



(10) **DE 10 2010 047 419 B4** 2013.09.05

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2010 047 419.3**

(22) Anmeldetag: **01.10.2010**

(43) Offenlegungstag: **05.04.2012**

(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **05.09.2013**

(51) Int Cl.: **H05G 2/00** (2006.01)

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
XTREME technologies GmbH, 52074, Aachen, DE

(74) Vertreter:
**Patentanwälte Oehmke und Kollegen, 07743,
Jena, DE**

(72) Erfinder:
Kleinschmidt, Jürgen, Dr., 37077, Göttingen, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

DE	10 2006 027 856	B3
DE	103 59 464	A1
DE	60 2004 006 281	T2
WO	2009/ 105 247	A1

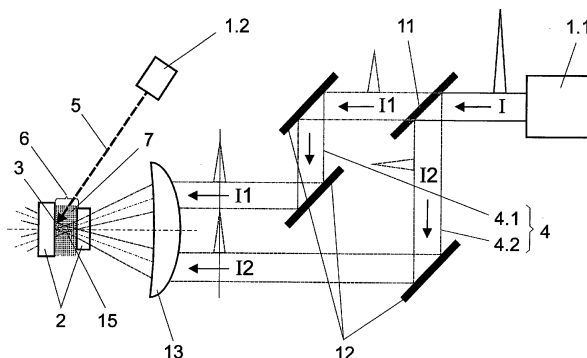
(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zur Erzeugung von EUV-Strahlung aus einem Gasentladungsplasma**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zur Erzeugung von EUV-Strahlung aus einem Gasentladungsplasma, bei dem ein Emittent in einem zwischen Elektroden befindlichen und mindestens ein Puffergas enthaltenden Entladungsraum durch Bestrahlung mit gepulster energiereicher Strahlung eines Verdampfungsstrahls verdampft und mittels eines zwischen den Elektroden erzeugten gepulsten Entladungsstroms in ein EUV-Strahlung emittierendes Entladungsplasma überführt wird, dadurch gekennzeichnet, dass

– ein kanalerzeugender Strahl (4) einer gepulsten energiereichen Strahlung in mindestens zwei Teilstrahlen (4.1, 4.2) zusätzlich zum Verdampfungsstrahl (1.1) bereitgestellt wird, wobei Intensitäten (I1, I2) der einzelnen Teilstrahlen (4.1, 4.2) geringer als eine für einen Gasdurchbruch erforderliche Schwellintensität sind und die Summe der Intensitäten (I1, I2) der Teilstrahlen (4.1, 4.2) größer als die Schwellintensität ist,

– die Teilstrahlen (4.1, 4.2) so geformt, fokussiert und in den Entladungsraum (6) gerichtet werden, dass sich Strahlfokusse der Teilstrahlen (4.1, 4.2) impulsynchronisiert in einem Überlagerungsbereich (15) lediglich lokal entlang einer Abstandsachse (10) zwischen den Elektroden (2) überlagern und entlang des Überlagerungsbereiches (15) ein elektrisch leitfähiger Entladungskanal (8) infolge einer Ionisierung mindestens des im Entladungsraum (6) vorhandenen Puffergases (7) erzeugt wird, und

– die gepulste, energiereiche Strahlung des kanalerzeugenden Strahls (4) mit dem gepulsten Entladungsstrom derart getriggert wird, dass der Entladungskanal (8) jeweils erzeugt wird, bevor ein Entladungsstromimpuls seinen Höchstwert erreicht.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Erzeugung von EUV-Strahlung aus einem Gasentladungsplasma, bei denen ein Emittent in einem zwischen Elektroden befindlichen und mindestens ein Puffergas enthaltenden Entladungsraum durch Bestrahlung mit gepulster energiereicher Strahlung eines Verdampfungsstrahls verdampft und mittels eines zwischen den Elektroden erzeugten gepulsten Entladungsstroms in ein EUV-Strahlung emittierendes Entladungsplasma überführt wird.

[0002] Aus dem Stand der Technik (z. B. EP 2 203 033 A2) ist es bekannt, zur Erzeugung einer EUV-Strahlung emittierenden Gasentladungsplasmas flüssige oder feste Emittenten mittels eines Strahls energiereicher Strahlung zu verdampfen. Diese Verdampfung erfolgt in einem Entladungsraum zwischen zwei Elektroden, die mit einer gepulsten Hochspannung beaufschlagt werden, um durch den verdampften Emittenten hindurch einen Entladungsstrom derart zu erzeugen, dass der Emittent möglichst vollständig in ein Gasentladungsplasma überführt wird.

[0003] Der Emittent kann dabei fest auf der Oberfläche der Elektroden aufgebracht sein oder, wie in der DE 10 2005 039 849 A1 beschrieben, kontinuierlich als Schmelze auf Elektroden aufgebracht werden, die als Drehelektroden ausgebildet sind und mit einem Teil ihres Umfangs in je ein Bad mit geschmolzenen Emittenten eintauchen. Ferner ist bekannt, den Emittenten in einer regelmäßigen Folge von Tröpfchen zwischen die Elektroden zu injizieren, wie dies beispielsweise ebenfalls in der Schrift DE 10 2005 039 849 A1 beschrieben ist. Durch eine solche Lösung kann der Abstand zwischen Elektroden und Ort der Plasmaerzeugung maximiert werden, wodurch die Lebensdauer der Elektroden erhöht wird.

[0004] Bei der Tröpfcheninjektion des Emittenten stellt das Puffergas, das üblicherweise der Abbremsung der bei der Plasmaerzeugung entstehenden energiereichen Partikel dient (Debrismitigation), außerdem in ionisierter Form ein elektrisch leitendes Medium dar. Dieses leitende Medium wird benutzt, um einem Tröpfchen des Emittenten die nötige elektrische Leistung zum Aufheizen und der Erzeugung eines Plasmas zuführen zu können. Von Nachteil ist dabei, dass das ionisierte Puffergas sowie gegebenenfalls auch von vorangegangenen Entladungen herrührende gasförmige Reste des Emittenten weiträumig im Entladungsraum verteilt sind und dazu führen, dass der Entladungsstrom zwischen den Elektroden nicht gezielt durch ein ausgewähltes Tröpfchen des Emittenten, sondern ein erheblicher Anteil des Entladungsstroms um das Emittententröpfchen herum fließt. Aufgrund dieses Effekts bleibt die Konversi-

onseffizienz, also das Verhältnis von eingesetzter Energie und erzeugter EUV-Strahlungsenergie, gering.

[0005] Ein Photolithographieverfahren zur lithographischen Erzielung einer Gravur mittels einer Strahlung, insbesondere zur Herstellung integrierter Schaltkreise, ist aus der Schrift DE 60 2004 006 281 T2 bekannt, bei dem die für die Gravur verwendete Strahlung mindestens Strahlung im Wellenlängenbereich der EUV-Strahlung enthält. Die Strahlung wird aus aufeinanderfolgenden Impulsen gebildet, die durch ein Auftreffen mindestens zweier Laserstrahlen auf einem Zielmaterial erzeugt werden, wobei das Material zur Aussendung eines Plasmas mit einer Emissionslinie im EUV-Bereich geeignet ist (EUV-Quelle). Dabei werden die Laserstrahlen lokal und zeitlich so überlagert, dass die Schwelle zur Multiphotonenionisation überschritten und ein Plasma erzeugt wird. Die Intensitäten jedes einzelnen Strahls liegen dagegen unterhalb einer zur Plasmabildung erforderlichen Schwelle, jedenfalls aber unterhalb einer Schwelle zur Erzeugung von EUV-Strahlung. Strahltaillen der Laserstrahlen liegen dabei an einem Ort des Zielmaterials, an dem das Plasma erzeugt werden soll. Durch eine definierte Ansteuerung der Laserquellen wird die Energieabgabe der EUV-Quelle eingestellt, wofür jedoch eine genaue Messung und Überwachung der Oberflächenenergie am Ort der Plasmabildung erforderlich ist.

[0006] Aus der EP 2 051 140 A1 ist ein Verfahren und eine Vorrichtung bekannt, durch die in einem Entladungsraum ein elektrisch leitfähiger Entladungsbereich zwischen zwei scheibenförmigen Elektroden erzeugt wird. Dazu ist ein gepulster energiereicher Strahl in einen Fokus mit einer definierten Fokusslänge gerichtet, wobei die Fokusslänge senkrecht zum erwünschten Verlauf des Entladungsstroms verläuft und über die gesamte Fokusslänge zwischen den Elektroden eine hohe Anregungsenergie bereitgestellt ist. In einer gewissen Entfernung (Rayleigh-Bereich) von dem erwünschten Entladungskanal wird ein Emittent bereitgestellt, der durch die Wirkung des Anregungsstrahls verdampft wird. Das so entstehende Gemisch aus verdampften Emittenten und Puffergas gelangt in den Entladungsraum zwischen den Elektroden. Durch eine zeitlich angepasste, erneute Beaufschlagung des Gases mit einem Impuls des Anregungsstrahls wird das ionisierte Restgas in demjenigen Bereich, in dem die Entladung erzeugt werden soll, weiter angeregt und zugleich ein Spannungsimpuls an die Elektroden gegeben, wodurch ein elektrisch leitfähiger Entladungskanal für die elektrische Entladung zwischen den Elektroden und die Ausbildung eines Gasentladungsplasmas bewirkt wird.

[0007] In der DE 103 59 464 A1 ist zum Erzeugen von EUV-Strahlung beschrieben, dass ein Gasentladungsplasma sicherer zündet, indem zur Bereitstellung der Ladungsträger im Entladungsraum eine zu-

sätzlich erzeugte Strahlung eingeleitet wird, die neben der Verdampfung des auf den Elektroden befindlichen Emittentmaterials im Entladungsraum eine zusätzliche großräumige Entladungswolke erzeugt.

[0008] Nachteilig an den zwei letztgenannten Lösungen ist, dass aufgrund der notwendigerweise einzuhaltenden Strahlgeometrien eine Anregung des ionisierten Puffergases nicht über den gesamten Elektrodenabstand und nur in relativ breiten Bereichen entlang der Elektrodenoberflächen möglich ist.

[0009] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Möglichkeit zur Erzeugung von EUV-Strahlung aus einem Gasentladungsplasma zu finden, bei der mit einer lokalen Begrenzung des elektrischen Entladungskanals die Konversionseffizienz der EUV-Emission optimiert wird.

[0010] Die Aufgabe wird bei einem Verfahren zur Erzeugung von EUV-Strahlung aus einem Gasentladungsplasma, bei dem ein Emittent in einem zwischen Elektroden befindlichen und mindestens ein Puffergas enthaltenden Entladungsraum durch Bestrahlung mit gepulster, energiereicher Strahlung eines Verdampfungsstrahls verdampft und mittels eines zwischen den Elektroden gepulst fließenden Entladungsstroms in ein EUV-Strahlung emittierendes Entladungsplasma überführt wird, erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass

- ein kanalerzeugender Strahl einer gepulsten energiereichen Strahlung in mindestens zwei Teilstrahlen zusätzlich zum Verdampfungsstrahl bereitgestellt wird, wobei Intensitäten der einzelnen Teilstrahlen geringer als eine für einen Gasdurchbruch erforderliche Schwellintensität sind und die Summe der Intensitäten der Teilstrahlen größer als die Schwellintensität ist,
- die Teilstrahlen so geformt, fokussiert und in den Entladungsraum gerichtet werden, dass sich Strahlfokusse der Teilstrahlen impulsynchronisiert in einem Überlagerungsbereich lediglich lokal entlang einer Abstandsachse zwischen den Elektroden überlagern und entlang des Überlagerungsbereiches ein elektrisch leitfähiger Entladungskanal infolge einer Ionisierung mindestens des im Entladungsraum vorhandenen Puffergases erzeugt wird, und
- die gepulste, energiereiche Strahlung des kanalerzeugenden Strahls mit dem gepulsten Entladungsstrom derart getriggert wird, dass der Entladungskanal jeweils erzeugt wird, bevor ein Entladungsstromimpuls seinen Höchstwert erreicht.

[0011] Als gepulste energiereiche Strahlung des kanalerzeugenden Strahls wird vorteilhaft ein Laser, vorzugsweise ein Pikosekunden- oder Femtosekundenlaser, und für die des Verdampfungsstrahls ein Elektronen- oder Ionenstrahl oder ein Laserstrahl,

vorzugsweise von einem Nanosekundenlaser, verwendet.

[0012] In verschiedenen Ausführungsformen des erfindungsgemäßen Verfahrens wird mit der Verdampfung des Emittenten entweder vor, mit oder nach Erzeugung des Entladungskanals begonnen.

[0013] In einer vorteilhaften Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens werden die Teilstrahlen des kanalerzeugenden Strahls mit langgestreckten Strahltaillen geformt und unter je einem spitzen Winkel von je höchstens 15° zu einer sich zwischen den Elektroden erstreckenden Abstandsachse gerichtet und überlagert, wodurch entlang der Abstandsachse der Überlagerungsbereich gebildet wird. Dadurch wird der Entladungskanal durch einen kanalerzeugenden Strahl erzeugt, der im Wesentlichen in die gleiche Richtung wie der Entladungskanal gerichtet ist und sich ausschließlich im Überlagerungsbereich nahezu über die gesamte Länge der Abstandsachse zwischen den Elektroden zur Ionisation des Puffergases überlagert.

[0014] In einer bevorzugten Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahrens werden die Teilstrahlen mit je einem Linienfokus in einen Überlagerungsbereich entlang einer gewählten Abstandsachse zwischen den Elektroden fokussiert und überlagert, wodurch entlang der Abstandsachse ein gemeinsamer Linienfokus gebildet wird. Die Teilstrahlen können unter beliebigen Winkeln bezüglich der Abstandsachse in den Linienfokus gerichtet werden, vorzugsweise aber unter einem Winkel von ca. 90° . Die Teilstrahlen können ferner unter einem beliebigen Winkel um die Abstandsachse in den Linienfokus gerichtet werden.

[0015] Der kanalerzeugende Strahl wird vorzugsweise in Teilstrahlen gleicher Intensität aufgeteilt, kann aber auch in Teilstrahlen unterschiedlicher Intensität zur Überschreitung der Schwellintensität für die Multiphotonenionisation des Puffergases im Entladungsraum überlagert werden.

[0016] Die energiereiche Strahlung des kanalerzeugenden Strahls wird vorzugsweise mit Impulsdauern im Pikosekunden- oder Femtosekundenbereich angewendet, vorzugsweise im Bereich zwischen 1 ps und 5 ps. Die energiereiche Strahlung des Verdampfungsstrahls hat zweckmäßig Impulsdauern im Nanosekundenbereich, vorzugsweise im Bereich zwischen 5 und 20 ns.

[0017] Der Emittent wird in flüssiger oder fester Form vorteilhaft auf der Oberfläche einer rotierenden Elektrode, vorzugsweise regenerativ aufgetragen, oder aber in Tropfenform in einer regelmäßigen Tropfenfolge, die mit ihrer Fortschrittsrichtung die Abstandsachse für den zu erzeugenden Entladungskanal kreuzt, im Entladungsraum bereitgestellt.

[0018] Die Aufgabe wird weiterhin in einer Vorrichtung zur Erzeugung von EUV-Strahlung aus einem Gasentladungsplasma, mit in einem Entladungsraum vorhandenen Elektroden und einer Strahlungsquelle zur Bereitstellung eines Verdampfungsstrahls einer gepulsten, energiereichen Strahlung, dadurch gelöst, dass mindestens eine weitere Strahlungsquelle zur Bereitstellung einer gepulsten, energiereichen Strahlung eines kanalerzeugenden Strahls vorhanden ist; mindestens eine strahlteilende Einheit zur Aufteilung des kanalerzeugenden Strahls in Teilstrahlen im Strahlengang des kanalerzeugenden Strahls angeordnet ist, wobei Intensitäten der Teilstrahlen einzeln geringer als eine für einen Gasdurchbruch erforderliche Schwellintensität sind und die Summe der Intensitäten der Teilstrahlen größer als die Schwellintensität für eine Multiphotonenionisation ist, mindestens eine strahlformende Einheit zur Formung der jeweiligen Teilstrahlen und zur fokussierten, impuls-synchronisierten Überlagerung von Strahltaillen beider Teilstrahlen entlang eines Überlagerungsbereiches zwischen den Elektroden im Entladungsraum vorhanden ist, um entlang des Überlagerungsbereiches infolge einer Ionisierung mindestens des im Entladungsraum vorhandenen Puffergases einen elektrisch leitfähigen Entladungskanal zu erzeugen, und Mittel zur Synchronisation der gepulsten, energiereichen Strahlung des kanalerzeugenden Strahls mit einem gepulsten und an den Elektroden anliegenden Entladungsstrom derart eingerichtet sind, dass der Entladungskanal jeweils erzeugt ist, bevor ein Entladungsstromimpuls seinen Höchstwert erreicht.

[0019] Es ist eine im Rahmen der Erfindung liegende Ausführung, wenn die Teilstrahlen von unterschiedlichen Strahlungsquellen bereitgestellt sind.

[0020] Eine vorteilhafte Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Vorrichtung besteht darin, dass die strahlformende Einheit so ausgebildet ist, dass die Teilstrahlen auf eine sich zwischen den Elektroden erstreckende Abstandsachse gerichtet sind, wobei der Überlagerungsbereich der Teilstrahlen entlang der Abstandsachse zwischen den Elektroden ausgebildet ist.

[0021] Dabei ist die strahlformende Einheit vorteilhafterweise so ausgebildet, dass die Teilstrahlen unter spitzen Winkeln von je höchstens 15° zur Abstandsachse ausgerichtet und mit langgestreckt ausgebildeten Strahltaillen entlang der Abstandsachse zwischen den Elektroden überlagert sind. Eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Vorrichtung besteht darin, dass die strahlformende Einheit so ausgebildet ist, dass die Teilstrahlen jeweils einen Linienfokus aufweisen und im Überlagerungsbereich in einem gemeinsamen Linienfokus entlang der Abstandsachse überlagert sind. Die mindestens eine strahlteilende Einheit und die mindestens eine strahlformende Einheit sind für eine Teilung

und Formung entweder von Laserstrahlung oder anderer energiereicher Strahlung ausgebildet.

[0022] Einer besonders zweckmäßigen Realisierung der Erfindung zeichnet sich dadurch aus, dass die Elektroden zueinander parallel ausgerichtete und voneinander beabstandete scheibenförmige Elektroden sind, wobei die als Anode fungierende Elektrode einen geringeren Durchmesser als die als Kathode fungierende Elektrode aufweist, und der kanalerzeugende Strahl dicht an einem Außenrand der Anode vorbei in Richtung der Kathode ausgerichtet und in Form von zwei Teilstrahlen mittels einer strahlformenden Einheit im Überlagerungsbereich zwischen den Elektroden fokussiert ist, wobei die Fokusse als langgestreckte Lasertailen ausgebildet sind. Eine dazu vorteilhaft modifizierte Variante besteht darin, dass die Elektroden zueinander parallel ausgerichtete und voneinander beabstandete umlaufende bandförmige Elektroden sind, die über Bereiche ihrer Oberfläche durch je eine Wanne, enthaltend einen flüssigen Emittenten, geführt sind und der kanalerzeugende Strahl dicht an der als Anode fungierenden Elektrode vorbei entlang der Abstandsachse auf die Kathode gerichtet ist.

[0023] In einer weiteren Realisierungsform sind die Elektroden zwei scheibenförmige und sich um je eine Drehachse D drehende Elektroden mit einander in einem Bereich angenäherten Umfangsflächen, wobei entlang der Abstandsachse zwischen den Elektroden die Teilstrahlen des kanalerzeugenden Strahls in einem gemeinsamen Linienfokus überlagert sind.

[0024] Der Emittent kann vorteilhaft mindestens in einem Oberflächenbereich um den Fußpunkt der Abstandsachse einer der Elektroden (z. B. Kathode) auf der der anderen Elektrode (z. B. Anode) zugewandten Oberfläche in fester oder flüssiger Form bereitgestellt werden. Dabei rotiert die Elektrode um eine Symmetrieachse und wird vorzugsweise regenerativ beschichtet. In einer zweiten zweckmäßigen Art und Weise wird der Emittent in Tropfenform zwischen den Elektroden als eine Tropfenfolge, die mit ihrer Fortschrittsrichtung die Abstandsachse für den zu erzeugenden Entladungskanal kreuzt, bereitgestellt.

[0025] Die Erfindung basiert auf der Grundüberlegung, dass die Konversionseffizienz bei der Erzeugung von EUV-Strahlung aus einem Entladungsplasma noch dadurch gesteigert werden kann, dass für die elektrische Entladung ein eng definierter lokaler Entladungskanal vorgegeben wird, der den Entladungsstrom zwischen den Elektroden ausschließlich durch den verdampften Emittenten fließen lässt.

[0026] Gemäß der Erfindung wird diese Grundüberlegung realisiert, indem zeitlich vor dem Entladungsvorgang zwischen den Elektroden ein um eine Abstandsachse lokal begrenzter, von Oberfläche

zu Oberfläche der Elektroden ausgerichteter, elektrisch leitfähiger Entladungskanal im Puffergas erzeugt wird, ohne dass andernorts im Entladungsraum hohe Intensitäten (W/cm^2) der zur Vorbereitung der elektrischen Gasentladung verwendeten energiereichen Strahlung vorliegen. Dies wird dadurch erreicht, dass infolge einer räumlichen Aufteilung des kanalerzeugenden Strahls in zwei Teilstrahlen mit aufgeteilter Intensität die gepulste, energiereiche Strahlung des kanalerzeugenden Strahls durch den Entladungsraum hindurch bis zu dem lokalisiert definierten Ort des gewünschten Entladungskanals transportiert wird, ohne dass die einzelnen Teilstrahlen außerhalb des Ortes ihrer Überlagerung einen Grad von Ionisierung des Gases zwischen den Elektroden erzeugen, die bei der elektrischen Entladung zu einem unerwünschten Gasdurchbruch führen.

[0027] Bei der Erzeugung des Entladungskanals kommt als entscheidender Ionisationsprozess die sogenannte Multiphotonenionisation zur Wirkung. Dabei ist die Zahl der in dem Puffergas erzeugten Ionenpaare proportional zu I^k , wobei I (W/cm^2) die Intensität des Laserimpulses und der Exponent k eine Zahl > 1 ist. Beispielsweise beträgt bei Verwendung eines Nd:YAG-Lasers als Quelle des kanalerzeugenden Strahls und Argon als Puffergas der Wert für k etwa 10. Da die Multiphotonenionisation ein unmittelbarer Prozess ist, d. h. die Ionen werden innerhalb einer Impulsdauer des kanalerzeugenden Strahls erzeugt, ist die Multiphotonenionisation umso effektiver, je kurzwelliger die Strahlung (z. B. $< 1 \mu\text{m}$ Wellenlänge) und je höher die Spitzenintensität des kanalerzeugenden Strahls ist. Dabei erfolgt bei einer Schwellintensität, die unter anderem von dem gewählten Puffergas abhängig ist, eine lawinenartige Ionisation, sodass der Ionisationsgrad bei geringfügigem Überschreiten der Schwellintensität sprunghaft von Werten mit weniger als 1% Ionisation bis hin zur vollständigen Ionisation ansteigt. Um einen Entladungskanal in der oben beschriebenen Art erzeugen zu können, müssen Impulse der Teilstrahlen gleichzeitig, d. h. impulssynchronisiert, im Überlagerungsbereich eintreffen. Dabei ist es nicht von Bedeutung, ob die Impulse der Teilstrahlen ursprünglich von demselben oder von verschiedenen Impulsen des kanalerzeugenden Strahls oder sogar von unterschiedlichen Strahlungsquellen stammen. Eine an die Elektroden angelegte gepulste Hochspannung wird gegenüber den Impulsen des kanalerzeugenden Strahls so getriggert, dass ein Entladungsstromimpuls zwischen den Elektroden seinen Höchstwert erreicht, nachdem der Entladungskanal erzeugt ist, so dass ein Gasdurchbruch entlang des durch das ionisierte Puffergas erzeugten Entladungskanals erfolgt und der dadurch fließende Entladungsstrom das Gasentladungsplasma erzeugt.

[0028] Durch die Erfindung wird eine Möglichkeit aufgezeigt, wie ein, in seiner räumlichen Lage und

Form sowie einer zeitlichen Ausprägung klar definierter und reproduzierbarer Bereich hoher Energiedichte in dem Entladungsraum geschaffen werden kann, der Ausgangspunkt für die Erzeugung eines lokal begrenzten Gasentladungsplasmas ist. Die Erfindung erlaubt neben einer Steigerung der Konversionseffizienz auch eine hohe räumliche Stabilität des Ortes der Entstehung der EUV-Strahlung, wodurch eine EUV-Strahlung mit verbesserter Impuls-zu-Impuls-Stabilität bereitgestellt wird.

[0029] Die Erfindung wird nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen und Abbildungen näher erläutert. Dabei zeigen:

[0030] **Fig. 1:** eine schematische Prinzipdarstellung einer erfindungsgemäßen Vorrichtung;

[0031] **Fig. 2:** eine schematische Darstellung eines Ausschnitts eines Strahlengangs einer ersten erfindungsgemäßen Vorrichtung mit strahlformender Einheit und Fokusvolumen;

[0032] **Fig. 3:** eine schematische Darstellung eines Ausschnitts eines Strahlengangs einer zweiten erfindungsgemäßen Vorrichtung mit strahlformender Einheit und Linienfokus;

[0033] **Fig. 4:** eine erste Ausführung der erfindungsgemäßen Vorrichtung mit rotierenden Elektroden unterschiedlicher Durchmesser a) mit festem oder flüssigem Emittenten auf einer Elektrodenoberfläche und b) mit flüssigem Emittenten, der als Tropfenfolge zwischen den Elektroden eingebracht wird;

[0034] **Fig. 5:** eine zweite Ausführung der erfindungsgemäßen Vorrichtung mit umlaufenden Bandlektroden a) mit festem Emittenten auf einer der Bandlektroden und b) mit flüssigem Emittenten, der als Tropfenfolge zwischen den Elektroden eingebracht wird;

[0035] **Fig. 6:** eine dritte Ausführung der erfindungsgemäßen Vorrichtung mit einem Linienfokus zwischen schrägen rotierenden Elektroden a) mit festem Emittenten auf einer Elektrodenoberfläche und b) mit flüssigem Emittenten, der als Tropfenfolge zwischen den Elektroden eingebracht wird.

[0036] Der grundsätzliche Aufbau einer Anordnung für die Erzeugung eines kanalerzeugenden Strahls **4** zur Schaffung eines lokal eng begrenzten Gasentladungsplasmas umfasst gemäß **Fig. 1** eine Strahlungsquelle **1.1** zur Bereitstellung einer gepulsten, energiereichen Strahlung eines kanalerzeugenden Strahls **4**, eine strahlengangseitig der Strahlungsquelle **1.1** angeordnete strahlteilende Einheit **11** zur Aufteilung des kanalerzeugenden Strahls **4** in zwei Teilstrahlen **4.1**, **4.2** und eine strahlformende Einheit **13** zur Formung der Teilstrahlen **4.1**, **4.2** zur Erzielung von Fokusbe-

reichen (Strahltaillen) der Teilstrahlen **4.1**, **4.2** und einer impulsynchronisierten Überlagerung der Strahltaillen der Teilstrahlen **4.1**, **4.2** in einem Entladungsraum **6** zwischen zwei, in dem Entladungsraum **6** befindlichen, Elektroden **2**. Ferner ist eine Strahlungsquelle **1.2** zur Bereitstellung einer gepulsten energiereichen Strahlung eines Verdampfungsstrahls **5** zur Verdampfung eines Emittenten **3** vorhanden. In den Strahlengängen der Teilstrahlen **4.1**, **4.2** sind strahlumlenkende Elemente **12** angeordnet, durch welche die Teilstrahlen **4.1**, **4.2** auf unterschiedlichen Strahlpfaden in einen Überlagerungsbereich zwischen den Elektroden **2** geführt sind.

[0037] Die Impulse der Strahlung des kanalerzeugenden Strahls **4** sind als Dreiecke symbolisiert, deren Intensitäten I , I_1 , I_2 durch die Höhe und die Fläche der Dreiecke schematisch gezeigt sind.

[0038] Der kanalerzeugende Strahl **4** ist nach dem Durchlaufen der strahlteilenden Einheit **11** in einen ersten Teilstrahl **4.1** mit einer Intensität I_1 und einen zweiten Teilstrahl **4.2** mit einer Intensität I_2 , wobei $I_1 = I_2$ ist, aufgeteilt. Mittels der strahlumlenkenden Elemente **12** sind die Teilstrahlen **4.1**, **4.2** geführt und auf die strahlformende Einheit **13** gerichtet, wobei Impulse der energiereichen Strahlung des kanalerzeugenden Strahls **4** impulsynchron an der strahlformenden Einheit **13** ankommen. Durch Wirkung der strahlformenden Einheit **13** sind die Teilstrahlen **4.1**, **4.2** zueinander konvergierend zwischen die Elektroden **2** in den Entladungsraum **6** gerichtet, wodurch sich die Fokusse (Strahltaillen) die Teilstrahlen **4.1**, **4.2** über einen Überlagerungsbereich **15** überlagern und durchdringen.

[0039] In einer ersten Ausführung der erfindungsgemäßen Vorrichtung sind gemäß [Fig. 2](#) eine Anode **2.1** und eine Kathode **2.2** als zueinander parallel ausgerichtete und voneinander beabstandete scheibenförmige Elektroden **2** vorhanden. Der Durchmesser der Anode **2.1** ist geringer als der Durchmesser der Kathode **2.2**. In einem Entladungsraum **6** zwischen den Elektroden **2** befindet sich ein Puffergas **7**.

[0040] Senkrecht zu den Oberflächen der Elektroden **2** ist parallel zu einer Symmetrieachse (nicht gezeigt), die durch die Mittelpunkte der Elektroden **2** verläuft, eine Abstandsachse **10** definiert, die vom Außenrand der Anode **2.1** auf die Oberfläche der Kathode **2.2** gerichtet ist. Die Abstandsachse **10** soll im Idealfall als lotrecht (als kürzeste Abstandslinie zwischen den Elektroden) verstanden werden, von der aber abgewichen werden kann, wenn die Elektrodengeometrie eine Einstrahlung auf die kürzeste Abstandslinie nicht zulässt oder dies technisch zu aufwändig wäre. Die Elektroden **2** stehen mit einer gesteuerten elektrischen Stromversorgung **9** in Verbindung und sind durch diese gesteuert mit einem gepulsten Entladungsstrom versorgt. Die Impulsfol-

gefrequenzen der Strahlung des kanalerzeugenden Strahls **4** und des Entladungsstroms sind so aufeinander abgestimmt und zueinander versetzt, dass entlang der Abstandsachse **10** in dem Überlagerungsbereich **15** durch Ionisierung des Puffergases **7** ein Entladungskanal **8** (gestrichelt angedeutet) erzeugt ist, bevor ein Impuls des Entladungsstroms seinen Höchstwert erreicht. Eine solche Stromversorgung **9** ist in allen beschriebenen Ausführungsbeispielen vorhanden.

[0041] Die gepulste Strahlung des Verdampfungsstrahls **5** weist eine Impulsenergie pro Flächeneinheit von 5 mJ/cm^2 und eine Impulsdauer von 5 ns auf. In modifizierten Ausführungen der Erfindung kann die gepulste Strahlung des Verdampfungsstrahls **5** Impulsenergien von $> 5 \text{ mJ/cm}^2$ und Impulsdauern in einem Bereich von deutlich mehr als 5 ns , vorzugsweise zwischen 5 ns und 20 ns , aufweisen. Der Verdampfungsstrahl **5** kann unter jedem Winkel, der einen freien Verlauf des Strahlengangs des Verdampfungsstrahls **5** erlaubt, auf den zu verdampfenden Emittenten **3** gerichtet werden.

[0042] Weiterhin ist eine strahlformende Einheit **13**, bestehend aus einer ersten und einer zweiten strahlformenden Optikeinheit **13.1** und **13.2** in Form zweier Zylinderlinsen, vorhanden. Die erste und die zweite strahlformende Optikeinheit **13.1** und **13.2** liegen bezüglich der Abstandsachse **10** auf verschiedenen Seiten und sind gleichartig gestaltet. Gepulste energiereiche Strahlung des ersten Teilstrahls **4.1** ist durch die erste strahlformende Optikeinheit **13.1** und die energiereiche Strahlung des zweiten Teilstrahls **4.2** durch die zweite strahlformende Optikeinheit **13.2**, sind jeweils aus Richtung der Anode **2.1** unter Winkeln **14** von $\pm 15^\circ$ zur Abstandsachse **10** (nicht maßstäblich gezeichnet) in den Überlagerungsbereich **15** gerichtet. Dabei sind die Teilstrahlen **4.1**, **4.2** so geformt, dass sich ihre langgestreckten Strahltaillen in dem Überlagerungsbereich **15** überschneiden und durchdringen. Der Durchmesser der Anode **2.1** ist geringer als der Durchmesser der Kathode **2.2** ausgeführt. Deshalb streichen die fokussierten Teilstrahlen **4.1** und **4.2** dicht an einem Außenrand der Anode **2.1** vorbei auf eine der Anode **2.1** zugewandte Oberfläche der Kathode **2.2**. Die Teilstrahlen **4.1** und **4.2** überschneiden sich dabei entlang der Abstandsachse **10** in einem Überschneidungsbereich **15** beginnend vor der Anode **2.1** bis zu der der Anode **2.1** zugewandten Oberfläche der Kathode **2.2**. Da die Impulse der energiereichen Strahlung des kanalerzeugenden Strahls **4** impulsynchronisiert an der strahlformenden Einheit **13** ankommen und die strahlformenden Optikeinheiten **13.1** und **13.2** gleich weit entfernt von dem Überlagerungsbereich **15** angeordnet sind, überlagern sich die Strahlungen der Teilstrahlen **4.1**, **4.2** über den Überlagerungsbereich **15** auch impulsynchron. Die ersten und zweiten Intensitäten I_1 und I_2 summieren sich im Überlagerungsbereich

15 in dem Maße auf, wie sich die Teilstrahlen **4.1** und **4.2** durchdringen. Die Dimensionen und Anordnung des Entladerraumes **6**, der strahlformenden Einheit **13** sowie des Winkels **14** sind so gewählt, dass die additive Wirkung der ersten und zweiten Intensitäten **I1** und **I2** über eine Länge **16**, die gleich dem Abstand der Elektroden **2** entlang der Abstandsachse **10** ist, eine Schwellintensität, die für einen Gasdurchbruch in dem Puffergas **7** erforderlich ist, übersteigt, bevor ein an den Elektroden **2** angelegter Impuls eines Entladungsstroms seinen Höchstwert erreicht. Der erste und der zweite Teilstrahl **4.1**, **4.2** enden jeweils auf der Oberfläche der Kathode **2.2**, wo deren Energie dissipiert und durch Wärmeleitung abgeführt wird. Durch die Ionisierung des Puffergases **7** entlang der Abstandsachse **10** wird ein Entladungskanal **8** in dem Puffergas **7** erzeugt, durch den ein Stromfluss zwischen den Elektroden **1** des Entladungskanals **8** möglich ist. Zu der kanalerzeugenden synchronen Überlagerung der Impulse der Teilstrahlen **4.1**, **4.2** wird in unmittelbarer zeitlicher Nähe, nämlich (abhängig vom Verdampfungsverhalten des Emittenten **3**) kurz zuvor, gleichzeitig oder kurz danach, ein auf der Oberfläche der Kathode **2.2** aufgebracht Emittent **3** durch den Verdampfungsstrahl **5** verdampft. Der Impuls des Verdampfungsstrahls **5** ist zum Impuls des Entladungsstroms ebenfalls so getriggert, dass die Verdampfung des Emittenten **3** vor Erreichen des Höchstwertes des Entladungsstromes vollzogen ist.

[0043] In weiteren Ausführungen der erfindungsgemäßen Vorrichtung kann ein Emittent **2** in Tropfenform mit einer kontinuierlichen Tropfenfolge bereitgestellt sein.

[0044] Außerdem können die Teilstrahlen **4.1**, **4.2** in weiteren Ausführungen unter anderen Winkeln in den Überlagerungsbereich **15** gerichtet sein.

[0045] In einer zweiten Ausführung der Erfindung sind – wie in **Fig. 3** als Prinzipdarstellung gezeigt – der erste und der zweite Teilstrahl **4.1**, **4.2** jeweils mit einem Linienfokus **17** in den Überlagerungsbereich **15** gerichtet, der entlang der Abstandsachse **10** und senkrecht zur Einfallsrichtung der Teilstrahlen **4.1**, **4.2** verläuft. Als Strahlungsquelle **1.1** dient bevorzugt ein Nd:YAG-Laser mit einstellbaren Laserimpulsdauern im Bereich von 1 ps bis 5 ps. Der Strahlquerschnitt wird mittels eines in der strahlformenden Einheit **13** enthaltenen Teleskops aufgeweitet und mittels einer Zylinderlinse zu je einem Linienfokus ausgebildet und in die Abstandsachse **10** gerichtet. Durch die sich überlagernden Teilstrahlen **4.1**, **4.2** wird entlang der Abstandsachse **10** ein gemeinsamer Linienfokus **17** gebildet. Hinter dem gemeinsamen Linienfokus **17** divergieren die Teilstrahlen **4.1**, **4.2** in unterschiedliche Richtungen, sodass nur im Überlagerungsbereich **15** ihrer einzelnen Linienfokusse entlang der Abstandsachse **10** eine hinreichende Inten-

sität des Energiestrahls für die Ionisierung des Puffergases **7** (nicht gezeigt) erreicht und ein Gasdurchbruchkanal erzeugt wird. Für die Intensitäten **I1** und **I2** der beiden Teilstrahlen **4.1**, **4.2** gilt $I1 \neq I2$ und $I1 + I2 >$ Schwellintensität. Impulse der energiereichen Strahlung des kanalerzeugenden Strahls **4** der Teilstrahlen **4.1**, **4.2** durchlaufen impulsynchron die strahlformende Einheit **13**. Ein Impuls hat dabei jeweils eine Dauer von 1 ps. Die erfindungsgemäße Führung der Teilstrahlen **4.1**, **4.2** auf unterschiedlichen Strahlpfaden bewirkt eine hohe räumliche Auflösung senkrecht zur Längsausdehnung des gemeinsamen Linienfokus **17**. Die Querausdehnung des Linienfokus **17** beträgt senkrecht zur Abstandsachse **10** weniger als 0,5 mm.

[0046] Die Schwellintensität der Multiphotonenionisation zur Erzeugung eines Gasdurchbruchs im Entladungsraum **6** wird räumlich klar begrenzt und ausschließlich in dem gemeinsamen Linienfokus **17** erreicht und überschritten.

[0047] In einer dritten Variante der erfindungsgemäßen Vorrichtung gemäß **Fig. 4a** wird die in **Fig. 2** beschriebene Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahrens angewendet. Es sind zwei, sich um eine Drehachse **D** drehende, scheibenförmige Elektroden **2**, nämlich eine Anode **2.1** und eine Kathode **2.2**, vorhanden. Der Durchmesser der Anode **2.1** ist geringer als der Durchmesser der Kathode **2.2**. Der kanalerzeugende Strahl **4** ist dicht an dem Außenrand der Anode **2.1** vorbeistreichend ausgerichtet und in Form von zwei Teilstrahlen **4.1**, **4.2** mittels einer strahlformenden Einheit **13** im Überlagerungsbereich **15** zwischen den Elektroden **2** fokussiert, wobei die Fokusse als langgestreckte Lasertailen ausgebildet sind, wie sie in **Fig. 2** dargestellt sind. Auf den Fußpunkt des Überlagerungsbereichs **15** auf der Oberfläche der Kathode **2.2** ist zudem ein Verdampfungsstrahl **5** einer gepulsten energiereichen Strahlung gerichtet. Durch den Verdampfungsstrahl **5** wird ein auf der Kathode **2.2** befindlicher Emittent **3** verdampft, während noch durch den kanalerzeugenden Strahl **4** zwischen den Elektroden **2** ein Entladungskanal **8** erzeugt wird.

[0048] Die in der in **Fig. 4b** gezeigte Elektrodenanordnung entspricht der in **Fig. 4a** beschriebenen, jedoch sind hier ein gemeinsamer Linienfokus **17** gemäß **Fig. 3** und ein tröpfchenförmiger Emittent **3** in dem Überlagerungsbereich **15** vorhanden. Der kanalerzeugende Strahl **4** wird dabei aus einer seitlichen, annähernd parallel zu den Elektrodenoberflächen Richtung auf die Abstandsachse **10** im Entladungsraum **6** gerichtet. Der Verdampfungsstrahl **5** ist so in den Entladungsraum **6** gerichtet und so gesteuert, dass durch diesen einzelne Tröpfchen des Emittenten **3** verdampft werden. Die regelmäßige Bereitstellung des Emittenten **3** erfolgt gemäß dem bekannten Stand der Technik.

[0049] Ein Tröpfchen hat einen Durchmesser von rund 100 µm. Nach seiner Verdampfung durch den Verdampfungsstrahl **5** beginnt der Entladungsstrom zwischen den Elektroden **2** und entlang des Entladungskanals **8** zu fließen. Durch den Entladungsstrom wird das verdampfte Tröpfchen aufgeheizt. Eine optimale EUV-Emission wird bei einer Temperatur kT zwischen 3 und 40 eV erreicht. Während der Aufheizung des Tröpfchens dehnt sich dieses, und somit auch das EUV-Strahlung emittierende Gebiet, mit einer Geschwindigkeit von 10 bis 20 µm/ns sehr schnell aus. Hat das emittierende Gebiet eine Ausdehnung von > 0,8 mm kommt es in Abhängigkeit von der Etendue des vorhandenen optischen Systems, zu Abschattungen an Aperturen im optischen System und damit zu Strahlungsverlusten entlang des Lichtweges. Um das zu vermeiden, ist der Aufheizprozess hinreichend schnell gestaltet. Das Tröpfchen ist anfangs im Durchmesser kleiner als der effektive Durchmesser des Entladungsstromes. Daher skaliert die Geschwindigkeit des Aufheizens des Tröpfchens mit der Stromdichte (A/mm²). Eine Stromdichteerhöhung wird gerade durch den zusätzlichen engen Entladungskanal **8** erreicht.

[0050] Wird der kanalerzeugende Strahl **4** mit verkürzter Wellenlänge und verkürzter Impulsdauer betrieben, ist der kanalerzeugende Strahl **4** als Verdampfungsstrahl **5** eines tröpfchenförmigen Emittenten **3** verwendbar.

[0051] Eine weitere Ausführung der erfindungsgemäßen Vorrichtung mit umlaufenden, bandförmigen Elektroden **2**, die über Bereiche ihrer Oberfläche durch je eine Wanne **18** geführt sind, ist in [Fig. 5a](#) gezeigt. Die Wannen **18** enthalten flüssiges Zinn, welches auf der Oberfläche der Elektroden **2** haften bleibt. Der Verdampfungsstrahl **5** ist in einem Bereich der Oberfläche einer Elektrode **2** auf den Emittenten **3** fokussiert. Der kanalerzeugende Strahl **4** ist so gerichtet, dass ein Entladungskanal **8** zwischen den Elektroden **2** ausgebildet wird.

[0052] Die [Fig. 5b](#) zeigt eine gerade beschriebene erfindungsgemäße Vorrichtung mit tröpfchenförmigen Emittenten **3**.

[0053] Die in [Fig. 3](#) dargestellte und erläuterte Ausführungsmöglichkeit des Verfahrens ist in einer Ausführung gemäß den [Fig. 6a](#) und [Fig. 6b](#) nochmals in einer modifizierten Konfiguration der Elektroden **2** angewendet. In der [Fig. 6a](#) ist ein Linienfokus **17** gezeigt, der in einem Entladungsraum **6** erzeugt ist, wobei der Entladungsraum **6** zwischen den sich in einem Bereich genäherten Umfangsflächen **2.3** zweier scheibenförmiger und sich um je eine Drehachse **D** drehende Elektroden **2** befindet. Durch den Verdampfungsstrahl **5** wird ein Emittent **3** auf der Oberfläche einer der Elektroden **2** verdampft, während durch Wirkung des kanalerzeugender Strahls **4**

der Entladungskanal **8** orthogonal zur Richtung der Strahlengänge der ersten und zweiten Teilstrahlen **4.1**, **4.2** gebildet ist. Eine weitere Ausführung, bei der ein Emittent **3** in Tropfenform aber kein Verdampfungsstrahl **5** vorhanden ist, zeigt [Fig. 6b](#). Der Emittent **3** ist in Tropfenform mit einer regelmäßigen Tropfenform senkrecht über den Linienfokus **17** so bereitgestellt, dass ein Tropfen des Emittenten **3** dann in den Linienfokus **17** hinein fällt, wenn der Entladungskanal **8** erzeugt wird und sich die Entladespannung an den Elektroden **2** ihrem Höchstwert nähert. Die Verdampfung des Emittenten **3** erfolgt dann durch die Wirkung des Impulses der summierten Intensitäten der Teilstrahlen **4.1**, **4.2** in dem gemeinsamen Linienfokus **17**, wobei eine größere Impulsdauer (ns-Bereich) gewählt und gegebenenfalls zusätzlich eine kürzere Wellenlänge eingesetzt werden muss. Durch die Verdampfung des Emittenten **3** direkt in einem Bereich des Entladungskanals **8** wird ein örtlich und zeitlich definierter Entladungskanal **8** aus ionisiertem Puffergas **7** und verdampftem Emittenten **3** zwischen den Elektroden **2** erzeugt, bevor der Entladungsstrom zwischen den Elektroden **2** seinen Höchstwert erreicht und die Konversion des verdampften Emittenten **3** in das EUV-emittierende Gasentladungsplasma bewirkt.

[0054] Das erfindungsgemäße Verfahren und die erfindungsgemäßen Vorrichtungen sind bei allen Systemen mit rotierenden Elektroden oder Elektroden in Form von laufenden Bändern oder Drähten und der Verwendung von dichten, heißen Entladungsplasmen vom Pinch-Typ verwendbar. Die Anwendung richtet sich vorzugsweise auf die EUV-Lithographie, insbesondere im Spektralband von $13,5 \pm 0,135$ nm, das dem Reflexionsbereich der typischerweise verwendeten Wechschelschichtoptiken (Multilayeroptiken) mit Mo/Si-Schichten entspricht, ist aber nicht darauf beschränkt.

Bezugszeichenliste

1.1	Strahlungsquelle (der Strahlung des kanalerzeugenden Strahls)
1.2	Strahlungsquelle (der Strahlung des Verdampfungsstrahls)
2	Elektrode
2.1	Anode
2.2	Kathode
2.3	Umfangsfläche (der Elektrode)
3	Emittent
4	kanalerzeugender Strahl
4.1	erster Teilstrahl
4.2	zweiter Teilstrahl
5	Verdampfungsstrahl
6	Entladungsraum
7	Puffergas
8	Entladungskanal
9	Stromversorgung
10	Abstandsachse

11	strahlteilende Einheit
12	strahlumlenkendes Element
13	strahlformende Einheit
13.1	erste Optikeinheit
13.2	zweite Optikeinheit
14	Winkel
15	Überlagerungsbereich
16	Länge
17	gemeinsamer Linienfokus
18	Wanne
I	Intensität
I1	Intensität (des ersten Teilstrahles 4.1)
I2	Intensität (des zweiten Teilstrahles 4.2)
D	Drehachse

Patentansprüche

1. Verfahren zur Erzeugung von EUV-Strahlung aus einem Gasentladungsplasma, bei dem ein Emittent in einem zwischen Elektroden befindlichen und mindestens ein Puffergas enthaltenden Entladungsraum durch Bestrahlung mit gepulster energiereicher Strahlung eines Verdampfungsstrahls verdampft und mittels eines zwischen den Elektroden erzeugten gepulsten Entladungsstroms in ein EUV-Strahlung emittierendes Entladungsplasma überführt wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass

- ein kanalerzeugender Strahl (**4**) einer gepulsten energiereichen Strahlung in mindestens zwei Teilstrahlen (**4.1**, **4.2**) zusätzlich zum Verdampfungsstrahl (**1.1**) bereitgestellt wird, wobei Intensitäten (I1, I2) der einzelnen Teilstrahlen (**4.1**, **4.2**) geringer als eine für einen Gasdurchbruch erforderliche Schwellintensität sind und die Summe der Intensitäten (I1, I2) der Teilstrahlen (**4.1**, **4.2**) größer als die Schwellintensität ist,
- die Teilstrahlen (**4.1**, **4.2**) so geformt, fokussiert und in den Entladungsraum (**6**) gerichtet werden, dass sich Strahlfokusse der Teilstrahlen (**4.1**, **4.2**) impuls-synchronisiert in einem Überlagerungsbereich (**15**) lediglich lokal entlang einer Abstandsachse (**10**) zwischen den Elektroden (**2**) überlagern und entlang des Überlagerungsbereiches (**15**) ein elektrisch leitfähiger Entladungskanal (**8**) infolge einer Ionisierung mindestens des im Entladungsraum (**6**) vorhandenen Puffergases (**7**) erzeugt wird, und
- die gepulste, energiereiche Strahlung des kanalerzeugenden Strahls (**4**) mit dem gepulsten Entladungsstrom derart getriggert wird, dass der Entladungskanal (**8**) jeweils erzeugt wird, bevor ein Entladungsstromimpuls seinen Höchstwert erreicht.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass vor der Erzeugung des Entladungskanals (**8**) eine Verdampfung des Emittenten (**3**) begonnen wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass zeitgleich mit der Erzeugung des Entladungskanals (**8**) eine Verdampfung des Emittenten (**3**) begonnen wird.

4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass unmittelbar nach der Erzeugung des Entladungskanals (**8**) eine Verdampfung des Emittenten (**3**) begonnen wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Teilstrahlen (**4.1**, **4.2**) des kanalerzeugenden Strahls (**4**) mit langgestreckten Strahltaillen geformt werden und unter je einem spitzen Winkel (**14**) von je höchstens 15° zu einer sich zwischen den Elektroden (**2**) erstreckenden Abstandsachse (**10**) gerichtet und überlagert werden, wodurch entlang der Abstandsachse (**10**) der Überlagerungsbereich (**15**) gebildet wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Teilstrahlen (**4.1**, **4.2**) jeweils mit einem Linienfokus in einen Überlagerungsbereich (**15**) entlang einer gewählten Abstandsachse (**10**) zwischen den Elektroden (**2**) fokussiert und überlagert werden, wodurch entlang der Abstandsachse (**10**) ein gemeinsamer Linienfokus (**17**) gebildet wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die energiereiche Strahlung des Verdampfungsstrahls (**5**) mit Impulsdauern im Nanosekundenbereich und die Strahlung des kanalerzeugenden Strahls (**4**) mit Impulsdauern im Pikosekundenbereich oder darunter verwendet werden.

8. Vorrichtung zur Erzeugung von EUV-Strahlung aus einem Gasentladungsplasma, mit in einem Entladungsraum vorhandenen Elektroden und einer Strahlungsquelle zur Bereitstellung eines Verdampfungsstrahls einer gepulsten, energiereichen Strahlung, dadurch gekennzeichnet, dass

- mindestens eine weitere Strahlungsquelle (**1.1**) zur Bereitstellung einer gepulsten, energiereichen Strahlung eines kanalerzeugenden Strahls (**4**) vorhanden ist;
- mindestens eine strahlteilende Einheit (**11**) zur Aufteilung des kanalerzeugenden Strahls (**4**) in Teilstrahlen (**4.1**, **4.2**) im Strahlengang des kanalerzeugenden Strahls (**4**) angeordnet ist, wobei Intensitäten (I1, I2) der Teilstrahlen (**4.1**, **4.2**) einzeln geringer als eine für einen Gasdurchbruch erforderliche Schwellintensität sind und die Summe der Intensitäten (I1, I2) der Teilstrahlen (**4.1**, **4.2**) größer als die Schwellintensität für eine Multiphotonenionisation ist,
- mindestens eine strahlformende Einheit (**13**) zur Formung der jeweiligen Teilstrahlen (**4.1**, **4.2**) und zur fokussierten, impuls-synchronisierten Überlagerung von Strahltaillen beider Teilstrahlen (**4.1**, **4.2**) entlang eines Überlagerungsbereiches (**15**) zwischen den Elektroden (**2**) im Entladungsraum (**6**) vorhanden ist, um entlang des Überlagerungsbereiches (**15**) infolge einer Ionisierung mindestens des im Entladungsraum (**6**) vorhandenen Puffergases (**7**) einen

elektrisch leitfähigen Entladungskanal (8) zu erzeugen, und

– Mittel zur Synchronisation der gepulsten, energiereichen Strahlung des kanalerzeugenden Strahls (4) mit einem gepulsten und an den Elektroden (2) anliegenden Entladungsstrom derart eingerichtet sind, dass der Entladungskanal (8) jeweils erzeugt ist, bevor ein Entladungsstromimpuls seinen Höchstwert erreicht.

9. Vorrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die strahlformende Einheit (13) so ausgebildet ist, dass die Teilstrahlen (4.1, 4.2) auf eine sich zwischen den Elektroden (2) erstreckende Abstandsachse (10) gerichtet sind, wobei der Überlagerungsbereich (15) entlang der Abstandsachse (10) der Teilstrahlen (4.1, 4.2) ausgebildet ist.

10. Vorrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die strahlformende Einheit (13) so ausgebildet ist, dass die Teilstrahlen jeweils einen Linienfokus aufweisen und im Überlagerungsbereich (15) in einem gemeinsamen Linienfokus (17) entlang der Abstandsachse (10) überlagert sind.

11. Vorrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die strahlformende Einheit (13) so ausgebildet ist, dass die Teilstrahlen (4.1, 4.2) mit langgestreckten Strahltaillen ausgebildet und unter spitzen Winkeln (14) von je höchstens 15° zur Abstandsachse (10) entlang der Abstandsachse (10) überlagert sind.

12. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 9 oder 11 dadurch gekennzeichnet, dass die Elektroden (2) zueinander parallel ausgerichtete und voneinander beabstandete scheibenförmige Elektroden (2) sind, wobei die als Anode (2.1) fungierende Elektrode (2) einen geringeren Durchmesser als die als Kathode (2.2) fungierende Elektrode (2) aufweist, und der kanalerzeugende Strahl (4) dicht an einem Außenrand der Anode (2.1) vorbei in Richtung der Kathode (2.2) ausgerichtet und in Form von zwei Teilstrahlen (4.1, 4.2) mittels einer strahlformenden Einheit (13) im Überlagerungsbereich (15) zwischen den Elektroden (2) fokussiert ist, wobei die Fokusse als langgestreckte Lasertailen ausgebildet sind.

13. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 9, 11 oder 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Elektroden (2) zueinander parallel ausgerichtete und voneinander beabstandete, umlaufende bandförmige Elektroden (2) sind, die über Bereiche ihrer Oberfläche durch je eine Wanne (18), enthaltend einen flüssigen Emittenten (3), geführt sind und der kanalerzeugende Strahl (4) dicht an der als Anode (2.1) fungierenden Elektrode (2) vorbei entlang der Abstandsachse (10) auf die Kathode (2.2) gerichtet ist.

14. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 10 oder 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Elektroden (2) zwei scheibenförmige und sich um je eine Drehachse (D) drehende Elektroden (2) mit einander in einem Bereich genäherten Umfangsflächen (2.3) sind und entlang der Abstandsachse (10) zwischen den Elektroden (2) die Teilstrahlen (4.1, 4.2) in einem gemeinsamen Linienfokus (17) überlagert sind.

15. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 12 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass der Emittent (3) auf einer der Anode (2.1) zugewandten Oberfläche der Kathode (2.2) mindestens in einem Oberflächenbereich um einen Fußpunkt der Abstandsachse (10) auf der Kathode (2.2) vorhanden ist.

16. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 12 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass der Emittent (3) in Tropfenform zwischen den Elektroden (2) in einer Tropfenfolge, deren Fortbewegungsrichtung die Abstandsachse (10) kreuzt, bereitgestellt ist.

Es folgen 9 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

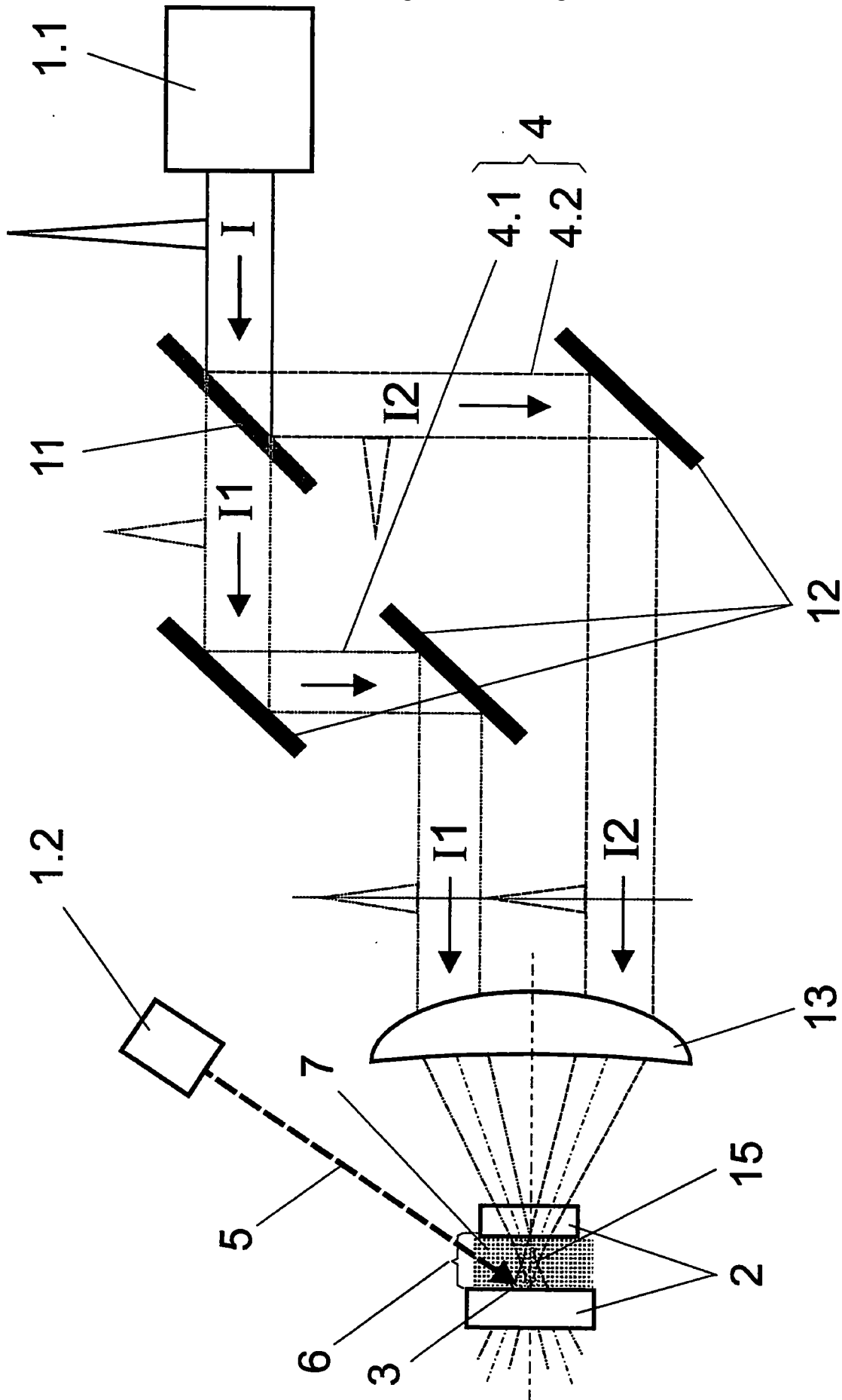


Fig. 1

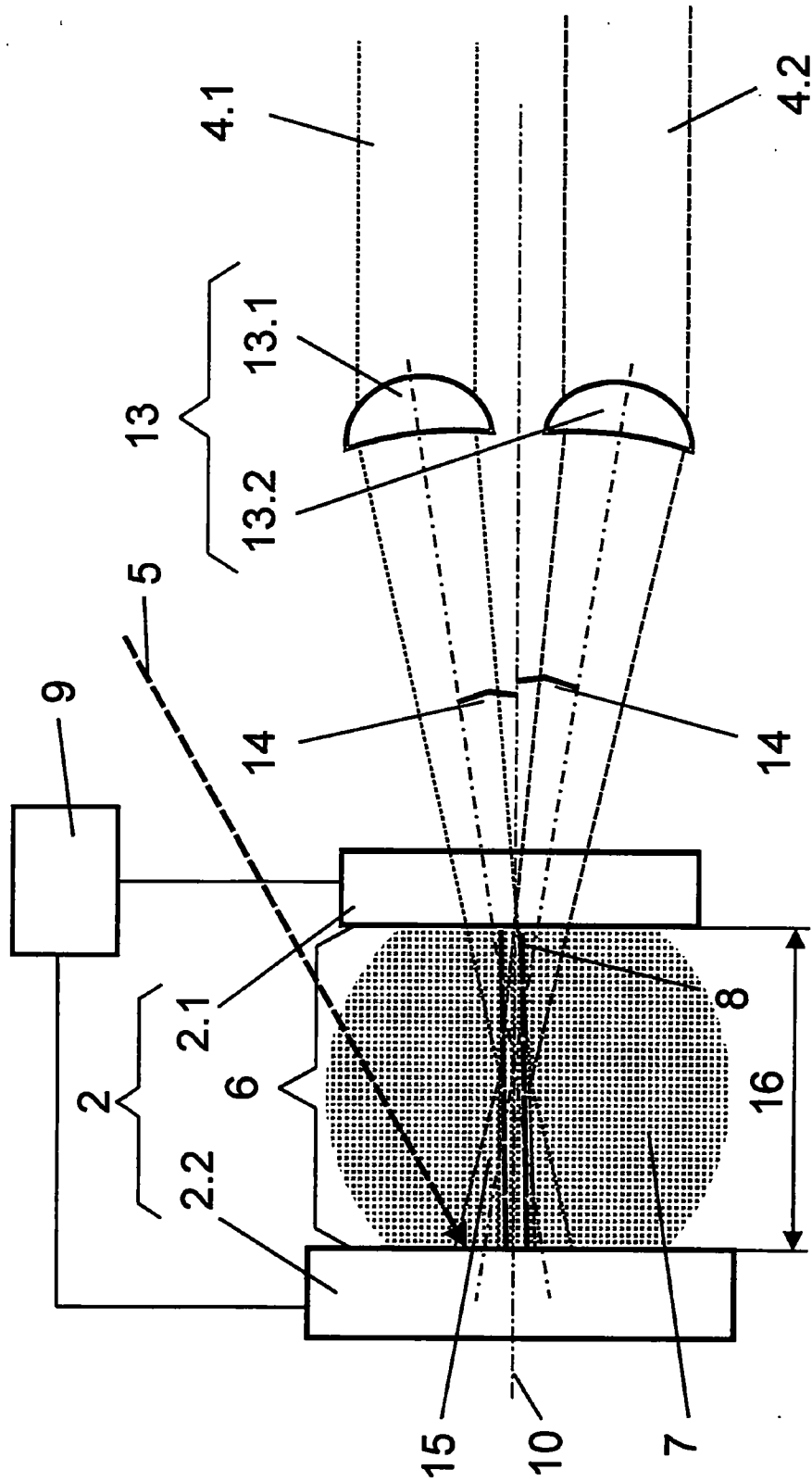


Fig. 2

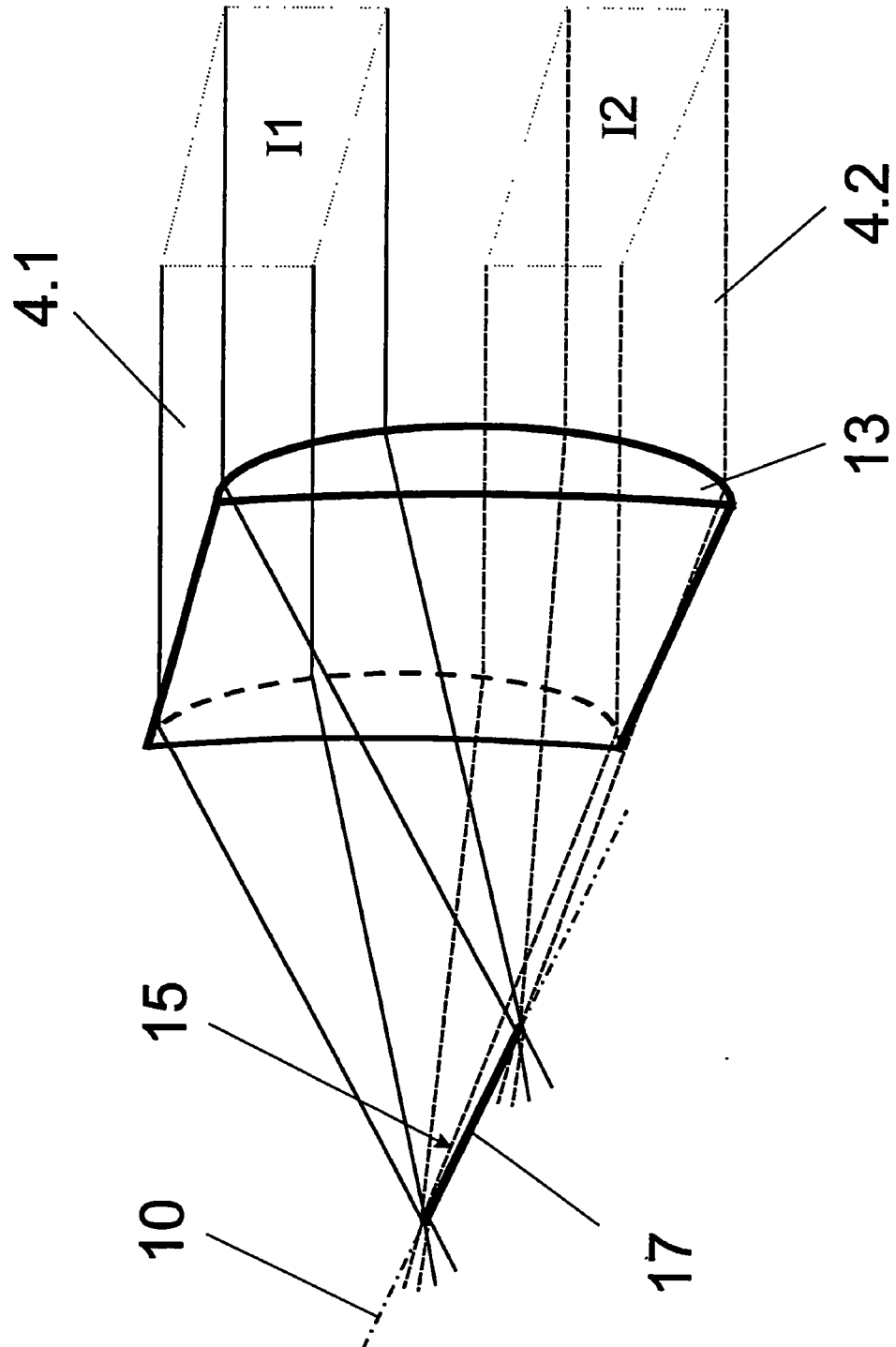


Fig. 3

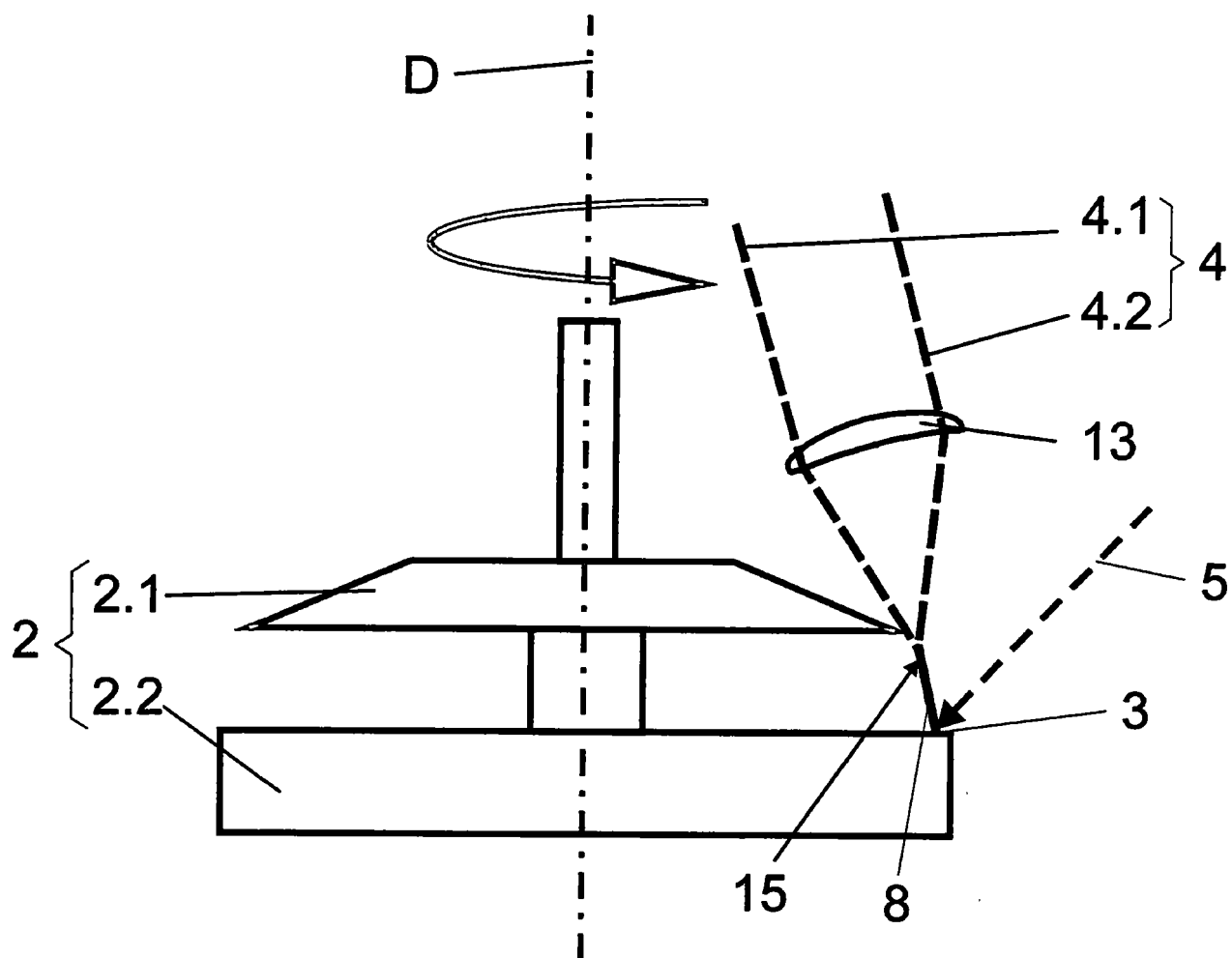


Fig. 4a

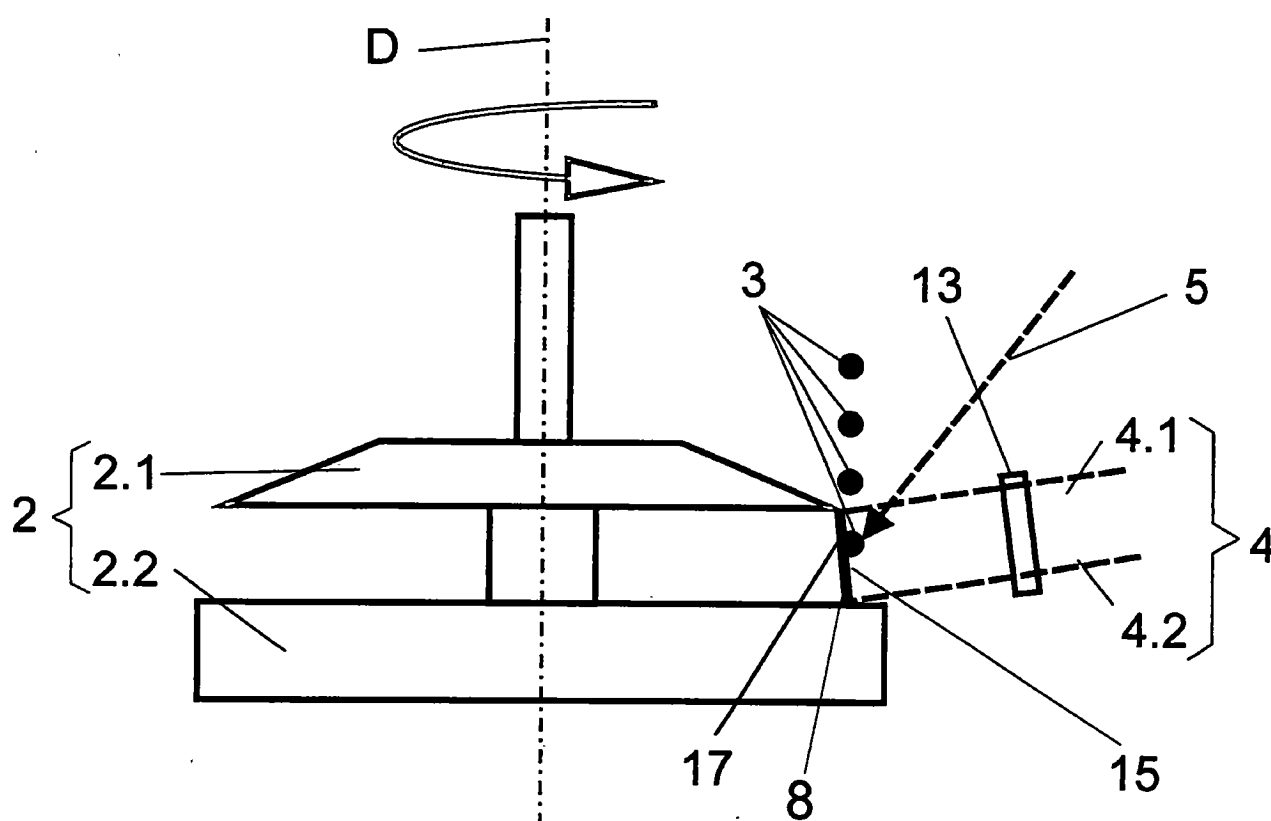


Fig. 4b

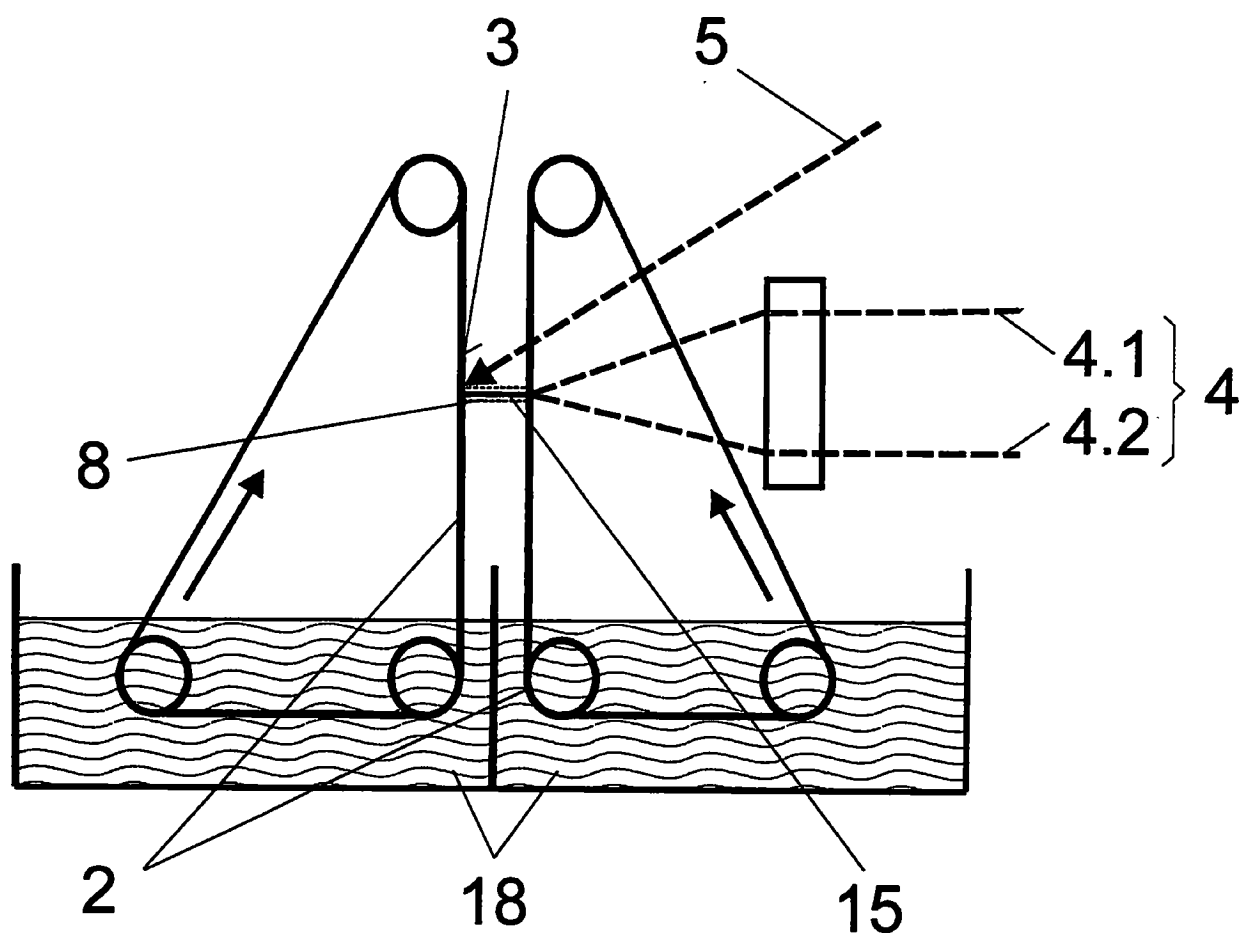


Fig. 5a

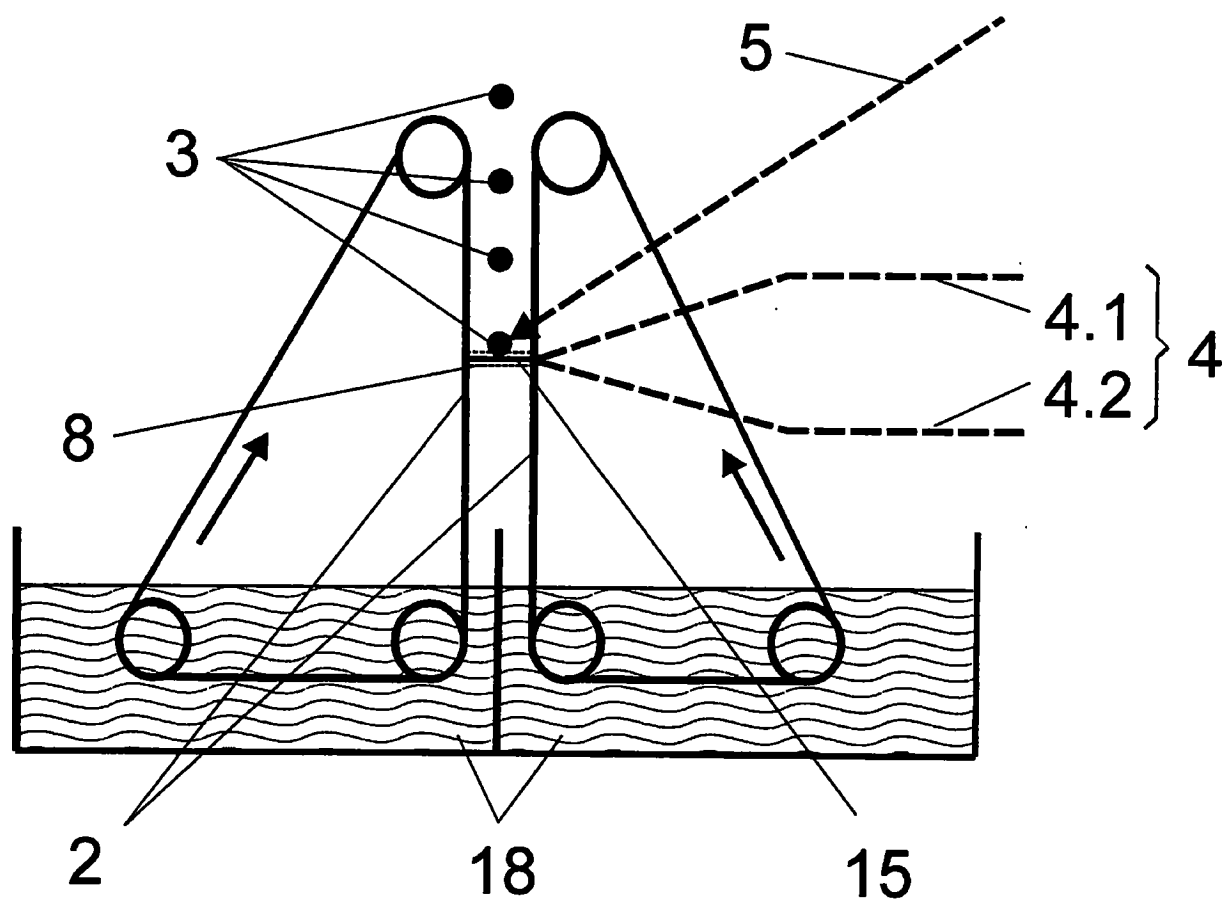


Fig. 5b

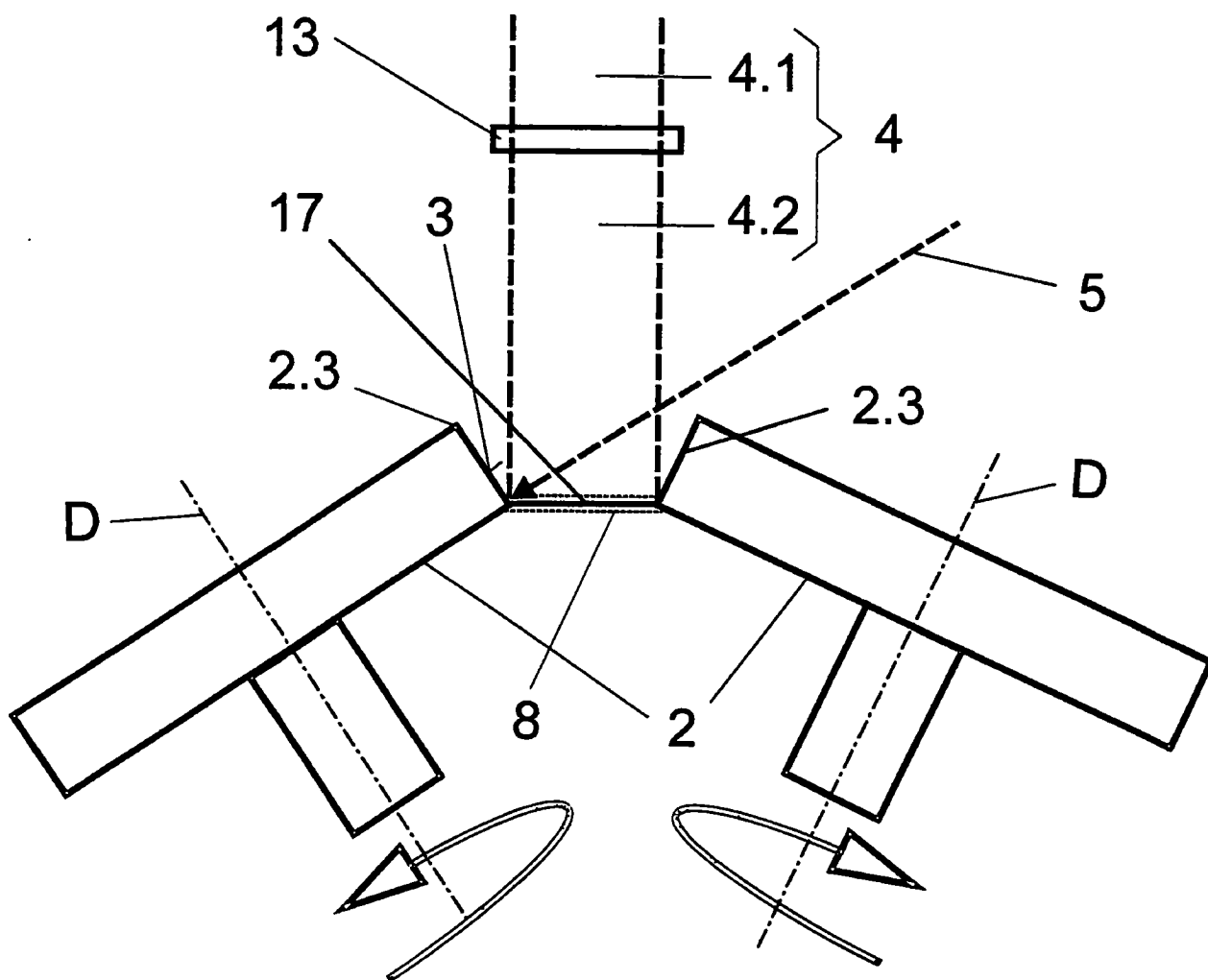


Fig. 6a

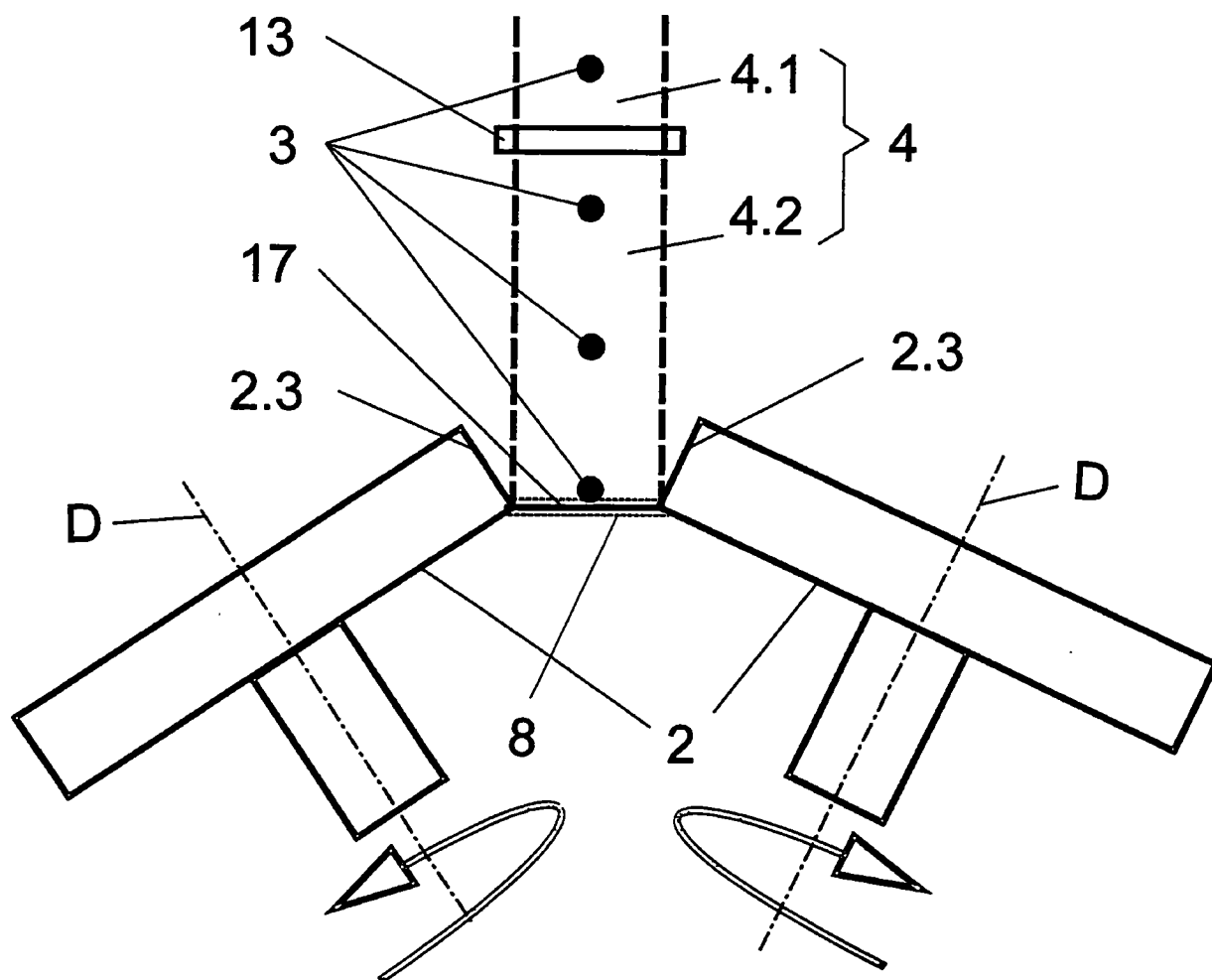


Fig. 6b