

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2018/167163 A1

(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, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, 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, SM, ST, SV, SY, TH, 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, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, 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, 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)

einer Ansteuerfrequenz als Eingangsspannung an den piezoelektrischen Transformator (1) anzulegen, und eine Feldsonde (15), die dazu ausgestaltet ist, eine Feldstärke eines von dem piezoelektrischen Transformator (1) erzeugten elektrischen Feldes zu messen, wobei die Ansteuerschaltung (11) dazu ausgestaltet ist, unter Berücksichtigung der Messergebnisse der Feldsonde (15) die Ansteuerfrequenz derart anzupassen, dass die Feldstärke maximiert wird. Gemäß einem weiteren Aspekt betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Frequenzregelung eines piezoelektrischen Transformators.

Beschreibung

Vorrichtung zur Erzeugung eines nicht-thermischen
Atmosphärendruck-Plasmas und Verfahren zur Frequenzregelung
5 eines piezoelektrischen Transformators

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Erzeugung eines
nicht-thermischen Atmosphärendruck-Plasmas sowie ein
Verfahren zur Frequenzregelung eines piezoelektrischen
10 Transformators.

Piezoelektrische Transformatoren, insbesondere
Transformatoren vom Rosen-Typ, können zur Erzeugung von
Plasma eingesetzt werden. Bei der Plasmagenerierung wird die
15 maximale Effizienz erreicht, wenn der piezoelektrische
Transformator mit einer Frequenz angesteuert wird, die der
Serienresonanzfrequenz des Transformators entspricht. Die
Serienresonanzfrequenz ist jedoch nicht konstant, sondern
hängt von verschiedenen Parametern ab. Wird an einer
20 ausgangsseitigen Stirnseite des Transformators ein Plasma
gezündet, so wirkt dieses als Last mit dem Transformator
zusammen und beeinflusst dabei die Impedanz des
Transformators. Dadurch kommt es zu einer Verschiebung der
Serienresonanz gegenüber einem Betrieb des Transformators im
25 Leerlauf, bei dem die angelegte Spannung zur Zündung eines
Plasmas nicht ausreicht. Auch die Arbeitsumgebungen,
beispielsweise das verwendete Prozessgas oder die Temperatur
des Transformators, beeinflussen die Serienresonanzfrequenz.

30 Ferner kann auch die an dem Transformator angelegte
Eingangsspannung die Serienresonanzfrequenz beeinflussen. Für
die Auffindung der jeweiligen Serienresonanzfrequenz, die zu

einer maximalen Ausgangsspannung führt, sind deshalb Informationen vom Bauteil erforderlich.

Da der piezoelektrische Transformator zur Zündung eines
5 Plasmas ausgelegt ist, kann die Spannung an der Ausgangsseite
des Transformators nicht abgegriffen werden, um auf diese
Weise eine Maximierung der Ausgangsspannung herbeizuführen.
Dabei könnte die Spannung entweder mittels einer starren
Lötverbindung, die an die Ausgangsseite aufgebracht ist, oder
10 mittels eines leitfähigen Gummis, das an die Ausgangsseite
angepresst wird, abgegriffen werden. Das Abgreifen der
Ausgangsspannung würde eine Schwingung des Transformators
dämpfen und so die Hochspannung herabsetzen. Außerdem würde
es zu der Gefahr einer Plasmazündung an der abgreifenden
15 Leitung führen.

DE 10 2013 103 159 A1 schlägt vor, ein an den
piezoelektrischen Transformator angelegtes Eingangssignal zur
Regelung des piezoelektrischen Transformators zu verwenden
20 und auf diese Weise die optimale Arbeitsfrequenz zu finden.
Dabei ist eine Auswertung der Phaseninformation des
Eingangssignals erforderlich. Eine solche Lösung ist mit
einem nicht unerheblichen schaltungstechnischen Aufwand
verbunden. Außerdem eignet sich eine solche Lösung nur für
25 sinusförmige Eingangssignale.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, eine
verbesserte Vorrichtung zur Erzeugung eines nicht-thermischen
Atmosphärendruck-Plasmas bereitzustellen. Eine weitere
30 Aufgabe der Erfindung ist es ein verbessertes Verfahren zur
Frequenzregelung eines piezoelektrischen Transformators
anzugeben.

Die Aufgaben werden durch die Gegenstände der unabhängigen Ansprüche gelöst.

Es wird eine Vorrichtung zur Erzeugung eines nicht-thermischen Atmosphärendruck-Plasmas vorgeschlagen, die einen piezoelektrischen Transformator, eine Ansteuerschaltung und eine Feldsonde aufweist. Die Ansteuerschaltung ist dazu ausgelegt, eine Wechselspannung mit einer Ansteuerfrequenz als Eingangsspannung an den piezoelektrischen Transformator anzulegen. Die Feldsonde ist dazu ausgestaltet, eine Feldstärke eines von dem piezoelektrischen Transformator erzeugten elektrischen Feldes zu messen. Die Ansteuerschaltung ist dazu ausgestaltet, unter Berücksichtigung der Messergebnisse der Feldsonde die Ansteuerfrequenz derart anzupassen, dass die Feldstärke maximiert wird.

Eine Maximierung der Feldstärke des vom piezoelektrischen Transformator erzeugten elektrischen Feldes ist gleichbedeutend mit einer Maximierung der im Ausgangsbereich des piezoelektrischen Transformators erzeugten Spannung.

Die Vorrichtung macht Gebrauch von den hohen elektrischen Feldstärken, die in der Umgebung des Ausgangsbereichs des piezoelektrischen Transformators erzeugt werden. Eine Vermessung dieser Feldstärke kann vorgenommen werden, ohne dabei die Arbeit des Transformators durch ein Abgreifen einer Leistung im Ausgangsbereich des Transformators zu beeinflussen. Insbesondere kann eine Vermessung der Feldstärke vorgenommen werden, ohne eine Schwingung des piezoelektrischen Transformator dadurch zu dämpfen.

Das von der Feldsonde gemessene Signal kann proportional zu der Spannung sein, die im Ausgangsbereich des piezoelektrischen Transformators erzeugt wird. Auf eine aufwendige eingangsseitige Impedanz- und/oder Phasenmessung
5 kann somit verzichtet werden. Dadurch kann eine Schaltung zur Frequenzregelung des Transformators vereinfacht werden.

Darüber hinaus kann eine Frequenzanpassung mittels Messung der elektrischen Feldstärke unabhängig von der Signalform der
10 Eingangsspannung angewendet werden. Es ist beispielsweise nicht erforderlich, dass es sich bei der Eingangsspannung um ein sinusförmiges Signal handelt. Vielmehr kann die Eingangsspannung jedes periodische Signal sein, beispielsweise kann es sich bei der Eingangsspannung um ein
15 Rechtecksignal oder ein Dreiecksignal handeln.

Die Feldsonde kann in ein Gehäuse der Vorrichtung zur Erzeugung eines nicht-thermischen Atmosphärendruck-Plasmas integriert sein. Die Feldsonde kann in unmittelbarer Nähe zu
20 dem piezoelektrischen Transformator angeordnet sein. Beispielsweise kann der Abstand zwischen dem piezoelektrischen Transformator und der Feldsonde kleiner als 5 cm sein. Vorzugsweise kann der Abstand zwischen dem piezoelektrischen Transformator und der Feldsonde kleiner als
25 1 cm sein. Zwischen der Feldsonde und dem piezoelektrischen Transformator kann ein Spalt verbleiben.

Die Feldsonde kann durch eine Metallfläche gebildet werden, wobei ein von dem piezoelektrischen Transformator erzeugtes
30 elektrisches Wechselfeld eine Wechselspannung in der Metallfläche erzeugt. Die Vorrichtung kann eine Messeinheit aufweisen, die dazu ausgestaltet ist, diese Spannung zu messen und daraus auf die Feldstärke rückzuschließen.

Der piezoelektrische Transformator kann einen Eingangsbereich aufweisen, an den die Eingangsspannung anlegbar ist. Der piezoelektrische Transformator kann einen Ausgangsbereich aufweisen, in dem eine Hochspannung erzeugt wird, wenn an dem
5 Eingangsbereich die Eingangsspannung angelegt ist, wobei durch die Hochspannung ein Plasma gezündet wird. Insbesondere kann es sich bei dem Transformator um einen Rosen-Typ Transformator handeln. Der Transformator kann von einem Prozessgas umgeben sein. Bei der Plasmazündung kann durch die
10 erzeugte Hochspannung eine Anregung oder eine Ionisation von Molekülen oder Atomen des Prozessgases bewirkt werden. Ferner können Radikale aus dem Komponenten des Prozessgases gebildet werden. Im Falle von Umgebungsluft als Prozessgas werden insbesondere OH-Radikale, Stickoxide und Ozon im Plasma
15 erzeugt.

Die Feldsonde kann nahe dem Ausgangsbereich des piezoelektrischen Transformators angeordnet sein. Beispielsweise kann der Abstand zwischen der Feldsonde und
20 dem Ausgangsbereich zwischen 0,1 mm und 1 cm betragen. Zwischen der Feldsonde und dem Ausgangsbereich ist ein Spalt angeordnet. Der Spalt kann mit dem Prozessgas gefüllt sein. Dadurch, dass die Feldsonde nahe des Ausgangsbereichs angeordnet ist, kann sichergestellt werden,
25 dass das von der Feldsonde gemessene elektrische Feld eine Feldstärke aufweist, die proportional zu der Ausgangsspannung des piezoelektrischen Transformators ist. Ist die Feldsonde nahe dem Ausgangsbereich angeordnet, so kann sichergestellt werden, dass das von dem piezoelektrischen Transformator
30 erzeugte elektrische Feld für die elektrische Feldstärke an diesem Ort den dominierenden Effekt darstellt und etwaige andere elektrische Felder, die eine Messung der Feldstärke

durch die Feldsonde als Störeffekte beeinflussen könnten, vernachlässigt werden können.

Die Feldsonde kann mit einer Messeinheit verbunden sein, die
5 dazu ausgestaltet ist, einen Spitzenwert der elektrischen
Feldstärke und/oder einen Mittelwert der elektrischen
Feldstärke zu bestimmen. Die Ansteuerschaltung kann einen
Regler aufweisen, der dazu ausgestaltet ist, die
Ansteuerfrequenz abhängig vom bestimmten Spitzenwert und/oder
10 vom bestimmten Mittelwert zu variieren. Die Messeinheit und
die Ansteuerschaltung können auf einer einzigen Leiterplatte
ausgebildet sein. Die Messeinheit und die Ansteuerschaltung
können durch einen einzigen Mikrochip gebildet werden.

15 Die Feldsonde kann in eine Leiterplatte integriert sein. Die
Leiterplatte kann ein nicht-leitendes Trägermaterial
aufweisen. Das nicht-leitende Material der Leiterplatte kann
für eine Isolierung zwischen der Feldsonde und dem
piezoelektrischen Transformator sorgen. Dementsprechend
20 können Plasmazündungen zwischen dem Transformator und der
Feldsonde vermieden werden. Die Feldsonde kann entweder auf
einer Unterseite der Leiterplatte, die vom piezoelektrischen
Transformator weg weist, oder in einer inneren Lage einer
mehrlagigen Leiterplatte angeordnet sein.

25

Die Leiterplatte kann eine Metallbeschichtung aufweisen, die
auf einer Seite der Leiterplatte angeordnet ist, die von dem
piezoelektrischen Transformator weg weist. Bei der
Metallbeschichtung kann es sich um eine Kupferbeschichtung
30 handeln. Die Metallbeschichtung kann eine Sondenfläche
ausbilden. Durch ein von dem piezoelektrischen Transformator
erzeugtes elektrisches Wechselfeld kann in der Sondenfläche
eine Spannung induziert werden. Die Sondenfläche kann mit der

Messeinheit verbunden werden, wobei die Messeinheit dazu ausgestaltet ist, die in der Sondenfläche induzierte Spannung zu vermessen. Die Metallbeschichtung kann ferner eine Massenfläche ausbilden, die mit einem Referenzpotential,
5 insbesondere der Masse, verbunden ist.

Die Leiterplatte kann mehrlagig sein, wobei die Feldsonde durch eine innere Lage der Leiterplatte gebildet werden kann. Als innere Lage kann dabei eine Lage bezeichnet werden, die
10 zwischen zwei Lagen eines nicht-leitenden Trägermaterial angeordnet ist. Durch die Ausbildung der Feldsonde durch eine innere Lage kann eine besonders hohe Ortsauflösung der Messung erreicht werden.

15 Die Wechselspannung kann ein dreieckförmiges Signal oder ein rechteckförmiges Signal aufweisen. Signale dieser Art lassen sich besonders einfach erzeugen und ermöglichen dementsprechend die Verwendung eines simplen Treibers zur Ansteuerung. Da zur Bestimmung der optimalen Arbeitsfrequenz
20 des piezoelektrischen Transformators nicht auf Phaseninformationen zurückgegriffen werden muss, kann es sich bei der Wechselspannung um jedes beliebige periodische Signal handeln. Es ist insbesondere nicht zwangsläufig erforderlich, dass es sich bei der Wechselspannung um ein Sinussignal
25 handelt.

Die Ansteuerschaltung kann dazu ausgestaltet sein, beim Einschalten der Vorrichtung unter Berücksichtigung der Messergebnisse der Feldsonde die Ansteuerfrequenz derart
30 anzupassen, dass die Feldstärke maximiert wird. Die Ansteuerschaltung kann ferner dazu ausgestaltet sein, im laufenden Betrieb der Vorrichtung in festgelegten zeitlichen Abständen unter Berücksichtigung der Messergebnisse der

Feldsonde eine Korrektur der Ansteuerfrequenz vorzunehmen, wobei die Ansteuerfrequenz erneut derart angepasst wird, dass die Feldstärke maximiert wird.

5 Während des laufenden Betriebs können sich die Arbeitsbedingungen ändern, wodurch die Serienresonanzfrequenz des piezoelektrischen Transformators und damit seine optimale Arbeitsfrequenz verschoben wird. Hierfür kann beispielsweise eine Temperaturänderung oder eine Last in der Nähe des
10 Transformators sorgen. Durch die Wiederholung der Anpassung der Ansteuerfrequenz in periodischen zeitlichen Abständen im laufenden Betrieb kann sichergestellt werden, dass die Ansteuerfrequenz stets auf die optimale Arbeitsfrequenz angepasst wird.

15 Die Vorrichtung kann zur Erzeugung von angeregten Molekülen, Ionen oder Radikalen dienen. Die Vorrichtung kann zur Erzeugung von OH-Radikalen und/oder Stickoxid und/oder Ozon dienen.

20 Gemäß einem weiteren Aspekt betrifft die vorliegende Erfindung ein Verfahren zur Frequenzregelung eines piezoelektrischen Transformators. Dabei kann es sich um den oben beschriebenen Transformator handeln. Dementsprechend
25 kann jedes funktionelle oder strukturelle Merkmal, das im Zusammenhang mit dem Transformator offenbart wurde, auch auf das Verfahren zutreffen. Umgekehrt kann jedes Merkmal, das im Zusammenhang mit dem Verfahren offenbart wird, auch auf den Transformator zutreffen.

30 Das Verfahren umfasst die folgenden Schritte:

- Anlegen einer Wechselspannung an den piezoelektrischen Transformator mit einer Anfangs-Ansteuerfrequenz f_0 ,

- schrittweises Ändern der Ansteuerfrequenz, wobei jeweils die Feldstärke eines von dem piezoelektrischen Transformator erzeugten elektrischen Feldes durch eine Feldsonde ermittelt wird,

- 5 - Bestimmen der Ansteuerfrequenz, bei der sich die maximale Feldstärke einstellt,
- Betrieb des piezoelektrischen Transformators mit der bestimmten Ansteuerfrequenz, für die sich die maximale Feldstärke einstellt.

10

Ein Vorteil des Verfahrens ist die geringe Trägheit eines Regelalgorithmus, der die Frequenz, mit der der Transformator betrieben wird, regelt. Würde als Regelgröße stattdessen ein Spulenstrom verwendet werden, wäre die Trägheit des

15 Regelalgorithmus deutlich größer.

Die Schritte können dabei in der hier angegebenen Reihenfolge durchgeführt werden.

- 20 Das Verfahren kann somit ermöglichen, die Frequenz des piezoelektrischen Transformators stets auf seine Serienresonanzfrequenz und somit seine optimale Arbeitsfrequenz zu regeln. Wie bereits oben diskutiert, ermöglicht es das Verfahren, eine Regelung der
25 Ansteuerfrequenz unabhängig von der Signalform des Ansteuersignals vorzunehmen. Das Verfahren kann durchgeführt werden, ohne dabei eine Schwingung des piezoelektrischen Transformators zu dämpfen. Darüber hinaus kann das Verfahren mit einer recht einfach gestalteten Ansteuerschaltung
30 durchgeführt werden.

Die Bestimmung der Ansteuerfrequenz, bei der sich die maximale Feldstärke eingestellt, kann im laufenden Betrieb

der Vorrichtung in festgelegten zeitlichen Abständen wiederholt werden. Auf diese Weise können Änderungen der Arbeitsbedingungen der Vorrichtung berücksichtigt werden und die Ansteuerfrequenz kann stets auf den optimalen Wert
5 eingestellt werden.

Bei dem schrittweisen Ändern der Ansteuerfrequenz kann die Ansteuerfrequenz ausgehend von der Anfangs-Ansteuerfrequenz f_0 schrittweise um eine Schrittweite Δf_1 erhöht oder
10 reduziert werden, bis sich die Ansteuerfrequenz einstellt, bei der sich für die Schrittweite Δf_1 die maximale Feldstärke einstellt, wobei anschließend ausgehend von dieser Ansteuerfrequenz die Ansteuerfrequenz schrittweise um eine Schrittweite Δf_2 erhöht oder reduziert wird, bis sich die
15 Ansteuerfrequenz einstellt, bei der sich für die Schrittweite Δf_2 die maximale Feldstärke einstellt, wobei Δf_2 kleiner als Δf_1 ist. Dementsprechend kann die schrittweise Anpassung zunächst mit großen Schrittweiten und dann mit zunehmend geringer werdenden Schrittweiten durchgeführt werden.
20 Dadurch, dass zunächst große und später kleiner werdende Schrittweiten verwendet werden, kann die optimale Ansteuerfrequenz schnell gefunden werden.

Der piezoelektrische Transformator, dessen Frequenz mit dem
25 oben beschriebenen Verfahren geregelt wird, kann zur Erzeugung eines nicht-thermischen Atmosphärendruck-Plasmas eingesetzt werden.

Das Plasma kann zur Erzeugung von angeregten Molekülen,
30 Ionen oder Radikalen genutzt werden. Das Plasma kann zur Erzeugung von OH-Radikalen und/oder Stickoxid und/oder Ozon genutzt werden.

Die Feldsonde kann in einen durchschlagsfesten Isolator eingebettet sein. Der durchschlagsfeste Isolator kann dabei insbesondere dazu ausgestaltet sein, einen Durchschlag zwischen dem Transformator und der Feldsonde zu verhindern.

5 Der durchschlagsfeste Isolator, in den die Feldsonde eingebettet ist, kann stoffschlüssig mit dem piezoelektrischen Transformator verbunden sein. Die stoffschlüssige Verbindung kann beispielsweise eine Klebeverbindung sein. Durch die stoffschlüssige Verbindung
10 kann es ermöglicht werden, die Feldsonde in unmittelbarer Nähe zu dem piezoelektrischen Transformator anzuordnen. Auf diese Weise kann ein vom Transformator erzeugtes Feld besonders genau vermessen werden.

15 Im Folgenden wird die vorliegende Erfindung anhand der Figuren näher beschrieben.

Figur 1 zeigt einen piezoelektrischen Transformator in einer perspektivischen Ansicht.

20

Figur 2 zeigt ein Diagramm, in dem der Impedanzverlauf und der Verlauf der Ausgangsspannung des piezoelektrischen Transformators dargestellt sind.

25 Figur 3 zeigt schematisch eine Vorrichtung zur Erzeugung eines nicht-thermischen Atmosphärendruck-Plasmas.

Figur 4 zeigt eine Feldsonde.

30 Figur 5 zeigt eine Leiterplatte, in die eine Feldsonde integriert ist, in einem Querschnitt.

Figur 6 zeigt die Unterseite der in Figur 5 gezeigten Leiterplatte.

Figur 7 zeigt ein Ersatzschaltbild.

5

Figur 1 zeigt einen piezoelektrischen Transformator 1 in einer perspektivischen Ansicht. Der piezoelektrische Transformator 1 kann insbesondere in einem Plasmagenerator zur Erzeugung von nichtthermischem Atmosphärendruck-Plasma eingesetzt werden.

10

Ein piezoelektrischer Transformator 1 ist eine Bauform eines Resonanztransformators, welcher auf Piezoelektrizität basiert und im Gegensatz zu den herkömmlichen magnetischen Transformatoren ein elektromechanisches System darstellt. Der piezoelektrische Transformator 1 ist beispielsweise ein Transformator vom Rosen-Typ.

15

Der piezoelektrische Transformator 1 weist einen Eingangsbereich 2 und einen Ausgangsbereich 3 auf, wobei der Ausgangsbereich 3 sich in einer Längsrichtung z an den Eingangsbereich 2 anschließt. Im Eingangsbereich 2 weist der piezoelektrische Transformator 1 Elektroden 4 auf, an die eine Wechselspannung angelegt werden kann. Die Elektroden 4 erstrecken sich in der Längsrichtung z des piezoelektrischen Transformators 1. Die Elektroden 4 sind in einer Stapelrichtung x, die senkrecht zu der Längsrichtung z ist, abwechselnd mit einem piezoelektrischen Material 5 gestapelt. Das piezoelektrische Material 5 ist dabei in Stapelrichtung x polarisiert.

20

25

30

Die Elektroden 4 sind im Innern des piezoelektrischen Transformators 1 angeordnet und werden auch als

Innenelektroden bezeichnet. Der piezoelektrische Transformator 1 weist eine erste Seitenfläche 6 und eine zweite Seitenfläche 7, die der ersten Seitenfläche 6 gegenüberliegt, auf. Auf der ersten Seitenfläche 6 ist eine erste Außenelektrode 8 angeordnet. Auf der zweiten
5 Seitenfläche 7 ist eine zweite Außenelektrode (nicht gezeigt) angeordnet. Die innenliegenden Elektroden 4 sind in Stapelrichtung x abwechselnd entweder mit der ersten Außenelektrode 8 oder der zweiten Außenelektrode elektrisch
10 kontaktiert.

Der Eingangsbereich 2 kann mit einer geringen Wechselspannung angesteuert werden, die zwischen den Elektroden 4 angelegt wird. Aufgrund des piezoelektrischen Effekts wird die
15 eingangsseitig angelegte Wechselspannung zunächst in eine mechanische Schwingung umgewandelt. Die Frequenz der mechanischen Schwingung ist dabei wesentlich von der Geometrie und dem mechanischen Aufbau des piezoelektrischen Transformators 1 abhängig.

20 Der Ausgangsbereich 3 weist piezoelektrisches Material 9 auf und ist frei von innenliegenden Elektroden. Das piezoelektrische Material 9 im Ausgangsbereich 3 ist in der Längsrichtung z polarisiert. Bei dem piezoelektrischen
25 Material 9 des Ausgangsbereichs 3 kann es sich um das gleiche Material wie bei dem piezoelektrischen Material 5 des Eingangsbereichs 2 handeln, wobei sich die piezoelektrischen Materialien 5 und 9 in ihrer Polarisationsrichtung unterscheiden können. Im Ausgangsbereich 3 ist das
30 piezoelektrische Material 9 zu einer einzigen monolithischen Schicht geformt, die vollständig in der Längsrichtung z polarisiert ist. Dabei weist das piezoelektrische Material 9

im Ausgangsbereich 3 nur eine einzige Polarisationsrichtung auf.

Wird an die Elektroden 4 im Eingangsbereich 2 eine
5 Wechselspannung angelegt, so bildet sich innerhalb des
piezoelektrischen Materials 5, 9 eine mechanische Welle aus,
die durch den piezoelektrischen Effekt im Ausgangsbereich 3
eine Ausgangsspannung erzeugt. Der Ausgangsbereich 3 weist
eine ausgangsseitige Stirnseite 10 auf. Im Ausgangsbereich 3
10 wird somit eine elektrische Spannung zwischen der Stirnseite
10 und dem Ende der Elektroden 4 des Eingangsbereichs 2
erzeugt. An der ausgangsseitigen Stirnseite 10 wird dabei
eine Hochspannung erzeugt. Dabei entsteht auch zwischen der
ausgangseitigen Stirnseite und einer Umgebung des
15 piezoelektrischen Transformators eine hohe
Potentialdifferenz, die ausreicht, um ein starkes
elektrisches Feld zu erzeugen, dass ein Prozessgas ionisiert.

Auf diese Weise erzeugt der piezoelektrische Transformator 1
20 hohe elektrische Felder, die in der Lage sind, Gase oder
Flüssigkeiten durch elektrische Anregung zu ionisieren. Dabei
werden Atome oder Moleküle des jeweiligen Gases bzw. der
jeweiligen Flüssigkeit ionisiert und bilden ein Plasma. Es
kommt immer dann zu einer Ionisation, wenn die elektrische
25 Feldstärke an der Oberfläche des piezoelektrischen
Transformators 1 die Zündfeldstärke des Plasmas
überschreitet. Als Zündfeldstärke eines Plasmas wird dabei
die Feldstärke bezeichnet, die zur Ionisation der Atome oder
Moleküle erforderlich ist.

30

Figur 2 zeigt ein Diagramm, in dem der Impedanz- und
Spannungsverlauf des piezoelektrischen Transformators 1
dargestellt ist. Die Kurve $Z_{in}(\log)$ zeigt den Verlauf der

Eingangsimpedanz des piezoelektrischen Transformators 1 in Abhängigkeit von der Frequenz der angelegten Eingangsspannung aufgetragen auf einer logarithmischen Skale. Die Kurve $Z_{in}(\log)$ erreicht bei der Serienresonanzfrequenz des piezoelektrischen Transformators 1 ein Minimum. Ferner erreicht die Kurve $Z_{in}(\log)$ ein Maximum bei der Parallelresonanzfrequenz des piezoelektrischen Transformators 1.

10 In Figur 2 ist ferner die Kurve $V_{out}(\text{lin})$ gezeigt, die den Verlauf der Ausgangsspannung, die an der ausgangsseitigen Stirnseite 10 des piezoelektrischen Transformators 1 erzeugt wird, in Abhängigkeit von der Frequenz der angelegten Eingangsspannung angibt. Die Ausgangsspannung erreicht ihr
15 Maximum bei der Serienresonanzfrequenz des piezoelektrischen Transformators 1. Dementsprechend wird die höchste Effizienz bei der Plasmaerzeugung erreicht, wenn die Frequenz der Eingangsspannung, die an den piezoelektrischen Transformator 1 angelegt wird, der Serienresonanzfrequenz des
20 piezoelektrischen Transformators 1 entspricht.

Die Serienresonanzfrequenz ist jedoch keineswegs konstant, sondern hängt vielmehr von zahlreichen Parametern ab. Insbesondere kann durch ein von dem piezoelektrischen Transformator 1 gezündetes Plasma eine Last gebildet werden,
25 die die Impedanz des Transformators 1 beeinflusst und dementsprechend zu einer Änderung der Serienresonanzfrequenz des Transformators 1 führen kann. Darüber hinaus ist die Serienresonanzfrequenz auch von der Arbeitsumgebungen
30 abhängig, in der der piezoelektrische Transformator 1 eingesetzt wird. Beispielsweise können das verwendete Prozessgas und die Temperatur des piezoelektrischen Transformators 1 die Serienresonanzfrequenz beeinflussen.

Figur 3 zeigt eine schematische Darstellung einer Vorrichtung zur Erzeugung eines nicht-thermischen Atmosphärendruck-Plasmas, die den piezoelektrischen Transformator 1 aufweist.

5 Die Vorrichtung weist ferner eine Ansteuerschaltung 11 auf, die dazu ausgelegt ist, eine Wechselspannung mit einer Ansteuerfrequenz als Eingangsspannung an den piezoelektrischen Transformator 1 anzulegen. Ziel der vorliegenden Erfindung ist es nunmehr, es zu ermöglichen, die
10 Ansteuerfrequenz stets so anzupassen, dass der piezoelektrische Transformator 1 bei seiner aktuellen Serienresonanzfrequenz betrieben wird. Die Ansteuerschaltung 11 weist einen Treiber 12 und einen Regler 13 auf. Der Treiber 12 ist dazu ausgestaltet, die Eingangsspannung an den
15 piezoelektrischen Transformator 1 anzulegen. Der Treiber 12 ist mit den Außenelektroden 8, 14 des piezoelektrischen Transformators 1 verbunden. Der Regler 13 ist dazu ausgestaltet, den Treiber 12 anzusteuern und dabei insbesondere die Ansteuerfrequenz der Eingangsspannung
20 festzulegen.

Die Vorrichtung weist ferner eine Feldsonde 15 auf, die dazu ausgestaltet ist, eine Feldstärke des von dem piezoelektrischen Transformator 1 erzeugten elektrischen
25 Feldes zu messen. Die Feldsonde 15 ist in unmittelbarer Nähe zu dem Ausgangsbereich 3 des piezoelektrischen Transformators 1 angeordnet. Die Feldsonde 15 stellt ein der Ausgangsspannung proportionales Signal bereit.
Dementsprechend kann über die von der Feldsonde 15 bestimmte
30 Feldstärke unmittelbar auf die an der ausgangsseitigen Stirnseite 10 des piezoelektrischen Transformators 1 erzeugte Hochspannung geschlossen werden.

Durch die Messung der elektrischen Feldstärke mittels der Feldsonde 15 kann es ermöglicht werden, die Ansteuerfrequenz stets auf eine optimale Ansteuerfrequenz einzuregeln. Bei der optimalen Ansteuerfrequenz ist die Effizienz der Vorrichtung hinsichtlich der Plasmaerzeugung maximiert.

Die Feldsonde 15 ist ferner mit einer Messeinheit 16 verbunden, die dazu ausgestaltet ist, die von der Feldsonde 15 erfassten Signale auszuwerten. Dabei kann die Messeinheit 16 dazu ausgestaltet sein, einen Spitzenwert der von der Feldsonde 15 gemessenen elektrischen Feldstärke und/oder einen Mittelwert der elektrischen Feldstärke zu bestimmen. Die Messeinheit 16 weist einen mit einem Referenzpotential verbundenen Widerstand 17 sowie einen mit dem Referenzpotential verbundenen Kondensator 18 auf. In einer alternativen Ausführungsform kann entweder auf den Widerstand 17 oder auf den Kondensator 18 verzichtet werden.

Ferner weist die Messeinheit 16 einen Gleichrichter 19 auf. Das von der Feldsonde 15 erfasste Signal ist ein Wechselstromsignal, dessen Frequenz der Ansteuerfrequenz der an den piezoelektrischen Transformator 1 angelegten Eingangsspannung entspricht. Der Gleichrichter 19 ist dazu ausgestaltet, das Signal gleichzurichten. Dementsprechend ist der Gleichrichter 19 dazu ausgestaltet, ein von der Feldsonde 15 an die Messeinheit 16 übermitteltes Wechselstromsignal in ein Gleichstromsignal zu wandeln.

Die Messeinheit 16 ist mit der Ansteuerschaltung 11 verbunden. Insbesondere ist die Messeinheit 16 mit dem Regler 13 der Ansteuerschaltung 11 verbunden. Der Regler 13 kann ein Regelkreis sein, der beispielsweise auf einem Microcontroller ausgebildet ist. Der Regler 13 ist dazu ausgestaltet,

festzulegen, mit welcher Ansteuerfrequenz der Treiber 12 den piezoelektrischen Transformator 1 ansteuert.

Der Regler 13 kann dazu ausgestaltet sein, beginnend von
5 einer Anfangsansteuerfrequenz f_0 , die so gewählt ist, dass sie in jedem Fall kleiner ist als die Serienresonanzfrequenz des piezoelektrischen Transformators 1, die Ansteuerfrequenz schrittweise zu erhöhen. Dabei wird für jede gewählte Ansteuerfrequenz f_n die jeweilige elektrische Feldstärke
10 $v(f_n)$ ermittelt. Der Regler 13 kann dazu ausgestaltet sein, die Ansteuerfrequenz schrittweise um eine feste Schrittweite Δf_1 zu erhöhen. Dabei nimmt die Ansteuerfrequenz nacheinander die Werte f_0 , $f_1=f_0+\Delta f_1$, $f_2=f_1+\Delta f_1$, $f_3=f_2+\Delta f_1$ usw. an. Der Regler 13 ist dazu ausgestaltet die Ansteuerfrequenz zu
15 erhöhen bis ein lokales Spannungsmaximum $v_{\max,n}=\max(v(f_n), v_{\max,n-1})$ bestimmt wurde.

Ist das lokale Spannungsmaximum $v_{\max,n}$ gefunden worden, kann eine weitere Anpassung der Ansteuerfrequenz mit einer
20 reduzierten Schrittweite Δf_2 vorgenommen werden. Als Ausgangswert für die weitere Anpassung wird eine Anfangsansteuerfrequenz $f_{n(\max)-1}$ gewählt, die nahe der Frequenz $f_{n(\max)}$ des lokalen Spannungsmaximums ist und unter dieser Frequenz liegt. Die reduzierte Schrittweite Δf_2 kann beispielsweise
25 halb so groß sein wie die Schrittweite Δf_1 . Bei der weiteren Anpassung werden somit für die Ansteuerfrequenz nacheinander die Werte $f_{n(\max)-1}$, $f_1=f_{n(\max)-1}+\Delta f_2$, $f_2=f_1+\Delta f_2$, $f_3=f_2+\Delta f_2$ usw. gewählt. Dabei wird wieder ein lokales Spannungsmaximum der elektrischen Feldstärke mit einer nun verbesserten
30 Frequenzauflösung bestimmt. Dieses Prinzip kann wiederholt werden, bis ein Maximum mit der gewünschten Frequenzauflösung gefunden ist.

Alternativ ist es auch möglich, dass die Anfangsansteuerfrequenz f_0 so gewählt wird, dass sie in jedem Fall größer ist als die Serienresonanzfrequenz des piezoelektrischen Transformators 1. In diesem Fall kann der Regler eine schrittweise Verringerung der Ansteuerfrequenz vornehmen und in gleicher Weise die optimale Ansteuerfrequenz ermitteln. Auch in diesem Fall kann die schrittweise Anpassung mehrmals vorgenommen werden, wobei bei jedem Anpassungszyklus die Schrittweite verringert wird.

10

Die Anpassung der Ansteuerfrequenz kann erstmals beim Einschalten der Vorrichtung vorgenommen werden. Ferner könnte diese Anpassung im laufenden Betrieb der Vorrichtung in regelmäßigen zeitlichen Abständen wiederholt werden. Dadurch könnte mitberücksichtigt werden, dass bei sich verändernden Arbeitsbedingungen auch eine Veränderung der Impedanz des Transformators 1 und somit der Serienresonanzfrequenz erfolgt.

20

Die Feldsonde 15 ist auf einer Leiterplatte 20 integriert. Die Leiterplatte ist parallel zu dem Ausgangsbereich 4 des piezoelektrischen Transformators 1 angeordnet, wobei zwischen der Leiterplatte 20 und dem piezoelektrischen Transformator 1 ein Spalt 21 ist. Die Leiterplatte 20 kann sich in Längsrichtung z über die ausgangsseitige Stirnseite 10 des Ausgangsbereichs 3 hinaus erstrecken. In die entgegengesetzte Richtung kann die Leiterplatte 20 in den Eingangsbereich 2 hineinragen.

30

Figur 4 zeigt die Unterseite der Leiterplatte 20.

Die Leiterplatte 20 weist eine Schicht aus einem nicht-leitenden Trägermaterial 22 auf. Bei dem nicht-leitenden

Trägermaterial 22 kann es sich beispielsweise um FR4 oder ein anderes isolierendes Material handeln. Die Feldsonde 15 ist durch eine Metallisierung der Seite der Leiterplatte 20, die vom piezoelektrischen Transformator 1 wegweist, ausgebildet.

5 Dadurch wird sichergestellt, dass es nicht zu einer Plasmazündung zwischen dem Transformator 1 und der Feldsonde 15 kommt, da die Leiterplatte 20 als Isolator wirkt. Der Spalt 21 sowie die Leiterplatte 20, die zwischen der Feldsonde 15 und dem Transformator 1 angeordnet sind, wirken
10 jeweils als Kapazität.

Auf der dem Transformator 1 abgewandten Seite der Leiterplatte 20 befindet sich eine Metallbeschichtung. Bei der Metallbeschichtung kann es sich um eine
15 Kupferbeschichtung handeln. Die Metallbeschichtung ist in eine Massefläche 23 und eine Sondenfläche 24 unterteilt. Die Massefläche 23 und die Sondenfläche 24 sind durch eine Fläche des isolierenden Trägermaterials getrennt.

20 Durch die Anordnung der Metallbeschichtung auf der von dem Transformator 1 wegweisenden Seite der Leiterplatte 20 kann ein Zünden des Plasmas gegen die Metallbeschichtung unterbunden werden. Insbesondere ist die Leiterplatte 20 in einem Abstand von dem Transformator 1 angeordnet, der groß
25 genug ist um ein Zünden zur Unterseite der Leiterplatte 20 zu verhindern.

Die Massefläche 23 ist mit einem Referenzpotential, beispielsweise einer Erdung, verbunden. Die Sondenfläche 24
30 ist mit der Messeinheit 16 verbunden. Die Massefläche 23 und die Sondenfläche 24 sind über den Widerstand 17, der als diskretes Bauelement auf der Unterseite der Leiterplatte 20 angeordnet ist, miteinander verbunden. Alternativ oder

ergänzend zu dem Widerstand 17 können die Massenfläche 23 und die Sondenfläche 24 auch durch einen Kondensator verbunden werden. Wird durch den piezoelektrischen Transformator 1 ein elektrisches Feld erzeugt, induziert das Feld eine Spannung
5 in der Sondenfläche 24. Die Messeinheit 16 ist dazu ausgestaltet, die induzierte Spannung zu messen.

Der Spalt 21 zwischen dem Transformator 1 und einer Oberseite der Leiterplatte 20, die dem Transformator 1 zugewandt ist,
10 bildet einen Kondensator. Ferner bildet die Leiterplatte 20 gegenüber der Sondenfläche 24 ebenfalls einen Kondensator. Die Kapazitäten der beiden Kondensatoren bilden zusammen mit dem Widerstand 17, der als diskretes Bauelement auf der Unterseite der Leiterplatte 20 angeordnet ist, einen
15 Spannungsteiler. Über den Spannungsteiler ist die Sondenfläche 24 definiert an Masse angebunden und die in der Sondenfläche 24 induzierte Wechselspannung steht für eine Messung zur Verfügung.

20 Die Figuren 5 bis 7 zeigen ein zweites Ausführungsbeispiel einer Leiterplatte 20, in die eine Feldsonde 15 integriert ist. Dabei zeigt Figur 5 einen Querschnitt durch die Leiterplatte 20. Figur 6 zeigt eine Leiterplatte 20 in einer Ansicht von unten, wobei eine Metallisierung einer inneren
25 Schicht der Leiterplatte 20 dargestellt ist und die auf der Unterseite der Leiterplatten 20 angeordneten diskreten Komponenten dargestellt sind. Figur 7 zeigt ein Ersatzschaltbild der Leiterplatte 20.

30 Die Leiterplatte 20 ist mehrlagig, insbesondere vierlagig. Die Leiterplatte weist drei Lagen des nicht-leitenden Trägermaterials 22 auf. Ferner sind diskrete Bauelemente auf der Unterseite der Leiterplatte 20 angeordnet. Die

Sondenfläche 24 wird durch eine Metallschicht in einer inneren Lage der mehrlagigen Leiterplatte 20 gebildet. In der inneren Lage der mehrlagigen Leiterplatte 20 ist ferner eine zweite Metallfläche 25 angeordnet, die von der Sondenfläche 5 24 durch das nicht-leitende Trägermaterial 22 getrennt ist. Ferner ist in der inneren Lage eine Massefläche 23 angeordnet. Die Massefläche 23 ist mit dem Referenzpotential, beispielsweise der Erdung verbunden. Die Sondenfläche 24 ist mit der Messeinheit 16 verbunden. Die Sondenfläche 24, die 10 zweiten Metallfläche 25 und die Massefläche 23 können insbesondere aus Kupfer bestehen.

Auf der Unterseite der mehrlagigen Leiterplatte 20, die von dem piezoelektrischen Transformator 1 wegweist, sind diskrete 15 Bauelemente angeordnet. Bei den diskreten Bauelementen handelt es sich um zwei Dioden 26, einen Widerstand 17 und einen Kondensator 18. Dem in Figur 7 gezeigten Ersatzschaltbild ist zu entnehmen, wie die Sondenfläche 24, die zweite Metallfläche 25, die Massefläche 23 und die 20 diskreten Bauelemente miteinander verschaltet sind. Die diskreten Bauelemente können einen Gleichrichter bilden. Dementsprechend kann der Gleichrichter 19 in die Leiterplatte 20 integriert sein. Alternativ oder ergänzend können die diskreten Bauelemente einen Siebkondensator bilden. Ein 25 Siebkondensator, auch Glättungskondensator genannt, ist ein parallel zum Lastwiderstand gelegter Kondensator, der hinter einer Gleichrichterschaltung die Restwelligkeit der gleichgerichteten Spannung vermindert.

30 Das zweite Ausführungsbeispiel ermöglicht eine verbesserte Ortsauflösung der Messung.

Bezugszeichenliste

	1	piezoelektrischer Transformator
	2	Eingangsbereich
5	3	Ausgangsbereich
	4	Elektrode
	5	piezoelektrisches Material
	6	erste Seitenfläche
	7	zweite Seitenfläche
10	8	Außenelektrode
	9	piezoelektrisches Material
	10	ausgangsseitige Stirnseite
	11	Ansteuerschaltung
	12	Treiber
15	13	Regler
	14	Außenelektrode
	15	Feldsonde
	16	Messeinheit
	17	Widerstand
20	18	Kondensator
	19	Gleichrichter
	20	Leiterplatte
	21	Spalt
	22	nicht-leitendes Trägermaterial
25	23	Massefläche
	24	Sondenfläche
	25	zweite Metallfläche
	26	Diode
30	x	Stapelrichtung
	z	Längsrichtung

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Erzeugung eines nicht-thermischen
Atmosphärendruck-Plasmas,
5 aufweisend
einen piezoelektrischen Transformator (1),
eine Ansteuerschaltung (11), die dazu ausgelegt ist,
eine Wechselspannung mit einer Ansteuerfrequenz als
Eingangsspannung an den piezoelektrischen Transformator
10 (1) anzulegen, und
eine Feldsonde (15), die dazu ausgestaltet ist, eine
Feldstärke eines von dem piezoelektrischen Transformator
(1) erzeugten elektrischen Feldes zu messen,
wobei die Ansteuerschaltung (11) dazu ausgestaltet ist,
15 unter Berücksichtigung der Messergebnisse der Feldsonde
(15) die Ansteuerfrequenz derart anzupassen, dass die
Feldstärke maximiert wird.
2. Vorrichtung gemäß Anspruch 1,
20 wobei der piezoelektrische Transformator (1) einen
Eingangsbereich (2) aufweist, an den die
Eingangsspannung anlegbar ist, und
wobei der piezoelektrische Transformator (1) einen
Ausgangsbereich (3) aufweist, in dem eine Hochspannung
25 erzeugt wird, wenn an den Eingangsbereich (2) die
Eingangsspannung angelegt ist, wobei durch die
Hochspannung ein Plasma gezündet wird.
3. Vorrichtung gemäß dem vorherigen Anspruch,
30 wobei die Feldsonde (15) nahe dem Ausgangsbereich (3)
angeordnet ist.

4. Vorrichtung gemäß einem der vorherigen Ansprüche,
wobei die Feldsonde (15) mit einer Messeinheit (16)
verbunden ist, die dazu ausgestaltet ist, einen
Spitzenwert der elektrischen Feldstärke und/oder einen
Mittelwert der elektrischen Feldstärke zu bestimmen,
wobei die Ansteuerschaltung (11) einen Regler (13)
aufweist, der dazu ausgestaltet ist, die
Ansteuerfrequenz abhängig vom bestimmten Spitzenwert
und/oder vom bestimmten Mittelwert zu variieren.
5. Vorrichtung gemäß einem der vorherigen Ansprüche,
wobei die Feldsonde (15) in eine Leiterplatte (20)
integriert ist.
6. Vorrichtung gemäß dem vorherigen Anspruch,
wobei die Leiterplatte (20) eine Metallbeschichtung
(23, 24) aufweist, die auf einer Seite der Leiterplatte
(20) angeordnet ist, die von dem piezoelektrischen
Transformator (1) wegweist.
7. Vorrichtung gemäß Anspruch 5,
wobei die Leiterplatte (20) mehrlagig ist und die
Feldsonde (15) durch eine innere Lage der Leiterplatte
(20) gebildet wird.
8. Vorrichtung gemäß einem der vorherigen Ansprüche,
wobei die Wechselspannung ein rechteckförmiges Signal
oder ein dreieckförmiges Signal aufweist.
9. Vorrichtung gemäß einem der vorherigen Ansprüche,
wobei die Ansteuerschaltung (11) dazu ausgestaltet ist,
beim Einschalten der Vorrichtung unter Berücksichtigung
der Messergebnisse der Feldsonde (15) die

Ansteuerfrequenz derart anzupassen, dass die Feldstärke maximiert wird, und
wobei die Ansteuerschaltung (11) dazu ausgestaltet ist, im laufenden Betrieb der Vorrichtung in festgelegten
5 zeitlichen Abständen unter Berücksichtigung der Messergebnisse der Feldsonde (15) eine Korrektur der Ansteuerfrequenz vorzunehmen, wobei die Ansteuerfrequenz erneut derart angepasst wird, dass die Feldstärke maximiert wird.

10

10. Vorrichtung gemäß einem der vorherigen Ansprüche, die zur Erzeugung von angeregten Molekülen, Ionen oder Radikalen dient.

15

11. Vorrichtung gemäß einem der vorherigen Ansprüche, die zur Erzeugung von OH-Radikalen und/oder Stickoxid und/oder Ozon dient.

12. Verfahren zur Frequenzregelung eines piezoelektrischen Transformators (1), umfassend die Schritte:

20

- Anlegen einer Wechselspannung an den piezoelektrischen Transformator (1) mit einer Anfangs-Ansteuerfrequenz f_0 ,
- Schrittweises Ändern der Ansteuerfrequenz, wobei
25 jeweils die Feldstärke eines von dem piezoelektrischen Transformator (1) erzeugten elektrischen Feldes durch eine Feldsonde (15) ermittelt wird,
- Bestimmen der Ansteuerfrequenz, bei der sich die
30 maximale Feldstärke einstellt,
- Betrieb des piezoelektrischen Transformators (1) mit der bestimmten Ansteuerfrequenz, für die sich die maximale Feldstärke einstellt.

13. Verfahren gemäß dem vorherigen Anspruch,
wobei die Bestimmung der Ansteuerfrequenz, bei der sich
die maximale Feldstärke einstellt, im laufenden Betrieb
5 der Vorrichtung in festgelegten zeitlichen Abständen
wiederholt wird.
14. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 12 oder 13,
wobei bei dem schrittweisen Ändern der Ansteuerfrequenz
10 die Ansteuerfrequenz ausgehend von der Anfangs-
Ansteuerfrequenz f_0 schrittweise um eine Schrittweite
 Δf_1 erhöht oder reduziert wird, bis sich die
Ansteuerfrequenz einstellt, bei der sich für die
Schrittweite Δf_1 die maximale Feldstärke einstellt,
15 wobei anschließend ausgehend von dieser Ansteuerfrequenz
die Ansteuerfrequenz schrittweise um eine Schrittweite
 Δf_2 erhöht oder reduziert wird, bis sich die
Ansteuerfrequenz einstellt, bei der sich für die
Schrittweite Δf_2 die maximale Feldstärke einstellt,
20 wobei Δf_2 kleiner als Δf_1 ist.
15. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 12 bis 14,
wobei der piezoelektrische Transformator (1) zur
Erzeugung eines nicht-thermischen Atmosphärendruck-
25 Plasmas eingesetzt wird.
16. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 12 bis 15,
wobei das Plasma zur Erzeugung von angeregten Molekülen,
Ionen oder Radikalen genutzt wird.
30
17. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 12 bis 16,
wobei das Plasma zur Erzeugung von OH-Radikalen und/oder
Stickoxid und/oder Ozon genutzt wird.

Fig. 1

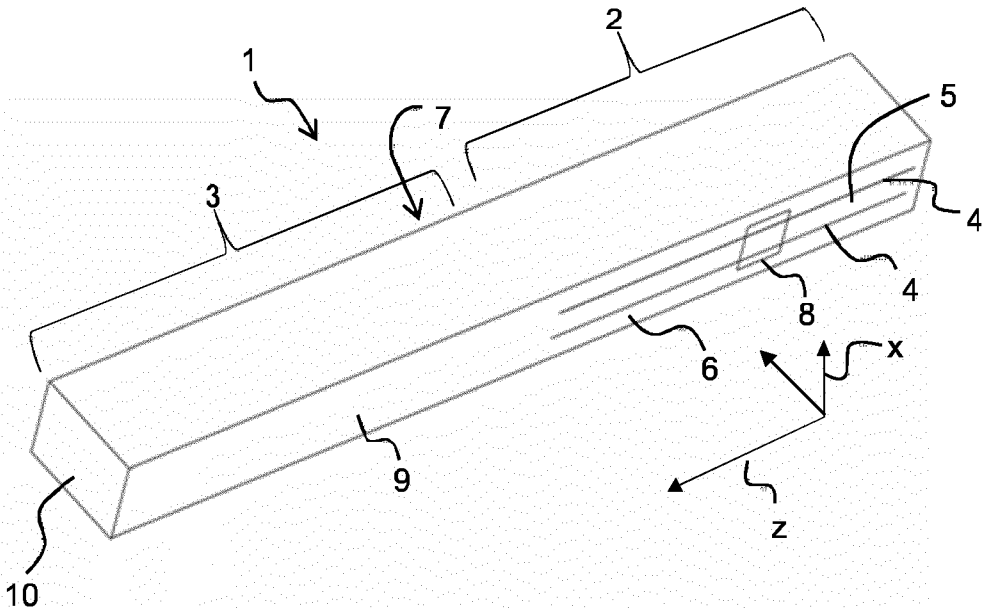


FIG 2

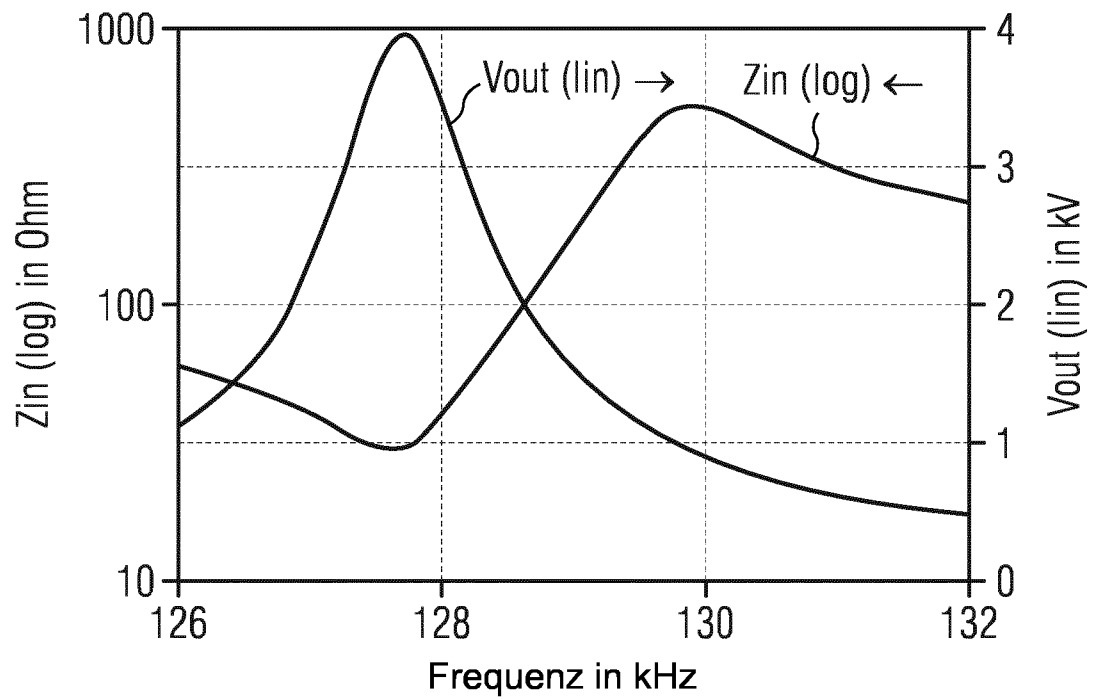


FIG 3

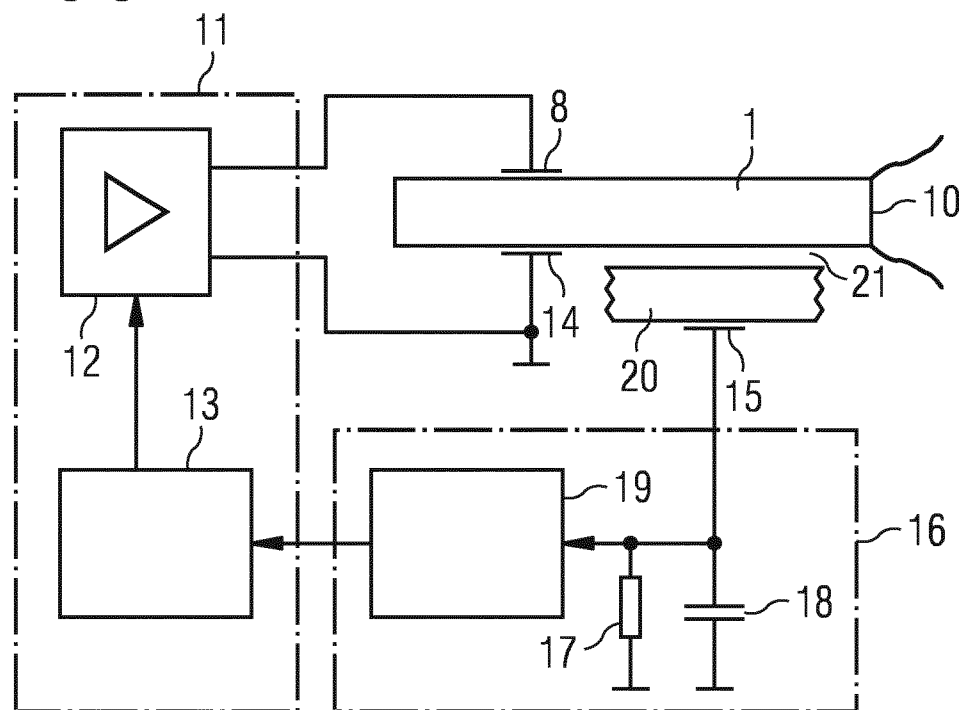


FIG 4

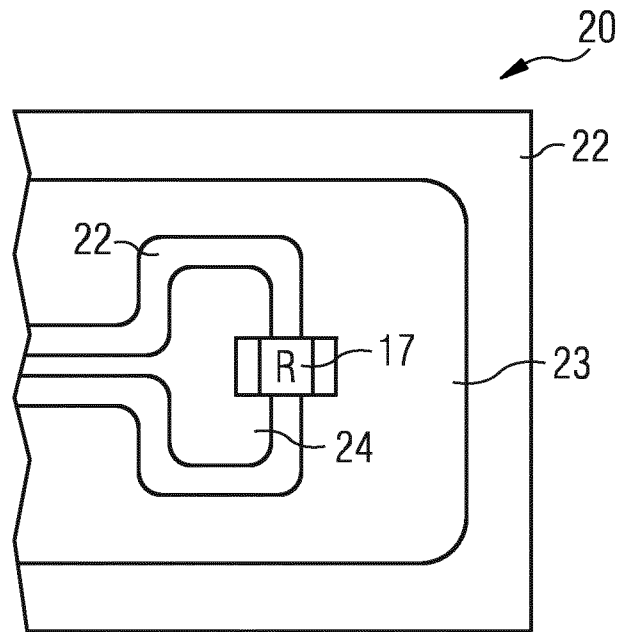


FIG 5

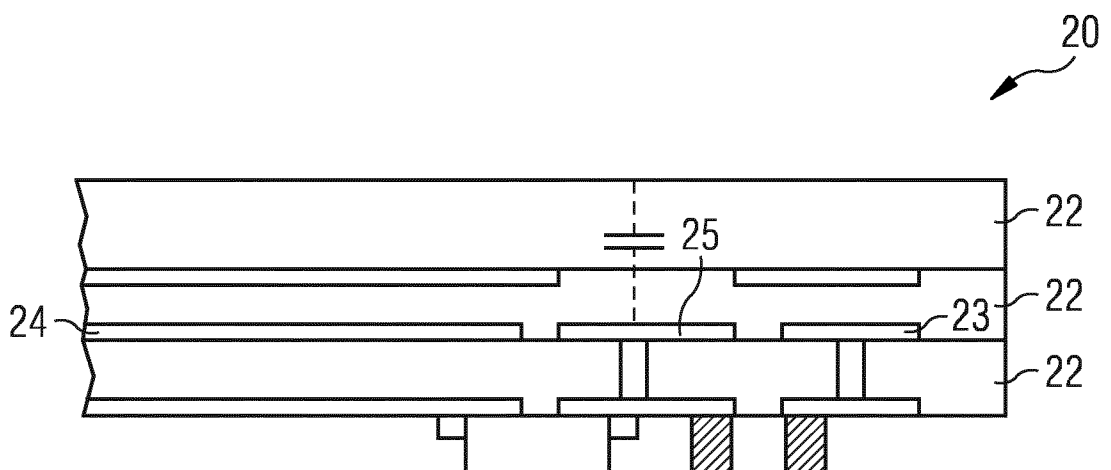


FIG 6

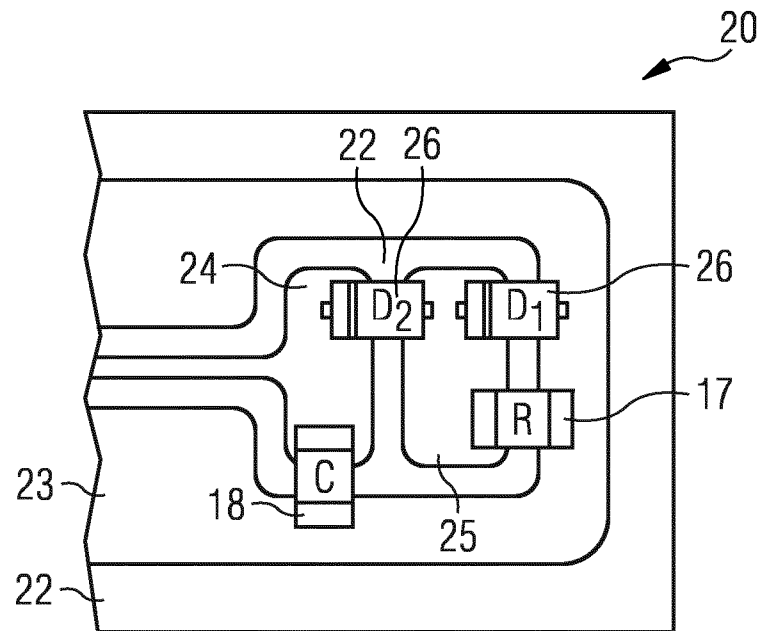
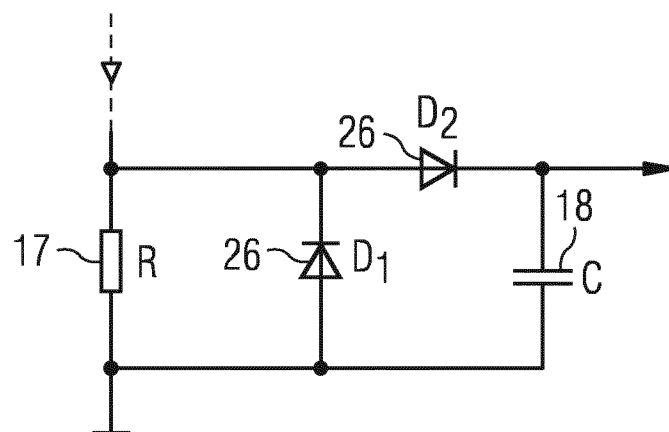


FIG 7



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2018/056424

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. H05H1/24 H01L41/04
ADD.

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)
H05H H01L

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.
A	DE 10 2015 112410 A1 (EPCOS AG [DE]) 2 February 2017 (2017-02-02) abstract; figures 1,3A,4 paragraphs [0006], [0010], [0011] -----	1-17
A	DE 10 2013 103159 A1 (EPCOS AG [DE]) 2 October 2014 (2014-10-02) cited in the application abstract; figure 2 -----	1-17
A	DE 198 27 948 A1 (SIEMENS AG [DE]) 5 January 2000 (2000-01-05) abstract; figures 1,2,8,11 -----	1-17



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

6 June 2018

Date of mailing of the international search report

14/06/2018

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Crescenti, Massimo

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2018/056424

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 102015112410 A1	02-02-2017	CN 107851707 A DE 102015112410 A1 EP 3329522 A1 KR 20180034562 A WO 2017016853 A1	27-03-2018 02-02-2017 06-06-2018 04-04-2018 02-02-2017
DE 102013103159 A1	02-10-2014	CN 105103318 A DE 102013103159 A1 EP 2979311 A1 JP 6159472 B2 JP 2016515794 A US 2016027987 A1 WO 2014154548 A1	25-11-2015 02-10-2014 03-02-2016 05-07-2017 30-05-2016 28-01-2016 02-10-2014
DE 19827948 A1	05-01-2000	NONE	

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 INV. H05H1/24 H01L41/04
 ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
 H05H H01L

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.
A	DE 10 2015 112410 A1 (EPCOS AG [DE]) 2. Februar 2017 (2017-02-02) Zusammenfassung; Abbildungen 1,3A,4 Absätze [0006], [0010], [0011] -----	1-17
A	DE 10 2013 103159 A1 (EPCOS AG [DE]) 2. Oktober 2014 (2014-10-02) in der Anmeldung erwähnt Zusammenfassung; Abbildung 2 -----	1-17
A	DE 198 27 948 A1 (SIEMENS AG [DE]) 5. Januar 2000 (2000-01-05) Zusammenfassung; Abbildungen 1,2,8,11 -----	1-17



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

6. Juni 2018

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

14/06/2018

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

Crescenti, Massimo

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2018/056424

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 102015112410 A1	02-02-2017	CN 107851707 A	27-03-2018
		DE 102015112410 A1	02-02-2017
		EP 3329522 A1	06-06-2018
		KR 20180034562 A	04-04-2018
		WO 2017016853 A1	02-02-2017

DE 102013103159 A1	02-10-2014	CN 105103318 A	25-11-2015
		DE 102013103159 A1	02-10-2014
		EP 2979311 A1	03-02-2016
		JP 6159472 B2	05-07-2017
		JP 2016515794 A	30-05-2016
		US 2016027987 A1	28-01-2016
		WO 2014154548 A1	02-10-2014

DE 19827948 A1	05-01-2000	KEINE	
