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

(10) **DE 698 15 219 T2** 2004.04.29

(12) # Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 0 893 719 B1**
(21) Deutsches Aktenzeichen: **698 15 219.0**
(96) Europäisches Aktenzeichen: **98 305 583.1**
(96) Europäischer Anmeldetag: **14.07.1998**
(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **27.01.1999**
(97) Veröffentlichungstag der Patenterteilung beim EPA: **04.06.2003**
(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **29.04.2004**

(51) Int Cl.[7]: **G02B 6/42**
G02B 6/30, H01S 3/0941

(30) Unionspriorität:
897274 **21.07.1997** **US**

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

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

(74) Vertreter:
derzeit kein Vertreter bestellt

(72) Erfinder:
Henry, Charles Howard, Skillman, US; Laskowski, Edward John, Scotch Plains, US; Inniss, Daryl, Alpharetta, US; Milbrodt, Michele Ann, Macungie, US

(54) Bezeichnung: **Gerät für die Anregung eines optischen Faserlasers**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung

ERFINDUNGSGEBIET

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vorrichtung zum Pumpen optischer Faserlaser und insbesondere ein Bauelement zum Koppeln von Licht von mehreren Quellen in derartige Laser. Die Vorrichtung eignet sich insbesondere zum Verstärken optischer Kommunikationssignale.

ALLGEMEINER STAND DER TECHNIK

[0002] Ein typisches optisches Kommunikationssystem besteht aus einer Quelle von optischen Eingangssignalen, einem Netz von an die Quelle angekoppelten optischen Wellenleitern, einem oder mehreren optisch verstärkten Bauelementen entlang der Wellenleiter und einem oder mehreren optischen Empfängern.

[0003] Die Wellenleiter sind in der Regel optische Fasern – einen kleinen Durchmesser aufweisende runde Wellenleiter, die durch einen Kern mit einem ersten Brechungsindex gekennzeichnet sind, der von einem Cladding mit einem zweiten (geringeren) Brechungsindex umgeben ist. Typische Telekommunikationsfasern werden aus hochreinem Siliziumdioxid hergestellt und weisen geringfügige Konzentrationen an Dotierstoffen auf, um die Brechungsindizes zu steuern. Sie können ein optisches Signal übertragen, das eine große Menge an Informationen enthält.

[0004] Für Langstreckenanwendungen, wie etwa ein Unterseekabel und viele terrestrische Anwendungen, muß das übertragene Signal periodisch verstärkt werden, etwa indem es durch einen seltenerddotierten Faserverstärker geschickt wird. Derartige Verstärker bestehen in der Regel aus einer kurzen Länge (in der Regel 30 m) optischer Faser, die mit einem kleinen Prozentsatz an Seltenerdelementen wie etwa Er dotiert ist. Diese Fasern sind, nachdem sie Licht einer geeigneten Pumpwellenlänge (kürzer als die übertragene Wellenlänge) ausgesetzt worden sind, zu stimulierter Emission bei der Signalwellenlänge in der Lage. Typische Kommunikationssysteme verwenden Signalwellenlängen von etwa 1 550 nm und bei 980 oder 1 440 nm gepumpte Er-Faserverstärker.

[0005] Verstärkende Anordnungen mit einem kompakten, effizienten Pumpen sind bei der optischen Kommunikation derzeitig ein Problem. Allgemein ist die Verstärkung um so größer, je höher der Pegel der Pumpleistung. Raman-Verstärkung beispielsweise erfordert viel mehr Pumpleistung, als von einzelnen Halbleiterlaserpumpen zugeführt werden kann. Um ausreichend Pumpleistung zu liefern, werden Arrays von Pumpen verwendet. Zu erwartende Anwendungen werden so viel Pumpleistung benötigen, wie kompakt erzeugt und effizient in die Verstärkerkerne eingekoppelt werden kann. Die konventionellen Pumpquellen sind Arrays aus Halbleiterlaserdioden. Die Ausgabe jeder Diode ist jedoch begrenzt, und es ist schwierig, die Ausgaben zahlreicher Dioden zu vereinigen und effizient in den winzigen Kern einer verstärkenden Faser einzukoppeln.

[0006] In DE 42 06 358 C1 wird eine optische Koppelanordnung zum Koppeln mehrerer koplanarer Lichtquellen unter Verwendung planarer Wellenleitersegmente beschrieben, die durch optische Gitter zwischen mehrere Ebenen gekoppelt sind.

[0007] Im US-Patent Nr. 5,268,978 wird eine Vorrichtung zum Vereinigen der Ausgaben zahlreicher Dioden beschrieben. Im wesentlichen weisen mehrere Fasern einen Satz von Enden auf, die in Registrierung mit den Dioden entlang einer Zylinderlinse horizontal ausgerichtet sind, und die anderen Enden sind vertikal gestapelt und auf einen Faserlaser mit einem großen Kern fokussiert. Bei diesem Ansatz besteht die Schwierigkeit für Kommunikationsanwendungen darin, daß es inakzeptabel teuer und zeitraubend wäre, die in dieser Vorrichtung verwendeten zahlreichen kleinen Komponenten präzise zusammenzubauen und auszurichten. Zudem sind die auf diese Weise hergestellten, einen großen Kern aufweisenden Mehrmodenlaser für Kommunikationsanwendungen zu groß.

[0008] Aus US-Patent 5,636,298 ist ein integriertes planares Wellenleiterbauelement zum Vereinigen der Ausgaben mehrerer optischer Quellen zu einer Hochleistungsausgabe bekannt. Das Bauelement umfaßt einen Stapel mehrerer planarer Schichten auf einem Substrat, wobei jede Schicht mehrere integrierte optische Wellenleiter umfaßt. Die Eingangsenden der Wellenleiter aller Schichten sind in einem zweidimensionalen Array auf der Eingangsseite des Bauelements angeordnet, um an die Lichtquellen angekoppelt zu werden. Die Wellenleiter in jeder Schicht vereinigen sich zwischen der Eingangsseite und der Ausgangsseite des Bauelements und verjüngen sich in Richtung der Ausgangsseite. Die Ausgangsenden der vereinigten Wellenleiter sind seitlich und vertikal aufeinander ausgerichtet.

[0009] Dementsprechend besteht ein Bedarf an einer verbesserten Vorrichtung zum Pumpen eines optischen Faserlasers.

KURZE DARSTELLUNG DER ERFINDUNG

[0010] Die vorliegende Erfindung stellt folgendes bereit: einen Cladding-gepumpten optischen Faserlaser, der eine Länge einer Cladding-gepumpten Faser, mehrere Lichtquellen zum optischen Pumpen der Cladding-gepumpten Faser und ein von einem Substrat gestütztes Wellenleiterbauelement enthält, wobei das Bauelement folgendes umfaßt:

mehrere optische Wellenleiter zum Ankoppeln an jeweilige Lichtquellen an einer Eingabekante des Bauelements und zum Ankoppeln an die Cladding-gepumpte Faser an einer Ausgabekante, wobei jeder Wellenleiter eine Schicht des Bauelements belegt und folgendes umfaßt:

mehrere erste Endgebiete zum Ankoppeln an jeweilige Lichtquellen an der Eingabekante des Bauelements, wobei sich die ersten Endgebiete in jeder Schicht in einem Gebiet zwischen der Eingabekante und der Ausgabekante vereinigen und sich ihre Breite in Richtung eines zweiten Endgebiets an der Ausgabekante verjüngen,
wobei jeweilige zweite Endgebiete der Wellenleiter seitlich an der Ausgabekante des Bauelements ausgerichtet sind, wobei die Wellenleiter in Form planarer integrierter Wellenleiterkomponenten vorliegen, und
jeweilige Mehrzahlen erster Endgebiete, wobei jede derartige Mehrzahl sich innerhalb einer einzelnen wellenleitenden Schicht befindet und die Mehrzahlen an der Eingabekante des Bauelements seitlich und vertikal beabstandet sind, dadurch gekennzeichnet, daß der Abstand derart ist, daß die ersten Endgebiete in jeder Schicht von den ersten Endgebieten in allen anderen Schichten seitlich beabstandet sind.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0011] Die Vorteile, das Wesen und verschiedene zusätzliche Merkmale der Erfindung werden deutlicher bei Betrachtung der veranschaulichenden Ausführungsformen, die nun in Verbindung mit den beiliegenden Zeichnungen ausführlich beschrieben werden. In den Zeichnungen zeigen:
[0012] **Fig.** 1A, 1B und 1C Draufsichten und gegenüberliegende Stirnansichten eines vereinigenden Elements zum Koppeln von Licht von einem Array von Quellen in einen optischen Lasen.
[0013] **Fig.** 2A eine Perspektivansicht eines bevorzugten optischen Kombinators;
[0014] **Fig.** 2B eine vergrößerte Stirnansicht des Kombinators von **Fig.** 2A;
[0015] **Fig.** 3 eine schematische Draufsicht auf einen Cladding-gepumpten Faserlaser unter Verwendung des Kombinators von **Fig.** 2, um mehrere Lichtquellen zu koppeln;
[0016] **Fig.** 4 eine Stirnansicht einer modifizierten Form des optischen Kombinators von **Fig.** 2, die einen Ausgabestapel in Relation zu einem ausgerichteten Faserlaser zeigt.
[0017] **Fig.** 5 die Verwendung des Cladding-gepumpten Faserlasers von **Fig.** 3, um einen Faserverstärker zu pumpen, und
[0018] **Fig.** 6 die Verwendung des Cladding-gepumpten Faserlasers von **Fig.** 3, um einen kaskadierten Raman-Hohlraum zu pumpen.
[0019] Es versteht sich, daß diese Zeichnungen nur die Konzepte der Erfindung veranschaulichen sollen und nicht maßstabsgetreu sind.

AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG

[0020] Unter Bezugnahme auf die Zeichnungen ist **Fig.** 1A eine Draufsicht auf ein vereinigendes Element, das sich als Komponente in dem bevorzugten optischen Kombinator eignet. Im Grunde umfaßt das vereinigende Element **9** ein Substrat **10**, das eine planare optische Wellenleiterstruktur **11** enthält, die zu einem Muster konfiguriert ist, bei dem sich mehrere Eingangswellenleiter **12** (in diesem Fall drei) in einem dazwischenliegenden Konvergenzgebiet **13** vereinigen. Das Konvergenzgebiet wiederum verjüngt sich zu einem einzelnen Ausgangswellenleiter **14**. Falls die Verjüngung graduell ist (über **10** Wellenlängen des übertragenen Lichts), liegt im Ausgang ein wesentlicher Teil des Lichts von jedem Eingangswellenleiter vor. Somit wird Licht von einem Array von Lichtquellen (nicht gezeigt), das in Eingangswellenleiter **12** eingekoppelt wird, am Ausgang **14** vereinigt.
[0021] Wie man in **Fig.** 1B besser erkennen kann, kann das Substrat **10** ein Chip aus monokristallinem Silizium **15** mit einer Siliziumoxid-Basisschicht **16** sein. Die Eingangswellenleiter **12** bildenden Kerne können mit Phosphor dotiertes Siliziumdioxid sein, und die Kerne sind mit einer Schicht aus Siliziumdioxid oder Phosphor- und Bor-dotiertem Siliziumdioxid bedeckt, die als oberes Cladding **17** wirkt. Die Basisschicht weist in der Regel eine Dicke im Bereich von 10–20 Mikrometern auf. Die Kernschicht weist eine Dicke im Bereich von 1– 8 Mikrometern auf, und die Claddingdicke beträgt in der Regel 7–20 Mikrometer. Beim Substrat **10** kann es sich aber auch um Quarzglas handeln.
[0022] Zum Vereinigen von Licht von lichtemittierenden Halbleiterdioden können die Eingangskerne eine typische Dicke von 1 Mikrometer und eine Breite von 100 Mikrometern aufweisen. Das Konvergenzgebiet kann anfangs eine Breite aufweisen, die etwa der Summe der Breiten der Eingangswellenleiter nahekommt, z. B. 300 Mikrometer, und es verjüngt sich zu einer Ausgangsbreite (**14** in **Fig.** 1C), die sich der des inneren Cladding der zu pumpenden Faser annähert. Mit der Verjüngung geht eine Vergrößerung der Winkelausbreitung des Lichts einher, die möglicherweise den Ausgangswellenleiterakzeptanzwinkel (spezifiziert durch die numerische Apertur) nicht übersteigt.
[0023] Die Struktur wird vorteilhafterweise so hergestellt, wie es in C. H. Henry et al., „Glass Waveguides on Silicon for Hybrid Optical Packaging", 7 J. Lightwave Techn., S. 1530–1539 (1989) beschrieben ist. Im wesentlichen wird das Siliziumsubstrat **15** mit einer durch Hochdruckdampfoxidierung aufgewachsenen Basisschicht **16** versehen. Die Kernschicht kann unter Verwendung von LPCVD auf dem Oxid abgeschieden und etwa durch RIE zur gewünschten Wellenleiterkonfiguration geätzt werden. Das Kernglas wird dann getempert, und das Claddingglas wird darauf abgeschieden.
[0024] Das vereinigende Element von **Fig.** 1 verwendet, um dies konkret zu illustrieren, drei Eingangswellenleiter. Es ist klar, daß die Zahl der Eingangswellenleiter größer oder kleiner sein kann. Eine größere Zahl Eingangswellenleiter würde längere Verjüngungslängen und eine größere numerische Apertur des Ausgangswellenleiters erfordern, um

Verluste im annehmbaren Rahmen zu halten.

[0025] Gemäß der bevorzugten Ausführungsform der Erfindung werden mehrere vereinigende Elemente, die den in **Fig.** 1 gezeigten ähnlich sind, in übereinanderliegenden Schichten hergestellt, und ihre Ausgänge werden vertikal ausgerichtet, um in einen optischer Faserlaser eingekoppelt zu werden. Jede Schicht kann photolithographisch definiert werden. **Fig.** 2A ist eine Perspektivansicht eines derartigen optischen Kombinators **19**, der vereinigende Elemente in drei aufeinanderfolgenden Schichten umfaßt. Die Eingangswellenleiterenden **12A**, **12B**, **12C** sind seitlich versetzt, um eine Kopplung mit mehreren Lichtquellenarrays zu gestatten, und die Ausgangswellenleiterenden **14A**, **14B**, **14C** sind zur Ankopplung mit einem einzelnen Faserlaser vertikal ausgerichtet.

[0026] **Fig.** 2B ist eine vergrößerte Stirnansicht des Bauelements von **Fig.** 2A und zeigt die vertikale Ausrichtung der Ausgangswellenleiterenden **14A**, **14B** und **14C**.

[0027] **Fig.** 3 ist eine schematische Draufsicht auf das Bauelement von **Fig.** 2, die veranschaulicht, wie der Kombinator an mehrere Lichtquellen **20**, **21**, **22** angekoppelt ist. Bei typischen Ausführungsformen ist jede Lichtquelle, z. B. **20**, ein lineares Array mehrerer Quellen, wie etwa Laserdiodenarrays. Die mehreren Quellen im linearen Array können auf die mehreren Enden **12A** eines jeweiligen Wellenleiters ausgerichtet sein. Zum Koppeln von Licht in den Faserlaser **21** sind die mehreren Wellenleiterausgänge **14A**, **14B**, **14C** vertikal ausgerichtet.

[0028] Der bevorzugte Faserlaser ist eine seltenerddotierte Cladding-gepumpte Faser. Falls sie einen optischen Rückkopplungshohlraum enthält, wie etwa ein Paar Bragg-Reflektoren, wird sie zu einem optischen Oszillator, mit dem wiederum ein Faserverstärker gepumpt werden kann.

[0029] Um das Koppeln mit den Lichtquellen zu erleichtern, kann die Eingabekante des Substrats mit Plattformen in entsprechenden Höhen versehen sein, so daß Lichtquellenarrays vertikal auf die Eingangswellenleiter ausgerichtet sind. Analog kann die Ausgabekante mit einer V-Nut versehen sein, um den Faserlaser **21** auf den Stapel aus Ausgangswellenleitern **14A**, **14B**, **14C** auszurichten.

[0030] Wenngleich diese Struktur mit herkömmlicher SOB-Technologie (Silicon Optical Bench) hergestellt werden kann, wie sie in dem obenerwähnten Artikel von Henry et al. beschrieben ist, wird in Betracht gezogen, daß Gedotiertes Siliziumdioxid (Δ bis zm 3.5% n) vorzuziehen wäre, damit das Kernmaterial besser zu dem Laser paßt. Es wird weiterhin in Betracht gezogen, daß die Wellenleiterkerne bevorzugt ausgebildet werden könnten, indem in eine planarisierte Basis- oder Claddingschicht ein entsprechend dimensioniertes Nutenmuster geätzt, die Nut mit Ge-dotiertem Kernglas gefüllt, planarisiert und eine neue Kernschicht aufgetragen wird.

[0031] Das Wellenleiterausgangsende **14** ist in der Regel genauso breit wie das Wellenleitereingangsende **12**, doch ist dies nicht erforderlich. **Fig.** 4 zeigt, daß die Breiten der aufeinanderfolgenden Ausgangswellenleiter **14A**, **14B**, **14C** so variiert werden können, daß sie von den Abmessungen her der Laserfaser **21** entsprechen. (Bei einem Cladding-gepumpten Faserlaser entsprechen die Wellenleiter im Idealfall dem Querschnitt des inneren Cladding.) Es sollte außerdem klar sein, daß im optischen Kombinator mehr oder weniger als drei aufeinanderfolgende Schichten vereinigender Elemente verwendet werden können. Wenngleich jeder Wellenleiter mit drei ausgerichteten Enden **12** gezeigt ist, können mehr oder weniger Enden verwendet werden.

[0032] **Fig.** 5 ist ein Schemadiagramm, das einen bevorzugten Einsatz des optischen Kombinators von **Fig.** 2 in einem faseroptischen Kommunikationssystem **40** veranschaulicht. Im Grunde wird der Kombinator **19** dazu verwendet, mehrere Lichtquellen L_1, L_2 ..., L_n zu vereinigen, um das Cladding eines Faserlasers **21** zu pumpen. Der Cladding-gepumpte Faserlaser wird wiederum zum Pumpen des Signalverstärkers **42** verwendet. Die Pumplaserleistung und ein optisches Signal von der Signalquelle **43** werden von einem Multiplexer **44** vereinigt und durch den Signalverstärker (in der Regel eine Er-Faser) ausgebreitet, um eine verstärkte Signalausgabe zu erhalten. Bei typischen Systemen beträgt die Signalwellenlänge 1 550 nm und die Pumpwellenlänge **980** oder 1 440 nm.

[0033] **Fig.** 6 ist eine alternative Verwendung, ähnlich der von **Fig.** 5, wobei mit der Ausgabe des Cladding-gepumpten Faserlasers **21** ein kaskadierter Raman-Hohlraum **50** gepumpt wird. Mit der Ausgabe des Raman-Hohlraums wiederum wird der Fasersignalverstärker **42** gepumpt. Das Signal von der Quelle **43** kann durch den Multiplexer **44** mit der Pumpleistung vereinigt werden. Bei typischen Systemen beträgt die Claddingfaser-Wellenlänge 1 060 nm, die Ausgabe des Raman-Hohlraums 1 480 nm und die Signalwellenlänge 1 550 nm.

[0034] Richtig gesehen ist somit zu erkennen, daß es sich bei der Erfindung um einen Cladding-gepumpten optischen Faserlaser handelt, der eine Länge einer Cladding-gepumpten Faser, mehrere Lichtquellen zum optischen Pumpen der Faser und optischen Koppeln der Lichtquellen an die Faser handelt, wobei ein auf einem Substrat gestütztes planares integriertes Wellenleiterbauelement ein Substrat mit mindestens zwei Kanten und mehrere auf dem Substrat gestützte planare Wellenleiter umfaßt, wobei jeder Wellenleiter mehrere erstes Ende zum Koppeln an eine jeweilige Lichtquelle und ein zweites Ende zum Koppeln an die Cladding-gepumpte Faser aufweist. Die jeweiligen ersten Enden der planaren integrierten Wellenleiter sind entlang einer ersten Kante des Substrats seitlich und vertikal beabstandet, und ihre zweiten Enden sind an einer zweiten Kante des Substrats seitlich ausgerichtet.

[0035] Bei spezifischen Ausführungsformen besteht

jede Lichtquelle aus einem Array mehrerer Quellen, und jeder planare Wellenleiter besteht aus einem Array von beabstandeten ersten Enden zum Koppeln an jeweilige Quellen eines Quellenarrays. Der bevorzugte Faserlaser ist eine Cladding-gepumpte Faser, die einen seltenerddotierten Kern umfaßt. Der Laser kann einen optischen Rückkopplungshohlraum enthalten und entweder direkt oder über einen kaskadierten Raman-Hohlraum als eine pumpende Quelle an einen seltenerddotierten Faserverstärker gekoppelt sein.

Patentansprüche

1. Cladding-gepumpter optischer Faserlaser, der eine Länge einer Cladding-gepumpten Faser (**21**), mehrere Lichtquellen (**20**) zum optischen Pumpen der Cladding-gepumpten Faser und ein von einem Substrat gestütztes Wellenleiterbauelement (**11**) enthält, wobei das Bauelement (**11**) folgendes umfaßt:
mehrere optische Wellenleiter zum Ankoppeln an jeweilige Lichtquellen (**20**) an einer Eingabekante des Bauelements und zum Ankoppeln an die Cladding-gepumpte Faser (**21**) an einer Ausgabekante, wobei jeder Wellenleiter eine Schicht des Bauelements belegt und folgendes umfaßt:
mehrere erste Endgebiete (**12A**) zum Ankoppeln an jeweilige Lichtquellen (**20A**) an der Eingabekante des Bauelements **11**), wobei sich die ersten Endgebiete in jeder Schicht in einem Gebiet (**13**) zwischen der Eingabekante und der Ausgabekante vereinigen und sich ihre Breite in Richtung eines zweiten Endgebiets (**14**) an der Ausgabekante verjüngen,
wobei jeweilige zweite Endgebiete (**14A**, **14B**, **14C**) der Wellenleiter seitlich an der Ausgabekante des Bauelements ausgerichtet sind, wobei die Wellenleiter in Form planarer integrierter Wellenleiterkomponenten vorliegen, und
jeweilige Mehrzahlen erster Endgebiete (**12A**, **12B**, **12C**), wobei jede derartige Mehrzahl (**12A**) sich innerhalb einer einzelnen wellenleitenden Schicht befindet und die Mehrzahlen an der Eingabekante des Bauelements seitlich und vertikal beabstandet sind, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Abstand derart ist, daß die ersten Endgebiete (**12A**) in jeder Schicht von den ersten Endgebieten (**12B**, **12C**) in allen anderen Schichten seitlich beabstandet sind.

2. Laser nach Anspruch 1, wobei jede Lichtquelle (**20A**, **20B**, **20C**) ein lineares Array mehrerer Quellen umfaßt und jeder Wellenleiter ein lineares Array (**12A**, **12B**, **12C**) koplanarer Eingabeenden umfaßt, die zur Ankopplung an jeweilige Quellen eines jeweiligen linearen Arrays beabstandet sind.

3. Laser nach Anspruch 1, wobei die Cladding-gepumpte Faser (**21**) einen seltenerddotierten Faserkern umfaßt und einen optischen Rückkopplungshohlraum enthält.

4. Laser nach Anspruch 1 oder 3, wobei ein erstes Ende der Cladding-gepumpten Faser (**21**) an das Wellenleiterbauelement (**11**) und ein zweites Ende an einen seltenerddotierten Faserverstärker (**42**) zum Pumpen des Verstärkers gekoppelt ist.

5. Laser nach Anspruch 1, wobei ein erstes Ende der Cladding-gepumpten Faser (**21**) an das Wellenleiterbauelement (**11**) und ein zweites Ende an einen kaskadierten Raman-Hohlraum (**50**) zum Pumpen des Hohlraums gekoppelt ist.

6. Laser nach Anspruch 1, wobei das von einem Substrat gestützte Wellenleiterbauelement (**11**) ein einkristallines Siliziumsubstrat (**10**) umfaßt.

7. Laser nach Anspruch 1, wobei die Lichtquellen (**20**) Laserdiodenarrays umfassen.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG. 1A

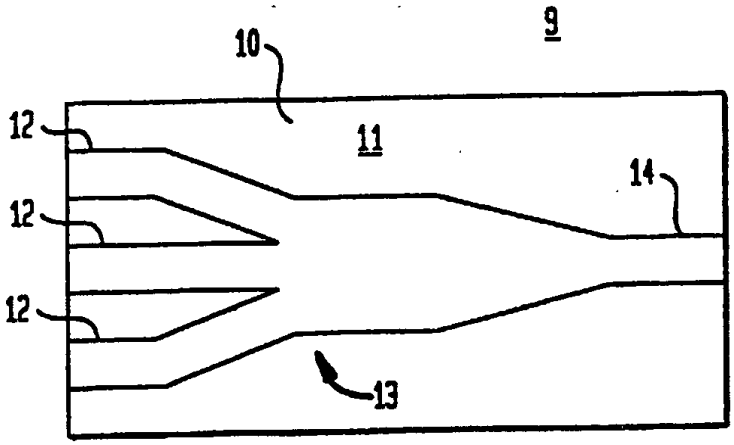

FIG. 1B

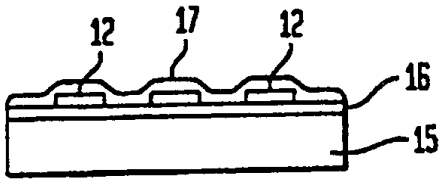

FIG. 1C

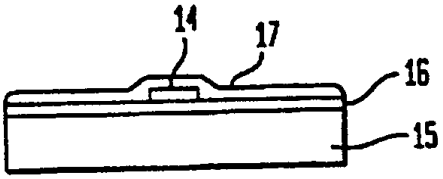

FIG. 3

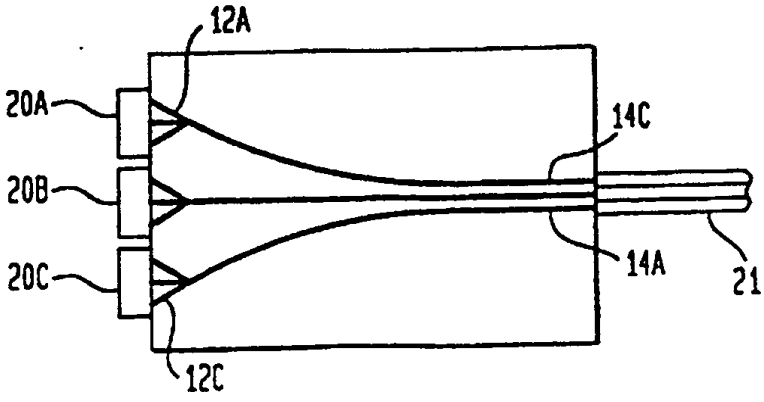

FIG. 2A

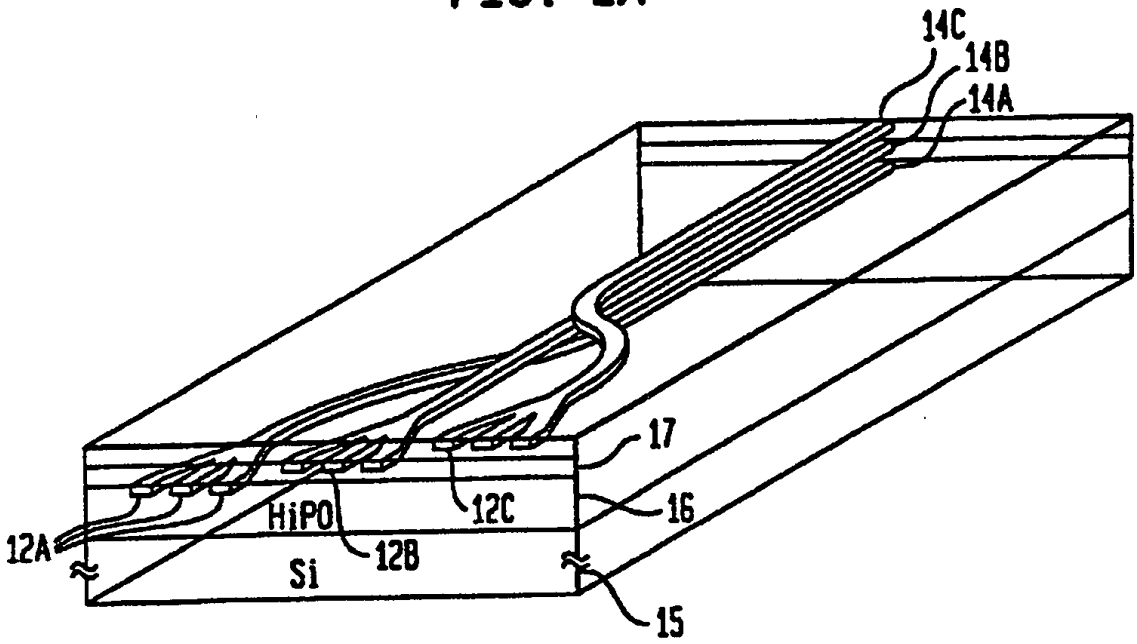

FIG. 2B

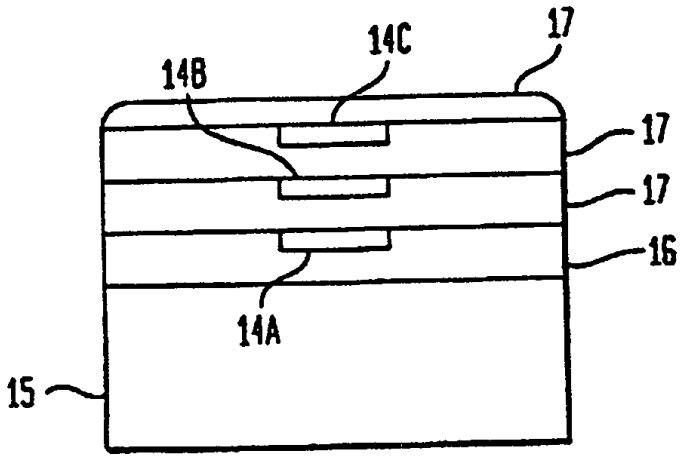

FIG. 4

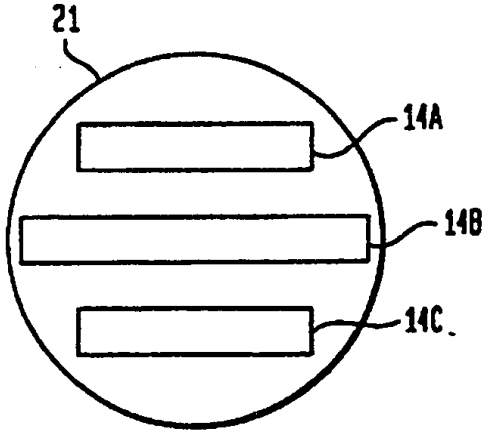

FIG. 5

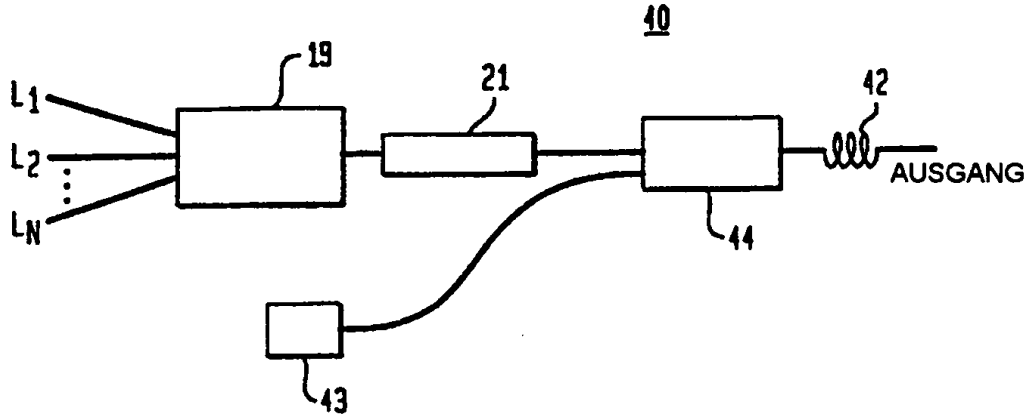

FIG. 6

