

(12)

PATENTSCHRIFT

(21) Anmeldenummer: 651/89

(51) Int.Cl.⁵ : **H01S 3/133**
G01B 9/02

(22) Anmeldetag: 21. 3.1989

(42) Beginn der Patentdauer: 15. 5.1991

(45) Ausgabetag: 10.12.1991

(56) Entgegenhaltungen:

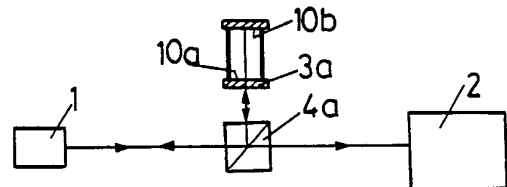
DE-OS2945219 DE-OS3627649 GB-A-2154787 DE-OS3706635
"LASER", KNEBÜHL UND SIGRIST, VERLAG TEUBNER,
STUTTGART, 1988, SEITEN 190-192
"WISSENSPEICHER LASERTECHNIK", VEB FACHBUCHVERLAG
LEIPZIG, 1982, SEITEN 417-420
FEINWERKTECHNIK & MESSTECHNIK 87 (1979)8, SEITEN
368-372

(73) Patentinhaber:

TABARELLI WERNER DR.
FL-9494 SCHAAN (LI).

(54) EINRICHTUNG ZUR KONSTANTHALTUNG DER LUFTWELLENLÄNGE VON LASERLICHT

(57) Einrichtung zur Erzeugung von Licht, insbesondere für ein Interferometer zur Längenmessung, wobei die Frequenz des emittierten Laserlichtes in Abhängigkeit von der im gasförmigen Umgebungsmedium vorliegenden Wellenlänge derart geregelt ist, daß die Luftwellenlänge konstant bleibt. Erfindungsgemäß ist bei einer solchen Einrichtung die Lichtquelle eine Laserdiode (1) und außerhalb des Laserresonators der Laserdiode eine Einrichtung (3a,3b,3c,3d;4a,4b;5,6,13;9) zur frequenzselektiven Rückkoppelung des von der Laserdiode (1) ausgesandten Lichtes in den Laserresonator vorgesehen.



Die Erfindung betrifft eine Einrichtung zur Erzeugung von Licht, insbesondere für ein Interferometer zur Längenmessung, wobei die Frequenz des emittierten Laserlichtes in Abhängigkeit von der im gasförmigen Umgebungsmedium vorliegenden Wellenlänge derart geregelt ist, daß die Luftwellenlänge konstant bleibt.

Bei Interferometern zur Lagebestimmung von beweglichen Bauteilen ist es von entscheidender Bedeutung, die Wellenlänge des verwendeten Laserlichtes im Umgebungsmedium (im folgenden kurz Luftwellenlänge genannt) genau zu kennen, da die Verschiebewege in Einheiten von dieser Luftwellenlänge vorliegen. Kennt man die Frequenz der Lichtwelle hinreichend genau, so besteht die Möglichkeit, die Luftwellenlänge durch eine Ermittlung der Brechzahl zu bestimmen. Die Brechzahl kann beispielsweise nach der Parametermethode bestimmt werden, bei der Temperatur, Luftdruck und Feuchte der Luft gemessen werden und dann die Brechzahl formelmäßig berechnet wird. Allerdings hat dieses Parameterverfahren den Nachteil, daß wichtige Einflußgrößen wie beispielsweise die Gaszusammensetzung nicht eingehen und scheidet daher bei der Anwendung des Interferometers in Werkstätten bzw. im Freien aus.

Es ist bereits auch eine Einrichtung bekannt geworden, bei der die Luftwellenlänge mit einem offenen Etalon erfaßt wird und die Frequenz der Lichtquelle in Abhängigkeit von der Brechzahl der Luft derart verstellt wird, daß die für die interferometrische Messung relevante Luftwellenlänge konstant bleibt ("Wellenlängenstabilisation" von M. Kerner, in "Feinwerktechnik und Meßtechnik" 87 (1979) 8, S. 368-372). Bei der bekannten Einrichtung wird ein Helium-Neon-Laser als Lichtquelle verwendet. Die Variation der Frequenz des emittierten Laserlichtes ist durch Veränderung der Länge des Laserresonators etwa mittels Erwärmung und Kühlung oder durch Ausnützung des Piezo-Effektes möglich.

Abgesehen von der relativ hohen Leistungsaufnahme und der Größe eines Helium-Neon-Lasers weist dieser insbesondere den Nachteil auf, daß der Frequenzverstellbereich lediglich ausreicht, um Brechzahlsschwankungen in der Größenordnung von $\Delta n \approx 2 \cdot 10^{-6}$ zu erfassen, während die in der Praxis auftretenden Brechzahlsschwankungen weit höher sind, nämlich bis in den Bereich $\Delta n \approx 10^{-4}$ reichen können.

Aufgabe der Erfindung ist es, eine Einrichtung zur Erzeugung von Licht, insbesondere für Interferometer zur Längenmessung zu schaffen, die in der Lage ist, die Wellenlänge im Umgebungsmedium durch stetige Frequenzänderung bei den in der Praxis auftretenden Brechzahlsschwankungen (in der Größenordnung von $\Delta n \approx 10^{-4}$) konstant zu halten. Außerdem soll die Einrichtung eine kompakte Baugröße, insbesondere eine kleine Lichtquelle, und gegebenenfalls die Möglichkeit eines Batteriebetriebes aufweisen.

Erfindungsgemäß wird dies dadurch erreicht, daß die Lichtquelle eine Laserdiode ist und daß - wie an sich bekannt - außerhalb des Laserresonators der Laserdiode eine Einrichtung zur frequenzselektiven Rückkoppelung von von der Laserdiode ausgesandtem Licht in den Laserresonator der Laserdiode vorgesehen ist.

Externe frequenzselektive Resonatoren zur Rückkopplung von Laserlicht in eine Laserdiode sind bereits vielfach bekannt (beispielsweise aus der DE-OS 36 27 649 oder der GB-A-2154787). Bei der bekannten Einrichtung geht es jedoch darum, durch optische Rückkopplung einer bevorzugten Frequenz (und Konstanthaltung der Betriebsparameter des von der Laserdiode ausgesandten Lichts unabhängig von den Umweltbedingungen auf einen festen Wert zu stabilisieren (und dabei gegebenenfalls die Linienbreite des Laserlichts zu verringern). Bei der erfindungsgemäßen Einrichtung erfolgt jedoch in Abhängigkeit von der im Umgebungsmedium vorhandenen Brechzahl und in Kombination mit einer frequenzselektiven optischen Rückkopplung eine laufende Veränderung der Frequenz des von der Laserdiode ausgesandten Laserlichts. Durch geeignete frequenzselektive Rückkopplung von Laserlicht ist es mit der erfindungsgemäßen Einrichtung innerhalb bestimmter Grenzen möglich, die Emissionsfrequenz der als Lichtquelle dienenden Laserdiode bei Änderung der Lichtwellenlänge im Umgebungsmedium bzw. der Brechzahl so mit der bevorzugt zurückgekoppelten Frequenz "mitzuziehen", daß die Luftwellenlänge konstant bleibt, wobei bei dieser Vorgangsweise innerhalb des "Mitziehbereiches" auch der sonst bei Laserdioden übliche Effekt eines unstetigen (sprunghaften) Verlaufes der Emissionsfrequenz der Laserdiode in Abhängigkeit von den Betriebsparametern (Injektionsstrom, Temperatur) unterbleibt.

Bei diesem "Mitziehen" der Laserdioden-Emissionsfrequenz innerhalb eines Regelbereiches nützt die erfindungsgemäße Einrichtung den an sich bekannten Effekt aus, daß frequenzselektiv rückgekoppeltes Licht den entsprechenden Emissionsfrequenz-Mode der Laserdiode derart verstärkt bzw. das unerwünschte Anschwingen von Neben-Moden so effektiv unterdrückt, daß es sogar möglich ist, die Lichtemission der Laserdiode auf jene Frequenz "einrasten" (locking) zu lassen, die der von der frequenzselektiven Rückkopplungseinrichtung bevorzugt zurückgekoppelten Frequenz entspricht.

Die Frequenzselektivität einer Rückkopplungseinrichtung kann dann gemäß einer bevorzugten Ausführungsform dadurch bewirkt werden, daß ein in Transmission oder Reflexion betriebenes Etalon fester Baulänge vorgesehen ist, zwischen dessen spiegelnden Flächen sich das Umgebungsmedium befindet, wobei zumindest ein Teil des vom Etalon frequenzselektierten Laserlichtes in den Laserresonator der Laserdiode zurückgekoppelt wird. Im Hinblick auf eine für den genannten Einrasteffekt günstige schmalbandige Rückkopplung ist ein in Transmission betriebenes Etalon besonders vorteilhaft. Bei dieser Ausführung variiert die vom Etalon im Bereich der Emissionsfrequenz der Laserdiode bevorzugt zurückgekoppelte Frequenz vorteilhafterweise automatisch in Abhängigkeit von der Brechzahl des Umgebungsmediums derart, daß sich durch den dargestellten Effekt die Emissionsfrequenz der Laserdiode in der Weise verschiebt, daß die Luftwellenlänge konstant bleibt.

Kennt man die Luftwellenlänge bzw. die Brechzahl des Umgebungsmediums (beispielsweise durch elektroni-

sches Erfassen von Interferenzringen in einem offenen Luftwellenlängen-Erfassungsetalon), so ist grundsätzlich auch möglich, die bevorzugt in die Laserdiode zurückgekoppelte Frequenz und damit die darauf "einrastende" Emissionsfrequenz der Laserdiode dadurch zu verstellen, daß die Rückkopplungseinrichtung ein in Abhängigkeit von der im Umgebungsmedium vorliegenden Wellenlänge bzw. Brechzahl längenverstellbares und damit in der bevorzugt in die Laserdiode zurückgekoppelten Frequenz verstellbares Etalon aufweist. Mit dieser Ausführungsform lassen sich ebenfalls Modensprünge unterdrücken und ein "Mitziehen" der Emissionsfrequenz der Laserdiode über einen weiter kontinuierlichen Durchstimmbereich erzielen. Wie bereits erwähnt, ist die "aktive" Verstellung der Etalonlänge besonders dann vorteilhaft anzuwenden, wenn man die Luftwellenlänge bzw. die Brechzahl der Luft ohnehin aus anderen Erfassungseinrichtungen kennt. Die Längenverstellung des Etalons kann durch Verstellen der geometrischen Länge des Etalons, beispielsweise piezoelektrisch erfolgen. Unter Vermeidung von mechanischen Verstellungen kann günstigerweise eine Verstellung der effektiven optischen Länge des Etalons erfolgen, indem das längenverstellbare Etalon eine planparallele Platte aus einem elektrooptischen Material ist, deren Oberflächen mit elektrisch leitenden, semitransparenten Beschichtungen versehen sind, sodaß die optische Dicke des Etalons durch Anlegen einer elektrischen Spannung variierbar ist.

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist es günstig, wenn auch eine elektronische Regelungseinrichtung vorgesehen ist, die in Abhängigkeit von der im Umgebungsmedium vorliegenden Wellenlänge bzw. Brechzahl den Injektionsstrom und/oder die Temperatur der Laserdiode regelt. Zu Beginn einer Meßserie wird die elektronische Regeleinrichtung zunächst als Steuereinrichtung eingesetzt, um über Injektionsstrom und/oder Temperatur eine geeignete Anfangs-Emissionsfrequenz der Laserdiode anzusteuern, von der ausgehend dann bei sich ändernden Umweltbedingungen (Brechzahl) eine Frequenzregelung so erfolgt, daß die Luftwellenlänge konstant bleibt. Die Kriterien für diese Anfangs-Auswahl sind u. a. etwa ein möglichst geringer Energiebedarf für die Aufrechterhaltung der gewählten Betriebsparameter sowie ein möglichst großer Abstand zwischen zwei benachbarten Modensprüngen im Verlauf des Emissionsfrequenz-Spektrums der Laserdiode als Funktion des Injektionsstroms bzw. der Temperatur.

Die für die elektronische Regelung nötige Erfassung der im Umgebungsmedium vorliegenden Luftwellenlänge bzw. der Brechzahl kann mittels eines Etalons erfolgen, zwischen dessen Spiegelflächen sich das Umgebungsmedium befindet und dessen Interferenzmuster elektronisch ausgewertet wird. Nach der oben erwähnten Festlegung der Ausgangsbedingungen hat man mit der elektronischen Regeleinrichtung (eigentliche Regelfunktion) die Möglichkeit, die Betriebsparameter (Injektionsstrom, Temperatur) der Laserdiode in Abhängigkeit von der Luftwellenlänge zu regeln und damit das "Mitziehen" der Laserdioden-Emissionsfrequenz mit der aus der Rückkopplungseinrichtung bevorzugt zurückgekoppelten Frequenz zu unterstützen. Durch diese Kombination aus optischer Rückkopplungs-Regelung einerseits und elektronischer Regelung der Betriebsparameter der Laserdiode andererseits erreicht man, daß die Emissionsfrequenz über einen großen "Mitziehbereich" tatsächlich auf die bevorzugt zurückgekoppelte Frequenz eingerastet bleibt. An die Genauigkeit der elektronischen Regelung werden in diesem Falle keine allzu hohen Ansprüche gestellt, da ja die zur Konstanzhaltung der Luftwellenlänge nötige Emissionsfrequenz innerhalb des "Mitziehbereiches" durch das von der frequenzselektiven Rückkopplungseinrichtung zurückgekoppelte Signal festgelegt ist.

Wenn die Laserdiodenfrequenz beispielsweise aufgrund einer relativ breitbandigen frequenzselektiven Rückkopplung (etwa aus einem soliden Glasetalon geringer Dicke) nicht auf eine bestimmte optisch rückgekoppelte Frequenz "einrastet", oder, wenn sie nicht genau einrastet, ist mit der erfindungsgemäßen Einrichtung die Regelung der Emissionsfrequenz der Laserdiode schließlich auch ausschließlich mittels der elektronischen Regeleinrichtung in Abhängigkeit von der Luftwellenlänge im Umgebungsmedium bzw. der Brechzahl möglich. An die elektronische Regeleinrichtung werden dann entsprechend hohe Genauigkeitsanforderungen zu stellen sein.

In diesem Falle wird der bereits erwähnte Effekt der optischen Rückkopplung mit dem Ziel ausgenutzt, daß frequenzselektiv zurückgekoppeltes Licht den gerade schwingenden Frequenz-Mode der Laserdiode verstärkt und damit gleichzeitig das Anschwingen benachbarter Moden unterdrückt. Dadurch wird das übliche unstetige Verhalten der Emissionsfrequenz von Laserdioden innerhalb des erforderlichen Regelbereiches, das im Zusammenwirken mit der erfindungsgemäßen Einrichtung deren Funktion empfindlich stören würde, verhindert.

Insbesondere im Zusammenhang mit Multi-Mode-Laserdioden ist auch ein zweistufiges Verfahren möglich: dabei wird zunächst mittels eines nicht notwendigerweise mit dem Umgebungsmedium gefüllten Etalons, etwa einem soliden Glasetalon, das vorzugsweise dünner ist als die Länge des Laserresonators der Laserdiode, Licht zur Verstärkung des aktuell schwingenden bzw. zur Unterdrückung des Anschwingens benachbarter Moden frequenzselektiv optisch zurückgekoppelt; erst in einer zweiten Stufe (d. h. aus einem längeren Etalon) wird dann Licht jener Frequenz zurückgekoppelt, die zum "Mitziehen" bzw. "Einrasten" führen soll. Der Rückkopplungseffekt hängt auch von der Entfernung des Etalons oder einer spiegelnden Fläche der Rückkopplungseinrichtung vom Laserresonator der Laserdiode ab. Dies kann ausgenutzt werden, um auch über die Entfernung des Etalons bzw. der spiegelnden Fläche von der Laserdiode eine Regelung der bevorzugt zurückgekoppelten Frequenz durchzuführen. Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Einrichtung ist dazu vorgesehen, daß die Rückkopplungseinrichtung eine spiegelnde Fläche umfaßt, deren vorzugsweise in der Größenordnung der Laserresonatorlänge liegende oder noch kleinere Abstand vom Laserresonator variierbar ist. Die spiegelnde Fläche kann günstigerweise von der Laserdiode zugewandten Eintrittsfläche eines Etalons gebildet sein, aus dem selbst eine stark frequenzselektive Rückkopplung in den Laserresonator erfolgt. Dazu ist vorteilhaft vorgesehen, daß die

Rückkopplungseinrichtung ein Etalon umfaßt, dessen vorzugsweise in der Größenordnung der Laserresonatorlänge liegender Abstand von der Laserdiode variierbar ist. Sollte das Etalon weiter von der Laserdiode entfernt sein, ist es günstig, wenn als spiegelnde Fläche die Eintrittsfläche der zur Kollimation oder Fokussierung benötigten Optik, vorzugsweise einer Gradienten-Index-Linse, verwendet wird. Diese Optik liegt nahe an der Laserdiode und reflektiert (ohne gesonderte Maßnahme) ohnehin einen geringen Lichtanteil zur Laserdiode zurück. Es bedarf daher bei dieser Ausführungsform keiner zusätzlichen optischen Bauteile.

Weitere Vorteile und Einzelheiten der Erfindung werden in der folgenden Figurenbeschreibung näher erläutert.

Es zeigen die Fig. 1 bis 3 schematisch dargestellte Ausführungsbeispiele der erfindungsgemäßen Einrichtung, bei der die Regelung der Emissionsfrequenz der Laserdiode durch eine reine optische Rückkopplung erfolgt, die Fig. 4 und 5 weitere Ausführungsbeispiele, bei denen eine elektronische Regelung zur Regelung der Betriebsparameter der Laserdiode in Abhängigkeit von den Umweltbedingungen vorgesehen ist, und die Fig. 6 und 7 zwei Ausführungsbeispiele, bei denen Licht in einen zweiten Ausgang der Laserdiode zurückgekoppelt wird.

Die in Fig. 1 dargestellte Einrichtung zur Erzeugung von Licht besteht im wesentlichen aus einer Laserdiode (1), einem Strahlteiler (4a) und einem Luftspalt-Etalon (Fabry-Perot-Interferometer) (3a), und dient zur Versorgung des allgemein mit der Bezugsziffer (2) bezeichneten Interferometers zur Längenmessung mit Licht, dessen Frequenz in Abhängigkeit von der im gasförmigen Umgebungsmedium vorliegenden Wellenlänge derart geregelt ist, daß die Luftwellenlänge konstant bleibt. Der konkrete Aufbau des Interferometers (2) zur Längenmessung kann je nach Anwendungsfall variieren. Beispielsweise kann das Interferometer einen Strahlteiler aufweisen, über den das aus der erfindungsgemäßen Einrichtung stammende Licht in einen Meßzweig und einen Referenzzweig aufgeteilt wird. Der längenveränderliche Meßzweig führt dabei durch das Umgebungsmedium und ist damit den Umwelteinflüssen ausgesetzt. Der von der Referenzstrecke zurückkehrende Referenzstrahl und der von der Meßstrecke zurückkehrende Meßstrahl werden zur Interferenz gebracht und das Interferenzsignal ausgewertet. Durch die erfindungsgemäße Konstanthaltung der Wellenlänge im Umgebungsmedium (Luftwellenlänge) ist sichergestellt, daß das zunächst in Einheiten der Luftwellenlänge vorliegende Meßergebnis auch korrekt in metrischen Einheiten bekannt ist.

Bei der in Fig. 1 dargestellten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Einrichtung besteht die frequenzselektive Rückkopplungseinheit im wesentlichen aus dem offenen Etalon (3a), das in Reflexion betrieben ist und einen Spiegelabstand im Millimeterbereich aufweist. Bei einem solchen offenen Etalon befindet sich zwischen den Spiegelflächen (10a und 10b) das Umgebungsmedium (im allgemeinen Luft). Die Spiegelfläche (10a) ist teildurchlässig. Ändert sich nun die Brechzahl des Umgebungsmediums und damit die Luftwellenlänge, so verändert sich die aus dem Etalon (3a) über den Strahlteiler (4a) bevorzugt in die Laserdiode (1) zurückgekoppelte Frequenz. Wenn die Laserdioden-Emissionsfrequenz (beispielsweise durch ausreichend starke und schmalbandige Rückkopplung) auf die zurückgekoppelte Frequenz einrastet, ist es damit möglich, die Laserdioden-Emissionsfrequenz innerhalb eines Regelbereiches mit der zurückgekoppelten Frequenz aus dem Etalon (3a) "mitzuziehen". Dabei erfolgt die Verstellung der Frequenz durch das offene Etalon (3a) gerade in einer solchen Weise, daß die Luftwellenlänge konstant bleibt. In der Praxis wird man das offene Etalon (3a) möglichst in der Nähe der Meßstrecke des Interferometers (2) anordnen bzw. auf andere Weise sicherstellen, daß die Umweltbedingungen auf der Meßstrecke denen im Etalon (3a) entsprechen.

Das in Fig. 2 dargestellte Ausführungsbeispiel unterscheidet sich im Hinblick auf die Rückkopplung aus einem in Reflexion betriebenen offenen Etalon kaum von dem in Fig. 1 gezeigten Beispiel. Allerdings tritt bei der in Fig. 2 dargestellten Ausführungsvariante das Licht für das Interferometer (2) durch das Etalon (3a) hindurch.

Bei der in Fig. 3 dargestellten Ausführungsform erfolgt die frequenzselektive Rückkopplung von von der Laserdiode (1) ausgesandtem Licht in den Laserresonator durch ein in Transmission betriebenes offenes Etalon (3b), zwischen dessen teildurchlässigen Spiegelflächen (12a, 12b) sich das Umgebungsmedium befindet. Das Licht aus der Laserdiode kann dabei in Glasfasern (6) geführt sein. Über einen als Strahlteiler wirkenden Glasfaser-Koppler (4b) gelangt ein Teil des Lichtes in das Meßinterferometer (2) und ein anderer Teil des Lichtes über die Auskoppellinse (5) in das Transmissions-Etalon (3b). Das durch das Etalon (3b) in Abhängigkeit von der im Umgebungsmedium vorliegenden Wellenlänge bzw. Brechzahl in seiner bevorzugt zurückgekoppelten Frequenz variierende Licht wird über die Linse (5a) in eine Glasfaser (13) eingekoppelt und gelangt von dort über den Glasfaser-Koppler (4a) in den Laserresonator zurück. Durch die leichte Verkipfung des Etalons (3b) zur Lichtausbreitungsrichtung zwischen den beiden Linsen (5a und 5b) erreicht man eine Vermeidung der Rückkopplung des reflektierten Signals. Mit in Transmission betriebenen Etalons ist eine besonders schmalbandige Rückkopplung von Licht in die Laserdiode (1) möglich, wobei das frequenzselektiv zurückgekoppelte Licht den entsprechenden Emissionsfrequenz-Mode der Laserdiode derart verstärkt bzw. das unerwünschte Anschwingen von Nebenmoden so effektiv unterdrückt, daß ein Einrasten der Emissionsfrequenz der Laserdiode auf die vom Etalon (3b) bevorzugt zurückgekoppelte Frequenz genau gewährleistet ist.

Bei den in den Fig. 1 bis 3 dargestellten Ausführungsbeispielen verändert sich die bevorzugt zurückgekoppelte Frequenz durch die für das Umgebungsmedium offene Ausbildung der Etalone (3a bzw. 3b) automatisch gerade so, daß die Luftwellenlänge konstant bleibt.

Ist die Luftwellenlänge bzw. die Brechzahl des Umgebungsmediums bekannt, so kann man auch eine aktive Verstellung der bevorzugt zurückgekoppelten Frequenz, auf die die Laserdioden-Emissionsfrequenz dann einrastet,

vornehmen. Dies ist beispielsweise mit einem piezoelektrisch oder elektrooptisch längenverstellbaren Etalon oder durch eine Variation des Abstandes des Etalons (bzw. einer der Laserdiode zugewandten spiegelnden Fläche) von der Laserdiode möglich.

Bei dem in Fig. 4 dargestellten Ausführungsbeispiel ist zusätzlich zur frequenzselektiven Rückkopplung aus dem Etalon (3a) in den Laserresonator der Laserdiode (1) eine elektronische Regeleinrichtung (8) vorgesehen, die in Abhängigkeit von der im Umgebungsmedium vorliegenden Wellenlänge bzw. Brechzahl den Injektionsstrom i und/oder die Temperatur T der Laserdiode regelt. Zur Erfassung der im Umgebungsmedium vorliegenden Wellenlänge kann ein Etalon vorgesehen sein, bei dem sich zwischen den Spiegelflächen das Umgebungsmedium befindet und dessen Interferenzmuster durch einen positionsempfindlichen Detektor, vorzugsweise eine Doppel- oder Quadrantendiode (7), erfaßt und elektronisch ausgewertet wird. Wie in Fig. 4 dargestellt, kann das Etalon zur Erfassung der Umgebungsparameter für die elektronische Regeleinrichtung (8) und das Etalon der frequenzselektiven optischen Rückkopplungseinrichtung durch ein und dasselbe Etalon (3a) gebildet sein.

Wenn die Laserdiodenemissionsfrequenz durch die Rückkopplung auf die optisch zurückgekoppelte Frequenz einrastet, so sind an die Genauigkeit der elektronischen Regelung keine allzu hohen Ansprüche gestellt. Durch die Kombination aus optischer Rückkopplungsregelung einerseits und elektronischer Regelung der Betriebsparameter der Laserdiode andererseits erreicht man, daß die Emissionsfrequenz über einen großen "Mitziehbereich" tatsächlich auf die bevorzugt optisch zurückgekoppelte Frequenz eingerastet bleibt. Man verwendet in diesem Fall also die elektronische Regelung (8) dazu, um das "Mitziehen" der Laserdiodenemissionsfrequenz mit der aus der Rückkopplungseinrichtung bevorzugt zurückgekoppelten Frequenz zu unterstützen. Außerdem läßt sich eine solche elektronische Regeleinrichtung zu Beginn einer Meßserie zur Festlegung der Anfangs-Emissionsfrequenz der Laserdiode, von der aus dann die Konstanzhaltung der Luftwellenlänge erfolgt, als Steuereinrichtung verwenden.

Wenn die Laserdiodenfrequenz beispielsweise aufgrund einer relativ breitbandigen frequenzselektiven optischen Rückkopplung nicht auf eine bestimmte optisch zurückgekoppelte Frequenz "einrastet" oder wenn sie nicht genau genug einrastet, so ist es bei einer entsprechend genauen elektronischen Regelung auch möglich, die Regelung der Emissionsfrequenz der Laserdiode in Abhängigkeit von der im Umgebungsmedium vorliegenden Wellenlänge bzw. Brechzahl ausschließlich über die elektronische Regeleinrichtung durchzuführen. In diesem Fall wird der bereits erwähnte Effekt der optischen Rückkopplung mit dem Ziel ausgenutzt, daß das frequenzselektiv zurückgekoppelte Licht den gerade schwingenden Frequenz-Mode der Laserdiode verstärkt und damit gleichzeitig das Anschwingen benachbarter Moden unterdrückt. Dadurch wird das übliche unstetige Verhalten der Emissionsfrequenz von Laserdioden innerhalb des erforderlichen Regelbereiches verhindert.

Um das Anschwingen von seitlichen Moden zu unterdrücken, kann (zur relativ breitbandigen frequenzselektiven Rückkopplung) auch ein frequenzselektiv reflektierendes Glasetalon (3c), dessen Dicke kleiner ist als die Länge des Laserresonators der Laserdiode, vorgesehen sein, wie dies in Fig. 5 dargestellt ist. Um gegen Verkippen unempfindlich zu sein, ist das planparallele solide Glasetalon (3c) nahe der Laserdiode im divergent aus der Laserdiode austretenden Strahlbündel angeordnet, noch bevor dieses Strahlbündel in eine Kollimationsoptik (14) oder eine Einkopplungseinrichtung in eine Glasfaser gelangt.

Der Abstand des Glasetalons (3c) von der Laserdiode (1) (und damit der als spiegelnde Fläche wirkenden, der Laserdiode zugewandten Fläche des Glasetalons), welcher vorzugsweise in der Größenordnung der Laserresonatordlänge und darunter liegt, kann auch regelbar sein, womit die bevorzugt zurückgekoppelte Frequenz im Bedarfsfall veränderbar ist. Anstelle des Glasetalons (3c) könnte eine solche abstands-varierbare spiegelnde Fläche nahe der Laserdiode auch von der Eintrittsfläche einer Kollimations- oder Fokussieroptik (z. B. für die Einkopplung in eine Glasfaser) gebildet sein.

Das in Fig. 6 dargestellte Ausführungsbeispiel entspricht im wesentlichen dem in Fig. 3 dargestellten Ausführungsbeispiel und verwendet ebenfalls ein leicht gekipptes, in Transmission betriebenes offenes Etalon (3b). Allerdings wird gemäß Fig. 6 das vom Etalon in Abhängigkeit von der im Umgebungsmedium vorliegenden Wellenlänge bzw. Brechzahl frequenzselektiv transmittierte Licht durch Spiegel (9) in den zweiten Ausgang der Laserdiode zurückgekoppelt.

Das in Fig. 7 dargestellte Ausführungsbeispiel stellt eine Variante von dem in Fig. 5 dargestellten Ausführungsbeispiel dar, wobei anstelle des dort verwendeten soliden Glasetalons (3c) ein in einem Abstand vom zweiten Resonatorausgang (14) der Laserdiode (1) angeordneter Spiegel (3d) vorgesehen ist. Der Spiegel (3d) kann auch ein frequenzselektiv reflektierendes Glasplättchen-Etalon sein.

Die Erfindung ist selbstverständlich nicht auf die dargestellten Ausführungsbeispiele beschränkt. Insbesondere im Zusammenhang mit im Sichtbaren emittierenden Laserdioden, welche z. Z. Multi-Mode-Laserdioden sind, ist auch eine zweistufige optische Rückkopplung möglich. Dabei wird zunächst mittels eines nicht notwendigerweise mit dem Umgebungsmedium gefüllten Etalons, etwa einem soliden Glasetalon, das vorzugsweise dünner ist als die Länge des Laserresonators der Laserdiode, Licht zur Verstärkung des aktuell schwingenden Modes und zur Unterdrückung des Anschwingens benachbarter Moden frequenzselektiv optisch zurückgekoppelt (erste Stufe). Aus einem zweiten Etalon wird dann erst relativ schmalbandiges Licht zurückgekoppelt, das zum "Mitziehen" bzw. Einrasten der Laserdioden-Emissionsfrequenz führen soll (zweite Stufe).

Um eine automatische "Mitregelung" der Etalonlänge bzw. des Abstandes einer spiegelnden Fläche von der Laserdiode und damit der bevorzugt zurückgekoppelten Frequenz mit der Laserdiodentemperatur zu erzielen, kann

gemäß einer bevorzugten Ausführungsform vorgesehen sein, daß die Laserdiode und das Etalon bzw. die spiegelnde Fläche der Rückkopplungseinrichtung thermisch gekoppelt sind und vorzugsweise die gleiche Temperatur aufweisen.

5

PATENTANSPRÜCHE

10

- 15 1. Einrichtung zur Erzeugung von Licht, insbesondere für ein Interferometer zur Längenmessung, wobei die Frequenz des emittierten Laserlichtes in Abhängigkeit von der im gasförmigen Umgebungsmedium vorliegenden Wellenlänge derart geregelt ist, daß die Luftwellenlänge konstant bleibt, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Lichtquelle eine Laserdiode (1) ist und daß wie an sich bekannt außerhalb des Laserresonators der Laserdiode (1) eine Einrichtung (3a, 3b, 3c, 3d; 4a, 4b; 5, 6, 13; 9) zur frequenzselektiven Rückkoppelung von von der Laserdiode (1) ausgesandtem Licht in den Laserresonator vorgesehen ist.
- 20 2. Einrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß die von der frequenzselektiven optischen Rückkopplungseinrichtung (3a, 3b, 3c, 3d; 4a, 4b; 5, 6, 13; 9) im Bereich der Emissionsfrequenz der Laserdiode bevorzugt zurückgekoppelte Frequenz in Abhängigkeit von der im Umgebungsmedium vorliegenden Wellenlänge bzw. Brechzahl variiert bzw. variierbar ist.
- 25 3. Einrichtung nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Rückkopplungseinrichtung ein Etalon (3a; 3b) fester Baulänge aufweist, zwischen dessen Spiegelflächen (10a, 10b; 12a, 12b) sich das Umgebungsmedium befindet, wobei zumindest ein Teil des vom Etalon (3a; 3b) frequenzselektierten Laserlichtes in den Laserresonator zurückgekoppelt wird.
- 30 4. Einrichtung nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Etalon (3b) in Transmission betrieben ist.
- 35 5. Einrichtung nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Rückkopplungseinrichtung ein in Abhängigkeit von der im Umgebungsmedium vorliegenden Wellenlänge bzw. Brechzahl längenverstellbares und damit bevorzugt in die Laserdiode zurückgekoppelten Frequenz verstellbares Etalon aufweist.
- 40 6. Einrichtung nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, daß das längenverstellbare Etalon eine planparallele Platte aus einem elektrooptischen Material ist, deren Oberflächen mit elektrisch leitenden, semitransparenten Beschichtungen versehen sind, so daß die optische Dicke des Etalons durch Anlegen einer elektrischen Spannung variierbar ist.
- 45 7. Einrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Rückkopplungseinrichtung eine spiegelnde Fläche umfaßt, deren vorzugsweise in der Größenordnung der Laserresonatorlänge liegende oder noch kleinere Abstand vom Laserresonator variierbar ist.
- 50 8. Einrichtung nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, daß als spiegelnde Fläche die Eintrittsfläche der zur Kollimation oder Fokussierung benötigten Optik, vorzugsweise einer Gradienten-Index-Linse, verwendet wird.
9. Einrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Rückkopplungseinrichtung ein Etalon (3c) umfaßt, dessen vorzugsweise in der Größenordnung der Laserresonatorlänge liegender Abstand von der Laserdiode variierbar ist.
- 55 10. Einrichtung nach Anspruch 7 und 9, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Etalon (3c) ein dünnes Plättchen aus durchsichtigem Material, vorzugsweise Glas, ist, dessen der Laserdiode (1) zugewandte Fläche die spiegelnde Fläche bildet und dessen Dicke geringer ist als die der Resonatorlänge der Laserdiode.
- 60 11. Einrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 10, **dadurch gekennzeichnet**, daß eine elektronische Regelungseinrichtung (8) vorgesehen ist, die in Abhängigkeit von der im Umgebungsmedium vorliegenden Wellenlänge bzw. Brechzahl den Injektionsstrom und/oder die Temperatur der Laserdiode (1) regelt.

12. Einrichtung nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Regelung der Emissionsfrequenz der Laserdiode (1) in Abhängigkeit von der im Umgebungsmedium vorliegenden Wellenlänge bzw. Brechzahl ausschließlich über die elektronische Regeleinrichtung (8) erfolgt.
- 5 13. Einrichtung nach Anspruch 11 oder 12, **dadurch gekennzeichnet**, daß zur Erfassung der im Umgebungsmedium vorliegenden Wellenlänge ein Etalon (3a) vorgesehen ist, bei dem sich zwischen den Spiegelflächen (10a, 10b) das Umgebungsmedium befindet, und dessen Interferenzmuster erfaßt und elektronisch ausgewertet wird.
- 10 14. Einrichtung nach Anspruch 3 und 13, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Etalon (3a) der optischen Rückkopplungseinrichtung gleichzeitig als Etalon (3a) zur Erfassung der im Umgebungsmedium vorhandenen Wellenlänge für die elektronische Regeleinrichtung (8) herangezogen ist.
- 15 15. Einrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 14, **dadurch gekennzeichnet**, daß die frequenzselektive optische Rückkopplungseinrichtung wenigstens zwei verschieden lange Etalons (3a, 3c) oder ein Etalon und eine zusätzliche spiegelnde Fläche aufweist, aus denen Licht frequenzselektiv in die Laserdiode zurückgekoppelt wird.
- 20 16. Einrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 15, **dadurch gekennzeichnet**, daß die optische Rückkopplungseinrichtung ein vorzugsweise in Reflexion betriebenes Etalon (3c) aufweist, dessen Länge kleiner als die Laserresonatorlänge der Laserdiode (1) ist.
- 25 17. Einrichtung nach Anspruch 16, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Etalon (3c) ein dünnes planparalleles Plättchen aus durchsichtigem Material, insbesondere Glas, ist, dessen Dicke geringer als die Resonatorlänge ist und das vorzugsweise im divergent aus der Laserdiode (1) austretenden Strahlenbündel angeordnet ist.
- 30 18. Einrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 17, **dadurch gekennzeichnet**, daß als Lichtquelle eine vorzugsweise im Sichtbaren emittierende Laserdiode verwendet wird.
- 35 19. Einrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 18, **dadurch gekennzeichnet**, daß als Lichtquelle eine Multi-Mode-Laserdiode verwendet wird, welche durch die frequenzselektive Rückkopplung lediglich auf einer Mode emittiert.
- 40 20. Einrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 19, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Laserdiode und das Etalon bzw. die Etalone oder spiegelnden Flächen der Rückkopplungseinrichtung thermisch gekoppelt sind und vorzugsweise die gleiche Temperatur aufweisen.
21. Einrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 20, **dadurch gekennzeichnet**, daß über einen Resonatorspiegel aus der Laserdiode (1) austretendes Licht durch die frequenzselektive Rückkopplungseinrichtung (3b, 9; 3d) über den anderen Resonatorspiegel in den Laserresonator zurückgekoppelt wird.

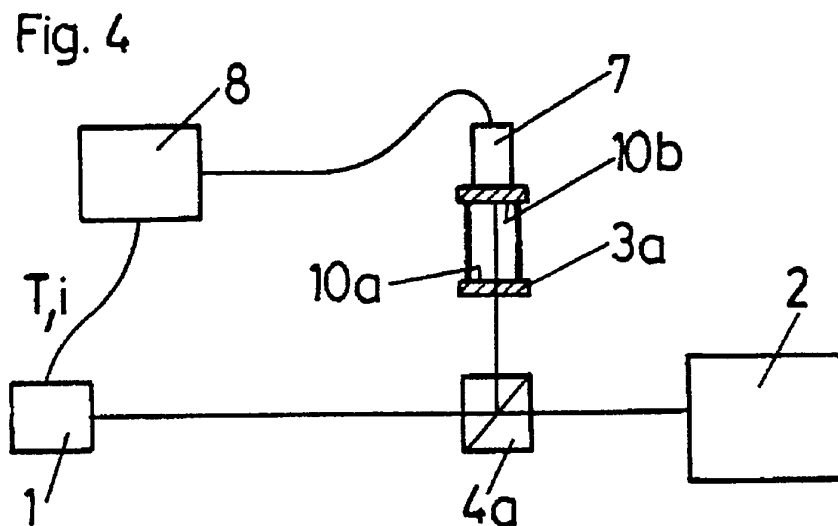
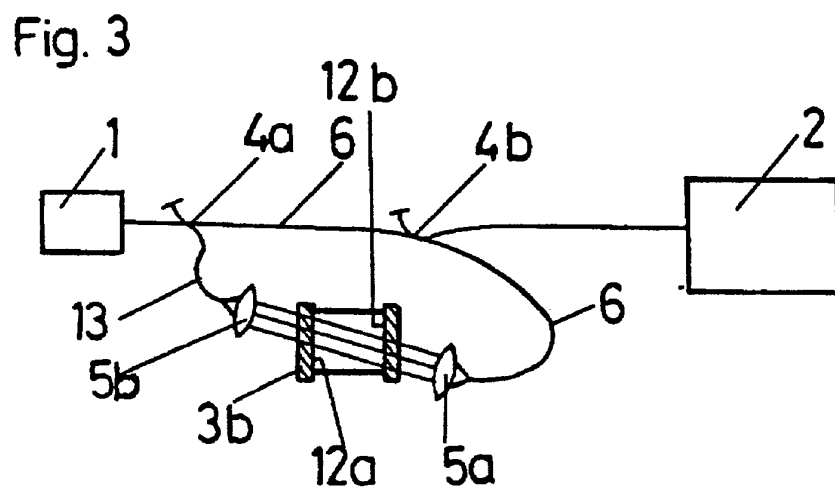
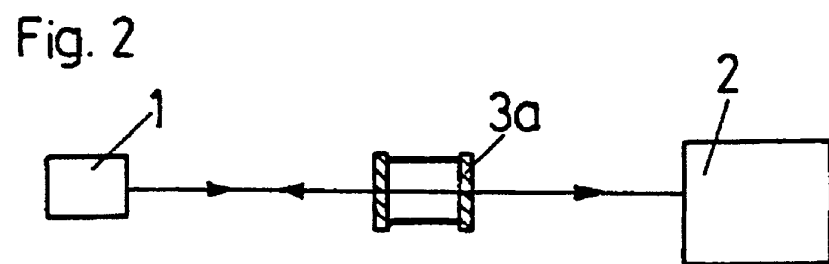
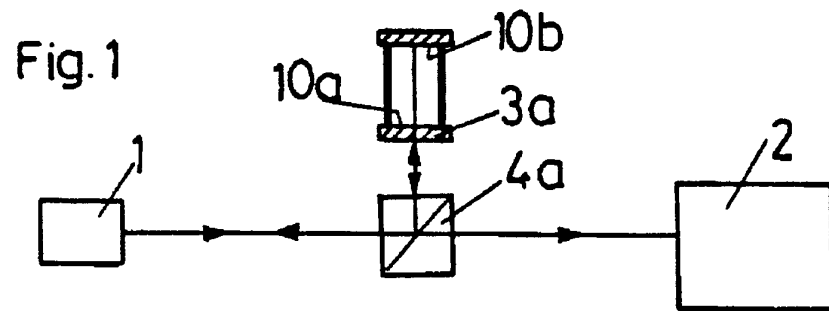


Fig. 5

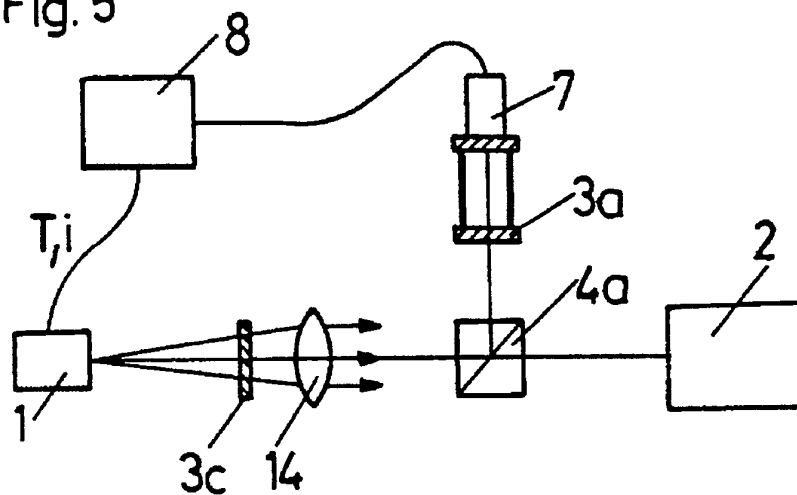


Fig. 6

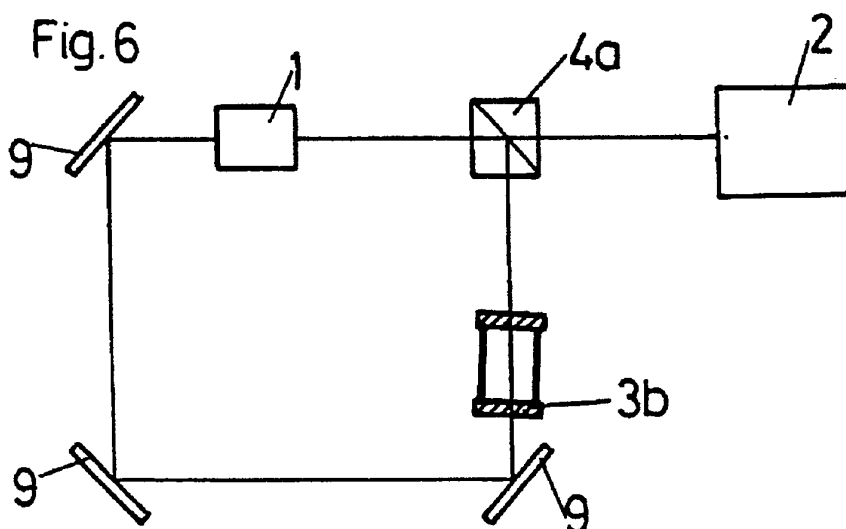


Fig. 7

