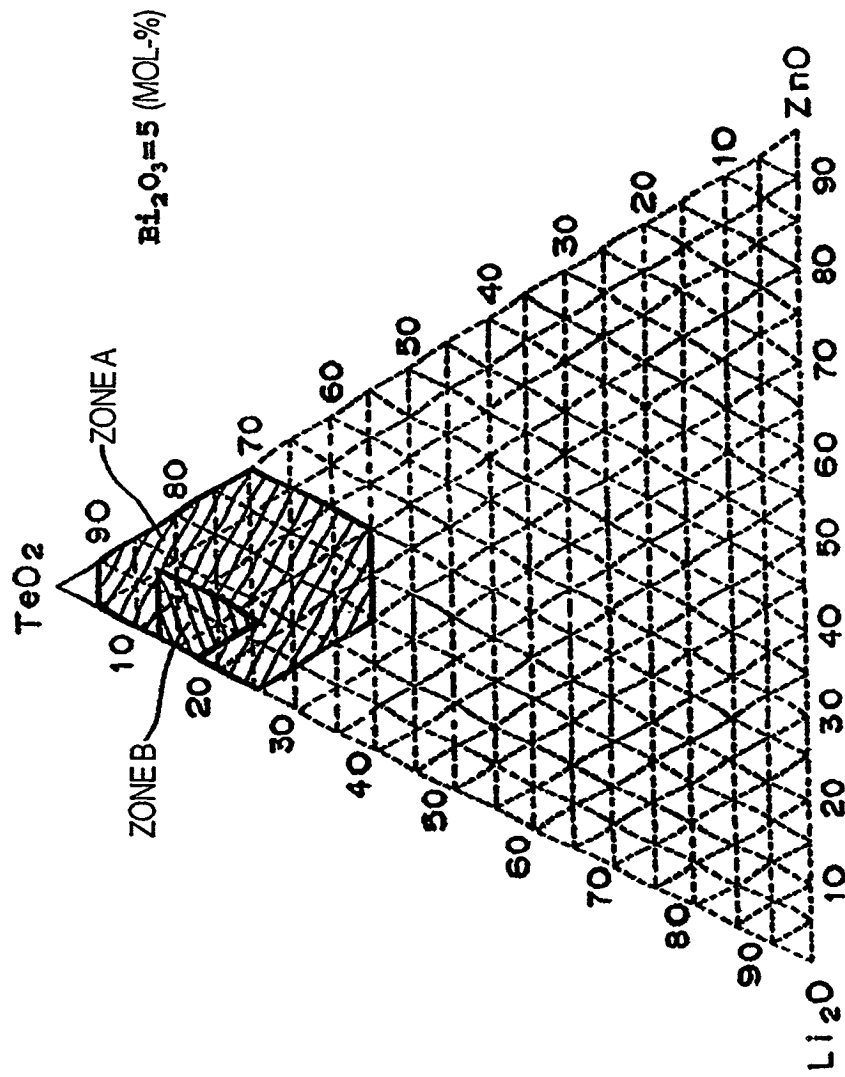
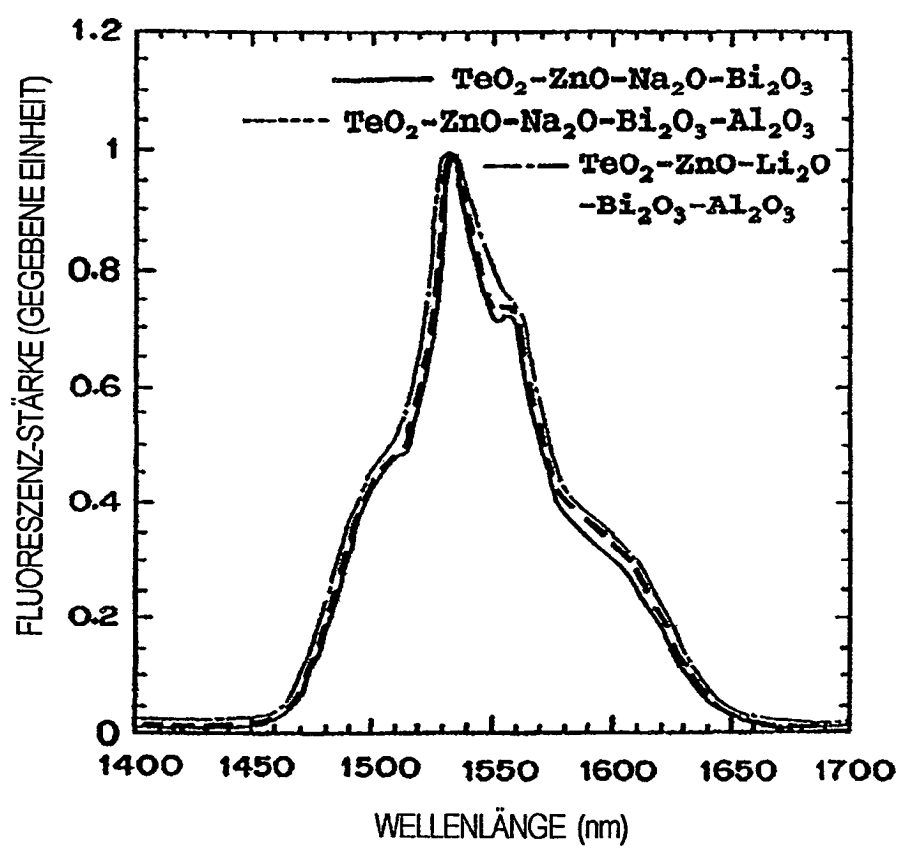


FIG. 9

**FIG. 10**

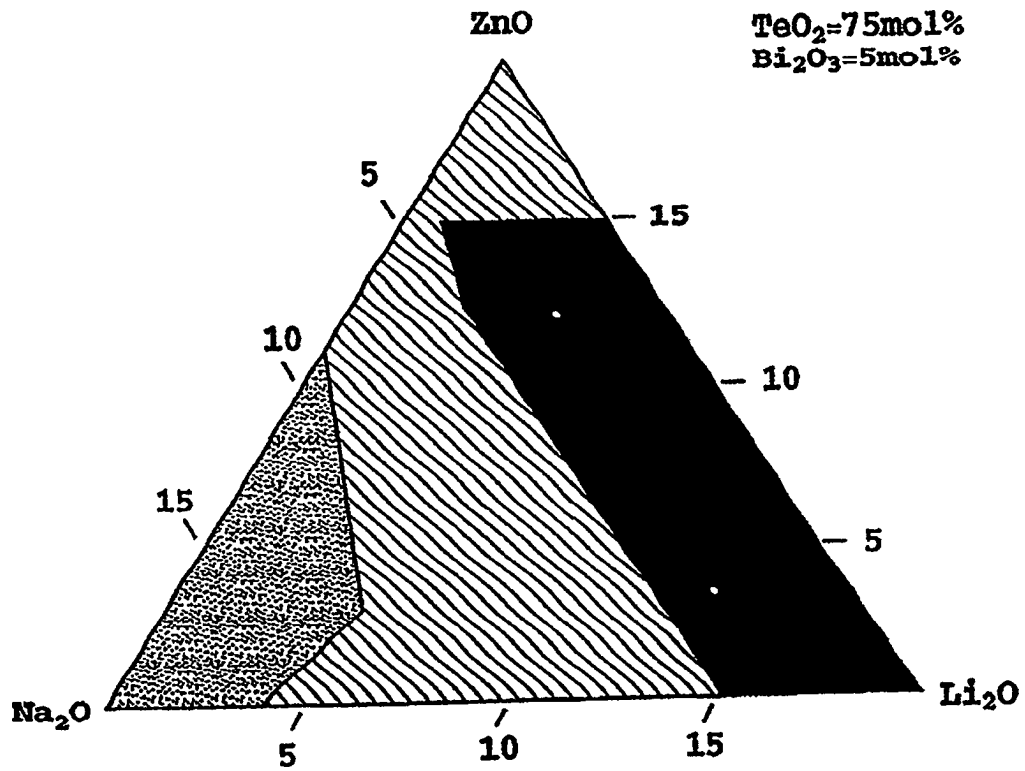


FIG.11

- A: OPTIMALE ZONE FÜR FASER
- ▨ B: ZULÄSSIGE ZONE FÜR FASER
- C: VERLUST VON KLARHEIT

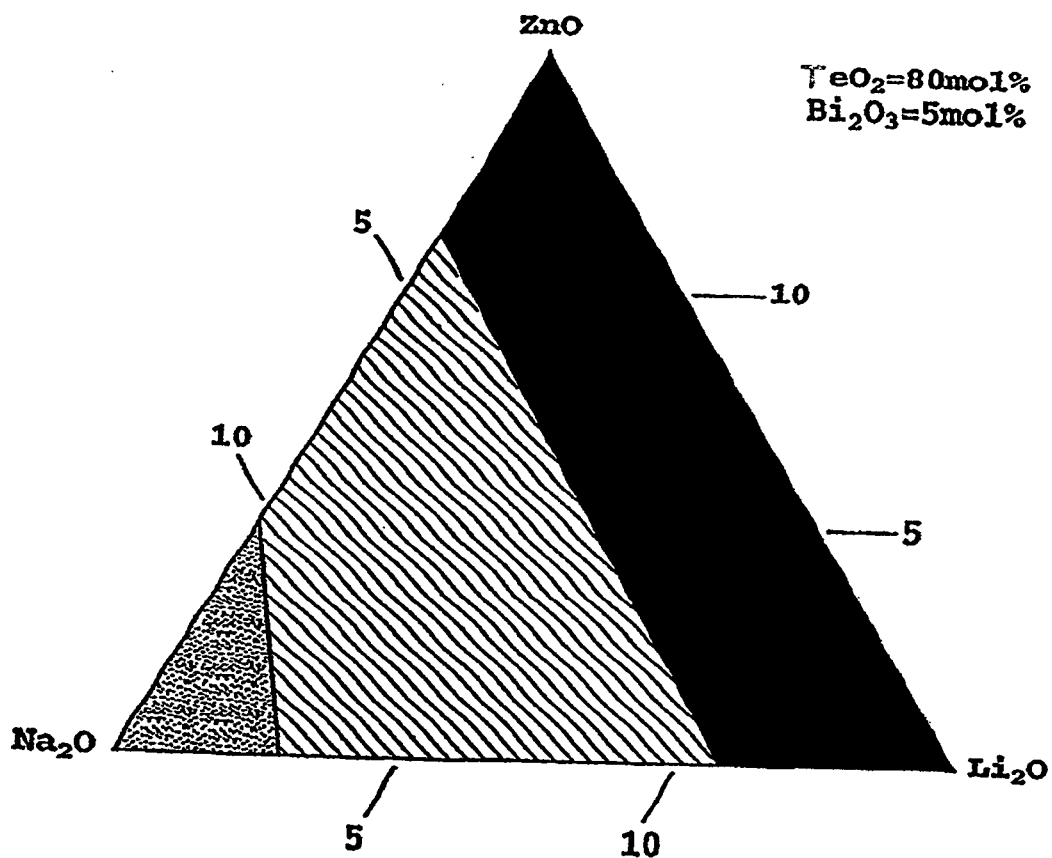


FIG. 12

- A: OPTIMALE ZONE FÜR FASER
- B: ZU ERLAUBENDE ZONE FÜR FASER
- C: VERLUST VON KLARHEIT

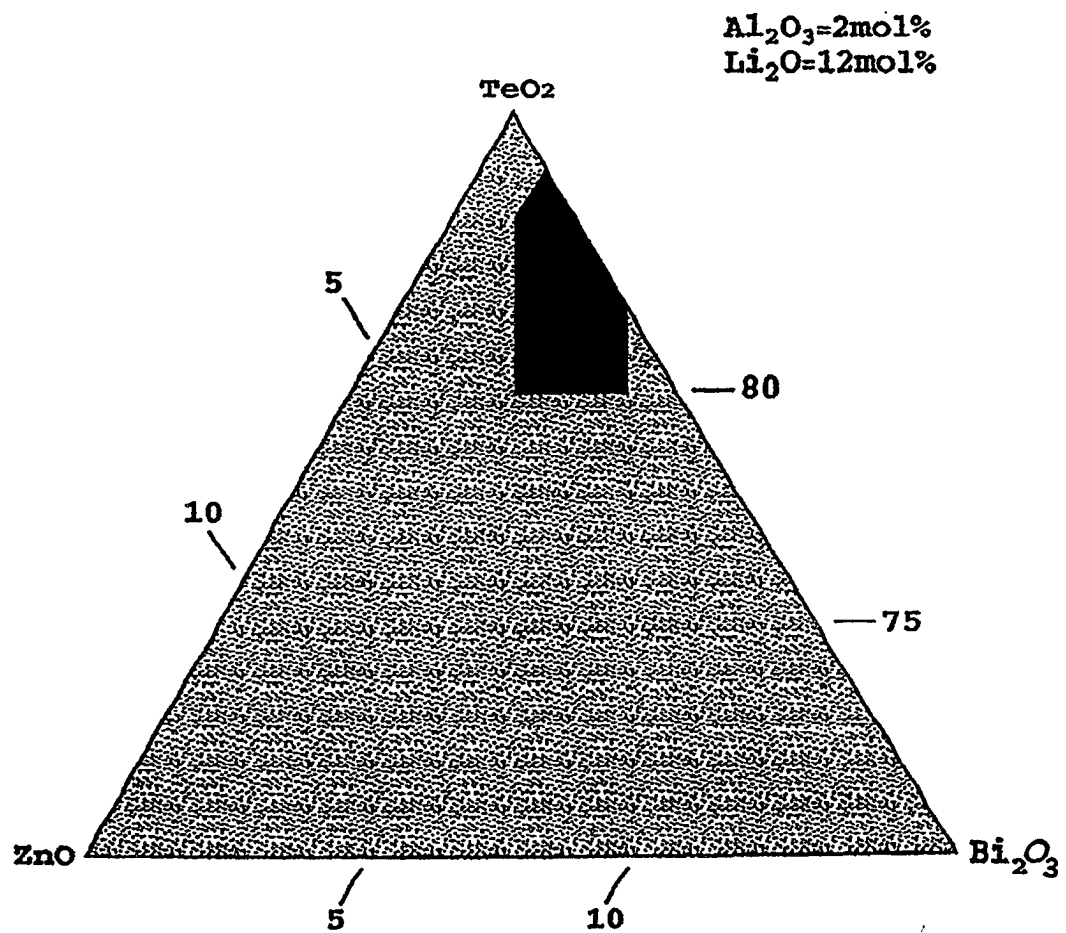


FIG.13

- A: OPTIMALE ZONE FÜR FASER
▨ B: VERLUST VON KLARHEIT