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

(10) **DE 695 31 322 T2** 2004.06.03

(12) # Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 0 677 736 B1**
(21) Deutsches Aktenzeichen: **695 31 322.3**
(96) Europäisches Aktenzeichen: **95 302 412.2**
(96) Europäischer Anmeldetag: **11.04.1995**
(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **18.10.1995**
(97) Veröffentlichungstag der Patenterteilung beim EPA: **23.07.2003**
(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **03.06.2004**

(51) Int Cl.[7]: **G01N 21/65**
H01S 5/10, H01S 3/082

(30) Unionspriorität:
228317 **15.04.1994** **US**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE, FR, GB

(73) Patentinhaber:
Agilent Technologies, Inc. (n.d.Ges.d.Staates Delaware), Palo Alto, Calif., US

(74) Vertreter:
LEINWEBER & ZIMMERMANN, 80331 München

(72) Erfinder:
King, David A., Palo Alto, California 94301, US; Carlsen, William, Oakhurst, California 93644, US; Gray, Damien F., Austin, Texas 78727, US; Pittaro, Richard J., San Carlos, California 94070, US

(54) Bezeichnung: **Nachweis von Chemikalien in einer Probe**

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

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

Beschreibung

[0001] Diese Erfindung betrifft die Erfassung von Chemikalien in einer Probe, z. B. einen selbstverriegelnden optischen Hohlraum, der ansprechend auf das Vorhandensein eines chemischen Analyts ein optisches Signal erzeugt.

[0002] Die Empfindlichkeit und der Dynamikbereich von optischen Techniken machen dieselben gut geeignet für eine Verwendung bei chemischen Erfassungssystemen. Folglich sind nun einige Erfassungsvorrichtungen erhältlich, die diese Eigenarten zu verwenden versuchen.

[0003] Bei einem jeglichen optischen Erfassungssystem ist die Lichtquelle eine kritische Komponente. Bei einem Auswählen einer Lichtquelle muß der Entwickler typischerweise einen Kompromiß zwischen den oft in Konflikt stehenden Anforderungen hoher optischer Leistungspegel, hoher Effizienz, geringen Kosten, geringer Größe und struktureller Festigkeit eingehen. Eine besonders vorteilhafte Entwicklung in dieser Hinsicht besteht darin, daß ein Fortschritt in einer Festkörpertechnologie zu der Miniaturisierung kohärenter Lichtquellen von Metern (wie beispielsweise Argonionen- oder Helium-Neon-Laser) zu Mikrometern (wie beispielsweise oberflächenemittierende Quantenmuldenlaserdioden) geführt hat. Zum Beispiel sind nun Festkörperdiodenlaser mit Ausgangsleistungen im Handel erhältlich, die in einem Größenordnungsbereich von Milliwatt bis Watt liegen. Ein Beispiel einer derartigen Vorrichtung ist in Parke, R., u. a., „2.0 W cw, diffraction-limited Operation of a monolithically integrated master oscillator power amplifier," IEEE Photon. Tech. Lett., 5, S. 297–300, (1993) beschrieben.

[0004] Während die Wandsteckdoseneffizienz von Diodenlasern hoch ist, erfordern Quellen, die viele Watt an optischer Leistung direkt erzeugen, oft viel mehr Watt an elektrischer Leistung, nur um dieselben zu kühlen. Bei einer Erfassungsanwendung muß daher die Anforderung mehrerer Watt an optischer Leistung mit dem Wunsch nach einer kompakten und tragbaren Vorrichtung ins Gleichgewicht gebracht werden, die lediglich einen geringen Betrag an elektrischer Leistung verbraucht.

[0005] Eine Lösung für dieses Problem stützt sich auf ein Verwenden von Licht, das im Inneren eines optischen Hohlraums gefangen ist. Ein optischer Hohlraum oder Resonator umfaßt zwei oder mehrere verspiegelte Oberflächen, die angeordnet sind, so daß einfallendes Licht eingefangen werden kann, wobei dasselbe zwischen den Spiegeln hin und her springt. Auf diese Weise kann das Licht im Inneren des Hohlraums viele Größenordnungen intensiver sein als das einfallende Licht. Diese allgemeine Lösung ist gut bekannt und wurde auf verschiedene Weisen verwertet, wie beispielsweise für eine nichtlineare Frequenzumwandlung (siehe zum Beispiel Yariv A., Introduction to Optical Electronics, 2. Ausg., Holt, Rinehart und Winston, New York, 1976, Kapitel 8) und am häufigsten für eine Spektroskopie, wie es in Demtroder, W., Laser Spectroscop y, Springer-Verlag, Berlin, 1982, S. 390–395, beschrieben ist.

[0006] Die Erweiterung dieser Lösung auf ein chemisches Erfassen stützt sich auf die Wechselwirkung des im Inneren des Hohlraum befindlichen Lichts und des chemischen Analyts, um ein optisches Signal zu erzeugen. Gewöhnlich kann das optische Signal kohärent oder inkohärent sein und muß nicht notwendigerweise auf der gleichen Frequenz wie das im Inneren des Hohlraums befindliche Licht sein. Der Betrag des optischen Signals ist durch die Menge des vorhandenen chemischen Analyts und die Intensität des im Inneren des Hohlraums befindlichen Lichts bestimmt. Diese Technik wurde auf eine Gasüberwachung angewandt, wo das optische Signal durch eine spontane Raman-Streuung erzeugt wird. Siehe z. B.U.S.-Patent Nummer 4,648,714, „Molecular Gas Analysis by Raman Scattering in Intracavity Laser Configuration", Benner, u. a., 10. März 1987.

[0007] Bei allen der vorhergehend erwähnten Verfahren befindet sich das optische Gewinnmedium (wie z. B. eine Helium-Neon-Entladungsröhre) im Inneren des optischen Hohlraums. Bei einem typischen Diodenlaser sind die Hohlraumspiegel direkt auf das Diodengewinnmedium selbst aufgebracht. Bei einigen Anwendungen jedoch, wie beispielsweise einer Frequenzabstimmung und einer Linienbreitenverschmälerung, sind eine oder beide der Facetten der Diode antireflexionsbeschichtet und die Diode wird im Inneren eines optischen Hohlraums betrieben, der durch Spiegel definiert ist, die außerhalb der Diode liegen. Während ein Diodengewinnmedium innerhalb eines derartigen Hohlraums betrieben werden kann, begrenzt die niedrige Beschädigungsschwelle der Emissionsfacette der Diode die Größe eines Leistungsaufbaus stark. In anderen Worten, falls die Diode innerhalb des Hohlraums plaziert ist, darf sich die Leistung nicht so sehr aufbauen, daß die Diode selbst beschädigt wird, zugleich ist die maximal zulässige Leistung oft zu gering, um effiziente und einfache Erfassungsschemata zuzulassen.

[0008] Um diese Begrenzung zu überwinden, während immer noch ein großes optisches Feld erzeugt wird, kann der Diodenlaser außerhalb eines getrennten, eine hohe Finesse aufweisenden optischen Hohlraums plaziert werden, in dem die Diodenlaserstrahlung eingefangen wird. Dieser getrennte Hohlraum wird im folgenden als ein „Aufbau"-Hohlraum bezeichnet. Diodenlaser emittieren jedoch eine kohärente Strahlung mit einer optischen Bandbreite, die viel größer ist als dieselbe eines eine hohe Finesse aufweisenden Aufbauhohlraums. Um eine wesentliche Verstärkung einer Diodenlaserstrahlung in einem Aufbauhohlraum zu erreichen, muß der Diodenlaser gezwungen werden, eine kohärente Strahlung mit einer Linienbreite zu emittieren, die derselben des Hohlraums nahekommt oder mit derselben übereinstimmt.

[0009] Es gibt einige gut bekannte Techniken zum

Reduzieren der Bandbreite von Diodenlasern. Zum Beispiel kann eine aktive, gesamtelektronische Frequenzverriegelung von Diodenlasern verwendet werden. Diese Technik erfordert jedoch sehr schnelle Servoeinrichtungen mit Bandbreiten bis zu und sogar größer als 20 MHz und einen hohen Grad an optischer Isolation des Diodenlasers von dem Hohlraum. Eine passive Verriegelung weist gegenüber einer aktiven, gesamtelektronischen Verriegelung wichtige Vorteile auf; zum Beispiel ist die notwendige elektronische Steuerung stark reduziert, besonders falls eine Schmalbandstrahlung erforderlich ist, und optische Tsolatoren werden evtl. nicht benötigt.

[0010] Alternativ kann eine wesentliche Linienbreitenreduzierung mit optischen Rückkopplungsschemata erreicht werden. Zum Beispiel berichteten Dahmani u. a., in „Frequency stabilization of semiconductor lasers by resonant optical Feedback", Opt. Lett., 12, S. 876–878 (1987) über eine passive optische Verriegelung eines Diodenlasers mit einem Aufbauhohlraum. Bei dieser Technik wird Licht aus einem Diodenlaser in einen Aufbauhohlraum geleitet und, falls die Lichtfrequenz an eine Hohlraumresonanzfrequenz angepaßt ist, wird das Licht dann eingefangen. Ein Abschnitt des eingefangenen Lichts wird dann zurück in den Diodenlaser geleitet, um als ein passiver Rückkopplungsmechanismus zu wirken, der die Freguenz des eine geringe Finesse aufweisenden Diodenlasers mit derselben des eine hohe Finesse aufweisenden Aufbauhohlraums verriegelt.

[0011] Tanner u. a., in „Atomic beam collimation using a laser diode with a self-locking power buildup cavity", Opt. Lett., 13, S. 357–359 (1988) beschreiben einen selbstverriegelnden Leistungsaufbauhohlraum, der tausendfach mehr Licht im Inneren des Hohlraums erzeugt, als einfiel, aber dieselben verwerten dieses intensive, im Inneren des Hohlraums befindliche Lichtfeld lediglich zu einem optischen Pumpen von Caesiumatomen. Diese Technik wurde jedoch in jüngerer Zeit auf sichtbare Diodenlaser angewandt, wie es durch Simonsen, H.R., in „Freguency noise reduction of visible InGaA1P laser diodes by different optical feedback methods", IEEE J. Quant. Elec., 29, S. 877–884 (1993) beschrieben ist.

[0012] Ein Mangel der durch Dahmani u. a., Tanner u. a., und Simonsen beschriebenen Systeme besteht darin, daß dieselben alle eine schwache optische Verriegelung einsetzen: lediglich ein sehr kleiner Abschnitt des Lichts in dem Aufbauhohlraum wird zu dem Diodenlaser rückgekoppelt. Der Nachteil der schwachen optischen Verriegelungstechnik besteht jedoch darin, daß dieselbe immer noch eine vorsichtige elektromechanische Steuerung von sowohl dem Betrag als auch der Phase des Lichts erfordert, das zu dem Diodenlaser rückgekoppelt wird. Dies wird z. B. erörtert in dem US-Patent Nr. 4,907,237, „Optical Feedback Locking of Semiconductor Lasers", Dahmani, B., u. a., 6. März 1990; Hemmerich, A., u. a., „Second-harmonic generation and optical stabilization of a diode laser in an external ring resonator", Opt. Lett., 15, S. 372–374 (1990); und Buch, P., und Kohns, P., „Optically self-locked semiconductor laser with servo control for feedback phase and laser current", IEEE J. Quant. Elec., 27, 1863 (1991).

[0013] Ein selbstverriegelnder Leistungsaufbauhohlraum wurde auch spezifisch für eine nichtlineare Erzeugung intensiver Größen kohärenter Strahlung verwendet. Die Verwendung einer geringen bis gemäßigten (< 1%) Rückkopplung aus einem Aufbauhohlraum, um die Laserdiode optisch mit dem Hohlraum zu verriegeln, ist z. B. in dem Artikel von Hemmerich, u. a. beschrieben, der oben erwähnt ist, und auch in Dixon, G. J., Tanner, C. E., und Wieman, C. E., „432-nm source based on efficient second-harmonic generation of GaAlAs diode-laser radiation in a self-locking external resonant cavity", Opt. Lett., 14, S. 731–733 (1989); und dem US-Patent Nr. 4,884,276, „Optical Feedback Control in the Frequency Conversion of Laser Diode Radiation", Dixon, u. a., 28. November 1989.

[0014] Dieses Konzept wird durch W. Lenth und W. P. Risk in dem US-Patent Nr. 5,038,352, „Laser System and Method Using a Nonlinear Crystal Resonator", 6. August 1991, weitergeführt, in dem dieselben zeigen, daß die Verwendung eines antireflexions-(AR) beschichteten Diodenlasers und einer starken (10%–50%) Rückkopplung die Verriegelungsstabilität erhöht.

[0015] Die US 5,038,352 und die US 4,884,276 offenbaren beide ein Halbleiterlaserleistungsaufbausystem, das einen Halbleiterlaser mit einer Emissionsfacette umfaßt und wirksam ist, um einen einfallenden Lichtstrahl entlang eines Einfallender-Strahl-Wegs auszugeben. Ein optischer Resonanzhohlraum ist bereitgestellt, der ein primäres, reflektierendes Eingangselement und zumindest ein sekundäres reflektierendes Element aufweist, die wirksam sind, um den Verlauf eines im Inneren des Hohlraums befindlichen reflektierten Strahls zuzulassen. Der reflektierte Lichtstrahl ist in der Lage, entlang im wesentlichen der vollen Erstreckung des optisch resonanten Hohlraums zu strahlen und einen Referenzlichtstrahl zu erzeugen, der einen Abschnitt des im Inneren des Hohlraums befindlichen Lichtstrahls umfaßt, der im Gebrauch durch das reflektierende Eingangselement transmittiert wird und mit dem einfallenden Strahl zusammenfällt, jedoch bezüglich desselben entgegengesetzt gerichtet ist.

[0016] W. J. Kozlovsky, zusammen mit Lenth und Risk, berichteten in „Resonator-enhanced frequency doubling in an extended cavity diode laser", in Proceedings of the Compact Blue-Green Lasers Topical Meeting, New Orleans, Louisiana, Optical Society of America, Feb. 1993, S. PD2-1 wie dieselben eine starke (3%) optische Rückkopplung bei einem ARbeschichteten Diodenlaser einsetzten und ein Dispersionselement hinzufügten, das Licht reflektierte, das aus dem Aufbauhohlraum zurück durch den Hohlraum und in den Diodenlaser emittiert wurde. Das Dispersionselement fügte eine Frequenzstabilität

hinzu.

[0017] Eine passive gesamtoptische Frequenzverriegelungstechnik für einen Diodenlaser ist einfacher und stabiler als entweder eine gesamtelektronische oder eine Verriegelung mit einer schwachen optischen Rückkopplung, weil dieselbe den Bedarf nach einer hochentwickelten elektronischen Steuerung des Diodenlasers oder eines Lichtfelds eliminiert. Um sicherzustellen, daß der Diodenlaser stabil mit dem Aufbauhohlraum verriegelt bleibt, ist es wesentlich, daß die dominante optische Rückkopplung in das Diodengewinnmedium eher aus dem Aufbauhohlraum als aus einer jeglichen anderen Quelle sein sollte, zum Beispiel aus einer Reflexion von Licht aus der Diodenlaseremissionsfacette zurück in das Diodengewinnmedium.

[0018] Typischerweise ist die Diodenemissionsfacette antireflexionsbeschichtet und das ganze System kann als ein regulärer Festkörperlaser mit einem im Inneren des Hohlraums befindlichen Etalon gesehen werden. Je mehr Licht, das zu dem Diodenlaser aus dem Aufbauhohlraum rückgekoppelt wird, desto höher ist das Reflexionsvermögen der Diodenemissionsfacette, die eine stabile optische Verriegelung zuläßt.

[0019] Von all den vorhergehend erwähnten Verfahren sind die einzigen zwei, die eine gesamtoptische Verriegelung mit einer hohen Rückkopplung einsetzen, diese, die durch Lenth und Risk (US-Patent Nr. 5,038,352) und durch Kozlovsky u. a. offenbart sind. Jedoch ist keines dieser Verfahren gut für Erfassungsanwendungen geeignet: es ist für den angegebenen Zweck dieser Systeme wesentlich, die Wellenlänge des einfallenden Lichts zu halbieren, insbesondere Licht im nahen Infrarot zu Blau zu machen.

[0020] Wie Siegman in Lasers, University Science Books, Mill Valley, California, 1986, S. 928–31, beschreibt, ist die Leistung, die im Inneren eines optischen Aufbauhohlraums erzeugt werden kann, umgekehrt proportional zu dem optischen Verlust des Hohlraums. Der optische Verlust ist näherungsweise die Summe der optischen Verluste aller individuellen, im Inneren des Hohlraums befindlichen Elemente, wie beispielsweise Spiegel.

[0021] Eine Struktur, die zu einer kohärenten Erzeugung einer Strahlung optimal ist, stellt notwendigerweise eine nützliche Größe einer Ausgangsstrahlung her (siehe Kozlovsky und Lenth). Diese Umwandlung wirkt auch als ein zusätzlicher Verlustmechanismus für die im Inneren des Hohlraums befindliche Strahlung und reduziert die Größe einer Leistung, die in dem optischen Hohlraum erzeugt werden kann. Der nichtlineare Kristall, der bei Systemen, wie beispielsweise demselben von Lenth und Kozlovsky, verwendet wird, weist zusätzliche Absorptionsverluste auf, die wirken, um die Hohlraumfinesse zu reduzieren; diese beiden wesentlichen Verlustmechanismen sind für eine kohärente Erzeugung einer Strahlung wesentlich. Bei einer Erfassung einer im Inneren eines Hohlraums befindlichen Chemikalie, insbesondere bei einer Raman-Gaserfassung, wird jedoch eine größtmögliche im Inneren des Hohlraums befindliche Leistung benötigt; folglich ist jegliche Struktur, die unnötige und wesentliche Verluste enthält, ungeeignet für ein empfindliches Erfassen einer im Inneren eines Hohlraums befindlichen Chemikalie. Eine Struktur, die am besten zu einem Erfassen einer Chemikalie geeignet ist, wäre ein Aufbauhohlraum, der einen so geringen optischen Verlust aufweist, wie es praktisch ist, so daß eine kleinstmögliche Menge an Licht aus dem Hohlraum entkommt, und der sich somit grundlegend von demselben unterscheidet, der durch Lenth und Kozlovsky beschrieben ist.

[0022] Im Zusammenhang mit außerhalb eines Hohlraums befindlichen Halbleiterlasern ist es gut bekannt, daß eine Antireflexionsbeschichtung der Diodenausgangsfacette und eine starke optische Rückkopplung für ein stabiles Verhalten wesentlich sind. Siehe Rong-Qing, H., und Shang-Ping, T., „Improved rate equations for external cavity semiconductor lasers", IEEE J. Quant. Elec., 25, S. 1580 – 1584, 1989. Diese Lasersysteme wurden für eine im Inneren eines Hohlraums stattfindende Spektroskopie eingesetzt, siehe Baev, V. M., Eschner, J., Paeth, E., Shuler, R., und Toschek, P. E., „Intra-cavity spectroscopy with diode lasers", Appl. Phys. B., B55, S. 463–477, 1992, doch, wie oben beschrieben, sind die Hohlraumfinesse und somit die im Inneren eines Hohlraums befindliche Leistung absichtlich gering gehalten, um eine optische Beschädigung an der Laserfacette der Diode zu verhindern. Diese Vorrichtungen sind daher ungeeignet für Erfassungsanwendungen, die sich auf eine hohe im Inneren eines Hohlraums befindliche Leistung stützen.

[0023] Die vorliegende Erfindung schafft eine verbesserte Erfassung von Chemikalien in einer Probe.

[0024] Gemäß einem Aspekt der vorliegenden Erfindung ist ein Halbleiterlaserleistungsaufbausystem gemäß Anspruch 1 bereitgestellt.

[0025] Gemäß einem weiteren Aspekt der vorliegenden Erfindung ist ein Erfassungssystem gemäß Anspruch 6 bereitgestellt.

[0026] Gemäß einem weiteren Aspekt der vorliegenden Erfindung ist ein Verfahren zum Erfassen von Chemikalien in einer Probe gemäß Anspruch 7 bereitgestellt.

[0027] Bevorzugte Ausführungsbeispiele können ein kompaktes System bereitstellen, das eine hohe, im Inneren eines Hohlraums befindliche Leistung mit einer niedrigen erforderlichen Eingangsleistung verbindet, und das passiv und optisch verriegelt, wodurch ein Bedarf nach einer komplizierten und teueren Verriegelungsschaltungsanordnung beseitigt wird.

[0028] Bei einem Ausführungsbeispiel eines Halbleiterlaserleistungsaufbausystems ist ein Halbleiterlaser bereitgestellt, der eine Emissionsfacette aufweist und einen einfallenden Lichtstrahl ausgibt. Ein optischer Resonanzhohlraum ist zwischen einem primären reflektierenden Eingangselement und einem

oder mehreren sekundären reflektierenden Elementen definiert und weist einen im Inneren des Hohlraums befind-1ichen Lichtstrahl entlang einem im Inneren des Hohlraums befindlichen Strahlweg auf. Ein Rückgabelichtstrahl umfaßt einen Abschnitt des im Inneren des Hohlraums befindlichen Lichtstrahls, der durch das reflektierende Eingangselement transmittiert wird und mit dem einfallenden Strahl zusammenfällt, jedoch bezüglich desselben entgegengesetzt gerichtet ist. Der Laser ist im wesentlichen ganz mit dem Hohlraum optisch verriegelt und der im Inneren des Hohlraums befindliche Strahl verläuft im wesentlichen ohne Verlust innerhalb des Hohlraums.

[0029] Vorzugsweise ist an dem Einfallender-Strahl-Weg zwischen dem Laser und dem ersten reflektierenden Element ein Wellenlängenbestimmungselement, wie beispielsweise ein Beugungsgitter oder ein Etalon bereitgestellt.

[0030] Die Emissionsfacette weist vorzugsweise ein Reflexionsvermögen von weniger als 0,01 oder sogar weniger als 0,0001 auf, zum Beispiel mittels einer Antireflexionsbeschichtung. Eine Rückkopplung des Rückgabestrahls in den Laser durch die Emissionsfacette kann stark sein, zum Beispiel größer als 3%.

[0031] Es ist vorzugsweise auch eine optische Formgebungsvorrichtung in dem Einfallendes-Licht-Weg zum Zweck einer Impedanzanpassung enthalten.

[0032] Eine bevorzugte Anwendung des Systems ist zu der Erfassung von Chemikalien in einer Probe. Die Probe wird vorzugsweise in einer Wechselwirkungsregion des Hohlraums positioniert und ein Erfassungssystem wird zum Erfassen einer vorbestimmten Charakteristik (wie beispielweise Raman-gestreutes Licht) der Probe innerhalb der Wechselwirkungsregion positioniert. Der im Inneren des Hohlraums befindliche Strahl kann im wesentlichen ohne Verlust innerhalb des Hohlraums verlaufen, eine Wechselwirkung mit der Probe ausgenommen.

[0033] Es kann ein Hochleistungsdiodenlaser mit einer unmodifizierten Emissionsfacette bereitgestellt sein. In diesem Fall kann der Diodenlaser mit einem Strom getrieben werden, der geringer ist als der Nacktdiodenschwellenstrom.

[0034] Ein Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung ist im folgenden lediglich durch ein Beispiel mit Bezug auf die beiliegenden Zeichnungen beschrieben, in denen:

[0035] **Fig.** 1 ein Ausführungsbeispiel eines Erfassungssystems mit einer optischen Verriegelungshalbleiterlichtquelle darstellt, die sich außerhalb eines Leistungsaufbauhohlraums befindet.

[0036] **Fig.** 2 ein zweites Ausführungsbeispiel eines Erfassungssystems darstellt, bei dem ein externer Spiegel Licht durch eine antireflexionsbeschichtete Rückfacette zurück in die Lichtquelle reflektiert.

[0037] **Fig.** 3 ein drittes Ausführungsbeispiel eines Erfassungssystems darstellt, bei dem ein optischer Kubus bestimmte Spiegel bei dem in **Fig.** 1 gezeigten Ausführungsbeispiel ersetzt.

[0038] **Fig.** 4 ein viertes Ausführungsbeispiel eines Erfassungssystems darstellt, bei dem der Hohlraum eine lineare Konfiguration aufweist.

[0039] Es ist klar, daß jeglicher hierin spezifizierte Bereich oder Parameterwert erweitert oder modifiziert werden kann, ohne die beabsichtigten Wirkungen zu verlieren, wie es dem Fachmann ersichtlich ist.

[0040] Die hierin offenbarten Ausführungsbeispiele sind primär mit Bezug auf den Gebrauch derselben bei einem Erfassen von Gasen beschrieben, da dieselben für diesen Gebrauch besonders gut geeignet sind. Dieselben können jedoch auch verwendet werden, um mit Modifikationen, wie es im folgenden erörtert ist, Flüssigkeiten zu erfassen.

[0041] Ein erstes und bevorzugtes Ausführungsbeispiel ist in **Fig.** 1 dargestellt. Ein Diodenlaser bildet eine Lichtquelle **110**, die eine Emissionsfacette **112** und eine Rückfacette **113** aufweist. Die Lichtquelle emittiert einen Lichtstrahl **114**. Beispiele von im Handel erhältlichen Vorrichtungen, die als die Lichtquelle **110** geeignet sind, umfassen die Einzellongitudinalmoden- und indexgeführten (SLM-ID) Laser der Typen Toshiba **9215**, Hitachi HL6714G oder Philips CQL601D sowie Hochleistungsbreitflächenvorrichtungen, wie beispielweise Philips CQL602D.

[0042] Zusätzlich könnte die Rückfacette **113** der Lichtquelle **110** ein geringes Reflexionsvermögen (z. B. als Ergebnis einer Antireflexionsbeschichtung) aufweisen, in welchem Fall ein kleiner Spiegel hinter der Rückfacette der Lichtquelle plaziert werden sollte, um Licht zu reflektieren, das aus der Lichtquelle durch die Rückfacette zurück in die Lichtquelle entlang einer Linie **114** emittiert wird. Die Vorteile dieser Anordnung bestehen darin, daß durch ein Ändern der Position dieses zusätzlichen Spiegels das System dann moduliert werden kann und optische Elemente (im folgenden beschrieben) zwischen der Rückfacette **113** und diesem zusätzlichen Spiegel plaziert werden können. Dieses Ausführungsbeispiel ist mit Bezug auf **Fig.** 2 im folgenden detaillierter beschrieben.

[0043] Die Schaltungsanordnung, die notwendig ist, um die Lichtquelle **110** mit Leistung zu versorgen, ist herkömmlich und nicht gezeigt. Es ist jedoch anzumerken, daß einige der geeigneten Halbleiterlaservorrichtungen, einschließlich der oben aufgeführten, typischerweise nicht mehr als 100 mW an Leistung entnehmen, mit geringen oder keinen zusätzlichen Leistungsbedürfnissen für Kühlungsvorrichtungen. Ferner können andere Halbleiterbauelemente, wie beispielsweise ein antireflexionsbeschichteter Diodenlaser oder eine Superlumineszenzdiode, als die Lichtquelle **110** verwendet werden.

[0044] Die Lichtquelle **110** emittiert einen Lichtstrahl **114**, der auf eine bekannte Weise durch ein herkömmliches optisches Formgebungssystem **116** räumlich geformt ist, um eine ordnungsgemäße Impedanzanpassung sicherzustellen. Ein Wellenlängenbestimmungselement **118** ist in dem Weg des Lichtstrahls **114** enthalten, um den Wert der Betriebs-

wellenlänge einzustellen und die durchschnittliche optische Dioden-Hohlraum-Bandbreite zu begrenzen. Ein zusätzliches herkömmliches Strahlformgebungssystem **135** kann notwendig sein, falls der Strahl **114**, der aus dem Formgebungssystem **116** austritt, sowohl für das Wellenlängenbestimmungselement **118** als auch für eine Impedanzanpassung in den Aufbauhohlraum räumlich nicht optimiert ist. Unter Verwendung gut bekannter Herstellungstechniken können die Lichtquelle **110**, das optische Formgebungssystem **116** (und **135**, falls enthalten) und das Wellenlängenbestimmungselement **118** mechanisch in eine einzige Lichtquelleneinheit eingebaut werden, wie es durch die gestrichelte Linie **119** angegeben ist. Das optische Formgebungssystem **116** und das Wellenlängenbestimmungselement **118**, das als ein optisches, abstimmbares Bandpaßfilter wirkt, können herkömmliche Vorrichtungen sein, deren Struktur und Betrieb gut bekannt sind. Der Lichtstrahl **114** bildet einen einfallenden Strahl, der in **Fig.** 1 durch einen nach rechts zeigenden Pfeil angegeben ist.

[0045] Der Lichtstrahl **114** trifft auf einen Aufbauhohlraum auf, der reflektierende Elemente aufweist, wie beispielsweise Spiegel **120**, **122** und **124**, und einen im Inneren des Hohlraums befindlichen Strahl **126** erzeugt. Der Spiegel **120** ist vorzugsweise geneigt (nicht senkrecht zu der Richtung des Lichtstrahls **114**), um eine direkte Reflexion des Strahls **114** zurück in die Lichtquelle zu verhindern, was die Fähigkeit der Lichtquelle reduzieren würde, sich mit dem im Inneren des Hohlraums befindlichen Strahl **126** zu verriegeln. Die Abschnitte des Lichtstrahls **114**, die durch den geneigten Spiegel **120** zurück reflektiert werden, und der sehr kleine Abschnitt des Strahls **126** (von dem Spiegel **124**), den der Spiegel **120** transmittiert, sind durch den gestrichelten Pfeil **125** angegeben.

[0046] Der Strahl **126** verläuft durch eine Probe **128** (die in einer herkömmlichen Zelle oder einer anderen Haltestruktur enthalten ist) und das optische Signal, das durch die Wechselwirkung des Strahls **126** mit der Probe **128** erzeugt wird, wird durch ein herkömmliches Erfassungssystem **130** erfaßt, das zum Beispiel Raman-gestreutes Licht erfassen kann. Das Ausgangssignal aus dem Erfassungssystem bildet ein Eingangssignal zu einer herkömmlichen Verarbeitungsschaltungsanordnung **132**, die das Vorhandensein oder die Menge der interessierenden Substanz in der Probe **128** bestimmt, wobei bekannte analytische Techniken verwendet werden. Die Ergebnisse der Analyse durch den Prozessor können an eine weitere Verarbeitungsschaltungsanordnung (nicht gezeigt) weitergegeben werden oder können auf einer herkömmlichen Anzeigevorrichtung **134** angezeigt werden.

[0047] Ein kleiner Abschnitt des Strahls **126** leckt als ein Rückgabestrahl **136** durch den Eingangsspiegel **120**. Der Rückgabestrahl **136** fällt mit dem einfallenden Strahl **114** zusammen, jedoch in der entgegengesetzten Richtung (angegeben als ein nach links zeigender Pfeil). Von dem Eingangsspiegel **120** verläuft der Rückgabestrahl **136** durch das Wellenlängenbestimmungselement **118**, das optische Formgebungssystem **116** (und **135**, falls enthalten) und zurück in die Lichtquelle **110** durch die Emissionsfacette **112** derselben.

[0048] Die Leistung des im Inneren des Hohlraums befindlichen Strahls **126** kann viele Größenordnungen größer sein als die Leistung des einfallenden Strahls **114**, ohne den Bedarf nach einer jeglichen anderen elektronischen Steuerung der Lichtquelle als einer herkömmlichen, stabilen Stromquelle (nicht gezeigt). Ein zusätzlicher Vorteil ist, daß eine kleine und kostengünstige Lichtquelle in einem sehr großen erzeugten optischen Signal aus der Probe resultiert. Dies wird durch ein Auswählen von Parametern der Emissionsfacette **112**, des optischen Formgebungssystems **116** (und **135**, falls enthalten), des Wellenlängenbestimmungselements **118** und der Spiegel **120**, **122**, **124** erreicht, um die Leistung des im Innern des Hohlraums befindlichen Strahls **126** wie oben beschrieben zu maximieren.

[0049] Um die maximale Intensität des im Innern des Hohlraums befindlichen Strahls **126** sicherzustellen, sollte das meiste des Ausgangssignals aus der Lichtquelle **110** mit dem Aufbauhohlraum in Resonanz (mit der gleichen Frequenz) sein; in anderen Worten sollte die Lichtquelle optisch mit dem Hohlraum verriegelt sein.

[0050] Dies wird durch ein Sicherstellen erreicht, daß die dominante Rückkopplung in die Lichtquelle **110** der Rückgabestrahl **136** ist. Das Hauptproblem in dieser Hinsicht ist die Reflexion des Strahls **114** durch die Emissionsfacette **112** zurück in die Lichtquelle **110**.

[0051] Jegliche von mehreren Verfahren können verwendet werden, um sicherzustellen, daß der geleckte Strahl **136** die dominante Rückkopplung ist. Falls der Diodenlaser **110** ausgewählt ist, um eine SLM-ID-Vorrichtung vom Typ Toshiba 9215, Hitachi 6714G oder Philips CQL601D zu sein, dann wird derselbe zu einem optimalen Leistungsaufbau gewöhnlich deutlich über dem Nacktdiodenschwellensstrom (die Stromschwelle für einen unmodifizierten Diodenlaser, der in Isolation arbeitet) betrieben. Berechnungen und Experimente haben gezeigt, daß der Rückgabestrahl **136** eine Rückkopplung in einem Bereich von 1%–50% aufweist, um eine Leistungsstabilität sicherzustellen. Um sicherzustellen, daß der Strahl **136** die dominante Rückkopplung ist, muß die Reflexion des Strahls **114** von der Facette **112** zumindest 10–100 mal weniger intensiv sein als der Strahl **136**. In diesem Fall sollte die Emissionsfacette **112** ein Reflexionsvermögen von näherungsweise 0,01 oder 0,0001 aufweisen und dieselbe sollte vorzugsweise in einer Ordnung von zwischen 0,001 und 0,0001 liegen, um ein stabiles Verriegeln sicherzustellen. Bei einem Prototyp wurde die Rückkopplung aus dem Hohlraum auf zwischen 10% und 20% geschätzt und zu einer stabilen Verriegelung lag das optimale Refle-

xionsvermögen der Emissionsfacette eines Hitachi 6714G-Diodenlasers in dem Bereich 0,001–0,0001.

[0052] Eine Weise, um diese niedrigen Reflexionsvermögen zu erreichen, ist durch ein Verwenden einer Antireflexionsbeschichtung der Facette; diese Technik zum Reduzieren eines Reflexionsvermögens ist gut bekannt (siehe zum Beispiel Eisenstein, G. und Stulz, L. W., „High quality antireflection coatings on laser facets by sputtered silicon nitride", Appl. Opt., 23, 161 (1984)). Ein Vorteil der Antireflexionsbeschichtung an dem Diodenlaser der bevorzugten Ausführungsbeispiele besteht darin, daß dieselbe den herkömmlichen Bedarf nach einer zusätzlichen elektronischen Schaltungsanordnung eliminiert, um die Diode mit dem Hohlraum phasenzuverriegeln.

[0053] Alternativ kann ohne die Änderung der Emissionsfacette ein Hochleistungs-SLM-ID- oder ein anderer Diodenlaser einge- setzt werden. Falls die Rückkopplung groß genug ist, tritt der Dioden-Hohlraum-System-Laserbetrieb unterhalb des Nacktdiodenschwellenstroms auf. Befindet sich das Dioden-Hohlraum-System einmal im Laserbetrieb, muß die optische Reflexion von der Emissionsfacette gering genug sein, um den Diodengewinn nicht aufzubrauchen. Wenn der Diodenstrom näher an die Nacktdiodenschwelle angehoben wird, kann die Emissionsfacettenreflexion beginnen, den Diodengewinn aufzubrauchen, was wiederum zu einer Leistungsinstabilität führt.

[0054] Die Begrenzung bei einem Leistungsaufbau ist daher durch die Größe einer Rückkopplung und eines Emissionsfacettenreflexionsvermögens bestimmt. Ein Vorteil des Systems ist, daß dasselbe ohne jegliche derartige Rückkopplungsbegrenzungsvorrichtungen arbeiten kann, wie beispielsweise variable Dämpfungsglieder oder optische Isolatoren. Zum Beispiel kann eine Hochleistungsdiode deutlich unterhalb der Nacktdiodenstromschwelle derselben betrieben werden und immer noch genügend Gewinn aufweisen, um zu lasern, wenn Licht aus dem Aufbauhohlraum rückgekoppelt wird. Derartige Dioden sind in Ueno, u. a., „30-mW 690-nm high-power strainedquantum-well AlGaInP laser", IEEE J. Quant. Elec., 29, 1851 (1993); und Arimoto, u. a., „150mW fundamental-transversemode operation of 670 nm window laser diode", IEEE J. Quant. Elec., 29, 1874 (1993) beschrieben. Ein Prototyp verwendete einen SLM-ID-Laser mit 680 nm mit einer Hochreflektorrückfacette und einer Emissionsfacette mit einem 10%igen Reflexionsvermögen. Diese Diode wurde 10 mA unterhalb der Nacktdiodenschwelle betrieben und erreichte immer noch einen geeignet stabilen Leistungsaufbau, weil das effektive Reflexionsvermögen des Aufbauhohlraums 10% überschritt.

[0055] Andere Quellen einer Reflexion zurück in den Diodenlaser sollten minimiert sein. Zum Beispiel sollten das optische Formgebungselement **116** (und **135**, falls enthalten) und das Wellenlängenbestimmungselement **118** antireflexionsbeschichtet oder einfach etwas geneigt sein.

[0056] Um die Intensität des Strahls **126** zu maximieren, umfaßt das optische System **116** (und **135**, falls enthalten) Komponenten, wie beispielsweise Linsen oder Prismen, die den Strahl **114** formen und den Strahl **126** räumlich anpassen. Zusätzlich kann das Wellenlängenbestimmungselement **118** bei speziellen Eigenschaften des einfallenden Strahls optimal arbeiten. Falls das Element **118** ein Etalon ist, dann sollte zum Beispiel ein optimaler einfallender Strahl nicht-divergent sein, um die maximale Lichtmenge zu transmittieren. In diesem Fall formt das optische Element **116** den Strahl **114** optimal zu einer Transmission durch das Element **118** und das optische Element **135** paßt diesen transmittierten Strahl räumlich an den Strahl **126** an. Es ist anzumerken, daß das Element **118** beispielsweise ferner den Strahl **114** formen kann, falls das Element **118** ein Beugungsgitter ist. Bei bestimmten Anwendungen ist ein leicht suboptimales Verhalten des Elements **118** annehmbar, in welchem Fall die Strahlformgebungsfunktionen des Elements **135** in das Element **116** eingebaut werden können.

[0057] Sowohl die Komponenten als auch die Techniken einer derartigen Strahlformgebung sind auf dem Gebiet der Optik gut bekannt und herkömmliche Komponenten können verwendet werden. Die Form des Strahls **126** ist durch den Aufbauhohlraum bestimmt, der durch die Spiegel **120**, **122** und **124** gebildet ist, und kann eine oder mehrere transversal elektromagnetische Hohlraum-Moden sein.

[0058] Es bestehen viele Alternativen für den Entwurf des optischen Formgebungssystems **116** (und **135**, falls enthalten), die Fachleuten auf dem Gebiet gut bekannt sind. Beispiele geeigneter Konfigurationen umfassen:

(a) eine einzige Linse oder eine Multielementlinse, um den Strahl **114** sowohl zu sammeln als auch in den Aufbauhohlraum zu fokussieren;

(b) eine einzige Linse oder eine Multielementlinse, um den Strahl **114** zu kollimieren, und eine zusätzliche Linse, um den Strahl **114** in den Aufbauhohlraum zu fokussieren, in welchem Fall die Position und Brennweite der zusätzlichen Linse ausgewählt sind, um den Strahl **114** in den Aufbauhohlraum impedanzanzupassen;

(c) wie (b) plus zwei zylindrische Linsen, um den Strahl **114** zu zirkularisieren;

(d) wie (b) plus ein anamorphotisches Prismenpaar, um den Strahl **114** zu zirkularisieren;

(e) wie (c) oder (d) plus eine Astigmatismuskorrekturlinse; und

(f) eine GRIN-Linse, um den Strahl **114** zu kollimieren, und eine zweite Linse, um den Strahl in den Aufbauhohlraum zu fokussieren.

[0059] Alle der Entwürfe (a)–f) bilden den Strahl **114** mit einer unterschiedlichen Effizienz in den Aufbauhohlraum ab. Um diese Wirkung zu kompensieren, muß der Diodenstrom eventuell verändert werden, um die gleiche optische Leistung zu erzeugen. Es

sollte das Abbildungssystem ausgewählt werden, das die höchste Effizienz aufweist, um sicherzustellen, daß die Strahlen **126** und **136** bei einem gegebenen Diodenlaserstrom am intensivsten sind. Diese Auswahl hängt von den spezifischen Geometrien einer gegebenen Anwendung sowie von Kosten ab und kann getroffen werden, indem gut bekannte experimentelle und theoretische Techniken verwendet werden.

[0060] Der Aufbauhohlraum weist einen „Kamm" von Resonanzfrequenzen auf, die durch D = c/2L beabstandet sind, wobei D die Modenbeabstandung in Hertz ist, c die Geschwindigkeit von Licht ist und L die Umlaufweglänge des Aufbauhohlraums ist. Falls beispielsweise L = 30 cm, dann D = 0,50 GHz. Falls es die spezifische Erfassungsanwendung erfordert, daß der im Inneren des Hohlraums befindliche Strahl **126** eine oder einige Hohlraum-Moden beinhalten sollte, dann muß ein Wellenlängen- oder Frequenzbestimmungselement **118** eingesetzt werden.

[0061] Ein typisches Diodenlasergewinnmedium weist einen wesentlichen Gewinn über eine Breite von näherungsweise 3 THz (oder 5 nm bei 670 nm) auf, so daß viele Hohlraumfrequenzen gleichzeitig oder getrennt auf eine zufällige Weise lasern und sich aufbauen können. Der Zweck des Wellenlängenbestimmungselements **118** ist es, die Anzahl der Aufbauhohlraum-Moden zu begrenzen, die lasern können. Die Anzahl der Laserbetriebsmoden ist durch den Bandpaß des Wellenlängenbestimmungselements **118** bestimmt und kann so gering wie eins sein. Die Transmission des Wellenlängenbestimmungselements **118** muß groß sein, um sicherzustellen, daß die Intensitäten der Strahlen **126** und **136** so groß wie möglich sind. Bei verschiedenen funktionierenden Prototypen wurden Transmissionen von 80% und größer verwendet.

[0062] Das Wellenlängenbestimmungselement **118** umfaßt geeignete Filterelemente, die dispersiv, absorbierend oder eine Kombination von beidem sein können. Ein optisches Filter oder eine Absorbiereinrichtung mit einem schmalen Bandpaß können verwendet werden, um eine große Anzahl von Moden stark zu dämpfen, wodurch dieselben an einem Aufbauen gehindert werden. Beispiele geeigneter Filter umfassen Bandpaßfilter mit einem dielektrischen Stapel, Etalons, Lyot-Filter und akustooptische Filter. Das Element **118** kann in die Rückfacette **113** der Lichtquelle **110** beispielsweise durch ein Aufbringen eines dielektrischen Stapelreflektors oder einer anderen bekannten Beschichtung auf die Rückfacette **113** eingebaut werden. In diesem Fall ist es die Wirkung der Facette **113**, lediglich ein vorbestimmtes, geeignet schmales Band von Frequenzen entlang dem Weg des Strahls **114** zurückzureflektieren, wodurch die Anzahl der Hohlraum-Moden, die lasern können, begrenzt ist.

[0063] Dispersive Elemente, zum Beispiel Beugungsgitter und Prismen lenken einen Lichtstrahl um einen bestimmten Winkel ab, was von der Frequenz des Lichts abhängt. Somit können durch den Strahl **126** lediglich einige Aufbauhohlraum-Moden erzeugt werden und einen Strahl **136** liefern, der zu der Diode **110** zurückkehrt. In diesem Fall ist die Anzahl der Moden, die sich aufbauen können, durch die Dispersion des Wellenlängenbestimmungselements **118** und den Abstand zwischen diesem Element und dem Aufbauhohlraum bestimmt.

[0064] Ein Beispiel eines geeigneten Beugungselements ist ein Transmissionsbeugungsgitter mit 1800 Rillen pro mm mit einer Transmissionseffizienz von 80%. Ein Reflexionsbeugungsgitter kann auch verwendet werden; bei einem Prototyp wurde ein Beugungsgitter mit 2400 Rillen pro mm und einer Reflexionseffizienz von 90% eingesetzt. Der Strahl **114** kann abgelenkt (oder reflektiert) werden, wenn er durch das Wellenlängenbestimmungselement **118** verläuft.

[0065] **Fig.** 2 stellt ein zweites Ausführungsbeispiel der Erfindung dar, bei dem die Rückfacette **113** ähnlich der Emissionsfacette **112** AR-beschichtet ist, und ein zusätzlicher Spiegel **200** den Strahl **114** zurück in die Lichtquelle **110** durch die Rückfacette **113** reflektiert. Das Wellenlängenbestimmungselement **118** funktioniert auf die gleiche Weise, wie es oben beschrieben ist, falls dasselbe dann zwischen dem Spiegel **200** und der Rückfacette **113** plaziert ist. Zusätzlich können die Strahlformgebungsoptiken **116** notwendig sein, um den Strahl **114** zu einem optimalen Verhalten des Elements **118** zu formen. In diesem Fall wird dasselbe auch zwischen dem Spiegel **200** und die Rückfacette **113** plaziert, vorzugsweise (aber nicht notwendigerweise) zwischen dem Wellenlängenbestimmungselement **116** und der Rückfacette **113**.

[0066] Falls das Frequenzfenster (oder Bandpaß), das durch das Wellenlängenbestimmungselement **118** transmittiert wird, abgestimmt werden kann, dann kann auch die durchschnittliche Frequenz des Strahls **126** abgestimmt werden. Der Abstimmungsbereich ist letztlich durch die Gewinnbandbreite des Diodenlasers **110** begrenzt. Beispiele eines Abstimmens umfassen ein Drehen entweder des Ablenkgitters oder eines Etalon. Bei diesem Ausführungsbeispiel ist das Wellenlängenbestimmungselement **118** zwischen dem Laser **112** und dem Hohlraum plaziert; das Element **118** kann dann in die Rückfacette **113** der Lichtquelle eingebaut werden oder kann zwischen der Lichtquelle und dem externen Spiegel **200** plaziert werden. Die Position des Elements **118** ist daher grundlegend unterschiedlich von derselben, die zum Beispiel durch Koslovsky beschrieben ist: der Hohlraumentwurf erlaubt es vernachlässigbaren Lichtmengen, durch die Spiegel **122** und **124** zu verlaufen.

[0067] Jeder der Spiegel **120**, **122** und **124** weist einen Krümmungsradius und eine relative Beabstandung auf, die unter Verwendung herkömmlicher Kriterien gewählt wurden, um die Intensität des Strahls **126** zu optimieren, sowie um jegliche spezifische Er-

fassungsanwendungsbedürfnisse zu erfüllen. Der Wert der Spiegelreflexionsvermögen bestimmt die Reflexionsvermögensfinesse des optischen Hohlraums und somit die Intensität der Strahlen **126** und **136**; der tatsächliche Wert hängt von einer gegebenen Anwendung ab und kann durch ein Experiment oder eine Berechnung bestimmt werden, wobei bekannte Techniken verwendet werden, wobei eine vorherrschende Erwägung eine Impedanzanpassung ist. Berechnungen haben gezeigt, daß ein optimaler Impedanzanpassungsspiegel **120** einen Verlust (einschließlich Transmissions-, Absorptionsund Streuverluste) in dem Bereich von 50–300 Teilen pro Million (ppm) aufweisen sollte und daß der Verlust für die sekundären Spiegel **122**, **124** in dem Bereich von 1–100 ppm liegen sollte. Zwei Beispiele geeigneter Spiegeltransmissionsverluste, die bei Prototypen verwendet wurden, sind, wenn alle drei Spiegel Transmissionsverluste von 12 ppm aufweisen, oder wenn der Spiegel **120** einen Verlust von etwa 100 ppm aufweist und die Spiegel **122** und **124** beide Verluste von etwa 12 ppm aufweisen. Verglichen mit Systemen, die Ablenkgitter und andere Frequenzverriegelungsvorrichtungen nach dem Hohlraum in dem Lichtweg (hinter dem „Endspiegel" des Hohlraums) verwenden, können daher die Endspiegel **122**, **124** einige Größenordnungen reflektiver sein und die Effizienz des Systems durch ein starkes Reduzieren eines Verlusts erhöhen.

[0068] Die optimalen Krümmungsradien für die Spiegel **120**, **122** und **124** hängen auch von der gegebenen Anwendung ab und können experimentell oder theoretisch bestimmt werden. Bei einem Prototyp betrug der Krümmungsradius für alle Spiegel **120**, **122** und **124** 17 cm. Der Abstand zwischen den Spiegeln **120** und **122** sowie zwischen den Spiegeln **120** und **124** sollte ebenfalls auf eine jegliche herkömmliche Weise gewählt werden, um eine stabile Hohlraum-Mode zu bilden; bei dem eben erwähnten Prototyp betrug die Beabstandung zwischen den Spiegeln 14 cm.

[0069] In dem Fall, daß die Probe **128** viele Gase beinhaltet, die den optischen Strahlweg des Hohlraums füllen, sollte der Winkel zwischen den zwei Armen des V-förmigen Aufbauhohlraums, der durch die Spiegel **120**, **122** und **124** gebildet ist, klein sein (z. B. kleiner als 20 Grad); andernfalls beeinträchtigen Veräderungen in einem Brechungsindex wegen Gasveränderungen die Brechung des Strahls **114**, wenn derselbe durch den Eingangsspiegel **120** verläuft. Andere Spiegelpositionen und Krümmungsradien könnten für unterschiedliche Anwendungen geeignet sein, die beispielsweise Spiegel **124** und **120** aufweisen, die sehr nahe beieinander sind, so daß dieselben in eine kleine feste Halterung passen könnten.

[0070] Das Erfassungssystem **130** umfaßt bekannte Optiken, die zu einem Sammeln des erzeugten Signals geeignet sind, und einen Detektor zum Erfassen des gesammelten Signals. Die Position des Erfassungssystems **130** ist durch die Position der Optiken bestimmt, die bei dem Erfassungssystem **130** eingesetzt werden, und kann nächstliegend zu der Probe **128** oder an einer jeglichen anderen zweckmäßigen Stelle sein. Die Plazierung des Erfassungssystems hängt normalerweise von der Anwendung ab und kann einfach durch ein Experimentieren oder eine Kenntnis der Eigenarten des optischen Signals (wie beispielsweise Raman-Streuung oder Fluoreszenz) bestimmt werden, von dem erwartet wird, daß die Probe dasselbe abgibt.

[0071] Der V-förmige Aufbauhohlraum mit drei Spiegeln, der durch die Spiegel **120**, **122** und **124** definiert ist, ist nicht die einzige geeignete Hohlraumkonfiguration; andere Konfigurationen sind im folgenden beschrieben. Ein gemeinsames Merkmal der Aufbauhohlräume ist jedoch, daß dieselben eine große optische Rückkopplung in den Diodenlaser sicherstellen. Im allgemeinen sollte eine Hohlraumkonfiguration gewählt werden, die einen einzigen Rückgabestrahl **136** bereitstellt, der auf den im Inneren des Hohlraums befindlichen Strahl **126** zurückgeht. Ein V-förmiger Hohlraum erreicht dies, weil ein jeglicher nicht-resonanter einfallender Strahl durch den Eingangsspiegel **120** reflektiert wird und nicht zurück in den Diodenlaser gelangt. Eine andere Weise, um dies zu erreichen, wäre durch ein Verwenden zusätzlicher, außerhalb des Hohlraums befindlicher Spiegel, wie es bei einem ringförmigen Hohlraum notwendig wäre. Bevorzugte Beispiele, bei denen ein zusätzliches Element nicht notwendig ist, sind in den **Fig.** 2 und 3 gezeigt.

[0072] **Fig.** 3 stellt ein drittes Ausführungsbeispiel der Erfindung dar, bei dem ein optischer Kubus **310** die zwei in **Fig.** 1 gezeigten Spiegel **120**, **122** ersetzt. Mit den Ausführungsbeispielen von sowohl **Fig.** 1 als auch **Fig.** 2 gemeinsame Merkmale behalten die Bezugszeichen, die dieselben in **Fig.** 1 aufweisen. Insbesondere sind die kombinierte Lichtquelle, die Formgebungsoptiken und das Wellenlängenbestimmungselement mit **119** gekennzeichnet, obwohl dieselben, wie bei dem ersten Ausführungsbeispiel, nicht in eine einzige Einheit integriert sein müssen.

[0073] Der optische Kubus **310** ist auf eine bekannte Weise durch ein optisches Zusammenkitten zweier Prismen **312** und **314** hergestellt; bei einem Prototyp wurden zwei rechte Prismen verwendet. Eine Seite **320** des Prismas **312** (die Seite, die im wesentlichen parallel zu dem einfallenden Strahl **114** und dem Rückgabestrahl **136** ist) ist hoch reflektierend, während Seiten **316** und **318** (die Seiten, die im wesentlichen senkrecht zu dem Strahl an der Eingangs- bzw. Austrittsoberfläche des Kubus **310** sind) sind antireflexionsbeschichtet. Um einen im Inneren des Hohlraums befindlichen Strahl **322** mit so viel Intensität wie möglich zu erzeugen, muß die Oberfläche oder Seite **318** einen so geringen Verlust wie möglich aufweisen. Eine dritte Seite **324** des Prismas **312** (die Seite an der Kontaktoberfläche zwischen den zwei Prismen) ist ebenfalls hoch reflektierend und der Wert des Reflexionsvermögens ist auf eine jegliche

bekannte Weise ausgewählt, um den Eingangsstrahl **114** in den Hohlraum impedanzanzupassen.

[0074] Der optische Hohlraum ist durch die drei Spiegel **320**, **324** und **122** gebildet. Der Vorteil dieses Aufbaus ist, daß zwei optische Elemente zu einem Stück kombiniert sind. Es muß jedoch darauf geachtet werden, die Doppelbrechung des Prismenmaterials zu reduzieren. Ein Polarisationsrotationselement **326**, vorzugsweise eine Halbwellenplatte, kann erforderlich sein, falls der Strahl **114** polarisiert ist, und kann unter Verwendung gut bekannter herkömmlicher Techniken eingestellt werden.

[0075] **Fig.** 4 stellt ein viertes Ausführungsbeispiel eines optischen Holraums dar, ebenfalls wieder mit einer geeigneten Lichtquelle **119**. Bei diesem Ausführungsbeispiel ist die Konfiguration des Hohlraums linear, mit einem Eingangsspiegel **410**, dessen Reflexionsvermögen den Strahl **114** in den Hohlraum impedanzanpaßt, der durch Spiegel **410** und **122** gebildet ist.

[0076] In diesem Fall besteht eine Reflexion von dem Spiegel **410** zurück exakt entlang dem Strahl **136**, die zwei Komponenten aufweist. Die erste reflektierte Komponente umfaßt Licht, das auf einer Resonanzfrequenz des Hohlraums ist, und die zweite Komponente umfaßt das Licht auf allen anderen einfallenden Frequenzen. Der Betrag der ersten Resonanzkomponente ist sowohl durch die Parameter (Krümmung und Reflexionsvermögen) der Spiegel **410** und **122** als auch durch den Grad an räumlicher Überlappung zwischen den Strahlen **114** und **126** bestimmt. Der Betrag der ersten reflektierten Komponente kann als die Menge an in dem Inneren des Hohlraums befindlichem Licht gesehen werden, das durch den Spiegel **410** zurückleckt, wogegen der Betrag der zweiten Komponente durch Parameter (Krümmung und Reflexionsvermögen) des Spiegels **410** allein bestimmt ist. Beide dieser reflektierten Komponenten führen zu einer Rückkopplung in die optische Quelle; der Betrag dieser Rückkopplung ist zusätzlich durch die Strahlformgebungsoptiken bestimmt.

[0077] Falls derselbe in einem Betrag dem ersten Resonanzrückkopplungsweg ähnlich ist, konkurriert der zweite Rückkopplungsweg um einen optischen Gewinn in der Lichtquelle und führt zu einer Leistungsinstabilität. Um die Lichtquelle dazu zu zwingen, stabil mit der ersten Resonanzrückkopplungsreflexion zu verriegeln, muß sichergestellt sein, daß der Betrag der zweiten Rückkopplung näherungsweise zehn- oder mehrmal kleiner ist als die erste Resonanzrückkopplung. In diesem Fall kann z. B. der Treiberstrom für die optische Quelle gewählt werden, um lediglich genug Gewinn zu liefern, so daß sich das System lediglich für die erste Resonanzrückkopplung über einer Laserbetriebsschwelle befindet. Eine Begrenzung bei dieser Lösung ist, daß der Gewinn der optischen Quelle wegen eines Aufkommens einer Leistungsinstabilität nicht weiter erhöht werden kann; dies begrenzt daher die Leistungsgröße, die in dem Hohlraum aufgebaut werden kann, der durch die Spiegel **410** und **122** gebildet ist. Eine andere und bevorzugte Lösung ist es, das Wellenlängenbestimmungselement (in **Fig.** 4 ist dasselbe in der Einheit **119** enthalten) aufzunehmen und dasselbe zwischen der Lichtquelle und dem Spiegel **410** zu plazieren.

[0078] Die Frequenzbeabstandung zwischen Resonanzmoden eines optischen Hohlraums ist umgekehrt proportional zu der Spiegeltrennung. Falls der Abstand zwischen der Lichtquelle (oder genauer dem Hochreflektor bzw. Reflektor mit hohem reflexionsvermögen der Lichtquelle, das heißt entweder der Rückfacette **113** oder dem Spiegel **200**) und dem Spiegel **410** kleiner ist als der Abstand zwischen den Spiegeln **410** und **122**, dann ist die Frequenzdifferenz zwischen den Resonanzmoden bei den ersteren größer als bei den letzteren. Falls zum Beispiel ein Schmalbandfilter mit einem Bandpaß verwendet würde, der geringer ist als die größere der eben erwähnten Frequenzdifferenzen, dann wäre der zweite Rückkopplungsweg an einem Laserbetrieb gehindert, während der erste Resonanzweg noch lasern würde. Eine ähnliche Lösung wäre für die oben erwähnten Wellenlängenbestimmungselemente möglich, besonders wenn dieselben als ein Etalon implementiert sind.

[0079] Eine andere Weise, um die Nichtresonanzreflexion zu isolieren, ist durch Polarisation. Falls ein Niedrigverlust-Polarisationsrotationselement, wie beispielsweise eine Halbwellenplatte, in dem optischen Hohlraum enthalten ist, ist die Resonanzreflexion mit der Nichtresonanzreflexion phasenverschoben und kann durch ein Einbringen eines Polarisators zwischen die Lichtquelle und den Hohlraum unterschieden werden. Falls die Lichtquelle eine Strahlung emittiert, die im wesentlichen polarisiert ist, dann können zusätzliche Polarisationsrotationselemente notwendig sein.

[0080] Bei den dargestellten Ausführungsbeispielen der Erfindung ist der im Inneren des Hohlraums befindliche Strahl als gerade von dem reflektierenden Eingangselement (Spiegel **120** und **410** oder Prismenpaar **310**) durch die Probe und weiter zu dem reflektierenden Endelement **122** verlaufend gezeigt. Obwohl dies der einfachste und daher bevorzugte im Inneren des Hohlraums befindliche Lichtweg ist, der verwendet wird, um derartige physikalische Eigenarten wie eine Raman-Streuung durch die Probe zu erfassen, ist dies nicht notwendig. Statt dessen könnte der im Inneren des Hohlraums befindliche Strahl auf eines oder mehrere reflektierende Zwischenelemente gerichtet werden, wobei die Probe auf eine geeignete Weise relativ zu dem im Inneren des Hohlraums befindlichen Strahl und zu dem Detektor **130** positioniert ist, solange die Zwischenelemente so hoch reflektierend sind, daß der im wesentlichen verlustfreie Aufbau innerhalb des Hohlraums erhalten wird, und solange die Geometrie des Hohlraums (Beabstandung und Krümmungsradien) und die definierenden reflektierenden Elemente desselben auf eine jegliche

herkömmliche Weise eingestellt sind, um sicherzustellen, daß eine stabile Hohlraum-Mode gebildet ist.
[0081] Eine derartige Anordnung könnte zum Beispiel bei Anwendungen notwendig sein, bei denen der im Inneren des Hohlraums befindliche Strahl nicht direkt durch die Probe verlaufen soll, sondern bei denen die interessierende, identifizierende Charakteristik der Probe auf irgendeiner anderen Wechselwirkung zwischen dem Strahl und der Probe basierend erfaßt wird. Auf jeden Fall wird die Probe in irgendeiner Wechselwirkungsregion des optischen Hohlraums positioniert, die innerhalb des Hohlraums selbst liegen kann (wie es in den Figuren gezeigt ist). Ferner sollte der optische Verlust der Probe geringer sein als derselbe der Hohlraumspiegel. Falls dies nicht der Fall ist, sollten die Spiegelreflexionsvermögen gewählt werden, um eine Impedanzanpassung in den Hohlraum zu optimieren.
[0082] Bei den verschiedenen beschriebenen Ausführungsbeispielen besteht kein Bedarf, absichtlich jegliche Verlustmechanismen, wie beispielsweise nicht-lineare Kristalle, in den Hohlraum aufzunehmen. Ein großer Vorteil dieser Ausführungsbeispiele ist, daß dieselben eine im wesentlichen verlustfreie Reflexion über das gesamte Spektrum der Laserdiodenemission möglich machen. Es besteht in der Tat überhaupt kein inhärenter Strukturverlust innerhalb des Hohlraums und der einzige „Verlust" ist derselbe, der mit der Energie verbunden ist, die durch die Probe absorbiert, umgewandelt oder gestreut wird, was natürlich die Energie ist, die durch das Erfassungssystem **130** erfaßt wird.

Patentansprüche

1. Ein Halbleiterlaserleistungsaufbausystem, das einen Halbleiterlaser (**110**), der eine Emissionsfacette (**112**) umfaßt und wirksam ist, um einen einfallenden Lichtstrahl (**114**) entlang eines Einfallender-Strahl-Wegs auszugeben; einen optischen Resonanzhohlraum, der ein primäres reflektierendes Eingangselement (**120**; **210**; **410**) und zumindest ein sekundäres reflektierendes Element (**122**, **124**) aufweist, wobei der optische Resonanzhohlraum einen im Inneren des Hohlraums befindlichen Lichtstrahlweg aufweist, entlang dem ein im Inneren des Hohlraums befindlicher reflektierter Lichtstrahl im wesentlichen ohne Verlust verläuft, der Komponenten bei Frequenzen aufweist, die innerhalb eines Kamms von Resonanzfrequenzen des optisch resonanten Hohlraums liegen, wobei sich der im Inneren des Hohlraums befindliche Lichtstrahlweg entlang im wesentlichen der gesamten Ausdehnung des optisch resonanten Hohlraums erstreckt, und einen Referenzlichtstrahl (**136**) aufweist, der aus einem Teil des reflektierten Lichtstrahls besteht, der im Gebrauch durch das reflektierende Eingangselement transmittiert wird und mit dem einfallenden Strahl (**114**) zusammenfällt, jedoch bezüglich desselben entgegengesetzt gerichtet ist, wobei der Referenzlichtstrahl (**136**) die dominierende Rückkopplung an den Halbleiterlaser ist, wobei der Laser im wesentlichen passiv, gesamtoptisch mit dem Hohlraum frequenzverriegelt ist.

2. Ein System gemäß Anspruch 1, das ein Wellenlängenbestimmungselement (**118**) in dem Einfallender-Strahl-Weg zwischen dem Laser und dem reflektierenden Eingangselement umfaßt.

3. Ein System gemäß Anspruch 2, bei dem das Wellenlängenbestimmungselement (**118**) ein Gitter oder ein Etalon ist.

4. Ein System gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem das reflektierende Eingangselement einen Verlust im Bereich von 50–300 Teilen pro Million (ppm) aufweist und das oder jedes sekundäre reflektierende Element einen Verlust im Bereich von 1–100 Teilen pro Million aufweist.

5. Ein System gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die Emissionsfacette (**112**) ein Reflexionsvermögen von weniger als 0,01 aufweist.

6. Ein System zum Erfassen von Chemikalien in einer Probe, das ein Halbleiterlaserleistungsaufbausystem gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche umfaßt, das eine Einrichtung in einer Interaktionsregion, die entlang des im Inneren des Hohlraums befindlichen Strahlwegs angeordnet ist, zum Aufnehmen der Probe, wodurch die Probe so positioniert ist, daß der im Inneren des Hohlraums befindliche Lichtstrahl dieselbe kreuzt; und eine Einrichtung aufweist, die benachbart zu der Interaktionsregion positioniert ist, zum Erfassen einer vorbestimmten Charakteristik der Probe als Reaktion auf die Durchschneidung der Probe mit dem im Inneren des Hohlraums befindlichen Lichtstrahl.

7. Ein Verfahren zum Erfassen von Chemikalien in einer Probe, das folgende Schritte aufweist:
Richten eines einfallenden Lichts von einem Halbleiterlaser (**110**) als einen einfallenden Lichtstrahl in einen ungehinderten Lichtstrahlweg zwischen einem ersten reflektierenden Element (**120**, **210**, **410**) und zumindest einem zweiten reflektierenden Element (**122**, **124**), einschließlich eines Bildens eines optischen Resonanzhohlraums, der einen im Inneren des Hohlraums befindlichen Lichtstrahlweg aufweist, entlang dessen ein im Inneren des Hohlraums befindlicher reflektierter Lichtstrahl im wesentlichen ohne Verlust verläuft, und der wirksam ist, um einen Kamm von Resonanzfrequenzen zu durchlaufen; im wesentlichen passives, gesamtoptisches Frequenzverriegeln des Lasers mit dem optischen Resonanzhohlraum, einschließlich eines Teilschritts eines wiederholten Reflektierens, in dem optischen Resonanzhohlraum, von Komponenten des einfallenden Lichtstrahls, die eine in dem Kamm von Resonanzfre-

quenzen liegende Frequenz aufweisen, und einschließlich eines Teilschrittes des Richtens eines Abschnitts des einfallenden Lichtstrahls von dem optischen Hohlraum in den Halbleiterlaser, wobei der Abschnitt des einfallenden Lichtstrahls die dominierende Rückkopplung an den Laser ist;
Positionieren der Probe in einer Interaktionsregion des optischen Resonanzhohlraums, derart, daß das einfallende Licht auf die Probe auftrifft, und
Identifizieren von Chemikalien in der Probe, einschließlich eines Erfassens einer Reaktion der Probe auf das Auftreffen des einfallenden Lichts auf dieselbe Probe, und eines Verwendens des Erfassens zum Messen einer vorbestimmten Charakteristik der Probe in der Interaktionsregion.

8. Ein Verfahren gemäß Anspruch 7, das den Schritt eines Rückführens eines Rückkehrlichtstrahls, der zumindest 3% der Intensität des einfallenden Lichtstrahls aufweist, in den Laser umfaßt.

9. Ein Verfahren gemäß Anspruch 8, bei dem für einen Halbleiterlaser, der ein Diodenlaser mit einer unmodifizierten Emissionsfacette (**112**) ist, das Verfahren den Schritt des Treibens des Diodenlasers mit einem Strom, der geringer ist als der reine Dioden-Schwellstrom, umfaßt.

10. Ein Verfahren gemäß einem der Ansprüche 7 bis 9, das den Schritt des Bereitstellens einer Antireflexionsbeschichtung an der oder einer Emissionsfacette des Halbleiterlasers umfaßt.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

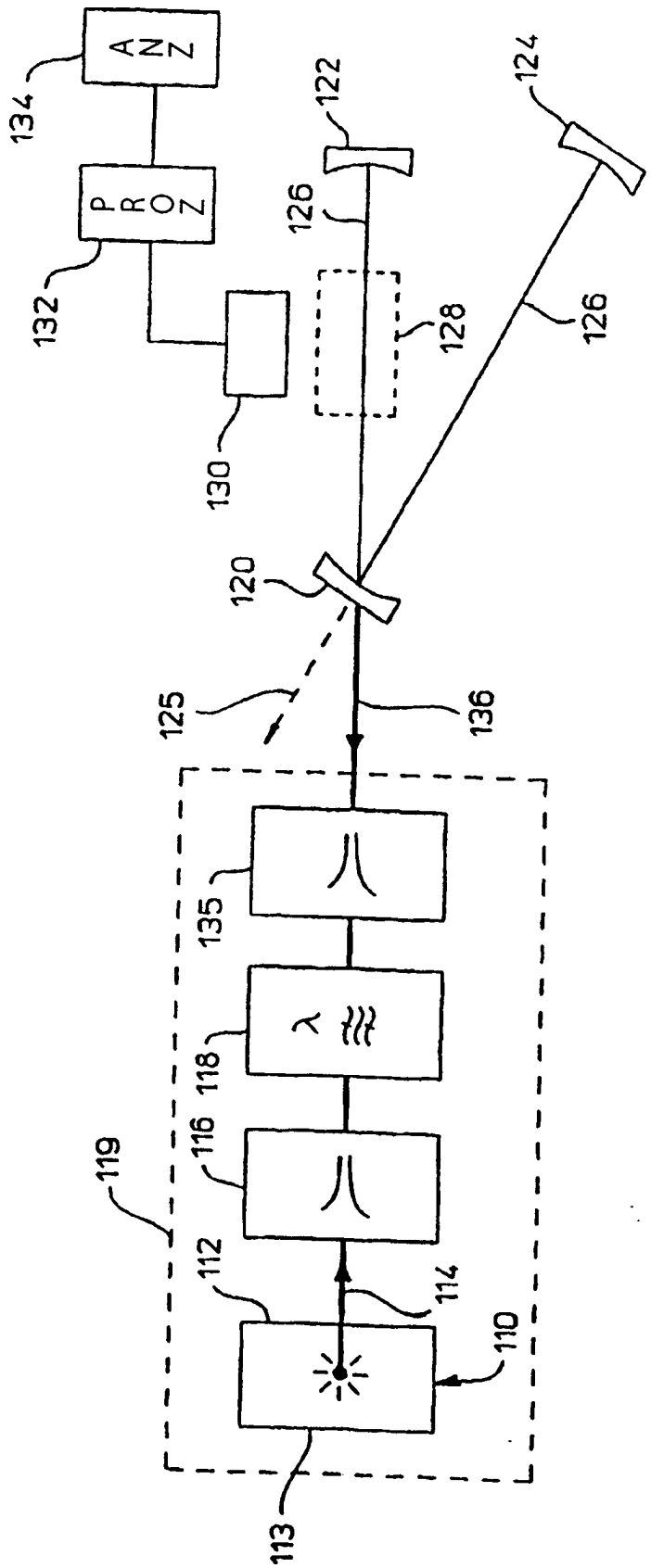

FIG. 1

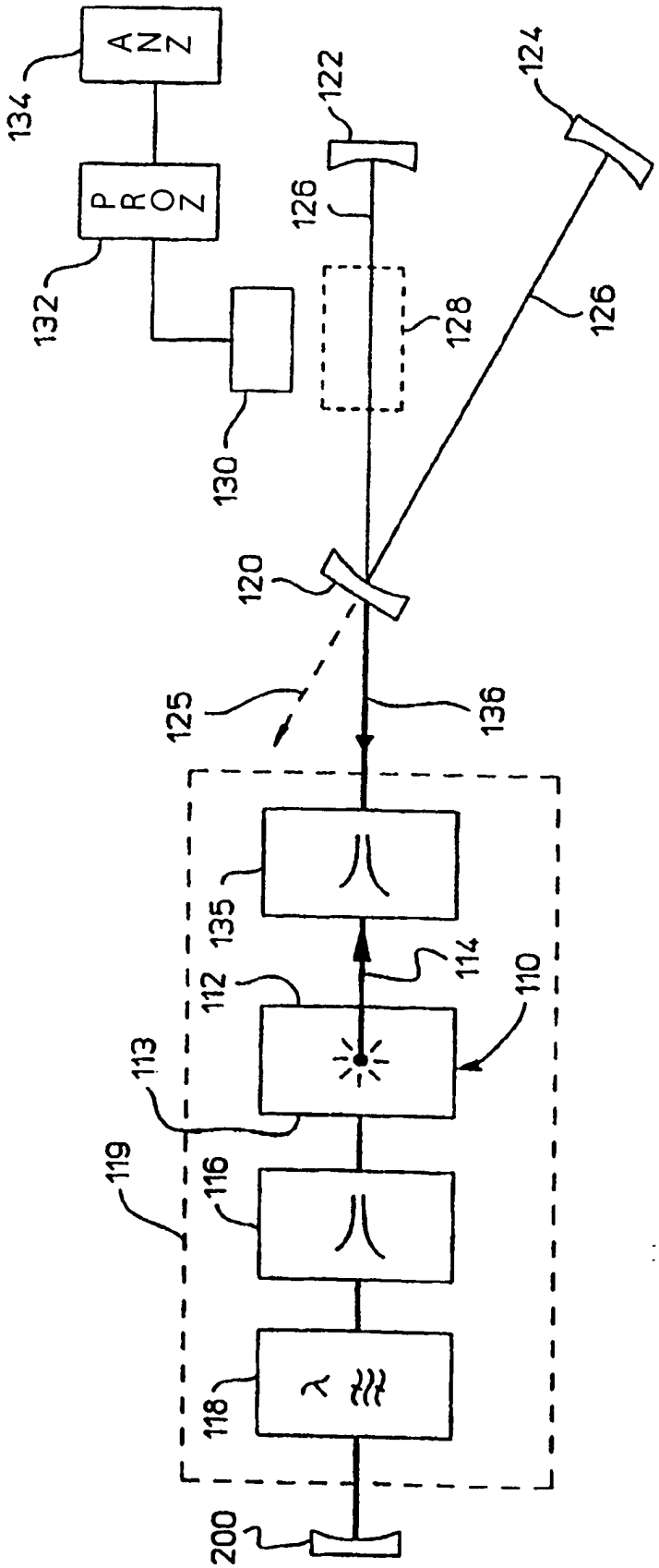
ANZ
PROZ
134
132
130
122
126
128
124
126
120
125
136
135
114
112
110
113
119
116
118
λ
200

FIG. 2

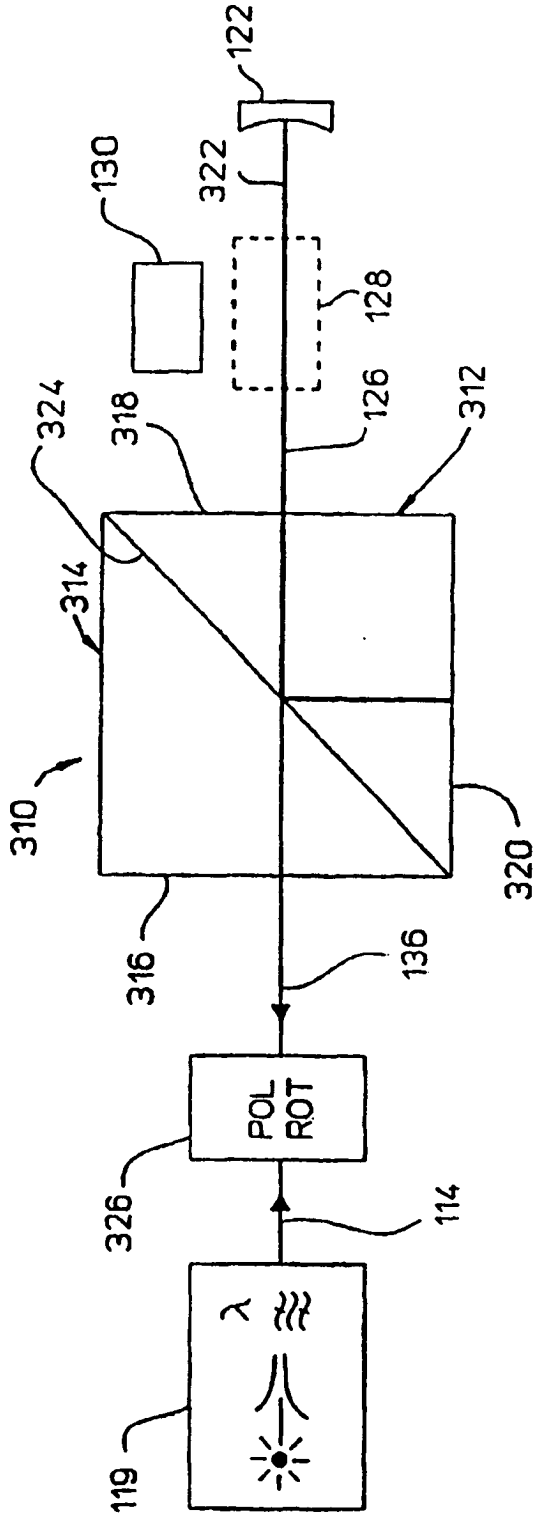
122
130
322
128
126
324
318
312
314
310
320
316
136
POL
ROT
326
114
λ
119

FIG. 3

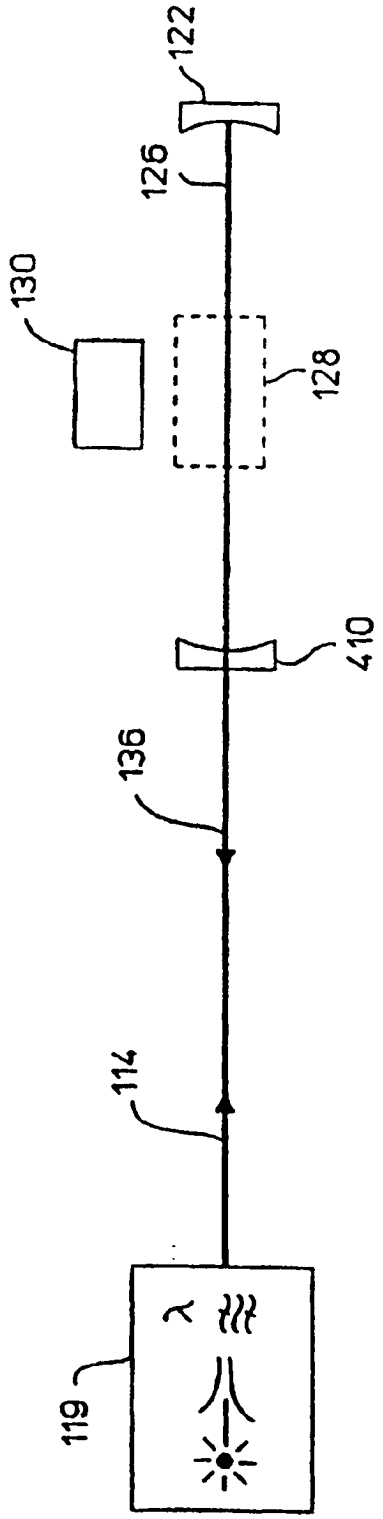
122
126
130
128
410
136
114
λ
119

FIG. 4