



(11) EP 2 642 833 A2

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
25.09.2013 Patentblatt 2013/39

(51) Int Cl.:
H05H 1/46 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: 13159136.4

(22) Anmeldetag: 14.03.2013

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO
PL PT RO RS SE SI SK SM TR**
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME

(71) Anmelder: **Forschungsverbund Berlin e.V.**
12489 Berlin (DE)

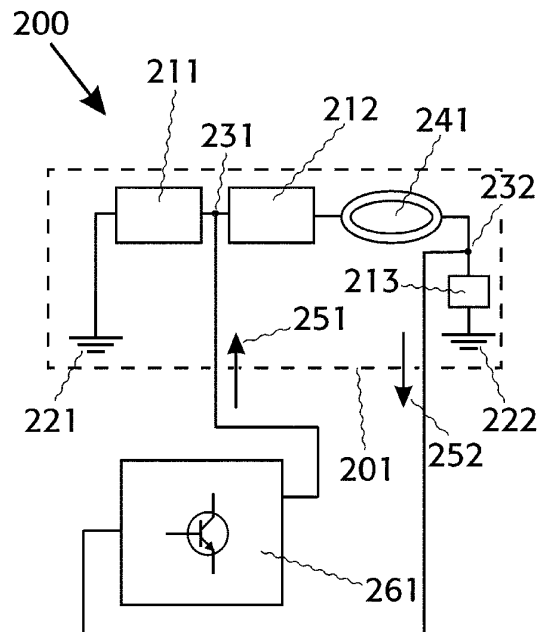
(72) Erfinder: **Kühn, Silvio**
16348 Wandlitz (DE)

(30) Priorität: 20.03.2012 DE 102012204447

(74) Vertreter: **Gulde Hengelhaupt Ziebig & Schneider**
Patentanwälte - Rechtsanwälte
Wallstrasse 58/59
10179 Berlin (DE)

(54) **Vorrichtung und Verfahren zur Erzeugung eines Plasmas**

(57) Es wird eine Vorrichtung (200) zur Erzeugung eines Plasmas offenbart, die eine als Hohlraum ausgebildete Plasmaquelle (241) und einen Resonator (201) aufweist, welcher einen Wellenleiter (211, 212, 2131) und die Plasmaquelle (241) umfasst, wobei der Wellenleiter (212, 213) mit der Plasmaquelle (241) wirkverbunden ist; die Vorrichtung (200) ein erstes Kopplungsmittel (231) zur Energie-Einspeisung (251) und ein zweites Kopplungsmittel (232) zur Energie-Auskopplung (252) aufweist, wobei jedes Kopplungsmittel (231, 232) Energie- und Signal-führend (251, 252) mit dem Wellenleiter wirkverbunden ist; die Vorrichtung ein aktives Element (261) zur Energieversorgung des Resonators (201) aufweist, welches mit dem ersten (231) und mit dem zweiten (232) Kopplungsmittel wirkverbunden ist, wobei die Plasmaquelle (241) zumindest teilweise in einem Bereich des Wellenleiters (211, 212, 213) integriert ist, der sich zwischen dem ersten Kopplungsmittel (231) und dem zweiten Kopplungsmittel (232) erstreckt.



Figur 2

EP 2 642 833 A2

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Erzeugung eines Plasmas.

5 **Stand der Technik**

[0002] Gegenstand der vorliegenden Erfindung sind Plasmaprozesse unter Nutzung von Mikrowellen-Kapillar-Entladungen sowie eine dazu geeignete Anlage.

10 [0003] Für Vakuumanwendungen existieren viele Ausgestaltungen von Plasmaquellen, deren Entwicklung durch die Forderung nach Erzeugung von immer kleineren Strukturen bei geringster Schädigung der Substrate durch das Plasma, nach der homogenen Bearbeitung immer größerer Flächen und nach kurzen Bearbeitungszeiten vorangetrieben wurde. Im Kern geht es darum, eine für die Bearbeitung optimale Plasmazusammensetzung zu erreichen und diese zeitlich und örtlich zu steuern. Angesichts der ständig wachsenden Anforderungen besteht auch künftig dringender Bedarf, die Plasmaquellen weiterzuentwickeln.

15 [0004] Nachteil des Standes der Technik ist, dass die Stehwelle abnimmt, wenn das Plasma zündet, und somit auch die Auskopplung über das Kopplungsmittel abnimmt, bis die Auskopplungsenergie nicht mehr ausreicht, um eine stabile Welle mit Plasma aufrecht zu erhalten.

[0005] Aufgabe der Erfindung ist deshalb, die Ansteuerung der Mikro-Plasmaquellen für diese Anwendungen zu verbessern.

20

Offenbarung der Erfindung

[0006] Erfindungsgemäß wird eine Vorrichtung zur Erzeugung eines Plasmas zur Verfügung gestellt, die eine als Hohlraum ausgebildete Plasmaquelle sowie einen Resonator aufweist, welcher einen Wellenleiter und die Plasmaquelle umfasst, wobei der Wellenleiter mit der Plasmaquelle wirkverbunden ist; eine Vorrichtung, die ein erstes Kopplungsmittel zur Energie-Einspeisung und ein zweites Kopplungsmittel zur Energie-Auskopplung aufweist, wobei jedes Kopplungsmittel energie- und signalführend mit dem Wellenleiter wirkverbunden ist; eine Vorrichtung, die ein aktives Element zur Energieversorgung des Resonators aufweist, welches mit dem ersten und mit dem zweiten Kopplungsmittel wirkverbunden ist; wobei die Plasmaquelle zumindest teilweise in einem Bereich des Wellenleiters integriert ist, der sich zwischen dem ersten Kopplungsmittel und dem zweiten Kopplungsmittel erstreckt.

[0007] Auf der einen Seite des Resonators, noch zum Resonator gehörend, befindet sich ein erster Leitungsabschluss. Dort ist der Wellenleiter gegen Masse geschlossen, also kurz geschlossen, so dass die Welle an dieser Stelle total reflektiert wird und daher ihre Ausbreitungsrichtung ändert. Dann läuft die Welle gegen das Plasma und wird dort teilweise reflektiert. Ein Teil der Energie geht ins Plasma über, der andere Teil der Energie läuft mit der Welle wieder zurück in Richtung Kurzschluss, wo dann wiederum eine Reflexion auftritt. Wiederum ein weiterer Teil der Welle geht über das Plasma hinweg in Richtung eines zweiten Leitungsabschlusses, wo wiederum eine Reflexion stattfindet. Die Welle läuft demnach mehrfach hin und her und wird teilweise vom Plasma aufgenommen, was der ins Plasma abgegebenen Wirkleistung entspricht. Durch das Hin- und Her-Laufen entsteht eine Resonanz/ Stehwelle mit Spannungsüberhöhung im Bereich der Plasmaelektroden.

40 [0008] In der erfindungsgemäßen Ausführung läuft die Welle ebenfalls ins Plasma und wird dabei teilweise reflektiert, absorbiert und aber zusätzlich auch transmittiert. Das heißt, ein Teil der Welle, der transmittierte Teil, steht für die Rückkopplung des Oszillators zur Verfügung. Neu ist, dass somit das Plasma aktiv an der Rückkopplung im Oszillator beteiligt ist und dadurch erheblich mehr Einfluss auf den Oszillator hat, als es dem Stand der Technik gemäß ist.

45 [0009] Der Vorteil dieser Vorrichtung besteht darin, dass die Performance von Mikrowellen-Plasmaquellen in Bezug auf das plasmaabhängige Nachführen der Frequenz und der für den Oszillator notwendigen Rückkopplung verbessert wird.

[0010] Die Rückkopplung erfolgt nicht nur über direkte Kopplung zur Stehwelle des Resonators, sondern erfindungsgemäß über das Plasma. Da sich die Leitfähigkeit des Plasmas mit dessen Zündung erhöht, steigt damit auch das Maß der Rückkopplung. Das stellt den Kern der Erfindung dar und ist der Vorteil dieses Oszillator-Typs. Weiterhin ergeben sich Vorteile beim Anpassen der Plasmalast. Auch die Leistung, der Wirkungsgrad, die Stabilität der Oszillation und die Zuverlässigkeit werden ebenfalls deutlich verbessert.

50 [0011] Verbundesein im vorgenannten Sinne meint vorzugsweise ein wirkverbunden sein, z. B. durch Leitung einer/ mehrerer Messgröße(n) oder Zustände(n). Beispielsweise kann ein elektrisches und/oder magnetisches Feld detektiert werden, vorzugsweise nahe des Plasmas oder im oder am Resonator oder bei/durch eine(r) Kopplungsstelle. Ebenso könnte in, am Rand oder nahe bei den vorgenannten Funktionselementen ein elektrischer Strom und/oder eine elektrische Leistung detektiert werden und sich die Elemente zum Detektieren dort befinden und/oder durch Leitung der physikalischen Größen entfernt vom Ort der Detektion befinden. Ebenso kann im Bereich der Plasmaquelle ein dynamischer und/oder statischer Druck detektiert werden. Auch ist es möglich, mittels Glasfaserleitung eine optische Kontrolle über

das Plasma auszuüben und vorzugsweise Frequenz, Phasen sowie Leistungsverhalten zu überwachen. Auch ist es möglich, dass die Beschaltung der Elemente nach dem Prinzip einer Kreuzschiene, Umschaltbox, Matrix-Schalter, Umschalter, Selektor, Crossover Switch oder Matrix Switch ausgestaltet wird, also ein Steuergerät verwendet wird zum Durchschalten verschiedener Signalquellen, vorzugsweise Resonatoren, an einen oder mehrere Verbraucher, vorzugsweise Plasmaquellen. Auch ist es möglich, dass diese Umschaltung im Zeitmultiplex und/oder im Ortsmultiplex stattfindet. Auch ist es möglich, dass das Superpositionsprinzip verwendet wird, um in Kombination mit dem bevorzugten Kreuzschiene-Prinzip vorzugsweise zeitweilig einzelne Resonatoren zu überlagern, um durch örtlich und zeitlich gezielte Überlagerung vorzugsweise Durchbruchspannungen oder Arbeitspunkte seitens vorzugsweise dedizierter Plasmaquellen herzustellen bzw. aufrecht zu erhalten. Mit anderen Worten: es ist möglich, das gezielte Ansteuern von Plasmaquellen u. a. durch Kombination des Superpositionsprinzips, Zeitmultiplex und Kreuzschiene-Prinzip zu erreichen. Auch ist es möglich, dass die Plasmaquelle im Resonator integriert ist. Auch kann der Resonator Teil der Plasmaquelle sein. Auch kann das Einspeisemittel, ohne Umweg über den Resonator, direkt wirkverbunden sein mit der Plasmaquelle. Die Plasmaquelle kann dabei den Resonator umfassen oder selbst ein Teil des Resonators sein.

[0012] Auch ist es möglich, dass die Plasmaquelle vollständig in einem Bereich des Wellenleiters integriert ist, der sich zwischen dem ersten Kopplungsmittel und dem zweiten Kopplungsmittel erstreckt. Das Erstrecken des Wellenleiters kann eine beliebige Wegführung durch den Raum nehmen, z. B. mäanderförmig. Beispielsweise ist linksseitig der Plasmaquelle die Zuführung und rechtsseitig die Auskopplung, wobei die Plasmaquelle vorzugsweise mittels Wellenleiter beidseitig kontaktiert ist und die Ein- bzw. Auskopplung am Wellenleiter stattfindet.

[0013] Auch ist es möglich, dass der Wellenleiter zwischen dem ersten Kopplungsmittel und dem zweiten Kopplungsmittel kontinuierlich verläuft, und die Plasmaquelle im Verlauf des Wellenleiters angeordnet ist. Kontinuierlich meint in diesem Fall nicht, dass es sich an jeder Stelle des Wellenleiters um die gleiche Bauart und/oder das gleiche Dielektrikum handelt. Vielmehr sind unterschiedlich konstruierte Wegabschnitte denkbar, wobei kontinuierlich in diesem Zusammenhang meint, dass sich ein und dieselbe Welle entlang eines kontinuierlichen Weges ausbreitet.

[0014] Auch ist es möglich, dass der Resonator ein Mikrowellen-Resonator ist, dass dieser also elektromagnetische Wellen im für Mikrowellen typischen Frequenzbereich erzeugt. Auch ist es möglich, dass im Resonator Mikrowellen im Bereich von 1 bis 300 GHz, vorzugsweise 1 bis 100 GHz, bevorzugter 1 bis 50 GHz und noch bevorzugter 1 bis 10 GHz erzeugt werden.

[0015] Auch ist es möglich, dass der Resonator einen Hohlraumresonator oder einen Abkömmling des Hohlraumresonators umfasst. Auch ist es möglich, dass der Resonator ein Klystron oder einen Abkömmling des Klystrons umfasst. Auch ist es möglich, dass der Resonator eine Elektronenstrahlröhre oder einen Abkömmling der Elektronenstrahlröhre umfasst. Auch ist es möglich, dass der Resonator eine Gunndiode oder ein Gunn-Element oder einen Abkömmling des Gunn-Elements umfasst. Auch ist es möglich, dass der Resonator eine Avalanche-Diode oder einen Abkömmling der Avalanche-Diode, wie z. B. eine Impatt-, Trapatt-, Suppressor-, Zener- oder Avalanche-Photo-Diode umfasst. Auch ist es möglich, dass der Resonator eine Dovett-Diode oder einen Abkömmling der Dovett-Diode, z. B. eine Baritt-Diode, umfasst. Auch ist es möglich, dass das Einspeisemittel und der Resonator in einem Bauelement vereint sind und/oder so eng zusammenwirken, dass diese vorzugsweise nicht als separate Bauelemente betrachtet werden können und/oder betrachtet werden brauchen.

[0016] Auch ist es möglich, dass die Plasmaquelle als Hohlraum mit Öffnung zur Gas-Zuführung und Gas-Ausleitung ausgebildet ist. Dies hätte den Vorteil, mit dem Plasma zusätzlich mechanische Arbeit verrichten zu können, wie z. B. Oberflächen von Werkstücken selektiv abzutragen oder zu gestalten.

[0017] Auch ist es möglich, dass die Plasmaquelle eine Gaszufuhr aufweist, die mit einem ersten Ende des hohlzylinderförmigen Rohrs verbunden ist.

[0018] Auch ist es möglich, dass die Plasmaquelle eine Gaszufuhr aufweist, die nicht mit einem ersten Ende des hohlzylinderförmigen Rohrs verbunden ist sondern zwischen beiden Enden des Rohres das Gas zuführt, vorzugsweise durch ringartig angeordnete Einlasslöcher, Einlassdüsen oder Gasrichtungsformer, welche durch entsprechende Ausbildung der Innenoberfläche definiert werden.

[0019] Auch ist es möglich, dass diese Gaszufuhr nicht nur einmalig, sondern regelmäßig mit Gas beschickt wird, das regelmäßige Nachschicken von Gas demnach zum vorzugsweise regulären Betriebszustand gehört und ausdrücklich nicht zur einmaligen technologischen Errichtung.

[0020] Auch ist es möglich, dass die Plasmaquelle ein hohlzylinderförmiges Rohr aufweist, dessen Längsachse sich innerhalb des Mikrowellen-Resonators senkrecht zur Ausbreitungsrichtung der Mikrowellen erstreckt.

[0021] Auch ist es möglich, dass ein rechtwinkliger Schnitt durch das hohlzylinderförmige Rohr, nicht notwendigerweise exakt, sondern typischerweise, die Schnittfläche eines Polygons, Quadrats, Dreiecks, einer Ellipse oder eines Rechtecks darstellt, wobei die Schnittfläche den Innenbereich des hohlzylinderförmigen Rohres wiedergibt bzw. diesem typischerweise ähnelt.

[0022] Auch ist es möglich, dass eine Abweichung vom rechten Winkel stattfindet bei der ansonsten vorzugsweise senkrecht zur Ausbreitungsrichtung der Mikrowellen stehenden Längsachse des hohlzylinderförmigen Rohres.

[0023] Auch ist es möglich, dass das aktive Element einen Transistor umfasst. In einer bevorzugten Ausführungsform

arbeitet der Transistor in Mitkopplung, um somit Frequenz und Phase für die zeitrichtige Einspeisung zu nutzen. Auch ist es denkbar, die Nichtlinearität des Transistors zu nutzen, um ein unzulässiges Aufschwingen zu vermeiden, so dass die Nichtlinearität als Gegenkopplung trotz Beschaltung in Mitkopplung wirkt und somit eine gewisse Regelfunktion ausübt. Auch ist es denkbar die Einflüsse einer Mitkopplung und Gegenkopplung auf separate Bauteile oder separate Bauteilgruppen zu verteilen und diese in kombinierter Weise gemeinsam auf den Resonator wirken zu lassen, z. B. auch über weitere Kopplungsstellen.

[0024] Auch ist es möglich, dass der Wellenleiter einen das elektrische Potential der Welle führenden Leiter umfasst, welcher mittels Kopplungsmittel durchkontaktiert und wirkverbunden ist zur Energie-Einspeisung und zur Energie-Auskopplung.

[0025] Auch ist es möglich, dass das erste Kopplungsmittel außerhalb einer dedizierten Stelle in einem Bereich des Wellenleiters angeordnet ist, wobei die dedizierte Stelle von einem ersten Leitungsabschluss beabstandet ist und für diesen Abstand folgende Bildungsvorschrift gilt: Abstand = ganzzahliges Vielfaches einer halben Wellenlänge + ein Viertel der Wellenlänge. Mit Wellenlänge ist jene Wellenlänge der stehenden Welle im Resonator gemeint, die für die entsprechende Dimensionierung des Resonators typisch ist, wobei z. B. die Länge des Verlaufsweges über alle Abschnitte des Wellenleiters und die Größe der Plasmaquelle Einfluss auf die entstehende Wellenlänge nehmen.

[0026] Das erste Kopplungsmittel zur Energie-Einspeisung ist folglich an jener Stelle eines Verlaufsweges des Wellenleiters angeordnet, deren Entfernung von einem Leitungsabschluss verschieden ist von der Summe aus einem Viertel der Wellenlänge und einem ganzzahligen Vielfachen der Hälfte der Wellenlänge; wobei als Verlaufsweg die Summe aller Wegabschnitte zu verstehen ist, beginnend am ersten Leitungsabschluss mit Reflexion, hinweg über Wellenleiterabschnitte, über die Plasmaquelle, über einen weiteren Wellenleiterabschnitt, bis hin zum zweiten Leitungsabschluss, für Reflexion, wo der Verlaufsweg endet.

[0027] Die Erfindung beschreibt ein Verfahren zur Erzeugung eines Plasmas durch geregelte und/oder gesteuerte Einspeisung von Energie in einen eine Plasmaquelle umfassenden Resonator mit folgenden Verfahrensschritten:

- a) Auskopplung von Energie in Form eines zeitlich und/oder spektral modulierten Signals mit direkter und/oder indirekter Information über den momentanen Schwingungszustand an einem zweiten Kopplungsmittel des Resonators ;
- b) Zuführung des Signals zu einem aktiven Element;
- c) Verstärkung des Signals durch das aktive Element in Abhängigkeit vom Schwingungszustand im Resonator;
- d) Zuführung des verstärkten und zeitlich und/oder spektral modulierten Signals als Speise-Energie in den Resonator an einem ersten Kopplungsmittel;

wobei die Plasmaquelle zwischen dem ersten und dem zweiten Kopplungsmittel angeordnet ist.

[0028] Der Vorteil dieses Verfahrens besteht darin, dass die Performance von Mikrowellen-Plasmaquellen in Bezug auf das plasmaabhängige Nachführen der Frequenz und der für den Oszillator notwendigen Rückkopplung verbessert wird. Weiterhin ergeben sich dadurch Vorteile beim Anpassen der Plasmalast. Auch die Leistung, der Wirkungsgrad, die Stabilität der Oszillation und die Zuverlässigkeit werden ebenfalls deutlich verbessert.

[0029] Auch ist es möglich, dass als physikalischer Parameter der Plasmaquelle die elektrische Leistung bestimmt wird.

[0030] Weiterhin ist es möglich, dass als physikalischer Parameters der Plasmaquelle ein elektrischer Strom, die Temperatur, der statische und/oder dynamische Druck, ein Magnetfeld, eine elektrische Spannung, ein elektrisches Feld, eine Lichtstärke, eine Teilchengeschwindigkeit oder eine Kraft bestimmt wird. Ebenso ist es möglich, dass die vorgenannten Größen in Abhängigkeit von der Zeit ihre Werte verändern, also dynamische Größen sind. Ebenso ist es möglich, dass von jenen vorgenannten Größen, welche keine skalaren Größen sind, auch die Richtungsvektoren und/oder deren zeitliche Änderung erfasst werden. Auch ist es möglich, dass von den vorgenannten Größen abgeleitete Größen detektiert werden, z. B. aus Strom und Spannung ein Widerstand abgeleitet wird oder aus einem Wechselstromwiderstand einer Kapazität die Frequenz abgeleitet wird.

[0031] Auch ist es möglich, einen zeitabhängigen, also dynamischen, komplexen Widerstand eines Zweipols zu bestimmen. Ein Zweipol in diesem Sinne kann z. B. die Plasmaquelle, der Resonator oder das Einspeisungsmittel oder eine Serienschaltung aus diesen Elementen sein. Dies führt vorteilhafterweise zu einer Vorherbestimmbarkeit bzw. Wiedererkennbarkeit anhand von gelernten bzw. bekannten Punkten und Mustern im Frequenz- und/oder Zeitbereich des komplexen Widerstandes.

[0032] Auch ist es möglich, in einer LUT, Lookup-Table, den für die Regelung nötigen Zusammenhang zwischen Regelgröße und Stellgröße abrufbar abzulegen. Dies hat den Vorteil eines schnellen Zugriffs ohne Rechenzeitverlust.

[0033] Auch ist es möglich, durch in FPGA fest verankerte Rechenwege, durch einen Mikrocontroller oder einen Mikroprozessor oder einer Kombination aus einigen oder allen vorgenannten Elementen (inklusive LUT- Interpolation), die Regelaufgaben zu lösen.

[0034] Auch ist es möglich, dass die Verfahrensschritte a) bis d) innerhalb eines vorgebbaren Zeitintervalls wiederholt werden. Auch ist es möglich, dass die Verfahrensschritte a) bis d) kontinuierlich verlaufen. Auch ist es möglich, dass

die Verfahrensschritte a) bis d) nicht kontinuierlich, sondern zu diskreten Zeitpunkten, beispielsweise infolge digitaler Verarbeitung, verlaufen.

[0035] Auch ist es möglich, dass das sich wiederholende Zeitintervall kleiner als 1 s und bevorzugt sogar kleiner als 0,1 s ist.

5

Zeichnungen

[0036] Die Erfindung wird anhand der Zeichnungen und nachfolgender Beschreibung näher erläutert. Es zeigen:

10 **Figur 1** eine konventionelle Oszillatorvorrichtung zur Erzeugung eines Plasmas für Mikrowellen-Plasmaquellen nach dem Stand der Technik,

Figur 2 eine erfindungsgemäße Oszillatorvorrichtung zur Erzeugung eines Plasmas für Mikrowellen-Plasmaquellen.

15 **[0037]** Figur 1 zeigt eine konventionelle Vorrichtung 100 zur Erzeugung eines Plasmas 141 nach dem Stand der Technik. Die gestrichelte Linie 101 deutet die Grenze des Resonator-Konzepts gemäß Stand der Technik an. Dabei sind 121 und 122 Leitungsabschlüsse, welche zur Reflexion der elektromagnetischen Welle führen und somit die Grundlage der Schwingung im Resonator 101 darstellen, symbolisiert als elektrische Erde. Zwischen dem ersten Leitungsabschluss 121, entlang der Wellenleiterabschnitte 110, 111, 112, durch das Plasma 141, bis hin zum zweiten Leitungsabschluss 122, baut sich die stehende Welle auf, deren Wellenbauch, Energiemaximum, am Ort der Plasmaquelle 141 gebildet wird, da dort die größte Feldstärke zur Zündung und Aufrechterhaltung des Plasmas benötigt wird. Die Kopplungsstelle 132 ist eine Kontaktierung des Wellenleiters 110, 111 derart, dass Energie ausgekoppelt 152 wird, um an das aktive Element 161 geleitet zu werden. Das aktive Element, vorzugsweise umfassend einen Transistor in vorzugsweise Mitkopplung beschaltet, erhält somit Information über Frequenz und Phase im Resonator 101, verstärkt die Energie und führt die Energie 151 mittels Kopplungsstelle 131, befindlich beim Wellenleiter 111, 112, dem Resonator 101 zu, um die Schwingung voran zu treiben. Typisch für dieses Resonator-Konzept gemäß Stand der Technik ist es, dass die Kopplungsstellen für Energie-Einspeisung 131 und Energie-Auskopplung 132 nur zwischen dem ersten Leitungsabschluss 121 und der Plasmaquelle 141 angeordnet sind und eben nicht auch zwischen Plasmaquelle 141 und zweitem Leitungsabschluss 122.

30 **[0038]** Figur 2 zeigt die erfindungsgemäße Vorrichtung 200 zur Erzeugung eines Plasmas 241. Die gestrichelte Linie 201 deutet die Grenze des erfindungsgemäßen Resonator-Konzepts an. Dabei sind 221 und 222 Leitungsabschlüsse, welche zur Reflexion der elektromagnetischen Welle führen und somit die Grundlage der Schwingung im Resonator 201 darstellen, symbolisiert als elektrische Erde. Zwischen dem ersten Leitungsabschluss 221, entlang der Wellenleiterabschnitte 211, 212, durch das Plasma 241, entlang des Wellenleiters 213, bis hin zum zweiten Leitungsabschluss 222, baut sich die stehende Welle auf, deren Wellenbauch, Energiemaximum, am Ort der Plasmaquelle 241 gebildet wird, da dort die größte Feldstärke zur Zündung und Aufrechterhaltung des Plasmas benötigt wird.

[0039] Ein Abschnitt 211, 212, 241, 213 der Wellenleitung ist dadurch erkennbar, dass er von einer Kopplungsstelle 231, 232, der Plasmaquelle 241 oder dem Leitungsabschluss 221, 222, begrenzt wird, also die Homogenität des Mediums der Wellenleitung entlang des Ausbreitungsweges der Welle wechselt bzw. unterbrochen wird.

40 **[0040]** Die Auskopplung 252 von Energie aus dem Resonator 201 erfolgt an Kopplungsstelle 232 und die Zuführung 251 von Energie in den Resonator 201 erfolgt an Kopplungsstelle 231, wobei die Plasmaquelle 241 erfindungsgemäß zwischen der Ein-231 und der Auskopplungsstelle 232 angeordnet ist.

[0041] Das aktive Element 261 umfasst vorzugsweise einen Transistor in Beschaltung, vorzugsweise zur Mitkopplung, um das zugeführte Signal 252 zu verstärken. Auch ist es möglich, ein weiteres aktives Element zu verwenden, welches nicht in Mitkopplung sondern in Gegenkopplung arbeitet, um die Stabilität des Schwingungsvorgangs im Resonator und damit im Plasma zu verbessern. Auch ist es möglich, das weitere aktive Element 261 mit einer weiteren Kopplungsstelle zur Auskopplung 232 aus dem Resonator 201 wirkzuverbinden, oder/und auch das weitere aktive Element wiederum mit einer weiteren Kopplungsstelle zur Einspeisung 231 zu verbinden. Somit können die Möglichkeiten einer Steuerung oder gar Regelung des Schwingungszustands im Resonator und Plasma verbessert werden. Die Wellenleitung außerhalb des Hohlraumes der Plasmaquelle erfolgt vorzugsweise über durch monolithic microwave integrated circuit (MMIC) Technologie gefertigte integrierte Bauelemente mit Streifenleitung (Microstrip). Auch andere Leitungsformen sind grundsätzlich denkbar, z. B. Koaxialleitung, Bandleitung oder Hohlleitung. Auch ist es denkbar, die Plasmaquelle in geringerem Volumenanteil als Hohlraum auszubilden, nämlich räumliche Abschnitte der Wellenleitung durch ein nichtgasförmiges Dielektrikum auszubilden, welches zum Gasbereich hin die Energie in das Plasma auskoppelt und somit das Plasma initiiert und treibt.

55 **[0042]** Die Kopplungsstelle zur Einspeisung in den Resonator befindet sich bezüglich des Leitungsweges der Plasmawelle im Resonator vorzugsweise außerhalb des Lambda- Viertel- Bereichs, da bei Lambda- Viertel plus einem ganzzahligen Vielfachen der halben Wellenlänge ein Schwingungsbauch herrscht. Somit müsste das Einspeisungssignal

eine dem Schwingungsbauch entsprechende Amplitude besitzen. Dies ist nicht mehr nötig und somit ein Vorteil, wenn außerhalb des Lambda- Viertel- Bereiches eingekoppelt wird.

5 [0043] Die Kopplungsstelle ist vorzugsweise als elektrische Leitung ausgeführt, durchkontaktiert zum Wellenleiter. Auch sind andere Kopplungsformen und eine Kombination derer möglich, die sich auf andere physikalische Größen stützen, wie z. B. Kopplung durch magnetisches Feld, Kopplung durch elektrisches Feld, Kopplung durch elektrische Spannung oder durch elektrischen Strom.

10 [0044] Die Kopplungsstelle zur Auskopplung von Energie könnte sogar noch weitere physikalische Zustände detektieren, wie z. B. Lichtleistung, Druck, Temperatur, magnetische Feldstärke, Streufelder und weitere physikalische Größen, welche direkt oder indirekt aus Zuständen im Resonator abgeleitet sind. Daher ist es denkbar, dass eine Kopplungsstelle zur Auskopplung nicht unmittelbar die Wellenleitung der Plasmawelle berührt, sondern sich entfernt von der Wellenleitung der Plasmawelle befindet. Als Plasmawelle sei jene stehende Welle im Resonator bezeichnet, welche die Plasmaquelle treibt. Auch ist es denkbar, dass eine Kopplungsstelle zur Auskopplung sich in oder an der Plasmaquelle befindet und die Rückkopplungs-Information 252 direkt oder indirekt aus dem Plasmazustand gewonnen wird. Ebenso ist es möglich, dass das vorgenannte Prinzip der nicht direkten Berührung der Wellenleitung in analoger Weise für die Kopplungsstelle zur Einkopplung gilt.

Bezugszeichenliste

[0045]

20	100	Konventionelle Vorrichtung zur Erzeugung eines Plasmas
	101	Resonator nach Stand der Technik
	110	Wellenleiter
	111	Wellenleiter
25	112	Wellenleiter
	121	Leitungsabschluss für Reflexion
	122	Leitungsabschluss für Reflexion
	131	Kopplungsmittel für Einkopplung
	132	Kopplungsmittel für Auskopplung
30	141	Plasmaquelle
	151	Energie-Einspeisung
	152	Energie-Auskopplung
	161	Aktives Element
	200	Erfindungsgemäße Vorrichtung zur Erzeugung eines Plasmas
35	201	Resonator mit erfindungsgemäßer Auskopplung
	211	Wellenleiter
	212	Wellenleiter
	213	Wellenleiter
	221	Leitungsabschluss für Reflexion
40	222	Leitungsabschluss für Reflexion
	231	Kopplungsmittel für Einkopplung
	232	Kopplungsmittel für Auskopplung
	241	Plasmaquelle
	251	Energie-Einspeisung
45	252	Energie-Auskopplung
	261	Aktives Element

Patentansprüche

- 50 1. Vorrichtung (200) zur Erzeugung eines Plasmas, aufweisend:
- eine als Hohlraum ausgebildete Plasmaquelle (241);
 - einen Resonator (201), welcher einen Wellenleiter (211, 212, 213) und die Plasmaquelle (241) umfasst, wobei der Wellenleiter (211, 212, 213) mit der Plasmaquelle (241) wirkverbunden ist;
 - ein erstes Kopplungsmittel (231) zur Energie-Einspeisung (251) und ein zweites Kopplungsmittel (232) zur Energie-Auskopplung (252), wobei jedes Kopplungsmittel (231, 232) energieführend und/oder signalführend mit dem Wellenleiter (211, 212, 213) wirkverbunden ist;

EP 2 642 833 A2

- ein aktives Element (261) zur Energieversorgung des Resonators (201), welches mit dem ersten Kopplungsmittel (231) und mit dem zweiten Kopplungsmittel (232) wirkverbunden ist;

dadurch gekennzeichnet, dass

5 die Plasmaquelle (241) zumindest teilweise in einem Bereich des Wellenleiters (211, 212, 213) integriert ist, der sich zwischen dem ersten Kopplungsmittel (231) und dem zweiten Kopplungsmittel (232) erstreckt.

2. Vorrichtung (200) nach Anspruch 1,

dadurch gekennzeichnet, dass

10 die Plasmaquelle (241) vollständig in einem Bereich des Wellenleiters (211, 212, 213) integriert ist, der sich zwischen dem ersten Kopplungsmittel (231) und dem zweiten Kopplungsmittel (232) erstreckt.

3. Vorrichtung (200) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet, dass

15 der Wellenleiter (211, 212, 213) zwischen dem ersten Kopplungsmittel (231) und dem zweiten Kopplungsmittel (232) kontinuierlich verläuft, und die Plasmaquelle (241) in diesem kontinuierlich verlaufenden Bereich des Wellenleiters (211, 212, 213) angeordnet ist.

4. Vorrichtung (200) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet, dass

20 der Resonator (201) ein Mikrowellen-Resonator ist.

5. Vorrichtung (200) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet, dass

25 die Plasmaquelle (241) als Hohlraum mit Öffnung zur Gas-Zuführung und Gas-Ausleitung ausgebildet ist.

6. Vorrichtung (200) nach Anspruch 4,

dadurch gekennzeichnet, dass

30 die Plasmaquelle (241) einen Hohlleiter aufweist, dessen Längsachse sich innerhalb des Mikrowellen-Resonators (201) senkrecht zur Ausbreitungsrichtung der Mikrowellen erstreckt.

7. Vorrichtung (200) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet, dass

35 das aktive Element (261) einen Transistor umfasst.

8. Vorrichtung (200) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet, dass

40 der Wellenleiter (211, 212, 213) einen elektrischen Leiter umfasst, wobei der elektrische Leiter das erste Kopplungsmittel (231) direkt kontaktiert und/oder das zweite Kopplungsmittel (232) direkt kontaktiert.

9. Vorrichtung (200) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet, dass

45 der Wellenleiter (211, 212, 213) einen ersten Leitungsabschluss (221) zur Reflexion einer Welle und einen zweiten Leitungsabschluss (222) zur Reflexion einer Welle aufweist, wobei das erste Kopplungsmittel (231) zwischen den Leitungsabschlüssen (221, 222) angeordnet ist, und der Abstand A des ersten Kopplungsmittels (231) vom ersten Leitungsabschluss (221) der Bedingung

$$A \neq n * \lambda/2 + \lambda/4$$

50

genügt, wobei n eine ganze Zahl und λ die Resonanzwellenlänge des Resonators (201) ist.

10. Verfahren zur Erzeugung eines Plasmas durch Einspeisung von Energie in einen eine Plasmaquelle (241) umfassenden Resonator (201), wobei die Plasmaquelle (241) zwischen einem ersten (231) und einem zweiten (232) Kopplungsmittel angeordnet ist, mit folgenden Verfahrensschritten:

55

a) Auskopplung (252) von Energie in Form eines modulierten Signals mit Information über den Schwingungszustand am zweiten Kopplungsmittel (232) des Resonators (201);

EP 2 642 833 A2

- b) Zuführung des Signals (252) zu einem aktiven Element (261);
- c) Verstärkung des Signals (252) durch das aktive Element (261) in Abhängigkeit vom Schwingungszustand im Resonator (201);
- d) Zuführung (251) des verstärkten Signals in den Resonator als Speise-Energie (201) am ersten Kopplungsmittel (231).

5

10

15

20

25

30

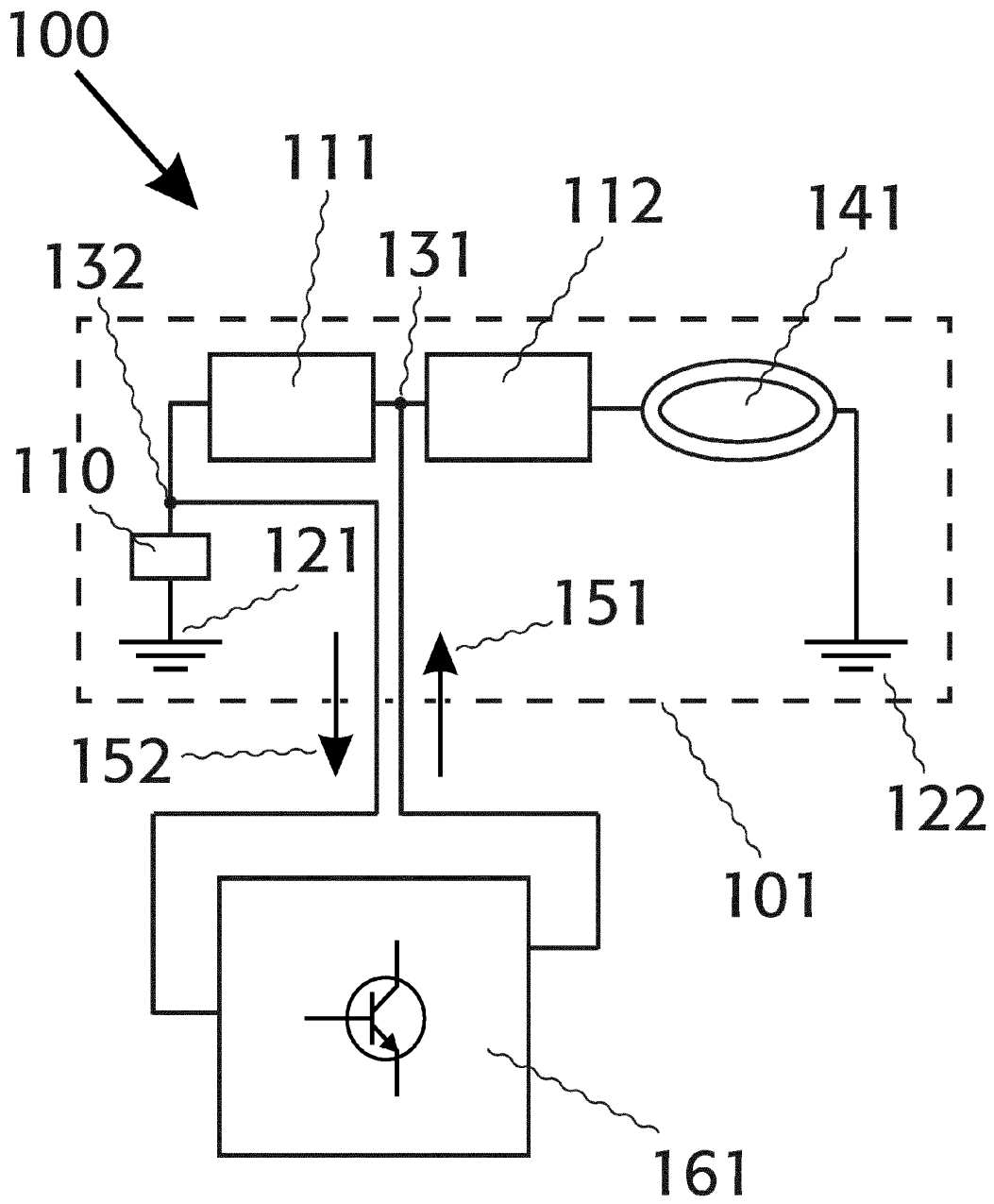
35

40

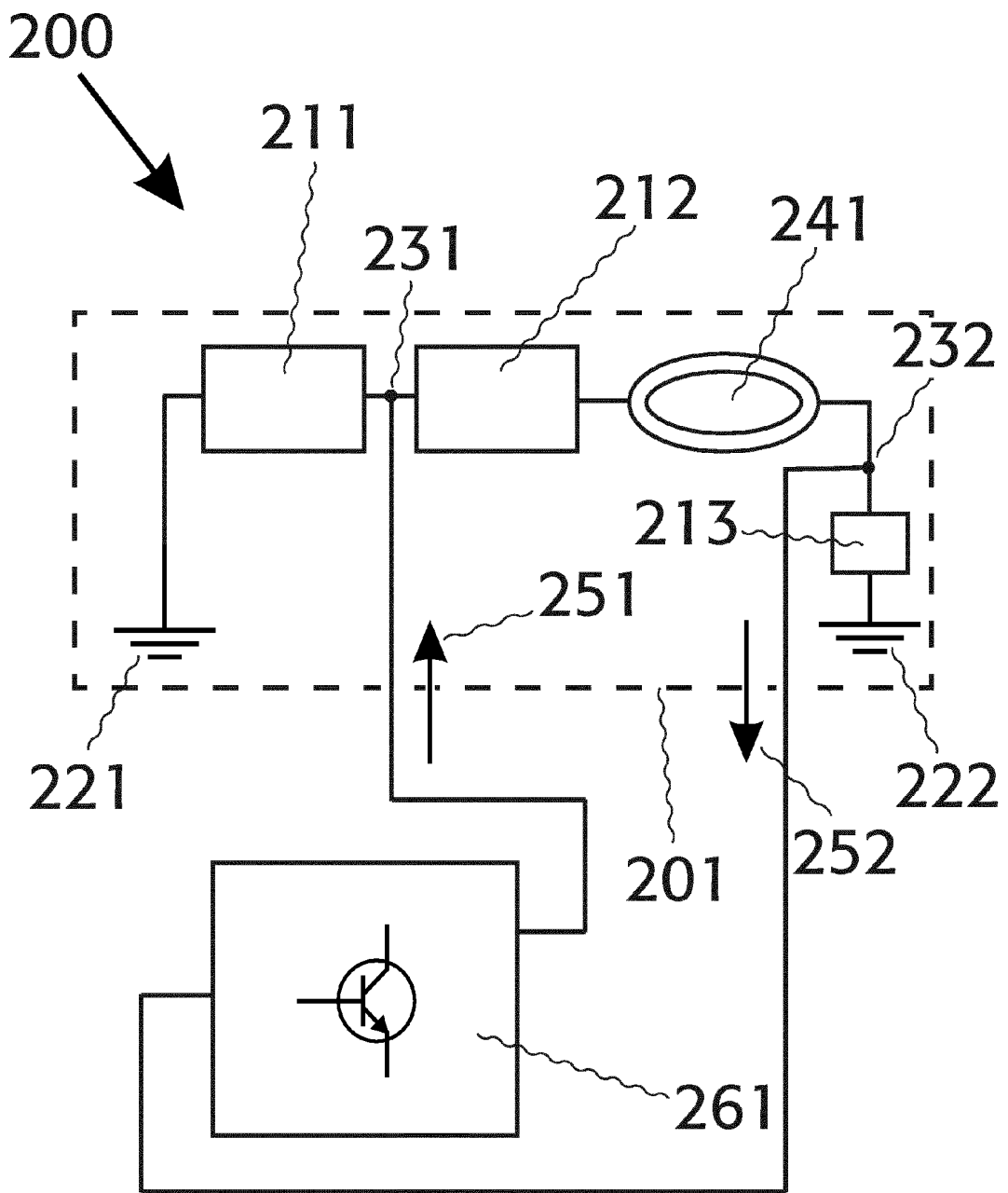
45

50

55



Figur 1



Figur 2