

(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
29. Dezember 2004 (29.12.2004)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2004/114480 A2

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: **H01S 3/16**

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2004/003098

(22) Internationales Anmeldedatum:
24. März 2004 (24.03.2004)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
103 28 115.0 20. Juni 2003 (20.06.2003) DE
103 55 216.2 26. November 2003 (26.11.2003) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **VISION CRYSTAL TECHNOLOGY AG** [DE/DE]; Lügensteinweg 27, 30890 Göxe (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **KIRILOV, Todor** [BG/DE]; Am Kucksberg 3, 30890 Barsinghausen (DE).

(74) Anwalt: **LEINE & WAGNER**; Burckhardtstrasse 1, 30163 Hannover (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, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, 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, IT, LU, 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:

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts

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.

(54) Title: SOLID BODY

(54) Bezeichnung: FESTKÖRPER

(57) **Abstract:** The invention relates to a solid body which comprises and is constituted of monoclinic elementary cells in an optically used area. The inventive solid body, in every location in the optically used area, corresponds to essentially the same crystallographic system of coordinates, the solid body having at least two domains that differ in terms of their chemical composition in the optically used area. Preferably, the inventive solid body, at least in the optically used area, comprises tungstate and potassium and/or rubidium as a component of the monoclinic elementary cells.

(57) **Zusammenfassung:** Die Erfindung betrifft einen Festkörper, aufweisend und in einem optisch benutzten Bereich bestehend aus monoklinischen Elementarzellen. Hierbei liegt der Festkörper an jeder Stelle zumindest im optisch benutzten Bereich im wesentlichen dem gleichen kristallographischen Koordinatensystem zugrunde, wobei der Festkörper per im optisch benutzten Bereich wenigstens zwei hinsichtlich ihrer chemischen Zusammensetzung unterschiedliche Domänen aufweist. Vorzugsweise weist der erfindungsgemäße Festkörper zumindest im optisch benutzten Bereich als Bestandteil der monoklinischen Elementarzellen Wolframat und Kalium und/oder Rubidium auf.



WO 2004/114480 A2

Festkörper

Die Erfindung betrifft einen Festkörper.

Zur Herstellung von Festkörperlasern werden beispielsweise Festkörper in Form von Kristallen verwendet, die aus Granat (YAG), Vanadat (YVO), Fluorid
5 (YLF), Saphir (Sa) und Glas bestehen. In diese Kristalle werden, beispielsweise als Dotierung, Ionen eingebracht, wobei im Vergleich zu einem Gaslaser die Konzentration dieser Ionen höher ist, so daß mit Festkörperlasern höhere Leistungen erreicht werden können. Als
10 Ionen zur Dotierung eignen sich beispielsweise Elemente, die dem verwendeten Kristall chemisch ähnlich sind. Daher enthalten viele für Festkörperlaser verwendete Kristalle Yttrium (Y), das leicht durch Ionen seltener Erden ersetzt werden kann. Als seltene Erden werden die
15 13 Elemente Cer (Ce), Praseodym (Pr), Neodym (Nd), Promethium (Pm), Samarium (Sm), Europium (Eu), Gadolinium (Gd), Terbium (Tb), Dysprosium (Dy), Holmium (Ho), Erbium (Er), Thulium (Tm), Ytterbium (Yb) und Lutetium (Lu) bezeichnet. Als Dotierungs-Ionen in einem Kristall
20 liegen diese Ionen gewöhnlich in dreiwertiger Form vor.

Ein wesentliches Merkmal bei der Auswahl von Kristallen für Festkörperlaser ist ihre Wärmeleitfähigkeit, da in dem Kristall ein erheblicher Anteil der Anregungsenergie in Wärme umgesetzt wird. Eine inhomogene Temperaturverteilung in dem Kristall kann zu Änderungen des Brechungsindex führen, die Linseneffekte
25

- 2 -

hervorrufen und die Resonatoreigenschaften des Festkörperlasers empfindlich verändern können.

Der wichtigste Festkörperlaser ist der Neodym-Laser, bei dem die Laserstrahlung von Nd^{3+} -Ionen erzeugt wird. Das Nd^{3+} -Ion wird dabei häufig in einen YAG-Kristall eingebracht, der eine hohe optische Verstärkung sowie geeignete mechanische und thermische Eigenschaften aufweist. Derartige YAG-Kristalle können daher sowohl für kontinuierlich emittierende als auch für gepulste Laser verwendet werden. Ein wesentlicher Nachteil beispielsweise von $\text{Nd}:\text{YAG}$ -Kristallen ist die starke, über den Querschnitt des Kristalls variierende Doppelbrechung, die als Folge der Erwärmung durch die Anregung entsteht. Durch diese Doppelbrechung wird der Laserstrahl polarisiert und die Strahlqualität bei Hochleistungslasern stark herabgesetzt. Dies erfordert den Einsatz von polarisationserhaltenden Kristallen.

Der Einsatz derartiger polarisationserhaltender Kristalle oder von Anpassungsschichten zwischen einer Pumpquelle und dem Kristall führt jedoch zu einer Begrenzung der Leistung des Lasers, da es an den Grenzflächen zu einer totalen inneren Reflexion von Spontanemissionen (ASE) kommt, die eine ungewollte Erwärmung des Kristalls hervorrufen.

Ein anderes für Festkörperlaser verwendetes Material ist Glas, beispielsweise Silikat- oder Phosphatglas, das beispielsweise mit Nd^{3+} -Ionen dotiert werden kann. Derartige Gläser können höher mit Ionen dotiert werden, weshalb sie für Hochleistungs-Nd-Lasersysteme verwendet werden.

Es ist ferner bekannt, Wolframate als Kristalle für die Herstellung von Lasermaterialien zu verwenden, wobei das Ausgangsmaterial beispielsweise mit Ionen seltener Erden dotiert werden kann.

Als geeignetes Dotierungsmaterial zur Herstellung von Festkörperlasern mit Strahlung im Mikrometerbereich ist beispielsweise Ytterbium (Yb) bekannt. Ein solcher Laser kann beispielsweise mittels einer Indium-Gallium-Arsenit-Laserdiode mit einer Wellenlänge von 0,9 - 1 μm angeregt werden, so daß auch einfache Energiequellen, beispielsweise Dioden mit einer Wellenlänge von 965 oder 980 nm zur Anregung des Kristalls verwendet werden können. Eine Dotierung mit Ytterbium (Yb) bietet gegenüber einer Dotierung mit Neodym (Nd) wesentliche Vorteile. Ein besonderer Vorteil besteht in dem relativ geringen Laserquanteneffekt, der zu einer geringeren Wärmeentwicklung in dem Kristall führt. Des weiteren erlaubt der sehr große Absorptionskoeffizient die Verwendung von dünnen Kristallschichten.

Durch eine Reduzierung der Dicke des Kristalls wird die Phasenabweichung zweier benachbarter longitudinaler Moden so klein, daß der Spatial-Hole-Burning-Effekt nicht auftritt. Dies führt zu Single-Frequency-Laserstrahlung.

Andererseits muß die Dicke des Kristalls ausreichend groß sein, um einen ausreichenden Anteil der Anregungsenergie zu absorbieren. Dabei hängt die minimale Dicke, die für einen solchen Betrieb erforderlich ist, von dem Grad der Dotierung des Kristalls ab. Für Dotierungen in der Größenordnung von $1,4 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$ können Dicken von weniger als 100 μm erreicht werden.

Kristalle mit einer Dicke von weniger als 100 μm sind in der Fertigung jedoch nicht ohne weiteres handhabbar, so daß die Herstellung von Hochleistungslasern mit derartigen Kristallen sehr aufwendig und damit teuer ist.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen Festkörper anzugeben, der insbesondere auf einfache und

- 4 -

kostengünstige Weise die Fertigung von Hochleistungs-
lasern ermöglicht.

Diese Aufgabe wird durch die im Anspruch 1 angege-
bene Lehre gelöst.

5 Vorteilhafte und zweckmäßige Weiterbildungen der
erfindungsgemäßen Lehre sind in den Unteransprüchen
angegeben.

10 Erfindungsgemäß wird unter einem optisch benutzten
Bereich der für die jeweilige optische Applikation ver-
wendete Bereich des Festkörpers verstanden. Bildet der
Festkörper beispielsweise einen Laser, so ist der op-
tisch benutzte Bereich derjenige Bereich, der bei-
spielsweise vom Pumpstrahl einer Pumpquelle erfaßt wird
und/oder von einem erzeugten Laserstrahl passiert wird.

15 Unter einer Domäne wird erfindungsgemäß ein Be-
reich einer chemisch definierten Zusammensetzung ver-
standen, der aus wenigstens einer Elementarzelle be-
steht.

20 Unter einer aktiven Zone wird erfindungsgemäß bei-
spielsweise bei einer optischen Applikation ein Bereich
verstanden, in dem eine optische Absorption für den
jeweiligen Wellenlängenbereich stattfindet. Demgegen-
über findet beispielsweise bei einer optischen Applika-
tion in einer nicht-aktiven Zone in dem jeweiligen Wel-
25 lenlängenbereich keine Absorption statt.

30 Erfindungsgemäß kann der erfindungsgemäße Kristall
eine einkristalline Struktur aufweisen, wobei bei-
spielsweise eine erste aktive Domäne mittels eines ge-
eigneten Verfahrens auf eine zweite nicht-aktive Domäne
aufgebracht werden kann.

Entsprechend den jeweiligen Anforderungen können
auch mehr als zwei Domänen vorgesehen sein.

Bestehen beide Domänen aus dem gleichen Ausgangs-
material, so ergibt sich erfindungsgemäß, daß der Fest-

- 5 -

körper aus monoklinischen Elementarzellen besteht, wobei der Festkörper in einem optisch benutzten Bereich an jeder Stelle im wesentlichen das gleiche kristallographische Koordinatensystem aufweist.

5 Erfindungsgemäß ist es jedoch auch möglich, die erfindungsgemäß vorgesehenen wenigstens zwei Domänen als separate Elemente aus monoklinischen Elementarzellen herzustellen, wobei die Verbindung der Domänen erfindungsgemäß derart erfolgt, daß in einem optisch be-
10 nutzten Bereich des Festkörpers an jeder Stelle im wesentlichen das gleiche kristallographische Koordinatensystem vorliegt.

 Erfindungsgemäß ist es auch möglich, die beiden Domänen aus geeigneten, jedoch zueinander hinsichtlich
15 ihrer chemischen Zusammensetzung unterschiedlichen Ausgangsmaterialien zu fertigen, solange erfindungsgemäß gewährleistet ist, daß der aus den wenigstens zwei Domänen zusammengesetzte Festkörper aus monoklinischen Elementarzellen besteht, wobei in einem optisch benutz-
20 ten Bereich des Festkörpers an jeder Stelle im wesentlichen das gleiche kristallographische Koordinatensystem vorliegt.

 Vorzugsweise bildet eine der Domänen eine laseraktive Zone, während die andere Domäne eine passive,
25 also nicht-aktive Zone bildet. In der laseraktiven Zone tritt hierbei der Lasereffekt auf, während die passive Zone beispielsweise als Halterung für die laseraktive Zone dienen kann. Beispielsweise kann die passive Zone einen Abstandshalter zur Einstellung eines vorbestimm-
30 ten Abstandes zwischen der laseraktiven Zone und einer Pumpquelle bilden.

 Ein besonderer Vorteil der erfindungsgemäßen Lehre besteht darin, daß der erfindungsgemäße Festkörper bei Verwendung als Laser unmittelbar mit einer Pumpquelle

- 6 -

verbunden werden kann, ohne daß aufwendige Anpassungsschichten oder Anpassungsoptiken zwischen der Pumpquelle und dem Festkörper erforderlich sind. Durch geeignete Wahl der Dicke der passiven Domäne in Strahlrichtung der Pumpquelle ist es beispielsweise möglich, die laseraktive Zone unmittelbar an der Pumpquelle zu befestigen, wobei die Dicke der passiven Domäne so gewählt werden kann, daß der divergierende Pumpstrahl der Pumpquelle im Bereich der laseraktiven Domäne in der gewünschten Weise ein im wesentlichen kreisförmiges Strahlprofil aufweist.

Ein besonderer Vorteil der Verwendung von Kalium-Ytterbium-Wolframat (im folgenden: KYbW) besteht in einer extrem kurzen Absorptionslänge von etwa $13,3 \mu\text{m}$ bei 980 nm. Ein weiterer besonderer Vorteil von KYbW besteht in einem sehr geringen Laserquantendefekt.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand der beigefügten stark schematisierten Zeichnung näher erläutert, in der Ausführungsbeispiele eines erfindungsgemäßen Festkörpers dargestellt sind.

Es zeigt:

- Fig. 1 eine Nahfeld- und Fernfeld-Strahlcharakteristik eines typischen Diodenlasers als Pumpquelle,
- Fig. 2 einen Teilschnitt durch einen im Inneren eines Gehäuses angeordneten Laser gemäß dem Stand der Technik,
- Fig. 3 einen schematischen Querschnitt durch ein erstes Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Festkörpers in Form eines Lasers,
- Fig. 4 in gleicher Darstellung wie Fig. 3 ein zweites Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Festkörpers in Form eines Lasers.

- 8 -

Domäne 1 bildet bei diesem Ausführungsbeispiel eine passive Domäne und besteht aus Kalium-Yttrium-Wolframat, während die zweite Domäne 2 eine laseraktive Domäne bildet und aus Kalium-Ytterbium-Wolframat besteht.

5 Der Festkörper ist an seiner Oberseite 4 und seiner Unterseite 3 mit Reflektorschichten beschichtet, um einen Laserresonator zu bilden.

Der erfindungsgemäße Festkörper kann mit einer herkömmlichen Laserdiode 5 ohne zusätzliche Anpassungsoptik gepumpt und als Laser verwendet werden. Wie in 10 Fig. 1 dargestellt, ist der Strahl der Laserdiode 5, der zum Pumpen der laseraktiven Domäne 2 dient, divergent und der Strahlquerschnitt elliptisch geformt. Dabei unterscheidet sich die Strahlcharakteristik im Nahfeld vom Fernfeld, wobei Divergenzwinkel von etwa 30° 15 üblich sind. Aufgrund von Beugungseffekten divergiert der Strahl am stärksten in einem Bereich senkrecht zum PN-Übergang der Diode. In weiterer Entfernung vom PN-Übergang, dem Fernfeld, wird das Strahlfeld wieder elliptisch, diesmal aber mit seiner langen Achse senkrecht zum PN-Übergang. In einer Entfernung von ca. 275 20 μm vom PN-Übergang zwischen Nah- und Fernfeld hat der Pumpstrahl einen im wesentlichen kreisförmigen Querschnitt.

25 Der erfindungsgemäße Festkörper kann unmittelbar an der Laserdiode 5 befestigt oder in unmittelbarer Nähe der Laserdiode 5 angeordnet werden, also in einem Bereich, in dem der Strahlquerschnitt der Laserdiode 5 näherungsweise kreisförmig ist. Dabei ist die passive 30 Domäne 1 der Laserdiode 5 zugewandt, während die laseraktive Domäne 2 der Laserdiode 5 abgewandt ist. Die Entfernung zwischen der Laserdiode 5 und der laseraktiven Domäne 2 ist hierbei so gewählt, daß der Strahl der Laserdiode 5 beim Eintritt in die laseraktive Domä-

- 9 -

ne 2 einen im wesentlichen kreisförmigen Strahlquerschnitt aufweist. Aufgrund der äußerst kurzen Absorptionslänge der laseraktiven Domäne sind Abweichungen des Strahlquerschnitts von dem gewünschten kreisförmigen Strahlquerschnitt entlang der laseraktiven Domäne
5 2 ohne praktische Auswirkungen.

Ein weiterer Vorteil der in Fig. 3 dargestellten Anordnung besteht darin, daß durch Strahldivergenzen der Laserdiode 5 hervorgerufene thermische Spannungen
10 im Festkörper reduziert sind.

Somit kann der erfindungsgemäße Festkörper anstelle eines Fensters, das, wie in Fig. 2 dargestellt, bei herkömmlichen Lasern üblicherweise als Staubschutz dient, direkt mit der Laserdiode 5, die zum Pumpen der
15 laseraktiven Domäne 2 dient, verbunden werden. Hierbei dient die passive Domäne bei diesem Ausführungsbeispiel vor allem als mechanischer Träger für die laseraktive Domäne. Darüber hinaus kann die passive Domäne als Abstandhalter zwischen der laseraktiven Domäne 2 und der
20 Laserdiode 5 dienen, um beispielsweise den zur Erzielung eines im wesentlichen kreisförmigen Strahlquerschnitts des Pumpstrahles in der laseraktiven Domäne 2 erforderlichen Abstand zwischen der Laserdiode 5 und der laseraktiven Domäne 2 einzuhalten.

In Fig. 4 ist ein zweites Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Festkörpers in Form eines Lasers dargestellt, der eine erste passive Domäne 1 und eine zweite aktive, hier laseraktive Domäne 2 aufweist, die mit einem Träger 6 verbunden ist. Die laseraktive Domäne
25 ne weist bei diesem Ausführungsbeispiel eine Dicke von etwa 50 μm auf, wobei zum Pumpen eine nicht dargestellte Laserdiode verwendet wird. Bei diesem Ausführungsbeispiel ist die laseraktive Domäne 2 mit Ytterbium und zusätzlich mit bis zu 10% Thulium (Tm) dotiert. Durch
30

- 10 -

die kombinierte Dotierung mit Ytterbium (Yb) und Thulium (Tm) ist eine Anregung mit einer Wellenlänge von 900-1000 nm möglich, wobei der Laserstrahl eine Wellenlänge von 2 μm aufweist.

5 In Fig. 5 ist ein drittes Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Festkörpers dargestellt, der eine erste Domäne 10 aufweist, die eine Dicke von etwa 40 μm aufweist und aus KYbW besteht, das mit 1 at-% Nd dotiert ist. Die Domäne 10 ist zwischen zwei Domänen 12,
10 14 angeordnet, die aus Kalium-Yttrium-Wolframat (KYW) bestehen. Da der Brechungsindex von KYW geringer ist als der Brechungsindex von KYbW, bildet die Domäne 10 einen Wellenleiter. Der in Fig. 5 dargestellte Festkörper kann beispielsweise in Verbindung mit einem Chiplaser verwendet werden, der bei 1.4 μm emittiert.
15

Eine der Domänen 12, 14 ist besonders dünn ausgebildet, um den Wärmewiderstand zu verringern. Die Absorption der Pumpstrahlung wird quasi-resonant auf das Nd übertragen. Die Resonatorspiegel sind bei 1.06 μm
20 durchlässig und bei dem zweiten Laserübergang bei 1.35 μm hochreflektierend.

In Fig. 6 ist ein weiteres Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Festkörpers dargestellt, der bei diesem Ausführungsbeispiel einen Hochleistungs-
25 Scheibenlaser bildet. Der Festkörper weist bei diesem Ausführungsbeispiel eine laseraktive erste Domäne 22 auf, die bei diesem Ausführungsbeispiel aus KYbW besteht. Ferner weist der Festkörper eine mit der ersten Domäne 22 verbundene zweite Domäne 24 auf, die bei diesem Ausführungsbeispiel passiv ausgebildet ist und aus
30 Kalium-Lutetium-Yttrium-Wolframat ($\text{KLu}_x\text{Y}_{1-x}\text{W}$) besteht und als mechanischer Träger für die erste Domäne 22 dient. Darüber hinaus dient die zweite Domäne 24 als Medium zur Indexanpassung (index matching medium), um die

- 11 -

durch ASE (amplified spontaneous emission) verursachten Verluste zu verringern.

Hinsichtlich der Verringerung der durch ASE auftretenden Verluste wird auf das US-Patent US 6,347,109
5 verwiesen, dessen Inhalt hiermit durch Bezugnahme in die vorliegende Anmeldung aufgenommen wird.

Auf ihrer der zweiten Domäne 24 abgewandten Seite ist die erste Domäne 22 mit einer Mehrzahl von schichtartig übereinander angeordneten Spiegeln 26 versehen,
10 wobei diese Spiegel 26 abwechselnd aus KYW und KYbW bestehen und der relativ große Unterschied in dem Brechungsindex von KYW und KYbW ausgenutzt wird. Falls die Reflexion der Spiegel 26 nicht ausreichend ist,
15 kann auf der der ersten Domäne 22 abgewandten Seite der Spiegel 26 ein dielektrischer Spiegel 28 vorgesehen sein. Da durch den Spiegel 28 nur ein Teil der erforderlichen Gesamtreflexion erzeugt werden muß, kann der Spiegel 28 besonders dünn ausgeführt sein, was seinen Wärmewiderstand wesentlich verringert.

20 Auf diese Weise ist ein Hochleistungs-Scheibenlaser realisiert, der einfach und kostengünstig herstellbar ist.

In Fig. 7 ist ein weiteres Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Festkörpers dargestellt, der
25 eine erste Domäne 32 aufweist, die aus KYbW besteht. Der Festkörper weist ferner eine zweite Domäne 34 auf, die aus KYW besteht. Der Festkörper bildet bei diesem Ausführungsbeispiel einen verteilten Bragg-Reflektor (distributed bragg reflector), bei dem eine Modulation
30 des komplexen Brechungsindex sowohl einen Realteil als auch einen Imaginärteil aufweist.

Der erfindungsgemäße Festkörper ist vielfältig einsetzbar. Besonders günstig ist der erfindungsgemäße Festkörper für Laseranwendungen verwendbar, beispiels-

- 12 -

weise für Chiplaser ohne Anpassungsoptik, ultradünne Scheibenlaser für einen Einfrequenz-Betrieb bei besonders hoher Leistung, planare Wellenleiter-Laser und Hochleistungslaser ohne Verluste durch ASE.

5 Insbesondere ermöglicht die erfindungsgemäße Lehre die Realisierung dünner Scheibenlaser, da aufgrund der besonders geringen Absorptionslänge beispielsweise von KYbW ein einziger Durchlauf des Pumpstrahles durch die laseraktive Domäne ausreichend ist. Somit entfallen
10 aufwendige Anordnungen, die bei herkömmlichen Scheibenlasern erforderlich sind, um einen mehrfachen Durchlauf des Pumpstrahles durch das Lasermedium zu erzeugen.

Die bei bestimmten Ausführungsbeispielen vorgesehene passive Domäne kann als mechanischer Träger für
15 eine laseraktive Domäne, zur Steuerung bzw. Anpassung des Brechungsindex oder zur Erzeugung einer hohen kubischen Nichtlinearität dienen.

In Fig. 8 ist ein Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Kurzpulslasers 36 dargestellt, der einen
20 erfindungsgemäßen Festkörper aufweist, der bei diesem Ausführungsbeispiel mehrschichtig ausgebildet ist und eine laseraktive Domäne 2 aufweist, die sandwichartig zwischen zwei passiven Domänen 1, 1' angeordnet ist. Mit den der laseraktiven Domäne 2 abgewandten Flächen
25 der passiven Domänen 1, 1' sind Beschichtungen 38, 40 verbunden. Zur Kühlung des Festkörpers ist ein Kühlkörper 42 vorgesehen, der mit der passiven Domäne 1' abgewandten Fläche der Beschichtung 40 verbunden ist. Zum Pumpen der laseraktiven Domäne 2 des Festkörpers
30 ist bei diesem Ausführungsbeispiel eine Laserdiode 44 vorgesehen, die Pumpstrahlung in die laseraktive Domäne 2 emittiert.

Zur Bildung eines Laserresonators können in der Zeichnung nicht dargestellte Spiegel vorgesehen sein,

- 13 -

zwischen denen bei Betrieb des Kurzpulslasers 36 die Laserstrahlung oszilliert. Um die Anzahl der Bauteile und damit den Aufwand zur Herstellung des Kurzpulslasers 36 gering zu halten, ist es zweckmäßig, daß die Spiegel direkt mit den Endflächen des Festkörpers verbunden sind, beispielsweise durch Aufdampfen.

Die in Fig. 8 dargestellte Anordnung ermöglicht die Verstärkung von Laserstrahlung durch einen einfachen oder mehrfachen Durchgang der Laserstrahlung durch die laseraktive Domäne 2. Zusätzliche Spiegel sind hierzu grundsätzlich nicht erforderlich.

In Fig. 9 ist ein Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Verstärkung von Laserstrahlung dargestellt, die bei diesem Ausführungsbeispiel als regenerativer Verstärker 46 ausgebildet ist. Der regenerative Verstärker 46 weist als Verstärkungsmedium einen Festkörper 48 auf, der beispielsweise so aufgebaut sein kann wie der in Fig. 8 dargestellte Festkörper. Der regenerative Verstärker 46 weist einen Laserresonator auf, zwischen dessen Resonatorspiegeln 50, 52 der Festkörper 48 als Verstärkungsmedium angeordnet ist. Der regenerative Verstärker 46 weist ferner einen optischen Schalter 54 und einen polarisierenden Strahlteiler 56 auf, wobei der optische Schalter 54 dazu dient, einen in dem Laserresonator verstärkten Puls oder Pulszug auszukoppeln, sobald eine gewünschte Verstärkung erreicht ist. Zur Trennung eines zu verstärkenden Laserstrahles 58 von dem verstärkten Laserstrahl 60 ist ein optischer Isolator 62 vorgesehen. Aufbau und Funktionsweise eines regenerativen Verstärkers sind dem Fachmann allgemein bekannt und werden daher hier nicht näher erläutert.

Der erfindungsgemäße Festkörper ermöglicht auf einfache und kostengünstige Weise die Realisierung ei-

- 14 -

nes regenerativen Verstärkers.

Ansprüche

1. Festkörper, aufweisend und in einem optisch benutzten Bereich bestehend aus
monoklinischen Elementarzellen,
wobei der Festkörper an jeder Stelle zumindest im
5 optisch benutzten Bereich im wesentlichen dem gleichen
kristallographischen Koordinatensystem zugrunde liegt,
und
der Festkörper im optisch benutzten Bereich wenigstens
zwei hinsichtlich ihrer chemischen Zusammensetzung un-
10 terschiedliche Domänen aufweist.
2. Festkörper nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß der optisch benutzte Bereich mindestens eine
aktive und mindestens eine nicht-aktive Zone aufweist.
15
3. Festkörper nach einem der Ansprüche 1 bis 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß dieser zumindest im optisch
benutzten Bereich als Bestandteil der monoklinischen
Elementarzellen Wolframat und Kalium und/oder Rubidium
20 aufweist.
4. Festkörper nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß dieser zumindest im optisch benutzten Bereich
als Bestandteil der monoklinischen Elementarzellen min-
25 destens ein Element aus der Gruppe Y, Sm, Eu, Gd, Tb,
Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu aufweist.
5. Festkörper nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, daß dieser zumindest im optisch benutzten Bereich
30 als Substitut für Y, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm,

- 16 -

Yb, Lu als Bestandteil mindestens ein Element aus der Gruppe La, Ce, Pr, Nd, Pm aufweist.

6. Festkörper nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, daß zumindest der optisch benutzte Bereich aus $KYb(WO_4)_2$ oder aus Yb-substituiertem $KYb(WO_4)_2$ besteht, wobei es sich bei den Substitutionsatomen um die in Anspruch 5 erwähnten und beim $KYb(WO_4)_2$ um eine Niedertemperaturmodifikation handelt.
7. Festkörper nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Änderung der chemischen Zusammensetzung zwischen den mindestens zwei Domänen in einer einzigen Richtung verläuft.
8. Festkörper nach einem der Ansprüche 2 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, daß in der passiven Zone des optisch benutzten Bereiches mindestens ein Element X aus der Gruppe Y, Gd, Lu in der Zusammensetzung $K_xRb_yX(WO_4)_2$ enthalten ist, mit $x=0-1$ und $y=1-0$, wobei $y+x=1$.
9. Festkörper nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet**, daß es sich bei der Zusammensetzung um $KX(WO_4)_2$, $K_xRb_yX(WO_4)_2$ oder $RbX(WO_4)_2$ handelt, mit $x=0-1$ und $y=1-0$, wobei $y+x=1$.
10. Festkörper nach einem der Ansprüche 2 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, daß in der aktiven Zone $Ln_xKYb_y(WO_4)_2$ enthalten ist, wobei Ln mindestens ein Element aus der Gruppe Y, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu ist, mit $x=0-1$ und $y=1-0$, wobei $x+y=1$.
11. Festkörper nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, daß es sich bei $RE_xKYb_y(WO_4)_2$ um $REK(WO_4)_2$,

- 17 -

$RE_xKYb_y(WO_4)_2$ oder $KYb(WO_4)_2$ handelt, mit $x=0-1$ und $y=1-0$, wobei $x+y=1$.

12. Festkörper nach einem der Ansprüche 1 bis 11, **dadurch gekennzeichnet**, daß dieser Bereiche mit substituierten Atomen aufweist, die gebildet worden sind mittels Epitaxie, insbesondere Molekularstrahl- oder Flüssig-Epitaxie, hydrothermalen Züchtung, CVD, Sputtern oder Diffusionsbonden.
13. Festkörper nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Bereiche mit substituierten Atomen bei schichtartiger Ausgestaltung eine Dicke von etwa $50\ \mu\text{m}$, insbesondere von $30\ \mu\text{m}$, aufweisen.
14. Kohärente elektromagnetische Strahlung erzeugende Vorrichtung, insbesondere Laser, **dadurch gekennzeichnet**, daß diese einen Festkörper nach einem der Ansprüche 1 bis 13 aufweist.
15. Verwendung eines Festkörpers nach einem der Ansprüche 1 bis 13 für einen Laser, insbesondere Scheiben- oder Chiplaser.
16. Verwendung eines Festkörpers nach einem der Ansprüche 1 bis 13 als Wellenleiter, Spiegel oder Bragg-Reflektor.
17. Verwendung eines Festkörpers nach einem der Ansprüche 1 bis 13 als Wellenleiter, dessen Spiegel als Bragg-Reflektoren ausgebildet sind.
18. Vorrichtung zur Verstärkung kohärenter elektromagnetischer Strahlung, insbesondere Laserstrahlung,

- 18 -

mit einem Verstärkungsmedium,

dadurch gekennzeichnet,

5 daß das Verstärkungsmedium einen Festkörper nach einem der Ansprüche 1 bis 13 aufweist.

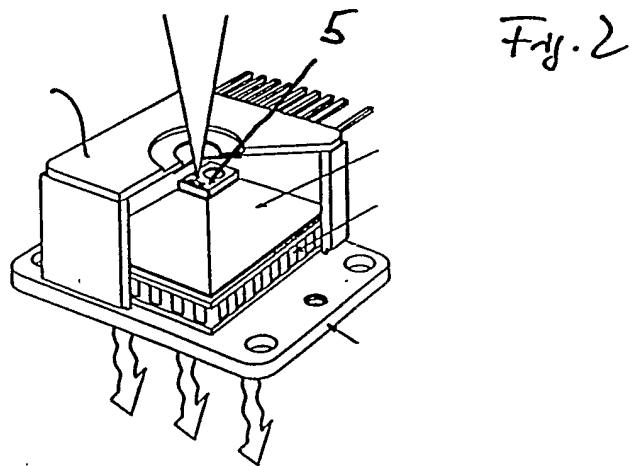
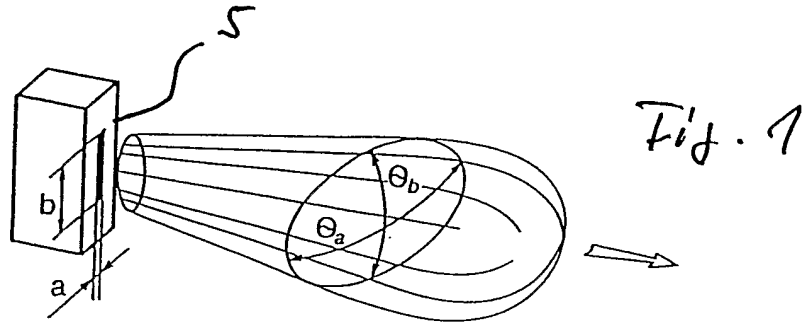
19. Vorrichtung nach Anspruch 18, **dadurch gekennzeichnet,** daß die Vorrichtung zur Verstärkung gepulster
10 elektromagnetischer Strahlung, insbesondere Laserstrahlung ausgebildet ist.

20. Vorrichtung nach Anspruch 18, **dadurch gekennzeichnet,** daß die Vorrichtung als regenerativer Verstärker
15 (46) ausgebildet ist.

21. Vorrichtung nach Anspruch 18, **dadurch gekennzeichnet,** daß das Verstärkungsmedium innerhalb eines Resonators angeordnet ist.
20

22. Vorrichtung nach Anspruch 18, **dadurch gekennzeichnet,** daß das Verstärkungsmedium außerhalb eines Resonators angeordnet ist.

1/7



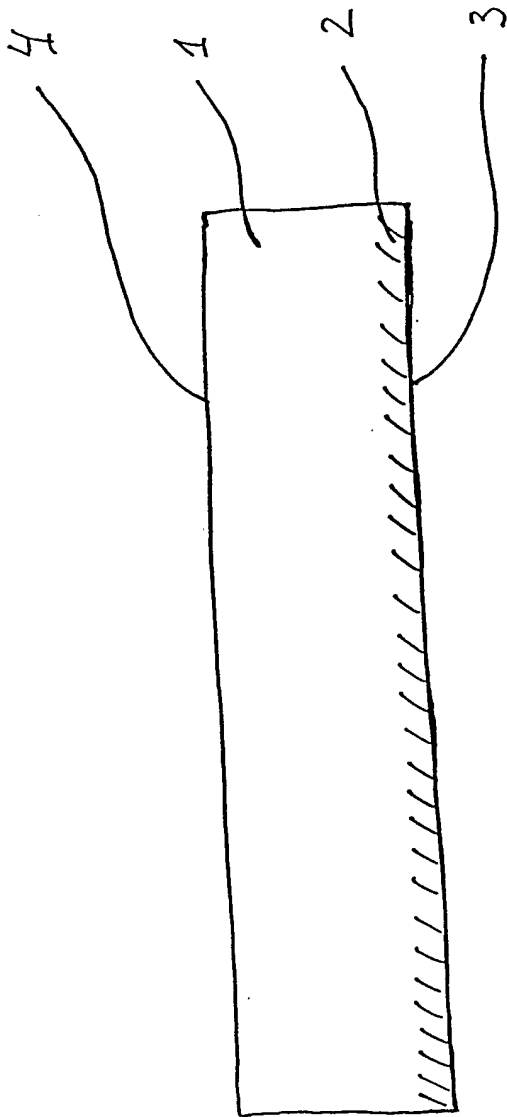


Fig. 3

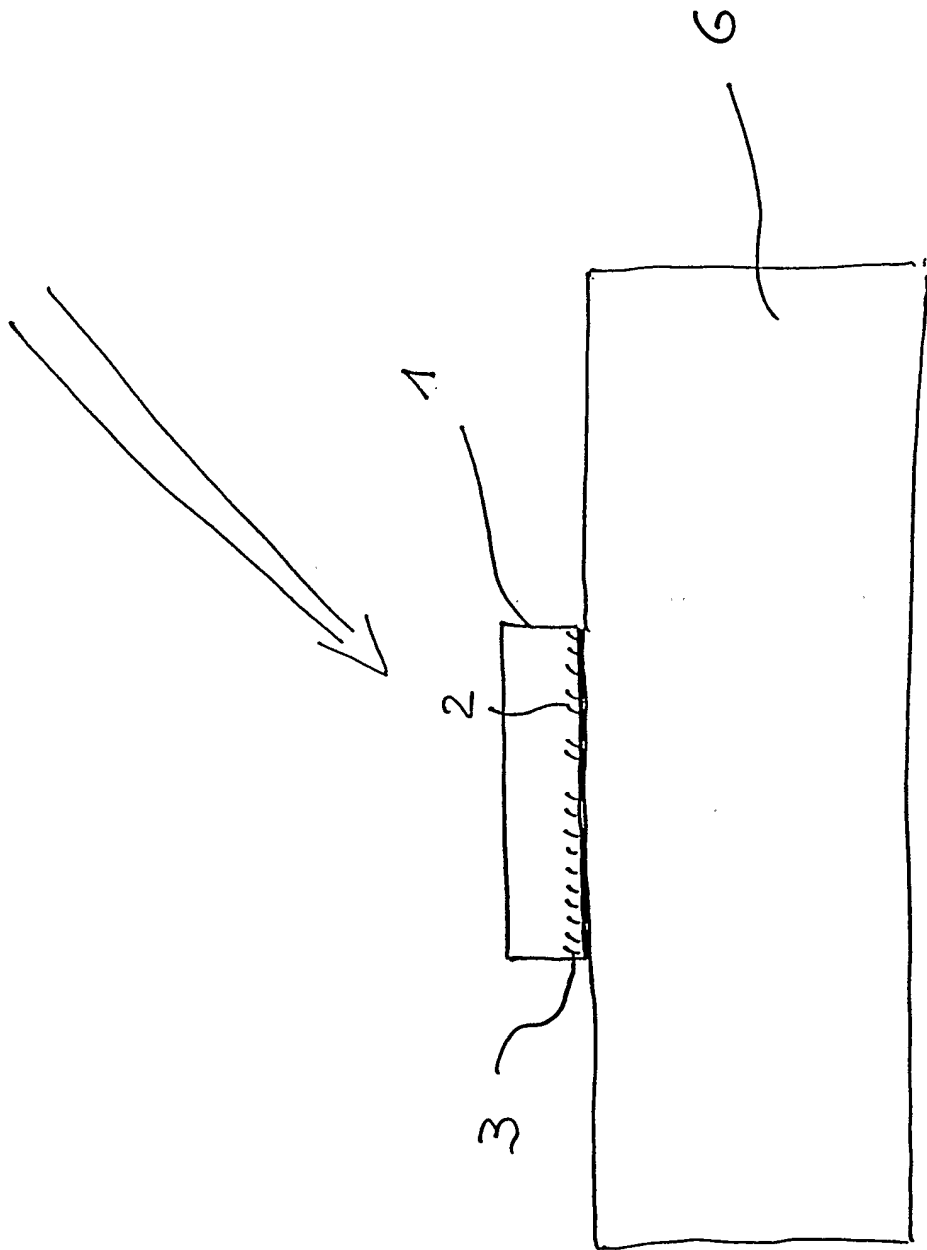


Fig. 4

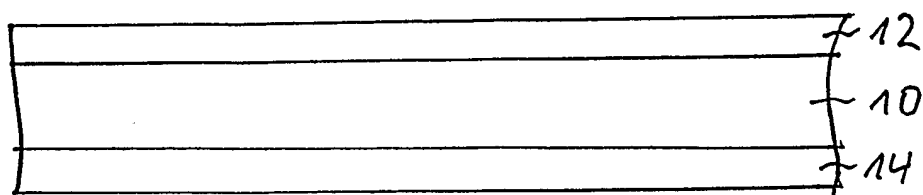


FIG. 5

5/7

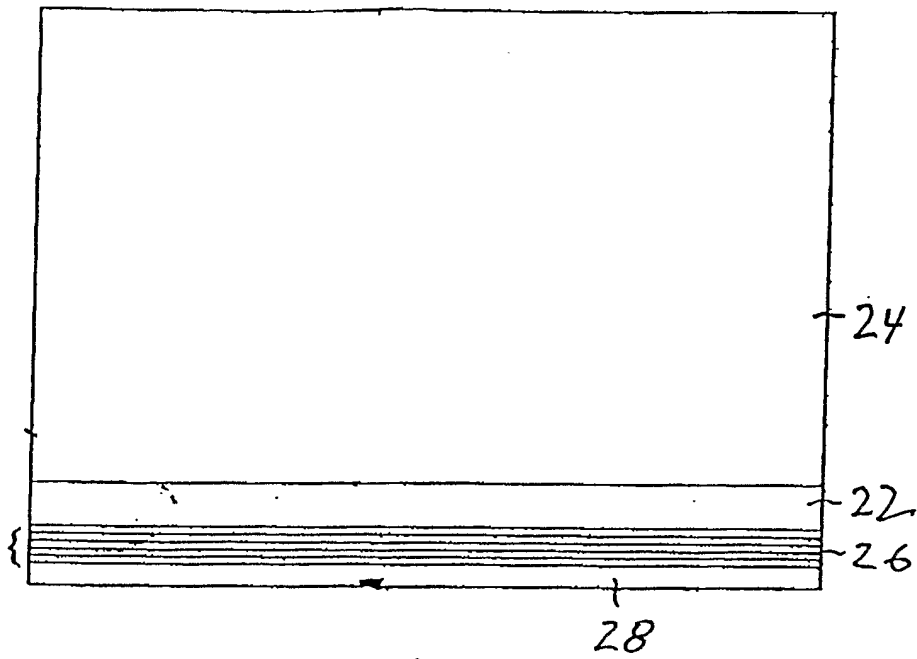


FIG. 6

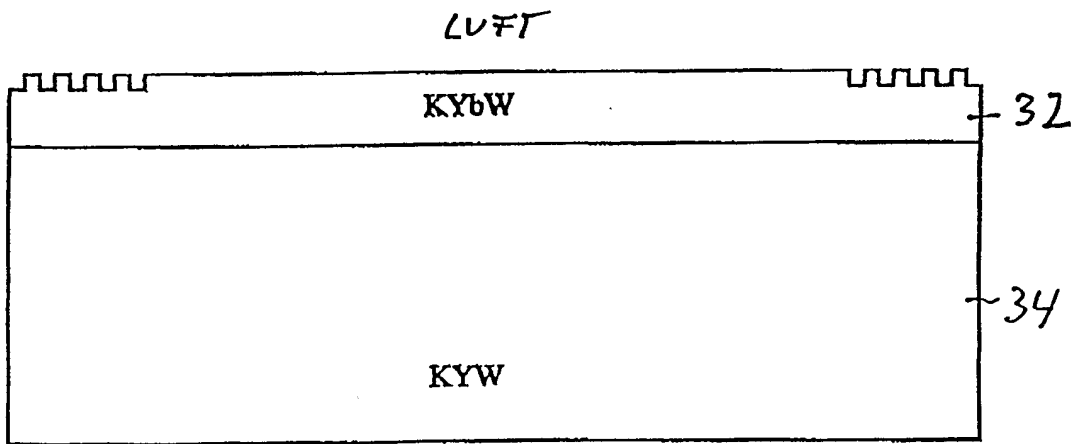


FIG. 7

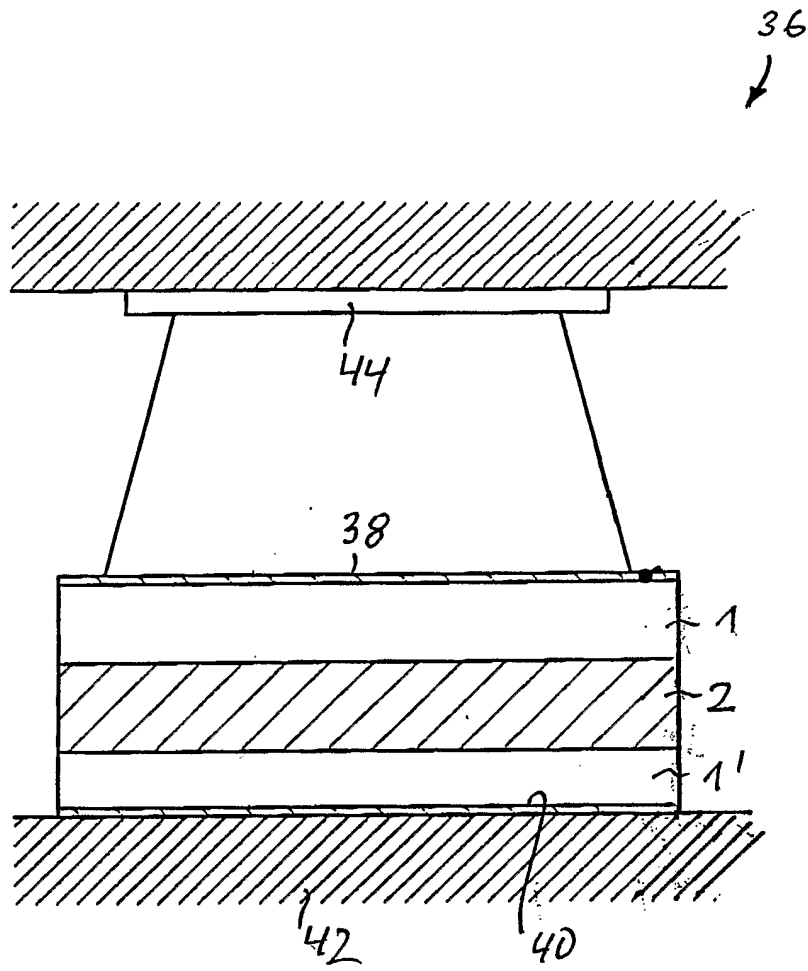


FIG. 8

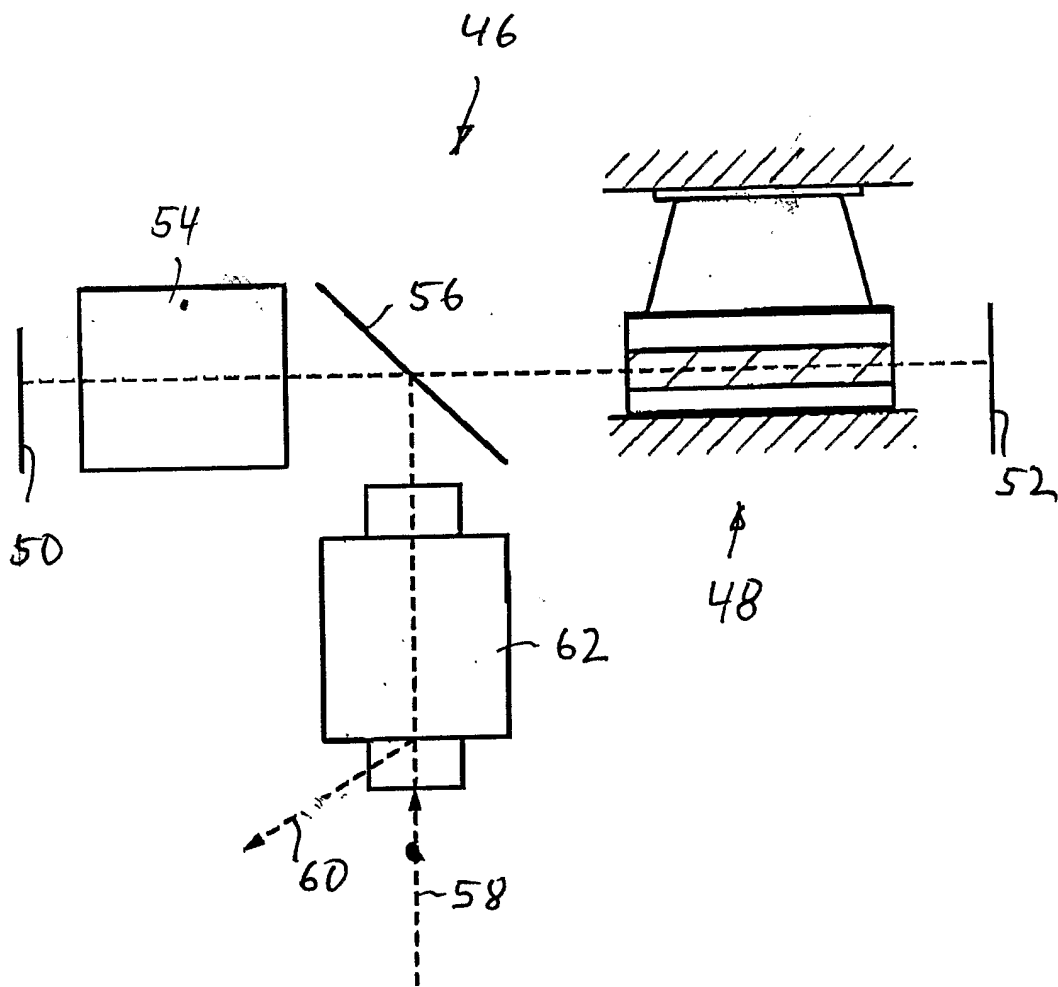


FIG. 9