



The present invention relates to a radiation source for optical devices, in particular for photolithographic reproduction systems. It is preferably applied in cases where a radiated power is required which is greater than that from pressurised mercury vapour lamps, such as in photolithographic appliances for illuminating a photoresist layer on a semiconductor wafer.

5

Currently, numerous radiation source systems are known which are used in scientific devices and of which the properties have been widely adapted to the conditions in the field of use. These properties relate to the spectral distribution of the emission and to the obtainable radiation density, as well as to the spatial and angular distribution of the produced radiation. Requirements relating to spectral radiated powers which exceed the spectral radiated power of a black body above the melting point of solid bodies can only be satisfied through plasma. Plasmas are obtained by heating an active medium, preferably by passing an electric current through it or by the action of high-frequency electromagnetic fields. The achievable spectral radiation densities are upwardly limited by the maximum value of the harnessable electrical power per volume unit which can be thermally withstood by the constituent materials of the electrodes and walls. In the case of high-frequency heating, limitation due to electrode loading no longer occurs, but the problem of the spatial concentration of the high-frequency energy does arise.

If the stationary operation of the radiation source is dispensed with, an increase, by a fairly large order of magnitude, in the power harnessed can be obtained for a short time, since the conversion of the fed-in power into radiation proceeds significantly faster than its transmission to the walls and, if there are any, to the electrodes of the discharge cavity. However, even with this mode of operation, alongside mechanical stresses due to the shock waves which, however, have sufficient action only in unfavourable cases, the evaporation and erosion of the materials which form the walls and electrodes constitute, when the radiation source must have a certain lifespan, an impediment to the production of intense radiant flux. In this regard, it should be noted that in the case of sources which operate in a stationary manner and in the case of sources which operate by pulses, above a power level which is type-dependent and which is achieved practically universally in the technical applications, any further increase in the radiated power is obtained at the expense of a reduction in the lifespan.

However, these short-lived radiation sources cannot be used for many applications because they unreasonably increase the maintenance costs for the devices into which they are incorporated, since changing a lamp generally entails complicated adjustment and long adaptation operations

of the optical transmission system to the specific radiant flux of the lamp in question. Within certain limits, it is possible to increase the radiated power whilst retaining the overall charge of the electrical energy invested in the radiation, for the desired wavelength and the preferred spread width. This can be achieved by giving the active medium an optimal composition and by  
5 creating optimal pressure and temperature conditions for the plasma during the production of the radiation. However, consideration should be given to the limitations which arise from the existing incompatibility, at working temperature, between various active media and the constituent materials of the electrodes and the walls, such that, taking into account the withstand time of these materials, discharge conditions which are far from optimal frequently have to be selected.

10 In the case of non-stationary operation, further limitations result from the fact that the radiation source simultaneously has to fulfil the functions of an electrical heavy-duty switch and of a converter of electrical energy into radiation. In this case too, the scope for optimising the radiation production is restricted, because the safety of ignition and switching is linked to certain plasma states.

15 In the case of the stationary operation and in the case of pulsed operation, there are, in electrode radiation devices, dead solid angles in which the radiation cannot be used, although the insertion of suitable optical components, such as ellipsoidal reflectors and/or light-conducting fibres theoretically make it possible to also use the areas formed by these angles and, as a result, to  
20 provide the maximum amount of radiation energy to the optical system. To illuminate optical systems used in photolithography microinstallations, lasers are also used as radiation sources (SPIE Vol. 174 [1979], p.28...36, "Coherent illumination improves step-and-repeat printing on wafers" [*Un éclairage cohérent améliore l'impression "graduelle et répétée" sur les galettes*], by Michel Lacombe et al.) The main limitations of these light sources result from their high spatial  
25 coherence and the structural distortions which result therefrom, their high monochromy and the effects of the resulting standing waves in photosensitive materials. Furthermore, generally, lasers with high radiated power or favourable efficiency are generally not present in advantageous spectral areas. The use of "excimer" lasers which emit the necessary energy in the desired wavelength region (UV region) are limited to contact-lithographic methods (SPIE Vol. 334 [1982],  
30 p.259...262, "Ultrafast high resolution contact lithography using excimer laser" [*Lithographie par contact à forte résolution ultrarapide au moyen de laser excimer*], by K. Jain et al.), because the partial spatial coherence necessary for the illumination of projection-lithography systems cannot be achieved to a degree as justified by its technical use.

- The aim of the invention is to achieve a highly powerful radiation source which has a long lifespan and which makes it possible to include a substantial area of solid angles and precise and fast illumination of photosensitive areas and which, as a result, ensures a high productivity in photolithographic installations. Therefore the invention is intended to make it possible to
- 5 achieve a radiation source for optical devices, in particular for photolithographic reproduction systems, which uses plasma radiation. By a spatial separation between the plasma and the wall or other installations associated with a cavity and without use of electrodes mounted in the cavity nor high-frequency fields for spatial concentration of the energy, it must make it possible to obtain a long lifespan and high power density. Furthermore, there is a reduction of stresses
- 10 on the cavity though shock waves when the radiation source is in pulsed operation, and there are no dead solid angles due to electrodes or other installations in the cavity. The radiation source according to the invention is intended to possess a wide scope for optimisation of the radiation production in the desired wavelength region, because the active media and pressure and temperature conditions must be selected regardless of the compatibility with the materials
- 15 which the electrodes are made of. With regard to the laser radiation, the radiation source has the advantage that, especially in the case of photolithographic reproduction systems, it has a significant partial spatial coherence and that its spectral structure is such that the effects of standing waves in the photosensitive material are attenuated.
- 20 This aim is achieved, according to the invention, by the fact that a gas-tight chamber filled with a discharge medium contains at least one entry aperture which allows laser radiation to pass and at least one exit aperture which allows plasma radiation to pass, and that the production and maintenance of a radiation-emitting plasma in the discharge medium are ensured, in a known manner, by at least one laser situated outside the chamber, whereby optical means for focussing
- 25 the laser radiation in the discharge medium are mounted at an entry aperture, such that the plasma is at a certain distance from the wall of the chamber and that the plasma radiation exits the chamber via the exit aperture.

- When the radiated power of a laser as supplied is not sufficient for a discharge in the discharge
- 30 medium, it is advantageous that the device includes, to ignite the discharge medium, outside the chamber, at least one further pulse-operated laser which is directed by optical means to ensure focussing of the same volume at an entry aperture.

An advantageous variant, with regard to changing of position of the radiation-emitting plasma,



consists in placing the optical means which ensure the focussing of the laser radiation outside the chamber. It is then possible to advantageously arrange installations which make it possible to adjust the optical means which ensure the focussing of the laser radiation.

- 5 It is possible to advantageously simplify the realisation of the radiation source by placing optical means which ensure the focussing of the laser radiation inside and/or on the surface of the chamber. In these conditions, the inner wall of the chamber constitutes an optical means for focussing the radiation coming from outside. To include as large an area of dead solid angles as possible, it is advantageous to give the inner wall of the chamber a shape such that it
- 10 constitutes an optical means for ensuring the reflection of the radiation coming from the plasma. It is therefore advantageous for the inner wall of the chamber to have the shape of a convex mirror or an ellipsoidal mirror.

- To obtain high power densities and to increase the lifespan, it is advantageous to provide the
- 15 chamber with an external cooling system.

Various other characteristics of the invention further emerge from the following detailed description.

- 20 Embodiments of the subject of the invention are shown, by way of non-limiting examples, in the attached drawings.

Fig. 1 schematically shows an embodiment of the radiation source according to the invention.

- 25 Fig. 2 shows an exemplary embodiment in which the inner wall of the chamber has a shape such that it constitutes an optical element.

Fig. 3 and 4 show embodiments wherein the discharge chamber has the shape of an ellipsoidal reflector.

30

Fig. 1 schematically shows an embodiment of the radiation source according to the invention in which a gas-tight chamber 1 contains the discharge medium 2. The chamber 1 includes two entry apertures 3 and 4 which allows laser radiation to pass and an exit aperture 5 which allows plasma radiation to pass. The entry aperture 3 is sealed by the window 6 which allows infrared

to pass, and the entry aperture 4 is sealed by the lens 7 which allows ultraviolet to pass. The exit aperture 5 is provided with a window 8. The device includes two lasers 9 and 10 outside the chamber 1. The coherent radiation 11 from the laser 9, which is a stationary CO<sub>2</sub> gas laser, penetrates into the chamber 1 through the window 6 and is focussed by the concave mirror 12 mounted on the wall of the chamber. The radiation 13 from the laser 10, which is a nitrogen pulse laser, is focussed on the same point by the lens 7 which allows ultraviolet to pass and produces an electrical discharge there, and as a result an absorbent plasma 14 which is heated to high temperatures under the influence of the radiation 11. The radiation 15 from the plasma can be fed into the downstream optical system through the window 8.

10

If the radiation source is meant to be pulse-operated, the continuous laser 9 is replaced by a pulsed CO<sub>2</sub> carbon dioxide laser. As a rule, it is possible to dispense with the pulsed laser 10, because the field strength of the pulsed CO<sub>2</sub> carbon dioxide laser is in many cases sufficient to bring about the discharge. With such a device, it is possible to obtain, near-ellipsoidal plasmas from 4 mm to 5 mm in diameter up to a temperature of 16000 K, for example in an argon or xenon atmosphere as active medium with a working pressure of 10<sup>6</sup> Pa. The optical depth and the temperature can be varied within a vast range by altering the pressure. As the pressure increases, the temperature falls and the spectral distribution approaches Planck's function. As pressure decreases, the temperature increases, and the emission becomes linear.

15

Temperatures far in excess of 20000 K can be reached by using, as active medium, helium which in conventional pulsed light sources, operating electrically, can no longer be used practically due to the heavy wear and tear on the electrodes. In these conditions, the density of radiation and its spectral distribution can be altered in a much wider range than in the case of conventional radiation sources.

20

Figure 2 shows an embodiment in which the inner wall of the chamber constitutes, by its shape, an optical element. A casing 16, the concave mirror 17 and the quartz window 18 constitute the gas-tight chamber containing the discharge medium 19. The coherent radiation 20 from a pulsed CO<sub>2</sub> carbon dioxide laser 21 is focussed by the lens 22 which lets infrared pass and penetrates the chamber via the window 23 which allows infrared to pass. The pulsed laser 21 is mounted displaceably in the X direction, 24, and in the Y direction, 25, and the lens for infrared 22 can be displaced in the X direction, 24, and in the Y direction, 25, and in the Z direction, 26. Accordingly, the position of the focal point, which corresponds to the position of the plasma 27, may be adjusted relative to the optical axis 28. The plasma radiation 27 is sent directly, and by

25

30

means of the concave mirror 17, through the quartz window 18 to the condenser lens 29 of the optical system placed downstream.

5 The gas-tight chamber is surrounded by a container 30. The free space 31 which they demarcate is traversed by a refrigerating means 32 which enters, via the tube 33, and exits via the tube 34 and evacuates the heat produced by the pulsed laser radiation 21 and plasma radiation 27. It is possible to dispense with the quartz window 18 if the condenser lens 29 is installed instead.

10 Figs. 3 and 4 show embodiments wherein the discharge chambers 35 and 36 are constituted by ellipsoidal reflectors. The radiation 37 from the carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) laser 38 is focussed by the focussing elements, a concave mirror 39 or a lens 40 which allows infrared to pass, onto focal points 41 and 42 of the ellipsoid formed by the reflecting layers of the ellipsoidal mirror 43 and 44. The light emitted by the plasma producing the radiation is concentrated by the ellipsoidal mirror onto the second focal point 45 or 46 of the ellipsoid. The plasma formed at these focal points 45, 15 46 serves as a source of secondary radiation for the optical system situated downstream and starting at the condenser lenses 47, 48.

Claims

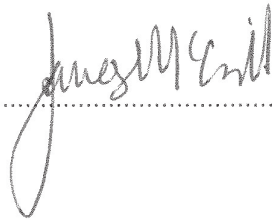
1. A radiation source for optical devices, in particular for photolithographic reproduction systems, characterised in that a gas-tight chamber (1) filled with a discharge medium (2)  
5 contains at least one entry aperture (3 and 4) which allows laser radiation to pass and at least one exit aperture (5) which allows plasma radiation to pass, and that the production and maintenance of a radiation-emitting plasma in the discharge medium are ensured, in a known manner, by at least one laser situated outside the chamber (1), whereby optical means for focussing the laser radiation in the discharge medium are mounted at an entry  
10 aperture, such that the plasma is at a certain distance from the wall of the chamber (1) and that the plasma radiation exits the chamber via the exit aperture (5).
2. The radiation source according to claim 1, characterised in that the ignition of the discharge medium is ensured outside the chamber (1) by at least one further pulse-  
15 operated laser (10) which is directed by optical means (7) to focus it on the same volume after passing in an entry aperture (4).
3. The radiation source according to one of claims 1 or 2, characterised in that the optical means (22) which ensure the focussing of the laser radiation (21) are situated outside the  
20 chamber (19).
4. The radiation source according to claim 3, characterised in that the installation includes devices for adjusting the optical means which ensure the focussing of the laser radiation.  
25
5. The radiation source according to one of claims 1 or 2, characterised in that optical means which ensure the focussing of the laser radiation are placed inside and/or on the wall of the chamber.
- 30 6. The radiation source according to claim 5, characterised in that the inner wall of the chamber has a shape such that it constitutes an optical means for focussing the laser radiation coming from outside.
7. The radiation source according to claim 1, characterised in that the inner wall of the

chamber has a shape such that it constitutes an optical means for reflecting the radiation emitted by the plasma.

- 5
8. The radiation source according to claim 7, characterised in that the inner wall of the chamber partially has the shape of a concave mirror or an ellipsoidal mirror (43, 44).
  9. The radiation source according to claim 1, characterised in that the chamber is equipped with an external cooling system (31, 32, 33, 34).

**FR 2 554 302**

I, James McGill, of Murgitroyd & Company, Scotland House, 165-169 Scotland Street, Glasgow G5 8PL, hereby declare that I am the translator of the document attached and certify that the following is a true translation to the best of my knowledge and belief.

A handwritten signature in black ink, appearing to read "James McGill". The signature is written in a cursive style with a large, looping initial "J".

..... Dated this 15th of December 2014

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
PARIS

①1 N° de publication :  
(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)

**2 554 302**

②1 N° d'enregistrement national :

**84 16445**

⑤1 Int Cl<sup>4</sup> : H 05 H 1/46.

⑫

## DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 26 octobre 1984.

③0 Priorité : DD, 1<sup>er</sup> novembre 1983,  
n° WP H 05 H/256 179.

④3 Date de la mise à disposition du public de la  
demande : BOPI « Brevets » n° 18 du 3 mai 1985.

⑥0 Références à d'autres documents nationaux appa-  
rentés :

⑦1 Demandeur(s) : *Entreprise dite : VEB CARL ZEISS  
JENA, Entreprise de droit allemand. — DD.*

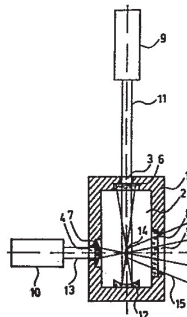
⑦2 Inventeur(s) : Walter Gärtner, Wolfgang Retschke et  
Klaus Günther.

⑦3 Titulaire(s) :

⑦4 Mandataire(s) : Cabinet Madeuf, Conseils en propriété  
industrielle.

⑤4 Source de rayonnement pour appareils d'optique, notamment pour systèmes de reproduction par photolithographie.

⑤7 Source de rayonnement pour appareils d'optique, notam-  
ment pour systèmes de reproduction photolithographique, car-  
actérisée en ce qu'une enceinte 1 étanche aux gaz remplie  
par un milieu de décharge 2 comporte au moins une ouverture  
d'entrée 3 et 4 laissant passer un rayonnement laser et au  
moins une ouverture de sortie 5 laissant passer un rayonne-  
ment de plasma et en ce que la production et l'entretien d'un  
plasma émettant un rayonnement dans le milieu de décharge  
sont assurés, d'une manière connue, par au moins un laser  
situé à l'extérieur de l'enceinte 1, des moyens optiques assu-  
rant la focalisation du rayonnement laser dans le milieu de  
décharge étant montés au niveau d'une ouverture d'entrée, de  
sorte que le plasma se trouve à une certaine distance de la  
paroi de l'enceinte 1 et que le rayonnement du plasma sort de  
l'enceinte par l'ouverture de sortie 5.



FR 2 554 302 - A1

D

Vente des fascicules à l'IMPRIMERIE NATIONALE, 27, rue de la Convention — 75732 PARIS CEDEX 15

La présente invention est relative à une source de rayonnement pour appareils d'optique, notamment pour systèmes de reproduction par photolithographie. Elle s'applique de préférence dans les cas où il faut une puissance  
5 de rayonnement supérieure à celle des lampes à vapeur de mercure sous pression, par exemple dans les installations de photolithographie, pour l'éclairage d'une couche de vernis photo sur une plaque de semi-conducteur.

On connaît actuellement de nombreux systèmes de  
10 sources de rayonnement qui sont utilisés dans des appareils scientifiques et dont les propriétés ont été largement adaptées aux conditions inhérentes au domaine d'utilisation. Ces propriétés sont relatives à la répartition spectrale de l'émission et à la densité de rayonnement susceptible  
15 d'être obtenue ainsi qu'à la répartition spatiale et angulaire du rayonnement produit. Les exigences relatives à des puissances de rayonnement dépassant la puissance de rayonnement spectrale d'un corps noir au-dessus du point de fusion des corps solides ne peuvent être satis-  
20 faites que par du plasma. Les plasmas s'obtiennent par chauffage d'un milieu actif, de préférence par passage d'un courant électrique ou par action de champs électromagnétiques de haute fréquence. Les densités de rayonnement spectrales susceptibles d'être atteintes sont limitées  
25 vers le haut par la valeur maximale de la puissance électrique, pouvant être mise en jeu par unité de volume, à laquelle les matériaux constituant les électrodes et les parois peuvent résister thermiquement. Dans le cas du chauffage à haute fréquence, il n'y a plus de limitation  
30 due à la charge des électrodes, mais le problème qui se pose alors est celui de la concentration spatiale de l'énergie de haute fréquence.

Si l'on renonce à un fonctionnement stationnaire de la source de rayonnement, on peut obtenir, pendant un  
35 temps court, une augmentation, d'un ordre de grandeur assez



important, de la puissance mise en jeu, du fait que la transformation en rayonnement de la puissance fournie s'effectue beaucoup plus rapidement que sa transmission aux parois et, s'il y en a, aux électrodes de la cavité de décharge. Cependant, même avec ce mode de fonctionnement, à côté des charges mécaniques dues aux ondes de choc qui, cependant, n'ont une action suffisante que dans des cas défavorables, la vaporisation et l'érosion des matériaux qui forment les parois et les électrodes constituent, lorsque la source de rayonnement doit avoir une certaine durée de vie, un obstacle à la production de flux de rayonnement intense. Il y a lieu de remarquer à ce sujet que, dans le cas de sources ayant un fonctionnement stationnaire comme dans le cas de sources ayant un fonctionnement par impulsions, au-dessus d'un niveau de puissance qui dépend du type adopté et qui, dans les applications techniques, est pratiquement atteint partout, toute augmentation supplémentaire de la puissance de rayonnement s'obtient aux dépens de la diminution de la durée de vie.

Cependant, ces sources de rayonnement de courte durée sont inutilisables pour beaucoup d'applications, car elles augmentent d'une manière inadmissible les frais d'entretien des appareils auxquels elles sont incorporées, du fait que le remplacement d'une lampe entraîne généralement un réglage compliqué et de longues opérations d'adaptation du système optique de transmission au flux de rayonnement spécifique de la lampe en question. On peut, entre certaines limites, augmenter la puissance de rayonnement tout en conservant la charge totale de l'énergie électrique investie dans le rayonnement, pour la longueur d'onde voulue et la largeur d'étalement préférée. On peut y parvenir en donnant au milieu actif une composition optimale et en réalisant des conditions de pression et de température optimales pour le plasma lors de

la production du rayonnement. Il y a lieu cependant de tenir compte de limitations qui découlent de l'incompatibilité existant, à la température de fonctionnement, entre différents milieux actifs et les matériaux qui

5 constituent les électrodes et les parois, de sorte que, compte tenu de la durée de résistance de ces matériaux, les conditions de décharge doivent être choisies souvent de telle manière qu'elles s'écartent sensiblement des valeurs optimales. D'autres limitations résultent, dans

10 le cas d'un fonctionnement non stationnaire, du fait que la source de rayonnement doit remplir en même temps les fonctions de commutateur électrique à grande puissance et de transformateur d'énergie électrique en rayonnement. Dans ce cas également, le jeu pour l'optimisation de la

15 production d'un rayonnement efficace se trouve limité, car la sécurité de l'allumage et de la commutation est liée à certains états du plasma.

Dans le cas du fonctionnement stationnaire comme dans le cas du fonctionnement par impulsions, il y a,

20 dans les appareils de rayonnement à électrodes, des angles solides morts dans lesquels le rayonnement ne peut pas être utilisé bien que l'insertion d'éléments optiques convenables, comme, par exemple, des réflecteurs ellipsoïdaux et/ou des fibres conductrices de la lumière,

25 permette théoriquement d'utiliser également les zones formées par ces angles et, de ce fait, de fournir au système optique le maximum d'énergie de rayonnement. Pour l'éclairage des systèmes optiques utilisés dans les micro-installations de photolithographie, on utilise

30 également, comme sources de rayonnement, des lasers (SPIE Vol. 174 (1979) p. 28 ... 36 "Un éclairage cohérent améliore l'impression "graduelle et répétée" sur les galettes" par Michel Lacombat et autres). Les principales limitations de ces sources lumineuses résultent de leur

35 grande cohérence spatiale et des distorsions de structure

qui en résultent, de leur forte monochromie et des effets d'ondes stationnaires qui en résultent dans les matériels sensibles à la lumière. De plus, en général, dans les zones du spectre avantageuses, il n'y a pas de laser  
5 ayant une grande puissance de rayonnement ou un rendement d'efficacité favorable. L'utilisation de lasers "excimer", qui émettent l'énergie nécessaire dans le domaine de longueurs d'ondes voulu (domaine ultraviolet), se limite à des procédés de lithographie par contact (SPIE Vol. 334  
10 (1982) p 259 ... 262 "Lithographie par contact à forte résolution ultrarapide au moyen de laser excimer" par K. Jain et autres), car la cohérence partielle spatiale nécessaire à l'éclairage des systèmes de lithographie par projection ne peut pas être réalisée à un degré tel  
15 que son utilisation technique se justifie.

Le but de l'invention est la réalisation d'une source de rayonnement de grande puissance qui ait une longue durée de vie et permette l'inclusion d'une zone importante d'angles solides et un éclairage précis et  
20 rapide de zones photosensibles et qui, de ce fait, assure à des installations de photolithographie une grande productivité. L'invention doit donc permettre de réaliser une source de rayonnement pour appareils d'optique, notamment pour systèmes de reproduction photolithographiques,  
25 qui utilise le rayonnement d'un plasma. Par une séparation spatiale entre le plasma et la paroi ou d'autres installations associées à une cavité et sans utilisation d'électrodes montées dans la cavité ni de champs de haute fréquence pour la concentration spatiale de l'énergie,  
30 elle doit permettre d'obtenir une longue durée de vie et une densité de puissance élevée. De plus, il y a diminution des charges imposées à la cavité par les ondes de choc en cas de fonctionnement par impulsions de la source de rayonnement et il n'y a pas de zones d'angles  
35 solides morts dues à des électrodes ou à d'autres instal-

lations montées dans la cavité. La source de rayonnement suivant l'invention doit comporter un jeu large pour l'optimisation de la production du rayonnement dans le domaine de longueurs d'onde voulu, car le choix des milieux actifs et des conditions de pression et de température doit se faire indépendamment de la compatibilité avec les matériaux constituant les électrodes. En ce qui concerne le rayonnement laser, la source de rayonnement présente l'avantage que, notamment dans le cas des systèmes de reproduction photolithographiques, elle présente une cohésion partielle spatiale notable et que sa structure spectrale est telle que les effets d'ondes stationnaires dans le matériel photosensible sont atténués.

Ce but est atteint, suivant l'invention, du fait qu'une enceinte étanche aux gaz remplie par un milieu de décharge comporte au moins une ouverture d'entrée laissant passer un rayonnement laser et au moins une ouverture de sortie laissant passer un rayonnement de plasma et que la production et le maintien d'un plasma émettant un rayonnement dans le milieu de décharge sont assurés, d'une manière connue, par un laser au moins situé à l'extérieur de l'enceinte, des moyens optiques assurant la focalisation du rayonnement laser dans le milieu de décharge étant montés au niveau d'une ouverture d'entrée, de sorte que le plasma se trouve à une certaine distance de la paroi de l'enceinte et que le rayonnement de plasma sort de l'enceinte par l'ouverture de sortie.

Lorsque la puissance de rayonnement d'un laser telle qu'elle est fournie n'est pas suffisante pour une décharge dans le milieu de décharge, il est avantageux que l'appareil comporte, pour l'allumage du milieu de décharge, à l'extérieur de l'enceinte, au moins un autre laser fonctionnant par impulsions qui est dirigé par des moyens optiques pour assurer la focalisation, au niveau d'une ouverture d'entrée, du même volume.



Une variante avantageuse, en ce qui concerne le changement de position du plasma émettant le rayonnement, consiste à placer les moyens optiques assurant la focalisation du rayonnement laser à l'extérieur de l'enceinte.

5 On peut alors disposer avantageusement des installations permettant le réglage des moyens optiques assurant la focalisation du rayonnement laser.

On peut simplifier avantageusement la réalisation de la source de rayonnement en plaçant les moyens optiques  
10 assurant la focalisation du rayonnement laser à l'intérieur et/ou à la surface de l'enceinte. Dans ces conditions, la paroi intérieure de l'enceinte constitue un moyen optique assurant la focalisation du rayonnement provenant de l'extérieur. Pour inclure une zone d'angles solides  
15 morts aussi grande que possible, il est avantageux de donner à la paroi intérieure de l'enceinte une forme telle qu'elle constitue un moyen optique assurant la réflexion du rayonnement provenant du plasma. Il est alors avantageux que la paroi intérieure de l'enceinte ait la forme d'un  
20 miroir convexe ou d'un miroir ellipsoïdal.

Il est avantageux, pour obtenir de fortes densités de puissance et pour augmenter la durée de vie, de munir l'enceinte d'un système de refroidissement extérieur.

Diverses autres caractéristiques de l'invention  
25 ressortent d'ailleurs de la description détaillée qui suit.

Des formes de réalisation de l'objet de l'invention sont représentées, à titre d'exemples non limitatifs, au dessin annexé.

30 La fig. 1 représente schématiquement un mode de réalisation de la source de rayonnement suivant l'invention.

La fig. 2 représente un exemple de réalisation dans lequel la paroi intérieure de l'enceinte a une forme telle qu'elle constitue un élément optique.

35 Les fig. 3 et 4 représentent des modes de réalisa-

tion dans lesquels l'enceinte de décharge a la forme d'un réflecteur ellipsoïdal.

La fig. 1 représente schématiquement un mode de réalisation de la source de rayonnement suivant l'invention dans lequel une enceinte 1 étanche aux gaz contient le milieu de décharge 2. L'enceinte 1 comporte deux ouvertures d'entrée 3 et 4 permettant le passage du rayonnement laser et une ouverture de sortie 5 permettant le passage de rayonnement du plasma. L'ouverture d'entrée 3 est fermée par la fenêtre 6 qui laisse passer l'infrarouge et l'ouverture d'entrée 4 est fermée par la lentille 7 qui laisse passer l'ultraviolet. L'ouverture de sortie 5 est munie d'une fenêtre 8. A l'extérieur de l'enceinte 1, le dispositif comporte deux lasers 9 et 10. Le rayonnement cohérent 11 du laser 9, qui est un laser stationnaire au gaz carbonique  $\text{CO}_2$ , pénètre par la fenêtre 6 dans l'enceinte 1 et est focalisé par le miroir concave 12 monté sur la paroi de l'enceinte. Le rayonnement 13 du laser 10, qui est un laser à impulsions à l'azote, est focalisé au même point par la lentille 7 qui laisse passer l'ultraviolet et produit en ce point une décharge électrique et, par conséquent, un plasma 14 capable d'absorption, qui, sous l'influence du rayonnement 11, est chauffé à haute température. La fenêtre 8 permet l'envoi du rayonnement 15 du plasma au système optique placé à la suite.

Lorsque la source de rayonnement fonctionne par impulsions, le laser continu 9 est remplacé par un laser au gaz carbonique  $\text{CO}_2$  à impulsions. On peut alors en général renoncer au laser à impulsions 10, car l'intensité du champ d'un laser au gaz carbonique  $\text{CO}_2$  à impulsions suffit dans beaucoup de cas à provoquer la décharge. Un dispositif de ce type permet d'obtenir, par exemple, dans un milieu actif constitué par une atmosphère d'argon ou de xénon sous une pression de  $10^6$  Pa, jusqu'à une tempé-

rature de 16 000°K, des plasmas à peu près ellipsoïdaux de 4 à 5 mm de diamètre. La profondeur optique et la température peuvent être modifiées dans un vaste domaine en modifiant la pression. Lorsque la pression augmente, 5 la température s'abaisse et la répartition spectrale se rapproche de la fonction de Planck. Lorsque la pression diminue, la température s'élève et l'émission devient linéaire. On peut atteindre des températures très supérieures à 20 000°K en utilisant comme milieu actif 10 de l'hélium qui, dans les sources lumineuses à impulsions habituelles fonctionnant électriquement, ne peut plus être utilisé pratiquement en raison de la forte usure des électrodes. Dans ces conditions, la densité de rayonnement et sa répartition spectrale peuvent être 15 modifiées dans un domaine beaucoup plus étendu que dans le cas des sources de rayonnement habituelles.

La fig. 2 représente un exemple de réalisation dans lequel la paroi intérieure de l'enceinte constitue, par sa forme, un élément optique. Une enveloppe 16, le miroir 20 concave 17 et la fenêtre de quartz 18 constituent l'enceinte étanche aux gaz contenant le milieu de décharge 19. Le rayonnement cohérent 20 d'un laser à gaz carbonique  $\text{CO}_2$  à impulsions 21 est focalisé par la lentille 22 qui laisse passer l'infrarouge et pénètre dans l'enceinte 25 par la fenêtre 23 qui laisse passer l'infrarouge. Le laser à impulsions 21 est monté de manière à pouvoir être déplacé dans le sens des X, 24, et dans le sens des Y, 25, et la lentille pour infrarouge 22 peut être déplacée dans le sens des X, 24, dans le sens des Y, 25, et dans 30 le sens des Z, 26. De ce fait, la position du foyer, qui correspond à la position du plasma 27, peut être réglée par rapport à l'axe optique 28. Le rayonnement du plasma 27 est envoyé directement, et au moyen du miroir concave 17, à travers la fenêtre de quartz 18, à la lentille de 35 condenseur 29 du système optique placé à la suite.

L'enceinte étanche aux gaz est entourée par un récipient 30. L'espace libre 31 qu'ils délimitent est parcouru par un milieu réfrigérant 32 qui pénètre, par la tubulure 33, et sort par la tubulure 34 et évacue la chaleur produite 5 par le rayonnement du laser à impulsions 21 et du plasma 27. On peut supprimer la fenêtre de quartz 18 si l'on installe à sa place la lentille de condenseur 29.

Les fig. 3 et 4 représentent des modes de réalisation dans lesquels les enceintes de décharge 35 et 36 sont 10 constituées par des réflecteurs ellipsoïdaux. Le rayonnement 37 du laser à gaz carbonique ( $\text{CO}_2$ ) 38 est focalisé par les éléments de focalisation, un miroir concave 39 ou une lentille 40 laissant passer l'infrarouge, sur les foyers 41 et 42 de l'ellipsoïde formé par les couches 15 réfléchissantes du miroir ellipsoïdal 43 et 44. La lumière émise par le plasma produisant un rayonnement est concentrée par le miroir ellipsoïdal au deuxième foyer 45 ou 46 de l'ellipsoïde. Le plasma formé au niveau de ces foyers 45, 46 sert de source de rayonnement secondaire 20 pour le système optique situé à la suite et commençant au niveau des lentilles de condenseur 47, 48.



REVENDEICATIONS

1 - Source de rayonnement pour appareils d'optique, notamment pour systèmes de reproduction photolithographique, caractérisée en ce qu'une enceinte (1) étanche  
5 aux gaz remplie par un milieu de décharge (2) comporte au moins une ouverture d'entrée (3 et 4) laissant passer un rayonnement laser et au moins une ouverture de sortie (5) laissant passer un rayonnement de plasma et en ce que la production et l'entretien d'un plasma émettant un rayonnement dans le milieu de décharge sont assurés, d'une  
10 manière connue, par au moins un laser situé à l'extérieur de l'enceinte (1), des moyens optiques assurant la focalisation du rayonnement laser dans le milieu de décharge étant montés au niveau d'une ouverture d'entrée, de sorte  
15 que le plasma se trouve à une certaine distance de la paroi de l'enceinte (1) et que le rayonnement du plasma sort de l'enceinte par l'ouverture de sortie (5).

2 - Source de rayonnement selon la revendication 1, caractérisée en ce que l'allumage du milieu de décharge  
20 est assuré à l'extérieur de l'enceinte (1) par au moins un autre laser (10) fonctionnant à impulsions qui est dirigé par des moyens optiques (7) pour sa focalisation, après passage dans une ouverture d'entrée (4), sur le même volume.

25 3 - Source de rayonnement selon l'une des revendications 1 ou 2, caractérisée en ce que les moyens optiques (22) assurant la focalisation du rayonnement laser (21) sont situés en dehors de l'enceinte (19).

30 4 - Source de rayonnement selon la revendication 3, caractérisée en ce que l'appareil comporte des dispositifs de réglage des moyens optiques assurant la focalisation du rayonnement laser.

5 5 - Source de rayonnement selon l'une des revendications 1 ou 2, caractérisée en ce que des moyens optiques assurant la focalisation du rayonnement laser sont  
35

placés à l'intérieur et/ou sur la paroi de l'enceinte.

5           6 - Source de rayonnement selon la revendication  
5, caractérisée en ce que la paroi intérieure de l'enceinte  
a une forme telle qu'elle constitue un moyen optique  
assurant la focalisation du rayonnement laser venant de  
l'extérieur.

          7 - Source de rayonnement selon la revendication  
1, caractérisée en ce que la paroi intérieure de l'enceinte  
a une forme telle qu'elle constitue un moyen optique as-  
10           surant la réflexion du rayonnement émis par le plasma.

          8 - Source de rayonnement selon la revendication  
7, caractérisée en ce que la paroi intérieure de l'enceinte  
a partiellement la forme d'un miroir concave ou d'un  
miroir ellipsoïdal (43, 44).

15           9 - Source de rayonnement selon la revendication  
1, caractérisée en ce que l'enceinte est munie d'un sys-  
tème de refroidissement extérieur (31, 32, 33, 34).



