



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 600 04 237 T2 2004.04.15**

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 194 804 B1**

(51) Int Cl.7: **G02B 27/00**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **600 04 237.5**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/EP00/05203**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **00 940 330.4**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 00/77890**

(86) PCT-Anmeldetag: **07.06.2000**

(87) Veröffentlichungstag  
der PCT-Anmeldung: **21.12.2000**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **10.04.2002**

(97) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung beim EPA: **30.07.2003**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **15.04.2004**

(30) Unionspriorität:  
**138895 P 11.06.1999 US**

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**AT, CH, DE, FR, GB, LI**

(73) Patentinhaber:  
**Kopf, Daniel Dr., Röthis, AT**

(72) Erfinder:  
**Kopf, Daniel Dr., 6832 Röthis, AT**

(74) Vertreter:  
**Becker, Kurig, Straus, 80336 München**

(54) Bezeichnung: **LASER-Generatorsystem**

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

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

## Beschreibung

[0001] Gebiet der Erfindung: Diese Erfindung bezieht sich auf das Gebiet von Optik und Lasern, wo der Laserstrahl durch ein optisches Material hindurchgeht oder von der Oberfläche eines optischen Materials reflektiert wird, das am Licht von begrenzter Haltbarkeit ist.

[0002] Diese Erfindung bezieht sich weiter auf einstellbare optische Mittel oder Organe.

[0003] Hintergrund der Erfindung: Optische Festkörpermaterialien wie zum Beispiel Festkörper-Lasermaterialien oder nichtlineare optische Materialien sind gewöhnlich aus verschiedenen Gründen interessant. Sie können zum Beispiel eine geringe Grösse besitzen, hohe Punktintensitäten vertragen, in grossen Mengen gefertigt werden und sind leicht zu handhaben, weil sie (im Vergleich zum Beispiel zu flüssigen Farbstoffen oder Gasen) fest sind. In einigen Fällen haben diese Materialien aber keine ausgedehnte Lebensdauer, wenn sie einer bestimmten Lichtintensität ausgesetzt sind. Dies kann zum Beispiel eintreten, wenn ein nichtlinearer Kristall für die Frequenzkonversion von Laserlicht eingesetzt wird, wobei der Laserstrahl gewöhnlich auf einen kleinen Fleck fokussiert wird oder hohe Spitzenleistungen aufweist. In ähnlicher Weise können Halbleiter langfristig Degradationserscheinungen zeigen, die die Verwendungsdauer von Halbleitermaterialien begrenzen können, wenn sie einer bestimmten Intensität an einem Punkt ausgesetzt sind. Jegliche Art von weiteren optischen Elementen kann unter ähnlichen Erscheinungen leiden. Es ist das Ziel dieser Erfindung, nicht nur das Material an einem bestimmten Punkt des Materials, sondern das gesamte verfügbare Material bzw. einen wesentlichen Teil davon zu verbrauchen. Anstatt das Material quer zum einfallenden Lichtstrahl zu bewegen und dadurch den Lichtfleck zu einer anderen Stelle innerhalb des Materials zu bewegen, wird hier ein sehr einfaches Verfahren beschrieben, den Fleck über das Material zu bewegen; mit diesem Verfahren ist es möglich, verschiedene Punkte auf dem Material zu verwenden.

[0004] Was die einstellbaren optischen Mittel betrifft, so besteht das Ziel darin, einfache, leicht zu fertigende und leicht zu verwendende, einstellbare optische Mittel zu schaffen. Von besonderem Interesse sind einstellbare optische Mittel mit Laserspiegeln, die preiswert sind und ein Minimum von Einstellmitteln verwenden, dabei aber noch einen bestimmten Grad von Einstellbarkeit zulassen.

### Stand der Technik

[0005] Nichtlineare Optik: Viele nichtlineare optische Kristalle, die zur Frequenzkonversion verwendet werden, haben eine begrenzte Verwendbarkeit, wenn sie Licht einer bestimmten Intensität ausgesetzt werden.

[0006] Zum Beispiel wurde berichtet, dass der gut

bekannte Kristall Kaliumtitanylphosphat ( $\text{KTiOPO}_4$ , KTP) langfristig Degradationserscheinungen erleidet, die alle noch Gegenstand von Untersuchungen sind und wovon eine „grey tracking“ genannt worden ist. Im Handel verwenden viele Laserquellen auf Neodymbasis, die durch Erzeugung der zweiten Harmonischen ins Grüne konvertiert werden, KTP als den Verdopplungskristall, und zwar sowohl innerhalb als auch ausserhalb des Resonators, und haben wegen der Degradationseigenschaften der KTP-Kristalle am Licht eine begrenzte Langzeit-Betriebsdauer. Langzeitliche Degradation ist oft auch für nichtlineare Kristalle berichtet worden, die benutzt werden, um (Laser-)Licht ins Ultraviolette zu konvertieren. Zum Beispiel ist Bariumbetaborat, als BBO bekannt, für diese Anwendung gut bekannt, aber über Zeitdauern in der Grössenordnung von 100 oder 1000 Stunden hat es langzeitliche Degradationserscheinungen gezeigt. In einigen Fällen wurde das Problem gelöst, indem der Kristall quer zum einfallenden Strahl bewegt wurde, was dazu führt, dass ein anderer Fleck „verbraucht“ wird. Der Nachteil besteht aber darin, dass gewöhnlich der Kristall bewegt werden muss, während sein Ausrichtungswinkel mit sehr hoher Genauigkeit aufrechterhalten werden muss, um die optimale Frequenzkonversionsleistung zu gewährleisten. Oft müssen dazu verhältnismässig kostspielige Verschiebetische verwendet werden.

[0007] Halbleitermaterialien und -oberflächen: Halbleiter haben gewöhnlich eine niedrigere Schwelle für optische Schäden als andere optische Festkörpermaterialien wie Laserkristalle oder optische Gläser. Die begrenzte Lebensdauer von Laserdioden ist ebenfalls wohlbekannt, sie ist auf Degradationserscheinungen im Volumen und an der Oberfläche zurückzuführen und zeigt wiederum, dass das Problem einer langzeitlichen Degradation in Halbleitern spürbar wird. Halbleitermaterialien werden auch zur Erzeugung ultrakurzer Impulse durch Laser und insbesondere Festkörperlaser verwendet. Solche Vorrichtungen sind zum Beispiel die SESAMs (sättigbare Halbleiter-Absorberspiegel), für die gefunden wurde, dass sie Impulse bei verschiedenen Wellenlängen in einer Vielfalt von Lasersystemen erzeugen können. In einigen Veröffentlichungen wurde darauf hingewiesen, dass ihre Lebensdauer begrenzt ist und dass eine optische Degradation an der dem Laserstrahl ausgesetzten Stelle eintritt. Wiederum würde eine Querverschiebung des SESAMs zu einer anderen Position, an der ein „frischer“, unverbrauchter Punkt verwendet wird, die Laserlebensdauer um einen Faktor erhöhen, der der Anzahl von Malen entspricht, die der SESAM verschoben werden kann. Jedoch sind Verschiebetische, die zu diesem Zweck verwendet werden, kostspielig und ziemlich gross bzw. müssen ziemlich oft ersetzt werden.

[0008] Lineare und andere optische Materialien: Abgesehen von den oben aufgezählten Materialien treten je nach dem Materialtyp, der Einfallswinkel und/oder der Spitzenintensität, der Temperatur des Materials,

der einfallenden Wellenlänge usw. ähnliche Degradationserscheinungen auch in allen anderen Arten von optischen Materialien auf. Zum Beispiel neigen ultraviolette Wellenlängen dazu, viele optische Materialien mit der Zeit zu schädigen, wenn sie eine bestimmte Intensität erreichen. Auch in diesen Fällen war die bisher angebotene Lösung gewöhnlich der Ersatz des Materials nach seinem Verbrauch bzw. die Querverschiebung.

[0009] Spiegelhalter und optische Halter: Die am meisten verwendeten Spiegelhalter benötigen immer noch für jede einstellbare Achse eine Einstellschraube. Zusätzlich ist eine Feststellschraube erforderlich, um den eingestellten Spiegel an Ort und Stelle zu halten. Des Weiteren müssen solche normalen Spiegelhalter mit einer Befestigungsschraube auf der optischen Plattform oder an einem Stativ befestigt werden. Spiegelhalter dieses Typs finden sich im Angebot der meisten Händler optomechanischer Komponenten. Die Anzahl der Schrauben, die nötig sind, um die Freiheit zu erlangen, alle nötigen Einstellungen durchführen zu können, führt aber zu erhöhten Kosten, komplizierteren Montageverfahren und einer grösseren Gefahr des Versagens im Langzeitbetrieb. Daher wäre ein einstellbares optisches Mittel mit einem Spiegelhalter erforderlich, bei dem ein Minimum an Schrauben und Einstellmitteln eingesetzt wird, die eine Einstellung innerhalb eines bestimmten Bereichs ermöglichen, ehe alle Schrauben festgezogen werden.

#### Zusammenfassung der Erfindung

[0010] Die Erfindung bezieht sich auf das Gebiet von Optik und Lasern, wo der Laserstrahl durch ein Material hindurchgeht oder von der Oberfläche eines Materials reflektiert wird, das am Licht von begrenzter Haltbarkeit ist. Um die oben beschriebenen Probleme zu lösen, beschreibt die Erfindung eine einfache Methode, mit der der Lichtpunkt über das Material bewegt wird, wodurch die Lebensdauer des Lasers oder optischen Systems erhöht wird, da mehr als nur ein einzelner Punkt des gleichen Materials verwendet wird. Diese Methode kann in Verbindung mit Materialien verwendet werden, die innerhalb wie auch ausserhalb eines Laserresonators eingesetzt werden, bzw. allgemein in allen Anwendungen, in denen Licht hoher Intensität auf einen Teil eines optischen Materials trifft.

[0011] Des Weiteren bezieht sich diese Erfindung auf einstellbare optische Mittel mit optischen Komponenten. Ein einstellbares optisches Mittel wird beschrieben, das zugleich einfach und stabil ist. Für ein solches einstellbares optisches Mittel wird nur ein Minimum an Schrauben verwendet, zum Beispiel eine Feststellschraube und eine Befestigungsschraube, aber keine Einstellschraube. Dennoch ermöglicht das einstellbare optische Mittel eine Einstellung sowohl des vertikalen als auch des horizontalen Winkels der optischen Komponente innerhalb eines be-

stimmten Bereichs. Die einstellbaren optischen Mittel beruhen auf einer Stütztechnik mit Doppel-V-Rillen, die die optische Komponente ohne Beeinträchtigung durch Fertigungstoleranzen auf eine vorbestimmte Art und Weise an Ort und Stelle halten.

#### Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0012] **Fig. 1** zeigt das Prinzipschema der Erfindung;

[0013] **Fig. 2a** zeigt eine Möglichkeit, das Schema der **Fig. 1** für die Frequenzkonversion zu verwenden;

[0014] **Fig. 2b $\alpha$ , 2b $\beta$  und 2b $\gamma$**  zeigen den Aufbau der **Fig. 2a** in einer mehr verallgemeinerten Form;

[0015] **Fig. 3** zeigt die Fortpflanzung des frequenzkonvertierten Strahls und des Fundamentalstrahls innerhalb des nichtlinearen optischen Materials;

[0016] **Fig. 4a, 4b und 4c** zeigen das Prinzip eines erfindungsgemässen optischen Halters, wobei **Fig. 4a** eine Vorderansicht, **Fig. 4b** eine Querschnittsansicht senkrecht zu **Fig. 4a** und **Fig. 4c** eine Draufsicht zeigt; **Fig. 4d** ist eine **Fig. 4a** entsprechende, alternative Ausführungsform;

[0017] **Fig. 5a, 5b und 5c** zeigen in Übereinstimmung mit **Fig. 4a, 4b und 4c** eine alternative Ausführungsform für ein einstellbares optisches Mittel, und

[0018] **Fig. 6a, 6b und 6c** zeigen in Übereinstimmung mit **Fig. 4a, 4b und 4c** eine dritte Alternative für ein einstellbares optisches Mittel.

#### Beschreibung der Erfindung

[0019] Aus **Fig. 1** ist das Schema dieser Erfindung ersichtlich. Hier wird ein reflektierendes optisches Material **1** verwendet, das einfallendem Licht ausgesetzt wird, das durch eine Linse **2** abgebildet oder fokussiert wird. Wenn ein einfallender Strahl **3** gebündelt wird, ehe er die Linse **2** erreicht, so fokussiert die Linse **2** den einfallenden Strahl (je nach dem Grad der Bündelung) ungefähr auf einen Punkt **4** auf dem optischen Material **1**, wobei das optische Material **1** ungefähr an einer Stelle angeordnet ist, die sich in einem Abstand von der Linse **2** befindet, der der Brennweite  $f$  entspricht. Wenn ein reflektierender Spiegel **M1** in einem Abstand, der etwa der Brennweite  $f$  der Linse **2** entspricht, vor diese Linse gestellt wird, dann kann der Punkt **4** auf dem optischen (Laser-) Material **1** einfach dadurch verschoben werden, indem der Winkel des reflektierenden Spiegels **M1** eingestellt wird. Wenn **M1** sich in einem Abstand von der Linse befindet, der genau dem Wert von  $f$  entspricht, dann verändert sich der Winkel der Fortpflanzungsachse **5** des Strahls hinter der Linse **2** (und vor dem optischen Material **1**) gar nicht. Daher bewirkt jegliche Veränderung des Winkels des Spiegels **M1** eine direkte Veränderung der Lage des Lichtflecks **4** auf dem optischen Material **1**, ohne die relative Lage der Fortpflanzungsachse **5** des Strahls zu beeinflussen. Es erhellt, dass die Fertigungstoleranzen für den Spiegel **M1** unkritisch sind, da die relative Lage der Fort-

pflanzungsachse **5** des Strahls unverändert bleibt.

[0020] Das in **Fig. 1** gezeigte Schema kann zum Beispiel innerhalb eines Laserresonators verwendet werden, also „intra cavity“. In einem Stehwellen-Laserresonator kann das Schema der **Fig. 1** das eine Ende des Resonators sein, in welchem Falle das optische Material **1** bevorzugt so eingestellt wird, dass es den Strahl auf sich selbst reflektiert (zurückreflektierter Strahl **6**), was der Laserbedingung entspricht. In einer linearen oder Ringresonatorconfiguration braucht alternativ die Fortpflanzungsachse nicht notwendigerweise senkrecht zur reflektierenden Oberfläche des optischen Materials zu sein. Das Schema der **Fig. 1** kann innerhalb eines Laserresonators in Verbindung mit einem sättigbaren Halbleiter-Absorberspiegel (semiconductor saturable absorber mirror: SESAM) als dem optischen Material verwendet werden (siehe „Semiconductor Saturable Absorber Mirrors (SESAMs) for Femtosecond to Nanosecond Pulse Generation in Solid-State Lasers“ [Sättigbare Halbleiter-Absorberspiegel für die Erzeugung von Femto- bis Nanosekunden-Impulsen in Festkörperlasern], U. Keller, K. Weingarten, F. X. Kärtner, D. Kopf, B. Braun, I. Jung, R. Fluck, C. Hönniger, N. Matschek, J. Aus der Au, IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics, Band 2, Nr. 3, Seiten 435 ff. (1996)). Jegliche Degradationserscheinung, die nach einer gewissen Zeit an einem bestimmten Punkt auftritt, kann umgangen werden, indem der Spiegel M1 geneigt wird und man sich dadurch zu einem anderen Punkt bewegt. Diese Einstellung des Spiegels M1 beeinträchtigt nicht bzw. nicht wesentlich die Laserausrichtung, da die Laserbedingung weiter erfüllt ist (Zurückreflexion auf sich selbst). Daher besitzt der Spiegel M1 die spezielle Eigenschaft, nicht die Laserausrichtung, sondern nur die Lage des Punktes auf dem optischen Material oder dem SESAM zu beeinflussen. Beim Vorliegen einer genügend grossen SESAM-Fläche kann dies zu einer wesentlichen Verbesserung des SESAMs und somit der Lebensdauer des Lasersystems führen.

[0021] **Fig. 2a** zeigt eine Möglichkeit, das in **Fig. 1** beschriebene Schema für eine Frequenzkonversion zu verwenden, und zwar in Verbindung mit einem nichtlinearen Kristall **1a**, der als ein Beispiel des optischen Materials in die Nähe des Brennpunktes  $f$  der Linse **2** gebracht ist, auf den der einfallende Strahl **3** fokussiert wird. In diesem Falle geht der einfallende Strahl **3** durch den nichtlinearen Kristall **1a** hindurch und wird auf sich selbst zurückreflektiert, zum Beispiel durch eine reflektierende Oberfläche **7**, die sich an der Rückseite des nichtlinearen Kristalls **1a** (wie in **Fig. 2a**) oder weiter entfernt (nicht gezeigt) befinden kann. Die Ausrichtung des nichtlinearen Kristalls **1a**, sein Schnitt und seine Länge können mit den in der nichtlinearen Optikliteratur wohl bekannten Standardregeln festgelegt werden. Bei gegebenen Parametern des einfallenden Strahles **3** und der Brennweite  $f$  der Linse **2** können die Strahlenparameter am Kristall unter Verwendung von Berechnungsformeln

bestimmt werden, die standardmässig sind und die von Nutzen sind, um die Kristallparameter zu bestimmen, mit denen eine optimale Frequenzumsetzung erhalten wird, wie in der nichtlinearen Optikliteratur beschrieben. Dem Schema der **Fig. 2a** zufolge läuft der frequenzkonvertierte Strahl **8** entlang der gleichen Achse wie der einfallende Strahl **3** zurück, nachdem er den Spiegel M1 passiert hat. Dann können die beiden Strahlen voneinander getrennt werden, indem zum Beispiel ein dichroitischer Spiegel **9** oder ein polarisierender Strahlenteiler verwendet wird. Das Schema hat wiederum den Vorteil, dass ungeachtet der Neigung des Spiegels M1 und somit ungeachtet der Lage des verwendeten Punktes **4** auf dem optischen Material **1** bzw. **1a** der zurückreflektierte Strahl **6** (bzw. der frequenzkonvertierte Strahl **8**) auf der Achse verbleibt und seine Eigenschaften, zum Beispiel sein Strahlenprofil, sich insgesamt nicht ändern. Wenn aber für die beiden Strahlen nicht die gleiche Achse gewählt wird, können andere Mittel dazu dienen, sie voneinander zu trennen, zum Beispiel eine Spiegelkante.

[0022] Ein verallgemeinerter Aufbau ist in **Fig. 2b** zu sehen, wo die Einzellinse **2** der **Fig. 2a** durch ein allgemeines optisches Abbildungssystem ersetzt wurde, das durch eine Matrix ABCD beschrieben wird (siehe Siegman, „Lasers“, University Science Books, Seiten 581 ff.). Die Formelrechnung mit ABCD-Matrizen kennt man sowohl in der Strahlenoptik als auch in der paraxialen Optik, sie wird benutzt, um die Abbildung von Strahlen und von paraxialen Strahlenbündeln zu berechnen.

[0023] In einer ersten Näherung wird die ABCD-Matrix für die Abbildung von Strahlen durch das optische System verwendet. Mit den Formeln der ABCD-Matrizen kann allgemein jeder optische Strahl  $(r, r')$  abgebildet werden, wo  $r$  die Versetzung gegenüber der optischen Achse und  $r'$  den Winkel des Strahlenbündels bedeutet. Nach Durchgang durch das mit der ABCD-Matrix

$$\begin{pmatrix} AB \\ CD \end{pmatrix}$$

(siehe auch **Fig. 1**) beschriebene optische System ändern sich die Versetzung und der Winkel des optischen Strahls, wie durch einfache Matrixberechnungen zu berechnen:

$$\begin{pmatrix} R \\ R' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} AB \\ CD \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} r \\ r' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Ar + Br' \\ Cr + Dr' \end{pmatrix}$$

[0024] Dies wird benutzt, um den Weg von verschiedenen Strahlen zu berechnen, die von dem gleichen Punkt des in seinem Winkel einstellbaren Spiegels M1 der **Fig. 2a** oder **Fig. 2b** ausgehen. Diese Strahlen liegen alle auf der Achse und daher  $r = 0$ . Die verschiedenen Winkel werden durch entsprechende, verschiedene Werte für  $r'$  berücksichtigt. Auf den in

seinem Winkel einstellbaren Spiegel M1 folgt das durch die ABCD-Matrix beschriebene optische System. Die sich ergebenden, heraustretenden Strahlenbündel sollten nun alle parallel zur optischen Achse sein, wenn  $R' = 0$ , was zu der Bedingung von  $Cr + Dr' = 0$  führt. Dies sollte für alle  $r'$  gelten. Wenn man berücksichtigt, dass  $r = 0$ , dann führt dies zu der Bedingung, dass  $D = 0$ . Verallgemeinert ausgedrückt, führt jedes durch eine ABCD-Matrix mit  $D = 0$  beschriebene optische System zu Strahlenbündelwegen, die den in **Fig. 2a** beschriebenen analog sind.

[0025] In einer zweiten Näherung wird die ABCD-Matrix verwendet, um die Grösse des Laserpunktes **4b** am Ort des ersten Kristalls **1b** zu berechnen. Nach den in „Lasers“ von Siegman gegebenen Regeln kann der auf den in seinem Winkel einstellbaren Spiegel M1 fallende Laserstrahl anstelle der Parameter ( $r, r'$ ) mit den verallgemeinerten Parametern ( $p, q$ ) beschrieben werden. Mit diesen Laserstrahlparametern kann die gleiche ABCD-Matrix nunmehr verwendet werden, um die Grösse des Laserpunktes **4b** auf dem Kristall **1b** zu bestimmen. Da  $D = 0$  bereits festgelegt ist, können die anderen Parameter, also A, B und C, so gewählt werden, dass eine vorbestimmte Punktgrösse auf dem Kristall **1b** erhalten wird.

[0026] In den **Fig. 2b** alpha, beta und gamma werden verschiedene mögliche Schemata gezeigt, die bei Befolgung der oben gegebenen Richtlinien erhalten werden. **Fig. 2b** Beta zeigt ein Beispiel, wie zwei in Reihe befindliche Kristalle durch den Laserstrahl beleuchtet werden können, der zuerst den in seinem Winkel einstellbaren Spiegel passiert, dann ein erstes optisches System, das durch

$$\begin{pmatrix} A1B1 \\ C1D1 \end{pmatrix}$$

beschrieben wird, danach den ersten Kristall **1b**, dem ein zweites optisches Abbildungssystem

$$\begin{pmatrix} A2B2 \\ C2D2 \end{pmatrix}$$

und dann der zweite Kristall **1c** folgen. In diesem Falle sind die Bedingungen für das zweite optische Abbildungssystem

$$\begin{pmatrix} A2B2 \\ C2D2 \end{pmatrix}$$

anders, weil das Ziel darin besteht zu gewährleisten, dass parallele Strahlen, die in das System eintreten, auch wieder als parallele Strahlen herauskommen. Dies ist der Fall, wenn  $R' = 0$  und daher  $C2 = 0$ . **Fig. 2b** gamma zeigt eine einfache Ausführungsform, in der zwei Linsen für das zweite optische Abbildungssystem

$$\begin{pmatrix} A2B2 \\ C2D2 \end{pmatrix}$$

verwendet werden.

[0027] Dies kann zum Beispiel dadurch erreicht werden, dass die erste Linse **10a** in einer Entfernung  $L1$ , die ihrer Brennweite entspricht, vom ersten Kristall **1b** angeordnet wird, die zweite Linse IOB von der ersten Linse durch einen Abstand getrennt wird, der der Summe der Brennweiten der ersten und zweiten Linse,  $L1$  und  $L2$ , entspricht, und der zweite Kristall **1c** in einer Entfernung angeordnet wird, die der Brennweite  $L2$  der zweiten Linse IOB entspricht. In einem praktischen Aufbau zum Beispiel  $L1 = 11$  mm,  $f1 = 11$  mm,  $L2 = 11 + 8 = 19$  mm,  $f2 = 8$  mm und  $L3 = 8$  mm. In diesen Aufbauten können die Eigenschaften des Laserstrahls am zweiten Kristall **1c** ebenfalls unter Benutzung der gleichen Matrix

$$\begin{pmatrix} A2B2 \\ C2D2 \end{pmatrix}$$

für die Berechnung dieser Parameter erhalten werden. Der Aufbau von **Fig. 2b** gamma mit den obigen Parametern kann zum Beispiel dafür verwendet werden, aus gepulstem infrarotem Laserlicht ultraviolettes Laserlicht zu erzeugen. Zu diesem Zweck können nichtkritisch phasenangepasstes LBO als der erste Kristall **1b** und kritisch phasenangepasstes LBO als der zweite Kristall **1c** verwendet werden.

[0028] In **Fig. 2a** wurde jeglicher „walk-off“ vernachlässigt, der zwischen dem Fundamentalstrahl (d. h. dem einfallenden Strahl) und dem frequenzkonvertierten Strahl innerhalb des optischen Materials eintreten könnte, was dazu führt, dass die beiden Strahlen auf der gleichen Achse sind. Das gleiche Schema kann aber verwendet werden, wenn sich „walk-off“ (selbst starker „walk-off“) ergibt. Selbst dann sind, wie in **Fig. 3** gezeigt, der frequenzkonvertierte Strahl **8** und der Fundamentalstrahl (der einfallende Strahl) **3** noch auf der Achse. Der frequenzkonvertierte Strahl **8** folgt innerhalb des nichtlinearen optischen Materials **1a** einer anderen Achse. Alle Strahlen verlassen das Material aber auf parallelen Achsen, wie in **Fig. 3** gezeigt. Nachdem sie am Reflektor **7a** reflektiert worden sind, werden die zurücklaufenden Strahlen **8** und **3** schliesslich in der gleichen Achse kombiniert, wenn sie aus der Vorderseite des nichtlinearen optischen Materials **1a** austreten. Die gleichen Betrachtungen gelten, wenn die reflektierende Oberfläche **7a** senkrecht zu Achse des einfallenden Strahles **3** direkt an die Rückseite des nichtlinearen optischen Materials **1a** angefügt ist. Diese Betrachtungen gelten auch für jede Art von doppelbrechendem optischem Material, sie sind nicht notwendigerweise auf nichtlineare optische Materialien beschränkt.

[0029] In allen oben beschriebenen und in den Figu-

ren gezeigten Schemata kann die Linse **2** allgemein auch durch einen reflektierenden Spiegel mit entsprechender Brennweite ersetzt werden. Auch brauchen die Linse oder der reflektierende, fokussierende Spiegel nicht sphärisch zu sein, was in vielen Anwendungen am üblichsten wäre. Auch eine zylindrische Linse bzw. ein zylindrischer fokussierender Spiegel könnte verwendet werden, in welchem Falle dann alle obigen Betrachtungen nur in einer Querrichtung gelten. Des Weiteren muss die Linse keine plankonkave Linse sein, wie der Einfachheit halber in allen Figuren gezeichnet, sondern könnte jede Art eines fokussierenden Organs sein. Zum Beispiel wären achromatische Linsen, Doppellinsen, zylindrische Linsen, Parabolspiegel und viele weitere anwendbar. Linsen und Parabolspiegel, die für Aberrationen korrigiert wurden, hätten sogar Vorteile in dem Sinne, dass gegenüber anderen Linsentypen Winkelabweichungen abseits von der Achse verringert werden können. Solange die Bedingungen für die ABCD-Matrix erfüllt sind, wie oben beschrieben, könnte alternativ ein Linsensystem eingesetzt werden.

[0030] Alle in den Figuren illustrierten Merkmale können willkürlich kombiniert werden. Fachleute der Optik und Laserphysik finden möglicherweise Lösungen, die in den Bereich dieser Erfindung fallen.

[0031] **Fig. 4** zeigt die technische Zeichnung eines möglichen Ausbaus eines einfachen und stabilen, einstellbaren optischen Mittels, das nur zwei Schrauben benötigt. Das einstellbare optische Mittel ist aus einem massiven Aluminiumblock gearbeitet. Andere Materialien könnten ebenfalls geeignet sein. Die Bearbeitung kann von drei Seiten her erfolgen. Als nicht eingrenzendes Beispiel ist das einstellbare optische Mittel, das in **Fig. 4** gezeigt ist, dafür ausgelegt, eine optische Komponente **12** oder einen Laserspiegel mit 12,7 mm Durchmesser und 9,5 mm Länge zu halten. Es versteht sich, dass das einstellbare optische Mittel wesentlich grösser oder kleiner sein kann. Ein erstes Loch H1, das zum Beispiel den Laserspiegel aufnimmt, hat einen Durchmesser, der etwas grösser als 12,7 mm ist, zum Beispiel 13,5 mm, aber mit Ausnahme des erhöhten Abschnitts, auf dem der Spiegel sitzen soll. Ein zweites Loch H2, das senkrecht zum ersten Loch H1 verläuft, unterteilt diesen erhöhten Abschnitt in vier sich berührende Flächen **11**. Wenn in das Loch H1 gebracht, ruht die optische Komponente auf diesen vier definierten, sich berührenden Flächen **11** in einer bestimmten Weise. Diese Flächen können von unterschiedlicher Gestalt sein, wie zum Beispiel punktartige Flächen oder V-förmige Nuten (**Fig. 4d**). Die optische Komponente **12** kann so gewählt werden, dass eine oder beide ihrer Oberflächen **14** keilförmig sind (die gepunktete Linie in **Fig. 4b**). Dann führt eine Drehung der optischen Komponente **12** um ihre Achse, wie in **Fig. 4b** mit dem kreisförmigen Pfeil zur Rechten angedeutet, zu einer Feinveränderung des vertikalen Winkels der Keilfläche **14**. Auf diese Art und Weise hat eine Feineinstellung des vertikalen Winkels der Keilflächen zu

erfolgen, ehe eine Feststellschraube **13a** auf der Oberseite des einstellbaren optischen Mittels fixiert wird. Nachdem der vertikale Winkel und die Feststellschraube **13a** fixiert sind, kann das einstellbare optische Mittel noch horizontal gedreht und eingestellt werden, und es wird schliesslich mit einer zweiten Schraube **13b** an einer optischen Plattform oder an einem Stativ (nicht gezeigt) fixiert.

[0032] Die optische Komponente **12** kann zum Beispiel ein Laserspiegel sein, bei dem die Keilfläche mit einer reflektierenden Beschichtung für die interessierende Wellenlänge versehen ist. Die optische Komponente könnte auch in Transmission anstatt in Reflexion verwendet werden, in welchem Falle der Oberflächenwinkel wiederum durch einen Keil vorabgestimmt werden kann. Jegliche andere optische Materialien können in ähnlicher Weise verwendet werden.

[0033] Ein weiterer Aufbau für ein einstellbares optisches Mittel ist in **Fig. 5** gezeigt. Nur das erste Loch H1 zur Aufnahme einer optischen Komponente steht zur Verfügung, während die berührenden Flächen als zwei parallele Abschnitte zum Abstützen der optischen Komponente **12** gestaltet sind. Ein einstellbares optisches Mittel dieses Typs hat den Vorteil, dass es besonders einfach herzustellen ist. Es kann durch Bearbeitung von lediglich zwei Seiten her gefertigt werden.

[0034] **Fig. 6** zeigt eine dritte Alternative für ein einstellbares optisches Mittel, wo das erste Loch H1' als einfaches Loch ohne einen hervorstehenden stützenden Abschnitt wie in den vorangehenden beiden Ausführungsformen gestaltet ist. Dieses erste Loch H1' kann dann so gestaltet werden, dass die optische Komponente **12** straff hineinpasst, wobei die Feststellschraube **13a** die Komponente an Ort und Stelle hält.

[0035] Alternativ kann ein Kleber anstelle der oder zusätzlich zur Feststellschraube **13a** verwendet werden. Wenn ein Kleber allein verwendet wird, so ergibt sich ein einstellbares optisches Mittel mit einem Spiegel, das lediglich eine einzige Schraube für die Montage des einstellbaren optischen Mittels auf die optische Plattform erfordert. Ehe der Kleber getrocknet ist, kann der Winkel der Keilfläche noch vertikal eingestellt werden, indem die optische Komponente um ihre Achse gedreht wird.

[0036] Alle oben erwähnten Merkmale können allgemein willkürlich kombiniert werden. Weiter können Merkmale von einstellbaren optischen Mitteln, die fachbekannt sind, mit Merkmalen dieser Erfindung kombiniert werden.

#### Anwendungsbeispiele

[0037] Diese Erfindung kann in Lasersystemen oder optischen Systemen verwendet werden. Insbesondere dann, wenn solche Systeme ein optisches Material enthalten, das am Licht mit der Zeit angegriffen wird, kann diese Erfindung eine einfache Lösung dafür

darstellen, die Gesamtlebensdauer des Lasersystems oder des optischen Systems zu verlängern. Beispielsweise hat in einem typischen, einen SESAM verwendenden Laser zur Erzeugung von Pico- oder Femtosekundenimpulsen der Strahl einen Durchmesser in der Grössenordnung von vielleicht 100 Mikrometern. Die Gesamtfläche des SESAM kann aber viel grösser als der Fleck unter dem Laserstrahl sein. Mit einem SESAM in der Grösse von beispielsweise 5 mm × 5 mm ergeben sich ungefähr 625 Flecken auf der SESAM-Oberfläche, die ausgenutzt werden können. Daraus ergeben sich 625 000 Betriebsstunden, wenn angenommen wird, dass jeder Fleck etwa 1000 Betriebsstunden durchhält.

[0038] Im Falle optischer Materialien, die inhomogen sind, kann diese Erfindung dazu verwendet werden, einen guten Punkt zu suchen oder schlechte Punkte zu vermeiden, indem M1 geneigt wird, bis die erwünschte Punktqualität erreicht ist.

[0039] Ein weiteres Beispiel ist die Erzeugung von ultraviolettem Licht (UV) mit dem Aufbau der Fig. 2a. Um eine nichtlineare optische Frequenzkonversion aus dem Grünen ins UV zu erreichen, kann in der Konfiguration der Fig. 2a zum Beispiel BBO als das optische Material verwendet werden. M1 ist sowohl für das einfallende grüne Licht als auch für das zurückreflektierte, frequenz-verdoppelte ultraviolette Licht reflektierend gemacht. Die Linse ist für beide Wellenlängen durchlässig gemacht. Das in BBO auftretende „walk-off“ wird gemäss dem Schema der Fig. 3 kompensiert. Der dichroitische Spiegel kann verwendet werden, um die beiden Wellenlängen zu trennen. Als eine Alternative kann M1 für das UV hochdurchlässig, aber für die einfallende Wellenlänge reflektierend gemacht werden, in welchem Falle M1 als ein dichroitischer Spiegel wirken würde. Allerdings würde dann jede Neigung von M1 zu einer Änderung der Richtung des herauskommenden UV führen.

[0040] Ein asymmetrischer Strahl würde innerhalb des optischen Materials erzeugt, wenn eine zylindrische Linse oder ein zylindrischer Spiegel oder aber irgendein anderes fokussierendes Organ verwendet wird, das nur in einer Querrichtung wirkt. Das kann zu einer Reihe von Vorteilen führen: In einem optischen Material wie einem nichtlinearen optischen Kristall können die unterschiedlichen Eigenschaften des Strahlenbündels in den beiden Querrichtungen gemäss den Standardformeln der nichtlinearen Optik getrennt gut an die Anforderungen für eine optimale Frequenzkonversion angepasst werden. Zum Beispiel ist die Winkelakzeptanz für eine Frequenzkonversion in einem optischen Material in der vertikalen Querrichtung möglicherweise grösser als in der horizontalen Richtung, in welchem Falle eine stärkere Fokussierbedingung bevorzugt in der vertikalen Richtung verwendet wird. Desgleichen tritt „walk-off“ möglicherweise vorwiegend in der einen Querrichtung auf, in welchem Falle die Fokussierbedingung ebenfalls an den „Walk-off“-Winkel angepasst wer-

den kann. Ein asymmetrischer Strahl innerhalb eines vertikal zusammengedrückten nichtlinearen optischen Kristalls kann zu einem eindimensionalen Wärmefluss führen, der die thermische Belastung erhöht, die der Kristall im Vergleich zu radialer Kühlung aufnehmen kann.

[0041] Das in dieser Erfindung beschriebene einstellbare optische Mittel kann in Kombination mit dem ersten Ziel der Erfindung verwendet werden. Zum Beispiel kann es als ein einstellbares optisches Mittel für das optische Material in einem Aufbau wie dem in Fig. 1 bis 3 beschriebenen verwendet werden.

### Patentansprüche

1. Laser-Generatorsystem zur Verwendung mit angreifbaren optischen Materialien mit: einem Laser-aufbau zur Erzeugung eines Laserstrahles (3) einem optischen Material (1a) von begrenzter Haltbarkeit am Licht, einer Optik mit einem Abbildungsorgan zur Abbildung des Laserstrahles (3) auf das optische Material (1a), wobei das Abbildungsorgan umfasst:

- zumindest ein optisches Abbildungssystem (2) zur Fokussierung des Laserstrahls auf das optische Material (1a) und
- zumindest ein optisches Organ (M1) zur Veränderung des Winkels der Fortpflanzungsachse des Laserstrahls (3),
- wobei das optische Abbildungssystem zwischen dem optischen Organ (M1) und dem optischen Material (1a) angeordnet ist und durch eine Matrix

$$\begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix}$$

beschrieben werden kann, wo D im Wesentlichen null ist.

2. Laser-Generatorsystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das optische Material ein nichtlineares optisches Material ist.

3. Laser-Generatorsystem nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Laserstrahl (3) nach seinem Durchgang durch das optische Material (1a) auf sich selbst zurückreflektiert wird.

4. Laser-Generatorsystem nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Laserstrahl (3) durch eine reflektierende Oberfläche (7a) auf der Rückseite des optischen Materials (1a) auf sich selbst zurückreflektiert wird.

5. Laser-Generatorsystem nach einem beliebigen der vorangehenden Ansprüche mit einem dichroitischen Spiegel (9) oder einem polarisierenden Strahlenteiler.

6. Laser-Generatorsystem nach einem der vorangehenden Ansprüche, worin das optische Material

**(1, 1b)**

- ein sättigungsfähiger Halbleiterabsorber; oder
- ein für Frequenzumsetzung wie die Erzeugung der zweiten Harmonischen, der dritten Harmonischen, der mehrfachen Harmonischen oder für optische parametrische Oszillation oder Verstärkung verwendeter nichtlinearer optischer Kristall; oder
- Lithiumborat (LBO), Beta-Bariumborat (BBO), Kaliumtitanylphosphat (KTP), Cäsiumlithiumborat (CLBO) oder periodisch gepoltes Lithiumniobat (PPLN) ist.

7. Laser-Generatorsystem gemäss einem der vorangehenden Ansprüche, worin das optische Organ (M1) ein Teil eines Resonators des Laseraufbaus ist.

8. Laser-Generatorsystem nach Anspruch 7 mit einer Optik.

9. Laser-Generatorsystem nach Anspruch 8 mit einer Optik, ein zweites Abbildungsorgan umfassend, um den Laserstrahl (3) auf ein zweites optisches Material (1c) abzubilden, wobei das zweite Abbildungsorgan umfasst:

- zumindest ein zweites optisches Abbildungssystem (2), um den Laserstrahl (3) auf das zweite optische Material (1c) zu fokussieren, und
- zumindest ein zweites optisches Organ, um die relative Position der Fortpflanzungsachse des Laserstrahles (3) zu verändern, wobei das zweite optische Abbildungssystem zwischen dem zweiten optischen Organ und dem zweiten optischen Material (1c) angeordnet ist und durch eine Matrix

$$\begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix}$$

beschrieben werden kann, wo C im Wesentlichen null ist.

10. Laser-Generatorsystem nach einem der Ansprüche 8 oder 9, worin das zweite optische Material 1c

- ein sättigungsfähiger Halbleiterabsorber; oder
- ein für Frequenzumsetzung wie die Erzeugung der zweiten Harmonischen, der dritten Harmonischen, der mehrfachen Harmonischen oder für optische parametrische Oszillation oder Verstärkung verwendeter nichtlinearer optischer Kristall; oder
- Lithiumborat (LBO), Beta-Bariumborat (BBO), Kaliumtitanylphosphat (KTP), Cäsiumlithiumborat (CLBO) oder periodisch gepoltes Lithiumniobat (PPLN) ist.

11. Laser-Generatorsystem nach einem der Ansprüche 1 bis 10, einstellbare optische Mittel für eine Optik umfassend, darunter

- ein optisches Bauteil (12) mit einer oder zwei Keilflächen (14) und
- einem Träger für das optische Bauteil (12) mit

- Mitteln, um das optische Bauteil (12) zu stützen, wobei die Stützmittel vier definierte Berührungsflächen (11) umfassen;
- einer Vertiefung, um das optische Bauteil (12) einzusetzen;
- einem Befestigungsorgan, um das optische Bauteil (12) in der Vertiefung zu befestigen; worin das optische Bauteil (12) in der Vertiefung um seine Achse drehbar ist.

12. Laser-Generatorsystem nach Anspruch 11, worin die definierten Berührungsflächen (11) die Gestalt von V-förmigen Nuten haben.

13. Laser-Generatorsystem nach Anspruch 11 oder 12, worin das optische Bauteil (12) und die Vertiefung im Wesentlichen zylindrisch sind.

14. Laser-Generatorsystem nach einem der Ansprüche 11 bis 13, worin das optische Bauteil (12) ein Laserspiegel oder ein nichtlineares Material ist.

15. Laser-Generatorsystem nach einem der Ansprüche 11 bis 14, worin das Befestigungsorgan eine Schraube (13a) ist.

Es folgen 6 Blatt Zeichnungen

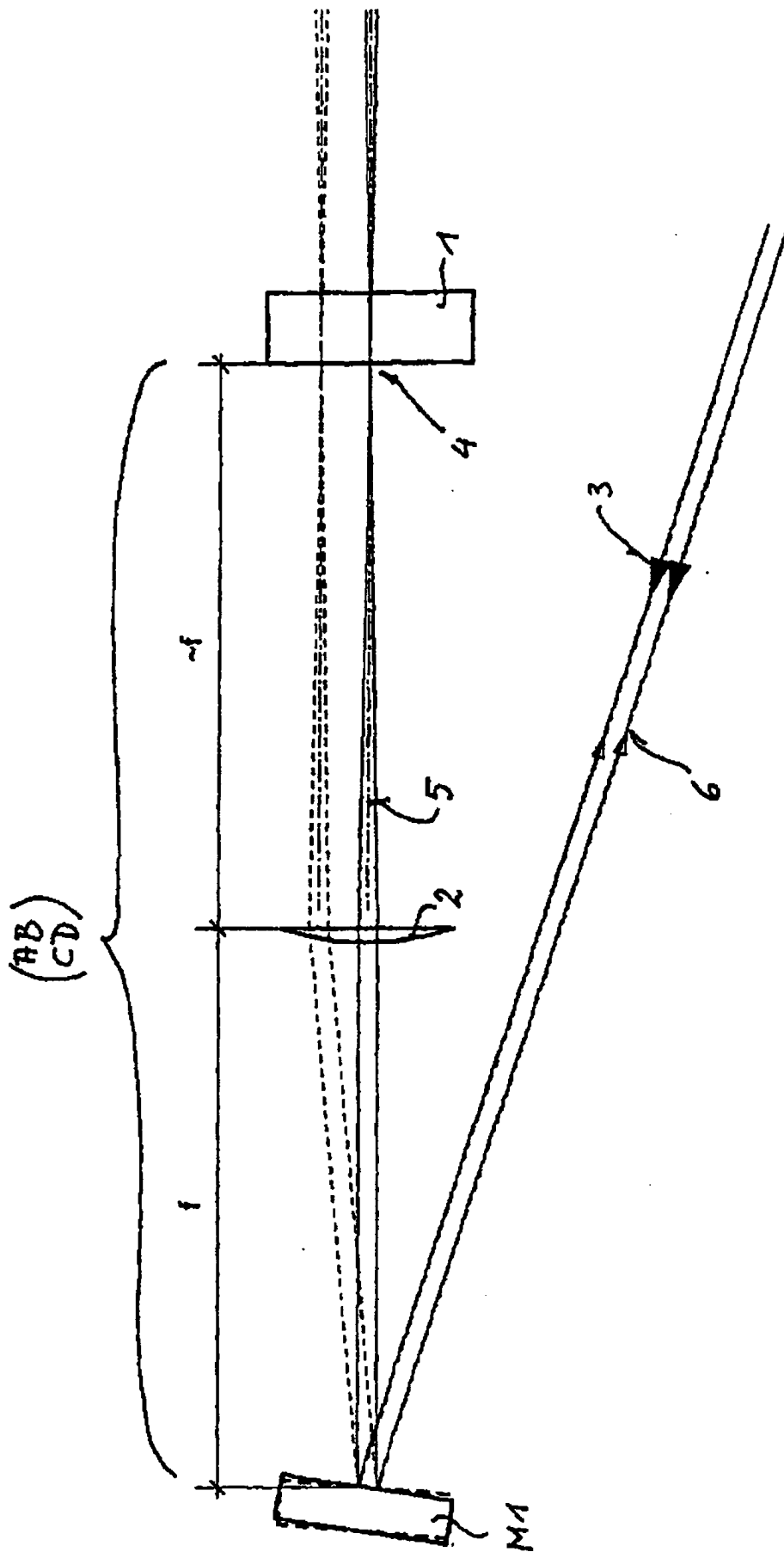


Fig. 1

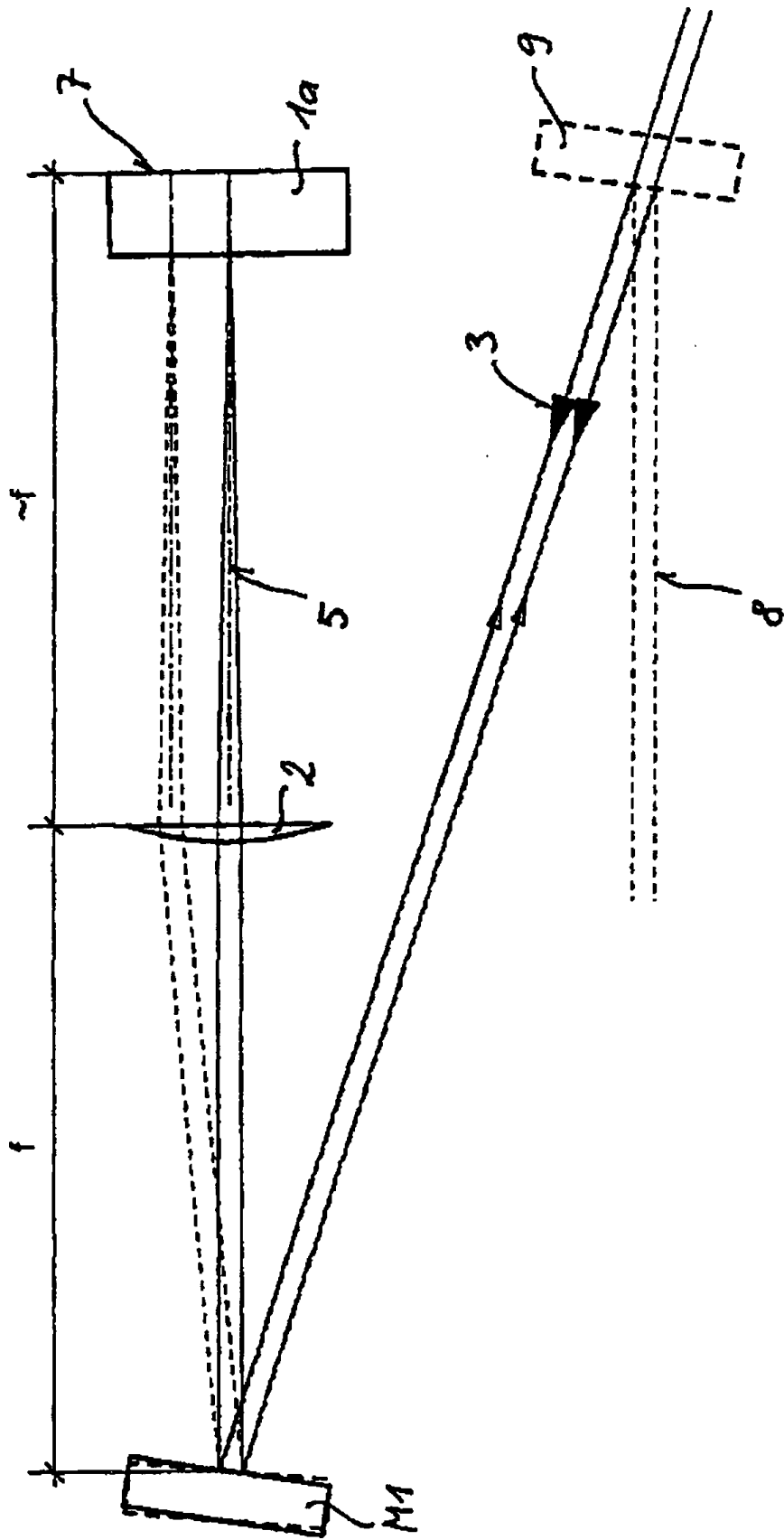


Fig. 2a

Fig. 2b alpha

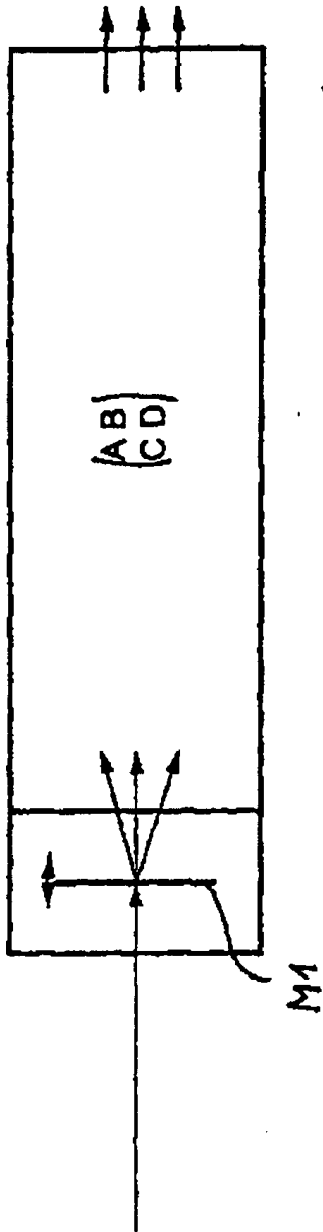


Fig. 2b beta

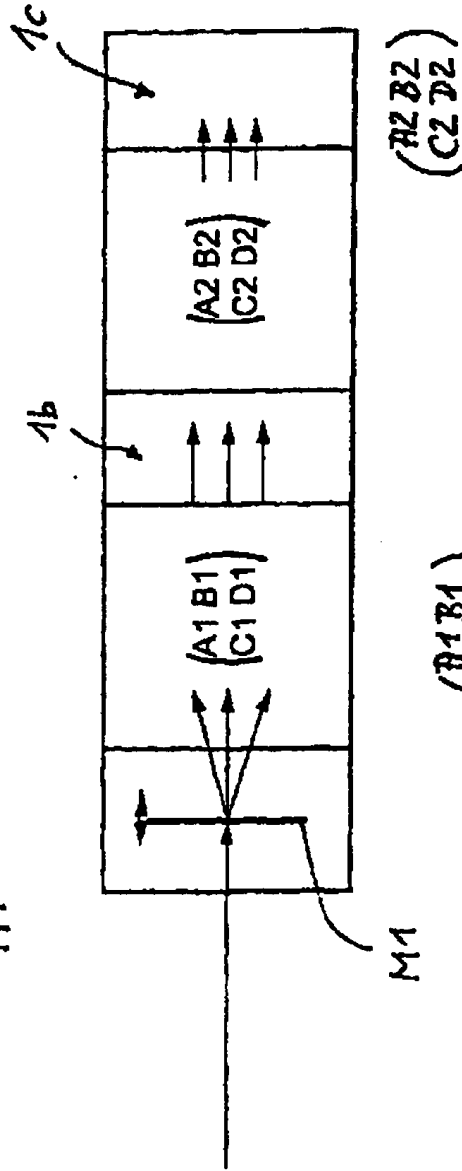
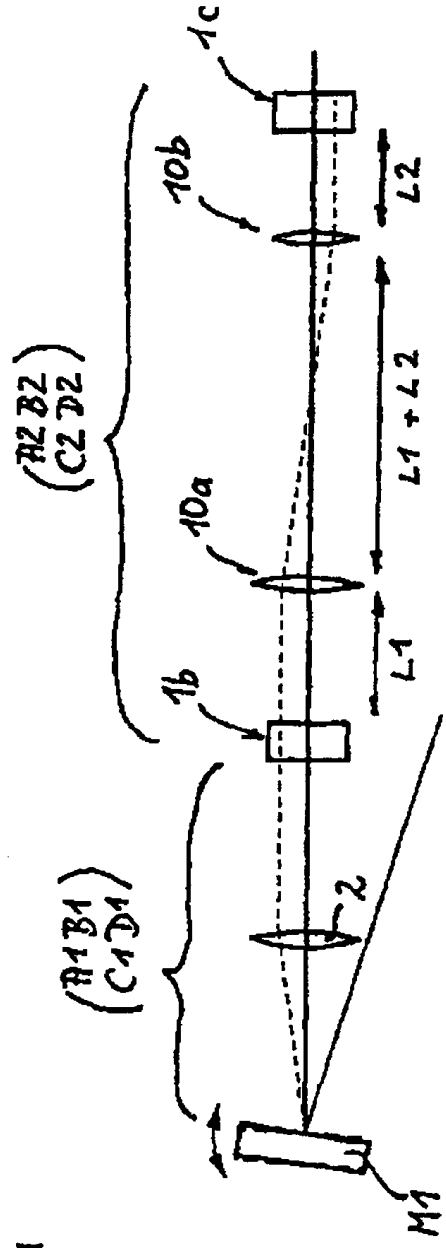


Fig. 2b gamma



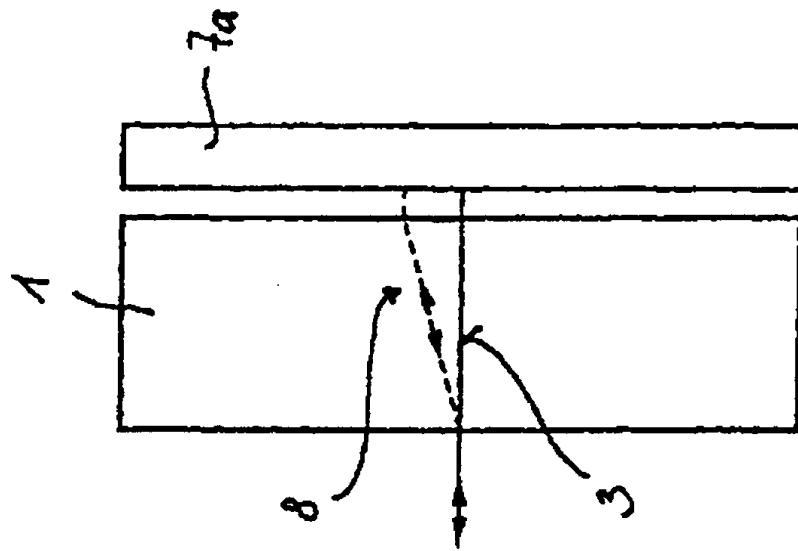


Fig. 3

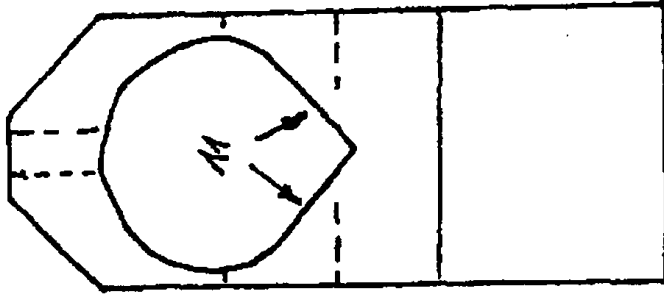


Fig. 4d

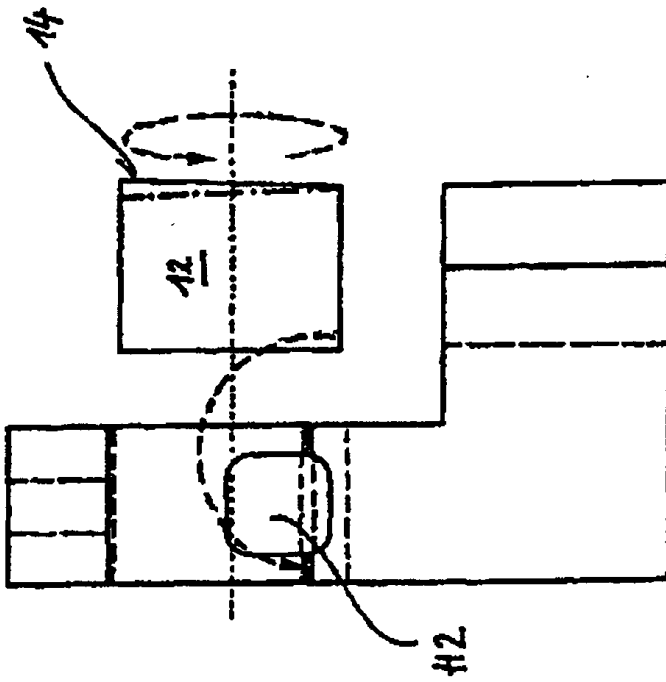


Fig. 4b

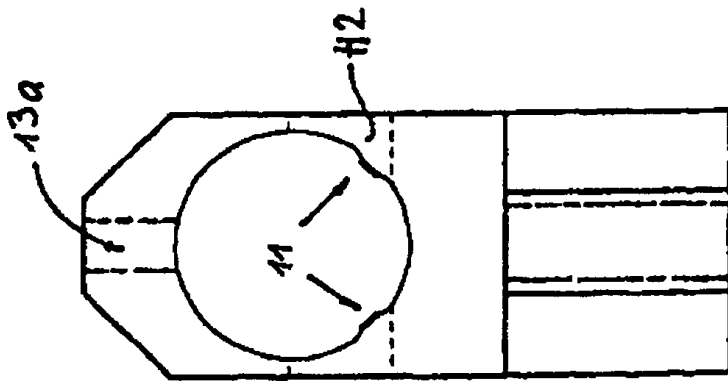


Fig. 4a

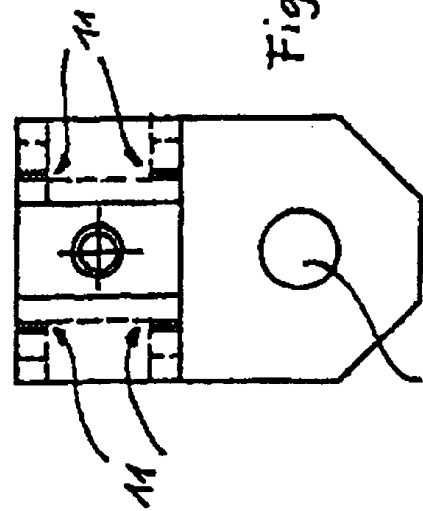


Fig. 4c

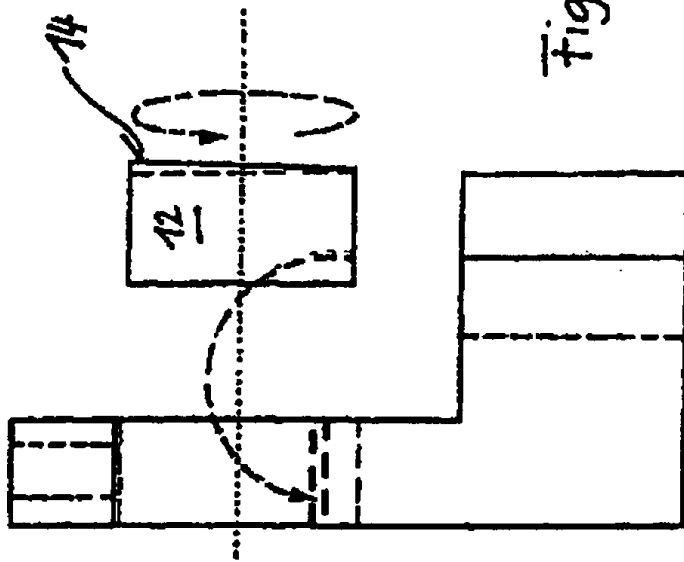


Fig. 5b

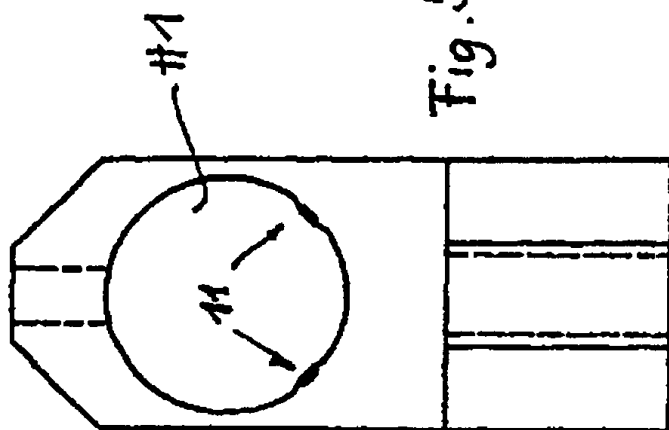


Fig. 5a

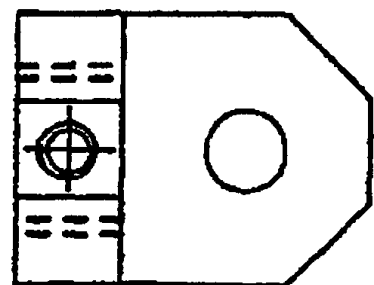


Fig. 5c