



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 697 27 174 T2** 2004.11.18

(12)

Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 0 820 132 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **697 27 174.9**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **97 305 404.2**

(96) Europäischer Anmeldetag: **18.07.1997**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **21.01.1998**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **14.01.2004**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **18.11.2004**

(51) Int Cl.7: **H01S 3/0975**

H01S 3/225, H01S 3/08

(30) Unionspriorität:

20881796	19.07.1996	JP
21205996	22.07.1996	JP
21292396	12.08.1996	JP
26491296	04.10.1996	JP
644197	17.01.1997	JP
9764897	15.04.1997	JP

(73) Patentinhaber:

**Ohmi, Tadahiro, Sendai, Miyagi, JP; Canon K.K.,
Tokio/Tokyo, JP**

(74) Vertreter:

**Tiedtke, Bühling, Kinne & Partner GbR, 80336
München**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

DE, ES, FR, GB, IT, NL

(72) Erfinder:

**Ohmi, Tadahiro, Sendai-shi, Miyagi-ken, JP;
Tanaka, Nobuyoshi, Ohta-ku, Tokyo, JP;
Hirayama, Masaki, Sendai-shi, Miyagi-ken, JP**

(54) Bezeichnung: **Excimer-Laserszillatorgerät und Verfahren, Excimer-Laserbelichtungsgerät und Laserröhre**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung

HINTERGRUND DER ERFINDUNG

GEBIET DER ERFINDUNG

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein kontinuierlich emittierendes Excimer-Laserszillatorgerät und ein Verfahren, welches eine kontinuierliche Lichtemission erlaubt, und auf ein Excimer-Lasergerät und eine Laserröhre.

STAND DER TECHNIK

[0002] Ein Excimer-Laser hat eine Menge Aufmerksamkeit erregt, als dass er der einzige Hochleistungslaser ist, welcher im ultravioletten Bereich oszillieren kann, und seine Anwendungen werden in der Elektronik, Chemie und Energieindustrie erwartet.

[0003] Genauer gesagt wird der Excimer-Laser bei der Bearbeitung, bei chemischen Reaktionen und dergleichen von Metallen, Kunstharzen, Glas, Keramiken, Halbleitern und dergleichen verwendet.

[0004] Ein Gerät zum Erzeugen eines Excimer-Laserstrahls ist als ein Excimer-Laserszillatorgerät bekannt. Eine Lasergasmischung, welche beispielsweise Ar, Kr, Ne, F₂ und dergleichen enthält, und in einem Sammelrohr gefüllt ist, wird durch eine Elektronenstrahlbestrahlung, Entladung oder dergleichen angeregt. Die angeregten F-Atome werden an inaktive KrF⁺ArF⁺ Atome im Grundzustand gebunden, um Moleküle zu bilden, welche nur in einem angeregten Zustand existieren können. Solche Moleküle werden Excimer genannt. Da die Excimer instabil sind, emittieren sie unmittelbar ultraviolette Strahlen und fallen auf den Grundzustand zurück. Ein solches Phänomen wird ungebundener Übergang oder spontane Emission genannt, und ein Excimer-Laserszillatorgerät verwendet die angeregten Moleküle und verstärkt sie als phasengleiches Licht in einem optischen Resonator, welcher aus einem Paar von Reflektionsspiegeln gebildet wird, um einen Laserstrahl auszugeben.

[0005] Herkömmlicherweise ist es bei einem Excimer-Laserszillatorgerät unmöglich, eine kontinuierliche Erregung zu erlangen, da die Lebensdauer von Excimer als ein Lasermedium sehr kurz ist, und eine Impulserregung, welche intermittierend schnell ansteigende Stromimpulse zuführt (um 10 nsec), wird normalerweise durchgeführt.

[0006] Aus diesem Grund ist die Lebensdauer von Elektroden beim herkömmlichen Excimer-Laserszillatorgerät um ein halbes Jahr kurz.

[0007] Wenn andererseits beispielsweise ein chemischer Sensibilisierungskunstharz unter Verwen-

dung eines Impulsoszillierenden kontinuierlich emittierenden Excimer-Laserszillatorgerätes, welcher eine wiederholende Frequenz von 100 Hz bis 1 kHz bei einer Halbleiterbearbeitungsverarbeitung hat, verwendet wird, ist die Lebensdauer eines Linsenmaterials und eines reflektionsfreien mehrschichtigen Films auf der Oberfläche des Linsenmaterials sehr kurz.

[0008] Ein solches Problem wird im folgenden detailliert erläutert.

[0009] Die Empfindlichkeit des chemisch empfindlichen Kunstharzes beträgt ungefähr 20 mJ/cm². Somit erfordert ein Licht von 0,1 W/cm² eine Belichtungszeit von 0,2 sec. Andererseits erfordert ein Licht von 1 W/cm² eine Belichtungszeit von 0,02 sec. In Anbetracht beträchtlicher Verluste im optischen System genügt eine optische Ausgabe von ungefähr 10 W.

[0010] Bei einer heute verwendeten Impulsemmission (1 kHz) wird Impulslicht von ungefähr 10 nsec ungefähr 1000 mal pro Sekunde erzeugt. Wenn die Belichtungszeit 0,2 sec beträgt, werden 200 Impulse und 20 mJ/cm² erfordert. Angenommen, dass eine Energie aufgrund von Verlusten des optischen Systems auf 1/100 abfällt, wird die Emissionsintensität I₀ von jedem Impuls in Betracht des in Fig. 31 gezeigten Tastverhältnisses wie folgt beschrieben:

$$I_0 \text{ (Watt)} \times 10 \text{ (nsec)} \times 2 \times 10^2 \text{ (Impulsen)} \times 10^{-2} \text{ (Effizienz)} = 2 \times 10^{-2} \text{ (Joule)}$$

$$I_0 = 2 \times 10^{-2} / 10^{-8} \times 2 \\ = 1 \times 10^6 \text{ (Watt)}$$

[0011] Wenn eine konstante optische Ausgabe für 10 nsec erhalten werden kann, wird ein Impulslicht von 1 MW erhalten. In der Praxis wird ein in Fig. 32 gezeigtes Impulslicht erhalten.

[0012] In der Praxis hat die Intensität von Lichtimpulsen eine Spitzenleistung, welche sich im Bereich von 2–3 MW bewegt, da das Impulslicht eine in Fig. 32 gezeigte Impulswellenform hat. Da ein kurzwelliges Licht von mehreren MW intermittierend einfällt, ist die Haltbarkeitsanforderung des Linsenmaterials und des reflektionsfreien mehrschichtigen Films auf seiner Oberfläche sehr streng.

[0013] Im Zeitraum einer Excimer-Laserlithographie wird eine Schritt- und Wiederholungsbelichtung nicht simultan durchgeführt, sondern es wird eine Abtastungsbelichtung durch Abtasten eines Spiegels oder einer Linse durchgeführt. Wenn ungefähr 1000 Lichtimpulse pro Sekunde erzeugt werden und die Belichtungszeit 0,2 sec beträgt, können nur ungefähr 200 Impulse pro Belichtung verwendet werden. Wenn beispielsweise ein 25 × 35 mm² Bereich gleich-

förmig zu belichten ist, muss die relative Beziehung zwischen dem Abtastmechanismus des Spiegels oder der Linse und den Lichtimpulsen sehr strikt gesteuert werden, und ein sehr kompliziertes Steuersystem ist in optischen Elementen erforderlich. Zusätzlich schwanken derzeit die Lichtimpulsabgaben um ungefähr 10%. Aus diesem Grund muss der Spiegel- oder das Linsenabtaststeuersystem unweigerlich sehr kompliziert erstellt werden, welches zu einem komplizierten, teuren Excimer-Laserbelichtungsgerät führt.

[0014] Darüber hinaus hat das herkömmliche Excimer-Laserszillatorgerät ebenfalls das folgende Problem. Das heißt, da ein KrF Laser und ein ArF Laser aus Excimer-Lasern hochreaktives Fluorgas als ein Lasergas verwenden, ist die Konzentration an Fluor in der Laserkammer, welche das Lasergas speichert und Entladeenergie an das Gas abgibt, gering. In Betracht dessen wird die der Laserkammer zugeführte Spannung so angehoben, dass eine vorbestimmte Ausgabe erhalten wird. Wenn es schwierig wird sogar durch eine solche Steuerung die vorbestimmte Ausgabe zu erhalten, wird die Oszillation unterbrochen, und Fluorgas wird nachgefüllt. Wenn die Oszillation weiter fortfährt, kann schließlich die vorbestimmte Laserausgabe nicht erhalten werden, sogar durch Nachfüllen von Fluor, und die Laserkammer muss in einem solchen Zustand ausgetauscht werden.

[0015] Im Falle eines Excimer-Laseremissionsgerätes, welches Licht bei ungefähr mehreren 10 nsec durch Entladung unter Verwendung von Spannungsimpulsen emittiert, ist, da die Emissionszeit zu kurz ist, die halbe Breite der Wellenlänge des Lichtemissionsspektrums von ausgehendem Licht ungefähr 300 pm breit. Aus diesem Grund kann eine Wellenlänge halber Breite von 1 pm oder weniger durch Monochromatisieren unter Verwendung eines schmalbandigen Moduls, wie zum Beispiel ein Gitter od. dgl., erhalten werden.

[0016] Bei bestehenden Techniken muss Fluorgas an bestimmten Intervallen nachgefüllt werden, und eine Oszillation muss unter Erhöhen der angelegten Spannung getätigt werden. Mit anderen Worten nimmt die Menge an Fluorgas aufgrund einer Reaktion, beispielsweise mit der Kammerinnenoberfläche, ab, wenn die Zeit verstreicht. Daher ist die Lebensdauer der Laserkammer nicht zufriedenstellend, und insbesondere wenn ein Laser für eine lange Zeitperiode zum Bearbeiten von Gegenständen verwendet wird, ist die Lebensdauer der Kammer ein wichtiger Faktor zum Verbessern des Herstellungsdurchsatzes von bearbeiteten Gegenständen.

[0017] Eine Wellenlänge halber Breite von 1 pm oder weniger kann derzeit durch Monochromatisieren unter Verwendung eines Schmalbandmoduls,

wie zum Beispiel ein Gitter od. dgl., erhalten werden. Jedoch nimmt die Emissionsintensität ausgehenden Lichts aufgrund einer schmalen Bandbreite unter Verwendung eines Gitters od. dgl. ab, und eine solche Intensitätsabnahme stört eine Verbesserung des Herstellungsdurchsatzes von bearbeiteten Gegenständen sehr.

ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

[0018] Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein kontinuierlich emittierendes Excimer-Laserszillatorgerät und ein Verfahren dazu, und ein Belichtungsgerät, welches das kontinuierlich emittierende Excimer-Laserszillatorgerät enthält, bereitzustellen.

[0019] In einem ersten Aspekt stellt die vorliegende Erfindung ein Excimer-Laserszillatorgerät bereit, wie in Anspruch 1 bestimmt, enthaltend: eine Laserkammer zum Speichern eines Lasergases, welches eine Gasmischung aus F_2 Gas und mindestens einem Edelgas enthält, welches aus der Gruppe ausgewählt ist, welche aus Kr, Ar und Ne zusammengesetzt ist, eine Innenoberfläche, welche einen Reflektionsgrad von 50% oder weniger in Bezug auf Licht einer gewünschten Wellenlänge von 248 nm, 193 nm oder 157 nm hat, wobei die Innenoberfläche aus einem Fluorid gemacht ist, welches in Bezug auf F_2 beständig ist; einen optischen Resonator, welcher aus einem Paar von Reflektionsspiegeln gemacht ist, welche mit der Laserkammer so angeordnet sind, dass diese dazwischen eingeschoben ist, und bei welchen ein Reflektionsgrad des Reflektionsspiegels an einer Ausgangsseite nicht geringer als 90% ist; und ein Mikrowelleneinführungsmittel, welches an der Laserkammer angeordnet ist, um das Lasergas in der Laserkammer kontinuierlich anzuregen.

[0020] In einem zweiten Aspekt stellt die vorliegende Erfindung ein Excimer-Laserszillator-Verfahren wie in Anspruch 28 bestimmt bereit, die Schritte enthaltend: Kontinuierliches Zuführen eines Lasergases, welches eine Gasmischung aus F_2 Gas und mindestens einem Edelgas enthält, welches aus der Gruppe ausgewählt ist, welche sich aus Kr, Ar und Ne zusammensetzt, in eine Laserkammer, wobei eine Innenoberfläche dieser einen Reflektionsgrad von 50% oder weniger in Bezug auf Licht einer gewünschten Wellenlänge von 248 nm, 193 nm oder 157 nm hat, wobei die Innenoberfläche sich aus einem Fluorid zusammensetzt, welches in Bezug auf F_2 beständig ist; Kontinuierliches Anregen des Lasergases in der Laserkammer durch Einführen einer Mikrowelle in die Laserkammer; und Resonanzanregung von durch das angeregte Laser-gas emittierten Lichts durch ein Paar von Reflektionsspiegel (5, 6), wobei ein Reflektionsgrad des Reflek-

tionsspiegels auf einer Ausgangsseite nicht geringer als 90% ist.

[0021] In einem dritten Aspekt stellt die vorliegende Erfindung gemäß Anspruch 40 ein Belichtungsgerät bereit, enthaltend:

- (A) ein Excimer-Lasersoszillatorgerät (A1) wie oben beschrieben;
- (B) ein optisches Illuminationssystem zum Illuminieren einer Strichplatte, welche mit einem Muster ausgebildet ist, durch Licht, welches vom Excimer-Lasersoszillatorgerät ausgegeben wird;
- (C) ein optisches Abbildungssystem zum Abbilden von Licht, welches von der Strichplatte auf einen Wafer kommt; und
- (D) ein bewegbares Gestell, auf welchem der Wafer angeordnet ist, und welches den Wafer trägt.

[0022] In einem vierten Aspekt stellt die vorliegende Erfindung gemäß Anspruch 41 eine Laserröhre bereit, welche ein Lasergas speichert, welches eine Gasmischung aus F_2 Gas und mindestens einem Edelgas enthält, welches aus der Gruppe ausgewählt ist, welche aus Kr, Ar und Ne zusammengesetzt ist, enthaltend:

eine Laserröhren Innenoberfläche, welche einen Reflektionsgrad von 50% oder weniger in Bezug auf Licht einer gewünschten Wellenlänge von 248 nm, 193 nm oder 157 nm hat, wobei die Innenoberfläche aus einem Fluorid zusammengesetzt, welches in Bezug auf F_2 beständig; und eine Isolierplatte zum Einführen einer Mikrowelle in die Laserröhre.

[0023] Ein fünfter Aspekt der vorliegenden Erfindung betrifft ein Verfahren zum Überziehen von Metall, Kunstharz, Glas, Keramik oder Halbleitermaterial gemäß Anspruch 42.

[0024] Eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung stellt ein Excimer-Lasersoszillatorgerät und ein Verfahren dazu bereit, welches eine schmale Bandbreite realisieren kann, während die Intensität ausgehenden Lichtes erhöht wird.

[0025] Eine weitere Ausführungsform der vorliegenden Erfindung stellt ein Belichtungsgerät bereit, welches ein Spektrum mit einer schmalen Wellenlängenbreite realisieren kann, ohne irgendein Schmalbandmodul zu verwenden, ein kompaktes, einfaches Gerät realisieren kann, die Belastung auf das Linsenmaterial und deren Oberfläche reduzieren kann, den Spiegel oder das Laserabtast-Steuersystem vereinfachen kann, und zufriedenstellend in der Massenproduktion verwendet wird, da die Lebensdauer des Excimer-Lasers genügend verlängert werden kann.

[0026] Details der vorliegenden Erfindung werden aus den unten zu beschreibenden Ausführungsformen deutlich.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0027] Fig. 1 ist eine schematische Ansicht, welche ein Gaszuführsystem an eine Laserkammer zeigt;

[0028] Fig. 2 zeigt die Reaktionsformeln eines Excimers;

[0029] Fig. 3A, 3B und 3C sind Teilansichten, welche Beispiele der Formen einer Laserröhre zeigen;

[0030] Fig. 4A und 4B sind Teilansichten, welche weitere Beispiele der Formen der Laserröhre zeigen;

[0031] Fig. 5 ist eine perspektivische Ansicht, welche die Lücke zwischen dem Anschlußende eines Wellenleiters und einer Isolierplatte zeigt;

[0032] Fig. 6A und 6B sind Teilansichten, welche den Spalt zwischen dem Anschlußende des Wellenleiters und der Isolierplatte zeigen;

[0033] Fig. 7 ist eine perspektivische Ansicht, welche das Anlegen eines magnetischen Feldes zeigt;

[0034] Fig. 8A und 8B sind jeweils eine Querschnittsansicht und eine 8B-8B Schnittansicht eines Beispiels eines kontinuierlich emittierenden Excimer-Lasersoszillatorgerätes, welches eine Mikrowellenzuführvorrichtung hat;

[0035] Fig. 9A, 9B und 9C sind Unteransichten eines Wellenleiters **1** in Fig. 8A und 8B;

[0036] Fig. 10A und 10B sind jeweils eine Querschnittsansicht und eine 10B-10B Schnittansicht eines kontinuierlich emittierenden Excimer-Lasersoszillatorgerätes, welches eine Mikrowellenzuführvorrichtung hat;

[0037] Fig. 11A und 11B sind Querschnittsansichten eines kontinuierlich emittierenden Excimer-Lasersoszillatorgerätes, welches eine Mikrowellenzuführvorrichtung hat;

[0038] Fig. 12A und 12B sind Querschnittsansichten eines weiteren kontinuierlich emittierenden Excimer-Lasersoszillatorgerätes, welches eine Mikrowellenzuführvorrichtung hat;

[0039] Fig. 13 ist eine Querschnittsansicht eines kontinuierlich emittierenden Excimer-Lasersoszillatorgerätes, welches eine Mikrowellenzuführvorrichtung hat;

[0040] Fig. 14 ist eine Querschnittsansicht eines kontinuierlich emittierenden Excimer-Lasersoszillatorgerätes, welches eine Mikrowellenzuführvorrichtung hat;

[0041] Fig. 15A und 15B sind Kurvenverläufe, welche Änderungen im Strahlspottradius zeigen;

[0042] Fig. 16A und 16B sind Schnittansichten eines Laseroszillatorgerätes;

[0043] Fig. 17A und 17B sind Schnittansichten eines Laseroszillatorgerätes;

[0044] Fig. 18A, 18B und 18C sind schematische Ansichten, welche die Umgebungen eines Schlitzabschnittes zeigen;

[0045] Fig. 19 ist eine Schnittansicht, welche ein Beispiel eines Schlitzwellenleiters zeigt;

[0046] Fig. 20A und 20B sind Draufsichten, welche ein Beispiel der Schlitzform zeigen;

[0047] Fig. 21A und 21B sind Schnittansichten eines Excimer-Laser oszillatorgerätes gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

[0048] Fig. 22A und 22B sind Querschnittsansichten eines weiteren kontinuierlich emittierenden Excimer-Laseroszillatorgerätes, welches eine Mikrowellenzuführvorrichtung hat;

[0049] Fig. 23A und 23B sind Schnittansichten eines Excimer- Laseroszillatorgerätes gemäß einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

[0050] Fig. 24A und 24B sind jeweils eine Vorderansicht und eine Seitenansicht eines Resonators, welcher ein Reflektionsvermögen von 100% an beiden Enden unter Verwendung von Prismen einstellt;

[0051] Fig. 25A, 25B und 25C sind Seitenansichten, welche Modifikationen von Fig. 24A und 24B zeigen;

[0052] Fig. 26 ist eine schematische Ansicht eines Excimer-Laserbelichtungsgerätes;

[0053] Fig. 27 ist ein schematisches Schaubild eines Excimer-Lasers gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

[0054] Fig. 28 ist ein Kurvenverlauf, welcher eine Gewinnkurve im Excimer-Laser gemäß der Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zeigt;

[0055] Fig. 29 zeigt eine Seitenansicht und eine Vorderansicht eines Excimer-Laseroszillatorgerätes gemäß einer Ausführungsform; und

[0056] Fig. 30 ist eine Schnittansicht, welche den Siegelaufbau zwischen einer Lichtreflektionsplatte und einer Laserröhre (Metallzylinder) im Excimer-La-

seroszillatorgerät gemäß der Ausführungsform zeigt.

[0057] Fig. 31 ist eine schematische Ansicht, welche einen Impulszustand zeigt.

[0058] Fig. 32 ist eine schematische Ansicht, welche einen tatsächlichen Impulszustand zeigt.

GENAUE BESCHREIBUNG DER BEVORZUGTEN AUSFÜHRUNGSFORMEN

[0059] Die Wirkungen der vorliegenden Erfindung werden hiernach zusammen mit Wissen und Ausführungsformen, welche nach Vollendung der Erfindung erhalten wurden, erläutert.

[0060] Bei der vorliegenden Erfindung kann, da eine kontinuierliche Emission gemacht wird, der Bedarf zum Steuern der relativen Beziehung zwischen dem Abtastmechanismus des Spiegels oder der Linse und der Impulse verhindert werden, und die Steuerung des optischen Systems kann sehr einfach sein.

[0061] Wie durch die vorliegenden Erfinder analysiert wurde, reicht eine Ausgabe von ungefähr 10 W in Anbetracht der Lichtverluste in dem optischen System aus, und die Lebensdauer des Linsenmaterials und dessen Oberfläche kann verlängert werden, da Licht von 0,1 W/cm² einer Belichtungszeit von 0,2 sec bedarf und Licht von 1 W/cm² einer Belichtungszeit von 0,02 sec bedarf.

[0062] Ferner können die folgenden Effekte erlangt werden.

[0063] Zunächst werden Beschädigungen des optischen Materials, wie zum Beispiel Glas, reduziert. Ein normaler Excimer-Laser, wie beispielsweise ein KrF Laser, ArF Laser od. dgl., erzeugt Impulsemissionen, welche 10–20 nsec kurz sind, während die Wiederholfrequenz des Impulses ungefähr 1000 Hz beträgt. Demgemäß ist die Spitze der Lichtintensität dieses Impulses 10.000-fach oder höher als die, welche durch kontinuierliche Emission bei einer identischen Intensität erhalten wird, unbeachtet der Effizienz des optischen Systems. Der Hauptgrund von Beschädigungen des Materials im Excimerbereich liegt in der 2-Photonen Absorption begründet, und optische Schäden beim bestehenden Excimer-Laser, welche proportional zum Quadrat der Spitzenintensität von Licht sind, sind mindestens 10⁸-fach strikter als jene bei einer kontinuierlichen Emission. Die Haltbarkeit des Glasmaterials wirft ein Problem beim ArF-Bereich aufgrund der oben erwähnten Gründe auf. Somit kann eine Realisierung einer kontinuierlich emittierenden Lichtquelle Materialprobleme im ultravioletten Bereich als auch dem ArF-Bereich lösen.

[0064] Zweitens kann eine Erzeugen von Tupfern (speckles), als ein dem Licht zugehöriges Phänomen

in einem Schmalband, einfach unterdrückt werden. Im Falle einer Impulsemmission müssen, um Tupfer als zufällige Interferenzränder wirksam zu entfernen, die Lichtemissionszeitpunkte der einzelnen Impulse und ein bekanntes Tupferentfernungsmittel mit hoher Genauigkeit synchronisiert werden. Im Gegensatz dazu erfordert eine kontinuierliche Oszillation keine jegliche speziellen Synchronisationsmittel, und Tupfer können durch ein bekanntes, einfaches Mittel, wie zum Beispiel eine Drehdiffusionsplatte, einfach entfernt werden. Aus diesem Grund kann die Anordnung des optischen Systems vereinfacht werden, und eine Kostenreduktion kann wirksam erlangt werden.

[0065] Drittens ist eine Steuerung einer Belichtungsmenge einfach. Wenn eine diskrete Belichtung, wie zum Beispiel eine Impulsemmission, durchgeführt wird, hängt die minimale Einheit einer Belichtungsmengensteuerung grundlegend von der Anzahl an Impulsen ab, obwohl sie ebenfalls von der Steuerbarkeit der Belichtungsmenge pro Impuls abhängt. Wenn eine Belichtung bei einer Gesamtheit von 100 Impulsen erlangt wird, ist die nächste Einheit 99 Impulse oder 101 Impulse, und die Steuergenauigkeit beträgt $\pm 1\%$. Natürlich wurden unterschiedliche Mittel zum Steuern des einen letzten Impulses vorgeschlagen, jedoch ist eine feinere Belichtungsmengensteuerung, welche infolge von Diskretheit frei von jeglicher Auflösung ist, vorteilhaft zur Steuerbarkeit oder zum Steuern. Wenn die Linienbreite abnimmt, wird eine striktere Belichtungsmengensteuerung erforderlich. Unter solchen Umständen ist die Wirkung der kontinuierlichen Emissionslichtquelle enorm.

[0066] Wie oben beschrieben, ist es herkömmlicherweise bei einem Excimer-Laser unmöglich, eine kontinuierliche Emission zu erlangen, da die Energiepegel im Excimerzustand eine kurze Lebensdauer haben, und Atome nicht für eine bestimmte Zeitperiode an dem angeregten Pegel aufrechterhalten werden können, und somit eine in der Zeit schnell ansteigende Impulserregung durchgeführt werden muss.

[0067] Bei der vorliegenden Erfindung ist die Innenoberfläche einer Laserkammer zum Speichern eines Lasergases aus einer reflektionsfreien Oberfläche mit Bezug auf Licht, welches gewünschte Wellenlängen, wie beispielsweise 248 nm, 293 nm und 157 nm hat, gemacht.

[0068] Der Grund dafür, warum die Innenoberfläche der Laserkammer aus der reflektionsfreien Oberfläche gemacht ist, liegt darin, um spontan emittiertes Licht daran zu hindern, durch die Innenoberfläche der Laserkammer reflektiert zu werden und zum Gas zurückzukehren, um KrF^+ oder ArF^+ vom angeregten Zustand zum Grundzustand zu überführen.

[0069] Es ist zu bemerken, dass die reflektionsfreie Oberfläche nicht immer einen 100%-igen Transmissi-

onsfaktor oder Absorptionsvermögen zu haben braucht, sondern ein bestimmtes Reflektionsvermögen haben kann. In diesem Fall ist das Reflektionsvermögen vorzugsweise 50% oder weniger, mehr bevorzugt 20% oder weniger und am meisten bevorzugt 5% oder weniger. Das heißt, dass das Reflektionsvermögen geeigneter Weise ausgewählt werden kann, so dass ein gleichförmiger Laserstrahl nach Verbinden mit einem tatsächlichen Gerät erhalten werden kann.

[0070] Um ferner zu verhindern, dass sich F_2 aufgrund einer Reaktion mit der Laserkammer in der Menge verringert, ist die Innenoberfläche der Laserkammer aus einem Fluid zusammengesetzt. Insbesondere wird die Innenoberfläche der Laserkammer durch Ausbilden einer FeF_2 Schicht auf einer Oberfläche aus rostfreiem Stahl, welche bzgl. auf F_2 stabil ist, durch Überziehen von Nickel auf einem Metall und Ausbilden einer NiF_2 Schicht auf der Oberfläche der Nickelüberzogenen Schicht oder durch Ausbilden von AlF_3 und MgF_2 Schichten auf einer Aluminiumlegierung erhalten.

[0071] Bei der vorliegenden Erfindung wird das Reflektionsvermögen eines Reflektionsspiegels auf der Ausgabeseite auf 90% oder höher eingestellt.

[0072] Bei der Anordnung eines normalen Resonators wird ein 100%-iges Reflektionsvermögen auf einer Seite eingestellt, während ein Reflektionsvermögen von ungefähr 10% auf der Ausgabeseite eingestellt wird.

[0073] Die Lasergaszusammensetzung des herkömmlichen KrF^+ Excimer-Lasers ist wie folgt.
 $Kr/Ne/F_2 =$ weniger als 1% : 98% : weniger als 1%

[0074] Die F_2 Konzentration ist 1% oder weniger. Wenn die F_2 -Konzentration zu hoch ist, werden Elektronen durch F absorbiert und werden Anionen, welche zu einer instabilen Entladung führen. Andererseits wird der Druck auf 3–4 atm (1 atm = 101325 Pa) eingestellt. Ein solcher Druck wird eingestellt, um eine niedrige F_2 Konzentration zu kompensieren, und KrF^+ soweit wie möglich zu erzeugen.

[0075] Eine Ausgabe von ungefähr 10 W genügt einer kontinuierlichen Emission. Ein erlaubbarer Gewinn α_2 wird unten abgeschätzt werden.

Laserstrahlintensität im Resonator

[0076] Die meisten Oberpegelexcimer (upper-level excimers) verschwinden durch Kollision, außer wenn der Laser bei einer Intensität betrieben wird, welche so hoch ist, wie ungefähr eine gesättigte Intensität I_s . Die gesättigte Intensität ist eine Intensität, bei welcher ein Gewinn g ein halber Kleinsignalgewinn g_0 wird, und wird wie folgt im Falle des KrF Excimer-La-

sers erhalten (Shuntaro Watabe, „Development and Applied Techniques/Examples of Excimer Laser“):

$$I_s = hv/\sigma \\ = 1,3 \text{ MW/cm}^2$$

h: Plank'sche Konstante $6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$
 v: Frequenz $3 \times 10^8 / 0,248 \times 10^{-6} = 1,2 \times 10^{15}$
 σ : Induzierter Emissionsteilbereich $2 \times 10^{-16} \text{ cm}^2$
 τ : Oberpegel-Haltbarkeit 3 nsec (inklusive Entregung aufgrund von Kollision)

[0077] Die Oberpegellebensdauer τ kann bis auf ein Maximum von einer Emissionslebensdauer (der im freien Raum) erhöht werden. Die Lebensdauer beträgt in diesem Fall 6,7 nsec und die gesättigte Intensität I_s ist:

$$I_s = 0,6 \text{ MW/cm}^2$$

Laserentnahmeeffizienz (Laser Taking Out Efficiency)

[0078] Die Effizienz wird gegeben durch das Verhältnis der Anzahl an Photonen, welche pro Volumeneinheit pro Sekunde entnommen werden, zur Anzahl an erzeugten Excimern. Die Laserentnahmeeffizienz η_{ex} wird erhalten durch:

$$\eta_{ex} = (I/I_s)(1 - (1 + I/I_s) - \alpha_n/g_0)$$

I: Laserstrahlintensität
 I_s : gesättigte Intensität
 α_n : ungesättigter Absorptionskoeffizient
 g_0 : Kleinsignalgewinn

[0079] Da $\alpha_n > 0$ hält sich die folgende Beziehung:

$$\eta_{ex} < (I/I_s)/(1 + I/I_s)$$

[0080] Wenn die Laserstrahlintensität I gleich oder kleiner als I_s ist, hat eine Laseroszillation eine geringe Effizienz. Wenn beispielsweise die Laserstrahlintensität I im Resonator 500 W/cm^2 beträgt, ist die Effizienz η_{ex} :

$$\eta_{ex} = 1/2600 \text{ oder weniger}$$

(Die Laserentnahmeeffizienz η_{ex} ist sehr klein)

[0081] Demgemäss ist, um eine effiziente Laseroszillation zu erlangen, eine gesättigte Intensität von ungefähr $1,3 \text{ MW/cm}^2$ erforderlich.

[0082] Die bevorzugten Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung werden unten beschrieben.

Lasergas

[0083] Bei der vorliegenden Erfindung besteht das

Lasergas als ein Lasermedium aus einer Gas Mischung aus mindestens einem Edelgas, welches aus der Gruppe bestehend aus Kr, Ar und Ne ausgewählt ist, und aus F_2 Gas.

[0084] Aus diesen Gasen können unterschiedliche Gase geeigneter Weise in Übereinstimmung mit der zu verwendenden Wellenlänge kombiniert werden. Wenn beispielsweise die Wellenlänge 248 nm ist, wird eine Kombination aus Kr/Ne/ F_2 verwendet, wenn sie 189 nm beträgt aus Ar/Ne/ F_2 ; wenn sie 157 nm beträgt aus Ne/ F_2 .

[0085] Bei der vorliegenden Erfindung ist es vorteilhaft, kontinuierlich das Lasergas in die Laserkammer zuzuführen. **Fig. 1** zeigt ein Beispiel des Lasergaszuführsystems, welches eine solche Gaszuführung erlangen kann.

[0086] In **Fig. 1** werden Gaseinlassöffnungen **21a** und **21b** an beiden Enden einer Laserkammer **20** ausgebildet, und eine Gasauslassöffnung **22** wird im wesentlichen im Zentrum der Laserkammer **20** ausgebildet. Es ist zu bemerken, dass die Gasauslassöffnung mit einer Vakuumpumpe od. dgl., wie benötigt, verbunden werden kann. Das Lasergas wird von den Gaseinlassöffnungen **21a** und **21b** an beiden Enden bei gleichen Flussraten zugeführt, und wird von der Gasauslassöffnung **22**, welche im wesentlichen im Zentrum der Kammer ausgebildet ist, abgegeben. Dies ist so, weil ein solcher Öffnungsaufbau ebenfalls dazu dient, die Oberfläche von einer Lichtreflektionsplatte an dem Ausgabeende zu schützen. Genauer gesagt wird sie niemals mit F_2 und F^+ reagieren, da die oberste Oberfläche der Lichtreflektionsplatte mit einem dünnen Film, beispielsweise einem Fluoridfilm, beschichtet ist. Andererseits haben die Gaseinlassöffnungen **21a** und **21b** und die Gasauslassöffnung **22** vorzugsweise eine schlitzförmige Form in der Richtung, in welcher Mikrowellenströme fließen.

[0087] Ebenfalls sind in **Fig. 1** Ventile **25a**, **25b**, **26**, **27a** und **27b** jeweils mit den Öffnungen **21a**, **21b** und **22** verbunden. Wenn das Lasergas anfänglich zugeführt wird, werden die Ventile **25a** und **27a** geschlossen, und die Ventile **25b** und **27b** werden geöffnet, um das Innere von Röhren von Lasergasquellen in den Umgebungen der Ventile **25a** und **27a** zu reinigen. Nach der Röhrenreinigung werden die Ventile **25a** und **27b** geschlossen, und das Ventil **26** wird geöffnet, um das Lasergas in die Laserkammer **20** zuzuführen. Sobald das Innere der Laserkammer **20** gereinigt ist, fährt das Lasergas damit fort zugeführt zu werden, um eine Laseroszillation zu beginnen. Wenn natürlich ein Reinigen od. dgl. nicht erforderlich ist, brauchen die Ventile nicht angeordnet zu werden. In **Fig. 1** steuern Mengenflußsteuerer (MFCs) oder Druckflußsteuerer (PFCs) **28** die Flussraten. Bei der vorliegenden Erfindung werden die PFCs bevorzugt. Es werden Filter **29** mit den PFCs **28** verbunden.

[0088] Bei der vorliegenden Erfindung fällt, um eine stabile kontinuierliche Oszillation zu erhalten, die F_2 Konzentration im Lasergas innerhalb des Bereiches von 0,1 Atom% bis 6 Atom%, und fällt vorzugsweise innerhalb des Bereiches von 1 bis 6 Atom%. Weiter bevorzugt fällt die F_2 Konzentration innerhalb des Bereiches von 4 bis 6 Atom%.

[0089] Der Lasergasdruck fällt vorzugsweise innerhalb des Bereiches von 10 Torr bis 1 atm (1 Torr = 133,32 Pa), und weiter bevorzugt auf 50 Torr bis 1 atm. Das heißt, dass bei der vorliegenden Erfindung eine stabile Entladung sogar bei einem solch niedrigen Druck erhalten werden kann, und eine stabile kontinuierliche Oszillation und kontinuierliche Emission können erhalten werden. Bei der herkömmlichen Technik fällt der Lasergasdruck innerhalb des Bereiches von 3–4 atm. Bei der herkömmlichen Technik muss, wenn die F_2 Konzentration erhöht wird, da F_2 zu F^- wird und Elektronen verschwinden, welches zu einer instabilen Entladung führt, die F_2 Konzentration unweigerlich auf 1% oder weniger eingestellt werden (noch weniger als die in der Praxis), und der Druck muss unweigerlich auf 3–4 atm eingestellt werden, um eine solch niedrige Konzentration zu kompensieren. Jedoch wird bei der vorliegenden Erfindung eine stabile Entladung durch Mikrowellen erhalten, sogar wenn die F_2 Konzentration erhöht wird, und somit braucht der Gasdruck nicht erhöht zu werden, um die niedrige F_2 Konzentration zu kompensieren. Natürlich kann der Druck erhöht werden, wenn er aus einigen Gründen bedarf erhöht zu werden.

[0090] Fig. 2 zeigt Reaktionsformeln und Reaktionen, welche in einer Laserröhre eines KrF Excimer-Lasers stattfinden. In Fig. 2 sollte Reaktion (3) erwähnt werden. Wie aus (3) gesehen werden kann, werden F^- und F_2 benötigt, um KrF^+ Excimer zu erzeugen. Andererseits kann anhand von (4) gesehen werden, dass sich Excimer, welche Licht emittiert haben, in Edelgasatome (Kr) und Halogenatome (F) im Grundzustand getrennt haben, jedoch niemals F_2 oder F^- werden, welche direkt zur KrF^+ Excimererzeugung benötigt werden.

[0091] Zusätzlich ist eine Reaktion (5), bei welcher Halogenatome (F) Halogenmoleküle (F_2) erzeugen, sehr langsam.

[0092] Aus dem obigen Ergebnis ist es wichtig, Halogenatome zu substituieren, welche Licht in einem Entladerraum emittiert haben, und zum Grundzustand mit Halogenionen (F^-) und Halogenmolekülen F_2 zurückgekehrt sind.

Laserröhre

[0093] Eine Laserröhre **40** (Fig. 3A, 3B und 3C und Fig. 4A und 4B) ist eine Röhre, welche die Laserkammer zusammensetzt, und einen Fensterabschnitt **44**

zum Einführen von Mikrowellen hat. Die Laserröhre **40** ist an ihrer Fensterabschnittsseite **44** mit einem Wellenleiter **42** verbunden. Das Innere der Laserröhre **40** und das des Wellenleiters **42** sind versiegelt, und die Versiegelung wird durch Anordnen einer Isolierplatte **41** am Fensterabschnitt **44** der Laserröhre **40** bereitgestellt. Die Isolierplatte **41** wird später beschrieben werden.

[0094] Die Schnittform des Anschlußendes eines Plasmaerregungsabschnittes, d. h. die Schnittform der Laserröhre **40**, welche die Laserkammer zusammensetzt, kann eine beinahe halbzyklindrische Form (oder halbelliptische Form) (Fig. 3A), eine zylindrische Form (Fig. 3B), eine elliptische Form (Fig. 3C), und dergleichen sein, wie in Fig. 3A, 3B und 3C gezeigt.

[0095] Ferner ist eine in Fig. 4A gezeigte elliptische Form am meisten bevorzugt. Die Nebenachsenrichtung dieser Ellipse stimmt mit der Einführungsrichtung von Mikrowellen überein. Daher können im Falle der in Fig. 4A gezeigten Schnittform Mikrowellen gleichförmig in das Lasergas als das Lasermedium in der Laserröhre eingeführt werden. Ebenfalls kann ein Laserstrahl, welcher eine höhere Dichte pro Bereichseinheit hat, erhalten werden, und kann extern ausgegeben werden.

[0096] Darüber hinaus kann der Fensterabschnitt **44** der Laserröhre **40** in Richtung zur Laserröhrenseite **40** hin breiter konisch zulaufen, wie in Fig. 4B gezeigt. Es ist zu bemerken, dass er in Richtung zur Laserröhrenseite **40** hin schmaler konisch zulaufen kann.

[0097] Verbindungen zwischen der Laserröhre **40** und dem Wellenleiter **42** können beispielsweise durch versiegeltes Befestigen durch Ausbilden von Flanschabschnitten auf ihnen ausgeführt werden, wie in Fig. 3A, 3B und 3C oder Fig. 4A und 4B gezeigt.

[0098] Bei der vorliegenden Erfindung brauchen keine Teile, wie zum Beispiel Elektroden, innerhalb der Laserröhre **40** angeordnet zu werden. Genauer gesagt brauchen keine Elektroden od. dgl. später in der Laserröhre **40** eingebaut zu werden. Daher kann die Isolierplatte **41** zuvor zur Laserröhre **40** in Abhängigkeit vom Herstellungsprozess befestigt werden. Die Isolierplatte **41** kann beispielsweise durch Schrupfpassung befestigt werden. Im Fall von Fig. 4B kann die Isolierplatte **41** von der Innenseite der Laserröhre **40** her eingebaut werden.

[0099] Es ist zu bemerken, dass die Laserröhre **40** die Laserkammer bildet, und deren äußerste Oberfläche aus einem Fluid besteht, um Reaktionen mit F^- , KrF^+ und ArF^+ zu unterdrücken, wie oben beschrieben.

[0100] Wenn der Hauptkörper der Laserröhre **40** aus einem Metall besteht, kann eine einfache Herstellung sichergestellt und eine Kühleffizienz verbessert werden. Insbesondere um Änderungen in einer optischen Resonatorlänge aufgrund von Temperaturänderungen zu verhindern, wird vorzugsweise ein Metall, welches einen thermischen Expansionskoeffizienten von beinahe Null hat, bevorzugt. Zusätzlich wird ein Metall, wie beispielsweise Kupfer oder Silber, welches einen hohen elektrischen Leitwert hat, vorzugsweise an der Innenoberfläche der Laserröhre ausgebildet, und zwar beispielsweise durch Metallisieren, um eine Dicke zu erhalten, welche mindestens größer ist als die Eindringtiefe von Mikrowellen.

[0101] Als eine bevorzugte Ausführungsform der Isolierplatte **41** wird beispielsweise zumindest die Oberfläche, welche mit dem Plasma in Kontakt kommt (die Oberfläche an der Laserröhren **40** Seite), mit einem mehrschichtigen Film überzogen (beispielsweise SiO_2 , Al_2O_3 , CaF_2 , MgF_2 , LaF_2 Film od. dgl.), und deren oberste Oberfläche wird mit einem dünnen Fluorfilm ausgebildet (beispielsweise CaF_2 , MgF_2 , LaF_2 , oder andere dünne Fluorfilme).

[0102] Ferner muss die Isolierplatte **41** bzgl. ihrer Materialien die folgenden Bedingungen erfüllen: Ihre Materialien haben geringe Verluste bzgl. zugeführter Mikrowellen, sind mechanisch robust, sind unauflöslich in Wasser, usw.

[0103] Die Dicke der Isolierplatte **41** braucht nur ganzzahligen mehrfachen oder im wesentlichen ganzzahligen mehrfachen der halben Wellenlänge (Innenröhrenwellenlänge) von Mikrowellen entsprechen.

Mikrowellen

[0104] Bei der vorliegenden Erfindung werden Mikrowellen als ein Anregungsmittel des Lasergases verwendet. Unter Verwendung der Mikrowellen kann das Lasergas kontinuierlich angeregt werden, und eine kontinuierliche Emission ist ausführbar.

[0105] Als eine Mikrowellenzufuhrquelle kann beispielsweise ein Gyrotron (Markenname) verwendet werden.

[0106] Die Frequenz und elektrische Leistung der Mikrowellen kann angemessen in Abhängigkeit der partiellen Drücke von Bestandteilen von Gasen des Lasergases, und dergleichen, bestimmt werden. Im allgemeinen fällt die Frequenz der Mikrowellen vorzugsweise innerhalb des Bereiches von 1 GHz bis 50 GHz, mehr bevorzugt von 5–40 GHz und am meisten bevorzugt von 20–35 GHz. Die elektrische Leistung der Mikrowellen fällt vorzugsweise innerhalb des Bereiches von mehreren 100 W bis mehreren kW.

[0107] Wenn die Frequenz ω der Anregungsmikrowellen beispielsweise 35 GHz beträgt, beträgt ein Gasdruck, bei welchem die Kollisionsfrequenz ω_c von Elektronen auf Ne Atome, welche durch den Kollisionsabschnittsbereich von Ne, als der Hauptkörper eines Plasmaanregungsgases auf Elektronen bestimmt wird, der Anregungsmikrowellenfrequenz gleicht, 160 Torr.

[0108] In diesem Zustand ist die Plasmaanregungseffizienz, welche auf identische elektrische Leistung basiert, am höchsten.

[0109] Wenn der Gasdruck von Kr/Ne/F_2 (3%/92%/5%) auf den atmosphärischen Druck (760 Torr) eingestellt ist, beträgt die Kollisionsfrequenz ungefähr das 4,5-fache der Frequenz der Anregungsmikrowellen, und Elektronen kollidieren 4,5-fach gegen Ne-Atome während eines Zyklus der Anregungsfrequenz.

[0110] Demgemäß erfüllt dieser Zustand die Resistive-Plasma Bedingung, und die durch die Gleichung unten bestimmte Eindringtiefe gleicht einer Tiefe, bei welcher eine Plasmaanregung effizient stattfindet:

$$\delta = (2/\omega\mu_0\sigma)^{1/2}$$

wobei ω die Mikrowellenwinkelfrequenz ist, μ_0 die magnetische Permeabilität im Vakuum ist, und σ die Plasmaleitfähigkeit ist.

[0111] Wenn die Mikrowellenfrequenz 35 GHz beträgt, der Gasdruck 160 Torr beträgt und die Elektrodendichte 10^{14} cm^{-3} beträgt, haben wir:

$$\omega = 2\pi \times 35 \times 10^9 \text{ [s}^{-1}\text{]}$$

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ [H/m]}$$

$$\sigma = 12,8 \text{ [S}^*\text{m}^{-1}\text{]}$$

[0112] Somit beträgt die Eindringtiefe:

$$\delta = 750 \text{ }\mu\text{m}$$

[0113] Beispielsweise werden Mikrowellen von 35 GHz unter Verwendung eines 5 mm hohen, 10 cm weiten übergroßen Wellenleiters induziert.

[0114] Der Wellenleiterabschnitt und der Plasmaanregungsabschnitt werden hermetisch durch eine Isolierplatte aus beispielsweise SiO_2 , CaF_2 , MgF_2 od. dgl. hermetisch versiegelt. Die Dicke der Isolierplatte wird im wesentlichen auf ganzzahlige Vielfache von einer halben Wellenlänge λ_g der Innenröhre, also in Anbetracht der dielektrischen Konstante der Isolierplatte eingestellt.

[0115] Demgemäß, wenn die Mikrowellenfrequenz

17,5 GHz beträgt, ist die Frequenz gleich der Kollisionsfrequenz bei einem Gasdruck von 80 Torr. Wenn die Plasmafrequenz 35 GHz beträgt, ist die Elektronendichte zu dieser Zeit $5 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$. Wenn ein Gasplasma bei ungefähr atmosphärischem Druck (1 atm) aus einem Gasdruck von 70–80 Torr erzeugt wird, und zwar unter Verwendung einer elektrischen Leistung, welche sich in einem Bereich von 100 W bis 1 kW bei 35 GHz bewegt, können F^+ , KrF^+ und ArF^+ , welche eine Dichte im Bereich von 10^{14} cm^{-3} haben, zuverlässig realisiert werden.

[0116] Nach Zuführen von Mikrowellen enthalten die Oberflächen des Wellenleiters und der Isolierplatte, welche mit dem Plasmaanregungsabschnitt im Kontakt stehen, vorzugsweise eine reflektionsfreie Platte in Bezug auf eine Wellenlänge von 248 nm od. dgl.

[0117] Andererseits kann der Spalt zwischen dem Wellenleiter und der Isolierplatte auf $\lambda/2$ eingestellt werden, wie in Fig. 5 oder 6A gezeigt oder auf $\lambda/4$, wie in Fig. 6B gezeigt. Alternativ kann der Spalt auf $3\lambda/2$ eingestellt werden.

[0118] Es ist zu bemerken, dass das Innere des Wellenleiters vorzugsweise in einen Vakuumzustand gesetzt wird, um eine Entladung zu verhindern. Wenn ein Vakuumgrad von 10^{-4} Torr oder weniger sichergestellt ist, kann eine Entladung verhindert werden.

[0119] Es ist zu bemerken, dass die Innenoberfläche des Wellenleiters **42**, welche in der Nähe des Kontaktabschnittes mit der Laserröhre **40** ist, vorzugsweise eine reflektionsfreie Oberfläche als die Innenoberfläche der Laserröhre **40** enthält. Dies dient dazu, um zu verhindern, dass durch die Innenoberfläche des Wellenleiters **42** reflektiertes Licht in die Laserröhre **40** zurückkehrt.

[0120] Ferner legt ein elektromagnetischer- oder Permanentmagnet vorzugsweise ein elektrisches Feld an, um eine stabile Entladung zu erreichen, wie in Fig. 7 gezeigt.

Mikrowelleneinführungsmittel

[0121] Fig. 8A und 8B bis 14 zeigen Beispiele des Aufbaus des Mikrowelleneinführungsmittels.

[0122] In dem in Fig. 8A und 8B gezeigten Beispiel ist ein Wellenleiter **1**, welcher das Mikrowelleneinführungsmittel bildet, ein Schlitzwellenleiter, welcher eine Vielzahl von Schlitzen S hat. Der Schlitzwellenleiter **1** ist mit der Außenoberfläche der Laserröhre **2** verbunden, so dass er sich in paralleler Richtung zu deren axialen Richtung erstreckt. Eine elektromagnetische Strahlung (Wellen) von mehreren GHz bis zu mehreren 10 GHz wird von einem oberen Abschnitt des Schlitzwellenleiters **1** eingeführt, und verbreitet sich

entlang des Wellenleiters **1** als eine TE_{10} Mode, mit einem zur Seite Lotrecht stehenden elektrischen Feld aus.

[0123] Eine hohe Anzahl an verlängerten Schlitzen S ist an der unteren Oberfläche (Fig. 8A und 8B) des Schlitzwellenleiters **1** ausgebildet, wie in Fig. 9A, 9B und 9C gezeigt, und die elektromagnetische Strahlung wird über die Schlitze S nach außen emittiert, während sie sich entlang des Wellenleiters **1** verbreitet.

[0124] Die von den Schlitzen S emittierte elektromagnetische Strahlung wird über eine dielektrische Platte **3** in die Laserröhre **2** eingeführt, und ionisiert ein Lasergas in der Laserröhre **2** um eine Plasma zu erzeugen. Ein magnetisches Feld Erzeuger **10** enthält einen Permanentmagneten oder Elektromagneten zum Anlegen eines magnetischen Feldes in einer senkrecht zur Laserröhre **2** stehenden Richtung. Als verwendeter Permanentmagnet ist ein Eisen-Vanadium-Magnet oder $\text{Nd}^*\text{Fe}^*\text{B}$ Magnet mit einer starken magnetischen Kraft geeignet.

[0125] Das in die Laserröhre **2** eingeführte magnetische Feld kann Elektronen in dem Plasma einfangen, um Verluste an der Wandoberfläche zu beseitigen, und es kann ein Plasma höherer Dichte erhalten werden. Wenn die magnetische Feldstärke angemessen ausgewählt wird, kann ein Plasma noch höherer Dichte durch eine Elektronzyklonenresonanz erhalten werden.

[0126] Natürlich kann der Bedarf des magnetischen Felderzeugers **10** ausgeschlossen werden, wenn ein Plasma mit einer ausreichend hohen Dichte erhalten wird ohne jegliches magnetisches Feld anzulegen.

[0127] Kr, Ne und F_2 Gase werden beispielsweise zugeführt/abgeführt in/aus die/der Laserröhre **2** über die Gaseinlassöffnungen **8**. Wenn die Gase nach Erzeugung eines Plasmas nicht ausgetauscht zu werden brauchen, da die Gase in der Laserröhre **2** nur umhüllt zu werden brauchen, werden die Gaseinlassöffnungen **8** nicht erfordert. In dem Plasma werden Radikale, wie beispielsweise KrF od. dgl., welche eine Lebensdauer von ungefähr 10 nsec haben, kontinuierlich erzeugt, und emittieren Licht wenn sie sich in Kr und F auflösen. Dieses Licht bringt eine induzierte Emission voran, während es sich in einem optischen Resonator vor- und zurückbewegt, welcher durch einen ausgangsseitigen Spiegel **5** und einen reflektionsseitigen Spiegel **6** gebildet wird, und wird durch induzierte Emission verstärkt. Der ausgangsseitige Spiegel **5** hat ein Reflektionsvermögen von 90% oder höher, und Licht, welches durch diesen ausgangsseitigen Spiegel übertragen wird, wird extern als ein Laserstrahl ausgegeben.

[0128] In dem in Fig. 8A und 8B gezeigten Beispiel

kann eine Aluminiumlegierung als das Material des Laserröhrenhauptkörpers verwendet werden. Um eine Effizienz zu verbessern, wird ein dielektrischer mehrschichtiger Film auf den Innenoberflächen des Laserhauptkörpers und der dielektrischen Platte **3** ausgebildet, so dass das Reflektionsvermögen an der Oszillatorlänge Null ist (reflektionsfrei).

[0129] Um die Laserröhre **2** und den Wellenleiter **1** zu kühlen, können ein Kühlmittel, wie beispielsweise Kühlwasser, Luft, ein N_2 Gas od. dgl. zwischen einer Kühlmittelkammer **7**, welche eine Kühlwassereinlassöffnung **9** hat, und diesen Teilen zugeführt werden. Der Schlitzwellenleiter **1** kann in einen Vakuumzustand gesetzt werden, um eine Entladung darin zu verhindern.

[0130] Fig. 9A, 9B und 9C sind Unteransichten des Schlitzwellenleiters **1**.

[0131] In Fig. 9A sind Schlitze S, welche in einer senkrecht zur Achse des Wellenleiters **1** stehenden Richtung zeigen, bei Abständen angeordnet, welche gleich der Wellenlänge der elektromagnetischen Strahlung im Wellenleiter **1** sind. Die einzelnen Schlitze emittieren phasengleiche linear polarisierte elektromagnetische Wellen, welche in axialer Richtung des Wellenleiters polarisiert sind.

[0132] In Fig. 9B sind Schlitze, welche um 45° zur Achse des Wellenleiters geneigt sind, bei Abständen angeordnet, welche gleich der Wellenlänge der elektromagnetischen Strahlung im Wellenleiter sind. Die einzelnen Schlitze emittieren phasengleiche, linear polarisierte elektromagnetische Wellen, welche in einer um 45° in Bezug auf die axiale Richtung des Wellenleiters geneigten Richtung polarisiert sind.

[0133] In Fig. 9C sind Paare orthogonaler Schlitze, welche um 45° zur Achse des Wellenleiters geneigt sind, bei Abständen angeordnet, welche gleich der Wellenlänge der elektromagnetischen Strahlung in dem Wellenleiter sind. Die einzelnen Schlitze emittieren phasengleiche, zirkularpolarisierte elektromagnetische Wellen.

[0134] Die Länge dieser Schlitze wird in Übereinstimmung mit der elektromagnetischen Strahlungsintensitätsverteilung im Wellenleiter bestimmt, so dass die Intensitäten elektromagnetischer Wellen, welche von den einzelnen Schlitzen emittiert werden, zueinander beinahe gleich sind. Der Winkel der Schlitze und der Abstand zwischen angrenzenden Schlitzen werden nicht auf das oben Beschriebene beschränkt.

[0135] Bei dem in Fig. 10A und 10B gezeigten Aufbau wird eine elektromagnetische Strahlung von mehreren GHz bis zu mehreren 10 GHz vom oberen Abschnitt eines konischen Wellenleiters **11** eingeführt, wird durch einen konischen Abschnitt diver-

giert, und wird dann über die dielektrische Platte **3** in die Laserröhre **2** eingeführt. Bei dem in Fig. 10A und 10B gezeigten Beispiel verbreitet sich die elektromagnetische Strahlung als eine TE_{10} Mode mit einem elektrischen Feld, welches parallel zur Seite verläuft, nahe dem elektromagnetischen Strahlungseinführungsabschnitt des konischen Wellenleiters **11**. Alternativ kann das elektromagnetische Feld Lotrecht zur Seite sein. Weitere Anordnungen sind dieselben wie die in Fig. 8A und 8B gezeigten.

[0136] Fig. 11A und 11B und Fig. 12A und 12B zeigen Beispiele, bei denen Mikrowellen als Oberflächenwellen eingeführt werden. Bei dem in Fig. 11A und 11B gezeigten Aufbau wird eine elektromagnetische Strahlung von mehreren GHz bis zu mehreren 10 GHz von einem oberen Abschnitt eines Wellenleiters **12** mit einem Spalt eingeführt, welche eine zylindrische Einführungsröhre verwendet, und verbreitet sich in der Röhre als eine TE_{10} Mode mit einem zur Seite parallelen elektrischen Feld. Es wird ein elektrisches Feld in der Röhrenachsenrichtung einer Induktionsröhre **14** von einem Spaltabschnitt des Wellenleiters **12** mit dem Spalt angelegt. Die eingeführten Mikrowellen werden Oberflächenwellen, welche sich vom Spaltabschnitt in die rechte und linke Röhrenachsenrichtung in der Induktionsröhre **14** verbreiten. Elektronen im Plasma werden durch das elektrische Feld der Oberflächenwelle beschleunigt, wodurch ein Plasma hoher Dichte aufrechterhalten wird.

[0137] Da Oberflächenwellen, welche sich nur langsam abschwächen und eine identische Mode haben, sich vom zentralen Abschnitt der Laserröhre aus verbreiten, wird keine lokale Intensitätsverbreitung des elektrischen Feldes der Mikrowelle ausgebildet. Demgemäß kann ein Plasma mit hoher Dichte effizient erzeugt werden, da eine gleichförmige Plasmaanregung auf der Plasmaoberfläche stattfindet. Da das elektrische Feld der Mikrowelle nur auf dem Spaltabschnitt alleine angelegt zu werden braucht, ist die Mikrowellenschaltung sehr einfach. Dieses Plasmaerzeugungsverfahren ist am besten geeignet zum Oszillieren eines dünnen Lasers, da ein langes, hochdichtes Plasma, welches mehrere Millimeter dünn ist, effizient erzeugt werden kann. Bei dem in Fig. 11A und 11B gezeigten Beispiel besteht die Einführungsröhre **14** aus CaF_2 . Eine bewegbare Kurzschlussplatte **13** wird angeordnet, um eine Reflektion auf einen elektromagnetischen Strahlungserzeuger durch Einstellen der Kurzschlussposition zu unterdrücken, braucht jedoch nicht bewegbar zu sein. Wenn die Frequenz der elektromagnetischen Strahlung hoch ist, und der Wellenleiter eine genügend kleine Ausmaße hat, wird der Spaltabschnitt des Wellenleiters nicht erfordert. Der Erzeuger **10** des magnetischen Feldes enthält einen Permanentmagneten oder Elektromagneten und erzeugt ein magnetisches Feld in Richtung der Röhrenachse der Induktionsröhre **14**. Weitere Anordnungen sind dieselben wie die in

Fig. 8A und 8B.

[0138] Fig. 12A und 12B zeigen ein Beispiel, bei welchem eine Induktionsplatte **14a** verwendet wird. Dieser Aufbau ist derselbe wie jener, welcher eine zylindrische Induktionsröhre im Prinzip verwendet, und ist geeignet zur Erzeugung eines breiten, dünnen Plasmas. Da der Abschnitt unterhalb des Plasmas nicht zur Plasmaerzeugung beiträgt, ist ein Gasfluss mit hoher Geschwindigkeit in einer zur Laserröhrenachse senkrechten Richtung in diesem Abschnitt einfach zu erhalten.

[0139] Bei dem in Fig. 13 gezeigten Aufbau wird eine elektromagnetische Strahlung von mehreren GHz bis hin zu mehreren 10 GHz von einem oberen Abschnitt eines coaxialen Umwandlungswellenleiters **16** eingeführt, und verbreitet sich in der Röhre als eine TE₁₀ Mode mit einem zur Seite parallelen elektrischen Feld. Diese elektromagnetische Strahlung verbreitet sich, während sich ihre Mode zur elektromagnetischen Strahlung in die rechte und linke Richtung ändert, welche sich zwischen einer Abschirmplatte **15** und dem Plasma in der Induktionsröhre **14** verbreitet. Ein Plasma hoher Dichte wird durch RF Ströme erzeugt, welche auf der Plasmaoberfläche fließen. Weitere Anordnungen sind dieselben wie die in Fig. 8A und 8B bis 12A und 12B gezeigten.

[0140] Bei dem in Fig. 14 gezeigten Aufbau wird eine elektromagnetische Strahlung von mehreren GHz bis zu mehreren 10 GHz vom oberen Abschnitt des coaxialen Umwandlungswellenleiters **16** aus eingeführt, und verbreitet sich in der Röhre als eine TE Mode mit einem zur Seite parallelen elektrischen Feld. Diese elektromagnetische Strahlung verbreitet sich, während sich ihre Mode zur elektromagnetischen Strahlung in die rechte Richtung ändert, welche sich zwischen der Abschirmplatte **15** und dem Plasma in der Induktionsröhre **14** verbreitet. Weitere Anordnungen sind dieselben wie die in Fig. 13.

Form eines Mikrowelleneinführungsmittels, usw.

[0141] Bei einem stetigen Resonator wird eine bestimmte Permanent-Mode ausgebildet, und eine Mode, welche den kleinsten Strahlpunktradius hat, ist die TEM₀₀-Mode (Grundtyp), welche eine Gausverteilung hat. Um einen Resonator aufzubauen, wird ein Raum, welcher zumindest den Grundtyp ohne irgendwelche Verluste verbreiten kann, erfordert. Der Strahlpunktradius des Grundtyps wird durch die Wellenlänge des Laserstrahls, die Länge des Resonators und den Krümmungsradius des Spiegels des Resonators bestimmt, und kann ausgedrückt werden durch L: die Resonatorlänge, R: der Krümmungsradius des Spiegels, und einen g Parameter ($g = 1 - L/R$), wie in Fig. 15A gezeigt.

[0142] Fig. 15B zeigt das Berechnungsergebnis

des $1/e^2$ Strahlpunktradius des Grundtyps auf dem Spiegel (Resonatorenabschnitt) eines symmetrischen stetigen Resonators, während die Resonatorlänge $L = 200$ mm angenommen wird. Die Abszisse gibt den g Parameter wieder.

[0143] Wie in Fig. 15A und 15B gezeigt, ändert sich der Strahlpunktradius in Richtung der optischen Achse. Daher tritt ein Problem auf, wenn ein stetiger Resonator verwendet wird: Ein Hochgewinnbereich, d. h. ein Bereich mit einer hohen Plasmadichte unmittelbar unterhalb des Mikrowelleneinführabschnittes der Laserkammer ist nicht in dem optischen Pfad enthalten.

[0144] Um dieses Problem zu lösen, kann, wenn das Mikrowelleneinführungsmittel seitens der Laserkammer verformt ist, um eine Form zu erhalten, welche dem Strahlpunktradius entspricht, der Hochgewinnbereich, d. h. der Bereich mit einer hohen Plasmadichte unmittelbar unterhalb des Mikrowelleneinführabschnittes der Laserkammer, im optischen Pfad enthalten sein.

[0145] Fig. 16A zeigt dieses Beispiel. In Fig. 16A enthält ein Laseroszillatorgerät ein Laser **301**, eine dielektrische Platte **302**, eine Schlitzplatte **303**, eine optische Achse **350**, Reflektionsspiegel **6**, ein Pulver **304**, eine Laserkammer **305** und Kühlwasser **307**. In Fig. 16A wird das Mikrowelleneinführungsmittel aus einem Wellenleiter aufgebaut, welcher einen Einführabschnitt **300** und die Schlitzplatte **303** enthält, welche Schlitze (in Fig. 16A und 16B nicht gezeigt) und die dielektrische Platte **302** hat. Der Abstand zwischen der dielektrischen Platte **302** und der optischen Achse **350** des Resonators wird in Übereinstimmung mit Änderungen in Richtung der optischen Achse **350** im Strahlpunktradius in einer zur optischen Achse **350** senkrechten Richtung geändert. Genauer gesagt wird der Abstand zwischen der dielektrischen Platte **302** und der äußeren Peripherie des Strahls konstant gehalten. Es ist zu bemerken, dass das Pulver **304** (beispielsweise AlN) in den Wellenleiter gefüllt wird, um eine Einführung von Mikrowellen zu erleichtern und eine Größenreduktion des Wellenleiters zu erreichen.

[0146] Wenn die Form der dielektrischen Platte **302** auf der Laserkammer **305** Seite nicht durch eine Ebene, sondern durch eine gekrümmte Oberfläche bestimmt wird, wie in Fig. 16A gezeigt, wird der Lasergasfluss gestört (turbulente Strömung), welches zu Beugungsverlusten führt. Um dies zu vermeiden wird, wie in Fig. 16B gezeigt, eine Ablenkplatte (ein Mittel zum Formen des Lasergasflusses in einen laminaren Fluss) **306** vorzugsweise an der Lasergaseinlassöffnung angeordnet. Diese Platte kann den Lasergasfluss in einen gleichförmigen Laminarfluss ausbilden.

[0147] Die Ablenkplatte **306** hat ebenfalls eine Funktion zum Begrenzen des erzeugten Plasmas in der Laserkammer **305**. Es ist zu bemerken, dass eine weitere Ablenkplatte an der stromabwärtigen Seite angeordnet werden kann, um eine solche Funktion zu erreichen.

[0148] Der laminare Fluss kann unter Verwendung der Ablenkplatte **306** einfach realisiert werden, welche eine Leitfähigkeit hat, die kleiner als die in der Laserkammer ist.

[0149] Als die Ablenkplatte kann vorzugsweise eine wabenförmige Platte oder eine Platte mit vielen Schlitzen verwendet werden.

[0150] Nahe des Zentrums der Laserkammer werden die Schlitze vorzugsweise bei höherer Dichte ausgebildet, als jene, welche am peripheren Abschnitt ausgebildet sind, da das Gas bei hoher Geschwindigkeit gleichförmig fließen kann.

[0151] Zumindest die Oberfläche der Verbesserungsplatte **306** besteht aus einem Fluorid, wie AlF_3 , MgF_2 od. dgl.

[0152] **Fig. 16A** und **16B** zeigen einen Fall, bei welchem ein einziges Mikrowelleneinführungsmittel angeordnet ist. Alternativ können, wie in **Fig. 17A** und **17B** gezeigt, zwei Mikrowelleneinführungsmittel angeordnet werden, um symmetrisch über die optische Achse **350** zu sein. Wenn die zwei Mittel symmetrisch angeordnet werden, kann ein Gewinn erhalten werden, welcher doppelt so hoch ist wie jener, welcher durch das einzige Mittel erhalten wird.

[0153] Es ist zu bemerken, dass die Technik zum Verformen der Form des Mikrowelleneinführungsmittels an der Laserkammerseite in Übereinstimmung mit der äußeren peripheren Form des Strahls bei einem kontinuierlich emittierenden Excimer-Laseroszillatorgerät besonders effektiv ist, und ebenfalls bei weiteren Laseroszillatorgeräten angewendet werden kann, welche ein Plasma durch Einführen von Mikrowellen erzeugen.

[0154] Wenn andererseits das Mikrowelleneinführungsmittel durch den Wellenleiter, welcher durch den Einführabschnitt **300** und die Schlitzplatte **303** gebildet wird, und die dielektrische Platte **302** gebildet wird, erfordert die dielektrische Platte **302** eine komplizierte Bearbeitungs-/Anbringungs-Verarbeitung. Ebenfalls muss die dielektrische Platte **302** in Anbetracht einer einfachen Bearbeitung/Anbringung, auf ein gewisses Ausmaß dick sein.

[0155] Wenn die dielektrische Platte **410** dick ist, wie in **Fig. 18A** gezeigt, divergieren Mikrowellen in einer Laserkammer **430**. Demgemäss wird eine hohe elektrische Leistung erfordert, um ein dichtes Plasma

zu erhalten. **Fig. 18B** zeigt einen Fall, bei welchem die dielektrische Platte **410** dünner als jene in **Fig. 18A** ist, und die Divergenz von Mikrowellen ist kleiner als jene von **Fig. 18A**.

[0156] Um ein solches Problem zu vermeiden, werden bei der vorliegenden Erfindung dielektrische Teile vorzugsweise in Schlitze **530** eines Schlitzwellenleiters **500** eingegraben, ohne jegliche dielektrische Platte zu verwenden, wie in **Fig. 19** gezeigt. Wenn auf diese Weise keine dielektrische Platte verwendet wird, werden Mikrowellen, welche eine sehr kleine Breite haben, eingeführt, wie in **Fig. 18C** gezeigt. Als Ergebnis kann ein Plasma, welches eine höhere Dichte als jenes hat, welches durch Eingeben einer identischen elektrischen Leistung einer Mikrowelle erhalten wird, angeregt werden, und der Gewinn des Lasers kann erhöht werden.

[0157] Als Schlitzform wird eine rechteckige Form, dessen lange Seite sich in Richtung der optischen Achse erstreckt, bevorzugt, wie in **Fig. 20A** und **20B** gezeigt.

[0158] Es kann ein einziges, durchgehendes Rechteck ausgebildet werden (**Fig. 20B**), jedoch werden Rechtecke bevorzugt, welche in Abständen ausgebildet werden.

[0159] Wenn die lange Seite jedes Rechteckes parallel zur Richtung der optischen Achse eingestellt wird, kann ein begrenztes Plasma (narrow plasma) angeregt werden. Daraus resultierend kann ein Plasma, welches eine höhere Dichte hat als jenes, welches durch Eingeben einer identischen elektrischen Leistung der Mikrowelle erhalten wird, angeregt werden, und der Gewinn des Lasers kann erhöht werden.

Zuführmodus des Lasergases

[0160] **Fig. 21A** und **21B** zeigen ein Excimer-Laseroszillatorgerät gemäß einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. Das Mikrowelleneinführverfahren und die Anordnung sind dieselben wie die bei dem in **Fig. 8A** und **8B** gezeigten Excimer-Laseroszillatorgerät, und Mikrowellen, welche durch ein Gyrotron als eine Mikrowellenleistungszuführung (nicht gezeigt) erzeugt werden, werden über einen rechteckigen Wellenleiter **1** und eine Schlitzplatte **3** in eine Laserröhre **2** eingeführt.

[0161] Andererseits kann bei dem oben mit Bezug auf **Fig. 8A** und **8B** beschriebenen Gerät das Laser gas von einem Endabschnitt der Laserröhre in die Längsrichtung zugeführt werden, und kann vom anderen Endabschnitt in die Längsrichtung abgeführt werden. Im Gegensatz dazu werden beim Excimer-Laseroszillatorgerät dieser Ausführungsform Langlöcher entlang der Längsrichtung der Laserröh-

re **2** ausgebildet, und werden als Lasergas-Auslassöffnungen **22** verwendet. Durch diese Anordnung wird das von einer Einlassöffnung **21** zugeführte Lasergas von den Auslassöffnungen **22** an beiden Seiten über den Entladungsraum in der Laserröhre abgeführt.

[0162] Um einen kontinuierlich emittierenden Excimer-Laserstrahl stetig zu erhalten, sollte ein dünner Strahl ausgebildet werden. Um beispielsweise eine Ausgabe von 1 kW durch eine Laserstrahlintensität von 1,3 MW/cm² zu erhalten, braucht ein Plasma nur innerhalb eines Bereiches erhalten zu werden, welcher einen Durchmesser von ungefähr 0,3 mm hat. Da das oben erwähnte, in **Fig. 21A** und **21B** gezeigte Gerät, ein Plasma in einem solch begrenzten Bereich konzentriert erzeugen kann, kann ein dünner, kontinuierlich emittierender Excimer-Laserstrahl erhalten werden.

[0163] Zu dieser Zeit wird das Reflektionsvermögen eines Spiegels **6** vorzugsweise auf 100 eingestellt, und das eines Spiegels an der Ausgabeseite wird vorzugsweise auf 99% eingestellt.

[0164] Um einen kontinuierlich emittierenden Excimer-Laserstrahl stetig zu erhalten, muss ein Zustand, bei welchem Fluormoleküle (F₂) und Fluorionen (F⁻) im Entladerraum bestehen, eingestellt werden, um in der Lage zu sein, Excimer (KrF⁺) zufriedenstellend auszubilden. Aus diesem Grund wird es bevorzugt, dass eine hohe Menge frischen Fluorgases (F₂) bei hoher Geschwindigkeit in den Entladerraum zugeführt wird, und Fluoratome (F), welche nach der Laserstrahlemission in den Grundzustand zurückkehren, aus dem Entladerraum abgeführt werden.

[0165] In dieser Ausführungsform werden eine Lasergaseinlass- und Auslassöffnung ausgebildet, um eine Hochgeschwindigkeitszirkulation/-Substitution des Lasergases zu erlangen, so dass frisches Lasergas von einer zur Längsrichtung der Laserröhre (die Längsrichtung des Entladerraumes) aus senkrechten Richtung zugeführt wird, und das verwendete Lasergas von dieser Richtung aus abgeführt wird.

[0166] Eine solche Hochgeschwindigkeitszirkulation des Gases hat ebenfalls einen Effekt zum Kühlen der Laserröhre, da das Gas und Plasma, welche im Entladerraum vorliegen, bei hoher Geschwindigkeit substituiert werden.

[0167] **Fig. 22A** und **22B** zeigen den Aufbau, welcher eine weitere Hochgeschwindigkeitszirkulation des Lasergases realisieren kann. Wie in **Fig. 22B** gezeigt, ist der Gasflussabschnitt im Entladerraum schmaler als eine Gaseinlassöffnung **23** und eine Gasauslassöffnung **24**, und daher wird eine Hochgeschwindigkeits-Gaszirkulation/-Substitution im Entladerraum erlangt.

[0168] Was das Layout von Magneten **10** betrifft, welche ein Plasma in einem schmalen Bereich begrenzen, ist die vorliegende Erfindung nicht auf das in **Fig. 21A** und **21B** gezeigte spezifische Layout beschränkt, bei welchem die Magneten so angeordnet sind, dass sie Magnetkraftlinien in einer die Längsrichtung der Laserröhre kreuzenden Richtung erzeugen.

[0169] Beispielsweise können die Magneten so angeordnet werden, dass sie Magnetkraftlinien entlang der Längsrichtung der Laserröhre erzeugen.

[0170] **Fig. 23A** und **23B** zeigen ein Excimer-Laserszillatorgerät gemäß einer noch weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

[0171] Das Mikrowelleneinführverfahren und die Anordnung sind dieselben wie jene beim in **Fig. 11A** und **11B** gezeigten Excimer-Laserszillatorgerät, und Mikrowellen, welche durch ein Gyrottron als eine Mikrowellenleistungszuführung (nicht gezeigt) erzeugt werden, werden über einen rechteckigen Wellenleiter **12** und einen Spalt in die Laserröhre **14** eingeführt. Die Mikrowellen verbreiten sich entlang der Wand der Laserröhre in der Längsrichtung, um eine Entladung in der Laserröhre **14** zu bewirken, wodurch sie ein Lasergasplasma erzeugen.

[0172] Das Lasergaszuführverfahren des in **Fig. 23A** und **23B** gezeigten Gerätes unterscheidet sich von dem des in **Fig. 11A** und **11B** gezeigten Gerätes.

[0173] Bei dem in **Fig. 11A** und **11B** gezeigten Gerät wird ein Lasergas von einem Endabschnitt der Laserröhre in der Längsrichtung zugeführt, um einen Gasfluss entlang der Längsrichtung auszubilden. Im Gegensatz dazu werden bei dem in **Fig. 23A** und **23B** gezeigtem Gerät zwei Langlöcher an den Seitenwänden der Laserröhre ausgebildet, so dass deren Längsrichtung mit der der Laserröhre übereinstimmt, und ein Lasergas wird von einem Loch zugeführt und vom anderen Loch abgeführt.

[0174] Durch diese Anordnung fließt das Lasergas in der Laserröhre, so dass es die Längsrichtung der Laserröhre kreuzt. Bei dieser Ausführungsform können ebenfalls, da das Gas und/oder Plasma im Entladerraum bei hoher Geschwindigkeit substituiert werden kann, Excimer stetig im Entladerraum erzeugt werden. Ebenfalls wird eine Kühlwirkung der Laserröhre angenommen.

[0175] Das oben erwähnte Gaszuführ-/Abführ-Verfahren kann auf all die oben erwähnten Geräte angewendet werden.

[0176] Nach Zuführen des Lasergases wird der Druck an der Einlassöffnung vorzugsweise auf das

1,2 bis 1,8-fache dessen an der Auslassöffnung eingestellt, und mehr bevorzugt auf das 1,2 bis 1,5-fache.

[0177] Wenn der Druck an der Einlassöffnung auf das 1,2-fach oder darüber hinaus dessen an der Auslassöffnung eingestellt wird, untergeht das Lasergas, welches durch die Laserkammer passiert, eine Volumenausdehnung, und kühlt den Plasmaanregungsabschnitt. Wenn andererseits der Druck an der Einlassöffnung auf das 1,5-fache oder darüber hinaus dessen an der Auslassöffnung eingestellt wird, wird der Druckunterschied zu hoch, und der Druckverteilungsoffset in der Laserkammer wird hoch.

Kühlung

[0178] Da ein Laserstrahl von ungefähr 10 W durch Einführen von Mikrowellen von ungefähr 100 W bis 1 kW erhalten wird, wird eine beträchtliche Menge an Wärme erzeugt. Da sich die Wellenlänge ändert, wenn eine thermische Ausdehnung auftritt, ist eine genaue Kühlung erforderlich. Es wird bevorzugt, dass bei diesem Abschnitt ein Metall verwendet wird, welches frei von jeglicher thermischer Ausdehnung ist, und ein Kupfer- oder Silberüberzug, auf dessen Innenoberfläche ausgebildet wird.

[0179] Der Grund dafür, warum der Plasmaanregungsabschnitt aus einem Metall aufgebaut ist, liegt darin, die Kühleffizienz zu verbessern. Es wird eine Wasserkühlung erlangt, während die Kühlwassertemperatur, Kühlwasserflussrate und der Kühlwasserdruck gesteuert werden. Beispielsweise wird ein Kühlen vorzugsweise durch eine in **Fig. 29** gezeigte Vorrichtung durchgeführt. Wenn Kühlwasser angetrieben wird und der Wasserzufuhrdruck auf ungefähr 1 kgf/cm² (1 kgf = 98066,5 Pa) eingestellt wird, wird günstiger Weise keine Vibration nach Zuführen von Kühlwasser mit Druck erzeugt.

Resonator

[0180] Wenn ein Paar von Reflektionsspiegeln an der optischen Achse der Laserröhre angeordnet wird, kann ein Laserstrahl durch induzierte Emission entnommen werden.

[0181] Wenn ein kontinuierlich emittierender Excimer-Laserstrahl bei Aufrechterhaltung der Lichtintensität bei einem gegebenen Pegel erhalten wird, während die Strahlpunktgröße verringert wird, wie später beschrieben werden wird, wird es bevorzugt, dass das Reflektionsvermögen eines Reflektionsspiegels auf 100% eingestellt wird, und dessen des ausgangsseitigen Reflektionsspiegels, von dem ein Laserstrahl entnommen wird, auf 99,0% eingestellt wird.

[0182] Wenn andererseits die Lichtintensität durch äußerste Verlustbeseitigung im Resonator aufrecht-

erhalten wird, wird das Reflektionsvermögen eines Reflektionsspiegels vorzugsweise auf 100% eingestellt, und das des ausgangsseitigen Reflektionsspiegels wird vorzugsweise auf 99,5% oder höher, und mehr bevorzugt auf 99,9% oder höher eingestellt.

[0183] **Fig. 24A** und **24B** zeigen die Anordnung eines Resonators, bei welchem ein Reflektionsvermögen an beiden Enden unter Verwendung von Prismen 100% wird. Die einfallenden Winkel auf die Gesamreflektionsprismen **202** und **203** sind Brewster-Winkel, und es werden nach Einfall von Licht keine Lichtmengenverluste erzeugt. Eine Reflektion innerhalb der Gesamreflektionsprismen **202** und **203** verwendet eine Gesamreflektion, und es treten beiderseits nach einer Reflektion keine Verluste auf. Demgemäß werden die Reflektionsvermögen an beiden Enden des Resonators 100%. Das Reflektionsvermögen von ausgehendem Licht kann innerhalb des Bereiches von 0% bis zu mehreren % eingestellt werden, und zwar durch Einstellen des Einfallwinkels auf ein ausgehendes Licht, welches Platte **204** verlässt, welche zwischen einer Laserröhre **201** und dem Gesamreflektionsprisma **203** angeordnet ist.

[0184] Bei dem in **Fig. 24A** und **24B** gezeigten Beispiel beträgt die Anzahl ausgehender Strahlen 8, da sich nach rechts und links verbreitende Wellen an zwei Positionen reflektiert werden, und zwar jeweils an beiden Oberflächen der Platte, an welcher ausgehendes Licht ausgeht. Da diese ausgehenden Strahlen verarbeitet werden müssen, wird das Gerät kompliziert. Um die Anzahl ausgehender Strahlen zu verringern, und um zu verhindern, dass das Gerät kompliziert wird, können in **Fig. 25A**, **25B** und **25C** gezeigte Modifikationen verwendet werden.

[0185] Bei der in **Fig. 25A** gezeigten Modifikation werden zwei Platten a und b, von welchen Strahlen ausgehen, in Übereinstimmung mit Strahlen im Resonator angeordnet, und eine Platte b wird auf den Brewster-Winkel eingestellt. Da Strahlen im Resonator linear polarisiert sind, erzeugt die Platte b, von welcher der ausgehende Strahl ausgeht, welche auf den Brewster-Winkel eingestellt ist, kein reflektiertes Licht. Daher beträgt die Anzahl ausgehender Strahlen 4. Der Grund warum die Platte b, von der ausgehendes Licht ausgeht, derart angeordnet ist, liegt darin, um die Positionsverschiebung von Strahlen zu korrigieren, welche durch Platte b, von welcher ausgehendes Licht ausgeht, verursacht wird.

[0186] Bei der in **Fig. 25B** gezeigten Modifikation wird ausgehendes Licht unter Verwendung von Strahlungsbeugung im Resonator entnommen. Ein Ausgabespiegel wird so angeordnet, dass er mit einem der Strahlen im Resonator in Kontakt tritt, und eine oder beide Oberflächen dessen sind hochreflektionsbeschichtet. Ein Beugungslicht, welches schneidend zum Ausgabespiegel gelangt, wird durch die

hochreflektionsbeschichtete Oberfläche reflektiert, und wird ein ausgehender Strahl. Die Anzahl ausgehender Strahlen beträgt zwei.

[0187] Bei der in **Fig. 25C** gezeigten Modifikation wird ausgehendes Licht unter Verwendung infinitesimaler Wellen entnommen. Ein Prisma, welches eine infinitesimale Welle entnimmt, wird so angeordnet, dass es der Gesamtreflexionsoberfläche des Gesamtreflexionsprismas **202** oder **203** gegenüberliegt, wobei sie durch einen Abstand voneinander getrennt sind, welcher ungefähr gleich der Wellenlänge ist, wodurch austretendes Licht (d. h. infinitesimale Wellen) als ausgehendes Licht entnommen wird. Die Anzahl ausgehender Strahlen beträgt zwei.

Belichtungsgerät

[0188] **Fig. 26** zeigt ein Belichtungsgerät, welches ein Excimer-Laseroszillatorgerät verwendet.

[0189] Licht, welches von einem Oszillatorgerät A1 ausgegeben wird, wird über einen Spiegel und eine Linse A2 einem abtastenden optischen System zugeführt.

[0190] Das abtastende optische System hat eine Abtastlinse A4 und einen Abtastspiegel A3, dessen Winkel verändert werden kann. Ein Licht, welches von dem abtastenden optischen System ausgegeben wird, wird über eine Kondensorlinse A5 auf eine Strichplatte A6 bestrahlt, welche ein Maskenmuster hat. Das optische System zur Beleuchtung des Belichtungsgerätes hat die oben genannte Anordnung.

[0191] Ein Licht, welches eine Dichteverteilung hat, welche dem vorbestimmten Maskenmuster auf der Strichplatte A6 entspricht, wird auf einem Wafer A8 abgebildet, welcher auf einer Plattform A9 gesetzt ist, und zwar durch ein optisches System zur Abbildung, welches eine Objektivlinse **7** hat, und ein latentes Bild, welches dem Maskenmuster entspricht, wird auf einem lichtempfindlichen Kunststoff auf der Oberfläche des Wafers A8 ausgebildet.

[0192] Wie oben beschrieben, enthält das in **Fig. 26** gezeigte Belichtungsgerät das Excimer-Laseroszillatorgerät A1, das optische System zur Belichtung, das optische System zur Abbildung, und die Plattform, welche den Wafer A8 hält.

[0193] Bei diesem Gerät wird ein schmalbandiges Modul (nicht gezeigt) zwischen dem Oszillatorgerät A1 und dem abtastenden optischen System angeordnet. Ebenfalls ist das Oszillatorgerät A1 selber vom Typ einer Impulsoszillation.

Ausgabeverfahren-Beispiel eines Belichtungsgerätes

[0194] Um die Verwendung ausgehenden Lichtes des kontinuierlich emittierenden Excimer-Lasers ein- und auszuschalten, können die folgenden Verfahren verwendet werden.

- (1) Ein Abschaltmittel wird außerhalb der Excimer-Laservorrichtung angeordnet.
- (2) Das kontinuierliche Anregungsmittel wird ein-/ausgeschaltet.

[0195] Beim Verfahren (1) wird jedoch das Abschaltmittel beträchtlich beschädigt und die Lebensdauer des Abschaltmittels ist kurz, da ein Excimer-Laser tiefes UV-Licht ausgibt und die Ausgabe höher als die anderer Laser ist. Die Lebensdauer eines Abschaltmittels, welches ein AO (akusto-optisches) Element verwendet, welches ein hohes Übertragungsverhalten hat, ist besonders kurz. Sogar wenn das ausgehende Licht abgeschaltet wird, wird das optische System im Laser ungewünschter Weise beschädigt, und dessen Lebensdauer wird verkürzt, da die Oszillation innerhalb des Lasers fortfährt.

[0196] Beim Verfahren (2) wird eine bestimmte Zeitperiode erfordert, um einen stetig anregenden Zustand auszubilden. Aus diesem Grund kann ein gewünschtes kontinuierlich oszillierendes Licht nicht unmittelbar dann erhalten werden, nachdem das kontinuierliche Anregungsmittel eingeschaltet wird.

[0197] Die vorliegende Erfindung wird unten detailliert mit Hilfe der dargestellten Ausführungsform beschrieben.

[0198] **Fig. 27** ist ein schematisches Schaubild eines kontinuierlich oszillierenden Excimer-Lasers gemäß der vorliegenden Erfindung. Der Excimer-Laser enthält eine Laserkammer **101**, in welcher Kr, Ne und F₂ Gase versiegelt sind, einen Ausgabespiegel **102** zur Lichtausgabe des Lasers, ein dielektrisches Teil **103** zum Einführen von Mikrowellen in die Laserkammer, einen Schlitzwellenleiter **104** zum Führen von Mikrowellen und einen Mikrowellenerzeuger **105** zum Zuführen von Mikrowellen. Eine Wellenlängenauswahleinheit **106** wählt die Oszillationswellenlänge aus, und wird gebildet aus einem Vergrößerungsprisma **106-1**, welcher aus einem Paar von Prismen besteht und die Strahlpunktgröße vergrößert, und einem Beugungsgitter **106-2** zum Extrahieren einer beliebigen Wellenlänge. Ein Raumfilter **107** ist an der Brennpunktposition der laserseitigen Linse eines strahlformenden optischen Systems **108** angeordnet, welches aus einem Paar von Linsen besteht, und steuert den Streuwinkel ausgehenden Lichts vom Laser. Ein Verschluss (Shutter) **109** ist zwischen der Laserkammer und dem Ausgabespiegel angeordnet. Ein Steuersystem **110** steuert die Wellenlängenauswahleinheit **106**, den Mikrowellenerzeuger **105** und

den Verschluss **109**.

[0199] Es ist zu bemerken, dass der Ausgabespiegel **102** und das Beugungsgitter **106-2** einen Resonator des Excimer-Lasers ausmachen.

Betriebsbeschreibung

[0200] Mikrowellen, welche vom Mikrowellenerzeuger **105** zugeführt werden, werden durch den Wellenleiter **104** geleitet, und regen über das dielektrische Teil **103** ein Excimer-Lasergas in der Laserröhre **101** kontinuierlich an. Ein Licht vom angeregten Excimer-Lasergas trifft über das Vergrößerungsprisma **106-1** auf das Beugungsgitter **106-2**. Nur ein Licht eines vorbestimmten Wellenlängenbereichs kehrt über das Vergrößerungsprisma **106-1** über das Beugungsgitter zur Laserkammer **101** zurück, und bringt über eine induzierte Anregung eine Emission durch das angeregte Excimer-Lasergas. Das Licht wird aufeinanderfolgend einer induzierten Emission unterworfen, während es sich im optischen Resonator, welcher durch den Ausgabespiegel **102** und das Beugungsgitter **106-2** gebildet wird, vor- und zurückbewegt, und nur das Licht im durch das Beugungsgitter ausgewählten vorbestimmten Wellenlängenbereich wird verstärkt. Einige Lichtbestandteile des empfindlichen Lichtes werden über den Ausgabespiegel **102** ausgegeben.

[0201] Der Betrieb zum Ein- und Ausschalten der Verwendung ausgehenden Lichtes vom kontinuierlich oszillierenden Excimer-Laser wird unten beschrieben werden.

[0202] Wenn ausgehendes Licht vom kontinuierlich oszillierenden Excimer-Laser ausgeschaltet wird, schließt das Steuersystem **110** den Verschluss **109**, um Licht abzuschalten, welches vom Excimer-Lasergas auf den Ausgabespiegel **102** trifft, während kontinuierlich Mikrowellen zugeführt werden. Ein Licht, welches im optischen Resonator oszilliert wurde, endet damit zu oszillieren, und vom kontinuierlich oszillierenden Excimer-Laser ausgehendes Licht kann unmittelbar abgeschaltet werden.

[0203] Wenn vom kontinuierlich oszillierenden Excimer-Laser ausgehendes Licht wieder verwendet wird, öffnet das Steuersystem **110** den Verschluss **109**, um zu ermöglichen, dass ein vom Excimer-Lasergas kommendes Licht den Ausgabespiegel **102** erreicht, während kontinuierlich Mikrowellen zugeführt werden. Ein spontan durch das Excimer-Lasergas emittiertes Licht oszilliert unmittelbar stabil im optischen Resonator, und ein stetig ausgehendes Licht kann vom kontinuierlich oszillierenden Excimer-Laser mit hohen Übertragungsverhalten erhalten werden.

[0204] Ein weiterer Betrieb zum Ein- und Ausschalten

der Verwendung ausgehenden Lichtes vom kontinuierlich oszillierenden Excimer-Laser wird unten beschrieben.

[0205] Wenn vom kontinuierlich oszillierenden Excimer-Laser ausgehendes Licht abgeschaltet wird, schwenkt das Steuersystem **110** das Beugungsgitter **106-2**, während kontinuierlich Mikrowellen zugeführt werden. Durch diesen Betrieb wird Licht im vorbestimmten Wellenlängenbereich geändert, welcher durch das Beugungsgitter ausgewählt wird, und nur Licht im geänderten Wellenlängenbereich tritt über das Vergrößerungsprisma **106-1** in die Laserkammer **101** zurück. Zu dieser Zeit bewirkt das rückgekehrte Licht keine induzierte Anregungsemission durch das angeregte Excimer-Lasergas, da der geänderte Wellenlängenbereich sich von der Wellenlänge im Oszillatorbereich unterscheidet, welcher durch den Typ des Excimer-Lasergases bestimmt wird. Somit endet das Licht damit zu oszillieren, und das vom kontinuierlich oszillierenden Excimer-Laser ausgehende Licht kann unmittelbar abgeschaltet werden. Dieses Phänomen wird unten mit Bezug auf **Fig. 28** beschrieben werden.

[0206] Normalerweise wird der Gewinn des Excimer-Lasers in Bezug auf die Wellenlänge in Abhängigkeit vom Gastyp bestimmt. Diese Beziehung wird durch eine Gewinnkurve GC in **Fig. 28** dargestellt. Zu dieser Zeit, wenn Licht (G) in einem Wellenlängenbereich ($\lambda - \delta\lambda$ bis $\lambda + \delta\lambda$) mit einem Gewinn in das angeregte Excimer-Lasergas eintritt, unterzieht es sich einer induzierten Anregungsemission und der Excimer-Laser oszilliert. Wenn andererseits Licht in einem Bereich (NG), welcher vom Wellenlängenbereich ($\lambda - \delta\lambda$ bis $\lambda + \delta\lambda$) unterschiedlich ist, mit einem Gewinn in das angeregte Excimer-Lasergas eintritt, bewirkt es keine induzierte Anregungsemission und der Excimer-Laser oszilliert nicht. Diese Ausführungsform verwendet dieses Phänomen, und wenn ausgehendes Licht des kontinuierlich oszillierenden Excimer-Lasers ausgeschaltet werden soll, wählt das Beugungsgitter **106-2** Licht in einem Bereich aus, welcher vom Wellenlängenbereich ($\lambda - \delta\lambda$ bis $\lambda + \delta\lambda$) unterschiedlich ist, und zwar mit einem Gewinn aus Licht, welches zur Laserkammer zurückkehrt.

[0207] Zu dieser Zeit wird das meiste Licht durch den Raumfilter **107** ausgeschaltet, da es keine Richtcharakteristik hat, obwohl der Excimer-Laser nicht oszilliert, sondern spontan emittiertes Licht ausgibt.

[0208] Wenn vom kontinuierlich oszillierenden Excimer-Laser ausgehendes Licht wiederverwendet wird, kippt das Steuersystem **110** das Beugungsgitter **106-2**, während kontinuierlich Mikrowellen zugeführt werden. In diesem Fall wählt das Beugungsgitter die Wellenlänge im Oszillationsbereich, und nur ein Licht in dem ausgewählten Bereich kehrt über das Vergrö-

ßerungsprisma **106-1** in die Laserkammer **101** zurück. Das zurückgekehrte Licht erzeugt unmittelbar eine induzierte Anregungsemission durch das angelegte Excimer-Lasergas und oszilliert in dem optischen Resonator. Auf diese Weise kann ein stetig ausgehendes Licht von dem kontinuierlich oszillierenden Excimer-Laser mit hohem Übertragungsverhalten erhalten werden.

[0209] Fig. 29 zeigt das kontinuierlich emittierende Excimer-Lasergerät, welches in dieser Ausführungsform verwendet wird.

[0210] In dieser Ausführungsform wurde ein zylindrischer Resonator als ein optischer Resonator verwendet.

[0211] Ein reflektionsfreier Film wurde an der Innenoberfläche des optischen Resonators ausgebildet. Die äußerste Oberfläche des Resonators bestand aus einem Fluorid.

[0212] Eine höhlenartige Kühlvorrichtung wurde an der Außenoberfläche des Resonators angeordnet. Die äußerste Oberfläche der Kühlvorrichtung wurde durch ein wärmeisolierendes Teil bedeckt, und es wurde ein Mittel zum Steuern der Temperatur von einkommendem Kühlwasser angeordnet, so dass sie niedriger als die Umgebungstemperatur ist und ungefähr mit der Temperatur von ausgehendem Kühlwasser übereinstimmt. Durch dieses Mittel können Temperaturverschiebungen des optischen Resonators minimiert werden.

[0213] Als Wellenleiter wurde der in Fig. 12A und 12B gezeigte Wellenleiter (ein 5 mm hoher, 10 cm breiter übergroßer Wellenleiter) verwendet, und dessen Inneres wurde auf ein 10^{-4} Torr Pegel evakuiert.

[0214] Andererseits wurde bei dieser Ausführungsform ebenfalls ein magnetisches Feld durch Magnete ausgebildet, um eine stetige Plasmaanregung zu erlangen.

[0215] Eine Isolierplatte **44** wurde durch einen mehrschichtig überzogenen reflektionsfreien Film auf der Resonatorseite ausgebildet, welcher aus CaF_2 und MgF_2 besteht. Ein Fluoridfilm wurde an der äußersten Oberfläche der Isolierplatte ausgebildet.

[0216] Mikrowellen wurden durch ein Gyrotron (Markenname) erzeugt, und die Zuführungsfrequenz wurde auf 35 GHz eingestellt. Die Gaszusammensetzung war $\text{Kr}/\text{Ne}/\text{F}_2$ (3% : 92% : 5%).

[0217] Der Druck wurde auf atmosphärischen Druck eingestellt. Daher gilt $\omega c = 4,5 \omega$ und Elektronen kollidieren 4,5-fach während eines Zyklus der Anregungsfrequenz.

ωc : Kollisionswinkelfrequenz von Photonen

[0218] Bei dieser Ausführungsform wurden ferner, wie in Fig. 29 gezeigt, Gaseinlassöffnungen **21a** und **21b** an beiden Endseiten einer Laserkammer (Laserröhre) **20** ausgebildet, und eine Gasauslassöffnung **22** wurde am Zentralabschnitt der Kammer **20** ausgebildet. Durch diese Öffnungen floss das zugeführte Lasergas in Richtung des Zentrums. Dies dient ebenfalls dazu, die Oberfläche einer Lichtreflektionsplatte am Ausgabeende zu schützen, wie oben beschrieben. Genauer gesagt, da die äußerste Oberfläche der Lichtreflektionsplatte beispielsweise mit einem dünnen Fluoridfilm beschichtet ist, reagiert sie niemals mit F_2 und F^* . (Es gilt **42**: ein Wellenleiter, **44**: eine Isolierplatte, **50**: eine Temperatursteuerung, **51**: Magnete und **53**: eine Laserröhre).

[0219] Das Reflektionsvermögen der Lichtreflektionsplatte wurde auf 99% oder höher eingestellt.

[0220] In dieser Ausführungsform wurden die Magnete **51** so angeordnet, um ein DC-Magnetfeld in einer beinahe zum elektrischen Feld der Mikrowelle senkrechten Richtung anzulegen, demnach wird die Entladung sehr stabil gestartet und aufrecht erhalten.

[0221] Ein optischer Oszillator bestand aus einem Metallzylinder, welcher einen Innendurchmesser von mehreren mm bis hin zu mehreren cm hat. Die Innenoberfläche des Metallzylinders wurde mit einem reflektionsfreien mehrschichtigen Film beschichtet. Ein Fluoridfilm wurde an der äußersten Oberfläche des Metallzylinders ausgebildet.

[0222] Es wurde eine versiegelte Verbindung zwischen einer Lichtreflektionsplatte **31** und der Laserröhre (ein Metallzylinder **32** in dieser Ausführungsform), welche die Laserkammer ausmachen, erlangt, wie in Fig. 30 gezeigt.

[0223] Genauer gesagt standen die Reflektionsplatte und der Metallzylinder miteinander in Druckkontakt über Befestigungsbolzen **34**, während ein Teflon-Plattenring **33a** zwischen der Lichtreflektionsplatte **31** und einem Flansch **32a** des Metallzylinders **32** zwischengesetzt wurde, und ein Teflon-Plattenring **33b** und ein Metallplattenring **35** zwischen den Bolzen und der Außenoberfläche der Lichtreflektionsplatte **31** gesetzt wurden. Es ist zu bemerken, dass eine Versiegelung durch einen O-Ring **36** bereitgestellt wurde. Natürlich können sie durch Schrauben, welche eine Lagerung anstelle der Bolzen **34** verwenden, angebracht werden.

[0224] Nach Ausführung einer Lichtemission durch die oben genannte Anordnung wurde eine kontinuierliche Emission erreicht, welche eine ausreichend hohe Ausgabe hat.

[0225] Als ein Stepper unter Verwendung des kontinuierlich emittierenden Excimer-Laserszillatorgerätes gebaut wurde, wurde die Anordnung vereinfacht und die Lebensdauer des Linsenmaterials und dergleichen wurde verbessert.

Weitere Ausführungsform

[0226] Als Verluste im Resonator unter Verwendung des in Fig. 21A und 21B bis 23A und 23B gezeigten Gerätes äußerst beseitigt wurden, konnte ein stabiler, kontinuierlich emittierender Excimer-Laserstrahl erhalten werden.

[0227] Beispielsweise wurde der Lasergasdruck auf 65 Torr eingestellt, um durch das Gas verursachte Energieverluste auf 1% zu unterdrücken. Zusätzlich wurde ein stetiger Resonator durch Einstellen des Reflektionsvermögens eines Reflektionsspiegels auf 100% und dessen des ausgangsseitigen Reflektionsspiegels auf 99,5% oder höher aufgebaut. Durch diese Anordnung konnte der zur Laseroszillation benötigte Gewinn auf 2% oder höher (reziprok) eingestellt werden und war höher als Verluste.

[0228] Wenn eine Mikrowellenenergie von 35 GHz verwendet wird, und der Druck in der Laserröhre auf 60 Torr eingestellt wird, wird, da Verluste durch das Gas leicht zunehmen, das Reflektionsvermögen des ausgangsseitigen Reflektionsspiegels vorzugsweise auf 99,9% oder höher eingestellt.

Patentansprüche

1. Excimer-Laserszillatorgerät, enthaltend:
eine Laserkammer (**20**, **40**, **2**) zum Speichern eines Lasergases, welches eine Gasmischung aus F_2 Gas und mindestens einem Edelgas enthält, welches aus der Gruppe ausgewählt ist, welche aus Kr, Ar und Ne zusammengesetzt ist, eine Innenoberfläche, welche einen Reflektionsgrad von 50% oder weniger in Bezug auf Licht einer gewünschten Wellenlänge von 248 nm, 193 nm oder 157 nm hat, wobei die Innenoberfläche aus einem Fluorid gemacht ist, welches in Bezug auf F_2 beständig ist;
einen optischen Resonator, welcher aus einem Paar von Reflektionsspiegeln (**5**, **6**) gemacht ist, welche mit der Laserkammer so angeordnet sind, dass diese dazwischen eingeschoben ist, und bei welchen ein Reflektionsgrad des Reflektionsspiegels an einer Ausgangsseite nicht geringer als 90% ist; und
ein Mikrowelleneinführungsmittel (**42**, **1**), welches an der Laserkammer angeordnet ist, um das Lasergas in der Laserkammer kontinuierlich anzuregen.

2. Gerät nach Anspruch 1, bei welchem die Innenoberfläche der Laserkammer einen Aufbau hat, welcher durch Ausbilden einer FeF_2 Schicht auf einer Edelstahloberfläche vorbereitet ist, oder einen Aufbau, welcher durch Überziehen von Nickel auf einem

Metall und Ausbilden einer NiF_2 Schicht auf der Oberfläche des Nickelüberzugs vorbereitet ist oder einen Aufbau, welcher durch Ausbilden von AlF_3 und MgF_2 Schichten auf einer Aluminiumlegierung vorbereitet ist.

3. Gerät nach einem der Ansprüche 1 oder 2, ferner enthaltend ein Mittel (**21a**, **21b**, **25a**, **25b**, **27a**, **27b**) zum kontinuierlichen Zuführen des Lasergases in die Laserkammer.

4. Gerät nach Anspruch 1, bei welchem das Lasergas enthalten ist, und es Kr, Ne und F_2 enthält, wobei der Kr-Gehalt innerhalb eines Bereiches von 1–6% Atomprozent fällt, und der F_2 -Gehalt innerhalb eines Bereiches von 1–6% Atomprozent fällt.

5. Gerät nach Anspruch 1, bei welchem das Lasergas enthalten ist, und es Ar, Ne und F_2 enthält, wobei der Ar-Gehalt innerhalb eines Bereiches von 1–6% Atomprozent fällt, und der F_2 -Gehalt innerhalb eines Bereiches von 1–6% Atomprozent fällt.

6. Gerät nach Anspruch 1, bei welchem das Lasergas enthalten ist, und es Ne und F_2 enthält, wobei der F_2 -Gehalt innerhalb eines Bereiches von 1–6% Atomprozent fällt.

7. Gerät nach einem der vorhergehenden Ansprüche, ferner enthaltend ein Mittel (**21a**, **21b**), welches an beiden Enden der Laserkammer (**20**) zum Zuführen des Lasergases ausgebildet sind, und ein Mittel (**22**), welches an einem zentralen Abschnitt der Laserkammer zum Abgeben des Lasergases ausgebildet ist.

8. Gerät nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem die Frequenz der Mikrowelle innerhalb eines Bereiches von 1 GHz bis 50 GHz fällt.

9. Gerät nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem das Innere eines Wellenleiters zum Einführen der Mikrowelle ein Vakuum ist.

10. Gerät nach einem der vorhergehenden Ansprüche, ferner enthaltend eine Laserröhre (**40**, **2**), welche die Laserkammer ausmacht, wobei ein Laserstrahl in der Laserröhre oszilliert, und der Abschnitt der Laserröhre senkrecht zum optischen Pfad eine elliptische Form hat.

11. Gerät nach Anspruch 10, bei welchem eine Nebenachsenrichtung der elliptischen Form mit einer Mikrowelleneinführungsrichtung übereinstimmt.

12. Gerät nach einem der vorhergehenden Ansprüche, ferner enthaltend ein Mittel (**10**) zum Anlegen eines magnetischen Feldes in die Laserkammer.

13. Gerät nach Anspruch 12, bei welchem das

Mittel zum Anlegen des magnetischen Feldes (**10**) einen auf Eisen-Vanadium basierenden Magneten oder einen Nd-Fe-B Magneten enthält.

14. Gerät nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem der Druck des Lasergases so eingestellt ist, dass er innerhalb eines Bereiches von mehreren 10 Torr bis 1 atm fällt.

15. Gerät nach einem der vorhergehenden Ansprüche, ferner enthaltend ein Kühlmittel (**7, 9, 50**) zum Kühlen der Laserkammer.

16. Gerät nach einem der vorhergehenden Ansprüche, ferner enthaltend eine Isolierplatte (**41**) zum Isolieren des Inneren des Mikrowelleneinführungsmittels (**42**) vom Inneren der Laserkammer, wobei ein dünner Fluoridfilm auf einer obersten Oberfläche der Isolierplatte seitens der Laserkammer ausgebildet ist.

17. Gerät nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem eine Vielzahl von Schlitzen (S) auf dem Mikrowelleneinführungsmittel (**1**) ausgebildet sind, und die Mikrowelle über die Schlitze in die Laserkammer (**2**) eingeführt wird.

18. Gerät nach Anspruch 17, bei welchem ein Abstand zwischen angrenzenden Schlitzen (S) vom Zentrum zu beiden Enden hin in einer axialen Richtung der Laserkammer (**2**) zunimmt.

19. Gerät nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem ein Mikrowellenemissionsabschnitt (**11**) des Mikrowelleneinführungsmittels in Richtung der Laserkammer (**2**) hin konisch breiter zuläuft.

20. Gerät nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem ein Mikrowellenemissionsabschnitt (**12**) des Mikrowelleneinführungsmittels einen Spalt hat, welcher eine Breite hat, die einer Frequenz der Mikrowelle entspricht.

21. Gerät nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem das Mikrowelleneinführungsmittel (**303**) entlang einer optischen Achse (**350**) des optischen Resonators (**305**) angeordnet ist, und der Abstand zwischen dem Mikrowelleneinführungsmittel und der optischen Achse des optischen Resonators in einer Richtung der optischen Achse geändert wird, und zwar gemäß Änderungen in der Richtung der optischen Achse im Strahlpunktradius in einer senkrechten Richtung zur optischen Achse.

22. Gerät nach einem der Ansprüche 1 bis 20, bei welchem ein Paar von Mikrowelleneinführungsmitteln (**303a, 303b**) äquivalent zum Mikrowelleneinführungsmittel so angeordnet sind, dass sie eine optische Achse (**350**) dazwischen einschieben.

23. Gerät nach Anspruch 21, ferner enthaltend ein Mittel (**306**), welches auf einer stromaufwärtigen Seite des Lasergaszuführungsmittels zum Ausbilden des Lasergases in einer Laminarströmung angeordnet ist.

24. Gerät nach einem der Ansprüche 1 bis 15, bei welchem das Mikrowelleneinführungsmittel einen Schlitzwellenleiter (**1**), welcher einen Schlitz (S) hat, und eine dielektrische Platte (**3**) enthält, welche zwischen ihm selber und der Laserkammer zwischengeschaltet ist.

25. Gerät nach Anspruch 24, bei welchem der Schlitz kontinuierliche oder unterbrochene rechteckige Schlitze enthält, wobei sich eine lange Seite von jedem in Richtung einer optischen Achse erstreckt.

26. Gerät nach einem der Ansprüche 1 bis 15, bei welchem das Mikrowelleneinführungsmittel einen Schlitzwellenleiter (**500**), welcher einen Schlitz hat, und ein in den Schlitz (**530**) eingegrabenes dielektrisches Teil (**510**) enthält.

27. Gerät nach Anspruch 26, bei welchem der Schlitz kontinuierliche oder unterbrochene rechteckige Schlitze enthält, wobei sich eine lange Seite von jedem in Richtung einer optischen Achse erstreckt.

28. Excimer-Laseroszillator-Verfahren, die Schritte enthaltend:
Kontinuierliches Zuführen eines Lasergases, welches eine Gasmischung aus F₂ Gas und mindestens einem Edelgas enthält, welches aus der Gruppe ausgewählt ist, welche sich aus Kr, Ar und Ne zusammensetzt, in eine Laserkammer (**20, 40, 2**), wobei eine Innenoberfläche dieser einen Reflektionsgrad von 50% oder weniger in Bezug auf Licht einer gewünschten Wellenlänge von 248 nm, 193 nm oder 157 nm hat, wobei die Innenoberfläche sich aus einem Fluorid zusammensetzt, welches in Bezug auf F₂ beständig ist;
Kontinuierliches Anregen des Lasergases in der Laserkammer durch Einführen einer Mikrowelle in die Laserkammer; und
Resonanzanregung von durch das angeregte Lasergas emittierten Lichts durch ein Paar von Reflektionsspiegeln (**5, 6**), wobei ein Reflektionsgrad des Reflektionsspiegels auf einer Ausgangsseite nicht geringer als 90% ist.

29. Verfahren nach Anspruch 28, bei welchem das Lasergas Kr, Ne und F₂ enthält, wobei der Kr-Gehalt innerhalb eines Bereiches von 1–6% Atomprozent fällt, und der F₂-Gehalt innerhalb eines Bereiches von 1–6% Atomprozent fällt.

30. Verfahren nach Anspruch 28, bei welchem das Lasergas Ar, Ne und F₂ enthält, wobei der Ar-Gehalt innerhalb eines Bereiches von 1–6% Atomprozent

fällt, und der F₂-Gehalt innerhalb eines Bereiches von 1–6% Atomprozent fällt.

31. Verfahren nach Anspruch 28, bei welchem das Lasergas Ne und F₂ enthält, und der F₂-Gehalt innerhalb eines Bereiches von 1–6% Atomprozent fällt.

32. Verfahren nach Anspruch 28, ferner enthaltend die Schritte des Zuführens des Lasergases von beiden Enden der Laserkammer aus, und Abgeben des Lasergases von einem zentralen Abschnitt der Laserkammer aus.

33. Verfahren nach Anspruch 28, bei welchem eine Frequenz der Mikrowelle innerhalb eines Bereiches von 1 GHz bis 50 GHz fällt.

34. Verfahren nach Anspruch 28, ferner enthaltend den Schritt des Evakuierens des Inneren eines Wellenleiters zum Einführen der Mikrowelle.

35. Verfahren nach Anspruch 28, ferner enthaltend den Schritt des Anlegens eines magnetischen Feldes in die Laserkammer.

36. Verfahren nach Anspruch 28, ferner enthaltend den Schritt des Einstellens eines Abstandes zwischen dem Paar von Reflektionsspiegel (**5**, **6**), welche den optischen Resonator ausmachen, bei im wesentlichen nicht mehr als ungefähr 15 cm.

37. Verfahren nach Anspruch 28, ferner enthaltend den Schritt des Einstellens eines Druckes des Lasergases bei mehreren 10 Torr bis 1 atm.

38. Verfahren nach Anspruch 37, ferner enthaltend den Schritt des Einstellens des Druckes des Lasergases an einer Einlassöffnung (**21a**, **21b**) auf das 1,2 bis 1,8-fache des Druckes an einer Auslassöffnung (**22**).

39. Verfahren nach Anspruch 28, ferner enthaltend einen Kühlschritt zum Kühlen der Laserkammer.

40. Belichtungsgerät, enthaltend:

(A) ein Excimer-Lasersoszillatorgerät (A1) nach einem der Ansprüche 1 bis 27;

(B) ein optisches Illuminationssystem (A2, A3, A4, A5) zum Illuminieren einer Strichplatte (A6), welche mit einem Muster ausgebildet ist, durch Licht, welches vom Excimer-Lasersoszillatorgerät ausgegeben wird;

(C) ein optisches Abbildungssystem (A7) zum Abbilden von Licht, welches von der Strichplatte auf einen Wafer (A8) kommt ; und

(D) ein bewegbares Gestell (A9), auf welchem der Wafer angeordnet ist, und welches den Wafer trägt.

41. Laserröhre (**40**), welche ein Lasergas speichert, welches eine Gasmischung aus F₂ Gas und

mindestens einem Edelgas enthält, welches aus der Gruppe ausgewählt ist, welche aus Kr, Ar und Ne zusammengesetzt ist, enthaltend:

eine Laserröhren Innenoberfläche, welche einen Reflektionsgrad von 50% oder weniger in Bezug auf Licht einer gewünschten Wellenlänge von 248 nm, 193 nm oder 157 nm hat, wobei die Innenoberfläche aus einem Fluorid zusammengesetzt, welches in Bezug auf F₂ beständig; und eine Isolierplatte (**41**) zum Einführen einer Mikrowelle in die Laserröhre.

42. Verfahren zum Überziehen von Metall, Kunstharz, Glas, Keramik oder Halbleitermaterial, welches enthält:

Verwenden des Belichtungsgerätes nach Anspruch 40, um eine mit einem Muster ausgebildete Strichplatte (A6) zu illuminieren und das illuminierte Strichplattenmuster auf der mit Fotolack beschichteten Oberfläche eines Wafers (A8) des Materials abzubilden;

Entwickeln der Fotolackbeschichtung des Wafers; Übertragen des entwickelten Fotolackmusters auf die unterliegende Waferoberfläche durch Ätzen; und Entfernen der Fotolackbeschichtung.

Es folgen 26 Blatt Zeichnungen

FIG. 1

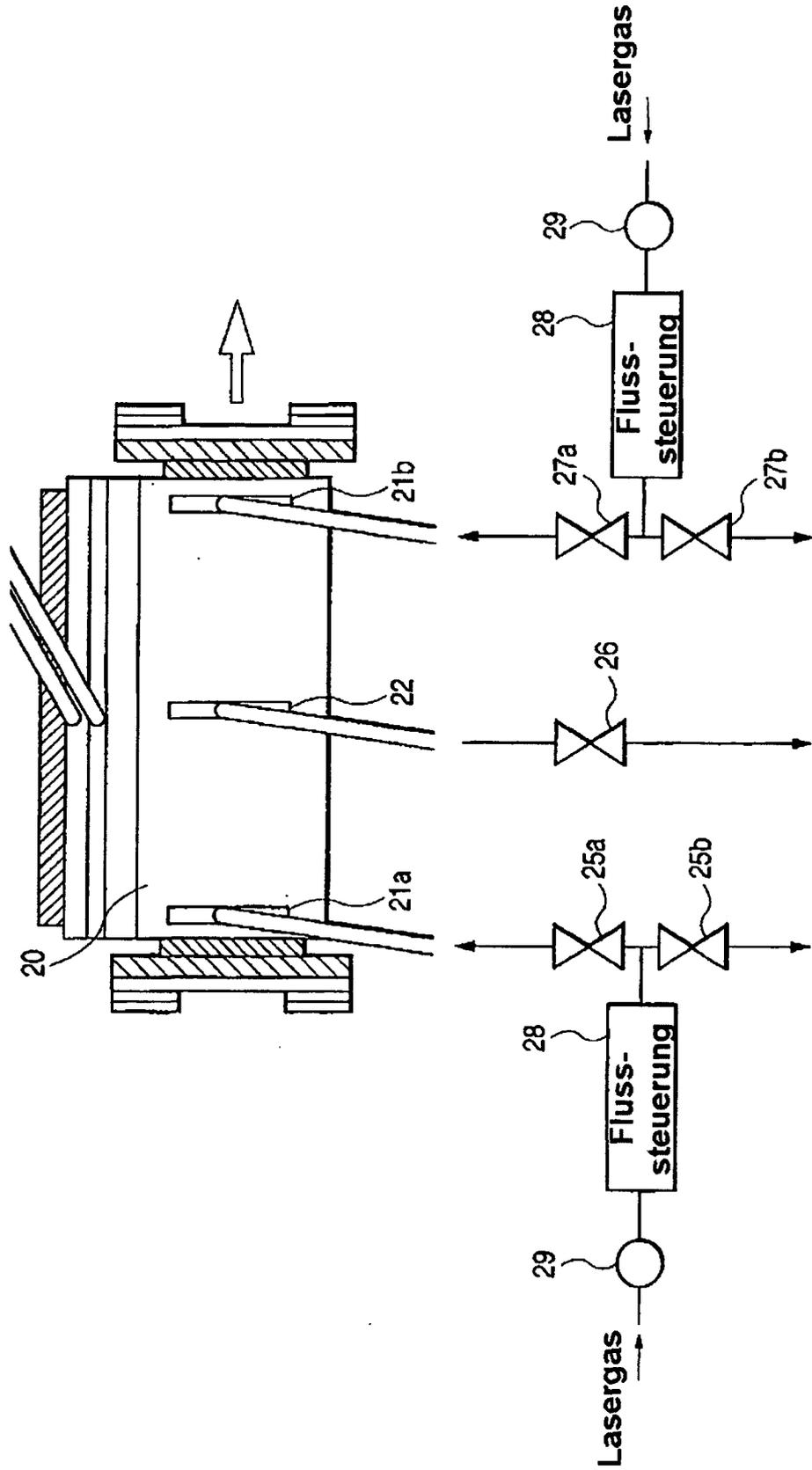


FIG. 2

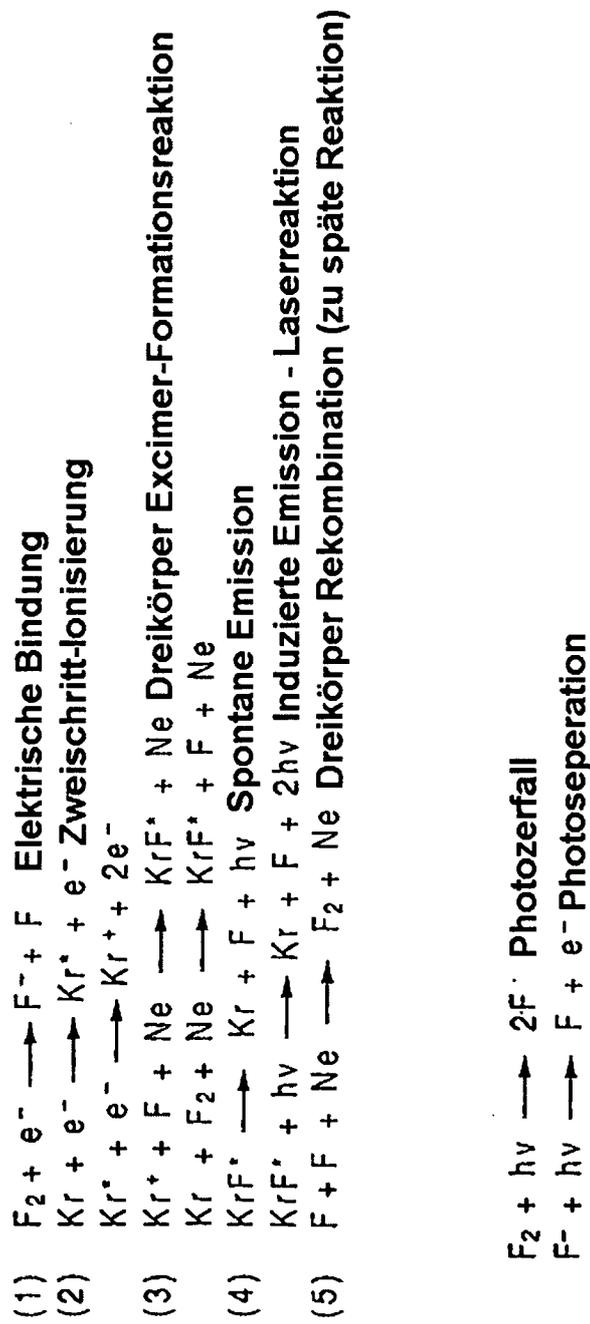


FIG. 3A

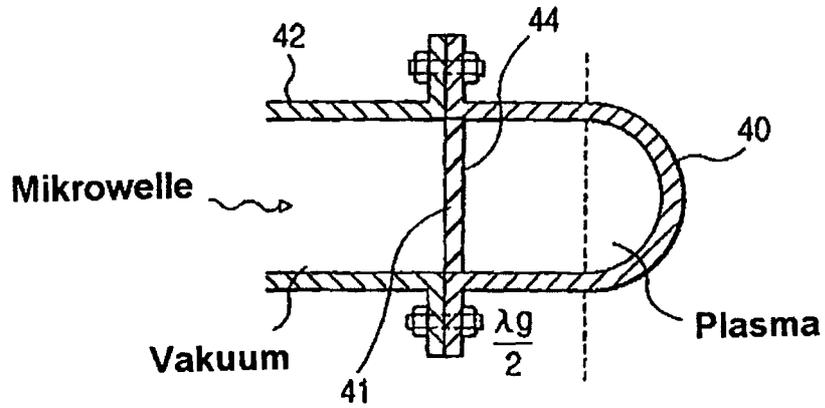


FIG. 3B

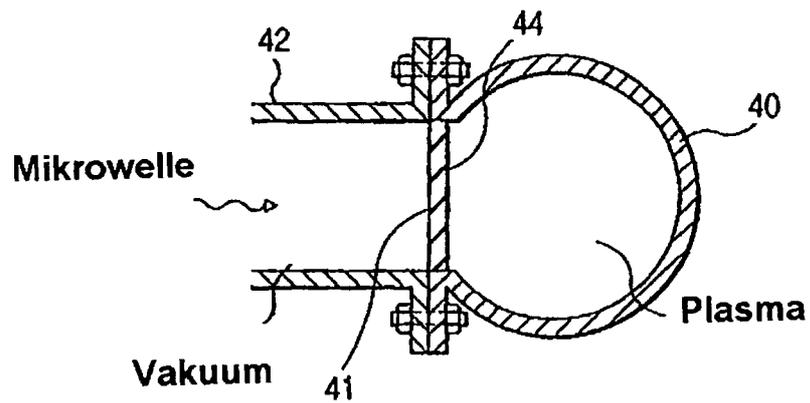


FIG. 3C

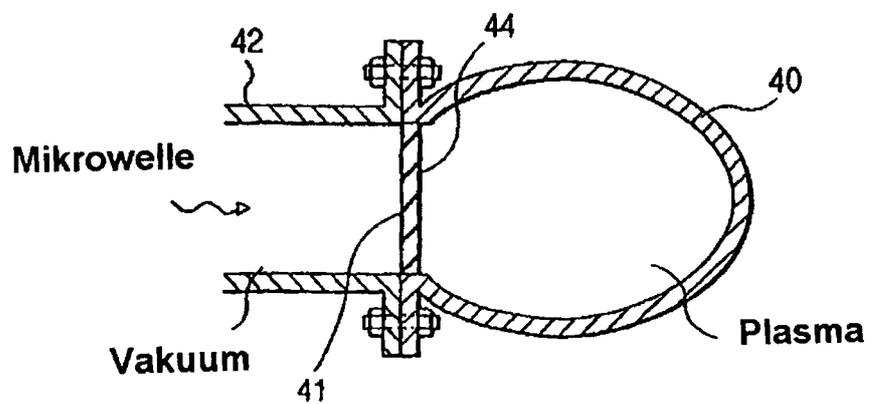


FIG. 4A

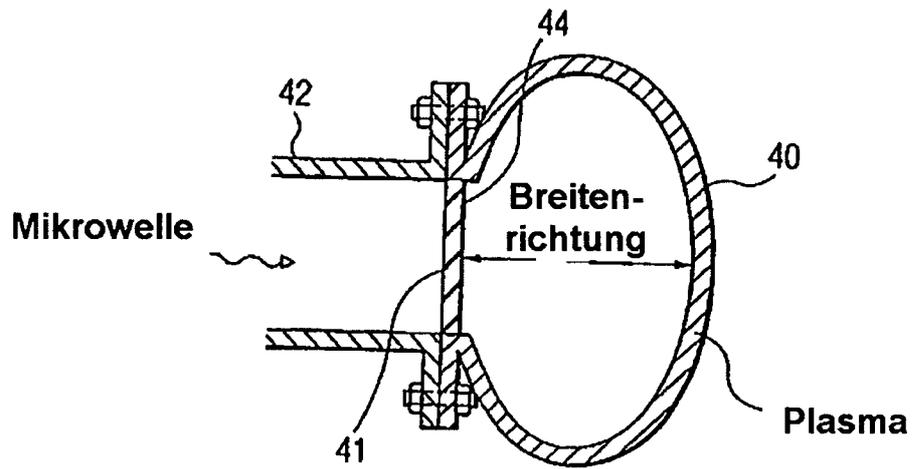


FIG. 4B

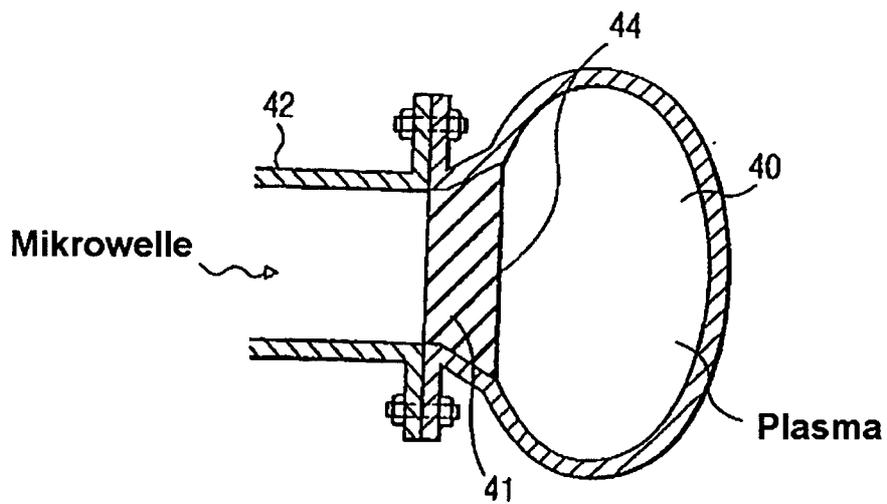


FIG. 5

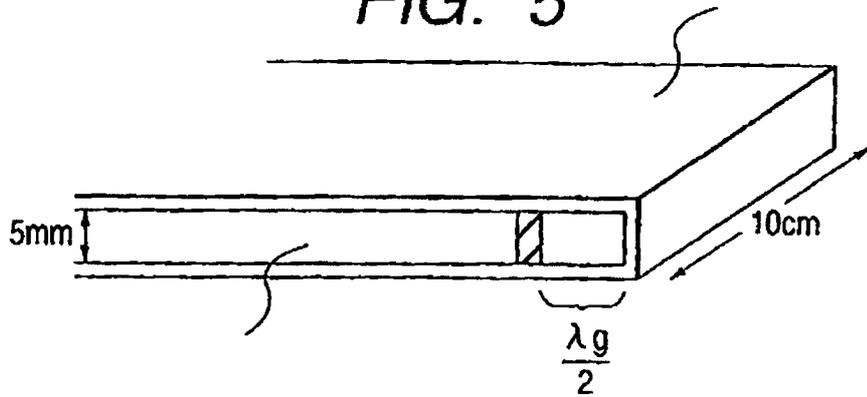


FIG. 6A

FIG. 6B

Elektrische
Feldverbreitung

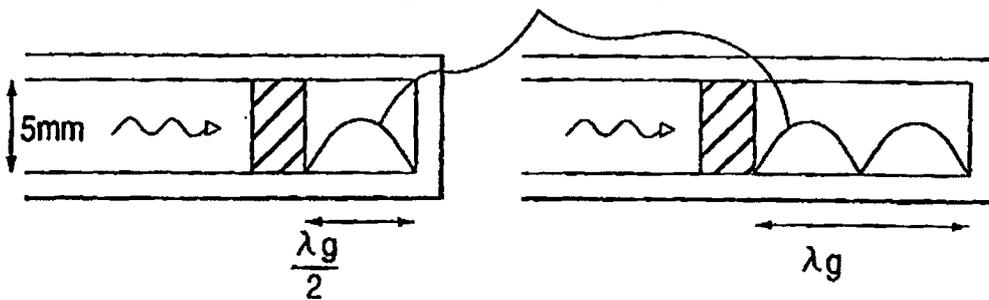


FIG. 7

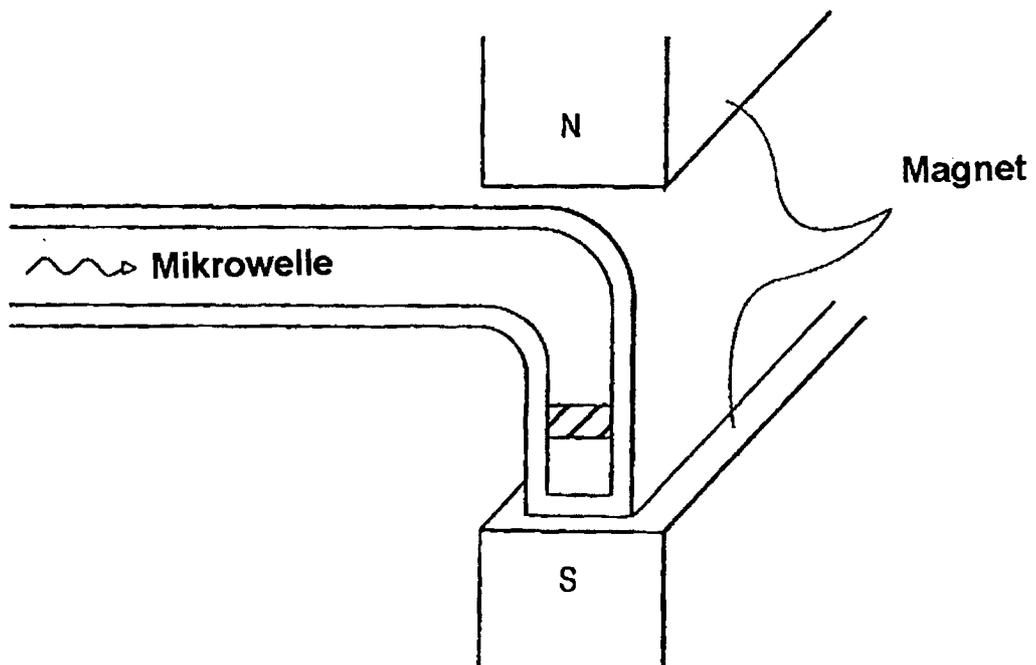


FIG. 8A

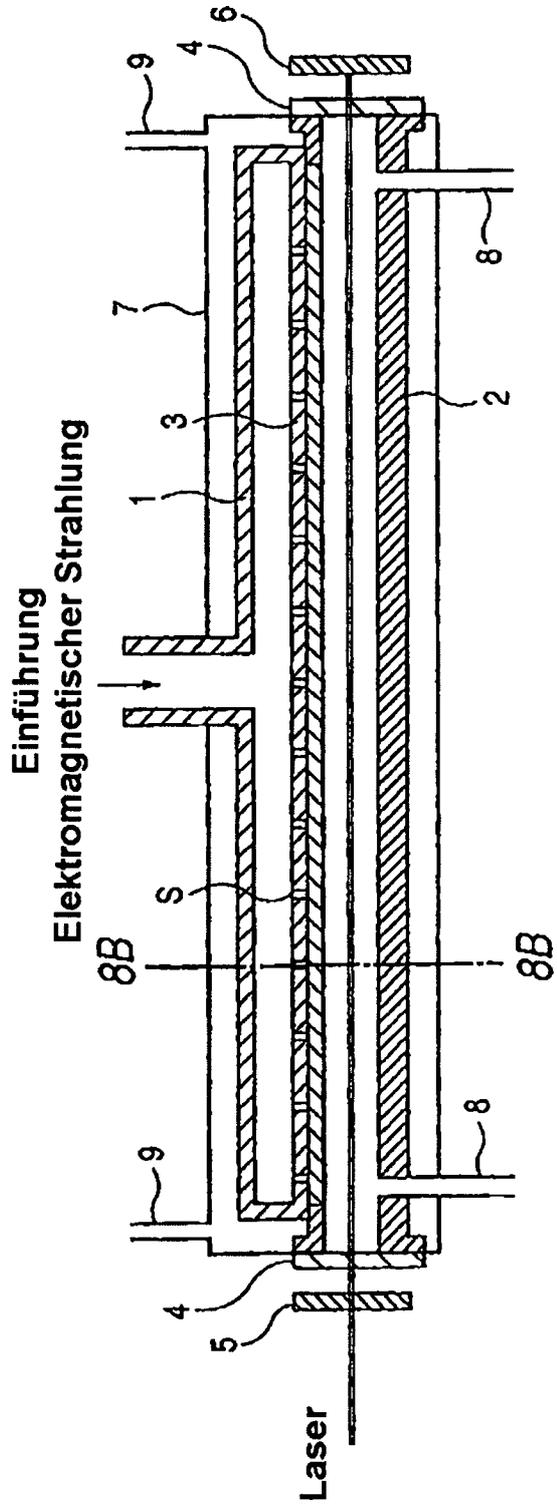
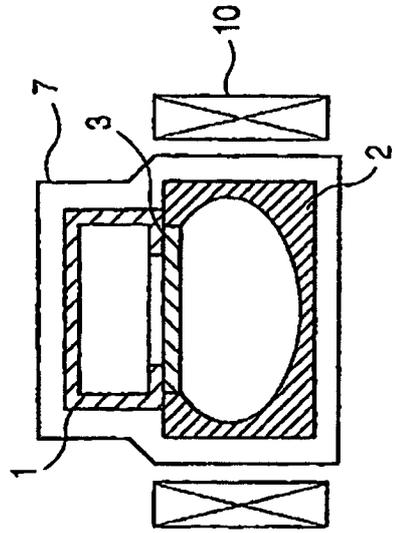


FIG. 8B



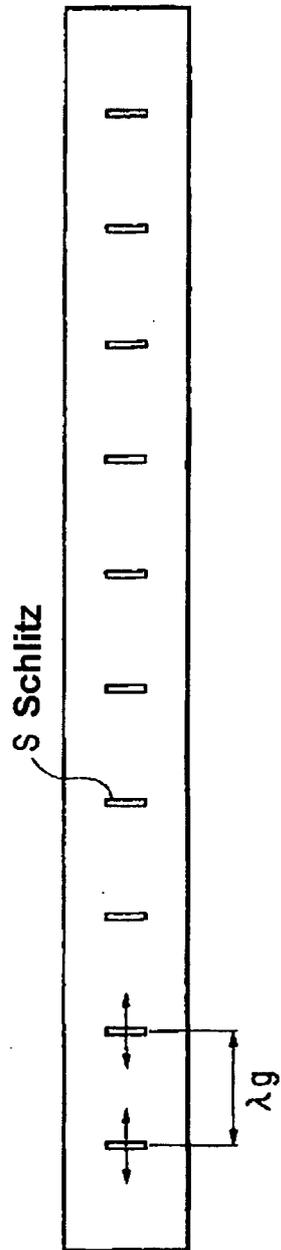


FIG. 9A

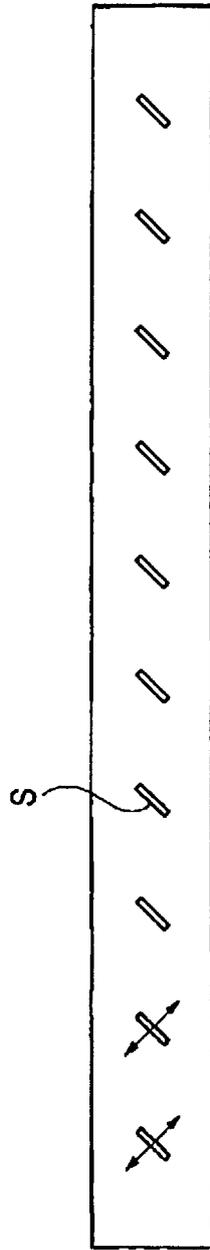


FIG. 9B

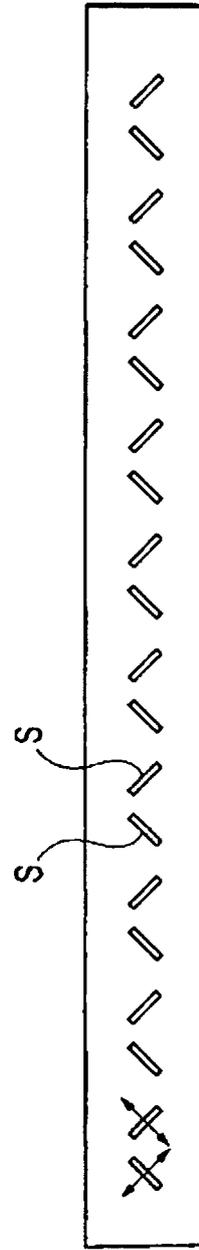


FIG. 9C

FIG. 10A

**Einführung
Elektromagnetischer Strahlung**

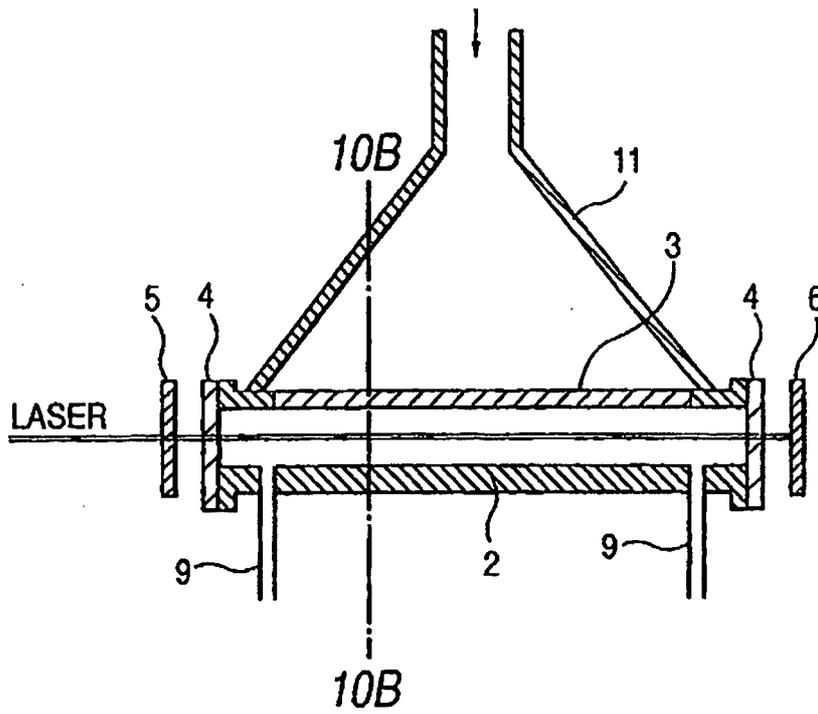


FIG. 10B

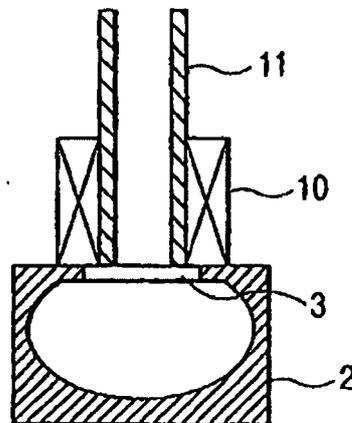


FIG. 11A

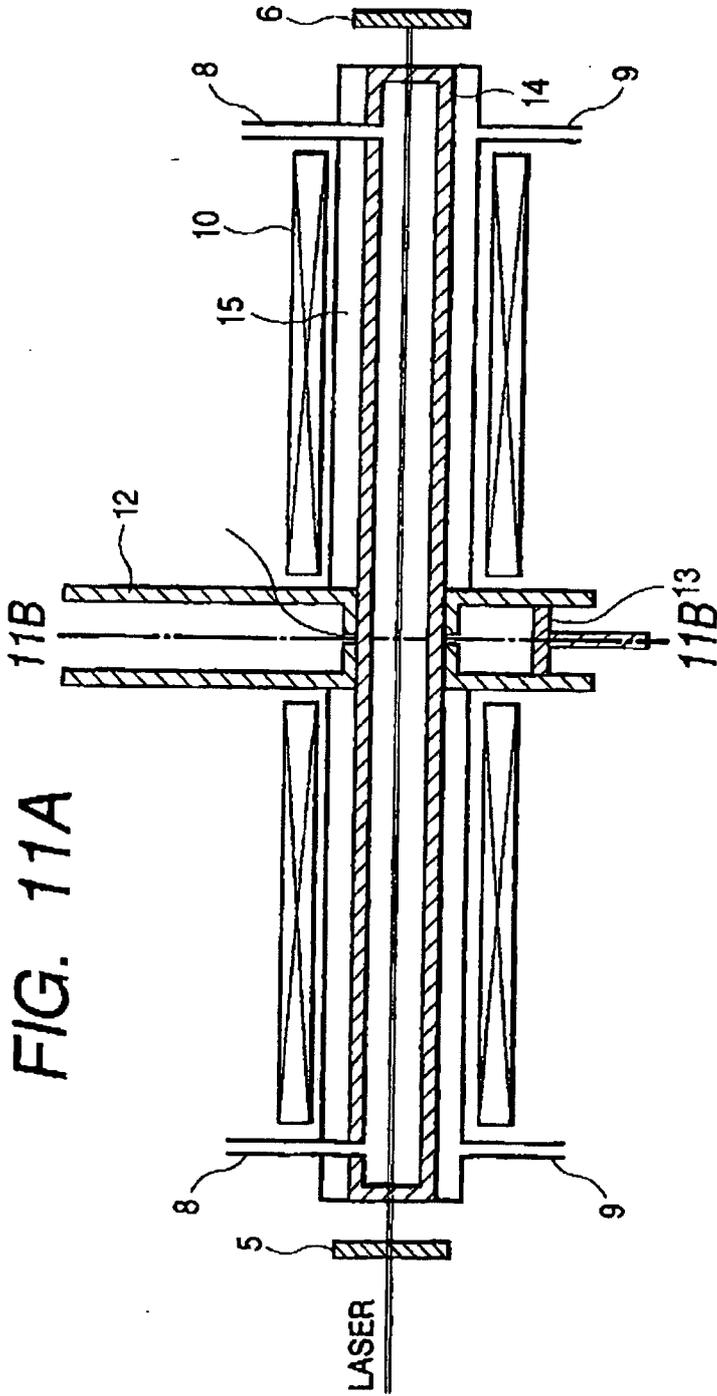
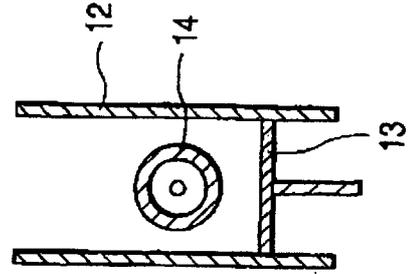


FIG. 11B



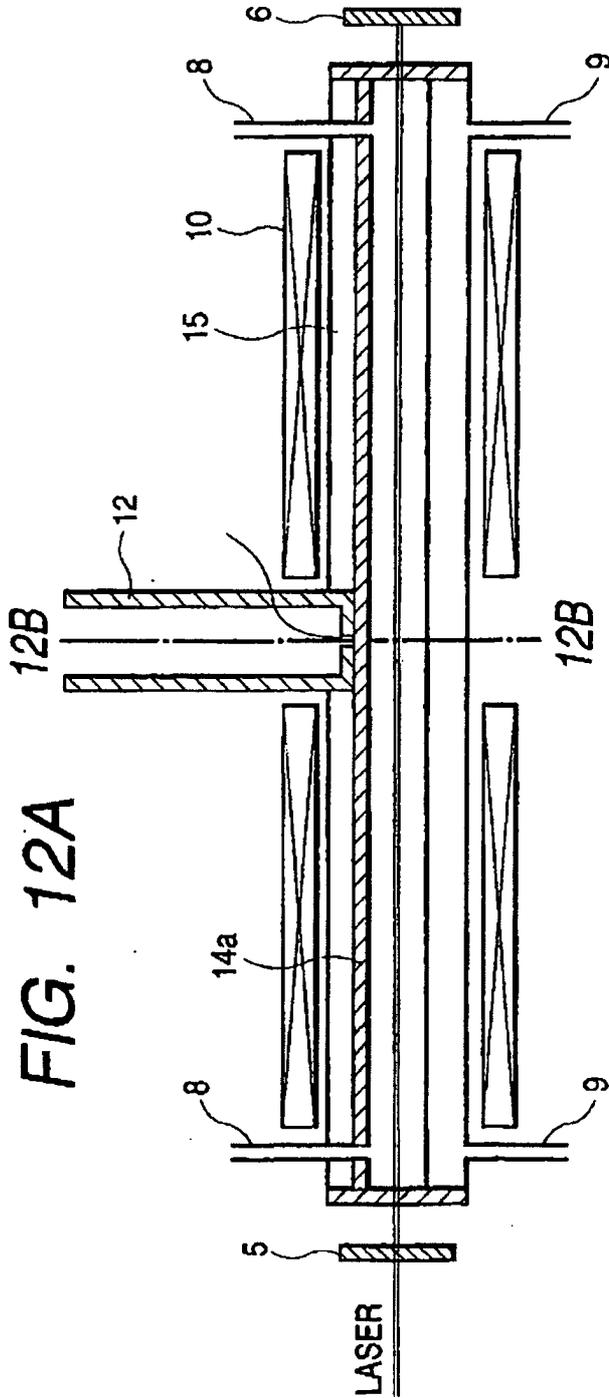


FIG. 12B

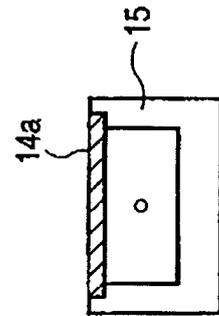


FIG. 13

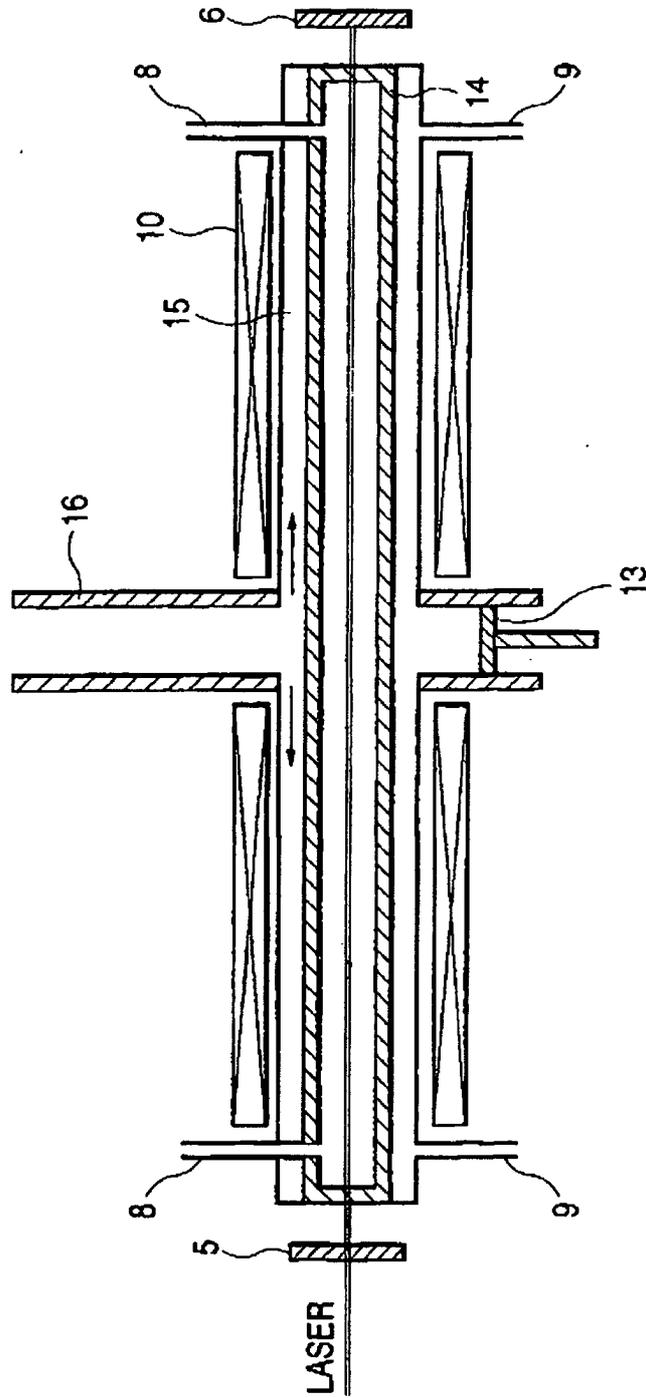


FIG. 14

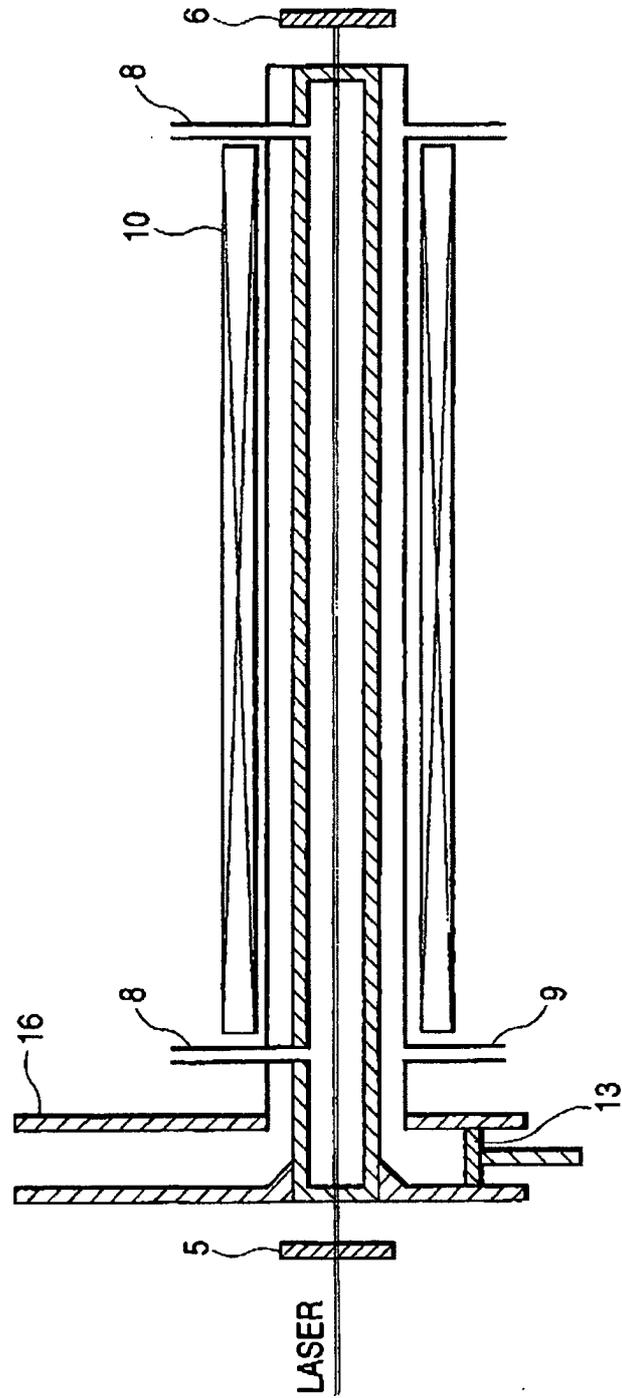
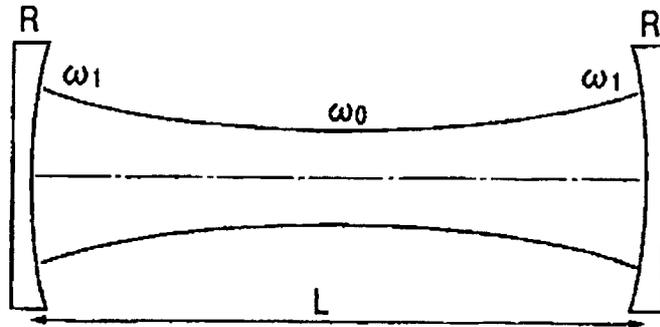


FIG. 15A



$$\omega_1^2 = \frac{2L}{kg_1} \left(\frac{g_1 g_2}{1 - g_1 g_2} \right)^{1/2}, \quad k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

FIG. 15B

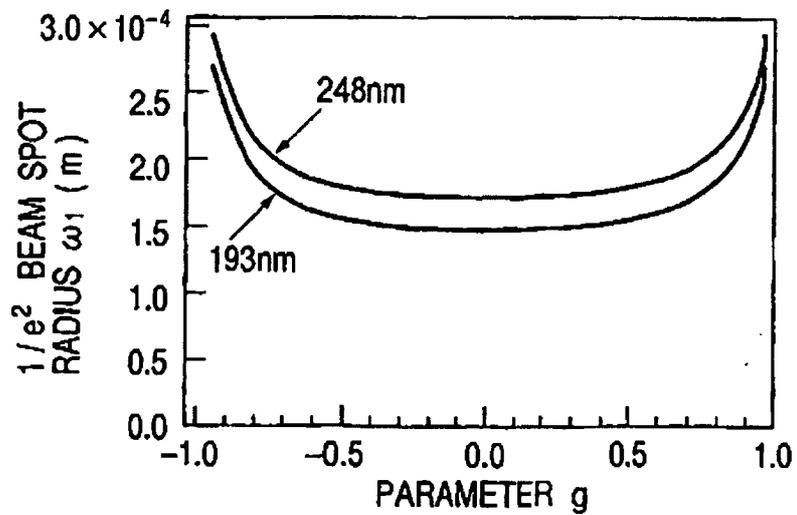


FIG. 16A

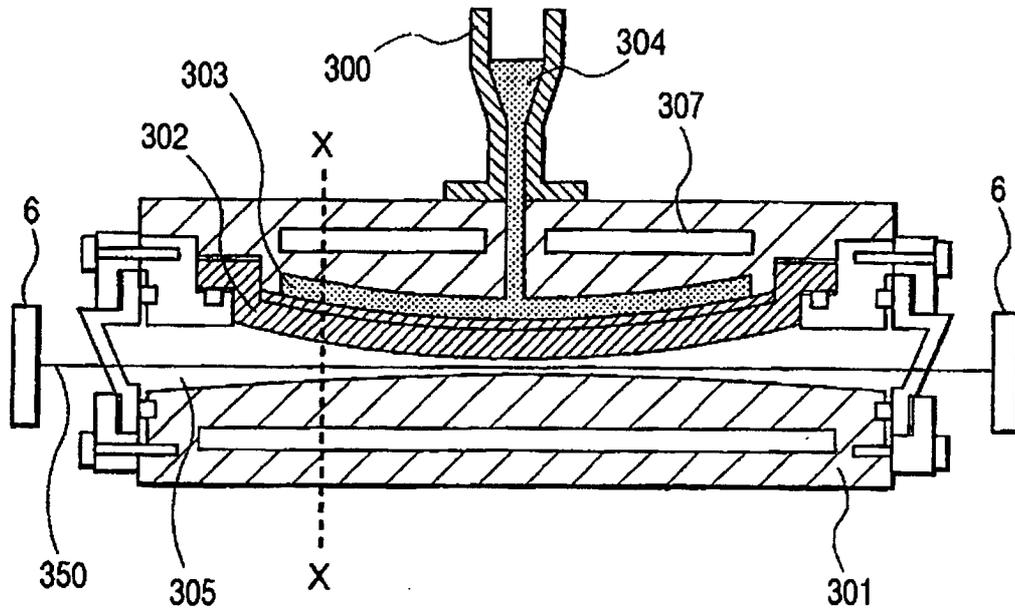


FIG. 16B

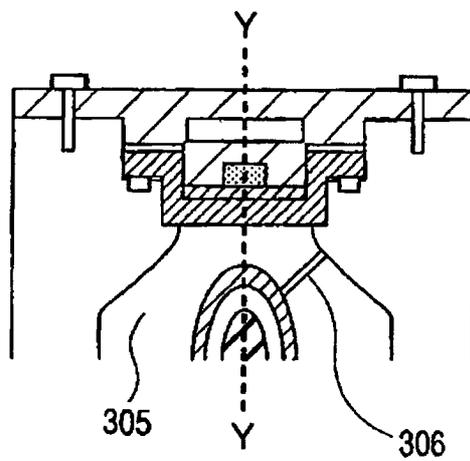


FIG. 17A

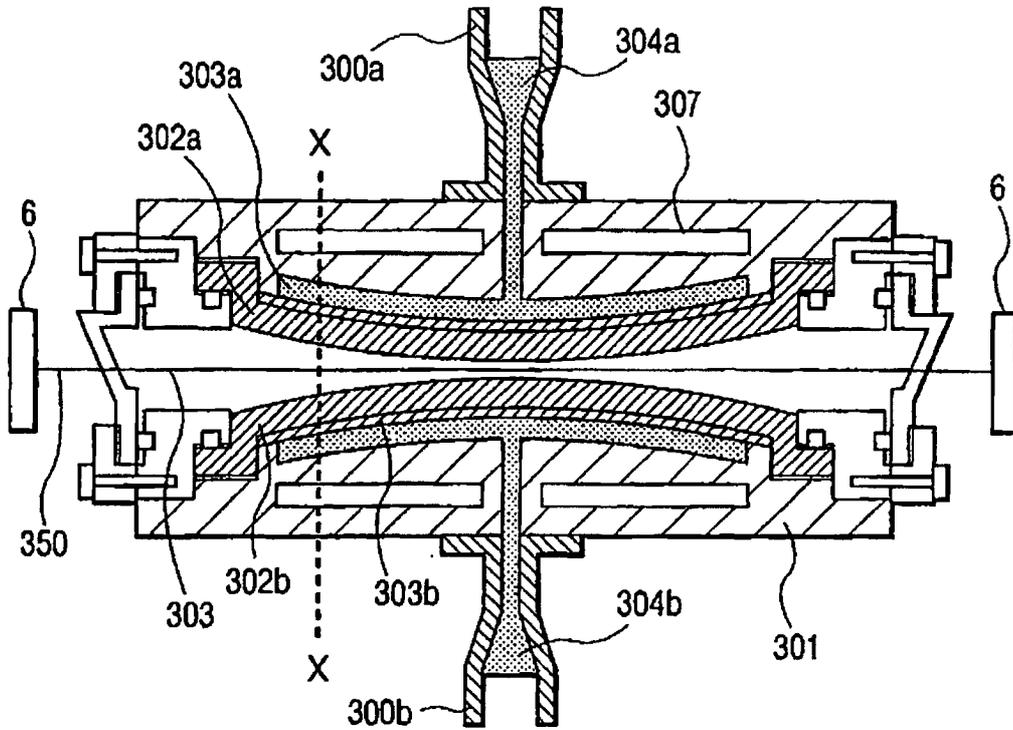


FIG. 17B

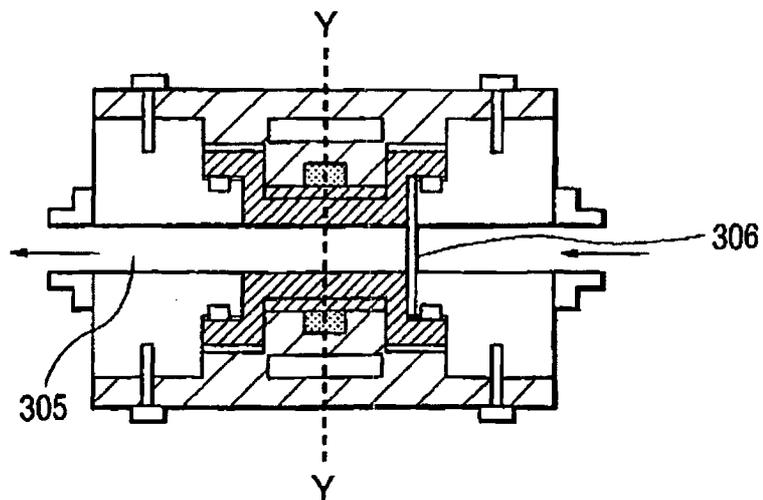


FIG. 18A

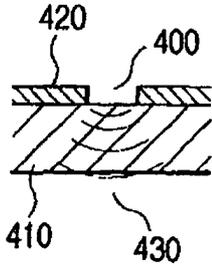


FIG. 18B

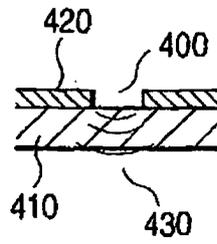


FIG. 18C

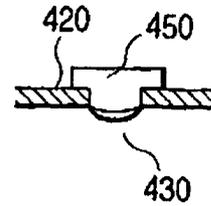


FIG. 19

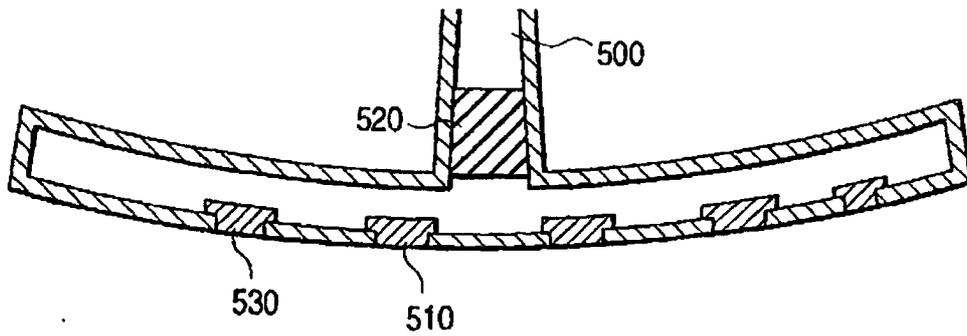


FIG. 20A

$\lambda g \cdot 1$ Wellenlänge



FIG. 20B

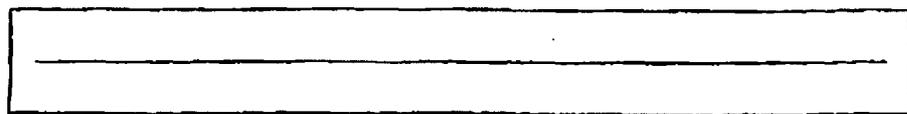


FIG. 21A

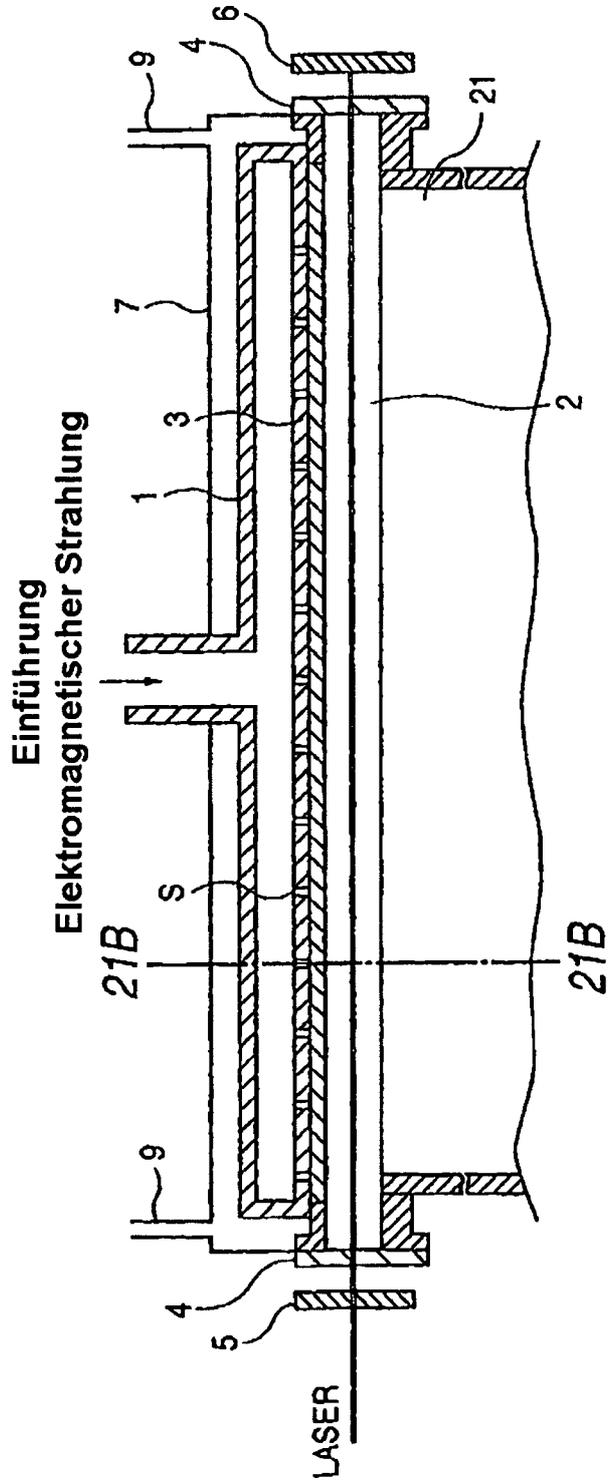


FIG. 21B

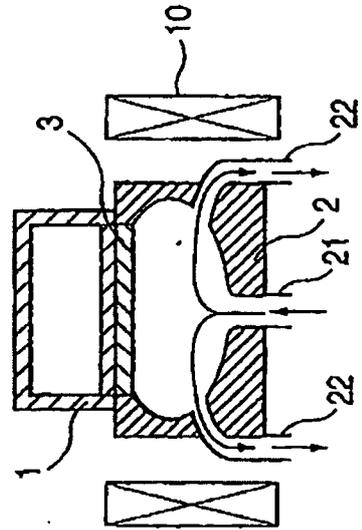


FIG. 22A

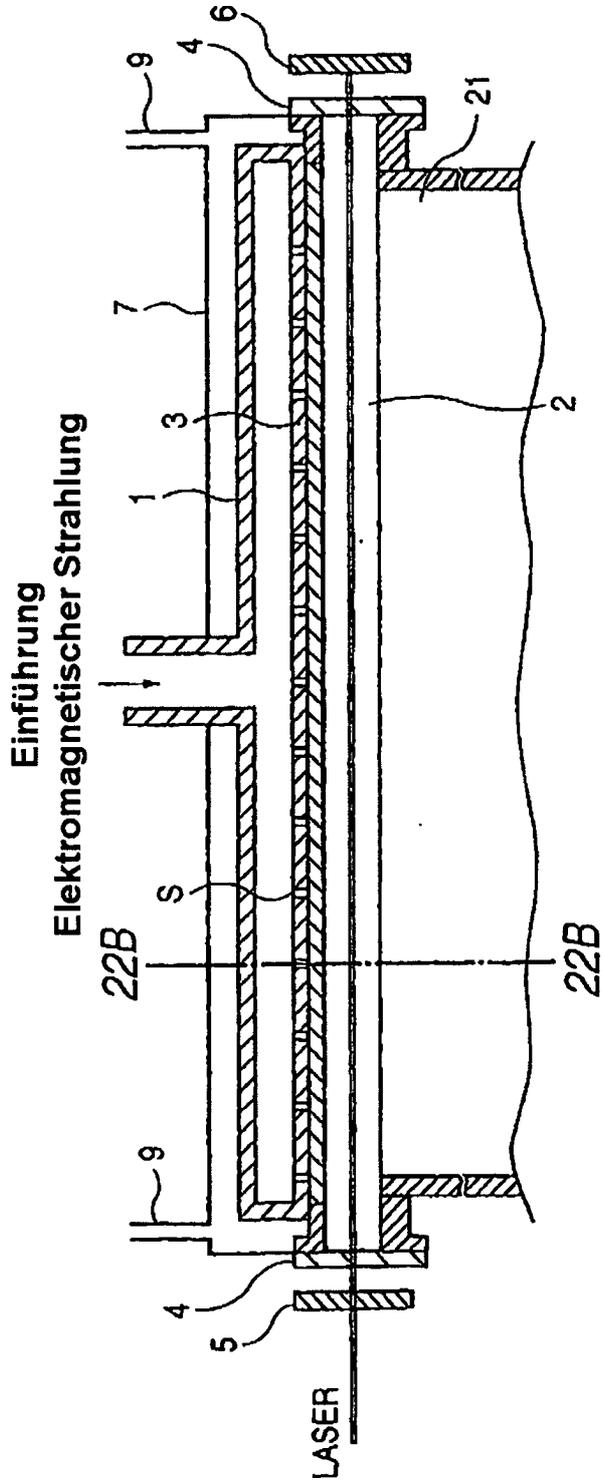


FIG. 22B

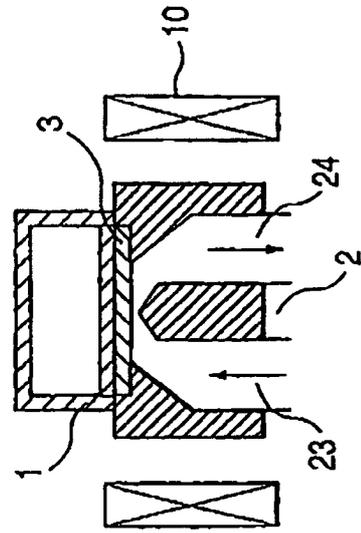


FIG. 23A

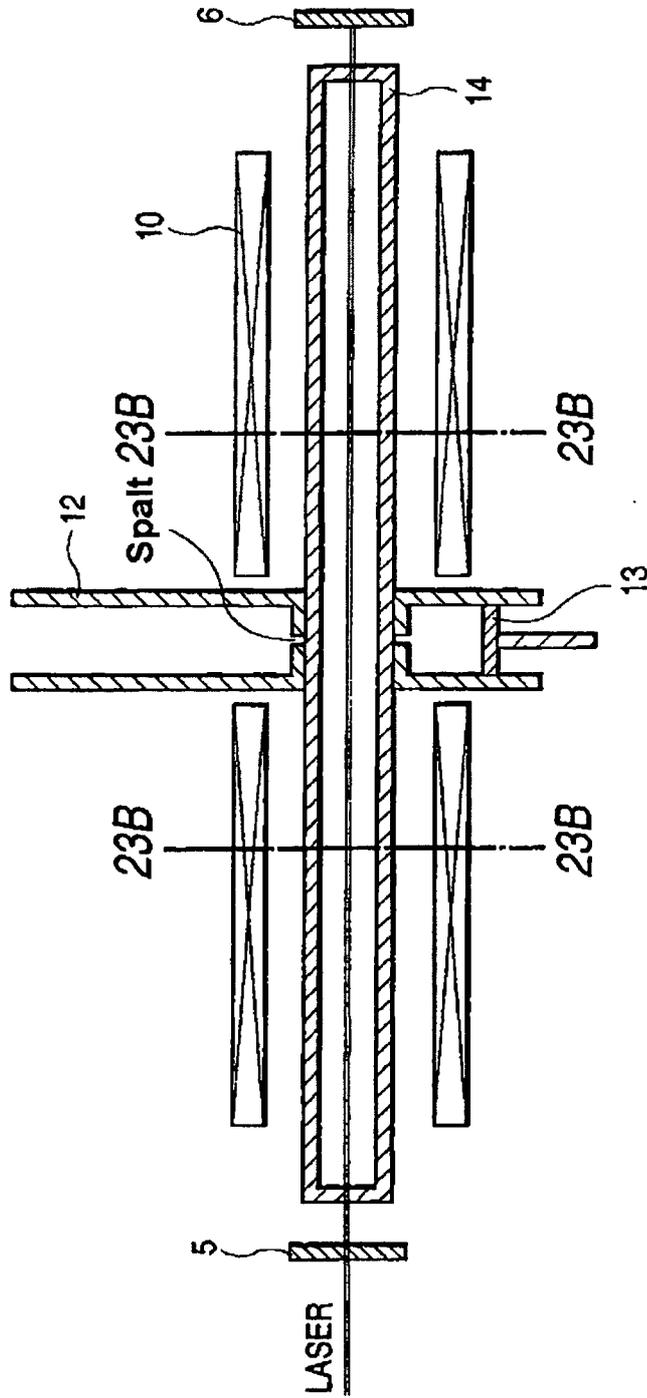


FIG. 23B

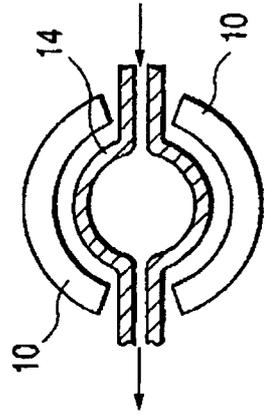


FIG. 24A

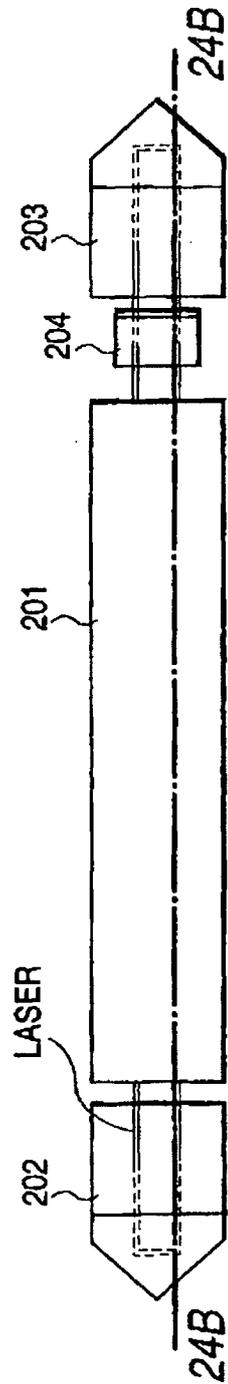


FIG. 24B

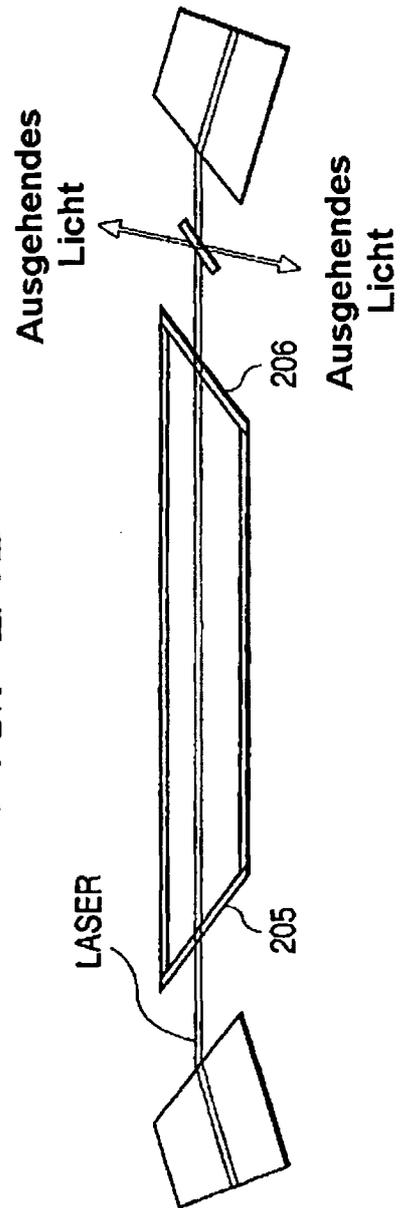
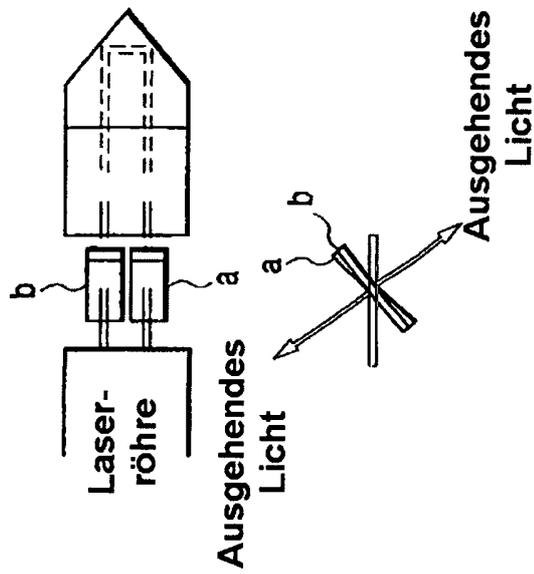
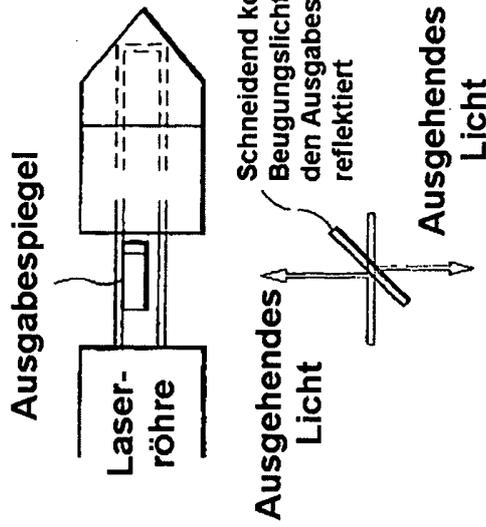


FIG. 25A



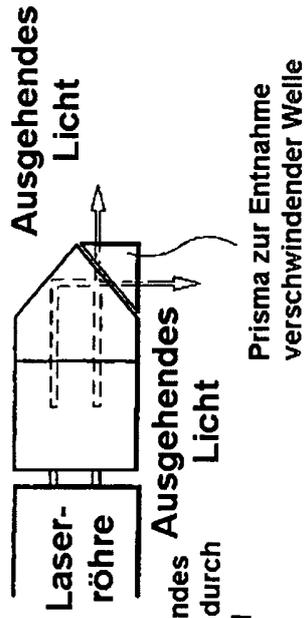
Anzahl ausgehender Strahlen = 4

FIG. 25B



Anzahl ausgehender Strahlen = 2

FIG. 25C



Anzahl ausgehender Strahlen = 2

FIG. 26

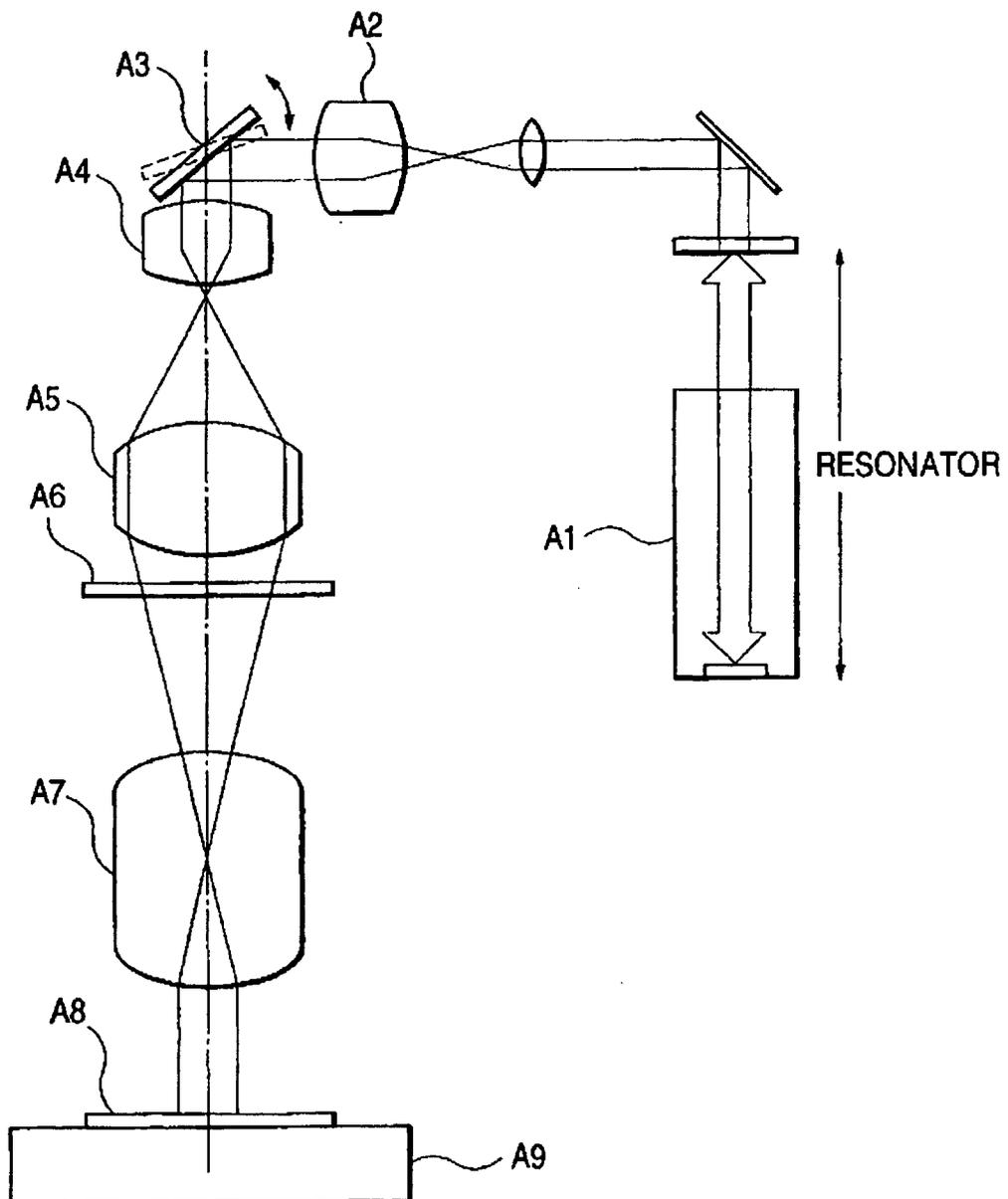


FIG. 27

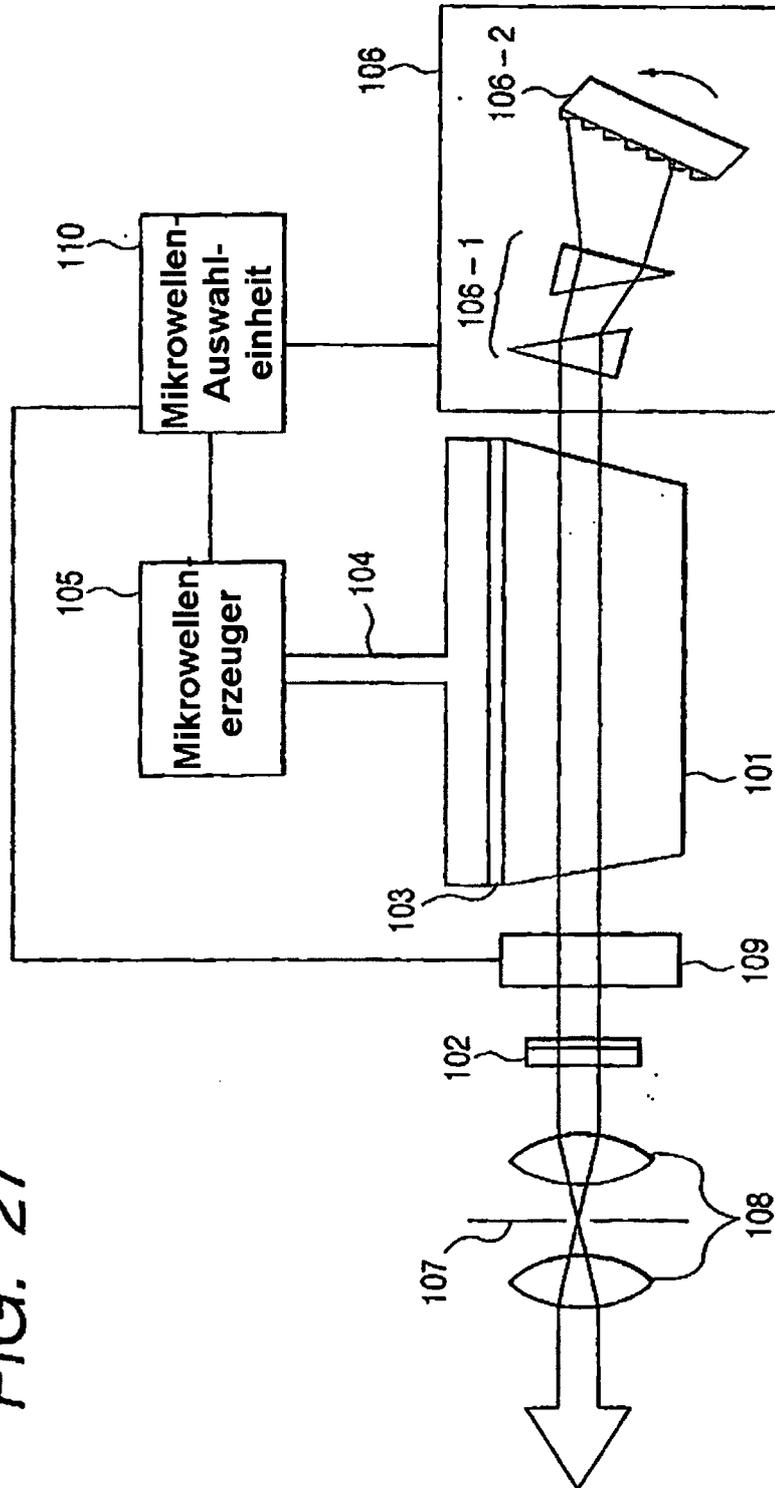


FIG. 28

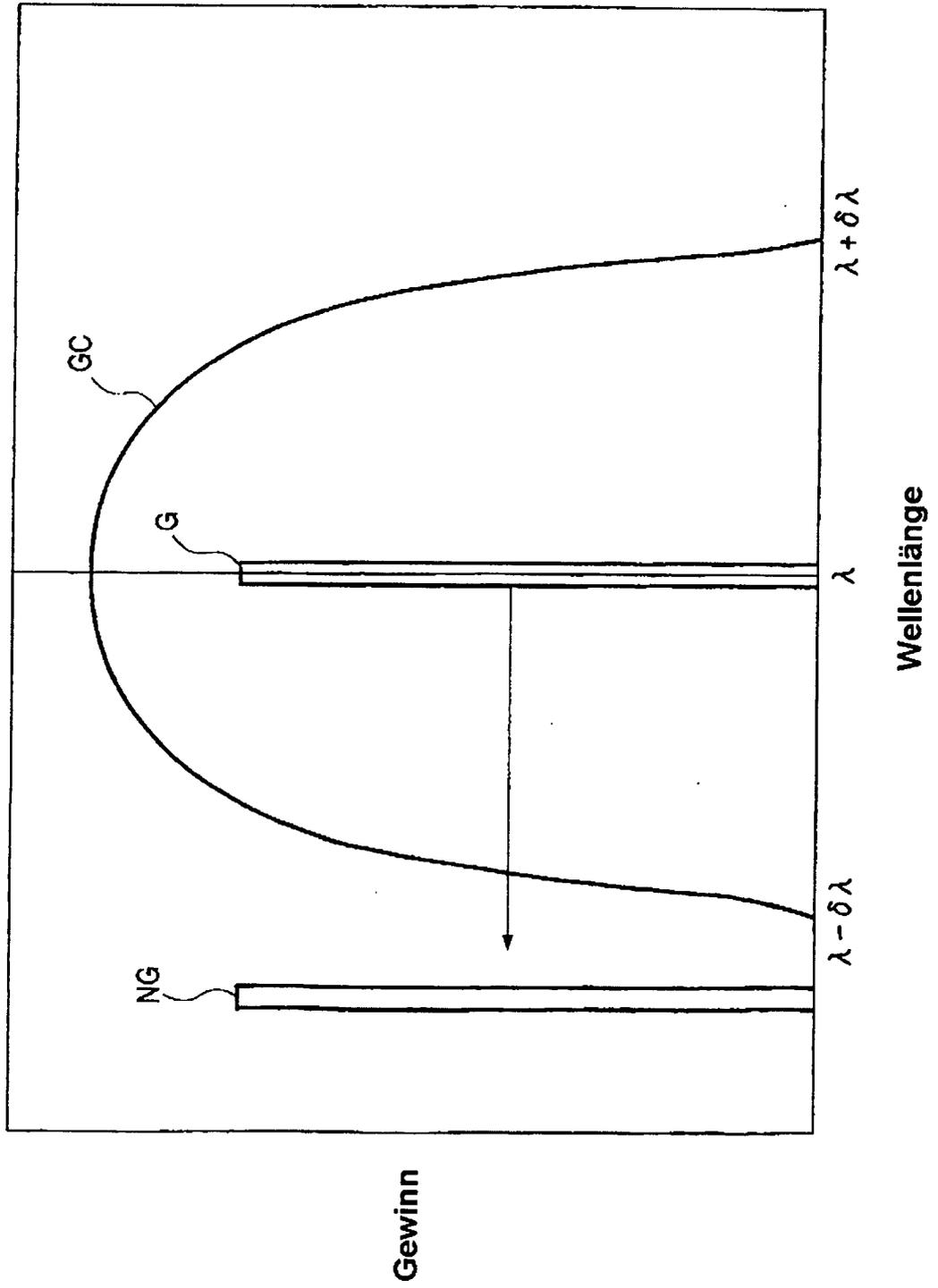


FIG. 29

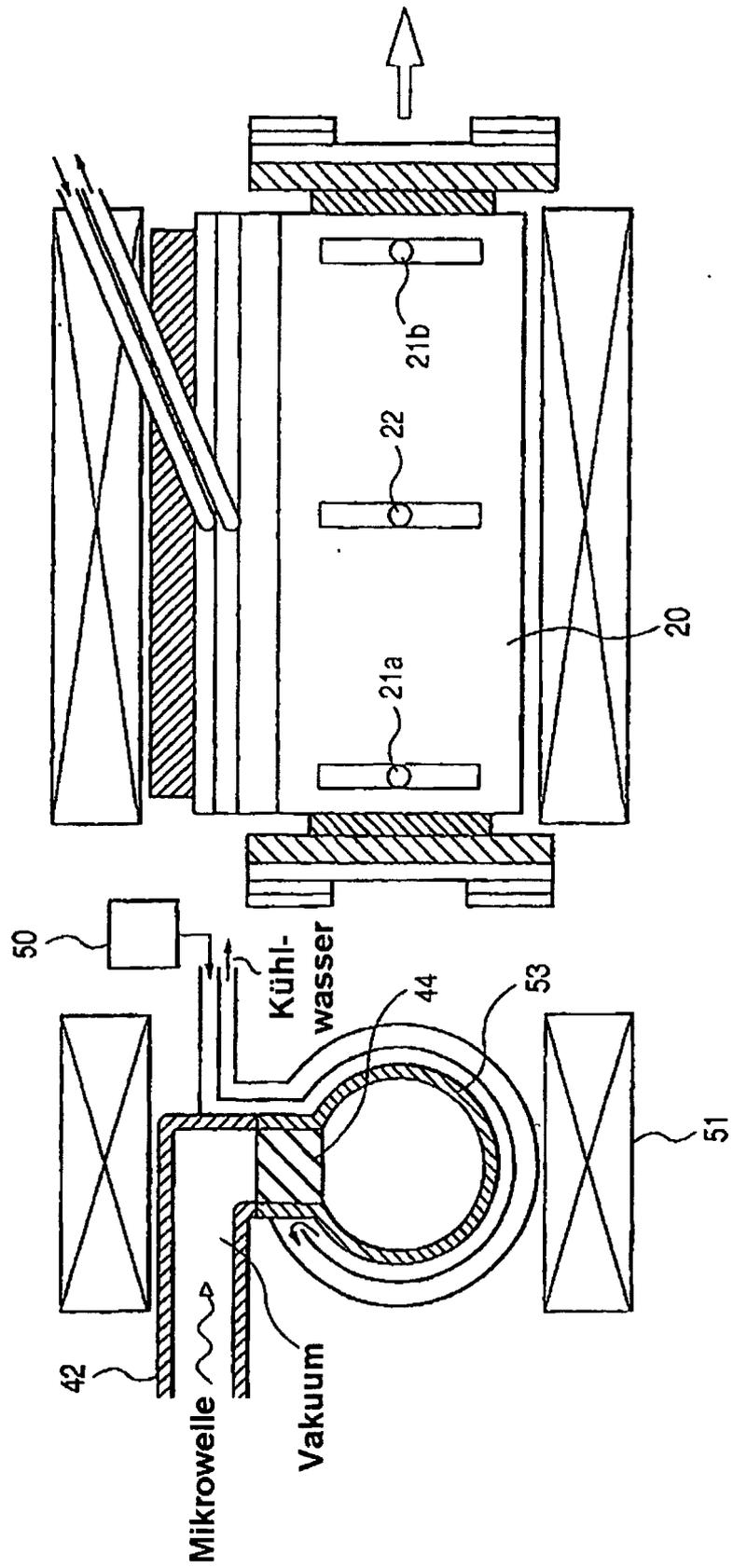


FIG. 30

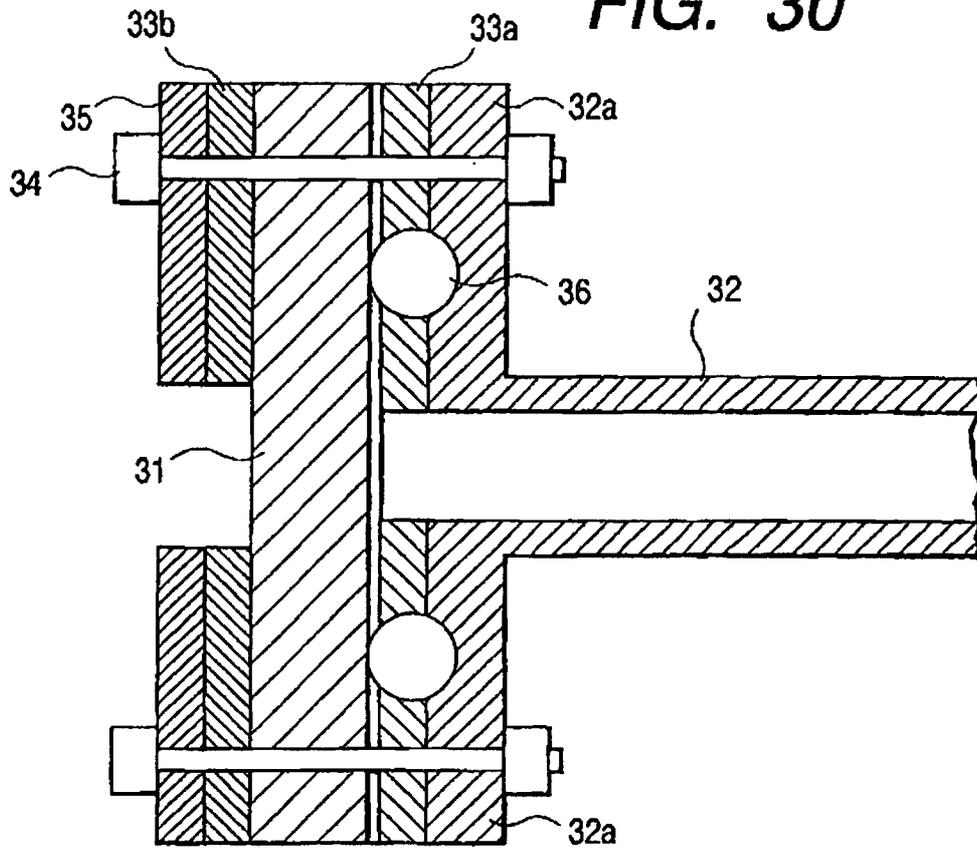


FIG. 31

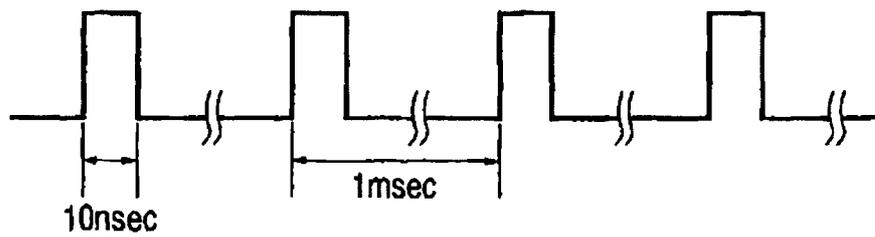


FIG. 32

