

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges
Eigentum

Internationales Büro

(43) Internationales
Veröffentlichungsdatum
4. Dezember 2014 (04.12.2014)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2014/191012 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation:
H05H 1/24 (2006.01) *H05H 1/48* (2006.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2013/060855
- (22) Internationales Anmeldedatum:
27. Mai 2013 (27.05.2013)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (71) Anmelder: **PLASMATREAT GMBH** [DE/DE];
Bisamweg 10, 33803 Steinhagen (DE).
- (72) Erfinder: **BUSKE, Christian**; Grossdornberger Strasse
111, 33619 Bielefeld (DE). **SCHMIDT, Martin**; Am
Markt 19, 33803 Steinhagen (DE).
- (74) Anwalt: **COHAUSZ & FLORACK**; Patent- und
Rechtsanwälte Partnerschaftsgesellschaft mbB,
Bleichstraße 14, 40211 Düsseldorf (DE).

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

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

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: DEVICE AND METHOD FOR TREATING A WIRE MADE OF CONDUCTIVE MATERIAL

(54) Bezeichnung : VORRICHTUNG UND VERFAHREN ZUR BEHANDLUNG EINES DRAHTS AUS LEITFÄHIGEM
MATERIAL

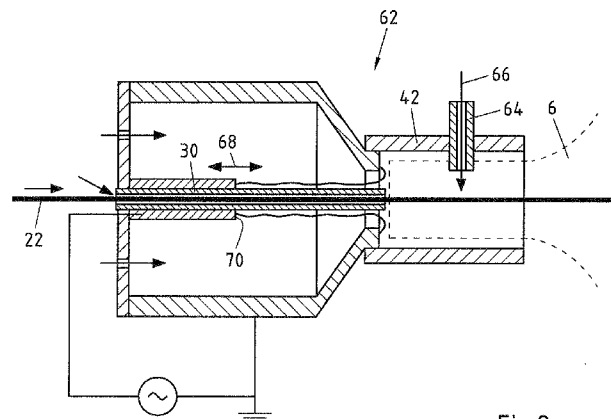


Fig.2

(57) Abstract: The invention relates to a device (2, 62) for treating a wire (22) made of conductive material, having a plasma nozzle (4) for generating an atmospheric plasma jet (6), wherein a discharging chamber (10) having a nozzle opening (12) for outlet of the plasma jet (6) is designed inside the plasma nozzle (4), wherein a channel (20) is designed between an inlet opening (16) of the plasma nozzle (4) and the nozzle opening (12) through which channel (20) the wire (22) to be treated can be guided and wherein a small tube section (30) made of a dielectric and enclosing the channel (20) is arranged in the plasma nozzle (4) in such a manner that the channel (20) is electrically insulated at least in sections from the discharging chamber (10). The invention also relates to a corresponding method. The invention further relates to a method for treating a wire made of conductive material, according to which method the wire (106, 204) to be treated is guided through a pipe section (104, 206) made of a dielectric, a first high frequency voltage (HV, HV1) is applied to a first electrode (108, 208) arranged on the outside of the pipe section (104, 206) and the wire (106, 204) is connected in such a manner that a dielectrically impaired discharge occurs between the first electrode (108, 208) and the wire (106, 204), and to a device for carrying out said method.

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



WO 2014/191012 A1

**Veröffentlicht:**

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung (2, 62) zur Behandlung eines Drahts (22) aus leitfähigem Material, mit einer Plasmadüse (4) zur Erzeugung eines atmosphärischen Plasmastrahls (6), wobei innerhalb der Plasmadüse (4) ein Entladungsraum (10) mit einer Düsenöffnung (12) zum Auslass des Plasmastrahls (6) ausgebildet ist, wobei zwischen einer Einlassöffnung (16) der Plasmadüse (4) und der Düsenöffnung (12) ein Kanal (20) ausgebildet ist, durch den der zu behandelnde Draht (22) hindurchführbar ist und wobei in der Plasmadüse (4) ein den Kanal (20) umgebender Röhrenabschnitt (30) aus einem Dielektrikum so angeordnet ist, dass der Kanal (20) gegenüber dem Entladungsraum (10) zumindest abschnittsweise elektrisch isoliert ist sowie ein entsprechendes Verfahren. Weiterhin betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Behandlung eines Drahts aus leitfähigem Material, bei dem der zu behandelnde Draht (106, 204) durch einen Rohrabschnitt (104, 206) aus einem Dielektrikum geführt wird, bei dem eine an der Außenseite des Rohrabschnitts (104, 206) angeordnete erste Elektrode (108, 208) mit einer ersten hochfrequenten Hochspannung (HV, HV1) beaufschlagt wird und bei dem der Draht (106, 204) so beschaltet wird, dass zwischen der ersten Elektrode (108, 208) und dem Draht (106, 204) eine dielektrisch behinderte Entladung erfolgt sowie eine Vorrichtung zur Durchführung dieses Verfahrens.

Vorrichtung und Verfahren zur Behandlung eines Drahts aus leitfähigem Material

- Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Behandlung eines Drahts aus leitfähigem Material, mit einer Plasmadüse zur Erzeugung eines atmosphärischen Plasmastrahls, wobei innerhalb der Plasmadüse ein Entladungsraum mit einer Düsenöffnung zum Auslass des Plasmastrahls ausgebildet ist und wobei zwischen einer Einlassöffnung der Plasmadüse und der Düsenöffnung ein Kanal ausgebildet ist, durch den der zu behandelnde Draht hindurchführbar ist. Weiterhin betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Behandlung eines Drahts aus leitfähigem Material unter Verwendung einer solchen Vorrichtung. Darüber hinaus betrifft die Erfindung eine weitere Vorrichtung sowie ein weiteres Verfahren zur Behandlung eines Drahts aus leitfähigem Material.
- Die Behandlung eines Drahts aus leitfähigem Material, z.B. Kupfer, erfolgt im Stand der Technik beispielsweise bei der Produktion von mit Isolierlack beschichtetem Draht für Spulen und Transformatoren. Bei der Herstellung des Drahts, zum Beispiel durch Drahtziehen, werden Öle und Schmiermittel eingesetzt, welche fest an der Drahtoberfläche anhaften und diese dadurch verunreinigen. Zur weiteren Verarbeitung des Drahts, insbesondere zu dessen Beschichtung mit einem Isolierlack, müssen diese Verunreinigungen daher zunächst beseitigt werden.

- Im Stand der Technik werden zur Reinigung hauptsächlich mechanische Verfahren eingesetzt, bei denen der Draht durch einen Fließstoff gezogen wird, durch den die Verschmutzungen vom Draht abgerieben werden. Dieses Verfahren ist jedoch nicht besonders effizient und zudem sehr wartungsintensiv, da der Fließstoff einem sehr hohen Verschleiß unterliegt und in der Regel zweimal pro Stunde ausgetauscht

werden muss. Weiterhin sind bei diesem Reinigungsvorgang nur geringe Drahtgeschwindigkeiten erreichbar.

Unter Drahtgeschwindigkeiten wird vorliegend allgemein die Geschwindigkeit verstanden, mit der der Draht durch die Reinigungsvorrichtung bewegt wird, d.h. die Drahtlänge, die pro Zeiteinheit behandelt werden kann.

Weiterhin wurde versucht, den Draht mit heißem Wasserdampf zu reinigen. Diese Methode stellte sich jedoch als wenig zuverlässig heraus.

Aus der EP 0 994 637 A2 ist ein Verfahren bekannt, bei dem ein stab- oder fadenförmiges Material durch eine Plasmadüse mit einer Innen- und einer Außenelektrode geführt wird und bei dem das Material durch einen Lichtbogen in der Plasmadüse thermisch behandelt und durch das Plasma aktiviert wird. Dieses Verfahren ist für Drähte aus leitfähigem Material jedoch nicht anwendbar, da die Plasmadüse durch den Draht quasi kurzgeschlossen würde, so dass keine homogene und effiziente Behandlung des Drahts möglich wäre.

Ausgehend von diesem Stand der Technik liegt der vorliegenden Erfindung die Aufgabe zugrunde, eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Behandlung eines Drahts aus leitfähigem Material zur Verfügung zu stellen, bei denen eine homogene und effiziente Behandlung, insbesondere Reinigung, Aktivierung, Passivierung oder ggf. zusätzliche Beschichtung des Drahts und insbesondere höhere Drahtgeschwindigkeiten ermöglicht werden.

Diese Aufgabe wird bei der gattungsgemäßen Vorrichtung gemäß einer ersten Lehre der vorliegenden Erfindung dadurch gelöst, dass in der Plasmadüse ein den Kanal umgebender Röhrchenabschnitt aus einem Dielektrikum so angeordnet ist, dass der Kanal gegenüber dem Entladungsraum zumindest abschnittsweise elektrisch isoliert ist.

Auf diese Weise wird erreicht, dass Entladungen aus dem Entladungsraum, insbesondere Lichtbögen und Filamente, die auch als Streamer bezeichnet werden, nicht oder zumindest nicht in einem bestimmten Abschnitt des Entladungsraums auf den Draht überschlagen können. Dadurch wird einerseits eine lokale Beschädigung des Drahts durch den Ein- und Austritt von Entladungen verhindert und andererseits die ungestörte Ausbildung eines Plasmastrahls gewährleistet. Gleichzeitig kann der Draht auf diese Weise unmittelbar in den atmosphärischen Plasmastrahl eingeführt werden, so dass durch diesen eine homogene und effektive Reinigung des Drahts erfolgen kann.

Der Röhrenabschnitt kann so angeordnet sein, dass der Kanal gegenüber dem Entladungsraum elektrisch isoliert ist. Dadurch kann der Eintritt bzw. Austritt von Entladungsfilamenten auf dem Draht über den gesamten Entladungsraum verhindert werden. Alternativ kann der Röhrenabschnitt bereits in einem gewissen Abstand vor der Düsenöffnung enden, so dass in diesem Abschnitt des Entladungsraums Entladungen in Form von Filamenten und Lichtbögen auf den Draht gelangen können. Durch die zumindest abschnittsweise Isolierung des Kanals vom Entladungsraum im Bereich des Röhrens kann sich der Plasmastrahl durch die Entladungen in diesem Abschnitt des Entladungsraums bereits teilweise ausbilden. Durch die Überschläge der Entladungen auf den Draht im nicht isolierten Abschnitt des Entladungsraums kann ein zusätzlicher Reinigungseffekt erzielt werden.

Die Führung des Drahts durch den Kanal aus der Düsenöffnung heraus hat den Vorteil, dass der Draht entlang der Hauptausbreitungsrichtung des Plasmastrahls durch diesen geführt werden kann. Dadurch kann der Plasmastrahl auf einer längeren Wegstrecke und damit intensiver auf den Draht wirken und diesen damit effektiv behandeln, insbesondere reinigen. Es wurde festgestellt, dass auf diese Weise Drahtgeschwindigkeiten von bis zu 400 m/Min. erreicht werden können.

Unter einer Plasmadüse zur Erzeugung eines atmosphärischen Plasmastrahls wird zunächst jede Plasmadüse verstanden, mit der ein atmosphärischer Plasmastrahl

erzeugt werden kann. Unter dem Entladungsraum wird der Hohlraum innerhalb der Plasmadüse verstanden, in dem sich die elektrischen Entladungen zur Erzeugung des Plasmastrahls im Betrieb der Plasmadüse vorherrschend ausbilden. Bei den elektrischen Entladungen kann es sich insbesondere um Lichtbögen bzw. elektrische Filamente, beispielsweise zwischen in der Plasmadüse vorgesehenen Elektroden, handeln. Die Plasmadüse wird vorzugsweise von einem Arbeitsgas, beispielsweise Luft, Stickstoff oder Formiergas, durchströmt, welches mit den Entladungen im Entladungsraum wechselwirkt und dadurch einen reaktiven, atmosphärischen Plasmastrahl aus der Düsenöffnung austreten lässt.

10

Als Arbeitsgase können generell reaktive oder inerte Arbeitsgase verwendet werden. Durch die Wahl eines bestimmten reaktiven Arbeitsgases kann eine spezielle Behandlung des Drahts erreicht werden, beispielsweise eine besondere Oberflächenaktivierung oder -passivierung.

15

Der Röhrchenabschnitt kann ein gesamtes Röhrchen umfassen. Alternativ kann der Röhrchenabschnitt Teil eines längeren Röhrchens sein, dass sich auch außerhalb des Entladungsraums erstreckt, beispielsweise über die Düsenöffnung hinaus.

20

Unter einer Anordnung des Röhrchenabschnitts, bei der der Kanal gegenüber dem Entladungsraum zumindest abschnittsweise elektrisch isoliert ist, wird verstanden, dass Entladungen aus dem Entladungsraum, bzw. aus dem isolierten Abschnitt des Entladungsraums, nicht bzw. höchstens vereinzelt in den Bereich des Kanals und somit auf den Draht gelangen können. Insbesondere wird der Kanal vom

25

Entladungsraum durch den Röhrchenabschnitt räumlich getrennt. Endet mit dem Röhrchenabschnitt im Bereich der Düsenöffnung auch das Röhrchen an sich, so kann es in diesem Bereich zwar vereinzelt Überschlüge von Entladungen auf den Draht geben, insbesondere wenn sich die Entladungen aus dem Entladungsraum und insbesondere aus der Düsenöffnung heraus erstrecken. Dadurch wird die

30

Wirkungsweise der Erfindung im Allgemeinen jedoch nur geringfügig beeinträchtigt.

In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung handelt es sich bei dem Dielektrikum um einen Hochtemperatur-Isolator (HT-Isolator), ein Quarzglas oder eine Keramik. Es hat sich herausgestellt, dass dieses Material für den Röhrenabschnitt besonders geeignet ist, da es einerseits einen ausreichend hohen spezifischen Widerstand bzw. eine hohe Durchschlagsfestigkeit aufweist, so dass eine zuverlässige elektrische Isolation zwischen dem Entladungsraum und dem Kanal erfolgen kann. Andererseits sind Hochtemperatur-Isolatoren, Quarzglas und Keramiken sehr hitzebeständig, so dass sie den hohen Temperaturen, die im Entladungsraum auftreten können, standhalten können.

Die Lebensdauer des Röhrenabschnitts und damit der gesamten Vorrichtung lässt sich in einer weiteren Ausführungsform dadurch verbessern, dass im Bereich der Einlassöffnung eine Gaszufuhr zum Einleiten eines Gases in den Kanal vorgesehen ist. Auf diese Weise ist eine Kühlung des Röhrenabschnitts möglich, um dessen Erwärmung durch die Entladungen im Entladungsraum entgegenzuwirken. Vorzugsweise wird als Gas ein inertes Gas, insbesondere Argon verwendet, da auf diese Weise eine Störung des Plasmastrahls durch das am anderen Ende des Röhrenabschnitts austretende Gas minimiert werden kann.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung weist die Plasmadüse eine erste Elektrode und eine zweite Elektrode auf, zwischen denen durch Beaufschlagung mit einer hochfrequenten Hochspannung im Entladungsraum eine Entladung erzeugt werden kann. Dadurch kann ein atmosphärischer und reaktiver Plasmastrahl erzeugt werden, mit dem eine effektive Reinigung des Drahts möglich ist. Im Betrieb werden durch die angelegte Spannung zwischen den Elektroden Entladungen, insbesondere in Form von Entladungsfilamenten, bewirkt, die mit dem durch den Entladungsraum strömenden Gas wechselwirken und dadurch einen Plasmastrahl bilden, der aus der Plasmadüse austritt. Dadurch kann ein Plasmastrahl mit hoher Reaktivität und niedriger Temperatur, insbesondere unter 1000 °C, erzeugt werden. Die Entladungen werden durch das strömende Arbeitsgas in Richtung der

Düsenöffnung abgelenkt und insbesondere kanalisiert, so dass sie den optischen Eindruck eines quasi stationären Lichtbogens ergeben.

Die hochfrequente Hochspannung weist vorzugsweise eine Spannung im Bereich von 1 bis 50 kV, insbesondere 1 bis 15 kV, und eine Frequenz von 1 bis 100 kHz, insbesondere 10 bis 100 kHz, bevorzugt 10 bis 50 kHz auf.

Der Röhrchenabschnitt weist bevorzugt einen Außendurchmesser von weniger als 8 mm, vorzugsweise weniger als 4 mm, insbesondere weniger als 2 mm auf. Dadurch können kompakte Plasmadüsen verwendet werden. Weiterhin wird die Erzeugung des Plasmastrahls durch den Röhrchenabschnitt nur geringfügig beeinträchtigt. Der Innendurchmesser des Röhrchenabschnitts beträgt bevorzugt zwischen 0.1 und 7 mm, vorzugsweise zwischen 0.3 und 4 mm, insbesondere zwischen 0.5 und 2 mm. Auf diese Weise können Drähte mit gängigen Durchmessern, z.B. von 0,3 mm Dicke, behandelt werden.

Bei einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist die erste Elektrode als äußere Elektrode und die zweite Elektrode als innere Hohlelektrode ausgebildet, wobei der Röhrchenabschnitt durch das Innere der zweiten Elektrode verläuft. Diese Elektrodenanordnung hat sich als günstig zur Erzeugung eines reaktiven, aber dennoch kalten atmosphärischen Plasmastrahls herausgestellt. Weiterhin ist insbesondere durch die Anordnung der inneren Hohlelektrode um den Röhrchenabschnitt eine effektive Isolation des Röhrchens und des Kanals gegenüber dem Entladungsraum gewährleistet.

Die Effektivität der Behandlung leitfähiger Drähte kann in einer besonders bevorzugten Ausführungsform dadurch weiter verbessert werden, dass im Bereich der Düsenöffnung eine Precursorzuleitung zum Einbringen eines Precursors in den Plasmastrahl vorgesehen ist. Auf diese Weise kann der Draht nach der Reinigung durch den Plasmastrahl unmittelbar mittels Plasmabeschichtung beschichtet werden. Dies erspart einerseits einen zusätzlichen Arbeitsschritt zur nachträglichen

Beschichtung des gereinigten Drahts, andererseits wird eine erneute Verschmutzung oder Oxidation des Drahts vor der Beschichtung zuverlässig verhindert. Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass der Draht durch die Behandlung mit dem atmosphärischen Plasmastrahl an der Oberfläche aktiviert wird, so dass dessen Benetzungsfähigkeit erhöht und damit eine homogenere und bessere Beschichtung erreicht werden kann. Als Precursor kommt beispielsweise Hexamethyldisiloxan oder ein anderer Precursor zum Aufbringen einer Lackschicht in Frage.

Als Precursorzuleitung kann insbesondere auch das Röhrchenabschnitt verwendet werden. Dazu wird der Precursor auf Seiten der Einlassöffnung in den Kanal bzw. den Röhrchenabschnitt eingeführt, so dass eine zusätzliche Zuleitung entbehrlich ist.

In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung ist der Röhrchenabschnitt entlang seiner Erstreckungsrichtung verschiebbar ausgebildet. Auf diese Weise ist es möglich, die Reaktionsstrecke, auf der der Plasmastrahl auf den Draht wirkt, durch Verschieben des Röhrchenabschnitts zu variieren und dadurch einzustellen. Ist eine Precursorzuleitung vorgesehen, so kann durch das Verschieben des Röhrchenabschnitts die Wegstrecke des Precursors durch den Plasmastrahl bis zur Deposition der Beschichtung auf dem Draht eingestellt und dadurch dessen Fragmentierungsgrad durch Wechselwirkung mit dem Plasmastrahl angepasst werden. Daneben kann der Precursor auch erst im Bereich des Plasmastrahls eingebracht werden, beispielsweise durch eine seitlich angebrachte Düse.

Die oben genannte Aufgabe wird gemäß der ersten Lehre der vorliegenden Erfindung weiterhin durch ein Verfahren zur Behandlung eines Drahts aus leitfähigem Material unter Verwendung einer der zuvor beschriebenen Vorrichtungen gelöst, bei dem mit der Plasmadüse ein atmosphärischer Plasmastrahl erzeugt wird und bei dem der zu behandelnde Draht durch den Kanal geführt wird.

Wie zuvor für die Vorrichtung ausgeführt, kann auf diese Weise eine homogene und effektive Behandlung, insbesondere Reinigung und/oder Beschichtung des Drahts

erreicht werden. Insbesondere sind Transportgeschwindigkeiten des Drahts von bis zum 400 m/Min. erreichbar.

5 In einer Ausführung des Verfahrens wird der zu behandelnde Draht schrittweise oder kontinuierlich durch den Kanal transportiert. Ein schrittweiser Transport ermöglicht eine intensivere Behandlung des Drahts, insbesondere bei sehr starken und hartnäckigen Verschmutzungen. Der kontinuierliche Transport ermöglicht eine gleichmäßigere Behandlung sowie höhere Drahtgeschwindigkeiten. Beim kontinuierlichen Transport kann der Draht beispielsweise von einer Spule
10 abgewickelt, durch den Kanal und den Plasmastrahl geführt werden und anschließend wieder auf eine Spule aufgewickelt oder anderweitig weiterverarbeitet werden.

Eine Verbesserung der Reinigung des Drahts kann bei einer weiteren Ausführungsform des Verfahrens dadurch erreicht werden, dass der Draht zusätzlich
15 mit einer Spannung, insbesondere mit einer hochfrequenten Hochspannung, beaufschlagt wird. Dadurch fließen Ströme durch den Draht, die diesen aufgrund seines spezifischen Widerstands erwärmen und so die Effizienz des Verfahrens verbessern. Durch eine Erwärmung des Drahts auf beispielsweise mehr als 400 °C kann das Ablösen der Verunreinigungen unterstützt werden.

20 Hinsichtlich weiterer Ausführungsformen der Vorrichtung gemäß der ersten Lehre der vorliegenden Erfindung wird auf die Merkmale der jeweiligen Ausführungsformen des Verfahrens gemäß der ersten Lehre der vorliegenden Erfindung verwiesen. Ebenso wird hinsichtlich weiterer Ausführungsformen des Verfahrens gemäß der
25 ersten Lehre der vorliegenden Erfindung auf die Merkmale der jeweiligen Ausführungsformen der Vorrichtung gemäß der ersten Lehre der vorliegenden Erfindung verwiesen.

Die zuvor genannte Aufgabe wird gemäß einer zweiten Lehre der vorliegenden
30 Erfindung gelöst durch eine Vorrichtung zur Behandlung eines Drahts aus leitfähigem Material, mit einem Rohrabchnitt aus einem Dielektrikum, durch den der zu

behandelnde Draht hindurchführbar ist und mit einer an der Außenseite des Rohrabchnitts angeordneten ersten Elektrode, wobei die erste Elektrode so an eine Spannungsversorgung angeschlossen ist, dass die erste Elektrode mit einer ersten hochfrequenten Hochspannung beaufschlagbar ist und wobei zusätzliche

- 5 Beschaltungsmittel für den Draht vorgesehen sind, um den Draht so zu beschalten, dass zwischen der ersten Elektrode und dem Draht eine dielektrisch behinderte Entladung erzeugbar ist. Durch die auf diese Weise zwischen der Elektrode und dem Draht erzeugbare dielektrisch behinderten Entladung, die im Stand der Technik z.T. auch als dielektrische Barriereentladung oder als stille Entladung bezeichnet wird, ist
10 eine effektive und homogene Behandlung des Drahts möglich.

- Der Rohrabchnitt aus dem Dielektrikum verhindert, dass sich im Betrieb der Vorrichtung ein stehender Lichtbogen zwischen der Elektrode und dem Draht ausbilden kann, da die für den Überschlag eines Entladungsfilaments erforderliche
15 Spannung aufgrund des Dielektrikums nach dem Überschlag jeweils lokal zusammenbricht. Vielmehr trifft eine Vielzahl kurzlebiger Entladungsfilamente auf den Draht auf, so dass dessen Oberfläche homogen und insbesondere über den gesamten Umfang, d.h. allseitig, behandelt wird. Die Vielzahl der Entladungsfilamente bildet um den Draht insbesondere ein Plasma aus.

20

- Durch die Entladungsfilamente bzw. durch das zugehörige elektrische Feld können zudem ionisierte Teilchen des Plasmas und seiner Umgebung in Richtung des Drahts beschleunigt werden, so dass es zusätzlich zu einem reinigenden Sputtereffekt kommt. Schließlich können durch die Entladungen bzw. das elektrische Feld Ströme
25 im Draht hervorgerufen werden, die aufgrund des elektrischen Widerstands des Drahts zu einer Erwärmung desselben und damit zu einer besseren Reinigung führen.

- Unter zusätzlichen Beschaltungsmitteln werden Mittel verstanden, durch die der Draht mit der Elektrode in einen Stromkreis eingebunden wird, so dass eine
30 dielektrisch behinderte Entladung auftreten kann. Die zusätzlichen Beschaltungsmittel können insbesondere so ausgebildet sein, dass der Draht

zumindest an einer Stelle auf festes Potential, insbesondere auf Massepotential legbar ist. Beispielsweise können die Beschaltungsmittel so ausgebildet sein, dass der Draht an einer Stelle galvanisch auf ein festes Potential legbar ist.

- 5 In einer Ausführungsform der Vorrichtung ist als zusätzliche Beschaltungsmittel eine auf festes Potential, insbesondere auf Massepotential, gelegte Führung für den Draht so vor dem Rohrabschnitt angeordnet, dass der Draht über die Führung durch den Rohrabschnitt führbar ist. Im Betrieb wird der Draht an der Stelle, an der er über die Führung geführt wird auf festes Potential, insbesondere auf Masse, gelegt. Dadurch ist
10 zwischen der ersten Elektrode und dem Draht eine dielektrisch behinderte Entladung erzeugbar, da der Stromkreis über den Draht und die Führung geschlossen wird, d.h. Ströme vom Draht über die Führung abfließen können.

- Alternativ können die Beschaltungsmittel so ausgebildet sein, dass der Draht an einer
15 Stelle auf festes virtuelles Potential, insbesondere auf virtuelle Masse legbar ist.

- Unter einem virtuellen Potential, insbesondere der virtuellen Masse wird verstanden, dass die entsprechende Stelle auf dem Potential, insbesondere Massepotential, liegt, obwohl sie selber nicht unmittelbar galvanisch mit dem Potential, insbesondere der
20 Masse verbunden ist. Dies kann beispielsweise durch einen kapazitiven Spannungsteiler erreicht werden.

- Gemäß einer Ausführungsform der Vorrichtung ist als zusätzliche Beschaltungsmittel eine an der Außenseite des Rohrabschnitts angeordnete und in Erstreckungsrichtung
25 des Rohrabschnitts von der ersten Elektrode beabstandete zweite Elektrode vorgesehen, wobei die erste und die zweite Elektrode so an eine Spannungsversorgung angeschlossen sind, dass die erste Elektrode mit einer ersten hochfrequenten Hochspannung beaufschlagbar ist und die zweite Elektrode mit einer zweiten, zur ersten hochfrequenten Hochspannung gegenphasigen hochfrequenten
30 Hochspannung beaufschlagbar ist. Auf diese Weise wird der Draht so beschaltet, dass er an einer Stelle auf festem virtuellen Potential liegt. Im Betrieb bilden die erste

Elektrode und der Draht eine erste Kapazität und die zweite Elektrode und der Draht eine zweite Kapazität. Dadurch liegt ein kapazitiver Spannungsteiler vor, der durch die entsprechend gewählte erste und zweite hochfrequente Hochspannung ein festes virtuelles Potential an einer Stelle des Drahts bewirkt. Somit kann man berührungslos den Stromkreis schließen und der Draht muss nicht extra mit Potenzial beaufschlagt werden.

Bei einer bevorzugten Ausführungsform der Vorrichtung ist als Spannungsversorgung ein Transformator mit Mittelabgriff vorgesehen, wobei der Mittelabgriff auf festem Potential, insbesondere auf Masse liegt. Die an den beiden Polen der Spannungsversorgung angeschlossenen Elektroden können dadurch auf einfache Weise mit einer zueinander gegenphasigen hochfrequenten Hochspannung beaufschlagt werden.

Zwischen der ersten und der zweiten Elektrode kann an der Außenseite des Rohrabschnitts zusätzlich eine Entladungsbarriere vorgesehen sein, die ein Überspringen einer Entladung zwischen den beiden außen liegenden Elektroden verhindern soll. Daher ragt sie bevorzugter Weise radial nach außen vor. Die Vorrichtung kann bezüglich des Rohrabschnitts sowie der ersten und der zweiten Elektrode bevorzugt im Wesentlichen spiegelsymmetrisch aufgebaut sein. Auf diese Weise liegt die Stelle mit festem Potential auf dem Draht im Wesentlichen in der Mitte zwischen den beiden Elektroden.

Die oben genannte Aufgabe wird gemäß der zweiten Lehre der vorliegenden Erfindung weiterhin durch ein Verfahren zur Behandlung eines Drahts aus leitfähigem Material, insbesondere unter Verwendung einer der zuvor beschriebenen Vorrichtungen, gelöst, bei dem der zu behandelnde Draht durch einen Rohrabschnitt aus einem Dielektrikum geführt wird, bei dem eine an der Außenseite des Rohrabschnitts angeordnete erste Elektrode mit einer ersten hochfrequenten Hochspannung beaufschlagt wird und bei dem der Draht so beschaltet wird, dass zwischen der ersten Elektrode und dem Draht eine dielektrisch behinderte Entladung

erfolgt. Wie bereits für die zuvor beschriebenen Vorrichtungen ausgeführt, ist durch die auf diese Weise zwischen der Elektrode und dem Draht erzeugten dielektrisch behinderten Entladung eine effektive und homogene Behandlung des Drahts möglich.

- 5 Die dielektrisch behinderte Entladung kann bei einer Ausführungsform des Verfahrens besonders einfach dadurch realisiert werden, dass der Draht so beschaltet wird, dass er zumindest an einer Stelle auf festem Potential, insbesondere auf Massepotential liegt. Auf diese Weise kann der Stromkreis des über die Entladungsfilamente von der Elektrode auf den Draht fließenden Stroms geschlossen
10 werden, so dass eine kontinuierliche Behandlung des Drahts möglich ist.

- Als die zumindest eine Stelle, an der der Draht auf festem Potential liegt, kann eine relativ zum Draht ortsfeste Stelle gewählt werden, beispielsweise ein Ende des Drahts. Beim Transport des Drahts durch den Rohrabschnitt bewegt sich mit dem Draht dann
15 auch diese Stelle relativ zum Rohrabschnitt. Alternativ kann auch eine relativ zum Rohrabschnitt ortsfeste Stelle gewählt werden, beispielsweise innerhalb des Rohrabschnitts oder bevor der Draht in den Rohrabschnitt hineintritt oder nachdem er aus diesem austritt.

- 20 In einer Ausführungsform des Verfahrens wird der Draht an einer Stelle galvanisch auf ein festes Potential, insbesondere auf Masse gelegt. Damit wird der Draht an einer Stelle unmittelbar über einen elektrischen Kontakt mit dem Potential verbunden, insbesondere geerdet, und liegt damit beispielsweise sicher auf Masse. Auf diese Weise kann eine hohe Zuverlässigkeit und Sicherheit des Verfahrens gewährleistet
25 werden. Beispielsweise kann diese Ausführungsform dadurch realisiert werden, dass der Draht vor Eintritt in den Rohrabschnitt über eine leitfähige Führung geführt wird, welche selbst auf ein festes Potential, insbesondere Massepotential, gelegt ist. In diesem Fall handelt es sich bei der zumindest einen Stelle insbesondere um eine relativ zum Rohrabschnitt ortsfeste Stelle. Im Betrieb kann im Draht zwischen der
30 Stelle, an welcher der Draht auf Masse gelegt ist und der Elektrode ein Strom fließen,

der den Draht wegen seines elektrischen Widerstands erwärmt, so dass der Reinigungsprozess unterstützt wird.

Bei einer alternativen Ausführungsform kann der Draht an einer Stelle auf festem virtuellen Potential, insbesondere auf virtueller Masse liegen. Dadurch wird eine direkte elektrische Verbindung des Drahts mit einem Potential entbehrlich, wodurch die Durchführung des Verfahrens vereinfacht wird.

Eine einfache Realisierung, eine Stelle des Drahts auf virtuelles Potential, insbesondere virtuelle Masse zu legen, wird in einer bevorzugten Ausführungsform dadurch erreicht, dass eine an der Außenseite des Rohrabschnitts angeordnete und in Erstreckungsrichtung des Rohrabschnitts zur ersten Elektrode beabstandete zweite Elektrode mit einer zweiten hochfrequenten Hochspannung beaufschlagt wird, wobei die erste und die zweite hochfrequente Hochspannung so aufeinander abgestimmt werden, dass der Draht an einer Stelle auf einem festen virtuellen Potential, insbesondere auf virtueller Masse liegt.

Durch das Vorsehen der zweiten Elektrode wird ein kapazitiver Spannungsteiler bereitgestellt, durch den auf dem Draht an einer Stelle ein virtuelles Potential erzeugt werden kann. Dazu können insbesondere die Frequenzen, Amplituden und/oder Phasen der ersten und zweiten hochfrequenten Hochspannungen aufeinander abgestimmt werden. Vorzugsweise sind die erste und die zweite hochfrequente Hochspannung gegenphasig, wobei insbesondere die Frequenzen und Amplituden der ersten und der zweiten hochfrequenten Hochspannungen im Wesentlichen übereinstimmen.

Die hochfrequente Hochspannung bzw. die hochfrequenten Hochspannungen weisen vorzugsweise eine Spannung im Bereich von 1 bis 50 kV, insbesondere 1 bis 15 kV, und eine Frequenz von 1 bis 100 kHz, insbesondere 10 bis 100 kHz, bevorzugt 10 bis 50 kHz auf.

Der Rohrabschnitt weist bevorzugt einen Innendurchmesser zwischen 0,5 und 30 mm, vorzugsweise zwischen 0,5 und 15 mm, insbesondere zwischen 0,5 und 6 mm auf. Auf diese Weise können gängige Drähte mit gängigen Durchmessern, z.B. von 0,3 mm Dicke, behandelt werden. Weiterhin wird durch geringere Durchmesser die
5 Ausbildung der dielektrisch behinderten Entladung begünstigt.

Der Draht kann, bevor er durch den Rohrabschnitt geführt wird, vorgewärmt werden, insbesondere auf eine Temperatur oberhalb von 400 °C, um die Reinigung zu intensivieren. Die Vorwärmung kann beispielsweise durch einen Ofen erfolgen. Die
10 Erwärmung erfolgt bevorzugt in einer inerten Umgebung, beispielsweise in einer Argon-Umgebung, um eine Oxidation des Drahts zu verhindern.

Hinsichtlich weiterer Ausführungsformen der Vorrichtung gemäß der zweiten Lehre
15 der vorliegenden Erfindung wird auf die Merkmale der jeweiligen Ausführungsformen des Verfahrens gemäß der zweiten Lehre der vorliegenden Erfindung verwiesen. Ebenso wird hinsichtlich weiterer Ausführungsformen des Verfahrens gemäß der zweiten Lehre der vorliegenden Erfindung auf die Merkmale der jeweiligen
Ausführungsformen der Vorrichtung gemäß der zweiten Lehre der vorliegenden
20 Erfindung verwiesen.

Weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus den nachfolgend beschriebenen Ausführungsbeispielen, wobei auf die beigefügte Zeichnung Bezug
25 genommen wird.

In der Zeichnung zeigen

Fig. 1 ein erstes Ausführungsbeispiel der Vorrichtung und des Verfahrens gemäß der
ersten Lehre der vorliegenden Erfindung,

Fig. 2 ein zweites Ausführungsbeispiel der Vorrichtung und des Verfahrens gemäß der ersten Lehre der vorliegenden Erfindung,

Fig. 3 ein erstes Ausführungsbeispiel der Vorrichtung und des Verfahrens gemäß der
5 zweiten Lehre der vorliegenden Erfindung,

Fig. 4 ein Ersatzschaltbild zur Vorrichtung gemäß Fig. 3,

Fig. 5 ein zweites Ausführungsbeispiel der Vorrichtung und des Verfahrens gemäß
10 der zweiten Lehre der vorliegenden Erfindung und

Fig. 6 ein Ersatzschaltbild zur Vorrichtung gemäß Fig. 5.

Fig. 1 zeigt ein erstes Ausführungsbeispiel der Vorrichtung und des Verfahrens gemäß
15 der ersten Lehre der vorliegenden Erfindung. Die Vorrichtung 2 weist eine
Plasmadüse 4 zur Erzeugung eines atmosphärischen Plasmastrahls 6 auf. Die
Plasmadüse 4 umfasst ein Düsenrohr 8, welches einen Entladungsraum 10 innerhalb
der Plasmadüse 4 mit einer Düsenöffnung 12 zum Auslass des Plasmastrahls 6
aufweist. Weiterhin weist die Plasmadüse 4 eine Wand 14 mit einer Einlassöffnung 16
20 und Öffnungen 18 auf. Zwischen der Einlassöffnung 16 und der Düsenöffnung 12 ist
ein Kanal 20 ausgebildet, durch den der zu behandelnde Draht 22 hindurchführbar ist.
Die Plasmadüse 4 weist weiterhin eine innere Hohlelektrode 24 auf sowie eine äußere
Elektrode 26, welche vorliegend durch das Düsenrohr 8 gebildet wird. Zwischen der
ersten Elektrode 24 und der zweiten Elektrode 26 kann mittels einer
25 Spannungsversorgung 28 eine hochfrequente Hochspannung angelegt werden. Die
äußere Elektrode 26 ist dabei vorzugsweise geerdet, um die Betriebssicherheit der
Plasmadüse 4 zu gewährleisten. In der Plasmadüse 4 ist ein den Kanal 20 umgebender
Röhrchenabschnitt 30 aus einem Dielektrikum, vorzugsweise aus einem
Hochtemperatur-Isolator, einem Quarzglas oder einer Keramik, angeordnet.

Im Betrieb wird zwischen den Elektrode 24 und 26 eine hochfrequente Hochspannung angelegt, so dass es im Entladungsraum 10 zu elektrischen Entladungen zwischen den Elektroden kommt. Die Entladungen erfolgen insbesondere in Form von Entladungsfilamenten zwischen den beiden Elektroden 24 und 26. Durch die Öffnungen 18 wird ein Arbeitsgas 34 in die Plasmadüse 4 eingeleitet und durchströmt den Entladungsraum 10. Dadurch werden die elektrischen Entladungen, d.h. die Entladungsfilamente, in Richtung der Düsenöffnung 12 verlagert, wobei der optische Eindruck eines quasi stabilen Lichtbogens 36 entsteht. Das Arbeitsgas 34 wechselwirkt nun im Entladungsraum 10 mit den elektrischen Entladungen und wird dadurch angeregt, so dass aus der Plasmadüse 4 ein atmosphärischer Plasmastrahl 6 austritt.

Der Röhrchenabschnitt 30 verläuft in Fig. 1 von der Einlassöffnung bis in den Bereich der Düsenöffnung 12. Dadurch können bei der dargestellten Elektrodenkonfiguration die elektrischen Entladungen aus dem Entladungsraum 10 nicht in den Kanal 20 gelangen, sondern schlagen in die Elektrode 26, bevorzugt im Bereich der Düsenöffnung 12, ein. Auf diese Weise ist der Röhrchenabschnitt 30 so angeordnet, dass der Kanal 20 gegenüber dem Entladungsraum 10 elektrisch isoliert ist. Damit wird im Ergebnis das Einschlagen von Entladungsfilamenten auf dem Draht 22 verhindert, so dass einerseits der Draht 22 nicht lokal geschädigt wird und andererseits die Erzeugung des Plasmastrahls 6 durch den leitfähigen Draht 22 nicht behindert wird. Der Draht 22 kommt erst mit dem Plasmastrahl 6 bei seinem Austritt aus dem Röhrchenabschnitt 30 in Kontakt und wird dort von diesem effektiv behandelt, insbesondere gereinigt.

Alternativ kann der Röhrchenabschnitt 30 auch bereits vor der Düsenöffnung 12 enden, so dass der Kanal 20 vom Entladungsraum 10 nur abschnittsweise, nämlich im Bereich des dann kürzeren Röhrchenabschnitts 24, isoliert ist. Dadurch können in dem dann nicht-isolierten Abschnitt des Entladungsraums 10 Entladungen auf den Draht 22 überschlagen und so zu einem zusätzlichen Reinigungseffekt führen,

während die Ausbildung des Plasmastrahls 6 durch die Entladungen im isolierten Abschnitt des Entladungsraums 10 sichergestellt wird.

Wie in Fig. 1 dargestellt können die lichtbogenartigen Entladungsfilamente 36 nah an
5 der Oberfläche des Röhrchenabschnitts 30 entlanglaufen und diesen stark erwärmen.
Zur Kühlung des Röhrchenabschnitts 30 ist daher insbesondere vorgesehen, ein Gas
38 in den Röhrchenabschnitt 30 von der Seite der Einlassöffnung 16 einzuleiten. Bei
der Verwendung eines inerten Gases wie Argon kann dabei ein ausreichender
Kühleffekt erreicht werden, während gleichzeitig das austretende Gas 38 am anderen
10 Ende des Röhrchenabschnitts 30 den Plasmastrahl 6 nur geringfügig beeinflusst.

An der Plasmadüse 4 kann im Bereich der Düsenöffnung 12 ein Auslassrohr 42
vorgesehen sein, durch welche der aus der Düsenöffnung 12 austretende Plasmastrahl
von der Umgebung, beispielsweise von Luftbewegungen, abgeschirmt wird. Weiterhin
15 kann der Plasmastrahl auf diese Weise kanalisiert werden, so dass er zunächst
konzentriert im Bereich des Drahts 22 verläuft, ohne dabei aufzuweiten.

Der Draht 22 kann kontinuierlich oder schrittweise in der durch den Pfeil 40
dargestellten Transportrichtung durch den Kanal 20 und das Plasma 6 transportiert
20 werden. Alternativ ist auch ein Transport in Gegenrichtung möglich.

Fig. 2 zeigt ein zweites Ausführungsbeispiel der Vorrichtung und des Verfahrens
gemäß der ersten Lehre der vorliegenden Erfindung. Die Vorrichtung 62 entspricht im
Wesentlichen der in Fig. 1 gezeigten Vorrichtung 2. Einander entsprechende
25 Komponenten sind jeweils mit gleichen Bezugszeichen versehen.

Zusätzlich weist die in Fig. 2 gezeigte Vorrichtung 62 im Bereich des Auslassrohrs 42
eine Precursorzuleitung 64 zum Einbringen eines Precursors 66 in den Plasmastrahl 6
auf. Auf diese Weise kann im Betrieb ein Precursor, beispielsweise
30 Hexamethyldisiloxan, in den Plasmastrahl 6 eingebracht werden, so dass der Draht 22
unmittelbar nach seiner Reinigung durch den Plasmastrahl 6 durch eine

Plasmabeschichtung beschichtet werden kann. Beispielsweise kann eine für die
Wicklung von Spulen und Transformatoren erforderliche Lackisolierung des Drahts
22 unmittelbar auf diesen aufgebracht werden, ohne dass es zu einer erneuten
Verschmutzung oder Oxidation des Drahts 22 kommen kann bzw. ohne dass ein
5 zusätzlicher, nachgelagerter Arbeitsschritt notwendig ist.

Der Röhrchenabschnitt 30 kann so ausgebildet sein, dass er entlang seiner
Erstreckungsrichtung 68 verschiebbar ausgebildet ist. Auf diese Weise kann der
Abstand der Öffnung des Röhrchenabschnitts 30 relativ zur Position der
10 Precursorzuleitung 64 variiert werden. Dadurch können beispielsweise der
Reinigungs- und Vorbehandlungsweg des Drahts 22 durch den Plasmastrahl 6 sowie
der Fragmentierungsgrad des Precursors 66 eingestellt werden.

Des Weiteren kann man das Röhrchen 30 selbst für die Zuleitung des Precursors
15 verwenden. In diesem Fall kann auf die separate Zuleitung 64 verzichtet werden. Bei
Verwendung des Röhrchens 30 kann man zusätzlich die Verweilzeit des Precursors im
Plasmastrahl bis zur Berührung mit dem Draht durch eine Verschiebung des
Röhrchens einstellen.

Fig. 3 zeigt ein erstes Ausführungsbeispiel der Vorrichtung und des Verfahrens gemäß
20 der zweiten Lehre der vorliegenden Erfindung. Fig. 4 zeigt ein zugehöriges
Ersatzschaltbild. Die Vorrichtung 102 weist einen Rohrabschnitt 104 aus einem
Dielektrikum, vorzugsweise aus einem Hochtemperatur-Isolator, einem Quarzglas
oder einer Keramik auf, durch den der zu behandelnde Draht 106 hindurchführbar ist.
An der Außenseite des Rohrabschnitts 104 sind eine erste Elektrode 108 und eine
25 zweite Elektrode 110 angeordnet, welche in Erstreckungsrichtung 112 des
Rohrabschnitts 104 voneinander beabstandet sind. Die erste Elektrode 108 und die
zweite Elektrode 110 sind an eine Spannungsversorgung 114 mit Mittelabgriff 118
angeschlossen, so dass die erste Elektrode mit einer ersten hochfrequenten
Hochspannung HV1 und die zweite Elektrode mit einer zweiten hochfrequenten
30 Hochspannung HV2 beaufschlagbar ist. Der Mittelabgriff 118 der
Spannungsversorgung 114 ist auf Masse gelegt.

An der Außenseite des Rohrabschnitts kann zwischen der ersten Elektrode 108 und der zweiten Elektrode 110 eine Entladungsbarriere 120 vorgesehen sein, die aus einem isolierenden Material besteht und eine Entladung zwischen den beiden

5 Elektroden auf der Außenseite verhindern soll.

Die Vorrichtung 102 ist bezüglich der Rohrabschnitts 104 sowie die Elektroden 108 und 110 vorzugsweise spiegelsymmetrisch, zum Beispiel zu einer Ebene durch die Entladungsbarriere 120.

10

Im Betrieb wird mit der Spannungsversorgung 114 die erste Elektrode 108 mit der hochfrequenten Hochspannung HV1 und die zweite Elektrode 110 mit der hochfrequenten Hochspannung HV2 beaufschlagt. Durch den Anschluss der beiden

Elektroden 108, 110 an die Spannungsversorgung 114 mit geerdetem Mittelabgriff

15 wird auf einfache Weise erreicht, dass die hochfrequenten Hochspannungen HV1 und HV2 gegenphasig sind, wobei sie insbesondere gleiche Frequenzen und Amplituden aufweisen. Bevorzugt gilt $HV2 = -HV1$.

Im Ersatzschaltbild in Fig. 4 ist der kapazitive Widerstand zwischen der ersten

20 Elektrode 108 und dem Draht 106 als erste Kapazität 122 und der kapazitive

Widerstand zwischen der zweiten Elektrode 110 und dem Draht 106 als zweite

Kapazität 124 dargestellt. Die Spannungsversorgung 114 ist als Transformator mit

Mittelabgriff 118 dargestellt. Bei einem symmetrischen Aufbau der beiden Elektroden

108 und 110, wie er beispielsweise in Fig. 3 dargestellt ist, sind die Kapazitäten 122

25 und 124 von im Wesentlichen gleicher Größe. Insgesamt stellt das Ersatzschaltbild

eine kapazitiven Spannungsteiler dar, so dass an einer Stelle 126 des Drahts 106

zwischen den beiden Elektroden eine virtuelle Masse vorliegt.

Im Betrieb erfolgt zwischen der ersten Elektrode 108 und dem Draht 106 sowie

30 zwischen der zweiten Elektrode 110 und dem Draht 106 eine dielektrisch behinderte

Entladung 128. Damit bestehen zwei virtuell geschlossene Stromkreise, und zwar

jeweils vom Massenpotential am Mittelabgriff über eine der Spulenhälften und eine der Kapazitäten bis zur virtuellen Masse an der Stelle 126. Eine zusätzliche Erdung des Drahts 106 ist auf diese Weise entbehrlich. Die in den virtuellen Stromkreisen fließenden Ströme 130, 132 können den Draht 106 aufgrund dessen elektrischen

5 Widerstands zusätzlich erwärmen, wodurch die Reinigung des Drahts weiter unterstützt wird. Durch eine Wahl des Abstands zwischen der ersten Elektrode 108 und der zweiten Elektrode 110 bzw. zwischen der ersten Elektrode 108 und der dritten Elektrode 120 sowie der zweiten Elektrode 110 und der dritten Elektrode 120 kann die Strecke eingestellt werden, auf welcher der Draht durch die Ströme 130, 132

10 erwärmt wird. Die Abstände können beispielsweise so gewählt werden, dass die Drahtoberfläche im Bereich der Vorrichtung 102 lokal auf eine Temperatur von über 400 °C aufgeheizt wird.

Die dielektrisch behinderte Entladung 128 umfasst eine Vielzahl von

15 Entladungsfilamenten, welche auf den Draht 106 überschlagen. Hierdurch wird eine homogene und allseitige Behandlung des Drahts gewährleistet. Insbesondere können durch die Entladungen ionisierte Teilchen in Richtung des Drahts 106 beschleunigt werden, so dass es zu einem zusätzlichen Sputtereffekt kommen kann, bei dem Verschmutzungsteilchen durch die beschleunigten, auf den Draht prallenden Teilchen

20 hinfert geschleudert werden.

Ein weiteres Ausführungsbeispiel der Vorrichtung und des Verfahrens gemäß der zweiten Lehre der vorliegenden Erfindung ist in Fig. 5 dargestellt. Fig. 6 zeigt das zugehörige Ersatzschaltbild. Bei diesem Ausführungsbeispiel wird der zu

25 behandelnde Draht 204 durch einen Rohrabchnitt 206 aus einem Dielektrikum, insbesondere einem Hochtemperatur-Isolator, einem Quarzglas oder einer Keramik, geführt, wobei an der Außenseite des Rohrabchnitts 206 eine Elektrode 208 angeordnet ist, die mit einer hochfrequenten Hochspannung von einer Spannungsversorgung 210 beaufschlagt wird. Der Draht 204 wird an einer Stelle auf

30 ein festes Potential, insbesondere auf Massepotential gelegt, beispielsweise über eine als Rolle ausgebildete, geerdete Führung 212. Der kapazitive Widerstand zwischen

der Elektrode 208 und dem Draht 204 ist im Ersatzschaltbild in Fig. 6 als Kapazität 214 dargestellt.

Im Betrieb findet zwischen der Elektrode 208 und dem geerdeten Draht 204 aufgrund
5 des dielektrischen Rohrabschnitts 206 eine dielektrisch behinderte Entladung 215
statt. Dadurch erfolgt, wie bereits für das in Fig. 3 dargestellte Ausführungsbeispiel
beschrieben, eine homogene und insbesondere allseitige Reinigung des Drahts 204.
Durch die dielektrisch behinderte Entladung 215 wird der Stromkreis über die
Kapazität 214 geschlossen, so dass im Draht 204 ein Strom 216 fließt, welcher den
10 Draht 204 aufgrund dessen elektrischen Widerstands erwärmt. Hierdurch wird eine
verbesserte Reinigung erzielt.

P a t e n t a n s p r ü c h e

1. Vorrichtung (2, 62) zur Behandlung eines Drahts (22) aus leitfähigem Material,
 - mit einer Plasmadüse (4) zur Erzeugung eines atmosphärischen Plasmastrahls (6),
- 5
 - wobei innerhalb der Plasmadüse (4) ein Entladungsraum (10) mit einer Düsenöffnung (12) zum Auslass des Plasmastrahls (6) ausgebildet ist und
 - wobei zwischen einer Einlassöffnung (16) der Plasmadüse (4) und der Düsenöffnung (12) ein Kanal (20) ausgebildet ist, durch den der zu behandelnde Draht (22) hindurchführbar ist,
- 10
 - dadurch gekennzeichnet,
 - dass in der Plasmadüse (4) ein den Kanal (20) umgebender Röhrchenabschnitt (30) aus einem Dielektrikum so angeordnet ist, dass der Kanal (20) gegenüber dem Entladungsraum (10) zumindest abschnittsweise elektrisch isoliert ist.
- 15 2. Vorrichtung nach Anspruch 1,
 - dadurch gekennzeichnet,
 - dass das Dielektrikum ein Hochtemperatur-Isolator, ein Quarzglas oder eine Keramik ist.
- 20 3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2,
 - dadurch gekennzeichnet,
 - dass im Bereich der Einlassöffnung (16) eine Gaszufuhr zum Einleiten eines Gases (38) in den Kanal vorgesehen ist.

4. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Plasmadüse (4) eine erste Elektrode (26) und eine zweite Elektrode (24)
aufweist, zwischen denen durch Beaufschlagung mit einer hochfrequenten
5 Hochspannung im Entladungsraum (10) eine Entladung erzeugt werden kann.
5. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4,
dadurch gekennzeichnet,
dass die erste Elektrode (26) als äußere Elektrode und die zweite Elektrode (24)
10 als innere Hohlelektrode ausgebildet sind, wobei der Röhrchenabschnitt (30)
durch das Innere der zweiten Elektrode (24) verläuft.
6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5,
dadurch gekennzeichnet,
15 dass im Bereich der Düsenöffnung (12) eine Precursorzuleitung (64) zum
Einbringen eines Precursors (66) in den Plasmastrahl (6) vorgesehen ist.
7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6,
dadurch gekennzeichnet,
20 dass der Röhrchenabschnitt (30) entlang seiner Erstreckungsrichtung (68)
verschiebbar ausgebildet ist.
8. Verfahren zur Behandlung eines Drahts (22) aus leitfähigem Material unter
Verwendung einer Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7,
25 - bei dem mit der Plasmadüse (4) ein atmosphärischer Plasmastrahl (6) erzeugt
wird,
- bei dem der zu behandelnde Draht (22) durch den Kanal (20) geführt wird.
9. Vorrichtung zur Behandlung eines Drahts (106, 204) aus leitfähigem Material,
30 - mit einem Rohrabschnitt (104, 206) aus einem Dielektrikum, durch den der zu
behandelnde Draht (106, 204) hindurchführbar ist und

- mit einer an der Außenseite des Rohrabschnitts (104, 206) angeordneten ersten Elektrode (108, 208),
- wobei die erste Elektrode (108, 208) so an eine Spannungsversorgung (114, 210) angeschlossen ist, dass die erste Elektrode (108, 208) mit einer ersten
5 hochfrequenten Hochspannung (HV, HV1) beaufschlagbar ist und
- wobei zusätzliche Beschaltungsmittel für den Draht (106, 204) vorgesehen sind, um den Draht (106, 204) so zu beschalten, dass zwischen der ersten Elektrode (108, 208) und dem Draht (106, 204) eine dielektrisch behinderte Entladung erzeugbar ist.

10

10. Vorrichtung nach Anspruch 9,
dadurch gekennzeichnet,
dass als zusätzliche Beschaltungsmittel eine auf festes Potential, insbesondere auf Massepotential, gelegte Führung (212) für den Draht so vor dem Rohrabschnitt
15 (104, 206) angeordnet ist, dass der Draht (106, 204) über die Führung (212) durch den Rohrabschnitt (104, 206) führbar ist.

15

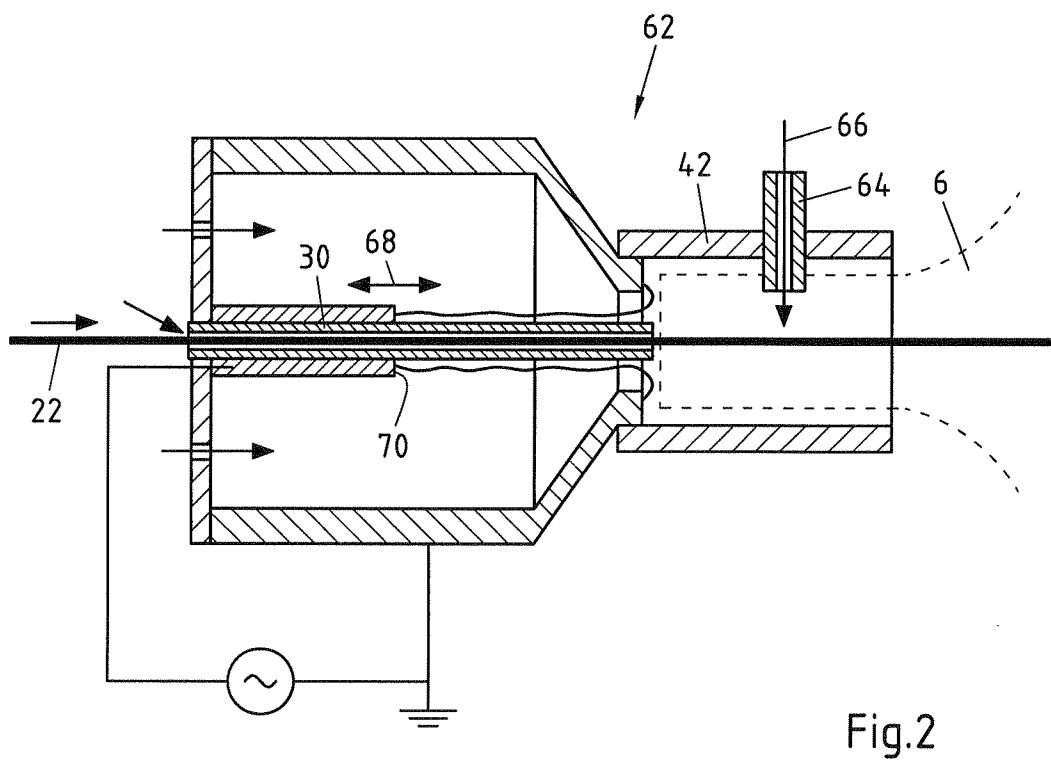
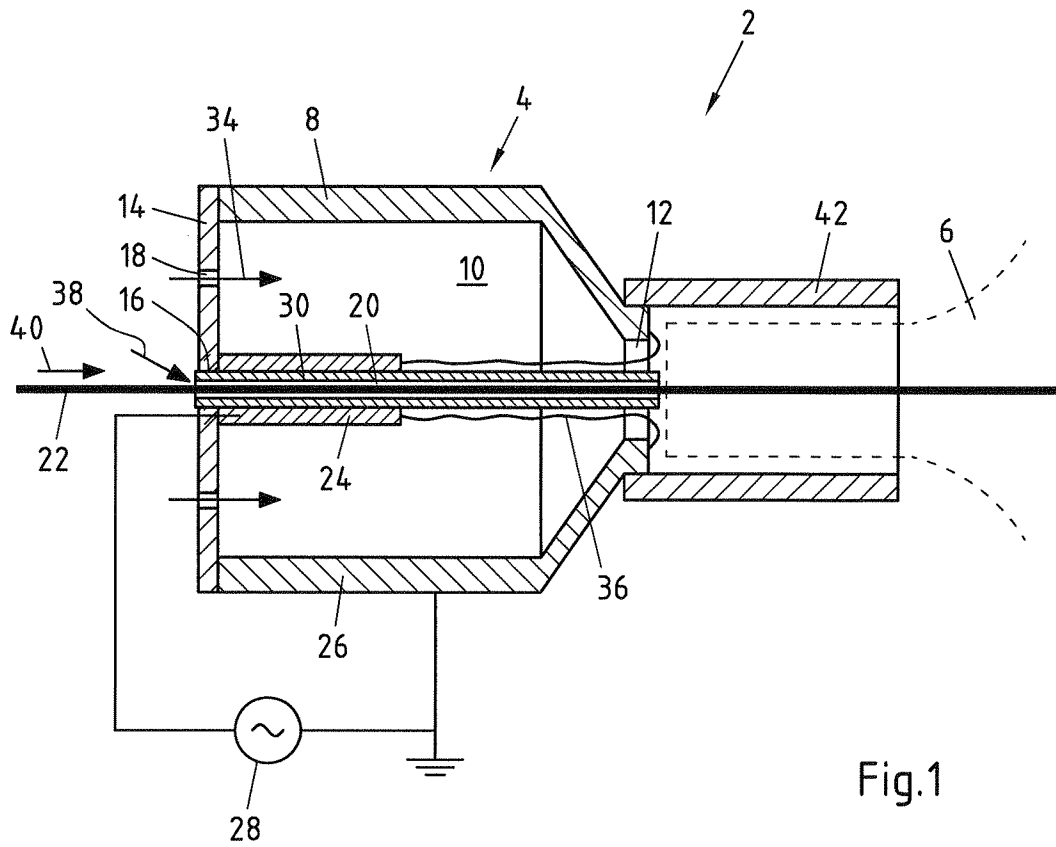
11. Vorrichtung nach Anspruch 9 oder 10,
dadurch gekennzeichnet,
20 dass als zusätzliche Beschaltungsmittel eine an der Außenseite des Rohrabschnitts (104, 206) angeordnete und in Erstreckungsrichtung (112) des Rohrabschnitts (104, 206) von der ersten Elektrode (108) beabstandete zweite Elektrode (110) vorgesehen ist, wobei die erste und die zweite Elektrode (108, 110) so an eine Spannungsversorgung (114) angeschlossen sind, dass die erste
25 Elektrode (108) mit einer ersten hochfrequenten Hochspannung (HV1) beaufschlagbar ist und die zweite Elektrode (110) mit einer zweiten, zur ersten hochfrequenten Hochspannung (HV1) gegenphasigen hochfrequenten Hochspannung (HV2) beaufschlagbar ist.

25

12. Vorrichtung nach Anspruch 11,
dadurch gekennzeichnet,
dass als Spannungsversorgung (114) ein Transformator mit Mittelabgriff (118)
vorgesehen ist, wobei der Mittelabgriff (118) auf festem Potential, insbesondere
auf Masse liegt.
13. Vorrichtung nach Anspruch 11 oder 12,
dadurch gekennzeichnet,
dass an der Außenseite des Rohrabschnitts (104, 206) zwischen der ersten und
der zweiten Elektrode (108, 110) eine Entladungsbarriere (120) vorgesehen ist.
14. Verfahren zur Behandlung eines Drahts aus leitfähigem Material, insbesondere
unter Verwendung einer Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 13,
- bei dem der zu behandelnde Draht (106, 204) durch einen Rohrabschnitt (104,
206) aus einem Dielektrikum geführt wird,
- bei dem eine an der Außenseite des Rohrabschnitts (104, 206) angeordnete erste
Elektrode (108, 208) mit einer ersten hochfrequenten Hochspannung (HV, HV1)
beaufschlagt wird und
- bei dem der Draht (106, 204) so beschaltet wird, dass zwischen der ersten
Elektrode (108, 208) und dem Draht (106, 204) eine dielektrisch behinderte
Entladung erfolgt.
15. Verfahren nach Anspruch 14,
dadurch gekennzeichnet,
dass der Draht (106, 204) so beschaltet wird, dass er zumindest an einer Stelle
auf festem Potential, insbesondere auf Massepotential liegt.
16. Verfahren nach Anspruch 14,
dadurch gekennzeichnet,
dass der Draht (106, 204) an einer Stelle galvanisch auf ein festes Potential,
insbesondere auf Masse gelegt wird.

17. Verfahren nach Anspruch 14,
dadurch gekennzeichnet,
dass der Draht (106, 204) so beschaltet wird, dass er an einer Stelle auf festem
virtuellen Potential, insbesondere auf virtueller Masse liegt.
18. Verfahren nach Anspruch 17,
dadurch gekennzeichnet,
dass eine an der Außenseite des Rohrabschnitts (104, 206) angeordnete und in
Erstreckungsrichtung (112) des Rohrabschnitts (104, 206) zur ersten Elektrode
(108) beabstandete zweite Elektrode (110) mit einer zweiten hochfrequenten
Hochspannung (HV2) beaufschlagt wird, wobei die erste und die zweite
hochfrequente Hochspannung (HV1, HV2) so aufeinander abgestimmt werden,
dass der Draht (106, 204) an einer Stelle auf einem festem virtuellen Potential,
insbesondere auf virtueller Masse liegt.

1/3



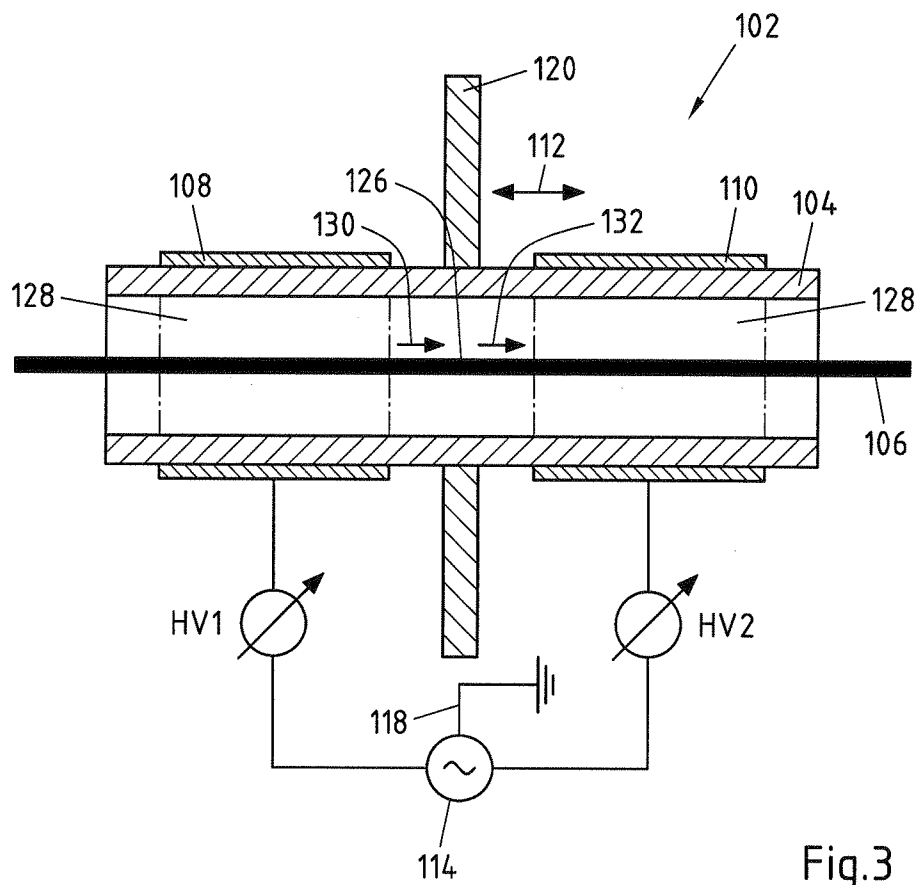


Fig.3

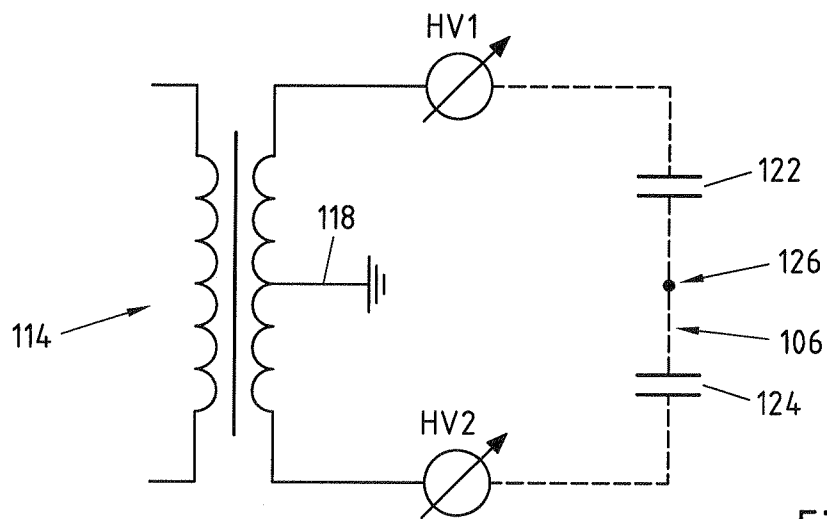


Fig.4

3/3

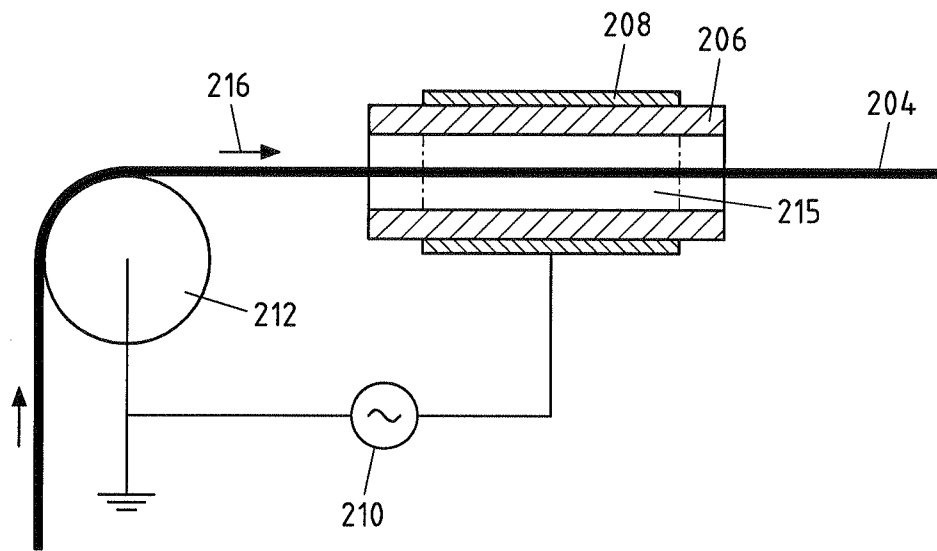


Fig.5

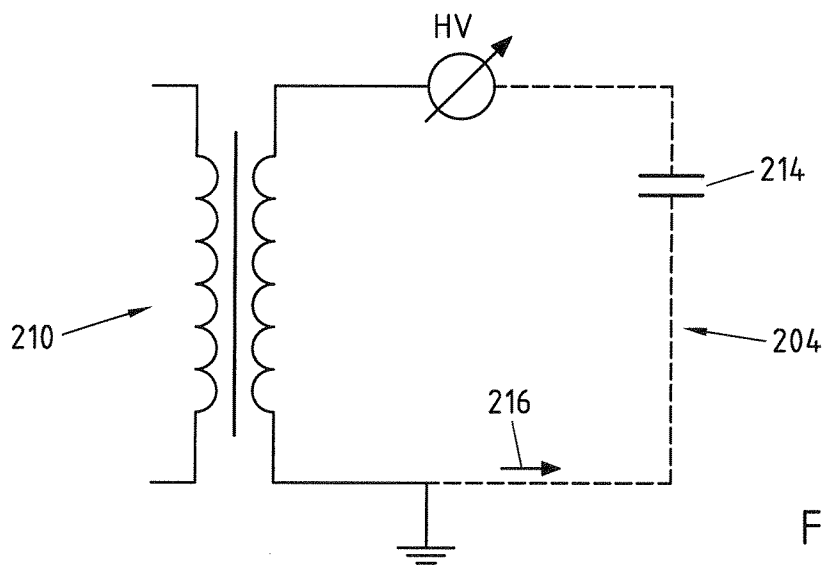


Fig.6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2013/060855

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. H05H1/24 H05H1/48
ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
H05H H01J

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, INSPEC

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X A	US 2005/236374 A1 (BLANKENSHIP GEORGE D [US]) 27 October 2005 (2005-10-27) paragraph [0004] paragraph [0009] paragraph [0037] - paragraph [0038] paragraph [0042] figure 6	9-18 1-4,8
X A	DE 102 19 197 C1 (FH HILDESHEIM HOLZMINDEN GOE [DE]) 25 September 2003 (2003-09-25) paragraph [0001] paragraph [0006] - paragraph [0007] paragraph [0012] paragraph [0022] paragraph [0029] paragraph [0033] figures 1,5	9,10, 14-17 1,2,5,8, 11
	----- -/-	



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

7 May 2014

Date of mailing of the international search report

16/05/2014

Name and mailing address of the ISA/

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

Authorized officer

Capostagno, Eros

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2013/060855

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	EP 0 994 637 A2 (FOERNSEL PETER [DE]; BUSKE CHRISTIAN [DE]) 19 April 2000 (2000-04-19) cited in the application the whole document -----	1-5,8,9

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2013/060855

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2005236374 A1	27-10-2005	US 2005236374 A1	27-10-2005
		US 2010263795 A1	21-10-2010
DE 10219197 C1	25-09-2003	NONE	
EP 0994637 A2	19-04-2000	AT 313240 T	15-12-2005
		DE 19847774 A1	04-05-2000
		EP 0994637 A2	19-04-2000
		US 6355312 B1	12-03-2002

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 INV. H05H1/24 H05H1/48
 ADD.

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
 H05H H01J

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data, INSPEC

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 2005/236374 A1 (BLANKENSHIP GEORGE D [US]) 27. Oktober 2005 (2005-10-27)	9-18
A	Absatz [0004] Absatz [0009] Absatz [0037] - Absatz [0038] Absatz [0042] Abbildung 6	1-4,8
X	DE 102 19 197 C1 (FH HILDESHEIM HOLZMINDEN GOE [DE]) 25. September 2003 (2003-09-25)	9,10, 14-17
A	Absatz [0001] Absatz [0006] - Absatz [0007] Absatz [0012] Absatz [0022] Absatz [0029] Absatz [0033] Abbildungen 1,5	1,2,5,8, 11
	----- -/-	

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen ☒ Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

7. Mai 2014

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

16/05/2014

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
 Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
 NL - 2280 HV Rijswijk
 Tel. (+31-70) 340-2040,
 Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Capostagno, Eros

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	EP 0 994 637 A2 (FOERNSEL PETER [DE]; BUSKE CHRISTIAN [DE]) 19. April 2000 (2000-04-19) in der Anmeldung erwähnt das ganze Dokument -----	1-5,8,9

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2013/060855

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument			Datum der Veröffentlichung		Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung	
US 2005236374	A1	27-10-2005	US	2005236374	A1	27-10-2005		
			US	2010263795	A1	21-10-2010		

DE 10219197	C1	25-09-2003	KEINE					

EP 0994637	A2	19-04-2000	AT	313240	T	15-12-2005		
			DE	19847774	A1	04-05-2000		
			EP	0994637	A2	19-04-2000		
			US	6355312	B1	12-03-2002		
