

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
30. März 2006 (30.03.2006)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2006/032535 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
H01S 3/08 (2006.01) *G02B 5/32* (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2005/010375

(22) Internationales Anmeldedatum:
21. September 2005 (21.09.2005)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2004 047 493.1
23. September 2004 (23.09.2004) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von
US): FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT [DE/DE]; Zur
Förderung der Angewandten Forschung e.V., Hansastrasse
27c, 80686 München (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): BÜTTNER, Alexan-
der [DE/DE]; Telemannweg 7, 07743 Jena (DE). ZEIT-
NER, Uwe, Detlef [DE/DE]; Bauhausstrasse 10, 99423
Weimar (DE).

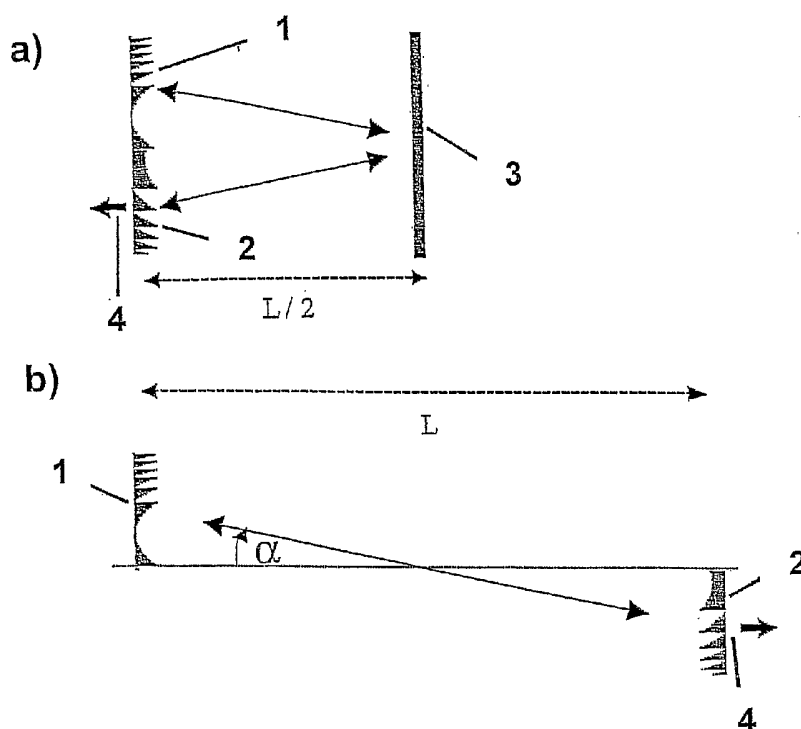
(74) Anwalt: PFENNING, MEINIG & PARTNER GbR;
Joachimstaler Str. 10-12, 10719 Berlin (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH,
CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES,
FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE,
KG, KM, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, LY,
MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NG, NI, NO,
NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK,
SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ,
VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: LASER RESONATOR

(54) Bezeichnung: LASERRESONATOR



(57) Abstract: The invention relates to a laser resonator which is defined by two surface-structured end mirrors (1, 2). The inventive laser resonator is characterized in that the two surface-structured end mirrors (1, 2) are mounted on a common support. The laser resonator also comprises a beam path which is folded by at least one additional mirror (3). The invention also relates to a method for producing a laser resonator of the aforementioned type.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2006/032535 A1



(84) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

- mit internationalem Recherchenbericht
- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(57) **Zusammenfassung:** Die vorliegende Erfindung betrifft einen Laserresonator, der durch zwei oberflächenstrukturierte Endspiegel (1, 2) begrenzt ist, wobei die zwei oberflächenstrukturierten Endspiegel (1, 2) auf einem gemeinsamen Substrat angeordnet sind, wobei der Laserresonator ferner einen mittels mindestens eines weiteren Spiegels (3) gefalteten Strahlengang aufweist. Die Erfindung betrifft ferner ein Verfahren zur Herstellung eines solchen Laserresonators.

FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT...e.V.
057PCT 0902

Laserresonator

Die Erfindung betrifft einen Laserresonator nach dem
Oberbegriff des Hauptanspruchs sowie ein Verfahren
5 zur Herstellung eines solchen Laserresonators.

Derartige Laserresonatoren, die durch zwei oberflä-
chenstrukturierte Endspiegel begrenzt sind, sind bei-
spielsweise aus den Patentschriften US 5,454,004 und
10 US 5,745,511 bekannt. Durch die oberflächenstrukturierten Endspiegel soll dabei erreicht werden, dass
der Laserresonator eine Grundmode erhält, die eine,
verglichen zu herkömmlichen Laserresonatoren bessere
Ausnutzung des gepumpten Bereichs eines aktiven Medi-
15 ums im Laserresonator zur Folge hat, und dass höhere
Moden besser unterdrückt werden, um eine bessere
Strahlqualität zu erreichen.

In der Regel bestehen Laserresonatoren aus zwei sich

einander gegenüberstehenden Spiegeln. Ein solcher Resonator bzw. ein entsprechender Laser hat transversale Moden einer Form, die sich aus Spiegelform und Spiegelabstand ergibt. In konventionellen Resonatoren werden meist sphärische und plane Spiegel verwendet. In herkömmlichen sphärischen Resonatoren werden beispielsweise sog. Gauß-Laguersche bzw. Gauß-Hermiteische Moden erzeugt. Welche und wie viele Moden anschwingen, hängt ab von Umlaufverlusten der Moden und einer in einem aktiven Medium des Lasers erfolgenden Verstärkung. Typischerweise besitzt eine gaußförmige Grundmode eine beste Strahlqualität und geringste Umlaufverluste, wogegen höhere Moden höhere Umlaufverluste erfahren. Nachteile solcher konventionellen Resonatoren ist, dass die typischerweise anschwingenden Moden eine im aktiven Medium auf einen Bereich nahe einer optischen Achse beschränkte Ausdehnung haben und deswegen eine im aktiven Medium gespeicherte Energie nicht vollständig verbraucht werden kann. Weiterhin ergeben sich in konventionellen Resonatoren relativ geringe Unterschiede zwischen den Umlaufverlusten der verschiedenen Moden, so dass viele Moden anschwingen, was eine verschlechterte Strahlqualität mit sich bringt.

Wesentliche Anwendungsziele von Resonatoren mit oberflächenstrukturierten Spiegeln, die von herkömmlichen, beispielsweise sphärischen, Resonatoren abweichen, sind eine Erzeugung durch einen Nutzer definierter Ausgangsstrahlprofile, insbesondere zum Zweck einer verbesserten Ausnutzung eines Pumpvolumens und damit einer erhöhten Ausgangsleistung, sowie eine Verbesserung der Strahlqualität durch eine Erhöhung der Umlaufverluste höherer Moden. Durch die Verwendung oberflächenstrukturierter Spiegel wird also eine resonatorinterne Strahlformung möglich, beispielsweise

se eine gezielte Erzeugung einer super-gaußförmigen Grundmode, was den genannten Druckschriften und den darin zitierten Veröffentlichungen zufolge insbesondere im Zusammenhang mit Festkörperlaser, beispielsweise Nd:YAG-Lasern, CO₂-Lasern und Halbleiterlasern bereits ausgiebig untersucht worden ist.

Die demnach bekannten gattungsgemäßen Laserresonatoren sind allerdings mit einem entscheidenden Nachteil behaftet, der auch die Ursache dafür bildet, dass solche Laser trotz der offensichtlichen Vorteile bislang nicht kommerziell erhältlich sind. Der genannte Nachteil ergibt sich durch eine im Vergleich zu herkömmlichen Resonatoren deutlich höhere Genauigkeitsanforderung bezüglich einer Justage, insbesondere einer Relativjustage der beiden oberflächenstrukturierten Endspiegel. Damit verbunden ist ein nachteilig hoher Herstellungsaufwand, der bei einer Verwendung mehrerer oberflächenstrukturierter optischer Elemente zum Zweck einer gezielten Strahlformung im Laserresonator nach dem Stand der Technik unvermeidbar ist. Anders als bei herkömmlichen Resonatoren sind nämlich bei gattungsgemäßen Laserresonatoren nur äußerst geringe Toleranzen zulässig, wenn die oberflächenstrukturierten Endspiegel ihren Zweck einer gezielten Strahlformung und Erzeugung einer bestimmten Grundmode bei einer Unterdrückung höherer Moden erfüllen sollen. Da Laserresonatoren mit zwei oberflächenstrukturierten Endspiegeln im Allgemeinen nicht rotationssymmetrisch bezüglich einer optischen Achse sind, müssen die Endspiegel, anders als bei herkömmlichen Resonatoren, bezüglich einer großen Anzahl von Freiheitsgraden zueinander justiert werden, nämlich in der Regel bezüglich eines Spiegelabstands, einer Translation in zwei lateralen Dimensionen, einer Rotation um die optische Achse und einer Verkipfung in

zwei Dimensionen.

Der Erfindung liegt dementsprechend die Aufgabe zugrunde, einen entsprechenden Laserresonator zu entwickeln, der den geschilderten Nachteil der Erfordernisse einer ausgesprochen aufwendigen Justage vermeidet. Der Erfindung liegt ferner die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Herstellung eines solchen Laserresonators vorzuschlagen.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch einen Laserresonator mit den kennzeichnenden Merkmalen des Hauptanspruchs in Verbindung mit den Merkmalen des Oberbegriffs des Hauptanspruchs sowie durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 16. Vorteilhafte Weiterentwicklungen und Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich mit den Merkmalen der Unteransprüche.

Die Ausführungen des Laserresonators in einer Weise, dass die zwei oberflächenstrukturierten Endspiegel auf einem gemeinsamen, also demselben Substrat angeordnet sind, was dadurch ermöglicht wird, dass der Laserresonator einen mittels mindestens eines weiteren Spiegels gefalteten Strahlengang aufweist, bringt mehrere Vorteile mit sich. Dadurch, dass die Endspiegel auf demselben Substrat angeordnet sind, haben diese relativ zueinander eine feste Orientierung. Insbesondere können die beiden Endspiegel bzw. diese Endspiegel charakterisierende Oberflächenstrukturen in einem einzigen Herstellungsprozess hergestellt werden, wodurch die relative Orientierung der beiden Endspiegel zueinander mit einer äußerst hohen Genauigkeit definiert und realisiert werden kann. Eine nachteilige aufwendige nachträgliche Justage der beiden Endspiegel relativ zueinander erübrigt sich da-

durch. Dabei ist zu beachten, dass für eine Justage des mindestens einen weiteren Spiegels, der benötigt wird, um den gefalteten Strahlengang zu realisieren, ein deutlich geringerer Aufwand erforderlich ist, weil ein solcher weiterer Spiegel in der Regel nur bezüglich dreier Freiheitsgrade (Abstand und Verkippung in zwei Richtungen) justiert werden muss. Da der mindestens eine weitere Spiegel keine nichttriviale Oberflächenstruktur aufweisen muss, fällt eine Translation in Spiegelebene und eine Rotation um eine Spiegelnormale bei diesem nicht ins Gewicht.

Durch die vereinfachte Justage wird es ferner möglich, bei einem Laserresonator der hier vorgeschlagenen Art verglichen zum Stand der Technik deutlich reduzierte Toleranzen zu realisieren. Dadurch wiederum kann eine gewünschte Grundmode des Laserresonators mit höherer Präzision realisiert werden, wodurch sich beispielsweise eine bessere Raumausnutzung eines aktiven Mediums bzw. Pumpvolumens eines entsprechenden Lasers und damit eine höhere Leistungsausbeute erreichen lässt. Aufgrund der leichteren und dadurch präzisieren Justage lässt sich schließlich auch eine bessere Unterdrückung höherer (insbesondere transversaler) Moden erreichen, womit sich eine bessere Strahlqualität ergibt.

Ein bevorzugtes Verfahren zur Herstellung eines Laserresonators beschriebener Art sieht dementsprechend vor, dass eine Oberfläche des Substrats in zwei den Endspiegeln entsprechenden Bereichen in einem einzigen Herstellungsprozess durch Auftragen weiterer Schichten und/oder durch Abtragen von Oberflächenschichten strukturiert wird. Ein solcher Herstellungsprozess kann auch mehrstufig sein (beispielsweise durch ein sukzessives Abtragen mehrerer Oberflä-

chenschichten). Entscheidend ist, dass die beiden
Endspiegel jeweils in einem Arbeitsschritt bearbeitet
werden, also insbesondere vorteilhafterweise ohne ein
Umsetzen des Substrats zwischen oberflächenstrukturi-
5 rierenden Maßnahmen in den Bereichen der zwei End-
spiegel. Besonders vorteilhaft ist es, die Endspiegel
durch Laserlithographie herzustellen, was mit äußerst
hoher Genauigkeit und verhältnismäßig geringem Auf-
wand möglich ist. Zum Schutz von Oberflächenberei-
10 chen, die nicht abgetragen werden sollen, können da-
bei Masken verwendet werden. Zur Oberflächenstrukturi-
erung der Endspiegel kann ferner auf alle Verfahren
zurückgegriffen werden, die in den erwähnten Druck-
schriften US 5,454,004 A und US 5,745,511 A beschrie-
15 ben sind, wozu auf diese Druckschriften verwiesen
wird, die in dieser Hinsicht als vollumfänglich in
die vorliegende Schrift aufgenommen gelten sollen.

Als oberflächenstrukturiert sollen in der vorliegen-
20 den Schrift solche Spiegel bezeichnet sein, die von
einfachen Planspiegeln oder sphärischen Spiegeln ab-
weichen. Vorzugsweise soll es sich dabei um Spiegel
mit einer Oberflächenstruktur handeln, durch die der
Laserresonator eine gewünschte Grundmode bei vorzugs-
25 weise zugleich möglichst guter Unterdrückung höherer
Moden erhält. Typischerweise wird eine entsprechende
Oberflächenstruktur durch verglichen zu den Spiegel-
abmessungen kleine Längenskalen charakterisiert sein.
Bei der gewünschten (transversalen) Grundmode kann es
30 sich mit Blick auf eine möglichst gute Raumausnutzung
im aktiven Medium beispielsweise um eine super-
gaußförmige Mode handeln.

Die oberflächenstrukturierten Endspiegel können
35 refraktive Profile aufweisen, also stetige Profile.
In der Regel wird ein mit Blick auf eine gewünschte

Grundmode errechnetes Spiegelprofil refraktiv sein. Von diesem Profil können ganzzahlige Vielfache der halben Wellenlänge abgezogen werden, womit sich ein äquivalentes, ebenfalls exaktes diffraktives Profil ergibt. Es ist auch möglich, Endspiegel mit diffraktiven Profilen zu verwenden, welche ein errechnetes refraktives oder diffraktives Spiegelprofil nur approximieren. Ein Profil eines der beiden oder beider oberflächenstrukturierten Endspiegel kann also auch unstetig sein und beispielsweise nur aus einer endlichen Anzahl verschiedener Niveaus bestehen.

Bei verschiedenen Ausführungen der Erfindung kann es vorgesehen sein, dass einer der Endspiegel oder jeder Endspiegel auf einer dem Resonator zugewandten Seite verspiegelt, beispielsweise vergoldet oder mit einer anderen spiegelnden Schicht beschichtet, ist oder dass das Substrat zumindest in einem Bereich mindestens eines der Endspiegel auf einer dem Resonator abgewandten Seite verspiegelt ist. Im erstgenannten Fall ist der jeweilige Endspiegel durch einen reflektierenden, oberflächenstrukturierten Bereich gegeben, während der oberflächenstrukturierte, den Endspiegel definierende Bereich im letztgenannten Fall transmissiv ist, so dass eine Reflektion mit einem Durchtritt des Lichts durch das Substrat bis auf eine rückseitige Oberfläche des Substrats verbunden ist. Mit Blick auf eine möglichst einfache Herstellung der Endspiegel ist es vorteilhaft, wenn die entsprechende Seite des Substrats vollflächig verspiegelt, beispielsweise vergoldet oder mit einem anderen spiegelnden Material beschichtet, ist. Eine bei Laserresonatoren gewünschte gezielte lokale Phasenänderung lässt sich bei beiden erläuterten Ausführungen der Endspiegel erreichen. Die Realisierung vorteilhafter Grundmoden führt in der Regel zu Oberflächenstrukturen mit typischen

Längenskalen, die verglichen zu einem Durchmesser des entsprechenden Endspiegels klein sind.

5 Ein besonders einfacher und daher vorteilhafter Aufbau ergibt sich, wenn die zwei oberflächenstrukturierten Endspiegel nebeneinander auf einer Seite des Substrats angeordnet sind. In dem Fall kann es genügen, wenn der Laserresonator neben den beiden Endspiegeln genau einen weiteren Spiegel und einen mittels dieses Spiegels einfach gefalteten Strahlengang aufweist. Dabei kann es vorgesehen sein, dass der Laserresonator eine gegenüber einer Normalen des Substrats und/oder des weiteren Spiegels leicht geneigte, beispielsweise um $0,5^\circ$ und 2° geneigte, optische Achse hat, womit eine Anordnung der beiden Endspiegel
10 nebeneinander bei einem ansonsten weitgehend symmetrischen und übersichtlichen Aufbau möglich wird.
15

Alternativ wäre es natürlich auch möglich, eine Faltung des Strahlengangs durch beispielsweise zwei weitere, gegeneinander gekippte Spiegel zu realisieren. In dem Fall könnten die zwei Endspiegel nebeneinander auf einem ebenen Substrat untergebracht werden und der Strahlengang so gewählt werden, dass der Laserresonator eine an zwei Stellen gefaltete, an den Endspiegeln jeweils zum Substrat orthogonale optische Achse hat. Diese Ausführung brächte den Vorteil mit sich, dass die Oberflächenstrukturen der beiden Endspiegel von einem entsprechenden Laserresonator nach dem Stand der Technik mit zwei einander gegenüberliegenden Endspiegeln - eventuell nach einer einfachen Spiegelung - übernommen werden könnten.
20
25
30

Der weitere Spiegel kann je nach Ausführung als Planspiegel ausgeführt sein oder eine gekrümmte, beispielsweise sphärisch gekrümmte, Oberfläche haben.
35

Bei einem typischen Aufbau mit einem nur einfach gefalteten Strahlengang kann es vorteilhaft sein, wenn der weitere Spiegel konvex ausgeführt ist. Auch das Substrat kann ausführungsabhängig eine ebene oder eine gekrümmte Oberfläche aufweisen, auf der die oberflächenstrukturierten Endspiegel angeordnet sind. Hier kann es vorteilhaft sein, dass die dem Resonator zugewandte Oberfläche des Substrats konkav ausgeführt ist, damit in einfacher Weise eine gewünschte Grundmode realisiert werden kann.

Besonders vorteilhafte weil aufwandsarm zu realisierende Ausführungen der Erfindung sehen vor, dass der weitere Spiegel durch eine Oberfläche eines im Laserresonator angeordneten aktiven Mediums gegeben ist. Diese Oberfläche kann eventuell verspiegelt sein. Ein einfacher Aufbau ergibt sich damit, weil auf ein zusätzliches Bauteil verzichtet werden kann.

Der Laserresonator kann in einem Bereich einer der beiden Endspiegel oder auch in einem Bereich des weiteren Spiegels bzw. eines der weiteren Spiegel einen Auskoppelbereich aufweisen. Dazu kann eine Verspiegelung in den entsprechenden Bereich ausgespart sein. Möglich ist es auch, den entsprechenden Endspiegel bzw. weiteren Spiegel so zu verspiegeln, dass auftreffendes Licht nicht vollständig reflektiert wird. Der Auskoppelbereich kann dann eventuell genauso groß sein wie der entsprechende Endspiegel oder weitere Spiegel. Eine Auskoppelung durch den weiteren Spiegel bzw. einen der weiteren Spiegel kann besonders vorteilhaft sein, weil dieser in der Regel keine nicht-triviale Oberflächenstruktur aufweist, womit sich eventuell unerwünschte Beugungen oder Brechungen austretenden Lichts vermeiden lassen.

Die vorliegende Erfindung lässt sich sowohl auf stabile als auch auf instabile Resonatoren anwenden. Besondere Vorteile bringt die Erfindung für instabile Resonatoren mit sich, bei denen typischerweise zwei oberflächenstrukturierte Endspiegel erforderlich sind, um eine erwünschte Grundmode zu realisieren.

Eine besonders gute Unterdrückung höherer Moden lässt sich unter Umständen dadurch erreichen, dass das Substrat in einer Umgebung eines Endspiegels geschwärzt oder durch eine Blende abgedunkelt oder mit einer streuenden Oberflächenstruktur versehen ist. Dazu kann es vorgesehen sein, dass dieser Endspiegel auf einen Bereich beschränkt ist, innerhalb dessen die Grundmode des Laserresonators eine definierte Schwelle, beispielsweise eine Schwelle von zwischen 0 % und 1 % einer maximalen Intensität der Grundmode, überschreitet. Als streuende Oberflächenstruktur kann beispielsweise ein einfaches Gitter vorgesehen sein, dass sich unter Umständen leichter realisieren lässt als eine Schwärzung oder Abblendung, wobei aber ein ähnlicher Effekt erreicht wird, indem in der Umgebung des Endspiegels auftreffendes Licht aus den Strahlengang herausgelenkt wird. Zum Zwecke der besseren Realisierung einer gewünschten Grundmode und einer besseren Unterdrückung höherer Moden kann es ferner vorteilhaft sein, wenn im Strahlengang des Laserresonators mindestens eine weitere Phasenstruktur, Beugungsstruktur und/oder Apertur angeordnet ist. Dabei kann es sich um eine einfache Blende, eine gitterähnliche Struktur oder auch ein optisches Element mit einer pseudo-zufälligen, örtlich schwankenden Phasenverschiebung handeln. Insbesondere eine bessere Ausnutzung des gepumpten Bereichs im aktiven Medium des entsprechenden Lasers lässt sich damit erreichen.

Wenn der Laserresonator in einem Laser mit longitudinaler Anregung eingesetzt werden soll, kann es vorteilhaft sein, dass eine Einkopplung vom Pumpstrahlung durch den weiteren Spiegel bzw. einen der weiteren Spiegel erfolgt. Da dieser, anders als die Endspiegel, in der Regel nicht oberflächenstrukturiert ist, wird dadurch eine schwer zu kontrollierende Beugung der Pumpstrahlung vermieden, womit sich die Pumpstrahlung besser fokussieren lässt und eine gegenüber dem Stand der Technik räumlich optimierte Anregung des aktiven Mediums möglich wird.

Schließlich kann es vorgesehen sein, dass sich auf dem Substrat außerhalb oberflächenstrukturierter Bereiche, also typischerweise außerhalb der Endspiegel, eine zusätzliche verspiegelte Fläche befindet, die zusammen mit dem mindestens einen weiteren Spiegel einen Hilfsresonator bildet. Dieser Hilfsresonator, der typischerweise geringere Umlaufverluste haben wird als der eigentliche Laserresonator, kann in vorteilhafter Weise zur Justage des Laserresonators verwendet werden. Das hängt damit zusammen, dass ein solcher Hilfsresonator typischerweise leichter anspricht als der durch zwei oberflächenstrukturierte Endspiegel begrenzte Laserresonator. Die zusätzliche verspiegelte Fläche kann beispielsweise zwischen den zwei Endspiegeln auf dem Substrat angeordnet sein. In gleicher Weise wäre es auch denkbar, zwei zusätzliche verspiegelte Flächen zur Bildung eines Hilfsresonators vorzusehen, von denen jede neben einem der Endspiegel angeordnet sein könnte. Vorteilhafterweise sollte die zusätzliche verspiegelte Fläche bzw. jede der zusätzlichen verspiegelten Flächen abblendbar sein, um den Hilfsresonator nach Justage des Laserresonators auszuschalten. Das kann beispielsweise durch ein nachträgliches Schwärzen der entsprechenden Flä-

che bzw. Flächen geschehen.

Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung werden im Folgenden anhand der Figuren 1 bis 5 erläutert.

Es zeigt

Fig. 1 ein Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Laserresonators als Längsschnitt und zum Vergleich einen entsprechenden Laserresonator in nicht gefalteter Form,

Fig. 2 in entsprechender Darstellung drei weitere Ausführungsbeispiele erfindungsgemäßer Laserresonatoren,

Fig. 3 einen erfindungsgemäßen Laserresonator in entsprechender Darstellung, ergänzt um eine Aufsicht auf eine Lichtaustrittsfläche sowie eine Aufsicht auf zwei Endspiegels dieses Laserresonators,

Fig. 4 in einer der Fig. 3 entsprechenden Darstellung ein anderes Ausführungsbeispiel der Erfindung und

Fig. 5 einen weiteren erfindungsgemäßen Laserresonator mit doppelt gefaltetem Strahlengang sowie zum Vergleich einen entsprechenden Laserresonator in ungefalteter Form.

Der in der Figur 1 a) gezeigte Laserresonator weist zwei oberflächenstrukturierte Endspiegel 1 und 2 auf, die nebeneinander auf einer Seite eines gemeinsamen Substrats angeordnet sind. Zusätzlich weist dieser

Laserresonator einen weiteren Spiegel 3 und damit einen mittels dessen gefalteten Strahlengang auf. Bei dem weiteren Spiegel 3 handelt es sich um einen Planspiegel, wobei auch das genannte Substrat eben ausgeführt ist.

Zum Vergleich ist in der Fig. 1 b) ein entsprechender Laserresonator ohne den weiteren Spiegel 3 und dementsprechend mit einem nicht gefalteten Strahlengang gezeigt, der ansonsten zu dem in Fig. 1 a) gezeigten Resonator identische optische Eigenschaften hat. Zu erkennen ist, dass der Laserresonator eine gegenüber einer Normalen der beiden Endspiegel 1 und 2 um einen Winkel α geneigte optische Achse hat, wodurch eine einfache Faltung des Strahlengangs durch den zu den Endspiegeln 1 und 2 parallelen weiteren Spiegel 3 im Ausführungsbeispiel aus Fig. 1 a) möglich wird. Der hier vergrößert dargestellte Winkel α hat realiter einen Wert von zwischen $0,5^\circ$ und 5° . Eine als L eingezeichnete Baulänge des ungefalteten Resonators halbiert sich bei dem erfindungsgemäßen Laserresonator aus Fig. 1 a).

Der weitere Spiegel 3 ist bei dem abgebildeten erfindungsgemäßen Resonator als zusätzliches Bauteil ausgeführt. In gleicher Weise kann dieser weitere Spiegel 3 auch durch eine dann vorzugsweise verspiegelte Oberfläche eines im Laserresonator angeordneten aktiven Mediums gegeben sein.

In einem Bereich des in der Fig. 1 a) unter dem ersten Endspiegel 1 angeordneten Endspiegels 2 weist dieser Laserresonator einen Auskoppelbereich 4 auf, der, wie auch in den folgenden Figuren, durch einen austretendes Licht symbolisierenden Pfeil angedeutet ist. Der Auskoppelbereich 4 ist im vorliegenden Fall

durch eine nicht vollständig reflektierende Beschichtung des Endspiegels realisiert. Bei einer anderen Ausführung der Erfindung kann vorgesehen sein, dass zum gleichen Zweck eine Verspiegelung des entsprechenden Endspiegels 2 in einem Teilbereich ausgespart ist. In gleicher Weise könnte der Auskoppelbereich 4 auch durch den weiteren Spiegel 3 oder einen Teilbereich des weiteren Spiegels 3 gegeben sein. Bei dem vorliegenden Ausführungsbeispiel ist es vorgesehen, dass eine Einkoppelung von Pumpstrahlung zur longitudinalen Anregung des Laserresonators durch den selbst nicht strukturierten weiteren Spiegel 3 hindurch erfolgt. Alternativ wäre auch eine Anregung durch einen der Endspiegel 1 oder 2 hindurch oder eine transversale Anregung des Laserresonators möglich.

Die oberflächenstrukturierten Endspiegel 1 und 2 weisen im vorliegenden Fall diffraktive Profile mit einem unstetigen Verlauf auf und sind auf einer dem Resonator zugewandten Seite (also in der Fig. 1 a) rechts) durch eine Goldbeschichtung verspiegelt. Alternativ wäre auch eine Auslegung eines Endspiegels 1 oder 2 oder beider Endspiegel 1 und 2 mit transmissiven oberflächenstrukturierten Bereichen möglich, wobei dann eine dem Resonator abgewandte Seite des Substrats durch eine entsprechende Beschichtung verspiegelt sein könnte. Die Endspiegel 1 und 2 sind so strukturiert, dass der Laserresonator unter Berücksichtigung optischer Eigenschaften des im Laserresonator angeordneten optischen Mediums eine definierte und gewünschte transversale Mode als Grundmode erhält, während höhere Moden verhältnismäßig gut unterdrückt werden. Zu diesem Zweck können in gleicher Weise refraktiv strukturierte Endspiegel verwendet werden. Bei dem vorliegend beschriebenen Ausführungsbeispiel wurden theoretisch errechnete refraktive

Spiegelprofile jedoch durch diffraktive Profile mit annähernd gleichen Spiegeleigenschaften approximiert, wobei diese diffraktiven Profile dann durch Laserlithographie in einem einzigen Herstellungsprozess auf einer Oberfläche des Substrats realisiert wurden. Außer einem lokalen Abtragen von Oberflächenschichten des Substrats könnte auch ein Auftragen weiterer Schichten zur Realisierung der oberflächenstrukturierten Endspiegel 1 und 2 vorgesehen werden.

Andere Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung sind in den Figuren 2 a) bis 2 c) gezeigt. Wiederkehrende Merkmale sind dabei, wie auch in den darauf folgenden Figuren, wieder mit den gleichen Bezugszeichen versehen.

Bei dem in der Figur 2 a) gezeigten Laserresonator befindet sich zwischen den beiden oberflächenstrukturierten Endspiegeln 1 und 2 eine zusätzliche verspiegelte Fläche 5 auf dem Substrat, das auch die Endspiegel 1 und 2 trägt. Diese zusätzliche verspiegelte Fläche 5 bildet zusammen mit dem dem Substrat gegenüber und zu diesem parallel angeordneten weiteren Spiegel 3 einen Hilfsresonator, mit dessen Hilfe der abgebildete Laserresonator justiert werden kann. Ein dabei zuerst anschwingender Bereich des Laserresonators ist in der Fig. 2 a) durch einen gestrichelten Doppelpfeil angedeutet. Die zusätzliche verspiegelte Fläche 5 ist, wie auch der weitere Spiegel 3, als Planspiegel ausgeführt. Es ist vorgesehen, dass die verspiegelte Fläche 5 nach einer Justage des Laserresonators geschwärzt oder abgedeckt wird, so dass dann nur noch der durch die oberflächenstrukturierten Endspiegel 1 und 2 und den weiteren Spiegel 3 gebildete eigentliche Resonator betrieben wird. Bezüglich der übrigen Merkmale entspricht der in der Fig. 2 a) ab-

gebildete Laserresonator dem zuvor beschriebenen Ausführungsbeispiel.

5 In Fig. 2 b) ist ein ähnlicher Laserresonator gezeigt, der sich von dem anhand der Fig. 2 a) beschriebenen Laserresonator dadurch unterscheidet, dass der weitere Spiegel 3 nicht als Planspiegel, sondern als sphärisch konkav gekrümmter Spiegel ausgeführt ist. Ähnliche Ausführungen sind denkbar, bei
10 denen der weitere Spiegel 3 eine konvexe Krümmung aufweist.

Ein weiteres Ausführungsbeispiel ist in der Fig. 2 c) gezeigt. Bei dem dort abgebildeten Laserresonator,
15 der dem anhand der Fig. 1 a) beschriebenen Laserresonator ähnelt, ist der weitere Spiegel 3 wieder als Planspiegel ausgeführt. Dafür sind die beiden oberflächenstrukturierten Endspiegel 1 und 2 auf einer sphärisch gekrümmten, konkaven Oberfläche des entsprechenden Substrats angeordnet.
20

Bei allen bislang erläuterten Ausführungsbeispielen kann es vorgesehen sein, dass das Substrat in einer Umgebung des Endspiegels 2, bei dem eine Auskoppelung
25 von Laserlicht erfolgt, geschwärzt oder mit einer streuenden Oberflächenstruktur, wie beispielsweise einer Gitterstruktur versehen ist. Durch diese Schwärzung bzw. beugende Struktur, die bewirkt, dass der Endspiegel 2 auf einen Bereich beschränkt ist,
30 innerhalb dessen die Grundmode eine definierte, beispielsweise zwischen 0 % und 1 % einer maximalen Intensität liegende Schwelle überschreitet, wird eine besonders gute Unterdrückung höherer transversaler Moden erreicht. Zusätzlich oder alternativ können im
35 Strahlengang der beschriebenen Laserresonatoren, also in einem Bereich zwischen den Endspiegeln 1 und 2 und

dem weiteren Spiegel 3, weitere Phasenstrukturen, Beugungsstrukturen und/oder Aperturen angeordnet sein, durch welche sich eine bessere Raumausnutzung im aktiven Medium des Laserresonators und eine bessere Unterdrückung höherer Moden realisieren lassen. Dabei sind solche Phasen- bzw. Beugungsstrukturen und Aperturen selbstverständlich bei einer Berechnung der Profile der Endspiegel 1 und 2 zu berücksichtigen.

Ein Designbeispiel für einen Laserresonator in einer weiteren Ausführung der Erfindung ist in der Fig. 3 gezeigt. Diese Figur zeigt einen instabilen Nd:YAG-Resonator mit gaußförmiger Grundmode. Dieser Resonator ergibt sich durch einfache Faltung eines linearen Resonators mit einer optischen Achse, die gegenüber einer Normalen der Endspiegel 1 und 2 um einen Winkel von $0,75^\circ$ geneigt ist.

Fig. 3 b) veranschaulicht eine Intensitätsverteilung der ausgekoppelten Grundmode auf einer Rückseite des Substrats, das die beiden Endspiegel 1 und 2 trägt. Die zwei Endspiegel 1 und 2 dieses Laserresonators selbst sind in Fig. 3 c) veranschaulicht. Zu erkennen ist dort ein Auskoppelbereich 4 des instabilen Resonators, der durch einen nicht verspiegelten und selbst nicht strukturierten Quadranten im Endspiegel 1 gegeben ist. Der weitere, zur Faltung des Laserresonators dienende Spiegel 3 ist im vorliegenden Fall wieder als Planspiegel ausgeführt. Angedeutet ist zusätzlich eine thermische Linse 6, die sich durch ein Aufheizen des Laserresonators und eines im Laserresonator angeordneten aktiven Mediums bei einem Betrieb des Laserresonators ergibt. Diese thermische Linse 6 hat im vorliegenden Fall eine Brennweite von 4 m und ist bei einer Berechnung der Endspiegel 1 und 2 berücksichtigen. Der abgebildete Nd:YAG-Resonator hat

eine Emissionswellenlänge von 1064 nm. In der Fig. 3 c) sind außerhalb des Auskoppelbereichs 4 oberflächenstrukturierte Bereiche der Endspiegel 1 und 2 zu erkennen, auf denen berechnete Phasenverteilungen angedeutet sind. Der abgebildete Resonator hat eine Baulänge $L/2$ von 0,1 m und entspricht damit in seinen optischen Eigenschaften im Wesentlichen einem entsprechenden ungefalteten Resonator einer Länge von $L = 0,2$ m. Eingezeichnet ist in Fig. 3 c) schließlich auch eine Seitenlänge 7 der Endspiegel 1 und 2, die einen Betrag von 1,28 mm hat.

In einer der Fig. 3 entsprechenden Darstellungsweise ist in Fig. 4 ein weiteres Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung abgebildet. Wieder handelt es sich um einen Nd:YAG-Resonator mit einer Emissionswellenlänge von 1064 nm. Dieser Resonator weist, wie der zuvor anhand der Fig. 3 beschriebene Laserresonator, zwei Endspiegel 1 und 2 mit diffraktiver Oberfläche auf, ist aber abweichend als stabiler Resonator ausgeführt und weist eine Grundmode auf, die den griechischen Buchstaben π wiedergibt. Diese Grundmode, die im Auskoppelbereich 4 im Endspiegel 2 ausgekoppelt wird, bzw. deren Intensitätsverteilung ist in der Fig. 4 b) veranschaulicht.

Bei dem in Fig. 4 a) abgebildeten Laserresonator hat der weitere Spiegel, der wieder als Planspiegel ausgeführt ist, einen Abstand von $L/2 = 0,125$ m von den beiden Endspiegeln 1 und 2. Eingezeichnet ist wieder eine thermische Linse 6, die sich durch eine Erwärmung des aktiven Mediums ergibt und die eine Brennweite von 4 m hat. Zwischen den Endspiegeln 1 und 2 ist, ähnlich den Laserresonatoren aus den Fign. 2 a) und 2 b), eine zusätzliche verspiegelte Fläche 5 angeordnet, die plan und hochreflektierend ausgeführt

ist und mit dem weiteren Spiegel 3 zusammenwirkend einen leicht anspringenden Hilfsresonator zur Justage der Laserresonators bildet. Diese zusätzliche verspiegelte Fläche 5 ist auch in Fig. 4 c) zu erkennen, die eine Aufsicht auf das Substrat mit den beiden Endspiegeln 1 und 2 zeigt. Zu erkennen ist in Fig. 4 c) auch eine berechnete Phasenverteilung der beiden oberflächenstrukturierten Endspiegel 1 und 2, die eine Seitenlänge 7 von 3 mm haben. Es ist vorgesehen, dass die zusätzliche verspiegelte Fläche 5 nach einer Justage des Resonators beispielsweise mittels einer geeigneten Blende abgedunkelt wird. Der anhand der Fig. 4 erläuterte Laserresonator hat eine optische Achse, die gegenüber einer Normalen der Endspiegel 1 und 2 und des weiteren Spiegels 3 um etwa $1,16^\circ$ geneigt ist. Gegenüber einem entsprechenden Laserresonator mit in herkömmlicher Weise nicht gefaltetem Strahlengang propagieren die im Resonator hin- und rücklaufenden optischen Felder hier, wie auch bei den zuvor beschriebenen Ausführungsbeispielen, nicht mehr parallel zu einer Normalen der Endspiegel 1 und 2 und/oder des weiteren Spiegels 3, sondern in einer demgegenüber um den genannten Winkel in lateraler Dimension verkippten Richtung. Die Verkipfung wird durch Änderung der optischen Funktion der strukturierten Spiegel bewirkt und kann im optischen Design des Resonators berücksichtigt werden.

Die schiefe Propagation der Felder ermöglicht eine Faltung des Laserresonators, wobei der als Faltungsspiegel dienende zusätzliche Spiegel 3 hier im Abstand einer halben Resonatorlänge $L/2$ vom Substrat positioniert wird. Dadurch reduziert sich eine geometrische Länge des Lasers auf die Hälfte. Diese Faltung erlaubt eine lithographisch genau Positionierung der beiden oberflächenstrukturierten Endspiegel 1 und

2 auf einem einzigen Substrat in einem Herstellungsprozess, d.h. unter exakt gleichen Herstellungsbedingungen. Die Endspiegel 1 und 2 sind in den lateralen Dimensionen (in Spiegelebene) sowie bezüglich einer Rotation um eine Spiegelnormale lithographisch genau (lateral $< 0,1 \mu\text{m}$, relative Rotation $< 0,001^\circ$) zueinander positioniert. Durch die Faltung ist letztendlich mit einer Reduzierung von Beugungsverlusten und einer Verbesserung des Resonatorverhaltens zu rechnen.

Das beschriebene Prinzip lässt sich sowohl auf stabile Resonatoren als auch auf instabile Resonatoren mit beliebigen transversalen Grundmodenverteilungen anwenden. Die Endspiegel 1 und 2 müssen nicht unbedingt mit diffraktiven Strukturen (d.h. als unstetige Oberflächenprofile) ausgelegt sein, sondern können auch refraktiv, d.h. als glatte Oberflächenprofile ausgeführt sein. Das Prinzip lässt sich ferner ganz allgemein auf Laser mit beliebigen aktiven Medien anwenden. Der weitere Spiegel 3 kann nach den Gesagten als Planspiegel ausgeführt sein oder auch einen beliebigen Krümmungsradius besitzen.

Beispielsweise bei dem in der Fig. 4 gezeigten Laserresonator ist ein Bereich zwischen den beiden oberflächenstrukturierten Endspiegeln 1 und 2 unstrukturiert und mit einer erhöhten Spiegelreflektivität ausgeführt, so dass in diesem Bereich, der die zusätzliche verspiegelte Fläche 5 bildet, ein leichtes Anschwingen des Lasers möglich ist, wodurch eine Verkipfung des Substrats und des weiteren Spiegels 3 zueinander justiert werden kann. Der durch die zusätzliche verspiegelte Fläche 5 und den weiteren Spiegel 3 gebildete Hilfsresonator hat deutlich geringere Umlaufverluste als der eigentliche Resonator und wird

daher wie gesagt nach einer Justage des Resonators abgeblendet. Außerhalb der zusätzlichen verspiegelten Fläche 5 und der oberflächenstrukturierten Endspiegel 1 und 2 weist das Substrat eine einfache beugende Struktur auf, die eine bessere Unterdrückung höherer Moden bewirkt.

Ein weiteres Ausführungsbeispiel der Erfindung ist schließlich in der Fig. 5 a) gezeigt. Wiederkehrende Merkmale sind hier wieder mit den gleichen Bezugszeichen versehen und werden nicht mehr im Einzelnen erläutert. Abweichend von den zuvor beschriebenen Laserresonatoren weist der hier gezeigte Laserresonator neben den beiden auf einem einzigen Substrat angeordneten Endspiegeln 1 und 2 zwei weitere Spiegel 3 und einen mittels dieser Spiegel 3 zweifach gefalteten Strahlengang auf. Dadurch ergibt sich eine besonders einfache Strahlgeometrie, die es erlaubt, für die Endspiegel 1 und 2 Oberflächenstrukturen zu verwenden, die in gleicher Form von einem entsprechenden herkömmlichen linearen Resonator bekannt sind. Ein solcher optisch äquivalenter linearer Laserresonator mit einem nicht gefalteten Strahlengang ist zum Vergleich in Fig. 5 b) dargestellt. Aus dem dort abgebildeten herkömmlichen Resonator ergibt sich der erfindungsgemäße Laserresonator aus Fig. 5 a) in einfacher Weise durch Hinzufügen der weiteren Spiegel 3, mittels derer der Strahlengang an zwei Stellen um jeweils einen rechten Winkel gefaltet wird.

FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT...e.V.

057PCT 0902

Patentansprüche

5

1. Laserresonator, der durch zwei oberflächenstrukturierte Endspiegel (1, 2) begrenzt ist,
dadurch gekennzeichnet,
dass die zwei oberflächenstrukturierten Endspiegel (1, 2) auf einem gemeinsamen Substrat angeordnet sind, wobei der Laserresonator einen mittels mindestens eines weiteren Spiegels (3) gefalteten Strahlengang aufweist.
2. Laserresonator nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die zwei oberflächenstrukturierten Endspiegel (1, 2) nebeneinander auf einer Seite des Substrats angeordnet sind.
3. Laserresonator nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass er einen mittels genau eines weiteren Spiegels (3) einfach gefalteten Strahlengang aufweist.
4. Laserresonator nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass der weitere Spiegel (3) ein Planspiegel ist oder eine gekrümmte Oberfläche hat.
5. Laserresonator nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass das Substrat eine ebene oder gekrümmte Oberfläche aufweist, auf der die oberflächenstrukturierten Endspiegel (1, 2) angeordnet sind.
6. Laserresonator nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass der weitere Spiegel

(3) durch eine Oberfläche eines im Laserresonator angeordneten aktiven Mediums gegeben ist.

- 5 7. Laserresonator nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass er in einem Bereich einer der beiden Endspiegel (1, 2) oder des weiteren Spiegels (3) einen Auskoppelbereich (4) aufweist.
- 10 8. Laserresonator nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens einer der Endspiegel (1, 2) auf einer dem Resonator zugewandten Seite verspiegelt ist oder das Substrat zumindest in einem Bereich mindestens eines der Endspiegel (1, 2) auf einer dem Resonator abgewandten Seite verspiegelt ist.
- 15 9. Laserresonator nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die oberflächenstrukturierten Endspiegel (1, 2) refraktive oder diffraktive Profile aufweisen.
- 20 10. Laserresonator nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass er einen stabilen oder einen instabilen Resonator bildet.
- 25 11. Laserresonator nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass das Substrat in einer Umgebung eines Endspiegels (1, 2) geschwärzt oder mit einer streuenden Oberflächenstruktur versehen ist.
- 30 12. Laserresonator nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass im Strahlengang mindestens eine weitere Phasenstruktur, Beugungsstruktur und/oder Apertur angeordnet ist.

13. Laserresonator nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass sich auf dem Substrat außerhalb oberflächenstrukturierter Bereiche eine zusätzliche verspiegelte Fläche (5) befindet, die zusammen mit dem mindestens einen weiteren Spiegel (3) einen Hilfsresonator zur Justage des Resonators bildet.
14. Laserresonator nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass eine Einkopplung von Pumpstrahlung durch den weiteren Spiegel (3) vorgesehen ist.
15. Laserresonator nach einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Endspiegel (1, 2) eine laserlithographierte Oberfläche aufweisen.
16. Verfahren zur Herstellung eines Laserresonators nach einem der Ansprüche 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass eine Oberfläche des Substrats in zwei den Endspiegeln (1, 2) entsprechenden Bereichen in einem einzigen Herstellungsprozess durch Auftragen weiterer Schichten und/oder durch Abtragen von Oberflächenschichten strukturiert wird.

Fig. 1

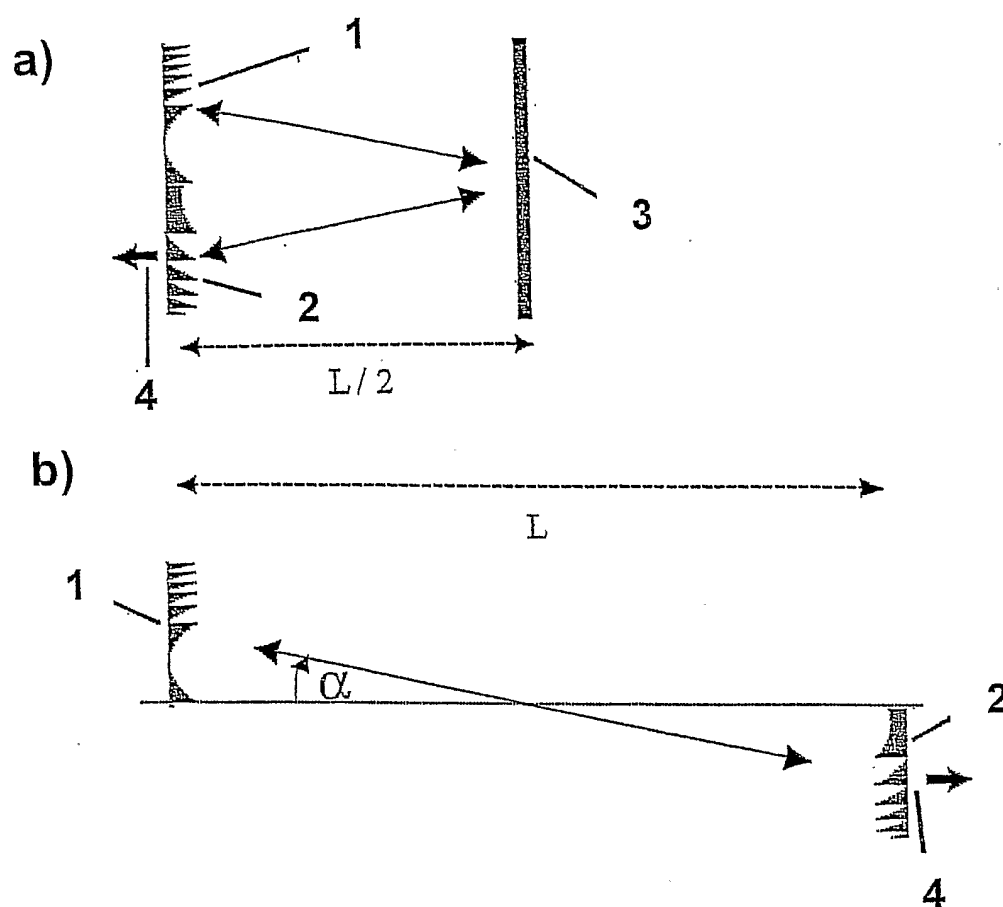


Fig. 2

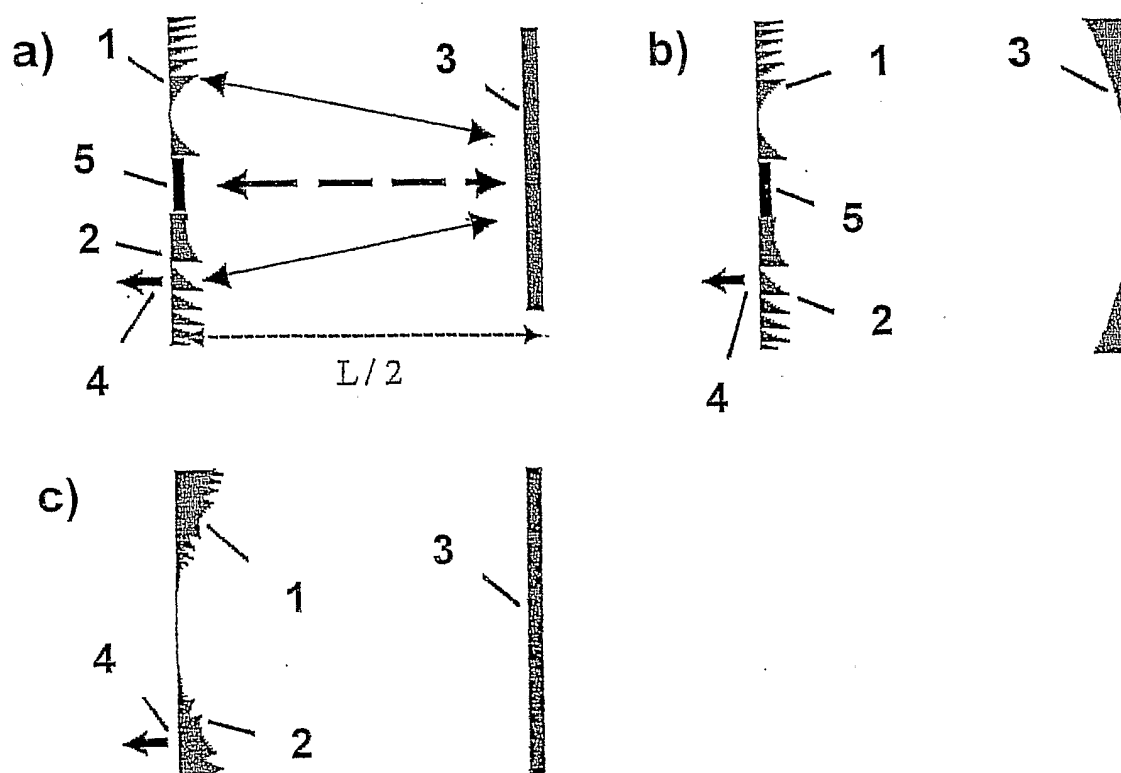


Fig. 3

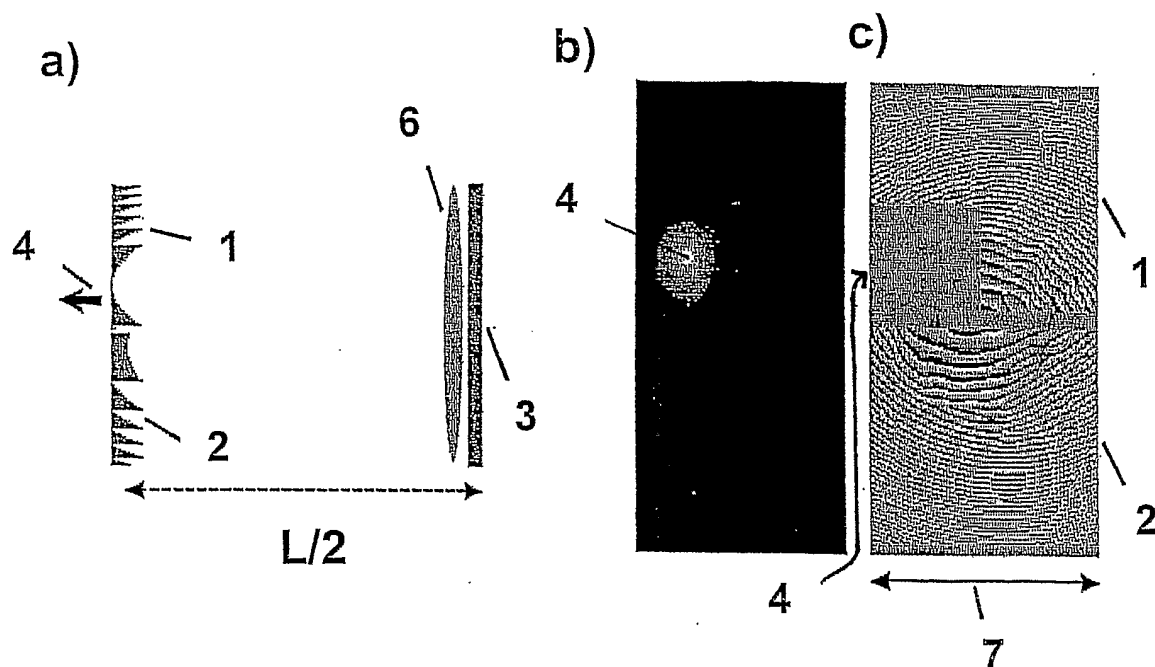


Fig. 4

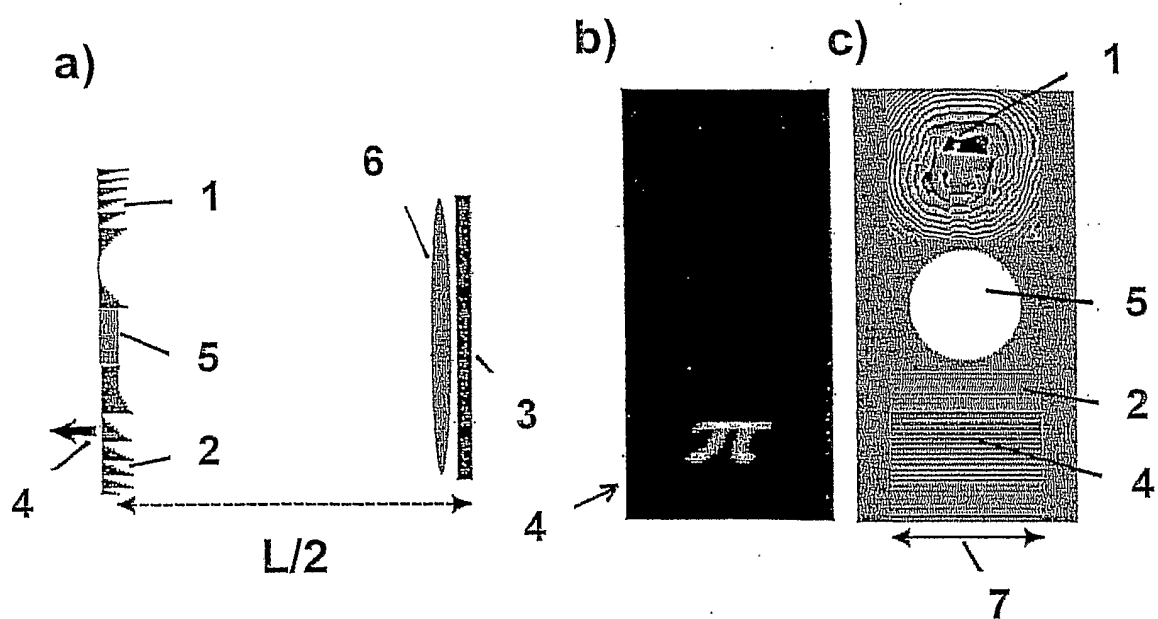
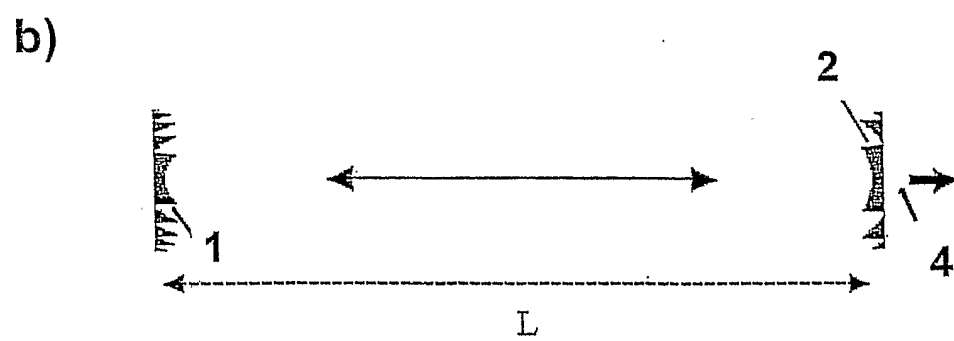
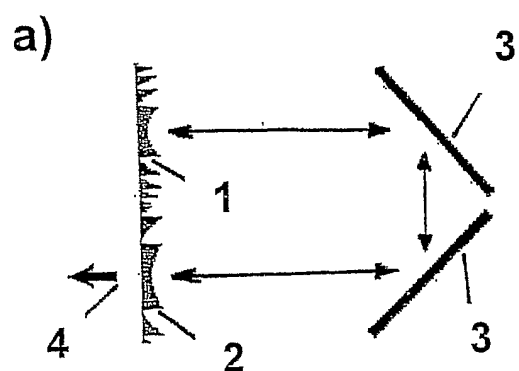


Fig. 5



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

.../EP2005/010375

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
H01S3/08 G02B5/32

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
H01S G02B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 5 151 917 A (PERILLOUX ET AL) 29 September 1992 (1992-09-29) column 6, line 50 - line 57; figure 18	1-6, 9, 10, 12, 16
A	LEGER J R ET AL: "DIFFRACTIVE OPTICAL ELEMENT FOR MODE SHAPING OF A ND:YAG LASER" OPTICS LETTERS, OSA, OPTICAL SOCIETY OF AMERICA, WASHINGTON, DC, US, vol. 19, no. 2, 15 January 1994 (1994-01-15), pages 108-110, XP000417539 ISSN: 0146-9592 the whole document	1, 16
A	US 5 454 004 A (LEGER ET AL) 26 September 1995 (1995-09-26) cited in the application column 8, line 7 - line 14; figure 5	1, 16



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- *G* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

2 February 2006

Date of mailing of the international search report

10/02/2006

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Hervé, D

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

.../EP2005/010375

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 5151917	A	29-09-1992	NONE	
US 5454004	A	26-09-1995	US 5592505 A	07-01-1997

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

/EP2005/010375

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
H01S3/08 G02B5/32

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
H01S G02B

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 5 151 917 A (PERILLOUX ET AL) 29. September 1992 (1992-09-29) Spalte 6, Zeile 50 - Zeile 57; Abbildung 18	1-6,9, 10,12,16
A	----- LEGER J R ET AL: "DIFFRACTIVE OPTICAL ELEMENT FOR MODE SHAPING OF A ND:YAG LASER" OPTICS LETTERS, OSA, OPTICAL SOCIETY OF AMERICA, WASHINGTON, DC, US, Bd. 19, Nr. 2, 15. Januar 1994 (1994-01-15), Seiten 108-110, XP000417539 ISSN: 0146-9592 das ganze Dokument ----- -/--	1,16

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen ☒ Siehe Anhang Patentfamilie

- * Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :
 - *A* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
 - *E* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
 - *L* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
 - *O* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
 - *P* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist
- *T* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
- *X* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden
- *Y* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
- *Z* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

2. Februar 2006

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

10/02/2006

Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Hervé, D

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	US 5 454 004 A (LEGER ET AL) 26. September 1995 (1995-09-26) in der Anmeldung erwähnt Spalte 8, Zeile 7 - Zeile 14; Abbildung 5 -----	1,16

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

ationales Aktenzeichen

PCT/EP2005/010375

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
US 5151917	A	29-09-1992	KEINE		
US 5454004	A	26-09-1995	US	5592505 A	07-01-1997