



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2004 058 500 A1** 2006.06.08

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2004 058 500.8**

(22) Anmeldetag: **04.12.2004**

(43) Offenlegungstag: **08.06.2006**

(51) Int Cl.⁸: **H05G 2/00 (2006.01)**

(71) Anmelder:

**Philips Intellectual Property & Standards GmbH,
20099 Hamburg, DE; Fraunhofer-Gesellschaft zur
Förderung der angewandten Forschung e.V.,
80686 München, DE**

(72) Erfinder:

**Loeken, Michael, 52066 Aachen, DE; Neff, Willi,
Kelmis, BE; Klein, Jürgen, 52072 Aachen, DE;
Probst, Sven, 52064 Aachen, DE**

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

**DE 102 15 469 B4
DE 101 39 677 A1
US2004/00 07 990 A1
EP 11 09 427 A2
EP 08 94 349 B1
WO 01/99 143 A1
WO 00/58 989 A1**

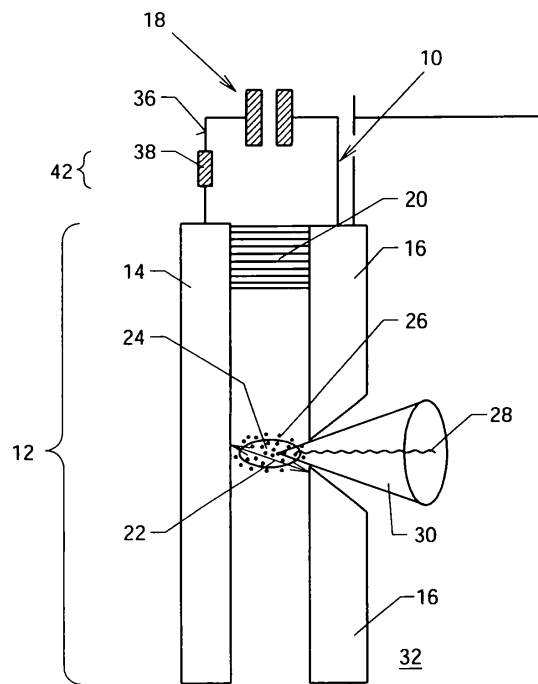
Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zum Betreiben einer elektrischen Entladevorrichtung**

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben einer elektrischen Entladevorrichtung (12) mit mindestens einer ersten Elektrode (14) und mindestens einer davon beabstandeten zweiten Elektrode (16), welche mit einer Spannungsversorgung (18) elektrisch verbunden werden und beim Zünden einer ersten Gasentladung (22) zwischen den Elektroden (14, 16) einen elektrischen Strom (I) übertragen, wodurch ein Plasma (24) in einem Arbeitsgas (26) erzeugt wird, das Strahlung (28) insbesondere extrem ultraviolette und/oder weiche Röntgenstrahlung aussendet, die über einen Raumwinkel (30) in einen Raum (32) außerhalb von den Elektroden (14, 16) geleitet wird.

Es wird zur Vermeidung von Erosion an den Elektroden (14, 16) vorgeschlagen, dass die Bildung eines Sekundärplasmas (34) in dem Raum (32) unterdrückt wird.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben einer elektrischen Entladevorrichtung mit den Merkmalen gemäß Oberbegriff des Anspruchs 1.

[0002] Weiterhin betrifft die vorliegende Erfindung auch eine Vorrichtung zum Betreiben einer elektrischen Entladevorrichtung nach dem Oberbegriff des Anspruchs 9.

Stand der Technik

[0003] Ein derartiges Verfahren und eine gattungsgemäße Vorrichtung sind aus DE A 101 39 677 bekannt. Zum besseren Verständnis wird zunächst einmal auf die **Fig. 7** und **8** Bezug genommen. Die insoweit verwendeten Bezugszeichen werden auch für die Beschreibung der vorliegenden Erfindung herangezogen.

[0004] Die bekannte Entladevorrichtung **12** weist mindestens eine erste Elektrode **14** und mindestens eine davon beabstandete zweite Elektrode **16** auf. Die beiden Elektroden **14,16** sind mit einer Spannungsversorgung **18** elektrisch verbunden.

[0005] Die Spannungsversorgung **18** kann hierbei gemäß der vorstehend genannten DE A 101 39 677 eine Kondensatorbank aufweisen, deren gespeicherte elektrische Energie beim Zünden einer ersten Gasentladung **22**, einen elektrischen Strom **I** überträgt. Eine weitere Spannungsversorgung **18** ist aus der EP 0 894 349 B1 bekannt. Ein hierin offenbarter Impulsleistungs-Erzeugerschalter weist eine Fehlanpassungs-Korrekturschaltung auf, die eine rückfließende Energie von beispielsweise einem Gasentladungslaser eliminiert. Hierdurch kann eine Elektrodenerosion minimiert werden.

[0006] Durch Übertragung des elektrischen Stroms **I** zwischen den Elektroden **14,16** wird ein Plasma **24** in einem Arbeitsgas **26** erzeugt. Das Plasma **24** sendet Strahlung **28**, insbesondere extrem ultraviolette und/oder weiche Röntgenstrahlung, aus. Über einen Raumwinkel **30** wird die Strahlung **28** in einen Raum **32**, der üblicherweise als Vakuumkammer bezeichnet wird, außerhalb von den Elektroden **14,16** geleitet.

[0007] Hierbei tritt insbesondere nach Löschen des Plasmas **24** in dem Raum **32** ein Sekundärplasma **34** auf. Das Sekundärplasma **34** wird mittels eines Stromflusses **36** zwischen der dem Raum **32** zugewandten zweiten Elektrode **16** und einer optischen Einrichtung **40** übertragen. Die optische Einrichtung **40** ist im einfachsten Falle eine den Raum **32** begrenzen- de und von der Strahlung **28** beaufschlagte Wandung der Vakuumkammer. Für den Stromfluss **36** kommen sowohl Partikel des Arbeitsgases **26** als

auch von den Elektroden **14,16** abgetragenes Elektrodenmaterial in Betracht. Derartige Partikel können mit der Strahlung **28** über den Raumwinkel **30** in den Raum **32** gelangen. Bei Absorption von extrem ultravioletter und/oder weicher Röntgenstrahlung durch derartige Partikel entstehen Ionen, die den Stromfluss **36** ermöglichen.

[0008] Überträgt beispielsweise die Spannungsversorgung **18** die elektrische Energie in Pulsform, d.h. mit über der Zeit veränderlicher Spannung **U** bzw. Stromstärke **I**, wie in **Fig. 8** gezeigt, fließt hinreichende elektrische Energie, um das Sekundärplasma **34** zu zünden.

[0009] In **Fig. 8a** ist die Spannung **U** zwischen den Elektroden **14,16** über die Zeit **t** aufgetragen. Bis zum Zeitpunkt t_1 wird von der Spannungsversorgung **18** ein Potential an den Elektroden **14,16** angelegt, bis ein vorbestimmter Arbeitspunkt der Entladevorrichtung **12** erreicht ist. Mit Beginn der ersten Gasentladung **22** wird zum Zeitpunkt t_1 , wie in **Fig. 8b** gezeigt, ein Strom **I** zwischen den Elektroden **14,16** fließen. Der Strom **I** steigt aufgrund einer hierbei immer größer werdenden Anzahl von Ladungsträgern bis zu einem Maximalwert an. Anschließend sinkt der Strom **I** der ersten Gasentladung **22**, bis er zum Zeitpunkt t_2 die Abszisse berührt. Das Plasma **24** wird nur im Zeitintervall t_1 bis t_2 auftreten. Ohne die vorliegende Erfindung auf eine bestimmte Theorie beschränken zu wollen, entsteht wohl aufgrund einer Impedanzdifferenz zwischen der Entladevorrichtung **12** und der als Stromversorgung **18** dienenden Kondensatorbank nach dem Zeitpunkt t_2 eine Umkehrung der Polarität der Elektroden **14,16**.

[0010] Wie aus den **Fig. 8a** und **8b** ersichtlich, tritt zwischen den Elektroden **14,16** anschließend eine gedämpfte Sinusschwingung ein.

[0011] Das Sekundärplasma **34** tritt dann, je nach Polarität der zweiten Elektrode **16**, benachbart zur optischen Einrichtung **40**, gemäß **Fig. 7**, bzw. zur zweiten Elektrode **16** auf. Das Sekundärplasma **34** kann im ersten Falle eine erhebliche Beschädigung der optischen Einrichtung **40** bzw. im zweiten Falle eine zusätzliche Erosion an der zweiten Elektrode **16** hervorrufen.

[0012] Hierdurch können insbesondere auf empfindlichen Oberflächen der optischen Einrichtung **40** ein Materialabtrag, sogenanntes „sputtering“ oder eine extreme Aufheizung durch einen Stromansatzpunkt auftreten, so dass entsprechende Beschädigungen der optischen Einrichtung **40** feststellbar sind. Diese Phänomene führen zu einer Verkürzung der Standzeit sowohl von der optischen Einrichtung **40** als auch der Elektroden **14,16**.

[0013] Weiterhin führt die vorstehend beschriebene

Umkehrung der Polarität der Elektroden **14,16** zu einem Rückfluss von elektrischer Energie im Bereich von etwa 10 % bis 50 % in die Stromversorgung **18**. Diese rückfließende Energie muss beispielsweise in thermische Energie umgewandelt werden, wobei eine starke Hitzebelastung auftreten kann. Zudem wird ein vielfaches des Zeitintervalls t_1 bis t_2 benötigt, bis eine weitere erste Gasentladung **22** erzeugbar ist. Hierdurch wird folglich auch eine Wiederholfrequenz zur Bildung des Plasmas **24** erniedrigt.

Aufgabenstellung

[0014] Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren mit den eingangs genannten Merkmalen anzugeben, das mit technisch einfachen Mitteln die vorstehend genannten Nachteile vermeidet.

[0015] Diese Aufgabe wird bei einem Verfahren der vorstehend genannten Art erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass die Bildung eines Sekundärplasmas in dem Raum unterdrückt wird.

[0016] Von besonderer Bedeutung ist hierbei, dass der Arbeitspunkt zur Bildung des Sekundärplasmas während des Betriebs der Entladevorrichtung kaum erreicht werden kann. Hierzu werden mittels der nachfolgend näher beschriebenen Weiterbildungen des erfindungsgemäßen Verfahrens insbesondere die Spannungs- und Druckverhältnisse im Raum und ein Abstand zwischen stromführenden Teilen des Raums anpassbar.

[0017] Nach einer vorteilhaften Ausführungsform des Verfahrens ist es vorgesehen, dass ein Stromfluss zwischen mindestens einer der Elektroden und der Spannungsversorgung durch ein elektrisches Bauteil begrenzt und/oder zwischen den Elektroden und einer optischen Einrichtung im Raum durch einen zweiten Isolator unterbrochen wird. Hierbei kann ein in Reihe geschaltetes elektrisches Bauteil, das insbesondere einem Fachmann der Hochspannungstechnik bekannt ist, verwendet werden. Beispielsweise kann das elektrische Bauteil ein Verbraucher sein, der bei Umkehrung des Stromflusses die elektrische Energie umwandelt. Folglich wird eine Dämpfung der Spannungs- und Stromoszillation zwischen den Elektroden erreicht. Eine hinreichend hohe Spannungsamplitude an der dem Raum zugewandten Elektrode tritt somit seltener auf, so dass das Sekundärplasma zumindest relativ schnell erlischt.

[0018] Mit dem zweiten Isolator kann selbst bei hohen Spannungsamplituden oberhalb des Arbeitspunktes für das Sekundärplasma eine Übertragung von elektrischer Energie für eine Bildung des Sekundärplasmas unterbunden werden.

[0019] Eine besonders vorteilhafte Weiterbildung des Verfahrens sieht vor, dass mittels eines Schaltelementes mindestens ein parallel zu den Elektroden verlaufender Strompfad aktiviert wird. Das Schaltelement kann sowohl bei Umpolung einer der Elektroden als auch bei Unterschreitung einer vorbestimmbaren Intensität der Strahlung seinen Schaltzustand ändern. Der Strompfad ist insbesondere mit aktiven und/oder passiven Bauelementen versehen, so dass der Strompfad niederimpedanter als ein möglicher Stromfluss in den Raum gestaltet ist. Die mit Beendigung der ersten Gasentladung in der Entladevorrichtung verbliebende elektrische Energie kann hierbei sehr rasch abgeleitet bzw. beseitigt werden. Auch hier wird die zur Entstehung und/oder Aufrechterhaltung des Sekundärplasmas benötigte elektrische Energie entzogen.

[0020] Das Verfahren kann vorteilhafterweise derart weitergebildet werden, dass mittels einer Dosiereinheit mindestens eine Menge des Arbeitsgases und/oder eines Puffergases vorbestimmt wird. Die vom Plasma erzeugte Strahlung tritt über eine Öffnung in den Raum aus. Die Öffnung ist zwischen dem Raum und einem zumindest teilweise von den Elektroden begrenzten Volumen angeordnet. Das Plasma und die Öffnung legen hierbei Größe und Orientierung des Raumwinkels fest. Durch diese Öffnung können sowohl Partikel des Arbeitsgases als auch durch Elektrodenerosion erzeugtes Material in den Raum gelangen. Typischerweise sind gleiche Druckbedingungen im Volumen und im Raum einstellbar. Da die Strahlung im Raum zumeist eine größere Strecke zurückzulegen hat, wird ein für diese Strahlung relativ transparentes, d.h. einen geringen Absorptionskoeffizienten aufweisendes Puffergas verwendet. Wird insbesondere der Partialdruck des Puffergases gesenkt, wird naturgemäß unter Annahme des Paschengesetzes der Arbeitspunkt für das Sekundärplasma zu höheren Potentialdifferenzen verschoben.

[0021] Insbesondere bei einem hohen Partialdruck für das Puffergas kann die Menge an Arbeitsgas, die sich in Richtung Raum bewegt, begrenzt werden. Eventuell auftretende Ionen werden bei erhöhtem Partialdruck aufgrund einer verkürzten freien mittleren Wegstrecke an einen effizienten Stromfluss zum Sekundärplasma gehindert. Die Ionen sind naturgemäß bezüglich ihrer Vorzugsrichtung zu verzögern.

[0022] Eine besonders vorteilhafte Ausführungsform des Verfahrens sieht daher vor, dass mittels einer Ablenkvorrichtung quer zur Strahlung gerichtet ein Magnetfeld und/oder ein elektrisches Feld erzeugt wird. Die Ablenkvorrichtung kann insbesondere das Sputtern auf der optischen Einrichtung durch thermische Ionen, d.h. Ionen mit hohem Impuls, verhindern. Die Ionen und Elektronen werden hierbei in eine andere Raumrichtung beschleunigt. Derartige

Ablenkvorrichtungen für Ionen sind insbesondere dem Fachmann auf dem Gebiet der Teilchenphysik und/oder der Massenspektrometrie bekannt. Selbstverständlich kann hierbei auch ein elektrisches Feld verwendet werden, das mit dem Magnetfeld kombinierbar ist.

[0023] Eine besonders vorteilhafte Ausführungsform des Verfahrens sieht vor, dass über eine Potentialsteuerung zwischen den Elektroden eine Impedanzanpassung der ersten Gasentladung durchgeführt wird. Bei Übertragung des elektrischen Stroms zwischen den Elektroden wird durch Ohmsche-Heizung und elektromagnetische Kompression das Plasma auf Temperaturen von einigen zehn Elektronenvolt gebracht. Hierbei bildet sich ein Plasmafaden zwischen den Elektroden aus. Die Entladevorrichtung ist dann als ein RCL-Schwingkreis aufzufassen. R steht hierbei für den Widerstand der Elektroden, C für einen von den Elektroden gebildeten Kondensator und L für die Induktivität der ersten Gasentladung bzw. des Plasmafadens. Die Impedanz der Entladevorrichtung kann an die Impedanz der Stromversorgung derart angepasst werden, dass quasi ein Überschwingen also eine Strom- und Spannungsszillation mit Beendigung der ersten Gasentladung vermieden wird.

[0024] Hierzu können insbesondere Mittel verwendet werden, die den Widerstand, die Induktivität und/oder Kapazität des Plasmafadens beeinflussen.

[0025] Bei einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform des Verfahrens ist es vorgesehen, dass eine Entladungsstrecke festgelegt wird, die kürzer ist als ein Abstand zwischen mindestens einer der Elektroden und einer mit der Strahlung beaufschlagbaren optischen Einrichtung.

[0026] Naturgemäß fließt nach den Kirchhoffschen Gesetzen bei einer Parallelschaltung ein größerer Teilstrom über einen elektrisch leitfähigen Zweig, der den geringeren Widerstand aufweist. Wird folglich der in die Entladevorrichtung übertragenen elektrischen Energie ein weiterer Strompfad hoher Leitfähigkeit angeboten, kann ein Großteil der sonst für das Sekundärplasma zur Verfügung stehenden elektrischen Energie über die Entladungsstrecke entzogen werden. Anders gesagt, stellt die Entladungsstrecke im einfachsten Falle praktisch einen Kurzschluss dar.

[0027] Von besonderem Vorteil für das Verfahren ist, dass die Unterdrückung des Sekundärplasmas mit oder nach Beendigung der ersten Gasentladung durchgeführt wird. Hierbei können die vorstehend genannten Maßnahmen derart kombiniert werden, dass eine optimale Versorgung der das Plasma generierenden ersten Gasentladung mit elektrischer Energie erreicht wird. Nachfolgend kann überschüssige elektrische Energie schnell beseitigt werden. Insbeson-

dere ist es hierbei möglich, eine thermische Belastung der Elektroden zu reduzieren. Die überschüssige elektrische Energie fließt hierbei nicht unter Stromumkehr über die erste Gasentladung zurück. Die Elektroden erreichen hierbei besonders schnell ein Nullpotential, so dass zudem eine höhere Frequenz zum Erzeugen des Plasmas erreichbar ist.

[0028] Des Weiteren wird die Aufgabe bezüglich einer Vorrichtung zum Betreiben einer elektrischen Entladevorrichtung erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass mindestens eine Einrichtung zur Unterdrückung eines Sekundärplasmas in dem Raum vorgesehen ist.

[0029] Die Einrichtung ist insbesondere mit den nachfolgend beschriebenen Mitteln derart gestaltet, dass die zur Bildung des Sekundärplasmas notwendige Spannung (U), ein Druck (p) und/oder eine Anzahl von Ionen in dem Raum anpassbar ist. Weiterhin kann die Einrichtung einen Abstand zwischen elektrisch leitfähigen Komponenten des Raums verändern. Die Einrichtung dient im wesentlichen zum Vermeiden des Erreichens eines Arbeitspunktes für das Sekundärplasma bzw. dessen Verschiebung.

[0030] Eine besonders vorteilhafte Vorrichtung ist derart gestaltet, dass die Einrichtung zur Unterbrechung oder Begrenzung eines Stromflusses zwischen mindestens einer der Elektroden und der Spannungsversorgung ein elektrisches Bauteil und/oder zwischen den Elektroden und einer optischen Einrichtung einen zweiten Isolator aufweist. Bei Übertragung des elektrischen Stroms zwischen den Elektroden kann insbesondere überschüssige elektrische Energie in die Spannungsversorgung zurückfließen. Hierdurch kann es sowohl zu einer Umpolung der Spannungsversorgung als auch zu einer erheblichen thermischen Belastung der Spannungsversorgung kommen. Ein hierzu in Reihe gestaltetes elektrisches Bauteil kann hierbei einen rückfließenden Strom sperren oder umwandeln. Das elektrische Bauteil kann hierbei selbstverständlich auch eine Parallelschaltung mehrerer elektrischer Elemente enthalten.

[0031] Naturgemäß muss die elektrische Energie von den Elektroden in das Sekundärplasma übertragen werden. Durch den zweiten Isolator kann eine Übertragung von elektrischer Energie in das Sekundärplasma praktisch auf Null reduziert werden.

[0032] Nach einer besonders vorteilhaften Weiterbildung der Vorrichtung ist es vorgesehen, dass die Einrichtung einen parallel zu den Elektroden geschalteten Strompfad umfasst, der mittels eines Schaltelements aktivierbar ist. Die in die elektrische Entladevorrichtung eingebrachte elektrische Energie ist hierbei über einen Bypass geführt, der insbesondere niederimpedanter als die erste Gasentladung ist. Eine

Rückübertragung der elektrischen Energie über die Gasentladung wird vermieden, so dass eine zusätzliche thermische Belastung im Bereich der mit der ersten Gasentladung beaufschlagten Elektroden zurückgedrängt wird. Das Schaltelement weist hierzu einen Schwellwert auf, der unterhalb einer Zündspannung für das Sekundärplasma ist. Der Schwellwert kann selbstverständlich während des Betriebs der Entladevorrichtung variiert werden. Mittels einer Photodiode im Raum kann ein Auftreten des Sekundärplasmas detektiert werden, so dass über eine Regelstrecke der Schwellwert des Schaltelements anpassbar ist.

[0033] Eine besonders vorteilhafte Vorrichtung zum Betreiben einer elektrischen Entladevorrichtung ist derart gestaltet, dass die Einrichtung mit einer Dosiereinheit versehen ist, mit der mindestens eine Menge des Arbeitsgases und/oder eines Puffergases zwischen den Elektroden und/oder im Raum vorbestimmbar ist. Zur besonders effizienten Umwandlung der in das Plasma übertragenen elektrischen Energie können als Arbeitsgas beispielsweise Xenon, Zinn oder Jod sowie deren chemische Verbindungen eingesetzt werden. Derartige zwischen den Elektroden eingebrachte Substanzen können mit der Strahlung über eine den Raumwinkel definierende Öffnung in den Raum gelangen. Mittels eines im wesentlichen für die EUV und/oder weiche Röntgenstrahlung transparenten Puffergases kann ein Wandern des Arbeitsgases in den Raum vermieden werden. Insbesondere durch Wechselwirkungen zwischen der kurzwelligen Strahlung und Partikeln des Arbeitsgases und dem Puffergas können Ladungsträger in dem Raum auftreten, die den Stromfluss in das Sekundärplasma hervorrufen. Mittels der Dosiereinheit kann ein Partialdruck sowohl für das Arbeitsgas als auch für das Puffergas derart eingestellt werden, dass unter sonst gleichen Bedingungen im Raum der Arbeitspunkt des Sekundärplasmas zu höheren Zündspannungen verschoben ist. Zudem kann mittels der Dosiereinheit ein Verhältnis von Arbeitsgas zu Puffergas eingestellt werden, bei der eine optimale Strahlungsintensität einerseits und eine möglichst geringe Konzentration an Partikeln des Arbeitsgases andererseits im Raum auftritt.

[0034] Eine besonders vorteilhafte Ausführungsform der Vorrichtung sieht vor, dass die Einrichtung eine Ablenkvorrichtung aufweist, deren Magnetfeld und/oder elektrisches Feld quer zur Strahlung richtbar ist. Die in den Raum gelangenden Ladungsträger, die ein Sekundärplasma hervorrufen können, treten in Wechselwirkung mit dem Magnetfeld und/oder dem elektrischen Feld. Diese Ladungsträger werden beispielsweise verzögert und/oder quer zur Ausbreitungsrichtung der Strahlung beschleunigt. Der durch die Ladungsträger bereitgestellte Stromfluss wird zumindest abgelenkt und kann zu einer Verlängerung des Abstands führen. Das Magnetfeld

kann beispielsweise durch Spulen oder Permanentmagnete bereitgestellt sein. Das elektrische Feld lässt sich mittels Ablenkplatten, wie sie aus Elektronenröhren bekannt sind, oder dergleichen erzeugen.

[0035] Nach einer besonders vorteilhaften Weiterbildung der Vorrichtung kann es vorgesehen werden, dass die Einrichtung zur Impedanzanpassung der ersten Gasentladung eine zwischen den Elektroden angeordnete Potentialsteuerung aufweist. Beim Stromtransport über die erste Gasentladung wird unter Bildung des Plasmas ein RCL-Schwingkreis angeregt. Durch die Potentialsteuerung ist es möglich, ein elektrisches Feld zwischen den Elektroden so zu beeinflussen, dass insbesondere der Plasmafaden in seiner Länge und/oder Lage bezüglich der Elektroden veränderbar ist. Hierdurch ist insbesondere eine Änderung bezüglich des elektrischen Widerstands (R) des Plasmas erreichbar, so dass die Impedanz der Entladevorrichtung bei Plasmabildung an die Impedanz der Spannungsversorgung anpassbar ist. Folglich tritt eine stark reduzierte Strom- und Spannungsszillation zwischen den Elektroden auf.

[0036] Die erfindungsgemäße Vorrichtung kann derart vorteilhaft weitergebildet werden, dass mittels der Einrichtung eine Entladungsstrecke festlegbar ist, die kürzer ist als ein Abstand zwischen mindestens einer der Elektroden und einer mit der Strahlung beaufschlagbaren optischen Einrichtung. Die Entladungsstrecke kann hierbei insbesondere niederimpedanter als die erste Gasentladung ausgelegt sein, so dass überschüssige elektrische Energie der Entladevorrichtung über die Entladungsstrecke abführbar ist. Die Entladungsstrecke weist zudem einen niedrigeren Widerstand (R) als der im Raum angeordnete hierzu parallel geschaltete Stromfluss in das Sekundärplasma. Die praktisch als Kurzschluss dienende Entladungsstrecke führt hierbei einen Großteil des sonst üblicherweise in das Sekundärplasma fließenden Stromes. Ein zumeist sehr hohe Temperaturen aufweisender Stromansatz auf der optischen Einrichtung wird unterbunden. Es treten insbesondere weniger durch thermische Belastungen hervorgerufene Beschädigungen an den optischen Einrichtungen auf.

[0037] Eine vorteilhafte Vorrichtung ist derart gestaltet, dass die Einrichtung mit oder nach Beendigung der ersten Gasentladung aktivierbar ist. Von besonderer Bedeutung für die Erfindung ist hierbei, dass die Bildung des Sekundärplasmas im Raum nach Erzeugung des Plasmas beobachtet wird. Die Einrichtung kann folglich so gestaltet sein, dass die Entladevorrichtung bis zum Erlöschen des Plasmas im wesentlichen zur optimalen Erzeugung der Strahlung ausgelegt ist. Die Einrichtung dient anschließend unter Vermeidung eines Stromflusses in das Sekundärplasma, der Reduzierung von Partikeln im Raum und/oder einer Verlängerung eines Stromweges in

das Sekundärplasma. Hierzu ist die Einrichtung beispielsweise über einen Mess- und Regelkreis aktivierbar. Der Messkreis kann sowohl elektrische als auch optische Größen erfassen. Als elektrische Größe kommt beispielsweise die Spannung U zwischen den Elektroden, ein Strom I zwischen Spannungsversorgung und Entladevorrichtung in Betracht. Als optische Größe kann eine Intensität der Strahlung des Plasmas als auch eine eventuelle auftretende Strahlung des Sekundärplasmas verwendet werden.

[0038] Die erfindungsgemäße Vorrichtung kann weiterhin vorteilhaft derart ausgestaltet sein, dass das elektrische Bauteil mindestens eine Diode, ein Diodenarray, ein Gleichrichter, ein Widerstand oder eine Kombination daraus ist, wodurch mindestens der Stromfluss in Richtung zur Spannungsversorgung sperrbar ist und/oder über den Widerstand elektrische Energie umwandelbar ist. Durch die Diode, das Diodenarray oder den Gleichrichter kann ein Stromtransport ausschließlich in Richtung zur Spannungsversorgung unterbunden werden, während der Stromfluss in Richtung zur Entladevorrichtung kaum beeinflusst ist. Derartige elektrische Bauteile können als klassische Elektronenröhre oder Halbleiterbauelemente ausgestaltet sein. Der Widerstand kann hierbei so dimensioniert werden, dass sowohl die vorstehend beschriebene negative Stromspannungsscharakteristik der Entladevorrichtung kompensierbar ist als auch genügend Leistung zum Schutz der Spannungsversorgung über den Widerstand entzogen wird. Die Kombination derartiger elektrischer Bauteile kann insbesondere durch Parallelschaltung der elektrischen Bauteile zu einer technisch einfacheren Handhabung von Teilströmen führen.

[0039] Eine weitere vorteilhafte Vorrichtung ergibt sich, wenn der zweite Isolator zwischen den Elektroden und dem Raum und/oder zwischen dem Raum und einer mit der Strahlung beaufschlagten Seite der optischen Einrichtung angeordnet ist. Der zweite Isolator kann im einfachsten Falle eine Wandung zwischen den Elektroden und dem Raum aus einem hitzebeständigen nicht elektrisch leitfähigem Material sein, in der die Öffnung vorgesehen ist. Der aus einer hochfesten Keramik gefertigte zweite Isolator kann auch einen Teil der Elektroden bedecken, der sonst den Raum zumindest teilweise begrenzt. Der zweite Isolator kann auch zwischen der optischen Einrichtung und einer zum Positionieren der optischen Einrichtung dienenden Halterung angeordnet werden. Hierdurch kann insbesondere die mit der Strahlung beaufschlagte Seite, beispielsweise eine extrem glatte Molybdänbeschichtung vor Beschädigung durch einen hohen Stromfluss geschützt werden.

[0040] Bei einer weiteren Vorrichtung ist es vorteilhafterweise möglich, dass der Strompfad leitungsgebunden außerhalb der Entladevorrichtung oder leitungsfrei zwischen den Elektroden als zweite Gas-

entladung ausgebildet ist. Insbesondere der als Strompfad vorstehend beschriebene Bypass kann mittels elektrischer Leiter, wie z.B. Kabel, außerhalb der Entladevorrichtung angeordnet werden. Der Strompfad ist hierbei räumlich derart von der Entladevorrichtung zu trennen, dass auch extrem große elektrische Energien handhabbar sind. Mittels der zweiten Gasentladung kann zwischen den Elektroden ein Strompfad geschaffen werden, der quasi analog zu einem Kurzschluss innerhalb kürzester Zeit die elektrische Energie auf eine Kathode zurückführt.

[0041] Eine besonders vorteilhafte Weiterbildung der Vorrichtung sieht vor, dass die zweite Gasentladung mittels eines auf eine der Elektroden gerichteten Laserstrahls erzeugbar ist. Der Laserstrahl kann hierzu auf eine der ersten Gasentladung zugewandten Oberfläche ausgerichtet sein. Bei Auftreffen des Laserstrahls nach Umpolung der Elektroden induziert ein Austreten von Ladungsträgern für die zweite Gasentladung und eine Rückübertragung der verbliebenen elektrischen Energie. Der Laserstrahl kann insbesondere außerhalb eines von der ersten Gasentladung beaufschlagten Bereichs auf eine der Elektroden gerichtet sein. Hierdurch ist insbesondere eine bessere Verteilung der thermischen Belastung der Elektroden bei leitungsfreiem Energieübertrag möglich.

[0042] Eine vorteilhafte Weiterbildung der Vorrichtung sieht vor, dass der Strompfad mehrere parallel zueinander geschaltete Schaltelemente und mindestens ein passives elektrisches Element, wie eine Spule, einen Widerstand und/oder einen Kondensator, aufweist. Hierdurch kann insbesondere der leitungsgebundene Strompfad in seinen elektrischen Eigenschaften an Eigenschaften der Entladevorrichtung angepasst werden. Mittels der passiven elektrischen Elemente kann der Bypass auch während des Betriebs der Entladevorrichtung an dessen Impedanz angeglichen werden, so dass nach Beendigung der ersten Gasentladung die Strom- und Spannungszillation zumindest stark gedämpft ist.

[0043] Vorteilhafterweise sieht eine Ausführungsform der Vorrichtung vor, dass das Schaltelement ein mechanischer Schalter und/oder eine aktive elektrische Schaltung aus mindestens einer Diode, einem Gleichrichter, einem Transistor, einem Funkenschalter oder dergleichen ist. Das Schaltelement ist hierbei derart auslegbar, dass es auch bei zeitlich nur kurz auftretenden ersten Gasentladungen und bei Pulsbetrieb der Entladevorrichtung, insbesondere mit hohen Repetitionsraten zuverlässig den Stromfluss über den Strompfad ermöglicht. Derartige Schaltelemente sind in Form von Halbleitern wenig träge und erlauben auch bei hohen Frequenzen im Kiloherzbereich eine zuverlässige Aktivierung des Strompfads. Bei extrem hohen Stromflüssen können derartige Halbleiter auch in Parallelschaltung verwendet werden.

Ausführungsbeispiel

[0044] Die erfindungsgemäße Vorrichtung kann zudem derart vorteilhaft weitergebildet werden, dass die Dosiereinheit ein zwischen dem Raum und den Elektroden angeordnetes im wesentlichen für die Strahlung transparentes Filter und/oder zwischen den Elektroden und/oder im Raum mündende Zuleitung für Puffer- und/oder Arbeitsgas und/oder eine Pumpe und/oder eine zeitweise das Arbeitsgas zwischen den Elektroden bereitstellende Energiequelle ist. Das Filter kann hierzu im Raumwinkel angeordnet sein, so dass Partikel des Arbeitsgases zu einem Großteil vor Eintritt in den Raum zurückgehalten werden. Derartige Partikel und deren Ionen stehen folglich für eine Sekundärplasmabildung kaum mehr zur Verfügung. Über die Zuleitung kann sowohl die Menge an Puffer- und/oder Arbeitsgas angepasst werden als auch eine Strömungsrichtung für derartige Partikel einstellbar sein. Über die Pumpe lässt sich ebenfalls die Strömungsrichtung insbesondere quer zur Ausbreitungsrichtung der Strahlung auch während des Betriebs der Entladevorrichtung einstellen. Um die Bildung des Sekundärplasmas weiter zurückzudrängen, kann beispielsweise durch Zuführen von Wärme ein über die Elektroden zu- und abführbares, das Arbeitsgas bereitstellendes Material verdampft werden. Hierbei ist eine Menge an Partikeln des Arbeitsgases in der Entladevorrichtung zu verringern.

[0045] Eine besonders vorteilhafte Vorrichtung sieht vor, dass die Ablenkvorrichtung im Raum angeordnet ist und mittels eines Dipols, Quadrupols oder dergleichen das Magnetfeld und/oder das elektrische Feld erzeugbar ist, so dass insbesondere geladene Partikel des Arbeitsgases und/oder Puffergases verzögert und/oder entfernt werden. Die Ablenkvorrichtung kann insbesondere um den Raumwinkel angeordnet sein, um durch Wechselwirkung zwischen Partikeln des Arbeitsgases und Puffergases mit der Strahlung erzeugte Ionen zu verzögern. Zumindest kann hierbei eine durch Stromfluss in das Sekundärplasma hervorgerufene geradlinige Translationsbewegung von Leitern zweiter Art so verändert werden, dass der Abstand zwischen den Elektroden und der optischen Einrichtung verlängert ist. Zum Erzeugen des elektrischen Feldes verwendete elektrisch leitfähige Platten, Stäbe etc. können Ionen bei Auftreffen neutralisieren – sprich entladen.

[0046] Eine besonders vorteilhafte Vorrichtung zur Impedanzanpassung der Entladevorrichtung sieht vor, dass die Potentialsteuerung eine räumlich bezüglich der Elektroden stationäre oder veränderlich positionierbare Platte aufweist. Hierdurch kann insbesondere bei Bildung des Plasmas ein erzeugter Plasmafaden in seinen elektrischen Eigenschaften manipuliert werden, um dessen Impedanz der Impedanz der Stromversorgung und/oder des Strompfades anzupassen.

[0047] Weitere Vorteile und Merkmale der vorliegenden Erfindung ergeben sich aus der folgenden Beschreibung mehrerer Ausführungsbeispiele, sowie aus den nicht maßstabsgerechten Zeichnungen, auf die nun Bezug genommen wird.

[0048] Es zeigt:

[0049] [Fig. 1](#): eine Seitenansicht einer ersten Vorrichtung zum Betreiben einer elektrischen Entladevorrichtung;

[0050] [Fig. 2](#): einen Querschnitt eines zweiten Ausführungsbeispiels der erfindungsgemäßen Vorrichtung;

[0051] [Fig. 2a](#): einen Querschnitt einer dritten Vorrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung;

[0052] [Fig. 3](#): ein viertes Ausführungsbeispiel einer Vorrichtung in Seitenansicht;

[0053] [Fig. 3a](#): ein Querschnitt eines fünften Ausführungsbeispiels;

[0054] [Fig. 4](#): einen Schaltplan für einen Strompfad der erfindungsgemäßen Vorrichtung;

[0055] [Fig. 5](#): ein sechstes Ausführungsbeispiel zur Vermeidung eines Sekundärplasmas;

[0056] [Fig. 6](#): ein siebtes Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Vorrichtung in Seitenansicht;

[0057] [Fig. 7](#): eine schematische Darstellung einer gattungsgemäßen Vorrichtung nach dem Stand der Technik; und

[0058] [Fig. 8a,b](#) Diagramme, bei denen eine Spannung bzw. ein Strom zwischen den Elektroden über die Zeit gemäß der in [Fig. 7](#) gezeigten Vorrichtung aufgetragen ist.

[0059] Bei der folgenden Beschreibung der Ausführungsbeispiele bezeichnen gleiche Bezugszeichen zumindest ähnliche konstruktive Merkmale und beziehen sich, soweit im Folgenden nichts anderes gesagt ist, stets auf die [Fig. 1](#) bis [Fig. 6](#).

[0060] In [Fig. 1](#) ist eine Vorrichtung **10** zum Betreiben einer elektrischen Entladevorrichtung **12** gezeigt, die eine erste Elektrode **14** und eine davon beabstandete zweite Elektrode **16** aufweist. Die Elektroden **14,16** sind mit einer Spannungsversorgung **18** elektrisch verbunden. Die Spannungsversorgung **18** stellt elektrische Energie bereit, die beim Zünden einer ersten Gasentladung **22** zwischen den Elektroden **14,16** einen elektrischen Strom **I** überträgt. In einem

zwischen den Elektroden **14,16** vorhandenen Arbeitsgas **26** wird durch elektromagnetische Kompression ein Plasma **24** erzeugt, das Strahlung **28**, insbesondere extrem ultraviolette und/oder weiche Röntgenstrahlung – im weiteren kurz EUV genannt – emittiert. Die vom Plasma **24** erzeugte Strahlung **28** wird über einen Raumwinkel **30** in einen Raum **32** außerhalb von den Elektroden **14,16** geleitet. Der Raum **32** ist zur Vermeidung von Absorptionsphänomenen als sogenannte Vakuumkammer gestaltet. Aufgrund von Impedanzunterschieden zwischen der Stromversorgung **18** und der Entladevorrichtung **12** tritt hierbei eine Umpolung der Elektroden **14,16** ein. Um einen Stromfluss **36** zwischen der zweiten Elektrode **16** und einem den Raum **32** begrenzenden Teil unter Bildung eines Sekundärplasmas **34** zu unterdrücken ist eine Einrichtung **42** zwischen der ersten Elektrode **14** und der Spannungsversorgung **18** vorgesehen. Die Einrichtung **42** weist zur Begrenzung eines hier nicht gezeigten Stromflusses **34** in das Sekundärplasma **38**, gemäß [Fig. 7](#), ein in Reihe geschaltetes elektrisches Bauteil **38** auf. Das zwischen der ersten Elektrode **14** und der Stromversorgung **18** geschaltete elektrische Bauteil **38** ist beispielsweise ein gekühlter Hochleistungswiderstand, der eine in der Entladevorrichtung **12** gespeicherte elektrische Energie aufnimmt und in Wärme umwandeln kann. Hierdurch wird die zur Bildung des Sekundärplasmas **34** benötigte elektrische Energie zumindest teilweise der Entladevorrichtung **12** entzogen.

[0061] Ein von der Spannungsversorgung **18**, der ersten Gasentladung **22** bzw. dem Plasma **24** und dem elektrischen Bauteil **38** gebildeter Schwingkreis ist durch einen Widerstand R_1 zu dämpfen. Dieser Schwingkreis ist mit einer Gesamtkapazität C_S , einer Gesamtinduktivität L_S und einem Widerstand R zu beschreiben. Das elektrische Bauteil **38**, das hierbei als Widerstand R_1 in Reihe zur Spannungsversorgung **18** und der Elektrode **16** geschaltet ist, ist hierbei gemäß

$$R_1 = 2 \cdot \sqrt{\frac{L_S}{C_S}} - R$$

zu wählen, um eine a periodische Dämpfung ohne Stromumkehr zu erreichen. Ist der Widerstand R_1 erheblich größer dimensioniert, um eine von der Spannungsversorgung **18** auf die Entladevorrichtung **12** übertragene überschüssige Energie innerhalb kürzester Zeit abzuleiten, wird ein Großteil der von der Spannungsversorgung **18** bereitgestellter Teil der Energie nicht dem Plasma **24** zur Verfügung gestellt. Das elektrische Bauteil **38** stellt beispielsweise zeitweise einen Widerstand $R_1 = \infty$ durch eine Diode bereit. Wird der Widerstand R_1 hingegen kleiner gewählt, tritt ein Überschwingen gem. [Fig. 8](#) auf.

[0062] Bei dem in [Fig. 2](#) gezeigten zweiten Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Vorrichtung

10 ist der Stromfluss **36** zwischen der Spannungsversorgung **18** und der ersten Elektrode **14** durch eine Einrichtung **42** unterbrochen. Das hierbei in Reihe geschaltete elektrische Bauteil **38** ist ein Gleichrichter, eine Diode oder ein Diodenarray, das den Stromfluss **36** sperrt. Eine starke Hitzebelastung durch Rückübertragung der in der Entladevorrichtung **12** gespeicherten elektrischen Energie kann unterbunden werden. Um die Bildung eines Sekundärplasmas **34** im Raum **32** zu vermeiden, ist die Einrichtung **42** mit einem zweiten Isolator **44** versehen. Der zweite Isolator **44** ist zwischen den Elektroden **14,16** und einer optischen Einrichtung **40** im Raum **32** angeordnet. Die in der Entladevorrichtung **12** verbliebene elektrische Energie kann hierbei nicht von einer der Elektroden **14,16** auf die optische Einrichtung **40** übertragen werden. Da folglich ein Stromfluss **36** zwischen insbesondere der zweiten Elektrode **16** und der hierzu relativ nahe im Raum **32** angeordneten optischen Einrichtung **40** nicht auftreten kann, ist die Bildung des Sekundärplasmas **34** stark gehemmt. Der zweite Isolator **44** ist hierbei auf einer von der Strahlung **28** beaufschlagten Seite **46** vorgesehen.

[0063] Die optische Einrichtung **40** ist als im wesentlichen für die Strahlung **28** transparentes Filter **62** ausgestaltet. Das Filter **62** dient insbesondere einer Begrenzung von aus der Entladevorrichtung **12** in den Raum **32** übertretenden Partikeln des Arbeitsgases **26**. Das praktisch als Dosiereinheit **58** dienende Filter **62** erlaubt es, eine den Arbeitspunkt des Sekundärplasmas bestimmende Komponente – hier eine Partikeldichte im Raum **32** – zu senken, so dass unter sonst vergleichbaren Bedingungen bei Betrieb der Entladevorrichtung **12** das Sekundärplasma **34** im Raum **32** unterdrückt wird.

[0064] In [Fig. 2a](#) ist ein drittes Ausführungsbeispiel einer Vorrichtung **10** aufgezeigt. Ein weiterer zweiter Isolator **44'** ist hier derart bezüglich der zweiten Elektrode **16** angeordnet, dass ein für die Bildung des Sekundärplasmas **34** benötigter Stromfluss **36** sowohl in Richtung der optischen Einrichtung **40** als auch einer den Raum **32** begrenzenden Kammerwandung sperrbar ist. Dieser zweite Isolator **44'** erstreckt sich von der Kammerwandung bis zu einer dem Raumwinkel **30** begrenzenden Öffnung der zweiten Elektrode **16**. Die Entladevorrichtung **12** ist somit elektrisch isoliert gegen die Kammerwandung. Zudem deckt dieser zweite Isolator **44'** einen direkt an den Raum **32** angrenzenden Teil der zweiten Elektrode **16** ab. Ein Stromfluss **36** in den Raum **32** wird hierbei unterbunden, so dass die Bildung des Sekundärplasmas **34** unterbleibt.

[0065] Nach einem in [Fig. 3](#) gezeigten vierten Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Vorrichtung **10** wird die von der Spannungsversorgung **18** in die Entladevorrichtung **12** übertragene elektrische Energie mittels des elektrischen Bauteils **38** relativ

langsam abgebaut. Die Einrichtung **42** ist daher um einen parallel zu den Elektroden **14,16** verlaufenden Strompfad **48** erweitert. Um eine Übertragung von elektrischer Energie zwischen den Elektroden **14,16** über die erste Gasentladung **22** zu gewährleisten, ist der Strompfad **48** durch ein Schaltelement **50** zumindest zeitweise aktivierbar. Insbesondere bei Umpolung der Elektroden **14,16** kann das Schaltelement **50** den als quasi Kurzschluss dienenden Strompfad **48** aktivieren. Der Strompfad **48** ist außerhalb der Entladevorrichtung **12** leitungsgebunden, d.h. mittels elektrisch leitfähiger Kabel ausgeführt. Das Schaltelement **50** ist im einfachsten Falle ein mechanischer Schalter oder je nach Höhe der zwischen den Elektroden **14,16** auftretenden Strom- bzw. Spannungsamplitude eine Kombination mehrerer parallel zueinander geschalteter Schaltelemente **50**.

[0066] Gemäß [Fig. 3a](#) ist ein fünftes Ausführungsbeispiel einer Vorrichtung **10** mit einem Funkenschalter zwischen den Elektroden **14,16** versehen. Der Funkenschalter stellt einen parallel zu den Elektroden **14,16** elektrisch leitfähigen, leitungsfreien – nicht leitungsgebundenen – Strompfad **48** bereit. Dieser Strompfad **48** bildet sich insbesondere bei Umpolung der Elektroden **14, 16**. Dieser Strompfad **48** ist hierbei durch einen Hohlraum **70** derart räumlich verschoben zur ersten Gasentladung **22** festlegbar, so dass eine hierüber geführter Stromfluss **36** eine zusätzliche thermische Belastung der Elektroden **14,16** im Bereich des Plasmas **24** vermeidet.

[0067] Dieser Funkenschalter kann mittels der Einrichtung **42** zur Unterdrückung des Sekundärplasmas **34** mit oder nach Beendigung der ersten Gasentladung **22** gezielt aktiviert werden. Hierzu ist das Schaltelement **50** derart gestaltet, dass es, wie in [Fig. 3a](#) gezeigt, den Strom- bzw. Spannungsverlauf zwischen Stromversorgung **18** und Entladevorrichtung **12** misst. Selbstverständlich kann das Schaltelement **50** auch zur Detektion der Strahlung **28** oder des Sekundärplasmas **34** im Raum **32** ausgelegt werden. Das Schaltelement **50** steuert zu gegebener Zeit eine Energiequelle **68** an. Deren Energiestrahle ist beispielsweise in Form eines Laserstrahls **54** auf eine Oberfläche der Elektroden **14,16**, hier in einen Bereich des Hohlraums **70** der ersten Elektrode **14** gerichtet. Der Energiestrahle erzeugt eine hinreichende Menge an Ladungsträgern, um eine zweite Gasentladung **52** zu erzeugen. Der so gezielt erzeugbare Strompfad **48** ist hierbei niederimpedanter als ein möglicher Strompfad, der einen Stromfluss **36** in das Sekundärplasma **34** im Raum **32** erlaubt. Die von der zweiten Gasentladung **52** bereitgestellte Entladungsstrecke **78** ist, wie in [Fig. 3a](#) gezeigt, deutlich kürzer als ein Abstand **80** zwischen mindestens einer der Elektroden **14,16** und einer mit der Strahlung **28** beaufschlagbaren optischen Einrichtung **40** im Raum **32**.

[0068] In [Fig. 4](#) ist ein sechstes Ausführungsbeispiel mit einem leitungsgebundenen Strompfad **48** dargestellt. Auf der rechten Seite ist als Blockschaltbild die Entladevorrichtung **12** gezeigt. Das zwischen den Elektroden **14,16** entstehende Plasma **24** ist mittels eines Schalters **S**, eines Widerstands **R** und einer Induktivität **L** zu beschreiben. Bei Erreichen des Arbeitspunkts bildet sich das Plasma **24** durch Schließen des Schalters **S**, was einem Zünden der ersten Gasentladung **22** entspricht. Von der Spannungsversorgung **18** mit einer Kapazität C_v , den damit elektrisch verbundenen Elektroden **14,16** und dem Plasma **24** wird in einer Hochstromphase ein Schwingkreis gebildet. Bei geöffnetem Schaltelement **50** ist dieser Schwingkreis durch eine Gesamtkapazität $C_s = C_v + C$, einen Widerstand **R** und eine Gesamtinduktivität $L_s = L_1 + L$ bestimmt.

[0069] Dieser Schwingkreis weist gemäß

$$\omega_s = \frac{2\pi}{T_s} = \sqrt{\frac{1}{L_s \cdot C_s} - \frac{R^2}{4 \cdot L_s^2}}$$

eine charakteristische Eigenfrequenz ω_s auf, wobei T_s die Schwingungsdauer dieses Schwingkreises ist.

[0070] Mittels des durch das Schaltelement **50** zuschaltbaren Strompfads **48** ist eine Umkehrung der Stromrichtung zwischen den Elektroden **14,16** zu verhindern. Das Schaltelement **50** wechselt von einem in den anderen bistabilen Zustand an bzw. um die Nullstelle der vorstehend genannten Gleichung zum Zeitpunkt $t = t_D$. Ist der Zeitpunkt $t = 0$ bei Plasmazündung, ist t_D etwa $0,25 \times$ der Schwingungsdauer T_s dieses Schwingkreises. Nach Beendigung der Hochstromphase bzw. spätestens bei Vorzeichenwechsel des zwischen den Elektroden **14,16** fließenden Stroms, ist das Schaltelement **50** dann in der Lage, den zuschaltbaren Strompfad **48** bei geschlossenem Zustand zu aktivieren bzw. bei geöffnetem Zustand zu deaktivieren.

[0071] Naturgemäß weist das Schaltelement **50** eine parasitäre Induktivität auf. Bei massiv paralleler Ausführung des Schaltelements **50** aus beispielsweise mehreren Dioden **D**, Thyristoren, Transistoren und dergleichen ist die Induktivität in einer Größenordnung von weniger als 10 nH (Nanohenry) auszuführen. Zum Entlasten des Schaltelements **50** ist beispielsweise eine sättigbare Induktivität L_2 vorgesehen, die einen Stromanstieg im Schaltmoment verzögert. Bei geschlossenem Schaltelement **50** bildet die sättigbare Induktivität **L** und der Widerstand R_2 mit der Gesamtkapazität C_s einen weiteren Schwingkreis. Der im zuschaltbaren Strompfad **48** vorgesehene Widerstand R_2 dient dann zur Dämpfung beider gekoppelter Schwingkreise.

[0072] Der Widerstand R_2 ist so zu bestimmen, dass er nicht größer als der Widerstand des Plasmas **24**

ist, da sonst der schaltbare Strompfad **48** hochohmig ist und Stromumkehr auftritt. Insbesondere tritt bei einem relativ großen Widerstand R_2 eine Umkehrung des zwischen den Elektroden **14,16** fließenden Stroms I bereits zum Zeitpunkt $t = 0,5 \times$ Schwingungsdauer T_s ein. Ist der Widerstand R_2 zu klein, tritt hingegen eine Überlagerung der beiden vorstehend beschriebenen gekoppelten Schwingkreise auf. Dabei fließt die überschüssige Energie ähnlich einer Schwebung nur langsam abklingend zwischen den Schwingkreisen hin und her.

[0073] Ein optimaler Wert für den Widerstand R_2 ist beispielsweise durch rechnergestützte Simulation zu ermitteln. Der Widerstand R_2 und/oder der Widerstand R_1 sind selbstverständlich auch veränderlich zu gestalten, um während des Betriebs der Entladungsvorrichtung **12** eine Justage zu ermöglichen.

[0074] Die passiven Bauelemente dienen insoweit einer Impedanzanpassung des Strompfads **48** an die Impedanz der Entladevorrichtung **12**. Die elektrischen Elemente sind derart kombiniert, um einen niederimpedanteren Strompfad **48** bereitzustellen, als einen zum Zünden des Sekundärplasmas **34** notwendigen Stromzweig.

[0075] Eine in [Fig. 5](#) gezeigte siebte Ausführungsform der Vorrichtung **10** zeigt eine Einrichtung **42** mit einer Dosiereinheit **58** zum Begrenzen einer für die Bildung des Sekundärplasmas **34** erforderlichen Partikeldichte – also eines Drucks – im Raum **32**. Die Dosiereinheit **58** steuert während des Betriebs der Vorrichtung **10** über eine zwischen den Elektroden **14,16** mündende Zuleitung **64** eine Menge an Arbeitsgas **26** im Hohlraum **70**. Die zweite Elektrode **16** ist zumindest um die Zuleitung **64** herum schwammartig ausgeführt. Hierdurch kann eine optimale Menge an Arbeitsgas **26** zur Bildung des Plasmas **24** einerseits bereitgestellt werden und andererseits eine Partikeldichte des Arbeitsgases **26** im Raum **32** zur Unterdrückung der Bildung des Sekundärplasmas **34** so gering wie möglich gehalten werden.

[0076] Mittels der Dosiereinheit **58**, die im Raum **32** mündet, ist eine Menge an Puffergas **60** vorbestimmbar. Durch eine Pumpe **63** sind in den Raum **32** gelangende Partikel des Arbeitsgases **26** entfernbar. Anders gesagt kann die Dosiereinheit **58** einen Partialdruck des Arbeitsgases **26** bzw. des Puffergases **60** im Raum **32** derart festlegen, dass bei sonst üblichen Spannungsamplituden zwischen den Elektroden **14,16** ein Arbeitspunkt für die Bildung des Sekundärplasmas **34** nicht erreicht wird.

[0077] Die über den Raumwinkel **30** in den Raum **32** geleitete Strahlung **28** erzeugt insbesondere bei Wechselwirkung mit Partikeln des Arbeitsgases **60** Ionen. Diese Ionen sorgen für einen Stromfluss **36** zur Bildung des Sekundärplasmas **34**. Zum Verzö-

gern und/oder Entfernen der für den Stromfluss **36** benötigten Ionen ist mittels einer Ablenkvorrichtung **72** ein quer zur Strahlung **28** gerichtetes Magnetfeld B und/oder ein senkrecht hierzu verlaufendes elektrisches Feld E erzeugbar. Die Ablenkvorrichtung **72** ist derart im Raum **32** angeordnet, dass das Magnetfeld B so ausgerichtet ist, dass eine im Raumwinkel **30** angeordnete optische Einrichtung vor Ionenbeschuss und Bildung eines benachbarten Sekundärplasmas **34** geschützt ist. Die hier gezeigte elektrisch betriebene Ablenkvorrichtung **72** erzeugt einen Dipol, der insbesondere geladene Partikel des Arbeitsgases **26** und/oder Puffergases **60** auch durch Entladung entfernbar macht. Ein hierbei erzeugtes elektrisches Feld E zwischen der optischen Einrichtung **40** und der ersten Elektrode **14** schwächt das elektrische Feld zwischen der optischen Einrichtung **40** und der ersten Elektrode **14**. Der Stromfluss **36** wird durch das Magnetfeld B durch Ablenkung der für den Stromfluss **36** benötigten Ionen zumindest, wie durch eine geschwungene Linie angedeutet, verlängert. Hierdurch kann der Arbeitspunkt für die Bildung des Sekundärplasmas **34** zu höheren Potentialdifferenzen verschoben werden.

[0078] Zur Vermeidung einer für die Bildung des Sekundärplasmas **34** notwendigen Spannungs- und Stromoszillation zwischen den Elektroden **14,16** kann eine in [Fig. 6](#) gezeigte Einrichtung **42** für ein achttes Ausführungsbeispiel verwendet werden.

[0079] Bei Zündung der ersten Gasentladung **22** und insbesondere bei Bildung des Plasmas **24** erweist sich die Entladevorrichtung **12** als ein RCL-Schwingkreis. Dessen Impedanz ist während des Betriebs verschieden zu der Impedanz der Stromversorgung **18**. Die von der Spannungsversorgung **18** übertragene elektrische Energie führt naturgemäß aufgrund des Impedanzunterschieds zu einer in [Fig. 8](#) gezeigten und vorstehend näher beschriebenen Strom- und Spannungsoszillation, wodurch die Bildung eines Sekundärplasmas **34** begünstigt ist.

[0080] Die Einrichtung **42** zur Unterdrückung des Sekundärplasmas **34** im Raum **32** ist in Form einer Potentialsteuerung **74** gestaltet. Die Potentialsteuerung **74** ermöglicht mittels einer räumlich bezüglich der Elektroden **14,16** veränderlich positionierbaren Platte **76** zu einer Impedanzanpassung der ersten Gasentladung **22** bezüglich der Impedanz der Spannungsversorgung **18**. Dies ist auf besonders einfache Weise mittels einer Bohrung zu erreichen. Hierdurch kann insbesondere bei Bildung des Plasmas **24** ein auftretender Plasmafaden derart verlängert werden, dass dessen Ohmscher Widerstand erhöht ist. Mittels eines erhöhten Widerstands R des RCL-Schwingkreises der Entladevorrichtung **12** kann folglich eine Impedanzanpassung bezüglich der Spannungsversorgung **18** erreicht werden. Ein Über-

schwingen des RCL-Schwingkreises wird vermieden und es steht zwangsläufig weniger elektrische Energie für die Bildung des Sekundärplasmas **34** zur Verfügung.

[0081] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren bzw. eine Vorrichtung zum Betreiben einer elektrischen Entladevorrichtung, die insbesondere ein Plasma erzeugt, das Strahlung im EUV-Bereich aussendet. Hierbei werden insbesondere Maßnahmen vorgeschlagen, um die Bildung eines Sekundärplasmas im Raum zu unterdrücken. Die Maßnahmen stellen Mittel zur Begrenzung eines Stromflusses, einer Beseitigung von Partikeln im Raum und für eine Änderung eines Abstands zwischen stromführenden Komponenten bereit. Es werden folglich Mittel offenbart, die ein Erreichen eines Arbeitspunktes für das Sekundärplasma während des Betriebs der Entladevorrichtung vermeiden.

Bezugszeichenliste

10	Vorrichtung
12	Entladevorrichtung
14	erste Elektrode
16	zweite Elektrode
18	Spannungsversorgung
20	Isolator
22	erste Gasentladung
24	Plasma
26	Arbeitsgas
28	Strahlung
30	Raumwinkel
32	Raum
34	Sekundärplasma
36	Stromfluss
38	elektrisches Bauteil
40	optische Einrichtung
42	Einrichtung
44,44'	zweiter Isolator
46	Seite
48	Strompfad
50	Schaltelement
52	zweite Gasentladung
54	Laserstrahl
56	Laserquelle
58	Dosiereinheit
60	Puffergas
62	Filter
64	Zuleitung
66	Pumpe
68	Energiequelle
70	Hohlraum
72	Ablenkvorrichtung
74	Potentialsteuerung
76	Platte
78	Entladungstrecke
80	Abstand
B	Magnetfeld
C	Kondensator

C_s, C_v	Gesamtkapazität des Schwingkreises, Kapazität der Spannungsversorgung
D	Diode
E	elektrisches Feld
I	Strom
L	Induktivität der ersten Gasentladung bzw. des Plasmas
L_n	Induktivität, Spule ($n = 1, 2, \dots$)
L_s	Gesamtinduktivität des Schwingkreises
p	Druck
R	Widerstand der ersten Gasentladung bzw. des Plasmas
R_n	Widerstand ($n = 1, 2, \dots$)
R_s	Gesamtwiderstand des Schwingkreises
S	Schalter
t	Zeit
t_n	Zeitpunkt ($n = 0, 1, \dots$)

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betreiben einer elektrischen Entladevorrichtung (**12**) mit mindestens einer ersten Elektrode (**14**) und mindestens einer davon beabstandeten zweiten Elektrode (**16**), welche mit einer Spannungsversorgung (**18**) elektrisch verbunden werden und beim Zünden einer ersten Gasentladung (**22**) zwischen den Elektroden (**14, 16**) einen elektrischen Strom (I) übertragen, wodurch ein Plasma (**24**) in einem Arbeitsgas (**26**) erzeugt wird, das Strahlung (**28**) insbesondere extrem ultraviolette und/oder weiche Röntgenstrahlung aussendet, die über einen Raumwinkel (**30**) in einen Raum (**32**) außerhalb von den Elektroden (**14, 16**) geleitet wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Bildung eines Sekundärplasmas (**34**) in dem Raum (**32**) unterdrückt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass ein Stromfluss (**36**) zwischen mindestens einer der Elektroden (**14, 16**) und der Spannungsversorgung (**18**) durch ein elektrisches Bauteil (**38**) begrenzt und/oder zwischen den Elektroden (**14, 16**) und einer optischen Einrichtung (**40**) im Raum (**32**) durch einen zweiten Isolator (**44, 44'**) unterbrochen wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass mittels eines Schaltelementes (**50**) mindestens ein parallel zu den Elektroden (**14, 16**) verlaufender Strompfad (**48**) aktiviert wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass mittels einer Dosiereinheit (**58**) mindestens eine Menge des Arbeitsgases (**26**) und/oder eines Puffergases (**60**) vorbestimmt wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass mittels einer Ablenkvorrichtung (**72**) quer zur Strahlung (**28**) gerichtet ein Magnetfeld (B) und/oder ein elektrisches Feld (E) er-

zeugt wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass über eine Potentialsteuerung (74) zwischen den Elektroden (14,16) eine Impedanzanpassung der ersten Gasentladung (22) durchgeführt wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass eine Entladungsstrecke (78) festgelegt wird, die kürzer als ein Abstand (80) zwischen mindestens einer der Elektroden (14,16) und einer mit der Strahlung (28) beaufschlagbaren optischen Einrichtung (40) ist.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Unterdrückung des Sekundärplasmas (34) mit oder nach Beendigung der ersten Gasentladung (22) durchgeführt wird.

9. Vorrichtung (10) zum Betreiben einer elektrischen Entladevorrichtung (12) mit mindestens einer ersten Elektrode (14) und mindestens einer davon beabstandeten zweiten Elektrode (16), welche mit einer Spannungsversorgung (18) elektrisch verbunden sind und beim Zünden einer ersten Gasentladung (22) einen elektrischen Strom (I) zwischen den Elektroden (14,16) übertragen, wodurch ein Plasma (24) in einem Arbeitsgas (26) erzeugbar ist, dessen ausgesandte Strahlung (28), insbesondere extrem ultraviolette und/oder weiche Röntgenstrahlung, über einen Raumwinkel (30) in einen Raum (32) außerhalb von den Elektroden (14,16) leitbar ist, gekennzeichnet durch mindestens eine Einrichtung (42) zur Unterdrückung eines Sekundärplasmas (34) in dem Raum (32).

10. Vorrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Einrichtung (42) zur Unterbrechung oder Begrenzung eines Stromflusses (36) zwischen mindestens einer der Elektroden (14,16) und der Spannungsversorgung (18) ein elektrisches Bauteil (38) und/oder zwischen den Elektroden (14,16) und einer optischen Einrichtung (40) einen zweiten Isolator (44,44') aufweist.

11. Vorrichtung nach Anspruch 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Einrichtung (42) einen parallel zu den Elektroden (14,16) geschalteten Strompfad (48) umfasst, der mittels eines Schaltelements (50) aktivierbar ist.

12. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Einrichtung (42) mit einer Dosiereinheit (58) versehen ist, mit der mindestens eine Menge des Arbeitsgases (26) und/oder eines Puffergases (60) zwischen den Elektroden (14,16) und/oder im Raum (32) vorbestimmbar ist.

13. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Einrichtung (42) eine Ablenkvorrichtung (72) aufweist, deren Magnetfeld (B) und/oder elektrisches Feld (E) quer zur Strahlung (28) richtbar ist.

14. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Einrichtung (42) zur Impedanzanpassung der ersten Gasentladung (22) eine zwischen den Elektroden (14,16) angeordnete Potentialsteuerung (74) aufweist.

15. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass mittels der Einrichtung (42) eine Entladungsstrecke (78) festlegbar ist, die kürzer ist als ein Abstand (80) zwischen mindestens einer der Elektroden (14,16) und einer mit der Strahlung (28) beaufschlagbaren optischen Einrichtung (40).

16. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass die Einrichtung (42) mit oder nach Beendigung der ersten Gasentladung (22) aktivierbar ist.

17. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass das elektrische Bauteil (38) mindestens eine Diode (D), ein Diodearray, ein Gleichrichter, ein Widerstand (R) oder eine Kombination daraus ist, wodurch mindestens der Stromfluss (36) in Richtung zur Spannungsversorgung (18) sperrbar ist und/oder über den Widerstand (R) elektrische Energie umwandelbar ist.

18. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass der zweite Isolator (44,44') zwischen den Elektroden (14,16) und dem Raum (32) und/oder zwischen dem Raum (32) und einer mit der Strahlung (28) beaufschlagten Seite (46) der optischen Einrichtung (40) angeordnet ist.

19. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 18, dadurch gekennzeichnet, dass der Strompfad (48) leitungsgebunden außerhalb der Entladevorrichtung (12) oder leitungsfrei zwischen den Elektroden (14,16) als eine zweite Gasentladung (52) ausgebildet ist.

20. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 19, dadurch gekennzeichnet, dass die zweite Gasentladung (52) mittels eines auf eine der Elektroden (14,16) gerichteten Laserstrahls (54) erzeugbar ist.

21. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 20, dadurch gekennzeichnet, dass der Strompfad (48) mehrere parallel zueinander geschaltete Schaltelemente (50) und mindestens ein passives elektrisches Element, wie eine Spule (L), einen Widerstand (R) und/oder einen Kondensator (C), aufweist.

22. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 21, dadurch gekennzeichnet, dass das Schaltelement (50) ein mechanischer Schalter und/oder eine aktive elektrische Schaltung aus mindestens einer Diode (D), einem Gleichrichter, einem Transistor, einem Funkenschalter oder dergleichen ist.

23. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 12 bis 22, dadurch gekennzeichnet, dass die Dosiereinheit (58) ein zwischen dem Raum (32) und den Elektroden (14,16) angeordnetes im wesentlichen für die Strahlung (28) transparentes Filter (62) und/oder eine zwischen den Elektroden (14,16) und/oder im Raum (32) mündende Zuleitung (64) für Puffer- und/oder Arbeitsgas (26,60) und/oder eine Pumpe (66) und/oder eine zeitweise das Arbeitsgas (26) zwischen den Elektroden (14,16) bereitstellende Energiequelle (68) ist.

24. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 13 bis 23, dadurch gekennzeichnet, dass die Ablenkvorrichtung (72) im Raum (32) angeordnet ist und mittels eines Dipols, Quadrupols oder dergleichen das Magnetfeld (B) und/oder das elektrische Feld (E) erzeugbar ist, so dass insbesondere geladene Partikel des Arbeitsgases (26) und/oder Puffergases (60) verzögert und/oder entfernt werden.

25. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 14 bis 24, dadurch gekennzeichnet, dass die Potentialsteuerung (74) eine räumlich bezüglich der Elektroden (14,16) stationäre oder veränderlich positionierbare Platte (76) aufweist.

Es folgen 7 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

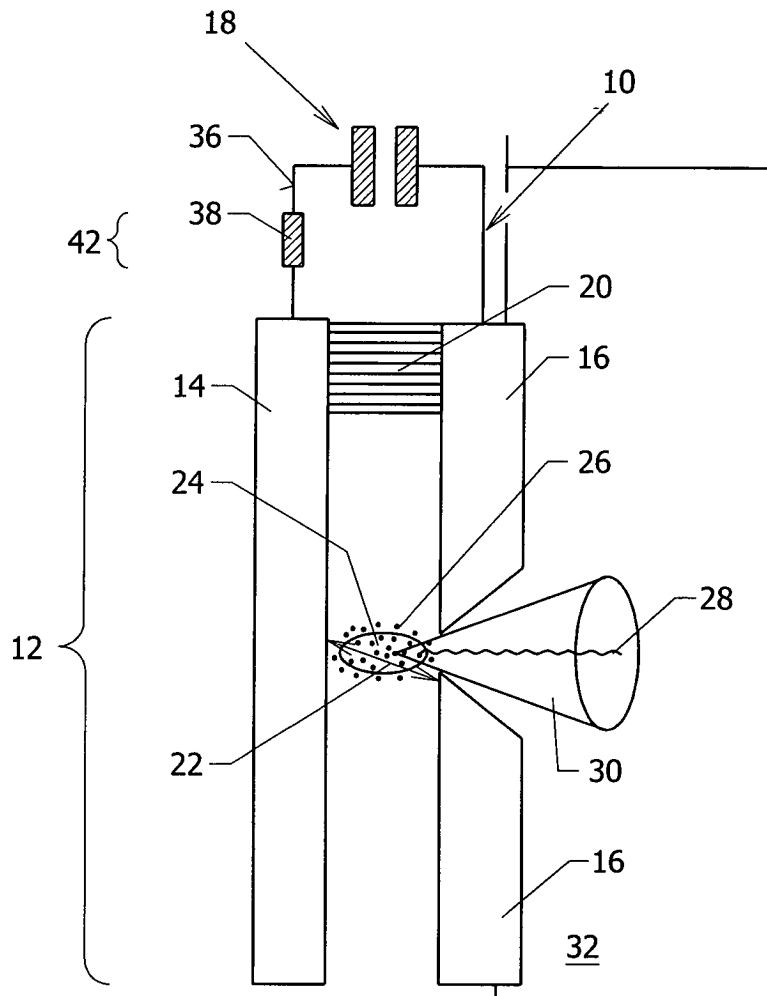


FIG. 1

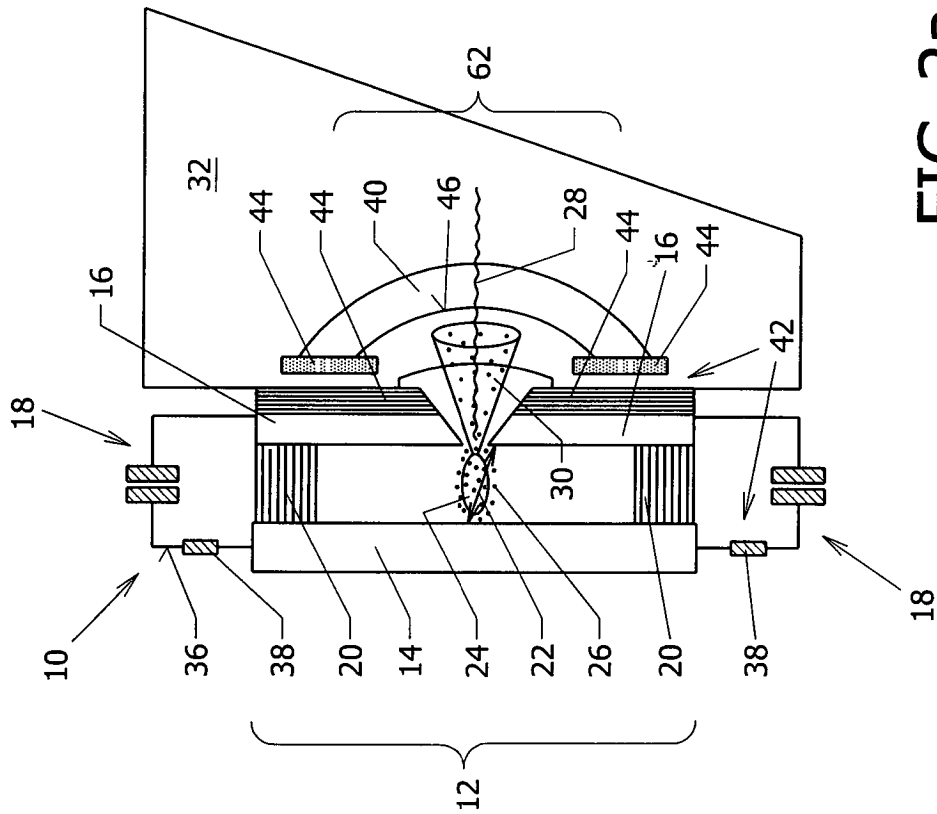


FIG. 2a

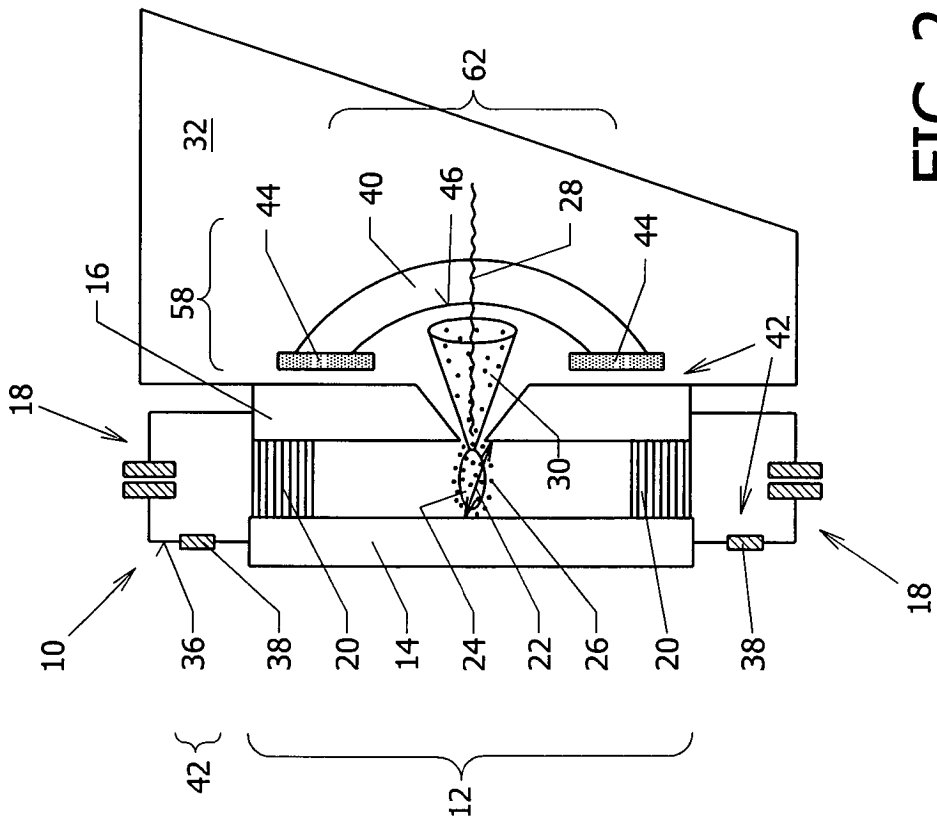


FIG. 2

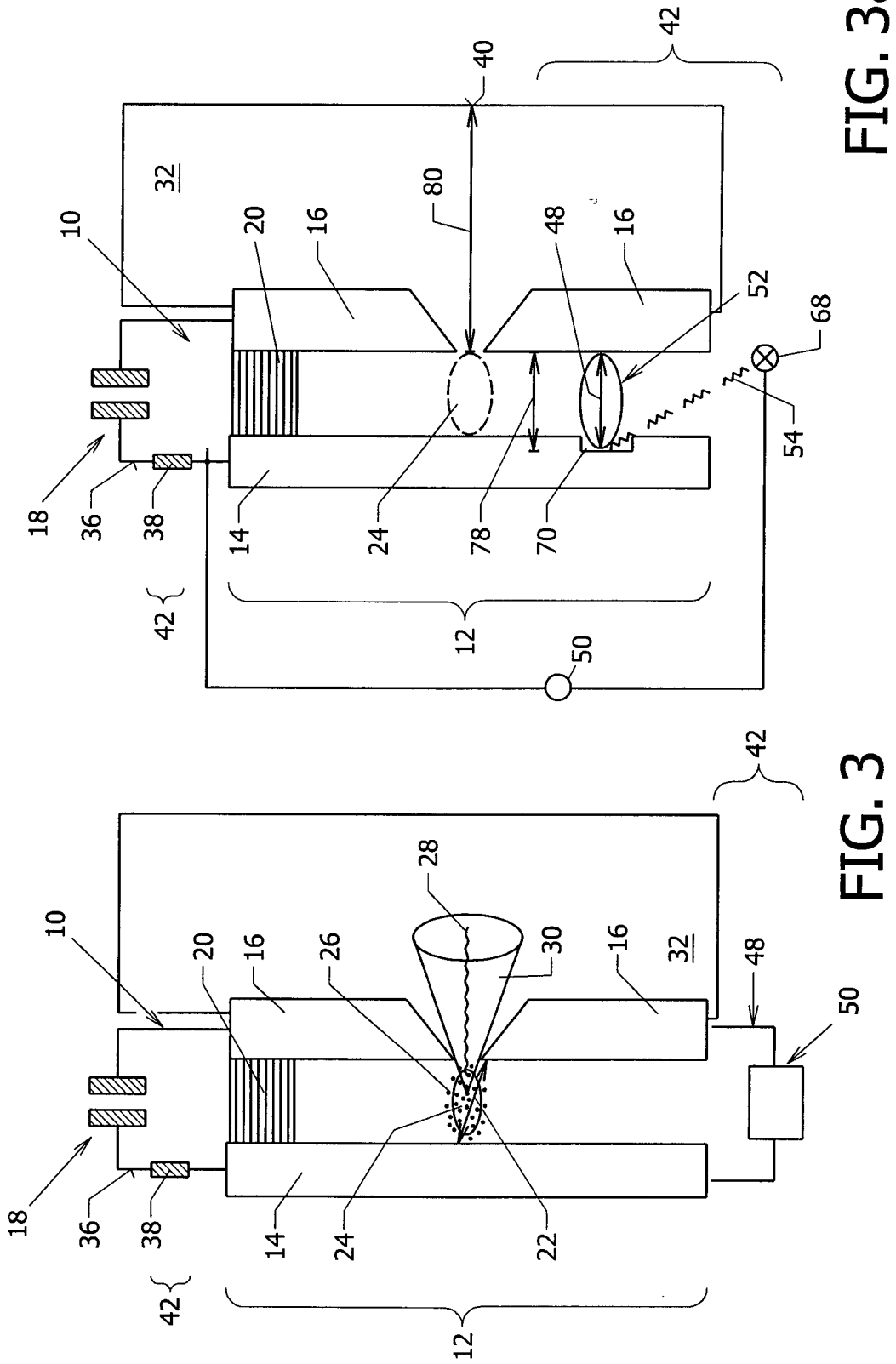


FIG. 3a

FIG. 3

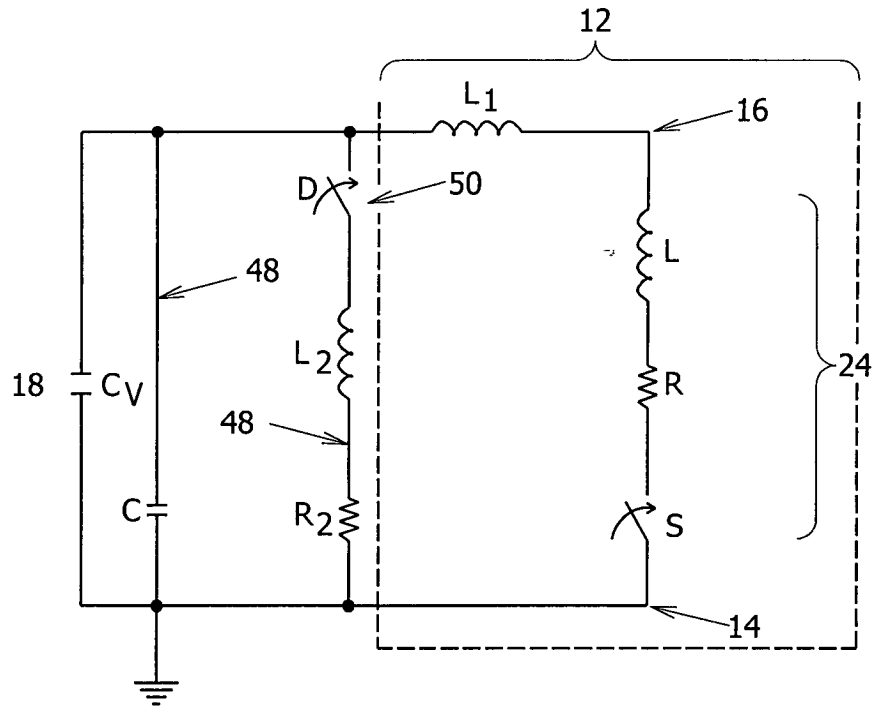


FIG. 4

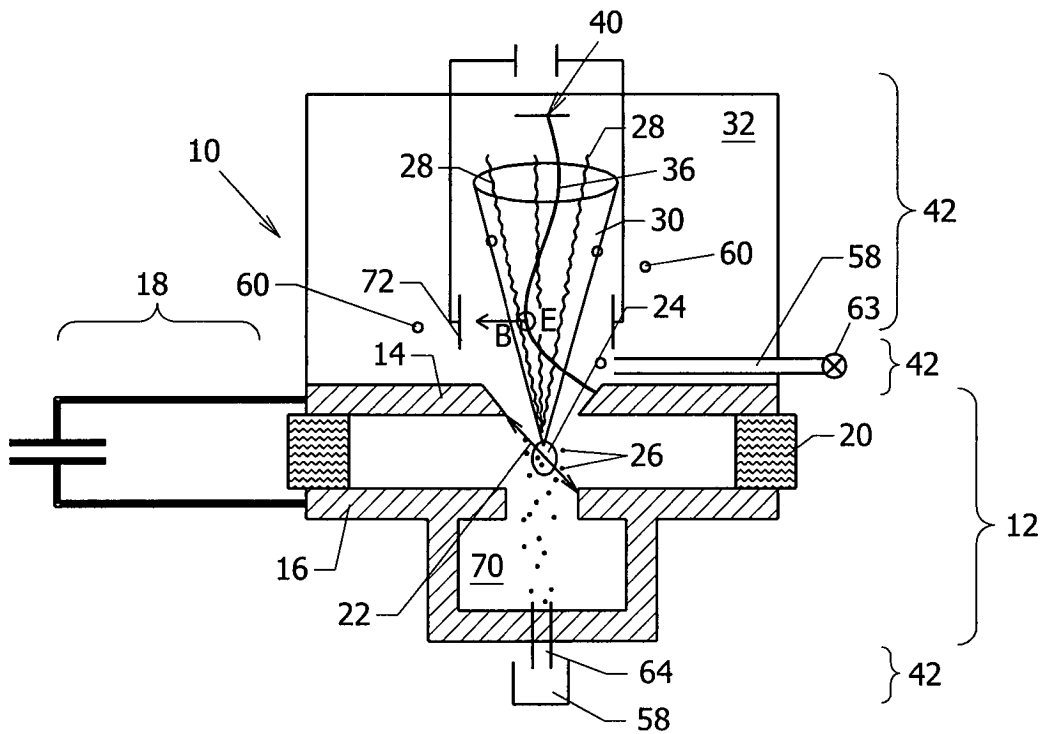


FIG. 5

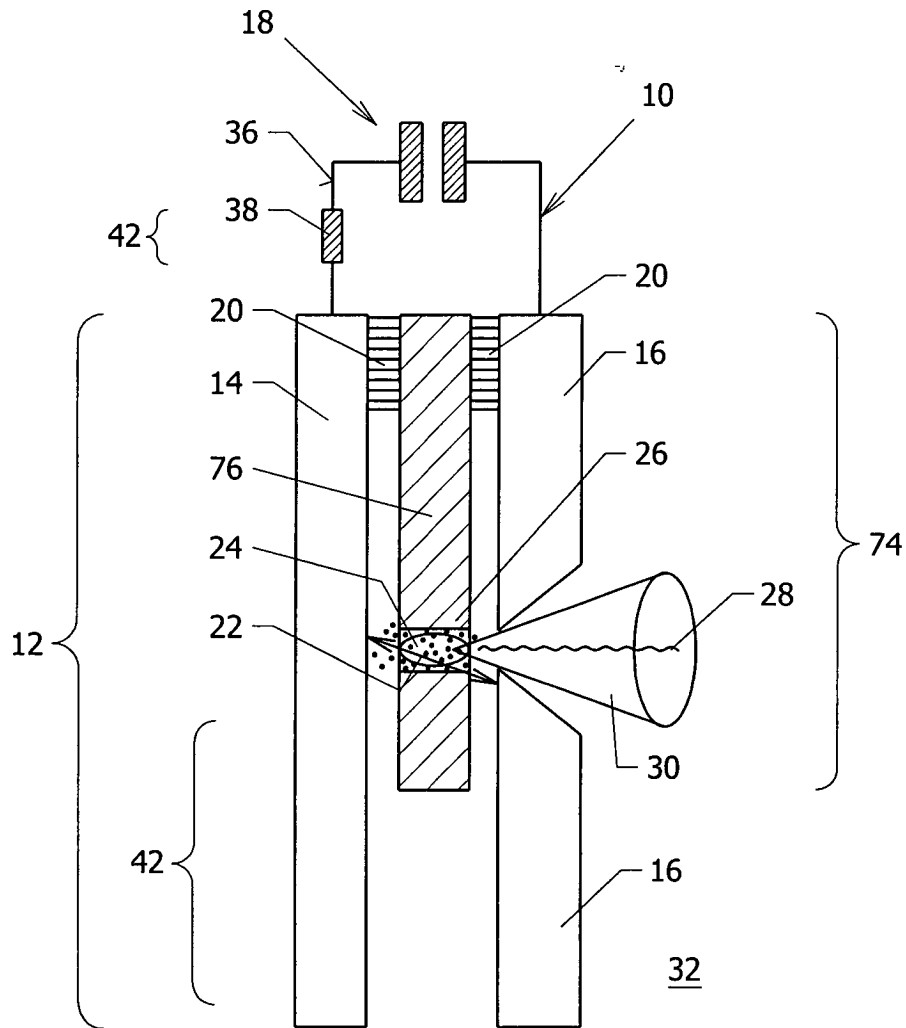


FIG. 6

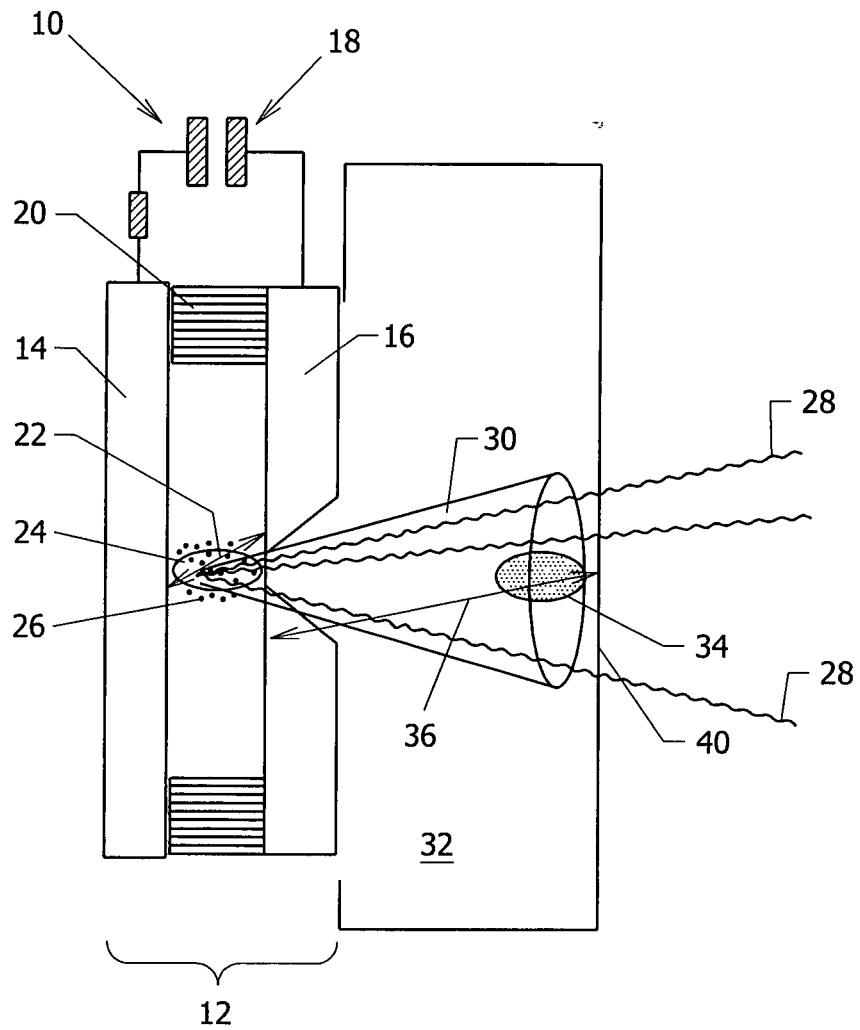


FIG. 7
Stand der Technik

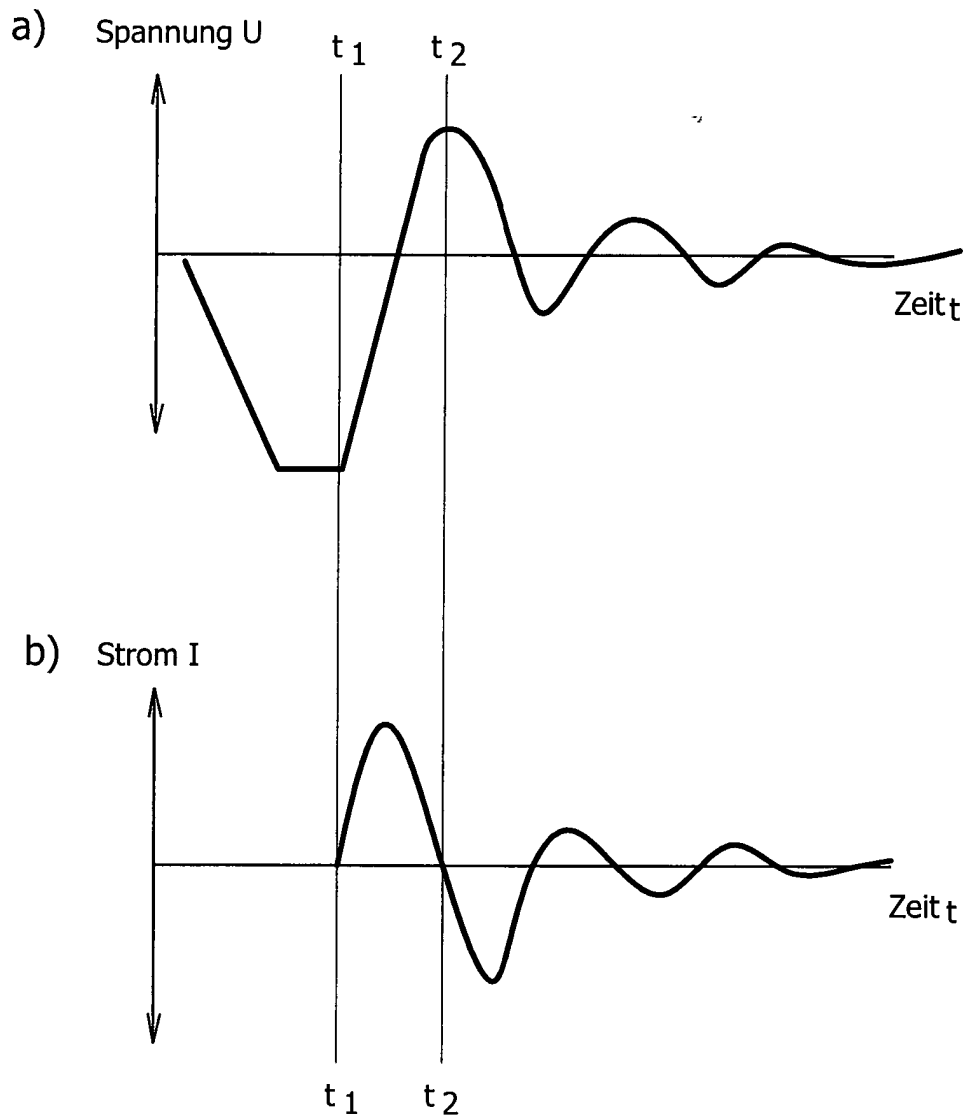


FIG. 8
Stand der Technik