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

(10) **DE 695 35 675 T2** 2008.05.21

(12) # Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 1 107 404 B1**
(21) Deutsches Aktenzeichen: **695 35 675.5**
(96) Europäisches Aktenzeichen: **01 103 972.4**
(96) Europäischer Anmeldetag: **28.06.1995**
(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **13.06.2001**
(97) Veröffentlichungstag der Patenterteilung beim EPA: **26.12.2007**
(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **21.05.2008**

(51) Int Cl.[8]: ***H01S 5/14*** (2006.01)
H01S 3/067 (2006.01)

(30) Unionspriorität:

267785	**28.06.1994**	**US**
408002	**21.03.1995**	**US**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE, FR, GB, IT, NL

(73) Patentinhaber:
JDS Uniphase Corp., San Jose, Calif., US

(72) Erfinder:
Ventrudo, Brain F., Ottawa, Ontario A2A 2P8, CA;
Grant, Rogers, Torquay, Devon TQ1 1QE, GB

(74) Vertreter:
Grünecker, Kinkeldey, Stockmair & Schwanhäusser, 80538 München

(54) Bezeichnung: **Fasergitter-stabilisierte Laserdiode**

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

TECHNISCHES SACHGEBIET

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf eine stabilisierte Laserquelle, die eine optische Hochenergiestrahlung mit schmaler Bandbreite mit stabilerer Intensität und Wellenlänge liefert, geeignet zum, zum Beispiel, optischen Pumpen von Festkörper-Faserverstärkern oder Lasern, wie beispielsweise Faserlasern.

STAND DER TECHNIK

[0002] Optische Faserverstärker und Laser sind schnell eine wichtige Komponente von optischen Kommunikationssystemen geworden. Optische Faserverstärker werden dazu verwendet, optische Signale zu identifizieren, die entlang des faseroptischen Kommunikationspfads gedämpft werden. Sie haben problematische, elektrische Verstärker in faseroptischen Kommunikationsverbindungen ersetzt, was ermöglicht, dass tatsächliche, insgesamt faseroptische Kommunikationssysteme realisiert werden. Ähnlich sind optische Faserlaser vorgeschlagen worden, um einen optischen Träger für faseroptische Kommunikationssysteme zu bilden. Diese Laser können extern moduliert oder mode-verriegelt sein, und in einigen Fällen sind sie eine Alternative zu Diodenlasern als Quellen für Licht mit hoher Energie in faseroptischen Kommunikationssystemen.

[0003] Sowohl Faserverstärker als auch Laser arbeiten auf ähnlichen Prinzipien. Das Siliziumoxidglas in dem Bereich der geführten Welle der optischen Faser wird mit Ionen eines Seltenerdelements dotiert, wie zum Beispiel Erbium. Die Energiestruktur der Erbiumionen ist so, dass das Signal nicht mit einer Wellenlänge von ungefähr 1530-1565 nm in der Faser verstärkt werden kann, wenn die Population der angeregten Zustände der Erbiumionen so ist, dass die Rate einer stimulierten Emission diejenige einer spontanen Emission und Absorption übersteigt. In einem solchen Fall wird Licht innerhalb der Verstärkungsbandbreite, das in die optische Faser eintritt, eine Gesamtverstärkung erfahren und wird die Faser mit einer größeren Energie verlassen. Wenn ein Mechanismus eingerichtet wird, um dieses verstärkte Signal in der Faser zu rezirkulieren, zum Beispiel durch Plazieren der geeigneten Reflektoren an den Enden der Faser, dann kann eine Laserwirkung in der Faser auftreten, wenn die Gesamtverstärkung den Verlust des Lichts innerhalb einer bestimmten, optischen Bandbreite angleicht. In jedem Fall ist es kritisch, die Erbiumionen in dem geeigneten, angeregten Zustand anzuregen, damit eine Verstärkung auftritt. Dies kann durch Anregen (Pumpen) der Erbiumionen mit Licht nahe Wellenlängen von 980 nm vorgenommen werden, was am einfachsten mit Hochenergie-Diodenlasern erzielt wird, eingekoppelt in den Wellenführungsbereich der optischen Faser. Der relativ kleine Querschnittsflächenbereich dieses Bereichs hilft dabei, eine hohe Intensität sicherzustellen, und ermöglicht deshalb eine annehmbare Verstärkung der Signalwellenlängen. Allerdings werden Fachleute auf dem betreffenden Fachgebiet erkennen, dass die Eigenschaften des Signals, erzeugt durch einen solchen Verstärker oder Laser, in starkem Umfang von den Eigenschaften des Diodenlasers, der verwendet wird, um die Faser selbst zu pumpen, abhängen wird.

[0004] In einem praktischen System werden die Diodenlaser permanent und robust mit einer opto-mechanischen Vorrichtung mit einer Länge einer undotierten, optischen Faser verbunden, die wiederum mit der dotierten Faser in dem optischen Verstärker oder Laser verbunden ist. Die Anordnung, die aus dem Diodenlaser, der opto-mechanischen Vorrichtung und der optische Faser besteht, wird als ein mit Anschlusslitze versehener Diodenlaser bezeichnet. Derzeit besitzen viele mit Anschlusslitze versehene Diodenlaser nicht erwünschte Charakteristika, wie beispielsweise Wellenlängen- und Intensitätsinstabilitäten, die Rauschen in dem gepumpten System erzeugen. Die problematischsten Quellen eines Diodenlaserrauschens in 980 nm Diodenlasern sind Modenspringrauschen und Wellenlängenfluktuationen, die durch eine unerwünschte, variable, optische Rückkopplung in den Diodenlaser hinein oder Änderungen in der Temperatur oder Injektionsstrom verursacht werden. Das Rauschen ist besonders nachteilig in Faserverstärken, da es Fehler in dem verstärkten, optischen Kommunikationssignal erhöht und von der Praktikabilität dieser Vorrichtungen abhält.

[0005] Dabei sind viele Techniken vorhanden, um den Effekt eines solchen Diodenlaserrauschens zu reduzieren. Ein Beispiel ist ein aktives, elektrisches System, das die Variation in dem Ausgang des Faserverstärkers, verursacht durch eine Fluktuation in den Diodenlasercharakteristika, erfasst, und ein Signal in die Laserdiode unter der korrekten Phase zurückführt, um die Laserfluktuation zu reduzieren. Allerdings fügen diese Techniken Kosten und eine Komplexität zu dem Verstärker hinzu. Es ist bevorzugt, ein passives Verfahren zum Reduzieren von Diodenlaserfluktuationen einzusetzen. Eine attraktive Lösung ist diejenige, einen Teil des eigenen Lichts in den Pumpdiodenlaser zurückzuführen. Diese Laser sind sehr empfindlich hinsichtlich einer optischen Rückkopplung, und wenn eine solche Rückkopplung geeignet kontrolliert wird, kann ein verbesserter Laserbetrieb resultieren. Eine Rückkopplung wird gewöhnlich durch einen externen Reflektor, wie beispielsweise einen Spiegel oder ein Diffraktionsgitter, erzielt, und externe, optische Elemente, wie beispielsweise Linsen, sind erforderlich, um den Lichtausgang von der Diodenlaserkavität heraus und zurück in diese hinein zu manipulieren und zu führen.

Obwohl die externen Optiken und Reflektoren oftmals sehr kompakt sein können, ist es schwierig und kostenintensiv, ein solches System auszurichten, und die mechanische und thermische Stabilität kann oftmals zur Verwendung in Faserverstärkern und Lasern unzureichend sein. Eine robustere Technik zur Kontrolle der Diodenlasercharakteristika ist erforderlich.

ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

[0006] Die vorliegende Erfindung schafft eine stabilisierte Laserquelle mit den Merkmalen, wie sie in Anspruch 1 angegeben sind. Sie verwendet ein Faser-Bragg-Gitter in einem mit Anschlusslitze versehenen Diodenlaser, um eine optische Rückkopplung in die Kavität eines Diodenlasers zu erzielen, um dadurch die Frequenz des Diodenlasers auf die diejenige des Fasergitters zu verriegeln und das longitudinale Mode-Hopping-Rauschen des Lasers zu reduzieren. Ein Faser-Bragg-Gitter ist eine periodische Struktur von Brechungsindexvariationen in oder nahe dem geführten Modebereich der optischen Faser, die Licht einer bestimmten Wellenlänge, das entlang der Faser propagiert, reflektieren kann. Das reflektierte Licht propagiert in die Faser in einer Richtung entgegengesetzt zu derjenigen des einfallenden Lichts. Wenn ein Diodenlaser anschlusslitzenmäßig mit einer Faser, die ein Faser-Bragg-Gitter enthält, verbunden wird, und wenn die Mitte der Gitterbandbreite innerhalb der Verstärkungsbandbreite des Lasers liegt, dann wird das optische Spektrum des Diodenlasers beeinflusst werden. Der exakte Effekt hängt von solchen Parametern ab, wie beispielsweise die Größe und die Bandbreite der Gitterreflektivität, der Zentrumswellenlänge des Gitters relativ zu dem Laser, der Größe einer Separation zwischen dem Laser und dem Gitter und der Größe eines Injektionsstroms in den Diodenlaser hinein. In vielen Fällen können die Lasercharakteristika für eine gegebene Anwendung verbessert werden.

[0007] Die Erfindung schafft eine Vorrichtung zum Erzeugen einer stabilen Laserquelle, die mehrere, longitudinale Moden über eine sehr schmale Bandbreite besitzt. Die Vorrichtung weist einen Diodenlaser auf, der Licht in im Wesentlichen einem einzelnen räumlichen Mode abgibt. Eine optische Faser ist vorgesehen, die dazu geeignet ist, mindestens einen Mode des Diodenlasers in einem Bereich der Faser zu führen. Es sind Einrichtungen vorgesehen, um das von der Laserdiode abgegebene Licht in eine eine Polarisation beibehaltende optische Faser einzukoppeln. Ein Faser-Bragg-Gitter ist im Bereich des Abschnitts mit geführtem Mode der optischen Faser gebildet.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0008] Die bevorzugte Ausführungsform der Erfindung wird unter Bezugnahme auf die Zeichnungen beschrieben, wobei:

[0009] Fig. 1 zeigt eine schematische Darstellung eines mit Anschlusslitze versehenen Diodenlasers, zugeordnet zu einem Faserverstärker, gemäß dem Stand der Technik.

[0010] Fig. 2 zeigt eine schematische Darstellung eines mit Anschlusslitze versehenen Diodenlasers gemäß der Erfindung.

[0011] Fig. 3 zeigt eine graphische Darstellung, die das Ausgangsspektrum eines mit Anschlusslitze versehenen Diodenlasers nach dem Stand der Technik und eines mit Anschlusslitze versehenen Diodenlasers gemäß der Erfindung vergleicht.

BESTER MODUS ZUM AUSFÜHREN DER ERFINDUNG

[0012] Fig. 1 stellt einen Faserverstärker **10** dar, der einen mit Anschlusslitze versehenen Diodenlaser gemäß dem Stand der Technik umfasst. Eine optische Faser **14** ist mit Erbium dotiert (bezeichnet mit dem Bezugszeichen **16**), um einen Verstärkungseffekt zu erzielen, und ist mit einer undotierten Faser **13** gekoppelt. Der Verstärkungseffekt kann durch Anregen der Erbiumatome mit Licht bei ungefähr 980 nm erreicht werden. Dies wird durch Einkoppeln einer Lichtquelle mit 980 nm in das Transmissionslicht (bei 1550 nm) von der Transmissionsfaser **5** mittels eines opto-elektronischen Kopplers **18** erzielt.

[0013] Die 980 nm Lichtquelle ist nach dem Stand der Technik mit einer mit Anschlusslitze versehenen Laserdiode **20** verwirklicht, die aus einer Laserdiode **22**, gekoppelt mit einer Linse **23** an eine undotierte Faser **24**, besteht. Die Grenzen der mit Anschlusslitze versehenen Laserdioden nach dem Stand der Technik sind vorstehend diskutiert worden.

[0014] Fig. 2 stellt eine mit Anschlusslitze versehene Laserdiode gemäß der bevorzugten Ausführungsform der Erfindung dar. Ein Diodenlaser **26** emittiert Strahlung in einem einzelnen räumlichen Mode und ist typischerweise aus einer Quantensenke-Epitaxial-Struktur oder einer index-geführten Struktur aus einem InGaAS-Halbleitermaterial hergestellt. Der Diodenlaser wird am einfachsten durch Strominjektion gepumpt. Diodenlaser mit den notwendigen Charakteristika sind kommerziell erhältlich.

[0015] Der Diodenlaser **26** ist so konfiguriert, um Strahlung primär von der vorderen Facette **27** zu emittieren. Die divergente Laseremission **28** wird mit einem fokussierenden System **30** in den Bereich für den geführten Mode einer Länge der optischen Faser **32** gerichtet, die ein Intra-Kern-Faser-Bragg-Gitter **34** enthält. Das fokussierende System der bevorzugten

Ausführungsform besteht aus einem Linsensystem, dargestellt mit dem Bezugszeichen **36**, um den Laserdiodenausgang in die Faser **32** hinein einzukoppeln. Alternativ kann die Faser in einer solchen Nähe zu dem Diodenlaser plaziert werden, dass ein wesentlicher Bruchteil des emittierten Lichts durch die Faser gesammelt wird.

[0016] Die optische Faser **32** ist typischerweise aus Siliziumoxidglas hergestellt, das Spurendotierstoffe enthält, um die Lichtführungscharakteristika der Faser zu verbessern. Das Fasergitter **34**, das eine optische Rückkopplung zu dem Diodenlaser erzielt, kann nahe dem Bereich für den geführten Mode der Faser **34** geätzt sein, unter Verwendung von Lithografietechniken, oder kann, was üblicher ist, durch Aussetzen der Faser einem Muster einer periodischen Intensitätsvariation eines Hochfluoreszenz-Ultravioletttlichts erzeugt werden. Wenn letztere Technik eingesetzt wird, um das Gitter herzustellen, ist es vorteilhaft, wenn der Faserkern eine Konzentration von Germanium besitzt, um den Kern empfindlich für ultraviolettes Licht, das das Gitter bildet, zu machen. Die Faser **34** kann eine solche sein, die einen einzelnen oder mehrere räumliche Moden bei der Emissionswellenlänge des Diodenlasers unterstützt.

[0017] Das Fasergitter **34** ist so ausgewählt, die maximale Reflektivität innerhalb von 10 nm der Diodenlaseremissionswellenlänge zu haben, und die Reflektivität ist ähnlich zu derjenigen der Austrittsfacette des Diodenlasers. Die Bandbreite der Gitterreflektivität liegt typischerweise bei 0,05 nm bis 1 nm, kann allerdings bis zu 2 nm betragen. Das System kann erfolgreich arbeiten, wenn das Gitter **34** und die Laserdiode **26** mit ein paar hundert Mikrometern bis zu mehreren Kilometern separiert sind, vorausgesetzt, dass der Betrag der optischen Rückkopplung in den Laser hinein größer als eine bestimmte Größe verbleibt. Unter Verwendung einer solchen Konfiguration besitzt der Diodenlaser wesentlich verbesserte Charakteristika, die zum Pumpen von Festkörperverstärkern oder Lasern geeignet sind.

[0018] Das Licht, das durch die Faser **34** aufgenommen wird, würde normalerweise nach unten eine Länge der Faser undefiniert propagieren, begrenzt nur durch die Faserverlustcharakteristika. Das Faser-Bragg-Gitter **34** ist innerhalb des Bereichs des geführten Modes oder des Kerns dieser Länge der Faser hergestellt. Das Gitter ist so hergestellt, dass die Wellenlänge dessen maximaler Reflexion innerhalb der Verstärkungsbandbreite des Diodenlasers liegt. Dieses Gitter reflektiert einen Bruchteil des Diodenlaseremissionslichts zurück durch die Faser und das fokussierende System in den Diodenlaser hinein. Der Rest des Lichtausgangs führt durch das Fasergitter hindurch und entlang der verbleibenden Länge der Faser.

[0019] Der Effekt des Fasergitters in Bezug auf die Charakteristika des optischen Ausgangs des Diodenlasers wird unter Betrachtung des wellenlängenabhängigen Verlusts in der gekoppelten Kavität, gebildet durch das Fasergitter, erläutert. Fachleute auf dem betreffenden Fachgebiet werden erkennen, dass die optische Rückkopplung von dem Fasergitter effektiv den Verlust von der Laserkavität des Lichts innerhalb der Bandbreite des Fasergitters reduziert. Es ist ausreichend bekannt, dass der Laser vorzugsweise nahe der Wellenlänge des niedrigsten Verlusts arbeiten kann, wodurch demzufolge die Wellenlänge des Diodenlasers von seinem freilaufenden Wert zu der Wellenlänge des Fasergitters verschoben werden kann. Dies kann auftreten, wenn die Wellenlänge des Fasergitters innerhalb der Verstärkungsbandbreite des Diodenlasers liegt, vorausgesetzt, dass die Größe einer Reflektivität von dem Gitter ausreichend ist.

[0020] Das Verhalten des Diodenlasers unter Bedingungen einer optischen Rückkopplung wird durch den Effekt der Diodenlaserkavität selbst verkompliziert, die durch die Endfacetten des Halbleiterchips gebildet wird. In der bevorzugten Ausführungsform der Erfindung werden die Reflektivität des Gitters ebenso wie dessen Wellenlänge so ausgewählt, dass eine Breitbandrückkopplung von der Diodenlaserkavität größer als die Rückkopplung von dem Fasergitter ist. In diesem Fall wirkt die Rückkopplung von dem Fasergitter als eine Störung des kohärenten, elektrischen Felds, gebildet in der Diodenlaserkavität. Diese Störung wirkt dahingehend, die Kohärenz der Diodenlaseremission zu brechen, was demzufolge die Bandbreite der Emission um einige Größenordnungen erweitert, was zu einer spektralen Verteilung führt, wie sie in der Kurve A der **Fig. 3** dargestellt ist. Das Faser-Bragg-Gitter verriegelt effektiv den Diodenlaserkavitätausgang auf die festgelegte Wellenlänge des Gitters und zentriert die multi-longidtudinalen Moden der externen Kavität um diese Wellenlänge herum. Das Vorhandensein der multi-longitudinalen Moden reduziert die Größe eines Mode-Hopping-Rauschens in dem Diodenlaser. Dies wird durch ein Kohärenz-Kollabieren des Diodenlasers bestimmt. Zusätzlich verbleibt die Mitten-Wellenlänge einer Emission nahe der Wellenlänge der maximalen Reflexion von dem Fasergitter. Der Diodenlaser ist so eingeschränkt, um innerhalb der Gitterbandbreite zu arbeiten, so dass große Fluktuationen in der Wellenlänge des Diodenlasers, verursacht durch Änderungen in der Temperatur oder dem Strom, eliminiert werden. Zusätzlich wird der Laser nicht durch eine fremde bzw. äußere, optische Rückführung von reflektiven Komponenten, gelegen über das Fasergitter hinaus, gestört, vorausgesetzt, dass die fremde Rückkopplung geringer als diejenige ist, die durch das Fasergitter geliefert wird.

[0021] Ein Diodenlaser gemäß der vorliegenden Er-

findung unterliegt keinen Übergängen von einzelnen, longitudinalen Laserkavitätsmoden, wie dies in einem freilaufenden Diodenlaser beobachtet wird. Solche Übergänge bewirken große Intensitätsfluktuationen in dem Diodenlaserausgang, verursacht durch ein nebeneinander Auftreten zwischen zwei Moden während des Übergangs. Diese Modenübergänge werden durch Änderungen in dem Laserinjektionsstrom oder der Temperatur zum Beispiel verursacht und sind entgegenwirkend zu der Operation eines optischen Verstärkers oder eines Faserlasers. Der optische Ausgang der Erfindung besteht aus zwanzig oder mehr longitudinalen Moden der externen Kavität. Obwohl sich die Aufteilung einer optischen Energie zwischen den Moden ändern kann, ist eine viel geringere Fluktuation in der Laserintensität, verglichen mit derjenigen in einem freilaufenden Diodenlaser mit Einzel-Mode bzw. Single-Mode, vorhanden.

[0022] Die Ausgangsenergie von dem Ende der Faser des Diodenlasersystems wird nur gering durch das Vorhandensein des Gitters in der Faser beeinflusst. Für schwach reflektierende Gitter wird die Ausgangsenergie von der Faser ungefähr mit $(1\text{-}R_g)$ reduziert, wobei R_g die maximale Reflektivität des Gitters ist. Der Injektionsstrom bei dem Laserschwellwert wird geringfügig durch das Vorhandensein des Gitters reduziert. Dieser Effekt erhöht die Ausgangsenergie von der Faser und wirkt der vorstehend erwähnten Reduktion der Energie entgegen.

[0023] Die Erfindung umfasst auch ein System, bei dem das Faser-Gitter eine wahlweise Länge von dem Diodenlaser ist. Allerdings beeinflusst die Größe dieser Länge die Betriebsweise des Diodenlasers. Um die Beibehaltung des Kohärenz-Kollabierens der Laseremission sicherzustellen, ist das Fasergitter unter einem ausreichenden optischen Abstand von der vorderen Facette des Diodenlasers angeordnet. Dieser Abstand muss länger sein als die Kohärenzlänge des Diodenlasers unter den vorgeschriebenen Bedingungen einer optischen Rückkopplung, so dass die optische Rückkopplung von dem Fasergitter inkohärent bleibt, was demzufolge sicherstellt, dass der Laser in einem Zustand eines Kohärenz-Kollabierens verbleibt. Wenn das Gitter innerhalb ein paar Zentimetern oder weniger des Diodenlasers platziert ist, dann kann die Rückkopplung von dem Fasergitter kohärent zu dem elektrischen Feld innerhalb der Laserkavität sein, und ein Betrieb bei einer sehr schmalen Linienbreite des Diodenlasers wird sich ergeben. Eine solche Emission ist sehr nützlich für einige Anwendungen, ist allerdings viel stabiler für die Anwendung eines Pumpens von Faserverstärkern oder Lasern aufgrund des Anfangs eines Laserkavitäts-Mode-Übergangs-Rauschens, wenn sich die Laserbetriebscharakteristika ändern. Zusätzlich sind noch Übergänge von einem kohärenten zu einem inkohärenten Betrieb des Diodenlasers vorhanden, was Intensitätsfluktuationen bewirkt, die detrimental zu dem Betrieb von optischen Faserverstärkern und Lasern sind.

[0024] In einigen Anwendungen ist es bevorzugt, die Instabilitäten in dem Laser zu vermeiden, die durch zufällige und nicht vorhersagbare Zustände einer Polarisation des reflektiven Lichts in der optischen Faser verursacht werden können. Diese Änderungen sind eine Folge einer Zufallsdoppelbrechung in der Faser, verursacht durch Biegen oder eine zufällige Spannung, induziert in der Faser, wenn sie hergestellt wird. Dementsprechend ist es in solchen Fällen erwünscht, eine optische Faser zu verwenden, die den Zustand einer Polarisation von Licht, das entlang der Faser propagiert, beibehält. Eine solche Faser besitzt einen relativ großen Betrag einer kontrollierten, spannungs-induzierten Doppelbrechung, erzeugt nahe dem Bereich des geführten Modes bei der Herstellung. Diese eine Hoch-Doppelbrechung oder eine Polarisation beibehaltende optische Faser ist kommerziell erhältlich. Eine weitere Spannung, die durch Biegen einer solchen Faser induziert wird, ist wesentlich niedriger als die kontrollierte, innere Doppelbrechung; demzufolge wird der Zustand einer Polarisation des Lichts, das entlang des Bereichs des geführten Modes der optischen Faser propagiert, beibehalten. Obwohl es schwieriger ist, solche Gitter in der eine Polarisation beibehaltenden Faser zu charakterisieren als in einer optischen Faser mit niedriger Doppelbrechung, sind Fasergitter in mehreren, kommerziell erhältlichen, eine Polarisation beibehaltenden optischen Fasern hergestellt worden, und eine solche Faser ist leicht in dem mit Anschlusslitze versehenen Diodenlaser einsetzbar. In der bevorzugten Ausführungsform wurde eine Panda™ Faser von Fujikura Ltd. für die Faser **14** verwendet. Ein Bragg-Faser-Gitter wurde in der Panda-Faser gebildet und wurde mit guten Ergebnissen verwendet.

[0025] In der bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird ein Multi-Quanten-Well-Diodenlaser mit einer gedehnten Schicht aus InGaAs mit der optischen Faser über ein asphärisches Linsensystem mit einer Effizienz von 60% gekoppelt. Der Laser emittiert Licht bei 965-1160 nm typischerweise. Das Fasergitter besitzt eine Reflexionsbandbreite von 0,2-0,3 nm und eine Peak-Reflektivität von ungefähr 3%. Dementsprechend ist die effektive Reflektivität R_{eff}, gesehen durch das Fasergitter, allgemein

$$R_{eff} = \eta^2 R_g$$

wobei η die Kopplungseffektivität des Lichts von dem Einzel-Diodenlaser in die optische Faser ist und R_g die maximale Reflektivität des Fasergitters ist. Für die spezifizierten Werte ergibt dies zum Beispiel $(0,6)^2(3\%) = 1,08\%$. Dies steht mit der vorderen Facette des Diodenlasers im Vergleich, die eine nominale Reflektivität von 4% besitzt. Dieses Niveau einer optischen Rückkopplung ist ausreichend, um das Ko-

härenz-Kollabieren des Diodenlasers beizubehalten, während ermöglicht wird, dass ausreichend Licht durch das Fasergitter hindurchfährt, was demzufolge die verfügbare Energie maximiert. Die Wellenlänge der Gitterreflektivität liegt nominal innerhalb von 10 nm der Wellenlänge des Diodenlasers. Das Gitter ist 1-2 mm in der Länge. Um das Beibehalten des Kohärenz-Kollabierens der Laseremission sicherzustellen, ist das Fasergitter mindestens 50 cm von der vorderen Facette des Diodenlasers angeordnet. Wenn es erwünscht ist, die Kohärenz des Lasersystems beizubehalten, sollte das Fasergitter so nahe wie möglich zu der Austrittsfacette des Diodenlasers angeordnet werden, und mit Sicherheit nicht mehr als ein paar Zentimeter davon entfernt.

[0026] Die Ausgangsenergie von der optischen Faser in der bevorzugten Ausführungsform wird höchstens ein paar Prozent reduziert. Für einen 150 Mw Diodenlaser, anschlusslitzenmäßig mit einer Faser verbunden, die ein Fasergitter mit einer Peak-Reflektivität von 3% enthält, kann die Ausgangsenergie von der Faser 90 Mw übersteigen, was ähnlich zu derjenigen von einer Faser mit keinem Gitter ist, und zwar innerhalb einer experimentellen Unsicherheit.

[0027] Fig. 3 stellt das optische Ausgangsspektrum der vorliegenden Erfindung dar. Wie gesehen werden kann, ist die Kurve B das Ausgangsspektrum eines 980 nm InGaAs mit Anschlusslitze versehenen Diodenlasers ohne eine Fasergitter. Dabei ist eine Rückkopplung von ungefähr 0,5% in den Diodenlaser hinein von einem externen Breitbandreflektor vorhanden, was eine Destabilisierung der Laserwellenlänge verursacht. In der Kurve A arbeitet der Diodenlaser unter denselben Bedingungen, allerdings ist dabei ein Fasergitter mit einer Peak-Reflektivität von 3% und einer Bandbreite von 0,3 nm vorhanden. Die Verbesserung des Ausgangsspektrums ist deutlich. Der Ausgang der Erfindung ist stabil gerade dann, wenn der Injektionsstrom oder die Temperatur der Laserdiode wesentlich verändert werden. Dementsprechend ist keine Kontrolle der Laserdiodentemperatur in einigen Fällen erforderlich, was das Erfordernis einer Laserkühleinrichtung und der zugeordneten Steuerelektroniken eliminiert. Das Energieerfordernis, um die Lasertemperatur zu kontrollieren, wird auch geeignet reduziert.

[0028] Es sollte nun ersichtlich werden, dass die vorliegende Erfindung eine hoch stabilisierte Quelle einer optischen Hochenergiestrahlung schafft, die die Charakteristika und die Stabilität von optischen Verstärkern und Lasern, die mit einer solchen Quelle gepumpt werden müssen, verbessern wird.

[0029] Obwohl die bevorzugte Ausführungsform in Bezug auf die Verwendung in Verbindung mit einem Faserverstärker beschrieben worden ist, wird für Fachleute auf dem betreffenden Fachgebiet ersichtlich werden, dass sie auch in Verbindung mit einem Faserlaser verwendet werden könnte, und dass andere Modifikationen und Variationen in Bezug auf die Erfindung vorgenommen werden können, ohne den Schutzumfang davon zu verlassen.

Patentansprüche

1. Stabilisierte Laserquelle zum Pumpen eines Faserverstärkers, die umfasst:
eine Multilongitudinal-Mode-Laserdiode (**26**), die Licht im Wesentlichen in einer einzelnen räumliche Mode emittiert und einen optischen Resonator, eine Ausgangsfacette und eine Verstärkungsbandbreite hat;
eine optische Faser (**32**), die an einem Ende optisch mit der Ausgangsfacette gekoppelt ist, wobei die optische Faser so eingerichtet ist, dass sie mit dem Faserverstärker verbunden werden kann; und
ein Faser-Bragg-Gitter (**34**) in der optischen Faser (**32**) zum Erzeugen von Rückkopplung zu der Multilongitudinal-Mode-Laserdiode (**26**);
dadurch gekennzeichnet, dass das Faser-Bragg-Gitter (**34**) eine vordefinierte Gitterbandbreite mit einer Bandbreitenmitte innerhalb der Verstärkungs-Bandbreite der Multilongitudinal-Mode-Laserdiode (**26**) hat, um zu bewirken, dass die Multilongitudinal-Mode-Laserdiode (**26**) innerhalb der vordefinierten Gitter-Bandbreite mit mehreren Wellenlängen arbeitet, um so Wellenlängen-Schwankungen zu reduzieren, die durch veränderte Betriebsbedingungen der Multilongitudinal-Mode-Laserdiode (**26**) verursacht werden.

2. Stabilisierte Laserquelle nach Anspruch 1, wobei das Fasergitter (**34**) eine Gitterbandbreite im Bereich zwischen ungefähr 0,05 nm und ungefähr 2 nm hat.

3. Stabilisierte Laserquelle nach Anspruch 1 oder 2, wobei sich das Fasergitter (**34**) in einem optischen Abstand zu der Ausgangsfacette der Multilongitudinal-Mode-Laserdiode (**26**) befindet, der erheblich länger ist als die Kohärenzlänge der Multilongitudinal-Mode-Laserdiode (**26**).

4. Stabilisierte Laserquelle nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei das Gitter (**34**) wenigstens 50 cm von der Ausgangsfacette der Multilongitudinal-Mode-Laserdiode (**26**) entfernt ist.

5. Stabilisierte Laserquelle nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei das Fasergitter (**34**) und die Multilongitudinal-Mode-Laserdiode (**26**) um wenige 100 Mikrometer bis mehrere Kilometer getrennt sind.

6. Stabilisierte Laserquelle nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei Emission (**28**) der Multilongitudinal-Mode-Laserdiode (**26**) mit einem Fokussiersystem (**30**) in die Faser (**32**) geleitet wird.

7. Stabilisierte Laserquelle nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei die Breitband-Rückkopplung von dem optischen Resonator des Diodenlasers (**26**) größer ist als die Rückkopplung von dem Faser-Gitter (**34**).

8. Stabilisierte Laserquelle nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei ein Reflexionsvermögen des Faser-Gitters (**34**) im Wesentlichen genauso groß ist wie oder geringer als ein Reflexionsvermögen der Ausgangsfacette.

9. Faserverstärkersystem, das umfasst:
einen dotierten Faserverstärker mit einem Absorptionsband; und
eine Pumpquelle, die eine Emissionsbandbreite hat, die im Wesentlichen das Absorptionsband umfasst,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Pumpquelle eine stabilisierte Laserquelle nach einem der Ansprüche 1 bis 8 umfasst.

10. Faserverstärkersystem nach Anspruch 9, wobei der dotierte Faserverstärker eine mit Erbium dotierte Faser umfasst.

11. Faser-Laser, der umfasst:
eine dotierte Faser;
eine Reflektoreinrichtung, die einen Laserresonator bildet, wobei die dotierte Faser dazwischen angeordnet ist, und
eine Pumpquelle,
dadurch gekennzeichnet, dass:
die Pumpquelle eine stabilisierte Laserquelle nach einem der Ansprüche 1 bis 8 umfasst.

12. Verfahren zum Betreiben eines Faserverstärkers, wobei das Verfahren umfasst:
a) Bereitstellen eines Faserverstärkers mit einer dotierten Faser und einem Pump-Eingang, wobei der Faserverstärker ein Absorptionsband hat;
b) Bereitstellen einer stabilisierten Pump-Laserquelle, die Licht im Wesentlichen in einer einzelnen räumlichen Mode emittiert, wobei die Pump-Laserquelle umfasst:
eine Multilongitudinal-Mode-Laserdiode (**26**), die einen optischen Resonator, eine Ausgangsfacette und eine Verstärkungsbandbreite hat;
eine optische Faser (**32**), die an einem Ende optisch mit der Ausgangsfacette der Laserdiode gekoppelt ist; und
ein Faser-Bragg-Gitter (**34**) in der optischen Faser (**32**), um Rückkopplung zu der Multilongitudinal-Mode-Laserdiode (**26**) bereitzustellen, wobei das Faser-Bragg-Gitter (**34**) eine vordefinierte Gitter-Bandbreite mit einer Bandbreitenmitte innerhalb der Verstärkungsbandbreite der Multilongitudinal-Mode-Laserdiode (**26**) hat, um zu bewirken, dass die Multilongitudinal-Mode-Laserdiode (**26**) innerhalb der vordefinierten Gitter-Bandbreite mit mehreren Wellenlängen arbeitet, um so Wellenlängenschwankungen zu reduzieren, die durch veränderte Betriebsbedingungen der Multilongitudinal-Mode-Laserdiode (**26**) verursacht werden; und
c) Koppeln der optischen Faser (**32**) mit dem Pumpeingang,
wobei Longitudinalmoden-Springen der Pump-Laserquelle auf die Gitter-Bandbreite beschränkt ist, so dass Intensitätsrauschen des Faserverstärkers aufgrund veränderter Betriebsbedingungen der Pump-Laserquelle im Wesentlichen beseitigt wird.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

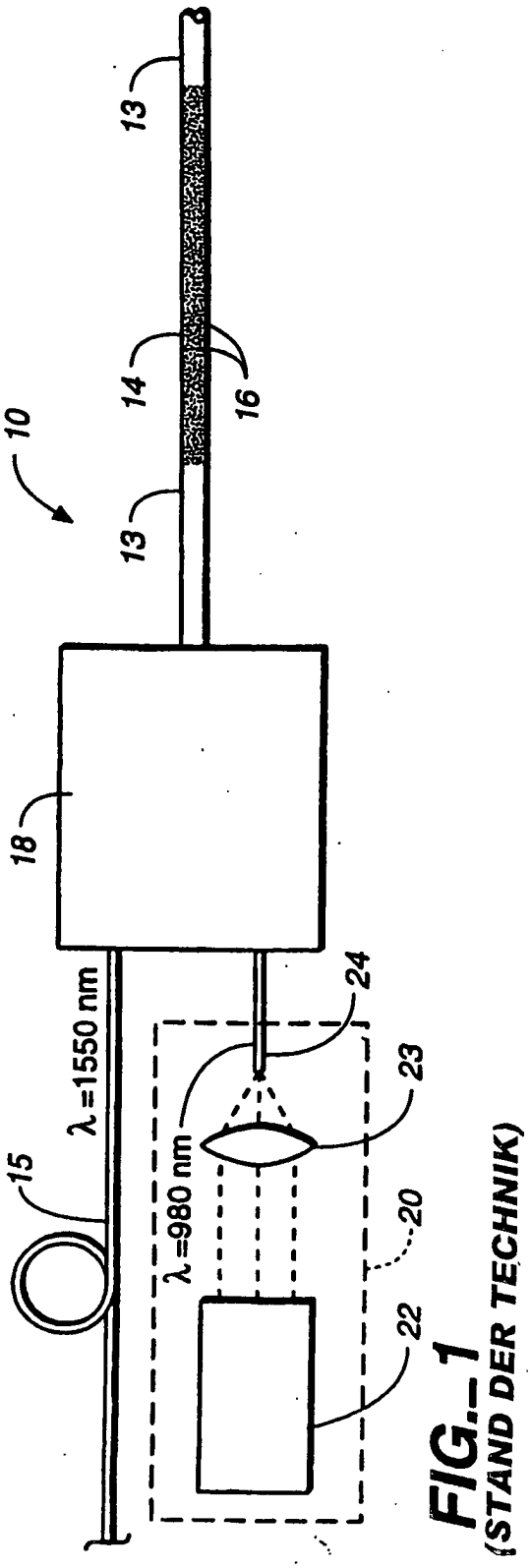

FIG._1
(STAND DER TECHNIK)

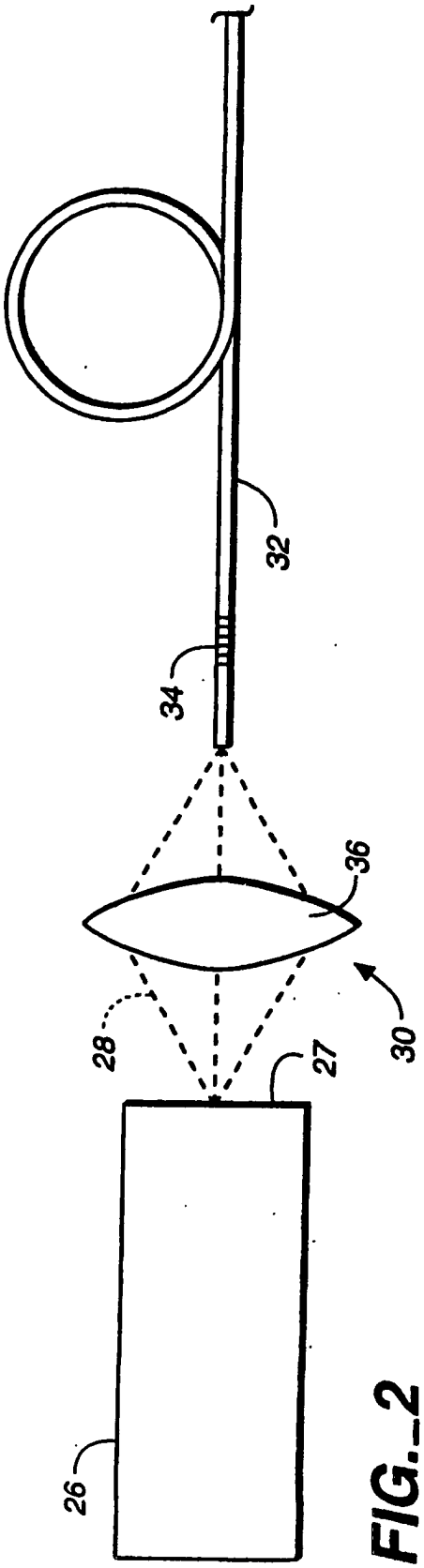

FIG._2

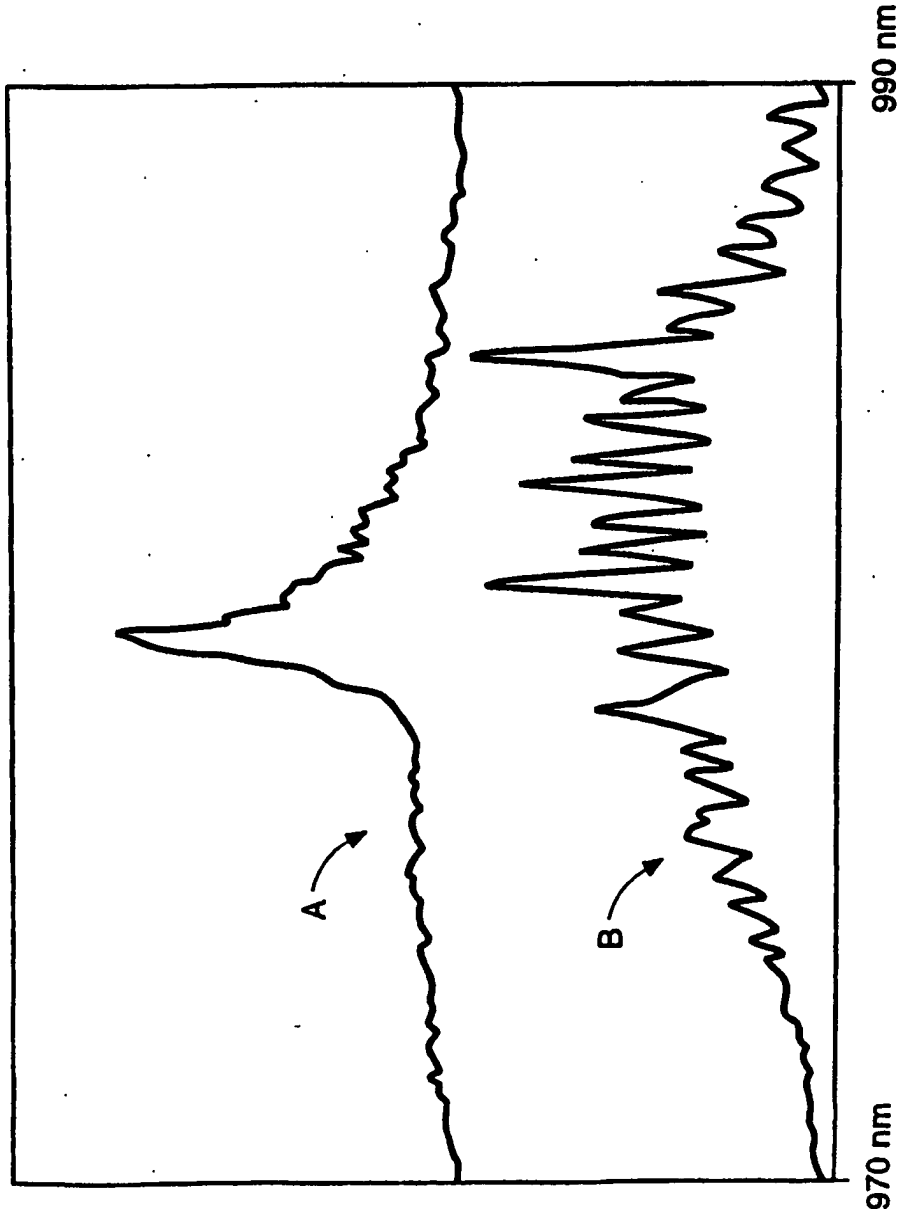

FIG._3