

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
19. Dezember 2024 (19.12.2024)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2024/256588 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
H01J 37/32 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2024/066458

(22) Internationales Anmeldedatum:
13. Juni 2024 (13.06.2024)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2023 115 791.4
16. Juni 2023 (16.06.2023) DE

(71) Anmelder: **TRUMPF HÜTTINGER GMBH + CO. KG**
[DE/DE]; Bötzingen Strasse 80, 79111 Freiburg (DE).

(72) Erfinder: **MAIER, Florian**; Kapellenstrasse 33a, 79292
Pfaffenweiler (DE).

(74) Anwalt: **TRUMPF PATENTABTEILUNG**; Trumpf SE
+ Co. KG Johann-Maus-Strasse 2, 71254 Ditzingen (DE).

(81) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(54) **Title:** PLASMA PROCESS SUPPLY SYSTEM, IN PARTICULAR FOR PULSED PLASMA PROCESSES, AND METHOD FOR OPERATING SUCH A PLASMA PROCESS SUPPLY SYSTEM

(54) **Bezeichnung:** PLASMAPROZESSVERSORGUNGSSYSTEM, INSBESONDERE FÜR GEPULSTE PLASMAPROZESSE, UND EIN VERFAHREN ZUM BETRIEB EINES SOLCHEN PLASMAPROZESSVERSORGUNGSSYSTEMS

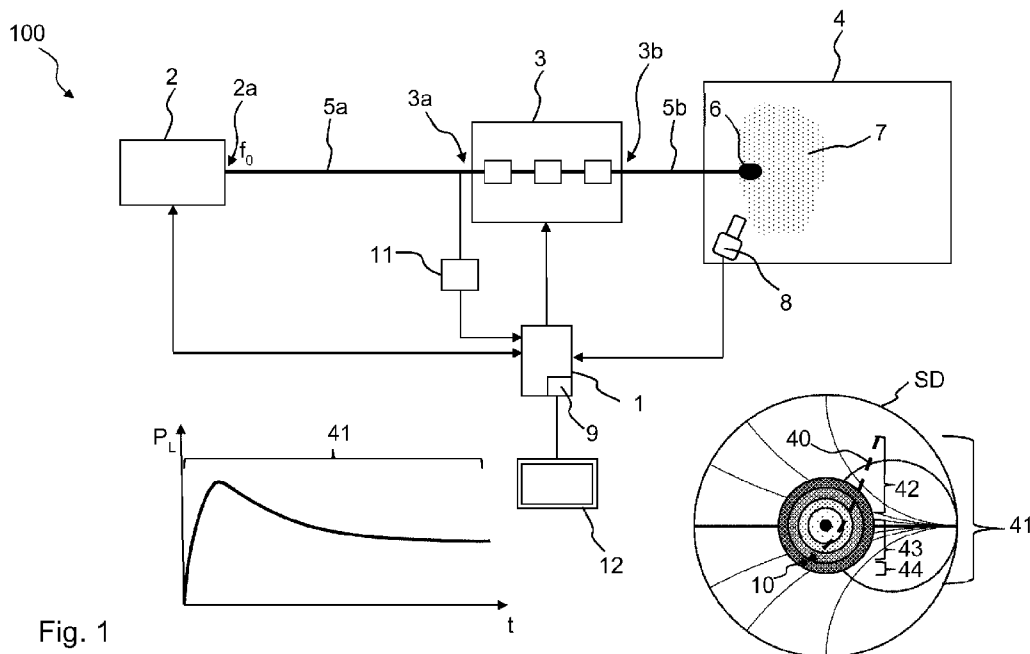


Fig. 1

(57) **Abstract:** The invention relates to a plasma process supply system (100), in particular for pulsed plasma processes, comprising an RF generator (2) which has at least one amplifier circuit (30), an impedance matching circuit (3), and a control device (1). The plasma process supply system (100) can be connected to a plasma chamber (4). The RF generator (2) is connected to the impedance matching circuit (3), the impedance matching circuit (3) being designed to set a target impedance (10) as an input impedance for the RF generator (2). The control device (1) is designed to set the target impedance (10) such that a trajectory (40), which describes an impedance curve

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

- mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)
- in Schwarz-Weiss; die internationale Anmeldung enthielt in ihrer eingereichten Fassung Farbe oder Graustufen und kann von PATENTSCOPE heruntergeladen werden.

for the input impedance in a settling period (41), runs from a starting impedance region (42) through an ignition impedance region (43) to a target impedance region (44), the RF generator (2) delivering, in the ignition impedance region (43), a power level which is higher than a target power level in the subsequent target impedance region (44).

(57) Zusammenfassung: Ein Plasmaprozessversorgungssystem (100), insbesondere für gepulste Plasma- prozesse, mit einem HF-Generator (2), der zumindest eine Verstärkerschaltung (30) umfasst, einer Impedanzanpassungsschaltung (3) und einer Steuerungsvorrichtung (1). Das Plasmaprozessversorgungssystem (100) ist mit einer Plasmakammer (4) verbindbar. Der HF-Generator (2) ist mit der Impedanzanpassungsschaltung (3) verbunden, wobei die Impedanzanpassungsschaltung (3) dazu ausgebildet ist, um eine Zielimpedanz (10) als Eingangsimpedanz für den HF-Generator (2) einzustellen. Die Steuerungsvorrichtung (1) ist dazu ausgebildet, um die Zielimpedanz (10) derart festzulegen, dass eine Trajektorie (40), die einen Impedanzverlauf für die Eingangsimpedanz in einem Einschwingzeitraum (41) beschreibt, von einem Startimpedanzbereich (42) über einen Zündimpedanzbereich (43) hin zu einem Zielimpedanzbereich (44) verläuft, wobei der HF-Generator (2) im Zündimpedanzbereich (43) eine Leistung abgibt, die höher ist als eine Zielleistung im anschließenden Zielimpedanzbereich (44).

Plasmaprozessversorgungssystem, insbesondere für gepulste Plasmaprozesse, und ein Verfahren zum Betrieb eines solchen Plasmaprozessversorgungssystems

- 5 Die Erfindung betrifft ein Plasmaprozessversorgungssystem, insbesondere für gepulste Plasmaprozesse, und ein Verfahren zum Betrieb eines solchen Plasmaprozessversorgungssystems.

10 Die Oberflächenbehandlung von Werkstücken mit Hilfe von Plasma sowie Gaslaser sind industrielle Verfahren, bei denen insbesondere in einer Plasmakammer, ein Plasma mit Gleichstrom oder mit einem hochfrequenten Wechelsignal mit einer Arbeitsfrequenz im Bereich von einigen 10 kHz bis in den GHz-Bereich erzeugt wird.

15 Die Plasmakammer wird über weitere elektronische Bauteile, wie Spulen, Kondensatoren, Leitungen oder Transformatoren, an einen Hochfrequenzgenerator (HF-Generator) angeschlossen. Diese weiteren Bauteile können Schwingkreise, Filter oder Impedanzanpassungsschaltungen darstellen.

20 Plasmaprozesse stellen für den Hochfrequenzgenerator eine stark variable Last dar, die von den Zuständen in der Plasmakammer abhängt. Insbesondere gehen die Eigenschaften von Werkstück, Elektroden und Gasverhältnissen ein.

25 Hochfrequenzgeneratoren weisen einen eingeschränkten Arbeitsbereich bezüglich der Impedanz der angeschlossenen elektrischen Last (= Verbraucher) auf. Verlässt die Lastimpedanz einen zulässigen Bereich, so kann die geforderte Energie/Leistung nicht an den Verbraucher abgegeben werden. Auch eine Beschädigung des HF-Generators ist möglich.

Aus diesem Grund ist in der Regel eine Impedanzanpassungsschaltung (Match-box) erforderlich, die die Impedanz der Last auf eine Nennimpedanz des Generators ausgangs transformiert.

- 5 Es sind unterschiedliche Impedanzanpassungsschaltungen bekannt. Entweder sind die Impedanzanpassungsschaltungen fest eingestellt und haben eine vorgegebene Transformationswirkung, bestehen also aus elektrischen Bauelementen, insbesondere Spulen und Kondensatoren, die während des Betriebes nicht verändert werden. Dies ist insbesondere bei immer gleichbleibendem Betrieb, wie z. B.
- 10 bei einem Gaslaser, sinnvoll. Weiterhin sind Impedanzanpassungsschaltungen bekannt, bei denen zumindest ein Teil der Bauelemente der Impedanzanpassungsschaltungen mechanisch veränderlich sind. Beispielsweise sind motorbetriebene Drehkondensatoren bekannt, deren Kapazitätswert verändert werden kann, indem die Anordnung der Kondensatorplatten relativ zueinander verändert wird.

15

- Einem Plasma können bei grober Betrachtung drei Impedanzbereiche zugeordnet werden. Vor der Zündung liegen sehr hohe Impedanzen vor. Im Normalbetrieb, d. h. bei bestimmungsgemäßigem Betrieb mit Plasma, liegen niedrigere Impedanzen vor. Bei unerwünschten lokalen Entladungen (Arcs) oder bei Plasmaschwankungen können sehr kleine Impedanzen auftreten. Außer diesen drei identifizierten
- 20 Impedanzbereichen können noch weitere Sonderzustände mit anderen zugeordneten Impedanzwerten auftreten. Verändert sich die Lastimpedanz schlagartig und gelangt dabei die Lastimpedanz bzw. die transformierte Lastimpedanz aus einem zulässigen Impedanzbereich, können der HF-Generator oder auch Übertragungseinrichtungen zwischen dem HF-Generator und der Plasmakammer beschädigt
- 25 werden. Es gibt außerdem auch stabile Zustände des Plasmas die nicht erwünscht sind.

- Eine Impedanzanpassungsschaltung ist beispielsweise in der
- 30 DE 10 2009 001 355 A1 beschrieben.

Ein Plasma kann je nach Plasmaprozess mit einem gepulsten oder einem kontinuierlichen HF-Signal, auch CW-Signal genannt, betrieben werden. Aufgrund der hohen Varianz, die bei Plasmaprozessen vorliegen kann, ist ein wichtiges Thema für den sicheren Betrieb eines Plasmaprozesses die reproduzierbare Zündung des Plasmas. Die reproduzierbare Zündung ist bei einem HF-Generator, der CW-Signal bereitstellt, weniger problematisch, weil eine Impedanzanpassungsschaltung zu Beginn so konfiguriert sein kann, dass eine ideale Zündbedingung herrscht (Anpassung auf "kalte" Impedanz). Nach dem Zünden wird die Impedanzanpassungsschaltung dann so geregelt, dass möglichst schnell Anpassung herrscht. Bei einem CW-Signal ist hierfür ausreichend Zeit. Problematischer ist dagegen eine zuverlässige Zündung bei einem HF-Generator, der ein gepulstes Hochfrequenzsignal erzeugt. Im gepulsten Betrieb wird die Impedanzanpassungsschaltung auf die "Brennposition" geregelt. Dies ist für das Zünden aber eventuell nicht optimal.

Es ist daher die Aufgabe der hier vorliegenden Erfindung ein Plasmaprozessversorgungssystem zu schaffen, welches insbesondere bei gepulsten Plasmaprozessen eine zuverlässige Zündung des Plasmas an jedem Pulsanfang erlaubt.

Die Aufgabe wird bezüglich des Plasmaprozessversorgungssystems durch den Anspruch 1 und bezüglich eines Verfahrens zum Betrieb eines solchen Plasmaprozessversorgungssystems durch den Anspruch 19 gelöst. In den Ansprüchen 2 bis 18 sind vorteilhafte Weiterbildungen des Plasmaprozessversorgungssystems angegeben.

Das Plasmaprozessversorgungssystem eignet sich insbesondere für gepulste Plasmaprozesse. Es weist einen HF-Generator auf, der zumindest eine Verstärkerschaltung umfasst. Weiterhin umfasst das Plasmaprozessversorgungssystem eine Impedanzanpassungsschaltung und eine Steuerungsvorrichtung. Das Plasmaprozessversorgungssystem ist mit einer Plasmakammer verbindbar. Der HF-Generator ist mit der Impedanzanpassungsschaltung (galvanisch) verbunden. Die Impedanzanpassungsschaltung ist dazu ausgebildet, um eine Zielimpedanz als

Eingangsimpedanz für den HF-Generator einzustellen. Die Zielimpedanz wird insbesondere an einem Eingang der Impedanzanpassungsschaltung eingestellt, mit welchem der HF-Generator verbunden ist. Die Steuerungsvorrichtung ist dazu ausgebildet, um die Zielimpedanz derart festzulegen, dass eine Trajektorie, die einen

5 Impedanzverlauf für die Eingangsimpedanz in einem Einschwingzeitraum beschreibt, von einem Startimpedanzbereich über einen Zündimpedanzbereich hin zu einem Zielimpedanzbereich verläuft, wobei der HF-Generator im Zündimpedanzbereich eine Leistung ausgibt, die höher ist als eine Zielleistung im anschließenden Zielimpedanzbereich. Die Zielimpedanz liegt dabei im Zielimpedanzbereich. Ver-

10 stärker zeigen grundsätzlich ein charakteristisches Verhalten bzgl. der abgegebenen Leistung in Abhängigkeit von der Lastimpedanz. Dieses Verhalten kann auch als Leistungsprofil eines HF-Verstärkers bezeichnet werden. Die passende Wahl der Zielimpedanz hat den großen Vorteil, dass die passenden Impedanzen durch-

15 laufen werden und zwar mit einer Geschwindigkeit, die ein Regler in dieser Zeit nicht ausregeln könnte. Dies gilt insbesondere bei Verwendung eines gepulsten Hochfrequenzsignals, für das ein Regler jeden Puls einzeln ausregeln müsste. Dabei kann die Soll-Leistung, die der HF-Generator abgibt, über den gesamten Impedanzver-

20 lauf gleich groß sein. Tatsächlich wird aber in den verschiedenen Impedanzbereichen immer ein Teil der Leistung reflektiert. Deswegen wird die Trajektorie so gewählt, dass im Zündimpedanzbereich bei gezündetem Plasma weniger reflektierte Leistung erwartet wird als im Zielimpedanzbereich.

Es ist hier besonders vorteilhaft, dass die Trajektorie, die verschiedene Bereiche bis zum Zielimpedanzbereich durchläuft, durch Wahl der Zielimpedanz derart einge-

25 stellt wird, dass diese durch einen Zündimpedanzbereich verläuft, in welchem der HF-Generator eine höhere Leistung abgibt, als im späteren Zielimpedanzbereich. Diese höhere Leistung (engl. power peaking) sorgt für eine kurzfristige Erhöhung der Feldstärke in der Plasmakammer, wodurch das Plasma zuverlässig(er) zündet als bei herkömmlichen Plasmaprozessversorgungssystemen. Es ist weiterhin be-

30 sonders vorteilhaft, dass der Verlauf bis zum Erreichen des Zielimpedanzbereichs der Trajektorie ungeregelt sein kann, was den Betrieb deutlich vereinfacht. Die

Tatsache, dass der HF-Generator nicht sofort die Zielimpedanz sieht, ist unter anderem darin begründet, dass die Impedanzanpassungsschaltung eine hohe Güte aufweist, und es erst zum Einschwingen der entsprechenden Schwingkreise, die beispielsweise aus Kapazitäten und Induktivitäten gebildet sind, kommen muss.

- 5 Passive Bauelemente schwingen zumindest im Startimpedanzbereich ein. Aus diesem Grund verändert sich die Impedanz in dem oben genannten Einschwingzeitraum. Außer der Impedanzanpassungsschaltung ist auch der Verbraucher für das Entstehen des Verlaufs der Trajektorie verantwortlich. So ändert sich die Plasmaimpedanz ebenfalls im Zuge des Einschwingzeitraum. Nachdem es eine Vielzahl von
- 10 Zielimpedanzen gibt, um eine gewünschte Zielleistung zu erreichen, die der HF-Generator abgeben soll, kann diejenige Zielimpedanz ausgewählt werden, bei welcher die Trajektorie einen gewünschten Zündimpedanzbereich durchläuft, also einen Bereich, in welchem die dort von dem HF-Generator abgegebene Leistung die Zielleistung überschreitet. Für den eigentlichen Plasmaprozess ist die erhöhte Leistung, die im Zündimpedanzbereich abgerufen werden kann, häufig nicht notwendig
- 15 bzw. es wird aus Effizienzgründen auf das dauerhafte Abrufen dieser erhöhten Leistung verzichtet.

- In einem Aspekt umfasst der Einschwingzeitraum den Zeitbereich, von Beginn eines
- 20 Pulses des HF-Signals bis zu einem Zeitpunkt, in welchem sich die Impedanzen nicht mehr verändern, bzw. bis zu dem Zeitpunkt, in dem eine Änderung der Impedanzen kleiner als ein Schwellwert ist. Zu den Impedanzen zählen die Impedanzen der Impedanzanpassungsschaltung (Kondensatoren, Spulen) als auch die Plasmaimpedanz.

25

- In einem Aspekt umfasst die Verstärkerschaltung einen Balanced-Amplifier (deutsch: balancierter Verstärker). Durch den Einsatz von Balanced-Amplifiern stellen sich große Vorteile bei Plasmaanwendungen ein, weil diese ihre maximale Leistung dann abgeben, wenn sie eine Eingangsimpedanz sehen, die der Nennimpedanz (zum Beispiel 50 Ohm) entspricht. Sie sind außerdem robuster und haben
- 30 einen konstanten Ausgangswiderstand. Ein Problem besteht beim Zünden des

Plasmas, welches durch die Wahl der Zielimpedanz und eines dadurch verbesserten Verlaufs der Trajektorie behoben wird. Aus diesem Grund erlaubt das Plasma-prozessversorgungssystem den Einsatz von Balanced-Amplifiern. Der Balanced-Amplifier ist bevorzugt derart dimensioniert, dass seine Zielleistung bei Vorliegen
5 der Zielimpedanz ausreichend ist, um den Plasmaprozess zu betreiben, wobei die erhöhte Leistung im Bereich der Anpassung zum Zünden des Plasmaprozesse verwendet wird.

Der Balanced-Amplifier weist bevorzugt zwei Verstärkerpfade auf, die mit einem
10 Phasenversatz von vorzugsweise 90° betrieben werden. Ein solcher Balanced-Amplifier ist z.B. in WO2015/091468 A1 als ‚Leistungswandler‘ beschrieben. WO2015/091468 A1 wird hiermit in seiner Gesamtheit durch Referenzierung mit in diese Offenbarung mit aufgenommen.

15 Der Balanced-Amplifier weist bevorzugt einen 90° -Koppler zum Koppeln der Ausgangssignale der Verstärkerpfade auf.

Der Balanced-Amplifier weist bevorzugt einen Hybridkoppler zum Koppeln der Ausgangssignale der Verstärkerpfade auf.

20

Der Balanced-Amplifier weist bevorzugt einen 3dB-Koppler zum Koppeln der Ausgangssignale der Verstärkerpfade auf.

In einem Aspekt ist die Steuerungsvorrichtung dazu ausgebildet, um die Zielimpedanz derart festzulegen, dass der HF-Generator bei Vorliegen der Zielimpedanz die
25 voreinstellbare Zielleistung abgibt. Wie bereits erläutert gibt es eine Vielzahl von Zielimpedanzen, bei deren Erreichen der HF-Generator dieselbe Zielleistung abgibt. Es ist auch vorteilhaft, dass die Zielleistung vorgebbbar ist.

30 In einem Aspekt umfasst die Steuerungsvorrichtung eine Speichervorrichtung. In der Speichervorrichtung sind für unterschiedliche Zielleistungen, die durch den HF-

Generator abgebar sind, entsprechende Zielimpedanzen hinterlegt. Dabei kann für eine Zielleistung eine Zielimpedanz hinterlegt sein oder es können mehrere Zielimpedanzen hinterlegt sein. Das Hinterlegen kann z.B. in Form einer Look-Up-Tabelle erfolgen.

5

In einem Aspekt ist die Steuerungsvorrichtung dazu ausgebildet, um die Zielimpedanz auf einen derartigen Wert festzulegen, für den die Trajektorie durch den Zündimpedanzbereich verläuft, bei welchen der HF-Generator eine Leistung abgibt, die um eine voreinstellbare Größe über der Zielleistung liegt. Auch hier ist vorteilhaft, dass die Größe voreinstellbar ist. So kann ein Benutzer vorgeben, dass die Leistung im Zündimpedanzbereich beispielsweise um 10 % oder um 20 % höher sein soll als die Zielleistung. Bevorzugt befindet sich der Zündimpedanzbereich im Smith-Diagramm bei einem Balanced-Amplifier näher an den 50 Ohm als der Zielimpedanzbereich.

10

15

In einem Aspekt umfasst das Plasmaprozessversorgungssystem eine Bedieneinheit. Die Steuervorrichtung ist dazu ausgebildet, um von der Bedieneinheit eine Benutzereingabe zu empfangen. Die Benutzereingabe ist die Höhe der Zielleistung und/oder die voreinstellbare Größe, um die die Leistung im Zündimpedanzbereich über der Zielleistung liegt. Es ist besonders vorteilhaft, dass der Bediener des Plasmaprozessversorgungssystems lediglich die Zielleistung und die erhöhte Leistung im Zündimpedanzbereich vorgeben muss und er dadurch einen zuverlässig zündenden Plasmaprozess bereitgestellt bekommt.

20

25

In einem Aspekt ist die Steuerungsvorrichtung dazu ausgebildet, um die Zielimpedanz auf einen derartigen Wert festzulegen, für den die Trajektorie durch den Zündimpedanzbereich und den Zielimpedanzbereich verläuft, wobei die Verstärkerschaltung und insbesondere Verstärkerelemente der Verstärkerschaltung, eine Verlustleistung aufweisen, die unterhalb eines Schwellwerts liegen, wodurch die Verlustleistung insbesondere minimiert ist. Durch Vermessen der Verstärkerschaltung können diejenigen Bereiche ermittelt werden, in denen die Effizienz über einem

30

Schwellwert liegt bzw. in denen die Verlustleistung, die in den einzelnen Verstärkerelementen (zum Beispiel in den Transistoren) anfällt, unterhalb eines Schwellwerts liegt. Die Wahl einer entsprechenden Trajektorie ist insbesondere deshalb vorteilhaft, weil bei Einsatz eines Balanced-Amplifiers dieser im Zielimpedanzbereich nicht mit Anpassung betrieben wird und daher eine Signalleistung von der Impedanzanpassungsschaltung zum HF-Verstärker zurück reflektiert wird.

In einem Aspekt ist die Steuerungsvorrichtung dazu ausgebildet, um die Zielimpedanz auf einen derartigen Wert festzulegen, für den gilt, dass ein Mittelwert des Impedanzverlaufs der Nennimpedanz des HF-Generators, insbesondere 50 Ohm, entspricht. Dadurch wird die Effizienz verbessert.

In einem Aspekt ist die Steuerungsvorrichtung dazu ausgebildet, um den Impedanzverlauf einer Trajektorie zu messen und um anhand des gemessenen Impedanzverlaufs die Zielimpedanz anzupassen, sodass die Trajektorie in einem nachfolgenden Einschwingzeitraum einen verbesserten Verlauf aufweist. Dies hat, insbesondere bei gepulsten Plasmaanwendungen, den Vorteil, dass die Trajektorie sukzessiv auf den optimalen Verlauf angepasst werden kann. Wird mit einer Wiederholrate (Pulsrate) von vorzugsweise mehr als 10 Hz bis vorzugsweise weniger als 1 MHz gearbeitet, so wird die gewünschte Trajektorie sehr schnell erreicht.

In einem Aspekt kann so der Verlauf der Trajektorie in einem nachfolgenden Einschwingzeitraum bezüglich der Effizienz der Verstärkerschaltung, der erzielbaren Leistung im Zündimpedanzbereich, der gemittelten Impedanz im Einschwingzeitraum und/oder der erzielbaren Leistung im Zielimpedanzbereich verbessert werden.

In einem Aspekt ist die Steuerungsvorrichtung dazu ausgebildet, um in jedem Einschwingzeitraum die Trajektorie zu messen. Dadurch kann die Zielimpedanz feiner angepasst werden, um gleichzeitig überprüfen zu können, ob der Verlauf der Trajektorie im nachfolgenden Einschwingzeitraum (zum Beispiel im nachfolgenden Puls) verbessert ist. Bei einer hohen Wiederholrate der Pulse ist es nicht notwendig, dass

die Trajektorie im Einschwingzeitraum für jeden Puls gemessen wird. In diesem Fall kann die Trajektorie für den Einschwingzeitraum von mindestens jedem n-ten Puls, mit $n = 2, 5, 10, 50, 100, 500, 1000, 5000, 10000$ gemessen werden.

- 5 In einem Aspekt ist der HF-Generator dazu ausgebildet, um ein Hochfrequenzsignal zu pulsen und dieses gepulste Hochfrequenzsignal an die Impedanzanpassungsschaltung auszugeben. Der Einschwingzeitraum erstreckt sich über die zeitliche Länge eines solchen Pulses. Die Wiederholrate der Pulse kann bei ungefähr 10 Hz bis 1 MHz liegen. Die Pulslänge kann im Bereich von 1 μs bis 500 μs , insbesondere
- 10 im Bereich von 100 μs bis 500 μs , besonders bevorzugt bei 300 μs liegen. Die Einschwingzeit kann einen beliebigen Zeitbereich jedes Pulses umfassen (z.B. 5% oder mehr und 90% oder weniger). Die Einschwingzeit hängt insbesondere von der Pulslänge ab. Hat ein Puls eine lange Pulslänge, so ist die Einschwingzeit bezogen auf die Länge des Pulses kürzer verglichen mit einem Puls mit einer kürzeren Länge.

15

- In einem Aspekt ist die Steuerungsvorrichtung dazu ausgebildet, um die Trajektorie für jeden Einschwingzeitraum und damit für jeden Puls des Hochfrequenzsignals zu messen. Dadurch kann ein besonders feines Einstellen der Zielimpedanz erfolgen. Es ist auch denkbar, dass nach einer gemessenen Trajektorie für einen Puls mindestens n Pulse folgen, für die keine Trajektorie gemessen wird, mit $n > 2, 3, 5, 10,$
- 20 15, 20, 50, 100, 500. Wird mit einer hohen Pulsrate, z.B. 1 MHz gepulst, so ist es nicht erforderlich, dass die Trajektorie von jedem Puls gemessen wird.

- In einem Aspekt umfasst die Steuerungsvorrichtung eine Messeinheit. Die Messeinheit umfasst zumindest eine Richtkopplereinheit zur Erfassung der Leistung eines hin- und rücklaufenden Hochfrequenzsignals oder einen Stromsensor und einen Spannungssensor. Die Steuervorrichtung ist dazu ausgebildet, um anhand des Messergebnisses der Richtkopplereinheit oder des Stromsensors und des Spannungssensors den Impedanzverlauf der Trajektorie zu messen. Auf diese Art und
- 25
- 30 Weise kann sehr einfach und sehr schnell der Impedanzverlauf der Trajektorie gemessen werden.

In einem Aspekt ist der Spannungssensor der Messeinheit ein kapazitiver Spannungsteiler, wobei eine erste Kapazität durch einen elektrisch leitfähigen Ring oder Zylinder gebildet ist, durch den ein Kabel führbar ist, auf dem die HF-Leistung
5 übertragbar ist. Ergänzend hierzu ist der Stromsensor der Messeinheit eine Spule, die um den leitfähigen Ring oder Zylinder herum angeordnet ist. Durch diesen Aufbau ist ein berührungsloses Messen von Strom und Spannung möglich.

In einem Aspekt ist die Messeinheit zwischen dem HF-Generator und der Impedanzanpassungsschaltung angeordnet. Bevorzugt ist die Messeinheit näher an
10 der Impedanzanpassungsschaltung angeordnet als am HF-Generator.

In einem Aspekt wird der Zündimpedanzbereich von der Trajektorie zeitlich schneller durchlaufen als diese im Zielimpedanzbereich verbleibt. Die Impedanz, die der
15 HF-Generator an seinem Ausgang über die Zeit sieht (Trajektorie) durchschreitet den Zündimpedanzbereich schneller als sie im Zielimpedanzbereich verbleibt. Dadurch kann ein stabiler Plasmaprozess mit einer zuverlässigeren Zündung erreicht werden.

20 In einem Aspekt durchläuft die Trajektorie den Zündimpedanzbereich in weniger als 30%, 20% oder 10% der Zeit als diese im Zielimpedanzbereich verbleibt.

In einem Aspekt ist ein DC-Generator vorgesehen, der dazu ausgebildet ist, um ein DC-Signal zu erzeugen, wobei das DC-Signal der Plasmakammer in Überlappung
25 zu dem Hochfrequenzsignal zuführbar ist. Das DC-Signal kann durch den DC-Generator konstant abgegeben oder gepulst werden. Die Impedanzanpassungsschaltung kann einen weiteren Eingang aufweisen, an den der DC-Generator angeschlossen wird. Es kann auch ein Bias-Tee zwischen die Impedanzanpassungsschaltung und die Plasmakammer geschaltet sein, welches dazu ausgebildet ist,
30 um das Hochfrequenzsignal und das DC-Signal zueinander zu überlappen und an die Plasmakammer zu übertragen.

In einem Aspekt umfasst die Impedanzanpassungsschaltung zumindest eine oder mehrere verstellbare Reaktanzen, um das Transformationsverhältnis für die Impedanz zwischen einem Eingang, an dem der HF-Generator angeschlossen ist und
5 einem Ausgang, an dem eine Last, also die Plasmakammer, anschließbar ist, zu verändern. Die Reaktanzen sind mechanisch verstellbar und/oder elektrisch verstellbar. Dies kann beispielsweise durch Halbleiterschalt Elemente wie z.B. Transistoren oder PIN-Dioden erfolgen. Ergänzend oder alternativ können auch zumindest ein Varaktor und/oder zumindest eine zuschaltbare Induktivität und/oder Kapazität
10 verwendet werden.

Das Verfahren dient zum Betrieb des Plasmaprozessversorgungssystems. Insbesondere gepulste Plasmaprozesse können mit dem Verfahren betrieben werden. Das Plasmaprozessversorgungssystem umfasst einen HF-Generator, der zumindest eine Verstärkerschaltung aufweist, eine Impedanzanpassungsschaltung und
15 eine Steuerungsvorrichtung. Das Plasmaprozessversorgungssystem ist mit einer Plasmakammer verbindbar. In einem ersten Verfahrensschritt findet ein Verbinden des HF-Generators mit der Impedanzanpassungsschaltung statt. In einem zweiten Verfahrensschritt findet ein Festlegen einer Zielimpedanz als Eingangsimpedanz für
20 den HF-Generator statt, so dass eine Trajektorie, die einen Impedanzverlauf für die Eingangsimpedanz in einem Einschwingzeitraum beschreibt, von einem Startimpedanzbereich über einen Zündimpedanzbereich hin zu einem Zielimpedanzbereich verläuft. Der HF-Generator gibt im Zündimpedanzbereich eine Leistung aus, die höher ist als eine Zielleistung im anschließenden Zielimpedanzbereich. In einem dritten
25 Verfahrensschritt findet ein Einstellen einer Zielimpedanz als Eingangsimpedanz für den HF-Generator durch die Impedanzanpassungsschaltung statt.

Nachfolgend wird die Entwicklung rein beispielhaft unter Bezugnahme auf die Zeichnungen beschrieben. Es zeigen:

Figur 1: ein Ausführungsbeispiel des Plasmaprozessversorgungssystems mit einer Steuervorrichtung;

5 Figur 2: ein Ausführungsbeispiel einer Verstärkerschaltung eines HF-Verstärkers des Plasmaprozessversorgungssystems;

Figuren 3A, 3B, 3C, 3D, 3E:
verschiedene Beispiele wie eine Trajektorie verlaufen kann, die einen Impedanzverlauf für eine Eingangsimpedanz in einem Einschwingzeitraum beschreibt;

10

Figuren 4A, 4B:
verschiedene Verläufe für Ausgangsleistungen, die der HF-Generator abgibt;

15

Figuren 5A, 5B:
verschiedene Ausführungsbeispiele wie eine Impedanzanpassungsschaltung aufgebaut sein kann;

20 Figuren 6, 7: Ausführungsbeispiele wie eine Messeinheit zur Messung eines Stroms und einer Spannung ausgeführt sein kann; und

Figur 8: ein Flussdiagramm für ein Verfahren, welches den Betrieb der Steuervorrichtung erläutert.

25

Figur 1 zeigt ein Plasmaprozessversorgungssystem 100, welches eine Steuervorrichtung 1 umfasst. Das Plasmaerzeugungssystem 100 umfasst weiterhin einen HF-Generator 2, eine Impedanzanpassungsschaltung 3 und zumindest einen Verbraucher 4, insbesondere in Form einer Plasmakammer. Der HF-Generator 2 ist dazu ausgebildet, um ein Hochfrequenzsignal, insbesondere in Form eines gepulsten Hochfrequenzsignals, mit einer Nennleistung P_{Nenn} und einer

30

Frequenz f_0 bereitzustellen und an einem Ausgangsanschluss 2a auszugeben. Die Impedanzanpassungsschaltung 3 umfasst einen Eingangsanschluss 3a, wobei der HF-Generator 2 mit dem Eingangsanschluss 3a über eine erste Kabelverbindung 5a verbunden ist. Die Impedanzanpassungsschaltung 3 umfasst weiterhin einen
5 Ausgangsanschluss 3b. Der Ausgangsanschluss 3b ist mit dem zumindest einen Verbraucher 4 über eine zweite Kabelverbindung 5b verbunden. Die erste und/oder zweite Kabelverbindung 5a, 5b kann ein oder mehrere, beispielsweise seriell und/oder parallel geschaltete Kabel umfassen. Vorzugsweise werden Koaxialkabel verwendet.

10

Der Verbraucher 4, also die Plasmakammer, umfasst zumindest eine Elektrode 6 zur Erzeugung eines Plasmas 7. Die Elektrode 6 ist mit dem Ausgangsanschluss 3b der Impedanzanpassungsschaltung 3 (galvanisch) verbunden. In der Plasmakammer ist in diesem Ausführungsbeispiel noch ein Kamerasystem 8 angeordnet,
15 net, welches dazu ausgebildet ist, um das Plasma 7 zu beobachten.

Bei der Steuerungsvorrichtung 1 handelt es sich vorzugsweise um einen Prozessor und/oder FPGA und/oder Mikrocontroller und/oder ASIC. Die Steuerungsvorrichtung 1 kann auch eine Speichervorrichtung 9 umfassen.

20

Die Steuerungsvorrichtung 1 ist dazu ausgebildet, um den HF-Generator 2 anzusteuern, insbesondere um diesen zu aktivieren oder zu deaktivieren. Ergänzend oder alternativ ist die Steuerungsvorrichtung 1 auch dazu ausgebildet, um die Leistung und/oder Frequenz des HF-Signals durch entsprechende Ansteuerung
25 des HF-Generators 2 zu verändern. Ergänzend oder alternativ ist die Steuerungsvorrichtung 1 dazu ausgebildet, um die Wellenform (Art des Hochfrequenzsignals, Modulation des HF-Signals, Pulsdauern, Pulswiederholrate) des Hochfrequenzsignals durch entsprechende Ansteuerung des HF-Generators 2 zu verändern.

30

Die Steuerungsvorrichtung 1 ist bevorzugt ebenfalls dazu ausgebildet, um die Impedanzanpassungsschaltung 3 anzusteuern. Insbesondere ist die

Steuerungsvorrichtung 1 dazu ausgebildet, um das Transformationsverhältnis innerhalb der Impedanzanpassungsschaltung 3 zu verändern bzw. um eine Zielimpedanz 10 vorzugeben, die als Eingangsimpedanz für den HF-Generator 2 wirkt.

- 5 Die Steuerungsvorrichtung 1 umfasst außerdem eine Messeinheit 11. Die Messeinheit 11 ist dazu ausgebildet, um u.a. den Wert der Impedanz am Eingangsanschluss 3a der Impedanzanpassungsschaltung 3 zu messen. Die Messeinheit 11 ist vorzugsweise zwischen dem HF-Generator 2 und der Impedanzanpassungsschaltung 3 angeordnet.

10

Hierzu umfasst die Messeinheit 11 eine Richtkopplereinheit. Über die Richtkopplereinheit kann die Messeinheit 11 eine Leistung eines hin- und rücklaufenden Hochfrequenzsignals auf der ersten Kabelverbindung 5a messen, um hieraus die Eingangsimpedanz zu berechnen. Die Messeinheit 11 kann alternativ auch einen

- 15 Stromsensor 16 und einen Spannungssensor 20 umfassen. Ein Aufbau mit einem Stromsensor 16 und einem Spannungssensor 20 ist in den Figuren 6 und 7 dargestellt. Die Steuerungsvorrichtung 1 ist dazu ausgebildet, um anhand des Messergebnisses der Richtkopplereinheit oder des Stromsensors 16 und des Spannungssensors 20 die Impedanz zu berechnen, die der HF-Generator 2 sieht.

20

Das Plasmaerzeugungssystem 100 umfasst vorzugsweise noch eine Bedieneinheit 12. Bei der Bedieneinheit 12 handelt es sich vorzugsweise um einen Bildschirm, insbesondere um einen berührungsempfindlichen Bildschirm. Die Bedieneinheit 12 kann neben einem Bildschirm auch Eingabemittel wie Tastatur und/oder

25 Maus umfassen. Die Bedieneinheit 12 kann auch ein Webserver sein, der Daten bereitstellt und Benutzereingaben entgegennimmt. Die Steuerungsvorrichtung 1 ist dazu ausgebildet, um auf der Bedieneinheit 12 aktuelle Einstellungen des HF-Generators 2 und/oder der Impedanzanpassungsschaltung 3 darzustellen.

- 30 Die Steuerungsvorrichtung 1 ist vorzugsweise dazu ausgebildet, um Sollwertvorgaben, zum Beispiel für die Leistung des Hochfrequenzsignals, die sogenannte

Zielleistung, entgegenzunehmen. Weiterhin können die Frequenz des Hochfrequenzsignals und/oder die Wellenform des Hochfrequenzsignals und/oder die Pulsrate und/oder die Pulsdauer für das Hochfrequenzsignal von der Bedieneinheit 12 empfangen werden. Hieraus können entsprechende Stellgrößen für den HF-Generator 2 und die Impedanzanpassungsschaltung 3 generiert und an diese übertragen werden.

In Fig. 1 ist auch gezeigt:

- Ein Beispiel für den Verlauf einer Trajektorie 40 in einem Smith-Diagramm SD, die einen Impedanzverlauf für eine Eingangsimpedanz 10 in einem Einschwingzeitraum 41 beschreibt, der von einem Startimpedanzbereich 42 über einen Zündimpedanzbereich 43 hin zu einem Zielimpedanzbereich 44 verläuft. Dies ist im Detail weiter unten zu Fig. 3D beschrieben.
- Ein Beispiel für den Verlauf einer Ausgangsleistung P_L über die Zeit t , die ein HF-Generator 2 in einem Einschwingzeitraum 41 abgibt. Dies ist im Detail weiter unten zu Fig. 4B beschrieben.

In Figur 2 ist ein exemplarischer Aufbau einer Verstärkerschaltung 30 des HF-Verstärkers 2 angegeben. Die Verstärkerschaltung 30 umfasst einen Balanced-Amplifier. Grundsätzlich könne die Verstärkerschaltung 30 auch einen Unbalanced-Amplifier umfassen. Der Balanced-Amplifier weist einen ersten 3dB-Kopper 31a und einen zweiten 3dB-Kopper 31b auf, die insbesondere in Form eines Hybridkopplers ausgebildet sind. Ein erster Eingang des ersten 3dB-Koppers 31a ist mit einer Signalquelle 32 verbunden. Die Signalquelle 32 ist dazu ausgebildet, um das Hochfrequenzsignal (gepulst) zu erzeugen. Ein zweiter Eingang des ersten 3dB-Koppers 31a ist über einen Widerstand 33 mit der Bezugsmasse verbunden. Ein erster Ausgang des ersten 3dB-Koppers 31a ist mit einem ersten Verstärker 34a, insbesondere in Form eines Transistorverstärkers, verbunden. Ein zweiter Ausgang des ersten 3dB-Koppers 31a ist mit einem zweiten Verstärker 34b, insbesondere in Form eines Transistorverstärkers, verbunden. Der erste Transistorverstärker 34a ist mit seinem Ausgang mit einem ersten Eingang des zweiten 3dB-

Koppers 31b verbunden. Der zweite Transistorverstärker 34b ist an seinem Ausgang mit einem zweiten Eingang des zweiten 3dB-Koppers 31b verbunden. Ein erster Ausgang des zweiten 3dB-Koppers 31b ist über den Widerstand 35 mit der Bezugsmasse verbunden. Bei einer Fehlanpassung, die wie nachfolgend erläutert wird, bewusst herbeigeführt wird, hängt es in Abhängigkeit der Zielimpedanz 10 davon ab, ob Leistung, die zurück in den HF-Verstärker 2 reflektiert wird, in dem Widerstand 35 oder in dem ersten und/oder zweiten Transistorverstärker 34a, 34b in Wärme umgesetzt wird. Das Ziel ist es, dass Leistung, die zurück reflektiert wird, in dem Widerstand 35 in Wärme umgesetzt wird, weil dieser problemlos ausreichend dimensioniert werden kann. Ein zweiter Ausgang des zweiten Transistorverstärker 34a, 34b, bei welchem es sich um den Ausgangsanschluss 2a handeln kann, ist mit der Impedanzanpassungsschaltung 3 verbunden.

Die Figuren 3A, 3B, 3C, 3D und 3E zeigen verschiedene Beispiele wie eine Trajektorie 40 in einem Smith-Diagramm SD verlaufen kann, die einen Impedanzverlauf für eine Eingangsimpedanz 10 in einem Einschwingzeitraum 41 beschreibt. Eine Trajektorie 40 beschreibt einen Impedanzverlauf über die Zeit. Eine solche Trajektorie 40 ist in den genannten Figuren gestrichelt dargestellt.

In Figur 3A verläuft die Trajektorie 40 in einem Einschwingzeitraum 41 (siehe Figuren 4A, 4B) in Richtung eines Punktes auf einem Smith-Diagramm SD, der einer Impedanz von 50 Ohm entspricht. In diesem Fall handelt es sich bei dieser Impedanz um die Zielimpedanz 10. Bei einem Balanced-Amplifier herrscht in diesem Punkt Anpassung und der Balanced-Amplifier gibt die maximale Leistung ab.

Problematisch ist hier das Zündverhalten des Plasmas 7. Wenn die Effizienz hier nicht zwingend maximal sein muss, könnte es vorteilhaft sein, eine Zielimpedanz 10 zu wählen, die von der Nennimpedanz entfernt ist. In diesem Fall würde bewusst eine Fehlanpassung herbeigeführt. Dies ist z.B. in den Figuren 3C und 3D gezeigt.

Figur 3B erläutert, dass es verschiedene Impedanzbereiche bei einem Balanced-Amplifier gibt, in denen der Balanced-Amplifier dieselbe Leistung abgibt. Diese Bereiche haben in Figur 3B dieselbe Schraffur und erstrecken sich in etwa kreisförmig um den Punkt der Nennimpedanz herum. Gibt ein Benutzer eine Zielleistung vor, so können unterschiedliche Zielimpedanzen 10 gewählt werden, damit der HF-Verstärker 2 die gewünschte Zielleistung auch abgibt. Nicht alle dieser Zielimpedanzen 10 sind dabei sinnvoll, so gibt es Zielimpedanzen, bei denen der HF-Verstärker 2 zwar die gewünschte Leistung abgibt, die einzelnen Transistorverstärker 34a, 34b unterschiedlich stark belastet werden. Je näher die schraffierten Bereiche um den Punkt der Nennimpedanz herum angeordnet sind, desto höher ist die Ausgangsleistung, die der HF-Verstärker 2 bereitstellen kann.

Figur 3C beschreibt den Verlauf einer Trajektorie 40 in Richtung der Zielimpedanz 10. Aufgrund eines Einschwingvorgangs in der Impedanzanpassungsschaltung 3 und auch in der Plasmakammer 4 wird die Zielimpedanz 10 nicht sofort erreicht. Stattdessen kann eine Trajektorie 40, also ein Impedanzverlauf über die Zeit, gemessen werden, an dessen Ende die Zielimpedanz erreicht wird. Dies bedeutet, dass der HF-Generator 2 an seinem Ausgang nicht sofort die Zielimpedanz 10 sieht. In Figur 3C stellt der HF-Generator 2 bei Erreichen der Zielimpedanz 10, am Ende der Trajektorie 40, die gewünschte Ausgangsleistung (äußerster Kreis) zu Verfügung. Problematisch ist, dass der HF-Generator 2 bis zum Erreichen der Zielimpedanz 10 lediglich Impedanzen sieht, bei denen er nicht die erforderliche Leistung für das Hochfrequenzsignal erbringen kann, die für ein zuverlässiges Zünden des Plasmas 7 notwendig ist.

Gemäß der hier vorliegenden Entwicklung ist nun die Steuervorrichtung 1 dazu ausgebildet, um die Zielimpedanz 10 derart festzulegen, dass eine Trajektorie 40 von einem Startimpedanzbereich 42 über einen Zündimpedanzbereich 43 hin zu dem Zielimpedanzbereich 44 verläuft, wobei der HF-Generator 2 im Zündimpedanzbereich 43 eine Leistung abgibt, die höher ist als die Zielleistung im anschließenden Zielimpedanzbereich 44, wo die Zielimpedanz 10 vorliegt. Dieser

Sachverhalt ist in Figur 3D dargestellt. Im Zielimpedanzbereich 44 gibt der HF-Verstärker 2 ein Hochfrequenzsignal mit ungefähr derselben Leistung aus wie im Zielimpedanzbereich 44 aus Figur 3C. Die Trajektorie 40 durchschreitet in Figur 3D den Zündimpedanzbereich 43, in welchem Impedanzen vorliegen, die den HF-Verstärker 2 dazu veranlassen eine höhere Leistung auszugeben als im späteren Zielimpedanzbereich 44, wodurch es zu einem zuverlässigeren Zünden des Plasmas 7 kommt. Wie erläutert kann ein Benutzer eingeben, welche Leistung er im Zündimpedanzbereich 41 von dem HF-Verstärker 2 haben möchte.

In Abhängigkeit der gewählten Zielleistung, die durch einen Benutzer vorgegeben werden kann, und der gewünschten Leistung im Zündimpedanzbereich 43, die ebenfalls durch einen Benutzer vorgegeben werden kann, wird die passende Zielimpedanz 10 gewählt. Durch die Messeinheit 11 ist es der Steuerungsvorrichtung 1 möglich den Impedanzverlauf fortlaufend zu messen und die Zielimpedanz 10 dahingehend anzupassen, dass die Trajektorie 40 durch den gewünschten Zündimpedanzbereich 43 verläuft. In der Speichervorrichtung 9 kann für jede Zielimpedanz 10, die durch die Impedanzanpassungsschaltung 2 einstellbar ist, eine Leistung gespeichert sein, die der HF-Verstärker 2 bei Erreichen der Zielimpedanz 10 abgeben kann.

Figur 3E zeigt, dass es Bereiche 45 gibt, durch die die Trajektorie 40 nicht laufen sollte. Dies kann beispielsweise darin begründet sein, dass hier Impedanzen vorliegen, die dazu führen, dass durch eine Leistung, die zurück zum HF-Verstärker 2 reflektiert wird, die Transistorverstärker 34a, 34b übermäßig bzw. einseitig belastet werden und/oder in eine unzureichende Effizienz vorliegt. Es ist daher die Aufgabe der Steuerungsvorrichtung 1, durch Wahl der Zielimpedanz 10, dafür zu sorgen, dass die Trajektorie 40 nicht oder nur für einen sehr kurzen Zeitraum innerhalb des Einschwingzeitraums 41 durch die Bereiche 45 läuft.

Figur 4A und Fig. 4B zeigen jeweils einen Verlauf der abgegebenen Leistung P_L über der Zeit t .

Figur 4A zeigt einen Einschwingzeitraum 41, wie er beispielsweise bei der Trajektorie 40 aus Figur 3A vorliegt. Die Zielimpedanz in Figur 3A liegt bei der Nennimpedanz, in diesem Fall bei 50 Ohm, wobei es sich bei der Verstärkerschaltung 30 um einen Balanced-Amplifier handelt, der bei der Nennimpedanz die maximale Leistung abgibt. Daher steigt die Leistung, die der HF-Verstärker 2 in Figur 4A abgibt mit zunehmender Zeit im Einschwingzeitraum 41 an.

Figur 4B zeigt dagegen einen Einschwingzeitraum 41, wie er beispielsweise bei der Trajektorie 40 aus Figur 3D vorliegt. Die Trajektorie 40 verläuft über einen Startimpedanzbereich 42 hin zu einem Zündimpedanzbereich 43 und weiter zu einem Zielimpedanzbereich 44. Die Leistung, die der HF-Verstärker 2 abgibt, ist im Zündimpedanzbereich 43 höher als im Zielimpedanzbereich 44. Dadurch wird ein zuverlässigeres Zünden des Plasmas 7 erreicht. Ebenfalls gut zu erkennen ist, dass der Zielimpedanzbereich 44 bezogen auf die gesamte Zeitdauer des Einschwingzeitraum 41 am längsten andauert. Der Zündimpedanzbereich 43 erstreckt sich über einen kürzeren Zeitraum, vorzugsweise über weniger als 30 %, 20 % oder weniger als 10 % des der Zeitdauer über den sich der Zielimpedanzbereich 44 erstreckt.

20

Handelt es sich bei dem Hochfrequenzsignal um ein gepulstes Hochfrequenzsignal, so kann es sich bei dem Einschwingzeitraum 41 beispielsweise um die Pulsdauer handeln. Die Steuerungsvorrichtung 1 ist in diesem Fall vorzugsweise dazu ausgebildet, um die Trajektorie 40 für jeden Puls, also für jeden neuen Einschwingzeitraum 41, erneut zu messen. Dabei kann sie die Zielimpedanz 10 anpassen, wobei vorzugsweise die Zielleistung (vom Benutzer vorgegeben) unverändert bleibt, um dadurch den Verlauf der Trajektorie 40 positiv zu beeinflussen, also insbesondere sicherzustellen, dass im Zündimpedanzbereich 43 eine ausreichend hohe Leistung durch den HF-Generator 2 abgegeben wird.

30

Um die Plasmaimpedanz auf die Eingangsimpedanz des HF-Generators 2 zu transformieren, kann die Impedanzanpassungsschaltung 3 eine oder mehrere (in Serie geschaltete) Transformationsstufen umfassen.

- 5 Eine solche Transformationsstufe ist beispielsweise in den Figuren 5A und 5B gezeigt. Enthält die Impedanzanpassungsschaltung 3 mehrere Transformationsstufen, so kann jede Transformationsstufe gemäß dem Ausführungsbeispiel der Figuren 5A, 5B aufgebaut sein. Es ist klar, dass die Impedanzanpassungsschaltung 3 auch noch anders aufgebaut sein kann, als dies in den Figuren 5A, 5B dargestellt ist.
- 10

- Der Eingangsanschluss 3a der Impedanzanpassungsschaltung 3 ist in Figur 5A mit einer ersten Spule 50 (erste Induktivität) und mit einer zweiten Spule 51 (zweite Induktivität) verbunden. Die erste und die zweite Spule 50, 51 liegen mit ihrem ersten Anschluss an einen gemeinsamen Knoten und damit am Eingangsanschluss 3a der Impedanzanpassungsschaltung 3 an. Die erste Spule 50 ist über einen ersten Kondensator 52 (erste Kapazität) mit einer Bezugsmasse verbunden. Die zweite Spule 51 ist über einen zweiten Kondensator 53 (zweite Kapazität) mit dem Ausgangsanschluss 3b verbunden. Bei dem ersten und/oder zweiten Kondensator 52, 53 handelt es sich um verstellbare Bauelemente, insbesondere in Form von Drehkondensatoren, deren Kapazität über Schrittmotoren verändert werden kann. Alternativ können Solid State Switches eingesetzt werden, um möglichst schnell Kapazitäten zu- und wegschalten zu können. Insbesondere kann der Plattenabstand der ersten und zweiten Kondensatoren 52, 53 geändert werden.
- 15
- 20
- 25 Die Steuerungsvorrichtung 1 ist dazu ausgebildet, um die jeweiligen Schrittmotoren entsprechend anzusteuern. Die Kapazitäten der ersten und zweiten Kondensatoren 52, 53 können unabhängig voneinander verstellt werden. Vorzugsweise ist Impedanzanpassungsschaltung 3 frei von weiteren Bauteilen. Selbstverständlich kann die Position der ersten Spule 50 und des ersten Kondensators 52 auch getauscht sein. In diesem Fall ist der erste Kondensator 52 am Eingangsanschluss 3a der Impedanzanpassungsschaltung 3 und die erste Spule 50 an der
- 30

Bezugsmasse angeordnet. Ergänzend oder alternativ kann die Position der zweiten Spule 51 und des zweiten Kondensators 53 auch getauscht sein. In diesem Fall ist der zweite Kondensator 53 am Eingangsanschluss 3a der Impedanzanpassungsschaltung 3 und die zweite Spule 51 am Ausgangsanschluss 3b der Impedanzanpassungsschaltung 3 angeordnet.

Der Eingangsanschluss 3a der Impedanzanpassungsschaltung 3 ist in Figur 5B mit dem ersten Kondensator 52 (erste Kapazität) verbunden. Der erste Kondensator 52 ist sowohl mit der ersten Spule 50 (erste Induktivität) als auch mit der zweiten Spule 51 (zweite Induktivität) verbunden. Dies erfolgt über einen gemeinsamen Knoten, an den sowohl der erste Kondensator 52 als auch die erste und die zweite Spule 50, 51 angeschlossen sind. Die erste Spule 50 ist weiterhin mit der Bezugsmasse verbunden. Die zweite Spule 51 ist mit dem zweiten Kondensator 53 (zweite Kapazität) verbunden (Reihenschaltung). Der zweite Kondensator 53 ist mit dem Ausgangsanschluss 3b der Impedanzanpassungsschaltung 3 verbunden. Die Position der zweiten Spule 51 und des zweiten Kondensators 53 könnte auch vertauscht sein. In diesem Fall wäre der zweite Kondensator 53 an den gemeinsamen Knoten und die zweite Spule 51 an den Ausgangsanschluss 3b der Impedanzanpassungsschaltung 3 angeschlossen. Vorzugsweise ist Impedanzanpassungsschaltung 3 frei von weiteren Bauteilen.

Figuren 6 und 7 zeigen ein Ausführungsbeispiel eines möglichen Aufbaus der Messeinheit 11. Die Messeinheit 11 ist dazu ausgebildet, um berührungslos eine Spannung und berührungslos einen Strom zu messen.

Hierfür umfasst die Messeinheit 11 einen Stromsensor 16 und einen Spannungssensor 20.

Bevorzugt wird die Phasenbeziehung zwischen Strom und Spannung gemessen, damit die Impedanz berechnet werden kann.

Der Stromsensor 16 der Messeinheit 11 ist eine Spule 21, insbesondere in Form einer Rogowskispule. Beide Enden der Spule sind vorzugsweise über einen Shuntwiderstand 22 miteinander verbunden. Die Spannung, die über den Shuntwiderstand 22 abfällt, kann mittels eines ersten A/D-Wandlers 23 digitalisiert werden.

5

Der Spannungssensor 20 der Messeinheit 11 ist vorzugsweise als kapazitiver Spannungsteiler aufgebaut. Eine erste Kapazität 24 ist durch einen elektrisch leitfähigen Ring 24 gebildet. Es könnte auch ein elektrisch leitfähiger Zylinder verwendet werden. Durch diesen elektrisch leitfähigen Ring 24 ist die entsprechende erste Kabelverbindung 5a geführt. Eine zweite Kapazität 25 des als Spannungsteiler aufgebauten Spannungssensors 20 ist mit der Bezugsmasse verbunden. Parallel zur zweiten Kapazität 25 ist ein zweiter A/D-Wandler 26 angeschlossen, der dazu ausgebildet ist, um die Spannung, die über der zweiten Kapazität 25 abfällt, zu erfassen und zu digitalisieren.

15

Grundsätzlich kann die Messeinheit 11 auch auf einer (gemeinsamen) Leiterplatte angeordnet, bzw. aufgebaut sein. Die erste Kapazität 24 kann durch eine Beschichtung auf einer ersten und einer gegenüberliegenden zweiten Seite der Leiterplatte gebildet sein. Die Beschichtungen auf der ersten und der zweiten Seite sind in diesem Fall durch Durchkontaktierungen miteinander elektrisch verbunden. Die erste Kabelverbindung 5a ist durch eine Öffnung in der Leiterplatte hindurchgeführt. Die zweite Kapazität 25 kann durch ein diskretes Bauelement gebildet sein.

20

Der Stromsensor 16 in Form der Spule 21, insbesondere in Form der Rogowskispule, ist weiter von der ersten Kabelverbindung 5a beabstandet als die erste Kapazität 24. Die Spule kann ebenfalls auf derselben Leiterplatte durch entsprechende Beschichtungen nebst Durchkontaktierungen gebildet sein. Die Spule zur Strommessung und die erste Kapazität zur Spannungsmessung verlaufen bevorzugt durch eine gemeinsame Ebene.

25

30

Der Shuntwiderstand 22 kann ebenfalls auf dieser Leiterplatte angeordnet sein. Nichts anderes gilt auch für den ersten und/oder zweiten A/D-Wandler 23, 23.

Die Messeinheit 11 kann auch als Richtkopplereinheit ausgebildet sein.

5

Grundsätzlich kann die Messeinheit 11 auch zwischen der Impedanzanpassungsschaltung 3 und der Last in Form der Plasmakammer 4 angeordnet sein. In diesem Fall würde die zweite Kabelverbindung 5b für die Messung von Strom und Spannung hergenommen werden. Die Eingangsimpedanz kann dann durch Berücksichtigung eines bekannten Transformationsverhältnisses der Impedanzanpassungsschaltung 3 berechnet werden.

10

Figur 8 beschreibt das Verfahren, welches zum Betrieb des Plasmaprozessversorgungssystems 100 dient. Insbesondere gepulste Plasmaprozesse können mit dem Verfahren betrieben werden. Das Plasmaprozessversorgungssystem 100 umfasst einen HF-Generator 2, der zumindest eine Verstärkerschaltung 30 aufweist, eine Impedanzanpassungsschaltung 3 und eine Steuerungsvorrichtung 1. Das Plasmaprozessversorgungssystem 100 ist mit einer Plasmakammer 4 verbindbar. In einem Verbinden-Verfahrensschritt S_1 findet ein Verbinden des HF-Generators 2 mit der Impedanzanpassungsschaltung 3 statt. In einem Festlegen-Verfahrensschritt S_2 findet ein Festlegen einer Zielimpedanz 10 als Eingangsimpedanz für den HF-Generator 2 statt, so dass eine Trajektorie 40, die einen Impedanzverlauf für die Eingangsimpedanz in einem Einschwingzeitraum 41 beschreibt, von einem Startimpedanzbereich 42 über einen Zündimpedanzbereich 43 hin zu einem Zielimpedanzbereich 44 verläuft. Der HF-Generator 2 gibt im Zündimpedanzbereich 43 eine Leistung aus, die höher ist als eine Zielleistung im anschließenden Zielimpedanzbereich 44. In einem Einstellen-Verfahrensschritt S_3 findet ein Einstellen einer Zielimpedanz 10 als Eingangsimpedanz für den HF-Generator 2 durch die Impedanzanpassungsschaltung 3 statt.

15

20

25

30

Ansprüche

- 5 1. Plasmaprozessversorgungssystem (100), insbesondere für gepulste Plasma-
prozesse, mit einem HF-Generator (2), der zumindest eine Verstärkerschaltung
(30) umfasst, einer Impedanzanpassungsschaltung (3) und einer Steuerungs-
vorrichtung (1), wobei das Plasmaprozessversorgungssystem (100) mit einer
Plasmakammer (4) verbindbar ist, mit den folgenden Merkmalen:
- 10 – der HF-Generator (2) ist mit der Impedanzanpassungsschaltung (3) verbun-
den, wobei die Impedanzanpassungsschaltung (3) dazu ausgebildet ist, um
eine Zielimpedanz (10) als Eingangsimpedanz für den HF-Generator (2) ein-
zustellen;
- 15 – die Steuerungsvorrichtung (1) ist dazu ausgebildet, um die Zielimpedanz (10)
derart festzulegen, dass eine Trajektorie (40), die einen Impedanzverlauf für
die Eingangsimpedanz in einem Einschwingzeitraum (41) beschreibt, von ei-
nem Startimpedanzbereich (42) über einen Zündimpedanzbereich (43) hin
zu einem Zielimpedanzbereich (44) verläuft, wobei der HF-Generator (2) im
Zündimpedanzbereich (43) eine Leistung abgibt, die höher ist als eine Ziel-
leistung im anschließenden Zielimpedanzbereich (44).
- 20
2. Plasmaprozessversorgungssystem (100) nach Anspruch 1, **gekennzeichnet
durch** das folgende Merkmal:
- 25 – die Verstärkerschaltung (30) umfasst einen Balanced-Amplifier.
3. Plasmaprozessversorgungssystem (100) nach Anspruch 1 oder 2, **gekenn-
zeichnet durch** das folgende Merkmal:
- 30 – die Steuerungsvorrichtung (1) ist dazu ausgebildet, um die Zielimpedanz (10)
derart festzulegen, dass der HF-Generator (2) bei Vorliegen der Zielimpe-
danz (10) die voreinstellbare Zielleistung abgibt.

4. Plasmaprozessversorgungssystem (100) nach Anspruch 3, **gekennzeichnet durch** das folgende Merkmal:

- die Steuerungsvorrichtung (1) umfasst eine Speichervorrichtung (9), wobei in der Speichervorrichtung (9) für unterschiedliche Zielleistungen, die durch den HF-Generator (2) abgebar sind, entsprechende Zielimpedanzen (10), die durch die Impedanzanpassungsschaltung (3) hierfür eingestellt werden müssen, hinterlegt sind.

5. Plasmaprozessversorgungssystem (100) nach einem der vorherigen Ansprüche, **gekennzeichnet durch** das folgende Merkmal:

- die Steuerungsvorrichtung (1) ist dazu ausgebildet, um die die Zielimpedanz (10) auf einen derartigen Wert festzulegen, für den die Trajektorie (40) durch den Zündimpedanzbereich (43) verläuft, bei welchem der HF-Generator (2) eine Leistung abgibt, die um eine voreinstellbare Größe über der Zielleistung liegt.

6. Plasmaprozessversorgungssystem (100) nach Anspruch 5, **gekennzeichnet durch** die folgenden Merkmale:

- es ist eine Bedieneinheit (12) vorgesehen;
- die Steuervorrichtung (1) ist dazu ausgebildet, um von der Bedieneinheit (12) eine Benutzereingabe zu empfangen, wobei die Benutzereingabe:
 - a) die Höhe der Zielleistung; und/oder
 - b) die voreinstellbare Größe umfasst, um die die Leistung im Zündimpedanzbereich (43) über der Zielleistung liegt.

7. Plasmaprozessversorgungssystem (100) nach einem der vorherigen Ansprüche, **gekennzeichnet durch** das folgende Merkmal:

- die Steuerungsvorrichtung (1) ist dazu ausgebildet, um die Zielimpedanz (10) auf einen derartigen Wert festzulegen, für den die Trajektorie (40) durch den Zündimpedanzbereich (43) und den Zielimpedanzbereich (44) verläuft,

wobei die Verstärkerschaltung (30) und insbesondere Verstärkerelemente (34a, 34b) der Verstärkerschaltung (30), eine Verlustleistung aufweisen, die unterhalb eines Schwellwerts liegen.

- 5 8. Plasmaprozessversorgungssystem (100) nach einem der vorherigen Ansprüche, **gekennzeichnet durch** das folgende Merkmal:
- die Steuerungsvorrichtung (1) ist dazu ausgebildet, um die Zielimpedanz (10) auf einen derartigen Wert festzulegen, für den gilt, dass ein Mittelwert des Impedanzverlaufs über dem Einschwingzeitraum (41) der Nennimpedanz
10 des HF-Generators (2), insbesondere 50 Ohm, entspricht.
9. Plasmaprozessversorgungssystem (100) nach einem der vorherigen Ansprüche, **gekennzeichnet durch** das folgende Merkmal:
- die Steuerungsvorrichtung (1) ist dazu ausgebildet, um den Impedanzverlauf
15 einer Trajektorie (40) zu messen und um anhand des gemessenen Impedanzverlaufs die Zielimpedanz (10) anzupassen, sodass die Trajektorie (40) in einem nachfolgenden Einschwingzeitraum (41) einen verbesserten Verlauf aufweist.
- 20 10. Plasmaprozessversorgungssystem (100) nach einem Anspruch 9, **gekennzeichnet durch** das folgende Merkmal:
- der Verlauf der Trajektorie (40) ist in einem nachfolgenden Einschwingzeitraum bezüglich der:
 - a) Effizienz der Verstärkerschaltung (30);
 - 25 b) erzielbaren Leistung im Zündimpedanzbereich (43);
 - c) gemittelten Impedanz im Einschwingzeitraum (41); und/oder
 - d) erzielbaren Leistung im Zielimpedanzbereich (44) verbessert.

11. Plasmaprozessversorgungssystem (100) nach einem der vorherigen Ansprüche, **gekennzeichnet durch** das folgende Merkmal:

- die Steuerungsvorrichtung (1) ist dazu ausgebildet, um in jedem Einschwingzeitraum (41) oder innerhalb jedes n-ten Einschwingzeitraums (41), mit $n = 2, 5, 10, 50, 100, 500, 1000, 5000, 10000$, die Trajektorie (40) zu messen.

12. Plasmaprozessversorgungssystem (100) nach einem der vorherigen Ansprüche, **gekennzeichnet durch** die folgenden Merkmale:

- der HF-Generator (2) ist dazu ausgebildet, um ein Hochfrequenzsignal zu pulsen und dieses gepulste Hochfrequenzsignal an die Impedanzanpassungsschaltung (3) auszugeben;
- der Einschwingzeitraum (41) erstreckt sich über die zeitliche Länge eines solchen Pulses oder eines Teiles davon.

13. Plasmaprozessversorgungssystem (100) nach Anspruch 12, **gekennzeichnet durch** das folgende Merkmal:

- die Steuerungsvorrichtung (1) ist dazu ausgebildet, um die Trajektorie (40) für jeden Einschwingzeitraum (41) und damit für jeden Puls des Hochfrequenzsignals zu messen.

14. Plasmaprozessversorgungssystem (100) nach einem der vorherigen Ansprüche, **gekennzeichnet durch** die folgenden Merkmale:

- die Steuerungsvorrichtung (1) umfasst eine Messeinheit (11);
- die Messeinheit (11) umfasst eine Richtkopplereinheit zur Erfassung der Leistung eines hin- und rücklaufenden Hochfrequenzsignals oder einen Stromsensor (16) und einen Spannungssensor (20);
- die Steuervorrichtung (1) ist dazu ausgebildet, um anhand des Messergebnisses der Richtkopplereinheit oder des Stromsensors (16) und des Spannungssensors (20) den Impedanzverlauf der Trajektorie (40) zu messen.

15. Plasmaprozessversorgungssystem (100) nach einem der vorherigen Ansprüche, **gekennzeichnet durch** das folgende Merkmal:

- der Zündimpedanzbereich (43) wird von der Trajektorie (40) zeitlich schneller durchlaufen als diese im Zielimpedanzbereich (44) verbleibt.

5

16. Plasmaprozessversorgungssystem (100) nach Anspruch 15, **gekennzeichnet durch** das folgende Merkmal:

- die Trajektorie (40) durchläuft den Zündimpedanzbereich (43) in weniger als 50%, 40%, 30%, 20% oder 10% der Zeit, die die Trajektorie (40) im Zielimpedanzbereich (44) verbleibt.

10

17. Plasmaprozessversorgungssystem (100) nach einem der vorherigen Ansprüche, **gekennzeichnet durch** das folgende Merkmal:

- es ist ein DC-Generator vorgesehen, der dazu ausgebildet ist, um ein DC-Signal zu erzeugen, wobei das DC-Signal der Plasmakammer (4) in Überlappung zu dem Hochfrequenzsignal zuführbar ist.

15

18. Plasmaprozessversorgungssystem (100) nach einem der vorherigen Ansprüche, **gekennzeichnet durch** das folgende Merkmal:

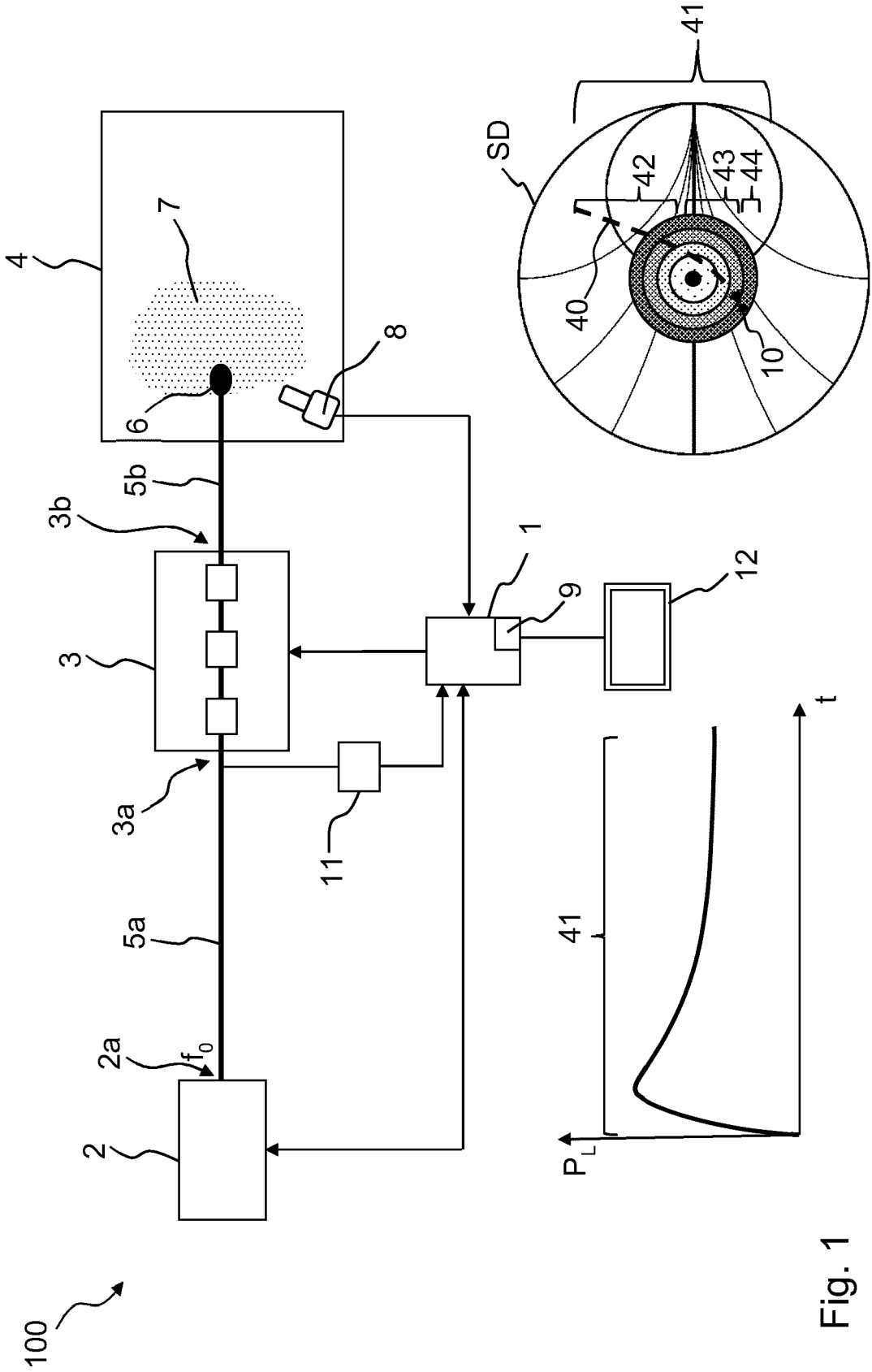
- die Impedanzanpassungsschaltung (3) umfasst zumindest eine oder mehrere verstellbare Reaktanzen (52, 53), um das Transformationsverhältnis für die Impedanz zwischen einem Eingang (3a), an dem der HF-Generator (2) angeschlossen ist und einem Ausgang (3b), an dem die Plasmakammer (4) anschließbar ist, zu verändern;
- die Reaktanzen (52, 53) sind mechanisch verstellbar und/oder elektrisch verstellbar und insbesondere durch zumindest einen Varaktor und/oder zumindest eine zuschaltbare Induktivität und/oder Kapazität (52, 53) und/oder durch zumindest eine Pin-Diode gebildet.

20

25

19. Verfahren zum Betrieb eines Plasmaprozessversorgungssystems (100), insbesondere für gepulste Plasmaprozesse, mit einem HF-Generator (2), der zumindest eine Verstärkerschaltung (30) umfasst, einer Impedanzanpassungsschaltung (3) und einer Steuerungsvorrichtung (1), wobei das Plasmaprozessversorgungssystem (100) mit einer Plasmakammer (4) verbindbar ist und wobei das Verfahren die folgenden Verfahrensschritte umfasst:

- Verbinden (S_1) des HF-Generators (2) mit der Impedanzanpassungsschaltung (3);
- Festlegen (S_2) einer Zielimpedanz (10) als Eingangsimpedanz für den HF-Generator (2), so dass eine Trajektorie (40), die einen Impedanzverlauf für die Eingangsimpedanz in einem Einschwingzeitraum (41) beschreibt, von einem Startimpedanzbereich (42) über einen Zündimpedanzbereich (43) hin zu einem Zielimpedanzbereich (44) verläuft, wobei der HF-Generator (2) im Zündimpedanzbereich (43) eine Leistung abgibt, die höher ist als eine Zielleistung im anschließenden Zielimpedanzbereich (44);
- Einstellen (S_3) der Zielimpedanz (10) als Eingangsimpedanz für den HF-Generator (2) durch die Impedanzanpassungsschaltung (3).



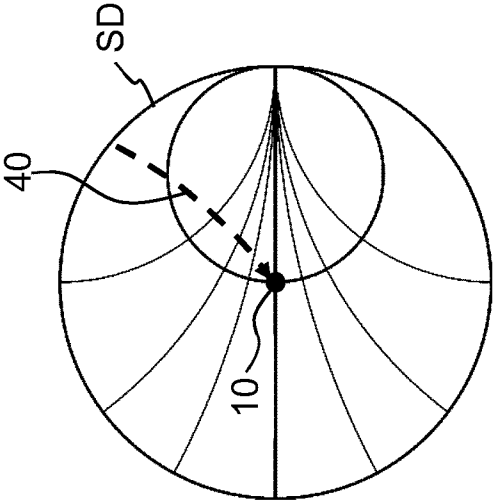
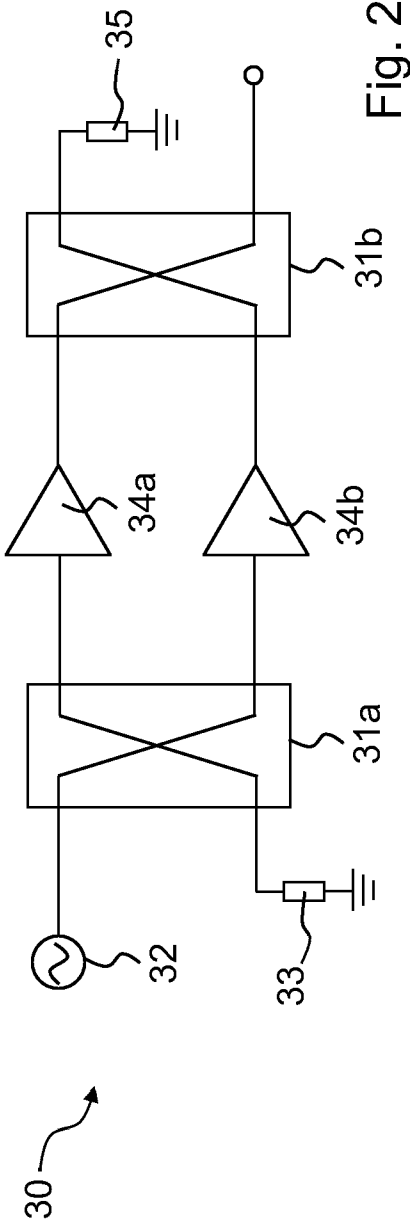


Fig. 3A

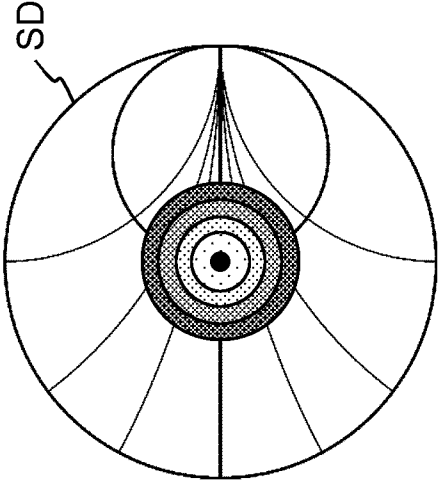


Fig. 3B

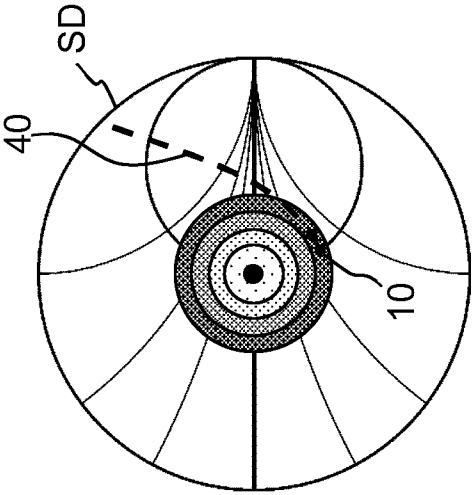


Fig. 3C

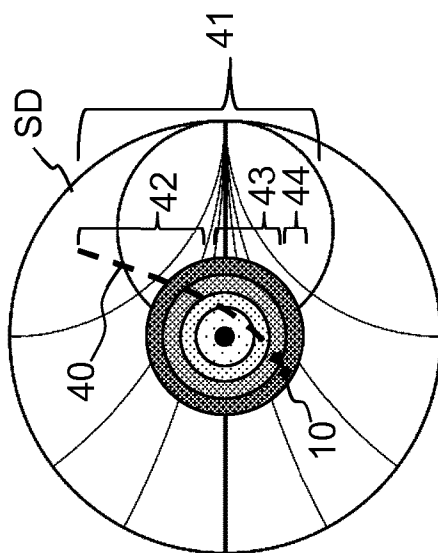


Fig. 3D

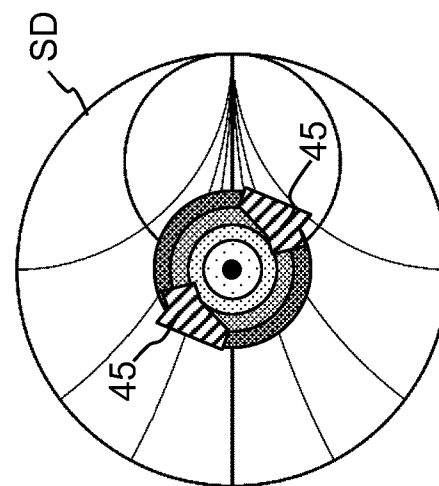


Fig. 3E

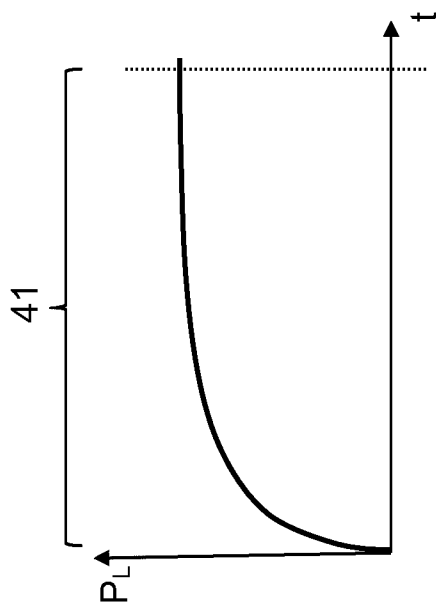


Fig. 4A

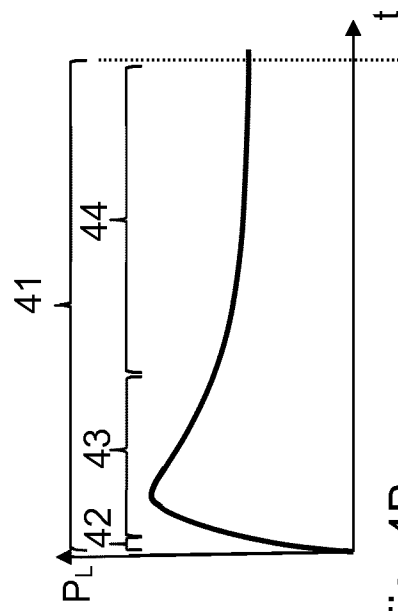


Fig. 4B

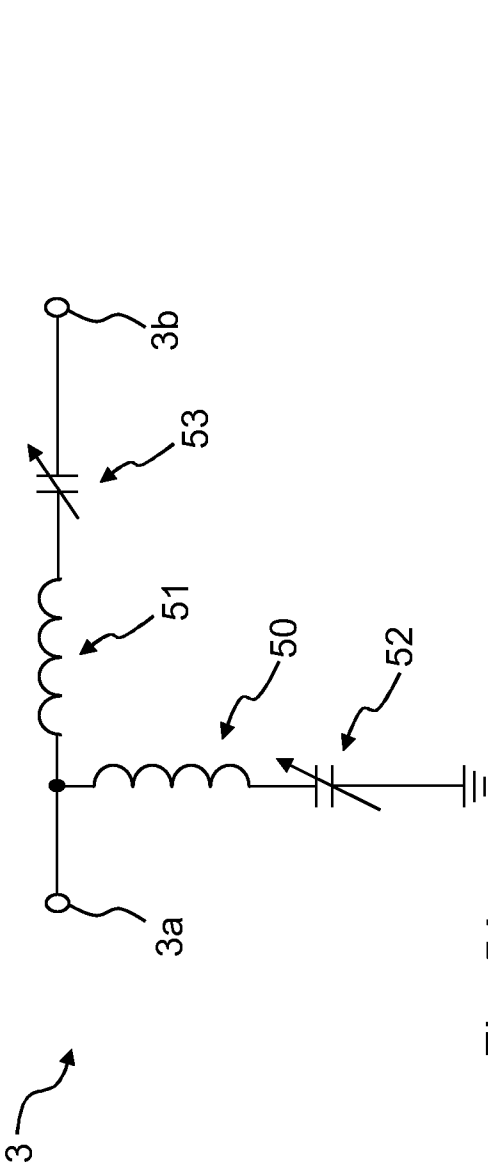


Fig. 5A

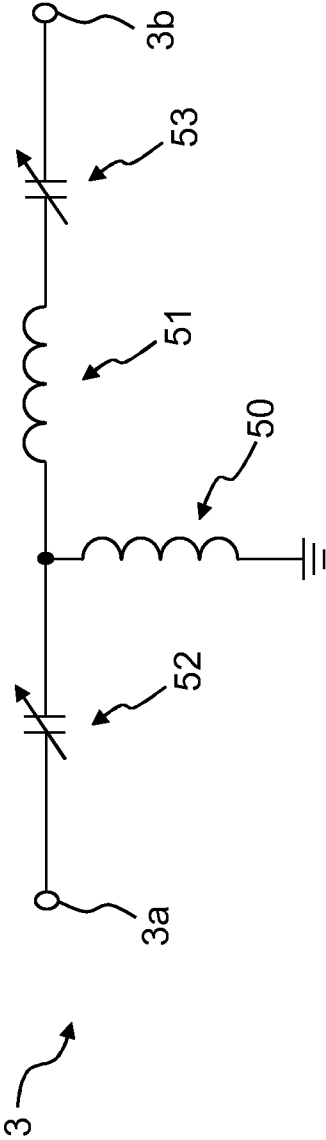


Fig. 5B

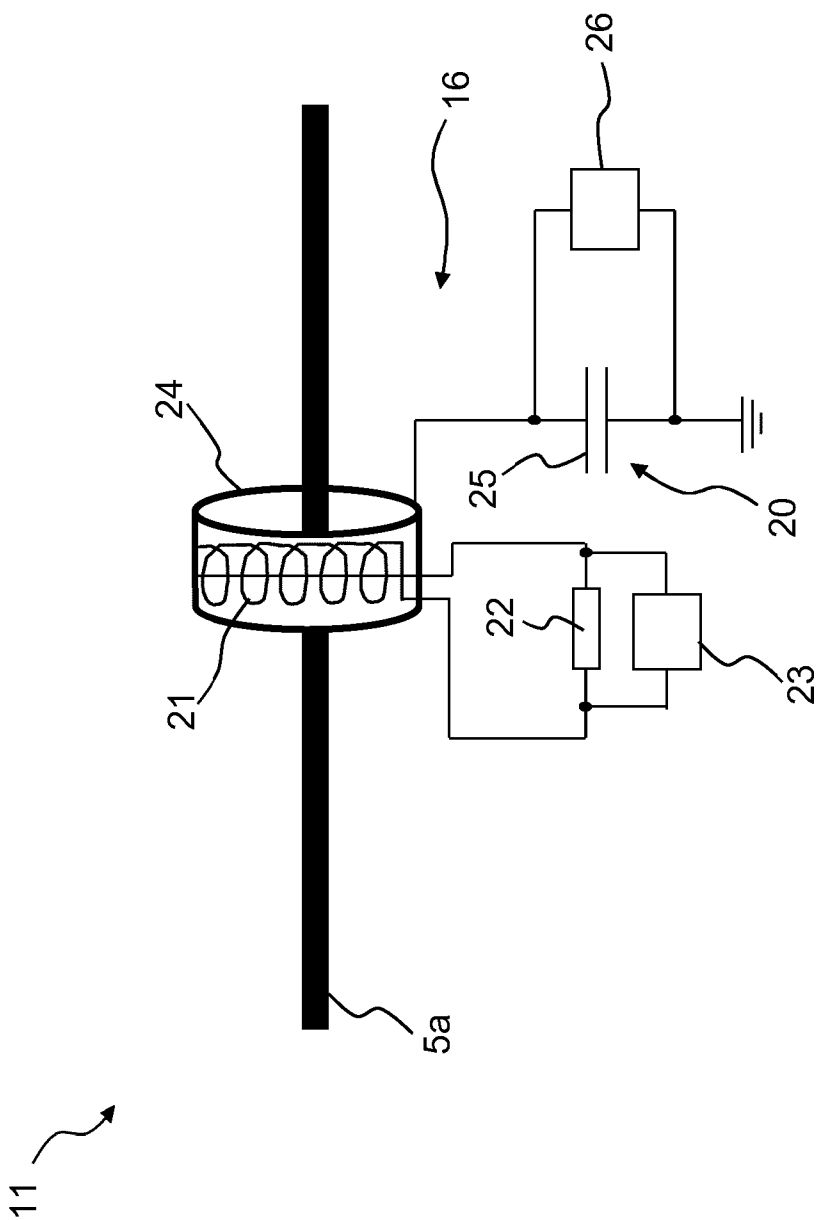


Fig. 6

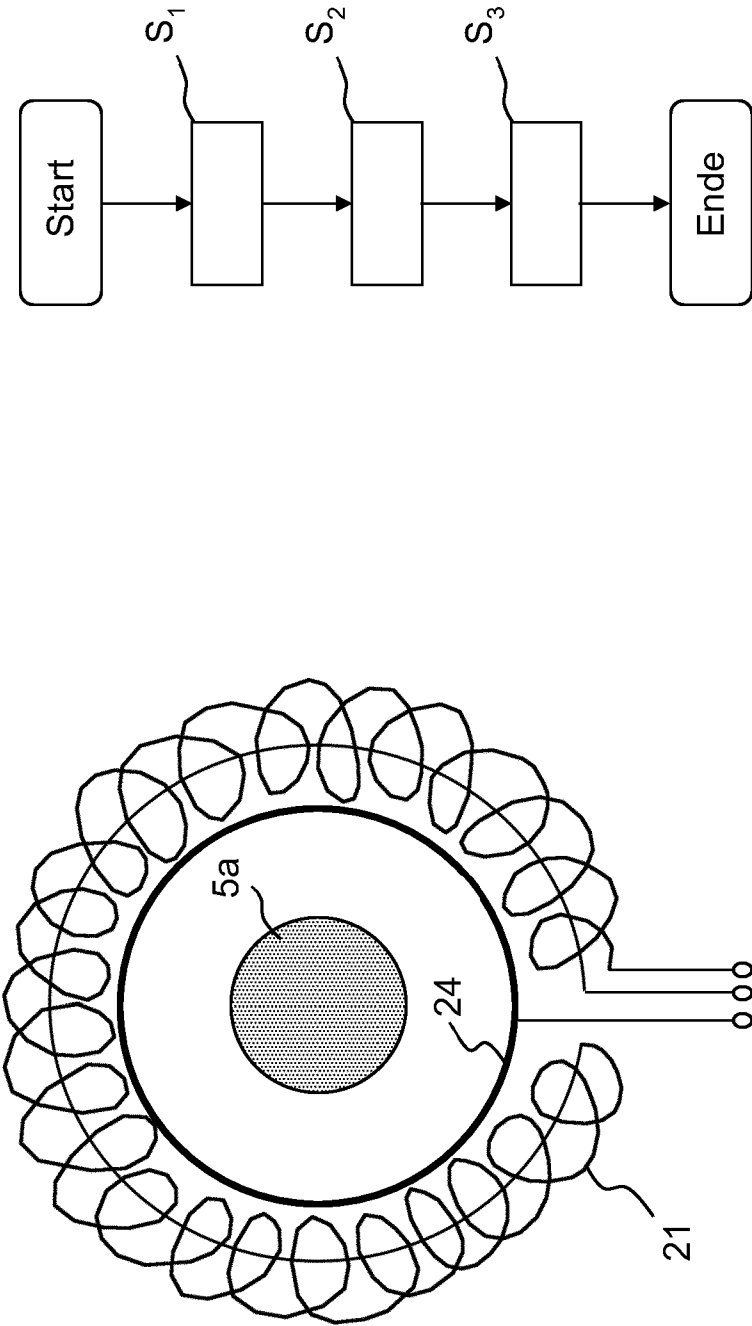


Fig. 7

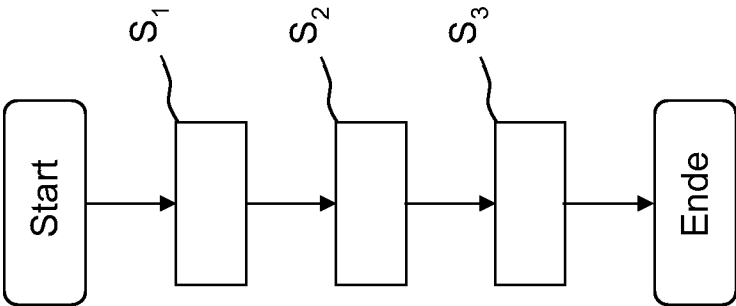


Fig. 8

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2024/066458

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER H01J 37/32 (2006.01)i According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) H01J Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) EPO-Internal, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y A	KR 102240306 B1 (AS ENG CO [KR]) 14 April 2021 (2021-04-14) figure 3 paragraph [0023] paragraph [0048] - paragraph [0051] paragraph [0035] - paragraph [0038]	1,3-6,14-19 2 7-13
Y	US 2017330731 A1 (VAN ZYL GIDEON [US]) 16 November 2017 (2017-11-16) the whole document	2
A	US 2017345621 A1 (CHENG XIAOYANG [CN]) 30 November 2017 (2017-11-30) figures 4-7, 9-12 paragraph [0042] - paragraph [0084]	1-19
A	KR 20100098097 A (NEW POWER PLASMA CO LTD [KR]) 06 September 2010 (2010-09-06) the whole document	1-19
A	US 2018191324 A1 (FUJIMOTO NAOYA [JP] ET AL) 05 July 2018 (2018-07-05) the whole document	1-19
☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☒ See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: “A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance “E” earlier application or patent but published on or after the international filing date “L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) “O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means “P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed “T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention “X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone “Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art “&” document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 29 August 2024		Date of mailing of the international search report 09 September 2024
Name and mailing address of the ISA/EP European Patent Office p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk Netherlands (Kingdom of the) Telephone No. (+31-70)340-2040 Facsimile No. (+31-70)340-3016		Authorized officer Hochstrasser, M Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2024/066458

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
KR	102240306	B1	14 April 2021	NONE			
US	2017330731	A1	16 November 2017	NONE			
US	2017345621	A1	30 November 2017	CN	105826154	A	03 August 2016
				JP	6619818	B2	11 December 2019
				JP	2018504864	A	15 February 2018
				KR	20170103901	A	13 September 2017
				SG	11201705228P	A	28 July 2017
				US	2017345621	A1	30 November 2017
				WO	2016110027	A1	14 July 2016
KR	20100098097	A	06 September 2010	NONE			
US	2018191324	A1	05 July 2018	JP	6507243	B2	24 April 2019
				JP	WO2017002196	A1	29 March 2018
				KR	20180010239	A	30 January 2018
				US	2018191324	A1	05 July 2018
				WO	2017002196	A1	05 January 2017

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES INV. H01J37/32 ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) H01J		
Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen		
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe) EPO-Internal, WPI Data		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	KR 102 240 306 B1 (AS ENG CO [KR]) 14. April 2021 (2021-04-14)	1, 3 - 6, 14 - 19
Y	Abbildung 3	2
A	Absatz [0023] Absatz [0048] - Absatz [0051] Absatz [0035] - Absatz [0038] -----	7 - 13
Y	US 2017/330731 A1 (VAN ZYL GIDEON [US]) 16. November 2017 (2017-11-16) das ganze Dokument -----	2
A	US 2017/345621 A1 (CHENG XIAOYANG [CN]) 30. November 2017 (2017-11-30) Abbildungen 4-7, 9-12 Absatz [0042] - Absatz [0084] ----- - / - -	1 - 19
☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen ☒ Siehe Anhang Patentfamilie		
* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen : "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist "E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt) "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist "T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung:: die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung:: die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist		
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche 29. August 2024		Absendedatum des internationalen Recherchenberichts 09/09/2024
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Bevollmächtigter Bediensteter Hochstrasser, M

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	KR 2010 0098097 A (NEW POWER PLASMA CO LTD [KR]) 6. September 2010 (2010-09-06) das ganze Dokument -----	1 - 19
A	US 2018/191324 A1 (FUJIMOTO NAOYA [JP] ET AL) 5. Juli 2018 (2018-07-05) das ganze Dokument -----	1 - 19

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2024/066458

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
KR 102240306	B1	14-04-2021	KEINE
US 2017330731	A1	16-11-2017	KEINE
US 2017345621	A1	30-11-2017	CN 105826154 A 03-08-2016
		JP 6619818 B2 11-12-2019	
		JP 2018504864 A 15-02-2018	
		KR 20170103901 A 13-09-2017	
		SG 11201705228P A 28-07-2017	
		US 2017345621 A1 30-11-2017	
		WO 2016110027 A1 14-07-2016	
KR 20100098097	A	06-09-2010	KEINE
US 2018191324	A1	05-07-2018	JP 6507243 B2 24-04-2019
		JP WO2017002196 A1 29-03-2018	
		KR 20180010239 A 30-01-2018	
		US 2018191324 A1 05-07-2018	
		WO 2017002196 A1 05-01-2017	