



(10) **DE 101 22 598 B4** 2012.12.27

(12)

## Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **101 22 598.9**  
(22) Anmeldetag: **10.05.2001**  
(43) Offenlegungstag: **22.11.2001**  
(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: **27.12.2012**

(51) Int Cl.: **H01T 23/00** (2006.01)  
**H05H 1/46** (2006.01)  
**H01J 37/32** (2006.01)  
**B01J 19/08** (2006.01)  
**C23C 14/34** (2006.01)  
**B29C 59/10** (2006.01)

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

(30) Unionspriorität:  
**844/00**                      **16.05.2000**    **AT**

(73) Patentinhaber:  
**Rübig Ges.m.b.H. & Co. KG, Wels, AT**

(74) Vertreter:  
**Rau, Schneck & Hübner Patent- und  
Rechtsanwälte, 90402, Nürnberg, DE**

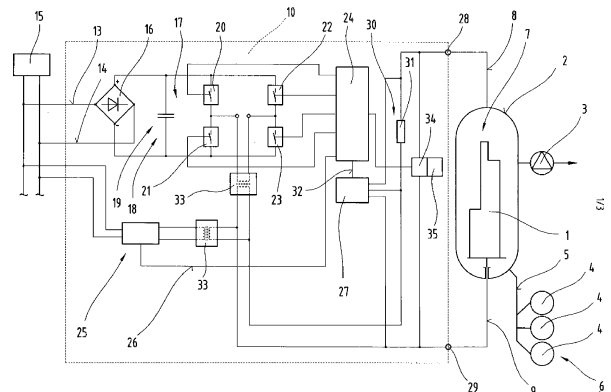
(72) Erfinder:  
**Rübig, Günter, Dipl.-Ing., Wels, AT**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:

<b>DE</b>	<b>33 22 341</b>	<b>C2</b>
<b>DE</b>	<b>21 40 620</b>	<b>A</b>
<b>US</b>	<b>5 770 023</b>	<b>A</b>
<b>EP</b>	<b>0 534 068</b>	<b>B1</b>
<b>EP</b>	<b>0 809 275</b>	<b>A1</b>

(54) Bezeichnung: **Verfahren für die Ionisierung eines Arbeitsgases zur Oberflächenbehandlung eines Werkstückes**

(57) Hauptanspruch: Verfahren für die Ionisierung eines Arbeitsgases zur Oberflächenbehandlung eines Werkstückes in einem Rezipienten, bei dem eine pulsierende Grundspannung zwischen zumindest einer Anode und zumindest einer Kathode zum Aufbau eines pulsierenden, elektrischen Feldes angelegt wird, wobei das Werkstück als Anode oder als Kathode verwendet wird, dadurch gekennzeichnet, daß die pulsierende Grundspannung zumindest zeitweise mit einer hochfrequenten Spannung zur Erzeugung eines hochfrequenten Wechselfeldes überlagert wird.



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren für die Ionisierung eines Arbeitsgases zur Oberflächenbehandlung eines Werkstückes, wie es im Oberbegriff des Anspruchs 1 beschrieben ist.

**[0002]** Es ist bekannt, Oberflächenbehandlungen von Werkstücken durch Glimmentladungen bzw. Plasmatechnik vorzunehmen. Auf diese Weise können beispielsweise metallische Werkstücke mit nahezu beliebiger räumlicher Gestaltung ihrer Oberfläche einer Oberflächenumwandlung durch Nitrieren und dgl. unterzogen werden. Weiters ist auch Beschichten, Härten, Glühen und dgl. mit Plasmatechnik durchführbar.

**[0003]** Dabei wird bei der Verwendung von Gleichspannung üblicherweise das Werkstück als Kathode und die das Werkstück umgebende Wandung des Rezipienten als Anode an eine Spannungsquelle geschaltet, oder es kommt Wechselspannung zum Einsatz.

**[0004]** Aus der DE 33 22 341 C2 ist ein Verfahren zur Oberflächenbehandlung von Werkstücken durch Glimmentladung bekannt, bei welchem zwischen dem im Rezipienten enthaltenen Werkstück und einer Gegenelektrode Spannungsimpulse zum Zünden und vorübergehenden Aufrechterhalten einer Glimmentladung angelegt werden. Diese Spannungsimpulse weisen im Anfangsbereich eine Impulsspitze zum Zünden der Glimmentladung und anschließend einen Bereich mit einer zur Aufrechterhaltung der Glimmentladung geeigneten Amplitude auf.

**[0005]** Nachteilig ist hierbei, daß nur eine Impulsspitze zum Zünden der Glimmentladung vorgesehen ist und daß in der Pause nach dem Impuls die Ionisierung des Arbeitsgases im Rezipienten stark zurückgeht. Weiters ist es auch nicht möglich, Impulse mit entgegengesetzter Polarität am sich im Rezipienten befindlichen Werkstück anzulegen.

**[0006]** Aus der EP 0 534 068 B1 ist ein Verfahren zur Steuerung der Versorgung einer Anlage der Plasma- oder Oberflächentechnik bekannt, bei dem ein Stromversorgungsgerät zur bipolaren Stromversorgung der Anlage durch ein regelbares Gleichstromnetzteil vorgesehen ist. Durch die bipolare Stromversorgung ist es hierbei möglich, Impulse mit entgegengesetzter Polarität zu erzeugen, jedoch geht in den Pausen zwischen den Impulsen die Ionisierung des sich im Rezipienten befindlichen Arbeitsgases ebenfalls stark zurück.

**[0007]** Die EP 0 809 275 A1 beschreibt ein Verfahren zur Gasentladungsplasmabehandlung, umfassend die Schritte, zwei beabstandete Elektroden mit gegenüberliegenden Oberflächen bereitzustellen,

wobei mindestens eine der gegenüberliegenden Oberflächen mit einem festen Dielektrikum bedeckt ist, ein Substrat zwischen die gegenüberliegenden Oberflächen zu platzieren, und ungefähr bei Atmosphärendruck ein elektrisches Feld zwischen den gegenüberliegenden Elektroden anzulegen, wobei das elektrische Feld mit einer Ansprechzeit eines Pulses des elektrischen Feldes von weniger als 100 ms und einer Feldstärke von 1 bis 100 kV/cm pulsmoduliert ist. Die Dielektrizitätskonstante des Dielektrikums beträgt bei 25°C 10 oder mehr. Des Weiteren wird in dieser Druckschrift eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens beschrieben.

**[0008]** Aufgabe der Erfindung ist es nunmehr, ein Verfahren zu schaffen, bei dem die Leitfähigkeit des Gases über die gesamte Periodendauer der Spannung aufrecht bleibt.

**[0009]** Die Aufgabe der Erfindung wird durch die Merkmale des Anspruchs 1 gelöst. Vorteilhaft ist hierbei, daß durch die Überlagerung der pulsierenden Grundspannung mit einer hochfrequenten Spannung die Abnahme der Ionisierung eines Arbeitsgases im Rezipienten wirkungsvoll verringert werden kann.

**[0010]** Vorteilhaft ist auch eine Weiterbildung nach den Ansprüchen 2 und 3, da dadurch eine verbesserte Plasmabildung im Inneren des Rezipienten erreicht werden kann, was sich positiv auf die Gleichmäßigkeit der Qualität der Oberflächenbehandlung eines Werkstückes auswirkt.

**[0011]** Vorteilhaft ist auch eine Weiterbildung nach Anspruch 4, da durch die Bildung eines spannungslosen Zwischenraumes zwischen den unmittelbar aufeinanderfolgenden Impulsen der Grundspannung die Energiezuführung in den Rezipienten 2 kurzzeitig gestoppt wird und dadurch kurze Phasen der Abkühlung des Werkstückes ermöglicht werden, wodurch erreicht wird, daß das Werkstück auf einer annähernd konstanten Temperatur gehalten werden kann.

**[0012]** Durch eine vorteilhafte Weiterbildung gemäß den Ansprüchen 5 und 6 wird es durch geringen Aufwand möglich, die pulsierende Grundspannung aus einem Gleichspannungszwischenkreis zu gewinnen.

**[0013]** Durch eine Weiterbildung nach Anspruch 7 wird die Gesamtenergiezufuhr in den Rezipienten durch die Einkopplung der hochfrequenten Spannung leichter regelbar.

**[0014]** Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung nach Anspruch 8 wird erreicht, daß durch die Einkopplung der hochfrequenten Spannung auf die pulsierende Grundspannung keine unzulässig hohen Energiespitzen erzeugt werden, die zum Zünden eines Lichtbogens zwischen dem Werkstück und dem Rezipienten führen könnte.

[0015] Vorteilhaft ist auch eine Weiterbildung nach den Ansprüchen 9 bis 11, da dadurch eine Kontrolle der Gesamtenergiezufuhr, also durch die pulsierende Grundspannung und die hochfrequente Spannung genau kontrollierbar bzw. regelbar ist.

[0016] Schließlich ist auch eine Weiterbildung nach Anspruch 12 vorteilhaft, da durch die Verhinderung des Aufbaus eines Lichtbogens zwischen der Elektrode und dem Werkstück sowohl eine Oberflächenbeschädigung des Werkstückes als auch der Innenwand des Rezipienten vermieden wird.

[0017] Im Folgenden werden Ausführungsbeispiele der Erfindung anhand der Zeichnungen näher erläutert.

[0018] Es zeigen:

[0019] **Fig. 1** ein beispielhaftes Blockschaltbild zur Durchführung des Verfahrens für die Ionisierung eines Arbeitsgases zur Oberflächenbehandlung eines Werkstückes in stark vereinfachter, schematischer Darstellung;

[0020] **Fig. 2** einen möglichen Verlauf einer pulsierenden Grundspannung für die Erzeugung eines pulsierenden elektrischen Feldes mit in den spannungslosen Pausen eingekoppelter hochfrequenter Spannung;

[0021] **Fig. 3** einen weiteren möglichen Verlauf der Grundspannung für die Erzeugung des pulsierenden elektrischen Feldes mit in den spannungslosen Pausen teilweise eingekoppelter hochfrequenter Spannung;

[0022] **Fig. 4** einen weiteren möglichen Verlauf der Grundspannung für die Erzeugung des pulsierenden elektrischen Feldes mit im Endbereich der Impulse der Grundspannung und über die gesamte spannungslose Pause eingekoppelter hochfrequenter Spannung;

[0023] **Fig. 5** einen möglichen Verlauf einer sägezahnförmigen pulsierenden Grundspannung mit in den spannungslosen Pausen eingekoppelter hochfrequenter Spannung;

[0024] **Fig. 6** einen weiteren möglichen Verlauf einer sägezahnförmigen Grundspannung mit über ihre gesamte Periodendauer eingekoppelter hochfrequenter Spannung;

[0025] **Fig. 7** einen weiteren möglichen Verlauf der Grundspannung für die Erzeugung des pulsierenden elektrischen Feldes mit in den spannungslosen Pausen teilweise eingekoppelter hochfrequenter Spannung.

[0026] Einführend sei festgehalten, daß in den unterschiedlich beschriebenen Ausführungsformen gleiche Teile mit gleichen Bezugszeichen bzw. gleichen Bauteilbezeichnungen versehen werden, wobei die in der gesamten Beschreibung enthaltenen Offenbarungen sinngemäß auf gleiche Teile mit gleichen Bezugszeichen bzw. gleichen Bauteilbezeichnungen übertragen werden können. Auch sind die in der Beschreibung gewählten Lageangaben, wie z. B. oben, unten, seitlich usw. auf die unmittelbar beschriebene sowie dargestellte Figur bezogen und bei einer Lageänderung sinngemäß auf die neue Lage zu übertragen.

[0027] In **Fig. 1** ist ein Blockschaltbild zur Durchführung des Verfahrens für die Ionisierung eines Arbeitsgases zur Oberflächenbehandlung eines Werkstückes **1** dargestellt. Dabei befindet sich das Werkstück **1** in einer Behandlungskammer, insbesondere einem Rezipienten **2**.

[0028] Um im Inneren des Rezipienten **2** einen Unterdruck erzeugen zu können, ist dieser mit einer Vakuumpumpe **3** verbunden. Der Arbeitsdruck im Rezipienten **2** wird üblicherweise auf wenige mbar, insbesondere zwischen 0,5 bis 10 mbar (typisch 1 bis 4 mbar), gehalten.

[0029] Ein für eine Glimmentladung benötigtes Arbeitsgas **4** wird über eine Gasleitung **5** aus zumindest einem Arbeitsgasspeicher **6** in den Rezipienten **2** gefördert. Selbstverständlich ist es auch möglich, zur Förderung des Arbeitsgases **4** aus dem Arbeitsgasspeicher **6** in den Rezipienten **2** eine Pumpe zu verwenden, die bedarfsweise auch einen Überdruck des Arbeitsgases **4** im Rezipienten **2** erzeugen kann.

[0030] Das Arbeitsgas **4** kann je nach gewünschter Oberflächenbehandlung aus Stickstoff, Sauerstoff bzw. einem Sauerstoff enthaltenden Gas bestehen. Weiters ist es auch möglich, Kohlenstoffträger wie beispielsweise Kohlenmonoxid oder Kohlendioxid bzw. leicht flüchtige Verbindungen wie Titan-tetrachlorid, Aluminiumtrichlorid und dgl. einzusetzen, bzw. alle für diesen Zweck aus dem Stand der Technik bekannten Gase zu verwenden. Selbstverständlich können auch entsprechende Spülgase, wie z. B. Edelgase, zur Erzeugung einer inerten Atmosphäre eingesetzt werden.

[0031] Dabei können diese Gase in reiner Form eingesetzt werden, oder in verschiedenen Mischungsverhältnissen in den Rezipienten **2** eingebracht werden.

[0032] Bei der Verwendung von Gasgemischen ist es vorteilhaft, diese vor dem Einbringen in den Rezipienten **2** in einer vorgeschalteten Mischvorrichtung (in **Fig. 1** nicht dargestellt) bereit zu stellen, um das gewünschte Mischungsverhältnis zu erreichen bzw.

eine gute Durchmischung der verschiedenen Gase vor dem Einbringen in den Rezipienten **2** zu erreichen.

**[0033]** Weiters ist es möglich, das Arbeitsgas **4** vor dem Einbringen in den Rezipienten **2** zu erwärmen oder abzukühlen.

**[0034]** Im Rezipienten **2** kann sich eine Heizung befinden, welche das Arbeitsgas **4** und das Werkstück **1** auf eine höhere Temperatur vorheizt. Durch den Beschuß der Oberfläche des Werkstückes **1** mit Ionen wird diesem kontinuierlich Energie zugeführt, d. h. das Werkstück **1** wird weiter aufgeheizt. Eine gute Möglichkeit der Temperaturkontrolle ist, eine Pulsspannung zur Erzeugung des Plasmas zu benutzen. Dabei wird für eine gewisse Zeitdauer eine elektrische Spannung angelegt und dann die Spannung wieder für eine gewisse Zeitdauer abgeschaltet. Die im Rezipienten **2** vorherrschenden Arbeitstemperaturen können bis zu 700°C, insbesondere zwischen 250° und 650°C betragen.

**[0035]** Die so im Rezipienten **2** ermöglichten Oberflächenbehandlungen des Werkstückes **1** reichen von Reinigen über Härten, z. B. durch Nitrieren, bis hin zu komplexen Beschichtungen.

**[0036]** Zur Erzeugung der Glimmentladung bzw. eines Plasmas **7** wird zwischen dem Werkstück **1** und dem Rezipient **2** eine Spannung angelegt, welche über Versorgungsleitungen **8** und **9** von einer Spannungsversorgungsvorrichtung **10** bereitgestellt wird.

**[0037]** Vorteilhafterweise bildet bei der Oberflächenbehandlung mittels Plasma **7** unter Verwendung von Gleichspannung das Werkstück **1** die Kathode, also den negativen Pol, und die umgebende Wand des Rezipienten **2** die Anode, also den positiven Pol. Bei der Verwendung von Wechselspannung wirkt das Werkstück **1** wechselweise als Anode oder Kathode.

**[0038]** Es können auch zusätzliche Einbauten im Rezipienten, wie z. B. Gitter oder Netze, verwendet werden, die vorzugsweise mit der umgebenden Wand des Rezipienten **2** elektrisch verbunden sind.

**[0039]** Die von der Spannungsversorgungsvorrichtung **10** erzeugte und zwischen dem Werkstück **1** und dem Rezipienten **2** anliegende Spannung besteht vorzugsweise aus einer pulsierenden Grundspannung **11** zum Aufbau eines pulsierenden elektrischen Feldes und einer zumindest zeitweise überlagerten, hochfrequenten Spannung **12** zur Erzeugung eines hochfrequenten Wechselfeldes (siehe [Fig. 2](#) bis [Fig. 7](#)).

**[0040]** Die Spannungsversorgungsvorrichtung **10** ist über Anschlußleitungen **13**, **14** mit einer Energiequelle **15**, beispielsweise einem 3 × 380 V Wechselspan-

nungsnetz verbunden. Selbstverständlich kann die Energiequelle **15** durch jedes andere Wechselspannungsnetz oder ein Gleichspannungsnetz, wie beispielsweise einer Batterie, gebildet werden. Im gezeigten Ausführungsbeispiel ist die Energiequelle **15** durch ein zweiphasiges Wechselspannungsnetz aufgebaut.

**[0041]** Die Spannungsversorgungsvorrichtung **10** kann eine Gleichrichterbrücke **16** umfassen, die die Spannung der Energiequelle **15** gleichrichtet und so einen Gleichspannungszwischenkreis **17** speist. Vorteilhafterweise ist im Gleichspannungszwischenkreis **17** eine Energiespeichereinrichtung **18**, z. B. ein Kondensator **19**, vorhanden.

**[0042]** Durch Ansteuern von Schalteinrichtungen **20** bis **23** ist es möglich, Spannungsblöcke bzw. Spannungsimpulse aus der Spannung im Gleichspannungszwischenkreis **17** herauszuschalten und somit die pulsierende Grundspannung **11** zu erzeugen.

**[0043]** Beim Ansteuern der Schalteinrichtungen **21** und **22** kann ein positiver Spannungsblock bzw. Impuls aus der Spannung im Gleichspannungszwischenkreis **17** herausgeschaltet und über die Versorgungsleitungen **8** und **9** zwischen dem Werkstück **1** und Rezipienten **2** angelegt werden. Durch dieses Ansteuern der Schalteinrichtungen **21** und **22** ist es also möglich, eine pulsierende Gleichspannung mit positiver Amplitude zu erzeugen.

**[0044]** Weiters ist es durch das Ansteuern der Schalteinrichtungen **20** und **23** möglich, negative Spannungsblöcke bzw. Impulse aus der im Gleichspannungszwischenkreis **17** befindlichen Spannung herauszuschalten, das heißt durch das Ansteuern der Schalteinrichtungen **20** und **23** wird es möglich, eine pulsierende Gleichspannung mit negativer Amplitude zu erzeugen.

**[0045]** Durch negative Spannungsblöcke bzw. Impulse wird ein Aufheizen des Werkstückes **1** erreicht, da dabei keine positiven Ionen auf das Werkstück beschleunigt werden, sondern es nur zu einer Beschleunigung von Elektronen auf das Werkstück **1** kommt.

**[0046]** Durch ein wechselweises Ansteuern der Schalteinrichtungen **21**, **22** bzw. **20**, **23** ist es möglich, die Polarität der erzeugten Spannungsimpulse jeweils umzukehren und so eine Wechselspannung zu erzeugen.

**[0047]** Selbstverständlich muß sichergestellt werden, daß die Schalteinrichtungen **21**, **22** mit den Schalteinrichtungen **20**, **23** verriegelt sind, um das Entstehen eines Kurzschlusses durch die gleichzeitige Bildung eines positiven und negativen Spannungsblockes zu vermeiden. Bei dieser Verriegelung der Schalteinrichtungen **20** bis **23** wird üblicherweise

nach der Erzeugung des ersten Impulses eine kurze Totzeit eingehalten, bevor ein weiterer Impuls mit umgekehrter Polarität erzeugt wird.

**[0048]** Die Frequenz der durch das Ansteuern der Schalteinrichtungen **20** bis **23** erzeugten pulsierenden Grundspannung **11** ist im wesentlichen nur von der maximalen Schaltgeschwindigkeit der Schalteinrichtungen **20** bis **23** begrenzt. Mit handelsüblichen Bauteilen sind Frequenzen von einigen Hertz bis mehreren hundert MHz realisierbar.

**[0049]** Es ist weiters möglich, die Pulsweite, also die zeitliche Dauer des positiven und negativen Impulses unterschiedlich zu gestalten. Ebenfalls ist es möglich, den Verlauf des positiven und des negativen Impulses unterschiedlich auszubilden. Beispielsweise könnte also der positive Impuls als rechteckförmiger Impuls ausgebildet sein, und der negative Impuls sägezahnförmigen Verlauf aufweisen.

**[0050]** Zur exakten Formung der positiven und/oder negativen Spannungsblöcke bzw. Impulse der Grundspannung **11** ist es ebenfalls möglich, vor der Einkopplung der hochfrequenten Spannung **12** eine Impulsformeinrichtung vorzusehen (in [Fig. 1](#) nicht dargestellt).

**[0051]** Die Amplituden der unmittelbar aufeinanderfolgenden Impulse der pulsierenden Grundspannung **11** können unterschiedliche Höhe aufweisen. Beispielsweise kann bei jeweils umgedrehter Polarität der unmittelbar aufeinanderfolgenden Impulse der Grundspannung **11** die Amplitude der positiven Impulse größer sein als die Amplitude des negativen Impulses.

**[0052]** Die Grundspannung **11** kann eine Spannung bis etwa 1000 V (typisch 400 bis 600 V) aufweisen.

**[0053]** Selbstverständlich ist es auch möglich, durch entsprechende Anordnung von Kondensatoren, Induktivitäten und Widerständen den Verlauf der herausgeschalteten Spannungsblöcke bzw. Impulse auch trapezförmig, dreieckförmig, sägezahnförmig oder dgl. zu gestalten. Diese Anordnungen sind aus dem Stand der Technik weitgehend bekannt und es wird darauf nicht näher eingegangen.

**[0054]** Es ist vorteilhaft, zwischen den unmittelbar aufeinanderfolgenden Impulsen der Grundspannung **11** eine spannungslose Pause zu erzeugen, um eine zu hohe Energiezufuhr durch die Grundspannung **11** und eine damit verbundene zu hohe Erwärmung des Werkstückes **1** zu vermeiden.

**[0055]** Die Ansteuerung der Schalteinrichtungen **20** bis **23** erfolgt über eine Steuereinrichtung **24**, die analog und/oder digital bzw. in vorteilhafter Weise als Mikroprozessorsteuerung ausgebildet sein kann.

**[0056]** Die Schalteinrichtungen **20** bis **23** sind bevorzugt durch FETs, MOSFETs, IGBTs, Darlingtons Transistoren, bipolare Transistoren oder jegliche andere Art elektronischer Schalter gebildet.

**[0057]** Um auch während der spannungslosen Pausen zwischen den Impulsen der Grundspannung **11** die Leitfähigkeit des Arbeitsgases **4** nicht bzw. nur kaum absinken zu lassen, also das Plasma **7** im Rezipienten **2** aufrecht zu erhalten, wird die pulsierende Grundspannung **11** zumindest zeitweise, vorteilhafterweise während der spannungslosen Pause, mit der hochfrequenten Spannung **12** überlagert.

**[0058]** Zur Generierung einer hochfrequenten Spannung **12** zur Erzeugung eines hochfrequenten Wechselfeldes umfaßt die Spannungsversorgungsvorrichtung **10** eine Hochfrequenzabgabeeinrichtung **25**. Diese Hochfrequenzabgabeeinrichtung **25** kann beispielsweise durch einen Hochfrequenzgenerator, einen hochfrequenten Schwingkreis oder dgl. gebildet sein.

**[0059]** Der Eingang der Hochfrequenzabgabeeinrichtung **25** kann wiederum mit der Energiequelle **15** leitungsverbunden sein.

**[0060]** Der Ausgang der Hochfrequenzabgabeeinrichtung **25** ist mit den Versorgungsleitungen **8, 9** verbunden, und es kann nun bedarfsweise die hochfrequente Spannung **12** in die pulsierende Grundspannung **11** eingekoppelt werden. Zur Synchronisierung bzw. Abstimmung der Impulse der pulsierenden Grundspannung **11** mit den Impulsen der hochfrequenten Spannung **12** ist die Hochfrequenzabgabeeinrichtung **25** über eine Steuerleitung **26** mit der Steuereinrichtung **24** verbunden.

**[0061]** Eine Signalübertragung zwischen der Steuereinrichtung **24** und der Hochfrequenzabgabeeinrichtung **25** erfolgt vorzugsweise bidirektional, d. h. die Signalübertragung kann sowohl von der Steuereinrichtung **24** zur Hochfrequenzabgabeeinrichtung **25** erfolgen als auch umgekehrt.

**[0062]** Der Übersichtlichkeit halber ist in [Fig. 1](#) nur eine Steuerleitung **26** dargestellt. Es ist selbstverständlich jedoch auch möglich, diese mehrpolig auszuführen oder durch ein Bussystem zu ersetzen.

**[0063]** Die Spannungsversorgungsvorrichtung **10** kann weiters eine Meßeinrichtung **27** zum Messen verschiedener Größen, beispielsweise Strom und Spannung, an Ausgangsklemmen **28, 29** der Spannungsversorgungsvorrichtung **10** umfassen. Hierzu ist es möglich, daß in einer der Versorgungsleitungen **8, 9** ein Stromerfassungsbauteil **30**, insbesondere ein Shunt **31**, angeordnet ist.

**[0064]** Zur Übergabe von Meßwerten bzw. Daten von der Meßeinrichtung **27** zur Steuereinrichtung **24** in analoger oder digitaler Form sind diese über eine Datenleitung **32** verbunden. Selbstverständlich kann die Datenleitung **32** auch mehrpolig ausgebildet sein bzw. durch ein Bussystem ersetzt werden.

**[0065]** Aufgrund der Messung verschiedener Größen, vorzugsweise Strom und Spannung, an den Ausgangsklemmen **28, 29** der Spannungsversorgungsvorrichtung **10** durch die Meßeinrichtung **27** und der Weitergabe der Meßwerte bzw. Daten an die Steuereinrichtung **24** kann die Steuereinrichtung **24** die Ansteuerung der Schalteinrichtungen **20** bis **23** so durchführen, daß eine Lichtbogenbildung zwischen dem Werkstück **1** und dem Rezipienten **2** weitestgehend vermieden wird bzw. ein solcher Lichtbogen durch eine fehlende Freigabe der Schalteinrichtungen **20** bis **23** abgeschaltet wird. Die Schalteinrichtungen **20** bis **23** können also mit einem Impuls-Pause-Verhältnis angesteuert werden, welches der von der Steuervorrichtung festgelegten, geforderten Energiezufuhr entspricht.

**[0066]** Zur Erhöhung der Energiezufuhr können die Pausen gekürzt oder die Impulse verlängert werden, zur Verringerung der Energiezufuhr können die Pausen verlängert oder die Impulse gekürzt werden.

**[0067]** Eine maximale Energiezufuhr kann durch die Reduktion der Pause auf Null erreicht werden, eine minimale bzw. keine Energiezufuhr kann durch die Reduktion der Impulsdauer auf Null durchgeführt werden.

**[0068]** Zum Erreichen einer für den Aufbau eines elektrischen Feldes benötigten hohen Spannung ist es möglich, daß die Spannungsversorgungsvorrichtung **10** einen Transformator **33** umfaßt. Dieser Transformator **33** kann vor dem Einkoppeln der hochfrequenten Spannung **12** angeordnet sein, es ist jedoch ebenfalls möglich, daß der Transformator **33** nach der Einkopplung der hochfrequenten Spannung **12** angeordnet ist, und so beide Spannungen um den gleichen Faktor durch den Transformator **33** erhöht werden.

**[0069]** Zum Anpassen unterschiedlicher Spannungsniveaus zwischen der pulsierenden Grundspannung **11** und der hochfrequenten Spannung **12** ist es selbstverständlich ebenfalls möglich, zwei getrennte Transformatoren **33** anzuordnen und die Einkopplung der hochfrequenten Spannung **12** in die pulsierende Grundspannung **11** erst nach diesen beiden unabhängigen Transformatoren **33** vorzunehmen, wie dies in [Fig. 2](#) dargestellt ist.

**[0070]** Vor den Ausgangsklemmen **28, 29** der Spannungsversorgungsvorrichtung **10** kann eine Lichtbogenerkennungseinheit **34** gekoppelt mit einer Licht-

bogenabschalteeinheit **35** angeordnet sein, die zum Austausch von Daten und Meßwerten mit der Steuereinrichtung **24** verbunden ist.

**[0071]** Der Austausch von Daten und Meßwerten zwischen der Steuereinrichtung **24** und der Lichtbogenerkennungseinheit **34** bzw. der Lichtbogenabschalteeinheit **35** kann bidirektional, analog und/oder digital bzw. über ein Bussystem erfolgen.

**[0072]** Die Verhinderung des Zündens eines Lichtbogens zwischen dem Werkstück **1** und dem Rezipienten **2** erfolgt also einerseits durch eine entsprechende Ansteuerung der Schalteinrichtungen **20** bis **23** durch die Steuereinrichtung **24**, andererseits durch eine Synchronisierung der Steuereinrichtung **24** mit der Hochfrequenzabgabevorrichtung **25**. Steigt die in den Rezipienten **2** eingebrachte Energie durch die Grundspannung **11** oder die hochfrequente Spannung **12** unzulässig an, was ein Zünden eines Lichtbogens zwischen dem Rezipienten **2** und dem Werkstück **1** zur Folge hätte, wird dies von der Meßeinrichtung **27** erfaßt und diese Informationen werden an die Steuereinrichtung **24** weitergegeben, sodaß diese die Energiezufuhr in den Rezipienten **2** durch Verlängerung der Pause bzw. Verkürzung der Impulsdauer der pulsierenden Grundspannung **11** und/oder dem Aussetzen der Einkopplung der hochfrequenten Spannung **12** auf einen zulässigen Wert regeln kann.

**[0073]** Sollte es dennoch zu einem unerwünschten Kurzschluß im Plasma **7** zwischen dem Werkstück **1** und dem Rezipienten **2** kommen, so kann dieser durch Überwachung von Prozeßparametern, insbesondere Strom und Spannung von der Lichtbogenerkennungseinheit **34** erkannt und durch die Lichtbogenabschalteeinheit **35** bzw. durch Weitergabe von Informationen an die Steuereinrichtung **24**, welche die Freigabe der jeweiligen Schalteinrichtungen **20** bis **23** zur Generierung des nächsten Spannungsimpulses der pulsierenden Grundspannung **11** sperrt, sofort abgeschaltet werden.

**[0074]** Vorzugsweise wird die Bildung eines Lichtbogens noch vor dessen wirklichem Zünden durch die Meßeinrichtung **27** und/oder Lichtbogenerkennungseinheit **34** durch Überwachung von Prozeßparametern, insbesondere Strom und Spannung erkannt bzw. durch Weitergabe von Informationen an die Steuereinrichtung **24** und Verlängerung der Pause bzw. Verkürzung der Impulsdauer der pulsierenden Grundspannung **11** und/oder dem Aussetzen der Einkopplung der hochfrequenten Spannung **12** verhindert, um eine Oberflächenbeschädigung des Werkstückes **1** durch den Lichtbogen zu verhindern.

**[0075]** Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren wird die durch die pulsierende Grundspannung **11** und die eingekoppelte hochfrequente Spannung **12** ein-

gebrachte Energie geringer gehalten als die zum Aufbau eines Lichtbogens zwischen dem Rezipienten **2** und dem als zweite Elektrode wirkenden Werkstück **1** benötigte Energie, jedoch wird während der spannungslosen Pause der Grundspannung **11** die Ionisierung des Arbeitsgases **4** im Rezipienten **2** aufrecht erhalten.

**[0076]** Zum Schutz der Schalteinrichtungen **20** bis **23** vor Überspannungen, zu großen Strömen oder zu großer Stromanstiegsgeschwindigkeit können alle aus dem Stand der Technik hinreichend bekannten, der Übersichtlichkeit halber aber nicht dargestellten Schutzeinrichtungen, wie beispielsweise Freilaufdioden, Drosseln und dgl. zum Einsatz kommen.

**[0077]** In den **Fig. 2** bis **Fig. 7** sind unterschiedliche zeitliche Verläufe der pulsierenden Grundspannung **11** und der eingekoppelten hochfrequenten Spannung **12** dargestellt.

**[0078]** In **Fig. 2** ist eine bipolare, pulsierende Grundspannung **11** dargestellt, die zwischen ihren unmittelbar aufeinanderfolgenden rechteckförmigen Impulsen spannungslose Pausen aufweist. Diese Pausen in der pulsierenden Grundspannung **11** dienen dazu, um dem im Rezipienten **2** befindlichen Werkstück **1** eine kurze Phase der Abkühlung zu ermöglichen und so eine unzulässig hohe Erwärmung des Werkstückes **1** zu vermeiden.

**[0079]** Durch das Einkoppeln der hochfrequenten Spannung **12** kann jedoch wirkungsvoll vermieden werden, daß das Plasma **7** im Rezipienten **2** zusammenbricht bzw. die Ionisierung des Arbeitsgases **4** im Rezipienten **2** abnimmt.

**[0080]** Die hochfrequente Spannung **12** wird dabei über die gesamte Länge der spannungsfreien Pause der pulsierenden Grundspannung **11** eingekoppelt.

**[0081]** Vorteilhaft ist hierbei, daß durch das Einkoppeln der hochfrequenten Spannung **12** über die gesamte Länge der spannungsfreien Pause der pulsierenden Grundspannung **11** ein Absinken der Leitfähigkeit des Arbeitsgases **4** weitgehend vermieden wird und somit die gesamte Energie des nachfolgenden Impulses der Grundspannung **11** zur Durchführung der gewünschten Oberflächenbehandlung des Werkstückes **1** verwendet werden kann, da keine Energie der Grundspannung **11** zum neuerlichen Aufbau der Leitfähigkeit des Arbeitsgases **4** verwendet werden muß.

**[0082]** In **Fig. 3** ist wiederum eine bipolare, pulsierende Grundspannung **11** gezeigt, welche in ihrer spannungslosen Pause zwischen den unmittelbar aufeinanderfolgenden rechteckförmigen Impulsen mit der hochfrequenten Spannung **12** überlagert wird. Dabei wird die hochfrequente Spannung **12** je-

doch lediglich über einen Teilbereich der spannungslosen Pause der Grundspannung **11** eingekoppelt und es entsteht ein Bereich **36**, indem weder durch die Grundspannung **11** noch durch die hochfrequente Spannung **12** Energie dem Rezipienten **2** zugeführt wird.

**[0083]** Der Vorteil des Einhaltens des Bereiches **36**, indem keine hochfrequente Spannung **12** in die pulsierende Grundspannung **11** eingekoppelt wird, besteht darin, daß dadurch eine „Beruhigung“ des Arbeitsgases **4** erreichbar ist und durch das kurzzeitige Fehlen einer Energiezufuhr eine Bereitschaft zum Zünden eines Lichtbogens zwischen dem Werkstück **1** und dem Rezipienten **2** stark zurückgeht.

**[0084]** Es ist auch möglich, den Bereich **36** nicht, wie in **Fig. 3** dargestellt, vor der steigenden Flanke eines Impulses der Grundspannung **11** vorzusehen, sondern diesen nach einer fallenden Flanke der Grundspannung **11** anzuordnen.

**[0085]** Dieser Bereich **36** ist jedoch zeitlich so kurz bemessen, daß kaum ein Absinken der Ionisierung des Arbeitsgases **4** entsteht.

**[0086]** In der **Fig. 4** ist wiederum eine bipolare, pulsierende Grundspannung **11** gezeigt. Zur Erhöhung der Energiezufuhr in den Rezipienten **2** wird aber hier die hochfrequente Spannung **12** schon während der positiven und negativen Impulse der Grundspannung **11** und über die gesamte spannungslose Pause der Grundspannung **11** überlagert.

**[0087]** Vorteilhaft bei einer Einkopplung der hochfrequenten Spannung **12** schon während des positiven oder negativen Impulses der Grundspannung **11** ist, daß dadurch die Amplitude der Grundspannung **11** niedriger gewählt werden kann und es somit möglich ist, Energiekosten einzusparen.

**[0088]** In **Fig. 5** ist eine bipolare pulsierende Grundspannung **11** mit einem sägezahnförmigen Verlauf gezeigt, die zwischen den unmittelbar aufeinanderfolgenden Impulsen eine spannungslose Pause aufweist. In dieser spannungslosen Pause der Grundspannung **11** wird, wie schon in **Fig. 2** beschrieben, zur Aufrechterhaltung der Ionisierung des Arbeitsgases **4** die hochfrequente Spannung **12** eingekoppelt.

**[0089]** Bei Anwendung eines sägezahnförmigen bzw. dreieckförmigen Verlaufes der pulsierenden Grundspannung **11** ist es natürlich auch denkbar, den sägezahnförmigen Verlauf nicht, wie in **Fig. 5** dargestellt, durch eine langsam ansteigende Flanke und eine steil abfallende Flanke zu bilden, sondern den zeitlichen Verlauf zu spiegeln, d. h. die steigende Flanke sehr steil und den Verlauf der fallenden Flanke flach auszubilden.

**[0090]** Vorteilhaft dazu ist, daß durch einen steilen Anstieg der steigenden Flanke die Energiedichte des Impulses der pulsierenden Grundspannung **11** am Anfang sehr hoch ist, wodurch ein Beschuß des Werkstückes **1** mit Ionen leichter in Gang kommt und die Verweildauer des Werkstückes **1** im Rezipienten **2** für die gewünschte Oberflächenbehandlung verringert werden kann.

**[0091]** In **Fig. 6** ist wiederum eine bipolare pulsierende Grundspannung **11** mit sägezahnförmigem Verlauf gezeigt, jedoch wird hierbei die hochfrequente Spannung **12** über die gesamte Periodendauer der pulsierenden Grundspannung **11** eingekoppelt. Dadurch kann eine Abnahme der Ionisierung des Arbeitsgases **4** sehr wirkungsvoll verhindert werden.

**[0092]** Wie schon in **Fig. 5** beschrieben, kann der zeitliche Verlauf der sägezahnförmigen bzw. rechteckförmigen pulsierenden Grundspannung **11** gespiegelt werden, d. h. die ansteigende Flanke steil ausgebildet sein und die abfallende Flanke einen flachen Verlauf aufweisen.

**[0093]** Weiters ist es möglich, die Einkopplung der hochfrequenten Spannung **12** während einer kurzen Zeitdauer, in der die pulsierende Grundspannung ihren Maximalwert erreicht, auszusetzen, um damit das Entstehen einer Energiespitze, die das Zünden eines Lichtbogens zwischen dem Werkstück **1** und dem Rezipienten **2** begünstigen würde, zu verhindern.

**[0094]** In der **Fig. 7** ist eine bipolare pulsierende Grundspannung **11** dargestellt, die zwischen ihren unmittelbar aufeinanderfolgenden, rechteckförmigen Impulsen spannungslose Pausen aufweist, wie dies schon in den **Fig. 2** bis **Fig. 4** beschrieben wurde. Im Gegensatz zu **Fig. 3** ist hier der Bereich **36** jeweils am Ende eines positiven oder negativen Spannungsimpulses der Grundspannung **11** angeordnet. In diesem spannungslosen Bereich **36** wird dem Werkstück **1** weder durch die pulsierende Grundspannung **11** noch durch die hochfrequente Spannung **12** Energie zugeführt. Erst nach diesem Bereich **36** erfolgt die Einkoppelung der hochfrequenten Spannung **12**, die wiederum die Leitfähigkeit des Arbeitsgases **4** während der spannungslosen Pause der pulsierenden Grundspannung **11** aufrecht erhält.

**[0095]** Die in den **Fig. 1** bis **Fig. 7** dargestellten Ausführungsvarianten sind nur als beispielhafte Darstellungen zu verstehen. Es ist selbstverständlich möglich, der pulsierenden Grundspannung **11** einen anderen Verlauf als rechteckförmig bzw. sägezahnförmig oder dreieckförmig zu geben. Weiters ist es möglich, die hochfrequente Spannung **12** während jedes beliebigen Teilabschnittes der pulsierenden Grundspannung **11** einzukoppeln und diese sowohl mit einem positiven als auch mit einem negativen Spannungsimpuls beginnen zu lassen. So ist es beispiels-

weise auch möglich, die hochfrequente Spannung **12** während zumindest eines Teilbereiches einer ansteigenden oder abfallenden Flanke der positiven und/oder negativen Impulse der Grundspannung **11** einzukoppeln.

**[0096]** Der Ordnung halber sei abschließend darauf hingewiesen, daß zum besseren Verständnis des Blockschaltbildes in **Fig. 1** dieses bzw. dessen Bestandteile rein schematisch dargestellt wurden bzw. in den **Fig. 2** bis **Fig. 7** die Amplituden der pulsierenden Grundspannung **11** und der hochfrequenten Spannung **12** unmaßstäblich dargestellt sind, sowie aus dem zeitlichen Verlauf der pulsierenden Grundspannung **11** und der hochfrequenten Spannung **12** keine Rückschlüsse auf deren Frequenzverhältnis zu schließen sind, d. h., daß die Frequenzen in einem anderen Verhältnis stehen können, als das in den **Fig. 2** bis **Fig. 7** dargestellt ist.

#### Bezugszeichenliste

<b>1</b>	Werkstück
<b>2</b>	Rezipient
<b>3</b>	Vakuumpumpe
<b>4</b>	Arbeitsgas
<b>5</b>	Gasleitung
<b>6</b>	Arbeitsgasspeicher
<b>7</b>	Plasma
<b>8</b>	Versorgungsleitung
<b>9</b>	Versorgungsleitung
<b>10</b>	Spannungsversorgungsvorrichtung
<b>11</b>	Grundspannung
<b>12</b>	Spannung {eingekoppelte}
<b>13</b>	Anschlußleitung
<b>14</b>	Anschlußleitung
<b>15</b>	Energiequelle
<b>16</b>	Gleichrichterbrücke
<b>17</b>	Gleichspannungszwischenkreis
<b>18</b>	Energiespeichereinrichtung
<b>19</b>	Kondensator
<b>20</b>	Schalteinrichtung
<b>21</b>	Schalteinrichtung
<b>22</b>	Schalteinrichtung
<b>23</b>	Schalteinrichtung
<b>24</b>	Schalteinrichtung
<b>25</b>	Hochfrequenzabgabeeinrichtung
<b>26</b>	Steuerleitung
<b>27</b>	Meßeinrichtung
<b>28</b>	Ausgangsklemme
<b>29</b>	Ausgangsklemme
<b>30</b>	Stromerfassungsbauteil
<b>31</b>	Shunt
<b>32</b>	Datenleitung
<b>33</b>	Transformator
<b>34</b>	Lichtbogenerkennungseinheit
<b>35</b>	Lichtbogenabschalteneinheit
<b>36</b>	Bereich



### Patentansprüche

1. Verfahren für die Ionisierung eines Arbeitsgases zur Oberflächenbehandlung eines Werkstückes in einem Rezipienten, bei dem eine pulsierende Grundspannung zwischen zumindest einer Anode und zumindest einer Kathode zum Aufbau eines pulsierenden, elektrischen Feldes angelegt wird, wobei das Werkstück als Anode oder als Kathode verwendet wird, **dadurch gekennzeichnet**, daß die pulsierende Grundspannung zumindest zeitweise mit einer hochfrequenten Spannung zur Erzeugung eines hochfrequenten Wechselfeldes überlagert wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Grundspannung durch intermittierend abgegebene, positive Impulse aufgebaut wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Grundspannung durch abwechselnd positive und negative Impulse aufgebaut wird.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen den positiven oder den positiven und negativen, unmittelbar aufeinanderfolgenden Impulsen der Grundspannung ein spannungsloser Zwischenraum gebildet wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1, 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, daß die pulsierende Grundspannung durch rechteckförmige, positive und negative Spannungsimpulse gebildet wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1, 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, daß die pulsierende Grundspannung durch sägezahnförmige, positive und negative Impulse gebildet wird.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die hochfrequente Spannung zur Erzeugung eines hochfrequenten Wechselfeldes zumindest über einen Teilbereich der gesamten Periodendauer der Grundspannung eingekoppelt wird.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die hochfrequente Spannung zur Erzeugung eines hochfrequenten Wechselfeldes zumindest über den Teilbereich der Grundspannung eingekoppelt wird, in welchem die Grundspannung unterhalb ihres positiven oder oberhalb ihres negativen Maximalwertes liegt.

9. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die hochfrequente Spannung über zumindest einen Teilbereich des spannungslosen Zwischenraumes der Grundspannung eingekoppelt wird.

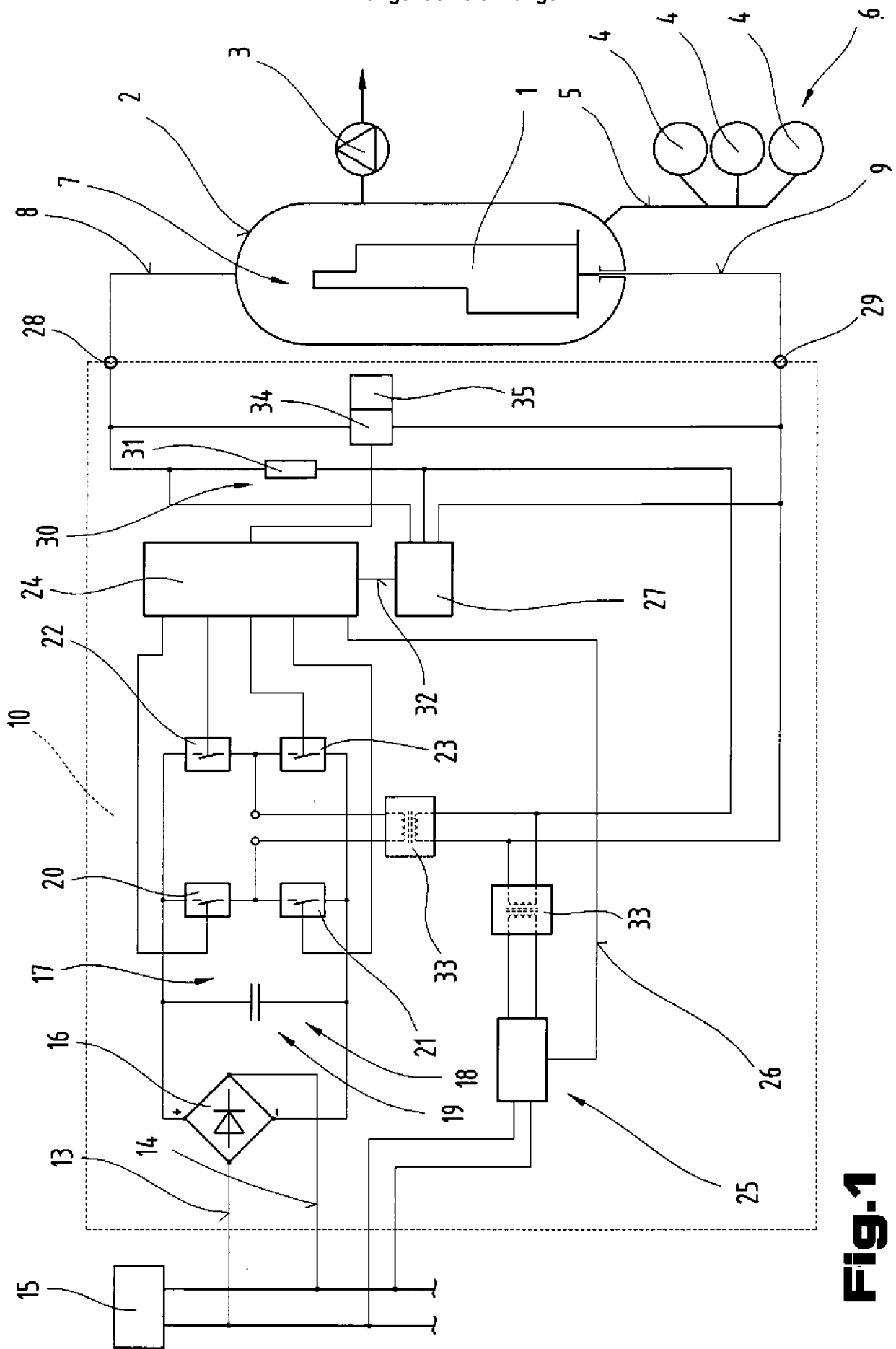
10. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die hochfrequente Spannung in zumindest einen Teilbereich einer ansteigenden Flanke des positiven und/oder negativen Impulses der Grundspannung eingekoppelt wird.

11. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die hochfrequente Spannung in zumindest einen Teilbereich einer abfallenden Flanke der positiven und/oder negativen Impulse der Grundspannung eingekoppelt wird.

12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die durch das pulsierende elektrische Feld und das eingekoppelte, hochfrequente Wechselfeld eingebrachte Energie geringer ist als die zum Aufbau eines zwischen den Rezipienten und dem als zweite Elektrode wirkenden Werkstück brennenden Lichtbogens benötigte Energie.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen



**Fig.1**

