



(10) **DE 10 2020 100 872 B4** 2021.08.05

(12)

## Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2020 100 872.4**

(22) Anmeldetag: **15.01.2020**

(43) Offenlegungstag: **15.07.2021**

(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: **05.08.2021**

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

**H01J 37/32 (2006.01)**

**H05H 1/30 (2006.01)**

**A61L 2/14 (2006.01)**

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

(73) Patentinhaber:

**Ferdinand-Braun-Institut gGmbH, Leibniz- Institut  
für Höchstfrequenztechnik, 12489 Berlin, DE**

(74) Vertreter:

**Gulde & Partner Patent- und  
Rechtsanwaltskanzlei mbB, 10179 Berlin, DE**

(72) Erfinder:

**Wolf, Denis, 10319 Berlin, DE**

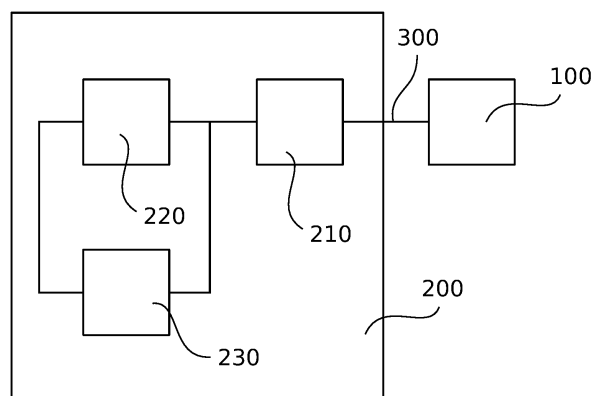
(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	102 39 410	A1
DE	196 05 518	A1
DE	199 33 842	A1
DE	10 2007 057 581	A1
DE	10 2017 115 438	A1
EP	2 299 922	B1
EP	2 529 601	B1

(54) Bezeichnung: **Resonator und Leistungoszillator zum Aufbau einer integrierten Plasmaquelle sowie deren Verwendung**

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung betrifft einen Resonator zur Erzeugung eines atmosphärischen Mikrowellenplasmas, einen Leistungoszillator zur Einspeisung von Mikrowellen in einen Resonator sowie eine aus diesen Komponenten aufgebaute Plasmaquelle. Weiterhin betrifft die Erfindung die Verwendung einer solchen Plasmaquelle zur Behandlung von Oberflächen.

Insbesondere kann es sich bei einer erfindungsgemäßen Plasmaquelle um einen integrierten Aufbau bestehend aus einem Resonator (100) und einem Leistungoszillator (200) in einem gemeinsamen Gehäuse zur Realisierung einer besonders kompakten Vorrichtung handeln. Dadurch lässt sich diese selbst in kleinstmögliche Industrieanlagen und Geräte integrieren oder als eigenständiges handliches Tool verwenden. Ein erfindungsgemäßer Leistungoszillator (200) umfasst ein aktives Element (220), ein Anpassnetzwerk (210) und ein regelbares Rückkoppelnetzwerk (230).



## Beschreibung

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft einen Resonator zur Erzeugung eines atmosphärischen Mikrowellenplasmas, einen Leistungsoszillator zur Einspeisung von Mikrowellen in einen Resonator sowie eine aus diesen Komponenten aufgebaute Plasmaquelle. Weiterhin betrifft die Erfindung die Verwendung einer solchen Plasmaquelle zur Behandlung von Oberflächen.

### Stand der Technik

**[0002]** Plasmen werden für eine Vielzahl technischer Anwendungen benötigt. Neben dem Ionisieren und zur Ozonerzeugung werden diese beim Plasmaschneiden und dem Plasmaspritzen auch in der industriellen Materialbearbeitung eingesetzt. Durch Plasmabehandlung kann auch eine Aktivierung von Oberflächen erfolgen. Atmosphärendruckplasmen haben im Gegensatz zu Niederdruckplasmen oder Hochdruckplasmen den Vorteil, dass entsprechende Plasmaquellen keine Druckkammer erfordern und daher deutlich kompakter und einfacher aufgebaut werden können.

**[0003]** Das in einer Kammer unter Atmosphärendruck erzeugte Plasma kann über einen geeigneten Plasmaauslass (z.B. Plasmadüsen unterschiedlicher Form) aus der Kammer austreten. Um ein Plasma zu erzeugen, wird einem Gas durch Anlegen eines elektrischen Feldes elektrische Leistung zugeführt. Als Prozessgas wird dabei typischerweise Druckluft eingesetzt, insbesondere in der Mikrofabrikation werden jedoch auch oft Sauerstoff- oder Stickstoffplasmen benötigt. Das Prozessgas kann beispielsweise durch Wechselströme im Megahertz-Bereich oder mittels Mikrowellenanregung ionisiert werden. Eine Mikrowellenanregung hat den Vorteil, dass sich damit bei geringem Platzbedarf hohe Plasmadichten und somit hohe Reaktionsraten erreichen lassen.

**[0004]** Aus der EP 2299922 B1 ist ein Plasmaerzeuger mit einem Gehäuse, einer Elektrode und einer resonanten Schaltung bekannt. Die EP 2529601 B1 offenbart eine Plasmaquelle mit einem Oszillator, welcher ein aktives Element und einen mit dem aktiven Element verbundenen Resonator besitzt. Der Resonator weist einen Hohlkörper, einen Gaseinlass, einen an einem distalen Ende des Hohlkörpers um eine Längsachse des Hohlkörpers angeordneten Gasauslass und eine entlang der Längsachse des Hohlkörpers angeordnete Spule mit einer effektiven Länge von einem Viertel einer Wellenlänge bei einer Resonanzfrequenz des Resonators auf. Der Resonator ist hierbei als 2-Tor-Netzwerk ausgeführt und im Rückkopplungspfad des Oszillators inbegriffen. Aufgrund der Bauweise sind diese Plasmaquellen jedoch auf ein bestimmtes Prozessgas abgestimmt und lassen sich ohne umfangreiche Rekonfigurierung nicht oder

nur äußerst unzureichend mit anderen Gasen betreiben. Zudem weisen diese Plasmaquellen eine geringe Toleranz gegenüber Fertigungsabweichungen auf, so dass die Plasmaquellen ohne stark erhöhten Aufwand nicht zufriedenstellend reproduzierbar sind.

**[0005]** Aus der DE 196 05 518 A1 sind ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Erzeugung mikrowelleninduzierter Hochtemperatur-Plasmajets bekannt. Die DE 102 39 410 A1 betrifft eine Vorrichtung zum Zünden eines Luft-Kraftstoff-Gemischs in einem Verbrennungsmotor, die eine koaxiale Wellenleiterstruktur aufweist, die mit einem Ende in den jeweiligen Brennraum eines Zylinders des Verbrennungsmotors hineinragt. Die DE 10 2017 115 438 A1 offenbart eine Vorrichtung zum Erzeugen eines atmosphärischen Plasmastrahls im MHz- und GHz-Bereich mit TEM- und Hohlleitermoden. Die DE 10 2007 057 581 A1 betrifft eine Hochfrequenzlampe mit einem Signalerzeugungsbereich zur Generierung eines Hochfrequenzsignals und einer nachgeschalteten Ionisationskammer.

### Offenbarung der Erfindung

**[0006]** Es ist daher eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine gut reproduzierbare, besonders kompakte und effiziente Plasmaquelle für die Erzeugung eines atmosphärischen Mikrowellenplasmas zur Verfügung zu stellen, welche mit unterschiedlichen Prozessgasen betrieben werden kann und somit universell einsetzbar ist. Hierfür sind insbesondere Anpassungen beim Resonator und beim Leistungsoszillator erforderlich.

**[0007]** Diese Aufgaben werden erfindungsgemäß durch die Merkmale der Patentansprüche 1, 6 und 10 gelöst. Zweckmäßige Ausgestaltungen der Erfindung sind in den jeweiligen Unteransprüchen enthalten.

**[0008]** Ein erfindungsgemäßer Resonator zur Erzeugung eines atmosphärischen Mikrowellenplasmas umfasst einen Außenleiter mit einem abgeschlossenen zylinderförmigen Hohlraum, wobei der Außenleiter einen Gaseinlass zum Einbringen von Prozessgas in den Hohlraum und am distalen Ende der Längsachse des Hohlraums einen Plasmaauslass (dient auch zum Gasauslass) zum Austritt des erzeugten Plasmas aufweist, einen stabförmig ausgebildeten Innenleiter mit einem distalen und einem proximalen Ende, wobei der Innenleiter entlang der Längsachse des Hohlraums beabstandet vom Außenleiter angeordnet ist, ein in den Hohlraum eingebrachtes Prozessgas den Innenleiter umgibt, der Innenleiter an seinem proximalen Ende einen Leiterkurzschluss mit dem proximalen Ende des Außenleiters aufweist, das distale Ende des Innenleiters dem Plasmaauslass planparallel gegenüberliegt, und eine Leistungseinspeisung in der Nähe des proximalen Endes des Innenleiters über eine einzelne Zuleitung

erfolgt, wobei der Innenleiter an seinem distalen Ende in Richtung Plasmaauslass eine Querschnittsverjüngung aufweist.

**[0009]** Der Resonator stellt somit ein 1-Tor-Netzwerk dar, bei dem eine Leistungseinspeisung über eine einzelne Zuleitung erfolgt. Dadurch kann der Resonator im Gegensatz zu den üblichen 2-Tor-Netzwerk-Typen hinsichtlich der Leistungseinspeisung besonders einfach an unterschiedliche Prozessgase angepasst werden. Ein als 1-Tor-Netzwerk ausgebildeter Resonator erlaubt somit einen universellen Einsatz der Plasmaquelle mit einer Vielzahl von Prozessgasen. Neben Luft können hierbei vor allem Sauerstoff (O<sub>2</sub>), Stickstoff (N<sub>2</sub>) und Argon (Ar) zur Plasmaerzeugung genutzt werden. Dies erlaubt eine besonders vielseitige Verwendung der erzeugten Plasmen mit nur einem Plasmaerzeuger. Außerdem vereinfacht die 1-Tor-Lösung den konstruktiven Aufbau.

**[0010]** Durch seine 1-Tor-Charakteristik fungiert der Resonator ausschließlich als Last für einen angeschlossenen Leistungszosillator und wird nicht wie im Stand der Technik zu einem Teil des Rückkoppelnetzwerkes. Dies ermöglicht einerseits den universellen Einsatz mit verschiedenen Prozessgasen und erhöht andererseits die Toleranz gegenüber Fertigungsabweichungen des Gesamtsystems, wodurch die Reproduzierbarkeit der Plasmaerzeugung deutlich verbessert werden kann.

**[0011]** Vorzugsweise ist der Resonator zumindest näherungsweise als koaxiale  $\lambda/4$ -Struktur ausgeführt. Der Innenleiter ist an seinem proximalen Ende mit dem Außenleiter kurzgeschlossen, am anderen Ende hingegen offen. Die Leistungseinspeisung erfolgt bevorzugt nahe dem kurzgeschlossenen proximalen Ende des Innenleiters über eine durch den Außenleiter geführte Zuleitung. Die Zuleitung wird dabei vorzugsweise über eine isolierte Leitungsdurchführung am proximalen Ende des Außenleiters in den Hohlraum geführt. In der Nähe des proximalen Endes bedeutet zumindest in der diesem Ende zugewandten Hälfte des Innenleiters, vorzugsweise innerhalb des entsprechenden Viertel des Innenleiters.

**[0012]** Durch die Querschnittsverjüngung reduziert sich der Durchmesser des stabförmig ausgebildeten Innenleiters in Richtung zum Gasauslass hin. Die Querschnittsverjüngung erfolgt dabei vorzugsweise streng monoton. Bevorzugt erstreckt sich die Querschnittsverjüngung über maximal 50% der Länge des Innenleiters, bevorzugter über maximal 25%. Bevorzugt ist, dass die Erstreckung mindestens 10%, bevorzugter mindestens 20% der Länge beträgt. Vorzugsweise ist die Querschnittsverjüngung kegelförmig ausgebildet. Durch die Form der Querschnittsverjüngung kann die Plasmaentstehung beeinflusst werden und es kann eine Optimierung hin-

sichtlich der Plasmaeigenschaften und der Betriebsparameter erfolgen.

**[0013]** Die Plasmastrecke entsteht zwischen dem distalen Ende des Innenleiters und der gegenüberliegenden Stelle am Außenleiter des Resonators, d.h. am Plasmaauslass. Bei dem Plasmaauslass kann es sich beispielsweise um eine Bohrung bestimmter Größe handeln, durch welche das erzeugte Plasma hindurchtreten kann. Der Plasmaauslass kann jedoch auch als anderweitig geformte Plasmadüse (z.B. als eine sich konisch nach außen öffnende Struktur) ausgebildet sein. Durch die Form des Plasmaauslasses kann das Profil des austretenden Plasmastrahls beeinflusst werden.

**[0014]** Vorzugsweise kann der Abstand zwischen dem distalen Ende des Innenleiters und dem Plasmaauslass veränderlich sein. Beispielsweise kann der Außenleiter hierzu durch das Einfügen oder Entfernen von Distanzringen in seiner Länge variiert werden, so dass sich das distale Ende des Außenleiters bzw. der Plasmaauslass verschieben lässt. Ebenso kann eine Veränderung des gegenseitigen Abstandes durch eine Anpassung der Länge des Innenleiters erfolgen.

**[0015]** Vorzugsweise kann der Außenleiter als massives Resonatorgehäuse ausgebildet sein. Bevorzugte Materialien für das Gehäuse sind dabei feste metallische Werkstoffe wie beispielsweise Aluminium, Edelstahl, Gold, Kupfer, Messing, Silber.

**[0016]** Ein erfindungsgemäßer Leistungszosillator (Mikrowellenoszillator) zur Einspeisung von Mikrowellen in einen Resonator über eine einzelne Zuleitung umfasst ein aktives Element zur Erzeugung einer Mikrowellenleistung, ein Anpassnetzwerk zur elektronischen Anpassung zwischen dem aktiven Element und dem Resonator, wobei eine Anpassung an den Resonator mit (Brennfall) und ohne Plasma (Zündfall) eingerichtet ist, und ein Rückkoppelnetzwerk mit einem verstellbaren kapazitiven Element zur Anpassung der Mikrowellenfrequenz sowie einer Verzögerungsleitung zum Erreichen optimaler Mitkopplung (Phasenlage) an den Resonator mit und ohne Plasma.

**[0017]** Bei dem aktiven Element kann es sich insbesondere um einen Leistungstransistor, vorzugsweise einen GaN HEMT handeln. Ein Leistungstransistor als aktives Element erlaubt einen besonders kompakten integrierten Schaltungsaufbau.

**[0018]** Das Anpassnetzwerk ist schaltungstechnisch zwischen dem aktiven Element und einer Last, d.h. einem angeschlossenen Resonator, angeordnet. Es hat die Aufgabe, die Impedanz zwischen dem aktiven Element und dem Resonator anzupassen. Dies gewährleistet die Zündung des Plasmas und ermöglicht

eine hohe Effizienz der Leistungseinspeisung unabhängig vom Prozessgas.

**[0019]** Typischerweise umfasst ein Anpassnetzwerk dabei mindestens ein kapazitives Element sowie Hochfrequenz-Leitungsabschnitte (HF-Leitungsabschnitte) einer bestimmten Länge. Grundsätzlich ist eine Anpassung über elektronische Elemente mit kapazitivem und/oder induktivem Charakter möglich. Beim erfindungsgemäßen Anpassnetzwerk werden vorzugsweise jedoch keine induktiven Elemente genutzt, sondern es wird stattdessen mindestens ein kapazitives Element ausschließlich mit HF-Leitungsabschnitten kombiniert. Durch die alleinige Verwendung von diskreten Kapazitäten ist bereits eine hervorragende Tuning-Möglichkeit gegeben, was insbesondere einen einfachen Austausch defekter Elemente und eine einfache Positionierung beim Schaltungsaufbau ermöglicht. Dadurch werden die Toleranzen bei der Bestückung aufgeweitet und es ist eine höhere Verfügbarkeit der erforderlichen Elemente gegeben. Weiterhin werden bei einem solchen Design die Verluste minimiert und eine hohe Leistungsverträglichkeit wird erzielt. Der Schaltungsaufbau wird vereinfacht und Änderungen an der Schaltung können sowohl über das Layout der Schaltung als auch über den Austausch einzelner Kapazitäten realisiert werden.

**[0020]** Vorzugsweise weist die Topologie der Schaltung des Anpassnetzwerks in Richtung der Zuleitung zum Resonator eine Abfolge aus einem ersten kapazitiven Element („Längs-C“), einem ersten HF-Leitungsabschnitt, einem Knotenpunkt mit Verbindung zu einem an einer Masseverbindung anliegendem zweiten kapazitiven Element („Quer-C“), und einem zweiten HF-Leitungsabschnitt auf. Nur mit einer solchen Topologie („Längs-C“, HF-Leitung, „Quer-C“, HF-Leitung) wird eine sichere Zündung (Zündfall) bei zugleich effizienter Plasmaspeisung (Brennfall) erreicht. Insbesondere ist für ein konkretes Schaltungslayout bevorzugt, dass das erste kapazitiv Element und zumindest ein Teilabschnitt des ersten HF-Leitungsabschnitts mit zumindest einem Teilabschnitt des zweiten HF-Leitungsabschnitt parallel zueinander versetzt auf einem gemeinsamen Schaltungsträger angeordnet sind, während das zweite kapazitiv Element senkrecht zu einer unter einem Winkel von 45° verlaufenden und als HF-Leitungsabschnitt ausgebildeten Verbindung dieser beiden parallelen Komponenten angeordnet ist.

**[0021]** Somit kann über die Topologie bzw. das Layout der Schaltung eine Optimierung sowohl der Betriebsparameter als auch der Plasmaeigenschaften erfolgen. Vorzugsweise weist die Topologie des Anpassnetzwerks dabei längs und quer angeordnete Leiterabschnitte und diskrete kapazitive Elemente auf. Die Ausbildung einer Kapazität kann auch durch definierte Layout-Strukturen wie nebeneinander an-

geordnete Leiterabschnitte oder gegenüberliegende Leiterflächen, letztere beispielsweise auf Ober- und Unterseite des Schaltungsträgers, erfolgen.

**[0022]** Das Rückkoppelnetzwerk wird zum Erreichen optimaler Betriebsparameter wie der Anpassung und der Mitkopplung benötigt. Es ermöglicht eine Stabilisierung der Ausgangsleistung des aktiven Elements sowie die Anpassung der Frequenz nach einer Veränderung der Impedanz im Anschluss an das Zünden des Plasmas.

**[0023]** Vorzugsweise umfasst das Rückkoppelnetzwerk eine mäanderförmig auf einem Schaltungsträger ausgebildete Verzögerungsleitung. Durch die Verzögerungsleitung kann eine Phasen Anpassung des Rückkoppelnetzwerks erfolgen. Für die Frequenzanpassung können Tuning-Pads entlang der Mäanderstruktur angeordnet sein. Diese erlauben eine frequenzabhängige Phasen Anpassung durch Variation der effektiven Länge der Verzögerungsleitung.

**[0024]** Über das verstellbare kapazitiv Element kann durch Veränderung der Kapazität eine Anpassung der Mikrowellenfrequenz erfolgen. Dies ermöglicht eine jeweils optimale Anpassung an die für die Plasmaerzeugung benötigte Frequenz bei den einzelnen Prozessgasen. Vorzugsweise kann das regelbare kapazitiv Element als elektronisch abstimmbare Kapazität (Varaktor) ausgeführt und über eine angelegte Spannung in der Kapazität verstellt werden.

**[0025]** Die Schwierigkeit bei der Anpassung liegt zum einen darin begründet, dass vor dem Zünden des Plasmas eine hochohmige und nach dem Zünden, also im Brennfall, eine niederohmige Impedanz angepasst werden muss. Darüber hinaus ist eine kleine Frequenzänderung zwischen Zünd- und Brennfall bevorzugt, welche das Anpassnetzwerk im Zusammenspiel mit dem Rückkopplungsnetzwerk gewährleistet. Die Topologie des erfindungsgemäßen Leistungssoszillators sorgt für optimale Anpassung zwischen Ein- und Ausgang des aktiven Elements bei zugleich optimaler Mitkopplung (Phasenlage) und gewährleistet (im Zusammenspiel mit dem Anpassnetzwerk) auch eine Frequenzänderung zwischen Zünd- und Brennfall, so dass ein darüber erzeugtes Plasma sicher zündet und nach Zündung effizient gespeist werden kann.

**[0026]** Eine erfindungsgemäße Plasmaquelle umfasst einen erfindungsgemäßen Resonator und einen erfindungsgemäßen Leistungssoszillator, wobei die Mikrowellenleistung über eine einzelne Zuleitung in den Resonator eingespeist wird. Der als 1-Tor-Netzwerk ausgebildete Resonator wird somit über einen zugehörigen Leistungssoszillator gespeist. Die bevorzugte Mikrowellenfrequenz zur Plasmaerzeugung liegt zwischen 2,4 GHz und 2,5 GHz, besonders bevorzugt bei 2,45 GHz.

**[0027]** Ein weiterer Aspekt der Erfindung betrifft die Verwendung einer erfindungsgemäßen Plasmaquelle zur Behandlung von Oberflächen. Diese kann insbesondere zur Aktivierung und Reinigung von Oberflächen, vorrangig temperaturempfindlicher Materialien wie beispielsweise Kunststoffe, aber auch von Glas, Glasfaserverbundstoffen (Leiterpatten) und Metallen verwendet werden. Durch eine Plasmabehandlung kann eine Verbesserung der Oberflächenhaftung und somit eine Optimierung nachfolgender Prozessschritte wie Beschichten, Bedrucken oder Kleben erreicht werden. Darüber hinaus kann die Plasmaquelle auch zur Sterilisierung und Desinfektion von Oberflächen eingesetzt werden. Durch die kompakte Bauform und das geringe Gewicht kann die Plasmaquelle dabei auch in Druckköpfe oder andere mechanisch bewegliche Teile einer Anlage zur Oberflächenbearbeitung vollständig integriert werden. Insbesondere bei Druckprozessen kann durch eine entsprechende Vorbehandlung der Oberflächen ein verbesserter Materialauftrag bei den behandelten Bereichen erreicht werden.

**[0028]** Weitere bevorzugte Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus den in den Unteransprüchen genannten Merkmalen.

**[0029]** Die verschiedenen in dieser Anmeldung genannten Ausführungsformen der Erfindung sind, sofern im Einzelfall nicht anders ausgeführt, mit Vorteil miteinander kombinierbar.

#### Figurenliste

**[0030]** Die Erfindung wird nachfolgend in Ausführungsbeispielen anhand der zugehörigen Zeichnung erläutert. Es zeigen:

**Fig. 1** einen schematischen Aufbau einer erfindungsgemäßen Plasmaquelle,

**Fig. 2** einen schematischen Aufbau einer Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Resonators,

**Fig. 3** einen schematischen Aufbau einer Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Leistungszusatzes, und

**Fig. 4** eine schematische Darstellung einer Ausführungsform eines Schaltungslayouts eines erfindungsgemäßen Leistungszusatzes.

#### Ausführliche Beschreibung der Zeichnungen

**[0031]** **Fig. 1** zeigt einen schematischen Aufbau einer erfindungsgemäßen Plasmaquelle. Die Plasmaquelle umfasst einen Resonator **100** und einen Leistungszusatz **200**, wobei die Mikrowellenleistung über eine einzelne Zuleitung **300** in den Resonator **100** eingespeist wird. Der Leistungszusatz **200** zur Einspeisung von Mikrowellen in einen Reso-

nator **100** über eine einzelne Zuleitung **300** umfasst ein aktives Element **220** zur Erzeugung einer Mikrowellenleistung, ein Anpassnetzwerk **210** zur elektronischen Anpassung zwischen dem aktiven Element **220** und dem Resonator **100**, und ein Rückkoppelnetzwerk **230**.

**[0032]** **Fig. 2** zeigt einen schematischen Aufbau einer Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Resonators **100**. Der Resonator **100** zur Erzeugung eines atmosphärischen Mikrowellenplasmas umfasst einen Außenleiter **130** mit einem abgeschlossenen zylinderförmigen Hohlraum, wobei der Außenleiter **130** einen Gaseinlass **110** zum Einbringen von Prozessgas in den Hohlraum und am distalen Ende der Längsachse des Hohlraums einen Plasmaauslass **112** zum Austritt des erzeugten Plasmas aufweist, einen stabförmig ausgebildeten Innenleiter **120** mit einem distalen und einem proximalen Ende, wobei der Innenleiter **120** entlang der Längsachse des Hohlraums beabstandet vom Außenleiter **130** angeordnet ist, ein in den Hohlraum eingebrachtes Prozessgas den Innenleiter **120** umgibt, der Innenleiter **120** an seinem proximalen Ende einen Leiterkurzschluss **142** mit dem proximalen Ende des Außenleiters **130** aufweist, das distale Ende des Innenleiters **120** dem Plasmaauslass **112** planparallel gegenüberliegt, und eine Leistungseinspeisung **144** in der Nähe des proximalen Endes des Innenleiters **120** über eine einzelne Zuleitung **300** erfolgt, wobei der Innenleiter **120** an seinem distalen Ende in Richtung Plasmaauslass **112** eine Querschnittsverjüngung **122** aufweist.

**[0033]** Die Querschnittsverjüngung **122** ist hierbei kegelstumpfförmig ausgebildet und erstreckt sich über etwa 20% der Länge des Innenleiters **122**. Die Zuleitung **300** wird über eine Leitungsdurchführung **140** am proximalen Ende des Außenleiters **130** in den Hohlraum geführt.

**[0034]** **Fig. 3** zeigt einen schematischen Aufbau einer Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Leistungszusatzes **200**. Der Leistungszusatz **200** zur Einspeisung von Mikrowellen in einen Resonator **100** über eine einzelne Zuleitung **300** umfasst ein aktives Element **220** zur Erzeugung einer Mikrowellenleistung, ein Anpassnetzwerk **210** zur elektronischen Anpassung zwischen dem aktiven Element **220** und dem Resonator **100**, wobei eine Anpassung an den Resonator (**100**) mit und ohne Plasma eingerichtet ist, und ein Rückkoppelnetzwerk **230** mit einem verstellbaren kapazitiven Element **232** zur Anpassung der Mikrowellenfrequenz sowie einer Verzögerungsleitung **234**. Das Rückkoppelnetzwerk **230** umfasst dabei eine mäanderförmig auf einem Schaltungsträger ausgebildete Verzögerungsleitung **234** zum Erreichen optimaler Mitkopplung an den Resonator **100** mit und ohne Plasma. Die Topologie der Schaltung des Anpassnetzwerks **210** in Richtung der Zuleitung **300** zum Resonator **100** weist dabei eine Abfolge aus

einem ersten kapazitiven Element 302a, einem ersten HF-Leitungsabschnitt 306a, einem Knotenpunkt **308** mit Verbindung zu einem an einer Masseverbindung **304** anliegendem zweiten kapazitiven Element 302b, und einem zweiten HF-Leitungsabschnitt 306b auf.

**[0035]** Fig. 4 zeigt eine schematische Darstellung einer Ausführungsform eines Schaltungslayouts eines erfindungsgemäßen Leistungszusatzes **200**. Das Layout entspricht der in Fig. 3 beschriebenen Ausführungsform, die Bezugszeichen und deren jeweilige Zuordnung gelten daher entsprechend. Weiterhin ist die mäanderförmig ausgebildete Verzögerungsleitung **234** des Rückkoppelnetzwerks **230** mit Tuning-Pads dargestellt. Dabei sind das erste kapazitive Element 302a und zumindest ein Teilabschnitt des ersten HF-Leitungsabschnitts 306a mit zumindest einem Teilabschnitt des zweiten HF-Leitungsabschnitts 306b parallel zueinander versetzt auf einem Schaltungsträger angeordnet, während das zweite kapazitive Element 302b senkrecht zu einer unter einem Winkel von 45° verlaufenden und als HF-Leitungsabschnitt ausgebildeten Verbindung dieser beiden parallelen Komponenten angeordnet ist.

#### Bezugszeichenliste

<b>100</b>	Resonator
<b>110</b>	Gaseinlass
<b>112</b>	Plasmaauslass
<b>120</b>	Innenleiter
<b>122</b>	Querschnittsverjüngung
<b>130</b>	Außenleiter
<b>140</b>	Leitungsdurchführung
<b>142</b>	Leiterkurzschluss
<b>144</b>	Leistungseinspeisung
<b>200</b>	Leistungszusatz
<b>210</b>	Anpassnetzwerk
<b>220</b>	aktives Element
<b>230</b>	Rückkoppelnetzwerk
<b>232</b>	verstellbares kapazitives Element
<b>234</b>	Verzögerungsleitung
<b>300</b>	Zuleitung
<b>302</b>	kapazitives Element
<b>304</b>	Masseverbindung
<b>306</b>	HF-Leitungsabschnitt
<b>308</b>	Knotenpunkt

#### Patentansprüche

1. Resonator (100) zur Erzeugung eines atmosphärischen Mikrowellenplasmas, umfassend:

- einen Außenleiter (130) mit einem abgeschlossenen zylinderförmigen Hohlraum, wobei der Außenleiter (130) einen Gaseinlass (110) zum Einbringen von Prozessgas in den Hohlraum und am distalen Ende der Längsachse des Hohlraums einen Plasmaauslass (112) zum Austritt des erzeugten Plasmas aufweist,

- einen stabförmig ausgebildeten Innenleiter (120) mit einem distalen und einem proximalen Ende, wobei der Innenleiter (120) entlang der Längsachse des Hohlraums beabstandet vom Außenleiter (130) angeordnet ist, ein in den Hohlraum eingebrachtes Prozessgas den Innenleiter (120) umgibt, der Innenleiter (120) an seinem proximalen Ende einen Leiterkurzschluss (142) mit dem proximalen Ende des Außenleiters (130) aufweist, das distale Ende des Innenleiters (120) dem Plasmaauslass (112) planparallel gegenüberliegt, und eine Leistungseinspeisung (144) in der Nähe des proximalen Endes des Innenleiters (120) über eine einzelne Zuleitung (300) erfolgt, wobei der Innenleiter (120) an seinem distalen Ende in Richtung Plasmaauslass (112) eine Querschnittsverjüngung (122) aufweist.

2. Resonator nach Anspruch 1, wobei die Querschnittsverjüngung (122) sich über maximal 50% der Länge des Innenleiters (120) erstreckt.

3. Resonator nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Querschnittsverjüngung (122) kegelstumpfförmig ausgebildet ist.

4. Resonator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Zuleitung (300) über eine Leitungsdurchführung (140) am proximalen Ende des Außenleiters (130) in den Hohlraum geführt wird.

5. Resonator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Abstand zwischen dem distalen Ende des Innenleiters (120) und dem Plasmaauslass (112) veränderlich ist.

6. Leistungszusatz (200) zur Einspeisung von Mikrowellen in einen Resonator (100) über eine einzelne Zuleitung (300), umfassend:

- ein aktives Element (220) zur Erzeugung einer Mikrowellenleistung,

- ein Anpassnetzwerk (210) zur elektronischen Anpassung zwischen dem aktiven Element (220) und dem Resonator (100), wobei eine Anpassung an den Resonator (100) mit und ohne Plasma eingerichtet ist, und

- ein Rückkoppelnetzwerk (230) mit einem verstellbaren kapazitiven Element (232) zur Anpassung der Mikrowellenfrequenz sowie einer Verzögerungsleitung

(234) zum Erreichen optimaler Mitkopplung an den Resonator (100) mit und ohne Plasma.

7. Leistungszosillator (200) nach Anspruch 6, wobei die Topologie der Schaltung des Anpassnetzwerks (210) in Richtung der Zuleitung (300) zum Resonator (100) eine Abfolge aus einem ersten kapazitiven Element (302a), einem ersten HF-Leitungsabschnitt (306a), einem Knotenpunkt (308) mit Verbindung zu einem an einer Masseverbindung (304) anliegendem zweiten kapazitiven Element (302b), und einem zweiten HF-Leitungsabschnitt (306b) aufweist.

8. Leistungszosillator (200) nach Anspruch 6 oder 7, wobei das Rückkoppelnetzwerk (230) eine mäanderförmig auf einem Schaltungsträger ausgebildete Verzögerungsleitung (234) umfasst.

9. Plasmaquelle, umfassend:

- einen Resonator (100) nach einem der Ansprüche 1 bis 5 und
- einen Leistungszosillator (200) nach einem der Ansprüche 6 bis 8, wobei die Mikrowellenleistung über eine einzelne Zuleitung (300) in den Resonator (100) eingespeist wird.

10. Verwendung der Plasmaquelle nach Anspruch 9 zur Behandlung von Oberflächen.

Es folgen 2 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

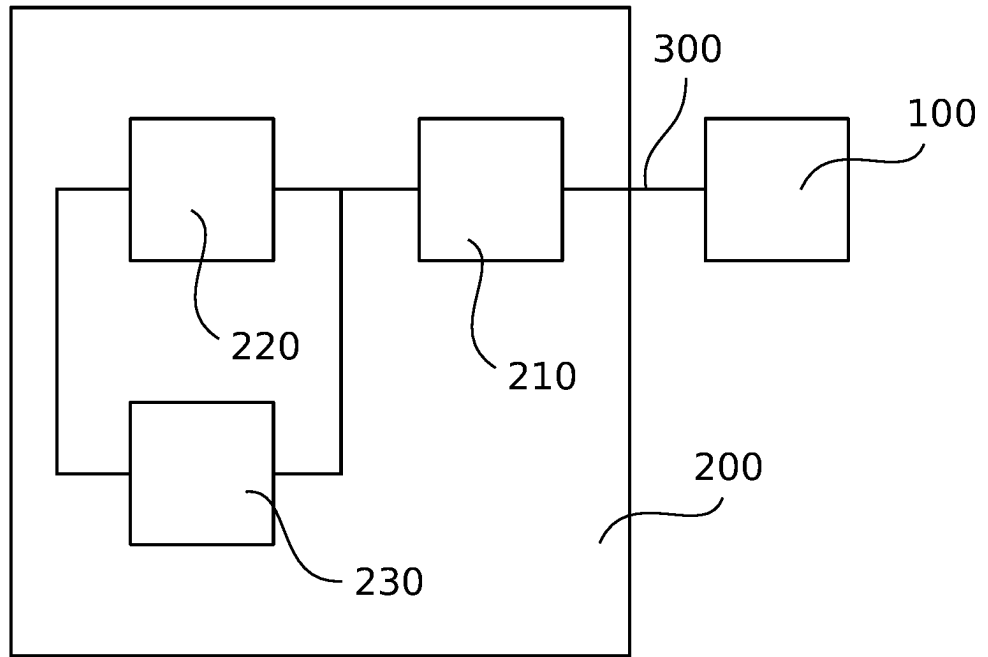


FIG. 1

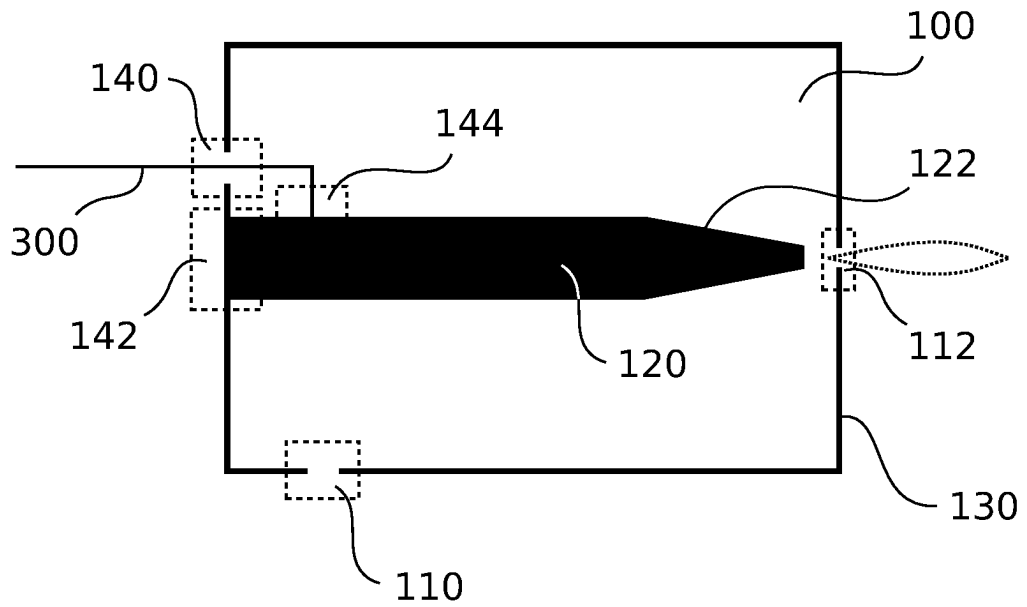


FIG. 2



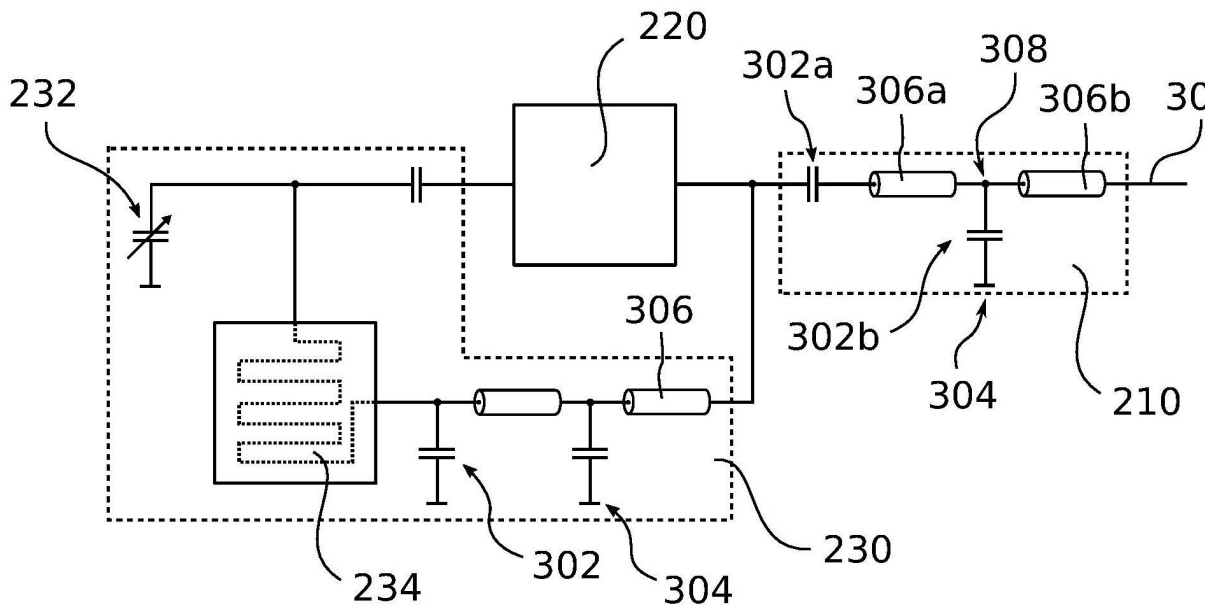


FIG. 3

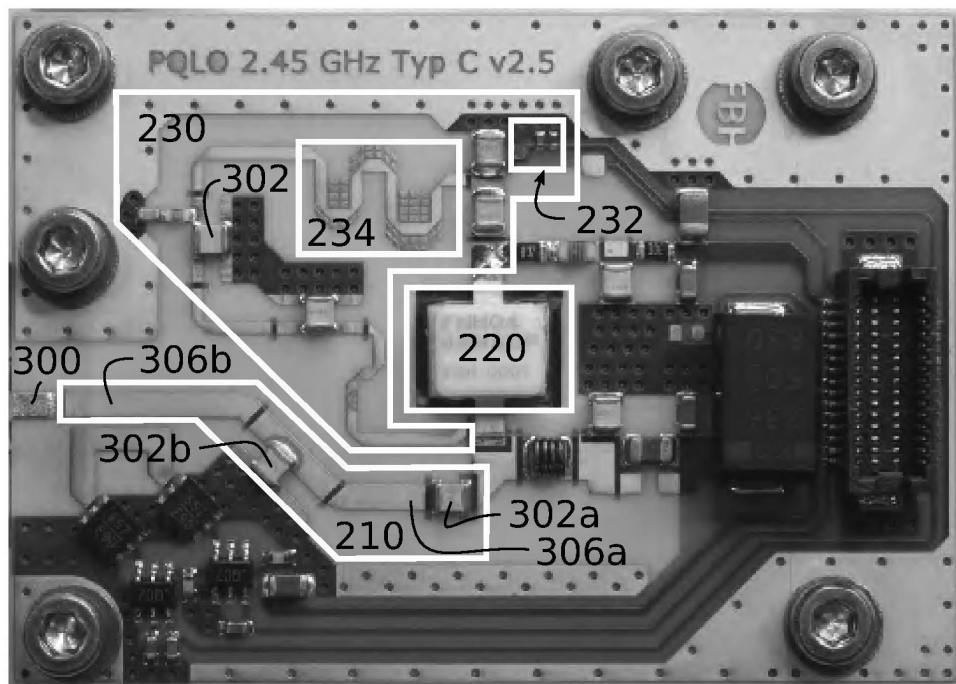


FIG. 4