



(10) **DE 11 2010 000 850 B4** 2017.04.06

(12)

## Patentschrift

(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2010 000 850.7**  
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US2010/024074**  
(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2010/093903**  
(86) PCT-Anmeldetag: **12.02.2010**  
(87) PCT-Veröffentlichungstag: **19.08.2010**  
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung  
in deutscher Übersetzung: **24.05.2012**  
(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: **06.04.2017**

(51) Int Cl.: **H05G 2/00 (2006.01)**  
**H05H 1/24 (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:  
**61/152,578**                      **13.02.2009**    **US**

(73) Patentinhaber:  
**KLA-Tencor Corp., Milpitas, Calif., US**

(74) Vertreter:  
**Reichert & Lindner Partnerschaft Patentanwälte,  
93047 Regensburg, DE**

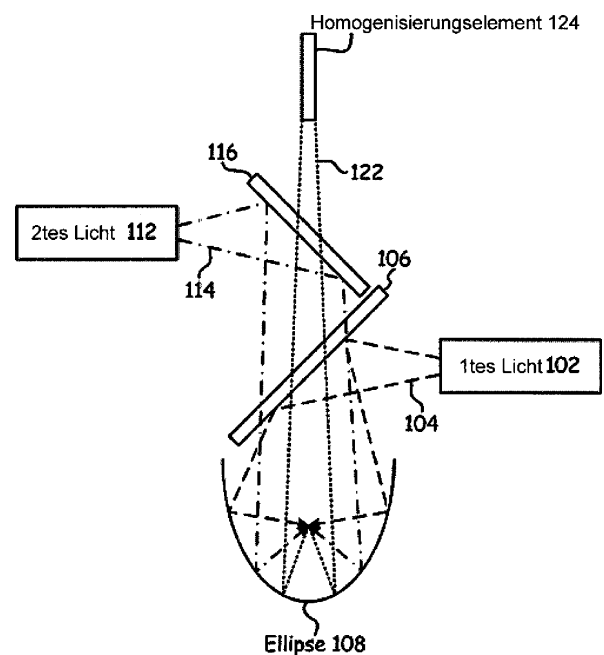
(72) Erfinder:  
**Bezel, Ilya, Sunnyvale, Calif., US; Shchemelinin,  
Anatoly, Pleasanton, Calif., US; Derstine,  
Matthew, W., LOS GATOS, CA, US; Shifrin,  
Eugene, SUNNYVALE, CA, US**

(56) Ermittelter Stand der Technik:  
**US 2002 / 0 093 653    A1**  
**US        3 900 803        A**  
**EP        0 858 249        B1**  
**WO       2005/ 089 131       A2**

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zum Aufrechterhalten und Erzeugen eines Plasmas**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zur Aufrechterhaltung eines Plasmas, wobei das Verfahren die Schritte umfasst:

- dass eine erste Wellenlänge einer elektromagnetischen Strahlung in ein Gas innerhalb eines Volumens fokussiert wird, wobei die erste Wellenlänge durch eine erste Gasart absorbiert wird und die Energie in einem ersten Bereich des Plasmas mit einer ersten Größe und einer ersten Temperatur abgegeben wird und
- dass eine zweite Wellenlänge einer elektromagnetischen Strahlung in den ersten Bereich des Plasmas fokussiert wird, wobei die zweite Wellenlänge sich von der ersten Wellenlänge unterscheidet und durch eine zweite Gasart, aber nicht durch die erste Gasart, absorbiert wird und dabei Energie in einen zweiten Bereich des Plasmas innerhalb des ersten Bereichs des Plasmas abgibt, und wobei der zweite Bereich des Plasmas eine zweite Größe besitzt, die kleiner ist als die erste Größe und eine zweite Temperatur besitzt, die größer ist als die erste Temperatur.



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft das Gebiet von Plasma-Lichtquellen. Im Besonderen betrifft die Erfindung die Erhöhung der Helligkeit von Plasma-Lichtquellen.

**[0002]** Das Verlangen bei integrierten Schaltungen, eine höhere Packungsdichte der Transistoren zu erzielen, initiiert in der Industrie das Verlangen, die Größe der Strukturen, aus denen die integrierten Schaltungen hergestellt werden, weiter zu reduzieren. Die Inspektion von bemusterten und unbemusterten Substraten, auf welchen die integrierten Schaltungen hergestellt werden, verlangen noch nie dagewesene und helle Breitbandlichtquellen im ultravioletten und sichtbaren Bereich. Dies ist erforderlich, um die Empfindlichkeit und den Durchsatz, welcher von der Industrie gefordert ist, einzuhalten. Es existiert eine ständige Suche nach Lichtquellen, die helleres Licht bei kürzeren Wellenlängen zur Verfügung stellen.

**[0003]** Lichtquellen, welche ein Plasma verwenden, das mittels eines Lasers aufrechterhalten wird, stellen Ultraviolettstrahlung zur Verfügung, welche bei diesen Anwendungen benutzt werden kann. Diese Lichtquellen werden derart betrieben, dass ein Laser in ein Gasvolumen fokussiert wird, wo die Laserenergie ausreicht, um das Gas zu einem Plasma anzuregen, das Licht emittiert. Das Fokussieren des Lasers in das Volumen wird als Pumpen eines Plasmas bezeichnet und der Laser wird ebenso als Pump Laser bezeichnet. Der Pump Laser kann kontinuierlich, intensitätsmoduliert oder gepulst betrieben werden. Diese mit einem Laser aufrechterhaltenen Lichtquellen besitzen Temperaturen, welche bei weitem die Temperaturen überschreiten, welche von elektrischen Entladungslichtquellen herrühren. Diese höheren Temperaturen resultieren in helleren Lichtquellen und kürzeren Wellenlängen.

**[0004]** Die Patentanmeldung US 2002/0 093 653 A1 beschreibt ein Verfahren zur Analyse einer Probe eines heterogenen Materials. Ein Laserpuls, der mehrere Wellenlängen enthält, wird auf die Probe gerichtet und erzeugt dort ein Plasma. Die Zusammensetzung der Probe wird aus dem Emissionsspektrum des Plasmas ermittelt.

**[0005]** Das Patent US 3 900 803 A beschreibt das Pumpen eines Lasermediums durch sichtbare und ultraviolette Strahlung, welche von einem Plasma emittiert wird. Das Plasma wird in einem gemeinhin zylindrischen Volumen durch einen Moleküllaser, etwa einen CO<sub>2</sub>-Laser, erzeugt, welcher dazu ein Medium, etwa Xenon, ionisiert.

**[0006]** Die internationale Patentanmeldung WO 2005/089 131 A2 beschreibt eine EUV-Plasma-Lichtquelle, bei welcher das Plasma durch einen Laser erzeugt wird. Dabei wird durch einen Initial-Laserpuls

zunächst ein Plasma erzeugt, welches im EUV-Bereich emittiert. Durch einen folgenden Laserpuls wird Emissionsmaterial in dem Plasma in den Emissionsbereich des Plasmas komprimiert. Der Initial-Laserpuls und der folgende Laserpuls können unterschiedliche Wellenlängen haben.

**[0007]** Das Patent EP 0 858 249 B1 beschreibt eine Röntgenquelle, bei der Röntgenstrahlung von einem durch einen Laser erzeugten Plasma emittiert wird. Zur Erzeugung des Plasmas wird ein Laserstrahl auf ein Target eingestrahlt, welches ein Gas und außerdem feste oder flüssige Partikel enthält.

**[0008]** Obwohl es relativ einfach ist, ein Plasma mittels einer Lichtquelle, wie z. B. einem Laser, aufrechterhalten, hat sich herausgestellt, dass es schwer fassbar ist, ein Plasma heißer (heller) unter der Verwendung von Aufrechterhaltungstechniken mit einem Standard-Laser zu machen. Erhöht man z. B. die Leistung des Lasers, führt dies zu einem Anwachsen des Plasmas, was nicht zu einer Erhöhung der Kerntemperatur des Plasmas in einem annehmbaren Ausmaß führt.

**[0009]** Es besteht deshalb das Bedürfnis, Lichtquellen zur Verfügung zu stellen, welche höhere Temperaturen an den Tag legen.

**[0010]** Die obige Aufgabe und andere Erfordernisse werden durch ein Verfahren zum Aufrechterhalten eines Plasmas erfüllt, wobei eine erste Wellenlänge einer elektromagnetischen Strahlung in das Gas innerhalb eines Volumens fokussiert wird. Die erste Wellenlänge wird dabei im Wesentlichen von einer ersten Gasart absorbiert und regt die erste Gasart in einem ersten Bereich des Plasmas an, so dass die erste Gasart eine erste Größe und eine erste Temperatur besitzt. Eine zweite Wellenlänge einer elektromagnetischen Strahlung wird in die erste Region des Plasmas fokussiert, wobei die zweite Wellenlänge von der ersten Wellenlänge verschieden ist und im Wesentlichen von einer zweiten Gasart absorbiert wird. Dabei wird die zweite Gasart in einem zweiten Bereich des Plasmas angeregt, welches sich innerhalb des ersten Bereichs des Plasmas befindet und eine zweite Größe aufweist, die kleiner ist, als die erste Größe. Ferner hat der zweite Bereich eine Temperatur, die größer ist als die erste Temperatur.

**[0011]** Gemäß dieser Art und Weise ermöglicht der relativ kalte erste Bereich des Plasmas die Formation eines relativ heißeren zweiten Bereichs des Plasmas, welcher innerhalb des ersten Bereichs des Plasmas liegt. Gemäß verschiedenen Ausführungsformen ist die erste Gasart eine Gasart für relativ geminderte Temperaturen und die zweite Gasart ist eine Gasart für relativ erhöhte Temperaturen. In einigen Ausführungsformen ist die erste Gasart ein Gas in einem ausgiebig ionisierten Zustand bei einer relativ

geminderten Temperatur und die zweite Gasart ist ein Gas, in einem ionisierten Zustand mit einer relativ erhöhten Temperatur. In einigen Ausführungsformen ist die erste Gasart ein Gas in einem reichlich angeregten Zustand bei einer relativ geminderten Temperatur und die zweite Gasart ist ein Gas in einem angeregten Zustand bei einer relativ erhöhten Temperatur. In einigen Ausführungsformen ist die erste Gasart ein freies Elektronengas in einem Plasma bei einer relativ geminderten Temperatur und die zweite Gasart ist ein Gas bei einer relativ erhöhten Temperatur. In einigen Ausführungsformen ist die erste Gasart ein erstes Gas und die zweite Gasart ein zweites Gas, das vom ersten Gas unterschiedlich ist und mit dem ersten Gas gemischt ist.

**[0012]** In einigen Ausführungsformen werden die erste Wellenlänge mittels einer ersten Lichtquelle und die zweite Wellenlänge mittels einer zweiten Lichtquelle zur Verfügung gestellt, wobei die erste Lichtquelle von der zweiten Lichtquelle getrennt angeordnet ist. In einigen Ausführungsbeispielen wird die erste Wellenlänge durch einen ersten Laser und die zweite Wellenlänge durch einen zweiten Laser zur Verfügung gestellt, wobei der erste Laser vom zweiten Laser getrennt angeordnet ist. In einigen Ausführungsformen werden die erste Wellenlänge und die zweite Wellenlänge zusammen von einer einzigen Lichtquelle zur Verfügung gestellt.

**[0013]** In einigen Ausführungsformen besteht die zusätzliche Möglichkeit, eine dritte Wellenlänge der elektromagnetischen Strahlung in die zweite Plasmaregion zu fokussieren, wobei sich die dritte Wellenlänge sowohl von der ersten Wellenlänge, als auch von der zweiten Wellenlänge unterscheidet und im Wesentlichen von einer dritten Gasart absorbiert wird, so dass die dritte Gasart innerhalb des zweiten Plasmabereichs angeregt wird, um einen dritten Plasmabereich zu bilden, der eine Größe aufweist, die kleiner ist, als die zweite Größe und eine dritte Temperatur besitzt, die größer ist als die zweite Temperatur.

**[0014]** Nach einigen Ausführungsformen wird die erste oder werden sowohl die erste als auch die zweite Wellenlänge in einer Art und Weise zur Verfügung gestellt, die kontinuierlich, moduliert oder gepulst ist. Gemäß einigen Ausführungsformen wird der erste Laser nur für die Zeit der Zündung des Plasmas zur Verfügung gestellt, um die Absorption des zweiten Lasers zu unterstützen. In einigen Ausführungsformen wird das Plasma alleine durch den zweiten Laser aufrechterhalten. In einigen Ausführungsformen wird das Plasma durch den zweiten Laser aufrechterhalten, der ein 532 Nanometer-Laser ist und wobei das Gasvolumen durch Xenon gebildet ist, welches bei einem Druck zwischen 1,01325 bar und 303,975 bar vorliegt.

**[0015]** In einigen Ausführungsformen werden der erste und der zweite Laser nur für die Zeit der Zündung des Plasmas zur Verfügung gestellt, um die Absorption des dritten Lasers zu unterstützen. In einigen Ausführungsformen wird das Plasma alleine durch den dritten Laser aufrechterhalten.

**[0016]** In einigen Ausführungsformen liegt die zweite Wellenlänge entweder innerhalb des sichtbaren Spektrums oder des ultravioletten Spektrums. In einigen Ausführungsformen liegt die erste Wellenlänge innerhalb eines Bereichs von ungefähr 360 bis 560 Nanometer und das Gasvolumen ist Xenon, welches bei einem Druck zwischen 1,01325 bar und 303,975 bar vorliegt. In einigen Ausführungsformen wird die erste Wellenlänge mit einem ca. Ein-Mikrometer-Laser hergestellt. In einigen Ausführungsformen wird die erste Wellenlänge mit einem CO<sub>2</sub>-Zehn-Mikrometer-Laser hergestellt. In einigen Ausführungsformen wird die zweite Wellenlänge mit einem frequenzverdoppelten Laser hergestellt. In einigen Ausführungsformen werden die erste und die zweite Wellenlänge durch einen einzigen frequenzverdoppelten Laser hergestellt.

**[0017]** Gemäß einem anderen Gesichtspunkt der Erfindung ist eine Vorrichtung zum Herstellen eines Plasmas beschrieben. Die Vorrichtung weist ein Volumen auf, das ein Gas umschließt. Ferner ist eine erste elektromagnetische Strahlungsquelle vorgesehen, die einen ersten Strahl der elektromagnetischen Strahlung bei einer ersten Wellenlänge zur Verfügung stellt. Erste optische Elemente sind zur Fokussierung des ersten Strahls in das Gasvolumen vorgesehen, in dem die erste Wellenlänge im Wesentlichen durch eine erste Gasart absorbiert wird, um somit Energie in einem ersten Bereich eines Plasmas zu liefern, welcher eine erste Größe und eine erste Temperatur besitzt. Eine zweite elektromagnetische Strahlungsquelle ist für die Erzeugung eines zweiten Strahls einer elektromagnetischen Strahlung bei einer zweiten Wellenlänge vorgesehen, welche sich von der ersten Wellenlänge unterscheidet. Zweite optische Elemente sind zur Fokussierung des zweiten Strahls in dem ersten Bereich des Plasmas vorgesehen, wobei die zweite Wellenlänge im Wesentlichen durch eine zweite Gasart absorbiert wird und somit Energie in einen zweiten Bereich des Plasmas liefert, der innerhalb des ersten Bereichs des Plasmas liegt und eine zweite Größe besitzt, die kleiner ist als die erste Größe und eine zweite Temperatur besitzt, die größer ist als die erste Temperatur.

**[0018]** Gemäß einem weiteren Gesichtspunkt der Erfindung ist eine Vorrichtung zur Herstellung eines Plasmas beschrieben, wobei die Vorrichtung ein Volumen für den Einschluss eines Gases besitzt. Eine elektromagnetische Strahlenquelle ist zur Bereitstellung einer ersten Wellenlänge der elektromagnetischen Strahlung und einer zweiten Wellenlänge

ge der elektromagnetischen Strahlung vorgesehen, wobei sich die Wellenlängen der ersten elektromagnetischen Strahlung und der zweiten elektromagnetischen Strahlung unterscheiden. Optische Elemente sind zur Fokussierung der ersten Wellenlänge in das Gas innerhalb des Volumens vorgesehen, wobei die erste Wellenlänge im Wesentlichen von einer ersten Gasart absorbiert wird und somit Energie in einen ersten Bereich des Plasmas liefert, welcher eine erste Größe bei einer ersten Temperatur besitzt. Die optischen Elemente sind ferner zur Fokussierung der zweiten Wellenlänge in den ersten Plasmabereich geeignet, wobei die zweite Wellenlänge im Wesentlichen durch eine zweite Gasart absorbiert wird und die Energieversorgung in einem zweiten Plasmabereich anregt, der eine zweite Größe besitzt, die kleiner ist als die erste Größe und eine zweite Temperatur aufweist, die größer ist als die erste Temperatur.

**[0019]** Weitere Vorteile der Erfindung werden durch die Bezugnahme auf die detaillierte Beschreibung in Verbindung mit den Figuren deutlich, welche nicht maßstabsgetreu sind, um somit deutlicher Details zu zeigen. Gleiche Bezugszeichen zeigen gleiche Elemente in den verschiedenen Darstellungen, wobei

**[0020]** Fig. 1 eine schematische Ansicht einer Lichtquelle gemäß einer Ausführungsform der gegenwärtigen Erfindung zeigt;

**[0021]** Fig. 2 ein Diagramm eines berechneten Absorptionsspektrums für Argon für unterschiedliche Plasmatemperaturen und bei konstantem Druck von ungefähr 7,09275 bar zeigt;

**[0022]** Fig. 3 ein Diagramm eines berechneten Absorptionsspektrums für Xenon für unterschiedliche Plasmatemperaturen und bei konstantem Druck von ungefähr 7,09275 bar zeigt.

**[0023]** Verschiedene Ausführungsformen der gegenwärtigen Erfindung benutzen zwei oder mehrere Pumpwellenlängen, wobei jede Wellenlänge für einen spezifischen Übergangspunkt im Energiespektrum von einer oder mehreren Gasarten, welche im Plasma verwendet werden, verantwortlich sind. Hierdurch werden andere Übergangspunkte vermieden. So wird z. B. eine Wellenlänge ausgewählt, um einen relativ großen, relativ kalten ersten Plasmabereich zu erzeugen. Eine andere Wellenlänge wird ausgewählt, um einen relativ kleinen, relativ heißen zweiten Plasmabereich zu erzeugen, der innerhalb des ersten Plasmabereichs liegt.

**[0024]** Dieses Verfahren kann mit zusätzlichen Wellenlängen erweitert werden, um die Ausbildung von nach und nach heißeren und mehr zentral angeordneten Bereichen des Plasmas zu erzielen, die innerhalb von nach und nach kälteren und mehr in den äußeren Bereichen des Plasmas angeordneten Gebie-

ten angeordnet sind. Dies lässt sich mit ineinander geschachtelten Arealen von Plasmabereichen vergleichen, die heißer sind, je weiter man sich zum Zentrum hin bewegt und die kälter werden, je weiter man sich zu den äußeren Bereichen der Plasmabereiche hin bewegt. In verschiedenen Ausführungsformen ist das Volumen, in welchem das Plasma erzeugt wird, aus einem Gas oder einer Mischung von Gasen gebildet. In einigen Ausführungsformen werden Laser verwendet, um das Plasma zu pumpen. In anderen Ausführungsformen werden andere Lichtquellen verwendet, um das Plasma zu pumpen. Der Einfachheit halber wird in der nachgehenden Beschreibung der Begriff „Laser“ oft verwendet. Es ist selbstverständlich, dass andere Pump-Lichtquellen in diesen oder anderen Ausführungsformen genannt sind.

**[0025]** Fig. 1 zeigt eine schematische Darstellung einer Lichtquelle **100**, gemäß einer Ausführungsform der gegenwärtigen Erfindung. Ein erstes Licht **102** erzeugt einen ersten Lichtstrahl **104**, der zumindest teilweise von einem ersten Spiegel **106** in eine Ellipse **108** reflektiert wird. Der erste Lichtstrahl **104** hat einen Peak bei einer ersten Wellenlänge. In einigen Ausführungsformen hat der erste Lichtstrahl **104** eine Energie bei im Wesentlichen nur einer ersten Wellenlänge. Die Ellipse **108** fokussiert den ersten Lichtstrahl **104** auf einen Brennpunkt der Ellipse **108**. Außerhalb der Ellipse **108** ist ein Volumen aus einem oder mehreren Gasen enthalten und der erste Lichtstrahl **104** bildet eine erste relativ kalte Region aus einem Plasma von dem Gas, das innerhalb des Volumens vorliegt.

**[0026]** Eine zweites Licht **112** erzeugt einen zweiten Lichtstrahl **114**, der zumindest teilweise von einem zweiten Spiegel **116** in die Ellipse **108** reflektiert wird. Der zweite Lichtstrahl **114** hat einen Peak bei einer zweiten Wellenlänge. Die zweite Wellenlänge unterscheidet sich von der ersten Wellenlänge. In einigen Ausführungsformen besitzt der zweite Lichtstrahl eine Energie, die im Wesentlichen bei einer einzigen zweiten Wellenlänge liegt. Die Ellipse **108** fokussiert den zweiten Lichtstrahl **114** in den Brennpunkt der Ellipse **108**. Der zweite Lichtstrahl **114** bildet einen zweiten, relativ heißen Bereich des Plasmas aus dem Gas innerhalb des Volumens.

**[0027]** Es ist selbstverständlich, dass die Ausdrücke „relativ heiß“ und „relativ kalt“, welche in der nachfolgenden Beschreibung verwendet werden, sich nicht auf einen externen oder absoluten Standard beziehen. Vielmehr sind die Ausdrücke in Beziehung zueinander zu setzen, wobei ein Plasmabereich heißer ist in Bezug auf einen anderen Plasmabereich und der andere Plasmabereich kälter ist in Bezug auf den vorhergehenden Plasmabereich. Somit ist es klar, dass die hier verwendeten Ausdrücke nicht andeuten, dass die Plasmabereiche so bezeichnet werden,

die kälter oder heißer sind als Plasmabereiche, die von einer anderen Vorrichtung erzeugt worden sind.

**[0028]** Das kombinierte Licht **122**, das durch den ersten Bereich und den zweiten Bereich des Plasmas gebildet wurde, wird in ein Homogenisierungselement **124** fokussiert. Das zusammengeführte Licht **122** umfasst Licht von zwei unterschiedlichen Farbtemperaturen, nämlich einem relativ kälteren (abgedunkelten) Licht aus dem ersten Plasma und einem relativ heißeren (helleren) Licht aus dem zweiten Plasma.

**[0029]** Wie oben erwähnt, ist der zweite Bereich des Plasmas derart gebildet, dass er aus dem ersten Bereich des Plasmas hervorgebracht ist und typischerweise in seiner Gesamtheit innerhalb der Grenzen des ersten Plasmabereichs liegt. Falls nur der zweite Lichtstrahl **114** in das Volumen gerichtet wird, wäre es nicht möglich, den zweiten Bereich des Plasmas auszubilden oder eine relativ heiße Temperatur im zweiten Bereich des Plasmas zu erzielen. Dies ist so, da die Möglichkeit gegeben sein muss, dass einige wenige Bedingungen erfüllt werden müssen. So ist z. B. die Leistung des zweiten Strahls zu gering, um das Plasma zu zünden und es aufrechtzuerhalten (anders ausgedrückt – es existiert keine zweite Lichtquelle **112** für den zweiten Lichtstrahl **114**, die leistungsstark genug ist, um selbst ein Plasma bei einer vorgegebenen Wellenlänge aufrechtzuerhalten). Ferner würde die Wellenlänge des zweiten Lichtstrahls **114** nicht ausreichen, im relativ seltenen Gasvolumen absorbiert zu werden, um das Plasma zu zünden und es aufrechtzuerhalten.

**[0030]** Jedoch kann bei einem im ersten Bereich ausgebildeten Plasma die Wellenlänge und die Leistung des zweiten Lichtstrahls **114** mit einer geringeren Leistung gewählt werden, die ausreicht, das Plasma im zweiten Bereich aufrechtzuerhalten, wobei der zweite Bereich innerhalb des ersten Bereichs liegt. Die Wellenlänge des zweiten Lichtstrahls **114** kann derart gewählt werden, dass diese bevorzugt durch die heißen Gasarten, welche im Inneren des ersten und zweiten Bereichs vorliegen, absorbiert werden, wobei die relativ kälteren Gastypen des ersten Bereichs für die Wellenlänge im Wesentlichen durchlässig sind. Gemäß dieser Art und Weise kann die Wellenlänge des zweiten Lichtstrahls **114** ausgewählt werden, um einen heißeren zweiten Bereich des Plasmas zu bilden, ohne dabei besorgt zu sein, dass eine zweite Lichtquelle leistungsstark genug ist, um das Plasma für sich selbst aufrechtzuerhalten – wobei die zweite Lichtquelle **112** nicht vorhanden sein muss. Folglich hängt der zweite Bereich des Plasmas von der Ausbildung des ersten Bereichs des Plasmas ab, in welchem er eingeschlossen ist, um existieren zu können.

**[0031]** In verschiedenen Ausführungsformen werden für die Lichtquellen **102** und **112** Laser verwendet, wohingegen in anderen Ausführungsformen Lichtquellen anderer Art als Laser verwendet werden. In einigen Ausführungsformen ist eine einzige Lichtquelle vorgesehen, wobei die Lichtquelle mehr als eine Peak-Wellenlänge besitzt, wobei jede Wellenlänge eine andere Region, gemäß der oben beschriebenen Art und Weise, bildet. In einigen Ausführungsformen wird ein leistungsstarker, sichtbarer oder ultravioletter Laser als Lichtquelle verwendet, z. B. kann dies ein grüner, blauer oder ultravioletter Laser (Direktdiode oder frequenzumgewandelt) sein – z. B. ein frequenzverdoppelter Nb:YAB- oder Nd:YLF-Laser sein, der ein Leistungsniveau von mehr als 100 Watt besitzt und verwendet werden kann, um beide Wellenlängen zur Verfügung zu stellen. In einigen Ausführungsformen können mehr als zwei Lichtquellen verwendet werden, um mehr als zwei Bereiche des Plasmas im Volumen auszubilden. Ebenso ist es möglich, eine Lichtquelle mit mehr als zwei Peak-Wellenlängen zu verwenden, um mehr als zwei Bereiche im Plasma auszubilden.

**[0032]** Gemäß einigen Ausführungsformen wird der erste Laser nur während der Zeit des Zündens des ersten Plasmas zur Verfügung gestellt, um die Absorption des zweiten Lasers zu unterstützen. In einigen Ausführungsformen ist das Plasma durch den zweiten Laser alleine aufrechterhalten. In einigen Ausführungsformen wird das Plasma durch den zweiten Laser aufrechterhalten, der die Wellenlänge im Bereich von 360 Nanometer bis ungefähr 560 Nanometer aussendet und das Gasvolumen aus Xenon gebildet ist und bei ungefähr 1,01325 bar bis ungefähr 303,975 bar vorliegt.

**[0033]** Gemäß einigen Ausführungsformen werden der erste und der zweite Laser nur während der Zeit zum Zünden des Plasmas zur Verfügung gestellt, um die Absorption des dritten Lasers zu unterstützen. In einigen Ausführungsformen wird das Plasma allein durch den dritten Laser aufrechterhalten.

**[0034]** In diesem Abschnitt der Beschreibung wird auf die Theorien in Bezug auf die Reaktionsmechanismen des Plasmas eingegangen. Es ist jedoch selbstverständlich, dass die Ausführungsformen der Erfindung nicht auf diese Theorien beschränkt sind und dass die Erfindung nicht in irgendeiner Weise herabgesetzt werden kann, falls diese Theorien ungenau oder unvollständig sind.

**[0035]** Die charakteristischen Eigenschaften eines Plasmas, das von einem vorgegebenen Lichtstrahl gebildet wird, werden im Großen und Ganzen mittels der Absorption der Lichtenergie durch das Gas bei einer bestimmten Wellenlänge des Lichtstrahls bestimmt. Absorptionsmechanismen umfassen: (a) freies Elektron Absorption (Bremsstrahlung), (b) Absorp-

tion durch die Umwandlung von gebundenem Elektron zu freiem Elektron, (c) Übergangsniveaus von gebundenen Elektronen und (d) verschiedene andere Mechanismen.

**[0036]** In dem betrachteten Bereich der Drücke und Temperaturen für einen Laser, der das Plasma aufrechterhalten kann, spielen die Übergangsniveaus der gebundenen Elektronen eine entscheidende Rolle für die meisten der ultravioletten, sichtbaren und nahen Infrarot-Wellenlängen. Die **Fig. 2** und **Fig. 3** zeigen berechnete Graphen des Absorptionsspektrums für Argon (**Fig. 2**) und Xenon (**Fig. 3**) für unterschiedliche Plasmatemperaturen bei einem konstanten Druck (ungefähr 7,09275 bar). Die aufgetragenen Temperaturen betragen 10000 Kelvin (mit **200** bezeichnet), 15000 Kelvin (mit **201** bezeichnet), 20000 Kelvin (mit **202** bezeichnet) und 25000 Kelvin (mit **203** bezeichnet).

**[0037]** Der Mechanismus der Absorption durch Bremsstrahlung erscheint für Wellenlängen von ungefähr größer als 3000 Nanometer dominant zu sein. Typischerweise haben Übergangsniveaus von gebundenen Elektronen ein strukturiertes Spektrum. Diese Linien werden durch unterschiedliche Mechanismen verbreitert (durch Stöße, Doppler, etc.). Die Absorption durch Bremsstrahlung besitzt ein glattes Spektrum ohne spektrale Merkmale. Die Übergänge von gebundenen zu freien Elektronen haben ein strukturiertes Spektrum mit steilen Anstiegen bei Energien, die dem Beginn der Ionisation entsprechen. Gebundene Regionen des Graphen stellen Beispiele dar für eine mögliche Wahl von Wellenlängen für einen ersten Laser (gekennzeichnet mit **210** bis **215**) und einem zweiten Laser (gekennzeichnet mit **220** bis **222**). Der erste Laser wird in dem relativ kälteren Plasmabereich (10000 Kelvin bis 15000 Kelvin) absorbiert. Der relativ kältere Bereich des Plasmas ist im Wesentlichen transparent für den zweiten Laser, der bevorzugter Weise durch einen relativ heißeren Plasmabereich (20000 Kelvin bis 25000 Kelvin) absorbiert wird.

**[0038]** Mittels Abstimmung der Wellenlänge ist es möglich auszuwählen, welche Gasart im Plasma die Energie des Lichtstrahls absorbiert. Für jede Wellenlänge erfordert das Gas oder das Plasma eine bestimmte Temperatur, um absorbierend zu wirken. Diese Temperatur ist im Allgemeinen bestimmt durch das Niveau des Übergangs der gebundenen Elektronen bei dem geringsten Übergangsniveau. Für den Fall, dass die Temperatur hoch genug ist, um das untere Niveau zu bevölkern, beginnt das Gas beim Übergang zu absorbieren.

**[0039]** Im Betrieb wird der erste Pumpstrahl in das Gasvolumen fokussiert. Das Plasma wird aufrechterhalten, wenn die Energiedichte des ersten Strahls hoch genug ist, um die Temperaturverluste des Plas-

mas zu kompensieren. Durch das Erhöhen der Intensität des ersten Strahls wird ein größeres Plasma erzeugt, was nicht notwendigerweise in einem heißeren Plasma resultiert. Das so erzeugte Plasma ist relativ transparent bei der Wellenlänge des zweiten Pumpstrahls, der einen heißeren zweiten Plasmabereich erzeugt. Somit ist es möglich, eine Wellenlänge des zweiten Strahls auszuwählen, die in einen ersten und aufrechterhaltenen Bereich des ersten Plasmas fokussiert wird, wobei dies ohne Verluste geschieht. Deshalb ist es möglich, dass ein kleinerer und heißerer Plasmabereich innerhalb des ersten Plasmabereichs ausgebildet werden kann.

**[0040]** Es existieren einige Mechanismen, die zur Erklärung des reduzierten Energieverlustes in dem heißeren Plasmabereich geeignet sind, falls dieser innerhalb des kälteren Plasmabereichs positioniert ist und im Gegensatz zur Aufrechterhaltung eines heißeren Plasmas innerhalb eines kälteren Gases zu sehen ist.

**[0041]** So besitzt z. B. der äußere Bereich des heißeren Plasmabereichs eine Temperatur von ungefähr einem Elektronenvolt, obwohl die maximale Gastemperatur aufgrund ihres Kontakts mit den Wänden des Volumens ein Zehntel eines Elektronenvolts nicht überschreiten kann. Somit reduziert ein umgebender kälterer Plasmabereich die Verluste des heißeren Plasmabereichs aufgrund der thermischen Leitung, in dem er von den Volumenwänden isoliert ist. Ein anderes Beispiel ist, dass der heißere Bereich des Plasmas in einer Ellipse einen wesentlichen Teil des Lichts, welches vom kälteren Bereich des Plasmas abgestrahlt wird, absorbiert. Dies ermöglicht ein indirektes Pumpen des heißeren Bereichs des Plasmas mit dem ersten Strahl. All diese Mechanismen ermöglichen die Verwendung eines weniger leistungsstarken und einen wesentlich geeigneteren Lichtstrahl, um einen heißeren und kleineren Bereich des Plasmas zu erzeugen.

**[0042]** Falls der zweite Laser genügend Leistung aufbringt, um den zweiten Bereich des Plasmas ohne Hilfe des ersten Lasers aufrechtzuerhalten, kann der zweite Laser auch alleine benutzt werden. Gemäß **Fig. 2** und **Fig. 3** sind leistungsfähige Laser im sichtbaren oder ultravioletten Spektralbereich für die Aufrechterhaltung eines relativ heißen Plasmas geeignet. In besonderem Interesse sind grüne, blaue oder ultraviolette (Direktdioden oder frequenzgewandelte) Laser, wie z. B. ein frequenzverdoppelter Nd:YAG-Laser, welcher mit Leistungsniveaus von mehr als einigen 100 Watt kommerziell verfügbar ist.

**[0043]** Gemäß einer Ausführungsform wird der zweite Bereich des Plasmas mit einem gepulsten Laser aufrechterhalten. Dieser zweite Bereich des Plasmas bleibt klein, da die Pulse des zweiten Lasers relativ kurz sind, so dass der zweite Bereich des Plasmas

nicht genügend Zeit hat, um entsprechend zu wachsen. Bei dieser Ausführungsform ist der erste Bereich des Plasmas notwendig, um den zweiten Bereich des Plasmas zu Beginn eines jeden Pulszyklus bilden zu können.

**[0044]** Zwei oder mehr Lichtquellen die bei der gleichen oder unterschiedlichen Wellenlänge betrieben werden, können für das Pumpen des Plasmas verwendet werden. Die Verwendung einer Lichtquelle dient bevorzugt dazu, den äußeren Bereich des Plasmas aufrechtzuerhalten, wohingegen die anderen Lichtquellen verwendet werden, um heißere Bereiche des Plasmas zu generieren, die innerhalb der anderen Plasmabereiche angeordnet sind.

**[0045]** Eine Breitbandlichtquelle, wie z. B. ein industrieller Diodenlaser, kann dazu verwendet werden, um beide Bereiche des Plasmas zu pumpen. Für diesen Fall sollte das Wellenlängenband breiter sein als die Absorptionslinie.

**[0046]** Mehrere Wellenlängen können in einen einzigen Wellenleiter oder eine Lichtleitfaser gekoppelt werden, um beide Bereiche des Plasmas zu pumpen. Im Besonderen können erste und höhere Harmonische eines frequenzgewandelten Lasers für das Pumpen verwendet werden.

**[0047]** Eine Lichtquelle, die im sichtbaren oder ultravioletten Spektralbereich betrieben wird, kann zur Aufrechterhaltung des relativ heißeren Bereichs des Plasmas verwendet werden. Möglichkeiten für Laser umfassen Diodenlaser, Faserlaser, dünne Scheibenlaser, Ionenlaser, andere Festkörperlaser oder Laser mit einem Resonator, die entweder in dem Wellenlängenbereich betrieben werden oder in Bezug auf diesen Wellenlängenbereich frequenzgewandelt sind.

**[0048]** Das Plasma, welches mittels einer Wellenlänge erzeugt wird, kann für eine Wellenlänge, die zum Pumpen des heißeren Bereichs des Plasmas verwendet wird, transparent sein. Somit ist es möglich, eine zweite Wellenlänge auszuwählen, so dass diese fast ohne Verluste in das aufrechterhaltene Plasma fokussiert werden kann. Der zweite kleinere und heißere Bereich des Plasmas wird innerhalb des ersten Bereichs aufrechterhalten. Die Energieverluste für den heißeren Bereich des Plasmas, der innerhalb des kälteren Bereichs des Plasmas aufrechterhalten ist, sind reduziert. Somit erreicht man eine höhere Plasmatemperatur, selbst wenn mit einer Lichtquelle gepumpt wird, die eine relativ kleine Leistung besitzt.

**[0049]** Unterschiedliche Wellenlängen können verwendet werden, um die gleiche Gasart zu pumpen, wie z. B. unterschiedliche Übergänge im gleichen Ionisationszustand, Übergänge in unterschiedlichen Ionisationszuständen in dem Plasma.

**[0050]** Der Dauerstrich und frequenzverdoppelte Nd:YAG-Laser (z. B. Trumpf Inc.; dünner Scheibenlaser, mit Verdopplung im Resonator), stellt an dessen Ausgang eine Wellenlänge von 532 Nanometer zur Verfügung, die verwendet wird, um ein sehr heißes Plasma im Xenon bei ungefähr 1,01325 bar bis ungefähr 303,975 bar aufrechtzuerhalten. Ein kontinuierlicher frequenzverdoppelter Faserlaser (z. B. IPG Photonics, Inc.) stellt am Ausgang einen Wellenlängenbereich von ungefähr 500 Nanometer bis 560 Nanometer zur Verfügung, der ebenfalls verwendet werden kann, um ein sehr heißes Plasma in Xenon bei ungefähr einer Atmosphäre bis 300 Atmosphären aufrechtzuerhalten.

**[0051]** Unterschiedliche Wellenlängen können verwendet werden, um unterschiedliche Typen zu pumpen, wie dies z. B. beim Pumpen eines Gasgemisches der Fall ist, z. B. Xenon und Quecksilber. Der äußere Bereich des Plasmas wird durch Pumpen von Xenon-Übergängen aufrechterhalten und der heiße Bereich des Plasmas wird durch Pumpen von Quecksilber oder Quecksilberionen erzeugt. Eine langwelligere Lichtquelle, wie z. B. ein Kohlendioxid-Laser, kann benutzt werden, um das Plasma durch Absorption der Bremsstrahlung aufrechtzuerhalten, während eine kurzwelligere Lichtquelle dazu verwendet werden kann, um Pumpliniübergänge in atomaren oder ionischen Typen zu erzielen.

**[0052]** Eine Dauerleistungslichtquelle kann dazu verwendet werden, um den äußeren Bereich eines Plasmas aufrechtzuerhalten und eine gepulste Lichtwelle kann dazu verwendet werden, um die heißere innere Region des Plasmas zu erzeugen. Die zweite gepulste Wellenlänge pumpt entweder Ionen oder heißere Atome. Die hohe Leistung der zweiten Lichtquelle kann unter Verwendung eines gepulsten Faserlasers, Diodenlasers oder anderen Lasers (wie z. B. Nd:YAG, Titan:Saphir, etc.) erreicht werden. Zusätzlich zu höherer Leistung, ist es möglich, dass die gepulsten Lichtquellen zur Erzeugung eines kleineren Plasmas herangezogen werden können, falls die Diffusionszeit des Plasmas länger ist als die Dauer der Pumpimpulse. Das Vorhandensein des kälteren Plasmas ermöglicht eine ausgeglichene Wärmebilanz und besitzt somit genug heiße Atome und Ionen für das Pumpen mit der zweiten Wellenlänge bei der Initialisierung zum Beginn eines jeden Pulses.

**[0053]** Die vorgeschlagene Vorrichtung kann mit einem Resonator und frequenzverdoppelten Dauerstrichlasern verwirklicht werden, wie diese z. B. von IPG-Photonics oder Trumpf hergestellt werden. Die elementare Wellenlänge dieser Laser von einem Mikron wird verwendet, um den Niedertemperaturbereich des Plasmas aufrechtzuerhalten. Die halbierte zweite Harmonische des Lasers wird verwendet, um den heißeren Bereich des Plasmas innerhalb des ersten Bereichs zu pumpen.

**[0054]** Ein anderes Beispiel ist ein Argon-Plasma, wobei ein separates Argon-Ionenpumpen durch eine zweite Lichtquelle erfolgt. Ein Argon-Volumen kann effektiv mit einem Laser im nahen Infrarot gepumpt werden. Das Plasma im Argon-Volumen wird mit einem 978 Nanometer und 800 Watt Diodenlaser von LaserLine aufrechterhalten. Der erste Bereich des Plasmas, der erzeugt wurde, ist im Wesentlichen für nahes Infrarot und sichtbares Licht transparent. Dies ermöglicht die Erzeugung eines relativ kleinen und heißeren Bereichs des Plasmas durch ausschließliches Pumpen der Argon-Ionen mit einem 514 Nanometer Argon-Ionenlaser (verfügbar bis zu 10 Watt kontinuierlicher Leistung). Der Argon-Laser kann auf einen sehr kleinen Punkt fokussiert werden (wie z. B. kleiner als ein Mikrometer), so dass ein relativ heißer zweiter Bereich des Plasmas erzeugt werden kann.

**[0055]** Eine Alternative für den Argon-Laser als zweite Lichtquelle ist ein Infrarot-Laser mit zwei Wellenlängen. Bei diesem Beispiel wird ein Argon-Plasma mit einem 975 Nanometer- oder 978 Nanometer-Laser gepumpt. Dies erzeugt ein drittes Plasma bei einer geringen Temperatur, wobei nicht mehr als ein 800 Watt Laser verwendet wird. Jedoch hat sich herausgestellt, dass 800 Watt nicht ausreichen, um ein Argon-Plasma bei anderen Wellenlängen aufrechtzuerhalten. Falls einmal das erste Plasma aufrechterhalten ist, können zusätzliche Niveaus mit einem weiteren Laser gepumpt werden. Für einen Diodenlaser kann ein 1068 Nanometer Faserlaser oder Laser, der bei 957 oder 975 Nanometer arbeitet, verwendet werden. Eine Ausführungsform verwendet einen Zweiwellenlängenlaser, wie z. B. einen Hochleistungs-Laser (Leistung größer als ein Kilowatt) der Firma LaserLine Inc. Beide Pumpwellenlängen können für diesen Fall den gleichen Laser und die gleiche Optik verwenden.

**[0056]** In einer Ausführungsform ist es ein Ziel, die zweite Wellenlänge an die Übergangsniveaus im Gasvolumen anzupassen, so dass der zweite Strahl effektiv durch den zentralen Teil des ersten Plasmas absorbiert wird und die äußeren Teile des ersten Plasmas im Wesentlichen transparent für die zweite Wellenlänge sind. Dies kann durch Anpassen der Wellenlänge in die (vielfach) Ionenabsorptionslinie oder in eine Absorptionslinie von höher angeregten neutralen Gasarten oder Gasen erreicht werden, wobei gleichzeitig die starken Absorptionseigenschaften von kälteren Arten vermieden ist.

**[0057]** Ebenso ist es möglich, die Wellenlängenbandbreite derart zu wählen, dass sie an die Absorptionslinienbreite von (mehreren) Ionentypen oder hoch angeregten neutralen Typen angepasst ist. Ein Beispiel hierfür ist die Auswahl eines zweiten Lichts bei 964 Nanometer für Quecksilbergas. Das erste Quecksilberion absorbiert das 964 Nanometer Licht bei einem angeregten Übergang, wohingegen keine

Absorption von dem 964 Nanometer Licht bei atomarem Quecksilber erfolgt.

**[0058]** Es ist zwar nicht möglich, ein Plasma mit einem 800 Watt Infrarotlaser in einer Argonblase bei 10,1325 bar Druck aufrechtzuerhalten, bis die Wellenlänge auf dem 978 Nanometerübergang des hoch angeregten Argonatoms eingestellt ist. Die kälteren Teile des Plasmas haben somit nicht genug Population an angeregten Zuständen, um dieses Licht in den äußeren Bereichen des Plasmas zu absorbieren.

**[0059]** Der Plasmabetrieb (aufsammelbare Ultravioletteistung und Temperatur) zeigte, dass eine starke Abhängigkeit von der Laserwellenlänge für Xenon vorliegt, wobei es bei den vorherrschenden Betriebsbedingungen möglich ist, die Absorptionslinie bei 982 Nanometer zu vermeiden. Ausgehend von einem gering angeregten Zustand des Xenongases wird diese Linie in den äußeren Bereich des Plasmas absorbiert, was in einer geringeren Leistung (mehr und weniger effektiv gepumpt) resultiert.

**[0060]** Wenn die Übergangswellenlänge als Funktion der Energie des Niveaus, von welchem die Übergänge ausgehen, aufgetragen ist, kann man eine gut informierte Entscheidung treffen, welche Frequenz zu verwenden ist (siehe z. B. **Fig. 2** und **Fig. 3**).

**[0061]** Die vorangehende Beschreibung und die Ausführungsbeispiele dieser Erfindung wurden zum Zwecke der Verdeutlichung und Beschreibung dargelegt. Es ist nicht beabsichtigt, erschöpfend zu sein, oder die Erfindung auf die genaue und offenbarte Form zu beschränken. Offensichtliche Modifikationen und Änderungen sind im Lichte der vorstehenden Beschreibung möglich. Die Ausführungsformen sind derart ausgewählt und beschrieben, um die Prinzipien der Erfindung und deren praktische Anwendung zu verdeutlichen, so dass es hierdurch einem Fachmann möglich ist, die Erfindung in den verschiedenen Ausführungsformen und in den verschiedenen Modifikationen nachzuarbeiten. All diese Modifikationen und Variationen liegen innerhalb des Schutzbereichs der Erfindung, wie dieser durch die nachstehenden Ansprüche bestimmt ist, wenn diese in ihrer Breite interpretiert werden.

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Aufrechterhaltung eines Plasmas, wobei das Verfahren die Schritte umfasst:

- dass eine erste Wellenlänge einer elektromagnetischen Strahlung in ein Gas innerhalb eines Volumens fokussiert wird, wobei die erste Wellenlänge durch eine erste Gasart absorbiert wird und die Energie in einem ersten Bereich des Plasmas mit einer ersten Größe und einer ersten Temperatur abgegeben wird und



- dass eine zweite Wellenlänge einer elektromagnetischen Strahlung in den ersten Bereich des Plasmas fokussiert wird, wobei die zweite Wellenlänge sich von der ersten Wellenlänge unterscheidet und durch eine zweite Gasart, aber nicht durch die erste Gasart, absorbiert wird und dabei Energie in einen zweiten Bereich des Plasmas innerhalb des ersten Bereichs des Plasmas abgibt, und wobei der zweite Bereich des Plasmas eine zweite Größe besitzt, die kleiner ist als die erste Größe und eine zweite Temperatur besitzt, die größer ist als die erste Temperatur.

2. Verfahren gemäß Anspruch 1, wobei die erste Gasart eine Gasart bei niedriger Temperatur und die zweite Gasart eine Gasart bei relativ höherer Temperatur umfasst.

3. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die erste Gasart ein erstes Gas und die zweite Gasart ein zweites Gas umfasst, das sich von der ersten Gasart unterscheidet und mit dieser gemischt ist.

4. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die erste Wellenlänge von einer ersten Lichtquelle (**102**) zur Verfügung gestellt wird und wobei die zweite Wellenlänge durch eine zweite Lichtquelle (**112**) zur Verfügung gestellt wird, die von der ersten Lichtquelle (**102**) getrennt angeordnet ist.

5. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die erste Wellenlänge durch einen ersten Laser und die zweite Wellenlänge durch einen zweiten Laser zur Verfügung gestellt wird, wobei der zweite Laser vom ersten Laser getrennt angeordnet ist.

6. Verfahren nach Anspruch 1, wobei sowohl die erste Wellenlänge, als auch die zweite Wellenlänge von einer einzigen Lichtquelle zur Verfügung gestellt werden.

7. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der weitere Schritt vorgesehen ist, dass eine dritte Wellenlänge einer elektromagnetischen Strahlung in den zweiten Bereich des Plasmas fokussiert wird, wobei die dritte Wellenlänge sich sowohl von der ersten Wellenlänge, als auch von der zweiten Wellenlänge unterscheidet und von einer dritten Gasart absorbiert wird, so dass die dritte Wellenlänge Energie in einen dritten Bereich des Plasmas liefert, der innerhalb des zweiten Bereichs des Plasmas angeordnet ist und eine dritte Größe besitzt, die kleiner als die zweite Größe ist und eine Temperatur aufweist, die ebenfalls größer, als die zweite Temperatur ist.

8. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die erste Wellenlänge in kontinuierlicher oder modulierter oder gepulster Art und Weise zur Verfügung gestellt wird und wobei die zweite Wellenlänge ebenfalls in kontinuierlicher oder modulierter oder gepulster Art und Weise zur Verfügung gestellt wird.

9. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die zweite Wellenlänge innerhalb des sichtbaren oder ultravioletten Spektrums liegt.

10. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die erste Wellenlänge mit einem Ein-Mikrometer-Laser oder einem Zehn-Mikrometer-Laser zur Verfügung gestellt wird.

11. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die erste Wellenlänge 532 Nanometer beträgt und das Gasvolumen Xenon ist, das bei einem Druck von ungefähr 1,01325 bar bis ungefähr 303,975 bar eingeschlossen ist.

12. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die erste Wellenlänge die Grundwellenlänge des Lasers ist und die zweite Wellenlänge durch eine Frequenzverdopplung der ersten Wellenlänge des Lasers bereitgestellt wird.

13. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die zweite Wellenlänge aus dem sichtbaren Spektrum oder dem ultravioletten Spektrum ausgewählt wird und die zweite Wellenlänge durch die zweite Gasart nur bei einer Temperatur absorbiert wird, die nicht kleiner ist, als die erste Temperatur und wobei das Fokussieren der ersten Wellenlänge in das Volumen unterbrochen wird, wenn die erste Temperatur erreicht ist.

14. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die zweite Wellenlänge aus dem sichtbaren Spektrum oder dem ultravioletten Spektrum ausgewählt und in kontinuierlicher Art und Weise zur Verfügung gestellt wird und wobei die erste Wellenlänge nur für die anfängliche Zündung des heißen Plasmas zur Verfügung gestellt wird.

15. Verfahren nach Anspruch 1, wobei nur die zweite Wellenlänge kontinuierlich zur Verfügung gestellt wird, um das zweite Plasma aufrechtzuerhalten und wobei die zweite Wellenlänge aus dem sichtbaren Spektrum oder dem ultravioletten Spektrum ausgewählt wird.

16. Vorrichtung zur Erzeugung eines Plasmas mit:

- einem Volumen zum Einschließen eines Gases,
- einer ersten elektromagnetischen Strahlungsquelle (**102**) zur Erzeugung eines ersten Strahls (**104**) von elektromagnetischer Strahlung bei einer ersten Wellenlänge
- ersten optischen Elementen (**106**, **108**) zur Fokussierung des ersten Strahls (**104**) in das Gas innerhalb des Volumens, wobei die erste Wellenlänge durch eine erste Gasart absorbierbar ist und somit Energie in einen ersten Bereich des Plasmas liefert, der eine erste Größe und eine erste Temperatur besitzt,
- einer zweiten elektromagnetischen Strahlungsquelle (**112**) zur Erzeugung eines zweiten Strahls (**114**) von elektromagnetischer Strahlung bei einer zweiten

Wellenlänge, die sich von der ersten Wellenlänge unterscheidet und

- zweiten optischen Elementen (**116, 108**) zur Fokussierung des zweiten Strahls in die erste Region des Plasmas, wobei die zweite Wellenlänge von einer zweiten Gasart aber nicht von der ersten Gasart absorbierbar ist und somit Energie in einen zweiten Bereich des Plasmas liefert, der innerhalb des ersten Bereichs des Plasmas angeordnet ist und eine zweite Größe besitzt, die kleiner ist, als die erste Größe und eine zweite Temperatur aufweist, die größer ist als die erste Temperatur.

17. Vorrichtung nach Anspruch 16, wobei die erste Gasart eine Gasart bei relativ niedriger Temperatur umfasst und die zweite Gasart eine Gasart bei relativ hoher Temperatur umfasst.

18. Vorrichtung nach Anspruch 16, wobei die erste Gasart ein erstes Gas und die zweite Gasart ein zweites Gas umfasst, das sich vom ersten Gas unterscheidet und mit diesem gemischt ist.

19. Vorrichtung zur Herstellung eines Plasmas, mit:

- einem Volumen zum Einschließen eines Gases,
- einer elektromagnetischen Strahlungsquelle zum Erzeugen einer ersten Wellenlänge einer elektromagnetischen Strahlung und einer zweiten Wellenlänge einer elektromagnetischen Strahlung, die sich von der ersten Wellenlänge unterscheidet,
- optischen Elementen zur Fokussierung der ersten Wellenlänge in das Gas innerhalb des Volumens, wobei die erste Wellenlänge durch eine erste Gasart absorbierbar ist und somit Energie in einen ersten Bereich des Plasmas liefert, der eine erste Größe und eine erste Temperatur besitzt, wobei die optischen Elemente ferner für die Fokussierung der zweiten Wellenlänge in den ersten Bereich des Plasmas vorgesehen sind, wobei die zweite Wellenlänge durch eine zweite Gasart aber nicht durch die erste Gasart absorbierbar ist und Energie in einen zweiten Bereich des Plasmas innerhalb des ersten Bereichs des Plasmas liefert und eine zweite Größe besitzt, die kleiner ist als die erste Größe und eine zweite Temperatur besitzt, die größer ist als die erste Temperatur.

Es folgen 3 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

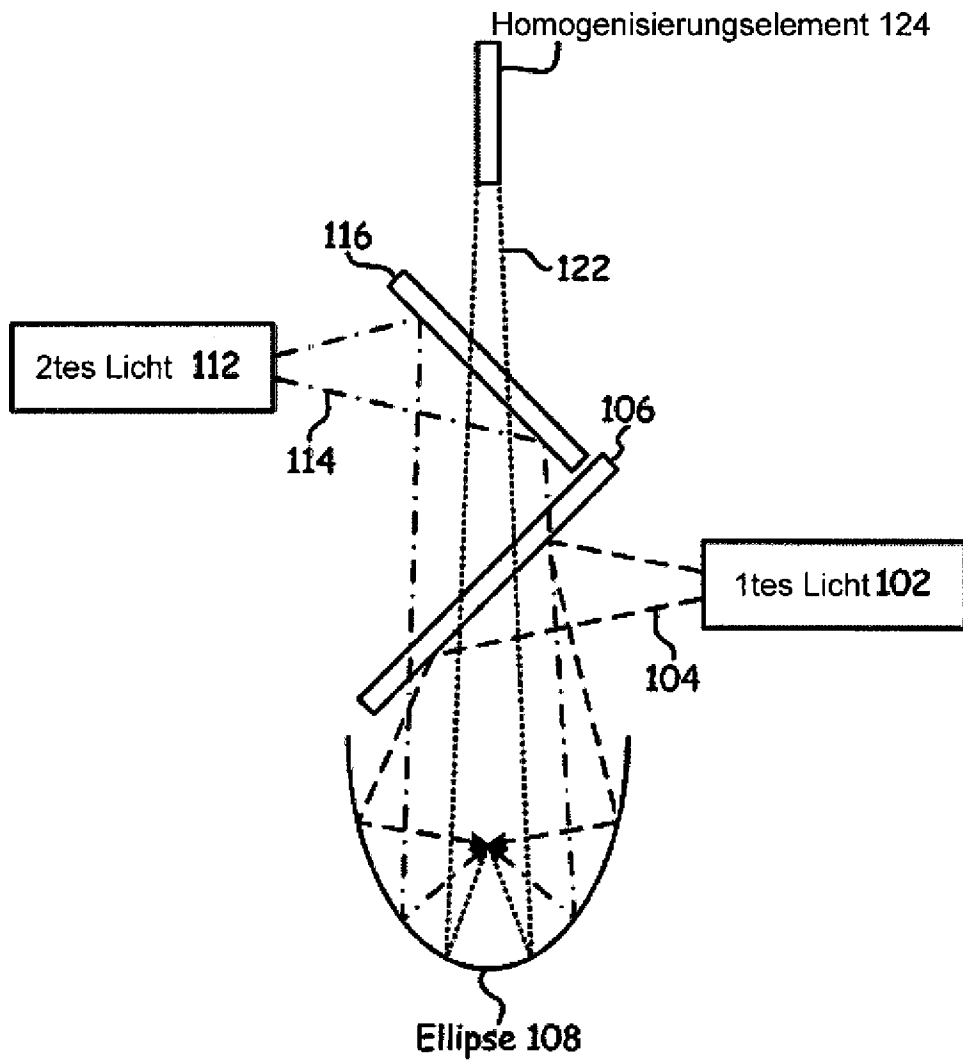


Fig. 1

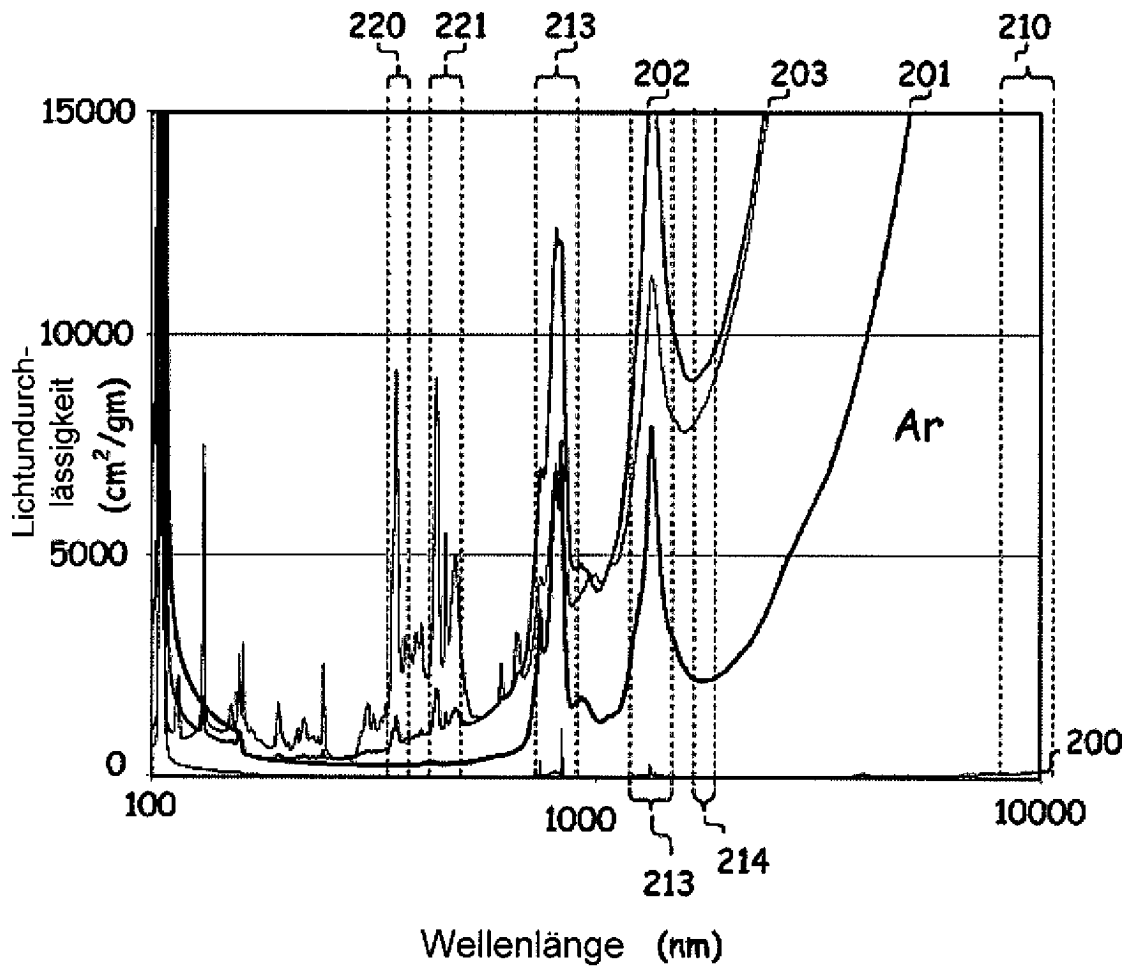


Fig. 2

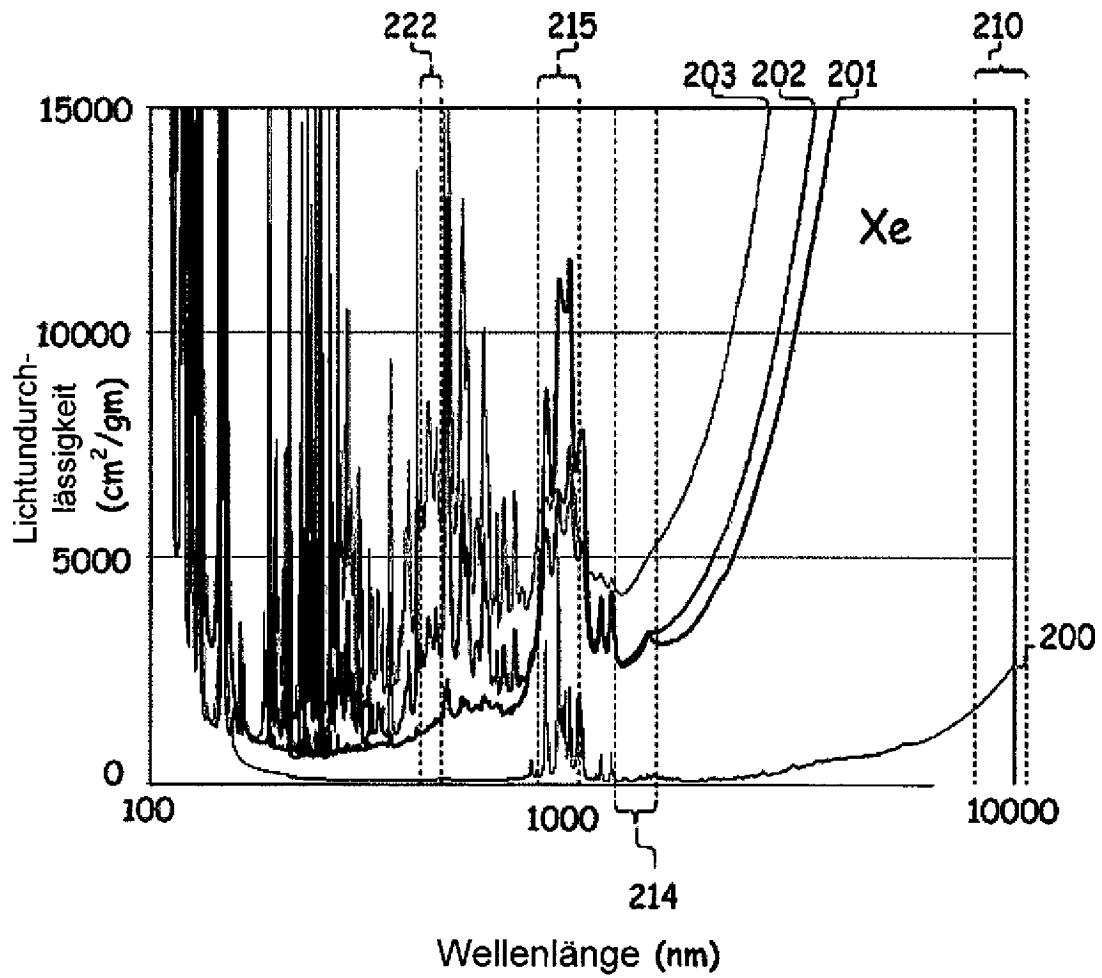


Fig. 3