

(19)



(11)

EP 1 997 358 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
01.01.2014 Patentblatt 2014/01

(51) Int Cl.:
H05H 1/24 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **07723189.2**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2007/002143

(22) Anmeldetag: **12.03.2007**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2007/104512 (20.09.2007 Gazette 2007/38)

(54) **VORRICHTUNG ZUR PLASMABEHANDLUNG UNTER ATMOSPHÄRENDRUCK**

DEVICE FOR PLASMA TREATMENT AT ATMOSPHERIC PRESSURE

DISPOSITIF DE TRAITEMENT AU PLASMA SOUS PRESSION ATMOSPHERIQUE

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MT NL PL PT RO SE SI SK TR

- **BORN, Stefan**
37073 Göttingen (DE)
- **KAEMLING, Andy**
37318 Birkenfelde (DE)

(30) Priorität: **11.03.2006 DE 102006011312**

(74) Vertreter: **Rehberg Hüppe + Partner**
Patentanwälte
Nikolausberger Weg 62
37073 Göttingen (DE)

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
03.12.2008 Patentblatt 2008/49

(73) Patentinhaber: **Fachhochschule Hildesheim / Holzminden / Göttingen**
31134 Hildesheim (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A- 1 073 091 WO-A-2004/051729
DE-A1- 19 717 698 DE-B3- 10 324 926
US-A- 5 603 893 US-A1- 2001 020 582

(72) Erfinder:

- **VIÖL, Wolfgang**
37139 Adelebsen (DE)

EP 1 997 358 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

TECHNISCHES GEBIET DER ERFINDUNG

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf eine Vorrichtung zur Plasmabehandlung unter Atmosphärendruck mit den Merkmalen des Oberbegriffs des unabhängigen Patentanspruchs 1.

STAND DER TECHNIK

[0002] Es ist bekannt, dass eine Plasmabehandlung von Oberflächen die Haftfähigkeit verschiedenster Materialien bei einer anschließenden Beschichtung, wie beispielsweise einer Lackierung, erhöht.

[0003] Aus der DE 199 57 775 C1 ist eine Vorrichtung zur Plasmabehandlung bekannt, mit der Holz plasmabehandelt wird, wobei das Holz geerdet wird, um als Gegenelektrode zu der Elektrode mit der dielektrischen Abschirmung, an die Wechselhochspannung angelegt wird, zu dienen.

[0004] Aus der WO 2004/105810 A1 ist es bekannt, lebende Zellen enthaltende biologische Materialien mit Plasma zu behandeln. Hier wird die Gasentladung zwischen der mit der dielektrischen Abschirmung versehenen Elektrode und dem biologischen Material durch die an der Elektrode anliegende Wechselhochspannung gezündet, wobei das biologische Material als kapazitive Gegenelektrode zu der Elektrode mit der dielektrischen Abschirmung dient. Die Elektrode einschließlich der sie abdeckenden dielektrischen Abschirmung ist spitz zulaufend ausgebildet. Die aus der WO 2004/105810 A1 bekannte Vorrichtung ist als batterie- oder akkumulatorbetriebenes Handgerät vorgesehen, wobei ihre Wechselhochspannungsquelle auf Halbleitertechnologie basiert.

[0005] Wenn bislang ein Plasma für eine Oberflächenbehandlung durch eine dielektrisch behinderte Entladung bei Atmosphärendruck erzeugt wird, erfolgt dies immer zwischen einer Elektrode mit einer dielektrischen Abschirmung und einer Gegenelektrode.

[0006] Aus der WO 87/07248 A1 ist eine Vorrichtung zur Behandlung von Objekten unter Anwendung von elektrischen Hochspannungsentladungen in einem gasförmigen Medium bekannt. Hier wird eine gleichgerichtete Wechselhochspannung an eine Elektrode angelegt, die eine Reihe von nadelförmigen Fortsätzen aufweist, die parallel zueinander verlaufen und einschließlich ihrer Spitzen in ein Dielektrikum eingebettet sind. Parallel zu den nadelförmigen Fortsätzen verlaufen Kanäle durch das Dielektrikum, durch die hindurch sich eine Funkenentladung, d. h. keine dielektrisch behinderte Gasentladung bis zu der Elektrode selbst ausbreitet. Die Elektrode wird gegenüber den zu behandelnden Objekten angeordnet, die elektrisch kontaktiert sind, um eine Gegenelektrode zu der Elektrode auszubilden.

[0007] Aus der WO 02/065820 A1 ist eine Vorrichtung zur Plasmabehandlung bei Atmosphärendruck bekannt,

die zwei einander gegenüberliegende Elektrode aufweist. Eine der beiden Elektroden ist geerdet und mit einer vollflächigen dielektrischen Abschirmung versehen. Ein Dielektrikum vor der anderen Elektrode, die an eine Wechselhochspannungsquelle angeschlossen ist, um eine Wechselhochspannung anzulegen, weist Entladungsspalte auf, in die von der anderen Elektrode aus Leiterelektroden vorstehen, welche mit Spitzen versehen sind, die der geerdeten Elektrode zugewandt sind. Aufgrund der Konzentration der Feldstärke des elektrischen Felds zwischen den beiden Elektroden an den Spitzen der Leiterelektroden wird eine Gasentladung in einem zwischen den beiden Elektroden befindlichen Gas gezündet. Diese Gasentladung ist nur durch das Dielektrikum vor der geerdeten Elektrode dielektrisch behindert, da das Dielektrikum vor der an die Wechselhochspannungsquelle angeschlossenen Elektrode die Entladungsspalte aufweist. Die bekannte Vorrichtung ist nur zum Einbringen von Gas in den Raum zwischen den beiden Elektroden vorgesehen. Mit dem in dem Raum zwischen den Elektroden ausgebildeten Plasma können außerhalb dieses Raums angeordnete Oberflächen behandelt werden.

[0008] Aus der DE 197 17 698 A1 ist eine Vorrichtung zur Reinigung oder Aktivierung elektrischer Leiterbahnen und Platinenoberflächen bekannt. Diese Vorrichtung weist ein Paar von einander gegenüberliegenden Elektroden auf, von denen zumindest eine eine vollflächige dielektrische Abschirmung aufweist. Dabei sind an der äußeren Oberfläche einer der Elektroden oder deren dielektrischen Abschirmung Emissionsspitzen ausgebildet, die das Zünden einer Gasentladung zwischen den Elektroden erleichtern und die Gasentladung homogenisieren. Die zu behandelnden Objekte werden bei der bekannten Vorrichtung zwischen die Elektroden eingebracht, wobei sie auf einer der Elektroden bzw. deren dielektrischer Abschirmung aufliegen können. Vorzugsweise weist nur die gegenüberliegende Elektrode die Emissionsspitzen auf. Die Emissionsspitzen können beispielsweise durch Ätzen der entsprechenden Oberfläche eines dielektrischen Materials ausgebildet werden. Dabei werden Krümmungsradien der Spitzen von ca. 1 µm erzielt werden. Allgemein liegen die Krümmungsradien der Emissionsspitzen zwischen 10 nm und 0,5 mm. Nadel- oder nagelförmige Emissionsspitzen können in einer Oberflächendichte zwischen 1 und 100 pro cm² vorliegen. Mit einer Bewegung der zu behandelnden Objekte in den Raum zwischen den Elektroden ist die Gefahr eines Kontakts der Objekte mit den in diesen Raum gerichteten scharfkantigen Emissionsspitzen verbunden. In der Folge dieses Kontakts können die zu behandelnden Objekte und/oder die Emissionsspitzen beschädigt werden.

[0009] Für die Behandlung von nur sehr schlecht oder gar nicht elektrisch leitenden Materialien, wie beispielsweise von Kunststoffen, Gläsern und Steinen oder auch trockenem Holz, sind die voranstehend beschriebenen Vorrichtungen nur sehr schlecht oder gar nicht geeignet,

weil diese Materialien nicht effektiv als Gegenelektrode zu der Elektrode mit der dielektrischen Abschirmung dienen können.

[0010] Vorrichtungen zur Erzeugung von potentialfreien Plasmen in Form eines Plasmastrahls, der auch als Plasma-Jet, Plasma-Beam oder Plasma-Blaster bezeichnet wird, werden kommerziell angeboten. Solche Geräte beruhen auf einer anderen Funktionsweise als diejenige einer dielektrisch behinderten Entladung. Sie benötigen in aller Regel einen Netzanschluss, zumindest aber einen Gasanschluss. Zu dem sind derartige Anlagen sehr kostspielig.

[0011] Aus der US 5,603,893 A ist eine Vorrichtung zum Behandeln von Verunreinigungen in Gasen mit einer Plasmakammer bekannt, wobei die Plasmakammer, durch die die Gase geführt werden, sägezahnförmige Elektroden aufweist, an die ein Hochspannungsgenerator Hochspannungspulse kurzer Dauer, hoher Wiederholungsrate und schneller Anstiegszeit anlegt, um gepulste Gasentladungen zwischen den Elektroden zu zünden. Die sägezahnförmigen Elektroden verteilen die Gasentladungskanäle über die gesamte Plasmakammer.

[0012] Aus der US 2001/020582 A1 ist eine Vorrichtung zur Plasmabehandlung von Gas bekannt, bei der filamentöse Gasentladungen vom Corona-Typ zwischen einer Hohlkatode und einer mit Spitzen versehenen Gegenelektrode durch Anlegen einer Hochspannung gezündet werden.

[0013] Aus der WO 2004/051729 A2 ist eine Vorrichtung zur Plasmabehandlung von Substraten bekannt, bei der eine aktive Elektrode mit einer dielektrischen Abschirmung angeordnet ist.

AUFGABE DER ERFINDUNG

[0014] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Vorrichtung zur Plasmabehandlung bei Atmosphärendruck mit den Merkmalen des Oberbegriffs des Patentanspruchs 1 aufzuzeigen, die kostengünstig bereitstellbar ist, keine scharfkantigen Spitzen an einer äußeren Oberfläche aufweist und dennoch eine Plasmabehandlung selbst von nur sehr schwach oder gar nicht elektrisch leitenden Materialien ermöglicht.

LÖSUNG

[0015] Erfindungsgemäß wird die Aufgabe durch eine Vorrichtung zur Plasmabehandlung bei Atmosphärendruck mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1 gelöst. Bevorzugte Ausführungsformen der neuen Vorrichtung sind in den abhängigen Patentansprüchen 2 bis 10 beschrieben.

BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

[0016] Ganz überraschend hat sich herausgestellt, dass eine dielektrisch behinderte Entladung auch ohne eine Gegenelektrode hervorgerufen werden kann. Ent-

sprechend kann bei der neuen Vorrichtung zur Plasmabehandlung bei Atmosphärendruck die von der Wechselhochspannungsquelle an die Elektrode angelegte Wechselhochspannung das Plasma über jedem beliebigen zu behandelnden Objekt zünden, ohne dass es auf dessen elektrische Eigenschaften ankommt. So ist es bei der neuen Vorrichtung möglich, dass die von der Wechselhochspannungsquelle an die Elektrode angelegte Wechselhochspannung das Plasma selbst in einem gegenüber der dielektrischen Abschirmung nur durch Gas begrenzten Volumen zündet. Das heißt, mit der neuen Vorrichtung wird eine dielektrisch behinderte Gasentladung auch in einer reinen Gasumgebung hervorgerufen, wobei das Gas selbst als Gegenelektrode dient, wenn man in diesem Zusammenhang überhaupt von einer Gegenelektrode sprechen will. Zumindest erfolgt auch in einer reinen Gasumgebung eine Dunkelentladung an der Oberfläche der dielektrischen Abschirmung, aus der, wenn die neue Vorrichtung an eine beliebige Oberfläche herangeführt wird, eine selbstständige Entladung wird, welche das Plasma bereitstellt, um die Oberfläche beispielsweise zur Haftungsverbesserung vor einer Beschichtung zu behandeln.

[0017] Die Elektrode der neuen Vorrichtung ist eine Flächenelektrode, wobei die von der Wechselhochspannungsquelle an die Elektrode angelegte Wechselhochspannung das Plasma über die Fläche der Flächenelektrode hinweg aufrechterhält. Konkret kann die entsprechende Fläche der Flächenelektrode mindestens 2 cm² groß sein. Vorzugsweise ist sie mindestens 4 cm², noch mehr bevorzugt mindestens 8 cm² groß. Dennoch wird der Energieverbrauch der Vorrichtung durch die dielektrische Behinderung der Gasentladung in vertretbaren Grenzen gehalten.

[0018] Dass die Elektrode der neuen Vorrichtung vorzugsweise eine Flächenelektrode ist, steht nicht dazu im Widerspruch, dass sie die Spitzen aufweist, die dem Gas vor der dielektrischen Abschirmung zugewandt sind. Vielmehr werden diese Spitzen, d. h. kleine Bereiche der Flächenelektrode mit kleinem Krümmungsradius, dazu genutzt, das Plasma auch ohne Gegenelektrode zu zünden bzw. aufrechtzuerhalten.

[0019] An der äußeren Oberfläche der neuen Vorrichtung stehen dennoch keine Spitzen vor; die äußere Oberfläche der dielektrischen Abschirmung der mit den Spitzen versehenen Elektrode ist vielmehr glatt. So entfällt sowohl die Gefahr einer Beschädigung von zu behandelnden Oberflächen als auch die Gefahr einer Veränderung von elektrischen Eigenschaften der Vorrichtung aufgrund einer Beschädigung der Spitzen selbst.

[0020] Bevorzugt sind Spitzen der Flächenelektrode mit einem Krümmungsradius von kleiner 100 µm, vorzugsweise von kleiner als 10,0 µm. Die Höhe der Spitzen kann dabei vergleichsweise klein sein und weniger als 2 mm, vorzugsweise weniger als 1 mm oder sogar weniger als 0,5 mm betragen. Das heißt, die Spitzen können als scharfkantig angeraute Oberfläche der Elektrode ausgebildet sein. Dabei sind die Spitzen in einer flächigen Ver-

teilung also nicht nur als eine einzelne Reihe nebeneinander geordneter Nadeln vorgesehen. Die Flächendichte der Spitzen kann eine Größenordnung von 1 bis 100.000 pro cm² aufweisen.

[0021] Besonders einfach ist es, die Elektrode aus einem elektrisch leitfähigen Pulver auszubilden, das in einem die dielektrische Abschirmung bildenden keramischen Festkörper angeordnet ist. Das Pulver stellt eine große Anzahl geeigneter Spitzen bereit.

[0022] Eine weitere bedeutende Maßnahme, um die neue Vorrichtung bereitzustellen, die ein Plasma ohne eine Gegenelektrode zündet bzw. aufrechterhält, ist es, dass die von der Wechselhochspannungsquelle an die Elektrode angelegte Wechselhochspannung einen steilen Spannungsanstieg von mindestens 5.000 Volt/ μ s, vorzugsweise von mindestens 10.000 V/ μ s aufweist. Gute Ergebnisse ergeben sich bei einem Spannungsanstieg von etwa 12.000 V/ μ s.

[0023] Typischer Weise weist die von der Wechselhochspannungsquelle an die Elektrode angelegte Wechselhochspannung Spannungspulse mit einer Anstiegszeit von bis zu 5 μ s, vorzugsweise von weniger als 3 μ s, einer Pulsdauer von unter 10 μ s, vorzugsweise von weniger als 6 μ s, und einer Amplitude von 5.000 V bis 60.000 V, vorzugsweise von 5.000 bis etwa 40.000 V, auf. Diese Spannungspulse können wechselnde Vorzeichen haben, also bipolar sein. Dies ist zwar sehr vorteilhaft, aber nicht zwingend erforderlich.

[0024] Die Wiederholungsfrequenz der Spannungspulse der Wechselhochspannungsquelle kann kleiner als 10.000 Hz sein. Vorzugsweise ist sie sogar kleiner als 5.000 Hz, besonders bevorzugt liegt sie im Bereich von 500 bis 2.000 Hz. Das heißt, die Wiederholungsfrequenz der Spannungspulse ist viel niedriger als der Kehrwert der Dauer der Spannungspulse. Mit anderen Worten sind die Spannungspulse oder zumindest bipolare Pulspaare oder Gruppen von Spannungspulspaaren durch Pausen von einander beabstandet.

[0025] Eine Wechselhochspannungsquelle, die die hier skizzierte Wechselhochspannung erzeugen kann, ist auf Basis von Halbleitertechnologie mit Standardbauteilen in kompakten Abmessungen herstellbar. So ist es möglich, die gesamte neue Vorrichtung als Handgerät auszubilden, das sogar batterie- oder akkumulatorbetrieben sein kann. Konkret kann die neue Vorrichtung die Größe eines handelsüblichen Akkuschraubers aufweisen. Damit wird ein sehr kompaktes und mobil einsetzbares Handgerät bereitgestellt.

[0026] Da sich die Lastkapazität bei der neuen Vorrichtung mit unterschiedlichen vor der dielektrischen Abschirmung angeordneten Objekten stark ändern kann, ist eine Regelung der Wechselhochspannungsquelle bevorzugt, die eine damit verbundenen unkontrollierte Steigerung der Ausgangsleistung der Vorrichtung unterbindet, so dass die Vorrichtung beispielsweise nicht als "Elektroschocker" missbraucht werden kann. Eine solche Regelung kann eine Rückwirkung einer ausgangseitigen Belastung eines an die Elektrode angeschlossenen

Zündtransformators der Wechselhochspannungsquelle auf dessen Eingangsseite messen und diese Information als Eingangsgröße zum Regeln der Ausgangsleistung der Wechselhochspannungsquelle nutzen.

[0027] Auf diese Weise kann die Regelung der Wechselhochspannungsquelle die Ausgangsleistung der Wechselhochspannungsquelle durch Variation der Ausgangsspannung der Wechselhochspannungsquelle und/oder der Pulswiederholrate der Spannungspulse der Wechselhochspannung konstant halten.

[0028] Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den Patentansprüchen, der Beschreibung und den Zeichnungen. Die in der Beschreibungseinleitung genannten Vorteile von Merkmalen und von Kombinationen mehrerer Merkmale sind lediglich beispielhaft und können alternativ oder kumulativ zur Wirkung kommen, ohne dass die Vorteile zwingend von erfindungsgemäßen Ausführungsformen erzielt werden müssen. Weitere Merkmale sind den Zeichnungen - insbesondere den dargestellten Geometrien und den relativen Abmessungen mehrerer Bauteile zueinander sowie deren relativer Anordnung und Wirkverbindung - zu entnehmen. Die Kombination von Merkmalen unterschiedlicher Ausführungsformen der Erfindung oder von Merkmalen unterschiedlicher Patentansprüche ist ebenfalls abweichend von den gewählten Rückbeziehungen der Patentansprüche möglich und wird hiermit angeregt. Dies betrifft auch solche Merkmale, die in separaten Zeichnungen dargestellt sind oder bei deren Beschreibung genannt werden. Diese Merkmale können auch mit Merkmalen unterschiedlicher Patentansprüche kombiniert werden. Ebenso können in den Patentansprüchen aufgeführte Merkmale für weitere Ausführungsformen der Erfindung entfallen.

KURZBESCHREIBUNG DER FIGUREN

[0029] Im Folgenden wird die Erfindung anhand in den Figuren dargestellter bevorzugter Ausführungsbeispiele weiter erläutert und beschrieben.

Fig. 1 zeigt schematisch den Aufbau einer ersten Ausführungsform der neuen Vorrichtung zur Plasmabehandlung bei Atmosphärendruck mit deren Elektrode im Querschnitt.

Fig. 2 zeigt die Anwendung eines mit der Vorrichtung gemäß Fig. 1 gezündeten Plasmas auf eine schlecht elektrisch leitende Oberfläche.

Fig. 3 zeigt einen Querschnitt durch den vorderen Bereich einer Elektrode einer abgewandelten Ausführungsform der Vorrichtung.

Fig. 4 skizziert die Ausbildung der neuen Vorrichtung als akkumulatorbetriebenes Handgerät.

Fig. 5 zeigt den Spannungsverlauf einer bei der neu-

en Vorrichtung an deren Elektrode angelegten Wechselhochspannung bestehend aus bipolaren Spannungspulspaaren; und

Fig. 6 zeigt den prinzipiellen Aufbau einer Regelung für die an der Elektrode des Handgeräts gemäß Fig. 4 anliegende Wechselhochspannung.

FIGURENBESCHREIBUNG

[0030] Die in **Fig. 1** gezeigte Vorrichtung 1 dient zur Plasmabehandlung von hier nicht dargestellten Oberflächen. Die Vorrichtung 1 weist hierzu eine Elektrode 2 auf, die mit einer dielektrischen Abschirmung 3 aus einem geeigneten geschlossenen dielektrischen Material, wie beispielsweise einer dichten Keramik, versehen ist. Zu der Elektrode 2 führt eine Hochspannungszuführung 4 mit einer in die dielektrische Abschirmung 3 übergehenden elektrischen Isolierung 5. Über die Hochspannungszuführung 4 wird der Elektrode 2 von einer Wechselhochspannungsquelle 6 eine Wechselhochspannung zugeführt. Die Wechselhochspannungsquelle 6 baut auf Halbleiterbauteilen auf und wird aus einer Energieversorgung 7 mit elektrischer Energie versorgt, bei der es sich um eine oder mehrere Batterien oder einen oder mehrere Akkumulatoren oder auch ein Netzgerät handeln kann. Die Wechselhochspannung, die noch genauer im Zusammenhang mit Figur 7 erläutert werden wird, weist einen so steilen Spannungsanstieg auf, dass über die gesamte Vorderfläche der Vorrichtung 1 eine Gasentladung 9 in einem Gas 10 unter Atmosphärendruck in der Umgebung der Elektrode 2 auch ohne die Anwesenheit einer Gegenelektrode gezündet und aufrechterhalten wird. Dies beruht darauf, dass die Oberfläche 14 der Elektrode unter Ausbildung feiner Spitzen mit einem Krümmungsradius kleiner als 100 µm ausgebildet ist, in deren Bereich sich das elektrische Feld und damit auch die Änderung des elektrischen Felds aufgrund der anliegenden Wechselhochspannung konzentriert. Dies gilt selbst trotz der hier planen, d. h. glatten äußeren Oberfläche 15 des Dielektrikums 3. Die Gasentladung 9 ist dabei durch die dielektrische Abschirmung 3 dielektrisch behindert, wodurch die Energieabgabe der Vorrichtung 1 durch die Gasentladung in sinnvoller Weise begrenzt ist. Die Gasentladung 9 resultiert in ein Plasma 11 aus reaktiven Komponenten, wie beispielsweise Radikalen des Gases 10, mit denen eine Oberfläche beispielsweise für eine anschließende Beschichtung aktivierbar ist, um ihre Haftungseigenschaften zu verbessern. Da die Gasentladung 9 mit der Vorrichtung 1 auch dann gezündet werden kann, wenn sich keine Gegenelektrode in der elektrisch relevanten Umgebung der Elektrode 2 befindet, kann das Plasma 11 mit der Vorrichtung 1 ganz unabhängig von der elektrischen Leitfähigkeit einer zu behandelnden Oberfläche erzeugt und zur Behandlung der Oberfläche verwendet werden.

[0031] **Fig. 2** skizziert die Behandlung einer Oberfläche 12 eines Körpers 13 mit dem Plasma 11, wobei sich

die Gasentladung aufgrund der Anwesenheit der Oberfläche 12 in der Umgebung der Elektrode 2 auch bei nur geringer elektrischer Leitfähigkeit des Materials des Körpers 13 dahingehend auswirkt, dass sich die Gasentladung 9 und entsprechend das Plasma 11 auf den Zwischenraum zwischen der Elektrode 2 und der Oberfläche 12 konzentriert.

[0032] **Fig. 3** illustriert eine praktische Ausführungsform der Elektrode 2 und deren mit mikroskopischen Spitzen versehenen Oberfläche 14. Das Material der Elektrode 2 ist hier pulverförmige Sinterbronze 21, die auch als Bronzepulver bezeichnet wird. Die Sinterbronze ist einfach in die als keramischer Festkörper 23 ausgebildete dielektrische Abschirmung 3 geschüttet, wobei ein zugleich die Hochspannungszuführung 4 ausbildender Metallstift 24 in der Mitte eingedrückt ist. Nach hinten ist der Bereich der Sinterbronze 21 mit einer Dichtungsmasse 22 nach hinten abgeschlossen. Es kommt bei der neuen Vorrichtung darauf an, hohe Feldstärken zu erzeugen, damit eine Gasentladung auf der dielektrischen Abschirmung 3 zündet. Die Sinterbronze stellt hierfür genügend geeignete Spitzen bereit. Die elektrische Leitfähigkeit eines der Elektrode 2 mit den Spitzen an der Oberfläche 14 ausbildenden Pulvers muss nicht besonders hoch sein.

[0033] Die neue Vorrichtung 1 kann als mobiles Handgerät 16 bereitgestellt werden, wie es in **Fig. 4** skizziert ist. Hier ist die Energieversorgung 7 ein Akkumulatorblock, und die Wechselhochspannungsquelle 6 ist innerhalb eines Gehäuses 17 mit einem abzugsartigen Betätigungsschalter 18 angeordnet. Beim Betätigen des Betätigungsschalters 18 wird die Wechselhochspannung an die Elektrode 2 angelegt und unabhängig davon, ob eine Gegenelektrode vorliegt oder nicht, vor der äußeren Oberfläche 15 der dielektrischen Abschirmung 3 der Elektrode 2 ein Plasma gezündet und solange aufrechterhalten, wie der Betätigungsschalter 18 betätigt bleibt.

[0034] Für das Zünden des Plasmas 11 auch ohne Gegenelektrode kommt es neben der Strukturierung der Oberfläche der Elektrode 2 und/oder ihrer dielektrischen Abschirmung 3 auf einen hinreichend steilen Spannungsanstieg bei der an die Elektrode 2 angelegten Wechselhochspannung an. Um diesen zu erreichen, kann die Wechselhochspannung aus den in **Fig. 5** skizzierten Spannungspulsen 19 und 20 bestehen, wobei auf einen positiven Spannungspuls 19, der in wenigen Mikrosekunden auf eine Spannung von 40.000 bis 50.000 V ansteigt, direkt ein negativer Spannungspuls 20 folgt, der ungefähr denselben Zeitspannungsverlauf aufweist wie der Spannungspuls 19, aber ein anderes Vorzeichen. Hieran schließt sich eine Pause an, bis ein nächstes Paar aus Spannungspulsen 19 und 20 an die Elektrode 2 angelegt wird. Der schnelle Spannungsanstieg erlaubt es, die Gasentladung 9 unabhängig von einer Gegenelektrode zu zünden, und die dann sehr schnell umgekehrte Polarität der Spannung erlaubt eine sich anschließende Rückzündung der Gasentladung, wobei die zuvor getrennten Ladungen des Gases quasi als Gegenelektrode

dienen. Die Abstände der bipolaren Spannungspulspaar 19, 20 können eine Größenordnung von 1 Millisekunde erreichen, ohne dass alle freien Elektronen des Plasmas in der Zwischenzeit rekombinieren, bis das Plasma durch das folgende Spannungspulspaar aus dieser Restionisation wieder aufgebaut wird.

[0035] Fig. 6 gibt den prinzipiellen Aufbau einer derzeit bevorzugten Regelung für die an der Elektrode des Handgeräts 16 gemäß Fig. 4 anliegende Wechselhochspannung wieder. Dazu wird eine ausgangseitige Belastung eines Zündtransformators 25 auf dessen Eingangsseite rückwirkend registriert, d. h. gemessen. Diese Information wird als Eingangsgröße für die Regelung der Ausgangsspannung genutzt. Die Gegeninduktivität der Sekundärwicklung des Zündtransformators 25 ist der Selbstinduktion der Primärwicklung entgegengerichtet. Die Gegeninduktion von der Sekundärwicklung auf die Primärwicklung nimmt mit der Belastung des Sekundärkreises zu. Der Betrag der Spannung über der Primärwicklung des Zündtransformators 25 nimmt somit bei steigender Belastung des Ausgangs ab. Diese Spannung über der Primärwicklung verhält sich somit genau entgegengesetzt zu der ausgangseitigen Belastung. Dies wird für die Regelung der Zündspannung genutzt. Bei Hochspannungsgeneratoren nach dem Stand der Technik wird die Spannungsamplitude mit einem Potentiometer eingestellt. Das Potentiometer kann nun durch einen Transistor, also einen stromgesteuerten Widerstand, in der Netzteilschaltung 26 ersetzt werden. Diesem Transistor wird über eine entsprechend abgestimmte Verstärkerschaltung mit einem Gleichrichter 27, einem Filter 28 und einem Regler 29 die gleichgerichtete und gefilterte Selbstinduktionsspannung über der Primärwicklung zugeführt. Dies ergibt einen Regelkreis. Genau genommen wird nicht die Ausgangsspannung, sondern die Ausgangsleistung geregelt. Wenn die Ausgangsleistung im Wesentlichen konstant gehalten werden soll, muss bei einer variablen Lastkapazität die Ausgangsspannung und/oder die Pulswiederholrate der in Fig. 5 skizzierten Spannungspulsen 19 und 20 angepasst werden. Variable Lastkapazitäten treten durch unterschiedliche Objekte vor der Oberfläche 15 der dielektrischen Abschirmung 3 auf. Zwischen der Ausgangsleistung und der Ausgangsspannung bzw. der Zündspannung besteht ein quadratischer Zusammenhang:

$$P = 1/2 \cdot C \cdot U^2 \cdot f$$

[0036] Das heißt kleine Änderungen der Ausgangsspannung haben große Auswirkungen auf die Ausgangsleistung. Durch eine gleichzeitige Anpassung der Pulswiederholrate, kann jedoch der Einfluss einer Ausgangsspannungsänderung gedämpft werden. Hierzu wird bei einer Verringerung der Ausgangsspannung die Pulswiederholrate erhöht. Je nachdem wie groß diese Erhöhung im Verhältnis zur Spannungsänderung ist, so kann die

Ausgangsspannung über einen großen Bereich variieren.

[0037] Ein konkretes Ausführungsbeispiel der als Handgerät 16 ausgebildeten neuen Vorrichtung 1 kann folgende technische Daten haben: Die Ausgangsspannung wird in Abhängigkeit der Belastung des Ausgangs zwischen 5 und 35 kV geregelt. Die Belastung hängt von einem gegenüber der Oberfläche 15 der dielektrischen Abschirmung angeordneten Objekt ab. Zudem ändert sich die Pulswiederholrate entgegengesetzt zur Höhe der Pulsamplitude; sie liegt im Bereich von 500 bis 2000 Hz. Bei maximaler Ausgangsamplitude von 35 kV hat die Pulswiederholrate den Minimalwert von ca. 500 Hz. Der Maximalwert der Pulswiederholrate von ca. 2000 Hz wird bei der kleinsten Ausgangsamplitude von ca. 5 kV erreicht. Für die Zündung eines Plasmas über metallischen Objekten wird eine sehr viel geringere Zündspannung als beispielsweise über Holz benötigt. Bei einer fest vorgegeben Zündspannung können wie bei Vorrichtungen 1 ohne Regelung nur Objekte aus einem Material behandelt werden, auf welches die Vorrichtung 1 eingestellt ist. Bei den bevorzugten Vorrichtungen 1 mit Regelung wird die Zündspannung automatisch an das Material des zu behandelnden Objekts angepasst. Die Zündspannung kann z. B. anhand einer LED auf der Rückseite des Gehäuses 17 abgelesen werden. Leuchtet die LED, beträgt die Ausgangsspannung ca. 20 bis 35 kV, dies entspricht etwa der benötigten Spannung zur Behandlung von Holzoberflächen. Leuchtet die LED nicht oder eine andere LED, beträgt die Ausgangsspannung etwa 5 bis 20 kV, dies entspricht der benötigten Spannung zu Behandlung von metallischen Oberflächen.

BEZUGSZEICHENLISTE

[0038]

- | | |
|----|----------------------------|
| 1 | Vorrichtung |
| 2 | Elektrode |
| 3 | Dielektrische Abschirmung |
| 4 | Hochspannungszuführung |
| 5 | Isolierung |
| 6 | Wechselhochspannungsquelle |
| 7 | Energieversorgung |
| 8 | Kante |
| 9 | Gasentladung |
| 10 | Gas |
| 11 | Plasma |
| 12 | Oberfläche |
| 13 | Körper |
| 14 | Oberfläche |
| 15 | Oberfläche |
| 16 | Handgerät |
| 17 | Gehäuse |
| 18 | Schalter |
| 19 | Spannungspuls |
| 20 | Spannungspuls |
| 21 | Sinterbronze |

- 22 Dichtungsmasse
- 23 Keramischer Festkörper
- 24 Metallstift
- 25 Zündtransformator
- 26 Netzteilschaltung
- 27 Gleichrichter
- 28 Filter
- 29 Regler

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Plasmabehandlung mit einer Elektrode, vor der eine dielektrische Abschirmung angeordnet ist, und mit einer Wechselhochspannungsquelle, um eine Wechselhochspannung an die Elektrode anzulegen, um zur Erzeugung eines Plasmas eine dielektrisch behinderte Gasentladung in einem vor der dielektrischen Abschirmung angeordneten, auf Atmosphärendruck befindlichem Gas hervorzurufen, wobei die Vorrichtung (1) keine Gegenelektrode aufweist und wobei die dielektrische Abschirmung (3) der Elektrode (2) selbst eine dem Gas (10) vor der dielektrischen Abschirmung (3) zugewandte glatte äußere Oberfläche (15) aufweist, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Oberfläche (14) der Elektrode (2) eine flächige Verteilung von dem Gas (10) vor der dielektrischen Abschirmung (3) zugewandten Spitzen aufweist.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Spitzen einen Krümmungsradius von kleiner als 100 μm , vorzugsweise von kleiner als 10,0 μm aufweisen.
3. Vorrichtung nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Elektrode (2) aus einem elektrisch leitfähigen Pulver (21) ausgebildet ist, dass in einem die dielektrische Abschirmung (3) bildenden keramischen Festkörper (23) angeordnet ist.
4. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Wechselhochspannungsquelle (6) so ausgebildet ist, dass die von ihr bereitgestellte Wechselhochspannung einen Spannungsanstieg von mindestens 5.000 V/ μs , vorzugsweise von mindestens 10.000 V/ μs , aufweist.
5. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Wechselhochspannungsquelle (6) so ausgebildet ist, dass die von ihr bereitgestellte Wechselhochspannung Spannungspulse (19, 20) mit einer Anstiegszeit von bis zu 5 μs , vorzugsweise von weniger als 3 μs , einer Pulsdauer von unter 10 μs , vorzugsweise von weniger als 6 μs , und einer Amplitude von 5.000 V bis 60.000 V, vorzugsweise von 5.000 V bis 40.000 V, aufweist.

6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Wechselhochspannungsquelle (6) so ausgebildet ist, dass die von ihr bereitgestellte Wechselhochspannung mit wechselnden Vorzeichen aufeinander folgende Spannungspulse (19, 20) aufweist.
7. Vorrichtung nach Anspruch 5 oder 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Wechselhochspannungsquelle (6) so ausgebildet ist, dass die Wiederholungsfrequenz der Spannungspulse (19, 20) kleiner als 10.000 Hz, vorzugsweise kleiner als 5.000 Hz, ist.
8. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Vorrichtung (1) als batterie- oder akkulatorbetriebenes Handgerät (16) ausgebildet ist.
9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Regelung der Wechselhochspannungsquelle (6) eine Rückwirkung einer ausgangseitigen Belastung eines an die Elektrode (2) angeschlossenen Zündtransformators (25) der Wechselhochspannungsquelle (6) auf dessen Eingangsseite misst und diese Information als Eingangsgröße zum Regeln der Ausgangsleistung der Wechselhochspannungsquelle (6) nutzt.
10. Vorrichtung nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Regelung der Wechselhochspannungsquelle (6) die Ausgangsleistung der Wechselhochspannungsquelle (6) durch Variation der Ausgangsspannung der Wechselhochspannungsquelle (6) und/oder der Pulswiederholrate von Spannungspulsen (19, 20) der Wechselhochspannung konstant hält.

Claims

1. Device for plasma treating comprising an electrode in front of which a dielectric barrier is arranged, and comprising an AC high voltage source for applying an AC high voltage to the electrode to generate a dielectric barrier discharge in a gas arranged in front of the dielectric barrier and being at atmospheric pressure for producing a plasma, wherein the device (1) comprises no counter-electrode and wherein the dielectric barrier (3) of the electrode (2) as such has a smooth outer surface (15) facing the gas (10) disposed in front of the dielectric barrier (3), **characterised in that** the surface (14) of the electrode (2) comprises a two dimensional distribution of tips pointing towards the gas (10) in front of the dielectric barrier (3).
2. Device according to claim 1, **characterised in that** the tips have a radius of curvature of less than 100

μm , preferably of less than $10,0 \mu\text{m}$.

3. Device according to claim 2, **characterised in that** the electrode (2) is made of an electrically conductive powder (21) which is arranged within a ceramic solid body (23) forming the dielectric barrier (3). 5
4. Device according to any of the claims 1 to 3, **characterised in that** the AC high voltage source (6) is designed such that the AC high voltage provided by it comprises an increase in voltage of at least $5,000 \text{ V}/\mu\text{s}$, preferably of at least $10,000 \text{ V}/\mu\text{s}$. 10
5. Device according to any of the claims 1 to 4, **characterised in that** the AC high voltage source (6) is designed such that the AC high voltage provided by it comprises voltage pulses (19, 20) with a rise time of not more than $5 \mu\text{s}$, preferably of less than $3 \mu\text{s}$, a pulse duration of less than $10 \mu\text{s}$, preferably of less than $6 \mu\text{s}$, and an amplitude of $5,000 \text{ V}$ to $60,000 \text{ V}$, preferably of $5,000 \text{ V}$ to $40,000 \text{ V}$. 15 20
6. Device according to any of the claims 1 to 4, **characterised in that** the AC high voltage source (6) is designed such that the AC high voltage provided by it comprises voltage pulses (19, 20) of alternating signs succeeding to each other. 25
7. Device according to claim 5 or 6, **characterised in that** the AC high voltage source (6) is designed such that the repetition frequency of the voltage pulses (19, 20) is less than $10,000 \text{ Hz}$, preferably less than $5,000 \text{ Hz}$. 30
8. Device according to any of the claims 1 to 7, **characterised in that** the device is made as a battery or accumulator driven handheld apparatus. 35
9. Device according to any of the claims 1 to 8, **characterised in that** a controller of the AC high voltage source (6) measures a feedback of an output side load to an ignition transformer (25) of the AC high voltage source (6) connected to the electrode (2) to the input side of the ignition transformer (25), and uses this information as an input value for controlling the output power of the AC high voltage source (6). 40 45
10. Device according to claim 9, **characterised in that** the controller of the AC high voltage source (6) keeps the output power of the AC high voltage source (6) constant by varying the output voltage of the AC high voltage source (6) and/or the pulse repetition rate of voltage pulses (19, 20) of the AC high voltage. 50

Revendications

1. Dispositif de traitement au plasma avec une électro-

de devant laquelle est disposé un écran diélectrique, et avec une source de haute tension alternative pour appliquer une haute tension alternative à l'électrode afin de susciter, pour la production d'un plasma, une décharge gazeuse à barrière diélectrique dans un gaz qui est à la pression atmosphérique et qui est disposé devant l'écran diélectrique, le dispositif (1) ne présentant pas de contre-électrode et l'écran diélectrique (3) de l'électrode (2) elle-même présentant une surface (15) extérieure lisse tournée vers le gaz (10) devant l'écran diélectrique (3), **caractérisé en ce que** la surface (14) de l'électrode (2) présente une répartition étalée de pointes tournées vers le gaz (10) devant l'écran diélectrique (3).

2. Dispositif selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** les pointes présentent un rayon de courbure inférieur à $100 \mu\text{m}$, de préférence inférieur à $10,0 \mu\text{m}$.
3. Dispositif selon la revendication 2, **caractérisé en ce que** l'électrode (2) est réalisée avec une poudre (21) électriquement conductrice qui est disposée dans un corps solide (23) céramique formant l'écran diélectrique (3).
4. Dispositif selon une des revendications 1 à 3, **caractérisé en ce que** la source de haute tension alternative (6) est réalisée de telle sorte que la haute tension alternative qu'elle fournit présente une montée en tension d'au moins $5\,000 \text{ V}/\mu\text{s}$, de préférence d'au moins $10\,000 \text{ V}/\mu\text{s}$.
5. Dispositif selon une des revendications 1 à 4, **caractérisé en ce que** la source de haute tension alternative (6) est réalisée de telle sorte que la haute tension alternative qu'elle fournit présente des impulsions de tension (19, 20) avec un temps de montée jusqu'à $5 \mu\text{s}$, de préférence inférieur à $3 \mu\text{s}$, avec une durée d'impulsion inférieure à $10 \mu\text{s}$, de préférence de moins de $6 \mu\text{s}$, et avec une amplitude de $5\,000 \text{ V}$ à $60\,000 \text{ V}$, de préférence de $5\,000 \text{ V}$ à $40\,000 \text{ V}$.
6. Dispositif selon une des revendications 1 à 4, **caractérisé en ce que** la source de haute tension alternative (6) est réalisée de telle sorte que la haute tension alternative qu'elle fournit présente des impulsions de tension (19, 20) qui se suivent avec des signes alternés.
7. Dispositif selon la revendication 5 ou 6, **caractérisé en ce que** la source de haute tension alternative (6) est réalisée de telle sorte que la fréquence de répétition des impulsions de tension (19, 20) est inférieure à $10\,000 \text{ Hz}$, de préférence inférieure à $5\,000 \text{ Hz}$. 55
8. Dispositif selon une des revendications 1 à 7, **carac-**

térisé en ce que le dispositif (1) est réalisé en tant qu'appareil manuel (16) fonctionnant sur batterie ou sur accumulateur.

9. Dispositif selon une des revendications 1 à 8, **carac-** 5
térisé en ce qu'une régulation de la source de haute
tension alternative (6) mesure, sur le côté entrée
d'un transformateur d'allumage (25) de la source de
haute tension alternative (6) qui est connecté à 10
l'électrode (2), une rétroaction d'une charge côté sor-
tie de ce transformateur, et utilise cette information
en tant que grandeur d'entrée pour la régulation de
la puissance de sortie de la source de haute tension
alternative (6). 15
10. Dispositif selon la revendication 9, **caractérisé en**
ce que la régulation de la source de haute tension
alternative (6) maintient constante la puissance de
sortie de la source de haute tension alternative (6)
par une variation de la tension de sortie de la source 20
de haute tension alternative (6) et/ou du taux de ré-
pétition d'impulsions de tension (19, 20) de la haute
tension alternative.

25

30

35

40

45

50

55

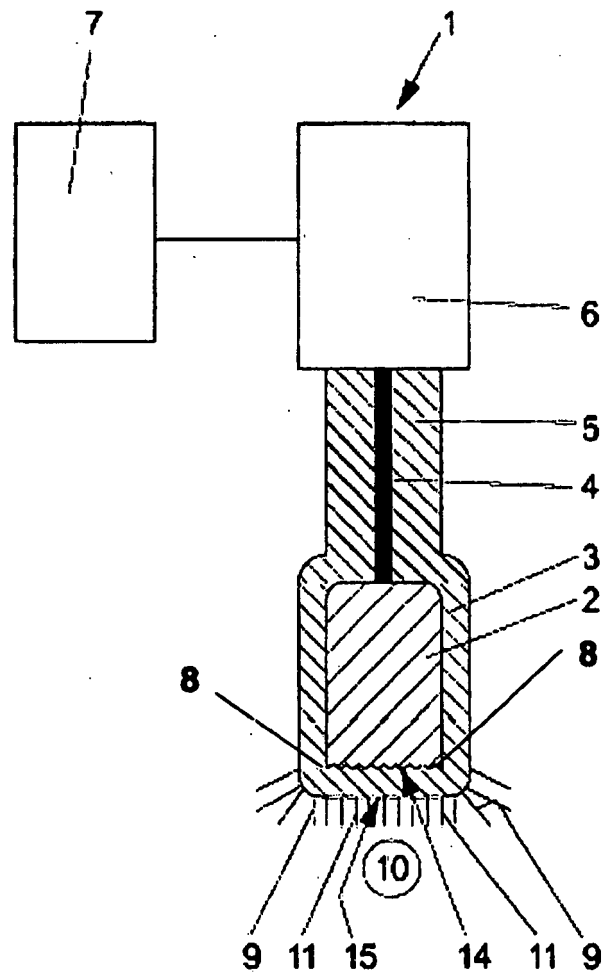


Fig. 1

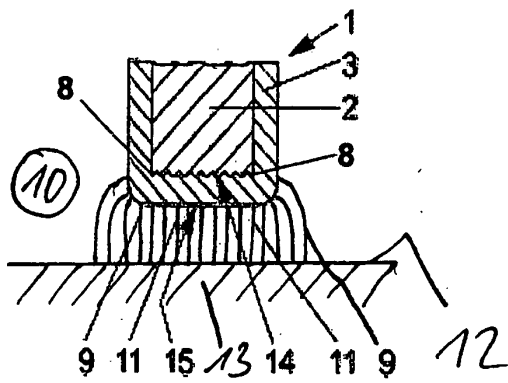


Fig. 2

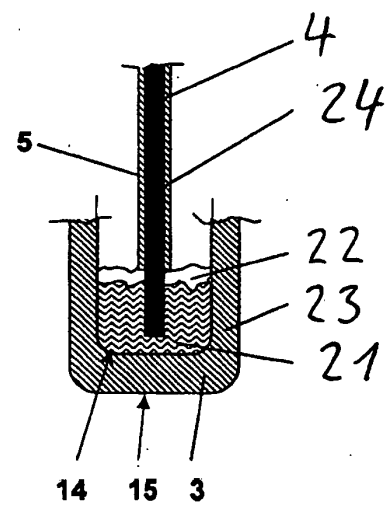


Fig. 3

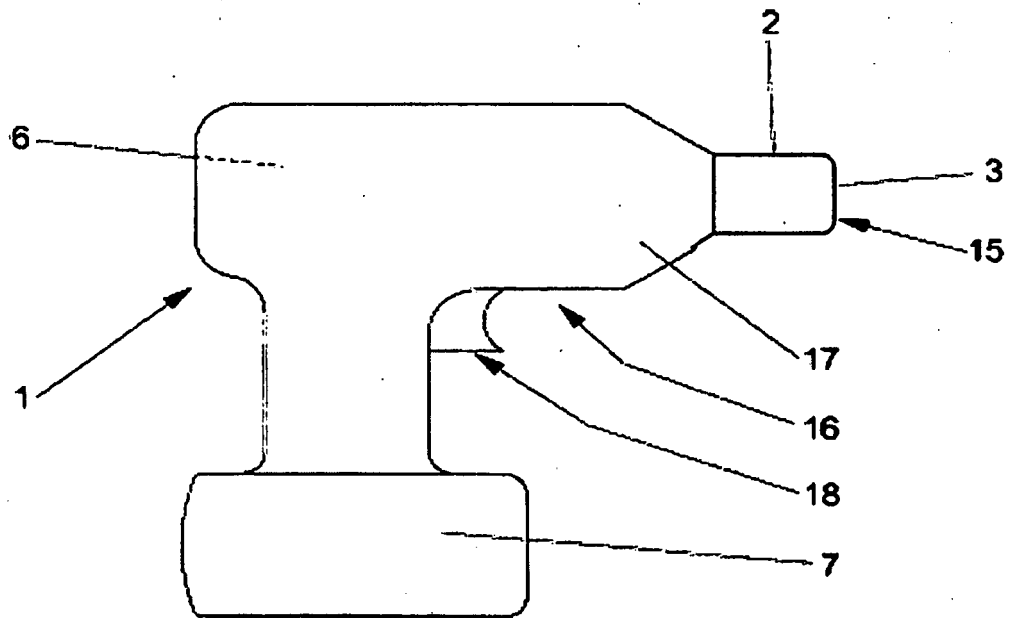


Fig. 4

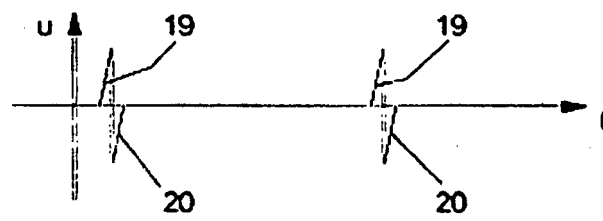


Fig. 5

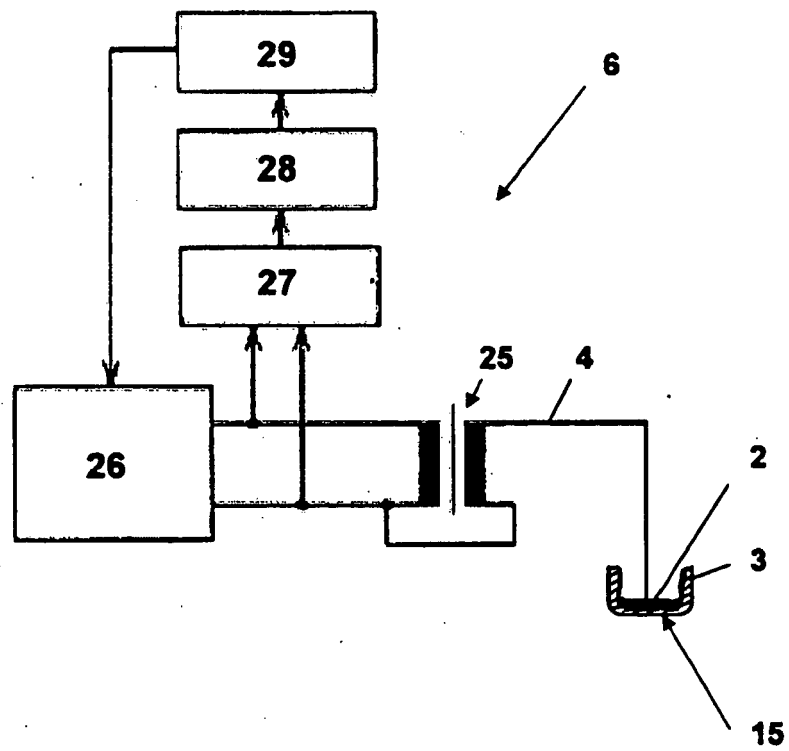


Fig. 6

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- DE 19957775 C1 [0003]
- WO 2004105810 A1 [0004]
- WO 8707248 A1 [0006]
- WO 02065820 A1 [0007]
- DE 19717698 A1 [0008]
- US 5603893 A [0011]
- US 2001020582 A1 [0012]
- WO 2004051729 A2 [0013]