



(12) **Patentschrift**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2015 001 623.6**
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US2015/023939**
(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2015/153802**
(86) PCT-Anmeldetag: **01.04.2015**
(87) PCT-Veröffentlichungstag: **08.10.2015**
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung
in deutscher Übersetzung: **09.02.2017**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **07.09.2023**

(51) Int Cl.: **H01J 65/04** (2006.01)
H05H 1/24 (2006.01)
H05H 1/02 (2006.01)
H05H 1/30 (2006.01)
H05G 2/00 (2006.01)

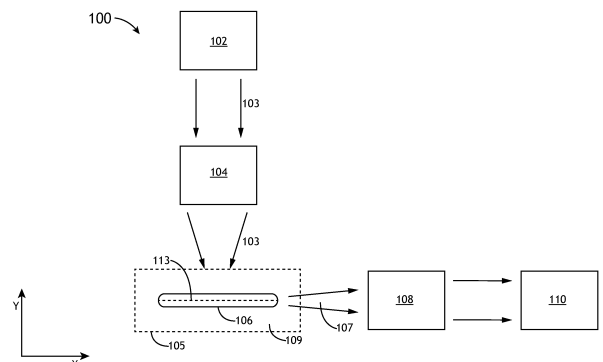
Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz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

(30) Unionspriorität: US-61/973,266 01.04.2014 US US-14/675,322 31.03.2015 US	(72) Erfinder: Bezel, Ilya, Mountain View, Calif., US; Shchemelinin, Anatoly, Bozeman, Mont., US; Solarz, Richard, Danville, Calif., US; Oh, Sebaek, Milbrae, Calif., US; Derstine, Matthew, Los Gatos, Calif., US
(73) Patentinhaber: KLA-Tencor Corporation, Milpitas, Calif., US	(56) Ermittelte Stand der Technik: DE 198 02 971 A1 WO 2014/ 067 741 A1
(74) Vertreter: Reichert, Werner F., Dipl.-Phys. Univ. Dr.rer.nat., 93049 Regensburg, DE	

(54) Bezeichnung: **Lasergestützte Plasma-Lichtquelle mit optischen Elementen zum Richten einer Pumpbeleuchtung, so dass eine Vielzahl voneinander räumlich getrennter Plasmen aufrecht erhalten wird und entsprechendes Verfahren für langgestreckte Plasmen**

(57) Hauptanspruch: Eine lasergestützte Plasma-Lichtquelle umfassend:
eine Pumpquelle, dazu ausgebildet, eine Pumpbeleuchtung zu erzeugen;
ein oder mehrere optische Elemente zum Richten der Pumpbeleuchtung;
eine Gaseinschlussstruktur, dazu ausgebildet, ein Gasvolumen einzuschließen, wobei das eine oder die mehreren optischen Elemente zum Richten der Pumpbeleuchtung dazu ausgebildet sind, eine Vielzahl von voneinander räumlich getrennten Plasmen entlang einer ausgewählten Richtung innerhalb des Gasvolumens aufrechtzuerhalten, indem sie die Pumpbeleuchtung entlang eines oder mehrerer Pumpstrahlengänge zu einer Vielzahl von Brennflecken richten, die innerhalb des Gasvolumens entlang der ausgewählten Richtung angeordnet sind, wobei die Vielzahl von voneinander räumlich getrennten Plasmen gleichzeitig innerhalb der Gaseinschlussstruktur aufrechterhalten werden, wobei lediglich Gas zwei oder mehr der voneinander räumlich getrennten Plasmen trennt;
ein oder mehrere optische Sammelemente, dazu ausgebildet, von der Vielzahl von voneinander räumlich getrennten Plasmen entlang eines Sammelstrahlengangs emittierte Breitbandstrahlung zu sammeln,

wobei das eine oder die mehreren optischen Elemente zum Richten der Pumpbeleuchtung dazu ausgebildet sind, den Pumpstrahlengang derart festzulegen, dass die Pumpbeleuchtung entlang einer Richtung transversal zu einer Fortpflanzungsrichtung des emittierten Breitbandlichts des Sammelstrahlengangs auf die Vielzahl von voneinander räumlich getrennten Plasmen trifft, so dass die Pumpbeleuchtung von der emittierten Breitbandstrahlung entkoppelt ist.



Beschreibung

TECHNISCHES GEBIET

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft allgemein plasmabasierte Lichtquellen und insbesondere ein durch transversales Laserpumpen gebildetes Plasma.

HINTERGRUND

[0002] Der Bedarf an verbesserten Beleuchtungsquellen zur Charakterisierung von immer kleiner werdenden Strukturmerkmalen von Bauelementen mit integrierten Schaltkreisen wächst beständig. Eine derartige Beleuchtungsquelle beinhaltet eine lasergestützte Plasma-(LSP)-Quelle. Lasergestützte Plasmalichtquellen vermögen Breitbandlicht hoher Leistung zu erzeugen. Lasergestützte Lichtquellen funktionieren durch Fokussierung von Laserstrahlung in ein Gasvolumen, um das Gas, etwa Argon oder Xenon, in einen Plasmazustand anzuregen, welcher in der Lage ist, Licht auszusenden. Dieser Effekt wird gewöhnlich als „Pumpen“ des Plasmas bezeichnet. In typischen LSP-Quellen wird Pumplicht auf einen einzigen Punkt fokussiert. Im Fall, dass Pumplicht auf einen einzigen Punkt fokussiert wird, ist die Laserintensität in einem kleinen Raumbereich um den Brennpunkt herum am höchsten. Die Möglichkeiten zur Plasmaformung sind beschränkt auf die Richtung und numerische Apertur (NA) des auf diesen Punkt fokussierten Lasers.

[0003] Die deutsche Offenlegungsschrift DE 198 02 971 A1 betrifft einen Plasmareaktor, in dem das Plasma durch die Einstrahlung von Mikrowellen gezündet wird. Die internationale Veröffentlichung WO 2014/ 067 741 A1 offenbart eine Strahlungsquelle für EUV auf Basis eines durch Laserstrahlung erzeugten Plasmas.

[0004] Wie in **Fig. 1A** gezeigt, wird, wenn das Plasma 12 longitudinal gepumpt wird, wobei das Laserpumplicht 14 eine niedrige NA hat, die Form des Plasmas 12 für höhere Pumpleistungen entlang des Laserstrahls 14, 16 langgestreckt. Gewöhnlich erfordern Konstellationen, in denen längere Plasmen gewünscht sind, Licht niedrigerer NA oder höhere Pumplaserleistung. Ferner können, sobald das gegebene Plasma in den Bereich niedrigen Pumpfeldgradienten wächst, Plasmainstabilitäten auftreten. Deshalb ist es wünschenswert, ein System und ein Verfahren bereitzustellen, welche die oben beschriebenen Mängel des Stands der Technik beheben.

ÜBERSICHT

[0005] Ein System zum transversalen Pumpen eines lichtgestützten Plasmas wird offenbart. In

einer beispielhaften Ausführungsform beinhaltet das System eine Pumpquelle, dazu ausgebildet, Pumpbeleuchtung zu erzeugen. In einer anderen beispielhaften Ausführungsform beinhaltet das System eine oder mehrere optische Elemente zum Richten der Pumpbeleuchtung. In einer anderen beispielhaften Ausführungsform beinhaltet das System eine Gaseinschlussstruktur, dazu ausgebildet, ein Gasvolumen einzuschließen. In einer anderen beispielhaften Ausführungsform sind das eine oder die mehreren optischen Elemente zum Richten der Pumpbeleuchtung dazu ausgebildet, ein Plasma innerhalb des Gasvolumens des Gaseinschlusselements aufrechtzuerhalten, indem sie Pumpbeleuchtung entlang eines Pumpstrahlengangs zu einem oder zu mehreren Brennflecken innerhalb des Gasvolumens richten. In einer anderen beispielhaften Ausführungsform beinhaltet das System ein oder mehrere optische Sammelemente, dazu ausgebildet, von dem Plasma emittierte Breitbandstrahlung entlang eines Sammelstrahlengangs zu sammeln. In einer anderen beispielhaften Ausführungsform sind das eine oder die mehreren optischen Elemente zum Richten der Pumpbeleuchtung dazu ausgebildet, den Pumpstrahlengang derart festzulegen, dass Pumpbeleuchtung entlang einer Richtung transversal zu einer Fortpflanzungsrichtung des emittierten Breitbandlichts des Sammelstrahlengangs auf das Plasma auftrifft, so dass die Pumpbeleuchtung im Wesentlichen von der emittierten Breitbandstrahlung entkoppelt ist.

[0006] Ein Verfahren zum transversalen Pumpen eines lasergestützten Plasmas wird offenbart. In einer beispielhaften Ausführungsform beinhaltet es das Verfahren, Pumpbeleuchtung zu erzeugen. In einer anderen beispielhaften Ausführungsform beinhaltet es das Verfahren, ein Gasvolumen in einer Gaseinschlussstruktur einzuschließen. In einer anderen beispielhaften Ausführungsform beinhaltet es das Verfahren, zumindest einen Teil der Pumpbeleuchtung entlang eines Pumpstrahlengangs, zu einem oder zu mehreren Brennflecken innerhalb des Gasvolumens zu fokussieren, um ein langgestrecktes Plasma innerhalb des Gasvolumens aufrechtzuerhalten. In einer anderen beispielhaften Ausführungsform beinhaltet es das Verfahren, von dem Plasma emittierte Breitbandstrahlung entlang eines Sammelstrahlengangs zu sammeln, welcher von der axialen Abmessung des langgestreckten Plasmas festgelegt wird. In einer anderen beispielhaften Ausführungsform trifft die Pumpbeleuchtung entlang einer Richtung transversal zu dem von der axialen Abmessung des langgestreckten Plasmas festgelegten Sammelstrahlengang auf das langgestreckte Plasma.

[0007] Es sei darauf hingewiesen, dass sowohl die vorstehende allgemeine Beschreibung als auch die folgende detaillierte Beschreibung lediglich beispiel-

haft und erläuternd sind, und die vorliegende Offenbarung nicht notwendigerweise einschränken. Die beigefügten Zeichnungen, welche in die Charakteristik eingegliedert sind und einen Teil davon bilden, stellen zur Offenbarung gehörende Gegenstände dar. Die Beschreibung und die Zeichnungen zusammen dienen dazu, die Prinzipien der Offenbarung zu erklären.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0008] Die zahlreichen Vorteile der Offenbarung können vom Fachmann besser verstanden werden durch Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen, in denen:

Fig. 1A eine schematische Ansicht der Orientierung der Pumpbeleuchtung, des Plasmas und der emittierten Breitbandstrahlung in einem herkömmlichen Plasmapumpenszenario ist.

Fig. 1B eine schematische Ansicht eines Systems zum transversalen Pumpen eines lasergestützten Plasmas ist.

Fig. 1C eine schematische Ansicht eines oder mehrerer sphärischer optischer Elemente ist, welche geeignet sind, Pumpbeleuchtung zu einem Brennpunkt zu fokussieren, um ein Plasma zu erzeugen, gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung.

Fig. 1D-1E schematische Ansichten eines oder mehrerer zylindrischer optischer Elemente sind, welche zum transversalen Plasmapumpen geeignet sind, gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung.

Fig. 1 F-1 G schematische Ansichten der Gas-einschlussstruktur des Systems sind.

Fig. 1H eine schematische Ansicht eines Satzes von optischen Elementen zum Richten der Pumpbeleuchtung ist, zur Bildung mehrerer voneinander räumlich getrennter Plasmen, gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung.

Fig. 1I eine schematische Ansicht eines Axicons zur Bildung eines langgestreckten Plasmas ist.

Fig. 1J eine schematische Ansicht einer Anordnung aus einem Axicon und einem Reflektorrohr zur Bildung mehrerer langgestreckter voneinander räumlich getrennter Plasmen ist, gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung.

Fig. 1 K-1 L schematische Ansichten eines mehrfach durchlaufenen Reflektorrohrs zur Bildung mehrerer langgestreckter voneinander räumlich getrennter Plasmen sind, gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung.

Fig. 1 M-1 N schematische Ansichten eines Satzes optischer Fasern sind, dazu angeordnet, eine langgestreckte Plasmastruktur zu bilden, welche entlang einer ausgewählten Richtung orientiert ist.

Fig. 1O-1P schematische Ansichten einer Multi-Wellenlängen-Pumpquelle sind, welche dazu angeordnet ist, eine langgestreckte Plasmastruktur zu bilden.

Fig. 1 Q-1 R schematische Ansichten eines asphärischen optischen Elements sind, welches dazu angeordnet ist, eine langgestreckte Plasmastruktur zu bilden.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

[0009] Nun wird im Detail auf den offenbarten Gegenstand Bezug genommen, welcher in den beigefügten Zeichnungen dargestellt ist.

[0010] Unter allgemeinem Verweis auf die **Fig. 1B** bis **Fig. 1R** werden ein System und ein Verfahren zum transversalen Pumpen eines lasergestützten Plasmas (LSP) beschrieben, teilweise gemäß einer oder mehreren Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung. Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung sind auf die transversale Zuführung von Pumpbeleuchtung zu dem lichtgestützten Plasma gerichtet. Zusätzliche Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung sind auf die Defokussierung des Pumpstrahls gerichtet, um ein größeres Volumen des Plasmapumpens bereitzustellen.

[0011] Um eine stabile LSP-Funktion zu erzielen, muss Pumpbeleuchtung in das Volumen des Plasmas eindringen und einen Bereich hoher Intensität der Pumpbeleuchtung nahe dem Beleuchtungsfokus ausbilden. Wenn Laserlicht in das Plasma eindringt und zu dem Fokus verläuft, wird das Laserlicht teilweise von dem Plasma absorbiert. Es sei angemerkt, dass der Grad der Plasmaabsorption von einer Anzahl Eigenschaften abhängt, etwa, ohne darauf beschränkt zu sein, dem verwendeten Gas, der Laserwellenlänge, und der Pumpleistung und -geometrie. Ferner sei angemerkt, dass die Transparenz des Plasmas eingestellt (d.h. erhöht oder vermindert) werden kann, indem eine oder mehrere Eigenschaften des Plasmas oder Gases geändert werden, etwa, ohne darauf beschränkt zu sein, der Druck des Gases. Für korrekte LSP-Funktion muss die Transparenz des Plasmas hoch genug sein, um geeignete Beleuchtung zum Fokus zu transmittieren, und zugleich hinreichend absorbierend, um effiziente Laserabsorption bereitzustellen.

[0012] Im Falle der Sammlung von Breitbandlicht ist es vorteilhaft, das Licht von den heißesten Bereichen

des Plasmas zu sammeln, welche sich nahe dem Laserbrennfleck befinden.

[0013] Das gesammelte Licht wird vom Plasma teilweise absorbiert, während das Licht von dem Brennpunkt weg und aus dem Plasma heraus läuft. Es sei angemerkt, dass der Grad der Lichtabsorption durch das Plasma abhängig ist vom verwendeten Gas, dem Spektralbereich des Breitbandlichts und der Plasmaform und Plasmatemperatur. Es sei ferner angemerkt, dass der Grad der Absorption des Breitbandlichts durch das Plasma eingestellt werden kann, indem eine oder mehrere Eigenschaften geändert werden, etwa, ohne darauf beschränkt zu sein, der Druck des Arbeitsgases. Für geeignete Sammlung von Breitbandlicht muss das Plasma transparent genug sein, um die Transmission von Breitbandlicht von dem Brennpunkt zu ermöglichen, und muss dennoch dicht genug sein, um effiziente Plasmaemission bei den Sammelwellenlängen bereitzustellen.

[0014] In Fällen, in denen die Pumpbeleuchtungs-NA und die Sammellicht-NA überlappen, müssen die Anforderungen an die Plasmaabsorption sowohl beim Pumpwinkel als auch beim Sammelwinkel zugleich erfüllt werden. Es sei angemerkt, dass dies in vielen Konstellationen nicht möglich sein wird, etwa in Konstellationen in denen die Absorption des Laserlichts durch das Plasma viel größer oder viel kleiner ist als die Absorption gesammelten Lichts.

[0015] Es sei angemerkt, dass in bestimmten Pumpkonfigurationen die Plasmaform näherungsweise sphärisch sein kann, ohne signifikanten Unterschied entlang irgendeiner Dimension. Dieser Fall kann durch Verwendung eines Lasers mit niedrigerer Leistung und höherer Pump-NA verwirklicht werden. In anderen Pump-Konfigurationen kann das Plasma eine im Wesentlichen langgestreckte Form haben, mit einer ausgezeichneten langen Richtung. Dieser Fall kann durch Verwendung eines Lasers mit niedriger NA und höherer Leistung verwirklicht werden. In nochmals anderen Pumpkonfigurationen kann das Plasma eine im Wesentlichen flache Form aufweisen.

[0016] In Konstellationen, in denen das Plasma eine langgestreckte Form aufweist, hat zumindest eine Dimension des Plasmas eine Abmessung kleiner als die anderen Dimensionen. Langgestreckte Formen können, ohne darauf beschränkt zu sein, prolate Formen, oblate Formen, bleistiftförmige Formen, scheibenartige Formen oder dergleichen beinhalten.

[0017] Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung nutzen Merkmale langgestreckter Plasmen, um transversales Pumpen des Plasmas zu ermöglichen. Für die Zwecke der vorliegenden Offenbarung bezieht sich der Begriff „transversales Pumpen“ auf

den Fall, in welchem Pumpbeleuchtung einem Plasma entlang einer Richtung zugeführt wird, welche der kleinsten Dimension des Plasmas entspricht. Zusätzlich kann, ohne darauf beschränkt zu sein, die Sammlung von Breitbandstrahlung, welche von dem Plasma der vorliegenden Offenbarung emittiert wird, entlang der Richtung erfolgen, welche der größten Dimension des Plasmas entspricht.

[0018] Fig. 1B zeigt eine schematische Ansicht eines transversalen LSP-Systems 100. Die Erzeugung von Plasma mit Inertgasarten wird allgemein beschrieben in US-Patentanmeldung 11/695,348, eingereicht am 02. April 2007; US-Patentanmeldung 11/395,523, eingereicht am 31. März 2006; und US-Patentanmeldung 13/647,680, eingereicht am 09. Oktober 2012, welche hierin zur Gänze aufgenommen werden. Die Erzeugung von Plasma wird ebenso allgemein beschrieben in US-Patentanmeldung 14/224,945, eingereicht am 25. März 2014, welche hierin durch Verweis zur Gänze aufgenommen wird. Ferner wird die Verwendung einer Plasmazelle beschrieben in US-Patentanmeldung 14/231,196, eingereicht am 31. März 2014, und in US-Patentanmeldung 14/288,092, eingereicht am 27. Mai 2014, welche hierin durch Verweis zur Gänze aufgenommen werden. Allgemein soll das System 100 so aufgefasst werden, dass es sich auf jede bekannte plasmabasierte Lichtquelle erstreckt.

[0019] In einem Beispiel beinhaltet das LSP-System 100 eine Pumpquelle 102, welche dazu ausgebildet ist, Pumpbeleuchtung 103 zu erzeugen. Die Pumpquelle 102 ist dazu ausgebildet, Pumpbeleuchtung 103 einer ausgewählten Wellenlänge oder eines ausgewählten Wellenlängenbereichs zu erzeugen, etwa, ohne darauf beschränkt zu sein, infrarote, sichtbare oder UV-Strahlung. Beispielsweise kann die Pumpquelle 102, ohne darauf beschränkt zu sein, jegliche Quelle beinhalten, die in der Lage ist, Beleuchtung im Bereich von ungefähr 200 nm bis 1,5 μm auszusenden.

[0020] In einem anderen Beispiel beinhaltet das System 100 ein oder mehrere optische Elemente 104. In einem Beispiel sind das eine oder die mehreren optischen Elemente 104 dazu angeordnet, Pumpbeleuchtung 103 in ein Gasvolumen 109 zu lenken, um ein Plasma 106 zu erzeugen und/oder aufrechtzuerhalten. In einem Beispiel können das eine oder die mehreren optischen Elemente 104 ein Plasma erzeugen und/oder aufrechterhalten, indem sie Pumpbeleuchtung entlang eines Pumpstrahlengangs 101 zu einem oder mehreren Brennflecken 113 (z.B. einem oder mehreren langgestreckten Brennflecken) leiten.

[0021] In einem anderen Beispiel sind das eine oder die mehreren optischen Elemente 104 zum Richten der Pumpbeleuchtung derart angeordnet, dass sie

einen Pumpstrahlengang 101 festlegen, so dass Pumpbeleuchtung 103 transversal zu der Fortpflanzungsrichtung der emittierten Breitbandstrahlung 107 des Sammelstrahlengangs 111 auf das Plasma 106 trifft. In einem Beispiel sind das eine oder die mehreren optischen Elemente 104 zum Richten der Pumpbeleuchtung derart angeordnet, dass die Pumpbeleuchtung 103 auf das Plasma 106 entlang einer Richtung trifft, welche der kleinsten Dimension des Plasmas 106 entspricht. Beispielsweise entspricht, wie in **Fig. 1B** gezeigt, die transversale Pumprichtung der Richtung parallel mit der schmalsten Dimension des Plasmas 106. In der schematischen Darstellung der **Fig. 1B**, welche ein vereinfachtes zylindrisches Plasma zeigt, entspricht die transversale Richtung der Richtung senkrecht zu der Länge des Plasmas 106. Im Gegensatz dazu können das eine oder die mehreren optischen Sammelemente 108 dazu angeordnet sein, Breitbandstrahlung 107 entlang der größten Dimension des Plasmas 106 zu sammeln. In **Fig. 1B** entspricht diese Richtung der axialen Richtung des Plasmas 106. Diese Anordnung ist besonders nützlich in Konstellationen, in denen das gesammelte Licht 107 (z.B. Breitbandlicht) vom Plasma 106 weniger absorbiert wird als die Pumpbeleuchtung 103. Als Folge führt, in dieser Konstellation, das Sammeln von Licht 107 entlang einer langgestreckten Richtung des Plasmas 106 (z.B. entlang der axialen Richtung) zu einem helleren Plasma.

[0022] In einem Beispiel, wie hierin weiter beschrieben, können das eine oder die mehreren optischen Elemente 104 zum Richten der Pumpbeleuchtung des LSP-Systems 100 ein langgestrecktes Plasma (oder Plasmen) 106 ausbilden, durch die Bildung eines oder mehrerer langgestreckter Brennflecken 113 in dem Gas 109. Beispielsweise kann das langgestreckte Plasma 106 jegliche bekannte langgestreckte Struktur annehmen, welche durch eine erste Abmessung und zumindest eine zweite Abmessung definiert ist, wobei die Abmessungen von unterschiedlicher Größe sind. Beispielsweise zeigt das Plasma im Falle eines oblaten oder prolaten Plasmas (idealisiert in **Fig. 1B**) eine axiale Dimension (entlang x-Richtung in **Fig. 1B**), welche relativ zu der Dicke (entlang y-Richtung) des Plasmas 106 langgestreckt ist.

[0023] In einer anderen Ausführungsform können das eine oder die mehreren optischen Elemente 104 des LSP-Systems 100 ein Plasma 106, welches mehrere voneinander räumlich getrennte Plasmen beinhaltet, durch Bildung einer Reihe von Brennflecken ausbilden, welche entlang einer ausgewählten Richtung angeordnet sind. Es sei hier angemerkt, dass das eine oder die mehreren optischen Elemente 104 zum Richten der Pumpbeleuchtung jegliches bekannte optische Bauelement beinhalten können,

welches geeignet ist, Pumpbeleuchtung in das Gas 109 zu richten / zu fokussieren.

[0024] Das eine oder die mehreren optischen Elemente 104 zum Richten der Pumpbeleuchtung können zur Defokussierung der Pumpbeleuchtung 103 dienen, so dass ein größeres Raumvolumen Laserintensität empfängt, welche zur Bildung eines Plasmas hinreicht.

[0025] Das eine oder die mehreren optischen Elemente 104 zum Richten der Pumpbeleuchtung, welche benutzt werden, das Plasma 106 (oder die Plasmen) zu bilden, können jegliches bekannte optische Element oder Bauelement beinhalten. Beispielsweise können das eine oder die mehreren optischen Elemente 104 zum Richten der Pumpbeleuchtung, ohne darauf beschränkt zu sein, eine oder mehrere Linsen, einen oder mehrere Spiegel und dergleichen beinhalten.

[0026] Wie in **Fig. 1B** gezeigt, ist die Beleuchtungsoptik 104 derart angeordnet, dass die numerische Apertur der Pumpbeleuchtung 103 des Pumpbeleuchtungsstrahlengangs 101 und die numerische Apertur der emittierten Breitbandstrahlung 107 des Sammelstrahlengangs 111 nicht überlappen. Es sei angemerkt, dass die transversale Zuführung von Pumpbeleuchtung 103 zu dem Plasma 106 für eine Entkoppelung der Pumpbeleuchtung 103 des Pumpstrahlengangs 101 von der emittierten Breitbandstrahlung 107 des Sammelstrahlengangs 111 sorgt. Der Rest der vorliegenden Offenbarung beschreibt eine Anzahl von Anordnungen, die geeignet sind, das transversale Pumpen zu erzielen.

[0027] In einem anderen Beispiel beinhaltet das LSP-System 100 eine Gaseinschlussstruktur 105. Die Gaseinschlussstruktur 105 kann jegliche bekannte Einschlussstruktur beinhalten, die in der Lage ist, ein für die Plasmabildung über Laserpumpen geeignetes Gas einzuschließen. Beispielsweise kann die Gaseinschlussstruktur 105, ohne darauf beschränkt zu sein, eine Kammer, einen Kolben, ein Rohr oder eine Zelle beinhalten. In einem Beispiel beinhaltet die Gaseinschlussstruktur 105 einen oder mehrere transparente Bereiche, welche geeignet sind, die Pumpbeleuchtung 103 (z.B. IR, sichtbares oder UV-Licht) von der Pumpquelle 102 zu dem innerhalb der Gaseinschlussstruktur 105 eingeschlossenen Gas 109 zu transmittieren. In einem anderen Beispiel beinhaltet die Gaseinschlussstruktur 105 einen oder mehrere transparente Bereiche, welche geeignet sind, emittierte Breitbandstrahlung 107 (z.B. EUV-Licht, VUV-Licht, DUV-Licht oder UV-Licht) von innerhalb der Gaseinschlussstruktur 105 zu einem oder mehreren optischen Elementen außerhalb der Gaseinschlussstruktur 105 zu transmittieren. Beispielsweise, wie in **Fig. 1B** gezeigt, kann die Gaseinschlussstruktur 105, ohne darauf

beschränkt zu sein, ein transparentes Element 105 (z.B. Rohr, Zylinder und dergleichen) beinhalten, welches dazu ausgebildet ist, das Gas 109 und das durch Laserstimulation aus dem Gas 109 gebildete langgestreckte Plasma 106 einzuschließen. Es sei angemerkt, dass diese Konfiguration nicht beschränkend ist, und lediglich zum Zwecke der Erläuterung angeführt wird. Es sei angemerkt, dass die verschiedenen optischen Elemente (z.B. Beleuchtungsoptik 104, Sammeloptik 108 und dergleichen) ebenso innerhalb der Gaseinschlussstruktur eingeschlossen sein können, wobei die Gaseinschlussstruktur 105 aus einer Kammer besteht, welche Eintritts- und/oder Austrittsfenster (siehe **Fig. 1E**) aufweist. Die Gaseinschlussstruktur 105 wird hierin im Weiteren detaillierter beschrieben.

[0028] In einem anderen Beispiel beinhaltet das LSP-System 100 ein oder mehrere optische Sammelemente 108. In einem Beispiel sind das eine oder die mehreren optischen Sammelemente 108 dazu ausgebildet, von dem Plasma 106 emittierte Breitbandstrahlung 107 entlang des Sammelstrahlengangs 111 zu sammeln.

[0029] Diesbezüglich sind das eine oder die mehreren optischen Sammelemente 108 dazu angeordnet, Breitbandstrahlung 107 entlang der Richtung transversal zu der Richtung der Pumpstrahlung 103 zu sammeln. In einem anderen Beispiel, wie hierin zuvor angemerkt, sind das eine oder die mehreren optischen Sammelemente 108 dazu angeordnet, Breitbandstrahlung 107 entlang der größten Dimension des Plasmas 106 zu sammeln.

[0030] Beispielsweise können im Falle eines Plasmas in der Form eines langgestreckten Zylinders, wie in **Fig. 1B** gezeigt, das eine oder die mehreren optischen Sammelemente 108 dazu angeordnet sein, Breitbandstrahlung 107 entlang der axialen Richtung des Plasmas 106 zu sammeln, müssen aber nicht so angeordnet sein. Es sei hier angemerkt, dass das eine oder die mehreren optischen Sammelemente 108 jegliches bekannte optische Bauelement beinhalten können, das zur Sammlung von Breitbandstrahlung geeignet ist. Beispielsweise können das eine oder die mehreren optischen Sammelemente 108, ohne darauf beschränkt zu sein, eine Linse, einen Spiegel und dergleichen beinhalten.

[0031] In einem anderen Beispiel sind das eine oder die mehreren optischen Sammelemente 108 dazu geeignet, EUV-Strahlung, DUV-Strahlung, VUV-Strahlung, UV-Strahlung und/oder sichtbare Strahlung zu sammeln. In einem anderen Beispiel kann der Breitbandausgang 118 des einen oder der mehreren optischen Sammelemente 108 zu jeglicher Anzahl nachgeordneter optischer Elemente 110 geführt werden. Diesbezüglich kann das LSP-System 100 EUV-Strahlung, DUV-Strahlung, VUV-Strah-

lung, UV-Strahlung und/oder sichtbare Strahlung zu einem oder zu mehreren nachgeordneten optischen Elementen liefern. Beispielsweise können das eine oder die mehreren nachgeordneten optischen Elemente, ohne darauf beschränkt zu sein, einen Homogenisierer, eines oder mehrere fokussierende Elemente, einen Filter, einen schwenkbaren Spiegel und dergleichen beinhalten. In einem anderen Beispiel kann das LSP-System 100 als ein Beleuchtungssystem, oder als Beleuchter, für ein optisches System dienen, etwa, ohne darauf beschränkt zu sein, ein optisches Charakterisierungssystem oder eine Produktionsvorrichtung. Beispielsweise kann das LSP-System 100 als Beleuchtungssystem, oder als Beleuchter für eine Breitbandinspektionsvorrichtung (z.B. Wafer- oder Retikel-Inspektionsvorrichtung), eine Metrologiemaschine oder eine Photolithographievorrichtung dienen.

[0032] **Fig. 1C** zeigt ein oder mehrere sphärische optische Elemente 114, welche geeignet sind, Pumpbeleuchtung 103 zu einem Brennpunkt zu fokussieren, um ein Plasma 116 zu bilden. Es sei angemerkt, dass das Fokussieren des Pumplichts 114 zu einem einzigen Punkt zu einem entlang der Pumprichtung langgestreckten Plasma führen kann. Die Streckung des Plasmas entlang der Pumprichtung wird beispielsweise in **Fig. 1A** der vorliegenden Offenbarung gezeigt. In Folge der Streckung des Plasmas entlang der Pumprichtung (in **Fig. 1C** nicht gezeigt) ist das Plasma in der Richtung transversal (z.B. x-Richtung in **Fig. 1C**) zur Richtung des Pumpasers (z.B. y-Richtung in **Fig. 1C**) kleiner. In dieser Konstellation kann solch ein Plasma 116 in der Pumprichtung opak für einige Spektralbereiche des Lichts sein, etwa VUV-Licht. Beispielsweise wird VUV-Licht typischerweise viel stärker durch das Plasma absorbiert als die Pumpstrahlung (z.B. IR-Licht). Insofern kann die Sammlung von Licht 117 entlang der Richtung transversal (z.B. x-Richtung) zu der Pumprichtung (z.B. y-Richtung) zu geringerer Selbstabsorption des vom Plasma 116 emittierten Breitbandlichts (z.B. VUV-Licht) führen, weil das Plasma in dieser Sammelrichtung kleiner ist.

[0033] **Fig. 1D** bis **Fig. 1E** zeigen schematische Ansichten des einen oder der mehreren optischen Elemente 104 zum Richten der Pumpbeleuchtung des Systems 100, welche für transversales Plasma-pumpen geeignet sind. In einem Beispiel, wie in **Fig. 1D** bis **Fig. 1E** gezeigt, beinhalten das eine oder die mehreren optischen Elemente 104 zum Richten der Pumpbeleuchtung eines oder mehrere zylindrische optische Elemente, welche dazu ausgebildet sind, Pumpbeleuchtung 103 zu einem langgestreckten Brennfleck zu fokussieren, etwa, ohne darauf beschränkt zu sein, einen Linienfokus 113. In einem Beispiel, wie in **Fig. 1D** gezeigt, beinhalten das eine oder die mehreren zylindrischen Elemente

104 eine zylindrische Linse. In einem anderen Beispiel, wie in **Fig. 1E** gezeigt, beinhalten das eine oder die mehreren zylindrischen Elemente 104 einen zylindrischen Spiegel.

[0034] Es sei angemerkt, dass die in den **Fig. 1D-1E** gezeigten Konfigurationen besonders vorteilhaft in Konstellationen sind, in denen das Sammellicht 107 (z.B. Breitbandstrahlung) von dem Plasma 106 weniger absorbiert wird als die Pumpstrahlung 103. Diesbezüglich durchläuft die leichter absorbierte Pumpbeleuchtung 103 die kleinste Plasmaabmessung, während das Breitbandlicht 107, das nicht so leicht vom Plasma 106 absorbiert wird, die lange Abmessung des Plasmas 106 durchläuft. In Folge ergibt sich für diese Konfiguration ein helleres Plasma 106.

[0035] In einem Beispiel können das eine oder die mehreren optischen Elemente 104 zum Richten der Pumpbeleuchtung eine Kombination aus einem oder mehreren zylindrischen optischen Elementen (z.B. zylindrischen Spiegel oder zylindrischer Linse) und einem oder mehreren sphärischen optischen Elementen beinhalten. Beispielsweise kann die Kombination eines zylindrischen optischen Elements und eines sphärischen optischen Elements einen astigmatischen Pumpstrahl 103 formen, welcher auf das Gas 109 der Gaseinschlussstruktur trifft. In einem Beispiel kann der astigmatische Pumpstrahl zu zwei langgestreckten Brennflecken 113 (in **Fig. 1D** und **Fig. 1E** nicht gezeigt) fokussiert werden.

[0036] In einem anderen Beispiel können das eine oder die mehreren optischen Elemente 104 zum Richten der Pumpbeleuchtung eine Kombination einer zylindrischen Linse und eines zylindrischen oder sphärischen Spiegels beinhalten. Eine solche Anordnung kann eine Rückreflektion der durch das Plasma 106 transmittierten Pumpbeleuchtung 103 bewirken.

[0037] **Fig. 1 F** und **Fig. 1G** zeigen eine Gaseinschlussstruktur 105 des Systems 100. In einem Beispiel, wie in **Fig. 1F** gezeigt, kann die Gaseinschlussstruktur 105 ein transparentes Element beinhalten, das dazu ausgebildet ist, das Gas 109 einzuschließen, das verwendet wird, um das Plasma 106 zu erzeugen und/oder aufrechtzuerhalten. Das transparente Element kann jeglicher für die Plasmaerzeugung geeignete transparente Körper sein. Beispielsweise kann die Gaseinschlussstruktur 105, ohne darauf beschränkt zu sein, ein transparentes Rohr beinhalten, einen transparenten Zylinder, transparenten Kolben (z.B. prolaten oder oblaten Kolben), eine Zelle und dergleichen. In einem anderen Beispiel, gezeigt in **Fig. 1G**, kann die Gaseinschlussstruktur eine Kammer beinhalten, welche mit einem Eintrittsfenster 119a und/oder einem Austrittsfenster 119b ausgestattet ist. In einem Beispiel ist das Eintrittsfenster 119a zumindest für die Pumpbeleuch-

tung 103 transparent. In einem anderen Beispiel ist das Austrittsfenster 119b zumindest transparent für einen Teil der vom Plasma 106 emittierten Breitbandstrahlung 107.

[0038] **Fig. 1H** zeigt ein oder mehrere optische Elemente zum Richten der Pumpbeleuchtung des Systems 100, dazu ausgebildet, mehrere voneinander räumlich getrennte Plasmen 106a-106d zu bilden, gemäß einer oder mehrerer Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung. In einer Ausführungsform beinhalten das eine oder die mehreren optischen Elemente, ohne darauf beschränkt zu sein, einen Satz konfokaler Spiegel 104a-104b. In einer anderen Ausführungsform beinhalten das eine oder die mehreren optischen Elemente zum Richten der Pumpbeleuchtung einen Satz Eintrittslinsen 104c, 104d.

[0039] Es sei hier angemerkt, dass die Verwendung mehrerer Reflektionen von zwei konfokalen zylindrischen Spiegeln 104a, 104b ein langes Plasma und/oder eine Reihe axial beabstandeter Plasmen 106a-106d erzeugen kann. Es sei ferner angemerkt, dass solch eine Anordnung leichter in Fällen implementiert wird, in denen das Plasma eine hohe Durchlässigkeit für die Pumpstrahlung hat, etwa bei einem verdünnten Plasma. In dieser Konstellation beeinflusst das verdünnte Plasma den Pumpstrahl 103a, 103b wenig, und ermöglicht so, dass die Pumpbeleuchtung innerhalb des von den konfokalen Linsen 104a, 104b definierten Volumens gesammelt und zu einem anderen Ort refokussiert wird. Wie in **Fig. 1H** gezeigt, sind die Plasmen, die in dieser Weise erzeugt werden, entlang der Sammelrichtung (x-Richtung in **Fig. 1H**) aufgereiht, was zu einer großen effektiven Plasmadicke führt, welche sich entlang der Sammelrichtung erstreckt. In einer Ausführungsform kann die Beleuchtungsoptikkonfiguration der **Fig. 1H** im Zusammenhang mit einem Excimer-Laser (z.B. Xe-Excimer-Laser) verwendet werden, um den langen optischen Weg bereitzustellen, welcher für den Betrieb eines Excimer-Lasers benötigt wird. Der Betrieb eines Excimer-Lasers wird beschrieben in der US-Patentanmeldung 14/571,100, eingereicht am 15. Dezember 2014, welche hierin durch Verweis zur Gänze aufgenommen ist.

[0040] In einer Ausführungsform beinhaltet das System 100 mehrere Zuführungspunkte für Pumpbeleuchtung. Beispielsweise kann Pumpbeleuchtung 103a, 103b in die Anordnung konfokaler Spiegel an unterschiedlichen Positionen entlang der Spiegelanordnung eintreten. Beispielsweise kann die Pumpbeleuchtung 103a, 103b an entgegengesetzten Enden der konfokalen Spiegel 104a, 104b in die Anordnung konfokaler Spiegel eintreten. Diesbezüglich können die Spiegel 104c, 104d (z.B. zylindrische Spiegel) Licht von den entgegengesetzten Pumpbeleuchtungsstrahlen 103a, 103b zu zwei entgegengesetzt

positionierten Brennflecken 113a, 113d fokussieren, um die entsprechenden Plasmamerkmale 106a, 106d zu bilden. Pumpbeleuchtung 103a, 103b wiederum wird von den konfokalen Spiegeln 104a, 104b gesammelt und zu zusätzlichen Brennflecken 113b, 113c gerichtet, um die Plasmamerkmale 106b, 106c zu bilden, und so fort. Dieser Prozess kann beliebig oft entlang der Anordnung konfokaler Spiegel 104a, 104b wiederholt werden. In einer anderen Ausführungsform können Pumpbeleuchtung 103a und Pumpbeleuchtung 103b derart zu der Anordnung konfokaler Spiegel 104a, 104b geliefert werden, dass die Beleuchtungsstrahlen 103a und 103b entgegengesetzt verlaufen.

[0041] Wenn dies auch nicht in **Fig. 1H** dargestellt ist, so sei hier dennoch angemerkt, dass die voneinander räumlich getrennten Plasmen 106a, 106d innerhalb einer langen Gaseinschlussstruktur 105 (z.B. Glaskolben oder Rohr) gebildet werden können, oder, außerhalb des beanspruchten Umfangs, in einer Reihe einzelner Gaseinschlussstrukturen 105 (z.B. Glaskolben oder Rohr). Alternativ kann eine Gaseinschlussstruktur vom Kammer-Typ benutzt werden, welche eines oder mehrere der optischen Elemente 104a-104d zum Richten der Pumpbeleuchtung beherbergt und das Gas 109 sowie die voneinander räumlich getrennten Plasmen 106a-106d einschließt.

[0042] Wenn auch **Fig. 1H** zeigt, dass Pumpbeleuchtung mehrfach entlang jedes konfokalen Spiegels 104a, 104b fokussiert wird, ist dies keine Beschränkung der vorliegenden Offenbarung. Beispielsweise können das eine oder die mehreren optischen Elemente zum Richten der Pumpbeleuchtung jegliche Anzahl optischer Elemente zur Erzeugung mehrfacher Brennflecken innerhalb des Gases 109 der Gaseinschlussstruktur 105 (nicht in **Fig. 1H** gezeigt) beinhalten. Beispielsweise können mehrere voneinander räumlich getrennte Plasmen 106a-106d erzielt werden, indem ein separates optisches Element bei jedem Refokussierschritt des Systems 100 der **Fig. 1H** eingesetzt wird. Diesbezüglich kann ein separates optisches Element jedes Mal verwendet werden, wenn die Pumpbeleuchtung in einen der langgestreckten Brennflecken 113a-113d refokussiert wird. Die separaten optischen Elemente können jede bekannte Art optischer Elemente (z.B. Linse oder Spiegel) beinhalten, darunter, ohne darauf beschränkt zu sein, ein sphärisches optisches Element, ein asphärisches optisches Element oder ein zylindrisches optisches Element. Die Verwendung eines separaten optischen Elements bei jedem Schritt sorgt für eine verbesserte Ausrichtmöglichkeit und die Möglichkeit, angesammelte Aberrationen auszugleichen.

[0043] Die **Fig. 1I** bis **Fig. 1J** zeigen die Verwendung einer oder mehrerer Axicon-Linsen als eines oder

mehrere der optischen Elemente zum Richten der Pumpbeleuchtung des Systems 100. In einem Beispiel können eine oder mehrere Axicon-Linsen 104a, 104b ein langgestrecktes Plasma 106 entlang der Sammelrichtung des Sammelstrahlengangs 111 bilden. In einem anderen Beispiel können die Axicon-Linsen 104a, 104b einen langgestreckten Brennfleck 113 bilden, so dass sich an einer Position entlang des Sammelstrahlengangs 111 innerhalb der Gaseinschlussstruktur 105 ein langgestrecktes Plasma 106 bildet. Es sei angemerkt, dass die eine oder die mehreren Axicon-Linsen der vorliegenden Offenbarung eine plan-konvexe Axicon-Linse (104a), eine plan-konkave Axicon-Linse (104a) oder eine Kombination aus einer plan-konkaven und einer plan-konvexen 104a, 104b beinhalten können. Es sei angemerkt, dass das Beispiel des Systems 100 der **Fig. 1I** (und/oder **Fig. 1J**) es nicht erfordert, sowohl die plan-konvexe Linse 104a als auch die plan-konkave Linse 104b zu verwenden. Vielmehr können die Axicon-Linsen 104a und 104b der **Fig. 1I** (und **Fig. 1J**) allein oder in Kombination eingesetzt werden.

[0044] Es sei angemerkt, dass die Gaseinschlussstruktur jegliche in der vorliegenden Offenbarung beschriebene Form annehmen kann und nicht auf die Konfiguration der **Fig. 1I** beschränkt ist. Beispielsweise kann die Gaseinschlussstruktur 105 aus einer Kammer bestehen, welche mit Eintritts- und/oder Austrittsfenstern ausgestattet ist, und das langgestreckte Plasma 106 und die optischen Elemente 104a, 104b enthalten.

[0045] In einer anderen Ausführungsform, gezeigt in **Fig. 1J**, werden die eine oder die mehreren Axicon-Linsen 104a, 104b mit einem Reflektorrohr 104c zu einer Axicon-Reflektorrohr-Anordnung 123 kombiniert. Wie in **Fig. 1J** gezeigt, ist die Axicon-Reflektorrohr-Anordnung 123 dazu ausgebildet, einen Satz langgestreckter voneinander räumlich getrennter Plasmen 106a, 106b entlang des Sammelstrahlengangs 111 zu bilden. In einer Ausführungsform ist das Reflektorrohr 104c (z.B. kapillares Reflektorrohr) am Ausgang der einen oder der mehreren Axicon-Linsen 104a, 104b angeordnet, um das fokussierte Licht der Axicon-Linsen 104a, 104b an einer Stelle innerhalb des Reflektorrohrs 104c zu empfangen. Diesbezüglich dienen die Axicon-Linsen 104a, 104b dazu, einen ersten Brennfleck 113a zu bilden, welcher das erste Plasmamerkmale 106a erzeugt. In einer anderen Ausführungsform kann Pumpbeleuchtung 103 weiter entlang des innen reflektierenden Rohres 104c verlaufen und einen zusätzlichen Brennfleck 113b bilden, welcher das zusätzliche Plasma 106b erzeugt. Dieser Prozess kann für eine beliebige Anzahl an Brennflecken wiederholt werden und jegliche Anzahl langgestreckter voneinander räumlich getrennter Plasmen entlang des Reflektorrohres 104c bilden.

[0046] In einer Ausführungsform ist das Reflektorrohr 104c versiegelt. Beispielsweise kann, wie in **Fig. 1 J** gezeigt, das Reflektorrohr 104c ein Paar an Fenstern 121a, 121b beinhalten, welche am Eingang und am Ausgang des Reflektorrohrs 104c angeordnet sind. Beispielsweise können die Fenster 121a, 121b dazu dienen, innerhalb des Reflektorrohrs 104c ein eingeschlossenes Volumen zu bilden. Diesbezüglich kann die Anordnung aus Reflektorrohr 104c und Fenstern 121a, 121b als die Gaseinchlussstruktur 105 dienen. In einer anderen Ausführungsform können die Fenster 121a, 121b derart ausgewählt werden, dass sie für die Pumpbeleuchtung 103 und die von den Plasmamerkmalen 106a, 106b emittierte Breitbandbeleuchtung 107a, 107b transparent sind. In einer anderen Ausführungsform kann das Austrittsfenster 121b derart ausgewählt werden, dass es für die Pumpbeleuchtung 103 reflektierend ist. Dabei wird die Pumpbeleuchtung 103 in den Hohlraum des reflektierenden Rohres 104c zurückreflektiert, und kann für zusätzliches Pumpen der voneinander räumlich getrennten Plasmen 106a, 106b sorgen. Es sei ferner angemerkt, dass die Ausführungsform der **Fig. 1 J** nicht auf die Verwendung der Axicon-Linsen 104a, 104b beschränkt ist, und mit jeglichem optischen Element kombiniert werden könnte, das geeignet ist, Pumpbeleuchtung 103 innerhalb des Reflektorrohrs 104c zu fokussieren.

[0047] **Fig. 1K-1L** zeigen ein mehrfach durchlaufenes Reflektorrohr 122, das geeignet ist, einen Satz an voneinander räumlich getrennten Plasmen 106a-106e entlang des Sammelstrahlengangs 111 des Systems 100 zu bilden, gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. Es sei hier angemerkt, dass das mehrfach durchlaufene Reflektorrohr 122 der **Fig. 1K-1L** als eines oder mehrere der optischen Elemente zum Richten der Pumpbeleuchtung dienen kann, um Pumpbeleuchtung zu einem oder zu mehreren Brennflecken entlang des Sammelstrahlengangs 107 zu fokussieren.

[0048] Es sei hier ferner angemerkt, dass aus Gründen der Klarheit lediglich ein Satz Lichtstrahlen der Pumpbeleuchtung in **Fig. 1K** gezeigt ist. Eingangsbeleuchtung 103a kann von vielen Richtungen am Eingang des mehrfach durchlaufenden Reflektorrohrs 122 ausgehen. In einer Ausführungsform, gezeigt in **Fig. 1K**, beinhaltet das mehrfach durchlaufene Reflektorrohr 122 einen konischen Spiegel 124 und einen flachen Spiegel 125. Der flache Spiegel 125 ist an dem dem konischen Spiegel 124 gegenüberliegenden Ende des Hohlraums angeordnet. In einer Ausführungsform dient das mehrfach durchlaufene Rohr 122 als konfokaler Resonator.

[0049] In einer Ausführungsform wird die Pumpbeleuchtung 103a, welche eine erste NA hat, zu einem Brennfleck (aus Klarheitsgründen nicht

gezeigt) fokussiert, um zumindest einen Teil des langgestreckten Plasmas 106a zu bilden. Die Pumpbeleuchtung wiederum wird durch den Resonator 124 zurück reflektiert, entlang eines zweiten Durchlaufs der Pumpbeleuchtung 103b, welche eine zweite NA hat. Pumpbeleuchtung des zweiten Durchlaufs 103b dient ebenfalls dazu, einen Teil des langgestreckten Plasmas 106a zu bilden. Dieser Vorgang wird wiederum wiederholt für einen dritten Durchlauf 103c von Pumpbeleuchtung 103c mit einer dritten NA (und so weiter), wobei der dritte Durchlauf von Pumpbeleuchtung 103c ebenfalls dazu dient, zur Bildung des langgestreckten Plasmas 106a beizutragen. Es sei angemerkt, dass aus Klarheitsgründen nur drei Durchläufe von Pumpbeleuchtung 103a-103c in **Fig. 1K** dargestellt sind. Es sei jedoch ferner angemerkt, dass dies keine Beschränkung dieser Ausführungsform ist. Die mehrfachen Durchläufe in dem mehrfach durchlaufenen Rohr 122 können durch eine Kombination von Taktung und Anpassung der NA der Pumpbeleuchtung erzielt werden.

[0050] In einer anderen Ausführungsform sind die reflektierenden Wände des Reflektorrohrs 122 und/oder der konische Spiegel 124 dazu ausgebildet, Breitbandstrahlung 107, oder einen Teil der Breitbandstrahlung 107, die vom Plasma 106a emittiert wurde, zum Plasma 106a zurück zu reflektieren. Diesbezüglich kann das Reflektorrohr 122 das Plasma 106a pumpen, indem es das Breitbandlicht 107, oder einen Teil des Breitbandlichts 107, verwendet. In einer Ausführungsform können der konische Spiegel 124 und/oder die Innenwände des Reflektorrohrs 122 derart ausgebildet sein, dass sie für das Breitbandlicht 107 oder einen ausgewählten Spektralbereich des Breitbandlichts reflektierend sind. Es sei hier angemerkt, dass das weitere Pumpen des Plasmas 106a mit Breitbandlicht für eine verbesserte Effizienz des Systems 100 sorgen kann.

[0051] Wie in **Fig. 1L** gezeigt, kann das mehrfach durchlaufene Reflektorrohr 122 am Eingang des Rohrs 122 Pumpbeleuchtung 103 aus mehreren Richtungen empfangen. In dieser Hinsicht kann das mehrfach durchlaufene Reflektorrohr 122 mehrere voneinander räumlich getrennte Plasmen 106a-106e entlang der Sammelrichtung 107 bilden.

[0052] Wiederum Bezug nehmend auf **Fig. 1K** kann das mehrfach durchlaufene Reflektorrohr 122 im Kontext eines Excimer-Lasers implementiert werden. Beispielsweise kann das System 100, wie in **Fig. 1K** gezeigt, ein Paar Hohlraumspiegel 126, 128 beinhalten, welche an entgegengesetzten Enden des Reflektorrohrs 122 angeordnet sind. Diesbezüglich kann die transversale Geometrie der Pumpbeleuchtung 103a-103c des mehrfach durchlaufenden Reflektorrohrs 122 als das Verstärkungsmedium für einen Excimer-Laser dienen. Der Betrieb eines Excimer-

Lasers wird in US-Patentanmeldung 14/571,100, eingereicht am 15. Dezember 2014, beschrieben, welche vorstehend zur Gänze durch Verweis aufgenommen wurde.

[0053] Fig. 1M-1N zeigen einen Satz optischer Faserelemente 131a-131e, welche als die Pumpquelle 102 des Systems 100 dienen, gemäß einer oder mehrerer Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung. In einer Ausführungsform ist der Satz optischer Faserelemente (z.B. optischer Fasern) dazu ausgebildet, einen Satz voneinander räumlich getrennter Plasmen 132a-132e entlang einer ausgewählten Richtung aufrechtzuerhalten. Diesbezüglich können das eine oder die mehreren optischen Faserelemente 131a-131e Pumpbeleuchtung 103a-103e zu einem Satz von Brennflecken liefern, welche entlang der ausgewählten Richtung innerhalb des Gases angeordnet sind, um die voneinander räumlich getrennten Plasmen 132a-132e zu bilden. In einer Ausführungsform wird Pumpbeleuchtung von jeder optischen Faser 131a-131e zu einem bestimmten Bereich des Gases/Plasmas abgebildet, wie in Fig. 1M-1N gezeigt. In einer Ausführungsform können die optischen Fasern 131a-131e räumlich derart angeordnet sein, dass sie eine ausgewählte Plasmaform und/oderorientierung bilden. In einer Ausführungsform, im Fall, dass die optischen Fasern 131a-131e im Wesentlichen in einer gemeinsamen Ebene angeordnet sind, können die voneinander räumlich getrennten Plasmen 132a-132e eine langgestreckte Plasmastruktur 106 bilden, welche entlang einer ausgewählten Richtung orientiert ist, wie in Fig. 1M gezeigt. In einer Ausführungsform, gezeigt in Fig. 1M, sind die voneinander räumlich getrennten Plasmen 132a-132e entlang einer Sammelrichtung angeordnet, so dass Breitbandbeleuchtung 107 entlang einer Richtung transversal zu der Pumpbeleuchtung 131a-131e gesammelt wird. In einer anderen Ausführungsform, gezeigt in Fig. 1N, sind die voneinander räumlich getrennten Plasmen 132a-132e derart entlang einer Sammelrichtung angeordnet, dass Breitbandbeleuchtung 107 entlang einer Richtung gesammelt wird, welche mit der Pumpbeleuchtung 131a-131e einen Winkel einschließt. Es sei hier angemerkt, dass die Orientierung und die Form der Plasmastruktur 106 durch Anpassung der Position der optischen Fasern 131a-131e angepasst werden kann. Diesbezüglich können die optischen Fasern 131a-131e einzeln gesteuert werden, um die Plasmaform und/oder Orientierung wunschgemäß anzupassen.

[0054] Fig. 1O-1P zeigen eine Pumpquelle 150, welche dazu ausgebildet ist, mehrere Wellenlängen an Beleuchtung zu emittieren, um das Plasma 106 zu formen, gemäß einer oder mehrerer Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung. In einer Ausführungsform, gezeigt in Fig. 1O-1P, kann die Pumpquelle 102 (z.B. optischer Faserausgang einer

Lasersquelle) Beleuchtung 103 emittieren, welche mehrere Wellenlängen (z.B. λ_1 , λ_2 und so fort) beinhaltet. Es sei hier angemerkt, dass in Fig. 1O und Fig. 1P aus Klarheitsgründen lediglich zwei Spektralkomponenten der Pumpbeleuchtung 103 gezeigt sind.

[0055] In einer Ausführungsform, gezeigt in Fig. 1O, können das eine oder die mehreren optischen Elemente zum Richten der Pumpbeleuchtung, ohne darauf beschränkt zu sein, ein dispersives optisches Element 104 beinhalten. Beispielsweise kann das dispersive optische Element, ohne darauf beschränkt zu sein, eine Linse oder ein Prisma beinhalten. In einer Ausführungsform, im Falle einer dispersiven Linse, können die spektralen Komponenten der Pumpbeleuchtung 103 zu unterschiedlichen Positionen (z.B. unterschiedlichen Positionen entlang der Pumprichtung) fokussiert werden, und dadurch eine Reihe von voneinander räumlich getrennten Plasmen 152a, 152b bilden, wie in Fig. 1O gezeigt. Indem sie jede spektrale Komponente der Pumpbeleuchtung 103 mehrerer Wellenlängen zu einer anderen Position fokussiert, kann die dispersive Linse 104 die Plasmastruktur 106 wie gewünscht formen. Beispielsweise kann, wie in Fig. 1O gezeigt, die dispersive Linse 104 eine langgestreckte Plasmastruktur 106 formen. Es sei hier angemerkt, dass diese Ausführungsform nicht auf die Bildung von zwei voneinander räumlich getrennten Plasmen 152a, 152b beschränkt ist, welche lediglich zum Zweck der Erläuterung gezeigt werden.

[0056] In einer anderen Ausführungsform, gezeigt in Fig. 1P, beinhaltet das System 100 ein oder mehrere Richtungselemente 154. Beispielsweise können, wie in Fig. 1P gezeigt, das eine oder die mehreren Richtungselemente 154, ohne darauf beschränkt zu sein, ein Beugungsgitter, ein Prisma oder dergleichen beinhalten. In einer Ausführungsform können die spektralen Komponenten der Pumpbeleuchtung 103 unter Verwendung des Richtungselements 154 und der Linse 104, wie in Fig. 1P gezeigt, zu unterschiedlichen Positionen gerichtet und fokussiert werden, auf Grundlage der Wellenlänge (z.B. λ_1 , λ_2 und so fort) der gegebenen spektralen Komponenten. Diesbezüglich kann eine Reihe von voneinander räumlich getrennten Plasmen 152a, 152b (und so fort), wie in Fig. 1P gezeigt, durch die Pumpbeleuchtung 103 entlang einer Richtung transversal zu der einfallenden Pumpbeleuchtung 103 gebildet werden. Beispielsweise kann das Richtungselement 154 eine langgestreckte Plasmastruktur 106 bilden, die so orientiert ist, dass die kürzeste Dimension der Plasmastruktur 106 entlang der Richtung des Beleuchtungspumpens (z.B. y-Richtung in Fig. 1P) orientiert ist. Ferner kann, obwohl nicht gezeigt, die Sammeloptik 108 so ausgerichtet sein, dass sie Breitbandstrahlung 107 entlang der größten Dimension der Plasmastruktur 106 (z.B. x-Richtung in Fig. 1P) sammelt.

[0057] In einer anderen Ausführungsform ist die Pumpquelle 102 einstellbar. Beispielsweise kann das Spektralprofil der Ausgabe der Pumpquelle 102 einstellbar sein. Diesbezüglich kann die Pumpquelle 102 eingestellt werden, eine Pumpbeleuchtung 102 einer ausgewählten Wellenlänge oder eines ausgewählten Wellenlängenbereichs zu emittieren. In einer anderen Ausführungsform können die Form und/oder die Größe (z.B. Länge entlang der Sammelrichtung) der Plasmastruktur 106 dynamisch angepasst werden, indem die einstellbare Pumpquelle in Kombination mit dem dispersiven Element und/oder dem Richtungselement der **Fig. 1O** und **Fig. 1P** benutzt wird. Es sei angemerkt, dass jegliche bekannte einstellbare Pumpquelle für die Implementierung in dem System 100 geeignet ist. Beispielsweise kann die einstellbare Pumpquelle, ohne darauf beschränkt zu sein, einen oder mehrere Laser einstellbarer Wellenlänge beinhalten. Beispielsweise kann die einstellbare Pumpquelle, ohne darauf beschränkt zu sein, einen oder mehrere Diodenlaser beinhalten.

[0058] **Fig. 1Q** bis **Fig. 1R** zeigen schematische Ansichten eines asphärischen optischen Elements 162 zur Verwendung als eines oder mehrere der optischen Elemente 104 zum Richten der Pumpbeleuchtung des Systems 100. In einem Beispiel kann das asphärische optische Element 162 Pumpbeleuchtung 103 von einer Pumpquelle 102 (in **Fig. 1Q-1R** nicht gezeigt) empfangen. Beispielsweise kann, wie in **Fig. 1Q** gezeigt, das asphärische optische Element 162 divergente Beleuchtung von einer Pumpquelle 102 empfangen, etwa, ohne darauf beschränkt zu sein, einer oder mehrerer optischer Fasern oder einem Satz strahlformender optischer Elemente. Das asphärische optische Element 162 wiederum kann die Pumpbeleuchtung 103 zu einem Linienfokus innerhalb des Gases 109/des Plasmas 106 fokussieren, das in der Gaseinschlussstruktur 107 eingeschlossen ist. In dieser Hinsicht kann der Linienfokus 113, gezeigt in **Fig. 1R**, dazu dienen, das langgestreckte Plasma 106 zu erzeugen und/oder aufrechtzuerhalten.

[0059] Das asphärische optische Element 162 ist dazu ausgebildet, spezifische Teile (z.B. spezifische Strahlen) der Pumpbeleuchtung 103 von der Pumpquelle 102 zu unterschiedlichen Positionen entlang des Linienfokus 113 abzubilden. Es sei hier angemerkt, dass es durch Auswahl der Abbildungsfunktion derart, dass sie der Verteilung der Eingangsleistung entspricht, möglich ist, gleichmäßige Leistung entlang des Linienfokus zu erzielen. Das asphärische optische Element 162 kann jegliches bekannte asphärische Element beinhalten. Beispielsweise kann das asphärische optische Element 162, ohne darauf beschränkt zu sein, einen oder mehrere asphärische Spiegel oder einen oder mehrere asphärische Linsen beinhalten.

[0060] In einem anderen Beispiel wird vom Plasma 106 entlang der Sammelrichtung (x-Richtung in **Fig. 1R**) emittierte Breitbandstrahlung 107 durch einen transparenten Bereich (z.B. transparentes Ende eines transparenten Rohres oder Austrittsfenster 166) der Gaseinschlussstruktur 105 transmittiert.

[0061] Wiederum auf **Fig. 1B** Bezug nehmend, kann der transparente Bereich der Gaseinschlussstruktur 105 (z.B. Kammer, Kolben, Rohr und dergleichen) aus jeglichem bekannten Material gebildet sein, das zumindest teilweise für Pumpbeleuchtung 103 und/oder Breitbandstrahlung 107 transparent ist. In einer Ausführungsform kann der transparente Bereich der Gaseinschlussstruktur 105 aus jeglichem bekannten Material gebildet sein, das zumindest teilweise transparent ist für EUV-Strahlung, VUV-Strahlung, DUV-Strahlung, UV-Strahlung und/oder sichtbares Licht, erzeugt vom Plasma 106. In einer anderen Ausführungsform kann der transmittierende Bereich der Gaseinschlussstruktur 105 aus jeglichem bekannten Material gebildet sein, das zumindest teilweise transparent ist für IR-Strahlung, sichtbares Licht und/oder UV-Licht von der Pumpquelle 102.

[0062] In einigen Ausführungsformen kann der transparente Bereich der Gaseinschlussstruktur 105 aus einem Quarzglasmaterial niedrigen OH-Gehalts gebildet sein. In anderen Ausführungsformen kann der transparente Bereich der Gaseinschlussstruktur 105 aus einem Quarzglasmaterial hohen OH-Gehalts gebildet sein. Beispielsweise kann der transparente Bereich der Gaseinschlussstruktur 105, ohne darauf beschränkt zu sein, SUPRASIL 1, SUPRASIL 2, SUPRASIL 300, SUPRASIL 310, HERALUX PLUS, HERALUX-VUV und dergleichen beinhalten. In anderen Ausführungsformen kann der transparente Bereich der Gaseinschlussstruktur 105, ohne darauf beschränkt zu sein, CaF_2 , MgF_2 , kristallinen Quarz und Saphir beinhalten. Es sei hier angemerkt, dass Materialien wie CaF_2 , MgF_2 , kristalliner Quarz und Saphir, ohne darauf beschränkt zu sein, Transparenz für kurzwellige Strahlung (z.B. $\lambda < 190$ nm) bieten. Verschiedene, für den Einsatz im transparenten Bereich der Gaseinschlussstruktur 105 (z.B. Kammerfenster, Glaskolben, Glasrohr oder Transmissionselement) der vorliegenden Offenbarung geeignete Gläser werden im Detail diskutiert in A. Schreiber et al., Radiation Resistance of Quartz Glass for VUV Discharge Lamps, J. Phys. D: Appl. Phys. 38 (2005), 3242-3250, welches hierin durch Verweis zur Gänze aufgenommen wird.

[0063] In einer Ausführungsform kann die Gaseinschlussstruktur 105 jegliches bekannte ausgewählte Gas (z.B. Argon, Xenon, Quecksilber und dergleichen) beinhalten, welches zur Erzeugung eines Plasmas bei Absorption von Pumpbeleuchtung 104 geeignet ist. In einer Ausführungsform führt das

Fokussieren von Beleuchtung 103 von der Pumpquelle 102 in das Gasvolumen 109 dazu, dass durch das Gas oder Plasma (z.B. durch eine oder mehrere ausgewählte Absorptionslinien) innerhalb der Gaseinschlu sstruktur 105 Energie absorbiert wird, wodurch die Gasart „gepumpt“ wird, um ein Plasma zu erzeugen und/oder aufrechtzuerhalten.

[0064] Es wird hier in Betracht gezogen, dass das System 100 verwendet werden kann, ein Plasma 106 in einer Vielzahl von Gasumgebungen zu zünden und/oder aufrechtzuerhalten. In einer Ausführungsform kann das Gas, das zum Zünden und/oder Aufrechterhalten des Plasmas 106 verwendet wird, ein Edelgas, ein Inertgas (z.B. Edelgas oder Nicht-Edelgas) oder ein Nicht-Inertgas (z.B. Quecksilber) beinhalten. In einer anderen Ausführungsform kann das Gas, das zum Zünden und/oder Aufrechterhalten eines Plasmas 106 verwendet wird, eine Mischung aus zwei oder mehr Gasen beinhalten (z.B. Mischung aus Inertgasen, Mischung aus Inertgas mit Nicht-Inertgas oder eine Mischung aus Nicht-Inertgasen). In einer anderen Ausführungsform kann das Gas eine Mischung aus einem Edelgas und einem oder mehreren Spurenmaterialien (z.B. Metallhalogenide, Übergangsmetalle und dergleichen) beinhalten.

[0065] Beispielsweise kann das Gasvolumen, das zur Erzeugung eines Plasmas 106 verwendet wird, Argon beinhalten. Beispielsweise kann das Gas ein in Wesentlichen reines Argongas beinhalten, das bei einem Druck über 5 atm (z.B. 20-50 atm) gehalten wird. In einem anderen Beispiel kann das Gas ein im Wesentlichen reines Kryptongas beinhalten, das bei einem Druck über 5 atm (z.B. 20-50 atm) gehalten wird. In einem anderen Beispiel kann das Gas eine Mischung zweier Gase beinhalten.

[0066] Es sei ferner angemerkt, dass die vorliegende Erfindung auf eine Anzahl Gase ausgedehnt werden kann. Zum Beispiel können Gase, die zum Einsatz bei der vorliegenden Erfindung geeignet sind, ohne darauf beschränkt zu sein, beinhalten Xe, Ar, Ne, Kr, He, N₂, H₂O, O₂, H₂, D₂, F₂, CH₄, eines oder mehrere Metallhalogenide, ein Halogen, Hg, Cd, Zn, Sn, Ga, Fe, Li, Na, Ar:Xe, ArHg, KrHg, XeHg und dergleichen. Allgemein sollte das System 100 derart ausgelegt werden, dass es sich auf jegliches lichtgepumpte Plasmaerzeugungssystem erstreckt, und sollte ferner derart ausgelegt werden, dass es sich auf jegliche Art Gas erstreckt, welche zur Aufrechterhaltung eines Plasmas innerhalb einer Gaseinschlu sstruktur geeignet ist.

[0067] Es sei angemerkt, dass das LSP-System 100 jegliche Anzahl und Art weiterer optischer Elemente enthalten kann. In einer Ausführungsform kann das LSP-System 100 eines oder mehrere zusätzliche optische Elemente beinhalten, welche dazu ange-

ordnet sind, Beleuchtung von dem Sammelement 108 zu nachgeordneten optischen Elementen zu lenken. In einer anderen Ausführungsform kann der Satz optischer Elemente eine oder mehrere Linsen beinhalten, welche entweder entlang des Beleuchtungsstrahlengangs oder des Sammelstrahlengangs des LSP-Systems 100 angeordnet sind. Die eine oder die mehreren Linsen können verwendet werden, um Beleuchtung von der Pumpquelle 102 in das Gasvolumen innerhalb der Gaseinschlu sstruktur 105 zu fokussieren. Alternativ können die eine oder die mehreren zusätzlichen Linsen verwendet werden, um von dem Plasma 106 ausgehendes Breitbandlicht zu einem ausgewählten optischen Gerät, Ziel oder Brennpunkt zu fokussieren.

[0068] In einer anderen Ausführungsform kann der Satz optischer Elemente einen oder mehrere Filter beinhalten, die entweder entlang des Beleuchtungsstrahlengangs oder des Sammelstrahlengangs des LSP-Systems 100 angeordnet sind, um Beleuchtung zu filtern, bevor Licht in die Gaseinschlu sstruktur 105 eintritt, oder um Beleuchtung zu filtern nach Emission des Lichts von dem Plasma 106. Es sei hier angemerkt, dass der Satz optischer Elemente des LSP-Systems 100, wie hierin beschrieben, lediglich zum Zweck der Erläuterung angeführt wird, und nicht als beschränkend ausgelegt werden soll. Es wird vorweggenommen, dass eine Anzahl äquivalenter oder zusätzlicher optischer Konfigurationen im Rahmen der vorliegenden Offenbarung verwendet werden können.

[0069] In einer anderen Ausführungsform kann die Pumpquelle 102 des Systems 100 einen oder mehrere Laser beinhalten. Allgemein kann die Pumpquelle 102 jegliches bekannte Lasersystem beinhalten. Beispielsweise kann die Pumpquelle 102 jegliches bekannte Lasersystem beinhalten, das in der Lage ist, Strahlung im infraroten, sichtbaren oder ultravioletten Bereich des elektromagnetischen Spektrums auszusenden. In einer Ausführungsform kann die Pumpquelle 102 ein Lasersystem beinhalten, das dazu ausgebildet ist, Dauerstrich-(CW)-Laserstrahlung zu emittieren. Beispielsweise kann die Pumpquelle 102 eine oder mehrere CW-Infrarot-Laserquellen beinhalten. Beispielsweise kann in Konstellationen, in denen das Gas innerhalb der Gaseinschlu sstruktur 105 Argon ist oder Argon beinhaltet, die Pumpquelle 102 einen CW-Laser (z.B. Faserlaser oder Scheiben-Yb-Laser) beinhalten, der dazu ausgebildet ist, Strahlung bei 1069 nm zu emittieren. Es sei angemerkt, dass diese Wellenlänge zu einer 1068 nm Absorptionslinie im Argon passt, und daher besonders nützlich zum Pumpen von Argongas ist. Es sei hier angemerkt, dass die obige Beschreibung eines CW-Lasers nicht einschränkend ist, und jeglicher bekannte Laser im Kontext der vorliegenden Erfindung eingesetzt werden kann.

[0070] In einer anderen Ausführungsform kann die Pumpquelle 102 einen oder mehrere Diodenlaser beinhalten. Beispielsweise kann die Pumpquelle 102 einen oder mehrere Diodenlaser beinhalten, welche Strahlung bei einer Wellenlänge emittieren, welche einer oder mehreren Absorptionslinien der in der Gaseinschlossstruktur 105 eingeschlossenen Gasart entspricht. Allgemein kann ein Diodenlaser der Pumpquelle 102 so zur Implementierung ausgewählt werden, dass die Wellenlänge des Diodenlasers auf jegliche bekannte Absorptionslinie eines jeglichen Plasmas (z.B. eine Übergangslinie von Ionen) oder jegliche 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 Gaseinschlossstruktur 105 des Systems 100 eingeschlossen ist, abhängen.

[0071] In einer anderen Ausführungsform kann die Pumpquelle 102 einen Ionenlaser beinhalten. Beispielsweise kann die Pumpquelle 102 jeglichen bekannten Edelgasionenlaser beinhalten. Beispielsweise kann im Falle eines auf Argon basierenden Plasmas die Pumpquelle 102, die zum Pumpen von Argonionen verwendet wird, einen Ar⁺-Laser beinhalten.

[0072] In einer anderen Ausführungsform kann die Pumpquelle 102 ein oder mehrere frequenzkonvertierte Lasersysteme beinhalten. Zum Beispiel kann die Pumpquelle 102 einen Nd:YAG- oder einen Nd:YLF-Laser mit einer Leistung über 100 Watt beinhalten. In einer anderen Ausführungsform kann die Pumpquelle 102 einen Breitbandlaser beinhalten. In einer anderen Ausführungsform kann die Pumpquelle 102 ein Lasersystem beinhalten, welches dazu ausgebildet ist, modulierte Laserstrahlung oder gepulste Laserstrahlung zu emittieren.

[0073] In einer anderen Ausführungsform kann die Pumpquelle 102 einen oder mehrere Laser beinhalten, dazu ausgebildet, Laserlicht bei im Wesentlichen konstanter Leistung für das Plasma 106 bereitzustellen. In einer anderen Ausführungsform kann die Pumpquelle 102 einen oder mehrere modulierte Laser beinhalten, dazu ausgebildet, modulierte Laserlicht für das Plasma 106 bereitzustellen. In einer anderen Ausführungsform kann die Pumpquelle 102 einen oder mehrere gepulste Laser beinhalten, dazu ausgebildet, gepulstes Laserlicht für das Plasma 106 bereitzustellen.

[0074] In einer anderen Ausführungsform kann die Pumpquelle 102 eine oder mehrere Nicht-Laser-Quellen beinhalten. Allgemein kann die Pumpquelle 102 jegliche bekannte Nicht-Laser-Lichtquelle beinhalten. Beispielsweise kann die Pumpquelle 102 jegliches bekannte Nicht-Laser-System beinhalten, das

in der Lage ist, Strahlung diskret oder kontinuierlich im infraroten, sichtbaren oder ultravioletten Bereich des elektromagnetischen Spektrums zu emittieren.

[0075] In einer anderen Ausführungsform kann die Pumpquelle 102 zwei oder mehr Lichtquellen beinhalten. In einer Ausführungsform kann die Pumpquelle 102 zwei oder mehr Laser beinhalten. Beispielsweise kann die Pumpquelle 102 (oder „Quellen“) mehrere Diodenlaser beinhalten. Als ein anderes Beispiel kann die Pumpquelle 102 mehrere CW-Laser beinhalten. In einer anderen Ausführungsform kann jeder der zwei oder mehr Laser Laserstrahlung emittieren, die auf eine andere Absorptionslinie des Gases oder Plasmas innerhalb der Gaseinschlossstruktur 105 des Systems 100 abgestimmt ist. Diesbezüglich können die mehreren Pulsquellen Beleuchtung unterschiedlicher Wellenlängen für das Gas innerhalb der Gaseinschlossstruktur 105 bereitstellen.

[0076] Der hierin beschriebene Gegenstand zeigt manchmal unterschiedliche Komponenten, die innerhalb anderer Komponenten eingeschlossen oder mit diesen verbunden sind. Solche dargestellten Architekturen sind lediglich beispielhaft, und tatsächlich können viele andere Architekturen implementiert werden, welche die gleiche Funktionalität erzielen. In konzeptionellem Sinn ist jegliche Anordnung von Komponenten zur Erzielung der gleichen Funktionalität effektiv „assoziiert“ derart, dass die gewünschte Funktionalität erzielt wird. Daher können jegliche zwei hierin zur Erzielung einer bestimmten Funktionalität kombinierten Komponenten als „miteinander assoziiert“ angesehen werden, derart, dass die gewünschte Funktionalität erzielt wird, unabhängig von Architekturen oder dazwischen liegenden Komponenten. Gleichfalls können jegliche zwei derart assoziierte Komponenten auch als miteinander „verbunden“ oder „gekoppelt“ angesehen werden, um die gewünschte Funktionalität zu erzielen, und jegliche zwei Komponenten, die so assoziiert werden können, können auch als miteinander „koppelbar“ angesehen werden, um die gewünschte Funktionalität zu erzielen. Spezifische Beispiele von koppelbar beinhalten, ohne darauf beschränkt zu sein, physikalisch wechselwirkungsfähige und/oder physikalisch wechselwirkende Komponenten und/oder drahtlos wechselwirkungsfähige und/oder drahtlos wechselwirkende Komponenten und/oder logisch wechselwirkungsfähige und/oder logisch wechselwirkende Komponenten.

[0077] Die Erfindung wird durch die angehängten Ansprüche definiert.

Patentansprüche

1. Eine lasergestützte Plasma-Lichtquelle umfassend:

eine Pumpquelle, dazu ausgebildet, eine Pumpbeleuchtung zu erzeugen;
 ein oder mehrere optische Elemente zum Richten der Pumpbeleuchtung;
 eine Gaseinschlussstruktur, dazu ausgebildet, ein Gasvolumen einzuschließen, wobei das eine oder die mehreren optischen Elemente zum Richten der Pumpbeleuchtung dazu ausgebildet sind, eine Vielzahl von voneinander räumlich getrennten Plasmen entlang einer ausgewählten Richtung innerhalb des Gasvolumens aufrechtzuerhalten, indem sie die Pumpbeleuchtung entlang eines oder mehrerer Pumpstrahlengänge zu einer Vielzahl von Brennflecken richten, die innerhalb des Gasvolumens entlang der ausgewählten Richtung angeordnet sind, wobei die Vielzahl von voneinander räumlich getrennten Plasmen gleichzeitig innerhalb der Gaseinschlussstruktur aufrechterhalten werden, wobei lediglich Gas zwei oder mehr der voneinander räumlich getrennten Plasmen trennt;
 ein oder mehrere optische Sammelemente, dazu ausgebildet, von der Vielzahl von voneinander räumlich getrennten Plasmen entlang eines Sammelstrahlengangs emittierte Breitbandstrahlung zu sammeln,
 wobei das eine oder die mehreren optischen Elemente zum Richten der Pumpbeleuchtung dazu ausgebildet sind, den Pumpstrahlengang derart festzulegen, dass die Pumpbeleuchtung entlang einer Richtung transversal zu einer Fortpflanzungsrichtung des emittierten Breitbandlichts des Sammelstrahlengangs auf die Vielzahl von voneinander räumlich getrennten Plasmen trifft, so dass die Pumpbeleuchtung von der emittierten Breitbandstrahlung entkoppelt ist.

2. Die lasergestützte Plasma-Lichtquelle nach Anspruch 1, wobei das eine oder die mehreren optischen Elemente zum Richten der Pumpbeleuchtung dazu ausgebildet sind, die Vielzahl von voneinander räumlich getrennten Plasmen aufrechtzuerhalten, wobei zumindest einige der voneinander räumlich getrennten Plasmen langgestreckt sind, so dass sie eine erste Abmessung und eine zweite Abmessung, größer als die erste Abmessung und senkrecht zu der ersten Abmessung, aufweisen.

3. Die lasergestützte Plasma-Lichtquelle nach Anspruch 2, wobei das eine oder die mehreren optischen Elemente zum Richten der Pumpbeleuchtung dazu ausgebildet sind, Pumpbeleuchtung des Pumpstrahlengangs entlang der ersten Abmessung zumindest einiger der langgestreckten voneinander räumlich getrennten Plasmen zu richten.

4. Die lasergestützte Plasma-Lichtquelle nach Anspruch 2, wobei das eine oder die mehreren optischen Sammelemente dazu ausgebildet sind, entlang der zweiten Abmessung zumindest einiger der

langgestreckten voneinander räumlich getrennten Plasmen emittierte Breitbandstrahlung zu sammeln.

5. Die lasergestützte Plasma-Lichtquelle nach Anspruch 2, wobei das eine oder die mehreren optischen Elemente zum Richten der Pumpbeleuchtung dazu ausgebildet sind, innerhalb des Gasvolumens die Vielzahl der langgestreckten voneinander räumlich getrennten Plasmen dadurch aufrechtzuerhalten, dass sie Pumpbeleuchtung entlang eines oder mehrerer Pumpstrahlengänge zu einer Vielzahl an langgestreckten Brennflecken innerhalb des Gasvolumens richten.

6. Die lasergestützte Plasma-Lichtquelle nach Anspruch 5, wobei das eine oder die mehreren optischen Elemente zum Richten der Pumpbeleuchtung umfassen:
 eine zylindrische Linse, dazu ausgebildet, die Vielzahl langgestreckter voneinander räumlich getrennter Plasmen innerhalb des Gasvolumens dadurch aufrechtzuerhalten, dass sie Pumpbeleuchtung entlang eines oder mehrerer Pumpstrahlengänge zu der Vielzahl langgestreckter Brennflecken innerhalb des Gasvolumens richtet.

7. Die lasergestützte Plasma-Lichtquelle nach Anspruch 5, wobei das eine oder die mehreren optischen Elemente zum Richten der Pumpbeleuchtung umfassen:
 einen zylindrischen Spiegel, dazu ausgebildet, die Vielzahl langgestreckter voneinander räumlich getrennter Plasmen innerhalb des Gasvolumens dadurch aufrechtzuerhalten, dass er Pumpbeleuchtung entlang eines oder mehrerer Pumpstrahlengänge zu der Vielzahl langgestreckter Brennflecken innerhalb des Gasvolumens richtet.

8. Die lasergestützte Plasma-Lichtquelle nach Anspruch 5, wobei das eine oder die mehreren optischen Elemente zum Richten der Pumpbeleuchtung umfassen:
 eine Vielzahl konfokaler zylindrischer Spiegel, dazu ausgebildet, die Vielzahl langgestreckter voneinander räumlich getrennter Plasmen innerhalb des Gasvolumens dadurch aufrechtzuerhalten, dass sie Pumpbeleuchtung entlang eines oder mehrerer Pumpstrahlengänge zu der Vielzahl langgestreckter Brennflecken innerhalb des Gasvolumens richten.

9. Die lasergestützte Plasma-Lichtquelle nach Anspruch 5, wobei das eine oder die mehreren optischen Elemente zum Richten der Pumpbeleuchtung umfassen:
 ein Axicon, dazu ausgebildet, die Vielzahl langgestreckter voneinander räumlich getrennter Plasmen innerhalb des Gasvolumens dadurch aufrechtzuerhalten, dass es Pumpbeleuchtung entlang eines oder mehrerer Pumpstrahlengänge zu der Vielzahl

langgestreckter Brennflecken innerhalb des Gasvolumens richtet.

10. Die lasergestützte Plasma-Lichtquelle nach Anspruch 8, wobei die Pumpquelle umfasst: eine erste Pumpquelle, dazu ausgebildet Pumpbeleuchtung zu der Vielzahl konfokaler zylindrischer Spiegel über einen ersten Einspeisepunkt zu liefern; und zumindest eine zusätzliche Pumpquelle, dazu ausgebildet, Pumpbeleuchtung zu der Vielzahl konfokaler zylindrischer Spiegel über einen zusätzlichen Einspeisepunkt zu liefern.

11. Die lasergestützte Plasma-Lichtquelle nach Anspruch 10, wobei die erste Pumpquelle und die zusätzliche Pumpquelle entgegengesetzt gerichtet sind.

12. Die lasergestützte Plasma-Lichtquelle nach Anspruch 2, wobei das eine oder die mehreren optischen Elemente zum Richten der Pumpbeleuchtung umfassen: ein Axicon; und ein Reflektorrohr, dazu ausgebildet, die Vielzahl langgestreckter voneinander räumlich getrennter Plasmen innerhalb des Gasvolumens aufrechtzuerhalten, indem es Pumpbeleuchtung entlang eines Pumpstrahlengangs zu einer Vielzahl langgestreckter Brennflecken innerhalb des Gasvolumens richtet.

13. Die lasergestützte Plasma-Lichtquelle nach Anspruch 2, wobei das eine oder die mehreren optischen Elemente zum Richten der Pumpbeleuchtung umfassen: ein mehrfach durchlaufenes Reflektorrohr, dazu ausgebildet, die Vielzahl langgestreckter voneinander räumlich getrennter Plasmen innerhalb des Gasvolumens aufrechtzuerhalten, indem es Pumpbeleuchtung entlang eines Pumpstrahlengangs zu einer Vielzahl langgestreckter Brennflecken innerhalb des Gasvolumens richtet, wobei ein erstes langgestrecktes Plasma von mindestens einem zweiten langgestreckten Plasma getrennt ist.

14. Die lasergestützte Plasma-Lichtquelle nach Anspruch 13, wobei das mehrfach durchlaufene Reflektorrohr mindestens ein Reflektorelement beinhaltet, welches zumindest teilweise reflektierend für die Breitbandstrahlung ist, welche von der Vielzahl langgestreckter voneinander räumlich getrennter Plasmen emittiert wird, wobei das mindestens eine Reflektorelement dazu ausgebildet ist, die von der Vielzahl langgestreckter voneinander räumlich getrennter Plasmen emittierte Breitbandstrahlung in das Plasma zu richten, um das Plasma über die Breitbandstrahlung zu pumpen.

15. Die lasergestützte Plasma-Lichtquelle nach Anspruch 1, wobei die Pumpquelle umfasst:

eine Vielzahl optischer Faserelemente, die dazu ausgebildet sind, die Vielzahl voneinander räumlich getrennter Plasmen entlang einer ausgewählten Richtung aufrechtzuerhalten, indem sie Pumpbeleuchtung zu einer Vielzahl von Brennflecken liefern, welche entlang der ausgewählten Richtung innerhalb des Gases angeordnet sind, wobei die Pumpbeleuchtung von jeder optischen Faser auf einen anderen Brennfleck fokussiert wird.

16. Die lasergestützte Plasma-Lichtquelle nach Anspruch 1, wobei die Pumpquelle umfasst: eine Pumpquelle, dazu ausgebildet, Pumpbeleuchtung bei einer ersten Wellenlänge und weitere Pumpbeleuchtung bei einer zusätzlichen Wellenlänge, welche von der ersten Wellenlänge verschieden ist, zu emittieren.

17. Die lasergestützte Plasma-Lichtquelle nach Anspruch 1, wobei die Pumpquelle umfasst: eine einstellbare Pumpquelle, wobei eine Wellenlänge der von der Pumpquelle emittierten Pumpbeleuchtung einstellbar ist.

18. Die lasergestützte Plasma-Lichtquelle nach Anspruch 1, ferner umfassend: ein asphärisches optisches Element, dazu ausgebildet, Pumpbeleuchtung von der Pumpquelle zu empfangen und zumindest einen Teil der Pumpbeleuchtung zu einem oder mehreren langgestreckten Brennflecken innerhalb des Gasvolumens zu fokussieren.

19. Die lasergestützte Plasma-Lichtquelle nach Anspruch 1, wobei zumindest eines des einen oder der mehreren optischen Elemente zum Richten der Pumpbeleuchtung oder des einen oder der mehreren optischen Sammelemente außerhalb der Gas-einschlussstruktur angeordnet ist.

20. Die lasergestützte Plasma-Lichtquelle nach Anspruch 1, wobei zumindest eines des einen oder der mehreren optischen Elemente zum Richten der Pumpbeleuchtung oder des einen oder der mehreren optischen Sammelemente innerhalb der Gas-einschlussstruktur angeordnet ist.

21. Die lasergestützte Plasma-Lichtquelle nach Anspruch 1, wobei zumindest ein Bereich der Gas-einschlussstruktur für Pumpbeleuchtung von der Pumpquelle transparent ist.

22. Die lasergestützte Plasma-Lichtquelle nach Anspruch 1, wobei zumindest ein Bereich der Gas-einschlussstruktur für von dem Plasma emittierte Breitbandstrahlung transparent ist.

23. Die lasergestützte Plasma-Lichtquelle nach Anspruch 1, wobei zumindest ein Bereich der Gas-einschlussstruktur für Pumpbeleuchtung von der

Pumpquelle und von dem Plasma emittierte Breitbandstrahlung transparent ist.

24. Die lasergestützte Plasma-Lichtquelle nach Anspruch 1, wobei ein transparenter Bereich der Gaseinschlussstruktur aus zumindest einem der folgenden Materialien gebildet ist: Kalziumfluorid, Magnesiumfluorid, Lithiumfluorid, kristallinem Quarz, Saphir oder Quarzglas.

25. Ein Verfahren zur Erzeugung lasergestützten Plasmalichts umfassend:

Erzeugen von Pumpbeleuchtung;

Einschließen eines Gasvolumens innerhalb einer Gaseinschlussstruktur;

Fokussieren zumindest eines Teils der Pumpbeleuchtung, entlang eines Pumpstrahlengangs, zu einem oder mehreren Brennflecken innerhalb des Gasvolumens, um gleichzeitig eine Vielzahl langgestreckter voneinander räumlich getrennter Plasmen entlang einer ausgewählten Richtung innerhalb des in der Gaseinschlussstruktur eingeschlossenen Gasvolumens aufrechtzuerhalten, wobei lediglich Gas zwei oder mehr der langgestreckten voneinander räumlich getrennten Plasmen innerhalb des Gasvolumens trennt; und

Sammeln von von der Vielzahl von langgestreckten voneinander räumlich getrennten Plasmen emittierter Breitbandstrahlung entlang eines Sammelstrahlengangs, welcher von der axialen Abmessung der langgestreckten voneinander räumlich getrennten Plasmen festgelegt wird, wobei die Pumpbeleuchtung entlang einer Richtung transversal zu einer Fortpflanzungsrichtung des emittierten Breitbandlichts auf die langgestreckten voneinander räumlich getrennten Plasmen trifft.

Es folgen 18 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

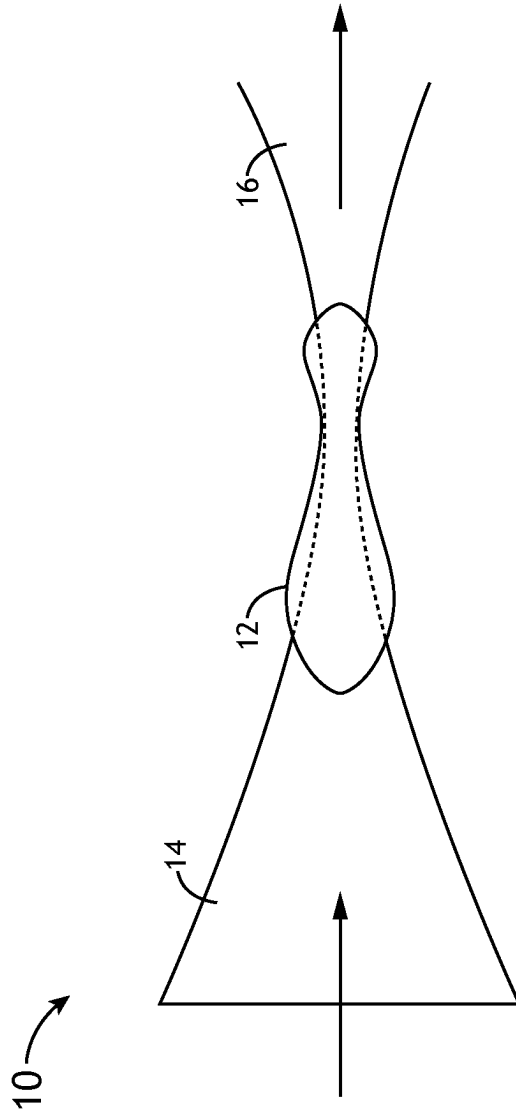


FIG.1A

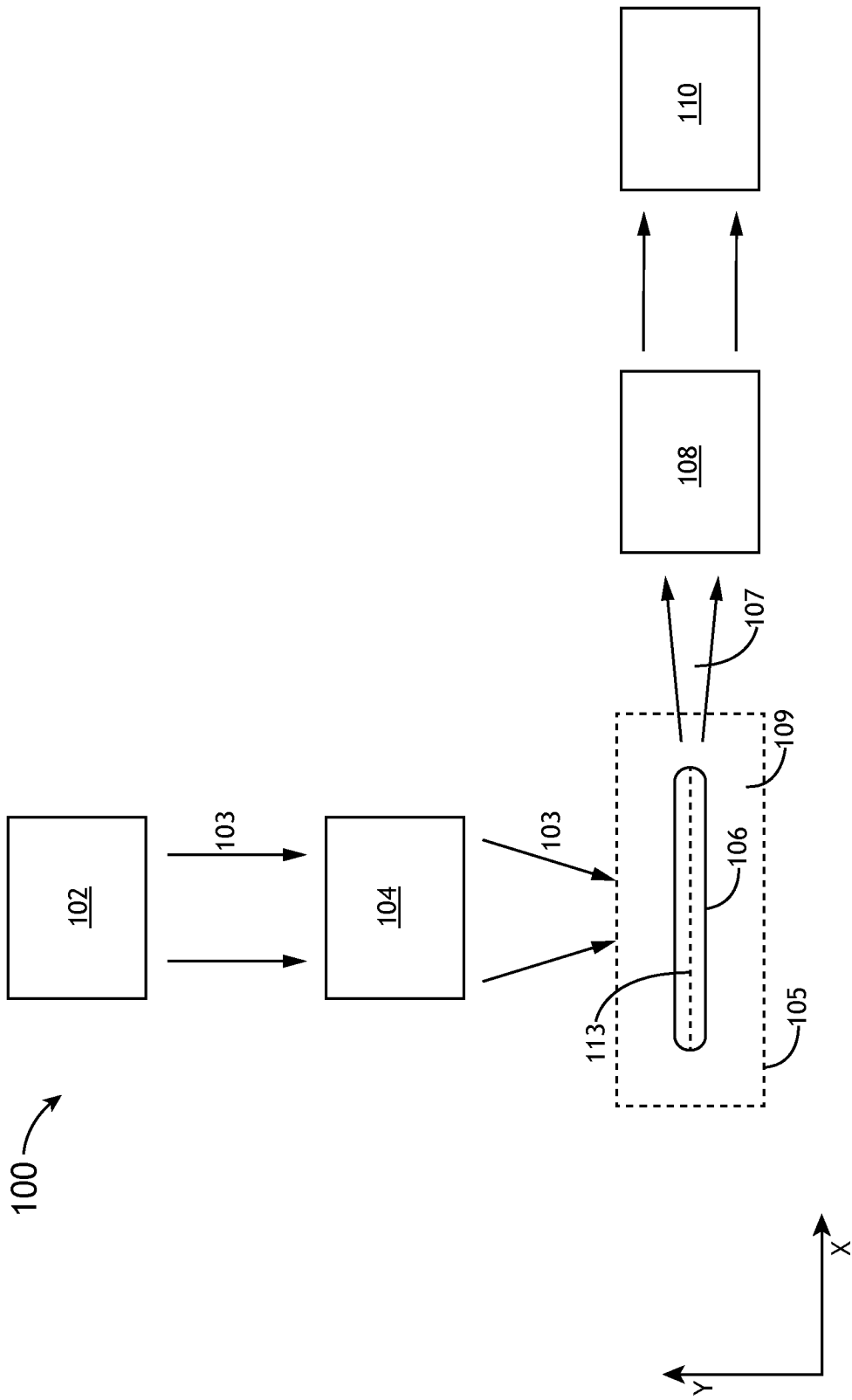


FIG.1B

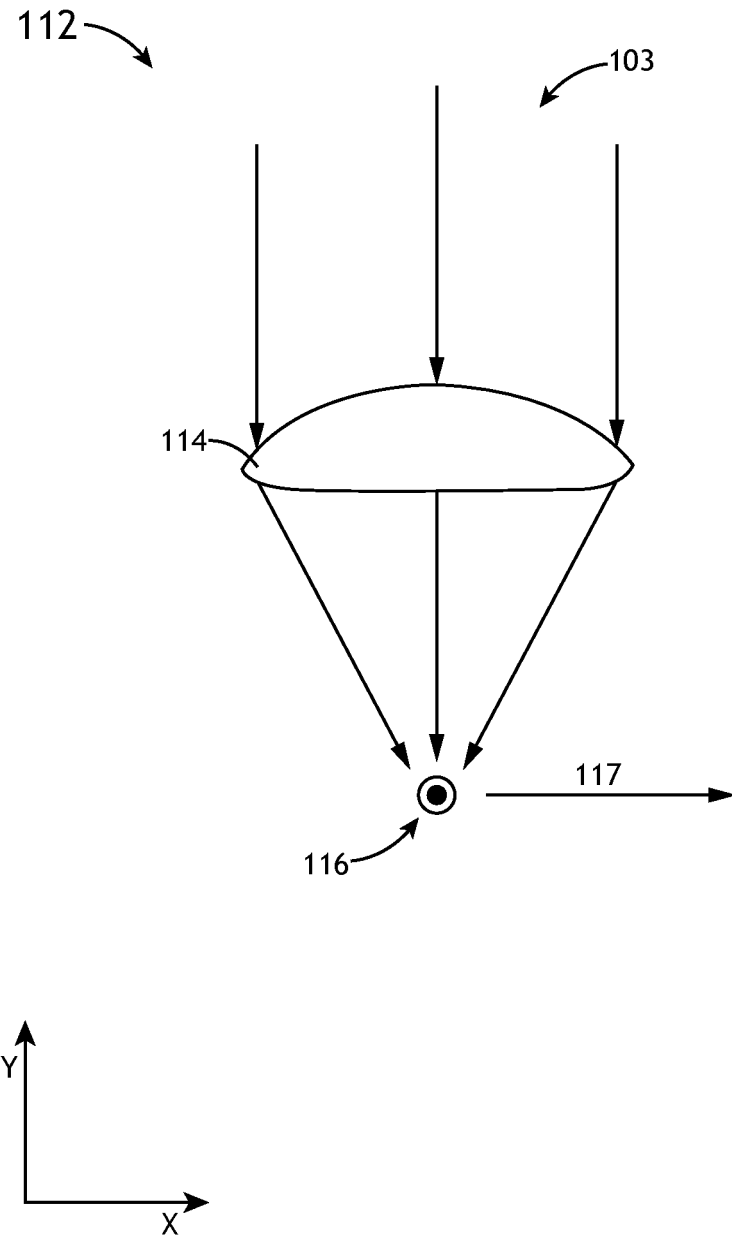


FIG. 1C

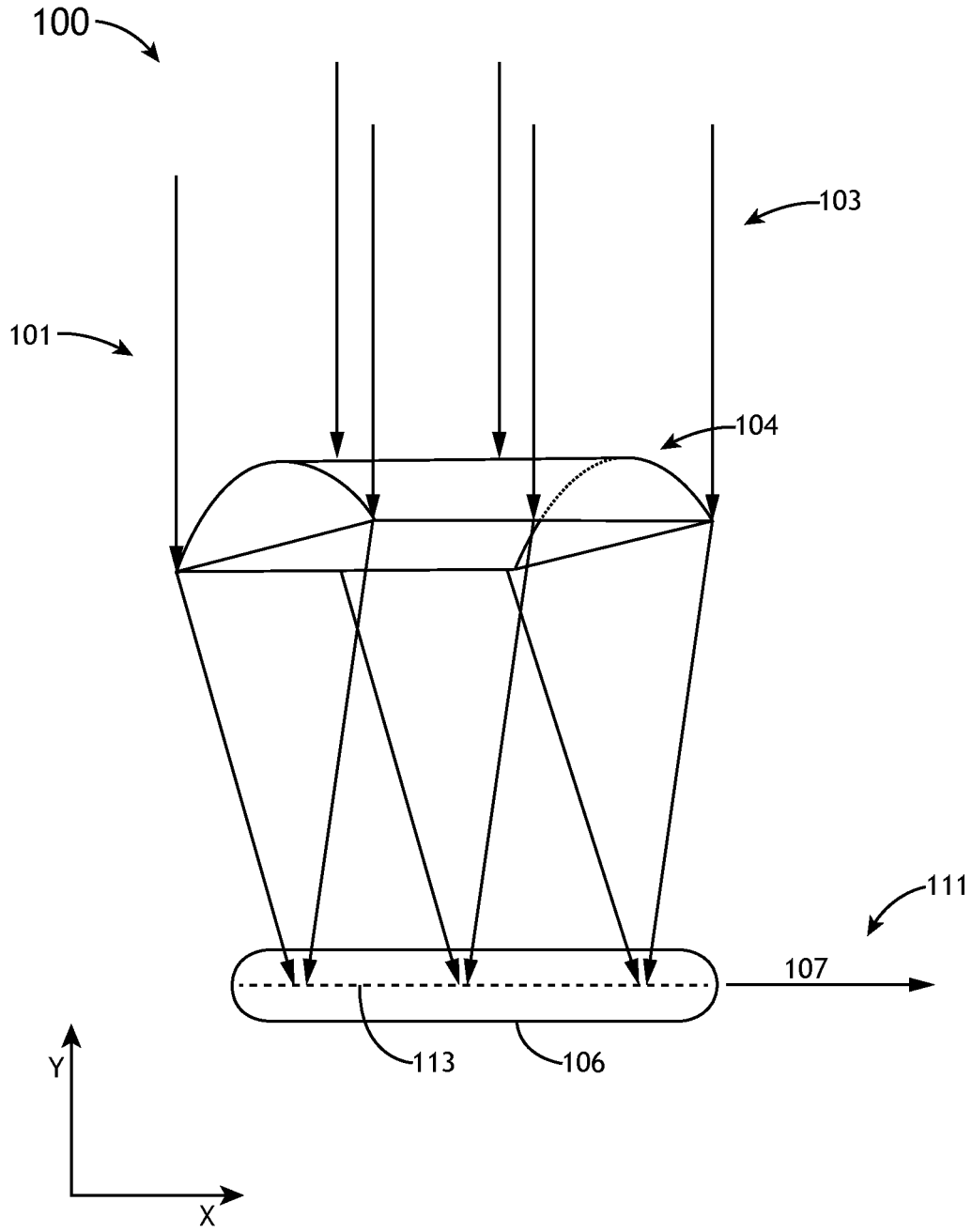


FIG. 1D

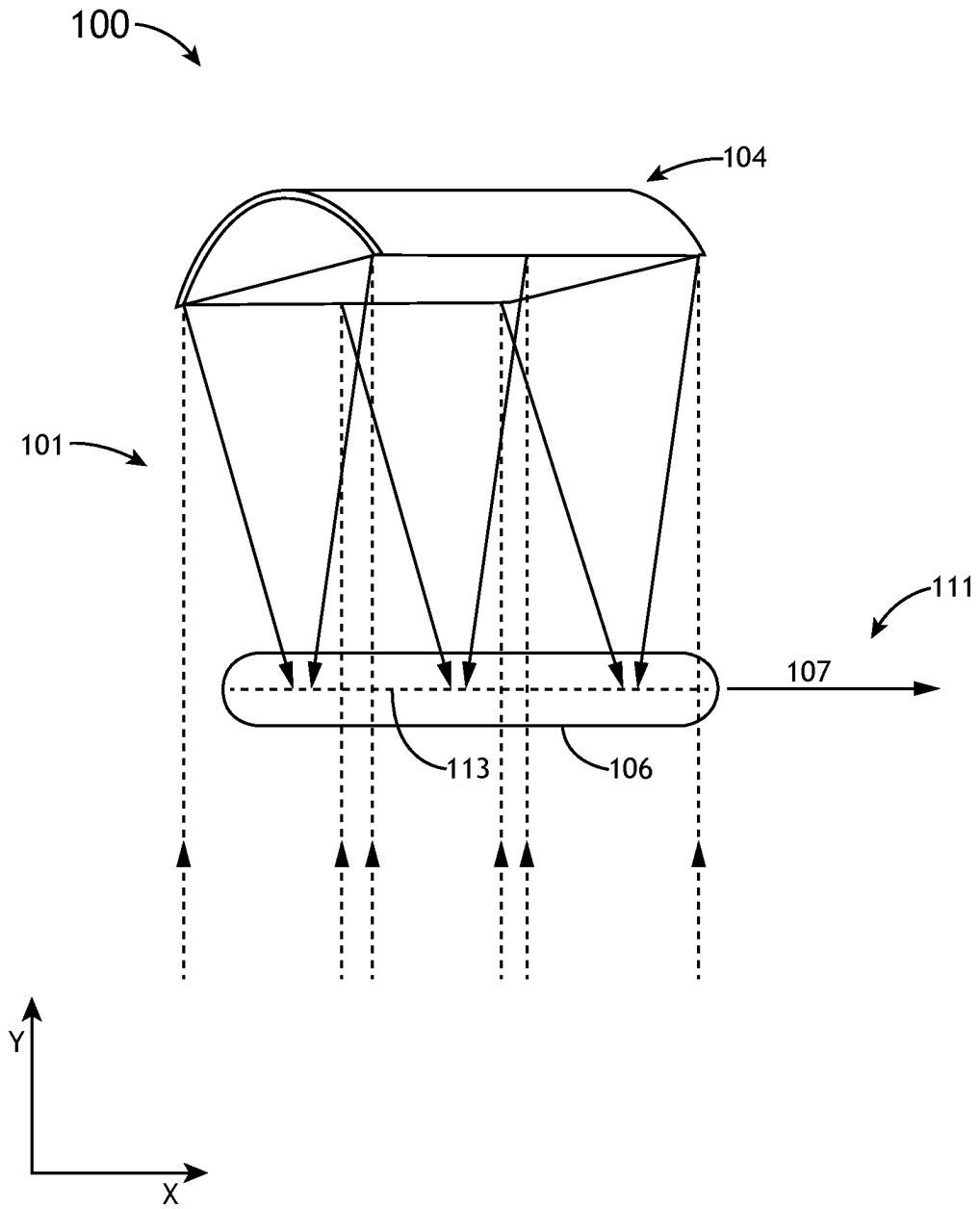


FIG.1E

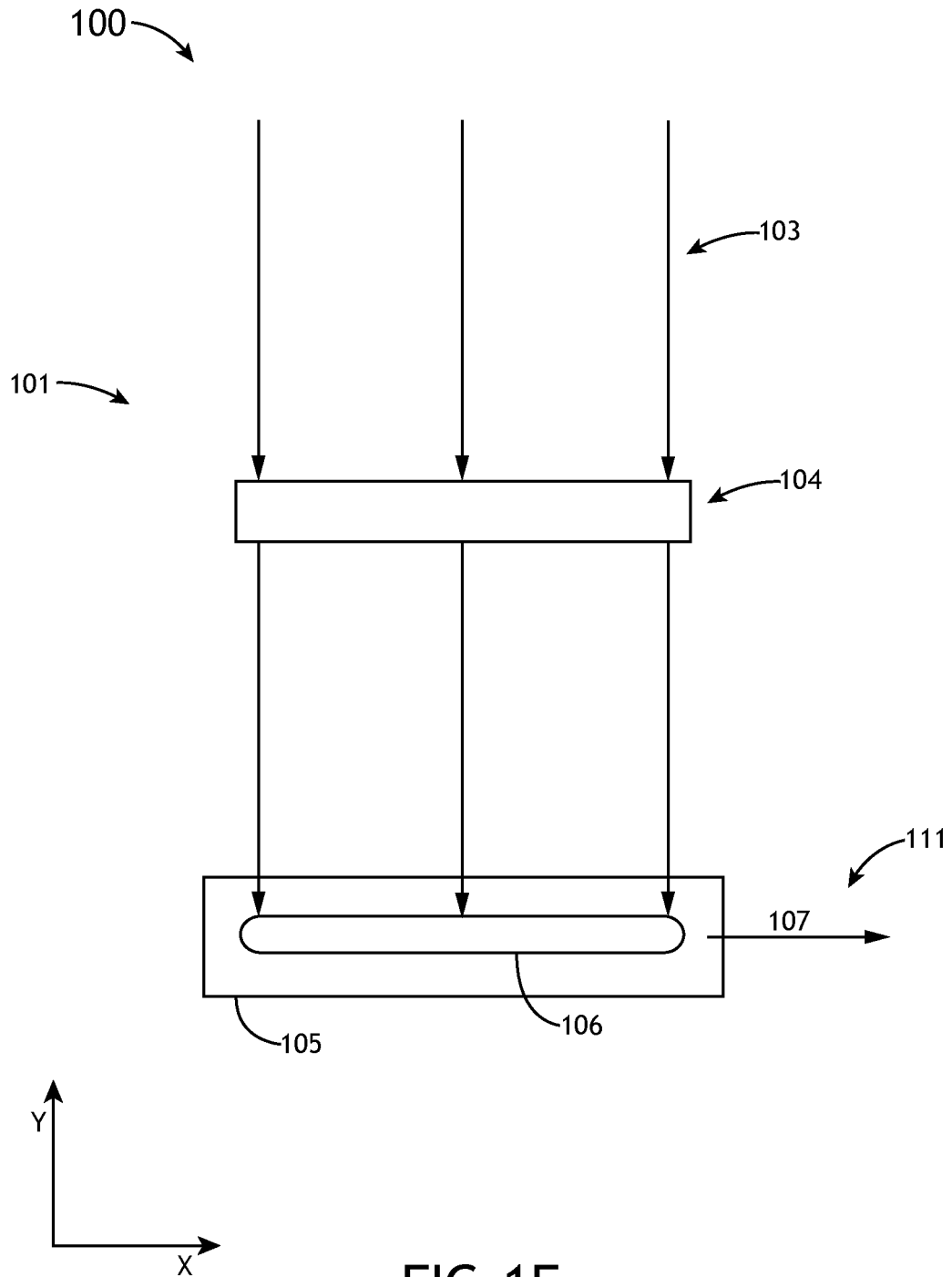


FIG. 1F

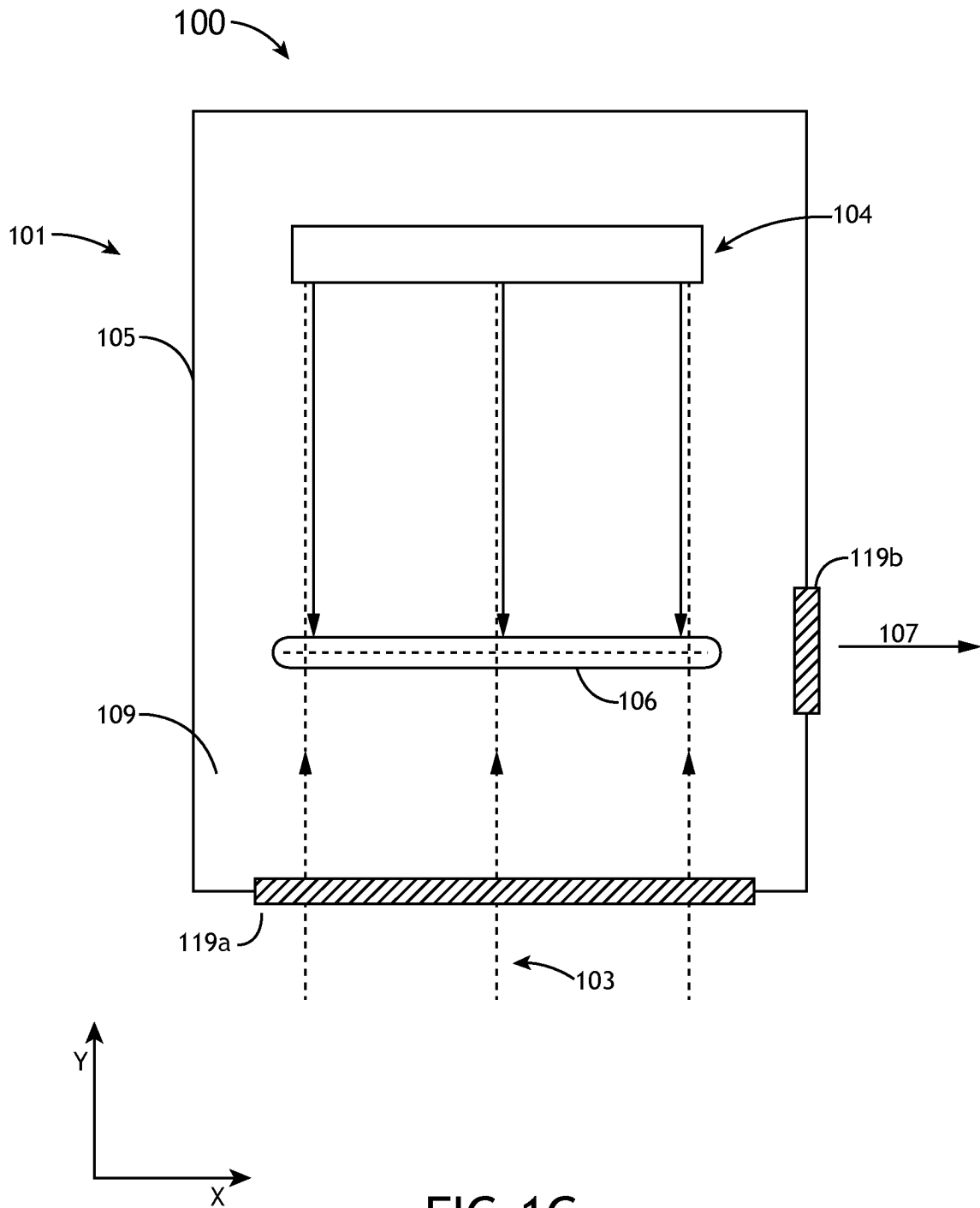


FIG. 1G

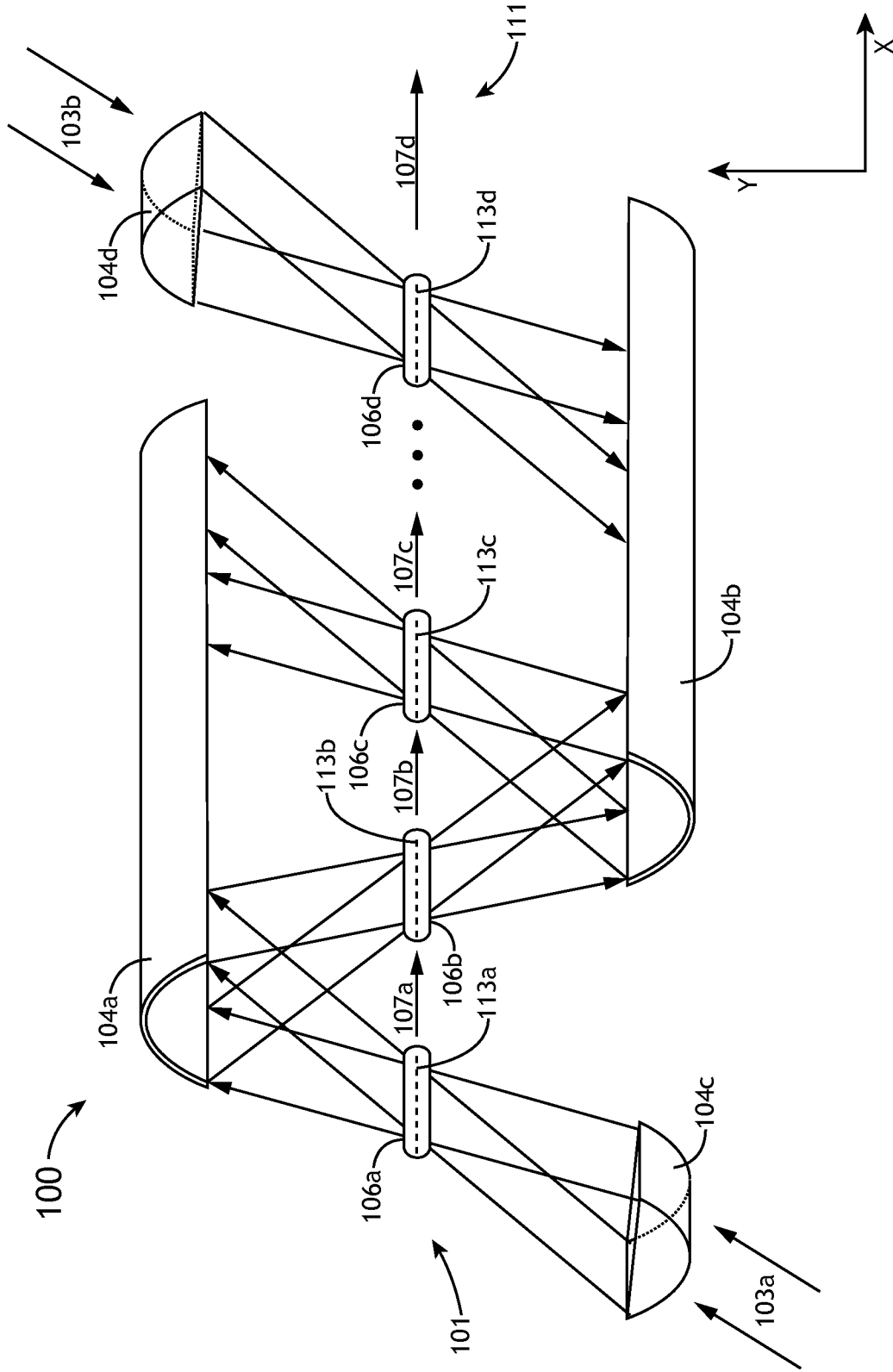


FIG. 1H

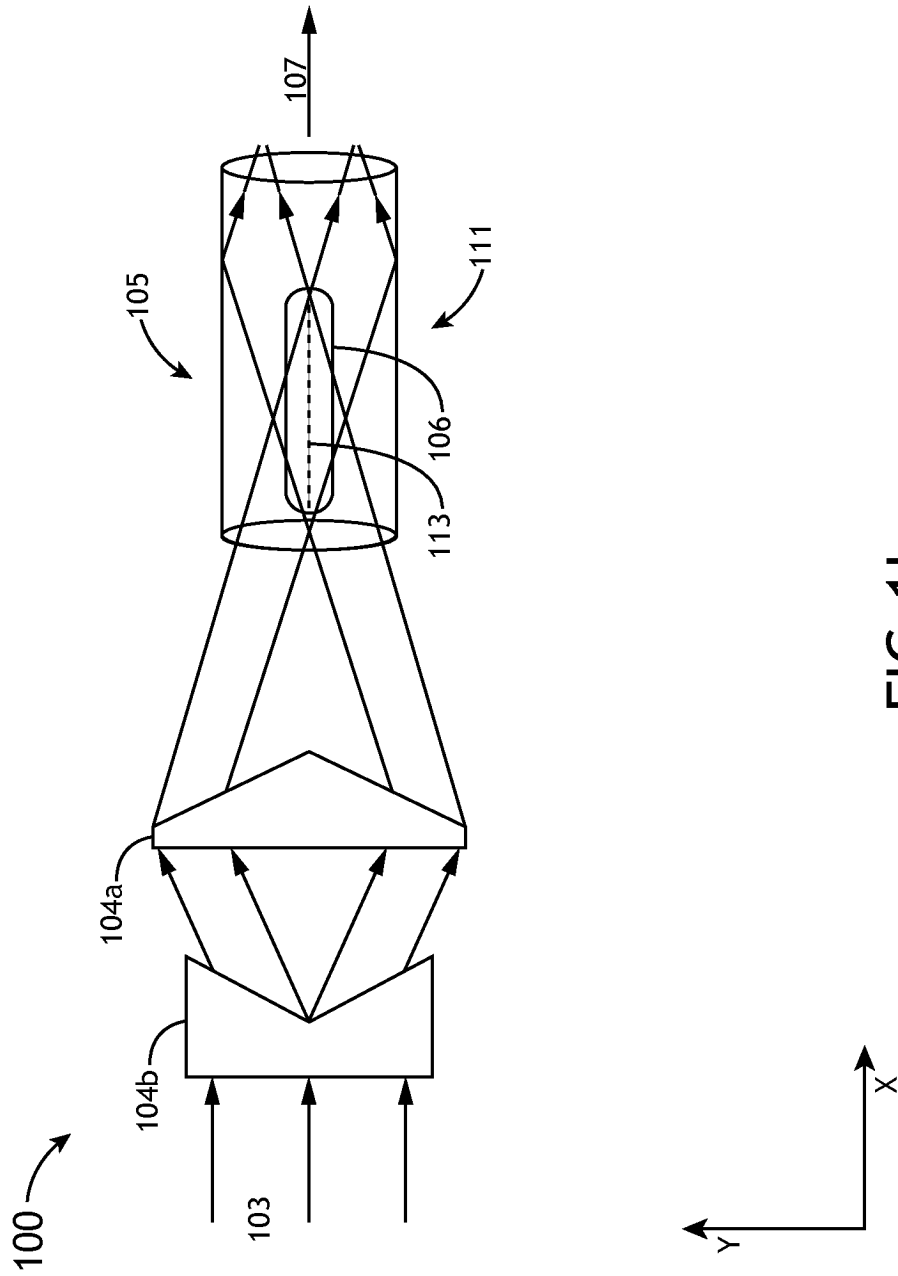


FIG.11

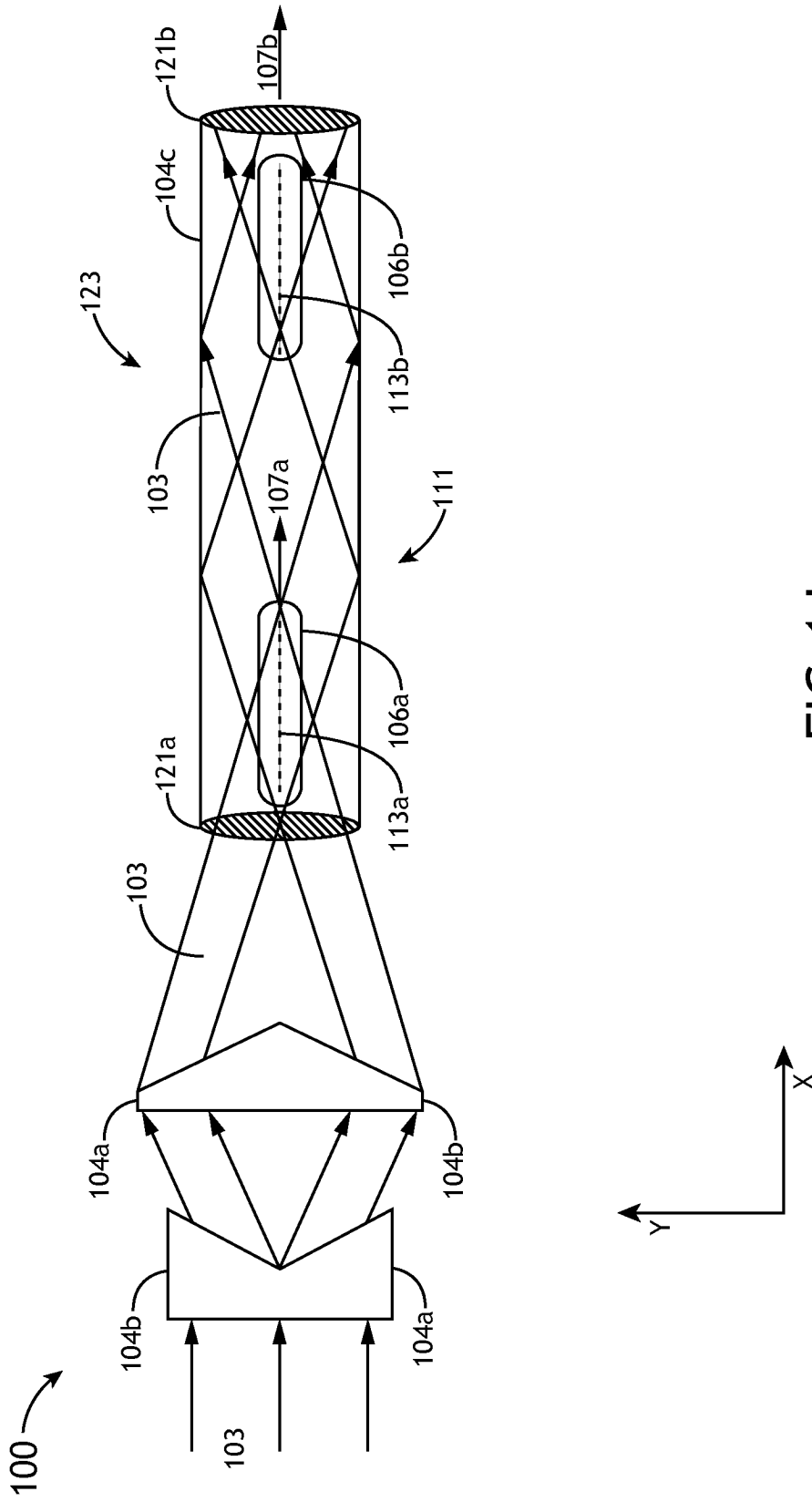


FIG.1J

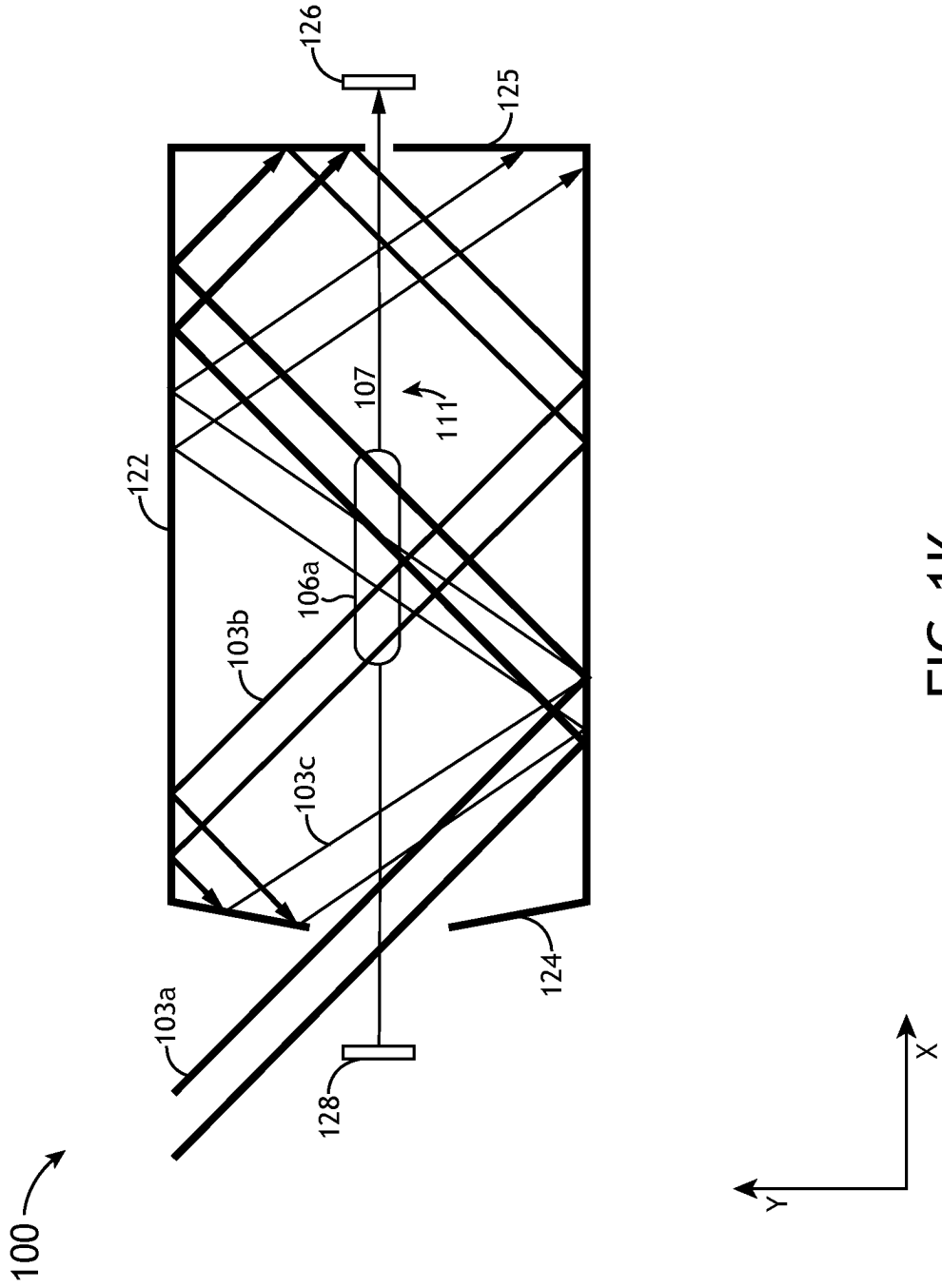


FIG.1K

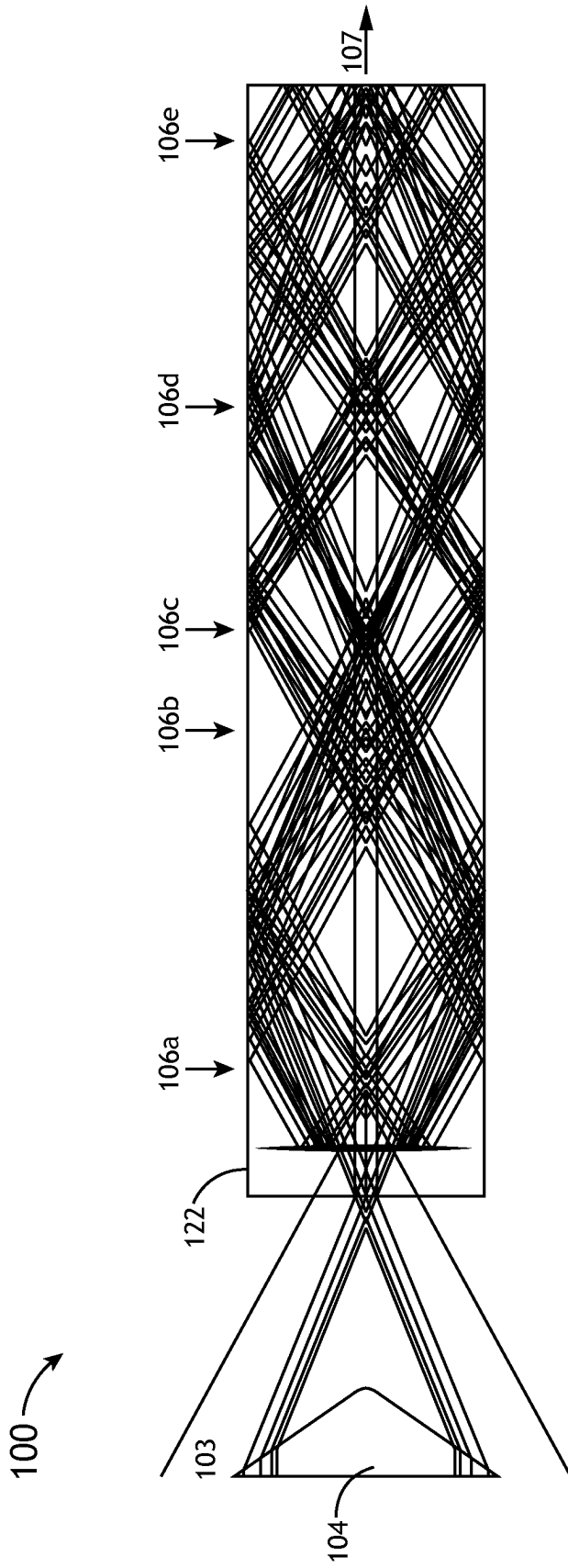


FIG.1L

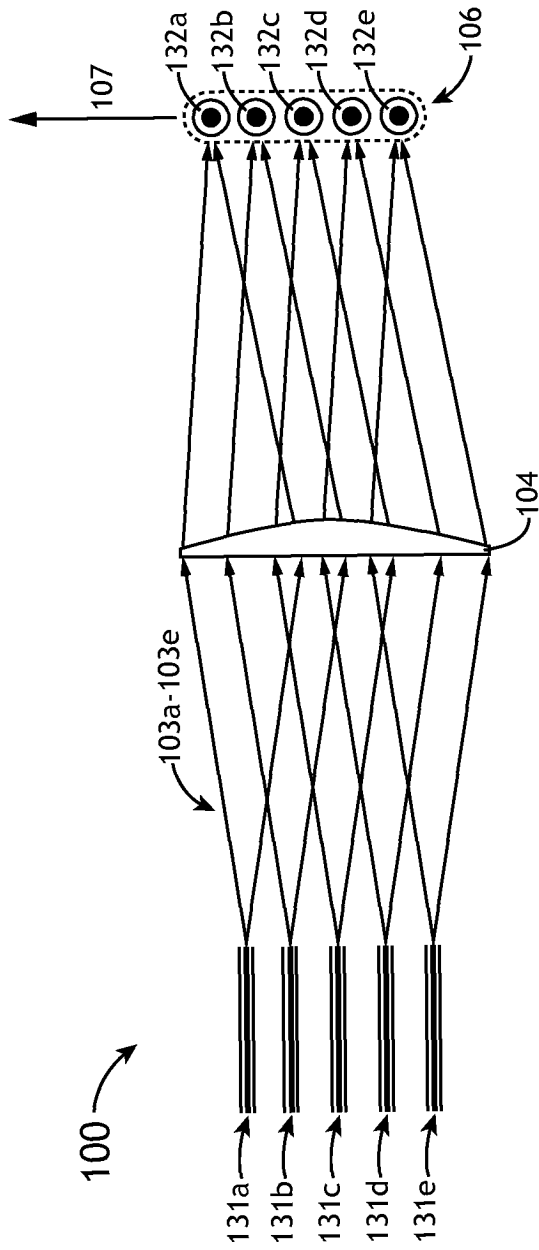


FIG. 1M

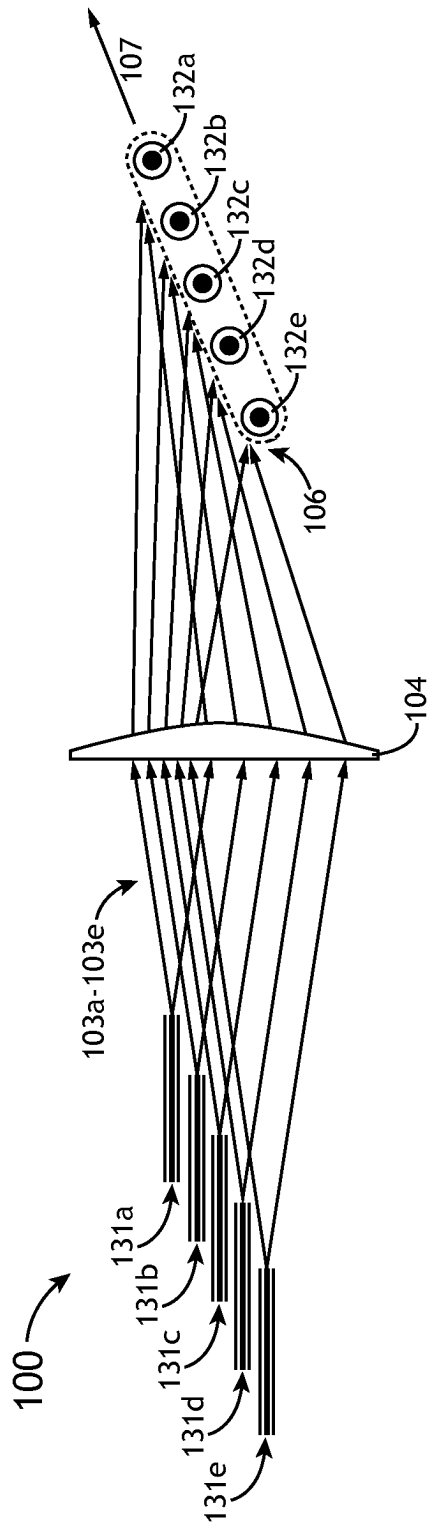


FIG.1N

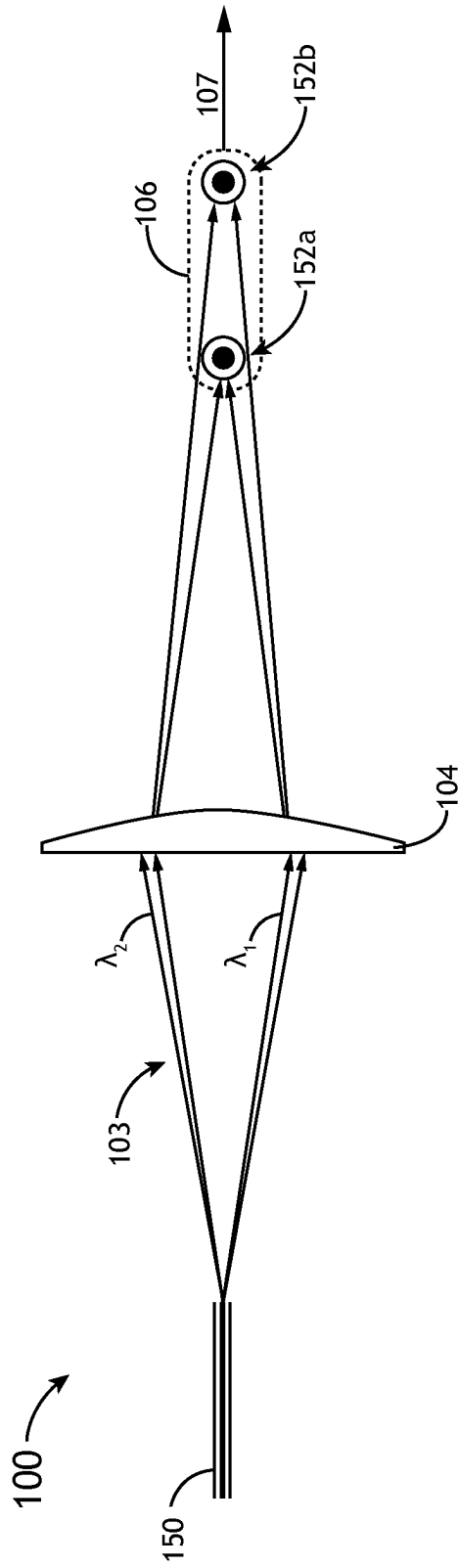


FIG.10

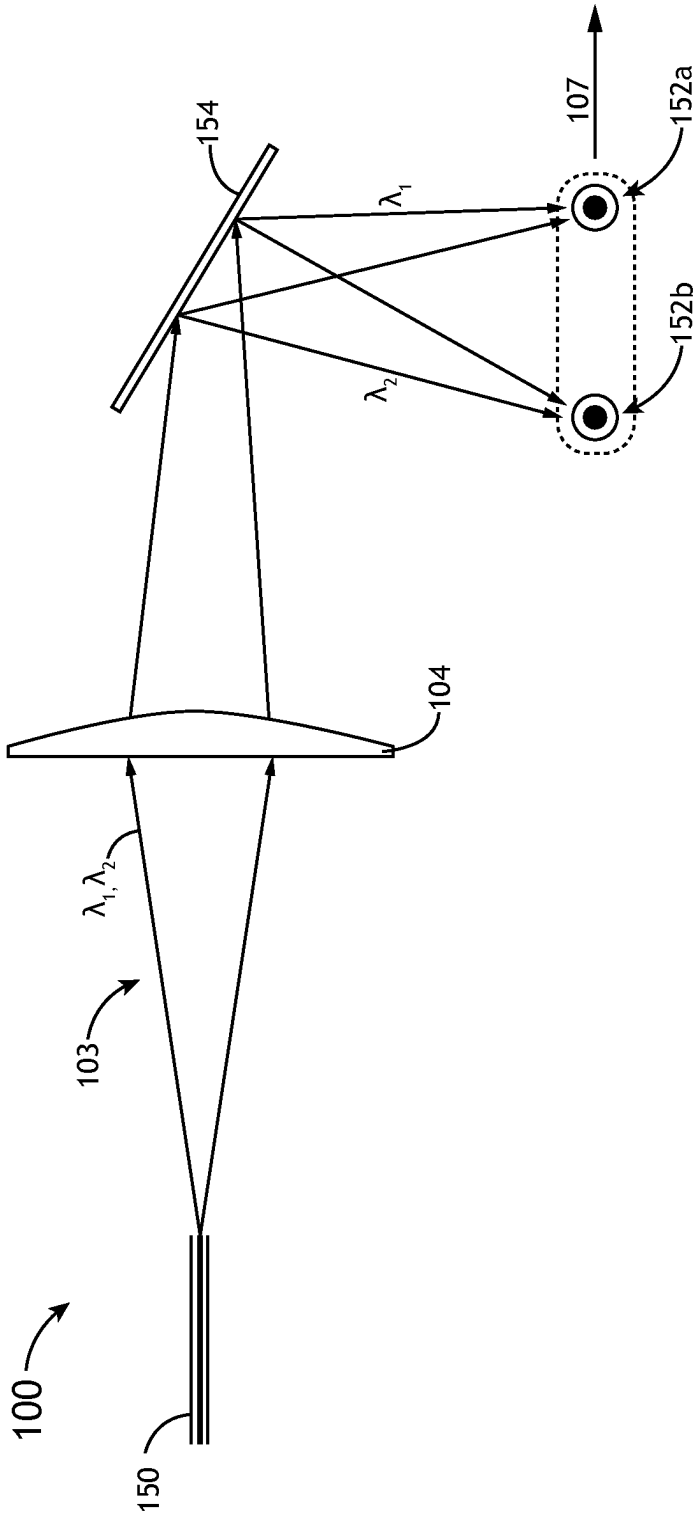


FIG.1P

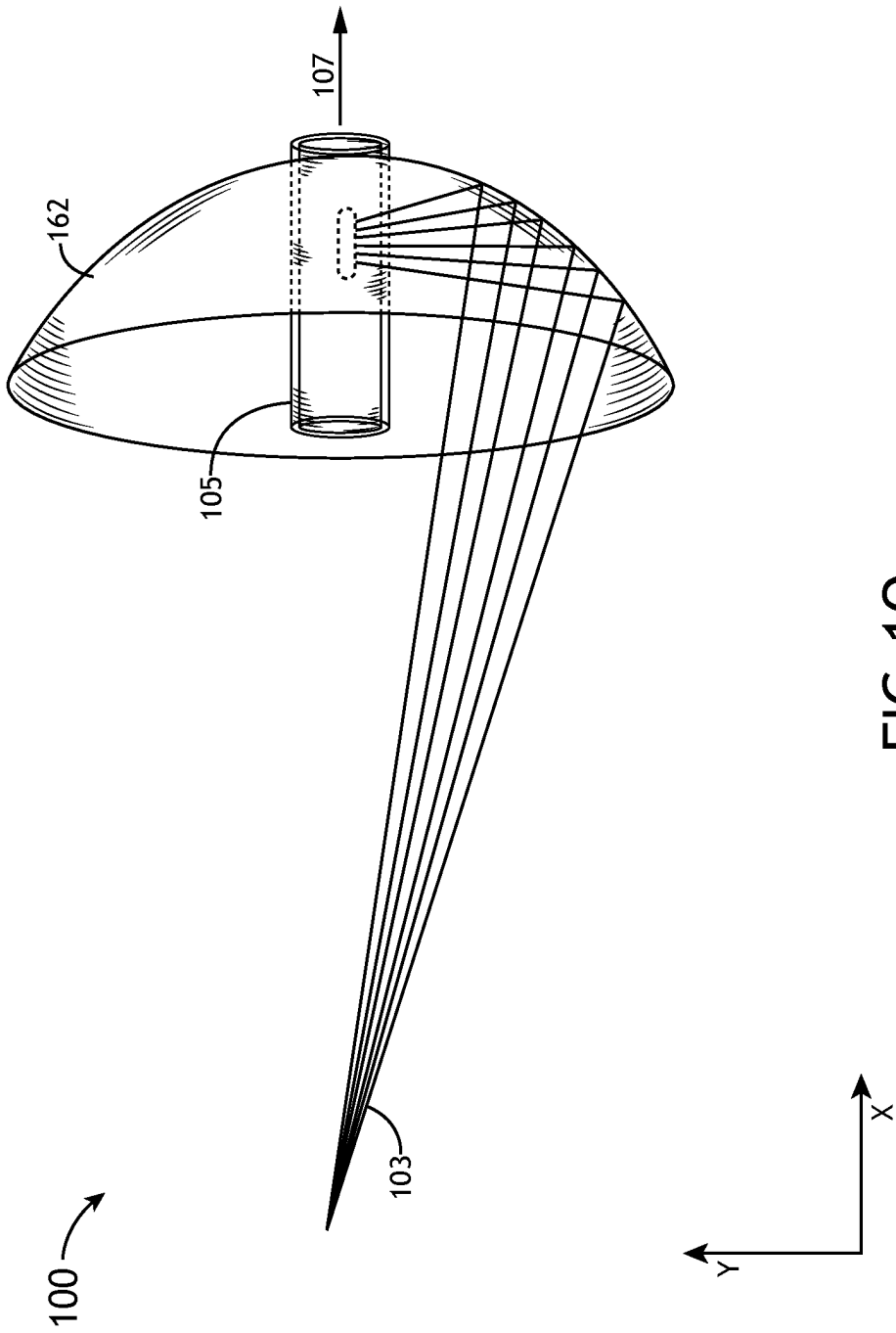


FIG.1Q

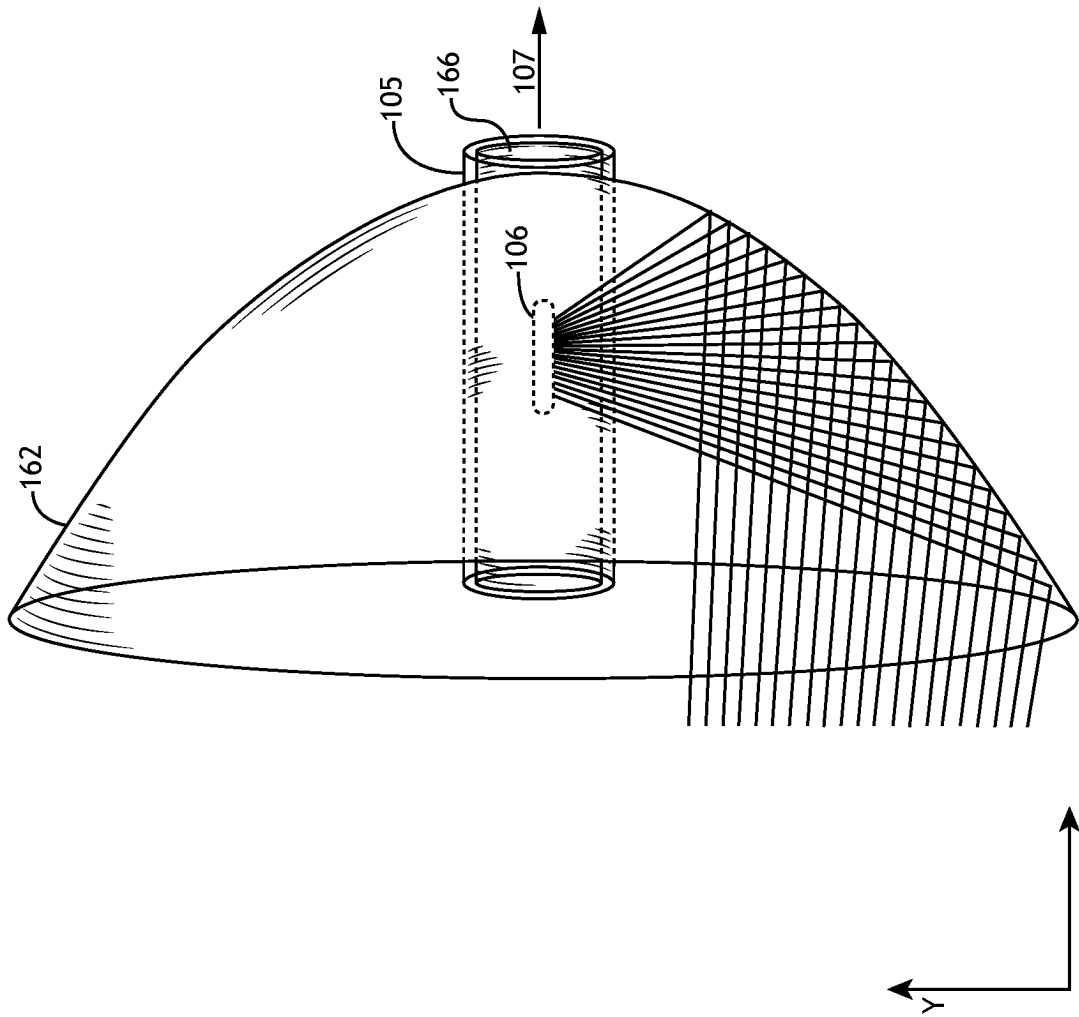


FIG.1R