



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2004 053 136 A1 2006.05.11**

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2004 053 136.6**

(22) Anmeldetag: **29.10.2004**

(43) Offenlegungstag: **11.05.2006**

(51) Int Cl.⁸: **H01S 3/081 (2006.01)**

H01S 5/14 (2006.01)

H01S 5/06 (2006.01)

H01S 3/10 (2006.01)

(71) Anmelder:
Raab, Volker, Dr., 14469 Potsdam, DE

(72) Erfinder:
Antrag auf Nichtnennung

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

DE 42 28 541 C1

DE 31 31 232 C2

US2004/00 47 375 A1

WO 03/1 05 293 A1

**US-Z.: IEEE Journ. Quant. Electron. 32, No.6,
June 1996, S.996-1008;**

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

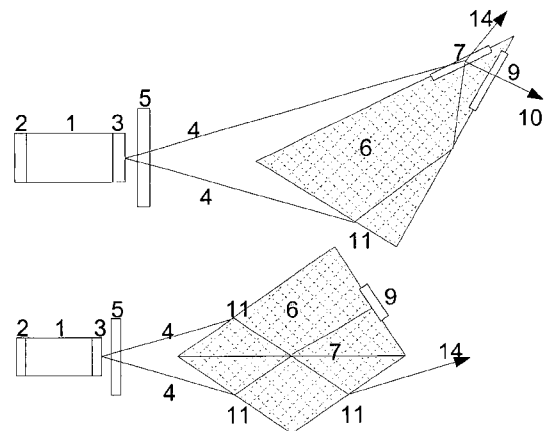
(54) Bezeichnung: **Laserresonator mit internem Strahlteiler**

(57) Zusammenfassung: Ein einfacher und kompakter Laserresonator wird vorgestellt, mit dem es möglich ist, ein Gainelement, vorzugsweise einen Halbleiterlaser, der mindestens zwei Emissionsrichtungen besitzt, symmetrisiert zu betreiben. Dadurch lassen sich höhere Ausgangsleistungen und/oder bessere Strahlqualität und/oder bessere spektrale Eigenschaften erzielen.

Der Laserresonator ist sehr kompakt und besteht im Idealfall aus lediglich drei Elementen: dem laseraktiven Medium (1), einer zylindrischen Kollimationslinse (5) und einem an den Winkel zwischen den beiden Strahlen (4) angepassten Prisma (6), das mit einem Strahlteiler (7) und einem Rückkoppelement (9) beschichtet ist (vgl. Abb.). Vorteilhaft besitzt das Medium (1) ein Rückkoppelement (2) und eine Antireflexschicht (3). Soll auf eine Antireflexschicht (11) verzichtet werden, so kann die Brewster-Bedingung erfüllt werden.

Die Reflektivitäten der Elemente (7) und (9) bestimmen die relativen Leistungsanteile in den Strahlen (10) und (14). Wenn der Strahlteiler 50% Reflektivität besitzt, tragen beide Rückkoppeläste (4) gleich viel Leistung und meist verschwindet der Strahl (14). Wenn der Teiler eine andere Reflektivität hat, so existiert der Strahl (14) meist, so dass es dann vorteilhaft sein kann, durch eine hohe Reflektivität des Elements (9) den Strahl (10) zu unterdrücken, wie insbesondere in Bildteil (b) angedeutet.

In einer besonders vorteilhaften Anordnung besteht das Gain aus einem Hochleistungs-Diodenlaser, der als ...



Beschreibung

Internationale Patent Klassifikation (Vorschlag)

H01S05/14, H01S05/10, H01S05/0687,
H01S05/065, H01S03/08

Technischer Hintergrund und Stand der Technik

[0001] Jeder Laser besteht aus einem laseraktiven Bereich, englisch als "gain" und deutsch als „Gewinn“ bezeichnet, in dem von aussen zugeführte Energie mittels stimulierter Emission in kohärente Strahlung umgewandelt wird. Dazu ist ein Laserresonator notwendig, der dafür sorgt, dass jeweils ein Teil der entstehenden Strahlung wieder in den Gainbereich zurück geleitet wird und wofür er mindestens ein Rückkoppelement enthält, typischerweise einen teildurchlässigen Spiegel. Dieser Resonator bestimmt über seine Geometrie und seine Rückkoppeleigenschaften die physikalischen Eigenschaften des Laserlichts, nämlich vor allem das räumliche Profil, die Wellenlängen, die Bandbreite und die Polarisierung.

[0002] Die dabei erzielbaren Werte hängen unter anderem vom Gainmaterial und den Resonatoren ab und sind meist reziprok untereinander und mit der erzielbaren Ausgangsleistung korreliert. Verbesserungen einzelner Parameter führen also in der Regel zu Verschlechterungen bei anderen. Generell sind Verluste und nicht nutzbare Emissionen schädlich für die Gesamtqualität.

[0003] Von besonderer praktischer Bedeutung sind Halbleiterlaser, da sie sehr klein und preiswert sind, direkt elektrische Energie in Licht umwandeln, einen hohen Wirkungsgrad besitzen und mit etablierten Techniken der Halbleiter-Produktionstechnologie in großen Stückzahlen hergestellt werden können. Der Resonator ist dabei gleich mit integriert, indem reflektive Schichten auf die Endflächen aufgebracht werden und/oder Brechungsindex-Gitter epitaktisch eingebracht sind. Gegenwärtig ist ihre maximale Ausgangsleistung beziehungsweise die erzielbare Leistungsdichte allerdings noch zu gering für viele hochinteressante Anwendungen. Das beruht darauf, dass die Lichtezeugung in Volumina geschieht, die deutlich kleiner als 1 mm^3 sind, und deshalb die auftretenden Leistungsdichten bei Erhöhung zu Zerstörung des Bauteils führen würden. Der Ausweg, die Volumina zu vergrößern, stößt schnell an Grenzen, da dann die Modenselektivität des Resonators abnimmt und sich deshalb die Strahlqualität verschlechtert. Auch Ansätze, die Selektivität zu erhöhen, indem das Gainmaterial substrukturiert wird (DE 43 38 606, DE 36 11 167), hilft nur wenig.

Stand der Technik

[0004] Deshalb wird seit längerem der Weg be-

schritten, besonders bei Halbleiterlasern die Funktion von Gain und Resonator zu trennen, also ein Halbleiter-Gainmaterial in einem externen Resonator zu betreiben, was die erzielbaren Leistungsdichten deutlich erhöht. (DE 101 61 076, WO 02/21651, WO 02/082593, WO 98/56087, US 4 426 707, Opt. Lett. 27 (3) pp. 167–169). All diesen Veröffentlichungen ist gemein, dass die Emission des Halbleiters in zwei Winkelbereiche aufgeteilt wird, deren einer der Rückkopplung dient und deren anderer der Auskopplung.

Aufgabenstellung

Problemstellung

[0005] Die externen Resonatoren für Hochleistungs-Diodenlaser gemäß dem Stand der Technik nutzen eine bestimmte Emissionsrichtung der vom Gainmaterial emittierten Strahlung im wesentlichen für die Rückkopplung und einen anderen Winkelbereich im wesentlichen für die Auskopplung. Der Anteil der emittierten Strahlung in die Rückkoppelrichtung ist nicht einstellbar und ist deshalb in der Regel höher oder niedriger als für optimalen Betrieb notwendig. Wenn die in Richtung des Rückkopplungselements emittierte Strahlung zu hoch ist, also oberhalb der Schwelle für Sättigungsverhalten liegt, geht Ausgangsleistung im Nutzlicht verloren. Ist die Strahlung zu niedrig, leiden die Laserparameter wie Strahlqualität und Seitenmodenunterdrückung, ausserdem steigt der Anteil inkohärent emittierten Lichts, die sogenannte ASE (amplified spontaneous emission). In jedem Fall sind die Energieflüsse im Gainmaterial sehr asymmetrisch zwischen Aus- und Rückkoppelast verteilt. Das Problem besteht also darin, Anordnungen zu finden, die die unterschiedlichen Emissionsrichtungen möglichst mit wählbaren Teilverhältnissen, also z.B. gleichmäßig und symmetrisch, behandeln und durch extern wählbare optische Elemente einen einstellbaren Rückkoppelgrad ermöglichen.

Prinzipielle Lösung

[0006] Die Lösung des Problems besteht darin, zwischen dem Gainmaterial und dem Rückkopplungselement einen oder mehrere Strahlteiler einzubringen, die unterschiedliche Emissionsrichtungen des Gainmaterials gleichzeitig mit Anteilen des Rückkoppellichts versorgen können. Dadurch dass diese Strahlteiler wählbare Teilverhältnisse besitzen, lässt sich die anteilige Leistung in den verschiedenen Emissionsrichtungen einstellen. Da es mindestens ein frei wählbares Rückkoppelement gibt, das mehrere Emissionsrichtungen bedient, ist die optimale Gesamt-Rückkopplung ebenfalls wählbar.

Erzielte Vorteile

[0007] Durch Lösung der genannten Probleme lässt

Detaillierte Beschreibung der Erfindung

sich eine Kombination aus insgesamt verbesserter Ausgangsleistung und räumlicher und/oder spektraler Strahlqualität erzielen. Diese Vorteile lassen sich erreichen, ohne dass die Resonatoren nennenswert komplizierter werden. So werden Anordnungen vorgestellt, die weiterhin mit lediglich drei optischen Komponenten (Laserchip, Kollimationslinse, Rückkoppelprisma) auskommen.

[0008] Insbesondere die Symmetrisierung der Emissionsrichtungen ist vorteilhaft, wenn wegen hoher Verstärkung des Gainmediums auch hohe Auskopplgrade realisiert sind. Anderenfalls erhöhen sich der Anteil verstärkter spontaner Emission (ASE: "amplified spontaneous emission") und die Gefahr, dass unerwünschte Lasermoden anschwingen.

[0009] In den vorgeschlagenen Anordnungen findet vorzugsweise kein direkter Austausch von Strahlung zwischen den verschiedenen Emissionsrichtungen statt, sondern nur indirekter Austausch nach Passage des Strahlteilers und des Rückkoppellements, das vorteilhaft auch als Auskoppellement ausgeführt ist. Dadurch wird vermieden, dass eine Lasermode anschwingt, die nur deshalb das höchste Gain besitzt, weil sie keine Auskopplungsverluste erleidet.

[0010] Insbesondere bei Halbleiterlasern und dort speziell bei solchen mit substrukturiertem Gainbereich (DE 43 38 606, DE 36 11 167) sind solche Anordnungen vorteilhaft, da diese bekanntermaßen mehrere bevorzugte Emissionsrichtungen besitzen.

[0011] Auch bei optisch gepumpten Lasern sind diese Anordnungen vorteilhaft, da eine Pumpanordnung aus mehreren kohärenten Strahlen zu Interferenzmustern, also periodischen Modulationen, des Gains führt. Dadurch ergeben sich ganz natürlich mehrere, ebenfalls durch Interferenz-Bedingungen bestimmte, Emissionsrichtungen des entstehenden Laserlichts, die dann gemäß der vorgeschlagenen Anordnungen behandelt werden können. So lässt sich durch eine Kombination aus Pumpanordnung und Laserresonator eine deutlich verbesserte Modenkontrolle erreichen.

[0012] Bei Festkörperlasern kann die Asymmetrie eliminiert werden, die dadurch entsteht, dass typischerweise auf der einen Seite lediglich ein hochreflektives Rückkoppellement eingesetzt wird und auf der anderen Seite die Auskopplung geschieht. Eine beidseitige Auskopplung erhöht die mittlere Feldstärke über die Länge des Gainmaterials und verbessert dadurch die Effizienz und spektralen Eigenschaften.

[0013] Die entwickelten Anordnungen sind für eine große Zahl unterschiedlicher Laser und Lasertypen anwendbar, unabhängig vom Gainmaterial. Insbesondere sind auch Anordnungen mit mehreren und gegebenenfalls gekoppelten Lasern denkbar.

[0014] Eine prinzipielle Darstellung der Funktionsweise des Laserresonators ist in Abb. 1 als Blockdiagramm dargestellt, in Bildteil (a) der Lichtweg vom Gainbereich **1** zum Rückkoppellement **9** und in Bildteil (b) der Rückweg. Das Gainmaterial ist dabei lediglich durch seine Fähigkeit charakterisiert, mit stimulierter Emission auf Rückkopplung zu reagieren. Es kann sich um Anordnungen mit und ohne eigene Resonatoren handeln. Somit wird hier keine Unterscheidung getroffen zwischen extern zu Resonanz gezwungenen (engl.: "seeding") Anordnungen, die manchmal auch als regenerativer Verstärker bezeichnet werden, und solchen Anordnungen, bei denen die Resonatoren erst durch die extern hinzugefügte Rückkopplung vollständig werden. Wenn im Folgenden überhaupt eine Unterscheidung gemacht wird, so wird im ersten Fall von „Lasern“ geredet und im zweiten von „halboffenen Lasern“, um deutlich zu machen, dass ihnen noch einseitig eine Rückkopplung fehlt. Ein laseraktiver Gainbereich **1** besitzt mindestens eine Fläche **16**, durch die insgesamt mindestens zwei verschiedene Strahlen **4** ein- und auskoppeln können. Für die Funktion ist dabei unwesentlich, ob die beiden Strahlen zwei "wirkliche" Strahlen sind, oder ob es sich um zwei Winkelbereiche eines einzelnen breiten Strahls handelt, zumal in vielen realen Situationen eine Unterscheidung kaum möglich ist. Zentrales Element des Laserresonators gemäß der Erfindung ist der Strahlteiler **7**, der in Bildteil (a) zwei Eingangssignale A und B in zwei Ausgangssignale C und D mischt und in Bildteil (b) ein einzelnes Rückkopplungssignal **8** in Kanal C auf zwei Rückkoppelkanäle A und B aufteilt. Bei geeigneten Eingangssignalen A und B kann der Strahlteiler so gewählt werden, dass einer der beiden Ausgangskanäle, vorzugsweise D, keine Leistung trägt. In diesem Fall ist die gesamte Leistung, die vom Gainmaterial **1** in zwei Kanäle **4** emittiert wird, in einem einzigen Strahl **8** enthalten. Eine Rück- und Auskopplung des Nutzlichts **10** ist über ein Element **9**, vorzugsweise ein teilreflektiver Spiegel oder Gitter, zu realisieren. Aufgrund der Symmetrie optischer Strahlteiler kehrt sich in Bildteil (b) für das Rückkoppellicht die Funktion der Kanäle A/B und C/D um, so dass das über C einfallende Licht entsprechend dem Teilverhältnis auf A und B verteilt wird und zum Gainbereich **1** zurück kehrt, wo es zur stimulierten Emission beiträgt. Beim Strahlteiler **7** handelt es sich vorteilhaft um ein teilreflektierendes Element (z.B. Spiegel, Gitter, Polarisations-Strahlteiler, diffraktive Optik, holographisches Element, etc.) der Reflektivität R und Transmission $T = 1 - R$. Wenn dieser von einem Strahl A der Feldstärke E_A beschienen wird, entstehen zwei Teilstrahlen C und D mit den Feldstärken $E_C = a_{CA} \cdot E_A$ und $E_D = a_{DA} \cdot E_A$. Entsprechend entstehen aus einem Teilstrahl B der Feldstärke E_B zwei Teilstrahlen C und D mit $E_C = a_{CB} \cdot E_B$ und

$E_D = a_{DA} \cdot E_A$. Die Koeffizienten a_{CA} , a_{DA} , a_{CB} und a_{DB} sind dabei die Elemente einer unitären Matrix, die die Absolutbeträge $\text{SQRT}(R)$ und $\text{SQRT}(1 - R)$ und geeignete Phasen besitzen, um die Energieerhaltung zu berücksichtigen. Die jeweils beiden Strahlen $E_C = a_{CA} \cdot E_A$ und $E_D = a_{CB} \cdot E_B$ bzw. $E_C = a_{DA} \cdot E_A$ und $E_D = a_{DB} \cdot E_B$ müssen miteinander interferieren, wodurch sich konstruktive oder destruktive Effekte ergeben, so dass sich die relativen Leistungsanteile ändern.

[0015] Besonders interessant sind einige Spezialfälle und darunter insbesondere der mit gleichen Intensitäten und Phasenlagen in beiden Strahlen **4** und einem Teilverhältnis von $R = T = 50\%$, also Koeffizienten $a_{CA} = a_{DA} = a_{CB} = -a_{DB} = 1/\text{SQRT}(2)$. Dann ist tatsächlich erfüllt, dass keine Leistung im Strahl **D** auftritt. Auch das Licht, das vom Element **9** zurück kehrt, wird wieder in zwei gleiche intensive Rückkoppelstrahlen **A** und **B** aufgeteilt. Wenn das Gainelement **1** symmetrisch ist, bleiben beide Strahlen **4** gleich intensiv und ohne relative Phasendifferenz. In diesem Fall wird das Nutzlicht vorteilhafter Weise über das Rückkoppellement **9** ausgekoppelt. Der Auskoppelgrad kann dann im Prinzip frei gewählt werden.

[0016] Dieses Verhalten bleibt im wesentlichen auch dann erhalten, wenn die Reflektivität nicht sehr stark von 50% abweicht. Dann ergibt sich ein schwacher Zusatzstrahl **14**, der sich z.B. für diagnostische Zwecke einsetzen lässt.

[0017] Wenn die Reflektivität des Strahlteilers deutlich von 50% abweicht, tritt eine Asymmetrie in den Rückkoppelintensitäten auf. Wird diese durch das Gainelement zwischen den beiden Strahlen ausgetauscht, so ergibt sich ein relativer Leistungsanteil von $2 \cdot R \cdot T$ im resultierenden Rückkopplungslicht **8** und ein Anteil von $(T - R)^2$ im Strahl **14**. Vorteilhafter Weise wird man dann das Rückkoppellement **9** möglichst hochreflektiv machen und das Licht im Kanal **14** als Nutzlicht auskoppeln.

[0018] In typischen realen Anordnungen werden zudem noch optische Elemente wie Linsen, Spiegel, Prismen und dergleichen zur Kollimation, Abbildung, Strahlführung etc. benötigt, die hier der Übersichtlichkeit wegen nicht dargestellt sind und die insbesondere für die transversalen Eigenschaften des Lichts (Strahltaillen, Divergenzen, Stabilität, etc.) sorgen.

Ausführungsbeispiele

[0019] In [Abb. 2](#) sind zwei verschiedene einfache Ausführungsbeispiele dargestellt. In Bildteil (a) ist eine Anordnung gezeigt, die sich z.B. für Hochleistungs-Halbleiterlaser eignet. Der Gainbereich **1**, der dabei rückseitig vorteilhaft mit einer reflektiven Schicht **2** als Rückkoppellement versehen ist, emittiert zwei Strahlen **4** unter verschiedenen Winkeln

durch seine Austrittsfläche **16**. Ein Strahl wird von einem Umlenkspiegel **12** abgelenkt. Diese beiden Strahlen treffen von beiden Seiten auf einen Strahlteiler **7**, hier ein teilreflektierender Spiegel. Dabei sind die Auftreffwinkel so gewählt, dass der reflektierte Strahl des einen und der transmittierte Strahl des anderen möglichst gut übereinander liegen und somit gemeinsam den Strahl **8** bilden. Dieser trifft auf den Rückkoppelspiegel **9**, der möglicherweise teildurchlässig ist. Abhängig von allen Komponenten wird möglicherweise ein zusätzlicher Strahl **14** auftreten oder auch nicht. Dem entsprechend kann das Nutzlicht aus dem Strahl **10** und/oder dem Strahl **14** bestehen und/oder an weiteren Stellen mittels zusätzlicher Auskoppellemente gewonnen werden. In Bildteil (b) ist eine mögliche Anordnung für Festkörperlaser angedeutet, in dem die beiden aus den Facetten **16** austretenden Strahlen vorteilhaft jeweils von Spiegeln **12**, die vorteilhaft gekrümmt sind, zum Strahlteiler **7** geleitet werden.

[0020] Es ist vorteilhaft, wenn die optischen Wege vom Gainbereich zum Strahlteiler gleich lang sind, oder zumindest die Strahlparameter (insbesondere Strahldurchmesser, Rayleigh-Länge, Divergenz, Strahlqualität) für beide identisch sind. Das verbessert die Qualität, mit der die Strahlen interferieren können. Anderenfalls sind die Strahlparameter der beiden vom Strahlteiler abgehenden Strahlen unterschiedlich, was in der Anwendung berücksichtigt werden sollte.

[0021] Eine Anordnung, in der das Teilverhältnis einfach einstellbar ist, ist in [Abb. 3](#) dargestellt, in Bildteil (a) das Prinzip, in Bildteil (b) eine mögliche Ausgestaltung. Hier ist der Strahlteiler **17** als polarisationsabhängiger Strahlteiler angenommen. Teilverhältnisse und Rückkoppelgrad lassen sich durch die relative Rotation der Verzögerungselemente **13** und **18** bezüglich der Orientierung des Strahlteilers steuern.

[0022] [Abb. 4](#) zeigt zwei bevorzugte Anordnungen für Halbleiterlaser. Das aktive Medium **1** emittiert zwei Strahlen **4**, die an einem Strahlteiler **7** zu einem einzigen Strahl **8** vereinigt werden. Rück- und Auskopplung geschieht in Bildteil (a) über ein Element **26** und in Bildteil (b) über ein Element **9**, so dass das Nutzlicht **10** und **14** zur Verfügung steht. In Bild (a) ist die Rückkopplung mittels eines Gitters in Littrow-Anordnung realisiert, so dass eine Auskopplung über die nullte Beugungsordnung geschehen kann. Vorteilhaft werden Kollimatoren **5**, Antireflex-Beschichtungen **3** und **11** sowie Umlenkspiegel **12** hinzugefügt. Vorzugsweise wird das Gitter so angebracht, dass seine Wellenlängenselektivität längs der fast-axis (Richtung großer Divergenz, senkrecht zur Ebene der Epitaxie) geschieht, da dann die Kombination aus Gitter und Fast-Axis-Kollimator **5** als ein starkes Frequenzfilter wirkt. Vorteilhaft wird die antire-

flektive Eigenschaft **11** erreicht, indem die Brewster-Bedingung erfüllt wird. In Bildteil (b) ist die Anordnung um eine Kollimationslinse **19**, die die Strahlen längs der sogenannten slow-axis (Richtung geringerer Divergenz, parallel zur Ebene der Epitaxie) kollimiert und ablenkt, ergänzt. Ausserdem wurden alle Spiegel **7**, **9** und **12** monolithisch in ein Element **20** integriert, das vorteilhaft antirefektiv mit Schichten **3** versehen wird.

[0023] In Abb. 5 ist die Verwendung eines an die Emissionswinkel des Gainbereichs angepassten Prismas dargestellt. Der Unterschied zwischen Bildteil (a) und (b) besteht darin, dass in (a) durch das Rückkoppellement **9** und in (b) über den Strahlteiler **7** ausgekoppelt wird. Dies ist erreichbar durch geeignete Wahl der Reflektivitäten der beiden Spiegel entsprechend der oben angegebenen Überlegungen. Der Rest des Strahlverlaufs ist in beiden Fällen gleich: Das in zwei Richtungen aus dem mit Spiegel **2** und Antireflexschicht **3** versehenen Gainmaterial **1** austretende Licht **4** wird vorteilhaft mittels einer Linse **5**, z.B. einem FAC (fast axis collimator) kollimiert. Bedingung an die korrekte Funktion ist das senkrechte Auftreffen des Lichts auf das Rückkoppellement **9**. Der Winkel zwischen Strahlteilerfläche **7** und Element **9** bestimmt dann abhängig vom Brechungsindex des Prismas den Ablenkwinkel unter dem sich der direkt zum Gainbereich verlaufende Strahl **21** bewegt, sowie die Winkel der Strahlen **22** und **23**. Durch Variation des Winkels der verbleibenden Prismenseite **25** lässt sich dann der Winkel des Strahls **24** in bestimmten Grenzen beeinflussen und an den vom Gainbereich vorgegebenen Winkel zwischen den beiden Strahlen **4** anpassen. Möchte man, dass der Durchgang durch Fläche **25** unter Brewster-Bedingung geschieht, um die Antireflex-Beschichtung **11** zu sparen, so ergibt sich daraus eine zusätzliche Bedingung an den Winkel zwischen **7** und **9**, womit das Prisma eindeutig bestimmt ist. Diese Konfiguration lässt sich innerhalb eines bestimmten Winkelbereichs zwischen den Strahlen **4** anpassen. Für andere Winkelbereiche sind andere Prismen mit mehr oder weniger inneren Totalreflexionen zu wählen. Vorteilhaft an allen Varianten dieser Anordnung ist ihre Einfachheit und die kostengünstige Produzierbarkeit. Diese beruhen auf der Tatsache, dass ausser dem Halbleiter als Gainmaterial **1** lediglich eine Kollimationslinse **5** und ein Prisma **6** mit zwei aufgebrachten (Teil-)Verspiegelungen **7** und **9** notwendig sind, wenn man die Konzepte des instabilen Resonators verwendet. Anderenfalls wird gegebenenfalls noch eine weitere Linse für die Kollimtion längs der slow-Richtung notwendig. Alle genannten Anordnungen sind besonders vorteilhaft in Kombination oder Erweiterung der instabilen Resonatoren von DE 101 61 076. Da als Streifenarray ausgeformte Hochleistungs-Breitstreifenlaser prinzipbedingt zwei Vorzugsrichtungen für ihre Emission besitzen, bieten sich die vorgeschlagenen Anordnungen an. Da ebenso be-

kannt ist, dass dort instabile Resonatoren gut funktionieren, lassen sich die verbleibenden Probleme, namentlich die nicht kontrollierbaren Leistungsanteile in den beiden Emissionsrichtungen, durch diese neuen Anordnungen lösen.

Weitere Ausgestaltung der Erfindung

[0024] Die Erfindung lässt sich für beliebige Lasermaterialien einsetzen. Besonders vorteilhaft ist ausser Halbleitern alles, was natürlicher weise oder aufgrund der Pumpbedingungen mehrere Emissionsrichtungen oder eine mehr als zweifach beugungsbegrenzte Divergenz besitzt. Dazu gehören insbesondere optisch gepumpte Gainmedien, wenn das Pumplicht aus mehreren kohärenten und interferierenden Teilstrahlen besteht.

[0025] Die meisten der vorgeschlagenen Anordnungen eignen sich auch für Arrays einzelner Laser. Meist sind dafür nicht einmal einzelne Resonatoren vonnöten, sondern der externe Resonator kann so gestaltet werden, dass alle einzelnen Emittoren in einem einzigen gemeinsamen Resonator arbeiten.

[0026] Es soll an dieser Stelle nochmals ausdrücklich darauf hingewiesen werden, dass es sich bei den Gainbereichen um Laser oder um "halboffene" Laser handeln darf. Es spielt also für die Anordnungen nur eine untergeordnete Rolle, ob es auch ohne die hier vorgestellten Resonatoren zu einer Lasertätigkeit des aktiven Bereichs kommen kann oder nicht.

Bezugszeichenliste

1	Gainmaterial
2	Rückkoppellement
3	Antireflex-Beschichtung
4	Strahlen, die vom Gainbereich in mindestens zwei verschiedene Richtungen emittiert werden
5	Kollimator-Optik
6	Optik, die die strahlvereinigende Optik aufnimmt
7	Strahlteilen
8	Vereinigte Strahlen
9	Rückkoppellement
10	Ausgekoppeltes Licht
11	Antireflex-Beschichtung, vorzugsweise durch Brewster-Bedingung
12	Umlenkspiegel
13	Polarisations-beeinflussendes Element, vorzugsweise doppelbrechende Phasenplatte mit $\lambda/2$ -Verzögerung
14	Zusätzlich ausgekoppeltes Licht
15	Umlenkspiegel durch Totalreflexion
16	Ein- und Austrittsfläche des Gainmaterials
17	Polarisationsabhängiger Strahlteiler
18	Ein- und Austrittsfläche des Gainmaterials
19	Linse

- 20** Monolithisches Strahlteiler- und -umlenkelement
21 Strahl
22 Strahl
23 Strahl
24 Strahl
25 Seite des Prismas
26 Rückkoppellement, vorzugsweise ein Gitter in Littrow-Anordnung

Ausführungsbeispiel

Abb. 1:

[0027] Prinzip der Erfindung. (a) Ein Gainbereich 1 emittiert mindestens zwei Strahlen 4, die auf die Eingangskanäle A und B eines Strahlteilers 7 treffen. Einer seiner Ausgangskanäle C emittiert Licht 8 zu einem Rückkoppellement 2. Typischerweise wird entweder ein Teilstrahl 10 oder ein Teilstrahl 14 als Nutzlicht ausgekoppelt. (b) Das vom Rückkoppellement kommende Licht wird auf die Kanäle A und B aufgeteilt.

Abb. 2:

[0028] Einfache Ausführung der Erfindung. Die beiden Strahlen 4, die vom Gainbereich 1 durch die Fläche 16 treten, werden am Strahlteiler 7 zu zwei Strahlen 8 und 14 kombiniert. Der eine trifft auf ein Rückkoppellement 9. Nutzlicht besteht aus den Strahlen 10 und 14. (a) Prinzip und einfachste Ausführung, (b) Variante vorteilhaft für Festkörperlaser, insbesondere bei gekrümmten Spiegeln 12 und/oder 9.

Abb. 3:

[0029] In einer Anordnung, in der der Strahlteiler 17 polarisations-abhängig wirkt, lassen sich Rückkoppel- und Auskoppelgrad durch die relative Orientierung von Phasenplatten 13 und 18 bezüglich der Vorzugsrichtung des Strahlteilers 17 einfach variieren und dadurch die Intensitäten der Strahlen 10 und 14 beeinflussen.

Abb. 4:

[0030] Bevorzugte Ausformungen für Halbleiterlaser. (a) Das aktive Medium 1 emittiert zwei Strahlen 4, die an einem Strahlteiler 7 zu einem einzigen Strahl 8 vereinigt werden. Rück- und Auskopplung geschieht über ein Element 26 oder 9, so dass das Nutzlicht 10 zur Verfügung steht. Vorteilhaft werden Kollimatoren 5, Antireflex-Beschichtungen 3 und 11 sowie Umlenkspiegel 12 hinzugefügt. Vorteilhaft wird die antireflektive Eigenschaft 3 und/oder 11 erreicht, indem die Brewster-Bedingung erfüllt wird. (b) Ergänzung um Kollimationselement 19 sowie monolithische Integration der Spiegel 7, 9 und 12.

Abb. 5:

[0031] Bevorzugte, weil besonders einfache, Ausformungen für Halbleiterlaser bestehen darin, ein bezüglich seiner Winkel und Brechungsindex speziell angepasstes Prisma mit total- oder teilreflektierenden Beschichtungen 7, 9 und 11 zu versehen, so dass das Auftreffen der Strahlung auf die Teilfläche 9 senkrecht geschieht. In Fall (a) ist der Spiegel 9 der Auskoppler für das Nutzlicht 10, in Fall (b) der Spiegel 7 für das Nutzlicht 14.

Patentansprüche

1. Laserquelle bestehend aus:
 (a.) mindestens einem Gainbereich, der mindestens zwei unterschiedliche Richtungen besitzt,
 i. längs derer er Strahlung emittieren kann
 ii. und längs derer er auf eingestrahlt Licht mit stimulierter Emission reagiert,
 (b.) mindestens einem Rückkopplungselement,
 (c.) mindestens einem Strahlteiler,
 i. der zwei Eingangskanäle besitzt, die optisch mit unterschiedlichen Emissionsrichtungen des Gainbereichs verbunden sind,
 ii. der zwei Ausgangskanäle besitzt, von denen der erste mit einem der Rückkopplungselemente verbunden ist
 iii. und dessen zweiter beliebig optisch verbunden oder offen ist.

2. Laserquelle gemäß Anspruch 1, gekennzeichnet dadurch, dass der Gainbereich vorteilhafterweise aus einem der folgenden Materialien besteht:
 (a.) einem Halbleiter,
 i. vorzugsweise in Ridge-, DFB-, DBR-, Taper-, Breitstreifen-, Streifenarray- oder Vertikalemitter-Geometrie,
 ii. vorzugsweise mit rückseitiger reflektiver Beschichtung,
 iii. vorzugsweise mit frontseitiger antireflektiver Beschichtung,
 (b.) einem Festkörperlasermaterial, vorzugsweise in Stab-, Balken- oder Scheibengeometrie,
 (c.) einem Polymer,
 (d.) einer Flüssigkeit,
 (e.) einem Gas.

3. Laserquelle gemäß Anspruch 1, gekennzeichnet dadurch, dass sich mehrere Emissionsrichtungen dadurch ergeben, dass ein physikalischer Parameter im Gainbereich periodisch moduliert ist, vorzugsweise indem eine oder mehrere der folgenden Bedingungen erfüllt sind:
 (a.) der Gain ist periodisch moduliert, vorzugsweise indem
 i. bei Halbleiterlasern die Pumpelektrode Streifengeometrie besitzt,
 ii. oder, vorzugsweise bei optisch gepumpten Lasern, die Pumpstrahlung aus mehreren Strahlen besteht,

die miteinander interferieren,

(b.) der Brechungsindex ist periodisch moduliert, vorzugsweise indem eine nichtlineare Kopplung zwischen Lichtintensität, Pumpenergie, Brechungsindex, Temperatur, Druck und dergleichen besteht.

4. Laserquelle gemäß Anspruch 1, gekennzeichnet dadurch, dass das Rückkoppellement eine der folgenden Anordnungen oder eine Kombination daraus ist:

- (a.) ein Spiegel, der vorzugsweise teildurchlässig ist,
- (b.) ein Gitter, vorzugsweise in Littrow-Anordnung, vorzugsweise mit wellenlängenselektiver Aufspaltung längs der fast-axis des Halbleiters,
- (c.) ein holographisches oder diffraktives optisches Element,
- (d.) ein phasenkonjugierendes Element,
- (e.) eine wellenlängenselektive optische Anordnung, vorzugsweise aus Gittern, Linsen, Prismen, Etalons und dergleichen bestehend,

5. Laserquelle gemäß Anspruch 1, gekennzeichnet dadurch, dass das Rückkoppellement strahlformend wirkt, vorteilhaft durch eine oder mehrere der folgenden Eigenschaften:

- (a.) es ist gekrümmt,
- (b.) es ist auf eine Linse aufgebracht oder mit Linsen und/oder Spiegeln kombiniert,
- (c.) es ist mikrostrukturiert und/oder besitzt gekrümmte Gitterlinien,
- (d.) es handelt sich um ein diffraktives oder holographisches Element
- (e.) oder es besitzt variierenden Brechungsindex (GRIN).

6. Laserquelle gemäß Anspruch 1, gekennzeichnet dadurch, dass der Strahlteiler eine der folgenden Anordnungen oder eine Kombination daraus ist:

- (a.) ein teildurchlässiger Spiegel,
- (b.) ein polarisationsabhängiger Strahlteiler,
- (c.) eine Schichtstruktur aus dielektrischen Schichten,
- (f.) ein holographisches oder diffraktives optisches Element,
- (d.) eine Anordnung, bei der eine Totalreflexion durch ein zweites Medium in der Nähe teilweise unterdrückt wird (engl: "frustrated total internal reflection").

7. Laserquelle gemäß Anspruch 1, gekennzeichnet dadurch, dass die Teilverhältnisse von Strahlteiler und Rückkoppellement einer der folgenden Kombinationen entsprechen:

- (a.) der Strahlteiler besitzt näherungsweise 50% Teilverhältnis, das Rückkoppellement besitzt beliebige Reflektivität,
 - i. vorzugsweise um das Nutzlicht über das Rückkoppellement auszukoppeln
 - ii. und vorzugsweise um am zweiten Ausgangskanal des Strahlteilers nur wenig bis keine Leistung zu extrahieren, die vorzugsweise zu diagnostischen Zwe-

cken benutzt wird,

- (b.) der Strahlteiler besitzt ein Teilverhältnis ungleich 50% und das Rückkoppellement besitzt vorzugsweise sehr hohe Reflektivität bis zu 100%,
 - i. vorzugsweise um das Nutzlicht über den zweiten Ausgangskanal des Strahlteilers auszukoppeln
 - ii. und vorzugsweise um am Rückkoppellement nur wenig bis keine Leistung zu extrahieren, die vorzugsweise zu diagnostischen Zwecken benutzt wird.

8. Laserquelle gemäß Anspruch 1, gekennzeichnet dadurch, dass

- (a.) die optischen Wege der zwei Emissionsrichtungen vom Gainmedium bis zum Strahlteiler gleich lang sind
- (b.) und/oder die Strahlparameter beider Strahlen am Strahlteiler möglichst ähnlich sind.

9. Laserquelle gemäß Anspruch 1, gekennzeichnet dadurch, dass der Resonator zwischen Gainbereich und Rückkoppellement ein oder mehrere der folgenden optischen Elemente enthält

- (a.) Kollimationslinsen, die sphärisch, asphärisch oder zylindrisch sein können, vorzugsweise um die Stabilität und Strahlparameter des Laserresonators längs verschiedener Richtungen zu beeinflussen,
- (b.) Phasenplatten, vorzugsweise um Teiler- und Auskoppelgrade der Strahlen beeinflussen zu können,
- (c.) Teleskope, vorzugsweise um Strahlparameter zu verändern,
- (d.) optische Elemente wie Prismen, Spiegel, Gitter, Linsen, freie Propagationen, etc, vorzugsweise um die Strahlen zum Strahlteiler und/oder Rückkoppellement zu führen.

10. Laserquelle gemäß Anspruch 1, gekennzeichnet dadurch, dass

- (a.) das Gainmedium ein Halbleiter ist,
 - i. vorzugsweise in Breitstreifen-Geometrie
 - ii. und vorzugsweise als Streifenarray ausgeformt,
- (b.) und der Resonator in mindestens einer Richtung instabil ist, vorzugsweise um gute Strahlqualität der Emission bei hoher Ausgangsleistung zu erzielen.

11. Laserquelle gemäß Anspruch 1, gekennzeichnet dadurch, dass mehrere Funktionen des Resonators, vorzugsweise der Strahlteiler und/oder das Rückkoppellement und/oder Abschnitte der Strahlführung und -umlenkung, monolithisch ausgeformt sind.

12. Laserquelle gemäß Anspruch 11, gekennzeichnet dadurch, dass die Oberflächen des monolithischen Elements

- (a.) mit geeigneten reflektierenden Schichten bedeckt sind, die die benötigten Teilverhältnisse liefern oder vorzugsweise unter Brewster-Winkel bestrahlt werden
- (b.) und/oder geeignet gegen die Strahlrichtung des

einfallenden Lichts geneigt sind, um als Strahlumlenker zu wirken.

13. Laserquelle gemäß Anspruch 11 und/oder 12, gekennzeichnet dadurch, dass es sich bei dem monolithischen Element um ein Prisma handelt,
(a.) dessen eine Seite als Rückkoppelement wirkt, vorzugsweise mit senkrechtem Einfall des Lichts,
(b.) dessen zweite Seite als Strahlteiler wirkt,
(c.) dessen dritte Seite vorzugsweise als Strahlumlenker wirkt und diese Seite
i. vorzugsweise antireflektiv beschichtet ist oder
ii. vorzugsweise unter der Bedingung des Brewster-Winkels getroffen wird,
(d.) das vorzugsweise dreiseitig ist,
(e.) bei dem möglicherweise weitere interne Totalreflexionen auftreten.

14. Laserquelle gemäß Anspruch 12, gekennzeichnet dadurch, dass es sich bei dem monolithischen Element um ein Prisma handelt,
(a.) das zwei Seiten besitzt, die von jeweils einer Emission des Gainbereichs unter dem selben Winkel, vorzugsweise dem Brewster-Winkel, getroffen werden,
(b.) das im Inneren einen Strahlteiler besitzt, der von beiden Emissionen des Gainbereichs im selben Bereich und unter dem selben Winkel getroffen wird,
(c.) das vorzugsweise so geformt ist, dass der vereinigte Strahl aus den beiden Emissionen senkrecht auf eine dritte Fläche auftrifft und diese Fläche vorzugsweise als Rückkoppelement wirkt.
(d.) das vorzugsweise symmetrisch geformt ist.

15. Laserquelle gemäß einer beliebigen Kombination der Ansprüche 1 bis 14.

16. Laserquelle, bestehend aus mehreren Einzelquellen gemäß Anspruch 15, vorzugsweise mit Überlagerung der einzelnen Strahlen in kohärenter oder inkohärenter Weise oder als spektrales Multiplexing.

Es folgen 6 Blatt Zeichnungen

Abbildung 1:

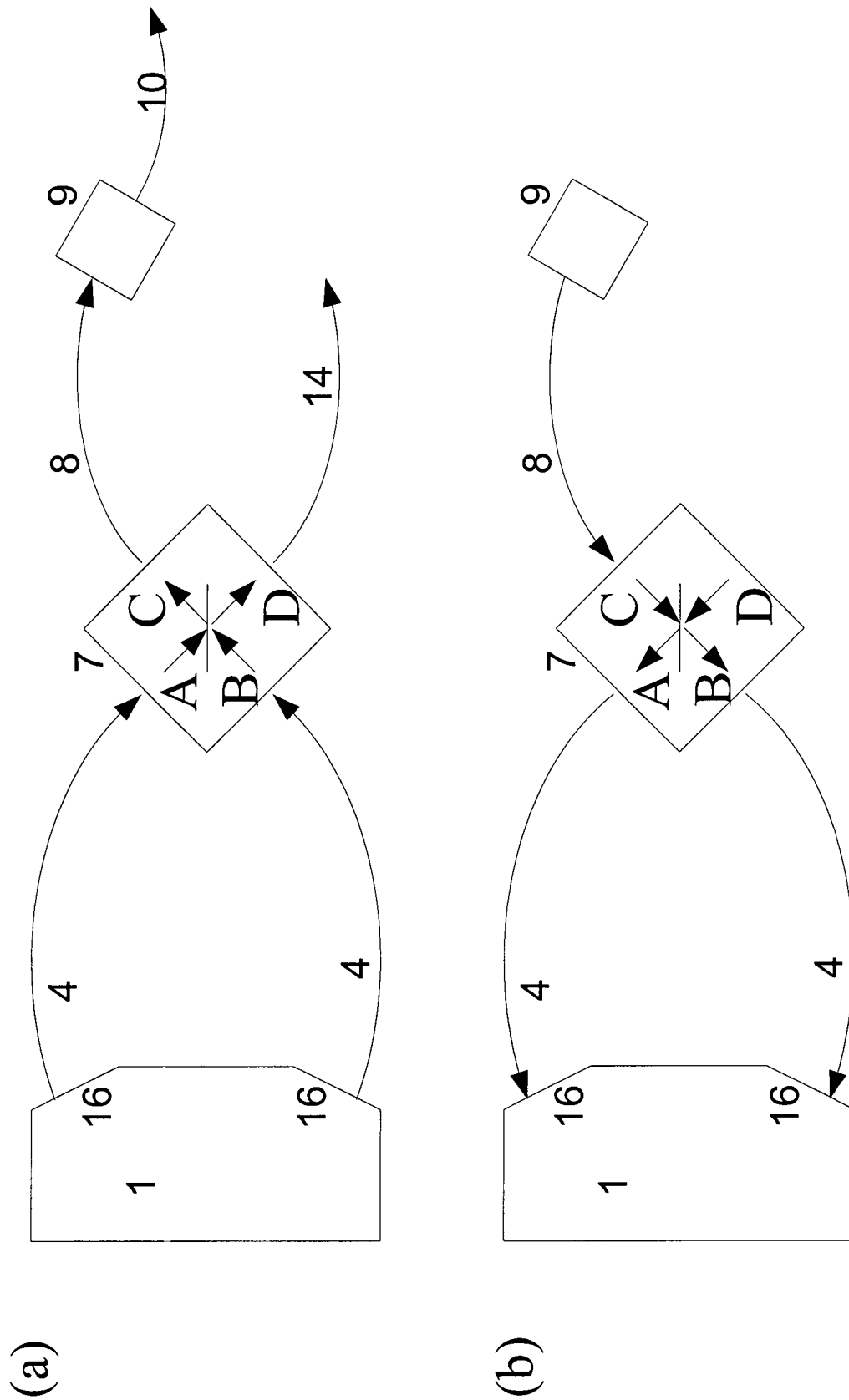
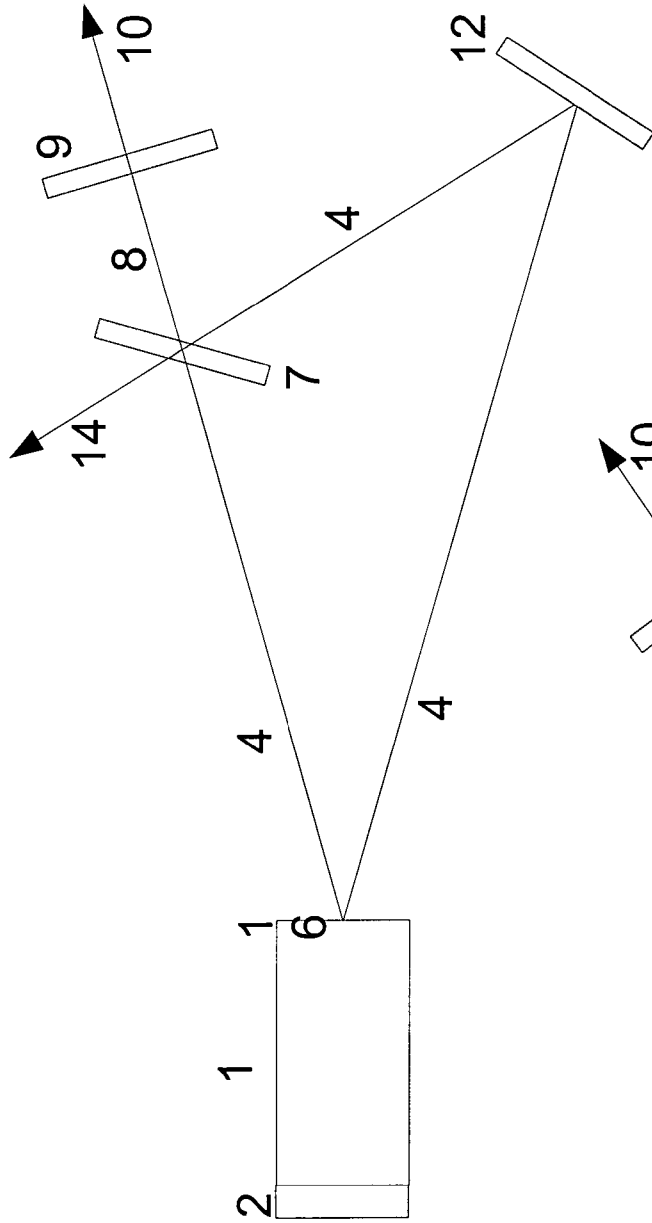
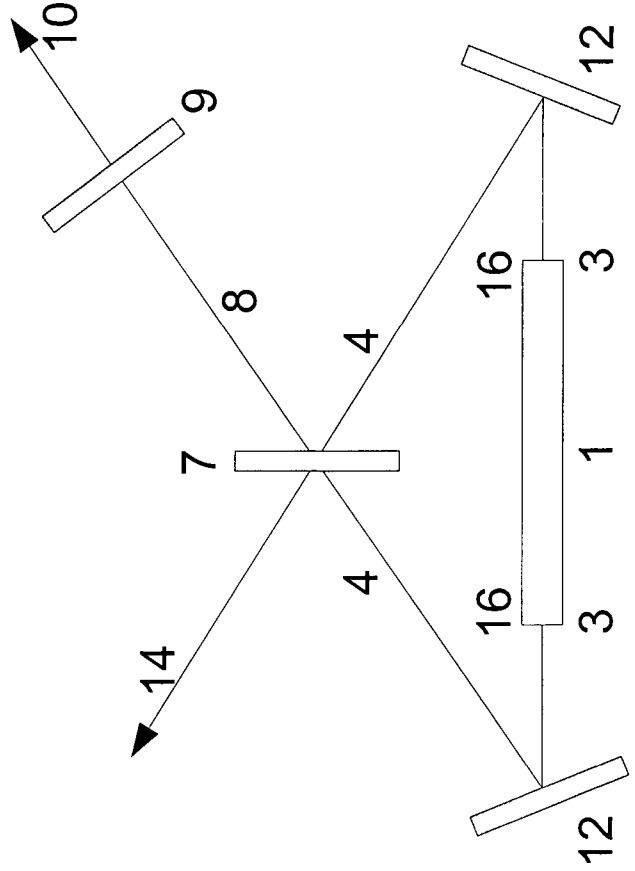


Abbildung 2:

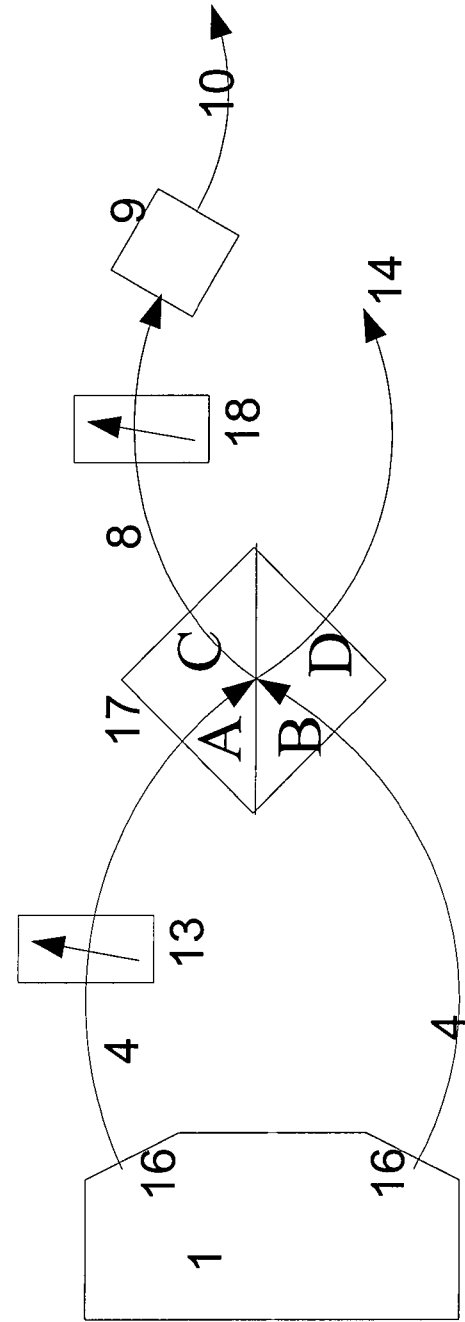


(a)

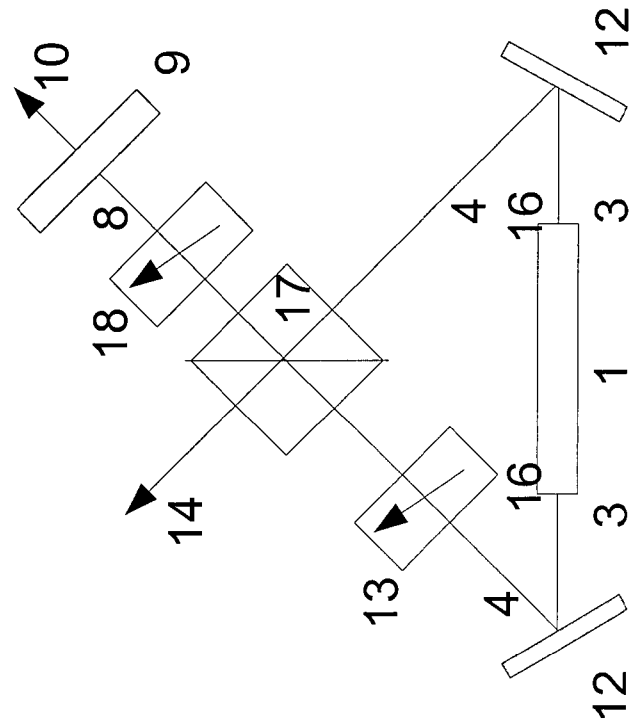


(b)

Abbildung 3:



(a)



(b)

Abbildung 4:

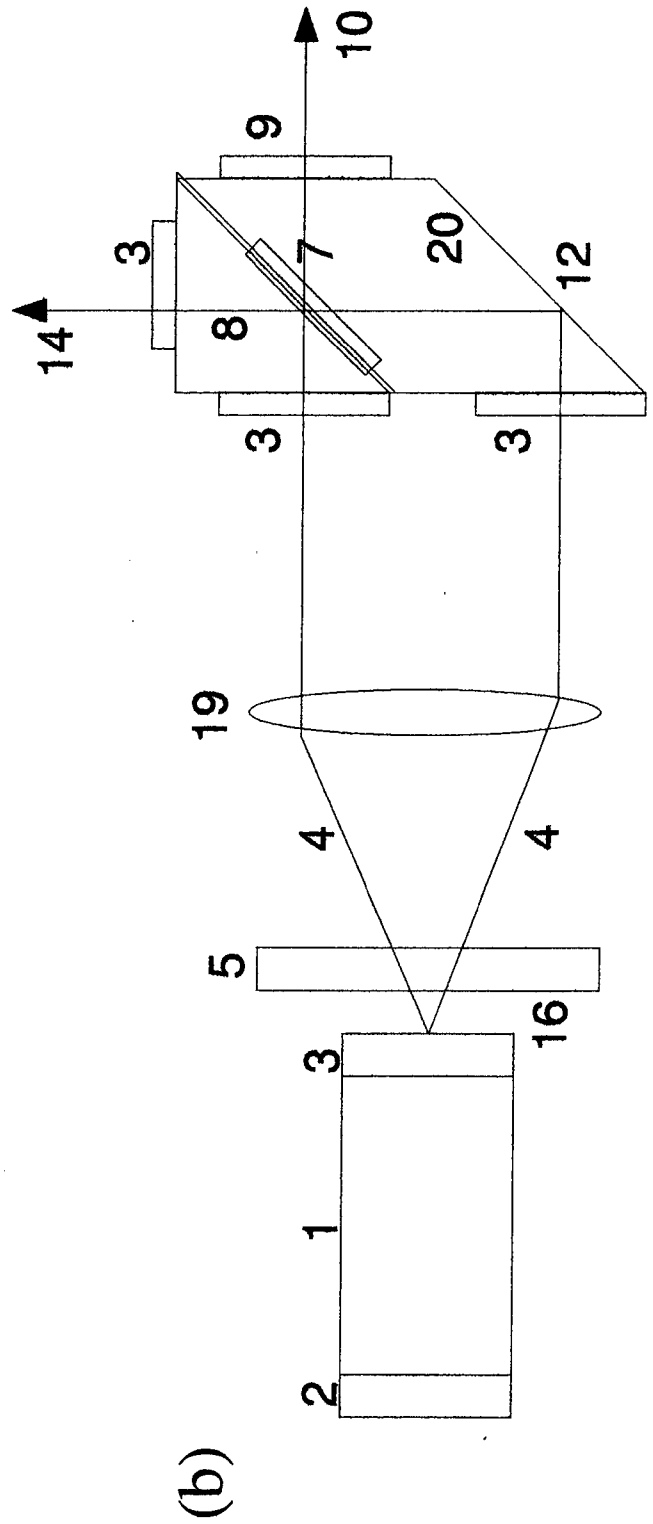
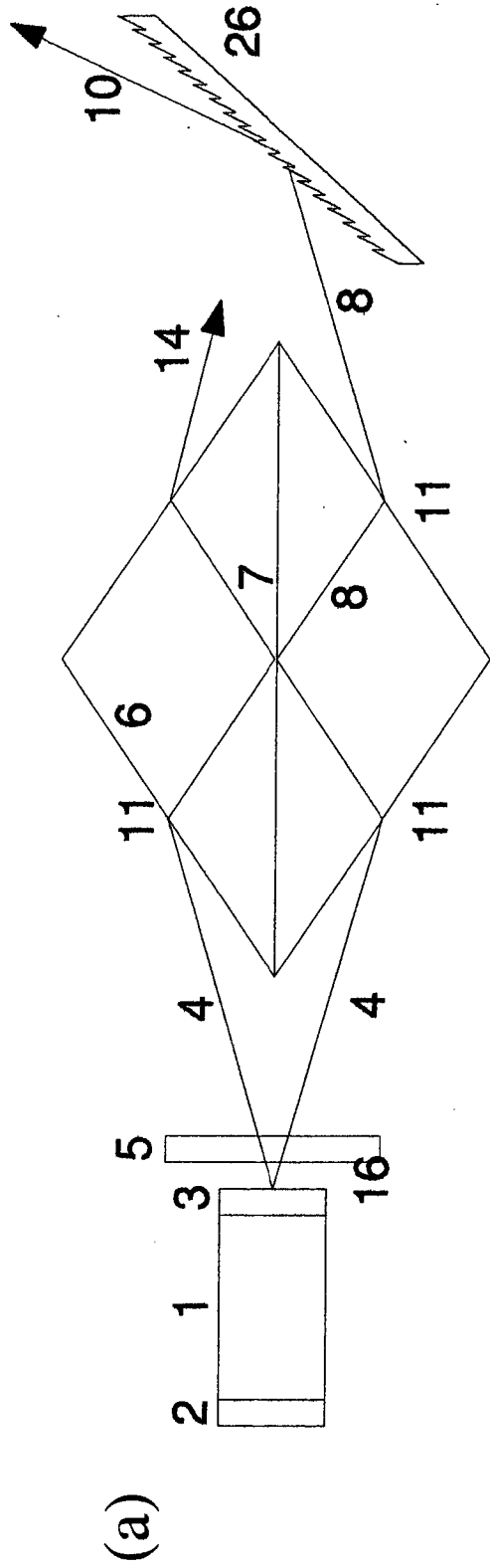


Abbildung 5:

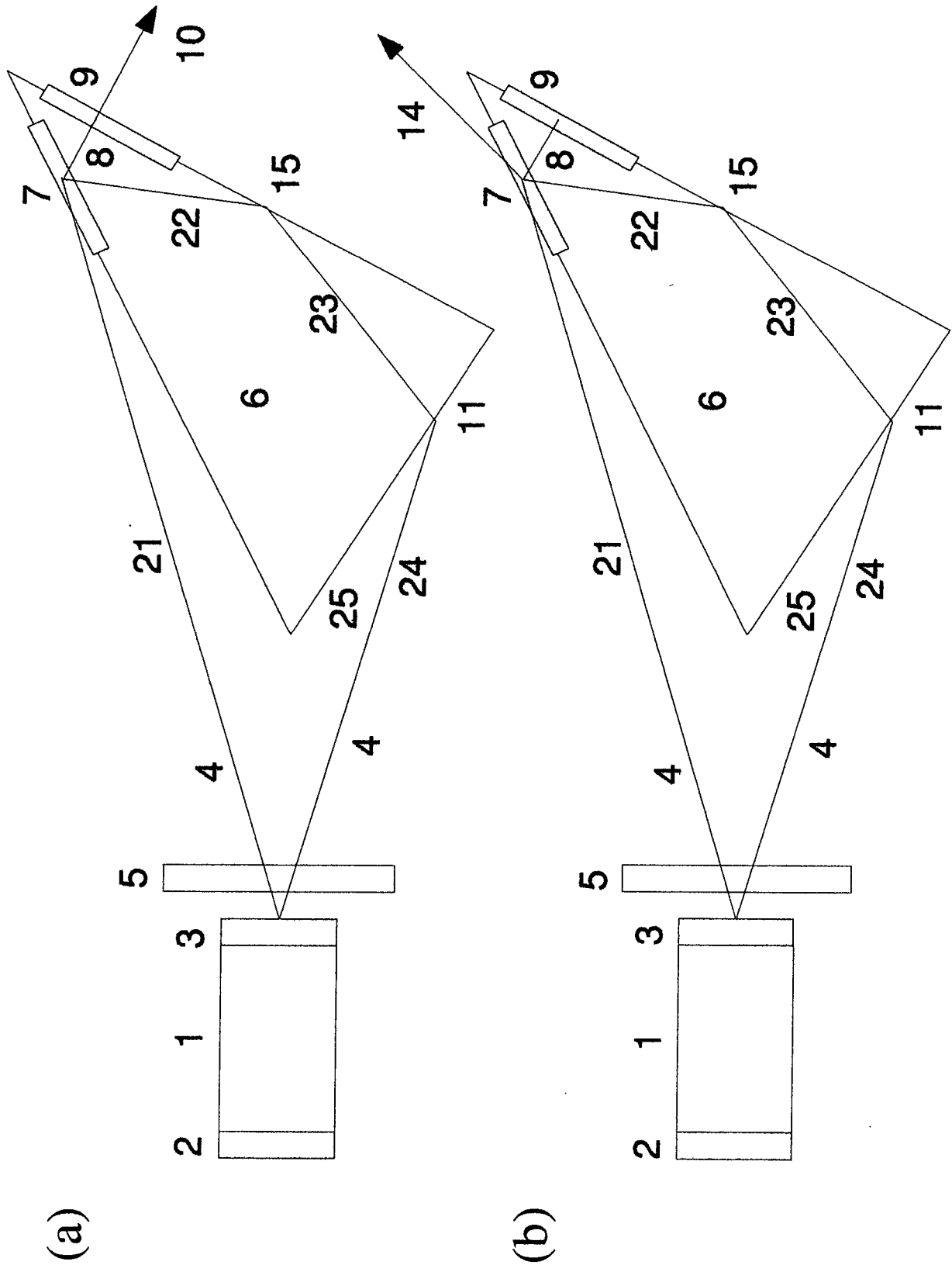


Abbildung 6:

