

(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
22. Mai 2009 (22.05.2009)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2009/062845 A2

(51) Internationale Patentklassifikation:
H05H 1/46 (2006.01) **H01J 37/32** (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2008/064620

(22) Internationales Anmeldedatum:
28. Oktober 2008 (28.10.2008)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2007 055 010.5
14. November 2007 (14.11.2007) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme
von US): **FORSCHUNGSVERBUND BERLIN E. V.**
[DE/DE]; Rudower Chaussee 17, 12489 Berlin (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **GESCHE, Roland**
[DE/DE]; Freiherr-vom-Stein-Ring 19, 63500 Seligenstadt
(DE).

(74) Anwälte: **HENGELHAUPT, Jürgen, D.** usw.; Wall-
strasse 58/59, 10179 Berlin (DE).

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

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

Veröffentlicht:

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu ver-
öffentlichen nach Erhalt des Berichts

(54) Title: METHOD AND GENERATOR CIRCUIT FOR PRODUCTION OF PLASMAS BY MEANS OF RADIO-FRE-
QUENCY EXCITATION

(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND GENERATORSCHALTUNG ZUR ERZEUGUNG VON PLASMEN MITTELS HOCH-
FREQUENZANREGUNG

(57) Abstract: According to the method, a voltage which maintains the plasma is produced by superimposing on a radio-frequency voltage at a defined operating frequency at least one further radio-frequency voltage, in each case at a multiple of this operating frequency, and in each case with a variable amplitude and phase, on a phase-locked basis. At least two radio-frequency power generators (1 to 4) are provided for a corresponding generator circuit, one (1) of which operates at a defined operating frequency (f) and the other or others of which (2 to 4) each operate at a multiple of this operating frequency (f). All the radio-frequency power generators (1 to 4) are coupled to one another on a phase-locked basis, and the relative phase angle as well as the respective amplitude of each radio-frequency power generator (1 to 4) can be regulated individually by means of a dedicated matching circuit (5 to 8). As an alternative to this, it is possible to provide an oscillator which operates at a defined operating frequency (f) and at least one further frequency multiplier, which is connected downstream from the oscillator, said frequency multiplier or multipliers producing harmonics of this operating frequency (f).

(57) Zusammenfassung: Zur Bereitstellung einer das Plasma aufrechterhaltenden Spannung wird nach dem Verfahren einer hoch-
frequente Spannung mit einer definierten Arbeitsfrequenz mindestens eine weitere hochfrequente Spannung mit jeweils einem Viel-
fachen dieser Arbeitsfrequenz und jeweils einstellbarer Amplitude und Phase phasenstarr überlagert. Für eine entsprechende Genera-
torschaltung sind mindestens zwei Hochfrequenz-Leistungsgeneratoren (1 bis 4) vorgesehen, von denen einer (1) bei einer definier-
ten Arbeitsfrequenz (f) und der oder die die anderen (2 bis 4) bei jeweils einem Vielfachen dieser Arbeitsfrequenz (f) arbeiten. Alle
Hochfrequenz-Leistungsgeneratoren (1 bis 4) sind phasenstarr miteinander gekoppelt und die relative Phasenlage sowie die jewei-
lige Amplitude jedes Hochfrequenz-Leistungsgenerators (1 bis 4) sind mittels einer eigenen Anpassungsschaltung (5 bis 8) einzeln
regelbar. Alternativ dazu kann ein bei einer definierten Arbeitsfrequenz (f) arbeitender Oszillator und mindestens ein weiterer, dem
Oszillator nachgeschalteter Frequenzvervielfacher vorgesehen sein, der oder die Harmonische dieser Arbeitsfrequenz (f) erzeugen.

WO 2009/062845 A2

VERFAHREN UND GENERATORSCHALTUNG ZUR ERZEUGUNG VON PLASMEN
MITTELS HOCHFREQUENZANREGUNG

5

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Generatorschaltung zur Erzeugung von Plasmen mittels Hochfrequenzanregung.

- 10 Plasmen werden bei vielen Sedimentations-, Ätz- und Schichtbildungsprozessen (zum Beispiel HF-Sputtern, PECVD) eingesetzt. Bekannt ist die Anregung von Plasmen mittels Gleichspannung, Mikrowellen oder durch Hochfrequenz. Vorliegende Erfindung befasst sich mit der Anregung mittels
- 15 Hochfrequenz, die insbesondere für Sputtervorgänge geeignet ist.

- Bei einem Plasmaerzeuger auf der Basis von Hochfrequenzanregung wird ein Leistungsgenerator über ein
- 20 Anpassungsnetzwerk an eine Plasmaelektrode in einer Vakuumkammer angeschlossen, um einen Niederdruck-Plasmaprozess durchzuführen. Typisch sind Generatoren mit einer Frequenz von $f = 13,56$ MHz bei einer Leistung von 300 W bis 50 kW. Das Anpassungsnetzwerk wird für die Arbeitsfrequenz des Generators
- 25 so eingestellt, dass dieser an seiner Nennimpedanz betrieben wird.

Gegebenenfalls wird noch ein zweiter Plasmaerzeuger eingesetzt, der zusätzlich Hochfrequenz über eine die

Vakuumkammer umgebende Induktionsspule in die Kammer und damit Energie in den Plasmaraum einkoppelt.

Durch die Nichtlinearität der Impedanz des Plasmas entstehen
5 Harmonische mit Vielfachen der Frequenz des Generators, die von der Elektrode aus zurück in das Anpassungsnetzwerk fließen. Die Reflexionsfaktoren, auf die diese Harmonischen treffen, sind nicht definiert und werden nicht kontrolliert. Dadurch entsteht an der Plasmaelektrode eine Kurvenform der
10 Spannung, die mit der Arbeitsfrequenz des Generators periodisch ist, die aber innerhalb der Spannungsperiode einen nicht kontrollierten Verlauf hat. Mangelnde Reproduzierbarkeit eines Prozesses, „mystische“ Prozessänderungen nach Service, Reparatur oder Austausch von Hochfrequenzkomponenten sind die
15 Folge. Der Prozess wird abhängig vom Design und Aufbau der Hochfrequenzversorgung, insbesondere des Anpassungsnetzwerkes.

Nach der US 6 537 421 B2 ist ein Plasmaerzeuger bekannt, bei dem zur Beherrschung dieses Problems zwischen Plasmaelektrode
20 und Anpassungsnetzwerk Filter geschaltet sind, die jeweils auf eine Harmonische der Arbeitsfrequenz des Hochfrequenzgenerators abgestimmt sind.

Nach der US 7 084 369 B2 ist eine weitere Lösung bekannt, nach
25 der die rücklaufenden Wellen in einem frequenzselektiven Multiplexer aufgeteilt werden. Sie werden anschließend jeweils auf einstellbare Impedanzen geführt, so dass sie definierte Reflexionsfaktoren finden. Somit lassen sich zwar reproduzierbare Verhältnisse schaffen, die Einflussnahme auf
30 die Kurvenform der Hochfrequenzanregung ist jedoch limitiert.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Generatorschaltung zum Erzeugen von Plasmen mittels Hochfrequenzanregung anzugeben, mit denen der Zeitverlauf der Hochfrequenzanregung reproduzierbar kontrolliert werden kann.

5

Erfindungsgemäß wird die Aufgabe gelöst durch die Merkmale der Ansprüche 1, 2 und 4. Zweckmäßige Ausgestaltungen sind Gegenstand der jeweiligen Unteransprüche.

10 Danach wird zur Bereitstellung einer das Plasma aufrechterhaltenden Spannung einer hochfrequenten Spannung mit einer definierten Arbeitsfrequenz mindestens eine weitere hochfrequente Spannung mit jeweils einem Vielfachen dieser Arbeitsfrequenz und jeweils einstellbarer Amplitude und Phase
15 phasenstarr überlagert.

Zur Realisierung des Verfahrens sind mindestens zwei Hochfrequenz-Leistungsgeneratoren vorgesehen, von denen einer bei einer Arbeitsfrequenz und der oder die anderen bei jeweils
20 einem Vielfachen dieser Arbeitsfrequenz arbeiten. Alle Hochfrequenz-Leistungsgeneratoren sind phasenstarr miteinander gekoppelt. Die relative Phasenlage und die jeweilige Amplitude eines Hochfrequenz-Leistungsgenerators können zweckmäßig
25 einzeln geregelt werden. Die Spannungen der Hochfrequenz-Leistungsgeneratoren mit ihrer jeweiligen Signalfrequenz werden jeweils über eine eigene Anpassungsschaltung geführt und an der Zuleitung zur Plasmaelektrode mittels Multiplexer
überlagert. Durch die Einstellung der verschiedenen Amplituden und Phasenlagen kann die Kurvenform der Spannung gezielt
30 kontrolliert werden.

- Statt mehrerer Hochfrequenz-Leistungsgeneratoren können alternativ auch ein Oszillator und mindestens ein Frequenzvervielfacher eingesetzt werden, der oder die die Harmonischen erzeugen. Den Frequenzvervielfachern wird dann
- 5 zweckmäßig jeweils ein Phasenschieber nachgeschaltet. Die Ankopplung an die Plasmaelektrode erfolgt über einen Breitbandverstärker oder mehrere schmalbandige Verstärker für die jeweilige Frequenz.
- 10 Mit dem Verfahren kann zum Beispiel die so genannte selfbias-DC-Spannung beeinflusst werden. Neben einer Sinusspannung kann dann auch eine kleine Spitzenspannung (Rechteckspannung) oder eine hohe Spitzenspannung (Pulsspannung) eingestellt werden. Dies ergibt vielfältige Möglichkeiten zur kontrollierbaren und
- 15 reproduzierbaren Prozessgestaltung.

- Die Erfindung soll nachstehend anhand eines Ausführungsbeispiels näher erläutert werden. Die zugehörige Zeichnung zeigt eine erfindungsgemäße Generatorschaltung. Der
- 20 Ausgang eines Hochfrequenz-Leistungsgenerators 1, der eine Arbeitsfrequenz f erzeugt, wird über ein Anpassungsnetzwerk 5 an einen Multiplexer 9 geführt, dessen Ausgang wiederum an eine Elektrode 10 in einer Vakuumkammer 11 geschaltet ist. Das Anpassungsnetzwerk 5 ist auf die Arbeitsfrequenz f des
- 25 Hochfrequenz-Leistungsgenerators 1 abgestimmt.

- Weitere Hochfrequenz-Leistungsgeneratoren 2, 3, 4 arbeiten jeweils bei einem n -fachen der Arbeitsfrequenz f , wobei n beispielsweise 2, 3 und 4 beträgt, das heißt, sie erzeugen
- 30 jeweils eine Harmonische der Arbeitsfrequenz f . Alle Hochfrequenz-Leistungsgeneratoren 1 bis 4 sind phasenstarr

miteinander gekoppelt (zum Beispiel durch Synchronisation, nicht gezeigt). Über den Multiplexer 9 sind die Hochfrequenz-Leistungsgeneratoren 1 bis 4 mit der Elektrode 10 der Vakuumkammer 11 verbunden. Jede Harmonische wird über ein
5 eigenes Anpassungsnetzwerk 6, 7, 8 an den Multiplexer 9 geführt. Damit können die Harmonischen jeweils angepasst, das heißt nach Betrag und Phase eingestellt und damit auf die im Plasma entstehenden Harmonischen abgestimmt werden, indem sie im Zurückfließen auf Reflexionsfaktoren Γ_2 , Γ_3 , Γ_4 treffen.

10

Mit der Anregung der Harmonischen lässt sich dann je nach den Erfordernissen eine sinusförmige oder auch eine pulsförmige oder eine rechteckförmige Spannung für das Plasma erzeugen.

15

Liste der Bezugszeichen

	1-4	Hochfrequenz-Leistungsgenerator
5	5-8	Anpassungsnetzwerk
	9	Multiplexer
	10	Elektrode
	11	Vakuumkammer
10		
	f	Arbeitsfrequenz
	n	2, 3, 4...
	Γ	Reflexionsfaktor

15

Patentansprüche

1. Verfahren zur Erzeugung von Plasmen mittels
5 Hochfrequenzanregung,
dadurch gekennzeichnet, dass
zur Bereitstellung einer das Plasma aufrechterhaltenden
Spannung eine hochfrequente Spannung mit einer definierten
Arbeitsfrequenz und mindestens eine weitere hochfrequente
10 Spannung mit jeweils einem Vielfachen dieser Arbeitsfrequenz
und jeweils einstellbarer Amplitude und Phase phasenstarr
überlagert werden.
- 15 2. Generatorschaltung zur Erzeugung von Plasmen mittels
Hochfrequenzanregung zur Realisierung des Verfahrens nach
Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass
zur Bereitstellung einer das Plasma aufrechterhaltenden
Spannung mindestens zwei Hochfrequenz-Leistungsgeneratoren (1
20 bis 4) vorgesehen sind, von denen einer (1) bei einer
definierten Arbeitsfrequenz (f) und der oder die die anderen
(2 bis 4) bei jeweils einem Vielfachen dieser Arbeitsfrequenz
(f) arbeiten, alle Hochfrequenz-Leistungsgeneratoren (1 bis 4)
phasenstarr miteinander gekoppelt sind und die relative
25 Phasenlage sowie die jeweilige Amplitude jedes Hochfrequenz-
Leistungsgenerators (1 bis 4) mittels einer eigenen
Anpassungsschaltung (5 bis 8) einzeln regelbar sind.

3. Generatorsschaltung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass

die Hochfrequenz-Leistungsgeneratoren (1 bis 4) über einen Multiplexer (9) mit einer Elektrode (10) einer Vakuumkammer (11) verbunden sind.

4. Generatorschaltung zur Erzeugung von Plasmen mittels Hochfrequenzanregung zur Realisierung des Verfahrens nach Anspruch 1,

dadurch gekennzeichnet, dass

zur Bereitstellung einer das Plasma aufrechterhaltenden Spannung ein bei einer definierten Arbeitsfrequenz (f) arbeitender Oszillator und mindestens ein weiterer, dem Oszillator nachgeschalteter Frequenzvervielfacher vorgesehen sind, der oder die Harmonische dieser Arbeitsfrequenz (f) erzeugen.

5. Generatorschaltung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass

den Frequenzvervielfachern jeweils ein Phasenschieber nachgeschaltet ist.

6. Generatorschaltung nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, dass

die Ausgangsspannung der Frequenzvervielfacher auf einen Breitbandverstärker geführt ist.

7. Generatorschaltung nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, dass
jedem Frequenzvervielfacher ein Verstärker nachgeschaltet ist.

1/1

