

(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
25. Juli 2013 (25.07.2013)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2013/107660 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation:
H05G 2/00 (2006.01) *G02B 26/06* (2006.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2013/050053
- (22) Internationales Anmeldedatum:
3. Januar 2013 (03.01.2013)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
10 2012 200 693.1
18. Januar 2012 (18.01.2012) DE
10 2012 201 557.4
2. Februar 2012 (02.02.2012) DE
61/593 921 2. Februar 2012 (02.02.2012) US
- (63) Fortsetzung (CON) oder Teilfortsetzung (CIP) der
früheren Anmeldung:
US 61/593 921 (CIP)
Angemeldet am 2. Februar 2012 (02.02.2012)
- (71) Anmelder: CARL ZEISS SMT GMBH [DE/DE];
Rudolf-Eber-Strasse 2, 73447 Oberkochen (DE).
- (72) Erfinder: DINGER, Udo; Heinz-Küppenbender-Strasse 4,
73447 Oberkochen (DE).
- (74) Anwalt: RAU, SCHNECK & HÜBNER; Königstrasse 2,
90402 Nürnberg (DE).
- (81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, 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, PA, 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.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: BEAM GUIDANCE SYSTEM FOR THE FOCUSING GUIDANCE OF RADIATION FROM A HIGH-POWER LASER LIGHT SOURCE ONTO A TARGET AND LPP X-RAY BEAM SOURCE WITH A LASER LIGHT SOURCE AND SUCH A BEAM GUIDANCE SYSTEM

(54) Bezeichnung : STRAHLFÜHRUNGSSYSTEM ZUR FOKUSSIERENDEN FÜHRUNG VON STRAHLUNG EINER HOCHLEISTUNGS-LASERLICHTQUELLE HIN ZU EINEM TARGET SOWIE LPP-RÖNTGENSTRAHLQUELLE MIT EINER LASERLICHTQUELLE UND EINEM DERARTIGEN STRAHLFÜHRUNGSSYSTEM

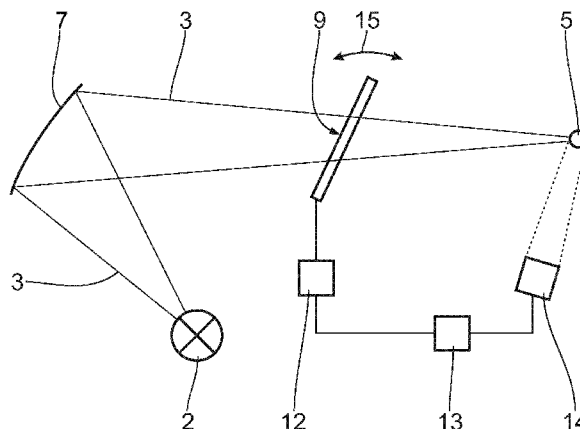


Fig. 4

(57) Abstract: A beam guidance system (4) is used for the focusing guidance of radiation (3) from a high-power laser light source (2) onto a target (5). The beam guidance system (4) has at least one mirror (7) as a reflective beam guidance component and at least one transmission component (9) at least partially transmissive for the radiation (3) as a refractive beam guidance component. The at least one mirror (7) and the at least one transmission component (9) are arranged in such a way that beam-induced changes of the beam guidance properties of the at least one mirror (7) are at least partially compensated by beam-induced changes of the beam guidance properties of the at least one transmission component (9). The result is a beam guidance system in which beam-induced changes of the beam guidance properties of the beam guidance system do not have an interfering effect on the focusing guidance of the radiation from the laser light source.

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



WO 2013/107660 A1



(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, 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).

Erklärungen gemäß Regel 4.17:

— Erfindererklärung (Regel 4.17 Ziffer iv)

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

Ein Strahlführungssystem (4) dient zur fokussierenden Führung von Strahlung (3) einer Hochleistungs-Laserlichtquelle (2) hin zu einem Target (5). Das Strahlführungssystem (4) hat mindestens einen Spiegel (7) als reflektive Strahlführungskomponente und mindestens eine für die Strahlung (3) zumindest partiell durchlässige Transmissions-Komponente (9) als refraktive Strahlführungskomponente. Die Anordnung des mindestens einen Spiegels (7) und der mindestens einen Transmissions-Komponente (9) ist derart, dass sich strahlinduzierte Änderungen an den Strahlführungseigenschaften des mindestens einen Spiegels (7) durch strahlinduzierte Änderungen an den Strahlführungseigenschaften der mindestens einen Transmissions-Komponente (9) zumindest teilweise kompensieren. Es resultiert ein Strahlführungssystem, bei dem sich strahlinduzierte Änderungen an den Strahlführungseigenschaften des Strahlführungssystems nicht störend auf die fokussierende Führung der Strahlung der Laserlichtquelle auswirken.

- 1 -

Strahlführungssystem zur fokussierenden Führung von Strahlung einer Hochleistungs-Laserlichtquelle hin zu einem Target sowie LPP-Röntgenstrahlquelle mit einer Laserlichtquelle und einem derartigen Strahlführungssystem

5

Der Inhalt der deutschen Anmeldungen DE 10 2012 200 693.1 und DE 10 2012 201 557.4 werden durch Bezugnahme hierin aufgenommen.

1 Anwendungsgebiet und Stand der Technik

10

Die Erfindung betrifft ein Strahlführungssystem zur fokussierenden Führung von Strahlung einer Hochleistungs-Laserlichtquelle hin zu einem Target.

15 Diese Erfindung betrifft insbesondere das Strahlführungssystem des Lasers in einer LPP-(laser produced plasma, lasererzeugtes Plasma)Quelle für EUVL (Strahlung bzw. Licht mit einer Wellenlänge im extremen Ultraviolett). Die Erfindung betrifft weiterhin eine LPP-Röntgenstrahlquelle mit einer Laserlichtquelle und einem derartigen Strahlführungssystem.

20

Die derzeit bevorzugten Laserplasmaquellen für die EUV-Lithographie verwenden CO₂-Hochleistungs-Laser die auf einen Material-Partikel, beispielsweise auf ein Metall-Tröpfchen, insbesondere auf ein Zinn-Tröpfchen, fokussiert werden. Dadurch wird ein heißes, dichtes Plasma erzeugt, welches 13.5nm Strahlung emittiert. Eine Nutzwellenlänge der
25 erzeugten Röntgenstrahlung kann auch im Bereich von 6.8nm liegen. In diesem Fall kann als Material-Partikel ein Tröpfchen aus Gadolinium (Gd) oder aus Terbium (Tb) zum Einsatz kommen.

- 2 -

Um EUV-Leistungen im Bereich 200 Watt im sogenannten intermediate Fokus (Zwischenfokus) eines EUVL-Systems zu erreichen sind mittlere CO₂-Laserleistungen von typischerweise 35 kW notwendig. Die zugehörige Wellenlänge ist 10.6 µm.

5

Um das Plasma effizient zu zünden, ist es wesentlich, dass eine möglichst hohe Laserintensität an der Stelle des Targets sichergestellt wird.

Das Target besteht typischerweise aus kleinen (Durchmesser ca. 10 – 100 µm) Zinntröpfchen, die mit einer Genauigkeit von einigen µm bis ei-

10 nigen zehn µm genau getroffen werden müssen.

Den Laser auf das Target zu fokussieren ist Aufgabe des Strahlführungssystems. Als optische Komponenten in diesem System stehen nur (Kupfer-)Spiegel und einige wenige Materialien (Diamant, ZnSe sowie

15 ZnS, GaAs, Ge, Si) für refraktive Elemente zur Verfügung.

2 Problemstellung und Nachteil des Standes der Technik

Die derzeit diskutierten Strahlführungssysteme bestehen im Wesentlichen
20 aus wassergekühlten Kupfer-Umlenkspiegeln und Diamantfenstern. Andere Materialien sind im Bereich geringer Strahlquerschnitte und hoher Laserleistungen nicht beständig und können allenfalls im Bereich geringerer Intensitäten eingesetzt werden.

25 Durch die hohen Laserintensitäten und die endliche Absorption der beschichteten oder sogar unbeschichteten Spiegel kommt es zu einer Deformation der Spiegeloberflächen, die wiederum die Wellenfronten des Laserstrahls deformieren. Beschichtungen sind nur bis zu einer grenzwertigen

Laserintensität stabil. Bei höheren Intensitäten muss aus Lebensdauergründen auf sie verzichtet werden.

5 Strahlinduzierte Änderungen an den Strahlführungseigenschaften sind Änderungen, die durch eine strahlinduzierte Materialausdehnung und/oder durch eine strahlinduzierte Brechungsindexänderung der jeweiligen Strahlführungskomponente hervorgerufen werden.

Die führenden Aberrationen, die so eingeführt werden sind:

10

- 1.) Defokus: Unter dem Einfluss der Laserstrahlung wölben sich alle Spiegeloberflächen gleichsinnig auf, d. h. der Effekt kumuliert beim Durchgang durch das System, welches, die Spiegel in den Power Amplifiern (Leistungsverstärker) mitgezählt, mehrere Dutzend Spiegel
15 besitzen kann, so dass sich ein signifikanter nichttolerierbarer Fokussversatz aufsummieren kann. Der Laser wird dabei defokussiert.
- 2.) Die Spiegel werden im Wesentlichen als 90°-Umlenkspiegel eingesetzt, dadurch entsteht eine Unsymmetrie in der thermischen Belastung
20 die im Wesentlichen zu einem Astigmatismus und dadurch zu einer Reduktion der erreichbaren Peakintensität führt. Je nach relativer Anordnung der verschiedenen Spiegel können sich deren Beiträge aufsummieren oder kompensieren.
- 25 3.) Durch Symmetriebrechungen in den Fassungen kann ein Wellenfrontkipp und damit ein Lateralversatz des Strahles auftreten.

- 4 -

4.) Durch höhere Ordnungen dieser Störungen (Koma, sph. Aberration, höherer Astigmatismus,...) kann es zu einer zusätzlichen Reduktion der Peakintensität (Strehlfaktor) kommen.

- 5 Insgesamt wird durch diese Mirror-heating-Effekte die Stabilität und Leistung des Laserplasmas stark beeinträchtigt.

Es müssen daher, sofern sie nicht vermeidbar sind, sehr aufwändige Kontroll- und Regelmechanismen in das Strahlführungssystem eingebaut werden um das System per feed-back oder ggf. feed-forward zu stabilisieren.

Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Strahlführungssystem der eingangs genannten Art derart weiter zu bilden, dass sich strahlinduzierte Änderungen an den Strahlführungseigenschaften des Strahlführungssystems nicht störend auf die fokussierende Führung der Strahlung der Laserlichtquelle auswirken.

Diese Aufgabe ist erfindungsgemäß gelöst durch ein Strahlführungssystem mit den in Anspruch 1 angegebenen Merkmalen.

20

3 Erfinderische Lösung

Erfindungsgemäß wurde erkannt, dass sich strahlinduzierte Änderungen an den Strahlführungseigenschaften des mindestens einen Spiegels des Strahlführungssystems durch strahlinduzierte Änderungen an den Strahlführungseigenschaften der mindestens einen Transmissions-Komponente zumindest teilweise kompensieren lassen, da ohne weiteres Komponentenanordnungen möglich sind, bei denen diese strahlinduzierten Änderungen einander entgegenwirken. Hierbei wird die Tatsache ausgenutzt, dass sich

eine induzierte Materialausdehnung sowie eine strahlinduzierte Brechungsindexänderung bei der mindestens einen Transmissions-Komponente grundsätzlich anders auf die Strahlführung auswirkt als eine strahlinduzierte Materialausdehnung bei dem mindestens einen Spiegel.

5

Das Strahlführungssystem kann mehrere Spiegel aufweisen. Das Strahlführungssystem kann mehrere Transmissions-Komponenten aufweisen. Die Spiegel und/oder die Transmissions-Komponenten können zu reflektiven bzw. refraktiven Komponentengruppen zusammengefasst oder auch abwechselnd im Strahlengang des Strahlführungssystems angeordnet sein.

10

Insbesondere könnten thermisch induzierte oder intensitätsinduzierte Änderungen an den Strahlenföhrungseigenschaften kompensiert werden. Die Laserlichtquelle kann insbesondere Strahlung im IR-Bereich und insbesondere im MIR-Bereich (mittleres Infrarot, Wellenlängenbereich zwischen 2,5 μm und 25 μm) erzeugen. Bei der Laserlichtquelle kann es sich um einen CO_2 -Laser mit einer Emissionswellenlänge von 9,6 μm , und/oder von 10,3 μm und/oder von 10,6 μm handeln.

15

Alternativ oder zusätzlich zu einer Hochleistungs-Laserlichtquelle mit einer Wellenlänge im Bereich zwischen 9,5 μm und 11 μm kann das Strahlführungssystem auch zur fokussierenden Führung von Strahlung einer Hochleistungs-Laserlichtquelle mit einer Wellenlänge im Bereich zwischen 800nm bis 1200nm ausgeführt sein.

20

25

Die Hochleistungs-Laserlichtquelle kann eine cw-Leistung der Laserstrahlung im Bereich zwischen 500W und 100kW, insbesondere im Bereich zwischen 1kW und 50kW, beispielsweise im Bereich von 35kW haben.

Die cw-Leistung der Laserstrahlung der Hochleistungs-Laserlichtquelle kann größer sein als 15kW oder kann größer sein als 20kW.

- Eine zumindest teilweise Kompensation der strahlinduzierten Änderungen an den Strahlführungseigenschaften, die einerseits durch den mindestens einen Spiegel und andererseits durch die mindestens eine Transmissions-Komponente bewirkt werden, liegt dann vor, wenn die kompensierte Strahlführungseigenschaft einem Vorgabewert um mindestens 5 % besser entspricht als eine unkompensierte Strahlführungseigenschaft. Die kompensierte Strahlführungseigenschaft kann einem Vorgabewert um mehr als 10 % besser entsprechen, um mehr als 25 % besser entsprechen oder auch um mehr als 50 % besser entsprechen. Die Kompensationswirkung kann insbesondere so sein, dass der Vorgabewert genau erreicht wird.
- 15 Diese relativen Kompensationswerte seien anhand eines Beispiels erläutert:

- Als Strahlführungseigenschaft sei eine Fokalposition F der Strahlung im Bereich des Targets 5 vorgegeben. Der Vorgabewert sei eine Strahlposition $F = z_0$ in Strahlführungsrichtung z . Eine strahlinduzierte Änderung an den Strahlführungseigenschaften des mindestens einen Spiegels führt zu einer Änderung der Fokalposition hin zu einem Wert $z_0 + \delta z_S$. Die strahlinduzierte Änderung an der Fokalposition, bewirkt durch die Transmissions-Komponente führt zu einer Fokalposition $z_0 - \delta z_T$. Die Fokalposition hat sich dann aufgrund der strahlinduzierten Änderungen an den Strahlführungseigenschaften des mindestens einen Spiegels und der strahlinduzierten Änderungen an den Strahlführungseigenschaften der mindestens einen Transmissions-Komponente auf einen Wert $F = z_0 + \delta z_S - \delta z_T$ geändert. Eine zumindest teilweise Kompensation ist dann erreicht, wenn gilt: $\delta z_T \geq$

- 7 -

$0,05 \cdot \delta z_S$. Insbesondere gilt: $\delta z_T \geq 0,1 \cdot \delta z_S$, $\delta z_T \geq 0,25 \delta z_S$, $\delta z_T \geq 0,5 \delta z_S$.

Insbesondere gilt: $\delta z_S = \delta z_T$.

Auch für die anderen vorstehend angesprochenen führenden Abberationen geltend entsprechende Kompensationsbedingungen.

5

Bei einer Ausführung nach Anspruch 2 ergibt sich die Möglichkeit einer Astigmatismuskompensation. Alternativ oder zusätzlich zu einer planparallelen Platte kann auch mindestens eine Transmissions-Komponente mit fokussierender oder defokussierender Wirkung, z. B. eine oder mehrere

10 Linsen, beim Strahlenführungssystem zum Einsatz kommen.

Eine Keilplatte nach Anspruch 3 ermöglicht eine Kompensation von thermisch induzierten Komafehlern oder von Kippfehlern, also insbesondere eine Kompensation von hinsichtlich ihrer Rotationssymmetrie einzähligen

15 Störungen.

Eine nach Anspruch 4 verkippbare Transmissions-Komponente ermöglicht eine gezielte Einstellung ihres Kompensationseinflusses.

20 Ein Kompensations-Oberflächenprofil nach Anspruch 5 ermöglicht eine Kompensation von stationären Strahlführungsfehlern. Das Kompensations-Oberflächenprofil kann in Form einer Korrekturasphäre ausgeführt sein. Derartige Korrekturasphären sind beim Einsatz in Projektionsoptiken für Projektionsbelichtungsanlagen bekannt. In diesem Zusammenhang wird
25 beispielhaft verwiesen auf die DE 10 2008 001 216 A1 und auf die DE 100 16 176 A1.

- ZnSe ist ein aufgrund seiner Transmissionseigenschaften geeignetes Material für die mindestens eine Transmissions-Komponente. Alternativ kann die Transmissions-Komponente aus ZnS, GaAs, Germanium, Silizium, Diamant oder anderen hinreichend transparenten Materialien gefertigt sein.
- 5 Spiegel nach Anspruch 7 haben sich zur Führung von Hochleistungs-Laserstrahlung insbesondere im MIR-Bereich bewährt.
- Der mindestens eine Spiegel nach Anspruch 8 ist im Ausgangszustand, also
- 10 ohne Beaufschlagung mit der Strahlung der Hochleistungs-Laserlichtquelle ein reiner Umlenkspiegel, also insbesondere ein Planspiegel.
- Alternativ zu einem Umlenkspiegel nach Anspruch 8 kann auch mindestens ein Spiegel mit einer fokussierenden oder defokussierenden Wirkung
- 15 zum Einsatz kommen. Es können also Konkavspiegel und/oder Konvexspiegel zum Einsatz kommen.
- Ein Gehäuse nach Anspruch 9 vermeidet eine Degradation der dort untergebrachten Transmissions-Komponenten durch Umgebungseinflüsse, z. B.
- 20 durch Staub. Das Gehäuse kann evakuiert sein oder mit einem Schutzgas bzw. Inertgas gefüllt sein. Bei den Gehäusefenstern kann es sich um Diamantfenster handeln. Das Gehäuse verhindert zusätzlich im Falle einer thermisch induzierten Zerstörung des Kompensators eine Kontamination der Umgebung.
- 25 Eine Ausgestaltung nach Anspruch 10 ermöglicht eine geregelte Kompensation der strahlinduzierten Änderungen an den Strahlführungseigenschaften des Strahlführungssystems.

Ein Strahlführungssystem nach Anspruch 11 kann zur gleichzeitigen Führung der Strahlung einer Hochleistungs-Laserlichtquelle zur Erzeugung eines Hauptpulses und zur Führung der Strahlung einer weiteren Laserlichtquelle zur Erzeugung eines Vorpulses ausgeführt sein. Der Hauptpuls
5 kann dann die Wellenlänge im Bereich zwischen $9,5\mu\text{m}$ und $11\mu\text{m}$ und die vorstehend erläuterten Leistungsbereiche aufweisen. Der Vorpuls kann die Wellenlänge im Bereich zwischen 800nm und 1200nm aufweisen. Der Vorpuls kann eine cw-Leistung im Bereich zwischen 200W und 1000W , insbesondere im Bereich zwischen 300W und 1000W , aufweisen. Die Lei-
10 stung des Vorpulses beträgt typischerweise 10% der Leistung des Hauptpulses.

Grundsätzlich sind auch Ausführungen möglich, bei denen sowohl der Vorpuls als auch der Hauptpuls einen Wellenlängenbereich zwischen
15 $9,5\mu\text{m}$ und $11\mu\text{m}$ aufweist. Auch eine weitere Ausführung ist möglich, bei der sowohl der Vorpuls als auch der Hauptpuls eine Wellenlänge im Bereich zwischen 800nm und 1200nm aufweisen. Die Komponenten des Strahlführungssystems können alle so ausgelegt sein, dass sie verschiedene Wellenlängen, also einerseits im Bereich zwischen $9,5\mu\text{m}$ und $11\mu\text{m}$ und
20 andererseits zwischen 800nm und 1200nm , führen. Alternativ ist es möglich, dass das Strahlführungssystem über entsprechende Strahlteilungen, insbesondere über dichroitische Strahlteilungen, in Teil-Strahlführungssysteme unterteilt ist, wobei eines der Strahlführungssysteme ausschließlich zur Führung von Strahlung im Bereich zwischen $9,5\mu\text{m}$
25 und $11\mu\text{m}$ und/oder ein Teil-Strahlführungssystem ausschließlich zur Führung von Strahlung im Bereich zwischen 800nm und 1200nm ausgeführt ist.

- Die Vorteile einer Röntgenstrahlquelle nach Anspruch 12 entsprechen denen, die vorstehend unter Bezugnahme auf das erfindungsgemäße Strahlführungssystem bereits erläutert wurden. Die Laserlichtquelle der Röntgenstrahlquelle kann unterteilt sein in eine Vorpuls- und eine Hauptpuls-
5 Laserlichtquelle. Die Wellenlängen des Vorpulses und des Hauptpulses können gleich, können aber auch unterschiedlich sein.

Nachfolgend werden noch einige Erläuterungen zu vorteilhaften Ausgestaltungen des Strahlführungssystems und der Röntgenstrahlquelle gegeben:

10

Erfindungsgemäß wird das Problem dadurch gelöst, dass ein oder mehrere Komponenten aus ZnSe in das Strahlführungssystem eingebracht werden.

- Dies folgt an Stellen im Strahlführungssystem, die bzgl. der Strahlungsbelastung für ZnSe unkritisch sind. Dies kann z. B. an Stellen in der Verstärkerkette geschehen in denen die Laserleistung noch auf moderatem Niveau ist, oder an entsprechend aufgeweiteten Stellen an denen die Laserintensität
15 hinreichend gering ist.

- 20 Ausgenutzt wird, dass durch die Temperaturabhängigkeit der Brechzahl von ZnSe, dieses Material bei Temperaturerhöhung eine fokussierende Wirkung auf den Laserstrahl hat und damit die indizierte, defokussierende Wirkung der Spiegel kompensieren kann.

- 25 Die Größe dieses Effektes ist abhängig von der Dicke des Materials und der Laserleistung.

Da davon ausgegangen werden kann, dass sowohl der von den Spiegeln als auch der von einer ZnSe-Planparallelplatte induzierte Effekt mehr oder

weniger linear in der Laserleistung ist, lässt sich für eine feste Konfiguration eine optimale ZnSe-Dicke bestimmen, die die laserinduzierten Fokuseffekte für beliebige Leistungen (größtenteils) kompensiert.

- 5 Durch geeignetes Kippen einer solchen ZnSe-Platte mit geeigneter Dicke im Strahlengang, sollte sich – über den gleichen Mechanismus der in den Spiegeln Astigmatismus erzeugt –, auch ein kompensierendes Astigmatismusprofil erzeugen lassen, so dass auch der Astigmatismus des Gesamtsystems leistungsunabhängig kompensiert werden kann.

10

Thermisch induzierte Koma oder Kipp (einzählige Störungen) lassen sich durch Einbringen eines geeigneten Keiles aus ZnSe kompensieren.

- Zusätzliche lassen sich stationäre Strahlaberrationen, verursacht die Fasungs-, Kühl- und sonstige Effekte durch Aufprägen eines geeigneten Oberflächenprofils kompensieren.
- 15

- Im Idealfall ließen sich alle diese Kompensationsmechanismen in einem maßgeschneiderten gekippten ZnSe-Keil, definierter Dicke mit integrier-
- 20 tem Korrekturprofil verwirklichen.

Eine Umsetzung der Erfindung ist natürlich auch auf andere Materialien und Wellenlängen verallgemeinerbar.

- 25 Ein Aspekt der Erfindung lässt sich folgendermaßen formulieren: Strahlführungssystem für einen CO₂-Laser, gekennzeichnet dadurch, dass von den Spiegeln thermisch induzierte Wellenfrontdeformationen durch eine Anordnung von plattenförmigen oder keilförmigen ZnSe-Elementen leistungsunabhängig kompensiert werden.

4 Ausführungsbeispiele

Ausführungsbeispiele der Erfindung werden nachfolgend anhand der

5 Zeichnung näher erläutert. In dieser zeigen:

- Fig. 1 schematisch eine Röntgenstrahlquelle mit einer Laserlichtquelle und einem Strahlführungssystem;
- 10 Fig. 2 in einer zu Fig. 1 ähnlichen Darstellung eine weitere Ausführung einer Röntgenstrahlquelle mit einer Laserlichtquelle und einem Strahlführungssystem;
- Fig. 3 bis 5 ebenfalls schematisch, aber stärker im Detail, verschiedene Ausführungen der Röntgenstrahlquelle nach Fig. 1;
- 15 und
- Fig. 6 eine Ausschnittsvergrößerung gemäß Detail VI aus Fig. 5.

20

Fig. 1 zeigt schematisch eine Röntgenstrahlquelle 1. Die Röntgenstrahlquelle 1 dient zur Erzeugung von Röntgenstrahlung, insbesondere im EUV-(extremes Ultraviolett)Wellenlängenbereich, beispielsweise im Wellenlängenbereich zwischen 5 nm und 30 nm. Bei der Röntgenstrahl-

25 quelle 1 handelt es sich um eine LPP-(laser produced plasma)Röntgenstrahlquelle.

Die Röntgenstrahlquelle 1 hat eine Laserlichtquelle 2, die Laserstrahlung 3 erzeugt. Bei der Laserlichtquelle 2 handelt es sich um eine Hochleistungs-

Laserlichtquelle mit einer cw-Leistung der Laserstrahlung 3 im kW-Bereich, also beispielsweise im Bereich zwischen 500 W und 100 kW, insbesondere im Bereich zwischen 1 kW und 50 kW, beispielsweise im Bereich von 35 kW. Die Laserstrahlung 3 hat eine Wellenlänge im IR-Bereich, insbesondere im MIR-Bereich. Bei der Laserlichtquelle 2 handelt es sich um einen CO₂-Laser. Die Laserlichtquelle 2 kann unterteilt sein in eine Vorpuls-(prepulse)Quelle und in eine Hauptpuls-(main pulse)Quelle wie dies für LPP-Röntgenstrahlquellen grundsätzlich bekannt ist. Die vorstehend genannten Leistungsbereiche gelten dann für die Hauptpuls-Quelle. Die Vorpuls-Quelle kann eine cw-Leistung der Laserstrahlung im Bereich zwischen 200W und 1000W, insbesondere im Bereich zwischen 300W und 1000W, haben. Als Vorpuls-Quelle kann ein Nd-Festkörperlaser, insbesondere ein Nd:YAG-Laser zum Einsatz kommen. Grundsätzlich ist auch eine Ausführung möglich, bei der die Hochleistungs-Laserlichtquelle und insbesondere die Hauptpuls-Quelle als derartiger Nd-Festkörperlaser ausgeführt ist.

Die Röntgenstrahlquelle 1 umfasst weiterhin ein Strahlführungssystem 4. Dieses dient zur fokussierenden Führung der Laserstrahlung 3 der Laserlichtquelle 2 hin zu einem Target 5. Bei dem Target handelt es sich um ein Zinntröpfchen mit einem typischen Durchmesser im Bereich zwischen 10 µm und 100 µm und insbesondere mit einem typischen Durchmesser von 30 µm. Das Strahlführungssystem 4 ist so ausgeführt, dass das Target 5 mit einer Strahlführungsgenauigkeit im Bereich von 1 µm bis einigen 10 µm, genau getroffen wird.

Das Strahlführungssystem 4 umfasst eine reflektive Komponentengruppe 6 mit mindestens einem Spiegel 7 als reflektiver Strahlführungskomponente

- und eine refraktive Komponentengruppe 8 mit mindestens einer für die Strahlung zumindest partiell durchlässigen Transmissions-Komponente 9 als refraktiver Strahlführungskomponente. Die reflektive Komponentengruppe 6 kann genau einen Spiegel 7 aufweisen, kann aber auch mehrere Spiegel aufweisen. Die refraktive Komponentengruppe 8 kann genau eine Transmissions-Komponente 9, kann aber auch mehrere Transmissions-Komponenten aufweisen. Spiegel 7 und Transmissions-Komponenten 9 des Strahlführungssystems 4 können auch abwechselnd im Strahlengang des Strahlführungssystems 4 angeordnet sein, wie dies beispielhaft in der Fig. 2 angedeutet ist, wo zwischen zwei Spiegeln 7 im Strahlengang der Laserstrahlung 3 eine Transmissions-Komponente 9 angeordnet ist. In gleicher Weise kann bei einer nicht dargestellten Ausführung auch ein Spiegel 7 zwischen zwei Transmissions-Komponenten 9 angeordnet sein.
- Die Anordnung des mindestens einen Spiegels 7 und der mindestens einen Transmissions-Komponente 9 innerhalb des Strahlführungssystems 4 ist derart, dass sich strahlinduzierte Änderungen an den Strahlführungseigenschaften des mindestens einen Spiegels 7 durch strahlinduzierte Änderungen an den Strahlführungseigenschaften der mindestens einen Transmissions-Komponente 9 zumindest teilweise kompensieren.

- Die strahlinduzierten Änderungen an den Strahlführungseigenschaften des mindestens einen Spiegels 7 ergeben sich insbesondere durch eine strahlinduzierte Erwärmung eines strahlungsbeaufschlagten Abschnitts der Reflexionsfläche des Spiegels 7 und eine damit einhergehende Änderung einer Topographie der Reflexionsfläche aufgrund einer thermischen Ausdehnung des Spiegelmaterials.

Strahlinduzierte Änderungen an den Strahlführungseigenschaften der mindestens einen Transmissions-Komponente können sich durch strahlinduzierte Brechungsindexänderungen des Komponentenmaterials und ebenfalls durch eine Änderung einer Topographie der die Laserstrahlung 3 brechenden Komponentenflächen aufgrund einer thermischen Ausdehnung der Transmissions-Komponente 9 insbesondere aufgrund einer Restabsorption der Laserstrahlung 3 ergeben.

Die Transmissions-Komponente 9 ist aus ZnSe (Zinkselenid) gefertigt. Alternativ kann die Transmissions-Komponente 9 auch aus ZnS, Ge, GaAs, Silizium, Diamant oder anderen Materialien mit hinreichender Transmission gefertigt sein.

Der mindestens eine Spiegel 7 hat eine Reflexionsfläche aus Kupfer. Er kann eine absorptionsmindernde Beschichtung besitzen. Im Bereich geringerer Intensitäten sind auch andere Spiegelmaterialien denkbar. Der mindestens eine Spiegel 7 kann reine Umlenkeigenschaften haben. Alternativ ist es möglich, dass der Spiegel 7 eine fokussierende oder eine defokussierende Wirkung auf die Laserstrahlung 3 hat.

Die mindestens eine Transmissions-Komponente 9 oder auch eine gesamte refraktive Komponentengruppe 8 kann, wie dies in den Fig. 1 und 2 gestrichelt dargestellt ist, in einem gasdichten Gehäuse 10 mit mindestens einem für die Laserstrahlung 3 durchlässigen Fenster 11 untergebracht sein. Das Innere des Gehäuses 10 kann evakuiert sein. Alternativ oder zusätzlich kann das Innere des Gehäuses 10 eine Inertgas-Atmosphäre aufweisen.

Bei der Ausführung nach Fig. 3 ist der Spiegel 7 als konkaver Kollimationsspiegel ausgeführt. Die Transmissions-Komponente 9 ist als Plankon-

vexlinse ausgeführt. Auch eine Ausführung der Transmissions-Komponente als Bikonvexlinse oder als Meniskuslinse ist möglich. Bei einer nicht dargestellten Ausführung kann mindestens eine der Transmissions-Komponenten 9 als defokussierende Linse, als beispielsweise Plan-
5 konkav- oder als Bikonkavlinse ausgeführt sein.

Anhand der Fig. 3 bis 6 werden nachfolgend verschiedene Varianten für das Strahlführungssystem 4 erläutert. Komponenten, die denjenigen entsprechen, die vorstehend unter Bezugnahme auf die Fig. 1 und 2 bereits
10 erläutert wurden, tragen die gleichen Bezugsziffern und werden nicht nochmals im Einzelnen diskutiert.

Bei der Ausführung nach Fig. 4 ist der Spiegel 7 als konkaver Fokussierspiegel ausgeführt. Die Transmissions-Komponente 9 ist als planparallele
15 Platte ausgeführt. Die planparallele Platte 9 nach Fig. 4 steht mechanisch mit einem Kippantrieb 12 zur gesteuerten Verkipfung der planparallelen Platte 9 in Wirkverbindung. Der Kippantrieb 12 steht mit einer Steuer-/Regeleinrichtung 13 in Signalverbindung. Letztere steht mit einem bildgebenden optischen Sensormodul 14 in Signalverbindung, welches einen
20 Strahlfokus der Laserstrahlung 3 im Bereich des Targets 5 erfasst. Je nach dem Fokus-Bildergebnis, welches das Sensormodul 14 erfasst und welches in der Steuer-Regeleinrichtung 13 mit Hilfe eines entsprechenden Algorithmus ausgewertet wird, wird über den Kippantrieb 12 ein Kippwinkel der planparallelen Platte 9 im Strahlengang der Laserstrahlung 3 nachgere-
25 gelt, wie dies in der Fig. 4 durch einen Doppelpfeil 15 angedeutet ist.

Bei der Ausführung nach Fig. 5 dient eine Keilplatte als Transmissions-Komponente 9. Die beiden optischen Flächen der Keilplatte 9, die von der Laserstrahlung 3 durchtrieben werden, haben einen Keilwinkel zueinander,

- 17 -

der im Bereich zwischen 1° und 30° liegt. Auch die Keilplatte 9 kann geregelt verkippt werden (Doppelpfeil 15) wie dies im Zusammenhang mit der planparallelen Platte 9 nach Fig. 4 bereits erläutert wurde.

- 5 Eine Austrittsfläche 16 der Keilplatte 9 ist als Kompensations-Oberflächenprofil (vgl. die Ausschnittsvergrößerung nach Fig. 6) zur zumindest teilweisen Kompensation von Strahlführungsfehlern ausgebildet, die von der Laserlichtquelle 2 bzw. von einer der weiteren Komponenten des Strahlführungssystems 4 erzeugt werden. Insbesondere stationäre Strahl-
- 10 führungsfehler können mit Hilfe des Kompensations-Oberflächenprofils kompensiert werden.

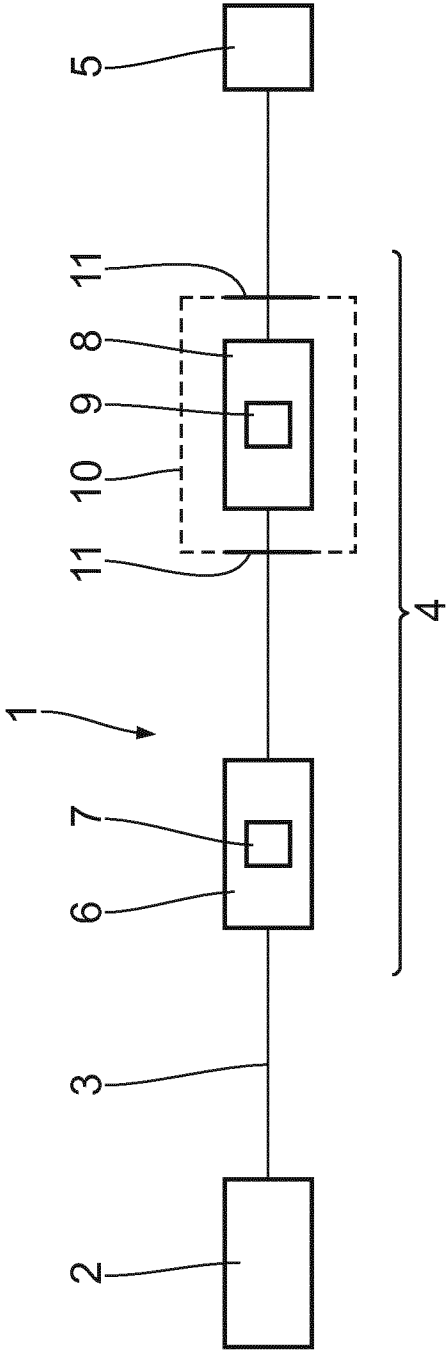
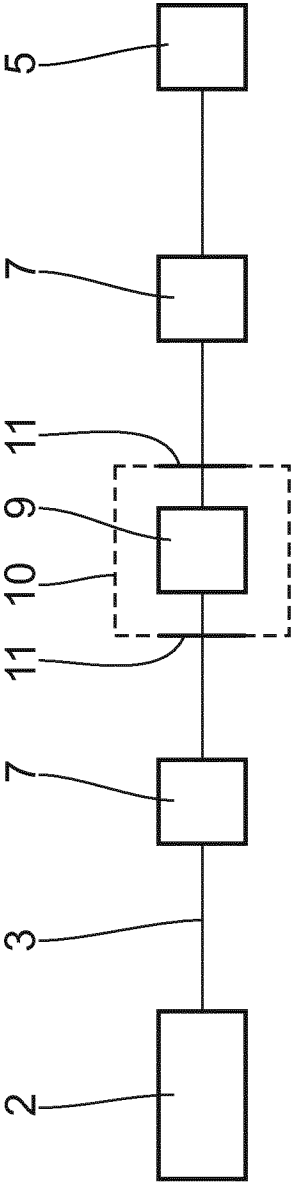
Patentansprüche

1. Strahlführungssystem (4) zur fokussierenden Führung von Strahlung
(3) einer Hochleistungs-Laserlichtquelle (2) mit einer Wellenlänge der
5 Strahlung (3) im Bereich zwischen $9,5\mu\text{m}$ und $11\mu\text{m}$ hin zu einem
Target (5),
 - mit mindestens einem Spiegel (7) als reflektiver Strahlführungs-
komponente und
 - 10 - mit mindestens einer für die Strahlung (3) zumindest partiell
durchlässigen Transmissions-Komponente (9) als refraktiver
Strahlführungskomponente,
 - 15 - wobei die Anordnung des mindestens einen Spiegels (7) und der
mindestens einen Transmissions-Komponente (9) derart ist, dass
sich strahlinduzierte Änderungen an den Strahlführungseigenschaf-
ten des mindestens einen Spiegels (7) durch strahlinduzierte Ände-
rungen an den Strahlführungseigenschaften der mindestens einen
20 Transmissions-Komponente (9) zumindest teilweise kompensieren.
2. Strahlführungssystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass
die Transmissions-Komponente (9) als planparallele Platte ausgeführt
ist.
- 25 3. Strahlführungssystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass
die Transmissions-Komponente (9) als Keilplatte ausgeführt ist.

4. Strahlführungssystem nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Transmissions-Komponente (9) im Strahlengang des Strahlführungssystems (4) verkipptbar (15) angeordnet ist.
- 5 5. Strahlführungssystem nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Transmissions-Komponente (9) ein Kompensations-Oberflächenprofil (16) zur zumindest teilweisen Kompensation von Strahlführungsfehlern aufweist, die von der Laserlichtquelle (2) und/oder von einer Komponente (7, 9) des Strahlführungssystems (4) erzeugt werden.
10
6. Strahlführungssystem nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die mindestens eine Transmissions-Komponente (9) aus ZnSe gefertigt ist.
15
7. Strahlführungssystem nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass der mindestens eine Spiegel (7) eine Reflexionsfläche aus Kupfer hat.
- 20 8. Strahlführungssystem nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass der mindestens eine Spiegel (7) im Ausgangszustand reine Umlenkeigenschaften für die Strahlung (3) hat.
- 25 9. Strahlführungssystem nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die mindestens eine Transmissions-Komponente (9) in einem gasdichten Gehäuse (10) mit mindestens einem für die Strahlung (3) durchlässigen Fenster (11) untergebracht ist.

- 20 -

10. Strahlführungssystem nach einem der Ansprüche 1 bis 9, gekennzeichnet durch
- 5 - ein Sensormodul (14) zur Fokuserfassung der Strahlung (3) im Bereich des Targets (5),
 - einen Verlagerungsantrieb (12) zum Verlagern der Transmissionskomponente (9) und
 - 10 - eine Steuer-/Regeleinrichtung (13), die in Signalverbindung mit dem Sensormodul (14) und dem Verlagerungsantrieb (12) steht.
11. Strahlführungssystem nach einem der Ansprüche 1 bis 10, gekennzeichnet zur fokussierenden Führung von Strahlung einer weiteren Laserlichtquelle mit einer Wellenlänge der Strahlung im Bereich zwischen 800nm und 1200nm.
- 15
12. Laser Produced Plasma- (LPP-)Röntgenstrahlquelle (1) mit einer Hochleistungs-Laserlichtquelle (2) und mit einem Strahlführungssystem (4) nach einem der Ansprüche 1 bis 11.
- 20



2/3

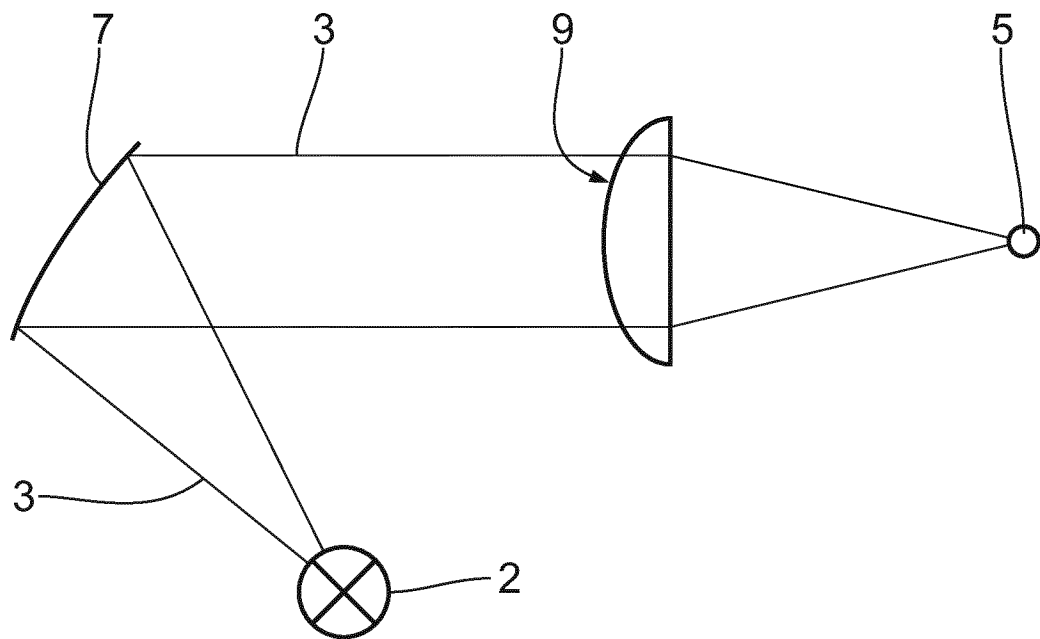


Fig. 3

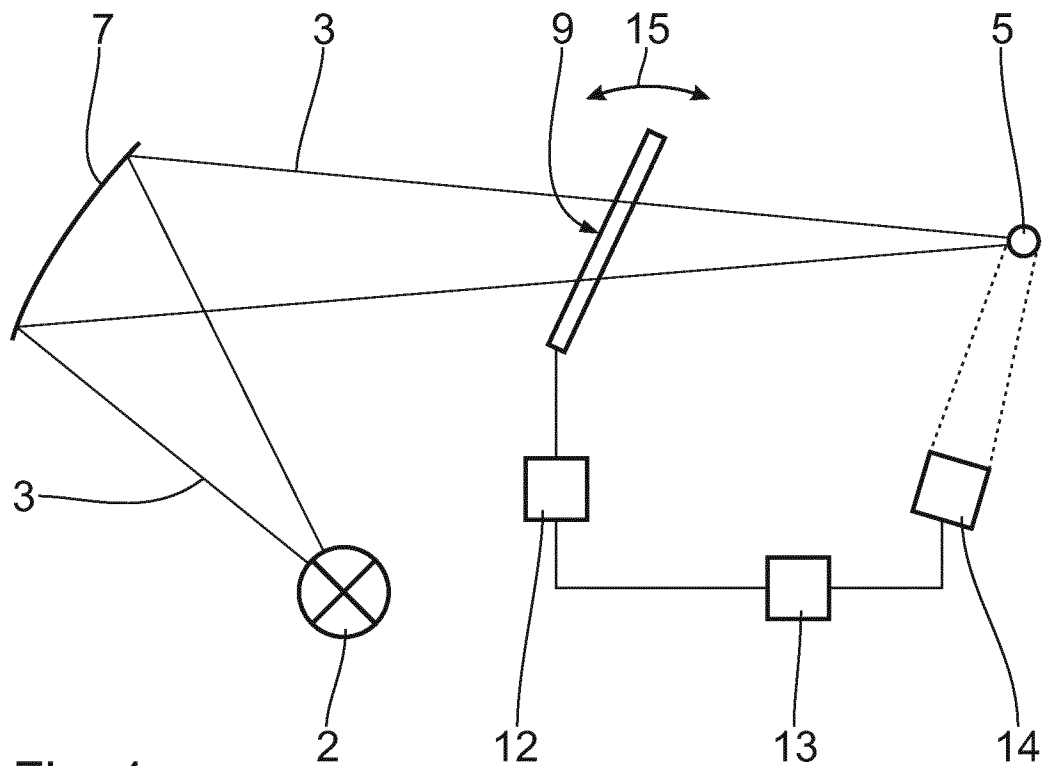


Fig. 4

3/3

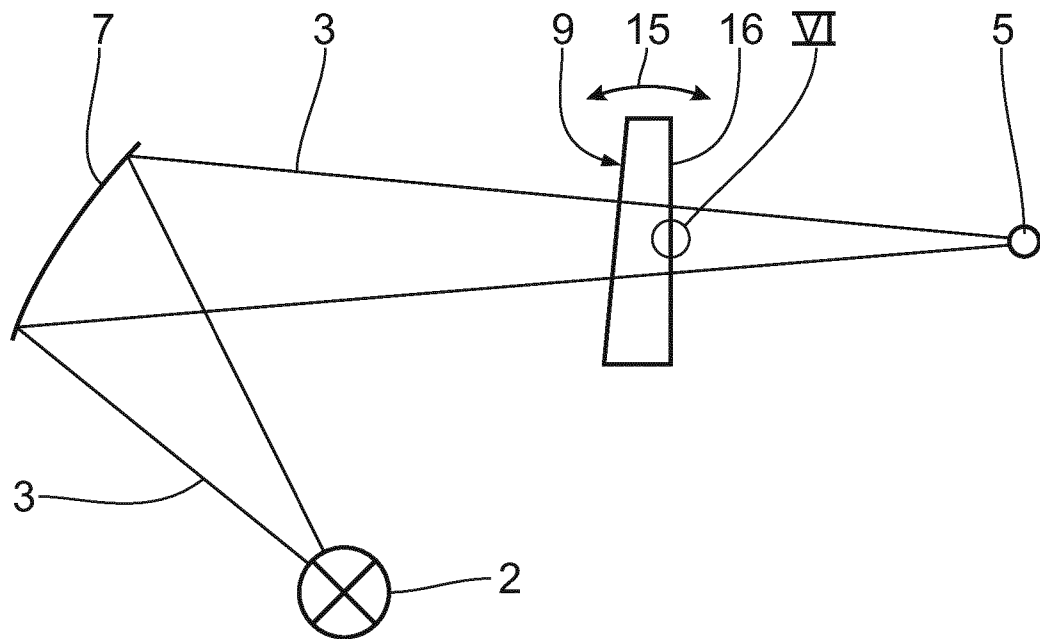


Fig. 5

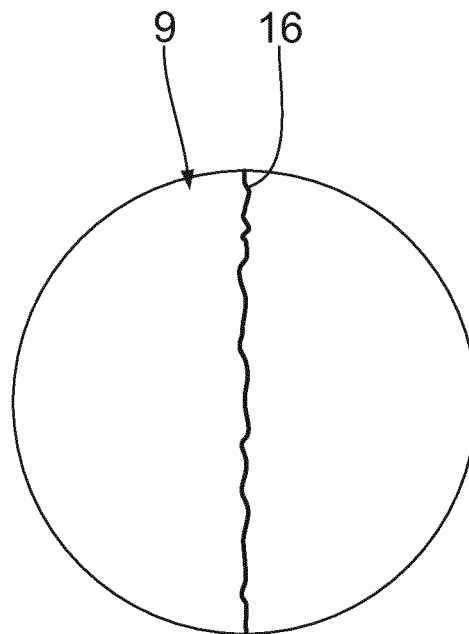


Fig. 6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2013/050053

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. H05G2/00 G02B26/06
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)
H05G G03F 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	US 2010/117009 A1 (MORIYA MASATO [JP] ET AL) 13 May 2010 (2010-05-13)	1,6,8, 11,12
Y	paragraph [0002] - paragraphs [0186], [0319]; figures 1,2,3,5,8-10,37	2-5,7,9, 10
Y	JP 2005 294087 A (NIPPON KOGAKU KK) 20 October 2005 (2005-10-20) paragraph [0058] - paragraph [0064]; figures 4,6(a),(b),(c),7(a),(b),(c)	2-4,7,9, 10
Y	DE 196 16 922 A1 (ZEISS CARL FA [DE]) 30 October 1997 (1997-10-30) page 4; figure 1	5
A	DE 10 2008 054779 A1 (ZEISS CARL SMT AG [DE]) 27 August 2009 (2009-08-27) paragraphs [0105] - [0106], [0121] - paragraph [0123]; figures 3,10	1-12



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

28 March 2013

Date of mailing of the international search report

08/04/2013

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

Feeney, Orla

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2013/050053

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2010117009 A1	13-05-2010	DE 102009044426 A1 JP 2010135769 A US 2010117009 A1 US 2012319014 A1	27-05-2010 17-06-2010 13-05-2010 20-12-2012
JP 2005294087 A	20-10-2005	JP 2005294087 A WO 2005096680 A1	20-10-2005 13-10-2005
DE 19616922 A1	30-10-1997	DE 19616922 A1 EP 0809125 A1 JP H1048526 A US 5880891 A	30-10-1997 26-11-1997 20-02-1998 09-03-1999
DE 102008054779 A1	27-08-2009	NONE	

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 INV. H05G2/00 G02B26/06
 ADD.

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
 H05G G03F 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	US 2010/117009 A1 (MORIYA MASATO [JP] ET AL) 13. Mai 2010 (2010-05-13)	1,6,8, 11,12
Y	Absatz [0002] - Absätze [0186], [0319]; Abbildungen 1,2,3,5,8-10,37	2-5,7,9, 10
Y	JP 2005 294087 A (NIPPON KOGAKU KK) 20. Oktober 2005 (2005-10-20) Absatz [0058] - Absatz [0064]; Abbildungen 4,6(a),(b),(c),7(a),(b),(c)	2-4,7,9, 10
Y	DE 196 16 922 A1 (ZEISS CARL FA [DE]) 30. Oktober 1997 (1997-10-30) Seite 4; Abbildung 1	5
A	DE 10 2008 054779 A1 (ZEISS CARL SMT AG [DE]) 27. August 2009 (2009-08-27) Absätze [0105] - [0106], [0121] - Absatz [0123]; Abbildungen 3,10	1-12



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 erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer 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

28. März 2013

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

08/04/2013

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

Feeney, Orla

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2013/050053

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2010117009 A1	13-05-2010	DE 102009044426 A1	27-05-2010
		JP 2010135769 A	17-06-2010
		US 2010117009 A1	13-05-2010
		US 2012319014 A1	20-12-2012

JP 2005294087 A	20-10-2005	JP 2005294087 A	20-10-2005
		WO 2005096680 A1	13-10-2005

DE 19616922 A1	30-10-1997	DE 19616922 A1	30-10-1997
		EP 0809125 A1	26-11-1997
		JP H1048526 A	20-02-1998
		US 5880891 A	09-03-1999

DE 102008054779 A1	27-08-2009	KEINE	
