

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges

Eigentum

Internationales Büro

(43) Internationales  
Veröffentlichungsdatum

27. September 2012 (27.09.2012)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer

WO 2012/126804 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

G02B 27/09 (2006.01) G02B 17/08 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen:

PCT/EP2012/054575

(22) Internationales Anmeldedatum:

15. März 2012 (15.03.2012)

(25) Einreichungssprache:

Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache:

Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:

10 2011 005 835.4 21. März 2011 (21.03.2011) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): TRUMPF LASER GMBH + CO. KG [DE/DE]; Aichhalder Straße 39, 78713 Schramberg (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): WALLMEROOTH, Klaus [DE/DE]; Schwarzwaldstraße 4, 78658 Zimmern o.R. (DE). TILLKORN, Christoph [DE/DE]; Robert-Bosch-Str. 12, 78667 Villingendorf (DE). ZAWISCHA, Ivo [DE/DE]; Weiherstraße 1/2, 78050 Villingen-Schwenningen (DE).

(74) Anwalt: KOHLER SCHMID MÖBUS; Ruppmannstr. 27, 70565 Stuttgart (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

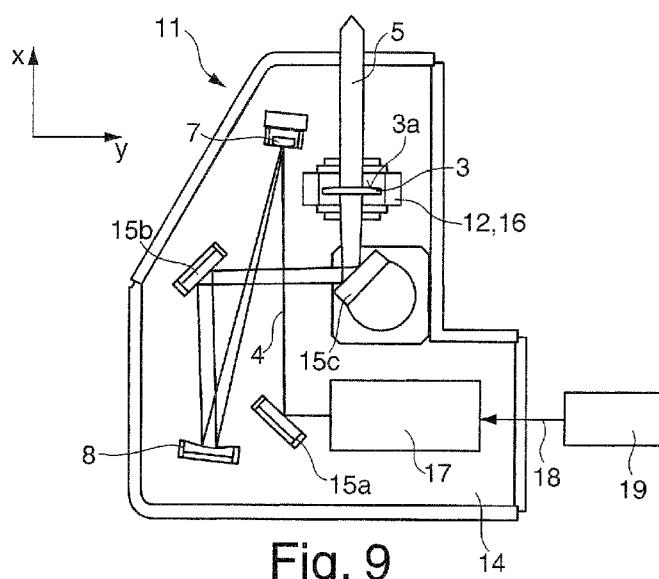
(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

- mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

(54) Title: DEVICE AND METHOD FOR WIDENING A LASER BEAM

(54) Bezeichnung : VORRICHTUNG UND VERFAHREN ZUR AUFWEITUNG EINES LASERSTRAHLS



gekrümmter sphärischer Faltungsspiegel (7) ist und wobei der im Strahlengang zweite Faltungsspiegel (8) ist. Die Erfindung betrifft auch ein zugehöriges Verfahren zur Aufweitung eines Laserstrahls.

(57) Abstract: The invention relates to a device (11) for widening a laser beam, in particular a UV laser beam (4), comprising: a telescopic arrangement (6) having two spherical folding mirrors (7, 8) for widening the incident collimated laser beam (4), and a lens (3) arranged in the divergent beam path downstream of the telescopic arrangement (7, 8) and having a spherical lens face (3a) for collimation of the widened laser beam (5), wherein the first folding mirror in the beam path is a convexly curved spherical folding mirror (7) and the second folding mirror in the beam path is a concavely curved spherical folding mirror (8). The invention also relates to an associated method for widening a laser beam.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung (11) zur Aufweitung eines Laserstrahls, insbesondere eines UV-Laserstrahls (4), umfassend: eine Teleskopanordnung (6) mit zwei sphärischen Faltungsspiegeln (7, 8) zur Aufweitung des einfallenden kollimierten Laserstrahls (4), sowie eine im divergenten Strahlengang nach der Teleskopanordnung (7, 8) angeordnete Linse (3) mit einer sphärischen Linsenfläche (3a) zur Kollimation des aufgeweiteten Laserstrahls (5), wobei der im Strahlengang erste Faltungsspiegel ein konkav gekrümmter sphärischer Faltungsspiegel (7) ist und wobei der im Strahlengang zweite Faltungsspiegel (8) ist. Die Erfindung betrifft auch ein zugehöriges Verfahren zur Aufweitung eines Laserstrahls.

5

10

15

20

Vorrichtung und Verfahren zur Aufweitung eines Laserstrahls

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Aufweitung eines Laserstrahls,  
25 insbesondere eines UV-Laserstrahls, sowie ein zugehöriges Verfahren zur  
Aufweitung eines Laserstrahls.

UV-Laser, d.h. Laser, welche Laserstrahlung im UV-Wellenlängenbereich (mit Wellenlängen unterhalb des sichtbaren Wellenlängenbereichs) erzeugen, gewinnen vor allem in der Mikrobearbeitung immer mehr an Bedeutung. Dies steigert die Nachfrage an UV-Lasern hoher und mittlerer Leistung. Die Erzeugung von 5 ultravioletter Laserstrahlung erfolgt häufig durch Frequenzkonversion eines infraroten Laserstrahls in nichtlinearen Kristallen. Diese Frequenzkonversion benötigt einerseits hohe Infrarot-Intensitäten und geringe Strahldivergenz in den nichtlinearen Kristallen, um eine effiziente Konversion vom infraroten Wellenlängenbereich in den ultravioletten Wellenlängenbereich zu ermöglichen, andererseits darf die Intensität - 10 insbesondere die der erzeugten UV-Strahlung - nicht zu hoch werden, um eine Zerstörung des Kristalls oder eine schnelle Degradation seiner optischen Eigenschaften zu vermeiden.

Diese Bedingungen können beispielsweise (aber nicht ausschließlich) bei 15 Ultrakurzpuls-Lasern mit UV-Pulslängen im Bereich von etwa 5 ps und UV-Pulsenergien von mehr als 1 µJ oder bei Pulslängen von etwa 1 ps und UV-Pulsenergien von mehr als 0,2 µJ zu kollinierten oder nahezu kollinierten UV-Laserstrahlen hoher Intensität führen, deren Durchmesser sich über die Ausdehnung des Konversionsaufbaus nicht signifikant vergrößert, d.h. deren Intensität sich über 20 diese Länge nicht deutlich reduziert.

Dauerhafte UV-Bestrahlung mit hoher Intensität führt in transmissiven Optiken (z.B. Linsen oder anderen Optiken aus Quarzglas) und gegebenenfalls auch in deren Antireflexbeschichtungen zu unerwünschten, permanenten Materialveränderungen, 25 welche die Transmissionseigenschaften dieser transmissiven Optiken bis hin zur Unbrauchbarkeit verschlechtern können. Auch Spuren verschiedener Gase (z.B. Kohlenwasserstoff oder Silikonverbindungen) in einer nicht exakt kontrollierten Umgebung der Optiken können durch die UV-Strahlung so verändert werden, dass es zu Abscheidungen auf den Optiken kommt, die ebenfalls nach einer gewissen Zeit 30 zu deren Unbrauchbarkeit führen können. Insbesondere bei sehr hohen Intensitäten der UV-Strahlung kann diese Degradation so schnell vor sich gehen, dass ein wirtschaftlicher Einsatz von transmissiven Optiken für UV-Laserstrahlen nicht mehr möglich ist.

Um auf die oben beschriebene Weise erzeugte, kollimierte UV-Laserstrahlen hoher Intensität für Anwendungen nutzbar zu machen, ist es erforderlich, diese so aufzuweiten, dass deren Intensität über die gewünschte Einsatzdauer nicht zur Schädigung der Folgeoptiken (z.B. Strahlführungs-, Strahlformungs- oder 5 Bearbeitungsoptiken) führt.

Eine solche Aufweitung könnte zwar durch eine große Propagations-Länge des Laserstrahls bis zu den Folgeoptiken erreicht werden, so dass der Laserstrahl von sich aus bereits ausreichend groß würde. Allerdings ist dies im vorliegenden Fall, bei 10 dem der Laserstrahl (nahezu) kollimiert ist, schwierig umzusetzen, da eine sehr große Propagations-Länge benötigt würde und die Baugröße der gesamten aufweitenden Optik limitiert ist.

Üblicherweise werden zur Strahlaufweitung von (nahezu kollinierten) Laserstrahlen 15 daher Vorrichtungen zur Strahlaufweitung beispielsweise in Form eines Galilei-Objektives 1 (vgl. **Fig. 1**) genutzt. Ein solches Objektiv 1 weist mindestens zwei Linsen 2, 3 auf, um einen eintretenden, kollinierten Laserstrahl 4 in einen (hier: 6-fach) aufgeweiteten, ebenfalls kollinierten Laserstrahl 5 umzuwandeln. Das Galilei-Objektiv 1 stellt eine Strahlaufweitungsoptik von einfacher Bauform dar und kann bei 20 kurzer Baulänge und typischer Weise geringem Bauraum unter Verwendung von axial angeordneten, sphärischen Linsen 2, 3 so ausgelegt werden, dass diese zu sehr geringen Strahldeformationen bei hoher Toleranz gegen die Eingangsstrahllage (d.h. Verkippung bzw. Versetzung des Eingangsstrahls) führen. Hinsichtlich der Ausgangsstrahldivergenz können Radienfehler der Linsen 2, 3 oder Fehler in der 25 Eingangsstrahldivergenz durch einfaches axiales Verschieben einer der Linsen 2, 3 kompensiert werden, ohne dass es zu einem lateralem Versatz des aufgeweiteten Laserstrahls 5 kommt.

Ungünstiger Weise ist jedoch die eingangsseitige Linse 2 des Galilei-Objektives 1 30 selbst einer der hohen UV-Intensität des noch nicht aufgeweiteten Laserstrahls 4 ausgesetzt, so dass es insbesondere bei Verwendung einer dielektrisch antireflexbeschichteten eingangsseitigen Linse 2 zu einer nicht akzeptablen Degradation von deren Transmissionseigenschaften kommen kann. Als Teillösung dieses Problems kann das Galilei-Objektiv 1 mit einer unbeschichteten

Eingangsoptik betrieben werden, d.h. ohne Antireflexbeschichtung. Allerdings werden in diesem Fall durch Fresnel-Reflexe an der unbeschichteten Linse 2 Leistungsverluste erzeugt. Auch bleibt das Problem der strahlungsbedingten Veränderung bzw. Degradation des Linsenmaterials selbst bestehen.

5

Es hat sich herausgestellt, dass die Verschlechterung der Reflektionseigenschaften dielektrischer Spiegel bei intensiver UV-Bestrahlung deutlich geringer ist als die Verschlechterung der Transmissionseigenschaften transmissiver Optiken und insbesondere dielektrisch antireflexbeschichteter transmissiver Optiken. Daher 10 können Spiegelobjektive zur Strahlaufweitung von UV-Strahlung deutlich längere Betriebszeiten erreichen als Linsensysteme.

**Fig. 2** zeigt eine Teleskopanordnung 6 mit zwei sphärischen Faltungsspiegeln 7, 8 als reflektierenden optischen Elementen in einer Z-Faltung zur (hier: 6-fachen) 15 Umwandlung eines eintretenden kollimierten Laserstrahls 4 in einen aufgeweiteten kollimierten Laserstrahl 5. Der Abstand zwischen den Faltungsspiegeln 7,8 beträgt hierbei ca. 150 mm, der für beide Faltungsspiegel 7, 8 identische Faltungswinkel  $2\alpha$  liegt bei ca.  $20^\circ$ .

20 Ein nicht-axiales Spiegel-System zur Strahlaufweitung wie es beispielhaft in Fig. 2 gezeigt ist hat aber in der Regel diverse Nachteile: Entweder werden asphärische optische Elemente benötigt, um Astigmatismus und Koma zu reduzieren, was diese Systeme teuer und justageempfindlich macht, oder derartige Systeme sind bei gegebener Toleranz der Anwendung gegen Abbildungsfehler auf verhältnismäßig 25 große Spiegelradien und kleine Faltungswinkel beschränkt, wodurch eine große Bauform der Gesamtvorrichtung notwendig wird, und/oder diese Systeme sind auf ganz spezielle Radien- und Faltungswinkelkombinationen und Strahleigenschaften (z.B. konvergenter Ausgangsstrahl (Zwischenfokus)) limitiert.

30 Für die in Fig. 2 gezeigte Anordnung sind in **Fig. 3** vier durch Simulationen („Raytracing“) erzeugte Spot-Diagramme des Fernfeldes des Spiegel-Teleskops 6 gezeigt. Für den eintretenden Laserstrahl 4 wurde von einer Gauss-förmigen Intensitätsverteilung ausgegangen, bei welcher der  $1/e^2$ -Durchmesser (d.h. der Durchmesser, bei dem die Intensität auf das  $1/e^2$ -Fache des Maximalwerts gesunken

ist) 0,83 mm betrug, d.h. der austretende Laserstrahl 5 sollte im Idealfall bei der hier gezeigten 6-fachen Vergrößerung einen  $1/e^2$ -Durchmesser von 5 mm aufweisen. Die Pupille des simulierten Spiegel-Teleskops 6 wurde hierbei so gewählt, dass der errechnete Radius (von ca. 42  $\mu\text{rad}$ ) der Airy-Scheibe 9 für eine UV-Wellenlänge von 5 343 nm ungefähr dem Divergenzwinkel eines Laserstrahls mit Gauss-förmiger Intensitätsverteilung und  $1/e^2$ -Durchmesser von 5 mm entspricht.

Neben einem axial ausgerichteten Eingangsstrahl, welcher in Fig. 3 links oben dargestellt ist, wurden jeweils drei weitere Strahlen mit 0,2° Abweichung von der 10 Eingangsachse des Laserstrahls berechnet, welche rechts oben sowie links unten und rechts unten dargestellt sind. Die Skalengröße **S<sub>1</sub>** des in Fig. 3 gezeigten (quadratischen) Winkelbereichs liegt hierbei bei 2000  $\mu\text{rad}$ . Da die in Fig. 3 gezeigten Spots im Wesentlichen außerhalb der kreisförmigen Airy-Scheibe 9 liegen, ist das 15 Spiegel-Teleskop 6 für den eintretenden Laserstrahl 4 bei weitem nicht beugungsbegrenzt.

Generell können bei nichtaxialen Spiegelteleskopen wie dem in Fig. 2 gezeigten Spiegelteleskop 6 die Radientoleranzen der Faltungsspiegel 7, 8 oder Fehler in der Kollimation des Eingangsstrahls 4 nicht durch einfache Verschiebung eines 20 einzelnen Faltungsspiegels 7, 8 kompensiert werden, ohne dass es zu einem unerwünschten lateralen Versatz des austretenden Laserstrahls 5 kommt.

Die DE 10 2007 009 318 A1 hat sich ebenfalls mit dem Problem der Aufweitung eines hochenergetischen Laserstrahls beschäftigt. Die dort beschriebene Lösung 25 sieht vor, den Laserstrahl mittels eines transmittierenden oder reflektierenden optischen Elements so aufzuweiten, dass die zuordenbare Energiedichte unterhalb einer kritischen Energiedichte bleibt, um irreversible Schäden an den nachfolgenden optischen Komponenten zu vermeiden. Zur Strahlaufweitung werden in einem Ausführungsbeispiel ein zylindrischer Konvexspiegel, der zum Laserstrahl um 45° 30 geneigt sein kann, und eine konvexe Zylinderlinse verwendet. Durch die Neigung des Konvexspiegels um 45° soll die Energiedichte auf der Spiegeloberfläche um den Faktor Wurzel 2 reduziert werden, so dass der Spiegel selbst keinen Schaden erleidet. Die Zylinder-Linse soll den divergenten aufgeweiteten Laserstrahl in einen

Parallelstrahlengang mit vergrößertem Strahlquerschnitt überführen. Dies bietet aber nur die Möglichkeit, den Laserstrahl in einer Richtung aufzuweiten.

Als Alternative zur Aufweitung in zwei Richtungen wird in einem weiteren

- 5 Ausführungsbeispiel der DE 10 2007 009 318 A1 vorgeschlagen, eine Vorrichtung zur Strahlaufweitung **10** (vgl. **Fig. 4**) mit einem sphärisch konvexen Spiegel 7 zur Strahlaufweitung und zwei mit ihren Zylinderachsen orthogonal zueinander orientierten Zylinderlinsen **11, 12** zur Umwandlung des an dem konvexen Hohlspiegel 7 divergent aufgeweiteten Laserstrahls in einen austretenden 10 kollimierten Laserstrahl 5, d.h. mit Parallel-Strahlengang, zu verwandeln. Durch die Verwendung der Zylinderlinsen **11, 12** wird die Vorrichtung **10** jedoch sehr justageanfällig, wie nachfolgend anhand von **Fig. 5** und **Fig. 6** dargestellt wird.

Fig. 5 zeigt eine Darstellung analog Fig. 3, wobei die Eigenschaften des eintretenden

- 15 Laserstrahls 4 und der Pupille derjenigen von Fig. 3 entsprechen, die Skalengröße  $S_2$  aber kleiner ist und bei  $200 \mu\text{rad}$  liegt. Bei der in Fig. 3 rechts oben dargestellten Spot-Darstellung des Fernfeldes befinden sich alle Strahlen bzw. Spots innerhalb der Airy-Scheibe 9, d.h. der root-mean-square (RMS) Radius der Strahlverteilung ist deutlich kleiner als der Radius (ca.  $42 \mu\text{rad}$ ) der Airy-Scheibe 9, so dass die in Fig. 4 20 gezeigte Optik für den aufgeweiteten Laserstrahl 5 beugungsbegrenzt ist, sofern der Eingangsstrahl axial ausgerichtet ist. Allerdings ergeben sich bei schrägem Strahleinfall leichte Verschlechterungen der Abbildungseigenschaften, wie anhand der Spot-Darstellungen in Fig. 5 links oben, links unten und rechts unten erkennbar ist, bei denen der Feldwinkel des einfallenden Laserstrahls 4 in verschiedene 25 Richtungen um jeweils  $0,2^\circ$  verändert wurde, wobei die Eingangsapertur sich 150 mm vor dem konvexen Spiegel 7 befand.

Fig. 6 zeigt eine Darstellung eines Fernfeld-Spot-Diagramms analog zu Fig. 3 und

Fig. 5, bei der sowohl die Eigenschaften des einfallenden Laserstrahls 4 als auch die

- 30 Pupille (und die Skalengröße  $S_2$ ) wie in Fig. 5 links oben gewählt wurden, aber eine der Zylinderlinsen **11, 12** um jeweils  $0,2^\circ$  um die Strahlrichtung verkippt war. Wie deutlich zu erkennen ist, führt eine geringfügige Dejustage einer jeweiligen Zylinderlinse **11, 12** zu einem starken Astigmatismus unter etwa  $45^\circ$ , der dazu führt,

das die Fernfeld-Verteilung nicht beugungsbegrenzt ist, da eine Mehrzahl von Spots außerhalb der Airy-Scheibe 9 (Radius ca. 37 µrad) zu liegen kommen.

### Aufgabe der Erfindung

5

Es ist die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Vorrichtung und ein Verfahren der eingangs genannten Art derart weiterzubilden, dass eine Degradation der verwendeten Optiken durch intensive Laserstrahlung weitestgehend vermieden werden kann, sowie dass bei der Strahlaufweitung nur geringe Abbildungsfehler

10 erzeugt werden.

### Gegenstand der Erfindung

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch eine Vorrichtung zur Aufweitung eines Laserstrahls, insbesondere eines UV-Laserstrahls, umfassend: eine Teleskopanordnung mit zwei sphärischen Faltungsspiegeln zur Aufweitung des einfallenden Laserstrahls, sowie eine im divergenten Strahlengang nach der Teleskopanordnung angeordnete Linse mit einer sphärischen Linsenfläche zur Kollimation des aufgeweiteten Laserstrahls, wobei der im Strahlengang erste Faltungsspiegel ein konvex gekrümmter sphärischer Faltungsspiegel ist und wobei der im Strahlengang zweite Faltungsspiegel ein konkav gekrümmter sphärischer Faltungsspiegel ist.

Die Erfinder haben erkannt, dass durch die Verwendung einer Kombination aus zwei sphärischen Spiegeln und einer sphärischen Linse als divergenzkorrigierendem Ausgangselement im bereits aufgeweiteten Laserstrahl Strahlaufweitungen mit sehr kleiner Strahlverformung bzw. Abbildungsfehlern deutlich unter dem Beugungslimit erreicht werden können, wobei die Faltungswinkel an den Faltungsspiegeln über einen verhältnismäßig großen Bereich frei wählbar sind und die Vorrichtung mit einer verhältnismäßig kurzen Bauform realisiert werden kann. Da die Linse im bereits aufgeweiteten Laserstrahl angeordnet und somit einer reduzierten Laser-Intensität ausgesetzt ist, entfällt die Problematik der Degradation der transmissiven Optik, wie sie im Zusammenhang mit dem Galilei-Objektiv von Fig. 1 dargestellt wurde.

Aufgrund der Verwendung von ausschließlich sphärischen Optiken hat die

Vorrichtung zur Aufweitung des Laserstrahls eine hohe Toleranz gegenüber Fehlern in der Eingangsstrahllage sowie in der Ausrichtung der einzelnen optischen Elemente (d.h. der Faltungsspiegel bzw. der Linse). Zudem ist die Herstellung von sphärischen Optiken hoher Präzision einfacher und billiger als die Herstellung von 5 Zylinderoptiken oder Linsen mit asphärischen Linsenflächen. Es versteht sich, dass die Linse eine sphärische Linsenfläche (in Kombination mit einer Planfläche) oder auch zwei sphärische Linsenflächen aufweisen kann, d.h. es kann vollständig auf das Vorsehen einer asphärischen Linsenfläche verzichtet werden. Es versteht sich weiterhin, dass die Teleskopanordnung, insbesondere der im Strahlweg zweite 10 Faltungsspiegel, zusätzlich zur Aufweitung bereits einen Teil der Kollimation übernehmen kann, so dass die Brechkraft der Linse, welche den kollinierten Laserstrahl erzeugt, reduziert werden kann.

In einer Ausführungsform umfasst die Vorrichtung eine Verschiebeeinrichtung zur 15 Verschiebung der Linse in Strahlrichtung des kollinierten Laserstrahls. Eventuelle Radienfehler oder ein Kollimationsfehler des Eingangsstrahls können auf diese Weise für die Kollimation des Ausgangsstrahls durch einfaches Verschieben der Ausgangslinse in axialer Richtung kompensiert werden, ohne dass es zu einem seitlichen Strahlversatz kommt oder weitere Optiken neu ausgerichtet werden 20 müssen.

Der im Strahlengang erste, konvex gekrümmte Faltungsspiegel übernimmt hierbei die eigentliche Strahlaufweitung in der Teleskopanordnung. Der im Strahlengang zweite Faltungsspiegel ist ein konkav gekrümmter sphärischer Faltungsspiegel, welcher 25 gemeinsam mit der Linse als konvergierende Optik wirkt. Auf diese Weise wird die benötigte Brechkraft der sammelnden Optiken im (teilweise) aufgeweiteten Strahl auf zwei optische Elemente verteilt. Dies hat den Vorteil, dass geringe Abbildungsfehler entstehen und insbesondere Strahllagefehler oder Optikjustagefehler nur einen geringen Effekt auf die Abbildungseigenschaften haben. Auch kann bei dieser 30 Anordnung ein Großteil der optischen Aberrationen (im wesentlichen Astigmatismus und Koma), die am ersten, konvexen, unter einem Winkel zur Einfallsrichtung des Laserstrahls angeordneten Spiegel entstehen, mit dem zweiten, ebenfalls unter einem Winkel zur Einfallsrichtung des (teilweise) aufgeweiteten Laserstrahls stehenden Faltungsspiegel kompensiert werden.

Bei der Linse handelt es sich typischer Weise um eine Plankonvexlinse, deren konvexe sphärische Linsenfläche der Teleskopanordnung abgewandt ist, so dass die Linse zur Kollimation der Laserstrahlung verwendet werden kann.

5

Der Krümmungsradius der sphärischen Linsenfläche wird hierbei bevorzugt so auf die Krümmungsradien der Faltungsspiegel abgestimmt, dass sich Aberrationen der Faltungsspiegel und Aberrationen der Linse weitgehend kompensieren und der austretende, kollimierte Laserstrahl die gewünschte Aufweitung aufweist sowie wie 10 gewünscht kollimiert ist. Für eine gewünschte Aufweitung (z.B. um Faktor 1,42; 2; 3; 6; 10; 20; etc.) können zusätzlich zu den Krümmungsradien auch die Abstände zwischen dem ersten Faltungsspiegel, dem zweiten Faltungsspiegel und der Linse sowie die Faltungswinkel geeignet gewählt werden. Bei der erfindungsgemäßen 15 Vorrichtung sind die Anforderungen bezüglich Faltungswinkeln und Baulängen weit geringer als bei vergleichbaren Aufweitungsoptiken mit zwei sphärischen Spiegeln.

In einer Ausführungsform verlaufen eine Strahlrichtung des in die Teleskopanordnung eintretenden Laserstrahls und eine Strahlrichtung des aus der Teleskopanordnung austretenden Laserstrahls parallel zueinander. Bei dieser so genannten Z-Faltung, 20 bei welcher die Faltungswinkel gegenläufig sind, so dass der eintretende und austretende Laserstrahl nahezu parallel zueinander verlaufen und sich nicht überschneiden, können die Faltungswinkel über einen weiten Bereich frei gewählt werden und die Vorrichtung kann mit einer verhältnismäßig kurzen Bauform realisiert werden, wobei Abbildungsfehler besonders gut kompensiert werden können. Es 25 versteht sich, dass die Faltungswinkel an den beiden Faltungsspiegeln hierbei gleich groß gewählt werden können, aber nicht zwingend gleich groß gewählt werden müssen.

In einer alternativen Ausführungsform überschneidet sich der Strahlengang des in 30 die Teleskopanordnung eintretenden Laserstrahls mit dem Strahlengang des aus der Teleskopanordnung austretenden Laserstrahls. Diese auch als X-Faltung bezeichnete Variante, bei welcher zwei gleichsinnige Faltungen verwendet werden, weist bei gleichen Abständen zwischen den optischen Elementen (Spiegeln bzw. Linse) und gleichen Faltungswinkelbeträgen in der Regel geringfügig schlechtere

Abbildungs-Eigenschaften als die Z-Faltung auf, ermöglicht aber immer noch eine beugungsbegrenzte Abbildung. Insbesondere kann bei der X-Faltung der Winkel zwischen dem in die Teleskopanordnung eintretenden Laserstrahl und dem aus der Teleskopanordnung austretenden Laserstrahl 90° betragen.

5

- Bei einer Ausführungsform umfasst die Vorrichtung weiterhin: eine Frequenzkonversionseinrichtung zur Frequenzkonversion des Laserstrahls von einer Wellenlänge im IR-Bereich in eine Wellenlänge im UV-Bereich. Die Frequenzkonversionseinrichtung kann zu diesem Zweck z.B. nichtlineare Kristalle aufweisen, welche die Erzeugung eines kollimierten Laserstrahls mit geringem Durchmesser ermöglichen.

10 Insbesondere kann die Vorrichtung auch einen Laser zur Erzeugung des Laserstrahls aufweisen, der eine Wellenlänge im IR-Bereich aufweisen kann und in diesem Fall typischer Weise mit Hilfe der Frequenzkonversionseinrichtung in einen Laserstrahl mit einer Wellenlänge im UV-Bereich umgewandelt wird. Beispielsweise kann es sich bei dem IR-Laser um einen Nd:YVO<sub>4</sub>-Laser handeln, welcher Laserstrahlung mit einer Wellenlänge von 1064 nm erzeugt, so dass dessen dritte Harmonische bei ca. 355 nm und damit im ultravioletten Wellenlängenbereich liegt. Alternativ kann es sich 20 bei dem Laser aber auch um einen Yb:YAG-Laser handeln, der Laserstrahlung mit einer Wellenlänge von 1030 nm erzeugt, so dass die dritte Harmonische bei 343 nm liegt.

25 Bei einer weiteren Ausführungsform weist die Vorrichtung eine Verkippungseinrichtung zur Verkippung der Linse relativ zur Strahlrichtung des aufgeweiteten, divergenten Laserstrahls auf. Durch die Verkippung der Ausgangslinse relativ zur Strahlrichtung des divergenten Laserstrahls bzw. der (gewünschten) Austrittsrichtung können optische Fehler weiter reduziert werden oder bei gleich bleibenden optischen Fehlern größere Faltungswinkel oder noch kleinere Spiegelradien und damit kleinere 30 Baulängen realisiert werden.

Die Erfindung betrifft auch ein Verfahren zum Aufweiten eines Laserstrahls, insbesondere eines UV-Laserstrahls, mittels einer Teleskopanordnung mit zwei sphärischen Faltungsspiegeln, wobei der im Strahlengang erste Faltungsspiegel ein

konvex gekrümmter sphärischer Faltungsspiegel ist und wobei der im Strahlengang zweite Faltungsspiegel ein konkav gekrümmter sphärischer Faltungsspiegel ist, das Verfahren umfassend: Aufweiten eines einfallenden kollimierten Laserstrahls an dem im Strahlengang ersten Faltungsspiegel, sowie Kollimieren des aufgeweiteten

- 5    Laserstrahls an dem im Strahlengang zweiten Faltungsspiegel und an einer im divergenten Strahlengang nach der Teleskopanordnung angeordneten Linse, welche eine sphärische Linsenfläche aufweist. Die weiter oben im Zusammenhang mit der Vorrichtung beschriebenen Vorteile gelten für das erfindungsgemäße Verfahren entsprechend.

10

Weitere Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der Beschreibung und der Zeichnung. Ebenso können die vorstehend genannten und die noch weiter aufgeführten Merkmale je für sich oder zu mehreren in beliebigen Kombinationen Verwendung finden. Die gezeigten und beschriebenen Ausführungsformen sind nicht als abschließende Aufzählung zu verstehen, sondern haben vielmehr beispielhaften Charakter für die Schilderung der Erfindung.

Es zeigen:

- 20    Fig. 1    eine schematische Darstellung einer Vorrichtung zur Aufweitung eines Laserstrahls in Form eines Galilei-Teleskops,

- Fig. 2    eine schematische Darstellung einer Vorrichtung zur Aufweitung eines Laserstrahls in Form eines Spiegelteleskops,

- 25    Fig. 3    Darstellungen des Fernfeldes des mittels des in Fig. 2 gezeigten Spiegelteleskops erzeugten aufgeweiteten Laserstrahls bei unterschiedlichen Einfallswinkeln des Eintrittsstrahls,

- 30    Fig. 4    eine Darstellung einer Vorrichtung zur Strahlaufweitung mit einem Konvexspiegel und zwei Zylinderlinsen,

- Fig. 5    Darstellungen des Fernfeldes der Vorrichtung von Fig. 4 bei unterschiedlichen Einfallswinkeln des Eintrittsstrahls,

Fig. 6 Darstellungen des Fernfeldes der Vorrichtung von Fig. 4 bei einer Verkippung einer der Zylinderlinsen,

5 Fig. 7 eine Darstellung einer Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Strahlaufweitung mit einem Spiegelteleskop in einer Z-Faltung und mit einer sphärischen Austrittslinse,

10 Fig. 8 eine Darstellung einer weiteren Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Strahlaufweitung mit einem Spiegelteleskop in einer X-Faltung,

15 Fig. 9 eine Darstellung der Vorrichtung von Fig. 7 mit einer Frequenzkonversionseinrichtung und einem IR-Laser, und

Fig. 10 eine Darstellung des Fernfeldes der Vorrichtung von Fig. 7 bei unterschiedlichen Eintrittswinkeln des Laserstrahls.

Fig. 7 zeigt eine Vorrichtung 11 zur Strahlaufweitung eines eintretenden, kollimierten Laserstrahls 4, welcher an einem ersten, konvexen Faltungsspiegel 7 einer Teleskopanordnung 6 aufgeweitet und an einem zweiten, konkaven Faltungsspiegel 8 der Teleskopanordnung 6 sowie an einer im divergenten Strahlengang nach dem zweiten Faltungsspiegel 8 angeordneten Linse 3 in einem kollimierten, austretenden Laserstrahl 5 umgewandelt wird, der im vorliegenden Beispiel 6-fach aufgeweitet ist.  
25 Die Faltungsspiegel 6, 7 sind sphärische Spiegel, bei der Linse 3 handelt es sich um eine Plankonvexlinse, deren dem zweiten Faltungsspiegel 8 abgewandte Linsenfläche 3a sphärisch gekrümmmt ist.

Die in Fig. 7 gezeigte Anordnung der Faltungsspiegel 7, 8 erlaubt eine parallele Ausrichtung des eintrittsseitigen Laserstrahls 4 zum austrittsseitigen Laserstrahl 5 entlang einer gemeinsamen Strahlachse (X-Richtung), die auch als Z-Faltung bezeichnet wird.  
30

Durch die Kombination der zwei sphärischen Faltungsspiegel 7, 8 in oder nahe der Z-Faltungsanordnung mit der sphärischen Linse 3 als divergenzkorrigierendem Ausgangselement im bereits aufgeweiteten, divergenten Strahlengang können bei verhältnismäßig großen, über einen weiten Bereich frei wählbaren Faltungswinkeln

- 5     $2\alpha, 2\beta$  an den beiden Faltungsspiegeln 7, 8 und bei verhältnismäßig kurzer Bauform Strahlaufweitungen mit sehr kleiner Strahlverformung bzw. Abbildungsfehlern deutlich unter dem Beugungslimit erreicht werden. Da die Linse 3 im aufgeweiteten Strahlengang angeordnet ist und daher die Laserstrahlung nur mit reduzierter Intensität auf diese trifft, können Schädigungen der Linse 3 vermieden bzw.  
10 deutlich reduziert werden, so dass das Linsenmaterial, z.B. Quarzglas, nur unwesentlich durch die Laserstrahlung geschädigt wird.

Um die Vorrichtung 11 geeignet zu dimensionieren, wird in einem ersten Schritt zunächst die benötigte Aufweitung des eintretenden Laserstrahls 4 festgelegt (z.B.

- 15    1,42-fach, 2-fach, 3-fach, 6-fach, ..., 10-fach, ..., 20-fach etc.). Liegt die Aufweitung fest (hier: 6-fach), wird ein geeignet dimensionierter Bauraum für die Vorrichtung 11 definiert und eine geeignete Positionierung der Faltungsspiegel 7, 8 im Bauraum gewählt. Hierbei besteht eine vergleichsweise große Freiheit bei der Wahl der Faltungswinkel  $2\alpha, 2\beta$  sowie der Abstände zwischen den optischen Elementen (d.h.  
20    zwischen den Faltungsspiegeln 7, 8 und der Linse 3).

Gemeinsam mit den Abständen erfolgt die Bestimmung der sphärischen Krümmung der Faltungsspiegel 7, 8 und der sphärischen Linsenfläche 3a der Linse 3, derart, dass einerseits die gewünschte Aufweitung erreicht wird und sich andererseits die

- 25    Abberationen der Faltungsspiegel 7, 8 bzw. die Aberrationen der Faltungsspiegel 7, 8 und der Linse 3 weitgehend kompensieren, sowie der austretende Laserstrahl 5 wie gewünscht kollimiert ist. Der Faltungswinkel  $2\alpha$  (hier: ca.  $20^\circ$ ) am ersten Faltungsspiegel 7 und der Faltungswinkel  $2\beta$  (hier: ca.  $20^\circ$ ) am zweiten Faltungsspiegel 8 können, aber müssen hierbei nicht gleich gewählt werden. Der  
30    Abstand zwischen den Faltungsspiegeln 7, 8 beträgt im vorliegenden Fall ca. 150 mm, es versteht sich aber, dass dieser auch größer oder kleiner gewählt werden kann.

Eine Verschiebeeinrichtung 12, z.B. in Form eines (Linear-)motors, welche ein axiales Verschieben der Linse 3 in Strahlrichtung (X-Richtung) ermöglicht, um die Divergenz des austretenden Laserstrahls 5 einzustellen, ohne dass es zu einem seitlichen Strahlversatz kommt oder eine Korrektur mittels weiterer optischer

- 5 Elemente erforderlich ist, ist in Fig. 7 durch einen Doppelpfeil angedeutet.

Alternativ zur in Fig. 7 gezeigten Vorrichtung 11, bei der die Faltungsspiegel 7, 8 in einer Z-Faltung angeordnet sind, ist es auch möglich, die Faltungsspiegel 7, 8 in einer so genannten X-Faltung anzuordnen, in welcher der einfallende Laserstrahl 4 in

- 10 einer ersten Strahlrichtung (X-Richtung) und der ausfallende Laserstrahl 5 in einer zweiten Strahlrichtung (Y-Richtung) verlaufen, wobei die beiden Laserstrahlen 4, 5 sich überschneiden, vgl. die in **Fig. 8** gezeigte Vorrichtung 13, bei welcher der einfallende und ausfallende Laserstrahl 4, 5 einen Winkel von 90° zueinander einschließen. Der Faltungswinkel 2  $\alpha$  (hier: ca. 20°) am ersten Faltungsspiegel 7 und  
15 der Faltungswinkel 2  $\beta$  (hier: ca. 70°) am zweiten Faltungsspiegel 8 sind hierbei unterschiedlich gewählt. Die Faltungsspiegel 7, 8 bestehen an ihrer Oberfläche aus einem für UV-Laserstrahlung hoch reflektierenden Material, z.B. aus dielektrischen Schichtsystemen auf Quarzglas. Es versteht sich, dass auch andere  
20 Materialkombinationen mit guten UV-Reflexionseigenschaften und hoher UV-Beständigkeit verwendet werden können.

**Fig. 9** zeigt die Vorrichtung 11 von Fig. 7 auf einem den Bauraum definierendes optisches Modul 14. Auf dem optischen Modul 14 sind neben den in Fig. 7 beschriebenen optischen Elementen, d.h. der Linse 3 sowie den beiden in einer Z-Faltung angeordneten Faltungsspiegeln 7, 8 drei weitere plane Faltungsspiegel **15a** bis **15c** angebracht, um den vorhandenen Bauraum optimal auszunutzen. Zusätzlich zur Verschiebeeinrichtung 12 zur Verschiebung der Linse 3 in Strahlrichtung (X-Richtung) kann auch eine in Fig. 9 angedeutete Verkippungseinrichtung **16** an der Linse 3 angebracht werden, um diese gegenüber der X-Richtung bzw. gegenüber  
25 dem divergenten Laserstrahl zu verkippen. Durch die Verkippung unter einem geeigneten Winkel können die optischen Fehler noch weiter reduziert werden und/oder größere Faltungswinkel an den Faltungsspiegeln 7, 8, kleinere Krümmungsradien der Faltungsspiegel 7, 8 bzw. kleinere Baulängen realisiert  
30 werden. Es versteht sich aber, dass eine Verkippung der Linse 3 nicht zwingend

notwendig ist und auch ohne eine Verkippung eine beugungsbegrenzte Abbildung erreicht werden kann.

- Die Krümmungsradien der Faltungsspiegel 7, 8 sowie der sphärischen Linsenfläche 3a liegen bei einer ca. 3-fachen bis ca. 6-fachen Aufweitung typischer Weise bei ca. 5 100 – 300 mm für den ersten Faltungsspiegel 7, bei ca. 1000 -2000 mm für den zweiten Faltungsspiegel 8, bzw. bei ca. 200 – 400 mm für die Linse 3, um die erforderliche Brechkraft für die Aufweitung zu erreichen. Der Abstand zwischen dem zweiten Faltungsspiegel 8 und der Linse 3 kann hierbei beispielsweise im Bereich 10 zwischen ca. 100 mm und 150 mm liegen. Es versteht sich, dass von den oben angegebenen Wertebereichen abgewichen werden kann, insbesondere wenn eine Aufweitung erfolgen soll, die außerhalb des angegebenen Bereichs (3-fach bis 6-fach) liegt.
- 15 In Fig. 9 ebenfalls erkennbar ist eine auf dem Modul 14 angeordnete Frequenzkonversionseinrichtung 17 zur Frequenzkonversion eines eingestrahlten Laserstrahls 18, dessen Wellenlänge im infraroten Spektralbereich liegt, in eine Wellenlänge im ultravioletten Spektralbereich. Die Frequenzkonversionseinrichtung 17 weist nichtlineare Kristalle auf, um die Frequenzkonversion auf eine dem Fachmann 20 geläufige Weise zu erreichen. In Fig. 9 ebenfalls gezeigt ist ein Infrarot-Laser 19, im vorliegenden Beispiel in Form eines Yb:YAG-Lasers, der IR-Laserstrahlung mit einer Wellenlänge von 1030 nm erzeugt, welche in der Frequenzkonversionseinrichtung 17 in einen UV-Laserstrahl mit hoher Strahlungsintensität und einer Wellenlänge von ca. 343 nm umgewandelt wird. Es versteht sich, dass auch andere Lasertypen, 25 beispielsweise ein Nd:YVO<sub>4</sub>-Laser, zur Erzeugung des IR-Laserstrahls 18 verwendet werden können. Beim Nd:YVO<sub>4</sub>-Laser liegt die Laserwellenlänge bei 1064 nm und die in der Frequenzkonversionseinrichtung 17 erzeugte dritte Harmonische bei ca. 355 nm.
- 30 Ein Spot-Diagramm des mittels der in Fig. 9 gezeigten Vorrichtung 11 erhaltenen Fernfeldes des austretenden kollimierten Laserstrahls 5 ist in **Fig. 10** dargestellt, wobei die Eingangsstrahleigenschaften und die Pupille identisch zu Fig. 3, Fig. 5 und Fig. 6 gewählt wurden und lediglich die Skala **S<sub>3</sub>** auf 100 µrad verkleinert wurde. Wie in Fig. 10 deutlich zu erkennen ist, liegen die Spots in dem gezeigten Beispiel weit

innerhalb der Airy-Scheibe 9, d.h. der RMS-Radius der Strahlverteilung ist deutlich geringer als der Airy-Radius (ca. 42  $\mu$ rad), so dass die in Fig. 9 gezeigte Optik für den Laserstrahl 4, 5 bzw. für die aufweitende Abbildung beugungsbegrenzt ist. Dies trifft aber nicht nur für einen Einfall des Laserstrahls 4 in Richtung der Strahlachse

- 5 (X-Richtung) zu, wie er in Fig. 10 links oben gezeigt ist, sondern auch für die in Fig. 10 rechts oben sowie links unten und rechts unten dargestellten Spot-Diagramme, in denen der Feldwinkel in verschiedene Raumrichtungen um ca. 0,2° verändert wurde, wobei die Eingangsapertur bei der Simulation 150 mm vor dem ersten Faltungs-  
10 spiegel 7 angeordnet wurde. Auch bei nicht axialem Einfall des Laserstrahls 4 kann somit mit Hilfe der Vorrichtung 11 eine beugungsbegrenzte Abbildung erreicht werden.

Zusammenfassend kann mit Hilfe der oben beschriebenen Vorrichtungen 11, 13 eine Aufweitung des Laserstrahls 4 bei gleichzeitiger Vermeidung der Degradation der  
15 verwendeten Optiken 3, 7, 8 durch intensive Laserbestrahlung erreicht werden, wobei durch eine gegenseitige Kompensation der Abbildungsfehler der einzelnen optischen Elemente 3, 7, 8 insgesamt die Abbildungsfehler klein gehalten und so eine beugungsbegrenzte Abbildung erhalten werden kann.

Patentansprüche

1. Vorrichtung (11, 13) zur Aufweitung eines Laserstrahls, insbesondere eines UV-Laserstrahls (4), umfassend:  
eine Teleskopanordnung (6) mit zwei sphärischen Faltungsspiegeln (7, 8) zur Aufweitung des einfallenden kollimierten Laserstrahls (4), sowie  
eine im divergenten Strahlengang nach der Teleskopanordnung (7, 8) angeordnete Linse (3) mit einer sphärischen Linsenfläche (3a) zur Kollimation des aufgeweiteten Laserstrahls (5), wobei der im Strahlengang erste Faltungsspiegel ein konvex gekrümmter sphärischer Faltungsspiegel (7) ist und wobei der im Strahlengang zweite Faltungsspiegel ein konkav gekrümmter sphärischer Faltungsspiegel (8) ist.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, weiter umfassend: eine Verschiebeeinrichtung (12) zur Verschiebung der Linse (3) in Strahlrichtung (X, Y) des kollimierten Laserstrahls (5).
3. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 oder 2, bei welcher die Linse eine Plankonvexlinse (3) ist, deren konvexe sphärische Linsenfläche (3a) der Teleskopanordnung (6) abgewandt ist.
4. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der eine Strahlrichtung (X) des in die Teleskopanordnung (6) eintretenden Laserstrahls (4) und eine Strahlrichtung (X) des aus der Teleskopanordnung (6) austretenden Laserstrahls (5) parallel zueinander verlaufen.
5. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, bei welcher sich der Strahlengang des in die Teleskopanordnung (6) eintretenden Laserstrahls (4) mit dem Strahlengang des aus der Teleskopanordnung (6) austretenden Laserstrahls (5)

überschneidet.

6. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, weiter umfassend: eine Frequenzkonversionseinrichtung (17) zur Frequenzkonversion des Laserstrahls (18) von einer Wellenlänge im IR-Bereich in eine Wellenlänge im UV-Bereich.
7. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, weiter umfassend: einen Laser (19) zur Erzeugung des Laserstrahls (18), insbesondere mit einer Wellenlänge im IR-Bereich.
8. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, weiter umfassend: eine Verkippungseinrichtung (16) zur Verkippung der Linse (3) relativ zur Strahlrichtung (X, Y) des aufgeweiteten, divergenten Laserstrahls.
9. Verfahren zum Aufweiten eines Laserstrahls, insbesondere eines UV-Laserstrahls (4) mittels einer Teleskopanordnung (6) mit zwei sphärischen Faltungsspiegeln (7, 8), wobei der im Strahlengang erste Faltungsspiegel ein konvex gekrümmter sphärischer Faltungsspiegel (7) ist und wobei der im Strahlengang zweite Faltungsspiegel ein konkav gekrümmter sphärischer Faltungsspiegel (8) ist, das Verfahren umfassend:  
Aufweiten eines einfallenden kollimierten Laserstrahls (4) an dem im Strahlengang ersten Faltungsspiegel (7), sowie  
Kollimieren des aufgeweiteten Laserstrahls an dem im Strahlengang zweiten Faltungsspiegel (8) sowie an einer im divergenten Strahlengang nach der Teleskopanordnung (7, 8) angeordneten Linse (3), welche eine sphärische Linsenfläche (3a) aufweist.

1 / 4

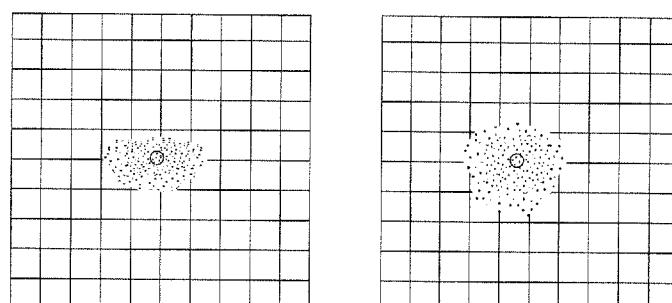
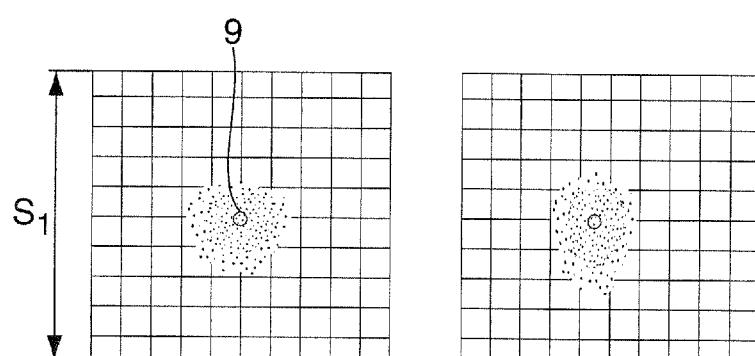
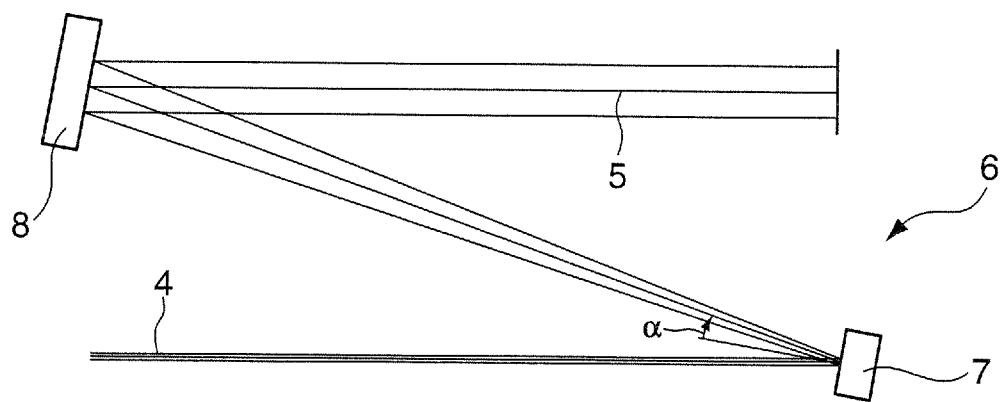
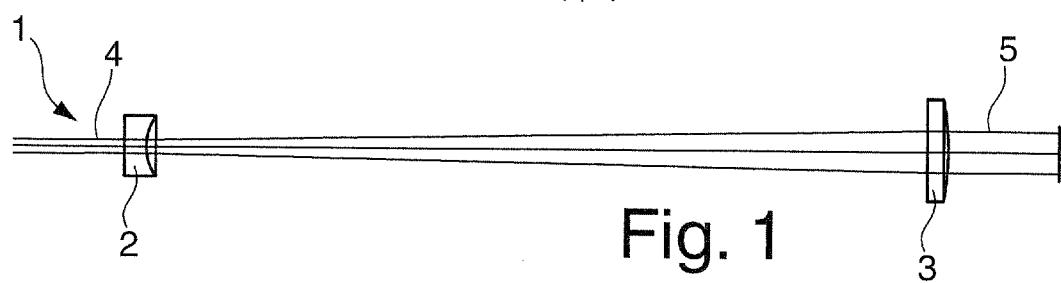


Fig. 3

2 / 4

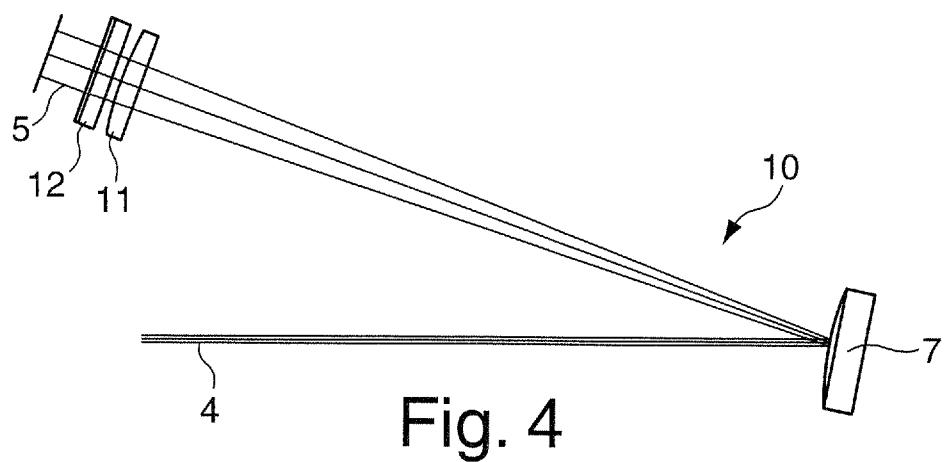


Fig. 4

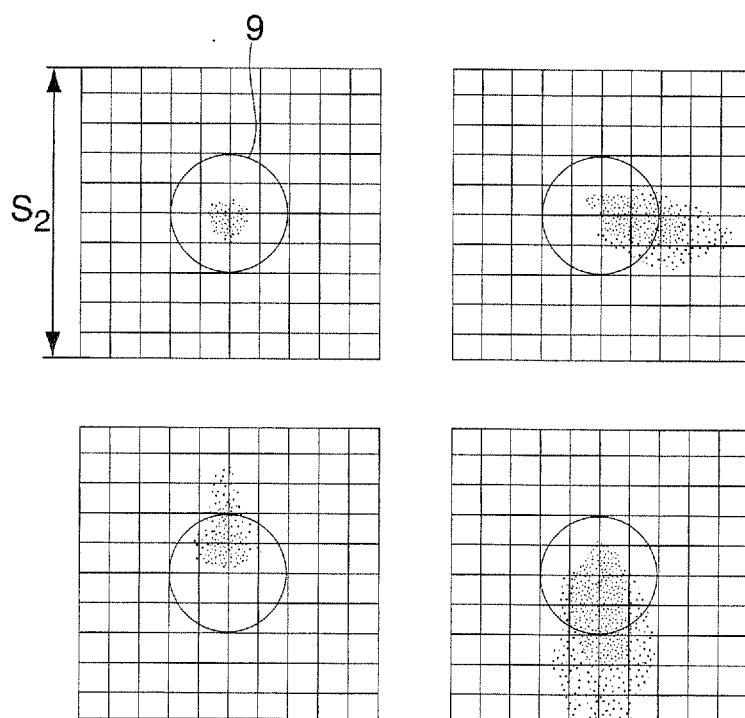


Fig. 5

3 / 4

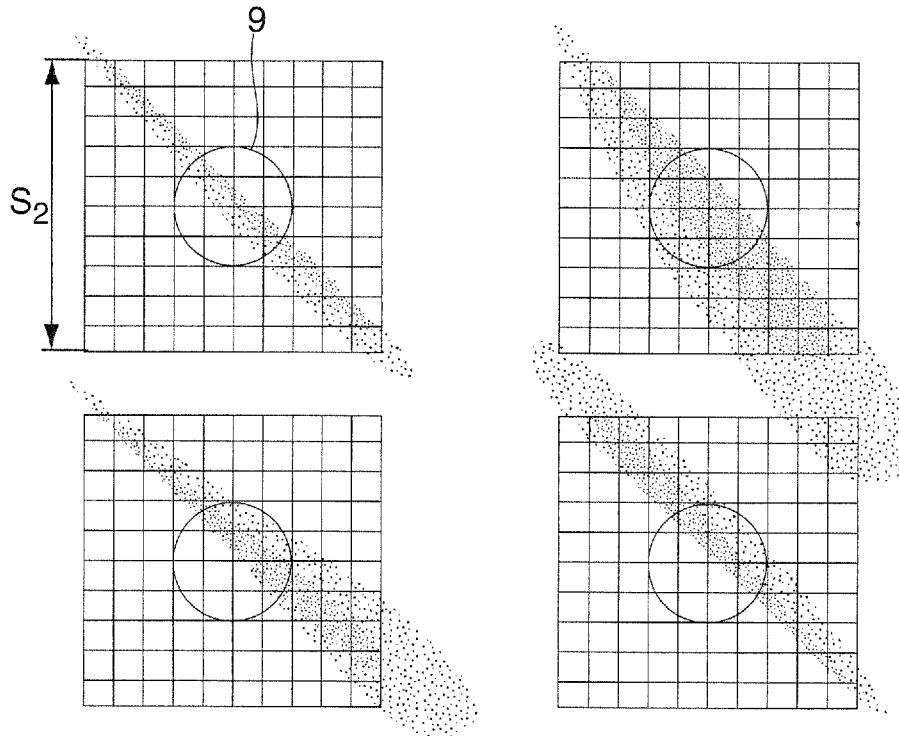


Fig. 6

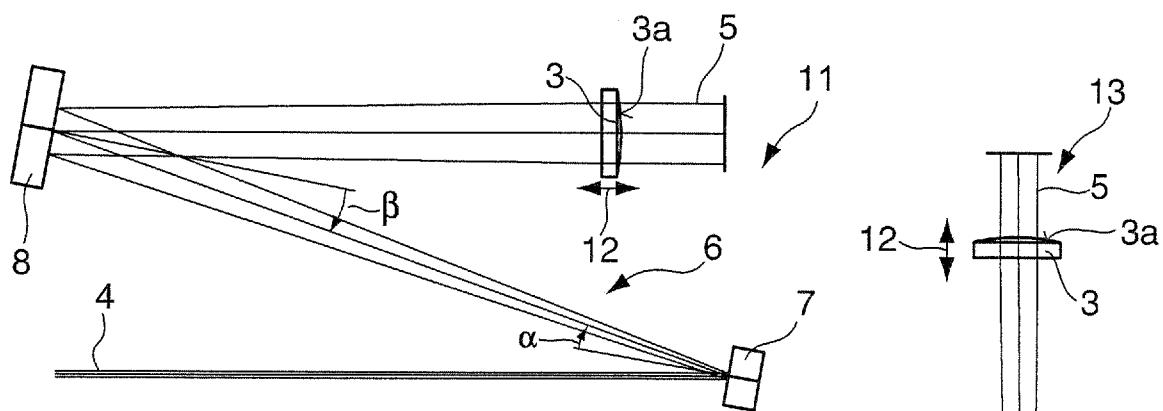


Fig. 7

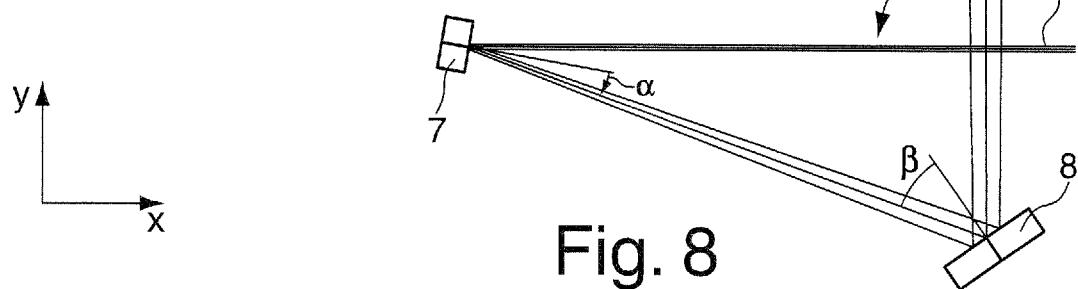


Fig. 8

4 / 4

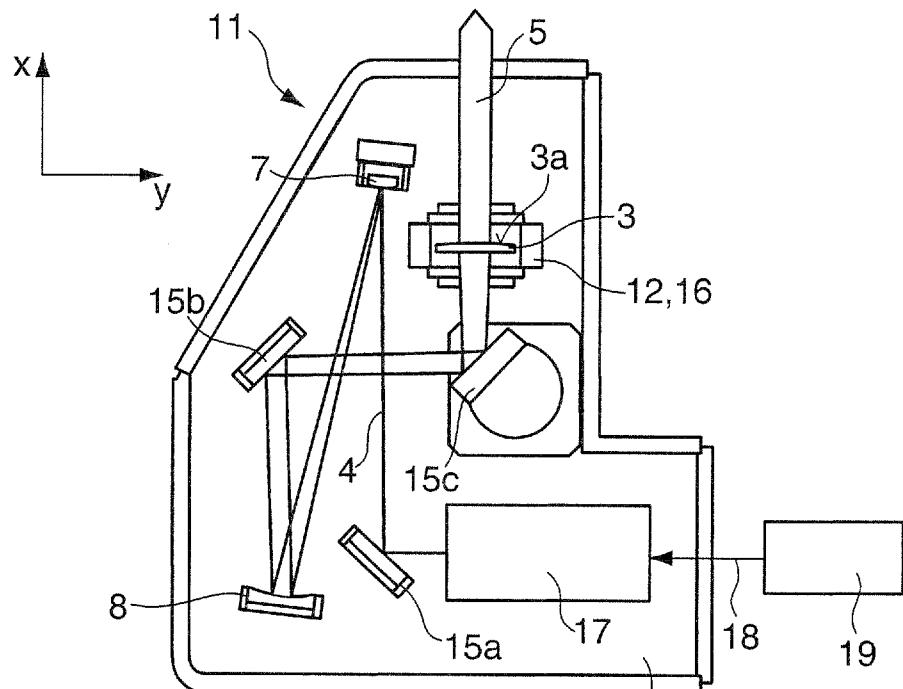


Fig. 9

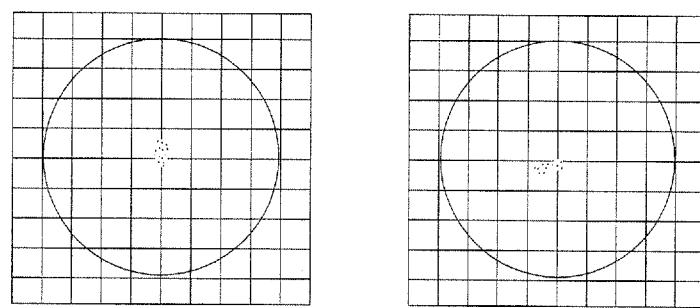
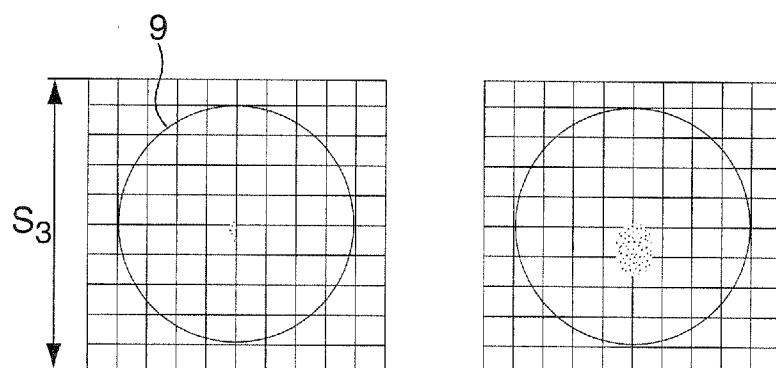


Fig. 10

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No  
PCT/EP2012/054575

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
 INV. G02B27/09 G02B17/08  
 ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
G02B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 59 154415 A (ASAHI OPTICAL CO LTD) 3 September 1984 (1984-09-03) abstract; figure 9 -----	1-9
X	JP 7 144291 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORP) 6 June 1995 (1995-06-06) abstract; figure 2 -----	1-9
X	JP 2002 026395 A (NIPPON ELECTRIC ENG) 25 January 2002 (2002-01-25) abstract; figures 1,2 -----	1-9
X	JP 2001 293588 A (MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD) 23 October 2001 (2001-10-23) abstract; figure 1 -----	1-9
A	US 3 836 256 A (PETERS W) 17 September 1974 (1974-09-17) figure 1 -----	1-9



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

\* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
21 May 2012	01/06/2012
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer  Daffner, Michael

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

Information on patent family members

International application No  
PCT/EP2012/054575

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
JP 59154415	A 03-09-1984	NONE	
JP 7144291	A 06-06-1995	NONE	
JP 2002026395	A 25-01-2002	NONE	
JP 2001293588	A 23-10-2001	NONE	
US 3836256	A 17-09-1974	NONE	

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2012/054575

**A. KLASIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES**  
 INV. G02B27/09 G02B17/08  
 ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

**B. RECHERCHIERTE GEBIETE**

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)  
**G02B**

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

**EPO-Internal**

**C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN**

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	JP 59 154415 A (ASAHI OPTICAL CO LTD) 3. September 1984 (1984-09-03) Zusammenfassung; Abbildung 9 -----	1-9
X	JP 7 144291 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORP) 6. Juni 1995 (1995-06-06) Zusammenfassung; Abbildung 2 -----	1-9
X	JP 2002 026395 A (NIPPON ELECTRIC ENG) 25. Januar 2002 (2002-01-25) Zusammenfassung; Abbildungen 1,2 -----	1-9
X	JP 2001 293588 A (MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD) 23. Oktober 2001 (2001-10-23) Zusammenfassung; Abbildung 1 -----	1-9
A	US 3 836 256 A (PETERS W) 17. September 1974 (1974-09-17) Abbildung 1 -----	1-9

Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen  Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erforderlicher Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erforderlicher Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
21. Mai 2012	01/06/2012

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
 NL - 2280 HV Rijswijk  
 Tel. (+31-70) 340-2040,  
 Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Daffner, Michael

**INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT**

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2012/054575

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
JP 59154415	A 03-09-1984	KEINE	
JP 7144291	A 06-06-1995	KEINE	
JP 2002026395	A 25-01-2002	KEINE	
JP 2001293588	A 23-10-2001	KEINE	
US 3836256	A 17-09-1974	KEINE	