



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 602 17 627 T2 2007.11.08**

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 318 578 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **602 17 627.1**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **02 027 067.4**

(96) Europäischer Anmeldetag: **03.12.2002**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **11.06.2003**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **17.01.2007**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **08.11.2007**

(51) Int Cl.⁸: **H01S 3/094 (2006.01)**
H01S 3/23 (2006.01)

(30) Unionspriorität:
6396 10.12.2001 US

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

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

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE, FR, GB

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

(54) Bezeichnung: **Laservorrichtung zum Pumpen eines Festkörperlasermediums**

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

Gebiet der Erfindung

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf das Gebiet kompakter, laserdioden-gepumpter Festkörper-Laserquellen. Insbesondere bezieht sich die Erfindung auf das Gebiet des Pumpens einer Laserquelle, die bevorzugt einen regenerativen Verstärker oder andere Singlepass- oder Multipass-Verstärkeranordnungen enthält.

Zusammenfassung der Erfindung

[0002] Bei Laserquellen mit einem regenerativen Verstärker oder mit anderen Singlepass- oder Multipass-Verstärkeranordnungen führt ein kleiner und fokussierter Pumpfleck zu Problemen, die zum Beispiel durch einen Aperturereffekt innerhalb des Verstärkermediums verursacht sein können. Diese Probleme können zu optischen Schäden, Strahlverzerrung und Beugungsverlusten führen, da eine hohe Verstärkung innerhalb eines begrenzten Volumens des Lasermediums auftreten kann. Eine Pumpvorrichtung, die einen Pumpfleck genügender Intensität ohne Muster erzeugt, erfüllt die speziellen Erfordernisse dieser Anordnung. Geeignete Pumpflecke haben einen Querschnitt mit einem im Wesentlichen niedrigen Seitenverhältnis, das durch den Brechungsindex n als $1:n$ definiert werden kann (z.B. mit $n = 2,16$ für Nd:Vanadat) oder zum Beispiel $1:1$ beträgt. Ein geeigneter, im Wesentlichen glatter Laserdiodenpumpfleck wird von einer Laserdiodenanordnungsquelle oder von Mehrfachanordnungen erhalten, indem jeder einzelne Emitter der Anordnung bzw. der Anordnungen ohne Fokussierung auf im Wesentlichen den gleichen Fleck am Lasermedium abgebildet wird. Die Erfindung wird in Anspruch 1 definiert.

Beschreibung der bevorzugten Ausführungsform der Erfindung

[0003] Das Arbeitsprinzip eines regenerativen Verstärkers ist seit Jahren bekannt. Ein regenerativer Verstärker ist im Wesentlichen ein Laserresonator, der einen Seedpuls einfängt und ihn zu einem viel höheren Energieniveau verstärkt. Diese Laseranordnung verwendet einen extern erzeugten Laserpuls, der durch einen geeigneten Schalter, zum Beispiel eine Pockels-Zelle, in den Resonator eingekoppelt wird. Durch eine Änderung des Polarisationszustands wird der Laserpuls im Resonator eingefangen und während darauf folgender Hin- und Herläufe im Resonator verstärkt. Bei seinem Energiemaximum wird der Puls gezwungen, den Resonator zu verlassen, indem er durch den Schalter hindurchgeht, dessen Polarisationszustand sich wiederum verändert hat.

[0004] Zur Verwendung in einer regenerativen Verstärkeranordnung werden Laserpumpenanordnungen mit einer Kleinsignalverstärkung im Lasermedium benötigt, die im Vergleich zu einer Anordnung mit einem grossen Seitenverhältnis oder einem stark asymmetrischen Pumpfleck verhältnismässig gering ist. Die entsprechende, minimale Verstärkung von wenigen Prozent bis zu einem Faktor, der für einen Hin- und Herlauf nicht viel mehr als vier (d.h. 400 %) beträgt, genügt für eine Anordnung dieses Typs. Dies ist eine grössenordnungsmässig etwa zehnmal geringere Kleinsignalverstärkung als die in einer Anordnung mit einem stark asymmetrischen Pumpfleck erreichte Verstärkung. Eine Ausführung einer solchen Anordnung mit asymmetrischem Fleck wird in der PCT-Patentanmeldung PCT/EP 00/05336 offenbart.

[0005] Bei dieser Anordnung führen die üblicherweise verwendeten kleinen, fokussierten Pumpflecken zu Problemen wie optischen Schäden durch hohe Verstärkung innerhalb eines begrenzten Volumens des Lasermediums und Strahlverzerrung sowie Beugungsverluste. Eine Pumpvorrichtung, die ein Profil verringerter Intensität ohne Muster erzeugt, kann die speziellen Erfordernisse dieser Anordnung erfüllen. Statt eines stark asymmetrischen Pumpflecks wird ein im Wesentlichen runder oder elliptischer Fleck bevorzugt.

[0006] In der PCT-Patentanmeldung PCT/EP 00/05336 wird eine Laserdiodenabbildungsanordnung offenbart, die das Diodenstrahlbündel von einer Diodenanordnung auf einen im Wesentlichen glatten Fleck abbildet, und zwar in dem Sinne, dass das horizontale Intensitätsmuster des Flecks selbst dann im Wesentlichen unverändert bleibt, wenn einige der Emitter der Diodenanordnung versagen oder schlechter werden, weil alle Emitter horizontal auf den gleichen Fleck abgebildet werden.

[0007] Weitere Anordnungen für LD-Pumpen von Festkörperlasern sind aus US-A-S 541 951 und WO-A-01/81955 bekannt.

[0008] **Fig. 1** zeigt diese Anordnung von oben und von der Seite. Eine zylindrische Mikrolinse **2** von kurzer Brennweite wird in einem Abstand, der der Brennweite entspricht, vor der Diodenanordnung **1** positioniert und kollimiert die vertikale Achse (siehe die Seitenansicht) des Diodenlichts **5a** (Fast-Axis-Kollimation). Eine Linse **3** mit einer Brennweite f wird dann etwa eine Brennweite f von der Diodenlaseranordnung **1** entfernt platziert. Die Linse **3** kollimiert dann alle Strahlen **5b** in der horizontalen Ebene (siehe die Draufsicht) und lenkt sie zu im Wesentlichen dem gleichen Fleck **4**, und sie fokussiert die Strahlen **5b** in der vertikalen Ebene (Seitenansicht). Wegen der Fokussierung in der vertikalen Ebene (Seitenansicht) führt diese Anordnung zu einem Pumpfleck hoher Intensität. Daher hat diese Anordnung, wenn sie zum

Pumpen eines regenerativen Verstärkers verwendet wird, wegen Strahlverzerrung und Beugungsverlusten typischerweise Probleme durch optische wie auch thermische Schäden oder einen schlechten inneren Wirkungsgrad.

[0009] Im US-Patent 5 541 951 wird eine weitere Vorrichtung und Methode zum Hochleistungs-Endpumpen einer regenerativen Verstärkeranordnung offenbart. Die mit dem Fleck hoher Intensität verbundenen Probleme werden durch eine Pumpvorrichtung verringert, die während jeder Millisekunde ihres Betriebs nur für ungefähr vierhundert Mikrosekunden puls-aktiviert wird. Ein Nachteil dieser Lösung liegt in der komplizierten Pulserzeugung und der immer noch hohen Intensität innerhalb des Pumpflecks, wobei nur die thermische Belastung verringert wird, indem die Intensität nur eine kurze Zeit dauert.

[0010] In der Erfindung wird ein anderes, auf unterschiedlicher Pumpoptik beruhendes Konzept verwendet. Statt den Pumpstrahl vertikal und/oder horizontal in den Fleck zu fokussieren, wie es im Stande der Technik offenbart wird, werden die Teilstrahlen, die diesen Fleck bilden, dieser Erfindung zufolge nicht in diesen Fleck fokussiert.

[0011] Dieser Erfindung zufolge wird die Bedeutung von „kollimiert“ nicht auf ein Strahlenbündel beschränkt, das aus verschiedenen Strahlen besteht und in dem diese Strahlen genau parallel sind. Daher umfasst „kollimiert“ auch Strahlenbündel mit einer Divergenz oder Konvergenz, die im Vergleich zu den Abmessungen der Anordnung klein ist. Die Elemente der Anordnung müssen so ausgelegt und justiert werden, dass die Intensität des Pumpflecks unterhalb einer Schwelle bleibt.

[0012] [Fig. 2](#) zeigt – nur als ein Beispiel – eine Anordnung zum Pumpen einer Laserquelle, die insbesondere einen Singlepass- oder Multipass-Verstärker enthält, zum Beispiel einen regenerativen Verstärker. Ein Unterschied gegenüber der Anordnung von [Fig. 1](#), wie sie in der PCT-Patentanmeldung PCT/EP 00/05336 beschrieben wird, ist das Fehlen jeder Fokussierung der von jedem der Emitter emittierten Teilstrahlen in den Pumpfleck.

[0013] [Fig. 2](#) zeigt von oben (oben) und von der Seite (unten) eine Laserdiodenabbildungsanordnung, durch die das Diodenstrahlbündel **9a** von einer Diodenanordnung **1** in einen im Wesentlichen glatten Fleck **8** abgebildet wird, der auf die Oberfläche eines Lasermediums abgebildet wird. Wenn ein solches Lasermedium bei oder nahe dem glatten Fleck positioniert wird, der durch ein solches Abbildungsgerät erhalten wird, dann ist das Temperaturprofil, das sich aus der absorbierten Leistung ergibt, ebenfalls glatt, was den Betrieb im Grundmodus leichter und wirkungsvoller macht.

[0014] Das von jedem Emitter emittierte Strahlenbündel (Teilstrahl **9a**) besteht aus einer Vielzahl von Lichtstrahlen und kann daher durch diese Strahlen beschrieben werden, die von einer entsprechenden Vielzahl von emittierenden Punkten emittiert werden, die auf der emittierenden Oberfläche des Diodenlasers liegen.

[0015] Die Diodenlaseranordnung **1** nach [Fig. 2](#) kann eine 5 mm breite Anordnung von **13** Emittlern sein, die auf einen einzigen Chip aufgesetzt sind, aller 400 μm ein Diodenemitter von 200 μm Breite. In der vertikalen Achse hat die emittierende Fläche eine Höhe von etwa 1 μm . Die vertikale Position jedes Diodenemitters weicht um nicht mehr als $\pm 0,5 \mu\text{m}$ von der waagerechten Ebene ab, was einer „Smile“-Verzerrung der Diodenanordnung von weniger als $\pm 0,5 \mu\text{m}$ entspricht. Das Diodenlicht mit diesem hohen Seitenverhältnis pflanzt sich fort, wie in [Fig. 2](#) gezeigt.

[0016] In der waagerechten Ebene (siehe die Draufsicht) pflanzt sich das Diodenlicht (der Teilstrahl **9a**) jedes Emitters mit einer Divergenz von etwa $\pm 5^\circ$ fort. In der senkrechten Ebene (siehe die Seitenansicht) kann die Divergenz $+45^\circ$ erreichen. Daher wird eine zylindrische Mikrolinse **6** mit einer kurzen Brennweite von etwa 0,2 bis 1 mm in einem der Brennweite entsprechenden Abstand vor der Diodenanordnung **1** positioniert und kollimiert die stark divergente Emission des Emitters in der vertikalen Achse des Diodenlichts (des Teilstrahls **9a**).

[0017] Eine Zylinderlinse **7** mit einer Brennweite f wird dann etwa eine Brennweite f von der Diodenlaseranordnung **1** entfernt platziert. Die Linse **7** kollimiert dann alle Teilstrahlen **9b** in der waagerechten Ebene und lenkt sie zu im Wesentlichen dem gleichen Fleck (Draufsicht), ohne das Diodenlicht in der senkrechten Ebene zu fokussieren (Seitenansicht). Wegen fehlender Fokussierung führt dies zu einem Diodenlaserstrahl mit einem verhältnismässig niedrigen Seitenverhältnis und verhältnismässig niedriger Intensität im Fleck **8**, was thermischen Schäden und anderen Problemen zuvorkommt, die durch die höheren Intensitäten in der regenerativen Verstärkeranordnung verursacht werden. Der Fleck **8** ist glatt in dem Sinne, dass sich sein horizontales und vertikales Intensitätsmuster selbst dann nicht wesentlich verändern, wenn einige der Emitter der Diodenanordnung **1** ausfallen oder schlechter werden, weil alle Emitter in den gleichen Fleck **8** abgebildet werden.

[0018] Wechselweise kollimiert die Zylinderlinse **7** nicht alle Teilstrahlen **9b** in der waagerechten Ebene, sondern formt die von jedem Emitter emittierten Teilstrahlen allgemein so, dass die von einer Vielzahl emittierender Punkte auf der Oberfläche jedes Emitters emittierten Lichtstrahlen nebeneinander liegen, sich nicht kreuzen und nicht im Fleck **8** fokussiert

sind, so dass der Teilstrahl **9c** in der waagerechten Ebene divergent oder konvergent ist. Man bemerke, dass im Falle eines konvergenten Strahls der Brennpunkt nicht in der Ebene des Flecks **8** liegen sollte, sondern wesentlich vor oder hinter dieser Ebene. Ein Brennpunkt nahe beim Fleck **8** würde nicht zu einem Laserstrahl mit einem vergleichsweise kleineren Seitenverhältnis und daher einer verhältnismässig niedrigen Intensität im Fleck **8** führen.

[0019] Wechselweise können die zylindrische Mikrolinse **6** und die Zylinderlinse **7** durch ein optisches Element ersetzt werden, das im Wesentlichen die gleiche Funktion wie diese Linsen hat, zum Beispiel reflektierende Elemente oder Beugungsstrukturen wie ein holographisches Element oder eine Fresnel-Linse.

[0020] Die Begriffe von „horizontal“ und „vertikal“ werden durch die konkrete Aufstellung der Diodenanordnung definiert. In diesen Beispielen sind die Diodenemitter waagrecht in einer linearen Anordnung positioniert. Daher hat der sich ergebende Strahl einen Querschnitt mit einer im Wesentlichen waagerechten Ausdehnung. Die Beispiele beschränken die Positionierung der Emitter oder den Querschnitt der Strahlen nicht auf eine waagerechte Anordnung. Bei einer anderen Ausrichtung der Emitter z.B. in einer senkrechten linearen Anordnung müssen die Ausdrücke geeignet angepasst werden.

[0021] Die entsprechende minimale Verstärkung von einigen Prozent bis zu einem das Vierfache nicht stark überschreitenden Wert (d.h. 400 %) für einen Hin- und Herlauf genügt für eine Anordnung dieses Typs. Das kennzeichnende Merkmal ist das Produkt aus dem Emissionsquerschnitt ‚sigma‘ und der Lebensdauer des oberen Niveaus ‚tau‘. Dieses Produkt ist dem Kleinsignalverstärkungskoeffizienten gleichwertig. Geeignete Werte sind $8 \cdot 10^{-24}$ sec·cm² für Nd:YLF oder $6 \cdot 10^{-23}$ sec·cm² für Nd:YAG als Lasermedien, wobei der Wert für Nd:Vanadat ungefähr viermal höher ist. Diese Kleinsignalverstärkungskoeffizienten führen zu einer Kleinsignalverstärkung im Bereich von wenigen Prozent bis zu einem Faktor von etwa vier pro Hin- und Herlauf wenn das Pumpschema von [Fig. 2](#) verwendet wird.

[0022] [Fig. 3a](#) bis c zeigen lediglich beispielhaft alternative Ausführungsformen von optischen Elementen und die entsprechende Veränderung der Gestalt des Strahls in der senkrechten Ebene (Seitenansicht).

[0023] In [Fig. 3a](#) wird die Strahldivergenz durch das optische Element **7'**, z.B. ein Hologramm, vergrößert, daher ist Fleck **8'** in der senkrechten Ebene grösser als Fleck **8** in [Fig. 2](#).

[0024] In [Fig. 3b](#) fokussiert das optische Element

7'', z.B. eine Fresnel-Linse, den Strahl in einen Brennpunkt in einem wesentlich kleineren Abstand als dem Abstand zwischen dem optischen Element **7''** und dem Fleck **8''**. In diesem Beispiel beträgt der Abstand zwischen dem optischen Element **7''** und dem Fleck **8''** das Doppelte der Brennweite des optischen Elements **7''** in der senkrechten Ebene. Dieser konkreten Anordnung zufolge hat der Fleck **8''** in der senkrechten Ebene den gleichen Durchmesser wie der Fleck **8** in [Fig. 2](#).

[0025] In [Fig. 3c](#) fokussiert das optische Element **7'''**, z.B. eine astigmatische Linse mit unterschiedlichen Brennweiten in der senkrechten und waagerechten Ebene, den Strahl in einen Brennpunkt in einem wesentlich grösseren Abstand als dem zwischen dem optischen Element **7'''** und dem Fleck **8''**. Dieser Anordnung zufolge hat der Fleck **8''** einen kleineren Durchmesser in der senkrechten Ebene als der Fleck **8** in [Fig. 2](#).

[0026] [Fig. 4](#) zeigt die schematische Anordnung eines regenerativen Verstärkers, der mit Lasermitteln zur Erzeugung eines geeigneten Pumplichtstrahls verwendet wird. Ein polarisierter Laserpuls von einer Seedlaserquelle wird durch einen Polarisator **13** in die Anordnung eingekoppelt und wird nach seinem Durchgang durch eine Pockels-Zelle **10** und eine Viertelwellenplatte **14** durch einen Spiegel **11'** reflektiert. Je nach der an die Pockels-Zelle **10** angelegten Spannung wird die Polarisation des Laserstrahls so gedreht, dass er den Polarisator **13** passiert und in den Hohlraum eintritt oder die Anordnung verlässt. Wenn der Puls im Resonator eingefangen ist, wird der Laserstrahl bei jedem Hin- und Herlauf nach mehrfacher Reflexion durch vier Spiegel **11** im Lasermedium **12** verstärkt. Nach weiteren Hin- und Herläufen, die erforderlich sind, um maximale Energie zu erreichen, wird der Laserstrahl nach einer weiteren Drehung der Polarisation durch die Pockels-Zelle **10** durch den Polarisator **13** aus der Anordnung ausgekoppelt.

Patentansprüche

1. Laserpumpvorrichtung zum Pumpen eines Festkörperlasermediums, beispielsweise in einem Single-Pass- oder Multipass-Verstärkeraufbau und bevorzugt in einem regenerativen Verstärkeraufbau, umfassend
 - eine Mehrzahl von Laserdioden-Emittern und
 - optische Mittel zur Erzeugung eines Pumpstrahls durch Abbildung jedes einzelnen Emitters in einen im Wesentlichen runden oder elliptischen Fleck (**8**, **8'**, **8''**, **8'''**),
 - wobei zumindest zwei der Emitter in einer Anordnung (**1**) montiert sind,
 - jeder der Emitter eine Vielzahl von emittierenden Punkten auf seiner Oberfläche besitzt,
 - jeder der Punkte einen Lichtstrahl emittiert,

- die Lichtstrahlen jedes Emitters einen divergenten Teilstrahl (9a) bilden; wobei die optischen Mittel umfassen:

- ein erstes optisches Element (6), um jeden Teilstrahl (9a), der in einer ersten Ebene divergent ist, in diese erste Ebene zu kollimieren;

dadurch gekennzeichnet, dass die optischen Mittel weiter umfassen:

- ein zweites optisches Element (7, 7', 7'', 7'''), um die Divergenz jedes Teilstrahls (9b), der in einer zweiten Ebene divergent ist, in dieser zweiten Ebene abzuwandeln und um jeden Teilstrahl (9a) in der Weise zu dem Fleck (8) zu lenken, dass

- die einen Teilstrahl (9c) definierenden Lichtstrahlen sich in dem Fleck (8, 8', 8'', 8''') nebeneinander befinden und

- die Mehrzahl von Teilstrahlen (9c) sich in dem Fleck (8, 8', 8'', 8''') überlappen.

2. Laserspumpvorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das erste optische Element (6) eine erste Linse, bevorzugt eine erste zylindrische Linse, ist, die in einem der Brennweite der ersten Linse entsprechenden Abstand nahe der Diodenanordnung (1) platziert ist.

3. Laserspumpvorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die zweite Ebene im Wesentlichen senkrecht zur ersten Ebene ist.

4. Laserspumpvorrichtung nach einem der Ansprüche 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass das zweite optische Element (7) geeignet ist, die Divergenz jedes Teilstrahls (9b) in der Weise abzuwandeln, dass jeder Teilstrahl (4c) in die zweite Ebene kollimiert wird.

5. Laserspumpvorrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass das zweite optische Element (7) eine zweite Linse, bevorzugt eine zweite zylindrische Linse, ist, die in einem im Wesentlichen der Brennweite (f) der zweiten Linse entsprechenden Abstand von der Diodenanordnung (1) platziert ist.

6. Laserspumpvorrichtung nach einem der Ansprüche 2, 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, dass das zweite optische Element (7') geeignet ist, die Divergenz jedes Teilstrahls (9b) in der Weise abzuwandeln, dass jeder Teilstrahl (9c) in der zweiten Ebene divergent ist.

7. Laserspumpvorrichtung nach einem der Ansprüche 2, 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, dass

- das zweite optische Element (7'', 7''') geeignet ist, die Divergenz jedes Teilstrahls (9b) in der Weise abzuwandeln, dass jeder Teilstrahl (9c) in der zweiten Ebene konvergent ist;

- jeder Teilstrahl (9c) in der Weise divergent ist, dass der Abstand zwischen seinem Brennpunkt und dem

zweiten optischen Element (7'', 7''') wesentlich kleiner oder grösser als der Abstand zwischen dem zweiten optischen Element (7'', 7''') und dem Fleck (8'', 8''') ist.

8. Laserspumpvorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eines der folgenden Elemente:

- ein reflektierendes Element,
- eine astigmatische Linse (7'''),
- ein Hologramm (7'') oder
- eine Fresnel-Linse (7'')

das erste optische Element und das zweite optische Element funktionell ersetzt.

9. Single-Pass- oder Multipass-Verstärker Aufbau, gekennzeichnet durch eine Laserspumpvorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche.

10. Single-Pass- oder Multipass-Verstärker Aufbau nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass der Aufbau ein regenerativer Verstärker Aufbau ist, der umfasst:

- einen Polarisator (13), um einen polarisierten Laserpuls vorzugsweise von einer Seed-Laserquelle in den Aufbau einzukoppeln,
- eine Pockels-Zelle (10), um den Laserpuls in den Verstärker-Laserresonator hineinzuschalten und ihn, nachdem er verstärkt worden ist, herauszuschalten;
- zumindest einen Spiegel (11, 11'), um den Laserpuls zu reflektieren;
- ein Lasermedium (12), um den Laserpuls zu verstärken,
- bevorzugt mit dem Punpfleck, der einen Querschnitt mit einem Seitenverhältnis besitzt, das durch den Brechungsindex n des Lasermediums als 1:n definiert ist.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

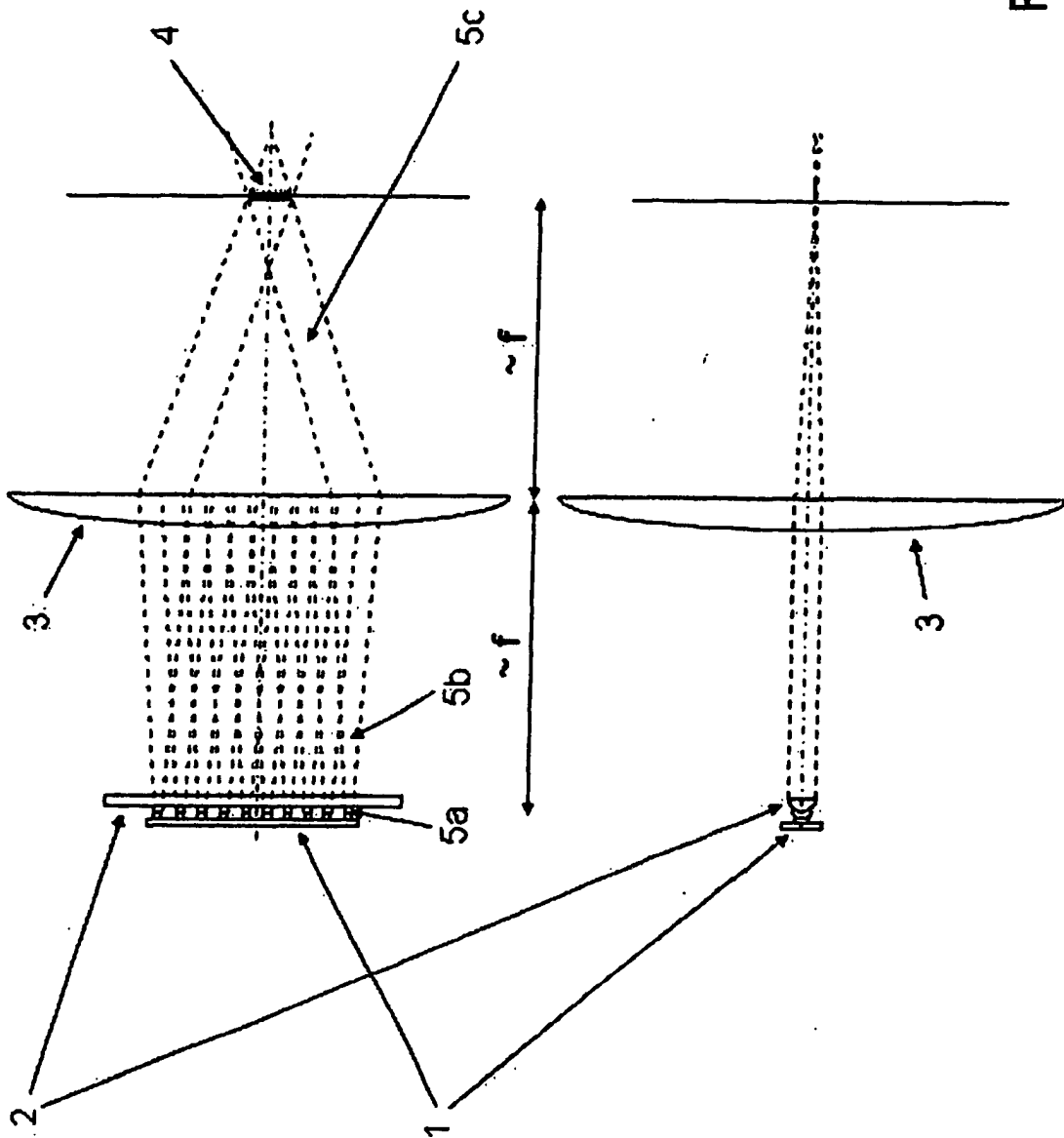


Fig. 1

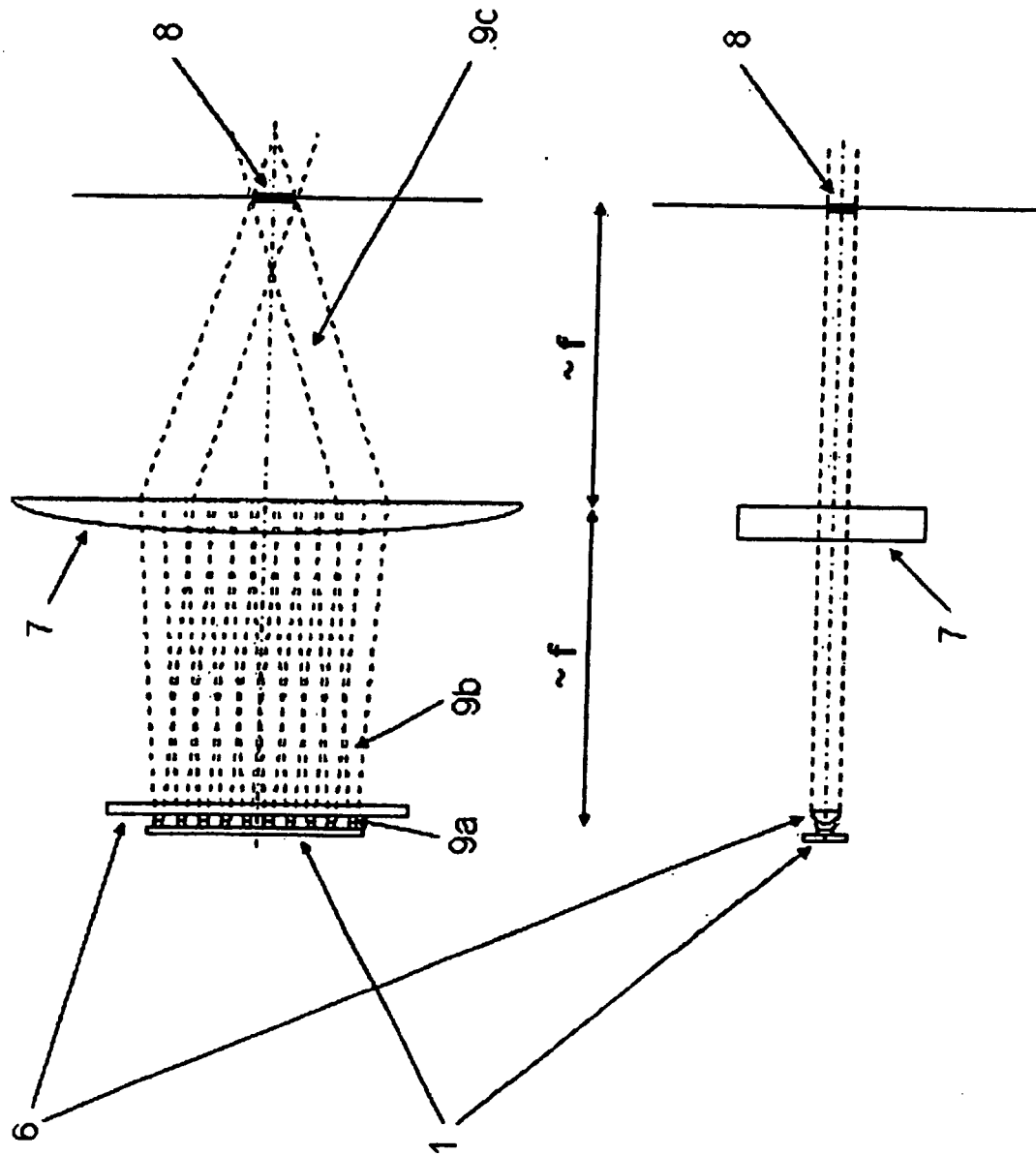
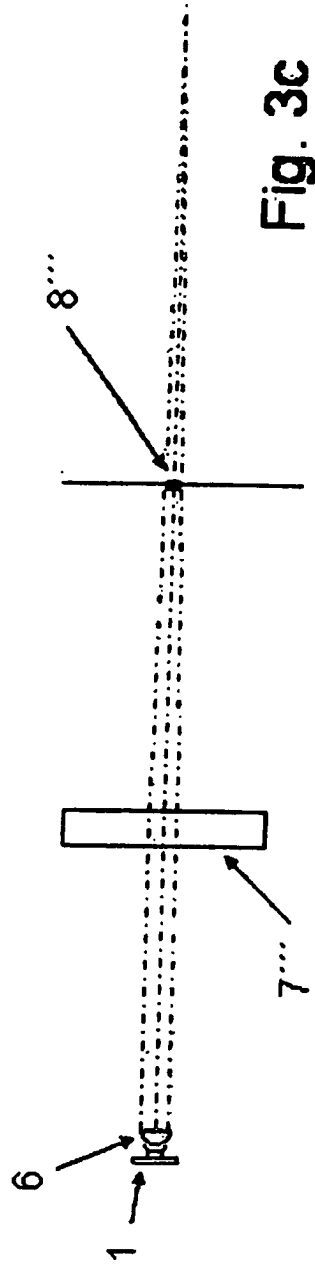
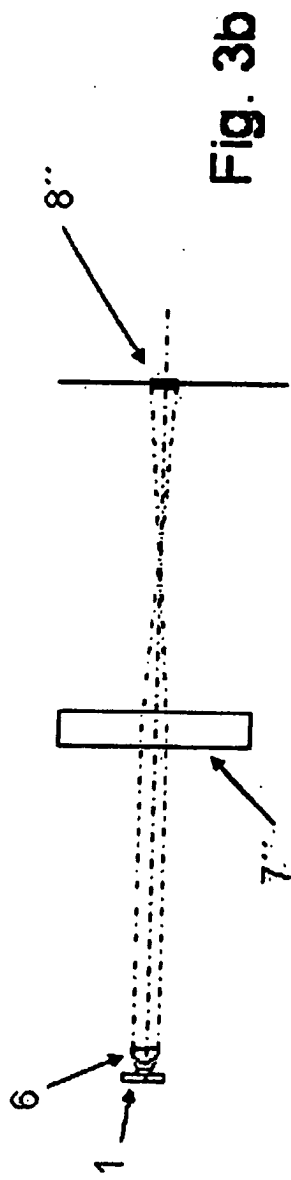
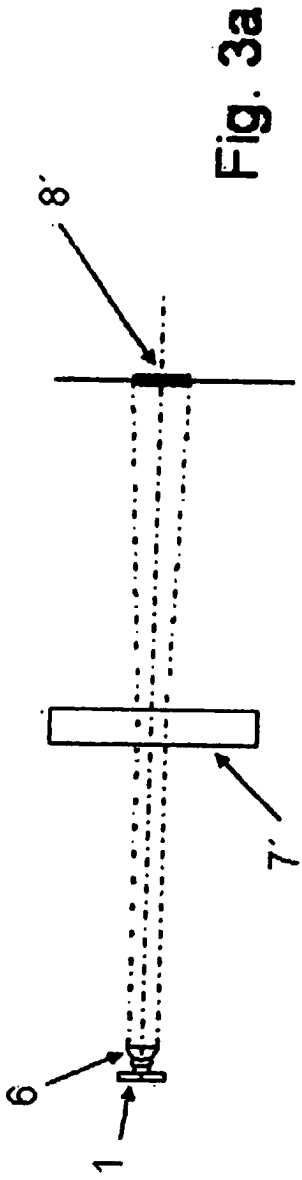


Fig. 2



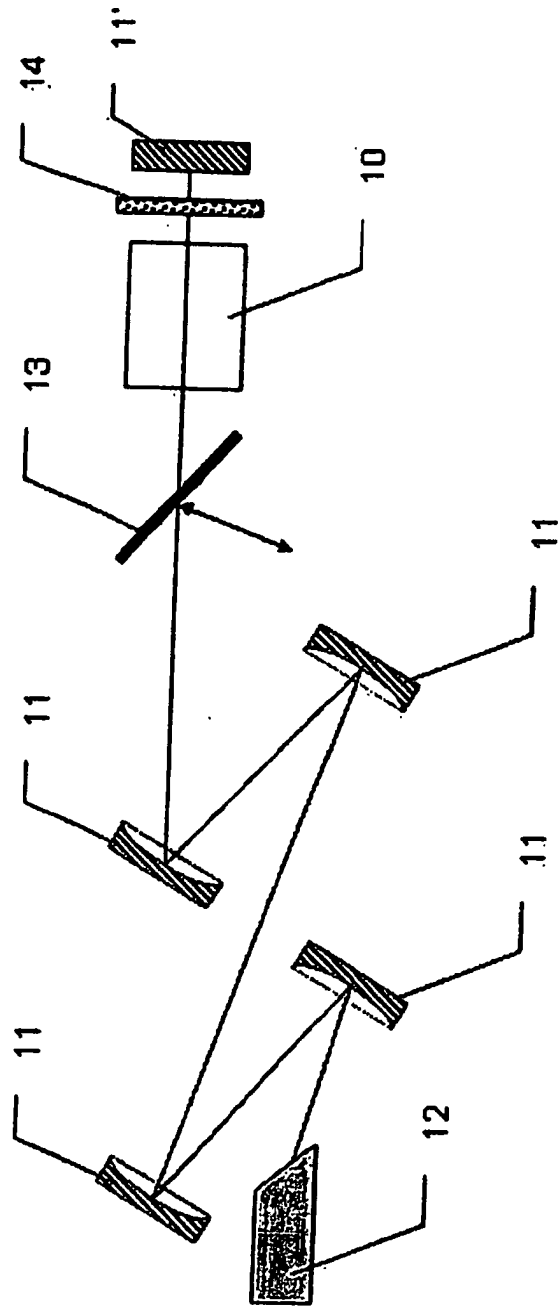


Fig. 4