



(11) **EP 2 415 331 B1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
08.05.2013 Patentblatt 2013/19

(51) Int Cl.:
H05H 1/36 (2006.01) H05H 1/42 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **10716497.2**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2010/053816

(22) Anmeldetag: **24.03.2010**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2010/112378 (07.10.2010 Gazette 2010/40)

(54) **VERFAHREN UND STRAHLGENERATOR ZUR ERZEUGUNG EINES GEBUENDELTEN PLASMASTRAHLS**

METHOD AND BEAM GENERATOR FOR CREATING A BUNDLED PLASMA BEAM

PROCÉDÉ ET GÉNÉRATEUR DE FAISCEAU POUR LA PRODUCTION DE JETS DE PLASMA EN FAISCEAU

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO SE SI SK SM TR

- **HARTMANN, Uwe**
32805 Horn-BadMeinberg (DE)
- **SCHNEIDEREIT, Holger**
01662 Meißen (DE)

(30) Priorität: **02.04.2009 DE 102009015510**

(74) Vertreter: **Reichert, Werner Franz et al**
Reichert & Kollegen
Bismarckplatz 8
93047 Regensburg (DE)

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
08.02.2012 Patentblatt 2012/06

(73) Patentinhaber: **Reinhausen Plasma GmbH**
93057 Regensburg (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
US-A- 5 332 885 US-A- 5 837 958
US-B1- 6 225 743 US-B1- 6 355 312

(72) Erfinder:
• **BISGES, Michael**
93049 Regensburg (DE)

EP 2 415 331 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

[0001] Die Erfindung betrifft einen Strahlgenerator zur Erzeugung eines gebündelten Plasmastrahls durch Lichtbogenentladung unter Zufuhr eines strömenden Arbeitsgases mit zwei im Strom des Arbeitsgases im Abstand zueinander angeordneten Elektroden sowie einer Spannungsquelle zur Erzeugung einer Spannung zwischen den Elektroden, wobei die Spannungsquelle einen Spannungspuls mit einer Zündspannung für die Lichtbogenentladung und einer Pulsfrequenz erzeugt, der den Lichtbogen zwischen zwei aufeinander folgenden Spannungsimpulsen jeweils verlöschen lässt. Außerdem betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Aktivierung und Beschichtung von Substratoberflächen mit einem erfindungsgemäßen Strahlgenerator.

[0002] Wenn Werkstückoberflächen beschichtet, lackiert oder geklebt werden sollen, ist häufig eine Vorbehandlung erforderlich, durch die Verunreinigungen von der Oberfläche entfernt werden und/oder durch die die Molekülstruktur so verändert wird, dass die Oberfläche mit Flüssigkeiten, wie Kleber, Lacken und dergleichen besser benetzt werden kann.

[0003] Zur Oberflächenbehandlung- und -reinigung kommen Strahlgeneratoren zur Erzeugung eines gebündelten Plasmastrahls zum Einsatz, bei denen unter Anlegen einer Spannung in einem Düsenrohr zwischen zwei Elektroden mittels einer nicht-thermischen Entladung aus einem Arbeitsgas ein Plasmastrahl erzeugt wird. Dabei steht das Arbeitsgas vorzugsweise unter atmosphärischem Druck. In bevorzugter Weise wird Luft als Arbeitsgas verwendet.

[0004] Die Vorbehandlung und Reinigung mittels Plasma hat zahlreiche Vorteile, von denen insbesondere der hohe Entfettungsgrad, die Umweltfreundlichkeit, die Eignung für nahezu sämtliche Materialien, die geringen Betriebskosten sowie die hervorragende Integration in die unterschiedlichen Fertigungsabläufe hervorzuheben sind.

[0005] Aus der EP 0 761 415 B9 sowie der DE 195 32 412 C2 ist ein gattungsgemäßer Strahlgenerator zur Erzeugung eines gebündelten Plasmastrahls bekannt, der ein topfförmiges Gehäuse aus Kunststoff mit einer seitlichen Zufuhr für das Arbeitsgas aufweist. In dem Gehäuse ist coaxial ein Düsenrohr aus Keramik gehalten. Im Inneren des topfförmigen Gehäuses ist mittig eine Stiftelektrode aus Kupfer angeordnet, die in das Düsenrohr hineinragt. Der äußere Umfang des Düsenrohrs ist außerhalb des topfförmigen Gehäuses von einem Mantel aus elektrisch leitendem Material umgeben, der am freien Ende des Düsenrohres eine Ringelektrode ausbildet. Die Ringelektrode begrenzt zugleich eine Düsenöffnung, deren Durchmesser kleiner als der Innendurchmesser des Düsenrohres ist, so dass am Auslass des Düsenrohrs eine gewisse Einschnürung erreicht wird.

[0006] Ein Nachteil des bekannten Strahlgenerators besteht in der hohen thermischen Belastung der zu behandelnden Oberflächen. Die Spannungsquelle benötigt eine sehr hohe Zündspannung in einer Größenordnung von 10 bis 30 kV. Nachteilig ist auch der geringe Wirkungsgrad. Verantwortlich hierfür ist insbesondere ein geringer Ionisierungsgrad im Plasma. Darüber hinaus weist das aus dem Strahlgenerator austretende Arbeitsgas eine hohe Temperatur auf, während die Elektronen eine recht geringe Temperatur aufweisen. Für den Betrieb von Strahlgeneratoren zur Oberflächenbehandlung wird jedoch die Erzeugung nichtthermischer Plasmen angestrebt, bei denen die Elektronen eine viel höhere Temperatur als die Schwereteilchen (Moleküle, Atome, Ionen) aufweisen. Technisch hergestellte, nichtthermische Plasmen haben jedoch üblicherweise einen geringen Ionisierungsgrad.

[0007] Aus der US 6 225 743 B1 ist bereits ein Verfahren zur Erzeugung von Plasma mit einem Plasmaerzeuger zur Behandlung von Objekten bekannt, bei dem ein Lichtbogen zwischen einer Anode und einer Kathode gezündet und mit diesem Gase ionisiert werden, wobei der Lichtbogen mit Spannungspulsen betrieben wird. In den Pausen zwischen den Spannungspulsen wird die an der Strecke Anode-Kathode anliegende Spannung unter die Brennspannung des Lichtbogens abgesenkt, sodass der Lichtbogen in diesen Pausen erlischt. Obwohl die Plasmaimpulse eine sehr hohe Temperatur aufweisen, sollen auch relativ empfindliche Materialien die Plasmaimpulse ohne Schaden zu nehmen, vertragen.

[0008] Ausgehend von diesem Stand der Technik liegt der Erfindung die Aufgabe zu Grunde, einen Strahlgenerator der eingangs erwähnten Art zu schaffen, der insbesondere ein nichtthermisches Plasma mit geringen Temperaturen des aus dem Strahlgenerator austretenden Plasmastrahls erzeugt und sich zur Aktivierung und Beschichtung von Substratoberflächen unter Verwendung eines Plasmastrahls einsetzen lässt, der insbesondere auch für Pulverbeschichtungsverfahren temperaturempfindlicher Substratoberflächen geeignet ist. Des Weiteren wird eine kompakte Bauform des Strahlgenerators angestrebt. Schließlich soll ein Verfahren zur Aktivierung und Beschichtung von Substratoberflächen unter Verwendung des Strahlgenerators angegeben werden.

[0009] Diese Aufgabe wird durch einen Strahlgenerator mit den Merkmalen des Anspruchs 1 und ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 13 gelöst.

[0010] Eine kompakte Bauform des Strahlgenerators bei gleichzeitig homogener Strömung des Arbeitsgases wird dadurch erreicht, dass eine Elektrode als Stiftelektrode und eine Elektrode als ringförmige Elektrode ausgebildet ist, konzentrisch zu der Stiftelektrode ein hohlzylindrischer, gegenüber der Stiftelektrode isolierter Mantel aus elektrisch leitendem Material angeordnet ist, an dessen einer Stirnseite die ringförmige Elektrode angeordnet ist, die eine Düsenöffnung begrenzt, deren Durchmesser kleiner als der Durchmesser des hohlzylindrischen Mantels ist und an dessen gegenüberliegender Stirnseite die Zufuhr für das Arbeitsgas angeordnet ist.

[0011] Der erfindungsgemäße Strahlgenerator lässt sich zur Aktivierung und Beschichtung von Substratoberflächen

unter Verwendung eines Plasmastrahls einsetzen, da im Bereich der Düsenöffnung mindestens ein Einlass für die Einspeisung von Pulvern, insbesondere mit Partikelgrößen von 10 nm bis 100 µm angeordnet ist. Die Elektronen des Plasmastrahls zersputtern die eingespeisten Pulverpartikel und schmelzen diese aufgrund der dort noch relativ hohen Temperatur, insbesondere der hohen Elektronentemperatur, des Plasmas auf. Durch den Energieverbrauch für das Aufschmelzen und auf dem weiteren Weg des Plasmas zur Düsenöffnung kommt es zu einer Abkühlung, so dass das feinkörnige, die Beschichtung der Substratoberfläche bildende Pulver relativ kühl auf die Substratoberfläche gelangt. Der erfindungsgemäße Strahlgenerator ist daher insbesondere auch für Pulverbeschichtungsverfahren temperaturempfindlicher Substratoberflächen geeignet.

[0012] Der gebündelte Plasmastrahl in dem strömenden Arbeitsgas wird durch eine Lichtbogenentladung erzeugt. Der Lichtbogen stellt eine Gasentladung zwischen den beiden im Abstand zueinander angeordneten Elektroden dar, an denen eine ausreichend hohe Spannung anliegt, um durch Stoßionisation die für die Gasentladung erforderliche hohe Stromdichte zu erzeugen. Die Gasentladung bildet das Plasma in dem die Schwereteilchen teilweise ionisiert sind.

[0013] Die Zündspannung ist die elektrische Spannung, die erforderlich ist, um die Gasentladung zwischen den beiden Elektroden einzuleiten. Die Zündspannung wird von der Spannungsquelle erzeugt oder von der Spannungsquelle aus einer Primärquelle abgeleitet. Für die Erfindung kommen grundsätzlich Gleich- und Wechselspannungsquellen, vorzugsweise jedoch Gleichspannungsquellen in Betracht. Entscheidend ist jedoch, dass die Spannungsquelle einen Spannungspuls erzeugt, der den Lichtbogen zwischen zwei aufeinander folgenden Spannungsimpulsen jeweils verlöschen lässt. Dabei ist mit Spannungsimpuls gemeint, dass die von der Spannung abgegebene Spannung zunächst von einem unteren Wert, vorzugsweise Null, ausgehend auf einen Höchstwert, der größer oder gleich der Zündspannung ist, ansteigt und kurze Zeit später wieder auf den unteren Wert, vorzugsweise Null, absinkt. Die periodische Folge von Spannungsimpulsen wird als Spannungspuls bezeichnet.

[0014] Während jedes Spannungsimpulses fällt die Spannung weit unter die erforderliche Zündspannung, so dass mit jedem Spannungsimpuls der Lichtbogen verlöscht, bis im nächsten Spannungsimpuls die Zündspannung wieder erreicht wird und eine neue Lichtbogenentladung zwischen den Elektroden erfolgt. Durch das mit jedem Spannungsimpuls erzwungene Verlöschen des Lichtbogens wird bei hohen Elektrodentemperaturen eine geringe Temperatur des ausströmenden Arbeitsgases aus dem Strahlgenerator erzeugt. Durch das schlagartige Abfließen der Elektronen beim Erreichen der hohen Zündspannung wird eine große Zahl hochbeschleunigter Elektronen im Plasma generiert, die eine hohe Elektronentemperatur aufweisen. Nach Erreichen bzw. Überschreiten der Zündspannung fließt zwischen den beiden Elektroden für einen sehr kurzen Zeitraum von einer Nanosekunde bis 1000 Nanosekunden ein Strom mit einer maximalen Stromstärke in Höhe von 10 bis 1000 Ampere. Die hieraus resultierende hohe Stromdichte wirkt sich positiv auf den so genannten Pinch-Effekt aus. Der Pinch-Effekt bezeichnet das Zusammenziehen des von einem hohen elektrischen Strom durchflossenen Plasmas zu einem dünnen, komprimierten Plasmaschlauch oder -faden in Folge der Wechselwirkung des Plasmastroms mit dem von ihm erzeugten Magnetfeld.

[0015] Die Spannungsquelle ist zur Erzeugung einer Pulsfrequenz des Spannungspulses, bevorzugt in einem Bereich zwischen 10 kHz bis 100 kHz, insbesondere in einem Bereich zwischen 20 kHz bis 70 kHz ausgebildet. Bei diesen Pulsfrequenzen ist sichergestellt, dass die Plasmaerzeugung und der Plasmastrahl nicht unterbrochen werden. Durch diese Maßnahme kann eine unterbrechungsfreie Aktivierung und Beschichtung, insbesondere mit Pulver, von Substratoberflächen mit dem erfindungsgemäßen Strahlgenerator vorgenommen werden. Die Aufrechterhaltung des Plasmastrahls trotz Verlöschen des Lichtbogens bei gleichzeitig sehr geringer Wärmebelastung der Substratoberfläche wird vorzugsweise mit Pulsfrequenzen in dem Bereich zwischen 20 kHz bis 70 kHz erreicht.

[0016] Der Abstand zwischen den Elektroden des Strahlgenerators und der Druck des Arbeitsgases wird so bestimmt, dass die vorgenannten Stromstärken im Plasma bei Zündspannungen zwischen 2 kV bis 10 kV erreicht werden. Die Grundlage für die Ermittlung des Elektrodenabstandes ist das Paschen-Gesetz, wonach die Zündspannung eine Funktion des Produktes aus dem Gasdruck des Arbeitsgases und der Schlagweite, das heißt dem Abstand zwischen den Elektroden ist. Abhängig von der Form der sich gegenüberstehenden Elektroden sowie dem verwendeten Arbeitsgas, vorzugsweise Luft, müssen Korrekturparameter bei der Berechnung berücksichtigt werden.

[0017] Die von der Spannungsquelle erzeugten Spannungsimpulse können gleich- oder wechselgerichtet sein.

[0018] Eine bevorzugte Ausführungsform der Spannungsquelle ist dadurch gekennzeichnet, dass die Spannungsquelle ein Netzteil mit einem Anschluss für eine Ausgangsspannung und zwei Ausgänge für die im Netzteil umgesetzte Spannung aufweist, wobei parallel zu den Ausgängen mindestens ein Kondensator geschaltet ist, der mit dem Netzteil über mindestens einen Widerstand verbunden ist. Wahlweise kann dabei einer der Ausgänge mit Erdpotential verbunden sein und die gemeinsame Erde als Bezugspotential und Anschluss für den Kondensator verwendet werden. Das Netzteil ist dabei eine Baugruppe, die die vom Stromnetz bereitgestellte Eingangsspannung in die von dem Strahlgenerator benötigte Ausgangsspannung umsetzt.

[0019] Die Schaltung aus Kondensator und Widerstand erzwingt das Verlöschen des Lichtbogens, in dem die von dem Netzteil abgegebene Leistung in dem Kondensator zwischengespeichert wird. Die von dem Netzteil abgegebene Leistung, wird zunächst von dem Kondensator gespeichert, bis die Zündspannung für die Lichtbogenentladung erreicht wird. Beim Erreichen der Zündspannung kommt es zur Gasentladung und die im Kondensator gespeicherte Energie

fließt innerhalb von einer Nanosekunde bis 1000 Nanosekunden mit einer hohen Stromstärke in Höhe von 10 Ampere bis 1000 Ampere ab. Durch den mindestens einen Ladewiderstand, über den der mindestens eine Kondensator mit dem Netzteil verbunden ist, fließt nicht genügend Strom nach, um den aus dem Kondensator gespeisten Lichtbogen aufrecht zu erhalten. In Folge dessen erlischt der Lichtbogen selbstständig und die Aufladung des Kondensators für den nächsten Spannungsimpuls beginnt erneut.

[0020] Im Interesse einer kompakten Bauform und einer weiteren Steigerung des Wirkungsgrades des erfindungsgemäßen Strahlgenerators ist das Netzteil der Spannungsquelle vorzugsweise als Schaltnetzteil ausgebildet. Das Schaltnetzteil zeichnet sich dadurch aus, dass abweichend zu herkömmlichen Netzteilen mit 50- bzw. 60-Hz-Transformator die Netzspannung in eine Wechselspannung wesentlich höherer Frequenz umgewandelt und nach der Transformation schließlich weder gleichgerichtet wird. Der Betrieb des Transformators mit höherer Frequenz hat zur Folge, dass bei gleicher Leistung die Masse des Transformators deutlich verringert werden kann. In Folge dessen sind Schaltnetzteile bei gleicher Leistung kompakter und leichter. Des Weiteren ist deren Wirkungsgrad höher als der konventioneller Netzteile.

[0021] Besonders Platz sparend lässt sich der Kondensator der Spannungsquelle in Form eines abgeschirmten Kabels ausführen, in dem eine die erste Elektrode mit der Spannungsquelle verbindende elektrische Leitung von einem Isolator umgeben wird, den zumindest auf einer Teillänge eine elektrisch leitende Abschirmung ummantelt, die Bestandteil der elektrisch leitenden Verbindung zwischen der Spannungsquelle und der weiteren Elektrode ist, wobei die Abschirmung ein äußerer Isolator ummantelt.

[0022] Die Kapazität des Kondensators liegt vorzugsweise in einem Bereich von 1 nF bis 200 µF

[0023] Eine weitere Reduktion der Temperatur des Arbeitsgases kann durch Strömungsoptimierung erreicht werden. Aus diesem Grund weist der erfindungsgemäße Strahlgenerator als Mittel zur Erzeugung einer Wirbelströmung des Arbeitsgases eine stirnseitig in den hohlzylindrischen Mantel eingesetzte, die Stiftelektrode umgebende Hülse aus elektrisch isolierendem Material auf, an deren Oberfläche mindestens ein als Wendel ausgestalteter Steg angeordnet ist, der zwischen der Innenwand des hohlzylindrischen Mantels und der Oberfläche der Hülse einen Kanal für das Arbeitsgas bildet. Durch die Steigung des wendelförmigen Stegs kann wirksam die Temperatur des Plasmastrahls beeinflusst werden. Eine größere Steigung kühlt den Plasmastrahl stärker ab, während eine geringere Steigung zu einem wärmeren Plasmastrahl führt. Bei einer größeren Steigung ist die Verweildauer des Arbeitsgases bei gleicher Strömungsgeschwindigkeit aufgrund des kürzeren Strömungsweges durch den Strahlgenerator kürzer, wodurch die Kühlwirkung des Arbeitsgases verstärkt wird. Bei geringerer Steigung des als Wendel ausgestalteten Steges ist die Verweildauer des Arbeitsgases bei gleicher Strömungsgeschwindigkeit aufgrund des längeren Strömungsweges durch den Strahlgenerator länger, wodurch die Kühlwirkung des Arbeitsgases reduziert wird.

[0024] Die den Kanal für das Arbeitsgas ausbildende Hülse fixiert zugleich die Stiftelektrode in dem elektrisch leitenden Mantel und gewährleistet die erforderliche elektrische Trennung zwischen Stiftelektrode und Mantel. Die Hülse ist nicht nur montagefreundlich, sondern führt darüber hinaus zu den angestrebten kompakten Abmessungen des stiftförmigen Strahlgenerators.

[0025] Vorzugsweise befinden sich die Einlässe für das Pulver an einem sich konisch in Richtung der ringförmigen Elektrode verjüngenden Abschnitt des hohlzylindrischen Mantels des Strahlgenerators. Die Substrattemperaturerhöhung liegt während und nach dem Beschichtungsprozess mit dem feinkörnigen Pulver deutlich unterhalb von 100 Grad Celsius. Gleichwohl wird bei Verwendung des erfindungsgemäßen Strahlgenerators eine gute Haftung des aufgetragenen Pulvers erreicht. Die Substratoberfläche bedarf keiner speziellen Vorbehandlung. Die Oberflächenreinigung erfolgt durch den Plasmastrahl des Strahlgenerators selbst. Bei den Pulvern handelt es sich beispielsweise um Metalle, Keramiken, Thermoplaste oder auch deren Mischungen, die als Funktionsschichten, wie beispielsweise Schutz-, Verschleiß- oder Isolierschichten aufgetragen werden.

[0026] Nachfolgend wird die Erfindung anhand der Figuren näher erläutert. Es zeigen:

Figur 1 eine schematische Darstellung eines ersten Ausführungsbeispiels eines Strahlgenerators,

Figur 2 ein zweites Ausführungsbeispiel eines Strahlgenerators,

Figur 3 ein drittes Ausführungsbeispiel eines Strahlgenerators,

Figur 4 eine schematische Darstellung des Verlaufs von Spannung und Strom der Spannungsquelle eines Strahlgenerators sowie

Figur 5 ein viertes Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Strahlgenerators zur Pulverbeschichtung von Substratoberflächen.

[0027] Der Strahlgenerator (1) zur Erzeugung eines gebündelten Plasmastrahls (2) umfasst zwei im Strom eines

Arbeitsgases (3) angeordnete Elektroden (4, 5) sowie eine Spannungsquelle (6) zur Erzeugung einer Spannung zwischen den Elektroden (4, 5). Das Arbeitsgas (3) wird in einem hohlzylindrischen Mantel (7) kanalisiert. In dem von dem Mantel (7) umschlossenen Hohlraum sind die Elektroden (4, 5) im Abstand (8) zueinander angeordnet.

[0028] Die Spannungsquelle (6) weist ein Schaltnetzteil (9) mit einem Anschluss (10) für die Eingangsspannung, insbesondere die Netzspannung, und zwei Ausgänge (11, 12) für die im Schaltnetzteil (9) umgesetzte Spannung auf. Parallel zu den Ausgängen (11, 12) ist ein Kondensator (13) geschaltet, der mit dem Schaltnetzteil (9) über einen Widerstand (14), auch als Ladewiderstand bezeichnet, verbunden ist.

[0029] In dem Schaltnetzteil (9) wird die am Anschluss (10) anliegende Netzspannung zunächst von einem Gleichrichter (15) gleichgerichtet. Anschließend wird die Gleichspannung von einem Wechselrichter (16), auch als Inverter bezeichnet, in eine Wechselspannung wesentlich höherer Frequenz umgewandelt, bevor diese der Primärwicklung eines Transformators (17) zugeführt wird. Die an der Sekundärseite des Transformators (17) abgegriffene, gegenüber der Netzspannung höhere Spannung wird einem weiteren Gleichrichter (18) zugeführt, der die transformierte Wechselspannung gleichrichtet.

[0030] Die Arbeitsweise des Strahlgenerators (1) wird nachfolgend unter Bezugnahme auf Figur 4 näher erläutert:

Figur 4 zeigt in der linken Bildhälfte in einem Spannungs-/Zeitdiagramm die Ausprägung eines Spannungsimpulses (21) sowie in einem darunter dargestellten Strom-/Zeitdiagramm den Verlauf des sich im Plasma einstellenden Stromes des Strahlgenerators (1).

[0031] Die von dem Schaltnetzteil (9) abgegebene Leistung wird zunächst von dem Kondensator (13) gespeichert, bis zwischen den Elektroden (4, 5) die Zündspannung (19) für die Ausbildung des Lichtbogens zwischen den Elektroden (4, 5) anliegt. Beim Erreichen der Zündspannung (19) wird die Luftstrecke (8) zwischen den Elektroden (4, 5) leitfähig und die gesamte in dem Kondensator (13) gespeicherte Energie fließt innerhalb von etwa 10 ns, wie aus dem Strom-/Zeitdiagramm in Figur 4 ersichtlich, ab. Dabei bricht die Spannung zwischen den Elektroden (4, 5) zusammen und fällt auf einen unteren Wert nahe 0 Volt ab.

[0032] Mit Erreichen der Zündspannung (19) fließt ein Maximalstrom (20) in dem Lichtbogen zwischen den Elektroden (4, 5). Durch den Widerstand (14) fließt von dem Schaltnetzteil (9) nicht genügend Ladung nach, um den Lichtbogen aufrecht zu erhalten. Hierzu ist der Widerstand (14) so zu bemessen, dass weniger Leistung vom Schaltnetzteil zum Kondensator (13) fließt, als gleichzeitig über den Lichtbogen zwischen den Elektroden (4, 5) abfließt. Dies hat zur Folge, dass der Lichtbogen zwischen zwei aufeinander folgenden Spannungsimpulsen jeweils verlöscht, bevor er mit dem Erreichen der Zündspannung (19) im nächsten Spannungsimpuls (21) wieder gezündet wird. Die Pulsfrequenz liegt vorzugsweise in einem Bereich zwischen 1 kHz bis 100 kHz, im dargestellten Ausführungsbeispiel bei 60 kHz.

[0033] Figur 2 zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel eines Strahlgenerators (1). Soweit dieser mit dem Strahlgenerator (1) nach Figur 1 übereinstimmt, wird auf die dortigen Ausführungen Bezug genommen. Unterschiede ergeben sich hinsichtlich der Anordnung der Elektroden innerhalb des Mantels (7). Eine erste Elektrode ist als Stiftelektrode (22) ausgebildet, während die im Abstand (8) dazu angeordnete zweite Elektrode als ringförmige Elektrode (23) ausgebildet ist. Der Mantel (7) aus elektrisch leitendem Material ist konzentrisch zu der Stiftelektrode (22) angeordnet und gegenüber der Stiftelektrode (22) isoliert. An der der ringförmigen Elektrode (23) gegenüberliegenden Stirnseite ist die Zufuhr (24) für das Arbeitsgas (3) angeordnet. Die Zufuhr für das Arbeitsgas (3) weist eine stirnseitig in den hohlzylindrischen Mantel (7) eingesetzte, die Stiftelektrode (22) haltende Hülse (25) aus elektrisch isolierendem Material auf, an deren Oberfläche ein als Wendel ausgestalteter Steg (26) angeordnet ist, der zwischen der Innenwand (27) des hohlzylindrischen Mantels (7) und der Oberfläche (28) der Hülse (25) einen Kanal für das Arbeitsgas (3) bildet. Das die Wendel durchlaufende Arbeitsgas tritt damit in einer Wirbelströmung in den Ringraum zwischen Stiftelektrode (22) und Innenwand (27) des Mantels (7) ein. Diese Wirbelströmung führt zu einer besonders vorteilhaften Bündelung und Kanalisierung des Plasmastrahls (2), der sich entlang der Stiftelektrode (22) in Richtung der ringförmigen Elektrode (23) durch diese hindurch erstreckt.

[0034] Figur 3 a zeigt einen Strahlgenerator (1) entsprechend Figur 2, bei dem das Schaltnetzteil (9) der Übersichtlichkeit halber lediglich durch ein Symbol angedeutet ist. Der Kondensator wird, wie aus Figur 3 b erkennbar, bei diesem Ausführungsbeispiel dadurch gebildet, dass eine die Elektrode (22) mit dem Schaltnetzteil (9) verbindende elektrische Leitung (29) von einem Isolator (30) umgeben wird, den zumindest auf einer Teillänge (31) eine elektrisch leitende Abschirmung (32) umgibt, die Bestandteil der elektrisch leitenden Verbindung zwischen dem Schaltnetzteil (9) und der weiteren Elektrode (23) ist. Die Abschirmung (32) ummantelt wiederum ein äußerer Isolator (33).

[0035] In Figur 3 c ist die durch die Abschirmung (32) und die elektrische Leitung (29) gebildete Kapazität (34) als Ersatzschaltbild dargestellt. Es ist erkennbar, dass durch das teilweise abgeschirmte Kabel parallel zu den Ausgängen des Schaltnetzteils ein Kondensator liegt, der mit dem Schaltnetzteil (9) über den Widerstand (14) verbunden ist.

[0036] Figur 5 zeigt schließlich einen Strahlgenerator (1) entsprechend Figuren 2 und 3, der erfindungsgemäß für eine Beschichtung einer Substratoberfläche (35) mit feinkörnigen Pulvern bestimmt ist. Der hohlzylindrische Mantel (7) weist stirnseitig einen sich konisch in Richtung der ringförmigen Elektrode (23) verjüngenden Abschnitt (36) auf, in dem

EP 2 415 331 B1

zwei Einlässe (37) angeordnet sind. An jedem der beiden Einlässe (37) setzt eine Leitung (38) für das feinkörnige Pulver an, der ein Pulver-/Gasstrom (39) zugeführt wird. Über die Einlässe (37) gelangen die Pulverpartikel (40) in den Plasmastrahl (2), mit dem sie durch die Ringelektrode (23) den Strahlgenerator (1) verlassen. In dem der Strahlgenerator (1) mit auf die Substratoberfläche (35) ausgerichteter Düsenöffnung (41) in Richtung (42) bewegt wird, werden die Pulverpartikel (40) auf der Substratoberfläche (35) abgeschieden. Die auf der Substratoberfläche abgeschiedene Schicht (43) ist in Figur 5 angedeutet.

Bezugszeichenliste

[0037]

Nr.	Bezeichnung	Nr.	Bezeichnung
1	Strahlgenerator	29	elektrische Leitung
2	Plasmastrahl	30	Isolator
3	Arbeitsgas	31	Teillänge
4	Elektrode	32	Abschirmung
5	Elektrode	33	äußerer Isolator
6	Spannungsquelle	34	Kapazität
7	Mantel	35	Substratoberfläche
8	Abstand	36	konischer Abschnitt
9	Schaltnetzteil	37	Einlass
10	Anschluss	38	Leitung
11	Ausgang	39	Pulver-/Gasstrom
12	Ausgang	40	Pulverpartikel
13	Kondensator	41	Düsenöffnung
14	Widerstand	42	Richtung
15	Gleichrichter	43	abgeschiedene Schicht
16	Wechselrichter		
17	Transformator		
18	Gleichrichter		
19	Zündspannung		
20	Maximalstrom		
21	Spannungsimpuls		
22	Stiftelektrode		
23	ringförmige Elektrode		
24	Zufuhr für Arbeitsgas		
25	Hülse		
26	Steg		
27	Innenwand		
28	Oberfläche		

Patentansprüche

1. Strahlgenerator (1) zur Erzeugung eines gebündelten nicht-thermischen Plasmastrahls durch Lichtbogenentladung

unter Zufuhr eines strömenden Arbeitsgases (3) mit zwei im Strom des Arbeitsgases (3) in einem Abstand (8) zueinander angeordneten Elektroden (22, 23) sowie einer Spannungsquelle (6) zur Erzeugung einer Spannung zwischen den Elektroden (22, 23), wobei eine Elektrode als Stiftelektrode (22) ausgebildet ist und die Spannungsquelle (6) einen Spannungspuls mit einer Zündspannung (19) für die Lichtbogenentladung und einer Pulsfrequenz erzeugt, der den Lichtbogen zwischen zwei aufeinander folgenden Spannungsimpulsen (21) jeweils verlöschen lässt, **dadurch gekennzeichnet, dass**

- konzentrisch zu der Stiftelektrode (22) ein hohlzylindrischer, gegenüber der Stiftelektrode (22) isolierter Mantel (7) aus elektrisch leitendem Material angeordnet ist,
- an dessen einer Stirnseite eine ringförmige Elektrode (23) angeordnet ist, die eine Düsenöffnung (41) begrenzt, deren Durchmesser kleiner als der Durchmesser des hohlzylindrischen Mantels (7) ist, und
- an dessen gegenüberliegender Stirnseite die Zufuhr (24) für das Arbeitsgas (3) angeordnet ist
- und im Bereich der Düsenöffnung (41) mindestens ein Einlass (37) für die Einspeisung eines Pulvers angeordnet ist.

2. Strahlgenerator (1) nach Anspruch 1, wobei die Pulsfrequenz in einem Bereich zwischen 10 kHz - 100 kHz liegt.
3. Strahlgenerator (1) nach Anspruch 2, wobei die Pulsfrequenz in einem Bereich zwischen 20 kHz - 70 kHz liegt.
4. Strahlgenerator (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei nach Erreichen der Zündspannung (19) zwischen den beiden Elektroden (22, 23) in einem Zeitraum von 1 ns - 1000 ns ein Strom mit einer maximalen Stromstärke (20) in Höhe von 10 A - 1000 A fließt.
5. Strahlgenerator (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei die Zündspannung (19) zwischen 1 kV - 10 kV beträgt.
6. Strahlgenerator (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei die Spannungsquelle (6) ein Netzteil mit einem Anschluss (10) für eine Eingangsspannung und zwei Ausgängen (11, 12) für die im Netzteil umgesetzte Eingangsspannung aufweist, wobei parallel zu den Ausgängen (11, 12) mindestens ein Kondensator (13) geschaltet ist, der mit dem Netzteil über mindestens einen Widerstand (14) verbunden ist.
7. Strahlgenerator (1) nach Anspruch 6, wobei das Netzteil ein Schaltnetzteil (9) ist.
8. Strahlgenerator (1) nach Anspruch 6 oder 7, wobei eine der die Elektroden (22, 23) mit dem Netzteil (9) verbindenden elektrischen Leitungen (29) von einem Isolator (30) umgeben wird, den zumindest auf einer Teillänge (31) eine elektrisch leitende Abschirmung (32) ummantelt, die Bestandteil der anderen elektrisch leitenden Verbindung zwischen dem Netzteil (9) und der weiteren Elektrode (23) ist, wobei die Abschirmung (32) ein äußerer Isolator (33) ummantelt.
9. Strahlgenerator (1) nach einem der Ansprüche 6 bis 8, wobei die Kapazität des Kondensators (13, 29, 30, 32) im Bereich von 10 nF - μ F 200 liegt.
10. Strahlgenerator (1) nach einem der Ansprüche 6 bis 9, wobei die Zufuhr (24) für das Arbeitsgas (3) Mittel zur Erzeugung einer Wirbelströmung des Arbeitsgases (3) aufweist.
11. Strahlgenerator (1) nach Anspruch 11, wobei die Mittel zur Erzeugung einer Wirbelströmung des Arbeitsgases (3) eine stirnseitig in den hohlzylindrischen Mantel (7) eingesetzte, die Stiftelektrode (22) halternde Hülse (25) aus elektrisch isolierendem Material umfassen, an deren Oberfläche (28) mindestens ein als Wendel ausgestalteter Steg (26) angeordnet ist, der zwischen der Innenwand (27) des hohlzylindrischen Mantels (7) und der Oberfläche (28) der Hülse (25) einen Kanal für das Arbeitsgas (3) bildet.
12. Strahlgenerator (1) nach Anspruch 13, wobei der hohlzylindrische Mantel (7) stirnseitig einen sich konisch in Richtung der ringförmigen Elektrode (23) verjüngenden Abschnitt (36) aufweist und jeder Einlass (37) in diesem Abschnitt (36) angeordnet ist.
13. Verfahren zur Aktivierung und Beschichtung von Substratoberflächen mit einem Strahlgenerator (1) zur Erzeugung eines gebündelten nicht-thermischen Plasmastrahls nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** über den mindestens einen Einlass (37) Pulver mit einer Partikelgröße von 10 nm bis 100 μ m eingespeist wird.

Claims

1. Beam generator (1) for the generation of a bundled non-thermal plasma beam by means of arc discharge under a feed of a flowing working gas (3), having two electrodes (22, 23) arranged in the flow of the working gas (3) at a distance (8) from one another and a voltage source (6) for the generation of a voltage between the electrodes (22, 23), wherein one electrode is formed as a pin electrode (22) and the voltage source (6) generates a voltage pulse with an ignition voltage (19) for the arc discharge and generates a pulse frequency which causes the respective arcs between two consecutive voltage pulses (21) to be cancelled, **characterized in that**
 - a hollow cylindrical sheath (7) made of electrically conducting material which is insulated against the pin electrode (22) and arranged concentrically with respect to the pin electrode (22),
 - at whose one end face is arranged an annular electrode (23) which delimits a nozzle opening (41) whose diameter is less than the diameter of the hollow cylindrical sheath (7) and
 - at whose opposite end face is arranged the intake (24) for the working gas (3),
 - and in the region of the nozzle opening (41) there is arranged at least one inlet (37) for the feeding of a powder.
2. Beam generator (1) according to Claim 1, wherein the pulse frequency lies in a range between 10 kHz - 100 kHz.
3. Beam generator (1) according to Claim 2, wherein the pulse frequency lies in a range between 20 kHz - 70 kHz.
4. Beam generator (1) according to any one of the Claims 1 to 3, wherein after reaching the ignition voltage (19) a current with a maximum amperage (20) of 10 A - 1000 A flows between the two electrodes (22, 23) within a period of 1 ns - 1000 ns.
5. Beam generator (1) according to any one of the Claims 1 to 4, wherein the ignition voltage (19) is between 1 kV - 10 kV.
6. Beam generator (1) according to any one of the Claims 1 to 5, wherein the voltage source (6) has a power supply unit with a connector (10) for an input voltage and two outputs (11, 12) for the input voltage converted in the power supply unit, wherein at least one capacitor (13) is connected in parallel to the outputs, which capacitor (13) is connected to the power supply unit by way of at least one resistor (14).
7. Beam generator (1) according to Claim 6, wherein the power supply unit is a switched power supply unit (9).
8. Beam generator (1) according to Claim 6 or 7, wherein one of the electrical leads (29) connecting the electrodes (22, 23) to the power supply unit (9) is enclosed by an insulator (30) which is sheathed at least on a partial length (31) by an electrically conducting screen (32) which is a component of the other electrically conducting connection between the power supply unit (9) and the further electrode (23), wherein the screen (32) sheaths an external insulator (33).
9. Beam generator (1) according to any one of the Claims 6 to 8, wherein the capacity of the capacitor (13, 29, 30, 32) lies within the range of 10 nF - μ F 200.
10. Beam generator (1) according to any one of the Claims 6 to 9, wherein the intake (24) for the working gas (3) has means for creating a turbulent flow of the working gas (3).
11. Beam generator (1) according to Claim 11, wherein the means for creating a turbulent flow of the working gas (3) comprises, inserted into the end face of the hollow cylindrical sheath (7), a sleeve (25) supporting the pin electrode (22) made of electrically insulating material on whose surface (28) is arranged at least one rib (26) shaped as a spiral, which rib (26) forms a channel for the working gas (3) between the internal wall (27) of the hollow cylindrical sheath (7) and the surface (28) of the sleeve (25).
12. Beam generator (1) according to Claim 13, wherein the hollow cylindrical sheath (7) has on its end face a section (36) tapering conically in the direction of the annular electrode (23) and each inlet (37) is arranged in this section (36).
13. Method for activating and coating substrate surfaces with a beam generator (1) for the generation of a bundled non-thermal plasma beam according to one or more of the Claims 1 to 12, **characterized in that** powder with a particle size of 10 nm to 100 μ m is fed in through the at least one inlet (37).

Revendications

1. Générateur de jet (1) pour la génération d'un jet de plasma non-thermique en faisceau par décharge d'arc avec alimentation d'un courant de gaz de travail (3) avec deux électrodes (22, 23) disposées à une certaine distance (8) l'une de l'autre dans le courant du gaz de travail (3) ainsi qu'une source de tension (6) pour la génération d'une tension entre les électrodes (22, 23), étant donné qu'une électrode est formée comme électrode en forme de broche (22) et la source de tension (6) génère une impulsion de tension avec une tension d'allumage (19) pour la décharge d'arc et une fréquence d'impulsion, impulsion de tension qui provoque chaque fois l'extinction de l'arc électrique entre deux impulsions de tension (21) successives, **caractérisé en ce que**
 - une gaine (7) de forme cylindrique creuse en matériau conducteur d'électricité isolée par rapport à l'électrode en forme de broche (22) est disposée concentriquement par rapport à l'électrode en forme de broche (22),
 - dont une électrode annulaire (23) est disposée à une face terminale, électrode (23) qui délimite une ouverture de buse (41) dont le diamètre est inférieur au diamètre de la gaine cylindrique creuse (7) et
 - le dispositif d'alimentation (24) pour le gaz de travail (3) est disposé à la face terminale opposée,
 - et au moins un conduit d'admission (37) est disposé au niveau de l'ouverture de buse (41) pour l'alimentation d'une poudre.
2. Générateur de jet (1) selon la revendication 1, étant donné que la fréquence d'impulsion est située dans une plage de 10 kHz à 100 kHz.
3. Générateur de jet (1) selon la revendication 2, étant donné que la fréquence d'impulsion est située dans une plage de 20 kHz à 70 kHz.
4. Générateur de jet (1) selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, étant donné que, après que la tension d'allumage (19) a été atteinte entre les deux électrodes (22, 23) en un période de temps de 1 ns à 1000 ns, un courant s'écoule avec une intensité maximale (20) de l'ordre de 10 A à 1000 A.
5. Générateur de jet (1) selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, étant donné que la tension d'allumage (19) est située entre 1 kV et 10 kV.
6. Générateur de jet (1) selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, étant donné que la source de tension (6) présente un bloc d'alimentation avec un connecteur (10) pour une tension d'entrée et deux sorties (11, 12) pour la tension d'entrée convertie dans le bloc d'alimentation, étant donné que, parallèlement aux sorties (11, 12), au moins un condensateur (13) raccordé au bloc d'alimentation par l'intermédiaire d'au moins une résistance (14) est mis en circuit.
7. Générateur de jet (1) selon la revendication 6, étant donné que le bloc d'alimentation est un bloc d'alimentation secteur (9).
8. Générateur de jet (1) selon la revendication 6 ou 7, étant donné que l'une des conduites électriques (29) reliant les électrodes (22, 23) au bloc d'alimentation (9) est enrobée d'un isolateur (30) enveloppé au moins sur une partie de sa longueur (31) par un blindage (32) conducteur d'électricité qui est partie intégrante de l'autre connexion conductrice d'électricité entre le bloc d'alimentation (9) et l'autre électrode (23), étant donné que le blindage (32) enrobe un isolateur extérieur (33).
9. Générateur de jet (1) selon l'une quelconque des revendications 6 à 8, étant donné que la capacité du condensateur (13, 29, 30, 32) est située dans la plage de 10 nF à 200 μ F.
10. Générateur de jet (1) selon l'une quelconque des revendications 6 à 9, étant donné que le dispositif d'alimentation (24) pour le gaz de travail (3) présente des moyens pour la génération d'un courant tourbillonnaire du gaz de travail (3).
11. Générateur de jet (1) selon la revendication 11, étant donné que les moyen de génération d'un courant tourbillonnaire du gaz de travail (3) comprennent une douille (25) en matériau électriquement isolant installée sur la face terminale dans la gaine cylindrique creuse (7) et supportant l'électrode en forme de broche (22), douille à la surface (28) de laquelle est disposée au moins une nervure (26), conçue comme hélice, qui forme entre la paroi intérieure (27) de la gaine cylindrique creuse (7) et la surface (28) de la douille (25) un canal pour le gaz de travail (3).

EP 2 415 331 B1

12. Générateur de jet (1) selon la revendication 13, étant donné que la gaine cylindrique creuse (7) présente sur sa face terminale une section (36) qui s'effile coniquement en direction de l'électrode annulaire (23) et chaque conduit d'admission (37) est disposé dans cette section (36).

5 13. Procédé d'activation et de revêtement de surfaces de substrat avec un générateur de jet (1) pour la génération d'un jet de plasma non-thermique en faisceau selon une ou plusieurs des revendications 1 à 12, **caractérisé en ce que** de la poudre d'une taille de particule de 10 nm à 100 μ m est alimentée à l'aide du au moins un conduit d'admission (37).

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

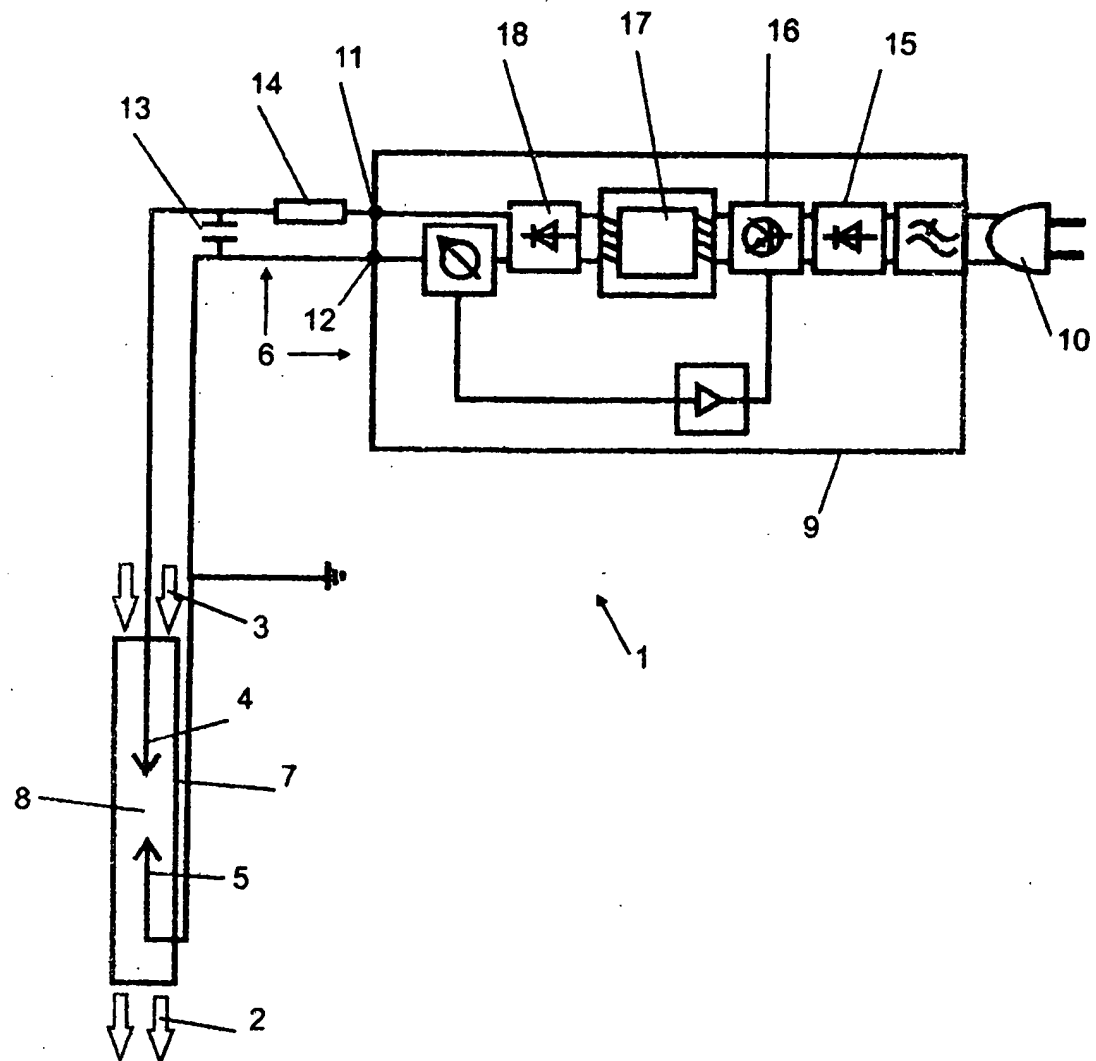


Fig. 1

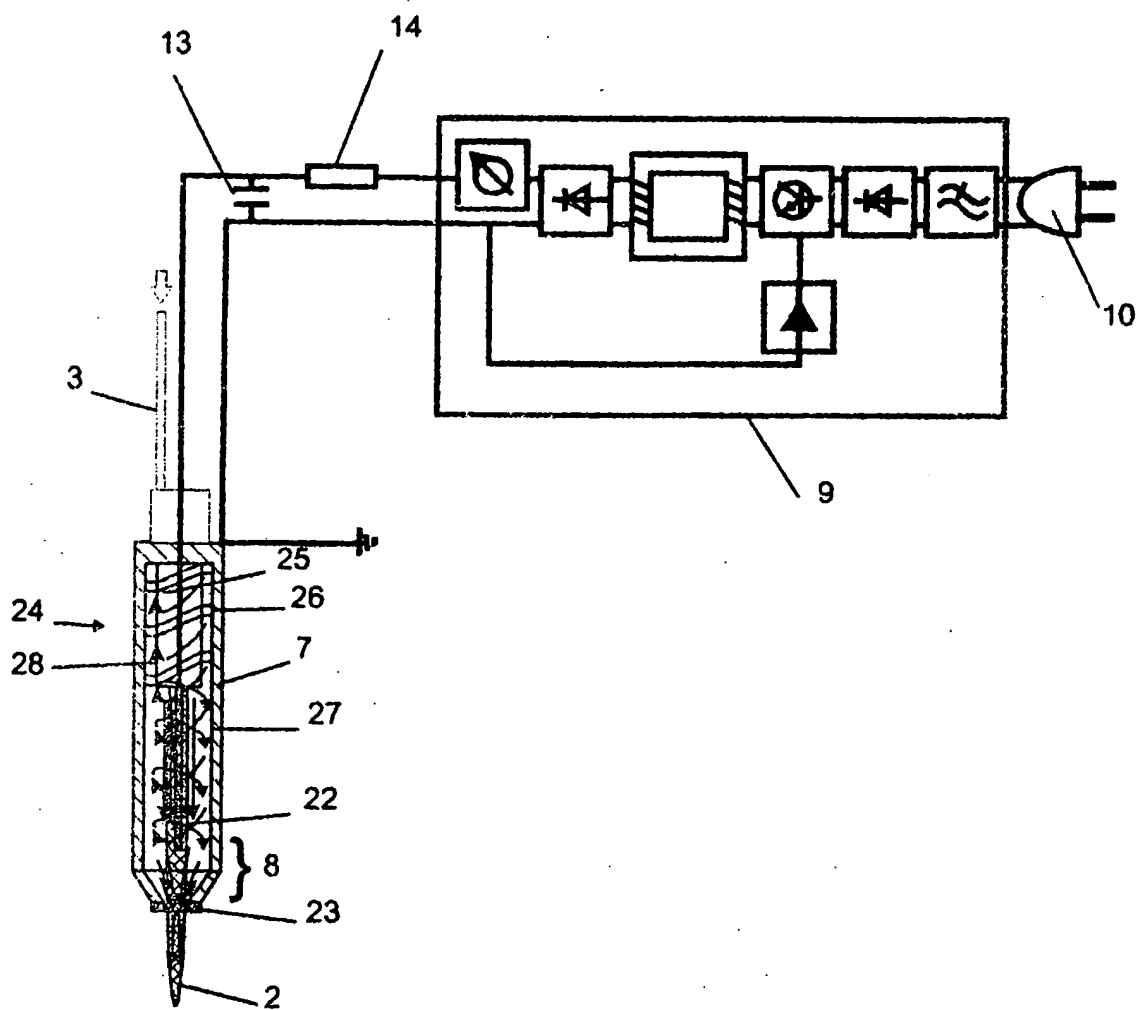
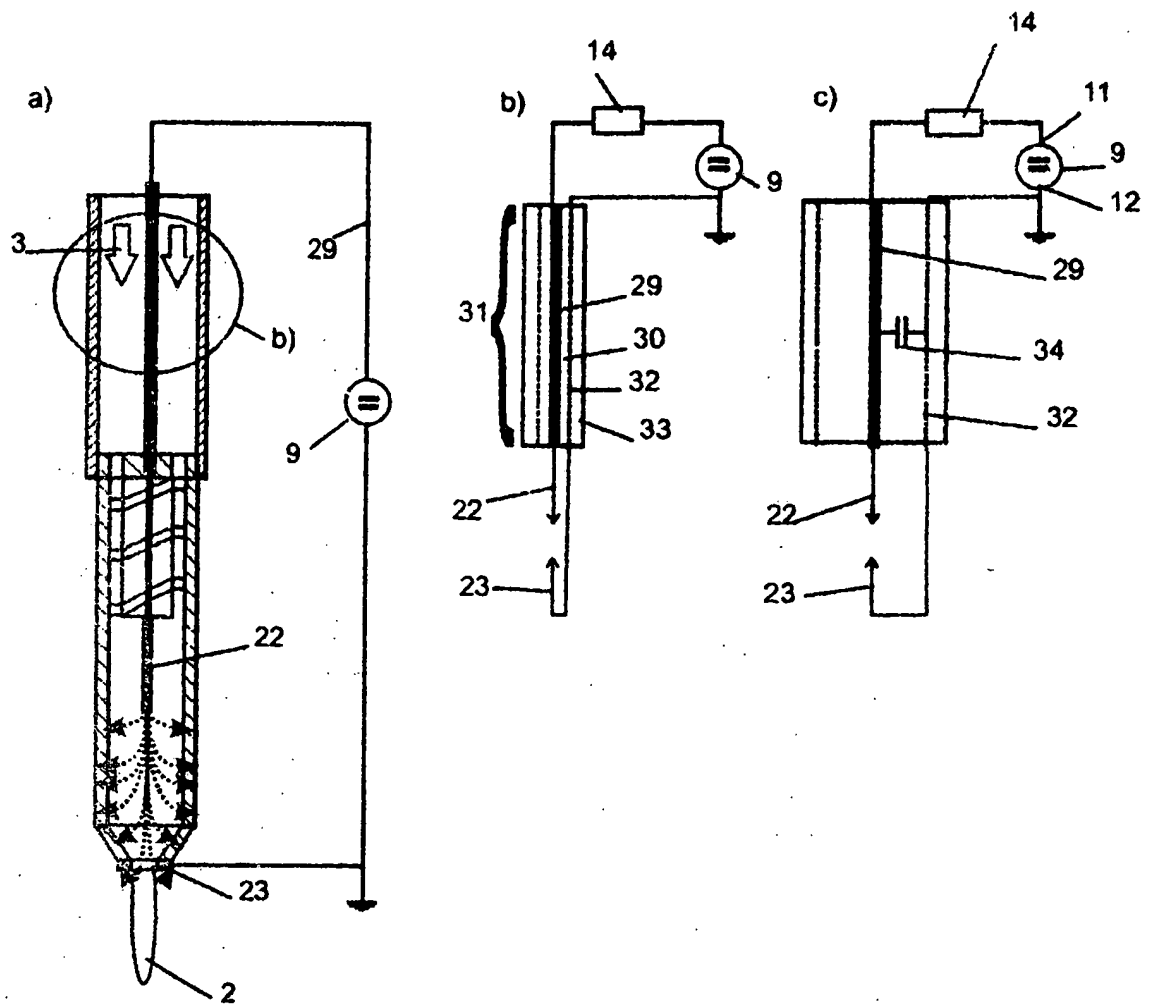


Fig. 2



Figur 3

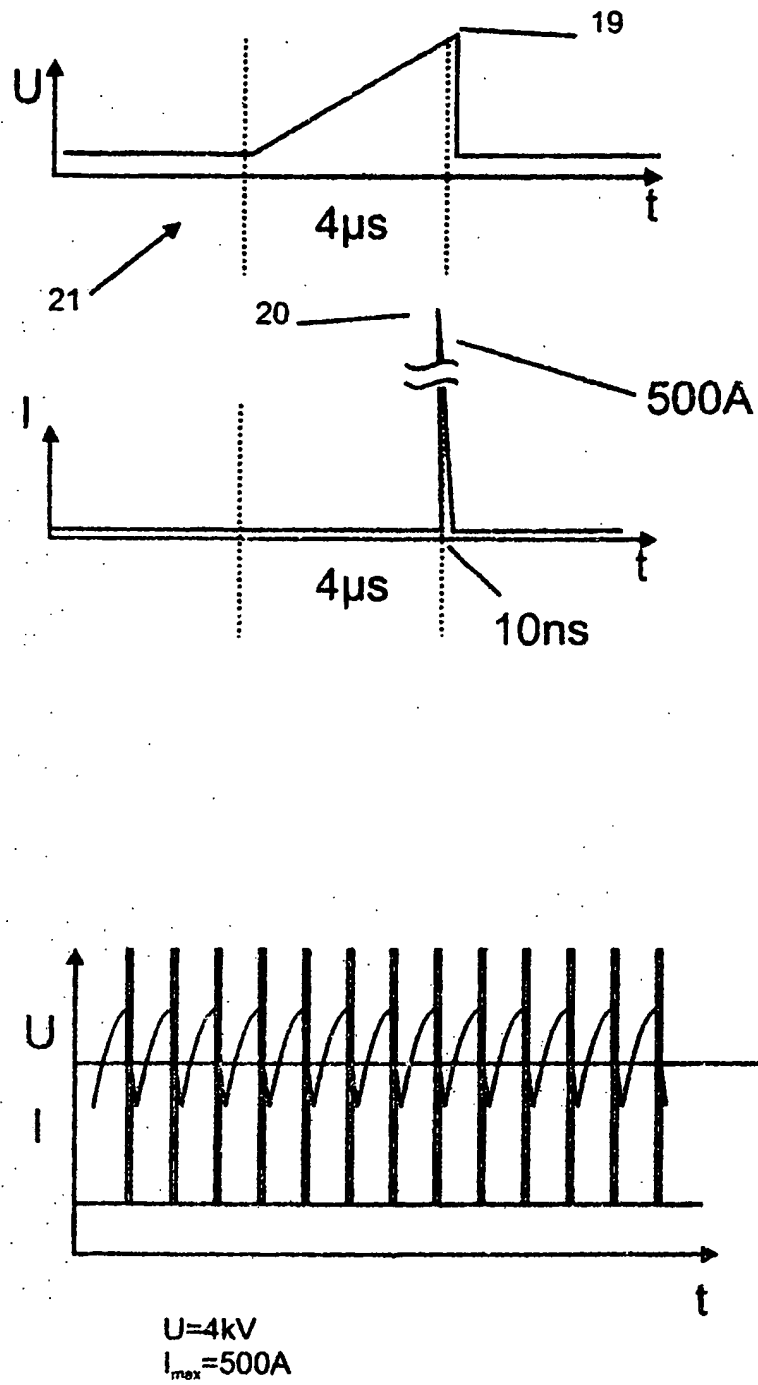


Fig. 4

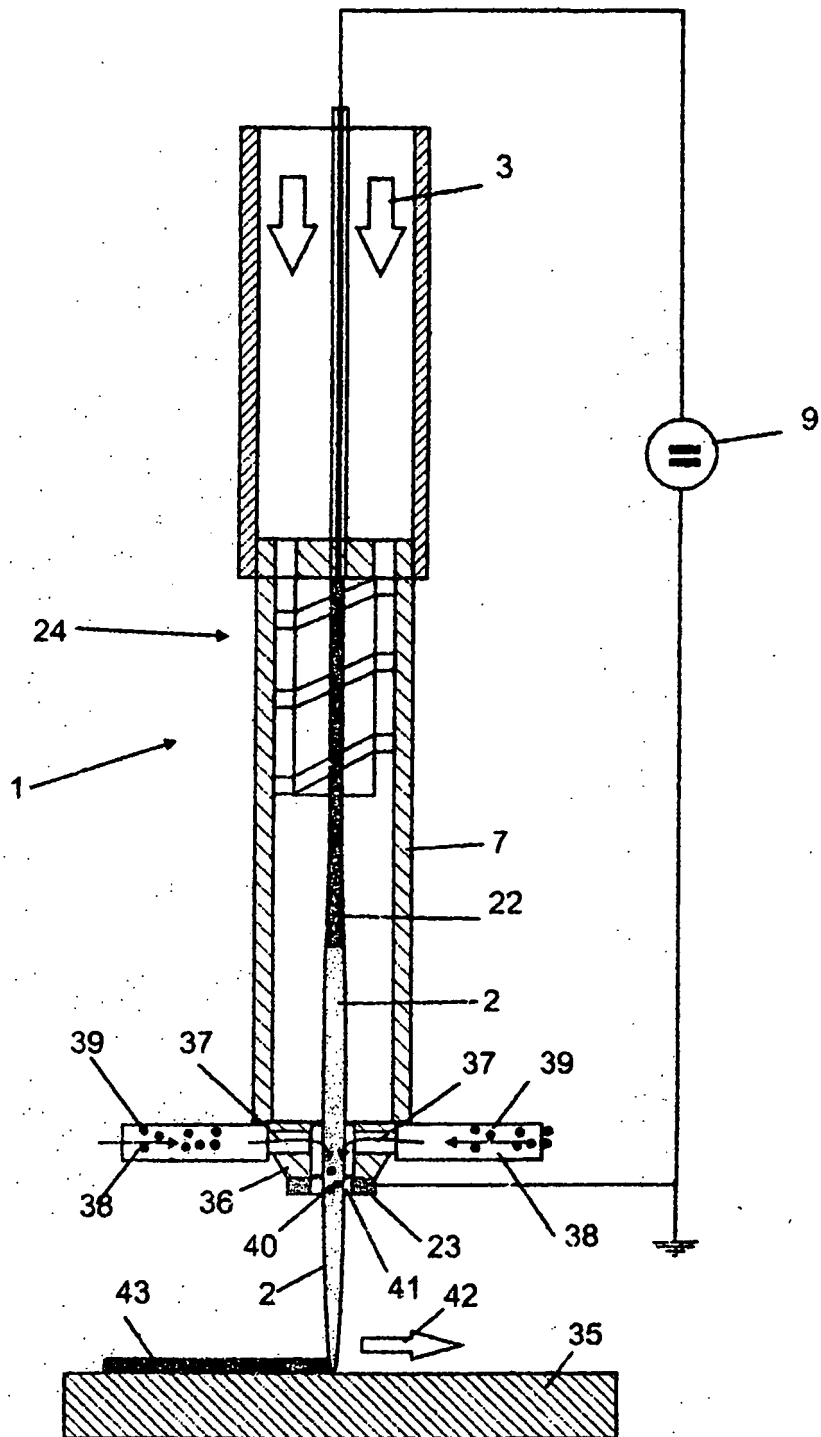


Fig. 5

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

- EP 0761415 B9 [0005]
- DE 19532412 C2 [0005]
- US 6225743 B1 [0007]