



(10) **DE 10 2010 000 032 B4** 2025.06.12

(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2010 000 032.9**  
(22) Anmeldetag: **11.01.2010**  
(43) Offenlegungstag: **05.08.2010**  
(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: **12.06.2025**

(51) Int Cl.: **H01S 3/23 (2006.01)**  
**H01S 3/223 (2006.01)**  
**H01S 3/08 (2023.01)**  
**H01S 3/038 (2006.01)**  
**H01S 3/00 (2006.01)**  
**H05G 2/00 (2006.01)**

Innerhalb von neun 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).

(30) Unionspriorität:  
**2009-005771 14.01.2009 JP**

(73) Patentinhaber:  
**GIGAPHOTON, INC, Tokio/Tokyo, JP**

(74) Vertreter:  
**Global IP Europe Patentanwaltskanzlei, 80538 München, DE**

(72) Erfinder:  
**Nowak, Krzysztof, Oyama, Tochigi, JP; Moriya, Masato, Oyama, Tochigi, JP; Wakabayashi, Osamu, Hiratsuka-shi, Kanagawa, JP**

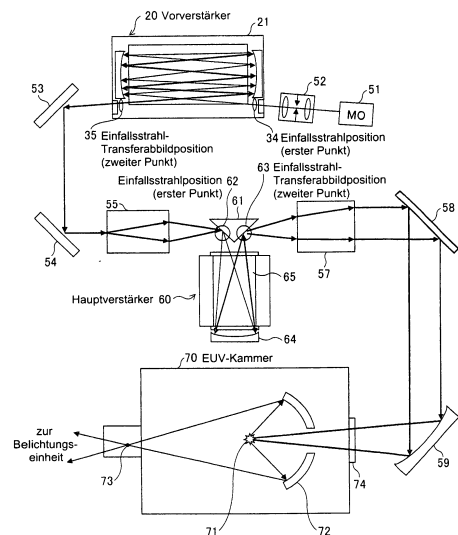
(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	100 25 874	A1
DE	10 2009 024 360	A1
US	2002 / 0 167 974	A1
US	2005 / 0 220 164	A1

(54) Bezeichnung: **Laservorrichtung unter Benutzung eines Laserstrahl-Verstärkers**

(57) Hauptanspruch: Laservorrichtung, aufweisend:  
- einen Master-Oszillator (51) zum Erzeugen eines gepulsten Laserstrahls;  
- einen Vorverstärker (20) zum Verstärken des durch den Master-Oszillator bereitgestellten gepulsten Laserstrahls, umfassend einen Laserstrahl-Verstärker, aufweisend:  
- einen Behälter zum Aufnehmen des Lasermediums;  
- ein Elektrodenpaar (22, 22b, 23, 23b) zum Durchführen einer Entladung im Lasermedium, um eine Verstärkungsregion (30, 30a, 30b) für einen Laserstrahl im Lasermedium auszubilden; und  
- ein optisches System (37, 37a, 38, 38a, 42, 43) zum Ausbilden eines Strahlengangs zwischen einem ersten Punkt (34), in welchem der Laserstrahl einfällt und einem zweiten Punkt (35), von welchem der verstärkte Laserstrahl ausgegeben wird, sodass die Verstärkungsregion im Strahlengang zwischen dem ersten Punkt und dem zweiten Punkt liegt, wobei der erste Punkt und der zweite Punkt konjugiert zueinander sind und der in dem ersten Punkt einfallende Laserstrahl während mindestens zweimaligen Durchgangs durch die Verstärkungsregion verstärkt wird und zum zweiten Punkt transferiert wird;  
- eine erste Relais-Optik (55) zum Anpassen einer Größe und eines Ausweitungswinkels des gepulsten Laserstrahls, der aus dem Vorverstärker ausgegeben wird;  
- einen Hauptverstärker (60) zum Verstärken des gepulsten Laserstrahls, der vom Vorverstärker über die erste Relais-Optik bereitgestellt wird; und  
- eine zweite Relais-Optik (57) zum Koordinieren des

gepulsten Laserstrahls, der vom Hauptverstärker ausgegeben wird, um paralleles Licht auszugeben.



**Beschreibung**

Hintergrund der Erfindung

Gebiet der Erfindung

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft eine Laservorrichtung, welche einen Laserstrahl-Verstärker zum Verstärken eines Seed-Laserstrahls verwendet. Insbesondere betrifft die vorliegende Erfindung eine Treiberlaservorrichtung zum Bestrahlen eines Target-Materials mit einem Laserstrahl, um das Target-Material in ein Plasma in einem Extrem-Ultraviolett (EUV) - Lichtquellengerät umzuwandeln.

Stand der Technik

**[0002]** In den letzten Jahren, als Halbleiterprozesse feiner wurden, hat Photolithographie schnellen Fortschritt zu einer feineren Herstellung hin gemacht. In der nächsten Generation wird Mikrofabrikation bei 60 nm bis 45 nm, ferner Mikrofabrikation bei 32 nm und kleiner benötigt. Entsprechend wird zum Beispiel erwartet, dass Belichtungsausrüstung durch Kombination einer EUV-Lichtquelle zum Erzeugen von EUV-Licht bei einer Wellenlänge von ungefähr 13 nm und Reflexionsoptik zur reduzierten Projektion erzeugt wird.

**[0003]** Als EUV-Lichtquelle gibt es eine LPP (laserproduziertes Plasma) -Lichtquelle, welche durch Bestrahlung eines Targets mit einem Laserstrahl (im Folgenden als EUV-Lichtquellenvorrichtung vom LLP-Typ bezeichnet) erzeugt wird. Die Lichtquellenvorrichtung vom LLP-Typ bestrahlt ein Target-Material, beispielsweise in der Vakuumkammer bereitgestelltes Zinn (Sn), mit einem Treiberlaserstrahl, um das Target-Material anzuregen und Plasma zu erzeugen. Vom erzeugten Plasma werden verschiedene Wellenlängenkomponenten, einschließlich EUV-Licht, abgestrahlt und eine gewünschte EUV-Komponente unter ihnen wird selektiv unter Verwendung eines Kollektorspiegels (EUV-Kollektorspiegel) gesammelt und an ein Gerät ausgegeben, das EUV-Licht verwendet, wie z.B. eine Belichtungseinheit.

**[0004]** Eine Ausgabeleistung von mehr als 100 Watt wird für eine EUV-Lichtquelle benötigt. Sogar im Fall einer EUV-Lichtquelle zum verhältnismäßig effizienten Erzeugen von EUV-Licht durch Verwendung einer Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) -Laservorrichtung und eines Zinn (Sn) -Targets wird eine höhere Effizienz der CO<sub>2</sub>-Laservorrichtung zur Ausgabe eines Treiberlaserstrahls zur Plasmaerzeugung bei industrieller Anwendung benötigt.

**[0005]** Als Treiberlaser zum Erzeugen des Plasmas wird ein gepulster Laserstrahl verwendet und deshalb enthält ein Laser vom Typ eines Master-Oszilla-

tor-Leistungsverstärkers, der als Treiberlaservorrichtung verwendet wird, beispielsweise einen Laseroszillator zum Erzeugen eines Kurz-Puls-CO<sub>2</sub>-Laserstrahls und einen Laserstrahl-Verstärker zum Verstärken des Kurz-Puls-CO<sub>2</sub>-Laserstrahls.

**[0006]** Der Laserstrahl-Verstärker hat eine Entladungseinheit zum Anregen eines CO<sub>2</sub>-Lasergases durch Entladung, welches Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>), Stickstoff (N<sub>2</sub>), Helium (He) und zusätzlich je nach Bedarf Wasserstoff (H<sub>2</sub>), Kohlenstoffmonoxid (CO), Xenon (Xe) und so weiter enthält. Im Laserstrahl-Verstärker wird ein durch den Laseroszillator erzeugter Seed-Laserstrahl zu einem Laserstrahl mit gewünschter Energie verstärkt. Der verstärkte Laserstrahl wird durch Laserstrahl-Fokussieroptik fokussiert und auf ein Target-Material, wie z.B. Zinn (Sn), Xenon (Xe) oder ähnliches aufgebracht.

**[0007]** Die DE 10 2009 024 360 A1 offenbart eine Slab-Typ-Laservorrichtung mit einem Laserstrahl-Verstärkerteil umfassend eine Mehrzahl von Rückspiegeln. Die DE 100 25 874 A1 offenbart eine optische Verstärker-Anordnung mit mehreren hochreflektierenden Spiegeln, zwischen denen ein Verstärkungsmedium angeordnet ist. Die US 2002/0167974 A1 offenbart einen gütegeschalteten CO<sub>2</sub> Laser mit Hohlraumdämpfung für die Materialbearbeitung. Zudem offenbart die US 2005/0220164 A1 einen Laseroszillator zur Erzeugung eines axial symmetrischen Laserstrahls mit unterdrücktem Astigmatismus.

**[0008]** Die US 5 386 431 A offenbart eine regenerative Laserverstärker-Anordnung zur Durchführung einer Mehrfachdurchgangs-Verstärkung. **Fig. 26** zeigt einen in US 005386431 A offenbarten Laserstrahl-Verstärker. Der Laserstrahl-Verstärker, wie in **Fig. 26** gezeigt, verwendet ein Mehrfachdurchgangssystem, in welchem ein eintretender Seed-Laserstrahl in einem Lasermedium mehrfach hin und her läuft, wodurch ein großer Verstärkungsfaktor durch effiziente Verwendung der Energie im Lasermedium erreicht werden kann. Dadurch kann eine Verkleinerung der den Laserstrahl-Verstärker enthaltenden Treiberlaservorrichtung erreicht werden.

**[0009]** Im Laserstrahl-Verstärker vom Mehrfachdurchgangs-Verstärkungstyp, wie in **Fig. 26** gezeigt, ist es nötig, den Strahlengang des Seed-Lasers in der Entladungsregion länger zu machen, um die Verstärkungseffizienz zu erhöhen. Entsprechend wird das optische System derart konstruiert, dass der Laserstrahl von einem hinteren Spiegel und einem vorderen Spiegel mehrfach reflektiert wird, um den Strahlengang des Laserstrahls innerhalb des Entladungsmediums länger zu machen.

**[0010]** Da jedoch die optische Weglänge im üblichen Laserstrahl-Verstärker vom Mehrfachdurch-

gangs-Verstärkungstyp bis zu 10 Metern betragen kann, vergrößert sich der Fehler zwischen den optischen Achsen (eine Differenz zwischen der optischen Referenzachse und der verschobenen optischen Achse) während der Reflexion und der Verstärkung des Seed-Laserstrahls, falls die optische Achse des Seed-Laserstrahls an der Eingangsposition in Bezug auf die optische Referenzachse verschoben ist, wie in **Fig. 27** gezeigt. Im Ergebnis wird aufgrund der großen Verschiebung der optischen Achse des zu verstärkenden Laserstrahls die Laserstrahlverstärkung nicht effizient durchgeführt und die Ausgabeleistung nach Verstärkung wird kleiner. Im Falle, in dem die optische Achse weiter verschoben ist, kann der Laserstrahl außerhalb des Ausgabefensters sein und nicht aus dem Laserstrahl-Verstärker ausgegeben werden, wie durch die gepunktete Linie in **Fig. 27** gezeigt.

**[0011]** Daher ist das Konfigurieren der Laservorrichtung, welche den Laserstrahl-Verstärker vom Mehrfachdurchgangs-Verstärkungstyp verwendet, aus folgenden Gründen extrem schwierig: (1) es ist schwierig, den Laserstrahl-Verstärker richtig im Strahlengang des Seed-Laserstrahls bereitzustellen; (2) es ist schwierig, den Seed-Laserstrahl korrekt zu dem bereitgestellten Laserstrahl-Verstärker zu führen, und (3) es ist schwierig, die optische Justierung der gesamten Laservorrichtung durchzuführen. Ferner ist selbst bei richtiger Konfiguration der Laservorrichtung der Strahlengang innerhalb des Laserstrahl-Verstärkers aufgrund von geringfügiger Verschiebung der Eintrittsposition oder des Eintrittswinkels weitgehend von der optischen Referenzachse verschoben. Entsprechend wird die Energieverbrauchseffizienz in der Entladungsregion geringer und der Verstärkungszustand wird instabil. Auf Grund dessen verschlechtern sich die Positionsgenauigkeit des Fokussierpunktes und die Fokussierfähigkeit des verstärkten Laserstrahls. Ferner tauchen die folgenden Probleme auf, falls der Laserstrahl-Verstärker vom Mehrfachdurchgangs-Verstärkungstyp in der Treiberlaservorrichtung der EUV-Lichtquellen Vorrichtung verwendet wird. Das heißt, wenn die Position des Fokussierpunktes des Treiberlaserstrahls um ein großes Maß verschoben ist, wird das Target-Material nicht mit dem Laserstrahl bestrahlt und es wird kein EUV-Licht erzeugt. Selbst wenn das Target-Material mit dem Laserstrahl bestrahlt wird, sinkt die Energie des EUV-Lichts und die Energiestabilität verkleinert sich.

#### Zusammenfassung der Erfindung

**[0012]** Die vorliegende Erfindung wurde im Hinblick auf die oben genannten Probleme vollbracht. Ein Ziel der vorliegenden Erfindung ist es, eine Laservorrichtung bereitzustellen, welche einen Laserstrahl-Verstärker mit hoher Stabilität der optischen Achse zur einfachen Justierung und Ausgabe eines stabilen

verstärkten Puls laserstrahls enthält, insbesondere eine Treiberlaservorrichtung zum Bestrahlen eines Target-Materials mit einem Laserstrahl, um das Target-Material in ein Plasma in einer EUV-Lichtquellen Vorrichtung umzuwandeln.

**[0013]** Um das oben erwähnte Ziel zu erreichen, wird eine Laservorrichtung mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1 angegeben.

**[0014]** Die Laservorrichtung umfasst einen Laserstrahl-Verstärker, aufweisend: einen Behälter zum Aufnehmen des Lasermediums; ein Elektrodenpaar zur Entladungserzeugung im Lasermedium, um eine Verstärkungsregion für den Laserstrahl in dem Lasermedium auszubilden, und ein optisches System zum Ausbilden eines Strahlengangs zwischen einem ersten Punkt, an dem der Laserstrahl einfällt, und einem zweiten Punkt, an dem der Laserstrahl ausgegeben wird, sodass die Verstärkungsregion im Strahlengang zwischen dem ersten Punkt und dem zweiten Punkt liegt, wobei der erste Punkt und der zweite Punkt konjugiert zueinander sind, und der am ersten Punkt einfallende Laserstrahl beim wenigstens zweimaligen Durchgang durch das Verstärkungsmedium verstärkt wird und dann zum zweiten Punkt überführt wird.

**[0015]** Ferner weist die Laservorrichtung auf: einen Master-Oszillator zum Erzeugen des gepulsten Laserstrahls; einen Laserstrahl-Vorverstärker, der den Laserstrahl-Verstärker wie zuvor beschrieben aufweist zum Verstärken des vom Masterlaser am ersten Punkt bereitgestellten gepulsten Laserstrahls und zum Ausgeben des verstärkten gepulsten Laserstrahls von dem zweiten Punkt; eine erste Relay-Optik zum Anpassen einer Größe und eines Aufweitungswinkels des vom Vorverstärker ausgegebenen gepulsten Laserstrahls; einen Hauptverstärker zum Verstärken des vom Vorverstärker über die erste Relay-Optik bereitgestellten gepulsten Laserstrahls und eine zweite Relay-Optik zum Kollimieren des vom Hauptverstärker ausgegebenen Laserstrahls, um paralleles Licht auszugeben.

**[0016]** Im Laserstrahl-Verstärker ist der Strahlengang zwischen dem ersten Punkt und dem zweiten Punkt so ausgebildet, dass die Verstärkungsregion im Strahlengang zwischen dem ersten Punkt und dem zweiten Punkt liegt, welche zueinander konjugiert sind, und der am ersten Punkt einfallende Laserstrahl wird während des wenigstens zweimaligen Durchgangs durch die Verstärkungsregion verstärkt und zum zweiten Punkt überführt. Demzufolge wird das Abbild des am ersten Punkt einfallenden Laserstrahls zum zweiten Punkt überführt und das Transferabbild wird fokussiert. Im Ergebnis wird der Fehler der optischen Achse nicht weitgehend vergrößert und die Fehler in der Position und in dem Einfallswinkel des Laserstrahls an der Einfallposition

bezogen auf die optische Referenzachse sind im Wesentlichen gleich zu den Fehlern an der Ausgangsposition.

**[0017]** Ferner wird, da der Laserstrahl-Verstärker eine hohe Strahlengangstabilität aufweist, der Fehler der optischen Achse bezogen auf die optische Referenzachse unterdrückt und die Energieverbrauchseffizienz in der gesamten Laser-vorrichtung wird nicht reduziert. Im Falle, dass ein optisches Justieren zwischen dem Laserstrahl-Verstärker und weiter Optik durchgeführt wird, kann das optische Justieren einfach und korrekt durch Verwendung des ersten Punktes und des zweiten Punktes als Referenz für die optische Achse verwendet werden. Durch Fokussierung des verstärkten, von der Laser-Vorrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung ausgehenden Laserstrahls mit hoher Lichtintensität auf den Plasmaemissionspunkt der EUV-Lichtquellenvorrichtung vom LLP-Typ kann somit EUV-Licht mit hoher Effizienz erzeugt werden und die Energiestabilität des EUV-Lichtes kann verbessert werden.

#### Kurze Beschreibung der Zeichnungen

**Fig. 1** zeigt eine Konfiguration eines Laserstrahl-Verstärkers zum Einsatz in einer Laser-vorrichtung gemäß der ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

**Fig. 2** zeigt eine perspektivische Ansicht einer Struktur innerhalb einer Kammer des Laserstrahl-Verstärkers, wie in **Fig. 1** gezeigt;

**Fig. 3** zeigt eine perspektivische Ansicht einer Struktur innerhalb einer Kammer des Laserstrahl-Verstärkers gemäß eines modifizierten Beispiels der ersten Ausführungsform;

**Fig. 4** ist eine Frontansicht zur Erläuterung eines Betriebs der Laserstrahl-Vorrichtung, wie in **Fig. 3** gezeigt;

**Fig. 5** zeigt eine Konfiguration des Laserstrahl-Verstärkers zum Einsatz in einer Laservorrichtung gemäß einer zweiten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

**Fig. 6** zeigt eine perspektivische Ansicht einer Struktur eines Laserstrahl-Verstärkers vom Schnell-Axialfluss-Typ, auf welchen die zweite Ausführungsform der vorliegenden Erfindung angewendet wird;

**Fig. 7** zeigt Elektroden des Laserstrahl-Verstärkers vom Schnell-Axialfluss-Typ, wie in **Fig. 6** gezeigt;

**Fig. 8** zeigt ein modifiziertes Beispiel der Elektroden des Laserstrahl-Verstärkers vom Schnell-Axialfluss-Typ, wie in **Fig. 6** gezeigt;

**Fig. 9** ist eine Seitenansicht einer Struktur eines Laserstrahl-Verstärkers vom triaxialen orthogo-

nal Typ, auf den die zweite Ausführungsform der vorliegenden Erfindung angewendet wird;

**Fig. 10** ist eine Schnittansicht entlang der A-A-Linie des Laserstrahl-Verstärkers vom triaxialen orthogonalen Typ, wie in **Fig. 9** gezeigt;

**Fig. 11** zeigt eine Konfiguration eines Laserstrahl-Verstärkers gemäß einem modifizierten Beispiel der zweiten Ausführungsform;

**Fig. 12** ist eine ebene Schnittansicht eines Laserstrahl-Verstärkers gemäß einem ersten Beispiel von oben gesehen;

**Fig. 13** ist ein Diagramm zur Erläuterung eines Betriebes des Laserstrahl-Verstärkers gemäß einem ersten Beispiel mit einem optischen System, in welchem reflektierende optische Elemente durch lichtdurchlässige optische Elemente ersetzt sind;

**Fig. 14** ist eine ebene Schnittansicht eines Laserstrahl-Verstärkers gemäß einem zweiten Beispiel von oben gesehen;

**Fig. 15** ist ein Diagramm zur Erläuterung eines Betriebes des Laserstrahl-Verstärkers gemäß dem zweiten Beispiel mit einem optischen System, in welchem reflektierende optische Elemente durch lichtdurchlässige optische Elemente ersetzt sind;

**Fig. 16** ist eine ebene Schnittansicht eines Laserstrahl-Verstärkers gemäß einem dritten Beispiel von oben gesehen;

**Fig. 17** ist ein Diagramm zur Erläuterung eines Betriebes des Laserstrahl-Verstärkers gemäß dem dritten Beispiel mit einem optischen System, in welchem reflektierende optische Elemente durch lichtdurchlässige optische Elemente ersetzt sind;

**Fig. 18** ist eine ebene Schnittansicht eines Laserstrahl-Verstärkers gemäß einem vierten Beispiel von oben gesehen;

**Fig. 19** ist ein Diagramm zur Erläuterung eines Betriebes des Laserstrahl-Verstärkers gemäß dem vierten Beispiel mit einem optischen System, in welchem reflektierende optische Elemente durch lichtdurchlässige optische Elemente ersetzt sind, und die lichtdurchlässigen optischen Elemente in Serie angeordnet sind;

**Fig. 20** ist eine ebene Schnittansicht eines Laserstrahl-Verstärkers gemäß einem fünften Beispiel von oben gesehen;

**Fig. 21** ist ein Diagramm zum Erläutern eines Betriebes des Laserstrahl-Verstärkers gemäß dem fünften Beispiel mit einem optischen System, in welchem reflektierende optische Elemente durch lichtdurchlässige optische Ele-

mente ersetzt sind und die lichtdurchlässigen optischen Elemente in Reihe angeordnet sind;

**Fig. 22** ist eine ebene Schnittansicht eines Laserstrahl-Verstärkers gemäß einem sechsten Beispiel von oben gesehen;

**Fig. 23** zeigt eine Konfiguration einer EUV-Lichtquellenvorrichtung, welche eine Treiberlaser-Vorrichtung gemäß der dritten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung verwendet;

**Fig. 24** zeigt eine Konfiguration einer EUV-Lichtquellenvorrichtung, welche eine Treiberlaser-Vorrichtung gemäß der vierten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung verwendet;

**Fig. 25** zeigt eine Konfiguration einer EUV-Lichtquellenvorrichtung, welche eine Treiberlaser-Vorrichtung gemäß der fünften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung verwendet;

**Fig. 26** zeigt einen üblichen Laserstrahl-Verstärker vom Mehrfachdurchgangs-Verstärkungstyp; und

**Fig. 27** ist ein Diagramm zur Erläuterung eines Problems in dem gewöhnlichen Laserstrahl-Verstärker vom Mehrfachdurchgangs-Verstärkungstyp.

#### Beschreibung der bevorzugten Ausführungsformen

**[0018]** Nachstehend werden die bevorzugten Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung im Detail unter Bezugnahme auf die Zeichnungen erläutert. Die gleichen Bezugszeichen werden den gleichen Teilkomponenten zugeordnet und deren Erläuterung wird ausgelassen.

(Ausführungsform 1)

**[0019]** **Fig. 1** zeigt eine Konfiguration eines Laserstrahl-Verstärkers zum Einsatz in einer Laservorrichtung gemäß einer ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung und zeigt den Fall, in dem die vorliegende Erfindung mit einem plattenartigen Laserstrahl-Verstärker angewendet wird, um das Prinzip eines Laserstrahl-Verstärkers zum Einsatz in einer Laservorrichtung der vorliegenden Erfindung auf eine einfach zu verstehende Weise zu erläutern.

**[0020]** Wie in **Fig. 1** gezeigt, weist der Laserstrahl-Verstärker gemäß der ersten Ausführungsform eine Kammer 21 als Behälter zum Aufnehmen des Lasermediums, ein Elektrodenpaar zum Erzeugen der Entladung in dem Lasermedium zum Erzeugen einer Verstärkungsregion 30 für einen Laserstrahl in dem Lasermedium und ein optisches System auf, das ein Paar von reflektierenden Spiegeln 37 und 38 hat, welche einander gegenüber mit dazwischenliegendem Verstärkungsmedium angeordnet sind, und der Laserstrahl-Verstärker führt Mehrfachdurch-

gangs-Verstärkung aus. Die Kammer 21 ist mit einem Eingangsfenster 33 ausgestattet, durch welches ein Laserstrahl einfällt, und einem Ausgabefenster 36, durch welches der Laserstrahl ausgegeben wird. Als Lasermedium wird beispielsweise ein CO<sub>2</sub>-Lasergas verwendet, das Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>), Stickstoff (N<sub>2</sub>), Helium (He) und zusätzlich, je nach Bedarf, Wasserstoff (H<sub>2</sub>), Kohlenstoffmonoxid (CO), Xenon (Xe) usw. enthält.

**[0021]** **Fig. 2** ist eine perspektivische Ansicht, welche die Struktur innerhalb der Kammer des Laserstrahl-Verstärkers darstellt, wie in **Fig. 1** gezeigt. Wie in **Fig. 2** gezeigt, ist ein Paar von Plattenelektroden 22 und 23 so angeordnet, dass das innerhalb der Kammer eingeschlossene Lasermedium zwischen diesen beiden eingelegt ist. Wenn eine Radiofrequenz (RF) -Energieversorgung 24 eine Radiofrequenz-Spannung zwischen der Plattenelektrode 22 und der Plattenelektrode 23 bereitstellt, erzeugen die Plattenelektroden 22 und 23 ein elektrisches Radiofrequenz-Feld, um eine Radiofrequenz-Entladung in dem Lasermedium zu erzeugen. Dadurch wird das Lasermedium angeregt und ein Seed-Laserstrahl (einfallender Strahl), welcher in die Kammer durch das Eingangsfenster 33 einfällt, wird verstärkt. Der Seed-Laserstrahl wird während des Verstärkens von den reflektierenden Spiegeln 37 und 38 reflektiert und dann als ein Ausgabestrahler von dem Ausgabefenster 36 nach außen aus der Kammer ausgegeben.

**[0022]** Die Verstärkungsregion für den Laserstrahl ist hier eine Entladungsregion, welche zwischen der Elektrodenplatte 22 und die Elektrodenplatte 23 eingelegt ist. Durch Anwendung einer Radiofrequenz-Spannung zwischen die Elektrodenplatte 22 und die Elektrodenplatte 23 wird ein Teil des die Kammer ausfüllenden Lasermediums, welcher zwischen die Elektrodenplatte 22 und die Elektrodenplatte 23 eingelegt ist, angeregt und eine plattenförmige Entladungsregion wird ausgebildet. Die Lücke zwischen der Elektrodenplatte 22 und der Elektrodenplatte 23 beträgt ungefähr 0,5 mm bis 2 mm, und der Bereich der Entladungsregion hat eine dünne rechteckige Form. Zum Kühlen der Elektrodenplatten 22 und 23 und des Lasermediums wird den Elektrodenplatten 22 und 23 Kühlwasser bereitgestellt.

**[0023]** Mit erneutem Bezug auf **Fig. 1** sind die reflektierenden Spiegel 37 und 38 konkave HR (high-reflection - hoch-reflektierende) - Spiegel mit Fokussierfähigkeit, die den Laserstrahl stark fokussieren, und sind einander zugewandt mit dazwischenliegender Verstärkungsregion 30. Beispielsweise sind die reflektierenden Spiegel 37 und 38 mit einer kleinen Verschiebung in vertikaler Richtung in **Fig. 1** platziert, sodass die Linie, welche die Mitte der Reflexionsoberfläche und den Krümmungsmittelpunkt des reflektierenden Spiegels 37 und die Linie, welche

die Mitte der Reflexionsoberfläche und den Krümmungsmittelpunkt des reflektierenden Spiegels 38 verbindet, parallel zueinander sind. Dadurch verläuft der einfallende Strahl durch die Seite, an der sich der reflektierende Spiegel 38 befindet, und fällt auf den reflektierenden Spiegel 37 und der Ausgabestrahle verläuft durch die Seite, an der sich der reflektierende Spiegel 37 befindet, und wird ausgegeben.

**[0024]** Der in den Laserstrahl einfallende Seed-Laserstrahl wird durch das Eingangsfenster 33 transmittiert, um in die Kammer 21 zu gelangen, und verläuft durch eine Einfallstrahlposition 34 entlang eines Referenzstrahlengangs 40, wie in **Fig. 1** durch durchgezogene Linien dargestellt. Die Einfallstrahlposition 34 ist ein vorbestimmter erster Punkt in dem Strahlengang. Der Seed-Laserstrahl, der durch die Einfallstrahlposition (erster Punkt) verlaufen ist, wird während des Durchgangs durch die Verstärkungsregion 30 verstärkt, fällt auf den reflektierenden Spiegel 37 und wird mit hoher Reflektivität reflektiert, wird während erneuten Durchgangs durch die Verstärkungsregion 30 verstärkt und mit hoher Reflektivität durch den gegenüber liegenden Spiegel 38 reflektiert.

**[0025]** Der durch den reflektierenden Spiegel 38 reflektierte Laserstrahl wird während erneuten Durchgangs durch die Verstärkungsregion 30 verstärkt, durch den reflektierenden Spiegel 37 erneut reflektiert, während Durchgangs durch die Verstärkungsregion 30 verstärkt, durch den reflektierenden Spiegel 38 reflektiert, durch das Ausgabefenster 36 transmittiert und aus dem Laserstrahl-Verstärker ausgegeben. Hierbei wird das Abbild des an dem ersten Punkt 34 einfallenden Laserstrahls zu einem vorbestimmten zweiten Punkt 35 in der Nähe der Position überführt, an der die optische Referenzachse 40 durch die Seite verläuft, an der sich der reflektierende Spiegel 37 befindet, und ein Einfallstrahl-Transferabbild wird ausgebildet.

**[0026]** Wie oben beschrieben, bildet das die reflektierenden Spiegel 37 und 38 enthaltende optische System einen Strahlengang zwischen dem ersten Punkt 34, an dem der Laserstrahl einfällt, und dem zweiten Punkt 35, von dem der Laserstrahl ausgegeben wird, sodass die Verstärkungsregion 30 im Strahlengang zwischen dem ersten Punkt 34 und dem zweiten Punkt 35, die konjugiert zueinander sind, angeordnet ist und der am ersten Punkt 34 einfallende Laserstrahl während mindestens zweimaligem Durchgang durch die Verstärkungsregion 30 verstärkt wird und dann zum zweiten Punkt 35 überführt wird. Hier ist es wünschenswert, dass der erste Punkt 34, an dem der Laserstrahl einfällt, neben dem Eingangsfenster 33 angeordnet ist, und dass der zweite Punkt 35, von welchem der Laserstrahl ausgegeben wird, neben dem Ausgabefenster 36 angeordnet ist.

**[0027]** Unter der Annahme, dass ein Objekt an der Position des ersten Punktes 34 platziert wird, entsprechen der erste Punkt 34 und der zweite Punkt 35 einem Objektpunkt bzw. einem Abbildpunkt des die reflektierenden Spiegel 37 und 38 enthaltenden optischen Systems, und sind auf Grundlage der Fokussierfähigkeit und des räumlichen Anordnungsverhältnisses der reflektierenden Spiegel 37 und 38 bestimmt. Die Position des ersten Punktes 34 und des zweiten Punktes 35 werden im Vorfeld bestimmt und dadurch können die Krümmungsradien „R“ und die Lagen der reflektierenden Spiegel 37 und 38, entsprechend diesen Positionen, bestimmt werden.

**[0028]** In **Fig. 1** ist der durch die gepunktete Linie gezeigte Strahlengang 41 ein Strahlengang, bei dem die optische Achse (Lage und/oder Propagationsrichtung) des in den Laserstrahl-Verstärker einfallenden Seed-Laserstrahls gegen die der optische Referenzachse 40 verschoben ist. Im Falle einer Benutzung des optischen Systems, in welchem der erste Punkt 34 und der zweite Punkt 35 wie oben beschrieben bestimmt werden, sogar wenn die optische Achse des Seed-Laserstrahls gegen die optische Referenzachse 40 verschoben ist, wird die räumliche Lagebeziehung zwischen dem einfallenden Strahl und dem ersten Punkt 34 in der räumlichen Lagebeziehung zwischen dem herausgehenden Strahl und dem zweiten Punkt 35 rekonstruiert aus der Beziehung, dass das Abbild des einfallenden Strahls am ersten Punkt 34 zum zweiten Punkt 35 überführt wird, und dadurch weicht die optische Achse des verstärkten Laserstrahls nicht wesentlich vom Referenzstrahlengang 40 ab.

**[0029]** Somit hat im Laserstrahl-Verstärker gemäß dieser Ausführungsform die optische Achse des herausgehenden Strahls selbst dann, wenn die optische Achse des einfallenden Strahls einen Fehler in Bezug auf die optische Referenzachse 40 hat, nur den Fehler, der gleich dem Fehler relativ zur Referenzachse 40 an der Eintrittsstelle ist. Dementsprechend ist die Stabilität der optischen Achse verbessert, die Verstärkungseffizienz variiert nicht merklich und der Seed-Laserstrahl kann stabil verstärkt werden. Im Ergebnis werden die Position und die Form des Fokussierpunktes stabil.

**[0030]** Insbesondere ist es wünschenswert, dass die Transfervergrößerung des Einfallstrahl-Transferbildes des einfallenden Strahls im Wesentlichen gleich „1“ ist. Im Falle, in dem die Transfervergrößerung gleich „1“ ist, hat die Position des herausgehenden Strahls am zweiten Punkt 35 selbst dann, wenn die Einfallstrahl-Position am ersten Punkt 34 einen Fehler in Bezug auf die optische Referenzachse 40 hat, im Wesentlichen nur den gleichen Fehler in Bezug auf die optische Referenzachse 40. Das heißt, der Positionsfehler von 1 mm am ersten

Punkt 34 erzeugt nur einen Positionsfehler von 1 mm am zweiten Punkt 35.

**[0031]** Ferner hat der Winkel des herausgehenden Strahls am zweiten Punkt 35 selbst dann, wenn der Winkel des einfallenden Strahls am ersten Punkt 34 einen Fehler in Bezug auf die optische Referenzachse 40 hat, nur im Wesentlichen den gleichen Fehler in Bezug auf die optische Referenzachse 40. In einem üblichen Laserstrahl-Verstärker, der eine Strahlengänglänge von 30 Meter in 10 Durchgängen hat unter der Annahme, dass die Einfallssposition die Referenzposition ist und nur der Einfallswinkel einen Fehler von 1 mrad in Bezug auf die optische Referenzachse 40 hat, hat beispielsweise die Ausgabe-position einen Positionsfehler von ungefähr 30 mm in Bezug auf die optische Referenzachse 40. Hingegen passiert der Ausgabestrahle den zweiten Punkt 35 im Laserstrahl-Verstärker gemäß der Ausführungsform im Referenzstrahlengang 40 ohne Versagen und es wird ein herausgehender Strahl ausgegeben, der einen Ausgangswinkel-Fehler von 1 mrad in Bezug auf den Referenzstrahlengang 40 hat.

**[0032]** Wie oben beschrieben, hat der Laserstrahl-Verstärker gemäß der Ausführungsform einen großen Vorteil im Stabilisieren der optischen Achse. Ferner weicht der Strahlengang des Laserstrahls in der Verstärkungsregion 30 nicht wesentlich von dem vorgesehenen Referenzstrahlengang 40 ab und dadurch wird die Verwendungseffizienz der im Lasermedium gespeicherten Energie nicht reduziert.

**[0033]** Im Falle, in dem ein weiteres optisches Element der optischen Achse vorgelagert oder nachgelagert verbunden wird, kann ferner die Stabilisierung der optischen Achse der gesamten Laservorrichtung verwirklicht werden, wenn die optische Verbindung in Bezug auf den ersten Punkt 34 und den zweiten Punkt 35 gemacht wird. Im Falle, in dem der Seed-Laserstrahl durch einen Master-Oszillator erzeugt wird und als einfallender Strahl des Laserstrahl-Verstärkers einfällt, kann beispielsweise das Justieren des aus dem Laserstrahl-Verstärker herausgehenden Laserstrahls einfach angepasst werden durch Anpassen der Lagebeziehung und der Winkelbeziehung zwischen dem Master-Oszillator und dem Laserstrahl-Verstärker, sodass die optische Achse des Seed-Laserstrahls durch den ersten Punkt 34 verläuft. Ferner kann im Falle, in dem Relay-Optik zum Umleiten des aus dem Laserstrahl-Verstärker ausgegebenen Laserstrahls bereitgestellt ist, die Stabilisierung der optischen Achse der gesamten Laser-Vorrichtung ferner durch Anpassen der Lagebeziehung und der Winkelbeziehung zwischen dem Laserstrahl-Verstärker und der Relay-Optik erreicht werden, sodass der Laserstrahl, dessen optischen Achse durch den zweiten Punkt 35 verläuft, zu der Relay-Optik gelangt.

**[0034]** In dem Laserstrahl-Verstärker verhalten sich der erste Punkt 34 und der zweite Punkt 35 wie der Objektpunkt und der Abbildpunkt und sind konjugiert zueinander und daher sind sie, sogar wenn der Eingang und der Ausgang des Laserstrahl-Verstärkers für den Gebrauch vertauscht werden, optisch äquivalent, falls die Transfervergrößerung gleich „1“ ist.

**[0035]** In der Ausführungsform wurde die Konfiguration, in welcher die Verstärkungsregion 30 zwischen dem Paar der reflektierenden Spiegel 37 und 38 angeordnet ist, zur vereinfachten Erläuterung erklärt. Jedoch ist die vorliegende Erfindung nicht auf diese Konfiguration beschränkt, solange wie ein optisches System bereitgestellt ist, in welchem der erste Punkt 34 und der zweite Punkt 35 konjugiert zueinander sind und der am ersten Punkt 34 einfallende Laserstrahl während des mindestens zweimaligen Durchgangs durch die Verstärkungsregion 30 verstärkt wird und dann zum zweiten Punkt 35 überführt wird.

**[0036]** Fig. 3 ist eine perspektivische Ansicht, welche eine Struktur innerhalb einer Kammer eines Laserstrahl-Verstärkers gemäß eines modifizierten Beispiels der ersten Ausführungsform darstellt, und zeigt den Fall, wo die vorliegende Erfindung mit einem Laserstrahl-Verstärker vom gleichachsigen Platten-Typ angewendet wird.

**[0037]** Wie in Fig. 3 gezeigt, enthält der Laserstrahl-Verstärker gemäß dem modifizierten Beispiel der ersten Ausführungsform ein Paar zylindrischer Elektroden 22a und 23a zum Ausbilden einer Verstärkungsregion für einen Laser im Lasermedium durch Erzeugen einer Entladung im Lasermedium und ein optisches System, welches eine erste Gruppe von reflektierenden Spiegeln 37a und eine zweite Gruppe von reflektierenden Spiegeln 38a aufweist, welche sich mit dazwischenliegender Verstärkungsregion in einer Kammer gegenüberstehen, in welcher das Lasermedium eingeschlossen ist, und führt Mehrfach-Verstärkung aus. In der Kammer sind ein Eingangsfenster 33a, durch welches ein Laserstrahl einfällt, und ein Ausgabefenster 36a, aus welchem ein Laserstrahl herausgeht, bereitgestellt.

**[0038]** Fig. 4 ist eine Vorderansicht zur Erläuterung eines Betriebsvorgangs des in Fig. 3 gezeigten Laserstrahl-Verstärkers. Wie in Fig. 4 gezeigt, ist das Paar der zylindrischen Elektroden 22a und 23a gleichachsige angeordnet. Wenn eine Radiofrequenz (RF)-Spannungsversorgung 24a eine RF-Spannung zwischen die zylindrische Elektrode 22a und die zylindrische Elektrode 23a anlegt, erzeugen die zylindrischen Elektroden 22 und 23 ein elektrisches RF-Feld, um eine RF-Entladung im Lasermedium zu erzeugen. Dadurch wird das Lasermedium angeregt und der durch das Eingangsfenster 33 einfallende Seed-Laserstrahl (einfallender Strahl) wird verstärkt.

Der Seed-Laserstrahl wird von den reflektierenden Spiegeln 37a und 38a während der Verstärkung reflektiert und dann als herausgehender Strahl durch das Ausgabefenster 36a nach außen aus der Kammer ausgegeben.

**[0039]** In dem modifizierten Beispiel der ersten Ausführungsform bildet das optische System, einschließlich der reflektierenden Spiegel 37a und 38a, ebenfalls einen Strahlengang zwischen einem ersten Punkt 34a, an dem der Laserstrahl einfällt, und einem zweiten Punkt 35a, an welchem der Laserstrahl ausgegeben wird, sodass die Verstärkungsregion im Strahlengang zwischen dem ersten Punkt 34a und dem zweiten Punkt 35a gelegen ist, die zueinander konjugiert sind, und der am ersten Punkt 34a einfallende Laserstrahl während des mindestens zweimaligen Durchgangs durch die Verstärkungsregion verstärkt wird und dann zum zweiten Punkt überführt wird. Hier ist es wünschenswert, dass der erste Punkt 34a, an dem der Laserstrahl einfällt, neben dem Eingangsfenster 33a gelegen ist und der zweite Punkt, an dem der Laserstrahl ausgegeben wird, neben dem Ausgabefenster 36a gelegen ist.

(Ausführungsform 2)

**[0040]** Fig. 5 zeigt eine Konfiguration eines Laserstrahl-Verstärkers gemäß der zweiten Ausführungsform und zeigt den Fall, wo die vorliegende Erfindung auf einen Laserstrahl-Verstärker vom Zweifachdurchgangs-Verstärkungstyp zum Einsatz in einer Laservorrichtung angewendet wird.

**[0041]** Wie in Fig. 5 gezeigt, enthält der Laserstrahl-Verstärker zum Einsatz in einer Laservorrichtung gemäß der zweiten Ausführungsform eine Entladungsröhre 25 zum Aufnehmen eines Lasermediums, ein Elektrodenpaar zum Ausführen der Entladung im Lasermedium, um eine Verstärkungsregion 30 für einen Laserstrahl im Lasermedium zu erzeugen, ein optisches System, welches einen konkaven HR-Spiegel 37 und ein HR-Spiegelprisma 43 aufweist, die mit dazwischen liegender Verstärkungsregion 30 einander gegenüber angeordnet sind und einen sättigbaren Absorber 31, wie z.B. eine Schwefelhexafluorid (SF<sub>6</sub>)-Gaszelle, welche Eigen- und parasitäre Oszillationen unterbindet.

**[0042]** Reflektierende Oberflächen 44 und 45 des HR-Spiegelprismas 43 sind mit einer Beschichtung zur hochgradigen Reflexion des Laserstrahls beschichtet. Die Entladungsröhre 25 ist mit einem ersten Fenster 46, durch welches der Laserstrahl einfällt, und einem zweiten Fenster 47, durch welches der Laserstrahl ausgegeben wird, ausgestattet. Als Lasermedium wird beispielsweise ein CO<sub>2</sub>-Lasergas verwendet, welches Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>), Stickstoff (N<sub>2</sub>), Helium (He) und zusätzlich,

je nach Bedarf, Wasserstoff (H<sub>2</sub>), Kohlenstoffmonoxid (CO), Xenon (Xe) usw. verwendet.

**[0043]** Der Laserstrahl-Verstärker erlaubt es dem Laserstrahl, auf einmal hin und zurück durch die Verstärkungsregion 30 zur Verstärkung des Laserstrahls zu propagieren. In dem Laserstrahl-Verstärker vom Zweifachdurchgangs-Verstärkungstyp sind der konkave HR-Spiegel 37 mit Fokussiereigenschaft und das HR-Spiegelprisma 43 zur Reflexion des einfallenden Strahls und des herausgehenden Strahls einander gegenüber mit dazwischen liegender Verstärkungsregion 30 angeordnet. Somit können dadurch, dass der konkave HR-Spiegel 37 und das HR-Spiegelprisma 43 einander zugewandt vorgesehen werden die Einfallstrahlposition (erster Punkt 34) und die Einfallstrahl-Transferabbildposition (zweiter Punkt 35) ermittelt werden, die konjugiert zueinander sind.

**[0044]** Das heißt, in dem Laserstrahl-Verstärker vom Zweifachdurchgangs-Verstärkungstyp, wie in Fig. 5 gezeigt, ist der Abstand „D“ zwischen der Einfallstrahlposition 34, wo der einfallende Strahl auf eine reflektierende Oberfläche 44 des HR-Spiegelprismas 43 fällt, und der konkave HR-Spiegel 37 im Wesentlichen gleich dem Krümmungsradius „R“ (Brennweite  $f = R/2$ ) des konkaven HR-Spiegels 37 ( $D \approx R = 2f$ ). Dadurch kann das Abbild des einfallenden Strahls an der Einfallstrahlposition (erster Punkt) 34 zur Einfallstrahl-Transferabbildposition (zweiter Punkt) 35 auf der anderen reflektierenden Oberfläche 45 des HR-Spiegelprismas 43 im Strahlengang des Ausgabestrahls überführt werden und das Transferabbild kann fokussiert werden. Hier verhalten sich der erste Punkt 34 und der zweite Punkt 35 wie der Objektpunkt und der Abbildpunkt und sind zueinander konjugiert.

**[0045]** In Fig. 5 fällt der Seed-Laserstrahl auf die reflektierende Oberfläche 44 des HR-Spiegelprismas 43 unter einem Einfallswinkel, der etwas größer als 45 Grad ist. Dann wird der Seed-Laserstrahl in einem Winkel reflektiert, der etwas größer als 45 Grad ist, durch das erste Fenster 46 transmittiert, durch die Verstärkungsregion 30 verstärkt, weiter durch das zweite Fenster 47 transmittiert und passiert den sättigbaren Absorber 31, der Eigen- und parasitäre Oszillationen unterdrückt.

**[0046]** Der Laserstrahl, der den sättigbaren Absorber 31 passiert hat, fällt auf den konkaven HR-Spiegel 37 unter einem Winkel, der etwas größer als 0 Grad ist, wird in einem Winkel reflektiert, der etwas größer als 0 Grad ist, passiert erneut den sättigbaren Absorber 31, wird durch das zweite Fenster 47 transmittiert und läuft durch die Verstärkungsregion 30 zur weiteren Verstärkung. Dann wird der verstärkte Laserstrahl durch das erste Fenster 46 erneut transmittiert, erreicht die andere reflektierende Oberfläche

45 des HR-Spiegelprismas 43, wird in einem Reflexionswinkel reflektiert, der etwas größer als 45 Grad ist, und wird als ein verstärkter Laserstrahl ausgegeben.

**[0047]** Da hier die Einfallstrahl-Position (erster Punkt) 34 und die Einfallstrahl-Transferabbildposition (zweiter Punkt) 35 konjugiert zueinander sind, kann das Abbild des einfallenden Strahls an der Einfallstrahl-Position (erster Punkt) 34 auf der reflektierenden Oberfläche 44 zu der Einfallstrahl-Transferabbildposition (zweiter Punkt) 35 auf der reflektierenden Oberfläche 45 überführt werden und das Transferabbild kann fokussiert werden.

**[0048]** Die Zweifachdurchgangs-Verstärkung kann auf einen Laserstrahl-Verstärker vom Schnell-Axialfluss-Typ und einen Laserstrahl-Verstärker vom triaxialen orthogonalen Typ angewendet werden. Der Laserstrahl-Verstärker gemäß der zweiten Ausführungsform hat den Vorteil, dass der Laserstrahl-Verstärker in einem Verstärker mit einem kleinen Verstärkungsbereich (kreisförmige Form, quadratische Form, rechteckige Form mit einem kleinen Seitenverhältnis) verwendet werden kann, zum Beispiel in einem schlauchartigen Verstärker.

**[0049]** Fig. 6 ist eine perspektivische Ansicht, welche eine Struktur eines Laserstrahl-Verstärkers vom Schnell-Axialfluss-Typ zeigt, auf welchen die zweite Ausführungsform Erfindung angewendet wird, und Fig. 7 zeigt Elektroden des in Fig. 6 gezeigten Laserstrahl-Verstärkers vom Schnell-Axialfluss-Typ. Wie in Fig. 6 und 7 gezeigt, ist ein Paar von Elektroden 22b und 23b so vorgesehen, dass die mit einem Lasermedium gefüllte Entladungsröhre 25 dazwischenliegt. Wenn eine RF-Energieversorgung 24b eine RF-Spannung zwischen die Elektrode 22b und die Elektrode 23b anlegt, erzeugen die Elektroden 22b und 23b ein elektrisches RF-Feld, um RF-Entladung in dem Lasermedium zu erzeugen, und eine Entladungsregion wird zwischen den Elektroden 22b und 23b ausgebildet.

**[0050]** Dadurch wird das Lasermedium angeregt und ein Seed-Laserstrahl (einfallender Strahl), der vom HR-Spiegelprisma 43 reflektiert wird und in die Entladungsröhre 25 durch das erste Fenster 46 eintritt, wird verstärkt. Ferner wird der Seed-Laser durch das zweite Fenster 47 transmittiert, vom konkaven HR-Spiegel 37 reflektiert, fällt erneut in die Entladungsröhre 25 durch das zweite Fenster 47 ein und wird verstärkt. Der verstärkte Laser wird durch das erste Fenster 46 transmittiert, trifft auf das HR-Spiegelprisma 43, wird vom HR-Spiegelprisma 43 reflektiert und wird als herausgehender Strahl ausgegeben. Das Lasermedium innerhalb der Entladungsröhre 25 wird durch eine Lasergas-Zirkulationspumpe 26 in Zirkulation gehalten und durch einen Wärmetauscher 27 gekühlt.

**[0051]** Fig. 8 zeigt ein modifiziertes Beispiel der Elektroden des Laserstrahl-Verstärkers vom Schnell-Axialfluss-Typ, wie in Fig. 6 gezeigt. In Fig. 8 hat jede der Elektroden 22b und 23b eine spiralförmige Form. Dadurch wird die Entladungsregion zwischen den Elektroden 22b und 23b gleichförmig gestaltet und gleichförmige Verstärkung des Laserstrahls kann durchgeführt werden.

**[0052]** Fig. 9 ist eine Seitenansicht, welche eine Struktur eines Laserstrahl-Verstärkers vom triaxialen orthogonalen Typ zeigt, auf welchen die zweite Ausführungsform der vorliegenden Erfindung angewendet wird, und Fig. 10 ist eine Schnittdansicht entlang der A-A-Linie des Laserstrahl-Verstärkers vom triaxial-orthogonalen Typ, wie in Fig. 9 gezeigt. Wie in Fig. 9 und 10 gezeigt, ist ein Paar von Elektroden 22c und 23c innerhalb einer mit einem Lasermedium gefüllten Kammer 21c bereitgestellt. Wenn eine RF-Energieversorgung eine RF-Spannung zwischen die Elektrode 22c und die Elektrode 23c anlegt, erzeugen Elektroden 22c und 23c ein elektrisches RF-Feld, um eine RF-Entladung in dem Lasermedium zu erzeugen, und eine Entladungsregion wird zwischen den Elektroden 22c und 23c ausgebildet.

**[0053]** Dadurch wird das Lasermedium angeregt und der Seed-Laserstrahl (einfallender Strahl), der durch das HR-Spiegelprisma 43 reflektiert wird und in die Kammer 21c durch das erste Fenster 46 einfällt, wird verstärkt. Ferner wird der Seed-Laserstrahl durch das zweite Fenster 47 transmittiert, vom konkaven HR-Spiegel 37 reflektiert, fällt durch das zweite Fenster 47 erneut in die Kammer 21c ein und wird verstärkt. Der verstärkte Laserstrahl wird durch das erste Fenster 46 transmittiert, trifft auf das HR-Spiegelprisma 43, wird vom HR-Spiegelprisma 43 reflektiert und als Ausgabestrahler ausgegeben. Das Lasermedium innerhalb der Kammer 21c wird von einem durch einen Motor betriebenen Querstromventilator in Zirkulation gehalten und durch einen Wärmetauscher 29 gekühlt.

**[0054]** Fig. 11 zeigt eine Konfiguration eines Laserstrahl-Verstärkers gemäß einem modifizierten Beispiel der zweiten Ausführungsform. Der Laserstrahl-Verstärker, wie in Fig. 11 gezeigt, unterscheidet sich dadurch vom Laserstrahl-Verstärker in Fig. 5, dass die Entladungsröhre 25, wie in Fig. 5 gezeigt, in eine Mehrzahl von Entladungsröhren (zwei Entladungsröhren 25a und 25b sind in Fig. 11 gezeigt) unterteilt ist, und dadurch wird der Laserstrahl verstärkt, während er longitudinal durch eine Mehrzahl von Verstärkungsregionen (zwei Verstärkungsregionen 30a und 30b sind in Fig. 11 gezeigt) hindurch in Serie propagiert. Der Laserstrahl kann effizient durch Setzen der Durchmesser der Entladungsröhren 25a und 25b gemäß den Intervallen verstärkt werden, in denen der Laserstrahl durch die Entladungsröhren 25a und 25b hindurchtritt. Ferner kann ein sättigbarer

Absorber 31, der Eigen- und parasitäre Oszillationen unterdrückt, zwischen der Entladungsröhre 25a und der Entladungsröhre 25b angeordnet sein.

**[0055]** Auch in diesem Fall wird der Abstand „D“ zwischen der Einfallstrahl-Position 34, wo der Seed-Laserstrahl (einfallender Strahl) auf das HR-Spiegelprisma 43 fällt, und dem konkaven HR-Spiegel 37 im Wesentlichen gleich dem Krümmungsradius „R“ des konkaven HR-Spiegels 37 gestaltet ( $D \approx R = 2f$ ). Dadurch kann das Abbild des einfallenden Strahls an der Einfallstrahl-Position (erster Punkt) 34 zu der Einfallstrahl-Transferabbildposition (zweiter Punkt) 35 auf der anderen reflektierenden Oberfläche 45 des HR-Spiegelprismas 43 überführt werden und das Transferabbild kann fokussiert werden. Hier verhalten sich der erste Punkt 34 und der zweite Punkt 35 wie der Objektpunkt und der Abbildpunkt und sind konjugiert zueinander.

**[0056]** In Fig. 11 fällt der Seed-Laserstrahl auf die reflektierende Oberfläche 44 des HR-Spiegelprismas 43, welche mit einer den Seed-Laserstrahl hochreflektierenden Beschichtung beschichtet ist, unter einem Einfallswinkel, der ein wenig größer als 45 Grad ist. Dann wird der Seed-Laserstrahl in einem Reflexionswinkel reflektiert, der etwas größer als 45 Grad ist, durch ein erstes Fenster 46a der Entladungsröhre 25a transmittiert, durch die Verstärkungsregion 30a verstärkt, weiter durch ein zweites Fenster 47a transmittiert und durchläuft den sättigbaren Absorber 31, der Eigen- und parasitäre Oszillationen unterdrückt. Ferner wird der durch den sättigbaren Absorber 31 hindurchgetretene Laserstrahl durch ein erstes Fenster 46b der Entladungsröhre 25b transmittiert, durch die Verstärkungsregion 30b verstärkt und weiter durch ein zweites Fenster 47b transmittiert.

**[0057]** Der Laserstrahl, der durch das zweite Fenster 47b transmittiert wurde, fällt auf den konkaven HR-Spiegel 37 unter einem Einfallswinkel, der etwas größer als 0 Grad ist, wird in einem Reflexionswinkel, der etwas größer 0 Grad ist, reflektiert und durch die Verstärkungsregion 30b erneut verstärkt. Der Laserstrahl, der durch die Verstärkungsregion 30b hindurchgetreten ist, passiert erneut den sättigbaren Absorber 31, wird dann durch die Verstärkungsregion 30a verstärkt und erreicht die andere reflektierende Oberfläche 45 des HR-Spiegelprismas 43, wird in einem Reflexionswinkel, der etwas größer als 45 Grad ist, reflektiert und als verstärkter Laserstrahl ausgegeben.

**[0058]** Da hier die Einfallstrahl-Position (erster Punkt) 34 und die Einfallstrahl-Transferabbildposition (zweiter Punkt) 35 zueinander konjugiert sind, kann das Abbild des einfallenden Laserstrahls an der Position des einfallenden Laserstrahls (erster Punkt) 34 auf der reflektierenden Oberfläche 44 zu

der Einfallstrahl-Transferabbildposition (zweiter Punkt) 35 auf der reflektierenden Oberfläche 45 überführt werden und das Transferabbild kann fokussiert werden.

**[0059]** Ein Vorteil des modifizierten Beispiels der zweiten Ausführungsform ist, dass eine Entladungsröhre in eine Mehrzahl von Entladungsröhren aufgeteilt wird und der sättigbare Absorber 31 zwischen der Mehrzahl von Entladungsröhren angeordnet sein kann, und deshalb kann der Seed-Laserstrahl mit hoher Effizienz verstärkt werden, während parasitäre Oszillationen und Eigenoszillationen unterdrückt werden.

**[0060]** Nachfolgend werden mehrere Beispiele erläutert, die durch weitere Ingebrauchnahme der Ausbildungsformen der vorliegenden Erfindung erreicht werden.

<Beispiel 1>

**[0061]** Fig. 12 ist eine ebene Schnittzeichnung eines Laserstrahl-Verstärkers gemäß einem ersten Beispiel von oben gesehen. In dem Laserstrahl-Verstärker wird eine RF-Spannung zwischen zwei breite Plattenelektroden angelegt, um eine RF-Entladung in einem CO<sub>2</sub>-Lasergas zu erzeugen, wodurch eine Verstärkungsregion 30 ausgebildet wird. Ferner sind beide der zwei reflektierenden Spiegel 37 und 38, zwischen den die Verstärkungsregion 30 eingelegt ist, konkave HR-Spiegel.

**[0062]** Der Seed-Laserstrahl (einfallender Strahl) wird schräg durch das Eingangsfenster 33 transmittiert und durch die Verstärkungsregion 30 verstärkt. Der Seed-Laserstrahl fällt auf den reflektierenden Spiegel 37 unter einem Einfallswinkel größer als 0 Grad, wird mit hoher Reflektivität reflektiert und in der Verstärkungsregion 30 erneut verstärkt. Dann fällt der Laserstrahl auf den reflektierenden Spiegel 38, welcher dem reflektierenden Spiegel 37 gegenüber angeordnet ist, unter einem Einfallswinkel größer als 0 Grad, wird mit hoher Reflektivität reflektiert, weiter in der Verstärkungsregion 30 verstärkt, durch das Ausgabefenster 36 transmittiert und ausgegeben.

**[0063]** In dem optischen System, einschließlich der reflektierenden Spiegel 37 und 38, wie in Fig. 12 gezeigt, wird ebenfalls ein Abbild des Laserstrahls an der Einfallstrahl-Position (erster Punkt) 34, die neben dem Eingangsfenster 33 angeordnet ist, zu der Einfallstrahl-Transferabbildposition (zweiter Punkt) 35, die im Strahlengang des herausgehenden Strahls neben dem Ausgabefenster 36 angeordnet ist, überführt und ein Einfallstrahl-Transferabbild wird fokussiert.

**[0064]** Fig. 13 ist ein Diagramm zur Erläuterung des Betriebsablaufs des Laserstrahl-Verstärkers gemäß dem ersten Beispiel mit einem optischen System, in welchem reflektierende optische Elemente durch lichtdurchlässige optische Elemente ersetzt sind.

**[0065]** Im Allgemeinen wird eine kombinierte Brennweite „F“ eines komplexen Linsensystems, welches zwei dünne Linsen M1 und M2 enthält, durch die folgende Gleichung (1) ausgedrückt und der Abstand ZH zwischen einem Hauptpunkt der ersten Linse M1 und einem vorderen Hauptpunkt des komplexen Linsensystems wird durch folgende Gleichung (2) beschrieben:

$$F = f_1 \cdot f_2 / (f_1 + f_2 - t) \quad (1),$$

$$ZH = f_1 \cdot t / (f_1 + f_2 - t) \quad (2),$$

wobei  $f_1$  eine Brennweite der ersten Linse M1 ist,  $f_2$  eine Brennweite der hinteren Linse M2 ist und „t“ ein Abstand zwischen der vorderen Linse M1 und der hinteren Linse M2 ist.

**[0066]** Unter der Annahme, dass der Abstand zwischen der Objektposition und der vorderen Linse M1 zu dem Abstand zwischen den Linsen „t“ gleich ist, wird die Vergrößerung „M“ des Transferabbildes des Objektes im komplexen Linsensystem durch die folgende Gleichung (3) ausgedrückt:

$$M = (ZH + t - F) / F \quad (3).$$

**[0067]** Entsprechend, wie in Fig. 13 gezeigt, wird ein optisches System angenommen, in welchem die reflektierenden Spiegel 37 und 38, wie in Fig. 12 gezeigt, durch zwei dünne Linsen M1 und M2 mit fokussierenden Eigenschaften ersetzt sind. In Fig. 13, vorausgesetzt dass der Abstand „t“ zwischen der Linse M1 und der Linse M2 gleich „L“, wird der Abstand  $L_i$  zwischen der Einfallstrahl-Position (erster Punkt) 34, welcher der Objektposition entspricht, und der vorderen Linse M1 gleich „L“ gestaltet, der Abstand  $L_o$  zwischen der Einfallstrahl-Transferabbildposition (zweiter Punkt) 35, wo das Transferabbild des an der der Einfallstrahl-Position einfallenden Strahls (erster Punkt) 34 gebildet wird, und der hinteren Linse M2 wird gleich „L“ gestaltet, und das Abbild wird bei einer Vergrößerung von  $M = 1$  übertragen. Ferner haben die Linsen M1 und M2 die gleiche Brennweite  $f=R/2$ .

**[0068]** Durch Einsetzen dieser Beziehungen in die obigen Gleichungen erhält man die folgenden Gleichungen (4) bis (6):

$$F = f^2 / (2f - L) \quad (4),$$

$$ZH = f \cdot L / (2f - L) \quad (5),$$

$$M = 1 = (ZH + L - F) / F \quad (6).$$

**[0069]** Aus den Gleichungen (4) bis (6) erhält man  $f = R/2 = L$ . Das heißt, durch Vorsehen von zwei sphärischen konkaven HR-Spiegeln, mit Krümmungsradien  $R = 2L$ , die in einem Abstand von „L“ einander gegenüber angeordnet sind, wird das Abbild des einfallenden Strahls an der Einfallstrahl-Position (erster Punkt) 34 zu der Einfallstrahl-Transferabbildposition (zweiter Punkt) 35 im Strahlengang des herausgehenden Strahls in einem Verhältnis von 1:1 übertragen. Hier sind der erste Punkt 34 und der zweite Punkt 35 konjugiert zueinander.

**[0070]** Das erste Beispiel kann auf einen CO<sub>2</sub>-Laserstrahl-Verstärker vom Platten-Typ angewendet werden. Da das Transferabbild des einfallenden Strahls im Strahlengang des herausgehenden Strahls nur in gleichem Maße wie der einfallende Strahl variiert, kann der Laserstrahl-Verstärker gemäß dem ersten Beispiel einen einfallenden Strahl verstärken, selbst wenn die optische Achse des einfallenden Strahls zu einem gewissen Grad verschoben ist, und die Stabilität der optischen Achse des herausgehenden Strahls wird verbessert.

<Beispiel 2>

**[0071]** Fig. 14 ist eine ebene Schnittansicht des Laserstrahl-Verstärkers gemäß einem zweiten Beispiel von oben gesehen. Das zweite Beispiel wird auf einen CO<sub>2</sub>-Laserstrahl-Verstärker vom Platten-Typ angewendet, ähnlich dem, der in Fig. 12 gezeigt ist. Der Laserstrahl-Verstärker gemäß dem zweiten Beispiel ist derart ausgebildet, dass der Laserstrahl in fünffachem Durchgang unter Verwendung eines optischen Systems, einschließlich reflektierender Spiegel, zwischen den sich eine Verstärkungsregion 30 befindet, verstärkt wird. Das zweite Beispiel ist dadurch ausgezeichnet, dass ein Bild des am ersten Punkt 34 einfallenden Strahls zu einem dritten Punkt 39 in der Mitte des zickzackartigen Strahlengangs überführt wird, um ein erstes Transferabbild zu fokussieren, und das erste Transferabbild wird weiter zu dem zweiten Punkt 35 im Strahlengang des herausgehenden Strahls überführt, um ein zweites Transferabbild zu erzeugen. Das zweite Beispiel gehört jedoch insofern zum technischen Umfang der ersten Ausführungsform, als dass die optische Achse durch Überführung des Abbildes des am ersten Punkt 34 einfallenden Strahls zu dem zweiten Punkt 35 im Strahlengang des herausgehenden Laserstrahls überführt wird.

**[0072]** Der Laserstrahl-Verstärker gemäß dem zweiten Beispiel überführt das Abbild des einfallenden Strahls an der Einfallstrahl-Position (erster Punkt 34) im Strahlengang des einfallenden Strahls zur ersten Einfallstrahl-Transferabbildposition (dritter Punkt 39) in der Mitte des zickzackartigen Strahlen-

gangs, um das erste Transferabbild zu fokussieren, und überführt ferner das erste Transferabbild am dritten Punkt 39 zur zweiten Einfallsstrahl-Transferabbildposition (zweiter Punkt 35) im optischen Strahlengang des herausgehenden Strahls, um das zweite Transferabbild zu fokussieren. Insbesondere wird das optische System des Laserstrahl-Verstärkers derart ausgebildet, dass die Einfallstrahl-Position (erster Punkt 34) im Wesentlichen mit der zweiten Einfallsstrahl-Transferabbildposition (zweiter Punkt) 35 übereinstimmt. Durch Verwendung des optischen Systems wird es einfacher, das optische System in der gesamten Laservorrichtung auszubilden.

**[0073]** Im Laserstrahl-Verstärker ist ein Paar von reflektierenden Spiegel 37 und 38 in einem Abstand „L“ einander gegenüberliegend mit dazwischen liegender Verstärkungsregion 30 angeordnet. Jeder der reflektierenden Spiegel 37 und 38 ist ein konkaver HR-Spiegel mit einem Krümmungsradius „R“, wie in **Fig. 14** gezeigt, der reflektierende Spiegel 37 ist verkippt angeordnet, sodass sein unteres Ende in der Zeichnung näher am reflektierenden Spiegel 38 ist.

**[0074]** Ein durch einen Master-Oszillator bereitgestellter Seed-Laserstrahl (einfallender Strahl) wird schräg durch das Eingangsfenster 33 des Laserstrahl-Verstärkers transmittiert und während Durchgangs durch die Verstärkungsregion 30 verstärkt (erster Durchgang). Ein Punkt, an welchem der Abstand „L“ zwischen den reflektierenden Spiegeln 37 und 38 im Strahlengang des einfallenden Strahls in zwei gleiche Teile aufgeteilt wird, wird zur Einfallsstrahlposition (erster Punkt) im optischen System festgesetzt. Der Abstand  $L_1$  zwischen dem ersten Punkt 34 im Strahlengang des einfallenden Strahls und dem reflektierenden Spiegel 37 beträgt  $L/2$ .

**[0075]** Der Laserstrahl, der durch Passieren des ersten Punktes 34 verstärkt wurde, fällt unter einem Einfallswinkel, der größer als 0 Grad ist, auf den reflektierenden Spiegel 37, wird schräg zur unteren linken Seite in der Zeichnung reflektiert, passiert erneut die Verstärkungsregion 30 und wird weiter verstärkt (zweiter Durchgang). Ferner fällt der Laserstrahl unter einem Einfallswinkel, der größer als 0 Grad ist, auf den reflektierenden Spiegel 38 auf der linken Seite der Zeichnung, passiert in der Zeichnung im Wesentlichen horizontal die Verstärkungsregion 30 und wird verstärkt (dritter Durchgang). Durch Justierung der Konfiguration des optischen Systems kann hier das Abbild des einfallenden Strahls am ersten Punkt 34 zum in der Mitte des reflektierenden Spiegels 37 liegenden dritten Punkt 39 transferiert werden, um das erste Transferabbild zu fokussieren. Hier verhalten sich der erste Punkt 34 und der zweite Punkt 35 wie der Objektpunkt und der Abbildpunkt und sind konjugiert zueinander.

**[0076]** Ferner wird der Laserstrahl vom rechten reflektierenden Spiegel 37 in Richtung nach oben links in der Zeichnung reflektiert und durch die Verstärkungsregion 30 verstärkt (vierter Durchgang), vom linken reflektierenden Spiegel 38 in Richtung nach oben rechts in der Zeichnung reflektiert, durch die Verstärkungsregion 30 verstärkt (fünfter Durchgang), durch das Ausgabefenster transmittiert und als herausgehender Strahl ausgegeben. Hierbei überführt das optische, die reflektierenden Spiegel 37 und 38 aufweisende System das erste Transferabbild am dritten Punkt 39 zum zweiten Punkt 35, welcher in der Mitte der reflektierenden Spiegel 37 und 38 im Strahlengang des Laserstrahls vom reflektierenden Spiegel 38 zum Ausgabefenster 36 liegt, um das zweite Transferabbild des einfallenden Strahls zu fokussieren. Die zweite Einfallsstrahl-Transferabbildposition (zweiter Punkt) 35 kann der Einfallstrahl-Position (erster Punkt) 34 überlagert sein. Der Abstand  $L_0$  zwischen dem reflektierenden Spiegel 38 und dem zweiten Punkt 35 im Strahlengang des herausgehenden Strahls ist  $L/2$ .

**[0077]** **Fig. 15** ist ein Diagramm zur Erläuterung eines Betriebsvorgangs des Laserstrahl-Verstärkers gemäß dem zweiten Beispiel mit einem optischen System, in welchem reflektierende optische Elemente durch lichtdurchlässige optische Elemente ersetzt worden sind. Dieses optische System unterscheidet sich von den in **Fig. 5** und **12** gezeigten optischen Systemen und es ist nicht möglich, die Gleichungen (1) bis (3) anzuwenden, da die kombinierte Brennweite unendlich groß wird, wenn die Beziehung  $f_1 = f_2 = L/2$  und  $t = L$  in die Gleichung (1) eingesetzt wird. Ein solches optisches System wird im Allgemeinen als ein afokales System bezeichnet.

**[0078]** Im Falle, in dem die Brennweiten der Linse  $M_1$  und der Linse  $M_2$   $f_1$  beziehungsweise  $f_2$  sind und die Linsen  $M_1$  und  $M_2$  in einem Abstand ( $f_1 + f_2$ ) von einander angeordnet sind, ist unter der Annahme, dass die Objektposition eine Stelle stromaufwärts von der Linse  $M_1$  in einem Abstand  $f_1$  von der Linse  $M_1$  ist, die Position des Transferabbildes des Objektes eine Stelle stromabwärts der Linse  $M_2$  in einem Abstand  $f_2$  der Linse  $M_2$ .

**[0079]** Die Verstärkung „M“ im Falle eines afokalen Systems wird durch die folgende Gleichung ausgedrückt:

$$M = f_1 / f_2 \quad (7).$$

**[0080]** Wenn  $f_1 = f_2$ , wie im zweiten Beispiel der Fall ist, ist die Vergrößerung „M“ = „1“. Hier erhält man unter der Annahme, dass die Brennweiten der Linsen  $M_1$  bis  $M_4$  derselben Brennweite „f“ entsprechen und der Abstand zwischen zwei benachbarten Linsen „L“ ist, das in **Fig. 15** gezeigte optische System, falls die Beziehung  $L = 2f$  erfüllt ist. Hier kann das optische

System durch Befriedigen der Beziehung  $L = R$  realisiert werden, unter der Voraussetzung, dass die Krümmungsradien der konkaven Spiegel 37 und 38 „R“ entsprechen.

**[0081]** Mit Bezug auf **Fig. 15** wird der Seed-Laserstrahl (einfallender Strahl) durch die Einfallstrahlposition (erster Punkt) 34 im Strahlengang des einfallenden Strahls transmittiert und fällt auf die Linse M1. Die Einfallstrahl-Position (erster Punkt) 34 ist stromaufwärts der Linse M1 in einem Abstand  $L_1 = R/2$  von der Linse M2 angeordnet. Die Linse M1 hat die gleiche fokussierende Eigenschaft wie der rechte reflektierende Spiegel 37 in **Fig. 14**, und die Linse M2 hat die gleiche fokussierende Eigenschaft wie der linke reflektierende Spiegel 38 wie in **Fig. 14**. Der Abstand zwischen der Linse M1 und M2 beträgt „L“. Der Laserstrahl, der durch die Linsen M1 und M2 transmittiert worden ist, fokussiert das erste Transferabbild am dritten Punkt 39, der stromabwärts der Linse M2 in einem Abstand  $L/2$  von der Linse M2 angeordnet ist.

**[0082]** Ferner ist eine Linse M3 an einer Stelle stromabwärts des dritten Punktes 39 in einem Abstand  $L/2$  von dem dritten Punkt 39 vorgesehen, und ferner ist eine Linse M4 an einer Stelle stromabwärts der Linse M3 in einem Abstand „L“ von der Linse M3 angeordnet. Die Linse M3 hat die gleiche Fokussiereigenschaft wie der rechte reflektierende Spiegel 37 in **Fig. 14**, und die Linse M4 hat die gleiche Fokussiereigenschaft wie der linke reflektierende Spiegel 38 in **Fig. 14**. Dadurch wird der aus dem ersten Transferabbild am dritten Punkt 39 herausgehende Laserstrahl durch die Linse M3 und die Linse M4 transmittiert und bildet dann das zweite Transferabbild am zweiten Punkt 35 aus, das in einem Abstand von  $L_0 = L/2$  von der Linse M4 angeordnet ist.

**[0083]** Im zweiten Beispiel wird das Abbild des einfallenden Strahls zweimal transferiert. Allerdings ist die vorliegende Erfindung nicht auf dieses Beispiel beschränkt, sondern kann das Abbild des einfallenden Strahls mehrfach transferiert werden, sodass das Abbild des einfallenden Strahls am ersten Punkt des Strahlengangs des einfallenden Strahls zum zweiten Punkt im optischen Strahlengang des herausgehenden Strahls transferiert werden kann, um das Transferabbild des einfallenden Strahls zu fokussieren.

**[0084]** Gemäß dem zweiten Beispiel variiert das Transferabbild des einfallenden Strahls am zweiten Punkt im Strahlengang des herausgehenden Strahls nur im gleichen Maße wie der einfallende Strahl selbst und daher wird die Stabilität des herausgehenden Strahls verbessert. Ferner kann die Verstärkung auf einem hohen Maß gehalten werden und

die Ausgabe des Laserstrahls-Verstärkers wird stabilisiert.

**[0085]** Ferner verwendet der Laserstrahl-Verstärker gemäß dem zweiten Beispiel das afokale optische System, da der erste Punkt im Strahlengang des einfallenden Strahls mit dem zweiten Punkt im Strahlengang des herausgehenden Strahls zusammenfällt und daher unter Beibehaltung der optischen Güteeigenschaften des einfallenden Strahls (Strahlgröße, Strahlaufweitung, usw.) ausgegeben wird. Im Ergebnis hat das einen Vorteil, dass die Justierung zwischen optischen, zu verbindenden Elementen extrem vereinfacht wird, im Falle, in dem die Laservorrichtung zum Verstärken des Laserstrahls bei großem Verstärkungsfaktor durch Verbindung vieler Laserstrahl-Verstärker in Serie ausgebildet wird.

<Beispiel 3>

**[0086]** **Fig. 16** ist eine ebene Schnittansicht des Laserstrahl-Verstärkers gemäß einem dritten Beispiel von oben gesehen. Im dritten Beispiel wird ein  $\text{CO}_2$ -Laserstrahl-Verstärker vom Platten-Typ angenommen, ähnlich zu den in **Fig. 12** und **14** gezeigt. Der Laserstrahl-Verstärker gemäß dem dritten Beispiel erlaubt dem Seed-Laserstrahl (einfallender Strahl) die Verstärkungsregion in mehrfachen Durchgängen einer zickzackartigen Weise zu passieren, in dem es das optische System verwendet, das durch zwei einander gegenüberliegend angeordnete reflektierende Spiegel mit dazwischen liegender Verstärkungsregion 30 gebildet wird, wobei jeder Spiegel einen Krümmungsradius „R“ hat. Durch Verstärkung auf der langen optischen Weglänge kann auf diese Art und Weise die Verstärkungseffizienz verbessert werden und ferner kann die Energie des einfallenden Strahls in hohem Maße verstärkt und ausgegeben werden. Ein Abbild des einfallenden Strahls an der Einfallstrahlposition (erster Punkt) 34 wird zum zweiten Punkt 35 im Strahlengang des herausgehenden Strahls transferiert und dadurch wird ein Transferabbild des einfallenden Strahls fokussiert.

**[0087]** Wie in **Fig. 16** gezeigt, passiert der durch das Eingangsfenster 33 schief in das optische System eingetretene Seed-Laserstrahl (einfallender Strahl) den ersten Punkt 34 und wird durch die Verstärkungsregion 30 verstärkt (erster Durchgang). Dann fällt der Laserstrahl auf den rechten reflektierenden Spiegel 37 in der Zeichnung unter einem Einfallswinkel, der größer als 0 Grad ist, wird nach unten links reflektiert und durch die Verstärkungsregion 30 verstärkt (zweiter Durchgang). Ferner fällt der Laserstrahl auf den linken reflektierenden Spiegel 38 in der Zeichnung unter einem Einfallswinkel größer als 0 Grad, wird nach unten rechts reflektiert und durch die Verstärkungsregion 30 verstärkt (dritter Durchgang). Der Vorgang, in welchem der Laserstrahl auf

den reflektierenden Spiegel unter einem Einfallswinkel einfällt, der größer als 0 Grad ist, schräg nach unten reflektiert wird und durch die Verstärkungsregion 30 verstärkt wird, wird vom vierten Durchgang bis zum sechsten Durchgang wiederholt. Dann wird der Laserstrahl in im Wesentlichen horizontaler Richtung durch den linken reflektierenden Spiegel 38, dessen reflektierende Oberfläche an der Einfallsstelle nach oben gerichtet ist, da die reflektierende Oberfläche konkav ist, und wird durch die Verstärkungsregion 30 verstärkt (siebter Durchgang).

**[0088]** Wie durch gepunktete Linien in **Fig. 16** gezeigt, wird der Vorgang, in welchem der Laserstrahl auf den reflektierenden Spiegel in einem Einfallswinkel größer als 0 Grad fällt, schräg nach oben reflektiert wird und durch die Verstärkungsregion 30 verstärkt wird, vom achten Durchgang bis zum elften Durchgang wiederholt. Dann wird der Laserstrahl durch das Ausgabefenster 36 transmittiert und als herausgehender Strahl im elften Durchgang ausgegeben. Ein Abbild des einfallenden Strahls am ersten Punkt 34, der neben dem Eingangsfenster 33 angeordnet ist, wird im elften Durchgang zur Einfallstrahl-Transferabbildposition (zweiter Punkt) 35 überführt, und dadurch wird das Transferabbild des einfallenden Strahls fokussiert. Hier verhalten sich der erste Punkt 34 und der zweite Punkt 35 wie der Objektpunkt und der Abbildpunkt und sind konjugiert zueinander.

**[0089]** **Fig. 17** ist ein Diagramm zur Erläuterung eines Betriebsvorgangs des Laserstrahl-Verstärkers gemäß dem dritten Beispiel im optischen System, in welchem reflektierende optische Elemente durch lichtdurchlässige optische Elemente ersetzt worden sind.

**[0090]** Ein optisches System, das mit zwei konkaven Spiegeln an beiden Enden zum Durchführen einer Mehrfachdurchgangs-Verstärkung ausgestattet ist, ist äquivalent zu einem zusammengesetzten Linsensystem, in welchem mehrere Linsen mit den gleichen Brennweiten  $f = R/2$  in Serie in einem Intervall „L“ angeordnet sind, sodass ein Abbild des einfallenden Strahls an der Einfallstrahl-Position (erster Punkt 34) in einem Abstand  $L_i = L$  von der ersten Linse  $M_1$  auf der stromaufwärts liegenden Seite an die Stelle (zweiter Punkt 35) in einem Abstand  $L_o = L$  von der letzten Linse  $M_n$  zur stromabwärts liegenden Seite überführt wird und das Transferabbild fokussiert wird.

**[0091]** Hier wird angenommen, dass alle  $(k+1)$  Linsen ( $M_1, M_2, \dots, M_{(k+1)}$ ) dieselbe Brennweite „F“ haben. Dann können die kombinierte Brennweite  $F_{k+1}$ , der Abstand  $ZH_{k+1}$  zwischen dem vorderen Hauptpunkt des zusammengesetzten Linsensystems, das die  $k$  Linsen ( $M_1, M_2, \dots, M_k$ ) enthält, und dem vorderen Hauptpunkt des zusammengesetzten Linsensystems, das die  $(k+1)$  Linsen ( $M_1, M_2, \dots, M_k$

$_{+1}$ ) enthält, und die Vergrößerung „M“ der  $(k+1)$  Linsen durch folgende Gleichung (8) bis (10) ausgedrückt werden, basierend auf den Gleichungen (1) bis (3):

$$F_{k+1} = F_k \cdot f / (F_k + f - L) \quad (8),$$

$$ZH_{k+1} = F_k \cdot L / (F_k + f - L) \quad (9),$$

$$M = (ZH_{k+1} + L - F_{k+1}) / F_{k+1} \quad (10).$$

**[0092]** Im Falle, in dem  $k = 0$  (der Fall nur einer Linse  $M_1$ ) gilt für den ursprünglichen Wert der kombinierten Brennweite  $F_1 = f$ . Durch aufeinanderfolgende Berechnung von  $f_1$  bis  $F_n$  unter Verwendung der Gleichungen (8) bis (10) kann die Brennweite  $F_n$  und die vordere Hauptebenenlage  $ZH_n$  des zusammengesetzten der die  $N$  Linsen ( $M_1, M_2, \dots, M_N$ ) enthaltenden Linsensystems erhalten werden und ferner kann die Brennweite „f“ jeder Linse erhalten werden, welche die Vergrößerung „M“ im Wesentlichen gleich „1“ macht.

**[0093]** Unter der Annahme, dass der Abstand „L“ zwischen einem Paar von reflektierenden Spiegeln 1000 mm entspricht und eine Eilffachdurchgangs-Verstärkung durchgeführt wird, beträgt die Brennweite „f“ der reflektierenden Spiegel ungefähr 1100 mm und der Krümmungsradius  $R (= 2F)$  beträgt, basierend auf den Gleichungen (8) bis (10), ungefähr 22000 mm.

**[0094]** In dem dritten Beispiel wird ein optisches System eingesetzt, in welchem der Laserstrahl schräg durch die Verstärkungsregion 30 von oben nach unten in einer zickzackartigen Art und Weise verläuft und dann schräg durch die Verstärkungsregion 30 von unten nach oben in einer zickzackartigen Weise verläuft, und dadurch kann eine höhere Verstärkungseffizienz durch die vielen Durchgänge bis elf Durchgänge aufweisende Mehrfachdurchgangs-Verstärkung erreicht werden. Zusätzlich wird das Abbild des einfallenden Strahls an der Einfallstrahl-Position (erster Punkt) 34 zum zweiten Punkt 35 im Strahlengang des herausgehenden Strahls überführt, wodurch ein stabiler Strahlenverlauf verwirklicht werden kann.

<Beispiel 4>

**[0095]** **Fig. 18** zeigt eine ebene Schnittansicht eines Laserstrahl-Verstärkers gemäß einem vierten Beispiel von oben gesehen. Im vierten Beispiel wird ein  $CO_2$ -Laserstrahl-Verstärker vom Platten-Typ, ähnlich zu den in **Fig. 12, 14** und **16** gezeigten, angenommen. Der Laserstrahl-Verstärker gemäß dem vierten Beispiel unterscheidet sich von dem Laserstrahl-Verstärker gemäß dem dritten Beispiel insofern, als dass Sechsfachdurchgangs-Verstärkung unter Verwen-

dung eines ebenen HR-Spiegels als einen der beiden reflektierenden Spiegel durchgeführt wird.

**[0096]** Wie in **Fig. 18** gezeigt, wird der Seed-Laserstrahl (einfallender Strahl) schräg durch das Eingangsfenster 33 transmittiert, verläuft durch die Einfallstrahl-Position (erster Punkt) 34 und fällt in ein zwei reflektierende Spiegel 42 und 38 aufweisendes optisches System. In dem optischen System sind der reflektierenden Spiegel 42, welcher ein ebener HR-Spiegel ist, und der reflektierende Spiegel 38, welcher ein konkaver HR-Spiegel ist, einander gegenüber in einem Abstand „D“ im Wesentlichen parallel angeordnet.

**[0097]** Der in den Laserstrahl-Verstärker eingefallene Seed-Laserstrahl (einfallender Strahl) wird durch die Verstärkungsregion 30 verstärkt (erster Durchgang), fällt unter einem Einfallswinkel größer als 0 Grad auf den reflektierenden Spiegel 42, wird schräg nach unten reflektiert, wird durch die Verstärkungsregion 30 verstärkt (zweiter Durchgang), fällt auf den reflektierenden Spiegel unter einem Einfallswinkel größer als 0 Grad, wird schräg nach unten reflektiert und wird durch die Verstärkungsregion 30 verstärkt (dritter Durchgang).

**[0098]** Ferner fällt der Laserstrahl auf den reflektierenden Spiegel 42 unter einem Einfallswinkel größer als 0 Grad, wird schräg nach unten reflektiert, wird durch die Verstärkungsregion 30 verstärkt (vierter Durchgang), fällt auf den reflektierenden Spiegel 38 unter einem Einfallswinkel größer als 0 Grad, wird schräg nach unten reflektiert, wird durch die Verstärkungsregion 30 verstärkt (fünfter Durchgang) wird schräg nach unten durch den reflektierenden Spiegel 42 reflektiert, wird durch die Verstärkungsregion 30 verstärkt (sechster Durchgang) und verläuft durch die Einfallstrahl-Transferabbildposition (zweiter Punkt 35) und wird als herausgehender Strahl durch das Ausgangsfenster 36 ausgegeben.

**[0099]** Im vierten Beispiel sind der reflektierende Spiegel 38 und der reflektierende Spiegel 42 einander gegenüberliegend parallel in einem Abstand „D“ angeordnet. Ferner wird die Stelle, an welcher der Strahl an einer Seite des reflektierenden Spiegels 38 im Strahlengang des einfallenden Strahls verläuft, als Einfallstrahl-Position (erster Punkt) 34 gesetzt und die Position, an welcher der Strahl an der gegenüberliegenden Seite des reflektierenden Spiegels 38 im Strahlengang des herausgehenden Strahls verläuft, wird als Einfallstrahl-Transferabbildposition (zweiter Punkt) 35 gesetzt. Ferner wird das optische System derart angepasst, dass ein Abbild des einfallenden Strahls am ersten Punkt 34 zu dem zweiten Punkt 35 überführt wird, um das Transferabbild zu fokussieren. Hier verhalten sich der erste Punkt 34 und der zweite Punkt wie der Objektpunkt und der Abbildpunkt und sind konjugiert zueinander.

**[0100]** **Fig. 19** ist ein Diagramm zur Erläuterung eines Betriebsvorgangs des Laserstrahl-Verstärkers gemäß dem vierten Beispiel mit einem optischen System, in welchem reflektierende optische Elemente durch lichtdurchlässige optische Elemente ersetzt worden sind, und die lichtdurchlässigen optischen Elemente sind in Reihe angeordnet. In **Fig. 19** haben die ebenen transparenten Platten HR1 HR2 und HR3, die den reflektierenden Spiegel 42 repräsentieren, keine fokussierende Eigenschaft und daher hat das optische System im Wesentlichen die gleiche Konfiguration wie das in **Fig. 13** gezeigte. Hier bestimmen die Lagebeziehungen, dass der Abstand „L“ zwischen zwei Linsen M1 und M2, die dem fokussierende Eigenschaften aufweisenden reflektierenden Spiegel 38 entsprechen, 2D beträgt, dass der erste Punkt 34 auf der stromaufwärtigen Seite der Linse M1 in einem Abstand von  $L_1 = 2D$  von der Linse M1 liegt und das Transferabbild des Abbildes des Laserstrahls am ersten Punkt 34 an dem zweiten Punkt 35 auf der stromabwärtigen Seite der Linse M2 in einem Abstand von  $L_0 = 2D$  von der Linse M2 fokussiert wird.

**[0101]** Die kombinierte Brennweite „F“, der Abstand zwischen den Hauptpunkten ZH und die Vergrößerung „M“ der Linsen M1 und M2 können unter Verwendung der folgenden Gleichungen (11) bis (13) durch Ersetzen von „L“ durch 2D in den Gleichungen (4) bis (6) erhalten werden:

$$F = f^2 / (2f - 2D) \quad (11),$$

$$ZH = f \cdot 2D / (2f - 2D) \quad (12),$$

$$M = 1 = (ZH + 2D - F) / F \quad (13).$$

**[0102]** In Bezug auf die Brennweite „f“ des reflektierenden Spiegels 38 gilt nach den Gleichungen (11) bis (13)  $D = F/2$  ( $L = f$ ) zur Erfüllung der Vergrößerungsbedingung  $M = 1$ . Unter der Voraussetzung, dass der Krümmungsradius des reflektierenden Spiegels 38 „R“ ist, erfüllt der Krümmungsradius die Beziehung

$$R = 2f = 4D.$$

**[0103]** Der Laserstrahl-Verstärker gemäß dem vierten Beispiel kann den Laserstrahl stabil verstärken, da die Position und der Winkel des ausgegebenen Strahls nur im gleichen Maße wie die Position und der Winkel des einfallenden Strahls variieren, selbst wenn die optische Achse des einfallenden Strahls relativ zum Laserstrahl-Verstärker in einem gewissen Grad verschoben ist, und die Verstärkungseffizienz variiert kaum. Ferner wird die Stabilität der optischen Achse verbessert und die Justierung in Kombination mit einem weiteren optischen Gerät ist einfach.

**[0104]** Eines der Merkmale des Laserstrahl-Verstärkers gemäß dem vierten Beispiel ist ferner, dass der

einfallende Strahl und der herausgehende Strahl beide Seiten des reflektierenden Spiegels 38 passieren, und der Laserstrahl kann auf einer Seite in den Laserstrahl einfallen und aus ihm ausgegeben werden.

<Beispiel 5>

**[0105]** Fig. 20 ist eine ebene Schnittansicht eines Laserstrahl-Verstärkers gemäß einem fünften Beispiel von oben gesehen. In dem Beispiel wird ein CO<sub>2</sub>-Laserstrahl-Verstärker vom Platten-Typ, ähnlich zu den in Fig. 12, 14, 16 und 18 gezeigten, angenommen. Der Laserstrahl-Verstärker gemäß dem fünften Beispiel unterscheidet sich von dem Laserstrahl-Verstärker gemäß dem vierten Beispiel dahingehend, dass anstelle der zwei reflektierenden Spiegel, die einander gegenüber parallel angeordnet sind, die zwei reflektierenden Spiegel derart angeordnet sind, dass ihre Hauptoberflächen unter einem kleinen Winkel zu einander stehen, um die Anzahl der Durchgänge zu erhöhen, und dass die Einfallstrahl-Transferabbildposition (zweiter Punkt) 35 in dem Strahlengang des herausgehenden Strahls außerhalb der Kammer des Laserstrahl-Verstärkers definiert ist.

**[0106]** Der Seed-Laserstrahl (einfallender Strahl), der schräg aufwärts durch das im linken unteren Teil der Kammer 21 in Fig. 20 bereitgestellte Eingangsfenster 33 hindurchgetreten ist, passiert den ersten Punkt 34 und fällt dann in das optische System, welches den reflektierenden Spiegel 42 und den reflektierenden Spiegel 32 enthält, die in einem Abstand „D“ einander zugewandt sind. Der Abstand „L“ im Strahlengang vom Reflexionspunkt des Laserstrahls auf dem reflektierenden Spiegel 38 mit fokussierenden Eigenschaften zum nächsten Einfallspunkt des Laserstrahls auf den reflektierenden Spiegel 38 beträgt 2D.

**[0107]** Der reflektierende Spiegel 42 und der reflektierende Spiegel 38 sind einander nicht parallel, sondern in einem kleinen Winkel zugewandt. In Fig. 20 ist der reflektierende Spiegel 38 verkippt angeordnet, sodass das obere Ende in der Zeichnung näher am reflektierenden Spiegel 42 liegt. Der reflektierende Spiegel 42 und der reflektierende Spiegel 38 sind unter einem kleinen Kippwinkel zueinander angeordnet und dadurch kann Mehrfachdurchgangs-Verstärkung mit vielen Durchgängen realisiert werden.

**[0108]** Ferner wird die Position, an der der Strahl eine Seite des reflektierenden Spiegels 38 im Strahlengang des einfallenden Strahls passiert, als Einfallstrahlposition (erster Punkt) 34 gesetzt und die Position im Strahlengang des herausgehenden Strahls stromabwärts in dem Abstand von 2D von der Position, an der der herausgehende Strahl zum letzten Mal vom reflektierenden Spiegel 38 reflektiert

wird, wird als Einfallstrahl-Transferabbildposition (zweiter Punkt) 35 gesetzt und das optische System wird so angepasst, dass ein Transferabbild des am ersten Punkt 34 einfallenden Strahls auf den zweiten Punkt 35 fokussiert wird. Der zweite Punkt 35 liegt innerhalb des Strahlengangs des herausgehenden Strahls, der durch das Ausgabefenster 36 ausgegeben wird.

**[0109]** Mit Bezug auf Fig. 20 wird der in den Laserverstärker einfallende Seed-Laserstrahl (einfallender Strahl) schräg von unten durch das Eingangsfenster 33 transmittiert, verläuft durch den ersten Punkt 34 und tritt in das optische System ein. Der Seed-Laserstrahl wird durch die Verstärkungsregion 30 verstärkt (erster Durchgang), fällt auf den reflektierenden Spiegel unter einem Einfallswinkel größer als 0 Grad, wird schräg aufwärts reflektiert, durch die Verstärkungsregion 30 verstärkt (zweiter Durchgang) fällt auf den reflektierenden Spiegel 38 unter einem Einfallswinkel größer als 0 Grad ein, wird schräg aufwärts reflektiert und wird durch die Verstärkungsregion 30 verstärkt (dritter Durchgang).

**[0110]** Ferner wird der verstärkte Laserstrahl durch den reflektierenden Spiegel 42 schräg aufwärts reflektiert, durch die Verstärkungsregion 30 verstärkt (vierter Durchgang), fällt auf den reflektierenden Spiegel 38 unter einem Einfallswinkel größer als 0 Grad, wird schräg aufwärts reflektiert, wird durch die Verstärkungsregion 30 verstärkt (fünfter Durchgang), fällt auf den reflektierenden Spiegel 42 und unter einem Einfallswinkel größer als 0 Grad ein, wird schräg aufwärts reflektiert, wird durch die Verstärkungsregion 30 verstärkt (sechster Durchgang) und fällt auf den reflektierenden Spiegel 38. Die reflektierende Oberfläche des reflektierenden Spiegels 38 ist eine konkave Oberfläche und die Hauptoberfläche ist relativ zum reflektierenden Spiegel 42 leicht nach unten gekippt und die reflektierende Oberfläche ist nach unten gekippt. Dementsprechend wird der auf den reflektierenden Spiegel 38 auftreffende Laserstrahl schräg nach unten reflektiert, wie durch die gepunktete Linie in Fig. 20 gezeigt.

**[0111]** Der schräg nach unten reflektierte Laserstrahl wird durch die Verstärkungsregion 30 verstärkt (siebter Durchgang), fällt auf den reflektierenden Spiegel 42 unter einem Einfallswinkel größer als 0 Grad, wird schräg nach unten reflektiert, wird durch die Verstärkungsregion 30 verstärkt (achter Durchgang), fällt auf den reflektierenden Spiegel 38 unter einem Reflexionswinkel größer als 0 Grad, wird schräg nach unten reflektiert und durch die Verstärkungsregion 30 verstärkt (neunter Durchgang). Der verstärkte Laserstrahl wird durch das Ausgabefenster 36 transmittiert und als herausgehender Strahl ausgegeben. Im Strahlengang des herausgehenden Strahls ist die Einfallstrahl-Transferabbildposition

(zweiter Punkt) 35, zu welcher das Abbild des am ersten Punkt 34 einfallenden Strahls überführt wird, an der stromabwärtigen Stelle in einem Abstand von  $2D$  vom reflektierenden Spiegel 38 definiert. Hier verhalten sich der erste Punkt 34 und der zweite Punkt 35 wie der Objektpunkt und der Abbildpunkt und sind zueinander konjugiert.

**[0112]** Fig. 21 ist ein Diagramm zur Erläuterung eines Betriebsvorgangs des Laserstrahl-Verstärkers gemäß dem fünften Beispiel mit einem optischen System, in welchem reflektierende optische Elemente durch lichtdurchlässige optische Elemente ersetzt worden sind und die lichtdurchlässigen optischen Elemente in Serie angeordnet sind. Durch Setzen eines Abstandes „D“ zwischen der Einfallstrahlposition (erster Punkt) 34 und dem reflektierenden Spiegel 42 (ebene, transparente Platte  $HR_1$ ) wird der Abstand  $L_i$  zwischen der Einfallstrahl-Position (erster Punkt) 34 und der ersten Linse  $M_1$  durch  $2D$  repräsentiert und der Abstand  $L_o$  zwischen der letzten Linse  $M_N$  und der Einfallstrahl-Transferabildposition (zweiter Punkt) 35 wird durch  $2D$  repräsentiert.

**[0113]** Im Fall, wo der Abstand „D“ zwischen dem reflektierenden Spiegel 38 und dem reflektierenden Spiegel 42 verwendet wird, können die kombinierte Brennweite  $F_k$ , der Abstand zwischen den Hauptpunkten  $ZH_k$  und die Vergrößerung „M“ der k Spiegel (Linsen) durch folgende Gleichungen (14) bis (16) durch Ersetzung von „L“ durch  $2D$  in den Gleichungen (8) bis (10) erhalten werden:

$$F_{k+1} = F_k f / (F_k + f - 2D) \quad (14),$$

$$ZH_{k+1} = F_k \cdot 2D / (F_k + f - 2D) \quad (15),$$

$$M = (ZH_{k+1} + 2D - F_{k+1}) / F_{k+1} \quad (16).$$

**[0114]** Falls  $k = 0$ , beträgt der ursprüngliche Wert der kombinierten Brennweite  $F_1 = f$ . Durch aufeinanderfolgendes Berechnen von  $F_1$  bis  $F_N$  unter Benutzung der Gleichungen (14) bis (16) können die kombinierte Brennweite  $F_N$  und die vordere Hauptlage  $ZH_N$  der N Linsen ( $M_1, M_2, \dots, M_N$ ) erhalten werden und ferner kann die Brennweite „f“ jeder Linse erhalten werden, die eine Verstärkung „M“ aufweist, die im Wesentlichen gleich „1“ ist. Wenn beispielsweise  $D = 600$  mm und eine Neunfachdurchgangs-Verstärkung durchgeführt wird, beträgt der Krümmungsradius „R“ ungefähr 7200 mm.

**[0115]** Ein Vorteil des fünften Beispiels ist, dass viele Durchgänge durch die Verstärkungsregion durchgeführt werden und die Energie des Lasermediums effizienter ausgenutzt wird und dadurch ein leistungsstarker Laserstrahl erhalten wird und die optische Achse des Laserstrahl-Verstärkers stabil wird.

<Beispiel 6>

**[0116]** Fig. 22 ist eine ebene Schnittansicht eines Laserstrahl-Verstärkers gemäß einem sechsten Beispiel von oben gesehen. Das optische System des Verstärkers gemäß dem sechsten Beispiel ist im Wesentlichen das gleiche, wie das in Fig. 21 gezeigte, und wird hier ausgelassen. Der Laserstrahl-Verstärker gemäß dem sechsten Beispiel hat im Wesentlichen die gleiche Konfiguration wie die eines Laserstrahl-Verstärkers vom Platten-Typ gemäß dem fünften, in Fig. 20 gezeigten Beispiel, und ein Laserstrahl-Verstärker vom Mehrfachdurchgangs-Verstärkungstyp, in welchem ein reflektierender Spiegel 38 im Wesentlichen orthogonal zur Längsrichtung des Laserstrahl-Verstärkers vorgesehen ist, und der andere reflektierende Spiegel 42 unter einem vorgegebenen Winkel dem reflektierenden Spiegel 38 gegenüber angeordnet wird. Bei diesem Typ von Laserstrahl-Verstärkern kann die Anzahl der Durchgänge passend durch Einstellen der Fokussierfähigkeit und der Länge jedes reflektierenden Spiegels, des Winkels zwischen den reflektierenden Spiegeln, des Einfallswinkels des Seed-Laserstrahls usw. verändert werden. In dem sechsten Beispiel, wie in Fig. 22 gezeigt, ist die Anzahl der Durchgänge auf elf eingestellt.

**[0117]** In dem Laserstrahl-Verstärker fällt der dem Laserstrahl-Verstärker zugeführte Seed-Laserstrahl in das den reflektierenden Spiegel 42 und den reflektierenden Spiegel aufweisende 38 optische System ein, die einander zugewandt in einem Abstand „D“ angeordnet sind. Der reflektierende Spiegel 38 ist orthogonal zur Längsrichtung des Laserstrahl-Verstärkers angeordnet und der reflektierende Spiegel 42 ist verkippt angeordnet, sodass in der Zeichnung das obere Ende näher am reflektierenden Spiegel 38 ist.

**[0118]** Der Seed-Laserstrahl (einfallender Strahl), der in den Laserstrahl-Verstärker eingefallen ist, wird von links unten durch das Eingangsfenster 33 transmittiert, läuft durch den ersten Punkt 30 und gelangt in das optische System. Der Seed-Laserstrahl wird in der Verstärkungsregion 30 verstärkt (erster Durchgang), fällt auf den reflektierenden Spiegel 42 unter einem Einfallswinkel größer als 0 Grad, wird schräg aufwärts reflektiert, wird durch die Verstärkungsregion 30 verstärkt (zweiter Durchgang), fällt auf den reflektierenden Spiegel 38 unter einem Einfallswinkel größer als 0 Grad, wird schräg aufwärts reflektiert und durch die Verstärkungsregion 30 verstärkt (dritter Durchgang).

**[0119]** Ferner fällt der Laserstrahl auf den reflektierenden Spiegel 42, wird schräg aufwärts reflektiert, wird durch die Verstärkungsregion 30 verstärkt (vierter Durchgang), fällt auf den reflektierenden Spiegel 38, wird schräg nach oben reflektiert, wird durch die

Verstärkungsregion 30 verstärkt (fünfter Durchgang), fällt auf den reflektierenden Spiegel 42, wird schräg nach oben reflektiert, wird durch die Verstärkungsregion 30 verstärkt (sechster Durchgang), fällt auf den reflektierenden Spiegel 38 und wird reflektiert. Der Laserstrahl, der durch den reflektierenden Spiegel 38 reflektiert worden ist, wird durch die Verstärkungsregion 30 verstärkt (siebter Durchgang) und fällt auf den reflektierenden Spiegel 42. Der reflektierende Spiegel 38 und der reflektierende Spiegel 42 sind gegeneinander verkippt, und dadurch nimmt der Einfallswinkel des auf den reflektierenden Spiegel 42 einfallenden Laserstrahls allmählich ab. Dementsprechend wird der auf den reflektierenden Spiegel 42 einfallende Laserstrahl schräg nach unten reflektiert, wie in **Fig. 22** durch die gepunktete Linie gezeigt.

**[0120]** Der Laserstrahl, der schräg nach unten durch den reflektierenden Spiegel 42 reflektiert worden ist, wird durch die Verstärkungsregion 30 verstärkt (achter Durchgang), fällt auf den reflektierenden Spiegel 38, wird schräg nach unten reflektiert und durch die Verstärkungsregion 30 verstärkt (neunter Durchgang). Ferner fällt der Laserstrahl auf den reflektierenden Spiegel 42, wird schräg nach unten reflektiert, wird durch die Verstärkungsregion 30 verstärkt (zehnter Durchgang), fällt auf den reflektierenden Spiegel 38, wird schräg nach unten reflektiert, wird durch die Verstärkungsregion 30 verstärkt (elfter Durchgang) und wird durch das Ausgabefenster 36 transmittiert und als herausgehender Strahl ausgegeben.

**[0121]** Die Einfallstrahl-Transferabbildposition (zweiter Punkt) 35 im Strahlengang des herausgehenden Strahls, zu welchem ein Abbild des an der Einfallstrahl-Position (erster Punkt) 34 einfallenden Strahls überführt wird, damit ein Transferabbild fokussiert wird, wird an der Stelle stromabwärts in einem Abstand  $2D = L$  vom reflektierenden Spiegel 38, von dem der herausgehende Strahl zuletzt reflektiert wird, definiert.

**[0122]** Durch die Wirkung des optischen Systems wird das Abbild des Laserstrahls am ersten Punkt 34 zum zweiten Punkt 35 überführt und das Transferabbild wird fokussiert. Hier verhalten sich der erste Punkt 34 und der zweite Punkt 35 wie der Objektpunkt und der Abbildpunkt und sind konjugiert zueinander.

**[0123]** Die kombinierte Brennweite  $F_N$ , die vordere Hauptlage  $ZH_N$  und die Vergrößerung „M“ des optischen Systems können aus den Gleichungen (14) bis (16) erhalten werden. Wenn beispielsweise  $D = 1800$  mm und eine Elffachdurchgangs-Verstärkung durchgeführt wird, beträgt der Krümmungsradius „R“ ungefähr 30000 mm.

**[0124]** Ein Vorteil des sechsten Beispiels ist der gleiche wie der im fünften Beispiel und ferner ist ein weiterer Vorteil, dass die Justierung des Strahlengangs durch Justierung des reflektierenden Spiegels 42 durchgeführt werden kann, der einfach justiert werden kann, während der reflektierende Spiegel 38, dessen Lage und Position schwierig zu justieren sind, fixiert ist, und die Auslegung und die Ausrichtung des Laserstrahl-Verstärkers können einfacher sein.

**[0125]** In den oben angeführten Beispielen, wie dem optischen System zum Mehrfachdurchgangs-Verstärken des Laserstrahls in der Verstärkungsregion, wird die Kombination zweier konkaver Spiegel oder die Kombination des ebenen Spiegels und des konkaven Spiegels verwendet. Jedoch ist die vorliegende Erfindung nicht auf diese Beispiele beschränkt und ein beliebiges optisches System, das ein optisches Element mit Fokussierfähigkeit aufweist, kann verwendet werden. Beispielsweise kann eine Kombination eines konkaven Spiegels und eines konvexen Spiegels oder eine Kombination einer konvexen Linse und eines ebenen Spiegels verwendet werden.

(Laservorrichtung)

**[0126]** Als Nächstes wird eine Laservorrichtung gemäß mehreren Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung erläutert. Die Laservorrichtung gemäß der Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird als Treiberlaservorrichtung zum Bestrahlen eines Target-Materials mit einem Laserstrahl verwendet, um das Target-Material in ein Plasma in einer EUV-Lichtquellenvorrichtung vom LPP-Typ umzuwandeln. Die Treiberlaser-vorrichtung verwendet den Laserstrahl-Verstärker gemäß der ersten oder der zweiten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung und kann effizient einen Seed-Laserstrahl bei einem hohen Verstärkungsfaktor verstärken und den verstärkten Laserstrahl auf einem Plasmaemissionspunkt fokussieren, um EUV-Licht mit hoher Effizienz zu erzeugen.

(Ausführungsform 3)

**[0127]** **Fig. 23** zeigt eine Konfiguration einer EUV-Lichtquellenvorrichtung, welche eine Treiberlaservorrichtung gemäß der dritten Ausführungsform der Erfindung verwendet. Die Treiberlaservorrichtung gemäß dem dritten Ausführungsbeispiel verwendet einen Laserstrahl-Verstärker vom Platten-Typ als Vorverstärker und einen Laserstrahl-Verstärker vom Schnell-Axialfluss-Typ als Hauptverstärker und liefert einen Treiberlaserstrahl für die EUV-Lichtquellenvorrichtung.

**[0128]** Die Treiberlaservorrichtung gemäß dem dritten Ausführungsbeispiel enthält einen Master-Oszil-

lator (MO) 51 zum Erzeugen eines Seed-Laserstrahls, einen Raumfilter 52 zum räumlichen Filtern einer räumlichen Mode des Seed-Laserstrahls, einen Vorverstärker 20, HR-Spiegel 53, 54 und 58, Relais-Optiken 55 und 57 und einen Hauptverstärker 60. Die Treiberlaservorrichtung verstärkt den Seed-Laserstrahl zu einer benötigten Lichtintensität und gibt den verstärkten Laserstrahl an einen achs-versetzten parabolischen Spiegel 59 aus. Der achs-versetzte parabolische Spiegel 59 fokussiert den verstärkten Laserstrahl auf ein Target innerhalb der EUV-Kammer 70. Hier stimmt der Fokussierungspunkt des verstärkten Lasers mit dem Plasmaemissionspunkt 71 überein.

**[0129]** Der Master-Oszillator 51 gibt als einen Seed-Laserstrahl beispielsweise einen gepulsten Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>) -Laserstrahl mit einer räumlichen Mode kleiner Ordnung aus bei einer Wiederholrate von 100 kHz und einer Pulsdauer von ungefähr 20 Nanosekunden. Wenn der Seed-Laserstrahl den Raumfilter 52 passiert, in welchem Anteile höherer Ordnung aus der Raummode entfernt werden und die Raummode zu einer einzelnen Mode wird, gelangt der Seed-Laserstrahl in das Eingangsfenster des Vorverstärkers 20.

**[0130]** Der Vorverstärker 20 enthält einen Laserstrahl-Verstärker vom Platten-Typ gemäß der ersten Ausführungsform. Wie bereits im Detail bei der ersten Ausführungsform erläutert, gelangt der Seed-Laserstrahl in den Laserstrahl-Verstärker vom Platten-Typ, wird effizient in mehrfachen Durchgängen verstärkt durch mehrfache Reflexion zwischen zwei reflektierenden Spiegeln, die einander gegenüber mit dazwischenliegender Verstärkungsregion angeordnet sind, und wird als ein verstärkter Laserstrahl ausgegeben. Der Vorverstärker 20 fokussiert das Transferabbild des an der Einfallstrahlposition (erster Punkt) 34 einfallenden Strahls im Strahlengang des einfallenden Strahls zum zweiten Punkt 35 im Strahlengang des herausgehenden Strahls. Demzufolge ist der Fehler des Strahlengangs des herausgehenden Strahls relativ zum Referenzstrahlengang selbst dann, wenn der Strahlengang des einfallenden Strahls mit einem gewissen Fehler gegenüber dem Referenzstrahlengang behaftet ist, im Wesentlichen gleich dem Fehler des Strahlengangs des eingehenden Strahls relativ zum Referenzstrahlengang, und die optische Achse des Laserstrahls ist extrem stabil.

**[0131]** Der Strahlengang des aus dem Vorverstärker 20 ausgegebenen Laserstrahls wird durch die HR-Spiegel 53 und 54 verändert und der Laserstrahl gelangt in die Relais-Optik 55. Die Relais-Optik 55 passt die Größe und den Aufweitungswinkel des Laserstrahls an, sodass der Laserstrahl effizient durch die Verstärkungsregion des Hauptverstärkers 60 verlaufen kann und bewirkt, dass der Laserstrahl auf eine erste reflektierende Oberfläche eines recht-

winkligen Prismas 61 im Hauptverstärker 60 unter einem Einfallswinkel etwas größer als 45 Grad fällt.

**[0132]** Der Hauptverstärker 60 enthält den Laserstrahl-Verstärker vom Schnell-Axialfluss-Typ gemäß der zweiten Ausführungsform. Die reflektierenden Oberflächen des rechtwinkligen Prismas 61 sind hochreflektierende Oberflächen. Der durch den Vorverstärker verstärkte Laserstrahl wird von der ersten reflektierenden Oberfläche des rechtwinkligen Prismas 61 reflektiert und der reflektierte Laserstrahl gelangt in die Verstärkungsregion 65 als ein Seed-Laserstrahl. Der Seed-Laserstrahl wird durch die Verstärkungsregion 65 verstärkt, fällt auf den konkaven HR-Spiegel 64 unter einem Einfallswinkel, der etwas größer als 0 Grad ist, und wird reflektiert, gelangt erneut in die Verstärkungsregion 65 und wird verstärkt, fällt auf die zweite reflektierende Oberfläche des rechtwinkligen Prismas 61 unter einem Einfallswinkel, der etwas größer als 45 Grad ist, und wird aus dem Hauptverstärker 60 ausgegeben.

**[0133]** Im Hauptverstärker 60 wird eine Einfallstrahlposition (erster Punkt) 62 auf der ersten reflektierenden Oberfläche des rechtwinkligen Prismas 61 definiert und eine Einfallstrahl-Transferabbildposition (zweiter Punkt) 63 wird auf der zweiten reflektierenden Oberfläche des rechtwinkligen Prismas 61 definiert. Das optische System des Hauptverstärkers 60 ist geeignet zum Transfer eines Abbildes eines Seed-Laserstrahls am ersten Punkt 62 zum zweiten Punkt 63, um das Transferabbild zu fokussieren. Deshalb wird die Variation der optischen Achse des einfallenden Strahls im Hauptverstärker 60 zur Variation der optischen Achse des herausgehenden Strahls ohne Verstärkung überführt und die Variation der optischen Achse des Laserstrahls kann ausreichend unterdrückt werden. Ferner kann die Effizienz des Laserstrahls im Vorverstärker 20 verbessert werden, indem Zweifachdurchgangs-Verstärkung durchgeführt wird.

**[0134]** Der vom Hauptverstärker 60 verstärkte Laserstrahl gelangt in die Relais-Optik 57. Die Relais-Optik 57 passt die Größe des Laserstrahls an, sodass der Laserstrahl durch den achs-versetzten parabolischen Spiegel 59 fokussiert werden kann, und konvertiert die Wellenfront des Laserstrahls in eine ebene Welle. Der Laserstrahl, der die Relais-Optik 57 passiert hat, wird durch den HR-Spiegel 58 mit hoher Reflektivität reflektiert und fällt auf den achs-versetzten parabolischen Spiegel 59. Der vom achs-versetzten parabolischen Spiegel 59 reflektierte Laserstrahl gelangt durch ein Fenster 74 in die EUV-Kammer 70 und wird auf ein Target am Plasmaemissionspunkt 71 fokussiert, damit ein Plasma erzeugt wird. Ein EUV-Sammelspiegel 72, der eine reflektierende sphäroidalförmige Oberfläche hat, sammelt das vom erzeugten Plasma abgestrahlte EUV-Licht an einem intermediären Fokus-

sierpunkt (IF 73). Das am intermediären Fokussierpunkt 73 gesammelte EUV-Licht wird einer Beleuchtungseinheit zur Verfügung gestellt.

**[0135]** Gemäß der dritten Ausführungsform, sind die optischen Achsen im Vorverstärker 20 und im Hauptverstärker 60 stabil, obwohl die optische Weglänge innerhalb der Treiberlaservorrichtung lang ist, und dadurch ist die Ausrichtungsjustierung der gesamten Treiberlaservorrichtung einfach und die optische Achse des herausgehenden Laserstrahls ist extrem stabil. Im Ergebnis ist die Position und Form des Fokussierpunktes des Laserstrahls stabil und die Energiestabilität des EUV-Lichts wird verbessert.

**[0136]** In der dritten Ausführungsform wird im Hauptverstärker 60 der Laserstrahl-Verstärker vom Schnell-Axialfluss-Typ verwendet, der eine rohrförmige Form hat. Jedoch ist die vorliegende Erfindung nicht darauf beschränkt, sondern es kann ein Laserstrahl-Verstärker vom Schnell-Axialfluss-Typ, der eine elliptische, ovale, rechteckige, oder ähnliche Form hat, ein Laserstrahl-Verstärker vom drehaxialen orthogonalen Typ oder ein Laserstrahl-Verstärker vom Platten-Typ verwendet werden. Ferner kann ein Laserstrahl-Verstärker vom Schnell-Axialfluss-Typ oder ein ähnlicher im Vorverstärker 20 verwendet werden.

(Ausführungsform 4)

**[0137]** Fig. 24 zeigt eine Konfiguration einer EUV-Lichtquellenvorrichtung, die eine Treiberlaservorrichtung gemäß der vierten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung verwendet. Wie in Fig. 24 gezeigt, enthält die Treiberlaservorrichtung gemäß der vierten Ausführungsform einen Master-Oszillator 51 zum Erzeugen eines Seed-Laserstrahls, einen Raumfilter 52 zum räumlichen Filtern einer Raummode des Seed-Laserstrahls, einen Vorverstärker 20, der mehrere Stufen von  $m$  Laserstrahl-Verstärkern enthält, HR-Spiegel 53, 54 und 58, Relais-Optiken 55 und 57 und einen Hauptverstärker 60, der mehrere Stufen von  $n$  Laserstrahl-Verstärkern enthält. Hier sind „ $m$ “ und „ $n$ “ natürliche Zahlen, die größer oder gleich 2 sind. Die Treiberlaservorrichtung verstärkt den Seed-Laserstrahl auf die benötigte Lichtintensität und gibt den verstärkten Laserstrahl zu einem achs-versetzten parabolischen Spiegel 59 aus. Der achsversetzte parabolische Spiegel 50 fokussiert den verstärkten Laserstrahl auf ein Target. Der Fokussierpunkt des verstärkten Laserstrahls stimmt mit dem Plasmaemissionspunkt 71 innerhalb der EUV-Kammer 70 überein.

**[0138]** Die Treiberlaservorrichtung gemäß der vierten Ausführungsform unterscheidet sich von der Treiberlaservorrichtung gemäß der dritten Ausführungsform, wie in Fig. 23 gezeigt, dahingehend, dass der Vorverstärker 20 mehrere Stufen von Laserstrahl-

Verstärkern vom Platten-Typ enthält und der Hauptverstärker 60 mehrere Stufen von Laserstrahl-Verstärker vom Schnell-Axialfluss-Typ enthält. Die anderen Elemente unterscheiden sich nicht und die mehreren Stufen des Laserstrahls-Verstärkers werden nachstehend erläutert.

**[0139]** Der Vorverstärker 20 in der Treiberlaservorrichtung gemäß der vierten Ausführungsform enthält  $m$  Stufen von Laserstrahl-Verstärkern vom Platten-Typ gemäß der ersten Ausführungsform, die in Serie verbunden sind. In jedem Laserstrahl-Verstärker vom Platten-Typ 20k ist das optische System so eingerichtet, dass ein Transferabbild des Abbildes des einfallenden Strahls am ersten Punkt 43k, welcher neben dem Eintrittsfenster lokalisiert ist, auf den zweiten Punkt 35k fokussiert wird, der neben dem Ausgabefenster liegt. Entsprechend ist der Fehler des Strahlengangs des herausgehenden Strahls relativ zum Referenzstrahlengang allerhöchstens gleich dem Fehler des Strahlengangs an der Einfallstrahl-Position.

**[0140]** Fig. 24 zeigt den Fall, wo die  $m$  Stufen des Laserstrahl-Verstärkers in Serie im Vorverstärker 20 der Treiberlaservorrichtung verbunden sind. Jedoch kann je nach Bedarf eine Relais-Optik zwischen dem stromaufwärtigen Laserstrahl-Verstärker 20k und dem darauffolgenden Laserstrahl-Verstärker 20(k+1) bereitgestellt werden. Die Relais-Optik transferiert ein Bild des herausgehenden Strahls am zweiten Punkt 35k des stromaufwärtigen Laserstrahl-Verstärkers 20k zum ersten Punkt 34(k+1) des darauffolgenden Laserstrahl-Verstärkers 20(k+1), um ein Transferabbild zu fokussieren. Auf diese Weise werden die mehreren Stufen des Laserstrahl-Verstärkers durch Justierung der optischen Achse bereitgestellt, sodass die optische Achse des herausgehenden Laserstrahls des Laserstrahl-Verstärkers 20k durch den ersten Punkt 34(k+1) des darauffolgenden Laserstrahl-Verstärkers 20(k+1) verläuft und dadurch der Verstärkungsfaktor des Vorverstärkers vergrößert werden kann, während die Verschiebung der optischen Achse unterdrückt wird.

**[0141]** Der Hauptverstärker 60 in der Treiberlaservorrichtung gemäß der vierten Ausführungsform weist  $n$  Stufen von Laserstrahl-Verstärkern vom Schnell-Axialfluss-Typ auf gemäß der zweiten Ausführungsform, wie in Fig. 5 gezeigt, die in Serie verbunden sind. In jedem rohrförmigen Laserstrahl-Verstärker 60i ist das optische System zum Fokussieren eines Transferabbildes des Bildes des einfallenden Strahls am ersten Punkt 62i, der auf die erste reflektierende Oberfläche des rechtwinkligen Prismas 61i gesetzt ist, auf den zweiten Punkt 63i auf der zweiten reflektierenden Oberfläche des rechtwinkligen Prismas 61i eingerichtet. Entsprechend ist, sogar wenn die optische Achse des einfallenden Strahls von der referenzoptischen Achse zu einem gewissen Grad

verschoben ist, die Verschiebung des herausgehenden Strahls an der Position des Transferabbildes des herausgehenden Strahls (zweiter Punkt) 63i höchstens gleich dem Fehler des Strahlengangs an der Einfallstrahl-Position (erster Punkt) 62i.

**[0142]** Die Relais-Optik 55 passt den vom HR-Spiegel 54 reflektierten Laserstrahl an, um einen Laserstrahl bereitzustellen, der auf den ersten Punkt des ersten Laserstrahl-Verstärkers fällt. Nachfolgend wird das Abbild des einfallenden Strahls am ersten Punkt 62i zum zweiten Punkt 63i in jedem Laserstrahl-Verstärker 60i transferiert, um ein Transferabbild zu fokussieren. Die mehreren Stufen von Laserstrahl-Verstärkern werden durch Justierung der optischen Achse bereitgestellt, sodass das Abbild des herausgehenden Laserstrahls am zweiten Punkt 63i des Laserstrahl-Verstärkers 60i zum ersten Punkt 62(i+1) des darauffolgenden Laserstrahl-Verstärkers 60(i+1) durch die Relais-Optik 66i überführt wird, wodurch der Verstärkungsfaktor des Hauptverstärkers vergrößert werden kann und die Ausgabelleistung des Hauptverstärkers vergrößert werden kann, wobei die Verschiebung der optischen Achse unterdrückt wird.

**[0143]** Gemäß der vierten Ausführungsform sind, da die mehreren Stufen von Laserstrahl-Verstärkern in Serie verbunden sind, die optischen Achsen im Vorverstärker 20 und im Hauptverstärker stabil, obwohl die optische Weglänge innerhalb der Treiberlaservorrichtung extrem lang ist, wodurch die Ausrichtungsjustierung der gesamten Treiberlaservorrichtung einfach ist und die optische Achse des herausgehenden Laserstrahls extrem stabil ist. Im Ergebnis ist die Position und Form des Fokussierungspunktes des Laserstrahls stabil und die Energiestabilität des EUV-Lichtes wird verbessert.

**[0144]** In der vierten Ausführungsform werden Laserstrahl-Verstärker vom Schnell-Axialfluss-Typ, die eine rohrförmige Form haben, im Hauptverstärker 60 verwendet. Jedoch ist die vorliegende Erfindung nicht darauf beschränkt, sondern es können Laserstrahl-Verstärker vom Schnell-Axialfluss-Typ mit elliptischer, ovaler, rechteckiger oder ähnlicher Form, Laserstrahl-Verstärker vom triaxialen, orthogonalen Typ oder Laserstrahl-Verstärker vom Platten-Typ verwendet werden. Ferner können im Vorverstärker 20 Laserstrahl-Verstärker vom Schnell-Axialfluss-Typ oder ähnliche verwendet werden.

(Ausführungsform 5)

**[0145]** Fig. 25 zeigt eine Konfiguration einer EUV-Lichtquellenvorrichtung, die eine Treiberlaservorrichtung gemäß der fünften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung verwendet. Wie in Fig. 25 gezeigt, weist die Treiberlaservorrichtung gemäß der fünften Ausführungsform einen Master-Oszillator 51, einen

Raumfilter 52, eine Relais-Optik 80, einen mehrere Stufen von n Laserstrahl-Verstärkern aufweisenden Vorverstärker, HR-Spiegel 53, 54 und 58, Relais-Optiken 55 und 57 und einen Hauptverstärker 60 auf, der mehrere Stufen von n-Laserstrahl-Verstärkern aufweist.

**[0146]** Die vom Master-Oszillator 51 ausgegebene Monomode des Seed-Laserstrahls wird durch den Raumfilter 52 gefiltert, in welchem ein Nadelloch 81 ausgebildet ist, und das Abbild des Laserstrahls im Nadelloch 81 des Raumfilters 52 wird zum ersten Punkt des Laserstrahl-Verstärkers der ersten Stufe des Vorverstärkers 20 durch die Relais-Optik 80 übertragen und ein Transferabbild wird fokussiert. Die Funktionsweise des Vorverstärkers 20 ist die gleiche wie die in der vierten Ausführungsform, wie in Fig. 24 gezeigt.

**[0147]** Das Abbild des Laserstrahls am zweiten Punkt des Laserstrahl-Verstärkers der letzten Stufe im Vorverstärker 20 wird zum ersten Punkt des Laserstrahl-Verstärkers der ersten Stufe des Hauptverstärkers 60 durch die Relais-Optik 65 übertragen. Der Betriebsvorgang des Hauptverstärkers 60 ist der gleiche wie der in der vierten Ausführungsform, wie in Fig. 24 gezeigt. Der durch den Hauptverstärker 60 verstärkte Laserstrahl gelangt zu der Relais-Optik 57.

**[0148]** Die Treiberlaservorrichtung gemäß der fünften Ausführungsform unterscheidet sich von der Treiberlaservorrichtung gemäß der vierten Ausführungsform, wie in Fig. 24 gezeigt, dahingehend, dass die Relais-Optiken an manchen Stellen eingesetzt werden, um Transferoptiken auszubilden. Wie in Fig. 25 gezeigt, transferiert die zwischen den Raumfilter 52 und dem Vorverstärker 20 eingesetzte Relais-Optik 80 das Abbild des Laserstrahls in dem Blendenloch 81 des Raumfilters 52 zum ersten Punkt des Laserstrahl-Verstärkers der ersten Stufe im Vorverstärker 20, um ein Transferabbild zu fokussieren.

**[0149]** Dann transferiert die zwischen den mehrstufigen Vorverstärker 20 und den mehrstufigen Hauptverstärker 60 eingesetzte Relais-Optik 56 das Abbild des Laserstrahls am zweiten Punkt am Laserstrahl-Verstärker der letzten Stufe im Vorverstärker 20 zum ersten Punkt, der auf der reflektierenden Oberfläche des rechtwinkligen Prismas des Laserstrahl-Verstärkers der ersten Stufe im Hauptverstärker 60 gesetzt ist, um ein Transferabbild zu fokussieren.

**[0150]** Gemäß der fünften Ausführungsform kann, da die Relais-Optik hinzugefügt wird, der Laserstrahl zuverlässig auf die ersten Punkte des Vorverstärkers und des Hauptverstärkers einfallen und Variationen der Verstärkungseffizienz des Vorverstärkers und des Hauptverstärkers werden unterdrückt und stabile

Verstärkung kann in der gesamten Laservorrichtung durchgeführt werden.

### Patentansprüche

1. Laservorrichtung, aufweisend:

- einen Master-Oszillator (51) zum Erzeugen eines gepulsten Laserstrahls;
- einen Vorverstärker (20) zum Verstärken des durch den Master-Oszillator bereitgestellten gepulsten Laserstrahls, umfassend einen Laserstrahl-Verstärker, aufweisend:
  - einen Behälter zum Aufnehmen des Lasermediums;
  - ein Elektrodenpaar (22, 22b, 23, 23b) zum Durchführen einer Entladung im Lasermedium, um eine Verstärkungsregion (30, 30a, 30b) für einen Laserstrahl im Lasermedium auszubilden; und
  - ein optisches System (37, 37a, 38, 38a, 42, 43) zum Ausbilden eines Strahlengangs zwischen einem ersten Punkt (34), in welchem der Laserstrahl einfallt und einem zweiten Punkt (35), von welchem der verstärkte Laserstrahl ausgegeben wird, sodass die Verstärkungsregion im Strahlengang zwischen dem ersten Punkt und dem zweiten Punkt liegt, wobei der erste Punkt und der zweite Punkt konjugiert zueinander sind und der in dem ersten Punkt einfallende Laserstrahl während mindestens zweimaligen Durchgangs durch die Verstärkungsregion verstärkt wird und zum zweiten Punkt transferiert wird;
  - eine erste Relais-Optik (55) zum Anpassen einer Größe und eines Ausweitungswinkels des gepulsten Laserstrahls, der aus dem Vorverstärker ausgegeben wird;
  - einen Hauptverstärker (60) zum Verstärken des gepulsten Laserstrahls, der vom Vorverstärker über die erste Relais-Optik bereitgestellt wird; und
  - eine zweite Relais-Optik (57) zum Koordinieren des gepulsten Laserstrahls, der vom Hauptverstärker ausgegeben wird, um paralleles Licht auszugeben.

2. Laservorrichtung gemäß Anspruch 1, wobei der Behälter mit einem ersten Fenster (33), durch welches der Laserstrahl einfallt und einem zweiten Fenster (36), durch welches der Laserstrahl ausgegeben wird, versehen ist und der erste Punkt in der Nähe des ersten Fensters und der zweite Punkt in der Nähe des zweiten Fensters lokalisiert ist.

3. Laservorrichtung gemäß Anspruch 1 oder 2, wobei:
 

- der Behälter eine Kammer (21) zum Aufnehmen des Lasermediums aufweist;
- das Elektrodenpaar ein Plattenelektrodenpaar (22, 23) aufweist, das mit dazwischenliegendem Lasermedium in der Kammer angeordnet ist, zum Erzeugen einer Entladung im Lasermedium, wenn mit einer Radiofrequenz-Spannung versorgt, wodurch

das Lasermedium zum Verstärken des Laserstrahls angeregt wird; und
 

- der Laserstrahl-Verstärker einen Laserstrahl-Verstärker vom Platten-Typ ausbildet.

4. Laservorrichtung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei das optische System eine aus einer Kombination eines ebenen Spiegels (42, 43) und eines konkaven Spiegels (37, 38), eine Kombination von zwei konkaven Spiegeln (37, 38) und einer Kombination eines konkaven Spiegels und eines konvexen Spiegels enthält.

5. Laservorrichtung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei das optische System ein Transferabbild des in dem ersten Punkt im Strahlengang zwischen dem ersten Punkt und dem zweiten Punkt einfallenden Laserstrahls zumindest einmal fokussiert und dann das Transferabbild in dem zweiten Punkt erneut fokussiert.

6. Laservorrichtung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 5, ferner aufweisend:
 

- einen sättigbaren Absorber (31), der im Strahlengang zwischen dem ersten Punkt und dem zweiten Punkt angeordnet ist.

7. Laservorrichtung gemäß Anspruch 1 oder 2, wobei
 

- der Behälter eine Entladungsröhre (25, 25a, 25b) aufweist, in welcher ein Strahlengang für den Laserstrahl ausgebildet ist;
- das Elektrodenpaar in dem im Strahlengang der Entladungsröhre fließenden Lasermedium eine Entladung erzeugt, wenn es mit einer Radiofrequenz-Spannung versorgt wird, und dadurch das Lasermedium zum Verstärken des Laserstrahls anregt; und
- der Laserstrahl-Verstärker einen Laserstrahl-Verstärker vom Schnell-Axialfluss-Typ ausbildet.

8. Laservorrichtung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei eine Transfervergrößerung des optischen Systems im Wesentlichen gleich „1“ ist.

9. Laservorrichtung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei das Lasermedium ein CO<sub>2</sub>-Lasergas aufweist, das Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) aufweist.

10. Laservorrichtung einem der vorherigen Ansprüche, wobei der Hauptverstärker aufweist:
 

- einen Behälter zum Aufnehmen eines Lasermediums;
- ein Elektrodenpaar zum Erzeugen einer Entladung im Lasermedium, um eine Verstärkungsregion (65) für einen Laserstrahl im Lasermedium zu erzeugen; und
- ein optisches System (61, 65) zum Ausbilden eines Strahlengangs zwischen einem dritten Punkt, in dem der Laserstrahl einfallt und einem vierten Punkt, von welchem der Laserstrahl ausgegeben

wird, sodass die Verstärkungsregion im Strahlengang zwischen dem dritten Punkt und dem vierten Punkt liegt, wobei der dritte Punkt und der vierte Punkt konjugiert zueinander sind und der im dritten Punkt einfallende Laserstrahl während mindestens zweimaligen Durchgangs durch die Verstärkungsregion verstärkt wird und dann zum vierten Punkt transferiert wird.

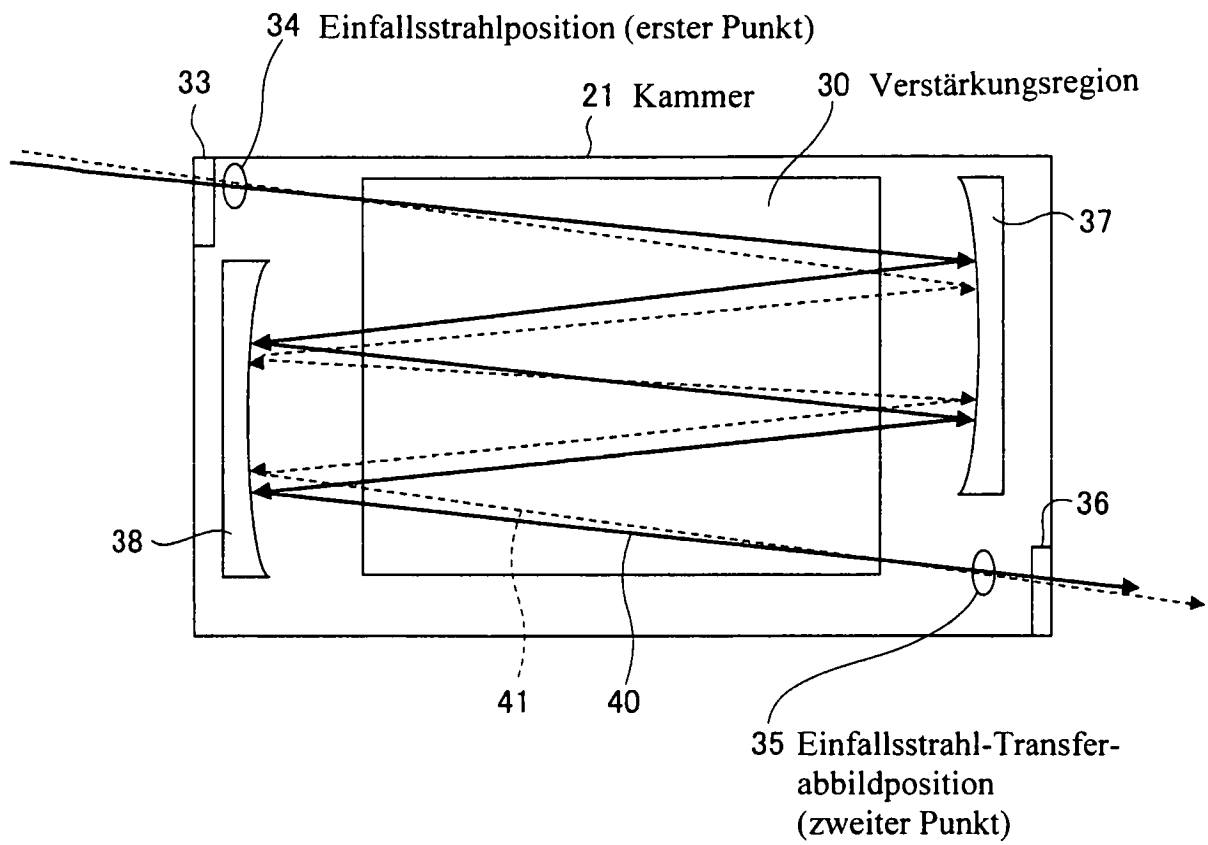
11. Laservorrichtung gemäß dem vorherigen Anspruch, wobei die erste Relais-Optik den vom zweiten Punkt des Vorverstärkers ausgehenden gepulsten Laserstrahl zum dritten Punkt des Hauptverstärkers transferiert.

12. Laservorrichtung gemäß einem der vorherigen Ansprüche, wobei der Vorverstärker mehrere in Serie verbundene Laserstrahl-Verstärker aufweist.

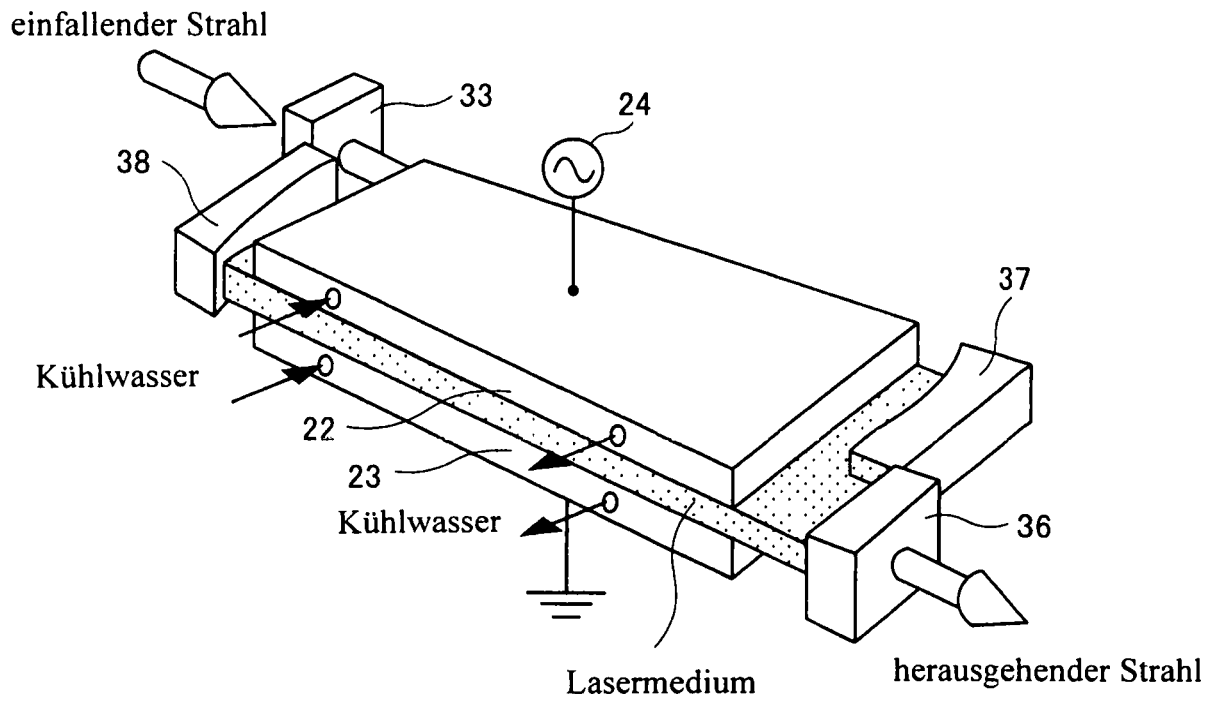
13. Laserstrahlvorrichtung gemäß einem der vorherigen Ansprüche, wobei der Hauptverstärker mehrere in Serie verbundene Laserstrahl-Verstärker aufweist.

Es folgen 18 Seiten Zeichnungen

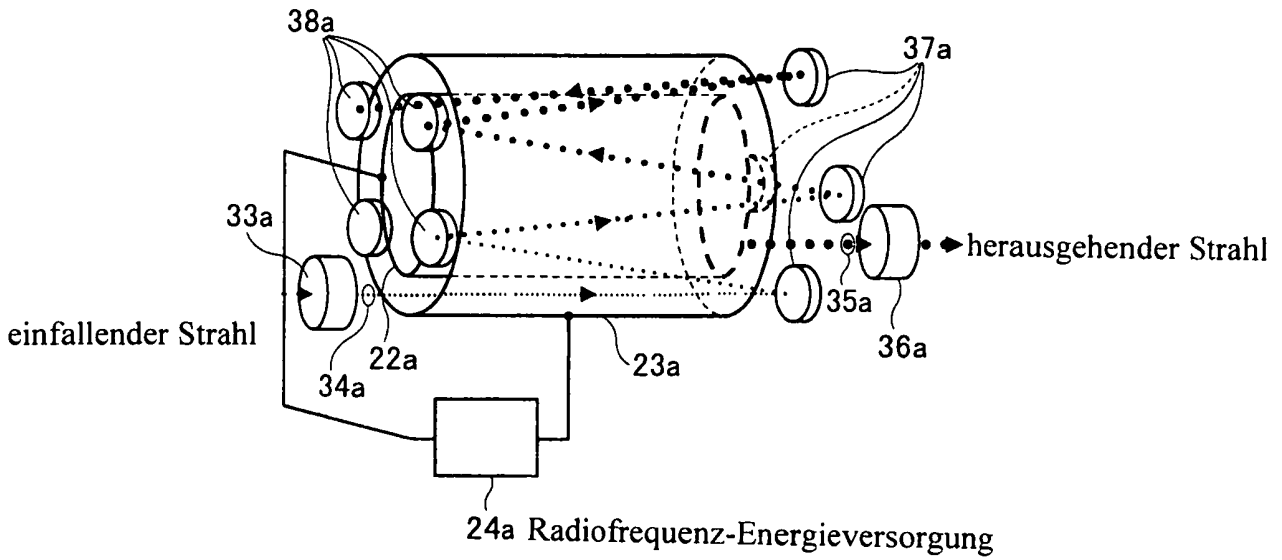
**FIG.1**



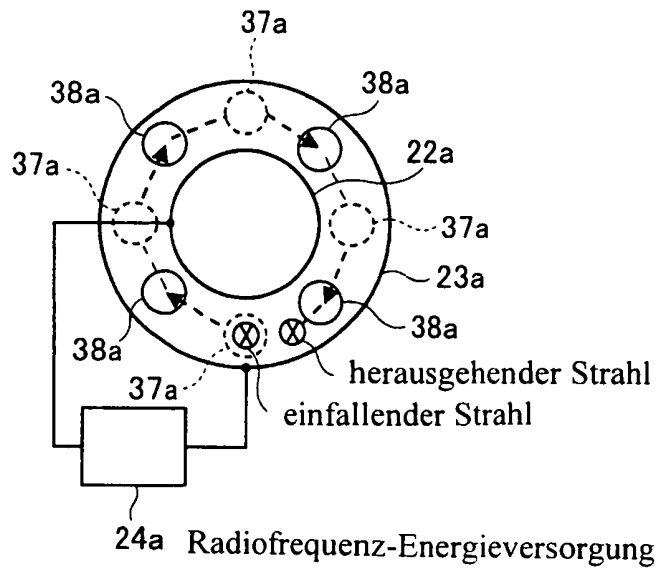
**FIG.2**



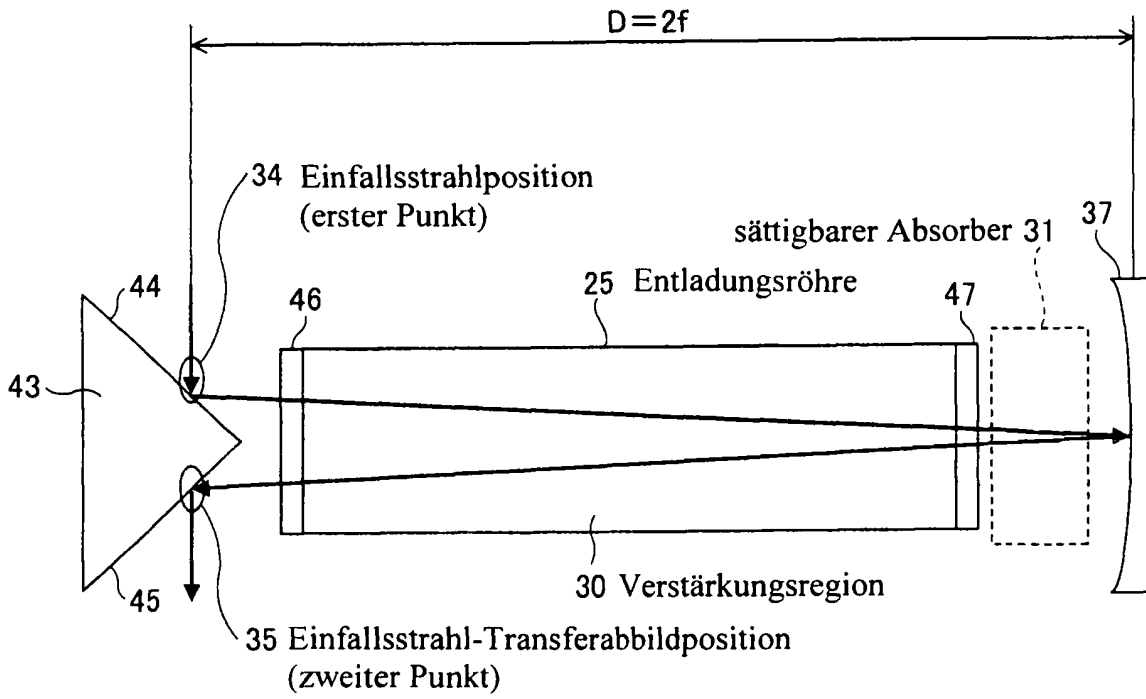
**FIG.3**



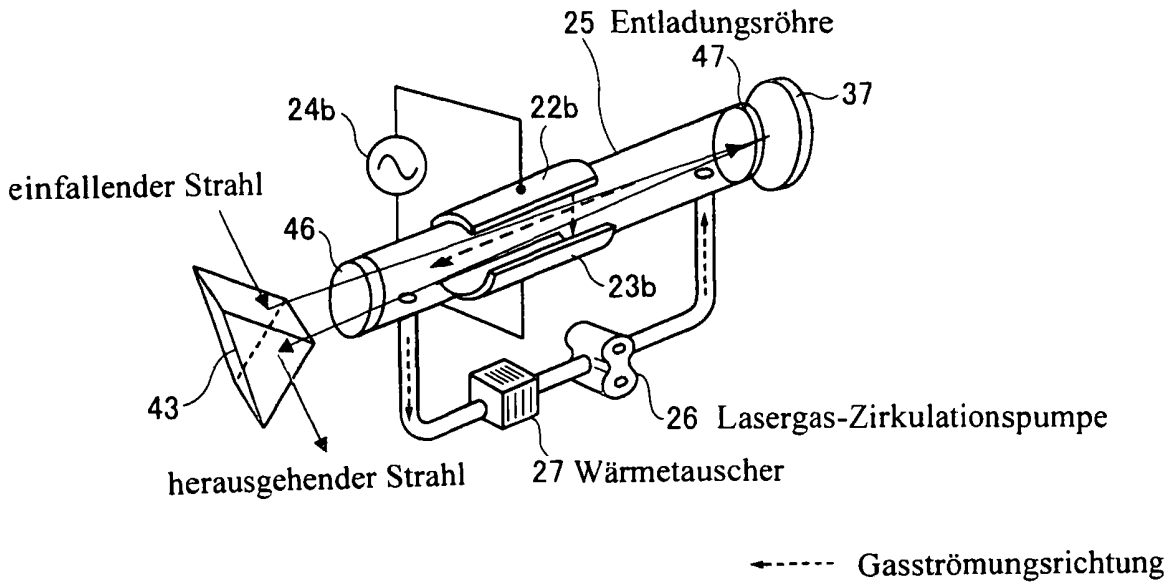
**FIG.4**



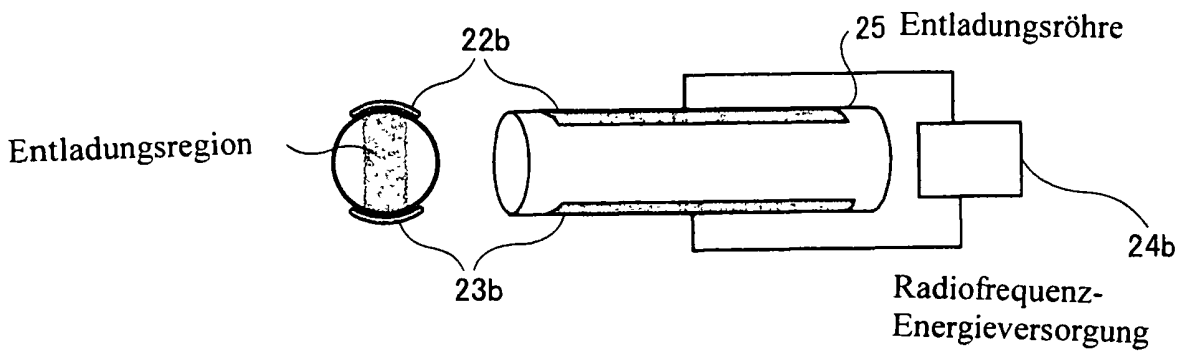
**FIG.5**



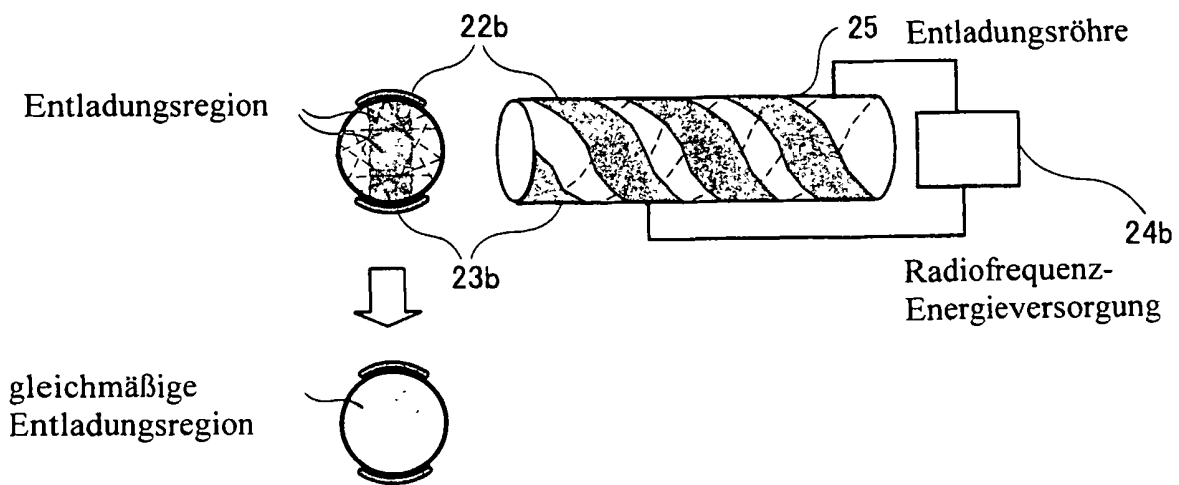
**FIG.6**



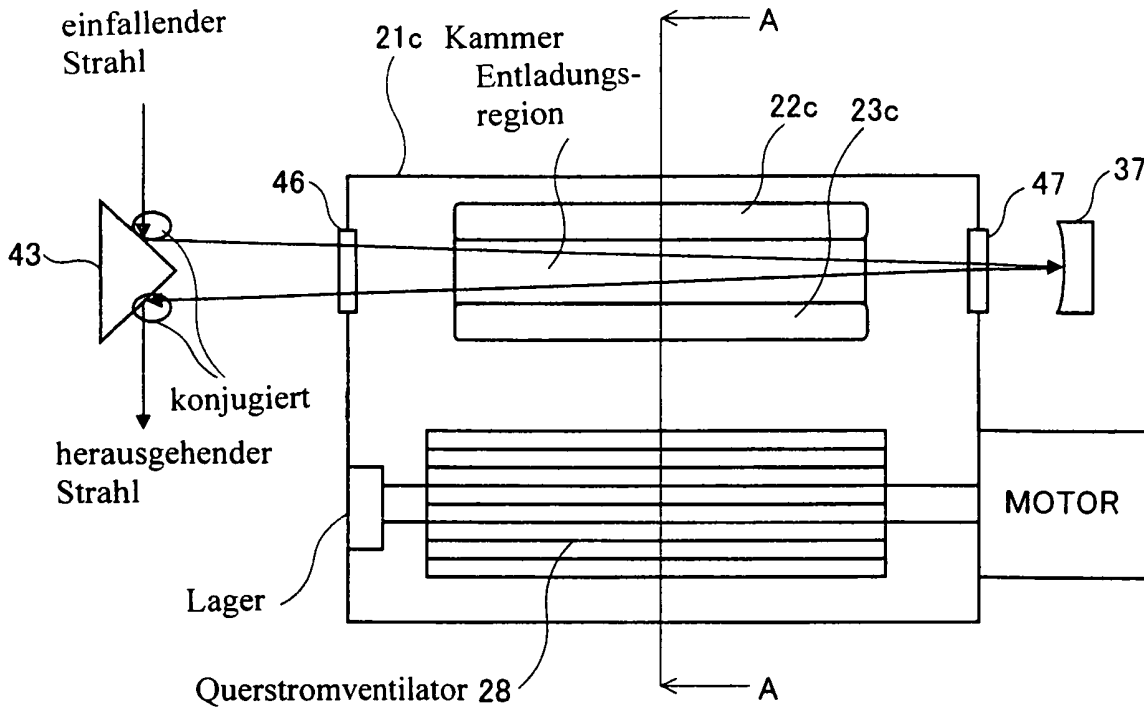
**FIG.7**



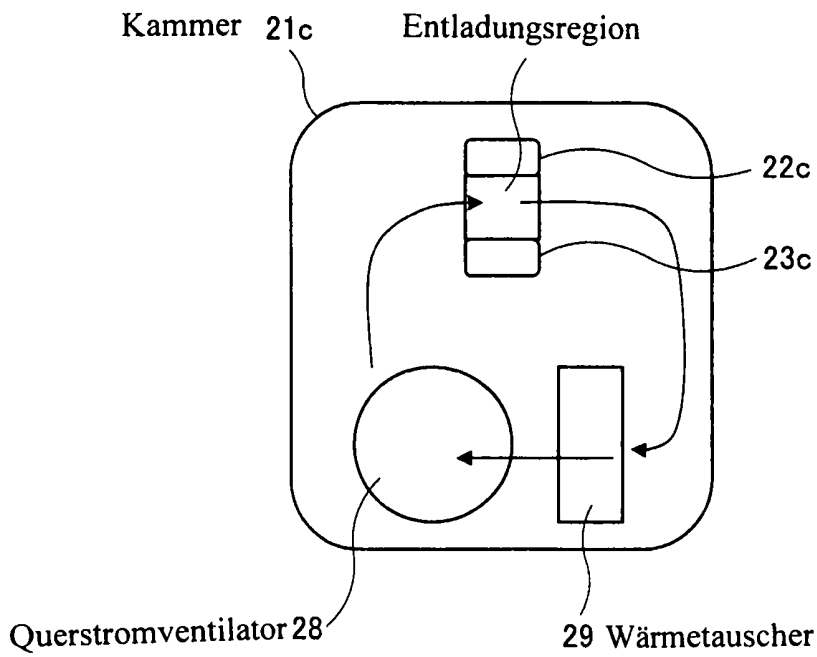
**FIG.8**



**FIG. 9**

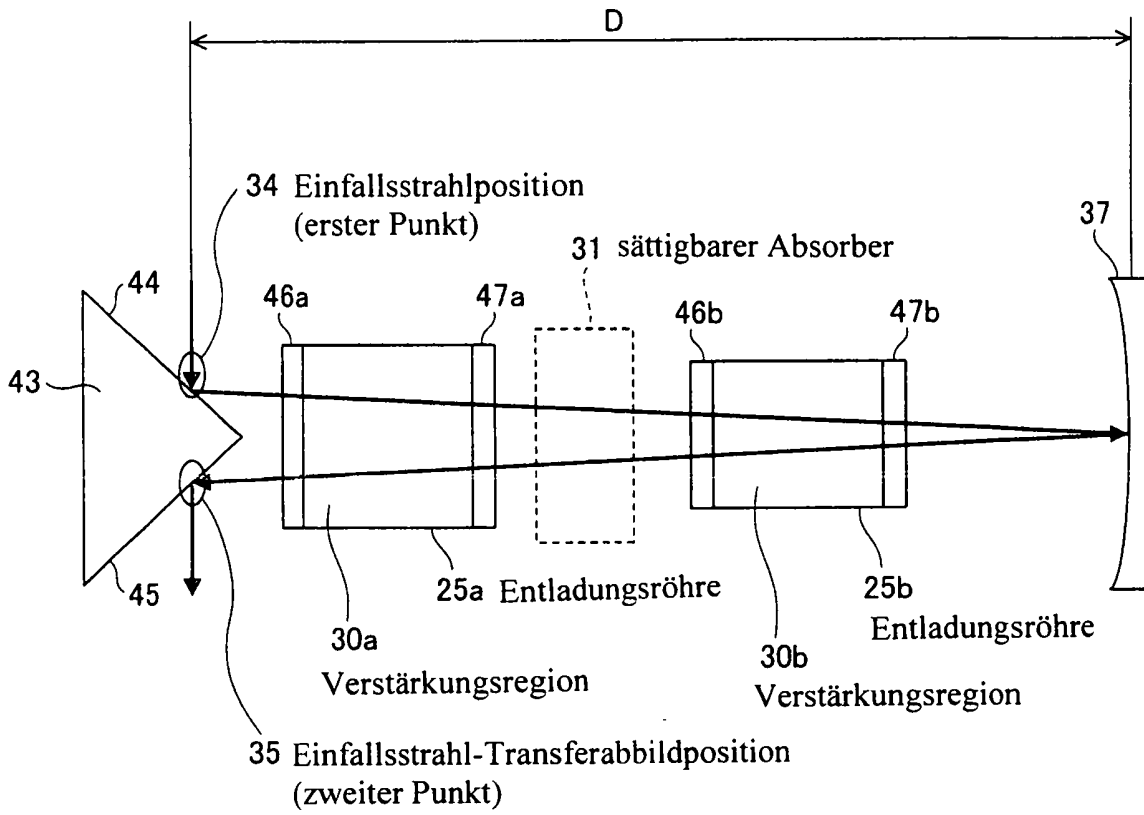


**FIG. 10**

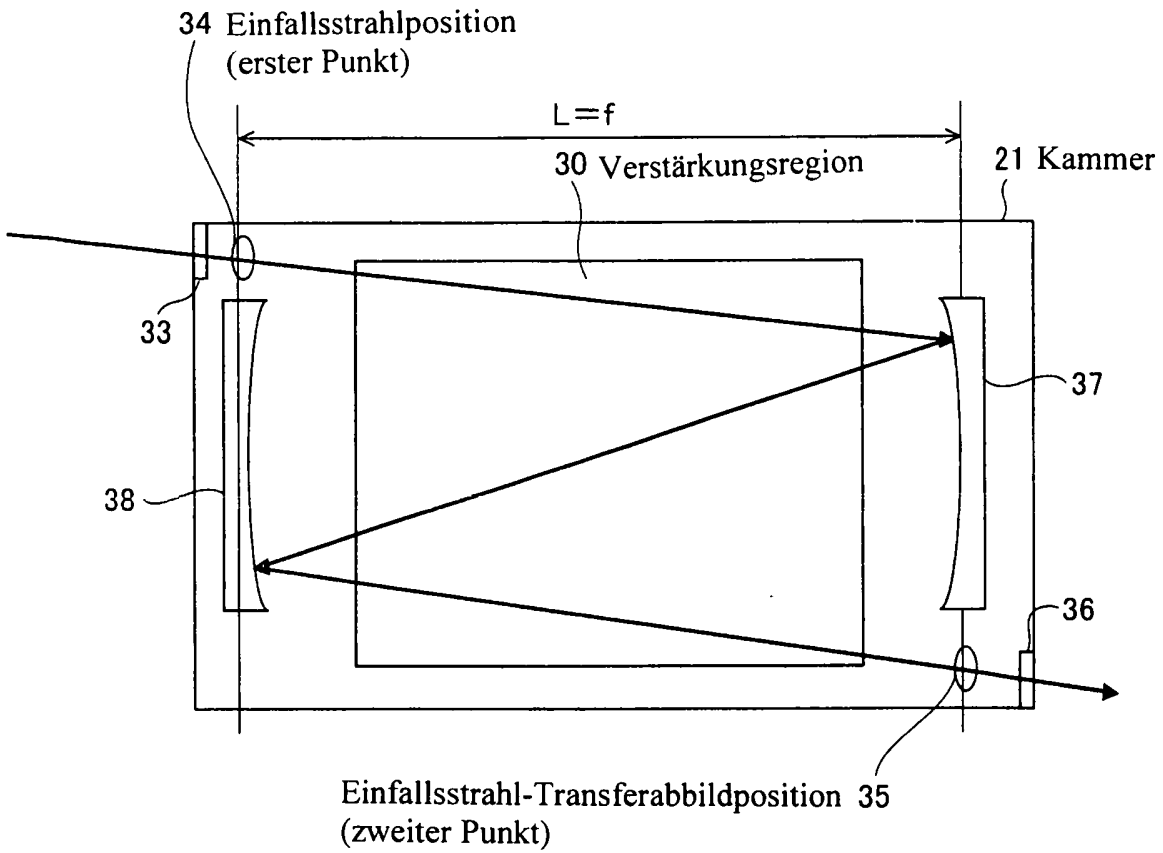


20250612 14:05:15

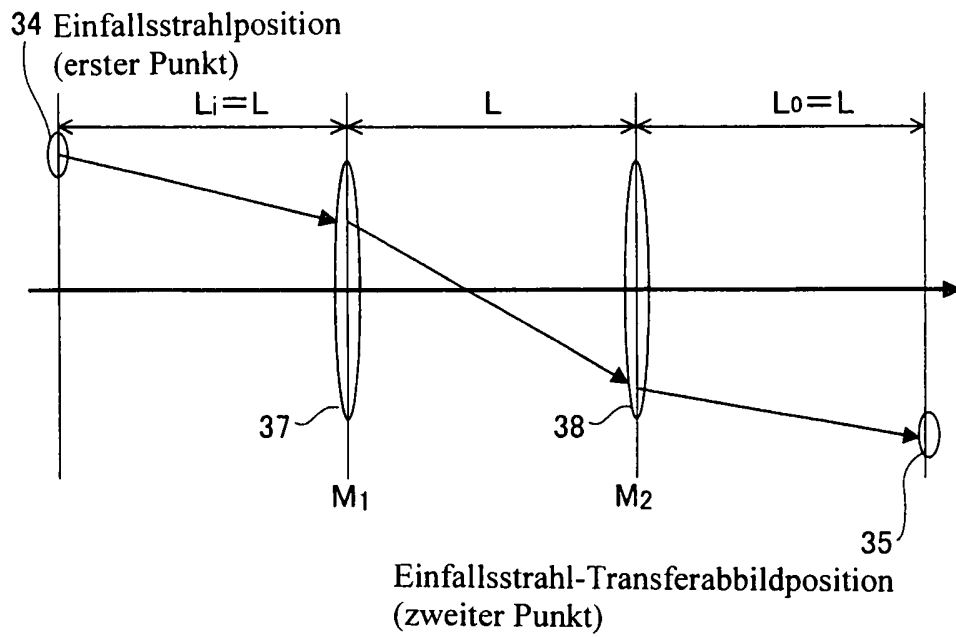
**FIG.11**



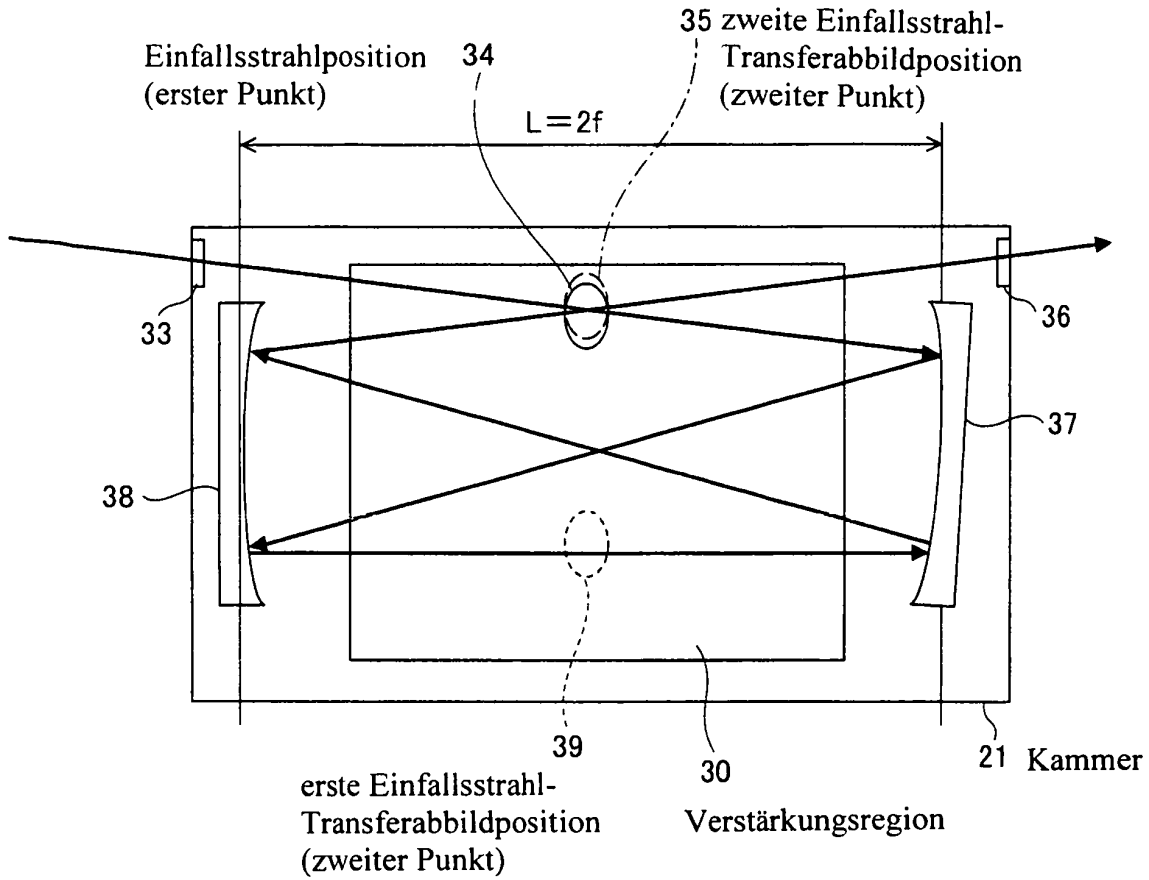
**FIG.12**



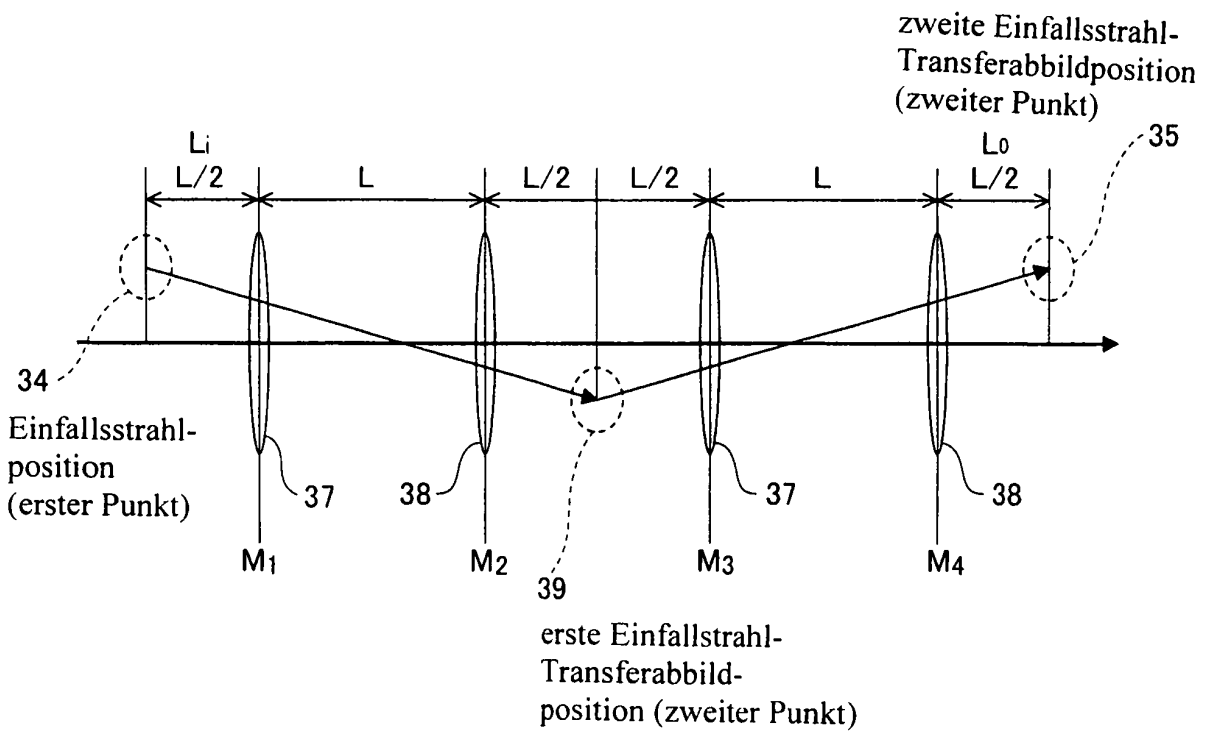
**FIG.13**



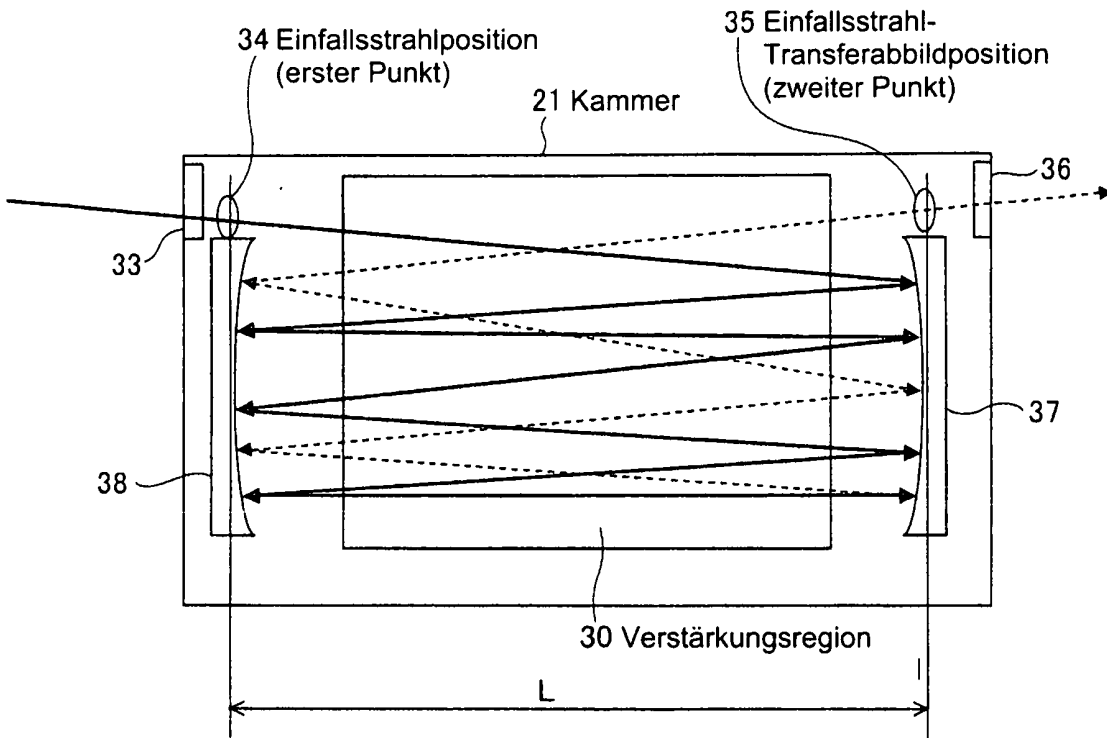
**FIG.14**



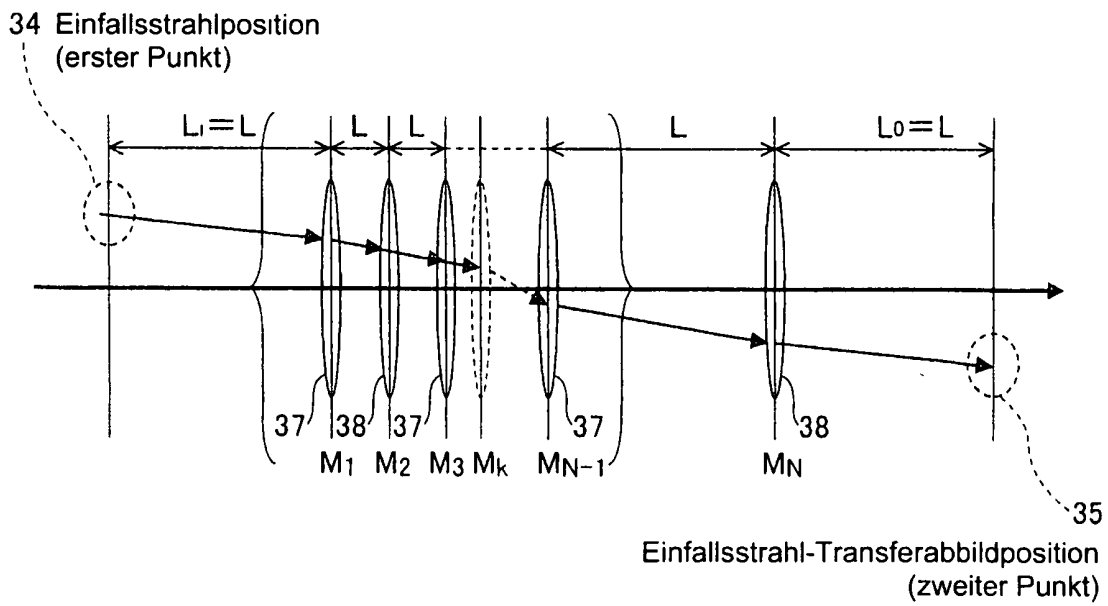
**FIG.15**



**FIG.16**

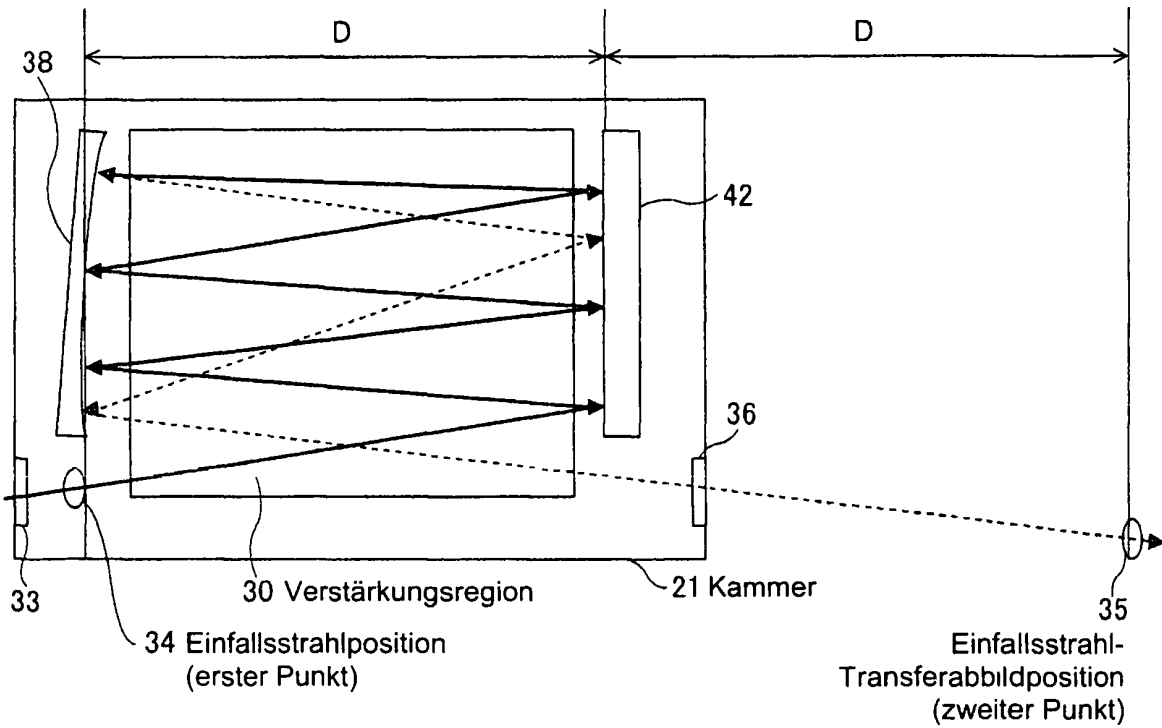


**FIG.17**

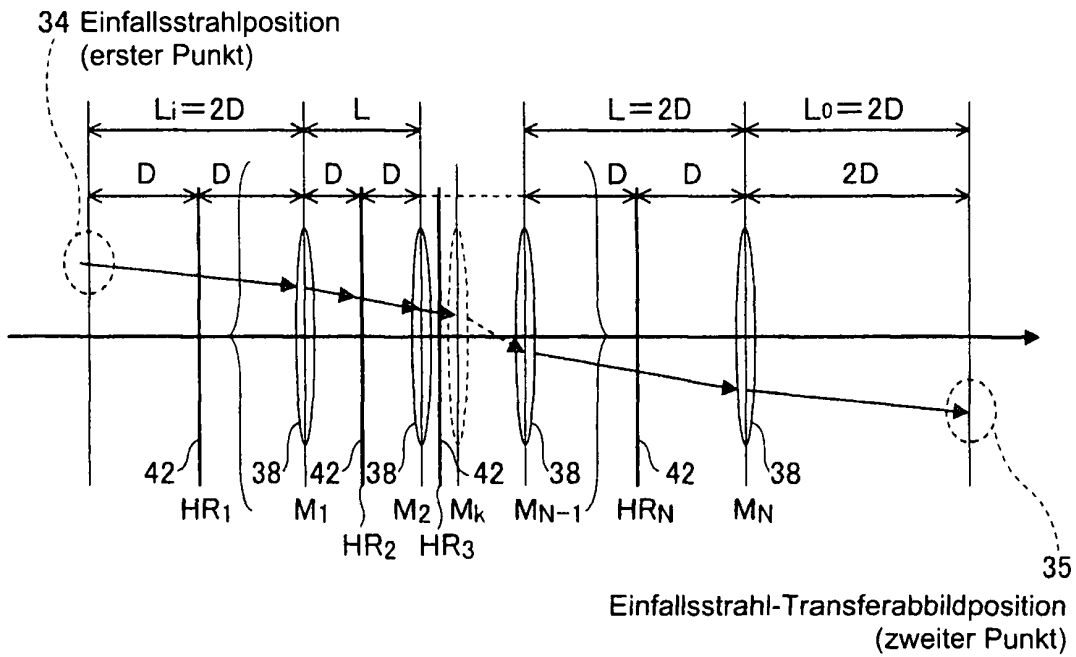




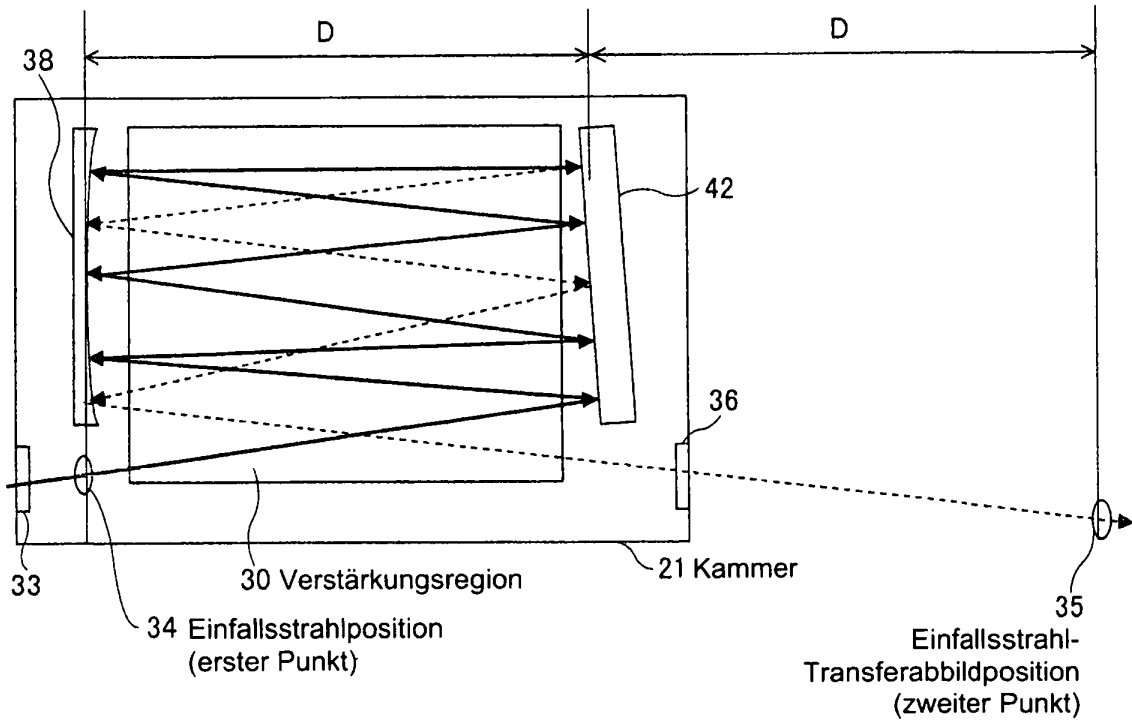
**FIG.20**



**FIG.21**

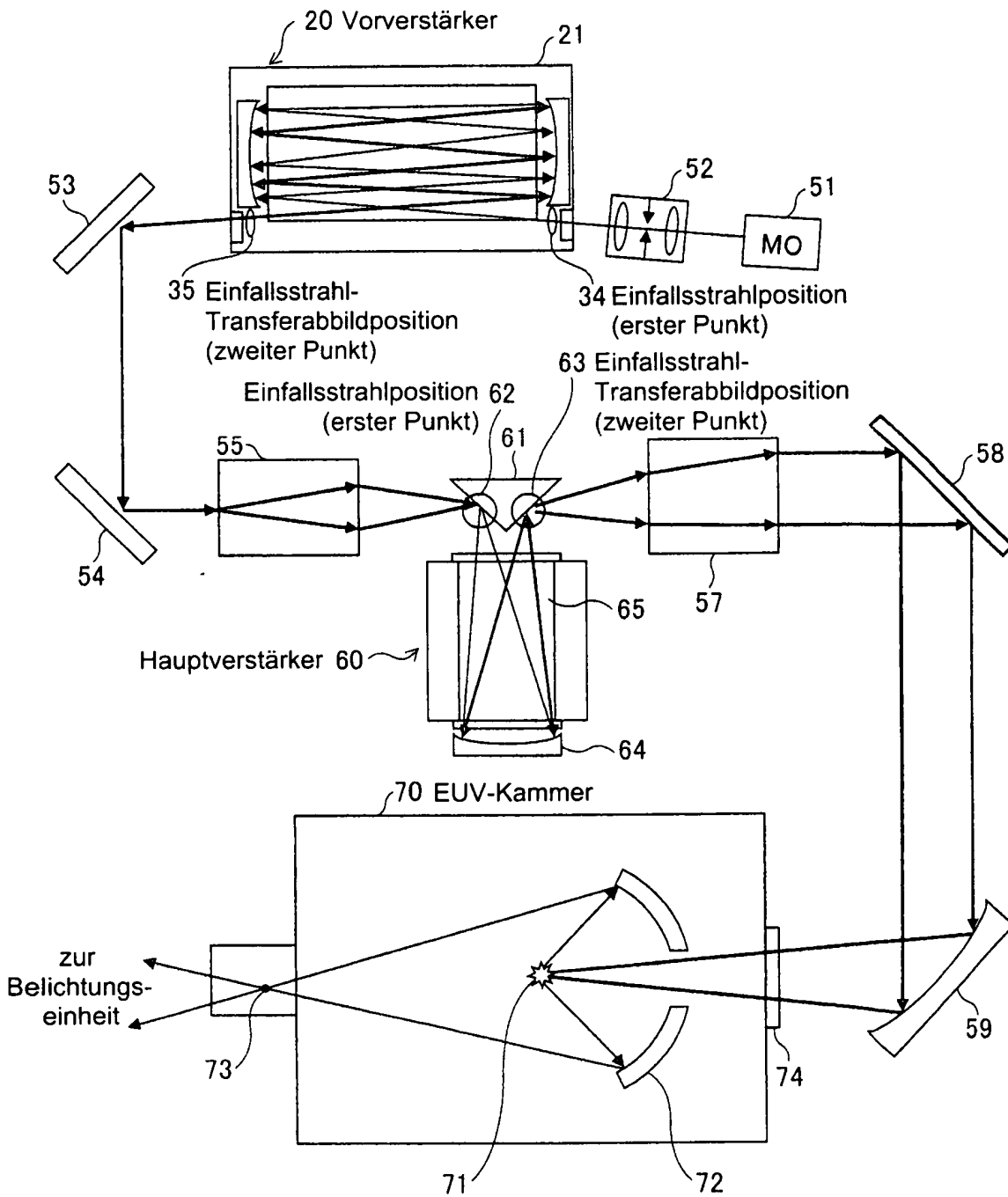


**FIG.22**



DE 10 2010 000 032 B4

**FIG.23**



1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100

**FIG.24**

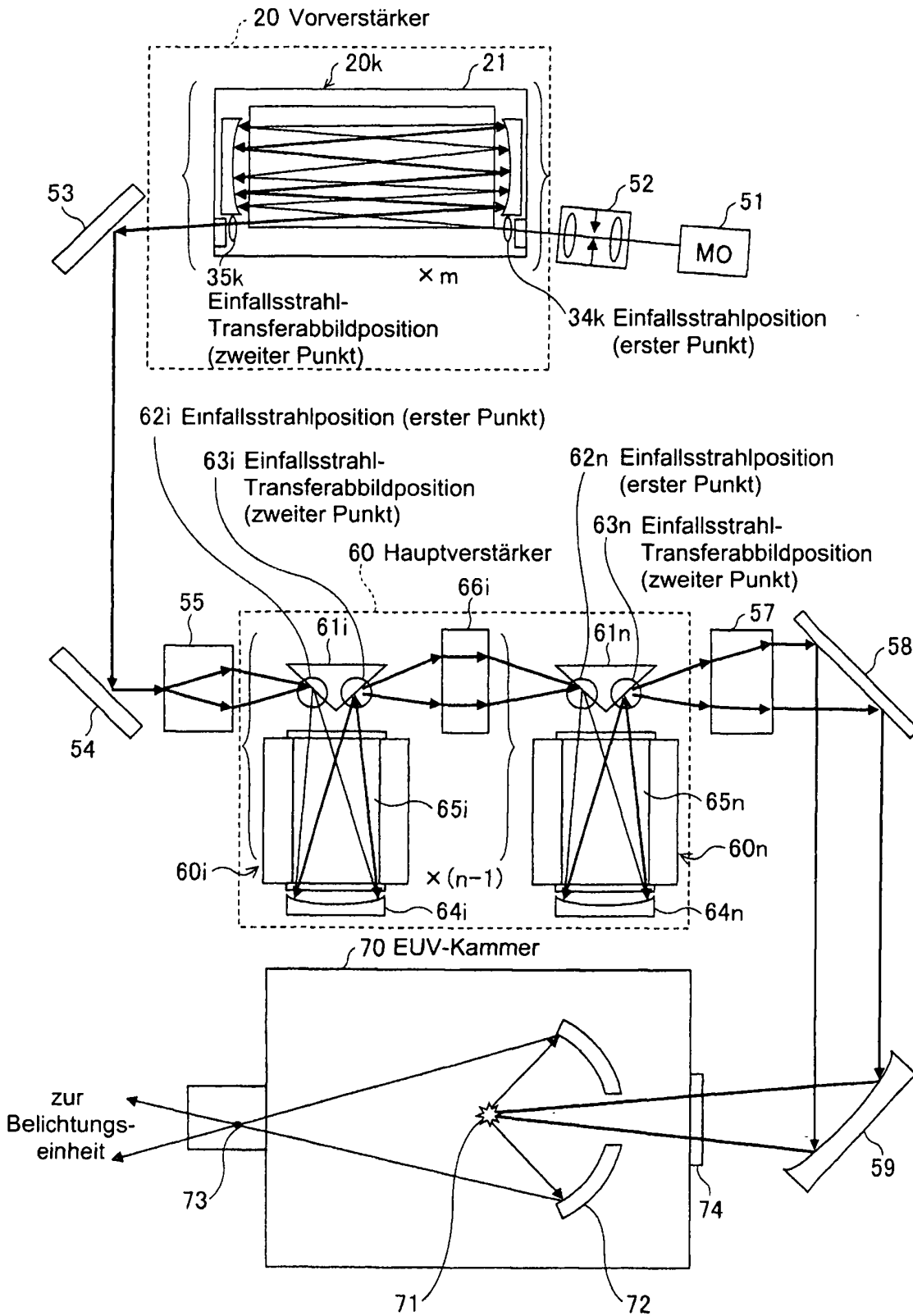
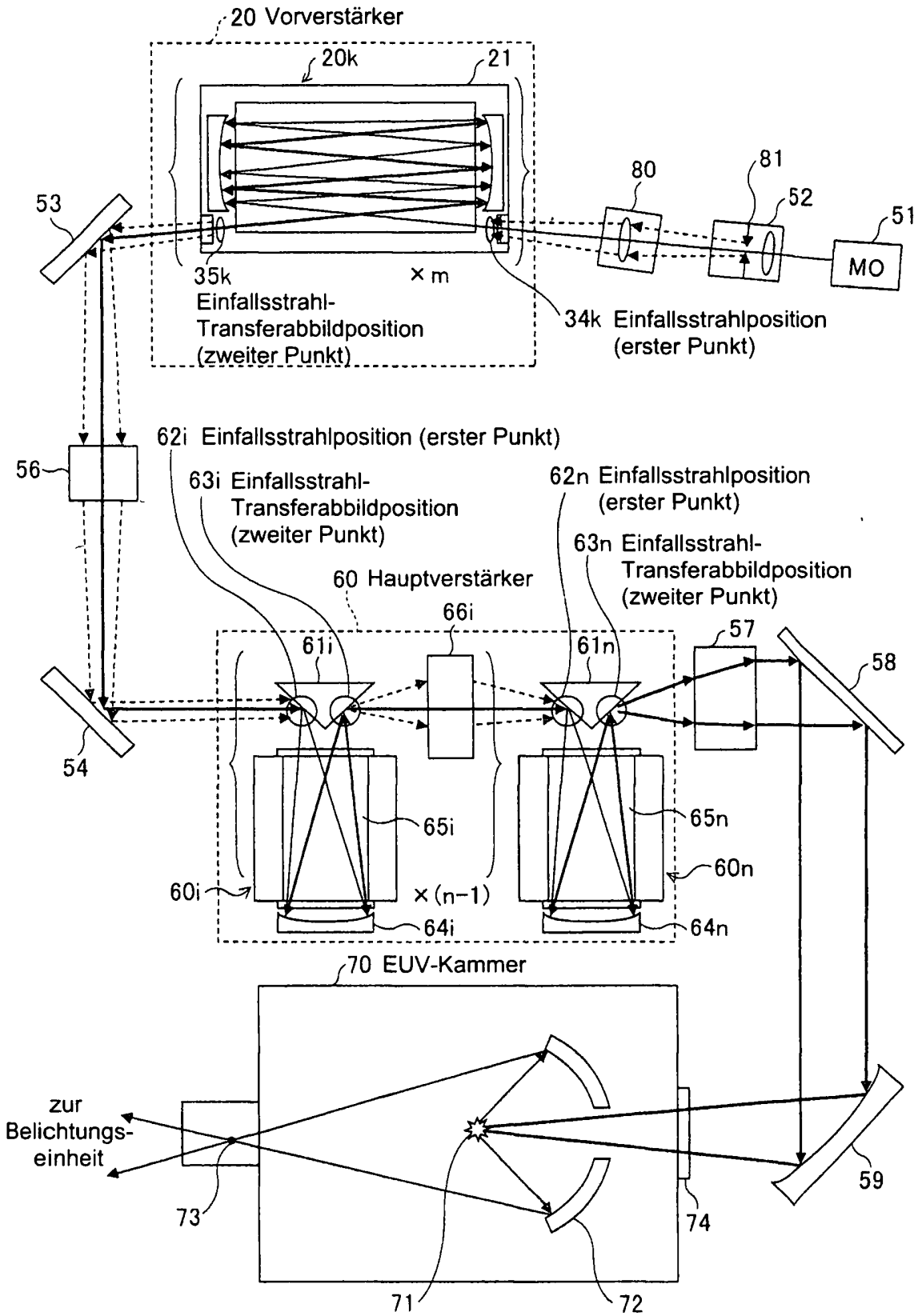


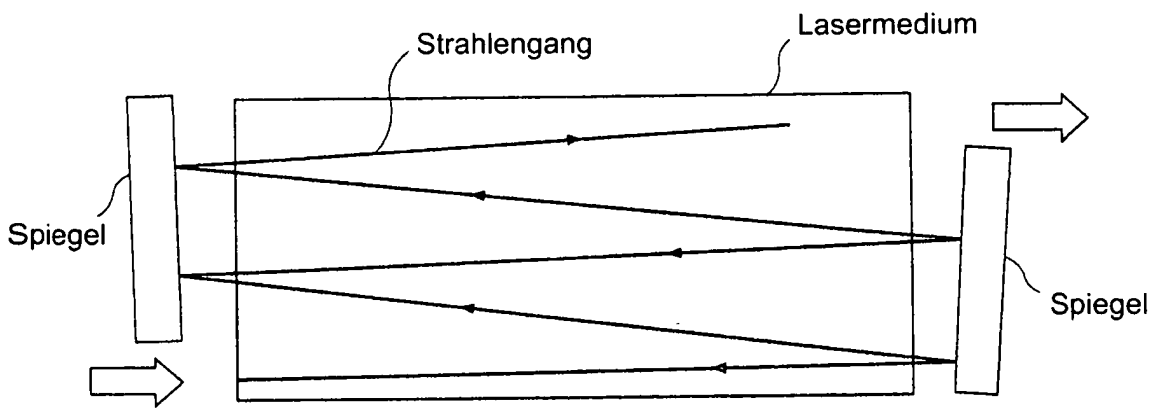
FIG. 24

**FIG.25**



12010000329 15.06.2012

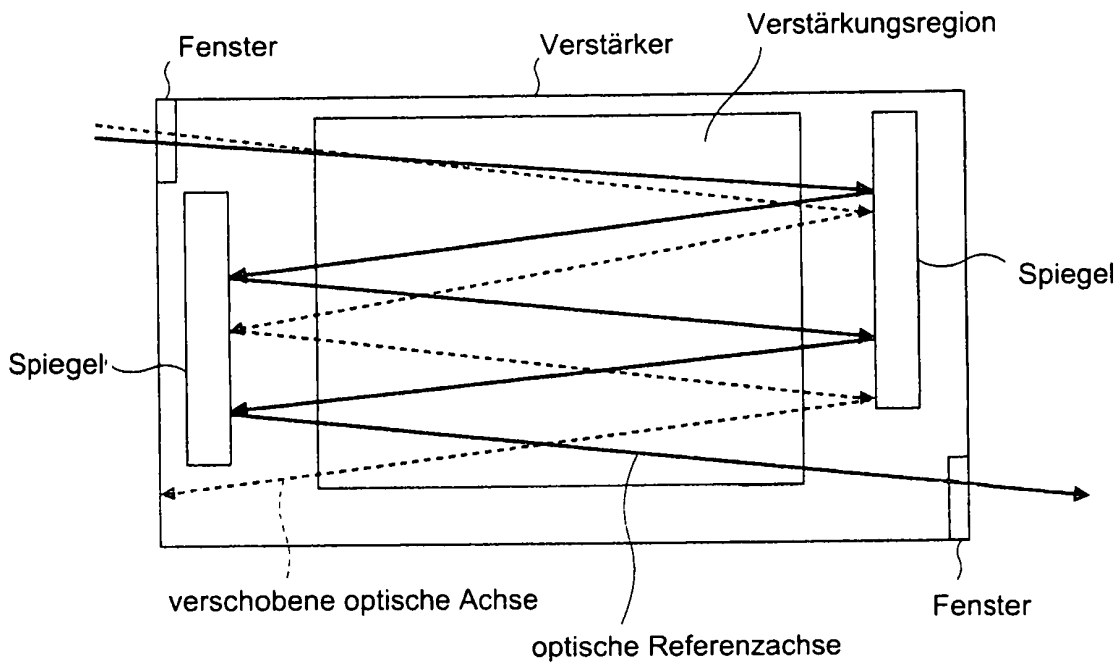
**FIG.26**



Stand der Technik

1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23  
24  
25  
26  
27  
28  
29  
30  
31  
32  
33  
34  
35  
36  
37  
38  
39  
40  
41  
42  
43  
44  
45  
46  
47  
48  
49  
50  
51  
52  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60  
61  
62  
63  
64  
65  
66  
67  
68  
69  
70  
71  
72  
73  
74  
75  
76  
77  
78  
79  
80  
81  
82  
83  
84  
85  
86  
87  
88  
89  
90  
91  
92  
93  
94  
95  
96  
97  
98  
99  
100

**FIG.27**



Stand der Technik

320120000329 15.03.2013