



(11) **EP 2 143 306 B1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des  
Hinweises auf die Patenterteilung:  
**17.08.2011 Patentblatt 2011/33**

(51) Int Cl.:  
**H05H 1/24 (2006.01) H05H 1/46 (2006.01)**

(21) Anmeldenummer: **08718192.1**

(86) Internationale Anmeldenummer:  
**PCT/EP2008/053507**

(22) Anmeldetag: **25.03.2008**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:  
**WO 2008/131997 (06.11.2008 Gazette 2008/45)**

(54) **ELEKTRODE FÜR PLASMAERZEUGER**  
ELECTRODE FOR A PLASMA GENERATOR  
ÉLECTRODE POUR GÉNÉRATEUR DE PLASMA

(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 MT NL NO PL PT  
RO SE SI SK TR**

(30) Priorität: **27.04.2007 DE 102007020419**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
**13.01.2010 Patentblatt 2010/02**

(73) Patentinhaber: **Forschungsverbund Berlin E.V.  
12489 Berlin (DE)**

(72) Erfinder:  
• **GESCHE, Roland**  
63500 Seligenstadt (DE)  
• **ANDREI, Andreea, Cristina**  
12489 Berlin (DE)  
• **BUCHHOLZ, Stephan**  
12555 Berlin (DE)

• **KÜHN, Silvio**  
16348 Wandlitz (DE)

(74) Vertreter: **Gulde Hengelhaupt Ziebig & Schneider**  
**Patentanwälte - Rechtsanwälte**  
**Wallstrasse 58/59**  
**10179 Berlin (DE)**

(56) Entgegenhaltungen:  
**WO-A-03/039214 WO-A-2004/062326**  
**US-A- 3 848 196**

• **JAEHO KIM ET AL: "2.45 GHz microwave-excited  
atmospheric pressure air microplasmas based  
on microstrip technology" APPLIED PHYSICS  
LETTERS AIP USA, Bd. 86, Nr. 19, 9. Mai 2005  
(2005-05-09), Seiten 191504-1, XP012065308  
ISSN: 0003-6951**

**EP 2 143 306 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 eine Elektrode für einen Plasmaerzeuger zur Erzeugung von Plasmen bei Atmosphärendruck oder atmosphärennahen Drücken durch Anregung mit Mikrowellen.

**[0002]** Plasmen werden bei vielen Sedimentations-, Ätz- und Schichtbildungsprozessen eingesetzt.

**[0003]** Jüngste Bestrebungen gehen dahin, geeignete Niedertemperaturplasmen auch unter Nichtvakuum-Bedingungen zu erzeugen. Derartige Reaktoren arbeiten mit Corona-Entladungen oder Glimmentladungen. Eine Übersicht über solche Plasmaerzeuger findet sich in Laroussi, Nonthermal Decontamination of Biological Media by Atmospheric-Pressure Plasmas: Review, Analysis, and Prospects, IEEE Transactions on Plasma Science, Vol. 30, No. 4, August 2002, S. 1409-1415 oder auch in Schütze et al., The Atmospheric-Pressure Plasma Jet: A Review and Comparison to Other Plasma Sources, a.a.O., Vol. 26, No. 6, December 1998. Die hier beschriebenen Plasmareaktoren sollen u. a. für biologische und medizinische Zwecke eingesetzt werden. Abgesehen von den Kosten, die bei Plasmareaktoren entstehen, die unter Vakuum arbeiten, verbietet sich in diesem Bereich oftmals die Anwendung von Unterdruck, so dass hier die Anwendung von Plasma bei Atmosphärendruck eine Voraussetzung ist. Auch eine Behandlung von vakuumempfindlichen Materialien wie bestimmte Polymere oder von empfindlichen Lebensmitteln wird mit Niedertemperaturplasmen bei atmosphärischem oder atmosphärennahem Druck möglich.

**[0004]** Ein weiteres Beispiel eines Mikrowellen-Plasmaerzeugers bei Atmosphärendruck ist in JAEHO et Al. ; "2.45 GHz microwave-excited atmospheric pressure air microplasmas based on microstrip technology" - Applied Physics Letters - BD 86, Nr. 19, 9. Mai 2005, seiten 191504/1-3.

**[0005]** Für die Plasmaerzeuger müssen Stromversorgungen mit hoher Leistung bereitgehalten werden, wobei die hohe Leistung nur zur Zündung benötigt wird.

**[0006]** Für den Elektrodenabstand muss immer ein Kompromiss zwischen dem Zündverhalten und dem stabilen Plasmabetrieb geschlossen werden. Für die Zündung optimale kleine Elektrodenabstände führen zu sehr kleinen Plasmavolumina und hoher Punktbelastung der Elektroden. Größere Elektrodenabstände führen zu extrem hohen Zündspannungen und instabilem Plasmaverhalten.

**[0007]** Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Elektrode für einen Plasmaerzeuger anzugeben, die insbesondere im atmosphärennahen Druckbereich bei kleinen Leistungen sicher zündet und ein Plasma mit genügend hoher Dichte zu generieren vermag, sodass ein durchdringender Gasstrom mit hoher Effizienz aktiviert wird.

**[0008]** Erfindungsgemäß wird die Aufgabe gelöst durch eine Elektrode mit den Merkmalen des Anspruchs 1. Zweckmäßige Ausgestaltungen sind Gegenstand der

Unteransprüche.

**[0009]** Danach besteht die Elektrode aus einem Blechstreifen, in dessen Längsrichtung mindestens ein Schlitz mit einer Länge eingebracht ist, die das Ein- oder Mehrfache eines Viertels der Wellenlänge der Leerlaufspannung der Mikrowelle beträgt, so dass sich mindestens zwei Teilelektroden bilden, wobei die Spannungszuleitung an die Teilelektroden im Bereich des geschlossenen Schlitzendes oder der geschlossenen Schlitzenden erfolgt.

**[0010]** Bei der erfindungsgemäßen Elektrode gibt es unter Berücksichtigung der Anregungsfrequenz im Leerlauf einen geometrischen Punkt hoher Feldstärke, an dem das Plasma zündet. Bei gezündetem Plasma verändert sich durch die Plasmaimpedanz die Feldverteilung in der Elektrodenstruktur und das Plasma wandert an einen anderen Ort bzw. verbreitert sich innerhalb des Elektroden Schlitzes und breitet sich in einem größeren Volumen aus.

**[0011]** Die Struktur der Elektrode nutzt frequenzabhängige, resonante Eigenschaften des Aufbaues aus und generiert an definierter Stelle eine hohe elektrische Feldstärke, an der die Zündung des Plasmas ermöglicht wird. Das starke Feld entsteht typischerweise an mindestens zwei Elektroden die sich physikalisch nah gegenüber stehen. Wird nun elektrische Leistung in Form von Mikrowellen an geeigneter Stelle in die Struktur eingebracht, entsteht am Ende des Schlitzes eine hohe alternierende Potentialdifferenz. Durch den geringen Abstand der sich gegenüberstehenden Elektroden ist die resultierende Feldstärke sehr hoch. An der Stelle des höchsten elektrischen Feldes ist, bei genügend hoher Speiseleistung, die Zündung eines Plasmas bei Atmosphärendruck bzw. bei atmosphärennahem Druck möglich. Nach erfolgter Zündung ist zum Betrieb nur ein Bruchteil der erforderlichen Zündleistung nötig. Die Frequenz der Einspeiseleistung ist abhängig von den physikalischen Dimensionen der Elektrode. Besonders die Länge des Schlitzes hat maßgeblichen Einfluss auf die Frequenz und beträgt in etwa das Vielfache der Viertelwellenlänge.

**[0012]** Die Einspeisung erfolgt im Fall eines einseitig offenen Schlitzes zum Beispiel durch eine Koaxialleitung, wobei der Innenleiter an einer Seite des Schlitzes an die Stelle geführt ist, bei der im Leerlauf in etwa Anpassung herrscht.

**[0013]** Auch Aufbauten mit beidseitig geschlossenem Schlitz sind nach diesem Prinzip möglich. Das höchste elektrische Feld und somit auch das Plasma entstehen dann in der Mitte des Schlitzes. Zweckmäßig ist die Elektrode in diesem Fall U-förmig oder kreisförmig gebogen.

**[0014]** Die Einspeisung erfolgt im letztgenannten Fall zum Beispiel durch eine Koaxialleitung, wobei der Innenleiter sich T-förmig verzweigt und auf beiden Seiten im Bereich der beiden Schlitzenden an die Elektrode geführt ist.

**[0015]** Zum Beispiel für die Behandlung von Prozessgasen ist die Elektrode zweckmäßig von einem Ab-

schirmgehäuse umgeben, in dem sich eine Öffnung zum Zuführen und eine weitere Öffnung zum Herausführen der vom Plasma aktivierten Prozessgase befindet. Die Öffnungen sollten eine solche Größe haben, dass die Abstrahlung von Mikrowellenenergie im zulässigen Bereich bleibt.

**[0016]** Die Elektrode wird in bevorzugter Weise von einer freilaufenden Oszillatorschaltung versorgt, wobei die Elektrode selbst das die Frequenz bestimmende Element darstellt. Die Oszillatorschaltung kann mit der Elektrode integriert aufgebaut werden.

**[0017]** Die Elektrode kann bevorzugt für medizinische Behandlungszwecke, insbesondere die Behandlung menschlicher Haut, aber auch zur Modifizierung der Oberflächenenergie von Werkstücken oder zur plasmachemischen Abscheidung von Schichten eingesetzt werden.

**[0018]** Die Erfindung soll nachstehend anhand zweier Ausführungsbeispiele näher erläutert werden. In den zugehörigen Zeichnungen zeigen

Fig. 1 ein Beispiel für eine erfindungsgemäße Elektrode eines Resonators,

Fig. 2 ein Beispiel für eine geschlossene Bauform einer Elektrode eines Resonators und

Fig. 3 den Resonator gemäß Fig. 2 in ein Gehäuse eingebettet.

**[0019]** Fig. 1 zeigt ein Beispiel für einen Resonator eines Plasmaerzeugers. In einen Blechstreifen 1, der als Elektrode dient, ist ein Schlitz 2 eingebracht. Der Schlitz 2 trennt den Blechstreifen 1 in zwei Teilelektroden 3 auf, die beim Betrieb mit einer hochfrequenten Spannung, die über den Innenleiter 4 einer Koaxialleitung 5 an den Blechstreifen 1 geführt wird, eine hohe elektrische Feldstärke erzeugen. Der Schlitz 2 ist typischerweise  $\lambda/4$  lang. Bei einer real ausgeführten Ausführung für eine Versorgungsspannung mit einer Frequenz von 2 GHz ergab sich damit ein Schlitz 2 von 37,5 mm. Seine Breite betrug 0,1 mm. Der Innenleiter 4 der Koaxialleitung 5 ist im Bereich des Schlitzendes an den Außerrand des Blechstreifens 1 geführt, an einen Punkt, an dem Resonanz mit einem Oszillator erzeugt wird. Der Außenleiter 6 der Koaxialleitung 5 ist an der gegenüberliegenden Seite des Blechstreifens 1 an dessen Außenrand geführt.

**[0020]** Nach Anlegen der Versorgungsspannung entsteht am Schlitzende eine hohe Feldstärke, die zum Zünden eines Plasmas bei Atmosphärendruck reicht. Nach dem Zünden bewegt sich das Plasma in den Schlitz 2 hinein und vergrößert sein Volumen, wobei es ein stabiles Verhalten zeigt.

**[0021]** Fig. 2 zeigt eine Elektrode aus einem U-förmig gebogenen Blechstreifen 1 mit einem Schlitz 2. Der Schlitz 2 ist in diesem Fall  $\lambda/2$  lang. Der Innenleiter 4 der Koaxialleitung 5 wird T-förmig verzweigt und an die zwei sich gegenüberstehenden Seiten des Blechstreifens 1

im Bereich des Schlitzendes geführt. Der Außenleiter 6 wird mit den gegenüberliegenden Seiten des Blechstreifens 1 verbunden. Die höchste Feldstärke entsteht bei dieser Ausführungsform in der Mitte des Schlitzes 2, das heißt an der Vorderkante des Blechstreifens 1. Nach dem Zünden des Plasmas an dieser Stelle dehnt sich das Plasma mindestens auf den gesamten Bereich der Vorderkante des Blechstreifens 1 aus.

**[0022]** Fig. 3 zeigt schematisch den Aufbau eines durch ein Gehäuse 7 komplettierten Resonators. Das Gehäuse 7 (hier im quasi geöffneten Zustand dargestellt) wirkt reflektierend und unterbindet so eine elektromagnetische Abstrahlung nach außen. Um mit diesem Plasmaerzeuger ein Prozessgas zu behandeln, ist in der hinteren Gehäusewand eine Gaszuleitung 8 und in der Vorderwand eine schlitzförmige Gasausleitung 9 vorgesehen.

#### Bezugszeichenliste

#### [0023]

- |   |                |
|---|----------------|
| 1 | Blechstreifen  |
| 2 | Schlitz        |
| 3 | Teilelektrode  |
| 4 | Innenleiter    |
| 5 | Koaxialleitung |
| 6 | Außenleiter    |
| 7 | Gehäuse        |
| 8 | Gaszuleitung   |
| 9 | Gasausleitung  |

#### Patentansprüche

1. Elektrode für einen Plasmaerzeuger zur Erzeugung von Plasmen bei Atmosphärendruck oder atmosphärendrücken durch Anregung mit Mikrowellen,

#### **dadurch gekennzeichnet, dass**

sie aus einem Blechstreifen (1) besteht, in dessen Längsrichtung mindestens ein Schlitz (2) mit einer Länge eingebracht ist, die das Ein- oder Mehrfache eines Viertels der Wellenlänge der Leerlaufspannung der Mikrowelle beträgt, so dass sich mindestens zwei Teilelektroden (3) bilden, wobei die Spannungszuleitung an die Teilelektroden (3) im Bereich des geschlossenen Schlitzendes oder der geschlossenen Schlitzenden erfolgt.

2. Elektrode nach Anspruch 1,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
der Schlitz (2) an seinem einen Ende geschlossen,  
am anderen Ende offen ist.
3. Elektrode nach Anspruch 1,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
der Schlitz (2) an beiden Seiten geschlossen ist.
4. Elektrode nach Anspruch 3,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
sie U-förmig gebogen ist.
5. Elektrode nach Anspruch 3,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
sie kreisförmig gebogen ist.
6. Elektrode nach Anspruch 1 oder 2,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
sie durch eine koaxiale Einspeisung (5) versorgt  
wird, wobei der Innenleiter (4) an einer Seite des  
Schlitzes (2) an die Stelle geführt ist, bei der im Leer-  
lauf in etwa Anpassung herrscht.
7. Elektrode nach einem der Ansprüche 3 bis 5,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
sie durch eine koaxiale Einspeisung (5) versorgt  
wird, wobei der Innenleiter (4) sich T-förmig ver-  
zweigt und auf beiden Seiten im Bereich der beiden  
Schlitzenden an die Elektrode geführt ist.
8. Elektrode nach einem der vorhergehenden Ansprü-  
che,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
sie von einem Abschirmgehäuse (7) umgeben ist.
9. Elektrode nach Anspruch 8,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
sich in dem Abschirmgehäuse (7) eine Öffnung zum  
Zuführen von Prozessgasen und eine weitere Öff-  
nung zum Herausführen der vom Plasma aktivierten  
Prozessgase befindet.
10. Elektrode nach einem der vorhergehenden Ansprü-  
che,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
sie von einer freilaufenden Oszillatorschaltung ver-  
sorgt ist, wobei die Elektrode selbst das die Fre-  
quenz bestimmende Element darstellt.
11. Elektrode nach einem der vorhergehenden Ansprü-  
che,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
sie zusammen mit einer Oszillatorschaltung inte-  
griert ist.

## Claims

1. Electrode for a plasma generator for generating plas-  
mas at atmospheric pressure or near-atmospheric  
pressures through excitation with microwaves,  
**characterized in that**  
the electrode comprises of a sheet metal strip (1)  
having at least one slot (2) extending in the longitu-  
dinal direction and having a length of one time or  
multiple times a quarter wavelength of the open-cir-  
cuit voltage of the microwave, so that at least two  
partial electrodes (3) are formed, wherein the voltage  
is supplied to the partial electrodes (3) in the region  
of the closed slot end or of the closed slot ends.
2. Electrode according to claim 1,  
**characterized in that**  
the slot (2) is closed at one of its ends and open at  
the other end.
3. Electrode according to claim 1,  
**characterized in that**  
the slot (2) is closed on both sides.
4. Electrode according to claim 3,  
**characterized in that**  
the electrode is bent into a U-shape.
5. Electrode according to claim 3,  
**characterized in that**  
the electrode is bent into a circular shape.
6. Electrode according to claim 1 or 2,  
**characterized in that**  
the electrode is supplied through a coaxial feed (5),  
wherein the inner conductor (4) extends on one side  
of the slot (2) to a location where approximate match-  
ing is attained under open-circuit conditions.
7. Electrode according to one of the claims 3 to 5,  
**characterized in that**  
the electrode is supplied through a coaxial feed (5),  
wherein the inner conductor (4) branches in the  
shape of a T and extends to the electrode on both  
sides in the region of the two slot ends.
8. Electrode according to one of the preceding claims,  
**characterized in that**  
the electrode is surrounded by a shielded housing  
(7).
9. Electrode according to claim 8,  
**characterized in that**  
the shielded housing (7) comprises an opening for  
supplying process gases and an additional opening  
for discharging the process gases that are activated  
by the plasma.

10. Electrode according to one of the preceding claims, **characterized in that** the electrode is supplied by a free-running oscillator circuit, wherein the electrode itself is the frequency-setting element.

5

11. Electrode according to one of the preceding claims, **characterized in that** the electrode is integrated with an oscillator circuit.

10

## Revendications

1. Electrode pour un générateur de plasma pour la production de plasmas à la pression atmosphérique ou à des pressions proches de la pression atmosphérique par excitation avec des micro-ondes, **caractérisée en ce** qu'elle est composée d'une bande de tôle (1) dans la direction longitudinale de laquelle est mise en place au moins une fente (2) d'une longueur qui est égale à un quart ou à un multiple du quart de la longueur d'onde de la tension à circuit ouvert de la micro-onde, de sorte qu'il se forme au moins deux électrodes partielles (3), l'amenée de tension vers les électrodes partielles (3) s'effectuant dans la zone de l'extrémité fermée de fente ou des extrémités fermées de fente.

15

2. Electrode selon la revendication 1, **caractérisée en ce que** la fente (2) est fermée à une extrémité et ouverte à l'autre extrémité.

30

3. Electrode selon la revendication 1, **caractérisée en ce que** la fente (2) est fermée aux deux extrémités.

35

4. Electrode selon la revendication 3, **caractérisée en ce** qu'elle est courbée en forme de U.

40

5. Electrode selon la revendication 3, **caractérisée en ce** qu'elle est courbée en forme de cercle.

45

6. Electrode selon la revendication 1 ou 2, **caractérisée en ce** qu'elle est alimentée par une alimentation (5) coaxiale, le conducteur intérieur (4) étant conduit, sur un côté de la fente (2), à l'emplacement dans lequel règne approximativement une adaptation dans le circuit ouvert.

50

7. Electrode selon une des revendications 3 à 5, **caractérisée en ce** qu'elle est alimentée par une alimentation (5) coaxiale, le conducteur intérieur (4) se ramifiant en

55

forme de T et étant conduit à l'électrode sur les deux côtés dans la zone des deux extrémités de fente.

8. Electrode selon une des revendications précédentes, **caractérisée en ce** qu'elle est entourée d'un boîtier de blindage (7).

9. Electrode selon la revendication 8, **caractérisée en ce que**, dans le boîtier de blindage (7), il y a une ouverture pour la conduite de gaz de processus et une autre ouverture pour l'extraction des gaz de processus activés par le plasma.

10. Electrode selon une des revendications précédentes, **caractérisée en ce** qu'elle est alimentée par un circuit d'oscillateur à circuit ouvert, l'électrode représentant elle-même l'élément déterminant la fréquence.

11. Electrode selon une des revendications précédentes, **caractérisée en ce** qu'elle est intégrée en même temps qu'un circuit d'oscillateur.

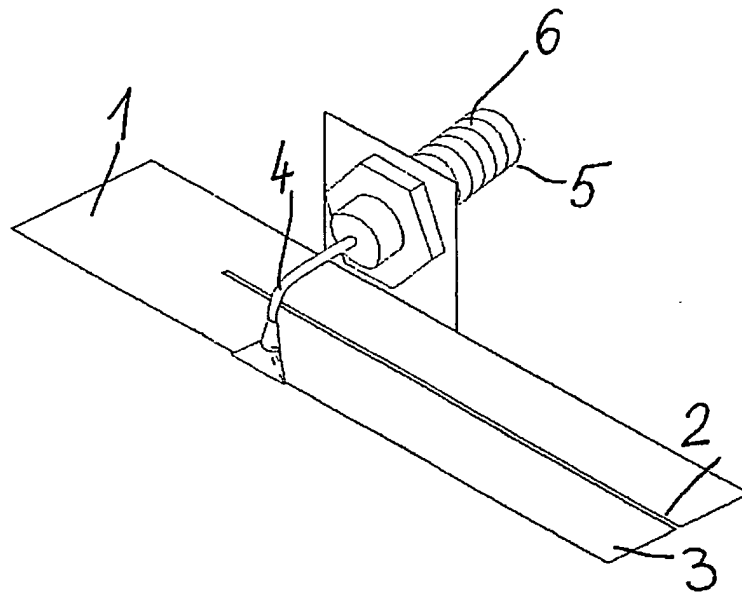


Fig. 1

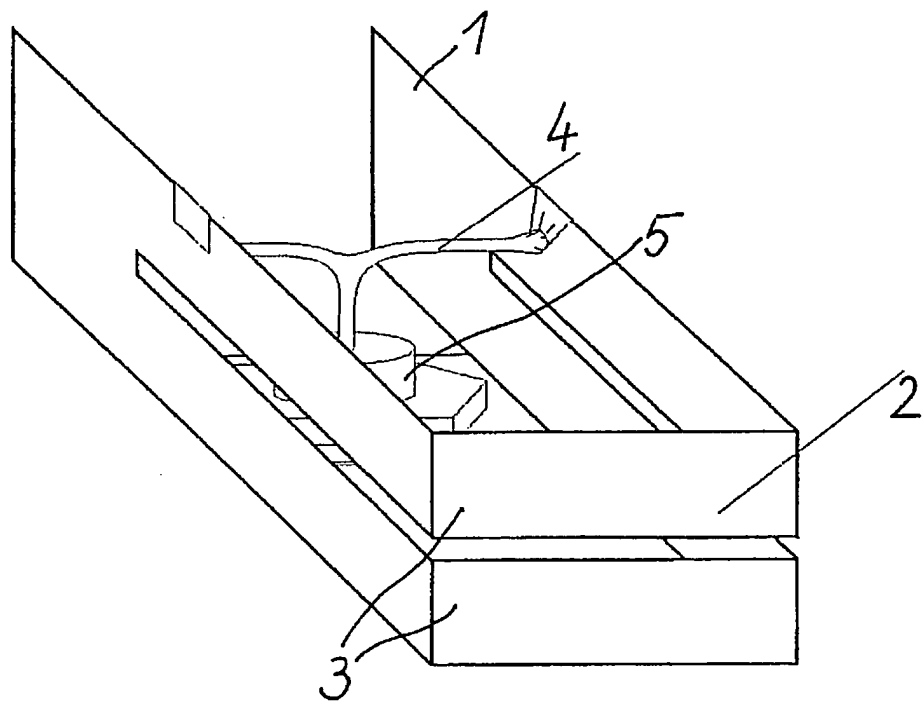


Fig. 2

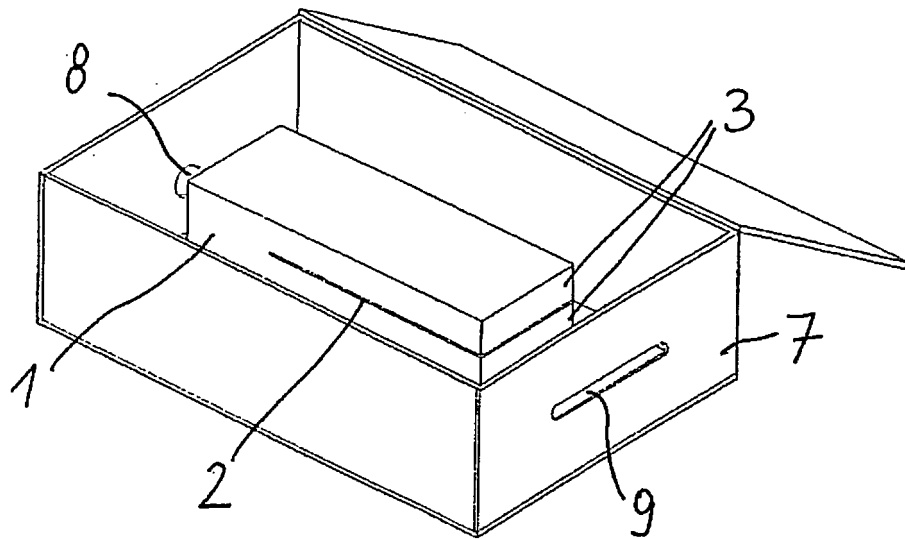


Fig. 3

## 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 Nicht-Patentliteratur

- **Laroussi.** Nonthermal Decontamination of Biological Media by Atmospheric-Pressure Plasmas: Review, Analysis, and Prospects. *IEEE Transactions on Plasma Science*, August 2002, vol. 30 (4), 1409-1415 [0003]
- **Schütze et al.** *The Atmospheric-Pressure Plasma Jet: A Review and Comparison to Other Plasma Sources, a.a.O.*, Dezember 1998, vol. 26 (6 [0003]
- **JAEHO et al.** 2.45 GHz microwave-excited atmospheric pressure air microplasmas based on microstrip technology. *Applied Physics Letters*, 09. Mai 2005, vol. 86 (19), 191504, 1-3 [0004]