



(10) **DE 11 2013 001 634 B4** 2021.01.21

(12) **Patentschrift**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2013 001 634.6**
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US2013/047811**
(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2014/004621**
(86) PCT-Anmeldetag: **26.06.2013**
(87) PCT-Veröffentlichungstag: **03.01.2014**
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung
in deutscher Übersetzung: **31.12.2014**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **21.01.2021**

(51) Int Cl.: **H01J 65/04 (2006.01)**

Innerhalb von neun 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).

(30) Unionspriorität:

61/664,565 **26.06.2012** **US**
13/924,608 **23.06.2013** **US**

(72) Erfinder:

Shchemelinin, Anatoly, Pleasanton, Calif., US;
Bezel, Ilya V., Sunnyvale, Calif., US

(73) Patentinhaber:

KLA-Tencor Corporation, Milpitas, Calif., US

(56) Ermittelter Stand der Technik:

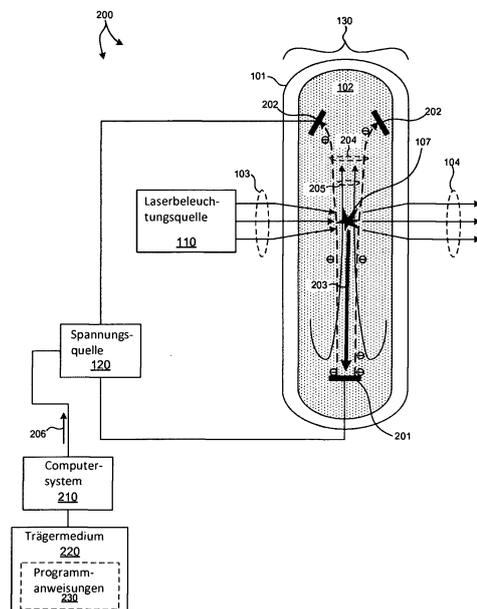
US **7 705 331** **B1**

(74) Vertreter:

Reichert & Lindner Partnerschaft Patentanwälte,
93049 Regensburg, DE

(54) Bezeichnung: **Lasergestützte Plasmalichtquelle mit elektrisch induzierter geregelter Gasströmung zwischen Elektroden und entsprechendes Verfahren**

(57) Zusammenfassung: Eine lasergestützte Plasmalichtquelle umfasst einen Plasmakolben, welcher eine Strömung eines Arbeitsgases enthält, welche durch einen innerhalb des Plasmakolbens aufrechterhaltenen elektrischen Strom getrieben wird. Geladene Teilchen werden in das Arbeitsgas des Plasmakolbens eingeführt. Eine Anordnung von Elektroden, welche auf unterschiedlichen Spannungsniveaus gehalten werden, treibt die geladenen Teilchen durch das Arbeitsgas. Die Bewegung der geladenen Teilchen innerhalb des Arbeitsgases lässt das Arbeitsgas durch Mitführung in die Bewegungsrichtung der geladenen Teilchen strömen. Die resultierende Strömung des Arbeitsgases verstärkt die Konvektion um das Plasma und erhöht die Wechselwirkung zwischen dem Laser und dem Plasma. Die Strömung des Arbeitsgases innerhalb des Plasmakolbens kann stabilisiert und gesteuert werden durch Steuerung der an jeder der Elektroden herrschenden Spannung. Eine stabilere Strömung des Arbeitsgases durch das Plasma trägt zu einer stabileren Form und Position des Plasmas innerhalb des Plasmakolbens bei.



Beschreibung

Verweis auf verwandte Anmeldung

[0001] Die vorliegende Patentanmeldung beansprucht Priorität gemäß 35 U.S.C. §119 der provisorischen US Patentanmeldung Nummer 61/664,565 mit dem Titel „Use of Electrical Gas Flow Control in Laser Sustained Plasma Light Source“, eingereicht am 26. Juni 2012, deren Anmeldegegenstand hierin durch Verweis eingeschlossen wird.

Technisches Gebiet

[0002] Die beschriebenen Ausführungsbeispiele betreffen optische Metrologie- und Inspektionssysteme für die Mikroskopie, genauer optische Metrologie- und Inspektionssysteme welche lasergestützte Plasmastrahlungsquellen umfassen.

Hintergrundinformation

[0003] Halbleiterbauelemente wie Logik- und Speicherbauelemente werden typischerweise durch eine Folge von Prozessschritten, welche auf ein Werkstück angewendet werden, hergestellt. Die verschiedenen Merkmale und mehreren Strukturschichten der Halbleiterbauelemente werden durch diese Prozessschritte hergestellt. Beispielsweise ist unter anderem die Lithografie ein Halbleiterherstellungsprozess, der die Ausbildung eines Musters auf einem Halbleiterwafer beinhaltet. Weitere Beispiele von Halbleiterherstellungsprozessen sind, ohne dass dies eine Beschränkung darstellt, chemisch-mechanisches Polieren, Ätzen, Abscheidung und Ionenimplantierung. Mehrere Halbleiterbauelemente können auf einem einzelnen Halbleiterwafer hergestellt und dann in einzelne Halbleiterbauelemente getrennt werden.

[0004] Inspektionsprozesse werden bei verschiedenen Schritten während eines Halbleiterherstellungsprozesses verwendet, um Defekte auf Wafern zu detektieren, um einen höheren Ausstoß zu fördern. Bei der Inspektion spiegelnder oder quasispiegelnder Oberflächen wie etwa von Halbleiterwafern können Hellfeld- (BF) - und Dunkelfeld- (DF) - Ausführungsarten verwendet werden, sowohl zur Durchführung einer Inspektion des strukturierten Wafers als auch zur Defektbewertung. Bei BF-Inspektionssystemen werden Sammeloptiken so positioniert, dass die Sammeloptiken einen wesentlichen Anteil des Lichts erfassen, welches von der inspizierten Oberfläche spiegelnd reflektiert wird. In DF-Inspektionssystemen werden die Sammeloptiken außerhalb des Strahlengangs des spiegelnd reflektierten Lichts positioniert, so dass die Sammeloptiken Licht erfassen, welches von Objekten auf der inspizierten Oberfläche gestreut wird, etwa von Mikroschaltkreismustern oder Verunreinigungen auf den Waferoberflächen.

Brauchbare Inspektionssysteme, insbesondere BF-Inspektionssysteme, erfordern eine Beleuchtung von hoher Strahldichte und eine hohe numerische Apertur (NA), um die Defektempfindlichkeit des Systems zu maximieren.

[0005] Aktuelle Waferinspektionssysteme setzen typischerweise Beleuchtungsquellen mit Strahlung im tiefen Ultraviolett (DUV) mit hoher numerischer Apertur (NA) ein. Im Allgemeinen ist die Defektempfindlichkeit eines Inspektionssystems proportional zu der Wellenlänge des Beleuchtungslichts dividiert durch die NA des Objektivs. Ohne weitere Verbesserung der NA ist die allgemeine Defektempfindlichkeit aktueller Inspektionsmaschinen durch die Wellenlänge der Beleuchtungsquelle begrenzt.

[0006] In manchen Beispielen von BF-Inspektionssystemen kann Beleuchtungslicht von einer Bogenlampe bereitgestellt werden. Beispielsweise werden in Inspektionssystemen elektrodenbasierte Bogenentladungslampen relativ hoher Intensität verwendet. Jedoch haben diese Lichtquellen eine Anzahl an Nachteilen. Beispielsweise haben elektrodenbasierte Bogenentladungslampen relativ hoher Intensität Strahldichtegrenzen und Leistungsgrenzen aufgrund von elektrostatischen Grenzen der Stromdichte von den Elektroden, des begrenzten Emissionsvermögens von Gasen als Schwarzkörperstrahler, der relativ raschen Erosion der Elektroden, welche aus hitzebeständigen Materialien hergestellt sind, aufgrund des Auftretens relativ hoher Stromdichten an den Kathoden, und der Unmöglichkeit, bei dem erforderlichen Emissionsstrom Dotierstoffe (welche die Betriebstemperatur der hitzebeständigen Kathoden senken können) über relativ lange Zeitdauern hinweg zu kontrollieren.

[0007] Zur Vermeidung der Beschränkungen elektrodenbasierter Beleuchtungsquellen wurden inkohärente Lichtquellen, welche von einem Laser gepumpt werden (z. B. lasergestütztes Plasma), entwickelt. Beispielhafte Systeme mit lasergestütztem Plasma werden in dem US-Patent US 7 705 331 B1, gehalten von der KLA-Tencor Corp., welches hierin durch Verweis eingeschlossen wird, als sei es vollständig hierin enthalten, beschrieben. Lasergestützte Plasmen werden in Hochdruckkolben erzeugt und sind von einem Arbeitsgas umgeben, welches eine niedrigere Temperatur aufweist als das Laserplasma. Mit lasergestützten Plasmen werden wesentliche Verbesserungen der Strahldichte erzielt. Die Emission von Atomen und Ionen in diesen Plasmen erzeugt Wellenlängen in allen Spektralbereichen, einschließlich kürzer als 200 nm, wenn entweder kontinuierliche oder gepulste Pumpquellen verwendet werden. Excimer-Emission kann in lasergestützten Plasmen ebenso für Wellenlängen von 171 nm (z.B. Xenon-Excimer-Emission) erzielt werden. Daher kann eine einfache Gasmischung in einem Hochdruckkolben Wellenlängen

genabdeckung bei Wellenlängen im tiefen Ultraviolett (DUV) erzielen, bei ausreichender Strahldichte und Durchschnittsleistung um BF-Waferinspektion bei hohem Durchsatz und hoher Auflösung zu unterstützen.

[0008] Die Entwicklung lasergestützter Plasmen ist durch Sachverhalte behindert worden, welche zu durch unvorhersagbare Arbeitsgasströmungen innerhalb des Kolbens verursachter Plasmastabilität in Beziehung stehen. Speziell führen turbulente Gasströmungen zu Unsicherheit hinsichtlich der Position des Plasmas und verzerren das Plasmaprofil. Zusätzlich destabilisieren die unvorhersagbaren Gasströmungen die optischen Transmissionseigenschaften des Arbeitsgases. Dies verursacht zusätzliche Unsicherheit in dem Pumplicht, welches das Plasma erreicht, und dem vom Plasma extrahierten Licht.

[0009] Herkömmliche lasergestützte Plasmalichtquellen verlassen sich zur Kühlung des lasergestützten Plasmas auf natürliche Konvektion. Strukturen können hinzugefügt werden, um die natürlichen Konvektionsströmungen zu beeinflussen. Jedoch sind die Strömungsraten durch das Plasma typischerweise auf ungefähr einen Meter pro Sekunde begrenzt, und Strömungsinstabilität wie -unsicherheit führen zu beträchtlichem Rauschen im Beleuchtungssystem. Eine Strömung von unter Druck stehendem Gas kann eingesetzt werden, um die Strömungsrate des Arbeitsgases durch das Plasma zu erhöhen, aber die Kontrolle über das Strömungsfeld innerhalb des Plasmakolbens ist auf Bereiche nahe dem Düsenauslass, welcher die unter Druck stehende Strömung bereitstellt, beschränkt. Typischerweise muss die Düse relativ weit von dem Plasma entfernt angebracht werden. Dies begrenzt die präzise Kontrolle über das Strömungsfeld in dem Plasma durch die Strömung des unter Druck stehenden Gases selbst. Ferner weisen die mechanischen Systeme, welche zur Erzeugung des unter Druck stehenden Arbeitsgases benutzt werden, tendenziell eine relativ langsame Antwortzeit auf, was ihre Eignung als Teil eines aktiven Echtzeit-Strömungskontrollsystems zur Stabilisierung des lasergestützten Plasmas beschränkt.

[0010] Mit der Entwicklung von Inspektionssystemen mit Beleuchtungsquellen auf Grundlage lasergestützten Plasmas wird die Aufrechterhaltung der Plasmastabilität ein Begrenzungsfaktor in der Systemperformanz. Daher sind verbesserte Verfahren und Systeme zur Kontrolle von Arbeitsgasströmungen innerhalb einer Lichtquelle auf Grundlage lasergestützten Plasmas erwünscht.

ÜBERSICHT

[0011] Eine lasergestützte Plasmalichtquelle weist einen Plasmakolben und eine Arbeitsgasströmung auf, welche von einem elektrischen Strom, welcher

innerhalb des Plasmakolbens aufrechterhalten wird, getrieben wird.

[0012] Ein Aspekt ist, dass eine Quelle geladener Teilchen geladene Teilchen in das Arbeitsgas des Plasmakolbens einbringt. Eine Anordnung von Elektroden, welche auf unterschiedlichen Spannungsniveaus gehalten werden, treibt die geladenen Teilchen durch das Arbeitsgas. Die Bewegung der geladenen Teilchen innerhalb des Arbeitsgases bringt das Arbeitsgas durch Mitführung dazu, in die Bewegungsrichtung der geladenen Teilchen zu strömen. Die resultierende Arbeitsgasströmung erhöht die Konvektion um das Plasma und erhöht die Wechselwirkung von Laser und Plasma.

[0013] Die Emission von geladenen Teilchen in das Arbeitsgas des Plasmakolbens kann durch mehrere unterschiedliche Mechanismen erreicht werden. Als nicht-einschränkendes Beispiel kann Elektronenemission von einer Elektrode durch Koronaentladung erreicht werden, durch photoelektrische Emission, durch Glühemission von der Elektrode, oder durch Erhitzung der Elektrode durch einen Lichtbogen.

[0014] Im Arbeitsgas wird ein elektrischer Strom durch Anlegen einer Spannung zwischen zwei an unterschiedlichen Positionen des Plasmakolbens befindliche Elektroden erzeugt. Die Strömung des Arbeitsgases innerhalb des Plasmakolbens kann durch Steuerung des durch das Arbeitsgas fließenden Stroms stabilisiert und gesteuert werden. Eine stabilere Strömung des Arbeitsgases durch das Plasma trägt zu einer stabileren Form und Position des Plasmas innerhalb des Plasmakolbens bei. Dies verringert das Rauschen im von der LSP-Lichtquelle emittierten Licht. Die Steuerung des durch das Arbeitsgas fließenden elektrischen Stroms kann durch Steuerung der Spannungsniveaus einer oder mehrerer Elektroden, welche den Verlauf des elektrischen Stroms beeinflussen, erreicht werden. Zusätzlich zur Stabilisierung der Arbeitsgasströmung durch den Plasmabereich kann ein Fluss elektrischen Stroms auch eingesetzt werden, um die Strömung des Arbeitsgases in Bereichen zu stabilisieren, die mit einfallendem Laserlicht und emittiertem Licht wechselwirken. Durch Stabilisierung der Arbeitsgasströmung in diesen Bereichen werden auch die optischen Eigenschaften des Arbeitsgases in diesen Bereichen stabilisiert, was zu verringertem Rauschen in dem von der LSP-Lichtquelle emittierten Licht führt. Zusätzlich zur Reduktion des Rauschens kann die Steuerung der Gasströmung durch das Plasma eingesetzt werden, um die Temperaturverteilung in dem Plasma zu verändern. Dies verändert das Licht-Plasma-Wechselwirkungs-Gleichgewicht und Plasmamaparameter wie Größe und Strahlungsspektrum. Auf diese Weise kann durch Steuerung der Gasströmung durch das Plasma die Kontrolle über die Lichtemis-

sionseigenschaften der lasergestützten Plasmalichtquelle erreicht werden.

[0015] Unter einem anderen Aspekt erzeugt Wärme, welche durch einen anhaltenden Strom geladener Teilchen von einer Elektrode zu einer anderen in einem Lichtbogen erzeugt wird, eine Arbeitsgasfahne, welche durch das Plasma strömt. Eine Spannungsdifferenz zwischen den Elektroden wird gesteuert, um den Lichtbogen und die resultierende Arbeitsgasströmung aufrecht zu erhalten.

[0016] Unter einem wiederum anderen Aspekt werden mehrere Elektroden separat gesteuert, um sowohl geladene Teilchen zu erzeugen als auch die geladenen Teilchen durch das Arbeitsgas zu lenken. Die Verwendung mehrerer Elektroden führt zu einer zusätzlichen Flexibilität bei der Steuerung der Arbeitsgasströmung innerhalb eines Plasmakolbens. Dies kann verbesserte Stabilisierung von Plasmaform und -position ermöglichen.

[0017] Das Vorstehende ist eine Übersicht und enthält daher, notwendigerweise, Vereinfachungen, Verallgemeinerungen und Auslassungen von Einzelheiten; folglich ist für den Fachmann einsichtig, dass die Übersicht lediglich der Verdeutlichung dient und in keinsten Weise einschränkend ist. Andere Aspekte, erfinderische Merkmale und Vorteile der hierin beschriebenen Geräte und / oder Prozesse werden in der hierin dargelegten, nicht-einschränkenden detaillierten Beschreibung offenbar werden.

Figurenliste

Fig. 1 ist eine vereinfachte Darstellung einer lasergestützten Plasmalichtquelle **100** in einer ersten Ausführungsform, welche einen Strom geladener Teilchen umfasst, welcher durch eine Koronaentladung erzeugt wird.

Fig. 2 ist eine vereinfachte Darstellung einer lasergestützten Plasmalichtquelle **200** in einer zweiten Ausführungsform, welche einen Strom geladener Teilchen umfasst, welcher durch photoelektrische Emission erzeugt wird.

Fig. 3 ist eine vereinfachte Darstellung einer lasergestützten Plasmalichtquelle **300** in einer dritten Ausführungsform, welche eine Arbeitsgasströmung umfasst, welche durch von einem Lichtbogen emittierte Wärme erzeugt wird.

Fig. 4 ist eine vereinfachte Darstellung einer lasergestützten Plasmalichtquelle **400** in einer vierten Ausführungsform, welche einen Strom geladener Teilchen umfasst, welcher durch mehrere Elektroden gesteuert wird.

Fig. 5 ist eine vereinfachte Darstellung einer Anordnung von Elektroden **402** in einer Draufsicht.

Fig. 6 ist eine vereinfachte Darstellung einer lasergestützten Plasmalichtquelle **500** in einer weiteren Ausführungsform, welche eine Arbeitsgasströmung durch einen Plasmakolben umfasst.

Fig. 7 ist ein Flussdiagramm, welches ein beispielhaftes Verfahren **600** darstellt, welches geeignet ist, eine anhaltende Strömung eines Arbeitsgases durch einen Plasmakolben einer lasergestützten Plasmalichtquelle zu erzeugen.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG

[0018] Es wird nun im Detail auf Hintergrundbeispiele und einige Ausführungsformen der Erfindung Bezug genommen, wovon Beispiele in den beigefügten Zeichnungen dargestellt sind.

[0019] Lasergestützte Plasmalichtquellen (LSPs) sind in der Lage, breitbandiges Licht hoher Leistung und hoher Helligkeit zu erzeugen, welches für Anwendungen in Metrologie und Inspektion geeignet ist. LSPs arbeiten derart, dass Laserstrahlung in ein Arbeitsgasvolumen fokussiert wird, um das Gas in einen Plasmazustand anzuregen, der Licht aussendet. Dieser Effekt wird gemeinhin als „Pumpen“ des Plasmas mit der Laserstrahlung bezeichnet. Ein Plasmakolben oder eine Gaszelle ist dazu ausgebildet, die Arbeitsgassorte und das erzeugte Plasma einzuschließen. In manchen Ausführungsformen wird eine LSP mit einer infraroten Laserpumpe aufrecht erhalten, welche eine Strahlleistung in der Ordnung von einigen Kilowatt hat. Der Laserstrahl wird in ein Volumen eines Arbeitsgases von niedrigem oder mittlerem Druck fokussiert, welches von einer Gaszelle eingeschlossen ist. Die Absorption der Laserleistung durch das Plasma erzeugt das Plasma und erhält es aufrecht, beispielsweise bei Plasmatemperaturen zwischen 10000 Kelvin und 20000 Kelvin.

[0020] **Fig. 1** zeigt eine lasergestützte Plasmalichtquelle **100**, welche gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ausgebildet ist. LSP **100** weist eine Laserbeleuchtungsquelle **110** und einen Plasmakolben **130** auf. Der Plasmakolben **130** hat zumindest eine Wandung **101**, welche aus einem Material (z. B. Glas) gebildet ist, das im Wesentlichen transparent für zumindest einen Teil des einfallenden Lichtes **103** ist, welches von der Laserbeleuchtungsquelle **110** erzeugt wird. Ähnlich ist die zumindest eine Wandung ebenso im Wesentlichen transparent für zumindest einen Teil der sammelbaren Beleuchtung **104** (z.B. IR-Licht, sichtbares Licht, Ultraviolettlicht), welches von dem Plasma **107**, welches innerhalb des Plasmakolbens **130** aufrecht erhalten wird, emittiert wird. Beispielsweise kann die Wandung **101** transparent für einen bestimmten Spektralbereich der Breitbandemission **104** von dem Plasma **107** sein.

[0021] Der Plasmakolben **130** kann aus einer Vielfalt von Glas- oder kristallinen Materialien gebildet sein. In einer Ausführungsform kann der Glaskolben aus Quarzglas gebildet sein. In manchen Ausführungen kann der Plasmakolben **130** aus einem synthetischen Quarzglasmaterial mit niedrigem OH-Gehalt gebildet sein. In anderen Ausführungsformen kann der Plasmakolben **130** aus einem synthetischen Quarzglasmaterial mit hohem OH-Gehalt gebildet sein. Beispielsweise kann der Plasmakolben **130**, ohne darauf beschränkt zu sein, enthalten SUPRASIL **1**, SUPRASIL **2**, SUPRASIL **300**, SUPRASIL **310**, HERALUX PLUS und HERALUX-VUV. In manchen Ausführungsformen kann ein Glasmaterial, welches den Plasmakolben **130** bildet, mit Fluor, Wasserstoff usw. dotiert sein. Verschiedene, für die Anwendung in dem Plasmakolben der vorliegenden Erfindung geeignete Gläser werden im Detail in A. Schreiber et. al., Radiation Resistance of Quartz Glass für VUV Discharge Lamps, J. Phys. D: Appl. Phys. 38 (2005), 3242-3250, was hierin in vollem Umfang einbezogen wird. In manchen Ausführungsformen kann der Plasmakolben **130** aus einem kristallinen Material, etwa einem kristallinen Quarzmaterial, einem Saphirmaterial, Kalziumfluorid oder Magnesiumfluorid gebildet sein.

[0022] In der gezeigten Ausführungsform weist der Plasmakolben **130** eine zylindrische Form mit sphärischen Enden auf. In manchen Ausführungsformen hat der Plasmakolben **130** eine beliebige der folgenden Formen: eine im Wesentlichen sphärische Form, eine im Wesentlichen zylindrische Form, eine im Wesentlichen elliptische Form, und eine Form welche im Wesentlichen ein prolater Spheroid ist. Diese Formen sind als nicht-einschränkende Beispiele genannt. Es können aber viele andere Formen in Betracht gezogen werden.

[0023] Es wird hierin in Betracht gezogen, einen wiederbefüllbaren Plasmakolben **130** zu verwenden, um ein Plasma in einer Vielfalt von Gasumgebungen aufrecht zu erhalten. In einer Ausführungsform kann das Arbeitsgas **102** des Plasmakolbens **130** ein inertes Gas (z.B. ein Edelgas oder ein Gas, das kein Edelgas ist), oder ein nicht-inertes Gas (z.B. Quecksilber) oder ihre Mischungen beinhalten. Zum Beispiel kann das Arbeitsgasvolumen in der vorliegenden Erfindung Argon beinhalten. Zum Beispiel kann das Arbeitsgas ein im Wesentlichen reines Argongas beinhalten, welches bei einem Druck über 5 Atmosphären gehalten wird. In einem anderen Beispiel kann das Arbeitsgas ein im Wesentlichen reines Krypton gas beinhalten, welches bei einem Druck über 5 Atmosphären gehalten wird. Allgemein kann der Plasmakolben **130** mit jedem bekannten Gas gefüllt werden, welches für die Verwendung in lasergestützten Plasmalichtquellen geeignet ist. Ferner kann das Arbeitsgas eine Mischung aus zwei oder mehr Gasen beinhalten. Als nicht-einschränkende Beispiele kann

das Arbeitsgas jedes der folgenden oder jede Kombination von Ar, Kr, Xe, He, Ne, N₂, Br₂, Cl₂, I₂, H₂O, O₂, H₂, CH₄, NO, NO₂, CH₃OH, C₂H₅OH, CO₂, NH₃, eines oder mehrere Metallhaloide, eine Ne/Xe-Mischung, eine Ar/Xe-Mischung, eine Kr/Xe-Mischung, eine Ar/Kr/Xe-Mischung, eine ArHg-Mischung, eine KrHg-Mischung und eine XeHg-Mischung beinhalten. Allgemein sollte die vorliegende Erfindung als sich auf jegliches lichtgepumpte Plasmaerzeugungssystem erstreckend ausgelegt werden, und sollte ferner als sich auf jegliche Art Arbeitsgas erstreckend ausgelegt werden, welches zur Aufrechterhaltung eines Plasmas innerhalb eines Plasmakolbens geeignet ist.

[0024] Als einen neuen Aspekt umfasst die vorgeschlagene lasergestützte Plasmalichtquelle einen Plasmakolben mit einer anhaltenden Arbeitsgasströmung, welche von einem elektrischen Strom, welcher innerhalb des Plasmakolbens aufrecht erhalten wird, getrieben wird. Als ein weiterer Aspekt bringt eine Quelle geladener Teilchen geladene Teilchen in das Arbeitsgas des Plasmakolbens ein. Eine Anordnung von Elektroden, welche auf unterschiedlichen Spannungsniveaus gehalten werden, treibt die geladenen Teilchen durch das Arbeitsgas. Die Bewegung der geladenen Teilchen innerhalb des Arbeitsgases veranlasst durch Mitführung das Arbeitsgas, in die Bewegungsrichtung der geladenen Teilchen zu strömen. Die resultierende Arbeitsgasströmung erhöht die Konvektion um das Plasma und erhöht die Wechselwirkung zwischen Laser und Plasma.

[0025] In einigen Ausführungsformen wird elektrischer Strom im Arbeitsgas erzeugt, indem eine Spannungsdifferenz zwischen zwei Elektroden, welche sich an unterschiedlichen Positionen innerhalb des Plasmakolbens befinden, angelegt wird. In einigen dieser Ausführungsformen treten negativ geladene Teilchen (z.B. Elektronen, negativ geladene Ionen, etc.) aus der negativ geladenen Elektrode (d.h. der Kathode) aus und driften zu einer positiv geladenen Elektrode (Anode). Die Bewegung der negativ geladenen Teilchen zieht gewissermaßen Moleküle des Arbeitsgases entlang des Wegs des elektrischen Stroms, der von der Kathode zu der Anode fließt, mit, in Folge von elastischer und nicht-elastischer Streuung mit Atomen des Arbeitsgases. In einigen anderen Ausführungsformen treten positiv geladene Teilchen (z.B. positiv geladene Ionen, etc.) aus einer positiv geladenen Elektrode (d.h. Anode) aus und driften zu einer negativ geladenen Elektrode (d.h. Kathode). In ähnlicher Weise zieht die Bewegung der positiv geladenen Teilchen gewissermaßen die Moleküle des Arbeitsgases entlang des Wegs des elektrischen Stroms, der von der Anode zu der Kathode fließt, mit, in Folge von elastischer und nicht-elastischer Streuung mit Atomen des Arbeitsgases. Obwohl viele der hierin beschriebenen Verfahren und Ausführungsformen sich auf Elektronen als die geladenen Teilchen, die durch das Arbeitsgas strömen, beziehen, kann im

Allgemeinen im Rahmen der hierin dargelegten Beschreibung jegliches geladene Teilchen in Betracht gezogen werden.

[0026] Die resultierende Strömungsgeschwindigkeit ist höher als die Geschwindigkeit der freien Konvektionsströmung und ist stets entlang des Weges des elektrischen Stromes gerichtet, unabhängig von der Orientierung des Plasmakolbens in einem Gravitationsfeld. Die erhöhte Geschwindigkeit der Arbeitsgasströmung durch das Plasma erhöht die Kühlung der Peripherie des Plasmas. Dies vermindert die Absorption von Pumplicht an der Peripherie des Plasmas und verbessert die Auskoppelung von vom Plasma emittierten Licht. Zusätzlich ergibt die Beschränkung der Pumplichtabsorption auf ein kleineres Volumen ein kleineres, helleres Plasma.

[0027] Ferner kann die Arbeitsgasströmung innerhalb eines Plasmakolbens durch Steuerung des durch das Arbeitsgas fließenden elektrischen Stroms stabilisiert und gesteuert werden. Der Großteil des Arbeitsgasvolumens ist nicht ionisiert, daher ist die strömungserzeugende Kraft gleichförmig entlang des Weges des elektrischen Stroms verteilt. Dies ermöglicht die schnelle Steuerung der Strömung und kann zur aktiven Stabilisierung von Plasmaeigenschaften verwendet werden. Eine stabilere Strömung des Arbeitsgases durch das Plasma trägt zu einer stabileren Plasmaform und Lage innerhalb des Plasmakolbens bei. Dies verringert das Rauschen in dem von der LSP-Lichtquelle emittierten Licht. Die Steuerung des durch das Arbeitsgas fließenden elektrischen Stroms kann durch Steuerung der Spannungsniveaus an einer oder mehreren Elektroden, welche den Fluss des elektrischen Stroms beeinflussen, erzielt werden. In einigen Beispielen können die Spannungsniveaus angepasst werden, um den Fluss des elektrischen Stroms durch das Arbeitsgas zu lenken. In einigen Beispielen können die Spannungsniveaus zwischen zwei oder mehreren Elektroden umgekehrt werden, um den Fluss des elektrischen Stroms in die entgegengesetzte Richtung zu treiben.

[0028] Zusätzlich zur Stabilisierung der Arbeitsgasströmung durch den Plasmabereich kann der Fluss elektrischen Stromes eingesetzt werden, den Fluss des Arbeitsgases in Bereichen zu stabilisieren, welche mit einfallendem Laserlicht und emittiertem Licht wechselwirken. Durch Stabilisierung der Arbeitsgasströmung in diesen Bereichen werden die optischen Eigenschaften des Arbeitsgases in diesen Bereichen ebenfalls stabilisiert, was zu vermindertem Rauschen in dem von der LSP-Lichtquelle emittierten Licht führt.

[0029] Die Emission geladener Teilchen von einer Elektrode kann durch verschiedene Mechanismen bewirkt werden. Als nicht-einschränkendes Beispiel kann die Elektronenemission von einer Kathode durch Corona-Entladung, photoelektrische Emission,

Erhitzen der Elektrode durch Führung eines Stromes durch ein Widerstandsfilament oder Erhitzen der Elektrode durch einen Lichtbogen erfolgen.

[0030] In der in **Fig. 1** gezeigten Ausführungsform ist eine Elektrode **109** innerhalb des Plasmakolbens **130** angebracht. Zusätzlich ist die Elektrode **108** ebenfalls innerhalb des Plasmakolbens **130** angebracht und von der Elektrode **109** getrennt. In der gezeigten Ausführungsform ist die Elektrode **108** eine kreisförmige, bandförmige Elektrode, welche eine mittige longitudinale Achse des achsensymmetrischen Plasmakolbens **130** umschließt. Daher erscheint die Elektrode **108** in der Querschnittsansicht der **Fig. 1** an zwei Stellen. Die Form der Elektrode **109** weist eine scharfe Spitze auf, um die Corona-Entladung von der Elektrode **109** zu begünstigen. In dieser Ausführungsform wird die Corona-Entladung eingesetzt, um die Emission geladener Teilchen von der Elektrode **109** zu erhöhen. Die Elektrode **109** kann mit Materialien beschichtet oder dotiert sein, um die Austrittsarbeit der Oberfläche der Elektrode **109** zu vermindern und den emittierten Strom zu erhöhen. In typischen Gleichstrom-Entladungslampen eingesetzte Materialien (z.B. Thorium, Bariumoxid, etc.) können verwendet werden. Jedoch können andere Materialien in Betracht gezogen werden.

[0031] Wie abgebildet ist die Elektrode **109** mit einer Spannungsquelle **120** verbunden. In der abgebildeten Ausführungsform ist die Spannungsquelle **120** dazu ausgebildet, eine hohe negative Spannung an der Elektrode **109** bereitzustellen, um den Austritt von Elektronen von der Spitze der Elektrode **109** zu stimulieren. Ferner ist Spannungsquelle **121** an die Elektrode **108** gekoppelt und dazu ausgebildet, eine positive Spannung an der Elektrode **108** bereitzustellen, um die von der Elektrode **109** emittierten Elektronen anzuziehen. Obwohl die Spannungsquellen **120** und **121** als getrennte Spannungsquellen dargestellt sind, kann in einigen anderen Ausführungsformen eine einzige Spannungsquelle dazu ausgebildet sein, die gewünschte Spannungsdifferenz zwischen den Elektroden **108** und **109** bereitzustellen. Aus der Bewegung von Elektronen von der Elektrode **109** zu der Elektrode **108** resultiert ein elektrischer Strom **112**. Der Fluss von Elektronen führt einen Teil des Arbeitsgases **102** mit. Dies führt zu einer Arbeitsgasströmung **111**, welche durch den Bereich des Plasmas **107** verläuft.

[0032] Obwohl, wie dargestellt, die Elektrode **108** innerhalb des Plasmakolbens **130** zwischen dem Plasma **107** und der Elektrode **109** angeordnet ist, können andere Konfigurationen in Betracht gezogen werden. Zum Beispiel kann in einigen Ausführungsformen die Elektrode **108** auf einer Seite des Plasmas **107** gegenüber der Elektrode **109** angeordnet sein. In diesen Ausführungsformen verläuft ein elektrischer Strom **112** durch das Plasma **107**, zusammen mit der

Strömung **111** des mitgeführten Arbeitsgases. In einem anderen Beispiel kann die Elektrode **108** außerhalb des Plasmakolbens **130** angeordnet sein. In diesen Ausführungsformen werden die Elektronen gewissermaßen durch die Elektrode **108** gelenkt, aber am Ende nicht von der Elektrode **108** absorbiert. In wiederum einem anderen Beispiel kann die Elektrode **109** dazu eingesetzt werden, geladene Teilchen in das Arbeitsgas **102** durch eine Korona-Entladung zu emittieren, aber mehrere Elektroden können dazu eingesetzt werden, den Fluss der geladenen Teilchen durch das Arbeitsgas **102** zu lenken. In dem gezeigten Beispiel erzeugen die unterschiedlichen Spannungen der Elektroden **109** und **108** ein elektrisches Feld, welches den Fluss geladener Teilchen durch das Arbeitsgas **102** treibt. Jedoch können in einigen anderen Ausführungsformen unterschiedliche Spannungen an die Elektrode **108** und an eine andere Elektrode (nicht gezeigt) gelegt werden. In diesen Ausführungsformen treibt das zwischen diesen Elektroden erzeugte elektrische Feld den Fluss der geladenen Teilchen durch das Arbeitsgas **102**.

[0033] Ein weiterer Aspekt ist, dass die Strömung **111** des Arbeitsgases in dem Plasmakolben **130** aktiv gesteuert wird durch Steuerung der Spannungen, die an jede der Elektroden der LSP-Lichtquelle **100** angelegt wird. In der in **Fig. 1** gezeigten Ausführungsform wird ein Kommandosignal **208** vom Computersystem **210** an die Spannungsquelle **121** übermittelt. Die Spannungsquelle **121** legt auf Grundlage des Kommandosignals **208** ein Spannungsniveau an die Elektrode **108** an. Ähnlich wird ein Kommandosignal **209** vom Computersystem **210** an die Spannungsquelle **120** übermittelt. Die Spannungsquelle **120** legt auf Grundlage des Kommandosignals **209** ein Spannungsniveau an Elektrode **109** an.

[0034] Die Antriebskraft für die Strömung des Arbeitsgases ist proportional sowohl zum elektrischen Strom als auch zur beschleunigenden Spannung. Durch Steuerung des Spannungsniveaus der Elektrode **109** kann die Anzahl der in das Arbeitsgas **102** eingebrachten geladenen Teilchen gesteuert werden. Zusätzlich kann durch Steuerung der Spannungsdifferenz zwischen den Elektroden **109** und **108** die Stärke des elektrischen Feldes zwischen den zwei Elektroden und die resultierende effektive Geschwindigkeit der mitgeführten Gasströmung **111** gesteuert werden.

[0035] In einigen Beispielen bestimmt das Computersystem **210** die gewünschten Spannungsniveaus jeder Elektrode auf Grundlage eines Bildes des Plasmas **107**. In einigen anderen Beispielen bestimmt das Computersystem **210** die gewünschten Spannungsniveaus jeder Elektrode auf Grundlage von Betriebsbedingungen der LSP-Lichtquelle **100** (z.B. Lichtstrom oder Intensität des einfallenden Lichtes **103**, Lichtstrom oder Intensität der sammelbaren Beleuch-

ung **104**, Temperatur des Plasmas **107**, Temperatur des Plasmakolbens **130**, usw.). In diesen Beispielen ist das Computersystem **210** dazu ausgebildet, ein oder mehrere Signale zu empfangen, welche Betriebsbedingungen der LSP-Lichtquelle **100** anzeigen, und Steuersignale **208** und **209** zumindest teilweise auf Grundlage der empfangenen Signale zu bestimmen.

[0036] Es ist zu erkennen, dass die verschiedenen Schritte, welche in der vorliegenden Offenbarung beschrieben werden, durch ein System **210** mit einem Computer oder, alternativ, durch ein System **210** mit mehreren Computern durchgeführt werden können. Ferner können unterschiedliche Subsysteme eines Metrologiesystems, welches eine lasergestützte Plasmalichtquelle einsetzt, ein Computersystem beinhalten, welches geeignet ist, zumindest einen Teil der hierin beschriebenen Schritte durchzuführen. Daher sollte die hierin dargelegte Beschreibung nicht als Beschränkung der vorliegenden Erfindung ausgelegt werden, sondern lediglich als eine Verdeutlichung. Ferner können das eine oder die mehreren Computersysteme **210** dazu ausgelegt sein, jeglichen anderen Schritt oder jegliche anderen Schritte jeglicher hierin beschriebener Verfahrensbeispiele auszuführen.

[0037] Das Computersystem **210** kann dazu ausgelegt sein, Daten oder Informationen von den Subsystemen des Systems (z.B. Laserbeleuchtungsquelle **110**, Sensoren für den Plasmakolben **130** und dergleichen) durch ein Übermittlungsmedium, welches drahtgebundene und / oder drahtlose Abschnitte beinhalten kann, zu empfangen und / oder zu erfassen. Auf diese Weise kann das Übermittlungsmedium als eine Datenverbindung zwischen dem Computersystem **210** und anderen Subsystemen dienen. Ferner kann das Computersystem **210** dazu ausgelegt sein, Parameter oder Anweisungen über ein Speichermedium (d.h. einen Speicher) zu empfangen. Beispielsweise können Signale, die die Betriebsbedingungen der LSP-Lichtquelle **100** anzeigen, in einem permanenten oder semi-permanentem Speichergerät (z.B. Trägermedium **220**) gespeichert werden. In dieser Hinsicht können die Signale von einem externen System importiert werden.

[0038] Ferner kann das Computersystem **210** Daten über das Übermittlungsmedium zu externen Systemen senden. Das Übermittlungsmedium kann drahtgebundene und / oder drahtlose Abschnitte beinhalten. Auf diese Weise kann das Übermittlungsmedium als eine Datenverbindung zwischen dem Computersystem **210** und anderen Subsystemen oder externen Systemen dienen. Beispielsweise kann das Computersystem **210** über ein Übermittlungsmedium vom Computersystem **210** erzeugte Ergebnisse an externe Systeme oder zu anderen Subsystemen senden.

[0039] Das Computersystem **210** kann, ohne Beschränkung, ein Personal-Computer-System, ein Großrechnersystem, eine Workstation, einen Bildrechner, einen Parallelprozessor oder jegliches andere bekannte Gerät umfassen. Allgemein kann der Begriff „Computersystem“ breit definiert werden, um jegliches Gerät zu umfassen, welches einen oder mehrere Prozessoren aufweist, welche Anweisungen von einem Speichermedium ausführen.

[0040] Programmanweisungen **230**, welche Verfahren wie die hierin beschriebenen implementieren, können über ein Trägermedium **220** übermittelt oder darauf gespeichert werden. Das Trägermedium kann ein Übermittlungsmedium, etwa ein Draht, Kabel oder eine drahtlose Übertragungsverbindung sein. Das Trägermedium kann ebenso ein computerlesbares Medium, etwa ein Nur-Lese-Speicher, ein Speicher mit wahlfreiem Zugriff, eine magnetische oder optische Platte oder ein Magnetband sein.

[0041] Ferner wird in einigen Ausführungsformen die Spannungskontrollfunktionalität, welche durch das Computersystem **210** wie hierin beschrieben realisiert wird, gänzlich oder teilweise durch ein Analogcomputersystem ausgeführt.

[0042] Fig. 2 zeigt eine LSP-Lichtquelle **200** in einer anderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. Wie in Fig. 2 gezeigt, enthält die LSP-Lichtquelle **200** ähnliche, mit gleichen Bezugszeichen versehene Elemente wie im Zusammenhang mit Fig. 1 beschrieben. Jedoch werden in der in Fig. 2 gezeigten Konfiguration die geladenen Teilchen durch photoelektrische Emission von der Elektrode **201** erzeugt. Wie in Fig. 2 dargestellt, beleuchtet Strahlung **203** vom Plasma **107** eine Oberfläche der Elektrode **201**. Wie im Zusammenhang mit Fig. 1 beschrieben ist die Elektrode **109** so geformt, dass sie ein spitzes Ende aufweist, um die Korona-Entladung zu begünstigen. Im Gegensatz dazu ist die Elektrode **201** so geformt, dass sie eine relativ große Oberfläche aufweist, um durch Strahlung **203** vom Plasma **107** stimulierte photoelektrische Emission zu begünstigen. Die Elektrode **201** kann mit Materialien beschichtet oder dotiert sein, um die Austrittsarbeit der Oberfläche der Elektrode **201** zu vermindern und den emittierten Strom zu erhöhen. Materialien, die in typischen Gleichstromentladungslampen eingesetzt werden (z.B. Thorium, Bariumoxid, etc.), können verwendet werden. Jedoch können auch andere Materialien in Betracht gezogen werden.

[0043] Wie in Fig. 2 dargestellt, ist die Elektrode **201** an eine Spannungsquelle **120** gekoppelt. In der gezeigten Ausführungsform ist die Spannungsquelle **120** dazu ausgebildet, eine Spannungsdifferenz zwischen der Elektrode **201** und der Elektrode **202** bereitzustellen, um von der Elektrode **201** emittierte Elektronen zu Elektrode **202** zu treiben. Aus der

Bewegung von Elektronen von der Elektrode **201** zu der Elektrode **202** ergibt sich ein elektrischer Strom **204**. Der Fluss von Elektronen führt einen Teil des Arbeitsgases **102** mit. Daraus ergibt sich eine Strömung **205** des Arbeitsgases, welche durch den Bereich des Plasmas **107** verläuft.

[0044] Obwohl, wie abgebildet, die Elektrode **202** innerhalb des Plasmakolbens **130** angebracht ist, können andere Konfigurationen in Betracht gezogen werden. Beispielsweise kann in einigen Ausführungsformen die Elektrode **202** außerhalb des Plasmakolbens **130** angebracht sein. In diesen Ausführungsformen werden die Elektronen gewissermaßen durch die Elektrode **202** gelenkt, werden aber letztlich nicht durch die Elektrode **202** absorbiert. In wiederum einem anderen Beispiel kann die Elektrode **201** dazu eingesetzt werden, durch photoelektrische Emission geladene Teilchen in das Arbeitsgas **102** zu emittieren, aber mehrere Elektroden können eingesetzt werden um den Fluss geladener Teilchen durch das Arbeitsgas **102** zu lenken. In dem gezeigten Beispiel erzeugen die unterschiedlichen Spannungen der Elektroden **201** und **202** ein elektrisches Feld, welches den Fluss geladener Teilchen durch das Arbeitsgas **102** treibt. Jedoch können in einigen anderen Ausführungsformen verschiedene Spannungen an die Elektrode **201** und eine andere Elektrode (nicht gezeigt) gelegt werden. In diesen Ausführungsformen treibt das zwischen diesen Elektroden erzeugte elektrische Feld den Fluss geladener Teilchen durch das Arbeitsgas **102**.

[0045] Ähnlich zu der in Zusammenhang mit Fig. 1 beschriebenen Ausführungsform wird die Strömung **205** des Arbeitsgases in dem Plasmakolben **130** durch Steuerung der an jede Elektrode der LSP-Lichtquelle **100** angelegten Spannungen aktiv gesteuert. In der in Fig. 2 gezeigten Ausführungsform wird ein Kommandosignal **206** vom Computersystem **210** an die Spannungsquelle **120** übermittelt. Die Spannungsquelle **120** stellt auf Grundlage des Kommandosignals **206** eine Spannungsdifferenz zwischen den Elektroden **201** und **202** bereit.

[0046] In einigen Beispielen bestimmt das Computersystem **210** die gewünschten Spannungsniveaus einer jeden Elektrode auf Grundlage eines Bildes des Plasmas **107**. In einigen anderen Beispielen bestimmt das Computersystem **210** die gewünschten Spannungsniveaus einer jeden Elektrode auf Grundlage von Betriebsbedingungen der LSP-Lichtquelle **100** (z.B. Lichtstrom oder Intensität des einfallenden Lichtes **103**, Lichtstrom oder Intensität der sammelbaren Beleuchtung **104**, Temperatur des Plasmas **107**, Temperatur des Plasmakolbens **130**, usw.). In diesen Beispielen ist das Computersystem **210** dazu ausgebildet, ein oder mehrere Signale zu empfangen, welche Betriebsbedingungen der LSP-Lichtquelle **100** anzeigen, und das Steuersignal **206** zu-

mindest teilweise auf Grundlage der empfangenen Signale zu bestimmen.

[0047] Vom Plasma **107** emittiertes Licht wird eingesetzt um photoelektrische Emission von der Elektrode **201** zu stimulieren. Es können das vollständige Spektrum der vom Plasma **107** emittierten Strahlung oder ein Teil des Spektrums verwendet werden. Zum Beispiel kann Strahlung außerhalb des Wellenlängenbandes, welches für die Verwendung bei der Probenbeleuchtung von Interesse ist, verwendet werden, um photoelektrische Emission von der Elektrode **201** zu stimulieren. Zusätzliche optische Elemente (z.B. Reflektoren oder anderelichtsammelnde Optiken) können eingesetzt werden, um Plasmastrahlung auf die Elektrode **201** zu richten. In anderen Beispielen kann der Plasmakolben **130** speziell konstruiert sein, um vom Plasma **107** emittiertes Licht zur Elektrode **201** zu bündeln, welches andernfalls verloren wäre. Beispielsweise kann Licht, welches vom Plasma **107** in Richtungen emittiert wird, welche nicht zur Probenbeleuchtung verwendet werden können, von Oberflächen des Plasmakolbens **130** zur Elektrode **201** reflektiert werden. In einigen Beispielen können spezielle Kolbenformen eingesetzt werden, um andernfalls verlorenes Licht zur Elektrode **201** zu bündeln. In einigen Beispielen können spezielle Spiegel innerhalb oder außerhalb des Plasmakolbens **130** angebracht werden, um andernfalls verlorenes Licht auf die Elektrode **201** zu bündeln. Zusätzlich kann der durch photoelektrische Emission erzeugte elektrische Strom **204** durch die Nähe der Elektrode **201** zum Plasma **107** gesteuert werden.

[0048] In einigen Ausführungsformen können nicht-transparente Bereiche des Plasmakolbens **130** als die Quelle geladener Teilchen genutzt werden. Zum Beispiel kann ein Bereich des Plasmakolbens **130** aus Metall gefertigt oder mit einem dielektrischen Material beschichtet sein, und wie im Hinblick auf Elektrode **201** beschrieben wirken.

[0049] Unter einem anderen, weiteren Aspekt wird innerhalb des Arbeitsgases des Plasmakolbens ein Lichtbogen aufrechterhalten. Die von dem aufrechterhaltenen Lichtbogen erzeugte Hitzefahne lässt das Arbeitsgas durch das Plasma strömen, und erhöht so die Konvektion um das Plasma und die Wechselwirkung des Lasers mit dem Plasma.

[0050] Fig. 3 zeigt die LSP-Lichtquelle **300** in einer anderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. Wie in Fig. 3 gezeigt, enthält die LSP-Lichtquelle **300** ähnliche, mit gleichen Bezugszeichen versehene Elemente wie im Zusammenhang mit Fig. 1 beschrieben. Jedoch wird in der in Fig. 3 gezeigten Konfiguration ein Lichtbogen **303** innerhalb des Arbeitsgases des Plasmakolbens zwischen den Elektroden **301** und **302** aufrechterhalten. Die von dem anhaltenden Fluss geladener Teilchen von Elektro-

de **301** zu Elektrode **302** erzeugte Wärme lässt eine Fahne **304** des Arbeitsgases durch das Plasma **107** strömen.

[0051] Wie in Fig. 3 gezeigt, sind die Elektroden **301** und **302** mit der Spannungsquelle **120** verbunden. In der gezeigten Ausführungsform ist die Spannungsquelle **120** dazu ausgebildet, eine Spannungsdifferenz zwischen den Elektroden **301** und **302** bereitzustellen, um einen Lichtbogen **303** zwischen den Elektroden aufrechtzuerhalten.

[0052] Ähnlich der in Zusammenhang mit Fig. 1 beschriebenen Ausführungsform wird die Strömung **304** des Arbeitsgases im Plasmakolben **130** durch Steuerung der an jede der Elektroden der LSP-Lichtquelle **100** angelegten Spannungen aktiv gesteuert. In der in Fig. 3 gezeigten Ausführungsform wird ein Kommandosignal **306** vom Computersystem **210** an die Spannungsquelle **120** übermittelt. Die Spannungsquelle **120** stellt auf Grundlage des Kommandosignals **306** eine Spannungsdifferenz zwischen den Elektroden **301** und **302** bereit. In der in Fig. 3 gezeigten Ausführungsform werden die vom Lichtbogen **303** erzeugte Wärme und damit die resultierende Strömung **304** des Arbeitsgases durch die Spannungsdifferenz zwischen den Elektroden **301** und **302** gesteuert.

[0053] In einigen Beispielen bestimmt das Computersystem **210** die gewünschten Spannungsniveaus einer jeden Elektrode auf Grundlage eines Bildes des Plasmas **107**. In einigen anderen Beispielen bestimmt das Computersystem **210** die gewünschten Spannungsniveaus einer jeden Elektrode auf Grundlage von Betriebsbedingungen der LSP-Lichtquelle **100** (z.B. Lichtstrom oder Intensität des einfallenden Lichtes **103**, Lichtstrom oder Intensität der sammelbaren Beleuchtung **104**, Temperatur des Plasmas **107**, Temperatur des Plasmakolbens **130**, usw.). In diesen Beispielen ist das Computersystem **210** dazu ausgebildet, ein oder mehrere Signale zu empfangen, welche Betriebsbedingungen der LSP-Lichtquelle **100** anzeigen, und das Steuersignal **306** zumindest teilweise auf Grundlage der empfangenen Signale zu bestimmen.

[0054] Fig. 4 zeigt LSP-Lichtquelle **400** in einer anderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. Wie in Fig. 4 gezeigt, enthält die LSP-Lichtquelle **400** ähnliche, mit gleichen Bezugszeichen versehene Elemente wie im Zusammenhang mit Fig. 1 beschrieben.

[0055] Jedoch werden in der in Fig. 4 gezeigten Konfiguration mehrere Elektroden separat gesteuert, um sowohl geladene Teilchen zu erzeugen als auch um die geladenen Teilchen durch das Arbeitsgas **102** zu lenken. Die Verwendung mehrerer Elektroden führt zu zusätzlicher Flexibilität in der Steuerung der Arbeitsgasströmung innerhalb des Plasmakolbens **130**.

Dies kann zu verbesserter Stabilisierung der Plasmaform und Plasmaposition führen.

[0056] Unter einem Aspekt ermöglichen mehrere Elektroden, welche dazu ausgebildet sind, geladene Teilchen zu erzeugen, Kontrolle über die Verteilung geladener Teilchen, die in das Arbeitsgas **102** eingebracht werden. In der in **Fig. 4** gezeigten Ausführungsform sind die Elektroden **401A** und **401B** innerhalb des Plasmakolbens **130** angeordnet. Ferner ist auch die Elektrode **403** innerhalb des Plasmakolbens **130** angeordnet und von den Elektroden **401A** und **401B** getrennt. Die Elektroden **401A** und **401B** sind so geformt, dass sie eine scharfe Spitze aufweisen, um die Korona-Entladung von jeder Elektrode zu begünstigen.

[0057] Wie gezeigt, sind die Elektroden **401A** und **401B** mit einer Spannungsquelle **120** verbunden. In der gezeigten Ausführungsform ist die Spannungsquelle **120** dazu ausgebildet, eine hohe negative Spannung an die Elektrode **401A** zu legen, um den Austritt von Elektronen aus der Spitze der Elektrode **401A** zu stimulieren, und ist ferner dazu ausgebildet, eine separat steuerbare hohe negative Spannung an Elektrode **401B** anzulegen, um den Austritt von Elektronen aus der Spitze der Elektrode **401B** zu stimulieren. Wie in **Fig. 4** gezeigt, ist die Spannungsquelle **120** eine Vielkanalspannungsquelle, mit der die gleiche oder unterschiedliche Spannungen an die Elektroden **401A** und **401B** angelegt werden können. Jedoch können auch andere Konfigurationen der Spannungsversorgung in Betracht gezogen werden.

[0058] Ferner ist die Spannungsquelle **121** mit der Elektrode **403** gekoppelt und dazu ausgebildet, in Antwort auf ein Kommandosignal **407**, welches von Computersystem **210** erzeugt wird, eine positive Spannung an die Elektrode **403** anzulegen, um die von den Elektroden **401A** und **401B** emittierten Elektronen anzuziehen. Obwohl die Spannungsquellen **120** und **121** als separate Spannungsquellen abgebildet sind, kann in einigen anderen Ausführungsformen eine einzige Spannungsquelle dazu ausgebildet sein, die gewünschte Spannungsdifferenz zwischen den Elektroden **401A**, **401B** und **403** bereitzustellen. Aus der Bewegung der Elektronen von den Elektroden **401A** und **401B** zu der Elektrode **403** ergibt sich ein elektrischer Strom **404**. Der Fluss der Elektronen führt einen Teil des Arbeitsgases **102** mit. Dies ergibt eine Strömung **405** des Arbeitsgases, welche durch den Bereich des Plasmas **107** verläuft.

[0059] In einem weiteren Aspekt wird die Strömung **405** des Arbeitsgases in dem Plasmakolben **130** durch Steuerung der an die Elektroden **401A** und **401B** der LSP-Lichtquelle **400** angelegten Spannungen aktiv gesteuert. In der in **Fig. 4** gezeigten Ausführungsform wird ein Kommandosignal **406** von dem Computersystem **210** an die Spannungsquel-

le **120** übermittelt. Die Spannungsquelle **120** stellt auf Grundlage des Kommandosignals **406** ein Spannungsniveau an der Elektrode **401A** und ein weiteres Spannungsniveau an der Elektrode **401B** bereit. Die an den Elektroden **401A** und **401B** bereitgestellten Spannungsniveaus wirken sich auf die räumliche Verteilung von in das Arbeitsgas **102** eingebrachten geladenen Teilchen aus. Wird beispielsweise an die Elektrode **401A** eine größere negative Spannung angelegt als an die Elektrode **401B**, so wird sich die Verteilung von in das Arbeitsgas **102** eingebrachten geladenen Teilchen, gesehen aus der Perspektive der **Fig. 4**, zur linken Seite des Plasmakolbens **130** neigen. Wenn daher beispielsweise festgestellt wird, dass die Position des Plasmas **107** aus der Mitte verschoben ist, so kann die räumliche Verteilung der durch Elektroden **401A** und **401B** eingebrachten geladenen Teilchen gesteuert werden, um die Positionsveränderung des Plasmas **107** auszugleichen.

[0060] In einem weiteren Aspekt ermöglicht eine Anordnung von Elektroden, welche um den Plasmakolben **130** herum angebracht sind, eine Lenkung des elektrischen Stroms, der durch das Arbeitsgas **102** fließt, in mehreren Dimensionen. Insbesondere kann der durch das Arbeitsgas **102** fließende elektrische Strom gesteuert werden, um asymmetrische Strömungsmuster innerhalb des Plasmakolbens **130** auszugleichen.

[0061] In dem in **Fig. 4** gezeigten Beispiel erzeugen die Spannungsdifferenz zwischen den Elektroden **401A** und **403** und die Spannungsdifferenz zwischen den Elektroden **401B** und **403** ein elektrisches Feld, welches den Fluss geladener Teilchen durch das Arbeitsgas **102** treibt. Jedoch weist die LSP-Lichtquelle **400** zusätzlich, wie in **Fig. 5** gezeigt, eine Anordnung von Elektroden **402A-H** auf, welche um den Umfang des Plasmakolbens **130** herum angeordnet sind. Das elektrische Feld, das zwischen jeder dieser Elektroden und den Elektroden **401A**, **401B** und **403** erzeugt wird, lenkt gewissermaßen den Fluss geladener Teilchen durch das Arbeitsgas **102**. Durch die Spannungsquelle **122** können an jede der Elektroden **402A-H** unterschiedliche Spannungen angelegt werden. In der in den **Fig. 4** und **Fig. 5** gezeigten Ausführungsform ist die Spannungsquelle **122** eine Vielkanalspannungsquelle und dazu ausgebildet, eine separat steuerbare Spannung an jede der Elektroden **402A-H** anzulegen, gemäß einem Steuersignal **408**, welches von dem Computersystem **210** erzeugt wird. Jedoch können im Umfang dieser Offenbarung andere Konfigurationen der Spannungsversorgung in Betracht gezogen werden.

[0062] Wie in **Fig. 4** und **Fig. 5** gezeigt, befindet sich die Anordnung der Elektroden **402** außerhalb des Plasmakolbens **130**. Jedoch können sich in anderen Ausführungsformen eine oder mehrere Elektroden der Anordnung innerhalb des Plasmakolbens **130** be-

finden. Ferner ist, wie in **Fig. 4** und **Fig. 5** gezeigt, die Anordnung der Elektroden **402** in einem Ring um den Plasmakolben **130** angeordnet. Jedoch kann im Allgemeinen die Anordnung der Elektroden in jeglicher geeigneten Konfiguration angeordnet sein, um das elektrische Feld umzuformen und so die Stärke und Form des elektrischen Stroms **404** zu steuern. In einigen Ausführungsformen können eine oder mehrere Elektroden der Anordnung der Elektroden **402** Teil des Plasmakolbens **130** sein. Beispielsweise kann ein Bereich der Wand **101** oder ein anderes strukturelles Element des Plasmakolbens **130** als eine Elektrode ausgebildet sein. Diese Elemente können zur Verwendung als Elektroden speziell modifiziert sein (z.B. beschichtet, plattiert, etc.) oder ohne Modifizierung als Elektroden eingesetzt werden. Ferner braucht im Allgemeinen die Anzahl der Elektroden, die eingesetzt werden, um geladene Teilchen zu erzeugen oder abzustoßen, nicht mit der Anzahl der Elektroden übereinstimmen, die eingesetzt werden, um geladene Teilchen anzuziehen.

[0063] In einigen Beispielen bestimmt das Computersystem **210** die gewünschten Spannungsniveaus einer jeden Elektrode auf Grundlage eines Bildes des Plasmas **107**. In einigen anderen Beispielen bestimmt das Computersystem **210** die gewünschten Spannungsniveaus einer jeden Elektrode auf Grundlage von Betriebsbedingungen der LSP-Lichtquelle **100** (z.B. Lichtstrom oder Intensität des einfallenden Lichtes **103**, Lichtstrom oder Intensität der sammelbaren Beleuchtung **104**, Temperatur des Plasmas **107**, Temperatur des Plasmakolbens **130**, usw.). In diesen Beispielen ist das Computersystem **210** dazu ausgebildet, ein oder mehrere Signale zu empfangen, welche Betriebsbedingungen der LSP-Lichtquelle **100** anzeigen, und die Steuersignale **406**, **407** und **408** zumindest teilweise auf Grundlage der empfangenen Signale zu bestimmen.

[0064] In wiederum einem anderen Aspekt können innerhalb des Plasmakolbens **130** zusätzliche Strukturen eingeschlossen sein, um die Arbeitsgasströmung zu steuern. Zum Beispiel können mechanische Leitbleche innerhalb des Plasmakolbens **130** angeordnet sein, um die Strömung des Arbeitsgases zu beschränken.

[0065] In wiederum einem weiteren Aspekt können die an jede Elektrode angelegten Spannungsniveaus derart gesteuert werden, dass die Polarität einer jeglichen Elektrode umgekehrt wird. Auf diese Weise kann eine Elektrode selektiv gesteuert werden, um in Abhängigkeit von der angelegten Spannung innerhalb des Arbeitsgases **102** driftende geladene Teilchen sowohl abzustoßen als auch anzuziehen. In einem Beispiel kann die Gasströmung umgekehrt werden, indem die Polarität der Spannung, welche an Elektroden angelegt ist, welche die Gasströmung beeinflussen, gewechselt wird.

[0066] In einem wiederum anderen Aspekt kann der durch das Arbeitsgas **102** fließende elektrische Strom moduliert werden, um das Plasma **107** zu verändern (z.B. die von dem Plasma erzeugte Strahlung stabilisieren oder modulieren). In einigen Beispielen kann der elektrische Strom moduliert werden, indem zeitlich variierende Spannungen an die Elektroden angelegt werden. In einigen Beispielen kann der elektrische Strom moduliert werden, indem der elektrische Strom einem zeitlich variierenden Magnetfeld ausgesetzt wird. Beispielsweise können ein oder mehrere Elektromagnete in der Nähe des Plasmakolbens **130** angeordnet sein, und dazu ausgebildet sein, ein zeitlich variierendes Magnetfeld innerhalb des Plasmakolbens **130** zu erzeugen. In Ausführungsformen auf Grundlage photoelektrischer Erzeugung geladener Teilchen kann der elektrische Strom moduliert werden, indem die Bestrahlung der Elektrode mit Photonen in zeitlich variierender Weise gesteuert wird.

[0067] Allgemein kann eine gemäß der vorliegenden Erfindung ausgebildete LSP-Lichtquelle speziell gestaltete Strukturen beinhalten, um die Emission von geladenen Teilchen in das Arbeitsgas zu begünstigen. In einem Beispiel kann das Elektrodenmaterial auf einem Filament angeordnet sein. Ein Strom kann durch das Filament geleitet werden, um Wärme zu erzeugen, die die Emission geladener Teilchen (d.h. Glühemission) stimuliert. In einigen Beispielen kann die Glühemission dadurch verstärkt werden, dass das Filament Strahlung ausgesetzt wird, welche von dem Plasma oder der Laserbeleuchtungsquelle ausgesendet wird, um die Temperatur des Filaments weiter zu erhöhen. In einem anderen Beispiel können Entladungen bei Radiofrequenzen oder Teslaspulen eingesetzt werden, um Ladungsträger zu erzeugen.

[0068] In einem weiteren Aspekt kann die Strömung des Arbeitsgases innerhalb des Plasmakolbens **130** dadurch beeinflusst werden, dass Arbeitsgas durch den Plasmakolben geleitet wird. **Fig. 6** zeigt LSP-Lichtquelle **500** in einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. Wie in **Fig. 6** gezeigt, enthält die LSP-Lichtquelle **500** ähnliche, mit gleichen Bezugszeichen versehene Elemente wie im Zusammenhang mit **Fig. 1** beschrieben. Jedoch weist der Plasmakolben einen Eingangsanschluss **150** und einen Ausgangsanschluss **151** auf. Während des Betriebs strömt Arbeitsgas **102** durch den Plasmakolben. Auf diese Weise können die unterschiedlichen hierin beschriebenen Ausführungsformen und Beispiele im Kontext eines Plasmakolbens implementiert werden, bei dem eine stetige Strömung von Arbeitsgas durch den Plasmakolben selbst vorliegt.

[0069] **Fig. 7** zeigt ein Verfahren **600**, welches sich zur Steuerung einer Arbeitsgasströmung in einem Plasmakolben einer lasergestützten Plasmalichtquelle gemäß wenigstens einem erfinderischen Aspekt eignet. Datenverarbeitende Elemente des Verfah-

rens **600** können über einen vorab programmierten Algorithmus ausgeführt werden, welcher als Teil der Programmanweisungen **230** gespeichert ist und durch einen oder mehrere Prozessoren des Computersystems **210** ausgeführt wird. Auch wenn die folgende Beschreibung im Kontext des Plasmakolbens **130**, der in den **Fig. 1 - Fig. 6** gezeigt ist, erfolgt, stellen die spezifischen strukturellen Aspekte des Plasmakolbens **130** keine Beschränkungen dar und sollten lediglich als der Verdeutlichung dienend ausgelegt werden.

[0070] In Block **401** wird eine lasergestützte Plasmaemission in einem Plasmakolben, der ein Arbeitsgas enthält, stimuliert. In Block **402** wird eine Vielzahl geladener Teilchen in das Arbeitsgas des Plasmakolbens emittiert. In Block **403** wird auf Grundlage eines Flusses der geladenen Teilchen ein elektrischer Strom in dem Plasmakolben erzeugt. Der elektrische Strom erzeugt eine anhaltende Strömung des Arbeitsgases durch das lasergestützte Plasma. In einem weiteren Block (nicht gezeigt) wird der im Plasmakolben vorliegende elektrische Strom gesteuert, indem ein elektrisches Feld im Plasmakolben gesteuert wird. Das elektrische Feld wird gesteuert, indem eine erste Spannung an eine erste Elektrode angelegt und eine zweite Spannung an eine zweite Elektrode angelegt wird, welche von der ersten Elektrode durch eine Menge des Arbeitsgases getrennt ist.

[0071] In einem weiteren Aspekt der vorliegenden Erfindung kann die Beleuchtungsquelle, die zum Pumpen des Plasmas verwendet wird, einen oder mehrere Laser umfassen. Die Beleuchtungsquelle kann allgemein jegliches bekannte Lasersystem beinhalten. Beispielsweise kann die Beleuchtungsquelle jegliches bekannte Lasersystem beinhalten, welches in der Lage ist, Strahlung im infraroten, sichtbaren oder ultravioletten Bereich des elektromagnetischen Spektrums auszusenden. In einigen Ausführungsformen beinhaltet die Beleuchtungsquelle ein Lasersystem, welches dazu ausgebildet ist, gepulste Laserstrahlung auszusenden. In einigen anderen Ausführungsformen kann die Beleuchtungsquelle ein Lasersystem beinhalten, welches dazu ausgebildet ist, Dauerstrich-Laserstrahlung (CW) auszusenden. Zum Beispiel kann, in Anordnungen, in denen das Gas des Volumens Argon ist oder Argon beinhaltet, die Beleuchtungsquelle einen Dauerstrich-Laser (z.B. Faserlaser oder Scheiben-Yb-Laser) beinhalten, welcher dazu ausgebildet ist, Strahlung bei 1069 nm zu emittieren. Diese Wellenlänge passt zu einer 1068 nm Absorptionslinie in Argon und ist daher zum Pumpen des Gases besonders nützlich. Die obige Beschreibung eines Dauerstrich-Lasers ist nicht einschränkend, und jeglicher bekannte Dauerstrich-Laser kann im Kontext der vorliegenden Erfindung implementiert werden.

[0072] In einer anderen Ausführungsform kann die Beleuchtungsquelle einen oder mehrere Diodenlaser beinhalten. Beispielsweise kann die Beleuchtungsquelle einen oder mehrere Diodenlaser beinhalten, welche Strahlung bei einer Wellenlänge emittieren welche einer oder mehreren Absorptionslinien der Gassorte der Plasmazelle entspricht. Allgemein kann ein Diodenlaser der Beleuchtungsquelle so zur Implementierung ausgewählt werden, dass die Wellenlänge des Diodenlasers auf jegliche bekannte Absorptionslinie eines jeglichen Plasmas (z.B. eine Übergangslinie von Ionen) oder eine bekannte Absorptionslinie des plasmaerzeugenden Gases (z.B. hochangeregte neutrale Übergangslinie) abgestimmt ist. Daher wird die Auswahl einen bestimmten Diodenlasers (oder einer Anzahl von Diodenlasern) von der Art des Gases, das in der Plasmazelle der vorliegenden Erfindung benutzt wird, abhängen.

[0073] In manchen Ausführungsformen kann die Beleuchtungsquelle ein oder mehrere frequenzkonvertierte Lasersysteme beinhalten. Zum Beispiel kann die Beleuchtungsquelle einen Nd:YAG- oder einen Nd:YLF-Laser beinhalten. In anderen Ausführungsformen kann die Beleuchtungsquelle einen Breitbandlaser beinhalten. In anderen Ausführungsformen kann die Beleuchtungsquelle ein Lasersystem beinhalten, welches dazu ausgebildet ist, modulierte Laserstrahlung oder gepulste Laserstrahlung zu emittieren.

[0074] In einem anderen Aspekt der vorliegenden Erfindung kann die Beleuchtungsquelle zwei oder mehr Lichtquellen beinhalten. In einer Ausführungsform kann die Beleuchtungsquelle zwei oder mehr Laser beinhalten. Zum Beispiel kann die Beleuchtungsquelle (oder können die Beleuchtungsquellen) mehrere Diodenlaser beinhalten. Als ein anderes Beispiel kann die Beleuchtungsquelle mehrere Dauerstrich-Laser beinhalten. In einer weiteren Ausführungsform kann jeder der zwei oder mehreren Laser Laserstrahlung aussenden, welche auf eine unterschiedliche Absorptionslinie des Gases oder Plasmas innerhalb der Plasmazelle abgestimmt ist.

[0075] Unterschiedliche Ausführungsformen werden hierin für ein Halbleiterbearbeitungssystem (z.B. ein Inspektionssystem oder ein Lithographiesystem) beschrieben, welches zur Bearbeitung eines Werkstücks verwendet werden kann. Der Ausdruck „Werkstück“ wird hierin verwendet, um einen Wafer, ein Retikel, oder jegliche andere Probe, welche durch bekannte Mittel bearbeitet werden kann (z.B. gedruckt oder auf Defekte inspiziert), zu bezeichnen.

[0076] So wie er hier verwendet wird, bezieht sich der Ausdruck „Wafer“ allgemein auf Substrate, welche aus einem Halbleitermaterial oder einem Nicht-Halbleitermaterial bestehen. Beispiele beinhalten, aber sind nicht beschränkt auf, monokristallines Si-

lizium, Galliumarsenid und Indiumphosphid. Solche Substrate finden sich gemeinhin in Halbleiterverarbeitungseinrichtungen oder werden dort verarbeitet. In einigen Fällen beinhaltet ein Wafer lediglich das Substrat (d.h. blanker Wafer). Alternativ kann ein Wafer eine oder mehrere Schichten anderer Materialien beinhalten, die auf einem Substrat ausgebildet sind. Eine oder mehrere der auf einem Wafer ausgebildeten Lagen können „gemustert“ oder „ungemustert“ sein. Zum Beispiel kann ein Wafer eine Vielzahl an Dies beinhalten, die wiederholbare Mustermerkmale aufweisen.

[0077] Ein „Retikel“ kann ein Retikel in jeglichem Stadium eines Retikelherstellungsprozesses sein oder ein vollständiges Retikel, welches zur Verwendung in einer Halbleiterherstellungseinrichtung freigegeben wird oder nicht. Ein „Retikel“ oder eine „Maske“ ist allgemein definiert als ein im Wesentlichen transparentes Substrat, welches darauf ausgebildete im Wesentlichen undurchsichtige Bereiche aufweist, die in einem Muster angeordnet sind. Das Substrat kann beispielsweise ein Glasmaterial, etwa Quarz, beinhalten. Ein Retikel kann während eines Belichtungsschritts eines Lithografieprozesses über einem mit Photolack bedeckten Wafer angeordnet werden, so dass das Muster auf dem Retikel auf den Photolack übertragen werden kann.

[0078] Ein oder mehrere der auf einem Wafer ausgebildeten Schichten können gemustert oder ungemustert sein. Zum Beispiel kann ein Wafer eine Vielzahl von Dies beinhalten, von denen ein jeder wiederholbare Mustermerkmale aufweist. Ausbildung und Bearbeitung solcher Materialschichten kann letztlich zu fertiggestellten Bauelementen führen. Viele unterschiedliche Arten von Bauelementen können auf einem Wafer ausgebildet werden, und der Ausdruck Wafer, wie er hierin verwendet wird, soll einen Wafer umfassen, auf dem jegliche Art von bekanntem Bauelement hergestellt wird.

[0079] In einer oder mehreren beispielhaften Ausführungsformen können die beschriebenen Funktionen in Hardware, Software, Firmware oder jeglicher Kombination daraus implementiert werden. Bei Implementierung in Software können die Funktionen als eine oder mehrere Instruktionen oder Code auf einem computerlesbaren Medium gespeichert oder darüber übermittelt werden. Computerlesbare Medien beinhalten sowohl Computer-Speichermedien als auch Kommunikationsmedien einschließlich jeglichen Mediums, welches die Übermittlung eines Computerprogramms von einem Ort zu einem anderen ermöglicht. Ein Speichermedium kann jegliches verfügbare Medium sein, auf welches von einem Universalrechner oder einem Spezialrechner zugegriffen werden kann. Als Beispiel, und nicht als Einschränkung, kann solch ein computerlesbares Medium umfassen RAM, ROM, EEPROM, CD-ROM oder an-

dere optische Plattenspeicher, magnetische Plattenspeicher oder andere magnetische Speichervorrichtungen, oder jegliches andere Medium, welches verwendet werden kann, gewünschte Programmcode-mittel in der Form von Instruktionen oder Datenstrukturen zu tragen oder zu speichern, und auf das von einem Universalrechner oder einem Spezialrechner, oder einem Universalprozessor oder Spezialprozessor, zugegriffen werden kann. Ebenso wird jegliche Verbindung treffend als computerlesbares Medium bezeichnet. Wird die Software zum Beispiel von einer Website, einem Server oder einer anderen entfernten Quelle unter Verwendung eines Koaxialkabels, faser-optischen Kabels, eines Kabels mit verdrehten Aderpaaren, Digital Subscriber Line (DSL) oder drahtloser Technologien wie Infrarot, Funk und Mikrowelle übertragen, so sind Koaxialkabel, faseroptisches Kabel, Kabel mit verdrehten Aderpaaren, DSL oder drahtlose Technologien wie Infrarot, Funk und Mikrowelle in der Definition von Medium enthalten. Disk und Disc, wie hierin verwendet, beinhaltet Compact Disc (CD), Laser Disc, Optische Disc, Digital Versatile Disc (DVD), Floppy Disk und Blu-Ray Disc, wobei Disks normalerweise Daten magnetisch reproduzieren, wohingegen Discs Daten optisch mit Lasern reproduzieren. Kombinationen aus dem Vorstehenden sollten ebenfalls in den Bedeutungsumfang von computerlesbarem Medium eingeschlossen werden.

[0080] Obwohl oben bestimmte besondere Ausführungsformen zu Verdeutlichungszwecken beschrieben werden, ist die Lehre dieses Patentdokuments allgemein anwendbar und ist nicht auf die oben beschriebenen besonderen Ausführungsformen beschränkt. Demgemäß können verschiedene Modifikationen, Anpassungen und Kombinationen verschiedener Merkmale der beschriebenen Ausführungsformen ausgeführt werden, ohne vom Umfang der Erfindung, wie er in den Ansprüchen dargelegt ist, abzuweichen.

Patentansprüche

1. Lasergestützte Plasmalichtquelle, umfassend einen Laser, betreibbar um eine Menge an Beleuchtungslicht zu erzeugen; und einen Plasmakolben, welcher zumindest eine Wandung aufweist, teils anwendbar um ein Arbeitsgas einzuschließen, wobei das vom Laser erzeugte Beleuchtungslicht auf das Arbeitsgas trifft und eine lasergestützte Plasmaemission erzeugt; eine erste Elektrode, dazu ausgebildet, eine Vielzahl geladener Teilchen in das Arbeitsgas des Plasmakolbens zu emittieren; und eine zweite Elektrode, dazu ausgebildet, einen Teil der Vielzahl geladener Teilchen anzuziehen und einen Fluss geladener Teilchen von der ersten Elektrode zur zweiten Elektrode zu erzeugen, wobei der Fluss geladener Teilchen eine Strömung des Arbeitsgases durch das lasergestützte Plasma erzeugt;

eine Spannungsquelle, welche an mindestens eine Elektrode der lasergestützten Plasmaquelle gekoppelt ist, wobei die Spannungsquelle eine Spannungsdifferenz zwischen mindestens zwei Elektroden der lasergestützten Plasmaquelle erzeugt;
eine Steuereinheit, welche an die Spannungsquelle gekoppelt ist, wobei die Steuereinheit betreibbar ist, um die Spannungsdifferenz zwischen den mindestens zwei Elektroden der lasergestützten Plasmaquelle zu steuern, so dass die Strömung des Arbeitsgases durch das lasergestützte Plasma gesteuert wird.

2. Lasergestützte Plasmalichtquelle nach Anspruch 1, ferner umfassend:
eine dritte Elektrode, welche innerhalb des Plasmakolbens angeordnet ist, wobei eine Spannungsdifferenz zwischen der ersten Elektrode und der zweiten Elektrode verschieden ist von einer Spannungsdifferenz zwischen der ersten Elektrode und der dritten Elektrode.

3. Lasergestützte Plasmalichtquelle nach Anspruch 1, ferner umfassend:
eine Vielzahl von Elektroden, welche außerhalb des Plasmakolbens entlang eines Umfangs des Plasmakolbens angeordnet sind, wobei eine Spannungsdifferenz zwischen zumindest einer der Vielzahl der Elektroden, die entlang des Umfangs angeordnet sind, und der ersten Elektrode den Strom geladener Teilchen innerhalb des Plasmakolbens lenkt.

4. Lasergestützte Plasmalichtquelle nach Anspruch 3, wobei eine erste Spannung an eine erste der Vielzahl der entlang des Umfangs angeordneten Elektroden angelegt wird, und eine zweite Spannung an eine zweite der Vielzahl der entlang des Umfangs angeordneten Elektroden angelegt wird.

5. Lasergestützte Plasmalichtquelle nach Anspruch 1, ferner umfassend:
mindestens ein optisches Element, welches dazu ausgebildet ist, einen Teil der lasergestützten Plasmaemission auf die erste Elektrode zu fokussieren, um die Emission der Vielzahl geladener Teilchen in das Arbeitsgas anzuregen.

6. Lasergestützte Plasmalichtquelle nach Anspruch 1, wobei die zweite Elektrode ein Teil der zumindest einen Wandung des Plasmakolbens ist.

7. Lasergestützte Plasmalichtquelle nach Anspruch 1, wobei ein Lichtbogen zwischen der ersten Elektrode und der zweiten Elektrode aufrechterhalten wird, und wobei eine von dem Lichtbogen erzeugte Wärmefahne die Strömung des Arbeitsgases durch das lasergestützte Plasma erzeugt.

8. Lasergestützte Plasmalichtquelle nach Anspruch 1, ferner umfassend:

eine mechanische Strömungssteuerstruktur, welche innerhalb des Plasmakolbens angebracht ist.

9. Lasergestützte Plasmalichtquelle nach Anspruch 1, wobei die Emission der Vielzahl geladener Teilchen von der ersten Elektrode in das Arbeitsgas des Plasmakolbens angeregt wird durch: eine an die erste Elektrode angelegte Spannung, eine Erhitzung der ersten Elektrode durch einen Lichtbogen, eine Erhitzung der ersten Elektrode durch Durchleiten eines Stromes durch die erste Elektrode und Photonenabsorption durch die erste Elektrode.

10. Ein Verfahren umfassend:
Anregen einer lasergestützten Plasmaemission in einem Plasmakolben, welcher ein Arbeitsgas umfasst;
Aussenden einer Vielzahl geladener Teilchen in das Arbeitsgas des Plasmakolbens; und
Erzeugen eines elektrischen Stroms auf Grundlage eines Flusses der geladenen Teilchen, wobei der elektrische Strom eine anhaltende gesteuerte Strömung des Arbeitsgases durch das lasergestützte Plasma erzeugt, wobei die Erzeugung des elektrischen Stroms die Erzeugung eines gesteuerten elektrischen Feldes in dem Plasmakolben, der die Vielzahl geladener Teilchen beinhaltet, involviert, und wobei die Erzeugung des gesteuerten elektrischen Feldes es involviert, eine erste Spannung an eine erste Elektrode zu legen und eine zweite Spannung an eine zweite Elektrode zu legen, welche von der ersten Elektrode durch eine Menge des Arbeitsgases getrennt ist;
Steuern der ersten Spannung und der zweiten Spannung derart, dass eine Spannungsdifferenz zwischen der ersten und der zweiten Elektrode die anhaltende Strömung des Arbeitsgases durch das lasergestützte Plasma steuert.

11. Verfahren nach Anspruch 10, ferner umfassend: Anlegen einer dritten Spannung an eine dritte Elektrode welche entlang eines Umfangs des Plasmakolbens angeordnet ist, wobei eine Spannungsdifferenz zwischen der dritten Elektrode und der ersten Elektrode den elektrischen Strom innerhalb des Plasmakolbens lenkt.

12. Verfahren nach Anspruch 10, ferner umfassend: Fokussieren eines Teils der lasergestützten Plasmaemission auf die erste Elektrode zur Anregung der Emission der Vielzahl geladener Teilchen in das Arbeitsgas des Plasmakolbens.

13. Verfahren nach Anspruch 10, wobei die zweite Elektrode ein Teil wenigstens einer Wandung des Plasmakolbens ist.

14. Verfahren nach Anspruch 10, wobei die Erzeugung der anhaltenden Strömung des Arbeitsgases durch das lasergestützte Plasma die Erzeugung eines Lichtbogens zwischen einer ersten Elektrode und

einer zweiten Elektrode, welche von der ersten Elektrode durch eine Menge des Arbeitsgases getrennt ist, involviert.

15. Lasergestützte Plasmalichtquelle, welche umfasst:

einen Laser, welcher betreibbar ist, eine Menge an Beleuchtungslicht zu erzeugen;

einen Plasmakolben, welcher zumindest eine Wandung aufweist, welche teils dazu dient, ein Arbeitsgas einzuschließen, wobei das vom Laser erzeugte Beleuchtungslicht auf das Arbeitsgas trifft und eine lasergestützte Plasmaemission erzeugt;

eine erste Elektrode, welche dazu ausgebildet ist, eine Vielzahl geladener Teilchen in das Arbeitsgas des Plasmakolbens zu emittieren;

eine zweite Elektrode, welche dazu ausgebildet ist, einen Teil der Vielzahl geladener Teilchen anzuziehen und einen Fluss geladener Teilchen von der ersten Elektrode zu der zweiten Elektrode zu erzeugen, wobei der Fluss geladener Teilchen eine Strömung des Arbeitsgases durch das lasergestützte Plasma erzeugt; und

einen Computer, welcher dazu ausgebildet ist, die Strömung des Arbeitsgases durch das lasergestützte Plasma zu steuern, indem er eine Spannungsdifferenz zwischen der ersten und der zweiten Elektrode steuert.

16. Lasergestützte Plasmalichtquelle nach Anspruch 15, wobei die Steuerung der Spannungsdifferenz zwischen der ersten und der zweiten Elektrode involviert:

Empfangen eines Hinweises auf eine Betriebsbedingung der lasergestützten Plasmalichtquelle; und

Bestimmen eines Befehlssignals, welches an eine Spannungsquelle, welche an die zweite Elektrode gekoppelt ist, übermittelt werden soll.

Es folgen 7 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

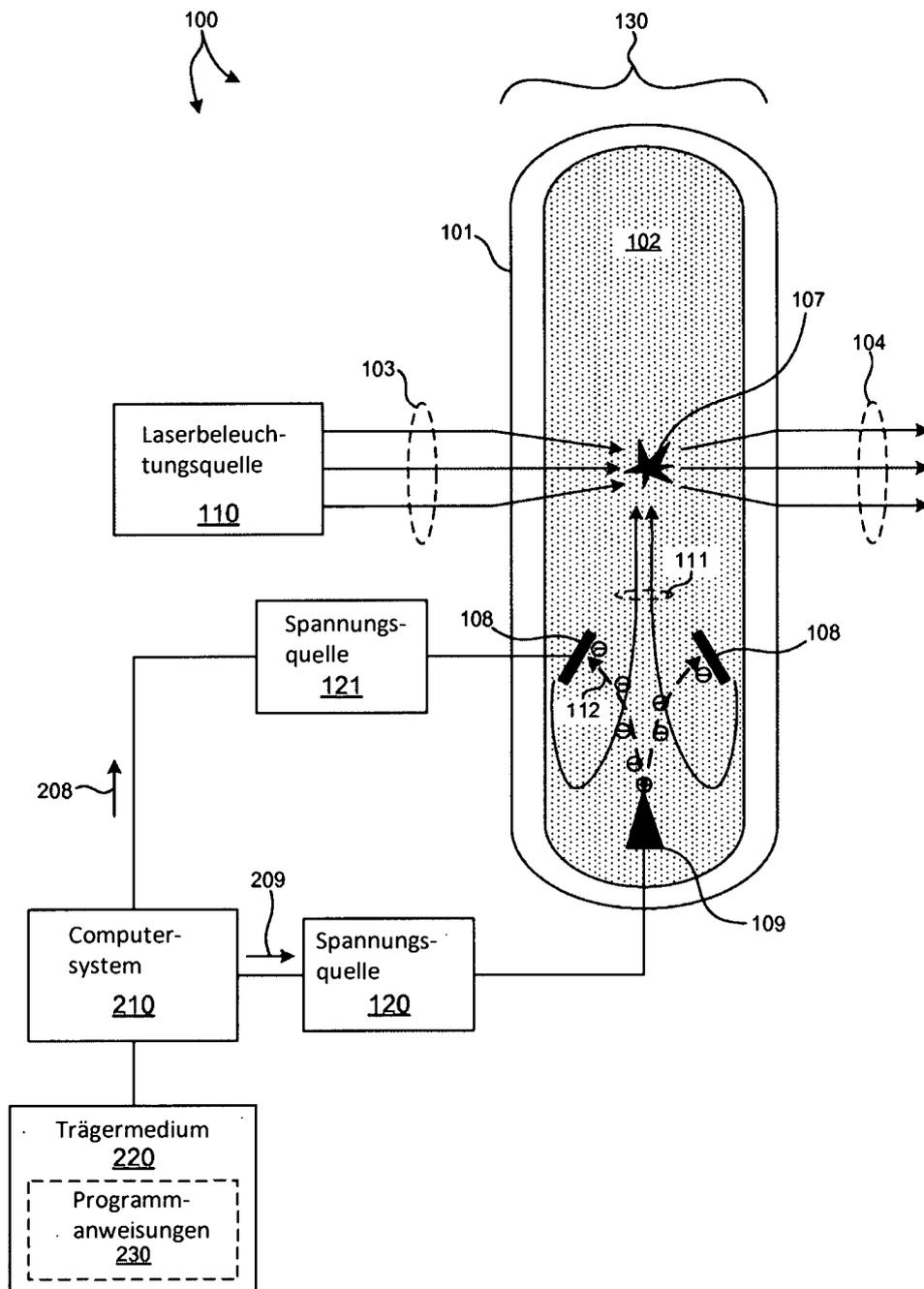


Fig. 1

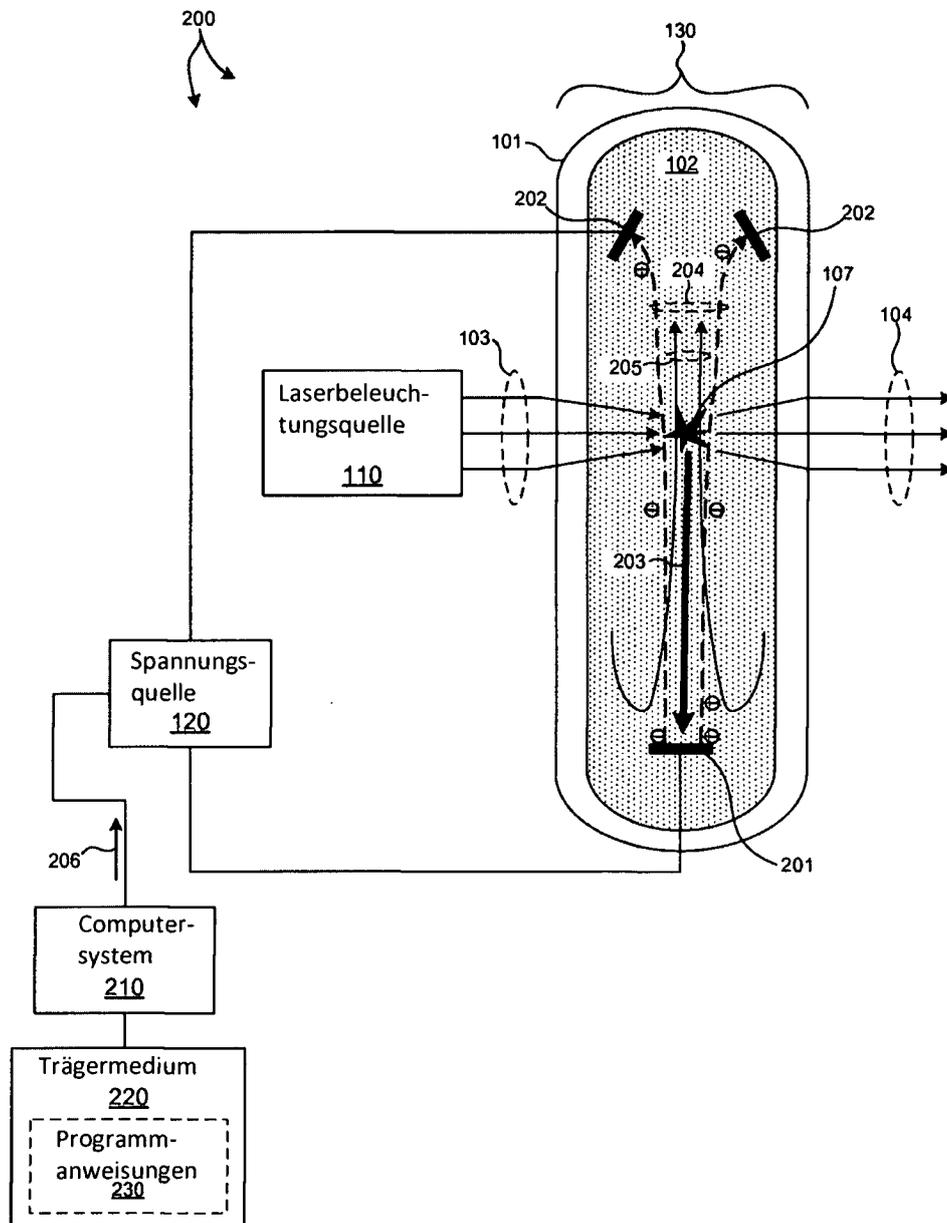


Fig. 2

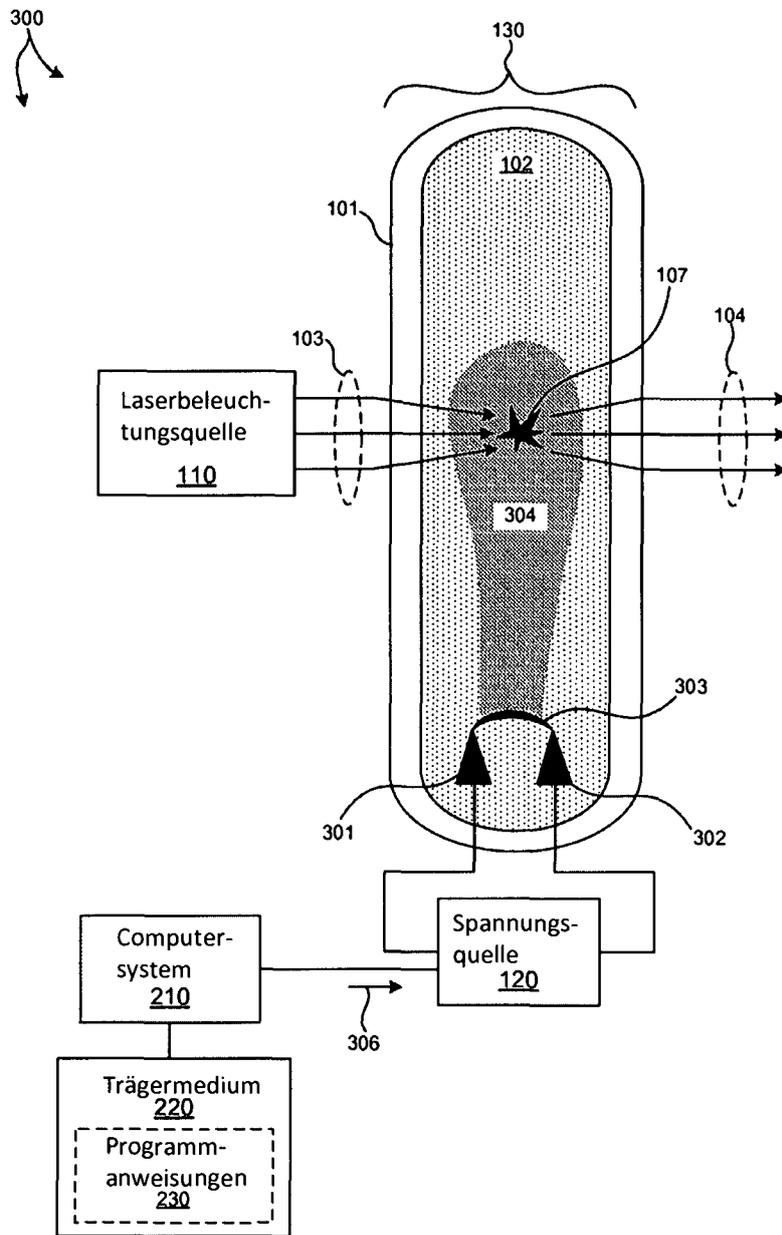


Fig. 3

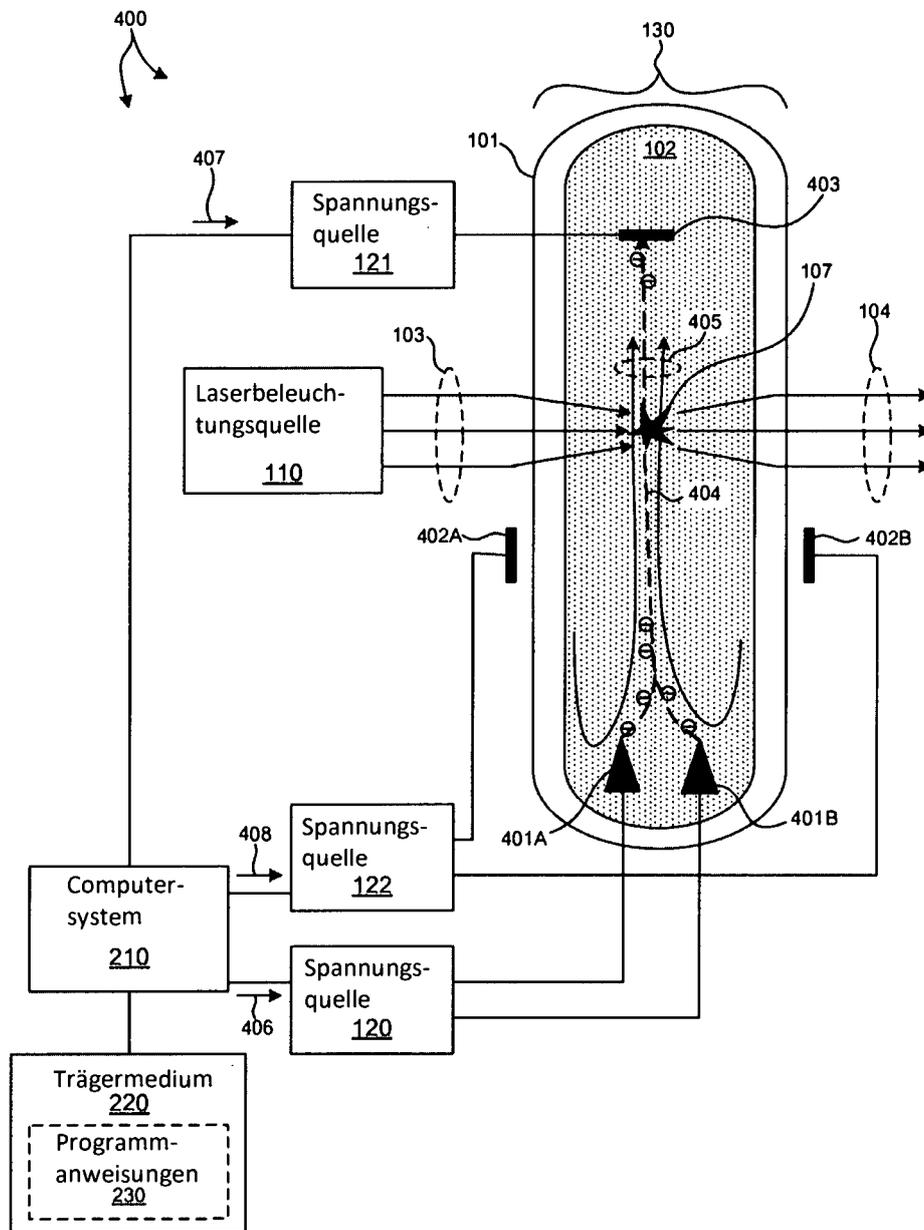


Fig. 4

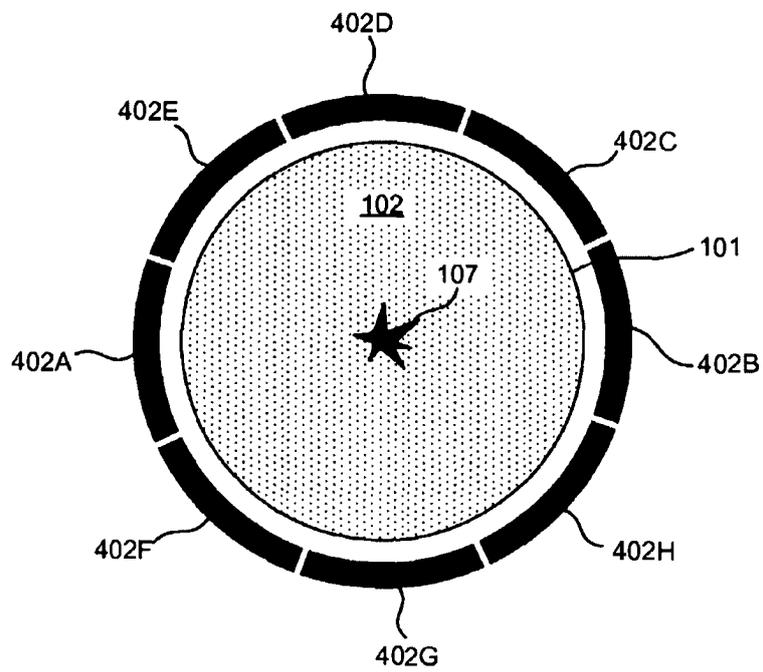


FIG. 5

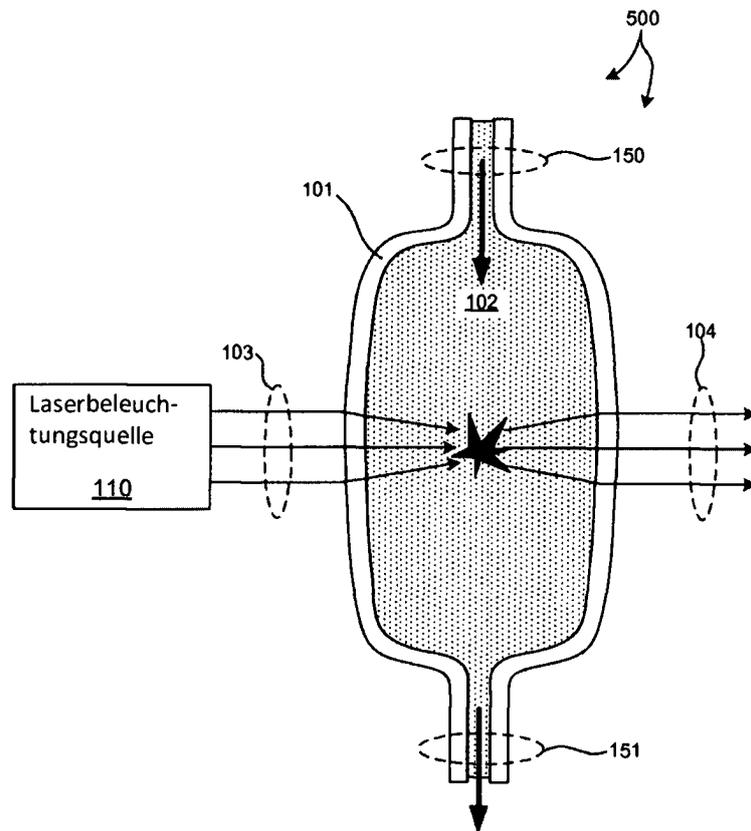


Fig. 6

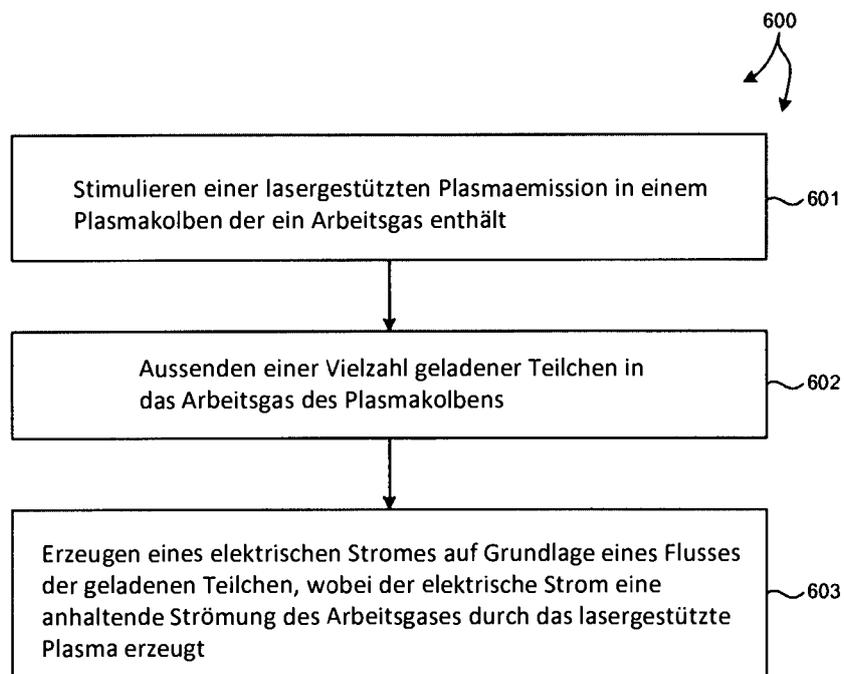


Fig. 7