



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 11 2005 000 610 B4 2010.02.04**

(12)

Patentschrift

(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2005 000 610.7**
 (86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/JP2005/016933**
 (87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2007/032066**
 (86) PCT-Anmeldetag: **14.09.2005**
 (87) PCT-Veröffentlichungstag: **22.03.2007**
 (43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung
 in deutscher Übersetzung: **24.07.2008**
 (45) Veröffentlichungstag
 der Patenterteilung: **04.02.2010**

(51) Int Cl.⁸: **H01S 3/08 (2006.01)**
H01S 3/07 (2006.01)
H01S 3/16 (2006.01)

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
Mitsubishi Denki K.K., Tokyo, JP

(74) Vertreter:
HOFFMANN & EITLE, 81925 München

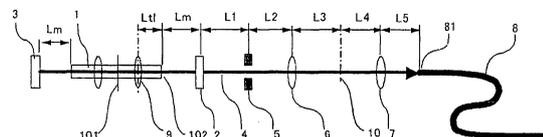
(72) Erfinder:
Fujikawa, Shuichi, Tokyo, JP; Kawai, Takafumi, Tokyo, JP; Kano, Junji, Tokyo, JP

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

EP	04 97 260	B2
DE	196 06 555	A1
JP	2001-0 94 177	AA
JP	2004-0 29 229	AA

(54) Bezeichnung: **Stabförmiges Festkörper-Lasersystem**

(57) Hauptanspruch: Stabförmiges Festkörper-Lasersystem, bei welchem mittels einer Relais-Linse (6) und einer Kopplungs-Linse (7) ein Laserstrahl, welcher aus einem symmetrisch stabilen optischen Resonator emittiert wird, welcher ein stabförmiges Festkörper-Lasermedium (1), einen teilreflektierenden Spiegel (2) und einen gesamtreflektierenden Spiegel (3) enthält, so erstellt ist, um in eine optische Faser (8) einzutreten, dadurch gekennzeichnet, dass eine erste Referenzebene an einer beliebigen Position zwischen der Endfläche (102) des stabförmigen Festkörper-Lasermediums (1), welches nahe dem teilreflektierenden Spiegel (2) angeordnet ist, welche dem teilreflektierenden Spiegel (2) gegenüberliegt, und dem Mittelpunkt (101) des stabförmigen Festkörper-Lasermediums (1) gesetzt ist, eine zweite Referenzebene an einer Position, welche optisch zur ersten Referenzebene, mit Bezug auf den teilreflektierenden Spiegel (2), symmetrisch ist, gesetzt ist, die Relais-Linse (6) an einer Position angeordnet ist, an welcher die Relais-Linse (6) die erste Referenzebene auf eine erste Bildebene (10) überführt und die zweite Referenzebene auf die Kopplungs-Linse (7) überführt, und die Kopplungs-Linse (7) an einer Position...



Beschreibung

TECHNISCHES GEBIET

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein stabförmiges Festkörper-Lasersystem, welches ein stabförmiges Festkörper-Lasermedium optisch pumpt, um einen Laserstrahl zu erzeugen, und welches den Laserstrahl in eine optische Faser eintreten lässt, um den Laserstrahl zu übertragen.

STAND DER TECHNIK

[0002] Ein herkömmliches stabförmiges Festkörper-Lasersystem wurde derart konfiguriert, dass an der optischen Achse eines Laserstrahls eine Öffnung zur Begrenzung des Strahl-Durchmessers bereitgestellt ist und die Öffnung auf die einfallende Endfläche einer optischen Faser überführt (engl. transferred) wird (siehe hierzu beispielsweise Patentschriften 1 und 2).

[Patentschrift 1] Japanische offengelegte Patentveröffentlichung JP 2003-78190 A (Absatz 0022 bis 0025, [Fig. 1](#))

[Patentschrift 2] Japanische offengelegte Patentveröffentlichung JP 2003-209307 A (Absatz 0019, [Fig. 1](#))

BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

[0003] Bei einem herkömmlichen stabförmigen Festkörper-Lasersystem, welches einen Laserstrahl durch eine optische Faser überträgt, ändert sich die Energie (Brennweite) der thermischen Linse des stabförmigen Lasermediums gemäß der Laser-Ausgabe, daher ändert sich der Grundmodus (engl. intrinsic mode), welcher im optischen Resonator, welcher zum Extrahieren eines Laserstrahls bereitgestellt ist, entschieden wird, wobei sich der Sammelwinkel des Laserstrahls, welcher in die optische Faser eintritt, ebenfalls gemäß der Laser-Ausgabe ändert. Bei dem Fall, bei welchem eine optische Faser vom Typ eines Schritt-Brechungsindex verwendet wird, wird der Laserstrahl-Sammelwinkel hauptsächlich in der optischen Faser beibehalten, wobei daher der Abweichungswinkel des Laserstrahls, welcher aus der optischen Faser austritt, dem Sammelwinkel entspricht, wobei er sich daher gemäß der Laser-Ausgabe ändert. In dieser Situation werden der Sammelwinkel des Laserstrahls, welcher in eine optische Faser **8** eintritt, und der Abweichungswinkel des Laserstrahls, welcher aus der optischen Faser **8** austritt, in [Fig. 15](#) durch den Winkel α angezeigt. Der Strahl-Taillendurchmesser des Laserstrahls, welcher aus der optischen Faser austritt, wird als ungefähr gleich dem Kerndurchmesser der optischen Faser angenommen, daher ist die Änderung des Abweichungswinkels gleich der Änderung in der Konvergenz. Demgemäß ändert sich bei einem herkömmlichen stabförmigen Festkörper-Lasersystem die Konvergenz des Laserstrahls, welcher aus der optischen Faser austritt, gemäß der Laser-Ausgabe.

[0004] Wie oben beschrieben, ändert sich bei einem herkömmlichen stabförmigen Festkörper-Lasersystem der Abweichungswinkel, d. h. die Konvergenz eines Laserstrahls, welcher aus einer optischen Faser austritt, gemäß der Laser-Ausgabe, wobei es daher ein Problem darin gibt, dass beispielsweise in einem Fall, bei welchem durch ein Koppeln des emittierenden Endes der optischen Faser mit dem maschinell bearbeiteten Kopf (engl. machining head), welcher aus einem Kondensor-Optiksystem ausgebildet ist, Laserstrahlen verwendet werden, wobei sich die Durchlässigkeit eines Laserstrahls, welcher durch den maschinell bearbeiteten Kopf passiert, gemäß der Laser-Ausgabe ändert. Darüber hinaus ändert sich ebenfalls der Durchmesser eines Laserstrahls, welcher in das Kondensor-Optiksystem eintritt, gemäß der Laser-Ausgabe, daher ist es ein Problem, dass sich die Aberrationswirkung im Kondensor-Optiksystem gemäß der Laser-Ausgabe ändert, wobei sich der Durchmesser des kondensierten Laserstrahls ebenfalls gemäß der Laser-Ausgabe ändert.

[0005] Darüber hinaus wurden bei einem herkömmlichen stabförmigen Festkörper-Lasersystem keine Mittel bereitgestellt, um die Wirkung einer Punktierungs-Fluktuation (engl. pointing fluctuation) in einem Laserstrahl zu verhindern, daher ist es ein Problem, dass in dem Fall, bei welchem eine Punktierungs-Fluktuation in einem Laserstrahl auftritt, sich der Sammelwinkel eines Laserstrahls für eine optische Faser ändert, und der Abweichungswinkel des Laserstrahls, welcher aus der optischen Faser austritt, weiter vergrößert wird, wobei die Konvergenz verschlechtert wird. Ferner ist es ein Problem, dass in dem Fall, bei welchem sich aufgrund des Auftretens von einer Punktierungs-Fluktuation, der Sammelwinkel eines Laserstrahls für eine optische Faser die zulässige NA (numerische Apertur) der optischen Faser übersteigt, wobei der Laserstrahl aus der optischen Faser streut, wodurch der Laserstrahl die Verbindungen, welche beide Enden der optischen Faser halten, oder die Schutzschicht, welche die optische Faser überdeckt, erwärmt, wodurch sie beschädigt werden.

[0006] EP 0 497 260 B2 beschreibt eine Laseranordnung mit einem ein Lasermedium enthaltenden Resonator, mit einer den Durchmesser des Laserstrahls in dem Resonator begrenzenden Apertur und einer Strahltaille

in einer fiktiven Ebene in dem Resonator sowie einem statischen optischen System zum Abbilden des aus dem Resonator austretenden Laserstrahls. Die Apertur kann durch den Durchmesser des aktiven Lasermediums vorgegeben sein, d. h. insbesondere durch den Durchmesser des Laserstabs eines Festkörperlasers. Der Resonator umfasst einen Auskoppelspiegel, in dem eine fiktive Referenzebene gelegt ist, in welcher die Krümmung der Wellenfront des Laserstrahls eben ist. Der durch den Auskoppelspiegel ausgekoppelte Laserstrahl kann in eine Lichtleiterfaser eingeführt werden.

[0007] Die vorliegende Erfindung wurde implementiert, um die vorhergehenden Probleme zu lösen, wobei es eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist, ein stabförmiges Festkörper-Lasersystem bereitzustellen, bei welchem sogar in dem Fall, bei welchem sich die Energie der thermischen Linse des stabförmigen Festkörper-Lasermediums ändert, der Sammelnwinkel eines Laserstrahls, welcher in eine optische Faser eintritt, ungefähr konstant beibehalten wird, und sogar in dem Fall, bei welchem die Strahlpunktierung eines Laserstrahls schwankt, die Beschädigung auf die optische Faser verhindert wird, wodurch Laserstrahlen stabil zugeführt werden können.

[0008] Die vorliegende Erfindung stellt ein stabförmiges Festkörper-Lasersystem bereit, bei welchem mittels einer Relay-Linse (engl. relay lens) bzw. Relais-Linse und einer Kopplungs-Linse ein Laserstrahl, welcher aus einem symmetrisch stabilen optischen Resonator emittiert wird, welcher ein stabförmiges Festkörper-Lasermedium, einen teilreflektierenden Spiegel und einen gesamtreflektierenden Spiegel enthält, so erstellt ist, um in eine optische Faser einzutreten, wobei das stabförmige Festkörper-Lasersystem dadurch gekennzeichnet ist, dass eine erste Referenzebene an einer beliebigen Position zwischen der Endfläche des stabförmigen Festkörper-Lasermediums, welches nahe dem teilreflektierenden Spiegel angeordnet ist, welche dem teilreflektierenden Spiegel gegenüberliegt, und dem Mittelpunkt des stabförmigen Festkörper-Lasermediums gesetzt ist, eine zweite Referenzebene an eine Position, welche optisch zur ersten Referenzebene, mit Bezug auf den teilreflektierenden Spiegel, symmetrisch ist, gesetzt ist, die Relais-Linse an einer Position angeordnet ist, an welcher die Relais-Linse die erste Referenzebene auf eine erste Bildebene überführt und die zweite Referenzebene auf die Kopplungs-Linse überführt, und die Kopplungs-Linse an einer Position angeordnet ist, an welcher die Kopplungs-Linse die erste Bildebene auf die Endfläche der optischen Faser überführt.

[0009] Weil ein stabförmiges Festkörper-Lasersystem gemäß der vorliegenden Erfindung so wie oben beschrieben konfiguriert ist, werden sogar in dem Fall, bei welchem die Brennweite von der thermischen Linse des stabförmigen Festkörper-Lasermediums schwankt, die jeweiligen Strahl-Durchmesser und die jeweiligen Strahl-Positionen auf der Kopplungs-Linse und der einfallenden Endfläche von der optischen Faser ungefähr konstant beibehalten, wodurch nicht nur eine stabile und sehr zuverlässige Strahlübertragung durch die optische Faser ermöglicht wird, sondern ebenfalls die Konvergenz eines Laserstrahls, welcher aus der optischen Faser austritt, ungefähr konstant beibehalten werden kann.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0010] [Fig. 1](#) ist ein schematisches Schaubild, welches den Aufbau eines stabförmigen Festkörper-Lasersystems gemäß einer Ausführungsform 1 der vorliegenden Erfindung darstellt;

[0011] [Fig. 2](#) ist ein schematisches Schaubild, welches ein stabförmiges Festkörper-Lasermedium gemäß einer Ausführungsform 1 der vorliegenden Erfindung darstellt;

[0012] [Fig. 3](#) ist ein Aufbau-Schaubild, welches einen symmetrisch stabilen optischen Resonator, welcher durch ein Anordnen eines teilreflektierenden Spiegels, welcher aus einem ebenen Spiegel ausgebildet ist, und eines gesamtreflektierenden Spiegels aufgebaut ist, für ein stabförmiges Festkörper-Lasermedium gemäß der Ausführungsform 1 der vorliegenden Erfindung darstellt;

[0013] [Fig. 4](#) ist ein Aufbau-Schaubild, welches einen symmetrisch stabilen optischen Resonator darstellt, welcher mittels zweier äquivalenter thermischer Linsen einen symmetrisch stabilen optischen Resonator gemäß der Ausführungsform 1 der vorliegenden Erfindung darstellt und dazu optisch äquivalent ist;

[0014] [Fig. 5](#) ist ein Aufbau-Schaubild, welches einen symmetrisch stabilen optischen Resonator darstellt, welcher mittels einer einzelnen äquivalenten thermischen Linse einen symmetrisch stabilen optischen Resonator gemäß der Ausführungsform 1 der vorliegenden Erfindung darstellt und dazu optisch äquivalent ist;

[0015] [Fig. 6](#) ist ein beispielhaftes Schaubild zur Erläuterung der Mode-Form (engl. mode shape), d. h. der Strahlausbreitungs-Bedingung, von einem Laserstrahl in einem symmetrisch stabilen optischen Resonator ge-

mäß der Ausführungsform 1 der vorliegenden Erfindung;

[0016] [Fig. 7](#) ist ein beispielhaftes Schaubild, welches die Mode-Form, d. h. die Strahlausbreitungs-Bedingung, von einem Laserstrahl in einem symmetrisch stabilen optischen Resonator, darstellt, welcher mittels einer einzelnen äquivalenten thermischen Linse einen symmetrisch stabilen optischen Resonator gemäß der Ausführungsform 1 der vorliegenden Erfindung darstellt und dazu optisch äquivalent ist;

[0017] [Fig. 8](#) ist ein Kurvenverlauf, welcher die Strahlausbreitungs-Bedingung eines Laserstrahls in einem optischen System darstellt, welches basierend auf der Ausführungsform 1 der vorliegenden Erfindung entworfen ist;

[0018] [Fig. 9](#) ist ein Kurvenverlauf, welcher den Sammelwinkel eines Laserstrahls, welcher in eine optische Faser eintritt, zur Laser-Ausgabe in der Ausführungsform 1 der vorliegenden Erfindung darstellt;

[0019] [Fig. 10](#) ist ein schematisches Schaubild, welches den Aufbau eines stabförmigen Festkörper-Lasersystems gemäß einer Ausführungsform 2 der vorliegenden Erfindung darstellt;

[0020] [Fig. 11](#) ist ein schematisches Schaubild, welches den Aufbau eines stabförmigen Festkörper-Lasersystems gemäß einer Ausführungsform 3 der vorliegenden Erfindung darstellt;

[0021] [Fig. 12](#) ist ein schematisches Schaubild, welches den Aufbau eines stabförmigen Festkörper-Lasersystems gemäß einer Ausführungsform 4 der vorliegenden Erfindung darstellt;

[0022] [Fig. 13](#) ist ein schematisches Schaubild, welches den Aufbau eines stabförmigen Festkörper-Lasersystems gemäß einer Ausführungsform 5 der vorliegenden Erfindung darstellt;

[0023] [Fig. 14](#) ist ein schematisches Schaubild, welches den Aufbau eines stabförmigen Festkörper-Lasersystems gemäß einer Ausführungsform 6 der vorliegenden Erfindung darstellt; und

[0024] [Fig. 15](#) ist ein Schaubild zur Erläuterung des Sammelwinkels eines Laserstrahls, welcher in eine optische Faser eintritt.

BESTER MODUS ZUM AUSFÜHREN DER ERFINDUNG

Ausführungsform 1:

[0025] [Fig. 1](#) ist ein schematisches Schaubild, welches den Aufbau eines stabförmigen Festkörper-Lasersystems gemäß einer Ausführungsform 1 der vorliegenden Erfindung darstellt. In [Fig. 1](#) kennzeichnet Bezugszeichen **1** ein stabförmiges Festkörper-Lasermedium; kennzeichnet Bezugszeichen **101** den Mittelpunkt des stabförmigen Festkörper-Lasermediums **1**; und kennzeichnet Bezugszeichen **102** eine Endfläche des stabförmigen Festkörper-Lasermediums **1**. In Ausführungsform 1 wird als stabförmiges Festkörper-Lasermedium **1** ein YAG(ein Yttrium-Aluminium-Granat)-Kristall verwendet, in welchem als ein aktives Medium Nd (Neodym) dotiert ist. Bezugszeichen **2** kennzeichnet einen teilreflektierenden Spiegel; Bezugszeichen **3** kennzeichnet einen gesamtreflektierenden Spiegel; und Bezugszeichen **4** kennzeichnet einen Laserstrahl. Der teilreflektierende Spiegel **2** und der gesamtreflektierende Spiegel **3** bilden einen optischen Resonator, wobei ein Laserstrahl aus dem stabförmigen Festkörper-Lasermedium **1**, welches mittels einer Lampen-Lichtquelle oder eines Halbleiterlasers optisch gepumpt wird, extrahiert wird. Bezugszeichen **5** kennzeichnet eine Apertur, welche im optischen Pfad des Laserstrahls **4** angeordnet ist und den gleichen Öffnungsdurchmesser wie den Durchmesser des stabförmigen Festkörper-Lasermediums **1** hat. Bezugszeichen **6** kennzeichnet eine Relais-Linse von einer Brennweite f_1 ; und Bezugszeichen **7** kennzeichnet eine Kopplungs-Linse von einer Brennweite f_2 . Bezugszeichen **8** kennzeichnet eine optische Faser; und Bezugszeichen **81** kennzeichnet eine einfallende Endfläche der optischen Faser **8**. Der Laserstrahl **4**, welcher durch die Apertur **5** hindurch passiert ist, wird durch die Relais-Linse **6** an die Kopplungs-Linse **7** übertragen. Der an die Kopplungs-Linse **7** übertragene Laserstrahl **4** wird durch die Kopplungs-Linse und durch die einfallende Endfläche der optischen Faser **8** kondensiert, und tritt in die optische Faser **8** ein. Bezugszeichen **9** kennzeichnet eine äquivalente thermische Linse, welche durch eine punktierte Linie angezeigt ist, welche eine dünnwandige Linse darstellt, welche optisch äquivalent zum thermischen Linsenbauteil ist, welches dem Halbschnitt des gepumpten stabförmigen Festkörper-Lasermediums **1**, welcher, mit Bezug auf den Mittelpunkt **101**, dem teilreflektierenden Spiegel **2** näher ist, entspricht, und Bezugszeichen **10** kennzeichnet die erste Bildebene eines ersten Übertragungs-Optiksystems, welches später beschrieben wird.

[0026] In Ausführungsform 1 werden der teilreflektierende Spiegel **2**, welcher aus einem ebenen Spiegel ausgebildet ist, und der gesamtreflektierende Spiegel **3** durch Anordnen des teilreflektierenden Spiegels **2** und des gesamtreflektierenden Spiegels **3** an den entsprechenden Positionen, welche um L_m von den jeweiligen Endflächen des stabförmigen Festkörper-Lasermediums **1** entfernt sind, verwendet, wobei ein symmetrischer stabiler Resonator ausgebildet wird. Demgemäß wird im Falle, bei welchem das stabförmige Festkörper-Lasermedium **1** idealer Weise auf eine homogene Weise gepumpt wird, die Symmetrie der Strahl-Mode innerhalb des optischen Resonators mit Bezug auf den Mittelpunkt **101** des stabförmigen Festkörper-Lasermediums **1** sichergestellt.

[0027] Zusätzlich ist in Ausführungsform 1 die Apertur **5**, welche den gleichen Öffnungsdurchmesser wie den Durchmesser des stabförmigen Festkörper-Lasermediums **1** hat, an der Position angeordnet, welche um eine Distanz von L_1 vom teilreflektierenden Spiegel **2** entfernt ist, die Relais-Linse **6** von einer Brennweite f_1 ist an der Position angeordnet, welche um eine Distanz von L_2 von der Apertur **5** entfernt ist; die Kopplungs-Linse **7** von einer Brennweite f_2 ist an der Position angeordnet, welche um eine Distanz $L_3 + L_4$ von der Relais-Linse **6** entfernt ist, und die einfallende Endfläche **81** von der optischen Faser **8** ist an der Position angeordnet, welche um eine Distanz L_5 von der Kopplungs-Linse **7** entfernt ist. Zusätzlich ist die Position von der Hauptebene der äquivalenten thermischen Linse **9** an der Position angeordnet, welche um eine Distanz L_{tl} von der Endfläche **102** des stabförmigen Festkörper-Lasermediums **1** entfernt ist.

[0028] In Ausführungsform 1 bilden die Relais-Linse **6** und die Kopplungs-Linse **7** das erste Überführungs-Optiksystem, wobei zunächst die Relais-Linse **6** die Hauptebene von der äquivalenten thermischen Linse **9** auf die erste Bildebene **10** überführt; zweitens die Kopplungs-Linse **7** die erste Bildebene **10** auf die einfallende Endfläche **81** der optischen Faser **8** als eine zweite Bildebene überführt. Daraus folgend ist das stabförmige Festkörper-Lasersystem gemäß der Ausführungsform 1 auf eine Weise einer Überführungs-Weiterleitung aufgebaut. Demgemäß, unter der Annahme, dass der Brechungsindex des stabförmigen Festkörper-Lasermediums **1** gleich n ist, und durch Umformen der Distanz L_{tl} zwischen der Stab-Endfläche **102** und der Hauptebene von der äquivalenten thermischen Linse **9** in eine optische Distanz, entspricht das erste Überführungs-Optiksystem den durch Gleichungen (1) und (2) gegebenen Beziehungen.

$$\frac{1}{f_1} = \frac{1}{\frac{L_{tl}}{n} + L_m + L_1 + L_2} + \frac{1}{L_3} \quad (1)$$

$$\frac{1}{f_2} = \frac{1}{L_4} + \frac{1}{L_5} \quad (2)$$

[0029] Zusätzlich ist in Ausführungsform 1 die Relais-Linse **6** in einem zweiten Überführungs-Optiksystem enthalten, wobei die Relais-Linse **6** die Apertur **5** auf die Kopplungs-Linse **7** überführt. Daher entspricht das zweite Überführungs-Optiksystem der durch Gleichung (3) gegebenen Beziehung.

$$\frac{1}{f_2} = \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3 + L_4} \quad (3)$$

[0030] Als nächstes werden mit Bezug auf ein schematisches Schaubild in [Fig. 2](#) des stabförmigen Festkörper-Lasermediums **1**, die thermische Linse des stabförmigen Festkörper-Lasermediums **1**, welche in Ausführungsform 1 eine wichtige Rolle spielt, detailliert erläutert. In [Fig. 2](#) kennzeichnet Bezugszeichen **91** eine dünnwandige Linse, welche durch eine punktierte Linie angezeigt ist, welche optisch äquivalent zum thermischen Linsenbauteil ist, welches dem rechten Halbabschnitt des gepumpten stabförmigen Festkörper-Lasermediums **1** mit Bezug auf den Mittelpunkt **101** entspricht; und Bezugszeichen **92** kennzeichnet eine dünnwandige Linse, welche optisch äquivalent zum thermischen Linsenbauteil ist, welches dem linken Halbabschnitt des gepumpten stabförmigen Festkörper-Lasermediums **1** mit Bezug auf den Mittelpunkt **101** entspricht. Zusätzlich stellt der durch eine Länge L_{Pumpe} angezeigte schraffierte Bereich einen Pumpbereich dar, in welchem ein Pumplicht mittels einer Entladungslampe oder eines Halbleiterlasers ausgestrahlt wird, und beide Endflächen Abschnitte des stabförmigen Festkörper-Lasermediums **1**, welche jeweils durch eine Länge L_{Ende} angezeigt sind, stellen nicht-Pumpbereiche dar. Hier wird der Kürze wegen eine ideale Bedingung angenommen, in welcher die Pumpdichte im Pumpbereich homogen ist.

[0031] Die thermische Linse des stabförmigen Festkörper-Lasermediums **1** ist durch eine Temperaturverteilung erzeugt, welche innerhalb des Querschnittes des stabförmigen Festkörper-Lasermediums **1** aufgrund von einer Wärmeerzeugung im stabförmigen Festkörper-Lasermedium **1** selber, welche durch ein Pumpen verursacht wird, ausgebildet ist. Wenn das stabförmige Festkörper-Lasermedium **1** gepumpt wird, wird eine hügelartige Temperaturverteilung ausgebildet, welche innerhalb des Querschnittes des stabförmigen Festkörper-Lasermediums im Mittenabschnitt hoch, und im peripheren Abschnitt niedrig ist. Weil der Brechungsindex des stabförmigen Festkörper-Lasermediums **1** ungefähr proportional zur Temperatur ist, stellt die Brechungsindex-Verteilung, welche durch die Temperaturverteilung verursacht wird, eine Konvergenzwirkung dar. Die Konvergenzwirkung ist ein Phänomen, welches als thermische Linse bezeichnet wird. Mit Bezug auf Ausführungsform **1**, wird erstens die thermische Linse des rechten Halbabschnittes des stabförmigen Festkörper-Lasermediums **1** mit Bezug auf den Mittelpunkt **101** in [Fig. 2](#) betrachtet.

[0032] Die thermische Linse des rechten Halbabschnittes des stabförmigen Festkörper-Lasermediums **1** hat mit Bezug auf den Mittelpunkt **101** eine Dicke von $L_{\text{Pumpe}/2}$. Die thermische Linse, welche eine wesentliche Dicke hat, wird durch eine dünnwandige Linse, d. h. die äquivalente thermische Linse **91**, welche durch eine punktierte Linie angezeigt ist, ersetzt, welche optisch äquivalent zur thermischen Linse ist und die gleiche Brennweite wie die der thermischen Linse hat. Wenn die Pumpendichte im Pumpbereich homogen ist, befindet sich die Hauptebene der äquivalenten thermischen Linse **91** am Mittelpunkt der wesentlichen Länge der realen thermischen Linse des rechten Halbabschnittes des stabförmigen Festkörper-Lasermediums **1**. Demgemäß wird die durch L_{tp} angezeigte Distanz zwischen dem Ende des Pumpbereiches und der Hauptebene der äquivalenten thermischen Linse **91** durch Gleichung (4) gegeben.

$$L_{tp} = \frac{L_{\text{Pumpe}}}{4} \quad (4)$$

[0033] Demgemäß wird die Distanz L_{tl} zwischen der Position B von der Endfläche des stabförmigen Festkörper-Lasermediums **1** und der Hauptebene der äquivalenten thermischen Linse **91** durch Gleichung (5) gegeben, indem die Stablänge L_{Stab} und die Länge L_{Pumpe} des Pumpbereiches verwendet werden.

$$L_{tl} = \frac{L_{\text{Stab}}}{2} - \frac{L_{\text{Pumpe}}}{4} \quad (5)$$

[0034] Zusätzlich kennzeichnet in [Fig. 2](#) die Bezugsziffer **92** die äquivalente thermische Linse des linken Halbabschnittes des stabförmigen Festkörper-Lasermediums **1** mit Bezug auf den Mittelpunkt **101**.

[0035] [Fig. 3](#) stellt den Aufbau eines symmetrisch stabilen optischen Resonators dar, bei welchem für das in [Fig. 2](#) dargestellte stabförmige Festkörper-Lasermedium **1** der teilreflektierende Spiegel **2**, welcher aus einem ebenen Spiegel ausgebildet ist, und der gesamtreflektierende Spiegel **3** an den entsprechenden Abschnitten angeordnet sind, welche um L_m von den jeweiligen Endflächen des stabförmigen Festkörper-Lasermediums **1** entfernt sind. [Fig. 4](#) stellt einen symmetrisch stabilen optischen Resonator dar, welcher mittels der äquivalenten thermischen Linsen **91** und **92** den in [Fig. 3](#) dargestellten symmetrisch stabilen optischen Resonator darstellt und optisch äquivalent dazu ist. Wie in [Fig. 4](#) dargestellt, befinden sich beim symmetrisch stabilen optischen Resonator, welcher mittels der äquivalenten thermischen Linsen **91** und **91** dargestellt ist, beide äquivalenten thermischen Linsen **91** und **91** am Mittelpunkt des symmetrisch stabilen optischen Resonators. Wie in [Fig. 5](#) dargestellt, können die äquivalenten thermischen Linsen **91** und **92**, welche an der gleichen Position angeordnet sind, und die gleiche Brennweite haben, durch eine einzelne dünnwandige Linse **93** ersetzt werden, welche eine halb so lange Brennweite wie jene der äquivalenten thermischen Linsen **91** und **92** hat. Die optische Distanz zwischen der Hauptebene der in [Fig. 5](#) dargestellten dünnwandigen Linse **93** und des teilreflektierenden Spiegels **2**, und die optische Distanz zwischen der Hauptebene der dünnwandigen Linse **93** und des gesamtreflektierenden Spiegels **3** sind jeweils gleich der optischen Distanz zwischen der Hauptebene der äquivalenten thermischen Linse **91** und des teilreflektierenden Spiegels **2** und der optischen Distanz zwischen der Hauptebene der äquivalenten thermischen Linse **92** und des gesamtreflektierenden Spiegels **3**, und jede stellt einen Freiraum von einer Länge $L_{tl}/n + L_m$ dar, wenn der Brechungsindex n des stabförmigen Festkörper-Lasermediums **1** in Betracht gezogen wird.

[0036] [Fig. 6](#) stellt die Mode-Form eines Laserstrahls, d. h. den Zustand einer Strahlverbreiterung, im symmetrisch stabilen optischen Resonator dar, welcher in [Fig. 3](#) dargestellt ist. In [Fig. 6](#) kennzeichnet Bezugszeichen **41** die Strahl-Umrissform eines Laserstrahls im symmetrisch stabilen optischen Resonator. [Fig. 7](#) stellt die Mode-Form eines Laserstrahls, d. h. den Zustand einer Strahlverbreiterung, im symmetrisch stabilen optischen Resonator, welcher durch ein Ersetzen der thermischen Linse erlangt wird, des in [Fig. 5](#) dargestellten stabförmigen

gen Festkörper-Lasermediums **1** durch eine optisch äquivalente dünnwandige Linse dar. In [Fig. 7](#) kennzeichnet Bezugszeichen **42** die Strahl-Umrissform eines Laserstrahls im symmetrisch stabilen optischen Resonator, und Bezugszeichen **43** kennzeichnet die Strahl-Umrissform eines Laserstrahls, welcher aus dem teilreflektierenden Spiegel **2** austritt. Bei einem idealen symmetrisch stabilen optischen Resonator, bei welchem das stabförmige Festkörper-Lasermedium **1** homogen gepumpt wird, wird die Symmetrie der Mode mit Bezug auf den Mittelpunkt des Resonators sichergestellt. Zusätzlich werden in jedem der in [Fig. 6](#) und [Fig. 7](#) dargestellten symmetrisch stabilen optischen Resonatoren, ebene Spiegel als der teilreflektierende Spiegel **2** und der gesamtreflektierende Spiegel **3** verwendet, wobei daher, aufgrund der Grenzbedingung für einen optischen Resonator, sichergestellt ist, dass die jeweiligen Laserstrahl-Wellenfronten auf dem teilreflektierenden Spiegel **2** und dem gesamtreflektierenden Spiegel **3** eben werden. Mit anderen Worten, wird sichergestellt, dass auf jedem aus dem teilreflektierenden Spiegel **2** und dem gesamtreflektierenden Spiegel **3** eine Strahl-Taille ausgebildet wird. Daraus folgend wird bei jedem der in [Fig. 6](#) und [Fig. 7](#) dargestellten symmetrisch stabilen optischen Resonatoren, der Strahl-Durchmesser im Mittelpunkt maximal. Wie in [Fig. 6](#) dargestellt, befindet sich beim aktuellen symmetrisch stabilen optischen Resonator der Mittelpunkt O des Resonators am Mittelpunkt **101** innerhalb des stabförmigen Festkörper-Lasermediums **1**. Demgemäß ist der Öffnungsdurchmesser, welcher den Strahl-Durchmesser im symmetrisch stabilen optischen Resonator begrenzt, ungefähr gleich dem Durchmesser des stabförmigen Festkörper-Lasermediums **1**. Im Pumpmedium, aufgrund der querlaufenden Multi-Mode-Oszillation, spreizt sich der Durchmesser eines Laserstrahls vollständig bis auf den Öffnungsdurchmesser auf. Demgemäß wird, sogar in dem Fall, bei welchem sich die Energie der thermischen Linse, d. h. die Brennweite der thermischen Linse, des stabförmigen Festkörper-Lasermediums **1** ändert, der Laserstrahl-Durchmesser am Mittelpunkt **101** des stabförmigen Festkörper-Lasermediums **1** ungefähr gleich dem Durchmesser des stabförmigen Festkörper-Lasermediums **1** beibehalten. Mit anderen Worten, wird in [Fig. 7](#), sogar wenn sich die Brennweite der thermischen Linse ändert, der Strahl-Durchmesser d an der Hauptebene der dünnwandigen Linse **93** ungefähr gleich dem Durchmesser des stabförmigen Festkörper-Lasermediums **1** beibehalten.

[0037] Zusätzlich wird, wie oben beschrieben, weil in Ausführungsform 1 ein ebener Spiegel als der teilreflektierende Spiegel **2** verwendet wird, sichergestellt, dass am teilreflektierenden Spiegel **2** eine Strahl-Taille ausgebildet wird. Weil in einem Freiraum die Symmetrie eines Strahl-Durchmessers, und zwar vor und nach einer Strahl-Taille, wie in [Fig. 7](#) dargestellt, sichergestellt ist, ist der Durchmesser d' des Strahls, welcher aus dem teilreflektierenden Spiegel **2** austrat und sich an der Position O' befindet, welche sich um die Distanz $L_{tl}/n + L_m$ vom teilreflektierenden Spiegel **2** entfernt befindet, gleich dem Strahl-Durchmesser d am Mittelpunkt des Resonators. Daraus folgend, wird unabhängig vom Zustand der thermischen Linse des stabförmigen Festkörper-Lasermediums **1**, der Durchmesser d' des Strahls, welcher aus dem teilreflektierenden Spiegel **2** austrat und sich an der Position O' befindet, welche um die Distanz $L_{tl}/n + L_m$ vom teilreflektierenden Spiegel **2** entfernt befindet, ebenfalls stets ungefähr gleich auf den Durchmesser des stabförmigen Festkörper-Lasermediums **1** beibehalten.

[0038] Hier wird eine Objektebene im ersten Überführungs-Optiksystem als eine erste Referenzebene bezeichnet. Es ist vorteilhaft, wenn an der ersten Referenzebene der Durchmesser eines Laserstrahls ungefähr konstant ist, und zwar unabhängig vom Zustand der thermischen Linse des stabförmigen Festkörper-Lasermediums. Somit ist in Ausführungsform 1 die Hauptebene der äquivalenten thermischen Linse **91** im stabförmigen Festkörper-Lasermedium **1** als die erste Referenzebene eingestellt. Zusätzlich wird eine Position, welche zur ersten Referenzebene mit Bezug auf den teilreflektierenden Spiegel **2** optisch symmetrisch ist, als eine zweite Referenzebene bezeichnet. In Ausführungsform 1 fällt die zweite Referenzebene auf die Position O' in [Fig. 7](#), an welcher der Laserstrahl-Durchmesser ungefähr gleich auf den Laserstrahl-Durchmesser an der ersten Referenzebene beibehalten wird. In Ausführungsform 1 ist die Apertur **5** an der zweiten Referenzebene angeordnet.

[0039] Bei der in [Fig. 1](#) dargestellten Ausführungsform 1, wie oben beschrieben, sind der teilreflektierende Spiegel **2** und die Apertur **5** auf eine solche Weise angeordnet, dass sie um $L_{tl}/n + L_m$ voneinander entfernt beabstandet sind. Das heißt, dass sich Gleichung (6) ergibt.

$$Ll = \frac{L_{tl}}{n} + Lm = \frac{L_{Stab} / 2 + L_{Pumpe} / 4}{n} + Lm \quad (6)$$

[0040] Daraus folgend, und zwar unabhängig vom Zustand der thermischen Linse des stabförmigen Festkörper-Lasermediums, wird der Laserstrahl-Durchmesser an der Apertur **5** stets ungefähr gleich dem Durchmesser des stabförmigen Festkörper-Lasermediums **1** beibehalten.

[0041] In Ausführungsform 1 ist das stabförmige Festkörper-Lasersystem auf eine solche Weise aufgebaut,

dass unter Verwendung des ersten Überführungs-Optiksystems die Hauptebene der äquivalenten thermischen Linse **91** im stabförmigen Festkörper-Lasermedium **1** auf die einfallende Endfläche **81** von der optischen Faser **8** überführt wird. Es wird sichergestellt, dass auf der Hauptebene der äquivalenten thermischen Linse **91**, welche der Objektebene des ersten Überführungs-Optiksystems entspricht, und zwar unabhängig vom Zustand der thermischen Linse, der Strahl-Durchmesser beibehalten wird, so dass er ungefähr gleich dem Durchmesser des stabförmigen Festkörper-Lasermediums **1** ist, und dass der Strahl innerhalb des stabförmigen Festkörper-Lasermediums **1** vorliegt; daher wird, unabhängig vom Zustand der thermischen Linse des stabförmigen Festkörper-Lasermediums **1**, die Laserstrahl-Position als auch der Durchmesser auf die einfallende Endfläche **81** von der optischen Faser **8**, welche die Bildebene im ersten Überführungs-Optiksystem ist, stets konstant beibehalten.

[0042] Die Überführungs-Verstärkung $M1$ des ersten Überführungs-Optiksystems wird in Ausführungsform 1 durch Gleichung (7) gegeben, indem jeweilige Distanzen zwischen den optischen Elementen verwendet werden.

$$M1 = \frac{L3}{\frac{Ltl}{n} + Lm + L1 + L2} * \frac{L5}{L4} \quad (7)$$

[0043] Im Allgemeinen kann der Wert der Überführungs-Verstärkung $M1$ des ersten Überführungs-Optiksystems geeigneter Weise gemäß dem Durchmesser des stabförmigen Festkörper-Lasermediums **1** und dem Kerndurchmesser der zu verwendenden optischen Faser **8** entschieden werden. Beispielsweise, im Falle, bei welchem das stabförmige Festkörper-Lasermedium **1** eines Durchmessers von 5 mm und die optische Faser **8** eines Kerndurchmessers von 0,4 mm verwendet werden, und ein Laserstrahl dazu erstellt wird, in die optische Faser **8** auf Basis eines 90%-Kriteriums zum Kerndurchmesser der optischen Faser **8** einzutreten, beträgt die Überführungs-Verstärkung $M1$ des ersten Überführungs-Optiksystems gleich 0,072.

[0044] Zusätzlich ist in Ausführungsform 1 das stabförmige Festkörper-Lasersystem auf eine solche Weise aufgebaut, dass die Apertur **5**, welche den gleichen Öffnungsdurchmesser wie den Durchmesser des stabförmigen Festkörper-Lasermediums **1** hat, an der Position angeordnet ist, welche mit Bezug auf den teilreflektierenden Spiegel **2** optisch symmetrisch zur Hauptebene der äquivalenten thermischen Linse **91** des stabförmigen Festkörper-Lasermediums **1** ist, und dass die Apertur **5** mittels des zweiten Überführungs-Optiksystems auf die Kopplungs-Linse **7** überführt wird. Daraus folgend, wird, und zwar unabhängig vom Zustand der thermischen Linse des stabförmigen Festkörper-Lasermediums **1**, der Strahl-Durchmesser an der Apertur **5** derart beibehalten, dass er ungefähr gleich dem Durchmesser des stabförmigen Festkörper-Lasermediums **1** ist. Demgemäß, im Falle, bei welchem keine Punktierungs-Fluktuation im Laserstrahl **4** vorliegt, welcher aus dem teilreflektierenden Spiegel **2** austritt, ist der Strahl-Durchmesser eines Laserstrahls, welcher durch die Apertur **5** passiert, ungefähr konstant, und zwar unabhängig vom Vorliegen der Apertur **5**. Daraus folgend kann, und zwar unabhängig vom Zustand der thermischen Linse des stabförmigen Festkörper-Lasermediums **1**, die Position und der Durchmesser eines Laserstrahls auf die Kopplungs-Linse **7**, welche die Bildebene im zweiten Überführungs-Optiksystem ist, sichergestellt werden. Zusätzlich, im Falle, bei welchem jegliche Punktierungs-Fluktuation im Laserstrahl **4** vorliegt, welcher aus dem teilreflektierenden Spiegel **2** austritt, passiert der Laserstrahl **4**, welcher sich außerhalb der Öffnung von der Apertur **5** befindet, nicht die Apertur **5**; daher, und zwar unabhängig von der Punktierungs-Fluktuation, verbleibt der Laserstrahl, welcher durch die Apertur **5** passiert, stets innerhalb der Öffnung von der Apertur **5**. Demgemäß ist die Laserstrahl-Bestrahlungsabdeckung auf die Kopplungs-Linse **7**, welche die Bildebene im zweiten Überführungs-Optiksystem ist, stets innerhalb der Bestrahlungsabdeckung im Falle, bei welchem keine Punktierungs-Fluktuation vorliegt. Daher wird der Sammelwinkel eines Laserstrahls, welcher in die optische Faser **8** eintritt, stets auf einen ungefähr konstanten Wert beibehalten.

[0045] Derweil wurde in der vorhergehenden Beschreibung ein Aufbau erläutert, bei welchem durch eine Anordnung von einer Apertur an der Objektebene des zweiten Überführungs-Optiksystems, welche die zweite Referenzebene ist, die Strahl-Position physikalisch begrenzt wird. Jedoch, wie oben beschrieben, wird im Falle, bei welchem keine Punktierungs-Fluktuation vorliegt, und zwar unabhängig vom Vorliegen der Apertur und des Zustandes der thermischen Linse, der Strahl-Durchmesser auf der Kopplungs-Linse **7** ungefähr konstant; wobei daher beispielsweise, solange die Punktierungs-Fluktuation gering ist, und die Fluktuation im Sammelwinkel eines Laserstrahls, welcher in die optische Faser eintritt, innerhalb eines Toleranzbereiches ist, das stabförmige Festkörper-Lasersystem auf eine solche Weise aufgebaut werden kann, dass keine Apertur an der Objektebene des zweiten Überführungs-Optiksystems angeordnet wird. Dies kann ebenfalls bei den folgenden

Ausführungsformen angewendet werden.

[0046] Zusätzlich wird die Überführungs-Verstärkung $M2$ des zweiten Überführungs-Optiksystems in Ausführungsform 1 durch Gleichung (8) gegeben, indem jeweilige Distanzen zwischen den optischen Elementen verwendet werden.

$$M2 = \frac{L3 + L4}{L2} \quad (8)$$

[0047] Zusätzlich kann im Allgemeinen der Wert von der Überführungs-Verstärkung $M2$ des zweiten Überführungs-Optiksystems in geeigneter Weise gemäß einem gewünschten Strahlsammelwinkel für die optische Faser **8** entschieden werden. Beispielsweise ist es im Falle, bei welchem es erfordert wird, die Distanz $L5$ zwischen der Kopplungs-Linse **7** und der einfallenden Endfläche **81** der optischen Faser **8** auf 50 mm, und den Sammelwinkel für die optische Faser **8** auf 0,20 rad zu erstellen, möglich, den Sammelwinkel auf ungefähr 0,20 rad zu erstellen, wenn der Durchmesser des einfallenden Strahls auf die Kopplungs-Linse **7** auf 10 mm erstellt ist. In dieser Situation, wenn der Durchmesser d des stabförmigen Festkörper-Lasermediums auf 5 mm erstellt ist, wird der Durchmesser d' an der zweiten Referenzebene oder der Öffnungsdurchmesser von der Apertur **5** gleich 5 mm, wobei der Wert von der Überführungs-Verstärkung $M2$ des zweiten Überführungs-Optiksystems auf 2,0 eingestellt werden kann. Unter der Annahme, dass, wie in [Fig. 15](#) dargestellt, der Halbwinkel des Sammelwinkels gleich θ beträgt, wird die Beziehung durch Gleichung (9) gegeben.

$$M2 = \frac{2 * L5 * \tan \Theta}{d} \quad (9)$$

[0048] In dieser Situation enthalten die Gleichungen, welche die Anordnung der Linsen und dergleichen entscheiden, sieben Gleichungen, d. h. Gleichungen (1), (2), (3), (7), (8), (9) und (10), welches eine Gesamtlänge L des optischen Systems ergibt.

$$L = L1 + L2 + L3 + L4 + L5 \quad (10)$$

[0049] Durch Auflösen der Gleichungen, und zwar basierend auf verschiedenen Arten von Vorbedingungen, können die jeweiligen geeigneten Positionen für die Relais-Linse und die Kopplungs-Linse berechnet werden. Beispielsweise, unter der Annahme, dass der Aufbau des Resonators bekannt ist, sind L_{tl} , n , L_m und $L1$ bekannte Konstanten. Zusätzlich, wenn die Größe des Laseroszillators ebenfalls spezifiziert ist, ist L ebenfalls eine bekannte Konstante. Darüber hinaus, weil die jeweiligen Durchmesser des Festkörper-Lasermediums und der optischen Faser im Allgemeinen bekannt sind, ist die Überführungs-Verstärkung des ersten Überführungs-Optiksystems ebenfalls eine bekannte Konstante. Demgemäß sind in dieser Situation $L2$, $L3$, $L4$, $L5$, $f1$, $f2$ und $M2$ gleich Variablen, und sie können gemäß den obigen sieben Gleichungen entschieden werden. Zusätzlich, beispielsweise im Falle, bei welchem es erforderlich ist, die Brennweiten $f1$ und $f2$ zu fixieren, und zwar so, dass die Kopplungs-Linse und die Relais-Linse gemeinsam mit weiteren Lasersystemen verwendet werden, indem, um die Länge des Optiksystems frei zu wählen, die Gleichung (10) gelöscht wird oder indem, um den Aufbau des Resonators frei zu wählen, L_{tl} und L_m zu Variablen gemacht werden, kann die Anordnung von jeder Linse entschieden werden.

[0050] [Fig. 8](#) ist ein Kurvenverlauf, welcher Strahlausbreitungs-Zustände in einem basierend auf Ausführungsform 1 entworfenen Optiksystem darstellt, wobei die Ordinate den Strahl-Durchmesser kennzeichnet, und die Abszisse die Distanz von der Endfläche **102** des stabförmigen Festkörper-Lasermediums **1** kennzeichnet. In [Fig. 8](#) kennzeichnet Bezugszeichen **201** eine Kurve, welche den Strahl-Durchmesser im Falle einer niedrigen Ausgangsenergie, d. h. im Falle, bei welchem die Brennweite von der thermischen Linse relativ lang ist, darstellt; kennzeichnet Bezugszeichen **202** eine Kurve, welche den Strahl-Durchmesser im Falle von einer mittleren Ausgangsenergie, d. h. im Falle, bei welchem die Brennweite von der thermischen Linse im Mittelbereich ist, darstellt; und kennzeichnet Bezugszeichen **203** eine Kurve, welche den Strahl-Durchmesser im Falle von einer hohen Ausgangsenergie, d. h. im Falle, bei welchem die Brennweite von der thermischen Linse relativ kurz ist, darstellt. Das Entwurfsbeispiel in [Fig. 8](#) stellt Strahlausbreitungs-Zustände im Optiksystem in dem Falle dar, bei welchem das stabförmige Festkörper-Lasermedium **1** von einem Durchmesser von 4 mm verwendet wird, wobei zu erkennen ist, dass, unabhängig vom Zustand der thermischen Linse, der Strahl-Durchmesser an der Apertur **5** ungefähr gleich dem Durchmesser des stabförmigen Festkörper-Lasermediums **1** ist, d. h. 4 mm. Zusätzlich ist ebenfalls an der ersten Bildebene **10** des ersten Überführungs-Optiksystems und an der Kopplungs-Linse **7**, der Strahl-Durchmesser konstant, und zwar unabhängig vom Zustand von der thermischen Linse. Der Durchmesser eines einfallenden Strahls auf die Kopplungs-Linse **7** ist stets konstant, und

zwar unabhängig vom Zustand der thermischen Linse, wobei daher der Sammelwinkel des Laserstrahls, welcher in die optische Faser **8** eintritt, ebenfalls auf einem annähernd konstanten Wert beibehalten wird.

[0051] **Fig. 9** ist ein Kurvenverlauf, welcher den Strahl-Sammelwinkel bei einer optischen Faser zur Laser-Ausgabe darstellt. In **Fig. 9** stellt das Bezugszeichen **301** den Strahl-Sammelwinkel im Falle eines basierend auf Ausführungsform 1 entworfenen Optiksystems dar, und Bezugszeichen **302** stellt den Strahl-Sammelwinkel im Falle eines herkömmlichen Optiksystems dar. Im Falle des herkömmlichen Optiksystem-Entwurfes nimmt mit einer Zunahme der Laser-Ausgabe, der Strahl-Sammelwinkel für die optische Faser ab, wobei im Gegensatz dazu, im Falle des basierend auf Ausführungsform 1 entworfenen Optiksystems, unabhängig von der Laser-Ausgabe, der Strahl-Sammelwinkel für die optische Faser auf ungefähr konstantem Wert beibehalten wird. Im Falle, bei welchem eine optische Faser vom Typ eines Stufenindex (SI) verwendet wird, wird idealer Weise sogar in der optischen Faser, der Strahlabweichungswinkel beibehalten, daher kann, indem, basierend auf Ausführungsform 1, ein Optiksystem entworfen wird, der Laserstrahl, welcher aus der optischen Faser **8** austritt, ebenfalls eine ungefähr konstante Konvergenz beibehalten, und zwar unabhängig vom Laser-Ausgabepegel.

[0052] In Ausführungsform 1 wurde ein Verfahren beschrieben, bei welchem, unter dem idealen Zustand mit der Annahme, dass der Pumpbereich explizit spezifiziert ist und die Pumpdichte im Pumpbereich homogen ist, die thermische Linse des stabförmigen Festkörper-Lasermediums **1** antizipiert wird und die Anordnung für das Optiksystem entschieden wird. Wenn jedoch das stabförmige Festkörper-Lasermedium **1** praktisch mittels einer Entladelampe oder eines Halbleiterlasers gepumpt wird, ist die Grenze zwischen dem Pumpbereich und dem Nicht-Pumpbereich aufgrund von Reflexion und Dispersion des gepumpten Strahls im stabförmigen Festkörper-Lasermedium **1** nicht klar. Das in Ausführungsform 1 für die Hauptebene der thermischen Linse beschriebene Berechnungsverfahren ist lediglich eine Abschätzung, wobei somit die Hauptebene der äquivalenten thermischen Linse, d. h. die erste Referenzebene, in die Nähe der durch Gleichung (5) gegebenen Position gesetzt werden kann. Beispielsweise kann, sogar in dem Fall, bei welchem innerhalb des Bereiches zwischen der Endfläche **102** des stabförmigen Festkörper-Lasermediums **1** und des Mittelpunktes **101**, die Hauptebene der thermischen Linse als die erste Referenzebene beliebig gesetzt ist, die gleiche Wirkung demonstriert werden. Der Punkt ist, dass die zweite Referenzebene an die Position gesetzt wird, welche zur gesetzten Hauptebene der äquivalenten thermischen Linse optisch symmetrisch ist, und zwar mit Bezug auf den teilreflektierenden Spiegel **2**, wobei die Hauptebene von der äquivalenten thermischen Linse mittels des ersten Überführungs-Optiksystems, welches die Relais-Linse **6** und die Kopplungs-Linse **7** enthält, an die einfallende Endfläche **81** von der optischen Faser **8** mittels einer Überführung weitergeleitet (engl. transfer relayed) wird, und die zweite Referenzebene mittels des zweiten Überführungs-Optiksystems, welches aus der Relais-Linse **6** ausgebildet wird, auf die Kopplungs-Linse **7** überführt wird. Wenn notwendig, kann die Apertur **5**, welche den gleichen Öffnungsdurchmesser wie den Durchmesser des stabförmigen Festkörper-Lasermediums **1** hat, an der zweiten Referenzebene angeordnet werden.

[0053] Zusätzlich wurde in Ausführungsform 1 ein Beispiel beschrieben, bei welchem jeweils, und zwar unter Verwendung der Relais-Linse und der Kopplungs-Linse, das erste und zweite Überführungs-Optiksystem konfiguriert werden, jedoch sind die Linsen, welche im ersten und zweiten Überführungs-Optiksystem zu enthalten sind, nicht auf die zwei Linsen, d. h. eine Relais-Linse und eine Kopplungs-Linse, beschränkt. Beispielsweise kann ebenfalls unter Berücksichtigung von einer äquivalenten Linse, welche durch eine Kombination von zwei Linsen zu einer Relais-Linse ausgebildet wird, und durch Konfigurieren des ersten und zweiten Überführungs-Optiksystems, der gleiche Effekt wie jener von Ausführungsform 1 demonstriert werden; darüber hinaus kann, weil eine Änderung in der Distanz zwischen den zwei Linsen, welche in der Relais-Linse enthalten sind, optisch äquivalent zu einer Änderung im Brennpunkt der Relais-Linse ist, die optische Pfadlänge einfach geändert werden, während die jeweiligen Überführungs-Verstärkungen des ersten und zweiten Überführungs-Optiksystems konstant beibehalten werden. Zusätzlich wurde in Ausführungsform 1 ein Aufbau beschrieben, bei welchem eine einzelne Linse als Kopplungs-Linse verwendet wird, jedoch kann, sogar wenn eine Kombinations-Linse als Kopplungs-Linse verwendet wird, nicht nur die gleiche Wirkung demonstriert werden, sondern es wird ebenfalls die Wirkung einer sphärischen Aberration reduziert, wodurch die Einstell-Spanne für einen einfallenden Strahl auf die optische Faser vergrößert werden kann. Ebenfalls wird in jeder der folgenden Ausführungsformen ein System erläutert, bei welchem die Relais-Linse und die Kopplungs-Linse jeweils aus einer einzelnen Linse ausgebildet sind; jedoch, wie oben beschrieben, können die Relais-Linse und die Kopplungs-Linse jeweils aus einer Mehrzahl von Linsen aufgebaut werden.

Ausführungsform 2

[0054] **Fig. 10(a)** ist eine schematische Ansicht, welche den Aufbau eines stabförmigen Festkörper-Lasersys-

tems gemäß einer Ausführungsform 2 der vorliegenden Erfindung darstellt. In **Fig. 10(a)** kennzeichnet Bezugszeichen **11** eine innere Apertur, welche um eine Distanz L_a vom teilreflektierenden Spiegel **2** entfernt, innerhalb des optischen Resonators angeordnet ist. In Ausführungsform 2 begrenzt die innere Apertur **11** den Durchmesser, d. h. die so genannte Quer-Mode, eines Laserstrahls innerhalb des optischen Resonators. Demgemäß werden, unabhängig vom Zustand der thermischen Linse des stabförmigen Festkörper-Lasermediums **1**, die Position und der Durchmesser eines Laserstrahls an der inneren Apertur **11** konstant beibehalten. Mit anderen Worten, fällt die erste Referenzebene in Ausführungsform 2 auf die Position der inneren Apertur **11**.

[0055] In Ausführungsform 2 ist die Apertur **5**, welche den gleichen Öffnungsdurchmesser wie den Durchmesser der inneren Apertur **11** hat, an der Position angeordnet, welche mit Bezug auf den teilreflektierenden Spiegel **2** optisch symmetrisch zu der inneren Apertur **11**, d. h. an der zweiten Referenzebene, ist. Mit anderen Worten ergibt sich Gleichung (11).

$$L_1 = L_a \quad (11)$$

[0056] Aufgrund der Grenzbedingung für einen optischen Resonator wird sichergestellt, dass eine Strahl-Taille auf den teilreflektierenden Spiegel **2** ausgebildet wird; daher werden, aufgrund von einer Symmetrie in der Strahlverbreitung, ebenfalls an der Apertur **5**, und zwar unabhängig vom Zustand der thermischen Linse des stabförmigen Lasermediums **1**, die Position und der Durchmesser eines Laserstrahls ungefähr konstant beibehalten.

[0057] Zusätzlich, wie im Falle der Ausführungsform 1, bilden in Ausführungsform 2 die Relais-Linse **6** und die Kopplungs-Linse **7** das erste Überführungs-Optiksystem aus. Jedoch ist in Ausführungsform 2 die innere Apertur **11** als eine Objektebene gesetzt, wobei an erster Stelle die innere Apertur **11** auf die erste Bildebene **10** mittels der Relais-Linse **6** überführt wird. Wie im Falle der Ausführungsform 1, leitet die Kopplungs-Linse **7** auf die Weise einer Kontraktions-Überführung, die erste Bildebene **10** auf die einfallende Endfläche **81** von der optischen Faser **8** weiter. Zusätzlich ist in Ausführungsform 2 die innere Apertur **11** als die Objektebene des ersten Überführungs-Optiksystems eingestellt; wobei daher Gleichung (1), welche in Ausführungsform 1 beschrieben ist, welche den Bild-Ausbildungszustand auf die erste Bildebene gibt, zu Gleichung (10') modifiziert wird.

$$\frac{1}{f_1} = \frac{1}{L_a + L_1 + L_2} + \frac{1}{L_3} \quad (1')$$

[0058] Zusätzlich kann Gleichung (2) ebenfalls bei Ausführungsform 2 angewendet werden. Zusätzlich ist in Ausführungsform 2, wie im Falle der Ausführungsform 1, die Relais-Linse **6** im zweiten Überführungs-Optiksystem enthalten, wobei die Relais-Linse **6** die Apertur **5** auf die Kopplungs-Linse **7** überführt. Daher kann die in Gleichung (3) in Ausführungsform 1 dargestellte Beziehung direkt bei Ausführungsform 2 angewendet werden.

[0059] In Ausführungsform 2 wird die Überführungs-Verstärkung M_1 des ersten Überführungs-Optiksystems durch Gleichung (7') gegeben.

$$M_1 = \frac{L_3}{L_a + L_1 + L_2} * \frac{L_5}{L_4} \quad (7')$$

[0060] Zusätzlich, wie im Falle der Ausführungsform 1, kann die Überführungs-Verstärkung M_2 des zweiten Überführungs-Optiksystems gemäß Gleichung (8) berechnet werden. Gemäß dem Öffnungsdurchmesser von der inneren Apertur (**11**) können die Überführungs-Verstärkung M_1 des ersten Überführungs-Optiksystems und die Überführungs-Verstärkung M_2 des zweiten Überführungs-Optiksystems auf jeweils geeignete Werte für den Strahl-Durchmesser auf der einfallenden Endfläche **81** von der gewünschten optischen Faser **8** und den Strahl-Sammelwinkel für die optische Faser **8** eingestellt werden.

[0061] In Ausführungsform 2 stellt die innere Apertur **11** den Strahl-Durchmesser und die Strahl-Position auf die Objektebene im ersten Überführungs-Optiksystem sicher; wobei daher, und zwar unabhängig vom Zustand der thermischen Linse des stabförmigen Festkörper-Lasermediums **1**, die Laserstrahl-Position als auch der Durchmesser des Laserstrahls **4** auf der einfallenden Endfläche **81** von der optischen Faser **8**, welche die Bildebene im ersten Überführungs-Optiksystem ist, stets konstant beibehalten werden.

[0062] Zusätzlich ist in Ausführungsform 2 das stabförmige Festkörper-Lasersystem auf eine solche Weise

aufgebaut, dass die Apertur **5**, welche den gleichen Öffnungsdurchmesser wie den Durchmesser von der inneren Apertur **11** hat, an der Position angeordnet wird, welche mit Bezug auf den teilreflektierenden Spiegel **2** optisch symmetrisch zur inneren Apertur **11**, welche auf der ersten Referenzebene ist, d. h. an der zweiten Referenzebene, ist, und die Apertur **5** wird mittels des zweiten Überführungs-Optiksystems auf die Kopplungs-Linse **7** überführt. Daraus folgend, und zwar unabhängig vom Zustand der thermischen Linse des stabförmigen Festkörper-Lasermediums **1**, wird der Strahl-Durchmesser an der Apertur **5** ungefähr gleich auf den Durchmesser des stabförmigen Festkörper-Lasermediums **11** beibehalten, und der Laserstrahl **4**, welcher außerhalb der Öffnung von der Apertur **5** ist, kann nicht durch die Apertur **5** passieren, wobei daher, sogar in dem Fall, bei welchem eine Punktierungs-Fluktuation oder dergleichen im Laserstrahl **4**, welcher aus dem teilreflektierenden Spiegel **2** austritt, vorliegt, der Strahl-Durchmesser und die Position des Laserstrahls an der Kopplungs-Linse **7**, welche auf der Bildebene des zweiten Überführungs-Optiksystems ist, sichergestellt werden. Daraus folgend, und zwar unabhängig vom Zustand der thermischen Linse des stabförmigen Festkörper-Lasermediums **1**, wird der Sammelwinkel des Laserstrahls **4**, welcher in die optische Faser **8** eintritt, ungefähr konstant beibehalten, und der Laserstrahl, welcher aus der optischen Faser **8** austritt, kann ebenfalls auf eine ungefähr konstante Konvergenz beibehalten werden, und zwar unabhängig vom Laser-Ausgabepegel.

[0063] Derweil wurde bei der vorhergehenden Erläuterung die innere Apertur **11** zwischen dem stabförmigen Festkörper-Lasermedium **1** und dem teilreflektierenden Spiegel **2** angeordnet, jedoch kann die innere Apertur **11** zwischen dem stabförmigen Festkörper-Lasermedium **1** und dem gesamtreflektierenden Spiegel **3** angeordnet werden. Aufgrund der Symmetrie im Laserstrahl innerhalb des Resonators, ist diese Anordnung äquivalent zu dem Fall, bei welchem die innere Apertur **11** an der Seite des gesamtreflektierenden Spiegels **3** angeordnet ist, und zwar vom teilreflektierenden Spiegel **2** aus um die Distanz zwischen dem gesamtreflektierenden Spiegel **3** und der Position der inneren Apertur **11** in **Fig. 10(a)** entfernt, d. h. der Fall, bei welchem die innere Apertur **11** an der Position angeordnet ist, welche zur Position von der inneren Apertur **11** in **Fig. 10(a)** mit Bezug auf den Mittelpunkt **101** des stabförmigen Festkörper-Lasermediums **1** symmetrisch ist. Beispielsweise, in dem Fall, bei welchem, wie in **Fig. 10(b)** dargestellt, die innere Apertur **11** an der Seite des gesamtreflektierenden Spiegels **3** angeordnet ist, und zwar um die Distanz L_a vom gesamtreflektierenden Spiegel **3** entfernt, ist die Wirkung von der inneren Apertur **11** äquivalent zu der in dem Fall, bei welchem die innere Apertur **11** an ihrer Position in **Fig. 10(a)** angeordnet ist. Somit kann, wie in **Fig. 10(b)** dargestellt, durch ein Anordnen des Optiksystems auf dieselbe Weise wie in **Fig. 10(a)**, die gleiche Wirkung demonstriert werden.

[0064] Zusätzlich ist der Aufbau, bei welchem, wie in Ausführungsform 2 beschrieben, ein ebener Spiegel als der teilreflektierende Spiegel **2** verwendet wird, und die innere Apertur **11** den Durchmesser eines Laserstrahls innerhalb des optischen Resonators begrenzt, nicht darauf beschränkt, bei einem Aufbau eines symmetrischen Resonators angewendet zu werden. Es ist zu verstehen, dass, solange die Apertur **5**, die Relais-Linse **6**, die Kopplungs-Linse **7** und die optische Faser **8** gemäß der Ausführungsform 2 angeordnet sind, dieser Aufbau die gleiche Wirkung sogar im Falle eines asymmetrischen Resonators demonstrieren kann.

Ausführungsform 3

[0065] **Fig. 11** ist eine schematische Ansicht, welche den Aufbau eines stabförmigen Festkörper-Lasersystems gemäß einer Ausführungsform 3 der vorliegenden Erfindung darstellt. In Ausführungsform 3 wird durch ein Verwenden des ersten Überführungs-Optiksystems, welches die Relais-Linse **6** und die Kopplungs-Linse **7** enthält, die Endfläche **102** des stabförmigen Festkörper-Lasermediums **1** auf die erste Bildebene **10** überführt, und die erste Bildebene **10** wird auf die einfallende Endfläche **81** von der optischen Faser **8** überführt. Zusätzlich ist das stabförmige Festkörper-Lasersystem auf eine solche Weise aufgebaut, dass, wie im Falle bei den Ausführungsformen **1** und **2**, die Relais-Linse **6** im zweiten Überführungs-Optiksystem enthalten ist und die Apertur **5** auf die Kopplungs-Linse **7** überführt.

[0066] In Ausführungsform 3 ist die Apertur **5**, welche den gleichen Öffnungsdurchmesser wie den Durchmesser des stabförmigen Festkörper-Lasermediums **1** hat, an der Position angeordnet, welche mit Bezug auf den teilreflektierenden Spiegel **2** zur Endfläche **102** des stabförmigen Festkörper-Lasermediums **1** optisch symmetrisch ist. Mit anderen Worten ergibt sich Gleichung (11').

$$L1 = Lm \quad (11')$$

[0067] Daher wird der Bild-Ausbildungszustand auf der ersten Bildebene durch Gleichung (1'') gegeben.

$$\frac{1}{f1} = \frac{1}{Lm + L1 + L2} + \frac{1}{L3} \quad (1'')$$

[0068] Zusätzlich können Gleichung (2), welche den Bild-Ausbildungszustand auf der einfallenden Endfläche **81** von der optischen Faser **8** ergibt, und Gleichung (3), welche den Bild-Ausbildungszustand auf der Koppungs-Linse **7** ergibt, ebenfalls bei Ausführungsform 3 direkt angewendet werden.

[0069] In Ausführungsform 3 wird die Endfläche **102** des stabförmigen Festkörper-Lasermediums **1** als die Objektebene im ersten Überführungs-Optiksystem gesetzt, d. h. die erste Referenzebene. Obwohl in dem Fall, bei welchem sich die thermische Linse ändert, die Änderung des Strahl-Durchmessers auf der Endfläche **102** des stabförmigen Festkörper-Lasermediums **1** etwas größer ist als die Änderung des Strahl-Durchmessers auf der Hauptebene von der äquivalenten thermischen Linse **9** in Ausführungsform 1 oder die Änderung des Strahl-Durchmessers an der inneren Apertur **11** in Ausführungsform 2, ist die Änderung des Strahl-Durchmessers auf der Endfläche **102** des stabförmigen Festkörper-Lasermediums **1** kleiner als die Änderung des Strahl-Durchmessers an der Außenseite des stabförmigen Festkörper-Lasermediums **1**, mit Ausnahme des Falls, bei welchem die innere Apertur **11** oder dergleichen den Strahl-Durchmesser begrenzt; darüber hinaus wird sichergestellt, dass der Strahl stets innerhalb der Endfläche **102** des stabförmigen Festkörper-Lasermediums **1** verbleibt. Demgemäß wird sichergestellt, dass, wenn der Durchmesser eines vom stabförmigen Festkörper-Lasermedium **1** ausgehenden Strahls gleich dem des maximal antizipierbaren Strahl-Durchmessers auf der Stab-Endfläche **102** als eine Objektebene wird, d. h., der Durchmesser des stabförmigen Festkörper-Lasermediums **1**, verbleibt der Durchmesser des mittels des ersten Überführungs-Optiksystems ausgebildeten Strahls auf der einfallenden Endfläche **81** von der optischen Faser **8** stets innerhalb des maximal erlaubbaren Durchmessers eines auf der einfallenden Endfläche **81** ausgebildeten Strahls. Daraus folgend kann, sogar in dem Fall, bei welchem sich die thermische Linse des stabförmigen Festkörper-Lasermediums **1** ändert, der Laserstrahl **4** stets innerhalb des Kerns von der optischen Faser **8** beibehalten werden.

[0070] Zusätzlich ist die Apertur **5** an der zweiten Referenzebene, welche zur Endfläche **102** optisch symmetrisch ist, des stabförmigen Festkörper-Lasermediums **1**, welche die erste Referenzebene mit Bezug auf den teilreflektierenden Spiegel **2** ist, angeordnet, wobei daher sichergestellt wird, dass, aufgrund der Symmetrie in der Strahlausbreitung, der Strahl-Durchmesser an der Apertur **5** stets kleiner als der Durchmesser des stabförmigen Festkörper-Lasermediums **1** ist. Darüber hinaus ist der Öffnungsdurchmesser von der Apertur **5** gleich dem Durchmesser des stabförmigen Festkörper-Lasermediums **1** gesetzt, wobei daher sichergestellt wird, dass, sogar in dem Fall, bei welchem eine Punktierungs-Fluktuation im Laserstrahl **4** auftritt, der Strahl auf der Koppungs-Linse **7** stets an der gleichen Position beibehalten wird, und der Strahl-Durchmesser stets kleiner als der konstante Wert ist, welcher durch den Öffnungsdurchmesser von der Apertur **5** und die Überführungs-Verstärkung des zweiten Überführungs-Optiksystems entschieden ist. Daraus folgend wird, und zwar unabhängig vom Zustand der thermischen Linse des stabförmigen Festkörper-Lasermediums **1**, der Sammelwinkel des Laserstrahls **4**, welcher in die optische Faser **8** eintritt, stets kleiner als ein konstanter Wert beibehalten, und der Laserstrahl **4**, welcher aus der optischen Faser **8** austritt, kann eine Konvergenz beibehalten, welche größer als ein konstanter Wert ist.

Ausführungsform 4

[0071] Fig. 12(a) ist eine schematische Ansicht, welche den Aufbau eines stabförmigen Festkörper-Lasersystems gemäß einer Ausführungsform 4 von der vorliegenden Erfindung darstellt. In Fig. 12(a) kennzeichnet Bezugszeichen **1a** ein erstes stabförmiges Festkörper-Lasermedium, welches in einem optischen Resonator angeordnet ist, welcher aus dem teilreflektierenden Spiegel **2**, welcher aus einem ebenen Spiegel ausgebildet ist, und dem gesamtreflektierenden Spiegel **3** aufgebaut ist; und Bezugszeichen **1b** kennzeichnet ein zweites stabförmiges Festkörper-Lasermedium. Das erste und zweite stabförmige Festkörper-Lasermedium **1a** und **1b** haben jeweils eine Länge von L_{stab} . Zusätzlich wird in Ausführungsform 4, indem die Distanz zwischen dem teilreflektierenden Spiegel **2** und dem ersten stabförmigen Festkörper-Lasermedium **1a** auf L_m , die Distanz zwischen dem ersten stabförmigen Festkörper-Lasermedium **1a** und dem zweiten stabförmigen Festkörper-Lasermedium **1b** auf $2L_m$, und die Distanz zwischen dem zweiten stabförmigen Festkörper-Lasermedium **1b** und dem gesamtreflektierenden Spiegel **3** auf L_m eingestellt werden, ein so genannter periodischer Resonator aufgebaut. Demgemäß sind unter der idealen Bedingung, dass das erste und zweite Festkörper-Lasermedium **1a** und **1b** gleichförmig gepumpt werden, die jeweiligen Durchmesser, d. h. Mode-Formen, eines Laserstrahls im ersten und zweiten Festkörper-Lasermedium **1a** und **1b**, gleich der Mode-Form eines Laserstrahls in einem symmetrisch stabilen optischen Resonator, welcher unter Verwendung eines einzelnen stabförmigen Festkörper-Lasermediums, wie beispielsweise in Fig. 6 dargestellt, aufgebaut ist. Mit anderen Worten ermöglicht ein periodischer Resonator, welcher von einer Mehrzahl von stabförmigen Festkörper-Lasermedien **1** aufgebaut ist, es einfach, dass die Ausgabeenergie erhöht wird, wobei die Konvergenz konstant beibehalten wird.

[0072] Ebenfalls sind in Ausführungsform 4 die Apertur **5**, die Relais-Linse **6**, die Kopplungs-Linse **7** und die einfallende Endfläche **81** von der optischen Faser **8** gemäß dem gleichen Kriterium wie jenes in Ausführungsform 1 angeordnet. Das heißt, dass die Hauptebene von der äquivalenten thermischen Linse **9**, welche sich an der Position befindet, welche um eine Distanz L_{tl} von der Endfläche **102** des stabförmigen Festkörper-Lasermediums **1a** entfernt ist, als erste Referenzebene gesetzt ist, und dass die Apertur **5**, welche den gleichen Öffnungsdurchmesser wie der Durchmesser des stabförmigen Festkörper-Lasermediums **1a** hat, an der Position angeordnet ist, welche mit Bezug auf den teilreflektierenden Spiegel **2** zur ersten Referenzebene optisch symmetrisch ist. Das erste Überführungs-Optiksystem ist aus der Relais-Linse **6** und der Kopplungs-Linse **7** aufgebaut, wobei die Relais-Linse **6** die Hauptebene von der äquivalenten thermischen Linse **9** auf die erste Bildebene **10** überführt und die Kopplungs-Linse **7** die erste Bildebene **10** auf die einfallende Endfläche **81** von der optischen Faser **8** überführt. Zusätzlich ist das zweite Überführungs-Optiksystem aus der Relais-Linse **6** ausgebildet; und die Relais-Linse **6** überführt die Apertur **5** auf die Kopplungs-Linse **7**.

[0073] Wie in Ausführungsform 4 beschrieben, kann, sogar in dem Fall, bei welchem durch ein Anordnen von einer Mehrzahl von Festkörper-Lasermedien **1** in einem einzelnen optischen Resonator ein periodischer Resonator aufgebaut wird, und zwar solange die Apertur **5**, die Relais-Linse **6**, die Kopplungs-Linse **7** und die einfallende Endfläche **81** von der optischen Faser **8** auf dieselbe Weise wie bei Ausführungsform 1 angeordnet sind, nicht nur die gleiche Wirkung wie jene bei Ausführungsform 1 demonstriert werden, sondern kann ebenfalls die Ausgabeenergie einfach erhöht werden, wobei die Konvergenz ungefähr konstant beibehalten wird.

[0074] Zusätzlich wurde in Ausführungsform 4 ein Aufbau beschrieben, bei welchem zwei stabförmige Festkörper-Lasermedien **1a** und **1b** in einem einzelnen optischen Resonator angeordnet sind, jedoch ist die Anzahl von stabförmigen Festkörper-Lasermedien **1**, welche im optischen Resonator anzuordnen sind, nicht auf zwei beschränkt. Beispielsweise kann durch ein Auswählen der Anzahl von stabförmigen Festkörper-Lasermedien **1**, welche im optischen Resonator anzuordnen sind, gemäß einer gewünschten Laser-Ausgabe durch ein Einstellen von L_m als jeweilige Distanzen zwischen dem teilreflektierenden Spiegel **2** und dessen benachbarten stabförmigen Festkörper-Lasermedium **1**, und zwischen dem gesamtreflektierenden Spiegel **3** und dessen benachbarten stabförmigen Festkörper-Lasermedium **1**, und durch ein Einstellen von $2L_m$ als die Distanz zwischen dem stabförmigen Festkörper-Lasermedien **1**, welche zueinander gegenüberliegen, ein periodischer Resonator aufgebaut werden, und zwar unabhängig von der Anzahl der stabförmigen Festkörper-Lasermedien **1**.

[0075] Zusätzlich wurde in Ausführungsform 4, bei welcher eine Mehrzahl von stabförmigen Festkörper-Lasermedien **1** in einem einzelnen optischen Resonator angeordnet sind, ein Aufbau beschrieben, bei welchem, wie im Falle bei Ausführungsform 1, die Hauptebene von der äquivalenten thermischen Linse **9** des stabförmigen Festkörper-Lasermediums **1a** angrenzend zum teilreflektierenden Spiegel **2** als die Objektebene im ersten Überführungs-Optiksystem gesetzt ist, jedoch ist die Objektebene im ersten Überführungs-Optiksystem nicht auf die Hauptebene von der äquivalenten thermischen Linse **9** begrenzt. Beispielsweise kann bei einem Aufbau, bei welchem, wie in **Fig. 12b** dargestellt, die innere Apertur **11** in einem optischen Resonator bereitgestellt ist, wie im Falle der Ausführungsform 2, und zwar indem die innere Apertur **11** als Objektebene des ersten Überführungs-Optiksystems, d. h. die erste Referenzebene, gesetzt wird, die gleiche Wirkung wie jene bei Ausführungsform 2 demonstriert werden. Der Fall, bei welchem, und zwar ungleich der **Fig. 12(b)**, die innere Apertur **11** zwischen dem stabförmigen Festkörper-Lasermedium **1b** und dem gesamtreflektierenden Spiegel **3** angeordnet ist, kann äquivalent als der Fall betrachtet werden, bei welchem, wie in Ausführungsform 2 beschrieben, die innere Apertur **11** an der Position angeordnet ist, welche symmetrisch zur Position von der inneren Apertur **11** in **Fig. 12(b)**, und zwar mit Bezug auf den Mittelpunkt **101** des stabförmigen Festkörper-Lasermediums, ist. Darüber hinaus, wie im Falle von Ausführungsform 3, kann durch ein Setzen der Endfläche **102** des stabförmigen Festkörper-Lasermediums **1a**, welches dem teilreflektierenden Spiegel angrenzt, als Objektebene des ersten Überführungs-Optiksystems, d. h. die erste Referenzebene, die gleiche Wirkung wie jene von Ausführungsform 3 demonstriert werden. Der Punkt ist, dass das stabförmige Festkörper-Lasersystem auf eine solche Weise konfiguriert werden kann, dass als erste Referenzebene die Objektebene des ersten Überführungs-Optiksystems, welches die Relais-Linse **6** und die Kopplungs-Linse **7** enthält, an eine geeignete Position innerhalb des optischen Resonators gesetzt wird, wodurch die Objektebene auf die erste Bildebene mittels der Relais-Linse **6** überführt wird, und die erste Bildebene mittels der Kopplungs-Linse **7** auf die einfallende Endfläche **81** von der optischen Faser **8** weitergeleitet wird, und zwar auf die Weise einer Kontraktions-Überführung, und die Apertur **5** wird an der Position bereitgestellt, welche mit Bezug auf den teilreflektierenden Spiegel **2** optisch symmetrisch zur Objektebene des ersten Überführungs-Optiksystems ist, welche im optischen Resonator gesetzt ist, wodurch die Apertur **5** als die Objektebene des zweiten Überführungs-Optiksystems mittels des zweiten Überführungs-Optiksystems, welches aus der Relais-Linse **6** ausgebildet ist, auf die Kopplungs-Linse **7** überführt wird.

[0076] **Fig. 13** ist eine schematische Ansicht, welche den Aufbau eines stabförmigen Festkörper-Lasersystems gemäß einer Ausführungsform 5 der vorliegenden Erfindung darstellt. In Ausführungsform 5 wird ein so genannter MOPA (Master Oscillator Power Amplifier)-Aufbau verwendet, bei welchem drei stabförmige Festkörper-Lasermedien **1a**, **1b** und **1c** verwendet werden, wobei lediglich das stabförmige Festkörper-Lasermedium **1c** in einem optischen Resonator angeordnet ist, welcher den teilreflektierenden Spiegel **2** und den gesamtreflektierenden Spiegel **3** enthält, wobei ein Oszillator aufgebaut wird, welcher zur Erzeugung von Laserstrahlen verwendet wird, und wobei das erste und zweite stabförmige Festkörper-Lasermedium **1a** und **1b** als Verstärker verwendet werden, welche einen durch den Oszillator erzeugten Laserstrahl verstärken. In Ausführungsform 5 sind die stabförmigen Festkörper-Lasermedien **1a**, **1b** und **1c** jeweils um eine Distanz von $2L_m$ voneinander entfernt angeordnet. Zusätzlich ist der teilreflektierende Spiegel **2**, welcher aus einem ebenen Spiegel ausgebildet ist, an dem Mittelpunkt zwischen dem zweiten stabförmigen Festkörper-Lasermedium **1b** und dem dritten stabförmigen Festkörper-Lasermedium **1c** angeordnet, und der gesamtreflektierende Spiegel **3**, welcher aus einem ebenen Spiegel ausgebildet ist, ist an dem Punkt angeordnet, welcher um eine Distanz L_m vom dritten stabförmigen Festkörper-Lasermedium **1c** entfernt ist. Wie in Ausführungsform 5 beschrieben, wird in einem stabförmigen Festkörper-Lasersystem, welches eine Mehrzahl von stabförmigen Festkörper-Lasermedien **1** verwendet, indem ein periodischer MOPA-Aufbau verwendet wird, bei welchem die Mehrzahl von stabförmigen Festkörper-Lasermedien **1** jeweils um eine Distanz von $2L_m$ voneinander entfernt angeordnet sind, der gesamtreflektierende Spiegel **3** an der Position bereitgestellt, welche um eine Distanz von L_m von der Endfläche des stabförmigen Festkörper-Lasermediums **1**, welche an einer Endposition angeordnet ist, entfernt ist, und der gesamtreflektierende Spiegel **2** wird an der Mittelposition zwischen den zwei beliebigen stabförmigen Festkörper-Lasermedien **1** bereitgestellt, wobei die Periodizität von der Mode-Form innerhalb jedes stabförmigen Festkörper-Lasermediums **1** beibehalten wird, wie im Falle des vorhergehenden periodischen Resonators, und zwar unter der idealen Bedingung, dass alle stabförmigen Festkörper-Lasermedien **1** gleichförmig gepumpt werden. Somit ermöglicht die Verwendung des periodischen MOPA-Aufbaus, welcher in Ausführungsform 5 beschrieben ist, unter Verwendung einer Mehrzahl von stabförmigen Festkörper-Lasermedien **1**, dass die Ausgabeenergie einfach erhöht wird, wobei die Konvergenz ungefähr konstant beibehalten wird. Der periodische MOPA-Aufbau ist unter stabförmigen Festkörper-Lasersystemen, welche eine Mehrzahl von stabförmigen Festkörper-Lasermedien **1** verwenden, üblich, wobei die jeweiligen Anzahlen der stabförmigen Festkörper-Lasermedien **1**, welche im optischen Resonator bereitgestellt sind, und der stabförmigen Festkörper-Lasermedien **1**, welche als Verstärker verwendet werden, gemäß der gewünschten Leistung ausgewählt werden können.

[0077] Als nächstes wird ein Verfahren zur Anordnung von optischen Systemen für Ausführungsform 5, d. h. der periodische MOPA-Aufbau, erläutert. Beim periodischen MOPA-Aufbau wird eine dritte Referenzebene **2'** an die Position gesetzt, welche von der Endfläche **102** des stabförmigen Festkörper-Lasermediums **1a** an der letzten Stufe, von wo aus der Laserstrahl **4** austritt, um eine Distanz von L_m entfernt ist, welche halb so groß ist wie die Distanz $2L_m$, um welche die stabförmigen Festkörper-Lasermedien **1a**, **1b** und **1c** jeweils voneinander beabstandet sind. Die Apertur **5**, welche den gleichen Öffnungsdurchmesser wie den Durchmesser des stabförmigen Festkörper-Lasermediums **1a** hat, ist an der Position bereitgestellt, welche mit Bezug auf die dritte Referenzebene **2'** symmetrisch zur Hauptebene von der äquivalenten thermischen Linse **9** des stabförmigen Festkörper-Lasermediums **1a**, d. h. die zweite Referenzebene, ist. Mit anderen Worten spielt die dritte Referenzebene die gleiche Rolle wie jeder der teilreflektierenden Spiegel in Ausführungsformen 1 bis 4 beim Einstellen der zweiten Referenzebene, wobei daher die dritte Referenzebene als ein virtueller teilreflektierender Spiegel bezeichnet wird. Wie im Falle der Ausführungsform 1 ist das erste Überführungs-Optiksystem aus der Relais-Linse **6** und der Kopplungs-Linse **7** aufgebaut, wobei an erster Stelle die Relais-Linse **6** die Hauptebene der äquivalenten thermischen Linse **9** des stabförmigen Festkörper-Lasermediums **1a** auf die erste Bildebene **10** überführt, und die Kopplungs-Linse **7** auf eine Weise einer Kontraktions-Überführung die erste Bildebene **10** auf die einfallende Endfläche **81** von der optischen Faser **8** weiterleitet. Zusätzlich ist die Relais-Linse **6** im zweiten Überführungs-Optiksystem enthalten, wobei die Relais-Linse **6** die Apertur **5** auf die Kopplungs-Linse **7** überführt. Daher können Gleichungen (1) bis (3), welche in Ausführungsform 1 beschrieben sind, direkt bei Ausführungsform 5 angewendet werden.

[0078] Ebenfalls wird bei dem periodischen MOPA-Aufbau die Periodizität von einer Mode-Form im stabförmigen Festkörper-Lasermedium **1** ungefähr konstant beibehalten, wobei daher, wenn die Apertur **5**, Relais-Linse **6**, die Kopplungs-Linse **7** und die einfallende Endfläche **81** von der optischen Faser **8** auf dieselbe Weise wie bei Ausführungsform 1 angeordnet sind, nicht nur die gleiche Wirkung wie jene bei Ausführungsform 1 demonstriert werden kann, sondern es kann ebenfalls die Ausgabeenergie leicht erhöht werden, wobei die Konvergenz ungefähr konstant beibehalten wird. Zusätzlich, und zwar verglichen mit dem in Ausführungsform 5

beschriebenen periodischen MOPA-Aufbau, hat der in Ausführungsform 4 beschriebene periodische Resonator-Aufbau einen Vorteil dahingehend, dass, weil alle stabförmigen Festkörper-Lasermedien **1** innerhalb des optischen Resonators angeordnet sind, der Abschnitt des zum Laserstrahl **4** spontan emittierten Lichtes, welcher zu extrahieren ist, klein ist, und die Position von der Strahl-Taille gemäß den Grenzbedingungen für die optischen Resonatoren fixiert wird, wobei ein Laserstrahl, welcher eine Konvergenz auf hohem Pegel hat, einfach erzeugt werden kann. Andererseits hat der periodische Resonator-Aufbau einen inhärenten Nachteil darin, dass, weil eine Mehrzahl von stabförmigen Festkörper-Lasermedien **1** in dem optischen Resonator angeordnet ist, der Stabilitätszustand für den optischen Resonator leicht unterbrochen wird, und der Auftritt einer instabilen Oszillation aufgrund von einer Ungleichmäßigkeit in den Pumpzuständen unter den stabförmigen Festkörper-Lasermedien **1** unterliegt. Der periodische MOPA-Aufbau hat einen Nachteil darin, dass, weil spontan emittiertes Licht, welches vom Verstärker erzeugt wird, leicht verstärkt wird, wobei der Abschnitt des spontan emittierten Lichtes zum Laserstrahl **4** zunimmt, und die Position von der Strahl-Taille nicht gemäß den Grenzbedingungen für die optischen Resonatoren festgelegt ist, die Konvergenz leicht verschlechtert werden kann. Darüber hinaus hat der periodische MOPA-Aufbau einen Nachteil darin, dass, weil der Laserstrahl **4** mit geringer Intensität nicht ausreichend verstärkt werden kann, die Wirksamkeit beim Erzeugen eines Laserstrahls reduziert wird. Andererseits hat der periodische MOPA-Aufbau einen Vorteil darin, dass, und zwar sogar in dem Fall, bei welchem so viele stabförmige Festkörper-Lasermedien **1** wie optische Resonatoren verwendet werden, die Anzahl der stabförmigen Festkörper-Lasermedien **1**, welche im optischen Resonator anzuordnen sind, reduziert werden kann, wobei der Laserstrahl **4** stabil erzeugt werden kann, sogar in dem Fall, bei welchem eine Ungleichförmigkeit in den Pumpzuständen unter den stabförmigen Festkörper-Lasermedien **1** auftritt.

[0079] Zusätzlich wurde in Ausführungsform 5 ein Aufbau beschrieben, bei welchem sich die Hauptebene von der äquivalenten thermischen Linse **9** des stabförmigen Festkörper-Lasermediums **1a**, welches sich am emittierenden Ende des Laserstrahls befindet, als Objektebene im ersten Überführungs-Optiksystem, d. h. die erste Referenzebene, gesetzt ist, jedoch ist die Objektebene im ersten Überführungs-Optiksystem nicht auf die Hauptebene von der äquivalenten thermischen Linse **9** beschränkt. Beispielsweise, wenn, wie bei dem Fall mit Ausführungsform 3, ein Aufbau verwendet wird, bei welchem die Apertur **5**, welche den gleichen Öffnungsdurchmesser wie der Durchmesser des stabförmigen Festkörper-Lasermediums **1a** hat, an der Position bereitgestellt ist, welche, und zwar mit Bezug auf den virtuellen teilreflektierenden Spiegel **2'**, symmetrisch ist zur Endfläche **102** des stabförmigen Festkörper-Lasermediums **1a**, welches sich am emittierenden Ende des Laserstrahls befindet, d. h. die zweite Referenzebene, und die Endfläche **102** des stabförmigen Festkörper-Lasermediums **1a** als die Objektebene des ersten Überführungs-Optiksystems gesetzt ist, d. h. die erste Referenzebene, und mittels Überführung zur einfallenden Endfläche **81** von der optischen Faser **8** weitergeleitet wird, kann die gleiche Wirkung wie jene von Ausführungsform 3 demonstriert werden.

[0080] Zusätzlich wurde bei der vorhergehenden Beschreibung ein Verfahren erläutert, bei welchem die Hauptebene von der äquivalenten thermischen Linse **9** oder die Endfläche **102** des stabförmigen Festkörper-Lasermediums **1a** als Objektebene im ersten Überführungs-Optiksystem, d. h. die erste Referenzebene, gesetzt ist, jedoch ist die Objektebene im ersten Überführungs-Optiksystem nicht auf die Hauptebene von der äquivalenten thermischen Linse **9** oder der Endfläche **102** begrenzt. Beispielsweise, sogar in dem Fall, bei welchem innerhalb des Bereiches zwischen der Endfläche des stabförmigen Festkörper-Lasermediums **1a** und dem Mittelpunkt **101**, die Hauptebene der thermischen Linse als die erste Referenzebene beliebig gesetzt ist, kann die gleiche Wirkung demonstriert werden. Der Punkt ist, dass, wenn ein Aufbau verwendet wird, bei welchem die Apertur **5**, welche den gleichen Öffnungsdurchmesser wie den Durchmesser von der inneren Apertur **1** hat, an der Position angeordnet ist, welche, und zwar mit Bezug auf den virtuellen teilreflektierenden Spiegel **2'**, optisch symmetrisch ist zu der Position, welche zu setzen ist, und zwar von der Hauptebene von der äquivalenten thermischen Linse, wird die Hauptebene von der äquivalenten thermischen Linse **9** mittels Überführung mittels des ersten Überführungs-Optiksystems weitergeleitet, welches die Relais-Linse **6** und die Kopplungs-Linse **7** enthält, und zwar zu der einfallenden Endfläche **81** von der optischen Faser **8**, und die Apertur **5** wird mittels des zweiten Überführungs-Optiksystems, welches aus der Relais-Linse **6** ausgebildet ist, auf die Kopplungs-Linse **7** überführt, wobei der Strahl-Durchmesser und die Strahl-Position auf der Kopplungs-Linse **7** ungefähr konstant beibehalten werden, und der Strahl-Durchmesser und die Strahl-Position auf der einfallenden Endfläche **81** von der optischen Faser **8** sichergestellt werden, wobei eine stabile Strahlübertragung durch die optische Faser **8** ermöglicht wird, und der Laserstrahl **4**, welcher aus der optischen Faser **8** austritt, seine Konvergenz ungefähr konstant beibehalten kann, sogar in dem Fall, bei welchem die thermische Linse von dem stabförmigen Festkörper-Lasermedium **1** sich ändert oder eine Punktierungs-Fluktuation im Laserstrahl **4** auftritt.

[0081] Fig. 14(a) ist eine schematische Ansicht, welche den Aufbau eines stabförmigen Festkörper-Lasersystems gemäß einer Ausführungsform 6 der vorliegenden Erfindung darstellt. Wie im Falle der Ausführungsform 5, ist in Ausführungsform 6 eine Mehrzahl der stabförmigen Festkörper-Lasermedien **1a**, **1b** und **1c**, jeweils gleichförmig voneinander entfernt beabstandet, so dass ein periodischer MOPA-Aufbau verwendet wird. Zusätzlich ist in Ausführungsform 6 die innere Apertur **11** in einen optischen Resonator eingesetzt, welcher aus dem teilreflektierenden Spiegel **2** und dem gesamtreflektierenden Spiegel **3** aufgebaut ist, um den Durchmesser des Laserstrahls **4** zu begrenzen. Weil ebenfalls in den stabförmigen Festkörper-Lasermedien **1b** und **1c**, welche als Verstärker verwendet werden, die Verstärkungswirkung auf den Laserstrahl **4** angelegt wird, und zwar lediglich innerhalb der Abschnitte der stabförmigen Festkörper-Lasermedien **1b** und **1c**, durch welche der Laserstrahl **4** hindurch passiert, wird die Mode-Form innerhalb des ersten stabförmigen Festkörper-Lasermediums **1a** sogar in den Verstärkern beibehalten. In Ausführungsform 6 ist die innere Apertur **11** an der Position bereitgestellt, welche um eine Distanz L_a vom teilreflektierenden Spiegel **2** entfernt ist.

[0082] Als nächstes wird ein Verfahren zum Anordnen von Optiksyste men für Ausführungsform 6 erläutert. An erster Stelle wird, wie im Falle bei Ausführungsform 5, angenommen, dass der virtuelle teilreflektierende Spiegel **2'** an der Position angeordnet ist, welche um eine Distanz L_m von der Endfläche **102** des stabförmigen Festkörper-Lasermediums **1a** der letzten Stufe, von welchem der Laserstrahl **4** austritt, angeordnet ist. Als nächstes wird die Position, welche vom virtuellen teilreflektierenden Spiegel **2'** um eine Distanz L_a in die Richtung zum ersten stabförmigen Festkörper-Lasermedium **1a** entfernt ist, als die erste Referenzebene gesetzt, und es wird angenommen, dass eine virtuelle innere Apertur **11'** an der ersten Referenzebene angeordnet ist. Die Position, welche mit Bezug auf den virtuellen teilreflektierenden Spiegel **2'** optisch symmetrisch zur virtuellen inneren Apertur **11'** ist, wird als die zweite Referenzebene gesetzt, und die Apertur **5**, welchen den gleichen Öffnungsdurchmesser wie den Durchmesser von der inneren Apertur **11** hat, ist an der zweiten Referenzebene angeordnet. Demgemäß kann Gleichung (11), welche in Ausführungsform 2 beschrieben ist, ebenfalls auf den periodischen MOPA-Aufbau angewendet werden. Wie im Falle mit Ausführungsform 1, ist das erste Überführungs-Optiksystem aus der Relais-Linse **6** und der Kopplungs-Linse **7** aufgebaut, wobei an erster Stelle die Relais-Linse **6** die virtuelle innere Apertur auf die erste Bildebene **10** überführt, und die Kopplungs-Linse **7** auf eine Weise einer Kontraktions-Überführung die erste Bildebene **10** an die einfallende Endfläche **81** der optischen Faser **8** weiterleitet. Zusätzlich ist die Relais-Linse **6** im zweiten Überführungs-Optiksystem enthalten, wobei die Relais-Linse **6** die Apertur **5** auf die Kopplungs-Linse **7** überführt. Daher können Gleichung (1'), welche in Ausführungsform 2 beschrieben ist, und Gleichungen (2) bis (3), welche in Ausführungsform 2 beschrieben sind, ebenfalls bei Ausführungsform 6 angewendet werden.

[0083] Zusätzlich, und zwar ungleich der Fig. 14(a), kann der Fall, bei welchem, wie in Fig. 14(b) dargestellt, die innere Apertur **11** zwischen dem stabförmigen Festkörper-Lasermedium **1c** und dem gesamtreflektierenden Spiegel **3** angeordnet ist, äquivalent zu dem Fall betrachtet werden, bei welchem, wie in Ausführungsform 2 beschrieben, die innere Apertur **11** an der Seite des gesamtreflektierenden Spiegels **3** angeordnet ist, und zwar vom teilreflektierenden Spiegel **2** um die Distanz zwischen den gesamtreflektierenden Spiegel **3** und der Position von der inneren Apertur **11** in Fig. 14(a) entfernt. Mit anderen Worten, kann bei dem Fall, bei welchem die innere Apertur (**11**) an der Position angeordnet ist, welche um eine Distanz L_a vom gesamtreflektierenden Spiegel **3** entfernt ist, die Anordnung der Optiksyste me, wie in Fig. 14(b) dargestellt, auf die gleiche Weise wie jene in Fig. 14(a) entschieden werden.

[0084] Wie in Ausführungsform 6 beschrieben, kann ebenfalls bei einem Verfahren im periodischen MOPA-Aufbau, die innere Apertur **11** in den optischen Resonator eingesetzt werden, um den Strahl-Durchmesser zu begrenzen, wobei die Periodizität einer Mode-Form im stabförmigen Festkörper-Lasermedium **1** ungefähr konstant beibehalten wird, wobei daher nicht nur die gleiche Wirkung wie jene von Ausführungsform 2 demonstriert werden kann, sondern ebenfalls die Ausgabeenergie leicht erhöht werden kann, wobei die Konvergenz konstant beibehalten wird.

[0085] Zusätzlich wurde in Ausführungsform 6 ein Aufbau beschrieben, bei welchem die innere Apertur **11** lediglich in den optischen Resonator eingesetzt wird, um den Strahl-Durchmesser zu begrenzen, jedoch kann zusätzlich zur inneren Apertur **11**, welche im optischen Resonator eingesetzt ist, eine Apertur zum Begrenzen des Strahl-Durchmessers in der Nähe von irgendeinem aus dem stabförmigen Festkörper-Lasermedien **1**, welche als Verstärker verwendet werden, bereitgestellt werden. Wenn beispielsweise eine tatsächliche Apertur, welche ungefähr den gleichen Öffnungsdurchmesser wie den Durchmesser von der inneren Apertur **11** hat, an der Position bereitgestellt ist, an welcher die virtuelle innere Apertur **11'** gesetzt ist, werden die Wirkungen von einer Strahl Punktierungs-Fluktuation, welche im stabförmigen Festkörper-Lasermedium, welches als ein Ver-

stärker verwendet wird, verursacht wird, und spontan emittiertes und verstärktes Licht, welches die Qualität des Laserstrahls **4** verschlechtert, unterdrückt, wodurch es möglich ist, den Laserstrahl **4** mittels der weiter stabilen und sehr zuverlässigen optischen Faser **8** zu übertragen.

[0086] Darüber hinaus wurde bei der vorhergehenden Erläuterung ein Aufbau beschrieben, bei welchem als stabförmiges Festkörper-Lasermedium ein Nd (Neodym) dotierter YAG(Yttrium-Aluminium-Granat)-Kristall verwendet wird, jedoch ist es verständlich, dass der Typ des Festkörper-Lasermediums nicht auf einen Nd-dotierten YAG-Kristall beschränkt ist, und beispielsweise sogar in dem Fall, bei welchem ein Phosphatglas oder ein Vanadate-Kristall verwendet wird, die gleiche Wirkung demonstriert werden kann.

INDUSTRIELLE ANWENDBARKEIT

[0087] Ein stabförmiges Festkörper-Lasersystem gemäß der vorliegenden Erfindung ist für ein System geeignet, welches einen Laserstrahl durch eine optische Faser überträgt, und implementiert eine maschinelle Bearbeitung.

Patentansprüche

1. Stabförmiges Festkörper-Lasersystem, bei welchem mittels einer Relais-Linse (**6**) und einer Koppungs-Linse (**7**) ein Laserstrahl, welcher aus einem symmetrisch stabilen optischen Resonator emittiert wird, welcher ein stabförmiges Festkörper-Lasermedium (**1**), einen teilreflektierenden Spiegel (**2**) und einen gesamtreflektierenden Spiegel (**3**) enthält, so erstellt ist, um in eine optische Faser (**8**) einzutreten, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine erste Referenzebene an einer beliebigen Position zwischen der Endfläche (**102**) des stabförmigen Festkörper-Lasermediums (**1**), welches nahe dem teilreflektierenden Spiegel (**2**) angeordnet ist, welche dem teilreflektierenden Spiegel (**2**) gegenüberliegt, und dem Mittelpunkt (**101**) des stabförmigen Festkörper-Lasermediums (**1**) gesetzt ist, eine zweite Referenzebene an einer Position, welche optisch zur ersten Referenzebene, mit Bezug auf den teilreflektierenden Spiegel (**2**), symmetrisch ist, gesetzt ist, die Relais-Linse (**6**) an einer Position angeordnet ist, an welcher die Relais-Linse (**6**) die erste Referenzebene auf eine erste Bildebene (**10**) überführt und die zweite Referenzebene auf die Koppungs-Linse (**7**) überführt, und die Koppungs-Linse (**7**) an einer Position angeordnet ist, an welcher die Koppungs-Linse (**7**) die erste Bildebene (**10**) auf die Endfläche der optischen Faser (**8**) überführt.

2. Stabförmiges Festkörper-Lasersystem nach Anspruch 1, bei welchem eine dünnwandige Linse (**91**) angenommen wird, welche optisch äquivalent zu einer thermischen Linse (**9**) ist, welche an einer Position zwischen der Endfläche (**102**) des stabförmigen Festkörper-Lasermediums (**1**), welches nahe dem teilreflektierenden Spiegel (**2**) angeordnet ist, welche dem teilreflektierenden Spiegel (**2**) gegenüberliegt, und dem Mittelpunkt (**101**) des stabförmigen Festkörper-Lasermediums (**1**) ausgebildet ist, und die erste Referenzebene an der Position von der Hauptebene von der angenommenen dünnwandigen Linse (**91**) gesetzt ist.

3. Stabförmiges Festkörper-Lasersystem nach Anspruch 1, bei welchem die erste Referenzebene auf die Endfläche (**102**) des stabförmigen Festkörper-Lasermediums (**1**), welches nahe dem teilreflektierenden Spiegel (**2**) angeordnet ist, gesetzt ist, welche dem teilreflektierenden Spiegel (**2**) gegenüberliegt.

4. Stabförmiges Festkörper-Lasersystem nach einem der Ansprüche 1 bis 3, bei welchem eine Apertur (**5**) an der Position von der zweiten Referenzebene angeordnet ist.

5. Stabförmiges Festkörper-Lasersystem nach Anspruch 4, bei welchem der Öffnungsdurchmesser von der Apertur (**5**) ungefähr gleich dem Durchmesser des stabförmigen Festkörper-Lasermediums (**1**) ist.

6. Stabförmiges Festkörper-Lasersystem nach Anspruch 1, bei welchem das stabförmige Festkörper-Lasermedium (**1**) einstückig ist.

7. Stabförmiges Festkörper-Lasersystem nach Anspruch 1, welches zumindest ein zusätzliches stabförmiges Festkörper-Lasermedium (**1**) enthält.

8. Stabförmiges Festkörper-Lasersystem, bei welchem mittels einer Relais-Linse (**6**) und einer Koppungs-Linse (**7**) ein Laserstrahl, welcher aus einem symmetrisch stabilen optischen Resonator emittiert wird, welcher ein stabförmiges Festkörper-Lasermedium (**1**), einen teilreflektierenden Spiegel (**2**), welcher aus einem ebenen Spiegel ausgebildet ist, und einen gesamtreflektierenden Spiegel (**3**) enthält, so erstellt ist, um in eine optische Faser (**8**) einzutreten, dadurch gekennzeichnet, dass eine erste Referenzebene an einer Position

zwischen dem teilreflektierenden Spiegel (2) und dem Mittelpunkt (101) des stabförmigen Festkörper-Lasermediums (1), welches nahe dem teilreflektierenden Spiegel (2) angeordnet ist, gesetzt ist, an welchem der Durchmesser von einem Laserstrahl konstant ist, und zwar unabhängig vom Zustand der thermischen Linse des stabförmigen Festkörper-Lasermediums (1), eine zweite Referenzebene an einer Position gesetzt ist, welche zur ersten Referenzebene mit Bezug auf den teilreflektierenden Spiegel (2) optisch symmetrisch ist, die Relais-Linse (6) an einer Position angeordnet ist, an welcher die Relais-Linse die erste Referenzebene auf eine erste Bildebene (10) überführt und die zweite Referenzebene auf die Kopplungs-Linse (7) überführt, und die Kopplungs-Linse (7) an einer Position angeordnet ist, an welcher die Kopplungs-Linse (7) die erste Bildebene (10) auf die Endfläche von der optischen Faser (8) überführt.

9. Stabförmiges Festkörper-Lasersystem nach Anspruch 8, bei welchem eine innere Apertur (11) zum Begrenzen des Durchmessers eines Laserstrahls an einer Position zwischen dem stabförmigen Festkörper-Lasermedium (1) und dem teilreflektierenden Spiegel (2) bereitgestellt ist, und die erste Referenzebene auf die Position von der inneren Apertur (11) gesetzt ist.

10. Stabförmiges Festkörper-Lasersystem nach Anspruch 8, bei welchem eine innere Apertur (11) zum Begrenzen des Durchmessers eines Laserstrahls an einer Position zwischen dem stabförmigen Festkörper-Lasermedium (1) und dem gesamtreflektierenden Spiegel (3) bereitgestellt ist, und die erste Referenzebene an einer Position gesetzt ist, welche zum stabförmigen Festkörper-Lasermedium (1) hin vom teilreflektierenden Spiegel (2) um die gleiche Distanz entfernt ist, wie jene zwischen der inneren Apertur (11) und dem gesamtreflektierenden Spiegel (3).

11. Stabförmiges Festkörper-Lasersystem nach einem der Ansprüche 8 bis 10, bei welchem eine Apertur (5) an der Position der zweiten Referenzebene angeordnet ist.

12. Stabförmiges Festkörper-Lasersystem nach Anspruch 11, bei welchem der Öffnungsdurchmesser von der Apertur (5) ungefähr gleich dem Öffnungsdurchmesser von der inneren Apertur (11) ist.

13. Stabförmiges Festkörper-Lasersystem nach einem der Ansprüche 8 bis 10, bei welchem das stabförmige Festkörper-Lasermedium (1) einstückig ist.

14. Stabförmiges Festkörper-Lasersystem nach einem der Ansprüche 8 bis 10, welches zumindest ein weiteres stabförmiges Festkörper-Lasermedium (1) enthält.

15. Stabförmiges Festkörper-Lasersystem, bei welchem stabförmige Festkörper-Lasermedien (1a, 1b und 1c) jeweils gleichförmig voneinander beabstandet bereitgestellt sind, ein gesamtreflektierender Spiegel (3), welcher aus einem ebenen Spiegel ausgebildet ist, an einer Position angeordnet ist, welche von der äußeren Endfläche des stabförmigen Festkörper-Lasermediums (1c), welche an einer Endposition angeordnet ist, um ungefähr die halbe Distanz entfernt angeordnet ist, um welche die stabförmigen Festkörper-Lasermedien (1a, 1b und 1c) jeweils voneinander entfernt beabstandet sind, ein teilreflektierender Spiegel, welcher aus einem ebenen Spiegel ausgebildet ist, an der ungefähren Mittelposition zwischen zwei beliebigen benachbarten (1b und 1c) der stabförmigen Festkörper-Lasermedien (1a, 1b und 1c) angeordnet ist, wodurch ein optischer Resonator aufgebaut ist, welcher durch den gesamtreflektierenden Spiegel (3) und den teilreflektierenden Spiegel (2) bestimmt ist, wobei ein aus dem optischen Resonator emittierter Laserstrahl durch die stabförmigen Festkörper-Lasermedien (1a und 1b), welche als Verstärker verwendet werden, welche sich vom stabförmigen Festkörper-Lasermedium (1c), welcher für den optischen Resonator verwendet wird, unterscheiden, und mittels einer Relais-Linse (6) und einer Kopplungs-Linse (7) verstärkt wird, wobei der Laserstrahl so erstellt ist, um in eine optische Faser (8) einzutreten, dadurch gekennzeichnet, dass ein virtueller teilreflektierender Spiegel (2') an einer Position angenommen wird, welche von der Endfläche der emittierenden Seite (102) des stabförmigen Festkörper-Lasermediums (1a), welche sich am emittierenden Ende des Laserstrahls befindet, um ungefähr die halbe Distanz entfernt ist, um welche die stabförmigen Festkörper-Lasermedien (1a, 1b und 1c) jeweils voneinander beabstandet sind, eine erste Referenzebene an einer beliebigen Position zwischen der Endfläche (102) des stabförmigen Festkörper-Lasermediums (1), welches nahe dem teilreflektierenden Spiegel (2) angeordnet ist, welche dem teilreflektierenden Spiegel (2) gegenüberliegt, und dem Mittelpunkt (101) des stabförmigen Festkörper-Lasermediums (1) gesetzt ist, eine zweite Referenzebene an einer Position gesetzt ist, welche zur ersten Referenzebene mit Bezug auf den virtuellen teilreflektierenden Spiegel (2') optisch symmetrisch ist, wobei die Relais-Linse (6) an einer Position angeordnet ist, an welcher die Relais-Linse die erste Referenzebene auf eine erste Bildebene (10) überführt und die zweite Referenzebene auf die Kopplungs-Linse (7) überführt, und wobei die Kopplungs-Linse (7) an einer Position angeordnet ist, an welcher die Kopplungs-Linse (7) die erste Bildebene (10) auf die Endfläche von der optischen Faser (81) überführt.

16. Stabförmiges Festkörper-Lasersystem nach Anspruch 15, bei welchem eine dünnwandige Linse (**91**) angenommen wird, welche optisch äquivalent zu einer thermischen Linse ist, welche an einer Position zwischen der Endfläche (**102**) des stabförmigen Festkörper-Lasermediums (**1a**), welches nahe dem virtuellen teilreflektierenden Spiegel (**2'**) angeordnet ist, welche dem virtuellen teilreflektierenden Spiegel (**2'**) gegenüberliegt, und dem Mittelpunkt des stabförmigen Festkörper-Lasermediums ausgebildet ist, und wobei die erste Referenzebene an die Position von der Hauptebene der angenommenen dünnwandigen Linse (**91**) gesetzt ist.

17. Stabförmiges Festkörper-Lasersystem nach Anspruch 15, bei welchem die erste Referenzebene auf die Endfläche (**102**) des stabförmigen Festkörper-Lasermediums (**1a**), welches nahe dem virtuellen teilreflektierenden Spiegel (**2'**) angeordnet ist, gesetzt ist, welche dem virtuellen teilreflektierenden Spiegel (**2'**) gegenüberliegt.

18. Stabförmiges Festkörper-Lasersystem nach einem der Ansprüche 15 bis 17, bei welchem eine Apertur (**5**) an der Position von der zweiten Referenzebene angeordnet ist.

19. Stabförmiges Festkörper-Lasersystem nach Anspruch 18, nach welchem der Öffnungsdurchmesser von der Apertur (**5**) ungefähr gleich dem Durchmesser des stabförmigen Festkörper-Lasermediums (**1a**) ist.

20. Stabförmiges Festkörper-Lasersystem, bei welchem stabförmige Festkörper-Lasermedien (**1a**, **1b** und **1c**) jeweils gleichförmig voneinander beabstandet bereitgestellt sind, ein gesamtreflektierender Spiegel (**3**), welcher aus einem ebenen Spiegel ausgebildet ist, an einer Position angeordnet ist, welche von der äußeren Endfläche des stabförmigen Festkörper-Lasermediums (**1c**), welche an einer Endposition angeordnet ist, um ungefähr die halbe Distanz entfernt angeordnet ist, um welche die stabförmigen Festkörper-Lasermedien (**1a**, **1b** und **1c**) jeweils voneinander entfernt beabstandet sind, ein teilreflektierender Spiegel, welcher aus einem ebenen Spiegel ausgebildet ist, an der ungefähren Mittelposition zwischen zwei beliebigen benachbarten (**1b** und **1c**) der stabförmigen Festkörper-Lasermedien (**1a**, **1b** und **1c**) angeordnet ist, wodurch ein optischer Resonator aufgebaut ist, welcher durch den gesamtreflektierenden Spiegel (**3**) und den teilreflektierenden Spiegel (**2**) bestimmt ist, wobei ein aus dem optischen Resonator emittierter Laserstrahl durch die stabförmigen Festkörper-Lasermedien (**1a** und **1b**), welche als Verstärker verwendet werden, welche sich vom stabförmigen Festkörper-Lasermedium (**1c**), welches für den optischen Resonator verwendet wird, unterscheiden, und mittels einer Relais-Linse (**6**) und einer Kopplungs-Linse (**7**) verstärkt wird, wobei der Laserstrahl so erstellt ist, um in eine optische Faser (**8**) einzutreten, dadurch gekennzeichnet, dass ein virtueller teilreflektierender Spiegel (**2'**) an einer Position angenommen wird, welche von der Endfläche der emittierenden Seite (**102**) des stabförmigen Festkörper-Lasermediums (**1a**), welche sich am emittierenden Ende des Laserstrahls befindet, um ungefähr die halbe Distanz entfernt ist, um welche die stabförmigen Festkörper-Lasermedien (**1a**, **1b** und **1c**) jeweils voneinander beabstandet sind, eine erste Referenzebene an einer Position zwischen dem virtuellen teilreflektierenden Spiegel (**2'**) und dem Mittelpunkt (**101**) des stabförmigen Festkörper-Lasermediums (**1a**), welches nahe dem virtuellen teilreflektierenden Spiegel (**2'**) angeordnet ist, an welchem der Durchmesser eines Laserstrahls konstant ist, und zwar unabhängig vom Zustand der thermischen Linse des stabförmigen Festkörper-Lasermediums (**1a**), gesetzt ist, eine zweite Referenzebene an einer Position gesetzt ist, welche zur ersten Referenzebene mit Bezug auf den virtuellen teilreflektierenden Spiegel (**2'**) optisch symmetrisch ist, wobei die Relais-Linse (**6**) an einer Position angeordnet ist, an welcher die Relais-Linse die erste Referenzebene auf eine erste Bildebene (**10**) überführt und die zweite Referenzebene auf die Kopplungs-Linse (**7**) überführt, und wobei die Kopplungs-Linse (**7**) an einer Position angeordnet ist, an welcher die Kopplungs-Linse (**7**) die erste Bildebene (**10**) auf die Endfläche (**81**) von der optischen Faser (**8**) überführt.

21. Stabförmiges Festkörper-Lasersystem nach Anspruch 20, bei welchem eine innere Apertur (**11**) zum Begrenzen des Durchmessers eines Laserstrahls an einer Position zwischen dem stabförmigen Festkörper-Lasermedium (**1c**) im optischen Resonator, welches nahe dem teilreflektierenden Spiegel (**2**) angeordnet ist, und dem teilreflektierenden Spiegel (**2**) bereitgestellt ist, und wobei die erste Referenzebene an einer Position gesetzt ist, welche zum stabförmigen Festkörper-Lasermedium (**1a**) hin vom virtuellen teilreflektierenden Spiegel (**2'**) um die gleiche Distanz entfernt ist, wie jene zwischen der inneren Apertur (**11**) und dem teilreflektierenden Spiegel (**2**).

22. Stabförmiges Festkörper-Lasersystem nach Anspruch 20, bei welchem eine innere Apertur (**11**) zum Begrenzen des Durchmessers eines Laserstrahls an einer Position zwischen dem stabförmigen Festkörper-Lasermedium (**1c**) im optischen Resonator, welches nahe dem gesamtreflektierenden Spiegel (**3**) angeordnet ist, und dem gesamtreflektierenden Spiegel (**3**) bereitgestellt ist, und wobei die erste Referenzebene an einer Position gesetzt ist, welche zum stabförmigen Festkörper-Lasermedium (**1a**) hin vom virtuellen teilreflektierenden Spiegel (**2'**) um die gleiche Distanz entfernt ist, wie jene zwischen der inneren Apertur (**11**) und dem

gesamtreflektierenden Spiegel (3).

23. Stabförmiges Festkörper-Lasersystem nach einem der Ansprüche 20 bis 22, bei welchem eine Apertur (5) an der Position der zweiten Referenzebene angeordnet ist.

24. Stabförmiges Festkörper-Lasersystem nach Anspruch 23, bei welchem der Öffnungsdurchmesser von der Apertur (5) ungefähr gleich dem Öffnungsdurchmesser von der inneren Apertur (11) ist.

Es folgen 8 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

Fig.1

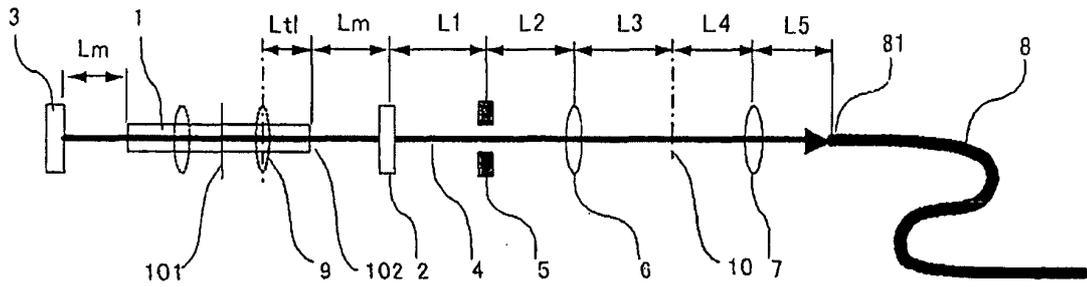


Fig.2

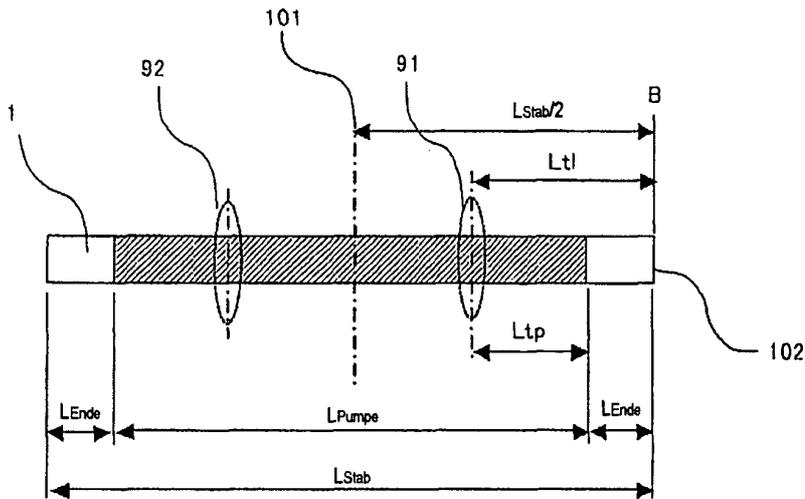


Fig.3

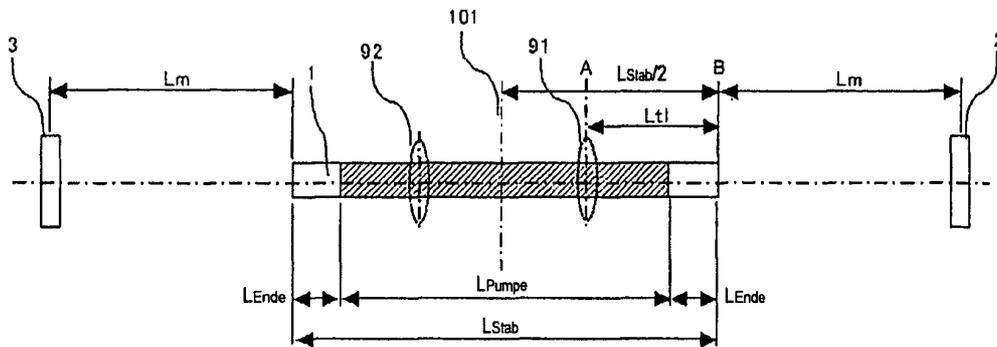


Fig.4

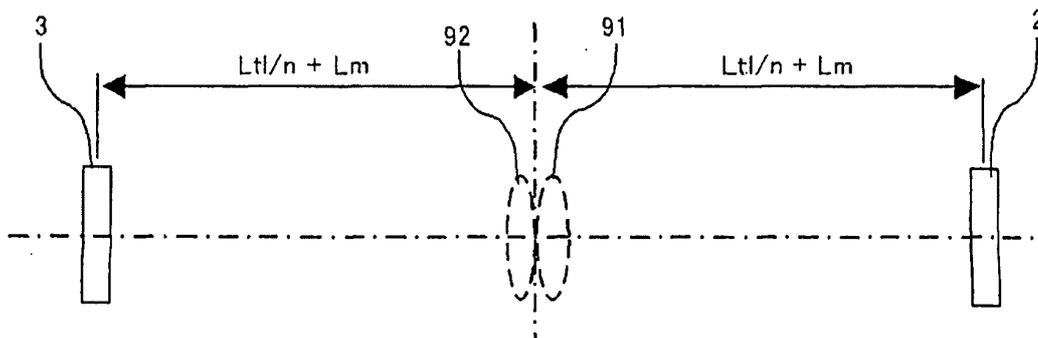


Fig.8

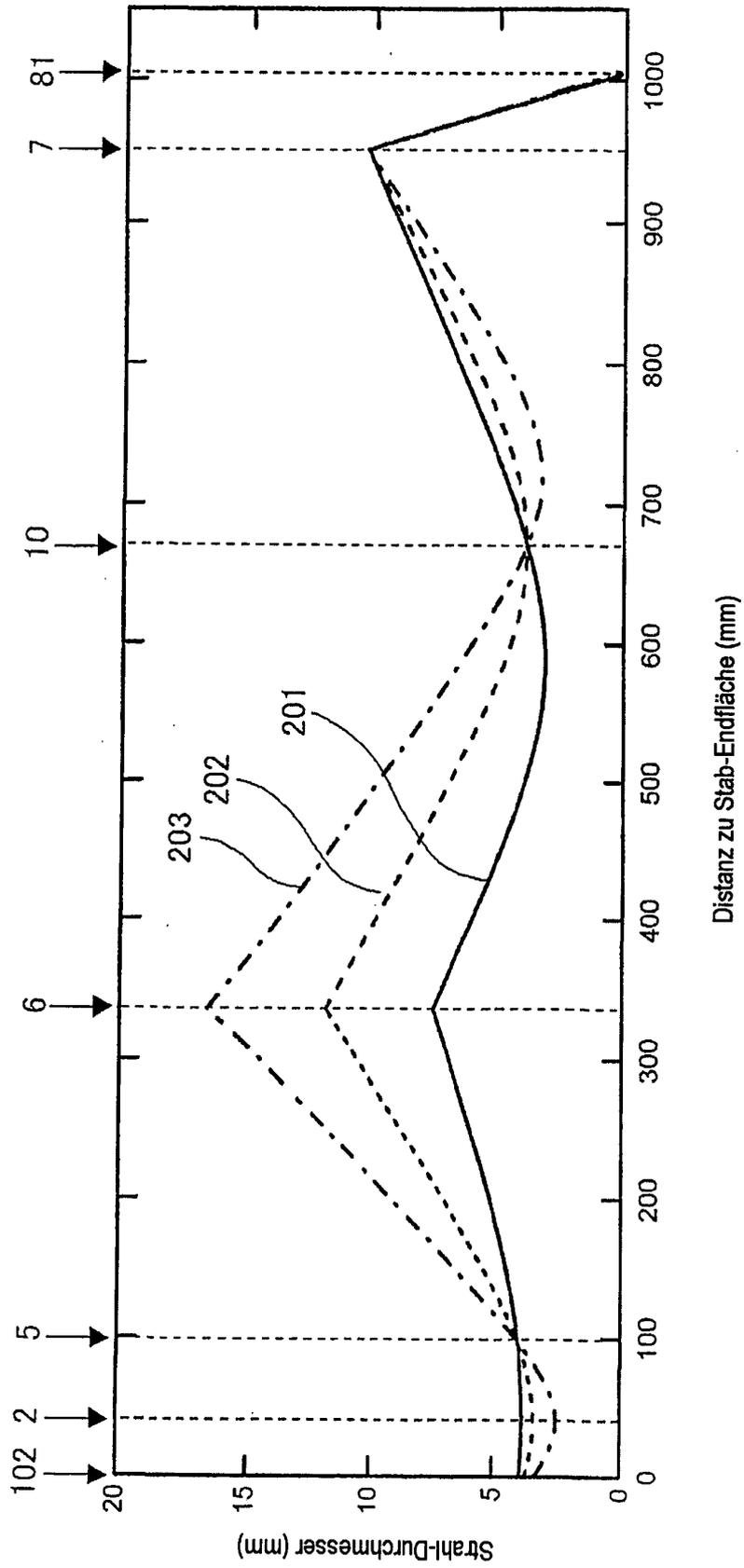


Fig.9

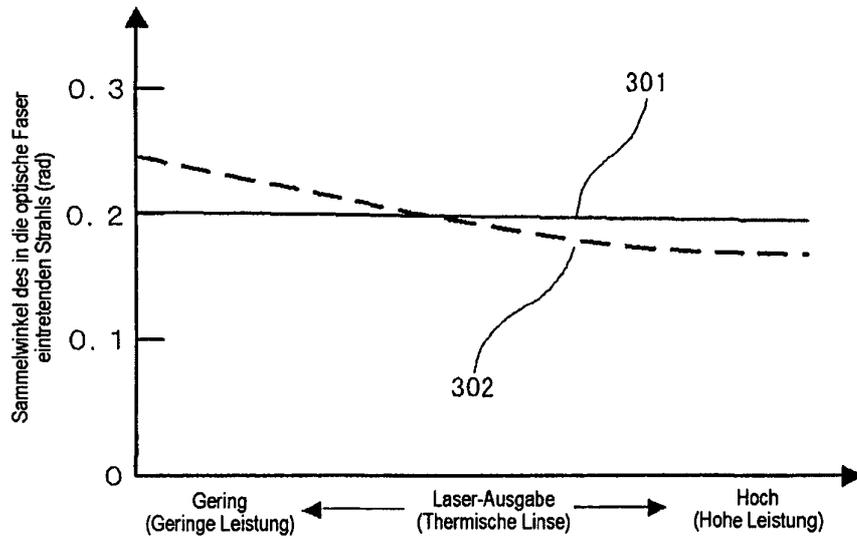


Fig.10

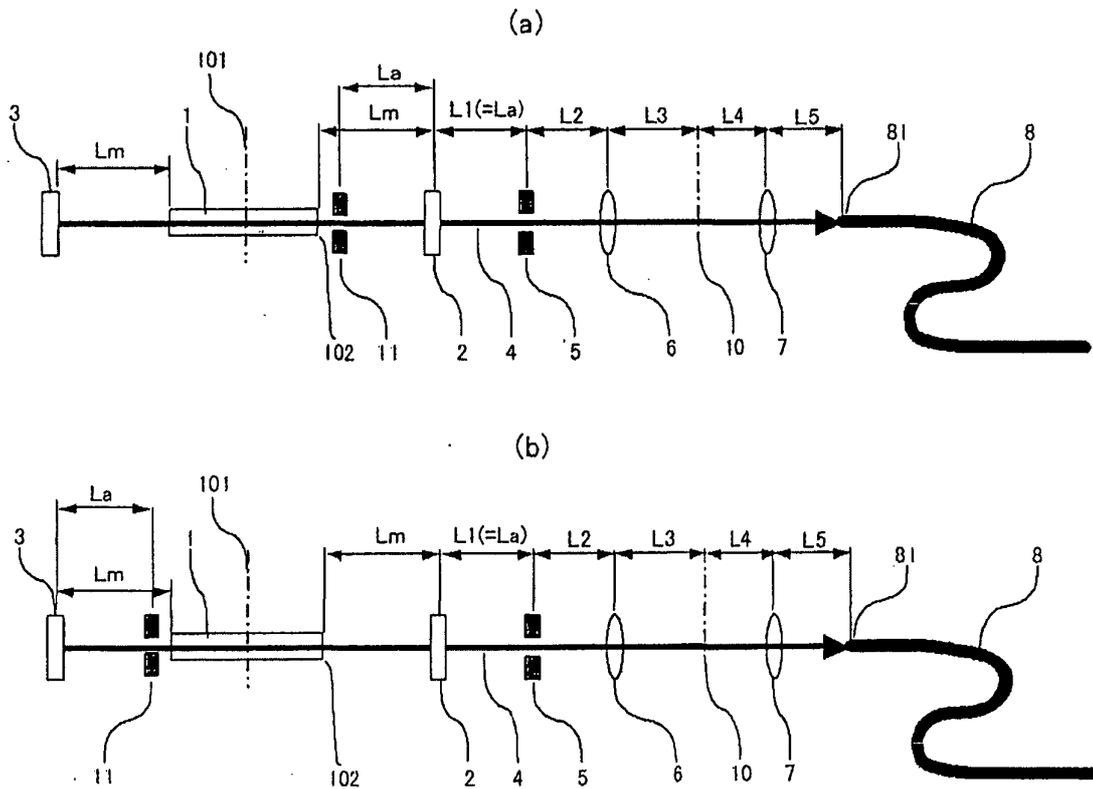


Fig.11

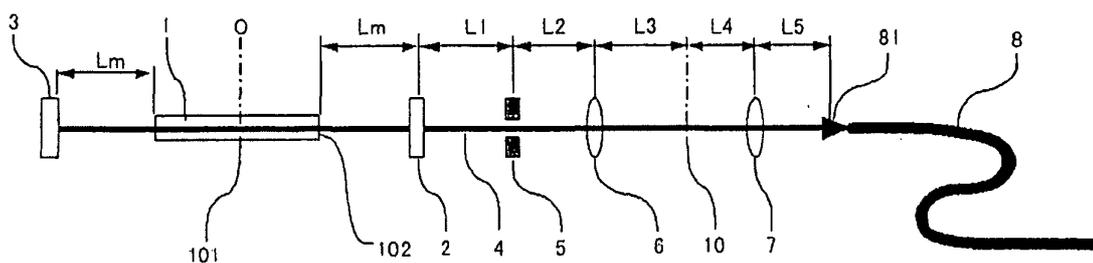


Fig.12

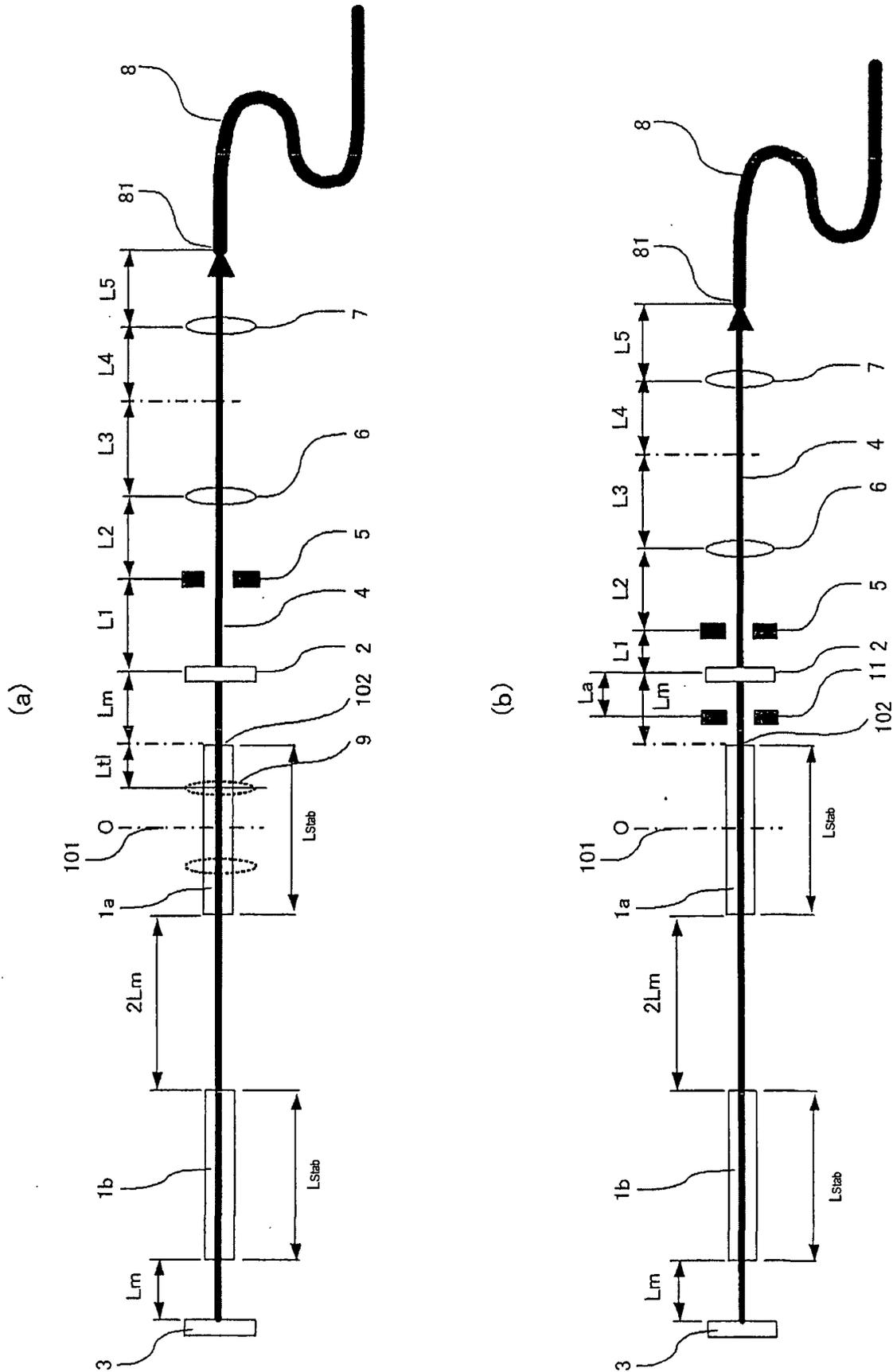


Fig.13

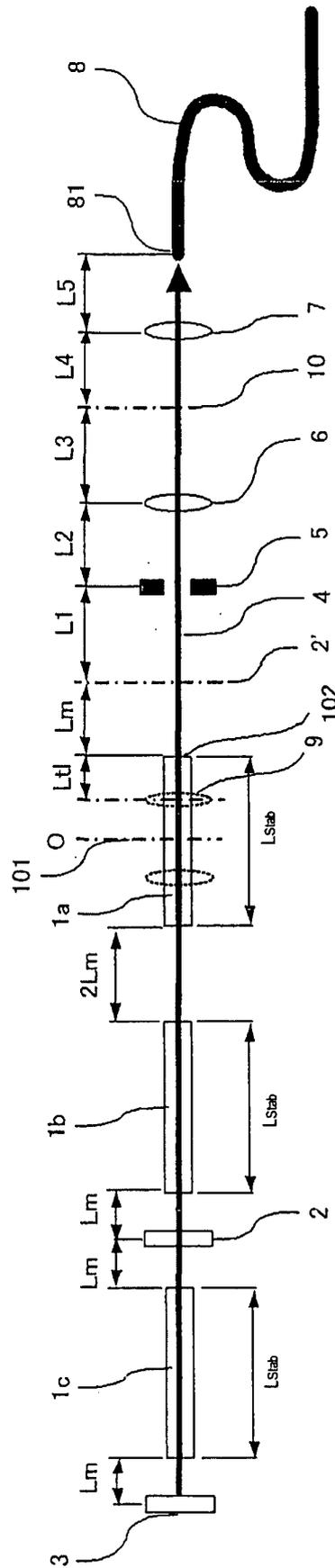


Fig.15

